แนวทางการคำนวณดัชนีพลังงานจำเพาะเพื่อการชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานในกระบวนการขนส่ง

GUIDELINES FOR THE CALCULATION OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION (SEC) AS ENERGY PERFORMANCE INDICATOR IN TRANSPORTATION OPERATIONS

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: chonlathis.ei@spu.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต มณีศรี
ผู้อำนวยการศูนย์การศึกษาต่อเนื่องทางวิศวกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: chawalit.ma@spu.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี
หัวหน้าศูนย์วิจัยและปฏิบัติการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: thanapat.pr@spu.ac.th

วัฒนา เจนการ
นักวิชาการและนักวิจัยด้านเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
ศูนย์บริการทางวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต
E-mail: wattana.rsu@gmail.com

บทคัดย่อ

ขนส่งเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีปริมาณการใช้พลังงานมากกว่า 1 ใน 3 ของการใช้พลังงานในประเทศในแต่ละปี โดยมีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนสูงที่สุดในกระบวนการขนส่ง ดังนั้นจึงถูกกำหนดเป็นเป้าหมายสำคัญในการลดการใช้พลังงานให้เป็นไปตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของประเทศ อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการทางด้านพลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิผล จำเป็นต้องมีการกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดที่ชัดเจนเหมาะสม โดยการใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC) ซึ่งสามารถชี้ให้ผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงสภาวะการใช้พลังงาน และสะท้อนสมรรถนะในกระบวนการขนส่งได้ รวมถึงช่วยชี้บ่งจุดบกพร่องและศักยภาพในการปรับปรุง บทความนี้เสนอแนวทางประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการขนส่ง โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเชื้อเพลิงกับค่าระยะทาง หรือ ปริมาณเชื้อเพลิงกับค่าระยะทาง-ภาระบรรทุกเฉลี่ย ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถประเมินจากผลคูณของระยะทางเดินรถ และค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดระยะทางขนส่ง โดยการประมาณการจากค่าร้อยละเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกของรถขนส่ง ที่สามารถคำนวณได้ทั้งรายคันและทั้งหมวดขนส่ง โดยจะให้ค่าดัชนีพลังงานจำเพาะที่สามารถใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือการบริหารจัดการในกระบวนการขนส่งได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : ดัชนีพลังงานจำเพาะ การปฏิบัติการขนส่ง อัตราการสิ้นเปลือง สมรรถนะด้านพลังงานโลจิสติกส์

ABSTRACT

Transportation in Thailand is the economic sector that dominate more than one third of the nation energy consumption annually. Typically, the cost of fuel is the largest portion among total transportation operation cost. Accordingly, transportation sector becomes the focus for Thailand to achieve better energy performance according to the Nation's 20-Years Energy Conservation Plan. Energy management strategy is a key factor to promote energy efficiency in transportation process in which energy saving target and performance indicator are needed to be defined and monitor properly. Similar to industrial processes, Specific Energy Consumption (SEC) can be used as energy performance indicator of transportation operation. Since SEC indicates the amount of energy usage per unit of activity (i.e. product or service), it can help to explain status of energy and operation performance of transportation processes. This can lead to effective problem finding and evaluation of energy saving potential. This report explains a guideline of how to evaluate SEC for transportation operation. SEC is evaluated based on a proportion between amount of energy used per product of transportation activity which is travel distance (e.g. kilometer) or the value of travel distance – average load carried (e.g. kilometer-ton). According to limitation for most transportation service providers found in Thailand to gather detail data, a practical means to estimate SEC value is recommended.

KEYWORDS : Specific Energy Consumption, Transportation Operations, Energy Consumption, Energy performance, Logistics

บทนำ

ในการบริหารจัดการการขนส่งที่นอกเหนือจากการจัดการด้านตารางการขนส่ง พนักงานขับรถ การดำเนินการตามกฎระเบียบ และการบำรุงรักษายานพาหนะแล้ว ต้นทุนมักจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผู้ประกอบการ ต้นทุนในกระบวนการขนส่งที่สำคัญคือ ค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง และค่าตอบแทนพนักงานขับรถ (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2553) โดยประมาณเฉลี่ยเป็นร้อยละ 31.99, 31.36 และ 27.49 ตามลำดับ หรือรวมกันมากกว่าร้อยละ 90 ของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนหลักของกระบวนการขนส่งเลยทีเดียว สำหรับบทความนี้มุ่งเน้นให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง เนื่องจากค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเป็นต้นทุนที่แปรผันต่อลักษณะการบริหารจัดการ การขับขี่ และเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งค่อนข้างมีความซับซ้อนและแปรปรวนสูง อีกทั้งยังสามารถสะท้อนสมรรถนะการดำเนินงานได้การบันทึกประมวลผล และนำเสนอข้อมูลดัชนีที่แสดงสมรรถนะด้านพลังงานที่เหมาะสม ชัดเจน จากข้อมูลการดำเนินงาน จึงเป็นปัจจัยเริ่มต้นที่สำคัญ ที่ส่งผลให้ผู้ประกอบการขนส่งได้ตระหนักถึงสภาวะการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการขนส่ง ที่ช่วยในการชี้จุดบกพร่องและศักยภาพในการปรับปรุง สามารถนำไปสู่การสนับสนุนผลักดันให้มีการวิเคราะห์สาเหตุ และการกำหนดมาตรการเพื่อการปรับปรุง ติดตามผล ได้อย่างตรงจุดและต่อเนื่อง โดยมีการกำหนดนโยบาย ผู้รับผิดชอบ และการประเมินกระบวนการบริหารจัดการเป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อน

