บทที่ 7

สรุปผลและอภิปรายผล

7.1) สรุปผล

จากการศึกษาทางทฤษฎีของตัวแปรการออกแบบต่อกำลังงานสูญเสียในแต่ละองค์ประกอบ ทั้งในส่วนของเครื่องยนต์และยานยนต์ โดยกำหนดขอบเขตของตัวแปรต่างๆในช่วงตัวแปรที่พิจารณาเพิ่มลดราวร้อยละ 10 จากข้อมูล baseline engine data ซึ่งในช่วงดังกล่าวไม่รวมผลกระทบทางด้าน dynamic load โดยในทางปฏิบัตินั้นอาจจะทำให้ช่วงตัวแปรบางช่วงไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง ซึ่งในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ใช้เป็นเพียงกรณีในการศึกษาทิศทาง สำหรับตัวแปรต่างๆสามารถสรุปแสดงทิศทางของตัวแปรการออกแบบที่ควรจะเป็นได้ดังนี้

ตารางที่ 7.1 สรุปทิศทาง และ Sensitivity ของตัวแปรการออกแบบเพื่อให้เกิด Net indicated power สูงสุด และเพื่อให้เกิดการลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์, ยานยนต์

ตัวแปรที่มีผลต่อกำลังงานสูญเสีย	ทิศทาง	Sensitivity *
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเทอร์โมไดนามิกส์		
- Spark advance	***	0.953
- Combustion duration	***	-1.425
- Compression ratio	↑	1.241
- Connecting rod length	↑	0.057
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบในส่วนของเครื่องยนต์		
ก) Connecting rod bearing		
- Radius bearing at big-end side	↓	2.979
- Radius clearance at big-end side	↑	-0.993
- Bearing width at big-end side	↓	0.992
- Radius bearing at small-end side	↓	0.0208
- Radius clearance at small-end side	↑	-0.0068
- Bearing width at small-end side	↓	0.0068
ข) Crankshaft bearing		
- Radius of bearing	↓	3.001
- Bearing width	↓	1.01
- Radius clearance	↑	-1.02

* sensitivity เป็นความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังงานสูญเสีย หรือ Net indicated power ที่ข้อมูล baseline engine data ซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้จากภาคผนวก ก.

ตารางที่ 7.1 สรุปทิศทาง และ Sensitivity ของตัวแปรการออกแบบเพื่อให้เกิด Net indicated power สูงสุด และเพื่อให้เกิดการลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์, ยานยนต์

องค์ประกอบกำลังงานสูญเสีย	ทิศทาง	Sensitivity *
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบในส่วนของเครื่องยนต์		
ค) Piston ring and skirt		
- Piston clearance	↑↓	-1
- Skirt length	↓	1.001
- Pressure ring depth	↓	0.876
- Oil ring depth	↓	0.103
ง) Cam system		
- Valve follower mass	↑↓	-0.031
- Spring stiffness	↓	0.521
- Valve preloading	↓	0.51
- Base radius	↓	0.56
- Tip radius	***	0.11
- Valve lift	↓	1.091
จ) Accessories load		
- Cooling load	↓	1
- Rotor diameter in alternator	↓	0.921
- Rotor length in alternator	↓	0.131
ฉ) Pumping losses		
- Inlet valve diameter	↑	-0.47
ตัวแปรรวมอื่นๆ		
- Absolute viscosity	↓	3.998
- Piston bore	↑↓	1.979
- Crank arm	↓	3.92
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบในส่วนของยานยนต์		
- Drag coefficient	↓	1
- Frontal area	↓	1
- Rolling coefficient	↓	0.999
- Vehicle mass	↓	0.999

* หมายเหตุ ↓ หมายถึง ตัวแปรควรมีค่าลดลงเพื่อทำให้กำลังงานสูญเสียลดลงหรือ Net indicated power เพิ่มขึ้น

↑ หมายถึง ตัวแปรควรมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้กำลังงานสูญเสียลดลงหรือ Net indicated power เพิ่มขึ้น

*** หมายถึง ตัวแปรที่พิจารณามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตัวอื่น

สำหรับการศึกษาผลของตัวแปรการออกแบบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาทีต่อกำลังงานสูญเสีย พบว่าสามารถลดกำลังงานสูญเสียได้โดยการปรับตัวแปรเพื่อปรับปรุงองค์ประกอบกำลังงานสูญเสีย 3 ส่วนคือ

7.1.1) การปรับปรุงประสิทธิภาพทาง Thermodynamics

7.1.2) การลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์

7.1.3) การลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของยานยนต์

7.1.1) การปรับปรุงประสิทธิภาพทาง Thermodynamics

ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการปรับปรุงประสิทธิภาพทาง Thermodynamics มาก คือ compression ratio , มุม spark advance และ combustion duration โดยมุม spark advance จะต้องเหมาะสมกับ combustion duration ที่จะเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ เพื่อทำให้ค่า Net indicated power ที่ได้ออกมามีค่ามากที่สุด ส่วนการเพิ่มค่า compression ratio นั้นไม่สามารถเพิ่มได้มากนัก เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าจำกัดของการเพิ่มของ compression ratio มากมาย อาทิ น้ำมันเชื้อเพลิง , combustion chamber ฯลฯ จากการคำนวณเชิงทฤษฎีเมื่อไม่นำผลจาก heat losses มาพิจารณาพบว่า การปรับปรุงตัวแปรต่างๆนั้นสามารถเพิ่มค่า Net indicated power ได้ราวร้อยละ 44

ตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากคือ combustion duration มีค่า sensitivity เท่ากับ -1.42 รองลงมาคือ compression ratio ซึ่งมีค่า sensitivity เท่ากับ 1.241 และ spark advance มีค่า sensitivity เท่ากับ 0.953

7.1.2) การลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์

การวิเคราะห์องค์ประกอบกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์แต่ละส่วน พบว่ากำลังสูญเสียจากองค์ประกอบของ crankshaft bearing และ piston ring สามารถลดลงได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ baseline engine data ร้อยละ 26.65 และ 23.08 ตามลำดับ รองลงมาคือการลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของ connecting rod bearing และ piston skirt สามารถลดลงได้ ร้อยละ 15.28 และ 9.63 ตามลำดับ สำหรับในส่วนของ alternator นั้นสามารถลดกำลังงานสูญเสียลงได้น้อยที่สุด ร้อยละ 4.97

จากการศึกษาพบว่ากำลังสูญเสียส่วนใหญ่นี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งผลของการลดค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลงราวร้อยละ 10 มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์มีค่า ร้อยละ 17.57 ตัวแปรที่มีผลรองลงมาคือ รัศมีของ crankshaft bearing มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 16.52 สำหรับ connecting rod bearing มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 9.42 และ Piston bore ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 8.29 จากตัวแปรที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าจากตัวแปรที่มี

อิทธิพลต่อการลดกำลังงานสูญเสียรวมนั้น ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการลดแรงเสียดทาน อาทิ : contact surface ผิวระหว่างโลหะ และความหนืดของ viscous fluid เป็นต้น

สำหรับการปรับปรุงตัวแปรการออกแบบอื่นๆเพิ่มลดราวร้อยละ 10 จาก baseline engine data ที่มีอิทธิพลต่อการลดกำลังสูญเสียรวมในส่วนของเครื่องยนต์ จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

- จากการปรับปรุงตัวแปรในส่วนของ Accessories load พบว่าการลดภาระทางความร้อนลงมีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 7.38 สำหรับการลดขนาดของตัว Rotor diameter และ Rotor length ใน alternator มีผลต่อสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ไม่มากนัก คือร้อยละ 4.51 และ 0.6 ตามลำดับ
- การลดขนาดหน้ากว้างของ pressure ring จะทำให้ขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสของ pressure ring กับน้ำมันหล่อลื่นลดลง มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 6.37
- การปรับปรุงตัวแปรใน crankshaft bearing พบว่าการเพิ่มขนาดของ radius clearance และการลดขนาดหน้ากว้าง bearing ส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำมัน หรือ hydrodynamic pressure ลดลง และ ส่งผลให้พื้นที่สัมผัสของ bearing กับ viscous fluid ลดลง มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 5.57 และ 4.55 ตามลำดับ
- การปรับปรุงขนาดของ inlet valve diameter มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 3.04
- การปรับปรุงตัวแปรในส่วนของ connecting rod bearing พบว่าการลดขนาดของหน้ากว้างของ bearing และ เพิ่มขนาดของ radius clearance มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของเครื่องยนต์ร้อยละ 2.63 และ 2.6 ตามลำดับ

ซึ่งการปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อกำลังงานสูญเสียเชิงทฤษฎี สามารถลดกำลังสูญเสียรวมในส่วนของเครื่องยนต์ได้ถึงราวร้อยละ 19.7 จากการเปรียบเทียบของข้อมูลที่ได้จาก baseline engine data กับ optimum data

สำหรับการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในส่วนของเครื่องยนต์ พบว่าตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังงานสูญเสียมากที่สุดคือ absolute viscosity ซึ่งมีค่า sensitivity เท่ากับ 3.998 โดยมี crankarm มีค่ารองลงมาเท่ากับ 3.92 สำหรับตัวแปรในองค์ประกอบกำลังงานสูญเสียอื่นๆ ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก มีดังนี้

- ตัวแปรในส่วนของ connecting rod bearing พบว่า ตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ รัศมีของ bearing ที่ด้าน big-end ซึ่งมีค่า sensitivity เท่ากับ 2.979

- ตัวแปรในส่วนของ crankshaft bearing พบว่า รัศมีของ bearing มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากสุดซึ่งมีค่า sensitivity เท่ากับ 3.001
- ตัวแปรในส่วนของ pumping losses พบว่า ตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ inlet valve diameter โดยมีค่า sensitivity เท่ากับ -0.47 ซึ่งเป็นความไวในการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานสูญเสียที่ลดลง เมื่อ inlet valve diameter เพิ่มขึ้น
- ตัวแปรในส่วนของภาระในการขับ compressor พบว่า cooling load มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยมีค่า sensitivity ประมาณ 1

ซึ่งตัวแปรอื่นๆมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

7.1.3) การลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของยานยนต์

ในการพิจารณาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที ซึ่งประมาณการทำงานเมื่อเครื่องยนต์ขับยานยนต์ ที่ความเร็วของยานยนต์ 83.3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่ากำลังงานสูญเสียที่ลดลงมากที่สุด เป็นส่วนของการปรับปรุงตัวแปรจาก air resistance ซึ่งสามารถลดกำลังงานสูญเสียลงได้ร้อยละ 17.99 และในการปรับปรุงตัวแปรจาก rolling resistance สามารถลดกำลังงานสูญเสียได้ร้อยละ 14.95

สำหรับการปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ในส่วนของยานยนต์จากข้อมูล baseline engine data โดยการปรับปรุงค่าตัวแปรในช่วงบวก-ลบราวร้อยละ 10 พบว่า ผลการปรับปรุงตัวแปรจากการลด frontal area มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของยานยนต์มากสุด ร้อยละ 30.77 เนื่องจาก frontal area มากจะทำให้แรงต้านอากาศมากซึ่งจะมีอิทธิพลมากขึ้นที่ความเร็วของรถยนต์ที่สูงขึ้น และตัวแปรจาก air resistance ที่มีผลต่อการลดกำลังงานสูญเสียมากเช่นกันคือ drag coefficient มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของยานยนต์ ร้อยละ 28.57 โดยค่า drag coefficient นั้นขึ้นกับรูปทรงของรถยนต์ และค่า drag coefficient ที่ต่ำจะทำให้แรงต้านอากาศมีปริมาณลดลง

เมื่อพิจารณาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ rolling resistance พบว่าเมื่อปรับปรุงตัวแปรต่างๆ โดยการลด vehicle mass มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของยานยนต์ ร้อยละ 25.98 และการลด rolling friction coefficient มีสัดส่วนในการลดกำลังสูญเสียในส่วนของยานยนต์ ร้อยละ 14.68

ซึ่งผลการลดกำลังงานสูญเสียในส่วนของยานยนต์โดยรวม สามารถลดได้ราวร้อยละ 16.6 จากการเปรียบเทียบของข้อมูลที่ได้จาก baseline engine data กับ optimum data

สำหรับการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในส่วนของยานยนต์ พบว่าตัวแปรที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังงานสูญเสียมากที่สุดคือ drag coefficient และ frontal area ซึ่งมีค่า sensitivity ประมาณ 1 โดยตัว vehicle mass และ rolling resistance มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่ำสุดเท่ากับ 0.998

7.2) อภิปรายผล

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลจากการคำนวณ โดยการคำนวณส่วนใหญ่เป็นไปในเชิงทฤษฎีซึ่งในหลายๆทฤษฎีนั้นมีการตั้งข้อสมมุติฐานในการคำนวณเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ จะทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณไม่เข้าใกล้ความเป็นจริง สำหรับข้ออภิปรายต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

7.2.ก) ผลจากแบบจำลองการเผาไหม้แบบ single zone ideal gas

จาก single zone ideal gas นั้นโดยถือว่าการเผาไหม้ gas เป็นแบบเนื้อเดียวกันตลอดการเผาไหม้ ซึ่งในสภาพที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยประกอบด้วย unburned และ burned gas ซึ่งจะทำให้ค่า Net indicated power คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง และ ผลจากการไม่คิด heat loss จากการถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังกระบอกสูบ และ heat loss ออกไปกับไอเสียจะทำให้ค่า Net indicated power ที่ได้ออกมาไม่ตรงกับความเป็นจริง ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีการสูญเสียความร้อนทั้งในส่วนที่ถ่ายเทออกไปกับระบบน้ำหล่อเย็นและ ออกไปกับไอเสีย

7.2.ข) ผลของการจำกัดช่วงความเร็วรอบที่ใช้ในการคำนวณ

ในบางองค์ประกอบกำลังงานสูญเสียไม่สามารถคำนวณหาค่ากำลังงานสูญเสียได้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง เนื่องจากข้อจำกัดจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนั้นใช้ความเร็วรอบในการทดสอบที่จำกัด ทำให้ไม่ครอบคลุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ทั้งหมด

7.2.ค) ผลจากการหล่อลื่นแบบ Hydrodynamic lubrication

จากการหล่อลื่นแบบ hydrodynamic lubrication ที่ไม่คำนึงถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่น แต่ในความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับชั้นน้ำมันในระหว่างการหล่อลื่น พบว่าความหนาแน่นของน้ำมันนั้นมีการเปลี่ยนแปลง มีค่าไม่คงที่ โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ และ ความดันของน้ำมันที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้การหล่อลื่นเป็นแบบ elastrohydrodynamic lubrication ซึ่งเป็นทฤษฎีการหล่อลื่นที่คำนึงถึงผลการเปลี่ยนแปลงค่า

ความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเข้าใกล้ความเป็นจริงมากขึ้นใน bearing ที่เป็นแบบ journal bearing และ ส่วนที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้การกำหนดให้ของไหลเป็นแบบ Newtonian fluid โดยค่าของ viscous stress จะเป็นสัดส่วนกับ strain rates แต่ในความเป็นจริงแล้วของไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Non-newtoian fluid ซึ่งการหล่อลื่นในเครื่องยนต์จะสามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่ อาทิเช่นใน crankshaft bearing , connecting rod bearing , piston skirt และ piston ring

7.2.ง) ผลจากการกำหนดให้การหล่อลื่นเป็นแบบ one dimensional flow

จากการกำหนดให้การหล่อลื่น ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นแบบ one dimensional flow คำนึงเพียงทิศทางการไหลของของไหลเพียงทิศทางเดียว อันจะทำให้ลดความยุ่งยากในการแก้สมการ partial differential equation แต่ในความเป็นจริงควรพิจารณาให้การไหลของของไหลเป็นแบบ two dimensional หรือ three dimensional ซึ่งจะได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น โดยจะพัฒนาต่อไป

7.2.จ) ผลจาก Dynamic load ที่กระทำต่อ journal bearing

สำหรับ dynamic load เป็นแรงที่กระทำต่อ bearing โดยแรงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางที่กระทำต่อ bearing ตลอดเวลา โดยจะขึ้นอยู่กับความดันของ gas ในห้องเผาไหม้ตามจังหวะการจุดระเบิด โดยผลของ dynamic load ที่กระทำต่อ bearing นั้นจะทำให้ค่า eccentricity ratio มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามมุม crank angle ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้ค่า eccentricity ratio เฉลี่ยซึ่งมีค่าคงที่ตลอด cycle แต่ในความเป็นจริงแล้ว ค่า eccentricity จะเปลี่ยนแปลงไปตาม dynamic load โดยสามารถคำนวณได้จากสมการของ force balance ซึ่งเป็นการสมดุล ระหว่าง แรงที่กระทำต่อ bearing และ ความดันของชั้นน้ำมันหล่อลื่น โดยผลที่เกิดจาก dynamic load จะเกิดขึ้นกับตัว journal bearing เช่นเดียวกับที่ crankshaft bearing , connecting rod bearing

7.2.ฉ) ผลจากกำหนด cam system เป็นแบบ constant cam speed

ในการคำนวณผลของ cam system นั้นเป็นการคำนวณกำลังงานสูญเสียจากสมการแบบ constant cam speed ซึ่งไม่สามารถคำนวณหากำลังงานสูญเสียในช่วงของเครื่องยนต์ที่มีความเร่งได้และกำลังงานสูญเสียที่ได้นั้น เป็นกำลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทานระหว่างผิว cam กับ valve follower mass ไม่มีการคำนวณผลของแรงเสียดทานใน valve train ร่อง valve ต่างๆ ซึ่งจะต้องวิเคราะห์และพัฒนาต่อไป

7.2.ช) ผลของสมการ empirical formula ของ pumping losses

สำหรับในการคำนวณใน pumping losses นั้นเป็นสมการที่ได้จาก empirical formula เท่านั้นโดยเป็นการทดสอบกลุ่มเครื่องขนาดต่างๆ แล้วสรุปผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง อาจจะทำให้ผลการคำนวณของ pumping loss คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

7.2.ซ) ผลจากการคำนวณสมการด้วยวิธี numerical method

ในการคำนวณ สมการแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธี numerical method ย่อมมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ โดยอยู่ขึ้นกับความถี่ในการคำนวณมีจำนวนมากเพียงใดและขึ้นอยู่กับวิธีของ numerical method ที่ใช้ในการคำนวณ

7.2.ฌ) ผลของความแข็งแรงของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร

คำนวณกำลังงานสูญเสียที่ได้จากตัวแปรต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ไม่มีการคำนึงถึงผลของความแข็งแรงเนื่องจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรการออกแบบ

สำหรับข้ออภิปรายต่างๆเหล่านี้ เป็นการแสดงให้เห็นแนวทางต่อไปในการพัฒนาแบบจำลองและปรับปรุงข้อมูลทางทฤษฎีให้เข้าใกล้ความเป็นจริง ต่อไปในอนาคต

7.3) ข้อแนะนำสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเสนอแนะความคิดเห็นต่างๆ ต่องานวิจัยที่จะพัฒนาต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.3.ก) ข้อเสนอแนะสำหรับรูปแบบจำลองการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น ควรใช้แบบจำลองการเผาไหม้ของ gas เป็นแบบหลาย zone และ ควรคิดผลของ heat losses ที่ถ่ายเทให้กับผนังกระบอกสูบด้วย

7.3.ข) ข้อเสนอแนะสำหรับรูปแบบการหล่อลื่นที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด จะเป็นการหล่อลื่นแบบ Elastrohydrodynamic lubrication ซึ่งเป็นการหล่อลื่นที่คำนึงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการขยายตัวของทั้งผนังกระบอกสูบและลูกสูบ และผลของค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

7.3.ค) ข้อเสนอแนะต่อผลของ Dynamic load ที่กระทำต่อตัว journal bearing ซึ่งมีผลต่อค่า eccentricity ratio โดยการคำนวณหาค่า eccentricity ratio นั้น อาจจะเป็นการคำนวณแบบ Trail error โดยใช้วิธีทาง Numerical method ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน โดยในความเป็นจริงนั้นค่า eccentricity ratio จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและการคำนวณหาค่า

eccentricity ratio ได้จาก force balance ซึ่งสมการ force balance นั้นจำเป็นต้องรู้ pressure distribution ของน้ำมันหล่อลื่นใน bearing ก่อน แต่ pressure distribution จะได้จาก Reynold equation ซึ่งเป็นสมการ partial differential equation ซึ่งเทอมของ eccentricity นั้นมีปรากฏอยู่ในสมการด้วย จะเห็นได้ว่าการคำนวณหา eccentricity ratio นั้นมีซับซ้อน โดยวิธี Trail error อาจจะเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว

7.3.ง) ข้อเสนอแนะต่อผลการคำนวณแบบ Numerical ที่ใช้ในการประมาณสมการต่างๆในรูปของ integration ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ กฎสี่เหลี่ยมคางหมูในการประมาณหาค่า integration ในการเสนอแนะเพื่อการคำนวณที่ละเอียดและเข้าใกล้ค่าที่ถูกต้องอาจจะใช้วิธีการประมาณที่ละเอียดมากขึ้นและเพิ่มจำนวนช่วงในการคำนวณมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย