

การออกแบบและพัฒนาดำเนินการเพื่อเพิ่มสมรรถนะ ท่อระบายอากาศเครื่องยนต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF PERFORMANCE EXHAUST PIPE FOR MOTORCYCLE



ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบและพัฒนาท่อไอเสียเพื่อเพิ่มสมรรถนะสำหรับรถจักรยานยนต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF PERFORMANCE EXHAUST PIPE FOR
MOTORCYCLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Development of Performance Exhaust Pipe for Motorcycle



Mr. Naphat

Phumsamut

Miss Maneerat

Phasuta

Mr. Verayut

Wongprechakul

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาท่อไอเสียเพิ่มสมรรถนะสำหรับรถจักรยานยนต์
Design and Development of Performance Exhaust Pipe for Motorcycle

ผู้จัดทำ

1. นาย นภัทร พุ่มสมุท รหัส 53010800
2. นางสาว มณีรัตน์ ผาสุดตะ รหัส 53011291
3. นาย วีรยุทธ วงศ์ปรีชากุล รหัส 53011506



(ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาท่อไอเสียเพิ่มสมรรถนะสำหรับรถจักรยานยนต์

นายณัฏฐ์ พุ่มสมุท	รหัส 53010800
นางสาวณิรัตน์ ผาสุดะ	รหัส 53011291
นายวีรยุทธ วงศ์ปรีชากุล	รหัส 53011506
ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556	

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาท่อไอเสียที่เพิ่มสมรรถนะของรถจักรยานยนต์ และสร้างท่อไอเสียที่เอื้อประโยชน์ต่อรถจักรยานยนต์ที่นำไปใช้กับการแข่งขัน ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนทาน และต้องการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ในช่วงรอบเครื่องยนต์ที่ต้องการใช้งาน เนื่องจากลักษณะของสนามที่ใช้ในการแข่งขันมีความหลากหลาย และลักษณะการขับขี่ของนักขับแต่ละคนไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องการใช้งานรอบของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน ซึ่งการดำเนินงานเพื่อให้สามารถ ออกแบบและสร้างท่อไอเสียที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้นั้น ควรมีการวางแผนและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่อไอเสียเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ โดยการออกแบบนั้นเลือกใช้สมการ Tuned Length ในการอ้างอิง เพื่อหาขนาดความยาวของท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เหมาะสมกับรอบเครื่องยนต์ที่ต้องการใช้งาน และเลือกลักษณะของท่อร่วมไอเสีย (collector) ที่เหมาะสม โดยการออกแบบท่อไอเสียเราจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆดังนี้ ขนาดความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ลักษณะของท่อร่วมไอเสีย (collector) จากนั้นทำการทดสอบหาผลแรงม้า แรงบิดของท่อไอเสียเดิม แล้วเก็บค่าไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบต่อไป ต่อมาสร้างท่อไอเสียตามที่ออกแบบไว้ แล้วนำท่อไอเสียที่สร้างขึ้นจากการออกแบบตามคุณสมบัติที่เหมาะสมข้างต้นไปติดตั้งบนรถจักรยานยนต์แล้วนำไปทดสอบหาแรงม้าและแรงบิดบนไดนาโมมิเตอร์ จากนั้นปรับปรุงและแก้ไขแล้วนำไปทดสอบอีกเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์และ ผลจากการออกแบบพบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เราเลือกใช้คือ 10000 RPM ท่อที่เราออกแบบใหม่เพิ่มแรงม้าสุดขึ้นอีก 4.2 แรงม้า คิดเป็น 19.4 % และเพิ่มแรงบิดสูงสุดขึ้นอีก 2 Nm คิดเป็น 13.4 % จากท่อ Standard ที่มี Catalytic converter

Design and Development of Performance Exhaust Pipe for Motorcycle

Mr. Naphat Phumsamut 53010800

Miss Maneerat Phasuta 53011291

Mr. Verayut Wongprechakul 53011506

Asst. Prof. Dr. Chinda Charoenphonphanich Advisor
Year 2556

ABSTRACT

The objectives of this project are design and develop the exhaust pipe to increase the performance of motorbike. We produce the exhaust pipe that is benefit for racing motorbike which has durable feature and can increase performance at engine speed that the user want. Because there are many types of circuit and also have many kind of riding behavior so then, the performance at engine speed will be different too. The method of studying are find the information about designing exhaust pipe by using Tuned Length as a reference equation and find the appropriate length and diameter for engine speed that have been chosen. And select the collector that is appropriate for the real production by designing exhaust pipe and changing some value such as the length, diameter and the shape of collector. The next is testing to get horse power and torque, and then keep that value for comparing. After that use the exhaust pipe install on motorbike engine to test for horse power and torque by using dynamometer. Analyze the result to find problems and improve to meet the objectives. The result of our design is our pipe can increase maximum power by 4.2 HP or 19.4 % and increase maximum torque by 2 Nm or 13.4 % when compare with standard pipe with catalytic converter.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ทั้งนี้ยังต้องขอบพระคุณ ดร.ปรีชา การินทร์ ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำปริญญาานิพนธ์ โรงกลึงเฉลิมเกียรติ จังหวัด ราชบุรี ร้าน Wet4U Racing Team ร้าน Dirt Shop ชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยสนับสนุนในการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้ต่างๆ จนกระทั่งได้นำความรู้ที่ได้เรียนมา มาใช้ประโยชน์ในการทำปริญญาานิพนธ์ รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ภาควิชาเครื่องกลทุกคนที่ให้ความช่วยเหลืออื่นๆ

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายณภัทร พุ่มสมุท

นางสาวมณีรัตน์ ผาสุตตะ

นายวีรยุทธ วงศ์ปรีชากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญกราฟ	VIII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับท่อไอเสีย	2
2.2 ทฤษฎีในส่วนของวัสดุ	7
2.3 การทำงานของเครื่องยนต์	8
2.4 สารมลพิษในไอเสีย	9
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	11
3.1 วัฏจักรออตโต้ (Otto cycle) *[7]	11
3.2 การระบายไอเสีย (Blow down)	12
3.3 การหาความเร็วไอเสีย	14
3.4 Collector	16
3.5 Tail pipe	17
3.6 การคำนวณ	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทำชิ้นงาน	21
4.1 วัสดุอุปกรณ์	21
4.2 ขั้นตอนการทำ	32
4.3 ท่อทั้งหมดมีดังนี้	33
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	34
5.1 วิธีการทดสอบ	34
5.2 เงื่อนไขขณะทดสอบ	34
5.3 การเก็บผลการทดสอบ	35
5.4 ผลการทดสอบ	36
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุปผล	43
6.1 กราฟเปรียบเทียบ	43
6.2 สรุปผล	51
บรรณานุกรม	52

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 primary pipe*[1]	2
รูปที่ 2.2 ท่อรวมไอเสีย (Collector)*[2]	3
รูปที่ 2.3 Catalytic converter*[3]	4
รูปที่ 2.4 Tail Pipe*[4]	5
รูปที่ 2.5 Muffler*[5]	6
รูปที่ 2.6 การทำงานของเครื่องยนต์*[6]	8
รูปที่ 3.1 วัฏจักรออตโต (Otto cycle)*[8]	11
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่พอร์ตไอเสียกับตำแหน่งของลูกสูบ*[11]	15
รูปที่ 4.1 เครื่องตัด	21
รูปที่ 4.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด	22
รูปที่ 4.3 เครื่องมือตัดคมตัดเดี่ยว	22
รูปที่ 4.4 เครื่องมือตัดหลายคมตัด	23
รูปที่ 4.5 เครื่องตัด	23
รูปที่ 4.6 เครื่องเชื่อม	24
รูปที่ 4.7 การเชื่อมท่อ	25
รูปที่ 4.8 เครื่องอัดไฮดรอลิก	26
รูปที่ 4.9 มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor)	27
รูปที่ 4.10 กระบอกไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)	28
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ไฮดรอลิกและอุปกรณ์ทางกล	29
รูปที่ 4.12 การใช้งานระบบไฮดรอลิก	29
รูปที่ 4.13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิก	30
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการควบคุมทางกลไกและไฮดรอลิก	30
รูปที่ 4.15 จุดต่อพ่วงสำหรับใส่อุปกรณ์เพิ่ม	31
รูปที่ 4.16 เครื่องขัดกระดาษทรายสายพานแบบแทน	31
รูปที่ 4.17 เครื่องขัดกระดาษทรายสายพานแบบแทน	31
รูปที่ 5.1 นำท่อไอเสียที่ผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้วมาประกอบกับรถมอเตอร์ไซด์	34
รูปที่ 5.2 การทดสอบวัดแรงม้าแรงบิดบน Chassis Dynamometer	35

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของก๊าซไอเสีย

หน้า

19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 5.1 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่มี Catalytic converter	36
กราฟที่ 5.2 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter	37
กราฟที่ 5.3 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 129.54 \text{ m/s}$)	38
กราฟที่ 5.4 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter	39
กราฟที่ 5.5 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 90.73 \text{ m/s}$)	40
กราฟที่ 5.6 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 90.73 \text{ m/s}$) และลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe	41
กราฟที่ 5.7 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 90.73 \text{ m/s}$) และเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe	42
กราฟที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่มี Catalytic converter และ ท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter	43
กราฟที่ 6.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ($V = 90.73 \text{ m/s}$)	44
กราฟที่ 6.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ($V = 90.73 \text{ m/s}$)	45
กราฟที่ 6.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงบิดของท่อ 10000 RPM ($V = 90.73 \text{ m/s}$)	46
กราฟที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM	47
กราฟที่ 6.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM Without Cat	48
กราฟที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้าของท่อทั้งหมด	49
กราฟที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงบิดของท่อทั้งหมด	50

รายการสัญลักษณ์

ตัวอักษร

A	พื้นที่หน้าตัดของท่อ
P	แรงดัน
T	อุณหภูมิ
k	ค่าคงที่ = 1.35
AF	อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง
R	ค่าคงที่ของก๊าซ
Q	อัตราการไหล
V	ความเร็วไอเสีย
CID	ความจุ ลูกบาศก์นิ้ว
CFM	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
S	ความยาวท่อ Primary
ED	องศาเปิดวาล์วไอเสีย + 180
RPM	ความเร็วรอบเครื่องยนต์
V'	ความจุของ 1 กระบอกสูบ x 2
r	รัศมีท่อ
ID inlet	เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าทั้งหมด
ID outlet	เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกทั้งหมด
STD	Standard, มาตรฐาน
Cat	Catalytic converter, ตัวกำจัดมลพิษไอเสีย

ตัวห้อย

r_c	อัตราส่วนกำลังอัด
Q_{HV}	พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง
C_v	ความร้อนจำเพาะเมื่อปริมาตรคงที่
T_{ex}	อุณหภูมิไอเสีย
T_L	Tail pipe

ตัวอักษรกรีก

 Φ

มุมเอียงของ collector

 π

3.14



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเพิ่มสมรรถนะให้กับเครื่องยนต์ในปัจจุบันเป็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากแต่การปรับแต่งเครื่องยนต์มีความยุ่งยากเนื่องจากต้องยุ่งเกี่ยวกับชิ้นส่วนต่างๆภายในเครื่องยนต์ ซึ่งมีความอ่อนไหวและซับซ้อนถ้าหากปรับแต่งผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเครื่องยนต์อาจเสียหายได้ ในขณะเดียวกันการระบายไอเสียออกจากเครื่องยนต์เป็นอีกส่วนประกอบสำคัญที่จะทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะดีหรือไม่ดี การระบายไอเสียออกจากเครื่องยนต์ใช้การขยายตัวของก๊าซแรงดันสูงและร้อนที่จะเคลื่อนตัวหาอากาศภายนอกที่เย็นและมีแรงดันต่ำกว่าร่วมกับการเคลื่อนตัวของลูกสูบผ่านวาล์วไอเสียและพอร์ตไอเสียบนฝาสูบออกนอกเครื่องยนต์ ระบบระบายไอเสียภายนอกเครื่องยนต์ที่ต่ออยู่กับฝาสูบยาวต่อเนื่องไปถึงปลายท่อด้านท้ายสามารถเพิ่มสมรรถนะให้กับเครื่องยนต์ได้ผลมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับระบบไอเสียเดิมว่าสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบแค่ไหน และชุดใหม่ดีแค่ไหน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาท่อไอเสียที่เอื้อประโยชน์ต่อรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการแข่งขัน
- 1.2.2 เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ในช่วงรอบที่ต้องการใช้งาน

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 ศึกษาการออกแบบท่อไอเสียรถจักรยานยนต์เพื่อใช้ในการแข่งขันโดยวิธี Tuned Length
- 1.3.2 ศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน
- 1.3.3 ศึกษาและทดสอบหาแรงม้าและแรงบิดบนไดนาโมมิเตอร์เพื่อดูผลของการสร้างและออกแบบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 เลือกุ่นมอเตอร์ไซด์ที่จะนำมาทดสอบ
- 1.4.2 รวบรวมค่าพื้นฐานในการออกแบบ
- 1.4.3 คำนวณความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยใช้ทฤษฎี Tuned Length
- 1.4.4 ขึ้นรูปชิ้นงาน
- 1.4.5 ทดสอบและรวบรวมผล
- 1.4.6 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

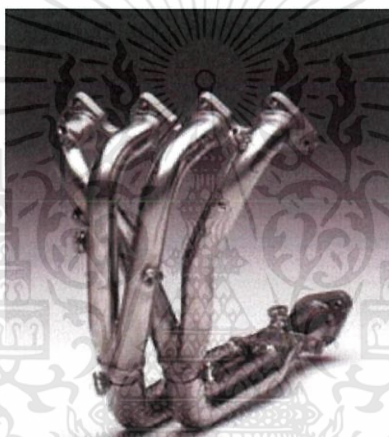
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับท่อไอเสีย

2.1.1 ส่วนประกอบของท่อไอเสีย

ท่อไอเสียโดยปกติเราจะนึกถึงแต่ท่อที่ออกจากเครื่องยนต์และออกทางท้ายรถแต่ความเป็นจริงนั้น ท่อไอเสียมีชื่อเรียกแต่ละส่วนสามารถดูได้ จากรูป 2.1 – 2.5 ดังนี้



รูปที่ 2.1 primary pipe*[1]

ไอเสียภายในกระบอกสูบที่ผ่านลิ้นไอเสียออกมา จะไหลเข้าสู่ท่อร่วมไอเสีย ซึ่งเป็นระบบท่อแยก และพาไอเสียไหลรวมเข้าสู่ท่อไอเสีย 1 หรือ 2 ท่อ ท่อร่วมไอเสียมักทำด้วยเหล็กหล่อ บางแบบอาจมีตำแหน่งให้ความร้อนไหลเข้าสู่ท่อร่วมไอเสียได้ เพื่อใช้ความร้อนช่วยให้เชื้อเพลิงในท่อร่วมไอเสียได้ดีขึ้น

ปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในท่อร่วมไอเสีย คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบต่างๆ ของเชื้อเพลิงยังคงทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แต่เป็นไปอย่างช้าเนื่องจากการสูญเสียความร้อน และอุณหภูมิที่ลดลงหลังการระบายไอเสีย เครื่องยนต์สมัยใหม่บางรุ่นใช้ฉนวนหุ้มท่อร่วมไอเสียเพื่อให้ไอเสียมีความร้อนสูง และช่วยลดมลพิษในไอเสียได้ บางรุ่นมีระบบป้อนอากาศควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเพิ่มออกซิเจนสำหรับการทำปฏิกิริยา

เครื่องยนต์ในยุคนี้มีเซ็นเซอร์จำนวนมากที่ต่อรวมไอเสีย เพื่อป้อนข้อมูลให้แก่ระบบควบคุมเครื่องยนต์ โดยทำงานด้วยวิธีต่าง ๆ ร่วมกัน เช่น ความร้อน เคมี ไฟฟ้า เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณออกซิเจน ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ เหม่า และสารอื่นในสถานะของแข็ง อุณหภูมิและการนอของเครื่องยนต์ ระบบบริหารของเครื่องยนต์ (EMS) จะใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ เช่น อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิง จังหวะฉีดเชื้อเพลิง จังหวะจุดระเบิด และอัตราการป้อนกลับไอเสีย

ไอเสียจะไหลจากชุดต่อรวมไอเสียเข้าสู่ท่อไอเสียไปยังระบบควบคุมมลพิษของเครื่องยนต์ซึ่งอาจเป็นคอนเวอร์เตอร์ความร้อน และ/หรือ แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ อุปกรณ์เหล่านี้ควรอยู่ใกล้กับเครื่องยนต์ที่สุดเท่าที่เนื้อที่จะอำนวย เพื่อป้องกันการสูญเสียของความร้อนของไอเสียระหว่างทาง แต่ในทางตรงกันข้ามก็มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากอุณหภูมิของห้องเครื่องยนต์สูงเกินไป คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ช่วยลดมลพิษในไอเสียโดยการช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี



รูปที่ 2.2 ท่อรวมไอเสีย (Collector)*[2]

Collector คือ ท่อที่รวมเอาท่อ primary pipe มารวมกันแล้วปล่อยออกเป็นท่อเดียว



รูปที่ 2.3 Catalytic converter*[3]

Catalytic converter คือ ตัวกำจัดมลพิษไอเสีย จะติดตั้งอยู่บน tail pipe 2.2

สารมลพิษในไอเสียรถยนต์เบนซิน

1. คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นก๊าซพิษซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยไอทีที่มีความเข้มข้นสูง เมื่อไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกสันดาปและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์มิได้เป็นพิษไม่พึงประสงค์ในไอเสียเท่านั้น การมีคาร์บอนมอนอกไซด์หมายถึงการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพราะคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถให้ความร้อนได้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีค่าสูงสุดเมื่อไอทีของเครื่องยนต์มีความเข้มข้นมาก เช่น ขณะติดเครื่องยนต์ หรือ เมื่อเร่งเครื่องยนต์ขณะมีโหลด และแม้ไอทีจะมีความเข้มข้นเหมาะสมแก่การสันดาปที่สุดหรือเจือจาง ก็ยังคงเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ได้จากการผสมคลุกเคล้าไปทั่วกันของไอที

2. ไฮโดรคาร์บอน (HC) ไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดมิได้เผาไหม้ด้วยประกายไฟ มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงถึง 6,000 ส่วนในล้านส่วน (6,000ppm) หรือ 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิง 40 เปอร์เซ็นต์ของส่วนดังกล่าวนี้ คือสารประกอบของเชื้อเพลิงซึ่งส่วนอีก 60 เปอร์เซ็นต์ คือสารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่มิได้มีอยู่เดิมในเชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเพลิงซึ่งมีส่วนผสมต่างกัน รูปทรงทางเรขาคณิตของห้องเผาไหม้และพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์ก็มีผลต่อรูปแบบของไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียเมื่อออกมาผสมกับอากาศจะสั่นคลอนและทำให้อวัยวะต่างๆ ระคายเคืองและบางส่วนก็เป็นสารก่อมะเร็งด้วย ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับอากาศและทำให้เกิดหมอกควัน สาเหตุของการเกิดไฮโดรคาร์บอน เช่น อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงไม่เหมาะสม การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สารตกค้างที่ผนังห้องเผาไหม้ น้ำมันเครื่องที่ผนังเผาไหม้ การเปิดซ้อนกันของวาล์วไอตี-ไอเสีย

3. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ไอเสียของเครื่องยนต์ทั่วไปมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนประมาณ 200 ppm หรือต่ำกว่านั้น โดยส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนออกไซด์ (NO) มีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ปนอยู่เป็นส่วนน้อยเท่านั้น และที่เหลือซึ่งมีปริมาณน้อยมากเป็นสารประกอบต่างๆ ระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจน ออกไซด์เหล่านี้ถูกเรียกรวมกันว่า NOx การเกิด NOx ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเกิด NOx ได้เยอะ นอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว การเกิด NOx ยังขึ้นอยู่กับความดันอัตราส่วนอากาศ - เชื้อเพลิง และช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปภายในกระบอกสูบ NOx เป็นสาเหตุหลักของหมอกควัน (smog)

นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษอื่นๆ ในไอเสียของเครื่องยนต์ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน กรดคาร์บอน แอมโมเนีย ตะกั่ว ฟอสฟอรัส เป็นต้น



รูปที่ 2.4 Tail Pipe*[4]

Tail pipe คือ ท่อที่ต่อจาก collector มาจนถึง muffler



รูปที่ 2.5 Muffler*[5]

ไอเสียที่ไหลผ่านแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์แล้วจะไหลเข้าสู่ท่อไอเสีย ซึ่งอยู่บริเวณใต้ห้องโดยสาร และพื้นปลายของท่อไอเสียบริเวณท้ายรถของรถยนต์นั่ง หรือถูปล้อยขึ้นด้านบนหลังคนขับของรถบรรทุกขนาดใหญ่

ในช่วงใดช่วงหนึ่ง ของท่อไอเสียส่วนหลังนี้จะติดตั้งหม้อพักไอเสีย (muffler) เพื่อลดเสียงของเครื่องยนต์ซึ่งอยู่ในรูปคลื่นความดันของไอเสีย การลดเสียงมี 2 วิธีด้วยกัน คือ ลดพลังงานของคลื่นเสียงโดยให้ไหลผ่านตัวกลางซึ่งมีเนื้อพรุน (porous medium) หรือให้คลื่นเสียงต่างเฟสหักล้างกันเอง หม้อพักนี้ไม่จำเป็นต้องลดเสียงให้เงียบเสมอไปโยอาจปล่อยเสียงดังพอสมควรและน่าฟังสำหรับรถสปอร์ตบางรุ่น

รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ระบายความร้อนด้วยอากาศบางรุ่น เช่น โพล์คสวาเกน เต่าทอง ใช้ความร้อนของไอเสียทำความอุ่นให้ห้องโดยสาร โดยให้ไอเสียไหลผ่านด้านหนึ่งของชุดแปลงความร้อน และให้อากาศจากห้องโดยสารไหลผ่านด้านหนึ่ง ซึ่งทำงานได้ดีพอสมควรหากอุปกรณ์ต่าง ๆ ยังอยู่ในสภาพที่ดี แต่ถ้าเกิดการรั่ว หรือเกิดสนิมจนมุดทะลุ ไอเสียส่วนหนึ่งจะไหลเข้าสู่ห้องโดยสารได้และเป็นอันตรายอย่างมาก

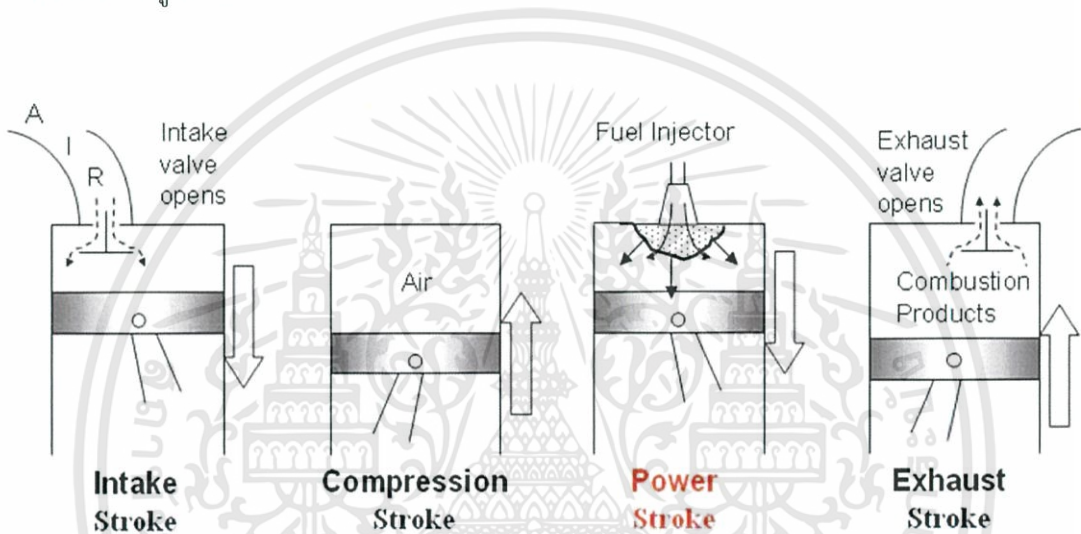
2.2 ทฤษฎีในส่วนของวัสดุ

2.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส (อังกฤษ: Stainless steel)

ในทางโลหะกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% ชื่อในภาษาไทย แปลจากภาษาอังกฤษว่า stainless steel เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมที่มีสาเหตุจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสแตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการกัดกร่อน และไม่ชำระหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า corrosion resistant steel เมื่อไม่ได้รับบุชต์ว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น สแตนเลสเกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในเนื้อเหล็กคือ โครเมียมและนิกเกิล ตามลำดับ สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสแตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สแตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์ บางๆเคลือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิวออกไป ในสภาวะที่ Stainless steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้งเช่น ถ้าสแตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้และเราได้เลือกใช้ ชนิด 304 เป็นสแตนเลสเกรดออสเทนติก (AUSTENITIC) ที่พบเห็น และใช้แพร่หลายที่สุด มีส่วนผสมของโครเมียม (CHROMIUM) ประมาณ 18% และนิกเกิล (NICKEL) ประมาณ 8% ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม อุปกรณ์ในกระบวนการทางเคมี, อุปกรณ์เครื่องครัว, เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร, เครื่องใช้ในบ้าน, เครื่องล้างจาน, อ่างล้างจาน ภาชนะหุงต้ม เครื่องมือในโรงพยาบาล และเวชภัณฑ์ ตู้รถไฟ ตู้คอนเทนเนอร์ ฯลฯ

2.3 การทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์จะเปิดด้วยประกายไฟแบ่งออกเป็น 4 จังหวะ ซึ่งได้แก่ จังหวะดูด (intake stroke) จังหวะอัด (compression stroke) จังหวะกำลัง (power stroke) และจังหวะคาย (exhaust stroke) เครื่องยนต์จะต้องหมุน 2 รอบจึงจะครบวัฏจักร (cycle) การทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ทำงาน 4 จังหวะดังกล่าวเรียกว่า เครื่องยนต์วัฏจักร 4 จังหวะ หรือเรียกสั้นๆว่า เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานของเครื่องยนต์*[6]

2.3.1. จังหวะดูด (intake stroke) ในช่วงจังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง วาล์วไอดีเปิดออก และไอดีถูกดูดให้ไหลเข้ากระบอกสูบ ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะเกิดสุญญากาศในกระบอกสูบ ทำให้เกิดแรงดูดไอดีเข้ากระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุด วาล์วไอดีจะปิด

2.3.2 จังหวะอัด (compression stroke) หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุดแล้วก็จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด ไอดีในกระบอกสูบจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง จึงเรียกว่า จังหวะอัด เช่น จากปริมาตร 8 ส่วน ถูกอัดจนเหลือเพียง 1 ส่วน อัตราส่วนระหว่างปริมาตรก่อนอัดกับปริมาตรหลังอัด เรียกว่า อัตราส่วนการอัด (compression ratio)

2.3.3 จังหวะกำลัง (power stroke) ในระหว่างจังหวะกำลัง วาล์วไอดีและไอเสียยังคงปิดอยู่ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ศูนย์ตายบนในจังหวะอัด จะเกิดประกายไฟที่หัวเทียน และเริ่มการจุดระเบิดเผาไหม้ไอดี ในขณะที่เดียวกันลูกสูบจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งศูนย์ตายบนและเริ่มเคลื่อนที่ลง ในระหว่างการเผาไหม้ จะเกิดความดันสูงกระทำต่อลูกสูบให้เคลื่อนที่ลงและถ่ายเทผ่านก้านสูบไปสู่เพลาค้อเหวี่ยง

2.3.4 จังหวะคาย(exhaust stroke) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ถึงศูนย์ตายล่าง วาล์วไอเสียจะเปิดออกหลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายล่างแล้วก็จะเคลื่อนที่ขึ้น และไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบทางวาล์วไอเสีย จึงเรียกว่าจังหวะคาย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายบนแล้วก็จะเริ่มเคลื่อนที่ลง วาล์วไอเสียจะปิด และวาล์วไอดีจะเปิดออก เพื่อเริ่มต้นจังหวะดูดอีกครั้งหนึ่ง

2.4 สารมลพิษในไอเสีย

2.4.1 สารมลพิษในไอเสียรถยนต์เบนซินมีดังนี้

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นก๊าซพิษซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยไอดีที่มีความเข้มข้นสูง เมื่อไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกสันดาปและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์มิได้เป็นพิษไม่พึงประสงค์ในไอเสียเท่านั้น การมีคาร์บอนมอนอกไซด์หมายถึงการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพราะคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถให้ความร้อนได้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีค่าสูงสุดเมื่อไอดีของเครื่องยนต์มีความเข้มข้นมาก เช่น ขณะติดเครื่องยนต์ หรือ เมื่อเร่งเครื่องยนต์ขณะมีโหลด และแม้ไอดีจะมีความเข้มข้นเหมาะสมแก่การสันดาปที่สุดหรือเจือจาง ก็ยังคงเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ได้จากการผสมคลุกเคล้าไปทั่วกันของไอดี

2. ไฮโดรคาร์บอน (HC) ไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดมิได้เผาไหม้ด้วยประกายไฟ มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงถึง 6,000 ส่วนในล้านส่วน (6,000ppm) หรือ 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิง 40 เปอร์เซ็นต์ของส่วนดังกล่าวนี้ คือสารประกอบของเชื้อเพลิงซึ่งส่วนอีก 60 เปอร์เซ็นต์ คือสารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่มิได้อยู่เดิมในเชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเพลิงซึ่งมีส่วนผสมต่างกัน รูปทรงทางเรขาคณิตของห้องเผาไหม้และพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์ก็มีผลต่อรูปแบบของไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียเมื่อออกมาผสมกับอากาศจะสั่นคลอนและทำให้อวัยวะต่างๆ ระบายเคืองและบางส่วนก็เป็นสารก่อมะเร็งด้วย ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับอากาศและทำให้เกิดหมอกควัน สาเหตุของการเกิด

ไฮโดรคาร์บอน เช่น อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงไม่เหมาะสม การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สารตกค้างที่ผนังห้องเผาไหม้ น้ำมันเครื่องที่ผนังเผาไหม้ การเปิดซ้อนกันของวาล์วไอตี-ไอเสีย

3. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ไอเสียของเครื่องยนต์ทั่วไปมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนประมาณ 200 ppm หรือต่ำกว่านั้น โดยส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนออกไซด์ (NO) มีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ปนอยู่เป็นส่วนน้อยเท่านั้น และที่เหลือซึ่งมีปริมาณน้อยมากเป็นสารประกอบต่างๆ ระหว่างไนโตรเจนละออกซิเจน ออกไซด์เหล่านี้ถูกเรียกรวมกันว่า NO_x การเกิด NO_x ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเกิด NO_x ได้เยอะ นอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว การเกิด NO_x ยังขึ้นอยู่กับความดันอัตราส่วนอากาศ - เชื้อเพลิง และช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปภายในกระบอกสูบ NO_x เป็นสาเหตุหลักของหมอกควัน (smog)

นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษอื่นๆ ในไอเสียของเครื่องยนต์ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน กรดคาร์บอน แอมโมเนีย ตะกั่ว ฟอสฟอรัส เป็นต้น

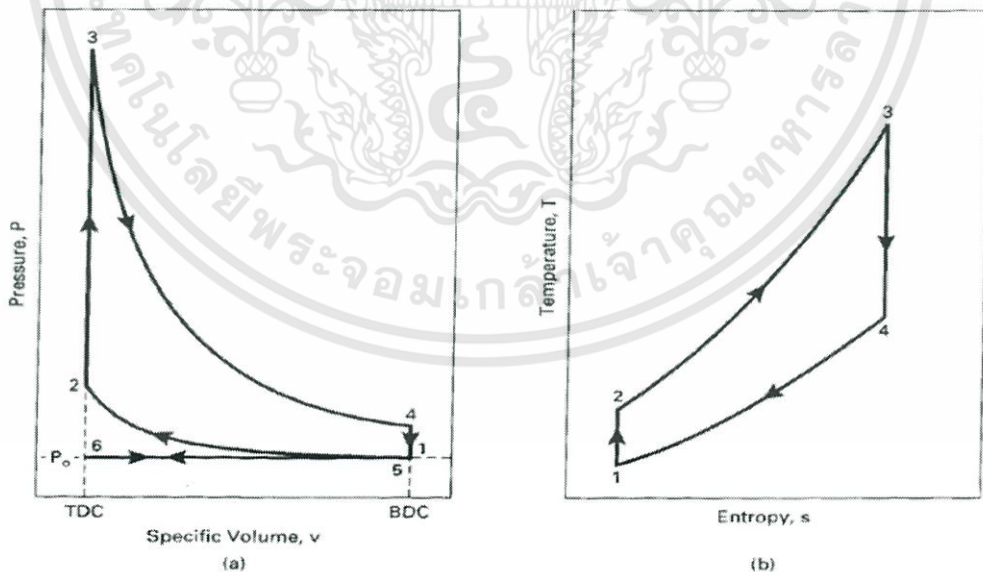


บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 วัฏจักรออตโต (Otto cycle) *[7]

เครื่องยนต์แก๊สอินหรือเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้การจุดระเบิดของหัวเทียนในการติดเครื่อง (Spark ignition engine) และมีวัฏจักรเป็นไปตามทฤษฎีซึ่งเรียกว่า “วัฏจักรออตโต (Otto cycle)” หรือเรียกว่า “วัฏจักรปริมาตรคงที่” วัฏจักรนี้แสดงดังในรูป ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการแอเดียแบติก 2 กระบวนการ และการเปลี่ยนแปลงแบบปริมาตรคงที่อีก 2 กระบวนการ จากการเปลี่ยนแปลงแบบแอเดียแบติก ของผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าไปที่กระบอกสูบ และถูกอัดจนถึงที่ตำแหน่งที่ 2 จากนั้นก็จะจุดระเบิดในระยะเวลาสั้นๆ ชั่วพริบตา เนื่องจากการเผาไหม้ดำเนินไปในระยะเวลาสั้นจึงสามารถพิจารณาให้เป็นการให้ความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (กระบวนการที่ 2-3) ณ สภาวะที่ 3 แก๊สเผาไหม้ที่ได้รับการเพิ่มความร้อนนี้จะมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นก็จะเกิดการขยายตัวแบบแอเดียแบติกโดยจะมีการส่งผ่านงานไปยังลูกสูบ จนกระทั่งมาถึงสภาวะที่ 4 (ตำแหน่งที่ 4) ลิ้นไอเสีย (Exhaust valve) ก็จะเปิดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อปล่อยไอเสียออกมา



รูปที่ 3.1 วัฏจักรออตโต (Otto cycle)*[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์วัฏจักรออตโต้ทางอุณหพลศาสตร์โดยใช้อากาศมาตรฐานเพื่อหาอุณหภูมิและความดันไอเสีย

กระบวนการ 6-1 อากาศไหลเข้าด้วยความดันคงที่ ลี้นไอตีเปิด ลี้นไอเสียปิด

$$P_1 = P_6 = P_0 \quad (1)$$

กระบวนการ 1-2 จังหวะอัดแบบไอเซนโทรฟิก ลี้นปิดทั้งหมด

$$T_2 = T_1(r_c)^{k-1} \quad (2)$$

$$P_2 = P_1(r_c)^k \quad (3)$$

กระบวนการ 2-3 ป้อนความร้อนเข้าระบบแบบปริมาตรคงที่ (การสันดาป)

$$Q_{HV} = (AF+1)C_v(T_3-T_2) \quad (4)$$

$$P_3 = P_2(T_3/T_2) \quad (5)$$

กระบวนการ 3-4 จังหวะขยายตัวหรือจังหวะทำงานแบบไอเซนโทรฟิก

$$T_4 = T_3(1/r_c)^{k-1} \quad (6)$$

$$P_4 = P_3(1/r_c)^k \quad (7)$$

3.2 การระบายไอเสีย (Blow down)

การระบายไอเสียเริ่มต้นเมื่อลี้นไอเสียเริ่มเปิด ในช่วงปลายของจังหวะทำงานประมาณ 60° ถึง 40° ก่อนศูนย์ตายล่าง ในช่วงเวลานี้ความดันในกระบอกสูบยังมีค่าประมาณ 4-5 ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิยังสูงถึง 1,000 K เนื่องจากความดันในท่อไอเสียมีค่าประมาณ 4-5 ความดันบรรยากาศ เมื่อลี้นไอเสียเปิด ส่วนต่างของความดันมีผลให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบอย่างรวดเร็วผ่านลี้นไอเสียไปสู่ท่อไอเสีย

การไหลของก๊าซในช่วงแรกนี้เป็นการไหลผ่านช่องแคบและมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียงซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนของความดันผ่านช่องแคบนี้มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับ

$$(P_1/P_2) = [(k+1)/2]^{k/(k-1)} \quad (8)$$

โดย P_1 = ความดันหน้าล้นไอเสีย

P_2 = ความดันหลังล้นไอเสีย

k = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

$P_1/P_2 = 1.86$ สำหรับอากาศเมื่อใช้ $k = 1.35$

ความเร็วเสียงมีค่าดังนี้

$$C = (kRT)^{1/2} \quad (9)$$

โดย R = ค่าคงที่ก๊าซ

T = อุณหภูมิไอเสีย

ความเร็วเสียง ณ จุดที่มีค่าสูง เนื่องจากอุณหภูมิของก๊าซในกระบอกสูบยังสูงอยู่ เมื่อไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบไปสู่ท่อไอเสีย ความดันจะลดลง และอุณหภูมิก็น่าจะลดลงเนื่องจากการขยายตัวด้วยการคำนวณอุณหภูมิในระบบไอเสียมักคำนวณโดยการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันของการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกของก๊าซในอุดมคติ

$$T_{ex} = T_4 = T_3(1/r_c)^{k-1} \quad (10)$$

โดย T_{ex} = อุณหภูมิของไอเสีย

r_c = อัตราส่วนกำลังอัด

3.3 การหาความเร็วไอเสีย

เราสามารถหาได้จาก สมการต่อไปนี้

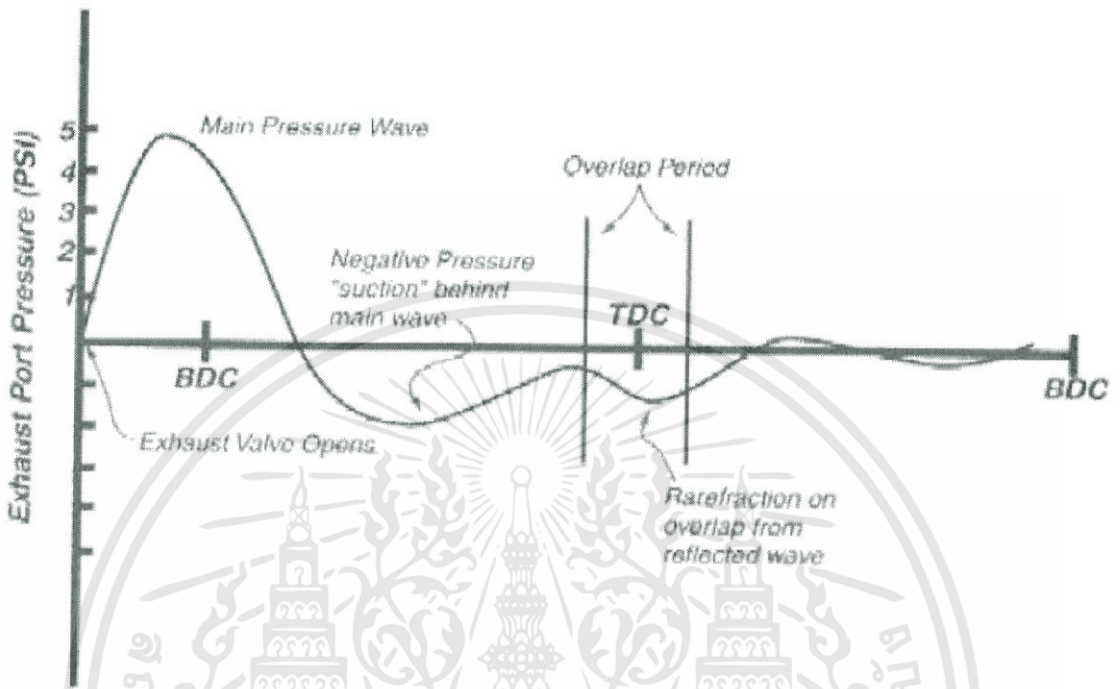
$$Q = VA \quad (11)$$

โดย Q = อัตราการไหล
V = ความเร็วแก๊สไอเสีย
A = พื้นที่หน้าตัดท่อไอเสีย

$$\frac{\text{อุณหภูมิไอเสีย } (^{\circ}F)+460}{540} \times \text{อัตราการไหลของไอดี(CFM)} = \text{อัตราการไหลของไอเสีย} \quad (12)*[9]$$

$$\frac{\text{ขนาดเครื่องยนต์ (CID) X RPM}}{3456} \times \text{ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร} = \text{อัตราการไหลของไอดี(CFM)} \quad (13)*[10]$$

โดย CID = ลูกบาศก์นิ้ว
CFM = ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร = 0.7



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่พอร์ตไอเสียกับตำแหน่งของลูกสูบ*[11]

เมื่อเครื่องยนต์จุดระเบิดไอติดจะเผาไหม้และกลายเป็น ความร้อน แรงดัน และ ไอเสีย และดันให้ ลูกสูบเคลื่อนที่ลง และวาล์วไอเสียจะเริ่มเปิด ความดันภายในกระบอกสูบมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ ในท่อไอเสีย ไอเสียจึงเริ่มวิ่งออกจากกระบอกสูบ แต่เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับขึ้นมามีแรงดันไอเสียเหลืออยู่ในกระบอกสูบ(ตำแหน่ง BDC ในรูปด้านบน)จึงทำให้ลูกสูบต้องออกแรงดันไอเสียออกจาก กระบอกสูบซึ่งทำให้เครื่องยนต์ต้องเสียแรงขับไปในส่วนนี้

แต่เมื่อไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบแล้วจะเห็นว่าด้านหลังของการไหลของไอเสียนั้นจะเป็น สูญญากาศ (suction) ซึ่งเราสามารถนำเอาสูญญากาศนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยการออกแบบให้ สามารถดูดไอเสียของอีกกระบอกสูบหนึ่งได้

ระบบไอเสียที่ดีสามารถช่วยดูดไอเสียจากอีกลูกสูบได้ ทำให้ไอเสียของอีกกระบอกสูบไหลออก เร็วและหมดจดมากยิ่งขึ้นและในจังหวะ Overlap ยังสามารถช่วยดูดไอติดให้เข้ามาในกระบอกสูบมากยิ่งขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ทำให้อากาศในกระบอกสูบสะอาดเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ลด pumping loss

เราใช้ทฤษฎี Tuned Length เป็นแนวทางในการออกแบบซึ่งโดยรวมแล้ว สมการนี้เกี่ยวข้องกับ ระยะทาง, ความเร็ว, เวลา และ ปริมาตร

$$\text{ระยะทาง} = \text{ความเร็ว} \times \text{เวลา} \quad (14)$$

$$\text{ปริมาตร} = \text{พื้นที่หน้าตัดของท่อ} \times \text{ระยะทาง} \quad (15)$$

ดังนั้นสำหรับ Primary pipe

$$\text{ความยาว } S = \frac{V \times ED}{RPM \times 6} \quad (16)$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง } V' = \pi r^2 S \quad (17)$$

โดย

S	= ความยาวท่อ
V	= ความเร็วแก๊สไอเสีย
ED	= องศาเปิดวาล์วไอเสีย + 180
RPM	= ความเร็วรอบเครื่องยนต์
V'	= ความจุของ 1 กระบอกสูบ x 2
r	= รัศมีท่อ

3.4 Collector

$$\text{Length} = \left(\frac{\text{ID inlet} - \text{ID outlet}}{2} \right) \text{Cot } \Phi \quad (18)$$

โดย

ID inlet	= เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าทั้งหมด
ID outlet	= เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกทั้งหมด
Φ	= มุมเอียงของ collector (7° ถึง 10°)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Tail pipe

$$\text{ความยาว } T_L = S - \text{Collector Length} \quad (19)$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง } V' = \pi r^2 S \quad (20)$$

โดย T_L = Tail pipe

S = Primary pipe length

V' = ความจุของ 1 กระบอกสูบ $\times 2$

r = รัศมีท่อ

3.6 การคำนวณ

จากวัฏจักรออตโตค่าต่างๆที่เราใช้ดังนี้

$$r_c = 11.6 \text{ (Ninja 250)}$$

$$k = 1.35$$

$$Q_{LHV}(\text{Kj/Kg}) = 43000 \text{ (Gasoline)}$$

$$AF = 14.6$$

$$C_v(\text{Kj/Kg} \cdot \text{k}) = 0.821$$

$$T_1 = 303 \text{ k}$$

$$P_0 = 101 \text{ KPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 6-1 อากาศไหลเข้าด้วยความดันคงที่ ลีนไอตีเปิด ลีนไอเสียปิด

$$P_1 = P_6 = P_0 = 101 \text{ KPa}$$

กระบวนการ 1-2 จังหวะอัดแบบไอเซนโทรฟิก ลีนปิดทั้งหมด

$$T_2 = T_1(r_c)^{k-1} = 714.5 \text{ k}$$

$$P_2 = P_1(r_c)^k = 2762.74 \text{ KPa}$$

กระบวนการ 2-3 ป้อนความร้อนเข้าระบบแบบปริมาตรคงที่ (การสันดาป)

$$Q_{HV} = (AF+1)C_v(T_3-T_2) \quad ; \quad T_3 = 4071.88 \text{ k}$$

$$P_3 = P_2(T_3/T_2) = 15744.61 \text{ KPa}$$

กระบวนการ 3-4 จังหวะขยายตัวหรือจังหวะทำงานแบบไอเซนโทรฟิก

$$T_4 = T_3(1/r_c)^{k-1} = 1726.77 \text{ k} = 2648.79 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P_4 = P_3(1/r_c)^k = 575.59 \text{ KPa}$$

จากนั้น นำมาคำนวณหาอัตราการไหลของไอเสียจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{\text{อุณหภูมิไอเสีย (F) + 460}}{540} \times \text{อัตราการไหลของไอดี (CFM)} = \text{อัตราการไหลของไอเสีย}$$

$$\frac{\text{ขนาดเครื่องยนต์ (CID) X RPM}}{3456} \times \text{ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร} = \text{อัตราการไหลของไอดี (CFM)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย CID = ลูกบาศก์นิ้ว

CFM = ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร = 0.7

จากสมการข้างต้นเราสามารถนำมาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของก๊าซไอเสียได้ตามตารางข้างล่างนี้

RPM	Engine size		Vol Eff	In Flow	Ex Temp	Ex Flow	Ex port dia	V=Q/A
	CC	CID		CFM	F	CFM	m	m/s
1000	249	15.189	0.7	3.076476	2648.78	17.71127	0.0254	16.49628
1500	249	15.189	0.7	4.614714	2648.78	26.56691	0.0254	24.74442
2000	249	15.189	0.7	6.152951	2648.78	35.42254	0.0254	32.99256
2500	249	15.189	0.7	7.691189	2648.78	44.27818	0.0254	41.2407
3000	249	15.189	0.7	9.229427	2648.78	53.13381	0.0254	49.48884
3500	249	15.189	0.7	10.76766	2648.78	61.98945	0.0254	57.73698
4000	249	15.189	0.7	12.3059	2648.78	70.84508	0.0254	65.98512
4500	249	15.189	0.7	13.84414	2648.78	79.70072	0.0254	74.23326
5000	249	15.189	0.7	15.38238	2648.78	88.55635	0.0254	82.4814
5500	249	15.189	0.7	16.92062	2648.78	97.41199	0.0254	90.72954
6000	249	15.189	0.7	18.45885	2648.78	106.2676	0.0254	98.97768
6500	249	15.189	0.7	19.99709	2648.78	115.1233	0.0254	107.2258
7000	249	15.189	0.7	21.53533	2648.78	123.9789	0.0254	115.474
7500	249	15.189	0.7	23.07357	2648.78	132.8345	0.0254	123.7221
8000	249	15.189	0.7	24.61181	2648.78	141.6902	0.0254	131.9702
8500	249	15.189	0.7	26.15004	2648.78	150.5458	0.0254	140.2184
9000	249	15.189	0.7	27.68828	2648.78	159.4014	0.0254	148.4665
9500	249	15.189	0.7	29.22652	2648.78	168.2571	0.0254	156.7147
10000	249	15.189	0.7	30.76476	2648.78	177.1127	0.0254	164.9628
							Avg	90.72954

ตาราง 3.1 ตารางแสดงการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของก๊าซไอเสีย

เราได้ค่าความเร็วเฉลี่ย = 90.73 m/s และ $V = 129.54 \text{ m/s} \cdot [11]$

จากนั้นนำมาคำนวณขนาดของท่อไอเสีย ที่ 10000 RPM

ตัวอย่างการคำนวณ

Primary pipe

$$V = 90.73 \text{ m/s}$$

$$ED = 61 + 180 = 241^\circ$$

$$\text{RPM} = 10000$$

$$V' = 149.5 \times 2 = 249 \text{ cm}^3$$

$$\text{ความยาว } S = \frac{V \times ED}{\text{RPM} \times 6} = 0.364 \text{ m}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง } D = 1.1635 \text{ in}$$

Collector

$$\text{ความยาว} = \left(\frac{\text{ID inlet} - \text{ID outlet}}{2} \right) \text{Cot } \Phi = 12 \text{ cm}$$

$$\Phi = \text{มุมเอียงของ collector} = 7^\circ$$

Tail pipe

$$\text{ความยาว } T_L = 0.364 - 0.12 = 0.244 \text{ m}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง } D = 1.422 \text{ in}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทำชิ้นงาน

4.1 วัสดุอุปกรณ์

4.1.1 เครื่องตัด

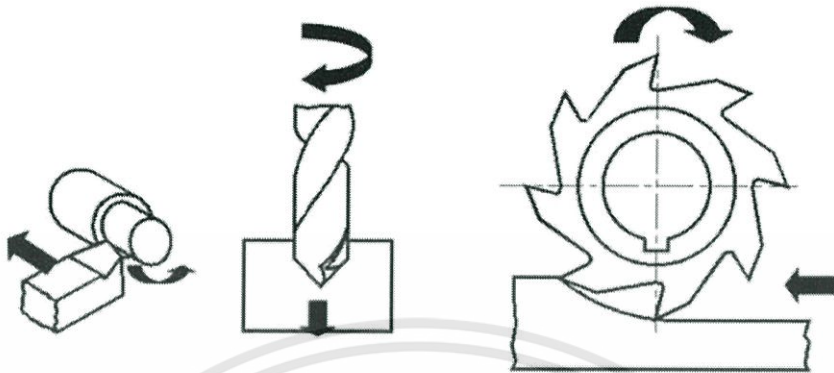


รูปที่ 4.1 เครื่องตัด

*[12] เครื่องมือตัดในงานเครื่องมือกล (Machine Tools) ใช้ตัดเฉือนชิ้นรูปชิ้นงาน ให้มีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดและชิ้นงาน ซึ่ง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดและชิ้นงานแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

Primary Motion เป็นการเคลื่อนที่ของชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดแล้วทำให้เกิด ความเร็วตัด (Cutting Speed) ตัวอย่าง การหมุนของชิ้นงานกลึง ดอกสว่านและมิดกัดหมุน และมิดไสเคลื่อนที่ เป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด

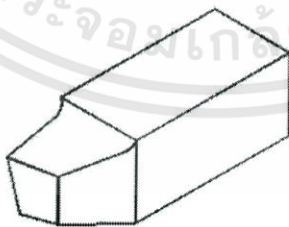
Feed Motion เป็นการเคลื่อนที่ของชิ้นงานหรือเครื่องมือตัด แล้วทำให้เกิด อัตราป้อน (Feed Rate) ตัดเฉือนชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของมีดตัดในงานกลึง การเคลื่อนที่ของชิ้นงานในงานกัด และงานไส

Auxiliary Motion เป็นการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด หรือชิ้นงานไปยังจุดเริ่มต้น เพื่อทำการตัดเฉือนชิ้นงาน และเคลื่อนที่ออกจากชิ้นงานหลังจากที่ตัดเฉือนชิ้นงานเสร็จแล้ว

การแบ่งประเภทของเครื่องมือตัด เครื่องมือตัดในงานเครื่องมือกล แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เครื่องมือตัดคมตัดเดียว (Single Point Tools)
2. เครื่องมือตัดหลายคม (Multi Point Tools)

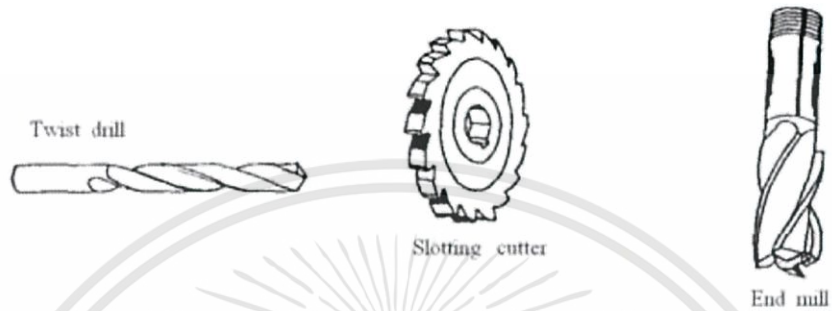
เครื่องมือตัดคมตัดเดียว เป็นเครื่องมือตัดที่มีคมตัด คมตัดเดียวใน 1 ด้าม โดยมากใช้กับ เครื่องกลึง เครื่องไส และเครื่องคว้าน



รูปที่ 4.3 เครื่องมือตัดคมตัดเดียว

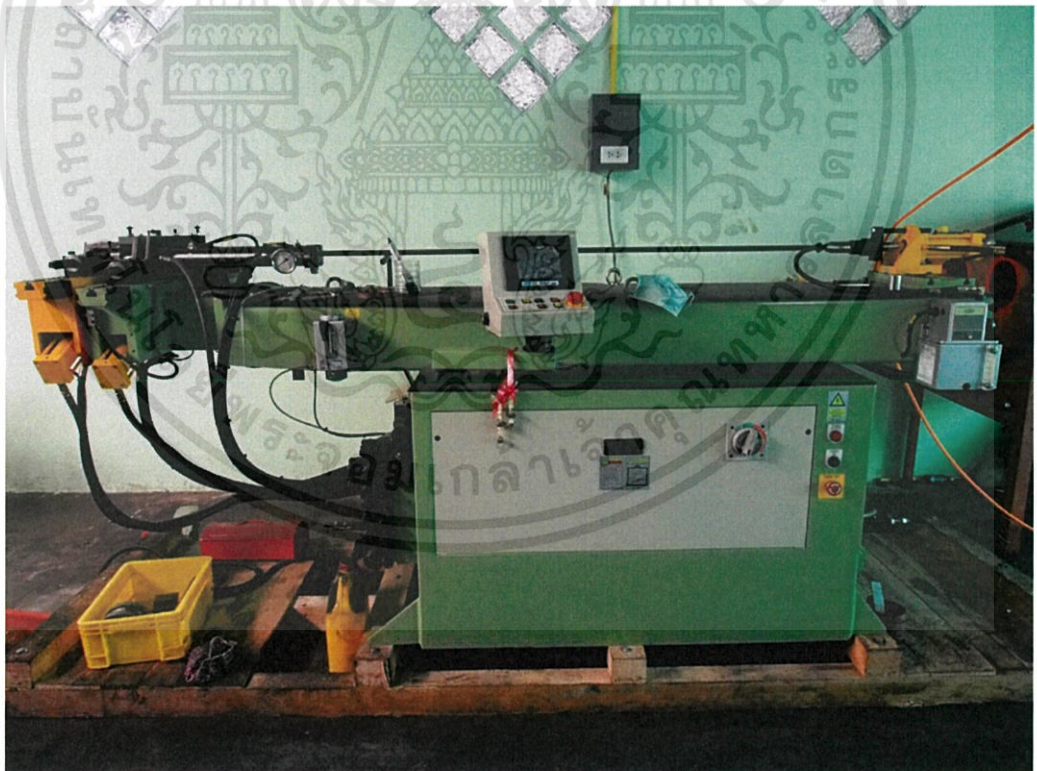
รูปร่างมีดตัดคมขวา (Right Hand Tool) ตัวอย่างของเครื่องมือตัดคม ตัดเดียว

เครื่องมือตัดหลายคมตัด เป็นเครื่องมือที่มีคมตัดตั้งแต่ 2 คมตัดหรือมากกว่า 2 คมตัดใน เครื่องมือตัด 1 ตัว โดยทั่วไปเป็นเครื่องมือตัดที่ใช้ในงานเจาะและงานกัด ตัวอย่างของเครื่องมือตัดดัง รูปต่อไปนี้ที่เป็นตัวอย่างเครื่องมือตัดหลายคม



รูปที่ 4.4 เครื่องมือตัดหลายคมตัด

4.1.2 เครื่องัด



รูปที่ 4.5 เครื่องัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

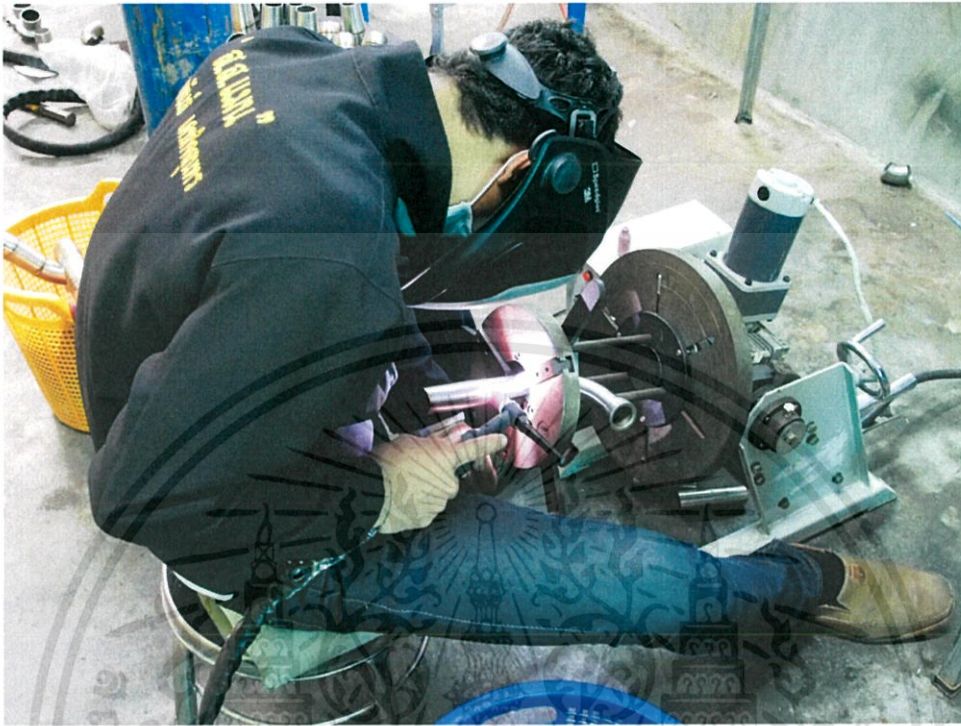
1. ตัดท่อร่วมไอเสียของรถ จักรยานยนต์ และเครื่องจักรอื่นๆ
2. ตัดท่อของเครื่องปรับอากาศ เพอร์นิเจอร์ จักรยาน สิ่งอำนวยความสะดวกด้านกีฬา
3. ท่อของห้องครัวและห้องอาบน้ำ ท่อของอุปกรณ์ทางการแพทย์

4.1.3 เครื่องเชื่อม



รูปที่ 4.6 เครื่องเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเชื่อมท่อ

การเชื่อม *[13] เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียว เพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงานชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส, การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า, ลำแสงเลเซอร์, การใช้ไอเล็กโตรอนบีม, การเสียดสี, การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นการเชื่อมในพื้นที่โล่ง, พื้นที่อับอากาศ, การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้า, ความร้อน, สะเก็ดไฟ, คิวเชื่อม, แก๊สพิษ, รังสีอาร์ค, ชิ้นงานร้อน, ฝุ่นละออง ในยุคเริ่มแรกจนถึงศตวรรษที่ 19 มีการใช้งานเฉพาะการเชื่อมทูป (forge welding) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อโลหะ เช่นการทำดาบในสมัยโบราณ วิธีนี้รอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูง และโครงสร้างของเนื้อรอยเชื่อมมีคุณภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่มีความล่าช้าในการนำมาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นได้มีการพัฒนามาสู่การเชื่อมอาร์ค และการเชื่อมโดยใช้เปลวแก๊สออกซิเจน และหลังจากนั้นมีการเชื่อมแบบความดันตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการเชื่อมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาเพื่อรองรับต่อการสู้รบในช่วงเวลานั้น เพื่อทดแทนการต่อโลหะแบบเดิม เช่นการใช้หมุดย้ำซึ่งมีความล่าช้าอย่างมาก กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เป็นกระบวนการหนึ่ง que พัฒนาขึ้นมาในช่วงนั้นและกระทั่งปัจจุบัน ยังคงเป็นกรรมวิธีที่ใช้งานกันมากที่สุดในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย

4.1.4 เครื่องอัดไฮดรอลิก



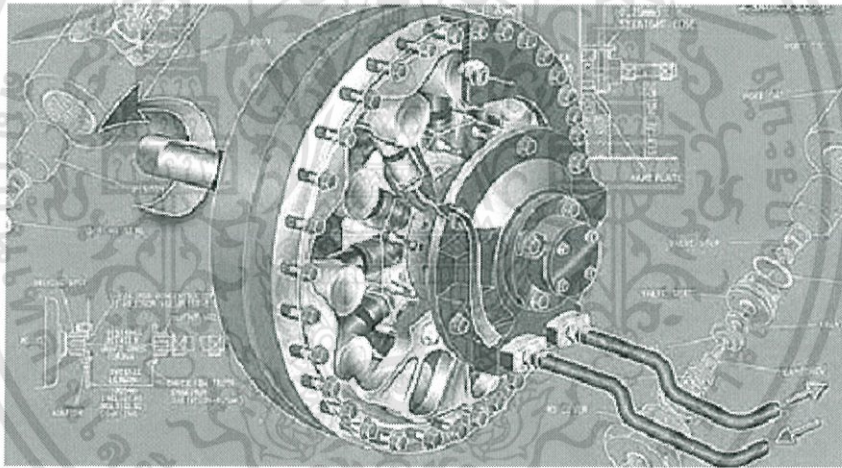
รูปที่ 4.8 เครื่องอัดไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

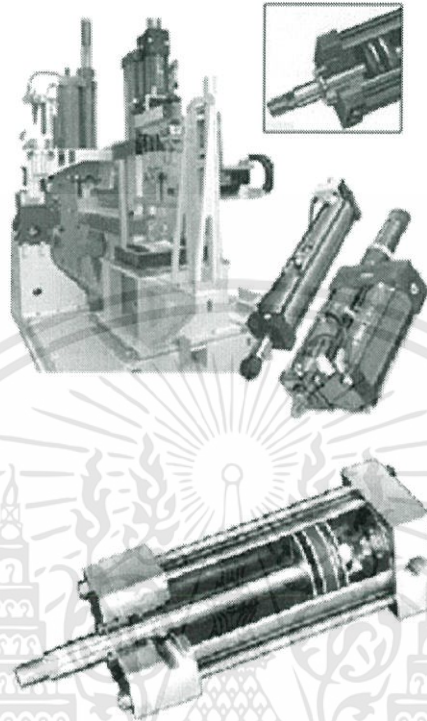
ไฮดรอลิก *[14] เป็นเรื่องที่ว่าด้วยคุณสมบัติทางกลของของไหล ในทางวิศวกรรมนั้นจะเกี่ยวข้องกับกำลังของของไหล (Fluid power) แต่ไฮดรอลิกที่เราจะกล่าวถึงในที่นี้ก็คือเรื่องที่ว่าด้วย “การส่งถ่ายกำลังในเชิงกลด้วยของไหลที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันไฮดรอลิก” การส่งกำลังในระบบไฮดรอลิกส่วนใหญ่ ใช้อุปกรณ์ทำงาน (Actuator) จะมีสองประเภทใหญ่ ๆ คือ

- กระบอกลไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) เป็นอุปกรณ์ทำงานที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear)
- มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor) เป็นอุปกรณ์ทำงานที่เคลื่อนที่ในแนวรัศมี (Radius)

ในระบบไฮดรอลิกที่เราเห็นกันส่วนใหญ่นั้นสิ่งที่เราจะนำไปใช้คืองาน (Work, W) หรือแรง (Force, F) ที่เกิดจากระบบไฮดรอลิก เช่น การเอาแรงจากกระบอกลไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) ไปกดอัดหรือตัดชิ้นงาน และการขับ เช่นการหมุนจากมอเตอร์ไฮดรอลิกไปหมุนขับให้เกิดการหมุนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักร



รูปที่ 4.9 มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor)



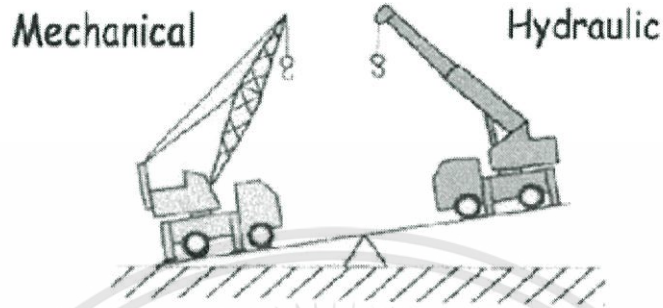
รูปที่ 4.10 กระบอกไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)

ข้อดีของระบบไฮดรอลิก

เครื่องจักรที่ใช้อุปกรณ์ไฮดรอลิกเป็นส่วนประกอบนั้นมีมากมายหลากหลายชนิด ทั้งนี้เป็นเพราะข้อดีของอุปกรณ์ไฮดรอลิกบางตัวที่มีดังต่อไปนี้คือ

1. อุปกรณ์ทำงาน (Actuator)

มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและกลไก อีกทั้งไม่มีความสลับซับซ้อน ดังรูปที่ 3 และสามารถออกแบบให้ตัวเครื่องมีแรงมากได้เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเครื่องจักร โดยออกแบบให้แรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกสูง ในกรณีที่ต้องการแรงมาก ดังรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างความคิดในการออกแบบระบบของแขนยกของเครนไฮดรอลิกที่ต้องการยกน้ำหนักด้วยลูกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ไฮดรอลิกและอุปกรณ์ทางกล

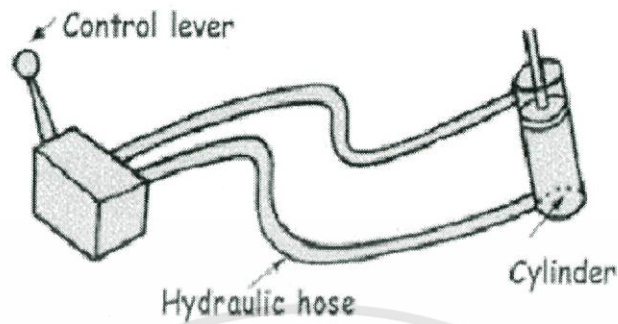


รูปที่ 4.12 การใช้งานระบบไฮดรอลิก

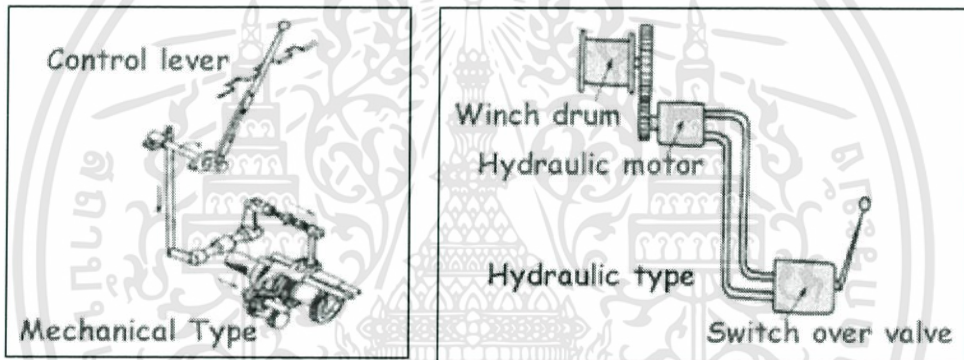
2. มีความง่ายต่อการควบคุม (Easy to Control)

เพราะว่าระบบการควบคุมในทางกลไกนั้นจะต้องมีจุดหมุน จุดต่อต่าง ๆ มาก อาจต้องใช้ข้อต่อและโซ่มากมาย ทำให้ยากต่อการสร้างแก้ไขและดัดแปลง แต่สำหรับระบบไฮดรอลิกแล้วต้องการแค่แหล่งกำเนิดแรงดัน (Pump Unit), วาล์วเปลี่ยนทิศทาง (Directional Control Valve), อุปกรณ์ทำงาน (Actuator), และท่อทาง (Hose and Piping) ซึ่งทำให้การควบคุมระยะไกลทำได้ง่ายมาก รูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิก



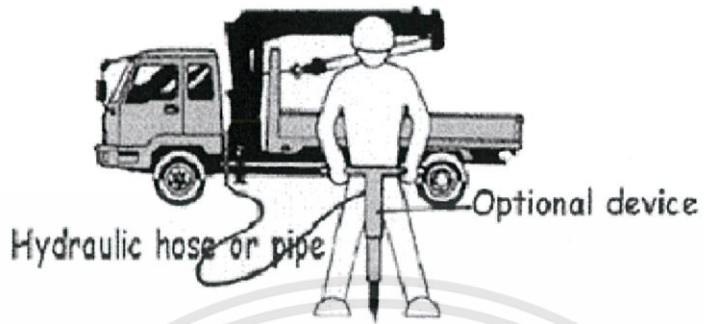
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการควบคุมทางกลไกและไฮดรอลิก

3. ง่ายต่อการควบคุมโหลด (Easy to Load Control)

ถ้าหากเราติดตั้งวาล์วปลดแรงดัน (Relief Valve) ลงไปในวงจรก็จะสามารถช่วยป้องกันแรงดันที่สูงผิดปกติในวงจรได้และยังทำให้การควบคุมแรงดันเป็นไปได้อย่างดี ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ไฮดรอลิกที่เกิดจากแรงดันสูงและควบคุมแรงดันให้คงที่อันจะเป็นผลให้แรงที่ได้จากอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) มีความคงที่

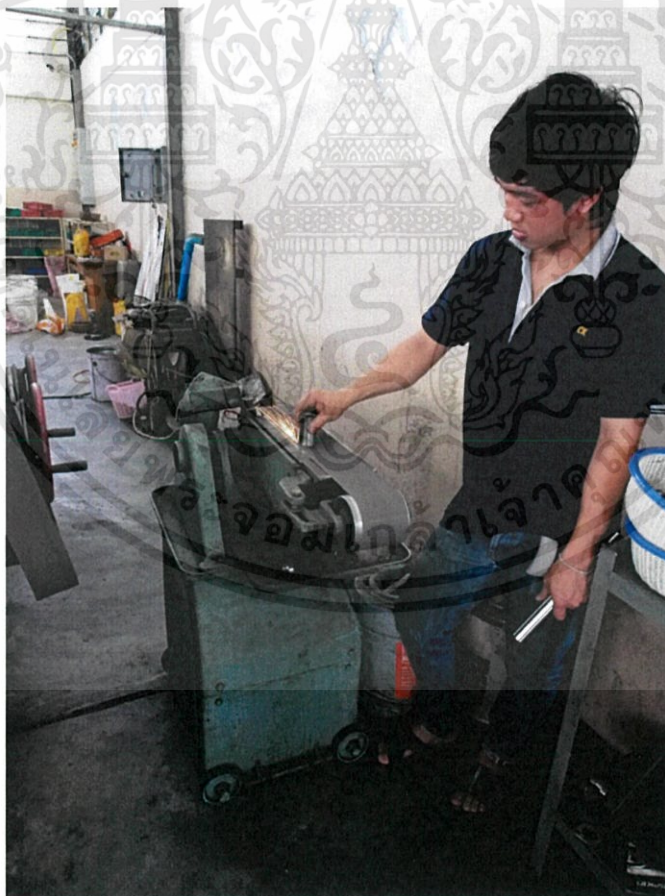
4. ง่ายต่อการเพิ่มอุปกรณ์ทำงาน

สามารถที่จะเพิ่มอุปกรณ์ทำงานได้ง่ายเพียงแค่เพิ่มจุดต่อพ่วงแล้วก็ใส่อุปกรณ์ (Actuator) ทำงานพ่วงไปก็สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องแก้ไขทั้งหมดของวงจรให้ยุ่งยาก



รูปที่ 4.15 จุดต่อพ่วงสำหรับใส่อุปกรณ์เพิ่ม

4.1.5 เครื่องขัดกระดาษทรายสายพานแบบแท่น



รูปที่ 4.16 เครื่องขัดกระดาษทรายสายพานแบบแท่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

1. ใช้สำหรับขัดไม้หรือโลหะให้ได้ระนาบ
2. ใช้ขัดเก็บคมชิ้นงานไม้หรือโลหะ
3. ใช้ขัดผิวงานที่หยาบให้เรียบได้

4.2 ขั้นตอนการทำ

1. เลือกท่อสแตนเลส 304 ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เราต้องการนำมาใช้กับท่อ primary pipe
2. นำท่อที่เลือกมาตัดด้วยเครื่องตัดให้ได้ความยาวมากกว่าที่เราต้องการ
3. นำท่อที่ตัดแล้วมาขัดเก็บชิ้นงาน
4. นำท่อที่ตัดและขัดเก็บชิ้นงานแล้วมาวัดเทียบกับตัวรถเพื่อหามุมที่ต้องการตัดท่อ
5. มาร์กตำแหน่งและองศาที่ต้องการตัด จากนั้นนำไปตัดในเครื่องตัดท่อ
6. นำท่อที่ตัดแล้วมาตัดให้พอดีกับที่ออกแบบไว้ และเชื่อมทำสุบแล้วประกอบเข้ากับเครื่องยนต์เพื่อเตรียมวัดแบบท่อรวม
7. เลือกท่อสแตนเลส 304 ที่มีขนาดเดียวกันกับท่อที่เลือกมาข้างต้น นำมาตัดให้ได้ขนาดตามท่อรวมที่ได้ออกแบบไว้และขัดเก็บชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานไปเชื่อมและทำสุบ
8. นำเหล็กเพลามากิ่งและทำเกลียวใน ไว้ใช้สำหรับประกอบกับ เซ็นเซอร์ O2
9. นำท่อสแตนเลส 304 ที่มีขนาดตาม tail pipe ที่ออกแบบไว้มาตัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้และขัดเก็บชิ้นงานให้เรียบร้อย
10. นำไปวัดแบบกับตัวรถและตัดเข้ารูป
11. เจาะรูเพื่อเตรียมทำจุดยึดเซ็นเซอร์ O2
12. นำเหล็กเพลากิ่งที่กลึงไว้ก่อนหน้ามาประกอบกับท่อที่เจาะรูไว้แล้วและทำการเชื่อม
13. นำท่อที่เชื่อมจุดยึดเซ็นเซอร์ O2 แล้ว ไปบานปลายท่อสำหรับใส่กับ muffler โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกกับแม่แบบ
14. นำทั้ง 3 ส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันและทำจุดยึดสปริง

4.3 ท่อทั้งหมดมีดังนี้

- 4.3.1 ท่อ Standard ที่มี Catalytic converter
- 4.3.2 ท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter
- 4.3.3 ท่อ 10000 RPM ($V = 129.54$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter
- 4.3.4 ท่อ 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter
- 4.3.5 ท่อ 7000 RPM ($V = 129.54$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter
- 4.3.6 ท่อ 7000 RPM ($V = 90.73$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter
- 4.3.7 ท่อ 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter และเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary
- 4.3.8 ท่อ 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s) ที่ไม่มี Catalytic converter และลดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary

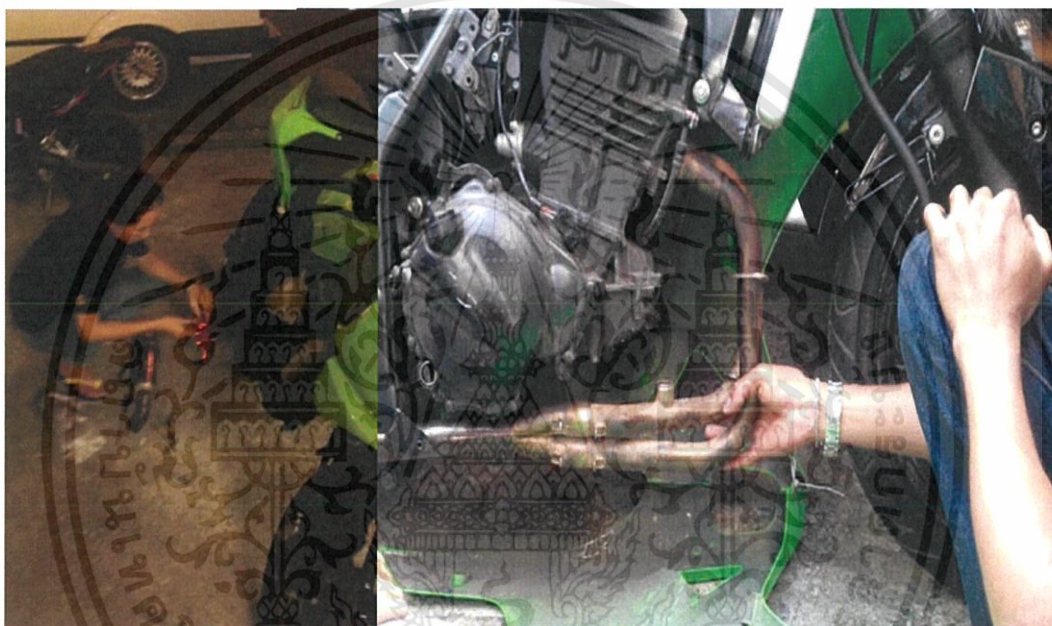


บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 วิธีการทดสอบ

5.1.1 การประกอบ



รูปที่ 5.1 นำท่อไอเสียที่ผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้วมาประกอบกับบรมอเตอร์ไซด์

5.2 เงื่อนไขขณะทดสอบ

ขณะทดสอบต้องมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

1. อุณหภูมิของเครื่องยนต์
2. อุณหภูมิของอากาศ
3. แรงดันบรรยากาศ
4. ความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การเก็บผลการทดสอบ

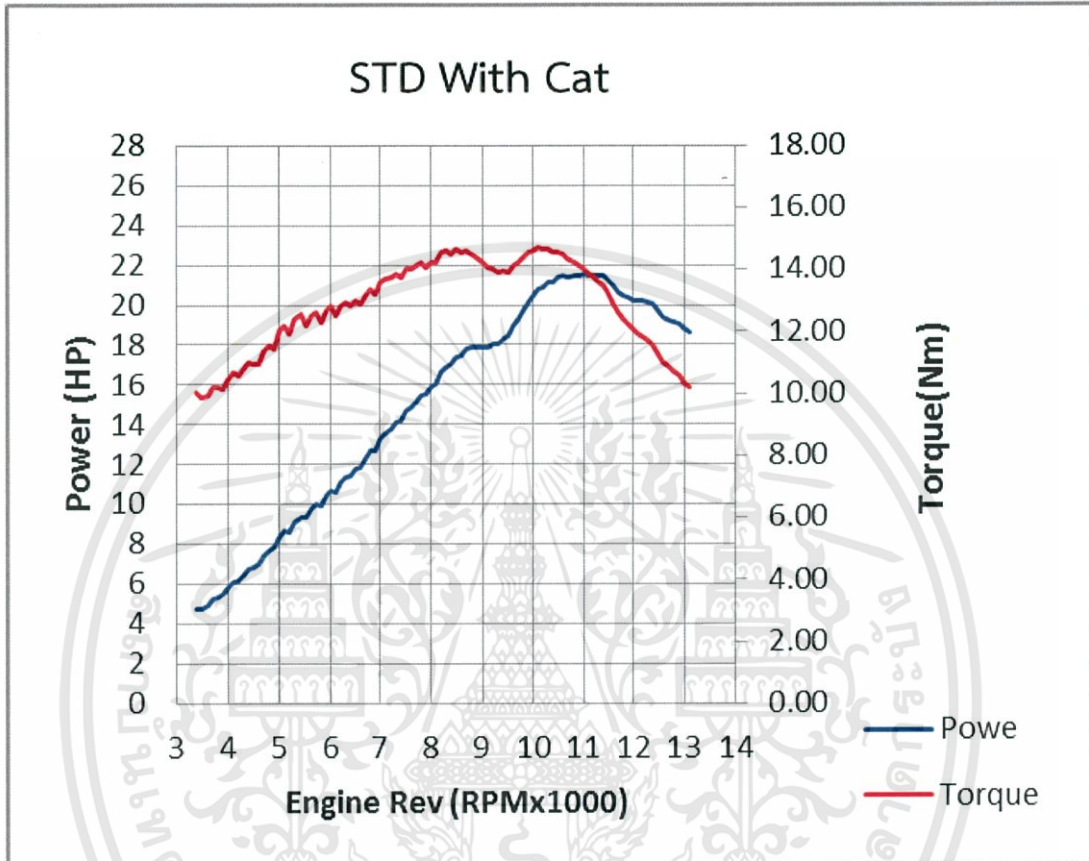
เราทำการทดสอบวัดแรงม้าและแรงบิดบน Chassis Dynamometer จากนั้นนำค่าที่ได้มากรอกลงในโปรแกรม Microsoft Excel และนำมา plot graph



รูปที่ 5.2 การทดสอบวัดแรงม้าแรงบิดบน Chassis Dynamometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

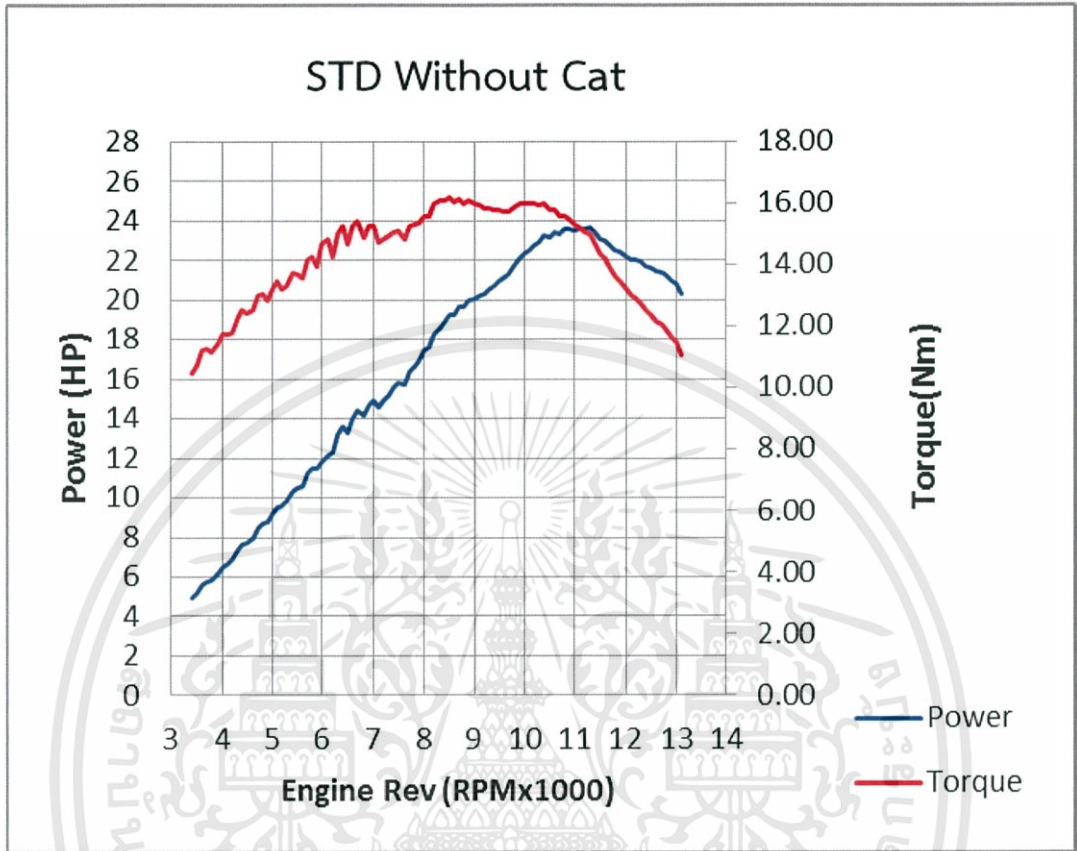
5.4 ผลการทดสอบ



Max Power 21.6 HP @ 11000 RPM

Max Torque 14.9 Nm @ 10000 RPM

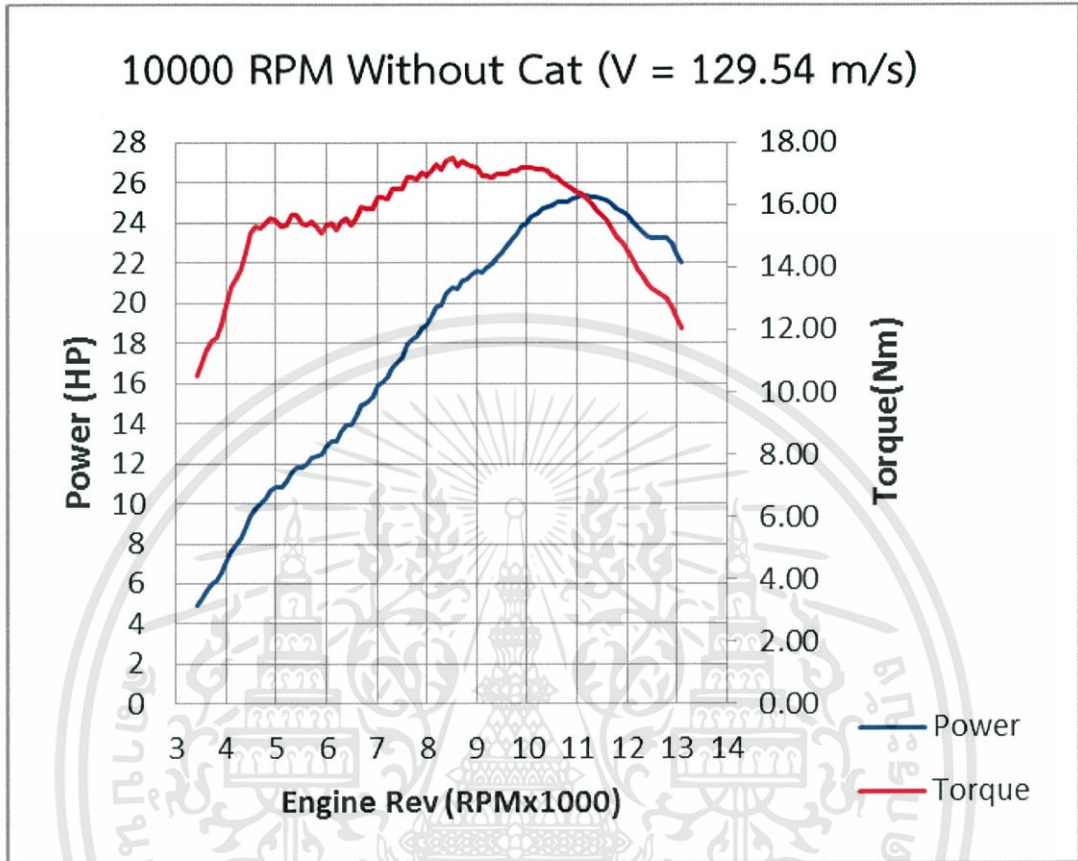
กราฟที่ 5.1 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่มี Catalytic converter



Max Power 23.7 HP@ 11200 RPM

Max Torque 16.4 Nm @ 8400 RPM

กราฟที่ 5.2 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter

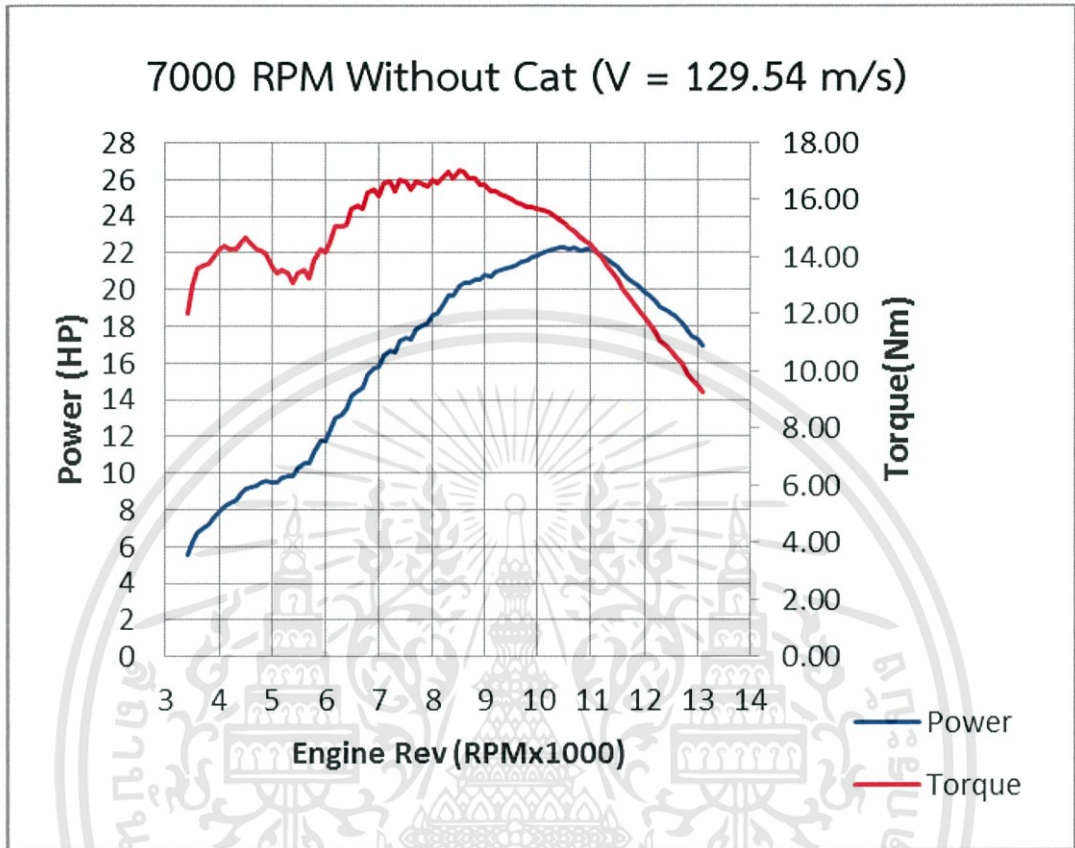


Max Power 25.5 HP @ 11100 RPM

Max Torque 17.5 Nm @ 8500 RPM

Torque 17 Nm @ 10000 RPM

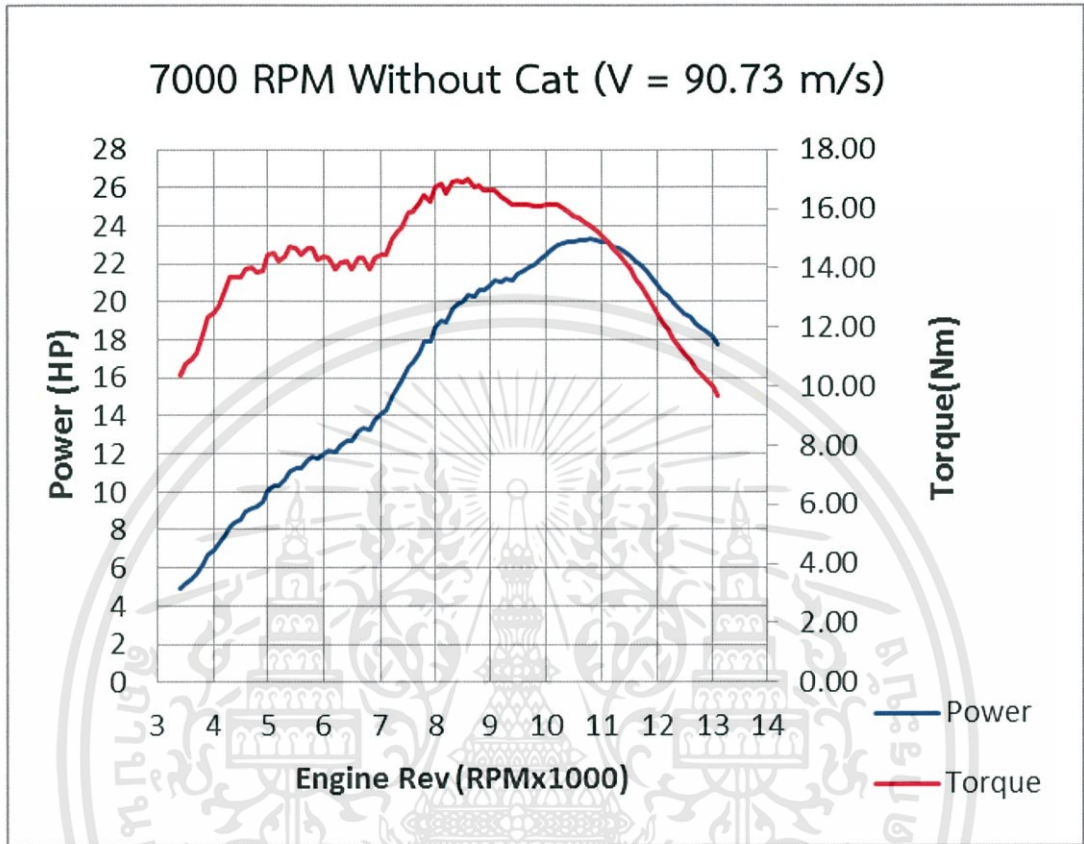
กราฟที่ 5.3 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter (V = 129.54 m/s)



Max Power 22.3 HP @ 10600 RPM

Max Torque 17.3 Nm @ 8500 RPM

กราฟที่ 5.4 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 129.54 \text{ m/s}$)

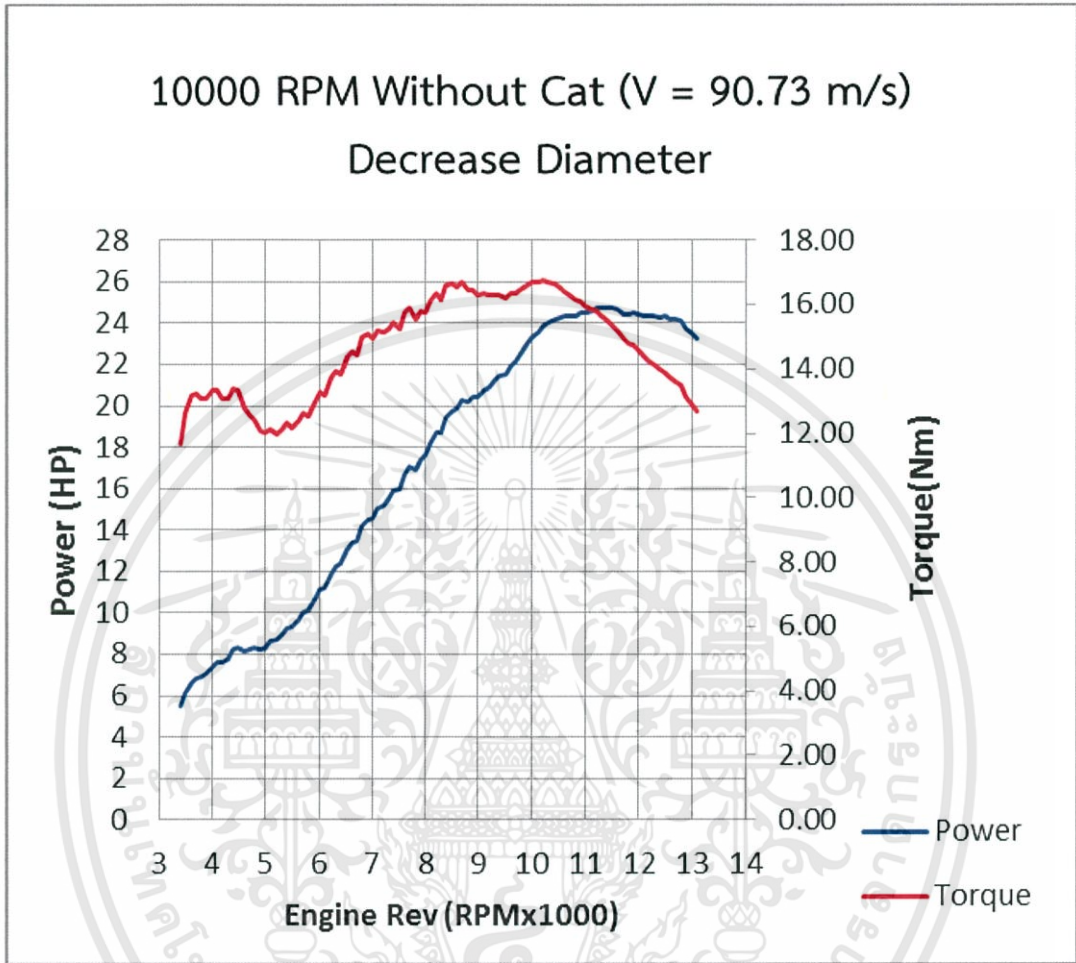


Max Power 23.4 HP @ 10800 RPM

Max Torque 17.3 Nm @ 8500 RPM

กราฟที่ 5.5 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter (V = 90.73 m/s)

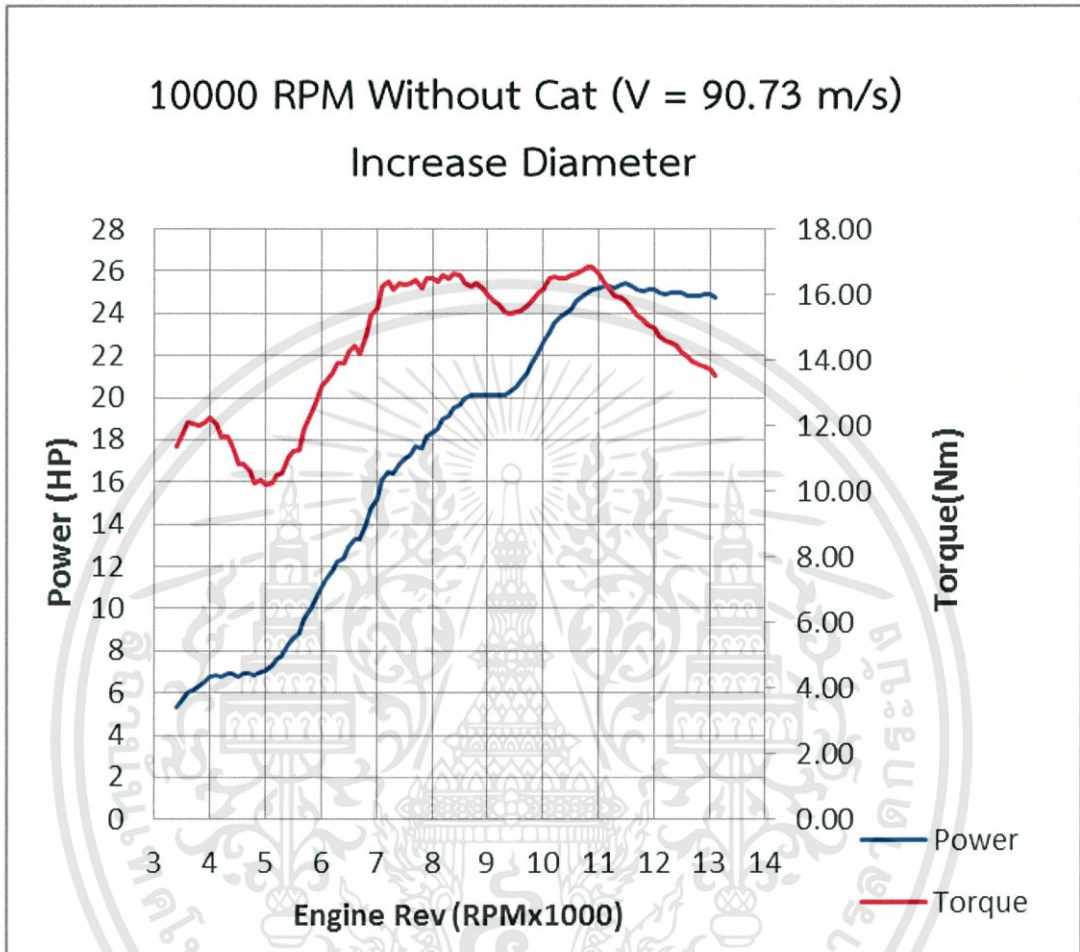
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Max Power 24.7 HP@ 11200 RPM

Max Torque 16.8 Nm @ 8500, 10200 RPM

กราฟที่ 5.6 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter ($V = 90.73$ m/s) และลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe



Max Power 25.4HP@ 11500 RPM

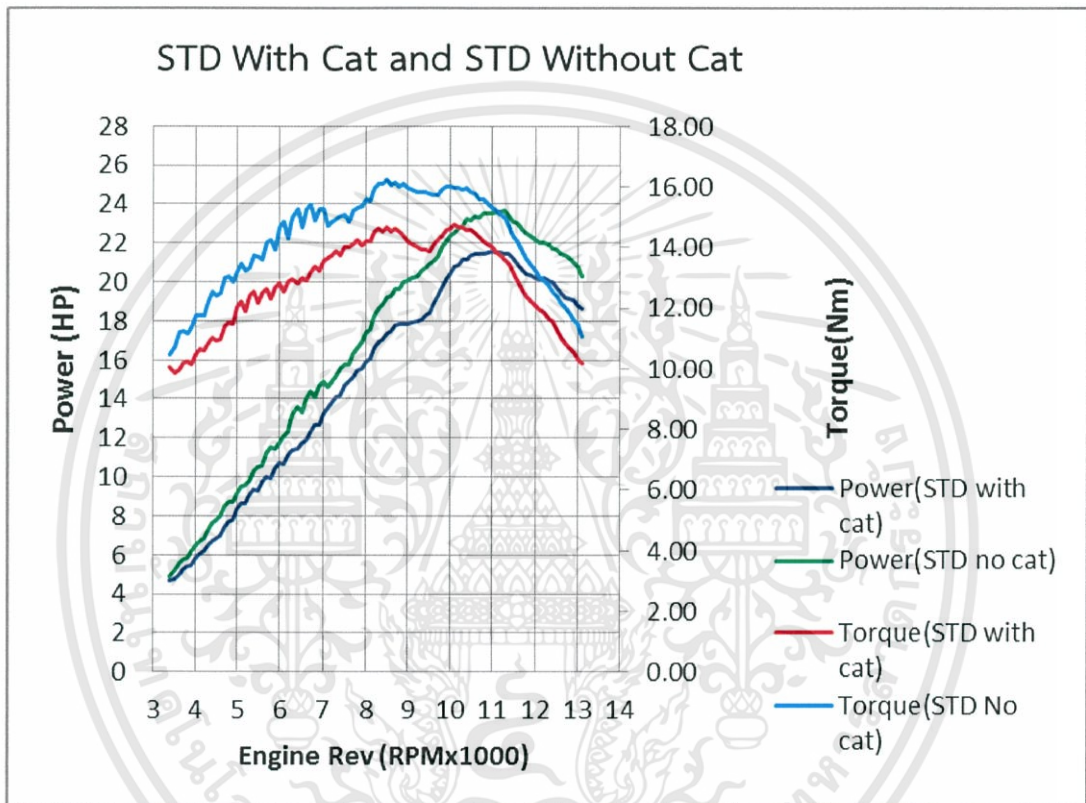
Max Torque 16.8 Nm @ 10900 RPM

กราฟที่ 5.7 กราฟแสดงการทดสอบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ที่ไม่มี Catalytic converter (V = 90.73 m/s) และเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe

บทที่ 6

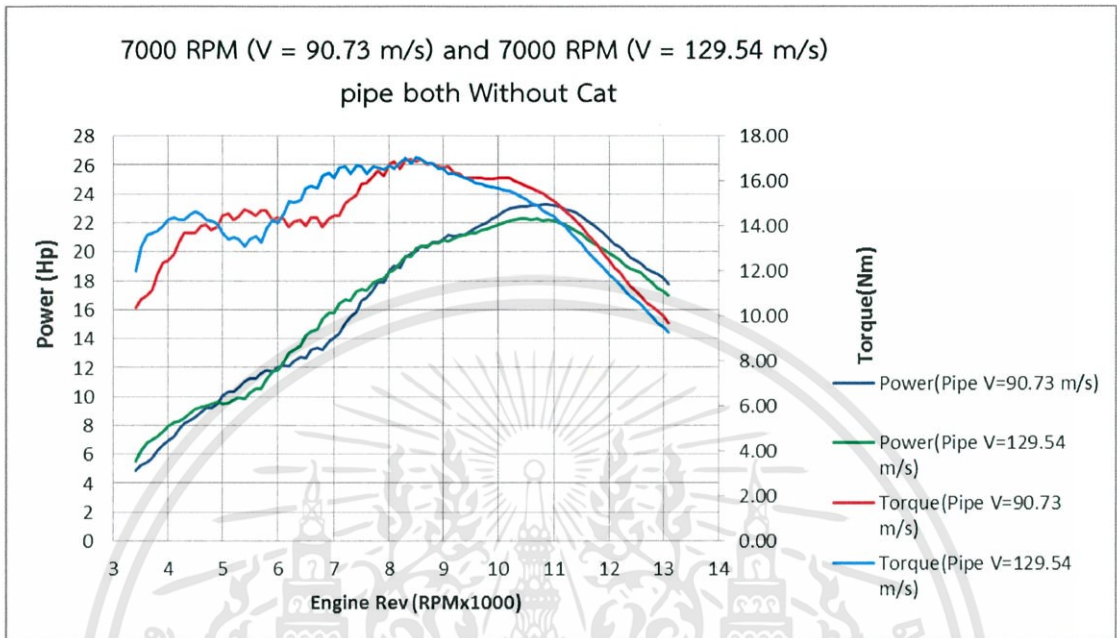
บทวิจารณ์และสรุปผล

6.1 กราฟเปรียบเทียบ



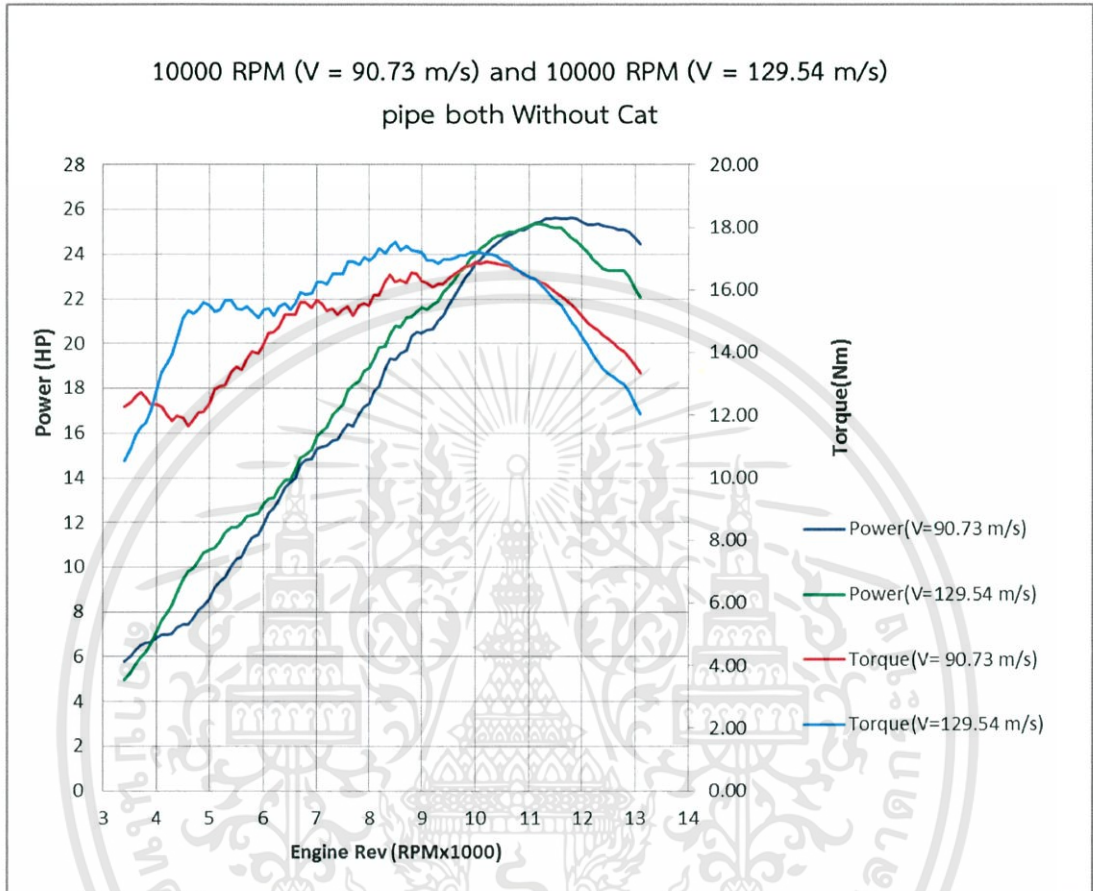
กราฟที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ Standard ที่มี Catalytic converter และท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter

ท่อที่ไม่มี catalytic converter ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นโดยแรงม้าสูงสุดเพิ่มขึ้น 2.1 แรงม้า คิดเป็น 9.72% และทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้น 2.5 Nm คิดเป็น 10%



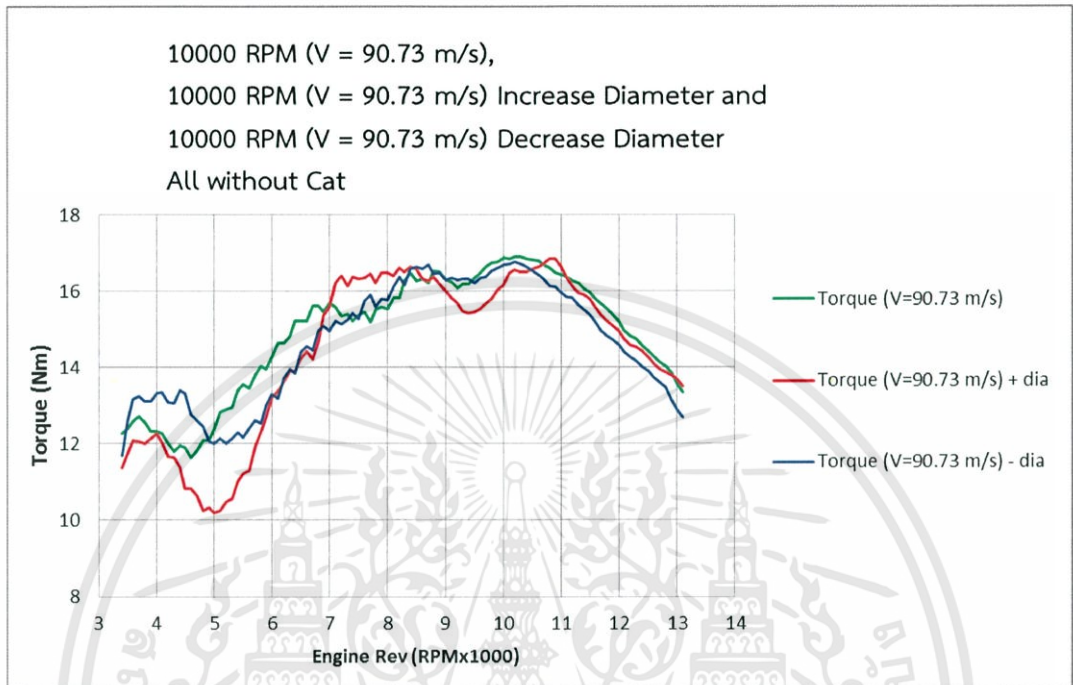
กราฟที่ 6.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 7000 RPM ($V = 90.73 \text{ m/s}$) และ 7000 RPM ($V = 129.54 \text{ m/s}$) ทั้งคู่ไม่มี Catalytic converter

ผลจากการออกแบบปรากฏว่าที่ออกแบบทั้ง 2 ท่อ มีค่าแรงบิดสูงสุดยังไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ โดยแรงม้าสูงสุด ปรากฏที่ รอบเครื่องยนต์ 8500 RPM ซึ่งคิดเป็นค่าความผิดพลาดได้ 21.4 % ทั้งนี้ ความผิดพลาดอาจเกิดจากธรรมชาติของเครื่องยนต์ หรือ ความเร็วก๊าซไอเสียที่ใช้ในการคำนวณหาความยาวท่ออย่างไม่ตรงกับความเป็นจริงซึ่งความเป็นจริงแล้วความเร็วก๊าซไอเสียจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง แต่เราใช้เพียงแค่ค่าเฉลี่ยเท่านั้น



กราฟที่ 6.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM (V = 90.73 m/s) และ 10000 RPM (V = 129.54 m/s) ทั้งคู่ไม่มี Catalytic converter

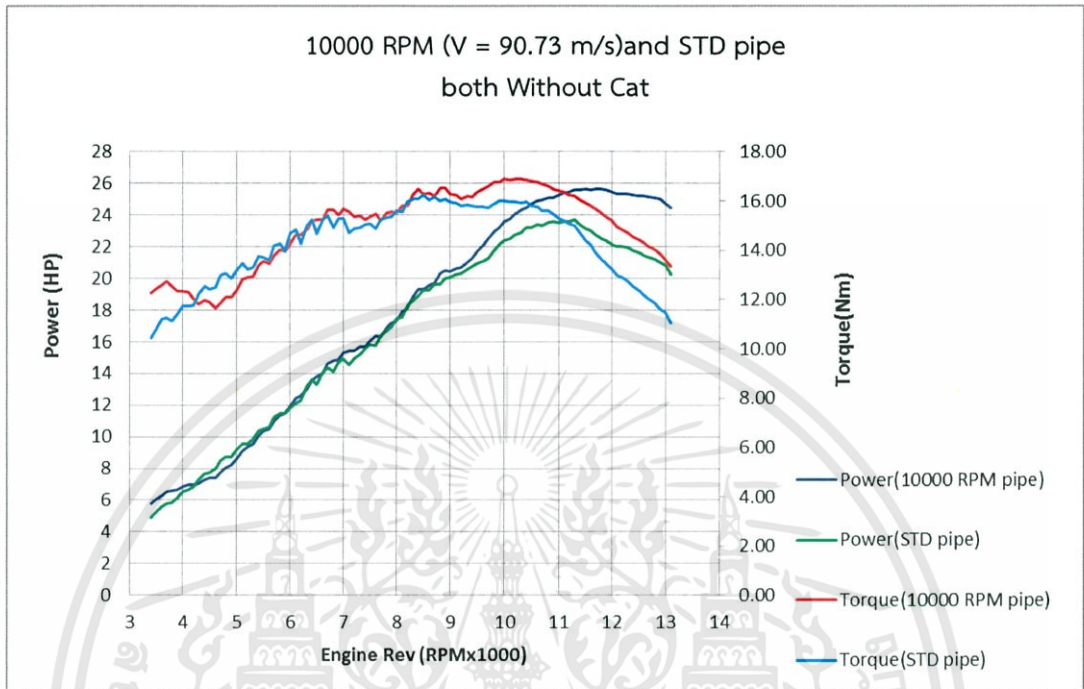
แรงม้าและแรงบิดของท่อที่ออกแบบโดยใช้ความเร็วไอเสียเท่ากับ 129.54 m/s ดีกว่าท่ออีกอัน แต่หลังจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เราออกแบบไว้ ปรากฏว่าท่อที่ออกแบบโดยใช้ความเร็วไอเสียเท่ากับ 90.73 m/s มีแรงม้ามากกว่า



กราฟที่ 6.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงบิดของท่อ 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s),
 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s) เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe
 10000 RPM ($V = 90.73$ m/s) ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง primary pipe
 ทั้งหมดไม่มี Catalytic converter

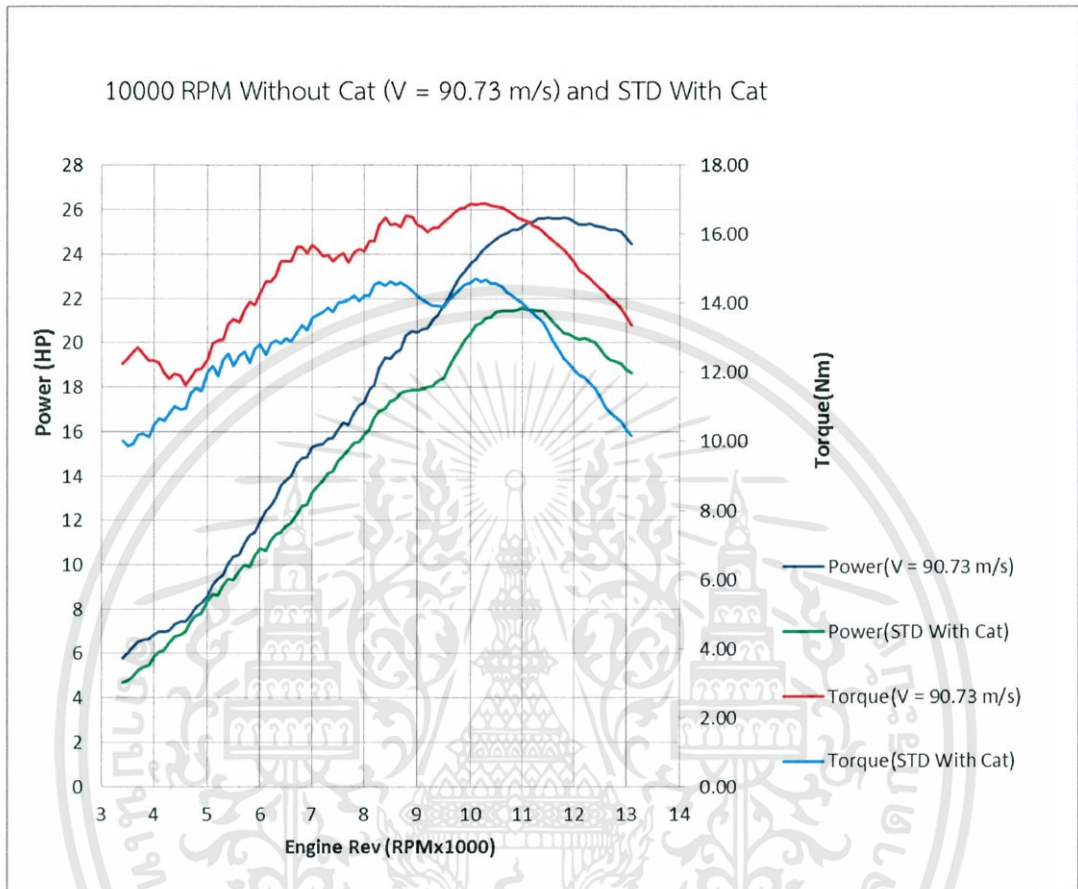
เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary จะพบว่า แรงบิดจะเพิ่มขึ้นหลังช่วงรอบเครื่องยนต์ที่เราออกแบบไว้

เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary จะพบว่า แรงบิดจะเพิ่มขึ้นก่อนช่วงรอบเครื่องยนต์ที่เราออกแบบไว้



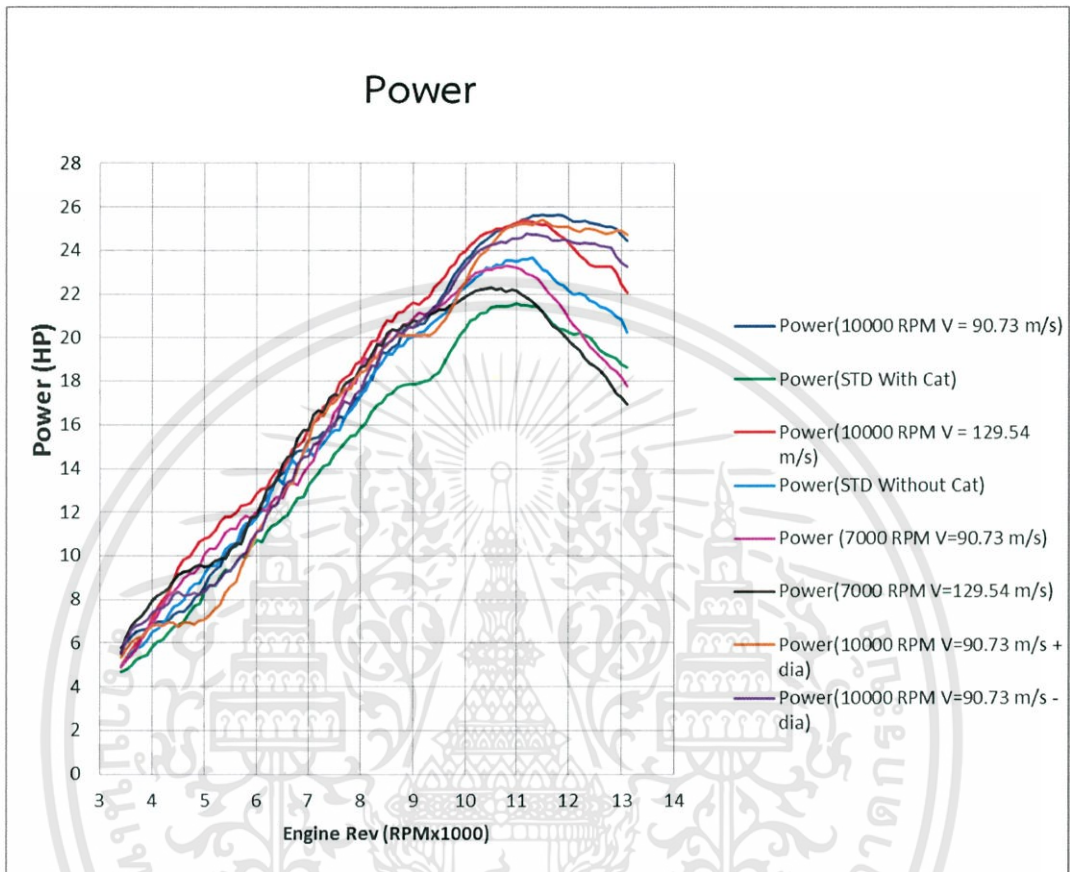
กราฟที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM ($V = 90.73 \text{ m/s}$) และ ท่อ Standard ที่ไม่มี Catalytic converter

หลังจาก ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 8500 RPM จะเห็นได้ชัดว่าท่อที่เราออกแบบใหม่มีค่าแรงม้า และแรงบิดเพิ่มมากขึ้นกว่าของเดิม ซึ่งท่อที่เราออกแบบใหม่นี้สามารถเพิ่มแรงม้าสูงสุดขึ้นอีก 2.1 แรงม้า คิดเป็น 8.86 % และแรงบิดอีก 0.5 Nm คิดเป็น 3 % เมื่อเทียบกับท่อของเดิมที่ตัด Cat แล้ว



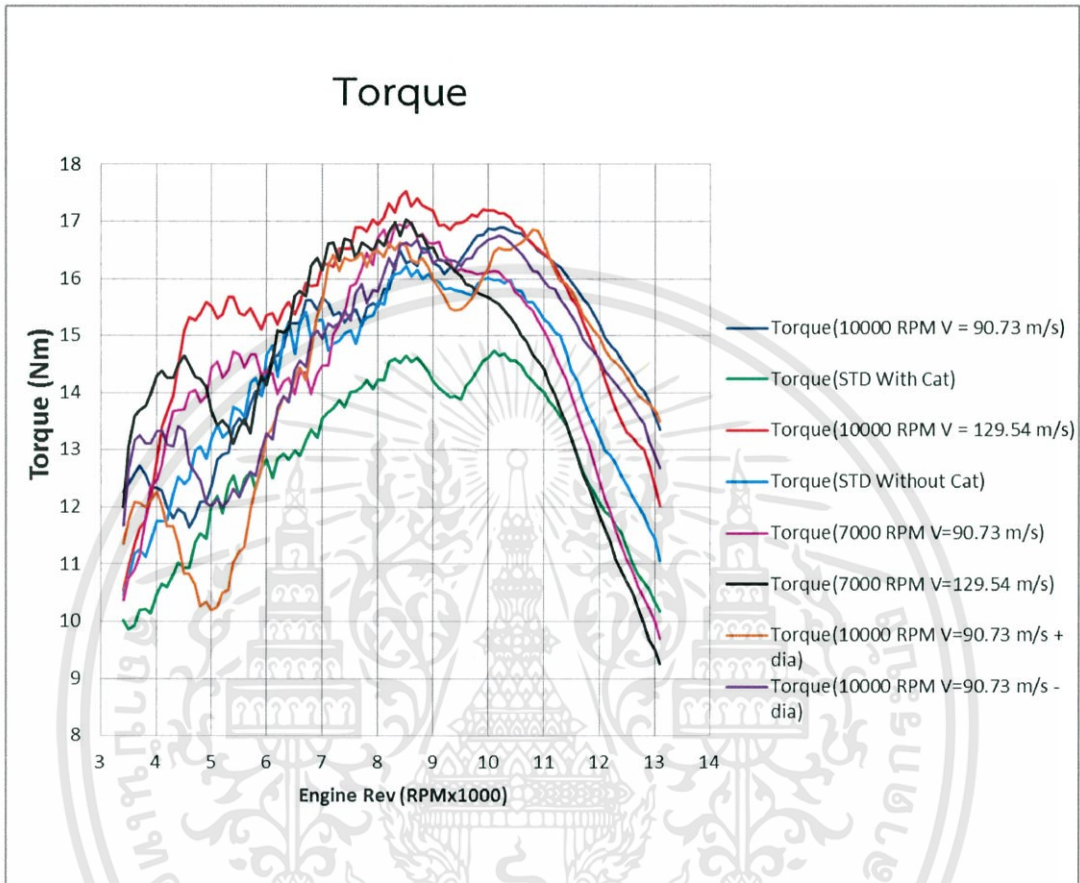
กราฟที่ 6.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้า แรงบิดของท่อ 10000 RPM Without Cat (V = 90.73 m/s) และ ท่อ Standard ที่มี Catalytic converter

ท่อที่เราออกแบบใหม่เพิ่มแรงม้าสุดขึ้นอีก 4.2 แรงม้า คิดเป็น 19.4 % และเพิ่มแรงบิดสูงสุดขึ้นอีก 2 Nm คิดเป็น 13.4 %



กราฟที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงม้าของท่อทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงบิดของท่อทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผล

6.2.1 ความยาวของท่อไอเสียมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงม้าแรงบิด ท่อยาวจะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นในช่วงรอบต้นและท่อสั้นจะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นในช่วงรอบปลาย

6.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก็มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงม้าแรงบิดเช่นกัน เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary แรงบิดจะเพิ่มขึ้นหลังช่วงรอบเครื่องยนต์ที่เราออกแบบไว้ ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ primary แรงบิดจะเพิ่มขึ้นก่อนช่วงรอบเครื่องยนต์ที่เราออกแบบไว้

6.2.3 Catalytic converter ทำให้ไอเสียไหลออกไม่สะดวกเกิดการอันทำให้เครื่องยนต์มีกำลังต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ไม่เหมาะสำหรับการใช้ในการแข่งขัน

6.2.4 ความยาวของท่อไอเสียที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับความเร็วของไอเสียที่เกิดขึ้นจริง

6.2.5 เราเลือกรอบใช้งานที่ 10000 RPM สำหรับรถจักรยานยนต์ Kawasaki Ninja 250 (2011) และผลการออกแบบเราพบว่า ท่อที่เราออกแบบใหม่เพิ่มแรงม้าสุดขึ้นอีก 4.2 แรงม้า คิดเป็น 19.4 % และเพิ่มแรงบิดสูงสุดขึ้นอีก 2 Nm คิดเป็น 13.4 % เมื่อเทียบกับท่อ Standard มี Catalytic converter

บรรณานุกรม

- [1] https://forum.lowyat.net/uploads/attach-89/post-107089-1214486781_thumb.jpg
- [2] <http://www.sfxperformance.com/images/products/VIB10355.jpg>
- [3] <http://topicstock.pantip.com/ratchada/topicstick/2007/12/V6173158/V6173158.html>
- [4] <http://www.apexhaust.com/wp-content/uploads/2013/02/AP-Exhaust-Tail-Pipe.jpg>
- [5] <http://www.mocyc.com/market942641/%E0%B8%97%E0%B9%88%E0%B8%ADakrapovichondacbr1000rr20082013titaniumcarbon>
- [6] <https://wiki.ucl.ac.uk/display/MechEngThermodyn/Gas+Power+Cycles>
- [7],[8] Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine / Willard W. Pulkrabek
- [9],[10] four stroke performance tuning 3rd ed - a graham bell
- [12] <http://th.wikipedia.org/>
- [13] <http://th.wikipedia.org/>
- [14] <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=12831§ion=9>