บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 ซึ่งเราได้ทำการออกแบบและแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง โดยอันดับต่อไปภายในบทนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 โดยมีดำเนินงานตามรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

4.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเฟือง

จากการศึกษาการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงจากในหนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล [1] พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเฟืองสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ความเสียหายที่เกิดจากโมเมนต์ดัดหรือ Bending ซึ่งทำให้ฟันเฟืองเกิดการโก่งงอและเสียรูปไปจากเดิม และความเสียหายที่เกิดบริเวณผิวฟันหรือ Pitting ทำให้ผิวฟันเกิดการสึกหรอเมื่อฟันเฟืองขบกันจะทำให้เกิดเสียงดังทำให้เฟืองไม่สามารถใช้งานต่อไปได้อีก และได้ทำการศึกษาในส่วนของวิธีการพัฒนาโปรแกรมโดยสามารถแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรในการคำนวณ การออกแบบโปรแกรม การเขียนโปรแกรม การทดสอบโปรแกรม การจัดทำเอกสารประกอบโปรแกรม และการปรับปรุงโปรแกรมให้มีความสมบูรณ์ [5] โดยหลักการพัฒนาโปรแกรมนี้สามารถนำไปช่วยในการสร้างโปรแกรมได้อย่างเป็นระบบ ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองขึ้นมานั้นจะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 เพราะเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเขียนโปรแกรม

4.2 ผลการดำเนินงานพัฒนาโปรแกรม

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองสามารถแสดงผลการดำเนินงานตามหลักการพัฒนาโปรแกรม 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์สมการและกำหนดตัวแปรในการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงตามแบบการคำนวณของ AGMA ที่มีสมการสำหรับการวิเคราะห์ความเสียหาย 43 สมการ จึงได้ทำการกำหนดตัวแปรเพื่อมาใช้ในการเขียนโปรแกรมดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการตามทฤษฎี และคำนิยาม

ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม	สัญลักษณ์ที่ใช้ในหนังสือ	คำนิยาม
a	a	ระยะเอดเดนดัมของฟันเฟืองขนาดมาตรฐาน
acma	$A(C_{ma})$	ตัวประกอบแฟกเตอร์การปรับตำแหน่ง
Akv	$A(K_v)$	ตัวประกอบไดนามิกแฟกเตอร์
bcma	$B(C_{ma})$	ตัวประกอบแฟกเตอร์การปรับตำแหน่ง
Bkv	$B(K_v)$	ตัวประกอบไดนามิกแฟกเตอร์
BSG	$(\sigma)_G$	ความเค้นดัดของเฟือง
BSP	$(\sigma)_P$	ความเค้นดัดของพีเนียน
ccma	$C(C_{ma})$	ตัวประกอบแฟกเตอร์การปรับตำแหน่ง
ce	C_e	แฟกเตอร์แก้ไขการปรับตำแหน่ง
cf	C_f	แฟกเตอร์สภาพพื้นผิวของฟันเฟือง
ch	C_H	แฟกเตอร์อัตราส่วนความแข็งสำหรับ Pitting
cma	C_{ma}	แฟกเตอร์การปรับตำแหน่ง
cmc	C_{mc}	แฟกเตอร์แก้ไขโหลด
cp	C_p	สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น, $\sqrt{lbf/in^2}(\sqrt{N/mm^2})$
cpm	C_{pm}	ตัวปรับแก้สัดส่วนของพีเนียน
CSG	$(\sigma_c)_G$	ความเค้นสัมผัสของเฟือง
CSP	$(\sigma_c)_P$	ความเค้นสัมผัสของพีเนียน
ct	Ø	มุมกดดัน
dg	d_G	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของเฟือง
dp	d_P	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพีเนียน
F	F	ความกว้างหน้าฟัน
h	H	แรงม้า
hbg	H_{BG}	ค่าความแข็งของเฟือง
hbp	H_{BP}	ค่าความแข็งพิเนียน
hl	Ψ	มุมเฉียงของฟันเฟือง
ht	h_t	ความสูงของฟันเฟือง
I	I	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานสัมผัส

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการตามทฤษฎี และคำนิยาม (ต่อ)

ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม	สัญลักษณ์ที่ใช้ในหนังสือ	คำนิยาม
jfg	-	ตัวคูณแฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของเฟือง
jfp	-	ตัวคูณแฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของพีเนียน
jg	J_G	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานดัดของเฟือง
jp	J_P	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตสำหรับความต้านทานดัดของพีเนียน
jpg	J'_G	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของเฟือง
jpn	J'_P	แฟกเตอร์รูปทรงเรขาคณิตของพีเนียน
kb	K_B	แฟกเตอร์ขอบความหนา
km	K_m	แฟกเตอร์การกระจายของโหลด
ko	K_o	แฟกเตอร์แก้โหลดเกินกำลัง
kr	K_R	แฟกเตอร์ความน่าเชื่อถือ
ksg	$(K_s)_G$	แฟกเตอร์แก้ขนาดของเฟือง
ksp	$(K_s)_P$	แฟกเตอร์แก้ขนาดของพีเนียน
kt	K_T	แฟกเตอร์แก้อุณหภูมิ
kv	K_v	ไดนามิกแฟกเตอร์
mb	m_B	อัตราส่วนความหนาต่อความสูงของฟันเฟือง
mg	m_G	อัตราส่วนความเร็ว (ไม่น้อยกว่า 1)
mn	m_N	ผลของอัตราส่วนช่วยกันรับโหลดของเฟืองฟันตรง
mnh	m_N	ผลของอัตราส่วนช่วยกันรับโหลดของเฟืองฟันเฉียง
ncp	N_P	วงรอบการใช้งานของพีเนียน
ncg	N_G	วงรอบการใช้งานของเฟือง
ng	N_G	จำนวนฟันของเฟือง
np	N_P	จำนวนฟันของพีเนียน
Pi	π	3.141592654
pd	P_d , P_n	จำนวนพิทช์ของพีเนียน
pnb	p_N	ระยะพิชท์ฐาน
ps	n	ความเร็วในการหมุน
PSG	$(S_H)_G$	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าของเฟือง

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการตามทฤษฎี และคำนิยาม (ต่อ)

ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม	สัญลักษณ์ที่ใช้ในหนังสือ	คำนิยาม
PSP	$(S_H)_P$	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าพีเนียน
pt	P_t	จำนวนพิชท์ในแนวสัมผัส
Qv	Q_v	ชุดหมายเลขแสดงระดับความเที่ยงตรงในการส่งกำลัง
rbg	r_{bG}	รัศมีวงกลมฐานของเฟือง
rbp	r_{bP}	รัศมีวงกลมฐานของพีเนียน
rg	r_G	รัศมีพิทช์ของเฟือง
rp	r_P	รัศมีพิทช์ของพีเนียน
scg	$(S_c)_G$	ความต้านแรงที่ผิวสัมผัส ของเฟือง
scp	$(S_c)_P$	ความต้านแรงที่ผิวสัมผัส ของพีเนียน
SFG	$(S_F)_G$	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของเฟือง
SFP	$(S_F)_P$	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของพีเนียน
stg	$(S_t)_G$	ความต้านทานแรงดัดของเฟือง
stp	$(S_t)_P$	ความต้านทานแรงดัด ของพีเนียน
tr	t_R	ความหนาของเฟืองวัดจากใต้ฟันเฟือง
V	V	ความเร็วในแนวพิทช์
Wt	W_t	โหลดในแนวสัมผัสที่ส่งกำลัง
yg	Y_G	แฟกเตอร์รูปร่างของเฟือง
yp	Y_P	แฟกเตอร์รูปร่างของพีเนียน
yng	$(Y_N)_G$	แฟกเตอร์แก้วงรอบการรับความเค้นดัดของพีเนียนของเฟือง
ynp	$(Y_N)_P$	แฟกเตอร์แก้วงรอบการรับความเค้นดัดของพีเนียน
z	-	F / (10 * dp)
zng	$(Z_N)_G$	แฟกเตอร์แก้วงรอบการรับความเค้นดัดขอเฟือง
znp	$(Z_N)_P$	แฟกเตอร์แก้วงรอบการรับความเค้นดัดของพีเนียน
zz	Z	ความยาวของแนวการกระทำในระนาบการสัมผัส

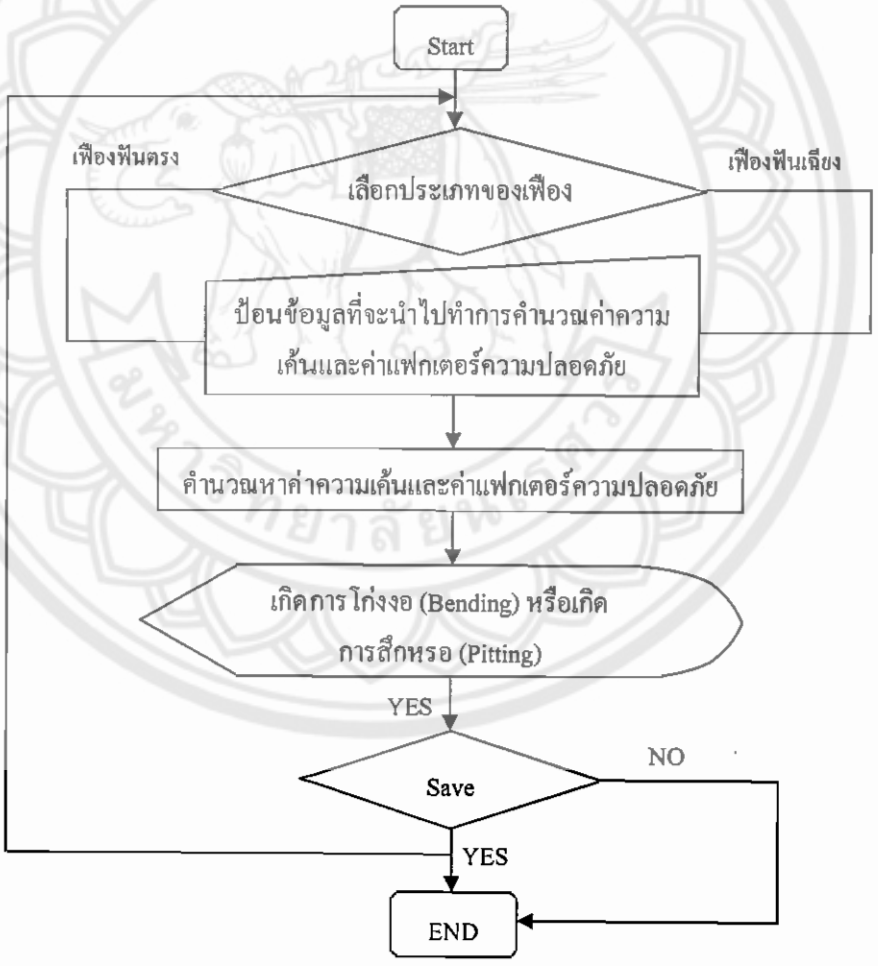
4.2.2 การออกแบบโปรแกรม

ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมเป็นการออกแบบลำดับการทำงานของโปรแกรม หน้าตาของโปรแกรม รวมถึงชื่อของโปรแกรมด้วย โดยชื่อของโปรแกรมตั้งชื่อว่า GeaRox (เกียร์รีอกซ์)

