

บทที่ 2

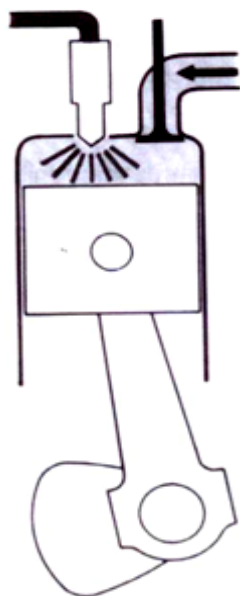
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะสำคัญของเครื่องยนต์ดีเซล (ประณต, 2553)

เครื่องยนต์ดีเซล เป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในประเภทหนึ่งที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้กับรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ รถแทรกเตอร์เพื่อการเกษตร เครื่องจักรกลหนักสำหรับงานก่อสร้าง และเครื่องยนต์ประเภทติดตั้งประจำที่ทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ทั้งในอดีตและปัจจุบัน เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ อาทิ ความแข็งแรง ทนทาน แรงบิดสูง ประหยัดเชื้อเพลิง และอื่นๆ เครื่องยนต์ดีเซลในอดีตจะถูกนำมาใช้กับรถยนต์นั่ง บ้างแต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความสั่นสะเทือนสูงและอัตราเร่งต่ำ ต่อมาเครื่องยนต์ประเภทนี้ได้รับการปรับปรุงจนปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวหมดสิ้นไป จึงเป็นที่นิยมใช้กับรถยนต์นั่งมากขึ้นเป็นลำดับในปัจจุบัน

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องมีระบบจุดระเบิดเหมือนกับเครื่องยนต์เบนซิน เนื่องจากจะใช้ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศภายในกระบอกสูบจุดเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นนอกจากองค์ประกอบอื่นๆ ที่เหมือนกับเครื่องยนต์ประเภทอื่นแล้ว ระบบเชื้อเพลิงจึงจัดได้ว่าเป็นหัวใจของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ประเภทนี้เชื้อเพลิงจะถูกจุดด้วยความร้อนจากการอัดตัวของอากาศภายในกระบอกสูบ ดังนั้นจึงต้องการอัตราส่วนการอัดตัวสูงเป็นพิเศษ นอกจากนั้นยังต้องมีปั๊มฉีดเชื้อเพลิง ความดันสูงและหัวฉีด เพื่อให้เชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในกระบอกสูบเกิดการแตกตัวเป็นฝอยละเอียด คลุกเคล้าเข้ากับอากาศอัดที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงไม่ต้องการระบบจุดระเบิดเหมือนกับเครื่องยนต์เบนซิน จึงหะการทำงานของเครื่องยนต์ประเภทนี้จะมีทั้งแบบ 4 จังหวะ และ 2 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยของเหลวหรืออากาศ นอกจากนั้นยังมีทั้งแบบป้อนอากาศเข้าสู่ตัวเครื่องตามธรรมชาติ และแบบป้อนอากาศเข้าสู่ตัวเครื่องด้วยเครื่องอัดอากาศที่เรียกว่า เทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbo charger)



รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

ในการทำงาน อากาศแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ถูกดูดเข้าไปบรรจุอยู่ในกระบอกสูบในจังหวะดูด และจะถูกอัดตัวในจังหวะอัด ที่ตอนปลายของจังหวะอัดเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้และเนื่องจากอัตราส่วนการอัดตัวของเครื่องยนต์ประเภทนี้สูงมาก คือประมาณ 14 ถึง 25 ต่อ 1 จึงทำให้อากาศอัดในตอนปลายของจังหวะอัดมีความดันสูงถึงประมาณ 400 ถึง 800 lb/in² (27 ถึง 55 bar) ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศที่จุดนี้ประมาณ 1,292 ถึง 1,652 °F (700 ถึง 900 °C) หรือสูงกว่า ซึ่งสูงพอที่จะจุดเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นเครื่องยนต์ประเภทนี้จึงไม่ต้องการระบบจุดระเบิดเหมือนกับเครื่องยนต์เบนซิน แต่ก็จำเป็นต้องมีปั๊มฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงและหัวฉีดความดันสูง อันเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์ประเภทนี้สูงประมาณ 945 ถึง 1,305 lb/in² (65 ถึง 90 bar) อุณหภูมิของไอเสียที่เต็มสูงประมาณ 932 ถึง 1,112 °F (500 ถึง 600 °C)

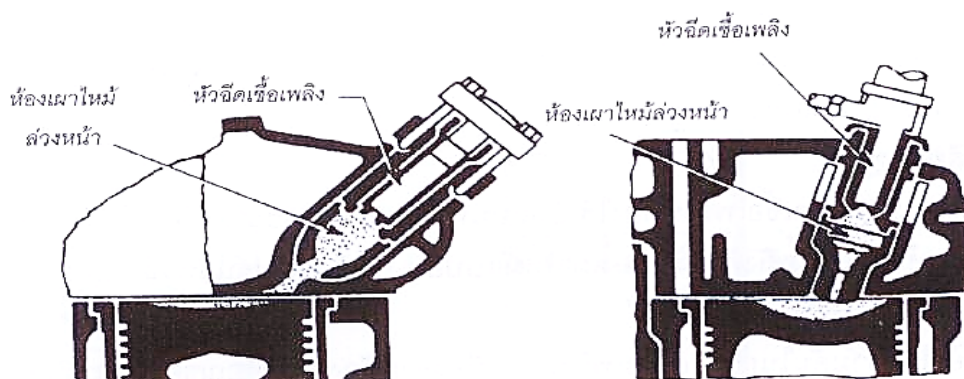
เครื่องยนต์ดีเซลจะถูกสร้างให้มีขนาดแตกต่างกันออกไปตามความต้องการใช้งาน โดยจะมีขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 3 hp (1.6 ถึง 2.2 kW) ไปจนถึง 5,000 hp (3,728 kW) หรือสูงกว่า เครื่องยนต์ประเภทนี้ได้ถูกนำไปใช้กับวงการต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้กับเครื่องสูบน้ำ รถยนต์นั่ง รถโดยสาร รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เครื่องจักรกลหนัก รถไฟ และเรือเดินสมุทร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังถูกนำไปใช้เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้กับงานก่อสร้าง เครื่องยนต์ที่ใช้กับโรงไฟฟ้า เครื่องยนต์ที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆอีกเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะที่สำคัญระหว่างเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์เบนซิน และ เครื่องยนต์ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

คุณลักษณะของเครื่องยนต์	ชนิดของเครื่องยนต์		
	ดีเซล	เบนซิน	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	สูงที่สุด	ปานกลาง	สูง
ช่วงระยะเวลาของการบำรุงรักษา	นาน	ปานกลาง	นาน
น้ำหนักต่อกำลังม้า	สูง	ต่ำ	ต่ำ
การติดเครื่องในขณะอากาศเย็น	พอใช้	ดี	พอใช้
การเร่งเครื่อง	พอใช้	ดี	ดี
การทำงานอย่างต่อเนื่อง	ดี	พอใช้	พอใช้
ความสกปรกของน้ำมันหล่อลื่น	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำมาก

2.1.1 ห้องเผาไหม้แบบเผาไหม้ล่วงหน้า

ห้องเผาไหม้แบบนี้ ดังรูปที่ 2.2 ส่วนใหญ่จะนิยมเรียกทับศัพท์เช่นกันว่า แบบพรีคอมบัสชัน ห้องเผาไหม้แบบนี้จะมีห้องเผาไหม้ขนาดเล็กติดตั้งอยู่ในฝาสูบโดยมีช่องทางเล็กๆ เชื่อมต่อเข้ากับห้องเผาไหม้หลัก (Main chamber) อีกทีหนึ่ง ห้องเผาไหม้แบบนี้สามารถที่จะบรรจุอากาศอัด ได้ประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรวมของห้องเผาไหม้ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นทันที แต่เนื่องจากอากาศอัดภายในห้องเผาไหม้แบบมีปริมาณจำกัด การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจึงไม่สมบูรณ์พอเพราะมีเพียงเชื้อเพลิงบางส่วนเท่านั้นที่จะเกิดการเผาไหม้ ดังนั้นความดันอันเกิดจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้แบบนี้จึงดันหรือพ่นเชื้อเพลิงกับอากาศและการเผาไหม้ขั้นสุดท้ายภายในห้องเผาไหม้หลักก็จะเกิดขึ้น



รูปที่ 2.2 ห้องเผาไหม้แบบเผาไหม้ล้วงหน้า

สำหรับลูกสูบที่ใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ ที่หัวลูกสูบจะมีทั้งแบบแบนราบ และแบบเป็นแอ่งรูปทรงกลมตื้นๆ

เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายเกรด แต่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงค่อนข้างสูงกว่าแบบอื่นๆ นอกจากนั้นการขับไล่ไอเสียออกจากห้องเผาไหม้พิเศษนี้ทำได้ยากจึงเป็นผลให้ไอเสียจำนวนหนึ่งต้องตกค้างอยู่ภายใน เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้จะสตาร์ทติดเครื่องยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะอากาศเย็นทั้งนี้ก็เนื่องมาจากห้องเผาไหม้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงมีการสูญเสียความร้อนจากการอัดตัวของอากาศไปให้กับผนังของห้องเผาไหม้ค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับห้องเผาไหม้แบบฉีดตรง ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้ในห้องเผาไหม้แบบนี้จึงต้องออกแบบสร้างให้มีอัตราส่วนการอัดตัวสูง โดยปกติจะสูงประมาณตั้งแต่ 18 ถึง 22 ต่อ 1 นอกจากนั้นยังต้องใช้หัวเผาเพื่อช่วยในการสตาร์ทติดเครื่องในขณะที่อากาศเย็น หัวฉีดเชื้อเพลิงที่นิยมใช้เป็นแบบเข็มที่ใช้ความดันประมาณ 1,100 ถึง 1,800 lb/in² (75 ถึง 123 bar)

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ในอดีต ได้แก่เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานซึ่งต้องเปลี่ยนแปลงความเร็วอยู่เสมอและมีรอบจัด เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในรถยนต์ แต่ในปัจจุบันหลังประสบความสำเร็จในการปรับปรุงห้องเผาไหม้แบบฉีดตรงได้แล้ว ความนิยมในการใช้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ก็ลดลง

ข้อดี

1. เนื่องจากห้องเผาไหม้แบบนี้จะใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบเข็มซึ่งมีรูค่อนข้างใหญ่ ประกอบกับการเคลื่อนตัวของเข็มหัวฉีดเชื้อเพลิงในขณะทำงาน จึงทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตันเกิดขึ้น
2. เชื้อเพลิงที่ฉีดไม่จำเป็นต้องเป็นฝอยละเอียดเหมือนกับที่ใช้กับห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือแบบฉีดตรง จึงสามารถใช้ความดันในการฉีดต่ำกว่าได้

3. เนื่องจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้แบบนี้จะสูงกว่าแบบเปิดหรือแบบฉีดตรง และการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้จึงไม่ต้องมีคุณภาพสูงเหมือนกับที่ใช้ในห้องเผาไหม้แบบอื่นๆ

4. เครื่องยนต์แบบเดินเรียบ เพราะความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบระหว่างการเผาไหม้ต่ำ

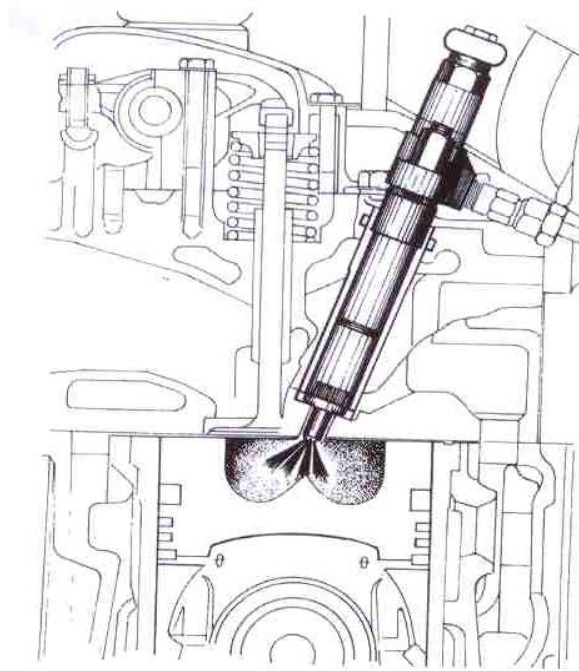
1. ต้องใช้หัวเผาสำหรับการสตาร์ทติดเครื่องในขณะอากาศเย็น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากการอัดตัวสูง อันเนื่องมาจากห้องเผาไหม้ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

2. มีการสูญเสียความร้อนจากการอัดตัวของอากาศให้กับผนังของห้องเผาไหม้ และช่องทางระหว่างห้องเผาไหม้ล่วงหน้ากับห้องเผาไหม้หลัก จึงทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้มีประสิทธิภาพทางความร้อนค่อนข้างต่ำ และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง

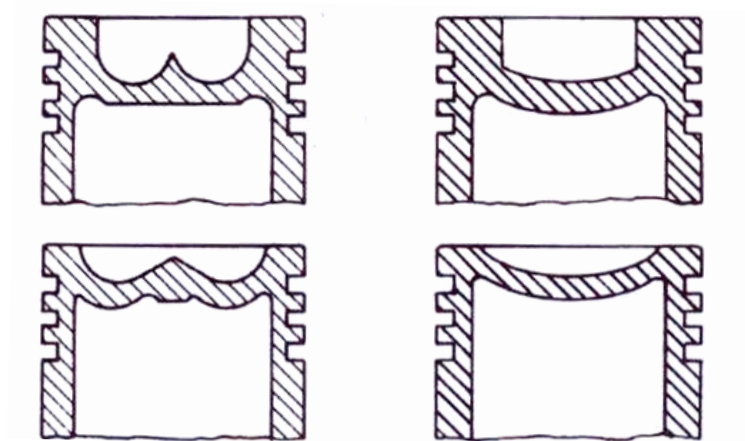
3. เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนไปให้กับผนังของห้องเผาไหม้จึงทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ต้องใช้อัตราส่วนการอัดตัวสูง เพื่อให้อุณหภูมิที่เกิดจากการอัดตัวของอากาศสูงพอที่จะทำให้การจุดระเบิดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2 ห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือแบบฉีดตรง

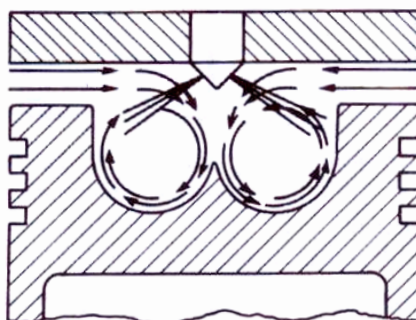
ห้องเผาไหม้แบบนี้ ดังรูปที่ 2.3 ส่วนใหญ่จะนิยมเรียกทับศัพท์ว่า แบบโอเพน หรือแบบไคเรกอินเจคชัน ห้องเผาไหม้แบบนี้จะมีลักษณะเป็นแอ่งรูปทรงกลมอยู่ในส่วนบนของหัวลูกสูบ แอ่งรูปทรงดังกล่าวมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.4 แต่ทุกแบบก็มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ ต้องการให้เกิดการคลุกเคล้ากันได้อย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ดังรูปที่ 2.5 และจากการออกแบบดังกล่าวจึงทำให้สามารถออกแบบให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเกือบจะชิดกับฝาสูบในตอนปลายจังหวะอัดโดยจะมีช่องว่างเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้มีอัตราส่วนการอัดตัวสูง และจากลักษณะรูปร่างของห้องเผาไหม้จึงเหมาะที่จะติดตั้งหัวฉีดเชื้อเพลิง ในตำแหน่งที่สามารถจะฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง ดังนั้นหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้กับห้องเผาไหม้แบบนี้จึงมักจะติดตั้งอยู่ตรงกลางกระบอกสูบหรือเอียงไปจากศูนย์กลางเล็กน้อย นอกจากนั้นรูปร่างของห้องเผาไหม้ยังสามารถทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศได้ดี จึงเป็นการเพิ่มความเร็วของอากาศ อันจะมีผลสืบเนื่องต่อการคลุกเคล้ากันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอัด



รูปที่ 2.3 ห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือแบบฉีดตรง

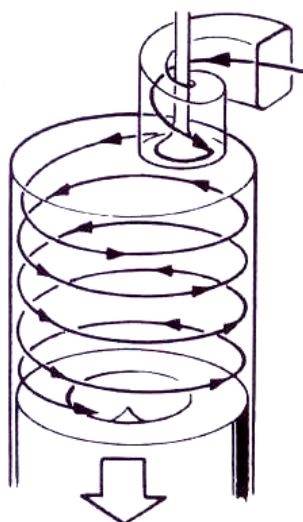


รูปที่ 2.4 แบบต่าง ๆ ของห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือแบบฉีดตรง

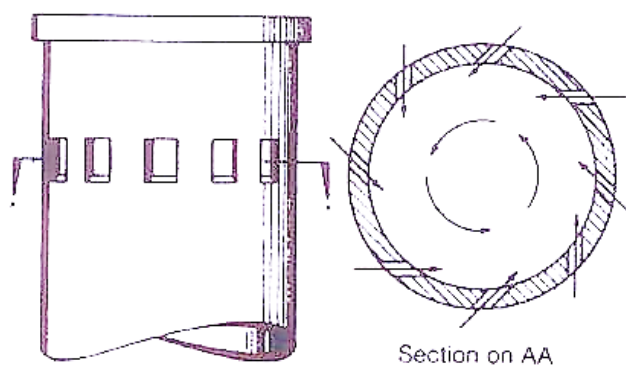


รูปที่ 2.5 การคลุกเคล้ากันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอัด

ในเครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้บางแบบ ที่ลิ้นไอดีจะทำเป็นสันหรือขอบช่วยบังคับการเคลื่อนตัวของอากาศ เพื่อให้อากาศที่บรรจุเข้าสู่กระบอกสูบเกิดการหมุนวน บางแบบก็มีการออกแบบช่องนำไอดี (Directional port) เพื่อบังคับอากาศที่บรรจุเข้าสู่กระบอกสูบเกิดการหมุนวนด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 2.6 วัตถุประสงค์ก็เพื่อให้อากาศที่บรรจุเข้าสู่กระบอกสูบเกิดการหมุนวนด้วยเช่นกัน ในเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะช่องบรรจุอากาศที่ปลดปล่อยจะถูกเจาะในลักษณะเป็นมุมเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 การหมุนวนของอากาศที่เกิดจากช่องนำไอดี



รูปที่ 2.7 การหมุนวนของอากาศที่เกิดจากการเจาะช่องบรรจุอากาศที่เป็นมุมของปลอกสูบ
ในเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในห้องเผาไหม้แบบนี้ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปจะเกิดการเผาไหม้โดยตรงจากอากาศร้อนที่อยู่ภายในห้องเผาไหม้ส่วนอีก 95 เปอร์เซ็นต์จะเกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้รูปทรงกลมที่อยู่ในส่วนบนของหัวลูกสูบ

โดยทั่วไปห้องเผาไหม้แบบนี้ในอดีตจะใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งทำงานด้วยความเร็วปานกลางและความเร็วต่ำ คุณสมบัติโดยทั่วไปจะทำงานได้ดีที่ความเร็วคงที่เนื่องจากเครื่องยนต์มีกำลังอัดค่อนข้างสูงและการหมุนวนของอากาศภายในห้องเผาไหม้ไม่ค่อยดีนัก จึงต้องใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบหลายรูที่ต้องใช้ความดันค่อนข้างสูง เพื่อให้เชื้อเพลิงที่ฉีดออกไปเป็นฝอยละเอียดและสามารถแทรกตัวเข้าไปในอากาศอัดได้ดี โดยปกติความดันที่ใช้สำหรับหัวฉีดเชื้อเพลิงจะอยู่ระหว่าง 2,100 ถึง 3,600 lb/in² (143 ถึง 245 bar) นอกจากนั้นค่าการสูญเสียทางความร้อนก็ต่ำ เนื่องจากห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กที่สุดในบรรดาห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลทุกแบบ จึงทำให้สามารถสตาร์ทติดเครื่องได้ง่ายแม้ในขณะที่อากาศเย็นโดยไม่จำเป็นต้องใช้หัวเผาช่วยสตาร์ทติดเครื่องยนต์

1. เนื่องจากห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กจึงทำให้การสูญเสียความร้อนไปให้กับระบบระบายความร้อนค่อนข้างต่ำ เพราะฉะนั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง

2. เนื่องจากการสูญเสียทางความร้อนต่ำ ความร้อนที่เกิดจากการอัดตัวของอากาศภายในกระบอกสูบจึงสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ง่ายต่อการสตาร์ทติดเครื่องในขณะที่อากาศเย็น ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ไม่ต้องใช้หัวเผา (Glow plug) ในการสตาร์ทติดเครื่องในขณะที่อากาศเย็น

3. เนื่องจากการสูญเสียทางความร้อนต่ำอีกเช่นกัน จึงทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้สามารถใช้อัตราส่วนการอัดตัวต่ำได้ โดยยังคงสภาพที่ง่ายต่อการสตาร์ทติดเครื่องในขณะที่อากาศเย็น และให้การเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสีย

1. เนื่องจากหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ต้องใช้เป็นแบบหลายรูซึ่งเป็นรูขนาดเล็ก จึงอาจทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายกว่าหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้กับห้องเผาไหม้แบบอื่นๆ ที่สามารถใช้หัวฉีดแบบรูเดี่ยวซึ่งเป็นรูขนาดใหญ่

2. ต้องใช้ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงสูง เนื่องจากต้องการให้อณูของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกไปสามารถแทรกตัวเข้าไปในอากาศอัดได้ดี เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องการเครื่องมือที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงที่มีมาตรฐานสูงกว่าที่ใช้กับห้องเผาไหม้ที่ใช้ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่ำกว่า

3. เครื่องยนต์เดินไม่เรียบที่ความเร็วต่ำอันเนื่องมาจากความล่าช้าในการจุดระเบิดที่เกิดขึ้นที่มีผลมาจากการจำกัดของความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ทั้งนี้เนื่องจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่บรรจุเข้าสู่กระบอกสูบ ซึ่งจะเพิ่มตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ปัจจุบันความนิยมในการใช้เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้กำลังเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ทั้งในรถเพื่อการพาณิชย์ทุกแบบและรถยนต์นั่งส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้สูงสุดโดยเฉลี่ยถึง 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นเสียงดังจากการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะที่เร่งเครื่องยังสามารถลดลงให้เหลือเท่ากับเครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมได้ด้วย

2.1.3 ระบบคอมมอนเรลไดเรคอินเจคชั่น (Common rail direct injection)

ระบบนี้คือระบบจ่ายน้ำมันแบบรางร่วมเป็นระบบจ่ายน้ำมันที่ได้ผลดีขึ้นมาล่าสุดในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มแรงดันสูง (1,800 bar) อัดเชื้อเพลิงเข้าสู่รางร่วม (Common rail) เพื่อรอจังหวะการฉีดที่เหมาะสมที่ประมวลได้จากหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit, ECU) วาล์วเชื้อเพลิงหรือเข็มหัวฉีดจะถูกยกด้วยแรงขับจากโซลินอยด์ไฟฟ้า ซึ่งระบบฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เครื่องเก่าที่เป็นปั๊มเชื้อเพลิงแบบแถวเรียงหรือจานจ่ายจะใช้วิธีการยกเข็มหัวฉีดด้วยแรงดันเชื้อเพลิงที่สร้างมาจากปั๊มเชื้อเพลิง (ประมาณ 120-250 bar) และสามารถเอาชนะแรงกดของสปริงที่หัวฉีดทำให้เข็มหัวฉีดยกเปิดเชื้อเพลิงให้ไหลผ่านไปได้ วิธีแบบนี้จะไม่สามารถ

ควบคุมจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงให้ยืดหยุ่นได้ตามสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ตามการประมวลผลของ ECU

2.2 มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล (พลพร, 2537)

ในเครื่องยนต์ดีเซล สารมลพิษจากเครื่องยนต์ที่มีปริมาณมากที่สุดจากไอเสีย คือ NOX และอนุภาคของแข็ง (ควันดำ) มี HC และ CO บ้าง แล้วแต่กรณี นอกจากนี้ภาวะมลพิษที่ถือว่าร้ายแรงอีกคือกลิ่น เสียง และแอลดีไฮด์ จะเห็นว่าแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำงานการสันดาปภายในกระบอกสูบและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างกัน

2.2.1 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

กระบวนการผลิต CO ในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงกับการเกิด CO ในเครื่องยนต์เบนซิน CO จะเกิดมากหากอัตราให้อากาศเพิ่มและลดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกระบวนการเกิดควันดำด้วย ธรรมดาทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ดีเซลด้วยอากาศที่มากกว่าอยู่แล้ว คืออัตราการให้อากาศจะเป็น 1.2-10 เท่า ดังนั้นปริมาณ CO ที่เกิดจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน

2.2.2 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อย HC ออกมาน้อยมากด้วยเหตุผลเดียวกับการปล่อย CO แต่ปริมาณ HC จะเพิ่มด้วยเหตุอื่นอีกคือ

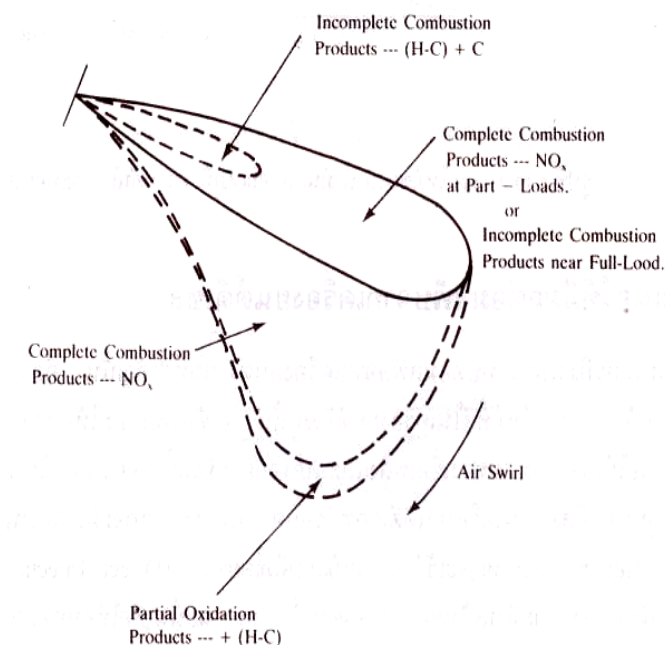
1. ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นเหตุผลให้เกิด HC ที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับ O_2 และไม่เกิดการเผาไหม้เลย
2. หากส่วนผสมบางมากเกินไป เปลวไฟจะดับ ทำให้เกิด HC มาก
3. น้ำมันหล่อลื่นหลังหัวฉีดฉีดแล้ว ส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ ทำให้เกิด HC
4. เชื้อเพลิงหล่อลื่นในเชื้อเพลิงและกระบอกสูบเผาไหม้ไม่หมด จะทำให้เกิด HC

2.2.3 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

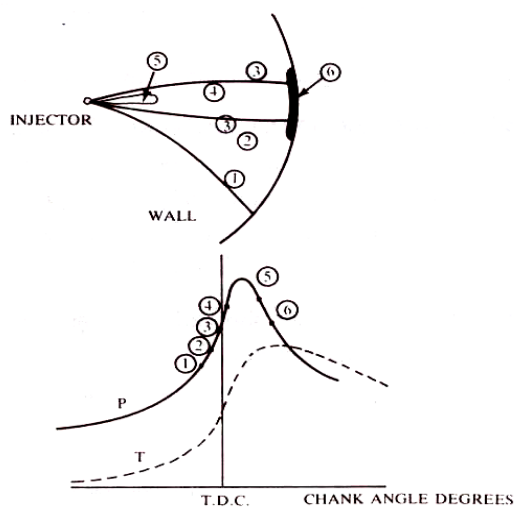
สำหรับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซินเป็นการยากที่จะบอกว่า NO_x เกิดมากน้อยเท่าไร และเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงกับอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงกันอย่างซับซ้อนมากระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มี O_2 มาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และอุณหภูมิจะสูงอยู่นาน NO_x จึงเกิดในช่องนี้มาก

2.2.4 ควีนดำ (Black smut)

แกนกลางของลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปกระบอสูบ แยกกระจายออกไปได้ยากและมีความหนาแน่นสูง เมื่อแกนน้ำมันนี้ปะทะอุณหภูมิสูงในกระบอสูบและขนาด O_2 ช่วยในการสันดาป เนื่องจาก O_2 ถูกใช้หมดไปแล้ว จะทำให้เกิดละอองคาร์บอนขึ้น เป็นผลให้เกิดควีนดำ



รูปที่ 2.8 การก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน



รูปที่ 2.9 การเผาไหม้ของลำน้ำมันและอุณหภูมิ ความดันในกระบอกสูบ

2.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Pulkrabek, W. W., 1997)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในปัจจุบันนิยมใช้แสดงสมรรถนะเครื่องยนต์ เป็นการแสดงสมรรถนะในการทำงานของเครื่องยนต์บนพื้นฐานของกำลังที่ได้จากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วยของเวลา ดังนั้นความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะหมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้หมดไปในช่วงหนึ่งต่อกำลังที่ได้จากเชื้อเพลิงนั้น หรือกำลังที่เครื่องยนต์นั้นจะให้ออกมา ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะนี้จะแสดงให้เห็นทราบว่า เครื่องยนต์นั้นสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปเป็นจำนวนเท่าใดต่อปริมาณงานจำเพาะจำนวนหนึ่งในเวลาจำกัด

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและกำลังหรือกำลังม้าเบรกเทียบเชื้อเพลิงสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$BSFC = \frac{mf}{P} \quad (2.1)$$

กำหนดให้

BSFC	=	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก, g/kW-h
m	=	ความหนาแน่นเชื้อเพลิงจำเพาะ, (0.00083 g/l)
P	=	กำลังเครื่องยนต์, kW
f	=	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, l/min

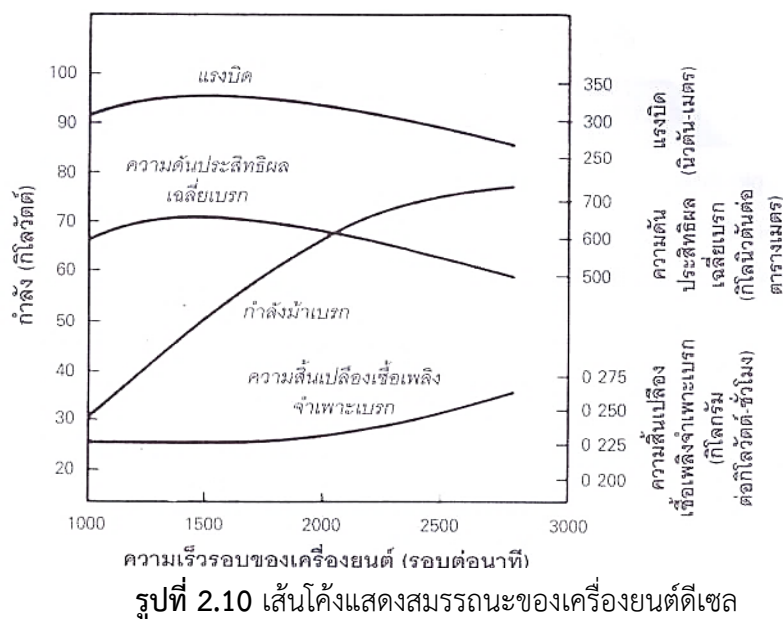
หมายเหตุ : กรณีคิดเทียบกับกำลังหรือกำลังม้าอินดิเคต ค่าที่ได้จะเป็นความสิ้นเปลืองจำเพาะอินดิเคต (Indicated Specific Fuel Consumption, ISFC) กรณีคิดเทียบกับกำลังหรือกำลังม้าเบรก ค่าที่ได้ก็จะเป็นความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีส่วนสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์กล่าวคือ ค่ายิ่งต่ำประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ก็จะยิ่งสูง เพราะจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์นั้นมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยหรือประหยัดเชื้อเพลิงนั่นเอง

นอกเหนือไปจากความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีความสิ้นเปลืองจำเพาะอีกหลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของกำลังที่นำมาใช้ อาทิ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะความเสียดทาน (Friction specific fuel consumption) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

เพลลาอำนาจกำลัง (Pro specific fuel consumption) และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะคานลากจูง (Draw bar specific fuel consumption) เป็นต้น

การแสดงผลด้วยเส้นโค้งแรงบิด กำลังม้า และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ได้ถูกแสดงรูปที่ 2.10

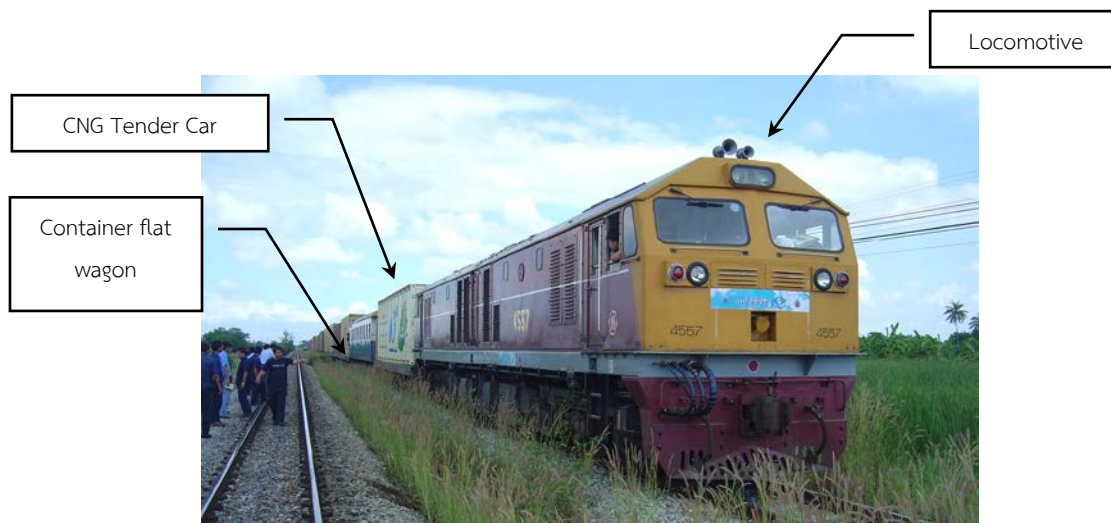


2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การทบทวนโครงการต่างๆของการรถไฟแห่งประเทศไทย

- 1.) โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับหัวรถจักร (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553)

ด้วยภาวะปัจจุบันที่กำลังประสบปัญหาค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินหัวรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย(รฟท.)และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย(ปตท.)ได้ร่วมมือกันเพื่อทำการศึกษาและทดลองการใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำมันดีเซล(Diesel)และก๊าซธรรมชาติอัด(CNG) กับขบวนหัวรถจักรพบว่า การดัดแปลงใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมดังกล่าวสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานได้ 2,500 บาท/เที่ยว ในขณะที่เกิดค่าเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด 2,700 บาท/เที่ยวดังรูปที่ 2.11 พิจารณาค่าน้ำมันดีเซล 24 บาท/ลิตร และ ค่าก๊าซธรรมชาติอัด 8.5 บาท/กิโลกรัม) ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน



รูปที่ 2.11 การเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด

2.) โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553)

เนื่องด้วยต้นทุนพลังงานเชื้อเพลิงและค่าการซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินหัวรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย(รฟท.)ได้ศึกษาและจัดทำแนวทางการแก้ไขด้วยการจัดซื้อเครื่องยนต์ทดแทนเครื่องยนต์ Pielstick รถจักร Alsthom โดยใช้เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 ดังรูปที่ 2.12 และ Caterpillar 3516BHD ดังรูปที่ 2.13 เพื่อทำการทดแทนเครื่องยนต์เดิม ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์ทั้ง 2 แบบสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่า 10 % ซึ่งจะคุ้มค่าการลงทุนภายในระยะเวลา 6 ปีแต่เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 จะมีค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงที่สูงกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD



รูปที่ 2.12 เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41



รูปที่ 2.13 เครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD

3.) โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแตงน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553)

จากปัญหาด้านต้นทุนพลังงานและค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินหัวรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย(รฟท.) ได้จัดทำโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถจักรดีเซล ซึ่งทำการศึกษาการใช้สารเติมแตงลงในน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับหัวรถจักร โดยทำการทดสอบกับหัวรถจักรแบบ Alsthom ภายใต้ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์และวัดค่าทางไฟฟ้า (Load-test) ในสภาวะความเร็วรอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างจากการใช้น้ำมันดีเซลและการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแตง ซึ่งจากผลการทดสอบปรากฏว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแตงสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว 7% อย่างไรก็ตามการใช้สารเติมแตงดังกล่าวยังมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสารเติมแตง ซึ่งยังไม่คุ้มค่าการลงทุนกับผลความประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้รับ

2.4.2 การทบทวนวรรณกรรมในต่างประเทศ

นอกจากนี้ ในภูมิภาคเอเชียก็ยังมีการศึกษาถึงผลกระทบจากมลพิษ โดยในประเทศเกาหลี D. Park และคณะ (2012) ได้ทำการสำรวจอัตราการปล่อยมลพิษที่ออกจากปล่องควัน ซึ่งพบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เจือจางจากกับผสมกับบรรยากาศขณะปล่อยออกจากปล่องควันมีการรวมตัวกันเป็นอนุภาคนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 1,000 นาโนเมตร ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์

ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อการขนส่งทางรางจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบทางมลพิษโดยมีข้อบังคับเป็นตัวกำหนด

อีกทั้งในประเทศจีนก็ยังมีการศึกษาถึงการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ในหัวรถจักรด้วยการใช้ระบบปั๊มหัวฉีดโดย L. Minghai และคณะ(2009) ซึ่งระบบดังกล่าวอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัทผู้ผลิตส่งผลให้ลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก และจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีด ซึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้งานและลดอัตราการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างมาก

มากไปกว่านั้นยังมีความพยายามนำระบบเชื้อเพลิงมาใช้ในการขนส่งทางรางในสหรัฐอเมริกา โดย A. S. Martinez และคณะ (2012) เครื่องยนต์ต้นกำลังถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานเซลล์ Solid Oxide Fuel Cell- Gas Turbine (SOFC-GT) และถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยระบบ SOFC-GT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและสามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษได้เป็นอย่างมาก