AEC-108

เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก : การแปรรูป และผลการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

Synthetic Diesel fuel from waste plastic: Conversion and the use in a diesel engine

คณิต วัฒนวิเชียร*, และ อรวรรณ กรรณิกา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
*E-mail: wkanit@chula.ac.th โทรศัพท์ 0-2218-6610 โทรสาร 0-2252-2889

บทคัดย่อ

การแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนจากหลุมฝังกลบเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้ลดมลภาวะที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาศักยภาพของขยะพลาสติกสำหรับเป็นแนวทางการแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนจากหลุมฝังกลบเพื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงกระบวนการจัดการขยะแบบครบวงจรโดยวิธีการผสมผสาน กระบวนการคัดแยกขยะพลาสติกชุมชน กระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องและการกลั่นลำดับส่วน คุณภาพของ เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก และการประเมินและวิเคราะห์ผลการใช้เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการนำขยะพลาสติกชุมชนมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกชุมชนที่มีอยู่มากมาย และลดปัญหาการขาดแคลนพื้นที่การฝังกลบขยะชุมชน

คำหลัก: การแปรรูปขยะพลาสติกชุมชน, กระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่อง, เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก, เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

Using conversion of plastic waste from the municipal landfills to recycle can reduce pollutions that causes environmental impacts. This study aims to investigate the potential of plastic wastes that can be used for municipal plastic wastes to diesel conversion process that can be applied as fuel in a diesel engine. This paper presents the review of municipal wastes management, wastes separation processes, municipal plastic wastes to pyrolytic oil conversion by pyrolysis, fractional distillation and its outcome synthetic diesel fuel qualities. Moreover, the evaluation and analysis results of using plastic waste pyrolytic diesel (PWPD) in a diesel engine will also be presented. The waste to energy conversion from municipal landfill's plastic waste can be considered as an alternative choice to reduce the large amount of exiting plastic waste in municipal waste and future required community landfills area in a future.

Keywords: municipal plastic wastes conversion, pyrolysis, plastic wastes pyrolytic diesel, diesel engine

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างมหาศาล เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการอุปโภคบริโภคของประชาชน ทำให้ขยะมูลฝอยชุมชนกลายเป็นปัญหาที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในขณะที่ระบบการจัดการขยะแบบครบวงจรและถูกสุขลักษณะในประเทศไทยยังมีน้อย แม้ว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะได้รับการจัดสรรงบประมาณในการก่อสร้างระบบการกำจัดเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เพียงพอต่อปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่มีแนวโน้นเพิ่มขึ้นทุกปี โดยปี 2554 ขยะมูลฝอยชุมชนจากทั่วประเทศมีปริมาณ 15.98 ล้านตัน แต่มีการนำขยะมูลฝอยชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์เป็นปริมาณเพียง 4.10 ล้านตัน หรือร้อยละ 26 สามารถแยกเป็น (1) การนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำกลับมารีไซเคิลปริมาณ 3.39 ล้านตัน (2) การนำขยะมูลฝอยชุมชนมาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพปริมาณ 0.59 ล้านตัน และ(3) การนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเผาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงทดแทนปริมาณ 0.12 ล้านตัน [1] ส่วนขยะมูลฝอยชุมชนที่เหลือปริมาณ 11.88 ล้านตัน จะถูกกำจัดโดยวิธีการฝังกลบเพื่อให้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย จากผลการสำรวจของสำนักจัดการกากของเสีย และสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษพบว่าในหลุมฝังกลบขยะปริมาณร้อยละ 30 เป็นขยะพลาสติก ซึ่งย่อยสลายยากไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ อาทิ ฉลากพลาสติก ถุงพลาสติก และถุงขนม เป็นต้น ขยะพลาสติกในหลุมฝังกลบทั่วประเทศไทย สามารถประมาณการได้ว่าจะมีปริมาณราว 3.56 ล้านตันต่อปี ทางศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนจากหลุมฝังกลบด้วยกระบวนการไพโรไลซีส เพื่อแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนเป็นน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

การศึกษางานวิจัยฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาเพื่อดูศักยภาพของขยะพลาสติก เพื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

2. การจัดการขยะแบบครบวงจร

การจัดการขยะแบบครบวงจร คือการเน้นรูปแบบการวางแผนจัดการขยะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ส่งเข้ามาทำลายด้วยวิธีการต่างๆ ให้น้อยที่สุด กระบวนการจัดการขยะแบบครบวงจรโดยวิธีการผสมผสานเป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งวิธีการนี้ (รูปที่ 1) สามารถแบ่งกระบวนการในการจัดการขยะได้ดังนี้ [2-7]

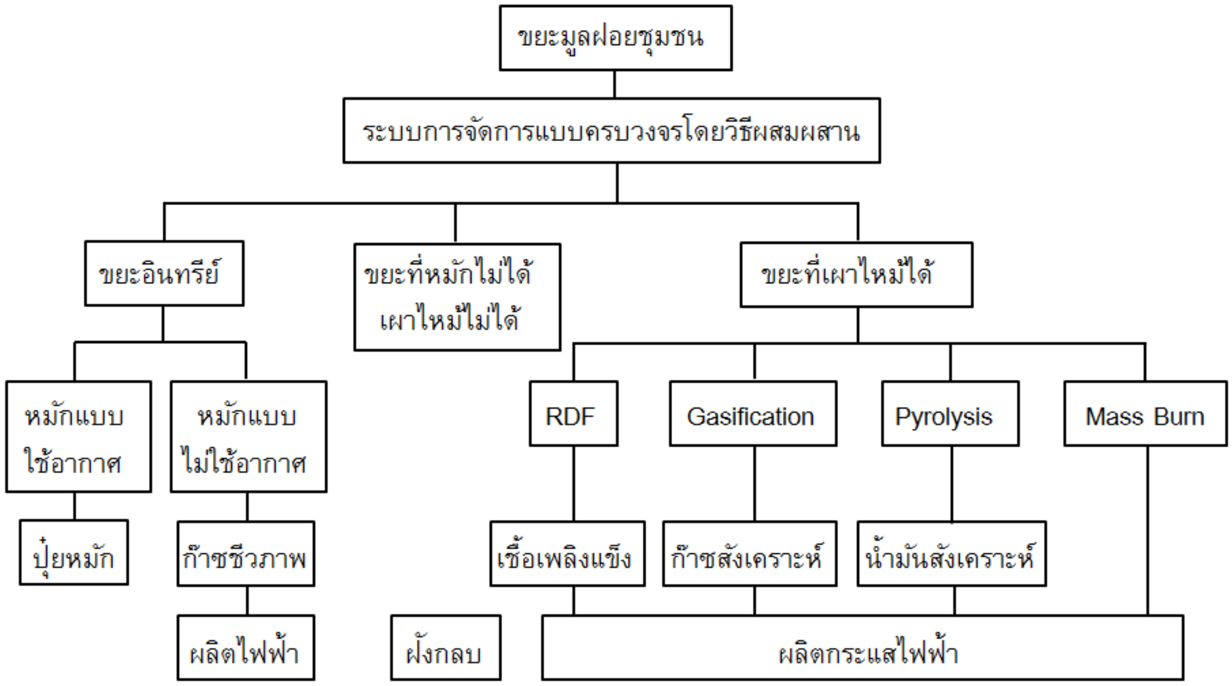
1. ทำการคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชนในระดับเบื้องต้น
2. ขยะอินทรีย์ที่คัดแยกได้จะถูกนำไปหมักแบบใช้อากาศหรือแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหรือก๊าซชีวภาพ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า
3. ขยะคัดแยกส่วนที่หมักและเผาไหม้ไม่ได้จะถูกนำไปฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล
4. ขยะส่วนที่เผาไหม้ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ อาทิ

