บทที่ 4

วิธีทดสอบ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบเครื่องยนต์บนเอนจินไดนาโมมิเตอร์ และการทดสอบเทอร์โบชาร์เจอร์ โดยได้กล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งขั้นตอนก่อนการทดสอบและระหว่างการทดสอบ

4.1 การทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จะถูกติดตั้งเข้ากับเอนจินไดนาโมมิเตอร์ โดยจะทดสอบตามมาตรฐาน SAE J1349 และใช้น้ำมันดีเซลดาลเท็กซ์ไฮ - เพาเวอร์ 0.05 เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับข้อมูลของน้ำมันเชื้อเพลิงได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก (ฉ)

4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบเครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนก่อนการทดสอบ</u>

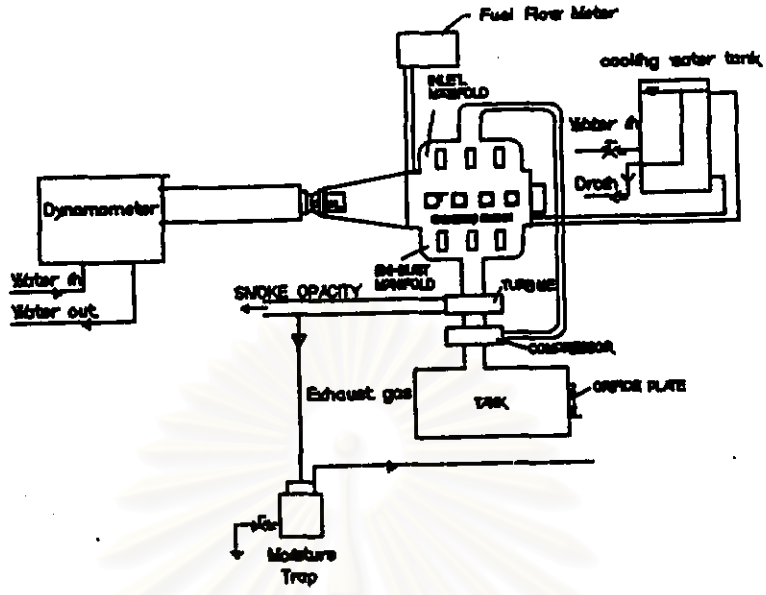
4.1.1.1 ติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับเอนจินไดนาโมมิเตอร์

4.1.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์การควบคุมเครื่องยนต์และอุปกรณ์วัดค่า ได้แก่ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ , อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง , อุปกรณ์วัดความดันและอุณหภูมิในแมนิโฟลด์ไอดีและแมนิโฟลด์ไอเสีย,อุปกรณ์การติดเครื่องยนต์,อุปกรณ์วัดความดันน้ำมันเครื่อง,อุปกรณ์ควบคุมน้ำหล่อเย็น,อุปกรณ์วัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของน้ำหล่อเย็น, อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

4.1.1.3 ติดตั้งอุปกรณ์ควบแน่นน้ำในไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์

4.1.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณไอเสียจากเครื่องยนต์

โดยแผนภูมิของการทดสอบ ดังแสดงไว้รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการทดสอบเครื่องยนต์

<u>ขั้นตอนระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์</u>

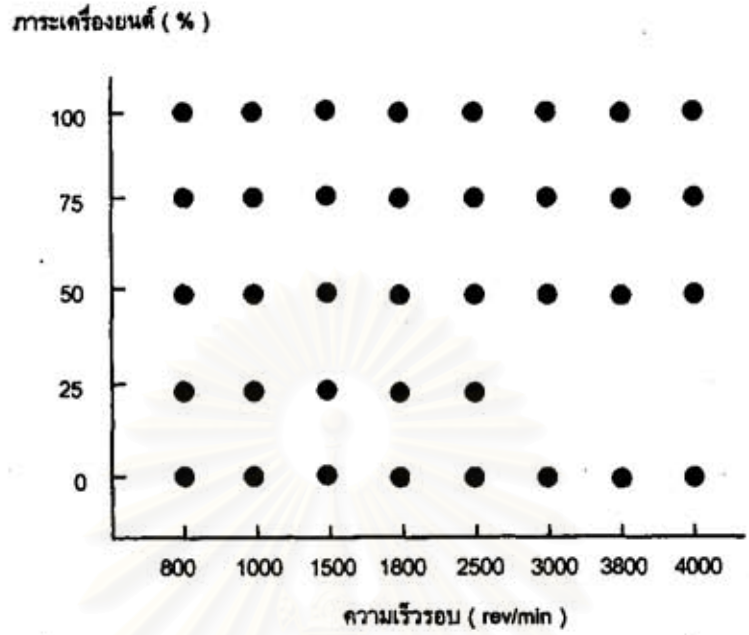
4.1.1.5 ปรับให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ ที่ 800 รอบต่อนาที และปรับภาระที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ โดยเริ่มตั้งแต่ ไม่มีภาระ (No Load) เมื่อปรับสภาวะของเครื่องยนต์ตามที่ต้องการแล้ว รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว จากนั้นจึงอ่านค่าน้ำหนักที่กระทำที่แขนของเอนจินไดนาโมมิเตอร์ และอ่านค่าต่างๆจากอุปกรณ์วัดค่าในหัวข้อ 4.1.1.2

4.1.1.6 ทำการวัดปริมาณไอเสียจากเครื่องวัดไอเสีย

4.1.1.7 เมื่อบันทึกค่าแรกแล้ว ทำการปรับเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ โดยปรับที่เอนจินไดนาโมมิเตอร์ และรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ ทำการบันทึกค่าตามหัวข้อ 4.1.1.5 ถึง 4.1.1.6 แล้วทำการปรับภาระของเครื่องยนต์ไปจนถึง ภาระเต็มที่ (Full Load)

4.1.1.8 ปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไปที่ 800,1000,1500,1800,2500,3000,3800 และ 4000 รอบต่อนาที แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4.1.2.5 ถึง 4.1.2.7

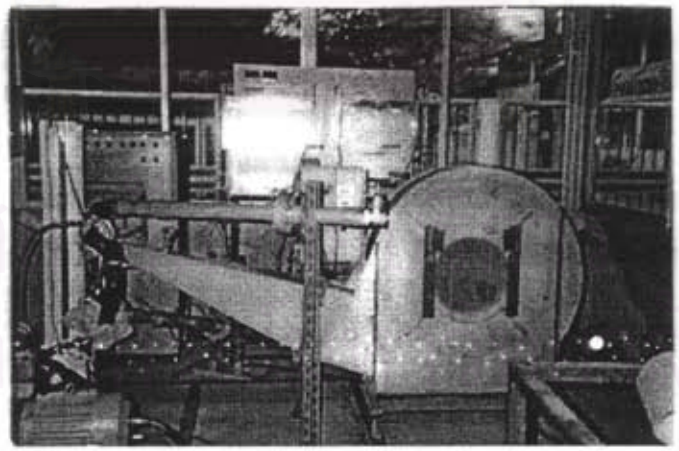
โดยในการทดสอบจะทดสอบทุก ๆ จุดบนเมตริกของการทดสอบ เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ดังนี้



รูปที่ 4.2 Test matrix บนแกนความเร็วรอบกับภาระของเครื่องยนต์

4.2 การทดสอบเทอร์โบชาร์จเจอร์

เทอร์โบชาร์จเจอร์จะถูกติดตั้งเข้ากับโบลว์เวอร์และอุปกรณ์วัดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยทดสอบตามมาตรฐาน SAE J1826



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบเทอร์โบชาร์จเจอร์

4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบเทอร์โบชาร์เจอร์

การทดสอบเทอร์โบชาร์จเจอร์จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการทดสอบคอมเพรสเซอร์ ส่วนที่สองเป็นการทดสอบเทอร์ไบน์

<u>ส่วนคอมเพรสเซอร์</u>

4.2.1.1 ติดตั้งเทอร์โบชาร์จเจอร์เข้ากับชุดเครื่องเป่าลม (Blower)

4.2.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องเป่าลม , อุปกรณ์การจ่ายน้ำมันหล่อลื่น และอุปกรณ์วัดค่าต่างๆได้แก่ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ , อุปกรณ์วัดความดัน ,อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ,อุปกรณ์วัดอุณหภูมิบรรยากาศ(อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง)

4.2.1.3 เปิดวาล์วท่อทางออกของคอมเพรสเซอร์ และวาล์วท่อทางออกของเทอร์ไบน์ให้เต็มที่(Full Open)

4.2.1.4 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ ให้ความเร็วรอบของแกนโรเตอร์ให้คงที่ ที่ 20000 รอบต่อนาที โดยอ่านความเร็วรอบจากเครื่องวัดรอบชนิดแสงสะท้อน (Tacho meter)

4.2.1.5 ทำการวัดค่าต่างๆ ตามหัวข้อที่ 4.2.1.2

4.2.1.6 เมื่อบันทึกค่าแรกแล้ว ทำการปรับวาล์วที่ท่อทางออกของคอมเพรสเซอร์ให้มีพื้นที่ลดลง และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4.2.1.4 ถึง 4.2.1.5 ในการปรับวาล์วที่ท่อทางออกของคอมเพรสเซอร์ให้มีพื้นที่ลดลงนั้นจะทำการปรับ 1 ครั้งต่อการบันทึกผล 1 ครั้งจนกระทั่งการไหลของอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์เกิดการกระโชก จึงเปลี่ยนความเร็วรอบของการทดสอบใหม่

4.2.1.7 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยทำให้แกนของโรเตอร์ของเทอร์โบมีความเร็วรอบที่ 40000,60000,80000 และ100000 รอบต่อนาที แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4.2.1.3 ถึง 4.2.1.6

<u>ส่วนเทอร์ไบน์</u>

4.2.1.8 เปิดวาล์วท่อทางออกของคอมเพรสเซอร์ และวาล์วท่อทางออกของเทอร์ไบน์ให้เต็มที่(Full Open)

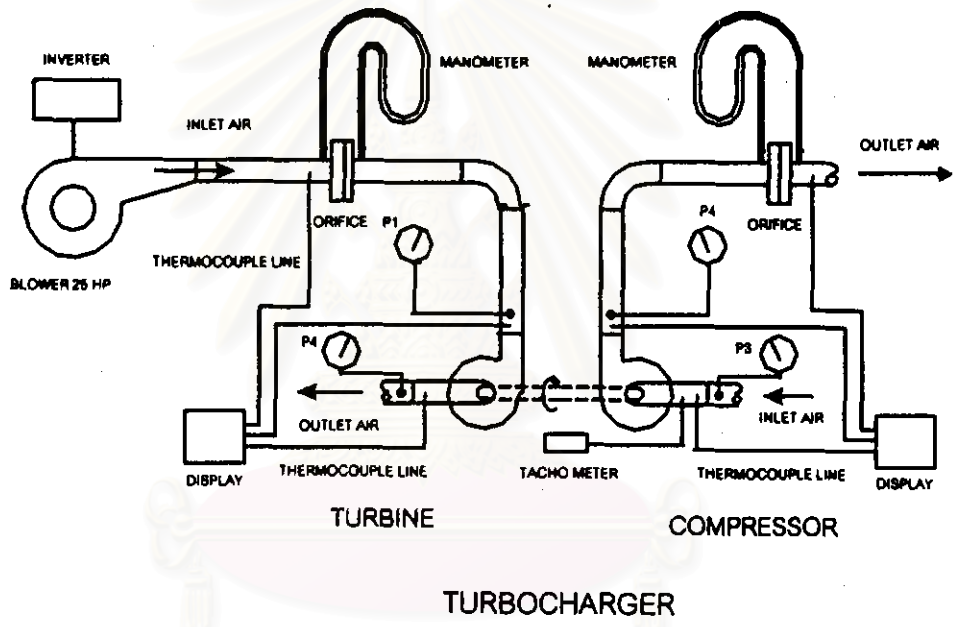
4.2.1.9 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยให้ความเร็วรอบของแกนโรเตอร์ของเทอร์โบคงที่ ที่ 20000 รอบต่อนาที โดยอ่านค่าความเร็วรอบจากเครื่องวัดรอบชนิดแสงสะท้อน

4.2.1.10 ทำการวัดค่าต่างๆ ตามหัวข้อที่ 4.2.1.2

4.2.1.11 เมื่อบันทึกค่าแรกแล้ว ทำการปรับวาล์วที่ท่อทางออกของเทอร์ไบน์ให้มีพื้นที่ลดลง และทำการทดลองตามข้อ 4.2.1.4 ถึง 4.2.1.5 แล้วทำการปรับวาล์วที่ท่อทางออกของเทอร์ไบน์ให้มีพื้นที่ลดลงจนกระ ทั่งการไหลของอากาศที่ออกจากเทอร์ไบน์เกิดการกระโชก

4.2.1.12 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยทำให้แกนของโรเตอร์มีความเร็วรอบที่ 20000,40000,60000,80000 และ100000 รอบต่อนาที แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4.2.1.10 ถึง 4.2.1.11

โดยแผนภูมิของการทดสอบแสดงไว้ที่รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิการทดสอบเทอร์โบชาร์จเจอร์

4.3 การทดสอบแบบจำลอง

4.3.1 การทดสอบแบบจำลองสมรรถนะเครื่องยนต์

สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมแบบจำลอง ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จดีเซลโดยเฉพาะ จาก UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology) ที่ประดิษฐ์ขึ้นโดย Benson[17] ต่อจากนั้น Winterbone and Thiruarooran[15] ได้นำแบบจำลองพลศาสตร์ของเทอร์โบชาร์จดีเซล มาหาค่าฟังก์ชันการถ่ายโอน จากนั้น Thiruarooran[16] ได้นำโปรแกรมแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาการควบคุมเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จดีเซล และ Ogawa[18] ได้

พัฒนาโปรแกรมมาทำให้เป็นนัยทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยได้นำโปรแกรมดังกล่าวมาประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จดีเซล สำหรับรถบรรทุกขนาดเล็ก

โดยเหตุผลในการเลือกโปรแกรมดังกล่าวมาใช้ มีดังนี้

- โปรแกรมนี้มี **source code** ของโปรแกรม ทำให้ง่ายต่อการเข้าใจและปรับปรุงโปรแกรมให้เหมาะสมกับการหาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์

- โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะเฉพาะเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จดีเซล ซึ่งมีนักวิจัยได้นำไปใช้ในงานวิจัยหลายชิ้น เช่น Watson, N. [8] ,Winterbone,D.E. and Loo[7] , W.Y. , Lt Samai Jai-in [14]

ผลคำนวณจากโปรแกรม Filling and Emptying นี้จะได้ค่าของสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งในสภาวะคงตัว และสภาวะไม่คงตัว (TRANSIENT) ค่าของความดันและอุณหภูมิ ในปริมาตรควบคุมต่างๆ ตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ โดยกลุ่มข้อมูลป้อนเข้าของโปรแกรมแบ่งเป็น 5 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. กลุ่มลักษณะของเครื่องยนต์ มีข้อมูลดังนี้ ขนาดความจุกระบอกสูบ,จำนวนสูบ ปริมาตรกวาดกระบอกสูบ,ปริมาตรเบียด,ระยะชัก,ขนาดของกระบอกสูบ,จังหวะการเปิดปิดวาล์วไอดี/ไอเสีย,พื้นที่เปิดวาล์ว,อัตราส่วนการอัดตัว,ปริมาตรแมนิโฟลด์ไอดี/ไอเสีย,จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง,ปริมาณและองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และ ภาระของเครื่องยนต์
2. กลุ่มข้อมูลของเทอร์โบชาร์จเจอร์ มีข้อมูลดังนี้ แผนภูมิของคอมเพรสเซอร์/เทอร์ไบน์ ลักษณะของเทอร์โบชาร์จเจอร์
3. กลุ่มข้อมูลของอากาศ/น้ำมันเชื้อเพลิง มีข้อมูลดังนี้ ค่าคุณสมบัติต่างๆของอากาศ คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง
4. กลุ่มค่าคงที่ในสมการแบบจำลอง มีข้อมูลดังนี้ค่าคงที่ของสมการการถ่ายเทความร้อน และค่าคงที่ของสมการการเผาไหม้
5. กลุ่มสภาวะต่างๆของเครื่องยนต์ มีข้อมูลดังนี้ ค่าความดันและอุณหภูมิโดยรอบการทดสอบเครื่องยนต์ ค่าความดันเริ่มต้น ภายในกระบอกสูบและแมนิโฟลด์

4.3.2 การทดสอบแบบจำลองไอเสีย

<u>ในส่วนควันดำ</u> [8]

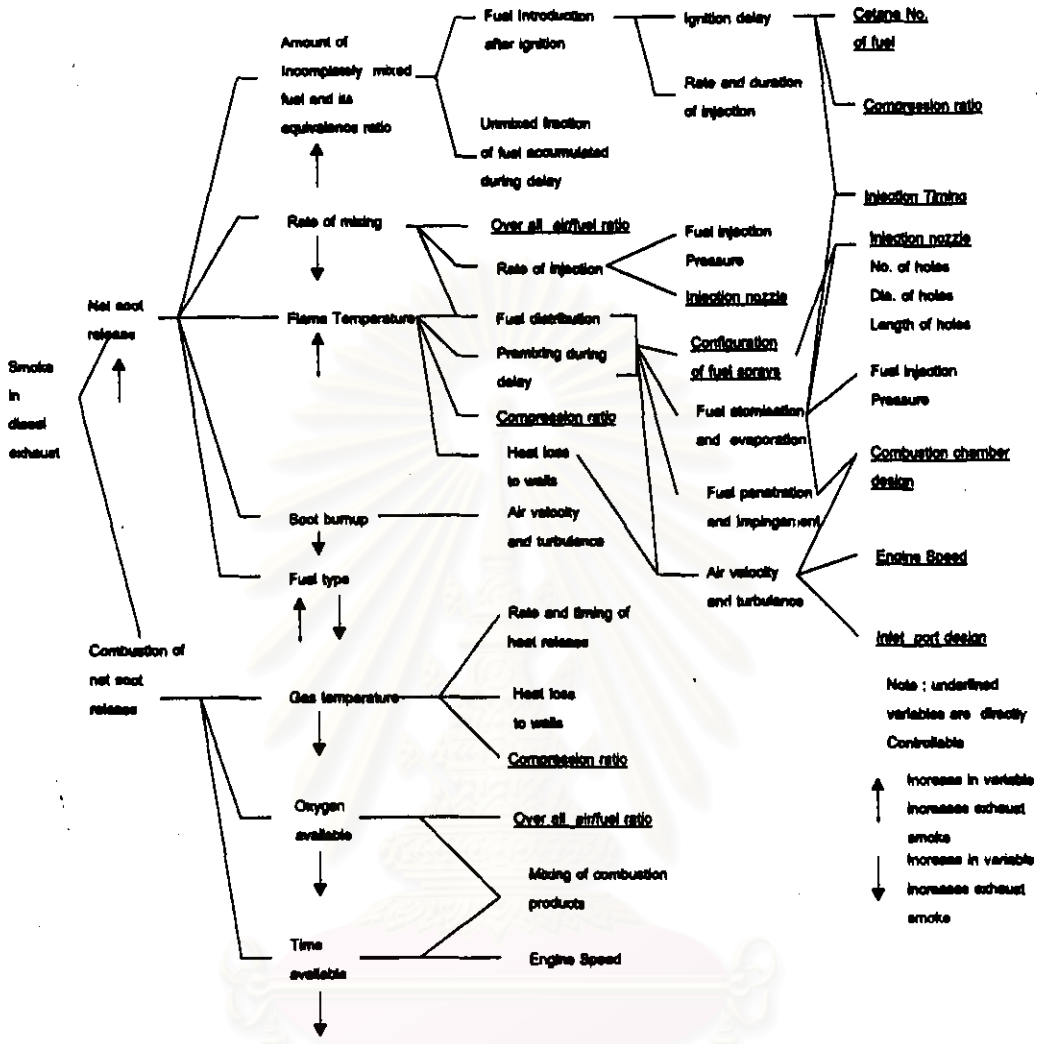
มี 2 ข้อแตกต่างอย่างชัดเจนในการเกิดควันจากเครื่องยนต์ดีเซล คือการเกิดควันขาว-น้ำเงินและควันดำ ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะเครื่องเย็น (เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะของรอบเดินเบา) หรือสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระไม่มาก ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด

ตัวต่ำ จะทำให้เครื่องยนต์ปล่อยควันออกมาในลักษณะที่เป็นควันขาว-น้ำเงิน ซึ่งสาเหตุหลักมาจาก น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่น ที่มีการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ ถูกปล่อยออกมาพร้อมกับไอเสีย ปัญหาในการเกิดควันดังกล่าวนี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อให้เครื่องยนต์มีสภาวะการทำงานที่ภาระเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับเครื่องยนต์ที่มีกำลังมากๆแต่มีอัตราส่วนการอัดตัวต่ำ ควันขาว-น้ำเงินนี้จะเกิดมากขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากอุณหภูมิของผนังกระบอกสูบ,ความดันและอุณหภูมิของการสันดาปต่ำ รวมอีกทั้งกรณีของการแทรกซึมของเสปรย์ฝอยเชื้อเพลิงมีมากเกินไปอีกด้วย

ในกรณีการเกิดควันดำจะเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่สภาวะการทำงานปกติ (อุณหภูมิเครื่องยนต์อยู่ในระดับทำงาน) กล่าวคือ ไม่ว่าเครื่องยนต์จะทำงานที่ภาระใดๆก็ตาม ก็จะเกิดควันดำเสมอ โดยที่ปริมาณควันดำจะเกิดไม่มากในกรณีที่สภาวะการทำงานเครื่องยนต์ที่ภาระต่ำๆ ทุกๆความเร็วรอบของเครื่องยนต์

เนื่องจากกลไกในการเกิดควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลค่อนข้างซับซ้อน และยากแก่การเข้าใจ Khan [19] และ Broome and Kham [20] ได้ทำการเสนอวิธีการที่เป็นไปได้ในการเกิดควันดำของเครื่องยนต์ ตามรูปที่ 4.5 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดควันดำในเครื่องยนต์ดีเซล [19]

สำหรับโปรแกรมแบบจำลองไอเสีย ผู้เขียนได้ทำการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆที่ทำให้เกิดควันดำ โดยสมมติฐาน เครื่องยนต์ทดสอบที่สภาวะคงตัว (Steady State Test) โดยใช้ข้อเสนอของ Khan พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดควันดำที่สามารถวัดได้จากการทดสอบคือ ความเร็วรอบ,แรงบิด และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง โดยที่อัตราส่วนการอัดตัวเท่ากับ 18.5 โดยได้ทำการหาสหสัมพันธ์ (Correlation) โดยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง ของกลุ่มข้อมูลการทดสอบ โดยประดิษฐ์โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณควันดำที่เกิดขึ้น แสดงไว้ที่ภาคผนวก ง จากโปรแกรมดังกล่าวสามารถหาความสัมพันธ์ของควันดำได้ ดังสมการที่ 4.1

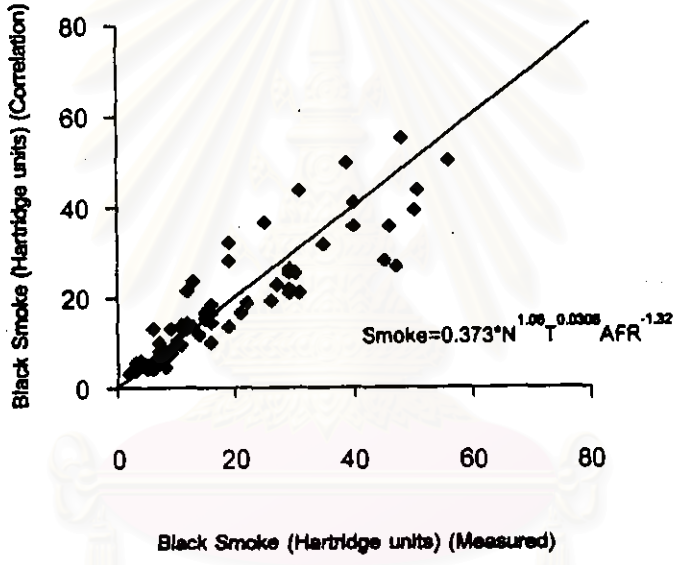
$$\text{Smoke Opacity (Hartridge units)} = 0.373N^{1.06}T^{0.0308}AFR^{-1.32} \qquad (4.1)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

T คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ (N.m)

AFR คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

โดยนำความสัมพันธ์ของการหาสหพันธ์ที่ได้จากการแทนค่าตัวแปรลงไปในสมการที่ 4.1 เพื่อทำนายค่าควันดำที่เกิดขึ้น และนำมาพล็อตกับค่าของควันดำที่วัดได้จริง ที่ตัวแปรเดียวกันดังแสดงไว้ที่รูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดง Exhaust Smoke correlation

จากรูปที่ 4.6 เห็นได้ว่าสมการที่ใช้ในการทำนายค่าควันดำ สามารถทำนายได้ดีในช่วงการทำงานที่กว้าง โดยได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกลุ่มข้อมูลดังกล่าวเท่ากับ 6.97 ซึ่งสมการที่ใช้ในการทำนายการเกิดควันดำนี้จะเหมาะสำหรับเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จดีเซลอีซูซุ รุ่น 4JA1L เท่านั้น