ดังนั้นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาระบบการจัดการการขนส่งและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรต้องเริ่มจากการรวบรวมและวิเคราะห์ประวัติข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการใช้พลังงานก่อนเป็นลำดับแรก โดยใช้ตัวชี้วัดที่สำคัญ คือ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ที่เป็นค่าสัดส่วนระหว่าง ปริมาณเชื้อเพลิง ต่อ ปัจจัยกิจกรรมที่เป็นเป้าหมายของการขนส่ง ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า ค่า SEC ในกระบวนการขนส่ง

ยังเป็นรูปแบบที่คำนวณค่าสัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงต่อระยะทางเดินรถ ยังไม่สะท้อนเป้าหมายของกระบวนการขนส่งที่ต้องคำนึงถึงภาระการขนส่ง(เช่น น้ำหนักสินค้า) เข้าไว้ด้วย รวมถึงค่าที่ได้อาจไม่แม่นยำเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ในการจัดการขนส่ง ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอแนวทางการประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการขนส่งในหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมต่อธุรกิจขนส่งและมีความแม่นยำสะท้อนถึงค่า SEC ที่แท้จริงได้

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีประโยชน์คือ ใช้อธิบายปริมาณพลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่า SEC ของโรงงานเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานให้ได้ผลดีที่สุด (ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน, 2560) โดยการตั้งค่าเป้าหมายจากค่า SEC เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานนั้นเอง ซึ่งทำให้ทราบว่ากระบวนการใดหรือเครื่องจักรใดที่มีค่า SEC ผิดปกติ หรือเกินจากเกณฑ์ที่ควบคุมไว้ และจะต้องเข้าไปดำเนินการหาสาเหตุและแก้ไขความผิดปกติดังกล่าว โดยหน่วยวัดของค่า SEC เป็นค่าพลังงานต่อหน่วยปัจจัยในการผลิตสินค้า เช่น MJ/kg หรือ kWh/ชิ้น ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรมและความเหมาะสมที่สามารถสะท้อนสมรรถนะทางพลังงานได้อย่างชัดเจน

ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อมรรัตน์ แก้วประดับ และพิชัย นามประกาย (2548) ศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมประเภทโลหะ โดยวิเคราะห์การใช้ พลังงาน นำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงาน และวิธีการหาค่า SEC ในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะ เนื่องจากเป็นโรงงานที่มีการใช้ทั้ง พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ซึ่งเสนอการหาค่า SEC ใน 2 รูปแบบ คือ ค่าพลังงานต่อน้ำหนักวัตถุดิบ และค่าพลังงานต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ มีหน่วยเป็น GJ/Tonอลูมิเนียม ซึ่งการประยุกต์ใช้ค่า SEC สามารถนำไปกำหนดแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 17,976.50 kWh/ปี และ 923.74 ลิตร/ปี ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 66,997 บาท/ปี

พีรพงศ์ แก้ววิมลรัตน์ และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2553) การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเสนอวิธีการเทียบเท่าหน่วยพลังงานให้เป็นหน่วยเดียวกัน คือ พลังงานไฟฟ้า (kWh) ใน 5 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ เนื่องจากมีความแตกต่างกันในแต่ละบริษัท เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างบริษัทภายในอุตสาหกรรมเดียวกันได้ โดยมีตัวแปรคือ คือ ชั่วโมงการทำงาน จำนวนของผลิตภัณฑ์ และผลต่างของอุณหภูมิ

พัชรมาศ นุ่มดี จันทนา จันทโร และ ไชยะ แช่มช้อย (2554) วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมเคมี โดยประยุกต์ใช้ค่า SEC ร่วมกับกราฟ CUSUM ทำให้ได้ค่าอ้างอิงในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม และใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานเพื่อหาแนวทางการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพขึ้นต่อไป โดยในรูปแบบของการประยุกต์ใช้เดียวกันนี้ เป็นธิดา มณีโชติ จันทนา จันทโร และ ไชยะ แช่มช้อย (2554) ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมอีก 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์

