ชื่อเรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไอดี-ระบบไอเสีย
สำหรับรถยนต์ Mech-UBU formula student

โดย นายจักรพรรดิ สร้อยมาลุน
นายภานุวัฒน์ คำกุณา
นายสุวรรณรัตน์ เสง

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ Variable intake manifold ของระบบไอดีให้สามารถดูดอากาศเข้าเครื่องยนต์ให้ได้มากที่สุด โดยใช้หลักการของ Helmholtz resonator และออกแบบระบบไอเสียโดยควบคุมเสียงให้ต่ำกว่า 110 dBC ด้วยหม้อพักแบบ Reactive Muffler ในการออกแบบใช้เครื่องยนต์ Kawasaki ER6N 650 cc แบบ 2 ลูกสูบ ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบระบบไอดี คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และองศาของท่อก่อนและหลังผ่านคอคอด ส่วนระบบไอเสียตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และความยาวคลื่นจากการคายไอเสียของเครื่องยนต์ จากการจำลองพลศาสตร์ของไหล ได้องศาท่อก่อนและหลังคอคอดคือ 22 องศา และ 8 องศา เนื่องจากมีความดันตกคร่อมน้อยที่สุด จากการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์และความยาวท่อไอดีโดยใช้ทฤษฎี Helmholtz resonator สามารถออกแบบความยาวของท่อไอดีที่ความเร็วรอบ 5,163 rpm เท่ากับ 650 mm ความยาวของท่อไอดีที่ความเร็วรอบ 6,581 rpm เท่ากับ 400 mm และความยาวของท่อไอดีที่ความเร็วรอบ 9,307 rpm เท่ากับ 200 mm ตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปออกแบบและสร้างระบบไอดี จากการทดสอบสมรรถนะรถยนต์ที่ความเร็วรอบ 5,163 rpm พบว่าท่อไอดียาว 400 mm และ 650 mm ให้ค่าแรงบิดและแรงม้าใกล้เคียงกัน ส่วนท่อไอดียาว 200 mm ให้ค่าต่ำสุด ที่ความเร็วรอบ 6,581 rpm ท่อไอดียาว 400 mm ให้ค่าแรงบิดและแรงม้าสูงสุด ขณะที่ความเร็วรอบสูงประมาณ 7,500 rpm พบว่าท่อไอดียาว 200 mm ให้ค่าแรงบิดและแรงม้าสูงสุด จากการออกแบบหม้อพักไอเสียแบบ Reactive muffler ที่ 7,616 rpm จะได้ความยาวของ Expansion chamber ยาวมากเกินไป จึงแบ่งหม้อพักไอเสียออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 ใช้สำหรับลดความถี่ 253.32 Hz ด้วยวิธี Expansion chamber มีความยาว 0.327 m และในหม้อพักไอเสียส่วนที่ 2 เป็นแบบใช้วิธีร่วมกันระหว่าง Expansion chamber เพื่อลดเสียงในความถี่ 379.98 Hz ได้ความยาว 0.218 m กับ Helmholtz resonator เพื่อลดเสียงในความถี่ 126.66 Hz ได้ความยาว 0.1016 m และได้ความยาวคอคอด 0.1224 m ผลทดสอบวัดความดังเสียงสูงสุดจากเครื่องยนต์เมื่อผ่านหม้อพักได้ 107.3 dBC

Title Design and analysis of the intake and exhaust system for the Mech-UBU formula student

By Mr.Chakkaphat Sroimalun
Mr.Phanuwat Khamkuna
Mr.Suvanrath Seng

ABSTRACT

The purposes of this project are to design the variable intake manifold system for maximum air flow into the engine and to design reactive muffler exhaust system for control noise level to be lower than 110 dBC by using the Helmholtz resonator principle. The Kawasaki ER6N 650 cc 2 cylinders is engine used. The parameters of intake system design are engine speed, inlet and outlet angle of the restrictor. The parameters of exhaust system design are engine speed and wave length of engine firing. From computational fluid dynamics simulation, the inlet restrictor angle is 22 degree and the outlet restrictor angle is 8 degree due to their have minimum pressure drop. From the engine speed and the runner length by using the Helmholtz resonator theory, the runner length at 5,163 rpm of engine speed is 650 mm, at 6,581 rpm of engine speed is 400 mm and at 9,307 rpm of engine is 200 mm, then design and build the intake system. From the result of vehicle performance test at 5,163 rpm of engine speed, torque and power of runner lengths 400 mm and 650 mm are similar. While runner length 200 mm got minimum torque and power. At 6,581 rpm of engine speed, the runner length 400 mm got maximum torque and power. About 7,500 rpm of engine speed, the runner length 200 mm got maximum torque and power. From the design of reactive muffler exhaust system at 7,616 rpm of engine speed found that the length of expansion chamber is too long. Thus, the muffler is divided to 2 mufflers. The first muffler is used to reduce the noise at 253.32 Hz by expansion chamber method. From the calculation, the length of expansion chamber is 0.327 m. The second muffler is used to reduce the noise at 379.98 Hz by the expansion chamber method and the noise at frequency 126.66 Hz by the Helmholtz resonator method. From the calculation, the length of expansion chamber is 0.218 m and the length of Helmholtz resonator is 0.1016 m. The neck length **of** the Helmholtz resonator is 0.1224 m. From the result of noise test, the maximum noise level is 107.3 dBC.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน เรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไอดี-ไอเสียสำหรับรถยนต์ Mech-UBU formula student สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตาช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ ที่ได้อบรมสั่งสอนได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆของการทำงานมาโดยตลอด

จึงขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ได้สนับสนุนการทำงาน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมา กระทั่งการศึกษาค้นคว้าโครงงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่กล่าวมา และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงาน/ศึกษา/ทดสอบ	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องยนต์สันดาปภายใน	4
2.2 การจำแนกเครื่องยนต์	4
2.3 ท่อร่วมไอดีและระบบไอเสีย	4
2.4 วัฏจักรพื้นฐานของเครื่องยนต์	5
2.5 ผลของการถ่ายเทความร้อนต่อระบบไอดี	6
2.6 การสูญเสียจากแรงเสียดทานของการไหล	6
2.7 การถูกจำกัดการไหล	6
2.8 การปิดลิ้นไอดีหลังศูนย์ตายล่าง	6
2.9 การระบายไอเสีย	7
2.10 ท่อร่วมไอเสีย	7
2.11 การปรับแต่งท่อร่วมไอเสีย	7
2.12 ท่อไอเสียส่วนหลังและหม้อพัก	7
2.13 ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบระบบไอดี	8
2.14 ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบระบบไอเสีย	11
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบไอดี	13
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบไอดี	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการออกแบบและสร้าง

3.1 การออกแบบระบบไอดี 16

3.2 การออกแบบระบบไอเสีย 24

3.3 ขั้นตอนการสร้างระบบไอดี 28

3.4 การสร้างระบบไอเสีย 33

บทที่ 4 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วิธีการทดสอบสมรรถนะรถยนต์ 34

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ 35

4.3 วิธีการทดสอบระบบไอเสีย 38

4.4 ผลการทดสอบระบบไอเสีย 39

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ระบบไอดี 40

5.2 ระบบไอเสีย 40

5.3 ข้อเสนอแนะ 41

บรรณานุกรม 42

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบของระบบไอดีและระบบไอเสีย 43

ภาคผนวก ข การสร้างระบบไอดีและระบบไอเสีย และการติดตั้งบนรถยนต์ Mech-UBU formula student 49

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงาน/ศึกษา/ทดสอบ	2
ตารางที่ 2.1 Exhaust muffler grades	12
ตารางที 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์	17
ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณ Runner length design	18
ตารางที่ 3.3 Target frequency calculations	24
ตารางที่ 3.4 การคำนวณความยาว expansion chamber	25
ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดสอบระบบไอเสีย	39

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 Helmholtz resonator 8
รูปที่ 2.2 แบบจำลอง Helmholtz resonator ดั้งเดิมอย่างง่าย 13
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างท่อไอเสียแบบ Single expansion chamber 14
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างท่อไอเสียแบบ Double expansion chamber 15
รูปที่ 2.5 แบบท่อไอเสียของ Reddy และ Prakash 15
รูปที่ 3.1 ลำดับส่วนประกอบตามกฎ SAE 16
รูปที่ 3.2 มุมก่อนคอคอด 26 องศา มุมหลังผ่านคอคอด 8 องศา 19
รูปที่ 3.3 มุมก่อนคอคอด 18 องศา มุมหลังผ่านคอคอด 8 องศา 20
รูปที่ 3.4 มุมก่อนคอคอด 22 องศา มุมหลังผ่านคอคอด 4 องศา 20
รูปที่ 3.5 มุมก่อนคอคอด 22 องศา มุมหลังผ่านคอคอด 12 องศา 20
รูปที่ 3.6 มุมก่อนคอคอด 22 องศา มุมหลังผ่านคอคอด 8 องศา 21
รูปที่ 3.7 แบบของคอคอด 21
รูปที่ 3.8 แบบส่วนประกอบระบบท่อร่วมไอดี 22
รูปที่ 3.9 แบบ Runner ส่วนล่าง 22
รูปที่ 3.10 แบบ Runner ส่วนบน 23
รูปที่ 3.11 แบบห้องไอดี 23
รูปที่ 3.12 แบบหม้อพักไอเสียลูกที่ 1 26
รูปที่ 3.13 แบบท่อไอเสีย 2 27
รูปที่ 3.14 การปริ้นแม่แบบด้วยเครื่อง 3D printer 28
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างแม่แบบที่ได้จากการปริ้น 3D 28
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการหุ้มผ้าชั้นต่างๆ 29
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการหุ้มถุงพลาสติก Vacuum 29
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างอัตราส่วนผสมเรซิ่นกับฮาร์ดเด็นเนอร์ 30
รูปที่ 3.19 เริ่มทำการ Vacuum ที่ความดันสุญญากาศ 2 bar 30
รูปที่ 3.20 การขัดเก็บรายละเอียดผิวชิ้นงาน 31
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างชิ้นงานเคลือบผิวและเจาะรู 31
รูปที่ 3.22 ชิ้นงานที่ประกอบแล้ว 32
รูปที่ 3.23 ติดตั้งบนรถยนต์ Mech-UBU formula student 32
รูปที่ 3.24 ระบบไอเสีย 33
รูปที่ 3.25 ติดตั้งระบบไอเสียบนรถยนต์ Mech-UBU formula student 33
รูปที่ 4.1 นำรถ Formula ขึ้นบนเครื่องทดสอบและเตรียมทดสอบ 34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 การทดสอบวิ่งทดสอบบนเครื่องไดนาโมมิเตอร์ 35
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงกำลังและแรงบิด ของท่อไอดียาว 650 mm 35
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงกำลังและแรงบิด ของท่อไอดียาว 400 mm 36
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงกำลังและแรงบิด ของท่อไอดียาว 200 mm 36
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแรงม้า แรงบิด ทั้ง 3 ความยาว 37
รูปที่ 4.7 การวางตำแหน่งเครื่องวัดเสียง 38
รูปที่ 4.8 ภาพผลการวัดเสียงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm 39
รูปที่ 4.9 ภาพผลการวัดเสียงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 7,616 rpm 39

ภาคผนวก

รูปที่ ก.1 แบบส่วนประกอบระบบท่อร่วมไอดี 44
รูปที่ ก.2 แบบ Runner ส่วนล่าง 44
รูปที่ ก.3 แบบ Runner ส่วนบน 45
รูปที่ ก.4 แบบห้องไอดี 45
รูปที่ ก 5.คอคอด 46
รูปที่ ก.6 ระบบไอเสีย 47
รูปที่ ก.7 แบบท่อไอเสียส่วนที่ 1 47
รูปที่ ก.8 แบบท่อไอเสียส่วนที่ 2 48
รูปที่ ก.9 ระบบท่อร่วมไอเสีย 48
รูปที่ ข.1 ขณะปริ้น Mold ชิ้นงานด้วยเครื่อง 3D Printer 50
รูปที่ ข.2 Mold ของ Runner ส่วนล่าง 50
รูปที่ ข.3 Mold ของ Runner ส่วนบน 51
รูปที่ ข.4 Mold ท่อทางเข้าและออกของ Runner 51
รูปที่ ข.5 ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำยาอะซิโตน (Acetone) 52
รูปที่ ข.6 การหุ้มผ้าชั้นต่างๆ 52
รูปที่ ข.7 เตรียมชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ 53
รูปที่ ข.8 การทำงานของกระบวนการ Vacuum 53
รูปที่ ข.9 ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Vacuum และรอให้ชิ้นงานแห้ง 54
รูปที่ ข.10 แกะแบบ และเก็บรายละเอียดชิ้นงาน 54
รูปที่ ข.11 ประกอบระบบไอดี 55
รูปที่ ข.12 ติดตั้งระบบไอดีบนรถยนต์ Mech-UBU formula Student 55
รูปที่ ข.13 สร้างหม้อพักไอเสีย 56
รูปที่ ข.14 หม้อพักไอเสียที่ติดตั้งบนรถยนต์ Mech-UBU formula Student 56

รายการสัญลักษณ์

A_t	=	พื้นที่หน้าตัดคอคอด [m^2]
f_n	=	ความถี่ resonance [Hz]
c	=	ความเร็วเสียง [m/s]
C_{Dt}	=	สัมประสิทธิ์การไหล
CFR	=	อัตราการคายไอเสียของลูกสูบ [Hz]
CR	=	อัตราส่วนกำลังอัด
d_m	=	เส้นผ่านศูนย์กลางหม้อพักไอเสีย [m]
d_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอเสีย [m]
EFR	=	อัตราการคายไอเสียของเครื่องยนต์ [Hz]
K	=	ค่าคงที่ปรับแก้สมการ = 6.42
L_r	=	ความยาวของ Runner [m]
L_m	=	ความยาวของ Expansion chamber [m]
L_n	=	ความยาวคอคอด [m]
N	=	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ [rpm]
n	=	จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร [rev/cycle]
n_c	=	จำนวนลูกสูบ
S	=	พื้นที่หน้าตัดของ Runner [m^2]
S_B	=	พื้นที่หน้าตัดคอคอด [m^2]
V	=	ปริมาตรภายใน resonator [m^3]
V_d	=	ปริมาตรของกระบอกสูบ [m^3]
λ	=	ความยาวคลื่น [m]
η_v	=	ประสิทธิภาพการจุไอดี
ρ_a	=	ความหนาแน่นอากาศนอกเครื่องยนต์ = 1.18 [kg/m^3]