



วารสารราชภัฏกรุงเก่า

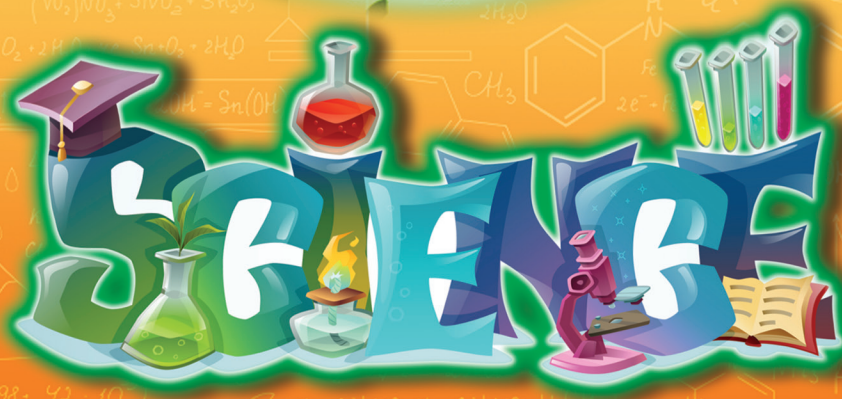
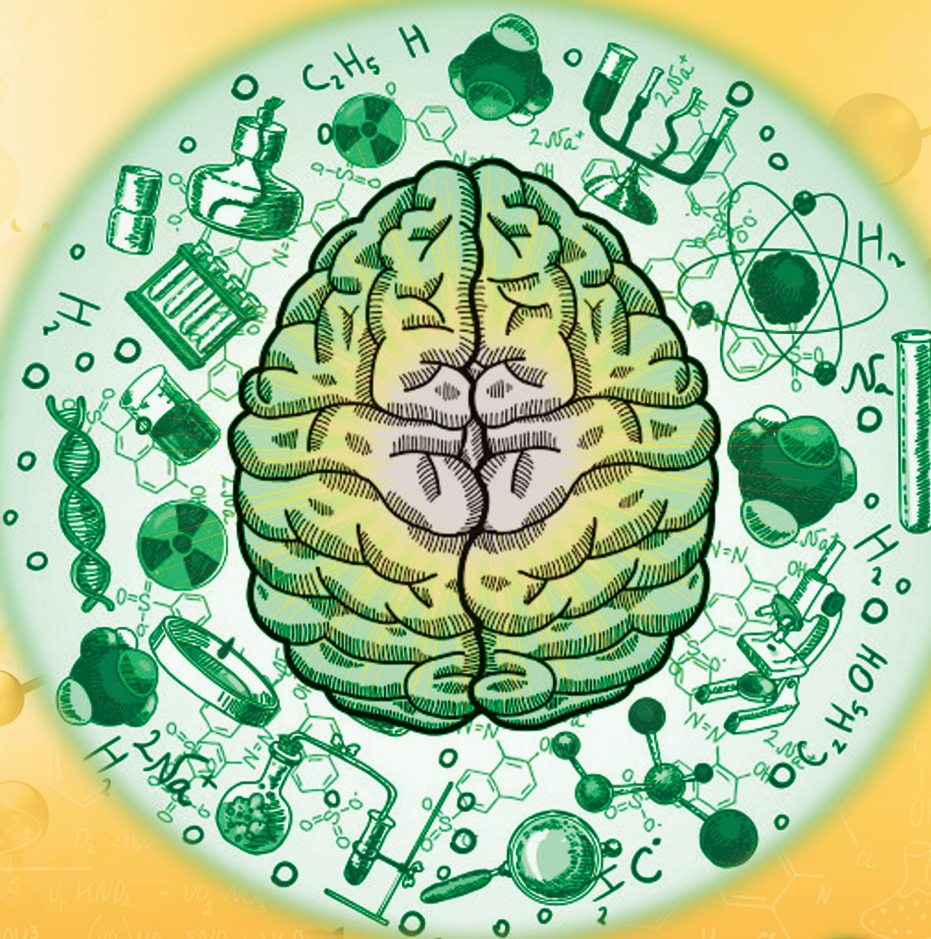
สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ARU Journal Science and Technology

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

Vol.2 No.1 January - July 2020

ISSN: 2673-0812



วารสารราชภัฏกรุงเทพฯ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ARU Journal Science and Technology

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

Vol. 2 No. 1 January - July 2020

ISSN: 2673-0812

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ กักผล

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกฉานลิน

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินธ์ จำนงค์ไทย

ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ

ศาสตราจารย์ ดร.วิไล รังสาดทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี ลิ้มทอง

Professor Dr.Mary J. Gason

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The University of Queensland

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลพรรณ รุ่งพรหม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตกัลยา มฤครัฐอินแปลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ดร.สุขรักษ์ แซ่เจี๋ย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นพวรรณ ชีระพันธ์เจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รองศาสตราจารย์ศานิต สวัสดิ์กาญจน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ บุญเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกตนันธินา วันชัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณทิพย์ เนียมถนอม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ แซ่อึ้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงเยาว์ ในอรุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา รัดนเสนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณ ลือวัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ แลกเปลี่ยนผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งสาขาวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวข้อง ระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป

ประเภทบทความ

บทความวิจัย และบทความวิชาการที่มีเนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดการเผยแพร่วารสาร

ปีละ 2 ฉบับ: ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน
ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

การส่งบทความ

ส่งบทความทางระบบอิเล็กทรอนิกส์

ติดต่อกองบรรณาธิการ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

เลขที่ 96 ถนน ปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตู่ชัย

อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

พิมพ์ที่

หจก. ประยูรสาส์นไทย การพิมพ์

44/132 ถนนกำนันมนัน แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพฯ 10150

โทรศัพท์ 0-2802-0377, 0-2802-0379, 08-1566-2540

บทความที่ลงตีพิมพ์เผยแพร่เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น



สารบัญ

หน้า

บทความวิชาการ

- การเตรียมชั้นเคลือบแข็งไทเทเนียมโครเมียมไนไตรต์ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์..... 1
ศิริวัชร อาลักษณ์สุวรรณ

บทความวิจัย

- แบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษา โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล13
นงเยาว์ ในอรุณ
- ผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์
ที่เคลือบด้วยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสเปตเตอริง24
จินดาวรรณ ธรรมปรีชา
- ผลของระยะเวลาเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง36
ขวัญชัย เอื่องเพ็ชร และ ภาวดี แซ่อึ้ง
- ความต้องการการส่งเสริมและการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวของเกษตรกร
ในอำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง45
ณัฐวุฒิ จันทอง
- ผลของพลาโคบิวทราโซลต่อการพัฒนาของต้นสับปะรดภูเก็ต ในสภาพปลอดเชื้อ.....55
เบญจวรรณ ไทญ้อยงค์ และ ยุพาภรณ์ วิริยะนันทน์
- การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาซึ่มที่ผ่านการหมักร่วมกับข้าวหอมมะลิแดง
ในระหว่างการเก็บรักษา61
พิทยา ใจคำ

ภาคผนวก

- คำแนะนำสำหรับผู้เขียน71

การเตรียมชั้นเคลือบแข็งไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์

Preparation of TiCrN Hard Coatings by Physical Process

ศิริวัชร อาลักษณ์สุวรรณ^{1*}

Siriwat Alaksanasuwan^{1*}

^{1*} กลุ่มวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

^{1*} Department of Physics, Faculty of Science and Technology,

Phranakorn si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: asiriwat1234@gmail.com

บทคัดย่อ

ชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ (TiCrN) เป็นชั้นเคลือบแข็งที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงเคมีที่ดีเลิศ และถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ได้มาจากการเติมอะตอมโครเมียมเข้าไปในโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) พบว่าเป็นการปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของชั้นเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ให้ดียิ่งขึ้น ชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ถูกเตรียมได้จากกระบวนการทางฟิสิกส์ 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีระเหยสาร และวิธีสปัตเตอริง ซึ่งมีเทคนิคย่อยต่าง ๆ เช่น เทคนิคคาโทดิกอาร์ค เทคนิคสปัตเตอริง เทคนิคไอออนเพลดิง และเทคนิคใช้ลำไอออนช่วย

คำสำคัญ: ชั้นเคลือบแข็ง, ไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์, กระบวนการทางฟิสิกส์

Abstract

Titanium chromium nitride (TiCrN) hard coatings have excellent mechanical and chemical properties and are now widely used. TiCrN have been produced by implantation of Cr into TiN structure, due to incorporation of Cr atom in the structure of TiN which impacts the microstructure which leads to enhance properties of the TiCrN films. In general, TiCrN have been deposited by physical vapor deposition methods with two main methods: evaporation and sputtering, in several techniques, namely, cathodic arc evaporation, sputtering, ion plating and ion beam assisted deposition.

Keywords: Hard coating, titanium chromium nitride, physical process

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าชั้นเคลือบแข็ง (hard coating) ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการปรับปรุงผิวเครื่องมือ และชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ โดยชั้นเคลือบสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสองชนิด (binary nitride coating) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุโลหะทรานซิชันกับธาตุไนโตรเจนเป็นหนึ่งในชั้นเคลือบที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากชั้นเคลือบกลุ่มนี้มี ความแข็งแรงสูง ด้านทานการสึกหรอดี สัมประสิทธิ์ ความเสียดทานต่ำ และด้านทานการกัดกร่อนดี จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องมือตัด (cutting tools) แม่พิมพ์หรือชิ้นส่วนเครื่องประดับตกแต่ง โดยใน ยุคแรกเริ่มชั้นเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ได้รับความนิยมสูงสุด เพราะมีสมบัติที่เหมาะสมหลายด้าน เช่น มีความแข็ง ด้านทานการสึกหรอดี ด้านทานการกัดกร่อนของสารเคมี มีสีทองสวยงาม เป็นต้น (Parameswaran *et al.*, 1992; Jeyachandran *et al.*, 2007) ต่อมาได้มีกลุ่มนักวิจัยให้ความสนใจชั้นเคลือบโครเมียมไนไตรด์ (CrN) และชั้นเคลือบเซอร์โคเนียม ไนไตรด์ (ZrN) (Hurkmans *et al.*, 1996; Pilloud *et al.*, 2003) ซึ่งพบว่าชั้นเคลือบดังกล่าวมีสมบัติ บางประการที่ได้เปรียบไทเทเนียมไนไตรด์

เช่นกัน (Ward *et al.*, 1996; Blanco *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยพบว่าชั้นเคลือบกลุ่ม binary nitride coating นั้นมีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องมือตัดความเร็วรอบสูง (high speed cutting tools) โดยพบว่าชั้นฟิล์มเกิดการหลุดลอกเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นชั้นเคลือบกลุ่มนี้ยังต้องได้รับการแก้ไขและปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้น (Panjan, 1996)

2. ชั้นเคลือบแข็งไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์

ฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ (TiCrN) เป็นหนึ่งในชั้นเคลือบแข็งกลุ่มชั้นเคลือบสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสามชนิด (ternary nitride coating) ซึ่งชั้นเคลือบในกลุ่มนี้มีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงเคมีที่ดีมากและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น ใช้เป็นชั้นเคลือบป้องกันผิวชิ้นงาน (Aouadi *et al.*, 2006; Uglov *et al.*, 2008) โดยชั้นเคลือบกลุ่ม ternary nitride coating พัฒนามาจากชั้นเคลือบกลุ่ม binary nitride coating โดยการเติมธาตุโลหะเช่น ไทเทเนียม (Ti), อะลูมิเนียม (Al), โครเมียม (Cr) หรือ เซอร์โคเนียม (Zr) เข้าไปในโครงสร้างของชั้นเคลือบกลุ่ม binary nitride coating

(Zhang *et al.*, 2007) โดยทั่วไปพบว่าชั้นเคลือบกลุ่ม ternary nitride coating มีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงเคมี ดีกว่าชั้นเคลือบกลุ่ม binary nitride coating (Barshilia *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2010) ซึ่งชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ได้มาจากการเติมอะตอมโครเมียมเข้าในโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของชั้นเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ให้ดีขึ้น (Vishnyakov *et al.*, 2006; Chang *et al.*, 2007) โดยชั้นเคลือบที่ได้มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ความหยาบผิวน้อย (Hsieh *et al.*, 2001) มีความแข็งแรงมาก (Uglov *et al.*, 2005; Vishnyakov *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2013) มีสัมประสิทธิ์เสียดทานต่ำ (Ezazi *et al.*, 2014; Thampi *et al.*, 2016) สามารถต้านการสึกหรอได้ดี (Aouadi *et al.*, 2004; Budzynski *et al.*, 2009; Thampi *et al.*, 2016) สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง (Hsieh *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2001; Krzanowski & Foley, 2014) และสามารถต้านการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีมาก (Chang *et al.*, 2007; Wolfe *et al.*, 2011) ดังนั้นจึงได้รับความสนใจอย่างมากจากวงการวิจัยและภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันสามารถนำชั้นเคลือบชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เคลือบผิวของเครื่องมือกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องมือตัดความเร็วรอบสูง (high speed cutting tools) (Uglov, 2008; Chen, 2013) จากงานวิจัยพบว่าชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์สามารถเตรียมได้จากกระบวนการทางฟิสิกส์ (Physical vapor deposition, PVD) ด้วยวิธีระเหยสารและวิธีสปัตเตอริง ในหลายเทคนิคย่อย ได้แก่ เทคนิคคาโทดิกอาร์ค (cathodic arc evaporation) (Uglov *et al.*, 2008; Wolfe *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013) เทคนิคสปัตเตอริง (sputtering) (Choi *et al.*, 2009; Krzanowski & Foley, 2014; Paksunchai *et al.*, 2014; Thampi *et al.*, 2016)

เทคนิคไอออนเพลติง (ion plating) (Lee *et al.*, 2001) และเทคนิคใช้ลำไอออนช่วย (ion-assisted deposition) (Aouadi *et al.*, 2004; Vishnyakov *et al.*, 2006)

3. การเตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียม ไนไตรด์

จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่าชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ถูกเตรียมด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ (Physical Vapor Deposition, PVD) ซึ่งทำในระบบสุญญากาศ โดยการสร้างไอระเหยของอะตอมสารเคลือบจากเป้าของแข็ง ไอระเหยเหล่านี้เคลื่อนที่ในบริเวณพลาสมาและควบแน่นเป็นชั้นเคลือบลงบนวัสดุรองรับ (Santecchia *et al.*, 2015) โดยอาจมีการให้ศักย์ไบแอสหรือความร้อนกับวัสดุรองรับในระหว่างการเคลือบ เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่มีลักษณะตามต้องการ วิธีการหลักในการเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิค PVD แบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีระเหยสาร และ วิธีสปัตเตอริง (Ezazi *et al.*, 2014; Santecchia *et al.*, 2015)

3.1 วิธีระเหยสาร

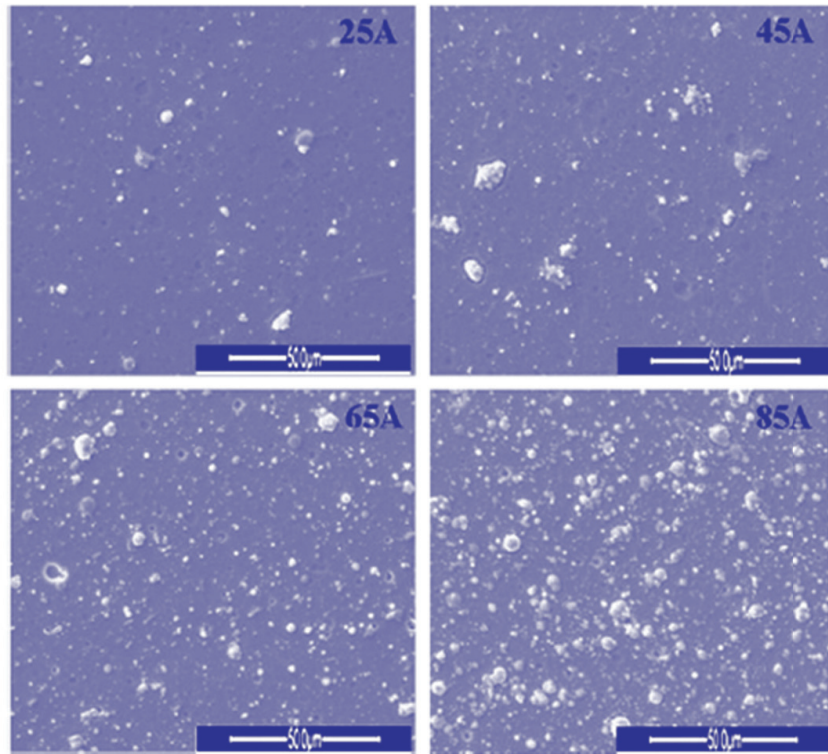
วิธีระเหยสาร (evaporation หรือ vacuum evaporation) เป็นวิธีที่สารเคลือบถูกสร้างขึ้นจากการให้ความร้อน (thermal evaporation) หรือจากการอาร์ค (arc evaporation) กับเป้าสารเคลือบที่เป็นของแข็ง ส่งผลให้อะตอมสารเคลือบกลายเป็นไอระเหยออกจากเป้านั้น อะตอมสารเคลือบเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปยังวัสดุรองรับโดยไม่มีการชนหรือมีการชนเพียงเล็กน้อยกับโมเลกุลแก๊สในสถานะสุญญากาศที่อยู่ระหว่างเป้ากับ วัสดุรองรับ (Mattox, 1998) โดยพบว่าวิธีนี้มีข้อได้เปรียบคือ ชั้นเคลือบที่ได้มีความแน่น (dense) และอัตราการเคลือบสูง (Wolfe *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013) สำหรับงานวิจัยที่เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีระเหยสาร มีรายละเอียดที่สำคัญแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เทคนิคและเงื่อนไขการเตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีระเหยสาร

งานวิจัย (ปีที่เผยแพร่)	เทคนิค	ศักย์ไบแอส (-V)	อุณหภูมิวัสดุรองรับ (°C)
Vetter (1995)	Cathodic arc evaporation	50-400	330-560
Uglov (2008)	Cathodic arc evaporation	120	450-500
Wolfe (2011)	Cathodic arc evaporation	50-300	350
Chen (2013)	Cathodic arc evaporation	200	300

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมด้วยวิธีระเหยสารส่วนใหญ่ มักใช้เทคนิคคาโทดิกอาร์ค โดยต้องให้ศักย์ไบแอสและความร้อนกับวัสดุรองรับในระหว่างการเคลือบ เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่มีโครงสร้างและลักษณะเฉพาะตามต้องการ นอกจากนี้เมื่อนำชั้นเคลือบมาวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิค SEM (scanning electron microscope) พบว่าชั้นเคลือบที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีนี้มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบและ

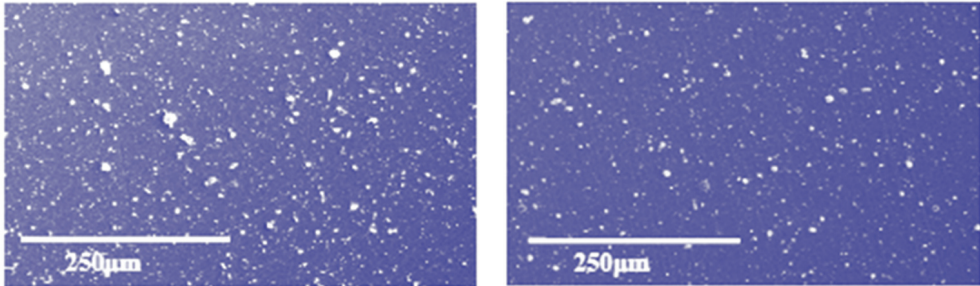
อาจเกิดอนุภาคขนาดใหญ่ (macro-particles) ติดอยู่กับผิว เช่น งานวิจัยของ Wolfe และคณะ (2011) ซึ่งเตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยเทคนิคคาโทดิกอาร์ค โดยแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่เป้าโครเมียม พบว่าเกิดอนุภาคลักษณะทรงกลมของธาตุโครเมียมบนผิวชั้นเคลือบซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีปริมาณมากขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่เป้าโครเมียมสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นผิวของชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ESEM เมื่อกระแสไฟฟ้า ที่เป้าโครเมียมมีค่า 25, 45, 65 และ 85 A ตามลำดับ (Wolfe *et al.*, 2011)

Chen และคณะ (2013) เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยเทคนิคคาโทดิกอาร์ค โดยแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่เป้าไทเทเนียมในช่วง 70-100 A และ เป้าโครเมียมในช่วง 80-110 A ทำให้ได้ชั้นเคลือบ

ที่มีองค์ประกอบธาตุแตกต่างกัน พบว่าเกิดอนุภาคนาขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตรบนผิวชั้นเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีขนาดลดลงขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่เป้าโครเมียม และลดกระแสไฟฟ้าที่เป้าไทเทเนียม



รูปที่ 2 พื้นผิวของชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ของตัวอย่างชั้นเคลือบ $Ti_{0.81}Cr_{0.19}N$ และ $Ti_{0.52}Cr_{0.48}N$ ตามลำดับ (Chen et al., 2013)

3.2 วิธีสปัตเตอร์

การเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอร์ (sputtering) ทำได้โดยการสร้างไอระเหยของอนุภาคที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอร์ ซึ่งอะตอมของสารเคลือบหลุดออกมาจากผิวของเป้าของแข็งโดยการถ่ายเทโมเมนตัมจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับอะตอมซึ่งถูกระดมยิงมาเข้า โดยอนุภากระดมยิงมักเป็นไอออนสถานะแก๊สที่ถูกเร่งโดยพลาสมา จากนั้นไอระเหยของสารเคลือบเหล่านี้จะเคลื่อนที่มายัง

วัสดุรองรับและควบแน่นเป็นชั้นเคลือบ (Mattox, 1998) โดยวิธีนี้มีข้อได้เปรียบคือ พื้นผิวของ ชั้นเคลือบที่ได้มีความสม่ำเสมอและสามารถยึดเกาะกับผิวของวัสดุรองรับได้ดี (Ezazi et al., 2014; Paksanchai et al., 2014; Thampi et al., 2016) สำหรับงานวิจัยที่เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีสปัตเตอร์ มีรายละเอียดที่สำคัญแสดงไว้ในตารางที่ 2

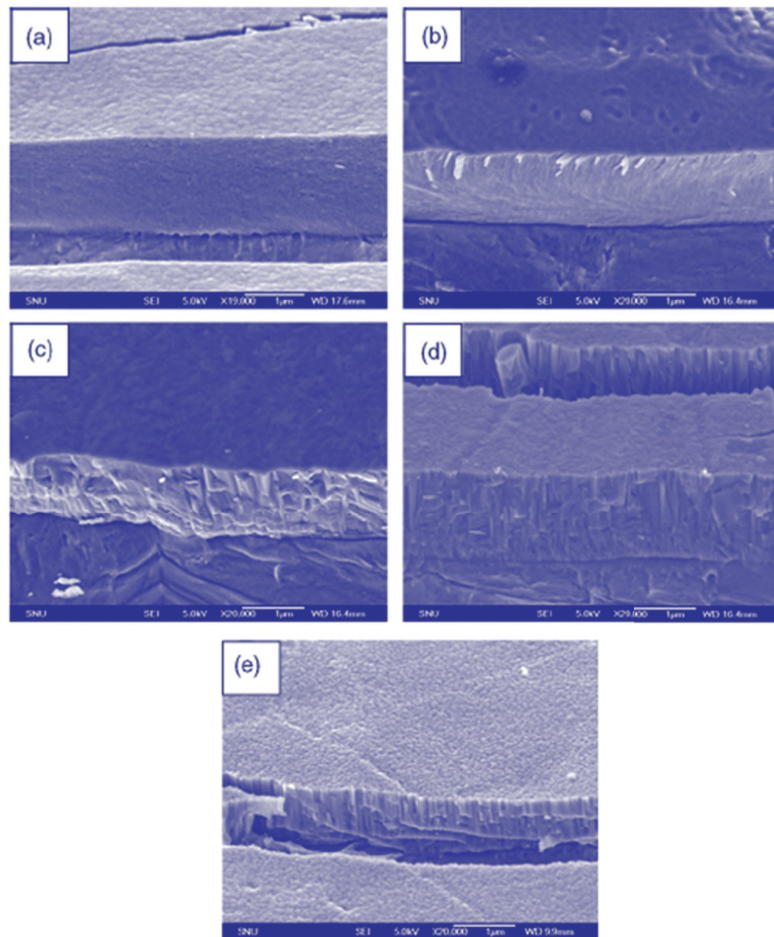
ตารางที่ 2 เทคนิคและเงื่อนไขการเตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีสปัตเตอร์

งานวิจัย (ปีที่เผยแพร่)	เทคนิค	ศักย์ไบแอส (-V)	อุณหภูมิวัสดุรองรับ (°C)
Otani (1996)	DC magnetron co-sputtering	-	-
Panjan (1996)	plasma-assisted sputtering	-	150
Ward (1996)	magnetron sputtering	ใช่	-
Hsieh (2001)	DC magnetron co-sputtering	50	-
Choi (2009)	DC magnetron sputtering	10	200
Krzanowski (2014)	RF magnetron co-sputtering	50	450
Paksunchai (2014)	DC magnetron co-sputtering	-	-
Thampi (2016)	DC magnetron co-sputtering	-	400

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมด้วยวิธีสเปตเตอริง สามารถเลือกใช้เป้าสารเคลือบได้ 2 ลักษณะ คือ เป้าสารเคลือบเดี่ยว ในรูปแบบของโลหะผสม (alloy) หรือเป้าสารเคลือบโลหะบริสุทธิ์ 2 เป้า (co-sputtering) ซึ่งในแบบหลังสามารถควบคุมองค์ประกอบธาตุในชั้นเคลือบได้ง่ายกว่าแบบแรก โดยควบคุมได้จากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่เป้าคาโทด แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยหลาย ๆ งานยังต้องให้คัลยไบแอส และ/หรือความร้อนกับวัสดุรองรับ ในระหว่างการเคลือบ เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่มีโครงสร้างและลักษณะเฉพาะ

ตามต้องการ นอกจากนี้ยังพบว่า ชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ที่ได้จากการเคลือบด้วยวิธีนี้มีความแน่นและพื้นผิวขรุขระน้อยกว่าวิธีระเหยสาร ตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

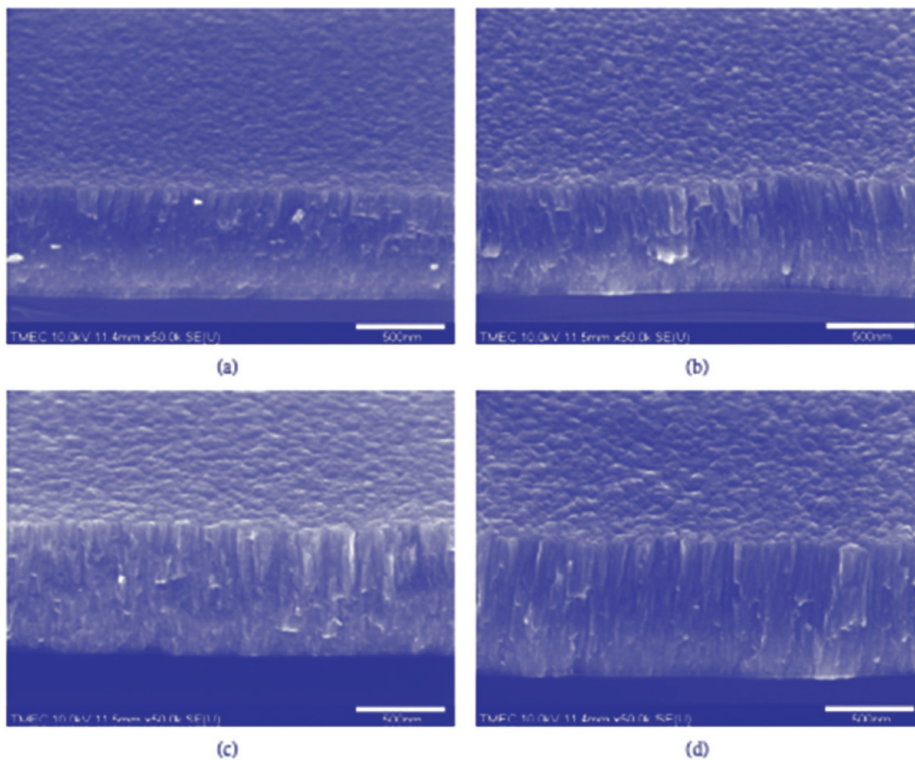
Choi และคณะ (2009) เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยเทคนิคแมกนีตรอนสเปตเตอริง โดยใช้พลาสมาช่วย (plasma-assisted magnetron sputtering) โดยแปรค่าอัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนที่ 0.0, 1.2, 2.0, 2.4 และ 3.0 sccm พบว่าชั้นเคลือบที่ได้มีความแน่นและมีลักษณะเป็นคอลัมน์ (columnar) เมื่ออัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3



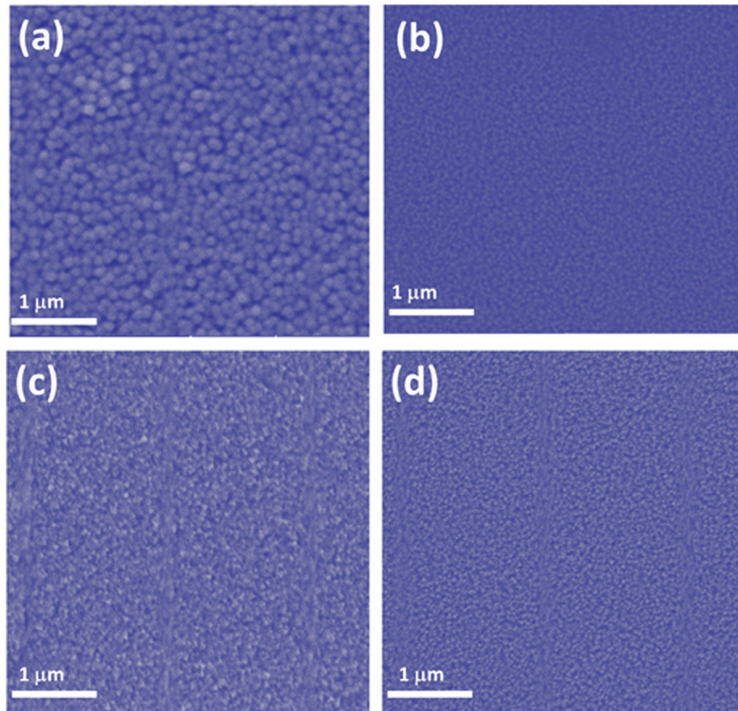
รูปที่ 3 พื้นผิวชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM เมื่ออัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน (a) 0.0 sccm (b) 1.2 sccm (c) 2.0 sccm และ (d) 2.4 sccm (e) 3.0 sccm (Choi *et al.*, 2009)

Paksanchai และคณะ (2014) เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีสปีดซีแมกนีตรอน-โคสปีดเตอริง โดยแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้าไทเทเนียมมีค่า 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 A พบว่าชั้นเคลือบที่ได้มีความแน่นและมีลักษณะเป็น dense columnar เมื่อกระแสไฟฟ้าที่เข้าคาโทดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4

Thampi และคณะ (2016) เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีพัลส์ดีซีแมกนีตรอน-สปีดเตอริงพบว่าชั้นเคลือบที่ได้มีขนาดผลึก (เกรน) ที่เล็กลงและความหยาบผิวลดลง เมื่อเพิ่มความถี่พัลส์ตั้งแต่ 0, 5, 10 และ 15 kHz ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 พื้นผิวชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM เมื่อแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้าไทเทเนียม (a) 0.4 A (b) 0.6 A (c) 0.8 A (d) 1.0 A (Paksunchai *et al.*, 2014)



รูปที่ 5 พื้นผิวชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM

เมื่อแปรค่าความถี่พัลส์ (a) 0 kHz (b) 5 kHz (c) 10 kHz และ (d) 15 kHz (Thampi *et al.*, 2016)

ส่วนวิธีไอออนเพลติง (ion plating) หรือบางครั้งถูกเรียกว่าวิธีการเคลือบโดยใช้ไอออนช่วย (ion-assisted deposition) วิธีนี้สารเคลือบอาจได้มาจากการระเหยสารหรือสปัตเตอริงก็ได้ โดยไอระเหยของอะตอม สารเคลือบถูกทำให้แตกตัวเป็นประจุในบริเวณพลาสมา จากนั้นจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนไปยังวัสดุรองรับและเกิดเป็น

ชั้นเคลือบ (Mattox, 1998) สำหรับงานวิจัยที่เตรียมชั้นเคลือบไทเทเนียมโครเมียมไนไตรด์ด้วยวิธีไอออนเพลติงหรือใช้ลำไอออนช่วย มีหลายชิ้น ได้แก่ Lee และคณะ (2001), Aouadi และคณะ (2004), Vishnyakov และคณะ (2006) และ Budzynski และคณะ (2009)

4. เอกสารอ้างอิง

- Aouadi, S. M., Wong, K. C., Mitchell, K. A. R., Namavar, F., Tobin, E., Mihut, D. M., & Rohde, S. L. (2004). Characterization of titanium chromium nitride nanocomposite protective coatings. *Applied Surface Science*, 229, 387-394.
- Aouadi, S. M., Wong, Maeruf, T., Twesten., R. D., Mihut, D. M., & Rohde, S. L. (2006). Physical and mechanical properties of chromium zirconium nitride thin films. *Surface & Coatings Technology*, 200, 3411-3417.
- Barshillia, H. C., Yogesh, K., & Rajam, K. S. (2009). Deposition of TiAlN coatings using reactive bipolar-pulsed direct current unbalanced magnetron sputtering. *Vacuum*, 83, 427-434.
- Blanco, D., Viesca, J. L., Mallada, M. T., Ramajo, B., González, R., & Hernández, A. (2009). Wettability and corrosion of [NTf₂] anion-based ionic liquids on steel and PVD (TiN, CrN, ZrN) coatings. *Surface & Coatings Technology*, 302, 13-21.
- Budzynski, P., Sielanko, J., Surowiec, Z., & Tarkowski, P. (2009). Properties of (Ti,Cr)N and (Al,Cr)N thin films prepared by ion beam assisted deposition. *Vacuum*, 83, 186-189.
- Chang, Y. Y., Yang, S. J., & Wang, D. Y. (2007). Characterization of TiCr(C,N)/amorphous carbon coatings synthesized by a cathodic arc deposition process. *Thin Solid Films*, 515, 4722-4726.
- Chen, S. Y., Luo, D. F., & Zhao, G. B. (2013). Investigation of the properties of Ti_xCr_{1-x}N coatings prepared by cathodic arc deposition. *Physics Procedia*, 50, 163-168.
- Choi, H. S., Han, D. H., Hong, W. H., & Lee, J. J. (2009). (Titanium, chromium) nitride coatings for bipolar plate of polymer electrolyte membrane fuel cell. *Journal of Power Sources*, 189, 966-971.
- Ezazi, M. A., Quazi, M. M., Zalnezhad, E., & Sarhan, A. A. D. (2014). Enhancing the tribomechanical properties of aerospace AL7075-T6 by magnetron-sputtered Ti/TiN, Cr/CrN & TiCr/TiCrN thin film ceramic coatings. *Ceramics International*, 40, 15603-15615.
- Hurkmans, T., Lewis, D. B., Brooks, J. S., & Münz, W. D. (1996). Chromium nitride coatings grown by unbalanced magnetron (UBM) and combined arc/unbalanced magnetron (ABSTTM) deposition techniques. *Surface and Coatings Technology*, 86-87, 192-199.
- Hsieh, J. H., Zhang, W. H., Li, C., & Sun, C. Q. (2001). Characterization of (Ti_xCr_{0.6-x})N_{0.4} coatings and their tribological behaviors against an epoxy molding compound. *Surface and Coatings Technology*, 146-147, 331-337.
- Jeyachandran, Y. L., Narayandass, S. K., Mangalaraj, D., Areva, S., & Mielczarski,

- J. A. (2007). Properties of titanium nitride films prepared by direct current magnetron sputtering. *Materials Science and Engineering A*, 445-446, 223-236.
- Krzanowski, J. E., & Foley, D. J. (2014). The Effect of Cr Content on the Oxidation Behavior of Ti-Cr-N Films. *Coatings*, 4, 308-319.
- Lee, D. B., Kim, M. H., Lee, Y. C., & Kwon, S. C. (2001). High temperature oxidation of TiCrN coating deposited on a steel substrate by ion plating. *Surface and Coating Technology*, 141, 232-239.
- Li, X. C., Li, C. S., Zhang, Ye, Tang, H., Li, G. W., & Mo, C. C. (2010). Tribological properties of the Ti-Al-N thin films with different components fabricated by double-targeted co-sputtering. *Applied Surface Science*, 256, 4272-4279.
- Mattox, D. M. (1998). Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing. New Jersey: Noyes Publications.
- Otani, Y., & Hofmann, F. (1996). High temperature oxidation behavior of $(\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x)\text{N}$ coatings. *Thin Solid Films*, 287, 188-192.
- Paksunchai, C., Denchitcharoen, S., Chaiyakun, S., & Limsuwan P. (2014). Growth and characterization of nanostructured TiCrN films prepared by DC magnetron cosputtering. *Journal of Nanomaterials*. Advance online publication. DOI:10.1155/2014/609482.
- Panjan, P., Navinsek, B., Cvelbar, A., Zalar, A., & Milosev, I. (1996). Oxidation of TiN, ZrN, TiZrN, CrN, TiCrN and TiN/CrN multilayer hard coatings reactively sputtered at low temperature. *Thin Solid Films*, 281-282, 298-301.
- Parameswaran, V. R., Immarigeon, J. P., & Nagy, D. (1992). Titanium nitride coating for aero engine compressor gas path components. *Surface and Coatings Technology*, 52, 251-260.
- Pilloud, D., Dehlinger, A. S., Pierson, J. F., Roman, A., & Pichon, L. (2003). Reactively sputtered zirconium nitride coatings: structural, mechanical, optical and electrical characteristics. *Surface and Coatings Technology*, 174-175, 338-344.
- Santecchia, E., Hamouda, A. M. S., Musharavati, F., Zalnezhad, E., Cabibbo, M., & Spigarelli, S. (2015). Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. *Ceramics International*, 41, 10349-10379.
- Thampi, A., Bendavid, A., & Subramanian, B. (2016). Nanostructured TiCrN thin films by Pulsed Magnetron Sputtering for cutting tool applications. *Ceramics International*, 42, 9940-9948.
- Uglov, V. V., Anishchik, V. M., Zlotski, S. V., Abadias, G., & Dub, S. N. (2005). Stress and mechanical properties of Ti-Cr-N gradient coatings deposited by vacuum arc. *Surface & Coatings Technology*, 200, 178-181.
- Uglov, V. V., Anishchik, V. M., Zlotski, S. V., Feranchuk, I. D., Alexeeva, T. A.,

- Ulyanenkova, A., Brechbuehl, J., & Lazar, A. P. (2008). Composition and phase stability upon annealing of gradient nitride coatings. *Surface & Coatings Technology*, 202, 2389-2393.
- Vetter, J., Scholl, H. J., & Knotek, O. (1995). (TiCr)N coatings deposited by cathodic vacuum arc evaporation. *Surface and Coatings Technology*, 74-75, 286-291.
- Vishnyakov, V. M., Bachurin, V. I., Minnebaev, K. F., Valizadeh, R., Teer, D. G., Colligon, J. S., Vishnyakov, V. V., & Yurasova, V. E. (2006). Ion assisted deposition of Titanium chromium nitride. *Thin Solid Films*, 497, 189-195.
- Ward, L. P., Strafford, K. N., Subramanian, C., & Wilks, T. P. (1996). Observation on the structure, hardness and adhesion properties of a selection of multicomponent refractory element nitride coatings. *Materials Processing Technology*, 56, 375-384.
- Wolfe, D. E., Gabriel, B. M., & Reedy, M. W. (2011). Nanolayer (Ti,Cr)N coatings for hard particle erosion resistance. *Surface & Coating Technology*, 205, 4569-4576.
- Zhang, G. A., Yan, P. X., Wang, P., Chen, Y. M., & Zhang, J. Y. (2007). The structure and tribological behaviors of CrN and Cr-Ti-N coatings. *Applied Surface Science*, 253, 7353-7359.

แบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษา โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

A Model of Predictive Modeling of Students' Smartphones using Data Mining Techniques

นงเยาว์ ในอรุณ^{1*}
Nongyao Nai-arun^{1*}

^{1*}สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

^{1*}Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: nongyaonaiarun@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานสมาร์ตโฟนของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เพื่อสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล 4 เทคนิค ได้แก่ เค-เนียร์เรสเนเบอร์ นาอ์ฟเบย์ โครงข่ายประสาทเทียม และต้นไม้ตัดสินใจ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสำรวจพฤติกรรมในการใช้งานสมาร์ตโฟนของนักศึกษา และใช้โปรแกรม WEKA ในการวิเคราะห์เหมืองข้อมูล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ 366 คน ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่าประสิทธิภาพการจำแนกสูงสุด (98.361%) รองลงมาคือ ต้นไม้ตัดสินใจ (98.087%) เค-เนียร์เรส เนเบอร์ (97.814%) และนาอ์ฟเบย์ (79.235%) ตามลำดับ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในการทำนายรูปแบบการใช้งานสมาร์ตโฟนของนักศึกษา และเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขพฤติกรรมการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: เหมืองข้อมูล, เค-เนียร์เรสเนเบอร์, นาอ์ฟเบย์, โครงข่ายประสาทเทียม, ต้นไม้ตัดสินใจ

Abstract

This research aimed to study the impact of smartphone usage among students of Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, to construct four models by using data mining techniques including K-Nearest Neighbors, Naïve Bayes, Artificial Neural Networks and Decision Trees, and to compare its performance. The tool used in the study was a survey of students' use of smartphones and WEKA program for data mining analysis. The sample size used in this study was 366 people. The results revealed that the best model with the highest accuracy was Artificial Neural Networks (98.361%), followed by the Decision Tree (98.087%), K-Nearest Neighbors (97.814%) and Naïve Bayes (79.235%), respectively. The research concludes that the model developed by Artificial Neural Networks technique is most suitable for developing web applications in predicting student smartphone usage patterns. The results can further be used to improve the behavior of smartphone use among the students.

Keywords: Data Mining, K-Nearest Neighbors, Naïve Bayes, Artificial Neural Networks, Decision Trees

1. บทนำ

กระบวนการมาตรฐานในการวิเคราะห์เหมืองข้อมูล (Data Mining) (Han and Kamber, 2006) พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1996 โดยความร่วมมือกันของ 3 บริษัท คือ DaimlerChrysler SPSS และ NCR กระบวนการทำงานนี้เรียกว่า “Cross-Industry Standard Process for Data Mining” หรือเรียกย่อๆได้ว่า “CRISP-DM” (Shearer, 2000) โดยในกระบวนการ CRISP-DM นี้จะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) Business Understanding ขั้นตอนแรกในกระบวนการ CRISP-DM ซึ่งเน้นไปที่การเข้าใจปัญหาและแปลงปัญหาที่ได้ให้อยู่ในรูปโจทย์ของการวิเคราะห์ข้อมูลทางเหมืองข้อมูลพร้อมทั้งวางแผนในการดำเนินการคร่าวๆ (2) Data Understanding ขั้นตอนนี้เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมาได้เพื่อดูความถูกต้องของข้อมูล และพิจารณาว่าจะใช้ข้อมูลทั้งหมดหรือจำเป็นต้องเลือกข้อมูลบางส่วนมาใช้ในการวิเคราะห์ (3) Data Preparation เป็นขั้นตอนที่ทำการแปลงข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมมา (Raw Data) ให้เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นถัดไปได้โดยการแปลงข้อมูลนี้

อาจจะต้องมีการทำข้อมูลให้ถูกต้อง (Data Cleaning) เช่น การแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วง (Scale) เดียวกัน หรือ การเติมข้อมูลที่ขาดหายไป เป็นต้น โดยขั้นตอนนี้จะขึ้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดของกระบวนการ CRISP-DM (4) Modeling เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางเหมืองข้อมูล ที่ได้แนะนำไปแล้ว เช่น การจำแนกประเภทข้อมูล หรือ การแบ่งกลุ่มข้อมูล ซึ่งในขั้นตอนนี้หลายเทคนิคจะถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นในบางครั้งอาจจะต้องมีการย้อนกลับไปขั้นตอน Data Preparation เพื่อแปลงข้อมูลบางส่วนให้เหมาะสม (5) Evaluation ในขั้นตอนนี้เราจะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางเหมืองข้อมูลแล้วแต่ก่อนที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานต่อไปก็จะต้องมีการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้ว่าตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในขั้นตอนนี้หรือไม่หรือมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ซึ่งอาจจะย้อนกลับไปยังขั้นตอนก่อนหน้านี้เพื่อเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการได้ สำหรับการสร้างแบบจำลอง

ด้วยเทคนิค Classification มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (6) Deployment ในกระบวนการทำงานของ CRISP-DM นั้นไม่ได้หยุดเพียงแค่ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางเหมืองข้อมูลเท่านั้น แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงถึงองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ แต่จะต้องนำองค์ความรู้ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ได้จริงในองค์กรได้ (Dataminingtrend, 2018)

ปัจจุบันสมาร์ทโฟน (Smartphone) เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของนักศึกษามากขึ้น ความสามารถของสมาร์ทโฟนคล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์และสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา การใช้งานสมาร์ทโฟนของนักศึกษามีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการนำมาใช้ในการค้นหาข้อมูลต่าง ๆ ใช้เพื่อการรับส่งอีเมล การส่งงาน ฯลฯ ส่วนข้อเสียคือ การเล่นเกม การใช้สื่อสังคมออนไลน์ต่าง ๆ มากจนเกินไป ทำให้นักศึกษาไม่สนใจเรียน และทำผลการเรียนแย่ลงตามไปด้วย พฤติกรรมโดยทั่วไปของคนเรา เช่น การรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย การสูบบุหรี่ การใช้คอมพิวเตอร์และการใช้อินเทอร์เน็ต ถ้าพฤติกรรมปกติจะแสดงออกอย่างเหมาะสม แต่เมื่อใดที่มากจนเกินไปหรือเรียกว่าติด ก็จะสามารถควบคุมตัวเองได้ กระวนกระวาย ทำให้มีผลกระทบต่อการเรียน การทำงานได้ (ชนัดดา เพ็ชรประยูร และคณะ, 2560)

จากการศึกษา พบว่าปัญหาการใช้สมาร์ทโฟนของนักศึกษามีผลกระทบต่อการเรียน ทำให้ขาดสมาธิในการเรียน การใช้สมาร์ทโฟนในห้องเรียนเพื่อเล่นอินเทอร์เน็ต ถ่ายรูป พูดคุยในสื่อสังคมออนไลน์เพิ่มมากขึ้นทุกวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล มาใช้สร้างแบบจำลอง เพื่อหาเทคนิคใดเหมาะสมที่สุดในการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ทโฟนของนักศึกษา ผลการวิจัยที่ได้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟนให้ถูกต้องเหมาะสม และพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษาต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี และหลักการของเทคนิคเหมืองข้อมูล (เอกสิทธิ์ พืชวงศ์ศักดิ์, 2557) และหลักการของ CRISP-DM ประกอบ 6 ขั้นตอน เพื่อนำมาใช้ในการดำเนินการวิจัย รายละเอียดดังนี้

2.1 Business Understanding

ศึกษารูปแบบและพฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟน ของนักศึกษา และศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามที่ใช้ในการวัดพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟน งานวิจัยนี้ได้แบบสอบถามในการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ (1) แบบสอบถามข้อมูลสถานภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นลักษณะตรวจสอบรายการ (Check-List) จำนวน 10 คำถาม และ (2) แบบสอบถามสำรวจพฤติกรรมการใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟนของนักศึกษา (จุฑามาศ กิตติศรี และคณะ, 2560) เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มี 4 ระดับ (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2555) จำนวน 10 คำถาม หลังจากนั้นนำไปสร้างแบบสอบถามออนไลน์โดยใช้ Google form และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างบนเว็บไซต์

2.2 Data Understanding

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 4 คณะ ได้แก่ คณะครุศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ รวมทั้งหมดจำนวน 387 คน หลังจากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม แล้วนำข้อมูลมาทำ Data Cleaning ด้วยการจัดแบบสอบถามที่มีข้อมูลผิดพลาด ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ และข้อมูลที่มีค่าของคุณลักษณะบางอย่างขาดหายไป ได้แบบสอบถามที่สมบูรณ์จำนวน 366 คน

2.3 Data Preparation

ทำการแปลงข้อมูล (Data Transformation) ที่ได้มาด้วยวิธีการดังนี้

2.3.1 ทำการแปลงแบบสอบถามข้อมูล

สถานภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรและข้อมูล ประกอบด้วย 10 ตัวแปร ได้แก่ เพศ ชั้นปี คณะวิชา ชั่วโมงในการเล่นโทรศัพท์ต่อวัน ช่วงเวลาที่เล่นมากที่สุด ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการทำอะไรมากที่สุด รายได้ของนักศึกษาต่อวัน ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่ผลการเรียนเฉลี่ย และรายได้ต่อเดือนของครอบครัว รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

2.3.2 ทำการแปลงแบบสอบถามสำรวจพฤติกรรมการใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟนของนักศึกษา ด้วยการนำข้อมูลแต่ละข้อคำถามมาให้ค่าน้ำหนัก ดังนี้

ไม่ใช่เลย ให้ 0 คะแนน

ไม่น่าใช้ ให้ 1 คะแนน

น่าจะใช้ ให้ 2 คะแนน

ใช้เลย ให้ 3 คะแนน

เมื่อให้คะแนนครบทุกข้อแล้วให้รวมคะแนนในแต่ละคน แล้วนำมาจัดกลุ่ม (Class) ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

คะแนนรวม ≤ 15 จัดเป็นกลุ่มปกติ

คะแนนรวม > 15 จัดเป็นกลุ่มติดสมาร์ทโฟน

หลังจากแปลงข้อมูลแล้วได้รูปแบบข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ตัวแปรนำเข้า (Input) จำนวน 10 ตัวแปร และตัวแปรผลลัพธ์ (Output) หรือเรียกว่า Class จำนวน 1 ตัวแปร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดตัวแปร

ตัวแปร	ชื่อตัวแปร	คำอธิบาย	
Sex	เพศ	1) ชาย	2) หญิง
Year	ชั้นปี	1) ปี 1	2) ปี 2
		3) ปี 3	4) ปี 4
Faculty	คณะวิชา	1) ครุศาสตร์	
		2) วิทยาการจัดการ	
		3) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
		4) มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	
Time	ชั่วโมงในการเล่นโทรศัพท์ต่อวัน	1) น้อยกว่า 3 ชั่วโมง	
		2) 3 - 5 ชั่วโมง	
		3) มากกว่า 5 ชั่วโมง	
Duration	ช่วงเวลาในการเล่นมากที่สุด	1) ช่วงเช้า (6 : 00 ถึง 12 : 00)	
		2) ช่วงบ่าย (12 : 01 ถึง 18 : 00)	
		3) ช่วงเย็น (18 : 01 ถึง 24 : 00)	
		4) ช่วงดึก (24 : 01 ถึง 00 : 00)	
Usephone	ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการทำอะไรมากที่สุด	1) เล่นเกม	
		2) ติดต่อสื่อสาร	
		3) โซเชียลเน็ตเวิร์ค	
Income_st	รายได้ของนักศึกษาต่อวัน	1) ตั้งแต่ 200 บาท ลงไป	
		2) มากกว่า 200 บาท	
Live	ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่	1) บ้าน	
		2) หอพัก	
Grade	ผลการเรียนเฉลี่ย	1) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย (น้อยกว่า 2.86)	
		2) มากกว่าค่าเฉลี่ย (มากกว่า 2.86)	
Income_fa	รายได้ต่อเดือนของครอบครัว	1) ต่ำกว่า 20,000 บาท	
		2) 20,000 - 30,000 บาท	
		3) มากกว่า 30,000 บาท	
Class	กลุ่ม	1) กลุ่มปกติ	
		2) กลุ่มติดสมาร์ทโฟน	

2.4 Data Modeling

ในการสร้างแบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษา ใช้โปรแกรม WEKA (Waikato, 2012) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการวิเคราะห์เหมืองข้อมูล และเป็นที่ยอมรับจากนักวิจัยและใช้งานอย่างแพร่หลาย และเป็นโปรแกรมประเภท Open Source แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ชุดการเรียนรู้ (Training Data) และข้อมูลชุดทดสอบ (Testing Data)

สร้างแบบจำลองการแบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษา ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล (Dunham, 2006) (Chakrabarti, et. al, 2009) จำนวน 4 เทคนิค ได้แก่ (1) เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาท (Neural) ในสมองของมนุษย์ ประกอบด้วยนิวเคลียส (Nucleus) จำนวนมาก ตัวเซลล์ (Cell Body) และใยประสาทนำเข้า (Dendrite) เป็นเส้นประสาทที่แตกแขนงออกมามากมาย และแกนประสาทนำออก (Axon) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำพาสัญญาณประจุไฟฟ้าหรือกระแสประสาทเดินทางไปยังสมองส่วนต่าง ๆ (บุญเสริม กิจศิริกุล, 2548) ระบบประสาทของสมองของมนุษย์ได้ถูกนำมาจำลองและพัฒนาเป็นโครงสร้างของโครงข่ายใยประสาท โดยการนำองค์ประกอบหลักที่สำคัญในระบบประสาทมนุษย์มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายใยประสาท ที่เรียกว่า เพอร์เซปตรอน (Perceptron) เป็นข่ายงานประสาทเทียมแบบง่ายมีหน่วยเดียวที่จำลองลักษณะของเซลล์ประสาท โดยข้อมูลจะถูกนำเข้ามาผ่านทางเส้นประสาท ก่อนประมวลผลด้วยฟังก์ชัน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นเซลล์ประสาท และผลลัพธ์จะถูกส่งไปเป็นข้อมูลนำเข้าของเซลล์ประสาทอื่นต่อไป แบบจำลองนี้ถือเป็นโครงสร้างการทำงานของโครงข่ายใยประสาทที่ช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้รวมทั้งประมวลผลในแบบขนาน (Parallel) ได้ (Jones,

2008) (2) เทคนิคนาอิวเบย์ (Naïve Bayes) เป็นการจำแนกประเภทโดยใช้หลักสถิติในการพยากรณ์ความน่าจะเป็น (Probability) ของสมาชิก ด้วยหลักการทฤษฎีของเบย์ (Bayesian Theorem) สามารถทำนายค่าคลาสเป้าหมายของตัวอย่างด้วยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดระหว่างทุกค่าคลาสที่เป็นไปได้ (3) เทคนิคเค-เนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors) เป็นเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลที่มีหลักการทำงานคล้ายกับการแบ่งกลุ่มข้อมูล แต่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลใกล้เคียงกับข้อมูลที่กำลังสนใจ เรียกชุดข้อมูลเหล่านี้ว่า เพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbors) (ณัฐพงษ์ วาริประเสริฐ และ ณรงค์ ลำดี, 2552) เทคนิค K-Nearest Neighbor ใช้วิธีการเลือกชุดข้อมูลเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดกับค่าของชุดข้อมูลที่กำลังพิจารณา มา K ตัว โดยคำนวณค่าความคล้ายคลึงด้วยการใช้ค่าระยะทางน้อยที่สุด โดยมากมักจะใช้วิธีการวัดระยะทาง (Distance) ด้วย ยูคลิเดียน (Euclidean) (Han, et al., 2011) และ (4) เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นเทคนิคหนึ่งของการทำเหมืองข้อมูล พัฒนาโดย Quinlan (1986) เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับคาดคะเนหรือทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า เป็นอัลกอริทึมในการเรียนรู้ที่ไม่ซับซ้อนมาก โดยจะมีการแตกแขนงจากโหนดราก (Root Node) เป็นโหนดภายใน/โหนดกิ่ง (Branch Node) แตกออกไปตามเงื่อนไขหรือข้อมูล จนไปสู่โหนดใบ (Leaf Node) เป็นแบบจำลองที่มีการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่สนใจกับผลสรุปที่อาจเกิดขึ้นจากค่าของเหตุการณ์ต่าง ๆ

2.5 Evaluation

ทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้

สมาร์โฟนของนักศึกษา การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี 10-Fold Cross Validation ซึ่งเป็นการแบ่งข้อมูล ออกเป็น 10 ชุดเท่า ๆ กัน และใช้ข้อมูลชุดการเรียนรู้ 9 ชุด สร้างแบบจำลอง ข้อมูลชุดทดสอบ 1 ชุดสำหรับทดสอบ แบบจำลอง แล้วทำการวนจำนวน 10 รอบ หลังจากนั้นทำการ หาค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) (นิตยา เกิดประสพ, 2547)

2.6 Deployment

นำแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้อง มากที่สุดมาใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันต่อไป

3. ผลการวิจัย

3.1 แบบจำลองด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล

จากการสร้างแบบจำลองการทำนายรูปแบบ การใช้สมาร์โฟนของนักศึกษา การสร้างแบบจำลองด้วย เทคนิคนาอีฟเบย์ (Naive Bayes) ใช้หลักการคำนวณ ความน่าจะเป็น (Probability) และการสร้างแบบจำลอง ด้วยเทคนิค เค-เนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors) ใช้หลักการคำนวณวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่างข้อมูล ที่ต้องการทำนายกับข้อมูลเพื่อนบ้าน งานวิจัยนี้ จึงไม่ สามารถนำเสนอแบบจำลองในลักษณะรูปภาพได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงยกตัวอย่างการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม WEKA ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

Time taken to build model: 0 seconds

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	290	79.235 %
Incorrectly Classified Instances	76	20.765 %
Kappa statistic	0.5663	
Mean absolute error	0.2724	
Root mean squared error	0.4063	
Relative absolute error	57.6323 %	
Root relative squared error	83.5991 %	
Total Number of Instances	366	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0.810	0.236	0.847	0.810	0.828	0.567	0.847	0.917	G1
	0.764	0.190	0.713	0.764	0.738	0.567	0.847	0.745	G2
Weighted Avg.	0.792	0.218	0.796	0.792	0.794	0.567	0.847	0.851	

=== Confusion Matrix ===

```

a   b   <-- classified as
183  43 |   a = G1
 33 107 |   b = G2

```

รูปที่ 1 แบบจำลองด้วยเทคนิค Naive Bayes

Time taken to build model: 0 seconds

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	358	97.8142 %
Incorrectly Classified Instances	8	2.1858 %
Kappa statistic	0.9539	
Mean absolute error	0.0287	
Root mean squared error	0.1477	
Relative absolute error	6.0788 %	
Root relative squared error	30.3942 %	
Total Number of Instances	366	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0.978	0.021	0.987	0.978	0.982	0.954	0.988	0.994	G1
	0.979	0.022	0.965	0.979	0.972	0.954	0.988	0.963	G2
Weighted Avg.	0.978	0.022	0.978	0.978	0.978	0.954	0.988	0.982	

=== Confusion Matrix ===

```

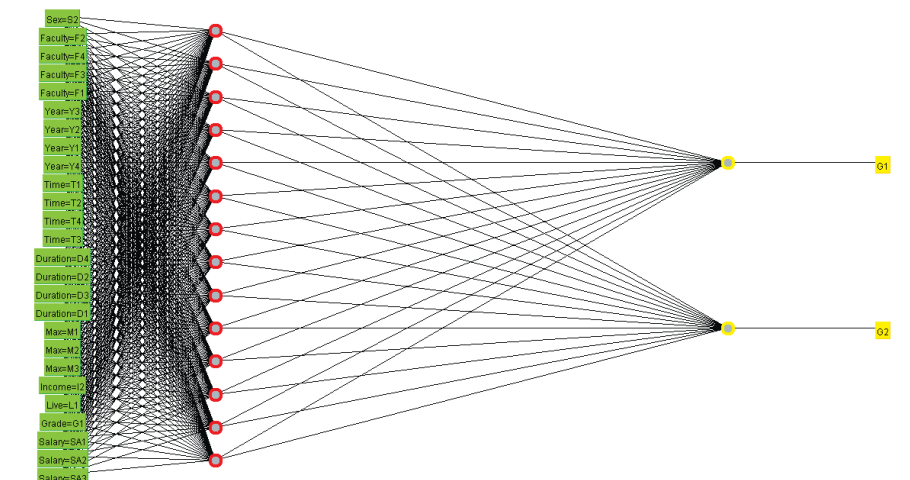
a  b  <-- classified as
221  5 |  a = G1
 3 137 |  b = G2
    
```

รูปที่ 2 แบบจำลองด้วยเทคนิค K-Nearest Neighbors

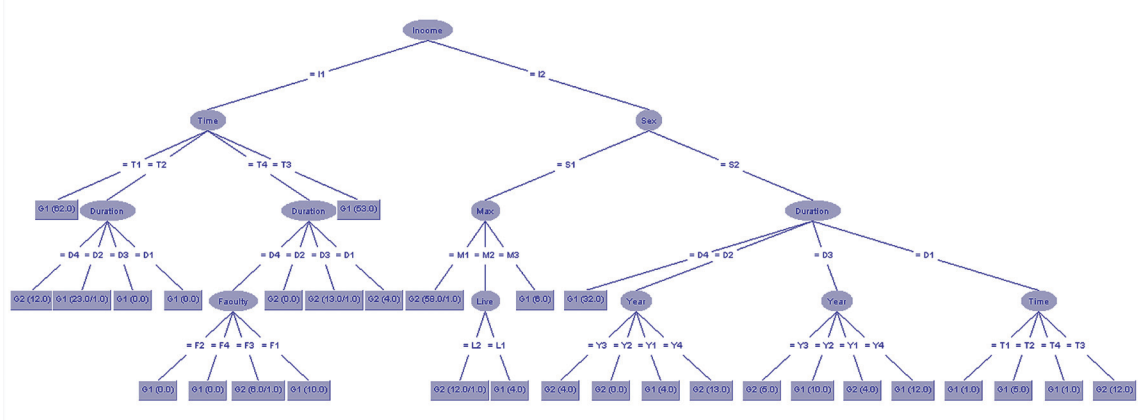
การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) นำเสนอแบบจำลองด้วยรูปภาพดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4

3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ทโฟนของนักศึกษา ด้วยการทำค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการทำนาย พบว่า



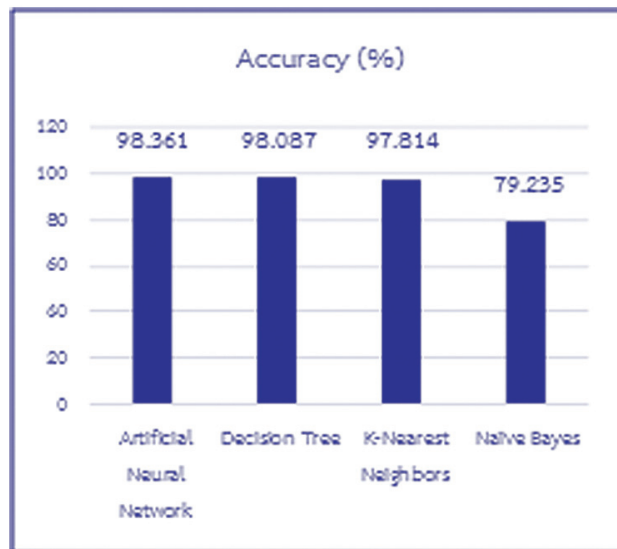
รูปที่ 3 แบบจำลองด้วยเทคนิค Artificial Neural Network



รูปที่ 4 แบบจำลองด้วยเทคนิค Decision Tree

แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 98.361% และแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิค

นาอิวเบย์ (Naïve Bayes) ให้ค่าความถูกต้องต่ำสุดเท่ากับ 79.233% รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสถิติค่าความแม่นยำ (Precision) เป็นค่าของข้อมูลที่มีผลลัพธ์ถูกต้องโดยพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมด และค่าความระลึก (Recall) เป็นค่าของข้อมูลผลลัพธ์ถูกต้องโดยพิจารณาจากข้อมูลผลลัพธ์เดียวกัน ของแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคเหมือนข้อมูล 4 เทคนิค พบว่า แบบจำลองที่ให้ค่าความแม่นยำและค่าความระลึกสูงสุด คือ แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) รองลงมา คือ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เค-เนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbor) และ นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบ Precision and Recall

Model	Precision	Recall
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)	0.984	0.984
ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)	0.981	0.981
เค-เนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbor)	0.978	0.978
นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes)	0.796	0.792

4. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ ผลการสร้างแบบจำลองการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟนของนักศึกษา โดยใช้เทคนิคเค-เนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors) นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 98.361% ให้ค่าประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบการใช้สมาร์ตโฟน

ของนักศึกษาดีที่สุดในเชิงการประมวลผลที่สร้างเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาท (Neural) ในสมองของมนุษย์ ซึ่งโครงสร้างการเชื่อมต่อกันทำให้เกิดลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้น ๆ (Layer) และใช้การคำนวณที่ซับซ้อน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ และแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคนาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) ให้ค่าความถูกต้องต่ำสุดเท่ากับ 79.235%

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรนำแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

ไปพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในการทำนายรูปแบบการใช้งานสมาร์ตโฟนของนักศึกษา เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ตโฟนของนักศึกษาให้ถูกต้องเหมาะสมและพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษาต่อไป รวมทั้งควรนำเทคนิคเหมือนข้อมูลอื่น ๆ มาสร้างโมเดล เช่น เทคนิคการเรียนรู้ร่วมกัน (Ensemble Learning) เพื่อหาประสิทธิภาพการทำนายที่ดีกว่า นอกจากนั้นควรเพิ่มกลุ่มตัวอย่างชุดข้อมูล (Data Set) ให้มีจำนวนมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- ชนัดดา เพ็ชรประยูร และคณะ. (2560). การติดสมาร์ทโฟนของนักศึกษา: การพัฒนาแบบวัดในบริบทนักศึกษาปริญญาตรีในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี*, ปีที่ 11(3), 325-340.
- จุฑามาศ กิติศรี, รัชชานา หน่อคา, คณินิจ เพชรรัตน์. (2560). พฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟนและการรับรู้ภาวะสุขภาพของนักศึกษาพยาบาล. *วารสารการพัฒนาสุขภาพชุมชน มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. ปีที่ 5 (1), 19-34.
- ณัฐพงษ์ วาริประเลื้อ และณรงค์ ลำดี. (2552). *ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)*. กรุงเทพมหานคร.
- ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2555). *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS*. นนทบุรี: เอสอาร์. พรินติ้ง แมสโปรดักส์.
- นิตยา เกิดประสพ. (2547). *อัลกอริทึมและเทคนิคที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์โมเดลที่ช่วยวินิจฉัยโรคได้อัตโนมัติ*. ใน รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บุญเสริม กิจศิริกุล. (2548). *ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกสิทธิ์ พชรวงศ์ศักดิ์. (2557). *An Introduction To Data Mining Techniques*. กรุงเทพฯ: เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์.
- Chakrabarti, S., Cox, E., Frank, E., Guting, R. H., Han, J., Jiang, X., Kamber, M. and Lightstone, S. S. (2009). *Data mining: Know it all*. USA: Morgan Kaufmann.
- Dataminingtrend. (2018). *CRISP-DM*. Retrieved November 5, 2018, from <http://dataminingtrend.com/2014/data-mining-techniques/crisp-dm-example/>
- Dunham, M. H. (2006). *Data mining, Introductory and advanced topics* (2nd ed.). USA.: Prentice Hall.
- Han, J. and Kamber, M. (2006). *Data mining: Concepts and techniques* (2nd ed.). USA: Morgan Kaufmann.
- Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2011). *Data mining concepts and techniques*. USA: Morgan Kaufmann.
- Jones, M. T. (2008). *Artificial intelligence*. N.P.: Infinity Science Press.
- Quinlan, J. R. (1986). *Introduction of Decision Trees*. Machine Learning, 1(1), 81-89.
- Shearer, C. (2000). The CRISP-DM model: The new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5(4), 13-22.
- Waikato. (2012). WEKA. Retrieved November 1, 2018, from <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

ผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียออกไซด์ ที่เคลือบด้วยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสเปตเตอริง

Effect of Thickness on Optical Properties of ZrO_2 Thin Film Deposited by DC Reactive Magnetron Sputtering

จินดาวรรณ ธรรมปรีชา^{1*}

Jindawan Thammapreecha^{1*}

^{1*}สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

^{1*}Department of Physics, Faculty of Science and Technology,

Phranakorn si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: jindawanaru@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เคลือบฟิล์มเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนด้วยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสเปตเตอริง เพื่อศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์ม แล้วนำฟิล์มที่เคลือบได้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ศึกษาลักษณะพื้นผิวและความหนาด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมวัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และคำนวณค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มด้วยวิธี Swanepoel ผลการศึกษาพบว่าฟิล์ม ZrO_2 ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ความหนามีค่าเท่ากับ 250 nm และ 500 nm ความหยาบผิว (R_a) เท่ากับ 3.20 nm และ 3.60 nm ฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าดัชนีหักเห (n) และค่าสัมประสิทธิ์การดับสัญญาณ (k) ที่ความยาวคลื่นแสง 550 nm ประมาณ 2.06 และ 0.001 ตามลำดับ และมีแถบพลังงาน (E_g) ประมาณ 4.17 eV

คำสำคัญ: ฟิล์มบางเซอร์โคเนียออกไซด์, รีแอคทีฟสเปตเตอริง, ค่าคงที่ทางแสง, วิธี Swanepoel

Abstract

Zirconium oxide (ZrO_2) films were deposited on glass slides and silicon wafer by DC reactive magnetron sputtering method. The effect of thickness on optical properties of the films were investigated. The crystal structure was characterized by X-ray Diffractometer (XRD). The surface morphologies and thickness were evaluated by Atomic Force Microscope (AFM). The transmittance spectrum was measured by spectrophotometer. Optical constants of as deposited films were calculated by Swanepoel method. The results show that the ZrO_2 films were monoclinic crystalline structure. The films thickness were 250 nm and 500 nm and surface roughness (R_a) were 3.20 nm and 3.60 nm. The Refractive index (n) and extinction coefficient (k) at wavelength 550 nm were approximately 2.06 and 0.001, respectively. And energy band gap (E_g) was approximately 4.17 eV.

Keywords : Zirconium oxide thin film, reactive sputtering, optical constants, Swanepoel method

1. บทนำ

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) เป็นฟิล์มบางออกไซด์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากจากกลุ่มนักวิจัยในทั่วโลก ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเคลือบฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ทั้งด้านความรู้พื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่ใช้สมบัติด้านแสงและอิเล็กทรอนิกส์

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์มีสมบัติที่น่าสนใจหลายประการ เช่น มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการขีดข่วน และการกัดกร่อนได้ดี มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมีค่าดัชนีหักเหสูง นอกจากนี้ยังเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานกว้าง การสูญเสียทางแสงต่ำ ที่สำคัญเป็นฟิล์มบางที่โปร่งแสงสูงในช่วงตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด การดูดกลืนแสงต่ำเป็นบริเวณกว้างจากช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตถึงอินฟราเรด จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการนำฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ทำกระจกสะท้อนแสงสูง (High-Reflectivity Mirrors) ฟิลเตอร์แสงชนิดแทรกสอดแบบช่วงกว้าง หรือใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อแสง ใช้ทำเซ็นเซอร์ตรวจจับแก๊สออกซิเจน เป็นต้น

โครงสร้างผลึกของฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ขึ้นกับเทคนิค และเงื่อนไขการเคลือบ การเตรียมฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์สามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น วิธีระเหยสาร (Evaporation) อาร์เอฟสเปคเตอริง (RF Sputtering) ดีซีสเปคเตอริง (DC Sputtering) และโซลเจล (Sol Gel) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเตรียมฟิล์มด้วยเทคนิคสเปคเตอริง มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่น คือ สามารถควบคุมอัตราเคลือบและสมบัติของฟิล์มได้ง่าย ฟิล์มที่ได้มีคุณภาพและการยึดเกาะดี (Wu *et al.*, 2006) อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ไปสู่ การเคลือบชิ้นงานขนาดใหญ่ในระดับอุตสาหกรรมได้ง่ายอีกด้วย

โดยทั่วไปสมบัติของฟิล์มที่เคลือบได้ขึ้นกับเทคนิค และเงื่อนไขการเคลือบ ทั้งนี้ความหนาของฟิล์มก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม (Elsholz *et al.*, 2004) ซึ่งส่งผลต่อสมบัติอื่นของฟิล์ม เช่น ฟิล์มมีความหนาผิวมากจะกระจายแสงดี (Lai *et al.*, 2005) ทั้งนี้มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติของฟิล์ม เช่น Ma *et al.* (2002)

พบว่าสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงขึ้นกับความหนาของฟิล์ม $\text{SnO}_2:\text{Sb}$ และ Zhao *et al.* (2008) พบว่าความหนา มีผลต่อความเครียดคงค้าง ดัชนีหักเห และการส่งผ่านแสงของฟิล์ม ZrO_2

2. ขอบเขตของการวิจัย

บทความวิจัยนี้ศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มจะใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมเพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวและความหนา สำหรับสมบัติทางแสงและแถบพลังงาน จะวัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาดัชนีหักเห และสัมประสิทธิ์การดูดกลืน ด้วยวิธี Envelope ส่วนแถบพลังงานคำนวณจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงด้วยวิธี Swanepoel (1983)

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

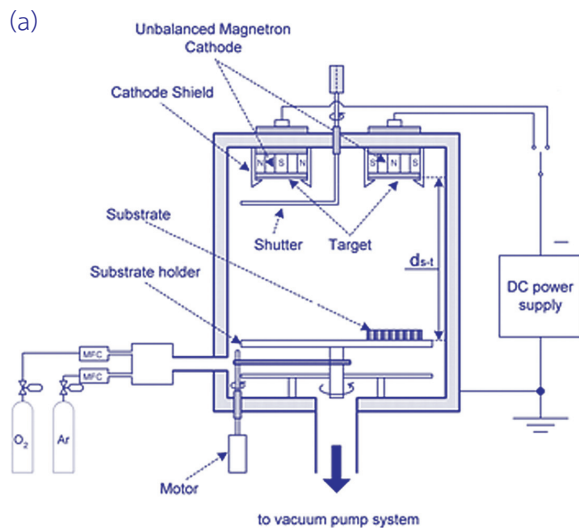
ฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ในงานวิจัยนี้เตรียมด้วยวิธี ดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง จากเครื่องเคลือบสุญญากาศระบบสปัตเตอริง ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีห้องเคลือบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm สูง 370.0 mm โดยติดเป้าเซอร์โคเนียม (99.97%)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54.0 mm ที่คาโทดพร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์สูง (99.99%) และแก๊สออกซิเจนความบริสุทธิ์สูง (99.98%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์และแก๊สไอปฏิกิริยาตามลำดับ ก่อนเคลือบทุกครั้งจะทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบ โดยการสปัตเตอร์หน้าเป้าสารเคลือบ (Pre-Sputtering) ประมาณ 3 นาทีโดยปิดแผ่นบัง (Shutter) ที่ติดระหว่างเป้าสารเคลือบกับแท่นวางชิ้นงาน ดังแผนผังในภาพที่ 1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์รุ่น Rint 2000 (Rigaku Corporation) ของภาควิชาโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมรุ่น Nanoscope IV (Veeco Instruments Inc.) ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น UV-VIS-NIR 3100 (Shimadzu Co., Ltd) ของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ขั้นตอนการเคลือบเริ่มจากนำกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ จัดให้ห่างจากหน้าเป้าสารเคลือบเท่ากับ 10 cm ลดความดันในห้องเคลือบให้ได้ความดันพื้นเท่ากับ 5.0×10^{-5} mbar แล้วปล่อยแก๊สเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm ควบคุมความดันรวมขณะเคลือบให้คงที่เท่ากับ 5×10^{-3} mbar กำลังไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 180 W

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

เงื่อนไข	รายละเอียด
ความดันรวม	5.0×10^{-3} mbar
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ	10 cm
อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจน	1 sccm: 6 sccm
กำลังไฟฟ้า	180 W
เวลาเคลือบ	90 และ 180 min



ภาพที่ 1 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง (a) ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ และ (b) เครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยจริง



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางเซอรโคเนียมออกไซด์

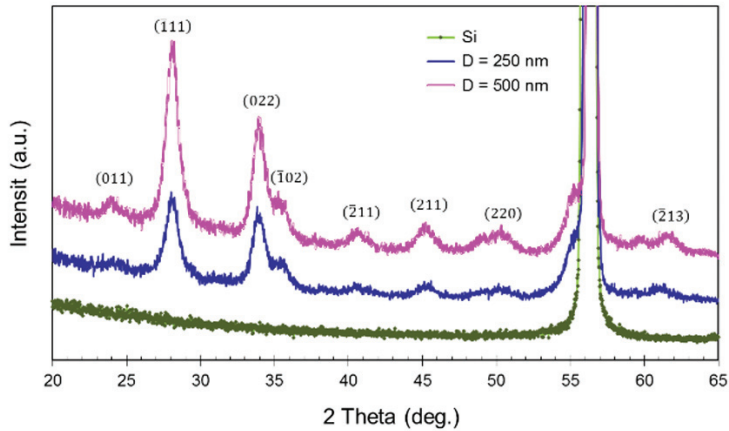
ฟิล์มเซอรโคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้ทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตรวจวัดแบบ 2θ-scan ด้วยมุมตกกระทบเฉียง คงที่เท่ากับ

3° โดยสแกน 2θ จาก 20° ถึง 65° ศึกษาลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม วัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณค่าดัชนีหักเห (n) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (k) ด้วยวิธีของ Swanepoel (1983) จากค่าการส่งผ่านแสง

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 โครงสร้างผลึก

ภาพที่ 3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอรโคเนียมออกไซด์ที่ พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เหมือนกัน โดยพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 24.05°, 28.17°, 34.14°, 35.88°, 40.70°, 45.49°, 50.09° และ 61.93° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบเซอรโคเนียมออกไซด์ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ระบาย (011), ($\bar{1}11$), (002), ($\bar{1}02$), ($\bar{2}11$), (211), (220) และ ($\bar{2}13$) ตามลำดับ โดยที่ระบาย ($\bar{1}11$) มีความเข้มของพีคสูงสุด ส่วนรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 56.5° เป็นธาตุซิลิกอนที่ใช้เป็นวัสดุรองรับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2008) พบว่าเมื่อฟิล์มเซอรโคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกระบาย ($\bar{1}11$) มีความเป็นผลึกสูงขึ้นตามความหนาของฟิล์ม



ภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหาระยะห่างระนาบผลึกในระบบผลึกแบบโมโนคลินิก เนื่องจากฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้

พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนา มีค่าคงที่แลตทิซตรงตาม มาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ($a = 5.150 \text{ \AA}$, $b = 5.211 \text{ \AA}$, $c = 5.317 \text{ \AA}$, $\beta = 99.230$) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ความหนา (nm)	a (Å)	b (Å)	c (Å)
JCPDS (78-1807)	5.150	5.211	5.317
250	5.215	5.148	5.348
500	5.069	5.213	5.364

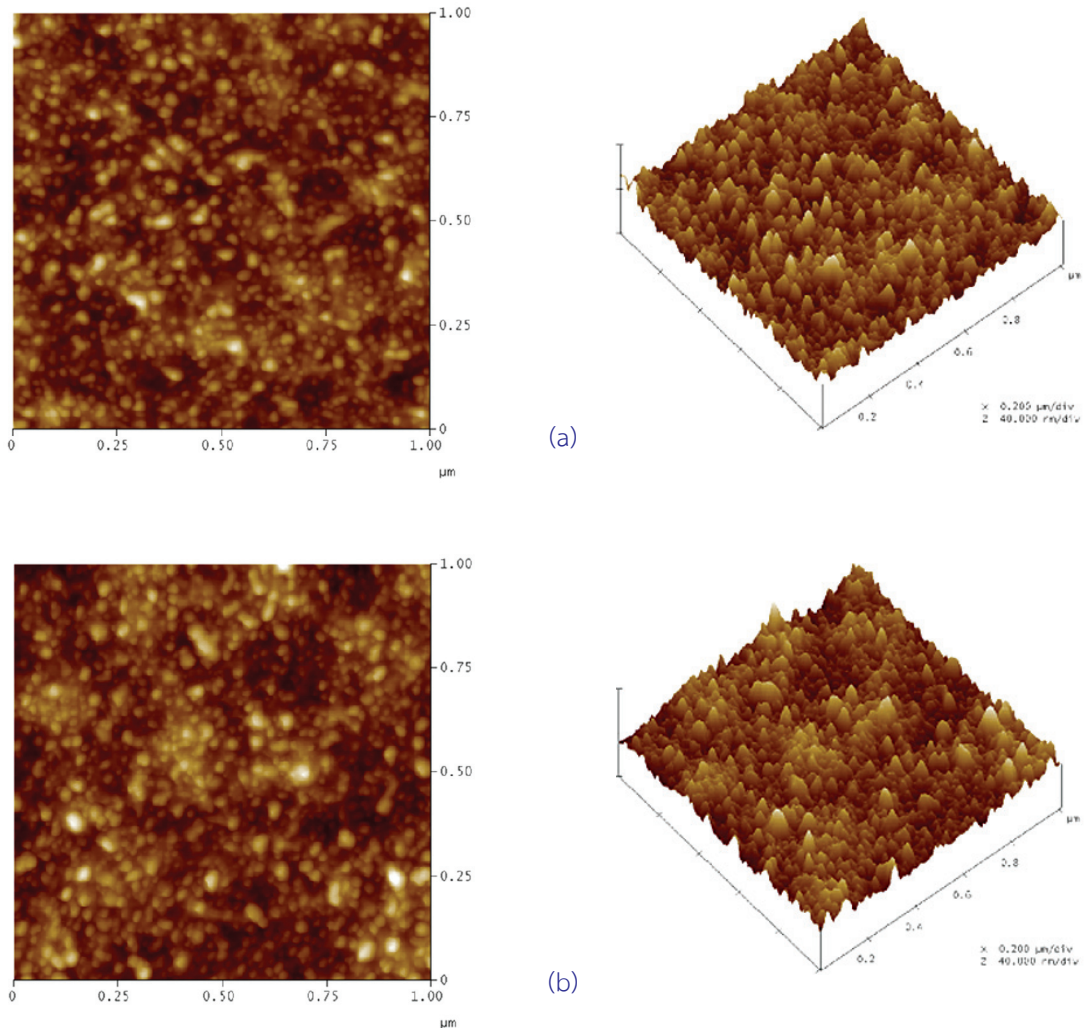
สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์นั้นหาได้จาก Seherer Equation โดยอาศัยรูปแบบ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนา ผลึกมีขนาดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยที่ระนาบ ($\bar{1}11$) ผลึกมีค่าในช่วง 18.40 nm ถึง 20.09 nm ดังแสดงในตารางที่ 3 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2008) พบว่าเมื่อฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้โดยแปรค่าความหนา ขนาดผลึกเพิ่มขึ้นตามความหนาของฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 3

4.2 ลักษณะพื้นผิว และความหนา

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ความหนาต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมพบว่าพื้นผิวหน้าของฟิล์มเกรนมีลักษณะเป็นแท่งปลายแหลม เล็ก มีขนาดไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์ม ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 250 nm และ 500 nm ส่วนความหยาบผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการเกิดฟิล์ม คือ เมื่อใช้เวลาในการเคลือบนานขึ้นทำให้อะตอมของสารเคลือบตกลงบนวัสดุรองรับเพิ่มมากขึ้นทำให้ฟิล์มความหนาขึ้น

ตารางที่ 3 ความหนา ความหยาบผิว และขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)	ขนาดผลึก (nm)	
		$\bar{1}11$	(002)
250	3.20	18.40	18.06
500	3.60	20.09	19.85

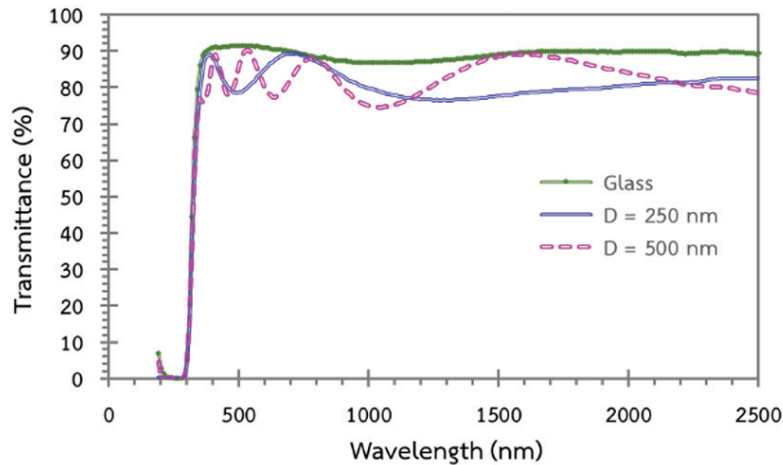


ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ (a) 250 nm, และ (b) 500 nm

4.3 สมบัติทางแสง

ฟิล์มเซอโรโคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้มีค่าการส่งผ่านแสงสูงทั้งในช่วงตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ (ภาพที่ 5)

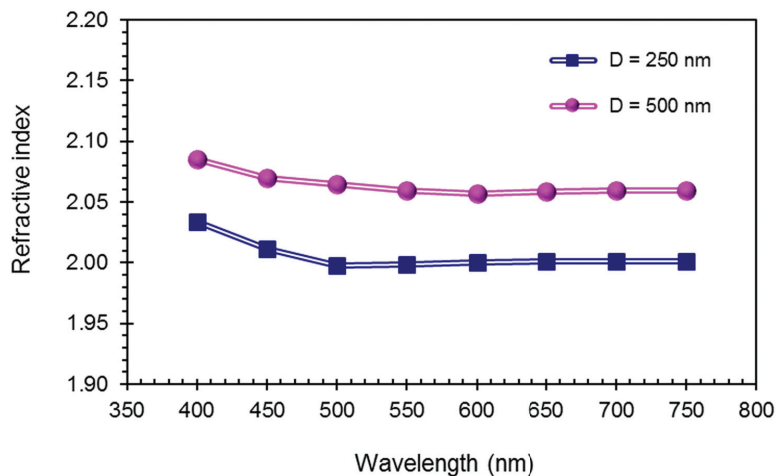
สำหรับค่าดัชนีหักเห (n) และสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) หาได้จากวิธี Swanepoel โดยใช้ข้อมูลจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงมาคำนวณ พบว่าที่ความยาวคลื่นแสง 550 nm ฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ที่เคลือบ



ภาพที่ 5 ร้อยละการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเซอรโคเนียมออกไซด์

โดยแปรค่าความหนาดัชนีหักเหเพิ่มจาก 2.00 เป็น 2.06 ตามลำดับ (ภาพที่ 6) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai *et al.* (2006) พบว่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาฟิล์ม

อยู่ในช่วง 550 nm ถึง 1630 nm และHojabri(2016) พบค่าดัชนีหักเหในช่วง 2.04 – 2.18 และ Kondaiah *et al.* (2012) พบค่าดัชนีหักเหในช่วง 1.81 – 2.10



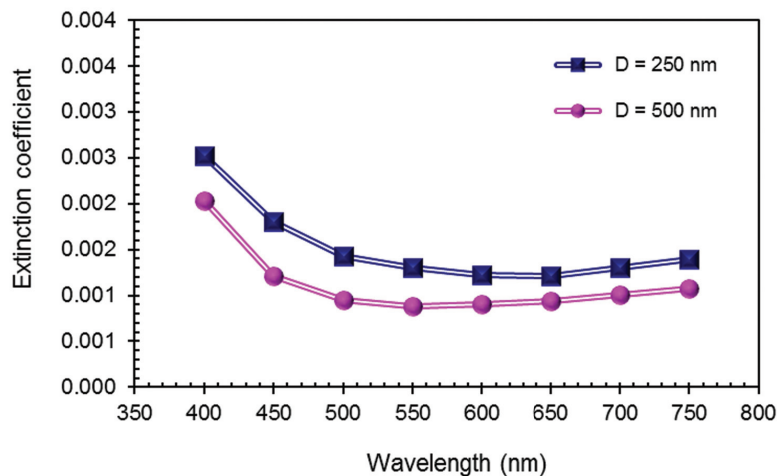
ภาพที่ 6 ดัชนีหักเหของฟิล์มบางเซอรโคเนียมออกไซด์

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่เคลือบโดยแปรค่าความหนาเท่ากับ 250 nm และ 500 nm ที่ความยาวคลื่นแสง 550 nm มีค่าเท่ากับ 0.0013 และ 0.0009 ตามลำดับ (ภาพที่ 7) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Swarnalatha *et al.* (1992) พบว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์มีค่าเท่ากับ <0.0003 ที่ความยาวคลื่น 633 nm ตามลำดับ

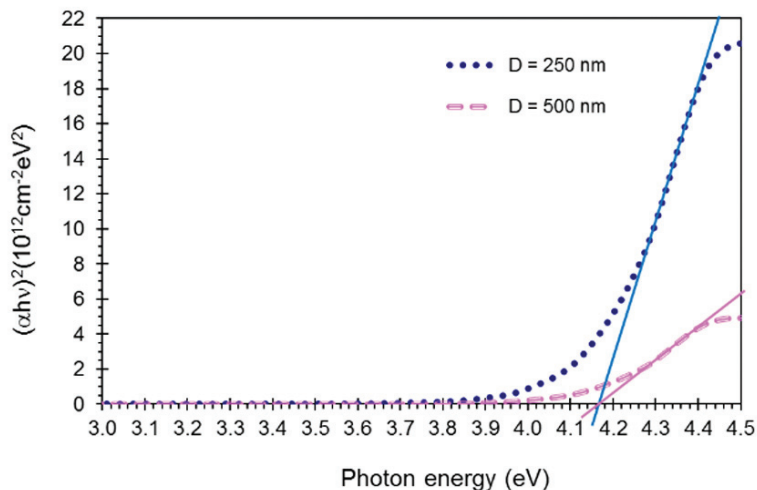
ภาพที่ 8 แสดงแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ คำนวณจากสมการที่ 1

$$\alpha_{(\lambda)} = A \sqrt{h\nu - E_g} / h\nu \quad (1)$$

เมื่อ $p = 2$ (Direct Optical Band Gap) (Henri and Jansen, 1991) พบว่าความหนาไม่มีผลต่อแถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ ซึ่งแถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 4.17 eV



ภาพที่ 7 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์



ภาพที่ 8 แถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสเปตเตอริง ผลการศึกษาพบว่าความหนามีผลต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มเมื่อฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบโดยแปรค่าความหนา มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกโดยที่ระนาบ (111) มีความเข้มของพีกสูงสุด โดยฟิล์มที่ได้มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นตามความหนา สำหรับค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์ ซึ่งแสดงด้วยค่าดัชนีหักเห (n) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (k) ของฟิล์มที่ความยาวคลื่นแสง 550 nm ประมาณ 2.06 และ 0.001 ตามลำดับ และมีแถบพลังงาน (E_g) ประมาณ 4.17 eV

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทอนันต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (VTTF) และห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมา สำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว (PSS) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

Elsholz, F., Schöll, E., & Rosenfeld, A. (2004). Control of surface roughness in amorphous thin-film growth. *Applied Physics Letter*, 84, 4167.

Henri, J., & F. Jansen. 1991. Electronic structure of cubic and tetragonal zirconia. *Physical Review B*, 43, 7267-7278.

Hojabari, A. (2016). Structural and optical characterization of ZrO_2 thin films grown on silicon and quartz substrates. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 10, 219-224.

Kondaiah, P., Mohan Rao, G., & Uthanna, S. (2012). Preparation of magnetron sputtered ZrO_2 films on Si for gate dielectric application. *Journal of Physics: Conference Series*, 390, 012031.

Lai, F., Lin, L., Huang, Z., Gai, R., & Qu, Y. (2006). Effect of thickness on the structure, morphology and optical properties of sputter deposited Nb_2O_5 films. *Applied Surface Science*, 253(4), 1801-1805.

Lai, F., Li, M., Wang, H., Hu, H., Wang, X., Hou, J.G., Song, Y., & Jiang, Y. (2005). Optical scattering characteristic of annealed niobium oxide films. *Thin Solid Films*, 488, 314-320.

Ma, H.L., Hao, X.T., Ma, J., Yang, Y.G., Huang, J., Zhang, D.H., & Xu, X.G. (2002). Thickness-dependence of properties of SnO_2 :Sb films deposited on flexible substrates. *Applied Surface Science*, 191, 313-318.

Swarnalatha, M., Stewart, A.F., Guenther, A.H., & Carniglia, C.K. (1992). Optical and Structural Properties of Thin Films

Deposited from Laser Fused Zirconia, Hafnia, and Yttria. *Applied Physics A*, 54, 533-537.

Swanepoel, R. (1983). Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 16, 1214-1222.

Wu, K.R., Wang, J.J., Liu, W.C., Chen, Z.S., & Wu, J.K. (2006). Deposition of Graded TiO_2 films Featured both Hydrophobic and Photo-Induced Hydrophilic Properties. *Applied Surface Science*, 255, 5829-5838.

Yu, G.Q., Tay, B.K., & Zhao, Z.W. (2005) Structure

and properties of zirconium oxide thin films prepared by filtered cathodic vacuum arc. *Applied Physics A*, 81(2), 405-411.

Zhao, S., Ma, F., Song, Z., & Xu, K. (2008). Thickness-dependent structural and optical Properties of sputter deposited ZrO_2 films. *Optical Materials*, 30, 910-915

Zhao, S., Ma, F., Xu, K.W., and Liang, H.F. (2008). Optical properties and structural characterization of bias sputtered ZrO_2 films. *Journal of Alloys and Compounds*, 453, 453-457.

ผลของระยะเวลาเก็บรักษาดันพันธุ์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

Effect of Cutting Storage Duration on Cassava Growth

ขวัญชัย เอื่องเพ็ชร¹ และ ภารดี แซ่อึ้ง^{1*}

Kwanchai Euengphet¹ and Pharadee Saeung^{1*}

¹สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

¹Department of Agriculture, Faculty of Science and Technology,

Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University

Email: kwangayeen@gmail.com; *Email : fengpds@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่องผลของระยะเวลาการเก็บรักษาดันพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังดำเนินการในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม พ.ศ.2560 ในพื้นที่ทดลองของสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โดยใช้มันสำปะหลังจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) มี 4 สิ่งทดลอง คือ การเก็บรักษาดันพันธุ์ที่ระยะเวลา 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน ทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลา การเก็บรักษาดันพันธุ์ที่ยาวนานขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโตที่อายุ 30 วันหลังปลูก มีการเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งระยะเวลาเก็บรักษาดันพันธุ์ที่ 28 วัน มีค่าการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยในพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าความสูง 45.60 เซนติเมตร จำนวนใบ 16.75 ใบ น้ำหนักสดกึ่งและใบ 26.05 กรัม และน้ำหนักแห้งกึ่งใบ 6.64 กรัม ส่วนในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 มีค่าความสูง 52.25 เซนติเมตร จำนวนใบ 20.33 ใบ น้ำหนักสดกึ่งและใบ 22.49 กรัม น้ำหนักแห้งกึ่งใบ 4.98 กรัมและน้ำหนักแห้งราก 0.45 กรัม

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, ระยะเวลาการเก็บรักษาดันพันธุ์, การเจริญเติบโต

Abstract

Effect of Cutting Storage Duration on Cassava Growth was studied during in July-August 2017. The experimental site was done in agricultural field, Faculty of Science and Technology, Phra Nakhon Si Ayutthaya Rajabhat University. This study used two cassava varieties (Huay Bong 80 and Kasetsart 72). The experimental designed in CRD (Completely Randomized Design) with 4 replications. There were 4 treatments in 4 cutting storage durations (7, 14, 21 and 28 days). The results showed that longer duration had higher plant growth. At 28 days cutting storage duration showed highest plant growth. In Huay Bong 80 had 45.60 centimeters of height, 16.75 of leaf number, 26.05 grams of branch-leaf fresh weight and 2.33 grams of branch-leaf dry weight. In Kasetsart 72 had 52.25 centimeters of height, 20.33 of leaf number, 22.49 grams of branch-leaf fresh weight, 4.98 grams of branch-leaf dry weight and 0.45 grams of root dry weight.

Keywords: Cassava, Cutting storage duration, Growth

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย ที่เกษตรกรนิยมปลูก และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรไทย เนื่องจากมีความต้องการใช้ประโยชน์มันสำปะหลังในตลาดปริมาณมาก ทั้งนี้เพื่อรองรับการผลิตเป็นพืชอาหารจำพวกแป้ง และการแปรรูปในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทแก๊สโซฮอล์ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเพื่อสภาพแวดล้อมที่สะอาดและยั่งยืน

การเก็บรักษาดันพันธุ์เพื่อเป็นวัสดุปลูกที่มีคุณภาพเป็นกระบวนการหนึ่งในการขยายพันธุ์ และเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง โดยเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บต้นพันธุ์ไว้ขยายพันธุ์เอง หรือนำต้นพันธุ์จากพื้นที่ใกล้เคียงกันมาใช้ระยะเวลาที่เก็บต้นพันธุ์ก่อนปลูกมีมากน้อยแล้วแต่ ความเหมาะสมของพื้นที่ ส่วนใหญ่อยู่ในระยะเวลา 6-15 วัน แต่ยังมีบางพื้นที่ปลูกทันทีหลังจากได้รับต้นพันธุ์มา หรือวางไว้ในพื้นที่เป็นเวลานาน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดันพันธุ์ มีความ

แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ซึ่งมีข้อเสนอแนะในบางพันธุ์เท่านั้น เช่น พันธุ์ระยอง 5 ไม่ควรเก็บนานเกิน 30 วัน พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 หรือพันธุ์ห้วยบง 60 ไม่ควรเก็บนานเกิน 45 วัน เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2554) ซึ่งหากเก็บรักษาดันพันธุ์ได้ไม่ดีจะมีผลต่อการแตกราก หรือแตกกิ่ง และส่งผลทำให้ผลผลิตมีปริมาณตกต่ำไปด้วย ดังนั้น เพื่อเป็นการศึกษาข้อมูลประกอบการปลูกมันสำปะหลังที่มีผลผลิตดี ให้มีการเจริญเติบโตที่ดียิ่งขึ้น จึงทำการศึกษาดังอิทธิพลของระยะเวลาเก็บรักษาดันพันธุ์ ที่ดี เพื่อนำเป็นข้อมูลประกอบการจัดการให้สามารถผลิตมันสำปะหลังได้มีประสิทธิภาพต่อไป

2. ขอบเขตการวิจัย

ทดสอบระยะเวลาการเก็บรักษาดันพันธุ์มันสำปะหลังจำนวน 4 ระยะเวลา ได้แก่ 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน โดยศึกษาโดยใช้มันสำปะหลังจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72

3. วิธีการวิจัย

3.1 ต้นพันธุ์มันสำปะหลัง

ใช้ต้นพันธุ์จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 จากพื้นที่สถานีวิจัยเขาคินซอน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2 พื้นที่ทดสอบ

พื้นที่แปลงทดสอบและห้องปฏิบัติการของสาขาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

3.3 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design)

ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ

สิ่งทดลองที่เปรียบเทียบได้แก่ ระยะการเก็บรักษาต้นพันธุ์ในสภาพกลางแจ้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เป็นระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลองที่ 2 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เป็นระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลองที่ 3 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เป็นระยะเวลา 21 วัน

สิ่งทดลองที่ 4 การเก็บรักษาต้นพันธุ์เป็นระยะเวลา 28 วัน

3.4 การปลูกมันสำปะหลัง

การปลูกมันสำปะหลัง โดยตัดต้นพันธุ์ให้เป็นท่อนยาว 20 เซนติเมตร

ปลูกมันสำปะหลังทำได้โดยนำท่อนพันธุ์ที่เตรียมไว้ปักลงในดินให้ลึกประมาณ 2/3 ของท่อนพันธุ์ โดยปักตรง 90 องศา

3.5 การตรวจวัดความชื้นของต้นพันธุ์

สุ่มตัวอย่างสดของต้นพันธุ์ สับย่อยให้มีขนาดเล็กจำนวน 500 กรัม ของแต่ละหน่วยการทดลอง

นำมาชั่งน้ำหนักสด แล้วจึงนำไปอบในตู้อบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักแห้งคงที่ (ระยะเวลา 2 วัน) คำนวณหาความชื้นต้นพันธุ์จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

3.6 การตรวจวัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

การตรวจวัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในการทดลองนี้ ทำการตรวจวัดเมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วัน หลังปลูก โดยตรวจวัดค่าดังต่อไปนี้

ความสูง ตรวจวัดความสูงจากระดับพื้นดินจนถึงส่วนที่สูงที่สุดของต้น

จำนวนกิ่ง ตรวจวัดโดยนับจำนวนกิ่งที่แตกจากลำต้น

จำนวนใบ ตรวจวัดโดยนับจำนวนใบทั้งหมด
น้ำหนักสด ตรวจวัดโดยชั่งน้ำหนักสดของกิ่งใบ และราก

น้ำหนักแห้ง โดยชั่งน้ำหนักแห้งของกิ่งใบและราก โดยนำตัวอย่าง (กิ่งและใบ หรือราก) ของแต่ละกระถางหรือถุงปลูก ไปอบในตู้อบแห้งซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักแห้งคงที่ (ระยะเวลา 2 วัน) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว

4. ผลการทดลอง

4.1 ความชื้นของต้นพันธุ์

เมื่อวางต้นพันธุ์ด้วยระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของต้นพันธุ์ที่วางไว้ตามสภาพแวดล้อมที่มีในพื้นที่ทดลอง ซึ่งความชื้นดังกล่าวอาจส่งต่อการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ ของมันสำปะหลังได้ ผลการศึกษาเรื่องความชื้นของต้นพันธุ์เมื่อวางไว้ในระยะเวลาต่าง พบว่า เมื่อวางต้นพันธุ์ในระยะเวลาสั้น มีผลทำให้ต้นพันธุ์มีความชื้นสูงขึ้น (ตาราง

ที่ 1) ในพันธุ์ห้วยบง 80 เมื่อวางต้นพันธุ์ตั้งแต่ระยะเวลา 14-28 วัน มีค่าความชื้นสูง (63.07-66.74%) มากกว่าต้นพันธุ์ที่วางในระยะเวลา 7 วัน (52.71%) และในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 เมื่อวางไว้ระยะเวลา 28 วัน มีต้นพันธุ์ค่าความชื้นสูงสุด (71.79%) ส่วนการเก็บรักษาที่ 7-21 วัน มีค่าความชื้นน้อยกว่า (65.17-68.20%) ซึ่งเป็นจากในช่วงเวลาทำการทดสอบเป็นช่วงฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนตกในปริมาณมาก ทำให้ต้นพันธุ์ที่วางมีความชื้นสะสมเพิ่มขึ้น โดยจากสถิติภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนกรกฎาคม 2559 มีสูงกว่าในช่วงระยะเวลาอื่น คือ มีปริมาณน้ำฝนถึง 286 มิลลิเมตร (สำนักงานสถิติพระนครศรีอยุธยา, 2560)

4.2 การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

การตรวจวัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำการตรวจวัดเปรียบเทียบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก โดยทำการตรวจวัดความสูง จำนวนกิ่ง จำนวนใบ น้ำหนักสดกึ่งใบ น้ำหนักแห้งกึ่งใบ น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ทั้งนี้ ส่วนของพืชเหนือดิน ได้แก่ ลำต้นและใบ เป็นส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ทำให้เกิดการลำเลียงธาตุอาหารน้ำ ฮอโมน ตลอดจนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารให้กับพืช (ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, 2559) ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตของมันสำปะหลังในระยะต่อไป

จากตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษการตรวจวัดความสูงของมันสำปะหลังในพันธุ์ห้วยบง 80 ที่วางต้นพันธุ์ระยะเวลา 7-21 วัน (20.63-26.53 เซนติเมตร) มีค่าความสูงน้อยกว่าการเก็บรักษาระยะเวลา 28 วัน (45.60 เซนติเมตร) ส่วนในต้นพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 แสดงในตารางที่ 3 พบว่า การเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ระยะเวลา 28 วัน มีค่าความสูงมากที่สุด (52.25 เซนติเมตร) เช่นกัน ส่วนจำนวนกิ่งของต้นพันธุ์ที่มีการเก็บรักษา ในระยะเวลาต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่จำนวนใบของต้นพันธุ์

ที่เก็บรักษาที่ระยะเวลา 28 วันให้ค่าสูงสุด (16.75 และ 20.33 ใบ ในพันธุ์ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 72 ตามลำดับ)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

การตรวจวัดน้ำหนักสดกึ่งใบ ของการเก็บรักษาต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่อายุ 28 วัน พบว่า มีน้ำหนักสดมากกว่าการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ระยะเวลาอื่น ๆ (26.05 กรัม และ 22.49 กรัม ในพันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ตามลำดับ) ส่วนน้ำหนักสดรากของมันสำปะหลังพันธุ์ ห้วยบง 80 พบว่า การเก็บรักษาต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่อายุ 21 วัน มีน้ำหนักสดของราก (2.33 กรัม) มากกว่าการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ระยะเวลาอื่น ๆ (ตารางที่ 4 และตารางที่ 5) การที่การเจริญด้านกึ่งใบและราก มีมากขึ้น เมื่อเก็บรักษาต้นพันธุ์นานขึ้นนี้เป็นผลจากเมื่อวางต้นพันธุ์ในระยะเวลาสั้นขึ้นมีแนวโน้มที่ต้นพันธุ์หรือต้นพันธุ์ มีการสะสมธาตุอาหาร ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยการทดสอบของสุภาวดี บุญมา (2550) ได้ทำการทดสอบการเก็บรักษาต้นพันธุ์มันสำปะหลังในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 พันธุ์ MKUC 34-114-106 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เก็บรักษาในสภาพกลางแจ้ง เมื่อผ่านไประยะเวลา 30 วัน ต้นพันธุ์มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็กในต้นพันธุ์เฉลี่ยจากทุกพันธุ์เพิ่มขึ้นจากต้นพันธุ์ที่ยังไม่เก็บรักษา (0.92 เปอร์เซ็นต์ 0.76 เปอร์เซ็นต์ 0.39 เปอร์เซ็นต์ และ 80 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ) ทั้งนี้ ธาตุอาหารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบสำคัญเกี่ยวกับเซลล์พืชและมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ (ลิลลี่ กาวีตะและคณะ, 2556) การเก็บรักษาระยะเวลา ยาวนานขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในต้นพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุโปรตัสเซียมในต้นพันธุ์มีแนวโน้มสะสมมากขึ้นเมื่อมีการเก็บรักษาต้นพันธุ์นานขึ้น ธาตุดังกล่าวส่งเสริมการทำงานของเซลล์คุมในปากใบ ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำเข้าสู่เซลล์ต้นมันสำปะหลัง (Sungthongwises

et al., 2016) อีกทั้งการเก็บรักษาในสภาพกลางแจ้ง การทำงานของการแตกตาและมีผลต่อการเจริญเติบโต ที่ระยะเวลายาวนานขึ้น มีแนวโน้มเชื่อมโยงกับความ ในส่วนต่าง ๆ ได้ (Leihner, 1984) สมดุลของฮอร์โมนออกซินและไซโตไคนินที่ส่วนส่งเสริม

ตารางที่ 1 ความชื้น (%) ของต้นพันธุ์ เมื่อวางไว้ในระยะเวลาต่างๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 72

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ความชื้น (%)	
	พันธุ์ห้วยบง	พันธุ์เกษตรศาสตร์ 72
ระยะเวลาวาง 7 วัน	52.71 ^b	65.17 ^{bc}
ระยะเวลาวาง 14 วัน	66.06 ^a	68.20 ^b
ระยะเวลาวาง 21 วัน	63.07 ^a	66.49 ^b
ระยะเวลาวาง 28 วัน	66.74 ^a	71.79 ^a
F-Test	**	**

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ตารางที่ 2 ความสูง จำนวนกิ่ง จำนวนใบ ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่มีการเก็บรักษาดินพันธุ์ในระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ความสูง (ซม.)	จำนวนกิ่ง (กิ่ง)	จำนวนใบ (ใบ)
ระยะเวลาวาง 7 วัน	24.05 ^{bc}	4.00	13.25 ^b
ระยะเวลาวาง 14 วัน	20.63 ^c	2.50	10.00 ^b
ระยะเวลาวาง 21 วัน	26.53 ^b	5.00	13.25 ^b
ระยะเวลาวาง 28 วัน	45.60 ^a	2.00	16.75 ^a
F-Test	**	ns	*

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) * หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 5%

3) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ตารางที่ 3 ความสูง จำนวนกิ่ง จำนวนใบ ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ที่มีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ในระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ความสูง (ซม.)	จำนวนกิ่ง (กิ่ง)	จำนวนใบ (ใบ)
ระยะเวลาวาง 7 วัน	16.95 ^d	1.33	4 ^b
ระยะเวลาวาง 14 วัน	15.85 ^{cd}	1.33	6 ^b
ระยะเวลาวาง 21 วัน	31.03 ^b	2.67	10.67 ^b
ระยะเวลาวาง 28 วัน	52.25 ^a	2.33	20.33 ^a
F-Test	**	ns	**

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ตารางที่ 4 น้ำหนักสดของกิ่งใบ และราก ของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบง 80 ที่มีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ในระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	น้ำหนักสด (กรัม) ของกิ่งใบ	น้ำหนักสด (กรัม) ของราก
ระยะเวลาวาง 7 วัน	2.65 ^b	1.30 ^{bc}
ระยะเวลาวาง 14 วัน	2.11 ^b	0.81 ^c
ระยะเวลาวาง 21 วัน	0.99 ^b	2.33 ^a
ระยะเวลาวาง 28 วัน	26.05 ^a	1.59 ^b
F-Test	**	**

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดของกิ่งใบ และราก ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ที่มีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ในระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	น้ำหนักสด (กรัม) ของกิ่งใบ	น้ำหนักสด (กรัม) ของราก
ระยะเวลาวาง 7 วัน	0.23 ^{cd}	0.41
ระยะเวลาวาง 14 วัน	1.04 ^c	0.17
ระยะเวลาวาง 21 วัน	4.14 ^b	0.88
ระยะเวลาวาง 28 วัน	22.49 ^a	0.79
F-Test	**	ns

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

การตรวจวัดน้ำหนักแห้ง กิ่งใบ ของการเก็บรักษาต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า มีน้ำหนักแห้งมากกว่าการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ระยะเวลาอื่น ๆ (6.64 กรัม และ 4.98 กรัม ในพันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ตามลำดับ) ส่วนการตรวจวัดน้ำหนักแห้งรากของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 พบว่าไม่มี

ความแตกต่างในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 พบว่า การเก็บรักษาต้นพันธุ์มันสำปะหลังที่ระยะเวลา 28 วัน มีน้ำหนักแห้งของราก (0.45 กรัม) มากกว่าการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ระยะเวลาอื่น ๆ (ตารางที่ 6 และตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 น้ำหนักแห้ง (กรัม) ของกิ่งใบ และราก ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่มีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ในระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	น้ำหนักสด (กรัม) ของกิ่งใบ	น้ำหนักสด (กรัม) ของราก
ระยะเวลาวาง 7 วัน	0.64 ^b	0.50
ระยะเวลาวาง 14 วัน	0.59 ^b	0.35
ระยะเวลาวาง 21 วัน	0.52 ^b	0.49
ระยะเวลาวาง 28 วัน	6.64 ^a	0.47
F-Test	**	ns

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

ตารางที่ 7 น้ำหนักแห้งของกิ่งใบ และราก ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 ที่มีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ ในระยะ เวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	น้ำหนักสด (กรัม) ของกิ่งใบ	น้ำหนักสด (กรัม) ของราก
ระยะเวลาวาง 7 วัน	0.07 ^b	0.16 ^b
ระยะเวลาวาง 14 วัน	0.35 ^{ab}	0.23 ^b
ระยะเวลาวาง 21 วัน	0.90 ^{ab}	0.28 ^b
ระยะเวลาวาง 28 วัน	4.98 ^a	0.45 ^a
F-Test	**	*

หมายเหตุ : 1) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 1%

2) * หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความคลาดเคลื่อน 5%

3) ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ LSD

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา ต้นพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวง 80 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 72 สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ระยะเวลาการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ยาวนานขึ้น ทำให้ความชื้นของต้นพันธุ์มีมากขึ้น

ระยะเวลาการเก็บรักษาต้นพันธุ์ที่ยาวนานขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ อันได้แก่ ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสดกิ่งใบ น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งกิ่งใบ และน้ำหนักแห้งราก มีแนวโน้มมีปริมาณมากขึ้นไปด้วย

ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดของการเก็บรักษา ต้นพันธุ์ในพื้นที่ คือระยะเวลาที่ 28 วัน ซึ่งให้ผลด้านการเจริญเติบโตดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.กิงกานท์ พานิชนอก นักวิจัย ชำนาญการสถานีวิจัยเขาหินซ้อน คณะเกษตรวิทยา เขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้สนับสนุน การจัดหาต้นพันธุ์มันสำปะหลังประกอบการวิจัย และ ให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2554). โครงการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลัง ปี 2554. รายงานวิจัยเชิงสำรวจ. กองวิจัยและพัฒนาางานส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. (2559). สรีรวิทยา พืชไร่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.
- ลิลลี่ กาวิตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุรียา ตันติวิวัฒน์ และ ณรงค์ วงศ์กันทรการ. (2556). สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยพืชไร่. (2554). ดินน้ำและการจัดการปลูกมันสำปะหลัง. กรมวิชาการเกษตร.
- สำนักงานสถิติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (2560). รายงานสถิติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ศรีอยุธยา กรุงเทพฯ.
- สุภาวดี บุญมา. (2550). อิทธิพลของระยะเวลาและวิธีการเก็บรักษาต้นพันธุ์ต่อความงอก การเจริญเติบโต และผลผลิตมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Leihner, D. E. (1984). Storage effects on planting material and subsequent growth and root yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Proceedings of the 6th Symposium of the International Society for Tropical*

Root Crops, February 21-26, 1983. CIP in Lima, Peru. pp: 256-266.

Sungthongwises, K., Promkhambut, A., Laoken, A. and Polthanee, A. (2016). Effect of methods and duration storage on cassava stake characteristics. *Asian Journal of Plant Science*, 15(3-4), 86-91.

ความต้องการการส่งเสริมและการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าว ของเกษตรกรในอำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง

Needs for Extension Services and Technology Applications in Rice Production of Farmers in Phothong District, Angthong Province

ณัฐวุฒิ จันทอง^{1*}
Nattawut Janthong^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

¹Plant Production Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: theman_vanz@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม ความต้องการการส่งเสริมในการผลิตข้าว การใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าว และปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าว ประชากรที่ศึกษาคือ เกษตรกรผู้ผลิตข้าวในอำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง จำนวน 97 ราย เก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้ 1) เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวอยู่ในระดับมาก โดยด้านความต้องการการสนับสนุนและบริการมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 2) เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวอยู่ในระดับมาก โดยด้านการเก็บเกี่ยวมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด และ 3) ปัญหาและอุปสรรคที่พบมากที่สุดคือ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการน้ำและภัยแล้ง

คำสำคัญ: ความต้องการ, การส่งเสริม, การใช้เทคโนโลยี, การผลิตข้าว

Abstract

The objectives of this study were to investigate the personal, economic and social, extension services of farmer's need, technology application and the difficulties and obstacles of rice production. The sample studies were 97 rice farmers in Phothong District, Angthong Province. The research was conducted through interviews. Statistical analysis was performed using percentage, mean and standard deviation. The results are concluded that 1) rice farmers had a high level of needs for extension services with the highest for support and services, 2) rice farmers had a high level of technology application in rice production with the highest for harvest, and 3) the most problems and obstacles were water management and drought.

Keywords: Needs, Extension, Application of technology, Rice Production

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และวิถีชีวิตของคนในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับต้นของโลก (Paowsrakoo, 2018) อีกทั้งภาคกลางเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของประเทศ โดยแหล่งปลูกข้าวของภาคกลางกระจายอยู่ทุกจังหวัด รวมทั้งจังหวัดอ่างทองที่มีพื้นที่ในการปลูกข้าวเกือบทั้งจังหวัด จังหวัดอ่างทองเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่หน่วยงานภาครัฐร่วมมือกับเกษตรจังหวัดอ่างทองมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวเป็นสินค้าส่งออกจำนวนมาก โดยมีพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ในอำเภอวิเศษชัยชาญ อำเภอสามโก้ และอำเภอโพธิ์ทอง (Phothong district agriculture office, 2018)

ในพื้นที่อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทองได้มีการส่งเสริมในเกษตรกรผลิตข้าวเป็นพืชหลักของอำเภอ โดยเกษตรกรหลายรายที่ยังทำนาแบบดั้งเดิม ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำ และยังมีเกษตรกรที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการผลิตข้าวจำนวนไม่มากนัก เมื่อเทียบกับจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้งหมดในอำเภอ ซึ่งอาจเป็นเพราะเกษตรกรยังไม่เข้าใจถึงขั้นตอนการใช้เทคโนโลยีดังกล่าว และสาเหตุที่สำคัญคือเกษตรกรยังใช้เทคโนโลยี

การผลิตข้าวที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากส่วนใหญ่ขาดความรู้ที่จำเป็นในการปลูกข้าว เริ่มตั้งแต่เรื่องการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ดีและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การปรับปรุงบำรุงดิน ให้มีความอุดมสมบูรณ์ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกข้าว การใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อลดสารพิษตกค้าง ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวที่จะทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีคุณภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องเร่งพัฒนาจุดแข็งด้านองค์ความรู้ การพัฒนา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมแก่เกษตรกร ซึ่งแนวทางที่จะแก้ไขปัญหานี้ในระยะยาวเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรจำเป็นต้องเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต (Supkasem and Srisuwan, 2017) โดยกรมการข้าวได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิตข้าวเพื่อแก้ปัญหาเรื่องข้าวให้กับชาวนาทั่วประเทศ ด้วยเทคโนโลยีการผลิตข้าว โดยต้องใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว คุณภาพดีและใช้ในอัตราต่อไร่ที่เหมาะสม ต้องทำบัญชีรายรับรายจ่าย ลดการใช้ปุ๋ยเคมีและลดการใช้สารเคมี เพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้เพิ่มศักยภาพการผลิตข้าว ซึ่งชุดเทคโนโลยีการผลิตข้าว ประกอบด้วย ด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้านการเตรียมดิน ด้านการกำจัดวัชพืช ด้านการใช้ปุ๋ย

ด้านการป้องกันและกำจัดศัตรูข้าว ด้านการจัดการน้ำ ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดทำบัญชีฟาร์ม เพื่อพัฒนาความรู้ ส่งเสริมอาชีพ และกระตุ้นให้เกษตรกรตระหนักถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวด้วยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่ เพื่อเพิ่มผลผลิต ยกระดับคุณภาพข้าวไทยให้มีมาตรฐานและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดรายจ่ายที่เกินความจำเป็น อันจะนำไปสู่การเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัวเกษตรกร (Rice Department, 2018)

จากข้อมูลการสำรวจสำมะโนเกษตรในช่วงปี พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมา พบว่าเกษตรกรมีความต้องการพัฒนาอาชีพหลักของตนเองให้มีความรู้และความสามารถมากขึ้น (Puey Ungphakorn Institute for Economic Research, 2018) และยังต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานภาคเอกชนสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่จะสามารถทำให้เกษตรกรพัฒนาตนเองให้มีทักษะความชำนาญมากขึ้นไปอีกด้วย

ซึ่งในพื้นที่อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง ยังไม่มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความต้องการการส่งเสริมและการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความต้องการการส่งเสริมและการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวของเกษตรกรในอำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม ความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าว การใช้เทคโนโลยีการผลิตข้าว รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าว พร้อมกับนำผลงานวิจัยที่ได้รับไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นแนวทางในการทำงานและแก้ไขปัญหาในการดำเนินการส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าว เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรในพื้นที่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาการผลิตข้าวให้มีคุณภาพต่อไป

2. วิธีการวิจัย

ประชากรเป้าหมายในการวิจัย คือ เกษตรกรผู้ผลิตข้าวที่มีภูมิลำเนาอยู่ในอำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง โดยทำการคัดเลือกตำบลที่จะทำการวิจัยได้จำนวน 3 ตำบล จากทั้งหมด 7 ตำบล และทำการสุ่มจำนวนเกษตรกรผู้ผลิตข้าวทั้งหมดได้ 97 คน จากผู้ผลิตข้าวทั้งหมด 159 คน ด้วยสูตรของ Yamane (1967) เหตุผลสำหรับการเลือกสถานที่ดำเนินการวิจัย ในพื้นที่อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทองครั้งนี้ เพราะว่าเกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพปลูกข้าวเป็นหลัก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสัมภาษณ์ซึ่งประกอบไปด้วย คำถามเป็นปลายเปิดและคำถามแบบปิด โดยแบ่งแบบทดสอบเป็น 4 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 เป็นคำถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม ตอนที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวกับความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าว ตอนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการผลิตข้าว และตอนที่ 4 เป็นคำถามเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าว

ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้ค่าความเชื่อมั่นที่ได้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.70 ตามเกณฑ์ของ Prasitratasin (2003) ผลการทดสอบพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ดังนี้ ความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวของเกษตรกรเท่ากับ 0.801 และการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวของเกษตรกรเท่ากับ 0.844 ซึ่งทั้งหมดมีค่าค่อนข้างสูงพอที่จะเชื่อถือได้ว่าแบบสัมภาษณ์มีคุณภาพตามวัตถุประสงค์ และสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยได้

เมื่อทำการเก็บแบบสัมภาษณ์ครบทั้งหมดแล้ว ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบไปด้วย ความถี่ ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด โดยกำหนดเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าว การใช้เทคโนโลยีการผลิตข้าว

และปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าว ดังนี้ ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ 3.68-5.00 = มาก, 2.34-3.67 = ปานกลาง และ 1.00-2.33 = น้อย (Thawirat, 1997)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร

3.1.1 ด้านปัจจัยส่วนบุคคล ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 60.50) มีอายุเฉลี่ย 54.20 ปี ส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นบังคับ (ร้อยละ 70.42) มีสถานภาพสมรส (ร้อยละ 85.95) และมีสมาชิกในครอบครัวเฉลี่ย 5.25 คน

3.1.2 ด้านปัจจัยทางเศรษฐกิจ ผลการวิจัยพบว่า มีพื้นที่ถือครองเฉลี่ย 25.35 ไร่ มีรายได้เฉลี่ย 185,023.58 บาท/ปี มีผลผลิตข้าวเฉลี่ย 695.50 กิโลกรัม/ไร่ มีแรงงานเฉลี่ย 4.25 คน มีประสบการณ์ในการผลิตข้าวเฉลี่ย 25.25 ปี ส่วนใหญ่มีการกู้ยืมเงินจากธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ (ร้อยละ 80.40) มีจำนวนหนี้สินเฉลี่ย 110,258.60 บาท

3.1.3 ด้านปัจจัยทางสังคม ผลการวิจัยพบว่า ได้รับการฝึกอบรมในรอบปีที่ผ่านมาเฉลี่ย 6 ครั้ง มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ภาครัฐและเอกชนในรอบปีที่ผ่านมา 5 ครั้ง และรับรู้ข่าวสารจากสื่อสิ่งพิมพ์มากที่สุดเฉลี่ย 32 ครั้ง/ปี

3.2 ความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวของเกษตรกร

ความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าว ในภาพรวมทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้เกี่ยวกับการผลิตข้าว ด้านเทคนิควิธีการส่งเสริมการเกษตร และด้านการสนับสนุนและบริการรวมทุกด้านโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.07) (Table 1)

3.2.1 ด้านความต้องการความรู้เกี่ยวกับการผลิตข้าว ซึ่งมองในภาพรวมแล้วพบว่า เกษตรกรมีความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.72) เมื่อแยกเป็นหัวข้อย่อยจะพบว่า เกษตรกรต้องการในระดับมาก คือ การให้ข่าวสารเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าว (ค่าเฉลี่ย 4.26) เนื่องจากปัจจุบันข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรหรือข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตข้าว มีการเผยแพร่จากสื่อผ่านทางช่องทางต่าง ๆ ไม่มากนักเท่าที่ควร โดยสื่อหลักที่เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ง่ายและหลากหลาย มีการนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมข้าว น้อยเกินไป ทำให้เกษตรกรไม่สามารถปรับตัวให้ทันต่อสถานการณ์อุตสาหกรรมข้าวได้ทันเวลาและอาจทำให้เกษตรกรไม่ได้รับผลประโยชน์เท่าที่ควรได้ เกษตรกรมีความต้องการความรู้เกี่ยวกับการผลิตข้าวในระดับปานกลาง คือ เทคนิคการเพิ่มปริมาณข้าวต่อไร่ (ค่าเฉลี่ย 3.67) การใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช (ค่าเฉลี่ย 3.56) และแหล่งเงินทุนสินเชื่อ (ค่าเฉลี่ย 3.41) ดังนั้นจึงควรมีการให้ข่าวสารและถ่ายทอดความรู้ในประเด็นดังกล่าวให้เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรมีเทคนิคการเพิ่มปริมาณข้าวต่อไร่ และมีการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชที่น้อยลงเพื่อลดต้นทุนในการผลิตข้าว รวมทั้งแหล่งทางเลือกในด้านเงินทุนสินเชื่ออีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sarast and Wongsamun (2008) ที่พบว่า แม่บ้านเกษตรกรมีความต้องการความรู้ในการผลิตข้าวมาก ในเรื่องของการเลือกพันธุ์ข้าว การดูแลรักษา การป้องกันกำจัดศัตรูข้าว การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว และการตลาด

3.2.2 ด้านความต้องการเทคนิควิธีการส่งเสริมการเกษตร ในภาพรวมพบว่า เกษตรกรมีความต้องการเทคนิควิธีการส่งเสริมการเกษตรในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.16) เมื่อแยกเป็นหัวข้อย่อยจะพบว่า การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคลและการติดต่อสื่อสารแบบกลุ่ม (ค่าเฉลี่ย 4.56 และ 4.28 ตามลำดับ) เนื่องจาก การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล จะประกอบไปด้วย การเยี่ยมเยียนเกษตรกร

ที่บ้านหรือไร่นา การติดต่อสื่อสารที่สำนักงาน และการติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์ ซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นวิธีเข้าถึงตัวเกษตรกรได้ง่ายที่สุด และเกษตรกรส่วนใหญ่มีการยอมรับมากในการติดต่อสื่อสารด้วยวิธีนี้ ส่วนการติดต่อสื่อสารแบบกลุ่มจะประกอบไปด้วย การประชุม การบรรยาย การสาธิต การฝึกอบรม การจัดทัศนศึกษา และการจัดนิทรรศการ การสื่อสารด้วยวิธีนี้ก็ได้รับความต้องการในระดับมากเช่นเดียวกัน เพราะเกษตรกรได้เห็นวิธีการต่าง ๆ ที่มีความรู้ ความสามารถ หรือผู้ที่ประสบความสำเร็จในอาชีพ นำเทคนิคและเคล็ดลับต่าง ๆ มาถ่ายทอดให้ผู้อื่นได้รับทราบ ซึ่งทำให้เกษตรกรมีความรู้และเข้าใจมากขึ้น และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตในไร่นาของตนเองได้ ในอนาคต รองลงมาเกษตรกรต้องการเทคนิควิธีการส่งเสริมการเกษตรในระดับปานกลาง คือ การติดต่อสื่อสารแบบมวลชน (ค่าเฉลี่ย 3.65) โดยการติดต่อสื่อสารด้วยวิธีนี้เกษตรกรจะเป็นผู้รับสารเพียงอย่างเดียวและไม่สามารถสื่อสารกับผู้ส่งสารได้ เนื่องจากการติดต่อสื่อสารแบบมวลชนจะประกอบไปด้วย วิทยุ โทรทัศน์ สื่อสิ่งพิมพ์ ภาพยนตร์ และอินเทอร์เน็ต ซึ่งสื่อเหล่านี้เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ง่ายก็จริง แต่เป็นการสื่อสารเพียงทางเดียวจากผู้ส่งสารไปยังผู้รับสารเท่านั้น ถ้าหากเกษตรกรเกิดข้อสงสัยในสิ่งที่สื่อกำลังเผยแพร่ข่าวสาร เกษตรกรก็ไม่สามารถสอบถามถึงข้อสงสัยของตนเองได้ จึงทำให้การติดต่อสื่อสารแบบมวลชนเป็นที่ต้องการน้อยกว่าการติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล และการติดต่อสื่อสารแบบกลุ่มนั่นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaiwut and Intaruccomporn (2012) ที่พบว่าเกษตรกรสวนยางมีความต้องการในระดับมาก ได้แก่ วิธีการเยี่ยมบ้านและสวนยางของเกษตรกร การสาธิต การฝึกอบรม แจกเอกสารคำแนะนำ วิทยุกระจายเสียง โทรทัศน์ การจัดนิทรรศการ และด้านการรับบริการจากหน่วยงาน โดยหน่วยงานที่เกษตรกรต้องการได้รับการส่งเสริมในระดับมาก คือ สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง

3.2.3 ด้านความต้องการการสนับสนุนและบริการ ซึ่งมองในภาพรวมแล้วพบว่า เกษตรกรมีความต้องการการสนับสนุนและบริการในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.37) เมื่อแยกเป็นหัวข้อย่อยจะพบว่า การหาแหล่งสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.80) เนื่องจาก ในแต่ละฤดูกาลผลิตชาวนั้น เกษตรกรต้องการแหล่งเงินทุนหมุนเวียนที่มีดอกเบี้ยต่ำไว้ใช้ซื้อวัสดุหรืออุปกรณ์ในการเพาะปลูกข้าวหรือจ้างแรงงานที่นอกเหนือจากแรงงานภายในครอบครัว ซึ่งการซื้อหรือจ้างนั้นต้องใช้เงินทุนหมุนเวียนค่อนข้างสูง เกษตรกรจึงต้องการเงินทุนดอกเบี้ยต่ำไว้ใช้ในการผลิตข้าว รองลงมาคือ การหาเครื่องทุ่นแรงทางการเกษตรราคาถูก (ค่าเฉลี่ย 4.51) การหาแหล่งปุ๋ยราคาถูก (ค่าเฉลี่ย 4.33) การหาแหล่งสารบำรุงและสารกำจัดแมลงและโรคพืชราคาถูก (ค่าเฉลี่ย 4.19) และการปรับราคาข้าวขึ้นต้นให้สูงขึ้น (ค่าเฉลี่ย 4.02) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นความต้องการการสนับสนุนและบริการของเกษตรกรเพื่อลดต้นทุนการในการผลิต ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้การสนับสนุนความต้องการของเกษตรกรในประเด็นดังกล่าว โดยหาแหล่งขายที่มีราคาถูกหรือติดต่อกับบริษัทเอกชนที่จำหน่ายสินค้าราคาถูกและมีคุณภาพดีให้กับเกษตรกร ส่วนเรื่องการปรับราคาข้าวขึ้นต้นให้มีราคาสูงขึ้น เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรควรให้คำแนะนำเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวและวิธีการปลูกที่เหมาะสม ที่จะทำให้นักเกษตรกรสามารถขายข้าวได้ในราคาสูง เพราะกลไกของราคาข้าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับหน่วยงานเกษตรกรภายในจังหวัด แต่ขึ้นอยู่กับราคาเศรษฐกิจของสินค้าเกษตรภายในประเทศไทย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bamrung and Martwanna (2012) ที่พบว่า เกษตรกรต้องการบริการและสนับสนุนระดับมากในเรื่อง การประกันราคาอ้อย การติดต่อแหล่งพันธุ์อ้อย และการจัดหาแหล่งปุ๋ยเคมีและสารเคมีราคาถูก

Table 1 Needs for Extension Services in Rice Production

Needs for Extension Services	$\bar{X}$	S.D.	Level
1) Knowledge of rice production	3.72	0.39	High
2) Techniques for extension	4.16	0.15	High
3) Support and Service	4.37	0.10	High
Total	4.07	0.24	High

3.3 การใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวของเกษตรกร

การใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในภาพรวมทั้ง 8 ด้าน ได้แก่ ด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้านการเตรียมดิน ด้านการกำจัดวัชพืช ด้านการใช้ปุ๋ย ด้านการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ด้านการจัดการน้ำ ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดทำบัญชีรวมทุกด้านโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.09) (Table 2)

3.3.1 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.72) โดยพบว่า เกษตรกรใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวคุณภาพดีตรงตามพันธุ์ที่กำหนด ไม่มีข้าวพันธุ์อื่นหรือมีวัชพืชปะปน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง และมีความชื้นของเมล็ดพันธุ์ต่ำ ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janthong (2018) ที่พบว่า การใช้เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ดีและมีคุณภาพในการเพาะปลูก จะช่วยให้มีเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดสูง และผลผลิตที่ได้จะมีปริมาณสูงตามไปด้วย

3.3.2 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในการเตรียมดิน อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.01) โดยพบว่า การปลูกพืชปุ๋ยสดบำรุงดิน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ระหว่างไถกลบ การพลิกหน้าดิน และการใช้สาร

เร่งซุเปอร์ พด.2 หมักระหว่างไถกลบ จะช่วยเพิ่มอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตข้าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoosuk *et al.* (2017) ที่พบว่า เกษตรกรทุกรายจะทำการไถก่อนปลูกไถหลายครั้งเพื่อให้ดินร่วนซุยดี และไถในขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะ ซึ่งจะทำให้ปลูกพืชแล้วได้ผลผลิตดีตามที่ต้องการ

3.3.3 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในการกำจัดวัชพืช อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.28) โดยพบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชทันทีหลังหว่านข้าว การเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชให้ตรงตามชนิดของวัชพืชที่ระบาด การไม่ใช้สารกำจัดวัชพืชหากพบการระบาดของวัชพืช การพ่นสารกำจัดวัชพืชขณะไม่มีน้ำขัง และการระบายน้ำเข้านาหลังพ่นสารกำจัดวัชพืช จะช่วยลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารเคมี และจะช่วยให้การป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janthong (2014) ที่พบว่า การกำจัดวัชพืชอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดต้นทุนในการผลิต ช่วยรักษาสีเขียวตลอดในนาข้าว และทำให้ต้นกล้าข้าว มีความงอกสม่ำเสมอ และผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้น

3.3.4 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในการใช้ปุ๋ย อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.14) โดยพบว่า ปริมาณการใส่ปุ๋ย ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการ

ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยตามชนิดของพันธุ์ข้าว การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ จะทำให้เกษตรกรสามารถประหยัดค่าปุ๋ย มีรายได้เพิ่มขึ้น มีสุขภาพดีขึ้น และสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้ท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืนขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanponhan and Prapatigul (2018) ที่พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ และเป็นการช่วยปรับปรุงโครงสร้างสภาพดินให้มีความร่วนซุยเหมาะต่อการเจริญเติบโตของไม้ผลและพืช เป็นประโยชน์ต่อดินในระยะยาว

3.3.5 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.41) โดยพบว่า การสำรวจพื้นที่นาอย่างสม่ำเสมอ การใช้สารเคมีกำจัดที่เหมาะสมกับชนิดของศัตรูพืช การลดการใช้เมล็ดพันธุ์เพื่อลดความหนาแน่นของต้นข้าว การไม่ปลูกข้าวต่อเนื่อง และการอนุรักษ์ศัตรูธรรมชาติ จะทำให้เกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และสามารถป้องกันกำจัดศัตรูพืชในทันที และได้วิธีที่ให้ผลดีมากที่สุดเพื่อให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supkasem and Srisuwan (2017) ที่พบว่า เป็นการช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างตรงจุด จะไม่ส่งผลต่อการระบาดของหรืออาการดื้อยาของศัตรูข้าว และไม่กระทบต่อแมลงศัตรูธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อระบบนิเวศในนาได้

3.3.6 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการจัดการน้ำ อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.88) โดยพบว่า การตรวจสอบระดับน้ำในแปลงข้าว การลดระดับน้ำในนาโดยปรับหน้าดินให้เรียบ และการจัดการน้ำในภาวน้ำน้อย จะทำให้ช่วยลดการใช้น้ำที่เกินความจำเป็นและลดค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำลง อีกทั้งยังทำให้ข้าวเจริญงอกงามดียิ่งขึ้นและเป็นข้าวที่ได้คุณภาพทั้งแปลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janpa et al. (2019) ที่พบว่า หากเกษตรกรมีความพร้อมทางด้านแหล่งน้ำเพื่อใช้สำหรับ

ปลูก เช่น อยู่ใกล้แหล่งน้ำชลประทานสาธารณะ มีสระน้ำประจำไร่นา รวมถึงมีบ่อน้ำบาดาล ก็มีความสะดวกมากขึ้นที่จะจัดหาน้ำเพื่อนำมาใช้นในไร่นา และเกษตรกรสามารถควบคุมการใช้น้ำในไร่นาได้

3.3.7 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการเก็บเกี่ยว อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.56) โดยพบว่า การใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการเก็บเกี่ยวเป็นด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด อันเนื่องมาจากการเก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม การทำความสะอาดรถเกี่ยวข้าว การเตรียมพื้นที่เก็บเกี่ยว การตากเมล็ด และการเก็บรักษาผลผลิต จะทำให้เกษตรกรได้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดี ไม่มีสิ่งแปลกปลอมเจือปนไปกับเมล็ดพันธุ์ข้าว อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียในระหว่างเก็บเกี่ยวผลผลิต และเมล็ดพันธุ์มีความเหมาะสมที่จะเก็บไว้ทำพันธุ์ในอนาคต สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supkasem and Srisuwan (2017) ที่พบว่า การเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสมและเก็บเกี่ยวอย่างถูกหลักการจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวมีคุณภาพดี ขายได้ราคา และไม่เกิดภาวะขาดทุน

3.3.8 เกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการจัดทำบัญชี อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.70) โดยพบว่า การใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวในด้านการจัดทำบัญชี เป็นด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด อันเนื่องมาจากมีเกษตรกรบางรายเท่านั้นที่ทำบัญชีรายรับรายจ่ายตลอดการเพาะปลูก เพราะเกษตรกรยังไม่ให้ความสำคัญด้านการจัดทำบัญชีมากนัก ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเกษตรกรที่ประสบผลสำเร็จในการผลิตข้าวแทบทุกครัวเรือนจะมีการจัดทำบัญชีรายรับรายจ่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janthong (2014) ที่พบว่า การจัดทำบัญชีรายรับรายจ่ายจะช่วยให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการเงินทุนในการผลิตได้ดี และไม่พบการขาดทุนหลังจากเก็บเกี่ยวและจัดจำหน่ายผลผลิตออกไป

Table 2 Technology Applications in Rice Production

Technology Applications	$\bar{X}$	S.D.	Level
1) Rice seeds	3.72	0.38	High
2) Soil preparation	4.01	0.28	High
3) Weeding	4.28	0.16	High
4) Fertilizer	4.14	0.24	High
5) Prevention and extermination of pest	4.41	0.11	High
6) Water management	3.88	0.36	High
7) Harvest	4.56	0.09	High
8) Accounting	3.70	0.40	High
Total	4.09	0.24	High

3.4 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าว

ในด้านของปัญหาและอุปสรรคในการผลิตข้าวของเกษตรกรนั้น ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการน้ำและภัยแล้ง (ค่าเฉลี่ย 4.62) ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำหรือแหล่งชลประทาน และเกิดการแย่งน้ำกันของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ในช่วงหน้าแล้ง ทำให้น้ำไม่เพียงพอต่อการทำนา โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเร่งรีบแก้ไขปัญหาดังกล่าวทันที เพื่อบรรเทาความทุกข์ของเกษตรกรและนักส่งเสริมการเกษตรควรศึกษาหาแนวทางในการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อแก้ไขปัญหาให้เกษตรกรและเป็นการส่งเสริมการผลิตข้าวในพื้นที่ต่อไป

4. บทสรุป

จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีความต้องการการส่งเสริมการผลิตข้าวในระดับมากทุกด้าน ได้แก่ ด้านความต้องการความรู้เกี่ยวกับการผลิตข้าว ด้านความต้องการเทคนิควิธีการส่งเสริมการเกษตร

และความต้องการการสนับสนุนและบริการ ซึ่งในทุกด้านนี้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ควรพิจารณาตามความต้องการของเกษตรกรว่าอะไรควรทำก่อนหรือทำหลังเพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นและประสบความสำเร็จในอาชีพเกษตรกรรมตลอดไป

เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวอยู่ในระดับมากทุกด้าน ได้แก่ ด้านเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้านการเตรียมดิน ด้านการกำจัดวัชพืช ด้านการใช้ปุ๋ย ด้านการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ด้านการจัดการน้ำ ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดทำบัญชี ซึ่งในทุกด้านนี้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวต่อไป เพื่อให้เกษตรกรสามารถผลิตข้าวที่มีคุณภาพดีและปลอดภัยออกจำหน่ายแก่ผู้บริโภค และเป็นการเสริมสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ในด้านการใช้เทคโนโลยีในการผลิตข้าวแก่เกษตรกร

ส่วนปัญหาและอุปสรรคที่พบมากที่สุดคือ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการน้ำและภัยแล้ง ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกษตรกรควรต้องรวมตัวกันเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ด้วยตนเองก่อน หากปัญหาดังกล่าวไม่สามารถแก้ไขได้
จึงขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้
หน่วยงานนั้นแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- Bamrung, P. and Martwanna, N. (2012). Needs for extension services of sugarcane growers in Northeastern region. *Khon Kaen Agricultural Journal* 40(1): 119-126.
- Chaiwut, R. and Intaruccomporn, W. (2012). Needs for extension of para rubber tree growers in Chiang Dao District, Chiang Mai. *Journal of Agricultural Research & Extension*. 29(3): 51-59.
- Janpa, W., Aditto, S. and Suriya, P. (2019). Factors affecting adoption supplementary irrigation technology in sugarcane farming in Khon Kaen Province. *Khon Kaen Agricultural Journal* 47(4): 749-760.
- Janthong, N. (2014). Farmer's adoption on quality management system of rice (GAP) in Wiset Chai Chan District, Angthong Province (Complete report) Plant Production Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya.
- Janthong, N. (2018). Farmers Adoption of Corn Production on Good Agricultural Practices (GAP) in Angthong Province (Complete report) Plant Production Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya.
- Paowsrakoo, N. and Wongsamun, C. (2018). Adoption on Jasmine Rice Production Technology with Good Agricultural Practices of Farmers in Tungkula Ronghai Area, Roi-Et Province. *Khon Kaen Agricultural Journal* 46 (Suppl.1): 779-785.
- Phothong District Agriculture Office. (2018). 2017 Rice Report. Angthong: Phothong District Agriculture Office.
- Prasitratasin, S. (2003). *Social Science Research Methodology*. (12th edition). Bangkok: Zeanching.
- Puey Ungphakorn Institute for Economic Research. (2018). *Thai Agricultural Microscope*. Bangkok: Puey Ungphakorn Institute for Economic Research.
- Rice Department. (2018). *Rice RD.43 Rice varieties and nutritional values*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Sarast, K. and Wongsamun, C. (2008). Needs for knowledge and media on rice production of farmer housewives in Nongwai irrigation project area, Changwat Khon Kaen. *Khon Kaen Agricultural Journal* 36(2): 263-274.
- Sanponhan, K. and Prapatigul, P. (2018). Factors affecting adoption of using organic fertilizers of growers mango namdokmai sithong export in Phrao district,

- Chiang Mai province. Khon Kaen Agricultural Journal 46(Suppl.1): 887-893.
- Supkasem, W. and Srisuwan, S. (2017). Farmers' opinion towards rice production technology in community rice centers, Mueang District, Suphanburi Province. Agricultural Science Journal 48(1): 118-126.
- Thawirat, P. (1997). Research Methods in Behavioral Science and Social Sciences. (7th edition). Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Yamane, T. (1967). Elementary Sampling Theory. New Jersey: Prentice-Hall.
- Yoosuk, C., Tangwiwat, P. and Yooprasert, B. (2017). An application of technology in sugarcane production and needs for extension services of farmers in Mueang District, Amnat Charoen Province. Khon Kaen Agricultural Journal 45(Suppl.1): 1597-1604.

ผลของพาโคลบิวทราโซลต่อการพัฒนาของต้นสับปะรดภูเก็ต ในสภาพปลอดเชื้อ

Effect of Paclobutrazol on Development Pineapple cv. Phu-Lae *In Vitro*

เบญจวรรณ ไห่ยงค์¹ และ ยุพาภรณ์ วิริยานนท์^{1*}
Benjawan Yaiyong¹ and Yupaporn Wiriyanant^{1*}

¹สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

¹Department of Agriculture, Faculty of Science and Technology,
Pranakorn si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: sirisomy@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสับปะรดภูเก็ตในสภาพปลอดเชื้อ โดยการเติมสาร Paclobutrazol (PBZ) (0 20 40 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ลงในอาหารสูตรชักนำยอดรวม (Murashige and Skoog (MS) เติม N6-Benzyladenine (BA) 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) หลังจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ที่ความเข้มข้นของ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 4.33 ยอดต่อชิ้นส่วนพืช เมื่อพิจารณาการสร้างราก พบว่า ที่ PBZ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนรากเฉลี่ยสูงสุด 20.66 รากต่อชิ้นส่วนพืช ในขณะที่ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีการสร้างรากเกิดขึ้น แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งจากการศึกษานี้ PBZ ที่ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณต้นสับปะรดภูเก็ตในสภาพปลอดเชื้อ ต้นสับปะรดที่ได้มีขนาดเล็ก แต่ลำต้นแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเมื่อนำออกมาอนุบาล ในสภาพแปลงปลูกต้นสับปะรดภูเก็ตที่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

คำสำคัญ: สับปะรด, เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ, พาโคลบิวทราโซล

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of paclobutrazol (PBZ) on micropropagation of pine apple cv. Phu Lae. Different concentrations of PBZ (0, 20, 40 and 60 mg/l) were added in Murashige and Skoog (MS) medium with 1 mg/l N6-Benzyladenine (BA). Data collection was analyzed for statistical significant using Completely Randomized Design (CRD) and Duncan's New Multiple Range Test (DMRT). After four weeks, results showed that 60 mg/l PBZ gave the highest number of shoots at 4.33 shoots/explant. The highest an average of root formation was obtained from 40 mg/l PBZ (20.66 roots/explant). There were significant differences among treatments. These indicate that 40 mg/l PBZ is a potential method for multiple shoots induction. The propagule obtained from this study was small and vigorous shoot when compared with control plant and grow normally after acclimatization.

Keywords: Pineapple, micropropagation, paclobutrazol

1. บทนำ

สับปะรดภูแล มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae เป็นพืชล้มลุก นิยมขยายพันธุ์ด้วยหน่อ ปัจจุบันสับปะรดมีการขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลิตต้นได้จำนวนมาก โดยใช้ระยะเวลาอันสั้น แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัย พบว่า ต้นสับปะรดภูแลที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ มีใบค่อนข้างบางและรากยึดยาว ไม่แข็งแรง ขาดง่าย ดังนั้น การหาวิธีเพื่อมาช่วยลำต้นและรากให้แข็งแรงขึ้น จึงเป็นเรื่อง ที่น่าสนใจ วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้สารเคมี เช่น พาโคลบิวทราโซล (Paclobutrazol; PBZ)

PBZ เป็นสารชะลอการเจริญเติบโต อยู่ในกลุ่ม triazole มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นพืช โดยยับยั้งการทำงานของกรดจิบเบอเรลลิน ส่งผลให้ข้อปล้องของพืชสั้นลง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ต้นพืช (Soumya *et al.*, 2017) มีรายงานวิจัยหลายฉบับที่เกี่ยวข้องกับการใช้สาร PBZ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับต้นพืช และส่งเสริมการพัฒนาของต้นพืชในสภาพปลอดเชื้อ เช่น การใช้ PBZ ที่ความเข้มข้น 0.025 – 0.075 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้

อัตราการรอดชีวิตของต้นม่วงเทพรัตน์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูงถึง 100% (ยุพาภรณ์ จิโรภาสภานุวงศ์ และคณะ, 2558) Te-chato และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ PBZ ในต้นกล้วยไม้สกุลหวายจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า PBZ เข้มข้น 0.025 และ 0.075 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้เกิดการสร้างตายอดสูงสุด 40-50% รายงาน ในพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ดาหลา (อรุณี ม่วงแก้วงาม และ สมpong เตชะโต, 2559) กล้วยไม้สกุลหวาย (โสภา ชูเพ็ง และ นูริญา มุสอเยนา, 2557) และกระเจียวฉัตรทิพย์ (Jala and Bodhipadma, 2012) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการใช้สาร PBZ ในสับปะรด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ PBZ ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสับปะรดภูแลในสภาพปลอดเชื้อต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุพืช

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ชิ้นส่วนลำต้นสับปะรดพันธุ์ภูแลที่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออายุ 1 เดือนหลังจากการ

ย้ายเลี้ยง บนอาหารสูตร MS เต็ม BA เข้มข้น 1 มิลลิกรัม ต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 3 % และผงวุ้น 0.75 % เพาะเลี้ยง ภายใต้แสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นาน 14 ชั่วโมง ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 26 ± 28 องศาเซลเซียส

2.2 ศึกษาผลของ PBZ ต่อการพัฒนาของ ต้นสับประรดในสภาพปลอดเชื้อ

นำชิ้นส่วนต้นสับประรดแล มาตัดใบออก ให้เหลือขนาดลำต้นสูง 0.5 เซนติเมตร แล้วนำไปเพาะเลี้ยง บนอาหารสูตร MS เต็ม PBZ เข้มข้น 0 20 40 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 3 % และผงวุ้น 0.75 % เพาะเลี้ยงภายใต้แสง สีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นาน 14 ชั่วโมงต่อวันที่อุณหภูมิ 26 ± 28 องศาเซลเซียส หลังจาก การเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกเปอร์เซ็นต์ การเกิดยอด และจำนวนยอดรวม

2.3 ศึกษาผลของ PBZ ต่อการเกิดรากและ ลักษณะทางสัณฐานของต้นสับประรด ในสภาพ ปลอดเชื้อ

นำชิ้นส่วนต้นสับประรด มาตัดใบออกให้เหลือ ขนาดลำต้นสูง 0.5 เซนติเมตร แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบน อาหารสูตร MS เต็ม PBZ เข้มข้น 0 20 40 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 3 % และผงวุ้น 0.75 % เพาะเลี้ยงในที่ที่มีแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นาน 14 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิ 26 ± 28 องศาเซลเซียส หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกเปอร์เซ็นต์ การเกิดราก และจำนวนรากต่อชิ้นส่วนพืช

2.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในแต่ละชุดทดลองใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบ

ความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range test (DMRT) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ชิ้นส่วน

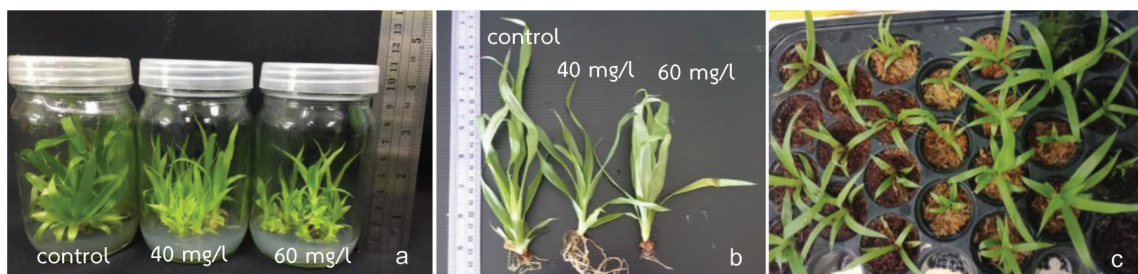
3. ผลการวิจัย

จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อสับประรดบนอาหาร สูตรชักนำยอดรวม (MS เต็ม BA เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 3 % และผงวุ้น 0.75 %) ร่วมกับความเข้มข้น ของ PBZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ทุกความเข้มข้น ของ PBZ ชิ้นส่วนพืชสามารถพัฒนาให้ยอดรวมได้ 100% โดยที่ความเข้มข้นของ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ ชิ้นส่วนพืชมีการสร้างจำนวนยอดรวมสูงสุดเฉลี่ย 4.33 ยอด ต่อชิ้นส่วนพืช และการเพาะเลี้ยงลำต้นสับประรดบนอาหาร สูตรชักนำราก ร่วมกับความเข้มข้นของ PBZ ที่ 40 มิลลิกรัม ต่อลิตร ส่งผลให้ชิ้นส่วนพืชมีการสร้างจำนวนยอดรวมสูงสุด เฉลี่ย 20.66 รากต่อชิ้นส่วนพืช (Table 1) ซึ่งการเพาะเลี้ยง ชิ้นส่วนข้อสับประรดบนอาหารที่เติม PBZ ที่ความเข้มข้น สูงขึ้น ส่งผลให้ ต้นสับประรดแล มีลักษณะลำต้นและ ใบเหี่ยวลง (Figure 1-a) โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้นดังกล่าวยังพบว่า ชิ้นส่วนพืชไม่สามารถให้การพัฒนาของรากได้ ในขณะที่ความเข้มข้นของ PBZ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้จำนวน ยอดรวมเฉลี่ย 3.66 ยอดต่อชิ้นส่วนพืช ซึ่งน้อยกว่าที่ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่รากสามารถพัฒนาได้เป็นจำนวนมาก (Figure 1-b) ซึ่งเมื่อนำต้นสับประรดที่ได้ในแต่ละความเข้มข้น ไปอนุบาลลงวัสดุปลูก ประกอบด้วย ขุยมะพร้าวและพีทมอส ในอัตราส่วน 1 : 1 พบว่า ต้นสับประรด ที่ผ่านการเพาะเลี้ยง ในอาหารที่เติม PBZ สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Figure 1-c)

Table 1 Effect of PBZ on nodal segments grown in culture media for 4 weeks.

PBZ (mg/l)	Multiple shoots formation (%)	Number of shoots/ explant	Root formation (%)	Number of roots/ shoot
0	100	1.22	100 ^a	10.33 ^b
20	100	3.77	100 ^a	14.00 ^b
40	100	3.66	100 ^a	20.66 ^a
60	100	4.33	0 ^b	0 ^c
F-test	ns	ns	*	*
C.V. (%)	-	9.56	4.57	8.63

*Mean values followed by dissimilar letter(s) in a column are significantly different by DMRT at $P \leq 0.0$

**Figure 1** Effect of paclobutrazol on micropropagation of pineapple cv. Phu-Lae.

(a): Multiple shoot induction on shoot induction medium with different concentrations of PBZ for 4 weeks; (b): Complete plantlets on root induction medium for 4 weeks and (c): Survive plantlets after acclimatization for 2 weeks.

4. วิจารณ์ผล

สาร PBZ จัดอยู่ในกลุ่มสารชะลอการเจริญเติบโตของพืช มีการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษานี้ การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดสับประรดพันธุ์ภูแล ภายใต้การเติม PBZ บนอาหารสูตรชักนำยอดรวมพบว่า การสร้างยอดรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะยอดรวมที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้น PBZ

ยอดที่ได้ยังมีขนาดเล็กลง สอดคล้องกับรายงานของ อรุณี ม่วงแก้วงาม และ สมปอง เตชะโต (2559) ที่ได้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนยอดดาหลาบนอาหารสูตร MS ที่มีสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ร่วมกับสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าสาร PBZ มีผลต่อความยาวยอดเท่านั้น ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดยอดรวม และจำนวนยอด เช่นเดียวกับงานทดลองของ Thohirah และคณะ (2005) ที่ได้รายงานการใช้สาร PBZ กับพืชวงศ์ขิง *Curcuma roscoena* อายุ

3 สัปดาห์ ด้วยวิธี รดสารลงดิน เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสูงของต้นพืชลดลงลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาร PBZ มีผลต่อการยืดยาวของลำต้นเท่านั้น ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในส่วนอื่น ๆ จึงทำให้ต้นพืชไม่มีลักษณะผิดปกติใด ๆ ผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกับ Jala and Bodhipadma (2012) ซึ่งได้ทดลองเพาะเลี้ยงกระเจียวพันธุ์ตริภุญชัยอาหารที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า การเติมสาร PBZ ความเข้มข้นต่ำ (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) สามารถกระตุ้นการเกิดยอดใหม่ได้ใกล้เคียงกับการไม่เติมสาร PBZ แต่ถ้าเติม สาร PBZ ความเข้มข้นตั้งแต่ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของกระเจียวพันธุ์ตริภุญชัยลดลงทั้งปริมาณการเกิดยอดใหม่จำนวนใบ ความกว้าง และความยาวก้านใบ ในกรณีของการใช้สารชนิดนี้ในไม้ผล ก็ส่งผลเป็นไปในทำนองเดียวกัน เช่น จากรายงานของ Kepenek and Karoglu (2011) ทดลองใช้สาร PBZ กับแอปเปิ้ล พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร PBZ เป็น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของราก และยอดอ่อนที่เกิดขึ้นใหม่ลดลง เป็นต้น

นอกจากนี้ จากผลการศึกษายังพบว่า สาร PBZ มีผลต่อการสร้างรากของต้นสับปะรดปลูกในสภาพปลอดเชื้ออีกด้วย ซึ่งจากการทดลองนี้ ต้นสับปะรดที่ได้ มีรากเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ในอาหารที่เติม PBZ เข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยรากที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นบางยาวมีสีขาว ขุ่นประกอบด้วยรากแขนง สอดคล้องกับการทดลองของ Kucharska and Orlikowska (2008) ที่ได้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชิ้นส่วนยอดของเบญจมาศบนอาหารสูตร MS เติม IAA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ PBZ ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าต้นเบญจมาศที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสาร PBZ เข้มข้น 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด ขณะที่อาหารไม่เติม PBZ มีน้ำหนักสดของรากน้อยที่สุด ทั้งนี้

ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับรายงานการวิจัยหลายฉบับที่พบว่า สารชะลอการเจริญเติบโตนั้นมีผลส่งเสริมและกระตุ้นการสร้างรากจากเนื้อเยื่อเพาะเลี้ยงได้เป็นอย่างดี (Nizam and Te-chato, 2009) ในขณะที่ความเข้มข้นของ PBZ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่มีการสร้างรากเกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความเข้มข้นของ PBZ ที่สูงอาจมีผลไปยับยั้งการพัฒนาของ ชีวรากได้

5. บทสรุป

จากการใช้สาร PBZ กับต้นสับปะรดปลูกแล้วร่วมกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช พบว่าความเข้มข้นของ สาร PBZ ที่ใช้ไม่ส่งผลต่อจำนวนยอด แต่ส่งผลต่อการเกิดราก และลักษณะทางสัณฐานของพืชเมื่อเพาะเลี้ยงในระยะเวลาที่นานขึ้น จากการศึกษาพบว่าสาร PBZ ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถให้การพัฒนาทั้งช่วยอดและชีวรากของต้นสับปะรด โดยให้จำนวนรากเฉลี่ยถึง 20.66 รากต่อต้น ซึ่งผลที่ได้ เพิ่มโอกาสการรอดชีวิตของต้นพืชหลังจากการอนุบาลลงวัสดุปลูก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ได้สนับสนุนทุนสำหรับโครงการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ยุพภรณ์ จิโรภาสภานุวงศ์, สุภาวดี รามสูตร, เกศศิริรินทร์ มหรรณพ และ ชิดารัตน์ นิลกระวีตร. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ม่วงเทพรัตน์ในสภาพปลอดเชื้อโดยใช้พาโคล-บิวทราโซล. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัย ราชภัฏ นครศรีธรรมราช*, 34(1), 53-60.

- โสภา ชูเพ็ง และ นุรีญา มุสอแยนา. (2557). ผลของ PBZ BA และ TDZ ต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ อ้วนวลจันทร์ในหลอดทดลอง. *วารสารพืชศาสตร์ สงขลานครินทร์*, 1(2), 35-38.
- อรุณี ม่วงแก้วงาม และ สมปอง เตชะโต. (2559). ผลของ สารพาโคลบิวทราโซลต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ดาหลา. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาส สงขลานครินทร์*, 8(1), 111-116.
- Jala, A. and Bodhipadma, K. (2012). Low concentration of paclobutrazol induced multiple shoot and plantlet formation in Amethyst curcuma. *The Journal of KMUTNB*, 22 (3), 505-510.
- Kepenek, K. & Karoglu, Z. (2011). The effects of paclobutrazol and daminozide on *in vitro* micropropagation of some apple (*Malus domestica*) cultivars and M9-rootstock. *African Journal of Biotechnology*, 10, 4851-4859.
- Kucharska, D. and Orlikowska, T. (2008). The influence of paclobutrazol in the rooting medium on quality of Chrysanthemum *in vitro* plants. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 417-424.
- Nizam, K. and Te-chato, S. (2009). Optimizing of root induction in oil palm plantlets for acclimatization by some potent plant growth regulators (PGRs). *International Journal of Agricultural Technology*, 5(2), 371-383.
- Soumya, P. R., Kumar, P. and Pal, M. (2017). Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(3), 267-278.
- Te-chato, S., Nujeen, P. and Muangsorn, S. (2009). Paclobutrazol enhance budbreak and flowering of Friederick's Dendrobium orchid *in vitro*. *Journal of Agricultural Technology*, 5(1), 157-165.
- Thohirah, L. A., Ramlan, M. F. and Kamalakshi, N. (2005). The effect of paclobutrazol and flurprimidol on the growth and flowering of *Curcuma roscoeana* and *Curcuma alismatifolia*. *Malaysian Applied Biology Journal*, 34(2), 1-5.

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาซมที่ผ่านการหมักร่วมกับข้าวหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษา

Quality Changes of *Plaa-Som* Fermented with *Red Hom Mali* during Storage

พิทยา ใจคำ^{1*}

Pittaya Chaikham^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

*Email: pittaya.chaikham@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาซมที่ผ่านการหมักร่วมกับข้าวหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 5 วัน และวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี ด้านกายภาพ และด้านจุลชีววิทยา และด้านประสาทสัมผัส รวมทั้งศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาปลาซมผสมข้าวหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน คุณภาพ และลักษณะบางประการของปลาซมมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพในด้านประสาทสัมผัส การเก็บรักษาปลาซมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของปลาซม ลดอัตราการสร้างสารไบโอเจนิคเอมีน และลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในตัวอย่างได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ปลาซม, ข้าวหอมมะลิแดง, การเก็บรักษา

Abstract

This research aimed to investigate the alteration of *Plaa-som* fermented with *Red Hom Mali* rice during storage at 4 and 30 °C for 15 days. The samples were collected for every 5 day for assessments the chemical, physical, microbiological and sensorial qualities. It was found that some qualities and characteristics of *Plaa-som* were apparently trended to diminish throughout the storage period, in particular the consumer acceptability. In overall, storage at 4 °C could decrease the deterioration of product qualities, the formation rates of biogenic amines and the growth rate of spoilage microorganisms including total plate counts, yeasts and molds in *Plaa-Som* greater than storage at 30 °C.

Keywords : *Plaa-som*, *Red Hom Mali* rice, Storage

1. บทนำ

ปลาซมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่ทำจากปลาที่ผ่านกรรมวิธีการหมักร่วมกับเกลือ ข้าวสวหรือข้าวเหนียวหนึ่งและกระเทียม บรรจุในภาชนะปิดสนิท ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3-5 วัน จนกระทั่งปลาซมมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 4.5 ผลิตภัณฑ์ปลาซมอาจทำมาจากปลาทั้งตัวหรือจากเนื้อปลาล้วนก็ได้ ปลาที่นิยมนำมาผลิตเป็นปลาซม ได้แก่ ปลาตะเพียน ปลาหีบ ปลาไน ปลาจีน เป็นต้น ลักษณะของปลาซมที่ดี และได้มีมาตรฐานจะต้องมีเนื้อปลาแข็ง ไม่ยุ่ย มีสีชมพูหรือสีขาว มีกลิ่นกระเทียม และกลิ่นเปรี้ยวอ่อนเล็กน้อย ชิ้นปลาสมบูรณ์ไม่แยกจากกัน ข้าวบนตัวปลาบานออกและแยกเป็นเม็ดเต็มอยู่บนตัวปลา ส่วนปลาซมที่มีลักษณะไม่ดีและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ น้ำหมักปลาที่มีสีขาวขุ่น มีฟอง มีกลิ่นเหม็น เนื้อปลาและข้าวมีกลิ่นบูด เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2557) ความเปรี้ยวในปลาซมนั้นเกิดจากกิจกรรมการหมักจากจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการเปลี่ยนกลูโคสที่ได้มาจากการย่อยส่วนผสมที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดแล็กติก และกรดอะซิติก จึงเรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่าแบคทีเรียกรดแล็กติก (Lactic acid bacteria, LAB) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็น

จุลินทรีย์กลุ่มใหญ่ที่พบในปลาซม (พิทยา ใจคำ และ รัชณี แก้วจินดา, 2560)

ข้าวจัดว่าเป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญในการผลิตปลาซม พันธุ์ข้าวมีผลอย่างยิ่งต่อกลิ่นรส และยอมรับของผู้บริโภคต่อปลาซม โดยข้าวเจ้าจะได้รับการยอมรับมากกว่าข้าวเหนียว กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2559) ได้สรุปประเด็นในเรื่องการเพิ่มสีสัน และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ปลาซม โดยการใช้ ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ของไทยมาหมักปลาซมเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า นำมาทดแทนการใช้ข้าวเจ้าหอมมะลิทุ่งสกุหรือข้าวเหนียวหนึ่งที่เป็นสูตรดั้งเดิม การใช้ข้าวชนิดที่มีสีต่าง ๆ จะเป็นการเพิ่มเอกลักษณ์ให้กับลักษณะปรากฏของปลาซมได้ ข้าวมีสีจัดว่าเป็นเมล็ดธัญพืชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเมล็ดข้าวจะมีสีน้ำตาล หรือสีม่วง กลุ่มสีเหล่านี้เกิดจากสารให้สีที่มีชื่อเรียกว่าแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) หรือป้องกันการหืนของไขมันได้ ในปัจจุบันยังมีการศึกษาเพียงเล็กน้อยในเรื่องของการใช้ประโยชน์จากข้าวสีพันธุ์ต่าง ๆ จากงานวิจัยของผู้วิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ข้าวมีสีสามารถชะลอการเกิดสารให้กลิ่นหืนในระหว่างการหมักปลาซมได้ดี

กว่าการหมักด้วยข้าวขาว (พิทยา ใจคำ และคณะ, 2560) งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาสดที่ผ่านการหมักร่วมกับข้าวหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่าง ทุก ๆ 5 วัน และวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ ด้านเคมี และ ด้านจุลชีววิทยา รวมทั้งทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2. วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

2.1 การผลิตปลาสด

ทำการผลิตปลาสดโดยใช้ปลานิลพันธุ์จิตรลดา 600 กรัม เกลือ 50 กรัม ข้าวหอมมะลิแดงหุงสุก 60 กรัม และกระเทียม 50 กรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ก่อนบรรจุลงในถุงชนิดลามิเนทภายใต้สภาวะสุญญากาศ และนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 5 วัน

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

นำตัวอย่างปลาสดมาวิเคราะห์หาค่าสี L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่องวัดสี (Miniscan XP plus, Hunter Lab, USA) และวิเคราะห์หาค่า ความแน่นเนื้อ (firmness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (CT3 10K, Brookfield, USA) โดยใช้หัววัด TA-56 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

ทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (PH100, Exttech, USA) และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแล็กติกของตัวอย่าง (AOAC, 2000) นอกจากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณ TCA-soluble peptides และวิเคราะห์หาลักษณะการเกิดกลิ่นหืนโดยวิเคราะห์เป็นค่า Thiobarbituric acid value (TBA) ด้วยเครื่อง UV-WINLAB spectrophotometer

(Perkin Elmer, USA) (Riebroy et al., 2004) และ วิเคราะห์หาปริมาณสารไบโอเจนิคเอมีน (Biogenic amines) ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC, CL-10 ADVP, Shimadzu, Japan) (Kongkiattikajorn, 2015) สารมาตรฐานที่ใช้มี 5 ชนิด ได้แก่ tryptamine, putrescine, cadaverine, histamine และ tyramine

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยา

วิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียก่อโรค และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียในตัวอย่าง ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate counts) แบคทีเรียกรดแล็กติก (LAB) *Pseudomonas* sp. Enterobacteriaceae ยีสต์ และรา ตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (US Food and Drug Administration, 2001)

2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส หรือการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส สี กลิ่น และการยอมรับโดยรวมของปลาสดดิบ และปลาสดที่ผ่านการทอด โดยทดสอบกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน ให้คะแนนความชอบตามวิธี 9-point hedonic scale โดยคะแนนเท่ากับ 9 คือ ชอบมากที่สุด คะแนนเท่ากับ 5 คือ เฉย ๆ และคะแนนเท่ากับ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

2.6 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ส่วนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design,

RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี paired-sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชัน 23

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จาก Table 1 พบว่า ในวันแรกของการหมักปลาซึ่ม ตัวอย่าง ทุกชุดการทดลองมีค่าสี L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษา พบว่า ปลาซึ่มที่เก็บรักษาทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดช่วงระยะเวลา 15 วัน และพบว่า เมื่อครบ 15 วัน ปลาซึ่มที่เก็บรักษาทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ก็มีค่าลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกับ ค่าความสว่าง โดยในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่า ปลาซึ่ม ที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ยังคงมีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่า ปลาซึ่มที่

เก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่า ค่าสีดังกล่าวในตัวอย่างปลาซึ่มทั้ง 2 ชุดการทดลอง กลับมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงของการเก็บรักษา ซึ่งปลาซึ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาครบ 15 วัน

นอกจากนั้นยังพบว่า ในวันแรกของการหมักตัวอย่างปลาซึ่ม ทุกชุดการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 15.83 กรัม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 ระดับครบ 15 วัน พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ปลาซึ่มที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับปลาซึ่มที่เก็บรักษาในวันแรก (Table 1) อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาปลาซึ่มที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนของเนื้อปลา มีการเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อของปลาซึ่มมีค่าลดลง

Table 1 Changes of physicochemical qualities of *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice during storage at 4 and 30 °C for 15 days

Temperature (°C)	Storage time (Days)	L^*	a^*	b^*	Firmness (g)
4	0	74.58±3.94 ^a	1.98±0.10 ^a	15.60±1.94 ^c	15.85±1.21 ^{bc}
	5	70.40±0.88 ^b	1.80±0.07 ^b	15.62±1.04 ^{bc}	17.81±1.16 ^a
	10	68.78±0.80 ^b	1.76±0.09 ^b	15.84±0.44 ^c	16.83±1.18 ^{ab}
	15	68.11±3.72 ^b	1.66±0.09 ^{bc}	16.41±1.72 ^c	16.00±1.14 ^{bc}
30	0	74.58±3.94 ^a	1.98±0.10 ^a	15.60±1.94 ^c	15.83±1.21 ^{bc}
	5	69.84±1.53 ^b	1.72±0.23 ^b	16.21±1.28 ^{bc}	14.50±1.04 ^c
	10	70.43±1.44 ^b	1.53±0.09 ^{cd}	17.62±0.73 ^{ab}	12.83±1.94 ^d
	15	70.48±0.97 ^b	1.51±0.06 ^d	18.83±0.59 ^a	7.33±1.21 ^e

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of six replications.

Table 2 Changes of chemical qualities of *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice during storage at 4 and 30 °C for 15 days

Temperature (°C)	Storage time (Days)	pH	Total acidity (%)	TCA-soluble peptides (μmole tyrosine/g)	TBA (mg malonaldehyde/g)
4	0	4.46±0.11 ^a	2.88±0.18 ^e	6.15±0.28 ^e	12.98±1.15 ^d
	5	4.21±0.01 ^b	3.20±0.10 ^d	7.80±0.41 ^d	14.92±1.03 ^c
	10	4.03±0.04 ^c	3.23±0.06 ^d	7.96±0.25 ^d	15.64±0.52 ^c
	15	3.96±0.03 ^c	3.48±0.05 ^c	8.45±0.19 ^c	17.68±0.45 ^b
30	0	4.46±0.11 ^a	2.88±0.18 ^e	6.15±0.28 ^e	12.98±1.15 ^d
	5	3.98±0.07 ^c	3.62±0.04 ^c	8.33±0.09 ^c	15.98±0.41 ^c
	10	3.64±0.08 ^d	3.83±0.07 ^b	9.17±0.21 ^b	18.60±0.67 ^b
	15	3.31±0.07 ^e	4.40±0.22 ^a	11.84±0.55 ^a	20.91±1.43 ^a

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of six replications.

Table 3 Changes of biogenic amines in *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice during storage at 4 and 30 °C for 15 days

Temperature (°C)	Storage time (Days)	Biogenic amine contents (mg/kg)				
		Tryptamine	Putrescine	Cadaverine	Histamine	Tyramine
4	0	63.18±5.14 ^e	85.02±1.47 ^e	90.64±2.06 ^c	230.88±2.09 ^f	120.00±4.35 ^e
	5	65.20±2.02 ^e	86.15±3.24 ^e	93.26±1.39 ^c	239.00±3.45 ^e	121.47±1.11 ^e
	10	68.19±1.23 ^d	90.18±0.73 ^d	95.42±5.47 ^{bc}	245.74±2.71 ^d	125.62±2.40 ^d
	15	73.46±3.35 ^{bc}	92.40±1.50 ^c	97.22±0.82 ^b	250.83±2.50 ^c	128.95±1.07 ^{cd}
30	0	63.18±5.14 ^e	85.02±1.47 ^e	90.64±2.06 ^c	230.88±2.09 ^f	120.00±4.35 ^e
	5	70.42±2.84 ^{cd}	94.16±2.40 ^{bc}	97.45±1.79 ^b	245.46±1.64 ^d	131.12±2.44 ^c
	10	78.90±3.10 ^b	99.57±3.03 ^{ab}	107.78±4.70 ^a	260.11±5.43 ^b	140.03±3.10 ^b
	15	88.02±2.73 ^a	104.45±2.15 ^a	115.44±3.30 ^a	287.89±3.08 ^a	151.17±5.81 ^a

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of six replications.

Table 4 Changes of microbiological qualities of *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice during storage at 4 and 30 °C for 15 days

Temperature (°C)	Storage time (Days)	Microbial populations (CFU/g)				
		Total plate counts	Lactic acid bacteria	<i>Pseudomonas</i> sp.	Enterobacteriaceae	Yeasts and Molds
4	0	3.00±0.87 ^b × 10 ⁷	4.10±0.26 ^{bc} × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	5	1.70±0.69 ^a × 10 ⁸	3.22±0.43 ^c × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	10	2.99±0.96 ^b × 10 ⁷	3.25±0.54 ^c × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	15	6.97±0.69 ^b × 10 ⁷	3.30±1.2 ^{c1} × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
30	0	3.00±0.87 ^b × 10 ⁷	4.10±0.26 ^{bc} × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	5	5.55±2.75 ^b × 10 ⁷	6.40±0.70 ^a × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	10	5.33±0.72 ^b × 10 ⁷	3.58±0.27 ^{bc} × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10
	15	6.55±0.93 ^b × 10 ⁷	4.48±0.22 ^b × 10 ⁷	< 10	< 10	< 10

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of six replications.

Table 2 แสดงคุณภาพทางเคมีของปลาสด ผสมข้าวหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยพบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา ตัวอย่างปลาสดทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณ TCA-soluble peptides และค่า TBA ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และยังพบว่า ค่า pH ของตัวอย่างปลาสดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทั้งหมด สำหรับปริมาณ TCA-soluble peptides และค่า TBA มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาครบ 15 วัน ปริมาณ TCA-soluble peptides และค่า TBA ในปลาสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่าปลาสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าการเก็บรักษา ปลาสดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อปลาให้ช้าลงได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

สารไบโอเจนิคหลักที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ ปลาหมักหรือปลาสด มีอยู่ 5 ชนิด ประกอบด้วย tryptamine, putrescine, cadaverine, histamine และ tyramine (Riebro et al., 2004) จาก Table 3 พบว่า ในวันแรกของการหมักจะพบสาร tryptamine (63.18 mg/kg), putrescine (85.02 mg/kg), cadaverine (90.64 mg/kg), histamine (230.88 mg/kg) และ tyramine (120.00 mg/kg) ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบสาร histamine สูงที่สุด และเมื่อหมักครบระยะ

เวลา 15 วัน พบว่า การเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของสารไบโอเจนิคเอมีนทั้ง 5 ชนิด ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจาก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์สามารถสร้างเอโนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส ได้อย่างรวดเร็ว จึงส่งผลต่อ การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไบโอเจนิคเอมีนในตัวอย่าง (วีรชัย สิงห์ทอง, 2556) ดังนั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไบโอเจนิคเอมีนในปลาสดได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของ ปลาสดในการเก็บรักษาระยะเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (4 และ 30 องศาเซลเซียส) โดยวิเคราะห์หาเชื้อ จุลินทรีย์ทั้งหมด 5 ชนิด/กลุ่ม ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมด, แบคทีเรียกรดแล็กติก, *Pseudomonas* sp., *Enterobacteriaceae* sp. และยีสต์และรา (Table 4) พบว่า เมื่อเก็บรักษาครบ 15 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวน LAB มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีจำนวนจุลินทรีย์ กลุ่มดังกล่าว มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วน *Pseudomonas* sp., *Enterobacteriaceae* sp. และยีสต์และรา ยังมีจำนวนที่ น้อยกว่า 10 CFU/g จากรายงานของคณิต วิจิตพันธ์ (2548) พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาของปลาสดดิบ และปลาสดแปรรูป ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และเชื้อรา ในตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ส่วนปลาสดแปรรูปที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะพบ เชื้อราเกิดขึ้นในตัวอย่างวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

Table 5 Liking scores of uncooked *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice stored at 4 and 30 °C for 15 days

Temp. (°C)	Liking scores (9-point hedonic scale test)				
	Appearance	Texture	Color	Odor	Overall acceptability
4	7.53±0.50 ^a	7.47±0.50 ^a	7.47±0.50 ^a	7.50±0.50 ^a	7.43±0.56 ^a
30	7.63±0.49 ^a	6.70±0.83 ^b	7.33±0.60 ^a	6.53±0.73 ^b	6.57±0.81 ^b

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of fifty replications.

Table 6 Liking scores of cooked *Plaa-Som* containing *Red Hom Mali* rice stored at 4 and 30 °C for 15 days

Temp. (°C)	Liking scores (9-point hedonic scale test)			
	Appearance	Odor	Taste	Overall acceptability
4	7.47±0.89 ^a	7.43±0.85 ^a	7.47±1.10 ^a	7.57±0.61 ^a
30	6.83±1.10 ^b	6.50±1.04 ^b	6.43±1.04 ^b	6.33±0.49 ^b

Means in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($P > 0.05$). Each data point is the average of fifty replications.

Tables 5 และ 6 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาต้มเมื่อเก็บรักษาครบ 15 วัน โดยผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 30 คน สำหรับปลาต้มดิบ ให้คะแนนความชอบ 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส สี กลิ่น และความชอบโดยรวม สำหรับปลาต้ม ทอดให้คะแนนความชอบ 4 คุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะ ปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ซึ่งโดยภาพรวม จะเห็นได้ว่าปลาต้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทั้งปลาต้มที่ไม่ผ่านการทอดและผ่านการทอดจะมีคะแนน ความชอบโดยรวมสูงกว่าปลาต้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการเก็บรักษา และ กำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลาต้ม เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และให้ความมั่นใจให้กับผู้บริโภค ในการบริโภคปลาต้มได้

4. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษา ปลาต้มผสม ข้าวหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน คุณภาพ และ คุณลักษณะบางประการที่เป็นตัวชี้วัดในเรื่องความเหมาะสม

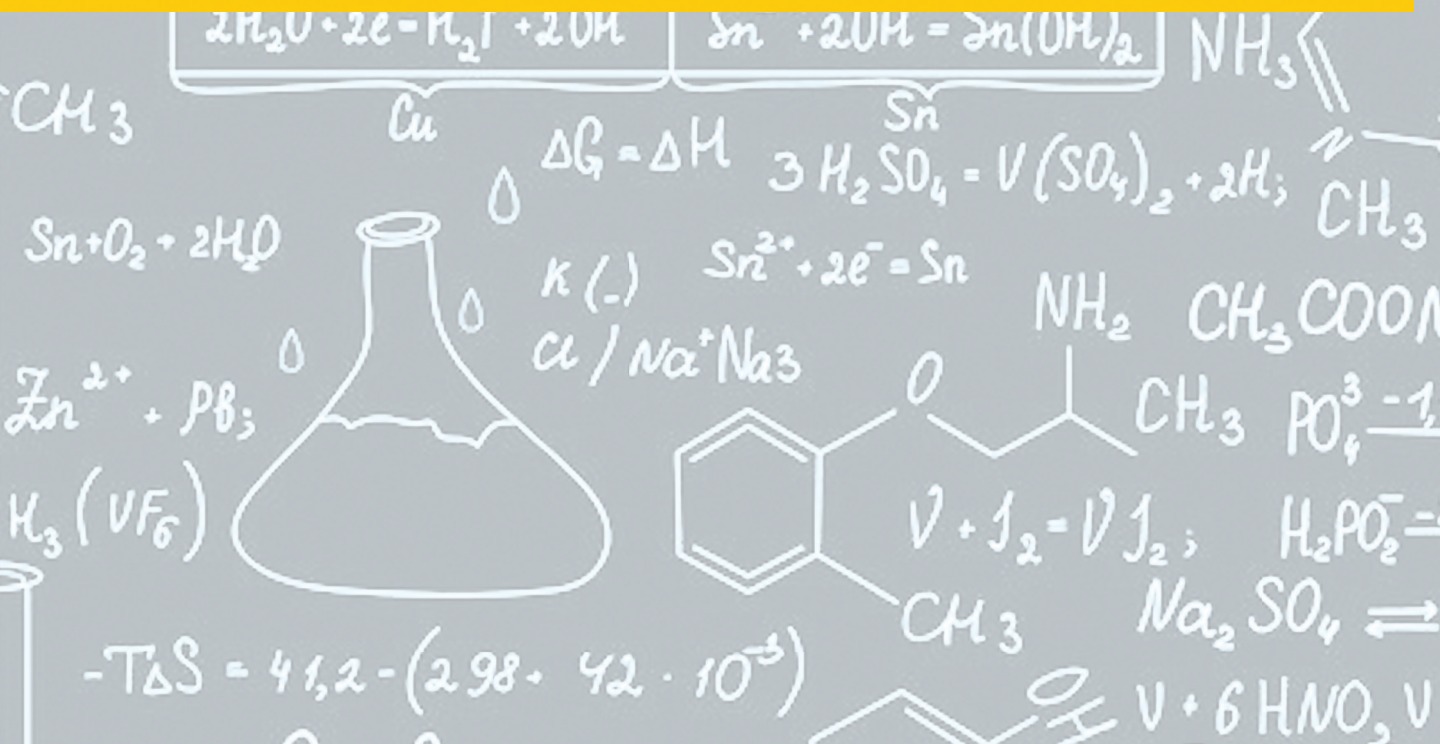
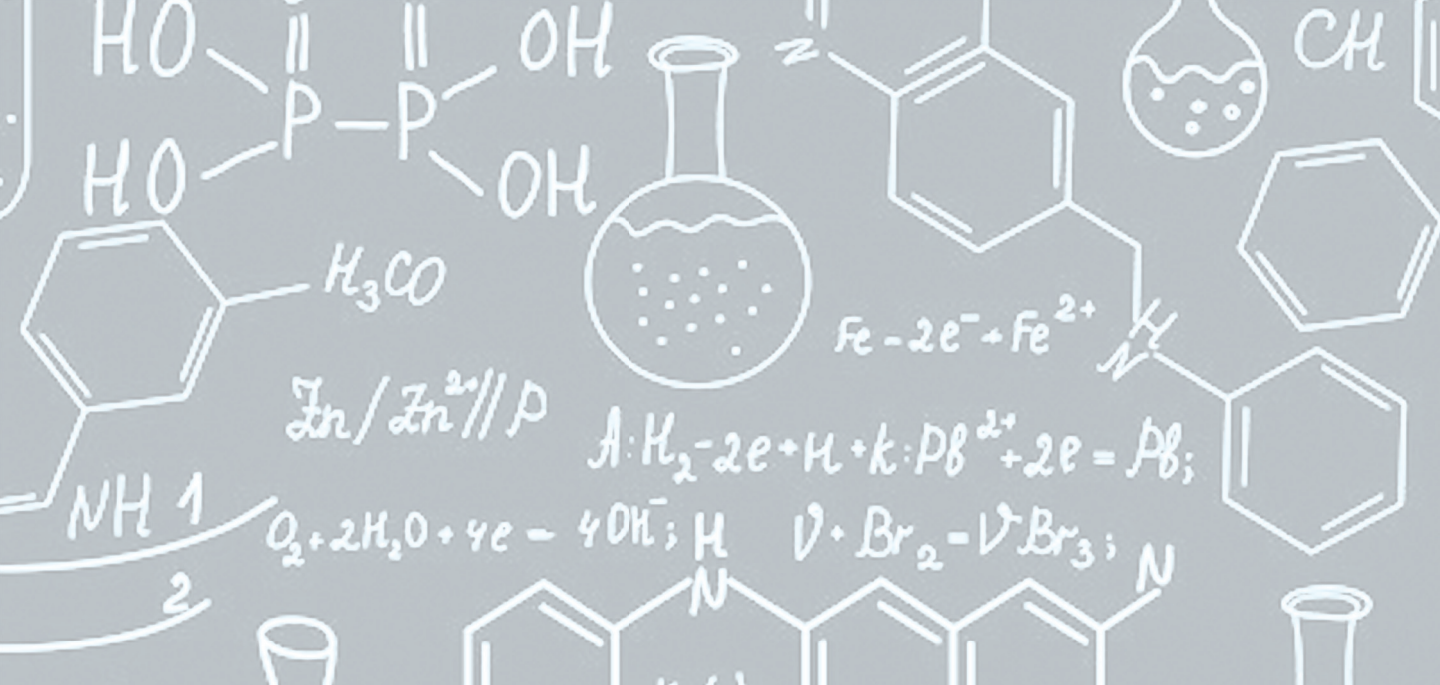
แก่การนำบริโภคมีแนวโน้มที่ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพในด้านประสาทสัมผัส การเก็บรักษา ปลาสามที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของปลาสามได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ปีงบประมาณ 2560

6. เอกสารอ้างอิง

- กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2559). “ปลาสาม” เสน่ห์ความเปรี้ยวสู่การผลิตอาหารปลอดภัยมีโอกาสเป็นอาหารสมอง. วันที่สืบค้น 15 กุมภาพันธ์ 2561, สืบค้นจาก: <https://www.kku.ac.th/news/v.php?q=0011899&l=th>.
- คณิต วิจิตพันธ์. (2548). การศึกษาวิธีการเก็บรักษาและการบรรจุปลาสามเพื่อขยายเวลาในการเก็บและคงคุณลักษณะปลาสามคุณภาพสูง. [ออนไลน์]. <http://209.85.175.104/search=cochej:www.pangmapha.com>. (วันที่สืบค้น 11 ตุลาคม 2559).
- พิทยา ใจคำ, ณัฐยานัน บัวอูย และ แดนชัย เครืองเงิน. (2560). คุณลักษณะบางประการของปลาสามที่มีส่วนผสมของข้าวพื้นเมืองของไทยสายพันธุ์ต่าง ๆ. สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สททท.), 4(2), 23-34.
- พิทยา ใจคำ และ รัชนิ แก้วจินดา. (2560). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาสามในระหว่างการหมักร่วมกับโพรไบโอติก *Lactobacillus casei* 01 ที่ระดับแตกต่างกัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(3), 37-53.
- วีรชัย สิงห์ทอง. (2556). การวิเคราะห์หาปริมาณไบโอจีนิกเอมีน บางชนิดในไส้กรอกพื้นเมืองไทย. [ออนไลน์]. <http://www.tcithaijo.org/index.php/swujournal/article/view/31525>. (วันที่สืบค้น 11 ตุลาคม 2559).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2557). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาสาม (มพข. 26/2557). กระทรวงอุตสาหกรรม.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC international (17th ed.). Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International.
- Kongkiattikajorn, J. (2015). Potential of starter culture to reduce biogenic amines accumulation in som-fug, a Thai traditional fermented fish sausage. Journal of Ethnic Foods, 2, 186-194.
- Riebroy, S., Benjakul, S., Visessanguan, W., Kijrongrojana, K. and Tanaka, M. (2004). Some characteristics of commercial *Som-fug* produced in Thailand. Food Chemistry, 88, 527-535.
- US Food and Drug Administration. (2001). Bacteriological analytical manual (BAM). Washington DC, USA: New Hampshire Avenue, Department of Health and Human Services.



ภาคผนวก

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. คำแนะนำในการส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์

บทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น หากมีเนื้อหา ข้อมูลวิจัยบางส่วนเคยพิมพ์ในรายงานการประชุมวิชาการจะต้องมีส่วนที่เพิ่มเติมหรือขยายจากส่วนที่เคยตีพิมพ์และต้องมีคุณค่าทางวิชาการที่เด่นชัด โดยได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

2. บทความที่รับพิจารณาลงพิมพ์

2.1 บทความวิจัย มีความยาวไม่เกิน 8 หน้ากระดาษ B5 ประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน (Title) สถานที่ทำงาน (Work place of author & co-authors) การติดต่อผู้เขียน (Contact address of correspondence) บทคัดย่อ (Abstract) และคำสำคัญ (Keywords ไม่เกิน 3 - 5 คำ) โดยเนื้อหาดังกล่าวทั้งหมดข้างต้นต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตามด้วยเนื้อเรื่อง กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง ภาคผนวก (ถ้ามี) เนื้อเรื่องจะประกอบด้วย บทนำ (Introduction), ขอบเขตการวิจัย/วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย/ทดลอง (Materials and Methods), ผลการวิจัย/ทดลอง (Results), วิเคราะห์ อภิปรายผล (Discussion) บทสรุป (Conclusion) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement, ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง (References)

2.2 บทความวิชาการ มีความยาวไม่ต่ำกว่า 8 หน้ากระดาษ แต่ไม่เกิน 15 หน้ากระดาษ B5 เป็นบทความที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากหนังสือ เอกสาร ประสบการณ์หรือเรื่องแปลเพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาต่าง ๆ หรือแสดงข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์มีคุณค่าทางวิชาการ บทความวิชาการควรประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สถานที่ทำงาน วิธีการติดต่อผู้เขียน บทคัดย่อ (Abstract) และคำสำคัญ (Keywords ไม่เกิน 5 คำ) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษตามด้วยเนื้อเรื่อง ซึ่งลักษณะองค์ประกอบของเนื้อเรื่องอาจจะคล้ายคลึงกับบทความวิจัย แต่ไม่มีเนื้อหาของ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง ผลการวิจัยหรือผลการทดลอง เป็นต้น

3. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับบทความวิจัย/บทความวิชาการ ผ่านอีเมลล์ คุณปวีณา การมี ทาง e-mail address : nafeesah_47@hotmail.com

4. รูปแบบบทความวิจัยและการพิมพ์เนื้อหาของเรื่อง

เพื่อความสะดวกในการแก้ไข ควรใช้โปรแกรม Microsoft Word for windows พิมพ์บนกระดาษ B5 โดยตั้งหน้ากระดาษดังนี้ ขอบกระดาษด้านบน-ล่าง 1.5 ซม. ขอบกระดาษด้านซ้ายและขวา 1.5 ซม. พิมพ์ 2 คอลัมน์ กว้าง 7.25 ซม. ระยะห่าง 0.7 ซม. ระยะหัวกระดาษ และ ท้ายกระดาษ 1.5 ซม.

4.1 รูปแบบและขนาดอักษร ตัวอักษรทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarabunPSK สีดำเท่านั้น

4.2 หน้าแรก หน้าแรกของบทความจะประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียนและผู้เขียนร่วม บทคัดย่อ และเชิงอรรถบ่งบอกตำแหน่งและสถานที่ทำงานของผู้เขียนและผู้เขียนร่วม ให้พิมพ์หน้าแรกทั้งแบบภาษาไทยและภาษาอังกฤษเรียงตามลำดับ โดยจัดหน้าเป็นแบบ 1 คอลัมน์ กว้าง 15.2 ซม.

4.3 ชื่อเรื่อง พิมพ์อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ เริ่มจากชื่อภาษาไทยแล้วตามด้วยชื่อภาษาอังกฤษ

4.4 ชื่อผู้เขียน พิมพ์อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ไว้หลังชื่อเรื่อง และเว้น 1 บรรทัด ทั้งด้านบนและใต้ชื่อผู้เขียน ถ้ามีมากกว่า 1 คนให้พิมพ์คำว่า “และ” หน้าชื่อคนสุดท้าย ไม่ต้องใส่คำนำหน้าชื่อใด ๆ ทั้งสิ้น และให้ใช้ตัวเลขอารบิกพิมพ์แบบตัวยกต่อท้ายชื่อ เพื่อแสดงความแตกต่างของสถานที่ทำงานดังตัวอย่างประกอบหน้าแรก

4.5 บทคัดย่อ (Abstract) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์หัวเรื่องคำว่า “บทคัดย่อ” สำหรับบทคัดย่อภาษาไทย และ “Abstract” สำหรับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ โดยจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ สำหรับคำว่า “Abstract” เฉพาะตัวอักษร “A” เท่านั้นที่ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ ส่วนเนื้อความให้จัดพิมพ์เป็นแบบ 1 คอลัมน์ โดยบรรทัดแรกให้ย่อหน้า 1.5 ซม. และมีอย่างละย่อหน้าเดียว ทั้งนี้บทคัดย่อไม่ควรใส่เอกสารอ้างอิงใด ๆ ทั้งสิ้น และมีจำนวนคำไม่เกินอย่างละ 300 คำ

4.6 คำสำคัญ (Keywords) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์หัวเรื่องคำว่า “คำสำคัญ” โดยพิมพ์ไว้ใต้บทคัดย่อภาษาไทย เว้น 1 บรรทัด และจัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำสำคัญในแต่ละบทความควรมีประมาณ 3 - 5 คำ ให้พิมพ์หัวเรื่องคำว่า “Keywords” (เฉพาะตัวอักษร “K” เท่านั้นที่ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่) โดยพิมพ์ไว้ใต้ บทคัดย่อภาษาอังกฤษ เว้น 1 บรรทัด ให้ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะตัวแรกของคำแรกของแต่ละคำสำคัญเท่านั้น

4.7 ตำแหน่ง และสถานที่ทำงาน ให้พิมพ์สถานที่ทำงานของผู้เขียนทุกคน โดยเรียงตามหมายเลข และ Email address ต่อจากชื่อผู้เขียน

5. ส่วนอื่น ๆ ของบทความ

เนื้อเรื่อง ได้แก่ บทนำ ขอบเขตการวิจัย วัสดุ-อุปกรณ์และวิธีการวิจัย/ทดลอง (ถ้ามี) ผลการวิจัย/ทดลอง วิจารณ์/อภิปรายผล บทสรุป กิตติกรรม-ประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก (ถ้ามี) ให้พิมพ์เป็น 2 คอลัมน์ โดยไม่ต้องเว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้น 1 บรรทัด การพิมพ์หัวข้อให้พิมพ์ชิดซ้ายของแต่ละคอลัมน์ ส่วนของเนื้อเรื่องให้ย่อหน้า 0.5 ซม. การลำดับหัวข้อในเนื้อเรื่อง ให้ใส่เลขกำกับ โดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลขที่ “1.” และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ให้ใช้ระบบเลขทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1, 1.1.1, 1.2, 1.2.1 เป็นต้น

6. การจัดรูปภาพ ตาราง และการเขียนสมการ

เนื้อหาและข้อมูลภายในรูปภาพและตารางให้ใช้ภาษาอังกฤษ รูปภาพทุกรูปและตารางจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายอย่างชัดเจน

6.1 รูปภาพ รูปภาพที่เตรียมควรมีขนาดความกว้างไม่เกิน 15 ซม. และความละเอียดที่เหมาะสม โดยตัวอักษรที่ปรากฏในรูปภาพจะต้องมีขนาดใหญ่สามารถอ่านได้สะดวก และต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง และเมื่อย่อขนาดลงที่ความกว้าง 7 ซม. จะต้องยังสามารถเห็นรายละเอียดของภาพที่ชัดเจน ให้วางภาพข้อมูลทั้งหมดไว้ท้ายบทความถัดจากข้อมูลตาราง โดยทุกรูปภาพที่ใส่ไว้ท้ายบทความจะต้องมีการกล่าวอ้างในเนื้อหาบทความทุกรูปภาพ และรูปภาพทั้งหมดควรมองเห็นชัดเจนเมื่อบทความถูกพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ การเขียนคำบรรยายใต้ภาพให้ใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt โดยพิมพ์ตัวหนาสำหรับหัวเรื่องและหมายเลขของรูป และตัวพิมพ์ธรรมดาสำหรับคำอธิบายรูปภาพจัดพิมพ์ไว้กึ่งกลางคอลัมน์ รูปลายเส้นของรูปภาพจะต้องเป็นเส้นสีดำ ส่วนรูปถ่ายควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัดรูปภาพควรจะมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น และ เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัด และเว้นใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

6.2 ตาราง ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายกำกับเหนือตาราง โดยปกติให้ใช้ตัวอักษร THSarabunPSK ขนาด 14 pt โดยพิมพ์ตัวหนาสำหรับหัวเรื่องและหมายเลขของตาราง และตัวพิมพ์ธรรมดาสำหรับคำอธิบายตาราง ถ้ามีข้อมูลฟุตโน้ตด้านล่างของตารางให้ใช้ตัวหนังสือเป็นแบบเดียวกันหากแต่ขนาดตัวอักษรเป็น 12 pt ให้จัดพิมพ์ชิดซ้ายของคอลัมน์ เพื่อความสวยงาม ให้เว้นบรรทัดเหนือคำบรรยายตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้ตาราง 1 บรรทัด

ในกรณีที่จำนวนข้อมูลในตารางมีปริมาณน้อย ตารางควรมีขนาดความกว้างไม่เกิน 7 ซม. ตารางขนาดใหญ่อาจยอมให้มีความกว้างได้ไม่เกินขนาด 15×19 ซม. ในแนวตั้ง หรือขนาด 19×15 ซม. ในแนวนอน ให้ใส่ตารางทั้งหมดไว้หลังหัวข้อรูปภาพ โดยทุกตารางที่ใส่ไว้ท้ายบทความจะต้องมีการกล่าวอ้างในเนื้อหาบทความทุกตาราง และให้วางภาพข้อมูลทั้งหมดไว้ท้ายบทความ หลังจากหัวข้อ “เอกสารอ้างอิง”

6.3 สมการ ต้องพิมพ์อยู่กึ่งกลางคอลัมน์ หรือในกรณีที่สมการมีความยาวมากอาจยอมให้มีความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ และจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์

7. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การเขียนหน่วยต่าง ๆ ควรใช้ระบบ SI และเป็นสากล ถ้าหากต้องการย่อหน่วย ควรใช้ตัวย่อเป็นภาษาอังกฤษที่ถูกต้องและเป็นสากล การใช้ศัพท์วิทยาศาสตร์ให้ยึดคำบัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน ชื่อสถานที่ต่าง ๆ ให้ใช้ตามประกาศของสำนักนายกรัฐมนตรีการเขียนคำที่มาจากภาษาต่างประเทศ หากต้องการทับศัพท์เป็นภาษาไทย หรือต้องการแปลเป็นภาษาไทย การแปลหรือเขียนทับศัพท์ครั้งแรกควรใส่คำศัพท์เดิมไว้ในวงเล็บต่อท้ายคำแปลด้วย ซึ่งถ้าคำศัพท์ใดที่ไม่ใช่คำศัพท์เฉพาะ ก็ไม่จำเป็นต้องขึ้นต้นด้วยตัวใหญ่เช่น “เวเบอร์ (weber)” และเมื่อต้องการใช้คำแปลเดิมซ้ำอีก ให้ใช้ภาษาไทยโดยไม่ต้องใส่ภาษาอังกฤษกำกับ

8. เอกสารอ้างอิง

การอ้างอิงในบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ระบบนาม - ปี เป็นภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบของ APA (American Psychological Association) การอ้างอิงเอกสารทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กรณีผู้เขียนคนเดียว ใช้นามสกุลผู้แต่งและปี ค.ศ. เช่น (Sookdee, 2017) กรณีผู้เขียนสองคน ใช้ (Sookdee and Sooksan, 2017) กรณีผู้เขียนมากกว่าสองคน ใช้ “et al.” ต่อจากนามสกุลผู้แต่งคนแรก เช่น (Sookdee et al., 2017) กรณีอ้างอิงจากหลายแหล่งอ้างอิงใช้ “;” คั่นระหว่างแหล่งอ้างอิงเช่น (Sookdee, 2015; Sookdee and Sooksan, 2016; Sookdee et al., 2017)

เอกสารอ้างอิงให้พิมพ์ตามลำดับตัวอักษรชิดขอบซ้ายและให้ตรงกันทุกเอกสาร หากเอกสารอ้างอิงมีความยาวเกินหนึ่งบรรทัด บรรทัดถัดไปให้เยื้องเข้ามา 1.27 ซม. ตัวอย่างรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงมีดังนี้

วารสาร (journal)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร, ปี (ที่ฉบับที่), เลขหน้า.doi หรือ URL ของ doi (ถ้ามี) โดยชื่อวารสารภาษาไทยและภาษาต่างประเทศให้ใช้ชื่อเต็ม

ตัวอย่าง

Smile, A. A., Smell, B. B. and Small, C. C. (2016). Effect of UV-D on some elements under the sea. *The Journal of Applied Science*, 12(4), 1-12. <http://dx.doi.org/1234/2016/001>

Sookdee, A., Sooksan, B. and Sooksom, C. (2017). Chemical analysis for plant cells. *Current Topic Journal*, 56(3), 21-36. doi: 1234/j.curr.2014.01.001 (in Thai)

กรณีผู้เขียนมากกว่า 6 คน ให้ใช้ “et al.” ต่อจากชื่อผู้แต่งคนที่ 6 ยกเว้นถ้ามีผู้แต่ง 6 คน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้ง 6 คน ในกรณีที่เป็นการวารสารแบบ Open Access ซึ่งไม่มีปี ที่ ฉบับที่และเลขหน้า มีรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงคือผู้แต่ง. (ปี) ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร, เลขบทความ,จำนวนหน้า. Doiหรือ URL ของ doi (แต่ถ้ามี ปีที่ ฉบับที่ ให้ใส่ไปด้วย)

หนังสือ (book)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

Smile, A. A., Smell, B. B. and Small, C. C. (2016). Flowering and Non-flowering Plants (2nded.). Bangkok, Thailand: ABAB Publisher.

กรณีผู้เขียนมากกว่า 6 คน ให้ใช้ “et al.” ต่อจากชื่อผู้แต่งคนที่ 6 ยกเว้นถ้ามีผู้แต่ง 6 คน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้ง 6 คน

บทในหนังสือ (book chapter)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อเรื่อง. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์) เลขหน้า. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

Smile, A. A., Smell, B. B. and Small, C. C. (2016). Chemical analysis for plant cells. In D. D. Smart and E. E. Smooth (Eds.), Flowering and Non-flowering Plants (2nd ed.)pp. 39-72. Bangkok, Thailand: ABAB Publisher.

กรณีผู้เขียน 6 คน หรือมากกว่า 6 คน ให้ยึดแนวทางตามแบบที่กล่าวไว้ในหนังสือ

เอกสารจากงานประชุม (proceedings)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อเรื่อง. เลขหน้า. ใน ชื่องานประชุม, วัน เดือน ปี ที่จัดการประชุม, สถานที่จัดการประชุม.

ตัวอย่าง

Smile, A. A., Smell, B. B. and Small, C. C. (2016).Chemical analysis for plant cells.pp. 39-72. In The 1st Applied Science Conference, 1-7 August 2014, Faculty of Applied Science, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, Bangkok.

วิทยานิพนธ์ (thesis)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อวิทยานิพนธ์ (ระดับปริญญา) สาขาวิชาหรือภาควิชา, คณะ, มหาวิทยาลัย, สถานที่.

ตัวอย่าง

Sookdee, A. (2017). Chemical analysis for plant cells (Ph.D. thesis) Department of Applied Biology, Faculty of Applied Science, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, Bangkok. (in Thai)

เว็บไซต์ (website)

ผู้แต่ง. (ปี). ชื่อเรื่อง. วัน เดือน ปี ที่สืบค้น, ที่มา ชื่อ URL

ตัวอย่าง

Smile, A. A., Smell, B. B. and Small, C. C. (2016).Chemical analysis for plant cells. Retrieved January 1, 2015, from <http://www.journal.sci.kmutnb.ac.th>