Nunes et al (2014) เสนอแนวทางการหาค่า SEC ในแต่ละกระบวนการของอุตสาหกรรมผลิตไส้กรอกในประเทศโปรตุเกส จากกลุ่มตัวอย่าง 20 บริษัท ซึ่งพบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้า (เป็นพลังงานที่มีสัดส่วนสูงถึง 82% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอุตสาหกรรมนี้) คือ 660 kWh น้ำหนักวัตถุดิบ 1 ตัน ขณะที่ Pakere and Blumberga (2017) กำหนดค่า SEC เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมการสกัดถ่านหินจากพรุ (Peat) เพื่อใช้เป็นตัวแปรตัดสินใจในการลดต้นทุนพลังงาน รวมถึงทำให้สามารถลดมลพิษจาก CO_2 ได้เป็นอย่างดี ซึ่งพบว่าต้องใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซล 2.44 kWh ต่อการสกัดถ่านหินจากพรุ 1 m^3

จากงานวิจัยข้างต้นจะพบว่าค่า SEC ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตค่อนข้างจะแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาด้านธุรกิจขนส่งแล้วพบว่า ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักตำราด้านการขนส่งมีเพียงการกล่าวถึงค่า SEC ในการขนส่งด้วยรถไฟความเร็วสูงเท่านั้น (Janic', 2014) โดยมีหน่วยวัดคือ kWh/seat-km สำหรับประเทศไทยเพิ่งมีการเริ่มแนะนำค่า SEC ในงานขนส่งไม่กี่ปีที่ผ่านมาเช่นกัน โดยเริ่มจากเป้าหมายในการลดพลังงานภาคขนส่งตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของประเทศไทย (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ในการยกระดับประสิทธิภาพทางพลังงานและลดต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศ ซึ่งในปัจจุบันเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงมากกว่า 1 ใน 3 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ

งานวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับค่า SEC ของภาคขนส่งในประเทศไทย เช่น ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และคณะ (2558) ทำการสำรวจการดำเนินงานและการบันทึกข้อมูลด้านพลังงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อเสนอกลไกในการรวบรวมข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของกลุ่มตัวอย่างรถขนส่งแต่ละประเภท และนำมาประมวลผลในระบบฐานข้อมูลกลาง สำหรับเป็นค่า SEC อ้างอิงของประเทศที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

ต่อมา ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และ คณะ (2559) นำแนวคิดดังกล่าวบูรณาการเข้ากับการพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่ง (Transportation Energy Management System: TEMS) เพื่อให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถนำระบบบริหารจัดการพลังงานไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานอย่างยั่งยืน และเป็นต้นแบบมาตรฐานระบบการบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่งของประเทศต่อไป โดยการคำนวณค่า SEC ถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถวัดผลและกำหนดเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ เมื่อ TEMS ถูกนำไปใช้งานในการให้คำปรึกษาภายใต้โครงการสาธิตระบบบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่ง (Logistics and Transport Management: LTM) ชวลิต มณีศรี และ คณะ (2560) นำเสนอผลการดำเนินงานซึ่งแสดงถึงการคำนวณค่า SEC และการประยุกต์ใช้ในการวางแผนการลดการใช้เชื้อเพลิง อย่างไรก็รูปแบบการคำนวณค่า SEC จากค่าสัดส่วน ของปริมาณเชื้อเพลิงต่อระยะทางเดินรถ ยังไม่สะท้อนเป้าหมายของกระบวนการขนส่งที่ต้องคำนึงถึงภาระการขนส่ง (เช่น น้ำหนักสินค้า) เข้าไว้ด้วย อันเนื่องมาจากข้อจำกัดและความเข้าใจในวิธีการบันทึกข้อมูลของสถานประกอบการที่เข้าร่วมโครงการทั้งหมด ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการเสนอแนวทางในการประเมินค่า SEC ในบทความนี้

แนวทางประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการขนส่ง

กระบวนการขนส่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่า SEC ประกอบด้วยปัจจัยด้านพลังงาน หรือเชื้อเพลิงที่ใช้งานต่อปัจจัยกิจกรรมที่เกิดขึ้น โดยปัจจัยด้านพลังงานสามารถใช้เป็นค่าปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น ดีเซล เบนซิน CNG/NGV และ LPG เป็นต้น สำหรับปัจจัยกิจกรรม อาจเป็น "ค่าระยะทาง" หรือ "ค่าภาระบรรทุกเฉลี่ย-ระยะทาง (Traffic Unit)" โดยภาระการบรรทุกอาจจะเป็น น้ำหนักการบรรทุก หรือ กำหนดเป็น ปริมาตรสินค้า (สำหรับสินค้าที่มีน้ำหนักเบา) หรือ จำนวนผู้โดยสาร (สำหรับรถโดยสาร) ได้ตามความเหมาะสม ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่า ดัชนีพลังงานจำเพาะได้ 2 รูปแบบคือ