ก. ผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากขยะ (RDF) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ข. ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เพื่อผลิตเป็นก๊าซสังเคราะห์ (Syn gas) ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ค. ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซีส (Pyrolysis) เพื่อผลิตเป็นน้ำมันดิบเหลวชนิดเบา (Light crude oil) ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ง. ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อนำไปเข้าเตาเผา (Mass burn) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงระบบการจัดการขยะแบบครบวงจรโดยวิธีผสมผสาน

3. กระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชน

การคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อเข้ากระบวนการจัดการแบบครบวงจร เป็นการคัดแยกภายหลังจากการจัดเก็บโดยเริ่มจากการคัดแยกขยะมูลฝอยชิ้นใหญ่และส่วนเปิดถุง ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการจัดการเพื่อคัดแยกส่วนสำหรับนำกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบและตามวิธีการต่าง ๆ กระบวนการคัดแยกขยะชุมชนแบบครบวงจรประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ [2]

1. การคัดแยกขยะมูลฝอยชิ้นใหญ่และส่วนเปิดถุง เป็นการคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชนชิ้นใหญ่ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ออกจากระบบ ส่วนกิ่งไม้ ยางรถยนต์ และพลาสติกชิ้นใหญ่จะถูกแยกไปเข้าเครื่องบดย่อยและเครื่องอบแห้งสำหรับนำไปรีไซเคิลต่อไป ส่วนขยะจากบ้านเรือนที่ใส่ถุงปิดมิดชิด จะถูกเปิดด้วยเครื่องเปิดถุง

2. การคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชนด้วยลม เป็นการคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชนที่เหลือ ด้วยการใช้ลมเป่า (Air Separation 1) ในระดับความเร็วลมเพียงพอที่จะพาขยะเบาจำพวกพลาสติกและกระดาษเข้าสู่สายพานเพื่อเข้าระบบอบแห้ง สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบและเชื้อเพลิง ในระบบเตาเผา อาทิ ในระบบการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (RDF) ในระบบแก๊สซิฟิเคชัน หรือในระบบไพโรไรซิสเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวต่อไป ในส่วนของขยะหนัก จะถูกส่งเข้าส่วนคัดแยกขยะหนักต่อไป

3. การคัดแยกขยะหนัก โดยนำขยะหนักเข้าสายพานเพื่อคัดแยกออกตามประเภท อาทิ เป็นวัสดุรีไซเคิล ขยะอันตราย เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ เข็มฉีดยา และโลหะที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ สำหรับเศษเหล็กจะคัดแยกโดยใช้เครื่องผลิตสนามแม่เหล็กดูดจับเศษเหล็ก ส่วนพลาสติกและกระดาษส่วนที่ยังเหลืออยู่จะถูกคัดแยกด้วยการใช้ลมเป่า (Air Separation 2) อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปตามสายพานเพื่อเข้าสู่ระบบอบแห้ง สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบและเชื้อเพลิง อาทิ ในระบบเตาเผา ในระบบผลิตเชื้อเพลิงแข็ง ในระบบแก๊สซิฟิเคชัน หรือในระบบไพโรไรซิสเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลว ส่วนขยะเบาที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลหรือไม่ต้องการ เช่น ฟอยล์ อลูมิเนียมฟอยล์ ฉลากพลาสติกและถุงขนม จะถูกคัดออกเพื่อนำไปฝังกลบ

4. กระบวนการคัดแยกขยะพลาสติกจากขยะในหลุมฝังกลบ

AEC18

กระบวนการคัดแยกขยะพลาสติกจากขยะฝังกลบ ซึ่งพบว่าราวร้อยละ 30 เป็นขยะพลาสติกซึ่งไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้แต่ยังคงมีศักยภาพที่สามารถนำกลับมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนในระบบไพโรไรซิสเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้ มีขั้นตอนการคัดแยก ดังต่อไปนี้

1. ตักขยะจากบ่อฝังกลบเพื่อทำการคัดแยกองค์ประกอบ

2. นำเข้าเครื่องคัดแยกเฉพาะส่วน โดยแยกเฉพาะส่วนที่เป็นขยะพลาสติกออก โดยวิธีการคัดแยกขยะด้วยลม

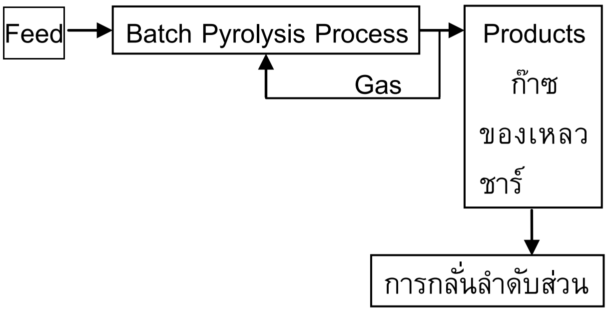
3. ทำความสะอาดขยะพลาสติกที่ได้ เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกที่ติดมากับพลาสติก

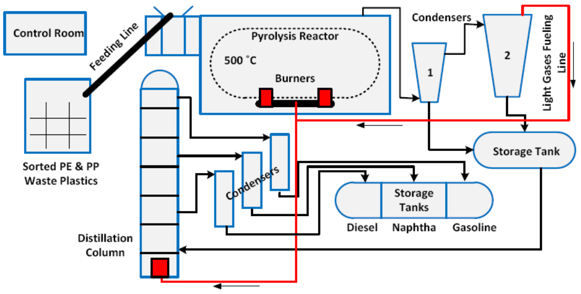
4. ผึ่งให้แห้ง

5. จัดเตรียมรอทำการรวบรวม เก็บและขนส่งเข้ากระบวนการในขั้นต่อไป

5. กระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องขยะพลาสติก

แผนภูมิกระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องขยะพลาสติกแสดงไว้ในรูปที่ 2 กระบวนการจะเริ่มจากการจัดเตรียมขยะพลาสติกเพื่อป้อนเข้าสู่เตาเผาทรงกระบอก (cylindrical furnace) ซึ่งภายในเตาเผาขยะพลาสติกจะได้รับความร้อนจากหัวเผาก๊าซ และสลายตัว (decompose) แตกตัว (crack) ออกเป็นไอระเหยของสารประกอบย่อยๆ ภายใต้สภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิราว 450-500 °C และไหลต่อออกจากเตาไปควบแน่นด้วยระบบหล่อเย็นจนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (pyrolytic oil) ส่วนก๊าซที่ไม่กลั่นตัวจะถูกนำกลับไปให้ความร้อนแก่หัวเผาก๊าซเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวเอง





รูปที่ 2 แสดงแผนภาพกระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องขยะพลาสติก [8]

จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบไม่ต่อเนื่องขยะพลาสติก พบว่าปริมาณขยะพลาสติก 10 ตัน สามารถผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ 6,000 ลิตร/วัน คิดเป็นร้อยละ 60-70 ของปริมาณขยะพลาสติกที่ใช้ ภายหลังจากที่ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกจะถูกนำไปกลั่นลำดับส่วนต่อไป

6. กระบวนการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันพลาสติก

การกลั่นลำดับส่วน คือการแยกองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก (Pyrolytic Oil) โดยการใช้คุณสมบัติจุดเดือดซึ่งแต่ละสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะมีจุดเดือดที่แตกต่างกันเป็นเงื่อนไขในการแยกองค์ประกอบและชนิดของเชื้อเพลิง

กระบวนการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก จะเริ่มจากสูบน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเข้าไปในเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ แปรสภาพเป็นไอ แล้วไหลผ่านเข้าไปในหอกลั่นลำดับส่วน ภายในหอกลั่นจะแบ่งเป็นห้องที่ระดับชั้นความสูงต่างๆ หลายระดับชั้น ไอสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ร้อนสามารถไหลผ่านขึ้นไปสู่ส่วนบนของหอกลั่น โดยในแต่ละระดับชั้น ซึ่งมีระดับอุณหภูมิไอที่แตกต่างๆ กัน จะมีท่อต่อแยกออกมาสำหรับนำน้ำมันที่กลั่นตัวแล้วในแต่ละระดับชั้นอุณหภูมิ ออกจากหอกลั่น

การกลั่นลำดับส่วนน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก สามารถแยกองค์ประกอบชนิดของเชื้อเพลิงตามระดับชั้นอุณหภูมิออกได้เป็น 3 ชนิด โดยส่วนแรกคือแนฟทา (Naphtha) เป็นส่วนที่อยู่บริเวณชั้นบนสุดของหอกลั่น ระดับชั้นลำดับที่ต่ำต่อลงมาซึ่งมีอุณหภูมิไอสูงกว่าจะเป็น น้ำมันชนิดกลาง (Middle Distillate) ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบิน (Jet), น้ำมันก๊าด (Kerosene) และน้ำมันดีเซล เป็นส่วนที่อยู่บริเวณระดับตรงกลางหอกลั่น และส่วนสุดท้ายคือน้ำมันส่วนที่ระเหยยาก (Long residue) เป็นส่วนที่มีระดับอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่บริเวณล่างสุดของหอกลั่น

ปริมาณผลิตภัณฑ์จากการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก คือ แนฟทา (Naphtha) มีปริมาณร้อยละ 2.35 น้ำมันก๊าด (Kerosene) มีปริมาณร้อยละ 1.46 น้ำมันดีเซล (Diesel) มีปริมาณร้อยละ 78.69 และน้ำมันส่วนที่ระเหยยาก (Long residue) มีปริมาณร้อยละ 17.5 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์จากการกลั่นลำดันส่วนน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ
แนฟทา (Naphtha)	2.35 %
น้ำมันก๊าด (Kerosene)	1.46 %
น้ำมันดีเซล (Diesel)	78.69 %
• น้ำมันเบา	58.5%
• ไบโอดีเซล	20.0%
น้ำมันส่วนที่ระเหยยาก (Long residue)	17.5 %

7. คุณภาพของเชื้อเพลิงสังเคราะห์

เชื้อเพลิงดีเซลที่ได้จากการนำเชื้อเพลิงที่สังเคราะห์จากขยะพลาสติกชุมชนมาผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วนซึ่งจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษาการใช้งานต่อไปนี้ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์โครมาโทกราฟ และถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ที่เกี่ยวข้อง ผลการทดสอบได้แสดงเปรียบเทียบกับคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2 พร้อมการเปรียบเทียบคุณสมบัติการระเหยซึ่งแปลงผลมาจาก

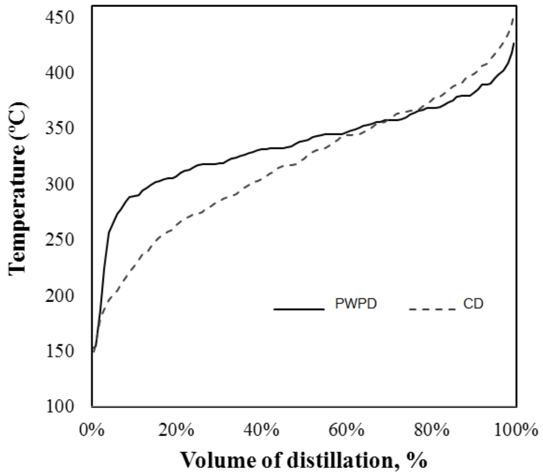
AEC18

ผลการวัดและคำนวณองค์ประกอบโดยวิธีโครมาโทกราฟีดังแสดงเปรียบเทียบไว้ด้วยเส้นโค้งการกลั่นในรูปที่ 3 จากผลการทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงที่กล่าวมานี้ อาจกล่าวได้ว่าเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีคุณสมบัติหลายประการที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล อาทิ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความร้อน ค่าความหนืด และจุดวาบไฟ

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างมาตรฐานน้ำมันดีเซลกับน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติก

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	CD	PWPD
1.Density at 15 °C (kg/m^3)	ASTM D 1298	827.48	833.33
2.Kinematic Viscosity at 40 °C	ASTM D 613	3.74	4.70
3.Heat Value (MJ/kg)	ASTM D 445	44.864± 0.295	45.45± 0.307
4.Carbon (%wt)		81.17 ± 0.66	76.24 ± 0.54
5.Hydrogen (%wt)		15.285± 0.02	14.08 ± 0.24
6.Nritrogen (%wt)		0.0665 ± 0.00	0.614 ± 0.00
7.API Gravity	ASTM D 1298	39.5	38.3
8.Distillation (°C) • IBP • T10 • T50 • T90 • FBP	ASTM D 86	 206.59 251.70 316.18 375.34 398.21	 250.29 304.93 329.60 360.01 376.47
9.Cetane Index	ASTM D 4737	68.89	76.84
10.Flash Point (°C)	ASTM D 92	81.50 ± 0.70	96.00 ± 1.40
11.Fire Point (°C)	ASTM D 92	85.0 ± 0.00	126.0 ± 0.00

(1) ความสัมพันธ์สมการ D4737 ความถ่วงจำเพาะ และกราฟจุดเดือดที่ T10, T50 และ T90 ของตัวเลขซีเทนในกรณีของเชื้อเพลิงที่ไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น จะ มีปริมาณออกซิเจนเพียงเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในโครงสร้างเคมี บางการทดสอบเชื้อเพลิงจะให้ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

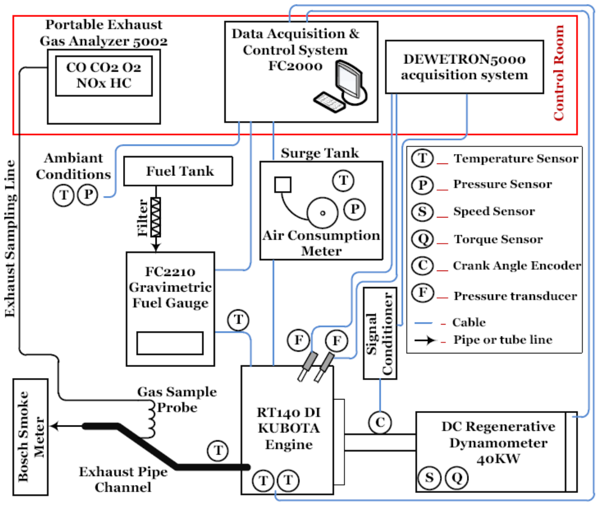


รูปที่ 3 แสดงโค้งการกลั่นของเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก (PWPD) เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล (CD) [9]

8. การทดสอบการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลและผลการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษดำเนินการที่สภาวะคงตัว ความเร็วรอบคงที่ ในห้องทดสอบสมรรถนะ (ดังแสดงแผนภูมิอุปกรณ์ไว้ในรูปที่ 4) ของศูนย์วิจัยต้นกำลัง ภายในศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สระบุรี)

มีรายละเอียดอุปกรณ์การทดสอบและอุปกรณ์การวัดมลพิษจากเครื่องยนต์ ดังนี้



รูปที่ 4 แผนภูมิการจัดวางอุปกรณ์การทดสอบ [10]

8.1. เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์สูบเดียวจุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ชนิดสูบนอน รุ่น KUBOTA RT140 ขนาด 14 แรงม้า (10.3 กิโลวัตต์) ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 20 องศาก่อนศูนย์ตายบน เครื่องยนต์จะถูกควบคุมควบคู่ไปกับการควบคุมไดนาโมมิเตอร์ โดยรายละเอียดของเครื่องยนต์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลเทคนิคของเครื่องยนต์คูโบต้า [11]

รายละเอียด	หน่วย	พารามิเตอร์ทางเทคนิค
Engine Model		RT 140
Type	Horizontal-type water cooled 4-cycle diesel	
Number of cylinders	PSC	1
Cylinder born × Stroke	Mm	Ø97 × 96
Displacement (Swept Volume)	L	0.709
Continuous rated power output	kW/rpm	9.2/2400
Max. power/engine speed	kW/rpm	10.3/2400
Max. torque/engine speed	N.m/rpm	49.0/1600
Compression ratio		18:1
Combustion chamber type	Direct injection	
Intake system (aspiration)	Naturally sapirated	
Injection nozzle type	Bosch KBAL type (4 holes nozzle)	
Injection pump type	Bosch PFR.M type	
Injection pressure	Bar	215.754 (220 kg/cm^2)
Injection timing	BTDC	-18.5°
Cooling system	Pressure radiator type (natural convection)	
Engine size (L×W×H)	Mm	790 × 370 × 482
Connecting rod length	Mm	144.5
Crank radius	Mm	47.959
Application	For general purpose	

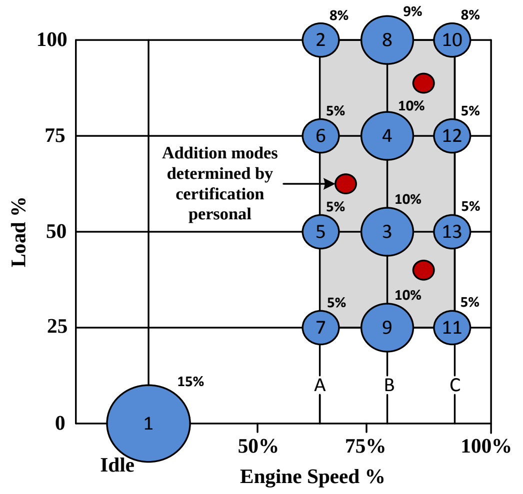
8.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบและวัดสมรรถนะเครื่องยนต์

ชุดอุปกรณ์ทดสอบและวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ประกอบด้วย ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ของ BOALEECO ขนาด 40 kW ทำหน้าที่ได้ทั้งการต้านการหมุน หรือเป็นภาระทางกลให้กับเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมของ BOALEECO รุ่น FC2000 มีระบบการวัดและระบบควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น ควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องยนต์ให้คงที่ เป็นต้น รวมถึงระบบบันทึกและเก็บข้อมูลภาระ ความเร็วรอบ และมีการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น น้ำหล่อเย็น ไอดี ไอเสียแต่ละจุดผ่านเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทำการวัดโดยใช้ Mass Fuel Gauge ซึ่งอ้างอิงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจากการประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ลดลงเทียบกับเวลา

ความดันในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงจะทำการวัดด้วยอุปกรณ์วัดความดันชนิดหัววัดทำด้วยผลึกพิโซอิเลคตริก AVL รุ่น GU12 และอุปกรณ์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง Kistler รุ่น 2613B ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกด้วยชุดเก็บข้อมูลความเร็วสูง (High speed data acquisition system) DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE

8.3. วิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์ในการศึกษานี้จะดำเนินการในสภาวะคงตัว (steady-state) ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซล ภายใต้สภาวะภาระสูงสุดและสภาวะภาระบางส่วน ด้วยวัฏจักรการทดสอบที่เลือกและดัดแปลงจาก European Stationery Cycle (ESC) 13-Modes (รูปที่ 5) ซึ่งจุดที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 จะถูกเลือกใช้งานสูง และการใช้งานที่ดำเนินการตามแบบวัฏจักรการขับเคลื่อน ESC ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ A, B และ C นั้นจะเลือกใช้ค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็น 1400, 1700 และ 2100 rpm ตามลำดับ ดังแสดงสรุปในตารางที่ 4 โดยการทดสอบจะทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น กำลัง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง องค์ประกอบต่างๆของไอเสีย ค่าควันดำ และค่าความดันในห้องเผาไหม้ ณ ค่าองศาเพลาข้อเหวี่ยงต่างๆ เป็นต้น แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จะถูกแก้ไขให้เป็นไปตามเงื่อนไขมาตรฐาน ISO 3046 ก่อนที่จะนำไปคำนวณเปรียบเทียบสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 5 European Stationery Cycle (ESC) [12]

ตารางที่ 4 แสดงเงื่อนไขการดำเนินการทดสอบ

Engine Speed	1400 rpm				1700 rpm				2100 rpm			
Load (N.m)	11	23	35	FL	11	23	35	FL	11	23	35	FL
CD	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PWPD	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Test	Performance, combustion, and Emission Test											

8.4. การทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสีย

อุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสียที่ใช้ในการทดสอบเป็นอุปกรณ์ ของ EMS รุ่น 5002 ซึ่งสามารถใช้วัดค่าของ CO, CO_2, HC, O_2 และ NO_xมีคุณสมบัติและข้อมูลทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 5

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นชนิดกระดาษกรองยี่ห้อ BOSCH โดยใช้ร่วมกับปั๊มดูดไอเสียรุ่น ETD 020.00 และเครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50

เงื่อนไขการดำเนินการวัดการปล่อยก๊าซไอเสียนั้นจะทำการบันทึกค่า 3 ครั้งเพื่อความถูกต้องแม่นยำและทำซ้ำทุกเงื่อนไขการทดสอบ

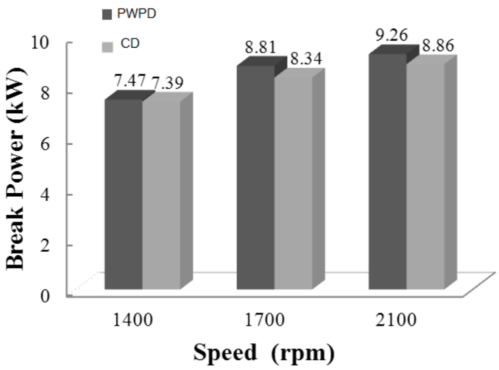
ตารางที่ 5 ข้อมูลเทคนิคของอุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสีย

Measurements		Accuracy	Measure ranges
Exhaust gas analyzer EMS 5002	HC	±4 ppm	0-20,000 ppm high range
	CO	±0.02%	0-10%
	CO_2	±0.3%	0-20%
	O2	±0.1%	0-25%
	NO_x	±25 ppm	0-5000 ppm (Nitric Oxide)
Load monitoring		±0.1 N.m	
Fuel consumption		±0.45% Full scale	
Speed measuring		±1 rpm	
Temperature		±1 ^{o}C	

8.5. ผลการทดสอบ

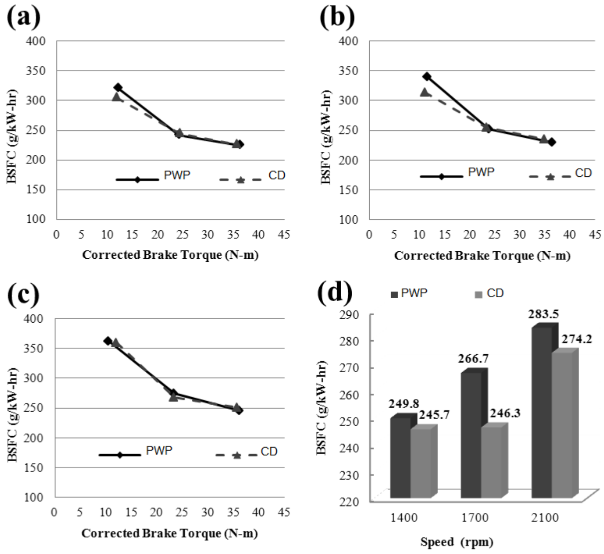
8.5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 6 พบว่า ที่ทุกความเร็วรอบที่ทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกสามารถสร้างกำลังได้มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลประมาณร้อยละ 1.05, 5.56 และ 4.50 ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 6 กำลังที่สภาวะภาระสูงสุด

สำหรับการพิจารณาค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สภาวะภาระบางส่วนและสภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกกับเชื้อเพลิงดีเซลนำเสนอไว้ใน รูปที่ 7 พบว่า ในกรณีของสภาวะภาระบางส่วนที่ภาระต่ำมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกจะสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประมาณร้อยละ 5-8 แต่ที่ภาระปานกลางและสูง การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนที่สภาวะภาระสูงสุดพบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลร้อยละ 1.68, 8.25 และ 3.41 ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ



รูปที่ 7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล ที่ความเร็วรอบ (a) 1400, (b) 1700 และ (c) 2100 รอบ/นาที และ (d) ที่สภาวะภาระสูงสุด

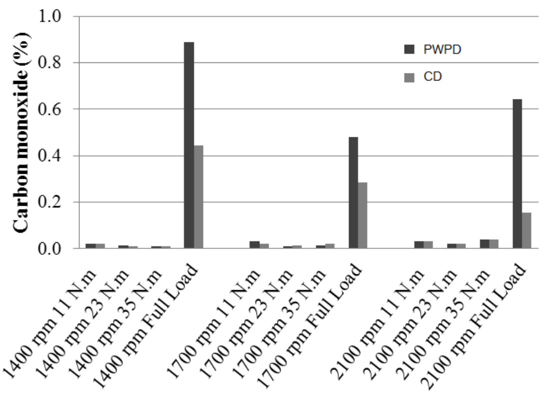
8.5.2 ผลทดสอบการปล่อยมลพิษ

จากการนำผลการปลดปล่อยมลพิษ คือ CO, NOx, HC, CO2 และค่าควันดำ ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมาเปรียบเทียบกับผลจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วและภาระต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

8.5.2.1 คาร์บอนมอนอคไซด์ (CO)

รูปที่ 8 แสดงเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซล พบว่า ผลการทดสอบที่ภาระบางส่วนของน้ำมันทั้งสองชนิดมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์ในปริมาณที่ต่ำเหมือนกัน ส่วนผลการทดสอบที่ภาระสูงสุด พบว่า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์ออกมาในปริมาณที่สูง ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากการจ่ายของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าสูงส่งผลให้เกิดส่วนผสมที่หนากว่าจึงขาดออกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้ จึงเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของส่วนผสมที่หนากว่า

โดยที่สภาวะภาระบางส่วน การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันทั้งสองชนิดมีค่าต่ำเหมือนกัน ส่วนที่สภาวะภาระสูงสุดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์โดยมีผลต่างเป็น 50.0%, 40.6% และ 76.1% ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ

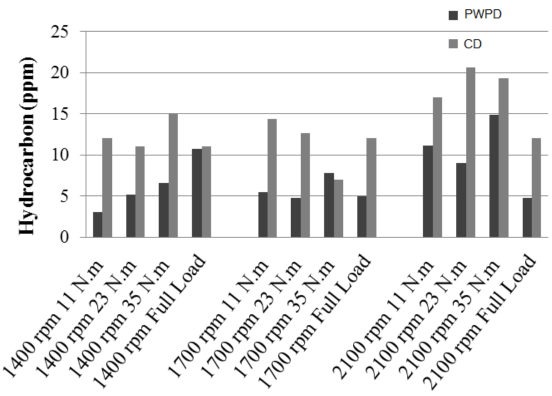


รูปที่ 8 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอคไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล

8.5.2.2 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC)

รูปที่ 9 แสดงเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลมากตลอดช่วงการใช้งาน โดยมีค่าต่ำกว่าตั้งแต่ร้อยละ 20 จนถึงร้อยละ 75

ยกเว้นที่ความเร็วรอบ 1400 รอบ/นาที ภาระสูงสุด เชื้อเพลิงทั้งสองมีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่แตกต่างกัน ขณะที่ความเร็วรอบ 1700 รอบ/นาที และแรงบิด 35 N.m เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

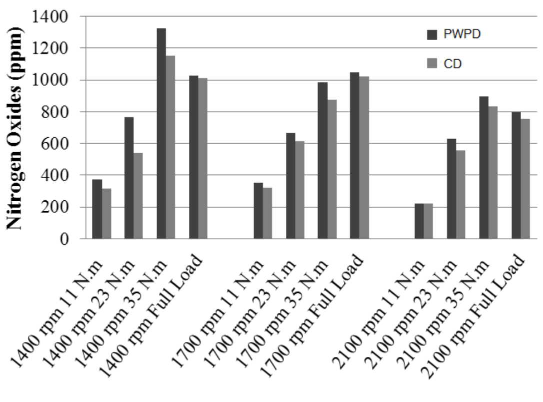


รูปที่ 9 การปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล

8.5.2.3 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

รูปที่ 10 แสดงเปรียบเทียบผลของการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซล พบว่า ผลการทดสอบที่ภาระบางส่วนเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซล การทดสอบที่ความเร็วรอบ 1400 รอบ/นาที และแรงบิด 35 N.m พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงสุด อยู่ที่ 1323 ppm

ขณะที่สภาวะภาระสูงสุดค่าการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล

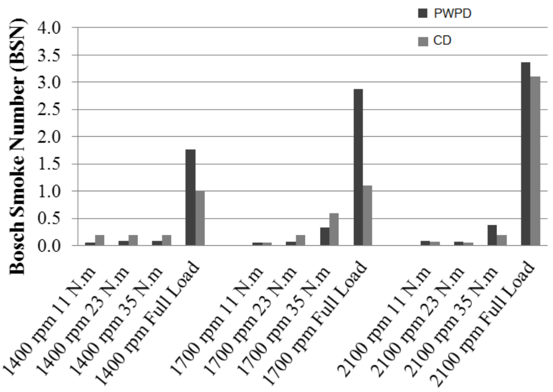


รูปที่ 10 การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์

จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล

8.5.2.4 ควันดำ

ค่าควันดำของเครื่องยนต์จากการทดสอบแสดงผลเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 11 ซึ่งพบว่า ที่สภาวะภาระบางส่วนค่าการปลดปล่อยควันดำของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าต่ำมาก ที่ทุกช่วงความเร็วที่ทดสอบ โดยเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าควันดำสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเล็กน้อย

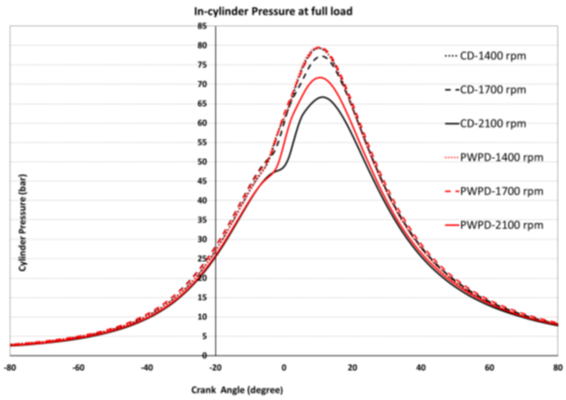


รูปที่11 ค่าควันดำของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล

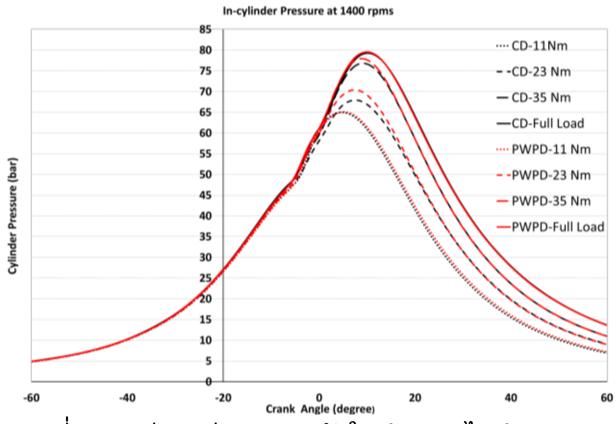
แต่ที่สภาวะภาระสูงสุด เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นจาก 1400 รอบ/นาที ถึง 2100 รอบ/นาที พบว่า ทั้งสองเชื้อเพลิงมีการปลดปล่อยควันดำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์และเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกให้ค่าควันดำที่สูงกว่า โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 1700 รอบ/นาที การปลดปล่อยควันดำของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลถึง 62%

8.5.3 การวิเคราะห์การเผาไหม้

ข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้ที่แต่ละมุมองศาของเพลาข้อเหวี่ยงภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่และภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ จะถูกนำมาเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 12 ถึง รูปที่ 15 ตลอดจนนำไปวิเคราะห์และคำนวณหาช่วงองศาการหน่วงการเผาไหม้และอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพื่อหาคำอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้อันส่งผลต่อสมรรถนะ อาทิ อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้และค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ จากการเปรียบเทียบพบการทำงานที่ภาระบางส่วนของทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และการทำงานที่ภาระสูงสุดของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 และ 1700 rpm เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้ไม่แตกต่างกัน และพบว่าการทำงานที่ภาระสูงของความเร็วรอบ 2100 rpm นั้นเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

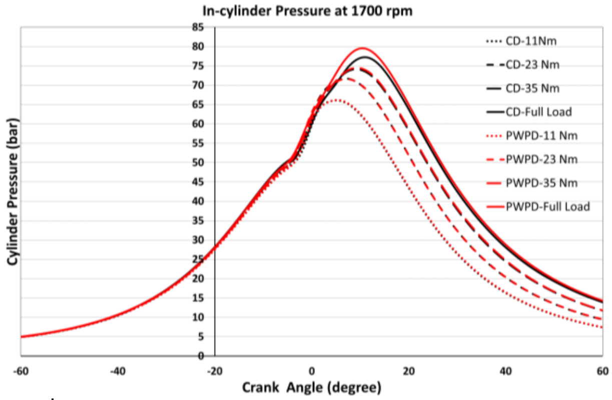


รูปที่ 12 เปรียบเทียบความดันในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ภาระสูงสุดค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1400, 1700 และ 2,100 rpm

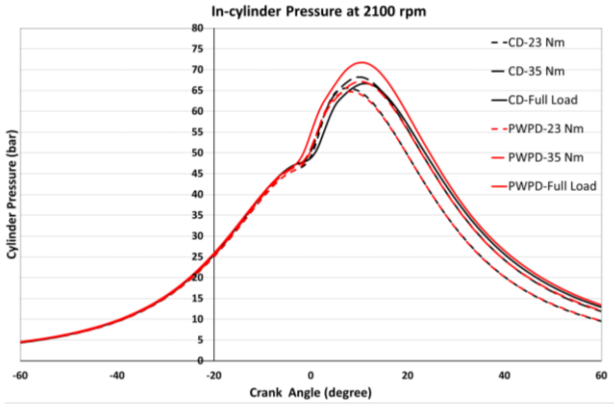


รูปที่ 13 เปรียบเทียบความดันในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะ

พลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ภาระต่างๆ เมื่อค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1400 rpm



รูปที่ 14 เปรียบเทียบความดันในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ภาระต่างๆ เมื่อค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1700 rpm



รูปที่ 15 เปรียบเทียบความดันในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ภาระต่างๆ เมื่อค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2100 rpm

ผลการวิเคราะห์การเผาไหม้โดยใช้ข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้พบว่าน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกซึ่งมีค่าเลขซีเทนสูงกว่าจะมีช่วงการหน่วงของการเผาไหม้ (Ignition delay) สั้นกว่า น้ำมันดีเซลในทุกสภาวะการทดสอบ และมีค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ (In-Cylinder Peak Pressure) สูงกว่าน้ำมันดีเซล กรณีเช่นที่เห็นดังกล่าวนี้อาจจะอธิบายได้ว่าเป็นการที่มีค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้มากกว่านั้นน่าจะเป็นผลมาจากค่าเลขซีเทนที่สูงกว่าของน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกนั้นส่งผลให้ช่วงการหน่วงของการเผาไหม้มีค่าสั้นกว่า ดังจะเห็นได้ชัดเจน ณ การทำงานที่ภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2100 rpm ซึ่งการลดลงของช่วงการหน่วงของการเผาไหม้มีผลอย่างมากต่อการเพิ่มอัตราการเผาไหม้และอัตราการเพิ่มของความดันในห้องเผาไหม้โดยเฉพาะในจังหวะอัดของเครื่องยนต์ ทำให้การเพิ่มขึ้นของความดันเป็นไปอย่างรวดเร็ว และให้ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่มากกว่า ดังจะเห็นได้จากผลที่แสดงในรูปที่ 12 และในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และค่ามุมองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิด

Speed	Torque	In-Cylinder Peak Pressure			
		CD		PWPD	
rpm	N.m	bar	CA	bar	CA
1400	11	65.03	4	65.37	4.8
	23	69.02	7.2	71.07	7.6
	35	77.15	9.2	78.26	8.8
	FL	79.86	10.4	80.02	10
1700	11	66.12	4.8	66.48	5.2
	23	71.97	6.8	71.99	6.8
	35	74.62	8.8	74.98	9.6
	FL	80.18	10.4	80.28	10.4
2100	23	64.91	8.4	64.31	8.8
	35	68.05	9.2	66.92	10.8
	FL	67.35	11.2	69.15	11.2

9. สรุป

ขยะพลาสติกสามารถนำมาแปรรูปด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิราว 450-500 °C เพื่อให้สลายตัว (decompose) และแตกตัว (crack) ออกเป็นไอระเหยของสารประกอบย่อยๆ และควบแน่นด้วยระบบหล่อเย็นจนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (pyrolytic oil) ซึ่งเมื่อนำไปผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย แนฟทา (Naphtha), น้ำมันก๊าด (Kerosene), น้ำมันดีเซล (Diesel) และน้ำมันส่วนที่ระเหยยาก (Long residue) คิดเป็นร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณพลาสติกที่ป้อนให้ระบบ

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะ และการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกกับเชื้อเพลิงดีเซล ที่สภาวะภาระสูงสุดและสภาวะภาระบางส่วนสามารถสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1. เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าความร้อน ค่าเลขซีเทน ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และจุดวาบไฟสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย

2. เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกสามารถสร้างกำลังที่ภาระสูงสุดได้มากกว่าเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า เมื่อทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนพบว่าที่ภาระต่ำมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) สูงกว่าการใช้ดีเซลประมาณร้อยละ 5-8 แต่ที่ภาระปานกลางและภาระสูงมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนที่ภาระสูงสุดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าดีเซลร้อยละ 1.68, 8.25 และ 3.41 ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ

3. การเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกกับเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่สภาวะภาระสูงสุดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์โดยมีผลต่างเป็น 50.0%, 40.6% และ 76.1% ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) น้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลมากตลอดช่วงการทำงาน โดยมีค่าต่ำกว่าตั้งแต่ร้อยละ 20 จนถึงร้อยละ 75 ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน

4. ค่าควันดำของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าต่ำมากที่สภาวะภาระบางส่วนโดยเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกปลดปล่อยควันดำต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตามที่สภาวะภาระสูงสุดการใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกให้ค่าควันดำจะสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประมาณร้อยละ 43 และร้อยละ 62 ที่ความเร็วรอบ 1400 และ 1700 รอบ/นาที ตามลำดับ

5. จากการเปรียบเทียบพบการทำงานที่ภาระบางส่วนของทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และการทำงานที่ภาระสูงสุดของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 และ 1700 rpm เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้ไม่แตกต่างกัน และพบว่าการทำงานที่ภาระสูงของความเร็วรอบ 2100 rpm นั้นเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

6. ผลการวิเคราะห์การเผาไหม้โดยใช้ข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้พบว่าน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกซึ่งมีค่าเลขซีเทนสูงกว่าจะมีช่วงการหน่วงของการเผาไหม้ (Ignition delay) สั้นกว่าน้ำมันดีเซลในทุกสภาวะการทดสอบ และมีค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ (In-Cylinder Peak Pressure) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งการลดลงของช่วงการหน่วงของการเผาไหม้เนื่องจากค่าซีเทนที่สูงกว่าส่งผลอย่างมากต่อการเพิ่มอัตราการเผาไหม้และอัตราการเพิ่มของความดันในห้องเผาไหม้โดยเฉพาะในจังหวะอัดของเครื่องยนต์ ทำให้การเพิ่มขึ้นของความดันเป็นไปอย่างรวดเร็ว และให้ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่มากกว่า

7. เนื่องจากคุณสมบัติและผลการทดสอบของเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีความใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นเราจึงสามารถนำเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกไปใช้ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ แต่หากมีการปรับแต่งตัวแปรการทำงาน อาทิ องศาการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสม เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกน่าจะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น

10. กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สระบุรี ที่เอื้อเฟื้อเชื้อเพลิงสำหรับงานวิจัยนี้

11. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ, กันยายน 2554

[2] สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, กันยายน 2551

[3] ศิริรัตน์ จิตการค้า. (19 พฤศจิกายน 2553). “น้ำมันจากขยะพลาสติกและยางรถยนต์เก่า”, ปาฐกถาชุดเศรษฐกิจพอเพียง

[4]http://www.dpim.go.th/recycling/article?catid=2 28&articleid=3499

[5]http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter7/t24-7-l3.htm

[6]http://202.143.151.162/tharua/elearning/petroleum/petroleum17752/index.html

[7]http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_garbage.html#

[8] K.Wattanavichien, et. al., Effects of Synthetic Diesel Fuels on Performance and Emission of a Single Cylinder DI Diesel Engine. Proceeding of 6th Regional Conference on Energy Engineering, Bandung, Indonesia, 2013.

[9] แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ.2556.

[10] K.Wattanavichien, et. al., Effects of Synthetic Diesel Fuels on Performance and Emission of a Single Cylinder DI Diesel Engine. Proceeding of 3rd International Conference on Sustainable Energy (3rdICSE), Ho Chi Minh City, Vietnam, 2013.

[11] บริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด, “คู่มือช่างเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า รุ่น RT ”, หน่วยงานอบรมเทคนิค, ส่วนบริการเทคนิค, 2548

[12] DieselNet. Emission Test Cycles: European Stationary Cycle(ESC)[Online]. Available from: http://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.php, Copyright © 1997 - 2014 ECO point Inc.