

การศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินด้วยสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์

ศิริพงษ์ แสงสารพันธ์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2560

THE STUDY OF PETROL ENGINE OPERATION USING ACOUSTIC EMISSION SIGNAL

Siripong Sangsarpan

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2017

ศิริพงษ์ แสงสารพันธ์ : การศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินด้วยสัญญาณ
อคูสติกอิมิชชัน. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์,
53 หน้า.

การตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์เบนซินมีการใช้หัววัดการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบสภาพ
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้มักจะถูกรบกวนด้วยคลื่นความถี่ต่ำ (<1000 Hz) ในช่วงการ
ทำงานของชิ้นส่วนและกลไกต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล การประยุกต์ใช้สัญญาณอคูสติกอิมิชชัน
สามารถช่วยทำให้เห็นกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินได้ชัดเจนขึ้น การศึกษานี้จะใช้
หัววัดอคูสติกอิมิชชันเพื่อตรวจสอบการทำงานของกลไกที่สำคัญของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน Suzuki 4
จังหวะ 4 สูบ 16 วาล์ว 1600 CC เช่น การทำงานของวาล์วไอดีและไอเสีย ที่เงื่อนไขการทำงานต่าง
ๆ เช่น เครื่องยนต์ทำงานปกติ ระยะห่างของวาล์วไอดีและไอเสียผิดปกติ และการทำงานของหัวฉีด
ผิดปกติ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานแบบไม่มีภาระ และมีภาระ 10 Nm และ 20 Nm ผลการศึกษาพบว่า
การใช้สัญญาณอคูสติกอิมิชชันสามารถใช้ตรวจสอบกระบวนการทำงานที่สำคัญของเครื่องยนต์และยัง
สามารถใช้ทำนายเงื่อนไขการทำงานของเครื่องยนต์ที่ทำงานปกติ และทำงานผิดปกติที่เงื่อนไขการ
จำลองต่าง ๆ ได้ดีกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

SIRIPONG SANGSARPAN : THE STUDY OF PETROL ENGINE OPERATION
USING ACOUSTIC EMISSION SIGNAL. ADVISOR : ASST. PROF. DR. PRONCHAI
NIVESRANGSAN, 53 PP.

A petrol engine condition monitoring uses an accelerometer to monitor engine. Typically, detected vibration signal is included considerable noise (<1000 Hz) that related to moving parts and mechanisms of rotating machine. The use of acoustic emission signal can help to clearly identify various processes in the petrol engine cycle. This study was used acoustic emission sensor to investigate mechanisms of 4-stroke, 4-cylinder, Suzuki petrol engine with capacity of 1600 cc such as the operation of intake and exhaust valves, clearance intake and exhaust valve faults and injector faults when engine was running with no load and load of 10 and 20 Nm. It is found that acoustic emission signal can be used to monitor engine operations and also can be used to predict various simulated engine conditions of normal and abnormal engines with better result than vibration signal.

Graduate School

Field of Engineering of Thechnogy

Academic Year 2017

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

Co-Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นสำหรับชุดทดลองเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณอาจารย์วชิรวิทย์ สงสุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับระบบการเก็บสัญญาณ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์ รังสรรค์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ดร. เสถียรพงศ์ หุยนันท์ ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราคม เนติน้อย และ ดร.วัชรินทร์ หนูทอง (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

และสุดท้ายขอขอบพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา มา ณ โอกาสนี้

ศิริพงษ์ แสงสารพันธ์

TNI

THAI - JAPAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	13
1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย	13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
2.1 เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ.....	14
2.2 การตรวจสอบสภาพของเครื่องยนต์	19
2.3 Acoustic Emission	20
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณ.....	20
3 วิธีการดำเนินงาน	25
3.1 กระบวนการทดลอง	25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	30

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัย	34
	4.1 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติ	34
	4.2 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติภายใต้ภาระต่าง ๆ	37
	4.3 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติไม่มีภาระที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	39
	4.4 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของวาล์วไอดี	40
	4.5 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของวาล์วไอเสีย	42
	4.6 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของหัวฉีด	44
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	47
	5.1 สรุปผลการวิจัย	47
	5.2 ข้อเสนอแนะ	48
	บรรณานุกรม	51
	ประวัติย่อผู้วิจัย	53

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมการสำหรับวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ.....	21
2.2 สมการสำหรับวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ.....	22
4.1 การเปิด-ปิดของวาล์วไอดีและไอเสีย	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน
2.2	หัวฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์.....
2.3	ลิ้นไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์
2.4	กลไกของวาล์ว
2.5	ลักษณะของวาล์วแต่ละประเภท.....
2.6	กราฟสัญญาณเสียงด้วยการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนมุมเพลลาข้อเหวี่ยงและความถี่.....
3.1	เครื่องยนต์ที่มีการติดตั้งกับชุดไดนาโมมิเตอร์
3.2	ภาพตัดขวางของหัววัดคูสติโกมิสชัน.....
3.3	ตำแหน่งติดตั้งหัววัดคูสติโกมิสชันที่เครื่องยนต์ทดสอบ.....
3.4	Encoder
3.5	ชุดปรับปรุงสัญญาณ
3.6	อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data acquisition card, DAC)
3.7	คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม
3.8	แผนผังการทดลอง
3.9	ตัวอย่างขณะบันทึกข้อมูลขณะทำการทดลอง
3.10	ตัวต้านทานที่ถูกต่อเพิ่มเข้าไปกับหัวฉีด
4.1	ตัวอย่างสัญญาณคูสติโกมิสชัน และสัญญาณจาก Encoder จากเครื่องยนต์เบนซิน ขณะทำงานปกติไม่มีภาระที่ 2000 rpm
4.2	Timing Diagram ของวาล์วไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์ทดสอบ
4.3	สัญญาณคูสติโกมิสชันบนโดเมนเวลาที่สภาวะปกติเทียบกับ Timing Diagram ของวาล์ว
4.4	ตัวอย่างสัญญาณคูสติโกมิสชันเมื่อเครื่องยนต์ทำงานปกติแบบไม่มีภาระและภายใต้ ภาระต่างๆที่ 1500 rpm.....
4.5	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่และความถี่เบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเหตุการณ์ จังหวะการปิดของวาล์วไอดีสูบที่สาม ที่เงื่อนไขการจำลองต่างๆ.....
4.6	ตัวอย่างสัญญาณ คูสติโกมิสชัน ของเครื่องยนต์ทำงานปกติแบบไม่มีภาระที่ความเร็ว รอบต่างๆ

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความโค้งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ปกติที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	40
4.9 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่เงื่อนไขวาล์วไอดีปกติและผิดปกติที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 2000 rpm	41
4.10 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความโค้งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่เงื่อนไขวาล์วไอดีปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ.....	42
4.11 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่เงื่อนไขวาล์วไอดีเสียปกติและผิดปกติที่เครื่องยนต์ ทำงานด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm	43
4.13 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่สภาวะปกติและจำลองความผิดปกติที่หัวฉีดขณะ เครื่องยนต์ทำงานที่ 2000 rpm.....	45
4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความโค้งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่เงื่อนไขหัวฉีดปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรถยนต์ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพขึ้นอย่างมาก ซึ่งชิ้นส่วนและกลไกของเครื่องยนต์ก็ได้ออกแบบให้มีความซับซ้อนมากขึ้น การทำงานของเครื่องยนต์บางครั้งอาจเกิดปัญหาแล้วไม่สามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ทันทีหรือทำการวิเคราะห์ผิดพลาดเนื่องจากความซับซ้อนของชิ้นส่วนและกลไกของเครื่องยนต์ ซึ่งบางครั้งทำให้ไม่สามารถทำการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาได้ตรงจุดอย่างทันทีทันใด อันเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอเพิ่มเติมในจุดที่ไม่ได้รับการแก้ไข การทำงานของเครื่องยนต์โดยปกติจะก่อให้เกิดการสึกหรอในทุกกระบวนการ และการสึกหรอของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามการใช้งานและระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์มีการทำงานผิดปกติหากไม่ได้รับการซ่อมแซมก็อาจก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงขึ้น

ปัจจุบันการป้องกันปัญหาที่เกิดจากเครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ คือการนำรถเข้าศูนย์บริการและทำการเปลี่ยนอะไหล่ตามตารางการซ่อมบำรุง ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมการใช้งานของผู้ใช้รถที่ใช้งานแตกต่างกัน บางกรณีที่ใช้รถใช้งานอย่างหนักหน่วง เครื่องยนต์อาจเกิดการสึกหรอที่เกิดขึ้นมากกว่าปกติ และอาจก่อให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติได้ การตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอ นั้น สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการพังได้ แต่สำหรับผู้ใช้งานทั่วไปนั้นการตรวจสอบเครื่องยนต์อย่างละเอียดนั้นเป็นไปได้ยากลำบาก การตรวจสอบสภาพของเครื่องยนต์มีหลายวิธี วิธีแรกเป็นวิธีที่ใช้ประสาทสัมผัสและประสบการณ์ของผู้ประเมินเช่น การสัมผัสหรือฟังเสียงจากเครื่องยนต์ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่างที่มีความชำนาญสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาการทำงานของเครื่องยนต์แบบหนึ่งที่ใช้กันมาอย่างยาวนาน วิธีการนี้จะอาศัยความสามารถเฉพาะและประสบการณ์ของช่างเท่านั้น วิธีตรวจสอบการทำงานอีกแบบหนึ่งที่มีการแพร่หลายในปัจจุบันคือการใช้ On Board Diagnostics (OBD) ซึ่งเป็นวิธีที่ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากจุดต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ วิธีการนี้จำเป็นต้องทำด้วยช่างผู้ชำนาญและมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากราคาของเครื่องมือที่ใช้นั้นมีราคาสูง การตรวจสอบด้วย OBD นั้นก็มีข้อจำกัดหลายประการเช่นกัน เช่น รถรุ่นเก่าอาจไม่สามารถตรวจสอบด้วยวิธีนี้ได้ หรือ การตรวจสอบที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกลไกและชิ้นส่วนเคลื่อนที่ในเครื่องยนต์ไม่สามารถใช้ OBD ตรวจสอบได้

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์มีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยใช้หัววัดต่าง ๆ เพื่อนำมาเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เพื่อประเมินสภาพการทำงานของเครื่องยนต์รวมถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ งานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้หัววัดประเภทต่าง ๆ เช่น หัววัดความดัน หัววัด

อุณหภูมิจัดการสันสะเทือน ไมโครโฟน หัววัดคูลติกอิมิชชัน เป็นต้น หัววัดแต่ละประเภทก็จะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไป แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้หัววัดการสันสะเทือนและหัววัดคูลติกอิมิชชันเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลอื่น ๆ เนื่องจากการติดตั้งทำได้สะดวกและง่ายโดยติดตั้งบนผิวของเครื่องจักรกลซึ่งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใด ๆ บนเครื่องจักร การศึกษานี้จะใช้สัญญาณคูลติกอิมิชชันที่ตรวจวัดจากหัววัดคูลติกอิมิชชันเพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ สัญญาณที่บันทึกได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลา และเทคนิคบนโดเมนความถี่ เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมต่อการประเมินสภาพเครื่องยนต์

การศึกษานี้จะใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ยี่ห้อซูซูกิ 4 จังหวะ 4 สูบ 16 วาล์ว ขนาดความจุ 1600 ซีซี และใช้หัววัดคูลติกอิมิชชันบันทึกสัญญาณจากเครื่องยนต์พร้อมด้วยสัญญาณความเร็วรอบและตำแหน่งศูนย์ตายบนด้วยระบบเก็บข้อมูลที่ใช้โปรแกรม LabVIEW แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์เบนซินด้วยสัญญาณคูลติกอิมิชชัน
- 1.2.2 ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยสัญญาณคูลติกอิมิชชัน
- 1.2.3 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สัญญาณคูลติกอิมิชชัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย

ขอบเขตของการงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังนี้

- 1.3.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เบนซินซูซูกิ 4 สูบ 4 จังหวะ 16 วาล์ว ความจุ 1600 ซีซี ต่อกับชุดไดนาโมมิเตอร์
- 1.3.2 เงื่อนไขการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ประกอบด้วย เครื่องยนต์ทำงานปกติ ความต้านทานที่คอยล์หัวฉีดเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐาน และระยะห่างของวาล์วไอดีและไอเสียผิดปกติ ซึ่งแต่ละเงื่อนไขจะจำลองที่ความเร็วรอบ และภาระต่าง ๆ
- 1.3.3 การวิเคราะห์สัญญาณจะใช้วิธีวิเคราะห์บนโดเมนเวลาและโดเมนมุมเพลาคือ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถจำแนกกระบวนการที่เกิดขึ้นของเครื่องยนต์จากสัญญาณคูลติกอิมิชชัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ

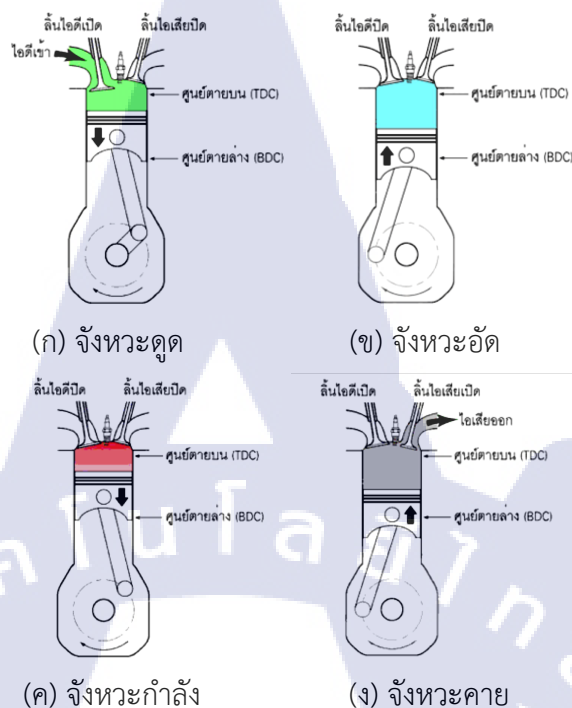
รถยนต์ที่ใช้ในทุกวันนี้เกือบทั้งหมดใช้เครื่องยนต์ที่เป็นแบบสันดาปภายใน 4 จังหวะ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีการทำงานที่เรียบง่าย ความทนทานที่ดี บำรุงรักษาง่าย และมีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อเครื่องยนต์ทำงานการจุดระเบิดของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศจะเกิดขึ้นในกระบอกสูบขณะลูกสูบเคลื่อนที่เข้าใกล้ศูนย์ตายบน การเผาไหม้นี้จะทำให้เกิดแรงดันลูกสูบ ซึ่งทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุนตามทำให้กลไกต่าง ๆ ทำงานและเกิดกระบวนการทางกลและทางของไหลต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ กระบวนการเหล่านี้จะเกิดซ้ำเป็นวัฏจักรต่อเนื่องโดยมีหลักการทำงานดังนี้

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ

วัฏจักรของเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะนั้น จะมีการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง 2 รอบ และลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงจนสุด 2 ครั้ง ซึ่งในการเคลื่อนที่ลงของลูกสูบจะนับเป็น จังหวะที่ 1 และเคลื่อนที่ขึ้นจะนับเป็นจังหวะที่ 2 และจะนับวนไปจนครบ 4 จังหวะ และจะทำการนับวนต่อไปเรื่อย ๆ โดยทั่วไปจะเรียกจุดที่ลูกสูบอยู่ต่ำที่สุดว่า จุดศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center หรือ BDC) และ จุดที่ลูกสูบอยู่สูงที่สุดจะเรียกว่า จุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center หรือ TDC) ในแต่ละจังหวะของเครื่องยนต์จะมีการทำงานดังต่อไปนี้

- จังหวะดูด (Suction Stroke) เป็นจังหวะที่ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด ดังรูปที่ 2.1(ก) ไอดี (อากาศผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง) และลูกสูบจะเคลื่อนที่จาก TDC ลงไปยัง BDC ซึ่งจังหวะนี้จะเป็นการเตรียมส่วนผสมที่จะจุดระเบิดให้ห้องเผาไหม้

- จังหวะอัด (Compression Stroke) จังหวะนี้ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดทั้งคู่ ดังรูปที่ 2.1 (ข) ลูกสูบจะเคลื่อนที่จาก BDC ขึ้นสู่ TDC จังหวะนี้ไอดีจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรลดลง ทำให้เกิดความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อเตรียมพร้อมจุดระเบิด



รูปที่ 2.1 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน [1]

- จังหวะกำลัง (Power Stroke) จังหวะนี้ไอดีที่ถูกอัดด้วยลูกสูบที่เคลื่อนที่ขึ้นสู่ TDC จะจุดระเบิดโดยหัวเทียนที่อยู่ภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.1(ค) และส่วนผสมทั้งหมดจะถูกเผาไหม้และขยายตัวอย่างรุนแรงดันลูกสูบลงสู่ BDC และหมุนเพลาค้อเหวี่ยง

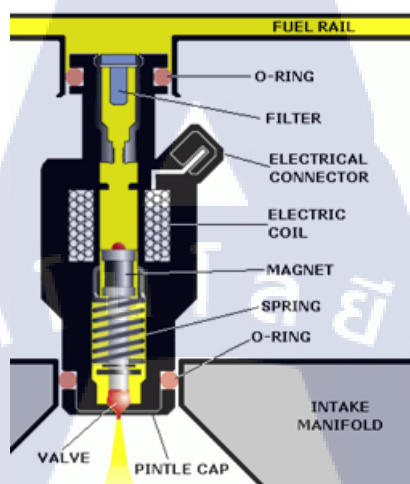
- จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ลิ้นไอเสียจะถูกเปิดออก ลูกสูบจะเคลื่อนที่จาก BDC ขึ้นสู่ TDC เพื่อดันแก๊สไอเสียที่ออกไปจากกระบอกสูบ ดังรูปที่ 2.1(ง) และ ลิ้นไอเสียจะปิดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึง TDC ส่วนลิ้นไอดีจะเริ่มเปิดอีกครั้งในจังหวะดูดของวัฏจักรต่อไป

จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน และจังหวะคาย การทำงานของเครื่องยนต์ทั้ง 4 จังหวะจะเกิดขึ้นจากการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง 2 รอบ ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 2 ครั้ง เครื่องยนต์ได้งาน 1 ครั้ง หรือที่เรียกว่า 1 วัฏจักรการทำงาน

2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หัวฉีด คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อผสมกับอากาศในท่อไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้ หลักการทำงานของหัวฉีดคือ เชื้อเพลิงจะถูกปั๊มให้มีความดันที่สูงขึ้น และน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเมื่อมีการจ่ายไฟให้หัวฉีดทำงาน

หัวฉีดดังรูปที่ 2.2 ทำงานด้วยขดลวดไฟฟ้าที่อยู่ภายใน เมื่อถึงจังหวะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง กล้องควบคุมจะสั่งให้กระแสไฟครบวงจรจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ยกเข็มหัวฉีดขึ้น ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงฉีดออกจากหัวฉีดเป็นฝอยละออง [2-5]



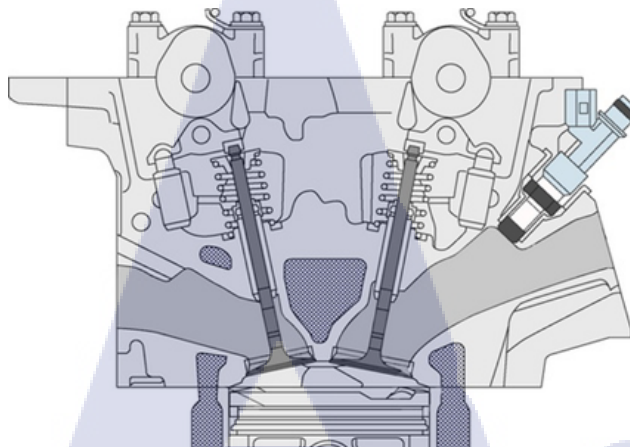
รูปที่ 2.2 หัวฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ [3]

2.1.3 ลิ้นหรือวาล์ว (Valve)

ลิ้นหรือวาล์ว (Valve) มีหน้าที่ในการเปิดหรือปิดห้องเผาไหม้ เพื่อควบคุมให้อากาศไหลเข้าหรือไหลออกจากห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 2.3

เครื่องยนต์จะมีลิ้นอยู่ 2 ชนิดคือ ลิ้นไอดีซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปิด-ปิดเพื่อให้อากาศและเชื้อเพลิงไหลเข้าสู่กระบอกสูบ ลิ้นไอเสียทำหน้าที่ในการเปิด-ปิดฝั่งไอเสียเพื่อระบายไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้แล้ว

โดยปกติการเปิดปิดของลิ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับเพลาลูกเบี้ยว (Camshaft) ซึ่งจะต่อสายพานหรือโซ่มาจากเพลาค้อเหวี่ยง ส่วนของเพลาลูกเบี้ยวนี้จะถูกออกแบบให้มีช่วงการเปิดและปิดให้ไอดีและไอเสียของแต่ละกระบอกสูบทำงานที่ตำแหน่งแตกต่างกันให้ครบตามวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.3 ลิ้นไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์ [6]

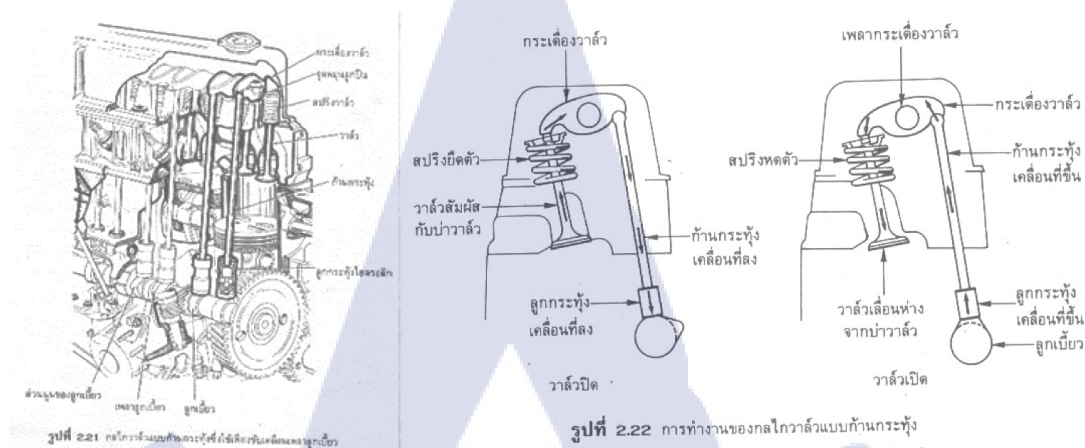
2.1.4 การทำงานของกลไกวาล์ว

การทำงานของวาล์วเครื่องยนต์เบนซินแบบ 4 จังหวะ จะมีกลไกที่ใช้ในการเปิด-ปิดวาล์ว คือ วาล์วและสปริง ซึ่งขั้นตอนการเปิดนั้นจะถูกควบคุมด้วยเฟลา ลูกเบี้ยว และขั้นตอนปิดจะถูกกดด้วยแรงสปริง ส่วนของสปริงที่ใช้ในการกดวาล์วในเครื่องยนต์แต่ละรุ่นจะมีลักษณะที่เหมือนกัน แต่ตำแหน่งของการเปิดปิดวาล์วนั้นจะขึ้นอยู่กับบริษัทรถยนต์นั้น ๆ [6]

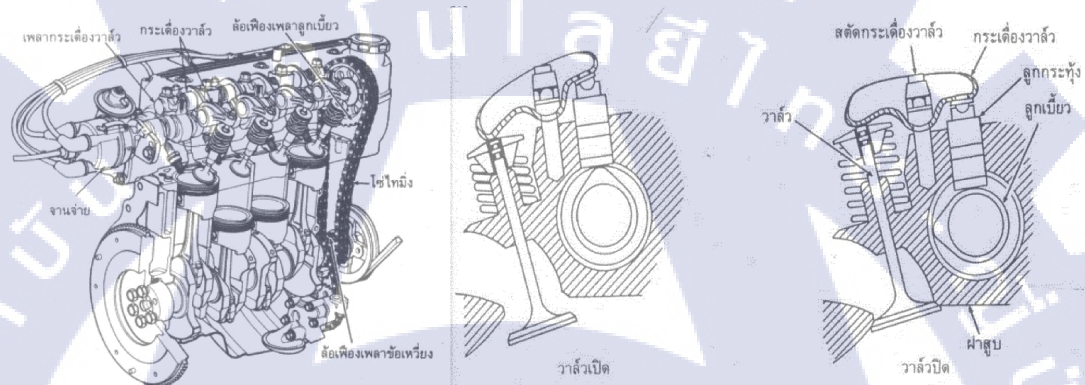
เฟลา ลูกเบี้ยวสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ

- ตำแหน่งที่อยู่ของลูกเบี้ยว เช่น Overhead valve (OHV) ซึ่งจะมีเฟลา ลูกเบี้ยวอยู่เหนือชุดวาล์ว ดังรูปที่ 2.4(ก) และ Overhead camshaft (OHC) ระบบนี้จะมีชุดวาล์วอยู่เหนือลูกสูบและกดวาล์วด้วยเฟลา ลูกเบี้ยวที่อยู่เหนือวาล์วโดยตรง ดังรูปที่ 2.4(ข) และ 2.5(ก)

- จำนวนชุดของเฟลา ลูกเบี้ยวขึ้นอยู่กับชนิดเครื่องยนต์มีอยู่หลายแบบ เช่น Single overhead camshaft (SOHC) จะมีเฟลา ลูกเบี้ยวชุดเดียวในเครื่องยนต์ดังรูปที่ 2.5(ข) และ Double overhead camshaft (DOHC) จะมีเฟลา ลูกเบี้ยวสองชุดในเครื่องยนต์ซึ่งเฟลา ในแต่ละชุดจะแยกกันควบคุมอย่างชัดเจนระหว่างส่วนของไอดีและไอเสีย ดังรูปที่ 2.5(ค) เราอาจจะคุ้นเคยในอีกชื่อหนึ่งคือ ชื่อ Twin camshaft

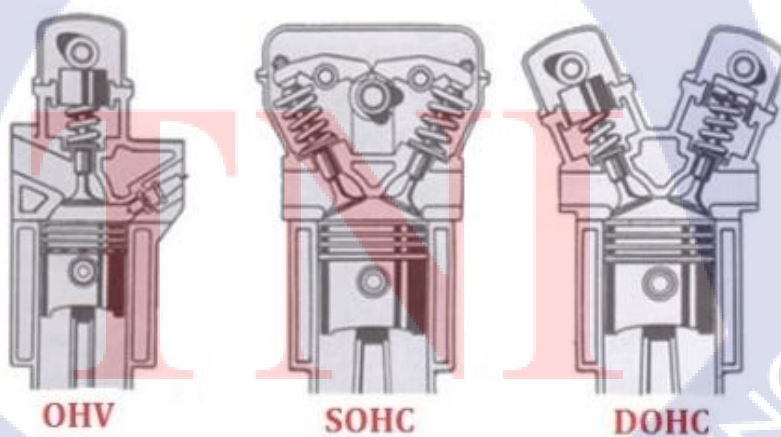


(ก) การทำงานของกลไกวาล์วแบบก้านกระทุ้ง



(ข) การทำงานของกลไกวาล์วแบบลูกเบี้ยว

รูปที่ 2.4 กลไกของวาล์ว [4]



(ก) OHV

(ข) SOHC

(ค) DOHC

รูปที่ 2.5 ลักษณะของวาล์วแต่ละประเภท [4]

2.2 การตรวจสอบสภาพของเครื่องยนต์

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานจะเกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในกระบอกสูบซึ่งจะเกิดการเสียดสีกันตลอดเวลาจึงทำให้เกิดการสึกหรอขึ้น บริษัทผู้ผลิตรถยนต์จำเป็นต้องมีการแผนการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อยู่เป็นช่วงๆ เพื่อตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้น การตรวจสอบตามตารางนั้นบางครั้งก็ไม่สามารถบอกความผิดปกติของชิ้นส่วนเคลื่อนที่ในเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานและสภาพสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน การตรวจวัดความเสียหายด้วยช่างผู้เชี่ยวชาญเป็นประจำก็สามารถป้องกันความเสียหายรุนแรงที่เกิดขึ้นจริงได้ส่วนหนึ่งแต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง วิธีการตรวจสอบเครื่องยนต์สามารถทำได้อย่างรวดเร็วด้วยเครื่อง OBD แต่ก็มีข้อจำกัดด้านรุ่นของรถยนต์ที่ไม่ค่อยครอบคลุม และสามารถตรวจได้เฉพาะในอุปกรณ์ที่เป็นส่วนของอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น

งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์ได้มีการค้นหาวิธีการที่สามารถตรวจวัดความผิดปกติจากเครื่องยนต์ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันซึ่งทุกเทคนิคต้องมีข้อมูลของเครื่องยนต์ก่อนจึงจะสามารถประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้ การเก็บข้อมูลจากเครื่องยนต์มักนิยมใช้หัววัดประเภทต่าง ๆ เช่น หัววัดความดัน หัววัดอุณหภูมิ ไมโครโฟน หัววัดการสั่นสะเทือน หัววัดอนุภาคไอเสีย เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้หัววัดต่าง ๆ มีดังนี้

F. Gu et al. [2] และ A. D. Ball et al. [7] ได้ประยุกต์ใช้สัญญาณเสียงที่บันทึกจากไมโครโฟนเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ความจุ 2500 cc จากการศึกษาพบว่า กระบวนการการทำงานของเครื่องยนต์นั้นจะปรากฏความถี่ของเสียงช่วง 1kHz-20kHz ออกมาซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่เครื่องยนต์ได้

การประยุกต์ใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 1 สูบ ความจุกระบอกสูบ 125 cc ซึ่งเป็นเครื่องยนต์มอเตอร์ไซด์ [8] ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสามารถใช้ตรวจสอบกระบวนการทำงานของวาล์วไอดีและไอเสียได้อย่างชัดเจน และเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่วาล์วเช่น ระยะห่างของวาล์วลดลงจากค่าปกติจะส่งผลให้สัญญาณการสั่นสะเทือนลดต่ำลงอย่างชัดเจน

สัญญาณอนุภาคไอเสียได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบกระบวนการทำงานหัวฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบ 4 สูบ 4 จังหวะ ความจุกระบอกสูบ 4000 cc [9] ผลการศึกษาพบว่าสัญญาณอนุภาคไอเสียสามารถใช้บันทึกกระบวนการฉีดน้ำมันและกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ตามจังหวะการทำงานของแต่ละกระบอกสูบตามลำดับ 1-3-4-2 นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าสัญญาณอนุภาคไอเสียยังสามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในหัวฉีดได้ดีกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน

การประยุกต์ใช้สัญญาณอนุภาคไอเสียเพื่อตรวจสอบเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 8 สูบ กำลังสูงสุดประมาณ 3.8 MW ที่ความเร็วรอบ 600 rpm ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วต่ำที่ใช้ใน

เรือเดินสมุทร [10] การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชชันสามารถบันทึกกระบวนการจุดระเบิด การเผาไหม้ กระบวนการเปิดและปิดของวาล์วไอดีและไอเสีย รวมถึงกระบวนการคายไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจากเครื่องยนต์มีขนาดค่อนข้างใหญ่จึงทำให้สัญญาณที่บันทึกได้สามารถแสดงถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบอกสูบได้ชัดเจน

การใช้หัววัดการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบสภาพเครื่องจักรมักจะพบปัญหาของสัญญาณรบกวนจากกระบวนการในเครื่องจักรกลที่มักเกิดที่ความถี่ต่ำ จึงอาจทำให้การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนผิดพลาดได้ [11] แต่การใช้สัญญาณอคูสติกอิมิชชันเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรจะไม่ถูกรบกวนจากคลื่นความถี่ช่วงการสั่นสะเทือน เนื่องจากสัญญาณอยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่ช่วงการสั่นสะเทือน สัญญาณรบกวนจากเครื่องจักรจึงไม่มีผลต่อการวัดสัญญาณอคูสติกอิมิชชัน

2.3 Acoustic Emission

อคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission) เป็น ปรากฏการณ์ที่คลื่นยืดหยุ่น (Elastic wave) ชั่วขณะ เกิดขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานภายในเนื้อวัสดุ [8] คลื่นอคูสติกอิมิชชันนี้มีความซับซ้อนและ มีพฤติกรรมต่าง ๆ เหมือนคลื่นทั่วไปคือ การสะท้อน การหักเห การเปลี่ยนโหมด และการลดลงของแอมพลิจูดของคลื่น [5,6,7,12,13] ซึ่งส่งผลให้สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัววัดอคูสติกอิมิชชันมีความซับซ้อนมาก งานประยุกต์ของคลื่นอคูสติกอิมิชชันที่นิยมคือ การหาตำแหน่งการแตกร้าวของโครงสร้าง [11] และการหารอยร้าวของท่อ [14] เป็นต้น นอกจากนี้คลื่นอคูสติกอิมิชชันยังมีการนำมาใช้สำหรับตรวจสอบเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล ปั๊ม และ คอมเพรสเซอร์ เป็นต้น ข้อดีของคลื่นอคูสติกอิมิชชัน คือ จะไม่ถูกรบกวนจากคลื่นความถี่ต่ำช่วงของการสั่นสะเทือน (<1000 Hz) ซึ่งเป็นช่วงทำงานของเครื่องจักรกล สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัววัดอคูสติกอิมิชชันจะอยู่ที่ความถี่สูงประมาณ 100 kHz - 1 MHz ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในวัตถุ และการวิเคราะห์สัญญาณก็สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณทั้งบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ได้ เช่นเดียวกับเทคนิคการวิเคราะห์ของสัญญาณการสั่นสะเทือน รวมถึงเทคนิคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การวิเคราะห์สัญญาณ

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณ

สัญญาณที่บันทึกจากหัววัดต่าง ๆ จะเป็นสัญญาณบนโดเมนเวลาที่มีแกนตั้งเป็นแอมพลิจูด ในหน่วยโวลต์และแกนนอนเป็นเวลาในหน่วยวินาที การประมวลผลสัญญาณสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้เป็นตัวประเมินผลเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่ศึกษา เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณที่นิยมใช้กันเช่น เทคนิคการ

วิเคราะห์บนโดเมนเวลาซึ่งนิยมวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ เช่น ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ค่าสัมบูรณ์เฉลี่ย ค่ารากกำลังสอง เป็นต้น นอกจากนี้การใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ก็เป็นทางเลือกที่นิยมใช้ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะมีแกนตั้งเป็นขนาดแอมพลิจูดในหน่วยโวลต์และแกนนอนเป็นความถี่ในหน่วย Hz เทคนิคการวิเคราะห์ที่นิยมใช้คือการแปลงฟูเรียร์เร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) การวิเคราะห์สัญญาณยังสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทั้งบนโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นวิธีการที่ซับซ้อนขึ้นเช่น เทคนิคการแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform, WT) หรือการใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) มาช่วยเพิ่มความสามารถในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ การวิเคราะห์สัญญาณแต่ละเทคนิคมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.1 สมการสำหรับวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ

พารามิเตอร์	สมการ
ข้อมูลในเวลาใด ๆ	x_i (2.1)
ค่าสูงสุด (Maximum)	$\max (x_i)$ (2.2)
ค่าต่ำสุด (Minimum)	$\min (x_i)$ (2.3)
ค่าเฉลี่ย (Mean)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ (2.4)
ค่ารากกำลังสอง (Root Mean Square)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$ (2.5)
ค่า Crest factor	$\frac{V_p}{V_{rms}}$ (2.6) V_p คือค่าความต่างศักย์สูงสุด V_{rms} คือค่าเฉลี่ยรากที่สองของความต่างศักย์สูงสุด

2.4.1 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา

สัญญาณอคูสติกอิมิชันเป็นสัญญาณที่มีแกนตั้งเป็นแอมพลิจูดและแกนนอนเป็นเวลา มีหน่วยเป็นโวลต์และวินาที ตามลำดับ ซึ่งสัญญาณจะมีลักษณะเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าทั่วไปที่ประกอบด้วยหลายความถี่ ดังนั้นการวิเคราะห์สัญญาณสามารถประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิคทั่วไป เทคนิค

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาที่นิยมใช้คือ การวิเคราะห์สัญญาณด้วยพารามิเตอร์ของสัญญาณต่าง ๆ มีสมการดังตารางที่ 2.1

นอกจากนี้สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ยังสามารถวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติซึ่งมีสมการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมการสำหรับวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ

พารามิเตอร์	สมการ
ค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value)	$ x $ (2.7)
ค่าสัมบูรณ์เฉลี่ย (Absolute mean)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i $ (2.8)
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)	$\sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - N \bar{x}^2 \right)}$ (2.9)
ค่าความเบ้ (Skewness)	$\frac{MEAN - MODE}{SD}$ (2.10) SD MEAN คือค่าทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูล MODE คือค่าที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในจำนวนชุดของข้อมูลทั้งหมด
ค่าความโด่ง (Kurtosis)	$\frac{QD}{P_{90} - P_{10}}$ (2.11) QD คือครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างควอไทล์ที่ 3 กับควอไทล์ที่ 1 P10 คือข้อมูลลำดับที่ 10 P90 คือข้อมูลลำดับที่ 90

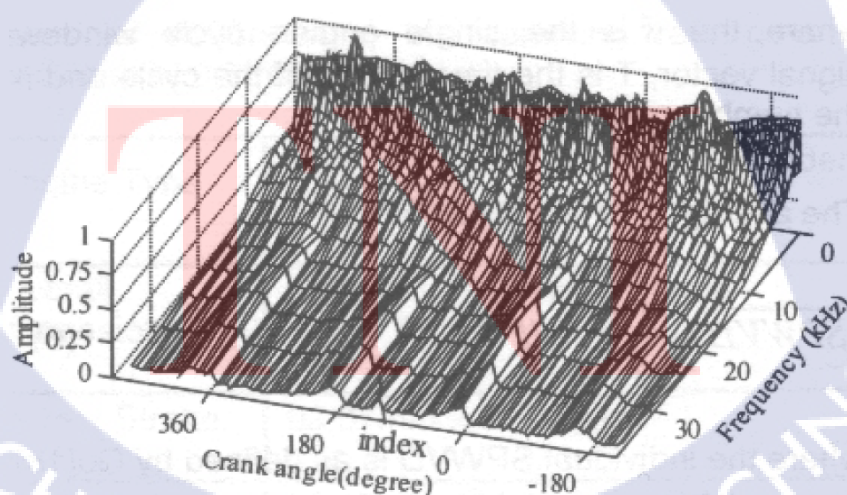
การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาด้วยพารามิเตอร์ของสัญญาณและพารามิเตอร์ทางสถิติมีการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 1 สูบ 4 จังหวะ ที่เงื่อนไขเครื่องยนต์ทำงานปกติ ระยะห่างของวาล์วไอดีและไอเสียผิดปกติ โดยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จะถูกคำนวณค่ารากกำลังของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณดังสมการที่ 2.7 และ 2.8 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเงื่อนไขการทดสอบต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้ประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

2.4.2 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่

การแปลงฟูเรียร์ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาหรือสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของความถี่หรือสัญญาณในโดเมนความถี่ โดยทั่วไปเรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) สเปกตรัมของสัญญาณมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณในระบบต่างๆ ที่มีความถี่ที่หลากหลายในเวลาเดียวกัน เช่น ระบบกรองสัญญาณ (Filter) และระบบเสียง (Equalizer) เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์สัญญาณในแบบสเปกตรัมจะง่ายกว่าการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา รวมทั้งสัญญาณในโดเมนความถี่ยังบอกให้ทราบ ถึงแบนด์วิดท์ (Bandwidth) และรูปร่างสเปกตรัมของสัญญาณ ซึ่งช่วยให้เข้าใจคุณสมบัติต่างๆ ของสัญญาณเหล่านั้นมากยิ่งขึ้น

2.4.3 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาและความถี่

เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านการวิเคราะห์สัญญาณแบบสเปกตรัมซึ่งจะไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเวลา จึงได้มีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความถี่แบบสเปกตรัม (โดเมนความถี่) และการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาบนกราฟเดียวกัน Gu และคณะ [2] ได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สัญญาณเสียงบนโดเมนเวลาและความถี่ แต่สัญญาณเสียงบนโดเมนเวลาจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณบนโดเมนมุมเพลอาซอเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้น กราฟสัญญาณเสียงที่บันทึกการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลในห้องปฏิบัติการด้วยไมโครโฟนแสดงดังรูปที่ 2.7 ผลการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลแสดงด้วยกราฟแบบ 3 มิติ ทำให้ง่ายต่อการเข้าใจในลักษณะของลูกคลื่น



รูปที่ 2.6 กราฟสัญญาณเสียงด้วยการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนมุมเพลอาซอและความถี่

การศึกษานี้จะประยุกต์ใช้สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องเบนซินโดยการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ทำงานปกติ เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะผิดปกติเมื่อระยะห่างของวาล์วไอดีและไอดีเสียผิดไปจากค่าปกติ และความต้านทานที่คอยล์หัวฉีดผิดปกติ สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์บนโดเมนเวลาที่บันทึกจากเครื่องยนต์ทดสอบ จะถูกแปลงเป็นสัญญาณบนมมเพลลาข้อเหวี่ยงเพื่อวิเคราะห์กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ตามวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติและผิดปกติต่าง ๆ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 กระบวนการทดลอง

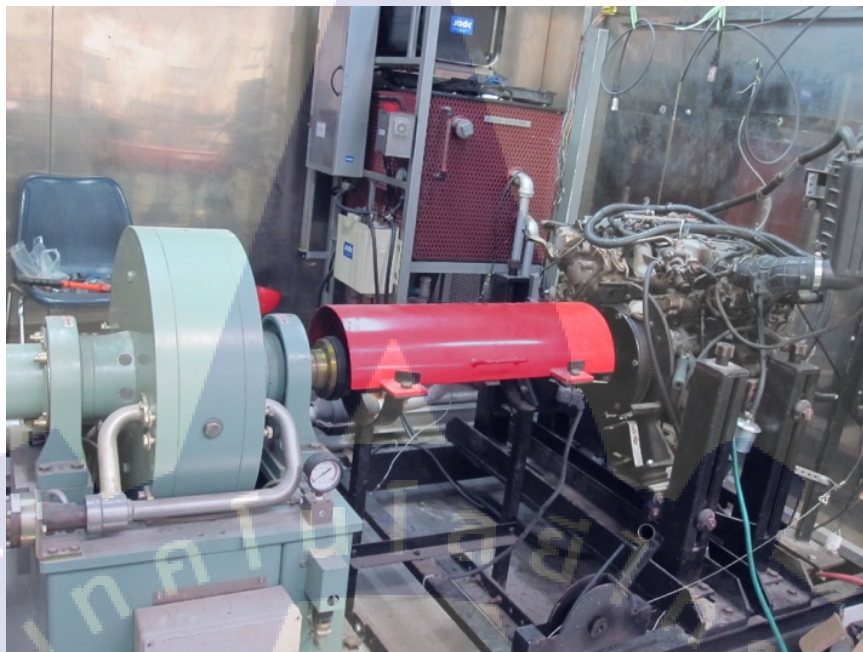
การศึกษานี้จะใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ 4 จังหวะ ยี่ห้อซูซูกิ ขนาดความจุ 1600 cc เครื่องยนต์นี้จะใช้จำลองสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติ และสภาวะการทำงานที่ผิดปกติของวาล์วไอดี ไอเสีย และหัวฉีด ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ สัญญาณออสติกอิมพัลส์จะถูกวัดจากหัววัดออสติกอิมพัลส์จะติดตั้งอยู่บนเสื้อสูบที่ตำแหน่งระหว่างกระบอกสูบที่ 2 และกระบอกสูบที่ 3 ตามรูปที่ 3.1 สัญญาณความเร็วรอบและสัญญาณองศาการทำงานจะถูกบันทึกจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งที่เพลาลูกเบี้ยว สัญญาณออสติกอิมพัลส์และสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์ที่ได้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลคอมพิวเตอร์โดยอุปกรณ์ DAQ (Data acquisition device) และจัดเก็บเป็นไฟล์โดยโปรแกรม LabVIEW สัญญาณที่บันทึกได้จะเป็นกราฟบนโดเมนเวลาที่แกนนอนเป็นเวลาในหน่วยวินาที และแกนตั้งเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณในหน่วยโวลต์ สัญญาณบนโดเมนเวลานี้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณบนโดเมนมุมเพลาลูกเบี้ยวด้วยสัญญาณความเร็วรอบเพื่อความสะดวกต่อการจำแนกกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องยนต์เบนซิน

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ซูซูกิแบบ 4 สูบ 4 จังหวะ 16 วาล์ว ขนาดความจุ 1,600 ซีซีเป็นเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่บนแท่นพร้อมอุปกรณ์ไดนาโมมิเตอร์ ดัง

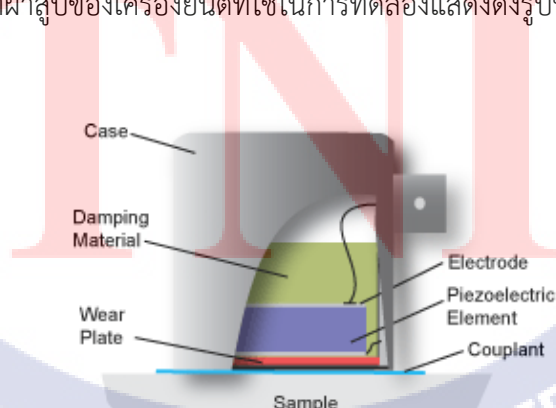
รูปที่ 3.1 ซึ่งจะสามารถวัดค่าความเร็วรอบ และแรงบิดได้ นอกจากนี้ไดนาโมมิเตอร์ยังสามารถจำลองภาระให้แก่เครื่องยนต์ได้อีกด้วย



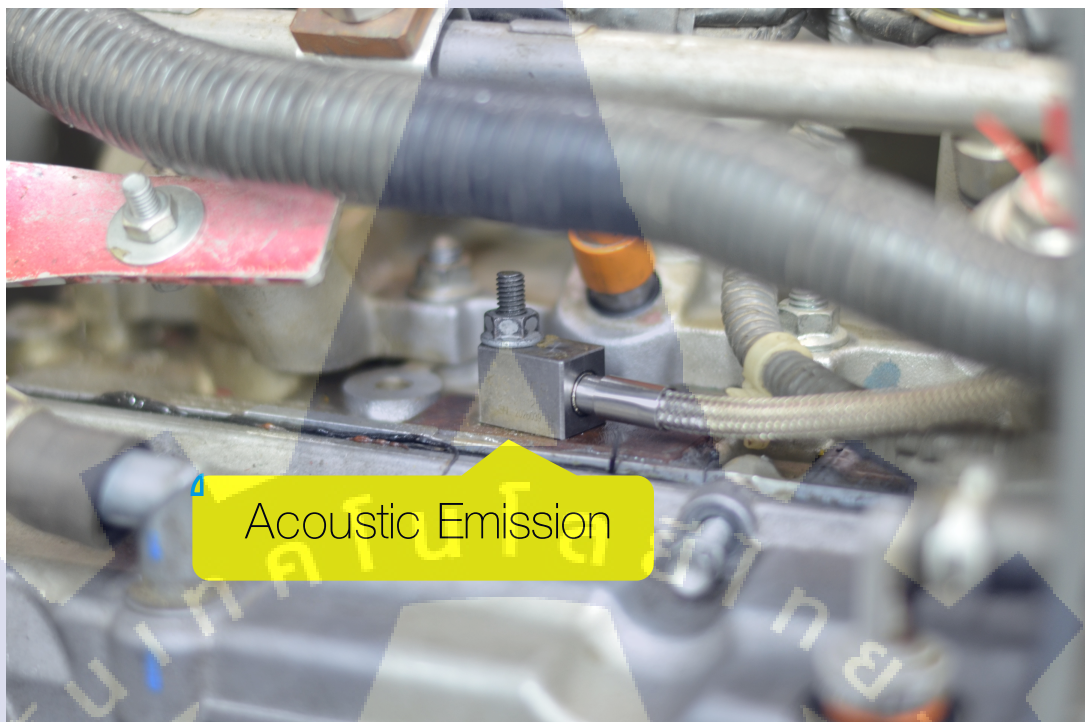
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ที่มีการติดตั้งกับชุดไดนาโมมิเตอร์

3.2.2 หัววัดอคูสติกอิมิชัน

หัววัดอคูสติกอิมิชัน (Acoustic Emission sensor) ดังรูปที่ 3.2 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดสัญญาณอคูสติกอิมิชัน เซนเซอร์จะใช้เปียโซที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นสัมผัส เมื่อติดตั้งเซนเซอร์นี้แล้ว จำเป็นจะต้องทาจารบีเพื่อให้หน้าแผ่นสัมผัสสามารถสัมผัสกับพื้นผิวที่จะทำการวัดได้เต็มที่ ขณะที่ทำการทดลองพลังงานที่แผ่ออกมาจากผิวสัมผัสจะถูกส่งผ่านแผ่นสัมผัสไปยังเปียโซที่อยู่ด้านในของเซนเซอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานที่ถ่ายทอดออกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ตำแหน่งติดตั้งหัววัดอคูสติกอิมิชันที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.3



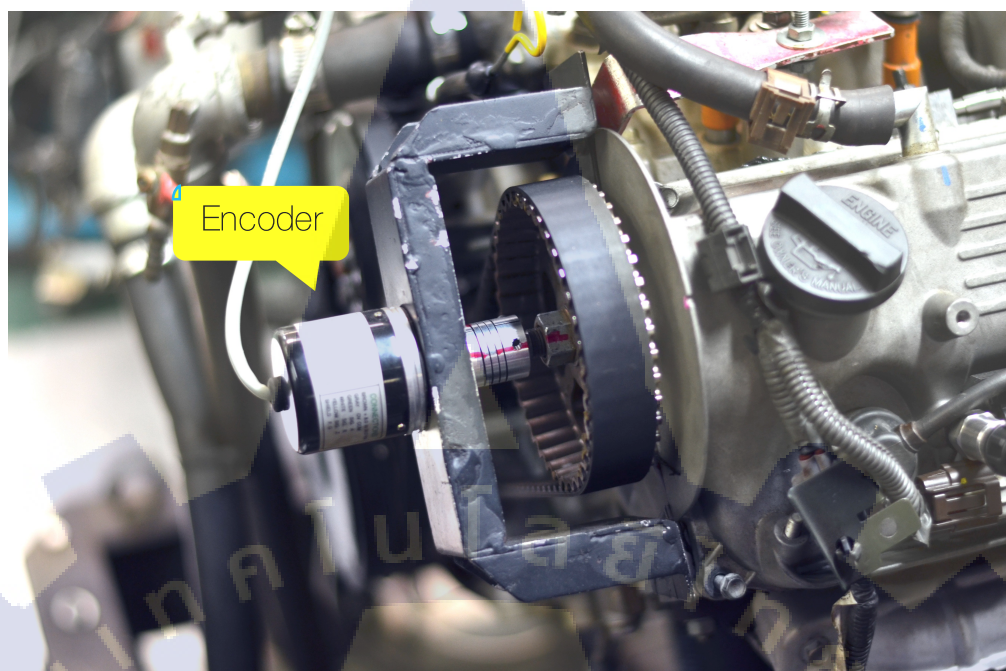
รูปที่ 3.2 ภาพตัดขวางของหัววัดอคูสติกอิมิชัน



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดอคูสติกอิมิสชั่นที่เครื่องยนต์ทดสอบ

3.2.3 Encoder

เป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการบอกองศาการหมุนที่ผ่านไป ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่มันเป็นวงกลมที่มีลักษณะเป็นฟันภายในและมีเซ็นเซอร์แบบแสงเพื่อบันทึกของเซ็นเซอร์ขณะที่เป็นวงกลมหมุนไปซึ่งจะส่งข้อมูลออกมา ในรูปแบบของพัลส์ (Pulse) ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับเวลาเพื่อหาความเร็วเชิงมุม การทดลองนี้ใช้ Encoder = 1024 Pulse/rev ยี่ห้อ PM รุ่น PR-01 ดังรูปที่ 0.4



รูปที่ 3.4 ติดตั้งที่ตำแหน่งแกนเพลาลูกเบี้ยว

3.2.4 ชุดปรับปรุงสัญญาณ

ชุดปรับปรุงสัญญาณ (Signal conditioning unit) เป็นอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นทำหน้าที่จ่ายไฟและปรับปรุงสัญญาณให้กับเซนเซอร์ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 ชุดปรับปรุงสัญญาณ

3.2.5 อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data acquisition card, DAQ) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากหัววัดต่าง ๆ สามารถบันทึกเป็นไฟล์และสะดวกต่อการนำไปใช้ต่อหรือวิเคราะห์ในภายหลัง การศึกษานี้จะใช้ DAQ ยี่ห้อ NATIONAL INSTRUMENTS รุ่น NI cDAQ-9191 ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data acquisition card, DAC)

3.2.6 คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม LABVIEW และ โปรแกรม MATLAB

สัญญาณจากหัววัดต่าง ๆ จะถูกควบคุมการเก็บบันทึกสัญญาณด้วยโปรแกรม LABVIEW ดังรูปที่ 3.7 โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ เช่น ความถี่สุ่ม จำนวนข้อมูล จำนวนช่องสัญญาณ จำนวนไฟล์ข้อมูล เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลของหัววัดต่าง ๆ จะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคณิตศาสตร์ เนื่องจากมีฟังก์ชันที่ช่วยวิเคราะห์หลากหลายมากทำให้สะดวกและใช้เวลาน้อยในการพัฒนาโปรแกรม

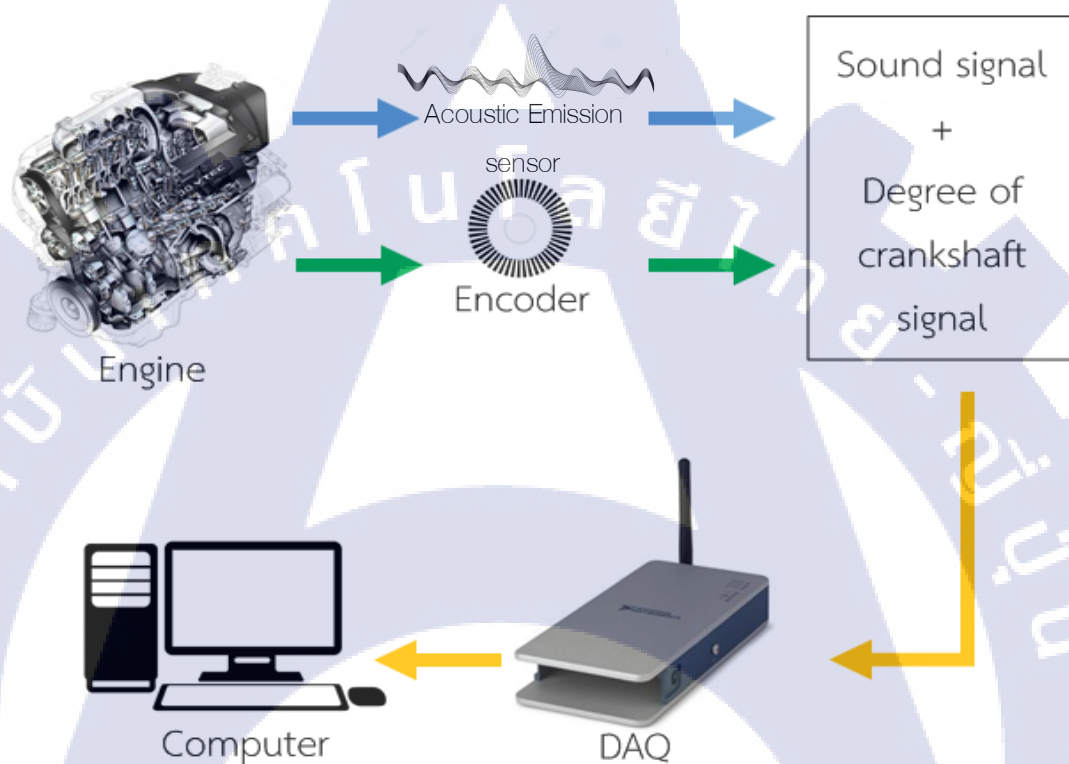


รูปที่ 3.7 คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม

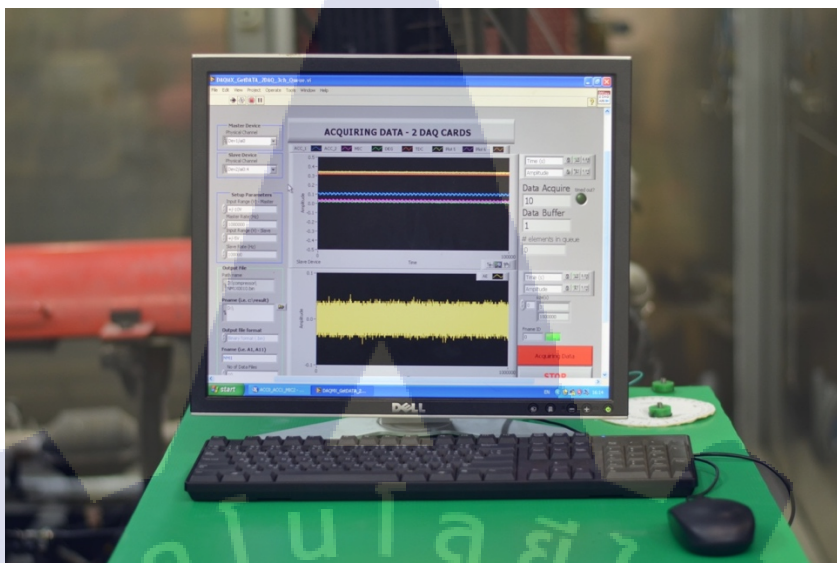
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

เครื่องยนต์ที่จะใช้ในการทดลองนั้นจะถูกเตรียมพร้อมและซ่อมบำรุงให้อยู่ในสภาวะที่ปรกติ ซึ่งจะถูกติดตั้งให้อยู่กับแท่นทดลอง ส่วนของเพลาส่งกำลังของเครื่องยนต์จะถูกต่อกับไดนาโมมิเตอร์ที่ทำหน้าที่สร้างภาระจำลองให้กับเครื่องยนต์และยังสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น ความเร็วรอบ อุณหภูมิของเครื่อง ภาระของเครื่อง เป็นต้น แผนผังแสดงการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.8 สัญญาณของหัววัดต่าง ๆ (หัววัดอุณหภูมิและ Encoder) จะยังอยู่ในรูปของข้อมูลดิบที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะถูก DAQ แปลงเป็นข้อมูลทางดิจิทัล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงผลและบันทึกเป็นไฟล์ได้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.9 สัญญาณอุณหภูมิจะถูกรวบรวม

บันทึกด้วยอัตราสุ่มที่ 1,000,000 ข้อมูลต่อวินาที เป็นจำนวน 1,000,000 ข้อมูล ส่วนข้อมูลจาก Encoder ที่ให้สัญญาณ 1 Pulse ต่อรอบ และ 1024 Pulses ต่อรอบ จะถูกบันทึกด้วยอัตราสุ่มที่ 100,000 ข้อมูลต่อวินาที เป็นจำนวน 100,000 ข้อมูล โดยสัญญาณทั้งหมดจะถูกเก็บพร้อมกันเป็นไฟล์เพื่อวิเคราะห์ภายหลัง สัญญาณทั้งหมดจะถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งแสดงผลและกราฟต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.8 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างขณะบันทึกข้อมูลขณะทำการทดลอง

3.3.1 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองจะเก็บข้อมูลทั้งในส่วนของเครื่องยนต์ที่ปรกติ และผิดปกติเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ในส่วนของการทดลองที่ปรกติจะมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้

ส่วนของการทดลองที่เครื่องยนต์ปรกติจะทดลองด้วยเงื่อนไขต่อไปนี้

- การทดลองที่รอบเดินเบา (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)
- การทดลองที่ 1500 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)
- การทดลองที่ 2000 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)

ส่วนของการจำลองความผิดปกติจะแบ่งเป็นสามประเภทคือ

1) ความผิดปกติของวาล์วไอดี ซึ่งจะมีการตั้งค่าความห่างวาล์วไอดีและหมวกวาล์วจากเดิม 0.15 mm เป็น 0.2 mm และทำการทดลองด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- การทดลองที่รอบเดินเบา (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)
- การทดลองที่ 1500 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)
- การทดลองที่ 2000 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm และ 20 Nm)

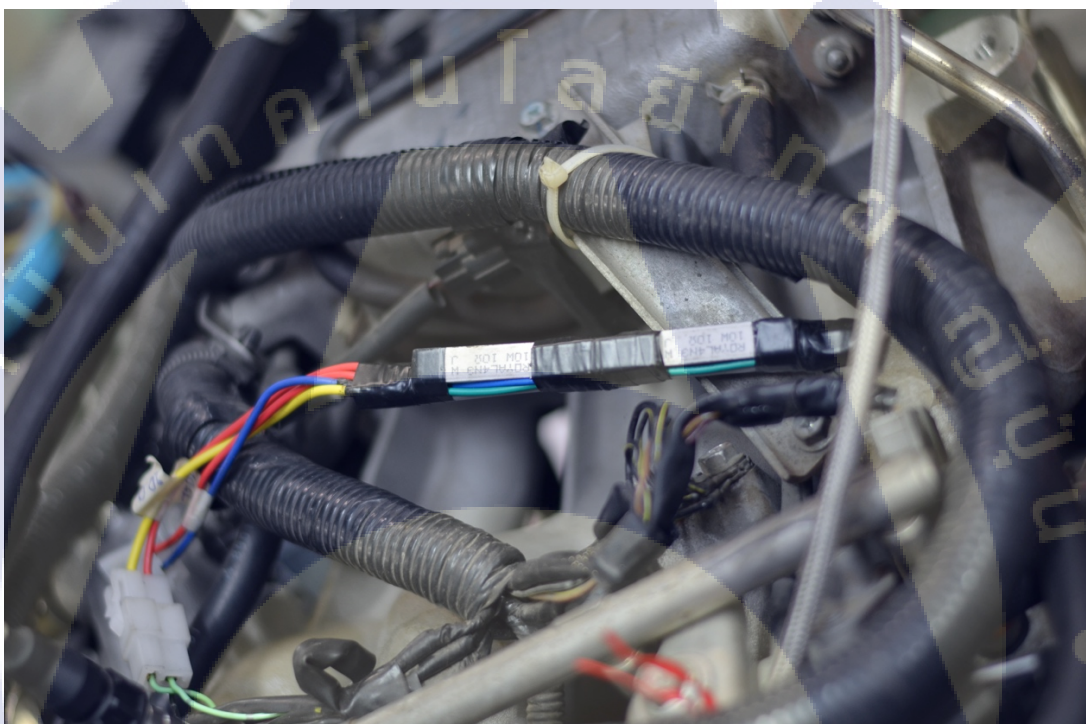
2) ความผิดปกติของวาล์วไอเสีย ซึ่งจะมีการตั้งค่าความห่างวาล์วไอเสียและหมวกวาล์วจากเดิม 0.25 mm เป็น 0.3 mm และทำการทดลองด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- การทดลองที่รอบเดินเบา (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)
- การทดลองที่ 1500 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)
- การทดลองที่ 2000 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)

3) ความผิดปกติที่หัวฉีด โดยการต่อตัวต้านทานเพิ่มเติมที่หัวฉีดเพื่อจำกัดกระแสที่ใช้ในการยกของเข็มหัวฉีดตาม

รูปที่ 3.10 ซึ่งค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มเข้าไป มี 3 ค่าคือ 10 โอห์ม, 20 โอห์มและ อินฟินิตี้โอห์ม และจะทำการทดลองด้วยเงื่อนไขดังนี้

- การทดลองที่รอบเดินเบา (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)
- การทดลองที่ 1500 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)
- การทดลองที่ 2000 rpm (จำลองภาระที่ 0 Nm, 10 Nm, 20 Nm และ 30 Nm)



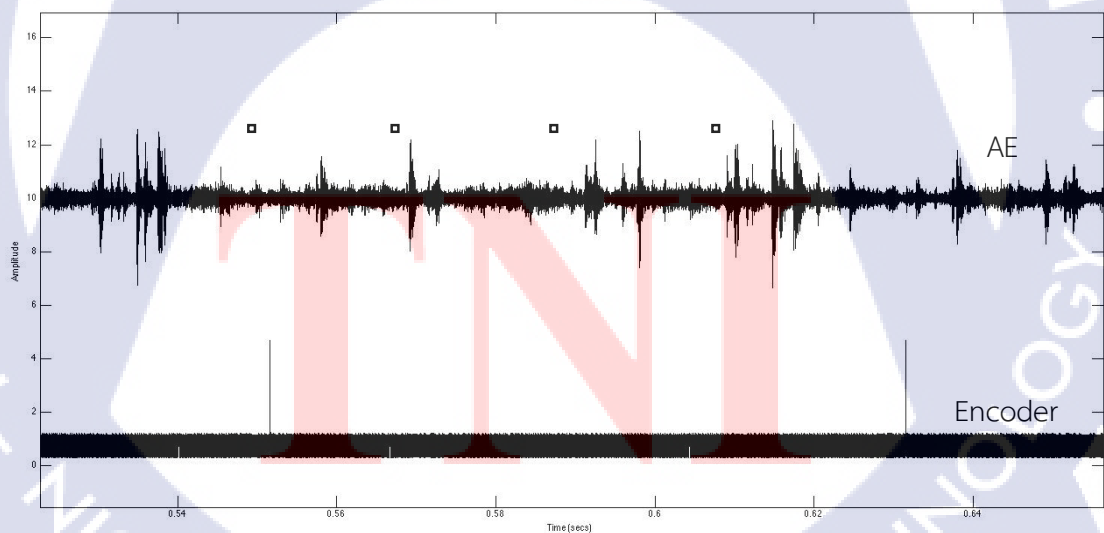
รูปที่ 3.10 ตัวต้านทานที่ถูกต้องเพิ่มเข้าไปกับหัวฉีด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

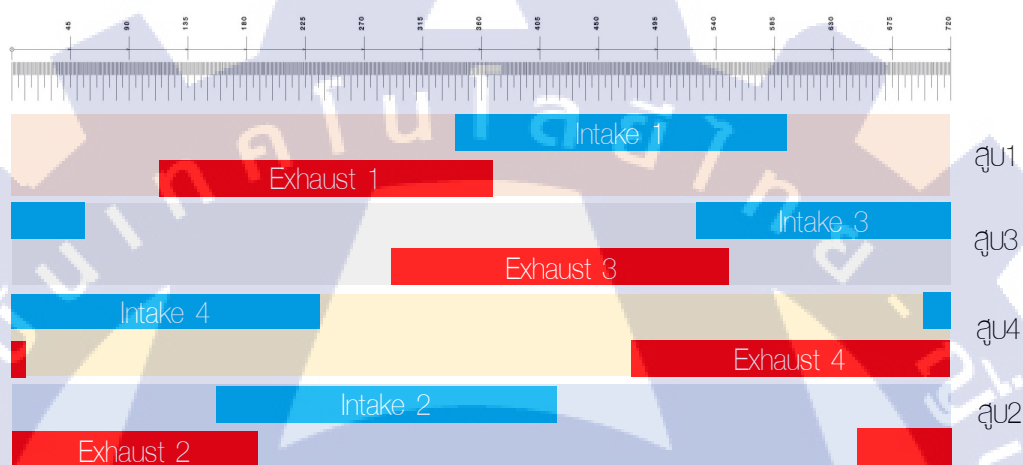
4.1 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติ

สัญญาณจาก Encoder ดังรูปที่ 4.1 ที่ได้จากเครื่องยนต์จะให้สัญญาณ 1 pulse ต่อรอบระยะจาก Pulse – Pulse คือรอบเครื่องยนต์ที่หมุนครบ 1 วัฏจักรพอดี ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณ อคูสติกอิมิชัน ที่ตรวจวัดได้ ทำให้สามารถอ้างอิงขอบเขตของสัญญาณของเครื่องยนต์ที่หมุนไปครบ 1 วัฏจักรได้ สัญญาณ อคูสติกอิมิชัน ดังรูปที่ 4.1 ที่ตรวจวัดจากหัววัดที่ติดตั้งบนฝาสูบของเครื่องยนต์ระหว่างสูบที่ 2 และ 3 ดังรูปที่ 3.4 เป็นสัญญาณจากการทำงานปกติของเครื่องยนต์แบบไม่มีภาระที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที สัญญาณที่บันทึกได้สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มที่เกิดขึ้นระหว่างที่เครื่องยนต์ทำงานใน 1 วัฏจักร ขนาดแอมพลิจูดของแต่ละรูปคลื่นหรือแต่ละเหตุการณ์จะมีขนาดแอมพลิจูดที่ต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของระยะทางระหว่างหัววัดอคูสติกอิมิชันกับแหล่งกำเนิดของสัญญาณที่มาจากกระบวนการต่าง ๆ บนเครื่องยนต์เบนซินเช่น วาล์วไอดีไอลูเสีย หัวฉีด การจุดระเบิดของหัวเทียน เป็นต้น เมื่อสัญญาณอคูสติกอิมิชันเคลื่อนที่ในตัวกลางพลังงานของสัญญาณจะลดทอนลงตามความซับซ้อนของเส้นทางที่คลื่นเคลื่อนที่ รวมถึงความซับซ้อนของรูปทรงของตัวกลางเช่น ครีบหรือโพรงในโครงสร้างของเครื่องยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสัญญาณอคูสติกอิมิชัน และสัญญาณจาก Encoder จากเครื่องยนต์เบนซินขณะทำงานปกติไม่มีภาระที่ 2000 rpm

Timing Diagram ของวาล์วไอดีและไอเสียแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะนำมาใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณ อคูสติกอิมิซัน เพื่ออ้างอิงสัญญาณที่อาจเกิดจากการเปิด-ปิดของวาล์วของแต่ละกระบอกสูบ ซึ่งจากรูปจะถูกแยกการทำงานออกเป็นแต่ละสูบ กราฟแท่งสีฟ้าคือการเปิดของวาล์วไอดี และกราฟสีแดงคือการเปิดของวาล์วไอเสีย ช่วงคาบเกี่ยวกัน (Overlap) จะเป็นส่วนที่วาล์วไอดีและไอเสียทำงานพร้อมกัน และจากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปเป็นตารางการเปิด-ปิดของวาล์วไอดี และไอเสียได้ดังตารางที่ 4.1



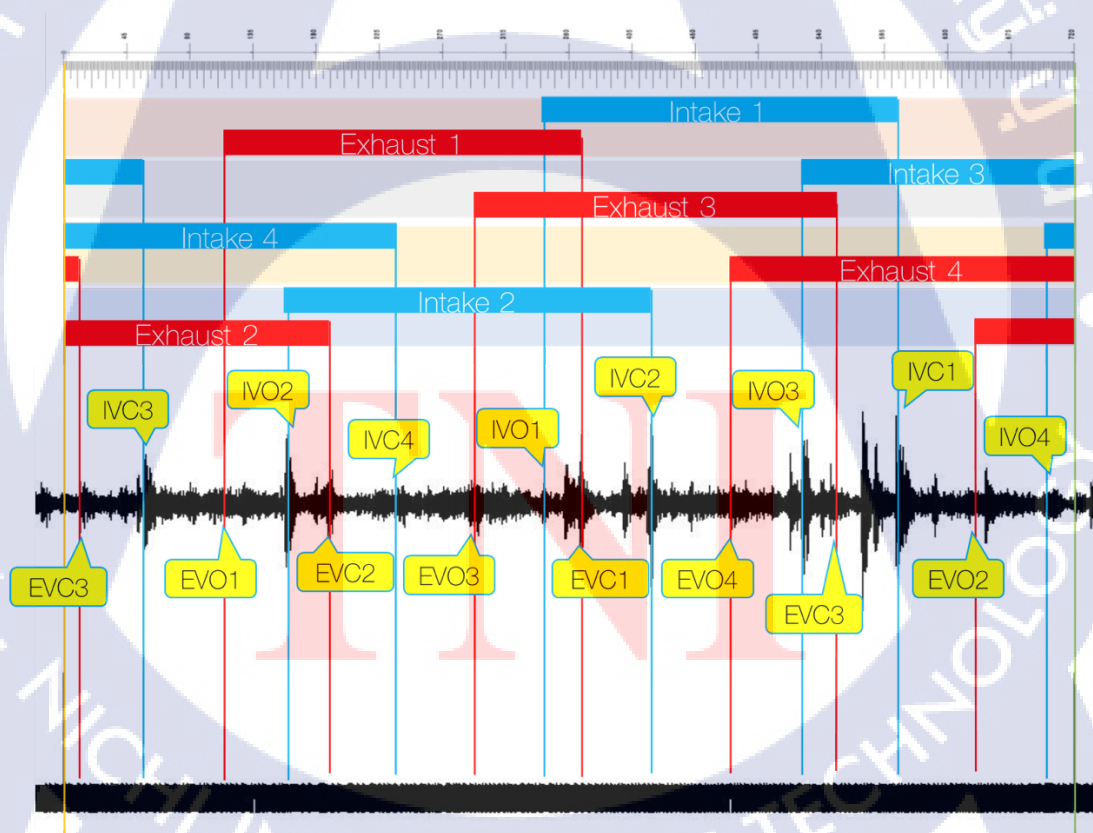
รูปที่ 4.2 Timing Diagram ของวาล์วไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์ทดสอบ

ตารางที่ 4.1 การเปิด-ปิดของวาล์วไอดีและไอเสีย

	วาล์วไอดีเปิด (องศา)	วาล์วไอดีปิด (องศา)	วาล์วไอเสียเปิด (องศา)	วาล์วไอเสียปิด (องศา)
สูบ 1	340	595	110	370
สูบ 3	525	55	290	550
สูบ 4	700	235	470	10
สูบ 2	160	420	650	190

สัญญาณอคูสติกอิมิซันบนโดเมนเวลาขณะเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะปกติ (Normal) ถูกนำมาเทียบกับ Timing diagram ดังรูปที่ 4.3 พบว่า สัญญาณ อคูสติกอิมิซัน ของเหตุการณ์การทำงานของวาล์วไอดีและไอเสียจะปรากฏชัดเจนที่ตำแหน่งการเปิดและปิดของวาล์วไอดีและไอเสีย โดยสัญลักษณ์ IVO, IVC, EVO, EVC แทนด้วยสัญญาณเหตุการณ์การเปิดของวาล์วไอดี การปิดของ

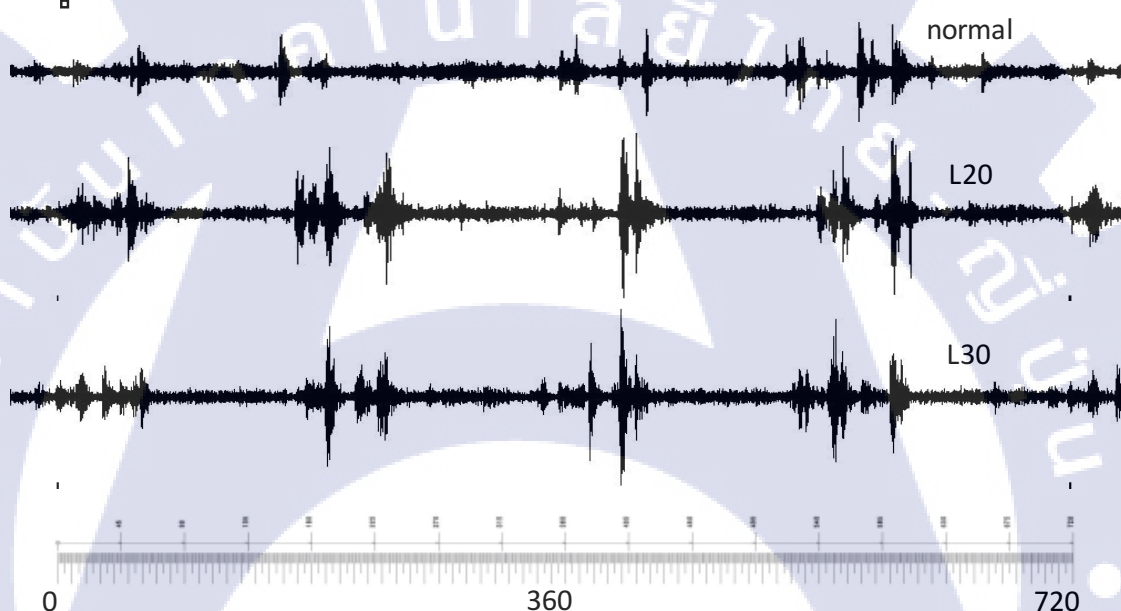
วาล์วไอดี การเปิดของวาล์วไอดีเสีย และการปิดของวาล์วไอดีเสีย ตามลำดับ ถ้าหากมีตัวเลขท้ายสัญลักษณ์จะแสดงถึงตำแหน่งของวาล์วที่กระบอกสูบที่ระบุไว้ สัญญาณเหตุการณ์การทำงานของวาล์วที่อยู่ใกล้กับหัววัดจะปรากฏแอมพลิจูดของสัญญาณชัดเจนและมีขนาดที่สูงกว่าสัญญาณเหตุการณ์การทำงานของวาล์วที่อยู่ห่างออกไปจากหัววัด การแตกต่างกันของแอมพลิจูดเป็นผลมาจากระยะทางระหว่างวาล์วต่าง ๆ และหัววัด ถ้าระยะทางมากจะส่งผลให้แอมพลิจูดต่ำกว่าดังที่ได้กล่าวไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้ กระบวนการทำงานของวาล์วที่เกิดขึ้นจะเป็นแหล่งกำเนิดที่หัววัดคุณสมบัติกิมิซันตรววัดได้ การทำงานของวาล์วจะทำให้เกิดการกระแทกกระทาะหว่างเพลาลูกเบี้ยว และหมวกวาล์วในขั้นตอนการเปิดของวาล์ว และเกิดจากการกระแทกของขอบวาล์วและบ่าวาล์วในขั้นตอนการปิดของวาล์ว ซึ่งสัญญาณที่จะปรากฏชัดเจนและมีขนาดแอมพลิจูดสูงจะสัญญาณที่มาจากวาล์วที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัดบนฝาสูบระหว่างสูบที่ 2 และ 3 สัญญาณดังรูปที่ 4.3 จะปรากฏเหตุการณ์การทำงานของวาล์วไอดีของกระบอกสูบที่ 2 (IVO2 & IVC2) และ 3 (IVO3 & IVC3) ได้ชัดเจนกว่าการทำงานของวาล์วไอดีเสีย (EVO2, EVC2, EVO3 & ECV3) ส่วนวาล์วที่กระบอกสูบ 1 และ 4 จะไม่ชัดเจนแต่สามารถระบุเหตุการณ์การทำงานได้



รูปที่ 4.3 สัญญาณอคูสติกอิมิซันบนโดเมนเวลาที่สภาวะปกติเทียบกับ Timing Diagram ของวาล์ว

4.2 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติภายใต้ภาระต่าง ๆ

สัญญาณบนโดเมนเวลาจะถูกแปลงเป็นสัญญาณบนโดเมนมูเฟลาข้อเหวี่ยงเพื่อความสะดวกของการเปรียบเทียบกระบวนการต่าง ๆ ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน ตัวอย่างสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ขณะเครื่องยนต์ทำงานปกติและภายใต้ภาระที่ 20 และ 30 Nm ขณะเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm แสดงดังรูปที่ 4.4 สัญลักษณ์ L20 และ L30 แทนด้วยภาระที่ 20 และ 30 Nm ตามลำดับ และ normal แทนเครื่องยนต์ทำงานปกติแบบไม่มีภาระ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานภายใต้ภาระที่เพิ่มขึ้นพบว่า สัญญาณที่บันทึกได้จากกระบวนการทำงานของวาล์วจะมีขนาดแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสัญญาณในส่วนที่เกิดจากการเปิดและปิดของวาล์ว

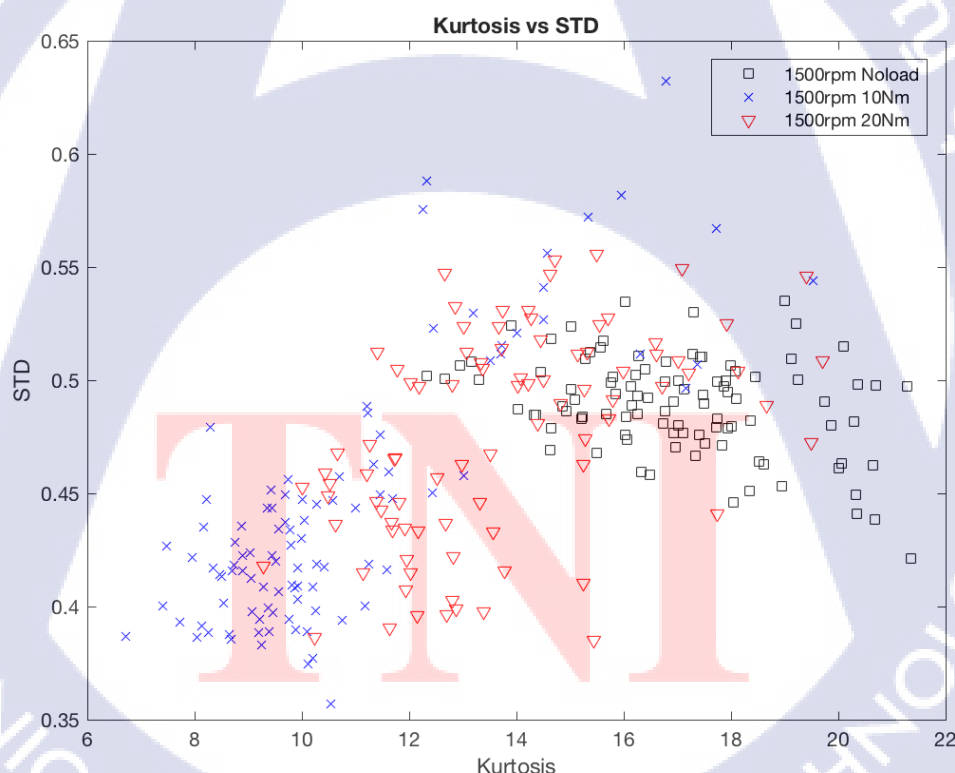


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์เมื่อเครื่องยนต์ทำงานปกติแบบไม่มีภาระและภายใต้ภาระต่าง ๆ ที่ 1500 rpm

การทำงานของเครื่องยนต์โดยปกติความเร็วรอบเครื่องยนต์จะไม่สม่ำเสมอจึงทำให้สัญญาณเหตุการณ์ต่าง ๆ บนเครื่องยนต์มีขนาดแอมพลิจูดที่ไม่แน่นอน การวิเคราะห์สัญญาณจึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติ สัญญาณของจังหวะวาล์วไอเสียปิดของกระบอกสูบที่ 3 เมื่อหัวเทียนจุดประกายไฟให้ส่วนผสมที่ถูกอัดตัวเกิดการระเบิดและเคลื่อนที่ลงสู่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ซึ่งจะอยู่ในช่วง $0 - 60^\circ$ หรือในกรอบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นเหตุการณ์เพิ่มขึ้นในสัญญาณเมื่อเครื่องยนต์ทำงานภายใต้ภาระที่เพิ่มขึ้น การศึกษานี้จะวิเคราะห์พารามิเตอร์

ทางสถิติคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (สมการที่ 2.9) และค่าความโด่ง (สมการที่ 2.11) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เห็นการกระจายตัวและแนวโน้มได้ชัดเจนกว่าพารามิเตอร์อื่น ๆ การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เพียงค่าเดียวเช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ ค่าความโด่ง กับเงื่อนไขการจำลองการทำงานเครื่องยนต์ต่าง ๆ บางครั้งอาจไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ การใช้การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ 2 ค่าทำให้เห็นแนวโน้มและสามารถแยกความแตกต่างของเงื่อนไขได้ดีขึ้น

การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความโด่งของสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ในจังหวะกำลังที่เงื่อนไขเครื่องยนต์ปกติทำงานที่ 1500 rpm แบบไม่มีภาระ ภายใต้ภาระที่ 20 Nm และ 30 Nm ที่ 100 วัฏจักรเครื่องยนต์แสดงดังรูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทั้งสองทำให้สามารถแยกเงื่อนไขการทำงานของเครื่องยนต์ได้เป็นกลุ่มแต่มีบางส่วนที่ทับซ้อนกันทั้งสามเงื่อนไข อาจเนื่องมาจากรอบการทำงาน of เครื่องยนต์ไม่คงที่ในแต่ละวัฏจักรจึงทำให้สัญญาณเหตุการณ์จังหวะกำลังของแต่ละเงื่อนไขการจำลองมีขนาดไม่แน่นอน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานภายใต้ภาระค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจะรวมกลุ่มกันมากขึ้นและมีค่าลดลง

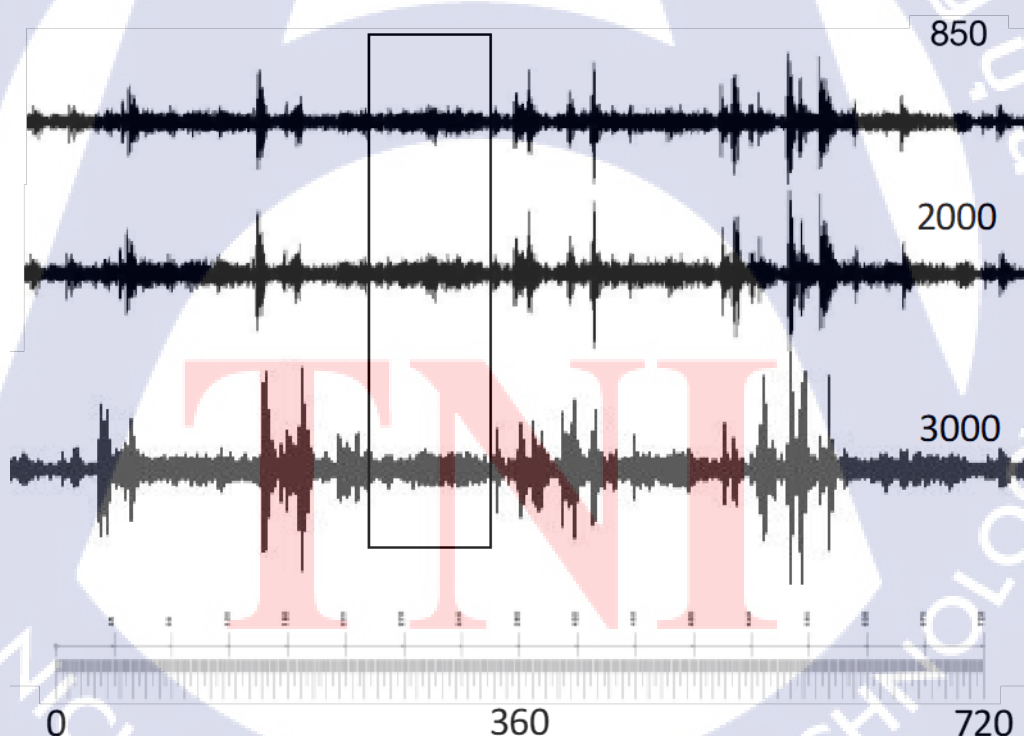


รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเหตุการณ์จังหวะการปิดของวาล์วไอดีสูบที่สาม ที่เงื่อนไขการจำลองต่างๆ

4.3 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะปกติไม่มีภาระที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

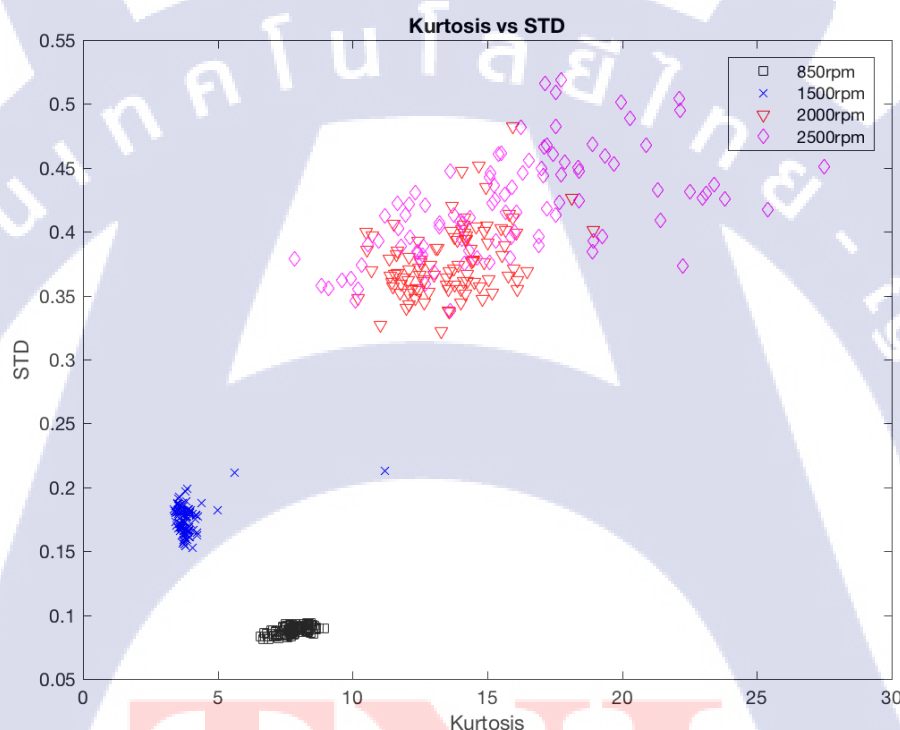
เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น 950, 2000 และ 3000 rpm ตามลำดับโดยที่ยังไม่ พบว่าสัญญาณที่บันทึกได้ จะมีขนาดแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นคล้ายคลึงกับสัญญาณที่บันทึกได้จากเครื่องยนต์ทำงานภายใต้ภาระที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.6 แต่สัญญาณทั้งสองกรณีจะแตกต่างกันที่เหตุการณ์ที่อยู่ระหว่างการเปิดและปิดของวาล์ว (สัญญาณที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม) เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นสัญญาณในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นกระบวนการการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกสูบ

ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมิชัน ที่สภาวะปกติไม่มีภาระที่ความเร็วรอบ 950, 2000 และ 3000 rpm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.6 สัญญาณเหตุการณ์การทำงานของวาล์วไอดีและไอเสีย และกระบวนการทางกลและทางของไหลอื่น ๆ ปรากฏในสัญญาณทุกความเร็วรอบแต่มีขนาดแอมพลิจูดที่ต่างกันเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น นอกจากนี้สัญญาณที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ได้อยู่ในช่วงการปิด-เปิดของวาล์วใดๆ จะมีขนาดแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นกระบวนการทางกลและทางของไหลที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบเช่น การเสียดสีของผนังระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบ แรงผลักของกระบวนการเผาไหม้ที่กระทำกับลูกสูบ เป็นต้น



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมิชัน ของเครื่องยนต์ทำงานปกติแบบไม่มีภาระที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความโด่งของสัญญาณที่อยู่ในช่วง 200 – 340 องศาหรือช่วงกรอบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.6 ที่วิเคราะห์จากการทำงานของเครื่องยนต์ 100 วัฏจักรที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เช่น 850, 1500, 2000 และ 2500 สามารถแสดงผลดังรูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความโด่งสามารถแยกเงื่อนไขการจำลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เป็นกลุ่ม แต่จะมีส่วนทับซ้อนกันเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่า 2000 rpm ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ และมีการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมากขึ้นเมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเป็น 2000 และ 3000 rpm

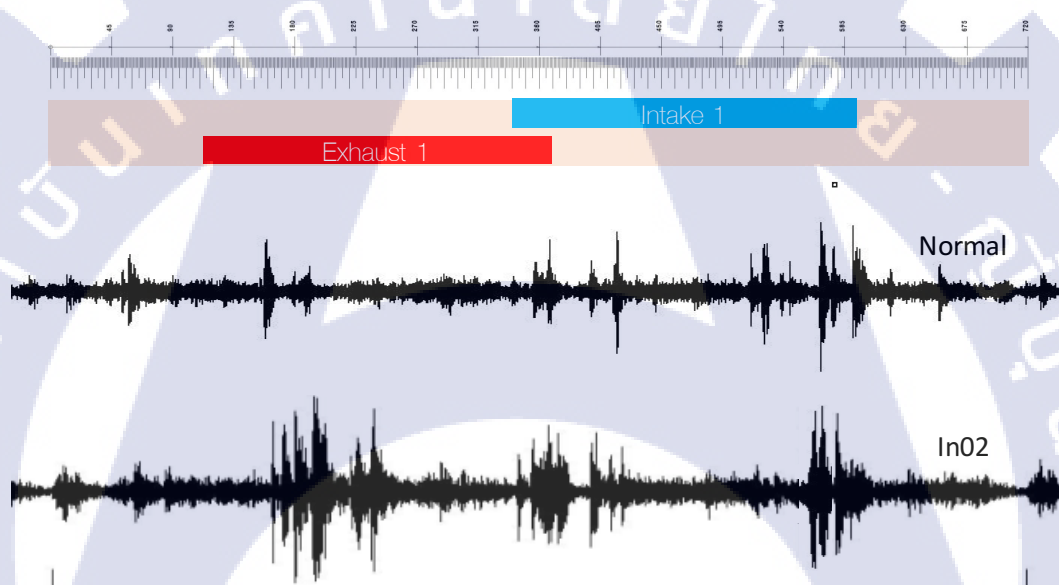


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเครื่องยนต์ทำงานปกติที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

4.4 ผลการจำลองการทำงานเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของวาล์วไอดี

ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติคมิชชัน เนื่องจากความปกติของวาล์วไอดีของกระบอกสูบที่ 1 ซึ่งมีระยะห่างของวาล์วเพิ่มขึ้นผิดปกติเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงดังรูปที่ 4.8 โดยเครื่องยนต์ถูกจำลองที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2000 rpm วาล์วไอดี จะมีระยะห่างเพิ่มขึ้นจาก 0.15 mm เป็น 0.2 mm กรณีเครื่องยนต์ทำงานปกติวาล์วไอดีของกระบอกสูบที่ 1 จะเริ่มเปิดที่มุมเพลาคู่เหวี่ยงประมาณ 340

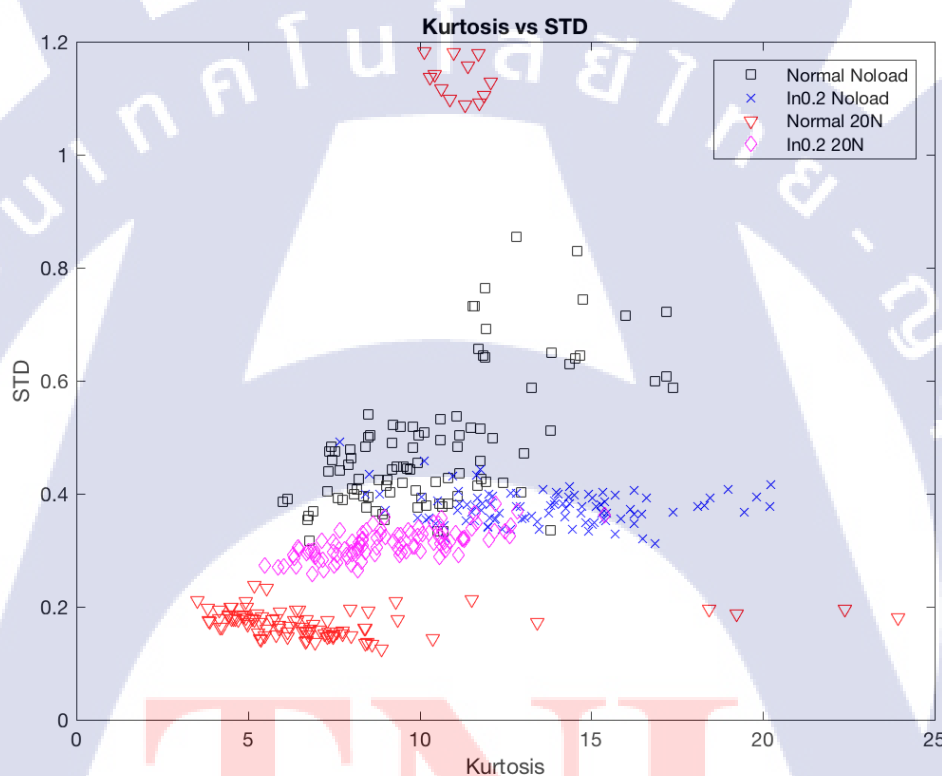
องศา และปิดที่ประมาณ 595 องศา เมื่อเครื่องยนต์ถูกจำลองความผิดปกติที่วาล์วไอดี โดยเพิ่มระยะห่างของวาล์วเป็น 0.2 mm พบว่า สัญญาณการปิดของวาล์วไอดีจะปิดเร็วขึ้นจากประมาณ 592 องศาเป็นประมาณ 575 องศาตั้งกรอบสี่เหลี่ยมที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการที่ระยะห่างของวาล์วไอดีเพิ่มขึ้นจะทำให้สัญญาณการเปิดของวาล์วช้ากว่าปกติและการปิดของวาล์วจะเร็วขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้สัญญาณการเปิดปิดของวาล์วไอดีนี้บางครั้งยังพบเห็นมีสัญญาณเกิดขึ้นใกล้เคียง ๆ กับตำแหน่งการเปิดหรือปิดของวาล์ว คาดว่าน่าจะเป็นการเปิดและปิดของวาล์วไอดีที่มีอยู่ 2 วาล์ว ต่อกระบอกสูบที่ทำการตั้งค่าระยะห่างของวาล์วด้วยฟิลเลอร์เกจที่ระยะเท่ากันแต่ระยะห่างของวาล์วจริงอาจแตกต่างกันได้ซึ่งการใช้ฟิลเลอร์เกจนั้นผู้ใช้มักจะใช้ความรู้สึกในการตั้งระยะห่างของวาล์ว



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่เงื่อนไขวาล์วไอดีปกติและผิดปกติที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2000 rpm

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าเช่น ค่าความโด่งเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากการจำลองเครื่องยนต์เมื่อระยะห่างของวาล์วไอดีปกติและผิดปกติ ที่วิเคราะห์มาจากสัญญาณดังรูปที่ 4.8 ช่วง 575 – 610 องศา หรือสัญญาณในกรอบสี่เหลี่ยม จำนวน 100 วัฏจักรของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อเครื่องยนต์ทำงานแบบไม่มีภาระ และภายใต้ภาระที่ 20 Nm ด้วยความเร็วรอบประมาณ 2000 rpm แสดงดังรูปที่ 4.9

การเปรียบเทียบค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แยกเงื่อนไขการจำลองความผิดปกติของวาล์วไอดีได้เป็นกลุ่มเมื่อเครื่องยนต์ทำงานภายใต้ภาระ 20 Nm แต่เมื่อเครื่องยนต์ทำงานแบบไม่มีภาระจะแยกได้บางส่วน ค่าความโด่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวาล์วไอดีมีความผิดปกติทั้งกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานไม่มีภาระหรือภายใต้ภาระ 20 Nm ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละเงื่อนไขจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นที่เงื่อนไขเครื่องยนต์ปกติทำงานแบบไม่มีภาระจะเห็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลงมากซึ่งอาจจะมาจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่คงที่สม่ำเสมอ

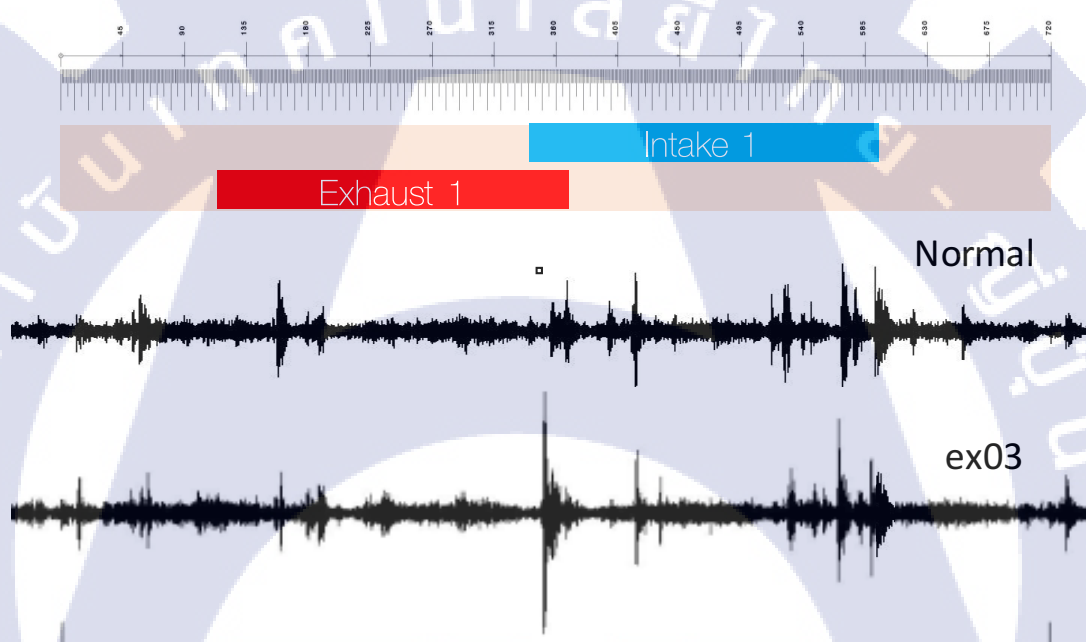


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เงื่อนไขวาล์วไอดีปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

4.5 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของวาล์วไอเสีย

การจำลองความผิดปกติที่วาล์วไอเสียที่กระบอกสูบที่ 1 ของเครื่องยนต์เบนซินทดสอบที่ทำงานด้วยความเร็วรอบประมาณ 2000 rpm แสดงดังรูปที่ 4.10 วาล์วไอเสียจะถูกปรับตั้งระยะห่างของวาล์วให้เพิ่มขึ้นและมากกว่าค่ามาตรฐาน จาก 0.25 mm เป็น 0.3 mm ส่งผลให้ตำแหน่งองศา

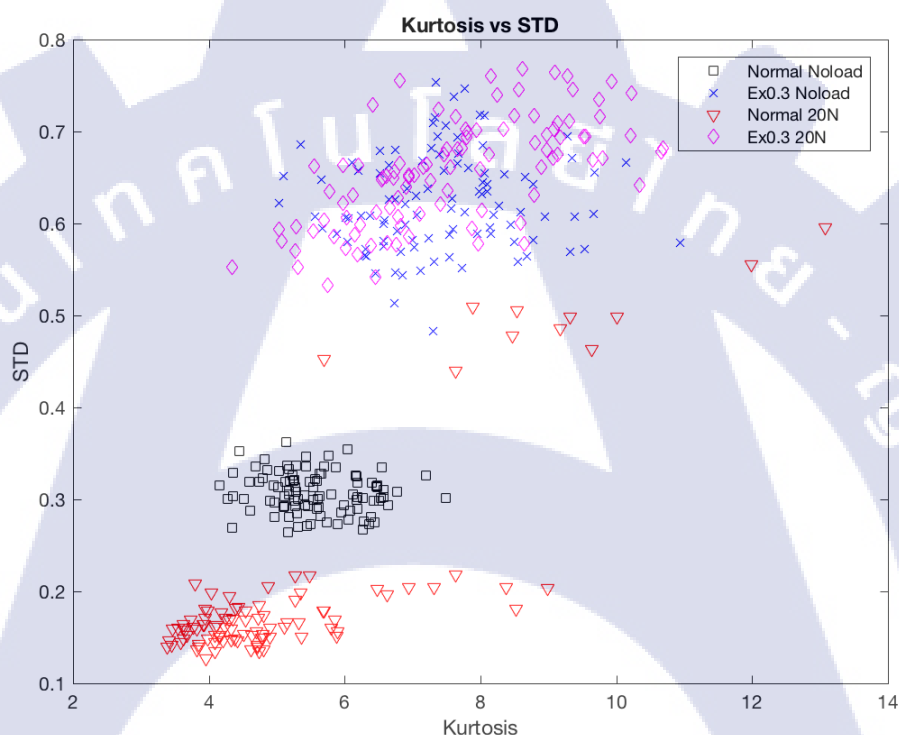
การเปิดและปิดของวาล์วไอเสียเปลี่ยนแปลงไปจากปกติที่มีตำแหน่งเปิดที่ 115 องศา และตำแหน่งปิดที่ประมาณ 370 องศา สัญญาณที่บันทึกได้สามารถแสดงตำแหน่งวาล์วไอเสียที่ปิดเร็วขึ้นที่ตำแหน่ง 350 องศา ส่วนตำแหน่งวาล์วไอเสียเปิดของกระบอกสูบที่ 1 ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนในสัญญาณ เนื่องจากพลังงานของคลื่น อคูสติกอิมพัลส์ จากกระบวนการเปิดของวาล์วอาจมีต่ำไปจนทำให้พลังงานลดลงตามเส้นทางที่เคลื่อนที่ไปยังหัววัดจึงทำให้แอมพลิจูดมีขนาดน้อยจึงไม่สามารถระบุตำแหน่งการเปิดของวาล์วได้ชัดเจนนัก ผลการวิเคราะห์การจำลองความผิดปกติของวาล์วไอเสียจะมีคำตอบที่เหมือนกับคล้ายคลึงกับผลการจำลองของวาล์วไอดี คือเมื่อระยะห่างของวาล์วเพิ่มมากขึ้นจากค่าปกติจะทำให้วาล์วเปิดช้าลงและปิดเร็วขึ้น



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่เงื่อนไขวาล์วไอเสียปกติและผิดปกติที่เครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าคือ ค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองคำนวณจากสมการที่ 2.9 และ 2.11 ตามลำดับ โดยสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นสัญญาณของวาล์วไอเสียกระบอกสูบที่ 1 ปิด ซึ่งจะมีวาล์วไอเสีย 2 วาล์วต่อกระบอกสูบซึ่งจะอยู่ในช่วง 350 – 380 องศา หรือช่วงกรอบสีเหลี่ยมดังรูปที่ 4.10 โดยสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์จะมีเงื่อนไขของเครื่องยนต์ที่วาล์วไอเสียปกติและผิดปกติโดยจะทำงานแบบไม่มีการะและภายใต้ภาระที่ 20 Nm ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้การเปรียบเทียบ

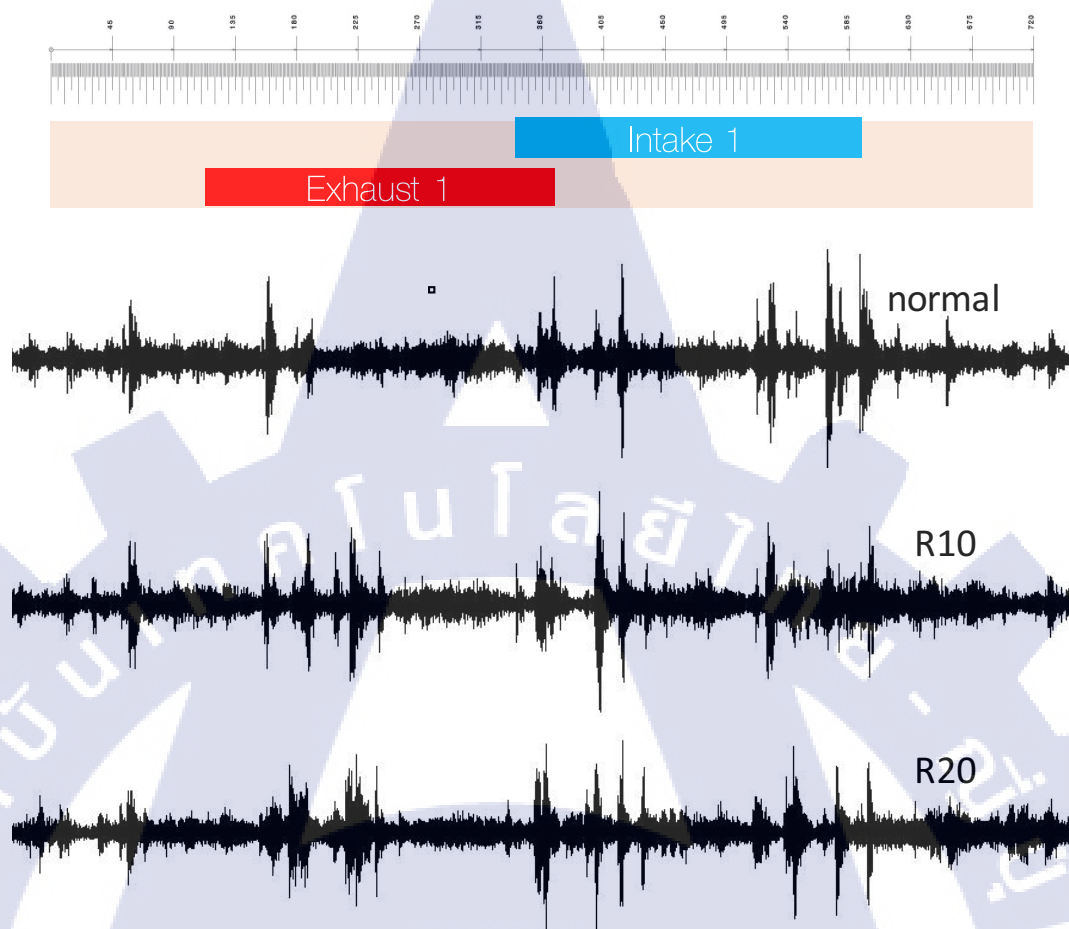
ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองทำให้สามารถแยกกลุ่มของเงื่อนไขการจำลองได้ชัดเจนเมื่อเครื่องยนต์ที่วาล์วไอเสียปกติทำงานแบบไม่มีภาระและภายใต้ภาระ 20 Nm เท่านั้น ส่วนเครื่องยนต์ที่วาล์วไอเสียผิดปกติทำงานแบบไม่มีและภายใต้ภาระไม่สามารถแยกเงื่อนไขการจำลองทั้งสองได้ แต่เมื่อวาล์วไอเสียผิดปกติจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2-3 เท่าเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องยนต์ที่วาล์วไอเสียปกติ ส่วนค่าความโด่งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เงื่อนไขวาล์วไอเสียปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

4.6 ผลการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่สภาวะผิดปกติของหัวฉีด

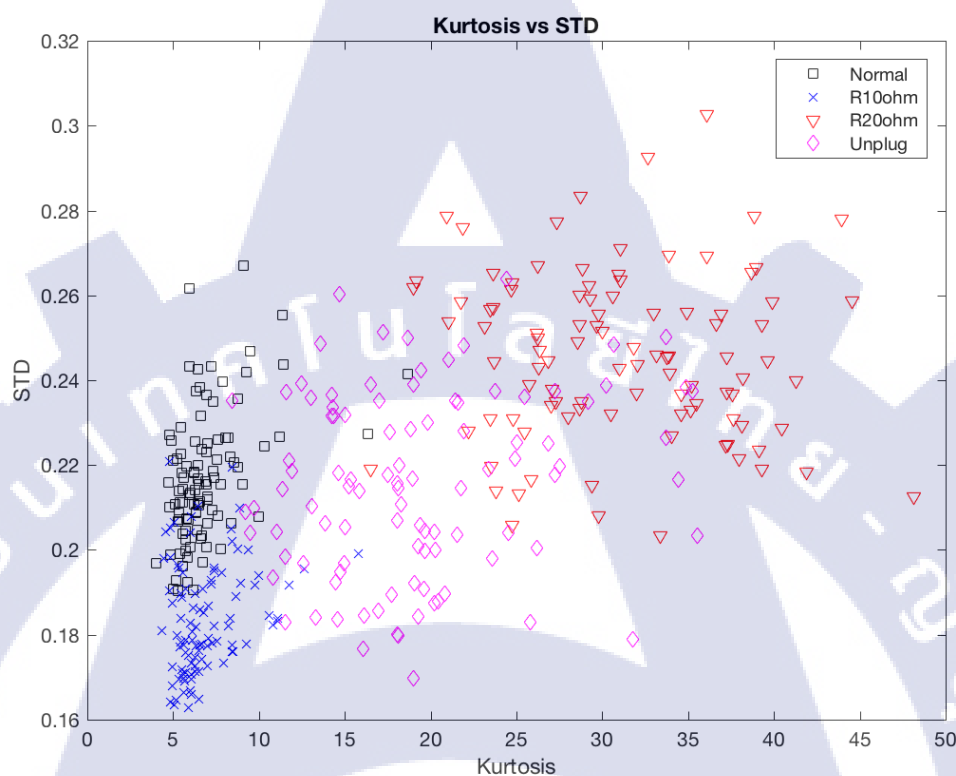
ตัวอย่างสัญญาณการจำลองความผิดปกติที่หัวฉีดของกระบอกสูบที่ 1 ที่ความเร็วรอบประมาณ ??? rpm ด้วยการเพิ่มความดันทานที่คอยล์ของหัวฉีด 10 และ 20 โอห์ม (สัญญาณ R10 และ R20 ตามลำดับ) เพื่อจำกัดให้กระแสที่ใช้ในการเปิดและปิดหัวฉีดให้น้อยลงแสดงดังรูปที่ 4.12 สัญญาณที่บันทึกได้โดยเฉพาะที่รอบสี่เหลี่ยมหรือประมาณตำแหน่งที่ 270 – 305 องศาเป็นช่วงการทำงานของหัวฉีดที่ 1 ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณจะลดลงเมื่อความดันทานเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระแสที่ไหลเข้าสู่คอยล์หัวฉีดน้อยลงจนทำให้หัวฉีดเกิดการยกตัวของวาล์วหัวเข็มไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างสัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ที่สภาวะปกติและจำลองความผิดปกติที่หัวฉีดขณะ เครื่องยนต์ทำงานที่ 2000 rpm

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความโด่งซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ด้วยสมการที่ 2.9 และ 2.11 ตามลำดับ สัญญาณ อคูสติกอิมพัลส์ ของหัวฉีด กระบอกสูบที่ 1 ทำงานในช่วง 270 – 305 องศา หรือช่วงกรอบสี่เหลี่ยมตามรูป 4.12 จำนวน 100 วัฏจักรจะถูกนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งสอง ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบด้วยค่าพารามิเตอร์ระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังรูปที่ 4.13 สามารถแบ่งเงื่อนไข การจำลองการทำงานของหัวฉีดได้เป็นกลุ่มเพียงบางส่วนเช่น กรณีหัวฉีดปกติ และ ความต้านทาน ของคอยล์เพิ่มขึ้น 10 โอห์ม ส่วนกรณีความต้านทานที่คอยล์หัวฉีดเพิ่ม 20 โอห์ม และกรณีถอดปลั๊ก หัวฉีดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีการกระจายตัวค่อนข้างมากและทับซ้อนกัน ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการ

ที่คอยล์หัวฉีดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 โอห์มและบางครั้งคอยล์หัวฉีดไม่มีแรงพอที่จะยกวาล์วเข็มทำให้ไม่มีการฉีดน้ำมันและการจุดระเบิดเกิดขึ้น



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เงื่อนไขหัวฉีดปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สัญญาณออสติโกมิชชันที่บันทึกจากเครื่องยนต์ทดสอบด้วยหัววัดออสติโกมิชชันที่ติดตั้งบนฝาสูบและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยโดเมนมุมเฟลาซอเวีย่ง สามารถใช้จำแนกกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน และเพื่อความแม่นยำสามารถวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าระหว่างค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อใช้แยกเงื่อนไขการทำงานและความผิดปกติของเครื่องยนต์ รวมทั้งคุณลักษณะของการกระจายตัวของพารามิเตอร์ทั้งสองของแต่ละเงื่อนไขการจำลอง ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ปกติ

สัญญาณที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเปิดและปิดของวาล์ว ซึ่งเกิดจากกระบวนการทางกลเช่น การกระแทกของวาล์วในจังหวะเปิดและปิด และสัญญาณการเปิดและปิดของวาล์วจะมีแอมพลิจูดที่สูงเมื่อวาล์วนั้นอยู่ใกล้กับตำแหน่งติดตั้งหัววัดออสติโกมิชชัน

5.1.2 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ทำงานปกติภายใต้ภาระที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเครื่องยนต์มีการทำงานภายใต้ภาระที่เพิ่มขึ้น สัญญาณออสติโกมิชชันที่ตรวจวัดได้จะมาจากการเปิดปิดของวาล์วและแอมพลิจูดจะมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.3 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ทำงานปกติที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น สัญญาณออสติโกมิชชันจากการทำงานของวาล์วจะมีแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้น และสัญญาณส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่อื่น ๆ เช่น การเสียดสีระหว่างการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกสูบก็จะมีค่าแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

5.1.4 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ทำงานเมื่อวาล์วไอดีเกิดความผิดปกติ

เมื่อเครื่องยนต์มีการผิดปกติของวาล์วไอดีโดยระยะห่างของวาล์วไอดีเพิ่มขึ้นจาก 0.15 mm เป็น 0.2 mm สัญญาณที่ตรวจวัดได้เกิดขึ้นชัดเจนที่ตำแหน่งการปิดวาล์วไอดีและแอมพลิจูดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างของวาล์วไอดีเพิ่มขึ้นส่งผลให้วาล์วไอดีจะเปิดช้าและปิดไวกว่าตำแหน่งปกติ

5.1.5 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ทำงานเมื่อวาล์วไอเสียเกิดความผิดปกติ

เมื่อเครื่องยนต์มีการผิดปกติของวาล์วไอเสียโดยระยะห่างของวาล์วไอเสียเพิ่มขึ้นจาก 0.25 mm เป็น 0.3 mm สัญญาณที่ตรวจวัดได้เกิดขึ้นชัดเจนที่ตำแหน่งการปิดวาล์วไอเสียและแอมพลิจูดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างของวาล์วไอเสียเพิ่มขึ้นส่งผลให้วาล์วไอเสียจะเปิดช้าและปิดไวกว่าตำแหน่งปกติเช่นเดียวกับผลของวาล์วไอเสียผิดปกติ

5.1.6 สรุปผลการทดลองในสภาวะเครื่องยนต์ทำงานเมื่อหัวฉีดเกิดความผิดปกติ

สัญญาณที่ตรวจวัดได้จะพบว่าสัญญาณการทำงานของหัวฉีดจะเกิดขึ้นก่อนที่วาล์วไอเสียจะเปิดในจังหวะดูดและเมื่อหัวฉีดทำงานผิดปกติ แอมพลิจูดของสัญญาณจะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับเงื่อนไขเครื่องยนต์ปกติ

5.1.7 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติด้วยค่าความโด่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เงื่อนไขการจำลองของเครื่องยนต์ต่าง ๆ

การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติเช่นค่าความโด่ง หรือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียงค่าเดียวไม่สามารถแยกเงื่อนไขการจำลองได้ชัดเจน แต่เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่าด้วยกันจะทำให้สามารถแยกเงื่อนไขการจำลองของเครื่องยนต์ได้บางกรณีเนื่องจากสัญญาณอคูสติกอมิกซ์ชันที่บันทึกได้มีความซับซ้อนมาก ทำให้บางกรณีสัญญาณที่บันทึกได้ไม่สามารถระบุกระบวนการที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินด้วยสัญญาณอคูสติกอมิกซ์ชันสามารถใช้ตรวจสอบเครื่องยนต์ได้ แต่จากการศึกษานี้สามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.2.1 ผลทดลองที่ทำการศึกษานี้มีข้อมูลค่อนข้างมาก เนื่องจากอัตราสุ่มที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลมีค่าสูงถึง 1 MHz ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลค่อนข้างช้า ซึ่งอาจพัฒนาต่อด้วยการใช้ระบบ AI (Artificial Intelligence) ในการช่วยวิเคราะห์ผลซึ่งจะทำให้รวดเร็วมากขึ้น

5.2.2 การติดตั้งของหัววัดอคูสติกอมิกซ์ชันจะอยู่ที่ฝาสูบระหว่างกระบอกสูบที่ 2 และ 3 จึงทำให้บางเหตุการณ์ของการทำงานของเครื่องยนต์ในแต่ละกระบอกสูบมีแอมพลิจูดของสัญญาณค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจจะแก้ไขด้วยการเพิ่มจำนวนหัววัดที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องยนต์

5.2.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ค่า ยังจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการที่จะระบุเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น รวมทั้งการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สัญญาณด้วยโดเมนความถี่เพื่อทำให้สามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในสัญญาณได้ถูกต้องมากขึ้น



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] ประสานพงษ์ หาเรือนเลีย่งชีพ, *งานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน*, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2548.
- [2] F. Gu et al., "The condition monitoring of diesel engines using acoustic measurements, Part 1: Acoustic characteristics of the engine and representation of the acoustic signals," *SAE 2000 World Congress, Session: Noise & Vibration*, Detroit, USA, June 3, 2000, pp. 51-51.
- [3] วัลลภ มากมี, "การทำงานของเครื่องยนต์," [Online]. Available: <https://vallop-automechanics.blogspot.com>. [Accessed: 15 สิงหาคม 2559].
- [4] Auto2drive, "Engine Valve," [Online]. Available: <http://www.auto2drive.com/wp-content/uploads/2012/10/machine-0036.1.jpg>. [Accessed: August 1, 2016].
- [5] Waynesgarage, "Injection," [Online]. Available: <http://www.waynesgarage.com/tips/more-tip/gasoline/fuel-injectors>. [Accessed: August 16, 2559].
- [6] Iwebgas, "นานาสาระความรู้เรื่องวาล์ว," [Online]. Available: <http://www.iwebgas.com/smf/index.php?topic=5264.0>. [Accessed: 15 สิงหาคม 2559].
- [7] A. D. Ball et al., "The condition monitoring of diesel engines using acoustic measurements, Part 2: Fault detection and diagnosis," *SAE 2000 World Congress, Session: Noise & Vibration*, Detroit, USA, June 3, 2000, pp. 52.
- [8] S. Klinchaeam and P. Nivesrangsarn, "Condition monitoring of valve clearance fault on a small four strokes petrol engine using vibration signals," *Songklanakarin Journal of Science and Technology, SJST2010*, Songkla, August 24, 2010, pp. 629-635.
- [9] J. D. Gill et al., "A study of small HSDI diesel engine fuel injection equipment faults using acoustic emission," *Proceedings of the 24th European Conference on Acoustic Emission Testing, ICOM2000*, France, May 24, 2000, pp. 281-286.

- [10] K. Frances et al., "A study of the variability of acoustic emission signals from a medium size marine diesel engine under service conditions," *Proceedings of the 16th International Congress, Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, PTIC2003*, Sweden, August 23-26, 2003, pp. 503-512.
- [11] S. S. Udpa and P. O. Moore, *Non- Destructive Testing Handbook Vol.5 - Acoustic Emission*, USA: American Society for Non-Destructive Testing, 1987.
- [12] P. Nivesrangsarn et al., "Source location of acoustic emission in diesel engine," *Mechanical System and Signal Processing*, vol. 21, no.2, pp. 1,103-1,114, February 2007.
- [13] K. M. Holford and D. C. Carter, "Acoustic Emission Source Location," *Key Engineering Materials*, vol. 167-168, no.1, pp. 162-171, June 1999.
- [14] R. K. Miller et al., "A reference standard for the development of acoustic emission pipeline leak detection techniques," *NDT & E International*, vol. 32, no.1, pp. 1-8, January 1999.