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง}}{\text{ระยะทาง}} \quad (1)$$

$$SEC^* = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง}}{\text{ภาระบรรทุกเฉลี่ย-ระยะทาง}} \quad (2)$$

ในการดำเนินงานปกติแล้วสถานประกอบการจะมีการบันทึก ค่าปริมาณเชื้อเพลิง และ ข้อมูลระยะทางเดินรถ และมักนำมาใช้คำนวณค่า Fuel Economy หรือ ค่า SEC ในการกำกับสมรรถนะการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งอยู่แล้ว (โดยเฉพาะสมรรถนะการขับขี่) หากแต่จะไม่สามารถใช้สะท้อนสมรรถนะทางด้านการบริหารจัดการได้ เนื่องจากปัจจัยกิจกรรมที่เป็นเป้าหมายของการขนส่งคือการใช้รถขนส่งที่บรรทุกภาระงาน (เช่น น้ำหนักการบรรทุก ปริมาตรสินค้า หรือ จำนวนผู้โดยสาร) ให้เต็มหรือใกล้เคียงพิกัดการบรรทุกของรถให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ค่าดัชนี SEC* เพื่อเป็นตัวบ่งชี้สมรรถนะในการบริหารจัดการการขนส่งได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

1. แนวทางประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะแบบคิดภาระบรรทุก

ในการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะแบบคิดค่าภาระบรรทุก โดยใช้ตัวอย่างของรถบรรทุกสินค้า ที่มีปัจจัยกิจกรรมเป็น ภาระการบรรทุก-ระยะทาง ในรูปของค่า Traffic Unit จาก SEC* ในสมการที่ (2) ได้

$$SEC^* = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง}}{\text{ภาระบรรทุกเฉลี่ย-ระยะทาง}}$$

$$SEC^* = \frac{\text{Fuel}}{\text{Traffic Unit}} \qquad (3)$$

โดยที่

ปริมาณเชื้อเพลิง (Fuel) มีหน่วยเป็น ลิตร หรือ กิโลกรัม ตามชนิดเชื้อเพลิง

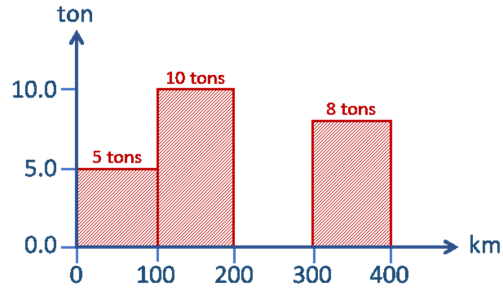
ค่า Traffic Unit หรือ น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย-ระยะทาง ซึ่งเป็น ผลรวมของผลคูณระหว่าง น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดช่วงของการขนส่งและระยะทาง

โดยสถานประกอบการส่วนใหญ่มีการบันทึกข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง และระยะทางเดินรถ เป็นไปตามการปฏิบัติปกติไว้อยู่แล้วตามช่วงเวลาที่พิจารณา หากสำหรับการบันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย และ การประเมินค่า Traffic Unit นั้นมักไม่ได้มีการดำเนินการ ซึ่งค่า น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย-ระยะทาง หรือค่า Traffic Unit ตามแสดงในสมการ (3) นั้นไม่ใช่เป็นเพียงการคูณกันระหว่างปริมาณน้ำหนักบรรทุกและระยะทางเดินรถ แต่สามารถดำเนินการได้ตามกรณีศึกษาที่มีการประมวลผลข้อมูลในลักษณะต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะและค่าชี้วัดสมรรถนะการขนส่งอื่นๆ จากรูปแบบข้อมูลการขนส่งที่สถานประกอบการบันทึกไว้ในทางปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม

ความหมายของค่า TRAFFIC UNIT

สามารถอธิบายได้จากการดำเนินงานขนส่งตามตัวอย่างดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ลักษณะการเดินรถขนส่งคันหนึ่งมีระยะทางรวม 400 กม. และมีลักษณะการบรรทุกเปลี่ยนไปตามระยะทาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงได้ดังภาพที่ 1



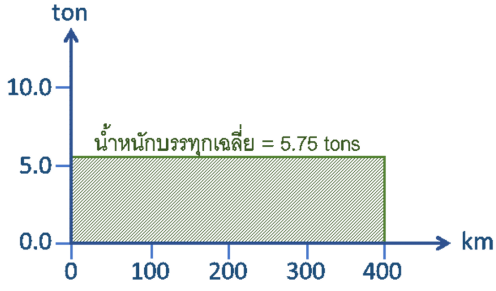
ภาพที่ 1 ข้อมูลการเดินรถตัวอย่างที่ 1

จากลักษณะการเดินรถตามรูปที่ 1 สามารถคำนวณค่า Traffic Unit มีหน่วยเป็นค่า ton-kilometer หรือ tkm (Janic', 2014) ได้คือพื้นที่ใต้กราฟ ดังนี้

$$Traffic\ Unit = \begin{bmatrix}(5 \times 100) + (10 \times 100) \\ +(0 \times 100) + (8 \times 100)\end{bmatrix}$$

$$= 2{,}300\ tkm$$

ซึ่งมีค่าเทียบเท่าพื้นที่ ของภาพที่ 2 ตลอดระยะทางเดินรถเท่ากันที่ 400 กม.



ภาพที่ 2 น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยเทียบเท่าตลอดระยะทางขนส่ง

โดยค่า $\overline{ton}$ คือ น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดช่วงระยะทางการเดินรถ คือ

$$\overline{ton} = \frac{\begin{bmatrix}(5 \times 100) + (10 \times 100) \\ +(0 \times 100) + (8 \times 100)\end{bmatrix}}{400}$$

$$= 5.75\ tons$$

ดังนั้นการประเมินค่า Traffic Unit สำหรับการคำนวณค่า SEC* ตามสมการ (3) คำนวณได้ตามนี้ (ในหน่วยของ ตัน น้ำหนักและกิโลเมตร)

$$Traffic\ Unit = \overline{ton} \times km \quad (4)$$

โดยที่

$\overline{ton}$ คือ ค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดระยะทางขนส่งที่ใช้ในการบันทึก หรือ ผลรวมของผลคูณระยะทางกับน้ำหนักบรรทุกในแต่ละช่วง หารด้วยระยะทางเดินรถทั้งหมด

km คือ ระยะทางในหน่วยกิโลเมตร ซึ่งมีการบันทึกเป็นปกติในการขนส่ง

$$\overline{ton} = \frac{\sum(ton \times km)_i}{\sum km} \quad (5)$$

การคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดช่วงระยะทางการขนส่งที่พิจารณานั้น จะช่วยให้สามารถนำมาคูณโดยตรงกับค่าระยะการเดินรถ ซึ่งโดยปกติจะมีการบันทึกโดยผู้ประกอบการเป็นปกติอยู่แล้ว

อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดระยะทางการขนส่ง $\overline{ton}$ ตามแนวทางจากสมการ (5) นั้นมีความยุ่งยากในทางปฏิบัติที่เป็นอยู่ในปัจจุบันสำหรับผู้ประกอบการส่วนใหญ่ เนื่องจากต้องมีการบันทึกค่าน้ำหนักการขนส่งอย่างละเอียดและต่อเนื่อง ในทุกๆ ช่วงของการขนถ่ายสินค้าขึ้นลงในแต่ละสถานี เพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกตลอดระยะทางการขนส่ง

ดังนั้นหากผู้ประกอบการไม่สามารถบันทึกค่าน้ำหนักได้โดยละเอียดเพื่อนำมาคำนวณได้ตามสมการข้างต้น อาจสามารถใช้การประมาณการค่า $\overline{ton}$ ในลักษณะที่เป็นขนาดภาระการทำงานเฉลี่ยเทียบกับพิกัดเต็มกำลังการบรรทุกตามที่จะได้อธิบายดังนี้

2. การประมาณค่า น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย

เพื่อความสะดวก ผู้ประกอบการอาจสามารถประมาณการค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ($\overline{ton}$) จากผลคูณของ “เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการบรรทุกรถขนส่งตลอดช่วงระยะทาง” หรือค่า Utilization ($\overline{UL}$) กับ พิกัดกำลังการบรรทุก ตามสมการ

$$\overline{ton} = (Truck\ Capacity) \times \overline{UL} \quad (6)$$

โดยที่

Truck Capacity คือ ขนาดพิกัดการบรรทุกของรถขนส่ง

$\overline{UL}$ คือ Utilization หรือ เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกของรถขนส่งตลอดช่วงระยะทางที่พิจารณา หรือ ผลรวมของผลคูณระยะทางกับเปอร์เซ็นต์การบรรทุกในแต่ละช่วงต่อระยะทางเดินรถทั้งหมด

โดยการคำนวณค่า $\overline{UL}$ เป็นค่าเฉลี่ยจากค่า UL ของแต่ละช่วงระยะทางการเดินรถ ซึ่งผู้ประกอบการสามารถประมาณการจากประสบการณ์ได้ เช่น บรรทุกเต็มพิกัด (100%) บรรทุกครึ่งคัน (50%) หรือ บรรทุก 3 ใน 4 (75%) โดยถ่วงน้ำหนักกับค่าระยะทางเดินรถ (km) ในแต่ละช่วง

$$\overline{UL} = \frac{\sum(km \times UL)}{\sum km} \quad (7)$$

กรณีศึกษาที่ 2 รถขนาดบรรทุกเต็มพิกัดได้ 10 tons โดยมีการบรรทุกสินค้าเต็มพิกัด (UL=100%) เที่ยวขาไป 200 km และเดินรถเปล่า (UL=0%) กลับ 200 km คำนวณจากสมการ (7)

$$\overline{UL} = \frac{(200 \times 100\%) + (200 \times 0\%)}{400} = 50\%$$

แสดงว่าในเที่ยวขนส่งนี้ รวมระยะทาง 400 km สถานประกอบการมีการใช้งานรถขนส่งเฉลี่ยเพียง 50% ของพิกัดความสามารถ (หรือ $\overline{UL}$ = 50%) เท่านั้น ดังนั้นค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ตามสมการ (6) และค่า Traffic Unit ตามสมการ (4) มีค่า

$$\overline{ton} = (Truck\ Capacity) \times \overline{UL}$$

$$= 10 \times 50\% = 5\ tons$$

$$Traffic\ Unit = \overline{ton} \times km$$

$$= 5 \times 400$$

$$= 2{,}000\ tkm$$

กรณีศึกษาที่ 3 จากตัวอย่างที่ 2 หากจัดการให้มี Back hauling ขนของกลับ 50% ของขนาดพิกัดรถ ในระยะทาง 200 km ขากลับ คำนวณค่า Utilization ได้เป็น

$$\overline{UL} = \frac{(200 \times 100\%) + (200 \times 50\%)}{400}$$

$$= 75\%$$

ดังนั้น ค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ตามสมการ (6) และค่า Traffic Unit ตามสมการ (4) มีค่า

$$\overline{ton} = (Truck\ Capacity) \times \overline{UL}$$

$$= 10 \times 75\% = 7.5\ \ tons$$

$$Traffic\ Unit = \overline{ton} \times km$$

$$= 7.5 \times 400$$

$$= 3{,}000\ \ tkm$$

ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการ Back hauling ให้ค่า Utilization และ น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ที่สูงขึ้น หมายความว่า มีการใช้งานรถขนส่งที่เต็มพิกัดความสามารถ หรือมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

กรณีศึกษาที่ 4 จากตัวอย่างที่ 1 รถมีลักษณะการใช้งานการบรรทุกดังนี้

50% ระยะทาง 100 km
100% ระยะทาง 100 km
0% ระยะทาง 100 km
80% ระยะทาง 100 km

ดังนั้น คำนวณค่า Utilization เป็น

$$\overline{UL} = \frac{(100 \times 50\%) + (100 \times 100\%) + (100 \times 0\%) + (100 \times 80\%)}{400}$$

$$= 57.5\%$$

ดังนั้น ค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ตามสมการ (6) และค่า Traffic Unit ตามสมการ (b) มีค่า

$$\overline{ton} = (Truck\ Capacity) \times \overline{UL}$$

$$= 10 \times 57.5\%$$

$$= 5.75\ \ tons$$

$$Traffic\ Unit = \overline{ton} \times km$$

$$= 5.75 \times 400$$

$$= 2{,}300\ \ tkm$$

3. การคำนวณค่า น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย สำหรับรถทั้งหมวดขนส่ง (Fleet)

เห็นได้ว่าการคำนวณค่าเฉลี่ยในสมการต่างๆ ข้างต้น ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักกับระยะทางเดินรถ ดังนั้น การคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของรถทั้งหมวดขนส่ง หรือทั้ง Fleet สามารถหาจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยระยะทาง จากค่าที่ได้จากรถแต่ละคัน หรือคำนวณจาก ผลรวมของผลคูณระยะทางเดินรถกับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของรถแต่ละคัน หารด้วยผลรวมระยะทางเดินรถของรถทุกคัน ดังแสดงในสมการ (8)

$$\overline{ton}_{fleet} = \frac{\sum(\overline{ton} \times km)_i}{\sum km} \qquad (8)$$

กรณีศึกษาที่ 5 หาค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของ รถ 3 คัน จากตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ซึ่งแต่ละคันมีค่าแตกต่างกันดังนี้

คันที่ 1 $\overline{ton}$ = 5.75 tons
ระยะทาง = 400 km
คันที่ 2 $\overline{ton}$ = 5.00 tons
ระยะทาง = 400 km
คันที่ 3 $\overline{ton}$ = 7.50 tons
ระยะทาง = 400 km

ดังนั้นค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของทั้ง Fleet เมื่อคำนวณตามสมการ (8) มีค่า เท่ากับ

$$\overline{ton}_{fleet} = \frac{\sum(\overline{ton} \times km)_i}{\sum km}$$

$$= \frac{(5.75 \times 400) + (5.00 \times 400) + (7.50 \times 400)}{400 + 400 + 400}$$

$$= 6.08 \ tons$$

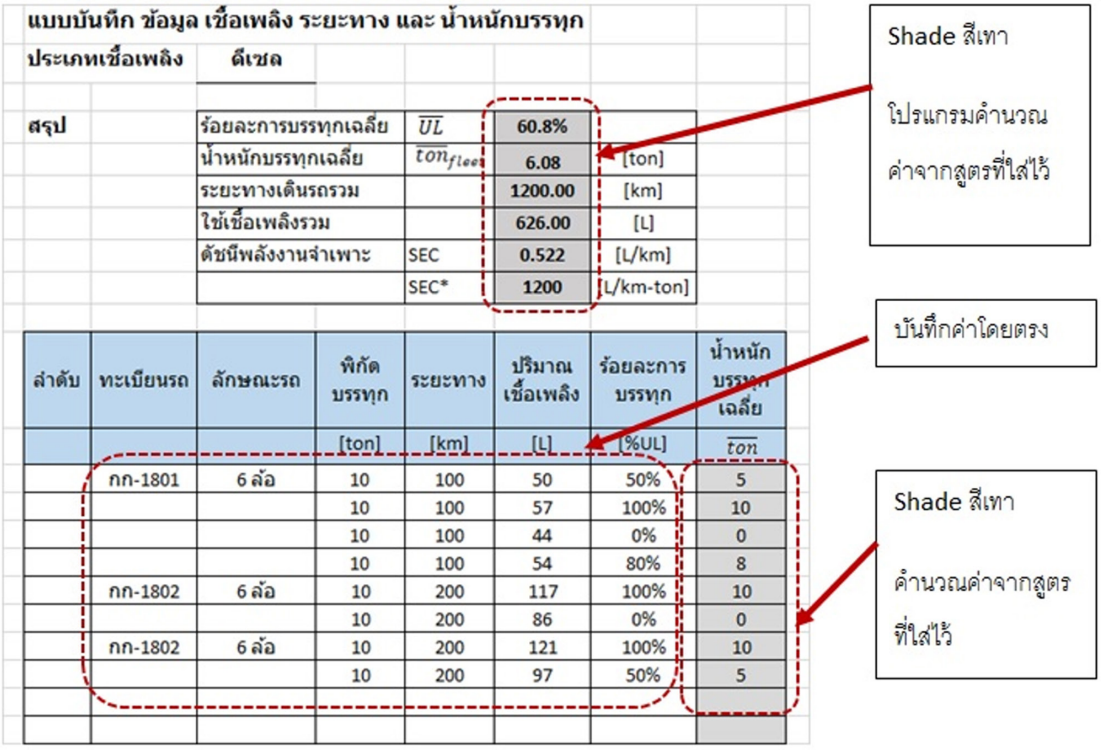
การวิเคราะห์ผล

แนวทางประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการขนส่งที่ได้นำเสนอในบทความนี้ เป็นการขยายแนวความคิดในการวัดสมรรถนะด้านพลังงานรูปแบบหนึ่ง ดังรูปที่ 3 ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับค่าระยะทาง หรือ ค่าระยะทาง-ภาระบรรทุกเฉลี่ย (Traffic Unit) โดย Traffic Unit เป็นค่าตัวแปรที่บทความนี้ให้ความสำคัญ เนื่องจาก หากพิจารณาเพียงค่าระยะทางแล้ว รถที่บรรทุกน้ำหนักต่างๆ กัน จะได้ผลคำนวณค่า SEC เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งในความเป็นจริงไม่ควรจะมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ดังนั้นตัวแปรด้านภาระบรรทุกจึงถูกนำมาพิจารณาร่วมในการคำนวณค่า SEC*

ตัวแปรที่ส่งผลต่อ Traffic Unit ของรถขนส่งรายคันมี 2 ตัวแปร คือ $\overline{ton}$ หรือ ค่าน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยตลอดระยะทางขนส่ง $\overline{UL}$ หรือ เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกของรถขนส่งตลอดช่วงระยะทางที่พิจารณา อย่างไรก็ตามหากต้องการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของรถทั้งหมวดขนส่ง (Fleet) เพื่อคำนวณค่า SEC* ของ Fleet แล้ว บทความนี้ได้นำเสนอการคำนวณค่าตัวแปร $\overline{ton}_{fleet}$ ด้วย เพื่อให้ผู้ประกอบการขนส่งหรือผู้สนใจใช้ในการคำนวณค่า SEC* แล้วนำมาบริหารจัดการ Fleet ในด้านพลังงานและต้นทุนโลจิสติกส์ต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อให้เกิดความสะดวก ผู้วิจัยได้จัดทำแบบตารางการคำนวณ ตามตัวอย่างข้างต้นดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 ซึ่งผู้สนใจสามารถ download ได้ตาม link ด้านล่างนี้

