การสร้างสภาวะอากาศอลวนสำหรับอาหารและพืชผลการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว

*ปิติเขต สู้รักษา[1], กฤดากร กล่อมการ[1] วีระพล โมนยะกุล[2] และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์[3]

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*
1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[2] *สำนักงานวิจัย นวัตกรรมและพันธมิตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

[3] *ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*
1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: ปิติเขต สู้รักษา E-mail: pitikhate@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สร้างตัวควบคุมสภาวะบรรยากาศสำหรับพืชผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว โดยใช้เทคนิควิศวกรรมการควบคุมแบบตรรกศาสตร์วิภัชนัยเพื่อควบคุมอุณหภูมิ การไหลหมุนเวียนของอากาศและความชื้น ให้ได้สภาวะการไหลเวียนและสภาพตัวแปรบรรยากาศแบบอลวน (chaos) เทคนิคที่ใช้มีความใหม่ในรูปแบบของการนำระบบอลวนมาเป็นเงื่อนไขการควบคุมอากาศเป็นไปอย่างทั่วถึง ข้อสำคัญคือระบบใหม่ที่นำเสนอนี้มีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในการใช้พลังงานอัตโนมัติ (automatic energy control) ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ด้วยค่าความเชื่อมั่นสูง (high reliability)โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สามารถใช้สร้างบรรยากาศได้ในสภาวะที่ให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิต่ำยิ่ง (very low temperature-low relative humidity) การทดสอบสมรรถนะและเสถียรภาพของระบบที่ทำงานต่อเนื่องมากกว่า 5,000 ชั่วโมง พบว่าสามารถสร้างสภาวะการเก็บรักษาอาหารและพืชผลทางการเกษตรที่สภาวะต่างๆ ได้ ดังนั้นตัวควบคุมสภาวะบรรยากาศจึงมีศักยภาพในการต่อยอดเพื่อประยุกต์ให้เกิดประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมและขยายผลในเชิงพาณิชย์ในอนาคตอันใกล้นี้

คำสำคัญ: Chaos, Climate Controller, Food and Post Harvest

1. บทนำ

ด้วยฐานความมั่งคั่งทางด้านเกษตรและอาหารของประเทศไทที่มีมาแต่ครั้งอดีตถึงปัจจุบัน ส่งผลให้ประเทศไทยอาจนับได้ว่าเป็นหนึ่งในสิบของประเทศต้นๆ ในโลกที่สามารถผลิตอาหารแข่งขันกับนานาประเทศได้ ทว่า งานทางพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตรและอาหารในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยเฉพาะการออกแบบและสร้างเพื่อทดแทนการนำเข้ารวมทั้งขยายผลออกไปเพื่อส่งออกให้กับภูมิภาค สมาคมเศรษฐกิจอาเซียน [1] นั้น ยังคงมีน้อยมากที่ทำโดยวิศวกรไทย หนึ่งในปัญหาดังกล่าวก็คือ การสร้างเทคโนโลยีในการเก็บรักษาอาหารและผลิตผลทางการเกษตรโดยการยืดอายุ เพื่อการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การรักษากลิ่นและสี รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีอาหารอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ไม่ถูกทำลายในช่วงการเก็บรักษา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างสภาวะอากาศให้เหมาะกับการบำรุงรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาแล้ว ด้วยการบูรณาการศาสตร์แห่งอิเลคทรอนิคส์ เทคโนโลยีสารสนเทศ ไฟฟ้าเชิงกล วิศวกรรมระบบควบคุมซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมแบบตรรกศาสตร์วิภัชนัย (Fuzzy logic) [2] และการประยุกต์วิศวกรรมอลวน (Chaos Applications) [3,4] ดังจะกล่าวถึงหลักการ ต่อไปเป็นสังเขปดังนี้

17. หลักการสร้างสภาวะอากาศอลวน

ตัวดึงดูดอลวนแรกที่จำลองสภาวะอากาศค้นพบโดยบังเอิญโดย Edward N. Lorenz [5] นักอุตุนิยมวิทยาแห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมซซาซูเซท ในปี พ.ศ. 2506 โดยเวลานั้น Lorenz ได้พยายามสร้างแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสมการอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นขนาดลำดับ 3 ตัว L1, L2, L3 ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วลมโดยในสมการมีตัวแปรแบบไม่เป็นเชิงเส้น(quadratic nonlinear) อยู่ 2 เทอม และให้ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ดังแสดงในสามแถวแรกของสมการที่ (1) โดย σ, ρ, และ β เป็นสัมประสิทธิ์ในสมการ Lorenz ซึ่งเริ่มประมวลผลด้วยทศนิยม 6 หลัก แต่เนื่องจากขณะนั้นคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำ Lorenz จึงได้ลดหลักทศนิยมของค่าเริ่มต้นของการคำนวณด้วยเลขทศนิยมจาก 6 หลักเหลือ 3 หลักโดยคิดว่าเลขทศนิยมที่ตัดทิ้งจะไม่มีนัยสำคัญแต่ผลของการคำนวณ แต่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง พบว่าผลของการคำนวณด้วยค่าเริ่มต้นด้วยทศนิยม 3 หลัก ได้เปลี่ยนแปลงจากการคำนวณครั้งก่อนไป

TSAE

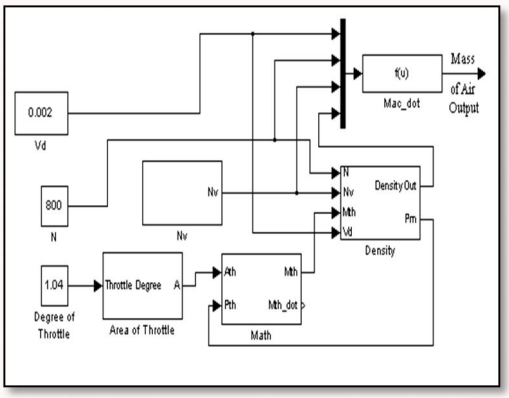
อย่างมากมายหรือเพียงกำหนดค่าเริ่มต้นต่างกันเล็กน้อยผลของสมการอนุพันธ์ที่ Lorenz จำลองขึ้นนี้จะให้ผลแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวได้ว่าระบบที่จำลองขึ้นนี้ไวต่อค่าเริ่มต้นและเมื่อทำการพล๊อต ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร L1 ต่อ L2 และ L1 ต่อ L3 จะมีลักษณะรูปร่างที่แปลกประหลาดมีลักษณะเป็นตัวดึงดูดอลวน(attractor) โดยลักษณะของ L1 ต่อ L3 มีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ และ Lorenz เรียกปรากฏการณ์ที่ค้นพบโดยบังเอิญนี้ว่าผลกระทบของผีเสื้อ (Butterfly effect) โดยให้ความหมายในระบบอุตุนิยมวิทยาว่าเป็นระบบที่อ่อนไหวมากเพียงผีเสื้อขยับปีกที่เชียงใหม่ก็อาจเกิดปรากฏการณ์ Tornado อลวนหรือสภาวะสับสนอลหม่านที่ California ได้

$$\begin{bmatrix} \dot{L_1} \\ \dot{L_2} \\ \dot{L_3} \\ \dot{x}_L \\ \dot{y}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sigma L_1 + \sigma L_2 \\ -L_1 L_3 + \rho L_1 - L_2 \\ L_1 L_2 - \beta L_3 \\ v \cos L_3 \\ v \sin L_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

เพื่อประยุกต์การจำลองปรากฏการณ์อลวนของสภาวะอากาศนี้กับการเคลื่อนที่แสดงความดันไอของโมเลกุลน้ำตามแนวคิดทางจลนพลศาสตร์ ดังจะแสดงแบบจำลองความชื้นสัมพัทธโดยสมมติให้ v เป็นความเร็วของโมเลกุลน้ำในอากาศในปริมาตรที่กำลังพิจารณาซึ่งในที่นี้จะทำการโปรเจคลงบนระนาบสองมิติในมุมมองจากยอดสู่พื้น (top view) โดยโมเลกุลน้ำที่อยู่ในระนาบ xL และ yL เทียบสัมพัทธตามแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งเป็นการดัดแปลงสมการดั้งเดิมของ Lorenz โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกลุ่มโมเลกุลน้ำที่มีศูนย์กลางมวลของการเคลื่อนที่ตามพิกัด (xL, yL) โดยกำหนดให้เส้นทางการไหลในระนาบแนวระดับสัมพันธ์กับพารามิเตอร์มิติของ L3 และในแนวตั้งฉากสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ L1 เพื่อความง่ายต่อการศึกษาในขั้นต้นและเพื่อความเข้าใจการไหลของกลุ่มมวลโมเลกุลน้ำที่ส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบ ดังนั้นจึงจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เป็น

$$L_1 = 10, L_2 = 11, L_3 = 10,$$
$$\sigma = 10, \beta = 8/3, \rho = 28$$

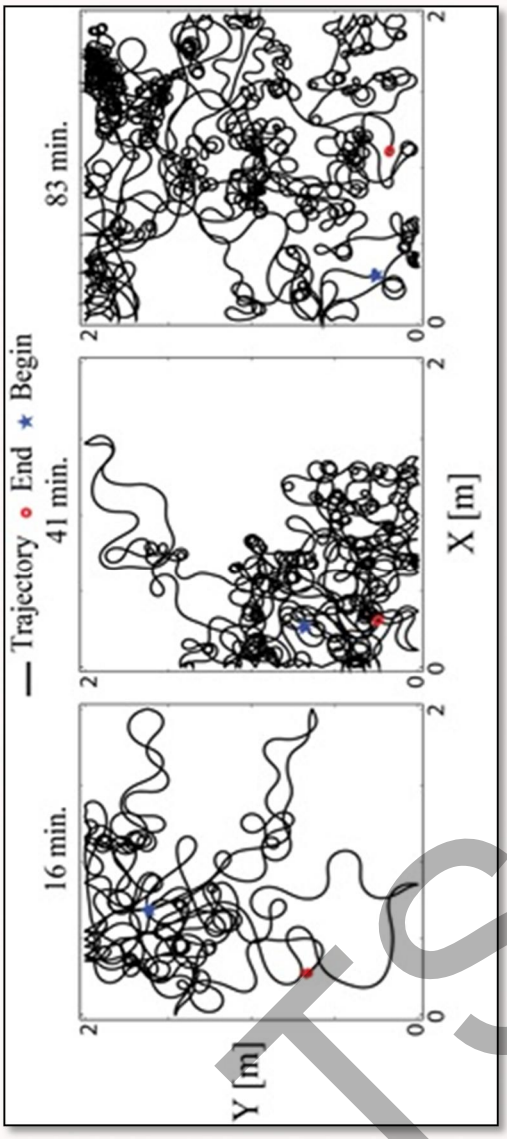
โดยใช้ผังการจำลองดังรูปที่ 1 ด้วยโปรแกรม Simulink สำหรับค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นอื่น เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยการเลือกค่าคงที่เพื่อให้ได้ค่าลองแรกเริ่มต้น (initial value) เลือกตามการสเกลค่าโปรแกรมให้เหมาะกับขนาดของผลลัพธ์ที่สามารถแสดงให้เห็นภาพรวมอันประจักษ์และวิภัชนัยได้



รูปที่ 1 แผนผังการจำลองการไหลเวียนของอากาศภายในห้องทดลอง

ผลการจำลองแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแทนกระสวนการไหลและการเคลื่อนที่ของกลุ่มโมเลกุลน้ำเทียบกับตำแหน่งเดิมในระนาบสองมิติเพื่อตรวจสอบกระสวนการครอบคลุมพื้นที่เมื่อวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการภายในห้องควบคุมสภาพอากาศนี้แล้ว จะได้กระสวนของการไหลของอากาศโดยอาศัยกลุ่มการเคลื่อนโมเลกุลน้ำเป็นตัวชี้ทิศทาง จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากระสวนดังกล่าวให้ความมั่นใจว่าการไหลของอากาศตามทฤษฎีอลวนของ Lorenz ให้รูปแบบเส้นทางโคจรการไหล (trajectory flow) ครอบคลุมทั่วห้องภายในเวลา 11 นาที 41 นาที และ83 นาที ในห้องขนาด 2x2 เมตร ตามลำดับ แม้ว่าอัตราการไหลดังกล่าวในความเป็นจริงต้องคิดในระนาบสามมิติ แต่ทั้งนี้นั้นอาศัยสมมติฐานที่ว่าในห้องที่ใช้ความเย็นในการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ 4 องศาเซลเซียส จำพวกหอมแดง (shallot) และผลิตผลทางการเกษตรในย่านอุณหภูมิต่ำนั้นความหนาแน่นของโมเลกุลน้ำจะมีแนวโน้มเคลื่อนตัวไหลเวียนในระนาบขนานและอยู่ใกล้กับพื้นโลกตามหลักทฤษฎีจลน์ก๊าซ (kinetic theory of gas) อย่างไรก็ตามในการสร้างจริงนั้น จะทำการทดสอบและวัดผลสัมฤทธิ์เชิงประจักษ์ในการควบคุมสภาพอุณหภูมิและความชื้นในย่านอื่น ๆ ด้วย ดังจะแสดงในหัวข้อถัดไป

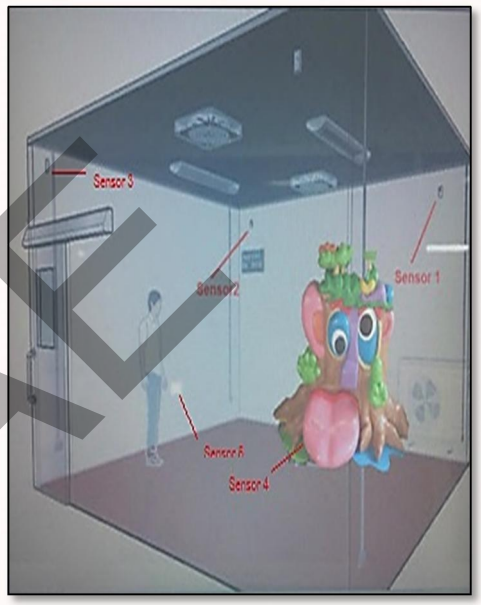
TSAE



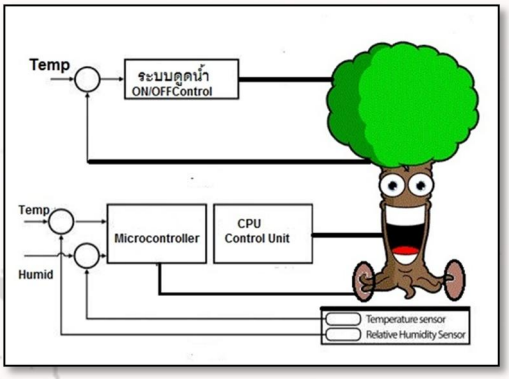
รูปที่ 2 การไหลและการกระจายอนุภาคของโมเลกุลน้ำในเวลาต่างๆ ตามแบบจำลองที่นำเสนอ

18.การสร้างห้องทดสอบ

จากผลการจำลองการไหลของมวลอากาศและโมเลกุลน้ำซึ่งเกี่ยวพันกับการกระจายของระยะห่างของโมเลกุลและความดันไอ อันมีผลต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ทำให้ทราบว่าการปรับค่าพารามิเตอร์การไหลจากเครื่องควบคุมสภาวะการไหลแบบอลวนและการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามกระสวนอลวนแบบ Lorenz ในหัวข้อที่ผ่านมานั้นสามารถให้ผลสัมฤทธิ์เชิงครอบคลุมพื้นที่ซึ่งยังผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเก็บรักษาได้รับอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการสอดคล้องกับค่า a_w (water activity) ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตามค่าที่ระบุพิกัดและค่าที่ต้องการในแผนภาพไซโครเมตริก (Psychometric chart) เพื่อยืนยันผลสัมฤทธิ์ดังกล่าวในความเป็นจริง คณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างห้องทดสอบขนาด 3 เมตร x 4 เมตร ดังแสดงภาพเขียนแบบในรูปที่ 3 โดยแสดงการวางตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นตามจุดต่างๆ ในห้องถึง 5 จุด และรูปต้วการ์ตูนต้นไม้ในรูปเป็นตำแหน่งของตัวควบคุมซึ่งมีกรอบครอบเป็นหน้ากากศิลปะซึ่งจะมีการผสมอากาศในลำตัวของตัวควบคุม ซึ่งอากาศจะไหลเข้าทางช่องล่างของบริเวณลิ้นและเมื่อบำบัดให้ได้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ตั้งไว้ (set point) แล้วจะไหลออกมายังบริเวณตา (รูด้านที่ยกหนึ่งนิ้ว) โดยแผนภาพแสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปที่ 4



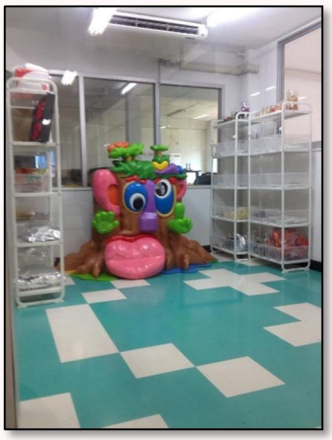
รูปที่ 3 แบบสถาปัตยกรรมการวางระบบควบคุมสภาวะอากาศแบบอลวน



รูปที่ 4 แผนภาพการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในส่วนของการสร้างห้องทดสอบและการจัดวางผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาถนอมสมุนไพรและอาหารขบเคี้ยวที่ต้องการเก็บรักษาที่ได้สร้างจริงแสดงในรูปที่ 5

TSAE



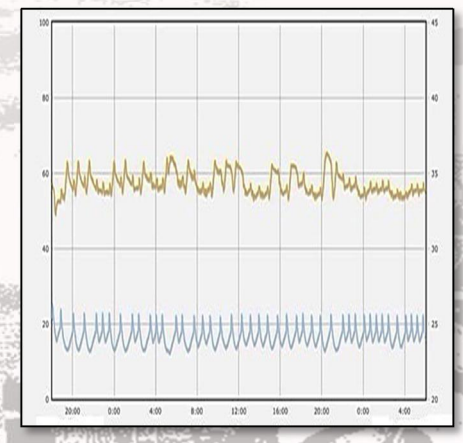
รูปที่ 5 ห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สร้างตามอัลกอริธึมที่ได้ออกแบบและนำเสนอ

19.ผลการทดลอง

ห้องทดสอบที่สร้างขึ้นอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แม้ว่าระบบมีการเปิดทดสอบโดยทำอย่างต่อเนื่องมากกว่า 5,000 ชั่วโมง พบว่าระบบมีความคงทนในและมีค่า duty cycle เพียง 1 ใน 3 ของเวลาทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการแสดงสมรรถนะของผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อการเจริญหรือการควบคุมเงื่อนไขการถนอมอาหารและผลิตภัณฑ์การเกษตรโดยใช้อัลกอริธึมในการสังเกตเขียนเป็นรหัสเทียม (pseudo-code) ได้ดังนี้

Report results

ซึ่งในรูปที่ 5 นี้เลือกแสดงเฉพาะในส่วนผลการทดสอบในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้โดยได้ตั้งค่าที่ต้องการไว้ที่ RH=18% และค่าอุณหภูมิที่ 34 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า RH (สีฟ้า) และอุณหภูมิ (สีเหลืองทอง)ดังกล่าวมีย่านการทำงานโดยเฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่อ่านจากเซนเซอร์หมายเลข 4 ได้ตามที่ตั้งไว้



รูปที่ 6 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและ RH

20.บทสรุป

การสร้างสภาวะอากาศอลวนเพื่อครอบคลุมปริมาตรดังแสดงโดยการการจำลองอุปนัยด้วยคอมพิวเตอร์ในการโปรเจคชันลงมาในมุมมองจากยอดถึงพื้นให้ผลสัมฤทธิ์ที่ดีในแง่รับรองความทั่วถึงของการสัมผัสอากาศให้สัมผัสผลิตภัณฑ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ ผลการออกแบบตัวควบคุมและการสร้างจริงให้ผลเชิงประจักษ์ว่าระบบสามารถทำงานด้วยสมรรถนะตามที่ตั้งไว้โดยใช้อินพุทเพียงหนึ่งในสามของค่าเวลาทำงานทั้งหมด ซึ่งบ่งนัยถึงศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์เพื่อมุ่งเป้าในการเก็บรักษาอาหารและผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวซึ่งควรได้รับการขยายสเกลสู่การใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไป

21.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2558 และทุนงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปี 2557-2558

22.เอกสารอ้างอิง

[1] องค์ความรู้สมาคมเศรษฐกิจอาเซียน, แหล่งที่มา http://-www.thaiaec.com/, เข้าดูเมื่อวันที่ 06/03/-2557.

[2] Sooraksa, P., and Chen, G., (2004). On Comparison of Hybrid Fuzzy PI Plus Conventional D Controller versus Fuzzy PI+D Controller, *IEEE Tramsaction On Industrial Electronics,* vol. 50(1), pp. 238 – 239.

[3] Kapitaniak, T. (2000). Chaos for Engineers: Theory, Application, and Control, Springker-Verlag, Berlin.

[4] Payakawan, P., Areejit, S., and Sooraksa, P. (2014). Design, fabrication and operation of continuous micro-wave biomass carbonization system, Renewable Energy, pp. 49-55.

[5] Lorenz, E. N., (1963) Deterministic non-periodic flow, J. Atmospheric Science, vol. 20, pp. 130-141.

TSAE