

บทที่ 6

แบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษจากรถยนต์

จากข้อมูลในบทก่อนหน้านี้เป็นข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ด้วย Engine Dynamometer ตลอดจนช่วงการทำงาน ซึ่งเมื่อนำมาใช้งานจริงในรถยนต์ การที่จะพิจารณาสรุปว่าเครื่องยนต์นั้น ๆ เหมาะสมที่จะใช้กับรถยนต์หรือไม่ นิยมทำการทดสอบการขับขึ้นบนถนนจริง หรือทำการทดสอบบน Chassis Dynamometer ด้วยสภาวะการขับขึ้นมาตรฐาน (Driving Pattern) ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง การวิเคราะห์แบบจำลองจึงมีความจำเป็นและเป็นแนวทางเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับรถยนต์รุ่นหนึ่งรุ่นใด เมื่อขับตาม Driving Pattern ที่ต้องการได้

6.1 แนวคิดในการสร้างแบบจำลอง

การจำลองค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษของเครื่องยนต์ เริ่มจากนำรูปแบบการขับขึ้น (driving pattern) ซึ่งเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ของความเร็วรถยนต์กับเวลา มาแปลงเป็นค่าระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่จุดของเวลาต่าง ๆ ตามรูปแบบการขับขึ้นที่กำหนด (โดยแบ่งช่วงของจุดเวลาถูกออกเป็นช่วง ๆ ที่มีระยะห่างช่วงละ 1 วินาที) จากค่าแรงบิดและความเร็วรอบดังกล่าวเมื่อนำมาคำนวณเทียบกับข้อมูล Engine Maps. เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษที่เกิดขึ้นของแต่ละช่วงเวลามารวมกัน ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการขับขึ้นก็สามารถทำนายการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษโดยรวมที่เกิดจากเครื่องยนต์เสมือนหนึ่งว่าเครื่องยนต์ที่ถูกพัฒนานั้นติดตั้งอยู่กับรถยนต์ทดสอบ วิธีนี้จึงจัดว่าช่วยร่นเวลาในการพัฒนาและตัดสินใจเลือกใช้เครื่องยนต์กับยานพาหนะ

6.2 รูปแบบการขับขึ้น (Driving pattern)

รูปแบบการขับขึ้นเป็นรูปแบบที่จำลองมาจากข้อมูลทางสถิติการขับขึ้นความเร็วรถยนต์ ซึ่งให้ครอบคลุมพื้นที่และเส้นทางส่วนใหญ่ที่สนใจและนำมาจัดเก็บในรูปแบบเสมือนหรือ driving

pattern ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของโหมดความถี่ของสภาพจราจรในพื้นที่นั้น ๆ driving pattern จะเป็นรูปแบบจำลองที่แสดงการเคลื่อนที่ตามโหมดเฉลี่ยของรถยนต์ในพื้นที่นั้น ๆ ว่ารถยนต์จะวิ่งที่ความเร็วเท่าไร มีการเร่งการหน่วงเป็นอย่างไร อาจถือได้ว่าเป็นรูปแบบจำลองโดยสรุปของสภาพการจราจรแต่ละพื้นที่นั้น ๆ

ประเทศไทยยังไม่เคยมีการศึกษาอย่างจริงจังถึงรูปแบบการขับขี่ของภูมิภาคต่าง ๆ อาทิ สภาพการจราจรในประเทศหรือในกรุงเทพมหานคร มาตรฐานที่สมอ.กำหนดจึงใช้รูปแบบการขับขี่ที่มีรูปแบบเช่นเดียวกับ ECE ดังรูปที่ 6.1 เป็นรูปแบบการขับขี่มาตรฐานสำหรับใช้ทดสอบมลพิษของรถยนต์ใหม่ที่ผลิตออกมาจำหน่ายในประเทศไทย

6.3 แนวทางการสร้างแบบจำลอง (Model Methodology)

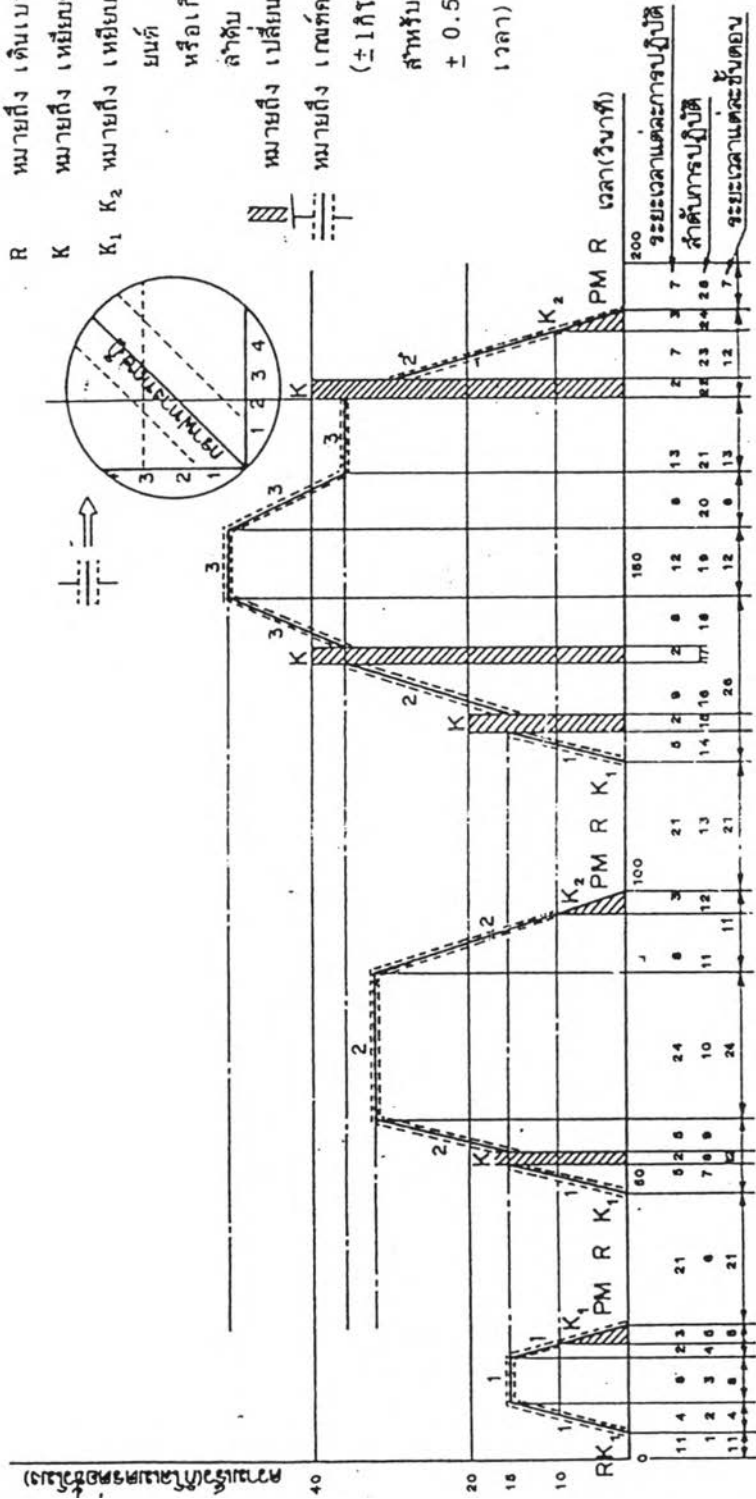
แสดงให้เห็นภาพรวมและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง ผังงานของแบบจำลองช่วยทำให้เห็นภาพทั้งหมดตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในแบบจำลอง สมมติฐานข้อมูลเบื้องต้นในการจำลอง รวมถึงทฤษฎีที่ใช้ในการจำลอง ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ตลอดจนสรุปข้อดีข้อเสียในแบบจำลอง

6.3.1 ผังงานของแบบจำลอง

แบบจำลองการสิ้นเปลืองและมลพิษของเครื่องยนต์ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนการจำลองเริ่มต้นจากการนำข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ collara มาคำนวณ ค่าความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องยนต์ที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาแล้วไปเปรียบเทียบกับ Engine Maps หาความถี่ของความหนาแน่นที่เป็นไปได้ (Probability Density Frequency) เพื่อหาตัวแทนกลุ่มข้อมูลและจำนวนข้อมูลในกลุ่มเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและความเข้มข้นของมลพิษต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นจนจบการขับขี่ ค่าที่ได้จะแสดงปริมาณโดยรวมของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณโดยรวมของมลพิษแต่ละตัว คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ผังแบบจำลองแสดงในรูปที่ 6.2

คำอธิบาย

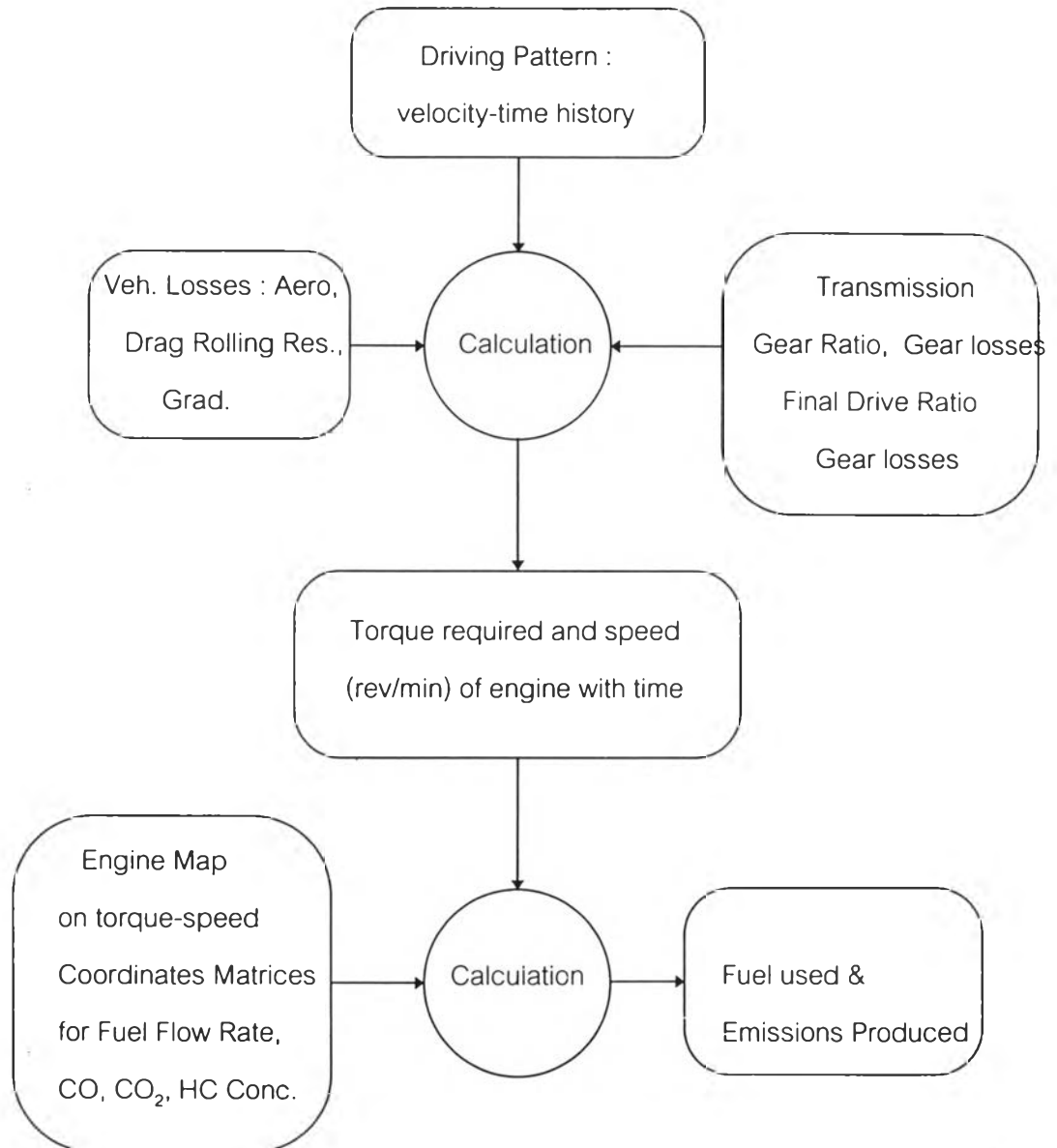
- 1 หมายถึง เข้าเกียร์หนึ่ง
- 2 หมายถึง เข้าเกียร์สอง
- 3 หมายถึง เข้าเกียร์สาม
- PM หมายถึง เกียร์ว่าง
- R หมายถึง เด็มเบร่า
- K หมายถึง เข็มเบร่าคลัตช์
- K₁ K₂ หมายถึง เข็มเบร่าคลัตช์ เครื่องยนต์ อยู่ในเกียร์หนึ่ง หรือเกียร์สอง ตามลำดับ
- หมายถึง เปลี่ยนเกียร์
- หมายถึง เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (± 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความเร็ว และ ± 0.5 วินาที สำหรับ เวลา)



รูปที่ 6.1 รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ECE สำหรับทดสอบมลพิษจากรถยนต์ใหม่ที่ผลิตออกมาจำหน่ายในประเทศไทย

6.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง

แบบจำลองนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใช้โปรแกรม Mathcad ช่วยในการคำนวณ



รูปที่ 6.2 แสดงผังของแบบจำลองการสันดาปเชื้อเพลิงและมลภาวะของรถยนต์โดยสังเขป

6.3.3 สมมติฐานของแบบจำลอง

6.3.3.1 เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงที่ (Steady State test) ทำให้ไม่ต้องคิด Inertia ของชิ้นส่วนต่าง ๆ และไม่คิดผลจาก transient ของการทำงานของเครื่องยนต์

6.3.3.2 แบ่งรูปแบบการขับที่แบ่งเป็นช่วงเวลา ช่วงละเท่า ๆ กันช่วงละ 1 วินาที และความเร่งที่ช่วงเวลา "T" ใดๆ คือ ผลต่างของความเร็วที่เวลา "T + 1" กับความเร็วของรถยนต์ที่ช่วงเวลา "T - 1" ต่อช่วงเวลาของความเร็วจึงสอง

6.3.3.3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่รถยนต์หยุดนิ่ง นั้นรอบเครื่องยนต์เป็นรอบเดินเบา

6.3.3.4 ขณะเปลี่ยนเกียร์ ให้ถือว่าความเร็วรอบเท่ากับความเร็วรอบที่ช่วงเวลาก่อนการเปลี่ยนเกียร์

6.3.4 ขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในแบบจำลอง

6.3.4.1 คำนวณค่าแรงขับที่รถยนต์ต้องการขณะขับที่เคลื่อนด้วยความเร็วตามแบบจำลองการขับที่มาตรฐาน ECE-15 ที่เวลาใดๆ

6.3.4.2 คำนวณค่าแรงบิดและความเร็วรอบที่ต้องการจากเครื่องยนต์ที่เวลานั้นโดยใช้ค่าแรงขับเคลื่อนรถยนต์ ค่าความเร็วรถยนต์และค่าคงที่อื่นๆ ชุดสมการที่ใช้แสดงในภาคผนวก และผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 6.1

6.3.4.3 วิเคราะห์หาความถี่ที่เป็นไปได้ของกลุ่มข้อมูลโดยการแบ่งช่วงในกราฟของแรงบิดและความเร็วรอบ เครื่องยนต์ที่ได้จากข้อมูลรูปแบบการขับเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลและหาค่าของจุดตัวแทนใน Performance และ Emission maps แล้วสรุปผลออกมาในรูปแบบภูมิความถี่ดังแสดงในรูปที่ 6.3 และตารางที่ 6.2

6.3.4.4 คำนวณค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่ามลพิษที่เกิดขึ้นตลอดการขับที่ใน Driving Pattern โดยปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษของรถยนต์ที่ผลิตออกมา

วิเคราะห์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณค่าตัวแทนข้อมูลและจำนวนความถี่ที่เป็นไปได้ในกลุ่มข้อมูลโดยใช้วิธีประมาณค่าระหว่างช่วงด้วยส่วนโค้ง (Cubic Spine) ในหน่วย l/s และ g/s ตามลำดับ

6.4 การวิเคราะห์และแปลงค่าความสัมพันธ์ของความเร็วรถยนต์กับเวลาเป็นแรงบิดกับความเร็วรอบที่ต้องการจากเครื่องยนต์

ตารางในการเปลี่ยนจากรูปแบบการขับซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วรถยนต์กับเวลาตาม ECE-15 มาเป็นแรงบิดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์นั้นวิเคราะห์ด้วยสมมติฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของรถยนต์ Toyota Collora ดังนี้

CD (Vehicle drag coefficient)		0.33
air density		1.1766 Kg/m ³
ยางรถยนต์ใช้ขนาด (185/65H)		0.292 m
พื้นที่หน้าตัดรถยนต์		1.94 m ²
น้ำหนักรถยนต์		1120 Kg
สปส.ความต้านทานการหมุน a		0.008844
	b	1.37*10 ⁻⁵
อัตราทดเกียร์ (gear ratio)	1 st	3.166
	2 nd	1.904
	3 rd	1.31
	4 th	0.969
	5 th	0.815
อัตราทดเฟืองท้าย (rare gear ratio)		4.058
ประสิทธิภาพของชุดเกียร์		0.95

ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงสรุปไว้ในตารางที่ 6.1

แรงบิดและความเร็วรอบที่แสดงในตารางที่ 6.1 ได้จากการวิเคราะห์ด้วยชุดสมการแสดงไว้ในภาคผนวก ง ค่าความเร็วรอบและแรงบิดเครื่องยนต์ได้ถูกนำมาหาความสัมพันธ์โดยการ สร้างแผนภูมิดังรูปที่ 6.3 เพื่อวิเคราะห์หาความถี่ของความหนาแน่นที่เป็นไปได้ (Probability Density Frequency ; PDF) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงความถี่ของความหนาแน่นเป็นไปได้อย่างข้อมูลจาก driving pattern ECE-15 (N=195, $T_{max}=147$ N.m $\{T\}=T/T_{max}$ = normalized torque)

rev/min {T}	900	1200	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500
0.05	0.359	0.026	0.01	0.015	0.154	0.021	0.015	0.138	0.072
0.15	0.015				0.021				0.015
0.25	0.015	0.01	0.015	0.015	0.005	0.01	0.005	0.01	
0.35			0.005	0.005	0.01	0.005	0.005	0.01	
0.45						0.005	0.005		

ค่าในตารางแสดงให้เห็นว่าในการขับเคลื่อนรถยนต์ตามรูปแบบการขับที่มาตรฐาน ECE-15 นั้นกว่า 35 % ของการขับที่ตลอดช่วง เครื่องยนต์จะทำงานที่ $\{T\} \approx 0.05$ ด้วยความเร็วรอบ 900 rev/min หรือ Idle นั่นเอง

6.5 ผลของแบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษจากรถยนต์

เมื่อนำค่าสภาวะการทำงานตามตารางที่ 6.2 ไปเปรียบเทียบกับจุดทำงานต่าง ๆ บน Engine Maps ในบทก่อนหน้านี้ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและความเข้มข้นของมลพิษรวม สามารถหาได้จากการนำอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและความเข้มข้นของมลพิษ ณ จุดต่างๆ คูณด้วยความถี่ของความหนาแน่นเป็นไปได้ใน ตารางที่ 6.3 และคูณกับเวลาทั้งหมดของ driving pattern (N=195) แต่ละค่าทั้ง 28 ค่า แล้วนำค่าที่ได้มารวมกัน ค่าที่ได้จะแสดงปริมาณโดยรวมของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณโดยรวมของมลภาวะโดยรวมแต่ละตัว คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าการคำนวณตามแบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์ 1 รอบการทำงาน (cycle) ตาม ECE-15

ต่อ 1 cycle (~ 1 km)	OEM ENGINE			OPTIMUM ENGINE					
	RON 98	RON 97	RON 92	RON 98 & %dif.		RON 97 & %dif.		RON 92 & %dif.	
fuel :lite	154.183	155.415	169.757	126.625	-17.87	152.294	-2	147.913	-12.86
CO :g	1.225	1.436	147.73	0.895	-26.93	0.83	-42.2	1.612	9.4
CO2 :g	45.285	45.375	49.7	45.164	-0.27	46.037	1.45	42.749	-13.98
HC :mg	15.318	13.14	17.764	27.744	81.1	31.23	137.67	27.523	54.94

6.6 สรุปและอภิปรายผลการจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์

การจำลองนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกเครื่องยนต์ที่เหมาะสมกับรถชนิดรุ่นหนึ่งรุ่นใด เมื่อขับตาม driving pattern ECE-15 ที่กำหนดด้วยข้อมูลของ engine map จากการทดสอบ Steady State ของเครื่องยนต์ 4A-FE และข้อมูลจำเพาะรถชนิดรุ่น collora แนวทางการจำลองกล่าวโดยละเอียดข้างต้นและผลการจำลองที่แสดงในตารางที่ 6.3 ส่วนผลการจำลองการนำ optimum economy performance engine สามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ประมาณ 2-17% พร้อมกับมีแนวโน้มสามารถลดปริมาณ CO ได้ประมาณกว่า 40%

แม้ว่าโดยค่า HC มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากว่าเมื่อเครื่องยนต์มีส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิงบางชิ้นนั้นโอกาสที่จะเกิด misfire ในบาง cycle จึงสูงขึ้น