http://bit.ly/2wloqN2



ภาพที่ 3 ตัวอย่างแสดงการคำนวณค่า SEC และ SEC*

สรุปและข้อเสนอแนะ

แนวทางประเมินค่าดัชนีพลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการขนส่ง ซึ่งคำนวณมาจากตัวแปรสำคัญเกี่ยวกับการขนส่งหลายตัวแปร เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง ระยะทาง น้ำหนักบรรทุก โดยเสนอรูปแบบการคำนวณที่ได้มาซึ่งตัวแปรข้างต้นอย่างละเอียดและสมเหตุสมผล จะสนับสนุนให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างสะดวกและไม่ซับซ้อน สะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนโลจิสติกส์ด้านการขนส่งได้ชัดเจนและใกล้เคียงกับสภาวะความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถตัดสินใจการจัดการขนส่งของ Fleet รถขนส่ง ได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนการศึกษาผลการดำเนินงานในโครงการสาธิตระบบบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่ง (Logistics and Transport Management: LTM) ของสถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2559. **แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558-2579.** แหล่งที่มา: http://www.enconfund.go.th/pdf/index/eep2015.pdf, 1 เมษายน 2559.

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, ชวลิต มณีศรี, ธรินี มณีศรี, วัชระ ลอยสมุทร และจักรพงศ์ พงศ์ธไนศวรรย์. (2558). "กลไกการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงการใช้พลังงานจำเพาะในภาคการขนส่ง," ในหนังสือรวมบทความ**การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 ประจำปี 2558.** หน้า 1644-1653. กรุงเทพฯ.

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล, ชวลิต มณีศรี, ธรินี มณีศรี และ กิตติกุล ปุณศรี. (2559). "การพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่ง," ในหนังสือรวมบทความ **การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 11 ประจำปี 2559.** หน้า 1378-1388. กรุงเทพฯ.

ชวลิต มณีศรี, ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี และ ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2560). "การประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานในภาคขนส่ง," ในหนังสือรวมบทความ**การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.** หน้า 972-977. เชียงใหม่.

เป็นธิดา มณีโชติ, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แช่มช้อย. 2554. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม: TSIC 33, 36, 37 และ 38, **วารสารวิจัยพลังงาน,** ปีที่ 8 (2554/2): 12-19).

พัชรมาศ นุ่มดี, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แช่มช้อย. 2554. การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม, **วารสารวิจัยพลังงาน, ปีที่ 8** (2554/2): 1-10).

พีรพงศ์ แก้ววิมลรัตน์ และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. 2553. การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์, **วารสารวิจัยพลังงาน,** ปีที่ 7 (2553/2): 54-65).

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2553. ต้นทุนการประกอบการ: รถโดยสารประจำทาง vs รถบรรทุกในประเทศไทย. **รายงานทีดีอาร์ไอ,** 84 (กรกฎาคม 2553), ฉบับพิเศษ.

ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน. 2560. **การหาค่า SEC.** แหล่งที่มา: http://www.me.psu.ac.th/eec/jn4.html. 30 สิงหาคม 2560.

อมรรัตน์ แก้วประดับ และพิชัย นามประกาย. (2548). "การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมประเภทโลหะ," ในหนังสือรวมบทความ**การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1,** หน้า 293-298.

Pakere, I., and Blumberga, D. 2017. Energy efficiency indicators in peat extraction industry – a case study, **Energy Procedia,** 113 (2017): 143-150.

Nunes, J., Silva, P. D., Andrade, L. P., and Gaspar, P. D. 2014. Characterization of the specific energy consumption of electricity in the Portuguese sausage industry, **WIT Transactions on Ecology and The Environment,** 186: 763-774.

Janic', M. 2014. Advanced Transport Systems Analysis, Modeling, and Evaluation of Performances. Springer. U.K.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering) จาก North Carolina State University สหรัฐอเมริกา ปริญญาโท Master of Science (Mechanical Engineering) จาก Southern Illinois University สหรัฐอเมริกา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเป็นนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral Research Associate) จาก Duke University สหรัฐอเมริกา

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต มณีศรี

สำเร็จการศึกษา ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.ด.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการศูนย์การศึกษาต่อเนื่องทางวิศวกรรม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี

สำเร็จการศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมพลังงาน จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าศูนย์วิจัยและปฏิบัติการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

วัฒนา เจนการ

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยรังสิต

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้เชี่ยวชาญเทคนิคการอนุรักษ์พลังงาน ศูนย์บริการทางวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต