

โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองระยะที่ ๒
Development of Software for Gear Failure Analysis Phase 2

นายธีรพงศ์ พระคัมภีร์รักษา
นายธีรพงษ์ สุภาศิริ
นายพงศกร บุตตพิภคตร์

ชื่อผู้ลงทะเบียน	วิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ	14 กค 2552
เลขทะเบียน	15073017 ๑.๒
เลขเรียกหนังสือ	๗๕
	๕๕๗
คณะวิศวกรรมศาสตร์	๒๕๕๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อ โครงการวิศวกรรมเครื่องกล โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองระยะที่ 2

ผู้ดำเนินงาน นายธีรพงศ์ พระคุ้มรักษา รหัสบัณฑิต 49363540
 นายธีรพงษ์ สุภาศิริ รหัสบัณฑิต 49363557
 นายพงศกร บุตตพัทตร์ รหัสบัณฑิต 49363656

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ศลิษา วีรพันธุ์

ที่ปรึกษาโครงการร่วม อาจารย์ ปัญญวัฒน์ คำเพาพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรมเครื่องกล

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.....กรรมการ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ

(อ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

หัวข้อ โครงการวิศวกรรมเครื่องกล	โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองระยะที่ 2	
ผู้ดำเนินงาน	นายธีรพงษ์ พระคุ้มรักษา	รหัสนิติศ 49363540
	นายธีรพงษ์ สุภาศิริ	รหัสนิติศ 49363557
	นายพงศกร บุตตพักตร์	รหัสนิติศ 49363656
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ศลิษา วีรพันธุ์	
ที่ปรึกษาโครงการร่วม	อาจารย์ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	
ปีการศึกษา	2552	

บทคัดย่อ

การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขบกันของเฟืองฟันตรง เฟืองเฉียง และเฟืองคอกจอก เพื่อการเลือกใช้อย่างเหมาะสม และ เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง เฟืองเฉียง และเฟืองคอกจอกที่มาขบกันในงานออกแบบเฟืองให้สะดวกในการคำนวณมากขึ้น

จากการศึกษาและพัฒนาโปรแกรม ทำให้ได้โปรแกรม GeaRox_2 ซึ่งพัฒนามาจากการวิเคราะห์สมการความเสียหายตามมาตรฐานของ AGMA แล้วนำตัวแปรที่วิเคราะห์ได้มาเขียนโปรแกรม โดยใช้ Microsoft Visual Basic 6.0 ในการเขียน ซึ่งโปรแกรม GeaRoX_2 นี้ สามารถวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการขบกันของเฟืองได้ 3 ชนิด คือ เฟืองฟันตรง (spur) เฟืองฟันเฉียง (helical) และเฟืองคอกจอก (bevel) ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ (ใช้หน่วยในระบบ SI ที่มีมุมกดคั่นเท่ากับ 20°) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ 0-2% กับการคำนวณด้วยมือ ทั้งยังใช้งานง่าย มีตัวอย่างในแบบทดสอบและมีคำอธิบายตัวแปร จึงช่วยให้การออกแบบเฟืองทำได้สะดวกขึ้น และลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากการคำนวณด้วยมือ

Project Title	Development of Software for Gear Failure Analysis phase II	
Name	Mr.Teerapong Prakoomraksa	Student ID 49363540
	Mr.Teerapong Supasiri	Student ID 49363557
	Mr.Pongsakorn Boottaphak	Student ID 49363656
Project Advisor ¹	Ms. Salisa Veerapun	
Project Advisor ²	Ms. Panyawan Lumpaopong	
Major	Mechanical Engineering	
Department	Mechanical Engineering	
Academic Year	2009	

Abstract

The purposes of this project are studying about gear damage that result from the crack of spur gear, helical gear and bevel gear and suitable application, and developing program into gear damage analysis program for convenience of design.

The result of it is GeaRox_2 Program that is developed by analysis damage equations in AGMA standard and leading the variables to create program with Microsoft Visual Basic 6.0. Ability of GeaRox_2 is accurately analysis gear damage that result from the crack of spur gear, helical gear and bevel gear that is the percentage of error only 0-2%. In addition, the using of program is easy and there are examples and variable definitions. So GeaRox_2 allows convenient to design and reduces mistake from manual calculation.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ศศิญา วีรพันธุ์ และอาจารย์ปัญญวัฒน์ ลำเพาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำงานมาโดยตลอด

อาจารย์ภาณุ พุทธวงศ์ และอาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์ ที่กรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

นางสาวกิตติมา พระกุ่มรักษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการแปลบทคัดย่อ

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมาในการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนจบการศึกษา



นายธีรพงศ์

พระกุ่มรักษา

นายธีรพงษ์

สุภาศิริ

นายพงศกร

นุตตพัทธ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรม	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 ประเภทของเฟือง (Type of Gear) [2]	4
2.1.1 เฟืองฟันตรง	5
2.1.2 เฟืองฟันเฉียง	5
2.1.3 เฟืองคอกงอก	5
2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหาย [2]	5
2.2.1 ภาวะที่กระทำกับเฟือง	5
2.2.2 ความเค้น	6
2.2.3 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นของเฟือง	7
2.2.3.1 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าของวัสดุ (Fatigue Failures)	7
2.2.3.2 ความเสียหายจากการสึกหรอของฟัน	10
2.2.3.3 ความเสียหายจากการประกอบ	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 สาเหตุการเกิดความเสียหาย	12
2.2.4.1 รอยแตกของพื้นที่ใช้เก็บกำลัง	12
2.2.4.2 รอยแตกจากการเฉียระไน	12
2.2.4.3 รอยแตกที่บริเวณขอบ	12
2.2.4.4 รอยแตกที่ระหว่างชั้นความแข็ง	12
2.2.4.5 รอยแตกจากความล้าในผิวสัมผัส	12
2.2.4.6 รอยแตกที่เกิดจากการใช้งานด้วยความเร็วรอบต่ำ	12
2.2.4.7 รอยแตกที่เกิดจากการใช้งานด้วยความเร็วรอบสูง	13
2.2.5 มาตรฐานในการออกแบบเฟือง	14
2.3 โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง	14
บทที่ 3 การพัฒนา โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง	17
3.1 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม	17
3.2 การคำนวณในโปรแกรม	23
3.3 สิ่งที่ได้ทำการพัฒนาเพิ่มเติม	31
3.3.1 จาก 10 กลุ่มตัวแปรลดลงเหลือ 2 กลุ่มตัวแปร	31
3.3.2 เปลี่ยนจากหน่วยอังกฤษเป็นหน่วย SI	33
3.3.3 เพิ่มชนิดของเฟือง	34
3.3.4 เพิ่มเส้นช่วยในการอ่านกราฟ	35
3.3.5 เพิ่มปุ่มตัวอย่าง ปุ่มล้างข้อมูล และปุ่มอธิบายตัวแปร	36
3.3.6 เปลี่ยนการบันทึกจาก Notepad เป็น Excel	38
3.3.7 ระบุตำแหน่งที่ไม่มีกรใส่ค่า	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบโปรแกรม	40
4.1 ความถูกต้อง	40
4.1.1 เพียงพินตรง (แบบฝึกหัดท้ายบทข้อ 14-20) [2]	40
4.1.2 เพียงพินเฉียง	44
4.1.3 เพียงคอกงอก (แบบฝึกหัดข้อ 15-3, 15-4) [2]	48
4.2 ความเหมาะสมกับผู้ใช้ (แบบประเมิน)	51
4.3 สรุป	52
บทที่ 5 บทสรุป	53
5.1 สรุปผลการดำเนินงานพัฒนาโปรแกรม	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก ก สมการที่เกี่ยวข้อง	56
ภาคผนวก ข กราฟและตารางพื้นฐานของ AGMA	63
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งาน โปรแกรม	84
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	109

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ประเภทของเฟือง [7]	4
รูปที่ 2.2 แผนภูมิ S-N Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบของการทำงาน [8]	8
รูปที่ 2.3 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าตัวของเฟืองเกียร์ [8]	9
รูปที่ 2.4 การแตกหักความล้าที่รอบต่ำ (LCF) เนื่องจากแรงบิดของเพลลา [8]	13
รูปที่ 2.5 การแตกหักเนื่องจากความล้าที่รอบสูง (HCF) ของเพลลาที่ทำงานด้วยภาระ (Load) ที่ต่ำ ๆ แต่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง [8]	13
รูปที่ 2.6 โปรแกรม Gear Train [9]	14
รูปที่ 2.7 โปรแกรม MITCalc - Internal Spur Gear Calculation 1.15 [10]	15
รูปที่ 2.8 โปรแกรม ACECOM GEAR 2003 [11]	15
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [1/5]	18
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [2/5]	19
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [3/5]	20
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [4/5]	21
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [5/5]	22
รูปที่ 3.2 แสดงสมการความเค้นคัต และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_p ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง [2]	24
รูปที่ 3.3 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง [2]	25
รูปที่ 3.4 แสดงสมการความเค้นคัต และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_p ของเฟืองดอกจอกฟันตรง	26
รูปที่ 3.5 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองดอกจอกฟันตรง [2]	27
รูปที่ 3.6 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงกลุ่มตัวแปร 10 กลุ่ม	31
รูปที่ 3.7 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงกลุ่มตัวแปร 2 กลุ่ม	32

สารบัญรูป (ต่อ)

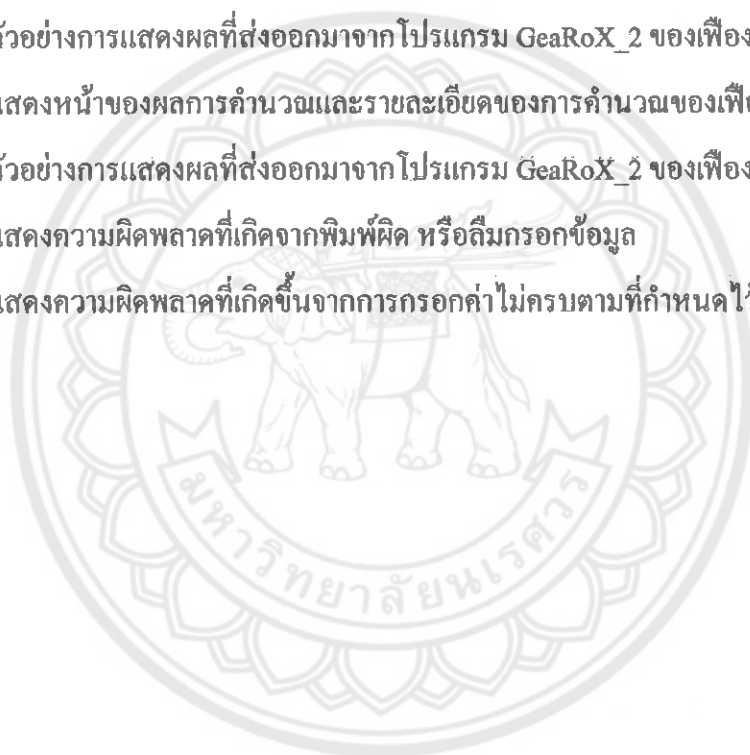
	หน้า
รูปที่ 3.8 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงการใส่ค่าเป็นหน่วยอังกฤษ	33
รูปที่ 3.9 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงการใส่ค่าเป็นหน่วย SI	33
รูปที่ 3.10 โปรแกรม GeaRoX [1] ความสามารถในการคำนวณเฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง	34
รูปที่ 3.11 โปรแกรม GeaRoX_2 ความสามารถในการคำนวณเฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอก	34
รูปที่ 3.12 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงกราฟที่ใช้ในโปรแกรม	35
รูปที่ 3.13 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงเส้นช่วยอ่านค่ากราฟในโปรแกรม	35
รูปที่ 3.14 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงตำแหน่งของปุ่มตัวอย่าง ปุ่มล้างข้อมูล และปุ่มอธิบายตัวแปร	36
รูปที่ 3.15 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงตารางอธิบายตัวแปรเฟืองฟันเฉียง	37
รูปที่ 3.16 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงการบันทึกผลการคำนวณในโปรแกรม Notepad	38
รูปที่ 3.17 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงการบันทึกผลการคำนวณในโปรแกรม MS. Excel	38
รูปที่ 3.18 แสดงข้อความเตือนเมื่อมีการใส่ค่าไม่ครบหรือผิดพลาด	39
รูปที่ 3.19 แสดงชื่อของช่องที่ไม่มีค่า โดยชื่อของช่องจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอย่างชัดเจน	39
รูปที่ 4.1 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองฟันตรง	43
รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองฟันเฉียง	47
รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองคอกจอก	50
รูปที่ ข.1 อธิบายการเกิดความเค้นสูงสุดในฟันของเฟือง	64
รูปที่ ข.2 ค่า S_t = ความต้านแรงค้ำของ AGMA	64
รูปที่ ข.3 ค่า S_t = ความต้านแรงค้ำของ AGMA	65
รูปที่ ข.4 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA	65
รูปที่ ข.5 (Y_f) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันตรง	66
รูปที่ ข.6 (Y_f) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันเฉียง	67
รูปที่ ข.7 (Y_f) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันเฉียง	68
รูปที่ ข.8 (K_v) = โคนามิกแฟกเตอร์	68
รูปที่ ข.9 ระยะ S และ S_1 ที่ใช้คำนวณค่า C_{pm}	69

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.10 C_{pm} = แฟกเตอร์การวางท่ามุมของพีเนียน	69
รูปที่ ข.11 Z_W = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิททิง	70
รูปที่ ข.12 Z_W = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิททิง	70
รูปที่ ข.13 Y_N = แฟกเตอร์แกว่งรอบการรับความเค้นค้ำ	71
รูปที่ ข.14 Z_N = แฟกเตอร์แกว่งรอบการรับความเค้นสัมผัส	71
รูปที่ ข.15 (K_B) = แฟกเตอร์ขอบความหนา	72
รูปที่ ข.16 (K_v) = ไดนามิกซ์แฟกเตอร์	72
รูปที่ ข.17 (Z_I) = แฟกเตอร์เรขาคณิต	73
รูปที่ ข.18 (Y_J) = แฟกเตอร์เรขาคณิต	73
รูปที่ ข.19 (Z_{NT}) = แฟกเตอร์แกว่งรอบการรับความเค้นสัมผัส	74
รูปที่ ข.20 (Y_{NT}) = แฟกเตอร์แกว่งรอบการกระทำของความเค้นสำหรับด้านทานพิททิง	74
รูปที่ ข.21 (Z_W) = แฟกเตอร์แกว่งอัตราส่วนความแข็ง สำหรับพีเนียนและเฟืองที่ชุบแข็งตลอด	75
รูปที่ ข.22 (Z_W) = แฟกเตอร์แกว่งอัตราส่วนความแข็ง สำหรับพีเนียนที่ชุบผิวพื้นแข็ง	75
รูปที่ ข.23 (σ_{Hlim}) = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้า	76
รูปที่ ข.24 (σ_{Flim}) = ความเค้นค้ำที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้าชุบแข็ง	76
รูปที่ ค.1 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRoX_2	85
รูปที่ ค.2 แสดงการเปิด โปรแกรมด้วย ไอคอน โปรแกรม	86
รูปที่ ค.3 แสดงหน้าเริ่มต้นของโปรแกรม	87
รูปที่ ค.4 แสดงหน้าหลักของ โปรแกรม	87
รูปที่ ค.5 แสดงรายละเอียดของหน้าแนะนำโปรแกรม	88
รูปที่ ค.6 แสดงรายละเอียดข้อจำกัดโปรแกรม	89
รูปที่ ค.7 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการใช้โปรแกรม	90
รูปที่ ค.8 แสดงรายละเอียดของคณะผู้จัดทำ	91
รูปที่ ค.9 แสดงรายละเอียดหน้าเลือกชนิดของเฟือง	92
รูปที่ ค.10 แสดงหน้าของ pop-up และรายละเอียดของคู่มือการใช้งานของ โปรแกรม	93

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.11 แสดงรายละเอียดของหน้าการใส่ค่าข้อมูลเฟืองฟันตรง	94
รูปที่ ค.12 แสดงรายละเอียดของหน้าการใส่ค่าข้อมูลเฟืองฟันเฉียง	97
รูปที่ ค.13 แสดงรายละเอียดของหน้าการใส่ค่าข้อมูลเฟืองคอกจอก	100
รูปที่ ค.14 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันตรง	104
รูปที่ ค.15 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRoX_2 ของเฟืองฟันตรง	104
รูปที่ ค.16 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง	105
รูปที่ ค.17 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRoX_2 ของเฟืองฟันเฉียง	105
รูปที่ ค.18 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองคอกจอก	106
รูปที่ ค.19 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRoX_2 ของเฟืองคอกจอก	106
รูปที่ ค.20 แสดงความผิดพลาดที่เกิดจากพิมพ์ผิด หรือลืมกรอกข้อมูล	107
รูปที่ ค.21 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการกรอกค่าไม่ครบตามที่กำหนดไว้	108



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาคำนวณ โครงการงาน	3
ตารางที่ 3.1 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [1/3]	28
ตารางที่ 3.2 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [2/3]	29
ตารางที่ 3.3 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [3/3]	30
ตารางที่ 4.1 สรุปความคิดเห็นด้านการใช้งาน	51
ตารางที่ 4.2 สรุปความคิดเห็นด้าน โปรแกรม	51
ตารางที่ ข.1 ค่าแฟกเตอร์รูปร่าง Y สำหรับมุมกดคั่นในแนวตั้ง 20 องศาและฟันลึกเต็ม	77
ตารางที่ ข.2 S_t = ความต้านแรงค้ำของ AGMA	77
ตารางที่ ข.3 S_t = ความต้านแรงค้ำของ AGMA	78
ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิปกติที่ใช้ในการทำ Nitriding และค่าความแข็ง	78
ตารางที่ ข.5 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA	79
ตารางที่ ข.6 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA	79
ตารางที่ ข.7 Z_B = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิททิง	80
ตารางที่ ข.8 ค่า A, B และ C ที่ได้จากการทดลอง	80
ตารางที่ ข.9 Y_Z = แฟกเตอร์ความนำเชื่อถือสำหรับเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง	81
ตารางที่ ข.10 K_A = แฟกเตอร์แก้ไขโหลดเกินกำลัง	81
ตารางที่ ข.11 Y_Z = แฟกเตอร์ความนำเชื่อถือสำหรับเฟืองคอกงอก	81
ตารางที่ ข.12 σ_{Hlim} = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้า	82
ตารางที่ ข.13 σ_{Hlim} = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กหล่อ	82
ตารางที่ ข.14 σ_{Flim} = ความเค้นค้ำที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้า	83
ตารางที่ ข.15 σ_{Flim} = ความเค้นค้ำที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กหล่อ	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในด้านอุตสาหกรรมปัจจุบันมีการนำเฟืองมาใช้กันอย่างกว้างขวาง จนถึงได้ว่าเป็นส่วนประกอบหนึ่งในชิ้นงานต่างๆ เช่น เครื่องบิน, รถยนต์, เครื่องมือ, เครื่องจักรกล, การก่อสร้าง และเครื่องจักรกลการเกษตร จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับเฟืองหลายๆด้านอย่างต่อเนื่อง และในปัจจุบันนี้ วิศวกรนิยมใช้เทคโนโลยีด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์และออกแบบงานทางวิศวกรรมมากขึ้นเพราะคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพด้านการคำนวณที่สูง ใช้งานง่ายสะดวก รวดเร็วซึ่งมีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์และออกแบบทำให้ประหยัดเวลา และลดความผิดพลาดจากการคำนวณ ทั้งนี้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เกี่ยวกับการออกแบบเฟืองส่วนใหญ่จะเน้นทางด้าน การสร้างต้นแบบ เช่น โปรแกรม Solid Works ใช้สร้างแบบ 3 มิติ เป็นต้น ซึ่งเป็นแนวคิดให้นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2551 ในการทำหัวข้อ ครงงาน โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง [1] ซึ่งใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ทำการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากโมเมนต์ดัด (Bending) ที่ทำให้เกิดการโก่งงอ และความเสียหายล้าที่เกิดบริเวณผิวฟัน (Pitting) ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงของ AGMA ที่มุมกดคั่นเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว โดยเป็นเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม และข้อมูลตัวแปรใช้ในหน่วยอังกฤษ สามารถทำนายความเสียหายที่เกิดจากโมเมนต์ดัด (Bending) ที่ทำให้เกิดการโก่งงอ และความเสียหายล้าที่เกิดบริเวณผิวฟัน (Pitting) โดยใช้สมการความเค้นดัด, พิกัดความต้านทานการดัดล้า, แฟกเตอร์ความปลอดภัยของการโก่งงอ (S_p), สมการความเค้นสัมผัส, พิกัดความต้านทานการสัมผัสล้า และแฟกเตอร์ความปลอดภัยของการสึกหรอ (S_H) เป็นเกณฑ์ในการคำนวณ

อย่างไรก็ตามหัวข้อ ครงงาน โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง [1] ยังมีข้อจำกัดคือ โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองได้เพียงสองประเภทนั่นคือ เฟืองฟันตรงกับเฟืองฟันเฉียงเท่านั้น และการใช้ข้อมูลตัวแปรในหน่วยอังกฤษ มีแนวโน้มการนำมาใช้ที่ลดลง ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงจะพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองเป็นระยะที่ 2 โดยโปรแกรมนี้จะเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองคอกจอกโดยใช้มาตรฐาน

ของ AGMA ที่มีมุมกดคั่นเท่ากับ 20° และมีการปรับข้อมูลตัวแปรมาใช้ในหน่วย SI ทั้งหมด ซึ่งโปรแกรมนี้จะช่วยลดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบเฟืองในภาคอุตสาหกรรมได้ ส่วนในด้านสื่อการเรียนการสอนนั้น โปรแกรมนี้จะใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนและเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองประเภทต่างๆ ภายใต้มุมกดคั่นอื่นๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอกที่มาขบกันในงานออกแบบเฟืองได้ ทำให้สะดวกในการคำนวณและใช้งานมากขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขบกันของเฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอก และเลือกใช้งานเฟืองได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

1.3 ขอบเขต

โครงการนี้จะเป็นการนำเอาโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง [1] มาพัฒนาเป็นระยะที่ 2 โดยจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ทำการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองในลักษณะความเค้นคัดฉ่า และความเค้นสัมผัสฉ่า โดยทำการวิเคราะห์เฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียงและเฟืองคอกจอกของ AGMA ที่มีมุมกดคั่นเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว โดยเป็นเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม และข้อมูลตัวแปรจะใช้ในหน่วย SI ทั้งหมด ทั้งนี้จะมีการตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรมและประเมินผลการใช้งานด้วย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองได้ว่าเฟืองจะเกิดความเสียหายด้วยการแตกหักของฟันเฟืองหรือขบกันจนเกิดรอยร้าวที่ผิวฟันก่อน

1.4.2 ช่วยในการออกแบบเฟืองให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด เพื่อยืดอายุการใช้งานของเฟือง

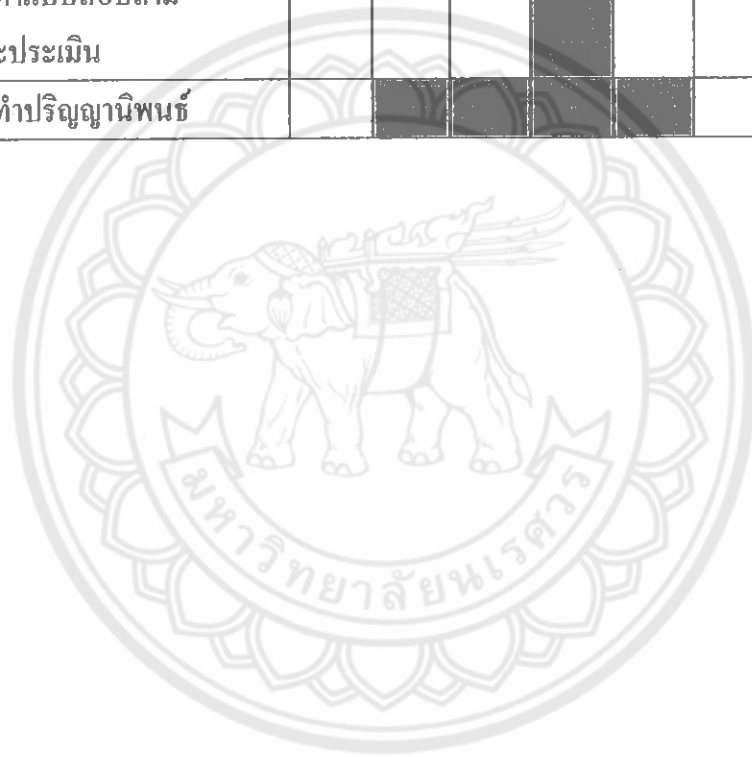
1.4.3 โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองทำให้การออกแบบเฟืองทำได้สะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลา และลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบเฟืองในภาคอุตสาหกรรมได้

1.4.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองแบบต่างๆต่อไป

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ

ลำดับ	รายการการทำงาน	ปี 2552		ปี 2553								
		พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	
1	ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน	■	■									
2	เขียนโปรแกรม		■	■								
3	ปรับปรุงโปรแกรม			■	■							
4	จัดทำแบบสอบถาม และประเมิน				■							
5	จัดทำปฏิญานិพนธ์		■	■	■	■						



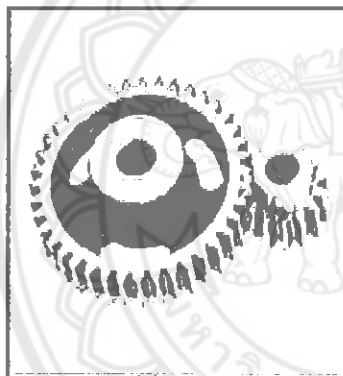
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ประเภทของเฟือง (Type of Gears) [2]

เนื่องจากเฟืองแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องรู้คุณสมบัติของเฟืองประเภทต่างๆ เพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นของเฟือง และในการวิเคราะห์หาความเสียหายของเฟืองซึ่งจะได้ค่าที่ต้องการออกมา โดยเนื้อหาในโครงการนี้จะครอบคลุมรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประเภทของเฟืองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีอยู่ 3 ชนิด คือ เฟืองฟันตรง (Spur Gear) เฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) เฟืองคอกงอก (Bevel Gear)



เฟืองฟันตรง



เฟืองฟันเฉียง



เฟืองคอกงอก

รูปที่ 2.1 ประเภทของเฟือง [7]

2.1.1 เฟืองฟันตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกัน เฟืองตรงเหมาะสมสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตร ต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัด โนมัตติ หรือชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำๆ ข้อดีของเฟืองตรงขณะใช้งานจะไม่เกินแรงในแนวแกนประสิทธิภาพในการทำงานสูง หน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้น เพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง

2.1.2 เฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) เฟืองฟันเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองฟันตรงทุกประการ แต่มีข้อดีกว่าเฟืองฟันตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงๆ จะไม่เกิดเสียงดังเหมือนเฟืองฟันตรง

2.1.3 เฟืองคอกจอก (Bevel Gear) เฟืองคอกจอกเป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางของเพลา ซึ่งเพลาสามารถทำมุมได้ 90° และเป็นเฟืองที่ให้กำลังในการส่งมาก ส่วนใหญ่เป็นเฟืองรถยนต์ เฟืองเกียร์รถยนต์ เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง [2]

2.2.1 ภาระที่กระทำกับเฟือง

ลักษณะการรับแรงของวัสดุที่มีลักษณะเป็นรอบ (Cycle) โดย จะมีแรงสูงสุดและแรงต่ำสุดที่เกิดขึ้นบนเนื้อวัสดุส่วนที่รับแรง โดยเกิดขึ้น ในลักษณะรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) เช่นการรับแรงของฟันเฟืองที่ใช้ในการส่งกำลังเมื่อเฟืองทำงาน เฟืองตัวขับจะหมุนและส่งกำลังผ่านฟันเฟืองตัวขับไปขับฟันเฟืองตัวตาม การทำงานของฟันเฟืองจะทำงานซ้ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ คือขบกับฟันเฟืองตัวตาม

เฟืองมีการรับ โหลดแบบกลับไปกลับมา ดังนั้นความเสียหายที่เกิดขึ้นจึงเป็นความเสียหายจากการล้า จากทฤษฎีความเสียหายของเฟืองมีลักษณะการเกิดความเสียหายอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของเฟืองมีผู้คิดค้นหลายทฤษฎีแต่นำมากล่าวเฉพาะทฤษฎีที่มีผลต่อการออกแบบเฟือง โดยจะเน้นความเสียหายจากความล้าซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณและออกแบบเฟือง ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หาความเค้นค้ำค้ำและความเค้นสัมผัสล้า เนื่องจากเฟืองส่วนใหญ่มีโอกาสเกิดความเสียหายใน 2 ลักษณะนี้

การขบกันของเฟืองตัวขับและเฟืองตัวตามจะทำให้เกิดความเค้นค้ำค้ำบนฟันเฟือง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ฟันเฟืองเกิดความเสียหาย ณ โคนฟัน ปัจจัยที่มีผลต่อความเค้นค้ำค้ำที่เกิดขึ้นบนฟันเฟืองอาจมีได้หลายปัจจัย เช่น จำนวน ขนาด มุมกด ลักษณะการขบกันของฟันเฟืองตัวขับและฟันเฟืองตัวตาม ความผิดพลาดในการประกอบเฟือง และความผิดพลาดในการผลิตเฟืองนั้นก็ยังมีผลต่อความเค้นค้ำค้ำที่เกิดขึ้น

ซึ่งการวิเคราะห์แรงในเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงนั้น ที่เนียนที่ยึดติดอยู่กับเพลาจะเป็นตัวขับเฟือง เกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างฟันเฟืองทั้งสองที่ขบกัน แรงปฏิกิริยาจะเกิดตามแนวเส้นความ

กดคั้น จะเห็นได้ว่ามีแรง และ โมเมนต์บิดกระทำต่อเพลลา ส่วนการวิเคราะห์แรงในเฟืองดอกจอก มักจะใช้โหลดในแนวสัมผัสหรือ โหลดส่งกำลังในการหาแรง จะเกิดขึ้นเมื่อแรงทั้งหมดมีศูนย์กลางที่ จุดกึ่งกลางของฟันเฟือง ในขณะที่แรงลัพธ์จริงจะเกิดขึ้นระหว่างจุดกึ่งกลางกับปลายฟันด้านใด

2.2.2 ความเค้น

ความเค้นเป็นค่าที่ได้มาจากการใช้งานจริง สมการที่นำมาใช้เป็นมาตรฐานของ AGMA เป็นสมการความเค้นพื้นฐาน 2 สมการ คือ สมการความเค้นค้ำและสมการความเค้นสัมผัส โดยจะ นำมาวิเคราะห์ว่าฟันเฟืองจะเกิดการเสียหายด้วยการแตกหักของฟันเฟืองหรือขบกันจนเกิดรอยร้าว ของผิวฟันก่อน โดยใช้แฟกเตอร์ความปลอดภัยเป็นตัวเปรียบเทียบ ถ้าแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F มีค่ามากกว่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H เฟืองจะเกิดการหักหรือเสียรูปก่อนโดยที่ยังไม่เกิดรอยร้าว บนผิวฟัน และถ้าแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H มีค่ามากกว่า แฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F ฟันเฟืองจะ เกิดรอยร้าวก่อนการหักหรือเสียรูปนั่นเอง

สมการความเค้นของ AGMA (AGMA Stress Equation) ของเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง [2]

สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นค้ำ (Bending stress)

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m t} \frac{K_H K_B}{Y_J} \quad \Rightarrow \quad S_F = \frac{\sigma_F Y_N / (Y_\theta Y_z)}{\sigma}$$

สมการพื้นฐานของความเค้นสัมผัส (Contact stress)

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_{w1} b} \frac{Z_R}{Z_I}} \quad \Rightarrow \quad S_H = \frac{\sigma_H Z_N Z_w / (Y_\theta Y_z)}{\sigma_c}$$

สมการความเค้นของ AGMA (AGMA Stress Equation) ของเฟืองคอกจอก [2]
 สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นคด (Bending stress)

$$\sigma_F = \frac{1000W^t}{b} \frac{K_A K_V}{m_{et}} \frac{Y_x K_{H\beta}}{Y_\beta Y_J}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_F \lim Y_{NT}}{S_F K_\theta Z_z}$$

$$S_F = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F}$$

สมการพื้นฐานของความเค้นสัมผัส (Contact stress)

$$\sigma_H = Z_E \left(\frac{1000W^t}{bdZ_1} K_A K_V K_{H\beta} Z_x Z_{xc} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_H \lim Z_{NT} Z_w}{S_H K_\theta Z_z}$$

$$S_H = \frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H}$$

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เฟืองของ AGMA ต้องใช้แผนภูมิและกราฟเป็นจำนวนมาก [2] เฟืองทั่วไปมีการผลิตที่มุมกดคั่น 14.5° 20° และ 25° ซึ่งมุม 20° เป็นมุมที่มีความนิยมมากที่สุด ดังนั้น ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจะเลือกใช้มุมกดคั่นเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว และใช้เฉพาะเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม เพื่อลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์

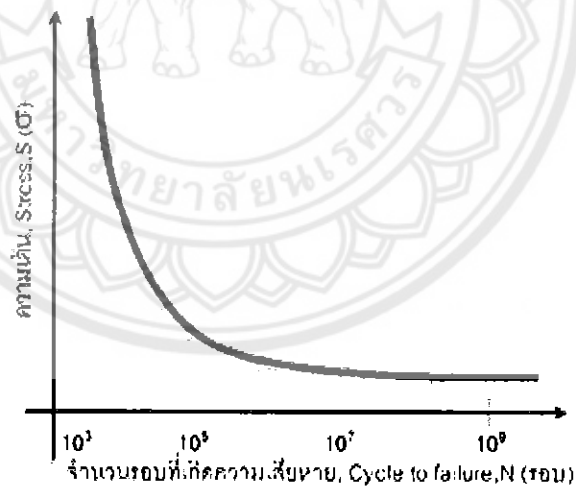
2.2.3 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเฟือง [4]

2.2.3.1 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าของวัสดุ (Fatigue Failures)

ความเสียหายจากความล้าของวัสดุเป็นการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการที่วัสดุหรือชิ้นส่วนนั้น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงและขนาดแบบการกระทำกลับไปกลับมา (Dynamics Load) บนวัสดุ ในช่วงเวลาที่พิจารณา (Repeated Cycling of the Load) ซ้ำกันไปเป็นเวลานานทำให้วัสดุในจุดที่รับความเค้น (Stress) เกิดการล้ามากขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากนั้นในจุดดังกล่าวของวัสดุก็จะเกิดรอยแตกร้าว (Crack) ขึ้น จากรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ก็จะขยายเป็นรอยที่ใหญ่ขึ้นและพังเสียหายในที่สุด เราเรียกความเสียหายดังกล่าวที่เกิดจาก Dynamics Loading ว่าความล้า สำหรับความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรเราพบว่าประมาณ 90% มาจากความล้าของโลหะหรือวัสดุ กลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นมีรายละเอียดแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

ขั้นที่ 1 การเริ่มต้นแตก (Crack Initial) เริ่มต้นเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กขึ้นที่ผิววัสดุ โดยส่วนที่เริ่มต้นการแตกร้าวนั้นจะเริ่มต้นจากส่วนต่าง ๆ ดังเช่น พื้นผิวที่มีรอยขีดข่วนหรือรอยลึก (Surface Sreeches) มุมและเหลี่ยมคมของวัสดุ (Sharp Corners) ร่องลิ้ม (Key Way) เกลียวและเฟือง (Thread or Gear) และส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของเครื่องจักร เนื่องจากส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มีพื้นที่น้อยจึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อต้องรับภาระเท่ากับส่วนอื่น ๆ ส่วนนี้จึงเกิดการล้าตัวและเกิดความเสียหายก่อนส่วนอื่นที่รับความเค้นเท่ากัน

ขั้นที่ 2 การขยายตัวของรอยแตก (Crack Propagation) รอยแตกร้าวที่เกิดจากขั้นตอนของการเริ่มต้นแตก (Initial Crack) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของความเสียหายจะขยายตัวต่อไปเป็นรอยแตกขนาดใหญ่ขึ้น (Progressive Crack Growth Across the Part) จากตอนเริ่มต้นเกิดรอยแตกความเค้นที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่รับแรงจะน้อยลงเพราะว่าเมื่อพื้นที่ส่วนหนึ่งแตกออก ตรงส่วนที่แตกออกจะไม่สามารถรับแรงได้ ดังนั้นพื้นที่รับแรงที่เหลือของวัสดุจะน้อยลงในขณะที่ภาระ (Load) ที่วัสดุรับยังคงเท่าเดิม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress, S) กับจำนวนรอบหรือจำนวนครั้งที่วัสดุรับความเค้น (Cycle, N) จะเห็นว่าถ้าจะทำให้รอบหรือจำนวนครั้งในการรับความเค้นของวัสดุมากขึ้นหรืออายุการใช้งานที่ยาวขึ้นเราจะต้องลดความเค้น (Stress, S) ลงหรือลดภาระ (Load) ที่กระทำกับวัสดุลงนั่นเอง สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ซึ่งจะช้ามากหรือช้าน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนภาระ (Load) ที่มากระทำกับวัสดุ



รูปที่ 2.2 แผนภูมิ S-N Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบการทำงาน [8]

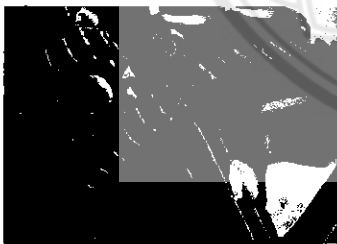
ขั้นที่ 3 ความเสียหายในขั้นตอนสุดท้าย (Final Failure) การแตกหักเสียหายอย่างกะทันหัน จะเกิดขึ้นกับพื้นที่วัสดุที่เหลือนองพังเสียหายและไม่สามารถที่จะใช้การได้ในที่สุด

ในการเพิ่มความทนต่อความล้าในพิน ต้องใช้ผิวที่มีความแข็งมากๆและแกนกลางมีความเหนียว, อ่อน หลังจากที่ถูกยึดเกาะด้วยซีเมนต์ทำให้โลหะถูกเปลี่ยน โครงสร้างซึ่งพินจะผสมกับคาร์บอน มีค่าความต้านทานการล้าและค่าความแข็งตกค้างสูงมาก เกิดความเค้นอัดตกค้างในพิน โดยมีผลทำให้ความเค้นดึงลดลง ไปด้วย

ความล้าในผิวสัมผัส เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในพื้นผิว และระหว่างผิว มีความเค้นเกิดขึ้นซ้ำๆกันหลายครั้ง ตลอดเวลาที่พินขบกัน ส่งผลให้ชั้นโลหะแตกร้าวจนหลุดออกมา ทำให้เกิดรูบนผิวพิน ความเสียหายจากการล้าในผิวสัมผัสเริ่มด้วยการพัฒนาจากจุดเสียหายเล็กๆบนผิว หรือจุดระหว่างแกนกลางกับชั้นความแข็ง

ความล้าในพินหลังจากการเสีรูปร่าง (ความเสียหายต่อเนื่อง) ความเสียหายลักษณะนี้เกิดจากการเสีรูปร่างตามปกติทั่วไป และเกิดรอยแตกในที่สุด และเกิดในลักษณะนี้ในพินทุกซี่ ซึ่งเพื่อองตัวจับ จะไม่สามารถทนต่อภาระที่มากกระทำ

ความล้าของพินที่ทำให้เกิดรอยแตก จะค่อยๆสะสมความเสียหายของวัสดุภายใต้ผลของความเค้นที่กระทำซ้ำๆ เพื่อที่จะเปลี่ยนโครงสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุ จนทำให้เกิดรอยแตกในทางตรงกันข้ามความเสียหายของพินภายใต้การใช้งานเกินกำลัง จะเกิดรอยแตกในพิน ซึ่งเป็นเรื่องปกติของพินเพื่อ จึงควรรู้ถึงข้อแตกต่างระหว่างการใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ และความเร็วรอบสูงที่ทำให้เกิดความล้า



A. การส่งถ่ายกำลังของพินเก็บบ



B. การเกิดขีดตึงหรือขีดตึงตามแนวเส้นสัมผัสของเก็บบเนื่องจากความเค้นที่กระทำซ้ำๆกันเกิดขึ้น ในระยะแรกจะเกิดการล้าตัวของผิวสัมผัสและหลุดลอกของผิวพินเก็บบ



C. การเกิดขีดตึงหรือขีดตึงแบบรุนแรงบนพินเก็บบจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและเป็นที่ควบคุม เพราะความเค้นมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่รับแรงน้อยลงเนื่องจากการหลุดลอกของพื้นผิว

รูปที่ 2.3 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าของตัวเฟือง [8]

2.2.3.2 ความเสียหายจากการสึกหรอของพื้น

การใช้งานเฟืองในเครื่องยนต์กลที่ใช้ความเร็วสูง หรือการทำงานในอุณหภูมิสูง-ต่ำนั้น ทำให้เฟืองเกิดความเสียหายได้ และมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเฟือง ซึ่งจะบรรยายถึงลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเฟืองในลักษณะต่างๆ อย่างมีมาตรฐาน จะช่วยให้ผู้ออกแบบ ช่างเทคนิค และผู้ใช้งาน เข้าใจถึงวิธีการป้องกันความเสียหายได้ดียิ่งขึ้น

การสึกหรอ (Wear) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของพื้นเฟือง อันเนื่องมาจากการถอดประกอบชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ จากสารเคมี หรือจากปัจจัยอื่นๆ ชนิดของการสึกหรอจำแนกตามสาเหตุการเกิดได้ดังนี้

การสึกหรอจากเครื่องยนต์ (Mechanical wear) เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ:

- การเชื่อมต้อ (Adhesive)
- การเสียดสี (Abrasive)
- การกัดกร่อน (Fretting)

การสึกหรอจากการเชื่อมต้อ เกิดจากการเชื่อมต้อที่ไม่สม่ำเสมอของจุดที่มีการสัมผัสกับพื้นเฟือง ทำให้ในที่สุดโลหะจะหลุดและแยกออกจากกัน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเฟือง

การสึกหรอจากการเสียดสี เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเฟืองระบบเปิด สำหรับเฟืองระบบปิด การสึกหรอจากการเสียดสีดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า สารหล่อลื่นที่ใช้ไม่สะอาดหรือไม่ก็ฝาปิดเกิดการชำรุด ดังนั้น เพื่อลดการเสียดสีของเฟืองในระบบปิดจากสาเหตุดังกล่าว จึงควรใช้ตัวกรอง (Filter) ซึ่งสามารถกรองวัตถุที่มีอนุภาคขนาด 3 ไมโครเมตรขึ้นไปได้ นอกจากนี้ การใช้เฟืองเล็กที่เหมาะสม และการใช้น้ำมันเพื่อช่วยให้เฟืองทำงานได้อย่างราบเรียบ ก็ช่วยลดอัตราการสึกหรอของเฟืองได้เช่นกัน

การสึกหรอจากการกัดกร่อน การกัดกร่อนของเครื่องจักรของผิวสัมผัสสัมพันธ์กับการแกว่ง การกำหนดการแทนที่ผิวความเสียหายเทียบกับเวลา กำลังกัดกร่อน เริ่ม ถ้า แดก ภายใต้อาการกระทำต่ำ เพราะการแกว่งที่น้อยความกว้างของผิวสัมผัสที่เคลื่อนที่ก็จะเล็กไปด้วย ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มความเสียหาย

2.2.3.3 ความเสียหายจากการประกอบ

การประกอบบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นบนผิวของฟันเฟือง รวมทั้งการถอดและประกอบชิ้นส่วนของวัสดุที่ผิวสัมผัสภายในเครื่องยนต์ สารเคมี หรือในบางครั้งอาจเพราะสาเหตุอื่น เช่น

- การกัดกร่อนจากการประกอบเครื่องยนต์
- การสึกกร่อนจากการประกอบ
- การประกอบเครื่องยนต์

การกัดกร่อนจากการประกอบเครื่องยนต์ เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของฟัน โดยสารเคมีหรือเกิดไฟฟ้าเคมีของวัสดุกับสภาพแวดล้อม การกัดกร่อนได้รับผลจากสารเคมีที่ใช้ทำเฟือง โครงสร้างวัสดุ และวิธีการผลิต เทียบกับการใช้งานและอัตราความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมมีผลกับผิวฟัน

การสึกกร่อนจากการประกอบ กระบวนการจะค่อยๆ เกิดและเพิ่มความเสียหายในผิวสัมผัสภายใต้ปฏิกิริยาของการไหลของแก๊ส ของเหลว อนุภาคของแข็ง การแผ่รังสี หรือการปล่อยกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของอัตราการใช้ของเหลวหรือแก๊สไหลรวมกันของการดำเนินการเสียดสีของการไหลต่อเนื่องและกระทบกับผิวฟัน ผลที่ได้คล้ายกับผิวของการล่า สาเหตุของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่แตก หรือชั้นผิวทั้งหมด จนฟันกร่อน

การประกอบเครื่องยนต์ สาเหตุเกิดจากภาระเริ่มต้นและลักษณะการติดตั้ง เช่น

- เกิดการยึดติดเนื่องจากสารที่ใช้
- การรับโหลดเริ่มต้น

การยึดติดเนื่องจากสารที่ใช้ กระบวนการทำปฏิกิริยาของผิวฟันนั้น (เรียกว่า เชื่อมเข็น) มาติดกัน โดยการหลอม ความเสียหายเฉพาะบริเวณเชื่อมต่อ และในที่สุดโลหะก็จะหลุดและแยกออกจากกัน

การรับโหลดเริ่มต้น ซึ่งแสดงให้เห็นเกี่ยวกับ โลหะสัมผัสของผิวฟันในบริเวณที่ไม่มีสารหล่อลื่น ขณะที่เฟืองเริ่มทำงาน พบในเฟืองคอกจอกและเฟืองฟันเฉียง ภาระที่มากระทำมากเกินไปจนการหมุนเริ่มต้น การยึดสามารถเกิดที่ผิวฟันร่วมกับชุดสวม

2.2.4 สาเหตุของการเกิดความเสียหาย [4]

2.2.4.1 รอยแตกของพื้นที่ใช้เกินกำลัง

เกิดมาจากลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะพิจารณาไม่เหมือนตัวเฟือง เพราะผลลัพธ์ไม่เหมือนกัน ในส่วนของตัวเฟืองจะมีความเสียหายที่เพลและเบริงด้วย ภายใต้การใช้งานที่เกินกำลัง

2.2.4.2 รอยแตกจากการเจียรไน

จะเกิดหลังจากการเจียรไนฟัน เกิดรอยแตกขนาดเล็ก, ละเอียด และยาวและเหมือนเส้นขนาน ซึ่งมีลักษณะทั่วไปคล้ายเส้นแนวกระสุน โดยเว้นระยะของรอยประมาณ 0.07 – 0.13 มิลลิเมตร คล้ายกับรอยแตกตามชั้นความแข็ง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากการเจียรไน, การขนย้าย, หรือหลังจากการใช้งาน รอยแตกมีผลมาจากลักษณะการใช้งานที่ไม่เหมาะสม, เกินกำลัง, การเพิ่มความเร็ว, เลือกใช้วัสดุที่มีเกรนไม่เหมาะสม หรือการหล่อเย็นที่ไม่เพียงพอ รอยแตกจากการเจียรไนสามารถทำให้โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนจาก austenite มาเป็น martensite ซึ่งมีผลต่อความเค้นตกค้างทำให้เกิดความเปราะ

2.2.4.3 รอยแตกที่บริเวณขอบ

โดยปกติรอยแตกนี้จะเริ่มจากส่วนเว้าระหว่างร่องฟันและขยายตามร่องไปจนสุดชิ้นงาน ความเสียหายนี้เกิดจากความเค้นอัด บริเวณขอบชิ้นงาน

2.2.4.4 รอยแตกระหว่างชั้นความแข็ง

ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเฟืองอันเนื่องมาจากพื้นผิว ความแข็งฟัน เมื่อเกิดรอยแตกในผิวหน้าทั้ง 2 ส่วนระหว่างฟัน และชั้นความแข็ง ซึ่งเฟืองจะเกิดการ peeling ที่มุม, ขอบ และปลายของฟันทั้งหมด โดยจะเกิดเมื่อเริ่มการใช้งาน, ระหว่างการขนย้าย และระหว่างการเก็บรักษา

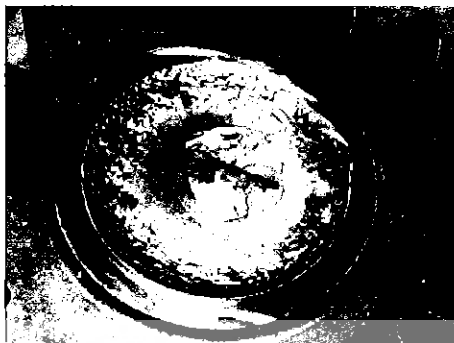
2.2.4.5 รอยแตกจากความล้าในผิวสัมผัส

มักเกิดและขยายตัวมาจากความเค้นซ้ำๆ มีค่าต่ำกว่าแรงดึงสูงสุดของวัสดุ บางครั้งรอยแตกจะเกิดจากการใช้งานเกินกำลัง และพัฒนาไปเป็นรอยแตกจากความล้าในผิวสัมผัส

2.2.4.6 รอยแตกที่เกิดจากการใช้งานด้วยความเร็วรอบต่ำ

เกิดขึ้นในสภาพการเสีรูปในแต่ละความเร็วของโหลด โดยความเร็วรอบของโหลดทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 10^4 รอบ รอยแตกจะเกิดจากการออกแบบไม่ถูกต้อง, การใช้งานที่เกินกำลัง และใช้ค่าตัวแปรไม่เหมาะสม

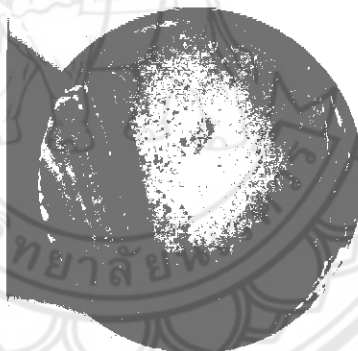
ในการเพิ่มอายุการใช้งานของเฟืองภายใต้การใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ ควรลดความล้าที่เกิดจากความเค้นคัดในฟัน เพิ่มความสามารถในการยึดหยุ่นของวัสดุเพื่อให้มีความแข็งแรงปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการทำ Carburize



รูปที่ 2.4 การแตกหักความล้าที่รอบต่ำ (LCF) เนื่องจากแรงบิดของเพลลา [8]

2.2.4.7 รอยแตกที่เกิดจากการใช้งานด้วยความเร็วรอบสูง

เป็นอีกลักษณะหนึ่งของความเสียหาย ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้ความเค้นที่มีค่าไม่เกินจุดครากของวัสดุ ที่ความเร็วรอบเกิน 10^4 รอบ ทำให้อายุการใช้งานลดลง และเกิดรอยแตกในที่สุด



รูปที่ 2.5 การแตกหักเนื่องจากความล้าที่รอบสูง (HCF) ของเพลลาที่ทำงานด้วยภาระ (Load) ที่ต่ำ ๆ แต่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง [8]

ตำแหน่งที่มักเกิดรอยแตกจำแนกได้เป็น รอยแตกที่ผิวของฐานฟัน, ผิวด้านข้างฟัน และผิวด้านหน้าฟัน รอยแตกที่พื้นผิวประกอบด้วย 2 จุดซึ่งแตกต่างกัน ในจุดที่เสียหายด้วยการล้า และจุดที่พื้นเสียหายสูงสุด ในส่วนที่มีความล้าเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการเสียรูป โดยผิวมีความเรียบ สีขุ่นมัว แสดงให้เห็นเป็นเส้นๆที่มีการขยายตัวออกไป ในส่วนที่พื้นผิวเกิดความเสียหายสูงสุดนั้นมีลักษณะเช่นเดียวกับรอยแตกที่ใช้เกินกำลัง

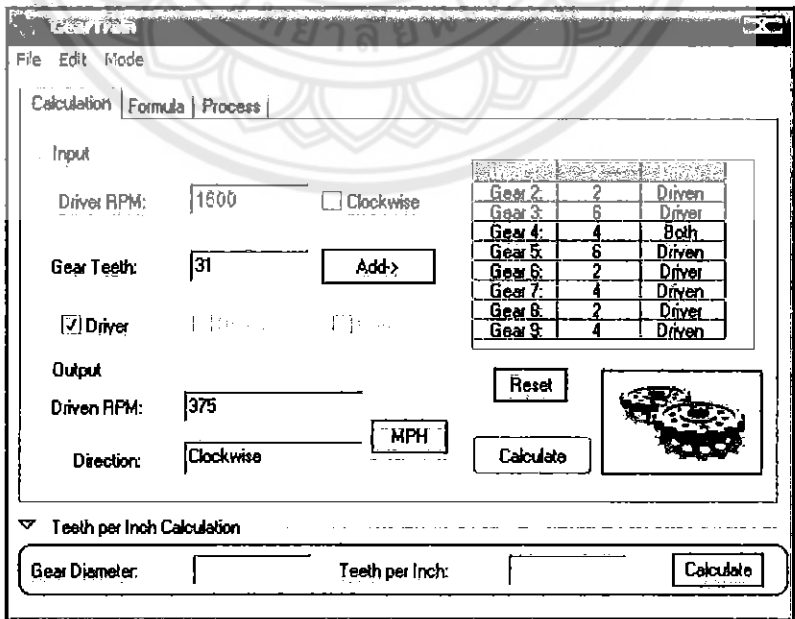
2.2.5 มาตรฐานในการออกแบบเฟือง

มาตรฐานของการออกแบบแบ่งตามหมวดหมู่และชนิดของความเสียหายของเฟือง มีการศึกษาพื้นฐานการวิเคราะห์ของข้อมูล ความรู้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานระดับสากล(ISO) และระดับชาติ (ANSI / AGMADIN) ซึ่งความเหมาะสมจำเป็นสำหรับมาตรฐานสากลบนประเภทของวงรอบความเสียหายของเฟือง แบ่งสิ่งเหล่านั้นออกเป็นหมวดหมู่และลักษณะ ได้รับการยอมรับโดยสถาบันมาตรฐานสากลและมาตรฐานของอเมริกา, เยอรมัน แต่ในส่วนของการวิเคราะห์ความเสียหายของความเค้นดัดและความเค้นสัมผัสนี้จะใช้มาตรฐานของ AGMA ในการออกแบบ

2.3 โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง

โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหายและออกแบบเฟืองเพื่อความสะดวก รวดเร็วและลดความผิดพลาดจากการคำนวณ ส่วนใหญ่จะเน้นที่ทางด้านการสร้างต้นแบบ โดยจะเห็นได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้ในท้องตลาดที่ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมยกตัวอย่างเช่น

- โปรแกรม Gear Train เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณเกี่ยวกับความเร็วรอบของเฟือง ดังรูปที่ 2.6
- โปรแกรม MITCalc - Internal Spur Gear Calculation 1.15 เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้คำนวณเกี่ยวกับเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง ดังรูปที่ 2.7
- โปรแกรม ACECOM GEAR 2003 เป็นโปรแกรมที่เอาไว้ใช้ออกแบบสามารถให้คำตอบได้อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 โปรแกรม Gear Train [9]

Spur gearing, Helical gearing [in/AGMA]			
Calculation without errors.		Pinion	Gear
1.0 Options of basic input parameters			
1.1 Transferred power	Pw [HP]	100.000	98.865 <= Max. Pw
1.2 Speed (Pinion / Gear)	n [/min]	1000.0	310.3 l <= n1,n2
1.3 Torsional moment (Pinion / Gear)	Torq [lb.in]	6300.00	20069.56 P <= Torq,n
1.4 Transmission ratio / from table	i	3.24	*2.24
1.5 Actual transmission ratio / deviation	i	3.22	-0.41%
2.0 Options of material, loading conditions, operational and production parameters			
2.0 Material identification according standard :		ANSI	
2.1 Material of the pinion :		A...Structural steel Gr.55(ASTM A572) (S=74 Mpsi) untreated	
2.2 Material of the gear :		A...Structural steel Gr.50(ASTM A570-S8) (S=71 Mpsi) untreated	
2.3 Loading of the gearbox, driving machine - examples		A...Continuous	
2.4 Loading of gearbox, driven machine - examples		A...Continuous	
2.5 Type of gearing mounting		C...Precision enclosed gearbox	
Type of gearing mounting		A...Symmetric gearing support	
2.6 Degree of accuracy (AGMA) Ra max min	Qv	9 (Ra min. = 63 / max. = 63)	
2.7 Failure probability (fewer than one failure in:)	FP	10000	
2.8 Desired service life	Lh	10000 [h]	
2.9 Coefficient of safety (contact/bend)	SH / SF	1.30	1.60
2.10 Automatic design		Spur gearing	Helical gearing
3.0 Parameters of the cutting tool and tooth profile			
3.1 Standardized tool		3. ANSI B6.1 (a=20deg, ha0=1.25, hf0=1.0, ra0=0.3, d0=0deg, anp=0, ca=0)	
3.2 Addendum of tool	ha0"	1.2500	1.2500 [1/P]
3.3 Dedendum of tool	hf0"	1.0000	1.0000
<input type="checkbox"/> Calculation <input type="checkbox"/> Coordinates <input type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/> Tables <input type="checkbox"/> Options <input type="checkbox"/> DXF <input type="checkbox"/> DXFTables <input type="checkbox"/> Data <input type="checkbox"/> Dictionary			

รูปที่ 2.7 โปรแกรม MITCalc - Internal Spur Gear Calculation 1.15 [10]

GEAR: General Engineering Assistance and Reference
A software for Civil and Structural Engineers For ACECOMS.AT

- General Tools:**
 - Unit Converter
 - Engineering Constants
 - Dead Load Reference
 - Factored Loads
 - Load Combinations
- Geometric Tools:**
 - Triangle Solver
 - Circle Solver
 - Polygon Solver
 - Property Calculator
- RC Members:**
 - Rebar Calculator
 - K-Factor Calculator
 - Moment Magnifier
 - Beam Designer
 - Column Designer
 - Two-way Slab Designer
 - Flat Slab Designer
- Foundations:**
 - Prestress Losses Calculator
 - Section Stress Calculator
 - Prestress Strand Designer
 - iso-Footing Designer
 - Comb-Footing Designer
 - Pilecap Designer
- Steel Members:**
 - Footing Cap. Calculator
 - Static Pile Capacity Calculator
 - Driven Pile Capacity
 - Strut Designer
 - Beam Designer
 - Column Designer

รูปที่ 2.8 โปรแกรม ACECOM GEAR 2003 [11]

โปรแกรมที่ยกตัวอย่างมาแล้วแต่มีส่วนใช้ในการออกแบบเฟืองเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นซึ่งในส่วนของตัวโปรแกรมที่นายอรรถพล งามเสนพร้อมคณะ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ทำไว้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการเขียนโปรแกรมมีข้อจำกัด คือสามารถคำนวณได้เฉพาะเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงในมาตรฐานของ AGMA โดยใช้หน่วยเป็น US.customory ที่มีมุมกดคั่นเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว และเป็นเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม ทางผู้จัดทำสังเกตเห็นว่าโปรแกรมนี้มีข้อจำกัดยังสามารถพัฒนาตัวโปรแกรมให้ดีขึ้นได้อีก จึงมีความสนใจและทำการพัฒนาโปรแกรมต่อโดยใช้ชื่อ โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองระยะที่ 2 เป็น โปรแกรมที่พัฒนามาจาก โปรแกรม GeaRox [1]ซึ่งในส่วนของตัวโปรแกรมนี้จะทำการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองในลักษณะความเค้นดัดโค้งและความเค้นสัมผัสส่า โดยทำการวิเคราะห์เฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียงและเฟืองคอกจอกตามมาตรฐานของ AGMA ที่มีมุมกดคั่นเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว โดยเป็นเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม และข้อมูลตัวแปรจะใช้ในหน่วย SI ทั้งหมด



บทที่ 3

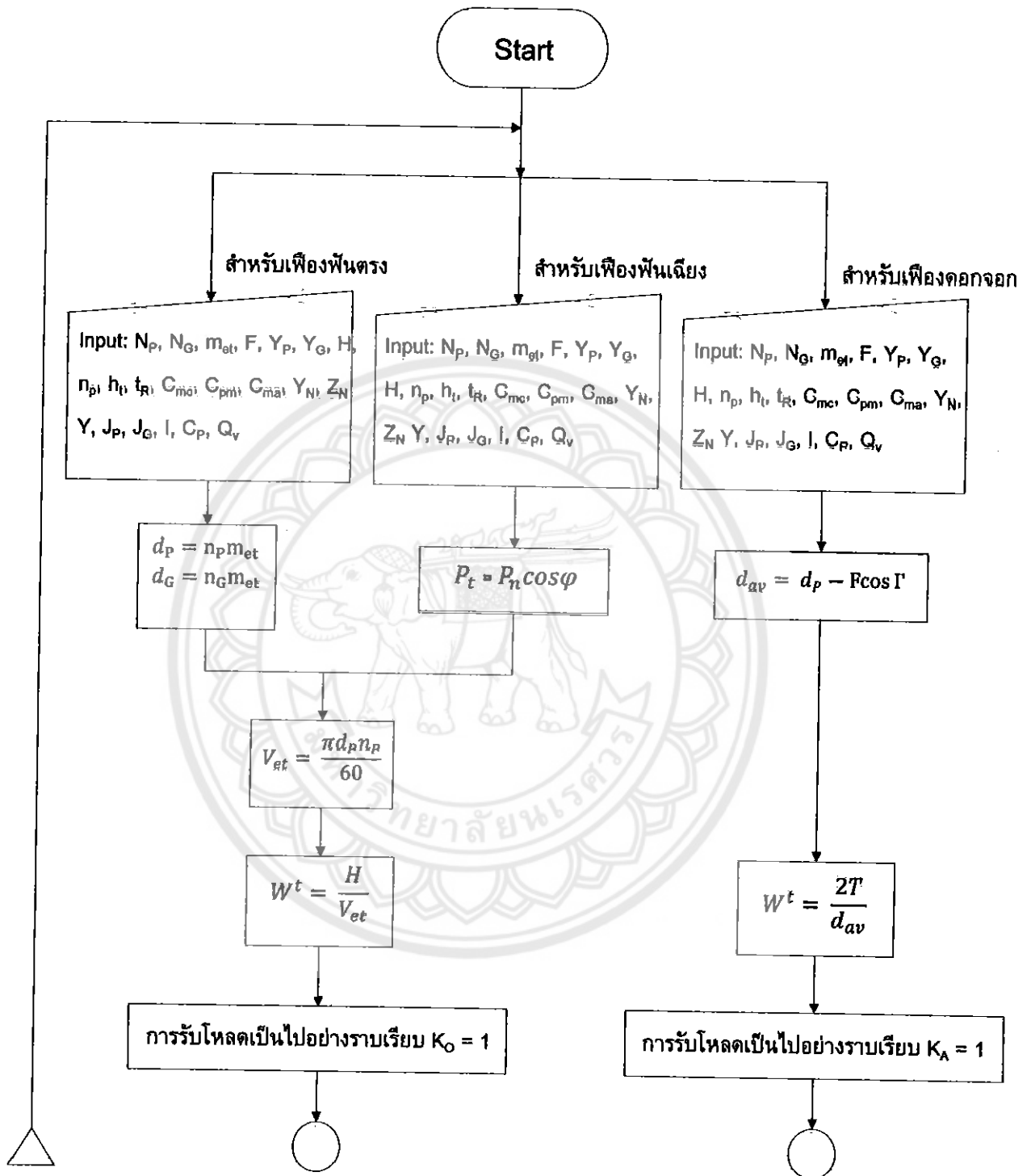
การพัฒนาโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง

3.1 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม (Flowchart)

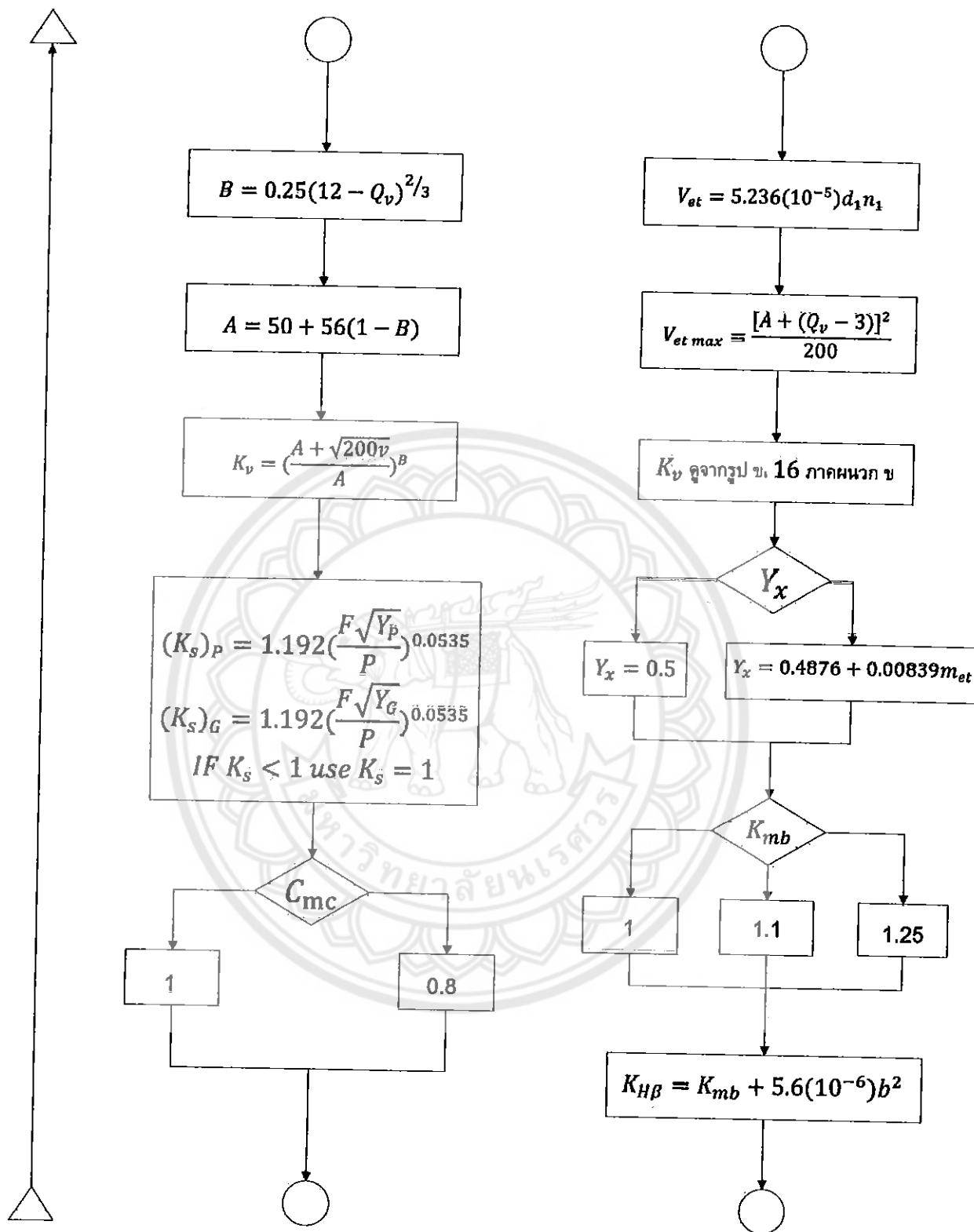
โปรแกรม GeaRox_2 เป็นการพัฒนาจากโปรแกรม GeaRox [1] สามารถวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองได้ 3 ชนิดคือ เฟืองฟันตรง (Spur Gear) และเฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) และเฟืองคอกงอก (Bevel Gear) โดยเปลี่ยนการคำนวณเป็นหน่วย SI ทั้งหมด ซึ่ง GeaRox_2 นำเอามาตรฐานของ AGMA มาจัดทำขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม (flowchart) เพื่อช่วยในการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง โดยมีลำดับขั้นตอนการคำนวณทั้งหมดของโปรแกรมดังนี้ เริ่มต้นจากการเลือกชนิดของเฟือง ใส่ค่าข้อมูลที่จะนำไปคำนวณค่าความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย ค่าแรงกระทำ ความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย และวิเคราะห์หาลักษณะการเกิดความเสียหาย โดยแสดงรายละเอียดการหาค่าแฟกเตอร์ต่างๆตามแผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย

แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย เป็นแผนผังการหาค่า ความเค้นดัดกล้า, ความเค้นดัดที่ยอมรับได้, ความเค้นเนื่องจากการสัมผัสกล้า, ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้, แฟกเตอร์ความปลอดภัย ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งเฟืองฟันตรง (Spur Gear) และเฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) และเฟืองคอกงอก (Bevel Gear) ดังรูปที่ 3.1

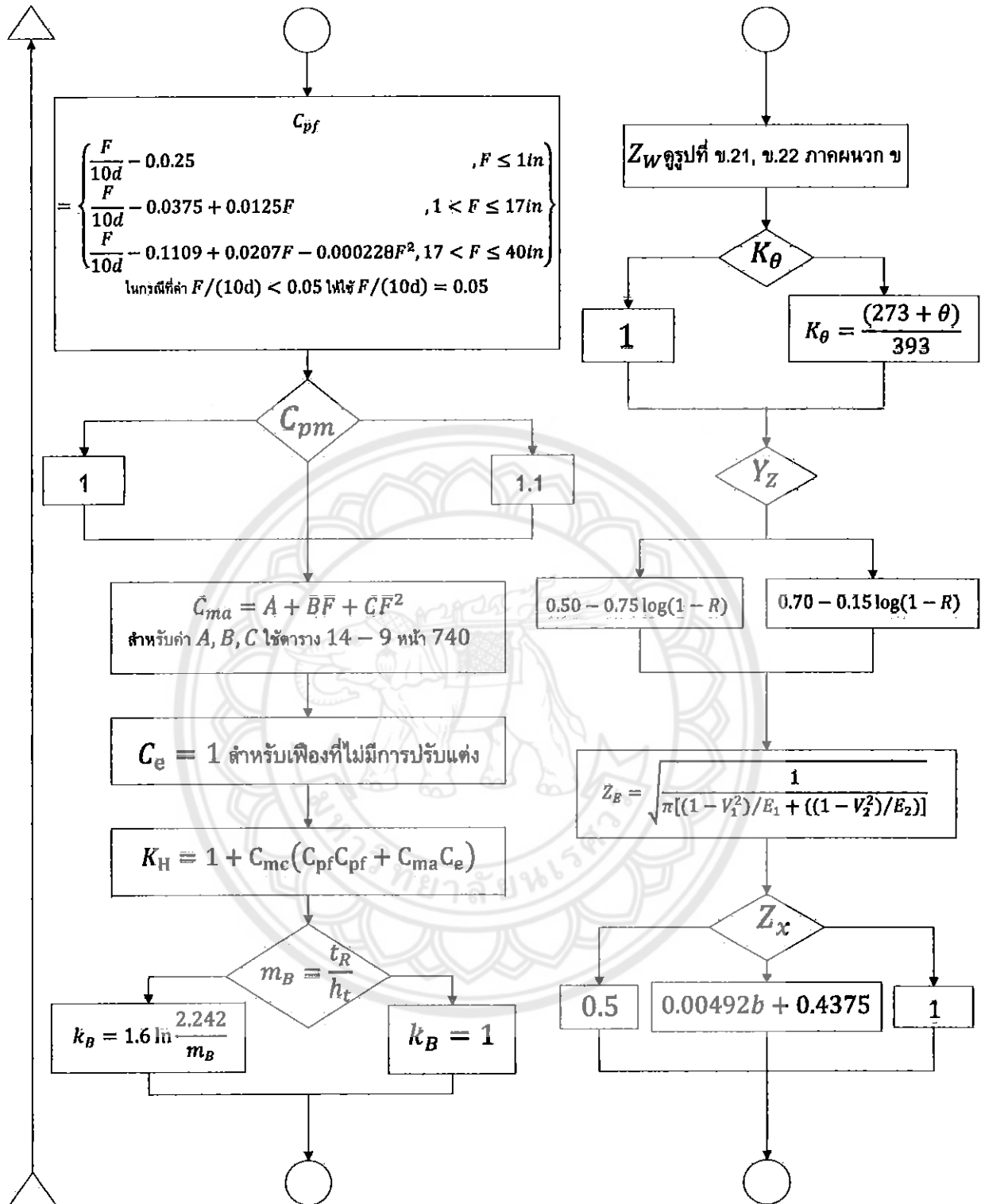
แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย



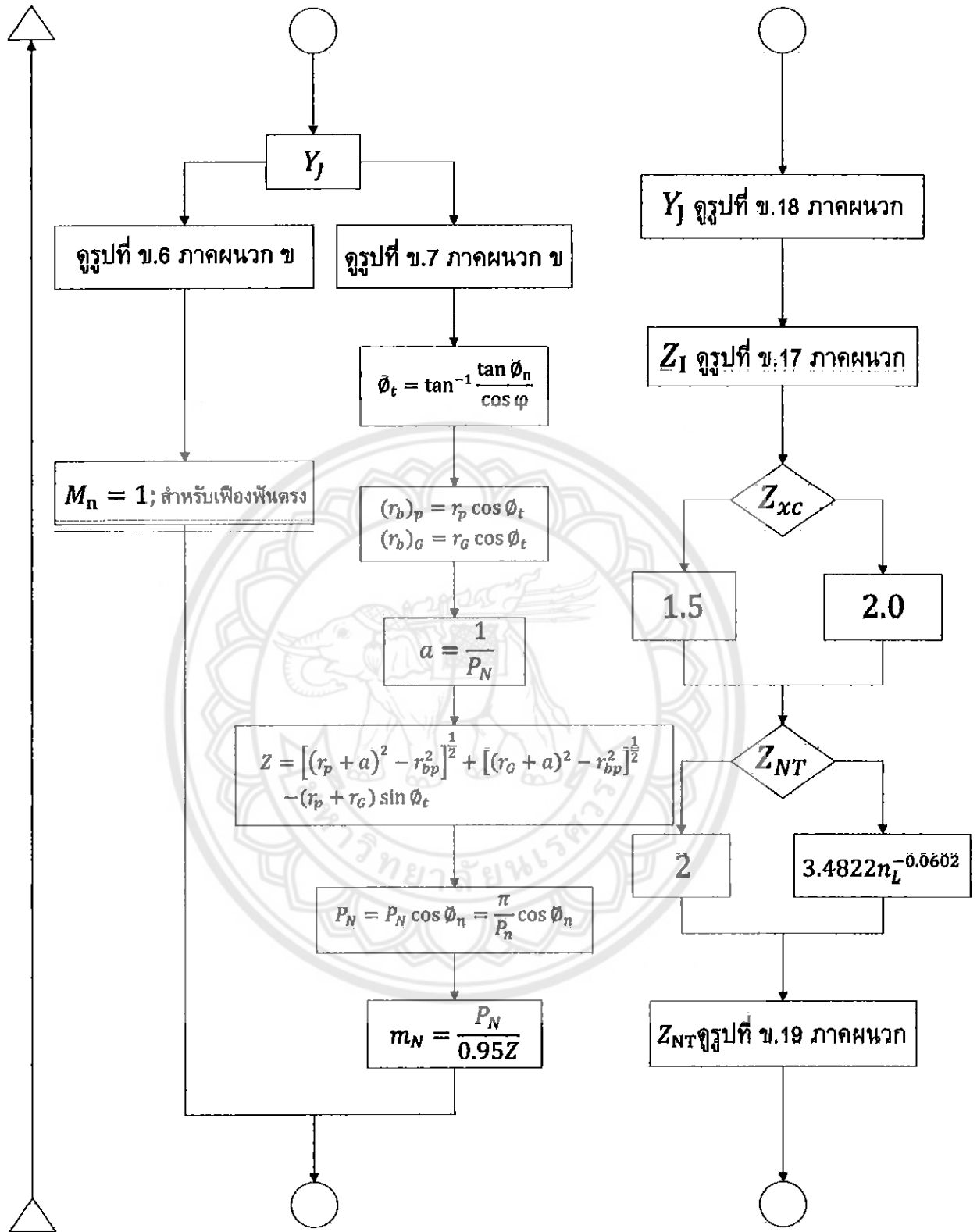
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [1/5]



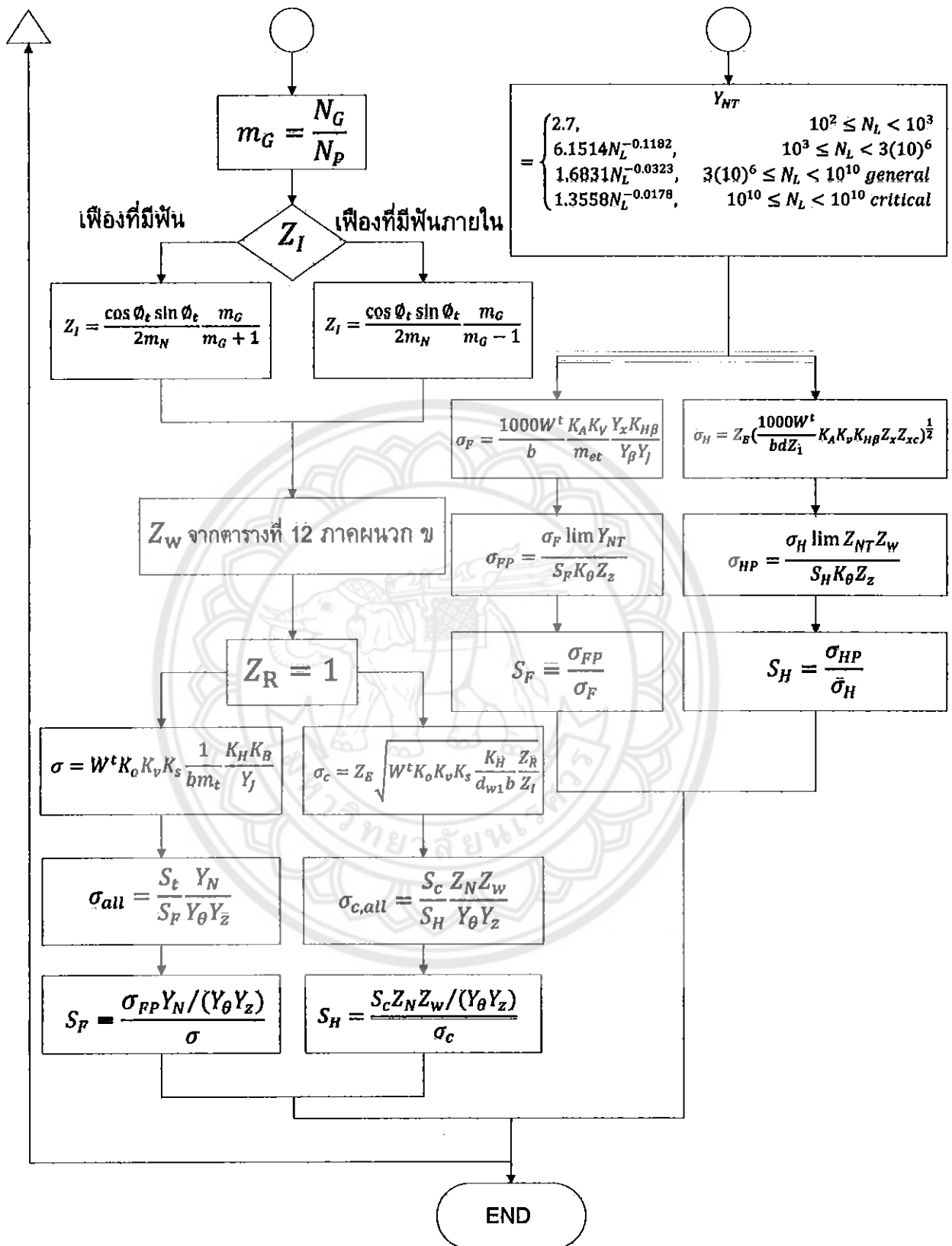
รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [2/5]



รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [3/5]



รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [4/5]



รูปที่ 3.1 แผนผังการคำนวณความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย [5/5]

3.2 การคำนวณในโปรแกรม

จากการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอกตามแบบการคำนวณของ AGMA จึงได้ทำการกำหนดแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับเฟืองในหน่วย SI เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ โดยรูปที่ 3.2 แสดงสมการความเค้นค้ำ และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง รูปที่ 3.3 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง รูปที่ 3.4 แสดงสมการความเค้นค้ำ และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F ของเฟืองคอกจอกฟันตรง รูปที่ 3.5 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองคอกจอกฟันตรง และมีการกำหนดตัวแปรเพื่อมาใช้ในการเขียนโปรแกรมดังตารางที่ 3.1



SPUR GEAR BENDING

Based on ANSI / AGMA 2001 – D04

$$d_p = n_p m_{et}$$

$$V_{et} = \frac{\pi d_p n_p}{60}$$

สมการ 8, 9 ภาคผนวก ก*

สมการ 10 ภาคผนวก ก*

สมการ 16 ภาคผนวก ก*

Gear
Bending
Stress
Equation
Eq. (1)

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J}$$

สมการที่ 5 ภาคผนวก ก*

Table Below*

$0.99 (\sigma_{FP})_{10^7}$ ตารางที่ ข.2, ข.3 ภาคผนวก ข*

รูปที่ ข.13 ภาคผนวก ข*

1 ถ้า $T < 120^\circ C$ *

ตารางที่ ข.9 ภาคผนวก ข*

Bending
factor of
safety
Eq. (10)

$$S_F = \frac{\sigma_{FP} Y_N / Y_\theta Y_Z}{\sigma}$$

Remember to compare S_F with S_H^2 when deciding whether bending or wear is the threat to function. For crowned gears compare S_F with S_H^3

Table of Overload Factors, K_o

Power source	Driven Machine		
	Uniform	Moderate shock	Heavy shock
Uniform	1.00	1.25	1.75
Light shock	1.25	1.50	2.00
Medium shock	1.50	1.75	2.25

รูปที่ 3.2 แสดงสมการความเค้นค้ำ และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง [2]

ป.ร.

SPUR GEAR WEAR

Based on ANSI / AGMA 2001 – D04

$d_p = n_p m_{et}$

$V_{et} = \frac{\pi d_p n_p}{60}$

$W^t = \frac{H}{V_{et}}$

$\sigma_c = Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H Z_R}{d_w b Z_I}}$

$S_H = \frac{\sigma_{HP} Z_N Z_W / (Y_\theta Y_z)}{\sigma_c}$

Remember to compare S_F with S_H^2 when deciding whether bending or wear is the threat to function. For crowned gears compare S_F with S_H^3

Table of Overload Factors, K_o

Power source	Driven Machine		
	Uniform	Moderate shock	Heavy shock
Uniform	1.00	1.25	1.75
Light shock	1.25	1.50	2.00
Medium shock	1.50	1.75	2.25

รูปที่ 3.3 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง [2]

STRAIGHT – BEVEL GEAR BENDING

Geometry

$$d_p = n_p m_{et}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{N_p}{N_G}$$

$$\Gamma = \tan^{-1} \frac{N_G}{N_p}$$

$$d_{av} = d_p - F \cos \Gamma$$

Force Analysis

$$W^t = \frac{2T}{d_{av}}$$

$$W^r = W^t \tan \phi \cos \gamma$$

$$W^a = W^t \tan \phi \sin \gamma$$

Strength Analysis

$$W^t = \frac{2T}{d_p}$$

$$W^r = W^t \tan \phi \cos \gamma$$

$$W^a = W^t \tan \phi \sin \gamma$$

Gear
Bending
Stress
Equation
Eq. (1)

$$\sigma_F = \left(\frac{1000 W^t K_A K_v Y_x K_H \beta}{b m_{et} Y_\beta Y_J} \right)$$

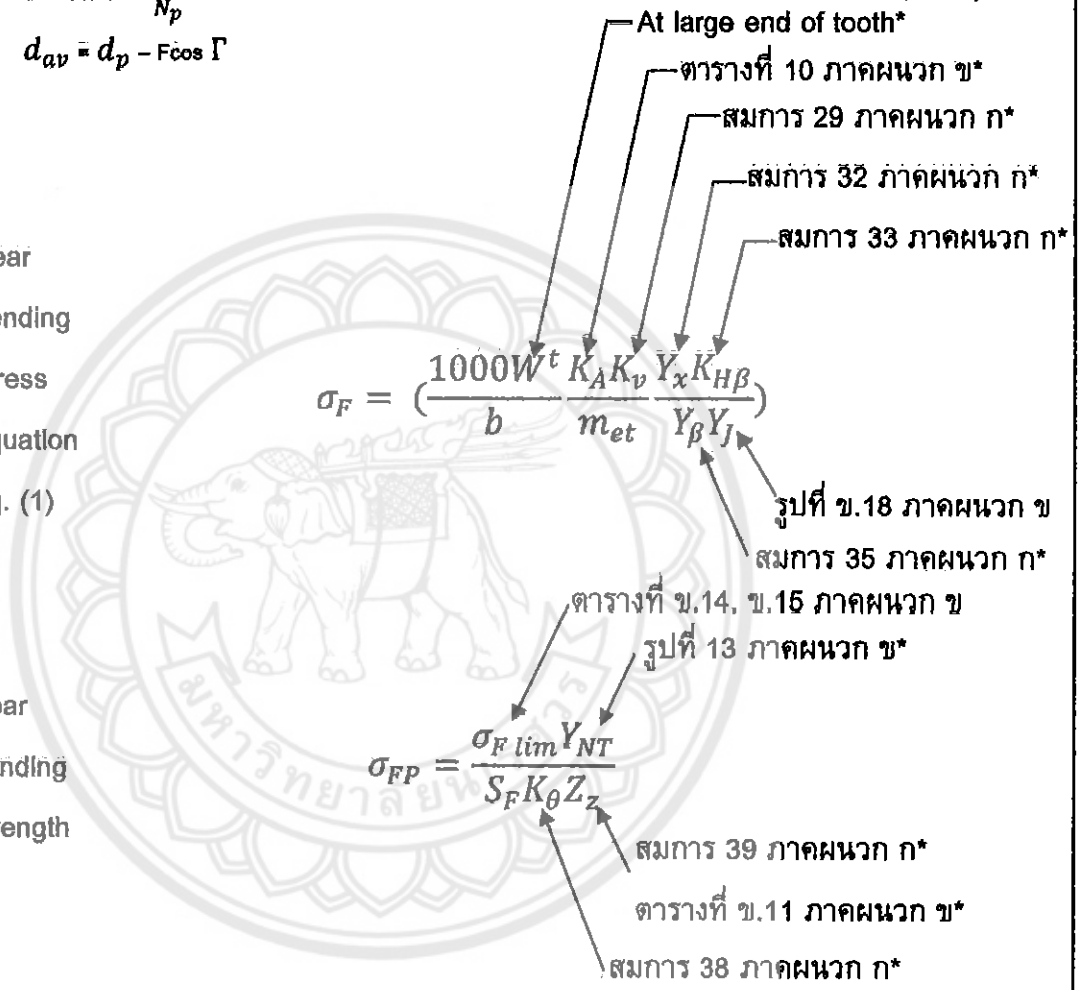
Gear
Bending
Strength

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} Y_{NT}}{S_F K_\theta Z_z}$$

Bending
Factor of
safety

$$S_F = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F}, \text{ based on strength}$$

$$n_B = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F}, \text{ based on } W^t; \text{ same as } S_F$$



รูปที่ 3.4 แสดงสมการความเค้นคัต และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F ของเฟืองคอกจอกฟันตรง [2]

STRAIGHT – BEVEL GEAR WEAR

Geometry

$$d_p = n_p m_{et}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{N_g}{N_G}$$

$$\Gamma = \tan^{-1} \frac{N_G}{N_p}$$

$$d_{av} = d_p - F \cos \Gamma$$

Force Analysis

$$W^t = \frac{2T}{d_{av}}$$

$$W^r = W^t \tan \phi \cos \gamma$$

$$W^a = W^t \tan \phi \sin \gamma$$

Strength Analysis

$$W^t = \frac{2T}{d_p}$$

$$W^r = W^t \tan \phi \cos \gamma$$

$$W^a = W^t \tan \phi \sin \gamma$$

Gear Contact Stress Equation Eq. (1)

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{1000W^t}{bdZ_I} K_A K_V K_H \beta Z_x Z_{xc}}$$

Gear Wear Strength

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \text{ lim}} Z_{NT} Z_W}{S_H K_Q Z_Z}$$

Wear Factor of safety

$$S_H = \frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H}, \text{ based on strength}$$

Wear Factor of safety

$$n_B = \frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H}, \text{ based on } W^t; \text{ same as } S_H$$

(Note: The diagram includes a watermark of a Thai university seal and various Thai annotations pointing to specific terms in the equations.)

รูปที่ 3.5 แสดงสมการความเค้นสัมผัส และแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_H ของเฟืองคอกจอกฟันตรง [2]

ตารางที่ 3.1 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [1/3]

ตารางตัวแปร			
ตัวแปรในหนังสือ	ตัวแปรในโปรแกรม	Meaning	ความหมาย
b, F	b, F	Net face width	ความกว้างหน้าฟัน
C_e	C_e	For gearing adjusted at assembly	แฟกเตอร์ปรับแต่งเฟือง
C_H, ZW	C_H, ZW	Hardness - ratio factor	แฟกเตอร์แก้อัตราส่วนความแข็ง
C_{ma}	C_{ma}	Mesh alignment factor	แฟกเตอร์สภาพการทำงาน
C_{mc}, Zxc	C_{mc}, Zxc	For uncrowned / crowned teeth	แฟกเตอร์การลบลูมของฟันเฟือง
C_{pm}	C_{pm}	For straddle-mounted Pinion	แฟกเตอร์การวางท่ามุมของฟันเฟือง
H	H	Power	กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน
H_{BG}	H_{BG}	Brinell hardness of Gear	ความแข็งของเกียร์
H_{BP}	H_{BP}	Brinell hardness of Pinion	ความแข็งของฟันเฟือง
h_t	h_t	Gear-tooth whole depth	ความสูงของฟันเฟือง
K_o, KA	K_o, KA	Overload factor	แฟกเตอร์แก้ไขโหลดเกินกำลัง
K_B	KB	Rim - thickness factor	แฟกเตอร์แก้ไขขอบความหนา
$K_H, KH\beta$	$K_H, KH\beta$	Load - distribution factor	แฟกเตอร์แก้ไขการกระจายของโหลด
K_{mb}	K_{mb}	Members straddle - mounted	แฟกเตอร์การรองรับเพลต
KS	K_s	Size factor	แฟกเตอร์ปรับขนาด
K_v	K_v	Dynamic factor	ไดนามิกแฟกเตอร์
K_G	K_t	Temperature for work	อุณหภูมิการใช้งาน
m_{ac}	m_e	Catalog module	ค่าโมดูล (มีค่าเป็นส่วนกันกับจำนวนฟันพีทซ์)
m_G	m_G	The speed ratio	อัตราส่วนความเร็ว
m_N	m_N	The load - sharing ratio	อัตราส่วนช่วยรับโหลด
N	N_{cp}	Number of stress cycle	วงรอบการใช้งาน

ตารางที่ 3.2 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [2/3]

ตารางตัวแปร			
ตัวแปรในหนังสือ	ตัวแปรในโปรแกรม	Meaning	ความหมาย
N_g	N_g	Number of teeth on Gear	จำนวนฟันของเกียร์
N_p	N_p	Number of teeth on Pinion	จำนวนฟันของพีเนียน
p_n	P_{mn}	The normal base pitch	ระยะพิทซ์ฐาน
p_n	P_n	The normal circular Quality	วงกลมพิทซ์ในแนวตั้งฉาก
Q_v	Q_v	Quality	ระดับความถูกต้องในการส่งผ่านแรง
r_{bc}	r_{bG}	The base - circle radii of Gear	รัศมีวงกลมฐานของเกียร์
r_{bp}	r_{bP}	The base - circle radii of Pinion	รัศมีวงกลมฐานของพีเนียน
r_g	r_g	The pitch radii of Gear	รัศมีพิทซ์ของเกียร์
r_p	r_p	The pitch radii of Pinion	รัศมีพิทซ์ของพีเนียน
S_{avg}	S_{acg}	Allowable contact stress of material Gear	ค่าความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้ของวัสดุทำเกียร์
S_{acp}	S_{acp}	Allowable contact stress of material Pinion	ค่าความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้ของวัสดุทำพีเนียน
S_{avg}	S_{atg}	Allowable bending stress of material Gear	ค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ของวัสดุทำเกียร์
S_{ap}	S_{atp}	Allowable bending stress of material Pinion	ค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ของวัสดุทำพีเนียน
$S_{H, SF}$	S_H, SF	Safety factor	แฟกเตอร์ความปลอดภัย
t_R	t_R	Rim thickness below the tooth	ความหนาของเฟืองวัดจากใต้ฟันเฟือง
Y_β	Y_β	Lengthwise curvature factor for bending strength	แฟกเตอร์ส่วนโค้งตามความยาวสำหรับต้านทานการดัด
V_{at}	ps	Pinion speed	ความเร็วในการหมุนของพีเนียน
V_l	ps	Pinion speed	ความเร็วในการหมุนของพีเนียน
Y_{Jg}	Y_{Jg}	Bending strength geometry factor J of Gear	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของเกียร์
Y_{Jp}	Y_{Jp}	Bending strength geometry factor J of Pinion	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของพีเนียน
Y_{Ng}	Y_{Ng}	Stress cycle for bending strength of Gear	แฟกเตอร์แกว่งรอบการกระทำซ้ำสำหรับความเค้นดัดของเกียร์

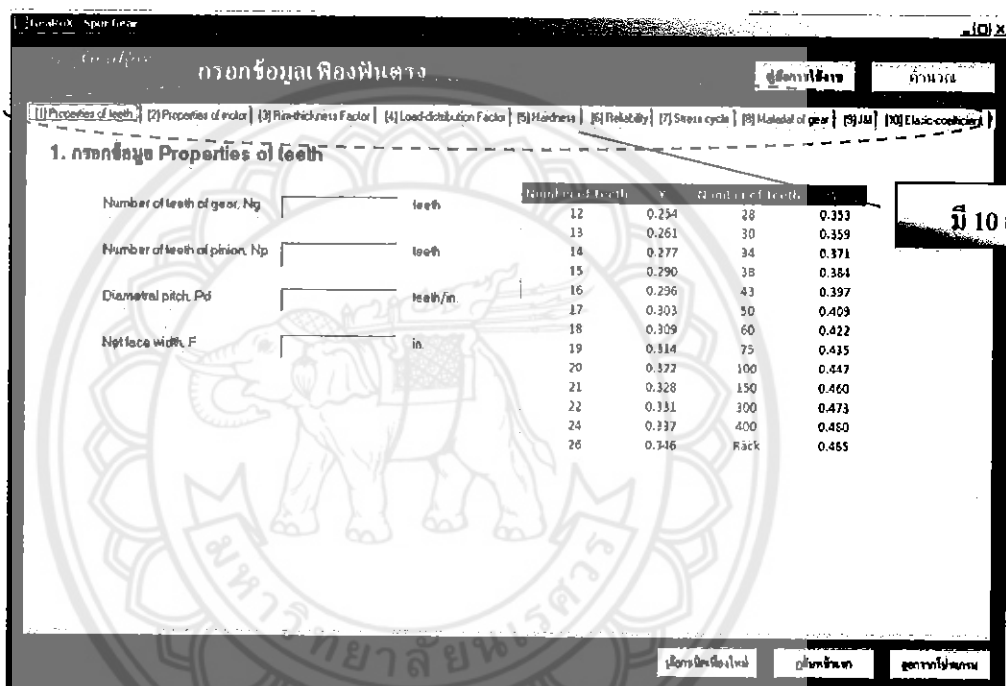
ตารางที่ 3.3 อธิบายตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ [3/3]

ตารางตัวแปร			
ตัวแปรในหนังสือ	ตัวแปรในโปรแกรม	Meaning	ความหมาย
Y_{np}	Y_{np}	Stress cycle for bending strength of Pinion	แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำสำหรับความเค้นดัดของพีเนียน
Y_{nt}	Y_{nt}	Stress - cycle factor for bending strength	แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำสำหรับความเค้นดัดของพีเนียน
Y_x	Y_x	Size factor for bending	แฟกเตอร์แก้ไขขนาดสำหรับการดัด
Y_z	R	Reliability factor	แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือ
Y_θ	Y_θ	Temperature factor	แฟกเตอร์แก้ไขอุณหภูมิ
Z	Z	The length of the line of action	โครงสร้างโปรไฟล์ของฟันเฟือง
Z_E	Z_E	Elastic coefficient for pitting resistance	สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น
Z_I	Z_I	Contact geometry factor	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานพิตติ้ง
Z_{Ng}	Z_{Ng}	Stress cycle for pitting resistance of Gear	แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำสำหรับความเค้นดัดของเกียร์
Z_{np}	Z_{np}	Stress cycle for pitting resistance of Pinion	แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำสำหรับความเค้นดัดของพีเนียน
Z_{NT}	Z_{NT}	Stress - cycle factor for pitting resistance	แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำสำหรับความเค้นดัดของพีเนียน
Z_R	ZR	Surface condition factor	แฟกเตอร์แก้ไขพื้นผิวฟันเฟือง
Z_x	ZX	Size factor for pitting resistance	แฟกเตอร์แก้ไขขนาดสำหรับการพิตติ้ง
θ	angle	Pitch angle	มุมเอียงของฟัน

3.3 สิ่งที่ได้ทำการพัฒนาเพิ่มเติม

3.3.1 จาก 10 กลุ่มตัวแปรลดเหลือ 2 กลุ่มตัวแปร

จากโปรแกรม GeaRoX มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรออกเป็น 10 กลุ่ม ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานใส่ค่าได้ไม่สะดวกเท่าที่ควร ดังรูป 3.6 โปรแกรม GeaRoX_2 นี้จึงได้มีการพัฒนาโดยทำการลดจำนวนกลุ่มตัวแปรทั้งหมดให้เหลือเพียง 2 กลุ่มตัวแปร คือ กลุ่มของ Gear property / Material of gear ยกตัวอย่างเช่น จำนวนฟันของเฟือง ค่าความแข็ง วัสดุที่ใช้ทำ เป็นต้น และอีกกลุ่มคือ Load of gear ยกตัวอย่างเช่น ภาระการกระทำของโหลด และความเร็วรอบ เป็นต้น ทำให้ง่ายและสะดวกในการใส่ค่าตัวแปรมากขึ้น ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงกลุ่มตัวแปร 10 กลุ่ม

Spur Gear

การก่อกำเนิด - เครื่องฟันตรง

Gear property / Material of Gear | Load of gear

ขนาดฟันเฟือง | ฟันตื้นสุด | ฟันตื้น | ฟันตื้น

Properties of teeth

Number of teeth of pinion, N_p _____ teeth

Number of teeth of gear, N_g _____ teeth

The transverse metric module, m_t _____ mm.

Net face width, F _____ mm.

Flm - thickness Factor

Gear-tooth whole depth, h_t _____ mm.

Flm thickness below the tooth, h_f _____ mm.

Hardness

Brinell hardness of pinion, HBP _____ Brinell

Brinell hardness of gear, HBG _____ Brinell

Y.J. and ZI

Select YJ

YJp _____

YJg _____

Graph J

Select ZI

External gears

Internal gears

Quality

Q_v _____

Material

Material of Pinion, Sco, Sto

Steel

Ni alloy 13M4 Ni alloy H, and 2.5 % chrome (no aluminum)

ASTM A48 gray cast iron

ASTM A36 ductile (nodular) iron

Aluminum bronze

Tin bronze

Material of Properties

Heat Treatment _____

Material Designation _____

Grade _____

Material of Gear, Sco, Sto

Steel

Ni alloy 13M4 Ni alloy H, and 2.5 % chrome (no aluminum)

ASTM A48 gray cast iron

ASTM A36 ductile (nodular) iron

Aluminum bronze

Tin bronze

Material of Properties

Heat Treatment _____

Material Designation _____

Grade _____

Elastic Coefficient, ZE

Pinion Material _____

Gear Material _____

เลือกเฟืองชนิดใหม่

กลับหน้าหลัก

ออกจากรูปแบบ

23:11 | 15/3/2553

กดเพื่อ 2 กลุ่มตัวแปร

รูปที่ 3.7 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงกลุ่มตัวแปร 2 กลุ่ม



3.3.2 เปลี่ยนจากหน่วยอังกฤษเป็นหน่วย SI

โปรแกรม GeaRoX ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเป็นตัวแปรในหน่วยอังกฤษ ดังรูปที่ 3.8 เพื่อให้มีขอบเขตการใช้ที่กว้างขึ้นจึงทำการพัฒนาโดยเปลี่ยนการคำนวณจากหน่วยอังกฤษมาเป็นการคำนวณในหน่วย SI ทั้งหมด ดังรูปที่ 3.9

1. กวอกริยเหตุ Properties of teeth

Number of teeth of gear, Ng	_____	teeth	
Number of teeth of pinion, Np	_____	teeth	
Diametral pitch, Pd	_____	teeth/in.	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> จำนวนด้วยหน่วยอังกฤษ </div>
Net face width, F	_____	in.	

รูปที่ 3.8 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงการใส่ค่าเป็นหน่วยอังกฤษ

Gear property / Material of Gear | Load of gear |

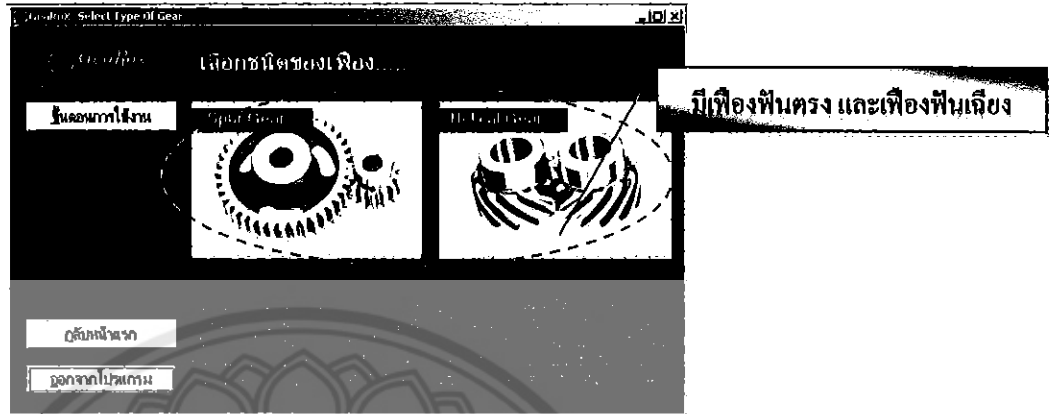
Properties of teeth

Number of teeth of pinion, Np	_____	teeth	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> จำนวนด้วยหน่วย SI </div>
Number of teeth of gear, Ng	_____	teeth	
The transverse metric module, mt	_____	mm.	
Net face width, F	_____	mm.	

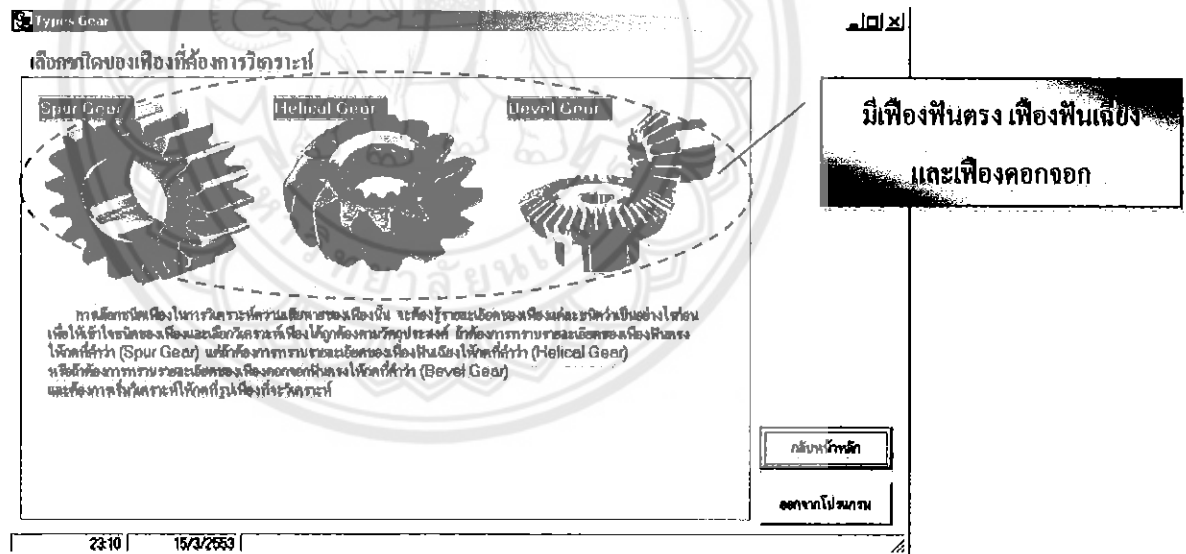
รูปที่ 3.9 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงการใส่ค่าเป็นหน่วย SI

3.3.3 เพิ่มชนิดของเฟือง

เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการคำนวณชนิดของเฟืองจากโปรแกรม GeaRoX สามารถคำนวณเฟืองเพียง 2 ชนิด คือ เฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง ดังรูปที่ 3.10 จึงได้พัฒนาโดยการเพิ่มความสามารถในการคำนวณเฟืองอีกหนึ่งชนิดคือ เฟืองคอกกอก ดังรูปที่ 3.11



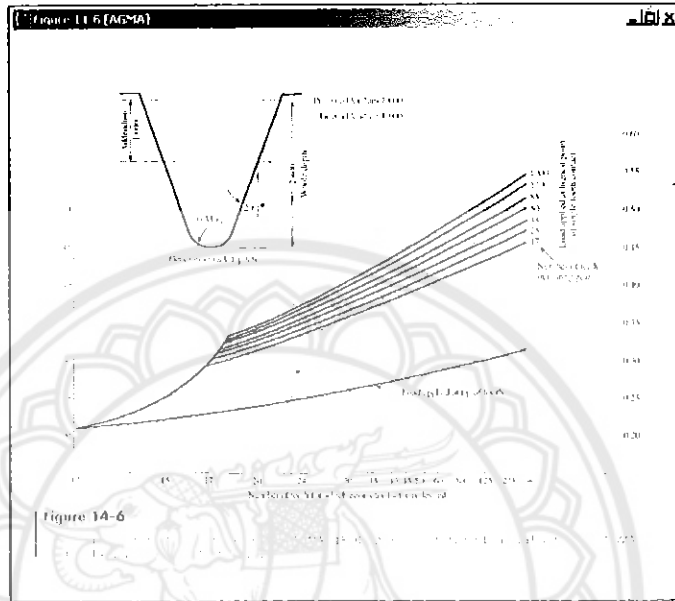
รูปที่ 3.10 โปรแกรม GeaRoX [1] ความสามารถในการคำนวณเฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง



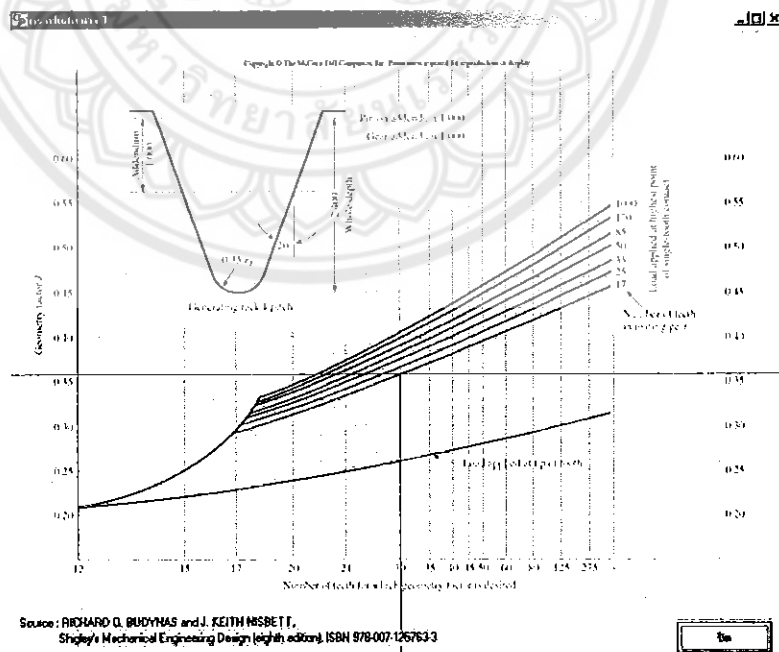
รูปที่ 3.11 โปรแกรม GeaRoX_2 ความสามารถในการคำนวณเฟืองฟันตรง, เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกกอก

3.3.4 เพิ่มเส้นช่วยในการอ่านกราฟ

เนื่องจากในการใส่ค่าตัวแปรบางค่าอาจต้องอ่านจากกราฟ ซึ่งโปรแกรม GeaRoX ใช้สายตาในการวัดและอ่านค่าจากในกราฟ ดังรูปที่ 3.12 เพื่อช่วยในการอ่านค่าในกราฟ โปรแกรม GeaRoX_2 จึงพัฒนาโดยทำให้ Cursor มีเส้นเทียบในแนวแกน X และแกน Y ทำให้ผู้ใช้งานอ่านค่าได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.13



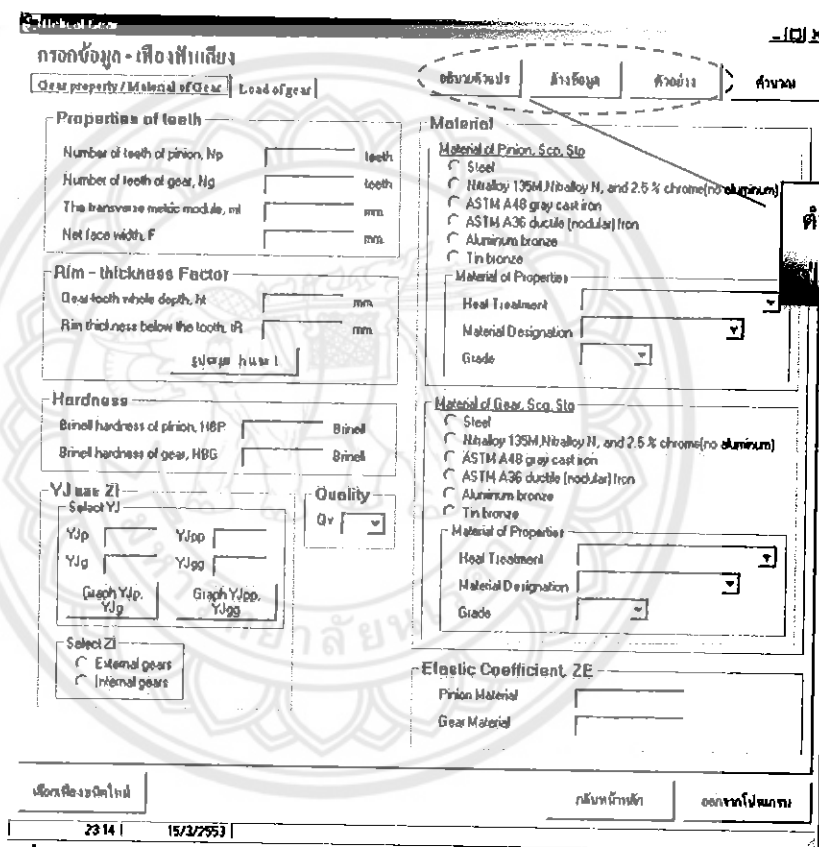
รูปที่ 3.12 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงกราฟที่ใช้ใน โปรแกรม



รูปที่ 3.13 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงเส้นช่วยอ่านค่ากราฟใน โปรแกรม

3.3.5 เพิ่มปุ่มตัวอย่าง ปุ่มล้างข้อมูล และปุ่มอธิบายตัวแปร

หากผู้ใช้ไม่เข้าใจในรูปแบบหรือลักษณะการใส่ค่าตัวแปร สามารถกดที่ปุ่ม **ตัวอย่าง** ค่าตัวแปรก็จะปรากฏขึ้นมาซึ่งทำให้ผู้ใช้เข้าใจการใส่ค่าตัวแปรมากขึ้น โดยค่าต่างๆ นี้อ้างอิงมาจากแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14 และบทที่ 15 [2] ถ้าต้องการล้างข้อมูลในช่องใส่ค่าออกทั้งหมดสามารถกดที่ปุ่ม **ล้างข้อมูล** ข้อมูลที่อยู่ในช่องทั้งหมดจะถูกลบ ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องลบทีละค่าเพื่อลดเวลาและสะดวกในการคำนวณ หรือหากต้องการทราบความหมายของตัวแปรในหน้าโปรแกรมทั้งหมดสามารถกดที่ปุ่ม **อธิบายตัวแปร** ตารางตัวแปรจะปรากฏพร้อมความหมายทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงตำแหน่งของปุ่มตัวอย่าง ปุ่มล้างข้อมูล และปุ่มอธิบายตัวแปร

ตารางตัวแปร		
ตัวแปร	Meaning	ความหมาย
Np	Number of teeth on Pinion	จำนวนฟันของเพี้ยน
Ng	Number of teeth on Gear	จำนวนฟันของเกียร์
mt	The transverse metric module	ค่าโมดูล (มีค่าเป็นส่วนกลับกับจำนวนฟันซี่)
F	Net face width	ความกว้างหน้าฟัน
ht	Gear-tooth whole depth	ความสูงของฟันเต็ม
lR	Rim thickness below the tooth	ความหนาของเฟืองวัดจากใต้ฟันเต็ม
HBP	Brinell hardness of Pinion	ความแข็งของเพี้ยน
HBG	Brinell hardness of Gear	ความแข็งของเกียร์
Yjp	Bending Strength Geometry Factor J of Pinion	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของเพี้ยน
Yjg	Bending Strength Geometry Factor J of Gear	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของเกียร์
ZI	Contact geometry factor	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานบิดเบือน
QV	Quality	ระดับความถูกต้องในการส่งผ่านแรง
Scp	Allowable contact stress of material Pinion	ค่าความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้ของวัสดุเพี้ยน
Scg	Allowable contact stress of material Gear	ค่าความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้ของวัสดุเกียร์
Stp	Allowable bending stress of material Pinion	ค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ของวัสดุเพี้ยน
Stg	Allowable bending stress of material Gear	ค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ของวัสดุเกียร์
ZE	Elastic coefficient for pitting resistance	สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น
cma	Mesh alignment factor	แฟกเตอร์สภาพการเข้างาน
ca	For gearing adjusted at assembly	แฟกเตอร์การปรับของเฟือง
cmc	For uncrowned / crowned teeth	แฟกเตอร์การกลมของฟันในเฟือง
com	For straddle-mounted Pinion	แฟกเตอร์การวางเฟืองของเพี้ยน
α	Pitch angle	มุมเอียงของฟัน
H	Power	กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนเฟือง
ps	Pinion speed	ความเร็วในการหมุนของเพี้ยน
R	Reliability factor	แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือ
Ncp	Number of stress cycle	วงรอบการใช้งาน
Ynp	Stress cycle for bending strength of pinion	แฟกเตอร์ที่วงรอบการกระทำซ้ำสำหรับความเค้นดัดของเพี้ยน
Yng	Stress cycle for bending strength of gear	แฟกเตอร์ที่วงรอบการกระทำซ้ำสำหรับความเค้นดัดของเกียร์
Znp	Stress cycle for pitting resistance of pinion	แฟกเตอร์ที่วงรอบการกระทำซ้ำสำหรับความเค้นสัมผัสของเพี้ยน
Zng	Stress cycle for pitting resistance of gear	แฟกเตอร์ที่วงรอบการกระทำซ้ำสำหรับความเค้นสัมผัสของเกียร์

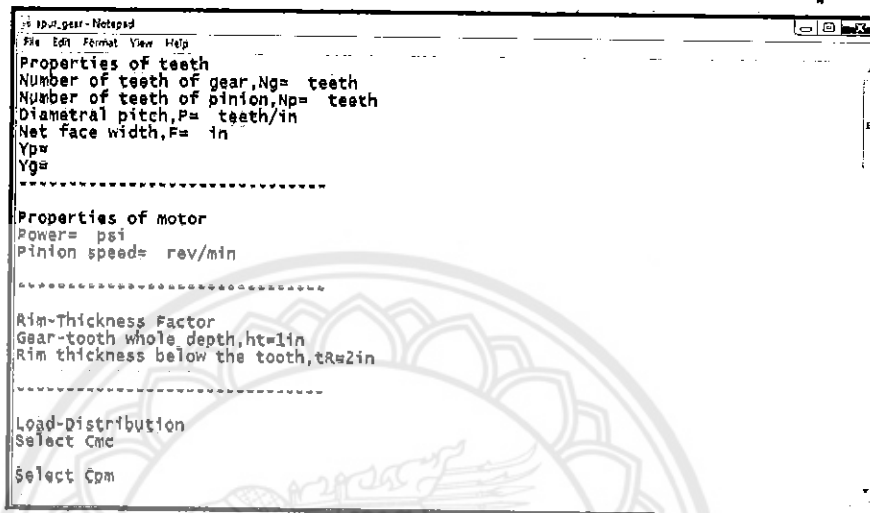
Source: RICHARD G. BUDYNAS and J. KEITH NISBETT, *Shigley's Mechanical Engineering Design* (eighth edition), ISBN 978-007-125763-3
 น.ส. ศาสตราจารย์ สุชาติ, *การออกแบบเครื่องจักรกล 2*, ISBN 974 209 062-1

รูปที่ 3.15 โปรแกรม GeoRoX 2 แสดงตารางอธิบายตัวแปรเฟืองฟันเฉียง



3.3.6 เปลี่ยนการบันทึกจาก Notepad เป็น Excel

เมื่อโปรแกรมทำการคำนวณเสร็จ ถ้าผู้ใช้งานต้องการบันทึกหรือพิมพ์ บันทึกและพิมพ์ จากโปรแกรม GeaRoX เป็นการบันทึกลงในโปรแกรม Notepad ดังรูปที่ 3.16 โปรแกรม GeaRox_2 จึงพัฒนาโดยเปลี่ยนมาเป็นการบันทึกลงในโปรแกรม Microsoft Office Excel ทำให้ให้ผู้ใช้งานสามารถทำเครื่องหมายหรือเลือกรูปแบบการบันทึกและพิมพ์ได้ตามความต้องการ ดังรูปที่ 3.17



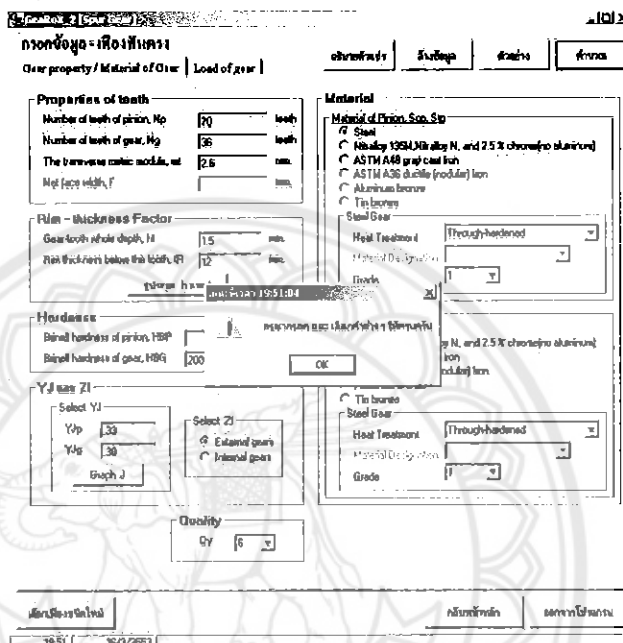
รูปที่ 3.16 โปรแกรม GeaRoX [1] แสดงการบันทึกผลการคำนวณในโปรแกรม Nodepad

	A	B	C	D	E
1	ผลการคำนวณ - เคื่องฟันตรง			15/3/2010	11:39:02 PM
2					
3	Properties of teeth				
4	Number of teeth of pinion		20 teeth		
5	Number of teeth of gear		36 teeth		
6	The transverse metric module		2.5 millimeter		
7	Net face width		18 millimeter		
8					
9	Rim - thickness Factor				
10	Gear-tooth whole depth		1.5 millimeter		
11	Rim thickness below the tooth		12 millimeter		
12					
13	Hardness				
14	Brinell hardness of pinion		200 Brinell		
15	Brinell hardness of gear		200 Brinell		
16					
17	Properties of motor				
18	Power		120 Watt		
19	Pinion speed		100 rev/min		
20					
21	Relability				
22	Relability		0.95		
23					
24	Velocity and Power				
25	Velocity		0.2618 m/s		
26	Transmitted Load		458.3662 Newton		
27					
28	Material				
29	Pinion Material		Steel		
30	Gear Material		Steel		
31					
32	Stress cycle				
33	Number of stress cycle of pinion		100000000 rev		
34					

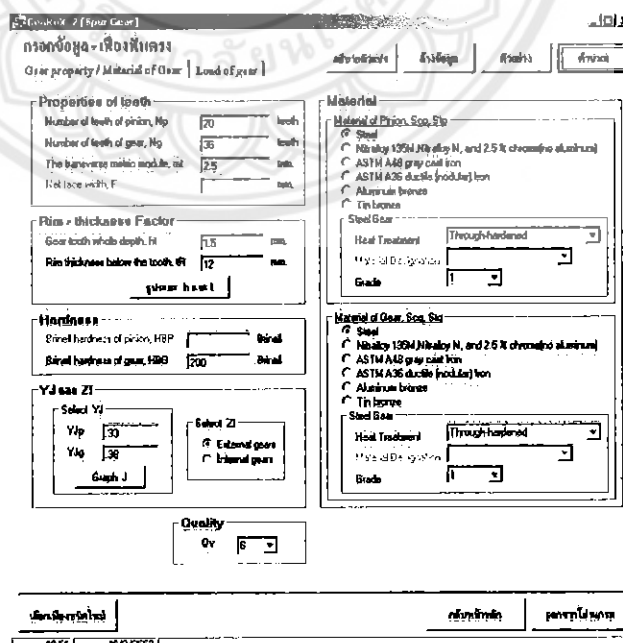
รูปที่ 3.17 โปรแกรม GeaRoX_2 แสดงการบันทึกผลการคำนวณในโปรแกรม MS. Excel

3.3.7 ระบุตำแหน่งที่ไม่มีการใส่ค่า

โปรแกรม GearRoX_2 สามารถระบุตำแหน่งช่องที่ไม่มีการใส่หรือเลือกค่า โดยเมื่อผู้ใช้งานใส่ค่าตัวแปรแล้วกดปุ่ม **คำนวณ** หากโปรแกรมพบว่าช่องใส่ค่าใดถูกวางไว้ จะมีความขึ้นเตือน ดังรูปที่ 3.18 และชื่อของช่องใส่นั้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีแดงทันที ดังรูปที่ 3.19 ทำให้ผู้ใช้งานใส่ค่าที่ช่องนั้นได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.18 แสดงข้อความเตือนเมื่อมีการใส่ค่าไม่ครบหรือผิดพลาด



รูปที่ 3.19 แสดงชื่อของช่องที่ไม่มีการใส่ค่า โดยชื่อของช่องจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอย่างชัดเจน

บทที่ 4

การทดสอบโปรแกรม

4.1 ความถูกต้อง

โปรแกรม GeaRoX_2 ได้มีการทดสอบและเปรียบเทียบการคำนวณจากแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14 และบทที่ 15 [2] เพื่อเป็นการรับรองว่าโปรแกรม GeaRoX_2 สามารถนำไปคำนวณใช้งานได้จริง ซึ่งถือว่ามีค่าความสำคัญมากกับการเขียนโปรแกรมประเภทการคำนวณ โดยได้มีการแสดงขั้นตอนและวิธีทำของเฟืองทั้ง 3 ชนิดดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 เฟืองฟันตรง (แบบฝึกหัดข้อ 14-20) [2]

พีเนียนฟันตรงมีฟัน 20 ซี่ มุมกดคั่น 20° และโมดูลเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ส่งกำลัง 120 วัตต์ไปยังเฟืองที่มีฟัน 36 ซี่ ความเร็วในการหมุนของพีเนียนเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และเฟืองทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 มีความกว้างหน้าฟัน 18 มิลลิเมตร ชูบแข็งตลอดให้มีความแข็ง 200 Brinell ฟันเฟืองไม่หนาแน่น ผลิตให้มีคุณภาพตามมาตรฐานระดับ 6 และติดตั้งแบบเปิด ถ้าพีเนียนมีอายุการใช้งาน 10^8 รอบ โดยมีความน่าเชื่อถือ 0.95 จงหาความเค้นดัดและความเค้นสัมผัสของ AGMA และหาแฟกเตอร์ความปลอดภัย

วิธีทำ

$$d_p = (2.5)(20) = 50 \text{ mm.} \quad d_g = 2(2.5)(36) = 90 \text{ mm.}$$

จากสมการที่(3), ภาคผนวก ก;

$$V = \frac{\pi d_p n_p}{60} = \frac{\pi(50)(10^{-3})(100)}{60} =$$

$$0.2618 \text{ m/s}$$

จากสมการที่(2), ภาคผนวก ก;

$$W^t = \frac{60 \times 120}{\pi \times 50 \times 10^{-3} \times 100} = 458.4 \text{ N}$$

จากสมการที่(4), ภาคผนวก ก;

$$K_o = 1, \quad Q_v = 6,$$

จากสมการที่(7), ภาคผนวก ก;

$$B = 0.25(12 - 6)^{2/3} = 0.8255$$

จากสมการที่(6), ภาคผนวก ก;

$$A = 50 + 56(1 - 0.8255) = 59.77$$

จากสมการที่(5), ภาคผนวก ก;

$$K_v = \left[\frac{59.77 + \sqrt{200 \times 0.2618}}{59.77} \right]^{0.8255} = 1.099$$

จากตารางที่(ข.1), ภาคผนวก ข;

$$Y_p = 0.322, \quad Y_g = 0.3775$$

จากสมการที่(8,9), ภาคผนวก ก; $K_s = \frac{1}{K_b} = 0.8433(mF\sqrt{Y})^{0.0535}$

$$(K_s)_p = 0.8433[2.5 \times 18\sqrt{0.322}]^{0.0535} = 1.003$$

$$(K_s)_g = 0.8433[2.5 \times 18\sqrt{0.3775}]^{0.0535} > 1$$

จากสมการที่(11 - 14), ภาคผนวก ก;

$$C_{mc} = 1, \quad F = \frac{18}{25.4} = 0.709 \text{ in}, \quad C_{pf} = \frac{18}{10(50)} - 0.025 = 0.011$$

$$C_{pm} = 1,$$

$$C_{ma} = 0.247 + (0.0167 \times 0.709) - 0.765(10 - 4)(0.7092) = 0.259$$

$$C_e = 1,$$

จากสมการที่(10), ภาคผนวก ก;

$$K_H = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pf} + C_{ma}C_e) \\ = 1 + 1[0.011(1) + 0.259(1)] = 1.27$$

จากสมการที่(16), ภาคผนวก ก;

$$K_B = 1, \quad m_G = \frac{N_G}{N_P} = \frac{36}{20} = 1.8$$

จากรูปที่ (ข.13), ภาคผนวก ข;

$$(Y_N)_P = 1.3588(10^8)^{-0.0178} = 0.977$$

$$(Y_N)_G = 1.3588\left(\frac{10^8}{1.8}\right)^{-0.0178} = 0.977$$

จากรูปที่ (ข.5), ภาคผนวก ข;

$$(Y_J)_P = 0.33, \quad (Y_J)_G = 0.38$$

จากสมการที่(18), ภาคผนวก ก;

$$Y_Z = 0.658 - 0.0759 \ln(1 - 0.95) = 0.885$$

$$Y_\theta = Z_R = 1$$

เนื่องจากเป็นเฟืองฟันตรง;

$$m_N = 1;$$

จากสมการ (22), ภาคผนวก ก;

$$Z_I = \frac{\cos 20^\circ \sin 20^\circ}{2} \left(\frac{1.8}{1.8+1}\right) = 0.103$$

จากตารางที่ (ข.7), ภาคผนวก ข;

$$Z_E = 191 \sqrt{\text{MPa}}$$

Grade 1 steel,

$$H_{BP} = H_{BG} = 200$$

จากรูปที่ (ข.2), ภาคผนวก ข;

$$(\sigma_{FP})_P = (\sigma_{FP})_G = 0.533(200) + 88.3 = 194.9 \text{ MPa}$$

จากรูปที่ (ข.4), ภาคผนวก ข;

$$(\sigma_{HP})_P = (\sigma_{HP})_G = 2.22(200) + 200 = 644 \text{ MPa}$$

จากรูปที่(ข.14), ภาคผนวก ข;

$$(Z_N)_P = 1.4488(10^8)^{-0.023} = 0.948$$

$$(Z_N)_G = 1.4488\left(\frac{10^8}{1.8}\right)^{-0.023} = 0.961$$

$$\frac{H_{BP}}{H_{BG}} = 1 \quad Z_W = 1$$

Pinion tooth bending

จากสมการที่(1), ภาคผนวก ก;

$$(\sigma)_P = (W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J})_P (\\ = 458.4 (1)(1.099)(1) \left[\frac{1}{18(2.5)}\right] \left[\frac{1.27(1)}{0.33}\right] \\ = 43.08 \text{ MPa}$$

จากสมการที่(19) , ภาคผนวก ก;

$$(S_F)_P = \left(\frac{\sigma_{FP}}{\sigma} \frac{Y_N}{Y_\theta Y_Z} \right)_P = \frac{194.9}{43.08} \left[\frac{0.977}{1(0.885)} \right] = 4.99$$

Gear tooth bending

จากสมการที่(1) , ภาคผนวก ก;

$$(\sigma)_G = 458.4 (1) (1.099) (1) \left[\frac{1}{18(2.5)} \right] \left[\frac{1.27(1)}{0.38} \right] = 37.42 \text{ MPa}$$

จากสมการที่(19) , ภาคผนวก ก; $(S_F)_G = \frac{194.9}{37.42} \left[\frac{0.987}{1(0.885)} \right] = 5.81$

Pinion tooth wear

จากสมการที่(20) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_c)_P = (Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H Z_R}{d_{w1} b Z_1}})_P$
 $= 191 \sqrt{458(1)(1.099)(1) \left[\frac{1.27}{50(18)} \right] \left[\frac{1}{0.103} \right]} = 501.8 \text{ MPa}$

จากสมการที่(24) , ภาคผนวก ก;

$$(S_H)_P = \left(\frac{\sigma_{HP} Z_N Z_W}{\sigma_c Y_\theta Y_Z} \right)_P = \frac{644}{501.8} \left[\frac{0.948(1)}{1(0.885)} \right] = 1.37$$

Gear tooth wear

จากสมการที่(20) , ภาคผนวก ก;

$$(\sigma_c)_G = \left[\frac{(K_s)_G}{(K_s)_P} \right]^{\frac{1}{2}} = (\sigma_c)_P = \left(\frac{1}{1} \right)^{\frac{1}{2}} (501.8) = 501.8 \text{ MPa}$$

จากสมการที่(24) , ภาคผนวก ก; $(S_H)_G = \frac{644}{501.8} \left[\frac{0.961(1)}{1(0.885)} \right] = 1.39$

เมื่อเปรียบเทียบค่า แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นค้ำ $(S_F)_P$ กับ แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นสัมผัส $(S_H)_P^2$ จะเห็นได้ว่า $4.99 > 1.39^2$ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบความเสียหายที่จะเกิดกับพีเนียน คือการแตกหัก สำหรับเฟืองเมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_G$ กับ $(S_H)_G^2$ จะเห็นได้ว่า $5.81 > 1.39^2$ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบความเสียหายของเฟือง คือการแตกหักเช่นเดียวกัน

เมื่อเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ดังรูป 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณด้วยมือกับการคำนวณด้วยโปรแกรม GeaRoX_2 พบว่ามีค่าประมาณ 1 – 2 %

GeaRoX_2 [Spur Gear]
อติชัย ศิวแปรา

ผลการคำนวณ - เฟืองฟันตรง

Properties of teeth		Results	
Number of teeth of pinion	20 teeth	Bending stress pinion (BSP)	43.0705 MPa
Number of teeth of gear	36 teeth	Bending stress gear (BSG)	37.4033 MPa
The transverse metric module	2.5 mm.	Bending factor of safety pinion (SFP)	4.9923
Net face width	18 mm.	Bending factor of safety gear (SFG)	5.6093
Rim - thickness Factor		Contact stress of pinion (CSP)	500.9738 MPa
Gear tooth whole depth	1.5 mm.	Contact stress of gear (CSG)	500.9738 MPa
Rim thickness below the tooth	12 mm.	Contact factor of safety pinion (CSP)	1.377
Hardness		Contact factor of safety gear (CSG)	1.3957
Brinell hardness of pinion	200 Brinell	Conclusions	
Brinell hardness of gear	200 Brinell	จากการคำนวณ และเปรียบเทียบ ค่า SFP มีค่า > (CSP) ²	
Properties of motor		สรุปได้ว่า ๘ รอบการใช้งานที่กำหนด	
Power	120 Watt	Pinion มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
Pinion speed	100 rev/min	และ เมื่อเปรียบเทียบ ค่า SFG มีค่า > (CSG) ²	
Reliability		สรุปได้ว่า ๘ รอบการใช้งานที่กำหนด	
Reliability	.95	Gear มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
Velocity and Power		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">บันทึกและพิมพ์</div>	
Velocity	.2618 m/s		
Transmitted Load	458.3662 N	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">กลับหน้าแรกข้อมูล</div>	
Material			
Pinion Material	Steel	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ออกจากโปรแกรม</div>	
Gear Material	Steel		
Stress cycle		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">เลือกเฟืองชนิดใหม่</div>	
Number of stress cycle of pinion	10000000 rev		

เลือกเฟืองชนิดใหม่
กลับหน้าหลัก
ออกจากโปรแกรม

รูปที่ 4.1 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองฟันตรง

4.1.2 เฟืองฟันเฉียง

พีเนียนฟันตรงมีฟัน 20 ซี่ มุมกดคัน 20° และ โมดูลเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ส่งกำลัง 120 วัตต์ ไปยังเฟืองที่มีฟัน 36 ซี่ ซึ่งทำมุมเอียง 30° ความเร็วในการหมุนของพีเนียนเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และเฟืองทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 มีความกว้างหน้าฟัน 18 มิลลิเมตร ชูบแข็งตลอดให้มีความแข็ง 200 Brinell ฟันเฟืองไม่หนาแน่น ผลัดให้มีคุณภาพตามมาตรฐานระดับ 6 และติดตั้งแบบเบ็ด ถ้าพีเนียนมีอายุการใช้งาน 10⁸ รอบ โดยมีความน่าเชื่อถือ 0.95 จงหาความเค้นดัดและความเค้นสัมผัสของ AGMA และหาแฟกเตอร์ความปลอดภัย

วิธีทำ

$$d_p = (2.5)(20) = 50 \text{ mm.} \quad d_G = (2.5)(36) = 90 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{\pi d_p n_p}{60} = \frac{\pi(50)(10^{-3})(100)}{60} = 0.2618 \text{ m/s}$$

$$W^t = \frac{60 \times 120}{\pi \times 50 \times 10^{-3} \times 100} = 458.4 \text{ N}$$

จากสมการ (4), ภาคผนวก ก; $K_o = 1, \quad Q_v = 6,$

$$B = 0.25(12 - 6)^{2/3} = 0.8255$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.8255) = 59.77$$

จากสมการ (5), ภาคผนวก ก; $K_v = \left[\frac{59.77 + \sqrt{200 \times 0.2618}}{59.77} \right]^{0.8255} = 1.099$

จากตารางที่ (ข.1), ภาคผนวก ข; $Y_p = 0.322, \quad Y_G = 0.3775$

จากสมการที่(8,9), ภาคผนวก ก; $K_S = \frac{1}{K_b} = 0.8433(mF\sqrt{Y})^{0.0535}$

$$(K_S)_P = 0.8433[2.5 \times 18\sqrt{0.322}]^{0.0535} = 1.003$$

$$(K_S)_G = 0.8433[2.5 \times 18\sqrt{0.3775}]^{0.0535} > 1$$

จากสมการ (11 - 14), ภาคผนวก ก;

$$C_{mc} = 1, \quad F = \frac{18}{25.4} = 0.709 \text{ in.}, \quad C_{pf} = \frac{18}{10(50)} - 0.025 = 0.011$$

$$C_{pm} = 1,$$

$$C_{ma} = 0.247 + (0.0167 \times 0.709) - 0.765(10^{-4})(0.709^2) = 0.259$$

$$C_e = 1,$$

จากสมการ (10), ภาคผนวก ก; $K_H = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pf} + C_{ma}C_e)$

$$K_H = 1 + 1[0.011(1) + 0.259(1)] = 1.27$$

จากสมการ (16), ภาคผนวก ก; $K_B = 1, \quad m_G = \frac{N_G}{N_p} = \frac{36}{20} = 1.8$

จากรูปที่ (ข.13), ภาคผนวก ข; $(Y_N)_P = 1.3588(10^8)^{-0.0178} = 0.977$

$$(Y_N)_P = 1.3588\left(\frac{10^8}{1.8}\right)^{-0.0178} = 0.977$$

จากรูปที่ (ข.6) และ (ข.7), ภาคผนวก ข; $(Y_J)_P = 0.33, \quad (Y_J)_G = 0.38$

จากสมการ (18), ภาคผนวก ก; $Y_Z = 0.658 - 0.0759 \ln(1 - 0.95) = 0.885$

มุมหภูมิใช้งานไม่เกิน 120° ; $Y_\theta = Z_R = 1$

$$P_n = \frac{1}{m_t} (25.4) = \frac{1}{2.5} (25.4) = 10.16$$

$$P_t = P_n \cos \phi = 10.16 \cos 30^\circ = 8.7988 \text{ teeth/in}$$

$$a = 1/P_n = 1/10.16 = 0.09843$$

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_n}{\cos \phi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 30^\circ} \right) = 22.79$$

$$d_{PP} = \frac{d_p}{P_t} = \frac{20}{8.7988} = 2.273$$

$$d_{GG} = \frac{d_G}{P_t} = \frac{36}{8.7988} = 4.0915$$

$$r_p = \frac{d_{PP}}{2} = \frac{2.273}{2} = 1.1365 \text{ in.}$$

$$r_G = \frac{d_{GG}}{2} = \frac{4.0915}{2} = 2.0458 \text{ in.}$$

จากสมการ (22.2), ภาคผนวก ก;

$$(r_b)_P = r_p \cos \phi_t = 1.1365 \cos 22.8^\circ = 1.0477 \text{ in.}$$

$$(r_b)_G = r_G \cos \phi_t = 2.0458 \cos 22.8^\circ = 1.886 \text{ in.}$$

จากสมการ (22), ภาคผนวก ก;

$$Z = \frac{[(r_p + a)^2 - r_{bP}^2]^{\frac{1}{2}} + [(r_G + a)^2 - r_{bG}^2]^{\frac{1}{2}} - (r_p + r_G) \sin \phi_t}{\sqrt{(1.1365 + 0.09843)^2 - 1.0477^2} + \sqrt{(2.0458 + 0.09843)^2 - 1.886^2} - (1.1365 + 2.0458) \sin 22.8^\circ}$$

$$= 0.6537 + 1.0202 - 1.2332 = 0.4407 \text{ in}$$

จากรูปที่ (ข.6) และ (ข.7), ภาคผนวก ข;

$$J_P = (0.94)(0.45) = 0.423$$

$$J_G = (0.98)(0.54) = 0.529$$

จากสมการ (22.1), ภาคผนวก ก;

$$P_N = P_n \cos \phi_n = \frac{\pi}{P_n} \cos \phi_n = \frac{\pi}{10.16} \cos 20^\circ = 0.2906 \text{ in}$$

จากรูปที่ (ข.6), ภาคผนวก ก;

$$m_N = \frac{P_N}{0.95Z} = \frac{0.2906}{(0.95)(0.4407)} = 0.6941$$

จากสมการ (22), ภาคผนวก ก;

$$Z_I = \frac{\cos \phi_t \sin \phi_t}{2m_N} \left(\frac{m_G}{m_G + 1} \right) = \frac{\cos 22.8^\circ \sin 22.8^\circ}{2(0.6941)} \left(\frac{1.8}{1.8 + 1} \right) = 0.1654$$

จากตารางที่ (ข.7): $Z_E = 191 \sqrt{\text{MPa}}$

Grade 1 steel,

$$H_{BP} = H_{BG} = 200$$

จากรูปที่ (ข.2), ภาคผนวก ข;

$$(\sigma_{FP})_P = (\sigma_{FP})_G = 0.533(200) + 88.3 = 194.9 \text{ MPa}$$

จากรูปที่ (ข.4), ภาคผนวก ข;

$$(\sigma_{HP})_P = (\sigma_{HP})_G = 2.22(200) + 200 = 644 \text{ MPa}$$

จากรูปที่ (ข.14), ภาคผนวก ข;

$$(Z_N)_P = 1.4488(10^8)^{-0.023} = 0.948$$

$$(Z_N)_P = 1.4488 \left(\frac{10^8}{1.8} \right)^{-0.023} = 0.961$$

$$\frac{H_{BP}}{H_{BG}} = 1 \quad Z_W = 1$$

Pinion tooth bending

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่(1), ภาคผนวก ก; } (\sigma)_P &= (W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J})_P \\ &= 458.4 (1) (1.099) (1) \left[\frac{1}{18(2.5)} \right] \left[\frac{1.27(1)}{0.423} \right] = 33.61 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการที่(19), ภาคผนวก ก; } (S_F)_P = \left(\frac{\sigma_{FP}}{\sigma} \frac{Y_N}{Y_\theta Y_Z} \right)_P = \frac{194.9}{33.61} \left[\frac{0.977}{1(0.885)} \right] = 6.4$$

Gear tooth bending

จากสมการที่(1), ภาคผนวก ก;

$$(\bar{\sigma})_G = 458.4 (1) (1.099) (1) \left[\frac{1}{18(2.5)} \right] \left[\frac{1.27(1)}{0.529} \right] = 26.88 \text{ MPa}$$

$$\text{จากสมการที่(19), ภาคผนวก ก; } (S_F)_G = \frac{194.9}{26.88} \left[\frac{0.987}{1(0.885)} \right] = 8.09$$

Pinion tooth wear

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่(20), ภาคผนวก ก; } (\sigma_c)_P &= (Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_{w1} b} \frac{Z_R}{Z_I}})_P \\ &= 191 \sqrt{(458.4)(1)(1.099)(1) \left[\frac{1.27}{50(18)} \right] \left[\frac{1}{0.1654} \right]} \\ &= 395.97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

จากสมการที่(24), ภาคผนวก ก;

$$(S_H)_P = \left(\frac{\sigma_{HP}}{\sigma_c} \frac{Z_N Z_W}{Y_\theta Y_Z} \right)_P = \frac{644}{395.97} \left[\frac{0.948(1)}{1(0.885)} \right] = 1.74$$

Gear tooth wear

จากสมการที่(20), ภาคผนวก ก;

$$(\sigma_c)_G = \left[\frac{(K_s)_G}{(K_s)_P} \right]^{\frac{1}{2}} = (\sigma_c)_P = \left(\frac{1}{1} \right)^{\frac{1}{2}} (395.97) = 395.97 \text{ MPa}$$

$$\text{จากสมการที่(24), ภาคผนวก ก; } (S_H)_G = \frac{644}{395.97} \left[\frac{0.961(1)}{1(0.885)} \right] = 1.77$$

เมื่อเปรียบเทียบค่า แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นดัดโค้ง $(S_F)_P$ กับ แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นสัมผัส $(S_H)_P^2$ จะเห็นได้ว่า $6.4 > 1.74^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของพินเนียนคือการแตกหัก สำหรับเฟืองเมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_G$ กับ $(S_H)_G^2$ จะเห็นได้ว่า $8.09 > 1.77^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของเฟืองคือการแตกหักเช่นเดียวกัน

เมื่อเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ดังรูป 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณด้วยมือกับการคำนวณด้วยโปรแกรม GearRoX_2 พบว่ามีค่าประมาณ 1 – 2 %

GearRoX_2 [Helical Gear]
_[] X

ผลการคำนวณ - เฟืองฟันเฉียง

อธิบายหัวแปร

Properties of teeth		Results	
Number of teeth of pinion	20 teeth	Bending stress pinion (BSP)	33.6018 MPa
Number of teeth of gear	36 teeth	Bending stress gear (BSG)	26.8586 MPa
The transverse metric module	2.5 mm	Bending factor of safety pinion (SFP)	6.3991
Net face width	18 mm	Bending factor of safety gear (SFG)	8.0899
Pitch angle	30 degree	Contact stress of pinion (CSP)	395.915 MPa
Rim - thickness Factor		Contact stress of gear (CSG)	395.915 MPa
Gear-tooth whole depth	1.5 mm	Contact factor of safety pinion (CSP)	1.7425
Rim thickness below the tooth	12 mm	Contact factor of safety gear (CSG)	1.7662
Hardness		Conclusions	
Brinell hardness of pinion	200 Brinell	จากการคำนวณ และเปรียบเทียบ ค่า SFP มีค่า > (CSP) ²	
Brinell hardness of gear	200 Brinell	สรุปได้ว่า ๗ รอบการใช้งานที่กำหนด	
Properties of motor		Pinion มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
Power	120 Watt	และ เมื่อเปรียบเทียบ ค่า SFG มีค่า > (CSG) ²	
Pinion speed	100 rev/min	สรุปได้ว่า ๗ รอบการใช้งานที่กำหนด	
Reliability		Gear มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
Reliability	.95	บันทึกและพิมพ์	
Velocity and Power		กลับหน้ารถข้อมูล	
Velocity	.2618 m/s	ออกจากโปรแกรม	
Transmitted Load	458.3662 N		
Material			
Pinion Material	Steel		
Gear Material	Steel		
Stress cycle			
Number of stress cycle of pinion	10000000 rev		

เลือกเฟืองชนิดใหม่
กลับหน้าหลัก
ออกจากโปรแกรม

2:03
21/3/2553

รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองฟันเฉียง

4.1.3 เฟืองคอกจอก (แบบฝึกหัดข้อ 15-3, 15-4) [2]

พีเนียนคอกจอกฟันตรง มีฟันไม่หนาแน่นจำนวน 22 ซี่ โมดูลเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ส่งกำลัง 4.9 กิโลวัตต์ มีความเที่ยงตรงในการส่งกำลังระดับ 5 ทั้งพีเนียนและเฟืองทำจากเหล็กกล้าชุบแข็งให้มีความแข็งที่แกนกลางและตัวเฟือง 180 Brinell พีเนียนนี้ขับเฟืองคอกจอกที่มีฟัน 24 ซี่ และเพลลาของเฟืองคอกจอกทั้งคู่ทำมุมระหว่างกัน 90° พีเนียนหมุนด้วยความเร็ว 1800 รอบต่อนาที มีความกว้างหน้าฟัน 25 มิลลิเมตร และมุมกดคันในแนวตั้งฉาก 20° เฟืองคอกจอกทั้ง 2 ตัวติดตั้งในลักษณะเอ้าท์บอร์ด จงหาความเค้นคัดและความเค้นสัมผัสของ AGMA และหาแฟกเตอร์ความปลอดภัยวิธีทำ

$$d_p \equiv d_{e1} \equiv m_z z_1 \equiv 4(22) \equiv 88 \text{ mm}$$

$$d_G \equiv m_{et} z_2 \equiv 4(24) \equiv 96 \text{ mm}$$

จากสมการ (27), ภาคผนวก ก; $v_{et} = 5.236(10^{-5})(88)(1800) = 8.29 \text{ m/s}$

$$W_P^t = \frac{(60)(H)}{(\pi)(d_p)(n)} = \frac{(60)(4900)}{(\pi)(88(10^{-3}))(1800)} = 590.8 \text{ N}$$

$$W_G^t = \frac{(60)(H)}{(\pi)(d_G)(n)} = \frac{(60)(4900)}{(\pi)(96(10^{-3}))(1800)} = 541.6 \text{ N}$$

จากสมการ (31), ภาคผนวก ก; $B = 0.25(12 - 5)^{2/3} = 0.9148$

จากสมการ (30), ภาคผนวก ก; $A = 50 + 56(1 - 0.9148) = 54.77$

จากสมการ (29), ภาคผนวก ก; $K_v = \left(\frac{54.77 + \sqrt{200(8.29)}}{54.77} \right)^{0.9148} = 1.663$

จากสมการ (32), ภาคผนวก ก; $K_s = Y_X = 0.4867 + 0.008339(4) = 0.520$

จากสมการ (39), ภาคผนวก ก; $K_{mb} = 1,$

$$K_m = K_{H\beta} = 1 + 5.6(10^{-6})(25^2) = 1.0035$$

จากรูปที่ (ข.19), ภาคผนวก ข; $(Z_{NT})_P = 3.4822(10^9)^{-0.0622} = 1.00$

$$(Z_{NT})_G = 3.4822[10^9(22/24)]^{-0.0622} = 1.0054$$

จากสมการ (44), ภาคผนวก ก; $C_{XC} = Z_{XC} = 2$

จากสมการ (32), ภาคผนวก ก; $K_R = Y_Z = 0.50 - 0.25 \log(1 - 0.999) = 1.25$

$$C_R = Z_Z = \sqrt{Y_Z} = \sqrt{1.25} = 1.118$$

จากรูปที่ (ข.21), ภาคผนวก ข; $C_H = Z_W = 1$

จากสมการ (43), ภาคผนวก ก; $Z_X = 0.00492(25) + 0.4375 = 0.560$

จากรูปที่ (ข.17), ภาคผนวก ข; $I = Z_I = 0.066$

Wear of pinion

จากรูปที่ (ข.23), ภาคผนวก ข; $\sigma_{Hlim} = 2.35H_B + 162.89$
 $= 2.35(180) + 162.89 = 585.9 \text{ MPa}$

จากสมการ (45), ภาคผนวก ก; $(\sigma_{HP})_P = \frac{(\sigma_{Hlim})_P (Z_{NT})_P Z_W}{S_H K_\theta Z_Z}$

$$= \frac{585.9(1)(1)}{\sqrt{1}(1)(1.118)} = 524.1 \text{ MPa}$$

จากสมการ (41) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_H)_P = Z_E \left(\frac{1000W^t}{bdZ_1} K_A K_V K_{H\beta} Z_x Z_{xc} \right)^{1/2}$

$$= 190 \left(\frac{(1000)(590.8)}{(25)(88)(0.066)} (1)(1.663)(1.0035)(0.56)(2) \right)^{1/2}$$

$$= 16572.1 \text{ MPa}$$

Wear of gear

จากรูปที่ (ข.23) , ภาคผนวก ข; $\sigma_{H \text{ lim}} = 585.9 \text{ MPa}$

จากสมการที่(45) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_{HP})_G = \frac{585.9(1.0054)}{\sqrt{1}(1)(1.118)} = 526.9 \text{ MPa}$

จากสมการที่(41) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_H)_G = Z_E \left(\frac{1000W^t}{bdZ_1} K_A K_V K_{H\beta} Z_x Z_{xc} \right)^{1/2}$

$$= 190 \left(\frac{(1000)(541.6)}{(25)(96)(0.066)} (1)(1.663)(1.0035)(0.56)(2) \right)^{1/2}$$

$$= 15189 \text{ MPa}$$

Bending of Pinion

จากรูปที่(ข.20) , ภาคผนวก ข; $(Y_{NT})_P = 1.6831(10^9)^{-0.0323} = 0.862$

$$(Y_{NT})_G = 1.6831(10^9(22/24))^{-0.0323} = 0.864$$

จากรูปที่ (ข.24) , ภาคผนวก ข; $\sigma_{Flim} = 0.3H_{BP} + 14.48$

$$= 0.3(180) + 14.48 = 68.5 \text{ MPa}$$

จากสมการ (35) , ภาคผนวก ก; $K_x = Y_\beta = 1$

จากสมการที่(36) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_{FP})_P = \frac{\sigma_{Flim} Y_{NT}}{S_F K_\theta Y_Z} = \frac{(68.5)(0.862)}{(1)(1)(1.25)} = 47.2 \text{ MPa}$

จากสมการที่(25) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_F)_P = \frac{1000W^t K_A K_V Y_x K_{H\beta}}{b m_{et} Y_\beta Y_J}$

$$= \frac{1000(590.8)}{25} \frac{(1)(1.663)}{4} \frac{(0.56)(1.0035)}{(1)(0.23)} = 24005.5 \text{ MPa}$$

Bending of Gear

จากสมการที่(36) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_{FP})_G = \frac{\sigma_{Flim} Y_{NT}}{S_F K_\theta Y_Z} = \frac{(68.5)(0.864)}{(1)(1)(1.25)} = 47.3 \text{ MPa}$

จากสมการที่(25) , ภาคผนวก ก; $(\sigma_F)_G = \frac{1000W^t K_A K_V Y_x K_{H\beta}}{b m_{et} Y_\beta Y_J}$

$$= \frac{1000(541.6)}{25} \frac{(1)(1.663)}{4} \frac{(0.56)(1.0035)}{(1)(0.23)} = 22006.4 \text{ MPa}$$

เมื่อเปรียบเทียบค่า แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นค้ำค้ำ $\frac{(\sigma_{FP})_P}{(\sigma_F)_P}$ กับ แฟกเตอร์ความปลอดภัยของความเค้นสัมผัส $\frac{(\sigma_{HP})_P^2}{(\sigma_H)_P}$ จะเห็นได้ว่า $0.0021 > 0.0315^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของฟันเนียนคือการแตกหัก สำหรับเฟืองเมื่อเปรียบเทียบค่า $\frac{(\sigma_{FP})_G}{(\sigma_F)_G}$ กับ $\frac{(\sigma_{HP})_G^2}{(\sigma_H)_G}$ จะเห็นได้ว่า $0.0021 > 0.0345^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของเฟืองคือการแตกหักเช่นเดียวกัน

เมื่อเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ดังรูป 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณด้วยมือกับการคำนวณด้วยโปรแกรม GeaRoX_2 พบว่ามีค่าประมาณ 1 – 2 %

GeaRoX_2 [Bevel Gear] - [X]

ผลการคำนวณ - เฟืองคอกงอก อธิบายตัวแปร

Properties of teeth	
Number of teeth of pinion	22 teeth
Number of teeth of gear	24 teeth
The transverse metric module	4 mm
Net face width	25 mm
Hardness	
Brinell hardness of pinion	180 Brinell
Brinell hardness of gear	160 Brinell
Properties of motor	
Power	4900 Watt
Pinion speed	1800 rev/min
Reliability	
Reliability	.999
Velocity and Power	
Velocity	8.2938 m/s
Transmitted Load (pinion)	590.8199 N
Transmitted Load (gear)	541.5849 N
Material	
Pinion Material	Steel
Gear Material	Steel
Stress cycle	
Number of stress cycle of pinion	100000000 rev

Results	
Bending stress of pinion (BSP)	22293.6259 MPa
Bending stress of gear (BSG)	22927.997 MPa
Permissible bending stress pinion (PBP)	47.2129 MPa
Permissible bending stress gear (PBG)	47.3443 MPa
SFP = $\frac{PBP}{BSP} = .0021$	SFG = $\frac{PBG}{BSG} = .0021$
Contact stress of pinion (CSP)	16663.7284 MPa
Contact stress of gear (CSG)	15275.0842 MPa
Permissible contact stress pinion (PCP)	524.1043 MPa
Permissible contact stress gear (PCG)	526.8818 MPa
SHP = $\frac{PCP}{CSP} = .0315$	SHG = $\frac{PCG}{CSG} = .0345$
Conclusions	
จากการคำนวณ และเปรียบเทียบ ค่า SFP มีค่า > (SHP) ² สรุปได้ว่า ๗ รอบการใช้งานที่กำหนด Pinion มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
และ เมื่อเปรียบเทียบ ค่า SFG มีค่า > (SHG) ² สรุปได้ว่า ๗ รอบการใช้งานที่กำหนด Gear มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายแบบ แตกหัก	
บันทึกและพิมพ์	

กลับหน้าทบทวนข้อมูล

เลือกเฟืองชนิดใหม่ กลับหน้าหลัก ออกจากโปรแกรม

รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณรูปแบบความเสียหายของเฟืองคอกงอก

4.2 ความเหมาะสมกับผู้ใช้ (แบบประเมิน)

เพื่อให้โปรแกรมที่ทำออกมามีความถูกต้องสามารถใช้งานได้จริงผู้จัดทำจึงได้ทำแบบสอบถามนี้ขึ้นมา โดยแบ่งการทำแบบสอบถามออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกลุ่มที่เคยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองด้วยการคำนวณมือ และกลุ่มที่ไม่เคยวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองด้วยมือ ซึ่งระดับความพึงพอใจแสดงถึงจำนวนที่ผู้ทำแบบสอบถามเลือก ได้ผลการประเมินออกมาดังนี้ ตารางที่ 4.1 สรุปความคิดเห็นด้านการใช้งาน

ความคิดเห็นด้านการใช้งาน	ระดับความพึงพอใจ					รวมคะแนน (เต็ม 75) คิดเป็น %
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
	5	4	3	2	1	
1.มีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีความเสียหาย	1	2	11	1	-	64
2.ช่วยลดความผิดพลาดในการคำนวณ	3	9	3	-	-	80
3.ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานโปรแกรมเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ	9	6	-	-	-	92
4.ท่านมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีความเสียหายดีขึ้น	-	10	5	-	-	73
5.สามารถประยุกต์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบเฟืองได้จริง	2	11	2	-	-	80

ตารางที่ 4.2 สรุปความคิดเห็นด้านโปรแกรม

ความคิดเห็นด้านโปรแกรม	ระดับความพึงพอใจ					รวมคะแนน (เต็ม 50) คิดเป็น %
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
	5	4	3	2	1	
1.โปรแกรมใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	3	5	2	-	-	82
2.การออกแบบและจัดวางองค์ประกอบของโปรแกรมมีความเหมาะสม	1	5	4	-	-	74
3.ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้จะช่วยให้ท่านวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองได้ง่ายขึ้น	1	6	3	-	-	76
4.ท่านคิดว่าโปรแกรมนี้จะช่วยลดขั้นตอนการทำงานได้	2	6	2	-	-	80
5.การอธิบายความหมายของตัวแปรต่าง ๆ	7	3	-	-	-	94
6.ท่านคาดว่าจะสามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้งานได้จริง	2	5	3	-	-	78

4.3 สรุป

หลังจากทำโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองเพื่อให้โปรแกรมมีความถูกต้อง และสามารถใช้งาน ได้จริงจึงได้ทำแบบสอบถามหลังการใช้งานโปรแกรมโดยเลือกให้ทดลองใช้โปรแกรมแล้วทำแบบสอบถามจำนวน 25 คน โดยเน้นไปที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งส่วนใหญ่ไม่เคยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองเลย ผลปรากฏว่า คนที่เคยวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองโดยวิธีคำนวณมือมีทั้งหมด 15 คน ซึ่งหลังจากที่ได้ทดลองใช้โปรแกรมและทำแบบสอบถามแล้วพบว่าผู้ทำแบบสอบถาม 92 เปอร์เซ็นต์ให้ความสำคัญในเรื่องของความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานโปรแกรมเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ และ 80 เปอร์เซ็นต์ เห็นว่าสามารถลดความคิดพลาดในการคำนวณได้ สิ่งที่ต้องมีการปรับปรุง คือความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีความเสียหาย อาจจะต้องเพิ่มเนื้อหาภายในโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความเข้าใจมากขึ้น ซึ่งคนที่เคยคำนวณความเสียหายด้วยมือจำนวน 15 คนมีความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรม ส่วนคนที่ไม่เคยวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองโดยวิธีคำนวณมือมีทั้งหมด 10 คน หลังจากได้ทดลองใช้โปรแกรมแล้ว 94 เปอร์เซ็นต์ให้ความสำคัญกับการอธิบายความหมายของตัวแปรต่างๆและ 82 เปอร์เซ็นต์เห็นว่าโปรแกรมใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน สิ่งที่ต้องปรับปรุงในเรื่องของการออกแบบและจัดวางองค์ประกอบ อาจจะเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงการจัดวางองค์ประกอบใหม่เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ซึ่งคนที่ไม่เคยคำนวณความเสียหายด้วยมือจำนวน 10 คนมีความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรม

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงานพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรม GeaRox_2 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟือง ทางผู้จัดทำได้จัดทำโปรแกรมนี้อขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวก ลดระยะเวลาและลดความผิดพลาดในการคำนวณให้แก่ผู้ใช้งานที่ต้องการวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟือง โดยโปรแกรม GeaRox_2 ได้พัฒนามาจากโปรแกรม GeaRox [1] ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายเกี่ยวกับเฟืองในหน่วย U.S.customary โดยสามารถวิเคราะห์เฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง โดยโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นมานี้ใช้หลักสมการวิเคราะห์ความเสียหายตามมาตรฐานของ AGMA

จากการศึกษาสมการและตัวแปรเพื่อนำไปใช้ออกแบบและเขียนโปรแกรม โดยนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการเขียนโปรแกรม ทำให้ได้โปรแกรม GeaRox_2 ที่สามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอก ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดจาก โมเมนต์ดัด (Bending) ทำให้เกิดความเสียหายแบบถ้ำบริเวณผิวฟัน (Pitting) หรือการกระแทกที่ผิวฟันทำให้เกิดการสึกหรอ และเปรียบเทียบค่า safety factor ว่าเฟืองชนิดนั้นๆ จะเกิดความเสียหายในลักษณะใด ซึ่งเฟืองที่นำมาคำนวณต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของ AGMA คือเป็นเฟืองที่มีมุมกดคั่นที่ 20° และเป็นเฟืองฟันลึกเต็ม โดยโปรแกรม GeaRox_2 มีสิ่งที่พัฒนาเพิ่มมาจากโปรแกรม GeaRox ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ผลการคำนวณเฟืองทั้ง 3 ชนิดมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0-2% โดยเทียบจากแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14 และบทที่ 15 [2] และมีการจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจหลังการใช้งาน โดยผลที่ได้มีความพึงพอใจพอสมควร จึงทำให้สรุปได้ว่าโปรแกรม GeaRox_2 สามารถนำไปใช้งานหรือใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในอนาคตนั้น เพื่อให้โปรแกรม GeaRox_2 มีประสิทธิภาพและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงควรที่จะมีการพัฒนาโปรแกรมต่อไปโดยเพิ่มส่วนในการคำนวณชนิดของเฟืองเพื่อให้สามารถวิเคราะห์เฟืองในรูปแบบต่างๆได้ เช่น เฟืองเกลียวหนอน นอกจากนี้ควรเพิ่มรูปแบบของโปรแกรมให้สามารถเปลี่ยนหน่วยการใช้งานได้ เพื่อในอนาคตโปรแกรมในลักษณะนี้ จะได้ถูกส่งเสริมและมีบทบาทในการช่วยออกแบบและวิเคราะห์เฟืองในรูปแบบอื่นๆต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] นายอรรถพล งามสม, นายปัญญา อัมพฤกษ์, นายปิยะภัทร เขียมประสงค์. Software for Gear Failure Analysis. ปีการศึกษา 2551
- [2] Budynas.R.G, and Nisbett..J.K.(2008) Shigley's Mechanical Engineering Design, ISBN 978-007-125763-3
- [3] Budynas.R.G, and Nisbett..J.K.(2548). กํารออีกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. แปลโดย น.อ.ภาณุฤทธิ์ บุคตะหัตต์. ISBN 974-209-052-1
- [4] RACKOV.M, KUZMANOVIC.S,(1920) "ANALYSIS OF THE MOST COMMON FAILURES OF GEARS IN UNIVERSAL GEAR REDUCERS". annal
- [5] Starzhinskii.V.E, Soliterman.Y.L, Goman.A.M, Osipenko.S.A, (2008) "Forms of Damage to Gear Wheels:Typology and Recommendations on Prevention" Journal of Friction and Wear, Vol. 29, No. 5, pp. 340–353.
- [6] ฉันทวุฒิ พีชผล, พิชิต สันติกุลานนท์, พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร. (2550) Visual Basic Version 6.0. กรุงเทพมหานคร, บริษัท โปรวิชั่น.
- [7]<http://www.gears-manufacturers.com/gear-types.html>
- [8]<http://www.tucows.com>
- [9]<http://3d2f.com/programs>
- [10]<http://www.tumcivil.com>



สมการความเค้นของ AGMA (AGMA Stress Equations)

สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นดัด (Bending stress) ของเฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} \quad (1)$$

เมื่อ

(W^t) = โหลดในแนวสัมผัสที่ส่งกำลัง

$$W^t = \frac{H}{V_{et}} \quad (2)$$

$$V_{et} = \frac{\pi d_p n_p}{60} \quad (3)$$

(K_o) = แฟกเตอร์แก้ไขโหลดเกินกำลัง

$$K_o = 1 \quad (4)$$

(K_v) = ไดนามิกแฟกเตอร์

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200v}}{A} \right)^B \quad (5)$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (6)$$

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \quad (7)$$

(K_s) = แฟกเตอร์แก้ไขขนาด

$$(K_s)_P = 1.192 \left(\frac{F \sqrt{Y_P}}{P} \right)^{0.0535} \quad (8)$$

$$(K_s)_G = 1.192 \left(\frac{F \sqrt{Y_G}}{P} \right)^{0.0535} \quad (9)$$

IF $K_s < 1$ use $K_s = 1$

(b) = ความกว้างหน้าฟัน

(K_H) = แฟกเตอร์การกระจายตัวของโหลด

$$K_H = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pf} + C_{ma}C_e) \quad (10)$$

$$C_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{เฟืองที่ไม่มีการลบมุม} \\ 0.8 & \text{เฟืองที่มีการลบมุม} \end{cases} \quad (11)$$

$$C_{pf} = \begin{cases} \frac{F}{10d} - 0.025 & , F \leq 1in \\ \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F & , 1 < F \leq 17in \\ \frac{F}{10d} - 0.1109 + 0.0207F - 0.000228F^2 & , 17 < F \leq 40in \end{cases} \quad (12)$$

ในกรณีที่ค่า $F/(10d) < 0.05$ ให้ใช้ $F/(10d) = 0.05$

$$C_{pm} = \begin{cases} 1 & S_1/S < 0.175 \\ 1.1 & S_1/S \geq 0.175 \end{cases} \quad (13)$$

$C_{ma} = A + BF + CF^2$ สำหรับค่า A, B, C ใช้ตาราง 14 ภาคผนวก ข

$$C_e = \begin{cases} 0.8 & \text{สำหรับเฟืองที่มีการปรับแต่ง} \\ 1 & \text{สำหรับเฟืองที่ไม่มีการปรับแต่ง} \end{cases} \quad (14)$$

(K_B) = แฟกเตอร์ขอบความหนา

$$m_B = \frac{t_R}{h_t} \quad (15)$$

$$K_B = \begin{cases} 1.6 \ln \frac{2.242}{m_B} & m_B < 1.2 \\ 1 & m_B \geq 1.2 \end{cases} \quad (16)$$

(m_t) = เมตริกซ์โมดูล

(Y_J) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิต ซึ่งรวมความหนาแน่นที่เว้า โคนพื้นไว้แล้ว

สมการความเค้นดัดที่ยอมรับได้ (σ_{all})

$$\sigma_{all} = \frac{S_t}{S_F} \frac{Y_N}{Y_\theta Y_Z} \quad (17)$$

(S_t) = ความต้านแรงคัดของ AGMA

(Y_N) = แฟกเตอร์แก๊วรอบการรับความเค้นดัด

(Y_θ) = แฟกเตอร์แก๊วมุมหมุน

(Y_Z) = แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือ

$$Y_Z = \begin{cases} 0.658 - 0.0759 \ln(1 - R) & , 0.5 < R < 0.99 \\ 0.50 - 0.109 \ln(1 - R) & , 0.99 \leq R \leq 0.9999 \end{cases} \quad (18)$$

(S_F) = แฟกเตอร์ความปลอดภัยของ AGMA, อัตราส่วนความเค้น

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (Y_\theta Y_z)}{\sigma} \quad (19)$$

สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นสัมผัส (Contact stress) ของเฟืองฟันตรง และเฟืองฟันเฉียง

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H Z_R}{d_{w1} b Z_I}} \quad (20)$$

(Z_E) = สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น

(Z_R) = แฟกเตอร์สภาพพื้นผิวของฟันเฟือง

$$Z_R = 1$$

(21)

(d_{w1}) = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์ของพีเนียน

(Z_I) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานพิททิง

$$Z_I = \begin{cases} \frac{\cos \phi_t \sin \phi_t}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1} & \text{external} \\ \frac{\cos \phi_t \sin \phi_t}{2m_N} \frac{m_G}{m_G - 1} & \text{internal} \end{cases} \quad (22)$$

$$P_N = P_n \cos \phi_n = \frac{\pi}{P_n} \cos \phi_n \quad (22.1)$$

$$r_b = r \cos \phi_t \quad (22.2)$$

สมการความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้ ($\sigma_{c,all}$)

$$\sigma_{c,all} = \frac{S_c Z_N Z_w}{S_H Y_\theta Y_z} \quad (23)$$

(S_c) = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA

(Z_N) = แฟกเตอร์แก๊วรอบการรับความเค้นสัมผัส

(Z_w) = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิททิง

(S_H) = แฟกเตอร์ความปลอดภัยของ AGMA, อัตราส่วนความเค้น

$$S_H = \frac{S_c Z_N Z_w / (Y_\theta Y_z)}{\sigma_c} \quad (24)$$

สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นดัด (Bending stress) ของเฟืองคอกจอก

$$\sigma_F = \frac{1000W^t K_A K_V Y_x K_{H\beta}}{b \frac{m_{et}}{Y_\beta Y_J}} \quad (25)$$

เมื่อ

(W^t) = โหลดในแนวสัมผัสที่ส่งกำลัง

$$W^t = \frac{2T}{d_{av}} \quad (26)$$

$$V_{et} = 5.236(10^{-5})d_1 n_1 \quad (27)$$

(K_A) = แฟกเตอร์แก้ไขโหลดเกินกำลัง

$$K_A = 1 \quad (28)$$

(K_V) = ไดนามิกแฟกเตอร์

$$K_V = \left(\frac{A + \sqrt{200v}}{A} \right)^B \quad (29)$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (30)$$

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \quad (31)$$

(Y_x) = แฟกเตอร์แก้ไขขนาด

$$Y_x = \begin{cases} 0.5 & m_{et} < 1.6 \text{ mm} \\ 0.4867 + 0.008339m_{et} & 1.6 \leq m_{et} \leq 50 \text{ mm} \end{cases} \quad (32)$$

$(K_{H\beta})$ = แฟกเตอร์การกระจายตัวของโหลด

$$K_{H\beta} = K_{mb} + 5.6(10^{-6})b^2 \quad (33)$$

$$K_{mb} = \begin{cases} 1.00 & \text{both members straddle - mounted} \\ 1.10 & \text{one member straddle - mounted} \\ 1.25 & \text{neither member straddle - mounted} \end{cases} \quad (34)$$

(b) = ความกว้างหน้าฟัน

(m_{et}) = เมตริกซ์โมดูล

(Y_β) = แฟกเตอร์ส่วนโค้งตามความยาวสำหรับด้านทานการตัด

$$Y_\beta = 1 \quad (35)$$

(Y_J) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิต ซึ่งรวมความหนาแน่นที่เว้าโคนฟันไว้แล้ว

สมการความเค้นดัดที่ยอมรับได้ (σ_{FP})

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_F \lim Y_{NT}}{S_F K_\theta Y_Z} \quad (36)$$

(Y_{NT}) = แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำของความเค้นสำหรับด้านทานการดัด

$$Y_{NT} = \begin{cases} 2.7 & 10^2 \leq n_L < 10^3 \\ 6.1514n_L^{-0.1182} & 10^3 \leq n_L < 3(10^6) \\ 1.3558n_L^{-0.0178} & 3(10^6) \leq n_L \leq 10^{10} \end{cases} \quad (37)$$

(K_θ) = แฟกเตอร์แก้อุณหภูมิ

$$K_\theta = \begin{cases} 1 & 0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 120^\circ\text{C} \\ \frac{(273 + \theta)}{393} & \theta > 120^\circ\text{C} \end{cases} \quad (38)$$

(Y_Z) = แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือ

$$Y_Z = K_R = \begin{cases} 0.50 - 0.25 \log(1 - R) & 0.99 \leq R \leq 0.999 \\ 0.70 - 0.15 \log(1 - R) & 0.90 \leq R < 0.99 \end{cases} \quad (39)$$

(S_F) = แฟกเตอร์ความปลอดภัยของ AGMA, อัตราส่วนความเค้น

$$S_F = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F} \quad (40)$$

สมการพื้นฐานสำหรับความเค้นสัมผัส (Contact stress) ของเฟืองคอกอก

$$\sigma_H = Z_E \left(\frac{1000W^t}{bdZ_1} K_A K_v K_{H\beta} Z_x Z_{xc} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (41)$$

(Z_E) = สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{v[(1 - v_1^2)/E_1 + (1 - v_2^2)/E_2]}} \quad (42)$$

(Z_1) = จำนวนฟันของพีเนียน

(Z_x) = แฟกเตอร์แก้ขนาดสำหรับด้านทานพิตทิง

$$Z_x = \begin{cases} 0.5 & b < 12.7 \text{ mm} \\ 0.00492b + 0.4375 & 12.7 \leq b \leq 114.3 \\ 1 & b > 114.3 \text{ mm} \end{cases} \quad (43)$$

(Z_{xc}) = แฟกเตอร์การลบมุมของฟันเฟือง

$$Z_{xc} = \begin{cases} 1.5 & \text{properly crowned teeth} \\ 2.0 & \text{or larger uncrowned teeth} \end{cases} \quad (44)$$

สมการความเค้นดัดที่ยอมรับได้ (σ_{FP})

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_H \lim Z_{NT} Z_W}{S_H K_\theta Z_Z} \quad (45)$$

(Z_{NT}) = แฟกเตอร์แกว่งรอบการรับความเค้นสัมผัส

$$Z_T = \begin{cases} 2 & 10^3 \leq n_L < 10^4 \\ 3.4822 n_L^{-0.0602} & 10^4 \leq n_L \leq 10^{10} \end{cases} \quad (46)$$

(Z_W) = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิททิง

$$Z_W = 1 + B_1 \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1 \right) \quad (47)$$

$$B_1 = 0.00898 (H_{B1}/H_{B2}) - 0.00829 \quad (48)$$

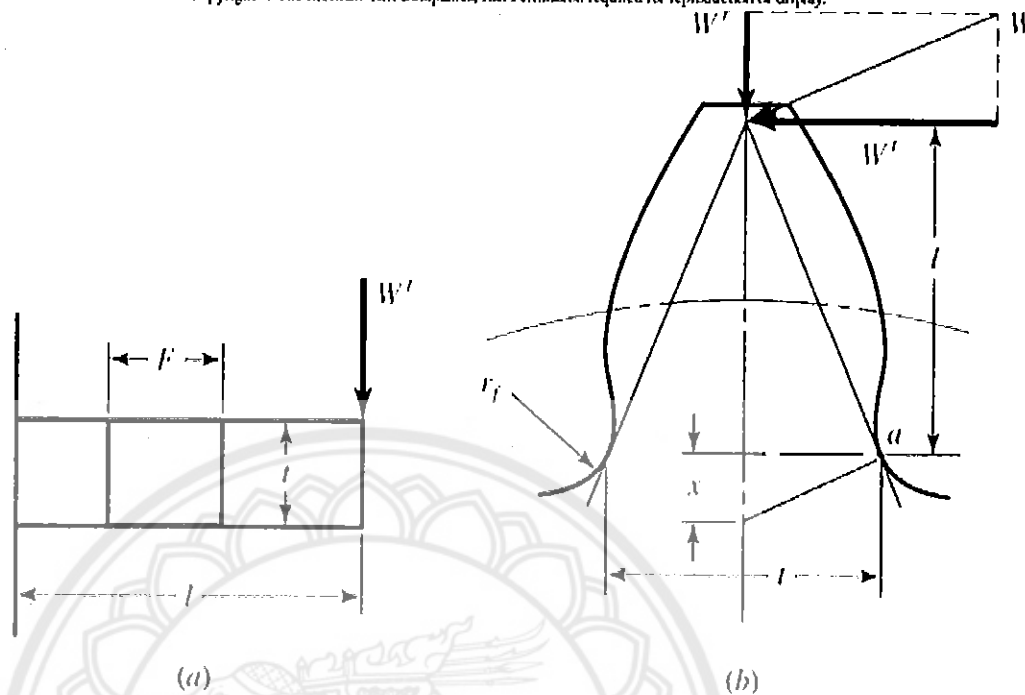
(S_H) = แฟกเตอร์ความปลอดภัยของ AGMA, อัตราส่วนความเค้น

$$S_H = \frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H} \quad (49)$$



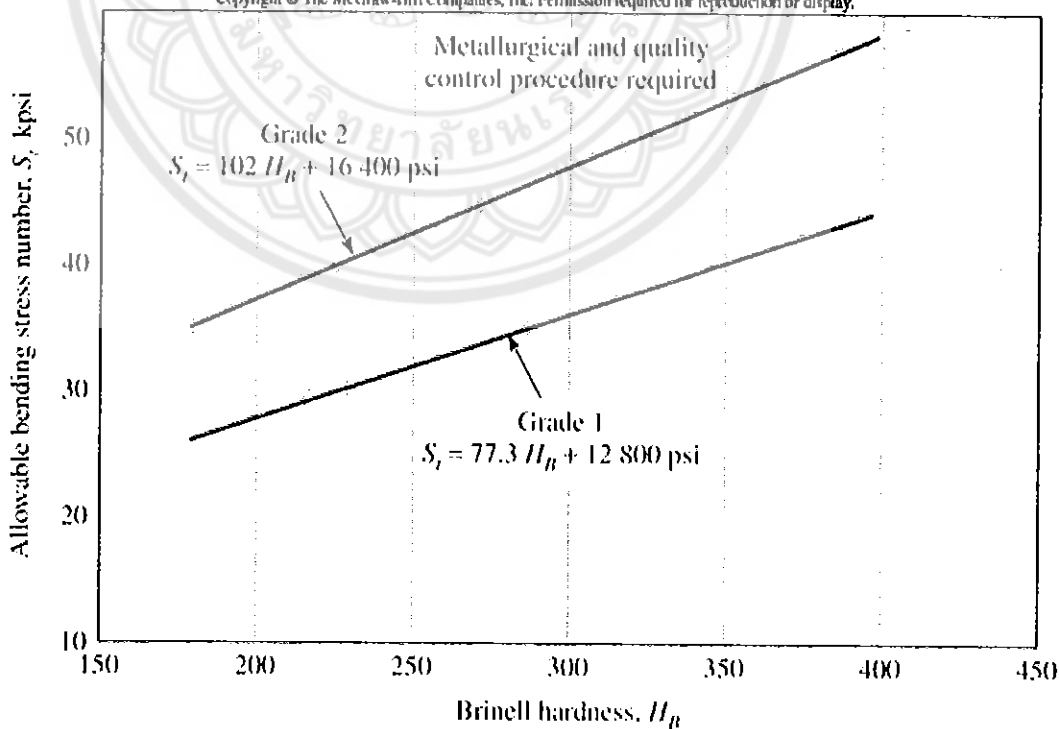
กราฟและตารางพื้นฐานของ AGMA

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

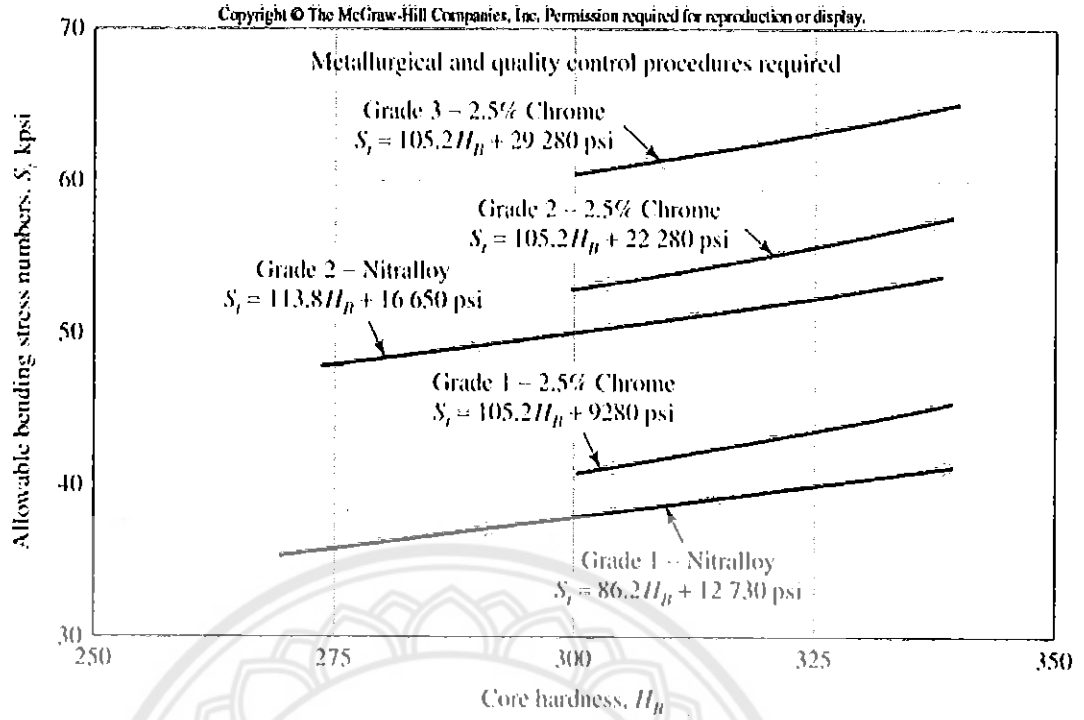


รูปที่ ข.1 อธิบายการเกิดความเค้นสูงสุดในฟันของเฟือง

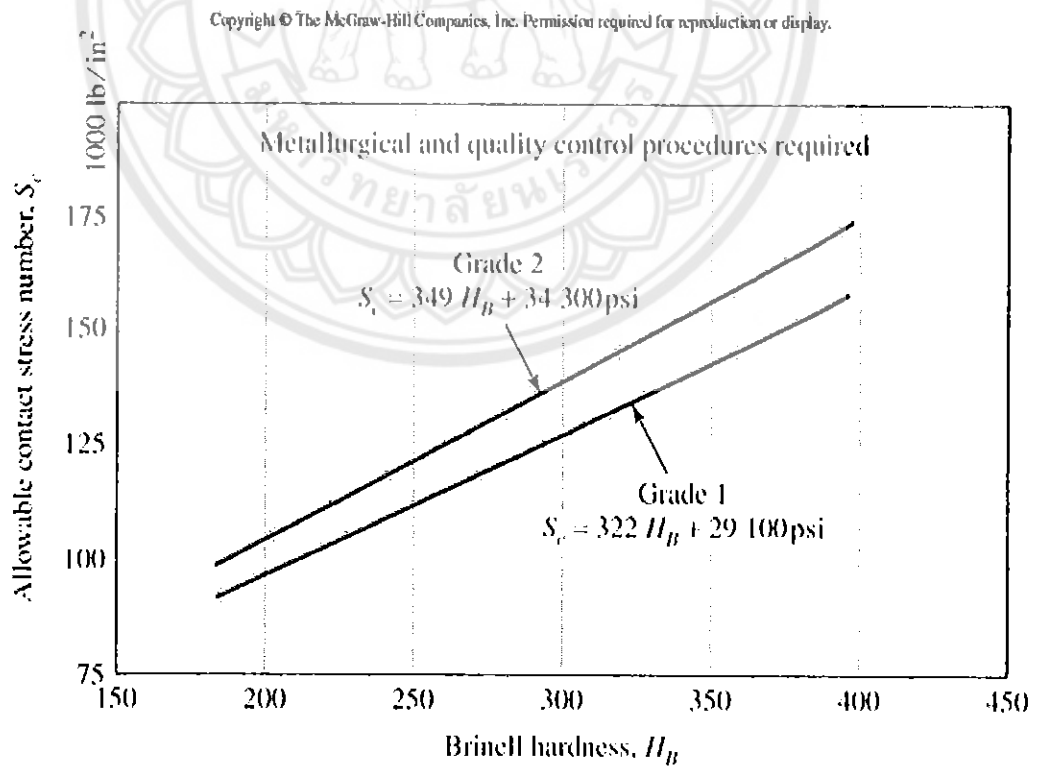
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



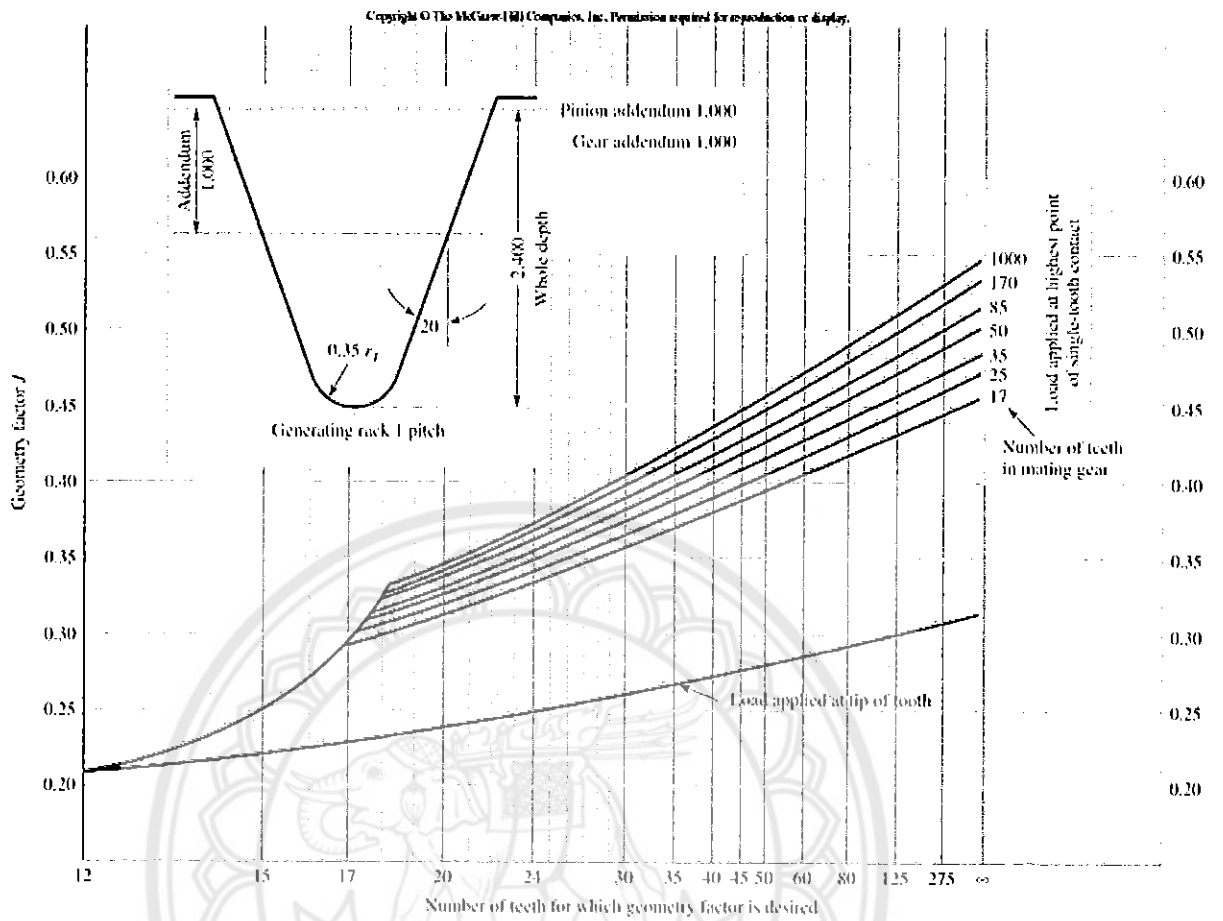
รูปที่ ข.2 ค่า S_t = ความต้านแรงค้ดของ AGMA



รูปที่ ข.3 ค่า S_t = ความต้านแรงดัดของ AGMA

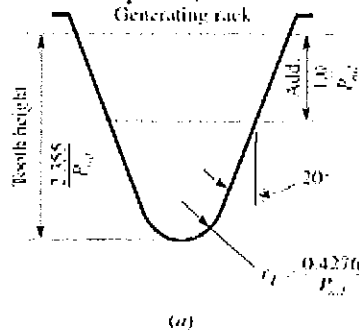


รูปที่ ข.4 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA



รูปที่ ข.5 (Y_f) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันตรง
ซึ่งรวมความหนาแน่นที่เว้าโคนฟันไว้แล้ว

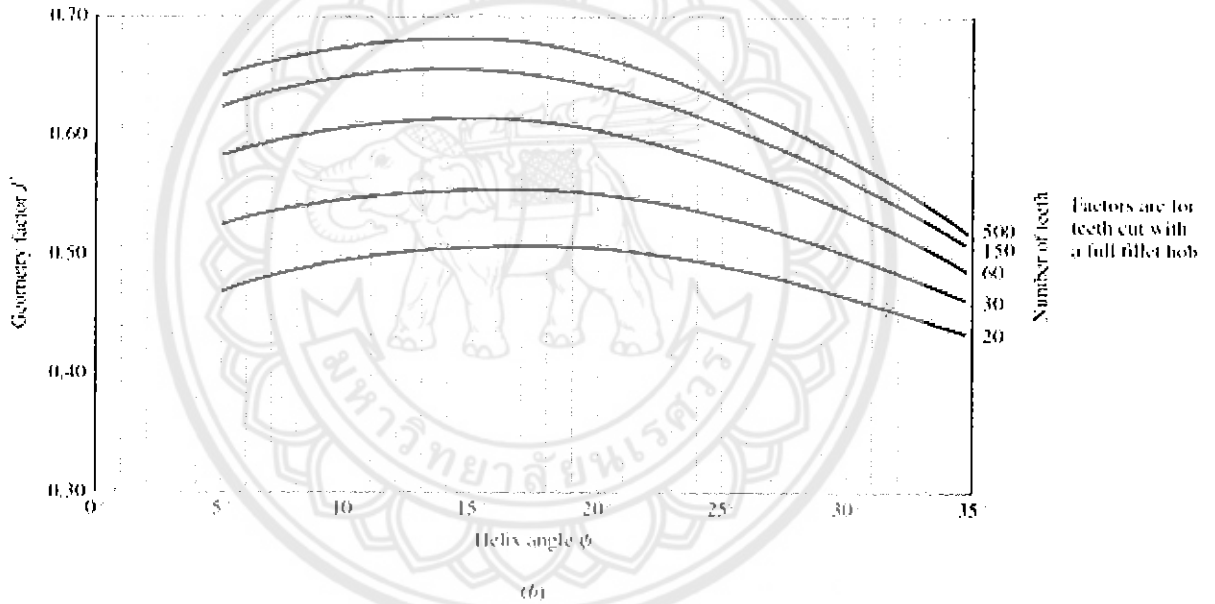
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



$$m_s = \frac{P_n}{0.95Z}$$

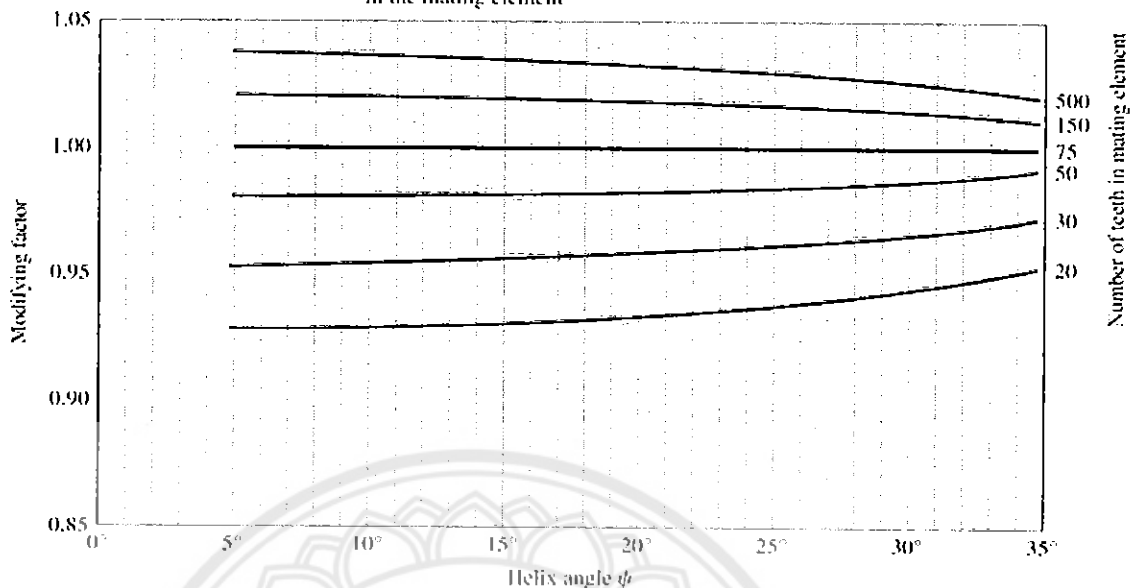
Value for Z is for an element of indicated numbers of teeth and a 15-tooth mate

Normal tooth thickness of pinion and gear tooth each reduced 0.024 in to provide 0.018 in total backlash for one normal diametral pitch



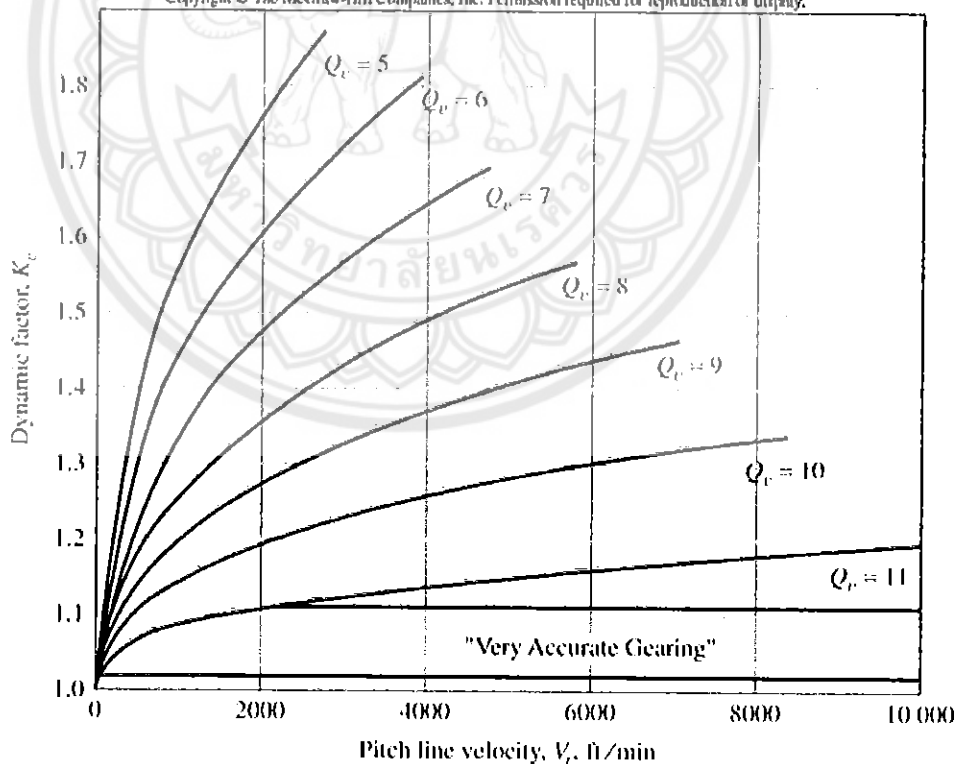
รูปที่ ข.6 (Y_f) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันเฉียง
ซึ่งรวมความหนาแน่นที่เว้าโคนฟันไว้แล้ว

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.
 The modifying factor can be applied to the J factor when other than 75 teeth are used in the mating element



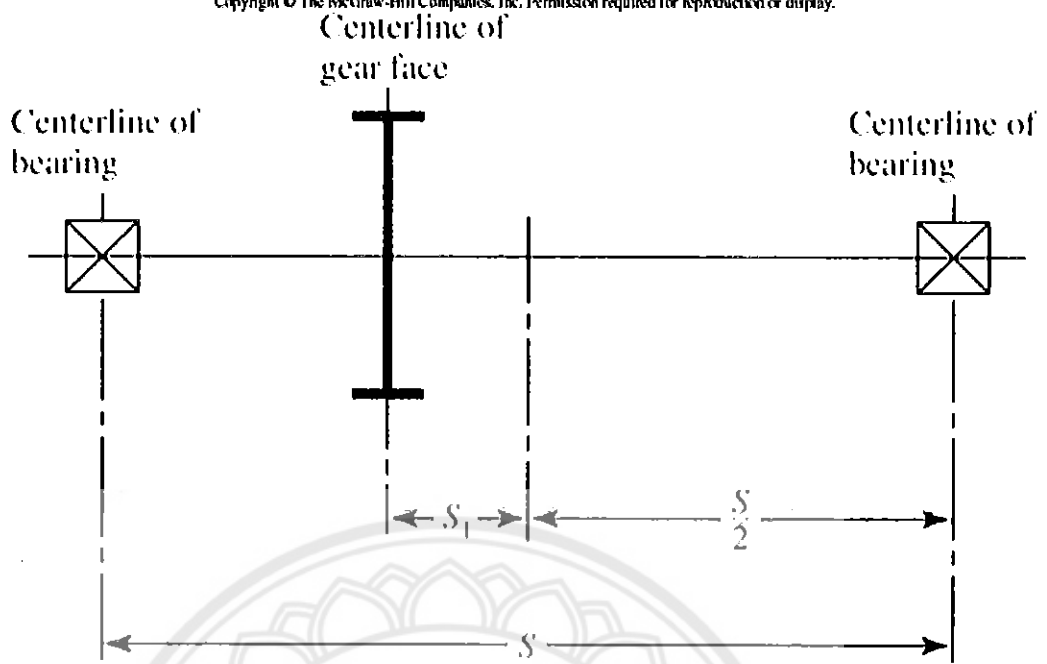
รูปที่ ข.7 (Y_J) = แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับเฟืองฟันเฉียง
 ซึ่งรวมความหนาแน่นที่เว้าโคนฟันไว้แล้ว

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



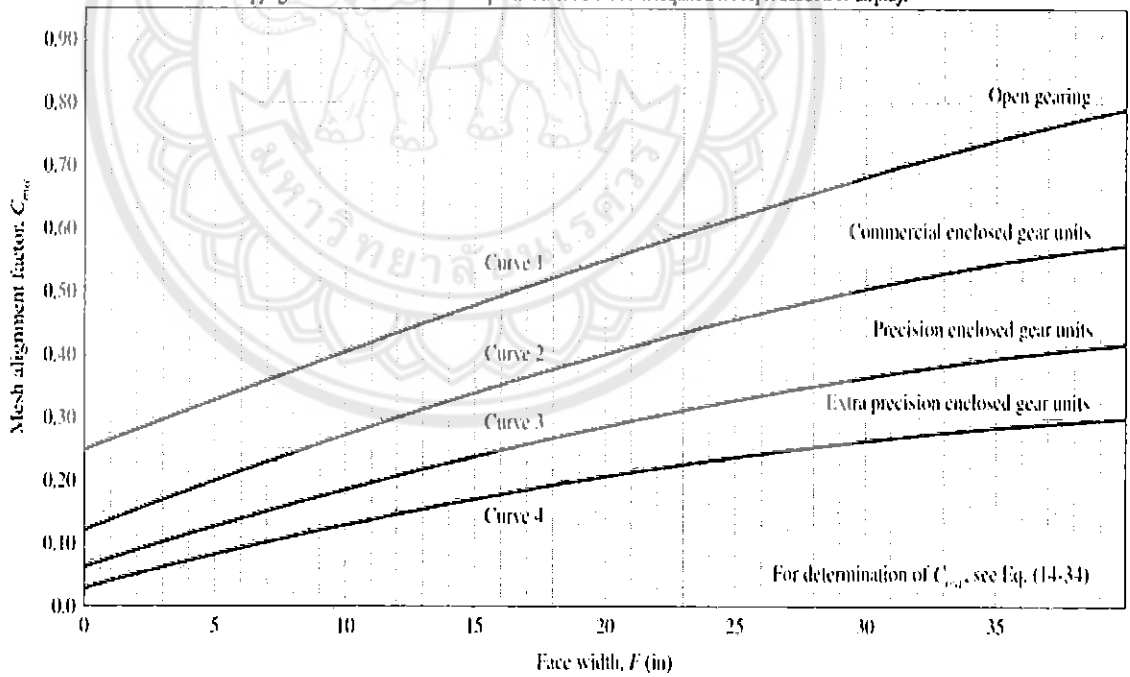
รูปที่ ข.8 (K_v) = ไดนามิกแฟกเตอร์

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

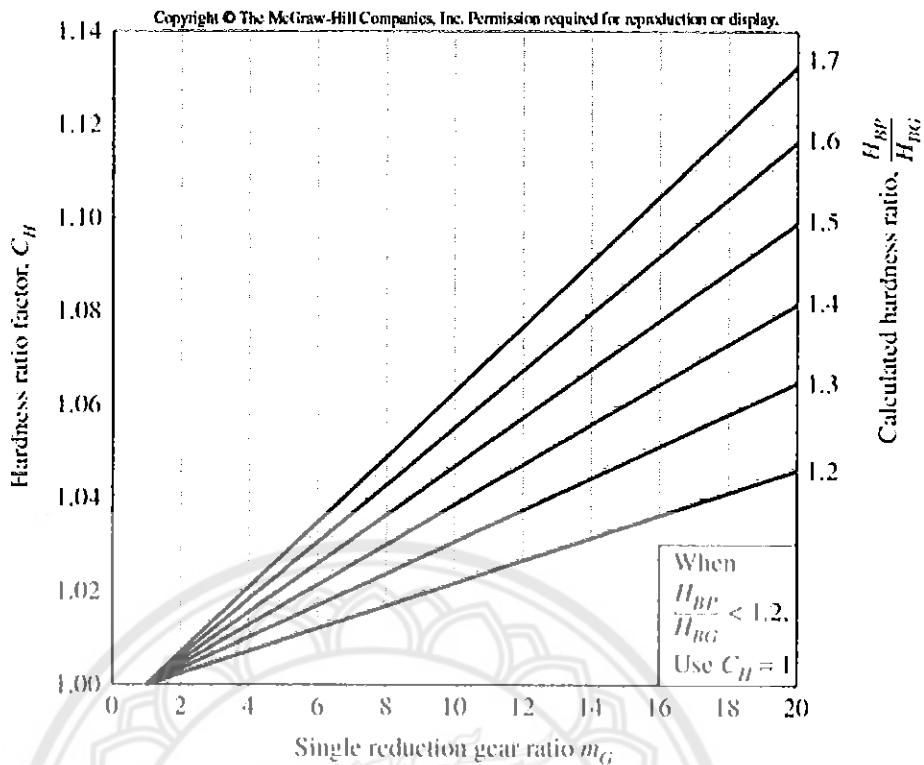


รูปที่ ข.9 ระยะ S และ S_1 ที่ใช้คำนวณค่า C_{pm}

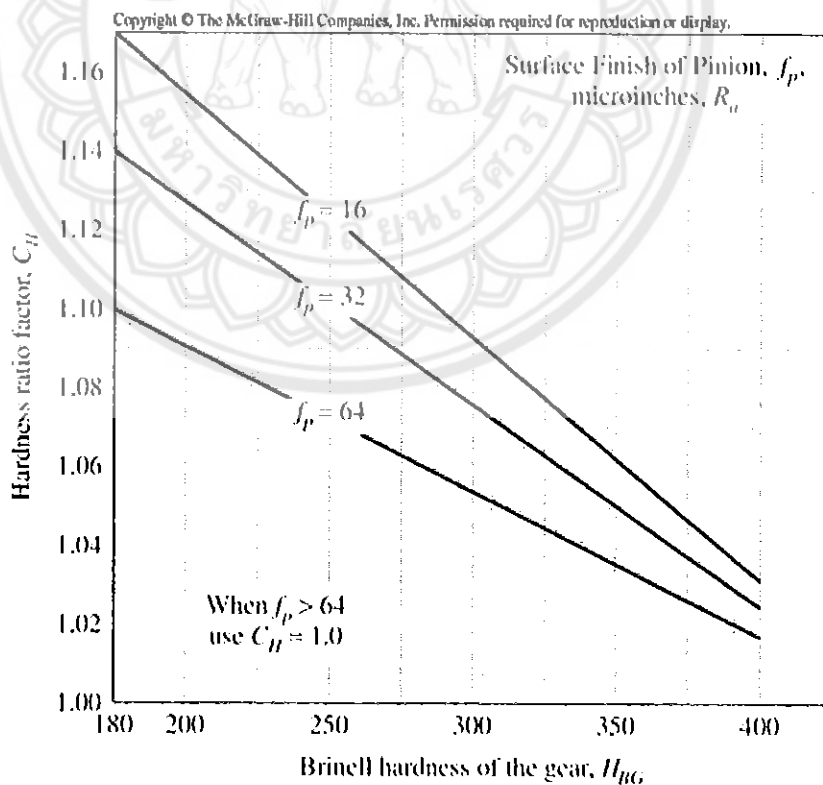
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



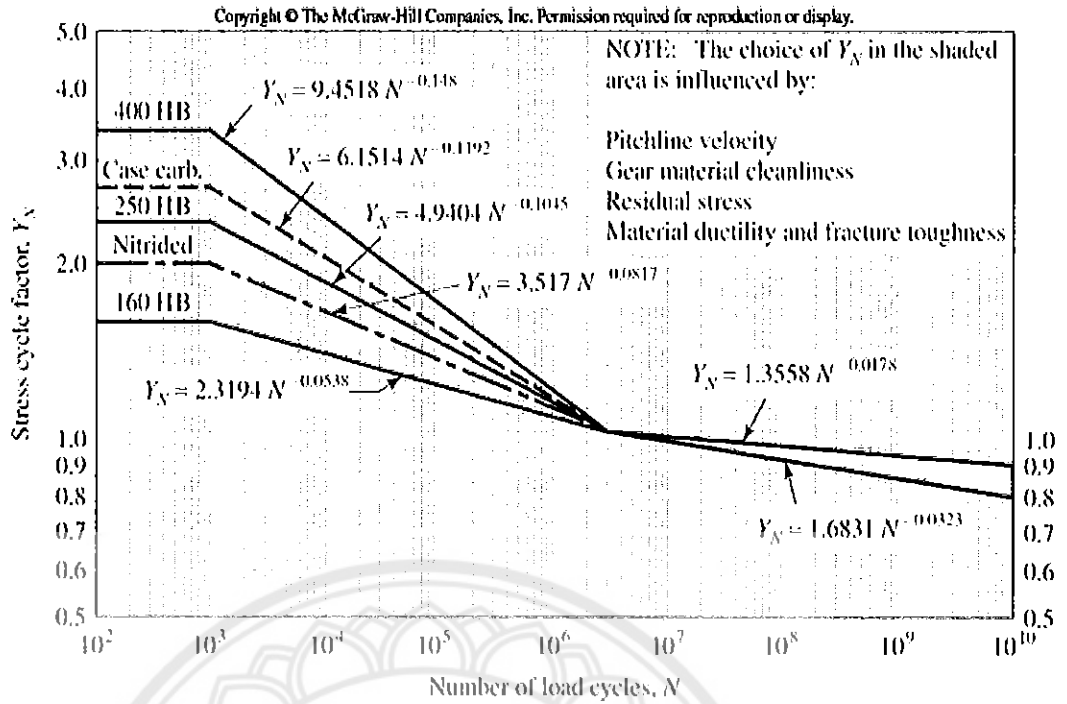
รูปที่ ข.10 C_{pm} = แฟกเตอร์การวางท่ามุมของพีเนียน



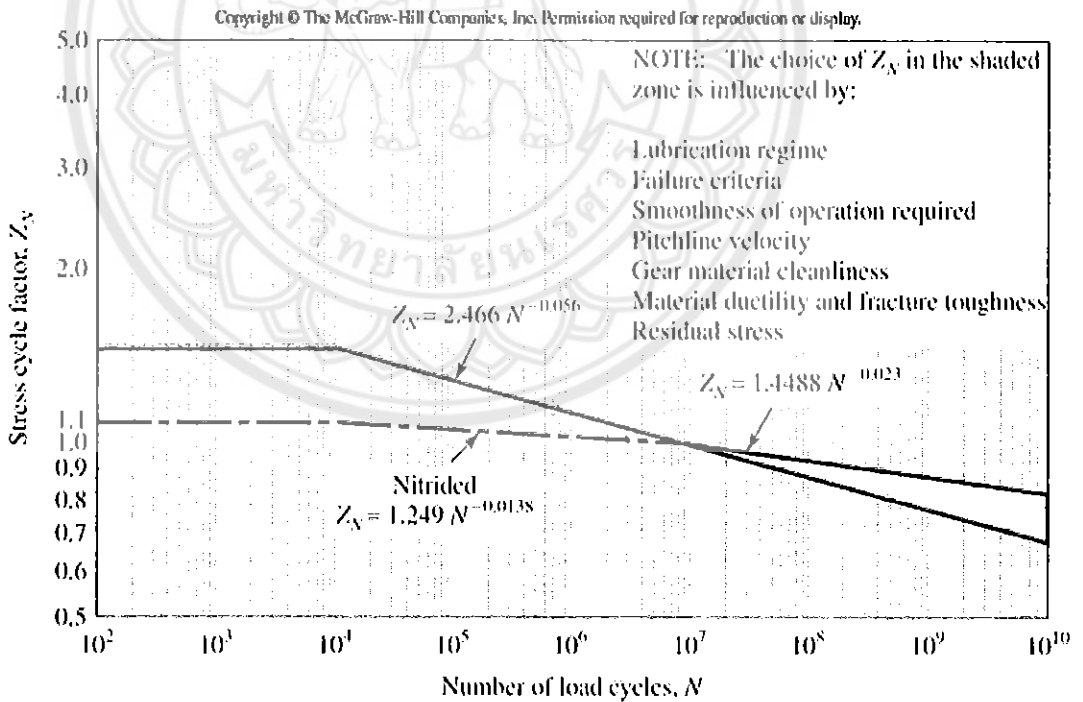
รูปที่ ข.11 Z_W = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิตทิง



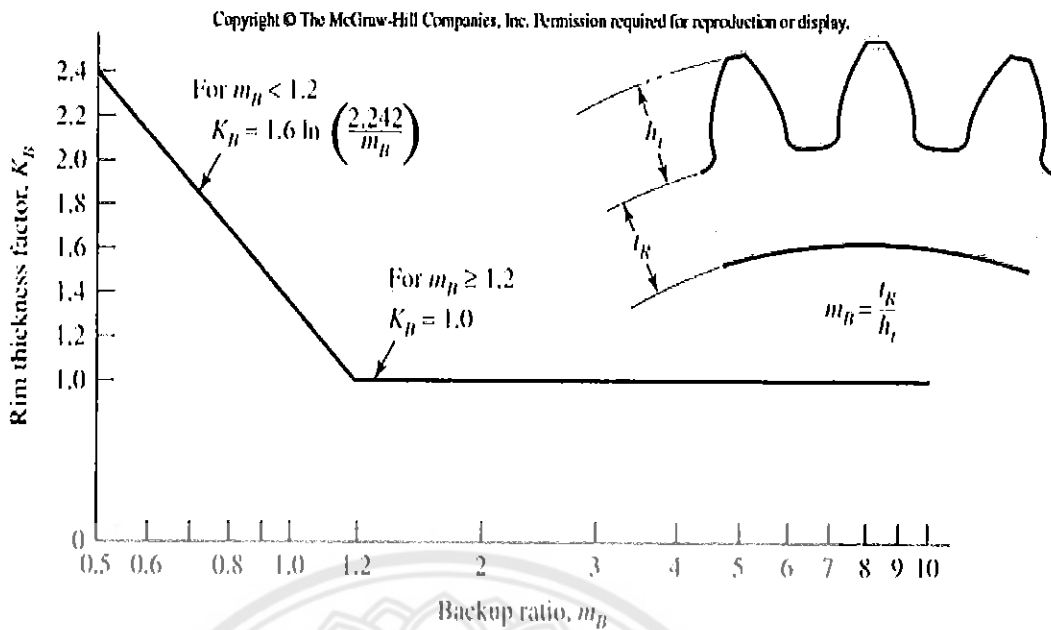
รูปที่ ข.12 Z_W = แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิตทิง



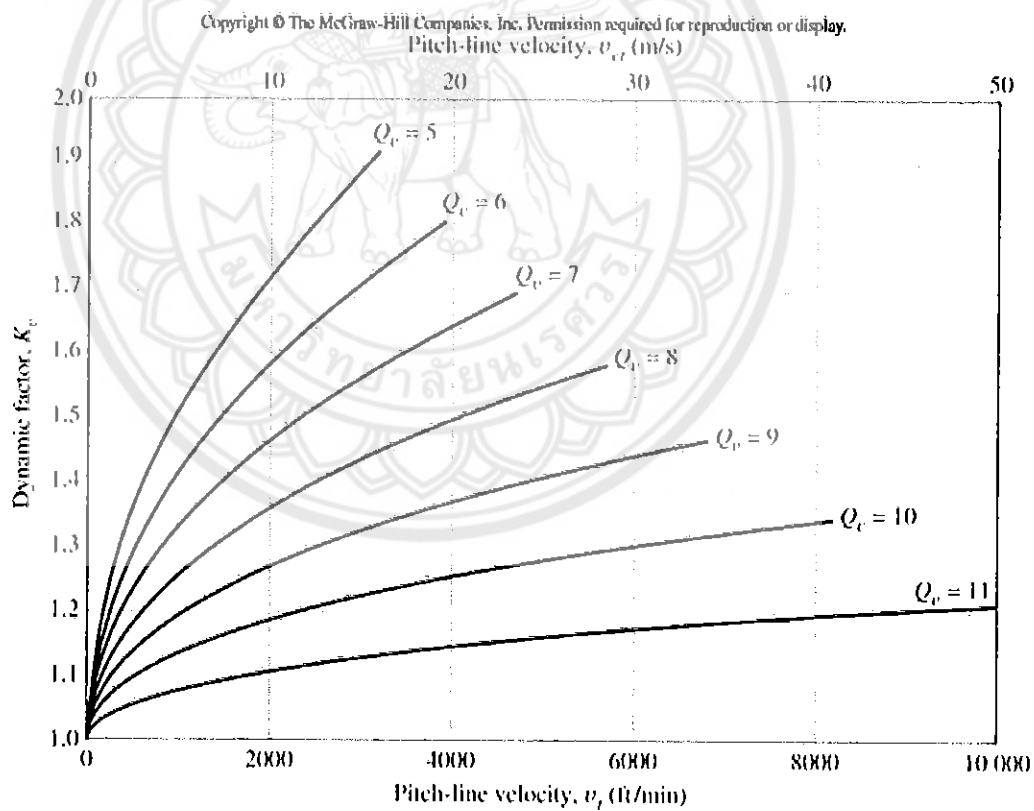
รูปที่ ข.13 Y_N = แฟกเตอร์แก่วงรอบการรับความเค้นคืด



รูปที่ ข.14 Z_N = แฟกเตอร์แก่วงรอบการรับความเค้นสัมผัส

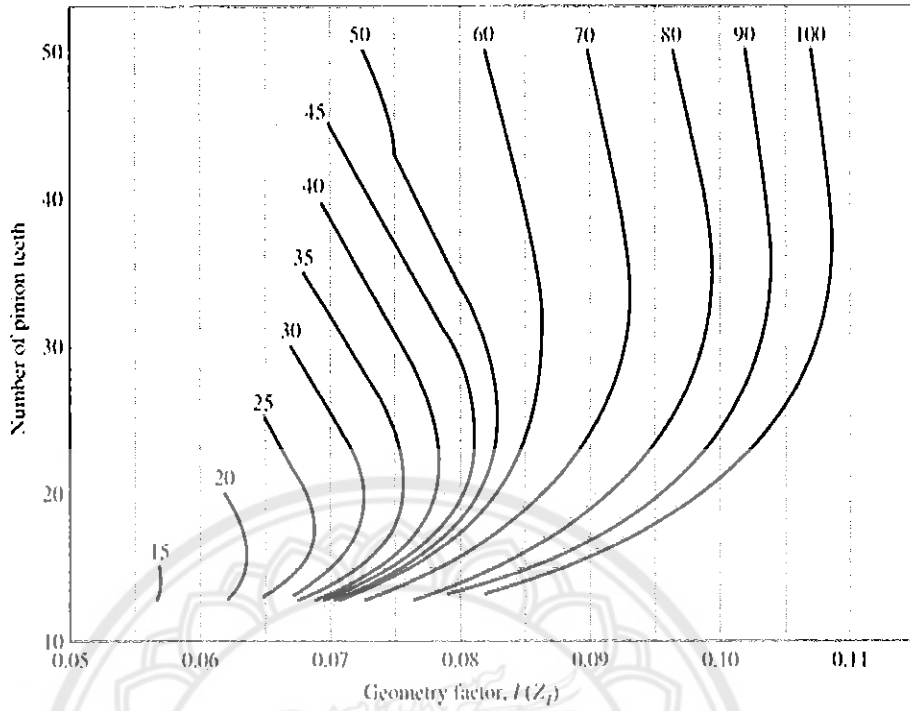


รูปที่ ข.15 (K_B) = แฟกเตอร์ขอบความหนา



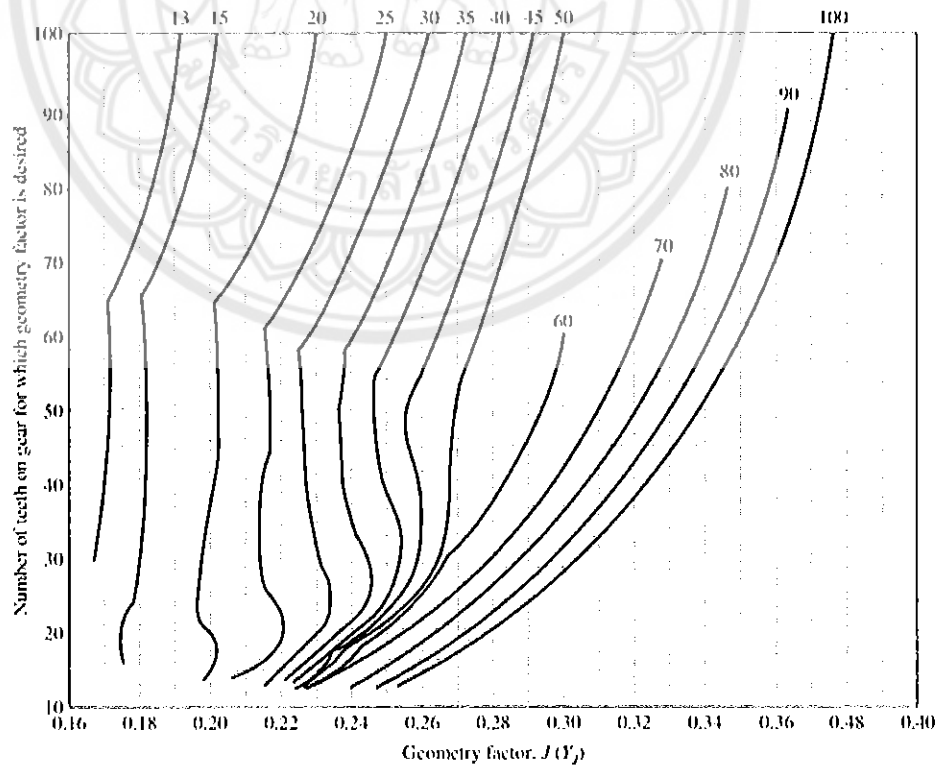
รูปที่ ข.16 (K_v) = ไดนามิกซ์แฟกเตอร์

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.
Number of gear teeth

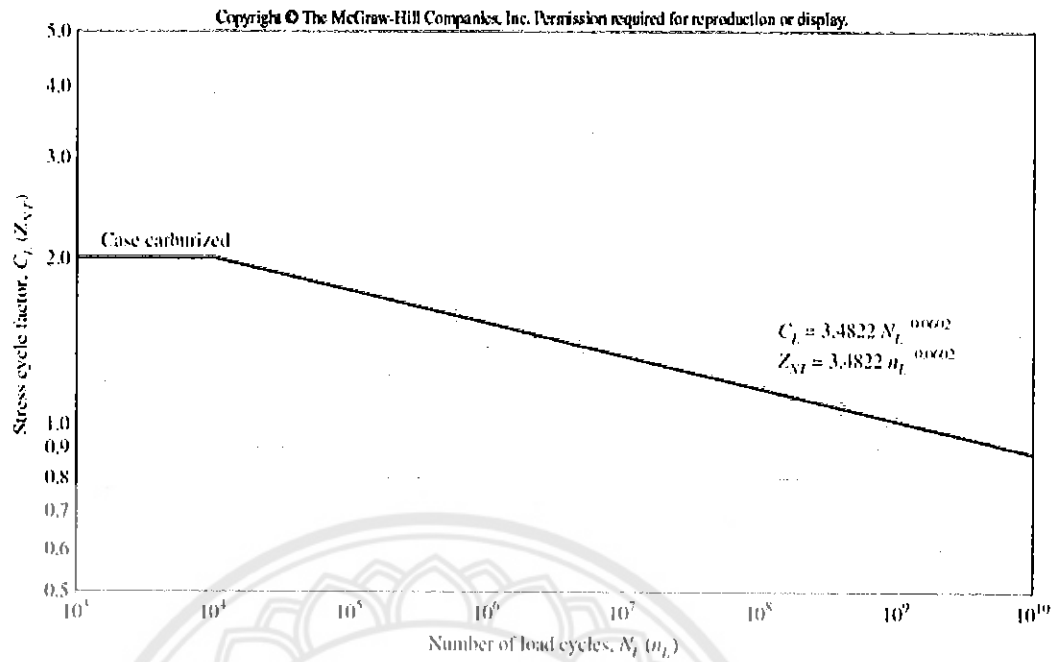


รูปที่ ข.17 (Z_f) = แฟกเตอร์เรขาคณิต

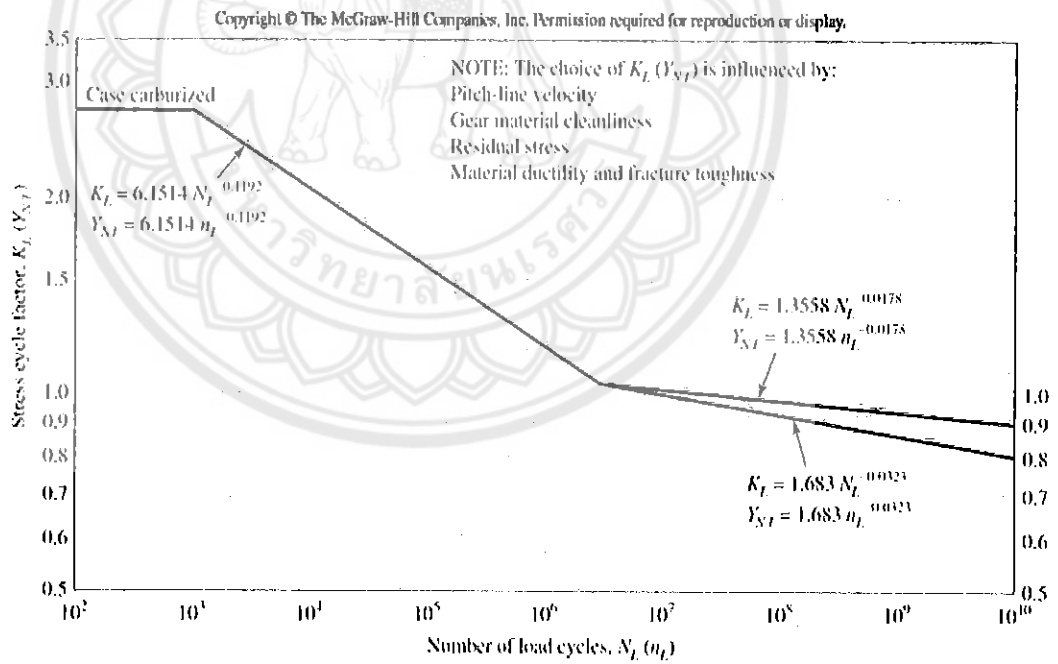
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.
Number of teeth in mate



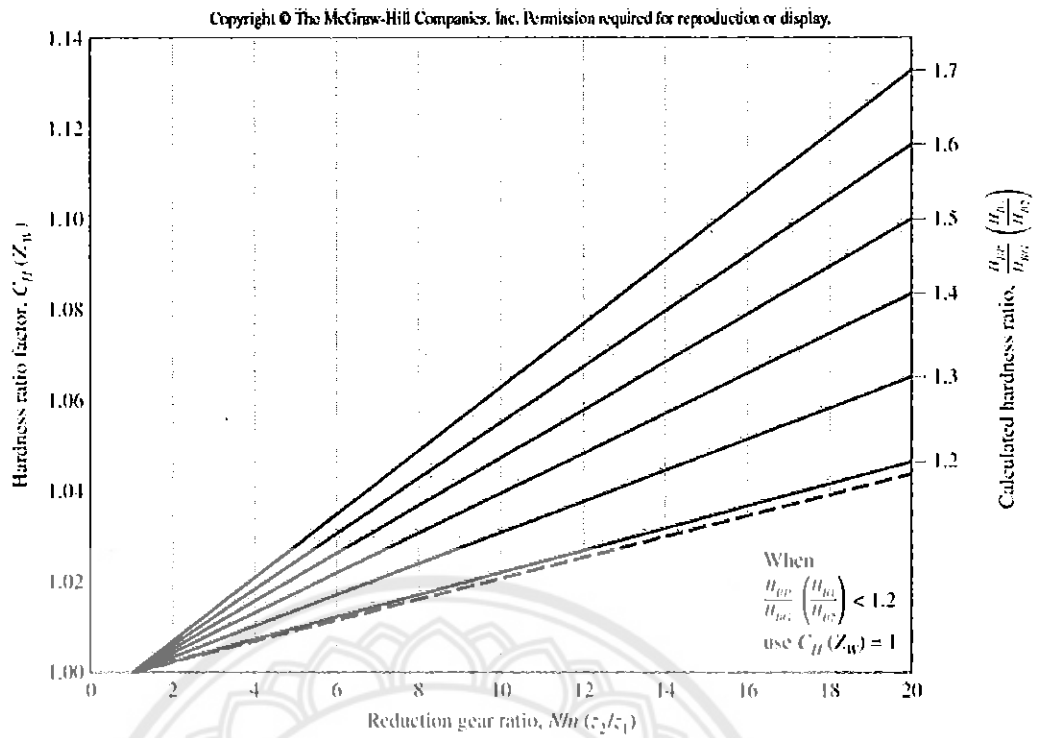
รูปที่ ข.18 (Y_f) = แฟกเตอร์เรขาคณิต



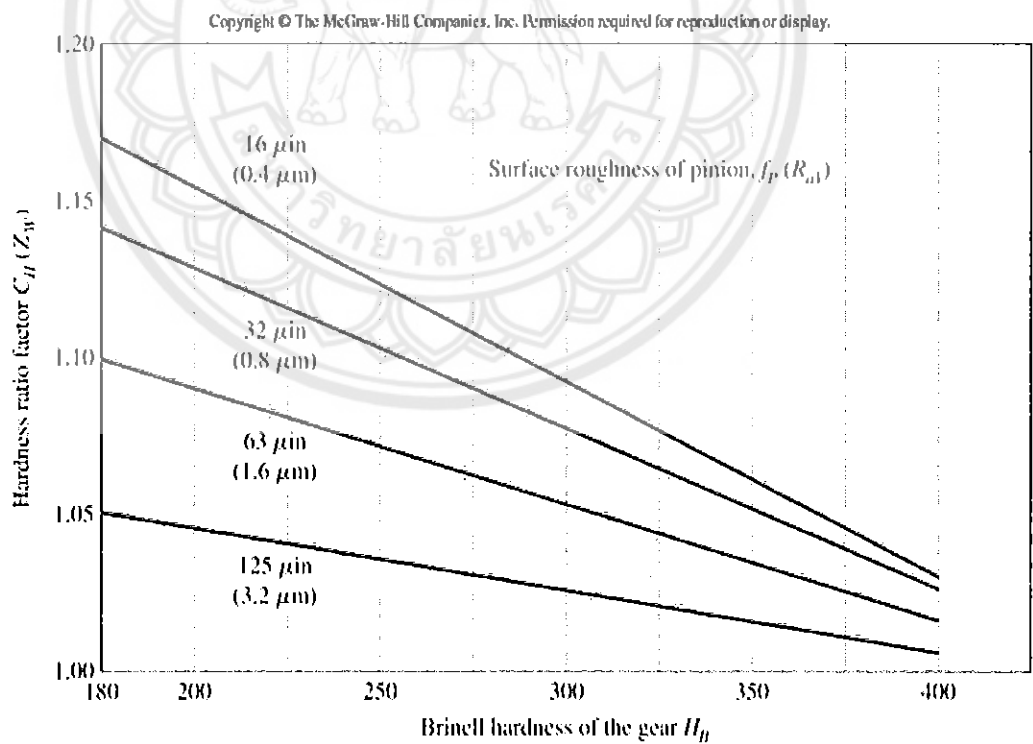
รูปที่ ข.19 (Z_{NT}) = แฟกเตอร์แก่วงรอบการรับความเค้นลัมผัส



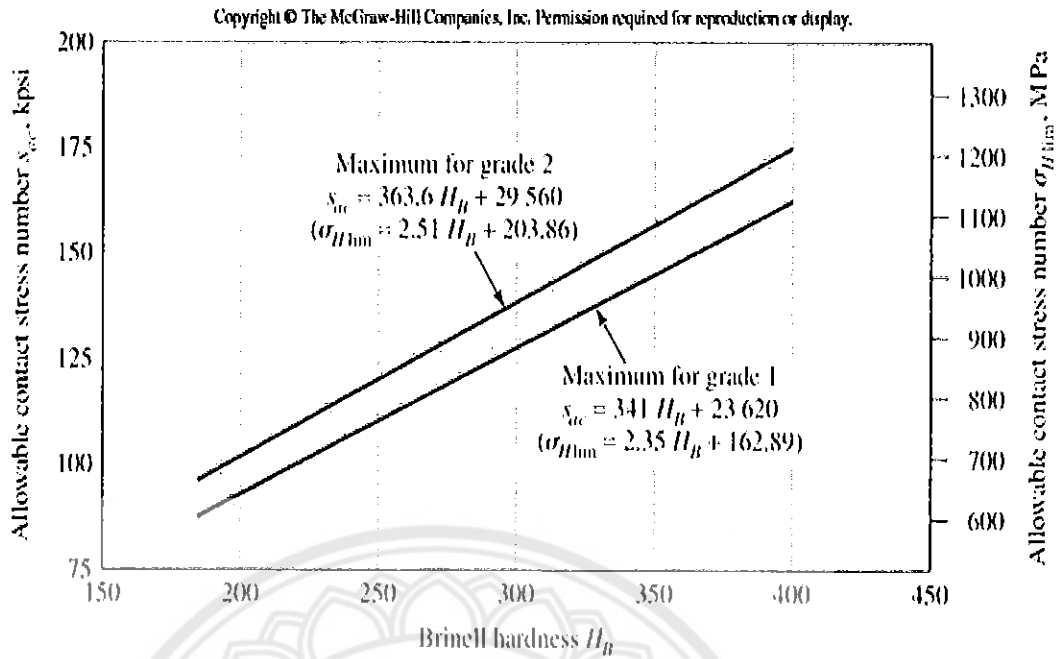
รูปที่ ข.20 (Y_{NT}) = แฟกเตอร์แก่วงรอบการกระทำของความเค้นสำหรับด้านทวนพิตทิง



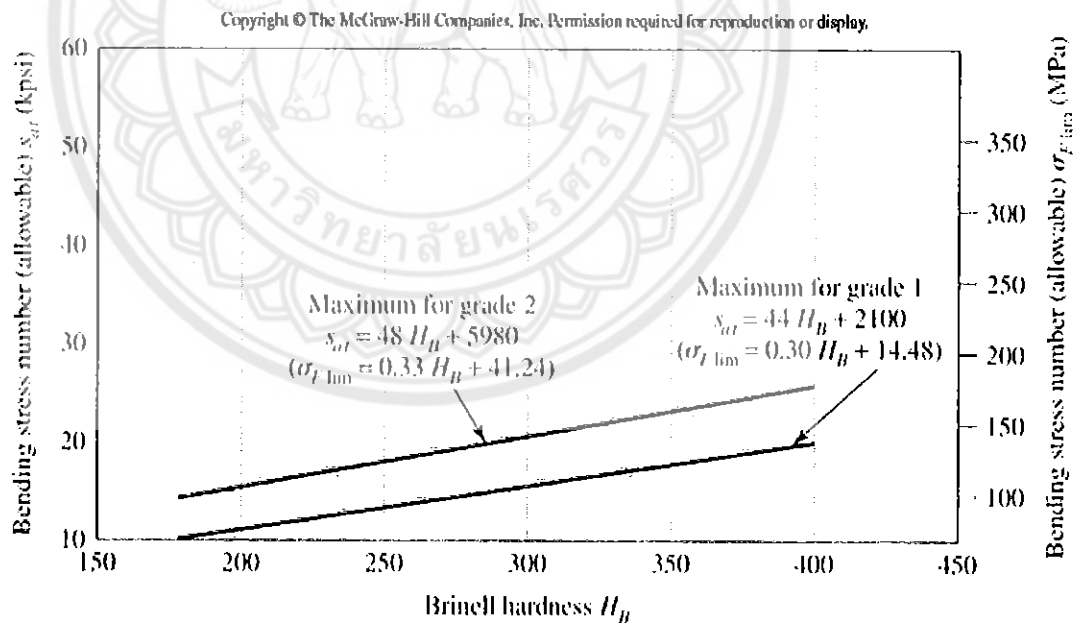
รูปที่ ข.21 (Z_w) = แฟกเตอร์แก้อัตราส่วนความแข็ง สำหรับพินเนียนและเฟืองที่ชุบแข็งตลอด



รูปที่ ข.22 (Z_w) = แฟกเตอร์แก้อัตราส่วนความแข็ง สำหรับพินเนียนที่ชุบผิวฟันแข็ง



รูปที่ ข.23 (σ_{Hlim}) = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้าเกรด 1 และเกรด 2



รูปที่ ข.24 (σ_{Flim}) = ความเค้นดัดที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้าชุบแข็งตลอดเกรด 1

และเกรด 2

ตารางที่ ข.1 ค่าแฟกเตอร์รูปร่าง Y สำหรับมุมกดคั่นในแนวตั้ง 20 องศาและฟันลึกเต็ม

Values of the Lewis Form Factor Y (These Values Are for a Normal Pressure Angle of 20°, Full-Depth Teeth, and a Diametral Pitch of Unity in the Plane of Rotation)	Number of Teeth		Number of Teeth	
	Teeth	Y	Teeth	Y
	12	0.245	28	0.353
	13	0.261	30	0.359
	14	0.277	34	0.371
	15	0.290	38	0.384
	16	0.296	43	0.397
	17	0.303	50	0.409
	18	0.309	60	0.422
	19	0.314	75	0.435
	20	0.322	100	0.447
	21	0.328	150	0.460
	22	0.331	300	0.472
	24	0.337	400	0.480
	26	0.346	Rack	0.485

ตารางที่ ข.2 S_t = ความต้านแรงคัตของ AGMA

Table 14-3

Repeatedly Applied Bending Strength S_t at 10^7 Cycles and 0.99 Reliability for Steel Gears

Source: ANSI/AGMA 2001-D04.

Material Designation	Heat Treatment	Minimum Surface Hardness ¹	Allowable Bending Stress Number S_t , ² psi		
			Grade 1	Grade 2	Grade 3
Steel ³	Through-hardened	See Fig. 14-2	See Fig. 14-2	See Fig. 14-2	—
	Flame ⁴ or induction hardened ⁵ with type A pattern ⁶	See Table 8 ⁷	45 000	55 000	—
	Flame ⁴ or induction hardened ⁵ with type B pattern ⁶	See Table 8 ⁷	22 000	22 000	—
	Carburized and hardened	See Table 9 ⁸	55 000	65 000 or 70 000 ⁹	75 000
	Nitrided ^{10,11} (through-hardened steels)	83.5 HR15N	See Fig. 14-3	See Fig. 14-3	—
Nitralloy 135M, Nitralloy N, and 2.5% chrome (no aluminum)	Nitrided ^{12,13}	87.5 HR15N	See Fig. 14-4	See Fig. 14-4	See Fig. 14-4

Notes: See ANSI/AGMA 2001-D04 for references cited in notes 1–7.

¹Hardness to be equivalent to that at the root diameter in the center of the tooth space and face width.

²See tables 7 through 10 for major metallurgical factors for each stress grade of steel gears.

³The steel selected must be compatible with the heat treatment process selected and hardness required.

⁴The allowable stress numbers indicated may be used with the case depths prescribed in 16.1.

⁵See figure 17 for type A and type B hardness patterns.

⁶If bainite and microcracks are limited to grade 3 levels, 70,000 psi may be used.

⁷The overload capacity of nitrided gears is low. Since the shape of the effective S-N curve is flat, the sensitivity to shock should be investigated before proceeding with the design. [7]

⁸Tables 8 and 9 of ANSI/AGMA 2001-D04 are comprehensive tabulations of the major metallurgical factors affecting S_t and S_c of flame-hardened and induction-hardened (Table 8) and carburized and hardened (Table 9) steel gears.

ตารางที่ ข.3 S_t = ความต้านแรงค้ดของ AGMA

Table 14-4

Repeatedly Applied Bending Strength S_t for Iron and Bronze Gears at 10^7 Cycles and 0.99 Reliability
Source: ANSI/AGMA 2001-004.

Material	Material Designation ¹	Heat Treatment	Typical Minimum Surface Hardness ²	Allowable Bending Stress Number, S_t , ³ psi
ASTM A48 gray cast iron	Class 20	As cast	—	5000
	Class 30	As cast	174 HB	8500
	Class 40	As cast	201 HB	13 000
ASTM A536 ductile (nodular) iron	Grade 60-40-18	Annealed	140 HB	22 000-33 000
	Grade 80-55-06	Quenched and tempered	179 HB	22 000-33 000
	Grade 100-70-03	Quenched and tempered	229 HB	27 000-40 000
Bronze		Sand cast	Minimum tensile strength 40 000 psi	5700
	ASTM B-148 Alloy 954	Heat treated	Minimum tensile strength 90 000 psi	23 600

Notes:

¹See ANSI/AGMA 2004-B89, *Gear Materials and Heat Treatment Manual*.

²Measured hardness to be equivalent to that which would be measured at the root diameter in the center of the tooth space and face width.

³The lower values should be used for general design purposes. The upper values may be used when:

High quality material is used.

Section size and design allow maximum response to heat treatment.

Proper quality control is effected by adequate inspection.

Operating experience justifies their use.

ตารางที่ ข.4 คุณสมบัติป้คค้ที่ใช้ในการทำ Nitriding และค่าความแข็ง

Table 14-5

Nominal Temperature Used in Nitriding and Hardnesses Obtained

Source: Dale W. Dudley, *Handbook of Practical Gear Design*, rev. ed., McGraw-Hill, New York, 1984.

Steel	Temperature before nitriding, °F	Nitriding, °F	Hardness, Rockwell C Scale	
			Case	Core
Nitralloy 135*	1150	975	62-65	30-35
Nitralloy 135M	1150	975	62-65	32-36
Nitralloy N	1000	975	62-65	40-44
AISI 4340	1100	975	48-53	27-35
AISI 4140	1100	975	49-54	27-35
31 Cr Mo V 9	1100	975	58-62	27-33

*Nitralloy is a trademark of the Nitralloy Corp., New York.

ตารางที่ ข.5 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA

Table 14-6

Repeatedly Applied Contact Strength S_c at 10^7 Cycles and 0.99 Reliability for Steel Gears
Source: ANSI/AGMA 2001-004.

Material Designation	Heat Treatment	Minimum Surface Hardness ¹	Allowable Contact Stress Number, ² S_c , psi		
			Grade 1	Grade 2	Grade 3
Steel ³	Through hardened ⁴	See Fig. 14-5	See Fig. 14-5	See Fig. 14-5	—
	Flame ⁵ or induction hardened ⁵	50 HRC	170 000	190 000	—
		54 HRC	175 000	195 000	—
	Carburized and hardened ⁵	See Table 9 ⁶	180 000	225 000	275 000
	Nitrided ⁵ (through hardened steels)	83.5 HR15N	150 000	163 000	175 000
		84.5 HR15N	155 000	168 000	180 000
2.5% chrome (no aluminum)	Nitrided ⁵	87.5 HR15N	155 000	172 000	189 000
Nitralloy 135M	Nitrided ⁵	90.0 HR15N	170 000	183 000	195 000
Nitralloy N	Nitrided ⁵	90.0 HR15N	172 000	188 000	205 000
2.5% chrome (no aluminum)	Nitrided ⁵	90.0 HR15N	176 000	196 000	216 000

Notes: See ANSI/AGMA 2001-004 for references cited in notes 1–5.

¹Hardness to be equivalent to that at the start of active profile in the center of the face width.

²See Tables 7 through 10 for major metallurgical factors for each stress grade of steel gears.

³The steel selected must be compatible with the heat treatment process selected and hardness required.

⁴These materials must be annealed or normalized as a minimum.

⁵The allowable stress numbers indicated may be used with the case depths prescribed in 16.1.

⁶Table 9 of ANSI/AGMA 2001-004 is a comprehensive tabulation of the major metallurgical factors affecting S_c and S_f of carburized and hardened steel gears.

ตารางที่ ข.6 S_c = ความต้านทานแรงที่ผิวสัมผัสของ AGMA

Table 14-7

Repeatedly Applied Contact Strength S_c , 10^7 Cycles and 0.99 Reliability for Iron and Bronze Gears

Source: ANSI/AGMA 2001-004.

Material	Material Designation ¹	Heat Treatment	Typical Minimum Surface Hardness ²	Allowable Contact Stress Number, ³ S_c , psi
ASTM A48 gray cast iron	Class 20	As cast	—	50 000–60 000
	Class 30	As cast	174 HB	65 000–75 000
	Class 40	As cast	201 HB	75 000–85 000
ASTM A536 ductile (nodular) iron	Grade 60–40–18	Annealed	140 HB	77 000–92 000
		Quenched and tempered	179 HB	77 000–92 000
	Grade 100–70–03	Quenched and tempered	229 HB	92 000–112 000
	Grade 120–90–02	Quenched and tempered	269 HB	103 000–126 000
Bronze	—	Sand cast	Minimum tensile strength 40 000 psi	30 000
	ASTM B-148 Alloy 954	Heat treated	Minimum tensile strength 90 000 psi	65 000

Notes:

¹See ANSI/AGMA 2004-889, *Gear Materials and Heat Treatment Manual*.

²Hardness to be equivalent to that at the start of active profile in the center of the face width.

³The lower values should be used for general design purposes. The upper values may be used when:

High-quality material is used.

Section size and design allow maximum response to heat treatment.

Proper quality control is effected by adequate inspection.

Operating experience justifies their use.

ตารางที่ ข.7 $Z_E =$ แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับพิตทิง

Table 14-8

Basic Condition C, $Z_L = 1.0$ ($\sqrt{M_B}$) = 1.0 (see Table 14-7)

Pinion Material	Pinion Modulus of Elasticity E_p , psi (MPa) ^a	Gear Material and Modulus of Elasticity E_g , lbf/in ² (MPa) ^a					
		Steel 30×10^6 (2×10^5)	Malleable Iron 25×10^6 (1.7×10^5)	Nodular Iron 24×10^6 (1.7×10^5)	Cast Iron 22×10^6 (1.5×10^5)	Aluminum Bronze 17.5×10^6 (1.2×10^5)	Tin Bronze 16×10^6 (1.1×10^5)
Steel	30×10^6 (2×10^5)	2,900 (197)	2,180 (151)	2,120 (149)	2,100 (147)	1,950 (137)	1,900 (135)
Malleable iron	25×10^6 (1.7×10^5)	2,180 (151)	2,070 (147)	2,020 (144)	2,020 (144)	1,900 (137)	1,850 (134)
Nodular iron	24×10^6 (1.7×10^5)	2,160 (149)	2,070 (147)	2,020 (144)	2,020 (144)	1,900 (137)	1,820 (132)
Cast iron	22×10^6 (1.5×10^5)	2,100 (147)	2,020 (144)	2,020 (144)	1,900 (137)	1,850 (134)	1,800 (132)
Aluminum bronze	17.5×10^6 (1.2×10^5)	1,950 (137)	1,850 (132)	1,850 (132)	1,850 (132)	1,750 (125)	1,700 (122)
Tin bronze	16×10^6 (1.1×10^5)	1,900 (135)	1,850 (132)	1,800 (129)	1,800 (129)	1,700 (125)	1,650 (122)

^aConversion: $\times 0.001$.

^bPinion stress concentration factors for modulus of elasticity are obtained from stress concentration factors, Fig. 14-15, used.

ตารางที่ ข.8 ค่า A, B และ C ที่ได้จากการทดลอง

Table 14-9

	Condition	A	B	C
Empirical Constants	Open gearing	0.247	0.0167	$-0.765(10^{-4})$
A, B, and C for	Commercial, enclosed units	0.127	0.0158	$-0.930(10^{-4})$
Eq. (14-34), Face	Precision, enclosed units	0.0675	0.0128	$-0.926(10^{-4})$
Width F in Inches ^a	Extraprecision enclosed gear units	0.00360	0.0102	$-0.822(10^{-4})$

Source: ANSI/AGMA 2001-D04.

^aSee ANSI/AGMA 2101-D04, pp. 20–22, for SI formulation.

ตารางที่ ข.9 $Y_Z =$ แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือสำหรับเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง

Table 14-10

Reliability Factors $K_R (Y_Z)$

Source: ANSI/AGMA
2001-D04.

Reliability	$K_R (Y_Z)$
0.9999	1.50
0.999	1.25
0.99	1.00
0.90	0.85
0.50	0.70

ตารางที่ ข.10 $K_A =$ แฟกเตอร์แก้ไขโหลดเกินกำลัง

Table 15-2

Overload Factors $K_A (K_A)$

Source: ANSI/AGMA
2003-B97.

Character of Prime Mover	Character of Load on Driven Machine			
	Uniform	Light Shock	Medium Shock	Heavy Shock
Uniform	1.00	1.25	1.50	1.75 or higher
Light shock	1.10	1.35	1.60	1.85 or higher
Medium shock	1.25	1.50	1.75	2.00 or higher
Heavy shock	1.50	1.75	2.00	2.25 or higher

Note: This table is for speed-decreasing drives. For speed-increasing drives, add $0.01(n/n)^2$ or $0.01(z_2/z_1)^2$ to the above factors.

ตารางที่ ข.11 $Y_Z =$ แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือสำหรับเฟืองคอกจอก

Table 15-3

Reliability Factors

Source: ANSI/AGMA
2003-B97.

Requirements of Application	Reliability Factors for Steel*	
	$C_R (Z_Z)$	$K_R (Y_Z)^\dagger$
Fewer than one failure in 10 000	1.22	1.50
Fewer than one failure in 1000	1.12	1.25
Fewer than one failure in 100	1.00	1.00
Fewer than one failure in 10	0.92	0.85 [‡]
Fewer than one failure in 2	0.84	0.70 [§]

*At the present time there are insufficient data concerning the reliability of bevel gears made from other materials.

[†]Tooth breakage is sometimes considered a greater hazard than pitting. In such cases a greater value of $K_R (Y_Z)$ is selected for bending.

[‡]At this value plastic flow might occur rather than pitting.

[§]From test data extrapolation.

ตารางที่ ข.12 σ_{Hlim} = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้า

Table 15-4

Allowable Contact Stress Number for Steel Gears, s_{ac} (σ_{Hlim}) Source: ANSI/AGMA 2003-B97.

Material Designation	Heat Treatment	Minimum Surface Hardness	Allowable Contact Stress Number, s_{ac} (σ_{Hlim}) lbf/in ² (N/mm ²)		
			Grade 1 [†]	Grade 2 [†]	Grade 3 [†]
Steel	Through-hardened [‡]	Fig. 15-12	Fig. 15-12	Fig. 15-12	
	Flame or induction hardened [§]	50 HRC	175 000 (1210)	190 000 (1310)	
	Carburized and case hardened [§]	2003-B97 Table 8	200 000 (1380)	225 000 (1550)	250 000 (1720)
AISI 4140	Nitrided [§]	84.5 HR15N		145 000 (1000)	
Nitralloy 135M	Nitrided [§]	90.0 HR15N		160 000 (1100)	

[‡]Hardness to be equivalent to that at the tooth middepth in the center of the face width.

[§]See ANSI/AGMA 2003-B97, Tables 8 through 11, for metallurgical factors for each stress grade of steel gears.

[†]These materials must be case-hardened or normalized as a minimum.

[§]The allowable stress numbers indicated may be used with the case depths prescribed in 21.1, ANSI/AGMA 2003-B97.

ตารางที่ ข.13 σ_{Hlim} = ความเค้นสัมผัสที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กหล่อ

Table 15-5

Allowable Contact Stress Number for Iron Gears, s_{ac} (σ_{Hlim}) Source: ANSI/AGMA 2003-B97.

Material	Material Designation		Heat Treatment	Typical Minimum Surface Hardness	Allowable Contact Stress Number, s_{ac} (σ_{Hlim}) lbf/in ² (N/mm ²)
	ASTM	ISO			
Cast iron	ASTM A48	ISO/DR 185			
	Class 30	Grade 200	As cast	175 HB	50 000 (345)
	Class 40	Grade 300	As cast	200 HB	65 000 (450)
Ductile (nodular) iron	ASTM A536	ISO/DIS 1083			
	Grade 80-55-06	Grade 600-370-03	Quenched and tempered	180 HB	94 000 (650)
	Grade 120-90-02	Grade 800-480-02		300 HB	135 000 (930)

ตารางที่ ข.14 σ_{plim} = ความเค้นดัดที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กกล้า

Table 15-6

Allowable Bending Stress Numbers for Steel Gears, s_{at} ($\sigma_{F lim}$) Source: ANSI/AGMA 2003-B97.

Material Designation	Heat Treatment	Minimum Surface Hardness	Bending Stress Number (Allowable), s_{at} ($\sigma_{F lim}$) lbf/in ² (N/mm ²)		
			Grade 1*	Grade 2*	Grade 3*
Steel	Through-hardened	Fig. 15-13	Fig. 15-13	Fig. 15-13	
	Flame or induction hardened	50 HRC	15 000 (85)	13 500 (95)	
	Unhardened roots				
	Hardened roots	2003-B97	22 500 (154)		
Carburized and case hardened [†]	Table 8	30 000 (205)	35 000 (240)	40 000 (275)	
AISI 4140	Nitrided [‡]	84.5 HR15N	22 000 (150)		
Nitralloy 135M	Nitrided [‡]	90.0 HR15N	24 000 (165)		

* See ANSI/AGMA 2003-B97, Tables 8-11, for metallurgical factors for each stress grade of steel gears.

† The allowable stress numbers indicated may be used with the case depths prescribed in 21.1, ANSI/AGMA 2003-B97.

‡ The overload capacity of nitrided gears is low. Since the shape of the effective S-N curve is flat, the sensitivity to shock should be investigated before proceeding with the design.

ตารางที่ ข.15 σ_{plim} = ความเค้นดัดที่ยอมรับได้สำหรับเฟืองเหล็กหล่อ

Table 15-7

Allowable Bending Stress Number for Iron Gears, s_{at} ($\sigma_{F lim}$) Source: ANSI/AGMA 2003-B97.

Material	Material Designation		Heat Treatment	Typical Minimum Surface Hardness	Bending Stress Number (Allowable), s_{at} ($\sigma_{F lim}$) lbf/in ² (N/mm ²)
	ASTM	ISO			
Cast iron	ASIM A48	ISO/DR 185	As cast	175 HB	4500 (30)
	Class 30	Grade 200			
	Class 40	Grade 300			
Ductile (nodular) iron	ASTM A536	ISO/DIS 1083	Quenched and tempered	180 HB	10 000 (70)
	Grade 80-55-06	Grade 600-3/0-03			
	Grade 120-90-02	Grade 800-480-02			
				300 HB	13 500 (95)



คู่มือการใช้โปรแกรม GeaRoX_2

การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง หรือโปรแกรม GeaRoX_2 อาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอกของ AGMA ซึ่งระบบต่างๆของโปรแกรมได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ซึ่งรองรับการทำงานของระบบปฏิบัติการ Window ในปัจจุบันได้ เพื่อเกิดความสะดวกในการใช้งาน จึงได้ออกแบบตัวโปรแกรมดังรูปที่ ค.1 เนื่องจากมีแนวคิดที่ว่าต้องการให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกและเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อนจนเกินไปต่อการใช้งาน โปรแกรม



รูปที่ ค.1 แสดงหน้าแรกของ โปรแกรม GeaRoX_2

ความสามารถของโปรแกรม

1. โปรแกรมนี้แบ่งการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองเป็น 3 ชนิด คือ การวิเคราะห์เฟืองฟันตรง การวิเคราะห์เฟืองฟันเฉียง และการวิเคราะห์เฟืองคอกจอกฟันตรง
2. สามารถวิเคราะห์คำนวณหาค่าความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยของเฟืองแต่ละชนิดได้ โดยอาศัยทฤษฎีของ AGMA นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถทำนายได้ว่าเฟืองแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ จะเกิดการ โค้งงอ (Bending) หรือเกิดการสึกหรอ (Contact) ก่อน

การแสดงผล

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลลงไปจะต้องกดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจึงจะแสดงผลออกมาได้ทันที โดยค่าที่แสดงออกมามีทั้งค่า Input หลัก และผลการคำนวณ รวมถึงผลสรุปการเปรียบเทียบ ความเสียหายของ Pinion และ Gear

ความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

เนื่องจากโปรแกรม GeaRoX_2 ได้ถูกออกแบบให้ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถรันได้บนระบบปฏิบัติการ Window 95 และบนระบบปฏิบัติการ Window NT ดังนั้นจะต้องมีซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ตามที่โปรแกรมต้องการต่อไปนี้

- ระบบปฏิบัติการ Windows 98 ขึ้นไป
- แนะนำให้ใช้ CPU Pentium 3 1.0 GHz ขึ้นไป
- แนะนำให้ใช้ RAM ขึ้นต่ำ 64 MB ขึ้นไป
- พื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสก์ 60 MB
- การ์ดแสดงผลที่สนับสนุนโหมด 640x480 VGA สามารถใช้งานได้ แต่ควรใช้โหมดแสดงผล Super VGA 800x600 หรือ 1024x768 จะให้รายละเอียดบนจอภาพมากกว่า หรือ การ์ดจอที่มีหน่วยความจำ 16MB ขึ้นไป

ข้อจำกัดในการใช้โปรแกรม

- โปรแกรมนี้จะสามารถคำนวณได้เฉพาะฟันเฟืองตรง ฟันเฟืองเฉียง และเฟืองดอกฟันทรงของ AGMA
- เฟืองต้องมีมุมกดตันเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว และเฉพาะเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม
- ใช้หน่วยเป็น SI ทั้งหมด

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม มีดังต่อไปนี้

1.เปิดตัวโปรแกรมจากไอคอน ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2

Icon สำหรับเปิดโปรแกรม

รูปที่ ค.2 แสดงการเปิดโปรแกรมด้วยไอคอนโปรแกรม

2. เมื่อกดไอคอนดังกล่าวโปรแกรมจะแสดงหน้าเริ่มต้นของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ก.3

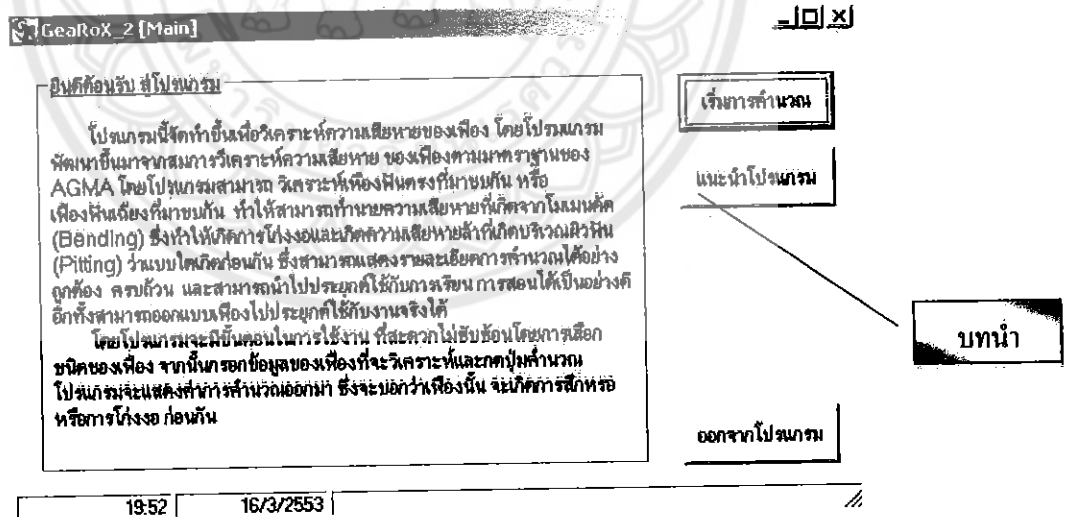


รูปที่ ก.3 แสดงหน้าเริ่มต้นของโปรแกรม

2.1 เมื่อกดปุ่ม เข้าสู่โปรแกรม เพื่อเข้าสู่หน้าหลักของโปรแกรม

2.2 เมื่อกดปุ่ม ออกจากโปรแกรม เพื่อออกจากโปรแกรม

3. เมื่อกดปุ่ม เข้าสู่โปรแกรม โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าหลัก ดังรูปที่ ก.4






รูปที่ ก.4 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม

3.1 เมื่อกดปุ่ม แนะนำโปรแกรม เพื่อเข้าสู่หน้าแนะนำวิธีใช้โปรแกรม ดังรูปที่ ก.5

เนื้อหาเกี่ยวกับโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งาน สัตงศ์

1. กดปุ่ม เริ่มการคำนวณ เพื่อเตรียมคิดเฟืองต่อไป
2. ในส่วนทางเลือกชนิดของเฟือง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท
 - 2.1 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เฟืองพินตรง ให้คลิกที่รูป  เพื่อกรอกข้อมูลต่อไป
 - 2.2 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เฟืองพินเฉียง ให้คลิกที่รูป  เพื่อกรอกข้อมูลต่อไป
 - 2.3 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เฟืองดอกจอกพินตรง ให้คลิกที่รูป  เพื่อกรอกข้อมูลต่อไป
3. ในส่วนกรอกข้อมูล ให้กรอกข้อมูลให้ครบทุกหัวข้อ (ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบทุกหัวข้อ โปรแกรมจะไม่สามารถคำนวณข้อมูลให้)
4. เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกหัวข้อแล้ว ให้กดปุ่ม คำนวณ เพื่อเริ่มการคำนวณ
5. โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ ว่าเฟืองนั้นมีความเสียหายในรูปแบบใด และสามารถรับน้ำหนักจริงได้กี่ตัน กดปุ่ม บันทึกและพิมพ์
6. หากต้องการคำนวณโดยใช้ข้อมูลชุดใหม่ ให้กดปุ่ม กลับหน้ากรอกข้อมูล โปรแกรมจะกลับสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟือง และถ้าต้องการลบข้อมูลเดิมทั้งหมดให้กดปุ่ม ล้างข้อมูล
7. หากต้องการรู้ความหมายของหัวแปรต่าง ๆ ให้คลิกที่ปุ่ม อธิบายหัวแปร

ขั้นตอนการใช้งาน

ชื่อกำหนดโปรแกรม

ชื่อตัวผู้จัดทำ

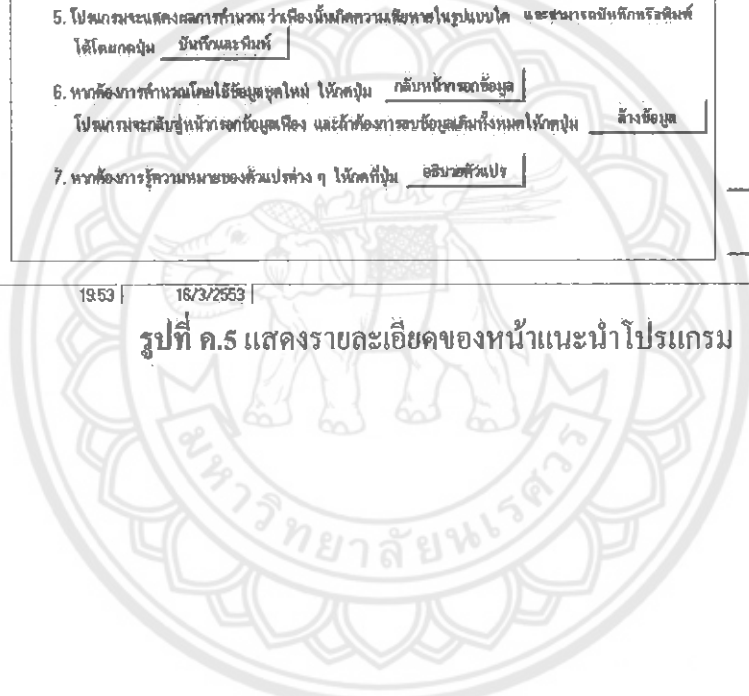
กล่องข้อความ

แสดงรายละเอียดคำแนะนำต่างๆ

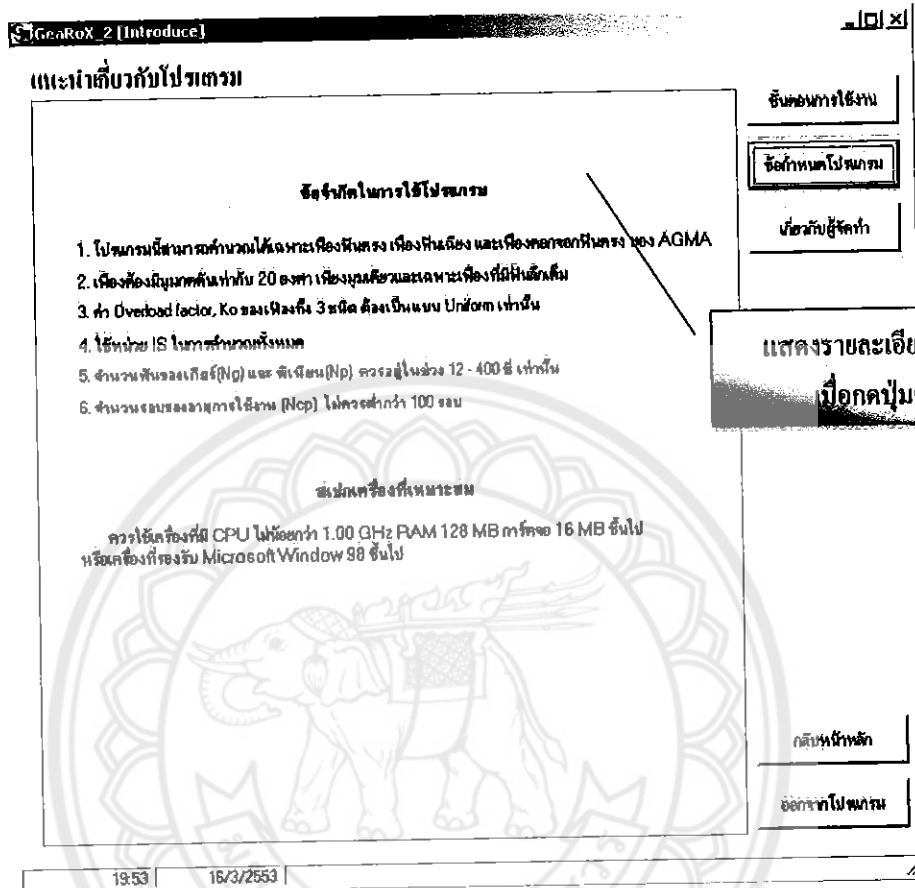
กลับหน้าหลัก

ออกจากโปรแกรม

รูปที่ ค.5 แสดงรายละเอียดของหน้าแนะนำโปรแกรม



3.1.1 เมื่อกลุ่ม ข้อกำหนดโปรแกรม จะแสดงรายละเอียดข้อกำหนดโปรแกรมที่ กล่องข้อความด้านซ้ายของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ค.6






รูปที่ ค.6 แสดงรายละเอียดข้อกำหนด โปรแกรม

3.1.2 เมื่อกลุ่ม ขั้นตอนการใช้งาน จะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการใช้โปรแกรมที่กล่องข้อความด้านซ้ายมือของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ก.7

GeoRx_2 [Introduce] | ๑๗ | ✕

แนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งาน สีสัน

1. กลุ่ม เริ่มการคำนวณ เพื่อเลือกชนิดเครื่องต่อไป
2. ในส่วนภาคเลือกชนิดของเครื่องแบ่งออกเป็น 3 ประเภท
 - 2.1 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เครื่องหินตรง ให้คลิกที่รูป  เพื่อเลือกข้อมูลต่อไป
 - 2.2 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เครื่องหินผิง ให้คลิกที่รูป  เพื่อเลือกข้อมูลต่อไป
 - 2.3 ถ้าผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เครื่องคอกากหินตรง ให้คลิกที่รูป  เพื่อเลือกข้อมูลต่อไป
3. ในส่วนภาคข้อมูล ให้กรอกข้อมูลให้ครบทุกหัวข้อ (ถ้ากรอกข้อมูลไม่ครบทุกหัวข้อ โปรแกรมจะไม่ทำการคำนวณข้อมูลให้)
4. เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกหัวข้อแล้ว ให้คลิกปุ่ม คำนวณ เพื่อเริ่มการคำนวณ
5. โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ ว่าเครื่องนี้มีความเสียหายในฐานแบบใด และสามารถบันทึกหรือพิมพ์ได้โดยกลุ่ม บันทึกและพิมพ์
6. หากต้องการคำนวณโดยใช้ข้อมูลชุดใหม่ ให้คลิกปุ่ม กลับหน้ากรอกข้อมูล โปรแกรมจะกลับไปสู่หน้ากรอกข้อมูลฝั่ง และถ้าต้องการดูข้อมูลเดิมทั้งหมดให้คลิกปุ่ม ล้างข้อมูล
7. หากต้องการรู้ความหมายของหัวแปรต่าง ๆ ให้คลิกปุ่ม อธิบายหัวแปร

ขั้นตอนการใช้งาน

ข้อกำหนดโปรแกรม

เกี่ยวกับผู้จัดทำ

แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการใช้โปรแกรมแบบคร่าวๆ

กลับหน้าหลัก

ออกจากโปรแกรม

19:83 | 16/3/2553 |

รูปที่ ก.7 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

3.1.3 เมื่อกดปุ่ม เกี่ยวกับผู้จัดทำ จะแสดงรายละเอียดของข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดทำที่กล่องข้อความด้านซ้าย ดังรูปที่ ค.8



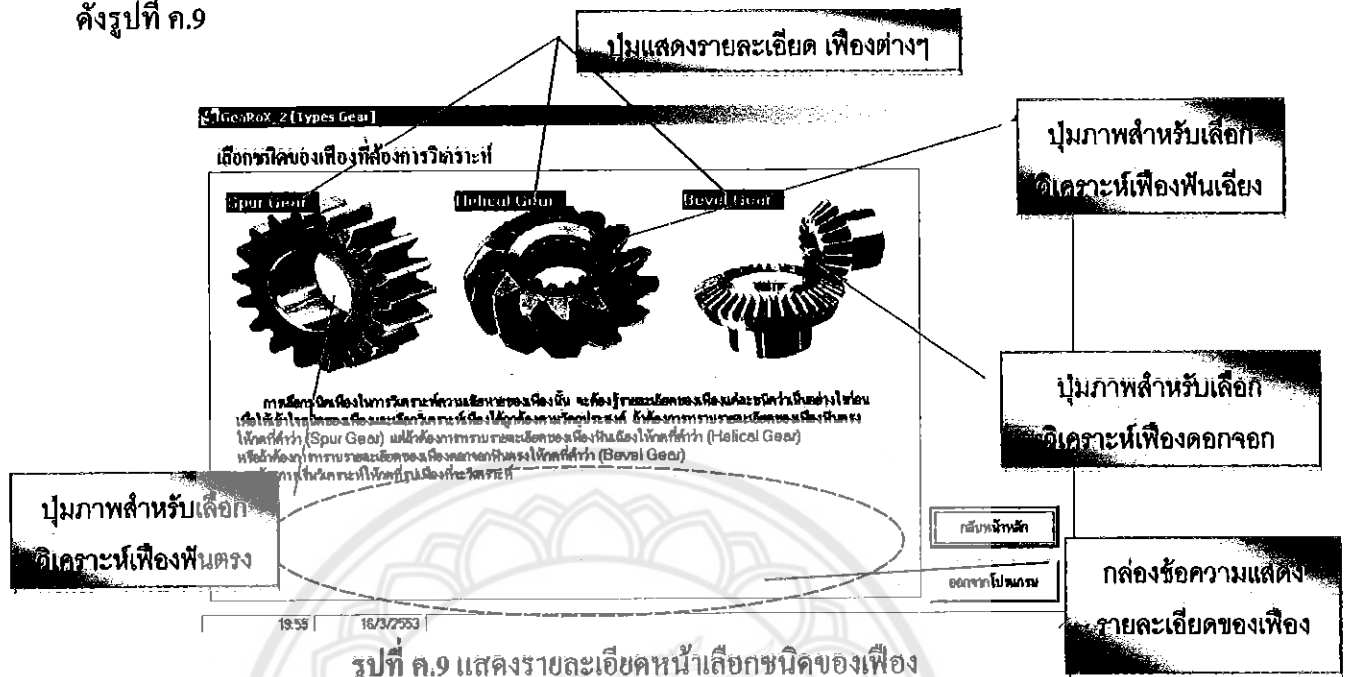
รูปที่ ค.8 แสดงรายละเอียดของคณะผู้จัดทำ

3.1.4 เมื่อกดปุ่ม กลับหน้าหลัก จะกลับสู่หน้าหลักของโปรแกรม

3.1.5 เมื่อกดปุ่ม ออกจากโปรแกรม จะออกจากโปรแกรม




3.2 เมื่อกดปุ่ม เริ่มการคำนวณ จะเข้าสู่หน้าเลือกชนิดของเฟืองที่จะวิเคราะห์ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

4. เมื่อกดปุ่ม **เพิ่มการคำนวณ** จะเป็นขั้นตอนการเลือกชนิดของเฟือง โปรแกรมจะแสดงผล ดังรูปที่ ค.9



รูปที่ ค.9 แสดงรายละเอียดหน้าเลือกชนิดของเฟือง

4.1 ในการจะวิเคราะห์เฟือง จะเลือกที่ภาพเฟืองสำหรับวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

- 4.1.1 เมื่อกดที่  (ภาพเฟืองฟันตรง) โปรแกรมจะเข้าไปสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง
- 4.1.2 เมื่อกดที่  (ภาพเฟืองฟันเฉียง) โปรแกรมจะเข้าไปสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง
- 4.1.3 เมื่อกดที่  (ภาพเฟืองคอกจอก) โปรแกรมจะเข้าไปสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟืองคอกจอก

4.2 คำสั่งเพิ่มเติมในการใช้งาน มีดังต่อไปนี้

4.2.1 เมื่อกดปุ่มที่ชื่อ บนภาพของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงจะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองแต่ละชนิดที่ส่วนกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.1.1 เมื่อกดปุ่ม **Spur Gear** จะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันออกมาบริเวณกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.1.2 เมื่อกดปุ่ม **Helical Gear** จะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันเฉียงออกมาบริเวณกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.1.2 เมื่อคลิกปุ่ม **Bevel Gear** จะเป็นการแสดง

รายละเอียดของเฟืองคอกจอกออกมาบริเวณกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.2 เมื่อคลิกปุ่ม ขั้นตอนการใช้งาน จะมี pop-up ที่แสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม เพื่อสะดวกต่อการใช้งานของโปรแกรมนี้ซึ่งจะสรุปขั้นตอนไว้ในนั้น ดังรูปที่ ค.10 (ซึ่งสามารถคลิกปุ่มที่คู่มือการใช้งานได้ คลิกปุ่มคำนวณ ปุ่มบันทึกและพิมพ์ ปุ่มล้างข้อมูล เพราะยังไม่ได้กรอกข้อมูลข้างต้น)

4.3 เมื่อคลิกปุ่ม กลับหน้าหลัก จะกลับหน้าแรกของโปรแกรม

4.4 เมื่อคลิกปุ่ม ออกจากโปรแกรม จะออกจากโปรแกรม

แสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการใช้โปรแกรม

ปุ่มลัดไปที่เลือกชนิดของเฟือง

ปุ่มลัดไปที่กรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

ปุ่มลัดไปที่กรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง

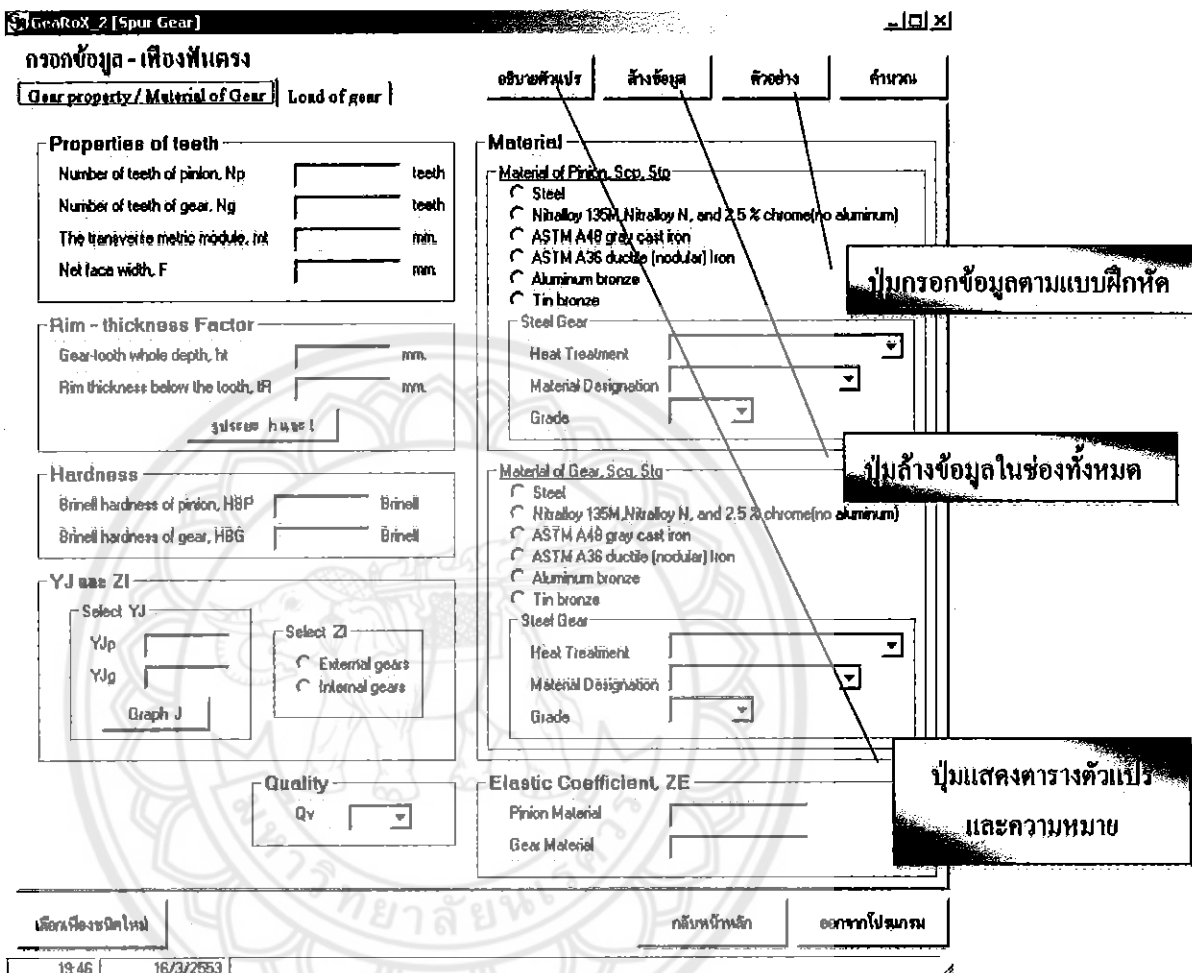
ปุ่มลัดไปที่กรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง

19:53 | 16/3/2553

รูปที่ ค.10 แสดงหน้าจอของ pop-up และรายละเอียดของคู่มือการใช้งานของโปรแกรม

5. เมื่อเลือกชนิดของเฟืองเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการกรอกข้อมูลของเฟือง ซึ่งแบ่งการกรอกข้อมูลออกเป็น 3 แบบตามการเลือกชนิดของเฟือง ดังต่อไปนี้

5.1 การกรอกข้อมูลของเฟืองฟันตรง โดยการกดที่ (ภาพของเฟืองฟันตรง) โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างรูปที่ ค.11



รูปที่ ค.11 แสดงรายละเอียดของหน้าต่างกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

5.1.1 การกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

5.1.1.1 กรอกข้อมูลส่วน Properties of teeth

- กรอกค่า Number of teeth of pinion, N_p (ใช้หน่วย teeth)
* ควรใส่ค่า N_p ตั้งแต่ 12 ถึง 400
- กรอกค่า Number of teeth of gear, N_g (ใช้หน่วย teeth)
* ควรใส่ค่า N_g ตั้งแต่ 12 ถึง 400
- กรอกค่า The transverse metric module, m_t

(ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $m > 0$

- กรอกค่า Net face width, F (ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $F > 0$

5.1.1.2 กรอกข้อมูลส่วน Rim-Thickness Factor

- กรอกค่า Gear-tooth whole depth, ht (ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $ht > 0$

- กรอกค่า Rim thickness below the tooth, t_R

(ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $t_R > 0$

5.1.1.3 กรอกข้อมูลส่วน Hardness

- กรอกค่า Brinell hardness of pinion, HBP

(ใช้หน่วย Brinell)

- กรอกค่า Brinell hardness of gear, HBG

(ใช้หน่วย Brinell)

5.1.1.4 กรอกข้อมูลส่วน YJ และ ZI

- กรอกค่า YJp (อ่านค่า J จากกราฟ 14-6 ของ AGMA)

- กรอกค่า YJg (อ่านค่า J จากกราฟ 14-6 ของ AGMA)

* กดปุ่ม  จะแสดงกราฟ 14-6

ของ AGMA

- เลือกชนิดของคุณสมบัติของ ZI

5.1.1.5 เลือกค่า Quality

5.1.1.6 กรอกข้อมูลส่วน Material

- เลือก Material ของ Pinion

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

- เลือก Material ของ Gear

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

5.1.1.7 กรอกข้อมูลส่วน Load-Distribution Factor

- เลือกคุณสมบัติของ Cma
- เลือกคุณสมบัติของ Ce
- เลือกคุณสมบัติของ Cmc
- เลือกคุณสมบัติของ Cpm

5.1.1.8 กรอกข้อมูลส่วน Properties of motor

- กรอกค่า Power, H (ใช้หน่วย Watt)
 - * ควรใส่ค่า $H > 0$
- กรอกค่า Pinion speed, ps (ใช้หน่วย rev/min)
 - * ควรใส่ค่า $ps > 0$

5.1.1.9 กรอกข้อมูลส่วน Reliability

- กรอกค่า Reliability
 - * ควรใส่ค่า $0.5 < R \leq 0.9999$

5.1.1.10 กรอกข้อมูลส่วน Stress cycle

- กรอกค่า Number of stress cycle, Ncp (ใช้หน่วย rev)
 - * ควรใส่ค่า 100
- เลือก YN และ ZN เมื่อสามารถเลือกได้

5.1.2 เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกช่องเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม คำนวณ


กรณีที่ขังกรอกข้อมูลไม่ครบแล้วกดปุ่ม คำนวณ จะปรากฏข้อความเตือนและหัวข้อนั้นจะเปลี่ยนเป็นตัวอักษรสีแดง จะต้องกรอกข้อมูลให้ครบก่อน โปรแกรมถึงจะทำการคำนวณ ซึ่ง โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในหน้าผลการคำนวณ และค่าคำนวณที่ได้ต่างๆออกมา

5.1.3 ถ้าต้องการดูความหมายของตัวแปรให้กดปุ่ม อธิบายตัวแปร

5.1.4 ถ้าต้องการกลับไปหน้าเลือกชนิดเฟือง ให้กดปุ่ม เลือกเฟืองชนิดใหม่

5.1.5 ถ้าต้องการกลับไปหน้าหลักของโปรแกรม ให้กดปุ่ม กลับหน้าหลัก

5.1.6 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม

5.2 การกรอกข้อมูลของเฟืองฟันเฉียง โดยกดที่  (ภาพของเฟืองฟันเฉียง)
โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างรูปที่ ค.12

รูปที่ ค.12 แสดงรายละเอียดของหน้าต่างกรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง

5.2.1 การกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

5.2.1.1 กรอกข้อมูลส่วน Properties of teeth

- กรอกค่า Number of teeth of pinion, N_p
(ใช้หน่วย teeth)
* ควรใส่ค่า N_p ตั้งแต่ 12 ถึง 40094
- กรอกค่า Number of teeth of gear, N_g
(ใช้หน่วย teeth)
* ควรใส่ค่า N_g ตั้งแต่ 12 ถึง 400
- กรอกค่า The transverse metric module, m_t

(ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $m > 0$

- กรอกค่า Net face width, F (ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $F > 0$

5.2.1.2 กรอกข้อมูลส่วน Rim-Thickness Factor

- กรอกค่า Gear-tooth whole depth, ht (ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $ht > 0$

- กรอกค่า Rim thickness below the tooth, t_R

(ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $t_R > 0$

5.2.1.3 กรอกข้อมูลส่วน Hardness

- กรอกค่า Brinell hardness of pinion, HBP

(ใช้หน่วย Brinell)

- กรอกค่า Brinell hardness of gear, HBG

(ใช้หน่วย Brinell)

5.2.1.4 กรอกข้อมูลส่วน YJ และ ZI

- กรอกค่า YJp (อ่านค่า J จากกราฟ 14-7 ของ AGMA)

- กรอกค่า YJg (อ่านค่า J จากกราฟ 14-7 ของ AGMA)

- กรอกค่า $YJpp$ (อ่านค่า J จากกราฟ 14-8 ของ AGMA)

- กรอกค่า $YJgg$ (อ่านค่า J จากกราฟ 14-8 ของ AGMA)

* กดปุ่ม

Graph $YJp,$ YJg

 จะแสดงกราฟ 14-7 ของ
AGMA

* กดปุ่ม

Graph $YJpp,$ $YJgg$

 จะแสดงกราฟ 14-8 ของ
AGMA

- เลือกชนิดของคุณสมบัติของ ZI

5.2.1.5 เลือกค่า Quality

5.2.1.6 กรอกข้อมูลส่วน Material

- เลือก Material ของ Pinion

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

- เลือก Material ของ Gear

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

5.2.1.7 กรอกข้อมูลส่วน Load-Distribution Factor

- เลือกคุณสมบัติของ Cma

- เลือกคุณสมบัติของ Ce

- เลือกคุณสมบัติของ Cmc

- เลือกคุณสมบัติของ Cpm

5.2.1.8 กรอกข้อมูลส่วน Helix angle at standard pitch diameter

- กรอกค่า Pitch angle

* ควรใส่ค่า Pitch angle > 0

5.2.1.9 กรอกข้อมูลส่วน Properties of motor

- กรอกค่า Power, H (ใช้หน่วย Watt)

* ควรใส่ค่า $H > 0$

- กรอกค่า Pinion speed, ps (ใช้หน่วย rev/min)

* ควรใส่ค่า $ps > 0$

5.2.1.10 กรอกข้อมูลส่วน Reliability

- กรอกค่า Reliability

* ควรใส่ค่า $0.5 < R \leq 0.9999$

5.2.1.11 กรอกข้อมูลส่วน Stress cycle

- กรอกค่า Number of stress cycle, Ncp (ใช้หน่วย rev)

* ควรมีค่า 100

- เลือก YV และ ZV เมื่อสามารถเลือกได้

5.2.2 เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกช่องเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม คำนวณ


กรณีที่ยังกรอกข้อมูลไม่ครบแล้วกดปุ่ม คำนวณ จะปรากฏข้อความเตือน และหัวข้อนั้นจะเปลี่ยนเป็นตัวอักษรสีแดง จะต้องกรอกข้อมูลให้ครบก่อน โปรแกรมถึงจะทำการคำนวณ ซึ่ง โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในหน้าผลการคำนวณ และค่าคำนวณที่ได้ต่างๆออกมา

5.2.3 ถ้าต้องการดูความหมายของตัวแปรให้กดปุ่ม อธิบายตัวแปร

5.2.4 ถ้าต้องการกลับไปทีหน้าเลือกชนิดเฟือง ให้กดปุ่ม เลือกเฟืองชนิดใหม่

5.2.5 ถ้าต้องการกลับไปหน้าหลักของโปรแกรม ให้คลิก **กลับหน้าหลัก**

5.2.6 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม ให้คลิก **ออกจากโปรแกรม**

5.3 การกรอกข้อมูลของเฟืองคอกงอก โดยการกดที่  (ภาพของเฟืองคอกงอก) โปรแกรมจะแสดงหน้า ดังรูปที่ ค.13

ปุ่มกรอกข้อมูลตามแบบฝึกหัด

ปุ่มล้างข้อมูลในช่องทั้งหมด

ปุ่มแสดงตารางตัวแปรและความหมาย

รูปที่ ค.13 แสดงรายละเอียดของหน้ากรอกข้อมูลเฟืองคอกงอก

5.3.1 การกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

5.3.1.1 กรอกข้อมูลส่วน Properties of teeth

- กรอกค่า Number of teeth of pinion, N_p
(ใช้หน่วย teeth)

* ควรใส่ค่า N_p ตั้งแต่ 12 ถึง 400

- กรอกค่า Number of teeth of gear, N_g
(ใช้หน่วย teeth)

* ควรใส่ค่า N_g ตั้งแต่ 12 ถึง 400

- กรอกค่า The transverse metric module, m_t
(ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $m_t > 0$

- กรอกค่า Net face width, b (ใช้หน่วย mm.)

* ควรใส่ค่า $b > 0$

- กรอกค่า Body factor, Y_{Jp} และ Y_{Jg}

* กดปุ่ม

กราฟแฟกเตอร์ เรขาคณิต (YJ)

 จะแสดงกราฟ 15-7

ของ AGMA

5.3.1.2 กรอกข้อมูลส่วน Hardness

- กรอกค่า Brinell hardness of pinion, HBP
(ใช้หน่วย Brinell)

- กรอกค่า Brinell hardness of gear, HBG
(ใช้หน่วย Brinell)

5.3.1.3 กรอกข้อมูลส่วน Pitting Resistance Geometry factor, Z_I

- กรอกค่า Y_{Jp} (อ่านค่า J จากกราฟ 15-6 ของ AGMA)

* กดปุ่ม

กราฟแฟกเตอร์ด้านทานพิตทิง (ZI)

จะแสดงกราฟ 15-6 ของ AGMA

5.3.1.4 เลือกค่า Quality

5.3.1.5 กรอกข้อมูลส่วน Material

- เลือก Material ของ Pinion

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

- เลือก Material ของ Gear

* เลือก Heat Treatment

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Grade

5.3.1.7 กรอกข้อมูลส่วน Load-Distribution Factor

- เลือกคุณสมบัติของ K_{mb}

- เลือกคุณสมบัติของ Z_{xc}

5.3.1.8 กรอกข้อมูลส่วน Temperature factor

- กรอกค่า Temperature for work, Kt

* ควรใส่ค่า $Kt > 0$

5.3.1.9 กรอกข้อมูลส่วน Properties of motor

- กรอกค่า Power, H (ใช้หน่วย Watt)

* ควรใส่ค่า $H > 0$

- กรอกค่า Pinion speed, ps (ใช้หน่วย rev/min)

* ควรใส่ค่า $ps > 0$

5.3.1.10 กรอกข้อมูลส่วน Stress cycle

- กรอกค่า Number of stress cycle, Nep (ใช้หน่วย rev)

* ควรมีค่า 100

5.3.1.11 กรอกข้อมูลส่วน Reliability

- เลือกค่า Reliability

5.3.2 เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกช่องเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม

กรณีที่ยังกรอกข้อมูลไม่ครบแล้วกดปุ่ม จะปรากฏข้อความเตือน และหัวข้อนั้นจะเปลี่ยนเป็นตัวอักษรสีแดง จะต้องกรอกข้อมูลให้ครบก่อน โปรแกรมถึงจะทำการคำนวณ ซึ่ง โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในหน้าผลการคำนวณ และค่าคำนวณที่ได้ต่างๆออกมา

5.3.3 ถ้าต้องการดูความหมายของตัวแปรให้กดปุ่ม

5.3.4 ถ้าต้องการกลับไปหน้าเลือกชนิดเฟือง ให้กดปุ่ม

5.3.5 ถ้าต้องการกลับไปหน้าหลักของ โปรแกรม ให้กดปุ่ม

5.3.6 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม

6. เมื่อกดปุ่ม แล้ว จะเป็นขั้นตอนการแสดงผลของโปรแกรมและแสดงคำตอบออกมา ซึ่งจะแสดงผลคำตอบที่ได้จากการคำนวณออกมา

6.1 ผลจากการคำนวณที่ได้จะบ่งบอกว่าเฟืองจะเกิดความเสียหายที่ใดก่อน ซึ่งแบ่งรูปแบบของผลการคำนวณได้ดังนี้

6.1.1 รูปแบบของผลการคำนวณของเฟืองฟันตรง ดังรูปที่ ก.14

6.1.2 รูปแบบของผลการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง ดังรูปที่ ก.16

6.1.3 รูปแบบของผลการคำนวณของเฟืองคอกจอก ดังรูปที่ ก.18

6.2 ถ้าต้องการบันทึกและพิมพ์ข้อมูล ให้กดปุ่ม บันทึกและพิมพ์ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะถูกส่งไปยังโปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อทำการบันทึกหรือพิมพ์ค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกลงไป สำหรับเฟืองฟันตรง เฟืองฟันเฉียง และเฟืองคอกจอก ดังรูปที่ ค.14, ค.16 และ ค.18 ตามลำดับ



GeaRoX 2 (Spur Gear) 10.1.1

ผลการคำนวณ - เฟืองฟันตรง

ชนิดเฟือง spur

Properties of teeth

Number of teeth of pinion: 20 teeth

Number of teeth of gear: 36 teeth

The transverse metric module: 2.5 mm

Net face width: 18 mm

Rim - thickness Factor

Gear-tooth whole depth: 1.5 mm

Rim thickness below the tooth: 12 mm

Hardness

Brinell hardness of pinion: 200 Brinell

Brinell hardness of gear: 200 Brinell

Properties of motor

Power: 120 Watt

Pinion speed: 100 rev/min

Reliability

Reliability: 0.95

Velocity and Power

Velocity: 0.2618 m/s

Transmitted Load: 458.3662 N

Material

Pinion Material: Steel

Gear Material: Steel

Stress cycle

Number of stress cycle of pinion: 100000000 rev

Results

Bending stress pinion (BSP): 43.0705 MPa

Bending stress gear (BSG): 37.4033 MPa

Bending factor of safety pinion (SFP): 4.9923

Bending factor of safety gear (SFG): 5.6053

Contact stress of pinion (CSP): 800.9738 MPa

Contact stress of gear (CSG): 500.9738 MPa

Contact factor of safety pinion (CSP): 1.377

Contact factor of safety gear (CSG): 1.3957

Conclusions

จากการคำนวณ พบว่าค่า SFP มีค่า > (CSP)²
 ซึ่งได้ว่า > ตามค่าในหนังสือคำนวณ
 Pinion (ซึ่งรวมถึงค่าความปลอดภัยตามหนังสือคำนวณ) สอดคล้อง
 ซึ่งได้ว่า > ตามค่าในหนังสือคำนวณ
 Gear (ซึ่งรวมถึงค่าความปลอดภัยตามหนังสือคำนวณ) สอดคล้อง

จึงทำแบบร่าง

คำนวณค่าความเค้น

2.02 | 21/3/2553 | **สรุปผลการคำนวณ** | กลับหน้าหลัก | ออกหากไม่พบคน

ส่วนของผลการคำนวณ

รูปที่ ค.14 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันตรง

	A	B	C	D	E
1	ผลการคำนวณ - เฟืองฟันตรง				15/3/2010 11:39:02 PM
2					
3	Properties of teeth				
4	Number of teeth of pinion		20 teeth		
5	Number of teeth of gear		36 teeth		
6	The transverse metric module		2.5 millimeter		
7	Net face width		18 millimeter		
8					
9	Rim - thickness Factor				
10	Gear-tooth whole depth		1.5 millimeter		
11	Rim thickness below the tooth		12 millimeter		
12					
13	Hardness				
14	Brinell hardness of pinion		200 Brinell		
15	Brinell hardness of gear		200 Brinell		
16					
17	Properties of motor				
18	Power		120 Watt		
19	Pinion speed		100 rev/min		
20					
21	Reliability				
22	Reliability		0.95		
23					
24	Velocity and Power				
25	Velocity		0.2618 m/s		
26	Transmitted Load		458.3662 Newton		
27					
28	Material				
29	Pinion Material		Steel		
30	Gear Material		Steel		
31					
32	Stress cycle				
33	Number of stress cycle of pinion		100000000 rev		
34					

รูปแบบการบันทึกผลการคำนวณ

รูปที่ ค.15 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRoX_2 ของเฟืองฟันตรง

Helical Gear 2 [Helical Gear] 10/31

ผลการคำนวณ - เฟืองฟันเฉียง

หน่วยคำนวณ

Properties of tooth

Number of teeth of pinion: 20 teeth

Number of teeth of gear: 36 teeth

The transverse metric module: 2.5 mm

Net face width: 18 mm

Pitch angle: 30 degree

Rim - thickness Factor

Gear-tooth whole depth: 1.5 mm

Rim thickness below the tooth: 12 mm

Hardness

Brinell hardness of pinion: 200 Brinell

Brinell hardness of gear: 200 Brinell

Properties of motor

Power: 120 Watt

Pinion speed: 100 rev/min

Reliability

Reliability: 0.95

Velocity and Power

Velocity: 0.2618 m/s

Transmitted Load: 458.3662 N

Material

Pinion Material: Steel

Gear Material: Steel

Stress cycle

Number of stress cycle of pinion: 100000000 rev

Results

Bending stress pinion (BSP): 33.6018 MPa

Bending stress gear (BSG): 26.0686 MPa

Bending factor of safety pinion (SFP): 6.3991

Bending factor of safety gear (SFG): 8.0899

Contact stress of pinion (CSP): 395.915 MPa

Contact stress of gear (CSG): 395.915 MPa

Contact factor of safety pinion (CSP): 1.7425

Contact factor of safety gear (CSG): 1.7662

Conclusions

จากการคำนวณ และเปรียบเทียบ ค่า SFP มีค่า > (CSP)²
 รูปใช้ทำ ๒ ชุดการไหลงานที่กำหนด
 Pinion มีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายแบบ ผลักหัก
 และ เปรียบเทียบค่า SFG มีค่า > (CSG)²
 รูปใช้ทำ ๒ ชุดการไหลงานที่กำหนด
 Gear มีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายแบบ ผลักหัก

บันทึกและพิมพ์

คำนวณที่หน้าหลัก

ออกจากโปรแกรม

ส่วนของผลการคำนวณ

ผลการคำนวณนี้ใช้
 2/3/26

รูปที่ ค.16 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง

	A	B	C	D	E
1	ผลการคำนวณ - เฟืองฟันเฉียง				15/3/2010 11:40:27 PM
2					
3	Properties of tooth				
4	Number of teeth of pinion		20 teeth		
5	Number of teeth of gear		36 teeth		
6	The transverse metric module		2.5 millimeter		
7	Net face width		18 millimeter		
8	Pitch angle		30 degree		
9					
10	Rim - thickness Factor				
11	Gear-tooth whole depth		1.5 millimeter		
12	Rim thickness below the tooth		12 millimeter		
13					
14	Hardness				
15	Brinell hardness of pinion		200 Brinell		
16	Brinell hardness of gear		200 Brinell		
17					
18	Properties of motor				
19	Power		120 Watt		
20	Pinion speed		100 rev/min		
21					
22	Reliability				
23	Reliability		0.95		
24					
25	Velocity and Power				
26	Velocity		0.2618 m/s		
27	Transmitted Load		458.3662 Newton		
28					
29	Material				
30	Pinion Material		Steel		
31	Gear Material		Steel		
32					
33	Stress cycle				
34	Number of stress cycle of pinion		100000000		

รูปแบบการบันทึกผลการคำนวณ

รูปที่ ค.17 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจาก โปรแกรม GearRoX_2 ของเฟืองฟันเฉียง

ผลการคำนวณ - เฟืองคอกจอก

ชื่อแบบจำลอง

Properties of teeth

Number of teeth of pinion: 22 teeth

Number of teeth of gear: 24 teeth

The transverse metric module: 4 mm

Net face width: 25 mm

Hardness

Brinell hardness of pinion: 180 Brinell

Brinell hardness of gear: 180 Brinell

Properties of motor

Power: 4900 Watt

Pinion speed: 1800 rev/min

Reliability

Reliability: 0.999

Velocity and Power

Velocity: 8.2938 m/s

Transmitted Load (pinion): 590.8199 N

Transmitted Load (gear): 541.5849 N

Material

Pinion Material: Steel

Gear Material: Steel

Stress cycle

Number of stress cycle of pinion: 1000000000 rev

Results

Bending stress of pinion (BSP): 22293.6259 MPa

Bending stress of gear (BSG): 22927.997 MPa

Permissible bending stress pinion (PBP): 47.2129 MPa

Permissible bending stress gear (PBG): 47.3443 MPa

SFP = $\frac{PBP}{BSP} = .0021$ SFG = $\frac{PBG}{BSG} = .0021$

Contact stress of pinion (CSP): 16663.7764 MPa

Contact stress of gear (CSG): 15275.0842 MPa

Permissible contact stress pinion (PCP): 524.1043 MPa

Permissible contact stress gear (PCG): 526.8818 MPa

SHP = $\frac{PCP}{CSP} = .0315$ SHG = $\frac{PCG}{CSG} = .0345$

Conclusions

จากการคำนวณ แร่นบีบเค้นค่า SFP มีค่า > (SHP)²
 รูปนี้ค่า ๒ แร่นบีบเค้นค่า SFG มีค่า > (SHG)²
 Pinion มีแนวโน้มที่จะแตกความเสียหายแบบ ผลักหัก
 และ เฟืองมีแนวโน้มค่า SFG มีค่า > (SHG)²
 รูปนี้ค่า ๒ แร่นบีบเค้นค่า SFG มีค่า > (SHG)²
 Gear มีแนวโน้มที่จะแตกความเสียหายแบบ ผลักหัก

วันที่คำนวณ: 15/3/2010 11:41:19

คำนวณโดย: วิศวกร

ผลการคำนวณ

รูปที่ ค.18 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองคอกจอก

	A	B	C	D	E
1	ผลการคำนวณ - เฟืองคอกจอก				15/3/2010 11:41:19
2					
3	Properties of teeth				
4	Number of teeth of pinion	22 teeth			
5	Number of teeth of gear	24 teeth			
6	The transverse metric module	4 millimeter			
7	Net face width	25 millimeter			
8					
9	Hardness				
10	Brinell hardness of pinion	180 Brinell			
11	Brinell hardness of gear	180 Brinell			
12					
13	Properties of motor				
14	Power	4900 Watt			
15	Pinion speed	1800 rev/min			
16					
17	Reliability				
18	Reliability	0.999			
19					
20	Velocity and Power				
21	Velocity	8.2938 m/s			
22	Transmitted Load (pinion)	590.8199 Newton			
23	Transmitted Load (gear)	541.5849 Newton			
24					
25	Material				
26	Pinion Material	Steel			
27	Gear Material	Steel			
28					
29	Stress cycle				
30	Number of stress cycle of pinion	1000000000 rev			
31					
32	Bending stress of pinion (BSP)	22293.6259 MPa			
33	Bending stress of gear (BSG)	22927.997 MPa			
34	Permissible bending stress pinion (PBP)	47.2129 MPa			

รูปที่ ค.19 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจาก โปรแกรม GeaRoX_2 ของเฟืองคอกจอก

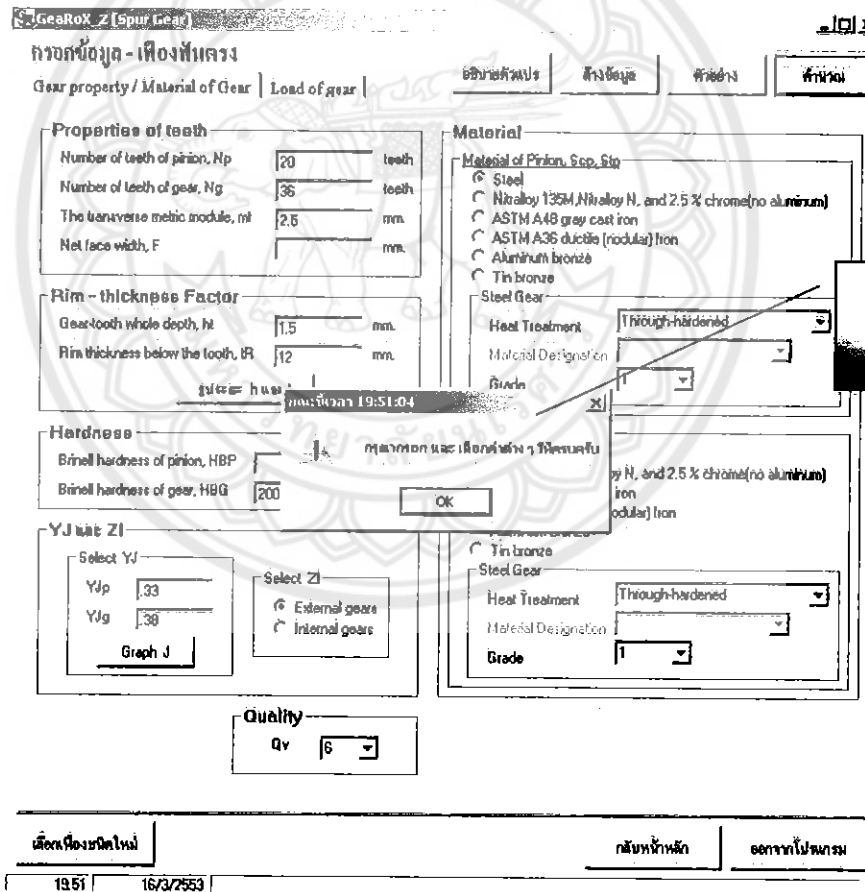
รูปแบบการบันทึกผลการคำนวณ

- 6.3 ถ้าต้องการกรอกข้อมูลใหม่ ให้กดปุ่ม กลับหน้ากรอกข้อมูล
- 6.4 ถ้าต้องการกลับไปหน้าหลัก ให้กดปุ่ม กลับหน้าหลัก
- 6.5 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม ให้กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม

ข้อความตอบโต้เมื่อในกรณีเกิดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการกรอกข้อมูลที่ผิดพลาด

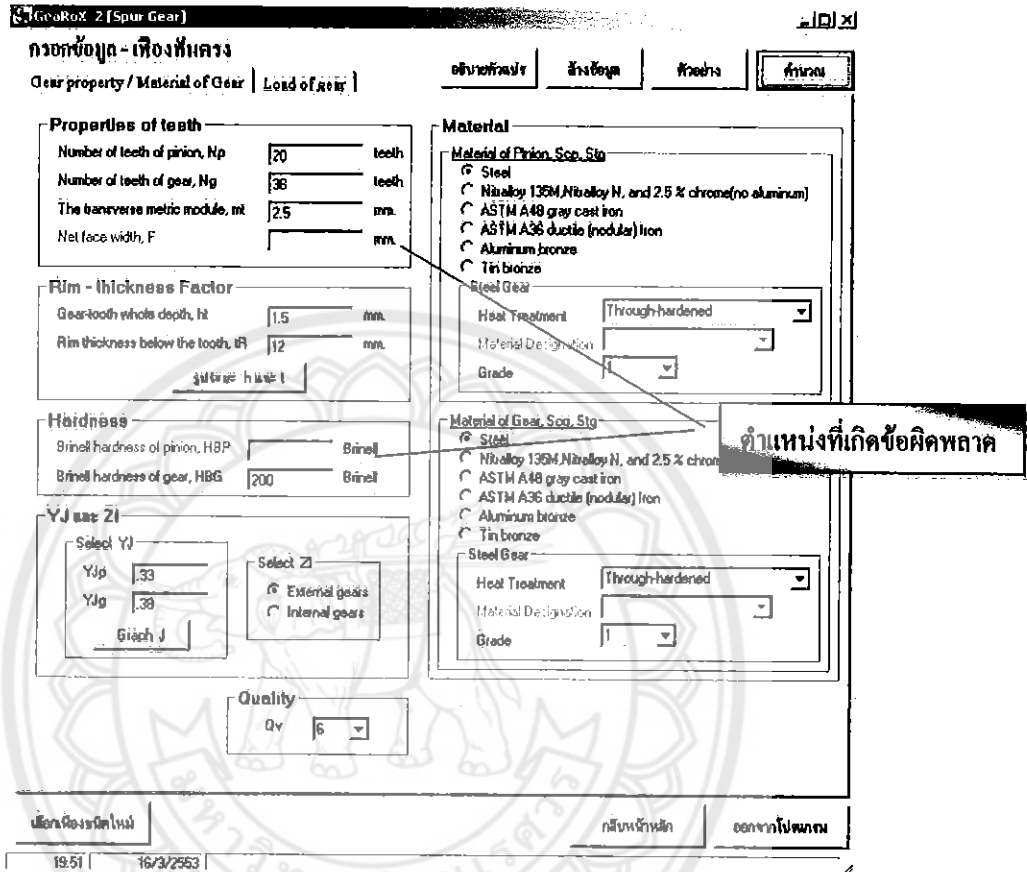
ข้อความตอบโต้ในกรณีที่ป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือว่า ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจะทำให้เกิดกล่องข้อความ ได้ตอบ ข้อดีของการมีกล่องโต้ตอบเพื่อการวิเคราะห์เฟื่องอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งภายในกล่องข้อความจะมีคำสั่งให้ปฏิบัติตามเพื่อความถูกต้องของโปรแกรม

1. ในกรณีที่พิมพ์ตัวหนังสือหรือปล่อยช่องว่างให้ว่างเปล่า กล่องข้อความโต้กลับจะแสดงดังรูปที่ ค.20



รูปที่ ค.20 แสดงความผิดพลาดที่เกิดจากพิมพ์ผิด หรือลืมกรอกข้อมูล

2. หลังจากมีข้อความเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาด ตำแหน่งที่เกิดข้อผิดพลาดตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเป็นสีแดง ให้ผู้ใช้กรอกค่าหรือแก้ไขค่านั้นใหม่เพื่อให้โปรแกรมคำนวณต่อไป



รูปที่ ค.21 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการกรอกค่าไม่ครบตามที่กำหนดไว้

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. ชื่อ : นายธีรพงศ์ พระคุ้มรักษา
 วันเดือนปีเกิด : 16 กุมภาพันธ์ 2531
 ภูมิลำเนา : 27/2 หมู่ 11 ซ.เอกชัย8 ถ.เอกชัย แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพฯ
 ประวัติการศึกษา :
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนมัธยมวัดดาวคณอง
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนวัดราชโอรส
 - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

2. ชื่อ : นายธีรพงษ์ สุภาศิริ
 วันเดือนปีเกิด : 01 พฤศจิกายน 2530
 ภูมิลำเนา : 82 หมู่ 9 ตำบลธารทอง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57250
 ประวัติการศึกษา :
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนแม่ลาววิทยาคม
 - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3. ชื่อ : นายพงศกร บุคตพิงค์
 วันเดือนปีเกิด : 02 พฤษภาคม 2530:
 ภูมิลำเนา : 100 ม.4 ตำบลวานรนิวาส อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร 47120:
 ประวัติการศึกษา :
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เลย
 - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เลย
 - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก