การเปรียบเทียบสมรรถนะและการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ ๔ สูบ ๔ จังหวะ แบบเรียงเดี่ยวระหว่างเครื่องยนต์ทั่ว ๆ ไป และเครื่องยนต์ที่มีระบบลดการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายศุภวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. ๒๕๒๓

000247

Thesis Title	Performance and Vibration Characteristics of 4-Cycle 4-Cylinder In-Line Engine Equipped with Second Mode Balancer System as Compared to Conventional Engine
By	Mr. Khoonavuthi Damrongplasit
Department	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Ittiphol Pan-Ngum, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirements for the Master's degree.

S. Bunnag

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

Pinai Sukhawarn

..... Chairman

(Associate Professor Pinai Sukhawarn, Ph.D.)

I. Pan-ngum

..... Member

(Associate Professor Ittiphol Pan-Ngum, Ph.D.)

Withaya Yongchareon

..... Member

(Assistant Professor Withaya Yongchareon, Ph.D.)

P. Sermsrisuwan

..... Member

(Assistant Professor Prasert Sermsrisuwan, M.S.)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบสมรรถนะและการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ ๔ สูบ ๔ จังหวะ แบบเรียงเดี่ยวระหว่างเครื่องยนต์ทั่ว ๆ ไป และเครื่องยนต์ที่มีระบบลดการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สอง
ชื่อนิสิต	นาย คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล ปานงาม
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	๒๕๒๓

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

รถยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางนิยมใช้เครื่องยนต์ ๔ สูบ ๔ จังหวะ แบบเรียงเดี่ยว เพราะข้อดีหลายประการดังเช่น ขนาดเบา ประหยัดเชื้อเพลิง ต้นทุนผลิตต่ำและผลิตง่าย อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์นี้ก็มีความด้อยแฝงอยู่เนื่องจากมีการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สอง (Second Mode) ในแนวดิ่งและแนวหมุนข้าง (Vibromotive moment about crankshaft axis) เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลูกสูบและการเผาไหม้ สำหรับเครื่องยนต์ในการใช้งาน คุณสมบัติคู่หนึ่งที่มีความสำคัญมาก คือ ระดับเสียงต้องต่ำและระดับการสั่นสะเทือนต้องน้อย ซึ่งเครื่องยนต์ ๔ สูบนี้ ขาดคุณสมบัติดังกล่าว จึงทำให้ผู้ผลิตรถยนต์บางรายผลิตเครื่องยนต์ที่มีลูกสูบมากขึ้นหรือแบบ วี ที่เงียบกว่าและสั่นน้อยกว่า ดังนั้น ถ้าสามารถกำจัดการสั่นสะเทือน แบบโมดที่สองในเครื่องยนต์ ๔ สูบได้ อาจจะมีการผลิตเครื่องยนต์ ๔ สูบ ที่มีความจุมากขึ้นกว่าที่ผลิตในปัจจุบัน และมีสมรรถนะทัดเทียมเครื่องยนต์แบบ ๖ สูบ หรือ ๘ สูบ หรือ แบบ วี จะทำให้ได้ประโยชน์จากข้อดีดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ในอนาคตเครื่องยนต์อาจจะต้องติดอุปกรณ์พิเศษต่าง ๆ ที่จะทนการสั่นสะเทือนมากไม่ได้ จึงทำให้มีการคิดค้นวิธีกำจัดการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สองขึ้น

หลักการกำจัดการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง ได้นำมาใช้ในรถไฟมานานแล้ว และสำหรับเครื่องยนต์ ๔ สูบ แลนเชสเตอร์ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ใช้กับรถยนต์อังกฤษบางรุ่นเมื่อประมาณ ๔๐ ปีก่อน ตั้งแต่นั้นมาก็ไม่มีสิ่งประดิษฐ์ใหม่ในแนวนี้ออกมาอีกเลย จนกระทั่ง นากามูร่า และทีมงาน

ได้ออกแบบและติดตั้งเพลาแบบลูกเบี้ยว (Eccentric Mass) คู่หนึ่งในเครื่องยนต์ ๔ สูบ แล้วให้หมุนด้วยความเร็ว ๒ เท่าของแคร้ง (Crankshaft) เพื่อกำจัดการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งและลดการสั่นสะเทือนในแนวหมุนข้าง พร้อมทั้งกล่าวว่าระบบที่คิดใหม่นี้มีประสิทธิภาพดีมาก

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ที่มีเพลาดังกล่าวกับเครื่องยนต์แบบธรรมดา โดยนำเครื่องยนต์ทั้งสองนี้ต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์น้ำพร้อมติดตั้งระบบต่าง ๆ คือ ระบบจ่ายเชื้อเพลิง ระบบระบายความร้อน ระบบไฟและระบบไอเสีย นอกจากนี้ยังติดตั้งอุปกรณ์วิทยาศาสตร์เพื่อใช้วัดค่าต่าง ๆ ดังเช่น อุปกรณ์วัดปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศที่ใช้ไป เป็นต้น สำหรับการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งวัดด้วยแอ็คเซ็ลลิโรมิเตอร์ (Accelerometer) ส่วนในแนวหมุนข้างนั้นวัดไม่ได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีอยู่

ผลการทดลองแสดงว่าการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งแบบโมดที่สองของเครื่องยนต์ธรรมดามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่มีเพลากำจัดการสั่นสะเทือน อนึ่ง ถ้าเครื่องยนต์นี้ไม่มีเพลาดังกล่าว การสั่นสะทือนจะต้องมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ธรรมดาเพราะลูกสูบมีน้ำหนักมากกว่า สำหรับการสั่นแบบโมดที่สองนี้ การคำนวณหาค่าจากสูตรทางทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

การสั่นสะเทือนแบบโมดที่หนึ่ง (First mode) นั้น ในทางทฤษฎีมีค่าเป็นศูนย์โดยมีสมมุติฐานว่าลูกสูบทั้งสี่นั้นมีมวลเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติการผลิตลูกสูบทีละเป็นจำนวนมาก ๆ ลูกสูบทุกลูกไม่สามารถที่จะมีมวลเท่ากันได้ จึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่โมดนี้ ทั้งนี้ ถ้าการสั่นสะเทือนก็ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับที่โมดอื่น

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สี่ (Fourth mode) นั้นพบว่าในเครื่องยนต์แบบที่มีเพลากำจัดการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบสูงมีค่ามากกว่าโมดที่สอง และเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แบบธรรมดาที่โมดที่สี่ด้วยกัน พบว่าการสั่นสะเทือนมีค่ามากกว่าทั้งทางทฤษฎีและจากการทดลอง

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าระบบกำจัดการสั่นสะเทือนแบบโมดที่สองที่ใช้ในรถยนต์ ๔ สูบนี้ สามารถลดการสั่นลงมาได้มากและแนวความคิดนี้สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์อื่นได้อีกถ้าประสบปัญหาด้านการสั่นสะเทือน

Thesis Title	Performance and Vibration Characteristics of 4-Cycle 4-Cylinder In-Line Engine Equipped with Second Mode Balancer System as Compared to Conventional Engine
Name	Mr. Khoonavuthi Damrongplasit
Thesis Adviser	Associate Professor Ittiphol Pan-Ngum, Ph.D.
Department	Mechanical Engineering
Academic Year	1980

ABSTRACT

The most popular engine used in subcompact passenger automobile is 4-cycle 4-cylinder in-line engine to gain the advantages of lightweight, low fuel consumption, low cost and easy construction. However, it has an inherent inferiority of second mode vibration in the vertical and rolling directions, originating from the reciprocating parts and engine combustion. Low noise and vibration classified as one of very important characteristics in service is not satisfactory in 4-cylinder engine making some engine builders producing engines of more cylinders or V-type renowned for their low noise and vibration. If second mode vibration can be eliminated, it is possible that larger capacity 4-cylinder will replace engines of more cylinders or V-type to enjoy the mentioned advantages. Another reason for building engine with low level of vibration is that, in future engines may be required by regulation to be installed with special devices which cannot tolerate vibration to perform certain functions.

The idea of eliminating second mode vibration in vertical direction has been adopted in low speed engines such as rail vehicle for some time and for 4-cylinder engine, Lanchester devised a piece of mechanism fitted to certain British car engines about forty years ago. Since then there has not been any new device available until Nakamura and his associates designed and installed a pair of eccentric mass shafts rotating at twice the speed of crankshaft in

4 cylinder automobile engine and claimed their effectiveness of eliminating second mode vertical and rolling vibration.

In this study the performance and vibration characteristics of engine equipped with second mode balancer system has been compared with those of conventional engine. For the investigation, the engines were coupled to hydraulic dynamometers and furnished with fuel and coolant supplies, electrical and exhaust systems as well as instruments necessary for measurement of engine performance. Vibration characteristics were measured by using an accelerometer mounted on a probe. Vertical vibration of both engines were compared but unfortunately additional instruments are required to be capable of measuring rolling vibration.

Experimental results indicate second mode vibration of engine equipped with balancer system are lower eventhough its reciprocating masses are heavier. First mode vibration theoretically should balance but unequal reciprocating masses cause small first mode unbalance. Second mode vibration is predominant in conventional engine but for engine with second mode balancer system fourth mode becomes significant at high speed. Prediction of second mode vertical vibration by theoretical formular agrees closely to experimental results.

It can be concluded that second mode balancer system fitted to 4 cylinder engine can effectively reduce the vibration and the idea can be adopted for other machines and engines if required.

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to acknowledge all the generous assistance and advice readily given by Assc. Prof. Dr. Ittiphol Pan-Ngum. He also wishes to thank Ass. Prof. Chullapong Chullaphodi of Prince of Songkla University for the lending of vibration measuring set without which this work cannot be completed.

The author is also very grateful to the staff of Mechanical Engineering Department for their support.

TABLE OF CONTENTS

Chapter	Title	Page
	Title Page	i
	Thesis Approval	iii
	Abstract	vi
	Acknowledgement	viii
	Table of Contents	ix
	List of Tables	x
	List of Figures	xi
	List of Symbols	xiv
I	Introduction	1
II	Theory of Reciprocating Engine	7
III	Experimental Method	21
IV	Results and Discussion	32
V	Conclusions	58
VI	Suggestion For Furthur Work	60
	References	62
	Appendix	64
	Vita	70

ห้องสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table		Page
1-1	Unbalanced Harmonic Orders for In-Line Engines . . .	4
1-2	Unbalanced Orders of Inertia Forces in V-Engines . . .	4
3-1	Octave Filter Center Frequency Setting for Measuring Engine Vibration Mode.	26
4-1	Acceleration of Vibration at Engine Support Bracket for Conventional Engine.	48
4-2	Acceleration of Vibration at Engine Support Bracket for Balanced Engine.	49
4-3	Comparison Between Experimental and Theoretical Valves of Fourth Mode Vibromotive Force at No Load.	51
A-1	Comparison Between Experimental and Theoretical Valves of Secondary Vibromotive Force for Conventional Engine.	65
A-2	Experimental Values of Secondary Vibromotive Force for Balanced Engine.	65

LISTS OF FIGURES

Figure		Page
1-1	Second Model Vertical Force Balancer in Rail Vehicle.	6
1-2	Lanchester Second Mode Vertical Force Balancer. . . .	6
2-1	Single Cylinder	8
2-2	Harmonic Coefficients of Torque Fluctuation by Explosion in 4-Cylinder Engine	13
2-3	Counter Balancing Shafts	13
2-4	Counter Balancing System for Equilibration of Vertical Force Only	18
2-5	Optimum Counter-Balancing System	18
2-6	Operational Principle of Counter Balancing System .	19
3-1	Conventional Engine	23
3-2	Second Mode Counter Balancing Shaft Engine	23
3-3	Counter Balancing Shafts	24
3-4	Counter Balancing Shafts as Equipped on Engine . .	24
3-5	Vibration Measuring Instrument	27
3-6	Vibration Measurement	27
4-1	Acceleration of Vibration at Left Support Bracket Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Conventional Engine	32
4-2	Acceleration of Vibration at Valve Rocker Cover Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Conventional Engine	34
4-3	Acceleration of Vibration at Carburetor Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Conventional Engine	35

Figure | Page

4-4 Acceleration of Vibration at Left Engine Test Bed Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Conventional Engine. 36

4-5 Acceleration of Vibration at Right Engine Test Bed Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Conventional Engine. 37

4-6 Acceleration of Vibration at Right Support Bracket Plotted Against Octave Fillter Centre Frequency for Balanced Engine. 39

4-7 Acceleration of Vibration at Left Support Bracket Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Balanced Engine. 40

4-8 Acceleration of Vibration at Valve Rocker Cover Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Balanced Engine. 41

4-9 Acceleration of Vibration at Carburetor Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Balanced Engine. 42

4-10 Acceleration of Vibration at Engine Test Bed Plotted Against Octave Filter Centre Frequency for Balanced Engine. 43

4-11 Frequency Response of Accelerometer with Probe 44

4-12 Frequency Characteristics of Octave Filter 44

Figure		Page
4-13	Comparison of Vibration Characteristics at No Load as Measured at Engine Support Bracket. . .	46
4-14	Comparison of Vibration Characteristics at No Load as Measured at Carburetor.	47
4-15	Performance Curve for Conventional Engine at Full Throttle.	52
4-16	Performance Curve for Balanced Engine at Full Throttle.	54
4-17	Comparison of Vibration Characteristics at Full Load as Measured at Engine Support Bracket. . .	55
4-18	Second Mode Vibration Force Plotted Against Engine Speed.	56
A-1	Acceleration of Vibration Plotted Against Mode of Vibration at Constant Engine Speed and Part Load.	66
A-2	Accleration of Vibration Plotted Against Mode of Vibration at Constant Engine Speed and No Load.	67

LIST OF SYMBOLS

SYMBOLS	DESCRIPTION
a	acceleration
a_1, a_2	harmonic coefficients
A_2, A_4	harmonic coefficients
b_2, b_4	harmonic coefficients
B_2, B_4	harmonic coefficients
D	diameter of cylinder
F_i	reciprocating inertia force in i direction
F_{Bi}	balancing inertia force in i direction
F_R	rotating inertia force
G, g	acceleration of vibration
k_e	radius of gyration
k_i	constant
l	length of connecting rod
m	weight
m_i	eccentric mass of balancing shaft
M_i	vibromotive moment in i direction
M_p, M_{comb}	gas pressure torque
M_{bi}	balancing moment in i direction
M_M	correcting couple
M_R	residual couple
N	number of balancing shafts
p	ratio of r/l

SYMBOLS	DESCRIPTION
P	gas force
r	crank radius
r_i	eccentricity of balancing shaft i
R	distance from centre of piston pin bearing to its centre of gravity
y_i	coordinates of balancing shaft i in y direction
z_i	coordinates of balancing shaft i in z direction
$\dot{z}$	velocity of piston
$\ddot{z}$	acceleration of piston
α	phase angle of eccentric mass
ω	rotational speed of the crank
θ	crank angle
$\ddot{\phi}$	angular acceleration of connecting rod