4.2.2.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 แผนผังการทำงาน คือ แผนภาพการทำงานของโปรแกรมโดยรวม แผนผังการคำนวณความเค้น และแผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย

- แผนภาพการทำงานของโปรแกรม

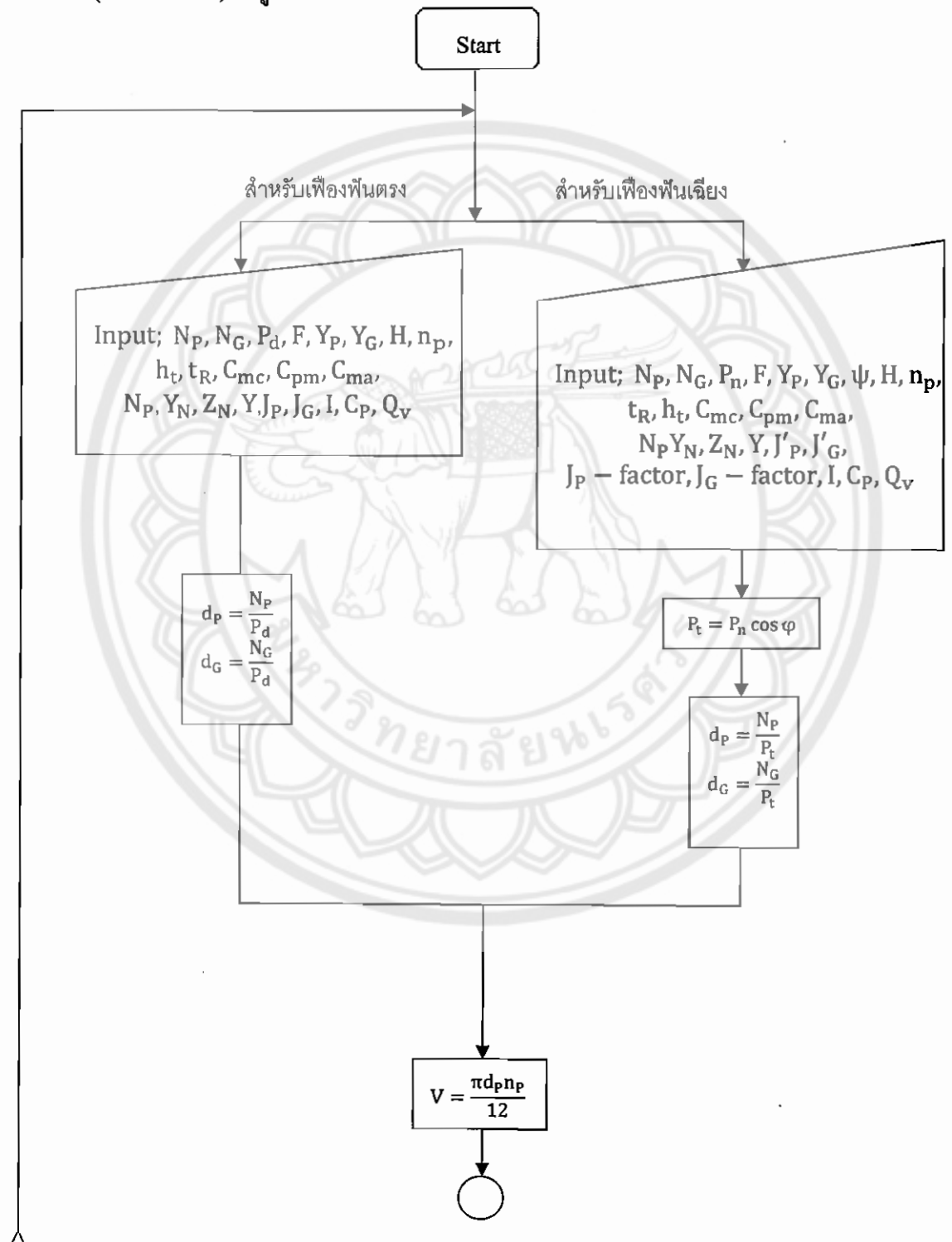
แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง ซึ่งเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมดโดยรวมของโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง ดังรูปที่ 4.1



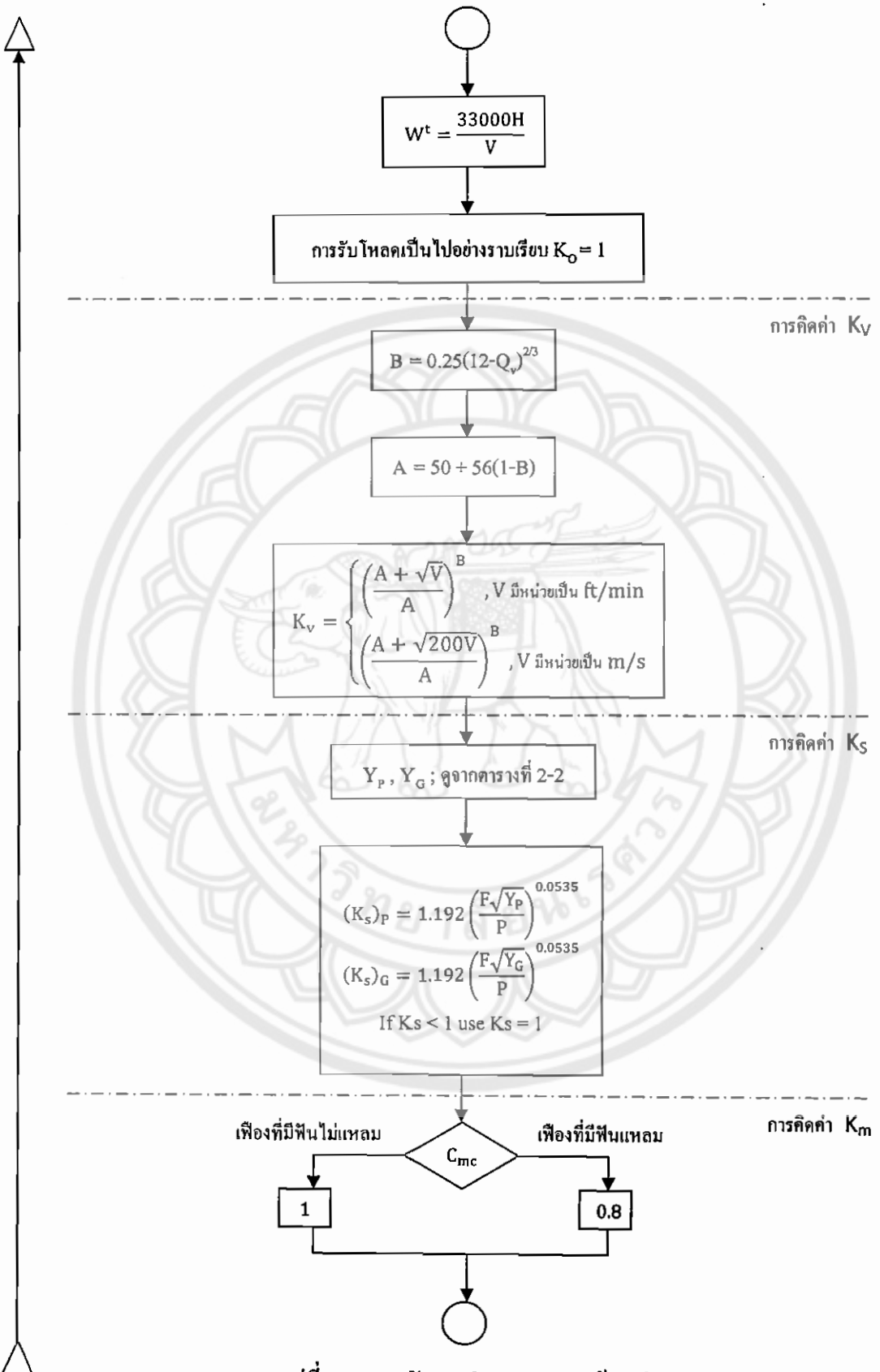
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

- แผนผังการคำนวณความเค้น

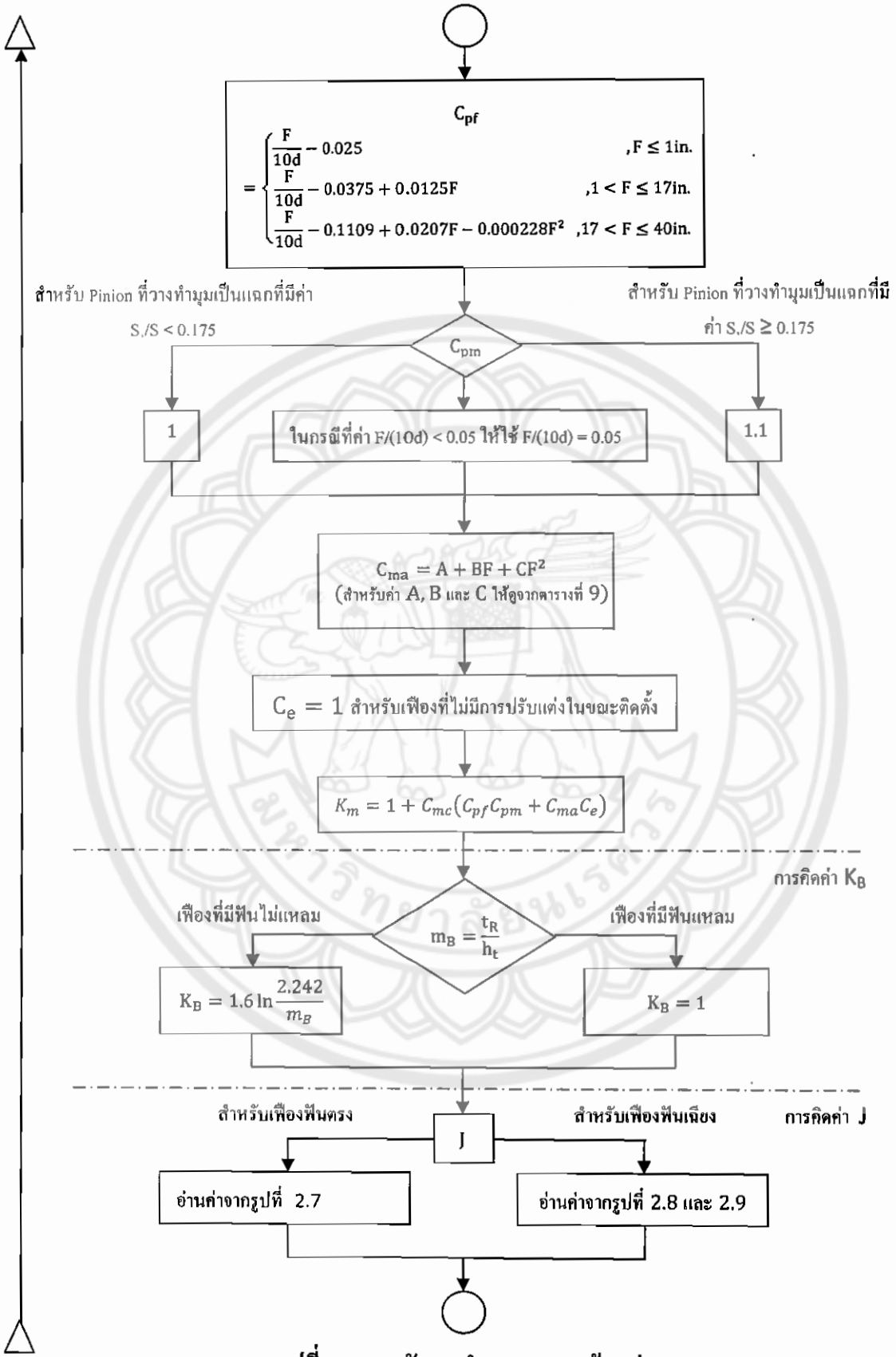
แผนผังการคำนวณความเค้นเป็นแผนผังการหาค่าความเค้นดัดล้า (σ) และความเค้นเนื่องจากการสัมผัสล้า (σ_c) ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งเฟืองฟันตรง (Spur Gear) และเฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) ดังรูปที่ 4.2



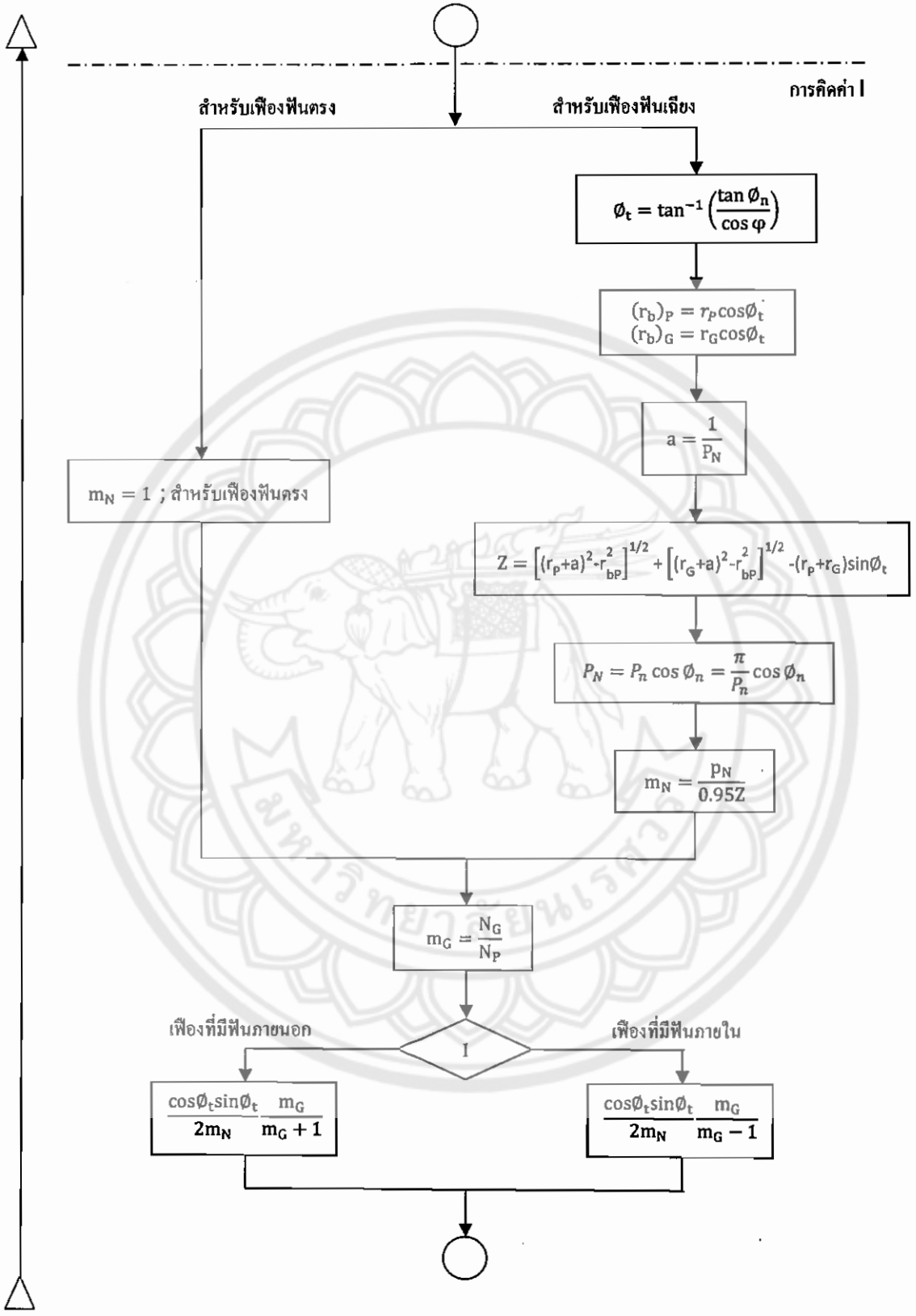
รูปที่ 4.2 แผนผังการคำนวณความเค้น



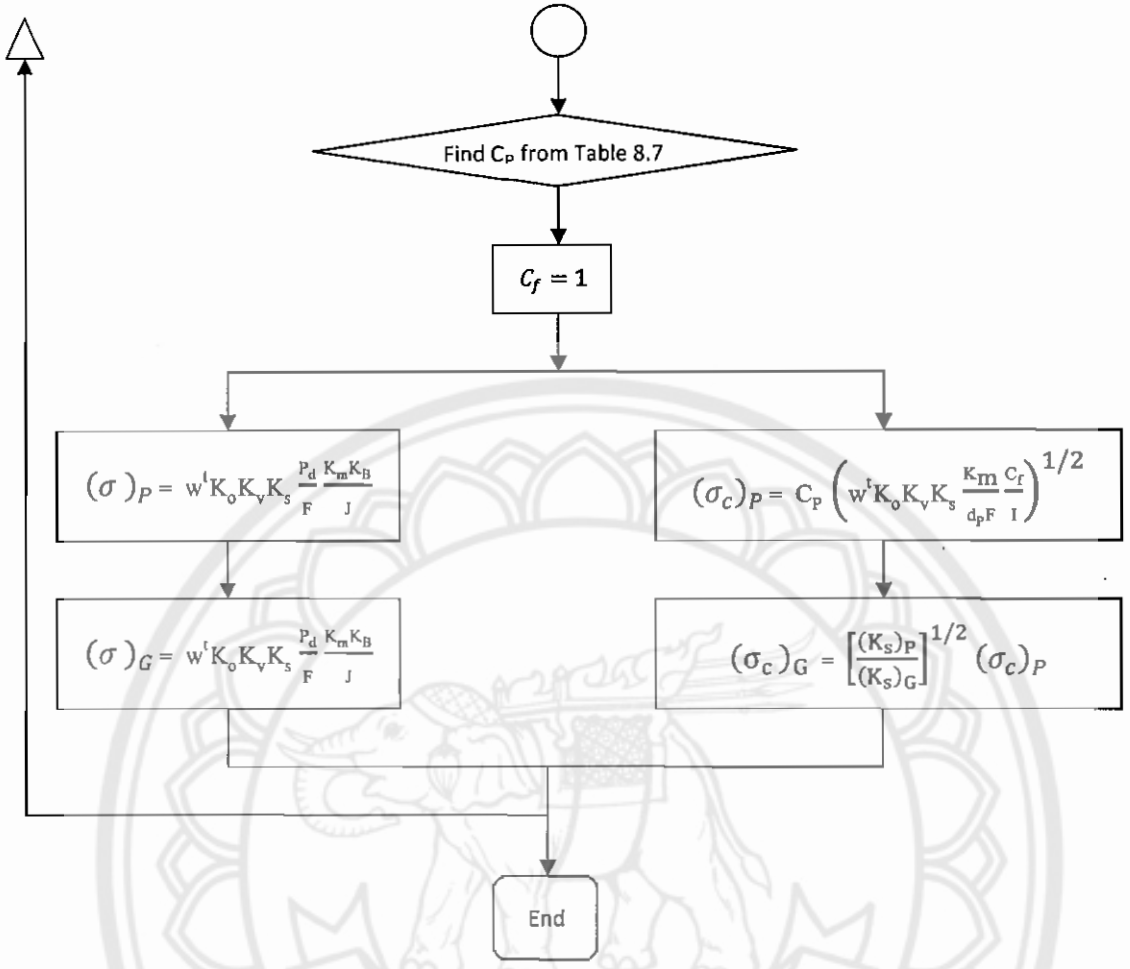
รูปที่ 4.2 แผนผังการคำนวณความเค้น (ต่อ)



รูปที่ 4.2 แผนผังการคำนวณความเค้น (ต่อ)



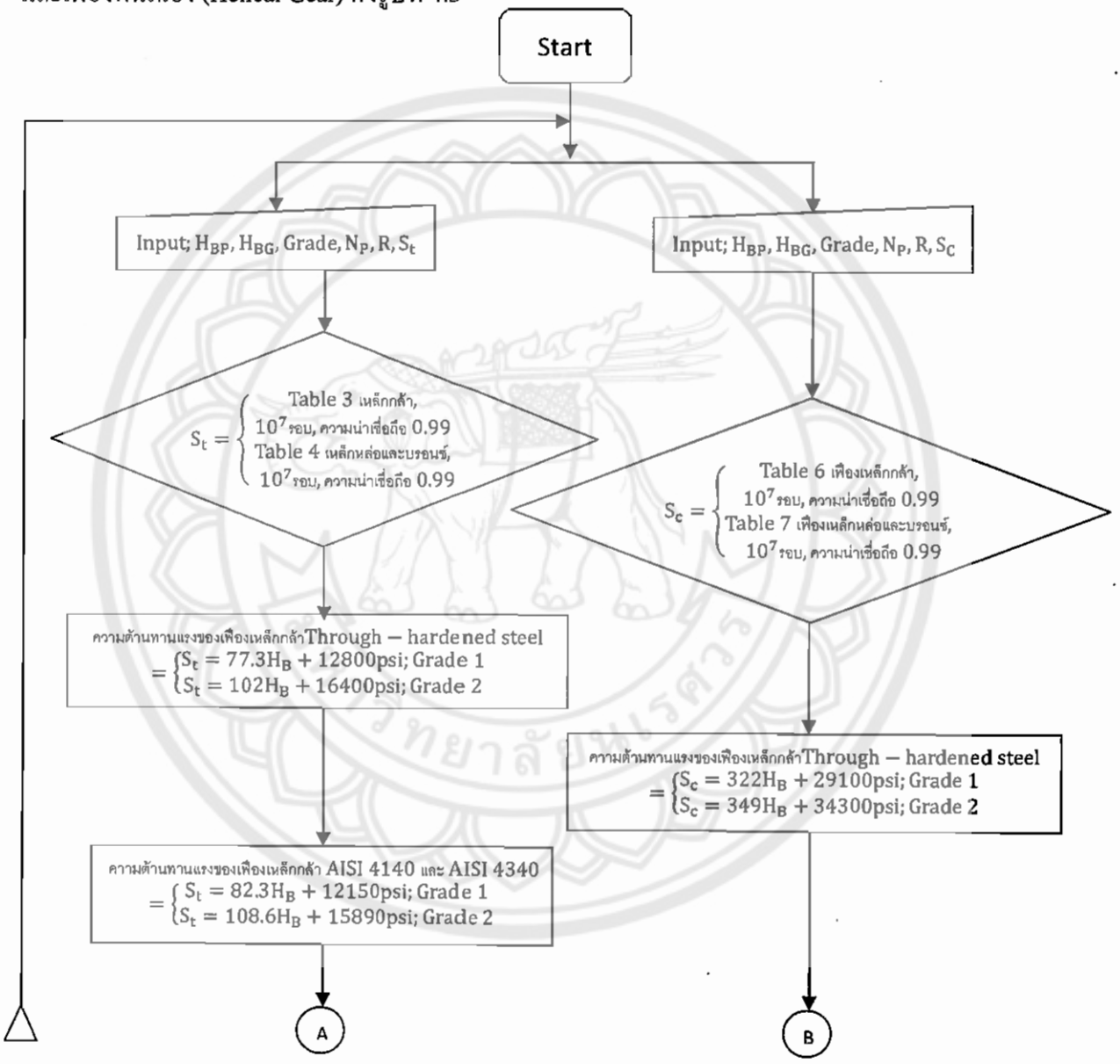
รูปที่ 4.2 แผนผังการคำนวณความเค้น (ต่อ)



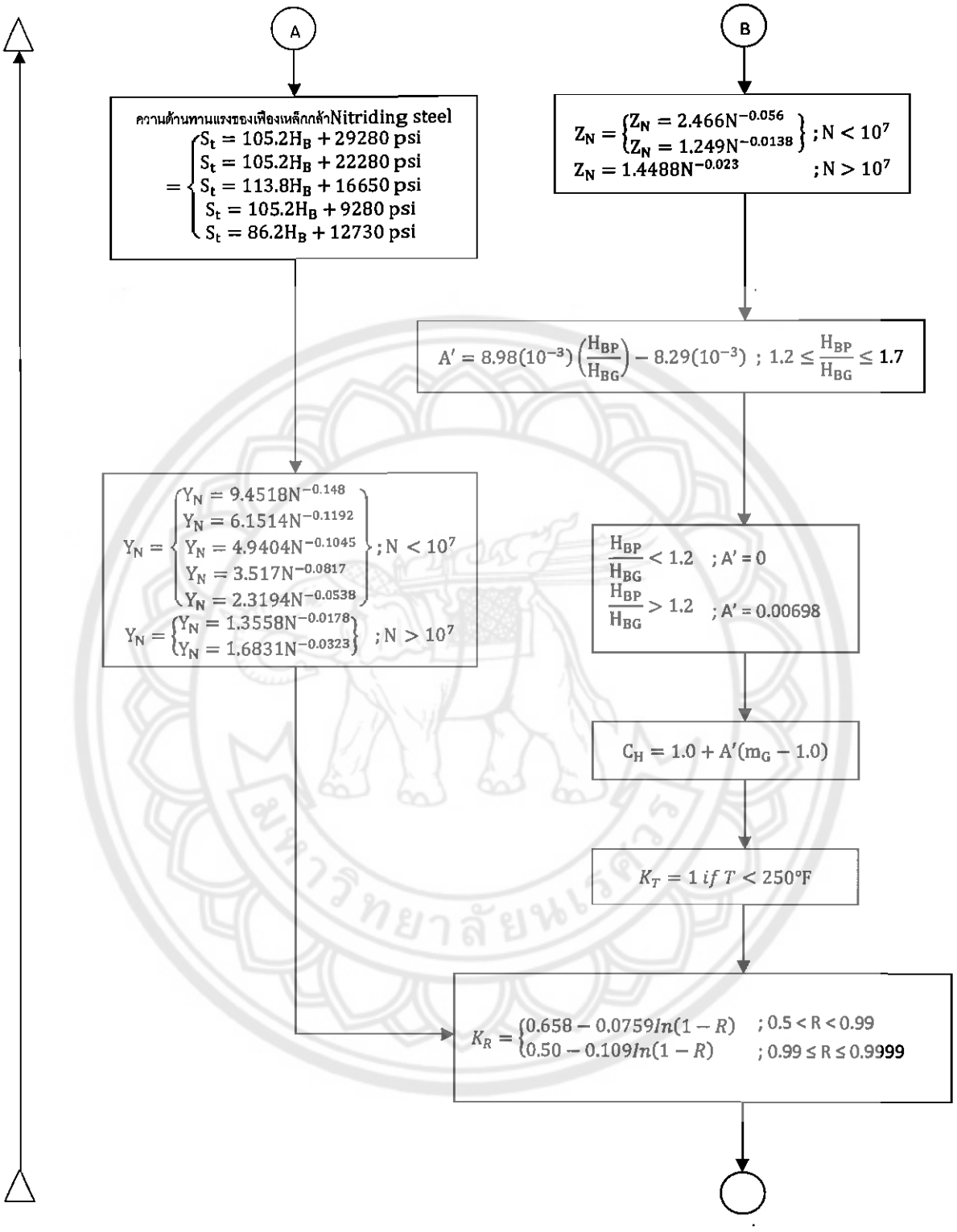
รูปที่ 4.2 แผนผังการคำนวณความเค้น (ต่อ)

- แผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย

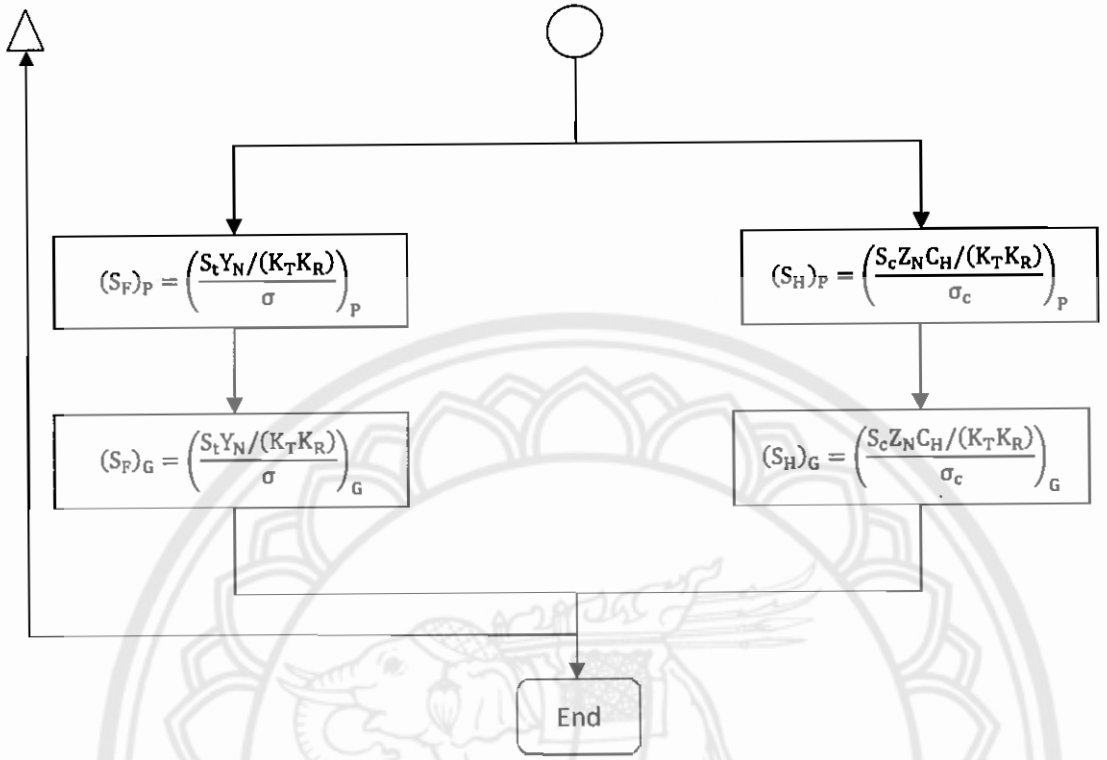
แผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเป็นแผนผังการหาค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย S_F เพื่อป้องกันความเสียหายของเฟืองเนื่องจากการตัดล้า และหาค่าแฟกเตอร์ S_H เพื่อป้องกันความเสียหายของเฟืองเนื่องจากการสัมผัสล้าซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งเฟืองฟันตรง (Spur Gear) และเฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเด้น



รูปที่ 4.3 แผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเค้น (ต่อ)



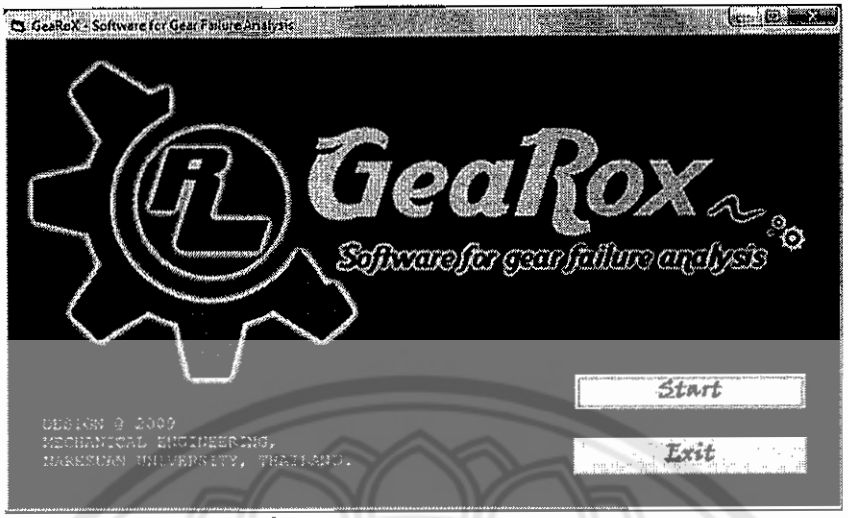
รูปที่ 4.3 แผนผังค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเค้น (ต่อ)

4.2.2.2 การออกแบบหน้าตาของโปรแกรม

จากการออกแบบหน้าตาของโปรแกรมด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 โดยคำนึงถึงการใช้งานที่ง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้งาน ซึ่งจะแสดงหน้าตาของโปรแกรมในหัวข้อ 4.3 ต่อไป

4.2.3 การเขียนโปรแกรม

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์สมการและกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในโปรแกรม พร้อมทั้งทำในส่วนของการออกแบบโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยอย่างครบถ้วนสมบูรณ์แล้ว ต่อมาในส่วนของการเขียนโปรแกรมนี้ได้เขียนคำสั่งการทำงานตามแผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ในข้างต้น ทำให้ได้โปรแกรมที่สมบูรณ์ดังรูปที่4.4 และพร้อมสำหรับการทดสอบโปรแกรมในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.4 แสดงโปรแกรม GeaRox

4.2.4 การทดสอบโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม GeaRox เพื่อหาข้อผิดพลาดของโปรแกรม การทดสอบโปรแกรมเพื่อตรวจหาและแก้ไขข้อผิดพลาดจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งโดยจะตรวจสอบว่าขั้นตอนวิธีและโปรแกรมที่เขียนขึ้นมานั้นสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองหรือไม่ นอกจากนี้จะตรวจสอบว่าขั้นตอนวิธีและโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกและสมบูรณ์ โดยนำผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของชุดข้อมูลทดสอบ 2 ชุดจากตัวอย่างที่เลือกมาในหนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล [1]

ตัวอย่างของเฟืองฟันตรง

พีเนียนเฟืองฟันตรง มีฟัน 17 ซี่ มุมกดดัน 20° หมุนด้วยความเร็ว 1800 รอบต่อนาที และส่งกำลัง 4 psi. ไปยังเฟืองที่มีฟัน 52 ซี่ เฟืองเหล่านี้มีจำนวนฟัน 10 ซี่ต่อนิ้ว ความกว้างหน้าฟัน 1.5 นิ้ว และมีคุณภาพตามมาตรฐานระดับ 6 เฟืองได้รับการติดตั้งระหว่างแบริ่ง 2 ตัว โดยแบริ่งอยู่ติดกับเฟืองโดยตรง พีเนียนทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 ชุบผิวฟันแข็งให้มีความแข็ง 240 Brinell และชุบแข็งตลอดแกนกลาง ส่วนเฟืองทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 ชุบแข็งตลอดตัวเฟือง และชุบผิวฟันและแกนกลางให้มีความแข็ง 200 Brinell กำหนดให้อัตราส่วนปัวส์ซองเท่ากับ 0.30, J_P=0.30,J_G=0.40 และค่าโมดูลัสของ 30×10^6 psi. การรับโหลดเป็นไปด้วยความราบเรียบ สมมติว่าพีเนียนมีวงรอบการใช้งาน 10^8 รอบภายใต้ความน่าเชื่อถือ 0.90 โปรไฟล์ของฟันเฟืองไม่หนาแน่น โดย Y_N=1.3558$N^{-0.0178}$ และ Z_N=1.4488$N^{-0.023}$ เพื่อหาค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการดัด แฟกเตอร์ความปลอดภัยในการสึกหรอ และวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยทั้ง 2 พร้อมทั้งบอกว่าเกิดภัยคุกคามต่อเฟืองแต่ละตัวแบบใดเมื่อเกิดการขบกัน

ตัวอย่างเฟืองฟันเฉียง

พีเนียนเฟืองฟันเฉียงมีฟัน 17 ซี่ มุมกดดันในแนวดั้งฉาก 20° และมีมุมเฉียงของฟันเฟือง 30° หมุนด้วยความเร็ว 1800 รอบต่อนาที และส่งกำลัง 4 hp ไปยังเฟืองที่มีฟัน 52 ซี่ เฟืองเหล่านี้มีจำนวนฟันในแนวตั้งฉาก 10 ซี่ต่อนิ้ว ความกว้างหน้าฟัน 1.5 นิ้ว และมีคุณภาพตามมาตรฐานระดับ 6 เฟืองได้รับการติดตั้งอยู่ระหว่างแบริ่ง 2 ตัว โดยแบริ่งอยู่ติดกับเฟืองโดยตรง พีเนียนทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 ชุบผิวฟันแข็งให้มีความแข็ง 240 Brinell และชุบแข็งตลอดแกนกลาง ส่วนเฟืองทำจากเหล็กกล้าเกรด 1 ชุบแข็งตลอดตัวเฟือง และชุบผิวฟันและแกนกลางให้มีความแข็ง 200 Brinell การหมุนเป็นไปด้วยความราบเรียบโดยต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้าและปั๊ม สมมติว่าพีเนียนมีวงรอบการใช้งาน 10^8 รอบ ภายใต้ความน่าเชื่อถือ 0.90 และให้ใช้กราฟเส้นในรูปที่ 2-14 และ 2-15 เพื่อหาค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการดัดแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการสึกหรอ และวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยทั้ง 2 พร้อมทั้งบอกว่าเกิดภัยคุกคามต่อเฟืองแต่ละตัวแบบใดเมื่อเกิดการขบกัน

จากข้อมูลตัวอย่างของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงด้านบน โดยนำผลการคำนวณจากโปรแกรม GeaRox มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณมือ เพื่อหาร้อยละความคลาดเคลื่อน ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของเฟืองฟันตรง

ลำดับการคำนวณ	รายการคำตอบ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1	ความเร็วในแนวพิทช์	V	ft/min	801.1061	801.1061	0
2	โหลดในแนวสัมผัสที่ส่งกำลัง	W^t	lbf	164.7722	164.7722	0
3	ความเค้นดัดของพีเนียน	$(\sigma)_P$	psi	6,417.8665	6,414.2319	0.06
4	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของพีเนียน	$(S_F)_P$		5.6137	5.6161	0.04
5	ความเค้นดัดของเฟือง	$(\sigma)_G$	psi	4,853.1292	4,850.3362	0.06
6	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของเฟือง	$(S_F)_G$		6.8261	6.8299	0.06
7	ความเค้นสัมผัสของพีเนียน	$(\sigma_c)_P$	psi	68,867.7030	70,317.6355	2.11
8	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าของพีเนียน	$(S_H)_P$		1.7236	1.6879	2.07
9	ความเค้นสัมผัสของเฟือง	$(\sigma_c)_G$	psi	69,151.3325	70,603.9128	2.1
10	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าของเฟือง	$(S_H)_G$		1.5560	1.5237	2.08

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง

ลำดับการคำนวณ	รายการคำตอบ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1	ความเร็วในแนวพิทช์	V	ft/min	925.0420	925.0420	0
2	โหลดในแนวสัมผัสที่ส่งกำลัง	W^t	lbf	142.6962	142.6962	0
3	ความเค้นดัดของพีเนียน	$(\sigma)_P$	psi	3,447.4085	3,445.3123	0.06
4	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของพีเนียน	$(S_F)_P$		10.4508	10.4574	0.06
5	ความเค้นดัดของเฟือง	$(\sigma)_G$	psi	2,799.7890	2,778.7195	0.75
6	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการดัดล้าของเฟือง	$(S_F)_G$		11.8322	11.9218	0.76
7	ความเค้นสัมผัสของพีเนียน	$(\sigma_c)_P$	psi	49,806.6838	48,225.4083	3.17
8	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าของพีเนียน	$(S_H)_P$		2.3832	2.4599	3.22
9	ความเค้นสัมผัสของเฟือง	$(\sigma_c)_G$	psi	50,204.6146	48,437.6403	3.52
10	แฟกเตอร์ความปลอดภัยจากการสัมผัสล้าของเฟือง	$(S_H)_G$		2.1431	2.2207	3.62

- **ผลการทดสอบโปรแกรม**

จากการวิเคราะห์ผลการใช้งานของโปรแกรม GeaRox สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการวิเคราะห์ความสะดวกในการใช้งาน และส่วนของการวิเคราะห์ความถูกต้องของผลการคำนวณ โดยการทดสอบโปรแกรม GeaRox ในครั้งแรกพบว่าการใช้โปรแกรมนี้ช่วยให้การวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองมีความรวดเร็ว แต่ฟังก์ชั่นการใช้งานยังไม่ครบถ้วน ซึ่งได้พบปัญหาในการใช้งานและควรเพิ่มคำแนะนำต่างๆ ดังนี้

