



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RMUTL Engineering Journal

RMUTL. Eng. J.

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม - ธันวาคม 2560

ISSN 2465-4248

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี RMUTL Engineering Journal

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.นำยุทธ	สงค์ธนาพิทักษ์
Professor Kiyoshi	Yoshikawa
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนิท	พิพิธสมบัติ
ดร.ภาสวรรณ	วัชรดำรงศักดิ์
ดร.กิจจา	ไชยทนต์
ดร.กัญญณัฐ	ศิริธัญญา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชนิตา	โชติเสถียรกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถาวร	ผั่นชมภู
ดร.ยรรยง	เฉลิมแสน
นายภคพงศ์	เพชรบุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ	โสทธิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร	มูลปา
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล	โอฬารไพโรจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	เย็นยงกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมโภชน์	กุลศิริศรีตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นทีชัย	ผัสดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรีดิเรก	มณีวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	สิทธิเจริญ
นายสาคร	ปันตา
นายศรีธร	อุปคำ
ดร. บุปผเวช	พันธุ์ศรี



กองบรรณาธิการ

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สัณณ	เทพหัสดิน ณ อยู่ชยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ดนัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเอเซีย
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ	รุจิณากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Associate Professor Mark	Adom-Asamoah	Kwame Nkrumah University of Science & Technology
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสันย์	วรรณจรรย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต	สิริสิงห์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.จรศักดิ์	โสภากาญจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กานต์	เกิดขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย	เปรมฤดีปรีชาชาญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ	เปรมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์	แก้วดาทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ	บุตรดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์	เจริญสุวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ	รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	ยืนยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์	อินผาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลิ่นประทุม	ปัญญาปิง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	สิทธิเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ	อินต๊ะวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์	มูลปา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา	ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย	ภาพสินธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต	แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ	จารุภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลทรัพย์	ผ่องศรีสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.ฟองจันทร์	จิราสิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.บุปผเวช	พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.ภาณุ	อุทัยศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นายณัฐชาติ	ชูเกียรติขจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวปรีศนา	กุลนลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นายปรัชญ์	ปิยะวงศ์ศาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Mr. Russell	James Pierce	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Miss Kalil	Zender	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ฝ่ายประสานงานและเผยแพร่

นางสาวจิราภรณ์	กันทะใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวอุไรวรรณ	สายะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวจุฑาทิพย์	สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวพิชญา	ศรีพรหมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นายครรชิต	เงินคำคง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาววัลลภา	วงศ์ชายะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



จดหมายจากบรรณาธิการ

ในนามของกองบรรณาธิการของวารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผมรู้สึกดีใจและภูมิใจเป็นอย่างยิ่งที่วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา หรือ RMUTL ENGINEERING JOURNAL (RMUTL.Eng.J) ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ.2560 นี้ได้ถูกเผยแพร่ออกสู่ประชาคมวิจัยของประเทศไทยอีกครั้งโดยที่วารสารวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ยังคงรักษา แนวคิดของการสร้างพื้นที่เพื่อการแบ่งปันองค์ความรู้ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ให้กับผู้ที่มีความสนใจด้วยดีเสมอ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ ได้นำเสนอบทความที่น่าสนใจ จำนวน 7 บทความ โดยมี รายละเอียดของการประยุกต์ใช้งานที่น่าสนใจดังนี้ คือ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรม การส่องสว่าง งานด้านอาหารปลอดภัยและงานด้านเกษตรปลอดภัย สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ กับงานช่วยเหลือผู้บกพร่องทางการมองเห็น งานการพยากรณ์อากาศ รวมไปถึงการสังเคราะห์ภาพและเสียง และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้ประยุกต์ใช้กับงานการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพดที่เหมาะสมสำหรับชุมชน โดยรายละเอียดเริ่มต้นที่บทความรับเชิญ จำนวน 2 บทความ คือ การยับยั้งเชื้อ *E.coli* ในน้ำผลไม้โดยสนามไฟฟ้าพัลส์ ทศนมิติแห่งการประยุกต์พลาสมาจากการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซและของเหลวเพื่อการเกษตร: ตอนที่ 1 การเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืช ในส่วนของบทความวิจัยประกอบด้วย 5 บทความ ซึ่งได้กล่าวถึง การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองลักษณะความ สว่างของระบบไฟถนนไดโอดเปล่งแสง กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย การสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพดให้กับ ชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ตำบลลูกกลางทุ่ง อำเภอเมือง จังหวัดตาก การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการประมวลผลของ Hive-QL ด้วย ORCfile บน Hadoop Cluster การติดตามการสั่นของวัตถุในวิดีโอเรียลไทม์เพื่อสกัดเสียง และบทความวิจัยเรื่องสุดท้ายของฉบับนี้ได้กล่าวถึง ประเมินการวัดความแม่นยำเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้สำหรับโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระราชูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ถูกนำเสนอในวารสารฉบับนี้

ในนามของกองบรรณาธิการและคณะทำงานที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 นี้ ผมขอขอบคุณนักวิจัยที่ได้ให้ความสนใจในการเขียนบทความต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้และขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินบทความผู้ทรงเกียรติที่ได้ให้คำแนะนำพร้อม กับให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อทำให้บทความต้นฉบับมีความสมบูรณ์พร้อมกับการทำให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL.Eng.J) นี้จะได้สร้างคุณประโยชน์ต่อประชาคมวิจัย ชุมชนและประเทศชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน
บรรณาธิการ

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2560

บทความรับเชิญ

- การยับยั้งเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้โดยสนามไฟฟ้าพัลส์ 1
ชัชวาลย์ กันทะลา นิตกร วงศ์จันทร์แก้ว พานิซ อินตะ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
- ทัศนมิติแห่งการประยุกต์พลาสมาจากการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซและของเหลวเพื่อการเกษตร: 11
ตอนที่ 1 การเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืช
ชาญชัย เดชธรรมรงค์

บทความวิจัย

- การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองลักษณะความสว่างของระบบไฟถนนไดโอดเปล่งแสง 25
กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
พงศกร พันภัย พงษ์ชัย สืบสาร และ วิฑูรย์ พรหมมี
- การสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด ให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก 37
ภาคภูมิ ใจชมพู ไพฑูรย์ อุดมเกตุ นฤตม์ คล้ายเคลื่อน จิรวัดน์ วรวิชัย และ จุมพล ชัยประเดิมศักดิ์
- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการประมวลผลของ Hive-QL ด้วย ORCfile บน Hadoop Cluster 43
พันธิการ์ วัฒนกุล กฤษณ์วรา รัตนโอภาส และ สุริรัตน์ แก้วศิริ
- การติดตามการสั้นของวัตถุในวิดีโอเียบเพื่อสกัดเสียง 53
ธนสนี เพียรตระกูล ภัทราวุธ คุณวิภูษิต อมร มิสรา และ กฤษณ์ เจริญสาธิต
- ประเมินการวัดความแม่นยำเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้สำหรับโรงเรียนสอนคนตาบอด 63
ภาคเหนือในพระราชานุอุปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่
ยุพดี หัตถสิน วัชรินทร์ ปรีดี และ สามารณ อินซื่อน



RMUTL. Eng. J

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

การยับยั้งเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้โดยสนามไฟฟ้าพัลส์

Inhibition of *Escherichia coli* in Fruit Juices by Pulsed Electric Fields

ชัชวาลย์ กันทะลา¹ นิติกร วงศ์จันทร์แก้ว² พานิช อินตะ^{3*} และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

²บริษัท ไดอิเล็กทริก เทคโนโลยี จำกัด เลขที่ 5 ถนนชมดอย ต. สุเทพ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

^{3*}วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220

Chatchawan Kantala¹, Nitikorn Wongjankeaw, Panich Intra^{3*} and Phadungsak Rattanadecho¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Klong-Luang, Pathumthani, 12120, Thailand

²Dielectric Technology.co.,LTD, 5 Chomdoi Rd., T. Suthep , A. Muang , Chiang Mai, 50200, Thailand

^{3*}College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna,
Chiang Mai, 50220, Thailand

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: panich_intra@yahoo.com เบอร์โทรศัพท์ 08-9755-1985

บทคัดย่อ

ศึกษาการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *E. coli* ในน้ำส้มและน้ำฝรั่งโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ ดำเนินการทดลองโดยเติมเชื้อ *E. coli* ลงไปในน้ำส้มและน้ำฝรั่งปริมาณ 10^6 CFU/ml จากนั้นนำมาทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ความเข้ม 20 kV/cm ความถี่ 1 เฮิรท์ ที่จำนวนพัลส์ 500, 600, 700, 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแบบ nonselective ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ โดยการเลี้ยงเชื้อบนอาหารแข็งบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนับจำนวนเซลล์แบคทีเรียเริ่มต้นและยังมีชีวิตอยู่ ผลการศึกษาพบว่าสนามไฟฟ้าพัลส์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้ทั้งสองได้ถึง 6 log reduction ความถี่ 1 เฮิรท์ และจำนวนพัลส์มากกว่า 600 พัลส์

คำสำคัญ จุลินทรีย์อีโคไล น้ำผลไม้ สนามไฟฟ้าพัลส์ การยับยั้งเชื้อ

Abstract

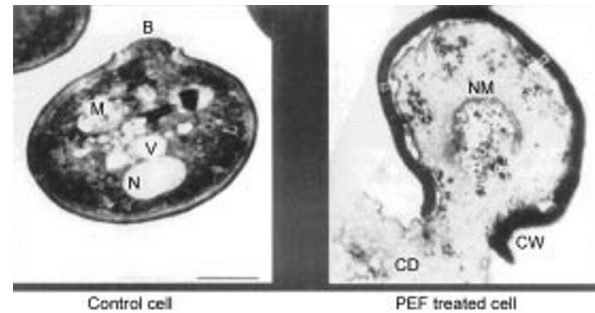
The study of inhibition of a bacteria, *E. coli*, in orange and guava juices by pulse electric field was experimented. The experiment was done by inoculation *E. coli* about 10^6 CFU/ml. Both of bacteriums were determined for their *E. coli* inhibition by pulsed electric field strength about 20 kV/cm with the frequency of 1 Hz at five pulse numbers including 500, 600, 700, 800 and 900 pulses, respectively. Total bacteria plate count performed by using nonselective growth technic by culture them on nutrient agar before then incubated at 37°C for 24 hrs to measure the initial and surviving number cells. The results found that PEF inhibited the inoculated bacteria in both of juices about 6 logarithmic at the frequency of 1 Hz with pulse number greater than 600 pulses.

Keywords: *E. coli*, juice, pulsed electric field, inhibition.

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคนิยมเลือกอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตที่น้อยที่สุด เพื่อให้อาหารมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับอาหารสดและลดปริมาณการใช้สารเคมีกันบูด [1] น้ำผลไม้ก็เป็นหนึ่งในนั้นที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมผู้บริโภคที่ต้องการคุณภาพของอาหารที่จะเลือกรับประทาน โดยน้ำผลไม้จะผลิตจากผลไม้และเก็บรักษาในกระบวนการที่มีการรักษาความเย็นและอาจมีอายุการเก็บรักษาที่ไม่ยาวนานนัก ด้วยเหตุผลนี้การยืดอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้ จำเป็นต้องทำการหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ โดยวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ และการสเตอริไรซ์ ซึ่งจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม [2-3] ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการถนอมหรือเก็บรักษาอาหารเหลว เป็นการใช้ความร้อนเป็นตัวกลางในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้สูญเสียรสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเหลวไป ดังนั้นจึงมีระบบพาสเจอร์ไรซ์อีกทางเลือกหนึ่งซึ่งใช้พลังงานต่ำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) เป็นระบบที่ใช้อุณหภูมิต่ำ โดยไม่ผ่านความร้อน ไม่มีกระบวนการทางเคมี ทำให้เป็นระบบที่มีผลกระทบน้อย กระบวนการของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์จะใช้ระยะเวลาสั้นๆ (1-20 μ s) และสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูง (ประมาณ 20-50 kV/cm) ลงไปในอาหารเหลวเพื่อฆ่าแบคทีเรีย รา หรือจุลินทรีย์อื่นๆ โดยการแทรกซึมสนามไฟฟ้าผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ที่เรียกว่าอิเล็กโทรโพลีเซชัน (electroporation) ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากพัลส์ที่ใส่ลงไปมีความถี่สูง ทำให้มีผลกับของเหลวทั้งหมดที่อยู่รอบในกระบวนการสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นั้น จะสามารถฆ่าเชื้อได้ด้วยอัตรา 5 ถึง 9 log ซึ่งได้ผลที่ใกล้เคียงกับการฆ่าเชื้อโดยระบบพาสเจอร์ไรซ์ [4]

จากการสืบค้นผลงานวิจัย เกี่ยวกับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ พบว่ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการผลิตในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง [5]-[10] อาทิเช่น พานิช อินต๊ะ และคณะ [5] ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อ *E. coli* สำหรับการพาสเจอร์ไรซ์ชาสมุนไพรด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ โดยมีระบบการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ ท้องยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และระบบการไหลของของไหล โดยปั๊มจะดูดเอาน้ำชาสมุนไพรเข้าไปในท้องยับยั้งเชื้อ โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงที่ชั่ว



รูปที่ 1 แสดงอิเล็กโทรโพลีเซชันของเซลล์ก่อนและหลังผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ [4]

อิเล็กโทรดประมาณ 20 kV/cm พบว่า ประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อ *E. coli* เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้าและจำนวนพัลส์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำชาสมุนไพรทำให้การยับยั้งเชื้อ *E. coli* ลดลง อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2-3 °C ภายหลังผ่านกระบวนการ และสามารถยับยั้งเชื้อได้ 1.64 log reduction ที่เวลา 30 นาที R.A.H Timmermans et al. [6] ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบของจุลินทรีย์และตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพในกระบวนการผลิตน้ำส้มผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิต่ำ (mild heat pasteurization) กระบวนการผ่านความดันสูง (high pressure processing) และกระบวนการผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) พบว่า ปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการทั้ง 3 ลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทันทีหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ Concepcion Sanchez-Moreno et al. [6] ได้ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น วิตามินซี คาโรทีนอยด์ (carotenoids) ฟลาโวนอน (flavonones) และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) ในน้ำส้ม เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ในเทคโนโลยีการผลิตรูปแบบต่างๆ ได้แก่ วิธีการใช้ความดันสูง (high pressure) การใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric fields) การพาสเจอร์ไรส์ที่ความร้อนต่ำ (low pasteurization) การพาสเจอร์ไรส์ที่ความร้อนสูง (high pasteurization) การใช้วิธี HPT ร่วมกับการแช่แข็ง (high pasteurization+freezing) และวิธีการแช่แข็ง (freezing) กล่าวโดยสรุปพบว่า HP และ PEF เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากกว่า HPT ในการรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และ (radical scavenging capacity : RSC) ของน้ำส้มคั้นสด Jonathan Mosquea-Melgar et al. [7] ในงานวิจัยนี้มีการนำเอาเทคโนโลยีการใช้สนามไฟฟ้าพัลส์



ความเข้มข้นสูง มาใช้ร่วมกับสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ [กรดซิตริก (citric acid) หรือ น้ำมันจากเปลือกอบเชย (cinnamon bark oil)] เพื่อดูผลกระทบกับอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้ซึ่งประกอบไปด้วย สตรอเบอร์รี่ ส้ม แอปเปิ้ล ลูกแพร์ และมะเขือเทศ รวมถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับรสชาติสัมผัสต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ รวมถึงศึกษาถึงการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้ต่างๆ โดยกรรมวิธีสนามไฟฟ้าพัลส์ความเข้มข้นสูง ที่มีการใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ร่วมด้วย และกรรมวิธีที่ไม่ได้ใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้สดที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อ จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติในน้ำผลไม้ถูกยับยั้งโดยกรรมวิธีสนามไฟฟ้าพัลส์ความเข้มข้นสูง จากผลการทดลองในน้ำผลไม้ทั้งหลาย พบว่า น้ำสตรอเบอร์รี่และน้ำส้มสามารถเก็บได้นานถึง 91 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C ส่วนน้ำผลไม้ชนิดอื่นได้แก่แอปเปิ้ล ลูกแพร์ และมะเขือเทศได้ผลในการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในระดับเดียวกันถ้าใช้กรรมวิธีสนามไฟฟ้าพัลส์ความเข้มข้นสูง ร่วมกับการใส่สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนการใช้ความร้อนในการพาสเจอร์ไรส์ได้ โดยที่ยังคงคุณภาพในความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ และไม่พบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในเชิงรสชาติสัมผัส ภายหลังผ่านกรรมวิธีสนามไฟฟ้าพัลส์ความเข้มข้นสูง แต่ในกรรมวิธีที่มีการเติมกรดซิตริก หรือน้ำมันเปลือกอบเชยลงไป มีผลทำให้รสชาติสัมผัสบางอย่างเปลี่ยนไปเช่น กลิ่น รส และความเปรี้ยวที่เพิ่มมากขึ้น Clara Cortes et al. [8] ได้ศึกษาระบบสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูง (HIPEF) ในการประเมินผลกระทบต่อสี ปฏิบัติการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และ ปริมาณของสารไฮดรอกซิลเมทิลเพอร์ฟิวรอล ในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และกระบวนการ HIPEF ระหว่างช่วงการเก็บรักษา 7 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 2 และ 10 °C จากผลที่ได้ น้ำส้มพาสเจอร์ไรส์มีแนวโน้มที่ทำให้ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่าสีแดงลดลง เมื่อเทียบกับน้ำส้มคั้นสด ในขณะที่น้ำส้มผ่านสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูงมีสีที่ใกล้เคียงกับน้ำส้มคั้นสด ในระยะการเก็บรักษาน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์มีการเปลี่ยนแปลงของสีของมากกว่าน้ำส้มที่ผ่านสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูง น้ำส้มที่ไม่ผ่านความร้อนมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้อง กับ เอนไซม์ (nonenzymatic browning) น้อยกว่าน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์

อย่างไรก็ตามพบค่าการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีสีน้ำตาลนี้ในน้ำส้มทุกชนิดหลังจากสัปดาห์ที่ 4 ที่อุณหภูมิ 10 °C ส่วนที่อุณหภูมิ 2 °C สามารถคงค่าสีน้ำตาลได้นานกว่า และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระดับปริมาณของสารไฮดรอกซิลเมทิลเพอร์ฟิวรอล ทั้งในน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์และน้ำส้มผ่านปริมาณของสารไฮดรอกซิลเมทิลเพอร์ฟิวรอลเมื่อเทียบกับน้ำส้มคั้นสด จากการทดสอบระดับปริมาณของสารไฮดรอกซิลเมทิลเพอร์ฟิวรอลในน้ำส้มทุกชนิดต่ำกว่าระดับที่กำหนด ในขณะที่แซนเฮน Heinze et al. [9] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับอัตราการตายจากการพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิ้ล โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยประยุกต์หลักการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ สำหรับการพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิ้ลเพื่อกำจัดเชื้อ *E. coli* โดยใช้อุณหภูมิรวมที่ 35-36 °C พบว่าสามารถยับยั้งปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลงจาก 100 ให้น้อยกว่า 40 kJ/kg และตรวจสอบการฆ่าเชื้อโดยดูจากอัตราการตายที่ลดลงใน 6 log Cycles ตามกราฟแสดงอัตราการตายแล้วเปรียบเทียบกับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบใช้ความร้อน พบว่า การพาสเจอร์ไรส์แบบให้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ มีประสิทธิภาพในการจำกัดเชื้อได้ดี และผลิตภัณฑ์ที่ได้เหมือนสดใหม่ และยังคงการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ Oziembowski and Kopec [10] ได้ทำการศึกษาเรื่องวิธีถนอมอาหารโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ พบว่าจากการศึกษาเทคโนโลยีสามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อในอาหารหรือใช้ในการบรรจุภัณฑ์ ฯลฯ เช่น เทคโนโลยีการฉายรังสี การใช้แรงดันสูง พัลส์ความเข้มข้นสูง และสนามแม่เหล็ก แต่การศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นในเรื่องเทคโนโลยีความดันสูง และเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถฆ่าเชื้อโดยไม่ใช้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการฆ่าเชื้อจะยังรักษาอาหารและวิตามินให้คงอยู่รวมถึงคุณค่าทางประสาทสัมผัส แต่อาจไม่สามารถยับยั้งสปอร์ของเชื้อไว้ได้ Jeyamkondan et al. [11] ได้ศึกษาเรื่องการพาสเจอร์ไรส์อาหารเหลวโดยใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ พบว่าการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ เป็นการพาสเจอร์ไรส์โดยไม่ใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การพาสเจอร์ไรส์เย็น ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ทำลายเชื้อหุ้มเซลล์จนแตกส่งผลให้เซลล์ตาย ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อสั้น

ในบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้โดยสนามไฟฟ้าพัลส์ ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้น้ำผลไม้ส้มและน้ำฝรั่งแท้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการเติมเชื้อ *E. coli* ลงไปในน้ำผลไม้ทั้งสองชนิดปริมาณ 10^6 CFU/ml และทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ภายในห้องยับยั้งเชื้อโดยใช้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ 20 kV/cm ความถี่ 1 Hz ซึ่งจะทำให้ทราบถึงการลดลงของเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำผลไม้ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์

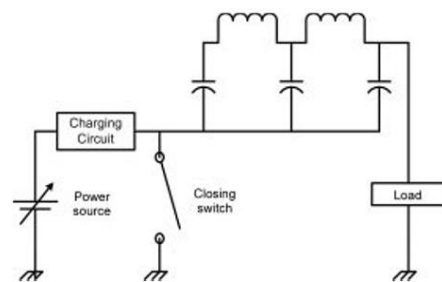
2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎี

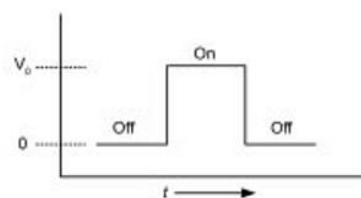
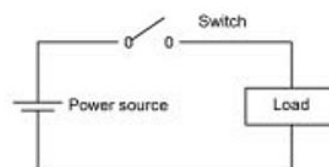
ในระบบพัลส์มีส่วนประกอบหลักอยู่สามส่วน ส่วนแรกคือแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงสำหรับระบบสนามไฟฟ้าพัลส์ ซึ่งเป็นส่วนที่จะแปลงกระแสสลับจากสัญญาณไฟฟ้าทั่วไปเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง ส่วนที่สองของระบบคือโมดูเลเตอร์พัลส์ (pulse modulator) ซึ่งจะแปลงจากไฟกระแสตรงไปเป็นไฟแบบพัลส์ที่มีแรงดันยอดสูงรูปที่ 2 ก. วงจรโมดูเลเตอร์แบบ (pulse forming network) ด้วยสวิตช์แบบปิด รูปที่ 2 ข. แบบฮาร์ดสวิตช์ (hard switch) และรูปที่ 2 ค. แบบการเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลง (transformer coupled system) การออกแบบทั้งสามนี้ได้สรุปวงจรโมดูเลเตอร์แต่ละแบบได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 ส่วนสุดท้ายคือห้องฆ่าเชื้อ (treatment chamber) ซึ่งเป็นที่ที่สารเหลวจะได้รับสนามไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์

ตารางที่ 1 การประเมินค่าของโมดูเลเตอร์ในรูปแบบต่างๆ โดยให้คะแนนเป็น สูง(H) กลาง(M) ต่ำ(L) [4]

Architecture	Voltage flattop	Rise/fall time	Variable load impedance	Pulsewidth flexibility	High frequency	Reliability/lifetime
PFN/Pulse transformer						
Spark gap	M	H	L	L	L	L
SCR	M	H	L	L	M	H
Thyatron	M	H	L	L	L	L
Hybrid modulator						
IGBT	H	M	M	M	M	H
Tetrode (vacuum tube)	H	M	M	M	M	M
Hard switch						
IGBT	H	H	H	H	H	H
Tetrode (vacuum tube)	H	H	M	H	M	M



ก.



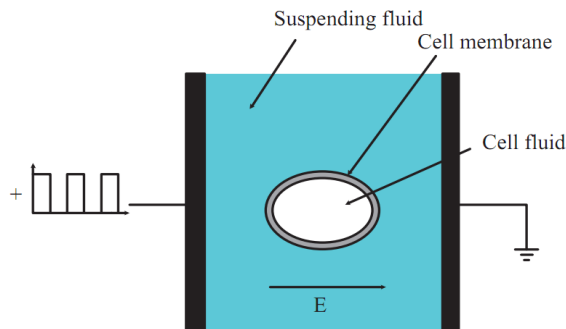
ข.



ค.

รูปที่ 2 ก. วงจรโมดูเลเตอร์แบบ PFN ด้วยสวิตช์แบบปิด ข. วงจรโมดูเลเตอร์แบบฮาร์ดสวิตช์ และ ค. วงจรโมดูเลเตอร์แบบการเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลง [4]

การยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางซ้อนกันโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขั้วหนึ่ง และอีกขั้วหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ (ground) ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยการยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field treatment) คือการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเหลวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชัน (electroporation) โดยการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าและสภาพการยอมไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์หรือเป็นช่วงเวลาเกิดจากการจ่ายพัลส์แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า (electric field strength) สูงประมาณ 40 kV/cm และมีลักษณะเป็นพัลส์ในช่วงประมาณ 10 ns และ 20 μ s [5]

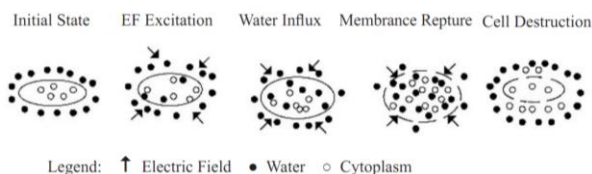


รูปที่ 3 หลักการยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ [5]

สนามไฟฟ้าพัลส์ที่มีความเข้มสูงในนี้จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงเกินกว่าค่าความคงทนของไดอิเล็กตริก (dielectric strength) ของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดรูพรุน (pores) เล็กๆ จำนวนมากขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ รูพรุนดังกล่าวจะนำไปสู่กระบวนการของเซลล์ (programmed cell death) ซึ่งมีสองลักษณะคือ อะพอพโตซิส (apoptosis) และเนโครซิส (necrosis) โดยลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโตรโพรเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์จุลินทรีย์แสดงไว้ในรูปที่ 4 โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จาก [12]

$$V_{\text{cell}} = f r_{\text{cell}} E_{\text{cell}} \quad (1)$$

เมื่อ V_{cell} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์
 f คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์
 r_{cell} คือรัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์
 E_{cell} คือค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์



รูปที่ 4 ลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโตรโพรเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์จุลินทรีย์ [13]

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของเซลล์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ [13]

เชื้อจุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	ความยาว (μm)	แรงดันสูงสุด (V)
<i>E. coli</i>	1.15	6.9	0.26
<i>K. pseudomona</i>	0.83	3.2	1.26
<i>P. aeruginosa</i>	0.73	3.9	1.25
<i>S. aureus</i>	1.03	-	1.00
<i>L. momocytogenesl</i>	0.76	1.7	0.99
<i>C. albicans</i>	4.15	-	2.63

จากตารางที่ 2 แสดงขนาดของเซลล์และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนจนทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกกับไซโทพลาซึม (cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นและนำไปสู่การเบรกดาวน์ของเยื่อหุ้มเซลล์การเกิดรูพรุนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดสนามไฟฟ้า โดยลักษณะของการเกิดรูพรุนแบบไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และ ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) โดยพลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความนำไฟฟ้า อัตราการไหลของอาหารเหลว และความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งในทางทฤษฎีสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ที่ใช้ในการสร้างพัลส์ของสนามไฟฟ้าของห้องยับยั้งเชื้อได้จากสมการ [14]

$$P_{\text{max}} = 2k\pi\sigma E^2 (Q/\pi V)^{3/2} \quad (2)$$

เมื่อ P_{max} คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด
 Q คืออัตราการไหลของอาหารเหลว
 E คือความเข้มสนามไฟฟ้าของห้องยับยั้งเชื้อ
 σ คือค่าความนำไฟฟ้าของอาหารเหลว
 V คือความเร็วในการไหลอาหารเหลว
 k คือสัดส่วนของความยาว (L) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของห้องยับยั้งเชื้อคือ

$$k = L/D \quad (3)$$

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

เชื้อจุลินทรีย์ *E. coli* (TISTR 117) ได้จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยเลี้ยงในอาหารเหลว (nutrient broth, NB) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถ่ายเชื้อมาเลี้ยงบนอาหารแข็ง (nutrient agar, NA) เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นถ่ายเชื้อเลี้ยงในอาหารเหลว (รูปที่ 6) โดยจะเติมเชื้อลงในน้ำผลไม้สด 1 ต่อ 10 นำน้ำส้มและน้ำฝรั่งบรรจุลงในภาชนะฆ่าเชื้อเพื่อผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยคำนวณเติมปริมาณเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้ให้มีค่าเท่ากับ 10^6 CFU/ml จากสมการ

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (4)$$

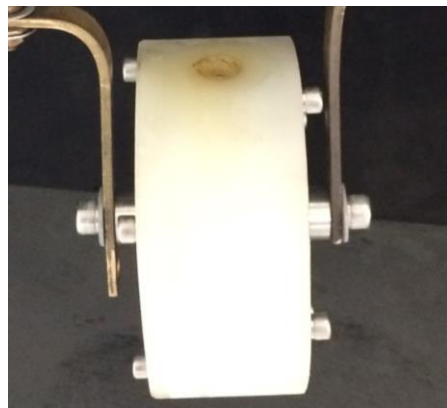
เมื่อ C_1 คือความเข้มข้นของเชื้อ *E. coli* ที่คำนวณได้
 V_1 คือปริมาณของเชื้อ *E. coli* ที่ต้องการใช้
 C_2 คือความเข้มข้นของเชื้อ *E. coli* ที่ต้องการ
 V_2 คือปริมาณน้ำผลไม้



รูปที่ 5 ลักษณะเชื้อ *E. coli* บนอาหารแข็ง



รูปที่ 6 น้ำส้มและน้ำฝรั่งที่เติมเชื้อจำนวน *E. coli* 10^6 CFU/ml



รูปที่ 7 ภาชนะทดลองฆ่าเชื้อขนาด 100 ml

เมื่อทำการเติมเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้เสร็จแล้วก็นำไปทดสอบผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยใช้ความเข้มของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ 20 kV/cm และปรับเปลี่ยนปริมาณพัลส์ที่ 500 600 700 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 หลังจากนั้นจะนำน้ำผลไม้ที่ผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์มาทำการเจือจางลำดับส่วนที่ 10 และ 100 เท่า และ Spread plate เพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 37 °C เวลา 18-24 ชั่วโมง ต่อไป



ตารางที่ 3 รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลอง

รายละเอียด	ช่วงการทดสอบ
ชนิดของอาหารเหลว	น้ำส้ม และน้ำฝรั่ง
เชื้อจุลินทรีย์	<i>E. coli</i>
ความเข้มของสนามไฟฟ้า	20 kV/cm
แรงดันพัลส์	20 kV
ความกว้างของพัลส์	2.5 ms
ความถี่ของพัลส์	1 Hz
จำนวนพัลส์	500 - 900 พัลส์
ความจุของห้องฆ่าเชื้อ	100 ml

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากตารางที่ 4 แสดงปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* หลังผ่านสนามไฟฟ้าพัลส์ที่จำนวนพัลส์ต่างๆ โดยที่น้ำส้มและน้ำฝรั่งที่เติมเชื้อ *E. coli* เข้าไป 10^6 CFU/ml และนำไปผ่านสนามไฟฟ้าพัลส์ ที่จำนวนพัลส์ 500 600 700 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ พบว่าที่ 500 พัลส์ ไม่สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ ส่วนจำนวนพัลส์ที่ 600 700 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้เท่ากันถึง 6.00 log reduction ดังแสดงผลการฆ่าเชื้อภายหลังผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในรูปที่ 6 และยังพบอีกว่าน้ำผลไม้ทั้งน้ำส้มและน้ำฝรั่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการ ที่จำนวนพัลส์ 500 600 700 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.7 45.7 55.4 61.0 และ 64.4 °C เนื่องจากไม่ได้หล่อเย็นห้องฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อ *E. coli* และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายหลังผ่านสนามไฟฟ้าพัลส์ที่จำนวนพัลส์ต่างๆ

จำนวนพัลส์	อุณหภูมิเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการ (°C)	การลดลงของเชื้อ <i>E. coli</i> (log)	
		น้ำส้ม	น้ำฝรั่ง
500	38.7	NA	NA
600	45.7	6.00	5.99
700	55.4	6.00	6.00
800	61.0	6.00	6.00
900	64.4	6.00	6.00

จากรูปที่ 8 แสดงงานเพาะเชื้อที่มีการเติมเชื้อ *E. coli* น้ำส้ม และน้ำฝรั่ง ที่ผ่านกระบวนการยับยั้งการเจริญเติบโต

ของเชื้อฯ โดยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ซึ่งทำการตรวจสอบการเจริญเติบโตด้วยการ Spread plate บ่มไว้ ที่อุณหภูมิ 37 °C เวลา 18-24 ชั่วโมง โดยน้ำส้มและน้ำฝรั่งที่เติมเชื้อ *E. coli* เข้าไป 10^6 CFU/ml พบว่า Control ของน้ำผลไม้ทั้งสองเกิดโคโลนีของเชื้อ *E. coli* อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งเมื่อนำน้ำผลไม้ดังกล่าวไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโดยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่จำนวนพัลส์ 500 พัลส์ ยังคงมีเชื้อหลงเหลืออยู่ซึ่งไม่สามารถนับได้ (Colony > 300) แต่เมื่อนำน้ำผลไม้ทั้งสองไปทดสอบที่จำนวนพัลส์ 600 700 800 และ 900 พัลส์ ตามลำดับ สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ เนื่องจากเชื้อ *E. coli* เมื่อได้รับสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ การแทรกซึมสนามไฟฟ้าผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (electroporation) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงเกินกว่าค่าความคงทนของไดอิเล็กตริกของเยื่อหุ้มเซลล์และส่งผลทำให้ผนังเซลล์เกิดรูพรุนและรั่ว [5, 13] ทำให้เชื้อ *E. coli* ไม่สามารถที่จะเจริญเติบโตต่อไปได้ หรือนั่นเอง โดยสามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ถึง 6 log reduction

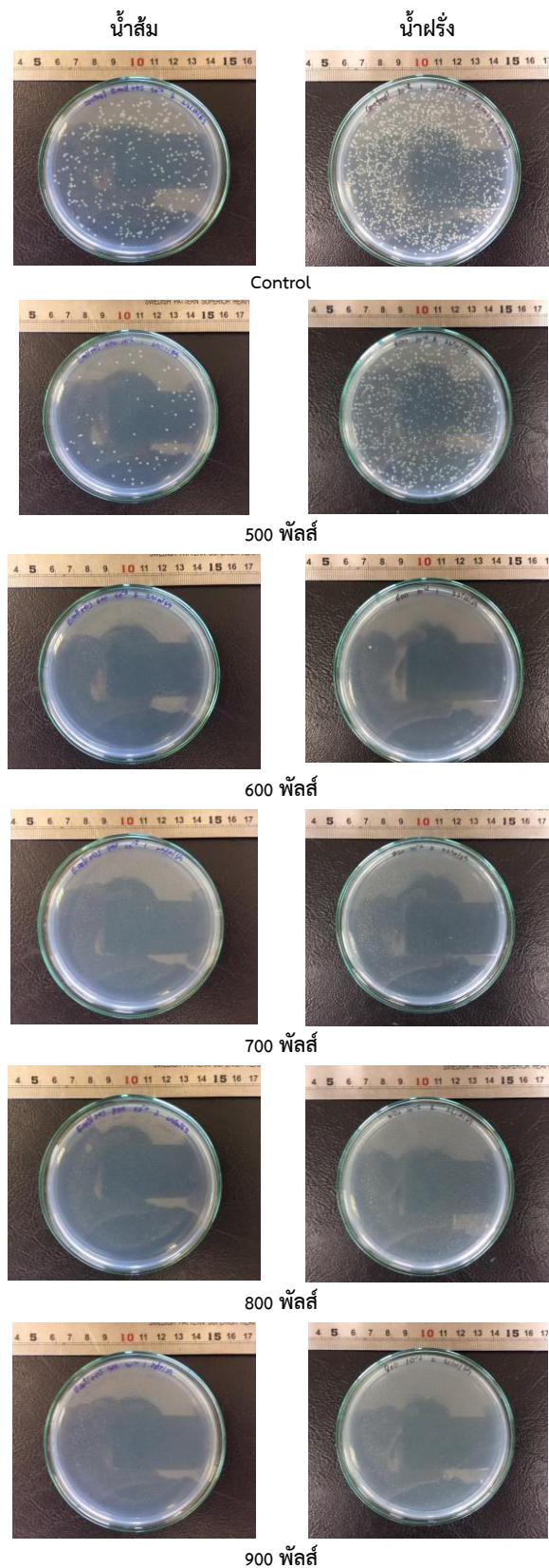
4. บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่า จำนวนพัลส์ที่ 500 ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้สองชนิดได้ และจำนวนพัลส์ที่มีค่าไม่น้อยกว่า 600 พัลส์ สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ในน้ำผลไม้ทดลอง ได้ 6 log reduction ซึ่งผ่านมาตรฐานที่กฎหมายได้กำหนดเป็นข้อบังคับในการผลิตอาหารเหลวจะต้องลดจำนวนจุลินทรีย์ได้อย่างน้อย 100,000 เท่า (5 log reduction) อย่างไรก็ตามการทดลองในครั้งนี้ไม่ได้ทำการหล่อเย็นห้องฆ่าเชื้อ จึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นขณะทำการทดลอง โดยการศึกษาในครั้งต่อไปควรมีการปรับปรุงเรื่องระบบหล่อเย็นของห้องฆ่าเชื้อเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเกิดขึ้นในน้ำผลไม้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมจาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) รหัสโครงการ P-15-51038 ขอขอบคุณหน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือ และ
สถานที่ในการทดสอบครั้งนี้



รูปที่ 8 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อ *E. coli* น้ำส้ม และน้ำฝรั่ง
โดยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Allende A. Tomas-Barberan FA, Gil MI. Minimal Processing for Healthy Traditional Foods. Trends in Food Science and Technology. 2006;17:513-519.
- [2] Pasteurization Available form :<http://www.horapa.com/webboard/show.php?No=190> [Accessed 27th November 2016]
- [3] Pasteurization Available form :<http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet4/cell/past.htm> [Accessed 27th November 2016]
- [4] Kempkes M. A., Pulsed electric field (PEF) systems for commercial food and juice processing, Diversified Technologies, Inc., USA: Woodhead Publishing Limited, 2010
- [5] Intra P, Yawootti A, Asanavijit V, Manopian P, Pengmanee C, Somsri N. Inactivation of *E. coli* in Milk Tea Undergoing Pulsed Electric Field Pasteurization, KMUTNB J.2015; Vol. 25, No. 3, Sep. - Dec. Thai.
- [6] SANCHEZ-MORENO C, PLAZA L, ELEZ-MARTINEZ P, DE ANCOS B, MARTIN-BELLOSO O, PILAR CANO M. Impact of High Pressure and Pulsed Electric Fields on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Orange Juice in Comparison with Traditional Thermal Processing, J of Agr and F Chem. 2015; 53, 4403-4409, June
- [7] Mosquea-Melgar J, Raybaudi-Massilia R M, Martin-Belloso L. Microbiological shelf life and sensory evaluation of fruit juices treated by high-intensity pulsed electric fields and antimicrobials, f and bio proc.2012; 205-214
- [8] Cortes C, Esteve M J, Frigola A. Color of orange juice treated by High Intensity Pulsed Electric Fields during refrigerated



- storage and comparison with pasteurized juice, *F Con.* 2008 (19); 151–158
- [9] Heinz V, Toepfl S, Knorr D. Impact of Temperature on Lethality and Energy Efficiency of Apple Juice Pasteurization by Pulsed Electric Fields Treatment, 2003; *Inno F Sci and En Tech.* 2003; vol. 4, 167-175
- [10] Oziemblowski M., Kopec W. Pulsed Electric Fields (PEF) as an Unconventional Method of Food Preservation, *Pol J of F and Nut Sci.* 2005; vol. 14/55, SI 1, 31-35
- [11] Jeyamkondan S, Jayas D.S, Holley R.A. Pulsed Electric Field Processing of Foods: A Review, *J of F Pro Mark*, 1999; vol. 62, 1088-1096
- [12] Panyamuangjai V, Janthara S, Kusuya R, Yawootti A., Intra P. Application of Pulsed Electric Field for Milk Pasteurization, *KMUTT Res and Dev J*, 2012; vol. 35, no. 4, 469-484, Thai.
- [13] Barbosa-canovas G.V, Pothakamury U.R. Palou E, Swanson B.G. Non-thermal Preservation of Food, New York: Marcel Dekker, 1998.
- [14] Addeo K. M. Process for the use of pulsed electric fields coupled with rotational retorting in processing meals ready to eat (MRE). U.S., US6083544A (Patent) 2000.



ทัศนมิติแห่งการประยุกต์พลาสมาจากการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซและของเหลวเพื่อการเกษตร: ตอนที่ 1 การเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืช

A Perspective on the Gas and Liquid Electrical Discharge of Plasma for Agriculture Applications: Part I. Enhancement of Yield in Plant Lifecycle

ชาญชัย เดชธรรมรงค์ *

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Chanchai Dechthummarong *

High Voltage Engineering Laboratory

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: chancmth@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 2044

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนกรณีศึกษาเทคโนโลยีการประยุกต์พลาสมากับงานวิจัยด้านวัฏจักรชีวิตพืช รวมถึงผลเบื้องต้นของสิ่งประดิษฐ์เครื่องต้นแบบที่มีศักยภาพสำหรับกำเนิดพลาสมาในก๊าซและของเหลวด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งถูกสร้างขึ้นใช้เองในประเทศ เพื่อนำไปประยุกต์กับงานวิจัยด้านการเกษตรของไทย โดยเฉพาะการเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืช ซึ่งเป็นสหวิทยาการใหม่และเป็นโจทย์ที่น่าท้าทายในระดับห้องปฏิบัติการวิจัยเพื่อนำไปสู่กระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ในอดีตพลาสมามักถูกนำไปใช้กับงานยับยั้งหรือฆ่าจุลินทรีย์ขนาดเล็กในก๊าซหรือน้ำ แต่อีกมุมมองหนึ่งในปัจจุบันและแนวโน้มการวิจัยในอนาคตจะมีการนำเทคโนโลยีพลาสมาไปเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะในพืชอย่างครบวงจร เริ่มตั้งแต่การปรับสภาพเมล็ดพืชให้งอกได้ดี ปลอดภัยจากเชื้อต่างๆ และมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น ในกรณีของการเจริญเติบโตเป็นลำต้นของพืช พลาสมาไม่เพียงแต่สามารถยับยั้งเชื้อโรคขนาดเล็กที่อยู่บนดิน น้ำ และอากาศ ยังสามารถเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดที่จำเป็นให้กับพืชเพื่อใช้ในการเพาะปลูกได้อีกด้วย หลังการเก็บเกี่ยวพืชพลาสมายังถูกนำมาใช้ในการคงรักษาสภาพความสดชื่นต้นของผักและผลไม้ พลาสมาจึงน่าจะเป็นที่มีบทบาทและศักยภาพในการช่วยลดต้นทุนด้านการใช้สารเคมีในวัฏจักรชีวิตพืช การเก็บรักษาและการขนส่งสินค้าทางการเกษตรในอนาคต

คำสำคัญ การประยุกต์พลาสมา พลาสมาความดันบรรยากาศ การปรับสภาพทางเคมีด้วยพลาสมา การปล่อยประจุไฟฟ้าพลาสมาในก๊าซ การปล่อยประจุไฟฟ้าพลาสมาได้น้ำ การเพาะปลูกพืช การเกษตร เทคนิคไฟฟ้าแรงดันสูง

Abstract

The objective of this paper is the recent literature review of increasing agricultural productivity of the whole plant lifecycle by using the non-thermal atmospheric pressure plasma (NTAPP) technology. Moreover, this paper also presents all of current NTAPPs in gas and liquid that are inventing at High Voltage Engineering Laboratory, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand. Our NTAPPs are potential

approaches designed to keep moving forward for applying in advanced research of agriculture works in the future. Accordingly, the NTAPPs' approaches are presented here, along with the preliminary results. In the past plasma gas or liquid discharge from high voltage for agricultural applications usually used to inactivate or kill microorganisms and pathogens in the water or gas. However, another outlook on future research activities in novel developments for increasing agricultural productivity of the whole plant lifecycle by using the non-thermal atmospheric pressure plasma (NTAPP) technology will trend to potentially fulfill the need of industrial agriculture. The recent literature review during the past half-decade of research investigations shown that NTAPP offered the interest of enhancing the nutrition characteristics of seeds, increasing seed germination rate. Furthermore, NTAPP can apply for increasing plant growth rate and nutritional yield and subsequently agriculture produce quality. NTAPP not only can inactivate microorganisms on the surfaces or in the water but also can fix some nutrients necessary for plants to grow in the soil and water. After the harvest, the NTAPP has been used to maintain the freshness of the vegetables and fruits that has the benefit to reduce costs of storage and transportation.

Keywords: plasma applications, atmospheric pressure plasmas, chemical plasma treatment, gas discharge plasma, underwater electrical discharge plasma, plant cultivation, agriculture, high voltage techniques.

1. บทนำ

ในยุคศตวรรษที่ 21 ผู้บริโภคเลือกให้ความสนใจเกี่ยวกับความปลอดภัยจากการใช้สารเคมีตกค้างในพืชเพิ่มมากขึ้น เน้นคุณค่าโภชนาการของอาหารที่มาจากพืชและปราศจากเชื้อโรค [1] ในขณะเดียวกันกับประชากรผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรมมีจำนวนลดลง [2] สวนทางกับการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก [3] เพื่อความพอเพียงอย่างยั่งยืน จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อเพิ่มสมรรถนะอัตราการผลิตด้านสินค้าการเกษตรให้มากขึ้น และประยุกต์เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าซึ่งมีศักยภาพต่อการเพาะพันธุ์พืช เพื่อการสร้างผลผลิตอันแข็งแกร่งทางด้านเกษตรกรรมของไทย ในเชิงอุตสาหกรรมส่งออกด้วยเทคโนโลยีที่รับประทานได้ มีทั้งคุณประโยชน์ คุณภาพและปลอดภัย สู้ความต้องการผู้บริโภคในประเทศโลกที่มีแต่จะเพิ่มมากขึ้น

จากวิวัฒนาการวิจัยตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เป็นที่ยอมรับว่าไฟฟ้าแรงดันสูงมีอิทธิพลต่อพืชสอดคล้องกับงานของ Solly, E. [4] ซึ่งอ้างถึงการวิจัยของ Dr. Mainbray of Edinburgh ในปี ค.ศ.1746 ได้ทดลองปล่อยประจุไฟฟ้าไปยังต้นไม้ myrtle ตลอดเดือนตุลาคม พบว่าสามารถกระตุ้นการออกดอกและการเจริญเติบโตของกิ่งก้านได้ยาวเพิ่มขึ้น 2-3 นิ้ว นอกจากนี้ ยังมี

รายงานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ปล่อยประจุไฟฟ้าแรงสูงในบรรยากาศสูงที่สุดในโลก นั่นก็คือ การเกิดฟ้าผ่า ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในราวทศวรรษที่ 1950s Stanley Miller และ Harold Urey ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการปล่อยประจุประกายข้ามในน้ำ ซึ่งมีความผสมทางเคมี อาทิเช่น ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และมีเทน เป็นต้น หลังจากนั้นสองสามวันพบว่าน้ำนั้นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่มีส่วนผสมของกรดอะมิโน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตเกือบทุกประเภทบนโลกนี้ [5]

เทคโนโลยีด้านการประยุกต์สนามไฟฟ้าสถิตย์หรือสนามแม่เหล็กเพื่องานด้านการเกษตรได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจวบจนปัจจุบัน ในบทความนี้ขอยกตัวอย่างพอสังเขป เช่น การใช้ไฟฟ้าสถิตย์ [6] โดยใช้หลักของการปล่อยประจุเข้าไปที่โมเลกุลของละอองน้ำยากำจัดศัตรูพืช เมื่อพ่นละอองน้ำออกไป ทำให้เกิดแรงคูลอมบ์ (Coulomb's force) ของสนามไฟฟ้า ระหว่างละอองน้ำกับพืชที่มีประจุตรงกันข้ามกัน ทำให้ละอองน้ำยากำจัดศัตรูพืชกระจายจับเกาะรอบต้นพืชได้ดี นอกจากนี้ ยังใช้หลักการไฟฟ้าสถิตย์เดียวกันนี้กับ การปรับสภาพอากาศด้วยการดักจับเชื้อโรคในโรงเรือน การคัดแยกและการกำจัดฝุ่นผงที่อยู่ในเครื่องจักรภาคการเกษตร การถ่าย

ละอองเรณู การไล่ความชื้นหรือการอบแห้งในผลิตผลด้านการเกษตร และการผลิตโอโซน รวมถึงการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในการฆ่าเชื้อในของเหลว เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในด้านการเกษตรได้ทำการศึกษาครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1930 โดย Savostin [7] ได้รายงานเกี่ยวกับอิทธิพลของสนามแม่เหล็กส่งผลให้อัตราการงอกของรากยาวขึ้นกว่าเดิม เมื่อเร็ว ๆ นี้ ยังได้มีการค้นพบผลกระทบในแง่บวกว่าสนามแม่เหล็ก รังสี แสงเลเซอร์ และไมโครเวฟ สามารถเร่งการเจริญโตจากเมล็ดเป็นลำต้น กระตุ้นกระบวนการเผาผลาญอาหาร และกระบวนการทางโปรตีนของต้นพืช และเพิ่มปริมาณของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นต้น [8-13]

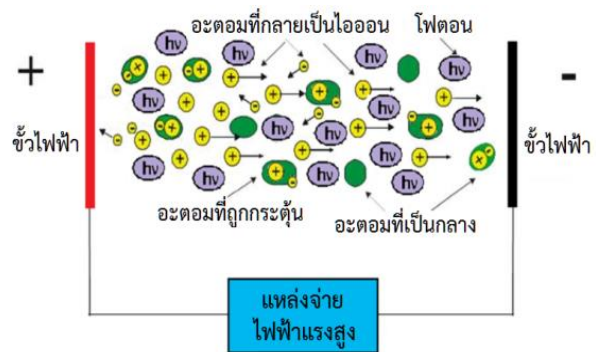


รูปที่ 1 วัฏจักรชีวิตพืชและส่วนที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถประยุกต์พลาสมาเสริมกระบวนการต่างๆ

นอกจากเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าสถิตย์และสนามแม่เหล็กที่กล่าวข้างต้น เมื่อไม่นานมานี้ ในต่างประเทศได้มีการวิจัยและพัฒนาบูรณาการศาสตร์ด้วยเทคโนโลยีการประยุกต์พลาสมาความดันบรรยากาศด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อนำมาใช้ทางด้านการเกษตรกรรม ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ยั่งยืนเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีระบบสุญญากาศ เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมและราคาไม่แพงมากนัก อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลาสมาที่เหมาะสมกับพืชที่มีอยู่ในประเทศมากนัก

ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทบทวนนวัตกรรมเกี่ยวกับพลาสมาความดันบรรยากาศในต่างประเทศ ซึ่งใกล้เคียงกับสิ่งประดิษฐ์ที่มีอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่ เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืชดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย การปรับสภาพขณะเป็น

เมล็ด การฆ่าเชื้อในขณะเก็บรักษาเมล็ด การเพิ่มขึ้นคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดพืชเพื่อการบริโภค การเร่งการงอก และการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็น ราก ลำต้น ใบ ดอก และ ผลไม้ รวมไปถึงการรักษาความสดใหม่และการลดยาฆ่าแมลงขณะล้างผลผลิตทางการเกษตร การลดต้นทุนการขนส่งพืชผักและผลไม้หลากหลายชนิดผสมผสานคราวเดียวกันในตู้ขนส่งขนาดใหญ่เป็นระยะทางไกลๆ มักเกิดอุปสรรคของการขนส่งนอกจากเชื้อโรคและเชื้อรา เป็นต้น



รูปที่ 2 การกำเนิดพลาสมาด้วยไฟฟ้าแรงสูง [17]

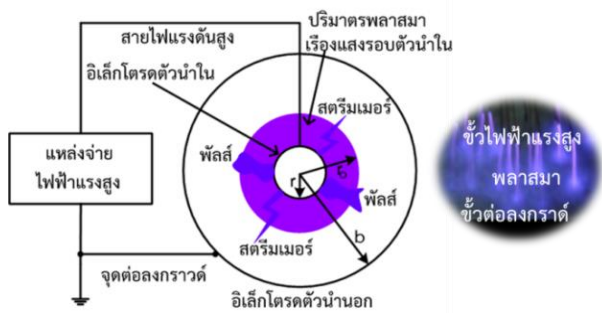
2. พลาสมาในก๊าซหรือในของเหลวที่ความดันบรรยากาศ

พลาสมาคือก๊าซหรือของเหลวที่เป็นกลางถูกทำให้กลายเป็นไอออน [14] คำว่าถูกทำให้กลายเป็นไอออนหมายถึงอิเล็กตรอนอย่างน้อยหนึ่งตัวหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลกลายเป็นไอออนบวกของโปรตรอนและอิเล็กตรอนซึ่งเป็นไอออนลบผสมกระจายกันอยู่อย่างเท่าๆ กันในตัวกลางของก๊าซ และยังมี นิวตรอน อนุภาคมูลฐาน อะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นอยู่ในสภาวะกึ่งเสถียร ผนึกผสมประกอบอยู่รวมกันเป็นสภาพที่มีพลวัตอย่างไรรูปภาพก่อให้เกิดกระบวนการทำปฏิกิริยาเคมีและการเคลื่อนที่ของอนุภาคชนิดต่างๆ ในพลาสมา [15] ด้วยสมบัติอันโดดเด่นนี้เองจึงมีการเรียกว่า สถานะที่สี่ของสสาร [16] จึงมีการค้นคว้าวิจัยพลาสมาอย่างจริงจังเพื่อพยายามประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ในแวดวง วิทยาศาสตร์ การแพทย์ ชีวะ วิศวกรรม การเกษตร และอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง

2.1 พลาสมาในก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

การกำเนิดพลาสมาความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องอาจทำได้โดยใช้ไฟฟ้าแรงสูงดังรูปที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนภายในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าถูกทำให้เคลื่อนที่และมีพลังงานจลน์

สูงขึ้นจากการป้อนไฟฟ้าแรงสูงที่ขั้วไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยพลังงานสูงเกิดการปะทะกับอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานไปยังอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ถ้าพลังงานนี้สูงพอจะเกิดการกลายเป็นไอออนและพลาสมาขึ้น ส่วนอะตอมหรือโมเลกุลระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ถูกทำให้เกิดการตื่นกระตุ้นจะคืนสู่สภาพที่เป็นกลางโดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีของแสง ซึ่งเป็นคุณลักษณะหนึ่งของพลาสมาที่รู้จักกันในนาม การปล่อยประจุเรืองแสง การปล่อยประจุเรืองแสงแบบพลาสมาที่ความดันบรรยากาศในก๊าซด้วยไฟฟ้าแรงสูงในปัจจุบันพอแบ่งออกได้ 2 แบบคือ (1) แบบการปล่อยประจุพลาสมาโดยตรงในก๊าซระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและ (2) แบบการปล่อยประจุพลาสมาโดยมีตัวค้นเป็นไดอิเล็กตริกที่ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งทั้งสองแบบนี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นใช้เอง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้



รูปที่ 3 แผนภาพและลักษณะการปล่อยประจุที่ปลายตัวนำโดยตรงในก๊าซระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

การปล่อยประจุโดยตรงในก๊าซที่ความดันบรรยากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดโดยใช้หลักการการปล่อยประจุโคโรนา (corona) บริเวณรอบๆ สายตัวนำไฟฟ้า หรือ บริเวณจุดปลายแหลมหรือปลายจุดคมดังรูปที่ 3 เนื่องจากมีความเข้มข้นหรือความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนี้สูง จึงเกิดการปล่อยประจุเรืองแสงจากการกลายเป็นไอออนและมักจะติดตามมาด้วยลำแสงที่ส่องตรงไปยังขั้วอิเล็กโทรดที่มีความเข้มข้นไฟฟ้าต่ำกว่า เกิดเสียงการแตกตัวของประจุ ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงมากพอ จะมีการปล่อยประจุแบบพัลส์เป็นห้วงๆ ราว 25 ถึง 50 นาโนวินาที และเกิดการปล่อยประจุเป็นลำที่เรียกว่า ลำสตรัมเมอร์ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดการเสียดสีฟลักซ์ในก๊าซและเกิดการปล่อยประจุแบบประกายข้ามได้ง่ายขึ้น (spark) ความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติ (E_{cr}) สำหรับการปล่อยประจุเพื่อกำเนิด

พลาสมาเรืองแสงแบบโคโรนาในก๊าซที่ผิวสายตัวนำไฟฟ้าที่ความดันบรรยากาศในอากาศ สามารถหาได้จากสมการ

$$E_{cr} = 30 \delta m \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}} \right) \quad [kV_p/cm] \quad (1)$$

เมื่อ m คือ ตัวประกอบความไม่เรียบของผิวตัวนำสายไฟ ซึ่งตามมาตรฐานโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.89

r คือ รัศมีของตัวนำ cm

δ คือ ตัวประกอบความหนาแน่นของอากาศ ที่ขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศและอุณหภูมิซึ่งหาได้จากสมการ

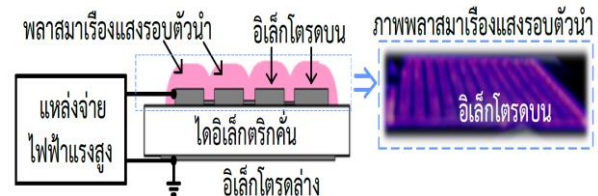
$$\delta = \frac{3.9211 p}{273 + t} \quad (2)$$

p คือ ความดันบรรยากาศ cm of mercury

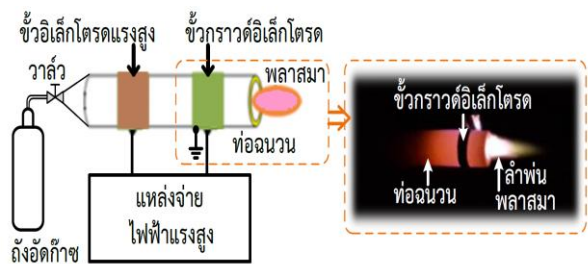
t คือ อุณหภูมิของผิวตัวนำ °C



(ก) พลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริก [18]



(ข) พลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริก [17]



(ค) พลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น



(ง) พลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริกแบบสัมผัสโดยตรง

รูปที่ 4 แผนภาพและลักษณะการปล่อยประจุพลาสมาแบบค้นด้วยไดอิเล็กตริกกระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

การปล่อยประจุพลาสมาแบบไดอิเล็กตริกเป็นตัวค้นแสดง ดังรูปที่ 4 มีทั้งการปล่อยประจุแบบไดอิเล็กตริกเป็นตัวค้น ภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และแบบการปล่อยประจุเรืองแสงแบบโคโรนาที่ผิวตัวนำ ภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอรอบๆ ขั้วตัวนำไฟฟ้า การปล่อยประจุพลาสมาแบบไดอิเล็กตริกเป็นตัวค้นมีข้อดีว่าการปล่อยประจุที่ปลายตัวนำโดยตรงในก๊าซระหว่างขั้วอิเล็กโตรดคือ ไม่เกิดการปล่อยประจุเป็นลำสตรีนเมอร์ ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดการปล่อยประจุแบบประกายข้ามและเกิดการอาร์ก เนื่องจากฉนวนของแข็งซึ่งทำหน้าที่คั่นอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าแรงสูง มีความทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูง

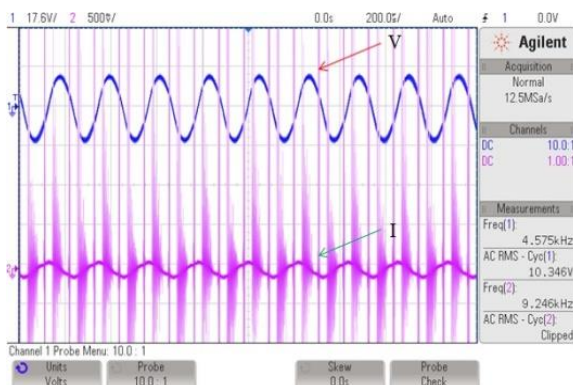
การปล่อยประจุพลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างอากาศที่ความดันบรรยากาศ โดยมีการคั่นด้วยไดอิเล็กตริกระหว่างขั้วอิเล็กโตรดภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอแสดงดังรูปที่ 4 (ก) แรงดันที่ทำให้ก๊าซกลายเป็นพลาสมา (V_B) ที่สถานะอุณหภูมิมาตรฐาน และความดันในสภาพอากาศแห้ง (dry air) หาได้จากสมการ

$$V_B = 3000d + 1.35 \quad [kV] \quad (3)$$

เมื่อ d คือระยะห่างช่องว่างอากาศระหว่างไดอิเล็กตริก ส่วนความเครียดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโตรดหาได้จาก

$$E_B = \frac{V_B}{d} \quad [kV/m] \quad (4)$$

สำหรับการปล่อยประจุพลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริกพลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น พลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริกแบบสัมผัสโดยตรง ดังรูปที่ 4 (ข) ถึงรูปที่ 4 (ง) เป็นลักษณะการปล่อยประจุพลาสมาภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 5 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดัน (V) และกระแส (I) ขณะกำเนิดพลาสมาในช่องว่างอากาศความดันบรรยากาศ

การปล่อยประจุแบบมีตัวค้นเป็นไดอิเล็กตริก โดยทั่วไปมักใช้แรงดันสูงไฟฟ้ากระแสสลับป้อนให้กับอิเล็กโตรดสองอัน ซึ่งอย่างน้อยด้านหนึ่งต้องมีฉนวนอยู่บนอิเล็กโตรดแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 การจ่ายแรงดันสูงจะต้องเกินกว่าแรงดันเสียสภาพฉนวนของพาสเซนของก๊าซ (paschen of the gas) ความถี่ของแรงดันสูงไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำงานในย่านกว้างๆ โดยความถี่อยู่ที่ประมาณ 50 Hz ถึง 1 MHz ปัจจุบันที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ใช้แรงดันสูงประมาณที่ 5 - 8 kV ความถี่ตั้งแต่ 4.8-6.5 kHz ดังรูปที่ 5 เพื่อใช้ในการกำเนิดพลาสมาในช่องว่างอากาศระยะ 1-5 มม.

ภายใต้แรงดันสูงความถี่สูงพลาสมามีความถี่ของการชนกัน v_c เป็นได้ทั้งอิเล็กตรอนหรือไอออนที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ (1 atm) ความถี่วิกฤต (critical frequency, f_c) คือ

$$f_c = \frac{e V_{rms}}{\pi m_p f_i d^2} \quad [Hz] \quad (5)$$

เมื่อ e คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอนเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} C$

V_{rms} คือ แรงดันประสิทธิผล [V]

m_p คือ มวลอนุภาค [kg]

f_i คือ ความถี่ที่ทำให้เกิดการชนกันของอนุภาค [Hz]

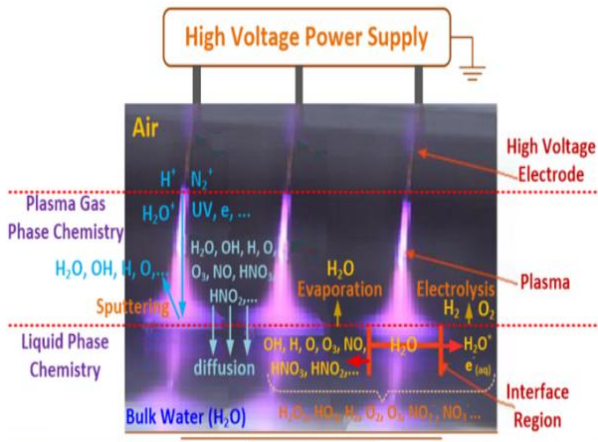
d คือระยะห่างช่องว่างอากาศระหว่างไดอิเล็กตริก [m]

2.2 พลาสมาในน้ำด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

การปล่อยประจุไฟฟ้าเพื่อกำเนิดพลาสมาในของเหลว อย่างเช่น น้ำ ได้รับความสนใจและนำมาประยุกต์กับการบำบัดน้ำ [19-22] และการเกษตร [23-24] เนื่องจากการปล่อยประจุเรืองแสงแบบพลาสมาด้วยแรงดันสูง ในกรณีของการปล่อยประจุในอากาศลงสู่ น้ำทำให้เกิดไอออนต่างๆ อาทิเช่น O_2^- , NO_2^- , NO_3^- , OH , O , N , O_3 , และ H_2O_2 เป็นต้น ดังรูปที่ 6

ไอออน ในพลาสมาที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น มีคุณสมบัติทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี จึงสามารถนำไปปรับสภาพน้ำให้มีธาตุไนโตรเจนให้เพิ่มขึ้น น้ำนี้จึงมีธาตุอาหารส่วนหนึ่งทำจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและยังเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณของออกซิเจนในน้ำได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ OH , O_3 รวมถึงรังสียูวี ที่เกิดจากการปล่อยประจุเรืองแสงแบบพลาสมาด้วยแรงดันสูง ยังสามารถช่วยในการยับยั้งหรือกำจัดเชื้อโรค เชื้อรา และ เชื้อแบคทีเรีย ทั้งที่อยู่ในก๊าซและในน้ำได้ ในบทความนี้ขอ

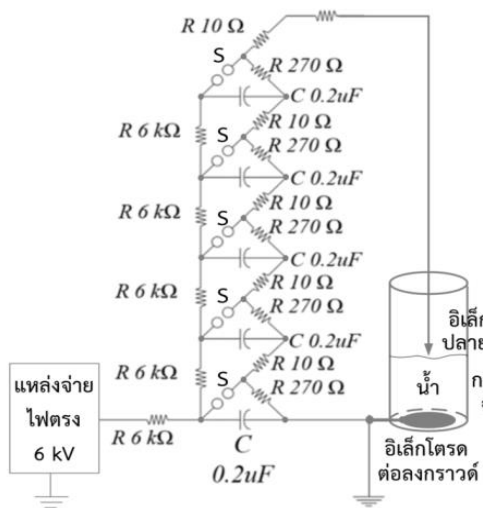
ยกตัวอย่างหลักการของแหล่งจ่ายแรงดันสูงเพื่อกำเนิดพลาสมาในน้ำที่จัดสร้างขึ้นใช้เอง โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้



รูปที่ 6 ตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีจากการปล่อยประจุพลาสมา

3.1 แหล่งจ่ายแรงดันอิมพัลส์สำหรับกำเนิดพลาสมาบนผิวน้ำและในน้ำ

แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเปลี่ยนแปลงมาจากระดับที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาชั่วครู่ยกตัวอย่างเช่นปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเรียกว่าแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า เป็นต้นการสร้างแรงดันอิมพัลส์มักนิยมใช้หลักการวงจรกำเนิดอิมพัลส์ของมาร์กซ์แบบหลายขั้น (multi-stage impulse of Marx's generator) [25] ดังรูปที่ 7

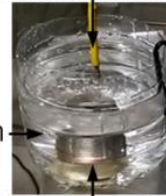


รูปที่ 7 วงจรกำเนิดอิมพัลส์ของมาร์กซ์แบบ 5 ขั้น

จากรูปที่ 7 เมื่อตัวเก็บประจุ (C) แต่ละตัวได้รับการอัดประจุจากแหล่งจ่ายไฟตรง 6 kV ผ่านตัวต้านทานในวงจรถึงค่าที่กำหนดด้วยช่องว่างประกายข้าม (S) จะเกิดการเสียดสภาพ

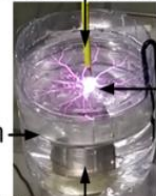
ฉับพลันระหว่างช่องว่างประกายข้าม ทำให้ตัวเก็บประจุ (C) แต่ละตัวอยู่ในลักษณะต่ออนุกรมกัน จึงได้แรงดันรวมราว 30 kV จ่ายไปยังอิเล็กโทรดปลายแหลมที่อยู่บนผิวน้ำหรือจุ่มอยู่ในน้ำ ผลก่อนและระหว่างการปล่อยประจุบนผิวน้ำด้วยแรงดันอิมพัลส์แสดงดังรูปที่ 8 (ก) และ 8 (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการปล่อยประจุจากแรงดันอิมพัลส์อยู่ในลักษณะแตกเป็นแขนงบนผิวน้ำ ส่วนผลก่อนการปล่อยประจุและระหว่างการปล่อยประจุแรงดันอิมพัลส์ในน้ำแสดงดังรูปที่ 8 (ข) และ 8 (ค) ตามลำดับ พบว่าระหว่างการปล่อยประจุในน้ำเกิดเป็นแสงสว่างจ้าสีขาวจากการเกิดประกายข้ามระหว่างขั้วอิเล็กโทรดปลายแหลมกับขั้วต่อลงกราวด์ในน้ำ

อิเล็กโทรดปลายแหลม



อิเล็กโทรดต่อลงกราวด์

อิเล็กโทรดปลายแหลม



อิเล็กโทรดต่อลงกราวด์

(ก) ก่อนปล่อยประจุบนผิวน้ำ

(ข) ปล่อยประจุบนผิวน้ำ

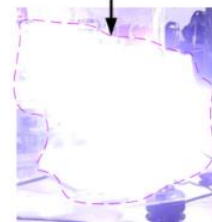
อิเล็กโทรดปลายแหลม



อิเล็กโทรดต่อลงกราวด์

(ค) ก่อนปล่อยประจุในน้ำ

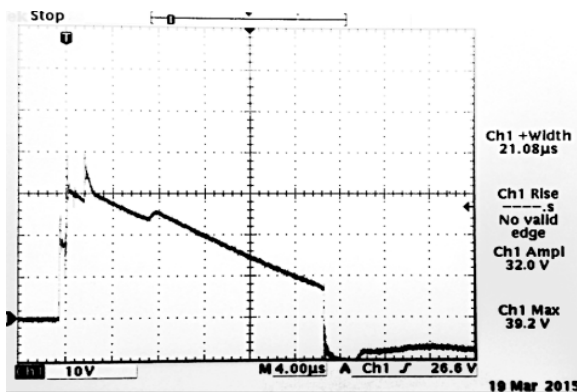
พวงแสงสว่างขาวจ้า



(ง) ระหว่างปล่อยประจุในน้ำ

รูปที่ 8 ภาพตัวอย่างการปล่อยประจุแรงดันอิมพัลส์กับน้ำ

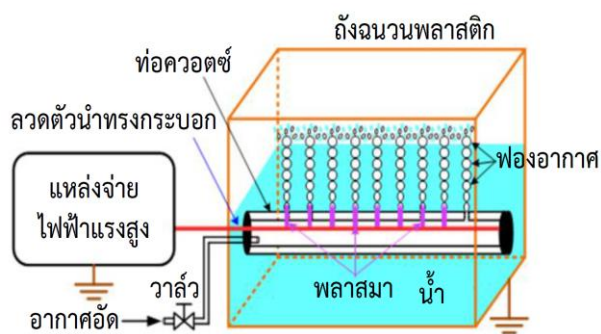
เมื่ออัดประจุเข้าไปยังน้ำด้วยค่าเวลาคงตัวของตัวเก็บประจุ (C) และตัวต้านทาน R 10 Ω ผ่านไปถึงแรงดันค่ายอดและการเสียดสภาพฉับพลันระหว่างช่องว่างประกายข้ามหยุดลง จะเกิดการคายประจุจากน้ำผ่านกลับมาลงกราวด์โดยผ่านตัวต้านทาน R 10 Ω และตัวต้านทาน R 270 Ω ทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นอยู่ในลักษณะอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่ทางคลื่นดังรูปที่ 9 มีค่ายอดแรงดันสูงสุดราว 39 kV หน้คลื่นอยู่ที่ราว 1 μs ส่วนทางคลื่นถูกตัวที่เวลาประมาณ 24 μs



รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ระหว่างการปล่อยประจุในน้ำ

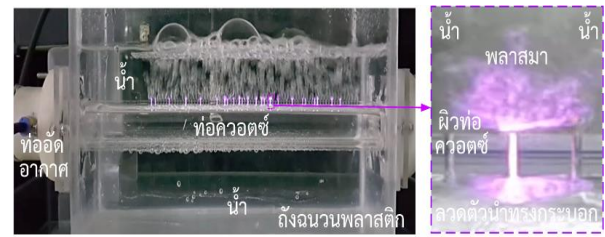
2.3 การกำเนิดพลาสมาในฟองก๊าซใต้น้ำ

การกำเนิดพลาสมาในฟองก๊าซใต้น้ำเป็นการปรับสภาพน้ำที่ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากพลาสมาที่กำเนิดได้ในฟองก๊าซมีการไหลสัมผัสกับน้ำอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งมีการกระจายฟองก๊าซพลาสมาได้น้ำได้ทั่วถึงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภาพการปล่อยประจุพลาสมาผ่านฟองก๊าซใต้น้ำ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้อยู่ในราว 10-30 kV ซึ่งสามารถหาได้จากไฟฟ้ากระแสสลับของหม้อแปลงน็อนแบบขดลวดความถี่ต่ำ 50 Hz ไปจนถึงหม้อแปลงน็อนแบบอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงเป็น kHz ก็ได้ จึงช่วยลดต้นทุนการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันสูงราคาแพงอย่างเช่น แหล่งจ่ายแรงดันอิมพัลส์ เป็นต้น เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าไปในลวดตัวนำทรงกระบอกซึ่งถูกบรรจุอยู่ในท่อควอตซ์ภายใต้การอัดอากาศเข้าไปในท่อควอตซ์ซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำ หากความเครียดสนามไฟฟ้าสูงพอระหว่างลวดตัวนำกับฟองอากาศที่พ่นขึ้นมาจากได้น้ำราว 30 kV/cm จะทำให้เกิดการปล่อยประจุพลาสมาโดยการเกิดประกายข้ามในอากาศผ่านรูท่อควอตซ์ไปสัมผัสกับน้ำทันทีดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ภาพตัวอย่างการปล่อยประจุพลาสมาใต้น้ำ

3. การประยุกต์พลาสมากับเมล็ดพันธุ์พืช

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงตัวอย่างการใช้พลาสมาสำหรับงานวิจัยด้านการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่มีผลลัพธ์ทางบวกในช่วงครึ่งทศวรรษล่าสุดที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเก็บรักษาผลผลิตและเมล็ดพันธุ์พืช การเพิ่มโภชนาการเมล็ดพันธุ์พืชสำหรับการรับประทาน และการปรับสภาพเมล็ดพันธุ์พืชด้วยพลาสมาเพื่อให้งอกได้เร็วและเจริญเติบโตจากเมล็ดรวดเร็วขึ้น เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อต่อไปนี้

3.1 การใช้พลาสมาเพื่อเก็บรักษาผลผลิตและเมล็ดพันธุ์พืช

เนื่องจากลักษณะสมบัติของพลาสมาที่กล่าวมาข้างต้น มีศักยภาพในการทำให้ปราศจากเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อไวรัส และสามารถยับยั้งหรือลดประชากรจุลินทรีย์บนผิวของเมล็ดพืชได้ เป็นการยืดอายุเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น และลดการใช้สารเคมีถนอมผลผลิตที่อาจเป็นอันตรายลงในระหว่างการขนส่งและการบรรจุหรือหีบห่อบรรจุภัณฑ์ จากการวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการประยุกต์เครื่องกำเนิดพลาสมาความดันบรรยากาศไร้ความร้อนชนิดต่างๆ เพื่อการเก็บรักษาผลผลิตและเมล็ดพันธุ์พืชดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประยุกต์เครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อการเก็บรักษาผลผลิตและเมล็ดพันธุ์พืช

ชนิดของเครื่องกำเนิดพลาสมา	การประยุกต์
พลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริก	กำจัด E. coli ที่เมล็ดอัลมอนต์ [26] ลดเชื้อราในเมล็ดข้าวสาลี [27]
พลาสมาปล่อยประจุเรืองแสงจากโคโรนาแบบพ่น	กำจัดการติดเชื้อของเมล็ดผักกาด ก้านขาว [28]
พลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น	น้ำแช่ล้างสตรอเบอร์รี่ซึ่งถูกพ่นด้วยพลาสมา [29]

การประยุกต์พลาสมาเรืองแสงในอากาศที่ความดันบรรยากาศระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริก ในบทความนี้ขอยกตัวอย่างการนำไปใช้กับการกำจัดเชื้อ E. coli บนเมล็ดอัล

มอนต์ [26] และเชื้อราในข้าวสาลี [27] ซึ่งพอสรุได้ดังนี้ การกำจัดกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ทำโดยการใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงราว 30 kV ที่ความถี่ 2 kHz ในการกำเนิดพลาสมาลงบนเมล็ดอัลมอนต์เป็นเวลา 30 วินาที พบว่าเชื้อ *E. coli* ลดลงเกือบ 5-log CFU/g และพบว่าประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าและความถี่ การลดเชื้อราในข้าวสาลีทำได้โดยใช้ระบบอเล็กโตรดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. วางขนานกัน มีช่องว่างอากาศ 20 มม. ถูกป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงราว 8 kV ที่ความถี่ 100 Hz และ 83 kHz ใช้เวลาในการปรับสภาพข้าวสาลีด้วยเวลาสูงสุดเพียง 30 วินาที หลังจากทิ้งไว้ในห้องมืดควบคุมอุณหภูมิที่ 22 °C เป็นเวลาเจ็ดวันในจานเพาะเชื้อพบผลในเชิงบวกคือ พลาสมาลดจำนวนประชากรของเชื้อรา *Alternaria alternata* ที่ปรากฏขึ้นบนเมล็ดข้าวสาลีได้จาก 76% เหลือเพียง 26% หรือไม่ปรากฏเชื้อราเช่น เชื้อรา *Alternaria botrytis* เป็นต้น

เมล็ดผักกาดก้านขาวติดเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตเพื่อการหายใจ รา ยีสต์ *Bacillus cereus*, *E. coli*, และ *Salmonella spp* เมื่อปรับสภาพด้วยพลาสมาปล่อยประจุเรืองแสงจากโคโรนาแบบพ่นในอากาศที่ความเร็วลม 2.5 m/s [28] เป็นเวลา 3 นาที ด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง 20 kVdc จุลชีพขนาดเล็กเหล่านี้ถูกลดลงเหลือราว 1.2-2.2 log CFU/g พลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่นยังถูกนำมาประยุกต์กับน้ำล้างสตรอเบอร์รี่ [29] ด้วยขั้นตอนง่ายๆ คือหลังจากพ่นพลาสมาจากก๊าซอาร์กอนหรือออกซิเจนลงไปในน้ำซึ่งถูกเรียกในชื่อใหม่ว่า น้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา (plasma-activated water) น้ำนี้จึงสามารถต่อต้านจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียได้ เมื่อนำสตรอเบอร์รี่เป็นเวลา 5-15 นาที พบว่าสามารถกำจัดการติดเชื้อและป้องกันเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*staphylococcus aureus*, *S. aureus*) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ สี สัน ค่าพีเอช (pH) และ ความแน่นของเนื้อสตรอเบอร์รี่ เมื่อนำสตรอเบอร์รี่ซึ่งผ่านการแช่น้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $70 \pm 5\%$ เป็นเวลา 6 วัน ไม่เกิดการเน่าเสียจากเชื้อรา ในขณะที่สตรอเบอร์รี่ซึ่งไม่ได้ผ่านการแช่น้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา เกิดการเน่าเสียและมีเชื้อราอยู่โดยรอบ

3.2 การใช้พลาสมาเพื่อการเพิ่มโภชนาการของเมล็ดพันธุ์พืช

กระบวนการงอกของเมล็ดข้าวช่วยให้คุณค่าทางอาหารของเมล็ดพันธุ์พืชเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นวิตามิน บี และ อี รวมทั้ง กรดอะมิโนแกมมา (gamma-aminobutyric acid, GABA) ซึ่งรู้จักกันในนามของกาบา เมื่อไม่นานมานี้ พลาสมาความดันบรรยากาศที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้อง ถูกนำมาประยุกต์กับกระบวนการรักษาคุณค่าทางอาหารและการเพิ่มโภชนาการของเมล็ดพันธุ์พืช [30] ได้มีการทดลองใช้พลาสมาเรืองแสงในก๊าซอาร์กอนและออกซิเจนระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น ใช้เวลาพ่นข้าวกล้องเพียง 5-10 วินาที ที่แรงดัน 3-5 kV ความถี่ 300 kHz แล้วนำไปเพาะให้งอกตามปกติด้วยเวลาการงอก 48-96 ชั่วโมง พบว่าสารกาบาในข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.8 µg/g เมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยพลาสมามีเพียง 1.2 µg/g

3.3 การใช้พลาสมาสำหรับเร่งการงอกของเมล็ดและเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตพืช

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการประยุกต์เครื่องกำเนิดพลาสมาเรืองแสงแบบโคโรนาแบบมีไดอิเล็กตริกคั่นด้วยแผ่นแก้วที่ขั้วต่อลงดิน [31] เพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ขนาดเล็กที่ติดอยู่บนผิวเปลือกเมล็ดข้าว แก้ปัญหาเรื่องการเกิดเชื้อราขณะเพาะข้าวงอกและปรับสภาพผิวให้สามารถซึมซับน้ำได้ง่ายขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงถึง 98% เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยพลาสมามีเปอร์เซ็นต์การงอกราว 90%

พลังงานของอิเล็กตรอนและอนุภาคของอากาศที่กระตุ้นรวมทั้งรังสียูวี จากไฟฟ้าแรงดันสูงราว 5 ~ 6 kV ที่ความถี่ 8 ~ 30 kHz ในพลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริกในความดันบรรยากาศ โดยใช้เวลาในการปรับสภาพเมล็ดด้วยพลาสมาเพียง 6 วินาที พลาสมาสามารถแทรกซึมทะลุผ่านเปลือกของเมล็ดมะเขือเทศ [32] ทำให้เกิดการเร่งการย่อยสลายสารอาหารภายในเมล็ด จึงช่วยเสริมให้รากของเมล็ดมะเขือเทศงอกได้เร็วขึ้น

เครื่องกำเนิดพลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริกถูกนำไปประยุกต์เพื่อเร่งการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชและการเจริญเติบโตของถั่วลันเตา (*pisum sativum* L.) [33] พบว่าหลังจากเมล็ดถั่วถูกพลาสมาชนิดนี้เป็นเวลา 180 วินาที สามารถเปลี่ยนผิวของถั่วให้ซึมซับน้ำได้ง่ายขึ้นภายใน 2 ชั่วโมงแรกเมล็ดสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า 23% เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่



ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมา ทำให้อัตราการงอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พลาสมายังมีผลต่อการเปลี่ยนฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตเช่น ออกซิน (auxins) ไซโตไคนิน (cytokinins) เป็นต้น เมล็ดถั่วจึงมีการเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นยังมีการใช้พลาสมาดังกล่าวในการเสริมการเจริญเติบโตของเมล็ดผักกาดหัว (raphanus sativus) [34] พบว่าความยาวของก้านงอกจากเมล็ดที่ถูกปรับสภาพด้วยพลาสมามีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 250% เมื่อเทียบกับการงอกของเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพด้วยพลาสมาในระยะเวลา 7 วันเท่ากัน

ตารางที่ 2 การประยุกต์เครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อเร่งการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชและการเจริญเติบโตของพืช

ชนิดของเครื่องกำเนิดพลาสมา	การประยุกต์
พลาสมาเรืองแสงแบบโคโรนา	กำจัดเชื้อโรคและเชื้อราบนเมล็ดข้าว [31]
พลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริก	เมล็ดมะเขือเทศ [32]
พลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริก	เมล็ดถั่วลิสง [33] เมล็ดผักกาดหัว [34]
พลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น	เมล็ดหัวไชเท้า [35]
การปล่อยประจุพองก๊าซพลาสมาไดน้ำ	เมล็ดถั่วเขียว [36]

พลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่นมีการประยุกต์เพื่อเร่งการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชและการเจริญเติบโตของพืช [35] ก๊าซอาร์กอนพ่นด้วยอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที ถูกทำให้กลายเป็นพลาสมาด้วยไฟฟ้าแรงสูง 30 kV ที่คายอกระแสปล่อยประจุแบบพัลส์เพียง 186 mA ในช่วงเวลาสั้นๆ แค่ 45 μ s เมื่อนำพลาสมานี้ไปพ่นลงเมล็ดหัวไชเท้าพบว่า การงอกของรากจากเมล็ดที่พ่นด้วยพลาสมากับเมล็ดที่ไม่ได้พ่นมีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่การเจริญเติบโตของเมล็ดที่พ่นด้วยพลาสมามีมากกว่า เมื่อคิดจากน้ำหนักเมล็ดงอกตอนถูกทำให้แห้งมีค่าเพิ่มขึ้นราว 9-12% เทียบกับน้ำหนักเมล็ดงอกที่ไม่ได้พ่นด้วยพลาสมา

การปล่อยประจุพองก๊าซพลาสมาความดันบรรยากาศผสมกับน้ำ [36] ได้มีการทดลองโดยการใช้พองก๊าซชนิดต่างๆ เช่น N_2 , He, O_2 และอากาศ เป็นต้น ในการกำเนิดพลาสมาผสมกับน้ำที่แช่ถั่วเขียวพบว่า พลาสมาจากอากาศมีประสิทธิภาพในการเร่งให้เมล็ดงอกและมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด เนื่องจากอากาศเมื่อถูกกระตุ้นให้กลายเป็นพลาสมามีทั้งตัวทำปฏิกิริยาออกซิเจนและตัวทำปฏิกิริยาไนโตรเจนอยู่รวมกันในพลาสมา

4. การใช้พลาสมากับน้ำเพื่อการเติบโตของพืช

การปล่อยประจุพลาสมาเรืองแสงในอากาศลงสู่พื้นน้ำทำให้เกิดรังสียูวี [37] และไอออนตื่นกระตุ้นต่างๆ เช่น OH , O_2^- หรือ O , O_3 และ H_2O_2 [38-42] ซึ่งไอออนในกลุ่มนี้มีศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง (oxidation potential) ตั้งแต่ 2.8 V, 2.42 V, 2.07 V และ 1.78 V ตามลำดับ [43] เมื่อเทียบกับคลอรีนมีศักยภาพออกซิเดชันเพียง 1.36 V ดังนั้นไอออนหรืออะตอมมีเหล่านี้ จึงมีประโยชน์ต่อการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ในน้ำได้สูงและไอออนตื่นกระตุ้นเหล่านี้จะคืนตัวกลับเป็นน้ำหรือออกซิเจนในช่วงเวลาสั้นๆ จึงไม่เหลือสารตกค้างจากไอออนในน้ำนั้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นก๊าซในการกำเนิดพลาสมา เนื่องจากอากาศมีองค์ประกอบธาตุหลักหนึ่งคือไนโตรเจนราวเกือบ 80% ย่อมเกิดอะตอมของไนโตรเจน (N) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ถูกตรึงผสมอยู่ในน้ำเป็นเวลานานหลายวัน [44] ซึ่งในทางสิ่งแวดล้อมถือว่าไนโตรเจนนี้เป็นพิษต่อคนและสัตว์ แต่นำมาใช้กับงานด้านการปลูกพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชไร่นาในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด จะมีประโยชน์นอกจากการฆ่าเชื้อโรคและเชื้อราในน้ำ และยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตได้อีกทางหนึ่ง

การเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์บวกราว 30 kVp [24] กระแสแบบพัลส์ประมาณ 8 Ap ในช่วงความกว้างพัลส์ราว 110 ns ด้วยอัตราการซ้ำของพัลส์ 250 pps เพื่อการปล่อยประจุพลาสมาแบบประกายข้ามที่โลหะปลายแหลมในพองก๊าซอากาศซึ่งถูกพ่นออกมาจากท่อแก้ว ทำให้ไอออนในพลาสมาผสมกับน้ำด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลานาน 15 นาที เมื่อนำน้ำไปรดผัก *S. oleracea* ทุกวันเป็นเวลา 28 วันพบว่าผักที่รดด้วยน้ำที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพลาสมามีความสูงเฉลี่ยราว 120 มม. แต่ผักที่รดด้วยน้ำกลั่นมีความสูงเฉลี่ยเพียง 60 มม.

5. เทคโนโลยีพลาสมาในเชิงประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์

นอกจากประสิทธิภาพเชิงวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมในการเสริมสมรรถนะผลิตผลในวัฏจักรชีวิตพืชตามที่กล่าวมา หากพิจารณาในเชิงประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์อย่างพอเพียงยั่งยืน การใช้เทคโนโลยีการกำเนิดพลาสมาความดันบรรยากาศด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงมีแนวโน้มส่งผลให้เกิดผลผลิต

ในวัฏจักรชีวิตพืชสูงสุดต่อการใช้ต้นทุนทรัพยากรน้อยที่สุด เนื่องจากราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าต่ำ แม้จะจะใช้แรงดันสูงเป็นพัน โวลต์ แต่กระแสอยู่ในราวหนึ่งในพันแอมแปร์ และเวลาที่ใช้มีเพียงไม่กี่วินาทีหรือเป็นนาที่ ยกตัวอย่างเช่น พลาสมาเรืองแสงแบบพ่นเพื่อเร่งการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชและการเจริญเติบโตของพืชใช้แรงดันสูง 30 kV กระแส 186 mA ในช่วงเวลา 45 μ s คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าเพียง 4.11 mW·hr/ครั้ง ในกรณีของการใช้พลาสมาควบน้ำเพื่อการเติบโตของพืช หากใช้ไฟฟ้าแรงสูง 30 kVp ที่กระแส 8 Ap ความกว้างพัลส์ราว 110 ns การซ้ำของพัลส์ 250 pps นาน 15 นาที จะเสียพลังงานไฟฟ้าราว 1.7 kW·hr/ครั้ง ซึ่งอาจคิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 10 บาทต่อครั้ง เป็นต้น

ในแง่ของการใช้ก๊าซร่วมกับพลาสมาในงานวัฏจักรชีวิตพืช ก๊าซที่มีต้นทุนราคาถูกที่สุดคืออากาศ รองลงมาคือ N_2 , O_2 , Ar และ He มีราคาแพงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พลาสมาเป็นสภาวะกึ่งเสถียรจะสลายไปเมื่อหยุดจ่ายไฟไประยะเวลาหนึ่ง จึงจัดเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้จึงมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้งานในอนาคต โดยมีทิศทางการพัฒนาแหล่งจ่ายให้มีความถี่สูงแบบพัลส์เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดพลาสมาเพิ่มขึ้น ปัจจุบันเครื่องกำเนิดพลาสมาความถี่ต่ำและความถี่สูงมีประสิทธิภาพอยู่ที่ราว 40% และ 96% ตามลำดับ การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาให้มีความถี่สูงควรเน้นให้มีราคาถูกเมื่อเทียบกับระบบความถี่ต่ำ

6. สรุป

จากที่กล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยีการกำเนิดพลาสมาความดันบรรยากาศด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงมีศักยภาพอย่างครบวงจร ในการยับยั้งหรือฆ่าจุลินทรีย์ขนาดเล็กในก๊าซหรือในน้ำ ปรับสภาพเมล็ดพืชให้งอกได้ดี ปลอดภัยจากเชื้อต่างๆ และมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดที่จำเป็นให้กับพืชเพื่อใช้ในการเพาะปลูก คงรักษาสภาพความสดชื่นต้นของผักและผลไม้ในการเก็บรักษาและการขนส่งสินค้า

แต่เดิมนั้นการผลิตพลาสมาถูกกำเนิดอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นหลัก จึงมีต้นทุนด้านระบบสุญญากาศค่อนข้างสูง ในปัจจุบันมีการผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศด้วยไฟฟ้าแรงสูงทั้งในก๊าซและในของเหลวกันมากขึ้น เนื่องจากมีส่วนหลักคือไฟฟ้าแรงสูงราวไม่เกิน 50 kV และขั้วอิเล็กโตรด

สำหรับกำเนิดพลาสมาเท่านั้น การวิจัยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศในก๊าซเท่าที่ผ่านมามีส่วนใหญ่เป็น พลาสมาแบบโคโรนา พลาสมาเรืองแสงระหว่างช่องว่างไดอิเล็กตริก พลาสมาเรืองแสงที่ผิวไดอิเล็กตริก และพลาสมาเรืองแสงระหว่างไดอิเล็กตริกแบบพ่น ซึ่งพลาสมาเหล่านี้ นอกจากช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารยังช่วยเร่งการงอกของเมล็ดรวมอีกทั้งช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตพืชได้อีกทางหนึ่ง

ส่วนการกำเนิดพลาสมาในของเหลวสำหรับงานด้านการเกษตรกรรม ปัจจุบันมีการประยุกต์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงทั้งแบบไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ อิมพัลส์ และ พัลส์ ในการกำเนิดพลาสมาบนผิวน้ำ ในน้ำ และฟองก๊าซในน้ำ พลาสมาที่ผลิตได้นอกจากฆ่าเชื้อได้ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ผลผลิตและเมล็ดพันธุ์พืช และช่วยเพิ่มธาตุอาหารในน้ำทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้ พลาสมาที่ความดันบรรยากาศยังถูกประยุกต์กับงานด้านอื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้นำมากล่าวในบทความนี้เช่น การแพทย์ อาหารและยา ความงาม ศัลยกรรมตกแต่ง รวมทั้งงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตสมัยใหม่เช่น สิ่งทอ โลหะ และสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอธิการบดี รองศาสตราจารย์ นายยุทธพงศ์นาพิทักษ์ และคณะผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ คณาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ทุกท่านที่ได้สนับสนุนด้านการลงทุนการจัดซื้อ เครื่องมือวัด เครื่องมือวิเคราะห์ ด้านไฟฟ้าแรงดันสูงและพลาสมาอีกทั้งได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีสมัยใหม่ซึ่งกำลังมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมด้านเกษตรกรรมทั่วโลก ขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA ที่ได้สนับสนุนด้านการให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ การพาเดินทางไปศึกษาดูงานในมหาวิทยาลัยชั้นนำต่างๆ ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประยุกต์พลาสมาเพื่อการเกษตร รวมทั้งสนับสนุนด้านการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์บางส่วน ในการสร้างแหล่งกำเนิดพลาสมาทั้งในก๊าซและในของเหลว

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณรงค์ ศิริขันธ์, อาหารปลอดภัยนำครัวไทยสู่ครัวโลกและความอยู่รอดของอุตสาหกรรมอาหารไทย, คณะ



- มนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, SDU Res. J. Jan - Jun 2012; 5(1): 71-84.
- [2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ (ประเทศไทย): ทิศทางการทำงานของแรงงานไทย สืบค้นจาก: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/citizen/news/news_lfsdirect.jsp [สืบค้นเมื่อ 13 ตุลาคม 2559].
- [3] UN News Centre: UN projects world population to reach 8.5 billion by 2030, driven by growth in developing countries. Available from: <http://www.un.org/appsnews/story.asp?NewsID=51526#.WBWk4nRGzqA> [Accessed 13th October 2016].
- [4] Solly, E., The influence of electricity on vegetation, Journal of the Horticultural Society (London) 1845; 81-109.
- [5] S.L. Miller, H.C. Urey, Organic compound synthesis on the primitive earth, Science 1959; 130 (3370): 245-251.
- [6] S. Edward Law, Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century, Journal of Electrostatics 2001; 51-52: 25-42.
- [7] Savostin PW, Magnetic growth relations in plants. Planta 1930; 12:327.
- [8] Namba K, Sasao A, Shibusawa S, Effect of magnetic field on germination and plant growth. Acta Hortic. 1995; 399: 143-147.
- [9] Atak C, Danilov V, Yurttas B, Yaln S, Mutlu D, Rzakoulieva A, Effects of magnetic field on soybean (Glycine max L.Merrill) seeds. Com JINR. Dubna 1997; 1-13.
- [10] Reina FG, Pascual LA, Fundora IA, Influence of a Stationary Magnetic Field on water relations in lettuce Seeds. Part II: Experimental Results. Bioelectromagnetics 2001; 22: 596-602.
- [11] Amera AMS, Hozayn M, Magntic water technology, a novel tool to increase growth, yield, and chemical constituents of lentil (Lens esculenta) under greenhouse condition. Amer.-Eurasian J. Agric. Environ. Sci 2010; 7(4):457-462
- [12] Pietruszewski S, Kania K, Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. Int. Agrophys 2010; 24:297-302.
- [13] Hozayn M, Abd El-Monem AM, Elwia TA, Abdallah MM, Future of magnetic agriculture in arid and semi arid regions (case study). Series A. Agron 2014; 57:197-204.
- [14] Alexander F., Introduction to Theoretical and Applied Plasma Chemistry, Plasma Chemistry. UK: Cambridge Univ. Press; 2008, 1-11.
- [15] Shishoo R., Trent JM. Introduction – The potential of plasma technology in the textile industry, Plasma technologies for textiles. USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC; 2002. p. 15-17.
- [16] Shalom Eliezer, What is Plasma?, The Fourth State of Matter. Second Edition. UK: IOP Publishing Ltd; 2002. p. 22-48.
- [17] Dechthummarong C., High Voltage Power Supply for Generating Atmospheric Pressure Plasma with Surface Glow Discharge, Thai Journal Of Physics, Series 6, 2010; 211-214.
- [18] อธิพิพล จักกระโทก และ ชานูชัย เดชธรรมรงค์, อิทธิพลของพลาสมาแรงดันสูงความถี่สูงที่มีผลต่อการปรับสภาพผิวของพอลิเมอร์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7, 27-29 พฤษภาคม 2558; 1-4.
- [19] C. Comninellis, A. Kapalka, S. Malato, S.A. Parsons, I. Poullos, D. Mantzavinos, Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D, J. Chem. Technol. Biotechnol. 2008; 83: 769–776.
- [20] M. Klavarioti, D. Mantzavinos, D. Kassinos, Removal of residual pharmaceuticals from

- aqueous systems by advanced oxidation processes, *Environ. Int.* 2009; 35: 402–417.
- [21] J.C. Kruithof, P.C. Kamp, B.J. Martijn, UV/H₂O₂ treatment: a practical solution for organic contaminant control and primary disinfection, *Ozone Sci. Eng.* 2007; 29: 273–280.
- [22] R.P. Joshi, S.M. Thagard, Streamer-like electric discharges in water: Part II. Environmental applications, *Plasma Chem. Plasma Process.* 2013; 33: 17–49.
- [23] K Takaki et al., Improvements in plant growth rate using underwater discharge, 7th Inter. Conf. on Applied Electrostatics (ICAES-2012), *Journal of Physics: Conference* 2013: 418, 012140; 1-7.
- [24] Junichiro Takahata et al., Improvement of growth rate of plants by bubble discharge in water, *Japanese Journal of Applied Physics*, 2015; 54: 1-6.
- [25] Marx, E. Deutsches Reichspatent No. 455933, (German Patent).
- [26] Shaobo Deng et al., Inactivation of *Escherichia coli* on Almonds Using Non-thermal Plasma, *Food Microb. and Safety*, 2007; 72(2): M62-M66.
- [27] Leszek Kordas et al., The Effect of Low-Temperature Plasma on Fungus Colonization of Winter Wheat Grain and Seed Quality, *Pol. J. Environ. Stud.*, 2015; 24(1): 433-438.
- [28] Pradeep Puligundla et al., Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds, *Food Control*, 2017 (Available online 18 July 2016), 71: 376-382.
- [29] Ruonan Ma et al., Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce, *Journal of Hazardous Materials*, 2015; 300: 643–651.
- [30] Phumon Sookwong et al., Application of Oxygen-argon Plasma as a Potential Approach of Improving the Nutrition Value of Pre-germinated Brown Rice, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2014; 2(12): 946-951.
- [31] Natthaporn Khamsen et al., Rice (*Oryza sativa* L.) Seed Sterilization and Germination Enhancement via Atmospheric Hybrid Non-thermal Discharge Plasma, *ACS Applied Mat. and Int.*, 2016; 8 (30): 19268–19275.
- [32] Zhuwen Zhou et al., Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds, *Agricultural Sciences*, 2011; 2: 23-27.
- [33] Tibor Stolarik et al., Effect of Low-Temperature Plasma on the Structure of Seeds, Growth and Metabolism of Endogenous Phytohormones in Pea (*Pisum sativum* L.), 2015; 35: 659–676.
- [34] Satoshi Kitazaki et al., Plasma induced long-term growth enhancement of *Raphanus sativus* L. using combinatorial atmospheric air dielectric barrier discharge plasmas, *Current Applied Physics*, 2014; 14: S14-S153.
- [35] Khanit Matra, Non-thermal Plasma for Germination Enhancement of Radish Seeds, *Procedia Computer Science*, 2016; 86: 132–135.
- [36] Renwu Zhou et al., Effects of Atmospheric-Pressure N₂, He, Air, and O₂ Microplasmas on Mung Bean Seed Germination and Seedling Growth, *Scientific Reports*, 2016; 1-11.
- [37] Hartmut Lange, Vacuum UV Radiation of a Plasma Jet Operated With Rare Gases at Atmospheric Pressure, *IEEE Transactions On Plasma Science*, 2009; 37(6): 859-865.
- [38] Tomoyuki Murakami et al., Chemical kinetics and reactive species in atmospheric pressure



- helium–oxygen plasmas with humid-air impurities, , 2012; 22: 015003.
- [39] Rajesh Dorai et al., A model for plasma modification of polypropylene using atmospheric pressure discharges, Journal of Physics D: Applied Physics, 2003; 36(6): 666.
- [40] Vernon Cooray et al., On the NO_x production by laboratory electrical discharges and lightning, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2009; 71: 1877.
- [41] Roger Atkinson, Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x, Atm. Environ., 2000; 43: 2063–2101.
- [42] Chris Miller et al., Gaseous nitric oxide bactericidal activity retained during intermittent high-dose short duration, 2009; 20: 16–23.
- [43] Sun, B., Sato, M., and Clements, J.S., Optical study of active species produced by a pulsed streamer corona discharge in water. J. Electrostat., 1997; 39: 189-132.
- [44] Wenjuan Bian et al., Nitrogen Fixation Into Water by Pulsed High-Voltage Discharge, IEEE Transactions On Plasma Sci., 2009; 37: 211-218.



การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองลักษณะความสว่างของระบบไฟถนนไดโอดเปล่งแสง กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย Improved Illumination Model of LED Street Light at Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai

พงศกร พันภัย พงษ์ชัย สืบสาร และ วิฑูรย์ พรหมมี*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Pongsakon Ponpai, Pongchai Seupsan and Witoon Prommee*

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

99 Saikhao, Phan, Chiangrai, 57120

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน: wprommee232@gmail.com โทรศัพท์ 061-5419614

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองความสว่างเสมือนจริงของไฟถนนโดยพิจารณาการเปรียบเทียบความสว่าง และความส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง แบบเลนส์ขนาดใหญ่ และหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดเล็ก กรณีศึกษาพื้นที่ถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย อดีตติดตั้งไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HID) ขนาด 125 วัตต์ และปัจจุบันเปลี่ยนเป็นไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดใหญ่ขนาด 70 วัตต์ โดยทำการวัดค่าความส่องสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดใหญ่ และจำลองความส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดเล็ก 70 วัตต์ โดยโปรแกรม DIALux เพื่อนำมาใช้ในการประเมินความสว่าง และความส่องสว่างของไฟถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย การจำลองความสว่างของถนน 4 บริเวณ ได้แก่ ถนนทางตรงแบบมีเกาะกลางโคมไฟกิ่งคู่ ถนนทางโค้งแบบไม่มีเกาะกลางโคมไฟกิ่งเดียว ถนนบริเวณทาง 3 แยก และถนนบริเวณทาง 4 แยก จากผลการทดลอง ไฟถนนไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดเล็ก 70 วัตต์ มีค่าความสว่าง ความส่องสว่าง และความสม่ำเสมอของไฟถนนดีกว่า ไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดใหญ่ 70 วัตต์

คำสำคัญ DIALux ไดโอดเปล่งแสง ความส่องสว่าง ความสว่าง มาตรฐานกรมทางหลวง

Abstract

This research builds a virtual illuminance model of street lights which considers the difference of luminance and illuminance between big-lens and small-lens light emitting diodes (LED) street lights. The location of the study was a street in Rajamangala University of Technology, Chiang Rai campus, where LED Street light with big lens 70 watt were chosen to replace high intensity discharge (HID) 125 watt lights to save energy, with the exception of some areas which do not have enough light. As a result, LED Street light with small lens are used to improve the light performance of street light. A street lighting model is designed in DIALux program to improve the light performance indices, including illuminance, luminance, and compliance to Thai highway light standards. There are four types of street including Direct road with traffic island, Curve road without traffic island, three ways of a crossroad and four ways of a crossroad. For experimental results, LED street lights with small lens give a better overall light performance than LED Street light with big lens on the street of Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai.

Keywords: DIALux, light emitting diode, illuminance, luminance, thai highway light standard.

1. บทนำ

โปรแกรม DIALux เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการจำลองและออกแบบแสงสว่างจากหลอดไฟโดยอ้างอิงจาก ลูเมนและวัตต์จากหลอดที่นำมาใช้งานจะได้ค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นที่เช่น พื้นห้อง พื้นถนน โตะ แก้ว เป็นต้นหรือบริเวณพื้นที่ๆ เราต้องการทราบค่ามีหน่วยการวัดค่าความส่องสว่างเป็น ลักซ์ โดยออกแบบ และจำลองห้อง หรือ พื้นที่เป็นรูปแบบสามมิติแล้วมีระดับค่า ลักซ์ เป็นตัวบอกค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบกับพื้นที่ และสามารถเชื่อมข้อมูลของโคมไฟฟ้าสามารถกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ชนิดโคมและลักษณะถนนเหมือนจริงตรงตามลักษณะวัสดุเนื้อถนน มีระบบการคำนวณและสร้างรายงานการออกแบบที่ครบสมบูรณ์ ตรงตามหลักวิศวกรรมไฟฟ้าส่องสว่าง สร้างแบบจำลองสามมิติเสมือนจริงในรูปแบบที่เป็นไฟล์ภาพนิ่งสองมิติ และสามารถสืบรับข้อมูลต่างๆ กับไฟล์แบบ AutoCAD หรือ CAD และมีฟังก์ชันการประมวลผลแสดงข้อมูลการอนุรักษ์พลังงาน

ในปี ค.ศ. 2013 Jarin Harapee [1] ได้ทำการทดลองหาค่าความส่องสว่างที่ได้รับจากโคมไฟไดโอดเปล่งแสง LED ใหม่และเปรียบเทียบแสงโคมไฟที่มีอยู่ใช้โคมไฟ HPS 250 วัตต์ และโคมไฟ HQV 125 วัตต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลอด LED 140 วัตต์ ใช้แทนหลอด HPS 250 วัตต์สามารถลดพลังงานการใช้งานได้ถึง 169 วัตต์/โคม คิดเป็น 56.6% สามารถประหยัดพลังงานโดย 740.22 Kwh /โคมไฟ/ปี นอกจากนี้การแทนที่ของหลอด LED 55 วัตต์ ใช้แทนหลอด HQV 125 วัตต์ สามารถลดพลังงานในการใช้ได้ถึง 92 วัตต์/โคมไฟ คิดเป็น 64.4% สามารถประหยัดพลังงานโดย 406.03 Kwh/โคมไฟ/ปี

ในปี ค.ศ. 2013 จริญญา บุญยะคงรัตน์ [2] ได้ทำโครงการเปลี่ยนโคมไฟถนนเดิมเป็นโคม LED ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำเสนอภาพรวมของการใช้ไฟถนน และไฟสาธารณะพร้อมทั้งโครงสร้างการจ่ายไฟซึ่งพบว่าในปัจจุบันการใช้งานส่วนนี้โดยไม่ได้คิดมูลค่าถึงปีละกว่า 1800 ล้านบาททำให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีแนวคิดในการลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลงโดยก่อนหน้านี้ได้มาตรการในการประหยัดพลังงานใน 2 แนวทางคือการลดระยะเวลาการเปิดไฟ และการดับไฟสลับดวงทำการ ศึกษาแนวทางการประหยัด

พลังงานอื่นๆได้แก่การปรับลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โคมไฟ (การใช้ Dimmer) การเปลี่ยนขนาดและชนิดของโคมไฟหลอดไฟและการเปลี่ยนใช้โคมไฟ LED

ในปี ค.ศ. 2014 ศ.ดร.ประมอทย์ อุณหวิทย์ [3] ได้ทำการทดลองศึกษาประสิทธิภาพไฟถนน และการใช้งานโคมไฟถนน LED ได้สรุปผลการศึกษาและทดลองติดตั้ง ณ พื้นที่ทดสอบที่ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการติดตั้งเดิมซึ่งใช้โคมและหลอด HPS 250 วัตต์ เทียบกับที่ติดตั้งใหม่ 3 กรณีคือ 1. โคม LED 140 วัตต์, 2. โคมประสิทธิภาพสูงหลอด HPS 150 วัตต์ และ 3. โคมที่มีการปรับคุณภาพตัวสะท้อนแสงใช้กับหลอด HPS 150 วัตต์

ในปี ค.ศ. 2014 ผศ.อรุณพล เก่งพิทักษ์กุล [4] และคณะได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์การจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของถนนทางหลวงเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของหลอดโซเดียมความดันไอสูง HPS และหลอดไดโอดเปล่งแสง LED และเสนอการติดตั้งโดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง LED ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในปี ค.ศ. 2015 กิตติ เป้าอันพงษ์กุล ผศ.ดร.จรรยาพร จุลตามระ [5] ศูนย์วิจัย และนวัตกรรมการส่องสว่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้ทำการทดลองการประเมินคุณภาพระบบแสงสว่างภายนอกอาคารแบบปรับตามการใช้งานระบบควบคุมแสงสว่างแบบปรับตามการใช้งานมีศักยภาพสูงในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และการลดมลภาวะทางแสงอย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงระดับค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม

จากงานวิจัยในอดีต [1-5] ไม่มีการเปรียบเทียบความส่องสว่างและความส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดใหญ่ และหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ ขนาดเล็ก และไม่ได้ทำการเปรียบเทียบสว่างและความส่องสว่างบริเวณถนนทางโค้ง ทาง 3 แยก และทาง 4 แยก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองความส่องสว่างไฟถนนของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED ให้เหมาะสมตามมาตรฐานของกรมทางหลวงโดยการจำลองความส่องสว่างของไฟถนนความกว้างถนนบริเวณทางตรง ทางโค้ง และทางแยกอยู่ที่ $6 < W \leq 8$ เมตร โดยจะนำค่าความส่องสว่าง และค่าความส่องสว่างที่ได้จากการวัดของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบเลนส์ขนาดใหญ่ 70 วัตต์ นำมาเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่าง และ

ค่าความส่องสว่างที่ได้จากโปรแกรม DIALux ของไดโอดเปล่งแสง LED แบบเลนส์ขนาดเล็ก 70 วัตต์ เพื่อปรับปรุงค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานของกรมทางหลวงให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน

2. ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ทฤษฎีค่าความส่องสว่างและการติดตั้งเสาไฟฟ้าตามมาตรฐานกรมทางหลวง[3]

ตารางที่ 1 ค่าความส่องสว่างโคมไฟถนนตามมาตรฐานกรมทางหลวง [6]

ประเภทถนน	ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)		
	ในเมือง	ชานเมือง	ชนบท
สายประธาน	21.5	15.0	10.7
สายหลัก	21.5	13.0	9.7
สายรอง	13.0	9.7	6.5
สายย่อย	9.7	6.5	2.1
ทางแยก	21.5	21.5	15.0

ค่ากำหนดที่ใช้ในการออกแบบถนนสายหลักชนบทดังนี้
ความส่องสว่าง (Illuminance) E_{av} ไม่น้อยกว่า 9.7 ลักซ์ (lx)
ความสว่าง (luminance) L_{av} ไม่น้อยกว่า 0.75 cd/m²
ความสม่ำเสมอของแสง

E_{min}/E_{av} ไม่น้อยกว่า 1/2.5

E_{min}/E_{max} ไม่น้อยกว่า 1/6

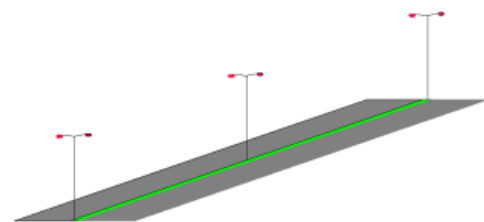
ตารางที่ 2 การติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่างถนนแบบมีเกาะกลางตามมาตรฐานกรมทางหลวง [6]

ความกว้างถนนรวมไหล่ทาง (W) 6<W=8 เมตร			
ความกว้างเกาะกลางถนน (A) , เมตร	A=1.5	1.5<A=3	A > 3
ชนิดเสาโคมไฟ	กิ่งคู่	กิ่งคู่	กิ่งเดี่ยว
ชนิดโคม	รูปที่ 1	รูปที่ 1	รูปที่ 2
ขนาดหลอด (วัตต์)	250	250	250
ความสูงเสา (H) เมตร	9	9	9
แขนรับดวงโคม (L) เมตร	1.50	2.50	1.50
ระยะห่างระหว่างเสา (s) เมตร	50	50	35

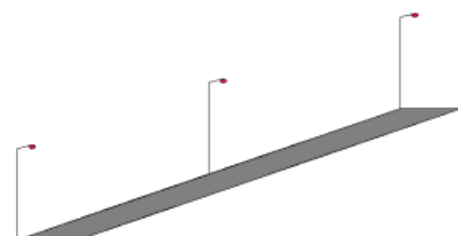
ตารางที่ 3 การติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่างถนนแบบไม่มีเกาะกลางตามมาตรฐานกรมทางหลวง [6]

รูปแบบของถนน	ถนน 2 ช่องจราจร ความกว้างผิวจราจรรวมไหล่ 8 เมตร	
	ทางตรง	ทางแยก
ลักษณะการติดตั้งเสาไฟฟ้าแสงสว่าง	ติดตั้งทางเดียว	ติดตั้งตามรูปแบบ
ชนิดโคม	รูปที่ 1 รูปที่ 2	รูปที่ 3 รูปที่ 4
ขนาดหลอด (วัตต์)	150 250	150 250
ความสูงของเสา (เมตร)	9 9	9 9
แขนรับดวงโคม (เมตร)	1.20 1.20	1.20 1.20
ระยะห่างระหว่างเสา (เมตร) s	40	3 แยก 13.3,20,20
		4 แยก 13.3,26.6

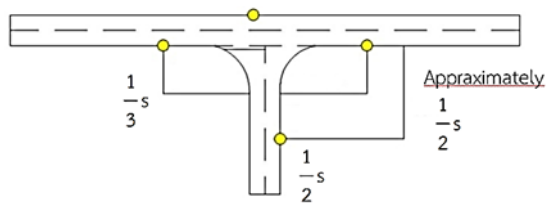
จากตารางที่ 3 ลักษณะถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย เป็นถนนแบบ 2 ช่องจราจรความกว้างผิวจราจรรวมไหล่ทาง 6<W≤8 เมตร



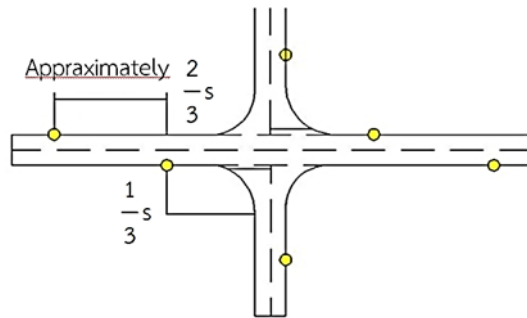
รูปที่ 1 ถนนแบบมีเกาะกลางแบบโคมไฟกิ่งคู่ (บริเวณที่ 1)



รูปที่ 2 ถนนแบบไม่มีเกาะกลางโคมไฟกิ่งเดี่ยว (บริเวณที่ 2)



รูปที่ 3 การติดตั้งเสาไฟถนนบริเวณทาง 3 แยก (บริเวณที่ 3)



รูปที่ 4 การติดตั้งเสาไฟถนนบริเวณทาง 4 แยก (บริเวณที่ 4)

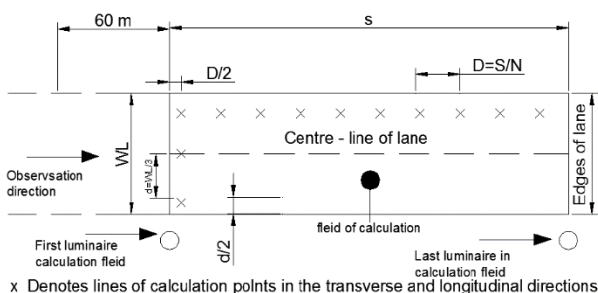
ลำดับเฟสต่อจำนวนโคมไฟถนนทั้งหมด 256 หลอด

เฟส A = 88 หลอด

เฟส B = 85 หลอด

เฟส C = 83 หลอด

2.2 ตำแหน่งของจุดการวัดค่าความส่องสว่าง (CIE140:2000)



รูปที่ 5 จุดการคำนวณตามแนวขวางและแนวยาว

(ก) ในทิศทางตามความยาว (D)

ระยะ D ในทิศทางตามแนวความยาวกำหนดโดยสมการ (1)

$$D = S/N \quad (1)$$

D คือ ระยะทางระหว่างจุดในทิศทางตามความยาว เมตร

S คือ ระยะทางระหว่างโคมไฟในแถวเดียวกัน เมตร

N คือ จำนวนของจุดในการคำนวณตามทิศทางความยาว $S \geq 30$ เมตร เมื่อคำนวณมาแล้ว ขนาด $D \leq 3$ เมตร ขนาดของจุดแรกของการคำนวณระยะห่างเท่ากับ $D/2$ เมตร

(ข) ในทิศทางด้านขวาง (d)

ระยะ d ในทิศทางตามด้านขวางกำหนดโดยสมการ (2)

$$d = WL/3 \quad (2)$$

d คือ ระยะห่างระหว่างจุดในแนวนอน เมตร

WL คือ ความกว้างของช่องทางถนนขนาดของจุดแรกของการคำนวณระยะห่างเท่ากับ $d/2$ เมตร

2.2.1 ระยะห่างระหว่างเสา 20 เมตร

ทิศทางตามความยาว $D \leq 3$ เมตร

$$D = S/N = 20/8 = 2.5 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระยะจุดแรก } D/2 = 1.25 \text{ เมตร}$$

ทิศทางตามแนวนอน

$$d = WL/3 = 3/3 = 1 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระยะจุดแรก } d/2 = 0.5 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นระยะห่างแต่ละจุดในแนวยาว คือ 2.5 เมตร แต่จุดแรกคือ 1.25 เมตร ระยะห่างแต่ละจุดด้านขวาง คือ 1 เมตร แต่จุดแรกคือ 0.5 เมตร

2.2.2. ระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร

ทิศทางตามความยาว $D \leq 3$

$$D = S/N = 40/14 = 2.43 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระยะจุดแรก } D/2 = 1.2 \text{ เมตร}$$

ทิศทางตามแนวนอน

$$d = WL/3 = 3/3 = 1 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระยะจุดแรก } d/2 = 0.5 \text{ เมตร}$$

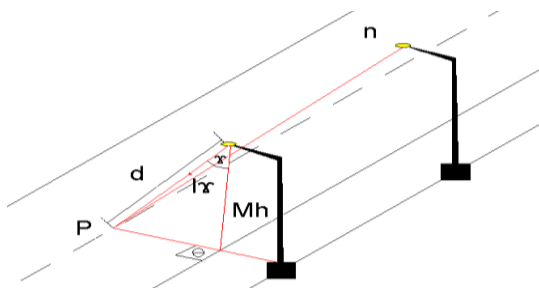
ดังนั้นระยะห่างแต่ละจุดในแนวยาว คือ 2.43 เมตร แต่จุดแรกคือ 1.2 เมตร ระยะห่างแต่ละจุดด้านขวาง คือ 1 เมตร แต่จุดแรกคือ 0.5 เมตร

2.3 การคำนวณความสว่างและความส่องสว่าง

ความสว่าง คือ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ และค่าความส่องสว่างพื้นผิว มีหน่วยเป็น ลักซ์ ค่าความส่องสว่างที่จุด P (E_p) ที่มีโคมไฟ (n) คำนวณจากสมการที่ (3)

$$E_{av} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{\gamma,i}}{Mh} (\cos \gamma_i)^3 \quad (3)$$

$I_{\gamma,i}$ คือแสงบาดตาที่มุม γ_i ของโคมไฟ Mh คือ ความสูงระหว่างโคมไฟและถนนเป็นมุมระหว่าง Mh และแสงที่จุด P, n คือจำนวนของโคมไฟ



รูปที่ 6 รายละเอียดแสงของไฟถนน

ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสามารถคำนวณจากสมการที่ (4)

(E_p)_j เป็นค่าความส่องสว่างจากจุด P ของจุด j จากมาตรฐาน CIE 140:2000

$$E_{av} = \sum_{j=1}^n \frac{(E_p)_j}{n} \quad (4)$$

ความส่องสว่าง (L) คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มของการส่องสว่างของพื้นที่แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) โดยความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (5)

$$L_{av} = q \times E_{av} \quad (5)$$

q คือ แสงสะท้อนที่กระทบวัตถุหรือพื้นผิวถนนผิวถนนคอนกรีต (portland cement concrete) ค่า q เท่ากับ 0.1 ผิวถนนแอสฟัลท์ที่ผสมหินบดที่แสงสะท้อนไม่ดีไม่น้อยกว่า

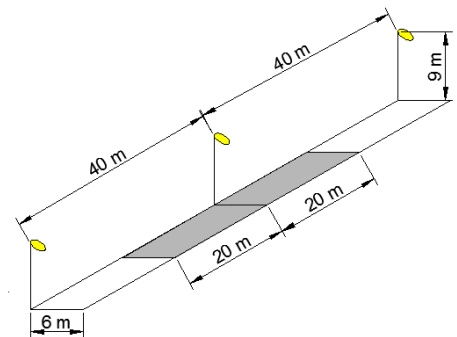
60% ของจำนวนหินบด (ถนนยางมะตอย) ค่า q เท่ากับ 0.07

2.4 การคำนวณคิดค่าไฟ

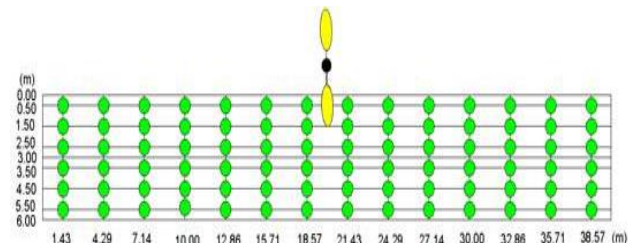
$$U = \frac{W \times n}{1000 \times h} \quad (6)$$

U = หน่วยยูนิต, W = กำลังไฟฟ้า, n = จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า, h = จำนวนชั่วโมง

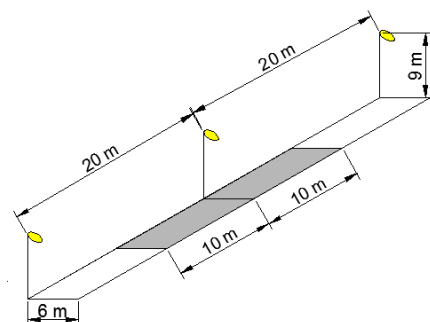
2.5 การติดตั้งโคมไฟถนนตามตำแหน่งที่ติดตั้งจริง



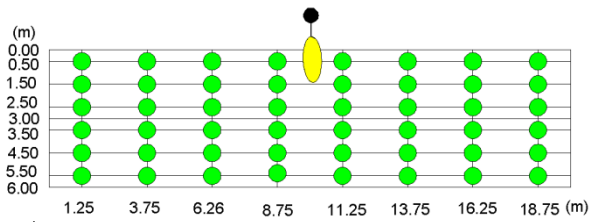
รูปที่ 7 การติดตั้งโคมไฟถนนของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ ในระยะห่างดวงโคม 40 เมตร



รูปที่ 8 ตำแหน่งของการวัดสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ ในระยะห่างดวงโคม 40 เมตร (ขนาด 6x14 จุดวัด)



รูปที่ 9 การติดตั้งโคมไฟถนนของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ ในระยะห่างดวงโคม 20 เมตร

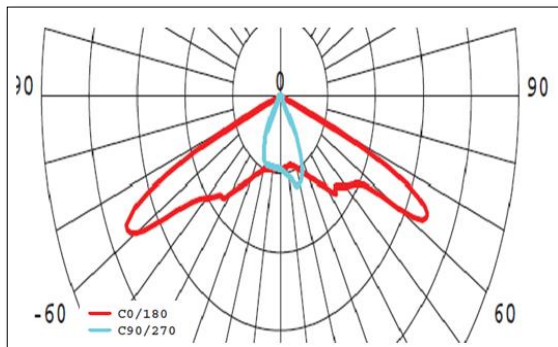


รูปที่ 10 ตำแหน่งของการวัดสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ในระยะห่างดวงโคม 20 เมตร (ขนาด 6x8 จุดวัด)

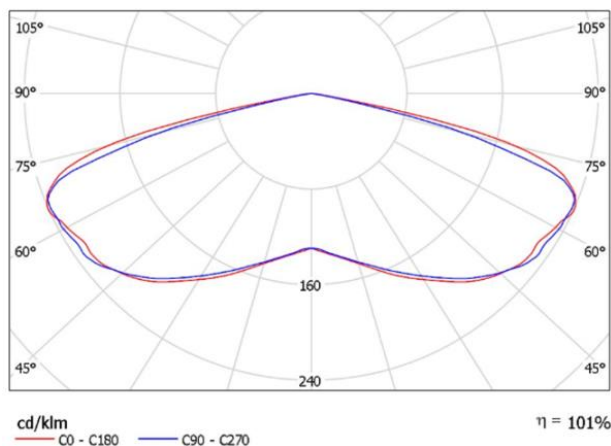


เลนส์ขนาดใหญ่ [10] เลนส์ขนาดเล็ก [9]

รูปที่ 11 หลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่และ ไดโอดเปล่งแสงแบบเลนส์ขนาดเล็ก

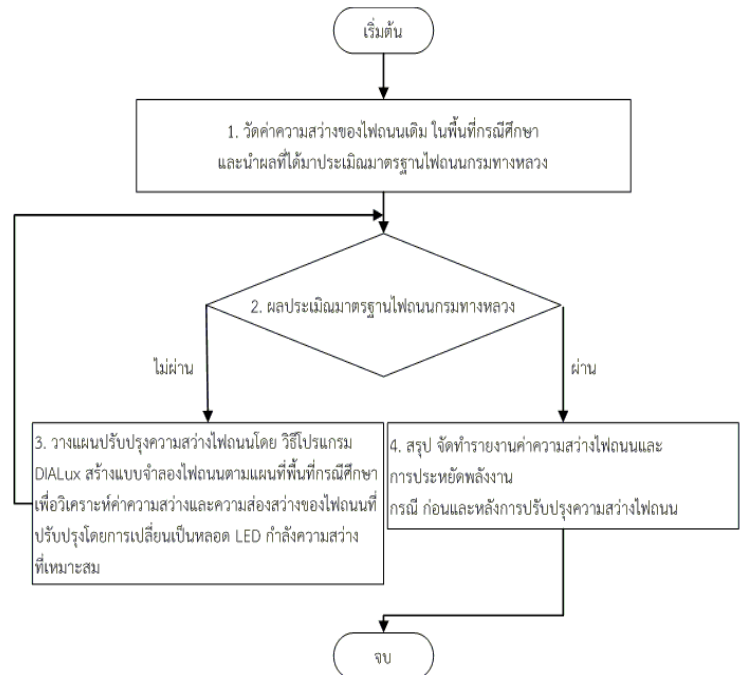


รูปที่ 12 เปรียบเทียบการกระจายแสงตามแกน C0-180 และ C90-270 ของหลอด LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่



รูปที่ 13 เปรียบเทียบการกระจายแสงตามแกน C0-180 และ C90-270 ของหลอด LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็ก

3. ผลการดำเนินงาน



รูปที่ 14 แผนขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์และประเมินผลความสว่างไฟถนน

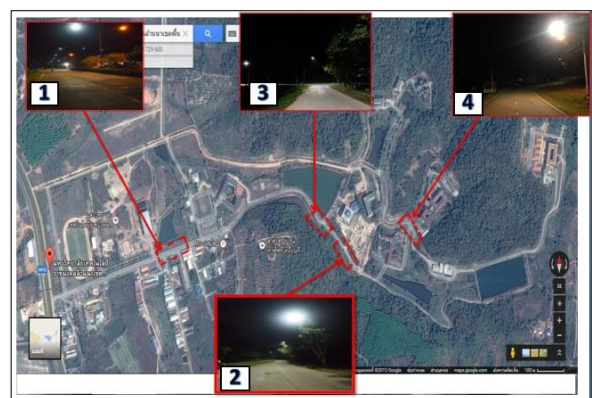
แผนที่กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงรายสามารถ แบ่งเขตตามชนิดของถนนได้ 4 บริเวณ ดังนี้

บริเวณที่ 1 ถนนทางตรงแบบมีเกาะกลางโคมไฟกิ่งคู่

บริเวณที่ 2 ถนนทางโค้งแบบไม่มีเกาะกลางโคมไฟกิ่งเดี่ยว

บริเวณที่ 3 ถนน 3 แยก

บริเวณที่ 4 ถนน 4 แยก

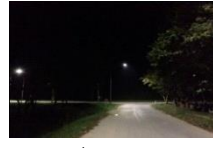


รูปที่ 15 แผนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงรายจากแผนที่ Google โดยแบ่งตามบริเวณที่ทำการวัดค่าความสว่างของไฟถนน

3.1 การวัดค่าความสว่างด้วย มิเตอร์ รุ่น LX1330B ทั้งหมด 4 บริเวณ



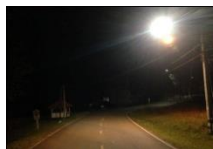
บริเวณที่ 1 ทางตรง



บริเวณที่ 3 ทาง 3 แยก



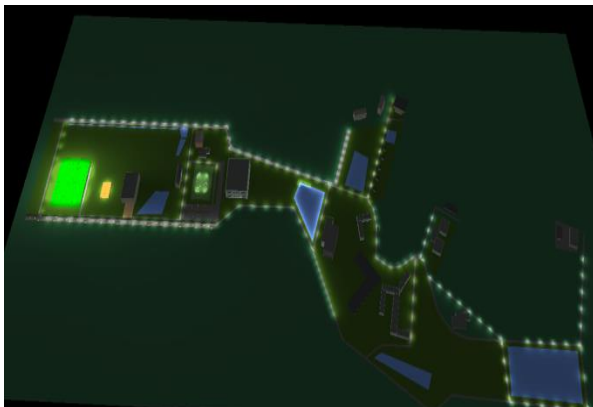
บริเวณที่ 2 ทางโค้ง



บริเวณที่ 4 ทาง 4 แยก

รูปที่ 16 การวัดค่าความสว่างด้วยมิเตอร์ ทั้งหมด 4 บริเวณ
*กรณีที่จุดวัดมีเงาบังจะไม่นำจุดนั้นมาคิดค่าเฉลี่ยความสว่าง

3.2 การพัฒนา และปรับปรุงแบบจำลองลักษณะความส่องสว่างของระบบไฟถนนไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 17 การจำลองลักษณะความส่องสว่างของระบบไฟถนน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย โดยโปรแกรม DIALux

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความสว่างไฟถนนในโปรแกรม DIALux ดังนี้

Maintenance Factor (MF) เท่ากับ 0.67

Road Class เท่ากับ R4 (Mastic asphalt)

IES file ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็กในรูปที่ 13

3.3 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองโปรแกรม DIALux ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED ขนาด 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็กและการวัดหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่

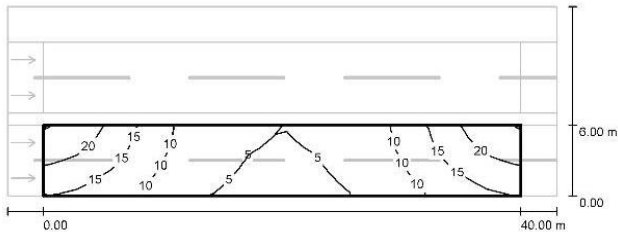
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม DIALux ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED ขนาด 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็ก และจากการวัดหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่

ชนิดถนน	ถนนแบบมีเกาะกลาง (บริเวณที่1)		ถนนแบบไม่มีเกาะ กลาง (บริเวณที่2)	
LED(watt)	70 เลนส์ ใหญ่ (ตรวจวัด)	70 เลนส์ เล็ก (DIALux)	70 เลนส์ ใหญ่ (ตรวจวัด)	70 เลนส์ เล็ก (DIALux)
Luminaire spacing(m)	40	40	20	20
Illuminance $E_{av} \geq 9.7$	<u>9.03</u>	11	19.23	12
Luminance $L_{av} \geq 0.75$ cd/m ²	0.96	<u>0.74</u>	1.34	0.88
Uniformity $U_o, E_{min}/E_{av}$ ≥ 0.40	<u>0.20</u>	<u>0.34</u>	0.57	0.81
Uniformity E_{min}/E_{max} ≥ 0.17	<u>0.08</u>	<u>0.16</u>	0.39	0.66

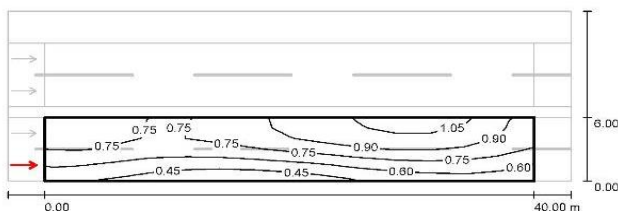
หมายเหตุ “_” หมายถึงตัวบ่งชี้ต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่ตารางที่ 1

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบหลอดไดโอดเปล่งแสง 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็ก และหลอดไดโอดเปล่งแสง 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่ระยะห่าง 40 เมตร และระยะห่าง 20 เมตรเพื่อให้ได้ค่าตามมาตรฐานของกรมทางหลวง อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าความสว่าง และค่าความส่องสว่างของโปรแกรม DIALux ไม่รวมผลของความสว่าง และความส่องสว่างจากภายนอก เช่น แสงของพระจันทร์ และแสงของอาคารที่อยู่ใกล้กับบริเวณถนนที่ทำการประเมินความสว่าง และความส่องสว่าง

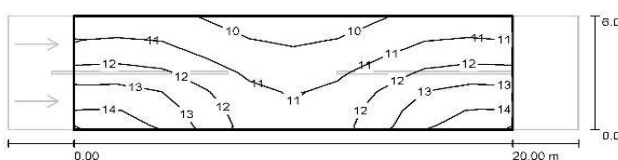
3.4 Isolines of illuminance หลอดไดโอดเปล่งแสง LED ขนาด 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็กบริเวณที่ 1 ถนนทางตรงแบบมีเกาะกลาง และบริเวณที่ 2 ถนนทางโค้งแบบไม่มีเกาะกลาง



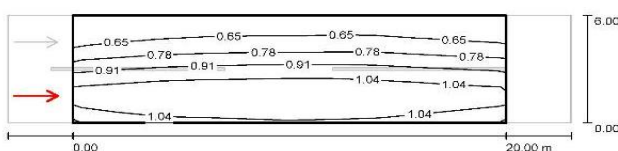
รูปที่ 18 ระดับความสว่าง (isolines of illuminance, E_{av}) หน่วยเป็น ลักซ์ บริเวณที่ 1 ถนนทางตรงแบบมีเกาะกลาง



รูปที่ 19 ระดับความส่องสว่าง (isolines of luminance, L_{av}) หน่วยเป็น (cd/m^2) บริเวณที่ 1



รูปที่ 20 ระดับความสว่าง (isolines of illuminance, E_{av}) หน่วยเป็น ลักซ์ บริเวณที่ 2 ถนนทางโค้งแบบไม่มีเกาะกลาง



รูปที่ 21 ระดับความส่องสว่าง (Isolines of luminance, L_{av}) หน่วยเป็น (cd/m^2) บริเวณที่ 2

3.5 ความส่องสว่างของถนนบริเวณทางแยก

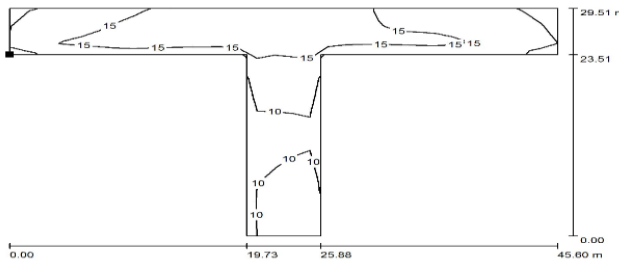
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม DIALux ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED ขนาด 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็กและค่าที่ได้จากการวัดหลอดไดโอดเปล่งแสง LED 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดใหญ่ที่ได้จากการวัดค่าความสว่างด้วย Digital meter ถนนบริเวณทาง 3 แยก และถนนบริเวณทาง 4 แยก

ชนิดถนน	(บริเวณที่ 3) ถนน 3 แยก		(บริเวณที่ 4) ถนน 4 แยก	
	LED(watt) เลนส์ ใหญ่ (ตรวจวัด)	LED(watt) เลนส์ เล็ก (DIALux)	LED(watt) เลนส์ ใหญ่ (ตรวจวัด)	LED(watt) เลนส์ เล็ก (DIALux)
Luminaire spacing (m)	40	40	40	40
Illuminance $E_{av} \geq 15$	8	14	7.65	10
Luminance $L_{av} \geq 0.75$ cd/m^2	0.56	1.05	0.54	0.79
Uniformity $U_o, E_{min}/E_{av}$ ≥ 0.40	0.38	0.59	0.24	0.52
Uniformity E_{min}/E_{max} ≥ 0.17	0.18	0.43	0.12	0.34

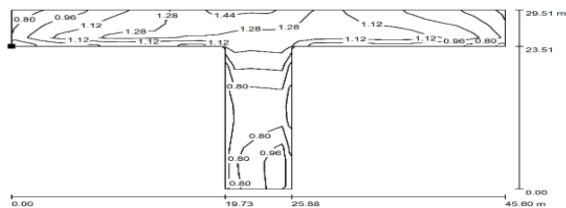
หมายเหตุ “-” หมายถึงตัวบ่งชี้ต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวงที่ตารางที่ 1

3.6 ระดับความสว่างและความส่องสว่างของหลอด

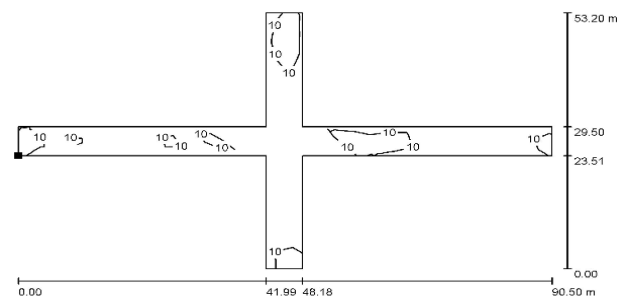
ไดโอดเปล่งแสง LED ขนาด 70 วัตต์ แบบเลนส์ขนาดเล็ก
ถนนบริเวณที่ 3 ทาง 3 แยก และถนนบริเวณที่ 4 ทาง 4
แยก



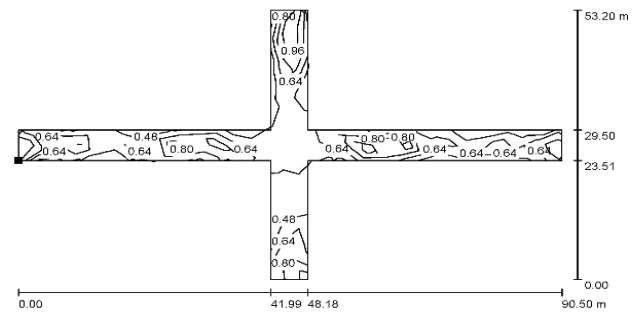
รูปที่ 22 ระดับความสว่าง (Isolines of illuminance, E_{av})
หน่วยเป็น ลักซ์ ถนนบริเวณที่ 3 ทาง 3 แยก



รูปที่ 23 ระดับความส่องสว่าง (Isolines of luminance, L_{av}) หน่วยเป็น (cd/m^2) ถนนบริเวณที่ 3 ทาง 3 แยก



รูปที่ 24 ระดับความสว่าง (Isolines of illuminance, E_{av})
หน่วยเป็น ลักซ์ บริเวณที่ 4 ทาง 4 แยก



รูปที่ 25 ระดับความส่องสว่าง (Isolines of luminance, L_{av})
หน่วยเป็น (cd/m^2) บริเวณที่ 4 ทาง 4 แยก

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยและการ
ประหยัดพลังงาน

หลอด	ก่อนติดตั้ง		หลังการติดตั้ง				อนาคต	
	HID125w		HID125w		LED70w		LED70w	
Time of use	peak	Off peak	peak	Off peak	peak	Off peak	peak	Off peak
Kwh/ปี/โคม	136.8	365	136.8	365	76.6	204.4	76.6	204.4
Kwh/เดือน/โคม	11.4	30.4	11.4	30.4	6.38	17	6.4	17
รายจ่าย/เดือน/โคม	41.9	66.1	41.9	66.1	23.4	37	23.4	37
รายจ่าย/เดือน/จำนวนโคม (บาท)	27,681.2		21,629.6				15,590.4	
ประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท)	0		6,051.6				12,822.1	

จากตารางที่ 6 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตามอัตราเวลาใช้งาน (time of use) คิดตามแรงดันไฟฟ้า 22-33 กิโลวัตต์ ช่วง peak ตั้งแต่ 18:30 – 21:30 น. ของทุกวันคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.6796 บาท/หน่วย ช่วง off peak ตั้งแต่ 21:30 – 08:00 น. ของทุกวันคิดค่าไฟฟ้าที่ 2.1760 บาท/หน่วย ดังนั้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงราย คิดค่าไฟถนนเป็น 2 ช่วงเวลา รวมวันละ 11 ชั่วโมง ช่วงแรก ตั้งแต่ 18:30 – 21:30 น. จำนวน 3 ชั่วโมง ช่วงที่สอง ตั้งแต่ 21:30 – 05:30 น. จำนวน 8 ชั่วโมง รวมวันละ 11 ชั่วโมง ต่อ 1 วัน

4. สรุป

จากงานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงค่าความสว่างและความส่องสว่างของไฟถนนที่มีอยู่เดิมให้ดีขึ้น โดยใช้โปรแกรม DIALux สร้างแบบจำลองความสว่าง และความส่องสว่างของโคมไฟถนน เพื่อใช้ในการวางแผนการประเมินค่าความสว่างและค่าความส่องสว่างของโคมไฟถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย โดยนำค่าความสว่างและค่าความส่องสว่างที่ได้จากการวัดไฟถนนไดโอดเปล่งแสง แบบเลนส์ขนาดใหญ่ 70 วัตต์ นำมาเปรียบเทียบกับค่าความสว่างและค่าความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม DIALux ของไฟถนนไดโอดเปล่งแสง แบบเลนส์ขนาดเล็ก 70 วัตต์ เพื่อปรับปรุงค่าความสว่างและส่องสว่างตามมาตรฐานของกรมทางหลวง จากผลการจำลองไฟถนนไดโอดเปล่งแสง แบบเลนส์ขนาดเล็ก 70 วัตต์ มีค่าความสว่าง ความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงดีกว่าไฟถนนไดโอดเปล่งแสง แบบเลนส์ขนาดใหญ่และไฟถนนไดโอดเปล่งแสงขนาด 70 วัตต์ ยังสามารถใช้แทนไฟถนนโซเดียมความดันไอสูงขนาด 125 วัตต์ได้ จำนวนโคมไดโอดเปล่งแสง LED ที่ทำการเปลี่ยนมีทั้งหมด 132 โคมและยังเหลือโคมโซเดียมความดันไอสูง 124 โคม การคำนวณค่าไฟออกมาแบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 ก่อนการติดตั้งใช้โคมโซเดียมความดันไอสูงค่าไฟถนนจะอยู่ที่ 27,681.2 บาท ต่อเดือน ช่วงที่ 2 ปัจจุบัน ได้ทำการเปลี่ยนโคมไดโอดเปล่งแสง LED จำนวน 132 โคม เหลือโคมไฟถนนโซเดียมความดันไอสูงจำนวน 124 โคม ค่าไฟลดลงเหลือ 21,699.6 บาทต่อเดือนประหยัดค่าไฟถึง 6,051.6 บาทต่อเดือน ช่วงที่ 3 ได้ทำการวางแผนติดตั้งไฟถนนไดโอดเปล่งแสง LED ทั้งหมดครบ 256 โคมค่าไฟจะลดลงเหลือ 15,590.4 บาทต่อเดือน ประหยัดค่าไฟฟ้าถึง 12,822.1 บาทต่อเดือน เป็นการช่วยประหยัดพลังงาน และเพิ่มความปลอดภัยในการมองเห็นเวลากลางคืนให้กับผู้ใช้รถใช้ถนนตามมาตรฐานกรมทางหลวง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงรายที่เป็นสถานที่ในการทดลอง และ ขอขอบคุณอาจารย์

นิคม ธรรมปัญญา ที่ให้การสนับสนุนเรื่องอุปกรณ์วัดค่าความสว่างของแสง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Halapee. J. Implementation on LED Road Lighting in Bangkok. GMSARN international Journal 2013; 8: 53-60.
- [2] จรัญ บุญยะคงรัตน์. โครงการเปลี่ยนโคมไฟถนนเดิมเป็นโคม LED ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2559]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.tieathai.org/news/2014/job%202%20LED.pdf>
- [3] ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ. สรุปการสัมมนาและอภิปรายเชิงวิชาการเรื่องโคมไฟถนน LED [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2559]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.tieathai.org/news/2014/job%202%20LED.pdf>
- [4] นิตยสาร TEMCA Magazine, สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, ฉบับที่ 21 [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2559]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.temcathai.com/activities/magazine-21-1>
- [5] กิตติ เป้าอันพงษ์กุล และ จรรยาพร จุลตามระ. การประเมินคุณภาพระบบแสงสว่างภายนอกอาคารแบบปรับตามการใช้งาน [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2559]. เข้าถึงได้จาก: http://www.arch.kmutt.ac.th/files/research/nation_Conference/1.TheSubjectiveEvaluations.pdf
- [6] กรมทางหลวงชนบท. คู่มือแนะนำการออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างและไฟสัญญาณ [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 5 ธ.ค. 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://trafficsafety.drr.go.th/upload/download/8_Front_16.pdf
- [7] สภาวิศวกร. มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเรื่องแนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิภาพพลังงานของโคมไฟถนน [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 5 ธ.ค. 2558].



เข้าถึงได้จาก: http://www.xn--42c6b3a0i.com/attachments/view/?attach_id=82871

- [8] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. อัตราค่าไฟฟ้า [อินเทอร์เน็ต]. 2555 [เข้าถึงเมื่อ 5 ธ.ค.2558]. เข้าถึงได้จาก <http://www.pea.co.th>
- [9] หลอด LED (LG) [อินเทอร์เน็ต]. 2555 [เข้าถึงเมื่อ 11 ธ.ค.2558]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.lg.com/th>
- [10] หลอด LED (LEKISE) [อินเทอร์เน็ต]. 2555 [เข้าถึงเมื่อ 11 ธ.ค.2558]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.lekise.com>



การสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด ให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลกกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก

The Construction of Corns Removing Machine for Ban Pa Dang Tai Community, Talukklung Commune, Muang District, Tak Province

ภาคภูมิ ใจชมภู^{1*} ไพฑูรย์ อุดมเกต¹ นรุตม์ คล้ายเคลื่อน¹ จิรวัดน์ วรวิชัย² และ จุมพล ชัยประเดิมศักดิ์²

¹หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

²หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

Pakpoom Jaichomphu^{1*}, Paitoon Udomkate¹, Narut Klailain¹, Chirawat Woarawichai² and Jumpon Chaipradermasak²

¹Bachelor of Science in Technical Education Program in Industrial Engineering.

²Bachelor of Engineering Program in Industrial Engineering.

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Tak, 41/1 Phahon Yothin Road, Tambon Mai Ngam, Muang Tak, Thailand 63000

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: pakpoomjai@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-6591-7786

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ การสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด ให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลกกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก จะแยกเป็นสองส่วนที่สำคัญ ส่วนที่หนึ่ง คือ เป็นส่วนกะเทาะเมล็ดข้าวโพด ลูกกะเทาะหมุนพาฝักข้าวโพดชุดกับผนังตะแกรงกะเทาะทำให้เมล็ดข้าวโพดหลุดออกจากแกนข้าวโพด แล้วผ่านตะแกรงล่อนเมล็ดข้าวโพด ส่วนที่สอง คือ ส่วนระบบส่งกำลังใช้มอเตอร์ 2 แรงม้า มีความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที โดยส่งกำลังผ่านสายพานแบบร่องวี ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะข้าวโพดโดยใช้ข้าวโพดพันธุ์ “แปซิฟิก 339” ที่ช่วงความชื้นร้อยละ 15 จากการเปรียบเทียบความเร็วรอบกับน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่กะเทาะออกจากแกน ที่ความเร็วรอบ 720 540 และ 360 รอบต่อนาที ความเร็วรอบที่ดีที่สุด คือ 360 รอบต่อนาที ป้อนข้าวโพดจำนวน 20 กิโลกรัม โดยใช้เวลาเฉลี่ยที่ 30.74 วินาที ได้ปริมาณเมล็ดข้าวโพด 85.80 เปอร์เซ็นต์ ได้เมล็ดที่ปนมาจากช่องทางออกของแกน 0.7 เปอร์เซ็นต์ ได้แกนข้าวโพดที่สมบูรณ์ 83.34 เปอร์เซ็นต์ ได้แกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์ 8.51 เปอร์เซ็นต์ ได้ฝุ่นผงและเมล็ดที่แตกเฉลี่ย 8.14 เปอร์เซ็นต์ เครื่องสามารถกะเทาะเมล็ดข้าวโพดได้ไม่น้อยกว่า 1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการประเมินความพึงพอใจ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจในเรื่องลักษณะของเครื่อง เหมาะสมกับการใช้งานในชุมชนอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.93 ส่วนข้อที่มีสิ่งปนเปื้อนในเมล็ดข้าวโพดมีปริมาณน้อยมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง คิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.37 โดยมีค่าเฉลี่ยภาพรวมของเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด อยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.51

คำสำคัญ ข้าวโพดพันธุ์แปซิฟิก339 เครื่องกะเทาะข้าวโพด สิ่งปนเปื้อนในเมล็ดข้าวโพด

Abstract

This research aims to construct the corn shelling machine for Ban Pa Dang Tai Community, Talukklung commune, Muang district, Tak province. The corn shelling machine is consisted of 2 parts. The first part removes grain from the entire whole corn and then transfer to sieve, which removes grain from corncob. The second part is the power source system that powers a V-belt system with 2 Hp and 1,450 rpm. The corn

shelling machine was using “PACIFIC 339” corn which contains 15 % humidity. In the light of comparison between rotation speed and weight of corn seed, there are three different levels of rotation speed such as 720, 540 and 360 rpm. The optimal speed is 360 rpm that could handle 20 kg of corn with, average time of 30.74 seconds. The amount of yielded grain was 85.80%, while 0.7% of the corn seed leave the exit door. 83.34 % of the corncobs were in complete condition, 8.51 % were in less complete condition. There is 8.14 % of broken particle of corn seed. This machine can work with at least 1,500 kg of corn per hour. The results of the satisfaction assessment showed that most respondents were satisfied with the appearance of the machine for appropriate use in the community. The average score is 4.93. The average score on minimal contamination of corn is 3.37 reflecting medium satisfaction level. The overall average score of the corn shelling machine is 4.51.

Keywords: PACIFIC 339 of corn, corn crackers machine, contamination of corn.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

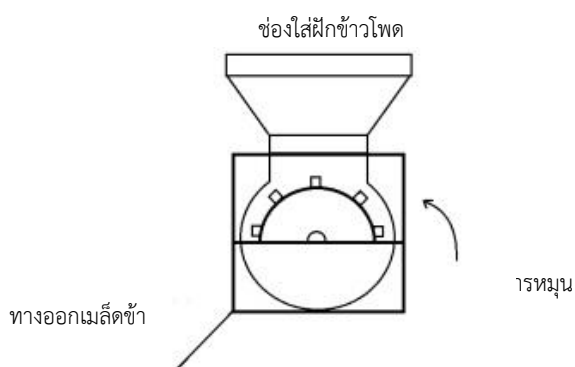
ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย รองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลี นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่หารายได้ให้กับประเทศ เป็นอาหารหลักที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ผลผลิตประมาณร้อยละ 20 ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ อีกร้อยละ 80 นั้นใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เมล็ดข้าวโพดและส่วนอื่นๆ เช่น ต้น ใบและแกนข้าวโพด ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เกษตรกรผลิตได้ในแต่ละปี ทั่วๆไปยังใช้แรงงานเก็บ โดยหักฝักข้าวโพดที่ครบอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90-120 วัน ออกจากต้นข้าวโพด แยกเปลือกหุ้มฝักข้าวโพดออกและนำมาตากแห้งเพื่อไม่ให้เกิดความชื้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 15-16 % หลังจากนั้นเกษตรกรก็จะทำการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดแยกออกจากแกนข้าวโพด โดยที่จ้างเครื่องจักรกลส่งกำลังด้วยเครื่องยนต์กะเทาะเมล็ดข้าวโพดแยกกับแกนข้าวโพดแล้วนำเมล็ดข้าวโพดไปจำหน่ายให้กับโรงสี และยังคงทิ้งแกนข้าวโพดที่แตกหักไว้ จึงทำให้เกษตรกรไม่ได้ผลประโยชน์ต่อมูลค่าผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งเครื่องจักรไม่ได้รับรักษาแกนข้าวโพดไว้ในรูปคงเดิม ในปัจจุบันแกนข้าวโพดมีมูลค่า 1-2.5 บาท/กิโลกรัม นำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงหลักในการอบไล่ความชื้นกับเมล็ดข้าวโพดได้อีกด้วย ขั้นตอนการกะเทาะข้าวโพดของเกษตรกรจะประสบกับปัญหาจำนวนมาก โดยที่เกษตรกรไม่มีเครื่องจักรเป็นของตนเอง เครื่องจักรมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง กล่าวคือเกษตรกรนำข้าวโพดของตน โดยจ้างผู้ที่มีเครื่องจักรกะเทาะ

ข้าวโพดออกให้ จึงทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มต้นทุนการผลิต และยังทำให้เกษตรกรเสียทั้งโอกาสการเพิ่มมูลค่าผลผลิตให้กับแกนข้าวโพดที่แตกหักทิ้งไว้ ไม่เกิดมูลค่ากับเกษตรกรอีกด้วย

คณะผู้วิจัย ได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรรายย่อยในชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตุลกลกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก จึงได้แนวคิดที่จะช่วยเกษตรกรเกี่ยวกับการหาวิธีให้เกษตรกร มีโอกาสได้จำหน่ายเมล็ดข้าวโพดและแกนข้าวโพดเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่ากับผลผลิตเกษตรกร จากการศึกษาข้อมูลและหลักการทำงานเบื้องต้นคณะผู้วิจัย เลือกใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยมอเตอร์จะจ่ายกำลัง ไปยังเพลการใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลังไปยังล้อสายพานอีกที เมื่อล้อสายพานหมุนเพลลาของชุดลูกกะเทาะก็จะหมุนและไปตีฝักข้าวโพด ส่วนชุดลูกกะเทาะเป็นแบบชนิดซี่เหล็ก มีลักษณะทึบ เรียงตัวอยู่บนผิวของลูกกะเทาะ การเรียงตัวของซี่เหล็กมีลักษณะเป็นเกลียวเลื้อย ดังรูปที่ 1 ตะแกรงโค้งทำด้วยแผ่นเหล็กเจาะรูเป็นรูปวงรีเป็นตะแกรงชนิดสำเร็จรูป การเคลื่อนที่ของชุดลูกกะเทาะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างแกนข้าวโพดและเมล็ดข้าวโพดไปในทิศทางตรงกันข้าม จะทำให้แกนข้าวโพดไหลออกจากช่องทางออก ส่วนเมล็ดข้าวโพดจะไหลหล่นผ่านรูตะแกรงคัดแยกและตกลงสู่ช่องทางออกของเมล็ดเพื่อเก็บรวบรวมต่อไป



รูปที่ 1 ชุดลูกกะเทาะ



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องกะเทาะข้าวโพด

ด้วยเหตุผลนี้คณะผู้วิจัย จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพดขึ้นเพื่อแยกเมล็ดข้าวโพดกับแกนข้าวโพดออกจากกัน โดยที่แกนข้าวโพดไม่แตกหักเพื่อให้เกษตรกรรายย่อยมีโอกาสนำเมล็ดข้าวโพดและแกนข้าวโพดที่สมบูรณ์นำไปจำหน่ายกับโรงสี ให้เกิดมูลค่าเพิ่มผลผลิตตามความต้องการของเกษตรกร ในชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก

1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย (Objectives)

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด ให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกะเทาะข้าวโพด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย (Scope of Research)

1.3.1 ชุดตะแกรงคัดแยกเมล็ดข้าวโพดกับสิ่งปนเปื้อนจำนวน 2 ชุด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงชุดบนขนาด 12.8 มิลลิเมตร ส่วนชุดล่างมีขนาด 6.5 มิลลิเมตร

1.3.2 ติดชุดพัดลมเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน

1.3.3 ติดชุดล้อเลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว พร้อมชุดล้อคล้อย

1.3.4 เครื่องที่สร้างขึ้นจะได้เมล็ดข้าวโพดที่มีสิ่งปนเปื้อนไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

1.3.5 ข้าวโพดที่นำมาทดลองใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 339 ที่มีความชื้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด วัดจากเครื่อง Grain Moisture Tester รุ่น Pm-400 แล้วผ่านการคัดแยกเปลือกข้าวโพดแล้ว

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบมีส่วนร่วม (participatory action research) โดย การวิจัย จะประกอบด้วย ชุมชนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพด และคณะผู้วิจัย อาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพปัญหาในกระบวนการกะเทาะเมล็ดข้าวโพด โดยการสนทนากลุ่มย่อย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. วางแผนดำเนินการเพื่อนัดหมายผู้เกี่ยวข้อง
2. ดำเนินการสนทนากลุ่มย่อย โดยเริ่มจากชี้แจงวัตถุประสงค์และสอบถามสภาพปัญหาในกระบวนการกะเทาะเมล็ดข้าวโพด
3. สรุปผลข้อมูลจากการสนทนากลุ่มย่อย เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องฯ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด

1. ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสรุปผลข้อมูลจากการสนทนากลุ่มย่อย

2. ออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด
3. ทดลองใช้และเก็บรวบรวมข้อมูล
4. วิเคราะห์ผลการทดลองและหาประสิทธิภาพ
5. สรุปผล

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบการทำงานของเครื่องและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

1. วางแผนนัดหมายเกษตรกรชุมชนบ้านป่าแดงใต้
2. ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่องและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

3. ร่วมกันตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

4. เก็บรวบรวมข้อมูล ข้อบกพร่อง และข้อเสนอแนะของเกษตรกรเพื่อนำมาแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินความพึงพอใจของผู้ที่เกี่ยวข้อง

1. ชี้แจงวัตถุประสงค์
2. เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการแจกแบบประเมินความพึงพอใจให้กับผู้เกี่ยวข้อง ลักษณะของแบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วน ประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale)
3. นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลทางสถิติต่อไป

3. ผลการวิจัย และอภิปราย

จากการนำเครื่องไปทดสอบให้กับชาวบ้านบ้านป่าแดงได้ และได้สรุปประเด็นสำคัญเรื่องของสิ่งปนเปื้อนที่มากเกินไปทางผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงเครื่องในส่วนการแยกสิ่งปนเปื้อนขึ้นมาใหม่ พร้อมกับหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด ซึ่งเลือกสุ่มใช้ความเร็วรอบที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด โดยการทดลองจะป้อนข้าวโพดครั้งละ 20 กิโลกรัม กำหนดความเร็วรอบที่ 720 540 และ 360 รอบต่อนาที ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองความเร็วรอบที่ 720 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	เวลา (sec)	น้ำหนักข้าวโพดที่กะเทาะ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่สมบูรณ์ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์ (kg)	เมล็ดที่ปนออกมามีช่องทางออกแกน (kg)	สิ่งปนเปื้อนฝุ่นผง (kg)
720	1	25.6	16.8	1.7	0.8	0.2	0.5
	2	26.3	16.9	1.6	0.8	0.3	0.4
	3	25.5	17	1.5	0.8	0.3	0.4
	4	24.2	17.2	1.55	0.75	0.3	0.2
	5	26.7	17	1.6	0.8	0.2	0.4
เฉลี่ย		25.66	16.98	1.59	0.79	0.26	0.38

ตารางที่ 2 ผลการทดลองความเร็วรอบที่ 540 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	เวลา (sec)	น้ำหนักข้าวโพดที่กะเทาะ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่สมบูรณ์ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์ (kg)	เมล็ดที่ปนออกมามีช่องทางออกแกน (kg)	สิ่งปนเปื้อนฝุ่นผง (kg)
540	1	27.3	17.2	2	0.5	0.1	0.2
	2	28.4	17.2	1.95	0.55	0.1	0.2
	3	29.1	17.1	2	0.45	0.15	0.3
	4	27.8	17.15	1.9	0.55	0.2	0.2
	5	28.6	16.9	2.1	0.5	0.2	0.3
เฉลี่ย		28.24	17.11	1.99	0.51	0.15	0.24

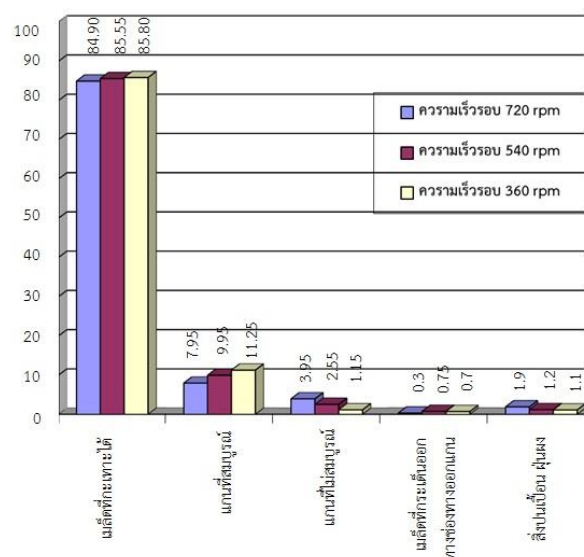
ตารางที่ 3 ผลการทดลองความเร็วรอบที่ 360 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	เวลา (sec)	น้ำหนักข้าวโพดที่กะเทาะ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่สมบูรณ์ (kg)	น้ำหนักแกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์ (kg)	เมล็ดที่ปนออกมามีช่องทางออกแกน (kg)	สิ่งปนเปื้อนฝุ่นผง (kg)
360	1	31.8	16.9	2.4	0.2	0.1	0.4
	2	30.2	17.4	2.05	0.1	0.2	0.25
	3	29.6	17.1	2.3	0.3	0.2	0.1
	4	31.2	17.3	2.15	0.25	0.1	0.2
	5	30.9	17.1	2.35	0.3	0.1	0.15
เฉลี่ย		30.74	17.16	2.25	0.23	0.14	0.22

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวโพดทั้งหมด

ความเร็วรอบ (rpm)	เปอร์เซ็นต์ข้าวโพดที่กะเทาะ	เปอร์เซ็นต์แกนข้าวโพดที่สมบูรณ์	เปอร์เซ็นต์แกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์	เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ปนออกมามีช่องทางออกแกน	เปอร์เซ็นต์สิ่งปนเปื้อน ฝุ่นผง
720	84.90 %	7.95 %	3.95 %	0.30 %	1.90 %
540	85.55 %	9.95 %	2.55 %	0.75 %	1.20 %
360	85.80 %	11.25 %	1.15 %	0.70 %	1.10 %

กราฟแสดงผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวโพด



รูปที่ 3 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักข้าวโพดทั้งหมดที่ความเร็วรอบ 720 540 และ 360 รอบต่อนาที



ตารางที่ 5 สรุปจำนวนและร้อยละความพึงพอใจต่อเครื่อง
กะเทาะข้าวโพด $n = 27$

รายการประเมิน ความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ ความ พึงพอใจ
1. เครื่องสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ ยุ่งยากซับซ้อนมีความปลอดภัย	4.70	0.47	มากที่สุด
2. เครื่องมีลักษณะเหมาะสมกับ การใช้งานในชุมชน	4.93	0.27	มากที่สุด
3. เครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้ สะดวก	4.70	0.47	มากที่สุด
4. ช่องป้อนฝักข้าวโพดกับช่อง ทางออกมีความเหมาะสมกับการ ทำงาน	4.41	0.50	มาก
5. เครื่องสามารถกะเทาะเมล็ด ข้าวโพดได้ในปริมาณที่มากเมื่อ เทียบกับชั่วโมง	4.56	0.58	มากที่สุด
6. เครื่องสามารถทำงานได้อย่าง ต่อเนื่อง	4.59	0.50	มากที่สุด
7. เมล็ดข้าวโพดที่ได้มีปริมาณการ แตกหรือเสียหายน้อย	4.56	0.51	มากที่สุด
8. สิ่งปนเปื้อนในเมล็ดข้าวโพดมี ปริมาณน้อย	3.37	0.97	ปานกลาง
9. ชั่งข้าวโพดออกมาไม่แตกหัก ง่ายและสามารถนำไปจำหน่ายได้	4.78	0.42	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.51	0.52	มากที่สุด

ในการทดลองกะเทาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก
339 ที่ความชื้นที่ไม่เกิน 15-16 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะข้าวโพด
จำนวน 20 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบ 360 รอบต่อนาที ซึ่งเป็น
ความเร็วรอบที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาเฉลี่ยที่ 30.74 วินาที ได้
ปริมาณเมล็ดข้าวโพด 85.80 เปอร์เซ็นต์ ได้เมล็ดที่ปนมาจาก
ช่องทางออกของแกน 0.7 เปอร์เซ็นต์ ได้แกนข้าวโพดที่
สมบูรณ์ 83.34 เปอร์เซ็นต์ ได้แกนข้าวโพดที่ไม่สมบูรณ์ 8.51
เปอร์เซ็นต์ มีฝุ่นผงและเมล็ดที่แตกเฉลี่ย 8.14 เปอร์เซ็นต์
เครื่องมีความสามารถกะเทาะฝักข้าวโพดได้ปริมาณเมล็ด
ข้าวโพดไม่น้อยกว่า 1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากแบบประเมินผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความ
พอใจในเรื่องลักษณะของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งานใน
ชุมชนอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.93 น้อยที่สุดคือ
สิ่งปนเปื้อนในเมล็ดข้าวโพดมีปริมาณน้อย คิดเป็นค่าเฉลี่ย
เท่ากับ 3.37 อยู่ในระดับความพึงพอใจ ปานกลาง และ

ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดของเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด เท่ากับ
4.51 อยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด

4. บทสรุป

เครื่องกะเทาะข้าวโพดที่สร้างให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้
ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก โดยทดลองกับข้าวโพดพันธุ์
แปซิฟิก 339 ที่ความชื้นร้อยละ 15-16 พบว่าความเร็วรอบ
ของเครื่องที่ดีที่สุด คือ 360 รอบต่อนาที ทดลองกะเทาะ
ข้าวโพดจำนวน 20 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 30.74 วินาที ได้
เมล็ดข้าวโพด 85.80 เปอร์เซ็นต์ ได้แกนข้าวโพดที่สมบูรณ์
83.34 เปอร์เซ็นต์ มีฝุ่นผงและเมล็ดที่แตกเฉลี่ย 8.14
เปอร์เซ็นต์ และเครื่องสามารถกะเทาะเมล็ดข้าวโพดได้ไม่น้อย
กว่า 1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 12,000
กิโลกรัมต่อวัน เมื่อนำข้อมูลจากข้างต้น มาประมาณการใน
การนำเมล็ดข้าวโพดและแกนข้าวโพดไปจำหน่ายให้กับโรงรับ
ซื้อพืชผลทางการเกษตร จำนวน 4 โรงรับซื้อฯ จำหน่าย
เมล็ดข้าวโพดได้กิโลกรัมละ 7.5 บาท ซึ่งข้าวโพดกิโลกรัมละ
1 บาท โดยถ้าคิดที่ 12,000 กิโลกรัม จะขายได้เป็นเงิน
102,000 บาท หักค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 60,667 บาท รวม
แล้วใน 1 วัน หรือที่ 12,000 กิโลกรัม จะได้กำไรจากการขาย
เมล็ดข้าวโพดและซึ่งข้าวโพด 41,333 บาท ผลที่ได้คือ
ชาวบ้านในชุมชนจะมีกำไรในการจำหน่ายเมล็ดข้าวโพด
เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ขายรวมทั้งฝักข้าวโพด

5. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัย “การสร้างเครื่องกะเทาะข้าวโพด
ให้กับชุมชนบ้านป่าแดงใต้ ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก ”
สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีทุกประการนั้น ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ
เครือข่ายการวิจัยภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่
ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ในครั้งนี้ ขอขอบคุณชาวบ้านชุมชน
บ้านป่าแดงใต้ ต.ตลุกกลางทุ่ง อ.เมือง จ.ตาก ที่ได้ให้ความ
ร่วมมือในการให้ข้อมูลต่าง ๆ รวมไปถึงการเข้าร่วมอบรมให้
ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเครื่องจนได้เครื่องที่ตรงต่อความ
ต้องการของชุมชน รวมถึงโรงรับซื้อพืชผลทางการเกษตรทั้ง
4 ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เครื่องกะเทาะข้าวโพดที่
สร้างขึ้นจะถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็น



ประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับชุมชนอื่นๆหรือผู้ที่สนใจที่จะนำไปพัฒนา หรือศึกษาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Poypanitjalean K., Statistics for engineering. 4thed. Bangkok ; 1999.thai
- [2]. Mongkolthanarat J., Research and Develop corn crackers. Department of Agriculture, Department of Agriculture. Bangkok ; 1991.thai
- [3] . Takamwang J., Teaching materials in economics Engineering. Rajamangala University of Technology Lanna Tak. Tak ;
- [4] Sonnin B., Tabellenbuch Metall. Institute of Technology King Mongkut's University of North Bangkok. Bangkok ; 1981.thai.
- [5] PBN Automation. Type and material of conveyor belt. Available form :<http://thknowledge.blogspot.com/iEnergyGuru/> [Accessed 25th March 2015].



การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการประมวลผลของ Hive-QL ด้วย ORCfile บน Hadoop Cluster Analyzing the Query Performance of Hive-QL with ORCfile on Hadoop Cluster

พันธิการ์ วัฒนกุล¹ กฤษณ์วรา รัตนโอภาส^{2*} และ สุรียรัตน์ แก้วศรี³

¹โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

85 ถนนมาลัยแมน ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

²โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

³โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Phantiga Wattanakul¹ Kritwara Rattanaopas^{2*} and Sureerat Keawkeeree³

¹ Department of Business Computer, Faculty of Management Science, Nakhon Pathom Rajabhat University

85 Malaiman Road, Muang, Nakhon Pathom, Thailand, 73000

² Computer Department, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

³ Department of Business Computer, Faculty of Management Science, Songkhla Rajabhat University

160 Karnjanawanich Road, Kaoroochang District, Ampur Muang, Songkhla, Thailand, 90000

*ผู้ติดต่อประสานงาน: kritwara.ra@skru.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 089-733-3779

บทคัดย่อ

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำมาประมวลผลเพื่อการพยากรณ์ ด้วยแนวคิดของการทำ Big data ที่มีความนิยมในปัจจุบันและโครงสร้าง Hadoop Cluster ที่มีโปรแกรม Hive สำหรับประมวลผลแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาปัจจัยที่ทำให้การประมวลผลดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้วยสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของ จำนวน Data node และจำนวนการสำเนาของชุดข้อมูล โดยผลการวิจัยพบว่า ค่าของ Map-Reduce ที่ถูกกำหนดด้วยโปรแกรม Hive เมื่อทำการประมวลผลมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการประมวลผล ด้วยค่า Map=5/Reduce=1 สอดคล้องกับจำนวน Data node ที่ดีที่สุดคือ 5 Data node กับสำเนาข้อมูล 3 ชุด หากมีการเพิ่มจำนวน Data node และจำนวนสำเนาข้อมูล พบว่าไม่มีผลกระทบต่อเวลาในการประมวลผลและทำให้มีเวลาที่สั้นขึ้นในทุกกรณีของชุดคำสั่ง SQL

คำสำคัญ ข้อมูลปริมาณมาก โปรแกรมโอเพ่นซอร์สจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ ระบบคลังข้อมูล การวัดประสิทธิภาพ

Abstract

The weather forecast data is one of the most important datasets in Big Data. The Hive application was the first relational database that runs on Hadoop cluster. This paper presents a performance analysis of HiveQL on Hadoop cluster with varying number of data node and data replication. The results show that the best performing Map-Reduce configuration for distributed nodes in Hadoop cluster is Map=5/Reduce=1. This ratio is consistent with the best query performance setup which is 3 replications per 5 data nodes. Meanwhile, increasing the number of data nodes and replications did not affect the result in anyway.

Keywords: Big Data, Hadoop, Hive, performance analysis.

1. บทนำ

ข้อมูลสารสนเทศที่ถูกบันทึกในแต่ละกิจกรรมในชีวิตประจำวันจากการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ต หรือ ข้อมูลอื่นๆ ที่มีการเก็บเพื่อนำมาประมวลผล ได้แก่ ข้อมูลธนาคาร ข้อมูลการซื้อขายสินค้า ข้อมูลเครือข่ายสังคมออนไลน์ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากมาโดยการนิยามภาพลักษณะของคำว่า “Big data” [1] กล่าวไว้ด้วยข้อมูลทางสถิติที่สามารถสะท้อนภาพถึงปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ หากเรารู้จักเว็บที่มีทั่วไปมากกว่า 100 พันล้านที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นในแต่ละวันสูงกว่า 20,000 เว็บไซต์ และในกรณีของ Facebook ที่มีการโพสต์มากกว่า 300 พันล้านครั้ง และการอัปเดตกว่า 60 พันล้านครั้ง เมื่อพิจารณาถึงปริมาณข้อมูลที่ไม่มากนักในแต่ละครั้งกลับกลายเป็นข้อมูลขนาดมหาศาล ด้วยเทคโนโลยีของการประมวลผลข้อมูลปริมาณมากนี้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพราะการใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่มีอยู่ในอดีตอาจไม่ใช่คำตอบ แต่ปัจจุบันมีเครื่องมือในการจัดการข้อมูลลักษณะ Big data นั่นคือ โปรแกรม Hadoop ที่มีความสามารถในการขยายเครื่องลูกข่ายหรือโหนดเก็บข้อมูลตามต้องการร่วมกับโปรแกรม Hive ที่สามารถนำข้อมูลเชิงสัมพันธ์มาประมวลผลด้วยกระบวนการ Map-Reduce ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเพื่อประมวลผลข้อมูลแบบ Big data ด้วยตัวอย่างข้อมูลการวัดอุณหภูมิจากสถานีวัดอุณหภูมิจากเว็บไซต์ open-big data [2] ภายใต้โครงสร้างของ Hadoop ที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยต้องการนำเสนอประสิทธิภาพของการประมวลผลข้อมูลแบบ Big data ด้วยจำนวนโหนดที่แตกต่างกันและจำนวนการสำเนาข้อมูลที่แตกต่างกันบนหน่วยบันทึกข้อมูลของ Hadoop

ดังนั้นเนื้อหาของงานวิจัยส่วนต่อไปกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ Hadoop และ Hive พร้อมด้วยวิธีการดำเนินการวิจัยพร้อมแนวคิดในการออกแบบการทดสอบ สำหรับส่วนท้ายกล่าวถึงผลและสรุปการวิจัย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้นำเทคโนโลยี Apache Hadoop และ Apache Hive ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มาประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่อย่าง Big data จึงขอแนะนำโครงสร้างและ

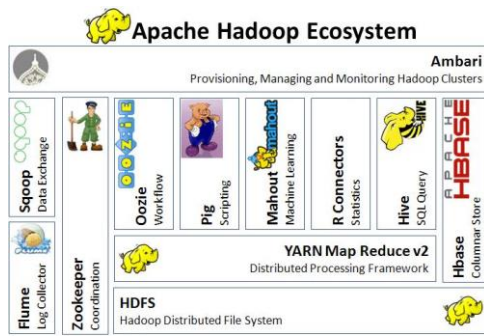
ความสามารถของโปรแกรมในเนื้อหาส่วนนี้ พร้อมงานวิจัยในลักษณะเดียวกันที่นำ Hadoop มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบัน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยด้าน Big data ด้วยโปรแกรม Hadoop มีความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน ด้วยงานวิจัยของ Daniel Abadi [3] ได้เขียนแนวทางในการใช้ภาษา SQL บนโครงสร้างของ Hadoop พร้อมด้วยงานของ K. Jayasri [4] ที่วัดประสิทธิภาพการประมวลผลเช่นเดียวกันแต่เน้นในส่วนของการทดสอบบน NoSQL ด้วยโปรแกรม MongoDB กับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์ ด้วยวิธีการ SPARQL query บนโครงสร้างของโปรแกรม Hadoop สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยมีการนำมาใช้ในด้านการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์ (Machine learning) บน HDFS แบบ Hadoop cluster ของอดิสร อดิสรพันธุ์กุล และศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์ [4] ด้วยเครื่อง Name node จำนวน 1 เครื่อง และเครื่อง Data node จำนวน 3 เครื่อง ซึ่งมีการเชื่อมต่อเครือข่ายที่ความเร็วเพียง 100 Mbps ด้วยภาระงานการนับคำ พบว่า การเพิ่ม Data node ในการประมวลผลไม่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ภาระงานของฐานข้อมูลอุณหภูมิร่วมกับโปรแกรม Hive เพื่อนำเสนอประสิทธิภาพการประมวลผลของ Map-Reduce บนโครงสร้าง Hadoop Cluster ในลักษณะเดียวกัน

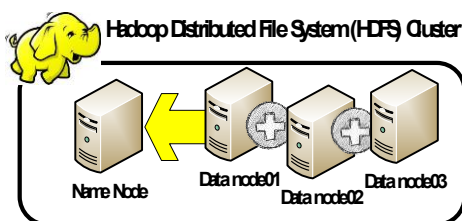
2.2. Hadoop

Hadoop ถือเป็นโอเพ่นซอร์สที่ได้รับความนิยมสำหรับการนำมาประมวลผลข้อมูล และกล่าวถึงกันในกลุ่ม Big data ถูกออกแบบใช้งานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์หรือระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ลักษณะการทำงานแบบอิสระเพียงคัดลอกไว้ในเครื่องที่ต้องการ และมี Java เป็นตัวสนับสนุนเบื้องหลัง เพื่อสร้างเป็นกลุ่มคลัสเตอร์ได้ง่าย โดยมีการพัฒนากระบวนการที่เรียกว่า Map-Reduce เพื่อช่วยประมวลผลโปรแกรมหรือข้อมูลในรูปแบบกระจายสำหรับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไปตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมของกลุ่มโปรแกรม Hadoop [6]

จากสถาปัตยกรรมมีโปรแกรมจำนวนมากที่รองรับบริการ บน Apache Hadoop Ecosystem ได้แก่ Oozie Pig Hive และ Mahout ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม R Connectors เพื่อประมวลผลข้อมูลทางสถิติด้วยภาษา R โดยในงานวิจัยนี้เลือกโปรแกรม Hive ที่สนับสนุน SQL query เพื่อนำมาใช้ประมวลผลข้อมูลด้วยโครงสร้างของ HDFS Cluster ตามรูปที่ 2 ที่มีการให้บริการหลักด้วย Name node เพื่อบริหารระบบ HDFS Cluster จากเครื่อง Data node ที่สามารถเพิ่มจำนวนได้ตามต้องการในรูปแบบกระจายภาระงานตามรูปที่ 2 ซึ่งโครงสร้างของ HDFS Cluster สามารถเพิ่มเครื่อง Data node ได้ตามความต้องการและสามารถสร้างเครื่อง Name node แบบ Secondary หรือ Name node สำรองเพื่อเพิ่มความเสถียรภาพให้กับ HDFS Cluster



รูปที่ 2 โครงสร้างของ HDFS Cluster

โดย HDFS Cluster มีคุณสมบัติการสำเนาข้อมูล (Replication) ซึ่งสามารถสำเนาข้อมูลได้หลายชุดแบบกระจายไปตาม Data node มีค่าตั้งต้นที่ 3 ชุด ซึ่งหากมีจำนวน Data node น้อยกว่าค่าสำเนา ระบบ HDFS Cluster จะบันทึกเท่าจำนวนของ Data node ขณะนั้น หากมีการเพิ่ม Data node ใหม่เข้าสู่คลัสเตอร์ ระบบจะเพิ่มการสำเนาทันที จึงสามารถกล่าวได้ว่ามีความเสถียรภาพสูงในการบันทึกข้อมูลและการกู้คืนหากมี Data node เสียหายไป

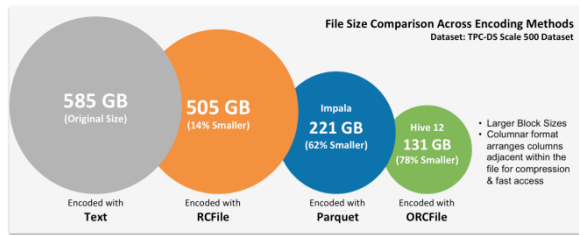
2.3 Hive

โปรแกรมนี้ถูกออกแบบให้ติดตั้งแบบอิสระเหมือนโปรแกรม Hadoop เพื่อสนับสนุนการทำงานของ Structured Query Language (SQL) ซึ่งยังคงได้รับความนิยมในปัจจุบันและถือเป็นความท้าทายในการพัฒนาโปรแกรมให้สนับสนุนการทำงาน โดยสามารถสนับสนุนคำสั่งพื้นฐานอย่าง “SELECT...WHERE” “SELECT...ORDER BY” “GROUP BY” และ “JOIN” พร้อมด้วยคำสั่งเกี่ยวกับการคำนวณอย่าง ผลรวม คือ sum() ค่าเฉลี่ย คือ avg() นับจำนวน คือ count() ค่าน้อยที่สุด คือ min() และ ค่าสูงที่สุด คือ max() โดยสามารถกระจายงานในลักษณะ Map-Reduce และถูกกำหนดชื่อเรียกว่า Hive Query Language (ย่อว่า HiveQL หรือ HQL) เพื่อเรียกหรือค้นหาข้อมูลภายใน HDFS Cluster จึงสามารถรองรับข้อมูลขนาดใหญ่และมีความสามารถยืดหยุ่นกว่าฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์อย่าง MySQL และ MariaDB ด้วยโครงสร้างการเก็บข้อมูลของ HDFS Cluster ที่ประกอบด้วย Data node สำหรับจัดเก็บข้อมูลและกระจายการประมวลผล

พื้นฐานของโปรแกรม Hadoop Hive ทำงานด้วยส่วนที่เหมือนกับ MySQL ที่มีชื่อว่า Hive console แต่หากต้องการใช้งาน Hive จากเครื่องภายนอกมีส่วนเสริมที่สามารถสั่งให้ทำงานแทนที่ Hive console ที่มีชื่อว่า “hive.server2” หรือที่เรียกว่า “Thrift Hive Server” ซึ่งมีความสามารถในการเชื่อมต่อผ่าน Java Database Connectivity (JDBC) ทำให้สามารถเข้าถึงจากโปรแกรมภายนอก

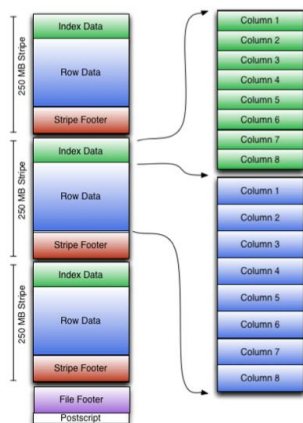
2.4 Optimized Record Columnar File (ORCFile)

ทีมพัฒนา Hadoop ได้เพิ่มขั้นตอนวิธีการบีบอัดข้อมูลเพื่อช่วยลดปริมาณของเนื้อที่การเก็บข้อมูล เนื่องจากเมื่อออกแบบให้รองรับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) จำเป็นต้องมีพื้นที่รองรับการเก็บข้อมูลดังกล่าวได้ โดยชุดบีบอัดข้อมูลที่ถูกนำเสนอได้แก่ Zlib LZO และ Snappy เป็นต้น ชุดบีบอัดข้อมูลดังกล่าวถูกพัฒนาร่วมกับรูปแบบการเก็บข้อมูล ซึ่งในช่วงเริ่มต้นการพัฒนา Hive ได้นำเสนอตารางแบบ Record Columnar File (RCFile) ที่มีประสิทธิภาพเพียง 14% ของการลดขนาดพื้นที่เก็บข้อมูล ต่อมาได้มีการปรับแต่งจนกลายเป็น Optimized Row Columnar File (ORCFile) ที่ลดพื้นที่การเก็บข้อมูลได้สูงถึง 78% ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลบน Hive [7]

สำหรับในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกรูปแบบการเก็บข้อมูลไฟล์แบบ ORCFile สำหรับตารางข้อมูลบน Hive [8] จาก 3 รูปแบบคือ Text RCFile และ ORCFile ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีโครงสร้างของการเก็บข้อมูลที่ถูกเรียกว่า Strips ที่มีค่าเริ่มต้นที่ 250 MB ละการปรับเปลี่ยนขนาดมีผลต่อประสิทธิภาพการอ่านบน HDFS ที่มีค่าของ Block size และมีคุณสมบัติการบีบอัดข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธีแบบ Snappy ที่นำมาใช้เก็บข้อมูลและใช้ประมวลผลด้วยการะงานสำหรับวัดประสิทธิภาพการประมวลผลแบบ Map-Reduce บน Hadoop Cluster



รูปที่ 4 โครงสร้างแบบ Strip [9]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบในการวัดประสิทธิภาพของการประมวลผลด้วยโปรแกรม hive ด้วยสมมติฐานการทดสอบประสิทธิภาพของการประมวลผลที่ควรแปรผันตรงกับ “จำนวน Data node และการสำเนาข้อมูล (Replication)” ซึ่งผู้วิจัยเลือกข้อมูลจากตัวอย่างข้อมูลการวัดอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยา จากเว็บไซต์ “www.open-bigdata.com” [2] เพื่อสร้างข้อมูลขนาดใหญ่ หรือ Big data ที่มีขนาด 207,466,688 ระเบียบด้วยวิธีการสำเนาซ้ำ 32 รอบจากตัวอย่างข้อมูล 6,483,334 ระเบียบ ที่ประกอบด้วยโครงสร้าง

ข้อมูล รหัสสถานี (stationcode) ชื่อสถานี (station) วันที่ (datefield) อุณหภูมิสูงสุด(tmax) และอุณหภูมิต่ำสุด(tmin) ตามตารางที่ 1 ในไฟล์รูปแบบ ORC ที่บีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการ SNAPPY เพื่อนำมาประมวลผลด้วย SQL Query ที่ออกแบบในการทดสอบด้วยโครงสร้างของระบบในรูปแบบที่ 5

ตารางที่ 1 ตารางข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยา

Field	Stationcode (Primary Key)	station	datefield	tmax	tmin
Type	STRING	STRING	Date/time	DOUBLE	DOUBLE

3.1 โครงสร้างในการทดสอบ

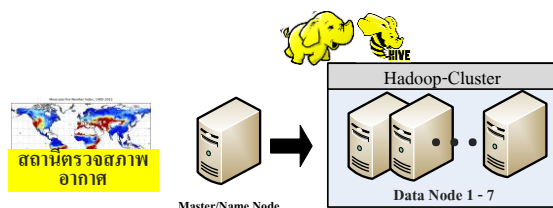
การติดตั้ง Hadoop เพื่อให้บริการ HDFS และ Map-Reduce ทำการทดสอบด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชัน เพื่อสร้างเครื่องเสมือนจริงที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันที่มีการบริการด้วย Cloud computing โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติหน่วยประมวลผลกลางแบบ Intel i7 หน่วยความจำ 4GB หน่วยบันทึกข้อมูล 1TB และ การ์ดเครือข่ายแบบ 1 Gbps Ethernet จำนวน 4 เครื่อง เพื่อติดตั้งโปรแกรม Hadoop และ Hive แบบคลัสเตอร์ พร้อมโปรแกรม Java openJDK รุ่น 1.8 เพื่อรองรับการทำงาน บนระบบปฏิบัติการ CentOS 7.2 แบบ 64 bits ทั้งเครื่องเสมือนจริงที่เป็น Name node และ Data node ที่บรรจุไว้ภายในเครื่องแม่ข่ายที่ใช้ทดสอบด้วยระบบปฏิบัติการ CentOS 7.2 แบบ 64 bits และโปรแกรมบริหารจัดการเครื่องเสมือนจริง Kernel-based Virtual Machine (KVM) เพื่อใช้บริหารจัดการเครื่องเสมือนจริงภายในตามรูปที่ 5

การติดตั้ง Hadoop cluster ที่ประกอบด้วย Name node/Master node และ Data node ต้องมีซอฟต์แวร์ขั้นพื้นฐานในงานวิจัยนี้พร้อมคำสั่งติดตั้งดังนี้

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 6.8 แบบ 64 bit สำหรับทั้ง Name node และ Data node
- Java openjdk รุ่น 1.8.0 : “sudo yum install java-1.8.0-openjdk* -y” พร้อมกำหนดค่าในไฟล์ “.bashrc” โดยระบุ “export JAVA_HOME= /usr/lib/jvm/jre-1.8.0-openjdk” สำหรับทั้ง Name node และ Data node

- Hadoop 2.6.1 ที่ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://apache.arvix.com/hadoop/common/hadoop-2.6.1/hadoop-2.6.1.tar.gz> โดยทำการติดตั้งทั้ง Name node และ Data node
- Hive รุ่น 1.2.2 ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://www.eu.apache.org/dist/hive/hive-1.2.2/apache-hive-1.2.2-bin.tar.gz> ซึ่งมีวามแตกต่างจากตัวโปรแกรม Hadoop โดยติดตั้งไว้เฉพาะที่ Name node เท่านั้น

หลังการติดตั้งโปรแกรมพื้นฐานทั้งหมดแล้วการสร้างกลุ่ม Hadoop cluster ด้วยการกำหนดค่าในไฟล์ slave ของ Name node ด้วยชื่อของ Data node เดียวกันในไฟล์ Host และต้องทำคำสั่ง “hdfs namenode -format” เพื่อให้ล้างค่าและจัดรูปแบบข้อมูลบน Name node ก่อน จากนั้นจึงเริ่มการทำงานของ Hadoop cluster ด้วยคำสั่ง “start-all.sh”



รูปที่ 5 โครงสร้างสำหรับการวิจัย

สำหรับโครงสร้างทดสอบตามรูปที่ 5 ประกอบด้วยเครื่องเสมือนจริงที่มีคุณสมบัติ 2 vCPU RAM 2 GB HD 60 GB จำนวน 8 เครื่อง ประกอบด้วยเครื่องเสมือนจริง Name node 1 เครื่อง และ เครื่องเสมือนจริง Data node 7 เครื่อง กำหนดรูปแบบการทดสอบเริ่มจาก Name node 1 เครื่อง และ Data node 3 เครื่อง โดยปรับเพิ่ม Data node ครั้งละ 2 เครื่อง เนื่องจากเครื่อง Host บรรจุ Data node ได้ 2 เครื่อง ควบคุมไปกับการกำหนดการสำเนา (Replication-Rep) ที่ 3 5 และ 7 ไปพร้อมกันตามตารางที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Data node และการสำเนาข้อมูล ซึ่งผลเวลาเฉลี่ยของการประมวลผลจะถูกนำเสนอในหัวข้อผลวิจัยต่อไป

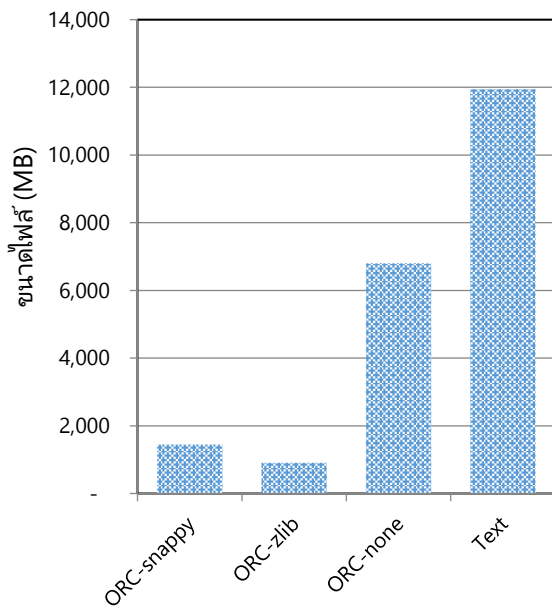
การทำงานของ Hive ในงานวิจัยนี้เลือกทดสอบผ่าน Hive console ด้วยคำสั่ง “hive” บน Name node โดย

พื้นที่เก็บข้อมูลของ Hive ถูกสร้างไว้บน HDFS ของ Hadoop cluster ที่ “/user/hive/warehouse” ด้วยคำสั่ง “hadoop fs -mkdir -p”

สำหรับพื้นฐานของ Hive-QL มีฐานข้อมูลเริ่มต้นชื่อว่า default ซึ่งการสร้างตารางมีรูปแบบเหมือนกับ SQL เช่น “CREATE EXTERNAL TABLE weather1 (stationcode STRING, station STRING, datefield STRING, prcp DOUBLE, tmax DOUBLE, tmin DOUBLE) ROW FORMAT DELIMITED FIELDS TERMINATED BY ‘;’;” แต่มีความพิเศษของรูปแบบส่วนท้ายคือ “FORMAT DELIMITED FIELDS TERMINATED BY ‘;’” เนื่องจากตารางนี้เป็นข้อมูลเริ่มต้นที่จะนำเข้าจากไฟล์ในรูปแบบ CSV หากเชื่อมต่อโดยตรงจาก Java Database Connectivity (JDBC) สามารถสร้างตารางแบบ ORC ได้ทันที ในกรณีที่นำเข้าไฟล์ CSV ไฟล์ดังกล่าวต้องนำเข้าไปวางใน HDFS ของ Hadoop cluster และใช้คำสั่ง “LOAD DATA INPATH ‘/user/hdfs/Weather.csv’ OVERWRITE INTO TABLE weather1;” เมื่อได้ตารางข้อมูลพื้นฐานนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพ หรือการสร้างตารางแบบ ORC ทำได้โดยคำสั่งต่อไปนี้

- ORC แบบ none : “CREATE EXTERNAL TABLE weather_orc0 1 (stationcode STRING, station STRING, datefield) STORED AS ORC TBLPROPERTIES (“orc.compress”=“NONE”);”
- ORC แบบ snappy : “CREATE EXTERNAL TABLE weather_orc0 1 (stationcode STRING, station STRING, datefield) STORED AS ORC TBLPROPERTIES (“orc.compress”=“snappy”);”
- ORC แบบ zlib : “CREATE EXTERNAL TABLE weather_orc0 1 (stationcode STRING, station STRING, datefield) STORED AS ORC TBLPROPERTIES (“orc.compress”=“zlib”);”

การสร้างตารางแบบ ORC file ผู้วิจัยทำการสร้างไฟล์ต้นฉบับที่มีขนาด 12 GB และสร้างตาราง ORC file ทั้ง 3 แบบตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขนาดไฟล์ของตารางข้อมูลบน Hive

จากรูปที่ 6 สำหรับพื้นที่จัดเก็บข้อมูลไฟล์แบบ ORC ทั่วไปสามารถลดพื้นที่จัดเก็บได้ถึง 50% และชุดบีบอัดที่เลือกแบบ Snappy สามารถลดขนาดพื้นที่เหลือเพียง 12% ของไฟล์ข้อมูลปกติที่จำนวนข้อมูล 207,466,688 ระเบียบ เพื่อนำไปวัดประสิทธิภาพของการประมวลผลต่อไปด้วย HiveQL เพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด รวมถึงการเชื่อมตารางสำหรับประมวลผลข้อมูลต่อไป และผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานของจำนวนการสำเนาข้อมูลไว้ตามตารางที่ 6 บนไฟล์ HDFS-site.xml ที่มีคุณสมบัติที่ชื่อว่า “dfs.replication” ที่ปรับค่า value ตามต้องการ และสามารถตรวจสอบการสำเนาข้อมูลไฟล์บน HDFS Cluster ด้วยคำสั่ง “hadoop dfs -ls” จะปรากฏหมายเลขการสำเนาหน้าชื่อไฟล์นั้นๆ

3.2 ภาระงานสำหรับการวิจัย

ตัวอย่างข้อมูลภาระงานที่นำมาใช้ในการประมวลผลแบบ Big data เพื่อมาทดสอบด้วย SQL ที่มีคำสั่ง “SELECT..FROM..WHERE” และเลือกใช้การคำนวณ avg() max() พร้อมคำสั่ง “GROUP BY” และการ JOIN จากข้อมูลผลลัพธ์ในชุดก่อนหน้า โดยกำหนดการทดสอบด้วย 4 กรณีตามตารางที่ 1-4

กรณีที่ 1 CASE01:

ตารางที่ 2 ชุดคำสั่งของ CASE 01

CASE 01	- SELECT station, datefield, tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999 ORDER BY tmax DESC;
---------	---

กำหนดชุดคำสั่งที่มีการเรียงข้อมูลกลับจากมากไปหาน้อยของชุดข้อมูลทั้งหมด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการเรียงข้อมูลจำนวนมาก โดยให้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางข้อมูลของ CASE 01

Field	station	datefield	tmax
Type	STRING	Date/time	DOUBLE

กรณีที่ 2 CASE02:

ตารางที่ 4 ชุดคำสั่งของ CASE 02

CASE 02	- INSERT OVERWRITE TABLE weather_temp2 SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999; - SELECT station, datefield, MAX(tmax) FROM weather_temp2 GROUP BY station, datefield;
---------	--

มีขั้นตอนคือทำการกรองข้อมูลเข้าสู่ตาราง “weather_temp2” จำนวน 67,167,328 ระเบียบและนำมาประมวลผลเพื่อหาค่าสูงสุด (Max temperature) ในแต่ละปีแยกตามสถานีตรวจอากาศด้วยคำสั่ง Group by จะได้ผลลัพธ์ตามโครงสร้างตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางข้อมูลของ weather_temp2

Field	station	datefield	tmax
Type	STRING	INT	DOUBLE

กรณีที่ 3 CASE03:

ตารางที่ 6 ชุดคำสั่งของ CASE 03

CASE 03	- INSERT OVERWRITE TABLE weather_temp3 SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999; - SELECT station, datefield, AVG(tavg) FROM weather_temp3 GROUP BY station, datefield;
---------	--

มี 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ กรองข้อมูลเข้าสู่ตาราง “weather_temp3” แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของสถานีตรวจอากาศแยกตามปี เพื่อทดสอบการประมวลผลทางสถิติด้วย



การคำนวณค่าเฉลี่ย และนำไปเก็บที่ตารางที่ 7 เพื่อศึกษาความสามารถของการหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 7 ตารางข้อมูลของ weather_temp3

Field	station	datefield	tmax
Type	STRING	INT	DOUBLE

กรณีที่ 4 CASE04:

ตารางที่ 8 ชุดคำสั่งของ CASE 04

CASE 04	<pre> - INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax, tmin FROM weatherorc WHERE tmax > -9999 and tmin > - 9999; - INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp2 SELECT station, year, AVG((tmax-tmin)/2) FROM weather4_temp GROUP BY station, year; - INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp3 SELECT station, MAX(meanTemp) FROM weather4_temp2 GROUP BY station; INSERT OVERWRITE TABLE weather_res4 SELECT w.station, w.year, ww.maxMeanTemp FROM weather4_temp2 w JOIN weather4_temp3 ww ON w.meanTemp = ww.maxMeanTemp; </pre>
---------	--

ถือว่าเป็นกรณีที่ซับซ้อนมากที่สุดเพราะใช้วิธีการของข้อมูลแยกเป็นรายปีพร้อมหาค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิสูงและต่ำที่สุดบันทึกในตาราง “weather4_temp2” แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยสูงสุดของทุกสถานบันทึกใน “weather4_temp3” เพื่อนำมาเชื่อมข้อมูลระหว่าง 2 ตารางด้วยการ JOIN เพื่อนำเสนอข้อมูลของสถานีในแต่ละปี ด้วยค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดจากการนำเอาอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมาเฉลี่ยกันเพื่อบันทึกในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางข้อมูลของ weather_res4

Field	station	year	maxMeanTemp
Type	STRING	INT	DOUBLE

ในส่วนที่ 2 ผู้วิจัยพิจารณาความแตกต่างของประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน โดยแยกตาม Query ที่เลือกจากชุดคำสั่งของ SQL ที่สำคัญเพื่อนำเสนอเวลาประมวลผลของ Query ดังกล่าวไว้ดังนี้

- 1) SELECT station, datefield, MAX(tmax) FROM weather_temp2 GROUP BY station, datefield;

- 2) SELECT station, datefield, AVG(tavg) FROM weather_temp3 GROUP BY station, datefield;
- 3) SELECT station, year, AVG((tmax-tmin)/2) FROM weather4_temp GROUP BY station, year;
- 4) SELECT w.station, w.year, ww.maxMeanTemp FROM weather4_temp2 w JOIN weather4_temp3 ww ON w.meanTemp = ww.maxMeanTemp;

การทดสอบวัดค่าการประมวลผลแบ่งตามจำนวนเครื่อง Data node และการสำเนาข้อมูลไว้ 5 แบบตามตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 10 รูปแบบของ Hadoop Cluster

ชื่อแบบ	การกำหนดค่า
3 node(Rep-3)	มี Data node 3 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด
5 node(Rep-3)	มี Data node 5 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด
5 node(Rep-5)	มี Data node 5 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 5 ชุด
7 node(Rep-3)	มี Data node 7 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด
7 node(Rep-7)	มี Data node 7 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 7 ชุด

* Rep คือ การสำเนาข้อมูล (Replication)

โดยมีสมมติฐานในการสำเนาข้อมูลให้มีจำนวนคงที่ และเพิ่มเท่ากับจำนวน Data node เช่น ในกรณี 5 Data node มีการสำเนาที่ 3 และ 5 ชุด เช่นเดียวกับกรณี 7 Data node มีการสำเนาที่ 3 และ 7 ชุด เพื่อต้องการศึกษาปัจจัยของการสำเนาข้อมูลนั้นมีผลกระทบต่อผลการประมวลผลข้อมูลหรือไม่ ซึ่งการเพิ่มการสำเนาต้องใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้น

การเพิ่มชุดการสำเนาทำการกำหนดค่าเฉพาะที่ Name node เท่านั้น ซึ่งค่าดังกล่าวเก็บไฟล์ในไฟล์ hdfs-site.xml ด้วยคุณสมบัติ

```

<property>
    <name>dfs.replication</name>
    <value>1</value>
</property>

```

เพียงระบุจำนวนที่ต้องการสำเนา โดยใช้คำสั่ง stop-all.sh และ start-all.sh ใหม่ทุกครั้งเพื่อให้ Hadoop cluster ปรับค่าจำนวนการสำเนา

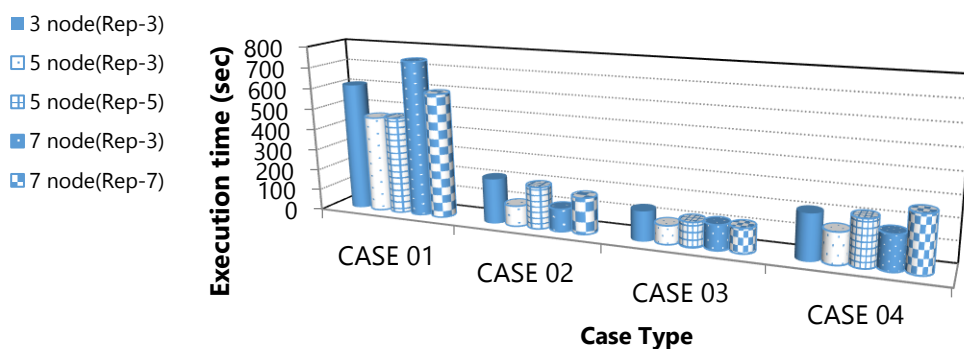
4. ผลการวิจัย

ผลจากการประมวลผลที่วัดเป็นวินาทีแยกตามการทดสอบแต่ละแบบ โดยผู้วิจัยนำเสนอแยกตาม Hadoop Cluster ในตารางที่ 10 มีภาพรวมของการประมวลผลตามรูปที่ 7 และตาม query ในรูปที่ 8 เพื่ออธิบายผลกระทบตามสมมติฐานในตอนต้น

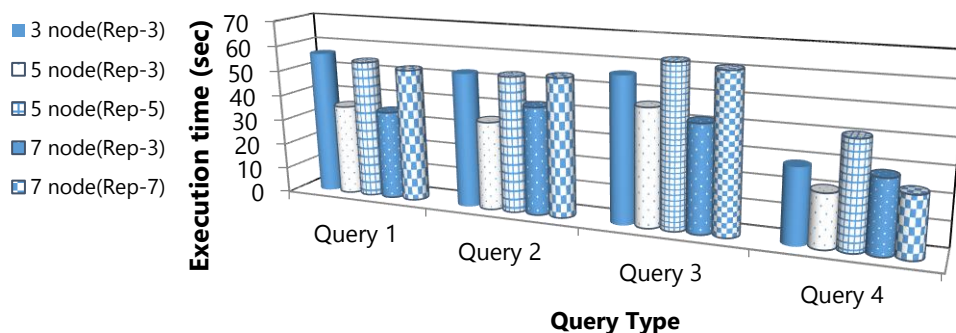
จากผลการประมวลผลแต่ละชุดคำสั่ง SQL ชุดคำสั่ง CASE 01 ใช้เวลาประมวลผลนานที่สุดด้วยผลลัพธ์ข้อมูล 67,167,328 ระเบียบ ด้วยเงื่อนไขของการเรียงลำดับจากมากไปน้อย ระเบียบในส่วนของ CASE 02 - 04 มีค่าเฉลี่ยเวลาในการประมวลผลที่ใกล้เคียงกัน หากพิจารณาแยกตามรูปแบบ Hadoop Cluster และจำนวนการสำเนาข้อมูล แบบ 5

node (Rep-3) สามารถประมวลผลได้ดีที่สุด และรองลงมาคือ 5 node (Rep-5) และ 7 node (Rep-3) เนื่องจากการทำ Map-Reduce ที่โปรแกรม Hive จะคำนวณแบบอัตโนมัติ อยู่ที่ Map=5/Reduce=1 ทุกชุดคำสั่ง

เมื่อพิจารณาแยกตามแต่ละ Query ที่แยกออกจากชุดคำสั่งแต่ละ CASE พบว่ารูปแบบของ Hadoop Cluster ที่เหมาะสมกับการประมวลผลได้แก่ แบบ 5 node (Rep-3) และ 7 node (Rep-5) สำหรับรูปแบบ Hadoop Cluster อื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นการใช้คำสั่ง JOIN ใน Query 4 มีความแตกต่างใน 5 node (Rep-5) โดยผลของค่าอยู่ที่ 40.89 ที่ Map=5/Reduce=1 เช่นกัน



รูปที่ 7 ค่าเวลาเฉลี่ยของการประมวลผลแยกตามชุดคำสั่ง SQL



รูปที่ 8 ค่าเวลาเฉลี่ยของการประมวลผลแยกตาม Query

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประมวลผลของข้อมูลอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยาด้วยชุดข้อมูลจำนวน 207,466,688 ระเบียบที่ประกอบด้วยข้อมูลของ รหัสสถานี ชื่อสถานี วันที่ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ บนโครงสร้างโปรแกรม Hadoop Cluster ที่มี

จำนวน Data node และจำนวนการสำเนาชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วย Query ที่มี ความหลากหลายด้วยคำสั่งค่าเฉลี่ย avg() และค่าสูงสุด max() ควบคู่กับการรวมกลุ่ม “GROUP BY” และการ เรียงลำดับ “ORDER BY” สามารถสรุปได้ว่า Hadoop Cluster 5 node(Rep-3) ใช้เวลาประมวลผลต่ำที่สุด



เนื่องจากค่าของ Map-Reduce ที่ถูกกำหนดด้วยโปรแกรม Hive ที่ Map=5/Reduce=1 หมายถึงการ map อยู่ที่ 5 และ reduce อยู่ที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับจำนวน Data node ของชุดดังกล่าว ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของจำนวน Data node ถือว่ามีผลทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น แต่ต้องมีการปรับค่า Map-Reduce ให้เพิ่มขึ้นเพื่อกระจายภาระงาน เพราะประสิทธิภาพการกระจายงานนั้นถูกแลกมาด้วยเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลระหว่าง Data node สำหรับประเด็นด้านเครือข่าย ซึ่งถือเป็นประเด็นวิจัยที่ต้องทำต่อไป พร้อมกับการกำหนดค่าคุณสมบัติอื่นๆ ของกลุ่มคลัสเตอร์ โดยการประมวลผลของ MapReduce ที่สนับสนุน Hadoop Hive มีกระบวนการบีบอัดข้อมูลระหว่างการ Map และการ Reduce ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่อาจเพิ่มประสิทธิภาพ สำหรับงานวิจัยนี้ในส่วนของการทดสอบการเพิ่มชุดสำเนาข้อมูลนั้นพบว่าไม่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรม Hive อย่างชัดเจนตามค่าเวลาการประมวลผลในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบที่จำนวน Data node เท่ากัน โดยการเพิ่มการสำเนานั้นสามารถกระจายข้อมูลอยู่ในหลาย Data node แต่ด้วยคุณสมบัติของคลัสเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อระหว่าง Data node ด้วยการประมวลผลของ Hadoop นั้นมีข้อจำกัดในส่วนของการกระจายภาระงานที่มีค่าน้อยกว่าจำนวน Data node จึงส่งผลให้เกิดกรณีที่เกิดไม่ถึง เช่น ข้อมูลที่ต้องเรียกใช้ อยู่ใน Data node ที่ไม่ถูกประมวลผล หรือเกิดปัญหาในการรวมข้อมูลจาก Data node หลายตัวมาประมวลผล ซึ่งข้อดีของการสำเนาจำนวนหลายชุดให้ผลดีโดยตรงกับความเสถียรภาพและป้องกันข้อผิดพลาดในกรณี Data node เสียหายหรือชำรุด แต่หากกำหนดจำนวนมากเกินไปจนความจำเป็นจะส่งผลกระทบกับการประมวลผลตามตัวอย่างของ Hadoop Hive ในงานวิจัยนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่ให้โอกาส สนับสนุนเครื่องมือและทุนแก่นักศึกษาในการทำงานวิจัยและนำเสนอผลงาน และแนวคิดของงานวิจัยจากเว็บไซต์ open-bigdata [2]

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Reynolds. Big Data For Beginners: Understanding SMART Big Data, Data Mining & Data Analytics For improved Business Performance, Life Decisions & More!. Kindle Edition, 2016.
- [2] Hadoop's open source query tools. Performance test of Pig vs Hive with code examples. Available From: <http://www.open-bigdata.com/performance-test-pig-vs-hive-code-examples/> [Accessed 5th Feb 2017].
- [3] D. Abadi, S. Babu, F. Ozcan, and I Pandis. Tutorial: SQL-on-Hadoop Systems. Proceedings of the VLDB Endowment. 2015 Aug 31-Sep 4; Kohala Coast, Hawaii. p. 2050-2051.
- [4] K. Jayasri, R. Rajmohan, and D. Dinakaran. Analyzing the Query Performances of Description Logic based Service Matching using Hadoop. Proceeding of International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM), Vel Tech Rangarajan Dr. Sagunthala R&D Institute of Science and Technology. 2015 May 6-8; Chennai, T.N., India. p. 1-7.
- [5] Adisorn G, Suparerk M. Performance of the Apache Mahout on Apache Hadoop Cluster. Proceeding of Electrical Engineering Conference 38th. 2015 Nov 18-20; Pranakornsrya, Ayutthaya, Thailand, p. 858-861.Thai.
- [6] The Big Data Blog. Hadoop Ecosystem Overview. Available from: <http://thebigdatablog.weebly.com/blog/the-hadoop-ecosystem-overview/> [Accessed 5th Feb 2017].
- [7] The Hortonworks Blog. ORCFile in HDP 2: Better Compression, Better Performance. Available

from: <http://hortonworks.com/blog/orcfile-in-hdp-2-better-compression-better-performance/>.

- [8] MAPR.blog. What Kind of Hive Table is Best for Your Data. Available From: <https://www.mapr.com/blog/what-kind-hive-table-best-your-data/> [Accessed 5th Feb 2017].
- [9] Apache Hive. LanguageManual ORC. Available From: <https://cwiki.apache.org/confluence/display/Hive/LanguageManual+ORC> [Accessed 5th Feb 2017].

การติดตามการสั่นของวัตถุในวิดีโอเงียบเพื่อสกัดเสียง

Object Vibration Tracking in Silent Video for Sound Extraction

ธนสนี เพียรตระกูล* ภัทราวุธ คุณวิภูษิต อมร มีสรา และ กฤษณ์ เจริญสาธิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

Tanasanee Phienthrakul *, Pattrawut Khunwipusit, Amon Mishra and Kris Charoensatit

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

25/25 Phuttamonthon 4 Road, Salaya, Phuttamonthon, NakornPathom Thailand, 73170

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: tanasanee.phie@mahidol.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 02-889-2138 ต่อ 6257

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการในการสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่มีการสั่นของวัตถุในภาพ โดยจะนำภาพจากกล้องที่มีความละเอียดเหมาะสมมาประมวลผลเพื่อหาวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนไหว จากนั้นทำการขยายสัญญาณเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งได้ชัดเจนขึ้น แล้วจึงนำตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของวัตถุในแต่ละเฟรมมาแปลงให้ออกมาเป็นเสียง จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การสั่นสะเทือนของวัตถุในภาพสามารถนำมาแปลงเป็นเสียงที่มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ของเสียงต้นฉบับ ดังนั้นการสกัดเสียงจากการสั่นของวัตถุ จึงช่วยทำให้สามารถได้ยินเสียง ซึ่งสามารถนำไปใช้ช่วยในการสืบสวนสอบสวนต่อไปได้

คำสำคัญ การสกัดเสียง การขยายสัญญาณ การสั่นสะเทือนของวัตถุ วิดีโอเงียบ การติดตามวัตถุ

Abstract

This research proposed the steps of voice synthesis from video, which contain a moving object. Video images with the suitable resolution are processed to locate the vibrating object. Then, the signals are magnified in order to easily detect the change in position. The moving positions of the object in each frame are converted to sound. The initial testing shows that the vibration of object in a video can be converted to sound with the frequency close to the actual frequency of the source. This process of sound extraction can be used to assist in the investigation of a crime or incident.

Keywords: sound extraction, magnification, object vibration, silent video, object tracking.

1. บทนำ

จากเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศ อาทิเช่น การลอบวางระเบิดทั้งในกรุงเทพมหานคร และต่างจังหวัด การจลาจล การชุมนุมประท้วง การโจรกรรม หรือ การลอบวางเพลิง เหตุการณ์เหล่านี้มักมีการตกลงวางแผนกันล่วงหน้า หรือบางครั้งมีการนัดหมายจางวานให้ผู้อื่นช่วยลงมือดำเนินการ ทำให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ความไม่สงบขึ้น การติดตามผู้กระทำความผิดมาลงโทษจึงทำได้ยาก

และไม่สามารถหาหลักฐานที่ชัดเจนได้

ในปัจจุบันกล้อง CCTV (closed circuit television) ได้รับความนิยมมากขึ้น มีการติดตั้งกล้องตามสถานที่สำคัญ เพื่อสอดส่องดูแลความสงบเรียบร้อย หรือในร้านค้า ร้านอาหาร สถานที่สาธารณะทั่วไป ก็มีการติดตั้งกล้องกันมากขึ้น เพื่อที่จะใช้บันทึกภาพและตรวจสอบย้อนหลังได้เมื่อต้องการ ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดเหตุการณ์ความไม่สงบขึ้น ภาพของผู้

ก่อเหตุจึงมักถูกบันทึกไว้ได้ทั้งก่อนและหลังเหตุการณ์ความไม่สงบ

อย่างไรก็ตาม การจะนำภาพของผู้ก่อความไม่สงบ ไปขยายผลเพื่อหาผู้สมรู้ร่วมคิด หรือผู้ร่วมก่อการ อาจจะยังทำได้ไม่สะดวกนัก เนื่องจากกล้องส่วนใหญ่จะไม่สามารถบันทึกเสียงสนทนาที่เกิดขึ้นในระยะไกลได้ หรือ หากบันทึกได้ ก็จะมีสัญญาณรบกวนทำให้ได้ยินไม่ชัดเจน จึงเป็นเหตุให้ผู้ต้องสงสัยสามารถปฏิเสธความผิดได้ หรือหากต้องการขยายผลเพื่อสืบหาผู้จ้างวานหรือผู้เกี่ยวข้อง ก็อาจจะทำให้ไม่มีหลักฐานที่จะนำมายืนยันได้ว่าบุคคลนั้นเป็นผู้จ้างวานจริง

ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดที่ว่า หากเราสามารถได้ยินเสียงสนทนาเหล่านั้น ก็อาจจะทำให้มีหลักฐานที่ชัดเจนขึ้น ว่าใครเป็นผู้จ้างวาน หรือมีใครบ้างเป็นผู้ร่วมก่อเหตุ การสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกเหตุการณ์นั้นไว้ หรือ ภาพเหตุการณ์ก่อนและหลังก่อเหตุที่ผู้ต้องสงสัยมีการติดต่อพูดคุยกับบุคคลอื่น อาจทำให้ได้ข้อเท็จจริงที่มากขึ้น และสามารถนำไปขยายผลเพื่อติดตามจับกุมผู้ร่วมกระทำผิดทั้งหมดตามลงโทษได้

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำเสนอกระบวนการในการสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่มีการสนทนาของวัตถุในภาพ ในการใช้งานจริง ภาพจากกล้อง CCTV ที่มีความละเอียดเหมาะสม จะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนที่หรือมีการสนทนา จากนั้นจะทำการแปลงการสนทนาเหล่านั้นให้ออกมาเป็นเสียง เพื่อใช้ประกอบเป็นหลักฐานร่วมกับภาพเหตุการณ์ที่ได้บันทึกไว้ แต่ในการทดสอบแนวความคิดนี้เราจะเริ่มจากการนำภาพเคลื่อนไหวที่ไม่มีเสียง ซึ่งถูกบันทึกไว้ในสภาวะควบคุมมาใช้ในการทดสอบ โดยจะเป็นภาพของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง และ เป็นวัตถุที่เสียงตกไปกระทบ บันทึกด้วยความละเอียด และความเร็วสูง เพื่อแสดงให้เห็นว่าแนวความคิดดังกล่าวมีความเป็นไปได้

2. ทฤษฎีและวิธีดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเสียง การกำเนิดของเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง และการได้ยิน เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนของการกำเนิดเสียง และงานวิจัยที่พยายามจะสกัดเสียงจากระยะไกล

2.1 เสียงกับการได้ยิน

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุมีการสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลางไปยังหู ทำให้ได้ยินเสียงขึ้น [1] จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ซึ่งอาจจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ หากไม่มีตัวกลางเหล่านี้เสียงก็จะไม่สามารถเดินทางมาจนถึงหูของเราได้

เมื่อวัตถุหรือแหล่งกำเนิดเสียงมีการสั่นสะเทือน จะทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ มีการเคลื่อนที่ โมเลกุลของอากาศเหล่านั้นจะเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดออกไป และเกิดการถ่ายโอนโมเมนตัม [1] จากนั้นโมเลกุลที่ชนกันก็จะแยกออกจากกัน โดยโมเลกุลของอากาศที่เคลื่อนที่มาชนจะถูกดึงกลับไปยังตำแหน่งเดิมด้วยแรงปฏิกิริยา และโมเลกุลที่ได้รับการถ่ายโอนพลังงาน ก็จะเคลื่อนที่ต่อไปและไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดเป็นคลื่นเสียงดังแสดงในรูปที่ 1

ส่วนของความดังของเสียง คือปริมาณของพลังงานเสียงที่มาถึงหูของเรา [1] ปัจจัยที่มีผลทำให้เสียงดังหรือเสียงค่อยได้แก่

1. ระยะทาง ถ้าระยะทางใกล้ๆ จะได้ยินเสียงดังมาก และจะได้ยินเสียงค่อยลงไปเมื่อระยะห่างออกไป
2. ความแรงในการสั่นสะเทือนของวัตถุแหล่งกำเนิดเสียง
3. ชนิดของตัวกลางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป เช่น ถ้าคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในน้ำจะมีความดังของเสียงมากกว่าคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ
4. ขนาดและรูปร่างของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงสั่นสะเทือน

ด้วยเหตุนี้หากเราอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียง หรือมีการรบกวนจากเสียงอื่นๆ เช่น มีลมพัด มีวัตถุมากระแทกทางเดินของเสียง ก็จะทำให้ไม่สามารถได้ยินเสียงชัดเจน แต่หากเราสามารถสังเกตการสั่นสะเทือนของวัตถุที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า แล้วนำมาแปลงให้เป็นคลื่นเสียงได้ก็น่าจะทำให้ได้ยินเสียงที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เสียงจากระยะไกล

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ศึกษางานวิจัยนี้เป็นของ James M. Moses และเพื่อนของเขา K.P. Trout [2] ที่ทำการใช้เลเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือนบนพื้นผิวที่มีความ

เรียบสูงและสามารถสะท้อนแสงกลับมาได้ ในงานวิจัยดังกล่าว ได้ทำการขยายสัญญาณและแปลค่าแรงสั่นสะเทือนให้เป็นเสียง โดยใช้คุณสมบัติของเลเซอร์ ซึ่งเป็นการบีบอัดของแสง ทำให้แสงที่ได้นั้น นอกจากจะมีความเข้มสูงแล้ว ยังกระเจิงได้ยากกว่าด้วย สัญญาณที่ได้รับจึงค่อนข้างชัดเจน และไม่มีสัญญาณรบกวนมากนัก พวกเขาได้ยิงเลเซอร์ไปที่กระจกและใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวรับสัญญาณ จากนั้นจึงใช้เครื่องขยายสัญญาณ ก่อนที่จะปล่อยเสียงออกทางลำโพง วิธีนี้ถึงแม้จะทำให้ได้เสียงที่ค่อนข้างชัดเจน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก เช่นในกรณีที่ไม่มีการกระเจิง และยังไม่สามารถใช้ได้จริงในการสืบสวนสอบสวน เนื่องจากต้องใช้งานในขณะที่อยู่ในที่มืดเท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้กับสถานการณ์ที่ผ่านไปแล้วได้

งานวิจัยเรื่องถัดมาเป็นของ Michael Rubinstein และทีมงาน [3] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับความสนใจและสนับสนุนจากบริษัทชื่อดัง อาทิเช่น Microsoft, Adobe และแน่นอนมหาวิทยาลัยที่พวกเขาสังกัดอยู่ MIT นั่นเอง พวกเขาได้ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนไหว และก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือน ทดลองวิเคราะห์จากแรงสั่นสะเทือนของสิ่งของรอบข้างที่สามารถหาได้โดยใช้ Video Processing ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการประมวลผลภาพ

พวกเขาใช้ตัวอย่างที่ได้จากกล้องที่มีความไวและความละเอียดสูง (ultra-speed camera) โดยความถี่ของการถ่ายที่ละเฟรมของกล้องประเภทนี้สูงกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถรับฟังได้มาก ซึ่งถ้าสามารถสังเคราะห์เสียงได้ 100% จะส่งผลให้ได้เสียงที่ค่อนข้างคมชัดในระดับที่น้อยคนจะแยกออกได้ แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้คือไม่สามารถใช้จริงกับกล้องทั่วไปได้ ละครหากจะเปลี่ยนกล้อง CCTV ทั้งประเทศให้เป็นกล้องชนิดนี้ ต้องใช้งบประมาณที่สูงมากจนแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย เราจึงได้ค้นคว้าต่อเพื่อหาวิธีที่จะสังเคราะห์เสียงให้ได้ใกล้เคียงที่สุด ด้วยงบประมาณที่ต่ำลงมาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในสถานการณ์จริง

เนื่องจากการใช้กล้องที่มีความละเอียดสูงยังมีข้อจำกัดอยู่อีกมาก จึงมีงานวิจัยที่ได้นำหลักการของชัตเตอร์เวียน (rolling shutter) มาประยุกต์ใช้ [4-5] โดยภาพจะถูกถ่ายและเก็บข้อมูลที่ละแถว ดังนั้นหากมีการสั่นสะเทือนของวัตถุในภาพ ก็สามารถที่จะสังเกตได้จากเส้นขอบของวัตถุที่อยู่ใน

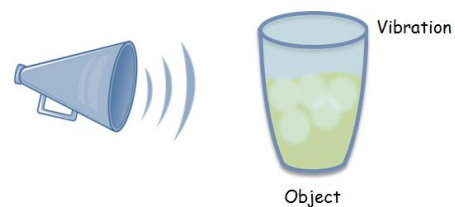
ภาพนั้น ซึ่งสามารถนำไปแปลงเป็นความถี่ และสามารถนำมาใช้สกัดเป็นเสียงออกมาได้ด้วยวิธีที่ไม่แตกต่างจากการใช้กล้องความละเอียดสูงมากนัก

3. การสกัดเสียงจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ

ในการแปลงการสั่นของวัตถุในภาพเคลื่อนไหวให้เป็นเสียงนั้น ผู้พัฒนาได้ทำการแบ่งขั้นตอนการทำงาน ออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

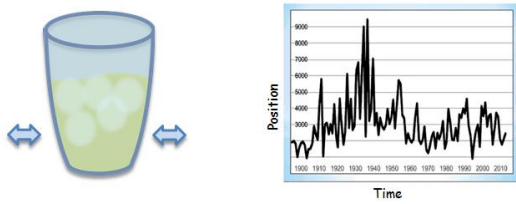
1. จากภาพเคลื่อนไหวที่นำมาวิเคราะห์ จะทำการตรวจหาวัตถุที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่สนใจ และสามารถตรวจจับความการสั่นสะเทือนได้ โดยการใช้วิธีการของการประมวลผลภาพเคลื่อนไหว เปรียบเทียบเฟรมภาพที่อยู่ใกล้กัน เพื่อตรวจหาวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนที่ เช่น แก้ว น้ำ กระดาษ ลูกขม ต้นไม้ ใบไม้ ฯลฯ ที่สามารถตรวจวัดการสั่นสะเทือนและแปลงเป็นเสียงได้

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนแรกในการทำงานที่จะตรวจหาวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนในภาพ จากนั้นทำการระบุตำแหน่งของวัตถุเหล่านั้นบนภาพ เพื่อจะนำไปใช้ศึกษาการสั่นของวัตถุนั้นในขั้นตอนถัดไป



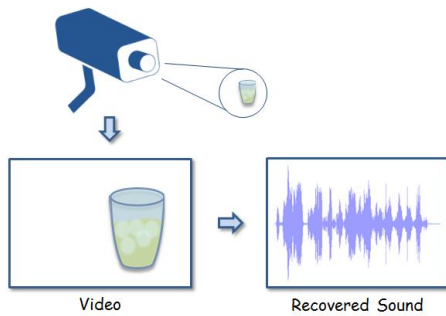
รูปที่ 1 ตรวจหาวัตถุที่มีการสั่นและอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง

2. วิเคราะห์การสั่นสะเทือนของวัตถุนั้น โดยทำการกำหนดแกนอ้างอิง และกำหนดจุดสนใจบนวัตถุ เพื่อนำมาสร้างเป็นกราฟที่แสดงตำแหน่งของวัตถุที่มีการสั่น ในขั้นตอนนี้จะทำการบันทึกตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของวัตถุที่สนใจ โดยพิจารณาจากตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมจากภาพเคลื่อนไหวที่นำมาพิจารณา แล้วนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น ดังแสดงตัวอย่างของขั้นตอนนี้ในรูปที่ 2



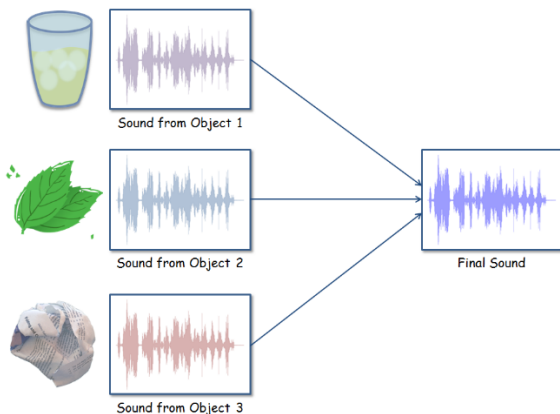
รูปที่ 2 พิจารณาดำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมและแสดงผลเป็นกราฟระหว่างตำแหน่งและเวลา

3. จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลจากตำแหน่งของวัตถุที่ได้ให้เป็นคลื่นเสียง ภายหลังจากได้ตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมของภาพเคลื่อนไหวแล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาขยายด้วยวิธีการ Phase-based video processing [6] เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น และสามารถนำไปแปลงเป็นเสียงที่มีความดังเหมาะสมได้ นั่นคือเราจะได้เสียงที่สกัดออกมาจากภาพเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ได้เสียงที่สกัดมาจากวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนในภาพ

4. ทำการรวมสัญญาณเสียงที่ได้จากแต่ละวัตถุให้เป็นเสียงเดียวที่มีความชัดเจนมากขึ้น หากการตรวจหาวัตถุในขั้นตอนแรก พบว่ามีวัตถุที่สนใจมากกว่า 1 ชิ้น ในขั้นตอนนี้เราจะทำการรวมสัญญาณเสียงที่ได้จากแต่ละวัตถุที่เราสนใจ ดังแสดงในรูปที่ 4



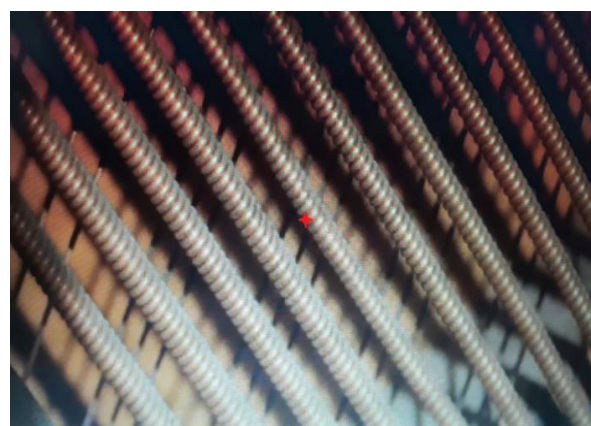
รูปที่ 4 สัญญาณเสียงจากหลายๆ วัตถุจะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสังเคราะห์เป็นเสียงที่ต้องการ

ในการรวมสัญญาณเสียงนั้นเราพิจารณาระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงของแต่ละวัตถุร่วมด้วย วัตถุที่อยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า อาจจะมีเวลาที่หน่วงกว่า (delay time) สำหรับการที่เสียงเดินทางไปถึง นอกจากนั้นยังอาจจะมีสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่ไม่ใช่เสียงหลักที่เราสนใจ สัญญาณเหล่านั้นจะถูกกรองออกไปในขั้นตอนนี้ด้วย

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

เพื่อที่จะทดสอบแนวคิดที่ได้นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกด้วยกล้องความเร็วสูงที่ความถี่ 1-20 กิโลเฮิรซ์ พร้อมทั้งบันทึกเสียงจริงเพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบในภายหลังด้วย และพยายามบันทึกภาพและเสียงให้มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดของสัญญาณที่สกัดออกมา

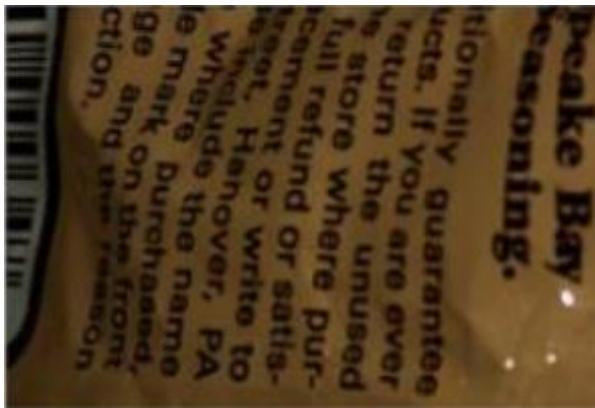
สำหรับภาพของวัตถุที่นำมาทดสอบสกัดเสียง ผู้พัฒนาต้องการทดสอบวิธีการที่นำเสนอ โดยการนำภาพเคลื่อนไหวของวัตถุ มาหาตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเฟรม ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่าหากสามารถสกัดเสียงจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงได้ จะเห็นการสั่นสะเทือนได้ชัดเจนกว่า จึงเลือกทดสอบการสกัดเสียงจากภาพวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง เช่น สายเปียโน สายกีตาร์ สายไวโอลิน ตัวอย่างภาพของสายเปียโนแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพตัวอย่างสายเปียโนที่มีการสั่น

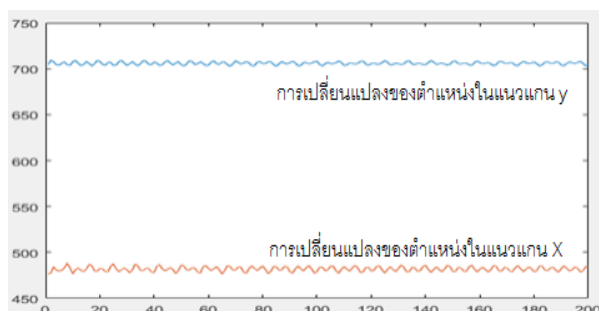
นอกจากนั้นยังเลือกภาพเคลื่อนไหวของวัตถุที่ไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดเสียง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง มาใช้ในการทดสอบด้วย โดยเลือกใช้ภาพวงกลมที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดเสียง เพราะเป็นวัตถุที่มีน้ำหนักเบาสามารถเห็นการเคลื่อนไหวได้ง่าย ตัวอย่างภาพวงกลมแสดงในภาพที่ 6 และ

ยังมีภาพที่บันทึกการเคลื่อนไหวของผิวหน้าลำโพง ซึ่งเป็นตัวกลางที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดเสียงมากๆ นำมาใช้ในการทดสอบสก๊ตเสียงด้วย



รูปที่ 6 ภาพตัวอย่างถุงขนม

ผู้พัฒนาทำการกำหนดจุดที่ต้องการพิจารณา โดยเลือกจากบริเวณที่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน และบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดดังกล่าวทั้งในแนวแกน X และแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 7 จากกราฟแกนนอนเป็นแกนของเวลาที่เปลี่ยนไป ส่วนแกนตั้งเป็นตำแหน่งของจุดที่พิจารณา จะเห็นว่าตำแหน่งของจุดที่สนใจมีการเคลื่อนที่แกว่งในช่วงที่ไม่สูงมากนัก



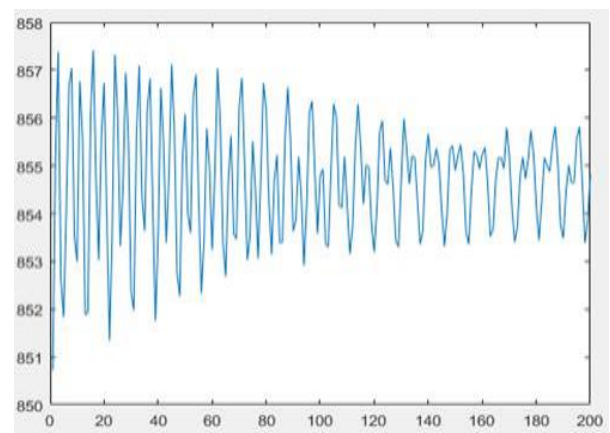
รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดที่สนใจในแนวแกน X และแกน Y

จากนั้นทำการรวมการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน X และแกน Y เข้าด้วยกัน โดยใช้สมการพีทาโกรัส (Pythagoras Equation)

$$s_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (1)$$

เมื่อ s_i เป็นค่าที่ได้จากการรวมสัญญาณที่เวลา i x_i^2 และ y_i^2 เป็นการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งในแนวแกน x และ y ที่เวลา i ตามลำดับ

ทำการขยายสัญญาณเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น โดยใช้วิธีการขยายสัญญาณแบบ Phase-based ที่ให้ผลเป็นกราฟรูปร่างเดิม ผลการรวมและขยายสัญญาณแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟจากการรวมการเปลี่ยนแปลงและขยายสัญญาณ

การทดสอบความสามารถในการสก๊ตเสียงจากวิดีโอเสียงได้ใช้ตัวอย่างวิดีโอ จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิดีโอที่แท้จริงแล้วมีเสียง แต่ผู้วิจัยได้ทำการแยกเสียงไว้ เพื่อนำมาใช้ประเมินผลเทียบกับเสียงที่สก๊ตขึ้นมาใหม่ โดยจะทำการปรับแอมพลิจูดของเสียงให้อยู่ในช่วงเดียวกันก่อน (normalize) แล้วจึงวัดค่าความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (mean square error: MSE) ตามสมการที่ 2

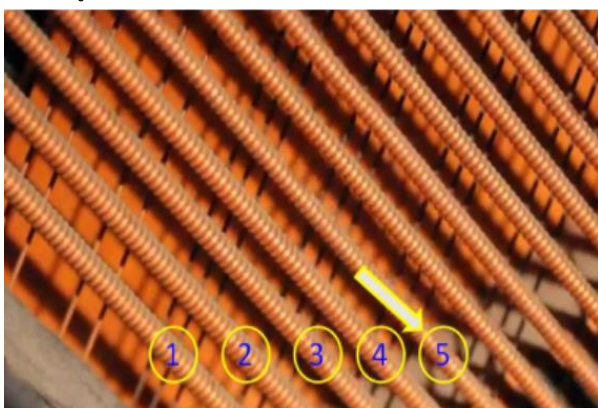
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (O(i) - S(i))^2 \quad (2)$$

โดยที่ n เป็นความยาวของชุดข้อมูล $O(i)$ เป็นแอมพลิจูดของเสียงจริง ที่เวลา i และ $S(i)$ เป็นแอมพลิจูดของเสียงสังเคราะห์ที่เวลา i ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดค่า MSE

วิดีโอที่	แหล่งกำเนิดเสียง / ชนิดของเสียง	MSE
1	Piano_5th String-C	11.32270
2	Piano_7th String-D	10.7950
3	Piano_12th String-G	2.19270
4	Violin String-G	1.58890
5	Guitar String-E	1.58441
6	Potato chip	<u>0.26655</u>
7	Marry in lamb	<u>0.14003</u>
8	Musical anthem	<u>0.75559</u>
9	Musical anthem slow	1.05190
10	National anthem slow	<u>0.55879</u>

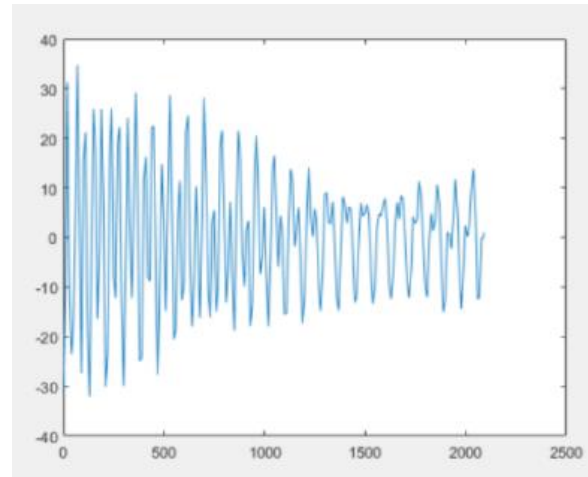
จากตาราง ค่า MSE ที่สูงแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างจากเสียงต้นฉบับอยู่มาก โดยทั่วไปแล้วค่า MSE ที่เหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน 3 และถือว่าให้ผลที่ดี ถ้า MSE มีค่าไม่เกิน 1 จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า มี 4 วิดีโอที่ได้ผลอยู่ในเกณฑ์ดี คือ Potato chip, Marry in lamb, Musical anthem, และ National anthem slow และอีก 4 วิดีโอ ให้ผลอยู่ในระดับที่พอใช้ได้ ส่วนเปียโนสายที่ 5 และ สายที่ 7 จะเห็นว่ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่สูง ส่วนหนึ่งเป็นอาจเป็นสาเหตุมาจากการเลือกจุดที่จะพิจารณาการสั่นสะเทือน ซึ่งด้วยลักษณะของสายเปียโนทำให้การติดตามจุดดังกล่าวมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้ง่าย รูปที่ 9 ชี้ให้เห็นสายเปียโนเส้นที่ 5



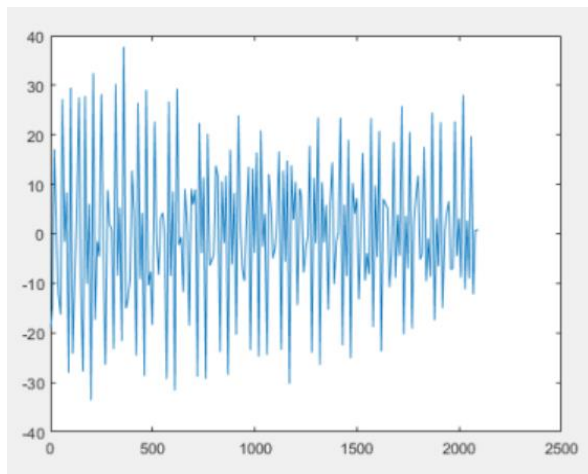
รูปที่ 9 สายเปียโนเส้นที่ 5

ตัวอย่างของสัญญาณเสียงที่สกัดออกมาได้จากสายเปียโนเส้นที่ 5 เส้นที่ 7 และ เส้นที่ 12 แสดงในรูปที่ 10 – รูปที่ 12 ตามลำดับ สัญญาณที่สกัดมาได้จากคลิปวิดีโอไวโอลิน

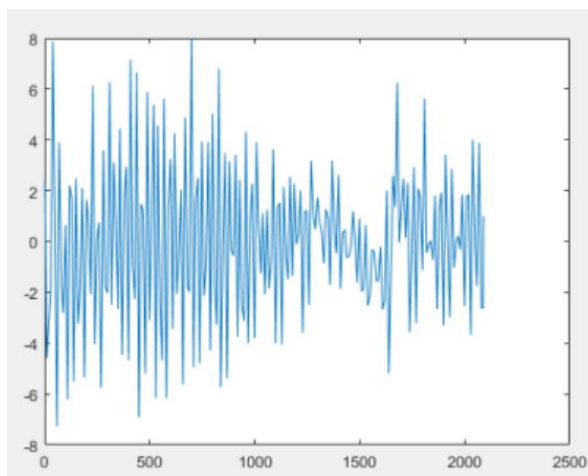
และกีตาร์ แสดงในรูปที่ 13 และ รูปที่ 14 โดยเลือกจุดพิจารณาอยู่บนสายไวโอลินและสายกีตาร์โดยตรง



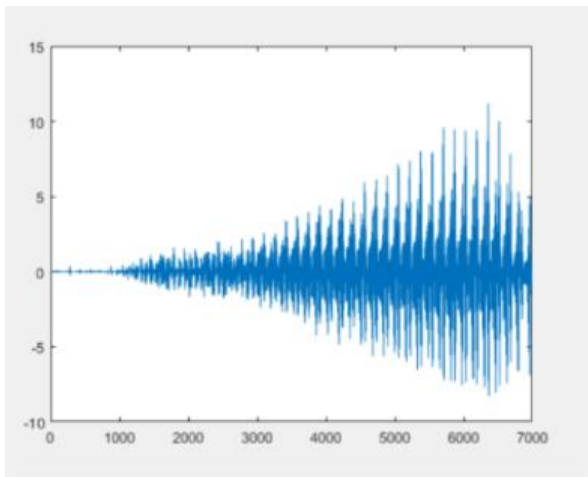
รูปที่ 10 สัญญาณเสียงที่ได้จากสายเปียโนเส้นที่ 5 โน้ต C#



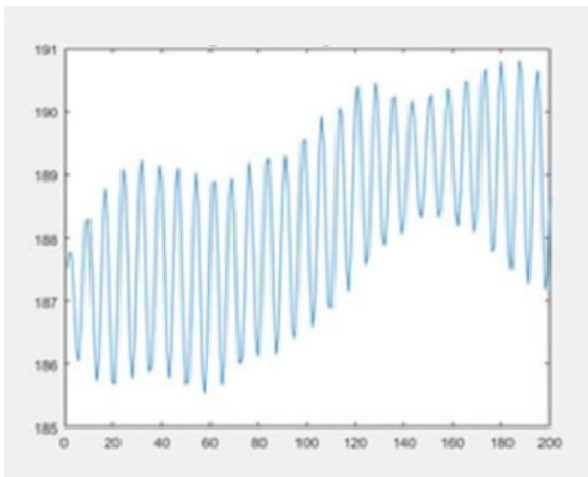
รูปที่ 11 สัญญาณเสียงที่ได้จากสายเปียโนเส้นที่ 7 โน้ต D



รูปที่ 12 สัญญาณเสียงที่ได้จากสายเปียโนเส้นที่ 12 โน้ต G



รูปที่ 13 สัญญาณเสียงที่สกัดได้จากสายไวโอลินโน้ต G



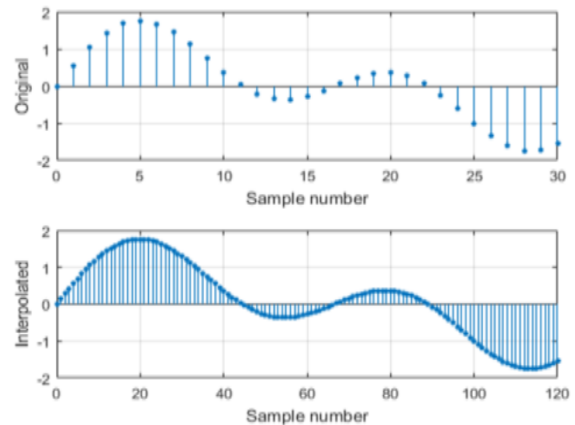
รูปที่ 14 สัญญาณเสียงที่สกัดได้จากสายกีตาร์โน้ต E

ในส่วนของการสกัดเสียงจากวัตถุที่ไม่ใช่แหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง เราพบว่าถ้าความถี่ของภาพไม่สูงพอ จะไม่สามารถได้สัญญาณเสียงที่ครบถ้วน ดังนั้นจึงได้เพิ่มในส่วนของการสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยวิธีการ interpolation ตามสมการที่ 3 เมื่อกำหนดให้ (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นพิกัดของจุดใดๆ ที่อยู่ติดกัน จุดที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่แทนด้วย (x_n, y_n) ที่อยู่ระหว่าง 2 จุดดังกล่าว สามารถหาได้จาก

$$y_n = \frac{(x_n - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1 \quad (3)$$

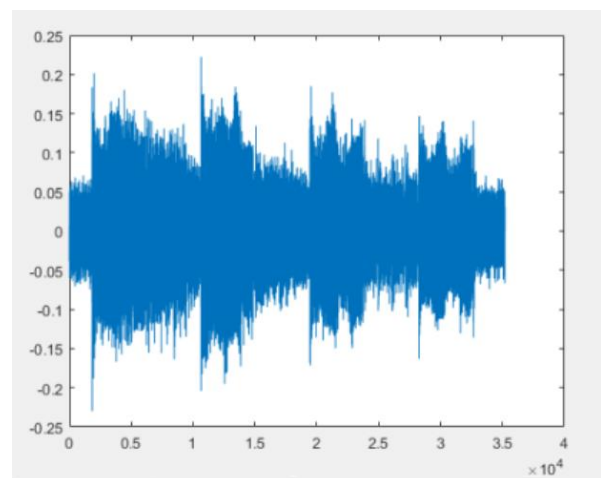
ตัวอย่างผลการทำ interpolation แสดงในรูปที่ 15 ซึ่งการทำ interpolation นี้มีส่วนช่วยให้สัญญาณเสียงที่สกัดได้

มีความใกล้เคียงกับสัญญาณจริงมากขึ้น และส่งผลให้ค่า MSE ในตารางที่ 1 ของวิดีโอที่ 6-10 มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับวิดีโอที่ไม่ได้ผ่านการทำ interpolation ด้วย

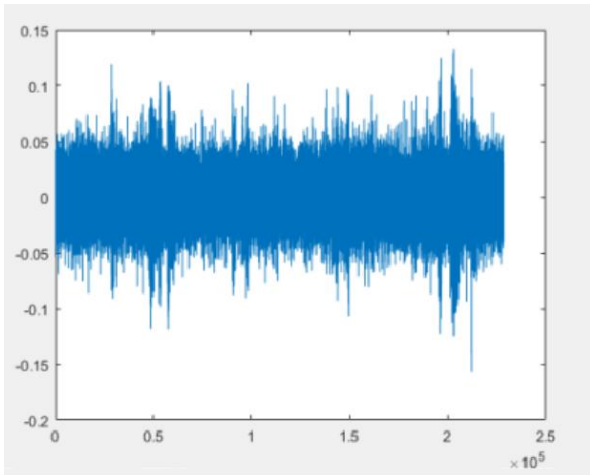


รูปที่ 15 ตัวอย่างผลการทำ interpolation

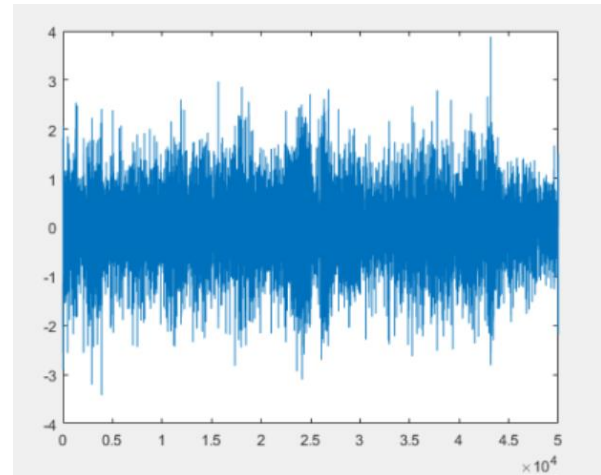
ภาพสัญญาณเสียงที่ได้จากการสกัดผ่านหูฟัง แสดงในรูปที่ 16 ในรูปที่ 17 แสดงสัญญาณเสียงพูด “Marry had a little lamb.” ที่สกัดจากภาพผิวหน้าของลำโพง รูปที่ 18 - รูปที่ 20 เป็นเพลงชาติไทยที่สกัดจากผิวหน้าของลำโพง เพื่อให้สามารถเห็นการเคลื่อนไหวของวัตถุในภาพได้ชัดเจน โดยในรูปที่ 18 เป็นทำนองของเพลงชาติที่เล่นในจังหวัดปรกิติ รูปที่ 19 เป็นทำนองเพลงชาติที่เล่นให้ช้าง และในรูปที่ 20 เป็นเสียงร้องเพลงชาติอย่างช้าๆ



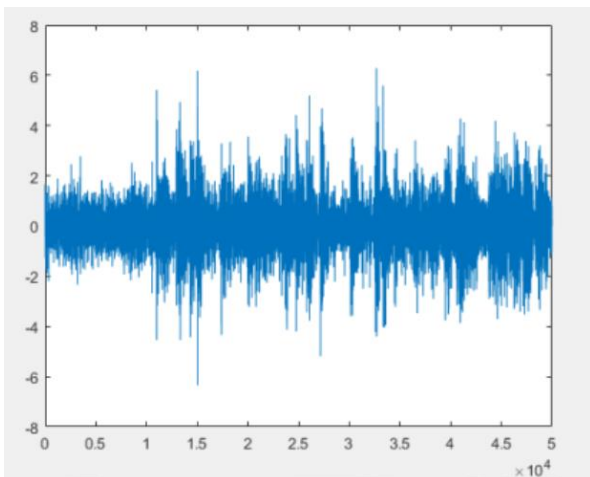
รูปที่ 16 สัญญาณเสียงจากหูฟัง



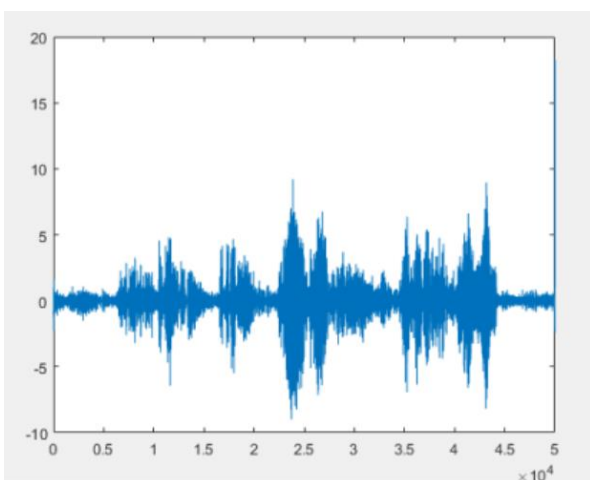
รูปที่ 17 สัญญาณเสียงพูด “Marry had a little lamb.” สกัดจากภาพผิวหน้าของลำโพง



รูปที่ 20 สัญญาณเสียงร้องเพลงชาติไทยโดยเล่นอย่างซ้ำ สกัดจากภาพผิวหน้าของลำโพง



รูปที่ 18 สัญญาณเสียงทำนองเพลงชาติไทยสกัดจากภาพผิวหน้าของลำโพง



รูปที่ 19 สัญญาณเสียงทำนองเพลงชาติไทยโดยเล่นอย่างซ้ำ สกัดจากภาพผิวหน้าของลำโพง

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการสำรวจโดยการให้ผู้ทดสอบ ทดลองฟังแล้วเลือกว่าเสียงไหนตรงกับต้นฉบับมากกว่า เสียง ที่นำมาให้ผู้ทดสอบเลือกหลังจากฟังต้นฉบับแล้ว คือเสียงที่ได้ ทำการสังเคราะห์ขึ้นจากวิธีการที่นำเสนอ และเสียงที่นำเอา เสียงที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้มาเพิ่มหรือลดสัญญาณ หรือทำการ สลับตำแหน่งของสัญญาณ

ในแบบทดสอบจะมีตัวเลือกให้ผู้รับการทดสอบเลือก 3 ทางเลือก คือ ก. เลือกเสียงที่ 1 ข. เลือกเสียงที่ 2 และ ค. ไม่ สามารถระบุได้ว่าเสียงใดตรงกับต้นฉบับ โดยเสียงที่ สังเคราะห์จากวิธีการที่นำเสนอจะสลับเป็นเสียงที่ 1 หรือ เสียงที่ 2 อย่างสุ่ม ทำการทดสอบกับผู้รับการทดสอบจำนวน 10 คน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตัวเลขที่อยู่ในช่องสี่เหลี่ยมคือจำนวนคนที่ตอบได้ถูกต้องใน ข้อนั้น ซึ่งสามารถสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์ของคนที่ตอบถูกใน คอลัมน์สุดท้าย ซึ่งจากตารางพบว่าการสกัดเสียงจากอุ้งขนมมี ผู้ตอบถูกสูงสุด คือทั้ง 10 คนที่เข้ารับการทดสอบตอบได้ ถูกต้อง รองลงมาคือเสียงไวโอลินที่มีผู้ตอบถูก 7 คน สาย เปียโนเส้นที่ 5 และ ทำนองเพลงชาติไทย มีผู้ตอบถูกรองลงมา คือ 6 คน

สำหรับเสียงจากสายกีตาร์ที่ไม่มีผู้ทายถูกเลย หรือเสียง จากเปียโนสายที่ 12 ที่มีผู้ทายถูกเพียงแค่คนเดียว อาจเป็น เพราะเป็นตัวโน้ต จึงฟังค่อนข้างยากและไม่สามารถแยกความ ต่างของเสียงที่สกัดได้และเสียงที่ถูกดัดแปลง สำหรับ เสียงพูดหรือเสียงร้องอย่างซ้ำๆ ผู้ฟังอาจจะไม่ค่อยชิน จึงทำ



ให้ยังมีผู้ตอบผิดอยู่บ้าง เสียงเหล่านี้ที่สกัดออกมาได้ยังคงมีสัญญาณรบกวนอยู่อีกมาก ทำให้ผู้ฟังต้องใจฟังเป็นพิเศษจึงจะสามารถแยกแยะความแตกต่างได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบฟังเสียงที่สกัดออกมาได้

วิดีโอ ที่	แหล่งกำเนิดเสียง	ตัวเลือก ที่ 1	ตัวเลือก ที่ 2	ตัวเลือก ที่ 3	% ตอบถูก
1	Piano_5th String-C	6	1	3	60 %
2	Piano_7th String-D	4	3	3	40 %
3	Piano_12th String-G	6	1	3	10 %
4	Violin String-G	7	3	0	70 %
5	Guitar String-E	9	0	1	0 %
6	Potato chip	10	0	0	100 %
7	Marry in lamb	7	2	1	20 %
8	Musical anthem	4	6	0	60 %
9	Musical anthem slow	4	4	2	40 %
10	National anthem slow	4	5	1	40 %

สำหรับเสียงพูดที่ไม่ได้มีจังหวะหรือทำนอง ผู้ฟังยังคงแยกแยะเสียงได้ไม่ตื้นัก จากวิดีโอที่ 7 ซึ่งเป็นเสียงพูดจากการอ่านเนื้อเพลง แต่ไม่ได้มีจังหวะหรือเครื่องดนตรีประกอบสังเกตว่าผู้ฟังแยกแยะเสียงได้ถูกต้องเพียงแค่ 20% เท่านั้น ซึ่งหากจะนำวิธีการนี้ไปใช้จริงกับเสียงสนทนา อาจจะต้องมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสกัดเสียงจากการสั่นของวัตถุ ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถได้ยินเสียงที่ไม่สามารถได้ยินอย่างชัดเจนเมื่อทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหว วิธีการที่นำเสนอสามารถสกัดเสียงได้จากภาพเคลื่อนไหวของแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง และภาพเคลื่อนไหวของวัตถุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง

เสียงที่สกัดออกมาได้ยังคงมีสัญญาณรบกวนติดมาด้วย ทำให้ยังไม่เหมือนต้นฉบับอย่างแท้จริง และหากไม่เคยฟังเสียงต้นฉบับมาก่อน อาจต้องตั้งใจฟังเพื่อจับใจความ

ในการทดสอบได้ทดลองสกัดเสียงจากวิดีโอตัวอย่างจำนวน 10 วิดีโอ และนำเสียงที่สกัดได้เป็นเปรียบเทียบับเสียงจริงเพื่อวัดค่าคลาดเคลื่อน หรือ MSE และทดสอบโดยให้ผู้ฟังแยกแยะเสียงที่สกัดได้กับเสียงอื่นที่ใกล้เคียง ผลปรากฏว่า การสกัดเสียงจากภาพเคลื่อนไหวของวัตถุที่ไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดเสียง แต่เป็นวัตถุเบา สามารถให้เสียงสกัดที่ฟังได้ง่ายกว่า และให้ค่า MSE ที่ต่ำกว่า ซึ่งหมายความว่าใกล้เคียงกับเสียงจริง

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเสียงที่สกัดได้คือ เสียงต้นฉบับ ถ้าเป็นข้อความที่ผู้ฟังคุ้นเคย ก็จะสามารถคาดเดาจากเสียงที่สกัดออกมาได้ง่ายกว่า แต่ถ้าไม่เคยได้ยินเสียงนั้นมาก่อน การคาดเดาจากเสียงที่มีสัญญาณรบกวนจะทำได้ยากกว่า ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้กับการสกัดเสียงสนทนาที่ไม่ทราบว่าคุณพูดจะกล่าวอะไรออกมาบ้าง จะยังมีอุปสรรคอยู่ค่อนข้างมากในเรื่องของการเลือกวัตถุที่เหมาะสมในภาพ เพื่อจะนำมาศึกษาการเคลื่อนไหว ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง และสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่อาจเกิดในบริเวณรอบๆ ในกรณีเช่นนั้นอาจใช้การอ่านริมฝีปากร่วมด้วยเพื่อช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้มากยิ่งขึ้น

หากเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการสกัดเสียงแบบอื่น พบว่ามีเป้าหมายในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น การยิงเลเซอร์เพื่อวัดแรงสั่นสะเทือนบนพื้นผิวจะเหมาะสมกับกรณีที่ต้องการดังฟังเสียงในขณะที่ผู้สนทนากำลังพูดคุยนอยู่ ซึ่งหากเราไม่ทราบสถานที่หรือไม่มีการเตรียมการก่อน ก็จะไม่สามารถใช้วิธีการเลเซอร์นี้ได้ ส่วนงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาการสั่นสะเทือนของวัตถุในภาพเช่นเดียวกัน โดยส่วนใหญ่จะใช้วิดีโอที่มีความละเอียดสูง ทำให้ใช้พื้นที่หน่วยความจำมาก และใช้เวลาในการประมวลผลสูงตามไปด้วย นอกจากนั้นยังมีต้นทุนในเรื่องของอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ทำให้ยังไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงวิธีการสกัดเสียงจากการสั่นของวัตถุในวิดีโอเงียบ โดยใช้การติดตามวัตถุแบบสุ่มในช่วงที่เหมาะสมและเติมส่วนที่ขาดพร้อมทั้งขยายสัญญาณเสียง ทำให้สามารถสกัดเสียงกลับคืนได้ ผู้วิจัยคาดหวังว่าเมื่อนำวิธีการ

ที่นำเสนอไปใช้ในการสืบสวนสอบสวน จะช่วยให้เจ้าหน้าที่มีข้อมูลมากขึ้นและข้อมูลเหล่านี้ก็นำมาประกอบกับภาพเคลื่อนไหว เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการพิจารณาคดี หรืออาจมีส่วนช่วยให้การติดตามผู้ต้องสงสัยหรือผู้ร่วมดำเนินการมาดำเนินคดีตามกฎหมายเป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] AMFINEWELL, เสียงกับการได้ยิน, Available from: <https://amfinewell.wordpress.com/2013/01/22/เสียงกับการได้ยิน-3/> [Accessed 1st March 2016].
- [2] Moses J.M. and Trout K.P., A Simple Laser Microphone for Classroom Demonstration, The Physics Teacher, Vol. 44, December 2006.
- [3] The visual microphone: Passive recovery of sound from video, Washington Post, 2014. [Online]. Available: <https://www.washingtonpost.com/video/c/embed/098665de-1c0c-11e4-9b6c-12e30cbe86a3>. [Accessed 8th August 2016].
- [4] Ait-aider O., Bartoli A., and Andreff N., Kinematics from lines in a Single rolling shutter image. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR'07. IEEE Conference on, IEEE, 1–6.
- [5] Meingast M., Geyer C., and Sastry S., Geometric models of rolling-shutter cameras. arXiv preprint cs/0503076. NAKAMURA, J. 2005. Image sensors and signal processing for digital still cameras. CRC Press.
- [6] Wadhwa N., Rubinstein M., Durand F., and Freeman W.T., Phase-based video motion processing, ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 32, No. 4, 2013.

ประเมินการวัดความแม่นยำเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้สำหรับโรงเรียนสอนคนตาบอด ภาคเหนือในพระราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่

Precision Assessment on a Voice-Able Device of Checking Cash for the Northern Region School for the Blind under the Royal Patronage of Her Majesty the Queen in Chiang Mai Province

ยุพดี หัตถสิน* วชรินทร์ ปรีดี และ สามารถ อินซ็อน

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Upady Hatthasin*, Watcharin Preedee and Samart Insone

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lana

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: UHT@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 2132

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอประเมินการวัดความแม่นยำและสร้างเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้สำหรับผู้บกพร่องทางการเห็น เพื่อช่วยให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นในการแยกชนิดธนบัตร ซึ่งมักเป็นปัญหาเสมอเมื่อใช้สัมผัสสัมผัสแยกแยะว่าธนบัตรนี้มีราคาเท่าใด งานวิจัยได้ใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรดเป็นตัวตรวจวัดชนิดของธนบัตร แล้วรับอินพุตมาประมวลผลผ่านการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแปลงเสียงแจ้งให้ผู้ใช้งานได้รับรู้ชนิดของธนบัตร งานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับคน 2 กลุ่มจากผู้ที่มีสายตาปกติ 34 คน และนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็น 11 คน ผลประเมินสรุปคะแนนตามหัวข้อหลักด้านความแม่นยำ อีกทั้งได้ประเมินความพึงพอใจในมิติของการออกแบบ ด้านเสียง ด้านความสะดวกในการใช้งาน และด้านราคา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก

คำสำคัญ การสัมผัส เครื่องตรวจสอบธนบัตร ผู้บกพร่องทางการมองเห็น โรงเรียนสอนคนตาบอด

Abstract

This research assesses of the accuracy and the accuracy of the voice-able device for checking cash for the visually impaired. It helps improve the confidence in the task of cash distinction. Visually impaired people often use the sense of touch to determine how much a cash is worth. The proposed device used infrared sensors to assist in this process. Once the input infrared is processed by the microcontroller. The device speak out loud to the user the type of banknotes or cash. An experiment was conducted with two groups consisting of 34 normal vision and 11 visually impaired students. The results are summarized in five aspects which are accuracy, they also evaluated the satisfaction of the design, sound precision, convenience and price. The results show that this device is effective and satisfactory.

Keywords: touching, cash-checking device, the visually impaired, the blind school.

1. บทนำ

จากอดีตถึงปัจจุบันไม่ว่าจะเดินทางไปทุกแห่งหนหรือจะอยู่ที่ใดก็ตาม ทุกสิ่งทุกอย่างล้วนแล้วแต่ต้องมีเงินเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นเหรียญหรือธนบัตร อาจกล่าวได้ว่าเงินคือปัจจัยอันดับแรกๆ ที่ทุกคนต้องมีและพกติดตัวอยู่ตลอดเวลา แต่จะมีเพียงบุคคลหรือกลุ่มคนผู้พิการทางสายตาที่ไม่สามารถรับรู้ได้เลยว่าเงินหน้าตาเป็นอย่างไร ดังนั้นจึงต้องมีตัวช่วยในการรับรู้ว่าเป็นเงิน ซึ่งตัวช่วยดังกล่าวจะใช้เพื่อตรวจสอบธนบัตรอย่างเดียว เพราะเงินเหรียญนั้นก็ยังสามารถที่จะพอแยกแยะออกได้ จากการคลำสัมผัสขนาดที่ไม่เท่ากัน ในขณะที่ธนบัตรนั้นสามารถแยกแยะออกได้ยากมาก และค่าเงินของธนบัตรก็จะมีราคาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งธนบัตรไทย[1] มีราคาอยู่ที่ 20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1000 บาท การตรวจสอบธนบัตรของผู้พิการทางสายตาจะใช้หลักการสัมผัสด้วยมือเพื่อรับรู้ว่าธนบัตรนี้มีราคาเท่าไร แต่ก็มีส่วนน้อยที่จะตอบได้ถูกต้อง และมีอีกหนึ่งวิธีที่ตรวจสอบมูลค่าธนบัตรได้ด้วยควมยาวเนื่องจากแต่ละธนบัตรจะมีขนาดความยาวที่ไม่เท่ากัน ในขณะที่มีความกว้างเท่ากัน จึงทำให้ผู้พิการทางสายตาสามารถรับรู้ได้ยากว่าธนบัตรนั้นเป็นธนบัตรที่มีราคาเท่าไร

ดังนั้นจึงทำให้ทีมผู้วิจัยเกิดมีแนวความคิดเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบธนบัตรสำหรับผู้พิการทางสายตาเพื่อให้นักเรียนผู้พิการทางสายตา ณ โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระราชนิอุปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ [2] สามารถเรียนรู้เรื่องธนบัตร มีความสะดวก สามารถดำรงชีวิตประจำวันได้เช่นบุคคลอื่น และสามารถพกพาเครื่องตรวจสอบธนบัตรไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

มีหลากหลายงานวิจัย[3-6] ที่พยายามพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อสนับสนุนให้ผู้พิการทางสายตาสามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยเฉพาะกระปุกออมสิน ATM โฮเทค[7] ที่ได้ทำการสร้างระบบสมองกลขึ้นมาโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดแบบสองทางจำนวน 5 ตัว เป็นตัวตรวจสอบชนิดของธนบัตร มีการใช้หลักการวัดความยาวของธนบัตร แล้วใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเทียบกับค่าอ้างอิง แล้วจึงระบุว่าเป็นธนบัตรชนิดไหนต่อไป

แต่ไม่ได้ออกแบบเพื่อให้มีจุดประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตาได้ใช้งาน

ขนาดธนบัตรถูกแบ่งออกตามมาตรฐานของธนาคารแห่งประเทศไทย[1] ที่กำหนดให้มีความกว้างเท่ากัน และแตกต่างกันเฉพาะความยาวเท่านั้น นั่นคือ

- ธนบัตรชนิดราคา 20 บาท มีขนาด กว้าง x ยาว คือ 7.20×13.80 เซนติเมตร มีตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 1
- ธนบัตรชนิดราคา 50 บาท มีขนาด กว้าง x ยาว คือ 7.20×14.40 เซนติเมตร มีตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2
- ธนบัตรชนิดราคา 100 บาท มีขนาด กว้าง x ยาว คือ 7.20×14.40 เซนติเมตร มีตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3
- ธนบัตรชนิดราคา 500 บาท มีขนาด กว้าง x ยาว คือ 7.20×15.60 เซนติเมตร มีตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4
- ธนบัตรชนิดราคา 1,000 บาท มีขนาด กว้าง x ยาว คือ 7.20×15.60 เซนติเมตร มีตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5



ก) ด้านหน้า

ข) ด้านหลัง

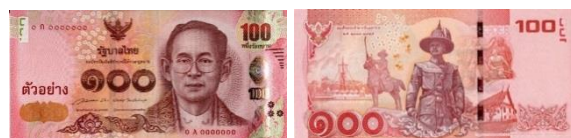
รูปที่ 1 ธนบัตรชนิดราคา 20 บาท [1]



ก) ด้านหน้า

ข) ด้านหลัง

รูปที่ 2 ธนบัตรชนิดราคา 50 บาท [1]



ก) ด้านหน้า

ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3 ธนบัตรชนิดราคา 100 บาท [1]



ก) ด้านหน้า

ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4 ธนบัตรชนิดราคา 500 บาท [1]

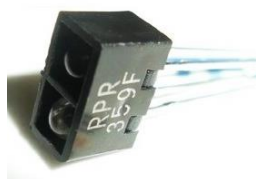


ก) ด้านหน้า

ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5 ธนบัตรชนิดราคา 1,000 บาท [1]

การตรวจจับวัตถุที่ขวางทางสามารถใช้เซนเซอร์ได้ 2 ชนิด คือ 1) เซนเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด หรือ Obstacle detection sensor with infrared light [8] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่ขวางทาง โดยสามารถนำมาใช้ในการวัดระยะทางได้ ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น ช่วงระยะในการวัด หรือช่วงของระดับแรงดันเอาต์พุต เป็นต้น 2) เซนเซอร์ตรวจจับแสงสะท้อน หรือ Reflective Optical Sensor[9] แสดงได้ในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำไฟโด้ทรานซิสเตอร์ หรือไฟโด้ไดโอดมารวมกับ LED อินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจจับการสะท้อนแสง หรือระยะความใกล้ของวัตถุ หลักการคือเมื่อมีแสงไปตกกระทบกับวัตถุใดๆ วัตถุนั้นจะสะท้อนแสงกลับมายังไฟโด้ไดโอด



รูปที่ 6 Reflective Optical Sensor เบอร์ RPR-359F[9]

2.1 การออกแบบกรอบความคิดองค์รวมของระบบ

กรอบความคิดถูกออกแบบเป็นบล็อกไดอะแกรมดังในรูปที่ 7 โดยมีการคำนึงถึงโครงสร้างที่ต้องมีความสัมพันธ์กันทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งแต่ละบล็อกสามารถอธิบายได้ดังนี้

บล็อก A: Reflective Optical Sensor เป็นภาครับค่าแสง โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับแสงสะท้อน สำหรับตรวจจับ

วัตถุที่เป็นธนบัตร แล้วส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไปยังภาคประมวลผล

บล็อก B: Processing เป็นภาคประมวลผล โดยรับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจจับแสงสะท้อน แล้วนำมาประมวลผล และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงของโปรแกรม จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกทางภาคเสียง

บล็อก C: Audio Speaker เป็นภาคเสียง โดยประกอบไปด้วยส่วนของ MP3 โมดูล และภาคขยายเสียง ทำหน้าที่แปลงเสียงแจ้งให้ผู้ใช้ได้รับทราบถึงชนิดของธนบัตรเป็นเสียงพูดภาษาไทยและ/หรือภาษาอังกฤษ ผ่านออกทางลำโพง

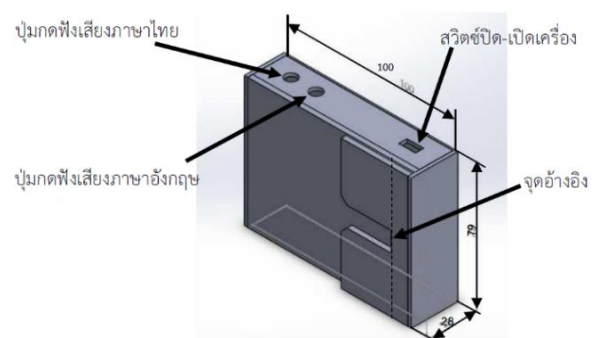


บล็อก A

บล็อก B

บล็อก C

รูปที่ 7 กรอบความคิดองค์รวมของการออกแบบระบบ



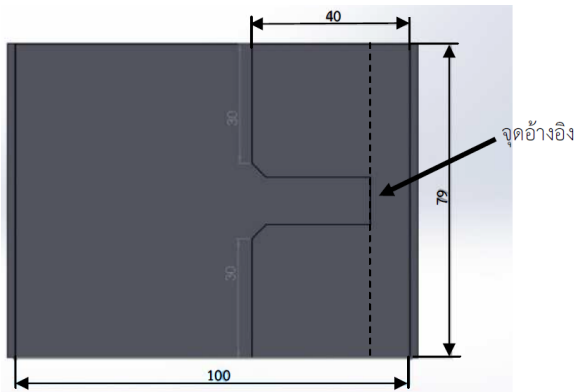
รูปที่ 8 ด้านบนในมุมมอง 45 องศา (หน่วยเป็น mm.)

2.2 การออกแบบส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

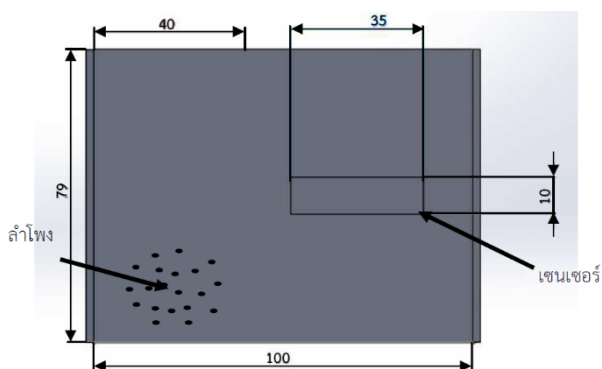
ลักษณะแบบร่างกล่องของเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้โดยแสดงในมุมมอง 45 องศาดังในรูปที่ 8 ส่วนในรูปที่ 9 แสดงด้านหน้าซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีจุดอ้างอิงธนบัตร ในรูปที่ 10 แสดงด้านหลังที่ซึ่งเป็นที่ติดตั้งลำโพงและตำแหน่งเซนเซอร์ตรวจจับแสงสะท้อน และในรูปที่ 11 แสดงด้านล่างอันเป็นฐานที่สามารถมองเห็นช่องว่างของจุดอ้างอิงได้

ส่วนในรูปที่ 12 เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของโมเดลเครื่องตรวจ สอบธนบัตรแปลงเสียงได้ โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ดีซี ผ่านสวิตช์ เลื่อน เปิด-ปิด เมื่อเลื่อนสวิตช์ปิดวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะจ่ายไฟให้กับขา Raw ของ

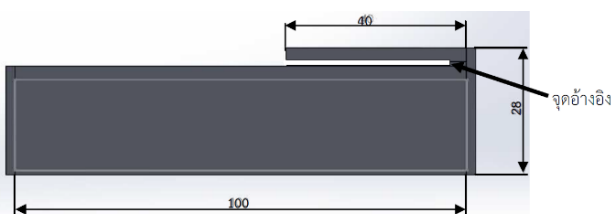
Arduino เบอร์ด 328 บนบอร์ด Arduino จะมาหาไฟบวก 5v นำไปต่อเข้ากับตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า จาก 5vdc เป็น 3.3vdc เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโมดูลเสียง Sparkfun Audio



รูปที่ 9 แบบร่างด้านหน้า (หน่วยเป็น mm.)



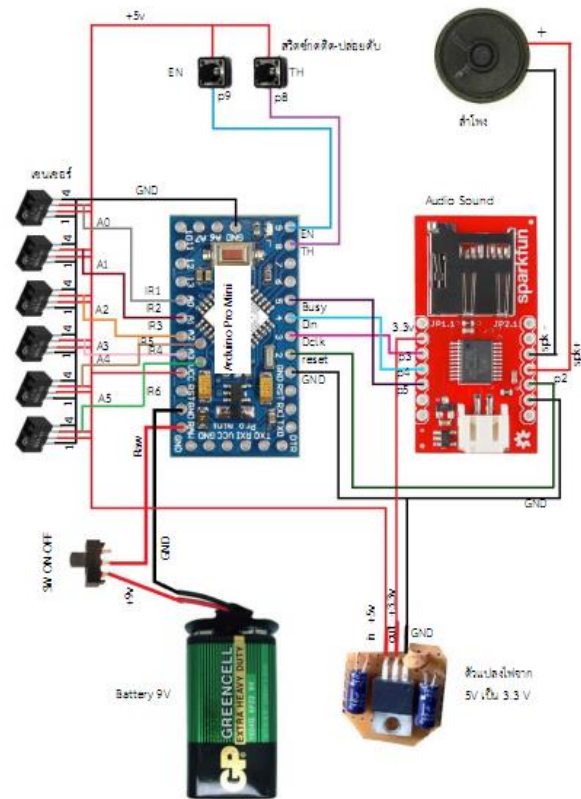
รูปที่ 10 แบบร่างด้านหลัง (หน่วยเป็น mm.)



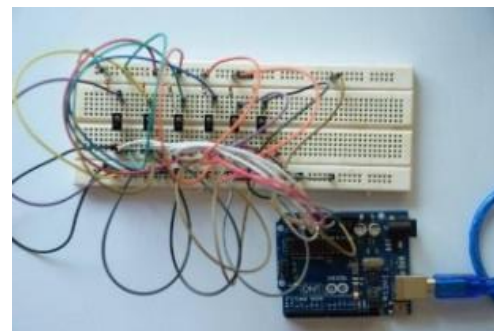
รูปที่ 11 แบบร่างด้านล่าง (หน่วยเป็น mm.)

จากนั้นเมื่อ Arduino จะรอรับค่าจากเซนเซอร์ โดยเซนเซอร์ตัวที่ 1(IR1) คือ 20บาท ตัวที่ 2(IR2) คือ 50 บาท ตัวที่ 3(IR3) คือ 100 บาท ตัวที่ 4(IR4) คือ 500 บาท ตัวที่ 5(IR5) คือ 1000 บาท ตัวที่ 6(IR6) คือ เกิดข้อผิดพลาด ต่อมาทำการกดสวิทช์ภาษา(TH/EN) ซึ่งเป็นสวิทช์แบบกดติดปดปล่อยดับ ต่ออยู่กับขา8 และขา9 เพื่อให้ Arduino สั่งงานให้ภาคเสียง

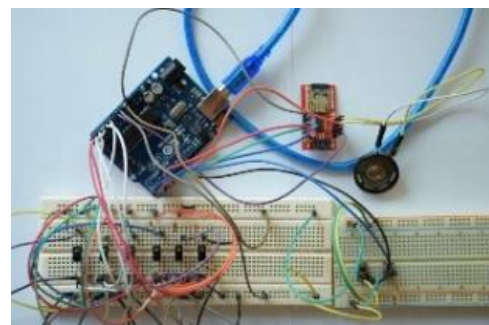
(Audio Sound) ส่งเสียงออกทางลำโพง ให้ผู้ใช้ทราบชนิดของธนบัตร



รูปที่ 12 การเชื่อมต่อวงจรจากอุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้



ก) ต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ดเสียง



ข) ตรวจสอบระบบของครื่อง

รูปที่ 13 เชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ

จากนั้นเริ่มต่อวงจรเพื่อทดสอบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ตั้งแต่ภาคอินพุต ภาคประมวลผล ไปจนถึงภาคแสดงผลทางเสียง ให้สามารถทำงานเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 13.ทั้ง ก) และ ข) ส่วนการต่อทดลองวงจรจริง และการเชื่อมต่ออุปกรณ์พร้อมประกอบกล่องโมเดลอะคริลิก ที่มีการตัดแผ่นและเจาะรู ไปจนถึงบรรจุอุปกรณ์ลงได้ครบทุกๆ อุปกรณ์โดยแสดงได้ดังในรูปที่ 14 ก) จนถึง ค) ซึ่งเป็นการต่อประกอบชิ้นงานได้เสร็จสมบูรณ์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 15 เป็นภาพองค์รวมของชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งานได้ทันที



ก) ตัดแผ่นอะคริลิก



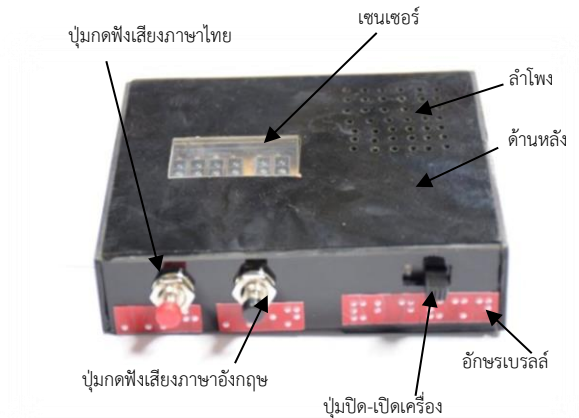
ข) เจาะรูบนแผ่นอะคริลิก



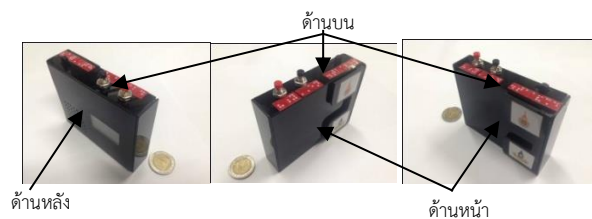
ค) จัดวางอุปกรณ์ที่ได้ทำการต่อแล้วลงกล่องโมเดลอะคริลิก
รูปที่ 14 การต่อทดลองและประกอบกล่อง

ในขณะที่รูปที่ 16 แสดงให้เห็นในมุมมองหลายมุมของเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ โดยมีการใช้เหรียญ 10

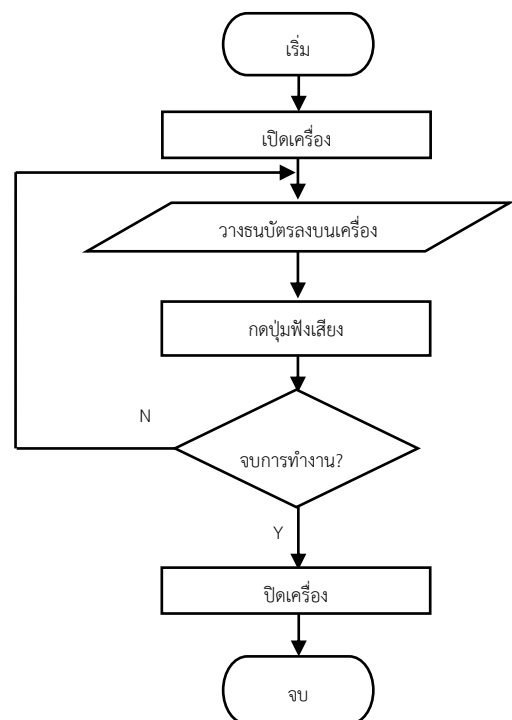
บาทเป็นจุดอ้างอิงมิติขององค์รวมทั้งหมด เพื่อให้มีความพร้อมใช้ในการทดลอง



รูปที่ 15 ประกอบเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ที่เป็นด้านบนในมุมมอง 45 องศา



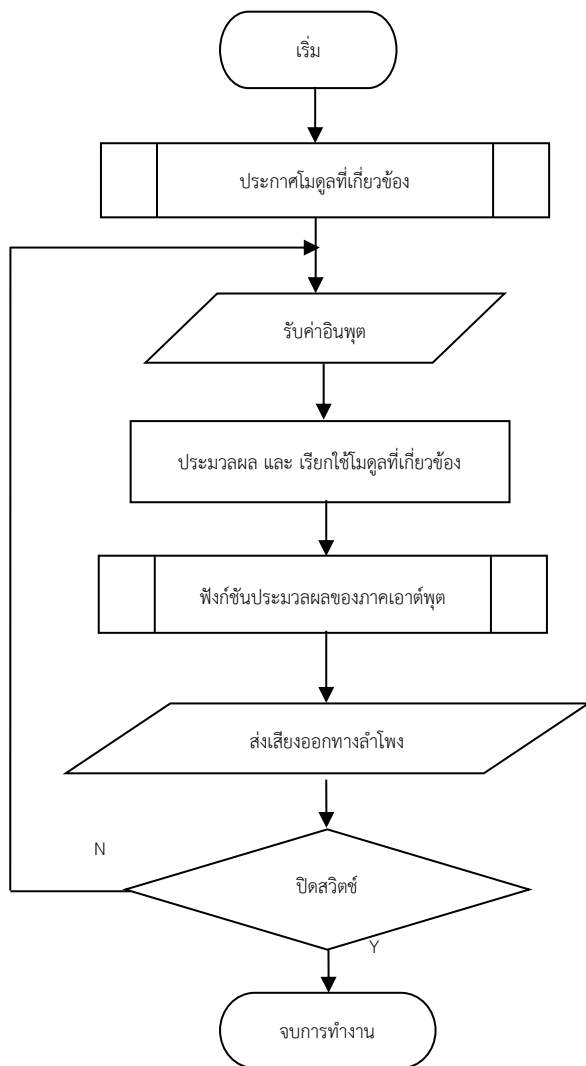
รูปที่ 16 ลักษณะในมุมมองต่างๆของเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ โดยใช้เหรียญ 10 บาทเป็นจุดอ้างอิง



รูปที่ 17 ลักษณะของผังงานสำหรับผู้ใช้

2.3. การออกแบบส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์

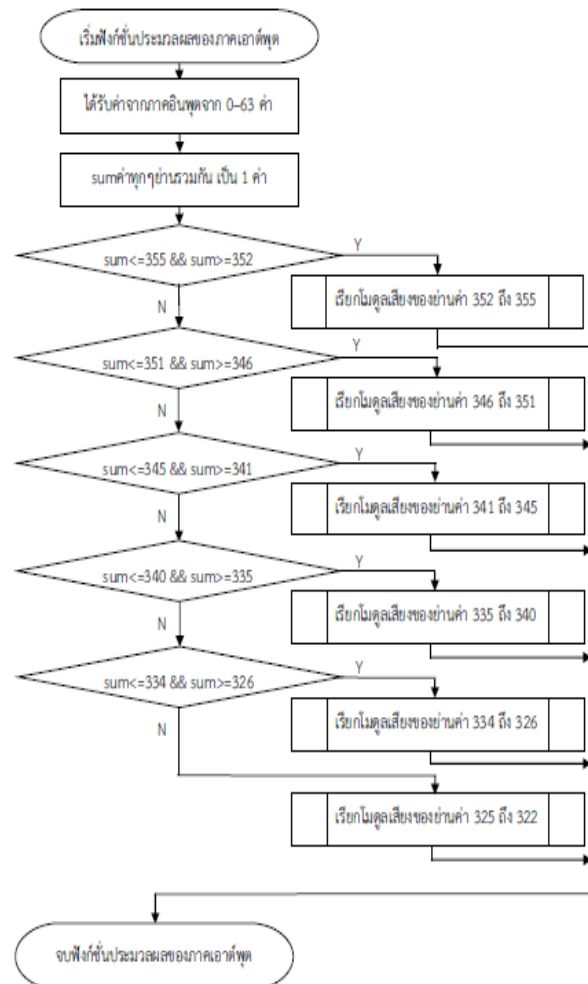
การออกแบบซอฟต์แวร์สามารถแสดงผังงานได้ดังในรูปที่ 17 สำหรับผู้ใช้งาน (user) ส่วนรูปที่ 18 เป็นผังงานของระบบที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ซึ่งการแสดงให้เห็นถึงส่วนที่เป็นองค์รวมของระบบที่ใช้ควบคุมฮาร์ดแวร์ดังในรูปที่ 18 ก) โดยการทำงานของระบบ เริ่มต้นจากการประกาศตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม รวมถึงการเรียกใช้ไลบรารีที่จำเป็น ต่อมาทำการรับค่าจากเซนเซอร์อินฟราเรด แล้วนำค่าที่ได้รับมาประมวลผลเปรียบเทียบค่าในโปรแกรมว่าตรงกับเงื่อนไขใด เพื่อตรวจสอบว่าเป็นธนบัตรชนิดอะไร เมื่อผู้ใช้ทำ



ก) องค์รวมของระบบที่ใช้ควบคุมฮาร์ดแวร์

การกดปุ่มเสียง(TH/EN) จะเป็นการเรียกใช้โมดูลเสียงให้ทำการเรียกไฟล์เสียง อ้างอิงชื่อไฟล์เสียงจากค่าที่ได้ และการแปลงเสียงออกทางลำโพงให้ผู้ใช้งานได้ทราบชนิดของธนบัตรนั้น

ส่วนรูปที่ 18 ข) เป็นฟังก์ชันประมวลผลของภาคเอาต์พุต ที่เปรียบเทียบค่าที่ได้รับมาจากการถอดรหัสความยาวของธนบัตรที่สัมพันธ์กับสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์อินฟราเรด โดยมีการเรียกใช้โมดูลเสียงตามย่านส่วนกลับของความยาวธนบัตร 20 บาทคือย่าน 352-355 จนถึงธนบัตร 1,000บาทคือย่าน 326-334 ตามลำดับ ส่วนย่าน 322-325 คือการแจ้งความผิดพลาดจากการวัด



ข) ฟังก์ชันประมวลผลของภาคเอาต์พุต

รูปที่ 18 ผังงานของระบบที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ก่อนการทดสอบต้องสาธิตวิธีใช้งานของเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ โดยแสดงได้ในรูปที่ 19 ก) จนถึงรูปที่ 19 ง) อีกทั้งมีการออกแบบใบประเมินเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของระบบ สำหรับให้กลุ่มผู้มีส่วนได้เสียจำนวน 34 คนทำการทดสอบใช้งานจริง โดยแสดงลักษณะการทดสอบดังในรูปที่ 20 ถึงรูปที่ 24 สำหรับธนบัตร 20 บาท จนถึงธนบัตร 1,000 บาทไปตามลำดับ



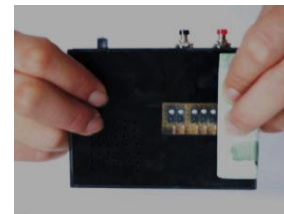
ก) ตำแหน่งเลื่อนสวิตช์ปิด-เปิด



ข) สอดปลายธนบัตรให้ตรงช่อง



ค) ไล่ให้ระนาบไปกับขอบเครื่อง

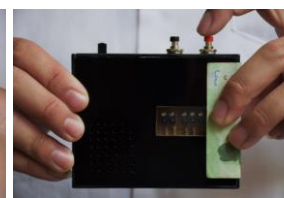


ง) ไล่ต่อจนปลายไปปิดเซนเซอร์

รูปที่ 19 สาธิตการวางธนบัตรตำแหน่งคลำด้านหน้า-หลัง



ก) ด้านหน้า



ข) ด้านหลัง

รูปที่ 20 การทดสอบกับธนบัตร 20 บาท



ก) ด้านหน้า



ข) ด้านหลัง

รูปที่ 21 การทดสอบกับธนบัตร 50 บาท



ก) ด้านหน้า



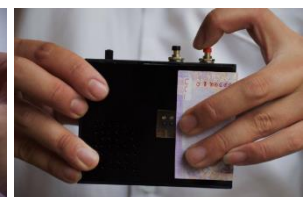
ข) ด้านหลัง

รูปที่ 22 การทดสอบกับธนบัตร 100 บาท

ในการทดสอบความแม่นยำ จะต้องใส่ผ้าปิดตาให้ผู้ทดสอบก่อนปฏิบัติการทดสอบในรอบแรก ส่วนรอบที่สองจึงอนุญาตให้ไม่ใส่ผ้าตาเพื่อปฏิบัติการทดสอบ โดยแต่ละคนจะทดสอบด้วยธนบัตรทั้ง 5 ชนิดๆ ละ 3 ครั้ง ทั้งกรณีปิดตาและไม่ปิดตา ผลการทดสอบแสดงเป็นแผนภูมิแท่งดังรูปที่ 25 ซึ่งเป็นผลลัพธ์การประเมินความแม่นยำในการบอกชนิดธนบัตรจากผู้มีส่วนได้เสีย โดยธนบัตร 20 บาทจะได้ผลประโยชน์ต่ำสุด เนื่องจากสีเขียวของธนบัตรมีผลกระทบต่อนื่องมาจากค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ ในขณะที่ธนบัตร 50 บาทจะได้ผลประโยชน์สูงสุด เนื่องจากตัวแปรของสีฟ้า-น้ำเงินของธนบัตรมีผลกระทบต่อนื่องมาจากค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์และการกดไม่แน่นอนบริเวณปลายธนบัตรแนบช่องเซนเซอร์ ทั้งนี้ ผลเปรียบเทียบการประเมินทำให้ได้ทราบว่า ผลการประเมินดังกล่าวเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติทั้งกรณีใส่ผ้าปิดตาและไม่ใส่ผ้าปิดตา แล้วทำหน่วยให้อยู่ในเปอร์เซ็นต์ จะได้เกณฑ์คะแนนอยู่ระหว่างดีจนถึงดีมาก สำหรับธนบัตรไทยทุกชนิด



ก) ด้านหน้า



ข) ด้านหลัง

รูปที่ 23 การทดสอบกับธนบัตร 500 บาท

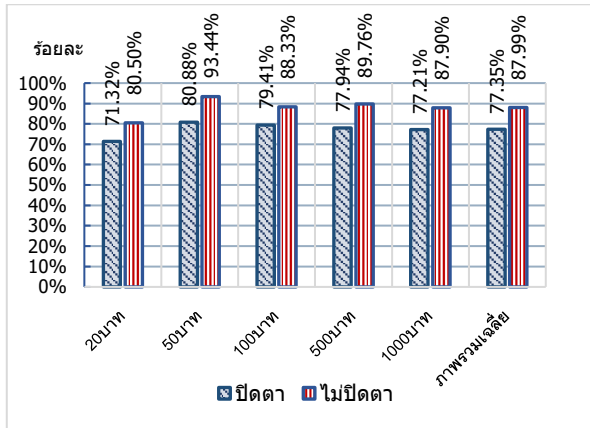


ก) ด้านหน้า



ข) ด้านหลัง

รูปที่ 24 การทดสอบกับธนบัตร 1,000 บาท



รูปที่ 25 ผลประเมินความแม่นยำในการบอกชนิดธนบัตรจากผู้ที่มีสายตาสายตาทั้งกรณีปิดตาและไม่ปิดตา

จากนั้นจึงออกแบบใบประเมินในประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบธนบัตร เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มบุคคล 2 กลุ่มแรกเป็นจำผู้ที่มีสายตาสายตาจำนวน 34 คนคละกันทั้งหญิง-ชาย ซึ่งเป็นนักศึกษาอาสามัครระดับปริญญาตรี จากหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มีการใช้สถานที่ทดสอบอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ โดยบรรยากาศการประเมินแสดงได้ดังในรูปที่ 26



ก) ขณะใส่ผ้าปิดตา

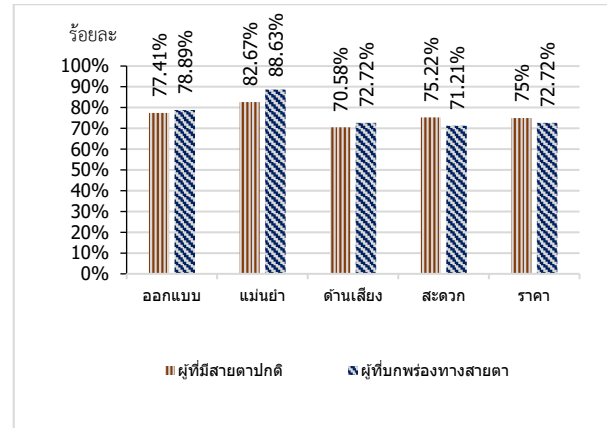


ข) ไม่ใส่ผ้าปิดตา

รูปที่ 26 บรรยากาศการทดสอบจากผู้ที่มีสายตาสายตา



รูปที่ 27 บรรยากาศการทดสอบจากฟิการทางสายตา



รูปที่ 28 ผลประเมินภาพองค์รวมของผู้ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

ส่วนกลุ่มที่สองเป็นนักเรียนผู้บกพร่องทางการมองเห็น 11 คนระดับ ป.4 จนถึง ม.5 คละกันทั้งหญิง-ชาย มีการใช้สถานที่ทดสอบอยู่ที่ โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยบรรยากาศการประเมินแสดงได้ดังในรูปที่ 27 โดยหัวข้อประเมินประกอบไปด้วย 1) การออกแบบ 2) ความแม่นยำ 3) ความสามารถทางด้านเสียง 4) ความสะดวกในการใช้งาน และ 5) ราคา ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อนำผลการประเมินของผู้ที่มีสายตาสายตาจำนวน 34 คนมารวมกันในแต่ละหัวข้อของกรณีใส่ผ้าปิดตาและไม่สวมใส่ผ้าปิดตา จากนั้นนำผลที่ได้หาค่าเฉลี่ยทางสถิติมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วพล็อตเป็นกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 28 ซึ่งเป็นผลลัพธ์การประเมินภาพองค์รวมของงานวิจัย โดยมีการนำผลเปรียบเทียบการประเมินดังกล่าวมาอภิปรายถึงผลการเปรียบเทียบระหว่างผู้ที่มีสายตาสายตากับผู้บกพร่องทางสายตาให้เห็นถึงความแตกต่างกันในมุมมองและประสบการณ์ของกลุ่มคนทั้ง 2 กลุ่ม จนทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

การออกแบบ ผู้ที่มีสายตาสายตากับผู้บกพร่องทางสายตาได้ให้ผลการประเมินใกล้เคียงกัน หมายความว่ามีความเห็นใกล้เคียงกัน

ความแม่นยำ ผู้บกพร่องทางสายตาให้ผลประเมินมากกว่าผู้ที่มีสายตาสายตา 3-9 % หมายความว่าผู้บกพร่องทางสายตาคิดว่าเครื่องตรวจสอบธนบัตรมีความแม่นยำ ซึ่งต่างจากผู้ที่มีสายตาสายตา

ความสามารถด้านเสียง ผู้บกพร่องทางสายตา ได้ให้ผลการประเมินมากกว่าผู้ที่มีสายตาสายตา 2-3% หมายความว่าผู้บกพร่องทางสายตา มีความพึงพอใจมากกว่า



ความสะดวก ผู้มีสายตาปกติ ได้ให้ผลการประเมินมากกว่าผู้บกพร่องทางสายตา 4-5% หมายความว่าผู้มีสายตาปกติ ไม่ต้องระวังในการใช้งาน

ราคา ผู้มีสายตาปกติ ได้ให้ผลการประเมินมากกว่าผู้บกพร่องทางสายตา 3-4% หมายความว่าผู้สายตาปกติ เห็นว่าราคาสมเหตุสมผล

ทั้งนี้เครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ดังกล่าว สามารถบอกชนิดของธนบัตรได้ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ 20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1,000 บาท ตามลำดับ

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์ให้เป็นสื่อการเรียนรู้ทางเสียงและช่วยให้นักเรียนผู้บกพร่องทางการมองเห็นสามารถเรียนรู้แยกแยะเกี่ยวกับขนาดของธนบัตร ช่วยให้สามารถรับรู้ชนิดของธนบัตรได้ด้วยตัวเอง ซึ่งเครื่องตรวจสอบธนบัตรแปลงเสียงได้ สามารถแปลงเสียงแจ้งชนิดของธนบัตรไทยที่มีใช้งานอยู่จริง โดยมีการคำนึงถึงประโยชน์ที่ผู้ใช้งานจะได้รับ จึงออกแบบตัวเครื่องให้มีขนาดพอเหมาะสะดวกในการพกพา มีราคาที่ถูก การทดสอบด้านความแม่นยำของเครื่องตรวจสอบธนบัตรกับผู้ที่มีสายตาปกติและผู้บกพร่องทางการมองเห็น มีผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้อยู่ในระดับที่ดีถึงดีมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ศิริพร วงศ์จุฬโรจน์และคณาจารย์ทุกท่านจากโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ขอขอบคุณทุนวิจัยในโครงการ HRS2015 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Thai notes on the current. Bank of Thailand. Available from: <https://www.bot.or.th/Thai>

/Banknotes/HistoryAndSeriesOfBanknotes/Page s/Current_Series_of_Banknotes.aspx [Accessed 15th January 2017].Thai.

- [2] Northern Region School for the Blind under the Royal Patronage of Her Majesty the Queen, Chiang Mai. Available from: <http://www.cmbind.ac.th/th> [Accessed 15th January 2017]. Thai.
- [3] Thawachai Tajai, Atthapol Na Takuawthoong, and Upady Hatthasin, "Development of the Pinpoint Material on Barcode Symbols with a Barcode Readable System for Northern School for the Blind under the Patronage of the Queen, Chiang Mai ", RMUTL Eng. J, 2016;1(2):14-21. Thai.
- [4] Upady Hatthasin, Siripong Matame, and Sarawit Timim, "Voice Enabled Weight and Time Apparatuses on Practice for the Northern School for the Blind under the Patronage of the Queen", NCCIT-2014 conference, 8-9 May 2014, Angsana laguna, Phuket, Thailand, page 264-269.Thai.
- [5] Upady Hatthasin, Nuttapong Chumsang, and Supachai Yungkeaw, "Barriers warning glasses for the blind", EENET-2014 conference, 26-27 March 2014, Maritime and spa hotel, Krabi, Thailand, 4 pages. Thai.
- [6] Upady Hatthasin, Nattawat Payarach, and Chanarong Tamasena, "Development of a SoundSystem and Detection Safety Tests in the Obstacle-Warning Glasses for the Visually Impaired." NCCIT-2015 conference, 2-3 July 2015, Anoma hotel, Bangkok, Thailand, page 553-558.Thai.
- [7] High-tech piggy bank, ATM. MeePrompt. Available from: <http://www.meeprompt.com/index.php?page=item&id=16177> [Accessed 15th June 2015]. Thai.
- [8] The obstacle detection sensor with infrared light. Embedded Space. Available from: <http://cpel.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=ir-proximity-sensor-2y0a02> [Accessed 15th January 2017]. Thai.
- [9] Sonthaya Nongnuch. Optical Sensor. Available from: <http://www.elec-za.com/เซ็นเซอร์แสง-optical-sensor/> [Accessed 1st February 2017]. Thai.



คำแนะนำในการเขียนบทความ

วัตถุประสงค์ของวารสาร

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ.2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่น่าสนใจด้าน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของบทความ

บทความวิจัย (research articles) เป็นรายการวิจัย หรือ รายงานทางวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งสร้างความก้าวหน้าวิชาการ โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสือ

บทความปริทัศน์ (review articles) เป็นบทความที่รวบรวมความรู้เชิงวิชาการเรื่องใดเรื่องหนึ่งจากวารสารหรือหนังสือ โดยมีการวิเคราะห์และวิจารณ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกอย่างแท้จริง

การส่งบทความ

นักวิจัยและผู้สนใจตีพิมพ์บทความในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สามารถจัดส่งบทความโดยมีรายการดังต่อไปนี้ คือ (1) ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด (2) จดหมายนำส่งที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Adobe Acrobat จำนวน 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้ง ทางอีเมล EngineeringJournal@rmutl.ac.th

และทางไปรษณีย์

ที่อยู่และสถานที่จัดส่งจดหมาย

“กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา”

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัด

เชียงใหม่ เบอร์โทรศัพท์ 053921444 ต่อ1236

กำหนดการตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (รายหกเดือน)

กรณีที่บทความได้รับการตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะแจ้งรายละเอียดที่ต้องแก้ไขครั้งสุดท้ายให้ผู้เขียนบทความทราบ หลังจากที่ได้เขียนได้พัฒนาบทความฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนบทความจะต้องส่งเอกสารดังนี้ คือ 1) ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้งทางอีเมล และทางไปรษณีย์ตามที่อยู่ที่กล่าวไว้ในข้างต้น

โครงสร้างของบทความ

1. บทนำ
2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

การเตรียมบทความ

1. การพิมพ์บทความใช้แบบอักษร TH SarabunPSK ขนาดตัวอักษรเท่ากับ 14 ใช้กระดาษขนาด A4 ซึ่งมีความกว้างx ยาว เท่ากับ 21.2x29.7 ซม. พิมพ์ด้านเดียว โดยระยะห่างระหว่างบรรทัดเท่ากับหนึ่งช่อง และพิมพ์ห่างระยะห่างจากขอบกระดาษเท่ากับ 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านบน 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านล่าง 2.0 ซม. ริมขอบกระดาษด้านซ้าย 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านขวา 2.0 ซม.

2. ทุกด้านข้างของกระดาษ ส่วนตัวเลขหน้ากำหนดให้อยู่ด้านล่างขวา จำนวนหน้าของบทความทั้งหมดไม่ควรเกิน 8 หน้ากระดาษขนาด A4

3. ภาพประกอบทุกภาพและตารางควรมีการอ้างอิงในบทความ รูปภาพที่เป็นดิจิทัลควรเลือกใช้รูปแบบ eps tiff หรือ jpg และมีความละเอียดของภาพไม่น้อยกว่า 300 dpi

4. ตัวเลขที่ใช้เป็นเลขอารบิกเท่านั้น

5. ตารางที่ใช้ต้องมีหัวข้อและเชิงอรรถเพื่อบรรยายคำย่อ สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายที่ใช้

6. หน่วยที่ใช้ควรใช้ระบบหน่วย International System Units หรือ SI โดยในบทความต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ

7. คำภาษาไทยให้ใช้ตัวสะกดตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน

8. ศัพท์ภาษาอังกฤษให้แปลเป็นภาษาไทย ให้ใช้คำที่ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติได้กำหนดไว้ให้ ในกรณีที่ไม่มียังไม่ถูกกำหนด ให้เขียนภาษาอังกฤษในวงเล็บด้านหลังเฉพาะครั้งแรกเท่านั้น

9. การย่อคำและการกำหนดสัญลักษณ์ให้ใช้เฉพาะคำย่อมาตรฐานโดยควรกำหนดคำเต็มก่อนครั้งแรกและอ้างอิงคำย่อไว้ท้าย

ส่วนประกอบของบทความ

1. ชื่อเรื่องที่ใช้ควรกระชับและชัดเจนแต่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด และไม่ควรใช้ตัวอักษรย่อ

2. บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องแสดงรายละเอียดและระบุ ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการวิจัย ผลการวิจัย สรุปผล โดยความยาวของบทคัดย่อไม่ควรเกิน 250 คำ และมีคำสำคัญประมาณ 3-5 คำ ส่วนการค้นในบทคัดย่อภาษาไทย ให้ใช้ เว้นวรรค และเรียงตามตัวอักษร ส่วนการค้นคำสำคัญให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คำสำคัญภาษาอังกฤษต้องให้ความหมายเหมือนคำสำคัญภาษาไทย และมีจำนวนเท่ากับคำสำคัญภาษาไทย

3. เนื้อเรื่องของบทความจะประกอบไปด้วย บทนำ ทฤษฎี และวิธีการวิจัย ผลการวิจัยและอภิปราย บทสรุป กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง

3.1 บทนำ จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย สมมติฐาน ซึ่งเชื่อมโยงกับผลการวิจัย

3.2 ทฤษฎีและวิธีการวิจัย จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดของวัสดุและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา โดยรายละเอียดที่แสดง สามารถนำไปทดลองทำซ้ำได้

3.3 ผลการศึกษาจะต้องแสดงเป็นหมวดหมู่และสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของบทความซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงในรูปแบบตารางและรูปภาพได้ แต่ต้องไม่ซ้ำกับเนื้อหาที่เขียนในส่วนนี้ ส่วนตำแหน่งการวางรูปภาพจะต้องอยู่หลังจากคำแนะนำหรือบรรยายบทความ ผู้เขียนอาจวางรูปใกล้กับรูปอื่นโดยจัดให้อยู่บริเวณด้านบนสุดหรือล่างสุดของบทความ

โดยในแต่ละช่วงของผลการวิจัย ผู้เขียนสามารถเขียนบทวิจารณ์ และวิจารณ์ได้ทุกส่วนประกอบของบทความและผลของการวิจารณ์จะต้องแสดงองค์ความรู้ใหม่ที่ได้รับผลประโยชน์ที่ได้รับ รวมทั้งรายละเอียดของปัญหาและอุปสรรคต่างๆ

3.5 สรุป เป็นการกล่าวถึงผลโดยย่อและข้อสรุปจากบทวิจารณ์

3.6 กิตติกรรมประกาศ เป็นส่วนที่กล่าวคำขอบคุณถึงองค์กร หรือบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนต่อผู้เขียน

3.7 เอกสารอ้างอิง วิธีการเขียนจะแสดงในลำดับถัดไป

การพิจารณากลับกรอง

บทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน โดยใช้เวลาประมาณ 4-8 สัปดาห์ ในกรณีที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำแก้ไข ผู้เขียนต้องพิจารณาแก้ไขหรือชี้แจงเพิ่มเติมให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนมีความเห็นตรงกัน และบทความได้แก้ไขเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถดำเนินการขั้นตอนการตีพิมพ์บทความในวารสารได้

สำเนาพิมพ์

ผู้เขียนบทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับวารสาร 1 ฉบับ และสำเนาพิมพ์ (Reprint) เรื่องละ 5 ชุด โดยหากผู้เขียนต้องการจำนวนมากกว่านี้จะต้องแจ้งให้ทราบเมื่อส่งบทความฉบับแก้ไขครั้งสุดท้ายและต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมตามอัตราที่กำหนดโดยสำนักพิมพ์



ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากวารสาร

- [1] Pennington, D.S., Nash, D.F.T., and Ling, M.L. (1997). Horizontally mounted bender element for measuring anisotropic shear moduli in triaxial clay specimens, *Geotechnical Testing Journal*, vol. 24(2), pp. 133 – 144.
- [2] ภราดร กาญจนสุธรรม นิพนธ์ ตั้งธรรม และ เรืองโร โตกฤษณะ (2557). การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) : กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(1), หน้า 55 –66.

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] Schofield, A.N. and Wroth, C.P. (1968). *Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, London
- [2] Cook, R. D., Malkus, D. S. and Plesha, M. E. (2001). *Concept and Applications of Finite Element Analysis*, 3rd edition, John Wiley, New York
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2547). *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากเอกสารประกอบการประชุม

- [1] Armstrong, D. B., Fogarty, G. J., & Dingsdag, D. (2007) Scales measuring characteristics of small business information systems. In W-G. Tan (Ed.), *Proceedings of Research, Relevance and Rigour: Coming of age: 18th Australasian Conference on Information Systems*, Toowoomba, Australia, pp 163 – 171.

ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากเอกสารประกอบการประชุมฉบับอิเล็กทรอนิกส์

- [1] Fan, W., Gordon, M.D. and Pathak, R. (2000). Personalization of search engine services for effective retrieval and knowledge management, *Proceedings of the twenty-first international conference on information systems*, pp. 20 – 34.

Available from: ACM Portal: ACM Digital Library. [24 /6/2004].

ตัวอย่างการอ้างอิงวิทยานิพนธ์จากฐานข้อมูล

- [1] Ignatov, I. (2013). *Eastward voyages and the late medieval European worldview* (Master dissertation), University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, URL: <http://hdl.handle.net/10092/9187>

ตัวอย่างการอ้างอิงวิทยานิพนธ์ที่จัดพิมพ์

- [1] Considine, M. (1986). *Australian insurance politics in the 1970s: Two case studies* (Doctoral dissertation), University of Melbourne, Melbourne, Australia.

ตัวอย่างการอ้างอิงรายงานและมาตรฐาน

- [1] American Concrete Institute (2001). *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing (ACI T1.1-01)*
- [2] จุฬาร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ต้นธูนิตย์ และ ปันทดา เพ็ชรสิงห์ (2529). รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคาม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์มมหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 54 – 57.
- [3] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2554). มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ.1301-54)

ตัวอย่างการอ้างอิงเว็บไซต์

- [1] U.S. Geological Survey (2012). *National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation)*, URL: <http://waterdata.usgs.gov/nwis>, access on 11/06/2012.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2004). *Statistic Data*, URL: <http://www.dede.go.th>, access on 24/04/2010.
- [3] สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2550). *ชื่อราชตุ [ระบบออนไลน์]*, แหล่งที่มา <http://www.royin.go.th>, สืบค้นวันที่ 24/04/2010.



จดหมายนำส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เรียน หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ข้าพเจ้ามีความประสงค์ขอเสนอบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอรับรองว่าบทความนี้เป็นบทความต้นฉบับ ไม่มีส่วนลอกเลียนผลงานของผู้ใดและผลงานนี้ไม่ได้ส่งตีพิมพ์ผลงานในวารสารฉบับอื่นแต่ได้รับการปฏิเสธมาก่อน ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้าพเจ้ามีส่วนร่วมในการศึกษาและได้เห็นข้อมูลทั้งหมดในบทความอย่างครบถ้วนรวมทั้งได้ตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของเนื้อหาเป็นอย่างดีแล้ว

ประเภทบทความ ☐ บทความวิจัย ☐ บทความปริทัศน์

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ชื่อผู้เขียนที่ให้ติดต่อเกี่ยวกับบทความ.....

สถานที่ติดต่อ

.....

โทรศัพท์E-Mail.....

