



สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

Vol.3 No.1 January-June 2016 ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559

ISSN 2408-0837



พระบิดาแห่งวิทยาศาสตร์ไทย

พระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาอานันทมหิดล พระอัฐมรามาธิบดินทร



สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559 ISSN 2408-0837

วัตถุประสงค์	เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป	
ขอบเขต	จัดพิมพ์เสนอผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	
เจ้าของ ที่ปรึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร รองศาสตราจารย์สุวิทย์ วงษ์บุญมาก รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง เขาวงกิตพิงค์ รองศาสตราจารย์ ดร.ระมัต โขชัย	อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
บรรณาธิการ	ดร.สุภาพร พงศ์กัญญาโอภาส	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.มณฑา หนีไพรพฤษ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทิชา ตันตีสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
กองบรรณาธิการ	Professor Dr.Shong Huang ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทรแก้ว ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญหา ศาสตราจารย์ ดร.สายสมร ล้ายอง รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ บ้ายเที่ยง รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรง วงศ์สว่าง รองศาสตราจารย์ ดร.เรณู เวชรัชต์พิมล	National Taiwan Normal University มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี พิรพรพิศาล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร ไชยยะ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชัย กลิ่นหอม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญดาว แจ่มแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ บัวเทศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์แดนชัย เครืองเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูญ บุญประมุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรชिरะ สิงห์คง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
อาจารย์วิไลลักษณ์ สอนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ฝ่ายจัดการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุณี บุญพิทักษ์
 ดร.ประจักษ์ กีก้อง
 อาจารย์ประภัสสรฯ ห่อทอง
 นายทวิช ปิ่นวิเศษ
 นายสุรเชษฐ ขอนทอง

ผู้จัดทำและเผยแพร่	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
กำหนดออก	ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม
สำนักงาน	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0-5570-6555 ต่อ 4231 http://research.kpru.ac.th/journal_science/

บทความที่ตีพิมพ์ทุกบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและบทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ
 ที่ปรากฏในวารสารเป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและ
 บรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

บรรณาธิการแถลง

วารสาร สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559 ประกอบด้วย 1) บทความวิชาการ ที่เกี่ยวกับ ระบบขนส่งทางรางเพื่อสร้างความมั่นคงในเศรษฐกิจ 2) บทความวิจัย ที่เกี่ยวกับ เอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องอก คุณสมบัติบางประการของน้ำบาดาล การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ ความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้น การรวมแบบคอนเวกชันผลต่างสี่เหลี่ยมของระเบียบวิธีการทำซ้ำแบบใหม่ และการออกแบบและพัฒนาไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ

กองบรรณาธิการวารสาร สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คาดหวังว่า วารสารฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลงานทางวิชาการของอาจารย์และนักศึกษาได้เป็นอย่างดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สาระของบทความในวารสารฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อสร้างองค์ความรู้ ใหม่และมีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายรูปแบบ สามารถสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ใช้เสริมสร้างความ สมดุลของสภาพแวดล้อมในธรรมชาติและสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของมนุษย์รวมทั้งสร้างความเจริญรุ่งเรืองให้กับ ชุมชน สังคม และประเทศชาติ ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

บรรณาธิการ

สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวส.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559 ISSN 2408-0837

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
○ บรรณาธิการแถลง.....	ก
○ บทความวิชาการ	
การศึกษาและเปรียบเทียบระบบขนส่งทางรางเพื่อสร้างความมั่นคงในเศรษฐกิจของประเทศไทย ดุซซาดี้ บุญธรรม The Study and Comparison of Rail Transit System for Stability the Economy of Thailand Dussadee Buntam.....	1
○ บทความวิจัย	
การสกัดเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวเพื่อเพิ่มมูลค่าของรำข้าว พรทิพา พิญาพงษ์ และกัลยารัตน์ เทียนรุ่งอรุณ Extraction of lipase from white sticky rice bran to add rice bran valuable Porntippa Pinyaphong and Kanyarat Teanrungarun.....	13
การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ นริสรา บัวหลวง และมณฑา หมีไพรพฤกษ์ Antioxidant Activity from Five Varieties of Germination Brown Rice Narisara Bualuang and Montha Meepriruk.....	27
การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ศุภกร ชนะภัย, วิไลลักษณ์ สอนมะลิ และขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์ Studies of Groundwater Quality in Nakhonchum District, Kamphaeng Phet Supakorn Chanapai, Wilailak Suanmali and Khwanruthai Thongboonrith.....	39
การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ โดยกระบวนการผลิตไวน์และน้ำส้มสายชู จากกล้วยไข่สุกอบแห้งพร้อมกัน นิพัทธพร สภาพร และอภิสร อุตทิน Two-chamber Microbial Fuel Cell by Simultaneous Banana Wine and Vinegar Production Nipatcharaporn Sapaporn and Apisara Udpin.....	47

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร วิไลลักษณ์ สวนมะลิ Plant Diversity and Utilization in Forest Conservation Around Pa Doi Lab Nga Temple, Tha Khun Ram Sub-district, Mueang Kamphaeng Phet Wilailak Suanmali.....	63
การรวมแบบคอนเวกซ์บนผลต่างสืบเนื่องของระเบียบวิธีการทำซ้ำแบบใหม่ สำหรับการแก้ สมการพีชคณิตไม่เชิงเส้น สมณธา เทียงดี และไพชนนต์ สิริเสถียรวัฒนา Convex Combinations based on Finite Difference Method of New Iteration Method for Solving Nonlinear Algebraic Equations Sumontha Tiengdee and Phaichayon Sirisathianwatthana.....	73
การออกแบบและพัฒนาไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติเพื่อประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ ลำพล เอี่ยมอ่ำ, ทพธิระ มีศรีสวัสดิ์ และสุรเชษฐ์ ตุ่มมี Design and Development of Fiber Cement Containing Natural Cellulose Fiber for Furniture Application Lampon Aiam-am, Thapthira Meesrisawat and Surachet Toommee.....	79

- คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ
- แบบฟอร์มการส่งบทความวิชาการ
- แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์เผยแพร่
- แบบฟอร์มคำสมัครสมาชิกวารสาร



การศึกษาและเปรียบเทียบระบบขนส่งทางรางเพื่อสร้างความมั่นคงในเศรษฐกิจ
ของประเทศไทย

The Study and Comparison of Rail Transit System for Stability the Economy
of Thailand

ดุซงญี บุนธธรรม*

Dussadee Buntam

บทคัดย่อ

การขนส่งทางรางของประเทศไทยประกอบไปด้วย 4 ระบบ คือ ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร และระบบ
รถไฟฟ้ามหานคร ที่ให้บริการในเขตพื้นที่หลักในกรุงเทพฯ มีระยะทางให้บริการ 36.92 กิโลเมตร และ
21 กิโลเมตร ตามลำดับ โครงข่ายรถไฟฟ้าชานเมือง เป็นโครงข่ายสายให้บริการการเดินทางของผู้โดยสาร
ระหว่างพื้นที่ชานเมืองกับพื้นที่ใจกลางกรุงเทพฯ มีระยะทางให้บริการ 43.6 กิโลเมตร และการรถไฟแห่ง
ประเทศไทย เป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกับส่วนภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย มีระยะทางเดินรถไฟ 4,044
กิโลเมตร จากการศึกษาพบว่า การขนส่งทางรางในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ที่รับผิดชอบโดยระบบขนส่งมวลชน
กรุงเทพมหานคร ระบบรถไฟฟ้ามหานคร และโครงข่ายรถไฟฟ้าชานเมือง ไม่พอเพียงและครอบคลุมต่อ
ผู้ใช้บริการ จึงไม่เป็นทางเลือกหลักของประชาชนบางส่วนที่อยู่นอกเขตให้บริการรถไฟ ทำให้เกิดปัญหา
การจราจรติดขัด เกิดความแออัดในตัวเมือง ซึ่งเมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้วภายในเมืองหลักจะมีการ
ให้บริการรถไฟหนาแน่นสามารถเชื่อมต่อกับเมืองต่างๆ ที่สำคัญของประเทศ ส่วนระบบรถไฟที่เชื่อมต่อกับส่วน
ภูมิภาคต่างๆ ที่รับผิดชอบโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย เป็นระบบที่สำคัญในด้านของโลจิสติกส์ เนื่องจากการ
ขนส่งสินค้าทางรางสามารถขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก มีต้นทุนขนส่งสินค้าต่ำ พบปัญหาในด้าน
ประสิทธิภาพของการให้บริการของรถไฟความไม่ตรงเวลา ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับไม่เพียงพอ
กับความต้องการ การยกระดับโลจิสติกส์ของประเทศไทยให้สามารถรองรับและแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจกับ
ประเทศเพื่อนบ้านและประเทศที่พัฒนาแล้ว จำเป็นที่จะต้องหาแนวทางปรับปรุงและพัฒนาการขนส่งทางรางให้
มีความน่าเชื่อถือ รวดเร็ว และครอบคลุมกับพื้นที่ที่ให้บริการ การที่รัฐบาลไทยมีนโยบายในเรื่องของรถไฟ
ความเร็วสูงจะช่วยสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ เพื่อยกระดับมาตรฐานการขนส่งทางรางเทียบเท่ากับประเทศที่
พัฒนา

คำสำคัญ : การขนส่งทางราง / โลจิสติกส์ / ระบบขนส่งมวลชน / รถไฟความเร็วสูง

ABSTRACT

Rail Transit Systems in Thailand had 4 system are composed of, the first system is Bangkok Mass Transit (BMT) and the second system is Metropolitan Rapid Transit (MRT), It's main was service in Bangkok and it had distance 36.92 km and 21 km respectively. The Third system is Suburban Train Network Route is network for service around suburban to main of Bangkok. It had distance 43.6 km. And the last system is State Railway of Thailand, the network connect from another part of Thailand. It had distance about 4,044 km. The study was found that rail transit in Bangkok and Metropolitan Region responsibility by Bangkok Mass Transit (BMT), Metropolitan Rapid Transit (MRT) and Suburban Train Network Route are not enough and cover of services to users. Then people outside the scope of service the rail's service can't choose the train. It was the case of traffic jam in the city. Which compare with development country found that main city had more rail transit and connected with another city in country and train system connect with provincial responsibility by State Railway of Thailand. It was the most for logistic in Thai because transportation by the train can a great number and low cost of transports. But it found the problem of transportation was couldn't make it on time, infrastructure not be ready for service. The improvement of logistic in Thai was ready service and competition of economic with Neighboring Countries and Development Countries. It had to be improved and developed the rain transit. It will be quick, reliable and cover the service area. High speed policy of Thai Government will solve the problem of transportation and improvement of rail transit as same the Development Countries.

Keywords : Rail Transit / Logistic / Mass Transit / High Speed Train

ระบบการขนส่งทางราง

เป็นการขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าด้วยยานพาหนะที่วิ่งไปตามราง การขนส่งระบบรางเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่โลจิสติก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับการค้าระหว่างประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในหลายๆ ประเทศ (สาธิต, ม.ป.ป.) การขนส่งทางรางเป็นรูปแบบในการขนส่งทางหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เหตุเพราะโดยทั่วไปการขนส่งสินค้าทางรถไฟสามารถขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยก็ต่ำกว่า รวมทั้งก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่าทางถนน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายรัฐในการประหยัดพลังงานและช่วยลดปัญหาการจราจร ซึ่งสินค้าที่นิยมขนส่งส่วนมากเป็นสินค้ามูลค่าต่ำและน้ำหนักมาก เช่น ถ่านหิน ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ปูนซีเมนต์ ข้าว น้ำตาล เป็นต้น โดยรูปแบบของรถสินค้าที่ใช้กันมีหลายประเภท เช่น รถไฟตู้บรรทุกสินค้าทั่วไป รถไฟบรรทุกน้ำมันและก๊าซ เป็นต้น นอกจากนี้ การขนส่งทางรถไฟสามารถใช้ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ได้ จึงเหมาะกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยระยะทางไกลจะใช้รถไฟ และการขนส่งทางรถบรรทุกระหว่างจุดต้นทางสินค้ากับสถานีต้นทาง ซึ่งการขนส่งระบบราง (Rail Transit System) เป็นการขนส่งที่พัฒนามานับตั้งแต่ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 (นรวรรณ์, 2554)

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทบทวนในเรื่องของการขนส่งระบบรางในประเทศไทยเพื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้วเพื่อวิเคราะห์หาจุดแข็งและจุดอ่อนของระบบการขนส่งทางรางของไทยให้สามารถรองรับกับเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้น และก้าวไปสู่การเป็นผู้นำทางด้านโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนต่อไป

ประเภทการขนส่งแบบราง

ในการจำแนกประเภทรถไฟฟ้ามวลชนในเมืองที่มีอยู่ในปัจจุบันทั่วโลก สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ (สุรเมศวร์, ม.ป.ป.)

การขนส่งเร่งด่วนแบบราง (Rail rapid transit, RRT)

การขนส่งเร่งด่วนแบบราง (Rail rapid transit, RRT) เป็นระบบขนส่งเขตเมืองที่มีสิทธิการใช้บริการต่อปีสูงสุด ในประเทศสหรัฐอเมริกา RRT เป็นรูปแบบการขนส่งที่การแบ่งระดับของเส้นทางออกจากกระแสรถประจำประเภทอื่นอย่างชัดเจน ส่วนใหญ่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรางที่สามารถต่อฟงตู้โดยสารได้พร้อมกันหลายตู้ ความเร็วสูงสุดในการขับเคลื่อนประมาณ 112-130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีการนำระบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้มากขึ้น พนักงานที่ปฏิบัติงานบนรถขณะให้บริการมีเพียงคนเดียวเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ การใช้พนักงานเพียงคนเดียวในการควบคุมพาหนะทำได้โดยการนำระบบปฏิบัติการอัตโนมัติมาใช้ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบเก็บค่าโดยสารแบบอัตโนมัติมาใช้แทนพนักงานเก็บค่าโดยสาร โดยติดตั้งไว้บนสถานี การชำระค่าโดยสารผ่านระบบดังกล่าวช่วยให้การตรวจสอบและควบคุมค่าโดยสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถลดจำนวนพนักงานประจำสถานีลงได้ด้วย

การพัฒนาระบบขนส่ง RRT ที่มีระดับการให้บริการสูงนั้น ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูง แต่ก็ได้รับพิสูจน์แล้วในหลายประเทศ ไม่ว่าจะเป็นประเทศอังกฤษ ญี่ปุ่น หรือสหรัฐอเมริกา ฯลฯ ว่าเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถดึงดูดให้ผู้โดยสารส่วนบุคคลหันมาใช้ระบบขนส่งสาธารณะได้จริง ถ้าระบบขนส่งนั้นเป็นระบบที่เร็ว มีความถี่ของการให้บริการที่เพียงพอ และมีความน่าเชื่อถือของการให้บริการสูง นอกจากนี้ RRT ยังเป็นระบบขนส่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล



ภาพที่ 1 การขนส่งเร่งด่วนแบบราง (Rail rapid transit, RRT) ในญี่ปุ่น

การขนส่งแบบรางความจุต่ำ (Light rail transit)

การขนส่งแบบรางความจุต่ำ (Light rail transit) คือ ระบบขนส่งเขตเมืองแบบรางขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า สามารถให้บริการได้ทั้งแบบหน่วยบรรทุกเดี่ยว และแบบต่อพ่วงเป็นขบวนสั้นๆ ให้บริการในเส้นทางที่กำหนดเป็นเขตทางเฉพาะ ซึ่งมีทั้งเขตทางที่เป็นระดับเดียวกับพื้นดินแบบยกระดับ แบบเส้นทางวิ่งใต้ดิน หรือบนถนนก็ได้ มีรูปแบบการขนส่งที่ปรับปรุงมาจากการขนส่งแบบรางบนถนนขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมายังตัวรถผ่านทางอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้บนหลังคา ตัวพาหนะมีลักษณะคล้ายกับรถ Streetcars แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก เส้นทางวิ่งของ LRT มักถูกแยกออกจากกระแสจราจรประเภทอื่น บริเวณที่นิยมใช้สำหรับวางแนวเส้นทางวิ่งของ LRT ได้แก่ พื้นที่ว่างบริเวณเกาะกลางถนนของทางด่วนหรือถนนที่มีการปลูกต้นไม้ไว้ข้างทาง (Boulevards) หรือถ้าปริมาณรถยนต์ที่สัญจรไปมาบนถนนมีความหนาแน่นไม่มากนัก ขณะที่บางประเทศในยุโรปและบางแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา การจัดพื้นที่สำหรับใช้เป็นเส้นทางวิ่งของ LRT ในบริเวณศูนย์กลางเมืองนั้นใช้วิธีกำหนดพื้นที่เฉพาะหรือใช้วิธีการปูผิวถนนให้สามารถมองเห็นเขตทางและความแตกต่างจากผิวจราจรอื่นได้อย่างชัดเจน LRT เป็นรูปแบบการขนส่งที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้ได้ง่ายและสะดวก มีความเร็วในการให้บริการต่ำกว่าระบบ RRT มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำ จึงทำให้ระบบ LRT เป็นที่นิยมและมักถูกนำมาใช้เพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารบนถนนเส้นตรงที่มีปริมาณการจราจรไม่หนาแน่นมากนัก



ภาพที่ 2 การขนส่งแบบรางความจุต่ำ (Light rail transit) ในสิงคโปร์

การขนส่งเร่งด่วนแบบรางความจุต่ำ (Light rail rapid transit)

การขนส่งเร่งด่วนแบบรางความจุต่ำ (Light rail rapid transit, LRRT) เป็นรูปแบบการขนส่งที่ผสมผสานระบบขนส่ง RRT และ LRT เข้าด้วยกัน ลักษณะอย่างหนึ่งของ LRRT ที่ต่างจาก LRT อย่างชัดเจน คือ เขตทางที่ถูกกำหนดเฉพาะและมีระดับแตกต่างจากพื้นผิวจราจรปกติตลอดทั้งระบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบยกระดับ แบบใต้ดิน หรือทั้งสองแบบรวมกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของบริการแบบเร่งด่วนอย่างแท้จริง การควบคุมพาหนะสามารถทำได้ทั้งแบบใช้พนักงานควบคุม และควบคุมโดยใช้สัญญาณ (Signal control) ระบบขนส่ง LRT บางระบบสามารถพัฒนาบางช่วงของเส้นทางให้มีคุณสมบัติของการให้บริการเทียบเท่ากับ LRRT ได้เช่นกัน



ภาพที่ 3 การขนส่งเร่งด่วนแบบรางความจุต่ำ (Light rail rapid transit)

รถรางระหว่างเมือง (Commuter rail)

รถรางที่ให้บริการผู้โดยสารที่พักอาศัยอยู่บริเวณชานเมือง และมีความต้องการที่จะเดินทางเข้าสู่บริเวณตัวเมืองที่เรียกว่า Commuter rail หรือ Regional rail เป็นรูปแบบการขนส่งที่เกิดขึ้นมาก่อนช่วงสงครามกลางเมืองของสหรัฐอเมริกา และได้กลายเป็นรูปแบบการขนส่งที่มีความสำคัญรูปแบบหนึ่งในเวลาต่อมา ระบบขนส่งดังกล่าวมีลักษณะสำคัญ คือ ขนาดของพาหนะที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก มีความเร็วสูง และใช้เวลานานในการเพิ่ม หรือลดความเร็ว มักใช้หัวรถจักรในการลากจูงขบวนรถแต่บางรูปแบบตัวรถถูกออกแบบให้สามารถขับเคลื่อนได้เอง หัวรถจักรที่ใช้ในการลากจูงขบวนรถมีทั้งแบบที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลและมอเตอร์ไฟฟ้า (แบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะต้องทำการวางระบบสายส่งกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าไว้บนหลังคา) โดยปกติมักให้บริการอยู่ในช่วงระยะทาง 25-50 ไมล์ โดยมากสถานีปลายทางของเส้นทางให้บริการจะตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ศูนย์กลางธุรกิจและชุมชน สำหรับสถานีอื่นๆ ส่วนมากจะตั้งอยู่แถบชานเมือง โดยมีระยะห่างระหว่างสถานีค่อนข้างมาก มักมีผู้ใช้บริการหนาแน่นสูงในช่วงเวลาเร่งด่วน รถรางระหว่างเมืองแตกต่างจากการขนส่งแบบรางรูปแบบอื่นในเรื่องของบริการ โดยมักจะมีคุณภาพสูงกว่าสามารถทำความเร็วได้ถึง 80 ไมล์ต่อชั่วโมง และมีที่นั่งเพียงพอเสมอสำหรับให้บริการแก่ผู้โดยสาร บางเส้นทางอาจมีการออกแบบตัวรถแบบสองชั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการขนส่งผู้โดยสาร



ภาพที่ 4 รถรางระหว่างเมือง (Commuter rail)

เทคโนโลยีรถไฟความเร็วสูง

รถไฟความเร็วสูง หมายถึง รถไฟที่มีความเร็วสูงสุดในช่วง ตั้งแต่ 150 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งในปัจจุบันมีรถไฟความเร็วสูงให้บริการในหลายประเทศทั่วโลก ที่ระดับความเร็วสูงถึง 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การพัฒนารถไฟความเร็วสูงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่พึงนำมาดำเนินการในประเทศไทย เนื่องจากจะช่วยให้การเดินทางระหว่างเมืองมีประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็ว ปลอดภัย ลดมลพิษทางอากาศ และประหยัดพลังงาน (สุวัฒน์, 2538) เมื่อกล่าวถึงรถไฟความเร็วสูงต้องนึกถึงประเทศจีนและญี่ปุ่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอเทคโนโลยีรถไฟความเร็วสูงของทั้งสองประเทศเพื่อให้เห็นถึงศักยภาพรถไฟความเร็วสูง

รถไฟความเร็วสูงของประเทศญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นนั้นเป็นประเทศแรกที่ริเริ่มคิดค้นรถไฟความเร็วสูง เนื่องจากภูมิประเทศที่เป็นภูเขาเกือบทั้งประเทศ กับรางรถไฟใหญ่ขนาด 3 ฟุต 6 นิ้ว (1,067 มิลลิเมตร) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เส้นทางที่อ้อมกับรถไฟความเร็วสูง เพราะฉะนั้นประเทศญี่ปุ่นนั้นจึงมีความจำเป็นมากขึ้น ในการใช้รถไฟความเร็วสูงนี้ ในทางตรงข้ามกับรางเก่า รถไฟชินคันเซ็นนั้นมีกฎเกณฑ์มาตรฐาน และผ่านอุโมงค์มากกว่า การก่อสร้างในครั้งแรกนั้นเริ่มต้นมาจาก “โตไกโด ชินคันเซ็น” ระหว่างโตเกียว และโอซาก้า ได้เปิดให้บริการในวันที่ 1 ตุลาคม 1964 เพื่อทันเวลาการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่เมืองโตเกียว และประสบความสำเร็จอย่างสูง มียอดผู้ใช้บริการถึง 100 ล้านคนในเวลาไม่ถึง 3 ปี และถึงหนึ่งพันล้านคนในปี 1976

รถไฟชินคันเซ็นคันแรกวิ่งด้วยความเร็ว 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง มากสุด 220 กิโลเมตร/ชั่วโมง รางบางส่วนนั้นมียูปร่างคล้ายกับหัวกระสุน ตอนนี้อยู่ให้บริการระหว่างเมืองฮากาตะ และโอซาก้า และส่วนหัวของรถไฟได้ถูกส่งไปจัดแสดงที่พิพิธภัณฑ์ “British National Railway” ที่เมืองยอร์ก ประเทศอังกฤษ รถไฟสามารถรับได้ถึง 16 ตู้ ตู้ความยาวของรถไฟแต่ละตู้ประมาณ 25 เมตร ซึ่งสามารถยาวได้ถึง 400 เมตร (เศษหนึ่งส่วนสี่ไมล์) จากหัวขบวนถึงท้ายขบวนเลยทีเดียว ซึ่งสถานีก็เช่นกันสามารถรองรับความยาวของรถไฟทั้งขบวนได้ ไม่มีอุบัติเหตุครั้งแรกของรถไฟชินคันเซ็นคือ รถไฟตกราง แต่เกิดจากแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2004

ตู้รถไฟ 8 ใน 10 ตู้นั้นตกรางไถ้ๆ กับสถานีนาคาโอกะ ในเมืองนาคาโอกะ จังหวัดนาริตะ ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

รถไฟชินคันเซ็นรุ่น 700 เป็นรถไฟความเร็วสูงที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงปี 1997 และ 2004 ให้บริการในปี 1999 เป้าหมายในการสร้างก็เพื่อให้สามารถทำความเร็วให้ได้เท่าที่รุ่น 500 และประหยัดราคาต้นทุนลง ถูกสร้างและให้บริการ ความเร็วสูงสุด 285 กิโลเมตร/ชั่วโมง (Japan Expert, 2015)



ภาพที่ 5 รถไฟชินคันเซ็นประเทศญี่ปุ่น

รถไฟความเร็วสูงของประเทศไทย

รถไฟความเร็วสูงจีน รถไฟหัวกระสุนจีน high-speed rail (HSR) รถไฟความเร็วสูงของจีนมีความเร็วมากกว่า 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงศตวรรษที่ 21 รถไฟความเร็วสูงของจีนได้พัฒนาอย่างเป็นรูปธรรม มีรถไฟความเร็วสูงพลังงานไฟฟ้าสัญชาติจีนทยอยผลิตออกสู่ตลาด เช่น หลานเจี้ยน เซียนเฟิง และจงหวาจือชิง โดยรถไฟจงหวาจือชิง ได้สร้างสถิติใหม่ของรถไฟจีนด้วยความเร็ว 321.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในปี 2003 รถไฟโดยสารขบวนแรกของจีนเส้นทางฉินหวงเต่า-เสียนหยาง ความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปิดใช้อย่างเป็นทางการ รถไฟจีนยังได้นำเข้าเทคนิคใหม่ ร่วมกันพัฒนาโดยสร้าง "แบรนด์ประเทศจีน" เร่งผลิตรถไฟความเร็วสูง ปี 2007 เป็นครั้งแรกที่จีนเริ่มใช้รถไฟความเร็วสูงพลังงานไฟฟ้า (CRH) ในหลายเส้นทาง ได้แก่ เส้นทางปักกิ่ง-ฮาร์บิน ปักกิ่ง-กวางเจา ปักกิ่ง-เซี่ยงไฮ้ หลานโจว-เหลียนอวี่นกัง มีความเร็วสูงถึง 200-250 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าระดับโลกด้านการปฏิรูปความเร็วของรถไฟ

ปี 2008-2010 รัฐบาลจีนได้ให้ความสำคัญกับการสร้างเส้นทางรถไฟโดยสารที่สามารถรองรับความเร็วได้ถึง 350 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในปี 2008 กระทรวงรถไฟจีนได้ปรับ "แผนระยะกลางและระยะยาว ว่าด้วยการสร้างโครงข่ายทางรถไฟ" โดยเพิ่มงบประมาณการลงทุนจาก 2 ล้านล้านหยวนเป็น 5 ล้านล้านหยวน ทำให้รถไฟความเร็วสูงของจีนพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และมีรถไฟความเร็วสูงระหว่างเมืองขบวนแรก ความเร็วสูงถึง 350 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คือ เส้นทางปักกิ่ง-เทียนสิน เปิดให้บริการอย่างเป็นทางการ ต่อจากนั้นเส้นทางสายใหม่ๆ ก็ทยอยสร้าง เช่น เส้นทางชิงเต่า-จีหนาน อุ๋อัน-กวางเจา ผู่โจว-เซี่ยเหมิน หนานชาง-จีวเจียง และเซี่ยงไฮ้-นานกิง นอกจากนี้ ในแต่ละเส้นทางยังมีจำนวนขบวนรถไฟเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559

จนถึงปลายปี 2014 เส้นทางรถไฟของจีนที่วิ่งด้วยความเร็วมากกว่า 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะทางรวมกันถึง 19,369.8 กิโลเมตร ซึ่งยาวกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นทางรถไฟความเร็วสูงที่มีอยู่ทั่วโลก โดยเส้นทางหลักของรถไฟความเร็วสูงของจีนเริ่มจากกวางโจว (Guangzhou) ไปทางเหนือผ่านฉางซา (Changsha) อุ๋ฮั่น ต่อไปเมืองหลวงของประเทศจีน “ปักกิ่ง” ระยะทางของรางรถไฟความเร็วสูงของจีนทั้งหมดเกือบ 1000 กิโลเมตร รถไฟความเร็วสูงของจีนเริ่มใช้กันมาตั้งแต่ ค.ศ. 2007 (อภิสรฯ, 2558)



ภาพที่ 6 รถไฟหัวกระสุนจีน

การศึกษาระบบการขนส่งทางราง

ระบบการขนส่งทางรถไฟของประเทศจีน

ปัจจุบันประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการพัฒนาการขนส่งมวลชนระบบราง (Rail Transit) ภายในเมืองเร็วที่สุดในโลก โดยถึงสิ้นปี 2551 ประเทศจีนมีการสร้างเส้นทางขนส่งมวลชนระบบรางใน 10 เมือง จำนวนกว่า 30 เส้นทาง รวมระยะทางทั้งหมด 813.7 กิโลเมตร ทั้งนี้สามเมืองสำคัญของจีนซึ่งได้แก่ เซี่ยงไฮ้ ปักกิ่ง และกวางโจว ต่างก็มีความยาวของเส้นทางขนส่งมวลชนระบบรางภายในเมืองมากกว่า 100 กิโลเมตร โดยเซี่ยงไฮ้มีความยาว 235 กิโลเมตร ปักกิ่งมีความยาว 198 กิโลเมตร และกวางโจวมีความยาว 117 กิโลเมตร การขนส่งมวลชนระบบรางเป็นการขนส่งที่สะดวก รวดเร็ว และสามารถทำการขนส่งได้ในปริมาณมาก แต่ขณะเดียวกันก็เป็นระบบขนส่งที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง ดังนั้น การวางระบบขนส่งมวลชนระบบรางในเมืองต่างๆ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงระดับความต้องการที่แท้จริงของเมืองนั้นๆ เป็นพื้นฐาน รวมทั้งต้องพัฒนาระบบขนส่งมวลชนด้านอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย สำหรับประเทศจีน ภายในปี 2563 ได้วางแผนที่จะพัฒนาให้สามเมืองสำคัญ (เซี่ยงไฮ้ ปักกิ่ง และกวางโจว) มีความยาวของเส้นทางขนส่งมวลชนระบบรางในแต่ละเมืองมากกว่า 500 กิโลเมตร (มฤดี, 2552)

ระบบการขนส่งทางรถไฟของเมืองหลวงโตเกียวและปริมณฑล

มหานครโตเกียวเมืองหลวงของประเทศญี่ปุ่นประกอบไปด้วยเมืองโตเกียวและสามจังหวัดที่อยู่รอบๆ คือ คานากาว่า ไชตามะ และชิบะ ครอบคลุมพื้นที่ 13,400 ตารางกิโลเมตร และมีประชากร ประมาณ 35 ล้านคน และเป็นเมืองหลวงที่มีประชากรมากที่สุดในโลก เครือข่ายรถไฟโตเกียวประกอบด้วย สถานีรถไฟใต้ดิน รถไฟ

แห่งชาติ รถไฟของเอกชน (Private Railway) และรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็น National railway ดำเนินการ โดย บริษัทรถไฟญี่ปุ่นตะวันออก (East Japan Railway Company) มีระยะทางดำเนินการ 887 กิโลเมตร และ ปริมาณผู้โดยสารประจำวัน 14.96 ล้านคน รถไฟใต้ดินมี 2 สายดำเนินการโดย Tokyo Metro และ Toei Subway มีระยะทาง 333 กิโลเมตร และมีปริมาณผู้โดยสารต่อวันที่ 11.03 ล้านคน รถไฟของเอกชน (Private Railway) จะดำเนินการโดยมีบริษัทที่รับผิดชอบจำนวน 8 บริษัท ระยะทางที่ดำเนินการ 1,086 กิโลเมตร และ ปริมาณผู้โดยสารต่อวัน 13.31 ล้านคน

-พื้นที่หลัก (รัศมี 5 กิโลเมตร) โดยใช้สถานีโตเกียวเป็นศูนย์กลาง พื้นที่ใกล้เคียง ภายใน และโดยรอบ สถานี Yamanote (ความยาวรวม 34 กิโลเมตร) คลอบคลุมพื้นที่ประมาณ 90 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคมกลาง และ 5 พื้นที่ย่อยของนครหลวงโตเกียว Shinjuku Shibuya Ikebukuro Osaki และ Ueno มากกว่า 80% ของรถไฟใต้ดินกระจายอยู่ในพื้นที่นี้

-พื้นที่กลาง (รัศมี 15 กิโลเมตร) ประกอบไปด้วย 23 เมือง ที่อยู่ภายใต้นครหลวงโตเกียว มีพื้นที่ 633 ตารางกิโลเมตร นอกจากมีรถไฟใต้ดินแล้วยังมี JR national หลายสาย รวมถึงรถไฟของเอกชนกระจายอยู่ใน พื้นที่

-ย่านชานเมือง (รัศมี 30 กิโลเมตร) ประกอบด้วยนครหลวงโตเกียวและจังหวัดใกล้เคียงสามจังหวัดที่อยู่ใกล้เมืองหลวง ได้แก่ ทามะเมืองใหม่ของโตเกียว โยโกฮาม่าและ เมืองคาวาซากิของจังหวัดคาวาซากิ และ สนามบิน Haneda บริเวณนี้จะเป็นรถไฟแห่งชาติ (JR) และรถไฟของเอกชน

-ชานเมือง (รัศมี 70 กิโลเมตร) เป็นพื้นที่ต่อพ่วงกับนครหลวงโตเกียว และสนามบินนานาชาตินาริตะ โดยจะมีรถไฟแห่งชาติ (JR) และรถไฟเอกชนจำนวนเล็กน้อย

รถไฟใต้ดิน รถไฟชานเมือง (รถไฟแห่งชาติ และรถไฟภาคเอกชน) และรถไฟความเร็วสูงชินคันเซ็นใน เมืองหลวงโตเกียว มีการเชื่อมผ่านทางรถไฟสายยามาโนเตะของเมืองโตเกียวในภาคมกลาง สถานีรถไฟใต้ดินส่วนใหญ่ให้บริการพื้นที่ภายในและพื้นที่หลักที่อยู่ใกล้ทางรถไฟสายยามาโนเตะและเป็นพื้นที่ภาคมกลางที่ ประกอบด้วย 23 อำเภอ รถไฟชานเมืองส่วนใหญ่ให้บริการพื้นที่ในและนอกเมือง คือรถไฟสายยามาโนเตะ รถไฟ ความเร็วสูงชินคันเซ็นจำนวน 5 สาย โดยเริ่มจาก สถานีรถไฟโตเกียวบนเส้นทางยามาโนเตะ เชื่อมต่อเมืองใหญ่ๆ เช่น โอซาก้า และนาโงย่า ทุกวันจะเดินรถไฟระหว่างเมืองเหล่านี้ และย่านการค้าหลักของกรุงโตเกียว

ระบบการขนส่งทางรถไฟของเมืองหลวงลอนดอนและปริมณฑล ย่านชานเมือง รวมถึงเมืองหลักๆ ในลอนดอนประเทศอังกฤษ และภาคตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ รวม 25,000 ตารางกิโลเมตร และมีประชากร 17 ล้านคน (Ling Zhou., et.al. 2016)

-พื้นที่หลัก (รัศมี 5 กิโลเมตร) เป็นพื้นที่เล็กๆ มีรถไฟใต้ดินวนรอบซ้าย (27 กิโลเมตร) และบนฝั่งทาง ตอนใต้ของแม่น้ำเทมส์อยู่บริเวณใกล้เคียง พื้นที่หลักจะถูกดำเนินการโดย London Metro พื้นที่ 27 ตาราง กิโลเมตร เป็นเขตเก็บเงินค่าจราจรหนาแน่นของกรุงลอนดอน (London Congestion Charge Zone)

-พื้นที่ส่วนกลาง (รัศมี 10 กิโลเมตร) Inner London ประกอบด้วย 12 เมือง ซึ่งอยู่ในลอนดอน ครอบคลุมพื้นที่ 321 ตารางกิโลเมตร

-ย่านชานเมือง (รัศมี 30 กิโลเมตร) เป็นพื้นที่ของกรุงลอนดอนล้อมรอบไปด้วย สนามบินนานาชาติ Heathrow พ่วงต่อ M25 expressway (188 กิโลเมตร) ไปยังกรุงลอนดอน

-ชานเมือง (รัศมี 70 กิโลเมตร) พื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของสหราชอาณาจักรกลางกรุงลอนดอนรวม 12 พื้นที่ เช่น Oxford Kent Berkshire Buckinghamshire และ Milton

สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559

ระบบรถไฟของลอนดอนและปริมณฑลประกอบด้วยระบบรถไฟใต้ดินและระบบรถไฟชานเมืองที่เชื่อมโยงผ่านสถานีรถไฟหลัก สถานีรถไฟ King's Cross และสถานีเซนต์แพนครัส (St. Pancras) ที่อยู่ใจกลางเมือง ระบบรถไฟใต้ดินจะอยู่ในเมืองลอนดอน และนอกเมือง การเชื่อมโยงทางรถไฟความเร็วสูงผ่านสถานีรถไฟในใจกลางกรุงลอนดอนเชื่อมต่อกับปารีสและบรัสเซลส์

ระบบการขนส่งทางรถไฟของเมืองนิวยอร์ก และปริมณฑล

เมืองหลวงนิวยอร์กและปริมณฑลประกอบไปด้วยเมืองนิวยอร์กและมณฑลต่างๆ 23 มณฑล และ 3 รัฐ ได้แก่ New York New Jersey และ Connecticut ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 23,500 ตารางกิโลเมตร มีประชากรเกือบ 22 ล้านคน

-พื้นที่หลัก (รัศมี 5 กิโลเมตร) Manhattan District ครอบคลุมพื้นที่ 59 ตารางกิโลเมตร มีรถไฟใต้ดินสายนิวยอร์ก

-พื้นที่ส่วนกลาง (รัศมี 15 กิโลเมตร) ประกอบไปด้วย 5 เมือง คือ Manhattan Bronx Brooklyn Queens และ Staten Island ครอบคลุมพื้นที่ 789 ตารางกิโลเมตร

-ย่านชานเมือง (รัศมี 30 กิโลเมตร) ซึ่งรวมถึงเขตการปกครองนอกเมืองเช่น Hudson Essex และเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของรัฐนิวเจอร์ซีย์ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 3,000 ตารางกิโลเมตร มีสนามบินนานาชาติจอห์นเอฟเคนเนดี สนามบินลาการ์เดีย และสนามบินนอร์ท

-นอกชานเมือง (รัศมี 70 กิโลเมตร) จะรวมถึงเขตการปกครองในเขตชานเมือง ด้านนอกของรัฐ New York Connecticut New Jersey และ Long Island

ระบบการขนส่งทางรถไฟของนิวยอร์กและปริมณฑล รวมถึงระบบรถไฟใต้ดิน สถานีรถไฟใต้ดินและรถไฟด่วนในภูมิภาค (Regional Express railway) ส่วนใหญ่ให้บริการในเมืองนิวยอร์ก ระบบรถไฟชานเมืองประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ Long Island Railroad New York Metro-North Railroad และ New Jersey Railroad ส่วนใหญ่จะให้บริการในเมือง ชานเมือง และรอบนอก โดยเชื่อมต่อกับสถานีรถไฟใต้ดิน 6 สถานี

ระบบการขนส่งทางรถไฟของกรุงเทพฯ และปริมณฑล

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เป็นเขตเมืองของกรุงเทพมหานครและจังหวัดที่ตั้งอยู่โดยรอบ ครอบคลุมพื้นที่กว่า 7,000 ตารางกิโลเมตร มีประชากรประมาณ 10 ล้านกว่าคน (สุรเมศวร์, ม.ป.ป.) ระบบการขนส่งทางรถไฟของประเทศไทยประกอบด้วย รถไฟฟ้าไทย (ร.ฟ.ท.) ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร มีระยะทาง 36.92 กิโลเมตร รถไฟฟ้ามหานคร มีระยะทาง 21 กิโลเมตร และรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดง มีระยะทาง 43.6 กิโลเมตร

-ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร (Bangkok Mass Transit, BMT) ให้บริการรถไฟฟ้าในระบบขนส่งมวลชนในกรุงเทพฯ มีสถานีรถไฟฟ้าทั้งหมด 23 สถานี โดยครอบคลุมพื้นที่สายสีลมและสายสุขุมวิท ซึ่งรถไฟฟ้าทั้งสองสายนี้ได้ให้บริการเดินรถในย่านธุรกิจ และแหล่งท่องเที่ยวใจกลางกรุงเทพมหานคร

-รถไฟฟ้ามหานคร (MRT) เป็นระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ที่มีวัตถุประสงค์ คือเป็นเส้นทางสำหรับใช้เดินทางระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับโครงการรถไฟฟ้าอีกระบบหนึ่ง ซึ่งเมื่อเปิดให้บริการทั้งโครงการ จะมีสถานีเชื่อมต่อกับโครงการรถไฟฟ้าสายอื่นๆ ทั้งหมด 15 สถานี

-โครงข่ายรถไฟฟ้าชานเมือง (Commuter Train) เป็นโครงข่ายสายหลักเน้นให้บริการการเดินทางของผู้โดยสารระหว่างพื้นที่ชานเมืองกับพื้นที่ใจกลางกรุงเทพฯ ซึ่งในอนาคตจะเชื่อมต่อกับเส้นทางรถไฟชานเมืองที่

ต่อขยายสู่เมืองหลักโดยรอบ มีเส้นทางรถไฟเชื่อมต่อกับสนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ โดยมีรูปแบบการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน

-การรถไฟแห่งประเทศไทย เป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกับส่วนภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย มีระยะทางเดินรถไฟ 4,044 กิโลเมตร โดยเป็นทางเดี่ยว 3,954 กิโลเมตร และทางคู่เพียง 90 กิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 2 ของโครงข่ายทางรถไฟทั้งหมด (ทศพร และคนอื่นๆ, 2556)

จากการศึกษาการขนส่งทางรางในพื้นที่หลักคือ เขตกรุงเทพฯ ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร และรถไฟฟ้ามหานคร (MRT) ที่รองรับการเดินทางให้บริการ 57.92 กิโลเมตร มีผู้ใช้บริการต่อวัน 890,000 คน ส่วนโครงข่ายรถไฟฟ้ามหานคร ปัจจุบันให้บริการจากพื้นที่หลักในกรุงเทพฯ เชื่อมต่อไปยังสนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ มีผู้ใช้บริการต่อวันเพียง 49,000 คน ซึ่งไม่พอเพียงและครอบคลุมต่อผู้ใช้บริการ ที่อยู่นอกเขตให้บริการของรถไฟฟ้ามหานคร ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด เกิดความแออัดในตัวเมือง เมื่อเปรียบเทียบกับเมืองหลวงของประเทศที่พัฒนาแล้ว ไม่ว่าจะเป็น ปักกิ่งประเทศจีน โตเกียวประเทศญี่ปุ่น ลอนดอนประเทศอังกฤษ และ นิวยอร์กประเทศสหรัฐอเมริกา จะหนาแน่นด้วยการให้บริการขนส่งด้วยระบบรถไฟ เนื่องจากประเทศที่พัฒนาแล้วมองว่าการขนส่งระบบรางเป็นทางออกที่ดีในการช่วยลดการสูญเสียเงินตราไปกับการนำเข้าพลังงาน ลดการสร้างมลภาวะที่เกิดจากการขนส่งทางรถยนต์และการใช้รถส่วนบุคคล ถึงแม้ว่าระบบการขนส่งทางรางจะใช้งบประมาณการลงทุนที่สูง

สรุป

การขนส่งทางรางที่เชื่อมต่อกับส่วนภูมิภาคต่างๆ เป็นระบบที่สำคัญในด้านของโลจิสติกส์ เนื่องจากการขนส่งสินค้าทางรางหรือรถไฟสามารถขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยประหยัด รวมทั้งก่อให้เกิดมลภาวน้อยกว่าทางถนน จากการศึกษาพบว่า ประเทศไทยไม่ได้ให้ความสำคัญกับการขนส่งทางรางมากนัก ตัวเลขการขนส่งทางรถไฟของไทยมีปริมาณเพียงร้อยละ 2 ของการขนส่งทางรวม โดยมีการใช้การขนส่งทางบกหรือถนนมากกว่าร้อยละ 88 ของปริมาณการขนส่งทั้งหมด เนื่องจากประสิทธิภาพของการให้บริการของรถไฟ ความไม่ตรงต่อเวลาของขบวนรถไฟในแต่เที่ยว ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับรวมถึง Facility ต่างๆ ไม่เพียงพอกับความต้องการ ไม่ว่าจะเป็นหัวรถจักรหรือบรรทุกสินค้า อุปกรณ์ยกขนต่าง ดังนั้นในการยกระดับโลจิสติกส์ของไทยจำเป็นต้องหาแนวทางปรับปรุงและพัฒนาการขนส่งทางรางให้มีความน่าเชื่อถือ มีความรวดเร็วและครอบคลุมกับพื้นที่ๆ ให้บริการ การที่รัฐบาลไทยมีนโยบายในเรื่องของรถไฟความเร็วสูงและรถไฟรางคู่จะช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ และเพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานการขนส่งทางรางเทียบเท่ากับประเทศที่พัฒนาแล้ว

เอกสารอ้างอิง

- ทศพร บุรณพงศ์ และคนอื่นๆ. (2556). **แนวทางในการพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าทางรถไฟ.** [Online]. Available : <http://xviivisenter.blogspot.com/p/4.html>. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- นรวรรธน์ ชัยธัญโรจน์. (2554). **การขนส่งทางราง ทางเลือกในการลดต้นทุน.** [Online]. Available : http://logisticscorner.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2225:2011-01-16-12-52-43&catid=36:transportation&Itemid=90. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- มลฤดี เอื้อเกิดอารีย์. (2552). **การขนส่งมวลขนระบบรางภายในเมืองของจีน.** [Online]. Available : http://www.thaibizchina.com/thaibizchina/th/china-economic-business/result.php?SECTION_ID=468&ID=1780. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- สาธิต มาลัยธรรม. (ม.ป.ป.). **การขนส่งระบบราง.** [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/การขนส่งทางราง>. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2551). **วิศวกรรมขนส่ง. กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.**
- สุวัฒน์ วาณิสบุตร. (2538, ตุลาคม). **เทคโนโลยีรถไฟความเร็วสูงที่เหมาะสมกับสภาพการพัฒนาในประเทศไทย.** **วารสารโยธาสาร, 7(10), 15-21.**
- อภิสรพร พรรัตนกุล. (2558). **รถไฟความเร็วสูงของจีน.** [Online]. Available : http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1450936506. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- Japan Expert. (2015). **ประวัติรถไฟจีนคันเซ็นราง.** [Online]. Available : <http://www.japan-expert.com/รถไฟจีนคันเซ็น>. [2559, กุมภาพันธ์ 18].
- Ling Zhou, et.al. (2016). Research on the Spatial-System-Based Rail Transit Systems of the World Cities. **Journal of Procedia Engineering, 137, 699-708.**



การสกัดเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวเพื่อเพิ่มมูลค่าของรำข้าว
Extraction of Lipase from White Sticky Rice Bran to Add Rice Bran Valuable

พรทิพพา พิญญาพงษ์*

Porntippa Pinyaphong

กัลยารัตน์ เทียนรุ่งอรุณ**

Kanyarat Teanrungarun

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว และศึกษาคุณสมบัติบางประการของไลเปสที่สกัดได้ เริ่มต้นด้วยการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวโดยแช่รำข้าวเหนียวขาวในไดเอทิลอีเทอร์ (100 มิลลิลิตร ต่อ กรัม ของกากรำข้าวเหนียวขาว) เป็นเวลา 30 นาที ในเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวที่สกัดไขมันออกแล้วด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ 10 มิลลิโมลาร์ อยู่ด้วย (80 มิลลิลิตร ต่อกรัม ของกากรำข้าวเหนียวขาว) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการสกัด 20 นาที เอนไซม์ที่สกัดได้มีแอกติวิตีของไลเปสเท่ากับ 75.35 ± 3.76 ยูนิตต่อมิลลิลิตรเอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้จากกากรำข้าวเหนียวขาวได้ผลผลิตร้อยละ 6.37 และมีอุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์มคือ 25 องศาเซลเซียส และ 7.2 ตามลำดับ ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิและพีเอชสูงได้ สามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันรำข้าวดิบได้หมดภายในเวลา 3 ชั่วโมง และสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวกับเมทานอลได้โดยให้เมทิลเอสเทอร์เมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง

คำสำคัญ : การสกัด / เอนไซม์ไลเปส / กากรำข้าว

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

**นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ABSTRACT

The objective of this research was to study the proper way to extract lipase from white sticky rice bran and study some properties of extracted lipase. First, fat in rice bran was removed by soaking rice bran in diethyl ether (100 ml/g rice bran) for 30 minutes in shaking incubator (200 rpm) at 4°C, then lipase was extracted from defatted rice bran using 0.15 M of phosphate buffer, pH 7 with 10 mM of calcium chloride (80 ml/g rice bran) at 4°C for 20 minutes. The lipolytic activity of extracted lipase was 75.35 ± 3.76 units/ml enzyme. The yield of extracted lipase was 6.37%. Extracted lipase showed some properties as follow: the optimum temperature and the optimum pH of palm oil hydrolysis were 25°C and 7.2, respectively. It could not tolerate high temperature and high pH. The extracted lipase from white sticky rice bran could catalyze hydrolysis of crude rice bran oil within 3 hours and could catalyze transesterification of rice bran oil with methanol which produced methyl ester after 72 hours.

Keywords : Extraction / Lipase / Rice Bran

บทนำ

ไลเปส (lipase) หรือ ไตรเอซิลกลีเซอรอลเอซิลไฮโดรเลส (triacylglycerolacylhydrolases) หรือ กลีเซอรอล เอสเทอร์ ไฮโดรเลส (glycerol ester hydrolase) (EC 3.1.1.3) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มไฮโดรเลสที่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน (Sharma, Chisti & Banerje, 2001) ในปัจจุบันเอนไซม์ไลเปสเป็นหนึ่งในเอนไซม์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นเอนไซม์หนึ่งเดียวที่มีความสามารถในการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ของกรดไขมันในสถานะที่มีน้ำและทำให้เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ในสถานะที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลายทั้งในการย่อยสลายกลุ่มของไขมันหรือน้ำมัน การนำไปเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล ใช้ในการผลิตซ็อกโกแลต นม เนยแข็ง ผสมในอาหารสัตว์ ผสมผงช็อกโกแลต เสริมการย่อยอาหารของมนุษย์ และใช้ทำลายไขมันตามท่อน้ำ (Hasan, Shah & Hameed, 2006)

แหล่งของเอนไซม์ไลเปสโดยส่วนใหญ่จะได้มาจากการผลิตแล้วขับออกมานอกเซลล์ของจุลินทรีย์ เพื่อนำไปย่อยสลายอาหารในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ไลเปสจากจุลินทรีย์นั้นถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงทั้งในการเร่งปฏิกิริยาและการเก็บ แต่แหล่งของไลเปสจากจุลินทรีย์นั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ดังกล่าว ทำให้เอนไซม์มีราคาแพง (Jaeger & Eggert, 2004) การหาแหล่งเอนไซม์ไลเปสจากพืชนั้นยังไม่ได้มีการค้นพบมากนักตัวอย่างเช่น รายงานเกี่ยวกับการสกัดเอนไซม์ไลเปสจากเนื้อมะพร้าวด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4-6 และสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7-9 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิคระบบน้ำสองวัฏภาค (สโรธร, กุลธิดา และปิยาภรณ์, 2552) การนำไลเปสจากยางมะละกอซึ่งจะจับแน่นอยู่กับส่วนที่ไม่ละลายน้ำของยางมะละกอมาใช้สังเคราะห์เนยโกโก้จากน้ำมันปาล์ม (Pinyaphong & Phutrakul, 2009)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการกลีกรมเป็นหลักและมีการทำนาเป็นอาชีพที่สำคัญ ในปีแต่ละปีสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณปีละ 20-22 ล้านตัน สีเป็นข้าวสารประมาณ 16 ล้านตันและจะได้ ไร่ข้าวเป็นผลผลิตพลอยได้ประมาณ 1.12 ล้านตัน (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2556) ซึ่งไร่ข้าวนี้นอกจากใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับทำน้ำมันหรือใช้เป็นอาหารสัตว์แล้วยังเป็นแหล่งของเอนไซม์ไลเปสที่สำคัญ (Houston, 1972) ไร่ข้าว

เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองปนน้ำตาล ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว ได้แก่ เปลือกเมล็ดข้าว (pericarp) และ เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) (Houston, 1972) ปริมาณและองค์ประกอบของรำข้าวขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว คุณภาพของข้าวเปลือก ชนิดของวิธีการสีข้าวและระดับของการขัดขาว องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในรำข้าวได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน ไขมัน แร่ธาตุ วิตามิน และ เอนไซม์ (Kelley, 2005) โลเปสที่พบในกากรำข้าว (รำข้าวที่กำจัดไขมันออกแล้ว) สามารถละลายน้ำได้ มีอยู่ 2 ชนิด คือ โลเปส I มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7.5 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40 กิโลดาลตัน มีความจำเพาะต่อตำแหน่ง 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์ และ โลเปส II มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7.5 มีน้ำหนักโมเลกุล 32 กิโลดาลตัน มีความจำเพาะต่อกรดไขมันชนิดสายสั้น (Aizono, et al., 1976; Fujiki, Aizono & Funatsu, 1978) จากการศึกษาความแตกต่างระหว่างเอนไซม์โลเปสจากกากรำข้าวไทยสายพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งพันธุ์ข้าวเก่าซึ่งมีสีดำ และพันธุ์ข้าวเหนียวขาวซึ่งมีสีขาวโดยวิธีทางจุลชีวศาสตร์ พบว่าโลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว กข 6 มีประสิทธิภาพในการไฮโดรไลซ์น้ำมันรำข้าวได้ดีที่สุด (ธีรารัตน์, 2543) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสกัดเอนไซม์โลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว กข 6 และ ศึกษาคุณสมบัติบางประการของเอนไซม์โลเปสที่สกัดได้ เพื่อประโยชน์ในการนำเอนไซม์โลเปสไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับอุตสาหกรรม และเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้แก่กากรำข้าวอีกทางหนึ่งด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่าง

ตัวอย่างรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 ชนิดละเอียด เก็บจากโรงสีข้าวแห่งหนึ่งในตำบลบ้านด่าน อำเภอมือง จังหวัดอุดรธานี ประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำไปแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การสกัดเอนไซม์โลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

1. การศึกษาตัวทำละลายและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไขมันออกจากรำข้าวเหนียวขาว

ชั่งรำข้าวเหนียวขาว 0.05 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ 5 ใบ เติมตัวทำละลายอินทรีย์ได้แก่

ไดเอทิลอีเทอร์ เพนทานอล บิวทานอล เฮกเซน และ คลอโรฟอร์ม อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ใบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้กากรำข้าวเหนียวขาวตกตะกอน แล้วดูดตัวทำละลายทิ้งไป นำตะกอนที่ได้ไปเติมตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดเดิม แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง ผึ่งตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบแอกติวิตีของเอนไซม์โลเปส จากนั้นเลือกเฉพาะตัวทำละลายที่ทำให้เอนไซม์โลเปสมีแอกติวิตีสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไขมันออกจากเอนไซม์ โดยทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนเวลาจาก 10 นาที เป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ

2. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเอนไซม์โลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

ชั่งรำข้าวเหนียวขาว 0.05 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ 3 ใบ นำไปสกัดไขมันออกก่อนโดยแช่ใน

ไดเอทิลอีเธอร์ เป็นเวลา 30 นาที (ข้อ 2.1) เมื่อผึ่งกากรำข้าวเหนียวขาวให้แห้งแล้ว ให้เติมสารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ เพื่อเอช 7 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ แล้วนำขวดรูปชมพู่ทั้ง 3 ใบ ไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่เวลาต่างกันคือ 20 นาที (ขวดใบที่ 1), 40 นาที (ขวดใบที่ 2) และ 60 นาที (ขวดใบที่ 3) ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายไปตรวจสอบแอกติวิตีของเอนไซม์โลเปส

การตรวจสอบแอคติวิตีของเอนไซม์ไลเปส

เตรียมขบวนการผสม 2 ใบ เติมน้ำสารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ 0.30 มิลลิกรัม และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ปริมาตร 4 มิลลิกรัม จากนั้นเติมน้ำมันปาล์ม 0.50 มิลลิกรัม เติมน้ำสารละลายเอนไซม์ 0.50 มิลลิกรัม ลงในขบวนการผสมใบที่ 1 ส่วนขบวนการผสมใบที่ 2 ใช้เป็นสารละลายเปรียบเทียบไม่ต้องเติมเอนไซม์ นำขบวนการผสมทั้งสองใบไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยเติมน้ำสารละลายผสมของอะซิโตนและเอทานอล (ในอัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 10 มิลลิกรัม เติมน้ำสารละลายเอนไซม์ 0.50 มิลลิกรัม ลงในขบวนการเปรียบเทียบ นำสารละลายในขบวนการผสมทั้งสองใบ ไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน และใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ กำหนดให้ 1 ยูนิต ของไลเปส คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1 ไมโครโมล ที่เกิดขึ้นจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสในเวลา 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในสารละลายเอนไซม์ ใช้วิธีการของลาวรี (Lowry, et al., 1951) ใช้เซรัมอัลบูมินจากวัว (Bovine serum albumin) เป็นโปรตีนมาตรฐาน และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้จากกากรำข้าวเหนียวขาว

1. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาการทำงานของเอนไซม์ได้แก่ 4, 8, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจสอบแอคติวิตีของเอนไซม์ดังข้อ 3 ที่อุณหภูมิต่างๆ

2. การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

สารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ (1) สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 5 (2) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 6 (3) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 (4) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7.2 (5) สารละลายไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 8.6 และ (6) สารละลายไกลซีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์บัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 9 การตรวจสอบแอคติวิตีของเอนไซม์ไลเปสที่แยกได้จากกากรำข้าวเหนียวขาวที่พีเอชต่างๆทำได้โดย เตรียมสารละลายผสมของปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 4 มิลลิกรัม สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ 0.30 มิลลิกรัม และน้ำมันปาล์ม 0.50 มิลลิกรัม เติมน้ำสารละลายเอนไซม์ 0.50 มิลลิกรัม เพื่อเริ่มปฏิกิริยา นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำสารละลายผสมของอะซิโตนและเอทานอล (อัตราส่วน 1:1) เพื่อหยุดปฏิกิริยา นำสารละลายปฏิกิริยาที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์

3. การศึกษาความเสถียรต่ออุณหภูมิของไลเปส

เตรียมสารละลายสับสเตรทซึ่งประกอบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ 0.30 มิลลิกรัม สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 ปริมาตร 4.00 มิลลิกรัม และน้ำมันปาล์ม 0.50 มิลลิกรัม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 5 นาที จำนวน 14 ชุด เติมน้ำสารละลายไลเปส (0.50 มิลลิกรัม) อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ลงในสารละลายสับสเตรทที่เตรียมไว้ในชุดที่ 1-7 ตามลำดับ นำสารละลายสับสเตรททั้ง 14 ชุด ไปเขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาด้วยสารละลายผสมของอะซิโตนและเอทานอล (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 10 มิลลิกรัม จากนั้นเติมน้ำสารละลายเอนไซม์ไลเปส

(0.50 มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ลงในสารละลายสับสเตรทชุดที่ 8-14 ตามลำดับ นำสารละลายปฏิกิริยาที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์

4. การศึกษาความเสถียรต่อพีเอชของไลเปส

บ่มเอนไซม์ในสารละลายบัฟเฟอร์ชนิดต่างๆ พีเอช 5, 6, 7, 8 และ 9 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าแอกติวิตีของเอนไซม์

5. การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าว

เตรียมสารละลายสับสเตรทซึ่งประกอบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ 0.30 มิลลิลิตร สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 ปริมาตร 4.00 มิลลิลิตร และน้ำมันรำข้าว 0.50 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอนไซม์ 0.50 มิลลิลิตร เพื่อเริ่มปฏิกิริยา นำสารละลายผสมไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เก็บสารละลายปฏิกิริยาที่เวลา 0 (เวลาเริ่มต้น), 1, 3 และ 5 ชั่วโมง เติมคลอโรฟอร์ม 4 มิลลิลิตร ลงในสารละลายปฏิกิริยาที่เก็บได้ นำไปใส่ในกรวยแยกเพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างคลอโรฟอร์มกับสารละลายปฏิกิริยา นำชั้นคลอโรฟอร์มมาระเหยเอาตัวทำละลายออกให้เหลือประมาณ 0.5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคทินแลเยอร์-โครมาโตกราฟี (Thin layer chromatography, TLC) โดยใช้ระบบตัวทำละลายที่ประกอบด้วยเฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และกรดแอซิติก ในอัตราส่วน 90:10:1 ตามลำดับ จากนั้นนำแผ่น TLC มาตรวจสอบด้วยไอของไอโอดีน แล้วหาค่า R_f ขององค์ประกอบแต่ละชนิดเทียบกับค่า R_f ของสารมาตรฐาน

6. การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวด้วยไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

เตรียมสารละลายปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยน้ำมันรำข้าว 1 กรัม และ เมทานอล 10 มิลลิลิตร เติมกากรำข้าวเหนียวขาวที่สกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัม เพื่อเริ่มปฏิกิริยา นำสารละลายผสมไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เก็บสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง นำสารละลายตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย TLC โดยใช้ระบบตัวทำละลายที่ประกอบด้วยเฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และ กรดแอซิติก ในอัตราส่วน 90:10:1 ตามลำดับ จากนั้นนำแผ่น TLC มาตรวจสอบด้วยไอของไอโอดีน แล้วหาค่า R_f ขององค์ประกอบแต่ละชนิดเทียบกับค่า R_f ของสารมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. การศึกษาการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว

1.1 การศึกษาตัวทำละลายและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว

ผลของการศึกษาชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ เพนทานอล บิวทานอล เฮกเซน และคลอโรฟอร์ม ที่มีผลต่อการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว (ตารางที่ 1) สำหรับผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดไขมันออกจากรำข้าวเหนียว พบว่า การแช่กากรำข้าวเหนียวขาวในไดเอทิลอีเทอร์เป็นเวลา 30 นาที จะทำให้การสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวเกิดขึ้นได้ดีที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ผลการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ

ตัวทำละลายอินทรีย์	แอกติวิตีของไลเปส (ยูนิต/มล. เอนไซม์)
การรำข้าวเหนียวขาว	1.50 ± 0.08
กากรำข้าวเหนียวขาว + ไดเอทิลอีเทอร์	12.41 ± 0.62
กากรำข้าวเหนียวขาว + เพนทานอล	8.50 ± 0.42
กากรำข้าวเหนียวขาว + บิวทานอล	1.70 ± 0.09
กากรำข้าวเหนียวขาว + เฮกเซน	7.94 ± 0.39
กากรำข้าวเหนียวขาว + คลอโรฟอร์ม	3.96 ± 0.19

ตารางที่ 2 ผลการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวโดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ ที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาท)	แอกติวิตีของไลเปส (ยูนิต/มล.เอนไซม์)
10	12.41 ± 0.62
20	36.60 ± 1.83
30	72.75 ± 3.63
40	68.71 ± 3.43

1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

ผลของการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ 10 มิลลิโมลาร์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจาก กากรำข้าวเหนียวขาว คือ 20 นาที โดยให้ค่าแอกติวิตีของไลเปสเท่ากับ 75.35 ± 3.76 ยูนิตต่อมิลลิลิตร เอนไซม์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการสกัดเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาท)	แอกติวิตีของไลเปส (ยูนิต/มล. เอนไซม์)
20	75.35 ± 3.76
40	55.91 ± 2.79
60	28.37 ± 1.41

ผลจากการนำรำข้าวเหนียวขาวไปสกัดไขมันออกด้วยไดเอทิลอีเทอร์ แล้วสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจาก กากรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้วด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ที่มีแคลเซียมคลอไรด์อยู่ด้วย เมื่อ ตรวจสอบแอกติวิตีและโปรตีนของไลเปส ให้ผลแสดงในตารางที่ 4 และคำนวณเป็นค่าแอกติวิตีจำเพาะ และ ผลผลิต แสดงไว้ในตารางเดียวกัน จากตารางจะเห็นได้ว่าการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวจะทำให้ เอนไซม์เสียแอกติวิตีถึง 61.2% และในการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวจะทำให้เอนไซม์มี แอกติวิตีเหลืออยู่เพียง 6.37%

ตารางที่ 4 การสกัดแยกไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวที่สกัดไขมันออกแล้ว

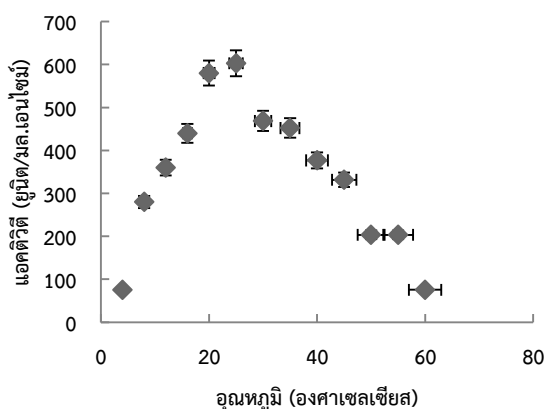
ขั้นตอน	ปริมาณ	แอกติวิตี (ยูนิต)	โปรตีน (มก.)	แอกติวิตีจำเพาะ (ยูนิต/มก. โปรตีน)	ผลผลิต (%)
รำข้าวเหนียวขาว (กรัม)	100	15000	5882	2.55	100
กากรำข้าวที่สกัดไขมัน (กรัม)	80	5820	1462	3.98	38.8
สารละลายไลเปส (มล)	64	4822	956	5.04	6.37

2. การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

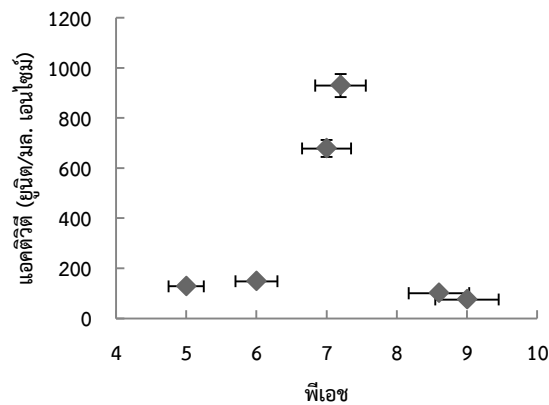
2.1 ผลของการศึกษาอุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ในการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิน้ำมันปาล์มของเอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้จาก

กากรำข้าวเหนียวขาว ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 ที่มีสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ อยู่ด้วย ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้จากกากรำข้าวเหนียวขาว มีแอกติวิตีสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 602.80 ± 30.14 ยูนิต/มล. เอนไซม์ (ภาพที่ 1) สำหรับการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิน้ำมันปาล์มที่พีเอชต่างๆ คือ 5, 6, 7, 7.2, 8.6 และ 9 ของเอนไซม์ไลเปสที่สกัดจากกากรำข้าวเหนียวขาว พบว่า เอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.2 (929.46 ± 46.47 ยูนิต/มล. เอนไซม์) (ภาพที่ 2)



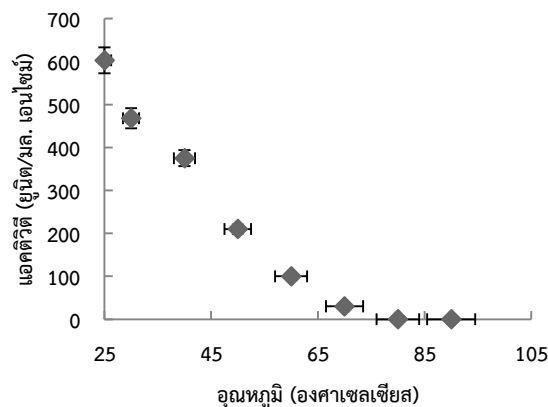
ภาพที่ 1 แอกติวิตีของเอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายน้ำมันปาล์ม ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแอดติวิตีของเอนไซม์ไลเปสที่พีเอชต่างๆ

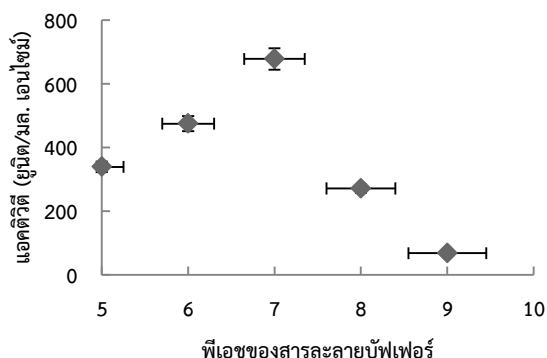
2.2 ผลการศึกษาความเสถียรต่ออุณหภูมิและพีเอชของไลเปส

จากการอุ่นสารละลายไลเปสที่อุณหภูมิต่างๆ ก่อนนำไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์ม แล้วคำนวณหาแอดติวิตีไลเปส ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังจากอุ่นสารละลายไลเปสไว้ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ไลเปสมีแอดติวิตีลดลงเหลือประมาณ 60% และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แอดติวิตีของไลเปสลดลงอีกเหลือแอดติวิตี 35% เมื่ออุณหภูมิที่อุ่นไลเปสสูงขึ้นพบว่าแอดติวิตีของไลเปสยิ่งลดลงจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่พบแอดติวิตีของไลเปส



ภาพที่ 3 แอดติวิตีที่เหลืออยู่ของไลเปสหลังจากอุ่นไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการบ่มสารละลายไลเปสในสารละลายบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่าง ๆ ก่อนนำไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์มแล้วคำนวณหาแอดติวิตีไลเปส ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าไลเปสมีเสถียรภาพค่อนข้างดีในช่วงพีเอช 6-7 เมื่อบ่มไลเปสในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 เอนไซม์มีแอดติวิตีเหลืออยู่ครึ่งหนึ่ง เมื่อสารละลายบัฟเฟอร์มีพีเอชเพิ่มขึ้นมากกว่า 7 เอนไซม์จะมีแอดติวิตีของไลเปสลดลง ตามลำดับ



ภาพที่ 4 แอคทิวิตีที่เหลืออยู่ของไลเปสหลังจากบ่มไว้ที่สารละลายบัฟเฟอร์ฟิเอชต่างๆ

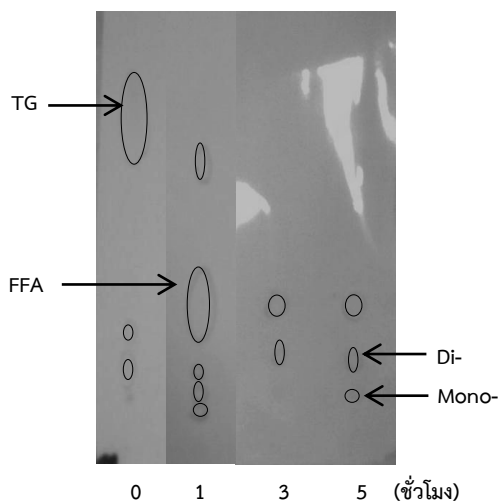
2.3 ผลการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว

ผลการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าวของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวที่สกัดได้ ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่าไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวสามารถย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันรำข้าวได้หมด ภายในเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 5)

ตารางที่ 4 สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าว

เวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ชั่วโมง)	ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
0	Mono/Di- และ TG
1	Mono/Di-, FFA และ TG
3	Mono/Di- และ FFA
5	Mono/Di- และ FFA

หมายเหตุ: FFA คือกรดไขมันอิสระ; Mono/Di- คือโมโนกลีเซอไรด์/ ไดกลีเซอไรด์; TG คือไตรกลีเซอไรด์



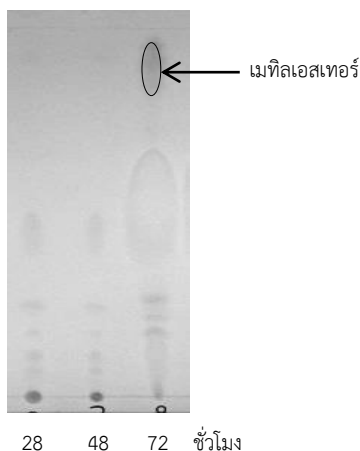
ภาพที่ 5 โครมาโตแกรมของ TLC ที่ได้จากไฮโดรไลซิสของน้ำมันรำข้าว

สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าว ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้จากกากรำข้าวเหนียวขาวเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาวสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวกับเมทานอลได้ โดยให้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป 72 ชั่วโมง (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 6)

ตารางที่ 5 สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าว

เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ชนิดของผลิตภัณฑ์
0	Mono/Di- และ TG
24	Mono/Di-, FFA และ TG
48	Mono/Di-, FFA และ TG
72	Mono/Di-, FFA , TG และ ME

หมายเหตุ: FFA คือกรดไขมันอิสระ; TG คือไตรกลีเซอไรด์; Mono/Di- คือโมโนกลีเซอไรด์/ไดกลีเซอไรด์; ME คือเมทิลเอสเทอร์



ภาพที่ 6 โครมาโตแกรมของ TLC ที่ได้จากทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าว

อภิปรายผล

ในการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 ซึ่งไม่สอดคล้องกับรายงานการใช้เฮกเซนสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวในท้องถิ่นของอินเดีย (Prabhu, et al., 1999) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็วกว่าเฮกเซนจึงทำให้กำจัดน้ำมันออกจากกากรำข้าวได้ดีกว่าเฮกเซน กากรำข้าวที่สกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์จึงแสดงแอกติวิตีของไลเปสได้ดีกว่า โดยเวลาที่เหมาะสมในการสกัดไขมันออกจากกากรำข้าวคือ 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่าง เอนไซม์กับตัวทำละลายอินทรีย์ และจากการสกัดเอนไซม์ไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาว โดยใช้ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ พีเอช 7 ที่มีแคลเซียม-คลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมสำหรับการสกัด คือ 20 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่ารายงานการสกัด สารละลายไลเปสจากกากรำข้าวในท้องถิ่นของอินเดียที่สกัดเอาไขมันออกแล้วด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

เข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.5 มิลลิ-โมลาร์ (Prabhu, et al., 1999) ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่าในการทดลองนี้ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจึงทำให้ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า นอกจากนี้ สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีพีเอช 7 เป็นสารละลายที่ช่วยรักษาสภาพของโปรตีน หรือเอนไซม์ได้ดีที่สุด (สารโจน, ประไพพิศ และสิริ, 2540) จากผลการศึกษาอุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจาก กากรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และพีเอชที่ 7.2 จะเหมาะสมที่สุดในการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์ไลเปสที่สกัดได้ไม่ชอบทำงานที่ อุณหภูมิสูงและไม่ทนต่อกรดและเบส ชอบเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นกลางซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติ ของเอนไซม์ไลเปสชนิด II ในรำข้าว ที่มีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 7.5-8.0 อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 27 องศาเซลเซียส (ปวิวิทย์, 2552) ในการศึกษาความเสถียรต่ออุณหภูมิและพีเอชของไลเปสที่สกัดได้พบว่าที่ อุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสเป็นต้นไปเอนไซม์จะมีแอกติวิตีของไลเปสลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาความเสถียรต่ออุณหภูมิของไลเปสจากรำข้าว IR-20 (Rajeshwara & Prakash, 1995) จากการสกัด แยกไลเปสออกจากกากรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 ที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไลเปสที่สกัดได้มีแอกติวิตีจำเพาะเพิ่มขึ้นแต่ได้ผลผลิตเหลือเพียง 6.37% ดังนั้นในการทดลองนำไลเปสไป ประยุกต์ใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจึงใช้ไลเปสในรูปของกากรำข้าวเหนียวขาวพันธุ์ กข 6 ที่สกัด ไขมันออกแล้ว สำหรับการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันรำข้าว พบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก การย่อยสลายน้ำมันรำข้าวด้วยเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว คือ กรดไขมันอิสระ และโมโน/ ไดกลีเซอไรด์ ซึ่งแสดงว่าเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว มีความจำเพาะต่อตำแหน่งบนโมเลกุลของ ไตรกลีเซอไรด์ แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้จากการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาความจำเพาะของ เอนไซม์ที่มี 3 ลักษณะคือ ความจำเพาะต่อตำแหน่งโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ความจำเพาะต่อชนิดกรดไขมันหรือ ชนิดสับสเตรท และความจำเพาะต่อไอโซเมอร์ (Villeneuve, et al., 2000; Ghanem, 2007)

จากการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของเอนไซม์ไลเปสจากกากรำข้าวเหนียวขาว พบว่า เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวกับเมทานอลได้ แต่จะใช้เวลานานในการ เกิดปฏิกิริยาโดยให้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ในชั่วโมงที่ 72 ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่าเมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ไม่ ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันรำข้าวมีการแยกชั้นกันเกิดขึ้นจึงส่งผลทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้ไม่ค่อยดีต้องใช้ เวลานาน นอกจากนี้เมทานอลมีความเป็นพิษต่อเอนไซม์จึงมีผลไปทำให้บริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสที่ สกัดได้เสียสภาพไปจึงเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวได้ไม่เต็มที่ (Lilin, et al., 2006)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

เอกสารอ้างอิง

- ธีรรัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2543). การศึกษาจากเลนศาสตร์ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ถูกเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปสในกากรำข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปฏิวีทย์ ลอยพิมาย. (2552). การผลิตน้ำมันรำข้าวเพื่อสุขภาพ โดยการคงสภาพรำข้าวด้วยการให้ความร้อนแบบโอทมิก และสกัดน้ำมันโดยใช้เอนไซม์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2556). [Online]. Available : http://www.thairiceexporters.or.th/Local%20news/News_2013/news_310113-1.html. [2558, สิงหาคม 11].
- สโรธร ตันตสีมันต์, กุลธิดา คชรรัตน์ และปิยาภรณ์ ภาษิตกุล. (2552). การสกัดและการแยกเอนไซม์ไลเปสจากเนื้อมะพร้าวด้วยระบบสารละลายน้ำสองวัฏภาค. ในการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. (หน้า 1-10). สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, ประไพพิศ เดโชดมพันธ์ และสิริ ชัยเสรี. (2540, มกราคม-มีนาคม). การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไลเปสจากรำข้าว. **วารสารเกษตรศาสตร์**, 31(1), 56-71.
- Aizono, Y., et al. (1976). Purification and characterization of rice bran lipase II. **Agricultural and Biological Chemistry**, 40, 317-324.
- Fujiki, Y., Aizono, Y. & Funatsu, M. (1978). Chemical properties of major subunit of rice bran lipase. **Agricultural and Biological Chemistry**, 42, 599-606.
- Ghanem, A. (2007). Trends in lipase-catalyzed asymmetric access to enantiomerically pure enriched compounds. **Tetrahedron**, 63, 1721-1754.
- Hasan, F., Shah, A.A. & Hameed, A. (2006). Industrial applications of microbial lipases. **Enzyme and Microbial Technology**, 39, 235-251.
- Houston, D.F. (1972). **Rice bran and polish**. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Jaeger, K. & Eggert, T. (2004). Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution, **Current Opinion in Biotechnology**, 15, 305-313.
- Kelley, C. (2005). A novel procedure for fat and oil extraction. **Inform**, 16, 76-77.
- Lilin, L., et al. (2006). Lipase-catalyzed trans-esterification of rapeseed oils for biodiesel production with a novel organic solvent as the reaction medium. **Journal of Molecular Catalysis. B. Enzymatic**, 43, 58-62.
- Lowry, O.H, Rosenbrough, N.J., Farr, A.L. & Randall, R.J. (1951, November). Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. **J Biol Chem**, 193, 265-275.
- Pinyaphong, P. & Phutrakul, S. (2009). Synthesis of cocoa butter equivalent from palm oil by Carica papaya lipase-catalyzed interesterification. **Chiang Mai Journal Science**, 36, 359-368.

- Prabhu, A.V., Tambe, S.P., Gandhi, N.N., Sawant, S.B. & Joshi, J.B. (1999). Rice bran lipase: extraction, activity and stability. **Biotechnology Progress**, **15**, 1083-1089.
- Rajeshwara, A.N. & Prakash, V. (1995). Purification and Characterization of lipase from rice (*Oryza sativa* L.) bran. **Nahrung**, **39**, 406-418.
- Sharma, R., Chisti, Y. & Banerjee, U.C. (2001). Production, purification, characterization and application of lipase. **Biotechnology Advances**, **19**, 627-662.
- Villeneuve, P., et al. (2000). Customizing lipases for biocatalysis: a survey of chemical, physical and molecular biological approaches. **Journal of molecular catalysis B: Enzymatic**, **9**, 113-148.



การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์

Antioxidant Activity from Five Varieties of Germination Brown Rice

นริสรา บัวหลวง*

Narisara Bualuang

มณฑา หมิไพรพฤษ**

Montha Meepriruk

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวกล้องงอกขาวหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ แช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่ระยะเวลา 6 12 18 24 และ 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำข้าวที่บ่มมาล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปนึ่งเป็นเวลา 15 นาที นำมาทำแห้งโดยการตากแดด 1-2 วัน แล้วนำข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สายพันธุ์ วิเคราะห์หาอัตราการงอก ค่าความชื้น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิจัยพบว่า อัตราการงอกของข้าวกล้องทั้ง 5 สายพันธุ์ อยู่ในช่วง 91-99 % และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 6.84-7.48 % สภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวกล้องงอกพบว่า ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 และข้าวกล้องงอก หอมมะลิ 105 แช่ที่ 24 ชั่วโมง บ่มที่ 24 ชั่วโมง สำหรับข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ แช่ที่ 24 บ่มที่ 36 ชั่วโมง มีการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่า ข้าวกล้องงอกพันธุ์ปทุมธานี 1 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ และข้าวกล้องงอกหอมนิล มีปริมาณเท่ากับ ร้อยละ 95.19 93.88 87.90 62.54 และ 63.99 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การต้านอนุมูลอิสระ / ข้าวกล้องงอก

*อาจารย์ประจำโรงเรียนอนุบาลตรัง จังหัดกำแพงเพชร

**อาจารย์ประจำโปรแกรมวิทยาศาสตรทั่วไป คณะครุศาสตร มหาวิทาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ABSTRACT

This research aims to study antioxidant activity of the five varieties of germinated brown rice including Pathum Thani 1, Jasmine Rice 105, Red Jasmine, Hom Nin Rice and black rice. The germination process was performed by soaking brown rice in clean water for 24 hours and incubated for 6, 12, 18, 24, and 36 hours at room temperature, then cleaned and washed with clean water, steamed for 15 minutes and dried under sun light for 1-2 days. The five varieties of germinated brown rice were analyzed; germination rate, moisture content, and antioxidant activity. These results found that the germination rate of germinated brown rice from five varieties was 91-99 % and moisture content was 6.84-7.48 %. The optimal conditions of germinated brown rice shown that Pathum Thani 1 and Jasmine Rice 105 were soaked in clean water at 24 hours and incubated for 24 hours. While Red Jasmine, Hom Nin and Black rice were soaked in clean water at 24 hours and incubation for 36 hours. The antioxidant activity of germinated brown rice of Pathum Thani 1 presented highest values, follow by Jasmine Rice 105, Red Jasmine, Black rice and Hom Nin Rice were 95.19, 93.88, 87.90, 62.54 and 63.99, respectively.

Keywords : Antioxidant activity / Germinated Brown Rice

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย และเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน เส้นใยอาหาร สารกาบาและสารกลุ่มฟีนอลิกขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และการขัดสีข้าว ข้าวขาวที่คนไทยส่วนใหญ่บริโภคมีสารอาหารน้อยกว่าข้าวกล้องเนื่องจากข้าวขาวเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีหลายครั้งทำให้จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก ซึ่งส่วนที่หลุดไปนั้นเป็นแหล่งสะสมสารอาหาร ปัจจุบันมีคนสนใจบริโภคข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากข้าวกล้องมีวิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใยอาหาร ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากกว่าข้าวขาวธรรมดา และยังป้องกันโรคต่างๆ ได้อีกด้วย แต่ข้าวกล้องเมื่อหุงแล้วจะมีลักษณะร่วนและแข็งกว่าข้าวขาวธรรมดา ผู้บริโภคจึงไม่นิยมรับประทานการพัฒนาข้าวกล้องมาเป็นข้าวกล้องอก โดยจะนำข้าวกล้องไปแช่น้ำ โดยใช้ข้าวกล้องใหม่ๆ ที่สีเอาเปลือกออกมาไม่เกิน 2 สัปดาห์ ข้าวกล้องอกเมื่อนำไปหุงจะมีลักษณะนุ่มมากกว่าข้าวกล้อง อีกทั้งมีสารอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ในทางการแพทย์ (Moongngarm & Saetung, 2010) ข้าวกล้องอกมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ปวีณา และประภัสสร, 2555) ที่สำคัญต่อสุขภาพ ช่วยป้องกัน การเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคเบาหวาน โรคต่อกระดูก ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคและยังช่วยลดความแก่ชรา (ประสงค์, 2553) นอกจากนี้ยังมีสารกาบา (Gamma-Aminobutyric Acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอาหารภายในเมล็ดข้าว ให้เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลเล็กลง ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีสารกาบาเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติถึง 15 เท่า ซึ่งสารกาบานี้มีส่วนช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์ ช่วยลดภาวะความดันโลหิตสูง (Matsuo, et al, 2010) และลดไขมันในเลือด (Usuki, S. et al, 2011) อีกทั้งช่วยกระตุ้นการไหลเวียนเลือดของสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองได้ดีจึงช่วยทำให้สมอง ผ่องคลาย (Su, et al, 2003; Matsumoto, et al, 2007, Huang, et. al., 2007) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบาเกิดจากเอนไซม์ Glutamate Decarboxylase ที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการทางชีวเคมีเร่งปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกลูตาเมต

กับไฮโดรเจนไอออนได้สารกาบา (Coda, et al., 2010) และการเพิ่มขึ้นของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบาและสารฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (วรัณพร และคนอื่นๆ, 2555)

งานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่า ข้าวกล้องงอกประกอบไปด้วย สารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ สารแกมมา-ออร์ซานอล สารโทโคไตรอีนอล สารเบต้าแคโรทีน สารแอนโทไซยานินส์และกรดไฟติก และโดยเฉพาะสารแกมมา-อะมิโนบิวทริกแอซิด หรือสารกาบา ซึ่งมีความสำคัญทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Zhang, et al., 2007) ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้ไม่พบในข้าวขัดสีจนขาว โดยสารเหล่านี้มีประโยชน์และมีสรรพคุณทางยา ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งและโรคเรื้อรังได้หลายโรค (Oh, & Oh, 2004; Shoichi, 2004 and Komatsuzaki, et al, 2007) ดังนั้นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับข้าว ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงสุด โดยนำพันธุ์ข้าว 5 สายพันธุ์ มาใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์หอมนิล ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ข้าวพันธุ์หอมมะลิแดง ข้าวท่าหรือข้าวเหนียวดำ ซึ่งข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์นี้ล้วนมีคุณลักษณะ และปริมาณสารสำคัญที่แตกต่างกันไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ข้าวกล้องจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์หอมมะลิ 105 พันธุ์หอมมะลิแดง พันธุ์หอมนิล และพันธุ์ข้าวเหนียวดำ

การผลิตข้าวกล้องงอก นำเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 5 สายพันธุ์ แช่ลงในน้ำสะอาดในอัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำสะอาดเท่ากับ 1:3 แช่นาน 24 ชั่วโมง และทำการเปลี่ยนน้ำเมื่อเริ่มมีกลิ่นหรือเริ่มเกิดฟอง ทำความสะอาดข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำโดยการกวเบาๆ เพื่อไม่ให้ส่วนที่เป็นจมูกข้าวหรือเอ็มบริโอหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง จากนั้นนำข้าวกล้องไปต้มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง โดยคลุมข้าวกล้องด้วยผ้าขาวบางสะอาดและพรมน้ำทุกๆ 4 ชั่วโมง นำข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ไปล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนและการสะสมของเชื้อรา นำไปนึ่งเป็นเวลา 15 นาที เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่น้ำ แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยการตากแดด 1-2 วัน จะได้ข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ

การศึกษ้อัตราการงอก คัดเลือกข้าวกล้องที่มีจมูกข้าวมา 100 เมล็ด มาผ่านกระบวนการงอก แล้วทำการนับดูเมล็ดที่มีการงอกสมบูรณ์ มีกีกเปอร์เซ็นต์ โดยอัตราการงอกต้องไม่น้อยกว่า 80 % (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555 และนนุช, 2555)

การวิเคราะห์ความชื้น

วิเคราะห์ความชื้นของข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สายพันธุ์ (AOAC, 2000) โดยนำข้าวกล้องงอกประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำออกมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำ จนได้น้ำหนักที่คงที่ แล้วคำนวณค่าความชื้น

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารสกัดหยาบจากข้าว (ดัดแปลงจาก Moongngarm, et al., 2010) โดยนำเมล็ดข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง (กลุ่มควบคุม) ทั้ง 5 สายพันธุ์ ทำการบดละเอียดแล้วนำไปแช่ในเอทานอล 80% ในอัตราส่วน 1:5 (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำมาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่อง Vacuum rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วนำสารสกัดหยาบที่ได้มาปรับให้มีความเข้มข้น 5% ด้วยเอทานอล 80% ทำการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยเทคนิค

DPPH assay (Butsat, et al., 2010) โดยโดยนำ 0.1 mM DPPH (1.9 mL) ในเอทานอล นำไปสแกนหาความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสง (λ_{max}) ที่ความยาวคลื่น 400-800 nm. ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำตัวอย่างสารสกัดนำสารสกัดหยาบจากข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง จำนวน 5 ตัวอย่าง ความเข้มข้น 5 $\mu\text{g/L}$ มาอย่างละ 1 ml ผสมกับสารละลาย DPPH 2 ml ในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) เปรียบสารละลายควบคุม (Control) โดยใส่เอทานอล 80% อย่างละ 1 ml ผสมกับสารละลาย DPPH 2 ml ในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาทีนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด

ผลการวิจัย

อัตราการงอกของข้าวกล้องทั้ง 5 สายพันธุ์คือ ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ โดยใช้ข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์จำนวน 100 เมล็ดมีอัตราการงอกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการงอกของข้าวกล้อง 5 สายพันธุ์

เวลาบ่ม (ชม.)	อัตราการงอก (%)				
	ข้าวกล้องงอก ปทุมธานี1	ข้าวกล้องงอก หอมมะลิ 105	ข้าวกล้องงอก หอมมะลิแดง	ข้าวกล้องงอก หอมนิล	ข้าวกล้องงอกข้าว เหนียวดำ
6	54	58	52	51	54
12	77	75	79	73	71
18	88	89	82	83	81
24	97	95	90	91	92
36	100	100	100	100	100

อัตราการงอกของข้าวกล้อง ทั้ง 5 สายพันธุ์คือ ข้าวกล้องงอกปทุมธานี1 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ โดยแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มที่ระยะเวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า อัตราการงอกของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ความงอกอยู่ในช่วง 81-100% ซึ่งมีอัตราการงอกไม่น้อยกว่า 80 % (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555 และนนุช วงศ์สินชอน, 2555) โดยข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ มีอัตราการงอก 100% ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 36 ชั่วโมง รองลงมาคือบ่มที่เวลา 24 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับบ่มที่ 6 และ 12 ชั่วโมง มีอัตราการงอกที่น้อยกว่า 80 % ค่าความชื้นของข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สายพันธุ์คือ ปทุมธานี 1 หอมมะลิ 105 หอมมะลิแดง หอมนิล ข้าวเหนียวดำ มีอัตราการงอกดังนี้ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความชื้นของข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์

เวลาบ่ม (ชม.)	ค่าความชื้น (%)				
	ข้าวกล้องงอก หอมมะลิแดง	ข้าวกล้องงอก หอมมะลิ 105	ข้าวกล้องงอก หอมมะลิแดง	ข้าวกล้องงอก หอมนิล	ข้าวกล้องงอก ข้าวเหนียวดำ
6	7.997	7.174	7.406	7.768	7.303
12	6.838	7.695	8.035	8.762	7.987
18	7.995	7.025	6.202	5.106	5.458
24	6.841	7.484	6.856	7.009	7.227
36	6.813	5.714	6.357	6.874	6.659

ค่าความชื้นของข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่เวลาการแช่ 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 0, 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ทุกระยะเวลาการบ่มมีค่าความชื้น (Moisture Content) อยู่ในช่วง 5.106 - 8.762% ซึ่งไม่เกิน 12 % โดยน้ำหนัก (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555)

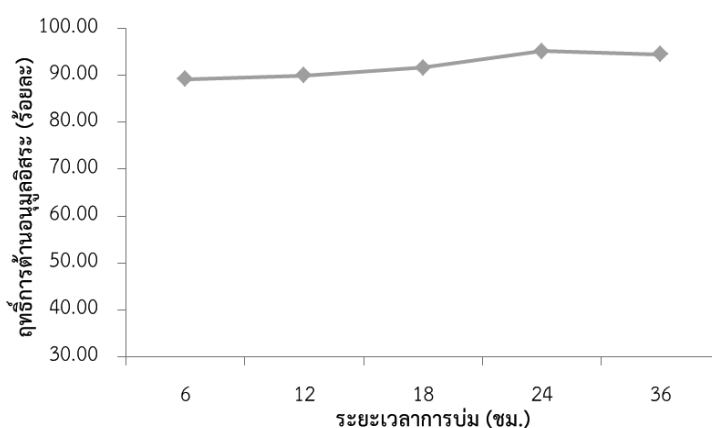
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity)

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สายพันธุ์คือ ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ โดยแช่ข้าวที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 5 ระยะคือ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลการวิจัยดังนี้

ระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสม

1. ปทุมธานี 1

แช่ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 5 ระยะคือ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลดังนี้

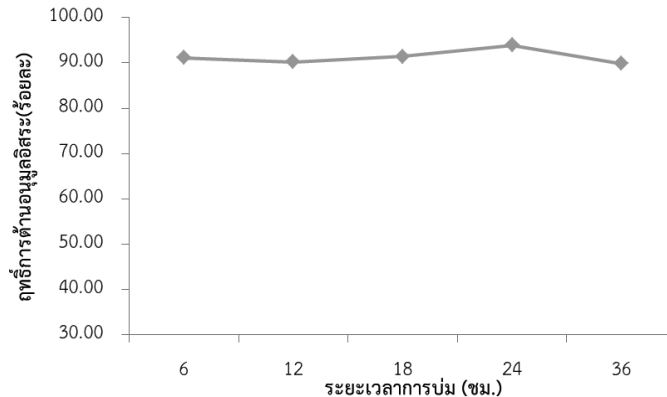


รูปที่ 1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 แช่ที่ 24 ชั่วโมง บ่มที่ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 แช่ที่ 24 บ่มที่ 24 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ 36, 18, 12 และ 6 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 95.19±0.37 94.46±0.55 91.69±1.83 89.94±1.34 และ 89.21± 1.68 ตามลำดับ

2. หอมมะลิ 105

แช่ขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

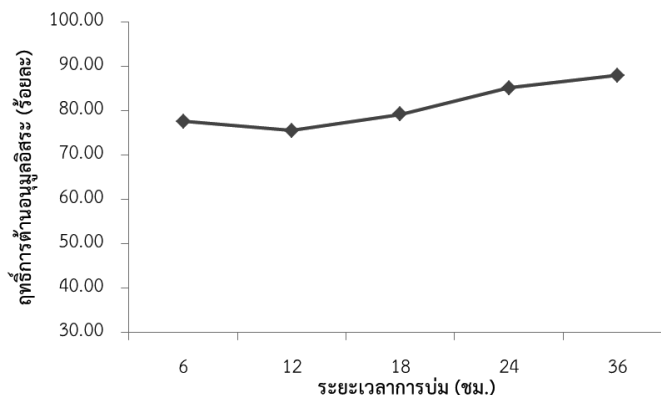


รูปที่ 2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่ 24 ชั่วโมง บ่มที่ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมงพบว่า ขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่ 24 บ่มที่ 24 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ 18, 6, 12 และ 36 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ ร้อยละ 93.88 ± 1.18 91.40 ± 1.32 91.11 ± 1.20 90.23 ± 0.51 และ 89.80 ± 0.39 ตามลำดับ

3. หอมมะลิแดง

แช่ขั้วกลีบดอกหอมมะลิแดงที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลดังนี้

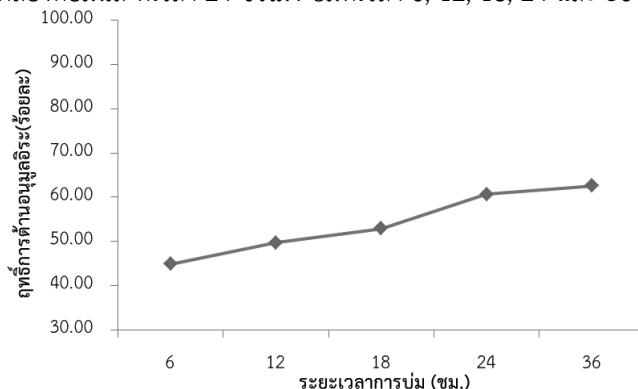


รูปที่ 3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกลีบดอกหอมมะลิแดง แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มเวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกลีบดอกหอมมะลิแดง แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ขั้วกลีบดอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ 24, 18, 6 และ 12 ชั่วโมงเท่ากับ ร้อยละ 87.90 ± 1.15 85.13 ± 1.46 79.15 ± 1.20 77.55 ± 1.76 และ 75.51 ± 1.31 ตามลำดับ

4. หอมนิล

แช่ขั้วกล้องหอมนิล ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลดังนี้

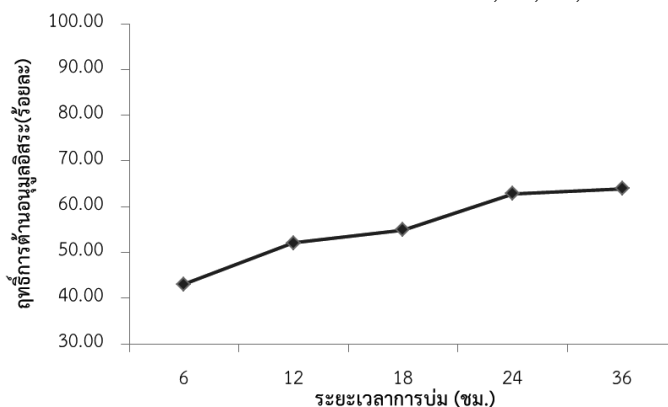


รูปที่ 4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกล้องอกหอมนิล แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกล้องอกหอมนิล แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ขั้วกล้องอกหอมนิล 105 แช่ที่เวลา 24 บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ 24, 18, 12 และ 6 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 62.54 ± 0.91 60.64 ± 1.65 52.92 ± 1.10 49.71 ± 0.72 และ 44.90 ± 0.95 ตามลำดับ

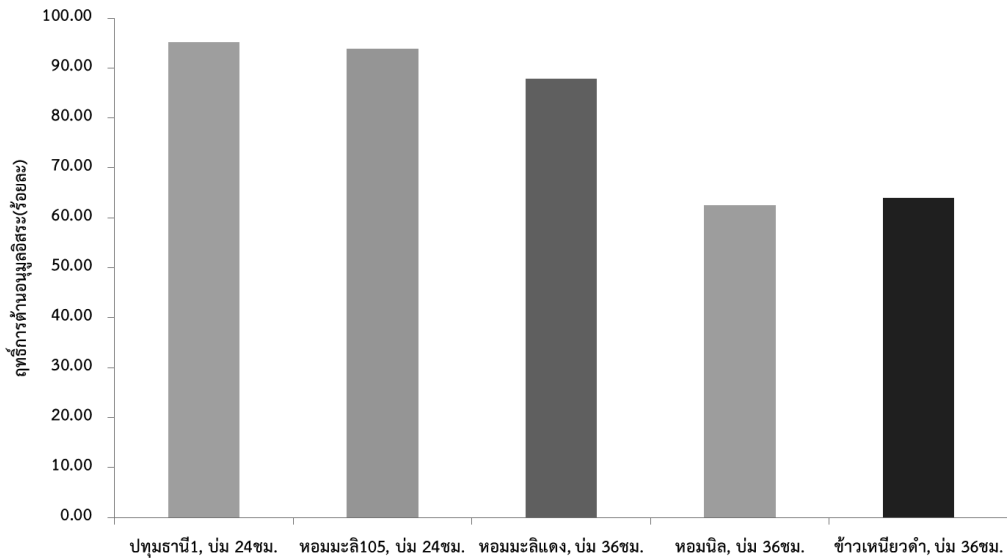
5. ขั้วเหนียวดำ

แช่ขั้วกล้องขั้วเหนียวดำ ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีผลดังนี้



รูปที่ 5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกล้องอกขั้วเหนียวดำ แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขั้วกล้องอกหอมนิล แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ขั้วกล้องอกหอมนิล 105 แช่ที่เวลา 24 บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ 24, 18, 12 และ 6 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 63.99 ± 0.62 62.83 ± 1.43 54.96 ± 0.41 52.04 ± 1.42 และ 43.00 ± 1.75 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ผลการงอกของข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ ที่สภาวะที่ดีที่สุด

ระยะการแช่และบ่มข้าวที่เหมาะสมคือ ข้าวกล้องพันธุ์ปทุมธานี 1 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง และข้าวกล้องงอกหอมนิล แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง ผลแสดงดังรูป 6 การงอกของข้าวกล้อง 5 สายพันธุ์ที่สภาวะที่ดีที่สุด โดยที่ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ปทุมธานี 1 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราการงอกสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง และข้าวกล้องงอกหอมนิล แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 95.19 ± 0.37 93.88 ± 1.18 87.90 ± 1.15 62.54 ± 0.91 63.99 ± 0.62 ตามลำดับ

อภิปรายผล

ข้าวกล้องงอก 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวกล้องงอกปทุมธานี 1 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกหอมนิล และข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ แช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มที่ระยะเวลา 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า อัตราการงอกของข้าวกล้องทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลากบ่ม 18 24 และ 36 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ความงอกอยู่ในช่วง 82-100% ซึ่งมีอัตราการงอกไม่น้อยกว่า 80 % (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555 และนนช, 2555) ถือว่าข้าวกล้องนำไปเพาะเป็นข้าวกล้องงอกได้ โดยที่ทุกระยะเวลากบ่มมีค่าความชื้น อยู่ในช่วง 5.106-8.762% ไม่เกิน 12 % โดยน้ำหนัก (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2555) ถ้าค่าความชื้นเกิน 12% ซึ่งเป็นค่าความชื้นของข้าวกล้องงอกอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา

ผลการงอกของข้าวกล้องงอกพันธุ์ปทุมธานี 1 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราการงอกสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง แช่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอก

ข้าวเหนียวดำ แซ่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง และข้าวกล้องงอกหอมนิล แซ่ที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่เวลา 36 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 95.19+0.37 93.88+1.18 87.90+1.15 62.54+0.91 63.99+0.62 ตามลำดับ ข้าวกล้องงอกข้าวปทุมธานี 1 และข้าวกล้องงอกข้าวหอมมะลิ 105 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า ข้าวกล้องงอกข้าวหอมมะลิแดง ข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ และข้าวกล้องงอกข้าวหอมนิล ซึ่งข้าวขาวจะมี ปริมาณกาบาสูงที่สุดที่การบ่ม 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกมีปริมาณกาบาสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ เมล็ดระหว่างการงอก (พัชรี, 2553) โดยข้าวกล้องที่ผ่านการงอกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวกล้อง (ภคินี และคนอื่นๆ, 2556) การเพิ่มขึ้นของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกอาจเนื่องจากการเพิ่มขึ้น ของปริมาณกาบาและสารฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง (วรมพร และคนอื่นๆ, 2555) ซึ่งปริมาณกาบาเกิดจากเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซีเลส (glutamate decarboxylase) ที่ถูกสร้างขึ้นจาก กระบวนการทางชีวเคมีในระหว่างการงอก ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกลูตาเมตกับไฮโดรเจนไอออน ซึ่งจะเปลี่ยนจากกรดแกลลลูตามิก (L-glutamic Acid) เป็นสารกาบา (CODA project, 2010) และพันธุ์ข้าวที่ แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณสารกาบา (Karladee, et al., 2012)

เอกสารอ้างอิง

- นงนุช วงศ์สินชวน (2555). การเพาะข้าวกล้องงอก. *มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 33(2), 57-62.
- ประสงค์ เทียนบุญ. (2553). บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ. *คลินิกอาหารและโภชนาการ*, 4(2), 69-76.
- ปวีณา รัตนเสนา และประภัสสร บุขหมั่น. (2555). กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอกของข้าวไทยบางสายพันธุ์. ในการประชุมวิชาการ **ข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2**. (หน้า 623-627). มหาสารคาม : ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- พชร ปัญญาภาค และคนอื่นๆ (2553). ความสัมพันธ์ของลักษณะเมล็ดและการงอกกับปริมาณสาร Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) ในข้าว 14 พันธุ์. *วารสารพฤกษศาสตร์ไทย*, 2(พิเศษ), 97-113.
- ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคนอื่นๆ (2556). ความสัมพันธ์ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณ Tocopherol และ gamma aminobutyric acid (GABA) ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก. ในการประชุม **วิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาวครั้งที่ 30**. (หน้า 264-277). กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.
- มาตรฐานสินค้าเกษตรอาหารแห่งชาติ, สำนักงาน. (2555). **ข้าวกล้องงอก**. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วัชรพร วงศ์สุติน และคนอื่นๆ (2555, พฤษภาคม-ธันวาคม). การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(2), 553-556.
- AOAC. (2000). **Official methods of analysis**. (17 th ed). Washington, D.C., Association of official analytical chemists.
- Coda, R, Rizzello, CG & Gobetti, M. (2010, February). Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of **γ**-aminobutyric acid (GABA). *Int. J. Food Microbiol*, 137, 236-245.
- Huang J, Mei L-h, Wu H, Lin D-q. (2007). Biosynthesis of **γ**-aminobutyric acid (GABA) using immobilized whole cells of *Lactobacillus brevis*. *World J Microbiol Biotechnol*, 23, 865-871.
- Karladee D, Suriyong S. (2012, March). **γ**-Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. *Science Asia*, 38(1), 13-17.
- Komatsuzaki, N., et al. (2007, January). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Food Engineering*, 78(2), 556-560
- Matsumoto, D., et al. (2009, June). Effects of gamma-aminobutyric acid administration on health and growth rate of group-housed Japanese black calves fed using an automatic controlled milk feeder. *J Vet Med Sci*, 71(5), 651-656.

- Matsuo, A., et al. (2010, April). Hydrolysis of phytate in brown rice-added bread by addition of crude and purified aspergillus niger phytase preparations during bread making. **Functional Foods**, 4(2), 513-519.
- Moongngarm, A. & Saetung, N. (2010, October). Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated, rough rice and brown rice. **Food Chemistry**, 122(3), 782-788.
- Oh, C.H. & Oh, S.H. (2004, April). Effect of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. **J. Medicinal Food**, 7(1), 19-23.
- Shen, Y., et al. (2009, January). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **J. Cereal Sci**, 49(1), 106-111.
- Shoichi, I. (2004, February). Marketing of Value-Added Rice Production in Japan : Germinated Brown Rice and Rice Bread, In Rice in Global Markets. **UN Food in Global Markets**, 4(7), 1-10.
- Su, Y-C, et al. (2003, January). Production of the secondary metabolites gamma-aminobutyric acid and monacolin K by Monascus. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol**, 30(1), 41-46.
- Usuki, S., et al. (2011, November). Effect of pre-germinated brown rice intake on diabetic neuropathy in streptozotocin-induced diabetic rats. **PLoS ONE**, 6(4), e28693.
- Vichapong, J., et al. (2010, November). High performance liquid chromatographic analysis of phenolic compounds and their antioxidant activities in rice varieties. **Food Sci. Technol**, 43(9), 1325-1330.
- Zhang, H., Yao, H.Y. & Chen, F. (2007). Genotype and environmental effects on the relationship between alpha-amylase activity and seedling growth in rice. **Bioscience Biotechnology Biochemistry**, 5(70), 1160-1165.



การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำบาดาล กรณีศึกษาตำบลนครชุม อำเภอเมือง
จังหวัดกำแพงเพชร

Studies of Groundwater Quality in Nakhonchum District, Kamphaeng Phet
Province

ศุภกร ชนะภัย*

Supakorn Chanapai

วิไลลักษณ์ สวนมะลิ**

Wilailak Suanmali

ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์***

Khwanruthai Thongboonrith

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีบางประการของน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ตามมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 และมาตรฐานน้ำแร่ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2534 ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำบาดาลในตำบลนครชุมเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 และมาตรฐานน้ำแร่ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2534 โดยพารามิเตอร์ตรวจวัด คือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมด การนำไฟฟ้า ปริมาณแอมโมเนีย และปริมาณเหล็ก มีคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ ยกเว้นปริมาณเหล็ก มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานน้ำบาดาล ตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 และมาตรฐานน้ำแร่ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2534

คำสำคัญ : คุณภาพน้ำ / บาดาล / ตำบลนครชุม

*บริษัท โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (ผู้จัดการสาขากำแพงเพชร)

**อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

***อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ABSTRACT

This research aims to study the physical composition and some chemicals substance of groundwater in Nakhonchum district, Kamphaeng Phet Province. According to the groundwater Regulations of B.E.2535 and Mineral Resources Department under the Ministry of Health, 1991, the results showed that the quality of groundwater in Nakhonchum against groundwater standards which announced by the Department of Mineral Resources 2535 and mineral water standard announced by the Ministry of Health, b.e. 2534. The Parameters measured were temperature ($^{\circ}\text{C}$), acidity - alkalinity (pH), total solids, conductivity, the amount of manganese and Iron founded in water. The study found that all parameters except the amount of iron the value, are precisely followed the standard bar of governance which announce by the Department of Mineral Resources B.E. 2535 and Food Regulations of the Ministry of Health, B.E.2534.

Keywords : Water Quality / Groundwater / Nakhonchum District

บทนำ

ทรัพยากรน้ำจัดเป็นทรัพยากรที่สำคัญเป็นลำดับแรกๆ ในการใช้ดำรงชีวิตของทั้งพืชและสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคของมนุษย์มาจากหลายๆ แหล่ง เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน น้ำบาดาลซึ่ง ปัจจุบันเริ่มมีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคและการเกษตรซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับประชาชน แต่ยังคงขาดการบริหารจัดการน้ำบาดาลที่ดี และขาดการศึกษาแบบการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการเกษตรที่เหมาะสมกับพื้นที่จึงทำให้เกิดผลเสียต่อทรัพยากรน้ำบาดาล

การพัฒนาน้ำบาดาลจะต้องศึกษาถึงคุณภาพของน้ำบาดาล คุณภาพของน้ำบาดาลโดยทั่วไป น้ำบาดาลเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสารแขวนลอย สารอินทรีย์เคมี และเชื้อโรคต่างๆ ไม่มีกลิ่นที่ฉุนเหม็น แต่ขณะที่ไหลผ่านไปตามชั้นดิน/ชั้นหิน อาจจะละลายเอาแร่ธาตุเข้ามาปะปน รวมทั้งถูกปนเปื้อนด้วยน้ำที่มีคุณภาพด้อยกว่า ทำให้คุณภาพของน้ำบาดาลเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำบาดาลจะส่งผล ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น การปนเปื้อนของแมงกานีสในน้ำบาดาล แมงกานีสมีอยู่ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน ละลายอยู่ในน้ำในรูปของแมงกานีสไบคาร์บอเนต แมงกานีสซัลเฟต สำหรับน้ำถ้ามีแมงกานีสสูงกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร อาจทำให้เสื้อผ้ามีรอยเปื้อนและถ้าสูงกว่า 0.18 มก./ล. รับประทานเข้าไปอาจจะเริ่มด้วยอาการเป็นไข้ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีเรี่ยวแรง เบื่ออาหาร การปนเปื้อนของเหล็กในน้ำบาดาล เหล็กเป็นสารที่ก่อให้เกิดปัญหา เช่น ทำให้น้ำมีสีและกลิ่น ทำให้เกิด คราบสนิมเหล็กขึ้นกับเครื่องสุขภัณฑ์หรือทำให้ผ้าเปื้อนนอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย (Iron bacteria) ทำให้น้ำเป็นสีที่ฉุนเหม็น (ผุสตี, 2554) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำนั้นเหมาะสำหรับการอุปโภค บริโภค เกษตรกรรมและอุตสาหกรรมมากน้อยเพียงใด ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลที่แหล่งน้ำเกิดการปนเปื้อนมลสารขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ที่อยู่บริเวณรอบๆ แหล่งน้ำนั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีบางประการของน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พารามิเตอร์ของน้ำบาดาลที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณของแข็งทั้งหมด

แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลในเขตตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ดำเนินการสำรวจพื้นที่และกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง จำนวน 12 จุดเก็บตัวอย่าง ดังภาพ 1



ภาพที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล (Google earth วันที่ 16 มีนาคม 2558)

2. ลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในภาคสนาม ทั้ง 12 จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้ถังน้ำขนาด 5 ลิตร และวัดอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมด การนำไฟฟ้า ณ จุดเก็บตัวอย่าง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

3. นำตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บ ไปวิเคราะห์ปริมาณปริมาณแมงกานีส และปริมาณเหล็ก ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำบาดาล นำไปวิเคราะห์ โดยใช้เครื่อง AAS แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานสำหรับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำบาดาล (รัฐภาพร และกมลชนก, 2555; ฅนัทร, 2545; ฅนากร, 2547)

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาทางกายภาพ เคมีบางประการของ น้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร

ดัชนี คุณภาพน้ำ	หน่วย	คุณภาพน้ำจำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างตำบลนครชุม												มาตรฐาน คุณภาพน้ำ
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
อุณหภูมิ	°C	27.5	29.0	27.9	28.4	28.2	27.8	28.3	28.0	27.9	28.7	27.6	28.0	๕
ความเป็นกรดต่าง	-	7.60	8.00	8.10	8.00	8.20	7.90	7.90	8.00	7.50	8.00	8.00	7.90	7.0-8.5
ค่าการนำไฟฟ้า	μs/cm	808.1	866.2	584.0	532.2	632.0	638.9	950.8	656.6	851.0	696.4	1011.4	765.2	-
ของแข็งละลายน้ำ	mg/L	426.7	457.3	308.3	281.0	333.7	337.3	502.0	346.7	449.3	367.7	534.0	404.0	ไม่เกิน 600
แมงกานีส (Mn)	mg/L	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	ไม่เกิน 0.5
เหล็ก (Fe)	mg/L	1.00	2.20	1.60	2.00	2.10	2.30	2.70	2.60	2.90	3.20	3.20	3.20	ไม่เกิน 1.0

จากตารางที่ 1 การศึกษาสมบัติบางประการของน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร โดยเก็บตัวอย่าง 12 หมู่บ้าน และทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ผลการศึกษาดังนี้

อุณหภูมิของน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า ค่าสูงสุดอยู่ที่หมู่ที่ 2 บ้านห้วยยาง มีค่า 29.0 องศาเซลเซียส และส่วนเบี่ยงเบน 0.27 ค่าต่ำสุดอยู่ที่หมู่ที่ 1 บ้านวังยาง มีค่า 27.5 องศาเซลเซียส และส่วนเบี่ยงเบน 0.18 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพบว่าอุณหภูมิเป็นไปตามธรรมชาติ โดยในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี จากหลักทฤษฎีจลน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มขึ้น เมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่เร็วขึ้นโอกาสการชนกันมากขึ้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำบาดาล ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาล พบว่า อยู่ในช่วง 6.9-9.2 ซึ่งความเป็นกรด-ด่าง เป็นไปตามมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 คือในช่วงของ ความเป็นกรด-ด่าง เป็นคุณภาพทางเคมีที่สำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีและความสมดุลทางเคมีต่างๆ ในน้ำบาดาล ความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะทำให้ปริมาณสารบางชนิดในน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล พบว่า ค่าสูงสุดอยู่ที่หมู่ที่ 11 บ้านหวังใหม่ มีค่า 1011.4 และส่วนเบี่ยงเบน 78.99 ค่าต่ำสุดอยู่ที่หมู่ที่ 4 บ้านปากคลองกลาง มีค่า 532.2 และส่วนเบี่ยงเบน 65.48 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพบว่าค่าการนำไฟฟ้า ของน้ำสามารถประมาณการจำนวนของของแข็งละลายทั้งหมด TDS มีหน่วยวัดเป็น ppm (ส่วนในล้านส่วน) หรือ mg/L สภาพนำไฟฟ้าเป็นคุณลักษณะหรือดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยจะบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำอุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารที่มีประจุแต่ละชนิดซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วยปริมาณของแข็งทั้งหมด ของน้ำบาดาล พบว่า ค่าสูงสุดอยู่ที่หมู่ที่ 11 บ้านหวังใหม่ มีค่า 534.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 41.72 ค่าต่ำสุดอยู่ที่หมู่ที่ 4 บ้านปากคลองกลาง มีค่า 281.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 34.55 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 คืออยู่ในช่วง 750-1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดบ่งบอกถึงการที่น้ำมามีสิ่งเจือปนอยู่มากกว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เช่นมีโลหะปนเปื้อนมาก จะมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงไปด้วย และยังบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุที่

เป็นพืชแปลกปลอมในน้ำปริมาณแมงกานีส พบว่า ค่าสูงสุดพบที่หมู่ 6, 7 และ 8 บ้านสว่างอารมณ์,บ้านทุ่งสวน และบ้านคลองแม่ลายเหนือ มีค่า 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 0.003 ค่าต่ำสุดอยู่ที่หมู่ที่ 1 และ 4 บ้านวังยางและบ้านปากคลองกลาง มีค่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 0.003 ผลการศึกษาคุณภาพ น้ำบาดาล พบว่า ปริมาณแมงกานีส เป็นไปตามมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 คือ อยู่ในช่วง 0.3-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแมงกานีส จำเป็นต่อร่างกาย แต่ใช้น้อยมาก ช่วยรักษา pH ในเลือดที่เหมาะสม ทำให้เซลล์ใช้เหล็กได้เต็มที่ เป็นตัวแคตาลิสเอ็นไซม์ในร่างกายย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต หากทำงานร่วมกับเซลล์เนียม จะช่วยป้องกันพิษจาก กรดไขมันและคลอโรสเตอร์รอล ตลอดจนสร้างภูมิคุ้มกันต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้กระดูกแข็งแรง บำรุงสมอง และเส้นประสาทแต่ถ้าได้รับมากเกินไป ก็จะเป็นพิษต่อร่างกาย และอาจเป็นพิษต่อตับ และเป็นโรคพาคินสันได้ (จำลอง และคนอื่นๆ, 2554)

ปริมาณเหล็ก พบว่า ค่าสูงสุดพบที่หมู่ 10,11 และ 12 บ้านโนนม่วง,บ้านห้วยใหม่และบ้านเนินสำราญ มีค่า 3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 0.23 ค่าต่ำสุดอยู่ที่หมู่ที่ 1 บ้านวังยาง มีค่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบน 0.43 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพบว่าปริมาณเหล็กไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำบาดาลตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 คือ อยู่ในช่วง 0.5-1 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากสภาพชั้นหินของจังหวัดกำแพงเพชรมีส่วนประกอบของหินที่เรียกว่า หินศิลาแลง เมื่อน้ำบาดาลไหลผ่านชั้นหินนี้ จะทำให้น้ำบาดาลมีการปนเปื้อนของเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของชั้นหินนี้ เหล็กเกิดจากสารประกอบของเหล็กในดิน มีกลืนเฉพาะตัวและมีรสที่ไม่พึงประสงค์ เหล็กที่อยู่ในรูปของ Ferric ละลายน้ำได้น้อยมาก หรือไม่ละลายน้ำ แต่ถ้าอยู่ในรูปของ Ferrous ก็ จะละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นรูปของเหล็กจึงอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เหล็กในแหล่งน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสไบคาร์บอเนต $Fe(HCO_3)_2$ ซึ่งละลายน้ำ แต่เมื่อนำขึ้นมาจากใต้ดินทิ้งไว้ก็จะขุ่นและตกตะกอนกลายเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ มีสีเหลืองแดง ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ สภาพน้ำบาดาลในธรรมชาติมักจะมีเหล็กในปริมาณสูง เหล็กเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ต่างๆทั่วร่างกาย ธาตุเหล็ก จึงมีความสำคัญต่อไขกระดูกในการสร้างเม็ดเลือดแดง" เป็นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อขาดธาตุเหล็ก จะเป็นสาเหตุหลักให้เกิดภาวะซีดหรือภาวะโลหิตจาง หรือ Anemia (โลหิตจางจากขาดธาตุเหล็ก) แต่หากได้รับเหล็กในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ก่อโรคต่างๆ เช่น ตับแข็ง เบาหวาน ฮอริโมนต่ำ ตัวเล็กแกร็น การเจริญทางเพศล่าช้า หัวใจวาย และอาจติดเชื้อได้ง่ายนอกจากนี้ ธาตุเหล็กยังมีช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน ช่วยการเจริญเติบโตของเซลล์สมองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจและความจำ (Cognitive development) ช่วยการทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆ ในการนำพลังงานต่างๆ ไปใช้ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ทั้ง 12 จุด 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ($^{\circ}C$) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งทั้งหมด การนำไฟฟ้า ปริมาณแมงกานีส และปริมาณเหล็ก เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลตาม ประกาศของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 และมาตรฐานน้ำแร่ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2534 พบว่า คุณภาพน้ำบาดาล ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ ปริมาณของเหล็กในน้ำไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการศึกษาพบปริมาณเหล็ก อยู่ในช่วง 1.0-3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองขาว (2535) คุณภาพน้ำบาดาลในอำเภอหาดใหญ่ รายงานว่าน้ำบาดาลมีธาตุเหล็กละลายอยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งเกินมาตรฐานของกรมทรัพยากรธรณีเรื่อง มาตรฐานน้ำบาดาล หากมีการนำ

น้ำบาดาลที่มีปริมาณของเหล็กเกินมาตรฐานมาปลูก ข้าว จะทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของข้าว การแตกกอลดลง ต้นแคระแกร็น รากมีปริมาณน้อย ดังนั้น ก่อนการนำน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล โดยสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ เพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำบาดาล โดยการที่กักปล่อยน้ำบาดาลให้น้ำบาดาลสัมผัสกับอากาศ การเติมต่าง ทับทิม คลอรีน หรือปูนขาว การใช้แบคทีเรียประเภทกินเหล็ก เช่น Iron Bacteria หรือการกรองด้วยตัวดูดซับต่างๆ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

เอกสารอ้างอิง

- ควบคุมมลพิษ, กรม. (2547). **คู่มือการตรวจสอบการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอย**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- จำลอง ปินดาวงค์ และคนอื่นๆ (2554). **แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรแร่แมงกานีส**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี.
- ณภัทร น้อยน้ำใส. (2545). **การสอนวิชาการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 1**. นครราชสีมา : โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล กองวิเคราะห์น้ำบาดาล, กรม. (2551). **รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการสำรวจและตรวจสอบคุณภาพน้ำของ ระบบประปาบาดาลทั่วประเทศ ปี 2551 จังหวัดนครราชสีมา**. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรม. (2555). **รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล**. กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล, กรม. (2555). [Online]. Available : http://www.dgr.go.th/project_kpn/file/2553/pdf5303.1.pdf. [2559, เมษายน 27].
- ทรัพยากรธรณี, กรม. (2555). [Online]. Available : <http://www.dmr.go.th>. [2555, มกราคม 20].
- ทองขาว ทองใหญ่ (2535). **คุณภาพน้ำบาดาลในอำเภอหาดใหญ่**. [Online]. Available : <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=57589>. [2555, มกราคม 20].
- ธนากร เปลื้องกลาง. (2547). **ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์**. นครราชสีมา : โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมณชนก วงศ์สุขสิน. (2555). **การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภค ในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี. โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13**. (หน้า 341-348). ขอนแก่น : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.



การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ โดยกระบวนการผลิตไวน์และ
น้ำส้มสายชูจากกล้วยไข่สุกอบแห้งพร้อมกัน

Two-chamber Microbial Fuel Cell by Simultaneous Banana Wine and Vinegar
Production

นิพัทธพร สถาพร*

Nipatcharaporn Sapapporn

อภิสร อุดีปิน**

Apisara Udpin

บทคัดย่อ

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ในอนาคตจากกระบวนการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ในจากกระบวนการผลิตไวน์และการผลิตน้ำส้มสายชูจากกล้วยไข่สุกอบแห้งพร้อมกัน ซึ่งศึกษารูปแบบการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่โดยใช้กระบวนการหมักแบบกึ่งกะ (fed-batch fermentation) ในระหว่างการหมักจะมีการเติมอาหารใหม่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทุกวันเป็นเวลา 9 วัน จากนั้นทำการหมักต่อจนครบ 7 วันและศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักทั้งสองถึงพร้อมกันจากผลของน้ำตาลซูโครสและกลูโคสที่เติมลงในกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู พบว่าการหมักไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้งและการผลิตน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) สามารถให้ผลผลิตแอลกอฮอล์, น้ำส้มสายชู, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 9.1 (%v/v) 1.02 (%v/v) 1.1 V และ 700 μ A ตามลำดับ ดังนั้นการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่สามารถเป็นรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากการใช้วัสดุทางชีวภาพต้นทุนต่ำให้เกิดประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักได้แก่ เอทานอล กรดอะซิติก และไฟฟ้ายังมีมูลค่าทางเศรษฐกิจอีกด้วย อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ยังต้องการการปรับปรุงและพัฒนาสะพานเกลือเพื่อให้ทั้งสองกระบวนการได้มีการส่งผ่านโปรตอนระหว่างกันได้มากที่สุดหรือลดแรงต้านทานในระบบลงเพื่อให้ได้ค่าไฟฟ้ามากขึ้น

คำสำคัญ : เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ / ไวน์กล้วยไข่ / น้ำส้มสายชู

*อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

**นักศึกษาโปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ABSTRACT

Electricity was produced from Two-chamber microbial fuel cell. The application of Two-chamber microbial fuel cell technology, which can be an future alternative energy from the metabolism of microorganisms in simultaneous of wine and vinegar production from dried ripe bananas. During the fermentation process, 1 liter of new food was refilled everyday for 9 days. Then the refilling process was stopped and the fermentation was continued for 16 days and investigated fermentation reactions that occur in both processes by adding sucrose and glucose effect in vinegar process. A study of the Two - chamber microbial fuel cell revealed that microbial fuel cell power generation process which added glucose of 5 % (w / v) concentration provided the alcohol, vinegar, voltage and electrical current equal to 9.1 (%v./v), 1.02 (% v/v), 1.1 V and 700 μ A respectively. Therefore, Two-chamber microbial fuel cell by simultaneous banana wine and vinegar production could produce electricity by the use of biomass and low cost materials. The by-products from the fermentation process including ethanol, acetic acid and electricity has economic value as well, however, Two - chamber microbial fuel cell still needs to improve and develop the salt bridge.

Keywords : Microbial Fuel Cell : MFC / Banana Wine / Vinegar

บทนำ

ปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวนมากและพลังงานมีบทบาทสำคัญในโลกสมัยใหม่สิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหลายที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาล้วนต้องการพลังงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และน้ำมัน (ชนิษฐา, 2554) ทำให้พลังงานมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงมีความต้องการพลังงานใหม่มาทดแทนพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial Fuel Cell : MFC) เป็นพลังงานอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ จุลินทรีย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ที่สภาวะใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์และเซลล์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มีหลายชนิด หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีในสารอินทรีย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์จะเริ่มจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโมเลกุลของสารอาหารหรือกระบวนการเมตาบอลิซึม (ศุภนิมิต, 2555) กระบวนการเมตาบอลิซึมอาหารของเซลล์จุลินทรีย์มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอน (e^-) และโปรตอน (H^+) ออกมา อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากภายในเซลล์จุลินทรีย์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังขั้วแอโนด (ทวีทย์, 2551) โดยขั้นตอนสุดท้ายอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกส่งต่อไปกับตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายต่อไป เช่น ออกซิเจนรับอิเล็กตรอนแล้วรวมกับโปรตอนกลายเป็นน้ำ (ศุภนิมิต, 2555) เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (Two-chamber microbial fuel cell) และเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว (Single-chamber microbial fuel cell) (ชนิษฐา, 2554)

จากงานวิจัยการผลิตกรดอะซิติกและไฟฟ้าร่วมกัน โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เพื่อผลิตน้ำส้มสายชู (Takanori, et al., 2013) ทำการศึกษาการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว โดยการหมักกรดอะซิติกที่ขั้วแอโนดในสภาวะไร้อากาศ ทำการเติมอาหารหมักประกอบด้วย 1% (w/v) peptone, 1% (w/v) meat extract และ 0.5% (v/v) ethanol เชื่อมต่อกับขั้วแคโทดในสภาวะเติม

อากาศซึ่งกันทั้งสองข้างด้วยเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยให้เฉพาะโปรตอนผ่านได้เท่านั้น สามารถผลิตไฟได้สูงสุดเท่ากับ 0.521 V จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างรูปแบบการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่โดยรวมกระบวนการผลิตโวนและผลิตน้ำส้มสายชูจากกล้วยไข่สุกอบแห้ง ซึ่งกระบวนการผลิตโวนจะดำเนินการภายใต้สภาวะไร้อากาศเหนียวน้ำให้เป็นขี้แอมโนดและการผลิตน้ำส้มสายชูดำเนินการภายใต้สภาวะที่เติมอากาศเหนียวน้ำให้เป็นขี้แอมโนด เชื่อมทั้ง 2 กระบวนการด้วยสะพานเกลือและใช้รูปแบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์โดยการเติมอาหารโวนลงในกระบวนการเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

กล้วยไข่ (Pisang Mas) เป็นผลไม้ตระกูลกล้วย สามารถปลูกได้ทุกภาคของไทยโดยเฉพาะจังหวัดกำแพงเพชร กล้วยไข่เป็นผลไม้ประจำจังหวัด ซึ่งทางจังหวัดได้ให้ความสำคัญกับพืชเศรษฐกิจชนิดนี้อย่างมาก เห็นได้จากการจัดงานประเพณีสารทไทยกล้วยไข่เมืองกำแพงขึ้นทุกปี นอกจากนี้กล้วยไข่ยังเป็นพืชสำคัญที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศได้มากมาย เนื่องจากมีรสชาติดี อร่อย หอม กล้วยไข่ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่มาก (ธนพร, 2552) กล้วยไข่สามารถนำมาแปรรูปให้เป็นกล้วยไข่อบแห้งและนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โวนกล้วยไข่ที่ให้มีปริมาณแอลกอฮอล์ได้สูง (วิญญาดา และคนอื่นๆ, 2556; นิภัชราพร และน้ำฝน, 2557) และสามารถนำโวนกล้วยไข่มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตน้ำส้มสายชู ซึ่งเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่ง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์จุลินทรีย์โดยออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (Two-chamber microbial fuel cell) ห้องแอมโนดทำงานในสภาวะที่ไร้อากาศหรือสภาวะที่ใช้ในการหมักโวน ซึ่งการหมักโวนจะเกิดกระบวนการย่อยสลายน้ำตาลเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อสร้างเป็นพลังงานจะได้อิเล็กตรอนไปยังขั้วอิเล็กโทด การย่อยสลายอาหารของเชื้อจุลินทรีย์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กันยรัตน์, 2554) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โปรตรอน (H^+) อิเล็กตรอน (e^-) และเอทานอล ซึ่งในกระบวนการออกซิเดชันของเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถผลิตประจุไฟฟ้าได้ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ขั้วไฟฟ้าแอมโนดไปยังห้องแคโทดและเชื่อม 2 ระบบนี้ด้วยสะพานเกลือ (salt bridge) ที่ยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านไปยังห้องแคโทดที่ทำงานในสภาวะที่เติมอากาศมีปฏิกิริยาการหมักน้ำส้มสายชูด้วยแบคทีเรีย W4 (สุภาพร, 2556) น้ำส้มสายชูสามารถทำหน้าที่เป็นสารแคโทดไลต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ในห้องแอมโนดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งเป็นการเพิ่มโปรตรอน (H^+) ให้กับสารละลาย ส่วนห้องแคโทดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการให้โปรตรอนกับสารละลาย อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอมโนดไปตามวงจรไฟฟ้าด้านนอกไปยังขั้วแคโทดเพื่อรวมตัวกับโปรตรอนและตัวรับอิเล็กตรอน เช่น ออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์คือน้ำและกระแสไฟฟ้า (ขนิษฐา, 2554) งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่เพื่อประเมินศักยภาพและวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้ารูปแบบใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมถังหมัก

เตรียมถังขนาด 6 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยถังที่ 1 ใช้ในการหมักโวน เเจาะรูฝาถังหมักจำนวน 3 รู สายยางแรกสำหรับปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกแชลงในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 สายยางที่สองสำหรับดูดเก็บตัวอย่างและเติมอาหาร (สายต้องยาวถึงก้นถัง) สายที่สามเป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีเพื่อเหนียวน้ำให้เป็นขี้แอมโนด ส่วนถังที่ 2 ใช้ในการหมักน้ำส้มสายชู เเจาะรูฝาถังหมักจำนวน 3 รู เพื่อใส่สายยางและสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นทองแดง สายแรกคือสายสำหรับเติมอากาศจะช่วยให้มีการผลิตกรดได้เร็วขึ้น สายสองสำหรับดูดเก็บตัวอย่างและเติมอาหาร (สายต้องยาวถึงก้นถัง) สายที่สามเป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นทองแดงเพื่อเหนียวน้ำให้เป็นขี้แอมโนด ทำการอัดกาวบริเวณรูใส่สายยางและสายไฟให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศและเชื้อ

ภายนอกถึงเข้าสู่ภายในถึง ล้างถังหมักและสายยาง 2 สาย ด้วยโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร เพื่อลดการปนเปื้อนและทำให้ถังหมักอยู่ในสภาพปลอดเชื้อ เชื่อมต่อทั้งสองถังด้วยสะพานเกลือ โดยการต้มเกลือจนอิ่มตัวแล้วเติมน้ำลงไป รอจนน้ำแข็งตัวจึงนำไปเชื่อมกับทั้งสองถัง โดยการเจาะรูที่ฝาถังให้พอดีกับขนาดของสะพานไฟปิดรูด้วยการอัดกาวให้สนิท เพื่อรักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าทำให้ไฟฟ้าครบวงจร

2. การหมักไวน์ (ถึงที่ 1)

2.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ (YM Agar)

ชั่ง Glucose, Peptone, Yeast Extract, Malt Extract และ Agar เท่ากับ 10, 5, 3, 3 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.2 การเลี้ยงยีสต์บริสุทธิ์

เตรียมน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เทยีสต์ผงลงไปปริมาณ 0.5 กรัม เขย่าให้ยีสต์ฟื้นตัว ตั้งทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมง ทำการเขี่ยเชื้อยีสต์ ด้วยเทคนิคการแยกเชื้อบริสุทธิ์ (Cross streak) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ YM agar บนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บโคโลนีเดี่ยวๆ ของยีสต์ ด้วยเทคนิคการเพิ่มปริมาณเชื้อ (Simple Streak) ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM agar

2.3 การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง

2.3.1 การเตรียมน้ำกล้วยไข่สุกอบแห้ง

เตรียมน้ำกล้วยไข่สุกอบแห้งความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (%w/v) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร นำน้ำกล้วยไข่มาปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการหมักไวน์ โดยการปรับปริมาตรของแข็งที่ละลายด้วยน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ โดยใช้ Hand refractometer เติมน้ำโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร เพื่อฆ่าเชื้อในน้ำกล้วยไข่สุกอบแห้ง ปิดระบบอากาศทั้ง 2 สาย ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง

2.3.2 การเตรียมหัวเชื้อสำหรับหมักไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้ง

ปิเปิดน้ำกล้วยไข่จากถังหมักใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปลอดเชื้อปริมาตรร้อยละ 5 โดยปริมาตร (%v/v) ถ่ายเชื้อยีสต์สดที่ได้ทำการเพิ่มจำนวนไว้ (ขั้นตอนที่ 2.2) ปริมาณ 1 หลวงเชื้อเชื้อ ลงในขวดรูปชมพู่ ตั้งทิ้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.3.3 การหมักไวน์กล้วยไข่แบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation)

นำหัวเชื้อที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.3.2 เทลงในถังหมัก ปิดระบบอากาศโดยสายที่เปิดคือสายที่ต่อลงในขวดเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 ทำการเก็บตัวอย่างชั่วโมงที่ 0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการเติมอาหารใหม่ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (ขั้นตอนที่ 2.3.1 เติมน้ำโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร ลงในอาหารทุกครั้งแล้วทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง) ลงในถังที่ 1 ทุกวัน จนครบปริมาตรสุดท้าย 5 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันจนสิ้นสุดกระบวนการก่อนทำการเทอาหารใหม่ลงถังหมักทุกวัน จากนั้นจึงหยุดการเติมอาหารใหม่แล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน นำตัวอย่างที่ได้มานับเซลล์ที่มีชีวิตด้วยเทคนิค Spread plate ลงบน YM agar และวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดย Gas chromatography (GC) นำตัวอย่างที่เหลือไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS method

3. การศึกษาความแตกต่างของน้ำตาลซูโครสและกลูโคสในการผลิตน้ำส้มสายชูที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่

3.1 การศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสที่มีผลต่อการหมักน้ำส้มสายชู

3.1.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ (NA agar)

ซัง Beef Extract, Peptone และ Agar เท่ากับ 3, 5 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3.1.2 การเลี้ยงแบคทีเรีย (W4) ให้บริสุทธิ์

นำแบคทีเรียรหัส W4 ที่คัดแยกได้จากงานวิจัยของ สุภาพร ตันยศ (2556) เชื้อเชื้อด้วยเทคนิคการแยกเชื้อบริสุทธิ์ (Cross streak) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA agar บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บโคโลนีเดี่ยวๆ ของเชื้อด้วยเทคนิคการเพิ่มปริมาณเชื้อ (Simple Streak) ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NA agar

3.1.3 การผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่

3.1.3.1 การเตรียมน้ำไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้ง

นำน้ำไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้งมาทำการปรับปริมาตรของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดด้วยน้ำตาลทรายขาวเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อปนเปื้อนโดยการเติมโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ปิดระบบอากาศทั้ง 2 สาย ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง

3.1.3.2 การหมักน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่แบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation)

ปีเปิดน้ำไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้งจากถังหมัก (ขั้นตอน 3.1.3.1) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปลอดเชื้อร้อยละ 5 โดยปริมาตร (%v/v) ถ่ายแบคทีเรียที่ได้ทำการเพิ่มจำนวนไว้ (ขั้นตอนที่ 3.1.2) ปริมาณ 1 หลังเชื้อเชื้อ ลงในขวดรูปชมพู่ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำหัวเชื้อเทลงในถังหมัก เปิดระบบเติมอากาศหรือเติมออกซิเจน ทำการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาที่ 0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการเติมอาหารใหม่ตามขั้นตอนที่ 3.1.3.1 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (เติมโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร ลงในอาหารใหม่ทุกครั้ง ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง) เติมน้ำในถังหมักทุกวันจนครบ 9 วัน จึงหยุดการเติมอาหารใหม่ ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันจนสิ้นสุดกระบวนการ นำตัวอย่างที่ได้มานับเซลล์ที่มีชีวิตด้วยเทคนิค Spread plate ลงใน NA agar วัดปริมาณแอลกอฮอล์ โดยวิธี Gas chromatography (GC) และวิเคราะห์กรดทั้งหมดด้วยการไตเตรท นำตัวอย่างที่เหลือไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS method

3.2 การศึกษาผลของน้ำตาลกลูโคสที่มีผลต่อการหมักน้ำส้มสายชู

นำน้ำไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้งปริมาตร 500 มิลลิลิตร มาทำการฆ่าเชื้อโดยการเติมโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร ปิดระบบอากาศทั้ง 2 สาย ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เติมน้ำกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (%w/v) เติมน้ำหัวเชื้อโดยปีเปิดน้ำไวน์จากถังหมักใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปลอดเชื้อร้อยละ 5 โดยปริมาตร (%v/v) ถ่ายแบคทีเรีย (W4) ที่ได้ทำการเพิ่มจำนวนไว้ (ขั้นตอนที่ 3.1.2) ปริมาณ 1 หลังเชื้อเชื้อ ลงในขวดรูปชมพู่ ตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำหัวเชื้อที่ได้เทลงในถังหมัก เปิดระบบเติมอากาศ ทำการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาที่ 0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการเติมอาหารใหม่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.1.3.1 แต่เติมโพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร ทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง และเติมน้ำกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) ลงในอาหารใหม่ทุกครั้ง เทน้ำไวน์ที่ได้ลงในถังหมักทุกวันจนครบ 5 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันจนสิ้นสุดกระบวนการ เมื่อครบ 9 วัน จึงหยุดการเติมอาหารใหม่ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน นำตัวอย่างที่ได้มานับจำนวนสิ่งมีชีวิตด้วยเทคนิค Spread plate ลงบน NA agar วัดปริมาณแอลกอฮอล์ด้วย Vinometer และวิเคราะห์กรดทั้งหมดด้วยการไตเตรท นำตัวอย่างที่เหลือไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS method

4. ศึกษาค่าไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าจุลินทรีย์แบบห้องคู่

ทำการวัดค่าไฟฟ้าโดยวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า voltage (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (electric current, μA) โดยใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 จนถึงสิ้นสุดกระบวนการ วัดผลทุกวันเป็นเวลา 16 วัน

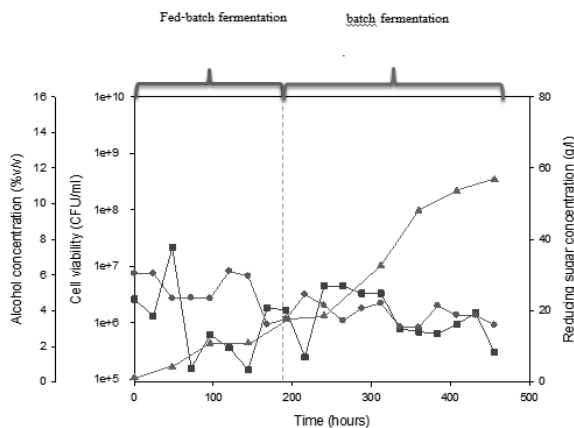
5. การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว

5.1 การเตรียมถังหมัก

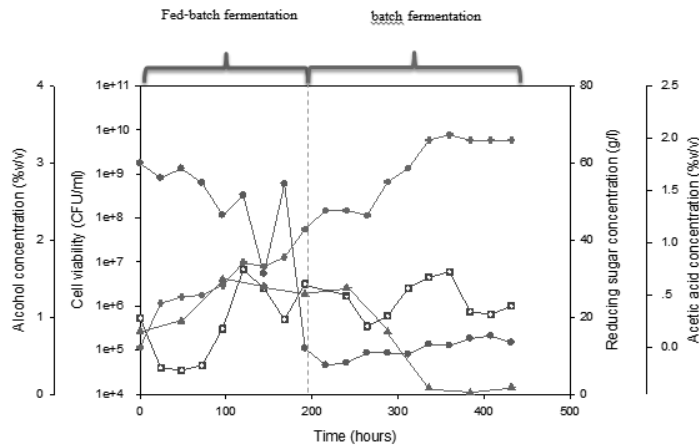
เตรียมถังขนาด 6 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยถังที่ 1 ใช้ในการหมักไวน์ เจริญผลถังหมักจำนวน 4 รู เพื่อใส่สายยางและสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีและแผ่นทองแดง อัดกาวบริเวณรูใส่สายยางและสายไฟให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศและเชื้อภายนอกเข้าสู่ภายในถังหมัก สายแรกคือสายสำหรับปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกแช่ลงในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 สายที่สองสำหรับดูดเก็บตัวอย่างและเติมอาหาร (สายต้องยาวถึงก้นถัง) สายที่สามเป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีสายที่สี่เป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นทองแดงเพื่อเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วลบและขั้วบวก ถังถังหมักและสายยาง 2 สาย ด้วยโปรตัสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร เพื่อลดการปนเปื้อนและทำให้ถังอยู่ในสภาพที่ปลอดเชื้อ จากนั้นดำเนินการหมักไวน์เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 ส่วนถังที่ 2 ใช้ในการหมักน้ำส้มสายชู เจริญผลถังหมักจำนวน 4 รู เพื่อใส่สายยางและสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีและแผ่นทองแดง อัดกาวบริเวณรูใส่สายยางและสายไฟให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศและเชื้อภายนอกเข้าสู่ภายในถัง สายยางแรกคือสายสำหรับเติมอากาศ สายยางที่สองสำหรับดูดเก็บตัวอย่างและเติมอาหาร (สายต้องยาวถึงก้นถัง) รูที่สามเป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสี รูที่สี่เป็นสายไฟที่บัดกรีติดกับแผ่นทองแดงเพื่อเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วลบและขั้วบวก ถังถังหมักและสายยาง 2 สาย ด้วยโปรตัสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อลิตร เพื่อลดการปนเปื้อนและทำให้ถังอยู่ในสภาพที่ปลอดเชื้อจึงดำเนินการผลิตน้ำส้มสายชูจากการเติมน้ำตาลกลูโคสเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.2

ผลการวิจัย

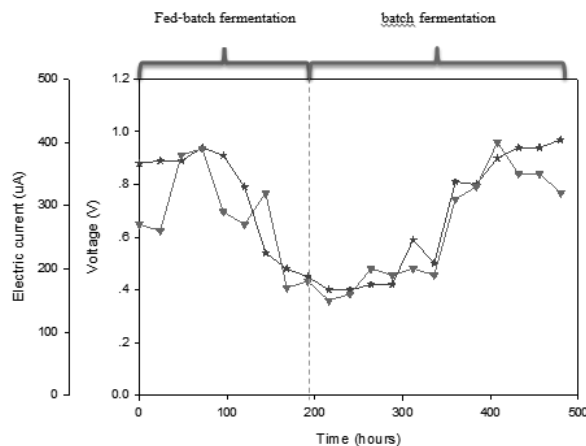
การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ที่ทำการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง และการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่ โดยทำการเติมน้ำตาลซูโครส แสดงผลดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (ก) แทนถังหมักไวน์ (ข) แทนถังหมักน้ำส้มสายชู ที่ทำการเติมซูโครส (ค) แทนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการหมักสองถังพร้อมกัน สัญลักษณ์แทน

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| ■ ปริมาณยีสต์ที่มีชีวิต (CFU/ml) | □ ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิต (CFU/ml) |
| ● ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l) | ▲ ปริมาณเอทานอล (%v/v) |
| ▼ ปริมาณกระแสไฟฟ้า (uA) | ◆ ปริมาณกรด (%v/v) |
| | ✱ ปริมาณค่าความต่างศักย์ (V) |

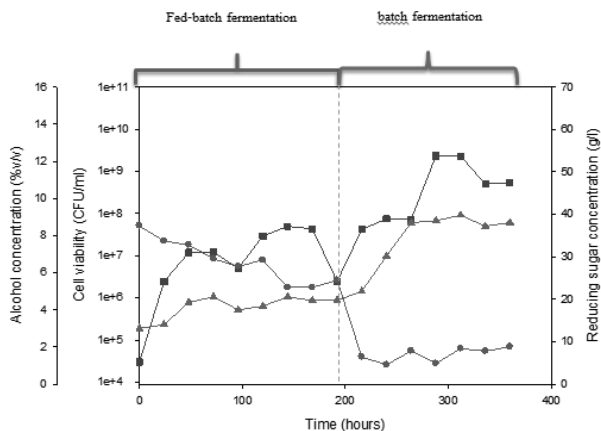
จากการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง และการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่สุกอบแห้ง โดยทำการเติมน้ำตาลซูโครส พบว่า กระบวนการผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง ยีสต์มีการปรับตัวต่อน้ำกล้วยไข่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยีสต์จึงเริ่มมีการใช้น้ำตาลซูโครสในการเจริญเพื่อเพิ่มปริมาณของเซลล์ในชั่วโมงที่ 48 สูงสุดเท่ากับ 2.16×10^7 CFU/ml แต่อย่างไรก็ตามเซลล์ไม่สามารถรักษาระดับความมีชีวิตของเซลล์อยู่ได้ สังเกตจากปริมาณของยีสต์มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่คงที่ เนื่องจากการเติมอาหารทุกๆ 24 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 192 หลังจากหยุดเติมอาหาร

ปริมาณของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปริมาณสารอาหารในถังหมักมีอยู่อย่างเพียงพอต่อการมีชีวิตของเซลล์ การใช้น้ำตาลของยีสต์เกิดขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลจะลดลงเมื่อหยุดเติมอาหารใหม่ ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์คงเหลือในกระบวนการโดยประมาณ 15.96 g/L ยีสต์มีการใช้น้ำตาลเพื่อสร้างเซลล์และผลิตแอลกอฮอล์ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับ 11.37 % (v/v)

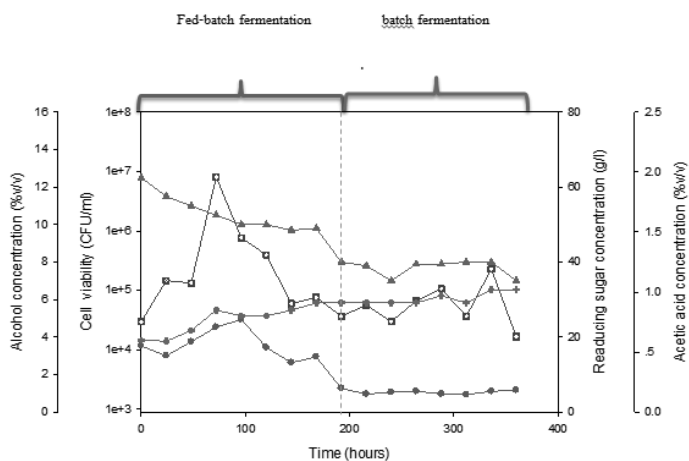
ส่วนกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมน้ำตาลซูโครสแบบที่เรีย (w4) มีการปรับตัวต่อน้ำไวน์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นแบคทีเรียจะเริ่มมีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ในชั่วโมงที่ 24 สังเกตจากปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณของน้ำตาลลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ชั่วโมงที่ 192 สอดคล้องกับการใช้แอลกอฮอล์อย่างต่อเนื่อง เพื่อผลิตน้ำส้มสายชูตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24 ทำให้สามารถผลิตน้ำส้มสายชูสูงสุดเท่ากับ 2 % (v/v) เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถรักษาปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตได้ทำให้ปริมาณเซลล์ลดลงแต่สามารถให้ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อสร้างกรดแทนการสร้างเซลล์

การผลิตไฟฟ้าของเซลล์จุลินทรีย์เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ในระหว่างการเติมอาหาร ชั่วโมงที่ 0-196 ปริมาณศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงหลังจากหยุดเติมอาหาร ปริมาณความต่างศักย์และกระแสไฟฟาลดลงเรื่อยๆ ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.97 V ในชั่วโมงที่ 480 และ 400 μ A ในชั่วโมงที่ 408 ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดลองการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้งและการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่ที่ทำการเติมน้ำตาลซูโครส สามารถผลิตศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ แต่ให้ปริมาณของศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่น้อยและไม่คงที่ เนื่องจากการเจริญของยีสต์อย่างไม่ต่อเนื่องและแบคทีเรียใช้แอลกอฮอล์เพื่อผลิตกรดในปริมาณต่ำในถังหมักน้ำส้มสายชูทำให้การย่อยสลายสารอาหารของเซลล์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ อีกทั้งความสามารถของสะพานเกลือยังเป็นปัจจัยจำกัดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ เนื่องจากทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวต้านทานในระบบ ซึ่งถ้าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ได้รับการพัฒนาสะพานเกลือจะช่วยให้ระบบการผลิตสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าค่าปัจจุบัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคโนโลยียุคใหม่ เช่น การใช้ Electrolyte membrane หรือเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือใช้โพลิเมอร์แข็ง เช่น แนนฟิออน (Nafion) เป็นเยื่อเลือกผ่านประจุจะให้โปรตอนเท่านั้นที่ผ่านได้ โปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วแคโทดผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเซลล์ไปยังขั้วแอโนดทำให้ไฟฟ้าครบวงจร (Takanori, et al., 2013)

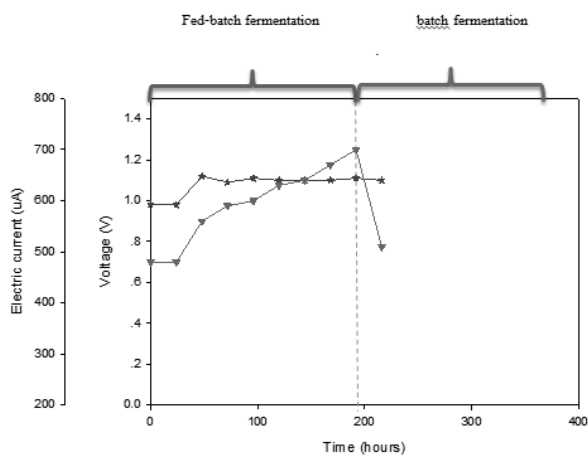
จากผลการทดลองที่ได้จึงเกิดแนวคิดในการเติมน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวลงไปในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู เพื่อต้องการให้แบคทีเรียในถังหมักน้ำส้มสายชูมีการย่อยสลายน้ำตาลได้อย่างคงที่และต่อเนื่อง และทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ แสดงผลดังภาพที่ 2



(ก)



(ข)



(ค)

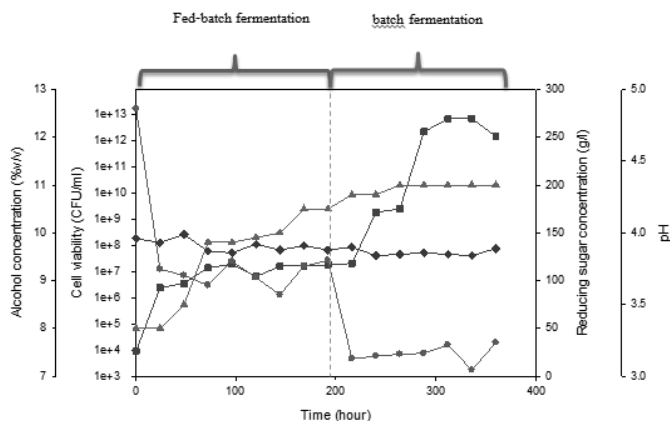
ภาพที่ 2 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ (ก) แทนถังหมักไวน์ (ข) แทนถังหมักน้ำส้มสายชู ที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) (ค) แทนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะทำการหมักสองถังพร้อมกัน สัญลักษณ์แทน —■— ปริมาณยีสต์ที่มีชีวิต (CFU/ml) —□— ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิต (CFU/ml) —●— ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l) —▲— ปริมาณเอทานอล (%v/v) —▼— ปริมาณกรด (%v/v) —◆— ปริมาณกระแสไฟฟ้า (μ A) —✱— ปริมาณค่าความต่างศักย์ (V)

จากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง และการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่ โดยทำการเติมน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) พบว่าในถังหมักไวน์ยีสต์สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ทันทีที่ไม่มีการปรับตัวต่อน้ำกล้วยไข่ ยีสต์เพิ่มปริมาณเซลล์ได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องสูงสุดเท่ากับ 4.97×10^7 CFU/ml จนหยุดการเติมอาหารใหม่ในช่วงเวลาที่ 192 ปริมาณของเซลล์ลดลงและสามารถเพิ่มปริมาณของเซลล์ได้อีกจนถึงช่วงเวลาที่ 316 สูงสุดเท่ากับ 2.33×10^9 CFU/ml จากนั้นปริมาณของเซลล์ลดลง อย่างไรก็ตามยีสต์ยังสามารถเพิ่มปริมาณเซลล์ขึ้นมาได้หลังจากมีการหยุดเติมอาหาร ยีสต์ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 24 สังเกตจากปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง และปริมาณแอลกอฮอล์ถูกสร้างขึ้นจากการใช้น้ำตาลให้ปริมาณของแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับ 9.1 % (v/v) ซึ่งน้อยกว่าการหมักครั้งแรก เนื่องจากยีสต์มีการใช้น้ำตาลเพื่อสร้างเซลล์ในปริมาณมาก ทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายของยีสต์ถูกใช้ในการสร้างแอลกอฮอล์ลดลง

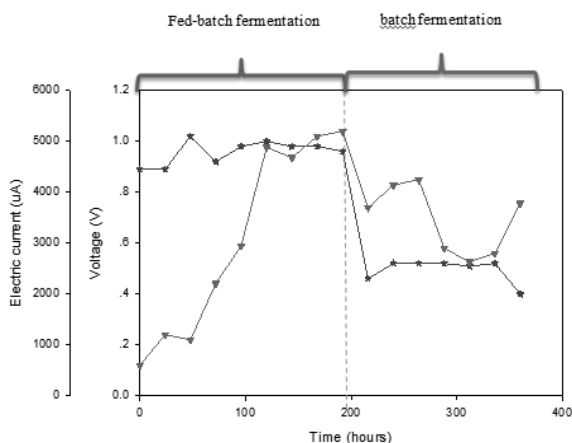
ส่วนกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) แบคทีเรียมีการปรับตัวต่อน้ำไวน์ในช่วงเวลาที่ 0-48 จากนั้นจะเพิ่มปริมาณของเซลล์อย่างรวดเร็ว เซลล์มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะทำการหมักแบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation) ในขณะเดียวกันปริมาณกรดที่ได้กลับต่ำทำให้ทราบว่าปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องถ้าปริมาณเซลล์คงที่และจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตปริมาณน้อยจะทำให้ได้ปริมาณกรดมากขึ้น จากผลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า แบคทีเรียในระบบใช้น้ำตาลกลูโคส แอลกอฮอล์เพื่อผลิตน้ำส้มสายชู และใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำไวน์กล้วยไข่เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ แบคทีเรียสามารถผลิตน้ำส้มสายชูตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 24 ให้กรดสูงสุดเท่ากับ 1.02 % (v/v) ซึ่งน้อยกว่าการเติมน้ำตาลซูโครสลงในกระบวนการหมัก

การผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ เริ่มผลิตในช่วงเวลาที่ 48 ปริมาณศักย์ไฟฟ้าจะคงที่ เท่ากับ 1.1 V ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและต่อเนื่องที่ 700 μ A ปริมาณของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามการลดลงอย่างต่อเนื่องของปริมาณแอลกอฮอล์ในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู หลังจากช่วงเวลาที่ 216 พบว่าไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เนื่องจากเกิดความเสียหายของสะพานเกลือ เนื่องจากรอยเชื่อมต่อของเกลือภายในสะพานไฟฟ้าจึงไม่สามารถปรับสมดุลโปรตอนของทั้ง 2 กระบวนการได้ ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กระบวนการ คือ การผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้งและการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่ โดยทำการเติมน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) พบว่าการเพิ่มปริมาณของยีสต์ในถังหมักไวน์มีผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและการลดลงของเอทานอลในถังหมักกรดมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงแบบห้องคู่ที่มีการเชื่อมทั้งสองถังด้วยสะพานเกลือ

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่เดียวถูกดำเนินการเพื่อยืนยันกระบวนการหมักไวน์และกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (%w/v) ว่าสามารถผลิตไฟฟ้าโดยจุลินทรีย์ได้จริง แสดงผลดังภาพที่ 3 และ 4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวของการหมักไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้ง (ก)

แทนในถังหมักไวน์ (ข) แทนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สัญลักษณ์แทน —■— ปริมาณยีสต์ (CFU/ml)

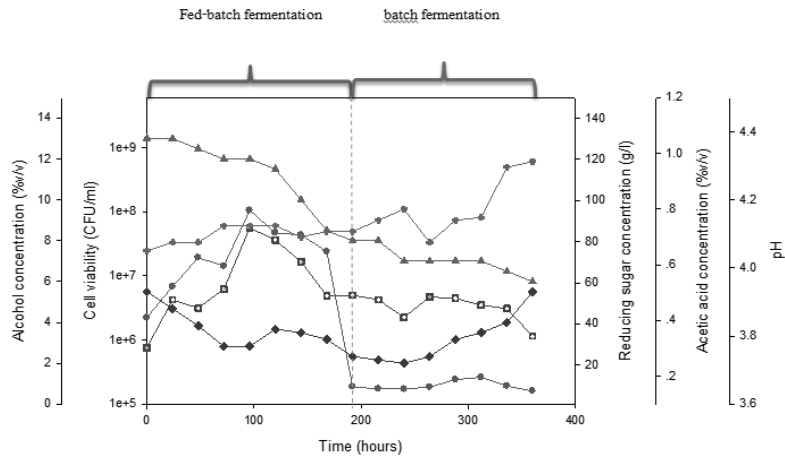
—●— ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l) —▲— ปริมาณเอทานอล (%v/v) —◆— ค่า pH

—▼— ปริมาณกระแสไฟฟ้า (uA) —★— ปริมาณค่าความต่างศักย์ (V)

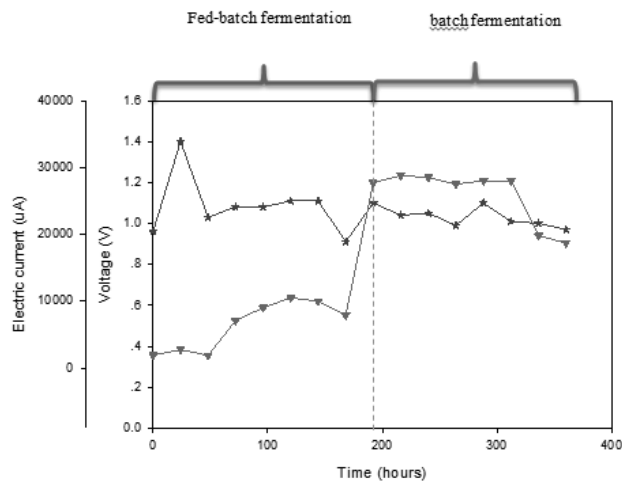
จากการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวของกระบวนการหมักไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้งพบว่า ยีสต์มีการปรับตัวต่อน้ำกล้วยไข่ได้อย่างรวดเร็วโดยมีการเพิ่มปริมาณของเซลล์อย่างต่อเนื่อง ในการเพิ่มปริมาณของเซลล์ ยีสต์มีการใช้น้ำตาลซูโครสและสารอาหารจากกล้วยไข่ สังเกตจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยีสต์ใช้น้ำตาลในการเพิ่มปริมาณของเซลล์และผลิตแอลกอฮอล์ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 11% (v/v) ค่าพีเอชในกระบวนการหมักไวน์คงที่ ค่าความต่างศักย์คงที่แต่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณเซลล์ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1V และ 2500 μ A ตามลำดับ หลังจากหยุดเติมอาหารใหม่ ในช่วงเวลาที่ 192 ปริมาณศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ลดลง แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการเลี้ยงจุลินทรีย์แบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation) ที่สามารถส่งเสริมกระบวนการเมแทบอลิซึมของยีสต์อย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการหมักเป็นเวลานานจะเกิดการฟุ้งร้อนของ

ข้าวโอ๊ตโทด สังกะสี ทองแดง ทำให้พื้นที่ในการรับอิเล็กตรอนน้อยลง ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าแบบห้องเดียวจากกระบวนการหมักไวน้ำค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าเป็นไปตามการผลิตแอลกอฮอล์โดยยีสต์

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียวของกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน้ำกล้วยไข่สุกอบแห้ง ทำการเติมน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) แสดงผลดังภาพที่ 4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียวของการหมักน้ำส้มสายชูจากไวน้ำกล้วยไข่สุกอบแห้ง (ก) แทนในถังหมักน้ำส้มสายชู ที่ทำการเติมน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) (ข) แทนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะทำการหมัก สัญลักษณ์แทน $\square$ ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิต (CFU/ml) $\bullet$ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l) $\blacktriangle$ ปริมาณเอทานอล (%v/v) $\blacklozenge$ ปริมาณกรด (%v/v) $\blacklozenge$ ค่า pH $\blacktriangledown$ ปริมาณกระแสไฟฟ้า (μ A) $\blackstar$ ปริมาณค่าความต่างศักย์ (V)

จากการศึกษาผลของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว โดยกระบวนการหมัก น้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) พบว่าแบคทีเรียสามารถใช้สารอาหารในน้ำไวน์ กล้วยไข่ได้ทันทีตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 แบคทีเรียเพิ่มปริมาณของเซลล์สูงสุดในชั่วโมงที่ 96 เท่ากับ 1.90×10^7 CFU/ml ปริมาณของแบคทีเรียจึงลดลง หลังจากหยุดเติมอาหารในชั่วโมงที่ 192 ในระหว่างที่เชื้อมีการเพิ่ม ปริมาณของเซลล์จะเกิดการย่อยสลายน้ำตาลกลูโคสและใช้แอลกอฮอล์ แสดงดังปริมาณของน้ำตาลที่ลดลงอย่างรวดเร็วและปริมาณของแอลกอฮอล์ลดลงอย่างต่อเนื่องส่งเสริมให้แบคทีเรียผลิตน้ำส้มสายชูเท่ากับ 0.97 % (v/v) ค่าพีเอชในกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แบคทีเรียสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ปริมาณค่าความต่าง ศักย์คงที่ ส่วนกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ การผลิตศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าหลังจากหยุดเติมอาหาร พบว่าเชื้อยังมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 1V และ 28,000 μ A

จากผลการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวผ่านกระบวนการหมักไวน์กล้วยไข่จาก กล้วยไข่สุกอบแห้งพบว่าในช่วงการหมักแบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation) จะมีปริมาณของเซลล์และ แอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) ในช่วงการหมักแบบกะ (batch fermentation) ให้ ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ จึงถือว่าเป็นกระบวนการที่ เหมาะสมต่อการพิจารณาปรับปรุงการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ แม้ในกระบวนการหมัก น้ำส้มสายชูจะมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคสที่ถูกเติมลงไปในการหมัก ซึ่งส่งเสริมการผลิตเซลล์ และการใช้แอลกอฮอล์ ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงระบบให้เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบ ห้องคู่ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ โดยกระบวนการหมักไวน์กับกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูด้วย น้ำตาลซูโครสสามารถผลิตไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.97 V และ 400 μ A กระบวนการหมักไวน์กับกระบวนการผลิต น้ำส้มสายชูด้วยน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) ผลิตไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.1 v และ 700 μ A การหมักน้ำส้มสายชูด้วยน้ำตาลซูโครสสามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าการหมักน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ทำให้การ หมักน้ำส้มสายชูภายในถังเกิดอัตราเมแทบอลิซึมต่ำกว่าการเติมน้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แบคทีเรียสามารถย่อยสลายกลูโคสได้ดีกว่าซูโครสและสามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนและโปรตอนได้มากกว่า ทำให้ได้ไฟฟ้าในปริมาณมากกว่า ส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว พบว่า กระบวนการหมักไวน์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1V และ 2500 μ A ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงแบบห้องเดี่ยวที่มี กระบวนการหมักน้ำส้มสายชูซึ่งทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (w/v) สามารถผลิตไฟฟ้า ได้สูงสุด 1.1V และ 28,000 μ A การหมักน้ำส้มสายชูสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่ากระบวนการหมักไวน์ เนื่องจากกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูมีการเติมอากาศ ซึ่งออกซิเจนสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและ สารละลายภายในถังหมักมีความเป็นกรดจึงสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดี (กันยรัตน์, 2554)

จากการศึกษาการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่และห้องเดี่ยว พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบห้องเดี่ยวสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ เนื่องจากห้องเดี่ยวไม่มีการต่อของ สะพานเกลือเพื่อเชื่อมระบบ ซึ่งปัญหาสำคัญที่พบคือ สะพานเกลือที่ผู้วิจัยได้สร้างมานั้นภายในมีฟองอากาศ เล็กๆ จำนวนมากซึ่งฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดแรงต้านทานขึ้นในระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ ทำให้ได้ปริมาณไฟฟ้าต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว ทำให้ต้องมีการปรับปรุงสะพานเกลือโดยใช้

เยื่อเลือกผ่านโปรตอนในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่จะช่วยลดแรงต้านทานในระบบและสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

อภิปรายผล

จากการศึกษาการสร้างรูปแบบการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ โดยใช้กระบวนการหมักแบบกึ่งกะ (Fed-batch fermentation) กระบวนการผลิตไวน์จากกล้วยไข่สุกอบแห้งและการผลิตน้ำส้มสายชูที่ทำการเติมกลูโคสที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 % (v/v) สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1.1 V และ 700 μ A ซึ่งให้ปริมาณไฟฟ้ามากกว่างานวิจัยการผลิตกรดอะซิติกและไฟฟ้าร่วมกันโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เพื่อผลิตน้ำส้มสายชูโดยกระบวนการหมักแบบกะ สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.521 V และ 19.1 μ A หลังจากการหมักครั้งที่ 3 (Takanori, et al., 2013) และงานวิจัยการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ขนาดเล็กในระดับห้องปฏิบัติการ จากส่วนผสมจากน้ำตาลซูโครส:น้ำมะพร้าวอ่อน:น้ำ ปริมาตรรวม 500 ml ให้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.4382 V มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น 61.2 μ A และออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ภาคสนามโดยการหมักน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรด ให้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์สูงสุดเท่ากับ 0.5 V และให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 120.3 μ A แต่ใกล้เคียงกับงานวิจัยพลังงานทดแทนจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ของกันยรัตน์ โหละสุต (2554) ทำการศึกษาการผลิตไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวจากน้ำเสียและระดับของตะกอนดินที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าโดยเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการต่อเซลล์แบบอนุกรมสามารถให้ค่าความต่างศักย์สูงสุดเท่ากับ 1.1 V ในระดับตะกอนดิน 5 cm จากงานวิจัยดังที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากเนื่องจากการประยุกต์ใช้กระบวนการหมักเข้าร่วมในกระบวนการโดยเติมอาหารใหม่ทุกวัน จึงส่งเสริมการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าเนื่องจากจุลินทรีย์มีอัตราเมแทบอลิซึมสูง อย่างไรก็ตามการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ควรมีการปรับปรุงสะพานเกลือให้มีศักยภาพในการปรับสมดุลโปรตอน (H^+) อิเล็กตรอน (e^-) และลดแรงต้านทานจะช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น และเป็นทางเลือกในการผลิตไฟฟ้ารูปแบบใหม่ที่น่าสนใจเปรียบได้กับโรงงานไฟฟ้าจากพลังงานธรรมชาติโดยมีผลพลอยได้จากการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ได้แก่ เอทานอลเท่ากับ 9.1 (%v/v) และกรดอะซิติกเท่ากับ 1.02 (%v/v) และชีวมวลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่มีส่วนในการสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กันยรัตน์ โหละสุต. (2554). พลังงานทดแทนจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชนิษฐา หมูโสภัญ. (2554, มกราคม-มีนาคม). เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ : แนวทางใหม่เพื่อการผลิตพลังงาน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 13(1), 20-27.
- ทวิทย์ จันทรส. (2551). การเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธนพร พันธุ์ศุภะ. (2552). กินกล้วยไข่ขับไล่มะเร็ง. [Online]. Available : <http://www.arunsawat.com/board/index.php?topic=8981.0;wap2>. [2558, สิงหาคม 20].
- นิภัชราพร สภาพร และน้ำฝน ประพัฒน์โพธิ์. (2556). การผลิตไวน์กล้วยไข่โดยกระบวนการหมักแบบกึ่งกะ ในรายงานการประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยครั้งที่ 10 : เครือข่ายวิจัย สร้างความรู้สู่อาเซียน. วันที่ 22-23 กรกฎาคม พ.ศ. 2557 (หน้า 941-949). พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ผกาดี แก้วกันเนตร และอรรณพ ผาจันทร์. (2553, มกราคม-มีนาคม). เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ : พลังงานแห่งอนาคต. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 18(1), 22-26.
- วิษญาดา มะลิวัลย์, นิภัชราพร สภาพร และวรสิทธิ์ โทจำปา. (2556). ไวน์กล้วยไข่. ในรายงานการประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วชิรครั้งที่ 5. (หน้า 170-176). เพาะ : มหาวิทยาลัยพะเยา.
- ศุภรณิมา สุจิรา. (2555). เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์กับการบำบัดน้ำเสีย. วารสารสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16(2), 20-23.
- สุภาพร ตันยศ. (2556). การผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์กล้วยไข่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- Takanori, T., et al. (2013). Coproduction of acetic acid and electricity by application of microbial fuel cell technology to vinegar fermentation. *Janpan Biotechnology*, 116(2), 219-223.



การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา

ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร

Plant Diversity and Utilization in Forest Conservation Around

Pa Doi Lab Nga Temple, Tha Khun Ram Sub-district, Mueang Kamphaeng Phet

วิไลลักษณ์ สวนมะลิ*

Wilailak Suanmali

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณรอบวัดป่าดอยลับงา หมู่ที่ 7 ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร และเพื่อจัดทำฐานข้อมูลของพรรณไม้ยืนต้น โดยมีขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัยประมาณ 265 ไร่ ศึกษาโดยวิธีการสุ่มตัดแปลงตัวอย่างสำรวจขนาด 20 x 50 เมตร จำนวน 6 แปลง บริเวณรอบวัดป่าดอยลับงา และจัดทำฐานข้อมูลชื่อท้องถิ่น ชื่อสามัญ ชื่อวิทยาศาสตร์ และประโยชน์จากพรรณไม้ ผลการศึกษาพบว่า พรรณไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในพื้นที่ศึกษาตัวอย่างมีจำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด 51 ชนิด 37 วงศ์ พรรณไม้ยืนต้นที่สำรวจพบมีจำนวนมากที่สุดคือ ต้นประดู่ รองลงมาคือ ต้นมะกอกเลื่อม ต้นติ้ว และต้นไม้แดง ตามลำดับ และพรรณไม้ที่สำรวจพบน้อยที่สุดคือ ต้นกระถิน ต้นแคทราย ต้นซากตันทูมกา ต้นมะม่วงหาวมะงวง และต้นสำโรง ตามลำดับ ส่วนค่าความถี่ของพรรณไม้ยืนต้นสูงที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นประดู่ ต้นมะกอกเลื่อม ต้นไม้แดง และต้นสัก รองลงมา 83.3 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นคางคันทะคร้อ และต้นตูมกา ค่าความหนาแน่นของพรรณไม้ยืนต้นมากที่สุดคือ ต้นประดู่ 0.92 ต้น/ตารางเมตร รองลงมาคือ ต้นติ้ว 0.85 ต้น/ตารางเมตร ต้นไม้แดง 0.72 ต้น/ตารางเมตร และต้นมะกอกเลื่อม 0.62 ต้น/ตารางเมตร ตามลำดับ ค่าความเด่นของพรรณไม้ยืนต้นที่คำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของลำต้นและหาความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ ต้นประดู่ 16.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ต้นติ้ว 10.47 เปอร์เซ็นต์ ต้นมะกอกเลื่อม 8.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประเมินลักษณะการจัดชั้นของสังคมพืชเป็นการจำแนกชนิดไม้ยืนต้นเป็นชั้นๆ ตามระดับความสูง โดยการทำรูปแบบโครงสร้างที่เรียกว่า โปรไฟล์ไดอะแกรม (Profile Diagram) ที่มีมุมมองด้านหน้า (Front View) และมุมมองด้านบน (Top View) และประโยชน์ของพรรณไม้ยืนต้นแต่ละชนิดโดยจำแนกออกเป็นด้านต่างๆ ได้แก่ ด้านอาหาร ด้านยารักษาโรค ด้านการประดับตกแต่ง และด้านการใช้ประโยชน์

คำสำคัญ : ความหลากหลาย / ไม้ยืนต้น / วัดป่าดอยลับงา

ABSTRACT

The aims of this study were to investigate plant diversity and utilization in forest conservation around the Pa Doi Lab Nga Temple, Tha Khun RAM district, Muang Kamphaeng Phet. The temporary sample plot with 6 plots (20 X 50 mm) was applied to plant community study. The scientific name and benefit from a softer wood. The result found that 51 tree species (37 families) in forest conservation around the PA DOI LAB NGa Temple. The tree species with the highest value are Burma Padauk, followed by Canarium subulatum Grill trees, Cratoxylum formosum, Iron woodland Teak equal respectively. The highest frequency of perennial species Olive tree, Red sequins and Teak trees, followed Khang, Trakho and Tmbkha family equal 100, 100, 100, 83.3, 83.3 and 83.3, respectively. The highest density are Burma Padauk is, followed by Cratoxylum formosum, Xylia xylocarpa Taub (Leguminosae) and Canarium subulatum Grill equal 0.92, 0.85, 0.72 and 0.62 tree/m², respectively. The dominant tree species are Teak equal and the most prominent relative are Burma Padauk followed by Cratoxylum formosum, Canarium subulatum Grill equal 16.8, 10.47 and 8.61%, respectively. The classification of plant communities are tree layer altitude. The utilization of tree species such as food, medicines and decorations.

Keywords : Plant Diversity / Utilization / Forest Conservation / Doi Lab Nga Temple

บทนำ

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญมาก และมีประโยชน์แก่มนุษยชาติไม่ว่าจะเป็นทางตรงและทางอ้อม รวมถึงการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ ในอดีตป่าไม้ในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์รวมถึงแร่ธาตุต่างๆ และมีต้นไม้มากมายหลากหลายชนิด แต่ปัจจุบันป่าไม้ได้ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วเกิดจากการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อทำกินมากขึ้น การทำสัมปทาน และการลักลอบตัดไม้ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ป่าไม้ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสงวนและรักษาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ในด้านเศรษฐกิจ ด้านการศึกษาหาความรู้ ด้านการทำเป็นที่อยู่อาศัย ด้านยารักษาโรค และประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกมากมาย (นิวติ เรืองศิริ, 2541) และโปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ดูแลโครงการการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นโครงการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้เพื่อเป็นแหล่งศึกษาธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้ในท้องถิ่น พืชหายาก พืชสมุนไพร และให้ความรู้ คุณค่า คุณประโยชน์ในการอนุรักษ์และด้านพฤกษศาสตร์ แก่บุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ได้ศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับความหลากหลายทางชีวภาพและรวบรวมข้อมูลในการจัดทำฐานข้อมูลสำหรับเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับพรรณไม้ให้กับประชาชนหรือบุคคลที่มีความสนใจในเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพ

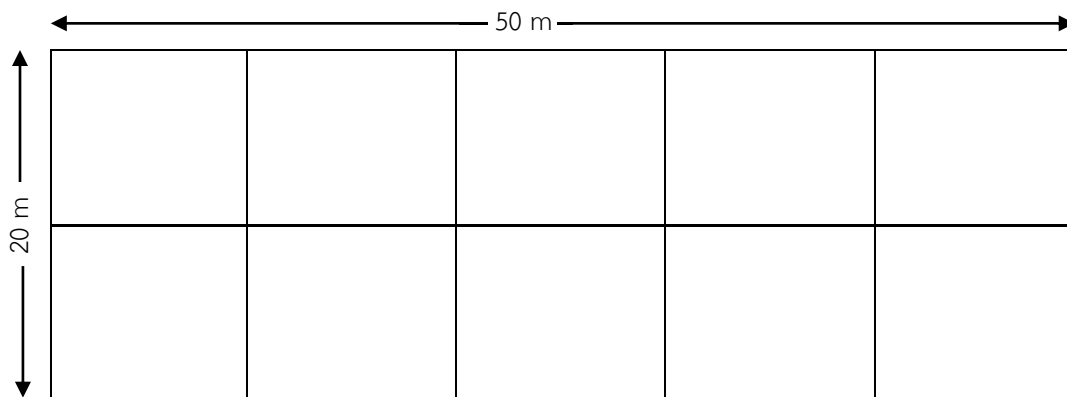
วัดป่าดอยลับงา จังหวัดกำแพงเพชร เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของพรรณไม้ซึ่งอยู่ในพื้นที่ป่าดอยลับงาและใกล้กับแหล่งชุมชนที่มีชาวบ้านเข้าไปใช้ประโยชน์ในป่าในแง่ของ อาหาร ใช้สร้างเป็นที่อยู่อาศัย และสมุนไพร เช่น หางของป่าประเทท เห็ด หน่อไม้ ผักป่า และสมุนไพรต่างๆ เป็นต้น ซึ่งป่าแห่งนี้เป็นป่าที่เสื่อมโทรมอยู่แล้ว ทางวัดป่าดอยลับงาได้มีการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้โดยได้รับการร่วมมือจากประชาชนเข้าไปดูแลรักษาโดยการปลูกป่าทดแทน และสร้างฝายชะลอน้ำเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับป่า จึงทำให้ป่ามีความ

อุดมสมบูรณ์มากขึ้น ด้วยเหตุผลตามที่กล่าวผู้วิจัยมีความสนใจด้านการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชโดยเฉพาะพรรณไม้ยืนต้นที่ยังเหลืออยู่ในป่า จึงได้มีการสำรวจและศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา และจัดทำโครงสร้างฐานข้อมูลการประโยชน์ของพรรณไม้ยืนต้น สำหรับเผยแพร่ความรู้และด้านการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชให้กับบุคคลอื่นๆ และบุคคลที่มีความสนใจต่อไปสามารถสืบค้นข้อมูลพรรณไม้ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและสำรวจพื้นที่ป่าบริเวณรอบวัดป่าดอยลับงา หมู่ที่ 7 ตำบลท่าขุนราม จังหวัดกำแพงเพชร โดยการเดินเท้าสำรวจ กำหนดพื้นที่ที่ต้องการศึกษา และกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการศึกษาพรรณไม้ยืนต้นโดยการเดินเท้าสำรวจในป่าโดยรอบวัดป่าดอยลับงาและจับค่าพิกัด GPS ทำการตีแปลงพื้นที่ขอบเขตโดยรอบวัดป่าดอยลับงาด้วยโปรแกรม Quantum GIS โดยมีขอบเขตโดยรอบพื้นที่ศึกษาประมาณ 265 ไร่ จากพื้นที่ทั้งหมด เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมดของวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม จังหวัดกำแพงเพชร เพื่อการศึกษาพรรณไม้ยืนต้น

2. กำหนดพื้นที่ในการสำรวจความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นแบบเป็นจุดโดยการสุ่มตัวอย่างพื้นที่และวางแปลงเพื่อเก็บข้อมูล โดยวางแปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Sample Plot) แบบชั่วคราว (Temporary Sample Plot) โดยดำเนินการวางแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 50 เมตร ซึ่งจัดแบ่งเป็นแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตรจำนวน 10 แปลง จะทำการวางแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 50 เมตร จำนวน 6 แปลง โดยรอบพื้นที่ที่ทำการศึกษาพรรณไม้ยืนต้น (ภาพที่ 1) และการกำหนดจุดในการวางแปลงตัวอย่างโดยใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศและกำหนดแบบเจาะจงตามลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่จริงและลักษณะความหนาแน่นของต้นไม้ (อินทรา เศษอ่อน, 2551) (ภาพที่ 2, 3)



ภาพที่ 1 วางแปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบชั่วคราว (Temporary Sample Plot)



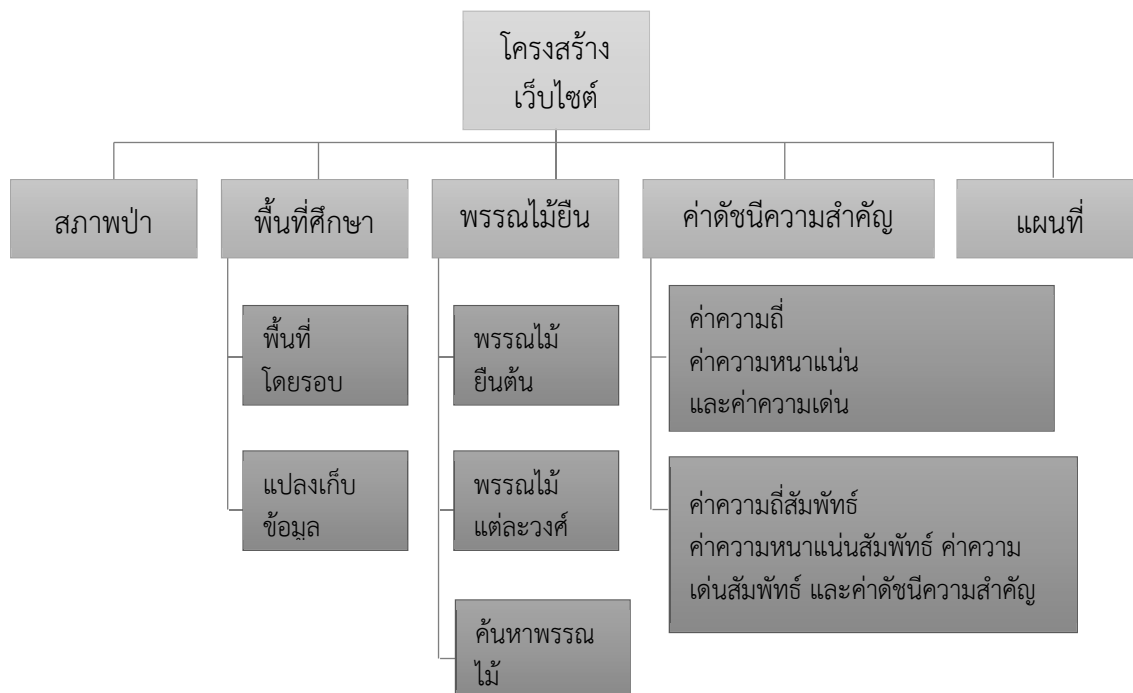
ภาพที่ 2 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ จุดเก็บตัวอย่าง (โปรแกรม Google earth วันที่ 16 มีนาคม 2558)



ภาพที่ 3 สภาพป่าไม้ในและลักษณะความหนาแน่นของต้นไม้บริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม จังหวัดกำแพงเพชร

3. ศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นในบริเวณที่กำหนด และนำข้อมูลไปวิเคราะห์การกระจายเชิงปริมาณและวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

4. จัดทำโครงสร้างเว็บไซต์ฐานข้อมูลพรรณไม้ยืนต้น (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ผังการจัดการโครงสร้างเว็บไซต์ฐานข้อมูลพรรณไม้ยืนต้น วัดป่าดอยลับงา

ผลการวิจัย

จากการศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยเพื่อศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณรอบวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร และเพื่อจัดทำฐานข้อมูลพรรณไม้ยืนต้น มีขอบเขตพื้นที่ศึกษาประมาณ 265 ไร่ โดยวิธีการสำรวจพรรณไม้ยืนต้นแบบการกำหนดแปลงเก็บตัวอย่างขนาด 20x50 เมตร โดยการสุ่มตีแปลงตัวอย่างจากแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ จำนวน 6 แปลงสุ่มตัวอย่าง ได้มีการสำรวจชนิดพรรณไม้ยืนต้น และจัดทำข้อมูลชื่อท้องถิ่น ชื่อสามัญ ชื่อวิทยาศาสตร์ ประโยชน์และสรรพคุณ และหา ความหนาแน่นของพรรณไม้ RD (relative density) ความถี่ของพรรณไม้ RF (relative frequency) ความเด่นของพรรณไม้ Rdo (relative dominance) ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศ (importance value index, VIV) และการประเมินลักษณะการจัดชั้นของสังคมไม้ยืนต้นเป็นการจำแนกชนิดไม้เป็นชั้นๆ ตามระดับความสูง แบบโครงสร้างที่เรียกว่า โปรไฟล์ไดอะแกรม (Profile Diagram) โดยมีมุมมองด้านหน้า (Front View) และมุมมองด้านบน (Top View) มีผลการศึกษาดังนี้

1. ชนิดของพรรณไม้ยืนต้น

จากการสำรวจไม้ยืนต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height and DBH) 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป หรือเส้นรอบวงระดับอก (Girth at Breast Height and GBH) 11.14 เซนติเมตรขึ้นไป โดยวัดที่ความสูงเหนือพื้นดิน 1.30 เมตร ในพื้นที่บริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พบว่ามีจำนวนไม้ยืนต้นอยู่ในพื้นที่ แปลงสำรวจทั้งหมด 517 ต้น 51 ชนิด 37 วงศ์ พรรณไม้ยืนต้นที่มีจำนวนมากที่สุดคือ ต้นประดู่ (*Pterocarpus indicus* Willd) รองลงมาคือ ต้นตั่ว (*Gratoxylum formosum*) ต้นไม้แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub. var. *Kerrii* (Craib & Hutch) I.C. Nielsen)

ต้นมะกอกเลื้อย (Canarium subulatum Guill). ต้นตะแบก (Lagerstroemia floribunda Jack ex Blume) ต้นสัก (Tectona grandis Linn.f.) ต้นรัง (Scientific Name : Shorea siamensis Miq.) ตามลำดับ ส่วนพรรณไม้ยืนต้นที่มีจำนวนน้อยที่สุดคือ ต้นกระถิน (Leucaena leucocephala (Lamk.) de Wit) ต้นแคทราย (Stereospermum neuranthum Kurz Share) ต้นไม้ซาก (Erythrophloeum succirubrum Gagnep, Erythrophloeum teysmannii (Kurz) Craib.) ต้นดีหมี (Cleidion javanicum Blume) ต้นตุ้มกา (Strychnos nux-blanda A.W. Hill) ต้นมะม่วงหัวแมงวัน (Buchanania lanzan Spreng.) ต้นมะยมหิน (Chukrasia velutina Wight & Arn.) ต้นโมกหลวง (Holarrhena pubescens Wall. ex G. Don) ต้นลำโรง (Sterculia foetida L.) ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

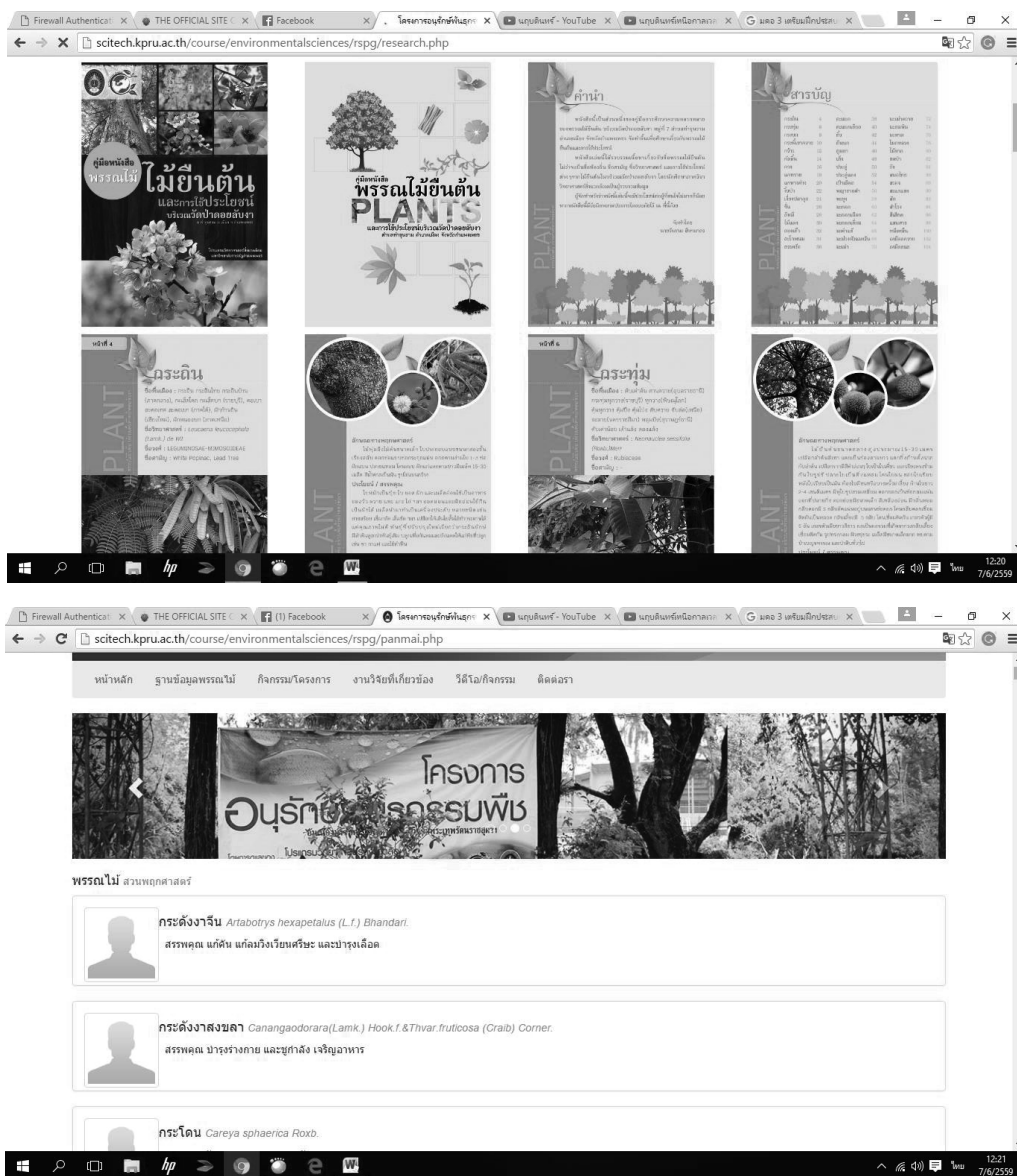
การจำแนกชั้น (Stratificato) ทางด้านตั้งและด้านราบ และลักษณะที่สำคัญของสังคมไม้ยืนต้นที่ปรากฏในพื้นที่แปลงศึกษาตัวอย่างพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา หมู่ที่ 7 ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร เป็นโครงสร้างทางสังคมโดยการจัดเรียงกันเป็นชั้นหรือเป็นกลุ่ม ทั้งนี้เพื่อแสดงถึงขีดความสามารถของชนิดพันธุ์ที่ดำรงอยู่ในสังคมนั้นๆ การประเมินลักษณะการจัดชั้นของสังคมพืชเป็นการจำแนกชนิดไม้ยืนต้นเป็นชั้นๆตามระดับความสูง จึงใช้การทาบแบบโครงสร้างที่เรียกว่า โปรไฟล์ไดอะแกรม (Profile Diagram) โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพรรณไม้ยืนต้นในแปลงเก็บตัวอย่างขนาด 20x50 เมตร ที่ทำการบันทึกตำแหน่งในแปลง และทิศทางการแผ่กระจายของเรือนยอดตลอดจนความสูงของแต่ละต้นมาทำการเขียนโครงสร้างลงในกระดาษ โดยมีมุมมองด้านหน้า (Front View) และมุมมองด้านบน (Top View)

3. โครงสร้างเว็บไซต์ฐานข้อมูลงานพรรณไม้ยืนต้น



ภาพที่ 5 ฐานข้อมูลงานวิจัยพรรณไม้ยืนต้น วัดป่าดอยลับงา

(<http://scitech.kpru.ac.th/course/environmentalsciences/rspg/index.php>)



ภาพที่ 6-7ฐานข้อมูลงานวิจัยพรรณไม้ยืนต้น วัดป่าดอยลับงา

(<http://scitech.kpru.ac.th/course/environmentalsciences/rspg/index.php>)

จากการศึกษาพรรณไม้ยืนต้นในพื้นที่บริเวณวัดป่าดอยลับงา ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ผลการสำรวจพบว่า มีจำนวนไม้ยืนต้นอยู่ในพื้นที่แปลงสำรวจทั้งหมด 517 ต้น แยกชนิดได้ 51 ชนิด 37 วงศ์ พรรณไม้ยืนต้นที่มีจำนวนมากที่สุดคือ ต้นประดู่ รองลงมาคือ ต้นตู๋ ต้นไม้แดง ต้นมะกอกเลื่อม ต้นตะแบก ต้นสัก ต้นรัง ตามลำดับ ส่วนพรรณไม้ยืนต้นที่มีจำนวนน้อยที่สุดคือ ต้นกระถิน ต้นแคทราย ต้นไม้ฉาก ต้นคันทิมิ ต้นตุมกา ต้นมะม่วงหัวแมงวัน ต้นมะยมหิน ต้นโมกหลวง ต้นลำโรง ตามลำดับ ค่าความถี่ของพรรณไม้ยืนต้นที่ขึ้นกระจายอยู่ตามพื้นที่ศึกษาที่มีค่าความถี่สูงที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นประดู่ ต้นมะกอกเลื่อม ต้นไม้แดง และต้นสัก ซึ่งพบว่า มีการกระจายอย่ทุกแปลงตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

รองลงมาคือ 83.30 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นคาง ต้นตะคร้อ และต้นตะแบก ส่วนพรรณไม้ยืนต้นที่มีความถี่น้อยที่สุด 16.60 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นกระถิน ต้นกระบก ต้นแคทราย ต้นดีหมี และ ต้นตะโกพนม ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นของพรรณไม้ยืนต้นที่มีความหนาแน่นที่มากที่สุดคือ ต้นประดู่ 0.92 ต้น/ตารางเมตร รองลงมา คือ ต้นตัว 0.85 ต้น/ตารางเมตร ต้นไม้แดง 0.72 ต้น/ตารางเมตร ต้นมะกอกเลื่อม 0.62 ต้น/ตารางเมตร และ ต้นตะแบก 0.45 ต้น/ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนพรรณไม้ยืนต้นที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด 0.02 ต้น/ตารางเมตร คือ ต้นตุงกา ต้นมะกอก ต้นมะม่วงหัวแมงวัน ต้นสมอไทย และต้นสเลียด ตามลำดับ ค่าความเด่นของพรรณไม้ยืนต้นคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของลำต้นต้นไม้ที่มีความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ ต้นประดู่ 16.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือต้นตัว 10.47 เปอร์เซ็นต์ ต้นมะกอกเลื่อม 8.61 เปอร์เซ็นต์ ต้นสัก 8.49 เปอร์เซ็นต์ ต้นไม้แดง 8.17 เปอร์เซ็นต์ และต้นรัง 5.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าดัชนีคุณค่าความสำคัญทางนิเวศของพรรณไม้ยืนต้นชนิดนั้นๆ ที่มีค่าดัชนีคุณค่าความสำคัญมากที่สุดคือ ต้นประดู่ 31.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือต้นตัว 23.25 เปอร์เซ็นต์ ต้นไม้แดง 20.85 เปอร์เซ็นต์ ต้นมะกอกเลื่อม 20.12 เปอร์เซ็นต์ ต้นสัก 17.79 เปอร์เซ็นต์ และต้นรัง 13.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อภิปรายผล

การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ยืนต้นบริเวณวัดป่าดอยลับงา หมู่ที่ 7 ตำบลท่าขุนราม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พบจำนวนไม้ยืนต้นอยู่ในพื้นที่แปลงสำรวจทั้งหมด 517 ต้น แยกชนิดได้ 51 ชนิด 37 วงศ์ และการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านอาหาร ด้านสมุนไพร ด้านการใช้ประโยชน์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งพรรณไม้ที่พบมากที่สุดคือ ต้นประดู่ รองลงมาคือ ต้นตัว ต้นแดง ตามลำดับ ซึ่งพรรณไม้ที่มีความถี่มากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นประดู่ ต้นมะกอกเลื่อม ต้นไม้แดง และต้นสัก ค่าความหนาแน่นของพรรณไม้ที่มากที่สุดคือ ต้นประดู่ 0.92 ต้น/ตารางเมตร ค่าความเด่นของพรรณไม้ยืนต้นคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของลำต้นต้นไม้ที่มีความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ ต้นประดู่ 16.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือต้นตัว 10.47 เปอร์เซ็นต์ และค่าดัชนีคุณค่าความสำคัญทางนิเวศของพรรณไม้ยืนต้นชนิดนั้นๆ ที่มีค่าดัชนีคุณค่าความสำคัญมากที่สุดคือ ต้นประดู่ 31.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือต้นตัว 23.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ สุภัทตรา (2550) ศึกษาความหลากหลายพันธุ์ไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ พบพันธุ์ไม้จำนวน 31 ชนิด จำนวน 330 ต้น 21 วงศ์ พบว่าพันธุ์ไม้ที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ พะยอม รองลงมาคือ เกล้ง และ มังตาล โดยมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 25.76 ,10.00 และ 9.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ คนติน และคนอื่นๆ (2555) ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจำแนกศักยภาพถิ่นที่ขึ้นของไม้สัก (*Tectona grandis* L.f.) ในธรรมชาติบริเวณอุทยานแห่งชาติแม่ยม จังหวัดแพร่ พบว่า สังคมพืชที่พบไม้สักในธรรมชาติบริเวณอุทยานแห่งชาติแม่ยม จังหวัดแพร่ เป็นสังคมพืชป่าผสมผลัดใบ มีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 1.31 ประกอบด้วยพรรณไม้ทั้งหมด 28 วงศ์ (Family) 58 สกุล (Genus) และ 76 ชนิดพันธุ์ (Species) และ ดนัย (2548) ศึกษาความหลากหลายของชนิดพรรณไม้กับลักษณะดินในสังคมพืชป่าไม้ พื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่ามีป่าไม้ 4 ชนิดคือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าสนและป่าดิบเขา โดยที่ป่าสนแบ่งออกเป็น 2 สังคมพืชย่อยคือ ป่าสนผสมป่าเต็งรัง และป่าสนผสมป่าดิบเขา ในหลายพื้นที่นั้นจะมีป่าหลายชนิดขึ้นผสมกัน โดยเฉพาะป่าเต็งรังผสมป่าเบญจพรรณ พบพรรณไม้ทั้งหมด 269 ชนิด (179 สกุล 71 วงศ์) ในป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังผสมป่าเบญจพรรณ ป่าสนผสมป่าเต็งรัง ป่าสนผสมป่าดิบเขา และป่าดิบเขามีจำนวน 90, 108, 128, 63, 85 และ 182 ชนิดตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- คณิติน สมานมิตร และคนอื่นๆ. (2555). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจำแนกศักยภาพ
ถิ่นที่ขึ้นของไม้สัก (*Tectong grandis* L.F.) ในธรรมชาติบริเวณอุทยานแห่งชาติแม่ยม
จังหวัดแพร่. แพร่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อุทยานแห่งชาติแม่ยม กรมอุทยาน
สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.
- दनัย แสนจันทอง. (2548). ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้กับลักษณะดินในสังคมพืชป่าไม้พื้นที่
อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิวัติ เรืองศรี. (2541). นิเวศวิทยาทรัพยากรธรรมชาติ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภัทตรา อ่อนศรี. (2550). การศึกษาสำรวจความหลากหลายของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัย
ราชภัฏศรีสะเกษ. ศรีสะเกษ : มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ.
- อินทิรา เศษอ่อน. (2551). การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของไฟในบ้านโคกผักหวาน ตำบลห้วยเก้ง
อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี เพื่อพัฒนาเป็นหลักสูตรท้องถิ่น. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.



การรวมแบบคอนเวกซ์บนผลต่างสี่เหลี่ยมของระเบียบวิธีการทำซ้ำแบบใหม่
สำหรับการแก้สมการพีชคณิตไม่เชิงเส้น

Convex Combinations based on Finite Difference Method of New Iteration
Method for Solving Nonlinear Algebraic Equations

สุมนธา เทียงดี*

Sumontha Tiengdee

ไพชยนต์ สิริเสถียรวัฒนา**

Phaichayon Sirisathianwatthana

บทคัดย่อ

ในวิจัยนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการแก้สมการพีชคณิตไม่เชิงเส้น, $f(x) = 0$ โดยการใช้ผลต่างสี่เหลี่ยมกับระเบียบวิธีการทำซ้ำที่ได้จากการกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ 2 อันดับ และ 3 อันดับ ซึ่งระเบียบวิธีนี้จะช่วยลดจำนวนรอบการทำซ้ำและการคำนวณจำนวนฟังก์ชัน

คำสำคัญ : การรวมแบบคอนเวกซ์ / ผลต่างสี่เหลี่ยม / ระเบียบวิธีการทำซ้ำ

ABSTRACT

In this paper, we proposed numerical method for solving nonlinear algebraic equations, $f(x) = 0$ by using finite difference with second order and third order of Taylor expansion. This method reduces the number of iterations and function calculations.

Keywords : Convex Combinations / Finite Difference / Iteration Method

*นักศึกษาประจำโปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

**อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทนำ

งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาการแก้ปัญหสมการพีชคณิตไม่เชิงเส้นที่อยู่ในรูปของสมการ $f(x) = 0$ ที่ใช้หลักการกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ คือ

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0)f'(x_0) + \frac{(x - x_0)^2}{2!}f''(x_0) + \frac{(x - x_0)^3}{3!}f'''(x_0) + \dots \quad (1.1)$$

ซึ่งมีผู้คิดค้นมากมายมานานแล้วและเป็นที่รู้จักกันดี เช่น ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน ใช้การกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ 1 อันดับ ได้สูตรการทำซ้ำดังนี้

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (1.2)$$

นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการคิดค้นกันอย่างต่อเนื่อง ในปี 2003 (He, 2003) ได้นำเสนอระเบียบวิธีการทำซ้ำใหม่ โดยใช้การกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ 2 อันดับ ได้สูตรการทำซ้ำ คือ

$$x_{n+1} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A(C + g(x))}}{2A}$$

เมื่อ $A = \frac{f''(x_n)}{2}$, $B = f'(x_n) - x_n f''(x_n)$ และ

$$C = f(x_n) - x_n f'(x_n) + \frac{x_n^2}{2} f''(x_n) + g(x_n)$$

ในปี 2008 (Ide, 2008) ได้นำเสนอระเบียบวิธีการทำซ้ำแบบไฮบริดใหม่ โดยใช้การกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ 3 อันดับ ได้สูตรการทำซ้ำ คือ

$$x_{n+1} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

เมื่อ $A = f''(x_n)$, $B = 6f'(x_n) - 2f''(x_n)x_n$ และ

$$C = 6f(x_n) - 6f'(x_n)x_n + f''(x_n)x_n^2$$

จากงานวิจัย 2 เรื่องสุดท้ายเป็นงานที่น่าสนใจ และผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำงานวิจัยนี้โดยการนำสูตรการทำซ้ำทั้งสองวิธีดังกล่าวมาจัดรูปสูตรการทำซ้ำใหม่ แล้วนำไปรวมกันแบบคอนเวกซ์ที่อยู่ในรูปของผลต่างสี่เหลี่ยม

วิธีดำเนินการวิจัย

จากระเบียบวิธีการทำซ้ำใหม่สำหรับแก้สมการพีชคณิต ของ (He, 2003) สามารถเขียนได้อีกรูปหนึ่ง (ให้ $g(x) = 0$) คือ

$$x_{n+1} = x_n + \frac{-f'(x_n) \pm \sqrt{(f'(x_n))^2 - 2f''(x_n)f(x_n)}}{f''(x_n)} \quad (2.1)$$

และจากระเบียบวิธีการทำซ้ำแบบไฮบริดใหม่สำหรับแก้สมการพีชคณิต ของ (Ide, 2008) สามารถเขียนได้อีกรูปหนึ่ง คือ

$$x_{n+1} = x_n + \frac{-f'(x_n) \pm \sqrt{(f'(x_n))^2 - \frac{2}{3} f''(x_n) f(x_n)}}{\frac{1}{3} f''(x_n)} \quad (2.2)$$

นำสมการ (2.1) และ (2.2) รวมกันแบบคอนเวกซ์ จะได้

$$x_{n+1} = \alpha \left[x_n + \frac{-f'(x_n) \pm \sqrt{(f'(x_n))^2 - 2f''(x_n) f(x_n)}}{f''(x_n)} \right] + (1-\alpha) \left[x_n + \frac{-f'(x_n) \pm \sqrt{(f'(x_n))^2 - \frac{2}{3} f''(x_n) f(x_n)}}{\frac{1}{3} f''(x_n)} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ $0 < \alpha < 1$

จัดรูปสมการ (2.3) จะได้

$$x_{n+1} = x_n + \frac{-3f'(x_n) \pm \sqrt{(3f'(x_n))^2 - 6(2\alpha+1)f''(x_n) f(x_n)}}{(2\alpha+1)f''(x_n)} \quad (2.4)$$

เมื่อ $0 < \alpha < 1$

จากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ 2 อันดับ คือ

$$f(x) = f(x_n) + (x_{n+1} - x_n) f'(x_n) + \frac{(x_{n+1} - x_n)^2}{2} f''(x_n) \quad (2.5)$$

จัดรูปสมการ (2.5) ใหม่, $f''(x_n)$

$$f''(x_n) = \frac{2}{(x_{n+1} - x_n)^2} (-f(x_n) - (x_{n+1} - x_n) f'(x_n)) \quad (2.6)$$

จากผลต่างสี่เหลี่ยมข้างหลัง

$$f'(x_n) = \frac{f(x_n) - f(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} \quad (2.7)$$

นำสมการ (2.7) แทนใน สมการ (2.6) โดยให้ $x_{n+1} - x_n \approx x_n - x_{n-1}$ จะได้

$$f''(x_n) = \frac{-2(2f(x_n) - f(x_{n-1}))}{(x_n - x_{n-1})^2} \quad (2.8)$$

ต่อไปนำสมการ (2.7) และสมการ (2.8) แทนในสมการ (2.4) จัดรูปใหม่จะได้

$$x_{n+1} = x_n + \frac{(-3f(x_n) + 3f(x_{n-1}))(x_n - x_{n-1}) \pm [3(f(x_n) - f(x_{n-1}))]^2 - (24\alpha+12)(-2f(x_n) + f(x_{n-1}))f(x_n)}{(4\alpha+2)(-2f(x_n) + f(x_{n-1}))} \quad (2.9)$$

เมื่อ $0 < \alpha < 1$

ผลการวิจัย

ระเบียบวิธีการใหม่ที่ได้จากการศึกษามี 2 ระเบียบวิธี คือ Convex combinations of new iteration method and new hybrid iteration method (CNH) (Eq. 2.4) และ Convex combinations based on finite difference method of new iteration method (CFDM) (Eq. 2.9)

ตารางเปรียบเทียบ

ในการคำนวณจะใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม Maple 13 และให้ $x_{-1} = 0$ และ ระเบียบวิธีการใหม่ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกับ Newton-Raphson Method (NRM), New iteration method (NIM) และ New hybrid iteration method (NHIM)

Table 1 : $f(x) = x^3 - e^{-x} = 0$, $x_0 = 1$

Formula	n	x_n	$ f(x_n) $
NRM	6	0.77288295914921011285	0.00000000000000000000
NIM	6	0.77288295914921011232	0.000000000000000000120
NHIM	6	0.77288295914921011280	0.000000000000000000011
CNH ($\alpha = 0.6$)	5	0.77288295914921011285	0.00000000000000000000
CFDM ($\alpha = 0.1$)	12	0.77288295914921011285	0.00000000000000000000

Table 2 : $f(x) = \sin x - 0.5x = 0$, $x_0 = 1.6$

Formula	n	x_n	$ f(x_n) $
NRM	6	1.89549426703398094710	0.00000000000000000004
NIM	6	1.89549426703398094720	0.000000000000000000005
NHIM	6	1.89549426703398094720	0.000000000000000000005
CNH ($\alpha = 0.8$)	5	1.89549426703398094710	0.00000000000000000004
CFDM ($\alpha = 0.1$)	13	1.89549426703398094710	0.00000000000000000004

Table 3 : $f(x) = x \ln x - 1.2 = 0$, $x_0 = 2$

Formula	n	x_n	$ f(x_n) $
NRM	5	1.88808675302834352380	0.00000000000000000000
NIM	6	1.88808675302834352390	0.000000000000000000020
NHIM	5	1.88808675302834352380	0.00000000000000000000
CNH ($\alpha = 0.5$)	5	1.88808675302834352380	0.00000000000000000000
CFDM	Nan	Nan	Nan

Table 4 : $f(x) = \tan^{-1} x = 0, x_0 = 2$

Formula	n	x_n	$ f(x_n) $
NRM	12	Failure	--
NIM	9	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000
NHIM	7	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000
CNH ($\alpha = 0.5$)	5	-0.000000000000000014529	0.000000000000000014529
CFDM ($\alpha = 0.1$)	13	0.00000000000000000001	0.00000000000000000001

อภิปรายผล

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาระเบียบวิธีการทำซ้ำที่ใช้แนวคิดของการกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ในการแก้สมการ $f(x) = 0$ บนฟังก์ชันพีชคณิตไม่เชิงเส้น ซึ่งได้สูตรการทำซ้ำดังต่อไปนี้

1.

$$x_{n+1} = x_n + \frac{-3f'(x_n) \pm \sqrt{(3f'(x_n))^2 - 6(2\alpha + 1)f''(x_n)f(x_n)}}{(2\alpha + 1)f''(x_n)}$$

ถ้าเราเลือก α ให้อยู่ในช่วง $[0.5, 0.9]$ จะมีการลู่เข้าดีกว่าค่าอื่น

2.

$$x_{n+1} = x_n + \frac{(-3f(x_n) + 3f(x_{n-1}))(x_n - x_{n-1}) \pm |x_n - x_{n-1}| \sqrt{[3(f(x_n) - f(x_{n-1}))]^2 - (24\alpha + 12)(-2f(x_n) + f(x_{n-1}))f(x_n)}}{(4\alpha + 2)(-2f(x_n) + f(x_{n-1}))}$$

ถ้า α อยู่ในย่านใกล้เคียงกับ 0.1 จะมีการลู่เข้าดีกว่าค่าอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ได้สนับสนุนทุนสำหรับทำวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

He, J. H. (2003, February). A new iteration method for solving algebraic equations. **Applied Mathematics and Computation**, 135(1), 81-84.

Ide, N. A. D. (2008, February). A new hybrid iteration method for solving algebraic equations **Applied Mathematics and Computation**, 195(2), 772-774.



การออกแบบและพัฒนาไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติเพื่อประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์
Design and Development of Fiber Cement Containing Natural Cellulose Fiber
for Furniture Application

ลำพล เอี่ยมอำ*
Lampon Aiam-am

ทพธิระ มีศรีสวัสดิ์*
Thapthira Meesrisawat

อำไพ แสงจันทร์ไทย**
Aumpai Saengjanthai

สุรเชษฐ์ ตุ่มมี**
Surachet Toommee

Surachet Toommee

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีในการเตรียมวัสดุซีเมนต์เส้นใยหรือไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยเศษวัสดุธรรมชาติ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ คือ เส้นใยกล้วย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรภายในประเทศ และหาได้ง่ายในจังหวัดกำแพงเพชร และมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาเกี่ยวกับผลของเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM ผลจากการวิจัย พบว่า การใช้เส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยกล้วยในส่วนผสมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ได้

คำสำคัญ : ไฟเบอร์ซีเมนต์ / สมบัติทางกายภาพ / สมบัติเชิงกล / เส้นใยกล้วย

ABSTRACT

The objective of this research is to develop fiber cement from natural occurring resource for home furniture. Banana fiber was employed as raw materials. It was considered as a waste from agriculture at Kamphaeng Phet Province. The role of banana fiber can be enhanced physical properties, mechanical properties based on ASTM standard. Utilization of banana fiber can be reinforced into plastic for furniture materials.

Keywords : Fiber Cement / Physical Properties / Mechanical Properties / Banana Fiber

*นักศึกษาโปรแกรมวิชาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

**อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทนำ

ไฟเบอร์ซีเมนต์ จัดเป็นวัสดุที่ใช้ในงานช่างที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ได้จากไม้ แต่นำวัสดุชนิดอื่นมาผสมกับไม้ และสารเคมีบางชนิด (ภูษิต และอัญชิสา, 2555) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ สารพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งเพิ่มเติมอื่นๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่เทียบเท่ากับไม้สำหรับใช้งานในด้านต่างๆ ในอดีตที่ผ่านมา ไม้ (wood) และวัสดุที่เกี่ยวข้องกับไม้เป็นที่นิยมและถูกเลือกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก เนื่องจากไม้มีสมบัติและประโยชน์ที่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น ทำเป็นถ่านหรือฟืน สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง บางครั้งก็ใช้ในงานด้านศิลปะ ทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ ทำเป็นอาวุธ หรือแม้กระทั่งใช้เป็นเครื่องอุปโภคบริโภค เช่น ใช้เป็นอาหาร ยารักษาโรค รวมทั้งใช้ทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม และนอกจากนั้นไม้ยังคงเป็นส่วนประกอบสำคัญในงานด้านโครงสร้าง หรือใช้สำหรับทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ประเภทต่างๆ จะเห็นได้ว่าในทุกยุคสมัยไม้จัดเป็นวัสดุที่นิยมและถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะกับงานด้านโครงสร้าง และทำเป็นเฟอร์นิเจอร์เพื่อประดับตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร

แต่ปัจจุบันวัสดุประเภทไม้ซึ่งจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทสิ้นเปลือง คือ เมื่อนำมาใช้แล้วจะหมดสิ้นไป แม้ว่าจะสามารถปลูกทดแทนได้แต่ก็ต้องอาศัยระยะเวลาที่นาน และไม่สอดคล้องกับปริมาณความต้องการในการใช้ไม้ในปัจจุบัน จึงทำให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่ในเมืองไทยและของโลกลดจำนวนลงอย่างมาก ดังนั้น จึงนับได้ว่าวัสดุประเภทไม้และทรัพยากรป่าไม้มีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อเราเป็นอย่างมาก ชาติไม้หรือป่าไม้หมดไปสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกก็ต้องได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่จำเป็นในงานก่อสร้างและใช้ทำเฟอร์นิเจอร์รวมถึงงานโครงสร้างด้านอื่นๆ ทำให้ป่าไม้ในเมืองไทยขาดแคลน ธุรกิจและงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานจากไม้จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้เกิดการเสียดุลทางการค้า และส่งผลให้งานที่ทำจากไม้มีราคาแพงเพราะต้นทุนในการผลิตมีราคาสูง แนวทางการแก้ไขปัญหานี้แนวทางหนึ่งก็คือการใช้ไม้เทียมหรือที่รู้จักกันในทางการค้าว่า ไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งในปัจจุบันไฟเบอร์ซีเมนต์ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น (นญา, 2553) เช่น ใช้ในการทำเฟอร์นิเจอร์หรืองานโครงสร้าง (ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, 2553) ทำชุดโต๊ะเก้าอี้ ตู้ เตียง เนื่องจากไฟเบอร์ซีเมนต์มีสมบัติเด่นหลายๆ ด้าน เช่น ทนทานต่อการกัดกร่อน ทนต่อสัตว์และแมลงศัตรูไม้ และทนต่อทุกสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งมีความแข็งแรงสูง และที่สำคัญไฟเบอร์ซีเมนต์ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ที่ผ่านมามีการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อพัฒนาและปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆ ของไฟเบอร์ซีเมนต์มาอย่างต่อเนื่อง (พิทักษ์, 2554) เช่น การนำเส้นใยประเภทต่างๆ ทั้งเส้นใยธรรมชาติ (มณีรัตน์, 2548) เช่น เส้นใยจากมะพร้าว เส้นใยจากปาล์มน้ำมัน เศษฟางข้าว เปลือกทุเรียน (ประชุม, 2550) และเศษเหลือทิ้งที่ได้จากการเกษตรชนิดอื่นๆ (ปราโมทย์ และคนอื่นๆ, 2554) และเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยไนลอน เส้นใยโพลิพรพิลีน และกากของเสียชนิดต่างๆ ที่ได้จากภาคอุตสาหกรรม มาเป็นส่วนผสมสำหรับทำเป็นไฟเบอร์ซีเมนต์ เพื่อให้ได้ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีลักษณะและสมบัติที่ใกล้เคียงกับไม้จริงที่มีอยู่ในธรรมชาติ (อาคม, 2550) แต่มีสมบัติที่เด่นกว่าไม้จริง คือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเพราะไม่การดูดซึมน้ำจึงไม่มีการ ผุร่อนเหมือนไม้จริง หรือเป็นสนิมเหมือนเหล็ก และทนต่อสารเคมีและแมลงทุกชนิด เป็นฉนวนกันความร้อน และที่สำคัญไม่เป็นเชื้อเพลิงหรือติดไฟได้ง่าย และนอกจากนั้นสามารถเตรียมและสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องมือช่างทั่วไปได้เช่นเดียวกับไม้จริง

แนวคิดในการนำเส้นใยที่ได้จากต้นกล้วยซึ่งเป็นเศษวัสดุจากธรรมชาติที่มีมากในท้องถิ่นมาเป็นวัตถุดิบสำหรับทำเป็นไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยผสมเส้นใยจากต้นกล้วยกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมต่างๆ แล้วนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ เพื่อศึกษาและทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษา

และออกแบบวิธีการในการขึ้นรูปไฟเบอร์ซีเมนต์ และทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ได้จากเส้นใยกล้วย เพื่อให้ได้ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีคุณภาพในการใช้งานที่สูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา) และเส้นใยกล้วย น้ำสะอาด สารเพิ่มความหล่อลื่น และแม่แบบโลหะสำหรับหล่อขึ้นตัวอย่างทดสอบไฟเบอร์ซีเมนต์หรือซีเมนต์เพสต์ 2 ขนาด คือ แม่แบบสำหรับหล่อขึ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรงกดอัด ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 5x5x5 เซนติเมตร และแม่แบบสำหรับหล่อขึ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรงดัด ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร และเครื่องทดสอบแรงกดอัดคอนกรีต (compression testing machine)

ขั้นตอนและวิธีในการดำเนินการวิจัย

การเตรียมเส้นใยกล้วย นำกากกล้วยที่ผ่านการคัดเลือกมาล้างทำความสะอาดแล้วตัดให้ได้ความยาว 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อให้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นเส้นใย นำเส้นใยที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 1

การเตรียมขึ้นตัวอย่าง สำหรับขึ้นตัวอย่างมาตรฐาน (STD) ประกอบด้วยปูนซีเมนต์และน้ำสะอาด และขึ้นตัวอย่างทดสอบ B1 B2 และ B3 ที่มีการเติมเส้นใยกล้วยลงในส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 6.25 12.50 และ 25.00 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้เทลงในแม่แบบสำหรับหล่อขึ้นตัวอย่าง เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดขึ้นตัวอย่างออกจากแม่แบบแล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพของไฟเบอร์ซีเมนต์ จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างที่ได้บ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติของไฟเบอร์ซีเมนต์ สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของไฟเบอร์ซีเมนต์ เพื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยกล้วย โดยสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาในครั้งนี้ คือ ค่าความหนาแน่น (bulk density) ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว (surface) และค่าความพรุนตัว (apparent porosity) โดยสำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลของไฟเบอร์ซีเมนต์ในครั้งนี้ ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C109 (ASTM, 2006b) (ASTM C 109) โดยนำขึ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ในแต่ละอัตราส่วนผสม จำนวน 3 ตัวอย่าง ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดและหาค่าเฉลี่ย และการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C78-84 (ASTM C 293) โดยนำขึ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร ในแต่ละอัตราส่วนผสม จำนวน 3 ตัวอย่าง ทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดและหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างของเส้นใยกล้วย

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมในการเตรียมชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์

ชิ้นตัวอย่าง	อัตราส่วนของเส้นใย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เส้นใย (กรัม)
STD	0.00	1,000	600	0.00
B1	6.25	1,000	600	6.25
B2	12.50	1,000	600	12.50
B3	25.00	1,000	600	25.00

* STD หมายถึง ซีเมนต์เพสต์มาตรฐาน

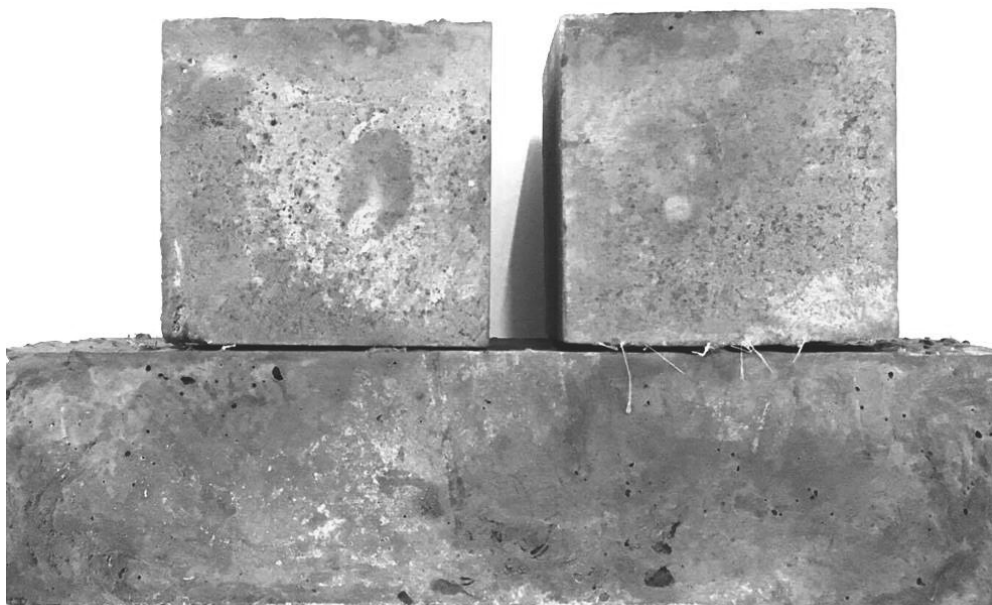
B1 หมายถึง ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกล้วยร้อยละ 6.25 โดยน้ำหนัก

B2 หมายถึง ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกล้วยร้อยละ 12.50 โดยน้ำหนัก

B3 หมายถึง ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกล้วยร้อยละ 25.00 โดยน้ำหนัก

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า ชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนผสมต่างๆ มีลักษณะทางกายภาพภายนอกที่คล้ายคลึงกัน คือ มีลักษณะเป็นก้อนไฟเบอร์ซีเมนต์สีเทาเข้ม มีลักษณะของพื้นผิวที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนของเส้นใย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (ชีวารัตน์, 2550) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เตรียมได้มีน้ำหนักและค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนผสมที่ใช้ โดยตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเส้นใยในส่วนผสมที่สูงจะมีน้ำหนักและค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเส้นใยในส่วนผสมที่ต่ำกว่า ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Pusit, & Achisa, 2015)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ได้จากการหล่อแบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตร และขนาด 4x16x4 เซนติเมตร

จากตารางที่ 2 แสดงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ได้จากการหล่อแบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตรโดยซึ่งหลังจากถอดชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ออกจากแบบทันที พบว่า น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์จะมีค่าลดลงตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้นในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ STD มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสูงสุด ส่วนน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ B1 B2 และ B3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมีค่าที่ลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใยในส่วนผสมที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในส่วนผสมมีค่ามากกว่าความหนาแน่นมากกว่าค่าความหนาแน่นของเส้นใย จึงทำให้ชิ้นตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนผสมของเส้นใยในปริมาณที่สูงมีน้ำหนักเฉลี่ยและค่าความหนาแน่นที่ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในการใช้เส้นใยชนิดอื่นๆ ในการเตรียมไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Asasutjarit, et al, 2009; Cook, et al, 1978; Khedari, et al, 2001)

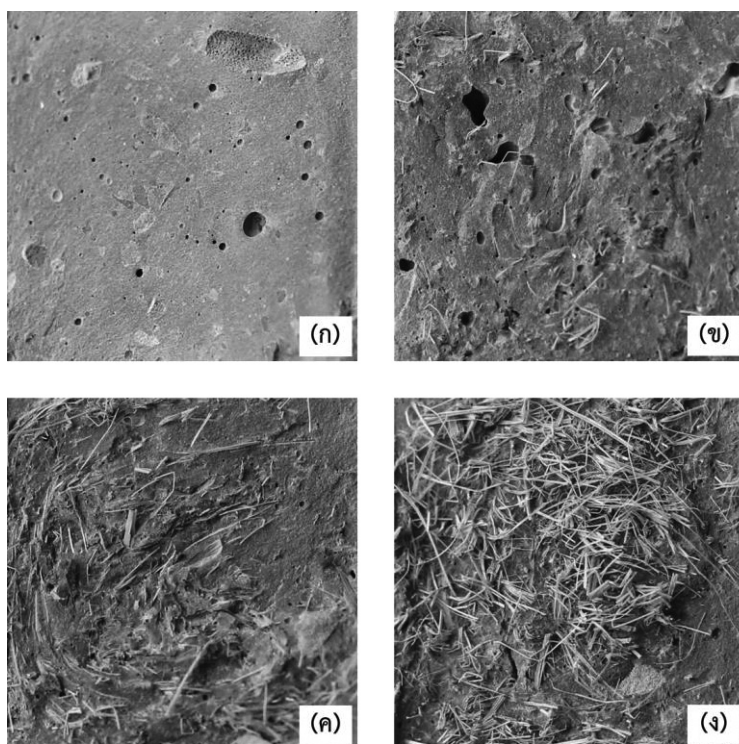
เนื่องจากในชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเส้นใยสูงจะมีการกระจายและแทรกตัวของเส้นใยในเนื้อของซีเมนต์เพสต์ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเส้นใยในอัตราส่วนที่ลดลง และจะส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่น รวมทั้งค่าความพรุนตัว ของชิ้นตัวอย่างลดลง ดังแสดงในภาพที่ 3 ถึง ภาพที่ 5 และในตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Jerry, et al, 2016) และผลการศึกษาที่ได้จากชิ้นตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร พบว่า ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3 รวมทั้งค่าความหนาแน่นของชิ้นงานจะลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 2 น้ำหนักของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

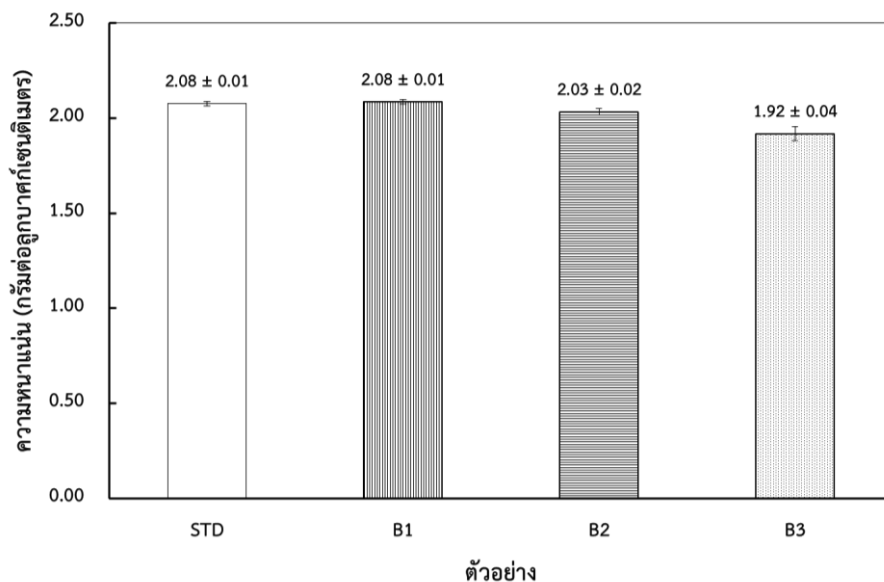
ชั้นตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)			Mean	SD
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3		
STD	258.15	259.37	261.22	259.58	1.55
B1	262.33	259.79	259.70	260.61	1.49
B2	251.75	255.83	254.62	254.07	2.10
B3	244.90	237.86	236.30	239.69	4.58

ตารางที่ 3 น้ำหนักของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

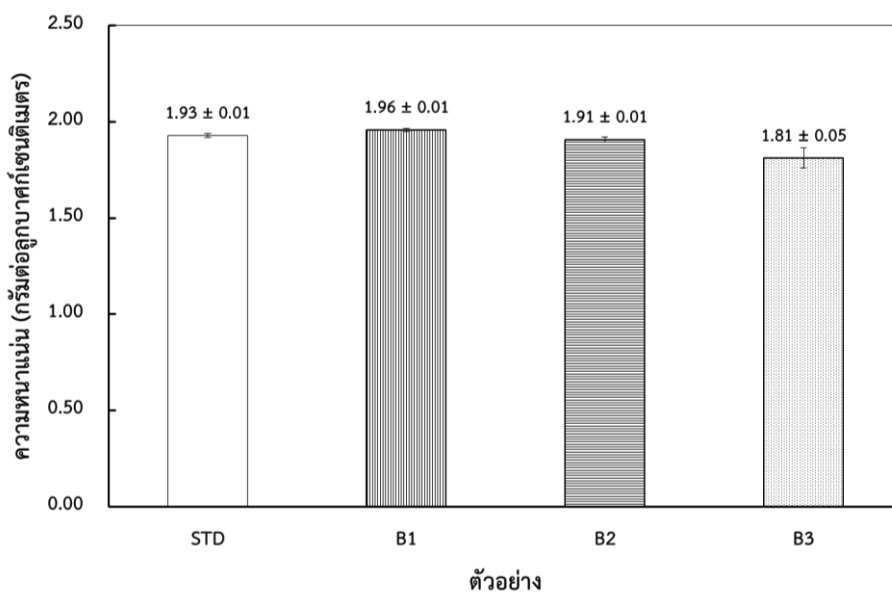
ชั้นตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)			Mean	SD
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3		
STD	496.66	491.97	492.57	493.73	2.55
B1	499.64	500.59	503.67	501.30	2.11
B2	492.03	487.43	485.73	488.40	3.26
B3	464.26	476.44	449.70	463.47	13.39



ภาพที่ 3 ตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ภายหลังจากผ่านการทดสอบสมบัติเชิงกล (ก) STD (ข) B1 (ค) B2 และ (ง) B3



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 5x5 เซนติเมตร

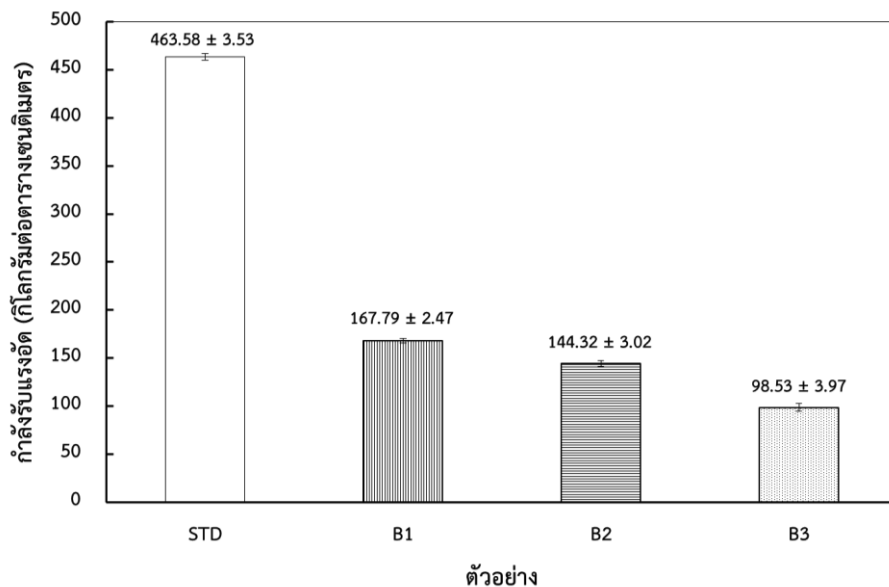


ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 ค่าร้อยละความพรุนตัว (apparent porosity) ของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

ชิ้นตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)			Mean	SD
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3		
STD	0.39	0.45	0.38	0.41	0.03
B1	12.46	14.37	12.74	13.19	1.03
B2	19.60	18.95	19.72	19.42	0.41
B3	26.46	31.55	33.26	30.42	3.54

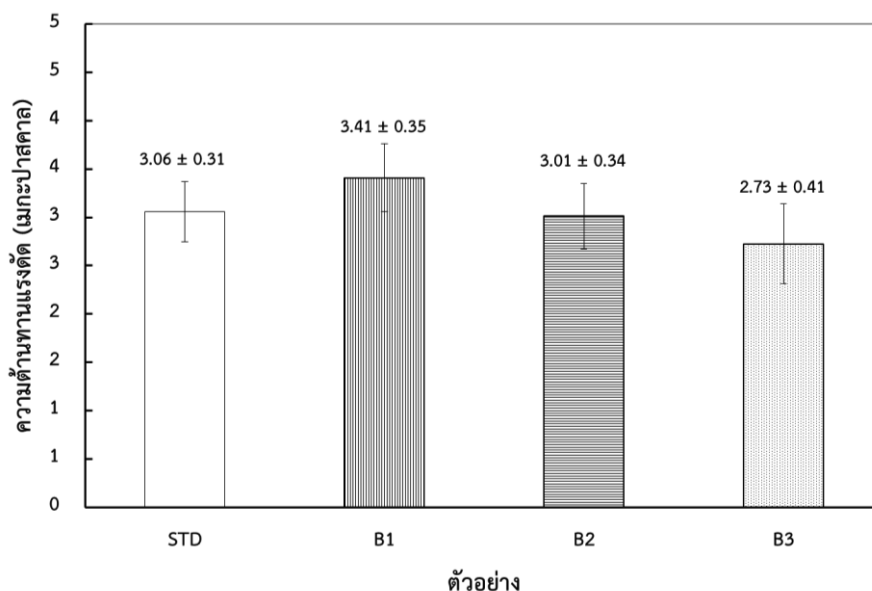
2. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของไฟเบอร์ซีเมนต์ ผลจากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกล้วยเปรียบเทียบกับไฟเบอร์ซีเมนต์มาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM C109 (ASTM, 2006b) ผลจากการทดสอบ พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของไฟเบอร์ซีเมนต์มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้วยในส่วนผสมที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้เส้นใยธรรมชาติในการเตรียมไฟเบอร์ซีเมนต์ (ภูษิต และอัญชิสา, 2555) โดยร้อยละในการลดลงของค่ากำลังรับแรงอัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ในแต่ละอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับไฟเบอร์ซีเมนต์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 63.81 68.87 และ 78.75 สำหรับชิ้นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนของเส้นใยในโครงสร้างร้อยละ 6.25 12.50 และ 25.00 โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของไฟเบอร์ซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงอัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

และจากการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกล้วยเปรียบเทียบกับไฟเบอร์ซีเมนต์มาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM C78-84 พบว่า เมื่อมีการผสมเส้นใยกล้วยเข้าไปในโครงสร้างของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานต่อแรงดัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษางานวิจัยอื่น (Agopyan, et al, 2005) ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีเส้นใยกล้วยในโครงสร้างร้อยละ 6.25 โดยน้ำหนัก จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดัดสูงสุด

คือ 3.41 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับความต้านทานแรงดัดต่ำสุดตามที่มาตรฐาน ASTM C1186-02 กำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างมาตรฐานที่ไม่มีเส้นใยกล้วยในโครงสร้าง ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีเส้นใยกล้วยในโครงสร้างร้อยละ 6.25 โดยน้ำหนัก มีความต้านทานแรงดัดสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 แสดงให้เห็นว่าเติมเส้นใยกล้วยที่ร้อยละ 6.25 โดยน้ำหนัก จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลในด้านความต้านทานต่อแรงดัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ได้ดีขึ้น



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 4x16x4 เซนติเมตร

อภิปรายผล

จากการศึกษาการออกแบบและพัฒนาไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติเพื่อประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ พบว่า ปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักที่จะเป็นสิ่งที่กำหนดสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของไฟเบอร์ซีเมนต์ เมื่อมีการเติมเส้นใยกล้วยเข้าไปในส่วนผสมปริมาณของปูนซีเมนต์ในโครงสร้างจึงลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เตรียมได้ ดังนั้นการเลือกใช้อัตราส่วนของเส้นใยกล้วยที่เหมาะสมจะช่วยให้ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เตรียมได้มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยจากการศึกษารั้วนี้ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยกล้วยที่ช่วยให้ไฟเบอร์ซีเมนต์มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ คือ การใช้เส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนในช่วงร้อยละ 6.25 โดยน้ำหนัก (สูตร B1) ซึ่งจะทำให้ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่สามารถทนต่อแรงกดอัดได้มากกว่า 167 เมกะปาสคาล รวมทั้งมีน้ำหนักและความหนาแน่นตามที่มาตรฐานกำหนด และยังส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานต่อแรงดัดเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบสมบัติของไฟเบอร์ซีเมนต์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ชีวารัตน์ ม่วงพัฒน์. (2550). **เส้นใยธรรมชาติสำหรับวัสดุผนังอาคาร**. กรุงเทพฯ : คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นงา พยพันธ์. (2553). **แนวทางการใช้ไม้เทียมที่ผลิตจากไฟเบอร์ซีเมนต์ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย**. วิทยานิพนธ์เคหพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ภาควิชาเคหะการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมทย์ วีรานุกูล และคนอื่นๆ. (2554). **การใช้กากมะพร้าว ต้นข้าวโพด และเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุ ประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง**. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ประชุม คำพุ่ม. (2550). **มอร์ต้ามวลเบาผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- พิทักษ์ พนาวัน และคนอื่นๆ. (2554). **ศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์กับเส้นใยธรรมชาติ. ในการประชุมวิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554. (หน้า 831-838). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.**
- ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม. (2553). **รายงานการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ไม้เฌอร่าในงานโครงสร้างบ้านเพื่อทดแทนไม้จริง**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และอัญชิสา สันติจิตโต. (2555). **คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง, 9(1), 113-124.**
- มณีรัตน์ ปัญญพงษ์. (2548). **ทำแผ่นไม้อัดจากหญ้าคาอีกแนวทางเพิ่มมูลค่าวัชพืชนในท้องถิ่น. เทคโนโลยีชาวบ้าน, 17(357), 20.**
- อาคม ปาสีโล, นิรันดร์ หันไชยงวา และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา. (2550). **การศึกษาสมบัติปาร์ติเกิลบอร์ดที่ทำจากฟางข้าวและกลบ. ในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. วันที่ 23-25 พฤษภาคม พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ : โรงแรมไบหยกสกาย.**
- Agopyan, V., et al. (2005, July). Developments on vegetable fibre-cement based materials in Sao Paulo, Brazil : An overview. **Cement and Concrete Composite, 27(5), 527-536.**
- Asasutjarit, C., et al. (2009, December). Material and Mechanical Properties of Pretreated Coir-based Green Composite. **Composites Part B : Engineering, 40(7), 633-637.**
- Cook, D. J., Pama, R. P., & Weerasingle, H. (1978, April). Coir fibre reinforced cement as a low cost roofing material. **Building and Environment, 13(3), 193-198.**
- Jerry M. Paris, et al. (2016, May). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. **Journal of Cleaner Production, 121, 1-18.**
- Khedari, J., et al. (2001, February). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites, 23(1), 65-70.**

Pusit L. & Aachisa S. (2015, September). Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction and Building Materials**, **94**, 664-669.



คำแนะนำ สำหรับผู้ส่งบทความ

คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ

สัททอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ปีละ 2 ฉบับ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารจะต้องผ่านการตรวจพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาต่างๆ หากมีความเห็นว่าต้องมีการแก้ไขทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเพื่อแก้ไขและขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาไม่ลงพิมพ์เมื่อไม่ผ่านการพิจารณา ผู้ที่มีความประสงค์จะส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังต่อไปนี้

การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์ตามรูปแบบและข้อแนะนำในการเขียนบทความของวารสารนี้เท่านั้น
2. ต้นฉบับที่ส่งมาให้พิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน และจะต้องไม่ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน
3. การตีพิมพ์บทความลงในวารสาร จะเรียงตามลำดับก่อนหลังตามวันที่ได้รับเรื่อง
4. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่องรวมทั้งการปรับปรุงบทความบางส่วนตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้อ่านบทความ
5. กรณีเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กองบรรณาธิการจะคัดเลือกบทความที่นักศึกษาส่งซึ่งอาจไม่ได้ตีพิมพ์ทุกบทความ
6. บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร ถือว่าเป็นผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยของคณะผู้เขียนไม่ใช่ความคิดเห็นของกองบรรณาธิการ ผู้เขียนและคณะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน
7. บทความที่ได้ผ่านการพิจารณาแล้ว ทางกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับเอกสารพร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/tgt> และสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา อาคาร 1 ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0 5572 1879, 0 5572 2500 ต่อ 1760 หรือนายทวิช ปิ่นวิเศษ โทรศัพท์ 08 4593 9223

รูปแบบการพิมพ์บทความ

1. ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ ตั้งค่ากระดาษเป็น B5 (JIS) โดยจำนวนหน้าของเนื้อหาและเอกสารอ้างอิง รวมทั้งสิ้นไม่เกิน 10 หน้า ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK และแต่ละหน้าไม่เกิน 30 บรรทัด

2. ข้อปฏิบัติการพิมพ์แต่ละหัวข้อ/ส่วนประกอบ มีดังนี้

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
1	ชื่อบทความ	ระบุชื่อบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2	ชื่อผู้เขียนบทความ	ระบุชื่อผู้วิจัย,ผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
3	สังกัดผู้เขียนบทความ	ระบุวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา ตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานที่สังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 12 พอยท์ ไว้ที่เชิงอรรถท้ายหน้า
4	บทคัดย่อ (Abstract)	บทคัดย่อมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อความของบทคัดย่อไม่เกิน 10 บรรทัดและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 300 คำ เป็นการเขียนข้อสรุปหลักของผลการวิจัยทั้งหมดแบบสรุป กระชับ และได้ใจความ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
5	คำสำคัญ (Keywords)	ระบุคำสำคัญ 2-5 คำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไว้ท้ายบทคัดย่อ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
6	เนื้อหา (Content)	ทุกหัวข้อใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา วางไว้ชิดขอบซ้าย ส่วนรายละเอียดใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ประกอบด้วย 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Statement of the Problem) สรุปความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาอย่างเป็นลำดับและเรียบเรียงอย่างเชื่อมโยงกัน และมีการอ้างอิง 2. วิธีดำเนินการวิจัย (Objectives) อธิบายเกี่ยวกับประชากรและกลุ่มตัวอย่างหรือแหล่งข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเขียนให้กระชับและชัดเจน 3. ผลการวิจัย (Conclusion) รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ควรมีตารางและภาพประกอบได้ ใช้คำที่เข้าใจง่ายและชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน ภาพเป็นไฟล์ .JPEG 4. อภิปรายผล (Discussion) วิเคราะห์ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหลักวิชาการ อาจมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
	เนื้อหา (Content) (ต่อ)	5. บทสรุป สรุปประเด็นที่พบและประเด็นการศึกษาและหากเป็นบทความวิชาการจะมี 3 หัวข้อ คือ บทนำ เนื้อหา และการอ้างอิงแหล่งสารสนเทศ และสรุป
7	กิตติกรรมประกาศ	ควรมีเพื่อแสดงคำขอบคุณ สำหรับแหล่งทุนสนับสนุนหรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัยและเตรียมเอกสาร
8	ตาราง (ถ้ามี)	ตารางที่แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ตารางแบบเส้นคู่ เปิด-ปิดตาราง
9	การอ้างอิงในเนื้อหา	ลงรายการ (ชื่อผู้แต่ง, ปี) ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)
10	เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในเนื้อหาทุกรายการต้องนำไปใส่ไว้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความในรูปแบบการลงรายการบรรณานุกรมที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)

รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหาและบรรณานุกรม

หนังสือ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือ

อ้างอิง	ภาษาไทย	(ชื่อ, ปี)
	ภาษาอังกฤษ	(นามสกุล, ตัวอักษรแรกของชื่อ., ปี)
บรรณานุกรม	ภาษาไทย	ชื่อ/นามสกุล/(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง/(ครั้งที่พิมพ์)/ สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.
	ภาษาอังกฤษ	นามสกุล,/อักษรย่อชื่อแรก ชื่อกลาง (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อเรื่อง/ครั้งที่พิมพ์)/สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์ หรือโรงพิมพ์.

1. ผู้แต่งคนเดียว

(สมพงษ์, 2548)

สมพงษ์ ชูมาก. (2548). **กฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีเมือง**. (พิมพ์ครั้งที่ 3).

กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

(สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา, 2531)

กัลยาณิวัฒนา, สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้า. (2531). **เจ้านายเล็กๆ ยุวกษัตริย์**.

(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์.

(Wilson, 2007)

Wilson, K. (2007). **Smart choice**. (2 nd ed). London : Oxford University Press.

2. ผู้แต่งมากกว่า 3 คน

(อวยพร และคนอื่นๆ, 2548)

อวยพร พานิช และคนอื่นๆ. (2548). ภาษาและหลักการเขียนเพื่อการสื่อสาร.

กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(Crouhy, et al., 2006)

Crouhy, M., et al. (2006). *The essentials of risk management*. New York : McGraw-Hill.

3. ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. (2546). เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาการ

วิจัยการบริหารการศึกษา. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2541)

การศึกษาแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ. (2541). การปฏิรูปการเรียนรู้ตามแนวคิด

5 ทฤษฎี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไอดีเอสแควร์,

(Ministry, 2002)

Education, Ministry of. (2002). *Chiangmai : Nop Bueri Si Nakon Ping*.

Bangkok : Ministry of Education.

4. วิทยานิพนธ์

(เขวงค์ศักดิ์, 2543)

เขวงค์ศักดิ์ เขียวเงิน. (2543). การดำเนินงานการประกันคุณภาพการศึกษาของ

สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.

(โอภามา, 2550)

โอภามา จำเภา. (2550). การจัดการตลาดทางเลือกเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษา

สหกรณ์การเกษตรยั่งยืนแม่ทาจำกัด ตำบลแม่ทา กิ่งอำเภอแม่อน

จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์พัฒนารัฐบาลชุมชนมหาบัณฑิต

คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(Almeida, 1990)

Almeida, D.M. (1990). *Father's participation in family work : Consequences*

for fathers' stress and father child relation. Master's thesis,

University of Victoria.

5. รายงานการประชุม

(นิทัศน์, 2540)

นิทัศน์ ภัทรโยธิน. (2540). ตลาดซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า ในการประชุม

นักบัญชีทั่วประเทศ ครั้งที่ 15 วิสัยทัศน์นักบัญชีไทย. วันที่ 27-28

มิถุนายน พ.ศ. 2540 (หน้า 19-35). กรุงเทพฯ : สมาคมนักบัญชีและผู้สอบ

บัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย.

(Paitoon, 1995)

Paitoon Sinlarat. (1995). Success and failure of facility in Thai university.

In Somwang Pitiyanuwat, et al. (Eds), **Preparing teachers for All the World's Children: An Era of Transformation Proceedings of International Conference, Bangkok 1992.** (pp. 217-233).

Bangkok : UNICEF.

วารสาร

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสาร การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปีที่พิมพ์)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ/**ชื่อวารสาร**,ปีที่(ฉบับที่)/หน้า (มัลลวีร์, นิตย และวิลลาวัลย์, 2549)

มัลลวีร์ อุดลวัฒน์ศิริ, นิตย บุษงามงคล และวิลลาวัลย์ จตุรธำรง. (2549, กรกฎาคม-ธันวาคม). การศึกษาและพัฒนาพฤติกรรมทางจริยธรรมของเยาวชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารศึกษาศาสตร์**, 29(3-4), 83-92.

(Bekerian, 1993)

Bekerian, D.A. (1993, June). In search of the typical eyewitness. **American Psychologist**, 48, 574-576.

หนังสือพิมพ์

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์ การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปี)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน). ชื่อบทความหรือพาดหัวข่าว/**ชื่อหนังสือพิมพ์**,/หน้า.

(สมศรี, 2550)

สมศรี หาญอนันตสุข. (2550, มิถุนายน 26). ภาครัฐธรรมนุญใหม่จะสร้างมิติใหม่ให้สังคมพุทธ. **มติชน**, หน้า 7.

(Krishman, 2007)

Krishman, E. (2007, June 26). Rebuilding self-esteem **Bangkok post**, p.1, 12.

จุลสาร

รูปแบบการอ้างอิงและบรรณานุกรมจุลสาร แผ่นพับ แผ่นปลิว

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต,/ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต/(ปี)/**ชื่อเรื่อง**./[แผ่นพับ]/สถานที่พิมพ์:/ผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต.

(การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2541)

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2541). **ท่องเที่ยวสงขลา**. [แผ่นพับ].

สงขลา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย.

(Research and Training Center on Independent Living, 1993)
 Research and Training Center on Independent Living. (1993).
**Guidelines for reporting and writing about
 people with disabilities.** [Brochure]. Lawrence :
 Research and Training Center on Independent Living.

โสตทัศนวัสดุ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมโสตทัศนวัสดุ
อ้างอิง (ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี./ชื่อเรื่อง./[ประเภทโสตทัศนวัสดุ]/สถานที่ผลิต:/
 หน่วยงานหรือบริษัทที่ผลิต.
 (ยุพดี, 2530)
 ยุพดี พยักขพันธ์ (ผู้บรรยาย). (2530). **ยาสมุนไพร**. [แถบบันทึกเสียง].
 กรุงเทพฯ : องค์การวิทยาศาสตร์การแพทย์.

ซีดีรอม

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมซีดี-รอม (CD-ROM)
อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[CD-ROM]/Available:/แหล่งที่มา./ปี/เดือน/วันที่สืบค้น].
 (อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร, 2543)
อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. (2543). [CD-ROM]. Available :
 ฐานข้อมูลไปดูให้เต็มตาถ้าค่าความเป็นไทย. [2544, มิถุนายน 23].
 (Social Science Index, 1999)
Social Science Index. (1999). [CD-ROM]. Available : UMI/Social
 Science Index. [2005, June 26].

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

1. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[Online]. Available : แหล่งที่มา./
 ปี, เดือน/วันที่สืบค้น].
 (อรรถศิษฐ์, 2542).
 อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. [Online].
 Available : [http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/
 chap1.htm#era1](http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/chap1.htm#era1). [2550, กุมภาพันธ์ 20].
 (Abell, 2002)
 Abell, S.K. (2002). **Science teacher education : An international
 perspective**. [Online]. Available : [http://ebook.Springerlink.
 com/Search/Search Results.aspx?](http://ebook.Springerlink.com/Search/Search%20Results.aspx?) [2007, June 30].

2. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสารอิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง	(ชื่อผู้แต่ง,/ปี)
บรรณานุกรม	ชื่อผู้แต่ง./ปี)./บทความ./ชื่อวารสาร [Online], /ปีที่./ฉบับที่). Available:/แหล่งที่มา./ปี./เดือน/วันที่สืบค้น]. (Kenneth, 1998) Kenneth, I. (1998). A Buddhist response to the nature of human rights. Journal of Buddhist Ethics [Online], 2, (9). Available : http://www.cac.psu.edu/Jbe/twocont.html . [2006, August 12].
3. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง	(ชื่อผู้แต่ง, วัน/เดือน/ปี)
บรรณานุกรม	ชื่อผู้แต่ง./ปี./เดือน/วัน)./บทความหรือพาดหัวข่าว ใน ชื่อหนังสือพิมพ์ [Online]. Available : แหล่งที่มา [ปี, เดือน วันที่สืบค้น]. (ชุม, (นามแฝง), 25 ตุลาคม 2542) ชุม. (นามแฝง). (2542, ตุลาคม 25). บุญของคนไทย ใน ไทยรัฐ . [Online]. Available : http://www.thairath.co.th . [2542, ตุลาคม 25]. (ศร. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2, 2550) ศร. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2. (2550, มิถุนายน 23). ใน ไทยรัฐ . [Online]. Available : http://www.thairath.co.th . [2550, มิถุนายน 30].
4. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากเว็บไซต์เว็บ (www.)

อ้างอิง	(ชื่อผู้แต่ง,/ปี)
บรรณานุกรม	ชื่อผู้แต่ง./ปี)./ชื่อเรื่องหรือหัวข้อเรื่อง./[Online]./Available:/แหล่งที่มา./ ปี./เดือน/วันที่สืบค้น]. (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.) เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ศูนย์. (ม.ป.ป.). การจัดการศึกษาทางไกล . [Online]. Available : http://www.nectec.or.th/eourseware/cai/0015.htm . [2550, กรกฎาคม 1]. (Ministry of Education, 2005) Education, Ministry of. (2005). The Regional Seminar on Higher Education in Southeast Asian Countries . [Online]. Available : http://www.inter.mua.go.th/news/News%20January%202005.htm . [2006, January 5].

การสัมภาษณ์

- การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากการสัมภาษณ์
- | | |
|------------|--|
| อ้างอิง | (ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์,/ปี/เดือน/วันที่สัมภาษณ์) |
| บรรณานุกรม | ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ปี./เดือน/วันที่สัมภาษณ์)./ตำแหน่ง/สัมภาษณ์. |

(ดิลก, 2543)

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏ
สวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

(Page, 1991)

Page, O. (1991, March 5). President, Austin Peay State University.
Interview.



แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ที่ 3 : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
The Golden Teak : Science and Technology Journal
ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
2. ระดับการศึกษาสูงสุด.....ตำแหน่งทางวิชาการ.....
3. ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา (สำหรับนักศึกษา) วันที่.....เดือน.....พ.ศ.
4. สถานะภาพของผู้ส่งบทความ ☐ คณาจารย์ ☐ นักศึกษาระดับปริญญาเอก ☐ นักศึกษาระดับปริญญาโท
☐ บุคคลทั่วไป
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

เบอร์โทรศัพท์..... E-mail :

6. มีความประสงค์ขอส่งบทความวิจัย เรื่อง

สาขาวิชา.....

เป็น ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ ผลงานสร้างสรรค์ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ลงใน สัปดาห์ที่ 3 :

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งบทความ
วิจัยดังกล่าวนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่ายังไม่เคยถูกตีพิมพ์เผยแพร่ลงในวารสารใดมาก่อน

ในการนี้ข้าพเจ้าได้ดำเนินการจัดพิมพ์ ตามรูปแบบการเขียนบทความวิจัยที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้จัดส่งเนื้อหาบทความวิจัย
จำนวน 3 ฉบับ พร้อมแผ่นบันทึกข้อมูลการวิจัย (CD) ตามเอกสารและสิ่งที่แนบมาพร้อมนี้ ให้แก่กองบรรณาธิการ
สัปดาห์ที่ 3 : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
หรือ ส่ง E-mail มาที่ airjordan_1123@hotmail.com เพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

ลงชื่อ.....ผู้ส่งบทความวิจัย
(.....)

รายการตรวจสอบบทความ (Checklist Guideline)

ผู้เขียนต้องตรวจสอบต้นฉบับที่จัดเตรียมให้ครบถ้วนถูกต้องตรงตามรายการตรวจสอบบทความ และส่งมาพร้อมกับบทความ สำหรับบทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความ หรือมีไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้จะถูกส่งกลับก่อนการดำเนินการใดๆ ทั้งสิ้น ผู้เขียนสามารถ download รายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

- ☐ เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ☐ ไฟล์ถูกต้องตามรูปแบบที่ตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ Word และ ใช้ TH SarabunPSK จำนวนหน้าไม่เกิน 10 หน้า
- ☐ รูปภาพประกอบ (figure) บันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล TIFF ที่มีความละเอียดไม่เกิน 300 dpi เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ☐ ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทนำ
- ☐ เนื้อหา
- ☐ สรุป
- ☐ เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ☐ ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทนำ
- ☐ วิธีดำเนินการวิจัย
- ☐ ผลการวิจัย
- ☐ อภิปรายผล
- ☐ กิตติกรรมประกาศ
- ☐ เอกสารอ้างอิง

แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์บทความ สัปดาห์ที่ 3 : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้อมูลผู้ส่งบทความ

☐ บุคคล

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย

อาชีพ.....

ที่อยู่(บ้าน).....

.....โทรศัพท์.....

ที่อยู่(ที่ทำงาน).....

.....

2. ค่าดำเนินการจัดพิมพ์บทความ บทความละ 2,000 บาท และผู้ส่งบทความได้รับวารสารฉบับนั้น 1 เล่ม

3. ชื่อวารสารเป็นรายเล่ม เล่มละ 300 บาท จำนวน.....เล่ม (ถ้าต้องการมากกว่า 1 ฉบับ)

4. การชำระเงิน

☐ เงินสด จำนวน.....บาท

☐ โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาชาวก้าว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-29774-6

ชื่อบัญชี วารสารสัปดาห์ที่ 3 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงิน ได้ที่

- ทาง E-mail : airjordan_1123@hotmail.com

- ทาง(Fax) โทรสาร 0 5570 6518

- ทางไปรษณีย์ ส่งถึง สถาบันวิจัยและพัฒนา (วารสารสัปดาห์ที่ 3)

มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง

จังหวัดกำแพงเพชร 62000

5. สถานที่จัดส่งวารสารไปให้

☐ บ้าน

☐ ที่ทำงาน

ลงชื่อ.....

(.....)

...../...../.....

 แบบฟอร์มค่าสมัครสมาชิกวารสาร สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้อมูลผู้สมัครสมาชิกวารสาร

☐ บุคคล

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย

อาชีพ.....

ที่อยู่(บ้าน).....

.....โทรศัพท์.....

ที่อยู่(ที่ทำงาน).....

.....

☐ หน่วยงาน

ชื่อหน่วยงาน.....

ที่อยู่หน่วยงาน.....

.....โทรศัพท์.....

2. ค่าสมัครสมาชิกวารสาร

☐ 1 ปี 2 ฉบับ 500 บาท

☐ 2 ปี 4 ฉบับ 900 บาท

3. ซื้อวารสารเป็นรายเล่ม เล่มละ 300 บาท จำนวน.....เล่ม

4. การชำระเงินค่าสมัครสมาชิกวารสาร

☐ เงินสด จำนวน.....บาท

☐ โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาชาชักงาว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-29774-6

ชื่อบัญชี วารสารสังกัด มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงิน ได้ที่

- ทาง E-mail : airjordan_1123@hotmail.com

- ทาง(Fax) โทรสาร 0 5570 6518

- ทางไปรษณีย์ ส่งถึง สถาบันวิจัยและพัฒนา (วารสารสังกัด)

มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง

จังหวัดกำแพงเพชร 62000

5. สถานที่จัดส่งวารสารไปให้ (ตามที่อยู่ระบุในข้อ 1)

☐ บ้าน

☐ ที่ทำงาน

☐ หน่วยงาน

ลงชื่อ.....

(.....)

...../...../.....

คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ

สัททอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ปีละ 2 ฉบับ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารจะต้องผ่านการตรวจพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาต่างๆ หากมีความเห็นว่าต้องมีการแก้ไขทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเพื่อแก้ไขและขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาไม่ลงพิมพ์เมื่อไม่ผ่านการพิจารณา ผู้ที่มีความประสงค์จะส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังต่อไปนี้

การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์ตามรูปแบบและข้อแนะนำในการเขียนบทความของวารสารนี้เท่านั้น
2. ต้นฉบับที่ส่งมาให้พิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน และจะต้องไม่ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน
3. การตีพิมพ์บทความลงในวารสาร จะเรียงตามลำดับก่อนหลังตามวันที่ได้รับเรื่อง
4. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่องรวมทั้งการปรับปรุงบทความบางส่วนตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้อ่านบทความ
5. กรณีเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กองบรรณาธิการจะคัดเลือกบทความที่นักศึกษาส่งซึ่งอาจไม่ได้ตีพิมพ์ทุกบทความ
6. บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร ถือว่าเป็นผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยของคณะผู้เขียนไม่ใช่ความคิดเห็นของกองบรรณาธิการ ผู้เขียนและคณะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน
7. บทความที่ได้ผ่านการพิจารณาแล้ว ทางกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับเอกสารพร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/tgt> และสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา อาคาร 1 ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0 5572 1879, 0 5572 2500 ต่อ 1760 หรือนายทวิช ปิ่นวิเศษ โทรศัพท์ 08 4593 9223

รูปแบบการพิมพ์บทความ

1. ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ ตั้งค่ากระดาษเป็น B5 (JIS) โดยจำนวนหน้าของเนื้อหาและเอกสารอ้างอิง รวมทั้งสิ้นไม่เกิน 10 หน้า ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK และแต่ละหน้าไม่เกิน 30 บรรทัด

2. ข้อปฏิบัติการพิมพ์แต่ละหัวข้อ/ส่วนประกอบ มีดังนี้

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
1	ชื่อบทความ	ระบุชื่อบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2	ชื่อผู้เขียนบทความ	ระบุชื่อผู้วิจัย,ผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
3	สังกัดผู้เขียนบทความ	ระบุวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา ตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานที่สังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 12 พอยท์ ไว้ที่เชิงอรรถท้ายหน้า
4	บทคัดย่อ (Abstract)	บทคัดย่อมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อความของบทคัดย่อไม่เกิน 10 บรรทัดและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 300 คำ เป็นการเขียนข้อสรุปหลักของผลการวิจัยทั้งหมดแบบสรุป กระชับ และได้ใจความ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
5	คำสำคัญ (Keywords)	ระบุคำสำคัญ 2-5 คำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไว้ท้ายบทคัดย่อ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
6	เนื้อหา (Content)	ทุกหัวข้อใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา วางไว้ชิดขอบซ้าย ส่วนรายละเอียดใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ประกอบด้วย 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Statement of the Problem) สรุปความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาอย่างเป็นลำดับและเรียบเรียงอย่างเชื่อมโยงกัน และมีการอ้างอิง 2. วิธีดำเนินการวิจัย (Objectives) อธิบายเกี่ยวกับประชากรและกลุ่มตัวอย่างหรือแหล่งข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเขียนให้กระชับและชัดเจน 3. ผลการวิจัย (Conclusion) รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ควรมีตารางและภาพประกอบได้ ใช้คำที่เข้าใจง่าย และชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน ภาพเป็นไฟล์ .JPEG 4. อภิปรายผล (Discussion) วิจารณ์ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหลักวิชาการ อาจมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
	เนื้อหา (Content) (ต่อ)	5. บทสรุป สรุปประเด็นที่พบและประเด็นการศึกษาและหากเป็นบทความวิชาการจะมี 3 หัวข้อ คือ บทนำ เนื้อหา และการอ้างอิงแหล่งสารสนเทศ และสรุป
7	กิตติกรรมประกาศ	ควรมีเพื่อแสดงคำขอบคุณ สำหรับแหล่งทุนสนับสนุนหรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัยและเตรียมเอกสาร
8	ตาราง (ถ้ามี)	ตารางที่แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ตารางแบบเส้นคู่ เปิด-ปิด ตาราง
9	การอ้างอิงในเนื้อหา	ลงรายการ (ชื่อผู้แต่ง, ปี) ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)
10	เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในเนื้อหาทุกรายการต้องนำไปใส่ไว้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความในรูปแบบการลงรายการบรรณานุกรมที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)

รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหาและบรรณานุกรม

หนังสือ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือ

อ้างอิง	ภาษาไทย	(ชื่อ, ปี)
	ภาษาอังกฤษ	(นามสกุล, ตัวอักษรแรกของชื่อ., ปี)
บรรณานุกรม	ภาษาไทย	ชื่อ/นามสกุล./ (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อเรื่อง./ (ครั้งที่พิมพ์)./ สถานที่พิมพ์:/ สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.
	ภาษาอังกฤษ	นามสกุล./ อักษรย่อชื่อแรก ชื่อกลาง (ปีที่พิมพ์)./ ชื่อเรื่อง./ (ครั้งที่พิมพ์)./ สถานที่พิมพ์:/ สำนักพิมพ์ หรือโรงพิมพ์.

1. ผู้แต่งคนเดียว

(สมพงษ์, 2548)

สมพงษ์ ชูมาก. (2548). **กฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีเมือง**. (พิมพ์ครั้งที่ 3).

กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

(สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา, 2531)

กัลยาณิวัฒนา, สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้า. (2531). **เจ้านายเล็กๆ ยุวกษัตริย์**.

(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ด้านสุทธาการพิมพ์.

(Wilson, 2007)

Wilson, K. (2007). **Smart choice**. (2 nd ed). London : Oxford University Press.

2. ผู้แต่งมากกว่า 3 คน

(อวยพร และคนอื่นๆ, 2548)

อวยพร พานิช และคนอื่นๆ. (2548). ภาษาและหลักการเขียนเพื่อการสื่อสาร.

กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(Crouhy, et al., 2006)

Crouhy, M., et al. (2006). *The essentials of risk management*. New York : McGraw-Hill.

3. ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. (2546). เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาการ
วิจัยการบริหารการศึกษา. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2541)

การศึกษาแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ. (2541). การปฏิรูปการเรียนรู้ตามแนวคิด
5 ทฤษฎี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โอเดียนสแควร์,

(Ministry, 2002)

Education, Ministry of. (2002). *Chiangmai : Nop Bueri Si Nakon Ping*.
Bangkok : Ministry of Education.

4. วิทยานิพนธ์

(เชวงศักดิ์, 2543)

เชวงศักดิ์ เขียวเงิน. (2543). การดำเนินงานการประกันคุณภาพการศึกษาของ
สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.

(โอโกมา, 2550)

โอโกมา จำเณะ. (2550). การจัดการตลาดทางเลือกเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษา
สหกรณ์การเกษตรยั่งยืนแม่ทาจำกัด ตำบลแม่ทา กิ่งอำเภอแม่อน
จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต
คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(Almeida, 1990)

Almeida, D.M. (1990). *Father's participation in family work : Consequences
for fathers' stress and father child relation*. Master's thesis,
University of Victoria.

5. รายงานการประชุม

(นิทัศน์, 2540)

นิทัศน์ ภทรโยธิน. (2540). ตลาดซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า ในการประชุม
นักบัญชีทั่วประเทศ ครั้งที่ 15 วิสัยทัศน์นักบัญชีไทย. วันที่ 27-28

มิถุนายน พ.ศ. 2540 (หน้า 19-35). กรุงเทพฯ : สมาคมนักบัญชีและผู้สอบ
บัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย.

(Paitoon, 1995)

Paitoon Sinlarat. (1995). Success and failure of facility in Thai university.

In Somwang Pitiyanuwat, et al. (Eds), **Preparing teachers for All the World's Children: An Era of Transformation Proceedings of International Conference, Bangkok 1992.** (pp. 217-233).

Bangkok : UNICEF.

วารสาร

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสาร การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปีที่พิมพ์)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ/**ชื่อวารสาร,ปีที่(ฉบับที่)/หน้า**
(มัลลวีร์, นิตย และวิลาวลย์, 2549)

มัลลวีร์ อุดลวัฒน์ศิริ, นิตย บุษงามงคล และวิลาวลย์ จตุรอำรง. (2549, กรกฎาคม-ธันวาคม). การศึกษาและพัฒนาพฤติกรรมทางจริยธรรมของเยาวชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารศึกษาศาสตร์, 29(3-4), 83-92.**

(Bekerian, 1993)

Bekerian, D.A. (1993, June). In search of the typical eyewitness. **American Psychologist, 48, 574-576.**

หนังสือพิมพ์

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์ การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปี)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน). ชื่อบทความหรือพาดหัวข่าว./**ชื่อหนังสือพิมพ์,หน้า.**

(สมศรี, 2550)

สมศรี หาญอนันตสุข. (2550, มิถุนายน 26). ภาครัฐธรรมนุญใหม่จะสร้างมิติใหม่ให้สังคมพุทธ. **มติชน, หน้า 7.**

(Krishman, 2007)

Krishman, E. (2007, June 26). Rebuilding self-esteem
Bangkok post, p.1, 12.

จุลสาร

รูปแบบการอ้างอิงและบรรณานุกรมจุลสาร แผ่นพับ แผ่นปลิว

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต/ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต/(ปี)/**ชื่อเรื่อง./[แผ่นพับ]/สถานที่พิมพ์:/ผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต.**

(การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2541)

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2541). **ท่องเที่ยวสงขลา. [แผ่นพับ].**

สงขลา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย.

(Research and Training Center on Independent Living, 1993)
Research and Training Center on Independent Living. (1993).
**Guidelines for reporting and writing about
people with disabilities.** [Brochure]. Lawrence :
Research and Training Center on Independent Living.

โสตทัศนวัสดุ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมโสตทัศนวัสดุ

อ้างอิง (ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี./ชื่อเรื่อง./ประเภทโสตทัศนวัสดุ./สถานที่ผลิต :
หน่วยงานหรือบริษัทที่ผลิต.
(ยุพดี, 2530)
ยุพดี พยักมพันธ์ (ผู้บรรยาย). (2530). **ยาสมุนไพร**. [แถบบันทึกเสียง].
กรุงเทพฯ : องค์การวิทยาศาสตร์การแพทย์.

ซีดีรอม

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมซีดีรอม (CD-ROM)

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[CD-ROM]. Available : แหล่งที่มา./ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].
(อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร, 2543)
อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. (2543). [CD-ROM]. Available :
ฐานข้อมูลไปดูให้เต็มตาแล้วค่าความเป็นไทย. [2544, มิถุนายน 23].
(Social Science Index, 1999)
Social Science Index. (1999). [CD-ROM]. Available : UMI/Social
Science Index. [2005, June 26].

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

1. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[Online]. Available : แหล่งที่มา./
ปี, เดือน/วันที่สืบค้น].
(อรรถศิษฐ์, 2542).
อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. [Online].
Available : [http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/
chap1.htm#era1](http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/chap1.htm#era1). [2550, กุมภาพันธ์ 20].
(Abell, 2002)
Abell, S.K. (2002). **Science teacher education : An international
perspective**. [Online]. Available : [http://ebook.Springerlink.
com/Search/SearchResults.aspx?](http://ebook.Springerlink.com/Search/SearchResults.aspx?). [2007, June 30].

2. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสารอิเล็กทรอนิกส์

- อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง,/ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ (ปี)/บทความ./ชื่อวารสาร [Online], /ปีที่./ (ฉบับที่).
Available:/แหล่งที่มา./[ปี,/เดือน/วันที่สืบค้น].
(Kenneth, 1998)
Kenneth, I. (1998). A Buddhist response to the nature of human rights. **Journal of Buddhist Ethics** [Online], 2, (9).
Available : <http://www.cac.psu.edu/Jbe/twocont.html>.
[2006, August 12].

3. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

- อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง, วัน/เดือน/ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ (ปี,/เดือน/วัน)/บทความหรือพาดหัวข่าว ใน ชื่อหนังสือพิมพ์
[Online]. Available : แหล่งที่มา [ปี, เดือน วันที่สืบค้น].
(ชุม, (นามแฝง), 25 ตุลาคม 2542)
ชุม. (นามแฝง). (2542, ตุลาคม 25). บุญของคนไทย ใน **ไทยรัฐ**. [Online].
Available : <http://www.thairath.co.th>. [2542, ตุลาคม 25].
(ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2, 2550)
ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2. (2550, มิถุนายน 23). ใน **ไทยรัฐ**.
[Online]. Available : <http://www.thairath.co.th>. [2550, มิถุนายน 30].

4. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากเว็บไซต์เว็บ (www.)

- อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง,/ปี)
บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ (ปี)/ชื่อเรื่องหรือหัวข้อเรื่อง./[Online]./Available:/แหล่งที่มา./
[ปี,/เดือน/วันที่สืบค้น].
(ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)
เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ศูนย์. (ม.ป.ป.).
การจัดการศึกษาทางไกล. [Online]. Available : <http://www.nectec.or.th/courseware/cai/0015.htm>. [2550, กรกฎาคม 1].
(Ministry of Education, 2005)
Education, Ministry of. (2005). **The Regional Seminar on Higher Education in Southeast Asian Countries**. [Online].
Available : <http://www.inter.mua.go.th/news/News%20January%202005.htm>. [2006, January 5].

การสัมภาษณ์

การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากการสัมภาษณ์

- อ้างอิง (ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์,/ปี/เดือน/วันที่สัมภาษณ์)
บรรณานุกรม ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ (ปี,/เดือน/วันที่สัมภาษณ์)/ตำแหน่ง/สัมภาษณ์.

(ดิลก, 2543)

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏ
สวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

(Page, 1991)

Page, O. (1991, March 5). President, Austin Peay State University.
Interview.



แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

The Golden Teak : Science and Technology Journal

ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
2. ระดับการศึกษาสูงสุด.....ตำแหน่งทางวิชาการ.....
3. ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา (สำหรับนักศึกษา) วันที่.....เดือน.....พ.ศ.
4. สถานะภาพของผู้ส่งบทความ ☐ คณาจารย์ ☐ นักศึกษาระดับปริญญาเอก ☐ นักศึกษาระดับปริญญาโท
☐ บุคคลทั่วไป
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

เบอร์โทรศัพท์..... E-mail :

6. มีความประสงค์ขอส่งบทความวิจัย เรื่อง

สาขาวิชา.....

เป็น ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ ผลงานสร้างสรรค์ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ลงใน สัปดาห์ :

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่ายังไม่เคยถูกตีพิมพ์เผยแพร่ลงในวารสารใดมาก่อน

ในการนี้ข้าพเจ้าได้ดำเนินการจัดพิมพ์ ตามรูปแบบการเขียนบทความวิจัยที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้จัดส่งเนื้อหาบทความวิจัย จำนวน 3 ฉบับ พร้อมแผ่นบันทึกข้อมูลการวิจัย (CD) ตามเอกสารและสิ่งที่แนบมาพร้อมนี้ ให้แก่กองบรรณาธิการ สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร หรือ ส่ง E-mail มาที่ airjordan_1123@hotmail.com เพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

ลงชื่อ.....ผู้ส่งบทความวิจัย
(.....)

รายการตรวจสอบบทความ (Checklist Guideline)

ผู้เขียนต้องตรวจสอบต้นฉบับที่จัดเตรียมให้ครบถ้วนถูกต้องตรงตามรายการตรวจสอบบทความ และส่งมาพร้อมกับบทความ สำหรับบทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความ หรือมีไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้จะถูกลำเลียงกลับก่อนการดำเนินการใดๆ ทั้งสิ้น ผู้เขียนสามารถ download รายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

- ☐ เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ☐ ไฟล์ถูกต้องตามรูปแบบที่ตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ Word และ ใช้ TH SarabunPSK จำนวนหน้าไม่เกิน 10 หน้า
- ☐ รูปภาพประกอบ (figure) บันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล TIFF ที่มีความละเอียดไม่เกิน 300 dpi เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ☐ ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทนำ
- ☐ เนื้อหา
- ☐ สรุป
- ☐ เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ☐ ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ☐ บทนำ
- ☐ วิธีดำเนินการวิจัย
- ☐ ผลการวิจัย
- ☐ อภิปรายผล
- ☐ กิตติกรรมประกาศ
- ☐ เอกสารอ้างอิง

แบบฟอร์มคำสมัครสมาชิกวารสาร สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้อมูลผู้สมัครสมาชิกวารสาร

☐ บุคคล

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย

อาชีพ.....

ที่อยู่(บ้าน).....

.....โทรศัพท์.....

ที่อยู่(ที่ทำงาน).....

.....

☐ หน่วยงาน

ชื่อหน่วยงาน.....

ที่อยู่หน่วยงาน.....

.....โทรศัพท์.....

2. ค่าสมัครสมาชิกวารสาร

☐ 1 ปี 2 ฉบับ 500 บาท

☐ 2 ปี 4 ฉบับ 900 บาท

3. ชี้อวารสารเป็นรายเล่ม เล่มละ 300 บาท จำนวน.....เล่ม

4. การชำระเงินค่าสมัครสมาชิกวารสาร

☐ เงินสด จำนวน.....บาท

☐ โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาชาชักงราว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-29774-6

ชื่อบัญชี วารสารสักทอง มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงิน ได้ที่

- ทาง E-mail : airjordan_1123@hotmail.com

- ทาง(Fax) โทรสาร 0 5570 6518

- ทางไปรษณีย์ ส่งถึง สถาบันวิจัยและพัฒนา (วารสารสักทอง)

มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง

จังหวัดกำแพงเพชร 62000

5. สถานที่จัดส่งวารสารไปให้ (ตามที่อยู่ระบุในข้อ 1)

☐ บ้าน

☐ ที่ทำงาน

☐ หน่วยงาน

ลงชื่อ.....

(.....)

...../...../.....

แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์บทความ สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้อมูลผู้ลงบทความ

☐ บุคคล

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย

อาชีพ.....

ที่อยู่(บ้าน).....

.....โทรศัพท์.....

ที่อยู่(ที่ทำงาน).....

.....

2. ค่าดำเนินการจัดพิมพ์บทความ บทความละ 2,000 บาท และผู้ลงบทความได้รับวารสารฉบับนั้น 1 เล่ม

3. ซื้อวารสารเป็นรายเล่ม เล่มละ 300 บาท จำนวน.....เล่ม (ถ้าต้องการมากกว่า 1 ฉบับ)

4. การชำระเงิน

☐ เงินสด จำนวน.....บาท

☐ โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาชากรุงว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-29774-6

ชื่อบัญชี วารสารสักทอง มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงิน ได้ที่

- ทาง E-mail : airjordan_1123@hotmail.com

- ทาง(Fax) โทรสาร 0 5570 6518

- ทางไปรษณีย์ ส่งถึง สถาบันวิจัยและพัฒนา (วารสารสักทอง)

มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง

จังหวัดกำแพงเพชร 62000

5. สถานที่จัดส่งวารสารไปให้

☐ บ้าน

☐ ที่ทำงาน

ลงชื่อ.....

(.....)

...../...../.....