- ควรมีรายละเอียดของข้อจำกัดโปรแกรม ขั้นตอนการใช้โปรแกรม และคู่มือการใช้งานอยู่ในตัวโปรแกรม
- ควรพัฒนาการกรอกค่าแฟกเตอร์รูปร่าง Y โดยไม่จำเป็นต้องดูจากตาราง
- ควรปรับปรุงการเลือกวัสดุที่ใช้ทำเฟืองและพิเนียนไม่ให้ผู้ใช้สับสน
- ควรมีปุ่มที่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในแต่ล่ะ tab โดยมีกล่องข้อความขึ้นมาแจ้งว่าข้อมูลที่กรอกนั้นมีความถูกต้องแล้วจึงสามารถกรอกข้อมูลในขั้นตอนต่อไปได้

- เมื่อกรอกข้อมูลผิดนอกจากจะมีข้อความแจ้งเตือนให้รู้ว่ากรอกข้อมูลผิด นอกจากนั้นควรจะมีข้อความที่บอกด้วยว่าผิดตรงไหน อย่างไร

ในส่วนของการคำนวณ จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม GeaRox กับค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณมือของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงจะเห็นได้ว่าลำดับขั้นตอนการคำนวณที่ 1 และ 2 มีร้อยละความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ ส่วนในลำดับขั้นตอนการคำนวณที่ 3-10 จะมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กล่าวคือ ร้อยละ 0.06-2.08 สำหรับเฟืองฟันตรงและร้อยละ 0.06-3.62 สำหรับเฟืองฟันเฉียง เป็นเพราะการสะสมของเลขทศนิยม แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าลำดับขั้นตอนการคำนวณที่ 7-10 มีร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดก็เพราะสูตรของลำดับขั้นตอนการคำนวณที่ 7 และ 9 มีการยกกำลังเกิดขึ้น และความผิดพลาดจากการอ่านกราฟค่า I และ J ทำให้มีการสะสมเลขทศนิยมเพิ่มขึ้นอีก ส่วนความคลาดเคลื่อนของเฟืองฟันเฉียงมีมากกว่าความคลาดเคลื่อนของเฟืองฟันตรงก็เป็นเพราะในโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 มีระบบการคำนวณเป็นแบบเรเดียน (Radian) จึงต้องทำการเปลี่ยนมาเป็นระบบการคำนวณแบบดีกรี (Degree) เพื่อให้มีระบบการคำนวณตรงกับหนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล (Mechanical Engineering Design) [1] แต่ในส่วนของการวิเคราะห์ต่างคูณด้วยค่าความปลอดภัยไว้แล้วทำให้ยอมรับผลการคำนวณได้

4.2.5 การปรับปรุงโปรแกรมให้มีความสมบูรณ์

จากผลการทดสอบโปรแกรม GeaRox จึงได้มีการปรับปรุงโปรแกรมในส่วนของฟังก์ชั่นการใช้งานให้มีมากขึ้น กล่าวคือ

- ได้เพิ่มรายละเอียดของข้อจำกัดโปรแกรม ขั้นตอนการใช้โปรแกรม และคู่มือการใช้งานให้มีอยู่ในตัวโปรแกรม
- ได้พัฒนาให้มีการกรอกจำนวนฟันอย่างเดียวโดยไม่ต้องกรอกค่าแฟกเตอร์รูปร่าง Y
- ทำโปรแกรมให้สามารถเลือกวัสดุที่ใช้ทำเฟืองและพิเนียนได้อย่างถูกต้องตามทฤษฎี
- เมื่อกรอกข้อมูลไม่ครบจะไม่สามารถกดปุ่มคำนวณได้
- มีข้อความตอบโต้ในกรณีที่ป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือว่า ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจะทำให้เกิดกล่องข้อความโต้ตอบ ข้อดีของการมีกล่องโต้ตอบเพื่อการวิเคราะห์เฟืองอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน

ส่วนในตัวโปรแกรมนั้นได้มีการใส่คู่มือการใช้งานเข้าไปด้วย ทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการใช้โปรแกรมมากขึ้น เมื่อเกิดปัญหาในการใช้งานก็สามารถเปิดคู่มือขึ้นมาดูได้ทันที ซึ่งคู่มือที่ได้จัดทำขึ้น และได้ปรับปรุงในส่วนของหน้าตาโปรแกรมให้มีความสวยงามและสะดวกต่อการ

ใช้งานจนได้โปรแกรมที่สมบูรณ์ ซึ่งแสดงในหัวข้อ 4.3 ต่อไป ได้แสดงถึงขั้นตอนการใช้งานอย่างละเอียดถี่ถ้วนพร้อมภาพประกอบทุกขั้นตอน

4.2.6 การจัดทำเอกสารประกอบโปรแกรม

จากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง เพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการใช้งานจึงได้จัดทำคู่มือการใช้งานโปรแกรมไว้ที่ภาคผนวก ข ซึ่งจะแสดงถึงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมโดยละเอียดพร้อมทั้งมีรูปภาพประกอบในแต่ละขั้นตอนช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

4.3 โปรแกรมเกียร์ร็อกซ์ (GeaRox)

จากการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมทำให้ได้โปรแกรมที่สมบูรณ์พร้อมสำหรับการใช้งาน และได้ตั้งชื่อโปรแกรมนี้ว่า "เกียร์ร็อกซ์" (GeaRox) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงตามหลักทฤษฎีของ AGMA โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องคำนวณด้วยมือเองเพราะจะเกิดความผิดพลาดและความยุ่งยากในการคำนวณ โปรแกรมนี้จึงมีประโยชน์มากในการคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการคำนวณด้วยมืออีกด้วย โดยโปรแกรม GeaRox นี้มีขั้นตอนการใช้งานที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังต่อไปนี้

4.3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม มีดังต่อไปนี้

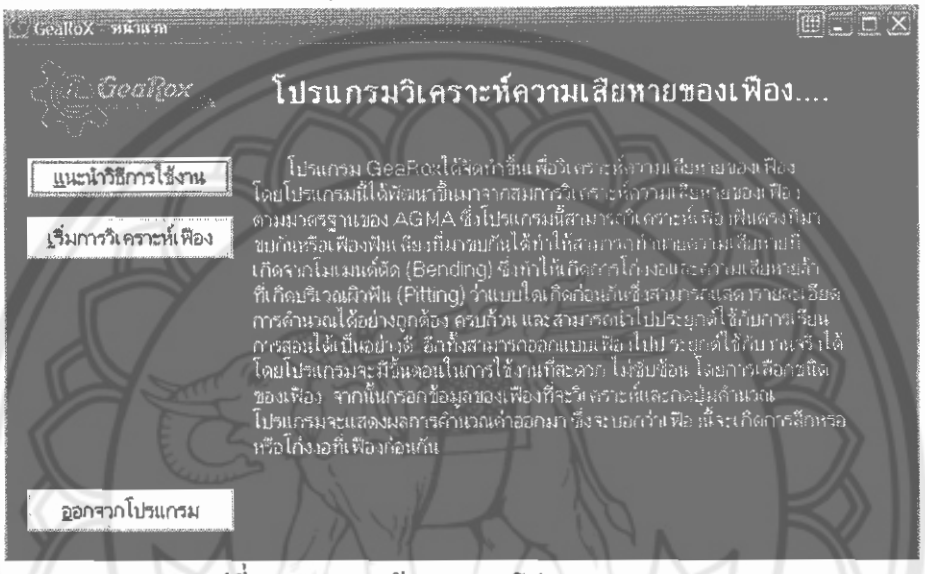
4.3.1.1 เมื่อเข้าสู่โปรแกรม GeaRox โปรแกรมจะแสดงหน้าเริ่มต้น ดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 แสดงหน้าเริ่มต้นโปรแกรม

โดยมีคำสั่งในการทำงานของหน้าเริ่มต้นโปรแกรม ดังต่อไปนี้

- Start คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับเข้าสู่หน้าแรกของโปรแกรม
- Exit คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

4.3.1.2 เมื่อเข้าสู่หน้าแรกของโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.6

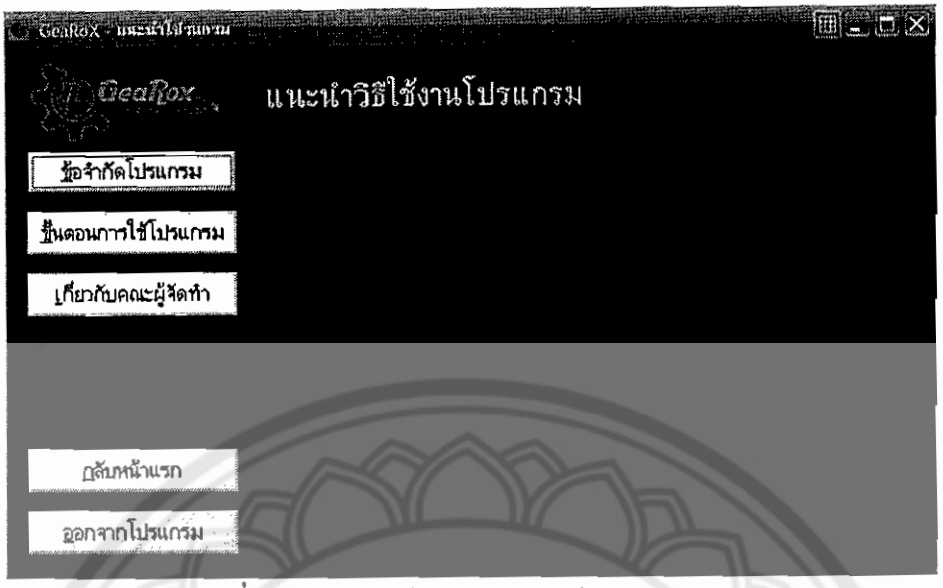


รูปที่ 4.6 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRox

โดยมีคำสั่งในการทำงานของหน้าแรกของโปรแกรม ดังต่อไปนี้

- แนะนำวิธีการใช้งาน คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแนะนำวิธีใช้งานโปรแกรม โดยโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าของแนะนำวิธีการใช้งาน
- เริ่มการวิเคราะห์เฟือง คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับเริ่มการวิเคราะห์เฟืองโดย โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าเลือกชนิดเฟือง
- ออกจากโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

4.3.1.3 เมื่อเข้าสู่หน้าแนะนำวิธีใช้งาน โปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4. 7 แสดงหน้าแนะนำการใช้งานโปรแกรม

โดยมีคำสั่งการทำงานของหน้าแนะนำวิธีใช้งานโปรแกรม ดังต่อไปนี้

- ข้อจำกัดโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับดูรายละเอียดของข้อจำกัดโปรแกรมและความต้องการทางฮาร์ดแวร์ของโปรแกรม ซึ่งรายละเอียดนี้จะแสดงออกมาทางกล่องข้อความทางด้านขวามือของตัวโปรแกรม
- ขั้นตอนการใช้โปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับดูขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมแบบคร่าวๆ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงหน้าคู่มือการใช้งานโปรแกรมขึ้นมา
- เกี่ยวกับคณะผู้จัดทำ คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับดูรายละเอียดที่เกี่ยวกับผู้จัดทำ ซึ่งจะแสดงผลออกมาทางกล่องข้อความทางด้านขวามือของตัวโปรแกรม
- กลับหน้าแรก คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับกลับหน้าแรกของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRox และจะปิดหน้าแนะนำวิธีใช้งานโปรแกรม
- ออกจากโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

4.3.1.5 เมื่อเข้าสู่หน้าเลือกชนิดของเฟือง โปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 แสดงหน้าเลือกชนิดของเฟือง

ซึ่งเป็นขั้นตอนการเริ่มวิเคราะห์เฟืองขั้นตอนแรกที่จะให้ผู้ใช้ต้องเลือกชนิดของเฟืองเพื่อทำการกรอกข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไปโดยมีคำสั่งในการทำงานของหน้าเลือกชนิดของเฟืองดังต่อไปนี้

- ในการเลือกชนิดของเฟือง คำสั่งที่ใช้สำหรับการเลือกชนิดเฟืองแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้
  - คือ ภาพที่เสมือนปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับเลือกวิเคราะห์เฟืองฟันตรง โดยโปรแกรมจะแสดงผลหน้าของการกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง และจะปิดหน้าการเลือกชนิดเฟือง
  - คือ ภาพที่เสมือนปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับเลือกวิเคราะห์เฟืองฟันเฉียง โดยโปรแกรมจะแสดงผลหน้าของการกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง และจะปิดหน้าการเลือกชนิดเฟือง
- คำสั่งที่ใช้สำหรับการแสดงรายละเอียดของเฟือง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้
  - คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันตรง ซึ่งจะแสดงออกมาที่กล่องข้อความด้านล่างของหน้าเลือกชนิดของเฟือง

- Helical Gear... คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันเฉียง ซึ่งจะแสดงออกมาที่กล่องข้อความด้านล่างของหน้าเลือกชนิดของเฟือง

- ขั้นตอนการใช้งาน คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมแบบคร่าวๆ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงหน้าขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรมขึ้นมา ดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

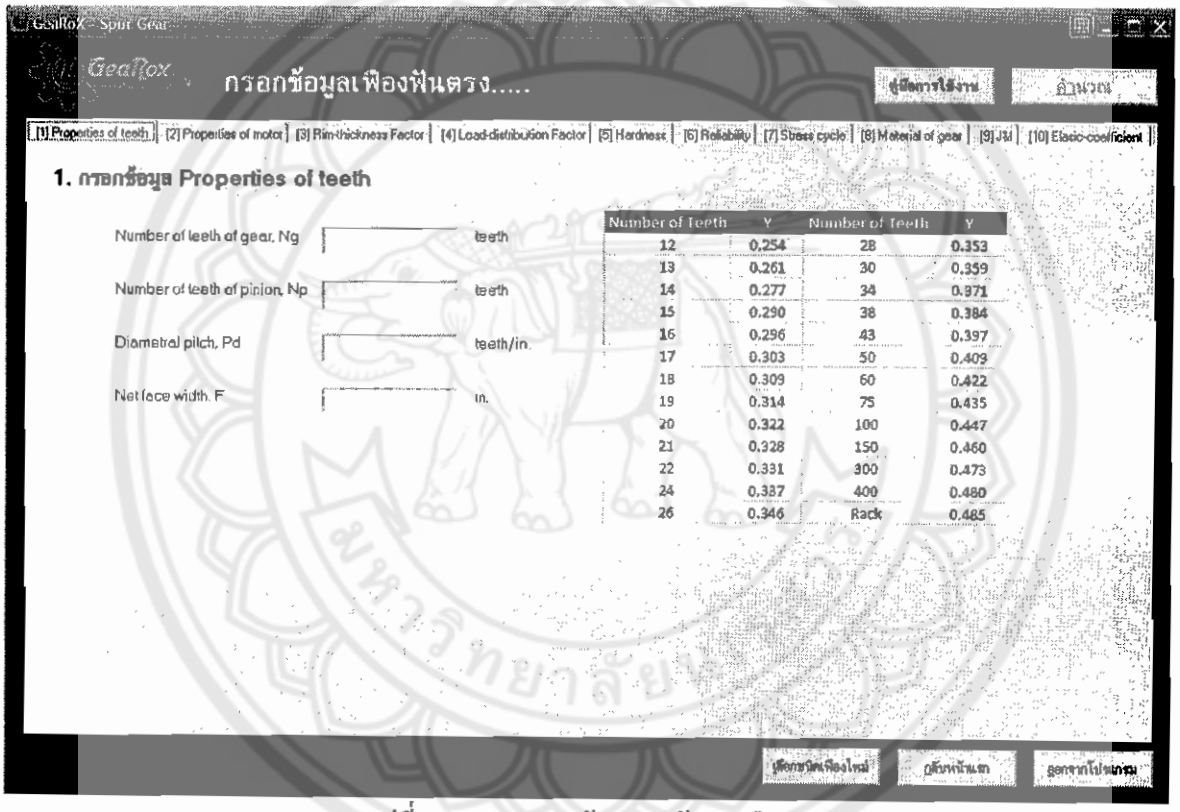
- โดยมีคำสั่งการทำงานของหน้าขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม ดังต่อไปนี้

  - ปิด คือ ปุ่มที่ใช้สำหรับปิดหน้า pop-up ของคู่มือการใช้งานโปรแกรม

- กลับหน้าแรก คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับกลับหน้าแรกของโปรแกรมโดยโปรแกรมจะแสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRox และจะปิดหน้าแนะนำวิธีใช้งานโปรแกรใ

- ออกจากโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

4.3.1.6 เมื่อเข้าสู่หน้ากรอกข้อมูล ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของเฟืองที่จะทำการวิเคราะห์ โดยหน้านี้จะแบ่งการกรอกข้อมูลเป็น 10 ขั้นตอน ซึ่งผู้ใช้จะต้องกรอกข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-10 ตามลำดับ และถ้าต้องการทราบรายละเอียดของวิธีการกรอกข้อมูลส่วนนี้สามารถเรียกดูได้จากปุ่มคำสั่งคู่มือการใช้งาน (ภาคผนวก ข) โดยขั้นตอนการกรอกข้อมูลเฟืองนี้จะแบ่งการกรอกข้อมูลเฟืองเป็น 2 ชนิด คือ การกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง และการกรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียงซึ่งได้เลือกไว้ในขั้นตอนการเลือกชนิดเฟือง โดยที่หน้าตาของการกรอกข้อมูลเฟืองทั้งสองชนิดจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งโปรแกรมจะแสดงหน้าตาของหน้ากรอกข้อมูลเฟือง ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงหน้ากรอกข้อมูลเฟือง

โดยมีคำสั่งที่ใช้ในการทำงานของหน้ากรอกข้อมูลเฟือง ดังต่อไปนี้

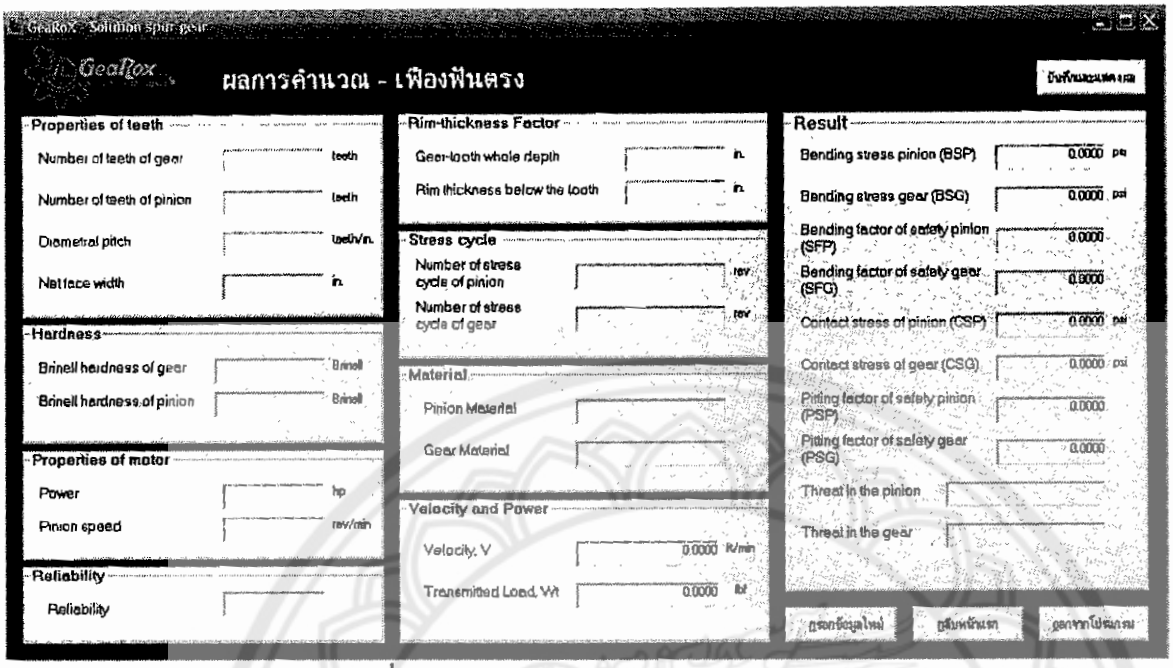
- คำนวณ คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับคำนวณผลของค่าที่กรอกออกมา โดยโปรแกรมจะแสดงหน้ารายงานผลการคำนวณออกมา ซึ่งการใช้งานปุ่มคำสั่งนี้จะใช้ได้กรณีที่ผู้ใช้กรอกข้อมูลต่างๆได้ครบถ้วนเท่านั้นปุ่มคำสั่งจึงจะสามารถกดใช้งานได้

