

## ทฤษฎีเชื้อเพลิงและทบทวนวรรณกรรม

### 4.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบด้วย

#### 4.1.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

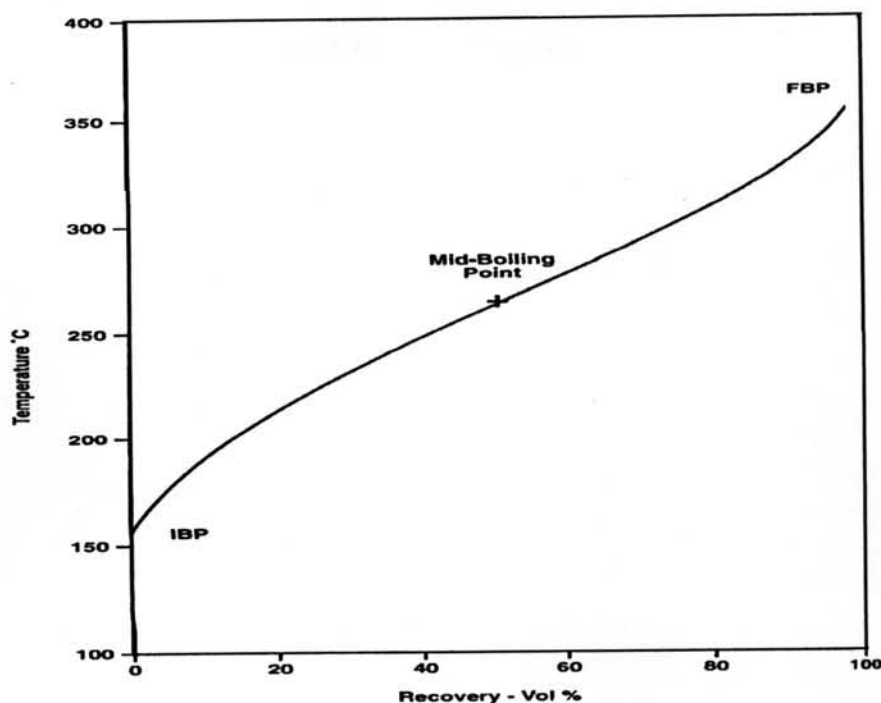
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ เลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ cetane(n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{cetane number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ heptamethyl nonane}) \quad (4-1)$$

เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องยนต์ สภาพการเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องยนต์ในขณะเย็น, ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์, ลดเสียงดัง, ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ cetane index (CCI) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ mid-boiling temperature (50 % evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

#### 4.1.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ Initial boiling point (IBP), end point (EP) หรือ final boiling point (FBP), percent of condensate recovered และ percent residue of nonvolatile matter ได้ังการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 โค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [31]

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ รวมถึง ความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน volatility ที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน ซึ่งภายในช่วง 350 °C ถึง 400 °C ผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสีย จะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิงและใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนที่ volatility สูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในโค้งในรูปที่ 4-1 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องยนต์ขณะเย็น และการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ volatility ต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว, ควัน และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

#### 4.1.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด, กำลัง, การประหยัดเชื้อเพลิง, คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงถึงความหนาแน่นเป็นความ

ถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ [31]

Straight-run distilled	805 – 870 kg/m <sup>3</sup>
Hydrocracked gas oil	815 – 840 kg/m <sup>3</sup>
Thermally cracked gas oil	835 – 875 kg/m <sup>3</sup>
Catalytically cracked gas oil	930 – 965 kg/m <sup>3</sup>

#### 4.1.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องมาจากมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และการพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็จะลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

#### 4.1.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยการทดสอบด้วยวิธี high frequency reciprocating rig (HFRR) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีจะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

#### 4.1.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซล อาจประกอบด้วย heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข(wax) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่างๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

#### 4.1.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการก่อกวนของตะกอน ระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ในโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกที่การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อกวนขึ้น จะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นกลายเป็นกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และ hydroperoxide ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด polymerization และ ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดวัสดุที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิงขั้นตอนสุดท้ายคือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดแล้วทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียวๆ (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

#### 4.1.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ Total particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้ กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO<sub>2</sub> ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีปริมาณออกซิเจนมาก และเกิดเป็น sulphur trioxide

(SO<sub>3</sub>) คุณหมุมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO<sub>3</sub> ไว้ในสถานะไอ ซึ่งกำมะถันมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของ กระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและ สภาพะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.035% และหากต้องการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ aromatic 5% โดย ปริมาตร (ตามที่ระบุสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล class 1) ก็จำเป็นที่จะต้องใช้สถานะ hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี hydro-processing ที่แตกต่างออกไป

#### 4.1.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบ aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิด การปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของ เชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

#### 4.1.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรก ที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมา ระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของรา และแบคทีเรีย การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหาสำคัญกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบเชื้อเพลิง เช่น เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิด เช่น สนิม, อนุภาคโลหะ และฝุ่นละออง บางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพของ องค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมัน-น้ำ หรือ ไชจาก เชื้อเพลิง ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันไส้กรองในยานพาหนะ และน้ำยังช่วยเพิ่มสถานะกรด ทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดสอบมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำและตะกอนทำได้โดยวิธีการเหวี่ยง

#### 4.1.11 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟคือการวัดคุณหมุมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้จาก แหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สถานะห้องปฏิบัติการมาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิง ในการพิจารณาด้านการขนส่ง, รูปแบบการจัดเก็บ และการระมัดระวังรักษา

## 4.2 เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก (Alternative Diesel)

เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีส่วนประกอบจาก Fuel Oil กับ Kerosene

### 4.2.1 น้ำมันเตา (Fuel Oil)

น้ำมันเตาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม เป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่หลังจากส่วนเบา ๆ เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำดีเซล เป็นต้น ได้ระเหยและกลั่นตัวไปแล้ว จึงเรียกน้ำมันเตาว่า Residual Fuel Oil น้ำมันเตา มีส่วนผสมของน้ำมันหนัก ๆ ที่เหลืออยู่ด้านล่างหอกกลั่นจึงต้องมีการอุ่นให้ความร้อนก่อนที่จะนำไปใช้งาน น้ำมันเตาทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ชนิดเบาหรือไลต์ (Light Fuel Oil) มีความข้นใส (Viscosity) ต่ำ ส่วนมากใช้เผาไหม้ให้ความร้อนกับหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำแล้วนำไปใช้งานต่าง ๆ

2. ชนิดปานกลาง (Medium Fuel Oil) น้ำมันชนิดนี้มีความความข้นใสปานกลาง ส่วนมากจะใช้เผาให้ความร้อนแก่หม้อน้ำ (Boiler) เตาเผาขนาดกลาง หรือขนาดเล็กที่มีอุปกรณ์อุ่นน้ำมัน

3. ชนิดหนักหรือฮัน (Heavy Fuel Oil) น้ำมันชนิดนี้จะมีค่าความหนืดหรือความข้นใสสูง ส่วนมากจะนำไปใช้กับเตาเผาขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์

#### 4.2.1.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเตา

4.2.1.1.1 ความถ่วงจำเพาะ (Gravity) เป็นค่าที่ระบุความหนักเบาของน้ำมันโดยทั่วไปจะนิยมระบุค่า Gravity อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณของไฮโดรเจน และค่าความร้อนของน้ำมัน โดย

- ปริมาณของไฮโดรเจนในน้ำมันจะมีเปอร์เซ็นต์ลดลง เมื่อน้ำมันหนักขึ้น
- ค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลง เมื่อน้ำมันหนักขึ้น

4.2.1.1.2 จุดวาบไฟ (Flash point) คือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้ ซึ่งน้ำมันเตาจะมีจุดวาบไฟสูง (ไม่ต่ำกว่า 150 องศาฟาเรนไฮต์)

4.2.1.1.3 ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันเตาที่จะต้องคำนึงถึงในการเก็บ การส่งและการเผาไหม้ของน้ำมัน ความหนืดเป็นเครื่องแสดงถึงอัตราการไหลของน้ำมันในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง และความยากง่ายต่อการที่น้ำมันจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดให้เป็นฝอยละเอียด ซึ่งความหนืดของน้ำมันเตาจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น

4.2.1.1.4 จุดไหลเท (Pour Point) จุดหยุดไหลเทของน้ำมันเตาจะต่ำมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบที่จะมีขี้ผึ้ง (Wax) มากหรือน้อย และยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการกลั่นที่จะแยกเอาขี้ผึ้งออกหรือไม่ด้วย

4.2.1.1.5 ปริมาณของตะกอนและน้ำ (Sediment and water content) ตะกอน (Sediment) ได้แก่สารหรือของแข็งที่ไม่ละลาย เช่น เกลือ ททราย สิ่งสกปรก และเส้นใยของสารต่างๆ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะติดมากับน้ำมันดิบ และหลีกเลี่ยงการตกค้างอยู่กับน้ำมันเตา ส่วนน้ำอาจจะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่งทางเรือหรือความชื้นในอากาศ

4.2.1.1.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content) ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเตาขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบ และเกรดของน้ำมันเตา ซึ่งน้ำมันเตาเกรดที่หนักที่สุดอาจมีกำมะถันถึง 5 เปอร์เซ็นต์

4.2.1.1.7 ปริมาณเถ้า (Ash Content) เถ้าคือสารอนินทรีย์ (Inorganic matters) ที่เหลือตกค้างอยู่หลังจากการเผาไหม้ของน้ำมัน ซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ให้หมดไปได้ (Non-Combustible matters) สารประกอบที่จะทำให้เกิดเถ้าจะมาจากพวกเกลือของโลหะ (Metallic Salt) ที่มีอยู่ในน้ำมันดิบตามธรรมชาติหรืออาจมาจากน้ำทะเลในระหว่างการขนส่งน้ำมันเตาทางทะเล หรือจากสนิมในถังน้ำมันและจากพวกของแข็งต่างๆ ที่อาจติดมากับน้ำมันเตาในระหว่างกรรมวิธีการผลิตน้ำมัน

4.2.1.2 การรักษาความปลอดภัย น้ำมันเตาจุดติดไฟได้ โดยไอของมันรวมตัวกับอากาศซึ่งมีความเข้มข้นระหว่าง 0.5 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์จะเป็นส่วนผสมจุดติดระเบิด อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิธรรมดาปริมาณไอน้ำมันเตามีความเข้มข้นไม่ถึงขีดที่จะก่อให้เกิดอันตรายด้านความปลอดภัย

4.2.1.3 อันตรายต่อร่างกาย ภายใต้ภาวะแวดล้อมปกติ ไอน้ำมันเตามีความดันต่ำเกินไปที่จะสามารถสะสมจนมีความเข้มข้นเป็นอันตรายได้ น้ำมันเตาสามารถทำให้เกิดตาและระคายผิวหนัง ซึ่งถ้าสัมผัสมากๆ ไม่เพียงแต่ทำให้เกิดผื่นคันแดงตามผิวหนังเท่านั้น แต่ทำให้เป็นมะเร็งผิวหนังด้วย

#### 4.2.2 น้ำมันก๊าด (Kerosene)

น้ำมันก๊าดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

##### 4.2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันก๊าด

4.2.2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, API Gravity) คือค่าความถ่วงจำเพาะของสารใดๆ ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักกับน้ำซึ่งมีปริมาตรเท่ากันและซึ่งที่อุณหภูมิที่กำหนดเดียวกัน ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าดไม่ควรสูงเกิน 0.84

4.2.2.1.2 จุดควันหรือให้ควัน (Smoke Point) คือความสูงของเปลวไฟในตะเกียงมาตรฐานก่อนเริ่มเกิดควันจุดให้ควันสูงหมายความว่าน้ำมันก๊าดให้แสงสว่างได้ดีโดยไม่มีควัน ค่าจุดให้ควันของน้ำมันก๊าดไม่ควรต่ำกว่า 22 มิลลิเมตร

4.2.2.1.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) คือจุดที่อุณหภูมิต่ำสุด ที่น้ำมันเกิดไอน้ำมันขึ้นจำนวนหนึ่งเมื่อมีเปลวไฟเข้ามาผ่านจะเกิดลุกขึ้นวาบหนึ่งแล้วดับไป ถ้าสูงกว่าจุดนี้จะเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง เรียกว่าจุดติดไฟ (Fire Point) ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันก๊าดไม่ควรต่ำกว่า 38 องศาเซลเซียส

4.2.2.1.4 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content) บ่งบอกปริมาณกำมะถันในน้ำมันก๊าด เมื่อรวมตัวกับน้ำจะมีสภาพเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งมีอำนาจในการกัดกร่อนอย่างรุนแรง ค่าปริมาณกำมะถันของน้ำมันก๊าดไม่ควรสูงเกิน 0.20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

4.2.2.2 การรักษาความปลอดภัย น้ำมันก๊าดลุกติดไฟได้เร็ว ละอองและไอน้ำมันรวมตัวกับอากาศโดยมีความเข้มข้นระหว่าง 1.5 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นส่วนผสมจุดติดระเบิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ปริมาณไอน้ำมันก๊าดมีความเข้มข้นไม่ถึงขีดที่จะก่อให้เกิดอันตรายด้านความปลอดภัย

4.2.2.3 อันตรายต่อร่างกาย ถึงแม้ไอน้ำมันก๊าดจะมีความดันต่ำจนไม่สามารถก่อตัวเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียสก็ตาม แต่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดีและ อุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มข้นของไอน้ำมันอาจจะสะสมมากจนถึงขั้นซึ่งหายใจเข้าไปแล้วจะทำให้คลื่นไส้ วิงเวียนและปวดศีรษะ น้ำมันก๊าดยังทำให้เคืองตา ระคายผิวหนังและทำให้เป็นผื่นแดงตามผิวหนังในกรณีสัมผัสกับน้ำมันเป็นเวลานาน

#### 4.3 ทบทวนวรรณกรรม

##### 4.3.1 งานวิจัยศึกษาวิเคราะห์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์

Rothrock [26] ได้ทำการศึกษาการเกิดและการเผาไหม้ของสเปรย์เชื้อเพลิง ในเครื่องยนต์ CI แบบสูบเดี่ยว โดยวิธีการถ่ายภาพโดยตรงในห้องเผาไหม้เป็นครั้งแรกตั้งแต่ปี 1931 ซึ่งมีอุปกรณ์ทดสอบที่ประกอบด้วย เครื่องยนต์ CI แบบสูบเดี่ยว ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ที่มีห้องเผาไหม้แบบ vertical disk อยู่ในฝาสูบที่มีผนังด้านข้างเป็นกระจกหนา, มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพได้ด้วยความเร็ว 2000 เฟรมต่อวินาที โดยในขณะที่มีการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดแต่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ (ignition delay) จะมีการใช้แหล่งกำเนิดแสงภายนอกเป็น spark discharge เพื่อทำให้มองเห็นสเปรย์ หลังจากนั้นจะเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองของส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิง โดยจะมีการบันทึกภาพของการเกิดสเปรย์และการเผาไหม้บนฟิล์มถ่ายรูปชุดเดียวกัน แล้วมีการวิเคราะห์การเผาไหม้จากภาพถ่ายโดยตรง

Moore และ Collins [32] ได้ศึกษาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ CI สูบเดี่ยวแบบ IDI ในปี 1936 ด้วยการวัดความดันทั้งใน prechamber และ main chamber โดยใช้ farnboro electric indicator รวมทั้งศึกษาผลกระทบของตัวแปรทำงานต่างๆที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ที่



ความเร็วรอบคงที่ที่ 1500 rev/min โดยใช้ข้อมูลความดันที่วัดได้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ ประสิทธิภาพของวัฏจักรและประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์

Ito และคณะ [33] ได้ทำการถ่ายภาพการเกิดและการเผาไหม้ของสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบ swirl chamber ของเครื่องยนต์ CI แบบ IDI สูดเดียว การบันทึกภาพถ่ายทำโดยวิธี direct photography และ schlieren photography พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการลามของเปลวไฟผ่าน throat โดยวิธี two color method รวมทั้งวิเคราะห์อัตราการปล่อยความร้อนที่ห้องเผาไหม้ล่วงหน้าและห้องเผาไหม้หลัก โดยศึกษาเปรียบเทียบในเรื่องตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดซึ่งแบ่งตามทิศทางการฉีด 3 กรณีดังนี้คือ ฉีดแนวรัศมีเข้าที่แกนกลางของ swirl chamber, ฉีดแนวสัมผัสตามทิศทางการไหลวน และฉีดแนวสัมผัสทวนทิศทางการไหลวน

Fujimoto และคณะ [34] ได้ศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้ใน swirl chamber ของเครื่องยนต์ IDI แบบสูดเดียว เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง swirl chamber ที่ทำจากเซรามิคและเหล็กกล้า โดยวิธีการถ่ายภาพทั้งแบบ direct และ schlieren photography รวมทั้งมีการถ่ายภาพของเขม่าโดยวิธี high-speed laser shadowgraphy พร้อมทั้งมีการวิเคราะห์ flame temperature และ KL factor จากภาพถ่ายแบบ direct โดยวิธี two-color method และมีการวัดความดันกระบอกสูบ รวมทั้งวิเคราะห์อัตราการปล่อยความร้อนด้วย

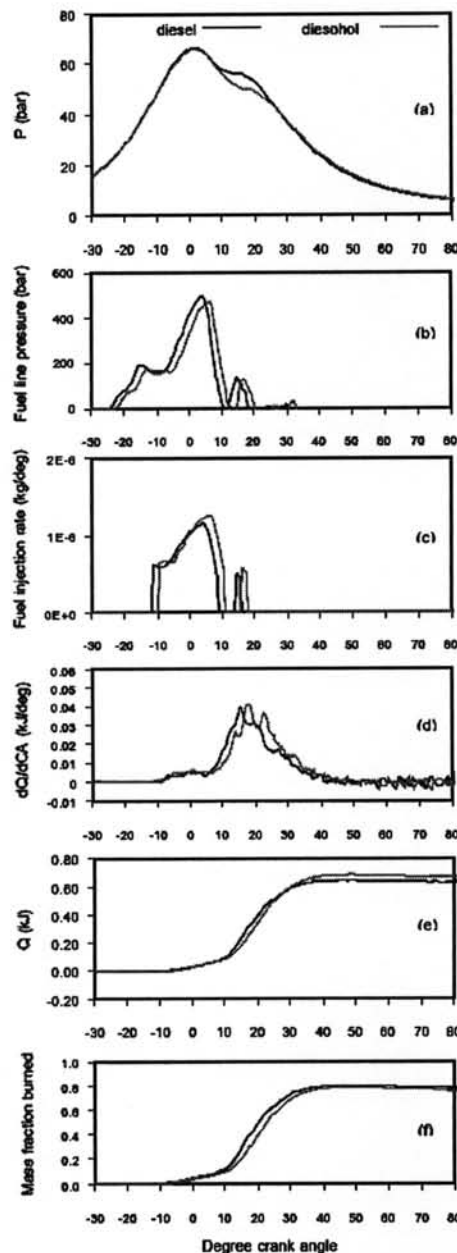
Hotta และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาถึงกลไกการลดมลพิษในเครื่องยนต์ IDI โดยวิเคราะห์ภาพถ่ายจากเครื่องยนต์ IDI แบบสูดเดียวที่ทำ optical access ได้ทั้งใน swirl chamber และ main chamber พร้อมกัน โดยใช้ swirl chamber ที่มีผนังเป็น quartz รูปทรงกระบอก ส่วนที่ main chamber จะสังเกตผ่านหัวลูกสูบที่ถูกเปลี่ยนวัสดุเป็น quartz โดยถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงด้วยวิธี shadow graph ซึ่งสามารถเก็บรูปได้ด้วยอัตราเร็ว 9000 เฟรมต่อวินาที และใช้ tungsten halogen lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสงภายนอก ทำให้สังเกตเห็นสเปรย์เชื้อเพลิงและการเผาไหม้

Larsson [17] ได้ทำการศึกษาการเกิดสเปรย์เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ DI แบบสูดเดียว ด้วยวิธี direct photography โดยใช้ endoscope-base measurement system และมีการวัด fuel spray penetration, flame lift-off และ flame length รวมทั้งใช้ two-color method ในการคำนวณหา spatial flame temperature ด้วย

Senda และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ IDI แบบสูดเดียว ชนิด swirl chamber โดยมีผนังของ swirl chamber และหัวลูกสูบเป็น quartz ทำให้ถ่ายภาพโดยตรงในห้องเผาไหม้ทั้งสองได้พร้อมกัน โดยใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง แล้วคำนวณโดย two-color method หากการกระจายของ flame temperature และ KL factor โดยทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเดินเบา ไม่มีภาระ เพียงจุดเดียว

#### 4.3.2 งานวิจัยศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ในประเทศไทย

จากงานวิจัยของ คณิต วัฒนวิเชียร [37] ได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล และเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ ในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า โดยวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลความดันในกระบอกสูบ (In-cylinder pressure) และความดันท่อจ่ายน้ำมัน (Fuel line pressure) ที่มุมข้อเหวี่ยงต่างๆ เพื่อคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat release rate) อัตราการฉีดเชื้อเพลิง (Fuel injection rate) และสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ (Mass fraction burn) ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 (a) In-cylinder pressure (b) Fuel line pressure (c) Fuel injection rate (d) Heat release rate (e) Net heat release (f) Mass fraction burned ที่ 2250 rev/min ,80 Nm [37]

ในงานวิจัยนี้เมื่อเก็บค่าความดันในกระบอกสูบ และความดันท่อจ่ายน้ำมัน แล้วนำมาวิเคราะห์ในเรื่องการเผาไหม้ จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งหมด โดยพบว่าเชื้อเพลิงดีโซฮอลมีจุดเริ่มต้นในการฉีดเชื้อเพลิงช้ากว่าเชื้อเพลิงดีเซล ที่จุดทำงานเดียวกัน ขณะที่ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดใกล้เคียงกัน และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีโซฮอลจะยาวกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

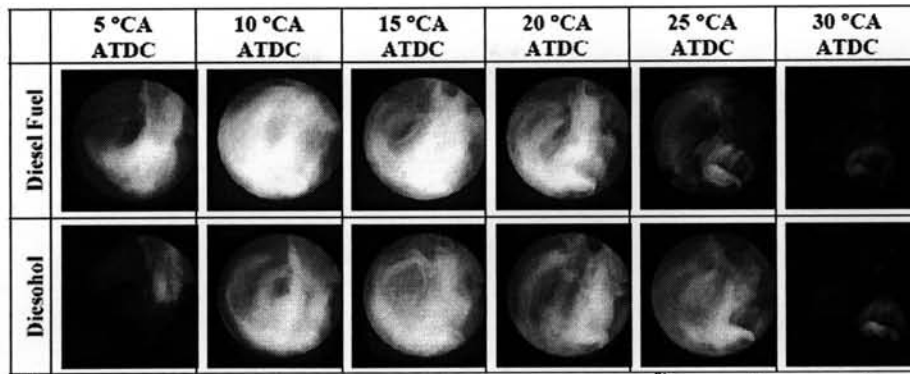
งานวิจัยถัดมาของ คณิต วัฒนวิเชียร และคณะ [38] ได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงดีโซฮอล โดยใช้เครื่องมือ AVL Engine Visioscope ซึ่งมี Endoscope และกล้อง CCD camera เก็บภาพปรากฏการณ์ การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ซึ่งผลที่ได้นำมาวิเคราะห์ในเรื่องของรูปแบบสเปรย์ ทั้งในเรื่องของแกนสเปรย์ มุมของสเปรย์ และ Spray Penetration แสดงดังรูปที่ 4-3

	0 °CA ATDC	2 °CA ATDC	4 °CA ATDC	6 °CA ATDC	8 °CA ATDC	10 °CA ATDC
Diesel Fuel						
Diesohol						

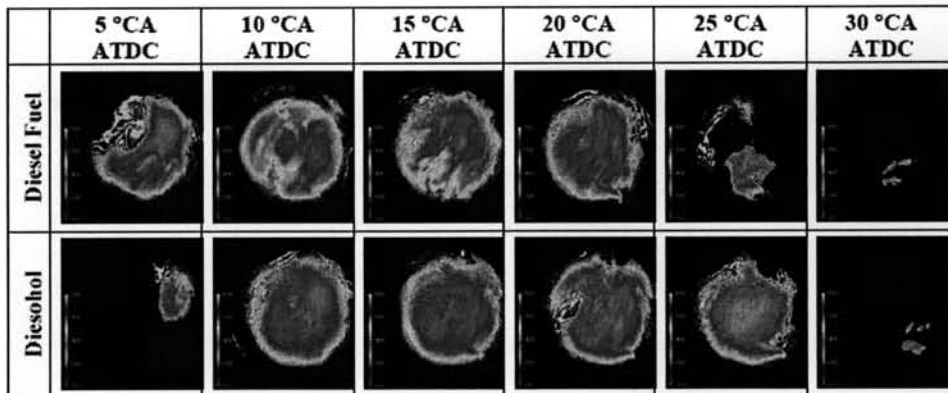
รูปที่ 4-3 ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล

ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [38]

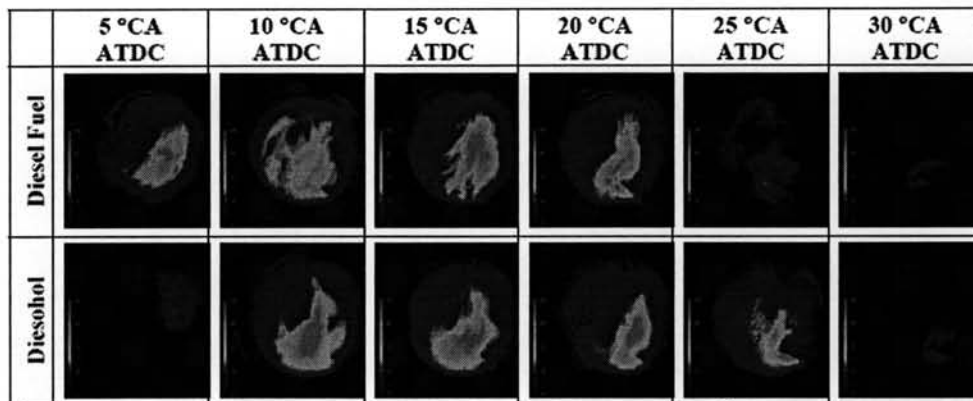
นอกจากนั้นภาพที่ได้จากปรากฏการณ์การเผาไหม้ ยังสามารถวิเคราะห์ในเรื่องเปลวไฟทั้งจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด ดังรูปที่ 4-4 ในส่วนของอุณหภูมิเปลวไฟ และเขม่า (Soot Distribution) วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Thermovision ของ AVL ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้หลักการ Two-color method ในการวิเคราะห์ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5-5 และ 5-6



รูปที่ 4-4 ภาพถ่ายภาพเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล  
ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [38]



รูปที่ 4-5 ภาพของอุณหภูมิเปลวไฟในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล  
ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [38]

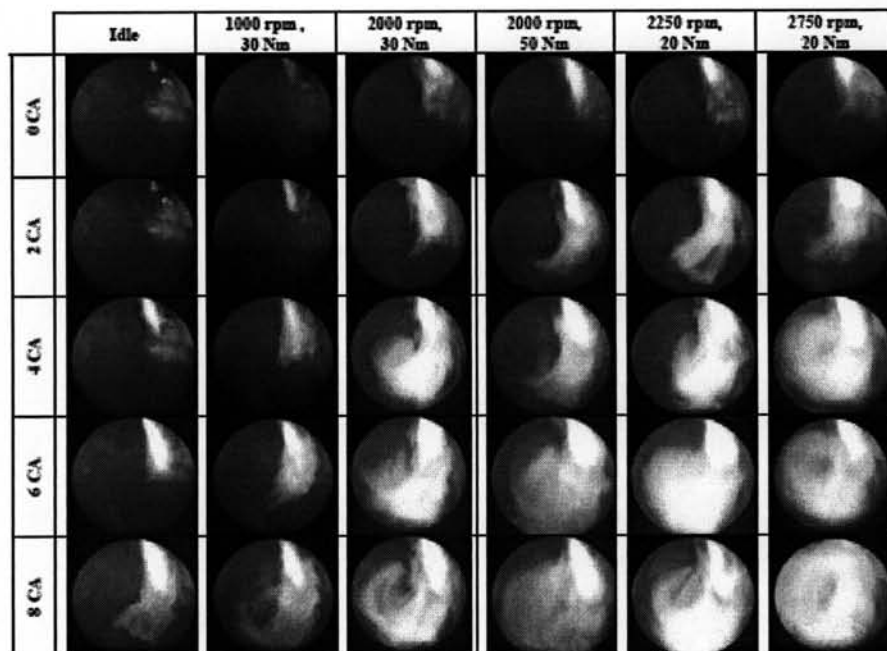


รูปที่ 4-6 ภาพของ Soot distribution ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล  
ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [38]

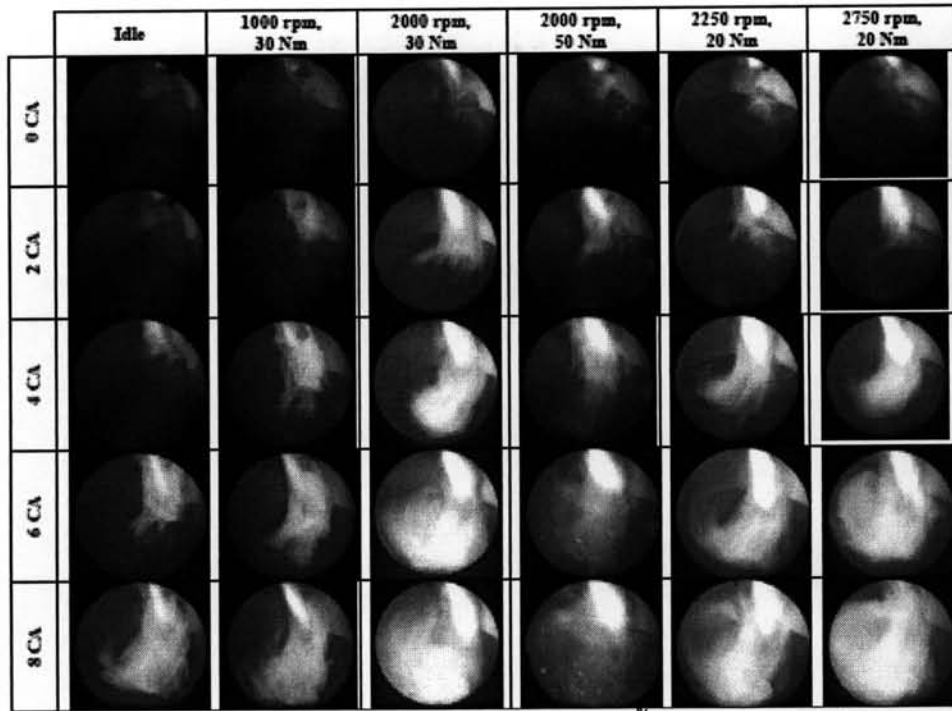
จากการศึกษานี้แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงดีโซฮอล โดยพบว่า  
เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีโซฮอลจะให้มุมสเปรย์ที่กว้างกว่าและมี Spray Penetration ที่ยาวกว่า เมื่อใช้  
เชื้อเพลิงดีเซล ในส่วนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงดีโซฮอลจะเริ่มต้นการเผาไหม้ช้ากว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง

ดีเซล และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้นานกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ขณะที่อุณหภูมิเปลวไฟและ soot density distribution ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์มีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

นอกเหนือจากนี้ มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซลของ คณิต วัฒนวิเชียร [39] ได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพปรากฏการณ์ การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซล โดยใช้เครื่องมือ AVL Engine Visioscope เช่นกัน ซึ่งมี Endoscope และกล้อง CCD camera เก็บภาพปรากฏการณ์ การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ซึ่งผลที่ได้นำมาวิเคราะห์ในเรื่องของรูปแบบสเปรย์ ทั้งในเรื่องของแกนสเปรย์ มุมของสเปรย์ และ Spray Penetration แสดงดังรูปที่ 4-7 และรูปที่ 4-8



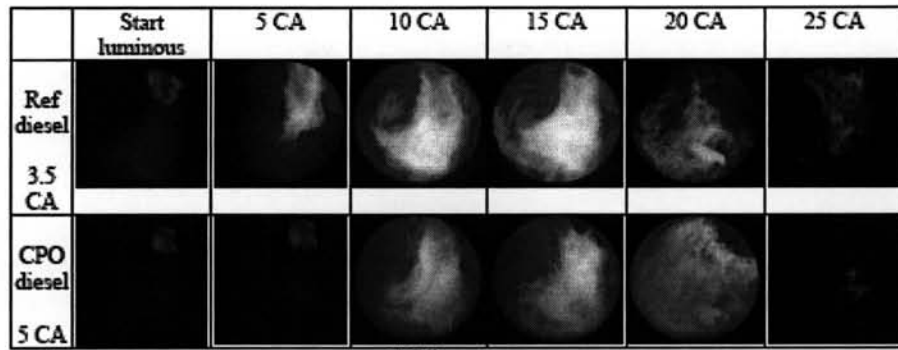
รูปที่ 4-7 ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซล [39]



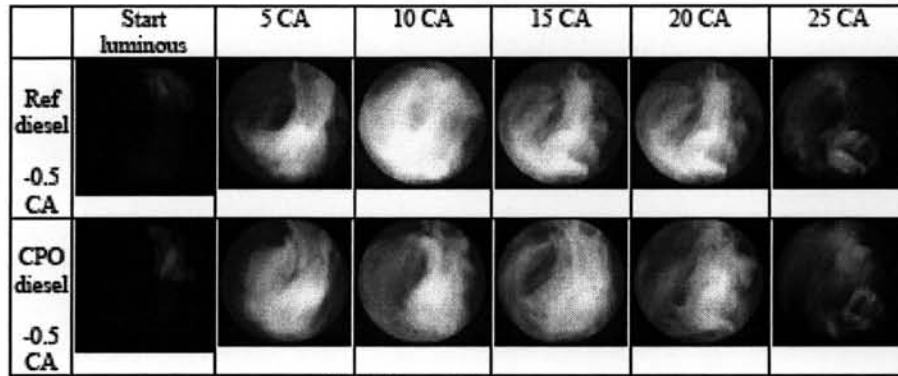
รูปที่ 4-8 ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซล [39]

นอกจากนั้นภาพที่ได้จากปรากฏการณ์การเผาไหม้ ยังสามารถวิเคราะห์ในเรื่อง เปลวไฟทั้งจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด ดังรูปที่ 4-9 ในส่วนของ อุณหภูมิเปลวไฟ และเขม่า (Soot Distribution) วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Thermovision ของ AVL ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้หลักการ Two-color method ในการวิเคราะห์ซึ่งผลได้แสดงในรูปที่ 4-10 และ 4-11

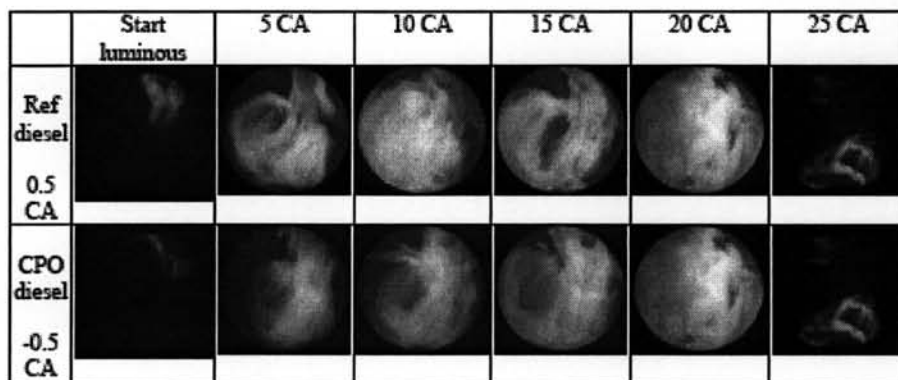
จากการศึกษานี้แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซล โดยพบว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซลจะให้มุมสเปรย์ที่กว้างกว่า และมี Spray Penetration ที่ยาวกว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล ในส่วนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซลจะเริ่มต้นการเผาไหม้ช้ากว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล และมีระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ขณะที่อุณหภูมิเปลวไฟ และ soot density distribution ของเชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล



(a) Idle



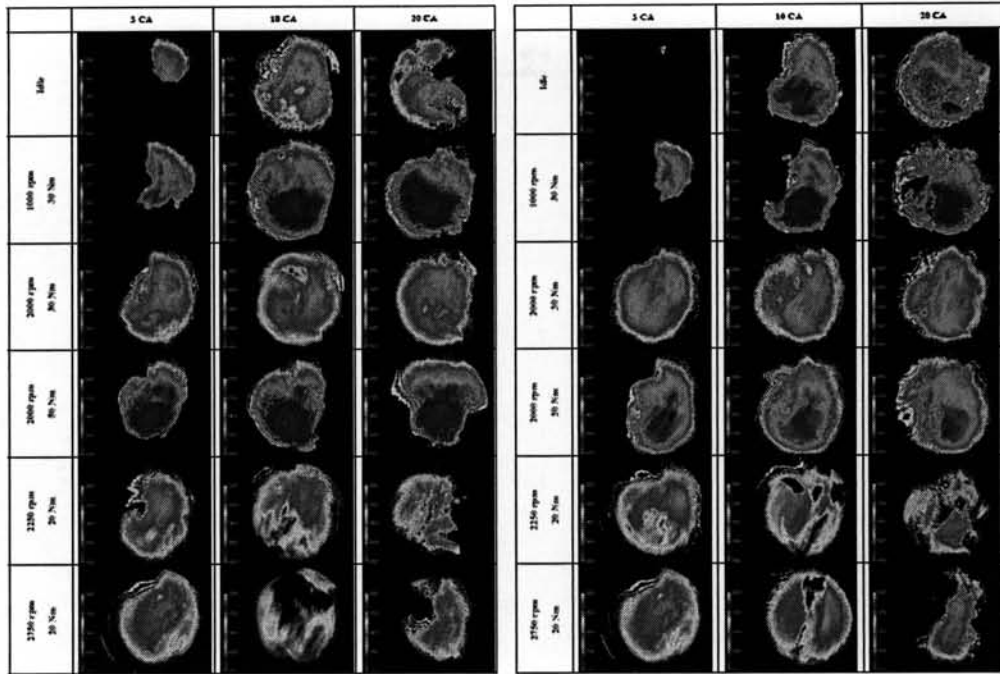
(b) 2000 rpm-30Nm



(c) 2000-50Nm

รูปที่ 4-9 ภาพถ่ายการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล

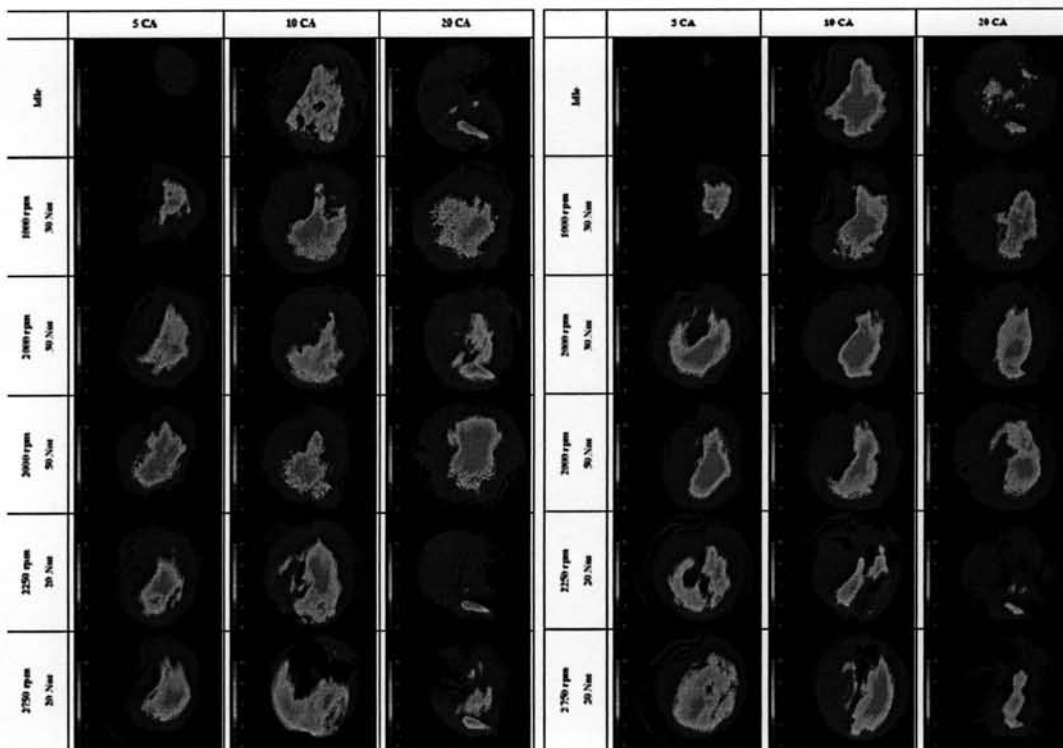
(a) รอบเดินเบา (b) 2000 rev/min, 30 Nm (c) 2000 rev/min, 50 Nm [39]



(a) Reference Diesel

(b) CPO Diesel

รูปที่ 4-10 ภาพของอนุกรมเป็ดวไฟในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของ  
เชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล [39]



(a) Reference Diesel

(b) CPO Diesel

รูปที่ 4-11 ภาพของ Soot distribution ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของ  
เชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล [39]



#### 4.3.3 งานวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันเตา

การที่จะนำน้ำมันเตาหนักมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล มักพบปัญหาการเสียหายของ วาล์วไอเสียซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนจากหยดน้ำมันเตาหนักที่สะสมอยู่บนวาล์วไอเสีย จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาผลกระทบต่อการเกิดอนุภาค, การเพิ่มขึ้นของอนุภาค, การสะสมของอนุภาค และ องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคที่เข้าไปในไอเสีย ซึ่ง J.Lyyranen , J.Jokiniemi , E. Kauppinen , J.Joutsensaari และ A. Auvinen [40] ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือวัดการเกิดอนุภาค โดยทำการศึกษาทั้งในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก, เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้กับเรือดำน้ำ, เครื่องยนต์โรงจักรต้นกำลัง โดยทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคจากท่อไอเสียด้านหลังเทอร์โบชาร์จ การวิเคราะห์อนุภาคซึ่งมีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันจะใช้วิธีการวัดจำนวนของอนุภาคที่กระจายตัว และใช้ Berner type low – pressure impactor (BLPI) สำหรับวัดมวลของอนุภาคที่กระจายตัว และได้ศึกษาถึงองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ ขนาดการกระจายตัวของมวลธาตุ V, Na, Ni, S และ Zn โดยได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันเตาหนักที่ภาระร้อยละ 100, เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันเตาหนักที่มีซี้เข้าปริมาณมากเป็นองค์ประกอบที่ภาระร้อยละ 100 และร้อยละ 110, เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้ น้ำมันเตาหนักที่มีซี้เข้าปริมาณมากเป็นองค์ประกอบที่ภาระร้อยละ 50 และร้อยละ 110

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเตา จากปัญหาดังกล่าว J. Lyyranen, J. Jokiniemi, E. Kurkela, A. Auvinen and E. Norrmen [41] จึงได้หาทางแก้ไขปัญหาโดยการเติมสารปรุงแต่งลงไปน้ำมันเตา แล้วทำการศึกษาเพื่อหาผลกระทบต่อการเกิดอนุภาค, การเพิ่มขึ้นของอนุภาค, การสะสมของอนุภาค และ องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคที่เข้าไปในไอเสีย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาวาล์วไอเสีย ในเรื่องการสะสมของหยดน้ำมันบนวาล์วไอเสีย และ โครงสร้างของหยดน้ำมัน จากการศึกษาจะพบว่าขนาดมวลของอนุภาคที่กระจายตัวของน้ำมันเตาที่เติมสารปรุงแต่งจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดมวลที่การกระจายตัวของน้ำมันเตาที่ไม่ได้เติมสารปรุงแต่งมาก

สรุป จากข้อมูลทบทวนวรรณกรรมข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ เคโรซีน และ Additive มาผสมกับน้ำมันเตาเพื่อช่วยให้คุณสมบัติของน้ำมันเตาเข้าใกล้กับน้ำมันดีเซล และ ช่วยเพิ่มการละลายมวลของน้ำมันเตา อันจะส่งผลให้การเกิดขึ้นของอนุภาคในไอเสีย และการสะสมของอนุภาคในชิ้นส่วนต่างๆลดลง และศึกษาผลจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกนี้ใน เครื่องยนต์ดีเซล