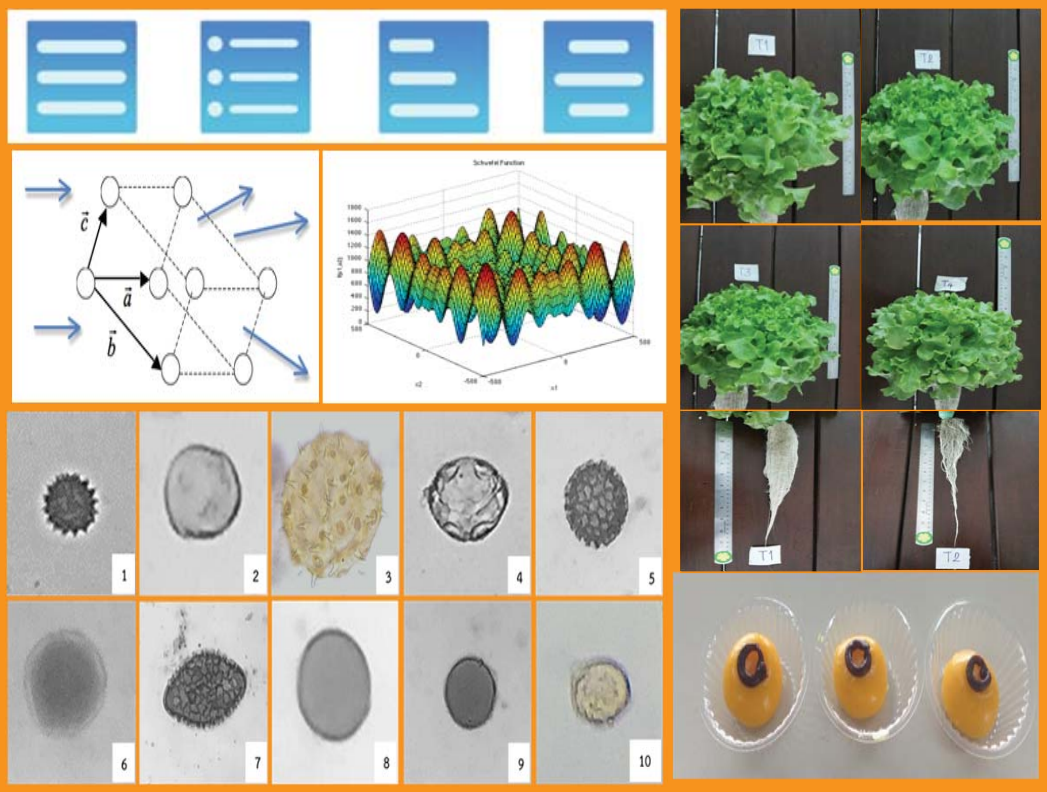
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Journal of Science & Technology Phranakhon Rajabhat University

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2559
Vol. 6 No. 6 August 2016



http://www.scipnru.com

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Journal of Science & Technology Phranakhon Rajabhat University

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2559
Vol. 6 No. 6 August 2016

เจ้าของ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สำนักงาน
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาคาร 21
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
โทรศัพท์ 0-2522-6609 โทรสาร 0-2522-6609

วัตถุประสงค์
1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่งานวิทยาการในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางด้านการวิจัย และการศึกษาค้นคว้า ของอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจ
3. เพื่อเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวคิดทางวิชาการ ของบุคลากรทั้งภายในและนอกสถาบัน

Publisher
Faculty of Science and Technology
Phranakhon Rajabhat University

Office
Faculty of Science and Technology, Building 21
Phranakhon Rajabhat University
Tel. 0-2522-6609 Fax 0-2522-6609

Objectives
1. To promote dissemination of knowlenge in all fields of science and technology.
2. To publish research results of faculty, students and researchers.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among faculty, students and researchers of Phranakhon Rajabhat University and other institutes.

บรรณาธิการ
ผศ.ดร. เดช บุญประจักษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ
ผศ.ดร.ไพบูลย์ วิริยะวัฒนะ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.สุชาดา ไม้สนธิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.สมคิด สุทธิธารธวัช มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.วุฒิชัย แพงาม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วิสุทธนา สมุทรศรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ลดา มัทธุรส มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.คงเอก ศิริงาม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.จักรพงษ์ หรั่งเจริญ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร. ธัชชัย ปุษยะนาวิน มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วฤชา ประจงศักดิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ราเมศ จุ้ยจุลเจิม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ศรุดา นิติวรการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.สืบตระกูล สุชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อธิยา รัตนพิทยาภรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.อะเคื้อ กุลประสูติดิลก มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.อัญชลี นิลสุวรรณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผศ.ดร.โองการ วณิชาชีวะ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ฝ่ายศิลป์และภาพ
นางสาวขวัญเรือน ปิ๊จจ๊ะ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ฝ่ายจัดการและเลขานุการ
นางขนิษฐา อยู่นุช มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวนนธิดา งามสมภาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวเวียงศิริ แซ่อึง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางหนึ่งฤทัย ขยัน มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวอารีย์ รอดดำรงค์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ
The views and opinions expressed in this journal are those of the author(s), and do not necessarily reflect the views and opinions of the editorial board.

ปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทย
The Problems of Air Pollution in Thailand

ศิริรัตน์ ดีวัน* และ อรอุษา แช่กลาง
Sirirat Deewan and Onusa Chaklang

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author:** modsirirat_1511@hotmail.com

1. บทนำ

การศึกษาปัญหามลพิษอากาศในประเทศไทย คุณภาพสิ่งแวดล้อมมีความเสื่อมโทรม และมีปัญหาการร้องเรียนด้านมลพิษทางอากาศที่ส่งผลทำให้ประชาชนต้องสูดเอาอากาศ ที่เป็นพิษอันตรายเข้าไปในร่างกายและสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ของประชาชน พบว่ามลพิษอากาศเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศมาจากภาคพลังงาน โดยเฉพาะการใช้พลังงานเพื่อการขนส่ง การใช้พลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การอุตสาหกรรมสารเคมีและอุตสาหกรรมในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีและอุตสาหกรรมในพื้นที่ และในเขตควบคุมมลพิษหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี พบฝุ่นละอองจากกิจกรรมการผลิตปูนขาวและปูนซีเมนต์ การคมนาคมในชีวิตประจำวัน หมอกควันพิษข้ามพรมแดน หมอกควันพิษในภาคเหนือของประเทศและที่เกิดจากการเผาในพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด หมอกควันพิษจากการทำลายล้างป่าพรุและระบบนิเวศป่าไม้โดยอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและเยื่อกระดาษ ดังนั้นรัฐบาลโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องลงมือปฏิบัติให้อากาศสะอาดกลับคืนมาเพื่อภาวะที่ดีขึ้นของสิ่งแวดล้อม จึงเกิดการต่อต้านและวิเคราะห์สถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ปัญหามลพิษอากาศตลอดจนการร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหามลพิษ สิ่งแวดล้อมที่ผ่านมาและแนวโน้มในอนาคต ทบทวนผลการดำเนินงานในการบริหารจัดการมลพิษ และปัญหาอุปสรรค ในการดำเนินงานที่ผ่านมา

2. ความหมายของมลพิษอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะของอากาศซึ่งมีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอเป็นระยะเวลาที่นานพอที่จะก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ [1]

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์หรืออาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ [2]

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีการปนเปื้อนของมลสารในปริมาณที่สามารถทำให้อากาศเสื่อมสภาพ ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ พืช ทั้งทางตรงและทางอ้อม [3]

3. ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศจำแนกตามลักษณะที่มี 2 แหล่ง คือ

3.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural source) เป็นแหล่งที่สารมลพิษกำเนิดขึ้นมาเองตามธรรมชาติ เช่น ภูเขไฟระเบิด ทำให้เกิดฝุ่นละออง แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฟไหม้ป่าทำให้เกิดควัน ฝุ่นละออง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากพืช เช่น การเน่าเปื่อย เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ละอองเกสรดอกไม้ สารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ อนุภาคสารต่างๆ จากดินที่ถูกพัดพาขึ้นไปแขวนลอยในอากาศ ไอระเหยจากน้ำทะเล ฝุ่นละอองจากลมพายุ แก๊สธรรมชาติ และแผ่นดินไหว

3.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made source) สิ่งเจือปนที่ก่อให้เกิดมลพิษมีแหล่งกำเนิดมาจากการกระทำของมนุษย์ ปัญหามลพิษทางอากาศส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากแหล่งกำเนิดสารมลพิษที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ จำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ คือ แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile source) ได้แก่ การจราจร ยานพาหนะที่ใช้ในการจราจรทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ สารมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ และแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่(Stationary Source) ประเภทการใช้เชื้อเพลิงในอาคารบ้านเรือน การเผาขยะ เศษวัสดุ เผาไร่นา โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า สารมลพิษที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตทั้งจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดฝุ่นและจากวัตถุดิบที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต รวมทั้งผลพลอยได้ที่ต้องการซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการผลิต [4]

4. ประเภทของสารมลพิษทางอากาศ

1. กำมะถันออกไซด์ (SO_x) เกิดจากการสันดาปหรือเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือวัสดุที่มีกำมะถัน เช่น ถ่านหิน

2. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไนโตรเจนออกไซด์ที่อยู่ในอากาศ คือ N_2O, NO_3, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, NO และ NO_2

3. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอนและสารประกอบคาร์บอนในอากาศ

4. สารอนุภาค (Particulate Matter) มลสารในรูปสารอนุภาค (Particulate Matter) รวมทั้งฟูม (Fume) หมอกน้ำค้าง (Mist) และควัน (Smoke) ที่เกิดพร้อมกับกระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือให้ความร้อน และฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิต การขนส่งและการจัดการวัสดุผง

5.ไฮโดรคาร์บอน (HC) ในอากาศมีไฮโดรคาร์บอนหลายประเภท รวมทั้งสารพาราฟิน (Paraffins) สารเนฟทีน (Naphthenes) สารโอเลฟิน (Olefins) และสารอะโรมาติก (Aromatic Compounds) สารเหล่านี้มีความเข้มข้นต่ำและไม่มีพิษ

6.คลอรีน (Cl_2) และไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) คลอรีนจำนวนมหาศาลมีอยู่ในทะเลในสภาพของไอออน Cl^-อย่างไรก็ตามแหล่งมนุษย์สร้างก็ช่วยแพร่กระจายคลอรีนและไฮโดรเจนคลอไรด์ด้วย เช่น โรงงานผลิตคลอรีน เตาเผาขยะในเขตเมืองและโรงบำบัดน้ำเสีย

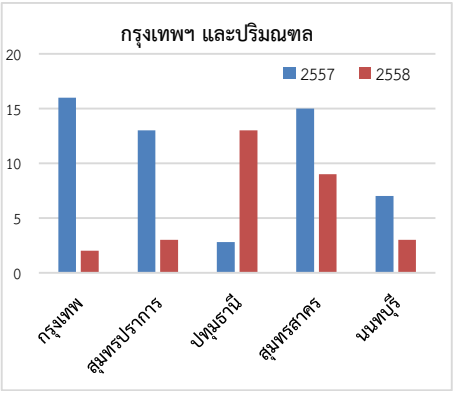
7. โลหะหนักและสารประกอบของโลหะหนัก โลหะหนักรวมทั้งแคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) และสารประกอบของโลหะออกสู่บรรยากาศในรูปของอนุภาค และจะแตกตัวในน้ำและดิน โดยการเกาะติดแบบแห้งและเปียก (Dry and Wet Deposition)

8. ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) และซิลิคอนฟลูออไรด์ (SiF) ทำความเสียหายต่อพืชและมีพิษภัยต่อปศุสัตว์ที่กินพืช แหล่งของฟลูออไรด์มีทั้งโรงงานถลุงอะลูมิเนียม โรงงานเซรามิกสำหรับเครื่องชามและแก้ว ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต

9. กลิ่นเหม็น สารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนและกำมะถัน เช่น แอมโมเนีย Methyl Mercaptan และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มักจะส่งกลิ่นเหม็น กลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานแปรรูปอาหาร โรงฟอกหนัง [4]

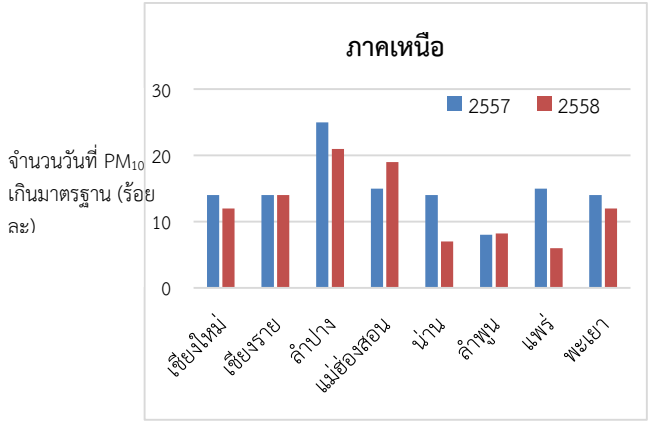
5. คุณภาพมลพิษอากาศในประเทศไทย

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ภาพรวมของทั้งประเทศ ในช่วงต้นปี 2558 จำนวนวันที่ฝุ่นละออง PM10 เกินค่ามาตรฐานในทุกภาคของประเทศลดลงกว่าปีที่ผ่านมาจากการรายงาน ว่าเมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกัน (ปี 2557 เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยร้อยละ 11 ลดลงเหลือ ร้อยละ 7 ในปี 2558)



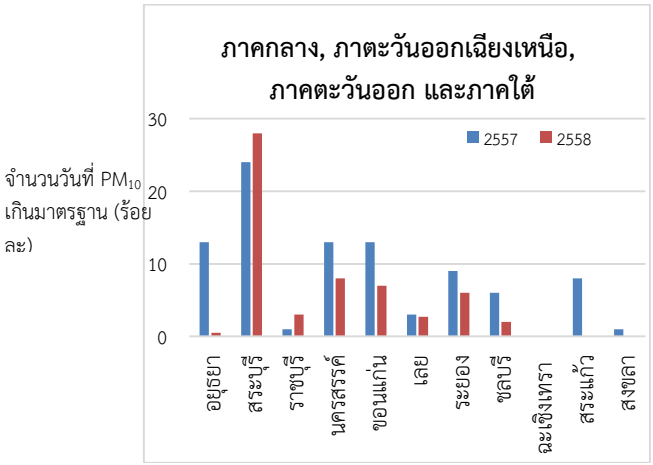
ภาพที่ 1 ร้อยละของจำนวนวันที่พบปริมาณฝุ่นละออง (PM10) เกินค่ามาตรฐาน ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ช่วงเดือนมกราคม – พฤษภาคม เปรียบเทียบปี 2557 และ ปี 2558

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และพระนครศรีอยุธยา จำนวน วันที่ฝุ่นละออง PM10 เกินค่ามาตรฐานลดลงอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 2 ร้อยละของจำนวนวันที่พบปริมาณฝุ่นละออง (PM10) เกินค่ามาตรฐานในภาคเหนือ ช่วงเดือนมกราคม – พฤษภาคม เปรียบเทียบปี 2557 และ 2558

ภาคเหนือ เป็นพื้นที่ที่จะเกิดภาวะหมอกควันในช่วงต้นปีของทุกปี สำหรับปีนี้จำนวนวันที่ฝุ่นละออง PM10 เกิน ค่ามาตรฐานลดลงอย่างน่าพอใจ โดยในจังหวัดแพร่และน่านลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นจังหวัดแม่ฮ่องสอนพบ ปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีการปรับมาตรการในการแก้ไขปัญหาทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการเผาใน ที่โล่งดีขึ้น



ภาพที่ 3 ร้อยละของจำนวนวันที่พบปริมาณฝุ่นละออง (PM10) เกินค่ามาตรฐานในภาคกลาง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ภาคตะวันออก และภาคใต้ ช่วงเดือนมกราคม – พฤษภาคม เปรียบเทียบปี 2557 และ 2558

พื้นที่อื่น จำนวนวันที่ฝุ่นละออง PM10 เกินค่ามาตรฐานลดลงในทุกภาคของประเทศ ยกเว้นจังหวัดสระบุรี และราชบุรี จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานครปริมณฑลและบริเวณใกล้เคียง รถยนต์ดีเซลเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาฝุ่นละออง PM10 บริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานคร โดยช่วงกลางปี 2557 ถึงปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้แก้ไขปัญหาควันดำจากรถโดยสารประจำทางที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล รวมทั้งรถสองแถว ในซอย ซึ่งพบการปล่อยควันดำเกินค่ามาตรฐานลดลงอย่างมาก อีกทั้งในปี 2558 พบว่าสถิติปริมาณการขายน้ำมันดีเซลน้อยลงกว่าในปี 2557 ส่งผลให้ฝุ่นละอองบริเวณริมถนนลดลงด้วย อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่จังหวัดอื่นจะไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่นละอองอื่นร่วมด้วย เช่น โรงงานอุตสาหกรรมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือ ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของระดับฝุ่นละอองมาจากการเผาในที่โล่ง [5]

6. ผลกระทบมลพิษอากาศ

มลพิษอากาศมีผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะระบบหายใจและมะเร็งผิวหนัง สารพิษที่ระบายออกสู่บรรยากาศและแพร่กระจายออกไปได้ไกล ทั้งนี้ยังทำให้เกิดฝนกรดและเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

ผลกระทบจากมลพิษอากาศมีต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งแวดล้อม คือ ผลต่อสุขภาพของบุคคลในระดับท้องถิ่น เช่น การเกิดไฟป่า พายุทรายหรือสารอันตรายไปจนถึงการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก การลดลงของชั้นโอโซน โดยแบ่งการเกิดผลกระทบ ดังนี้

1. ผลกระทบต่อระยะที่สามารถมองเห็นได้ ฝุ่นละอองทุกขนาดในอากาศมีผลโดยตรงต่อการปิดกั้นทางเดินของแสง ถ้ามีปริมาณสูงมากจะทำให้ระยะในการมองเห็นลดลง ในวันที่มีหมอกจัด ที่ระยะไกลเรามองไม่เห็นแสงจากไฟหน้ารถยนต์ที่แล่นสวนทางมา แต่เมื่อหมองจางลงและมีการกระเจิงของแสงจะช่วยทำให้มองเห็นตัวรถและเมื่อเข้าระยะใกล้ทำให้มองเห็นไฟรถได้

2. ผลกระทบต่อวัสดุ สารมลพิษทางอากาศทำให้วัสดุต่างๆเสียหายได้ เกิดความสกปรก การสึกกร่อน หรือปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้อาคารผุกร่อนได้ อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยมีคุณสมบัติการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ไว้ที่พื้นผิว เมื่อเกาะติดวัสดุหรือสิ่งก่อสร้างจึงสามารถทำอันตรายต่อวัสดุที่ทำจากโลหะทำให้เกิดการสึกกร่อน และทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง

3.ผลกระทบต่อพืชและระบบนิเวศ อากาศเสียทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ทำลายคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์แสงมักจะแคระแกร็นมีการ

เจริญเติบโตช้า หรืออาจตายได้ มลพิษอากาศปริมาณสูงจะทำลายส่วนต่างๆ ของพืช ที่เห็นได้ชัดเจนคือใบ แก๊สแต่ละชนิดทำลายใบพืชลักษณะต่างกัน เช่น เซลล์ยุบตัวหรือเกิดลายเหนี่ยวแห้ง ใบมีสีซีดหรือเปลี่ยนสี และเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต

การที่พืชได้รับมลพิษอากาศทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง เนื่องจากมลพิษปิดปากใบอยู่ภายในอยู่ภายนอกและที่เข้าสู่เซลล์เนื้อเยื่อ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง

4.ผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์และสัตว์หายใจอากาศที่สกปรกมีฝุ่นละออง หมอกควันต่างๆ ตลอดจนสารเป็นพิษเข้าไปในร่างกาย จะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ หอบหืด โรคมะเร็งที่ปอด โรคหลอดเลือดแข็ง โรคหัวใจ ปวดศีรษะ มึนงง ทั้งนี้ลักษณะอาการและความรุนแรงของโรคที่เกิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษของแต่ละบุคคล ได้แก่

- ฝุ่นละออง เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะทำอันตรายอวัยวะส่วนต่างๆ ทั้งนี้ความรุนแรงขึ้นกับปริมาณ ชนิด และความเป็นพิษของมลสารที่เข้าสู่ร่างกาย อนุภาคขนาดเล็กที่เป็นพิษทำลายระบบหายใจได้หลายลักษณะ เช่น การอักเสบของถุงลมปอด การจับตัวเป็นลิ่มขงทางเดินหลอดเลือดความข้นของพลาสมา

- มลพิษอากาศที่เป็นแก๊ส แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มีผลต่อระบบหายใจเกิดการระคายเคืองในถุงลม หลอดลมอักเสบเรื้อรัง, แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทำให้ผู้ที่ได้รับสัมผัสจะมีอาการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจเมื่อได้รับ SO_2 ความเข้มข้นมากกว่า 6 ppm และแก๊สคาร์บอนมอนอไซด์ (CO) มีอันตรายต่อมนุษย์ เมื่อเข้าสู่ปอดจะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือดโดยผ่านผนังของถุงลมจับกับฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) ในเม็ดเลือดกลายเป็นคาร์บอกซีเฮโมโกลบิน (Carboxyhaemoglobin,Hem.COHb) ทำให้เม็ดเลือดแดงแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้น้อยลงลดความสามารถของเลือดในการนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆปอดและหัวใจจึงต้องทำงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ออกซิเจนในปริมาณที่เซลล์ต่างๆ ของร่างกายต้องการ ถ้าร่างกายได้รับคาร์บอนมอนอไซด์เป็นเวลานานจะทำให้ส่วนต่างๆ ของร่ากายเกิดภาวะขาดออกซิเจนและถึงตายได้ [6]

7. มาตรการในการแก้ไขและควบคุมคุณภาพอากาศ

อากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมคุณภาพอากาศให้อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต จำเป็นต้องหามาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศปัญหามลพิษอากาศมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของความเจริญเติบโตของเมือง การจราจร การอุตสาหกรรม โดยเฉพาะตามเมืองใหญ่ๆ ซึ่งมีการจราจรหนาแน่น มีโรงงานอุตสากรรมจำนวนมากมีประชากรอาศัยอยู่แออัด จำเป็นต้องมีการป้องแก้ไข และควบคุมโดยตรงที่แหล่งกำเนิดมลพิษและดำเนินการปฏิบัติอย่างจริงจัง โดยหน่วยงานของภาครัฐ มีหน้าที่ควบคุมดูแลแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงคมนาคมโดยกรมขนส่งทางบก และกรมเจ้าท่า กระทรวงมหาดไทยโดยกรมการปกครอง และสำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงสาธารณสุขโดยกรมอนามัย โดยมีแนวทางแก้ไขปัญหาดังนี้

<u>ภาครัฐ</u>

1. การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ การตรวจวัดคุณภาพอากาศด้วยหน่วยเคลื่อนที่ อาจทำได้โดยอาศัยเจ้าหน้าที่ของรัฐติดตามตรวจสอบศึกษาแนวโน้มคุณภาพอากาศตามจุดต่างๆ ทำการสำรวจตรวจสอบคุณภาพอากาศตามแหล่งกำเนิด และการติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เป็นการเฝ้าระวังที่ติดตั้งสถานีตรวจวัดแบบถาวรเพื่อระวังคุณภาพอากาศในที่พักอาศัย อุตสาหกรรม ธุรกิจ ไม่ให้เกินมาตรฐานหากพบว่าคุณภาพอากาศมีเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน พืช สัตว์ และทรัพย์สินต่างๆ จะได้หาทางป้องกันหรือแก้ไขไม่ให้เกิดผลเสียหายอีกต่อไป

2. การกำหนดนโยบายและวางแผนเพื่อควบคุมมลพิษอากาศ โดยการแบ่งแยกเขตเฉพาะ (Proper Zone) การวางแผนเมืองหรือชุมชนออกเป็นเขตให้เหมาะสมตามสภาพท้องถิ่นและกิจกรรมของชุมชน จะช่วยให้สามารถควบคุมและปฏิบัติงานเกี่ยวกับมลภาวะอากาศได้ทีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การควบคุมกิจกรรมต่างๆ การให้การศึกษาและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์และกำหนดเขตควบคุม

3. การเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อเป็นแหล่งผลิตอากาศบริสุทธิ์ การปลูกต้นไม้ในเขตเมือง ช่วยกันปลูกต้นไม้ ดูแลรักษาต้นไม้

4. การกำหนดมาตรฐานคุณภาพ ต้องครอบคลุมสารมลพิษอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญและควรมีการปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ละปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ตลอด

5. การออกกฎหมาย โดยมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นกฎเกณฑ์ต่างๆที่ออกมานั้นต้องมีความเหมาะสม นอกจากมีการการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศ บังคับใช้แล้วต้องทำการสำรวจตรวจสอบคุณภาพอากาศตามสถานที่ต่างๆอย่างต่อเนื่อง

6. สนับสนุนให้มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ออกกฎบังคับให้ใช้เฉพาะน้ำมันชนิดที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศและปรับปรุงสภาพการจราจร ให้รถประจำทางใช้ก๊าซธรรมชาติ การใช้รถไฟฟ้าในระบบขนส่งมวลชน

7. สนับสนุนให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศ ลดหย่อนภาษีอากรการนำเข้าอุปกรณ์ที่ช่วยลดปัญหามลพิษทางอากาศ ประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ให้ประชาชนเห็นความสำคัญอันตรายและวิธีการแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ

8. สนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานรูปแบบใหม่ๆ ไม่ให้เกิดมลพิษอากาศ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ

<u>ภาคเอกชน</u>

1. ประชาชนมีจิตสำนึกในการรับผิดชอบต่อสังคม ปฏิบัติตามกฎหมายที่กำหนด สนับสนุนผลิตภัณฑ์และเผยแพร่ความรู้ และชักชวนบุคคลอื่นให้เห็นความสำคัญของปัญหามลพิษอากาศ ให้ความรู้ ชี้แจ้งให้ประชาชน เจ้าของโรงงานอุตสาหกรรม ให้ตระหนักถึงอากาศเป็นพิษและให้ความร่วมมือป้องกันเพื่อลดปริมาณอากาศพิษ

2. หมั่นดูแลตรวจสภาพ บำรุงรักษาเครื่องยนต์ในส่วนเกี่ยวกับเผาไหม้

3. พยายามเลือกใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ไม่มีสารก่อมลพิษทางอากาศ ช่วยลดมลพิษ ควรเปลี่ยนเป็นชนิดที่ทำให้อากาศสกปรกหรือเป็นพิษน้อยที่สุด

4. พยายามกำจัดมลพิษก่อนปล่อยสู่อากาศ ติดตั้งระบบบำบัดหรือปรับปรุงอุปกรณ์การกำจัดมลพิษทางอากาศให้เหมาะสมและปริมาณและชนิดของอากาศตามมาตรฐาน ปริมาณอากาศเสียที่ยอมให้ปล่อยอากาศเสียโดยไม่ผ่านระบบกำจัด

5. ปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตและแก้ไขวิธีการในกระบวนการผลิตให้สามารถช่วยลดการเกิดสารมลพิษขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยหรือไม่มีเลย

6. ประชาชนทั่วไปพบหรือสังเกตเห็นสิ่งผิดปกติเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ เช่น หมอกควัน ควรรีบแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบ [4]

8. สรุป

มลพิษทางอากาศเป็นการปนเปื้อนของสารมลพิษที่มีระยะเวลานานพอจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่ง มลพิษทางอากาศจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของการเจริญเติบโตของเมืองการจราจร การอุตสาหกรรม โดยเฉพาะตามเมืองใหญ่ๆ ซึ่งมีการจราจรหนาแน่น มีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก มีประชากรอาศัยอยู่แออัด การพิจารณาถึงสารมลพิษทางอากาศต้องพิจารณาถึงแหล่งกำเนิด กระบวนการเกิดสารมลพิษทางอากาศ ผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการตรวจสอบคุณภาพมลพิษทางอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการป้องกัน แก้ไขและควบคุมปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

9. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. 2543. **ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์, การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** กรุงเทพมหานคร : ซีคอท.

[2] โรงงานอุตสาหกรรม, กรม.2547. **ตำราบำบัดมลพิษอากาศ.** กรุงเทพมหานคร : ศูนย์บริการวิชาการ สำนักงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม** กรุงเทพมหานคร: โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] สุธีลา ตุลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สรรค์. 2537.**มลพิษสิ่งแวดล้อม.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] กรมควบคุมมลพิษ. 2558**.รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ 2558 ในรอบ 6 เดือน**. ค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2558, http://oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/DRAWER056/GENERAL/DATA0000/00000425.PDF.

[6] วนิดา จีนศาสตร์. 2551. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ.** สำนักงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 128 – 135.

การสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหารตามแนววิถีพุทธ
The Health Aspects of Food Consumption along Buddhism

พวงผกา ภูยาดาว[1] โสภณา จิรวงศ์นุสรณ์[2*] และ ณัฐวดี จิตรมานะศักดิ์[2]
Puanhpaka Phooyadao[1] Sonapa Jirawongnusone[2*] and Nattawadee Chitmanasak[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
[1]Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
[2]Department of Health Technology Management, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
[*]**Corresponding author:** sopana2010@gmail.com

1. บทนำ

สุขภาพนำมาซึ่งคุณภาพของชีวิต ดังคำกล่าวในทางวิถีพุทธที่ว่า “อโรคยาปรมาลาภา” หากแต่สุขภาพเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Process) โดยสุขภาพของคนเราจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทั้งนี้ขึ้นกับพฤติกรรมการดูแลตนเอง (Safe–care) อันเป็นกลไกสำคัญในการสร้างเสริมสุขภาพ

พฤติกรรมการดูแลตนเองนั้นมีผลต่อภาวะการเจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ จากสถิติการเจ็บป่วยของประชากรไทยในปัจจุบันพบว่า ส่วนใหญ่ป่วยด้วยโรคไร้เชื้อเรื้อรัง หรือที่รู้จักกันในนาม “กลุ่มโรค NCDs” (Non-Communicable diseases) ถึง 14 ล้านคน และที่สำคัญคือเป็นสาเหตุหลักการเสียชีวิตของ ประชากรทั้งประเทศ โดยจากสถิติปี พ.ศ. 2552 พบว่า มีประชากรเสียชีวิตจากกลุ่มโรค NCDs มากกว่า 300,000 คน หรือ คิดเป็นร้อยละ 73 ของการเสียชีวิตของประชากรไทยทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจถึง 200,000 ล้านบาทต่อปี ทั้งสถิติการเสียชีวิตดังกล่าวยังแสดงว่าประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตมากกว่าค่าเฉลี่ยของทั้งโลกและมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งโรคในกลุ่มโรค NCDs ที่มีอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตสูงสุด 6 โรค ได้แก่ โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus) โรคหลอดเลือดสมองและหัวใจ (Cardiovascular & Cerebrovascular Diseases) โรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) โรคมะเร็ง (Cancer) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) และโรคอ้วนลงพุง (Obesity) [1, 2]

ในกลุ่มโรคดังกล่าวนั้น พบว่า โรคที่เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญ ได้แก่ โรคเบาหวาน และ โรคความดันโลหิตสูง ซึ่งอุบัติการณ์ของโรคไม่พบเพียงแต่กระจุกอยู่ในเขตชุมชนเมืองเท่านั้น หากแต่ยังพบกระจายอยู่ในชุมชนที่ยังคงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในวิถีธรรมชาติ ดังเช่นที่ผู้เขียนได้พบเห็นเป็นหลักประจักษ์จากประเมินมาตรฐานงานสุขศึกษาของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในเขตภาคใต้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัญหาสาธารณสุขของชุมชนดังกล่าว ล้วนมีปัญหาสุขภาพด้วยโรคโรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูงเป็นอันดับ 1 และ 2 เกือบทั้งสิ้น โดยพฤติกรรมที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมากที่สุด คือ พฤติกรรมการบริโภคอาหาร หวาน มัน เค็ม ทั้งจากผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป อาหารกึ่งสำเร็จรูปที่กระจายขายทั่วประเทศ รวมทั้งอาหารที่ปรุงรับประทานเองที่บ้านซึ่งใส่เครื่องปรุงรสหลากหลาย ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงควรส่งเสริมให้ประชาชนมีพฤติกรรมการสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหารตามแนววิถีพุทธอย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต อันเป็นการพัฒนาการดูแลสุขภาพของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ [3, 4]

2. การสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหาร

การสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหารตามแนววิถีพุทธ ประกอบด้วยพฤติกรรม ดังนี้

ประการแรกคือ นำหลักโยนิโสมนสิการมาใช้ในการพิจารณาประกอบการรับประทานอาหารทุกครั้งทั้งก่อนรับประทาน ขณะรับประทาน และหลังรับประทานมาปฏิบัติในชีวิตประจำวัน

พิจารณาเลือกรับประทานอาหารที่มีคุณประโยชน์เหมาะสมกับสภาพร่างกาย โดยนำหลักโภชนบัญญัติ 9-ประการ ร่วมกับการรับประทานอาหารในปริมาณพอเหมาะตามแนวคิดของ “กินพอดีสุขีทั่วไทย”

และการไม่เพลิดเพลินในการรับประทาน ตามหลักโภชเนมัตตัญญุตา: การรู้จักประมาณในการบริโภค ดังนี้

1. ปฏิบัติตาม “หลักโภชนบัญญัติ 9 ประการ” หรือ “รับประทานอย่างไรจึงเรียกว่ารับประทานเป็น” ซึ่งนับว่าเป็นวิสัยทัศน์ของการรับประทานอาหาร ประกอบด้วย 1) รับประทานอาหารครบ 5 หมู่ แต่ละหมู่ให้หลากหลาย และหมั่นดูแลน้ำหนักตัว 2) รับประทานข้าวเป็นหลัก สลับกับอาหารประเภทแป้งเป็นบางมื้อ 3) รับประทานผักให้มาก และรับประทานผลไม้เป็นประจำ 4) รับประทานปลา เนื้อสัตว์ไม่ติดมัน ไข่ ถั่วเมล็ดแห้งเป็นประจำ 5) รับประทานนมให้เหมาะสมกับวัย 6) รับประทานอาหารที่มีไขมันแต่พอควร 7) หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารรสหวานจัด และเค็มจัด 8) รับประทานอาหารที่สะอาด ปราศจากการปนเปื้อน และ 9) งดหรือลดเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และควรดื่มน้ำสะอาด หลีกเลี่ยงเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนประเภทชา กาแฟ โกโก้ น้ำอัดลม และเครื่องดื่มชูกำลัง

การรับประทานอาหารครบ 5 หมู่ แต่ละหมู่ให้หลากหลายชนิด เพื่อให้ร่างกายได้รับสารอาหารครบในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการ ถ้ารับประทานอาหารไม่ครบทั้ง 5 หมู่ หรือซ้ำซากเพียงบางชนิดทุกวัน อาจทำให้ได้รับสารอาหารบางประเภทไม่เพียงพอหรือมากเกินไป ควรเลือกรับประทานผักปลอดสารพิษประเภทใบเป็นหลัก และรับประทานผักประเภทผล ลำต้น รากให้น้อย นอกจากนี้ควรศึกษาปริมาณ โคเลสเตอรอลที่มีในอาหารชนิดต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีโคเลสเตอรอลในปริมาณมาก อันเป็นการป้องกันโรคไขมันในเลือดสูงได้ทางหนึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป ควรพิจารณาที่มีตราสัญลักษณ์แห่งความปลอดภัยของกระทรวงสาธารณสุข คือ “เครื่องหมาย อย.” และศึกษาข้อมูลในฉลากอาหารเพิ่มเติมในส่วนของ ประเภทของอาหาร ส่วนประกอบ ปริมาณสุทธิ สรรพคุณหรือประโยชน์ตรงตามที่ต้องการหรือไม่ วัน/เดือน/ปี ที่หมดอายุ (หรือควรบริโภคก่อน) และ วัน/เดือน/ปี ที่ผลิต สถานที่ผลิต ทั้งนี้เพื่อให้ร่างกายได้รับคุณประโยชน์อย่างเต็มที่จากอาหาร

อีกประการสำคัญ คือควรชั่งน้ำหนักเดือนละครั้ง เพื่อนำมาประเมินว่ามีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ ที่นิยม เรียกว่า B.M.I.) อยู่ในเกณฑ์ปกติหรือไม่

การคำนวณค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index) ใช้สูตร ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีมวลกาย (B.M.I.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม}}{\text{ส่วนสูง (เมตร)}^2}$$

หลังจากนั้น นำค่าดัชนีมวลกายที่คำนวณได้มาประเมินว่าตนเองปกติ ท้วม อ้วน หรืออ้วนมาก ดังนี้

ค่าปกติ	18.5 – 22.9 กก./ม^2.
ท้วม (น้ำหนักเกิน)	23.0 – 24.9 กก./ม^2.
อ้วน (ระดับ 1)	25.0 – 30.0 กก./ม^2.
อ้วนมาก (อ้วนระดับ 2)	มากกว่า 30.0 กก./ม^2.

หากพบว่า ค่าดัชนีมวลกายที่คำนวณได้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำหรือสูงกว่าค่าปกติ อาจต้องมีการปรับปริมาณอาหารในแต่ละกลุ่มตามธงโภชนาการร่วมกับการออกกำลังกาย เป็นต้น (เกณฑ์ดังกล่าวใช้สำหรับชาวเอเชีย สำหรับเกณฑ์ของ W.H.O. กำหนดค่าดัชนีมวลกาย ดังนี้ ค่าปกติคือ 18.5-24.9 กก./ม.^{2} ถ้าน้อยกว่า 18.5 กก./ม.^{2} แสดงว่าผอม หรือน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์ ถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 25-29.9 กก./ม.^{2} แสดงว่าน้ำหนักเกิน ถ้ามีค่าตั้งแต่ 30 กก./ม.^{2} แสดงว่าเป็นโรคอ้วน หากแต่เกณฑ์นี้เหมาะสมกับชนชาติที่มีรูปร่างสูงใหญ่มากกว่าชนชาติเอเชียซึ่งมีรูปร่างสันทัด) [4]

2. ลำดับการรับประทาน ควรเริ่มจากการรับประทานอาหารประเภทผักร่วมกับข้าว หากรับประทานข้าวกล้องได้จะยิ่งเป็นการดีต่อสุขภาพ เพราะอุดมด้วยวิตามินบี ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา และโรคปากนกกระจอก รวมทั้งมีใยอาหารที่ช่วยดูดซับน้ำ ทำให้อิ่มเร็ว จึงเป็นการลดปริมาณการรับประทานอาหารประเภทแป้ง อีกทั้งยังช่วยในการขับถ่าย ต่อจากนั้นจึงรับประทานอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ไข่ ถั่วเมล็ดแห้ง โดยควรรับประทานถั่วเมล็ดแห้งร่วมกับอาหารประเภทปลาเป็นหลัก และรับประทานเนื้อสัตว์ใหญ่ในปริมาณน้อย ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้รับประทานไขมันจากสัตว์ในปริมาณมาก อีกทั้งอาหารประเภทปลานั้นย่อยง่าย และถั่วเมล็ดแห้งนั้นนอกจากจะให้สารอาหารประเภทโปรตีนแล้ว ยังมีวิตามินบี เกลือแร่ และใยอาหาร ต่อจากนั้นจึงรับประทานผลไม้และน้ำ ถ้าผลไม้ที่จะรับประทานไม่ใช่ผลไม้ประเภทรสเปรี้ยวจัด ควรจะรับประทานผลไม้ก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ได้รับปริมาณของอาหารประเภทกากใยเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็ได้รับพลังงานจากอาหารลดลง (แคลอรีน้อย) เพื่อป้องกันมิให้มีพลังงานสะสมมากเกินไป จนกระทั่งกลายเป็นผู้มีภาวะน้ำหนักเกิน

การเริ่มต้นจากการรับประทานอาหารประเภทผลไม้จะเป็นการช่วยกระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ช่วยเรียกน้ำย่อย และวิตามินซีในผลไม้จะช่วยดูดซึมแคลเซียมและธาตุเหล็กในภัตตาหารได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ไม่เสียอรรถรสในการที่จะต้องรับประทานทั้งผลไม้และขนมหวานในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันทันที การปฏิบัติในการรับประทานดังกล่าวนับเป็นการนำรูปแบบการรับประทานอาหารของชาวตะวันตกมาประยุกต์ใช้ โดยเริ่มจากการรับประทานผลไม้และผักก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ในกระเพาะอาหารมีปริมาณอาหารอยู่พอสมควร ซึ่งจะเป็นการช่วยจำกัดปริมาณการรับประทานอาหารประเภทข้าว แป้ง และเนื้อสัตว์ให้น้อยลง ต่อจากนั้นจึงรับประทานอาหารประเภทข้าว แป้ง เนื้อสัตว์ และอาจมีขนมหวานบ้างในบางวัน โดยควรรับประทานขนมหวานในปริมาณน้อย และหากเป็นขนมหวานชนิดถ้วย ควรเลือกรับประทานเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อขนม ส่วนที่เป็นน้ำกะทิ น้ำเชื่อม หรือน้ำหวานไม่ควรรับประทาน เพราะร่างกายได้รับน้ำตาลจากอาหารประเภทข้าว แป้ง และน้ำตาลจากการปรุงรสแล้ว หากได้รับเพิ่มจากขนมหวานอีกในทุกๆวัน จะเป็นการสะสมน้ำตาลในกระแสเลือดจนทำให้ป่วยด้วยโรคเบาหวานได้ ท้ายสุดจึงรับประทานน้ำเปล่าเข้าไปเติมเต็มในกระเพาะอาหาร เพื่อทำให้การย่อยดีขึ้น แต่ไม่ควรดื่มน้ำในปริมาณมากในช่วงก่อนรับประทานอาหารและในระหว่างการรับประทานอาหาร เพราะจะทำให้น้ำย่อยเจือจาง ส่งผลต่อกระบวนการย่อยอาหาร และอาจทำให้เกิดอาการปวดท้องได้

3. อาหารที่มีปริมาณพลังงานมาก ควรเป็นอาหารมื้อแรกคือมื้อเช้าและหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารประเภทแป้ง เนื้อสัตว์ใหญ่ และไขมันในปริมาณมากรวมทั้งลดหวาน มัน เค็ม มื้อกลางวันให้รับประทานอาหารที่ให้พลังงานลดลงมา โดยรับประทานอาหารในปริมาณที่น้อยกว่ามื้อเช้า สำหรับมื้อเย็นควรลดหรืองดอาหารประเภทแป้ง และควรรับประทานในช่วงเวลาก่อน 17.00 น. หรือหากเร็วกว่าเวลานี้ยิ่งเป็นการดีต่อสุขภาพ ไม่รับประทานในช่วงเวลาค่ำ รวมทั้งไม่รับประทานมื้อดึก

การรับประทานอาหารมันในปริมาณมากทำให้เสี่ยงต่อภาวะอ้วน ส่วนการรับประทานกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันทรานส์ และคอเลสเตอรอลในปริมาณมาก จะทำให้ลดระดับของไขมันดี (HDL-Cholesterol) ทำให้เสี่ยงต่อภาวะการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ถ้าภาวะหลอดเลือดแดงแข็งตัวเกิดที่สมองจะทำให้เป็นอัมพาตได้ ดังนั้นจึงควรลดการรับประทานอาหารมันโดยหลีกเลี่ยงอาหารประเภททอด แกงกะทิ ขนมหวานที่ มีกะทิ และควรเลือกรับประทานอาหารประเภทต้ม ตุ๋น นึ่ง ปิ้ง ย่าง อบ จำกัดการรับประทานอาหารประเภททอดและกะทิให้เหลือเพียงวันละ 1 อย่าง รวมทั้งเลือกรับประทานเฉพาะเนื้อสัตว์ล้วน ไม่รับประทานส่วนที่ เป็นหนังและไขมัน นอกจากนี้ยังควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารรสหวานจัด ขนมหวานทุกชนิด เนื่องจากร่างกายสามารถนำไปผลิตเป็นไตรกลีเซอไรด์ หากไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูงทำให้หลอดเลือดแดงแข็งตัว ถ้าเกิดที่หัวใจทำให้เป็นโรคหัวใจขาดเลือด ถ้าเกิดที่สมองทำให้เป็นอัมพาต อีกทั้งการรับประทานอาหารเค็มใน ปริมาณมากทำให้เสี่ยงต่อภาวะความดันโลหิตและจะมีโรคแทรกซ้อนตามมา เช่น เส้นเลือดหัวใจตีบ เส้นเลือดสมองแตก และไตวาย ดังนั้นจึงควรลดการรับประทานอาหารเค็มโดย ไม่ควรมีน้ำปลา ซีอิ้ว ซอส เกลือ บนโต๊ะ ภัตตาหาร ลดการเติมเครื่องปรุง ลดความถี่และปริมาณของน้ำจิ้ม ลดการรับประทานขนมกรุบกรอบ ลดการรับประทานอาหารกึ่งสำเร็จรูปและอาหารแปรรูป ได้แก่ ไส้กรอก หมูยอ แหนม เบคอน ผักดอง ผลไม้ดอง ปลาเค็ม ไข่เค็ม เต้าหู้ยี้ เป็นต้น

4. ควรดื่มน้ำเปล่า หรือน้ำผลไม้สดใหม่ที่เน้นเพื่อสุขภาพ เพราะน้ำสะอาดไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย หรือกล่าวได้ว่า น้ำสะอาดเป็นเครื่องดื่มที่ให้พลังงาน 0 กิโลแคลอรี นอกจากนี้อาจดื่มน้ำผลไม้สดที่สะอาดซึ่งไม่ได้เติมน้ำตาล และเกลือเพิ่ม ควรหลีกเลี่ยงการดื่มน้ำอัดลม กาแฟ น้ำผลไม้บรรจุกล่อง นมชนิดหวาน นมเปรี้ยว และเครื่องดื่มชูกำลัง เพราะมีการเติมน้ำตาล จึงให้พลังงานในปริมาณมาก ทั้งนี้ท่านสามารถพิจารณาปริมาณแคลอรีของเครื่องดื่มนั้นๆได้จากข้อมูลในฉลากโภชนาการ

5. ในการรับประทานอาหารที่มีฉลากกำกับ ควรพิจารณาอ่านฉลากโภชนาการประกอบด้วยทุกครั้ง เพื่อทำให้ทราบถึงพลังงานที่ได้จากการรับประทานอาหารนั้นต่อ 1 หน่วยบริโภค (“หนึ่งหน่วยบริโภค” หมายถึง ปริมาณการกินหรือดื่มต่อครั้ง เป็นปริมาณที่ผู้ผลิตแนะนำให้ผู้บริโภคกิน ซึ่งเมื่อกินในปริมาณเท่านี้ แล้วก็จะได้รับสารอาหารตามที่ระบุอยู่ในช่วงต่อไปของกรอบข้อมูลโภชนาการ ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคต้อง ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของการกินอาหารประเภทนั้น) และประการสำคัญ คือทำให้สามารถเลือกรับประทาน อาหารที่เหมาะสมกับภาวะสุขภาพของท่านได้เช่น พิจารณาปริมาณแคลอรีหากมีภาวะน้ำหนักเกิน พิจารณา ปริมาณน้ำตาลหากมีภาวะโรคเบาหวาน และพิจารณาปริมาณโซเดียมหากมีภาวะโรคไต เป็นต้น

รูปแบบของการแสดงฉลากโภชนาการมี 3 รูปแบบ คือ ฉลากโภชนาการแบบเต็ม ฉลากโภชนาการแบบย่อ และ ฉลากโภชนาการแบบ จีดีเอ (GDA: Guideline Daily Amount) หรือฉลากหวาน มัน เค็ม ด้วยฉลากโภชนาการแบบย่อ และแบบเต็ม มีรายละเอียดมาก และมีขนาดเล็ก ทำให้ผู้บริโภคอ่านเข้าใจยาก สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข จึงมีแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงฉลากโภชนาการให้เข้าใจง่าย โดยปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของฉลากโภชนาการแบบ GDA ดังนี้

ฉลาก GDA (Guideline Daily Amount) หรือ ฉลากหวาน มัน เค็ม เป็นฉลากนอกกรอบขนาดเล็กที่จะแสดงข้อมูลโภชนาการ โดยแสดงค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี) น้ำตาล (กรัม) ไขมัน (กรัม) และโซเดียม (มิลลิกรัม) มาแสดงที่ฉลากด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ โดยแสดงปริมาณสารอาหารต่อหน่วยบรรจุภัณฑ์ที่เข้าใจได้ง่าย เช่น ซอง ถุง กล่อง เพื่อให้ผู้บริโภคเห็นได้ชัดเจนและเกิดความสนใจที่จะอ่าน

หากท่านให้ความตระหนักเรื่องโภชนาการ หรือการควบคุมน้ำหนัก ควรเลือกอาหารที่มีพลังงานน้อยๆ หรือหลีกเลี่ยงสารอาหารที่ไม่ต้องการบางอย่าง (ไขมัน น้ำตาล และโซเดียม) ซึ่งฉลากโภชนาการแบบ GDA นี้ จะทำให้สามารถเปรียบเทียบเพื่อเลือกรับประทานอาหารชนิดเดียวกันโดยเลือกยี่ห้อที่มีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าได้ ปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้อาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที 5 ชนิด ได้แก่ 1) มันฝรั่งทอดหรืออบกรอบ 2) ข้าวโพดคั่วทอดหรืออบกรอบ 3) ข้าวเกรียบหรืออาหารขบเคี้ยวชนิดอบพอง 4) ขนมปังกรอบหรือแครกเกอร์หรือบิสกิต และ 5) เวเฟอร์สอดไส้ ต้องแสดงฉลากโภชนาการแบบจีดีเอ

การอ่านฉลาก GDA มีวิธีการดังนี้ รูปแบบของฉลาก หวาน มัน เค็มจะเป็นเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

- ส่วนที่ 1 จะบอกให้ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงานรวมที่จะได้รับจากการรับประทานอาหารสำเร็จรูปปริมาณ 1 ซอง

- ส่วนที่ 2 บอกให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมในการแบ่งรับประทาน เพื่อความเหมาะสมควรแบ่งรับประทานเป็นครั้ง ครั้งละเท่าๆกัน

- ส่วนที่ 3 บอกให้ทราบว่าเมื่อรับประทานทั้งซอง จะได้รับพลังงาน น้ำตาล ไขมัน โซเดียมปริมาณเท่าไร เช่น จะได้รับพลังงาน 1,120 กิโลแคลอรี น้ำตาล 7 กรัม ไขมัน 63 กรัม และโซเดียม 980 มิลลิกรัม หากรับประทานไม่หมดซองจะได้รับ พลังงาน น้ำตาล ไขมัน โซเดียม น้อยลงตามลำดับ เช่น รับประทานครึ่งซองจะได้รับพลังงาน 560 กิโลแคลอรี เป็นต้น

- ส่วนที่ 4 และส่วนที่ 5 บอกให้ทราบว่าเมื่อรับประทานหมดทั้งซอง จะได้รับพลังงาน น้ำตาล ไขมัน โซเดียม คิดเป็นร้อยละเท่าไรของปริมาณสูงสุดที่แนะนำให้รับประทานต่อวัน โดยใน 1 วัน (ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะวางค่าไว้ที่ 2000 แคลอรีต่อวัน) โดยควรจำกัดการรับประทานน้ำตาล ไขมัน โซเดียม ไม่ควรเกิน 100%

ภาพที่ 1 ตัวอย่างฉลากโภชนาการแบบ จีดีเอ (GDA: Guideline Daily Amount) หรือ ฉลากหวาน มัน เค็ม
ที่มา: http://www.lovefitt.com/healthy

ภาพที่ 2 ตัวอย่างฉลาก GDA (Guideline Daily Amount) หรือฉลากหวาน มัน เค็ม แสดงที่ฉลาก ด้านหน้าบรรจุภัณฑ์
ที่มา: http://www.lovefitt.com/healthy

ประการที่สองคือ ยึดหลักโภชเนมัตตัญญุตา โดยประยุกต์เข้ากับหลัก “รับประทานพอ” และ “รับประทานดี” ตามหลักโภชนาการ

“หลักโภชเนมัตตัญญุตากับการรับประทานตามปริมาณแคลอรีที่พอเหมาะใน 1 วัน”เป็นการประยุกต์ใช้หลักโภชเนมัตตัญญุตา อันเป็นข้อกำหนดด้านการรับประทานอาหารในปริมาณพอเหมาะ และไม่เพลิดเพลินในการรับประทาน เข้ากับความรู้เรื่อง “ธงโภชนาการ” ตามแนวคิด “กินดี สุขีทั่วไทย” ของคณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย เพื่อช่วยอธิบายและทำความเข้าใจโภชนบัญญัติ 9 ประการ อันนำไปใช้ประกอบการรับประทานอาหารในปริมาณพอเหมาะ ใน 1 วัน โดยได้แนะนำ “สัดส่วน” “ปริมาณ” และ “ความหลากหลาย” ของอาหาร ซึ่งพิจารณามาจากผลงานวิจัยเกี่ยวกับชนิดและปริมาณอาหารที่คนไทยควรบริโภค เพื่อให้ได้พลังงานและสารอาหารที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย “การรับประทานพอดี” จึงเป็นการรับประทานอาหารครบ 5 หมู่ ให้มีความหลากหลาย ไม่ซ้ำซากจำเจ ในปริมาณที่ได้รับสารอาหารครบถ้วนเพียงพอกับความต้องการของร่างกายแต่ละคน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระดับความต้องการพลังงานที่แตกต่างกัน ตามอายุ และ กิจกรรมที่ต้องใช้พลังงาน สำหรับน้ำมัน น้ำตาล เกลือ ควรรับประทานแต่น้อยเท่าที่จำเป็น และในแต่ละวันไม่ควรรับประทานน้ำมันเกิน 5 ช้อนชา น้ำตาลเกิน 6 ช้อนชา และเกลือเกิน 1 ช้อนชา ซึ่งในการรับประทานสามารถเลือกอาหารในแต่กลุ่มต่าง ๆ ตามรายการอาหารแลกเปลี่ยนได้ ทั้งนี้ควรรับประทานอาหารประเภทข้าว: เนื้อสัตว์และ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์: ผัก ในสัดส่วนเท่ากับ 1:1:2 รวมกับผลไม้ที่มีรสชาติไม่หวานมาก 4-5 ชิ้น ในกรณีที่ต้องการลดน้ำหนักจะต้องควบคุมพลังงานจากอาหารให้ลดลง โดยไม่ควรน้อยกว่าวันละ 1,600 กิโลแคลอรีโดยจะต้องมีปริมาณการรับประทานลดลงตามที่กำหนดในธงโภชนาการ

ธงโภชนาการเป็นภาพ “ธงปลายแหลม” แสดงกลุ่มและสัดส่วนการรับประทานอาหารในแต่ละกลุ่มมากน้อยตามพื้นที่ สังเกตได้ชัดเจนว่าฐานใหญ่ด้านบนเน้นให้รับประทานมาก และปลายธงด้านล่างให้รับประทานน้อย ๆ เท่าที่จำเป็น ซึ่งความหมายของธงโภชนาการอธิบายได้ดังนี้

1. รับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่

2. กลุ่มอาหารที่บริโภคจากมากไปน้อย แสดงด้วยพื้นที่ในภาพ โดยอาหารในธงโภชนา [5] การแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ข้าว แป้ง อยู่ในชั้นที่ 1 เป็นกลุ่มที่รับประทานมากที่สุด ได้แก่ ข้าว ข้าวเหนียว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยวต่างๆ กลุ่มนี้ให้สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

กลุ่มที่ 2 ผัก อยู่ในชั้นที่ 2 ของธง กลุ่มนี้ให้สารอาหารประเภทวิตามิน แร่ธาตุ และ ใยอาหารซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทชนิดโพลีเซคคาไรด์ (polysaccharide)

กลุ่มที่ 3 ผลไม้ อยู่ในชั้นเดียวกับผัก กลุ่มนี้ให้สารอาหารเช่นเดียวกับผักและให้พลังงาน

กลุ่มที่ 4 เนื้อสัตว์ ไข่ ถั่ว และผลิตภัณฑ์จากถั่ว กลุ่มนี้เป็นแหล่งของสารอาหารประเภทโปรตีน

กลุ่มที่ 5 นม กลุ่มนี้เป็นแหล่งของสารอาหารประเภทโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ

กลุ่มที่ 6 น้ำมัน น้ำตาล เกลือ อยู่ปลายธง เป็นภัตตาหารที่แนะนำให้รับประทานแต่น้อยเท่าที่จำเป็น หากรับประทานมากจะทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว

3. อาหารที่หลากหลายชนิดในแต่ละกลุ่มสามารถเลือกรับประทานสลับเปลี่ยนหมุนเวียน กันได้ภายในกลุ่มเดียวกัน ไม่รับประทานซ้ำจำเจเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้ได้สารอาหารต่าง ๆ ครบถ้วน และหลีกเลี่ยงการสะสมพิษภัยจากการปนเปื้อนในภัตตาหารชนิดใดชนิดหนึ่งที่รับประทานเป็น ประจำ ดังแสดงในภาพทั้งกลุ่มผัก กลุ่มผลไม้และกลุ่มเนื้อสัตว์ สำหรับกลุ่มข้าว-แป้ง ให้รับประทานข้าวเป็นหลัก สลับกับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งเป็นบางมื้อ

ภาพที่ 3 ธงโภชนาการและสัดส่วนของปริมาณอาหารในธงโภชนาการ
ที่มา: คู่มือธงโภชนาการ กินพอดี สุขีทั่วไทย (2544: 5) [5]

4. ปริมาณอาหาร บอกจำนวนเป็นหน่วยครัวเรือน เช่น ทัพพี ช้อนกินข้าว แก้ว และผลไม้ กำหนดเป็นสัดส่วน ดังนี้

ทัพพี ใช้ในการตวงนับปริมาณอาหารกลุ่มข้าว-แป้ง และผัก

ข้าวสุก 1 ทัพพี ประมาณ 60 กรัม หรือประมาณ ½ ถ้วยตวง

ผักสุก 1 ทัพพี ประมาณ 40 กรัม หรือประมาณ ½ ถ้วยตวง

กลุ่มผัก อาหารกลุ่มผักแบ่งตามการให้พลังงานที่แตกต่างกันได้ 2 กลุ่มดังนี้

- ผักประเภท ก. ผักใบเขียว ให้พลังงานต่ำมาก ดังนั้น ถ้ารับประทานในปริมาณ 1-2 ส่วนในแต่ ละมื้อ ไม่จำเป็นต้องคิดพลังงาน โดยผัก 1 ส่วน หรือ1 ทัพพี คือ ผักสุกประมาณ 50-70 กรัม ได้แก่ ผักกาดขาว ผักกาดหอม ผักบุ้ง ผักกาดเขียว ผักแว่น สายบัว ยอดฟักทองอ่อน ใบโหระพา กะหล่ำปลี มะเขือเทศ มะเขือ ขมิ้นขาว แตงร้าน แตงกวา ใบกะเพรา แตงโมอ่อน ฟักเขียว น้ำเต้า แฟง พริกหนุ่ม พริกหยวก คูณ หยวกกล้วยอ่อน ตั้งโอ๋ มะเขือยาว มะเขือพวง ขิงอ่อน ต้นหอม ผักกวางตุ้ง หัวปลี ไชเท้า ตำลึง ผักสลัดแก้ว

- ผักประเภท ข. ผักหัว หรือกลุ่มผักที่รับประทานมื้อละ 3 ส่วน ควรคิดพลังงานด้วย โดยผัก 1 ส่วน หรือ 1ทัพพี คือ ผักสุกประมาณ 50-70 กรัม ผักกลุ่มนี้ 1 ส่วน ให้คาร์โบไฮเดรต 5 กรัม โปรตีน 2 กรัม ผักเหล่านี้ ได้แก่ หอมหัวใหญ่ สะตอ แครอท ใบ-ดอกขี้เหล็ก ผักหวาน ผักกะเฉด ผักคะน้า ขนุนอ่อน ดอกกะหล่ำ มะระ ถั่วงอกหัวโต ถั่วงอก ถั่วลันเตา ถั่วฝักยาว ถั่วแขก ถั่วพู บีทรูท ต้นกระเทียม ยอดแค ยอดชะอม ยอดมะพร้าวอ่อน ยอดกระถิน ยอดสะเดา ดอกขจร ดอกโสน ผักติ้ว พริกหวาน ดอกผักกวางตุ้ง ใบทองหลาง ใบยอ รากบัว ข้าวโพดอ่อน บวบ สะเดา บลอคโคลี มะละกอดิบ หน่อ ไม้ปีบ ไผ่ตง เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ มะรุม ดอกผักกวางตุ้ง ต้นกระเทียม หน่อไม้ฝรั่ง มะเขือเปราะ มะเขือพวง ผักโขม

ช้อนกินข้าว ใช้ในการตวงนับปริมาณอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์

เนื้อสุก 1 ช้อนกินข้าว ประมาณ 15 กรัม

เนื้อสัตว์สามารถเลือกเปลี่ยนเป็นอาหารในกลุ่มเดียวกันได้ คือ เนื้อสัตว์ 1 ช้อนกินข้าว สามารถเลือกเปลี่ยนเป็น ปลาทู ½ ตัว หรือไข่ ½ ฟอง หรือเต้าหู้เหลือง ¼ แผ่น

ส่วน ใช้ในการตวง นับปริมาณผลไม้ เพราะไม่สามารถใช้หน่วยตวงวัดข้างต้นได้ จึงนำเสนอปริมาณ 1 ส่วน ของผลไม้แต่ละขนาด ดังนี้

ผลไม้ผลเล็ก 1 ส่วน เท่ากับ 6-8 ผล เช่น ลำไย ลองกอง องุ่น

ผลไม้ผลกลาง 1 ส่วน เท่ากับ 1-2 ผล เช่น ส้ม ชมพู่ กล้วย

ผลไม้ผลใหญ่ 1 ส่วน เท่ากับ 6-8 ชิ้นพอคำ เช่น มะละกอ สับปะรด แตงโม

5. ชนิดของอาหารที่ควรรับประทานปริมาณน้อยเท่าที่จำเป็น คือ กลุ่มน้ำมัน น้ำตาล เกลือ การรู้จักชนิดของอาหารที่มีไขมันสูง โดยเฉพาะปริมาณไขมันอิ่มตัวและโคเลสเตอรอล และรู้จักวิธีประกอบอาหารที่จะลดปริมาณไขมันในอาหารจะทำให้สามารถควบคุมหรือจำกัดปริมาณไขมันในอาหารได้

สำหรับการรับประทานเท่าไรจึงจะเรียกได้ว่า **“รับประทานพอดี”**นั้น คณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย ได้กำหนดนิยาม ไว้ดังนี้

“รับประทานพอ” คือ รับประทานอาหารครบทุกลุ่มมากน้อยให้พอดีกับความต้องการของร่างกาย

“รับประทานดี” คือ รับประทานอาหารให้หลากหลายชนิดไม่ซ้ำจำเจ

การรับประทานพอดีจึงเป็นการรับประทานอาหารครบ 5 หมู่ ให้มีความหลากหลายไม่ซ้ำซากจำเจในปริมาณที่ได้รับสารอาหารครบถ้วนเพียงพอกับความต้องการของร่างกายแต่ละรูป โดยธงโภชนาการจะระบุปริมาณภัตตาหารแต่ละกลุ่มที่ควรได้รับใน 1 วัน (ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระดับความต้องการพลังงานที่แตกต่างกันตามอายุ เพศ และกิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานของแต่ละคน ซึ่งมีหลักเกณฑ์ใหญ่คือผู้ใหญ่กินมากกว่าเด็ก ผู้ชายกินมากกว่าผู้หญิง ผู้ที่ใช้แรงงานมากกินมากกว่าคนปกติและผู้สูงอายุกินน้อยกว่าคนหนุ่มสาว) [6]

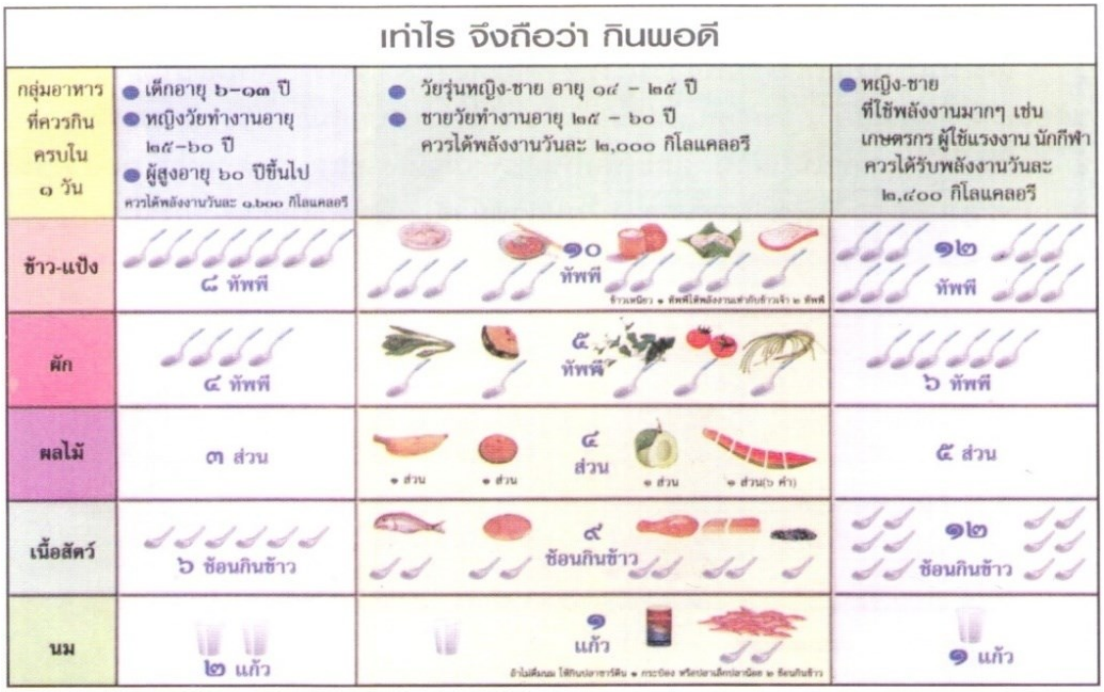
3. ระดับพลังงานที่เหมาะสม

ระดับพลังงานที่เหมาะสมกับแต่ละคนนั้น คณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการ กินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย ได้กำหนดปริมาณภัตตาหารในแต่ละกลุ่มของธงโภชนาการแบ่งเป็น 3 ระดับพลังงาน คือ 1,600 2,000 และ 2,400 กิโลแคลอรี แต่ละคนต้องทราบก่อนว่าเราอยู่ในกลุ่มใด แล้วจึงเลือกรับประทานอาหารในปริมาณที่ถูกต้อง ซึ่งระดับพลังงานที่เหมาะสมกับแต่ละคนนั้น ในคู่มือธงโภชนาการ “กินพอดี สุขีทั่วไทย” ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1,600 กิโลแคลอรี สำหรับ เด็กอายุ 6-13 ปี หญิงวัยทำงานอายุ 25 - 60 ปี ผู้สูงอายุ 60 ปี ขึ้นไป

2,000 กิโลแคลอรี สำหรับวัยรุ่นหญิง – ชาย อายุ 14-25 ปี วัยทำงานอายุ 25-60 ปี

2,400 กิโลแคลอรี สำหรับ หญิง - ชายที่ใช้พลังงานมาก เช่น เกษตรกร ผู้ใช้แรงงาน นักกีฬา



ภาพที่ 4 ปริมาณการรับประทานที่พอดีและหน่วยตวงวัดระดับครัวเรือน
ที่มา: คู่มือธงโภชนาการ กินพอดี สุขีทั่วไทย (2544: 7) [5]

จากรูปข้างต้นแสดงชนิดและปริมาณของอาหารที่ควรรับประทานใน 1 วันโดยแสดงตัวเลขเป็นช่วง ๆ ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจเรื่องปริมาณอาหารที่แนะนำอยู่บนธงโภชนาการก่อนว่าปริมาณที่ระบุนั้นเป็นช่วง เช่น ข้าว 8-12 ทัพพี ไม่ได้หมายความว่าจะรับประทานข้าวเท่าใดก็ได้ในช่วงนี้ แต่กำหนดเป็นแต่ละช่วงของความต้องการพลังงาน เช่น

ถ้าต้องการพลังงาน 1,600 กิโลแคลอรี รับประทานข้าวได้วันละ 8 ทัพพี

ถ้าต้องการพลังงาน 2,000 กิโลแคลอรี รับประทานข้าวได้วันละ 10 ทัพพี

ถ้าต้องการพลังงาน 2,400 กิโลแคลอรี รับประทานข้าวได้วันละ 12 ทัพพี เป็นต้น

คณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทยได้นำเสนอปริมาณอาหารแต่ละกลุ่มที่แนะนำต่อกันใน 3 ระดับพลังงาน ดังนี้

หากถามว่า ควรรับประทานอาหารใน 1 วันอย่างไร ให้พิจารณาจากปริมาณพลังงานที่ควรได้รับในกลุ่มอายุของท่าน เช่น หากท่านอยู่ในกลุ่มวัยรุ่นหญิง – ชาย อายุ 14-25 ปี วัยทำงานอายุ 25-60 ปีคือ 2,000 กิโลแคลอรี แล้วนำมาเทียบตามรูปที่ 4 คำตอบที่ได้คือ ท่านควรรับประทานอาหารกลุ่มข้าว-แป้ง วันละ 10 ทัพพี กลุ่มผัก 5 ทัพพี กลุ่มผลไม้ 4 ส่วน กลุ่มเนื้อสัตว์ 9 ช้อนกินข้าว นม 1 แก้ว สำหรับน้ำมัน น้ำตาล เกลือ ควรรับประทานแต่น้อยเท่าที่จำเป็น ซึ่งในการรับประทานสามารถเลือกอาหารในแต่กลุ่มต่าง ๆ ตามรายการอาหารแลกเปลี่ยนได้ ดังตาราง

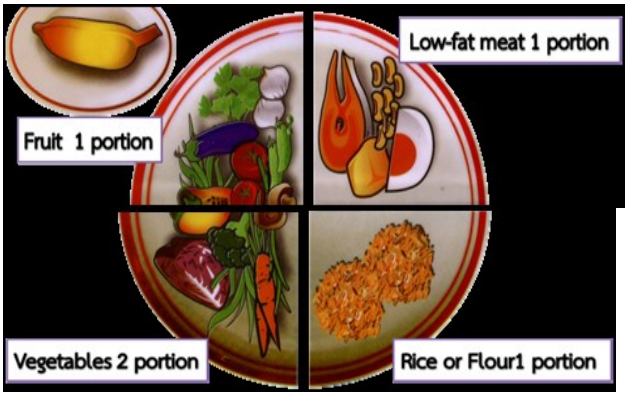
ตารางที่ 1 แสดงรายการอาหารแลกเปลี่ยน

กลุ่มภัตตาหาร	ปริมาณโดยประมาณใน 1 ส่วน
ข้าว-แป้ง	ข้าวสุก 1 ทัพพี = ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก 1 ทัพพี = ข้าวเหนียว ½ ทัพพี = ขนมจีน 2 จับ = ขนมปัง 1 แผ่น (หนัก) = บะหมี่ 1 ก้อน = ขนมเค้ก 1 ชิ้น (1.5”x1.5”)
ผัก	ฟักทองสุก 1 ทัพพี = ถั่วฝักยาวสุก 1 ทัพพี = ฝักบุ้งจีนสุก 2 ทัพพี = ผักคะน้าสุก 2 ทัพพี
ผลไม้	เงาะ 3 ผล = แอปเปิ้ล 1 ผล = มะม่วงสุก ½ ผล = สับปะรด 6 ชิ้นพอคำ = ขนุน 3 ยวง = มังคุด 3 ผล
เนื้อสัตว์	ปลาทู 1 ช้อนกินข้าว (1/2 ตัวขนาดกลาง) = เนื้อหมูหรือเนื้อวัวไม่ติดมัน 1 ช้อนกินข้าว = ไข่ไก่หรือไข่เป็ด 1 ฟอง = แฮม 1 แผ่น = ถั่วลิสงต้ม 1 ถ้วยตวงทั้งเปลือก
นม	นมสด 1 แก้ว = โยเกิร์ต 1 ถ้วย = นมพร่องมันเนย 1 แก้ว

รับประทานตามปริมาณสัดส่วนที่พอเหมาะใน 1 วัน โดย

ในอาหาร 1 จานนั้น ท่านควรรับประทานอาหารในสัดส่วน 1:1:2 รวมกับผลไม้แยกต่างหากอีก 1 ส่วนดังนี้

กำหนดปริมาณจากขนาดของจานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 9 นิ้ว ท่านควรรับประทานอาหารประเภทข้าว: เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์: ผักในสัดส่วนเท่ากับ 1:1:2 รวมกับผลไม้ที่มีรสชาติไม่หวานมาก 4-5 ชิ้น (หรือ กล้วย 1 ผล หรือ ส้ม 1 ผล หรือ ฝรั่ง 1/2 ผล) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณของภัตตาหารในจาน
ที่มา : สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, แนวทางการดำเนินงาน “เมนูชูสุขภาพ ครัวไทยสู่อาเซียน” [3]

หรืออาจพิจารณาง่ายๆว่า ให้รับประทานอาหารจานหลัก ประมาณร้อยละ 70 ของการอิ่ม ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 เป็นการรับประทานผลไม้และน้ำ ซึ่งผลดีคือทำให้กระบวนการย่อยอาหารทำงานไม่ยาก

หากท่านสนใจศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับการบริโภคอาหารเพิ่มเติม สามารถสืบค้นข้อมูลได้ทางอินเทอร์เน็ต จากเว็ปไซต์ของสำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข [8] ตัวอย่าง เช่น

1. คู่มือธงโภชนาการ: ภาพ "ธงโภชนาการ" (Nutrition Flag) จัดทำขึ้นเพื่อเป็นภาพจำลองการแนะนำการบริโภคอาหารของคนไทย โดยมีพื้นฐานมาจาก"ข้อปฏิบัติการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย"หรือโภชนบัญญัติ ๙ ประการ [8]

2. ตำรับอาหารจากข้าวกล้อง: การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าโภชนาการหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกายโปรตีนช่วยเสริมสร้าง

ข้อมแซมส่วนที่ซึกหรอได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย [8]

3. ตำรับอาหารจากข้าวกล้อง การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าโภชนาการหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยเสริมสร้างข้อมแซมส่วนที่ซึกหรอ ได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย [7]

4. "โภชนาการดีชีวีมีสุข" ปัจจุบันคนไทยเริ่มมีการตื่นตัวที่จะแสวงหาความรู้และแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง ทางด้านอาหารและโภชนาการกันมากขึ้น คนไทยส่วนใหญ่เริ่มตระหนัก เห็นความสำคัญของการกินอาหารให้ถูกหลักโภชนาการแล้วจะนำไปสู่การมีภาวะโภชนาการ และสุขภาพที่ดี [8]

5. "ข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย" 9 ข้อ หรือโภชนบัญญัติ 9 ประการได้จัดทำภายใต้กรอบ วัฒนธรรม การกินอาหารของคนไทย และอยู่บน พื้นฐานของความเป็นวิทยาศาสตร์ โดยมีเนื้อหาสาระที่มีแนวปฏิบัติ ในการกินอาหารที่จะนำไปสู่การป้องกันไม่ให้เกิดภาวะขาดสารอาหารและภาวะโภชนาการเกิน เนื้อหาเป็นการบรรยายรายละเอียดแนวทางการปฏิบัติแต่ละข้อโดยมุ่งหวังเผยแพร่ ให้คนไทย ได้รับรู้ข้อปฏิบัติ 9 ข้อนี้ก่อน [8]

การสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหารตามแนววิถีพุทธนับเป็นแนวปฏิบัติหนึ่งที่ช่วยให้ท่านมีสุขภาพดี แต่หากท่านปฏิบัติร่วมกับการออกกำลังกายและการบริหารจิตอย่างถูกต้อง จะทำให้เกิดผลดีต่อสุขภาพของท่านยิ่งขึ้น และยังเป็นการลดโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรค NCDs รวมทั้งลดอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตที่ต้นเหตุและมีความยั่งยืนที่สุดอีกด้วย [9]

4. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. 2551. **รายงานการเจ็บป่วยประเภทพิเศษ.** นนทบุรี กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

[2] จีรศักดิ์ เจริญพันธ์ และเฉลิมพล ตันสกุล. 2550. **พฤติกรรมสุขภาพ** (พิมพ์ครั้งที่ 5). มหาสารคาม: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[3] ณัฐวดี จิตรมานะศักดิ์. 2559. **เอกสารประกอบการสอน วิชาอาหารและยาเพื่อสุขภาพ.** มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร.

[4] เพ็ญแข ลาภยิ่ง. 2552. **การสร้างเสริมสุขภาพ แนวคิด หลักการและยุทธศาสตร์.** นนทบุรี : สำนัก งานวิจัยเพื่อการพัฒนาหลักประกันสุขภาพไทย.

[5] สำนักโภชนาการ กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข. 2559: Online. **คู่มือธงโภชนาการ.** สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2559, จากhttp://www.anamai.moph.go.th.

[6] โสภณา จิรวงศ์นุสรณ์. 2557. **เอกสารประกอบการสอนวิชาโภชนาการและโภชนบำบัด.** มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร. (ฉบับปรับปรุง 2559).

[7] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. 2554. **การสาธารณสุขไทย** *2551 - 2553.* กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

[8] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2559: **กลุ่มโรค NCDs โรคที่คุณสร้างเอง.** สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2559, จาก http://www.thaihealth.or.th/microsite/categories/5/ncds/2/173/176 กลุ่ม โรค+ NCDs.html.

[9] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ; กระทรวงสาธารณสุขและมหาวิทยาลัยมหิดล. 2554. **แผนยุทธศาสตร์สุขภาพดีวิถีชีวิตไทย พ.ศ. 2554-2563**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สำนักพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

สัญรูป : อดีตและปัจจุบัน
Icon: Past and Present

เติมยศ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา* พรหมบัญชา พรหมมาหล้า นวิน ครุฑวีร์ และ สิทธิพงศ์ พรอุดมทรัพย์
Tomeyot Sanevong Na Ayutaya* Prombuncha Prommala Nawin Krutvee and Sittiphong Pornudomthap

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์แอนิเมชันและมัลติมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Computer Animation and Multimedia, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author:** tomeyot@hotmail.com

1. บทนำ

สัญรูป (Icon) หมายถึงสัญลักษณ์ที่แสดงแทนคำสั่งต่างๆ เป็นกราฟิกเพื่อง่ายต่อการเข้าถึงคำสั่ง บทความนี้นำเสนอประวัติความเป็นมาของสัญรูป ตั้งแต่อดีต ปัจจุบัน และแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อการทำความเข้าใจความเป็นมา รู้ถึงความนิยมในการออกแบบในยุคต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบ

2. อดีต

ในยุค 80 (ช่วงปีค.ศ.1980-1989) เป็นยุคแรกที่มีการใช้สัญรูป ในช่วงนี้สัญรูปจะมีลักษณะเป็นสีขาวดำหรือมีสีแต่ไม่มาก

- ปีค.ศ.1981 บริษัท Xerox ได้สร้าง Xerox 8010 Star สู่ตลาดผู้บริโภค โดยมีสัญรูปเป็นครั้งแรกซึ่งประดิษฐ์โดย ดร. เดวิด แคนฟิว สมิท สัญรูปในระบบปฏิบัติการมีลักษณะเป็นขาวดำ [1]
- ปี ค.ศ.1983 Apple Computer Inc. สร้าง Lisa และมีสัญรูปในระบบปฏิบัติการเป็นลักษณะเป็นขาวดำ[2] และในปี ค.ศ.1984 Susan Kare ศิลปินและกราฟิกดีไซเนอร์ ได้ออกแบบสัญรูปในระบบปฏิบัติการ แถบเมนูที่สวยงาม [3]
- ปี ค.ศ.1985 บริษัท Atari สร้างคอมพิวเตอร์ Atari ST มีสัญรูปในระบบปฏิบัติการที่มีมิติในเชิงลึกลงไป ขาวดำบนพื้นสีเขียว และบริษัท Commodore International ได้พัฒนา AmigaOS มีสัญรูปซึ่งเพิ่ม สีน้ำเงินและสีส้ม ทำให้ดูสวยงาม [4]
- ในปี ค.ศ.1985 นี้เองบริษัท Microsoft ได้พัฒนาระบบปฏิบัติการ MicrosoftWindows ซึ่งในยุคแรกสัญรูปยังคงเป็นสีดำ [5] แต่พื้นหลังมีสีสันต่างกันไป

ในยุค 90 (ช่วงปีค.ศ.1990-1999) เป็นที่ GUI ของระบบปฏิบัติการมีสีสันหลากหลายสวยงามขึ้น

- ในปี ค.ศ.1991 บริษัท Macintosh ได้พัฒนา System 7 หรือที่เรียกกันว่า Mac OS 7 ออกสู่ตลาด ซึ่งมีสัสันหลากหลายสวยงามมากขึ้น [6]
- และในปีถัดมา ปี ค.ศ.1992 บริษัท Microsoft ก็พัฒนาระบบปฏิบัติการ Windows 3.1 สำเร็จ มีสัญรูปที่มีสีสันสวยงาม [7]

ในยุค 2000 (ช่วงปีค.ศ.2000-2010) เป็นที่ GUI ของระบบปฏิบัติการมีสีสันอย่างมากเนื่องจากพัฒนาของอุปกรณ์การแสดงผลทางกราฟิกเช่นจอภาพและการ์ดแสดงผลจอภาพ

- ช่วงปี ค.ศ. 2001 บริษัท Apple ได้พัฒนา Mac OS X 10.0 ซึ่งคอมพิวเตอร์ยุคนั้นต้องการ RAM 64MB มีการถ่ายรูปวัตถุจริงมาใช้เป็นสัญรูป ลักษณะแสงเงาของสัญรูปมีการไล่เฉดสีของสีดำ และในปี ค.ศ. 2007 บริษัทก็ได้พัฒนา Mac OS X Leopard [8] สัญรูปมีลักษณะมีแสงเงาที่ทำให้สัญรูปมีความเป็นวัตถุนูนออกมามากขึ้นทำให้สัญรูปคล้ายวัตถุจริง
- ปี ค.ศ. 2001 บริษัท Microsoft เปิดตัวระบบปฏิบัติการ Windows XP [9] โดยสัญรูปเน้นภาพกราฟิกหลากสี และในปี ค.ศ. 2009เปิดตัวระบบปฏิบัติการ Windows 7 [10] สัญรูปยังคงเป็นกราฟิกและสวยเพิ่มเติมจากเดิม

3. ปัจจุบัน

ปัจจุบัน ระบบปฏิบัติการต่างๆ เช่น MicrosoftWindows 10 [11] นิยมสร้างสัญรูปที่ออกแบบเป็นแบบ flat design ซึ่งเป็นลักษณะการนำเอาภาพการ์ตูนหรือภาพศิลปะที่เป็นลักษณะแบน หรือ ไม่มีความนูน ไม่มีแสงเงา แต่เน้นความสวยงามมาใช้ [12] และต่อมาได้มีการเติมแสงเงาเพิ่มความนูน แต่เน้นเป็นแสงเงาที่มีลักษณะเป็นศิลปะความสวยงาม ซึ่งเป็นการปรับปรุง flat design เรียกว่าเป็น flat design 2

ในยุคนี้มีการออกแบบเมนูสัญรูปแบบ Hamburger เรียกว่า Hamburger Menu Icon [13] ตัวอย่างตามภาพที่ 1

ภาพที่ 1 Hamburger Menu Icon
ที่มา : Bawcombe [13]

ลักษณะของสัญรูปมันจะเป็นสามขีด แทนขนมปังด้านบนและด้านล่าง และมีไส้แฮมเบอร์เกอร์ตรงกลาง และมักจะพบว่าเป็นสัญรูปที่เป็นเมนูหลัก มักจะอยู่ทางมุมซ้ายบน มุมขวาบน มุมซ้ายล่าง หรือมุมขวาล่าง [14, 15]

แต่จากการใช้ไปนานนาน มีผู้ทดสอบการใช้งาน Hamburger Menu กับ TextMenu ธรรมดาพบว่า TextMenu ธรรมดามีคนคลิกมากกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับสัญรูปแบบ Hamburger Menu Icon อาจจะไม่รู้ว่าสัญรูปนี้สื่อความหมายว่าอย่างไร ทำให้เจ้าของบริษัทหลายบริษัท เปลี่ยนโปรแกรมของตนเป็นเมนูแบบเดิม คือ Text Menu ที่เน้นตัวอักษรธรรมดา

4. แนวโน้มอนาคต

นอกจากสัญรูปจะเน้นดึงดูดแล้ว ผู้สร้างผลงานอาจจะต้องมองมุมมองของความเข้าใจของผู้ใช้มากขึ้น แต่บางครั้งการใช้สัญรูปที่เป็นแบบสวยงามและมีลักษณะเฉพาะตัว อาจจะสามารถใช้กับกลุ่มที่มีความเข้าใจเฉพาะได้ [16, 17]

5. สรุป

ยุคเริ่มแรกเป็นยุคที่อุปกรณ์กราฟิกกำลังพัฒนา ดังนั้นการออกแบบในยุคแรกจึงขึ้นอยู่กับพัฒนาการของอุปกรณ์

ยุคต่อมากการพัฒนาการของอุปกรณ์เริ่มช้าลง แต่มีสีสันมากขึ้นภาพมีความสมจริงสามารถสร้างสรรค์งานกราฟิกได้มากขึ้น ผู้ออกแบบจึงเน้นความสวยงามไปตามสมัยนิยมต่างๆ

แต่อย่างไรก็ดีการออกแบบที่สวยงามก็ต้องคำนึงถึงผู้ใช้งานว่าสามารถเข้าถึงได้ง่ายหรือไม่

6. กิตติกรรมประกาศ

การเรียบเรียงครั้งนี้ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และขอขอบคุณ อาจารย์ในสาขาวิชาคอมพิวเตอร์แอนิเมชันและมัลติมีเดียทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจ และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Smith, David. 1975. **Pygmalion: A Creative Programming Environment**

[2] Christoph Dernbach. 2007. **“Apple Lisa”. Mac History.**

[3] Wolf, Ron. 2007. **The mother of the Mac trash can**. San Jose Mercury News.

[4] Commodore- Amiga Inc. 1991. **Amiga User Interface Style Guide**. Addison- Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.

[5] A history of Windows (at microsoft.com)

[6] Amit Singh. 2007. **Mac OS X Internals: *A Systems Approach***. Addison-Wesley.

[7] Microsoft Windows 3.1. 2014. **Old Computer** *Museum*.

[8] Apple. 2008. **Mac OS X Leopard — Technical Specs**. Apple.com.

[9] Lake, Matt. 2001. **"Windows XP". *CNET Review*. Archived from the original**.

[10] Mike Nash. 2008. ***"Why 7?".*** *The Windows Blog. Microsoft*.

[11] Windows.com. 2015. **Hello World: Windows 10**

[12] Turner, Amber Leigh. 2014. **The history of flat design: How efficiency and minimalism turned the digital world flat**. The Next Web.

[13] Bawcombe, Libby. 2014. **The amburger menu-icon debate.** The Atlantic (Atlantic Media).

[14] Constine, Josh. 2014). **Kill the hamburger buttons**. *TechCrunch.*

[15] Hamburger vs Menu: 2016. **The Final AB Test** http://exisweb.net/menu-eats-hamburger ค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2559

[16] LoungeKat.2010. **Know Your Icons Part 1 - A Brief History of Computer Icons**. http://design.tutsplus.com/articles/know-your-icons-part-1-a-brief-history-of-computer-cons--psd-9805. ค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2559

[17] FUTURAMO. 2016. **History of icons.** https://historyoficons.com/. ค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2559

ทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึก
Theory of Diffraction of X-rays by Crystals

ชโนภาส ชนลักษณ์ดาว
Chanopat Chonlakdao

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Materials Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
Corresponding author: chanopatp@gmail.com

บทคัดย่อ

ทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกมีที่มาจากการค้นพบสามอย่างที่น่าตื่นเต้นในยุค 1890 ซึ่งเป็นการเปิดเผยให้เราเห็นโลกภายในอะตอมและเริ่มต้นการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รังสีเอกซ์ค้นพบในปี ค.ศ. 1895 การค้นพบกัมมันตภาพรังสีในปี ค.ศ. 1896 และการค้นพบอิเล็กตรอนในปี ค.ศ. 1897 ก่อให้เกิดการวิจัยโดยนักวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างสรรค์เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่นการถ่ายภาพ ขดลวดที่เหนี่ยวนำให้เกิดประกายไฟ และปั๊มสุญญากาศ สิ่งประดิษฐ์ทั้งสามนี้มีความสำคัญมากไม่เพียง แต่เป็นการค้นพบที่โลกตะลึงในยุค 1890 และไม่เพียงแต่กับวัสดุศาสตร์ในบทความนี้เราพุ่งความสนใจไปที่พัฒนาการของทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกในเงื่อนไขการสะท้อนแบบแบร็กก์ แบร็กก์ได้แสดงให้เห็นโครงสร้างของผลึกหรือโมเลกุลที่ไม่รู้จักจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบน โดยใช้คณิตศาสตร์สามารถกำหนดตำแหน่งของอะตอมแต่ละตัวในโครงสร้างผลึกได้ นอกจากนี้ยังได้อธิบาย กลไกสำคัญที่เชื่อกันว่าเป็นกลไกตรงแบบสำหรับการสะท้อนแบบแบร็กก์

คำสำคัญ: การสะท้อนแบบแบร็กก์ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

Abstract

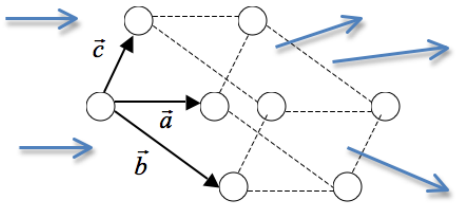
A theory of diffraction of X-rays by crystals is originated from three surprising discoveries. Three astonishing revelations of the 1890s opened our eyes to the world within the atom and began a still-unfolding scientific and technological revolution: X rays were discovered in 1895, radioactivity in 1896, and the electron in 1897. Scientists often fancy that their researches from the driving force of modern technology, photography, spark coils, and vacuum pumps. These inventors were crucial, not only to the world-shaking discoveries of the 1890s, and not only to materials science. In this review, we focus on the development of the Bragg reflection limit theory of diffraction of X-rays by crystals. Bragg showed how the structure of an unknown crystal or molecule can be determined from its X-ray diffraction pattern. Mathematical analysis of the diffraction pattern can reveal the placement of individual atoms and also explain the important mechanism which is believed to be the proper one for Bragg reflection.

Keywords: Bragg reflection, X-ray diffraction

1. บทนำ

การศึกษาทฤษฎีปรากฏการณ์การเลี้ยว เบนรังสีเอ็กซ์โดยผลึกสามารถแบ่งช่วงเวลาได้เป็นสามระยะคือ ระยะที่ 1 โดยวิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Roentgen) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันผู้ค้นพบรังสีเอกซ์ในปี ค.ศ. 1895 ผลการศึกษาที่น่าตื่นเต้นคือเมื่อเขาใช้ฝามือภรรยากั้นรังสีเอกซ์แล้วได้ภาพกระดูกมือ ปรากฏบนผนังห้องทดลอง แต่เขาก็ยังไม่รู้ว่ารังสีเอ็กซ์คืออะไร? ระยะที่ 2 มีนักวิทยาศาสตร์จำนวนหนึ่งเชื่อว่ารังสีเอกซ์ซึ่งถูกค้นพบในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่น เดียวกับแสงชนิดอื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมากแต่ความเชื่อนี้ยังไม่มีการพิสูจน์จนกระทั่งปี ค.ศ. 1912 มักซ์ ฟอน เลาเอ (Max Von Laue) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันรู้สึกสงสัยกับแนวคิดที่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นหากยิงรังสีเอกซ์เข้าชนผลึก?ด้วยปัญญาชั้นเลิศ เลาเอ มีแนวคิดว่า รังสีเอกซ์คงกระเจิงออกจากแถวอันเป็นระเบียบของอะตอม คลื่นที่กระจายออกเหล่านี้รวมตัวซ้อนทับกันเกิดเป็นลวดลายที่เป็นระเบียบไว้บนแผ่นฟิล์ม เป็นการบอกตำแหน่งแต่ละอะตอมในผลึก [1] โดยสรุปรังสีเอกซ์สามารถใช้ถ่ายภาพโครงสร้างภายในผลึกได้

เลาเอ พร้อมกับผู้ร่วมงานสองคนคือ วอลเทอะ ฟริดดิช (Walter Friedrich) และ พอ คนิปปิง (Paul Knipping) ได้ทดสอบแนวคิดดังกล่าวโดยการยิงรังสีเอกซ์ไปที่ผลึกของแข็งและพบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนบนแผ่นฟิล์มเป็นไปตามแนวคิดทุกประการ โดยสรุปการทดสอบนี้เป็นการพิสูจน์ว่ารังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเป็นการเริ่มต้นพัฒนาเทคนิคใหม่เพื่อวัดตำแหน่งแต่ละอะตอมในผลึกระยะที่ 3 โดย วิลเลียม เฮนรี แบร็กก์ (William Henry Bragg: W.H. Bragg) และวิลเลียม ลอว์เรนซ์ แบร็กก์ (William Lawrence Bragg: W.L.Bragg) นักวิทยาศาสตร์สองพ่อลูกชาวอังกฤษตระกูลแบร็กก์ หลังจากที่เขาได้ทราบผลการทดลองของเลาเอเพียงแค่ราวปี ค.ศ. 1913 เขามีแนวคิดให้อะตอมในผลึกมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นคือระนาบของอะตอมและระนาบเหล่านี้สามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบได้เหมือนกระจก (mirror) โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน [2] ทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกจะ แบ่งตามลักษณะของแนวคิดกล่าวคือเลาเอใช้แนวคิดเกี่ยวกับการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวทางมาตรฐานของตำรา แต่ประเด็นใหม่ในการใช้แนวคิดนี้คือ เขาพิจารณาการกระเจิงคลื่นให้กระจายตัวในสามมิติแทนที่จะพิจารณาในหนึ่งหรือสองมิติ ดังเช่นที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงลำแสงขนานของรังสีเอกซ์วิ่งเข้ามาจากทางซ้ายแล้วกระเจิงภายในหนึ่งหน่วยเซลล์ของผลึกสามมิติและพุ่งออกจากผลึกไปทางด้านขวาในหลากหลายทิศทาง

แนวคิดของเลาเอบอกเราว่าการเสริมสร้างกันมากที่สุดของคลื่นที่กระเจิงออกมาจะเกิดขึ้นเมื่อมันสอดคล้องกับเงื่อนไขสามอย่างโดยแต่ละเงื่อนไขนั้นเป็นของการกระเจิงในแต่ละมิติเช่น เงื่อนไขแรกนั้นบังคับให้คลื่นที่กระเจิงออกจากกลุ่มอะตอมซึ่งจัดเรียงแถวขนานกับแกน $\vec{a}$เคลื่อนที่ไปโดยมีระยะทางแตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นเพื่อให้มันมีการแทรกสอดแบบเสริมสร้างกันส่วนเงื่อนไขที่สองและสามนั้นใช้บังคับกลุ่มอะตอมเรียงแถวขนานกับทิศทาง$\vec{b}$และ$\vec{c}$ตามลำดับ

ในกรณีของสองพ่อลูกชาวอังกฤษตระกูแบร็กก์ได้ใช้แนวคิดแนวใหม่และผลการทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์ผลึกอย่างละเอียดเป็นครั้งแรกของโลก แต่ประเด็นที่มหัศจรรย์ในแนวคิดนี้คือเขาพิจารณาการสะท้อนคลื่นตามมาตรฐานการสะท้อนคลื่นจากกระจกแล้วได้ผลลัพธ์ที่เข้าใจได้ง่ายกว่าของเลาเอ

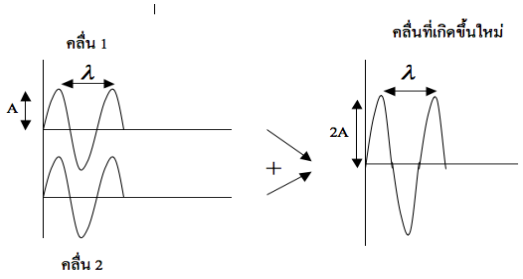
จะเห็นได้ว่าการใช้แนวคิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกในเงื่อนไขการสะท้อนแบบแบร็กก์ (Bragg reflection) เป็นเรื่องง่ายในทุกสถานการณ์เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้คือสมการที่มีเพียงพารามิเตอร์เดียวที่ต้องหาค่า ในขณะที่ผลลัพธ์ของเลาเอ (Laue equation) มีอย่างน้อยสองพารามิเตอร์ที่ต้องหาค่า

จุดประสงค์ของบทความนี้จะกล่าวถึงพัฒนาการของทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดย จะวิเคราะห์แนวคิดสำคัญที่สองพ่อลูกตระกูล แบร็กก์นำเสนอ

2. การสะท้อนแบบแบร็กก์

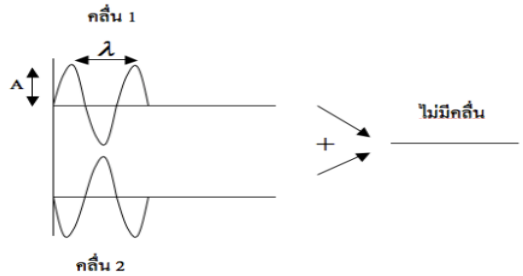
เป็นที่ยอมรับกันว่าทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกในเงื่อนไขการสะท้อนแบบแบร็กก์นั้นเข้าใจได้

ง่ายกว่าแนวคิดของเลาเอกลไกที่หนึ่งที่ง่ายต่อความเข้าใจผลงานของสองพ่อลูกตระกูลแบร็กก์คือเขาให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปเป็นคลื่นโดยมีระยะระหว่างยอดคลื่นเป็นความยาวคลื่น (Wavelength: λ) และระยะระหว่างยอดคลื่นกับแนวทางเดินของคลื่นเป็นแอมพลิจูด (Amplitude: A) ถ้าคลื่นสองคลื่นมาถึงจุดยอดของคลื่นและจุดต่ำสุดของคลื่นพร้อมๆ กัน ผลที่ได้คือคลื่นที่เกิดขึ้นใหม่จะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลบวกของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง โดยที่คลื่นใหม่นี้ยังคงมีความยาวคลื่นและความถี่เท่าเดิมและถ้าแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากันคลื่นที่เกิดขึ้นใหม่จะมีแอมพลิจูดเป็นสองเท่าจึงทำให้รังสีทวีความเข้มปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการแทรกสอดแบบเสริมสร้างกัน (Constructive Interference) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการแทรกสอดแบบเสริม

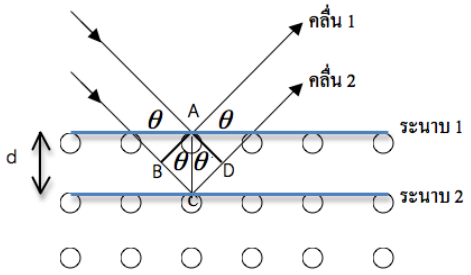
สร้างกันของคลื่น 2 ขบวนซึ่งมีเฟสตรงกันแต่ถ้าหากคลื่นสองคลื่นมาโดยคลื่นหนึ่ง ถึงจุดยอดของคลื่นในขณะที่อีกคลื่นหนึ่งถึงจุดต่ำสุดของคลื่นผลที่ได้จะเป็นการหักล้างกันและถ้าแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากันความเข้มของรังสีจะหายไปเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่าการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive Interference) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการแทรกสอดแบบหักล้างกัน
ของคลื่น 2 ขบวนซึ่งมีเฟสต่างกัน

คลื่นทั้งสองอาจไม่ถึงกับเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันถ้าจุดยอดสุดของคลื่นหนึ่งกับจุดต่ำสุดของอีกคลื่นหนึ่งไม่ตรงกันพอดีแอมพลิจูดของคลื่นใหม่ซึ่งเท่ากับผลบวกแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองไม่ได้ถูกหักล้างหมดไปทำให้การแทรกสอดแบบหักล้างกันเกิดขึ้นได้บ้างและความเข้มของรังสีลดลง (ความเข้มของรังสีไม่หายไป)การทำให้เกิดการเลี้ยวเบนเป็นวิธีการกระจายแสงวิธีหนึ่งทำนองเดียวกับการกระจายแสงขาวด้วยปริซึมเกิดเป็นสเปกตรัมสีรุ้ง อุปกรณ์ที่ใช้ทำให้แสงเกิดการเลี้ยวเบนคือ เกรตติง (Grating) ซึ่งมักเป็นแผ่นแก้วขีดไว้เป็นเส้นทึบสม่ำเสมอขนานกันจำนวนมากนับพันเส้นต่อหนึ่งหน่วยความยาว ระหว่างเส้นทึบย่อมจะเป็นส่วนที่ใสซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนกับช่องแคบๆ ให้แสงลอดผ่านไปได้ เมื่อแสงผ่านช่องใสที่เรียงกันเป็นระยะก็จะแผ่กระจายไปรอบด้าน การแผ่ของแสงจากช่องต่าง ๆ ทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างคลื่นที่ออกจากช่องเหล่านั้นและเกิดความสว่างและความมืดสลับกันไป

การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้นเมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านหรือสะท้อนกระจายออกจากวัตถุใดๆ ก็ตามที่มีลักษณะโครงสร้างที่เรียงซ้ำเหมือนกันไปอย่างสม่ำเสมอ อย่างเช่นเส้นที่ขีดเรียงขนานกันและถ้าจะให้รูปแบบการเลี้ยวเบนเด่นชัดช่วงระยะระหว่างสิ่งที่ซ้ำๆ กันนั้นควรจะใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ถ้าหากความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกเป็นความจริงกล่าวคือผลึกประกอบด้วยอนุภาคที่เรียงกันเป็นระยะสม่ำเสมอแลดูเป็นแถวเป็นแนวอย่างมีระเบียบซ้ำๆ กัน แบบสามมิติผลึกก็ควรที่จะทำให้รังสีเอกซ์เกิดการเลี้ยวเบนได้เพราะระยะระหว่างอนุภาคในผลึกมีขนาดประมาณ 200 พิโกเมตร (pm) – 1 นาโนเมตร (nm) และรังสีเอกซ์ก็มีความยาวคลื่นประมาณ 50 – 200 พิโกเมตร (pm) อันเป็นขนาดที่ไล่เรี่ยกัน แต่ถ้านำรังสีเอกซ์มาใช้กับเกรตติงการเลี้ยวเบนจะไม่เกิดขึ้นส่วนแสงธรรมดาซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 400–700 นาโนเมตร (nm) เมื่อมากระทบผลึกก็จะไม่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนเช่นกัน กลไกที่สองที่ง่ายต่อความเข้าใจผลงานของสองพ่อลูกตระกูลแบร็กก์คือกฎการสะท้อนของคลื่นโดยคลื่นจะมีการสะท้อนเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาตัวกลางที่เป็นอาณาเขตที่เป็นที่แข็งโดยที่มุมตกกระทบ θ เท่ากับมุมสะท้อน θ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการเลี้ยวเบนรังสี เอกซ์โดยผ่านระนาบของอะตอมภายในผลึก โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

เมื่อประยุกต์กลไกที่หนึ่งเข้ากับกลไกที่สอง นักวิทยาศาสตร์สองพ่อลูกตระกูลแบร็กก์พบว่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เกิดขึ้นจากการสะท้อนของรังสีเอกซ์โดยระนาบอะตอมดังเช่นในภาพที่ 4ประกอบด้วยระนาบอะตอมของผลึกที่มีการเรียงตัวกันเป็นชุดของระนาบที่ขนานกันคือระนาบ1 และระนาบ 2 โดยมีระยะตั้งฉากระหว่างระนาบคือระยะ d ถ้ารังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียวมีค่าความยาวคือ λ ตกกระทบผลึกทำมุม θ กับระนาบชุดดังกล่าวเรียกมุมนี้ว่ามุมแบร็กก์ (Bragg angle) เราต้องการทราบว่ารังสีเอกซ์ที่ตกกระทบผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบนในเงื่อนไขอย่างไร? ลำแสงเลี้ยวเบนนั้นประกอบด้วยรังสีของการกระเจิงเป็นจำนวนมากมาเสริมสร้างกัน ตัวอย่าง เช่นภาพที่ 4แสดงการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีที่กระเจิงทำมุม θ กับระนาบซึ่งเรียกว่ามุมสะท้อน

เราพิจารณาเพียง 2 ระนาบ ให้คลื่น 1 กระทบระนาบ 1 คลื่น 2 กระทบระนาบ 2 คลื่นทั้งสองที่มาตกกระทบระนาบนั้นอยู่ในเฟสตรงกันและคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบ ทั้งสองต้องอยู่ในเฟสตรงกัน ถ้าต้องการให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมสร้างกันระหว่างคลื่นทั้งสอง มุมθ ในกรณีนี้ต้องเป็นมุมซึ่งรังสีที่เลี้ยวเบนอยู่ในเฟสตรงกัน ถ้าเป็นมุมอื่นอาจมีการแทรกสอดแบบหักล้างกันมากบ้างน้อยบ้างจากภาพที่ 4เราจะเห็นได้ว่าคลื่นที่มากระทบระนาบ 2 แล้วสะท้อนออกไปนั้นต้องเดินทางไกลกว่าคลื่น 1 ที่กระทบระนาบ 1 เป็นระยะทาง BC+CD เพื่อให้คลื่นของรังสีสะท้อนทั้งสอง อยู่ในเตรงกัน โดยสรุประยะทางที่ยาวเกินออกไปคือ BC+CD จะต้องเป็นจำนวน n เท่าของความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ดังนี้

$$BC+CD = n\lambda \qquad (1)$$

โดยที่$n = 1,2,3, \ldots$

เมื่อระยะระหว่างระนาบ 1 กับระนาบ 2 คือ d และ มุม BAC มีค่าเท่ากับมุม CAD คือ θ ดังนั้น

$$BC+CD = 2d\sin\theta \qquad (2)$$

แทนค่าสมการ (2) ในสมการ(1)ได้

$$2d\sin\theta = n\lambda \qquad (3)$$

สำหรับ $n = 1,2,3, \ldots$

ถ้าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์มีขนาดสั้นมาก โดยสรุป λ<2d มีผลทำให้สมการ(3)สอดคล้องกับมุมแบร็กก์เพียงหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งมุม(ตัวอย่างเช่นถ้า $\sin\theta >$ 1สมการ (3) จะหาค่ามุมไม่ได้)เราเรียกลิมิตλ<2d นี้ว่าเป็นกลไกสำคัญที่เชื่อกันว่าเป็นกลไก ตรงแบบสำหรับการสะท้อนแบบแบร็กก์ โดยแต่ละมุมที่หาได้จากสมการ (3)มีผลให้คลื่นที่กำลังสะท้อนออกมาจากระนาบของอะตอมมีเฟสตรงกันทำให้เกิดการสะท้อนแบบแบร็กก์มากที่สุดส่วนที่มุมอื่นคลื่นจะหักล้างกันมีผลให้เกิดการสะท้อนแบบแบร็กก์น้อยที่สุดยิ่งไปกว่านั้นถ้ารู้ค่า d การสะท้อนแบบแบร็กก์สามารถวัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ได้

3. สรุป

เริ่มจากการค้นพบรังสีเอกซ์โดยเรินต์เกิน ก็มีนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งนำโดยเลาเอได้เอารังสีเอกซ์ยิงไปที่ผลึกแล้วมีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ และมีนักวิทยาศาสตร์อีกกลุ่มหนึ่งสอง พ่อลูกตระกูลแบร็กก์ที่สามารถวัดความเข้มความสว่างซึ่งสามารถบอกได้ว่าจุดต่างๆ ที่เกิดจากรังสีเอกซ์หลังจากที่กระทบผลึกมีรูปแบบที่แน่นอนนอกจากนี้เขาสามารถสร้างสมการจากรูปแบบการเลี้ยวเบน เรียกว่ากฎของแบร็กก์ (Bragg's Law) กฎนี้แสดงให้เห็นว่าจากจุดต่างๆหรือความเข้มความสว่างต่างๆกันบนฉากรับภาพสามารถที่จะคำนวณย้อนกลับมาเพื่อกำหนดตำแหน่งของอะตอมภายในผลึกได้

กฎของแบร็กก์คือจุดเปลี่ยนของวงการวิทยาศาสตร์ทำให้เราสามารถสร้างสมการขึ้นมาเพื่อที่จะเอาไปสร้างภาพสามมิติได้เป็นครั้งแรกของโลก

ทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกในเงื่อนไขการสะท้อนแบบแบร็กก์มีแนวคิดมาจาก การแทรกสอดและการสะท้อนของคลื่นแนวคิดแบบนี้ใช้ได้ในทางเรขาคณิตและทำให้เราได้สมการที่ดูง่ายและถูกต้องในการศึกษาผลึกที่เรียกว่าการศึกษาโครงสร้างสสารโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Crystallography)

เนื่องจากสสารสถานะของแข็งเกือบทุก ชนิดอยู่ในรูปผลึกเมื่ออุณหภูมิต่ำพอ การเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์จึงกลายเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้อย่าง กว้างขว้าง เป็นที่ยอมรับโดยนักเคมี นักฟิสิกส์ และนักชีววิทยาว่ามันเป็นเครื่องมือที่สำคัญต่อการเข้าใจโครงสร้างของสสาร

ตัวอย่างเช่น การหาโครงสร้างเกลียวคู่ของดีเอ็นเอในปี ค.ศ. 1953ได้แก่ผลงานการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยโรซาลินด์ แฟรงคลิน (Rosalind Franklin) การพัฒนาอย่างต่อเนื่องกว่า100 ปีของการศึกษาโครงสร้างสสารโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการศึกษาโครงสร้างอะตอมและคุณสมบัติของสสารต่างๆและเป็นเครื่องมือสำคัญในความก้าวหน้าของวงการวิทยาศาสตร์อีกหลายสาขา ตัวอย่างเช่น เทคนิคใหม่ๆ ในการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่ๆที่ทันสมัยมีผลทำให้แดน เชชท์มัน (Dan Shechtman) นักวัสดุศาสตร์ชาวอิสราเอลที่ทำการศึกษาโครงสร้างของผลึกเสมือน (quasi crystals) ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีในปี ค.ศ. 2011[3]

ดังนั้นหัวข้อการวิจัยทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึกจึงยังคงเป็นปัญหาเปิดแก่นักวิจัยในปัจจุบันเพื่อนำองค์ความรู้นั้นมาใช้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติดังต้องการ

4. เอกสารอ้างอิง

[1] Jenkin, J. 2008. **William and Lawrence Bragg, Father and Son**. Oxford, University Press.

[2] Banerjee, K. 1933. **Determination of the signs of fourier terms in complete crystal structure analysis**. Proc. Roy. Soc. Volume 141, 188-193.

[3] Stewart, I. 2013. **Symmetry:** *A very Short Introduction.* Oxford, University Press.

การปรับปรุงจีเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาค่าที่เหมาะสม
An Improved Genetic Algorithm for Optimization

อมฤตา ฤทธิภักดี* ชาญเวทย์ อิงคเวทย์ สหชาติ สรรพคุณ สุนี โชติดิลก สุนันทา ศรีม่วง และ พัชรพงษ์ ตรีวิริยานุภาพ
Amarita Ritthipakdee* Chanvate Ingkavet Sahachart Suppakhun Sunee Chotidilok
Sununta Srimuang and Patcharapong Treeviriyanupab

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author:** amarita@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงจีเนติกอัลกอริทึมในส่วนของวิธีการผสมข้ามสายพันธุ์ หรือ การคอร์สโอเวอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ทำให้วิธีการค้นหาจุดที่เหมาะสมซึ่งอาศัยหลักการทางพันธุกรรมของการสืบทอดยีน ของโครโมโซมที่ดีไปสู่รุ่นต่อไป โดยแบ่งออกเป็นสองแบบ ได้แก่ 1) การคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง (Two point crossover) 2) แบบการคอร์สโอเวอร์ตำแหน่งเดี่ยว (Single point crossover) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งทำการทดสอบกับ 4 ฟังก์ชันมาตรฐาน คือ Sphere Function, Sum square Function, Schwefel Function และ Griewank Function ทั้งหมดเป็นฟังก์ชันที่เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า การคอร์สโอเวอร์แบบตำแหน่งเดี่ยว ได้ลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมได้ดีในรอบการทำงานที่ต่ำกว่าการคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง และการทดลองได้วัดประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมพบว่า ทั้งสองวิธีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมอีกด้วย
คำสำคัญ: จีเนติกอัลกอริทึม จุดที่เหมาะสม กระบวนการคอร์สโอเวอร์

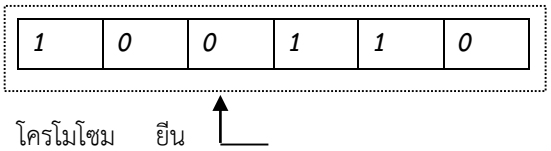
Abstract

In this paper explaines the improvement of the genetic algorithm in the crossover process of the main approach to finding the global optimal. It relies on the principle of genetically inherited genes. The chromosomes are transferred to the next generation. Two types of crossover are proposed: 1) Two point crossover and 2) Single point crossover. The proposed scheme are tested with four standard functions, namely Sphere function, Sum square function, Schwefel function and Griewank function, all of which are widely recognized. The results of the test showed that the crossover using only one crossover point gave a faster and closer convergence than that of the one using two crossover points. The experiment also found that both approaches improve the performance of the genetic algorithm
Keywords: Genetic Algorithm, Optimization, Crossover Process

1. บทนำ

จีเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบวิธีหนึ่งที่ค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลที่ได้จากการค้นหาและพยายามจะหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด [1] โดยกระบวนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมนี้ได้นำแนวคิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต กระบวนการพัฒนาทางพันธุกรรม [2] หลักการของแนวคิดนี้ คือ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดย่อมมีจุดเด่นและจุดด้อยแฝงอยู่ในพันธุกรรม ซึ่งจุดเด่นนี้เองจะได้รับการถ่ายทอดจากบรรพบุรุษเพื่อส่งต่อให้กับลูกหลานในรุ่นต่อไป ซึ่งวิธีการจะทำการเข้ารหัสหรือเรียกว่า โครโมโซม (chromosome) ในแต่ละโครโมโซมจะแบ่งเป็น ยีน (Gene) จำนวนย่อย ซึ่งเหมือนกับสิ่งมีชีวิตทั่วไป การเปลี่ยนแปลงยีน ในโครโมโซมนั้นจะทำให้เกิดการถ่ายทอดจุดเด่นไปสู่ลูกหลาน โดยการ

ประมวลผลทางคอมพิวเตอร์นั้นเราได้ใช้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) สำหรับพิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดให้เป็นคำตอบของปัญหา [3] [4] ในกระบวนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมนี้ได้นำโครโมโซมรุ่นใหม่มาคำนวณค่าความเหมาะสมส่วนมากจากทำงานของโอเปอร์เรชันของจีเนติกอัลกอริทึมค่าความเหมาะสมของประชากรลูกหลานจะดีขึ้นเป็นลำดับ เมื่อทำการวนซ้ำหลายรอบจะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด การเลียนแบบวิวัฒนาการทางพันธุกรรม สามารถอธิบายคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ดังต่อไปนี้ เริ่มต้นจากการสุ่มสร้างโครโมโซม ซึ่งเปรียบเทียบได้กับตัวแทนของคำตอบของปัญหา แต่ละโครโมโซมจะประกอบด้วย ส่วนย่อยๆ เรียกว่า ยีน ซึ่งการเข้ารหัสเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) และเมื่อถอดรหัสโครโมโซม จะได้คำตอบของปัญหาเรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) โดยจะแสดงภาพประกอบดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงสักษณะของโครโมโซม

กระบวนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มสร้างโครโมโซมประชากรเริ่มต้น (Population)

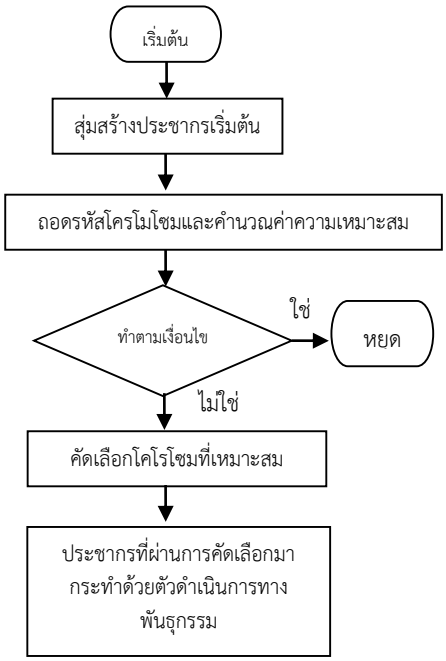
ขั้นตอนที่ 2 ทำการถอดรหัส ซึ่งเป็นตัวแทนคำตอบของปัญหา

ขั้นตอนที่ 3 นำตัวแทนของปัญหามาคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Value) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทุกๆโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสุ่มสร้างประชากรรุ่นใหม่จากกระบวนการคัดเลือก (Selection) โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 5 นำประชากรที่ผ่านการคัดเลือก มาผ่านตัวดำเนินการทางพันธุกรรมจีเนติก ได้แก่ การผสมข้ามพันธุ์ (Crossover) และ การกลายพันธุ์ (Mutation)

ขั้นตอนที่ 6 กลับไปทำกระบวนการ 2-5 ซึ่งเป็นการวนซ้ำ เรียกว่า รอบการคำนวณ (Generation) การทำงานจะแสดงเป็นแผนผังการทำงาน (Flow Chart) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงผังการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม

2. วิธีการปรับปรุงจีเนติกอัลกอริทึม

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงส่วนของการคอร์สโอเวอร์ โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง (Two point crossover) และการคอร์สโอเวอร์ตำแหน่งเดี่ยว (Single point crossover) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 สุ่มสร้างประชากรโครโมโซมเริ่มต้น (Initialization Population)

ทำการสุ่มสร้างจำนวนประชากรเริ่มต้นกำหนดโครโมโซมซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบ

2.2 ทำการถอดรหัสซึ่งเป็นตัวแทนคำตอบของปัญหา (Chromosome)

กำหนดค่าในแต่ละยีนของโครโมโซมซึ่งเปรียบเทียบได้กับมิติของข้อมูล

2.3 นำตัวแทนของปัญหามาคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

ทำการคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยปัญหาที่ถูกกำหนดให้นั้นเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimization) จึงนำค่าความเหมาะสมที่ได้มาคำนวณจากสมการดังนี้

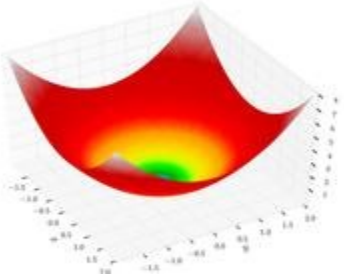
$$Fitness = F_{max} - ObjectiveValue \qquad (1)$$

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับ4 ฟังก์ชันมาตรฐานซึ่งมีขอบเขตและค่าความเหมาะสมดังต่อไปนี้

1. Sphere Function

$$f(x)=\sum_{i=1}^{d}x_i^2 \qquad (2)$$

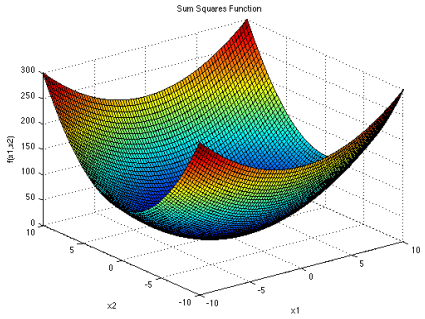
โดยที่ มีขอบเขตอยู่ที่ 5.12, -5.12
กำหนดให้ $f(x_1,x_2,...,x_n)$ และ $f(\cdot)=0$



2. Sum square Function

$$f(x)=\sum_{i=1}^{d}ix_i^2 \qquad (3)$$

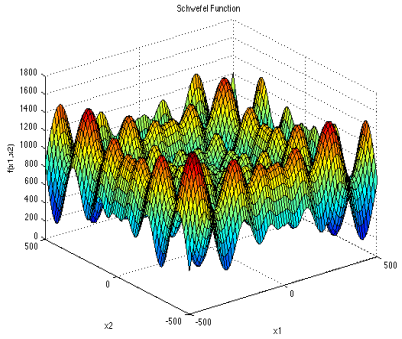
โดยที่ มีขอบเขตอยู่ที่ 10, -10
กำหนดให้ $f(x_1,x_2,...,x_n)$ และ $f(\cdot)=0$



3. Schwefel Function

$$f(x)=418.9829d-\sum_{i=1}^{d}x_i\sin(\sqrt{|x_i|}) \qquad (4)$$

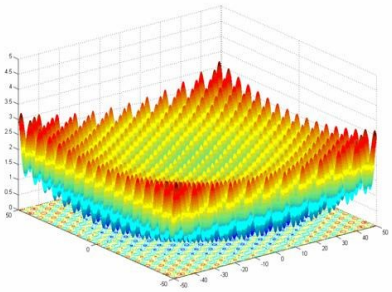
โดยที่ มีขอบเขตอยู่ที่ 500, -500
กำหนดให้ $f(x_1,x_2,...,x_n)$ และ $f(\cdot)=0$



4. Griewank Function

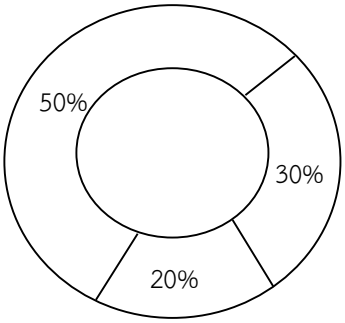
$$f(x)=\sum_{i=1}^{d}\frac{x_i^2}{4000}-\prod_{i=1}^{d}\cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}})+1 \qquad (5)$$

โดยที่ มีขอบเขตอยู่ที่ 600, -600
กำหนดให้ $f(x_1,x_2,...,x_n)$ และ $f(\cdot)=0$



2.4 ทำการสุ่มสร้างประชากรรุ่นใหม่ จากกระบวนการคัดเลือก (Selection)

จีเนติกอัลกอริทึมมีวิธีในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมโดยกำหนดให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะได้รับโอกาสที่สูงกว่าในการถ่ายทอดไปยังรุ่นถัดไป และส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยจะถูกกระบวนการคัดเลือกตัดทิ้งไป โดยเทคนิคทั่วไปของการคัดเลือกประชากรนั้น เรียกว่า เทคนิคการคัดเลือกวงล้อรูเร็ต (Roulette Wheel Selection) การคัดเลือกวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน โดยแบ่งช่องของรูเร็ต มีขนาดไม่เท่ากันซึ่งช่องของรูเร็ตที่มีขนาดกว้างหมายถึงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมในช่องดังกล่าวจะถูกเลือกขึ้นมา และค่าความเหมาะสมที่มากกว่าช่องของรูเร็ตที่มีขนาดเล็กลงมาตามอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของทุกโครโมโซมรวมกัน จากนั้นทำการสุ่มหมุนวงล้อเพื่อเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ ทำการสุ่มวนซ้ำจนกระทั่งได้ครบตามจำนวนรอบที่ตั้งไว้หรือเท่ากับจำนวนประชากรเริ่มต้น ดังจะแสดงภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงแผนภูมิการแบ่งช่องหมุนวงล้อรูเร็ต

ในการสุ่มประชากรแต่ละครั้งนั้นจุดประสงค์เพื่อให้การสุ่มค่ายังอยู่ในช่องที่มีความกว้างที่สูงกว่าช่องอื่นๆ เนื่องจากความกว้างของช่องวงล้อรูเร็ต ได้แทนค่าความเหมาะสมที่สูงเหมาะกับการถ่ายทอดไปยังรุ่นถัดไป ส่งผลทำให้การคัดเลือกเป็นไปอย่างถูกต้อง โครโมโซมที่เหมาะสมก็จะถูกเลือกเก็บเอาไว้เป็นประชากรในรุ่นต่อไป

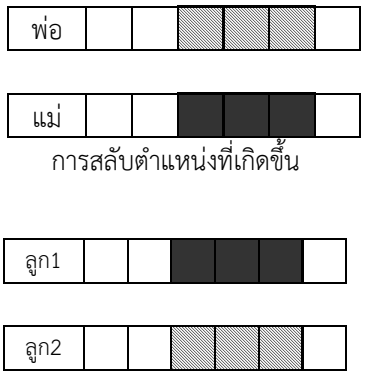
2.5 กระบวนการผสมข้ามพันธุ์ (Crossover) โอเปอร์เรชันที่สำคัญของจีเนติกอัลกอริทึมคือกระบวนการผสมข้ามพันธุ์ซึ่งผลที่ได้คือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมเกิดขึ้น โดยเริ่มจากการเลือกโคโมโซมขึ้นมาหนึ่งคู่เรียกว่า โครโมโซมพ่อและแม่ จากนั้นทำการ สุ่มค่าความน่าจะเป็นในการคอร์สโอเวอร์ (PC) > 0.8 ถ้าหากสุ่มได้ความน่าจะเป็นในการคอร์สโอเวอร์จะแลกเปลี่ยนโครโมโซมระหว่างกัน ผลที่ได้คือลูกที่เกิดขึ้นใหม่สองโครโมโซม และทำการวนซ้ำจนครบทุกโครโมโซม

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการคอร์สโอเวอร์ 2 แบบ ได้แก่ การคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง และ การคอร์สโอเวอร์แบบตำแหน่งเดี่ยวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาค่าที่เหมาะสม โดยใช้หลักการของการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเพื่อไปยังรุ่นถัดไป โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.5.1 การคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง (Two point crossover)

เป็นการแลกเปลี่ยนยีนในแต่ละโครโมโซมพ่อและแม่ ในทุกๆคู่ ที่ได้ถูกเลือกมาจากวงล้อรูเร็ต จะเป็นการสุ่มพ่อและแม่จากนั้นจะทำการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นที่ต้องการแลกเปลี่ยนยีน และตำแหน่งสิ้นสุดของการแลกเปลี่ยนยีน ซึ่งจะได้ลูกที่เกิดขึ้นใหม่เป็นจำนวน 2 ตัว แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4

เช่น สุ่มตำแหน่ง 3 และ 5

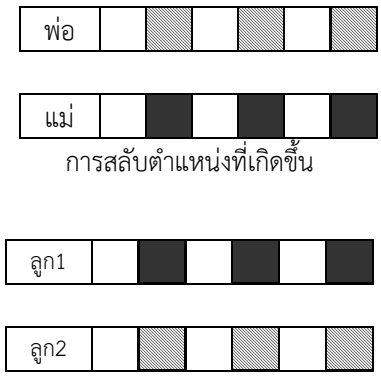


ภาพที่ 4 แสดงวิธีการคอร์สโอเวอร์แบบสองตำแหน่ง

2.5.2 การคอร์สโอเวอร์แบบตำแหน่งเดี่ยว (Single point crossover)

เป็นการแลกเปลี่ยนยีนในแต่ละโครโมโซมพ่อแม่ โดยทำการสุ่มตำแหน่งของการคอร์โอเวอร์ครั้งละหนึ่งตำแหน่ง ซึ่งจะได้ลูกที่เกิดขึ้นใหม่เป็นจำนวน 2 ตัว แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 5

เช่น สุ่มตำแหน่ง 2,4,6



ภาพที่ 5 แสดงวิธีการคอร์สโอเวอร์แบบตำแหน่งเดี่ยว

2.6 กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) กระบวนการนี้ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมที่เกิดขึ้นใหม่เพียงเล็กน้อย จึงทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน โดยกำหนดค่า PM < 0.2 จึงทำการสุ่มจำนวน $\pm a$ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง (0, 1) เพื่อให้ค่าเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยในตำแหน่งของโครโมโซมลูกเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 6

เช่น สุ่มตำแหน่งที่ 4

ลูกที่ทำการกลายพันธุ์				$\pm a$			

ภาพที่ 6 แสดงการกลายพันธุ์ของโครโมโซมลูก

2.7 การวนซ้ำและการจบการทำงาน การทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมจะสิ้นสุดเมื่อได้ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด (Optimal) หรือครบจำนวนรอบการทำงานที่กำหนดไว้

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การทดลองจากห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Core i7 จำนวน 4 เครื่อง หน่วยความจำ 4GB ระบบปฏิบัติการ Windows ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับฟังก์ชันทดสอบมาตรฐานจำนวน 4 ฟังก์ชัน ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ โดยจะแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ที่จำเป็น

พารามิเตอร์	กำหนดค่า
จำนวนประชากร	100
จำนวนรอบการทำงาน	1000
ค่าความน่าจะเป็นของการคอร์สโอเวอร์ (PC)	0.8
ค่าความน่าจะเป็นของการมิวเทชัน (PM)	0.2
ค่าสุ่มเพื่อทำการมิเทชัน ($\pm a$)	(0,1)

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสม

ฟังก์ชัน	d	แบบ1 ค่าที่ได้	แบบ2 ค่าที่ได้
F1	10	0.3546	***0***
	30	***0***	***0***
F2	10	0.0686	***0***
	30	1.1856e-05	***0***
F3	10	0.8910	***0***
	30	0.17969	***0***
F4	10	***0***	***0***
	30	0.0102	***0***

ข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการทดสอบอัลกอริทึมด้วยสองวิธีที่แตกต่างกัน โดยค่าที่เท่ากับ ***0*** หมายถึง ค่าที่ลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบด้วย 10 และ 30 มิติข้อมูล เมื่อทำการพิจารณาการคอร์สโอเวอร์แบบที่1 สามารถลู่เข้าสู่ค่าความเหมาะสมได้ในสองฟังก์ชันได้แก่ F1 ใน 30 มิติข้อมูล และ F4 ใน 10 มิติข้อมูล นอกนั้นสามารถค้นหาได้เพียงใกล้เคียงกับค่าความเหมาะสม นอกจากนี้เพื่อพิจารณาการคอร์สโอเวอร์แบบที่ 2 พบว่าสามารถลู่เข้าสู่ค่าความเหมาะสมได้ในทุกฟังก์ชันทดสอบ

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองจำนวนรอบการทำงานโดยเฉลี่ยที่ลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม

ฟังก์ชัน	d	แบบ1 รอบ	แบบ2 รอบ
F1	10	-	345.2
	30	788.4	275.6
F2	10	-	554.2
	30	-	876.3
F3	10	-	786.9
	30	-	287.6
F4	10	823.4	587.2
	30	-	229.4

ข้อมูลในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยของรอบการทำงานที่อัลกอริทึมทั้งสองแบบที่ลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสม จากจำนวนรอบการทำงานทั้งหมด 1000 รอบ พบว่าแบบที่ 2 สามารถลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสมได้ในรอบการทำงานที่ต่ำกว่าแบบที่1

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองวัดประสิทธิภาพการทำงานคิดเป็นร้อยละ

ฟังก์ชัน	d	แบบ1 ร้อยละ(%)	แบบ2 ร้อยละ(%)
F1	10	-	50%
	30	20%	70%
F2	10	-	30%
	30	-	60%
F3	10	-	80%
	30	-	***100%***
F4	10	40%	90%
	30	-	***100%***

ข้อมูลในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นเป็นร้อยละของการทดสอบโดยวัดประสิทธิภาพการทำงานของทั้งสองแบบ พบว่าแบบที่ 2 ในฟังก์ชันที่ F3 และ F4 นั้นสามารถ

วัดประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น 100% และในฟังก์ชันอื่นก็สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบที่ 1

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองเมื่อทำการทดสอบกับฟังก์ชันมาตรฐานทั้ง 4 พบว่าวิธีการคอร์สโอเวอร์แบบที่ 1 คือ Two point crossover สามารถลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสมได้ดีในฟังก์ชัน F1 และ F4 และแบบที่ 2 Single point crossover สามารถลู่เข้าจุดที่เหมาะสมได้ดีทุกฟังก์ชันทดสอบ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของรอบการทำงานที่อัลกอริทึมทั้งสองลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสมพบว่า Single point crossover มีการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมในการทำงานรอบที่ต่ำกว่าแบบ two point crossover และเมื่อนำมาวัดประสิทธิภาพการทำงานของทั้งสองแบบพบว่าแบบ Single point crossover วัดประสิทธิภาพได้คิดเป็น 100% ในฟังก์ชันที่ F3 และ F4 จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าการใช้ Single point crossover สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหาค่าที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง

[1] John McCall. 2005. **Genetic algorithms for modelling and optimization**. Journal of Computational and Applied Mathematics, 184(1): 205–222.

[2] Pushpendra Kumar Yadav,Dr.N.L.Prajapati. 2012. **An Overview of Genetic Algorithm and Modeling**. International Journal of Scientific and Research Publications, 2(9): 1-4.

[3] Ye LI,Yan CHEN. 2010. **A Genetic Algorithm for Job-Shop Scheduling.** Journal of Software, 5(3): 269-274.

[4] Young Su Yun. 2007. **Genetic Algorithm with Fuzzy Logic Controller forPreemptive and non-Preemptive Job Shop Scheduling Problems.** Computers and Industrial Engineering, 3(43):623-644.

ผลการใช้แบบฝึกทักษะ เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ในวิชาแคลคูลัส 2 สำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Effects of using the Sets of Practices on Integral using Formula and Integral Techniques in Calculus II for Phranakhorn Rajabhat University

พงศธร หอมภู่ พรสิน สุภวาลย์[*] และ บุญชัย อารีเอื้อ
Pongsathorn Hompoo Pornsin Supawan[*] and BoonchaiAree-uea

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
[*]**Corresponding author:** pornsin.s@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตของนักศึกษาปริญญาตรี ก่อนและหลังการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะ 2) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดแบบฝึกทักษะ และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตประชากรเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 2 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน99คน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 2 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 13 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต และแบบสอบถามความพึงพอใจในการเรียนการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าดัชนีประสิทธิผล และสถิติทดสอบที

ผลจากการวิจัยพบว่า

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. ดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะเท่ากับ 0.3031
3. ระดับความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะอยู่ในระดับสูง

คำสำคัญ: ชุดฝึกทักษะ การอินทิเกรตโดยใช้สูตรเทคนิคการอินทิเกรต

Abstract

The purposes of this research were to 1) compare the students' learning achievements before and after using the sets of practices; 2) study the effectiveness index using the sets of practices; and 3) investigate the students' satisfaction towards learningusing the sets of practices. The population were 99 students who were taking Calculus II on the second semester of the academic year 2015. The sample were 13 students. The research instruments were composed of an achievement test, the sets of practices on the integral using formula and integral techniques, and the questionnaire of satisfaction. The statistics used in this study were percentage, mean, standard deviation, effectiveness index, and paired *t*-test.

The findings were as follows:

1. The average students' achievement after using the sets of practices was statistically higher than before using them at .05 significancelevel.

2. The effectiveness index ofusing the sets of practices was 0.3031.

3. The students' satisfaction towards learning using the sets of practices was at the high level.

Keywords: Sets of practices, Integral using formula, Integral techniques

1.บทนำ

แคลคูลัส เป็นวิชาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายกฎเกณฑ์ธรรมชาติ เป็นพื้นฐานของความเข้าใจธรรมชาติและปรากฏการณ์ต่างๆ เป็นวิชาที่จำเป็นสำหรับนักวิทยาศาสตร์ การศึกษาแคลคูลัส ได้ทำให้เกิดศาสตร์ใหม่ๆ ทางคณิตศาสตร์มากมาย เช่น คณิตศาสตร์วิเคราะห์ และทฤษฎีการวัด การพัฒนาและการใช้แคลคูลัสได้ขยายผลไปสู่วิทยาการยุคใหม่ แคลคูลัสเป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์เกือบทุกสาขาโดยเฉพาะฟิสิกส์นอกจากนี้วิทยาการสมัยใหม่เกือบทั้งหมด เช่น วิศวกรรมศาสตร์ หรือทางการแพทย์ ล้วนมีพื้นฐานมาจากแคลคูลัสทั้งสิ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครได้มีการจัดการเรียนการสอนวิชาแคลคูลัส 2 และจากข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาพบว่าคะแนนสอบหลังเรียนวิชาแคลคูลัส 2เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาโดยตลอด ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดจากนักศึกษาขาดทักษะในเรื่องการอินทิเกรต

การสอนคณิตศาสตร์ในปัจจุบัน อาจารย์ส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการสอนแบบบรรยาย ไม่ได้ส่งเสริมให้นักศึกษาเกิดการคิด ทำให้ขาดทักษะในการคิดคำนวณและคิดแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

แบบฝึกทักษะเป็นสื่อการเรียนประเภทหนึ่งที่ช่วยให้นักศึกษาได้ฝึกปฏิบัติให้เกิดความรู้ความเข้าใจและมีทักษะเพิ่มมากขึ้น ประโยชน์ของแบบฝึกทักษะคือ เป็นเครื่องมือในการประเมินตนเองของนักศึกษารู้จักการทำงานด้วยตนเอง มีความเชื่อมั่นและความรับผิดชอบมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เพื่อใช้ในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยมีเป้าหมายที่จะช่วยให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตของนักศึกษาปริญญาตรี ก่อนและหลังการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะ

2. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดแบบฝึกทักษะและ

3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

สมมติฐานของการวิจัย

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

2. ตัวแปรตาม คือ

2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

2.2 ดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะ

2.3 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 2 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 99 คน

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 2 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 13 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร จำนวน 12 เรื่อง 8 ชุดฝึก

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร แบบอัตนัยชนิดแสดงวิธีทำ จำนวน 8 ข้อ

2.2. แบบสอบถามความพึงพอใจในการเรียนการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การสร้างชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1.1 ศึกษาลักษณะรายวิชา หนังสือเรียน หนังสือประกอบและเอกสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

1.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหาแต่ละชุดแบบฝึกให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตร

1.3 กำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อกำหนดวิธีและขั้นตอนการเรียน การวัดและการประเมินผลในเนื้อหาแต่ละตอน

1.4 กำหนดเนื้อหาให้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้โดยมีเนื้อหา1 หน่วยการเรียนรู้ เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ประกอบด้วย ทบทวนการหาอนุพันธ์โดยใช้สูตร การอินทิเกรตฟังก์ชันพีชคณิต การอินทิเกรตฟังก์ชันลอการิทึม การอินทิเกรตฟังก์ชันชี้กำลัง การอินทิเกรตฟังก์ชันตรีโกณมิติ การอินทิเกรตฟังก์ชันซึ่งบางฟังก์ชันได้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติผกผัน การอินทิเกรตฟังก์ชันตรีโกณมิติยกกำลัง เทคนิคการอินทิเกรต การอินทิเกรตทีละส่วน การอินทิเกรตโดยการแทนค่าด้วยตรีโกณมิติ การอินทิเกรตโดยการแยกเป็นเศษส่วนย่อย การอินทิเกรตโดยการแทนค่าด้วยตัวแปรใหม่

1.5 ศึกษาวิธีการสร้างชุดฝึกวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตจากหนังสือ เอกสาร และหลักการสร้างชุดฝึกทักษะ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างชุดฝึกทักษะ

1.6 สร้างชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร จำนวน 12 เรื่อง 8 ชุดฝึกให้ครอบคลุมเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยเรียงลำดับความยากง่าย

1.7 นำชุดฝึกทักษะมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เลือกข้อคำถามให้อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงที่ใช้ได้ และคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

2.การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครแบบอัตนัยชนิดแสดงวิธีทำ จำนวน 8 ข้อ ผู้วิจัยสร้างขึ้นเองโดยมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

2.2 จัดทำแบบทดสอบฉบับร่าง โดยกำหนดคะแนน เวลา และจำนวนข้อที่เหมาะสม

2.3 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความแม่นตรงเชิงเนื้อหาพิจารณาข้อบกพร่องแล้วเอาข้อวิจารณ์มาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

2.4 นำแบบทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เลือกข้อสอบให้อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงที่ใช้ได้ และคัดเลือกข้อสอบที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

3. การสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจในการเรียนการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสอบถาม

3.2 กำหนดเนื้อหาความพึงพอใจ ได้แก่ ความพึงพอใจในด้านเนื้อหาการเรียนรู้

3.3 เลือกประเด็นที่จะวัดความพึงพอใจและกำหนดวิธีการวัด โดยกำหนดอันดับคุณภาพ 5 ระดับและประเด็นความพึงพอใจเป็นทางบวก คะแนนจะเป็นดังนี้

5 หมายถึง มากที่สุด
4 หมายถึง มาก
3 หมายถึง ปานกลาง
2 หมายถึง น้อย
1 หมายถึง น้อยที่สุด

และกำหนดเกณฑ์การพิจารณาความพึงพอใจของนักศึกษา ดังนี้

4.51-5.00 หมายถึง มากที่สุด
3.51-4.50 หมายถึง มาก
2.51-3.50 หมายถึง ปานกลาง
1.51-2.50 หมายถึง น้อย
1.00-1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

3.4 จัดทำแบบสอบถามฉบับร่าง

3.5 นำแบบสอบถามมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เลือกข้อคำถามให้อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงที่ใช้ได้ และคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

3.6 ทดลองกับกลุ่มย่อยประมาณ 3-5 คน ตรวจสอบความชื่อมั่น

3.7 นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเชื่อมั่น

3.8 ทดลองภาคสนาม เพื่อการวิเคราะห์ปรับปรุงคุณภาพแบบสอบถาม

3.9 ปรับปรุงแบบสอบถามแล้วนำไปใช้จริง

3.10 นำแบบสอบถามมาหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค แล้วตัดข้อคำถามที่ 2 ออก ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.871

รูปแบบที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบพัฒนาโดยใช้แผนการวิจับแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pre-test Post-test Design) ดังนี้

O_1 X O_2

X แทน การใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

O_1 แทน การทดสอบก่อนเรียน

O_2 แทน การทดสอบหลังเรียน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตก่อนการทดลองสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2

2. ผู้วิจัยดำเนินการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สร้างขึ้นเอง ซึ่งใช้เวลาในการทดลอง คือ ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558 เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

ในการดำเนินการสอน มีผู้สอนทั้งหมด 20 คน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 คน โดยสอนกลุ่มละ 2 สัปดาห์ ซึ่งมีขั้นตอนในการสอนดังนี้ 1) ผู้สอนแจกชุดฝึกทักษะพร้อมทั้งอธิบายและยกตัวอย่างประกอบ จากนั้นให้ผู้เรียนทำชุดแบบฝึกทักษะทีละชุด 2) เมื่อทำชุดฝึกทักษะเสร็จให้ตรวจคำตอบ 3) ในการจัดกิจกรรมผู้สอนมีหน้าที่เป็นผู้สอน อธิบาย ควบคุม ให้คำชี้แนะตลอดจนให้คำปรึกษา

3. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตโดยใช้แบบทดสอบฉบับเดียวกันกับก่อนการทดลอง

4. นำคะแนนหลังและก่อนการทดลองมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เพื่อทดสอบสมมติฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครโดยใช้การทดสอบค่าที (paired *t*-test)

2. การหาดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

3. การวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 ก่อนทดลองและหลังทดลอง

คะแนนสอบ (เต็ม40)	$\overline{X}$	S.D.	*t*	*p*-value
ก่อนเรียน	0	0	22.545	.000
หลังเรียน	12.38	1.981		

จากตารางที่ 1 พบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต สูงกว่าก่อนการใช้ชุดฝึกทักษะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2. ดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เท่ากับ 0.3031 แสดงว่า นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 30.31

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	**แปลผล**
1. ผู้สอนเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ	4.23	0.439	มาก
2. ผู้สอนตอบข้อซักถามได้ชัดเจน	4.08	0.641	มาก
3. ระยะเวลาการเรียนการสอนเหมาะสม	4.23	0.599	มาก
4. บรรยากาศเอื้อต่อการเรียนการสอน	4.15	0.555	มาก
5. เอกสารประกอบการเรียนการสอนเหมาะสม	4.31	0.480	มาก
6. ชุดฝึกมีเนื้อหาสอดคล้องกับบทเรียน	4.38	0.506	มาก
7. เนื้อหาที่ใช้ในชุดฝึกมีความเหมาะสมกับนักศึกษา	4.31	0.480	มาก
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	**4.24**	**0.528**	**มาก**

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้เรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต โดยเฉลี่ยรวม เท่ากับ 4.24 อยู่ในระดับสูง ผลจากการสัมภาษณ์นักศึกษาที่เรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2

จากการสัมภาษณ์นักศึกษา สามารถสรุปได้ว่านักศึกษาทุกคนมีความพึงพอใจมาก ไม่ว่าจะเป็นในด้านสถานที่ที่จัดกิจกรรมการเรียนการสอน ด้านชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ยกเว้นในด้านของผู้สอน ที่นักศึกษามีความพึงพอใจน้อย เนื่องจากผู้สอนบางท่านมีความรู้ความสามารถไม่พอที่จะอธิบายหรือตอบคำถามผู้เรียนเข้าใจได้ ผู้เรียนจึงต้องการผู้สอนที่มีความรู้ความสามารถมากกว่านี้ และนักศึกษาได้แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมว่ายังอยากให้มีการจัดกิจกรรมต่อไป

อภิปรายผล

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ก่อนเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0 หลังเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 12.38 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.981 และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนพบว่าหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจากการวิจัยครั้งนี้ได้ยึดแนวทางการประยุกต์ทฤษฎีการเชื่อมโยงของธอร์นไดค์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ [1] โดยผู้วิจัยให้นักศึกษาได้ฝึกฝนกระทำบ่อยๆ ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในเรื่องนั้นอย่างแท้จริง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้อาศัยทฤษฎีเชื่อมโยงสถานการณ์จากสิ่งเร้าและสิ่งตอบสนองของธอร์นไดค์ โดยอาศัยกฎของการฝึกหัดหรือกระทำซ้ำและกฎแห่งผล [2]

2. การหาค่าดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตพบว่าค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.3031 แสดงว่า นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้น 0.3031 หรือคิดเป็นร้อยละ 30.31 ซึ่งผู้วิจัยได้หาค่าโดยทำตามแนวทางในการหาประสิทธิผลของแผนการเรียนรู้หรือสื่อที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาจากพัฒนาการของนักเรียนจากก่อนเรียนและหลังเรียนว่ามีความรู้ความสามารถเพิ่มขึ้นอย่างเชื่อถือได้หรือไม่ หรือเพิ่มขึ้นเท่าใด [3]

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียน โดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต หลังการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 4.24 ซึ่งหมายความว่าหลังจากที่ได้เรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากผู้เรียนทุกคนได้ทำกิจกรรมและได้ใช้ความสามารถในการเรียนรู้มากขึ้นจากกิจกรรมการเรียนรู้และแสดงให้เห็นถึงความพยายามและความตั้งใจที่จะทำชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต เพื่อหาคำตอบที่ถูกต้อง นักศึกษาเห็นประโยชน์ของชุดฝึกว่าทำให้ได้รับความรู้ ความเข้าใจ เกิดความกระตือรือร้น ทำให้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม สามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ดวงเดือน อ่อนน่วม [4] ได้กล่าวถึงประโยชน์ของชุดฝึกไว้คือช่วยเสริมสร้างและเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจ ความจำ แนวทาง และทักษะในการแก้ปัญญาแก่นักเรียน ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากทำชุดฝึกทักษะ ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะได้อย่างเต็มที่ และตรงจุดที่ต้องการฝึกหัด ช่วยให้นักเรียนเกิดความเชื่อมั่นในตนเองคิดอย่างมีเหตุผล แสดงความคิดออกมาอย่างเป็นระเบียบชัดเจนและรัดกุม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของประทีป แสงเปี่ยมสุข [5] ซึ่งได้กล่าวถึงประโยชน์ของชุดฝึกไว้ว่า ช่วยในเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคล ทำให้นักเรียนประสบผลสำเร็จในทางจิตใจมากขึ้น ช่วยให้เด็กสามารถทบทวนบทเรียนได้ด้วยตนเอง และช่วยนักเรียนได้ฝึกฝนได้เต็มที่นอกเหนือจากที่เรียนในบทเรียน

4. ผลจากการสัมภาษณ์นักศึกษาที่เรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรตนักศึกษาทุกคนมีความพึงพอใจมาก ไม่ว่าจะเป็นในด้านสถานที่ที่จัดกิจกรรมการเรียนการสอน ด้านชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 2 เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ยกเว้นในด้านของผู้สอน ที่นักศึกษามีความพึงพอใจน้อย เนื่องจากผู้สอนบางท่านมีความรู้ความสามารถไม่พอที่จะอธิบายหรือตอบคำถามผู้เรียนเข้าใจได้ซึ่งขัดแย้งกับผลของแบบสอบถาม เนื่องจากการสัมภาษณ์จะทำให้นักศึกษากล้าแสดงความคิดเห็นมากกว่าการทำแบบสอบถาม

4. สรุปผลการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ก่อนเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0 แต่หลังจากใช้กิจกรรมการเรียนรู้แล้ว ได้คะแนนเฉลี่ย 12.38 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.981 และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2. นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 30.31

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้ชุดฝึกทักษะอยู่ในระดับสูง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ทิศนา แขมมณี. 2550. **ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.** (พิมพ์ครั้งที่ 5.) สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[2] วรรณี โสมประยูร. 2540. **วิธีสอนแบบวรรณี.** แซทโพร์ พริ้นติ้ง. กรุงเทพฯ.

[3] เผชิญ กิจระการ. *2546*. **ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้.**[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.nanabio.com/Research/image%20research/research%20work/Plan/Plan01.htmlวันที่สืบค้น 2559, มีนาคม 11.

[4] ดวงเดือน อ่อนน่วม. 2531. **การสอนซ่อมเสริมคณิตศาสตร์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[5] ประทีป แสงเปี่ยมสุข. 2538. **แนวการสร้างแบบฝึกสะกดคำยาก**. สารพัฒนาหลักสูตร. 11, 2 (เมษายน-มิถุนายน 2538): 53.

การวัดดัชนีหักเหของของเหลวโดยใช้เทคนิคมุมเบี่ยงเบนทางแสง
Measurement of Refractive Index of Liquid using Angle of DeviationTechnique

สิริพร หอวังปอ* สืบตระกูล สุชาติ เจษฎา ประทุมสิทธิ์ อาทิตย์ สารสมบูรณ์ วารุณี เกิดแสง ประธาน ประจวบโชค และ วุฒิชัย แพงาม

Siriporn Howangpor* Suebtarkul Suchat Jedsada Prathumsit Arthit Sansomboon Warunee Kerdsang Prathan Prachopchok and Wuttichai Phaengam

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
***Corresponding author:** siriporn6669@gmail.com

บทคัดย่อ

ดัชนีหักเห (n) เป็นสมบัติทางแสงอย่างหนึ่งที่สำคัญซึ่งสามารถหาได้หลายวิธีงานวิจัยนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว โดยอาศัยการหักเหของแสงเลเซอร์ผ่านตัวกลางต่างชนิด ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ปริซึมสามเหลี่ยมด้านเท่ากลวงสำหรับใส่ของเหลวที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเหและฉากสำหรับหาตำแหน่งการหักเหของแสงเลเซอร์ สำหรับการคำนวณหาค่าดัชนีหักเหจากชุดทดลองนี้ใช้เพียงระยะห่างของปริซึมกับฉาก ระยะของแสงหักเหบนฉากและมุมเบี่ยงเบนน้อยที่สุด จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าค่าดัชนีหักเหของของเหลว ได้แก่ น้ำ กลีเซอรีน น้ำมันพืช น้ำเชื่อม และน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 650 nm มีค่าประมาณ 1.329 ± 0.010, 1.471 ± 0.010 1.466 ± 0.009 1.411 ± 0.011 และ 1.448 ± 0.019 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ดัชนีหักเห มุมเบี่ยงเบน เลเซอร์ปริซึม

Abstract

Refractiveindex (n) is an optical property which can be measured by various methods. The objective of this work was to design and fabricate apparatus for refractive index measurement using the laser refracted light through different media. The apparatus was composed of laser light source, transparent hollow glass prism for fill the desired liquid for refractive index measurement and the screen for identified the refracted laser beam position. The refractive index determined from this apparatus was used only, distance of prismto the screen, the distance of refracted laser beam on the screen and the angle of deviation. The measurements the refractive index of water, glycerin, vegetable oil, syrup and honey were found to be aboutat wavelength 650 nm, 1.329 ± 0.010, 1.471 ± 0.010, 1.466 ± 0.009, 1.411 ± 0.011 and 1.448 ± 0.019 respectively

Keywords: Refractiveindex, angle of deviation, Laser, Prism

1.บทนำ

จากในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการวิจัยมากมายเกี่ยวกับการวัดค่าดัชนีหักเหของน้ำ กลีเซอรีน เอทิลแอลกอฮอล์แก้ว ซูโครสโซเดียมคลอไรด์กลูโคส น้ำตาลทราย และน้ำกลั่น โดยมีจุดประสงค์เพื่อวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลวได้ตามที่ต้องการ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่างานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์และการวัดค่า ดัชนีหักเหของของเหลว ดังนี้

ในปี พ.ศ.2556 ผิวผ่อง ทมานนท์ และคณะ[1] ได้ออกแบบและสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของ

ของเหลว โดยอาศัยกฎของสเนลล์และ การหักเหของแสงเลเซอร์เมื่อผ่านตัวกลางต่างชนิด ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ กล่องกระจกใสสำหรับใส่ของเหลวที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเห กระจกเงาสะท้อนแสงสำหรับทำให้เกิดการหักเหของแสงเลเซอร์ และฉากสำหรับหาตำแหน่งการหักเหของแสงเลเซอร์ สำหรับการคำนวณหาค่าดัชนีหักเหจาก ชุดทดลองนี้ใช้เพียงระยะห่างของกล่องกระจกใสกับฉาก ความสูงของแสงหักเหบนฉากและมุมระหว่างกระจกเงากับแนวแสงเลเซอร์ พบว่าค่าดัชนีหักเหของของเหลว 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ กลีเซอรีน และเอทิลแอลกอฮอล์ มีค่าประมาณ 1.30-1.33, 1.43-1.49 และ 1.26–1.27 ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2541 ณภัทร พิชญ์ภพ [2] ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหและความเข้มข้นของสาร ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถทำการวัดได้ เพื่ออธิบายปฏิกิริยาการเดินทางผ่านตัวกลางของแสง โดยการนำสารละลายที่เตรียมได้ใส่ปริซึมที่มีหน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วผ่านแสงเลเซอร์เข้าไปในปริซึมวัดมุมเบี่ยงเบนน้อยสุดที่เกิดจากการหักเหของแสง เนื่องจากมุมเบี่ยงเบนส่งผลโดยตรงกับการกระจัดที่เกิดขึ้นบนฉาก ในการเปลี่ยนมุมตกกระทบก็ใช้การหมุนแก้วปริซึมจนได้มุมเบี่ยงเบนน้อยสุด แล้วจึงทำการวัดมุมเบี่ยงเบนดังกล่าว ในปี ค.ศ. 1988 มัชมูด บิน มัทยูนัส และคณะ (W. Mahmood bin Mat Yunus and Azizan bin Abdul Rahman) [3] ได้ทำการทดลองหาดัชนีหักเหของซูโครส โซเดียมคลอไรด์ กลูโคส โดยใช้วิธีการหามุมเบี่ยงเบนต่ำสุดผ่านแก้วปริซึมกลวงด้านเท่ากันหมด ผลที่ได้สามารถบอกความแตกต่างได้

จากรูปแบบต่างๆ ของการวัดค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่า การวัดดัชนีหักเหของของเหลวด้วยเทคนิคการหักเหแสง และใช้ปริซึมสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วผ่านแสงเลเซอร์เข้าไปในปริซึมวัดมุมเบี่ยงเบนน้อยที่สุดเกิดจากการหักเหของแสง เป็นหลักการที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้อย่างกว้างขวางจึงเลือกใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุอุปกรณ์ (materials)

- เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีความยาวคลื่น 405 nm (แสงสีม่วง) 532 nm (แสงสีเขียว) และ 650 nm (แสงสีแดง)

- แก้วปริซึมกลวงที่มีมุมภายในเท่ากัน 60 องศา ฉากสำหรับรับแสง

- ของเหลวที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเห เช่น น้ำ กลีเซอรีน น้ำมันพืช น้ำเชื่อม และน้ำผึ้ง

- แท่นรองปริซึมที่ปรับหมุนได้

2.2 วิธีการ (methods)

จัดชุดทดลองตามภาพที่ 1 โดยใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นแสง 405 nm 530 nm และ 650 nm โดยจัดให้แสงจากเลเซอร์ไดโอดผ่านแก้วปริซึมสามเหลี่ยมด้านเท่ากลวงไปยังฉากรับแสงที่อยู่ถัดไป ใส่ของเหลวที่ต้องการวัดค่าดัชนีหักเห เช่น น้ำ กลีเซอรีน น้ำมันพืช น้ำเชื่อม และน้ำผึ้งลงในปริซึม สังเกตแสงที่เดินทางเข้าไปในของเหลวแสงจากเลเซอร์เมื่อตกกระทบปริซึมแล้วส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกไป แสงอีกส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าไปในปริซึม และเกิดการหักเหของแสงขึ้นจากตัวกลางที่เป็นของเหลวภายในแก้วปริซึมนั้นออกสู่อากาศไปตกบนฉาก ซึ่งให้วางห่างออกไปเป็นระยะทางL จากนั้นทำการปรับหมุนปริซึมให้มีค่ามุมตกกระทบต่างๆ กับแนวแสงเลเซอร์ โดยให้ได้ระยะ x มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นทำการวัดระยะ x เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ามุมการเบี่ยงเบนน้อยที่สุด $\delta_{\min}$ ตามสมการที่ (1)

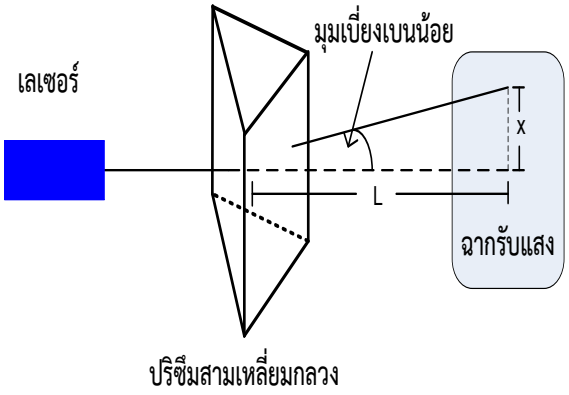
$$\delta_{\min} = \tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right) \qquad (1)$$

เมื่อ x คือ ระยะการหักเหของแสงน้อยที่สุด
L คือ ระยะทางจากปริซึมถึงฉากรับแสง

จากนั้นนำค่า $\delta_{\min}$ ไปหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวจากสมการที่ (2)

$$\mathrm{n} = \frac{\sin\left(\frac{\phi + \delta_{\min}}{2}\right)}{\sin(\phi/2)} \qquad (2)$$

เมื่อ n คือ ค่าดัขนีหักเหของตัวกลาง
ϕ คือ มุมภายในของปรีซึม



ภาพที่ 1 การจัดชุดทดลองวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลวโดยใช้มุมเบี่ยงเบนน้อยที่สุด

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลจากการทดลองวัดค่าดัชนีหักเหแสงของของเหลวที่ความยาวคลื่น 405 nm 530 nm และ 650 nmตามลำดับ โดยที่แสงตกกระทบที่แก้วของปริซึมที่มีของเหลวอยู่แล้วหักเหจากแนวเดิมออกสู่อากาศไปตกยังฉากรับแสงวัดค่าระยะการหักเหน้อยที่สุด (x) และระยะจากปริซึมถึงฉาก (L) ไปแทนค่าในสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่ความยาวคลื่นแสงต่างกัน

ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ (nm)	ชนิดของของเหลว	มุมเบี่ยงเบนน้อยที่สุด	ค่าดัชนีหักเหจากการทดลอง
405	น้ำ	23.99 ± 0.50	1.338 ± 0.006
	กลีเซอรีน	35.18 ± 1.03	1.477 ± 0.012
	น้ำมันพืช	36.01 ± 0.80	1.486 ± 0.009
	น้ำเชื่อม	28.25 ± 0.87	1.411 ± 0.010
	น้ำผึ้ง	33.55 ± 2.94	1.463 ± 0.025
532	น้ำ	24.08 ± 0.52	1.339 ± 0.007
	กลีเซอรีน	35.15 ± 0.42	1.476 ± 0.005
	น้ำมันพืช	34.99 ± 0.97	1.474 ± 0.011
	น้ำเชื่อม	29.77 ± 0.74	1.412 ± 0.011
	น้ำผึ้ง	31.72 ± 0.83	1.435 ± 0.010
650	น้ำ	23.30 ± 0.74	1.329 ± 0.010
	กลีเซอรีน	34.83 ± 0.79	1.471 ± 0.010
	น้ำมันพืช	34.24 ± 0.73	1.466 ± 0.009
	น้ำเชื่อม	29.72 ± 0.88	1.411 ± 0.011
	น้ำผึ้ง	32.77 ± 1.62	1.448 ± 0.019

ในการวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลว โดยใช้เทคนิคมุมเบี่ยงเบนน้อยนี้ เมื่อทำการคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวดังกล่าวที่ได้จากการทดลองแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นความแตกต่างของผลการทดลองกับค่ามาตรฐานน้อยมาก ยกเว้นน้ำมันพืช น้ำเชื่อม และน้ำผึ้ง ที่ไม่สามารถหาเปอร์เซ็นความแตกต่างได้เนื่องจากไม่มีค่ามาตรฐาน

จากการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวชนิดต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดหาค่าของน้ำผึ้งว่าแท้หรือไม่แท้ โดยเปรียบเทียบกับค่าของน้ำเชื่อมหรือสารที่ผสมในน้ำผึ้ง

4. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี ได้แสดงการวัดดัชนีหักเหแสง ของน้ำ กลีเซอรีน น้ำมันพืช น้ำเชื่อม และน้ำผึ้ง ที่ความยาวคลื่นแสง 405 nm 532 nm และ 650 nm โดยใช้เทคนิคมุมเบี่ยงเบนน้อยร่วมกับกฎของสเนลล์ ทำให้การวัดค่ามีความสะดวกรวดเร็วและทำให้สามารถวัดค่าดัชนีหักเหของน้ำ กลีเซอรีน น้ำมันพืช น้ำเชื่อม และ น้ำผึ้งที่ต่างกันได้ โดยมีผลที่น่าพอใจอีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงหรือประยุกต์ชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปวัดหาค่าน้ำผึ้งแท้ วัดค่าดัชนีหักเหของของเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ โดยเพิ่มชุดให้ความร้อนและชุดตรวจวัดอุณหภูมิ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องเครื่องมือและสถานที่ทำงานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] ผิวผ่อง ทมานนท์ และ นิรันดร์ วิทิตอนันต์. 2556. **การวัดดัชนีหักเหของของเหลวด้วยเทคนิคการหักเหแสง**. มหาวิทยาลัยบูรพา คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์, 2556, หน้า 29-295.

[2] ณภัทร พิชญ์ภพ. 2541.**การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหและความหนาแน่นของสาร.** โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ มัธยมปลาย หมวดวิชาฟิสิกส์.

[3] W. Mahmood bin Mat Yunus and Azizan bin Abdul Rahman. 1987. **Refractive index of solutions at high concentrations**. PP. 3314–3343 (refractive_index_conc.pdf)

สัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของละอองเรณูของพืชดอกที่พบในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Pollen Morphology, Viability and Germination in Some Flowering Plant found in Phranakhon Rajabhat University

นันทิกานต์ ส่งละออง และ วชิราภรณ์ ฟูนัน*
Nantikan Songlaong and Wachiraporn Phoonan*

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
***Corresponding author:** wachiraporn_da@hotmail.com

บทคัดย่อ

การตรวจสอบคุณภาพและความแข็งแรงของละอองเรณูมีความสำคัญต่อกระบวนการปรับปรุงพันธุ์พืชโดยเฉพาะไม้ผลหรือพืชที่ต้องการเมล็ดพันธุ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของละอองเรณูของไม้ดอกเศรษฐกิจที่พบภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า ละอองเรณูของดอกไม้ที่ศึกษาส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมรี ผิวผนังชั้นนอกเป็นแบบเรียบ และมีสีเทา โดยพบว่าละอองเรณูของพืชดอกในวงศ์เดียวกันมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณูโดยการย้อมสีอะซีโตคาร์มีน พบพืชแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 95.19-97.83% โดยพุดพิชญาเป็นพืชที่มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงที่สุด การทดสอบการงอกพบการงอกของหลอดเรณูของพืชเพียง 4 ชนิด คือ กระดุมทองเลื้อย ชวนชม พุดพิชญา และแพงพวย โดยแพงพวยมีอัตราการงอกและมีความเร็วในการงอกมากที่สุดในสารละลายน้ำตาลซูโครสทุกความเข้มข้นงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาอนุกรมวิธานของพืชดอก วิวัฒนาการของพืช และสามารถประยุกต์ใช้การปรับปรุงพันธุ์พืชและเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ได้

คำสำคัญ: การงอก ความมีชีวิต ละอองเรณู สัณฐานวิทยา

Abstract

Investigation of pollen quality and vigoris importantfor plant breeding process, especially fruit tree or seed plant. This research aimed to study pollen morphology, viability and germination of economic flowering plants found in PhranakhonRajabhat University. The morphology study indicated most of studied flowers have oblate in shape, external surface with smooth type, and cyan-color. Plant in same family trended to have similarity in pollen morphology. Pollen viability test with acetocarmine staining showed the viability percentage of each plant not differentin range of 95.19-97.83%.*Wrightiaantidysentericas*howed the highest viability. The pollen tubes of 4 species including *Wedelia trilobata*, *Adeniu mobesum*, *Wrightia antidysenterica* and *Catharanthus roseus* had ability to germinate. Pollen of *Catharanthus roseus* showed the highest in germination percentage and rate in all concentrations of sucrose solutions. This research could be used as the preliminary data for studies in plant taxonomy and evolution and further application in plant breeding and seed technology.

Keywords: Germination, Morphology, Pollen, Vitality

1. บทนำ

ละอองเรณู (pollen grains) เป็นเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ของพืชดอก อยู่ในอับเรณู (anther) ของเกสรตัวผู้ เมื่อแก่เต็มที่อับเรณูจะแตกออก ทำให้ละอองเรณูที่อยู่ภายในถูกพาไปปฏิสนธิกับไข่ ซึ่งเป็นเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย โดยอาศัยกระแสลม กระแสน้ำ แมลง มนุษย์ และสัตว์อื่นๆ ลักษณะสัณฐานของละอองเรณูมีความจำเพาะ สามารถใช้ตรวจสอบเอกลักษณ์ได้ในระดับวงศ์ สกุล และชนิดของพืชจึงมีประโยชน์ในแง่เป็นตัวบ่งชี้การอพยพและแหล่งอาหารของแมลงผสมเกสรการศึกษาทางอนุกรมวิธานของพืช และการศึกษาวิวัฒนาการของพันธุ์พืช [1] นอกจากนี้ละอองเรณูยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์พืชโดยวิธีการผสมเกสร การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช หรือการเก็บรักษาละอองเรณูข้ามฤดู จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์และคุณภาพของละอองเรณูก่อนนำมาใช้งาน [2] การทดสอบความมีชีวิต การทดสอบความแข็งแรงของละอองเรณูจากอัตราเร็วและเปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณู จึงเป็นวิธีการที่สะดวกและนิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของละอองเรณู[3]

รายงานก่อนหน้านี้ พบมีการศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู และการงอกของหลอดเรณู (pollen tube) ในพืชเศรษฐกิจต่างๆ ทั้งไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ผล หรือพืชที่ผลิตเมล็ดพันธุ์รายงานวิจัยหนึ่งทดสอบความมีชีวิตของละอองเรณูของพืชดอก 15 ชนิดด้วยการย้อมสีอะซีโตคาร์มีน พบว่าเฟื่องฟ้ามีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงสุด ส่วนดาวกระจายมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตต่ำที่สุดและพบว่ามีละอองเรณูของพืชดอกเพียง 5 ชนิดเท่านั้นที่หลอดเรณูงอกในสารละลายน้ำตาลซูโครสได้ คือ พุดเศรษฐีสยาม พุดพิชญา เข็มแดง หิรัญญิการ์ และแพงพวย โดยที่พุดเศรษฐีสยามมีอัตรางอกสูงสุด ในขณะที่เข็มแดงมีอัตราการงอกต่ำสุด ทั้งนี้เรณูของพืชทั้ง 5 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตไม่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การงอก[4]

วิธีการทดสอบความมีชีวิตของละอองเรณูจะใช้วิธีการย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิด แต่รายงานส่วนใหญ่นิยมใช้สีอะซีโตคาร์มีน (acetocarmine) ในการย้อม [5][6][7][8]เนื่องจากสีอะซีโตคาร์มีนเป็นสีที่นิยมใช้ย้อมสารพันธุกรรมของเซลล์ เซลล์ที่มีชีวิตจะติดสีชนิดนี้เข้มกว่าเซลล์ที่ตายไปแล้วเพราะสารพันธุกรรมจะเสื่อมสภาพไป[9]ส่วนวิธีการทดสอบการงอกของหลอดเรณูของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป มีรายงานพบว่าละอองเรณูขององุ่น[5]ส้มโอ[6]ทุเรียน[7]และมะละกอ[8]สามารถงอกหลอดเรณูได้ดีในอาหารสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส10% ส่วนดอกเม่าหลวง สามารถงอกได้ดีที่ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส 5%[10]พืชบางชนิด เช่น ส้มเปลือกล่อน (*Citrus reticulata* Blanco) สามารถงอกได้ทั้งในสารละลายซูโครสและน้ำกลั่น [9]

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกพืชทดลอง จำนวน 10 ชนิด ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในฐานะไม้ดอกไม้ประดับที่สำคัญ ซึ่งใช้เมล็ดในการขยายพันธุ์ คือ กระดุมทองเลื้อย แก้ว ชบา ชวนชม ต้อยติ่ง บานบุรีสีม่วง พลับพลึง พุดพิชญา แพงพวย และลีลาวดี เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของละอองเรณู ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำไปใช้ในการศึกษาทางเซลล์วิทยา อนุกรมวิธาน สัณฐานวิทยา วิวัฒนาการ เมล็ดพันธุ์วิทยา และประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้ต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเก็บตัวอย่างละอองเรณูจากพืชดอก 10 ชนิด

ทำการเก็บดอกไม้ของพืชที่ศึกษา 10 ชนิด ที่บานในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประกอบด้วย กระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) Hitchc. :Compositae) แก้ว (*Murraya paniculata* (L.) Jack.:Rutaceae) ชบา (*Hibiscus rosa- sinensis* L.: Malvaceae) ชวนชม (*Adenium obesum* Balf.: Apocynaceae) ต้อยติ่งฝรั่ง (*Ruellia squarrosa* (Fenzi) Cufod.: Acacthaceae) บานบุรี(*Saritaea magnifica* Duyand.: Bignoniaceae) พลับพลึง(*Crinum asiaticum* L.: Amaryllida) พุดพิชญา (*Wrightia antidysenterica* R. Br.: Apocynaceae) แพงพวย (*Catharan thusroseus* G. Don.: Apocyanceae) และลีลาวดี (*Plumeri*a spp.: Apocyanceae) ที่ช่วงเวลา 9.00-10.00น. แล้วนำมาแยกละอองเรณูในห้องปฏิบัติการทันที

2.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของละอองเรณู

ทำการตัดส่วนที่เป็นอับเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดมาจำนวน 2 อับเรณู วางบนแผ่นสไลด์ หยดน้ำกลั่นลงไป1-2 หยด และใช้ปากคีบบีบขยี้เบาๆ ให้ละอองเรณูกระจายออกมา แล้วเขี่ยส่วนที่เป็นอับเรณูทิ้ง ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วนำไปส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า บันทึกภาพและลักษณะรูปร่างของละอองเรณูของพืชแต่ละชนิด

2.3 การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู

ทำการตัดส่วนที่เป็นอับเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดมาจำนวน 5 อับเรณู วางบนแผ่นสไลด์ ทำการทดลองชนิดละ 5 สไลด์หยดสารละลายอะซีโตคาร์มีนความเข้มข้น 5% จำนวน 1-2 หยด ลงไปบนแผ่นสไลด์จากนั้นใช้ปากคีบ ขยี้อับเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดเบาๆ ให้ละอองเรณูกระจายออกมา เขี่ยส่วนอับเรณูทิ้งแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้ละอองเรณูติดสีได้ดีขึ้น นำไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า จากนั้นสุ่มนับการติดสีของละอองเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดใน 5 บริเวณ ต่อ 1 สไลด์ ละอองเรณูที่มีชีวิตจะย้อมติดสีแดงจนถึงสีส้มเหลือง ขึ้นอยู่อยู่กับชนิดของพืช และละอองเรณูต้องมีขนาดโต ผิวเรียบไม่บิดเบี้ยว ส่วนละอองเรณูที่ไม่ติดสีย้อมจัดเป็นละอองเรณูที่ไม่มีชีวิต จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละความมีชีวิตของละอองเรณูของดอกไม้แต่ละชนิด

2.4 การศึกษาการงอกของหลอดละอองเรณู

ทำการตัดส่วนที่เป็นอับเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดมาจำนวน 5 อับเรณูต่อสไลด์วางบนแผ่นสไลด์หลุมที่หยดสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ (1) ชุดน้ำกลั่น (2) ชุดสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5%(3) ชุดสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10% และ (4) ชุดสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 15% จากนั้นใช้ปากคีบขยี้อับเรณูให้ละอองเรณูกระจายออกมา เขี่ยส่วนที่เป็นอับเรณูทิ้งไป แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้น นับจำนวนละอองเรณูของดอกไม้แต่ละชนิดที่งอกภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยทำการสุ่มนับละอองเรณู 5 บริเวณต่อ 1 สไลด์ จำนวน 5 สไลด์ต่อชนิด โดยละอองเรณูที่งอกต้องมีลักษณะของหลอดละอองเรณูสมบูรณ์ มีความยาวของหลอดมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองเรณู หลังจากนั้นคำนวณร้อยละการงอกของละอองเรณูของพืชแต่ละชนิด

2.5 การศึกษาความเร็วในการงอกของหลอดละอองเรณู

นำละอองเรณูของดอกไม้ 4 ชนิด ที่มีการงอกของหลอดเรณูมาศึกษาความเร็วในการงอกในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 15% บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และสังเกตการงอกทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมงพร้อมนับละอองเรณูของดอกไม้ทั้ง 4 ชนิดที่มีการงอกของหลอดเรณูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า สุ่มนับละอองเรณู 5 บริเวณต่อ 1 สไลด์ หลังจากนั้นคำนวณร้อยละการงอกของละอองเรณูของพืชแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ และเปรียบเทียบความเร็วในการงอก

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูของพืชที่ศึกษา

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูพืชที่นำมาศึกษา 10 ชนิด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าพืชที่นำมาทดลองมีลักษณะรูปร่างของละอองเรณูแตกต่างกัน สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้ คือ ละอองเรณูที่มีรูปร่างกลม ได้แก่ กระดุมทองเลื้อย แก้ว ต้อยติ่งฝรั่ง และแพงพวย ละอองเรณูที่มีรูปร่างกลมรี ได้แก่ ชบา ชวนชม บานบุรีสีม่วง พุดพิชญา และลีลาวดี ส่วนละอองเรณูที่มีรูปร่างเป็นแบบกระสวยคือ พลับพลึง เมื่อสังเกตลักษณะของผิวชั้นนอก พบว่ามีลักษณะแตกต่างกัน บางชนิดผิวของผนังชั้นนอกขรุขระหรือเป็นหนาม ได้แก่ กระดุมทองเลื้อย ชบา ต้อยติ่งฝรั่ง และพลับพลึง บางชนิดผิวของผนังชั้นนอกเรียบ ได้แก่ แก้ว ชวนชม บานบุรีสีม่วง พุดพิชญา แพงพวย และลีลาวดี ผลการศึกษาสีของละอองเรณูแบ่งได้เป็น กลุ่มสีเหลือง ได้แก่ ชบา และลีลาวดี ส่วนกลุ่มสีเทา ได้แก่ กระดุมทองเลื้อย แก้ว ชวนชม ต้อยติ่งฝรั่ง บานบุรีสีม่วง พลับพลึง พุดพิชญา และแพงพวย จากการศึกษาสัณฐานในเบื้องต้นนี้ พบว่า พืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน คือ Apocynaceaeได้แก่ ชวนชม พุดพิชญา แพงพวย และลีลาวดี มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูที่ใกล้เคียงกัน คือ มีรูปร่างกลมรี ผนังชั้นนอกเรียบ และส่วนใหญ่มีสีเทา ยกเว้นลีลาวดีซึ่งมีสีเหลือง(ภาพที่ 1)ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าลักษณะสัณฐานของไม้ดอกไม้ประดับ 15 ชนิดส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมรี ผิวเรียบ และเป็นสีเทา[4] โดยความแตกต่างในลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิดทำให้สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของพืชดอกได้ [1]

3.2 ความมีชีวิตของละอองเรณู

เมื่อย้อมละอองเรณูของพืชทั้ง 10 ชนิดด้วยสีอะซีโตคาร์มีนพบว่าเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตเฉลี่ยส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน โดยพุดพิชญามีค่าความมีชีวิตของละอองเรณูสูงสุดที่ 97.83%รองลงมา คือ ชบา ลีลาวดี กระดุมทองเลื้อย แพงพวย บานบุรีสีม่วง ต้อยติ่งฝรั่ง แก้ว ชวนชม และพลับพลึง ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งพบว่าค่าความมีชีวิตของพุดพิชญาและแพงพวยสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ในขณะที่ค่าความมีชีวิตของชบาไม่สอดคล้อง ซึ่งอาจมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง[4]

3.3 การงอกของหลอดละอองเรณู

จากการศึกษาการงอกของหลอดละอองเรณูของพืชดอก 10 ชนิด โดยใช้น้ำกลั่นและสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5, 10 และ 15% ที่เวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มีการงอกของหลอดเรณูของพืชเพียง 4 ชนิดจาก 10 ชนิดคือ พุดพิชญา แพงพวย กระดุมทองเลื้อยและชวนชม โดยพุดพิชญาและแพงพวยสามารถงอกได้ทั้งในน้ำกลั่นและสารละลายที่มีน้ำตาล โดยแพงพวยมีอัตราการงอกสูงสุดในทุกความเข้มข้น (94.24, 93.50, 93.58 และ 93.50% ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในขณะที่หลอดเรณูของกระดุมทองเลื้อยและชวนชมสามารถงอกได้ในสารละลายที่มีน้ำตาลเท่านั้นส่วนพืชที่ไม่มีการงอกของหลอดเรณูงอก ได้แก่ แก้ว ชบา ต้อยติ่งฝรั่ง บานบุรีสีม่วง พลับพลึง และลีลาวดี นอกจากนี้ยังพบว่าละอองเรณูของพืชดอกทุกชนิดที่งอกได้มีค่าการงอกสูงสุดที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส 15% (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตเฉลี่ยของละอองเรณูของพืชดอก 10 ชนิด ที่ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า

ชนิดพืช	% ความมีชีวิตเฉลี่ยของละอองเรณู (n=5)[1]
1. กระดุมทองเลื้อย	96.87^{ab} ± 1.00
2. แก้ว	96.33^{ab}± 1.07
3. ชบา	97.49^{b} ± 0.33
4. ชวนชม	96.31^{ab}± 1.22
5. ต้อยติ่งฝรั่ง	96.49^{ab} ± 1.95
6. บานบุรีสีม่วง	96.68^{ab} ± 0.77
7. พลับพลึง	95.19^{a} ± 2.00
8. พุดพิชญา	97.83^{b}± 1.40
9. แพงพวย	96.80^{ab} ± 1.27
10. ลีลาวดี	97.13^{ab}± 1.27

[1]ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% (P≤ .05) (วิธีวิเคราะห์แบบ Duncan)

ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ยของละอองเรณูของพืช 10 ชนิด ที่เลี้ยงในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

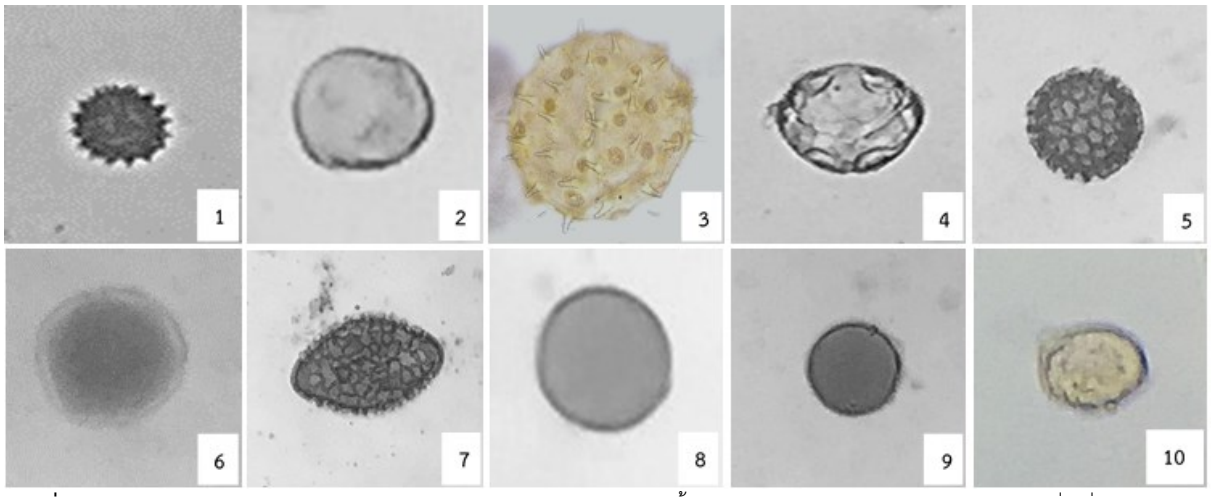
ชนิดพืช	อัตราการงอกเฉลี่ย (%) (n=5) ที่น้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ[1]			
	0% (น้ำกลั่น)	5%	10%	15%
1. กระดุมทองเลื้อย	-	$91.13^{bc} \pm 3.45$	$92.36^{cde} \pm 5.67$	$91.80^{cde} \pm 3.01$
2. แก้ว	-	-	-	-
3. ชบา	-	-	-	-
4. ชวนชม	-	$91.17^{bcd} \pm 2.82$	$90.35^{bc} \pm 3.68$	$86.64^{a} \pm 2.33$
5. ต้อยติ่งฝรั่ง	-	-	-	-
6. บานบุรี	-	-	-	-
7. พลับพลึง	-	-	-	-
8. พุดพิชญา	$86.15^{bc} \pm 4.96$	$89.37^{b} \pm 1.81$	$89.01^{ab} \pm 3.88$	$90.92^{bcd} \pm 3.19$
9. แพงพวย	$94.24^{e} \pm 2.79$	$93.50^{de} \pm 0.62$	$93.58^{de} \pm 1.79$	$93.50^{de} \pm 1.98$
10. ลีลาวดี	-	-	-	-

[1]ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% ($P \leq .05$) (วิธีวิเคราะห์แบบ Duncan)

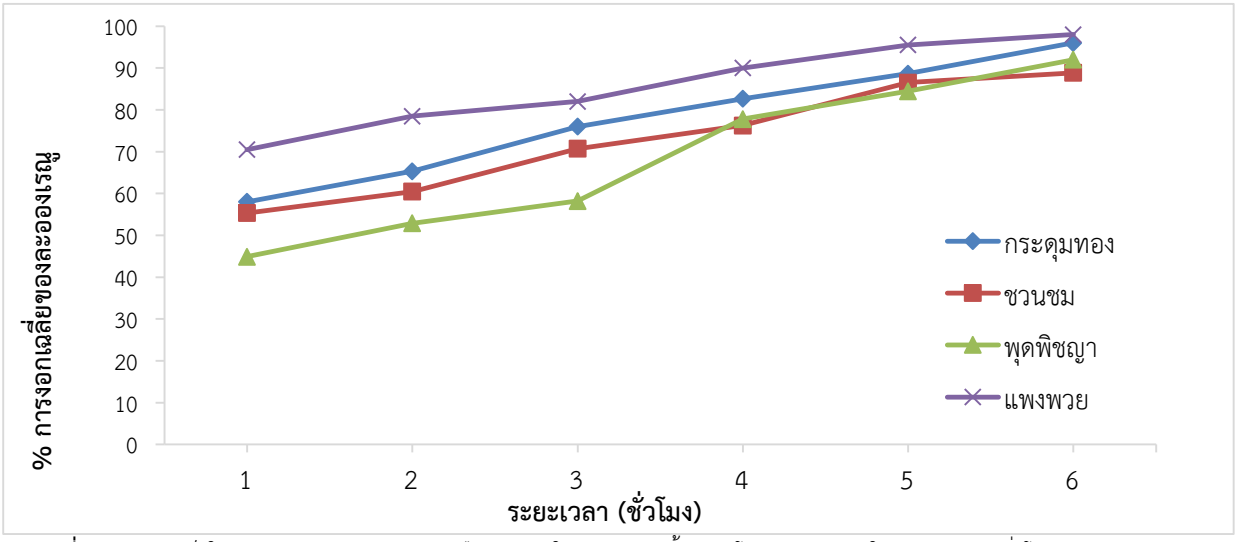
จากผลการทดลองละอองเรณูของพืชดอกที่นำมาศึกษามีเพียง 4 ชนิดจาก 10 ชนิดเท่านั้นที่สามารถงอกหลอดเรณูได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าละอองเรณูของพืชดอกทั้งหมด 15 ชนิด มีเพียง 5 ชนิด ที่สามารถงอกได้ในสารละลายน้ำตาลซูโครสทุกความเข้มข้นแต่มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การงอกและเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตไม่มีความสัมพันธ์กัน[4]การที่หลอดละอองเรณูของพืชแต่ละชนิดจะงอกบนยอดเกสรตัวเมียได้ จะมีความต้องการปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนไม่เท่ากัน[1] จากการศึกษานี้พบว่าหลอดเรณูของพุดพิชญาและแพงพวยสามารถงอกได้ในน้ำกลั่น แต่เปอร์เซ็นต์การงอกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในสารละลายที่มีน้ำตาล ส่วนหลอดเรณูของกระดุมทองเลื้อยและชวนชมต้องอาศัยน้ำตาลในการงอกเท่านั้น จะเห็นได้ว่า น้ำตาลซูโครสน่าจะมีความสำคัญต่อการงอกของหลอดละอองเรณู อย่างไรก็ตาม มีพืชอีก 6 ชนิด ที่พบว่าละอองเรณูไม่งอก ซึ่งอาจมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น อาจใช้ระยะเวลาในการงอกนาน หรือมีความต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อใช้ในการงอก เป็นต้น

3.4 ความเร็วในการงอกของหลอดละอองเรณู

จากการนำพืช 4 ชนิดที่มีการงอกของหลอดเรณู มาศึกษาความเร็วในการงอกของหลอดละอองเรณูในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 15% เป็นเวลา 6 ชั่วโมงพบว่าละอองเรณูของแพงพวยสามารถงอกได้อย่างรวดเร็ว (ภายในเวลา 15 นาที) โดยที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าพืชชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq .05$) ส่วนพุดพิชญา กระดุมทองเลื้อยและชวนชม จะมีการงอกของหลอดเรณูหลังจากบ่มไว้ 1 ชั่วโมง และพบว่าอัตราการงอกจะมีค่าสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 ลักษณะรูปร่างและสีของละอองเรณูของพืชดอก 10 ชนิด : กระดุมทองเลื้อย (1); แก้ว (2); ชบา (3); ชวนชม (4); ต้อยติ่งฝรั่ง (5); บานบุรี สีม่วง (6); พลับพลึง (7); พุดพิชญา (8); แพงพวย (9); และลีลาวดี (10)



ภาพที่ 2 อัตราการเร็วในการงอกของละอองเรณูของพืช 4 ชนิด ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 15% ภายในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

4. สรุปผลการวิจัย

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชดอกที่ศึกษา 10 ชนิด คือ กระดุมทองเลื้อย แก้ว ชบา ชวนชม ต้อยติ่งฝรั่ง บานบุรี พลับพลึง พุดพิชญา แพงพวย และลีลาวดี ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมรี ผิวผนังชั้นนอกเรียบ และมีสีเทา โดยพืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกันจะมีลักษณะละอองเรณูที่คล้ายกัน จากการใช้สีย้อมอะซีโตคาร์มีนพบพืชแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 95.19-97.83% โดยพุดพิชญาเป็นพืชที่มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงที่สุด ในขณะที่แพงพวยเป็นพืชที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณูสูงที่สุดและเร็วที่สุด จากพืชที่มีการงอกเพียง 4 ชนิดข้อมูลในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาทางอนุกรมวิธานพืช และนำเทคนิคไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] ลาวัลย์ รักสัตย์. 2539. **ละอองเรณู.**โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

[2] Melekber sulusoglu and Aysun Cavusoglu. 2014. ***In vitro*** **pollen viability and pollen germination in Cherry laurel**

(*Prunuslaurocerasus* L.). *The Scientific World Journal,* 1-7.

[3] อาภรณ์ กรุดนาค. 2554. **การเพาะเลี้ยงอับเรณูและผลของโบรอนต่อคุณภาพละอองเรณูของทานตะวัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] กรณ์ กรภัทรชัยกุล, ไชหนับ ยู่โซะ, ทิพวรรณ คงอินทร์ และรูซีลา สะลูโว๊ะ. 2558.**สัณฐานวิทยา ความมีชีวิตและการงอกของเรณูพืชดอก 15 ชนิด.** สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎรธานี.

[5] เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์,สุนี ดาแลหมันและรวี เสรฐภักดี. 2551. **อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาละอองเกสรอุ่น.** ว.วิทย์.กษ., 39(3)(พิเศษ): 36-39.

[6] ดรุณี ถาวรเจริญ, พงษ์นาถ นาถวรานันต์ และเกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์. 2556**. ผลของชนิดช่อดอกต่อความมีชีวิตและความงอกของละอองเกสรและการติดผลของส้มโอพันธุ์ 'ทองดี' ในช่วงการผลิตในฤดูกาล.** ว.วิทย์.กษ., 44(2)(พิเศษ): 385-388.

[7] พิชัย ใจกล้า. 2558. **ความมีชีวิตและการเก็บรักษาละอองเรณูทุเรียนที่ปลูกในจังหวัดอุตรดิตถ**. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 24(1): 89-99.

[8] สุพรพรรณ ศรีมาศ, กฤษณี เอี่ยมจัด, สิริกุล วะสี และเกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์. 2557. **ผลของฤดูกาลต่อความมีชีวิตและความงอกของละอองเกสรมะละกอ.** แก่นเกษตร,42 (ฉบับพิเศษ3):174-179.

[9] นิติญา แจ้งกระจ่าง, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และวิทยา สาธรวิริยะพงศ์. 2549. **สัณฐานวิทยาและการงอกของส้มเปลือกล่อนในสภาพทดลองและธรรมชาติ**, น. 57-65. ในรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. สาขาพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[10] สุจิตรา เจาะจง และสุดารัตน์ สกุลคู. 2552. **การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณูในดอกเม่าหลวงตัวผู้.** น. 304-311.ในรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อิทธิพลของสูตรสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

Influence of Nutrient Solution Formulas on Growth, Yield and Pigment Contents of Green Oak Lettuce *(Lactuca sativa* L.) in Hydroponics System

มลธิชา ชาวนา สิริสุดา พิมวัน นราศักดิ์ บุญมี และ คงเอก ศิริงาม*
Monticha Chawna Sirisuda Phimwan Narasak Boonmee and Kongake Sirigam*

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Agriculture, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
***Corresponding author:** siringam@yahoo.com

บทคัดย่อ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) จัดเป็นผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารและมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง และนิยมนำมาปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ที่เป็นระบบการผลิตที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารพืช งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร ได้แก่ สูตรพระนคร สูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรพระนครดัดแปลง 3 และสูตรการค้า ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 4 ซ้ำ จากการศึกษาพบว่า ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าและสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 มีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตมากที่สุด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณรงควัตถุภายในใบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด
คำสำคัญ: ธาตุอาหาร ผักกาดหอม ผลผลิต รงควัตถุ

Abstract

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a vegetable salad which has high nutrition and high economic value. It is mostly grown in hydroponics system that it controlled the environmental factors affecting the plant growth, especially plant nutrient. The objective of this research was to study the influence of five nutrient solution formulas; Phranakhon, Modified Phranakhon 1, Modified Phranakhon 2, Modified Phranakhon 3 and Commercial on growth, yield and pigment contents of green oak lettuce that cultivated in the hydroponics system. The experiment was designed as completely randomized design (CRD) including five treatments with four replications. The result showed that the growth and yield of green oak lettuce were greatest when cultivated in the commercial and Modified Phranakhon 1 nutrient solution formulas. In addition, the pigment contents in the leaves including; chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll and total carotenoids were highest when cultivated in the Modified Phranakhon 3 solution formula.
Keywords: Nutrient, lettuce, yield, pigments

1. บทนำ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Asteraceae จัดเป็นพืชล้มลุกที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรปแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน โดยผักกาดหอมเป็นผักสลัดที่นิยมนำมาบริโภคสดเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งมีมูลค่าทางการตลาดสูง [1, 2] ส่วนใหญ่นิยมปลูกผักกาดหอมในระบบไฮโดรพอนิกส์

ระบบไฮโดรพอนิกส์เป็นระบบการปลูกพืชที่มีการให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม [3] อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการปลูกพืชในระบบไฮโดรพอนิกส์ คือ สารละลาย ธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชที่ต้องคำนึงถึงปริมาณของ ธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืช โดย ปราณีตและประกอบกิจ [4] ที่พัฒนาสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอรัล และแกรนด์แรพิด ในขณะที่ ธีรพลและคณะ [5] พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนมีผล ทำให้ขนาดใบ ขนาดลำต้น ความสูง และน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ สุภกิจและโสระยา [6] รายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายธาตุอาหารสูตร CMU#2 มีผลทำให้ปริมาณแมกนีเซียมภายในใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมภายในใบลดลง ส่วน คงเอก และคณะ [7] รายงานว่า ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คและคอสที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร สูตรพระนคร 1 และสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าที่ 1 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตมากกว่าผักกาดหอมพันธุ์ กรีนโอ๊คและคอสที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าที่ 2 โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารมีผลทำให้เกิดการการสะสมธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์คอส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตรต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

2.วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เพาะเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในถ้วยปลูกขนาด 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีวัสดุเพาะ ประกอบด้วย เวอร์มิคิวไลท์ (vermiculite) และเพอร์ไลท์ (perlite) อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำถ้วยปลูกวางลงในกระบะพลาสติก ขนาด 30×45 เซนติเมตร ที่มีน้ำกลั่นสูงประมาณ ¼ ของถ้วยปลูก และนำไปไว้ที่อุณหภูมิ 25-27องศาเซลเซียส หลังจากเมล็ดเริ่มงอกจนเจริญเป็นต้นกล้าให้นำต้นกล้าไปไว้ในที่ที่มีแสงแดดรำไร เมื่อต้นกล้าเริ่มมีใบจริงจึงเติมสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร สูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรพระนครดัดแปลง 3 และสูตรการค้าที่เจือจางแก่ต้นกล้า โดยเติมสารละลาย ธาตุอาหารสูตรพระนคร สูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรพระนครดัดแปลง 3 และ สูตรการค้าที่เจือจางลงในกระบะพลาสติกสูงประมาณ ¼ ของถ้วยปลูก เมื่อต้นกล้ามีอายุ 14 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้าย ถ้วยปลูกที่มีต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลงปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารพืชผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) โดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design, CRD) จำนวน 5 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 4 ซ้ำ โดยทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุภายในใบ ตามวิธีการดังนี้

1. การเจริญเติบโต มีดังนี้

1.1 ความสูง (เซนติเมตร) โดยวัดจากบริเวณโคนต้นที่อยู่ถัดขึ้นมาจากวัสดุปลูกถึงบริเวณสูงสุดของลำต้น

1.2 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) โดยวัดจากส่วนที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปยังส่วนที่กว้างที่สุดของอีกด้านหนึ่ง

1.3 จำนวนใบ (ใบ) โดยนับใบที่สองจากด้านล่างที่มีความยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร

2. ผลผลิต

2.1 น้ำหนักสดส่วนต้นและส่วนราก (กรัม) วัดโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.2 น้ำหนักแห้งส่วนต้นและส่วนราก (กรัม) วัดโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3. ปริมาณรงควัตถุภายในใบ

ทำการชั่งน้ำหนักใบพืช 100 มิลลิกรัม บดใบพืชให้ละเอียดและนำใบพืชบดละเอียดใส่ในขวดแก้วและเติมสารละลายอะซีโตน ความเข้มข้น 95.5 เปอรเซ็นต์โดยปริมาตร จำนวน10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในสภาพมืด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (TC) และ แคโรทีนอยด์ทั้งหมด (C_{x+c}) สามารถทำได้โดยวัดค่า การดูดกลืนแสงของสารละลายที่ได้จากการสกัดใบพืชที่ ความ

ยาวคลื่น 662 644 และ 470 นาโนเมตร โดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV–vis spectrophotometer (Jasco V-550, Jasco Corp., Japan) หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ตามวิธีการของ Shabala และคณะ [8] และ Lichtenthaler [9]

$$\text{Chl } a = 9.784D_{662} - 0.99D_{644}$$

$$\text{Chl } b = 21.42D_{644} - 4.65D_{662}$$

$$\text{TC} = \text{Chl}a + \text{Chl}b$$

$$C_{x+c} = (1000D_{470} - 1.90\text{Chl } a - 63.14\text{Chl } b)/214$$

ค่า D_i คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น เท่ากับ i

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุภายในใบ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ด้วยโปรแกรมสถิติประยุกต์ (SPSS for Windows)

3. ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโต

สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร มีผลทำให้ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 มีความสูงมากที่สุด เท่ากับ 10.58 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า สูตรพระนคร สูตรพระนครดัดแปลง 3 และสูตรพระนครดัดแปลง 2 มีความสูง เท่ากับ 10.31 10.05 9.50 และ 6.91เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ส่วนความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด เท่ากับ 26.91 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรพระนครดัดแปลง 3 สูตรพระนครและสูตรพระนครดัดแปลง 2 มีความกว้างทรงพุ่ม เท่ากับ 26.24 25.26 24.85 และ 23.40 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

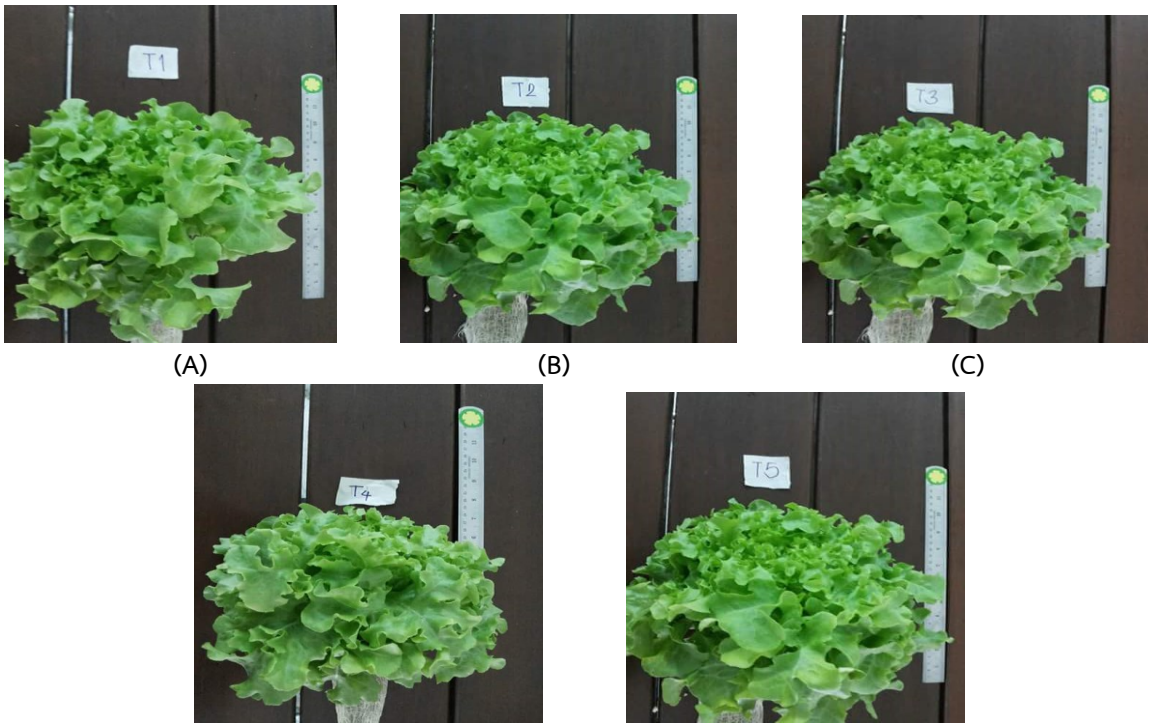
ในขณะเดียวกันจำนวนใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร มีจำนวนใบมากที่สุด เท่ากับ 22.06 ใบ ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลาย ธาตุอาหารสูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรพระนครดัดแปลง 3 และสูตรพระนครดัดแปลง 2 มีจำนวนใบ เท่ากับ 21.28 21.20 20.13 และ16.38 ใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร

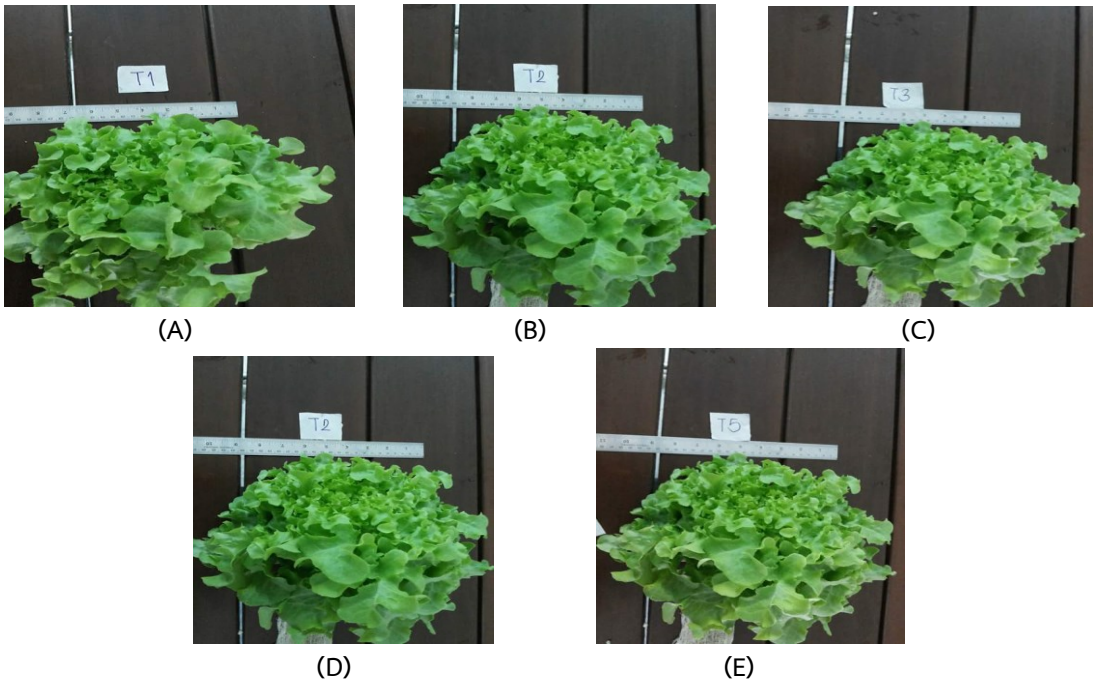
สารละลายธาตุอาหาร	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
สูตรพระนคร	10.05a[1/]	24.85bc	22.06a
สูตรพระนครดัดแปลง 1	10.58a	26.24ab	21.20a
สูตรพระนครดัดแปลง 2	6.91b	23.40c	16.38b
สูตรพระนครดัดแปลง 3	9.50a	25.26b	20.13a
สูตรการค้า	10.31a	26.91a	21.28a
F-test	*	*	*

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ .05

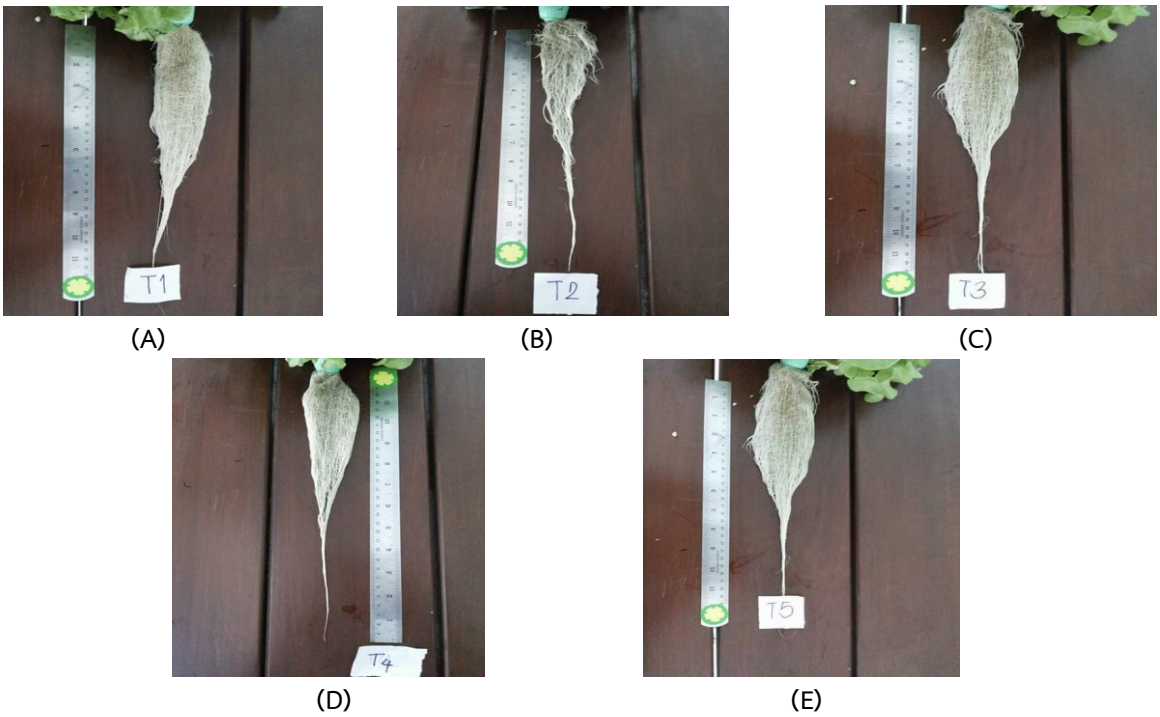
* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05



ภาพที่ 1 ความสูงของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร (A) สูตรพระนครดัดแปลง 1 (B) สูตรพระนครดัดแปลง 2 (C) สูตรพระนครดัดแปลง 3 (D) และสูตรการค้า (E)



ภาพที่ 2 ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร (A) สูตรพระนครดัดแปลง 1 (B) สูตรพระนครดัดแปลง 2 (C) สูตรพระนครดัดแปลง 3 (D) และสูตรการค้า (E)



(A) (B) (C)

(D) (E)

ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตในของรากผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร (A) สูตรพระนครดัดแปลง 1 (B) สูตรพระนครดัดแปลง 2 (C) สูตรพระนครดัดแปลง 3 (D) และสูตรการค้า (E)

2. ผลผลิต

สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร มีผลทำให้น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนต้น น้ำหนักสด ส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนราก ของผักกาดหอมพันธุ์ กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 มีน้ำหนักสดส่วนต้นมากที่สุด เท่ากับ 95.52 กรัม ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 3 สูตรพระนคร และสูตรพระนครดัดแปลง 2 มีน้ำหนักสดส่วนต้น เท่ากับ 94.65 89.44 84.03 และ 56.72 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนน้ำหนักแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นมากที่สุด เท่ากับ 4.38 กรัม ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรการค้า สูตรพระนคร และ สูตรพระนครดัดแปลง 2 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้น เท่ากับ 4.07 4.07 3.79 และ 2.97 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ในขณะเดียวกันน้ำหนักสดส่วนรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีน้ำหนักสดส่วนรากมากที่สุด เท่ากับ 19.27 กรัม ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรการค้า สูตรพระนคร และสูตรพระนครดัดแปลง 2 มีน้ำหนักสดส่วนราก เท่ากับ 17.15 17.03 14.36 และ 12.92 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วน น้ำหนักแห้งส่วนรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีน้ำหนักแห้งส่วนรากมากที่สุด เท่ากับ 0.79 กรัม ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร สูตรพระนครดัดแปลง 1 สูตรการค้า และ สูตรพระนครดัดแปลง 2 มีน้ำหนักแห้งส่วนราก เท่ากับ 0.67 0.64 0.64 และ 0.50 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนต้น น้ำหนักสดส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร

สารละลายธาตุอาหาร	ส่วนต้น		ส่วนราก	
	น้ำหนักสด(กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
สูตรพระนคร	84.03 a[1/]	3.79a	14.36bc	0.67ab
สูตรพระนครดัดแปลง 1	95.52 a	4.07a	17.15ab	0.64b
สูตรพระนครดัดแปลง 2	56.72b	2.97b	12.92c	0.50c
สูตรพระนครดัดแปลง 3	89.44a	4.38a	19.27a	0.79a
สูตรการค้า	94.65a	4.07a	17.03ab	0.64b
F-test	*	*	*	*

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ .05

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

3. ปริมาณรงควัตถุ

สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร มีผลทำให้ปริมาณรงควัตถุภายในใบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอภายในใบมากที่สุด เท่ากับ 135.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 1 และ สูตรพระนคร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอภายในใบ เท่ากับ 106.67 96.43 80.27 และ 63.86 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีภายในใบมากที่สุด เท่ากับ 45.34 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 1 และ สูตรพระนคร มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีภายในใบ เท่ากับ 34.79 32.54 27.51 และ 20.64 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ในขณะเดียวกันปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบมากที่สุด เท่ากับ 180.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 1 และสูตรพระนคร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบ เท่ากับ 141.45 128.97 107.78 และ 84.51 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบมากที่สุด เท่ากับ 53.25 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 2 สูตรการค้า สูตรพระนครดัดแปลง 1 และ สูตรพระนคร มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบ เท่ากับ 41.79 35.51 30.44 และ 24.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 5 สูตร

สารละลายธาตุอาหาร	ปริมาณรงควัตถุ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)			
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด	แคโรทีนอยด์ทั้งหมด
สูตรพระนคร	63.86b[1/]	20.64c	84.51b	24.99b
สูตรพระนครดัดแปลง 1	80.27b	27.51bc	107.78b	30.44b
สูตรพระนครดัดแปลง 2	106.67ab	34.79ab	141.45ab	41.79ab
สูตรพระนครดัดแปลง 3	135.54a	45.34a	180.87a	53.25a
สูตรการค้า	96.43b	32.54bc	128.97ab	35.51ab
F-test	*	*	*	*

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ .05

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

4. วิจารณ์

จากการศึกษาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าและสูตรพระนครดัดแปลง 1 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองนี้มีการปรับอัตราส่วนของธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน โพแทสเซียม และแคลเซียม ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 1 ซึ่งไนโตรเจนในสารละลาย ธาตุอาหารอาจมีส่วนต่อการส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมและโพแทสเซียมที่มีบทบาทสำคัญในการแบ่งเซลล์ การปรับความเต่งภายในเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ และการยืดตัวของพืชมากขึ้น อย่างไรก็ตามการที่พืชได้รับปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปอาจมีผลในการลดสัดส่วนของการเจริญเติบโตระหว่างส่วนรากและส่วนเหนือดิน โดย ธีรพล และคณะ [5] รายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบในผักกาดขาวปลีญี่ปุ่น เช่นเดียวกันกับงานทดลองของเพ็ญนภา และนพดล [10] ที่รายงานว่าไนโตรเจน ความเข้มข้น 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายธาตุอาหารสูตร Macblis and Torrey (1965) สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊ค แต่เมื่อ เพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนมีผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คลดลง

ในขณะที่สูตรสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณรงควัตถุภายในใบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งมดภายในใบ โดยผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณรงควัตถุภายในใบมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลาย ธาตุอาหารสูตรการค้า เนื่องจากสาระละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 อาจมีปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และแคลเซียมที่ส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์รงควัตถุภายในใบพืช โดยไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีบทบาทในกระบวนการขนส่งคลอโรพลาสต์จากไทลาคอยด์มาสะสมที่สโตรมา ซึ่งมีผลในการกระตุ้นการสะสมคลอโรฟิลล์ภายในพืช เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ เพ็ญนภา และนพดล [10] ที่รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีภายในใบของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับไนโตรเจน ความเข้มข้น 95 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งมีผลทำให้อัตราส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้พืชมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงดีขึ้น

5. สรุป

ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าและสารละลายธาตุอาหาร สูตรพระนครดัดแปลง 1 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตมากที่สุด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครดัดแปลง 3 มีปริมาณรงควัตถุภายในใบมากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Shoemaker, J. S. 1947. **“ Salad Crop” vegetable growing.** New York: John Wiley and Sons.Inc.

[2] Liu, X., Ardo, S., Bunning, M., Parry, J., Zhou, K., Stushnoff, C., Stoniker, F., Liangli, Y. and Kendall, P. 2007. **Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado**. Food Science and Technology, 40(3): 552-557.

[3] ดิเรก ทองอร่าม. 2546.**การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.** ธรรมรักษ์การพิมพ์, ราชบุรี, 640 น.

[4] ปราณีต จิระสุทัศน์และประกอบกิจ ดังไธสง.2554. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารละลาย ธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในสภาพการปลูกโดยไม่ใช้ดิน**.รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ, 69 น.

[5] ธีรพล พรสวัสดิ์ชัย หทัย กฤษดาวาณิชย์ และโสระยา ร่วมรังษี. 2550. **ผลของไนโตรเจนและเหล็กคีเลทต่อการเจริญของผักกาดขาวญี่ปุ่นในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบเทคนิคการให้สารละลาย ธาตุอาหารไหลผ่านรากเป็นฟิล์มบาง.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[6] สุภกิจ ไชยพุฒ และโสระยา ร่วมรังษี. 2550**. ผลของระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของคะน้าจีนที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชา พืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[7] คงเอก ศิริงาม กุลิสรา ธีระวิภา และณัฐวุฒิ ไหลหาโคตร. 2557. **ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,22(6) (พิเศษ): 828-836.

[8] Shabala, S.N., Shabala, S.I., Martynenko, A.I., Babourina, O. and Newman, I.A. 1998. **Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: A comparative survey and prospects for screening**. Australian Journal of Plant Physiology, 25: 609-616.

[9] Lichtenthaler, H.K. 1987. **Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes.** Methods in Enzymology, 148: 350-380.

[10] เพ็ญนภา ไชยกูล และนพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2546. **ผลของระดับความเข้มข้นของธาตุ N, Ca และ K ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* Linn.) พันธุ์ red oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์.** (รายงานสืบเนื่องการประชุม) *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร*. หน้า 138-145.

ผลของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวและกัวร์กัมที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น

Effect of Rice Flour and Glutinous Rice Flour Ratio and Gaur Gum on Quality and Shelf Life of Chilled Khanom Sarnae-Jan

รุจิรัศม์ มุตธิกุล* และ ดิษราภรณ์ แสนสุข
Ruchirus muthikul* and Disrapron Sansuk

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajaphat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author**: ruchirus@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น และศึกษาผลของกัวร์กัมที่มีต่ออายุการเก็บของขนมที่บรรจุในกล่อง polypropylene ที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเมื่อแปรปริมาณแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวเป็น 60:0 55:5 50:10 45:15 และ 40:20 กรัม ขนมที่ใช้สัดส่วนแป้ง 50:10 มีค่าการเกาะตัว และความยืดหยุ่นสูงสุด มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุด จึงเลือกสัดส่วนแป้ง 50:10 มาศึกษาการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0 0.1 และ 0.2 ของแป้งทั้งหมด ผลิตขนมเสน่ห์จันทน์เก็บที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าขนมมีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บขนมไว้เป็นเวลา 14 วัน ทุก Treatment มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความยืดหยุ่นลดลง ในขณะที่ความแข็งเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบของขนมทุก Treatmentลดลงเล็กน้อย ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมเสน่ห์จันทน์ที่ใช้ กัวร์กัมร้อยละ 0.1สูงสุด เมื่อเก็บรักษาไว้ 14 วัน ขนมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามเวลาการเก็บ เท่ากับ 3.17×10^{6}-3.21×10^{6} ซึ่งมีปริมาณเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมไทยที่กำหนดจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^{6} โคโลนีต่อกรัม ส่วนยีสต์และรายังไม่เกินมาตรฐานในวันที่ 14 จึงสรุปว่าขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็นมีอายุการเก็บ 7 วัน

คำสำคัญ: ขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น อายุการเก็บรักษา สัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียว กัวร์กัม

Abstract

The objectives of this research were to optimize rice flour and glutinous rice flour ratio for production chilled Khanom Sarnae-Jan and to study effect of gaur gum on Khanom Sarnae-Jan's shelf-life that were packed in polypropylene box stored at 5±1 degree Celsius. Rice flour and glutinous rice flour ratio 60:0 55:5 50:10 45:15 and40:20 grams were studies. Khanom Sarnae-Jan that produced from 50:10 ratio of flour had the highest cohesiveness, resilience and highest appearance, texture, overall preference score from panelist then the 50:10 ratio of flour was selected for using guar gum 0, 0.1 and 0.2 % of flour to produce Khanom Sarnae-Jan, stored at 5±1 degree Celsius for 14 days. When amount of guar gum increased moisture content, water activity, firmness and resilience of Khanom Sarnae-Jan were increased. When storage time increased moisture content, water activity and resilience of all treatment were decreased but firmness were increased. Preference score of all treatment Slightly decreased and using 0.1%

guar gum got the highest overall preference score at 14 days. Total plate count rising rapidly when storage time increased and over the limit of Community Standards of Thai dessert (≤1×10^6 colony/gram) at 14 days with 3.17×10^6- 3.21×10^6colony/ gramwhile yeast and mold still in Community StandardsTherefore, it isconcluded that Khanom Sarnae-Jan had shelf-life of 7 days

Keywords: chilled Khanom Sarnae-Jan, shelf-life, rice flour and glutinous rice flour ratio, gaur gum

1.บทนำ

ขนมเสน่ห์จันทน์เป็นขนมชั้นดีสำหรับงานมงคลเลี้ยงพระ หรือเลี้ยงบุคคลสำคัญ ชื่อเสน่ห์จันทน์หมายถึงความมีเสน่ห์ดุจผลจันทน์ ซึ่งผลสุกจะมีสีเหลือง เปล่งปลั่งทั้งสวยงามและมีกลิ่นหอมชวนให้หลงใหล [1] จึงใช้ในงานแต่งงานแบบไทยด้วยเพื่อสื่อความหมายว่ารับประทานแล้วจะมีเสน่ห์ ผู้คนรักใคร่ อีกทั้งยังมีเรื่องเล่าของผลจันทน์ที่มีกลิ่นหอม ทำให้เป็นขนมที่มีเรื่องราวความเป็นมา นำมาใช้เพิ่มมูลค่าสำหรับผู้ประกอบการในแง่การขายด้วย จากการศึกษาของสำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคกลางพบว่า ปัจจัยที่ธุรกิจขนมไทยจะมีความสามารถในการแข่งขันได้คือ คุณภาพวัตถุดิบ กระบวนการผลิตที่ถูกต้อง ประณีต ช่องทางการจัดจำหน่ายที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย การประชาสัมพันธ์ การส่งเสริมการขาย การสร้างมูลค่าเพิ่ม ในปัจจุบันไม่พบว่ามีขนมเสน่ห์จันทน์วางจำหน่ายตามร้านขายขนมไทยทั่วไป เนื่องจากอายุการเก็บสั้น ต้องสั่งซื้อล่วงหน้าจากร้านขนมที่มีชื่อเสียงเท่านั้น คณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าขนมเสน่ห์จันทน์เป็นขนมที่ควรนำมาศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาคุณภาพขนมไทยให้ผู้ประกอบการ โดยมีวัตถุประสงค์สองประการคือศึกษาผลของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น เนื่องจากพบว่ามีการใช้ในสัดส่วนต่างกันไปในแต่ละตำหรับกับการศึกษาการใช้กัวร์กัมที่มีผลต่ออายุการเก็บของขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็นเพื่อยืดอายุการเก็บของขนม

2.วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การผลิตขนมเสน่ห์จันทน์ (ดัดแปลงจากจริยา [2])

โดยร่อนแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวผสมให้เข้ากัน นำไปคั่วในกระทะทองเหลืองด้วยไฟอ่อนนาน 10 นาทีตักขึ้นพักไว้ ใส่กะทิ 100 กรัม ผงขมิ้นชัน 0.5 กรัม และผงจันทน์ 0.5 กรัมในกระทะทองเหลือง ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาลทราย 60 กรัม คนให้น้ำตาลละลายหมดแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง เติมแป้งที่คั่วไว้ลงไปกวนด้วยไฟอ่อนจนแป้งสุกจับตัวเป็นก้อน ใส่ไข่แดง (ไข่เป็ด) 30 กรัมที่กรองผ่านผ้าขาวบางแล้วลงในแป้งที่ร้อน กวนต่อจนแป้งเนียนไม่ติดกระทะ (ใช้เวลากวน 20 นาที) จึงนำมาปั้นเป็นก้อนกลมแป้นเหมือนลูกจันทน์ขนาด 6 กรัม ตกแต่งขั้ว นำไปอบควันเทียนได้เป็นขนมเสน่ห์จันทน์

2.2 การศึกษาผลของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น

แปรปริมาณแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวเท่ากับ 60:0 55:5 50:10 45:15 และ 40:20 กรัม ตามลำดับ ในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ บรรจุกล่อง Polypropylene นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น [3] ปริมาณน้ำอิสระ (water activity,a_w)ด้วยเครื่อง AQUA LAB รุ่น CX-3TE วัดเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง การเกาะตัว ความเหนียว และความยืดหยุ่น ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT2และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบรวม ใช้วิธี Hedonicscale 9 point โดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส 30 คน แล้วเลือก Treatment ที่ดีที่สุดไปศึกษาผลของกัวร์กัมที่มีต่ออายุการเก็บของขนมเสน่ห์จันทน์

2.3 การศึกษาการใช้กัวร์กัมที่มีผลต่ออายุการเก็บของขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น

โดยแปรปริมาณกัวร์กัมเป็นร้อยละ 0 0.1 และ 0.2 ของแป้งทั้งหมด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ บรรจุกล่อง Polypropylene แช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่เก็บในวันที่ 1 7 และ 14 มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น [3] ปริมาณน้ำอิสระ (water activity,a_w)ด้วยเครื่อง AQUA LAB รุ่น CX-3TE วัดเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง การเกาะตัว ความเหนียว และความยืดหยุ่น ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT2 วิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ รา [3] ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบรวม ใช้วิธี Hedonicscale 9 point โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส 30 คน

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan New Multiple Rang Test (DNMRT)

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 การศึกษาผลของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นของขนมเสน่ห์จันทน์ Treatment ต่างๆ

อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า:แป้งข้าวเหนียว (กรัม)	ปริมาณความชื้น^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
60:0	22.79±0.27	0.806^{d}±0.005
55:5	22.92±0.12	0.839^{b}±0.004
50:10	23.07±0.23	0.850^{a}±0.003
45:15	23.06±0.04	0.851^{a}±0.006
40:20	22.82±0.17	0.825^{c}±0.002

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p> .05)
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เหมือนกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤ .05)

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพที่วัดด้วยเครื่อง TextureAnalyzer ของขนมเสน่ห์จันทน์

อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า:แป้งข้าวเหนียว (กรัม)	คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส			
	ค่าความแข็ง(กรัม)	ค่าความเหนียว	ค่าการเกาะตัว	ค่าความยืดหยุ่น
60:0	1150.72^{e}±3.57	0.042^{c}±0.002	0.41^{c}±0.01	0.17^{b}±0.01
55:5	1245.78^{d}±6.18	0.044^{c}±0.001	0.50^{b}±0.03	0.20^{b}±0.04
50:10	1354.12^{c}±7.85	0.046^{b}±0.001	0.59^{a}±0.04	0.37^{a}±0.04
45:15	1565.09^{b}±3.08	0.048^{b}±0.002	0.32^{d}±0.05	0.11^{c}±0.032
40:20	1955.56^{a}±12.2	0.051^{a}±0.001	0.27^{d}±0.01	0.09^{c}±0.01

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เหมือนกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤ .05)

เมื่อใส่แป้งลงในกะทิ และกวนขนมเสน่ห์จันทน์ความร้อนช่วยให้น้ำถูกดูดซึมเข้าเม็ดแป้งได้ ในขณะเดียวกันน้ำก็จะระเหยออกจากขนมเสน่ห์จันทน์ เนื่องจากความร้อน แป้งข้าวเหนียวจะดูดซึมน้ำไว้ได้ดีโดยสตาร์ชข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เท่ากับ 55-65 องศาเซลเซียส สตาร์ชข้าวเจ้ามีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เท่ากับ 61-78 องศาเซลเซียส [4] ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของขนมเสน่ห์จันทน์จึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวเหนียว แต่เมื่อสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นเป็น 40:20 กรัม ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของขนมเสน่ห์จันทน์ลดลง (ตารางที่ 1) เนื่องมาจากปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่ลดลงทำให้ปริมาณอะไมโลสโดยรวมลดลง โดยสตาร์ชข้าวเจ้ามีอะไมโลสร้อยละ 17 และอะไมโลเพคตินร้อยละ 83 สตาร์ชข้าวเหนียวมีอะไมโลสร้อยละ 1 และอะไมโลเพคตินร้อยละ 99 คุณสมบัติในการเกิดเจลมีการอุ้มน้ำได้ของอะไมโลส เมื่อเกิดการรีโทรเกรเดชั่น [5] จึงลดลง นอกจากนั้นคุณสมบัติของเม็ดสตาร์ชและปริมาณอะไมโลสยังมีผลต่อเนื้อสัมผัสของขนม (ตารางที่ 2) สตาร์ชข้าวเจ้าเมื่อเจลาติไนซ์แล้วเม็ดสตาร์ชแตกออกทำให้อะไมโลสไหลออกมาเกิดเจลมีการอุ้มน้ำได้นอกเม็ดสตาร์ชทำให้ขนมมีความนุ่มชุ่มชื้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนแป้งข้าวเหนียวปริมาณอะไมโลสในระบบลดลง ขนมจึงมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น สตาร์ชข้าวเหนียวเมื่อเจลาติไนซ์เม็ดสตาร์ชพองเล็กน้อยไม่แตกออกเมื่ออะไมโลสเกิดเจลจึงเชื่อมเม็ดสตาร์ชและองค์ประกอบอื่นๆในขนมโดยเฉพาะโปรตีนจากไข่แดง การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่สัดส่วนแป้ง 50:10 ขนมจึงมีค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นสูงสุด แต่เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวมากขึ้นปริมาณอะไมโลสลดลงขาดเจลที่พอเหมาะ ค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นของขนมจึงลดลง ในขณะที่การใช้แป้งข้าวเจ้ามากเกินไปขนมก็มีค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นต่ำเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Chueamchaitrakul, *et. al.* [6] ที่ใช้แป้งผสมระหว่างข้าวหอมมะลิและข้าวกข.6 ในเค้กเนย และพบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้นเค้กมีความยืดหยุ่นลดลง คุณภาพทางเคมีและกายภาพของขนมสอดคล้องกับความชอบของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนความชอบขนมที่ใช้สัดส่วนแป้ง 50:10 สูงสุดในทุกคุณลักษณะ (ตารางที่ 3) จึงเลือกไปศึกษาการใช้กัวร์กัมต่อไป

3.2 การศึกษาการใช้กัวร์กัมที่มีผลต่ออายุการเก็บของขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น

กัวร์กัมร้อยละ 0 กัวร์กัมร้อยละ 0.1 กัวร์กัมร้อยละ 0.2

ภาพที่ 1 ขนมเสน่ห์จันทน์

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบคุณลักษณะต่างๆของขนมเสน่ห์จันทน์

คุณลักษณะ	อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า:แป้งข้าวเหนียว (กรัม)				
	60:0	55:5	50:10	45:15	40:20
ลักษณะปรากฏ	6.94^{c}±0.74	7.04^{bc}±0.67	7.56^{a}±0.64	7.02^{bc}±0.77	7.22^{b}±0.65
สี^{ns}	7.16±0.65	7.18±0.69	7.30±0.68	7.20±0.67	7.18±0.77
กลิ่นรส^{ns}	7.12±0.59	7.14±0.61	7.20±0.67	7.16±0.71	7.18±0.60
เนื้อสัมผัส	6.20^{c}±0.76	6.26^{c}±0.66	6.96^{a}±0.70	6.36^{bc}±0.94	6.62^{b}±0.78
ความชอบรวม	6.26^{c}±0.63	6.30^{c}±0.71	6.94^{a}±0.82	6.62^{b}±0.90	6.70^{bc}±0.76

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p> .05)
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เหมือนกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤ .05)

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพที่วัดด้วยเครื่อง TextureAnalyzer ของขนมเสน่ห์จันทน์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	วันที่เก็บ	กัวร์กัมร้อยละ 0	กัวร์กัมร้อยละ 0.1	กัวร์กัมร้อยละ 0.2
ปริมาณความชื้น	1	23.49^{b}±0.20	25.17^{a}±0.18	25.38^{a}±0.07
(ร้อยละ)	7	23.23^{b}±0.18	25.01^{a}±0.19	25.19^{a}±0.18
	14	22.66^{b}±0.19	24.96^{a}±0.13	25.08^{a}±0.10
ปริมาณน้ำอิสระ	1	0.868^{b}±0.003	0.900^{a}±0.002	0.902^{a}±0.001
	7	0.847^{b}±0.002	0.897^{a}±0.003	0.899^{a}±0.003
	14	0.836^{c}±0.004	0.870^{b}±0.31	0.875^{a}±0.001
ความแข็ง(กรัม)	1	1651.78^{b}±11.84	1695.40^{b}±73.06	1964.14^{a}±17.22
	7	2164.51^{b}±13.22	2256.78^{b}±31.35	2387.19^{a}±67.76
	14	2308.03^{b}±75.37	2364.95^{b}±3.22	2537.07^{a}±31.06
ความยืดหยุ่น	1	0.675^{c}±0.005	0.771^{b}±0.004	0.968^{a}±0.009
	7	0.528^{c}±0.002	0.600^{b}±0.002	0.628^{a}±0.003
	14	0.443^{b}±0.040	0.446^{b}±0.003	0.505^{a}±0.002

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เหมือนกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤ .05)

จากตารางที่ 4 ขนมเสน่ห์จันทน์ที่ใช้กัวร์กัมมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าขนมเสน่ห์จันทน์ที่ไม่ใช้กัวร์กัม เนื่องจากกัวร์กัมประกอบไปด้วยพอลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนคือ กาแลคโตแมนแนนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี [7] ป้องกันการเกิดซินเนอรีซิส [8] จึงทำให้ขนมสูญเสียน้ำไประหว่างการกวนและการแช่เย็นน้อยกว่าขนมที่ไม่ใช้กัวร์กัม ขนมที่ใช้กัวร์กัมมีความแข็งมากกว่าขนมที่ไม่ใช้กัวร์กัมสอดคล้องกับงานวิจัยของเจษฎ์นภา [9] ซึ่งศึกษาผลของกัวร์กัมและแซนแทนกัมที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและรีโอโลยีแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว โดยพบว่ากัมทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวในแป้งทั้งสองชนิด โดยกัมจะช่วยเพิ่มความบวมของเม็ดแป้งและการละลายออกมาของสารประกอบใน

เม็ดแป้งข้าวเจ้า ขนมที่ใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.2 ของแป้งจึงมีความแข็งสูงสุด ปริมาณกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้นทำให้ขนมมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากกัวร์กัมมีโครงสร้างเป็นตาข่ายกระจายตัวจับกับแอมิโลเพกติน [10] อย่างไรก็ตามขนมมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนความยืดหยุ่นลดลงตามเวลาการเก็บเนื่องจากเกิดการรีโทรเกรเดชั่นของอะไมโลสและสูญเสียน้ำของเจลแป้ง คุณภาพทางเคมีและกายภาพของขนมสอดคล้องกับความชอบของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนความชอบ (ตารางที่ 6) ขนมเสน่ห์จันทน์ที่ไม่ใช้กัวร์กัมมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงกว่าขนมที่ใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.2 เมื่อเริ่มต้นการเก็บ แต่ในวันที่ 14 ขนมที่ใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 มีคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) กับ Treatment อื่น แสดงว่าการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 มีผลดีต่อคุณภาพของขนมที่เก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของขนมเสน่ห์จันทน์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	วันที่เก็บ	กัวร์กัมร้อยละ 0	กัวร์กัมร้อยละ 0.1	กัวร์กัมร้อยละ 0.2
ลักษณะปรากฏ	1	7.17^{a}±0.95	6.90^{a}±0.84	6.73^{b}±0.78
	7	6.67^{ab}±0.71	6.83^{a}±0.70	6.40^{b}±0.72
	14	6.27^{a}±0.74	6.43^{a}±0.68	6.23^{a}±0.82
สี	1	7.27^{a}±0.69	7.20^{a}±0.71	7.17^{a}±0.70
	7	6.67^{a}±0.84	6.77^{a}±0.73	6.60^{a}±0.77
	14	6.47^{b}±0.51	6.90^{a}±0.31	6.43^{a}±0.57
กลิ่นรส	1	7.07^{a}±0.69	6.93^{a}±0.64	6.83^{a}±0.95
	7	6.33^{a}±0.71	6.57^{a}±0.63	6.50^{a}±0.78
	14	6.43^{a}±0.63	6.52^{a}±0.53	6.43^{a}±0.68
เนื้อสัมผัส	1	7.20^{a}±0.76	7.07^{ab}±0.74	6.67^{b}±0.90
	7	6.10^{b}±0.76	6.70^{a}±0.47	6.20^{b}±0.71
	14	6.23^{b}±0.73	6.63^{a}±0.56	6.23^{b}±0.61
ความชอบรวม	1	7.13^{a}±0.68	6.93^{ab}±0.64	6.67^{b}±0.88
	7	6.47^{a}±0.63	6.63^{a}±0.49	6.53^{a}±0.57
	14	6.40^{b}±0.50	6.70^{a}±0.47	6.47^{ab}±0.51

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เหมือนกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของขนมเสน่ห์จันทน์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส

	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนี/กรัม)		
	กัวร์กัมร้อยละ 0	กัวร์กัมร้อยละ 0.1	กัวร์กัมร้อยละ 0.2
จุลินทรีย์ทั้งหมด			
เก็บไว้ 1 วัน	3.14×10^{4}	3.13×10^{4}	3.16×10^{4}
เก็บไว้ 7 วัน	3.18×10^{5}	3.25×10^{5}	3.76×10^{5}
เก็บไว้ 14 วัน	3.18×10^{6}	3.21×10^{6}	3.17×10^{6}
ยีสต์			
เก็บไว้ 1 วัน	5.34×10^{3}	5.32×10^{3}	5.24×10^{3}
เก็บไว้ 7 วัน	7.04×10^{3}	7.05×10^{3}	7.04×10^{3}
เก็บไว้ 14 วัน	8.82×10^{3}	8.63×10^{3}	8.77×10^{3}
รา			
เก็บไว้ 1 วัน	<300	<300	<300
เก็บไว้ 7 วัน	<300	<300	<300
เก็บไว้ 14 วัน	4.72×10^{2}	4.64×10^{2}	4.63×10^{2}

มาตรฐานชุมชนกำหนดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^{6} ปริมาณยีสต์ไม่เกิน 1×10^{4} และปริมาณราต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม [11] ขนมเสน่ห์จันทน์ทั้ง 3 Treatment มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เวลาเริ่มต้น

สูง และเกินมาตรฐานในวันที่ 14 เพราะขนมเสน่ห์จันทน์มีกะทิไข่แดงเป็นส่วนผสม และมีความชื้นสูงซึ่งเป็นอาหารที่ดีเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับการศึกษาของอรัญญา [12] พบว่าขนมทองเอกที่มีองค์ประกอบและวิธีการทำคล้ายขนมเสน่ห์จันทน์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานหลังการเก็บ 7 วันที่อุณหภูมิห้อง และเกิดราที่สามารถมองเห็นได้

4. สรุปผลการวิจัย

สัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการผลิตขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็นคือ 50:10 กรัม การใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 ของแป้งจะมีผลดีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บขนมไว้ 14 วัน ในขณะที่ขนมที่ไม่ใช้กัวร์กัมมีผลดีกว่าในวันเริ่มต้นการเก็บเท่านั้น ขนมมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานในวันที่ 14 โดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูงตั้งแต่เริ่มต้น จึงควรศึกษาปัจจัยที่จะมีผลควบคุมหรือลดปริมาณจุลินทรีย์เนื่องจากขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็นยังมีคุณภาพด้านเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคกลาง, 2556. **การพัฒนาเศรษฐกิจสร้างสรรค์ระดับชุมชน กรณีศึกษาขนมไทยภาคกลาง.** รายงานการดำเนินงานโครงการศึกษาแนวทางการสร้างระบบเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ (Creative Economy) ระดับชุมชนพื้นที่ภาคกลาง. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

[2] จริยา เดชกุญชร. 2549. *ขนมไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์เพชรการเรือน, กรุงเทพฯ.

[3] A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis**. 15th ed. The Association official Analycal. Chemists,Arlington, Verginia.

[4] เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์ ชญาภัทร์ กี่อาริโย นพพร สกุลยืนยงสุข และดวงรัตน์ แซ่ตั้ง. 2554. **การประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน.** คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.

[5] กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

[6] Chueamchaitrakul, P. , P. Chompreeda, V. Haruthaithanasan, T. Suwonsichon and S. Kasemsamran. 2011. **Physical Properties of Butter Cake Made from Mixed Hom-Mali and Glutinous Rice Flours**. Kasetsart J. *(Nat. Sci.)*,45: 295-304.

[7] Thombare, N., U. Jha, S Mishra and M.Z. Siddiqui. 2016. *Guar gum as a promising starting material for diverse applications : A review*. *Int J Biol Macromol*,88: 361-372.

[8] ปิยนุสร์ น้อยด้วง. 2555. **กัมและมิวซิเลจจากพืช.** วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม,7(1): 1-9.

[9] เจษฎ์นภา เตชวิภารัตน์. 2550. **ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและรีโอโลยีของแป้งข้าว.** วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต(เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

[10] มนต์ราม อินทรศิริ. 2550. **การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักแช่เยือกแข็ง.** วิทยานิพนธ์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ

[11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546. **ขนมไทย.** สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.กระทรวงอุตสาหกรรม มผช. 1/2546. กระทรวงอุตสาหกรรม.

[12] อรัญญา มิ่งเมือง. 2550. **ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพขนมไทย.** วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.23(2): 28-38.

ผลของการโม่แห้งและโม่เปียกต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอก

Effects of Wet and Dry Milling on Physico-Chemical and Functional Properties of Germinated Mung Bean

สุนิสา เพ็ชรพันธ์ และ สุชาดา ไม้สนธิ์*
Sunisa Petpun and Suchada Maisont*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author:** smaisont@hotmail.com

บทคัดย่อ

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรทและโปรตีน การงอก (Germination) เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารโภชนเภสัชให้กับธัญพืชที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นวิธีธรรมชาติ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของถั่วเขียวเมื่อผ่านการงอกและนำมาผลิตเป็นแป้งมีความสำคัญที่จะนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการโม่แป้งต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอก โดยการนำถั่วเขียวมาแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง และนำมางอกนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วเขียวงอกที่ได้มาผลิตเป็นแป้งด้วยวิธีการโม่แห้งและโม่เปียกพบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า มากกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)ขณะที่แป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) สมบัติทางกายภาพ พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 73.03 6.12 และ 20.63 ตามลำดับ ส่วนแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 65.65 4.68 และ 21.45 ตามลำดับ และแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีความหนาแน่นสูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 และ 0.86 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ด้านคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมี การดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำมัน (Water and Oil absorption)กำลังการพองตัวค่าการละลาย(Swelling power and Solubility) การเกิดฟอง ความเสถียรของฟอง การเกิดอิมัลชัน และความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsifying activity and stability)สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ($p \leq 0.05$)ส่วนความสามารถในการแช่แข็งและการละลายของแป้ง (Freeze thaw stability) ทดสอบด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกจากแป้ง (% Syneresis) เมื่อนำไปแช่แข็งและนำมาละลาย แป้งถั่วเขียวโม่แห้งมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกมาจากแป้งมากกว่าวิธีการโม่เปียก ($p \leq .05$) ส่วนการเกิดเจลพบว่าแป้งถั่วเขียวงอกที่ผลิตทั้ง 2วิธีมีการเริ่มเกิดเจลที่ระดับเดียวกันที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 9(w/v) และผลจากการวัดความหนืด พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งและโม่เปียกมีอุณหภูมิอุณหภูมิเริ่มการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่อุณหภูมิ 78 และ 75 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงสุดที่ (Peak viscosity) 1113 และ 2391 (RVU)ตามลำดับ จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า การงอกและวิธีการผลิตแป้งนั้นมีผลต่อคุณสมบัติในด้านต่างๆของแป้งถั่วเขียวงอก ซึ่งวิธีการผลิตมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน ผู้ผลิตสามารถใช้ข้อมูลนี้เป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้แป้งถั่วเขียวงอกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์สูงต่อผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: ถั่วเขียว การงอก คุณสมบัติเชิงหน้าที่ โม่เปียก โม่แห้ง

Abstract

Mung bean is legumes which was importance source of carbohydrate and protein. Germination is another method in order to an increasing of nutrition value and pharmaceutical ingredient in cereal which low cost process and natural method. However, properties of mung bean during germination and process to be flour was important to product development. This research was aimed to study effect of starch process on physico-chemical properties and functional properties of germinated mung bean flour. Mung bean was soaked for 6 hr. and was germinated for 12 hr. Then the germinated mung bean was processed to be flour by wet milling and dry milling. The chemical properties show that moisture, protein, fat, fiber and ash of germinated mung bean flour from dry milling were significant higher than carbohydrate content of germinated mung bean flour from wet milling was significant higher than mung bean flour from dry milling ($p \leq 0.05$). The physical properties including L* a* b* and density show that the L* a* and b* of germinated mung bean flour from dry milling were 73.03, 6.12 and 20.63, respectively, whereas those of germinated mung bean flour from wet milling were 65.65, 4.68 and 21.4, respectively. Density of germinated mung bean flour from dry milling in which 0.93 and 0.86 g/ml, respectively. The functional properties shoe that water absorption, oil absorption, swelling power, solubility index, foaming ability, foaming stability, emulsion ability and emulsion stability of germinated mung bean flour from dry milling were significant higher than those of germinated mung bean flour from wet milling. Freeze thaw stability test show that germinated mung bean flour from dry milling had higher percentage of separated water (% syneresis) than those of germinated mung bean flour from wet milling. Gelling properties gel formation of both germinated mung bean flour were 9% (w/v) concentration. The result of viscosity show that pasting temperate of germinated mung bean flour from dry and wet milling were 78 and 75 ^{o}C, respectively. Peak viscosity of germinated mung bean flour from and wet milling were 1113 and 2391 (RVU), respectively. This result indicated that germination and starch process affected properties of mung bean flour which difference advantage. Producer could consider this result to decide an using of germinated mung bean for product development with the highest value for consumer.

Keywords: Mung bean, Germinated Mung bean, Wet milling, Dry milling

1. บทนำ

ถั่วเขียว เป็นธัญพืชที่นิยมปลูกกันมากเพื่อบริโภคภายในประเทศ และเป็นสินค้าที่ส่งออกไปขายยังนอกประเทศ ปัจจุบันมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย อาทิเช่น วุ้นเส้น ขนมลูกชุบ ถั่วกวน และขนมหวานต่างๆ เนื่องจากเป็นพืชที่หาได้ง่ายราคาไม่สูง และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสามารถนำมาประกอบอาหารได้ทั้งในรูปอาหารคาว อาหารหวาน การงอก(Germination) เป็นวิธีการเพิ่มสารอาหารให้กับเมล็ดธัญพืชที่มีประสิทธิภาพและมีต้นทุนต่ำ เนื่องจากการงอกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดทำให้องค์ประกอบทางเคมีและสารอาหารมีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีของเมล็ดถั่วเขียว สุชาดาและสุดาทิพย์[1] พบว่าเมื่อนำถั่วเขียวไปแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และงอกที่ 12 ชั่วโมงจะทำให้วิตามินบี 1 และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (GABA) เพิ่มขึ้น ซึ่งสาร GABA มีผลดีต่อสุขภาพหลายอย่าง ลดอาการของโรคอัลไซเมอร์ ลดภาวะความเครียด และช่วยให้ร่างกายมีภาวะผ่อนคลายเนื่องจากสาร GABA เป็นสารสื่อประสาทและควบคุมการทำงานของสมอง[2] นอกจากนี้ถั่วเขียวมีใยอาหารสูงเมื่อเทียบกับพืชในกลุ่มผักหรือผลไม้เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานเพราะมีปริมาณของดัชนีไกลซีมิกต่ำซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดโดยทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] นอกจากนี้ถั่วเขียวงอกยังสามารถนำมาบดเป็นแป้ง และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้หลากหลาย[4] แต่ยังไม่พบการนำแป้งถั่วเขียวงอกมาศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆของแป้งเพื่อให้เพิ่มความหลากหลายเหมาะกับการนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์แป้งถั่วเขียวงอกแบบโม่เปียกและโม่แห้ง Chen และคณะ[5]พบว่าความแตกต่างของแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตโดยกระบวนการโม่เปียกและโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนและไขมันที่แตกต่างกัน ในขณะที่ Bettge และคณะ [6] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งสาลีที่ผลิตโดยกระบวนการโม่

เปียกและโม่แห้ง พบว่าแป้งสาลีที่ผลิตโดยการโม่แห้งมีขนาดอนุภาคเล็กและมีความเสียหายของแป้งสูงกว่าแป้งสาลีที่ผลิตโดยการโม่เปียกซึ่งอาจมีสาเหตุจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าวิธีการผลิตแป้งนี้ส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของแป้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของวิธีการผลิตแป้งโดยวิธีโม่เปียกและโม่แห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งจากถั่วเขียวงอก ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์เพื่อการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

2. วัตถุดิบ สารเคมีและวิธีการทดลอง

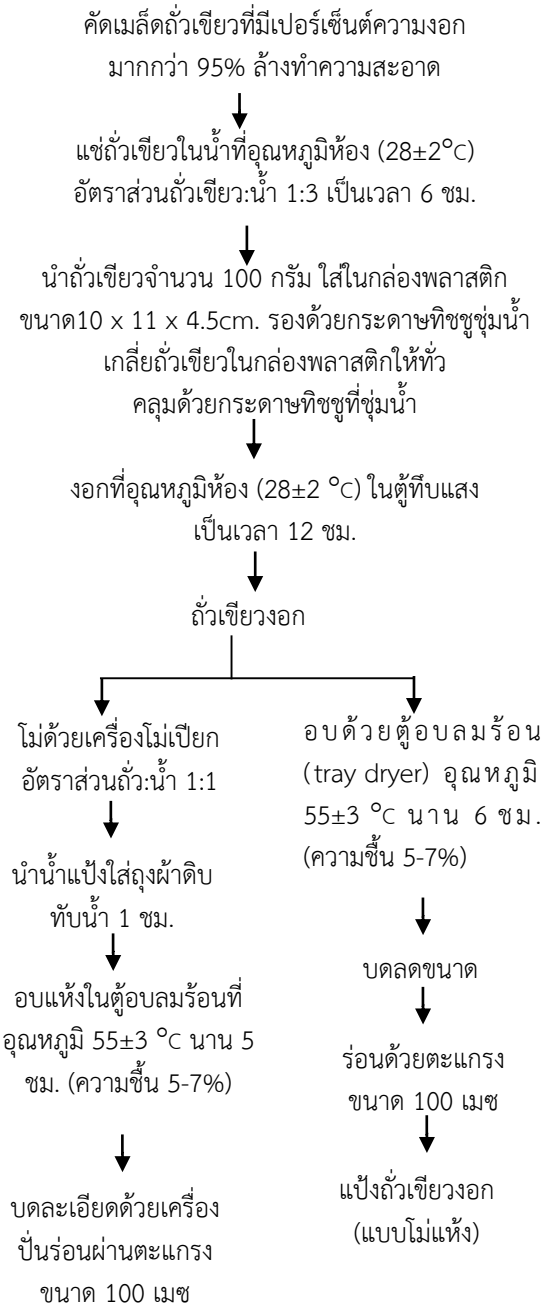
2.1 การงอกถั่วเขียวและการผลิตแป้ง

ล้างทำความสะอาดถั่วเขียว แช่ถั่วเขียวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (28±2 °C) อัตราส่วนถั่วเขียว ต่อน้ำ 1:3 เป็นเวลา 6 ชม. นำถั่วเขียว 100 กรัม งอกในกล่องพลาสติกขนาด 10 x 11 x 4.5 cm. รองด้วยกระดาษทิชชูชุ่มน้ำ เกลี่ยถั่วเขียวในกล่องพลาสติกให้ทั่ว และคลุมด้วยกระดาษทิชชูชุ่มน้ำหนึ่งชั้น งอกที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชม. และนำถั่วเขียวงอกมาผลิตเป็นแป้งถั่วเขียวโม่เปียกและโม่แห้งวิธีการผลิตตามภาพที่ 1 อ้างอิงจาก สุชาดาและสุดาทิพย์[1] จากนั้นนำแป้งทั้ง 2 วิธีมาวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า [7] และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (โดยวิธีการคำนวณ) วิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี L* a* b* และความหนาแน่น และวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การดูดซับน้ำและน้ำมัน การพองตัวและการละลายน้ำ การเกิดอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชัน การเกิดฟองและความเสถียรของฟอง การแช่แข็งและการละลาย [8] และความหนืด ใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

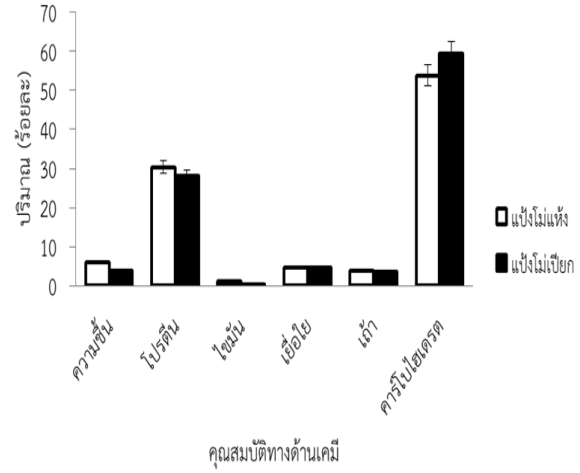
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งและโม่เปียก

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการโม่แป้งแบบโม่แห้งและโม่เปียกแสดงในภาพที่ 2 พบว่า วิธีโม่แป้งมีผลต่อปริมาณความชื้นโปรตีนไขมันเยื่อใยเถ้าและคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)ซึ่งแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งจะมีปริมาณความชื้นโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้าร้อยละ 6.02 30.40 1.30 4.60 และ 3.86 ตามลำดับและแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้าร้อยละ 3.74 28.13 0.46 4.59 และ 3.61 ตามลำดับ แป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งจะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า มากกว่าการโม่เปียกยกเว้นคาร์โบไฮเดรตที่การโม่เปียกมีมากกว่าทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการโม่เปียกเป็นการโม่วัตถุดิบพร้อมกับน้ำ ทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำ น้ำตาล และ nonstarch-bound lipids บางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำในระหว่างการโม่จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน

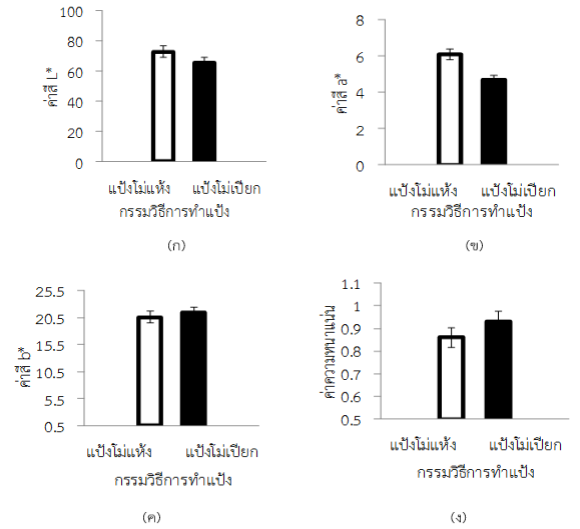


ภาพที่ 1 วิธีการงอกถั่วเขียว และการผลิตแป้งถั่วเขียวงอกแบบโม่เปียกและโม่แห้ง



ภาพที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้งและโม่เปียก

3.2 ผลของวิธีการผลิตแป้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งถั่วเขียวงอก



ภาพที่ 3 ค่าสี L* a* b* และค่าความหนาแน่นของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้งและโม่เปียก
(ก ข ค ง เป็นค่าสี L* a* b* และค่าความหนาแน่นตามลำดับ)

ภาพที่ 3 แสดงค่าสี L* a* b* และค่าความหนาแน่นของแป้งถั่วเขียวงอกที่ทำโม่แห้งและโม่เปียก พบว่า แป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีค่าสี L* a* b* เท่ากับ 73.03, 6.12 และ 20.63 ตามลำดับ ส่วนการโม่เปียกมีค่าสีเท่ากับ 65.65, 4.68 และ 21.45 ตามลำดับ ค่าสี L* ของแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งจะสูงกว่าการโม่เปียก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq .05$) ซึ่งอาจเกิดจากการแช่น้ำทำให้สีเขียวของเปลือกละลายกับน้ำ จึงทำให้ค่าสี L* เพิ่มมากขึ้น

ค่าความหนาแน่นของแป้งถั่วเขียวงอก พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีค่าเท่ากับ 0.86 กรัม/มิลลิลิตร และแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีค่าเท่ากับ 0.93 กรัม/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบวิธีการโม่แป้ง พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้แป้งโม่เปียกและโม่แห้งมีความหนาแน่นต่างกัน อาจเกิดเนื่องจากขนาดอนุภาค และความเสียหายของแป้ง อาจเกิดจากความละเอียดของการโม่เปียกแป้งถั่วเขียวงอกอาจจะมีการแพ็คตัวกันแน่นมากขึ้นในเมื่อมีการละลายน้ำจึงส่งผลให้แป้งที่ได้มีความหนาแน่นสูง

3.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวโม่แห้งและโม่เปียก

ผลของวิธีการโม่แป้งต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมัน (Water and Oil absorption) กำลังการพองตัว และการละลายน้ำ (Swelling power and Solubility) การเกิดอิมัลชั่น และความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsifying activity and stability) ของแป้งถั่วถั่วเขียวงอก แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการโม่แห้งและโม่เปียก

คุณสมบัติเชิงหน้าที่	วิธีการโม่	
	โม่แห้ง	โม่เปียก
การดูดซับน้ำ (กรัม)	2.09±0.00^{a}	1.80±0.00^{b}
การดูดซับน้ำมัน (กรัม)	1.29±0.01^{a}	1.22±0.02^{b}
การพองตัว (กรัม)	3.06±0.00^{b}	5.59±0.11^{a}
การละลายน้ำ (กรัม)	0.29±0.00^{a}	0.11±0.00^{b}
การเกิดอิมัลชัน (ร้อยละ)	65.33±0.33^{a}	62.78±0.51^{b}
ความเสถียรของอิมัลชัน (ร้อยละ)	68.44±0.19^{a}	65.78±019^{b}

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียก และโม่แห้ง โดยการนำแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้ง และโม่เปียกมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้าน การดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำมัน กำลังการพองตัว การละลาย การเกิดอิมัลชัน และความเสถียรของอิมัลชัน พบว่า วิธีการโม่แป้งมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) โดยแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธการโม่แห้ง และแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกมีค่าการดูดซับน้ำ 2.09 และ 1.80 กรัม ตามลำดับ การดูดซับน้ำมัน 1.29 และ 1.22 กรัม ตามลำดับ กำลังการพองตัว 3.06 และ5.59 กรัม ตามลำดับ การละลาย 0.29 และ 0.11 กรัม ตามลำดับ การ

เกิดอิมัลชัน ร้อยละ 65.33 และ 62.78 ตามลำดับ และความเสถียรของอิมัลชันร้อยละ 68.44 และ 65.78 ตามลำดับ

3.3.1 การดูดซับน้ำ และน้ำมันของแป้ง โดยทั่วไปแล้วแป้งจะไม่สามารถละลายในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ เมื่อเติมน้ำลงในแป้ง และตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำ และพองตัวได้เล็กน้อย [9] จากการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการการโม่แห้งและโม่เปียก พบว่าวิธีการโม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ซึ่งแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันมากกว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการการโม่เปียก สอดคล้องกับ มนทกานต์ [10] ที่พบว่าแป้งเกาลัดจากวิธีการโม่แห้งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าแป้งเกาลัดจากวิธีโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq .05$)

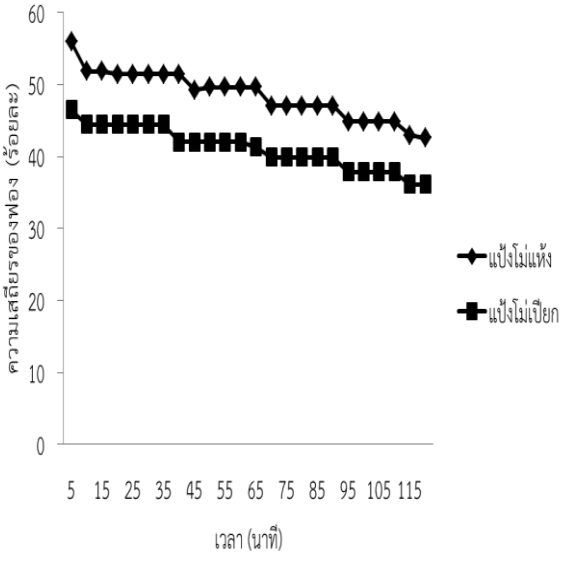
3.3.2 กำลังการพองตัวสามารถบ่งบอกความหนืดของแป้งสุกได้ โดยแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงจะมีความหนืดสูงเมื่อแป้งสุก เช่น แป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีการเคลื่อนที่ได้น้อยลงหรือเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดความหนืด ส่วนการละลายมีความสัมพันธ์กับกำลังการพองตัว คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้น จะทำให้อะมิโลสบางส่วนหลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ช ทำให้มีการละลายสูงขึ้นด้วย [9] จากการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้ง และโม่เปียกที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

3.3.3 ค่าการละลาย พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งมีค่าการละลายสูงกว่าแป้งจากการโม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากการโม่แห้งทำให้มีปริมาณ damaged starch มากกว่าการโม่เปียก ดังนั้นเมื่อเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว โมเลกุลของอะมิโลสในเม็ดสตาร์ชจึงสามารถละลายออกจากเม็ดสตาร์ชได้ง่ายกว่าแป้งที่มีปริมาณ damaged starch น้อย สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ[5] ที่พบว่าแป้งข้าวเหนียวในประเทศไต้หวันที่ได้จากวิธีโม่ที่แตกต่างกันมีการละลายต่างกัน ซึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งที่ผลิตโดยกระบวนการโม่แห้งจะมีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมากอีกทั้งกระบวนการโม่ยังมีผลให้เม็ดสตาร์ชแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆทำให้ส่วนอสัณฐานซึ่งประกอบด้วยอะมิโลสกระจายออกมา และละลายน้ำได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ดัชนีการละลายน้ำของแป้งที่ผลิตโดยกระบวนการโม่แห้งมีค่าสูงกว่าแป้งที่ผลิตโดยกระบวนการโม่เปียก [11]

3.3.4 การเกิดอิมัลชัน และความเสถียรของอิมัลชัน พบว่าวิธีการทำแป้งมีผลต่อการเกิดอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชันในแป้งถั่วเขียวงอกโดยพบว่าการทำแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่แห้ง และโม่เปียกมีคุณสมบัติของการเกิดอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชันร้อยละ 65.33 68.44 และ ร้อยละ 62.78 65.78 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแป้งทั้งสองวิธีพบว่าคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน และความเสถียรของอิมัลชันของแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่เปียก ดังนั้นแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่เปียกจึงมีคุณสมบัติในการเกิดอิมัลชัน และความเสถียรของอิมัลชันมากกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

3.3.5 การเกิดฟองและความเสถียรของฟอง (Foaming capacity and stability) ของแป้งถั่วเขียวงอก

วัดปริมาตรการเกิดฟองของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการทำแป้งแบบโม่แห้ง และโม่เปียกโดยการนำแป้งจากทั้ง 2 วิธี ไปปั่นรวมกับน้ำที่ความเร็วสูงนาน 1 นาที และอ่านปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้นภายใน 30 วินาที พบว่า ปริมาตรการเกิดฟองของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งคือ 26.17 มิลลิลิตร ในขณะที่ปริมาตรการเกิดฟองของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกคือ 24.83 มิลลิลิตร ดังนั้นแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งจึงมีปริมาตรการเกิดฟองสูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)



ภาพที่ 4 แสดงความเสถียรของฟองแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้งและโม่เปียก

ภาพที่ 4 แสดงความเสถียรของการเกิดฟอง ทำโดยบันทึกการสังเกตปริมาณฟองทุก 5 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังการปั่น พบว่าปริมาณของฟองทั้งแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้ง และโม่เปียกจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก และหลังจากนั้นที่แป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งจะมีปริมาณฟองคงที่ไปจนถึง 40 นาที จากนั้นจึงค่อยๆลดต่ำลง ในขณะทีแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกจะมีปริมาณฟองคงที่ไปจนถึง 35 นาที จากนั้นจึงค่อยๆ ลดต่ำลงตามลำดับ ดังนั้นแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งจะมีความคงตัวของการเกิดฟอง ที่สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียก ซึ่งการเกิดฟอง และความเสถียรของฟองมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในแป้งเมื่อมีการตีปั่นจะเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในเฟสของของเหลว โดยโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำแป้งจะทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว ช่วยในการเกิด และรักษาความคงตัวของฟอง [12]

3.3.6 การเกิดเจล (Gelation) ของแป้งถั่วเขียวงอก

ตารางที่ 2 คุณสมบัติการเกิดเจล (Gelation) ของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้ง และโม่เปียก

ความเข้มข้นร้อยละ(w/v)	วิธีการผลิตแป้ง			
	โม่แห้ง		โม่เปียก	
	เจล	ลักษณะปรากฏ	เจล	ลักษณะปรากฏ
7	-	เหลว	-	เหลว
8	-	หนืด	-	หนืด
9	+	เจล	+	เจล
10	+	เจล	+	เจล
11	+	เจล	+	เจล
12	+	เจล	+	เจล
13	+	เจล	+	เจล
14	+	เจล	+	เจล
15	+	เจล	+	เจล

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่เกิดเจล : + หมายถึง เกิดเจล

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติการเกิดเจลของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้งและโม่เปียก โดยเตรียมตัวอย่างแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 8 9 10 11 12 13 14 และ15 (น้ำหนัก/ปริมาตร) นำไปต้มในน้ำเดือด 1 ชั่วโมง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงดูความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจล พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้งและโม่เปียกจะเกิดเจลต่ำสุดที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 9 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลทิพย์ กมลทิพย์ [13] ที่พบว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนในการพรีเจลาติไนซ์มีความเข้มข้นต่ำสุดที่เกิดเจลเท่ากับร้อยละ 9 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และที่ระดับความเข้มข้นที่ร้อยละ 7 และร้อยละ 8 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ของแป้งถั่วเขียวจากวิธีการโม่แห้ง และโม่เปียกจะยังไม่เกิดเจลเช่นเดียวกัน

3.3.7 การแช่แข็งและการละลาย (Freeze thaw stability) ของแป้งถั่วเขียวงอก

ตารางที่ 3 ผลของวิธีการผลิตแป้งต่อ% Syneresis การแช่แข็งและการละลายของแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งและโม่เปียก

วิธีการโม่แป้ง	ความเข้มข้น (w/v)	% Syneresis of cycle		
		1	2	3
โม่แห้ง	9	60.20^{a}	3.32^{a}	1.54^{a}
โม่เปียก		31.40^{b}	2.56^{b}	1.27^{b}
โม่แห้ง	14	19.64^{a}	2.95^{a}	ND.
โม่เปียก		18.46^{b}	2.53^{b}	ND.

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

: ND คือไม่สามารถแสดงค่า % Syneresis ได้เนื่องจากไม่มีของเหลวออกมา

ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมักมีโอกาสที่อุณหภูมิของอาหารจะไม่คงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การเก็บตามร้านค้า หรือเกิดเนื่องจากผู้บริโภค แม้จะไม่ทำให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ แต่ก็ทำให้มีการละลายเป็นบางส่วนได้ ซึ่งจะเกิดรอบของการแช่เยือกแข็ง และการละลายน้ำแข็งในระยะเวลาสั้นๆ ส่งผลร่วมกับการละลายอาหารก่อนการบริโภค ทำให้มีน้ำซึมออกจากโครงสร้างในอาหาร(drip loos) และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งมีสตาร์ชเป็นส่วนผสม ปัญหานี้เป็นผลมาจากการคืนตัวของสตาร์ช [14] ดังนั้นสตาร์ชที่ใช้ควรมีความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็งการละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw stability) ซึ่งความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็งอาจแสดงในรูปของปริมาณน้ำที่ออกมาจากเจล (syneresis) [15]

จากตารางที่ 3 ผลของวิธีการทำแป้งต่อ % syneresis การแช่แข็ง และการละลายของแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งและโม่เปียกโดยการเตรียมสารละลายแป้งความเข้มข้นร้อยละ 9 (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า แป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการการโม่แห้ง มี % syneresis รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 คือ 60.21 3.32 และ 1.54 ตามลำดับ และแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการการโม่เปียก มี % syneresis รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 คือ 31.41 2.56 และ 1.27 ตามลำดับ ในขณะที่สารละลายแป้งความเข้มข้นร้อยละ 14 (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการการโม่แห้งมี % syneresis รอบที่ 1 และ รอบที่ 2 คือ 19.64 และ 2.95 ตามลำดับ และแป้งถั่วเขียวงอก

จากวิธีการการโม่เปียก มี % syneresis รอบที่ 1 รอบที่ 2 คือ 18.46 2.53 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองการเตรียมสารละลายแป้งความเข้มข้นร้อยละ 14 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ไม่สามารถวัด % syneresis รอบที่ 3 ได้เนื่องจากมีความคงตัวสูงเมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็ง และการละลาย 2 ครั้งขึ้นไป โดยเมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแป้งทั้งสองวิธีพบว่าแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่แห้งมี % syneresis สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่แห้งจึงมีความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการละลายน้ำแข็งน้อยกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโดยวิธีการโม่เปียก

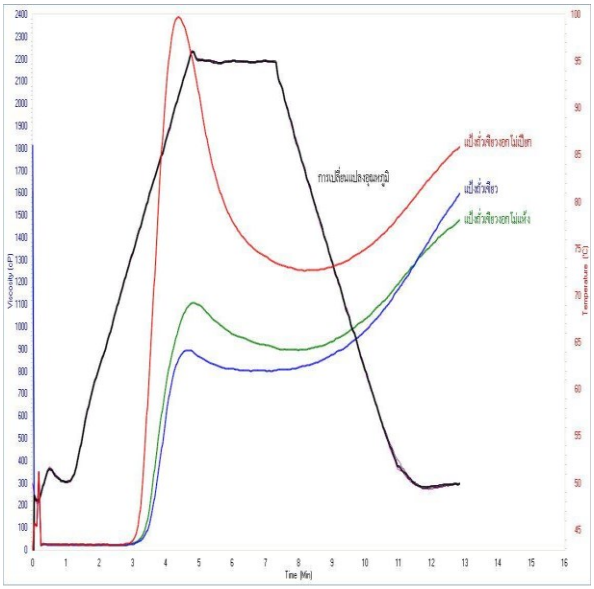
3.3.8 ผลของวิธีการผลิตแป้งต่อค่าความหนืดของแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอก โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ตารางที่ 4 ค่าความหนืดของแป้งถั่วเขียวงอกด้วยวิธีการผลิตแป้งแบบโม่แห้ง และโม่เปียก

คุณสมบัติความหนืด	แป้งถั่วเขียวไม่งอก	วิธีการโม่แป้งถั่วเขียวงอก	
		โม่แห้ง	โม่เปียก
Peak Viscosity (RVU)	897.50^{c}	1113.00^{b}	2391.00^{a}
Trough Viscosity (RVU)	804.50^{c}	900.50^{b}	1257.00^{a}
Breakdown (RVU)	93.00	212.50^{b}	1138.50^{a}
Final Viscosity (RVU)	1625.50^{b}	1489.50^{c}	1828.50^{a}
Setback Viscosity 1 (RVU)	821.00^{a}	589.00^{b}	571.50^{c}
Setback Viscosity 2 (RVU)	821.00^{a}	569.00^{b}	568.50^{b}
Peak Time (min)	4.64^{b}	4.87^{a}	4.435^{c}
Pasting Temperature (^{o}C) ^{ns}	79.33 ^{ns}	78.38 ^{ns}	75.03 ^{ns}

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$)



ภาพที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งถั่วเขียว แป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง และแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ [9]

ตารางที่ 4 ภาพที่ 5 แสดงการวัดความหนืดของแป้งถั่วเขียว แป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง และแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกด้วยเครื่องRapidViscoAnalyser (RVA) พบว่าการงอกและวิธีการโม่แป้งมีผลต่อค่าpeakviscositybreakdown และsetback แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)โดยแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกจะมีค่าpeakviscositybreakdown และ setback สูงกว่าแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีปริมาณไขมัน และโปรตีนมากกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ซึ่งไขมันสามารถสร้างพันธะอะไมโลสเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งจะไปยับยั้งการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ช ส่วนโปรตีนจะไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้แป้งมีค่า peakviscosity ต่ำส่งผลให้ความหนืดต่ำกว่าแป้งโม่เปียกผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul[16] ที่พบว่าความหนืดของแป้งขนุนจากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งขนุนโม่เปียกนอกจากนี้การโม่แห้งทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายมากแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง จึงมี

peak viscosity และ breakdown ต่ำ และอาจเนื่องมากจากแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีปริมาณของโปรตีนสูงกว่าแป้งโม่เปียก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับมนทกานต์ [10] ที่พบว่าความหนืดของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก

สำหรับค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนแล้วเกิดการเจลาติไนซ์ ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนทำให้ร่างแหไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงลดลง เม็ดสตาร์ชจึงดูดน้ำ และพองตัวขึ้น [8]และค่า peak time ซึ่งเวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด จากการทดลองพบว่า การงอก และวิธีการโม่มีผลต่อค่า pesting temperature และ peak time อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่า pesting temperature และ peak time ของแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีแนวโน้มสูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งงอกโม่เปียก ซึ่งโปรตีนในแป้งจะไปกำจัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช นอกจากนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณไขมันในแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี ดังกล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังการพองตัวกับค่า pasting temperature ของแป้งถั่วเขียวงอกจะเห็นได้ว่ากำลังการพองตัวของแป้งถั่วเขียวงอกที่ได้จากวิธีการโม่ทั้ง 2 วิธี ที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และค่า pasting temperature ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA มีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเช่นกัน นอกจากนี้ค่า pasting temperature และค่า peak time ของแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีค่าต่ำกว่าแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง แสดงให้เห็นว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกสามารถพองตัวได้ง่ายกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่ทั้ง 2 วิธี ที่พบว่าที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีกำลังการพองตัวสูงกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้เร็วกว่าส่งผลให้ pasting temperature และ peak time ต่ำกว่าแป้งถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

4. สรุปผลการวิจัย

คุณสมบัติทางเคมีของแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งและโม่เปียก มีความแตกต่างกัน($p \leq .05$)โดยแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ในขณะที่แป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกจากวิธีการโม่แห้ง($p \leq .05$)

แป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งมีค่าสี L* a* สูงกว่า แป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ในขณะที่แป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกมีค่าสี b* และความหนาแน่นสูงว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้ง($p \leq .05$)

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอกวิธีการโม่แป้งที่ต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงหน้าที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)ซึ่งแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งจะมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำมัน ค่าการละลาย การเกิดอิมัลชัน ความเสถียรของอิมัลชัน การเกิดฟอง ความเสถียรของฟอง และการแช่แข็งและการ ละลายน้ำที่สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียก ในขณะที่แป้งถั่วเขียวงอกโม่เปียกจะมีคุณสมบัติของกำลังการพองตัว และความหนืดที่สูงกว่าแป้งถั่วเขียวงอกโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สุชาดา ไม้สนธิ์. 2555. **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการงอกของถั่วต่อปริมาณสารกาบา(GABA) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และการเปลี่ยนแปลงของสารระหว่างการแปรรูป.**รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ.

[2] Kayahara, H. and Tsukahara, K. 2000. ***Flavor, health and nutritional quality of pregerminated brown rice***. Presented at International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii,December.

[3] Komindr, S., Ingsriswang, S., Lerdvuthisopon, N., and Boontawee, A. 2001. **Effect of long-term intake of Asian food with different glycemic indices on diabetic control and protein conservation in type 2 diabetic patients**. J Med Assoc Thai., 84 (1): 85-97.

[4] Olaleke, A.M., Olorunfemi, O., and Emmauel, A.T. 2006. **A comparative study on the chemical and amino acid composition of some nigerian under-utilized legume flours**. Pakistan Journal of Nutrition,5: 34-38.

[5] Chen, J. J., Lu, S., and Lii, C. Y. 1998. **Physicochemical properties changes in waxy rice flour using different milling methodse**. Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society.36(3):272-282.

[6] Bettge, A. D., Giroux, M. J., and Morris, C. F. 2000. **Susceptibility of waxy starch granulesto mechanical damagee**. Cereal Chemistry, 77(6):750-753.

[7] AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 17th ed. William Horwitz. U.S.A. Association of Official Analytical Chemist, Inc.

[8] Guerrero, L.C., Flores, V.P., Ancona, D.B. and Ortiz, G.D. 2002. **Functional properties of flours and isolates from Phaseolus lunatus and Canavalia ensifrormis seeds.** Journal of Agricaltural Food Chemistry, 50(3): 584-91.

[9] กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[10] มนทกานต์ เบญจพลากร. 2549. **สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัดน่าน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[11] สวนิต อิชยาวณิชย์, มนฑิรา นพรัตน์ และ พรรณจิรา วงค์สวัสดิ์. 2547. **คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และรีโอโลจีของแป้งข้าวจ้าวที่ผลิตโดยกระบวนการโม่เปียกและโม่แห้งในระดับอุตสาหกรรม.** วารสารวิจัยและพัฒนา,3: 357-374

[12] โศรดา วัลภา กุลรภัส วชิรศิริ ดำรงชัย สิทธิสำอาง และ ฐิติชญา สุวรรณทัพ. 2555. **องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วพื้นเมืองชนิดต่างๆ**.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43 (2) (พิเศษ): 345-348.

[13] กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์. 2553. **สมบัติทางเคมี - กายภาพ และหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่งและการประยุกต์ใช้.**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, กรุงเทพฯ.

[14] Light, J. M. 1990. **Modified food starch: Why, what, where, and how.** Cereal Food World, 35(11) : 1081-1092.

[15] Liu, H., Ramsden, L., and Corke, H. 1999. **Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch.** Starke, 51(7): 249-252.

[16] Mukprasirt, A., and Sajjaanantakul, K. 2004. **Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruits seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches.** International Journal of Food Science and Technology, 39(3):271-276.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทจากข้าวเหนียวดำโดยใช้ข้าวแดงอังคักร่วมกับลูกแป้งในการหมัก

Product Development of Sato from Black Glutinous Rice by Red Yeast Rice (Ang-kak) Mixed Thai Traditional Fermentation Starter (Loog-Pang)

กฤษณะ บัวทอง และ สุชาดา ไม้สนธิ์*
Kritsana buathong and Suchada Maisont*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
***Corresponding author:** smaisont@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมต่อการหมักสาโทจากข้าวเหนียวดำโดยใช้ลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 (ของน้ำหนักข้าวเหนียวก่อนแช่น้ำ)จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส การตรวจสอบคุณภาพจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือการหมักระยะที่ 1 (เวลาหมัก 7 วัน) การหมักระยะที่ 2 (เวลาหมัก14 วัน) และหลังการพาสเจอไรซ์พบว่าการหมักในระยะที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรดด่างของการใช้ลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) แต่แตกต่างจากการใช้ลูกแป้งร้อยละ 7 โดยมีค่าสูงกว่า ในขณะที่ปริมาณน้ำต้อย (น้ำที่ซึมออกจากเมล็ดข้าวในระหว่างหมัก) การใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.5 จะมีปริมาณน้ำต้อยมากที่สุดรองลงมาคือลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ การหมักระยะที่ 2 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะลดลงและปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นอยู่ช่วงระหว่างร้อยละ 12-15.5 โดยการใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.5 จะมีปริมาณแอลกอฮอล์มากสุดอยู่ที่ร้อยละ 15.5 คุณภาพของสาโทหลังการพาสเจอไรซ์ไม่มี ความแตกต่าง ($p > .05$)จากการหมักในระยะที่ 2 ส่วนผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม พบว่าสาโทที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.5 ได้รับการยอมรับสูงสุด โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก จึงเลือกการใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.5 นำไปศึกษาผลของข้าวแดง (อังคัก)ร่วมในการหมักที่ร้อยละ 0 1 2 และ 3 (ของน้ำหนักข้าวเหนียวดำก่อนแช่) จากนั้นนำสาโทมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อสาโทหมักครบ 7 และ 14 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความขุ่น ค่าสี L* และ b* ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) ส่วนค่าสี a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับของการใช้ข้าวแดง ($p \geq .05$) หลังการพาสเจอไรซ์สาโท พบว่าคุณสมบัติทางเคมี กายภาพไม่มีความแตกต่างกัน ($p > .05$)ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสาโทข้าวเหนียวดำที่ใช้ข้าวแดงร่วมกับลูกแป้งในการหมักได้คะแนนความชอบ กลิ่นรส และสี สูงกว่าสาโทที่ไม่ได้ใช้ข้าวแดง และสาโทที่ใช้ข้าวแดงร้อยละ 1 ร่วมกับการใช้ลูกแป้งร้อยละ 5 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด โดยสาโทจากข้าวเหนียวดำจะมีจุดเด่นคือสีแดงม่วงคล้ายไวน์องุ่น และมีกลิ่นหอมของข้าวเหนียวดำร่วมกับกลิ่นเฉพาะตัวของข้าวแดงอังคัก และมีรสขมเล็กน้อยซึ่งเกิดจากข้าวแดงอังคักทำให้สาโทมีรสชาติที่กลมกล่อม

คำสำคัญ: สาโท ลูกแป้ง ข้าวเหนียวดำ ข้าวแดง (อังคัก)

Abstract

This work aim to study an appropriated amount of Thai traditional fermentation starter (Loog–pang) for the fermentation of Sato from black glutinous rice, in which Long–pang was varied of 0.3 0.5 and 0.7% of unsoaked glutinous rice. The properties of Sato were measured in 3 preriod of fermentation time of 7 fermentation days (first stage of fermentation), 14 fermentation days (second stage of fermentation), and after pasteurization. At the first stage of fermentation, the total soluble solid, alcohol content and pH of product of 0.3 and 0.5% Loog–pang were not significantly different but those of product of 0.7% Loog-pang was higher than 0.3 and 0.5% Loog–pang. Whereas, Nam toi (secredtion water from rice kernel during fermentation) of 0.5% Long – pang was higher than the product of 0.3 and 0.7% Loog–pang, respectively. At the second stage of fermentation, the total soluble solids were decreased but the alcohol contents were increased at the ranges of 12 – 15.5%, with the alcohol content of fermentation at 0.5% Loog–pangwas the higest at 15.5%. After pasteurization, the properties of Sato was not significantly different to those of second stage of fermentation. The sensory evaluation show that Sato at 0.5% Loog–pang fermentation had the higest score in which moderately like and like for clearance, color, flavor, taste, and overall liking. The Sato at 0.5% Loog–pangwas selected to study effect of Ang-kak on the fermentation at 0, 1, 2, and 3% Ang-kak of unsoak glutinous rice. The results show that Sato at 7 and 14 days of fermentation were not significantly different in total soluble solid, alcohol content, pH, total acidity, turbidity, L* and b*, but a* was higher according to Ang-kak content. Sato after pasteurization, the chemical and physical properties were the same to before pasteurization. Sensory evaluation test show that Sato with Ang-kak fermentation had the higher score than Sato without Ang-kak fermentation. And black glutinous rice Sato with 1% Ang-kak combiud with 5% Long – pangfermentation had the highest score, with off – red color like red wine, flavor from black glutinous rice, and specific flavor and a biter of Ang-kak resulted in an good taste of Sato.

Keywords: Sato, Loog-pang, Black glutinous rice, red yeast rice (Ang-kak)

1.บทนำ

สาโท (Sato) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พื้นบ้านนิยมในภาคเหนือ ภาคอีสานและภาคกลาง [1] วัตถุดิบหลักในการหมักสาโทคือข้าวเหนียว น้ำ และลูกแป้ง ซึ่งลูกแป้งที่ใช้ในการผลิตสาโทประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์หลักๆ คือ ราและยีสต์ เชื้อราจะทำหน้าที่ย่อยแป้งจากข้าวเหนียวนึ่งให้เป็นน้ำตาล ส่วนยีสต์จะทำการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ลูกแป้งที่ใช้ผลิตสาโทในประเทศไทยนั้น ยังมีสูตรดั้งเดิมที่ไม่มีการควบคุมปริมาณและสายพันธุ์ที่ใช้ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สาโท ถึงแม้ว่าสาโทนั้นจะมีการผลิตมาเป็นเวลานาน แต่การจำหน่ายและการขายสาโทนั้นยังไม่มีการขยายตัวมากนัก ซึ่งอาจจะเกิดจากการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่นรสชาติที่เปรี้ยวไป หวานไป และยังขาดการพัฒนาอย่างจริงจังในด้านรสชาติและกลิ่นรส ดังนั้นการพัฒนาสาโทให้มีความหลากหลายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่อาจทำให้สาโทได้รับความนิยมจากผู้บริโภค ปัจจุบันมีการนำข้าวเหนียวดำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีสารที่มีประโยชน์คือแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแกมมาโอไรซานอล (Gamma–Oryzanol) ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง โดยทั่วไปสาโทจะไม่นิยมผลิตจากข้าวเหนียวดำ เนื่องจากมีความแข็งจากส่วนของขั้นรำ แต่ในส่วนของชั้นรำนั้นมีประโยชน์มากมายดังที่กล่าวมาข้างต้น ข้าวแดงอังคัก (red yeast rice) เป็นผลิตภัณฑ์จากการหมักข้าวด้วยเชื้อ *Monascus spp.*ซึ่งเชื้อจะสร้างเส้นใยชอนไชปกคลุมเมล็ดข้าว และสร้างสารสีขึ้น สารสีธรรมชาติจากเชื้อราโมแนสคัสถูกนำมาใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เต้าหู้ยี้ กะปิ ปลาแป้งแดง กุนเชียง เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้ปรุงแต่งสีและกลิ่นของอาหารได้เป็นอย่างดี การบริโภคข้าวแดงยังช่วยรักษาอาการต่างๆ เช่น ช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาท้องร่วงและช่วยในการทำงานของระบบไหลเวียนเลือด ในข้าวแดงยังมีสารสีโมนาโคลิน เค (Monacolin K) ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์โดยเชื้อราโมแนสคัส ซึ่งสารโมนาโคลินเคนี้มีส่วนทำให้การสังเคราะห์คลอเลสเตอรอล

ลดลง โดยไปกำจัด VLDL (very low density lipoprotein) และ LDL(low density lipopro- tein) ในหลอดเลือด [2]Wang และคณะ [3] ได้ทดลองเลี้ยงหนูที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงด้วยอาหารผสมน้ำตาลฟรุคโตส 30% มีและไม่มีข้าวแดง 2% เปรียบเทียบกัน พบว่า ข้าวแดงช่วยลดปริมาณไขมันในเลือด และคลอเลสเตอรอลทั้งหมดในหนูที่รับประทานอาหารที่มีข้าวแดง และจากการรายงานการวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาผลของข้าวแดงต่อระดับคลอเลสเตอรอลในคนพบว่าข้าวแดงสามารถลดระดับคลอเลสเตอรอลได้ [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมในการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำ และใช้ข้าวแดงอังคักร่วมกับลูกแป้งในการผลิตสาโทศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สาโท เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคสาโทและเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทให้มีความหลากหลายมากขึ้น

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

- ข้าวเหนียวดำจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านบึงตะเข้(เก็บเกี่ยวเดือนธันวาคม 2557)

-ข้าวแดง(อังคัก) จากร้านเวชพงศ์โอสถ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร

-ลูกแป้งจากจังหวัดมหาสารคามผลิตไม่เกิน 1 เดือน (ก่อนการทดลอง)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การศึกษาปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมต่อการหมักสาโทจากข้าวเหนียวดำ

การผลิตสาโท อ้างอิงวิธีการผลิตจากพรประภา และคณะ [5] โดยศึกษาการใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 (ของน้ำหนักข้าวเหนียวดำก่อนแช่) ตามลำดับวางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design,CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อหมักได้ระยะที่ 1 (หมักครบ 7 วัน) นำสาโทไปทดสอบทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ด้วยเครื่อง Hand Refractometer [6]), แอลกอฮอล์ (ด้วยเครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์; Ebulliometer [6]),ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ด้วยเครื่อง pH meter [6])และปริมาณกรดทั้งหมด (ด้วยการไตเตรท) ปริมาณน้ำต้อย (วัดปริมาตรน้ำที่ซึมออกมาจากเมล็ดข้าวเมื่อหมักข้าวเหนียวครบ 7 วัน วัดโดยการเทข้าวใส่กระชอนและทิ้งให้น้ำหยดออกเป็นเวลา 15 นาทีแล้ววัดปริมาตรน้ำที่ได้) และเมื่อหมักได้ระยะที่ 2 (หมักครบ 14 วัน)นำน้ำสาโทไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด แอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมด และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม คัดเลือกสาโทที่ดีโดยใช้ระดับแอลกอฮอล์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นดัชนีคัดเลือกเมื่อได้ระดับของลูกแป้งที่เหมาะสมแล้วจึงศึกษาผลของข้าวแดง (อังคัก)ในขั้นต่อไป

2.2.2 เพื่อศึกษาผลของข้าวแดง (อังคัก) ในระดับต่างๆ ร่วมกับลูกแป้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สาโทจากข้าวเหนียวดำ

การผลิตสาโท อ้างอิงวิธีการผลิตจากพรประภา และคณะ [5] โดยศึกษาการใช้ลูกแป้งที่ได้จากการศึกษาในข้อที่ 1 ร่วมกับข้าวแดง (อังคัก) ที่ร้อยละ 0 1 2 และ 3 (ของน้ำหนักข้าวเหนียวดำก่อนแช่) ตามลำดับ ผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design,RCBD) ใช้แบบทดสอบ Hedonic scale 7point ในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม แล้วหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan’ Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS 16.0 for windows

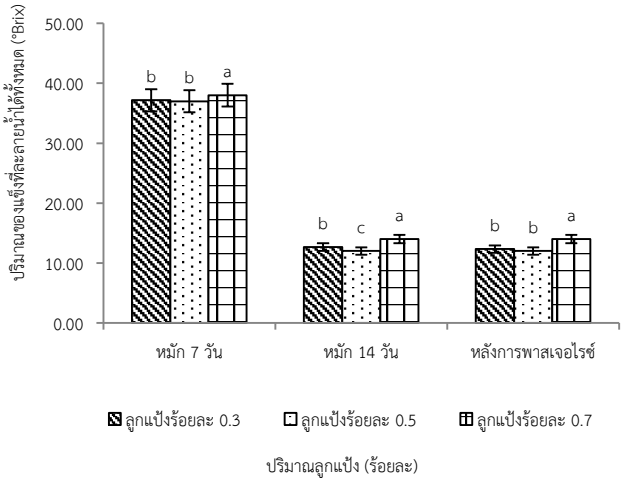
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมต่อการหมักสาโทจากข้าวเหนียวดำ

3.1.1 ด้านเคมี

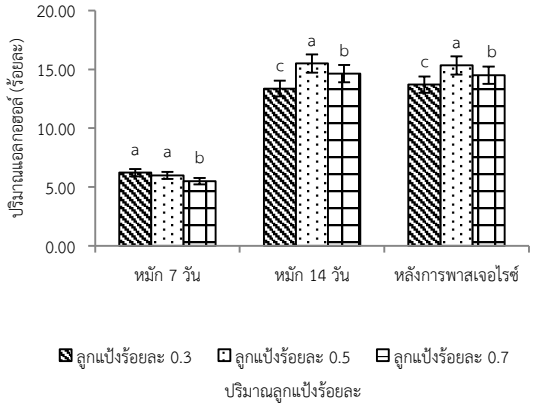
1) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสาโทข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 ในช่วงการหมักระยะที่ 1 การหมักระยะที่ 2 และหลังการพาสเจอไรซ์แสดงดังภาพที่ 1สาโทที่หมักระยะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 37.17 37.00 และ 38.00 ตามลำดับ ช่วงการหมักระยะที่ 2 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.6712.00 และ 14.00 °Brixตามลำดับ และหลังการพาสเจอไรซ์ มีค่าเฉลี่ย12.3312.00 และ 14.00 ตามลำดับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจากการหมักระยะที่ 1 พบว่าการหมักด้วยลูกแป้งที่ร้อยละ 0.3 และ 0.5 จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่าง

กัน (p>.05) แต่เมื่อเพิ่มระดับลูกแป้งเป็นร้อยละ 0.7 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะสูงขึ้น (p≤.05) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังการพาสเจอไรซ์ พบว่าการหมักสาโทด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.7 ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงที่สุดแตกต่างกัน (p≤.05) กับการหมักด้วยลูกแป้งร้อยละ0.3 และ 0.5 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของการหมักสาโทเมื่อผ่านขั้นแรกจะมีการย่อยแป้งโดยเชื้อราได้เป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นยีสต์ในลูกแป้งจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์



ภาพที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่การหมัก7, 14 วัน และหลังการพาสเจอไรซ์

2) ปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทข้าวเหนียวดำที่หมักระยะที่ 1, 2 และหลังการพาสเจอไรซ์ แสดงดังภาพที่ 2 การหมักระยะที่ 1มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.23 6.00 และ 5.50 ตามลำดับ การหมักระยะที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.37 15.50 และ 14.63 ตามลำดับ และหลังการพาสเจอไรซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ13.70 15.33 และ 14.50 ตามลำดับ ปริมาณแอลกอฮอล์จากการหมักระยะที่ 1 พบว่าสาโทที่ใช้ลูกแป้งร้อยละ 0.7 มีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุดแตกต่างจากสาโทที่ใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.3 และ 0.5(p≤.05) ปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทที่ใช้ลูกแป้ง 0.5 จะสูงกว่า 0.3 เล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่เชื้อราสามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้มาก ยีสต์จึงสามารถใช้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้มากตามไปด้วย ตามลำดับ ปริมาณแอลกอฮอล์จากการหมักระยะที่ 2 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์แตกต่างกัน (p≤.05) โดยที่ลูกแป้งร้อยละ 0.5มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด รองลงมาคือลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่เชื้อราสามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้มาก ยีสต์จึงสามารถใช้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้มากเช่นกัน และปริมาณแอลกอฮอล์หลังการพาสเจอไรซ์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงมีทิศทางเดียวกับการหมักระยะที่ 2 แต่ปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากการระเหยในระหว่างกระบวนการพาสเจอไรซ์



ภาพที่ 2 ปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่การหมัก 7,14 วัน และหลังการพาสเจอไรซ์

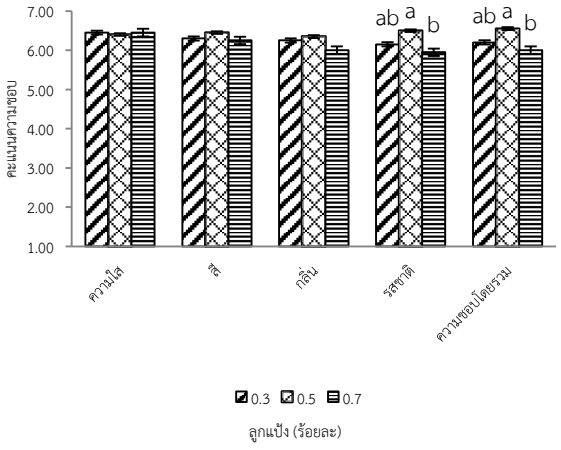
3) ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (p>.05)ทั้งที่ระยะการหมักที่ 1 2 และหลัง พาสเจอไรซ์ โดยสาโทที่ใช้ลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 3.76 และร้อยละ 0.7 อยู่ที่ 3.75 ประดิษฐ์ [7] กล่าวว่าในการหมักผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์ เช่น สาเก pH จะอยู่ในช่วง 3.6-3.8 ซึ่งค่า pH ในช่วงนี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการเจริญช้า ซึ่งในการทดลองนี้สาโทมี pH อยู่ในช่วงดังกล่าว

4) ปริมาณกรดทั้งหมดของสาโทข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 ในช่วงการหมักระยะที่ 1 การหมักระยะที่ 2 และหลังการพาสเจอไรซ์ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.012 – 0.011 และ 0.009 ไม่มีความแตกต่างกัน (p>.05) แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อหมักเป็นระยะเวลานานขึ้นค่าปริมาณกรดทั้งหมดยิ่งลดลง เนื่องจากในระหว่างการหมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เชื้อราเติบโตและผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล และเชื้อราบางส่วนจะสร้างกรด ทำให้สภาพของน้ำหมักเกิดเป็นกรดทำให้มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย และจะหยุดกิจกรรมลงเนื่องจากมีความชื้นใน substrate สูงขึ้นคือช่วงที่เริ่มมีน้ำซึมออกมาจากเมล็ดข้าวหรือที่เราเรียกว่า (น้ำต้อย) มากขึ้น และอีกกรณีหนึ่งสภาวะการหมักมีแอลกอฮอล์สูงขึ้นเชื้อราไม่สามารถทนทานต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่เชื้อยีสต์ผลิตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความเป็นกรดจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ

3.1.2 ด้านกายภาพ

ปริมาณน้ำต้อยจากการหมักระยะที่ 1(หมัก 7 วัน) น้ำต้อย หมายถึง น้ำที่ซึมออกมาจากเมล็ดข้าวเมื่อหมักข้าวเหนียวครบ 7 วัน วัดโดยการเทข้าวใส่กระชอนและทิ้งให้น้ำหยดออกเป็นเวลา 15 นาที ของข้าวเหนียวดำหมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 มีค่าเฉลี่ย 549 567 และ 540มิลลิลิตรตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณน้ำต้อยมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) โดยที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.5 มีปริมาณน้ำต้อยมากที่สุด รองลงมาคือที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ ในลูกแป้งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่สำคัญคือราและยีสต์ในช่วงแรกของการหมักราจะสังเคราะห์เอนไซม์ในกลุ่มอะไมโลไลติกเอนไซม์ เช่น แอลฟาอะไมเลส และกลูโคอะไมเลส ซึ่งจะย่อยพันธะ แอลฟา -1,4- และพันธะแอลฟา -1,6-ไกลโคซิดิคของสายพอลิเมอร์ของแป้งทั้งที่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลส และอะไมโลเพกตินเป็นกลูโคสหรือเป็นน้ำยางเหนียวที่เรียกว่าน้ำต้อยออกมา ซึ่งเชื้อราในลูกแป้งร้อยละ 0.5 นั้นอาจมีปริมาณเชื้อราที่เหมาะสมต่อการย่อยได้มากที่สุดจึงส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำต้อยมากกว่าการหมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 และ 0.7

3.1.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 หลังการพาสเจอไรซ์มีผลแต่ละด้านแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สาโทจากข้าวเหนียวดำ

คุณลักษณะทางด้านความใส สี กลิ่นของสาโทข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>.05$) ส่วนคุณลักษณะทางด้านรสชาติพบว่าลูกแป้งร้อยละ 0.5 มีคะแนนความชอบสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับลูกแป้งร้อยละ 0.3 แต่แตกต่าง ($p \leq .05$) กับลูกแป้งร้อยละ 0.7 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านคุณลักษณะทางด้านรสชาติที่ลูกแป้งร้อยละ 0.5 สูงสุดเท่ากับ 6.55 คะแนน โดยผู้ทดสอบชิมให้ข้อเสนอแนะว่าการใช้ลูกแป้งในการผลิตสาโทข้าวเหนียวดำที่ร้อยละ 0.3 สาโทจะมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย และการใช้ลูกแป้งในการผลิตสาโทข้าวเหนียวดำที่ร้อยละ 0.7 สาโทจะมีรสชาติออกหวานมากเกินไป

คุณลักษณะทางด้านความชอบโดยรวมพบว่าการใช้ลูกแป้งในการผลิตสาโทข้าวเหนียวดำที่ร้อยละ 0.5 มีคะแนนความชอบสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่าง ($p>.05$) กับการใช้ลูกแป้งในการผลิตสาโทที่ร้อยละ 0.3 แต่แตกต่างกับการใช้ลูกแป้งในการผลิตสาโทที่ร้อยละ 0.7 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านความชอบโดยรวมของสาโทข้าวเหนียวดำอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

จากผลการทดลองในการศึกษาผลของลูกแป้งต่อคุณภาพสาโทจากข้าวเหนียวดำ เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.5 มีความเหมาะสมในการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำมากที่สุด

3.2 ผลของข้าวแดง (อังคัก) ในระดับต่างๆร่วมกับลูกแป้งร้อยละ 0.5 ในการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำ

3.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

1) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด(°Brix) ของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่ใช้ลูกแป้งร้อยละ 0.5 และใช้ข้าวแดงร้อยละ0 1 2 และ 3 ที่การหมักระยะที่ 1 (หมัก 7 วัน) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 36.50 – 39.00 แต่จะสังเกตได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสาโทที่ใช้ข้าวแดงร่วมในการหมักมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงกว่าการที่ไม่ใช้ข้าวแดง อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากข้าวแดงเป็นข้าวที่เกิดจากการหมักข้าวด้วยเชื้อรา เมื่อใช้ข้าวแดงร่วมกับลูกแป้งในการผลิตสาโท เชื้อราจากข้าวแดงจะช่วยให้กระบวนการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงขึ้นด้วยและเข้าระยะการหมักที่ 2พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสาโทจะลดลงอยู่ที่ปริมาณร้อยละ 11 – 12 แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>.05$)เนื่องจากก่อนการหมักระยะที่ 2

จะต้องทำการผ่าน้ำแล้วปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดให้เท่ากับ 20 °Brixด้วยน้ำตาลทรายทำให้ยีสต์สามารถใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

2) ปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทที่การหมักระยะที่ 1 (หมัก 7 วัน) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.43 5.23 5.77 และ 5.77 ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>.05)แต่การใช้ข้าวแดงที่ร้อยละ 2 และ 3 มีปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุดและเมื่อเข้าสู่ระยะการหมักระยะที่ 2 (หมัก14 วัน) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.50 17.00 16.50 และ 16.67 ตามลำดับ ส่วนหลังการพาสเจอไรซ์มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์เพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะระเหยไปในระหว่างให้ความร้อน

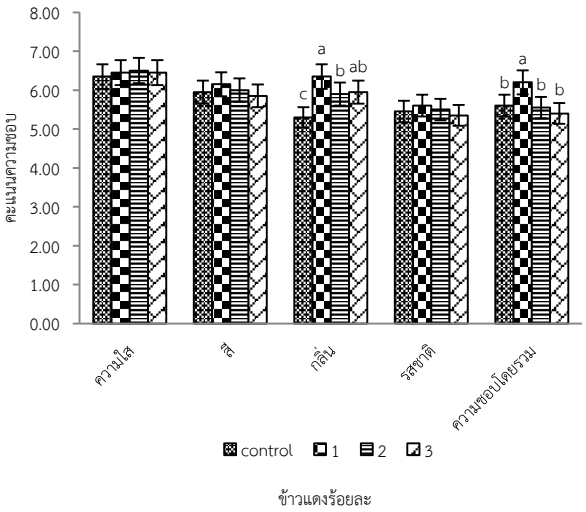
3) ความเป็นกรด-ด่างของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่การหมัก หมัก 7, 14 วัน และหลังการพาสเจอไรซ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>.05) สาโทมีรสเปรี้ยวเล็กน้อยซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียปนเปื้อนต่างๆ และยีสต์ยังเจริญและผลิตแอลกอฮอล์ได้ดี เมื่อน้ำหมักมี pH อยู่ในช่วงดังกล่าว นภา [8] กล่าวว่าในระหว่างกระบวนการหมักสาโทจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.2-4.5

4) ปริมาณกรดทั้งหมดของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่การหมัก 7, 14 วัน และหลังการพาสเจอไรซ์ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าอยู่ระหว่าง 0.009 – 0.021

3.2.2 คุณสมบัติด้านกายภาพ

ค่าสีL* a* b* ของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่ใช้ข้าวแดงร้อยละ0 1 2 และ 3 ที่การหมักระยะที่ 1 (หมัก 7 วัน) ค่าสี L* a* b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำของสาโทเริ่มใสขึ้น และมีสีแดงเพิ่มมากขึ้นตามลำดับของการใช้ข้าวแดง ส่วนหลังการพาสเจอไรซ์ ค่าสีL* a* b* ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.2.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สาโท แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่ใช้ลูกแป้งร่วมกับข้าวแดง

คุณลักษณะด้านความใส สี และรสชาติของสาโทไม่มีความแตกต่างกัน (p> .05)อยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามรสชาติของสาโทจากเหนียวดำที่ใช้ข้าวแดงร้อยละ 3 มีคะแนนรสชาติน้อยที่สุด ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนสาโทที่ใช้ข้าวแดงร้อยละ 1 มากที่สุดเท่ากับ 5.60 คะแนนเนื่องจากสาโทจากข้าวเหนียวดำที่เติมข้าวแดงมากกว่าร้อยละ 1 จะมีรสชาติค่อนข้างขมด้านกลิ่นของสาโทที่ใช้ข้าวแดงในระดับต่างๆ มีมีความแตกต่างกัน (p≤.05) โดยคะแนนคุณลักษณะทางด้านกลิ่นของสาโทจากข้าวเหนียวดำที่ข้าวแดงร้อยละ 0 หรือที่ไม่ได้ใช้ข้าวแดง มีคะแนนด้านกลิ่นน้อยที่สุด และเมื่อเพิ่มการใช้ข้าวแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนสาโทที่ใช้ข้าวแดงร้อยละ 1 มากที่สุดเท่ากับ 6.35 คะแนน อยู่ในคะแนนความชอบระดับปานกลางเนื่องจากมีกลิ่นหอมของข้าวแดง สอดคล้องกับปิ่นมณีและศรีสุรางค์ [1]ได้รายงานว่าการหมักสาโทสมุนไพรจะได้สาโทที่มีสีกลิ่นและรสชาติต่างไปจากเดิมและมีแนวโน้มของการยอมรับสูงขึ้น และการปรับเปลี่ยนกลิ่นและรสชาติสาโทให้แตกต่างจากเดิมเช่นการเติมน้ำสกัดจากสมุนไพรหรือน้ำผลไม้บางชนิดในขั้นตอนของการหมักเช่นสาโทองุ่นสาโทสับปะรดเป็นต้น และกลิ่นของสาโทที่ได้นี้อาจจะเป็นกลิ่นเฉพาะของข้าวแดงร่วมด้วยส่วนความชอบโดยรวมพบว่าการใช้ข้าวแดงที่ร้อยละ 1 มีคะแนนความชอบแตกต่างจากการใช้ข้าวแดงร้อยละ 0 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤.05) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านคุณลักษณะ

ทางด้านความชอบโดยรวมที่ข้าวแดงร้อยละ 1 มากที่สุด เท่ากับ 6.20คะแนนอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

4. สรุปผลการวิจัย

การใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 (ของน้ำหนักข้าวเหนียวก่อนแช่น้ำ) ในการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำ คุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสของสาโทที่ได้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สามารถใช้ลูกแป้งได้ทุกระดับคือ 0.3 0.5 และ 0.7 แต่การใช้ลูกแป้งที่ร้อยละ 0.5 มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสาโทที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ในส่วนของการใช้ข้าวแดงอังคักที่ร้อยละ 0 1 2 และ 3 ร่วมกับลูกแป้งร้อยละ 0.5 ในการหมักสาโท พบว่าในการหมักระยะที่ 1 และระยะที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ได้แก่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และผลของค่าสี โดยเฉพาะค่าสี a* จะเพิ่มขึ้น การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม พบว่าด้านความใส สีและรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกัน(p>.05) แต่ในด้านกลิ่น และความชอบรวมการใช้ข้าวแดงร้อยละ 1 สาโทจะมีกลิ่นรสที่ดี มีความขมเล็กน้อย เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ดังนั้นการใช้ข้าวแดงร่วมในการหมักสาโทจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำโดยสาโทที่ได้จะมีประโยชน์จากกว่าสาโทที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาวและหมักโดยใช้ลูกแป้งเพียงอย่างเดียว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ปิ่นมณี ขวัญเมือง และศรีสุรางค์ ส่งศรี. 2547. **การหมักสาโทโดยใช้น้ำสกัดจากสมุนไพร.** วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 3(2) : 28 – 34.

[2] Sotiriadis, A. 2000.**Production of lovastatin byAspergillus terreus mutants blocked for lovastatin biosynthesis at the lov C genes.** Journal of the Royal Society of Chemistry, 1: 50-59

[3] Wang, X.H., Ren, H.Y., Liu, D.Y., Zhu, W.Y., and Wang, W. 2013. **Effects of inoculatingLactobacillus sakei starter cultures on themicrobiological quality and nitrite depletion of Chinese fermented sausages**. J. Food Control.,32 : 591-596.

[4] Yang, C.W. and Mousa, S.A. 2012. **The effect of red yeast rice (*Monascus purpureus*) in duslipidemia and other disorders**. Complementary Therapies in Medicine,20: 466-474.

[5] พรประภา วงศ์ฝั้นกรรณิการ์ สมบุญ จารุวรรณ ดรเถื่อนและนภาพร จันทะรัง. 2549. **สาโทสมุนไพรแฟนซี**.ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน: สกลนคร.

[6] วิภาสุโรจนะเมธากุล.2546. **การวิเคราะห์แรงแอลกอฮอล์ในไวน์โดยใช้เครื่องอีบลูลิโอมิเตอร์.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :หน้า 1-30.

[7] ประดิษฐ์ ครุวัณณา. 2525. **สาโทและสาเก.** วารสารอาหาร, 14(1): 14-19.

[8] นภา โลห์ทอง 2535. **กล้าเชื้ออาหารหมักและเทคโนโลยีการผลิต.**ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

ความคิดเห็นของเกษตรกรต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี

Farmer's Opinions on Controlling Coconut Black Head Caterpillar by Chemicals Utilization at Nong Sue District, Pathumthani Province

ทวารัตน์ บุญหอม ธัญญาเรศ ชื่นสุวรรณา และ พิชย์ชัย ทองนวรัตน์*
Tawarat Boonhom Thanyaret Chuensuwanna and Pitchai Thongnavarat*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Agricultural Management Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
***Corresponding author:** parun_kaw@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยทางเศรษฐกิจ แหล่งข้อมูลข่าวสารและความรู้ในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวของผู้ปลูกมะพร้าว 2) เพื่อศึกษาความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว 3) เพื่อศึกษาปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกรในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวใน 6 ตำบลจำนวน 33 รายโดยใช้แบบสอบถามและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่า 1) เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 41-50 ปี จบการศึกษาสูงสุดในระดับประถมศึกษา มีประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าว 6-10 ปี เกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจากพนักงานขายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและส่วนใหญ่ไม่เคยเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าวและเกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในระดับมาก 2) ความคิดเห็นต่อการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในด้านปริมาณสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวที่วางขายมีเพียงพอต่อความต้องการ หาซื้อสารเคมีได้สะดวกตามร้านเคมีภัณฑ์ทั่วไป แหล่งจำหน่ายอยู่ใกล้บ้านและผลผลิตมะพร้าวเพิ่มขึ้นหลังจากการใช้สารกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวอยู่ในระดับมาก 3) เกษตรกรมีปัญหาด้านต้นมะพร้าวมีความสูงขึ้นตามอายุการปลูกปัญหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดสารเคมีหาซื้อยาก ปัญหาผู้ชำนาญการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวมีน้อย และเกษตรกรมีข้อเสนอต้องการให้ภาครัฐจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวด้วยวิธีการต่างๆ ที่ปลอดภัยสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภค

คำสำคัญ: การเลือกใช้สารเคมี หนอนหัวดำมะพร้าว จังหวัดปทุมธานี

Abstract

The objectives of this research were: 1) to study the personal basic demographic factors, economic factors,sources of information and knowledge of coconut farmers in controlling the coconut black head caterpillar2) to study the opinions of farmers on collected chemical usingto eliminate the coconut black head caterpillar3) tostudy the problems and suggestions fromfarmers in Nong Sue district, Pathumthani province. Data collectedfrom 33 coconut farmers by using questionnaires and then statistical analysis. The results shown that 1) most of respondents were males with an average age in range of 41-50 years old and the highest studyis in primary school. They had coconut growingexperience between6-10 years. The information mostly gotfrom agricultural product sellers and most of them did not participate in training ofchemical using. They had knowledge forusing insecticides for control coconut black head caterpillar in

high level. 2) The opinions in using chemicals to eliminate the coconut black head caterpillar in term of the sufficiency of commercial insecticides to agriculturist needs, available in general chemicals stores, not far from their habitats, and coconut yield increase after using the chemicals, was in high level. 3) Agriculturists informed problems about less harvesting fromhigher coconut trees, spraying apparatus not available in general stores, and less of harvesting technicians. Suggestion from coconut agriculturists wasa requirement from government to set trainings about the safe techniques in elimination the coconut black head caterpillar for producers and consumers.

Keywords: Chemical Utilization, Coconut black head Caterpillar, Pathumthani province

1. บทนำ

มะพร้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cocos nucifera* Linn. เป็นพืชในตระกูลปาล์ม เป็นไม้ผลเมืองร้อน ที่มีอายุยืน ปลูกง่ายและโตได้ทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ คนไทยรู้จักและยึดเป็นอาชีพเพาะปลูกมานานนับร้อยปี พื้นที่ที่มีการปลูกมะพร้าวมากและปลูกเป็นอาชีพในประเทศไทย อันดับ 1 คือ ภาคใต้ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นครศรีธรรมราช อันดับ 2 ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง อันดับ 3 ภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม [1] สายพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ ประเภทต้นเตี้ย เพื่อใช้รับประทานผลอ่อน เนื้อมีลักษณะอ่อนนุ่ม น้ำมีรสหวาน บางพันธุ์มีกลิ่นหอม มะพร้าวประเภทนี้มีหลายพันธุ์ เช่นพันธุ์นกคุ่ม หมูสีเขียว หมูสีเหลือง มะพร้าวเตี้ย เป็นต้นแต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนมะพร้าวประเภทต้นสูงมักนิยมใช้ผลแก่เพื่อประกอบอาหารหรือใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เพราะมีผลโต เนื้อหนา ปริมาณเนื้อมาก มีขนาดผลค่อนข้างโต และทนทานต่อสภาพอากาศแล้งได้ดี ได้แก่ พันธุ์สวีลูกผสม 1 พันธุ์ชุมพรลูกผสม 60-1 และพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 [2]

ทั้งนี้โรคและแมลงที่ทำให้มะพร้าวเกิดความเสียหาย เช่น การเกิดโรคระบาดของหนอนหัวดำมะพร้าวซึ่งเป็นแมลงศัตรูมะพร้าวต่างถิ่นที่ระบาดเข้ามาในประเทศไทย พบการระบาดครั้งแรกที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลกระทบจากการเข้าทำลายของหนอนหัวดำมะพร้าวจะเข้าทำลายใบในระยะตัวหนอน โดยเฉพาะใบแก่ หากการเข้าทำลายรุนแรง จะทำลายก้านใบ จั่น และผลมะพร้าวด้วย ต้นมะพร้าวที่ถูกหนอนหัวดำมะพร้าวลงทำลายทางใบ จะมีใบแห้ง เกิดสีน้ำตาล ผลผลิตลดลง หากการทำลายรุนแรงอาจทำให้ต้นมะพร้าวตายได้[3] ส่งผลกระทบต่อผลผลิตมะพร้าวในประเทศไทยทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงตลอดในช่วง 4 ปี (พ.ศ.2554-2557) ที่ผ่านมา เนื่องจากการโดนศัตรูมะพร้าวเข้าทำลาย

สำหรับพื้นที่อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานีเดิมเป็นพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวาน แต่เมื่อปี พ.ศ. 2538 มีการระบาดของโรคอย่างต่อเนื่องโดยไม่ทราบสาเหตุ หรือที่ชาวสวนเรียกกันติดปากว่า “เอดส์ส้ม”[4] เกษตรกรจึงเริ่มมีการปลูกมะพร้าวหลังจากเริ่มมีการระบาดของหนอนหัวดำมะพร้าวในต้นตาลและแพร่มายังต้นมะพร้าวอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ประสบปัญหาหนอนหัวดำมะพร้าวเข้าทำลาย [5]

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีพื้นที่ในการปลูกมะพร้าว 6 ตำบล ได้แก่ ตำบลบึงบา ตำบลนพรัตน์ ตำบลหนองสามวัง ตำบลบึงชาอ้อ ตำบลบึงบอน และตำบลบึงกาสาม ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวทั้ง 6 ตำบลรวม 843 ไร่[5] ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญที่จะศึกษาถึงความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนักวิชาการเกษตรและนักส่งเสริมการเกษตรให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิจัยเพื่อก่อให้เกิดผลดีต่อเกษตรกรและผู้บริโภคต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ประชากร

เกษตรกรผู้ทำการปลูกมะพร้าวที่ใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว ตำบลบึงบา ตำบลนพรัตน์ ตำบลหนองสามวัง ตำบลบึงชาอ้อ ตำบลบึงบอน และ ตำบลบึงกาสามในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี จำนวน 33 ราย

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสอบถาม(Questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีลักษณะคำถามที่กำหนดคำตอบปลายปิด (closed question) โดยแบ่งเนื้อหาของแบบสอบถามออกเป็น 6 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล
ตอนที่ 2 ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ
ตอนที่ 3 การเปิดรับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตร

ตอนที่ 4 ความรู้พื้นฐานหนอนหัวดำมะพร้าวและความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว
ตอนที่ 5 ความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี
ตอนที่ 6 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

2.3 เกณฑ์การแปลผล

2.3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าว

กำหนดวัดแบบสเกลอันตรภาคชั้น (Interval Scale) วัดความรู้ลักษณะโดยทั่วไปของหนอนหัวดำมะพร้าว การเข้าทำลาย และแหล่งกำเนิดของหนอนหัวดำมะพร้าวซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 ระดับโดยให้คะแนน

มาก = 3 คะแนน
ปานกลาง = 2 คะแนน
น้อย = 1 คะแนน

ดังนั้นจากสูตร [6] จึงกำหนดช่วงคะแนน ดังนี้
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.34-3.00 หมายถึง มีความรู้มาก
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.67-2.33 หมายถึง มีความรู้ปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.66 หมายถึง มีความรู้น้อย

2.3.2 ความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้ในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว

กำหนดวัดแบบสเกลอันตรภาคชั้น (Interval Scale) วัดความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้ในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 ระดับโดยให้คะแนน

มาก = 3 คะแนน
ปานกลาง = 2 คะแนน
น้อย = 1 คะแนน

ดังนั้นจากสูตร [6] จึงกำหนดช่วงคะแนน ดังนี้
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.34-3.00 หมายถึง มีความรู้มาก
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.67-2.33 หมายถึง มีความรู้ปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.66 หมายถึง มีความรู้น้อย

2.3.3 ความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวใน อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี กำหนดการวัดแบบวัดแบบช่วง (Interval Scale) วัดความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยให้คะแนนดังนี้

มากที่สุด = 5
มาก = 4
ปานกลาง = 3
น้อย = 2
น้อยที่สุด = 1

ดังนั้นจากสูตร [6] จึงกำหนดช่วงคะแนน ดังนี้
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 1.80 หมายถึง มีความคิดเห็นน้อยที่สุด
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.81 – 2.60 หมายถึง มีความคิดเห็นน้อย
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.61 – 3.40 หมายถึง มีความคิดเห็นปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 3.41 – 4.20 หมายถึง มีความคิดเห็นมาก
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 4.21 – 5.00 หมายถึง มีความคิดเห็นมากที่สุด

2.4 การทดสอบเครื่องมือ

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามจากแนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกรอบแนวความคิดในการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ และได้นำเสนอเครื่องมือต่อคณะกรรมการที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาความตรงของเนื้อหาและแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ

จากนั้นทำการทดสอบความเชื่อมั่น เพื่อให้แบบสอบถามมีความถูกต้องและสมบูรณ์ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบสอบถามผู้วิจัยจึงได้นำแบบสอบถามไปทดสอบกับตัวแทนเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จำนวน 30 ราย แล้วนำผลการวิเคราะห์มาหาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ ตามแบบของครอนบัค ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ความคิดเห็นของการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว มีค่าเท่ากับ 0.810

นำผลการทดสอบที่ได้มาทำการปรับปรุงแก้ไข และตรวจสอบโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้มีความถูกต้อง และสมบูรณ์อีกครั้งก่อนที่จะนำไปสอบถามกับประชากร

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลแล้วผู้วิจัยจะตรวจสอบความสมบูรณ์ และความสอดคล้องของคำตอบในแบบสอบถามทุกข้อทุกประเด็น นำข้อมูลที่ถูกต้องเรียบร้อยแล้วมาจัดหมวดหมู่ เพื่อบันทึกลงรหัสแล้วนำข้อมูลไปประมวลผล หาค่าสถิติด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูปและทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังนี้ หาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล

เพศ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 20 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.4 เป็นเพศ หญิง จำนวน 13 ราย คิดเป็นร้อยละ 39.4

อายุ พบว่า เกษตรกรส่วนมากมีช่วงอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.4 รองลงมามีช่วง อายุ 51-60 ปี คิดเป็นร้อยละ 30.3 และช่วงอายุ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 18.2 ช่วงอายุน้อยที่สุด 21-30 ปี อายุมากที่สุดคือมากกว่า 60 ปีขึ้นไป อายุเฉลี่ยคือ 41-50ปี

ระดับการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา จำนวน 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 42.4 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 และ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.2

3.2 ปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ

พื้นที่ทำการเกษตร พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตรเป็นพื้นที่ของตนเองต่ำกว่า 10 ไร่ จำนวน 17 ราย คิดเป็นร้อยละ 51.5 รองลงมามีพื้นที่ 10-20 ไร่ จำนวน 9 ราย คิดเป็น ร้อยละ 27.3 และมีพื้นที่มากกว่า 50 ไร่ขึ้นไป จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1

พื้นที่ของตนเอง พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตรของตนเองต่ำกว่า 10 ไร่ จำนวน 11 ราย คิดเป็นร้อยละ 33.3 รองลงมามีพื้นที่ 10-20 ไร่ จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.2 และมี พื้นที่มากกว่า 50 ไร่ขึ้นไป จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1

พื้นที่เช่าปลูก พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตรที่เป็นพื้นที่เช่าปลูก 10-20 ไร่ จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.2 รองลงมามีพื้นที่ต่ำกว่า 10 ไร่ จำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.1 และมี พื้นที่มากกว่า 50 ไร่ขึ้นไป จำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.0 เท่ากัน

ปริมาณผลผลิต พบว่า เกษตรกรเก็บผลผลิตมากกว่า 7,000 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 22 ราย คิดเป็นร้อยละ 66.7 รองลงมาเกษตรกรเก็บผลผลิต ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.2 และเกษตรกรเก็บผลผลิต 4,000-6,000 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.1 ปริมาณผลผลิตมะพร้าวน้อยที่สุด คือ 1,000-3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณ ผลผลิตมะพร้าวสูงที่สุด คือ มากกว่า 7,000 กิโลกรัมต่อไร่

ประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าวพบว่า เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าว 6-10 ปี จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.4 รองลงมาเกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าว 11-15 ปี จำนวน 11 ราย และเกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าว 1-5 ปี จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.2

สมาชิกแรงงานในครัวเรือนพบว่า มีแรงงานในครัวเรือน 2 คน จำนวน 15 ราย คิดเป็น ร้อยละ 45.5 รองลงมามีแรงงานในครัวเรือน 1 คน จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.2 และมีแรงงานในครัวเรือน 3 คน จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2 ตามลำดับ

ต้นทุนในการปลูกมะพร้าวพบว่า เกษตรกรใช้ต้นทุนในการปลูกมะพร้าวมากกว่า 12,000 บาทขึ้นไป จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.4 รองลงมาเกษตรกรใช้ต้นทุนในการปลูกมะพร้าว 5,000-8,000 บาท ต้นทุนในการปลูกมะพร้าวช่วงต่ำกว่า 5,000 บาท จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 เท่ากัน และเกษตรกรใช้ต้นทุนในการปลูกมะพร้าว 9,000-12,000 บาท จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2

แหล่งเงินทุนใช้ในการทำสวนมะพร้าวพบว่า ส่วนใหญ่แหล่งเงินทุนที่เกษตรกรใช้ใน การทำสวนมะพร้าวจากตนเอง จำนวน 26 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.8 รองลงมาแหล่งเงินทุนที่เกษตรกรใช้ในการทำสวนมะพร้าวจากธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2 แหล่งเงินทุนที่เกษตรกรใช้ในการทำสวนมะพร้าวจากญาติพี่น้องและ สหกรณ์การเกษตรธนาคารเพื่อการเกษตรจำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.0 เท่ากัน

รายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าว พบว่า รายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าวมากกว่า 60,000 บาทขึ้นไป จำนวน 26 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.8 รองลงมารายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าว 40,000-60,000 บาท และรายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าวช่วงต่ำกว่า 10,000 บาท รายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าว 10,000-30,000 บาท จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 6.1 เท่ากัน

รายจ่ายทั้งหมดในที่ใช้ในการทำสวนมะพร้าวพบว่า รายจ่ายทั้งหมดที่เกษตรกรใช้ใน การทำสวนมะพร้าว 5,000-10,000 บาท จำนวน 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 42.4 รองลงมา รายจ่ายทั้งหมดที่เกษตรกรในที่ใช้ในการทำ สวนมะพร้าวต่ำกว่า 5,000 บาท จำนวน 11 รายคิดเป็นร้อยละ 33.3 และรายจ่ายทั้งหมดที่เกษตรกรในที่ใช้ในการทำสวนมะพร้าว 11,000-16,000 บาท รายจ่ายทั้งหมดที่เกษตรกรในที่ใช้ในการทำสวนมะพร้าวมากกว่า 16,000 บาทขึ้นไปจำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1 ตามลำดับ

3.3 การเปิดรับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตร

แหล่งในการรับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวพบว่า เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจากพนักงานขายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จำนวน 22 ราย คิดเป็นร้อยละ 66.7 รองลงมาเกษตรกรได้รับข้อมูล ข่าวสารเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจากกลุ่มเพื่อนและจากญาติพี่น้อง จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1 และเกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจากเพื่อนบ้าน จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 6.1 ตามลำดับ

ช่องทางการรับข่าวทางการเกษตร พบว่า เกษตรกรได้รับข่าวทางการเกษตรผ่าน ช่องทางโทรทัศน์/เคเบิ้ลทีวีมากที่สุดจำนวน 17 ราย คิดเป็นร้อยละ 51.5 รองลงมาเกษตรกรได้รับข่าวทางการเกษตรผ่านช่องทางวิทยุและช่องทางอื่นๆ จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2 เท่ากัน และเกษตรกรได้รับข่าวทางการเกษตรผ่านช่องทางนิตยสารและช่องทางหนังสือพิมพ์ จำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.1 เท่ากัน

ประสบการณ์การเข้าร่วมอบรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวพบว่า เกษตรกรไม่เคยเข้าร่วมอบรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว จำนวน 32 ราย คิดเป็นร้อยละ 97.0 และเกษตรกรเคยเข้าร่วมอบรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัด หนอนหัวดำ มะพร้าว จำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.0

3.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าวและความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว

เกษตรกรคิดว่าตัวเต็มวัยหนอนหัวดำมะพร้าวเป็นผีเสื้อกลางคืน จำนวน 28 ราย คิดเป็น ร้อยละ 84.8 และ เกษตรกรคิดว่าตัวเต็มวัยหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ใช่ผีเสื้อกลางคืน จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวมีลำตัวสีชมพู จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้มีลำตัวสีชมพู จำนวน 25 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.5

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวมีไข่สีน้ำเงิน จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้มีไข่สีน้ำเงิน จำนวน 25 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.5

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวกัดแทะลำต้นมะพร้าว จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้กัดแทะลำต้นมะพร้าว ตอบไม่ใช่ จำนวน25 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.5

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวเมื่อโตเต็มวัยเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ จำนวน 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 54.5 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำ มะพร้าวเมื่อโตเต็มวัยเพศเมียไม่ได้มี ขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 45.5

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวมีขนาดลำ ตัวยาว 20 เซนติเมตรจำนวน 10 ราย คิดเป็นร้อยละ 30.3 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้มีขนาดลำตัวยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 23 ราย คิดเป็นร้อยละ 69.7

เกษตรกรคิดว่าไข่ผีเสื้อหนอนหัวดำมะพร้าวมีลักษณะกลมรีแบนจำนวน 24 ราย คิดเป็นร้อยละ 72.7 และเกษตรกรคิดว่าไข่ผีเสื้อหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้มีลกัษณะกลมรีแบนา จำ นวน 9 ราย คิดเป็นร้อยละ 27.3

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวสามารถวางไข่ได้ 1,000,000 ฟอง จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 18.2 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดา มะพร้าวไม่สามารถวางไข่ได้ 1,000,000 ฟอง จำนวน 27 ราย คิดเป็นร้อยละ 81.8

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวชอบทำลายใบมะพร้าวแก่จำนวน 29 ราย คิดเป็น ร้อยละ 87.9 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำ มะพร้าวไม่ได้ชอบทำลายใบมะพร้าวแก่ จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำ มะพร้าวเกิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศไทย จำนวน 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 54.5 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวไม่ได้เกิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศไทย จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 45.5

เกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวเวลากลางวันจะเกาะนิ่งหลบอยู่ใต้ดิน จำนวน 11 ราย คิดเป็นร้อยละ 33.3 และเกษตรกรคิดว่าหนอนหัวดำมะพร้าวเวลากลางวันไม่ได้เกาะนิ่ง หลบอยู่ใต้ดินจำนวน 22 ราย คิดเป็นร้อยละ 66.7 เกษตรกรคิดว่าต้นมะพร้าวที่ถูกหนอนหัวดำ มะพร้าวทำลายใบมะพร้าวจะแห้งและมีสีน้ำต้ำาลจำนวน 33 ราย คิดเป็นร้อยละ 100.0

3.5 ความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว

เกษตรกรคิดว่าผลผลิตมะพร้าวเพิ่มมากขึ้นหลังจากการใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจำนวน 32 ราย คิดเป็นร้อยละ 97.0 และเกษตรกรคิดว่าผลผลิตมะพร้าวไม่เพิ่มขึ้นหลังจากการใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.0

เกษตรกรคิดว่าสารเคมีออกฤทธิ์เร็วในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว จำนวน 32 ราย คิดเป็นร้อยละ 97.0 และ

เกษตรกรคิดว่าสารเคมีออกฤทธิ์ไม่เร็วในการกำจัดหนอน หัวดำ มะพร้าว จำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.0
เกษตรกรคิดว่าสารเคมีตัดวงจรหนอนหัวดำมะพร้าวได้ดี จำนวน 31 ราย คิดเป็นร้อยละ 93.9 และเกษตรกรคิดว่าสารเคมีไม่สามารถตัดวงจรหนอนหัวดำมะพร้าวได้ดีจำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 6.1

เกษตรกรคิดว่าสารเคมีไม่สามารถฉีดเข้าลำต้นมะพร้าวได้ จำนวน 12 ราย คิดเป็น ร้อยละ 36.4 และเกษตรกรคิดว่าสารเคมีสามารถฉีดเข้าลำ ต้นมะพร้าวได้ จำนวน 21 ราย คิดเป็น ร้อยละ 63.6 เกษตรกรคิดว่าสารเคมีเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมจำนวน 33 ราย คิดเป็นร้อยละ 100.0

เกษตรกรคิดว่าสารเคมีตกค้างในเปลือกมะพร้าว จำนวน 10 ราย คิดเป็นร้อยละ 30.3 และเกษตรกรคิดว่าสารเคมีไม่ตกค้างในเปลือกมะพร้าว จำนวน 23 ราย คิดเป็นร้อยละ 69.7

เกษตรกรคิดว่าสารเคมีที่ใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวสามารถกำจัดเพลี้ยอ่อนเพลี้ยไฟ หนอนเจาะสมอฝ้ายได้จำนวน 29 ราย คิดเป็นร้อยละ 87.9 และเกษตรกรคิดว่าสารเคมีที่ใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวสามารถกำจัดเพลี้ยอ่อนเพลี้ยไฟ หนอนเจาะสมอฝ้ายได้จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.1

เกษตรกรคิดว่าการใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพต้องใช้กับต้นมะพร้าวที่มี ความสูง 10 เซนติเมตร จำนวน 26 ราย คิดเป็นร้อยละ 78.8 และเกษตรกรคิดว่าการใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพต้องใช้กับต้นมะพร้าวที่มี ความสูง 10 เซนติเมตร จำนวน 7 ราย คิดเป็น ร้อยละ 21.2

3.5 ระดับความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าวและความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่ เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว

เกษตรกรมีความรู้ด้านข้อมูลของหนอนหัวดำมะพร้าวในระดับมาก จำนวน 21 ราย คิดเป็นร้อยละ 63.6 และเกษตรกรมีความรู้ด้านพื้นฐานของหนอนหัวดำมะพร้าว ในระดับ ปานกลาง จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.4

เกษตรกรมีความรู้ด้านสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว ในระดับมาก จำนวน 21 ราย คิดเป็นร้อยละ 63.6 และเกษตรกรมีความรู้ด้านสารเคมีที่เลือกใช้ กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว ในระดับปานกลาง จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.4

3.6 ความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี

เกษตรกรมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากมี 10 ข้อ โดยมีค่าเฉลี่ยสูง 3 อันดับแรกคือ ข้อที่ 3 ปริมาณสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวที่วางขายมีเพียงพอต่อความต้องการของท่าน (ค่าเฉลี่ย 4.39) ข้อที่ 2 สารเคมีที่ท่านใช้หาซื้อได้สะดวกตามร้านเคมีภัณฑ์ทั่วไปและข้อที่ 4 แหล่งจำหน่าย สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวอยู่ใกล้บ้านของท่าน (ค่าเฉลี่ย 4.33 เท่ากัน) และข้อที่ 7 ผลผลิต มะพร้าวได้มากขึ้นหลังจากการใช้สารกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว (ค่าเฉลี่ย 4.30)

3.7 ปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าว อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี

เกษตรกรเกิดปัญหาต้นมะพร้าวมีความสูงขึ้นตามอายุการปลูก ส่งผลให้เกษตรกรเก็บเกี่ยว ผลผลิตได้ยากมากยิ่งขึ้น จำนวน 13 ราย คิดเป็นร้อยละ 39.4 ปัญหาอุปกรณ์ที่ในการฉีดสารเคมีหา ซื้อยากตามร้านขายสารเคมี จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.2 ปัญหาผู้ชำนาญการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวมีอัตราน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 21.2 และเกษตรกรต้องการให้ภาครัฐจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.2

4. สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 60.6 และมีอายุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.4 มีระดับการศึกษาสูงสุดในระดับประถมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 42.4

ปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตรต่ำกว่า 10 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 51.5 พื้นที่ปลูกมะพร้าวของตนเองต่ำกว่า 10 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 33.3 พื้นที่ปลูกมะพร้าวเช่าปลูกต่ำกว่า 1-20 ไร่ คิด เป็นร้อยละ 21.2 ปริมาณผลผลิตในปี 2558 มากกว่า 7,000 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อย 66.7 เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกมะพร้าว 6-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.4 สมาชิกแรงงานใน ครัวเรือน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 45.5 ต้นทุนในการปลูกมะพร้าวในปี 2558 มากกว่า 12,000 บาท คิด เป็นร้อยละ 36.4 แหล่งเงินทุนที่ใช้ในการทำสวนมะพร้าวจากตนเอง คิดเป็นร้อยละ 68.8 รายได้จากการขายผลผลิตมะพร้าวมากกว่า 60,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 78.8 และรายจ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการ ทำ สวนมะพร้าว 5,000-10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 42.4

การเปิดรับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตร ของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี สรุปได้ดังนี้ เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวจากพนักงานขายผลิตภณฑ์ทางการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 66.7 ได้รับข่าวสารทาง การเกษตรผ่านทาง

ช่องทางโทรทัศน์/เคเบิ้ลทีวี คิดเป็นร้อยละ 51.5 และเกษตรกรไม่เคยเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว คิดเป็นร้อยละ 97.0

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าวและความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัด หนอนหัวดำ มะพร้าว ของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี สรุปได้ ดังนี้ เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับหนอนหัวดำมะพร้าวในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 63.6 และ เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่เลือกใช้กำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 63.6

ความคิดเห็นต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวใน อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี สรุปได้ดังนี้ เกษตรกรมีความคิดเห็นต่อการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว โดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย= 4.18) โดยมีความคิดเห็นในระดับมากทุกข้อ โดยรายข้อใน 3 อันดับแรกที่มากที่สุด ได้แก่ ปริมาณสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวที่วางขายมีเพียงพอต่อความต้องการของท่าน (ค่าเฉลี่ย=4.39) รองลงมาเกษตรกรหาซื้อสารเคมีได้สะดวกตามร้านเคมีภัณฑ์ทั่วไปและ แหล่งจำหน่ายสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวอยู่ใกล้บ้านของท่าน (ค่าเฉลี่ย=4.33 เท่ากัน) รายข้อแหล่งจำหน่ายสารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวอยู่ใกล้บ้านของท่านกับเกษตรกรคิดว่าผลผลิตมะพร้าวเพิ่มขึ้นหลังจากการใช้สารกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว (ค่าเฉลี่ย=4.30 เท่ากัน)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวที่ใช้สารเคมีกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวในตำบลบึงบา ตำบลนพรัตน์ ตำบลหนองสามวัง ตำบลบึงชาอ้อ ตำบลบึงบอน และตำบลบึงกาสามในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานีทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยพีระจอมเกล้าธนบุรี. ม.ป.ป. **การปลูก การเลือกสายพันธุ์และการดูแลรักษาต้นมะพร้าว** (Online). www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload4.html, 16 พฤษภาคม 2558.

[3] สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร, กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558**. การป้องกันกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าว.**

[4] ดลมนัส กาเจ. 2555. **ฟื้นสวนส้มทุ่งรังสิตที่หนองเสือ** (Online). http://www.komchadluek.net/news/lifestyle/131867. 16 พฤษภาคม 2558

[5] กลุ่มพยากรณ์และเตือนการระบาดศัตรูพืช. 2558. **รายงานสถานการณ์ศัตรูมะพร้าว.** กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[6] สุรินทร์ นิยมางกูร. 2548. **สถิติวิจัย.**สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.467น.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

The Development for Mathematics Learning Achievement in the Derivative of Function by Skill Practice Packages for Calculus I Course's Students

บุญชัย อารีเอื้อ
Boonchai Aree-uea

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220
Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
Corresponding author: chaiareeuea@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน ระหว่างก่อจัดกิจกรรมกับหลังจัดกิจกรรมโดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 2) หาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะ และ 3)ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาที่เรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 จำนวน 42 คนที่ลงทะเบียนเรียนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแคลคูลัส 1 เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ชุดฝึกทักษะเรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน และแบบวัดความพึงพอใจ โดยใช้แผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวมีการทดสอบก่อนและหลังจัดกิจกรรม สถิติที่ใช้ในการวัดข้อมูลคือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 หลังจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันเท่ากับ 0.29 คิดเป็นร้อยละ 29

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะมีค่าเฉลี่ยรวม 3.95 อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ชุดฝึกทักษะ การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันแคลคูลัส

Abstract

The purposes of this research were to 1) compare the learning achievement before and after using the skill practice packages 2) find out the effectiveness index of the derivative of function by skill practice packages and 3) study students' opinions towards Mathematics Learning on the derivative of function by using the skill practice packages. The sample were 42 undergraduate student who registered calculus 1 on the second semester of the academic year 2014. The study tools were composed of an achievement test, the skill practice packages on the Derivative of function, and satisfaction questionnaire. The pre and post experiments were conducted with one group of students. The statistics use in this study were percentage, mean, standard deviation and t-test

The findings were as follows:

1. The average students' achievement after using the skill practice packages on derivative of function was statistically higher than before using them at .05 level of significance

2. The effectiveness index lesson based on the Derivative of function by skill practice packages for calculus 1 course's students was 0.29

3. The students' opinion toward Mathematics learning on the derivative of function by using the skill practice packages was at the high level with the mean of 3.95

Keywords: Skill Practice Packages, Derivative of Function, Calculus

1. บทนำ

การจัดการศึกษาของไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ตระหนักถึงความสำคัญของคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นวิชาที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวัน และมีบทบาทต่อการพัฒนาความคิดของมนุษย์ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์คิดอย่างมีเหตุผลเป็นระบบมีแบบแผนสามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบช่วยให้คาดการณ์วางแผนตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องเหมาะสมนอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือสำหรับการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และศาสตร์อื่นๆคณิตศาสตร์จึงมีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้นและสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครได้มีการจัดการเรียนการสอนวิชาแคลคูลัส 1 โดยเป็นวิชาแกนของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตหลายสาขาวิชาและจากข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาพบว่า คะแนนสอบหลังเรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่องการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันต่ำมาโดยตลอด ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดจากนักศึกษามีพื้นความรู้ที่แตกต่างกัน เรียนรู้ได้ช้า ขาดทักษะในการคิดคำนวณและคิดแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะจัดกิจกรรมการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครเพื่อใช้พัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยมีเป้าหมายที่จะช่วยให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากชุดฝึกทักษะเป็นสื่อการเรียนประเภทหนึ่งที่ช่วยให้นักศึกษาได้ฝึกปฏิบัติให้เกิดความรู้ความเข้าใจและมีทักษะเพิ่มมากขึ้น ประโยชน์ของแบบฝึกทักษะคือ เป็นเครื่องมือในการประเมินตนเองของนักศึกษารู้จักการทำงานด้วยตนเอง มีความเชื่อมั่นและความรับผิดชอบมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันระหว่างก่อนกับหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1
2. เพื่อหาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันในรายวิชาแคลคูลัส 1

สมมติฐานของการวิจัย

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันหลังจัดการเรียนรู้สูงกว่า ก่อนจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ
2. ตัวแปรตาม คือ
   2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาแคลคูลัส 1เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน
   2.2 ดัชนีประสิทธิผลของการใช้ชุดฝึกทักษะ
   2.3 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะวิชาแคลคูลัส 1 เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 1

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาแคลคูลัส 1 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 42 คน

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน จำนวน 8 ชุด

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ก่อนจัดการเรียนรู้และหลังจัดการเรียนรู้จำนวนชุดละ 8 ข้อ

2.2 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชัน สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูคัส 1

2.3 การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การสร้างชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน ในรายวิชาแคลคูลัส 1 มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1.1 ศึกษาหลักการ แนวคิด วิธีการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดกรอบในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1.2 ศึกษาหลักการ แนวคิด วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้

1.3 ศึกษาเนื้อหา และวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่ต้องการเพื่อกำหนดกรอบในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

จากผลการศึกษาตามข้อ 1.1, 1.2 และ 1.3 นำมากำหนดเป็นกรอบเนื้อหาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้ การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้นิยามการหาอนุพันธ์ฟังก์ชันพีชคณิต การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันลอการิทึม การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันเลขชี้กำลัง การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันตรีโกณมิติ การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันเชิงลอการิทึม การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันประกอบ การหาอนุพันธ์ฟังก์ชันโดยปริยาย

1.4 สร้างแบบฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันในรายวิชาแคลคูลัส 1 ตามกรอบเนื้อหาที่กำหนด ทั้งหมด 8 ชุดแต่ละกิจกรรมประกอบด้วย สาระสำคัญ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวังจุดประสงค์การเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ สื่อการสอน การวัดและประเมินผล

1.5 นำกิจกรรมการเรียนรู้เสนอผู้เชี่ยวชาญในการจัดการเรียนรู้ พิจารณาความเหมาะสมของกิจกรรมในแง่ของลักษณะกิจกรรม ภาษาและเวลาที่ใช้ ความเป็นไปได้ของการจัดกิจกรรม

1.6 ปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้วทำเป็นชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันในรายวิชาแคลคูลัส 1 ฉบับสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้กับนักศึกษา

2. การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางทางการเรียนเรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบอัตนัย ชนิดแสดงวิธีทำ จำนวน 8 ข้อ ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับแนวทาง วิธีการวัดผลการเรียนรู้ และแนวทางการสร้างเครื่องมือวัดการเรียนรู้

2.2 วิเคราะห์และกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้

2.3 สร้างแบบทดสอบ

2.4 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้นเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสม ความเป็นไปได้และความตรงของเป้าหมายของการวัด นำแบบทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เลือกข้อสอบที่อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงที่ใช้ได้และคัดเลือกข้อสอบที่มีค่า IOC ตั้งแต่ .50 ขึ้นไปพร้อมนำข้อวิจารณ์ของผู้เชี่ยวชาญมาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

2.5 นำแบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบแล้วไปทดลองใช้พร้อมทั้งหาความเชื่อมั่นและอำนาจจำแนกพร้อมทั้งวิเคราะห์และปรับปรุงแบบทดสอบให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

2.6 นำแบบทดสอบไปใช้ในการวิจัย

3. แบบวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้แบบฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เป็นแบบวัดความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อสอบถามเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้แบบฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชา แคลคูลัส 1 ดำเนินการสร้าง ดังนี้

3.1 ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับความพึงพอใจ การสร้างแบบวัดความพึงพอใจ จากเอกสารตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 เลือกประเด็นที่จะวัดความพึงพอใจและกำหนดวิธีการวัด โดยกำหนดอันดับคุณภาพ 5 ระดับและประเด็นความพึงพอใจเป็นทางบวก คะแนนจะเป็นดังนี้

5 หมายถึง มากที่สุด
4 หมายถึง มาก
3 หมายถึง ปานกลาง
2 หมายถึง น้อย
1 หมายถึง น้อยที่สุด

และกำหนดเกณฑ์การพิจารณาความพึงพอใจของนักศึกษา ดังนี้

4.51 - 5.00 หมายถึง มากที่สุด
3.76 - 4.50 หมายถึง มาก
3.51 - 3.75 หมายถึง ค่อนข้างมาก
2.51 - 3.50 หมายถึง พอสมควร
2.26 - 2.50 หมายถึง ค่อนข้างน้อย
1.51 -2.25 หมายถึง น้อย
1.00 -1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

3.3 จัดทำแบบสอบถามฉบับร่าง

3.4 นำแบบสอบถามมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เลือกข้อคำถามให้อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงที่ใช้ได้ และคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5ขึ้นไป

3.5 ทดลองกับกลุ่มย่อย 5 คน ตรวจสอบความเชื่อมั่น

3.6 นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเชื่อมั่น

3.7 ปรับปรุงแบบสอบถามแล้วนำไปใช้จริง

2.4 รูปแบบที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลองโดยใช้แผนการวิจัยแบบกลุ่มเดี่ยวทดสอบก่อนและหลังทดลองโดยมีรูปแบบการวิจัยดังนี้

$$T_1 \quad \times \quad T_2$$

โดยที่ T_1 หมายถึง การทดสอบก่อนเรียน

T_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียน

$\times$ หมายถึง การใช้ชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน

2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้สอนชี้แจงแนวการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเข้าใจว่าการเรียนรู้ต่อไปนี้ ผู้สอนจะทำหน้าที่อะไร ผู้เรียนต้องปฏิบัติตัวอย่างไร และจะมีการวัดการประเมินผลอย่างไรซึ่งในแบบฝึกทักษะแต่ละชุดนักศึกษาต้องเรียนรู้อะไรบ้าง

2. วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยให้ผู้เรียนทดสอบก่อนเรียน

3. ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละชุดฝึกทักษะตั้งแต่ชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 8 ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละชุดได้มีการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนตลอดเวลาการทดลอง

4. เมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้ง 8 ชุดแล้วทำการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบทดสอบคู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียน

5. นำคะแนนหลังเรียนและก่อนเรียนมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเพื่อทดสอบสมมติฐาน

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันระหว่างก่อนกับหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1โดยใช้การทดสอบค่าที (paired *t*-test)

2. หาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

3. การวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะคณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน ในรายวิชาแคลคูลัส 1

3. ผลการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ

คะแนนสอบ (เต็ม 40)	$\overline{X}$	S.D.	*t*	*Sig.*
ก่อนจัดกิจกรรม	4.21	2.75	17.54*	.00
หลังจัดกิจกรรม	14.52	5.50		

*ที่ระดับนัยสำคัญ .05

จากตารางที่ 1 พบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะหลังการจัดกิจกรรมสูงกว่าก่อนจัดกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ค่าดัชนีประสิทธิผลของการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีประสิทธิผลของการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 โดยเปรียบเทียบจากคะแนนการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนจัดกิจกรรมและหลังจัดกิจกรรม

จำนวนนักศึกษา	ผลรวมของคะแนนทดสอบ		ดัชนีประสิทธิผล (E.I)
	ก่อนจัดการเรียนรู้	หลังจัดการเรียนรู้	
42	177	610	0.29

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เท่ากับ 0.29 คิดเป็นร้อยละ 29

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

ตารางที่ 3 ผลของความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1

ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้	$\overline{x}$	*S.D.*	แปลผล
1. นำเสนอเป็นขั้นตอนทำให้เข้าใจง่าย	4.07	1.09	มาก
2. เหมาะสมกับเวลา	3.71	0.97	ค่อนข้างมาก
3. เปิดโอกาสให้เรียนรู้ร่วมกัน	4.12	0.89	มาก
4. เปิดโอกาสให้ได้ลงมือปฏิบัติ	4.19	0.92	มาก
5. มีความน่าสนใจ	4.14	0.72	มาก
6. ทำให้เกิดความกระตือรือร้น	3.79	0.87	มาก
7. มีเนื้อหาจากง่ายไปยาก	4.00	0.96	มาก
8. มีตัวอย่างเพียงพอต่อการทำความเข้าใจ	3.89	0.87	มาก
9. นักศึกษามีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมมากขึ้น	3.90	1.14	มาก
10.ทำให้นักศึกษาสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง	3.67	1.32	ค่อนข้างมาก
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	3.95	0.96	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชัน โดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 มีค่าเฉลี่ยรวม 3.95 อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 อยู่ในระดับมาก 8 ข้อ ค่อนข้างมาก 2 ข้อ

4. อภิปรายผล

1. ผลการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ก่อนจัดการเรียนรู้ได้คะแนนเฉลี่ย 4.21 คะแนนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.75 คะแนนหลังจัดการเรียนรู้ได้คะแนนเฉลี่ย 14.52 คะแนนส่านเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.50 คะแนนและเมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้พบว่าหลังจัดกิจกรรมสูงกว่าก่อนจัดกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจากผู้วิจัยให้นักศึกษาได้ฝึกฝนทำโจทย์บ่อยๆ ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในเรื่องนั้นอย่างแท้จริงและได้จัดกิจกรรมแบบความร่วมมือเพื่อให้เกิดการช่วยเหลือในหมู่เพื่อนที่จะอธิบายชี้แนะหาจุดผิดเมื่อทำแบบฝึกหัด และผู้วิจัยสุ่มตัวแทนนักศึกษาออกมาทำหน้าชั้นเรียนเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดความกระตือรือร้นในการเรียนนอกจากนี้ผู้วิจัยได้อาศัยทฤษฎีการเชื่อมโยงจากสถานการณ์ จากสิ่ง

เร้า และสิ่งตอบสนองของธอนไดด์โดยอาศัยกฎของการฝึกหัดหรือกระทำซ้ำและกฎแห่งผล [3]

2. ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 โดยการเปรียบเทียบจากคะแนนการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนจและหลังจัดการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 0.29 หรือคิดเป็นร้อยละ 29 ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีบทบาทมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งด้านร่างกายสติปัญญาอารมณ์และสังคมกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นได้สรุปความรู้ความเข้าใจด้วยตนเองและนาความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้และการช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการเรียนรู้ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีตามมา [2]

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 โดยภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากซึ่งอาจเนื่องมาจากผู้เรียนทุกคนได้ทำกิจกรรมและได้ใช้ความสามารถในการเรียนรู้มากขึ้นจากกิจกรรมการเรียนรู้และแสดงให้เห็นถึงความพยายามและความตั้งใจที่จะทำชุดฝึกทักษะเรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันนักศึกษาเห็นประโยชน์ของชุดฝึกทักษะว่าทำให้ได้รับความรู้ความเข้าใจเกิดความกระตือรือร้นทำให้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองและมีความรับผิดชอบมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ดวงเดือนอ่อนน่วม[1]ที่กล่าวถึงประโยชน์ของชุดฝึกไว้ คือ ชุดฝึกช่วยเสริมสร้างและเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจแนวทางและทักษะในการแก้ปัญหาแก่นักเรียนช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากทำชุดฝึกทักษะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะในการแก้ปัญหาแก่นักเรียนช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากทำชุดฝึกทักษะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะได้อย่างเต็มที่และตรงจุดที่ฝึกหัด

5. สรุปผลการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 หลังจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันเท่ากับ 0.29 คิดเป็นร้อยละ 29

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องอนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะมีค่าเฉลี่ย 3.95 โดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ดวงเดือน อ่อนน่วม. 2531. **การสอนซ่อมเสริมคณิตศาสตร์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[2] ทิศนา แขมมณี. 2550. **ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.** (พิมพ์ครั้งที่ 5.) สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[3] วรรณี โสมประยูร. 2540. **วิธีสอนแบบวรรณี.** แซท โพร์พริ้นติ้ง. กรุงเทพฯ.

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Journal of Science & Technology Phranakhon Rajabhat University

บทความวิชาการ

ปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทย
ศิริรัตน์ ดีวัน และ อรอุษา แช่กลาง.....1

การสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอาหารตามแนววิถีพุทธ
พวงผกา ภูยาดาว โสภณา จิรวงศ์นุสรณ์ และ ณัฐวดี จิตรมานะศักดิ์.....7

สัญรูป : อดีตและปัจจุบัน
เติมยศ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา พรหมบัญชา พรหมมาหล้า นวิน ครุธวีร์ และ สิทธิพงศ์ พรอุดมทรัพย์.....16

ทฤษฎีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยผลึก
ชโนภาส ชนลักษณ์ดาว.....19

บทความวิจัย

การปรับปรุงจีเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาค่าที่เหมาะสม
อมฤตา ฤทธิภักดี ชาญเวทย์ อิงคเวทย์ สหชาติ สรรพคุณ สุนี โชติดิลก สุนันทา ศรีม่วง และ พัชรพงษ์ ตรีวิริยานุภาพ.....24

ผลการใช้แบบฝึกทักษะ เรื่องการอินทิเกรตโดยใช้สูตรและเทคนิคการอินทิเกรต ในวิชาแคลคูลัส 2 สำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
พงศธร หอมภู่ พรสิน สุภวาลย์ และ บุญชัย อารีเอื้อ.....30

การวัดดัชนีหักเหของของเหลวโดยใช้เทคนิคมุมเบี่ยงเบนทางแสง
สิริพร หอวังปอ สืบตระกูล สุชาติ เจษฎา ประทุมสิทธิ์ อาทิตย์ สารสมบูรณ์ วารุณี เกิดแสง ประธาน ประจวบโชค และ วุฒิชัย แพงาม.....36

สัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของละอองเรณูของพืชดอกที่พบในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นันทิกานต์ ส่งละออง และ วชิราภรณ์ ฟูนัน.....40

อิทธิพลของสูตรสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์
มลธิชา ชาวนา สิริสุดา พิมวัน นราศักดิ์ บุญมี และ คงเอก ศิริงาม.....47

ผลของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวเหนียว และกัวร์กัมที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขนมเสน่ห์จันทน์แช่เย็น
รุจิรัศม์ มุตธิกุล และ ดิษราภรณ์ แสนสุข.....55

ผลของการโม่แห้งและโม่เปียกต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเขียวงอก
สุนิสา เพ็ชรพันธ์ และ สุชาดา ไม้สนธิ์.....61

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทจากข้าวเหนียวดำโดยใช้ข้าวแดงอังคักร่วมกับลูกแป้งในการหมัก
กฤษณะ บัวทอง และ สุชาดา ไม้สนธิ์.....70

ความคิดเห็นของเกษตรกรต่อการเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดหนอนหัวดำมะพร้าวใน อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี
ทวารัตน์ บุญหอม ธัญญาเรศ ชื่นสุวรรณา และ พิชย์ชัย ทองนวรัตน์.....77

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันโดยใช้ชุดฝึกทักษะ สำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1
บุญชัย อารีเอื้อ.....84

http://www.scipnru.com