- คู่มือการใช้งาน คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงคู่มือการใช้งานของโปรแกรมแบบละเอียด ซึ่งโปรแกรมจะแสดงไฟล์คู่มือการใช้งานขึ้นมา
- เลือกชนิดเฟืองใหม่ คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับเลือกชนิดของเฟืองใหม่ โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าเลือกชนิดของเฟืองและจะปิดหน้ากรอกข้อมูลเฟือง
- กลับหน้าแรก คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับกลับหน้าแรกของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRox และจะปิดหน้ากรอกข้อมูลเฟือง
- ออกจากโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

โดยขั้นตอนของการกรอกข้อมูลเฟืองนี้ ยังมีคำสั่งย่อยที่เป็นประโยชน์ต่อการกรอกข้อมูลเฟือง ดังต่อไปนี้

- กราฟแสดงค่า J คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงกราฟค่า J ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงอยู่ในขั้นตอนที่ 9 ของการกรอกข้อมูลเฟืองของหน้ากรอกข้อมูลชนิดเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง
- กราฟแสดงค่า J' คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงกราฟค่า J' ดังรูปที่ 2.8 และ2.9 ตามลำดับ ซึ่งแสดงอยู่ในขั้นตอนที่ 9 ของการกรอกข้อมูลเฉพาะเฟืองฟันเฉียง เท่านั้น

4.3.1.7 เมื่อเข้าสู่หน้าของผลการคำนวณ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของผลการคำนวณรวมถึงค่าที่กรอกข้อมูลของเฟืองไปในขั้นตอนกรอกข้อมูลเฟือง ในการแสดงผลนั้นทางด้านซ้ายมือของหน้าผลการคำนวณของโปรแกรมจะเป็นค่าที่ได้จากการกรอกข้อมูล และทางด้านขวามือของหน้าผลการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมแบ่งผลการคำนวณออกเป็น 2 ชนิด คือ ผลการคำนวณของเฟืองหันตรงและผลการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของเฟือง โดยโปรแกรมจะแสดงผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงหน้าตาของผลการคำนวณ

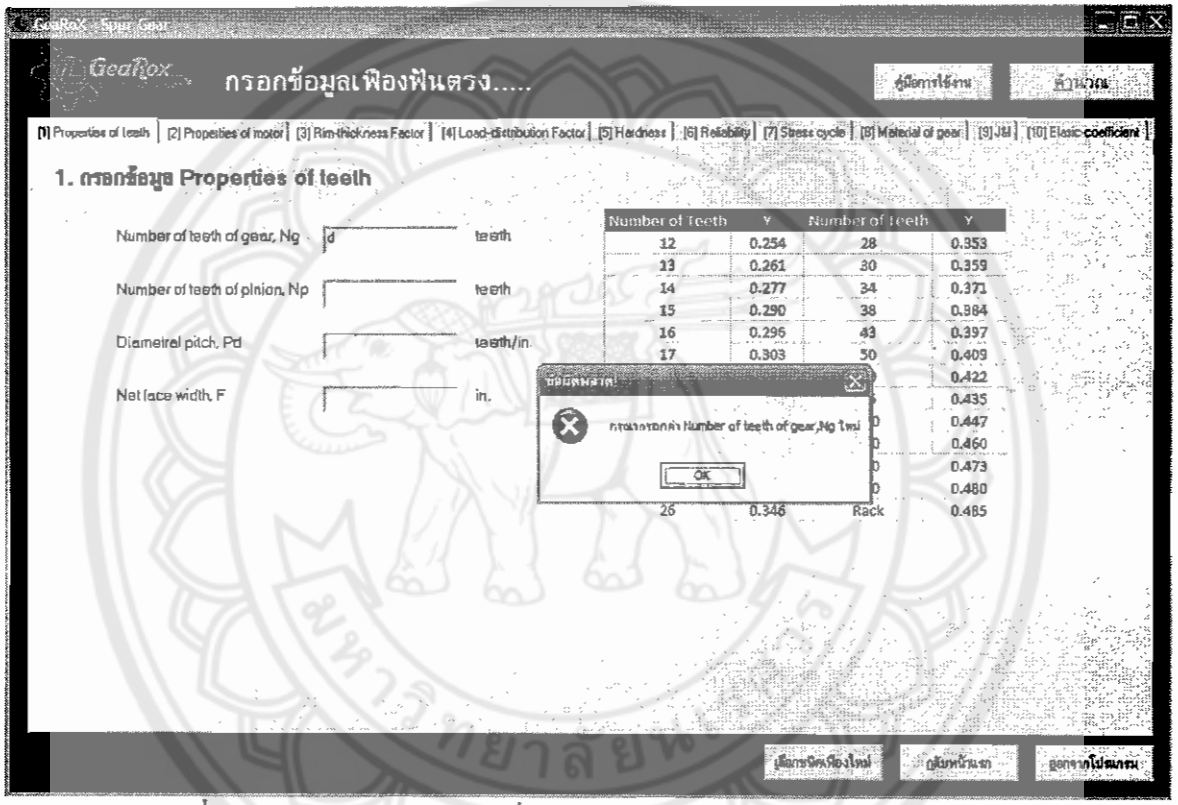
โดยคำสั่งที่ใช้ในการทำงานของหน้าผลการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

- บันทึกและแสดงผล คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงผลข้อมูลและบันทึกข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกลงในโปรแกรม โดยโปรแกรมจะบันทึกและแสดงเป็นไฟล์ *.txt ซึ่งไฟล์งานดังกล่าวถูกตั้งค่าให้บันทึกอยู่ที่ C:\Program Files\GeaRox*.txt โดยชื่อของไฟล์งานที่บันทึกจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของเฟืองและจะแสดงผลไฟล์งานที่ทำการบันทึกไว้ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการบันทึกหรือสั่งพิมพ์ต่อไป
- กรอกข้อมูลใหม่ คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับกลับไปขั้นตอนการกรอกข้อมูล โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าของการกรอกข้อมูลและปิดหน้าของผลการคำนวณ
- กลับหน้าแรก คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับกลับหน้าแรกของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRoxและจะปิดหน้าผลการคำนวณ
- ออกจากโปรแกรม คือ ปุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับออกจากตัวโปรแกรม

4.3.2 ข้อความตอบโต้เมื่อเกิดความผิดพลาด

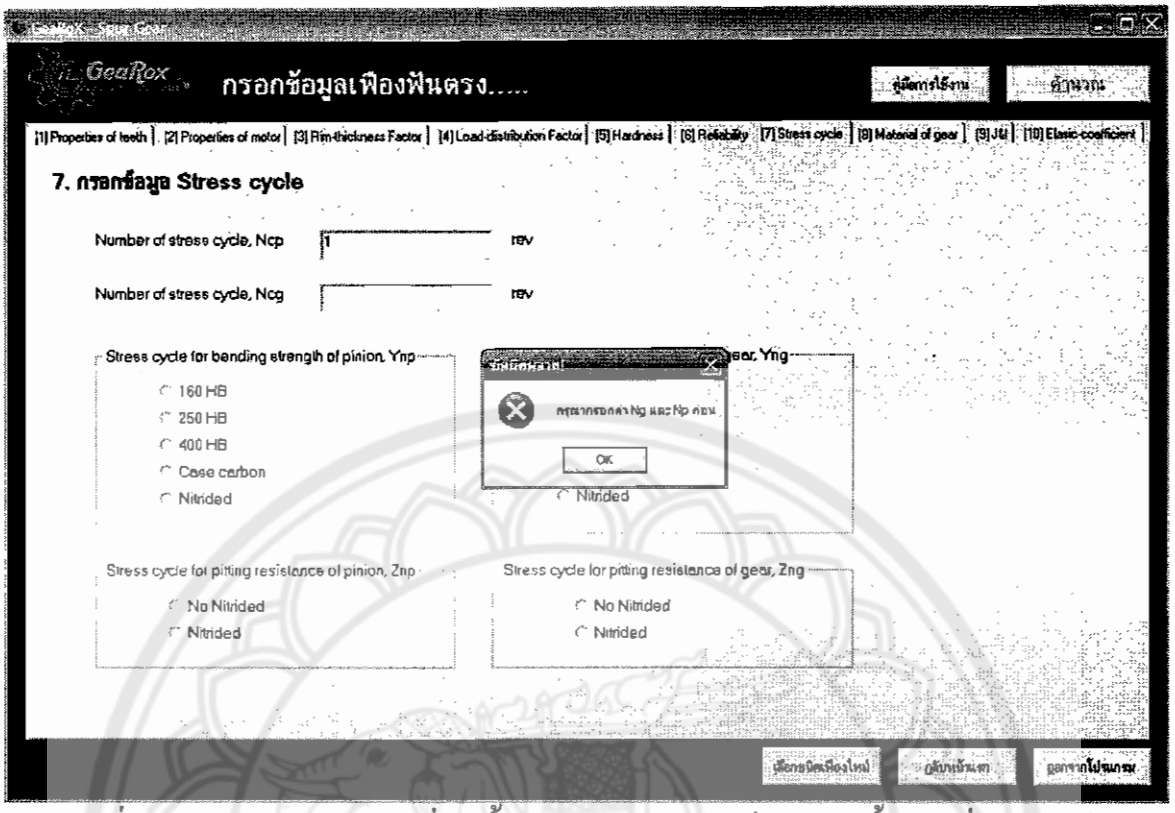
ข้อความตอบโต้ในกรณีที่ป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือว่า ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจะทำให้เกิดกล่องข้อความโต้ตอบ ข้อดีของการมีกล่องโต้ตอบเพื่อการวิเคราะห์เฟืองอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งภายกล่องข้อความจะมีคำสั่งให้ปฏิบัติตามเพื่อความถูกต้องของโปรแกรม

4.3.2.1 ในกรณีที่พิมพ์ตัวหนังสือหรือปล่อยช่องว่างให้ว่างเปล่า กล่องข้อความโต้กลับจะแสดง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงความผิดพลาดที่เกิดจากพิมพ์ผิด หรือผู้ใช้ลืมกรอกข้อมูลไว้

4.3.2.2 ในกรณีที่ไปกรอกไม่เป็นไปตามขั้นตอนไปกรอกค่า stress cycle ก่อน ทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากค่าดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากค่า Ng และ Np ซึ่งยังไม่ได้กรอกจึงทำให้ค่าเกิดความผิดพลาด ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการกรอกค่าไม่เป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดไว้