ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบโปรแกรม

แบบทดสอบโปรแกรม GeaRox

แบบทดสอบโปรแกรมได้เตรียมไว้ 2 ชุด คือ ชุดทดสอบการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรง และชุดทดสอบการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันเฉียงจากตัวอย่างที่เลือกมาในหนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล [1]

ตัวอย่างของเฟืองฟันตรง

พีเนียนเฟืองฟันตรง มีฟัน 17 ซี่ มุมกดดัน 20° หมุนด้วยความเร็ว 1,800 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 รอบ ภายใต้ความน่าเชื่อถือ 0.90 โปรไฟล์ของฟันเฟืองไม่หนาแน่น โดย $Y_N=1.3558N^{-0.0178}$ และ $Z_N=1.4488N^{-0.023}$

(a) จงหาแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการดัด

(b) จงหาแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการสึกหรอ

(c) จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยทั้ง 2 ตัวข้างต้น จงระบุภัยคุกคามต่อเฟืองแต่ละตัวในการขบกัน

วิธีทำ ให้ใช้รูปที่ 2-17 และรูปที่ 2-18 เป็นแนวทางในการหาค่าที่ต้องการ

$$d_P = \frac{N_P}{P_d} = \frac{17}{10} = 1.7 \text{ in}$$

$$d_G = \frac{N_G}{P_d} = \frac{52}{10} = 5.2 \text{ in}$$

$$V = \frac{\pi d_P n_P}{12} = \frac{\pi(1.7)(1{,}800)}{12} = 801.1061 \text{ ft/min}$$

$$W^t = \frac{33{,}000H}{V} = \frac{33{,}000(4)}{801.1061} = 164.7722 \text{ lbf}$$

การรับโหลดเป็นไปอย่างราบเรียบ ดังนั้น $K_O = 1$

หา K_v เมื่อมีคุณภาพตามมาตรฐานระดับ 6 ($Q_v = 6$) ดังนั้น จากสมการที่ (2-28)

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

$$A = 50 + 56(1 - B) = 50 + 56(1 - 0.8255) = 59.7730$$

จากสมการที่ (2-27) จะได้ไดนามิกแฟกเตอร์ K_v คือ

$$K_v = \left(\frac{A+\sqrt{V}}{A}\right)^B = \left(\frac{59.7730+\sqrt{801.1061}}{59.7730}\right)^{0.8255} = 1.3771$$

ในการหาแฟกเตอร์แก้ขนาด K_sให้ดูจากตารางที่ (2-2) เมื่อ $N_P = 17$ ซี่, $Y_P = 0.303$สอดแทรกกับเฟือง $N_G = 52$ ซี่, $Y_G = 0.412$ เมื่อความกว้างหน้าฟัน $F = 1.5$ in ดังนั้น

$$(K_s)_P = 1.192\left(\frac{F\sqrt{Y_P}}{P}\right)^{0.0535} = 1.192\left(\frac{1.5\sqrt{0.303}}{10}\right)^{0.0535} = 1.0431$$

$$(K_s)_G = 1.192\left(\frac{F\sqrt{Y_G}}{P}\right)^{0.0535} = 1.192\left(\frac{1.5\sqrt{0.412}}{10}\right)^{0.0535} = 1.0517$$

ในการหาแฟกเตอร์แก้การกระจายของโหลด K_m สามารถใช้สมการที่ (2-30) ได้ แต่ในสมการนี้ยังต้องการค่าต่างๆ 5 เทอม บนพื้นฐานของความกว้างหน้าฟน 1.5 นิ้ว ($F = 1.5$ in) ดังนี้

- ฟันเฟืองแหลม ดังนั้น $C_{mc} = 1$
- สมการที่ (2-32) :

$$C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F$$

$$= \frac{1.5}{10(1.7)} - 0.0375 + 0.0125(1.5) = 0.0695$$

- แบริ่งอยู่ติดกับเฟือง ใช้สมการ (2-33) จะได้ $C_{pm} = 1$
- เฟืองทั้งหมดประกอบอยู่ในเรือนเกียร์ (รูปที่ 2-11) : $C_{ma} = 0.15$
- สมการที่ (2-35) : $C_e = 1$

ดังนั้น $K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) = 1 + (1)[0.0695(1) + 0.15(1)] = 1.2195$

สมมติว่าเฟืองขบกันพอดี แฟกเตอร์แก้ความหนาของขอบเฟือง $K_B = 1$

หาแฟกเตอร์แก้วงรอบการรับความเค้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วในการหมุน คือ $m_G = N_G/N_P = 52/17 = 3.0588$ พีเนียนมีวงรอบการใช้งาน 108 รอบ คือ $N_{(pinion)} = 108$ รอบ ดังนั้น $N_{(gear)} = 108/3.059$ รอบ จะได้

$$(Y_N)_P = 1.3558N^{-0.0178} = 1.3558(10^8)^{-0.0178} = 0.9768$$

$$(Y_N)_G = 1.3558[10^8/3.0588]^{-0.0178} = 0.9964$$

จากตารางที่ 2-10 เมื่อความน่าเชื่อถือเท่ากับ 0.90 จะได้ $K_R = 0.85$

จากรูปที่ 2-18 แฟกเตอร์แก้อุณหภูมิ คือ $K_T = 1$ และแฟกเตอร์แก้สภาพผิวฟันเฟือง $C_f = 1$

หาแฟกเตอร์เรขาคณิต จากสมการที่ (2-23) เมื่อ $m_N = 1$ สำหรับเฟืองฟันตรง

$$I = \frac{cos\emptyset_t sin\emptyset_t}{2m_N}\frac{m_G}{m_G+1} = \frac{cos\,20\,sin\,20}{2(1)}\frac{3.0588}{3.0588+1} = 0.1211$$

จากตารางที่ 2-8 จะได้ $C_p = 2{,}300 \quad \sqrt{\text{psi}}$

ต่อไปให้หาค่าของเทอมต่างๆ ที่ใช้ในสมการหาพิกัดความต้านแรงของ AGMA จากตารางที่ 2-3 สำหรับเฟืองเหล็กกล้าเกรด 1 ที่มีค่า $H_{BP} = 240$ และ $H_{BG} = 200$ เมื่อดูจากรูปที่ 2-2 จะได้

$$(S_t)_P = 77.3H_B + 12{,}800 = 77.3(240) + 12{,}800 = 31{,}352 \text{ psi}$$

$$(S_t)_G = 77.3H_B + 12{,}800 = 77.3(200) + 12{,}800 = 28{,}260 \text{ psi}$$

ในทำนองเดียวกัน จากตารางที่ 2-16 เมื่อดูจากรูปที่ 2-6 จะได้

$$(S_c)_P = 322H_B + 29{,}100 = 322(240) + 29{,}100 = 106{,}380 \text{ psi}$$

$$(S_c)_G = 322H_B + 29{,}100 = 322(200) + 29{,}100 = 93{,}500 \text{ psi}$$

จากรูปที่ 2-15 จะได้

$$(Z_N)_P = 1.4488N^{-0.023} = 1.4488(10^8)^{-0.023} = 0.9484$$

$$(Z_N)_G = 1.4488(10^8/3.0588)^{-0.023} = 0.9731$$

หาแฟกเตอร์แก้อัตราส่วนความแข็ง C_H เมื่อ H_{BP}/H_{BG} = 240/200 =1.2 ดังนั้น

$A' = 8.98(10^{-3})(H_{BP}/H_{BG}) - 8.29(10^{-3}) = 8.98(10^{-3})(1.2) - 8.29(10^{-3}) = 0.002486$
ดังนั้น จากสมการที่ (2-36) จะได้

$$C_H = 1.0 + A'^{(m_G - 1.0)} = 1 + 0.00249(3.059 - 1) = 1.005$$

(a) การดัดที่ฟันพีเนียน : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-15) จะได้

$$(\sigma)_P = w^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J}$$
$$= 164.7722(1)(1.3771)(1.0431)\frac{10}{1.5}\frac{1.2195(1)}{0.30} = 6{,}414.2319 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-41) จะได้

$$(S_F)_P = \frac{\frac{S_t \ Y_N}{(K_T K_R)}}{\sigma} = \frac{\frac{31{,}352(0.9768)}{[1(0.85)]}}{6{,}415.3141} = 5.6161$$

การดัดที่ฟันเฟือง : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-15) จะได้

$$(\sigma)_G = w^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J}$$
$$= 164.7722(1)(1.3771)(1.0517)\frac{10}{1.5}\frac{1.2195(1)}{0.40} = 4{,}850.3362 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-41) จะได้

$$(S_F)_G = \frac{\frac{S_t Y_N}{(K_T K_R)}}{\sigma} = \frac{\frac{28{,}260(0.9964)}{[1(0.85)]}}{4{,}850.3362} = 6.8299$$

(b) **การสึกหรอที่ฟันพีเนียน** : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-16) จะได้

$$(\sigma_c)_P = C_P\left(w^t K_o K_v K_s \frac{K_m}{d_P F}\frac{C_f}{I}\right)^{1/2}$$

$$= 2{,}300\left[164.7722(1)(1.3771)(1.0431)\frac{1.2195}{1.7(1.5)}\frac{1}{0.1211}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 70{,}317.6355 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-42) จะได้

$$(S_H)_P = \frac{\frac{S_C Z_N C_H}{(K_T K_R)}}{\sigma_C} = \frac{\frac{106{,}380(0.9484)}{[1(0.85)]}}{70{,}317.6355} = 1.6879$$

การสึกหรอที่ฟันเฟือง : มีเพียงเทอมเดียวในสมการที่ (2-16) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง คือ K_s ดังนั้น

$$(\sigma_c)_G = \left[\frac{(K_s)_P}{(K_s)_G}\right]^{\frac{1}{2}}(\sigma_c)_P = \left[\frac{1.0517}{1.0431}\right]^{\frac{1}{2}}(70{,}317.6355) = 70{,}603.9128 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับเฟืองลงในสมการที่ (2-42) เมื่อ $C_H = 1.005$ จะได้

$$(S_H)_G = \frac{\frac{S_C Z_N C_H}{(K_T K_R)}}{\sigma_C} = \frac{93{,}500(0.9731)(1.005)/[1(0.85)]}{70{,}603.9128} = 1.5237$$

(c) เมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_P$ กับ $(S_H)_P^2$ จะเห็นได้ว่า $5.6161 > 1.6879^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของพีเนียนคือการสึกหรอ สำหรับเฟืองเมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_G$ กับ $(S_H)_G^2$ จะเห็นได้ว่า $6.8299 > 1.5237^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของเฟืองคือการสึกหรอเช่นเดียวกัน

<u>ตัวอย่างเฟืองฟันเฉียง</u>

พีเนียนเฟืองฟันเฉียงมีฟัน 17 ซี่ มุมกดดันในแนวตั้งฉาก 20° และมีมุมเฉียงของฟันเฟือง 30° หมุนด้วยความเร็ว 1,800 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

(a) จงหาแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการดัดของเฟือง

(b) จงหาแฟกเตอร์ความปลอดภัยในการสึกหรอของเฟือง

(c) จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยทั้ง 2 ตัวข้างต้น จงระบุภัยคุกคามต่อเฟืองแต่ละตัวในการขบกัน

วิธีทำ ค่าตัวแปรต่างๆ ในตัวอย่างนี้จะเหมือนกับตัวอย่างที่ 2-4 เว้นแต่ว่าทั้งพีเนียนและเฟืองในตัวอย่างนี้เป็นเฟืองฟันเฉียง ดังนั้น ค่าแฟกเตอร์ต่างๆ หลายค่าจะยังคงเหมือนเดิม ผู้อ่านควรจะมีความสามารถในการพิสูจน์ทราบได้ว่าค่าดังต่อไปนี้จะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง : $K_o = 1$, $Y_P = 0.303$, $m_G = 3.0588$, $(K_s)_P = 1.0431$, $(K_s)_G = 1.0517$, $(Y_N)_P = 0.9768$, $(Y_N)_G = 0.9964$, $K_R = 0.85$, $K_T = 1$, $C_f = 1$, $C_P = 2{,}300\sqrt{\text{psi}}$, $(S)_P = 31{,}352$ psi, $(S)_G = 28{,}260$ psi, $(S_C)_P = 106{,}380$ psi, $(S_C)_G = 93{,}500$ psi, $(Z_N)_P = 0.9484$, $(Z_N)_G = 0.9731$ และ $C_H = 1.005$

สำหรับเฟืองฟันเฉียง จำนวนพิทช์ในแนวสัมผัสหาได้จากสมการที่ (2-18) คือ

$$P_t = P_n \cos\varphi = 10\cos 30° = 8.6603 \text{ teeth/in}$$

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ คือ

$$d_P = \frac{N_P}{P_t} = \frac{17}{8.6603} = 1.9630 \text{ in}$$

$$d_G = \frac{N_G}{P_t} = \frac{52}{8.6603} = 6.0044 \text{ in}$$

หาความเร็วในแนวพิทช์

$$V = \frac{\pi d_P n_P}{12} = \frac{\pi(1.963)(1{,}800)}{12} = 925.0419 \text{ ft/min}$$

ดังนั้น โหลดส่งกำลัง คือ

$$W^t = \frac{33{,}000H}{V} = \frac{33{,}000(4)}{925.0419} = 142.6962 \text{ lbf}$$

หาไดนามิกแฟกเตอร์จากสมการที่ (2-27) เมื่อ $B = 0.8255$ และ $A = 59.77$ จะได้

$$K_v = \left(\frac{A+\sqrt{V}}{A}\right)^B = \left(\frac{59.77+\sqrt{925}}{59.77}\right)^{0.8255} = 1.4043$$

การหาแฟกเตอร์เรขาคณิต I สำหรับเฟืองฟันเฉียงจะเริ่มจากการหามุมกดดันในแนวสัมผัส จากสมการที่ (2-19)

$$\emptyset_t = tan^{-1}\left(\frac{tan\,\emptyset_n}{cos\,\varphi}\right) = tan^{-1}\left(\frac{tan\,20°}{cos\,30°}\right) = 22.7959°$$

รัศมีของพีเรียนและเฟือง คือ

$$r_p = \frac{1.963}{2} = 0.9815 \text{ in}$$

$$r_G = \frac{6.004}{2} = 3.0022 \text{ in}$$

ดังนั้น เราจะสามารถหารัศมีวงกลมฐานของพีเนียนและเฟือง เมื่อ $\emptyset = \emptyset_t$ ได้จากสมการที่ (2-6) คือ

$$(r_b)_P = r_P cos\emptyset_t = 0.9815 \cos 22.80° = 0.9048 \text{ in}$$

$$(r_b)_G = r_G cos\emptyset_t = 3.0022 \cos 22.80° = 2.7676 \text{ in}$$

แอดเดนดัม

$$a = 1/P_n = 1/10 = 0.1$$

จากสมการที่ (2-25) แฟกเตอร์ Z สำหรับใช้ในสมการที่ (2-21) คือ

$$Z = \left[(r_P+a)^2 - r_{bP}^2\right]^{1/2} + \left[(r_G+a)^2 - r_{bP}^2\right]^{1/2} - (r_P + r_G)sin\emptyset_t$$

$$Z = \sqrt{(0.9815 + 0.1)^2 - 0.9048^2} + \sqrt{(3.004 + 0.1)^2 - 2.769^2} - (0.9815 + 3.004)\sin 22.80°$$

$$= 0.5924 + 1.4027 - 1.54444 = 0.4507 \text{ in}$$

หาวงกลมพิทช์ในแนวตั้งฉากจากสมการที่ (2-24)

$$P_N = P_n\, cos\, \emptyset_n = \frac{\pi}{P_n} cos\, \emptyset_n = \frac{\pi}{10} \cos 20° = 0.2952 \text{ in}$$

หาอัตราส่วนการรับโหลดร่วมกันจากสมการที่ (2-21)

$$m_N = \frac{p_N}{0.95Z} = \frac{0.2952}{0.95(0.4507)} = 0.6895$$

ดังนั้น แฟกเตอร์เรขาคณิต I ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2-23) คือ

$$I = \frac{cos\phi_t sin\phi_t}{2m_N}\frac{m_G}{m_G+1} = \frac{cos\ 22.80°\ sin\ 22.80°}{2(0.6895)}\frac{3.0588}{3.0588+1} = 0.1952$$

จากรูปที่ 2-7 จะได้แฟกเตอร์เรขาคณิต $J'_P = 0.45$ และ $J'_G = 0.54$ และจากรูปที่ 2-8 จะได้ค่าตัวคูณของแฟกเตอร์เรขาคณิต J คือ 0.94 และ 0.98 ตามลำดับ ดังนั้น

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

$$J_G = 0.54(0.95) = 0.529$$

หาแฟกเตอร์แก้การกระจายของโหลด K_m จากสมการที่ (2-32)

$$C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F$$
$$= \frac{1.5}{10(1.963)} - 0.0375 + 0.0125(1.5) = 0.0577$$

จากรูปที่ 2-11 : $C_{mc} = 1$, $C_{pm} = 1$, $C_{ma} = 1$และ $C_e = 1$ แทนค่าลงในสมการที่ (2-30) จะได้

$$K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) = 1 + (1)[0.0577(1) + 0.15(1)] = 1.208$$

(a) การดัดที่ฟันพีเนียน : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-15) จะได้ โดยการใช้ค่า P_t จะได้

$$(\sigma)_P = w^t K_o K_v K_s \frac{P_t}{F}\frac{K_m K_B}{J}$$
$$= 142.7(1)(1.404)(1.043)\frac{8.66}{1.5}\frac{1.208(1)}{0.423} = 3{,}445.3123\ \text{psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-41) จะได้

$$(S_F)_P = \frac{\frac{S_t Y_N}{(K_T K_R)}}{\sigma} = \frac{\frac{31{,}352(0.9768)}{[1(0.85)]}}{3{,}445.3123} = 10.4574$$

การดัดที่ฟันเฟือง : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-15) จะได้

$$(\sigma)_G = w' K_o K_v K_s \frac{P_t}{F} \frac{K_m K_B}{J}$$
$$= 142.7(1)(1.404)(1.052)\frac{8.66}{1.5}\frac{1.208(1)}{0.529} = 2{,}778.7195 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-41) จะได้

$$(S_F)_G = \frac{\frac{S_t Y_N}{(K_T K_R)}}{\sigma} = \frac{\frac{28{,}260(0.9964)}{[1(0.85)]}}{2{,}778.7195} = 11.9218$$

(b) **การสึกหรอที่ฟันพีเนียน** : แทนค่าเทอมที่เหมาะสมลงในสมการที่ (2-16) จะได้

$$(\sigma_c)_P = C_P \left(w' K_o K_v K_s \frac{K_m}{d_P F} \frac{C_f}{I} \right)^{1/2}$$
$$= 2{,}300 \left[142.7(1)(1.404)(1.043) \frac{1.208}{1.963(1.5)} \frac{1}{0.195} \right]^{1/2} = 48{,}225.4083 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับพีเนียนลงในสมการที่ (2-42) จะได้

$$(S_H)_P = \frac{\frac{S_C Z_N C_H}{(K_T K_R)}}{\sigma_C} = \frac{\frac{106{,}380(0.948)}{[1(0.85)]}}{48{,}230} = 2.4599$$

การสึกหรอที่ฟันเฟือง : มีเพียงเทอมเดียวในสมการที่ (2-16) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง คือ K_s **ดังนั้น**

$$(\sigma_c)_G = \left[\frac{(K_s)_P}{(K_s)_G}\right]^{\frac{1}{2}} (\sigma_c)_P = \left[\frac{1.052}{1.043}\right]^{\frac{1}{2}} (48{,}230) = 48{,}437.6403 \text{ psi}$$

แทนค่าเทอมที่เหมาะสมสำหรับเฟืองลงในสมการที่ (2-42) เมื่อ $C_H = 1.005$ จะได้

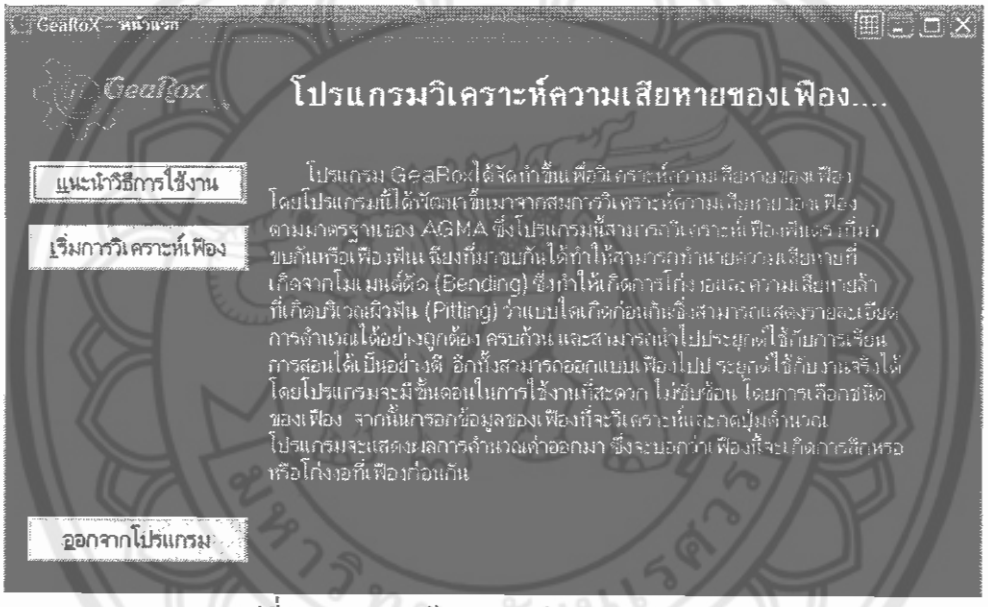
$$(S_H)_G = \frac{\frac{S_C Z_N C_H}{(K_T K_R)}}{\sigma_C} = \frac{93{,}500(0.973)(1.005)/[1(0.85)]}{48{,}440} = 2.2207$$

(c) เมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_P$ กับ $(S_H)_P^2$ จะเห็นได้ว่า $10.4574 > 2.4599^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของพีเนียนคือการสึกหรอ สำหรับเฟืองเมื่อเปรียบเทียบค่า $(S_F)_G$ กับ $(S_H)_G^2$ จะเห็นได้ว่า $11.9218 > 2.2207^2$ แสดงว่าภัยคุกคามของเฟืองคือการสึกหรอเช่นเดียวกัน

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้โปรแกรม

คู่มือการใช้โปรแกรม GeaRox

การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง หรือโปรแกรมเกียร์รีอกซ์ (GeaRox) โดยอาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงของ AGMA ซึ่งระบบต่างๆของโปรแกรมได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ซึ่งรองรับการทำงานของระบบปฏิบัติการ Window ในปัจจุบันได้ เพื่อเกิดความสะดวกในการใช้งาน จึงได้ออกแบบตัวโปรแกรมดังรูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2 เนื่องจากมีแนวคิดที่ว่าต้องการให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกและเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อนจนเกินไปต่อการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ ข.1 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม GeaRox

ความสามารถของโปรแกรม

1. โปรแกรมนี้แบ่งการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองเป็น 2 ชนิด คือ การวิเคราะห์เฟืองฟันตรง และการวิเคราะห์เฟืองฟันเฉียง

2. สามารถวิเคราะห์คำนวณหาค่าความเค้นและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยของเฟืองแต่ละชนิดได้ โดยอาศัยทฤษฎีของ AGMA นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถทำนายได้ว่าเฟืองแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ จะเกิดการโก่งงอ (Bending) หรือเกิดการสึกหรอ (Pitting) ก่อนกัน

การแสดงผล

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลลงไปจะต้องกดปุ่มคำนวณ จึงจะแสดงผลออกมาได้ทันที ได้แก่ ข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกไป, ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้านความเค้น และค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย

ความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์

เนื่องจากโปรแกรมเกียร์รีอกซ์ได้ถูกออกแบบให้ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถรันได้บนระบบปฏิบัติการ Window 95 และบนระบบปฏิบัติการ Window NT ดังนั้นจะต้องมีซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์ตามที่โปรแกรมต้องการต่อไปนี้

- ระบบปฏิบัติการ Windows 98 ขึ้นไป
- แนะนำให้ใช้ CPU Pentium 3 1.0 GHz ขึ้นไป
- แนะนำให้ใช้ RAM ขั้นต่ำ 64 MB ขึ้นไป
- พื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสค์ 10 MB
- การ์ดแสดงผลที่สนับสนุนโหมด 640x480 VGA สามารถใช้งานได้ แต่ควรใช้โหมดแสดงผล Super VGA800x600หรือ 1024x768จะให้รายละเอียดบนจอภาพมากกว่า หรือการ์ดจอที่มีหน่วยความจำ 16MB ขึ้นไป

ข้อจำกัดในการใช้โปรแกรม

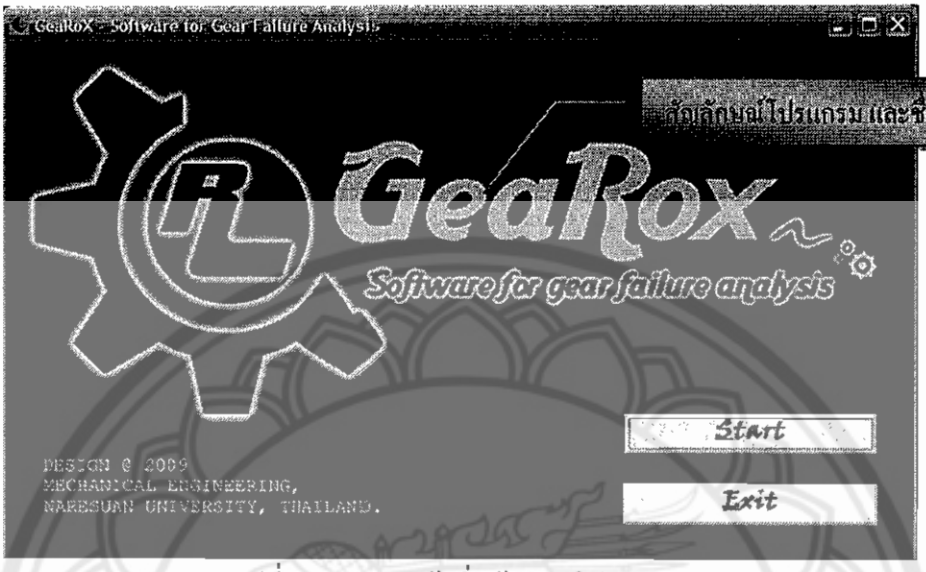
- โปรแกรมนี้จะสามารถคำนวณได้เฉพาะฟันเฟืองตรงและฟันเฟืองเฉียงของ AGMA
- เฟืองต้องมีมุมกดดันเท่ากับ 20° เพียงมุมเดียว และเฉพาะเฟืองที่มีฟันลึกเต็ม
- ใช้หน่วยเป็น U.S.eustomary unit

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม มีดังต่อไปนี้

1. เปิดตัวโปรแกรมจากไอคอน ดังรูปที่ ข.2

รูปที่ ข.2 แสดงการเปิดโปรแกรมด้วยไอคอนโปรแกรม

2. เมื่อกดไอคอนดังกล่าวโปรแกรมจะแสดงหน้าเริ่มต้นของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ข. 3

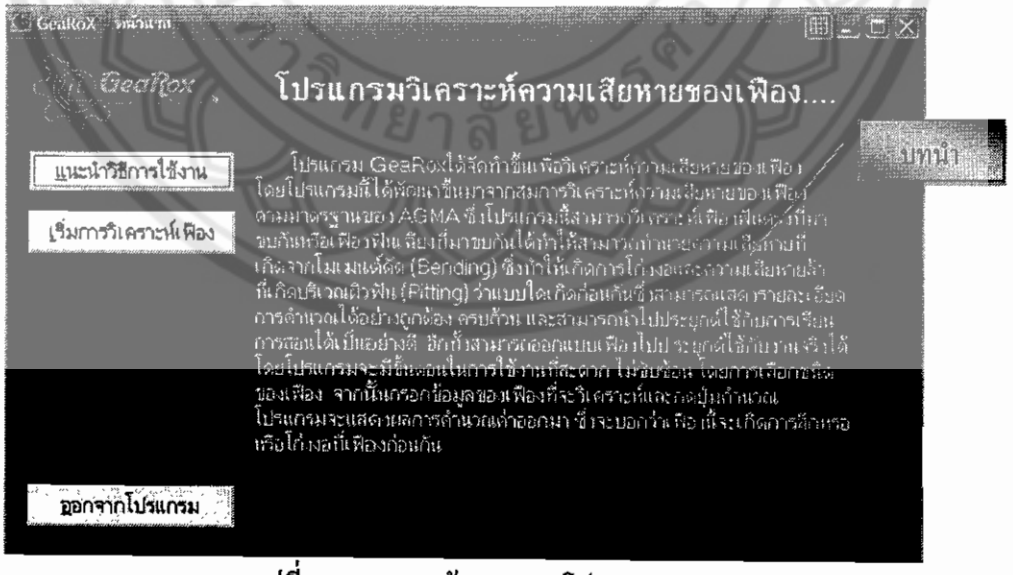


รูปที่ ข.3 แสดงหน้าเริ่มต้นของโปรแกรม

2.1 เมื่อกดปุ่ม Start เพื่อเข้าสู่หน้าแรกของโปรแกรม

2.2 เมื่อกดปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

3. เมื่อกดปุ่ม Start โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าแรก ดังรูปที่ ข.4

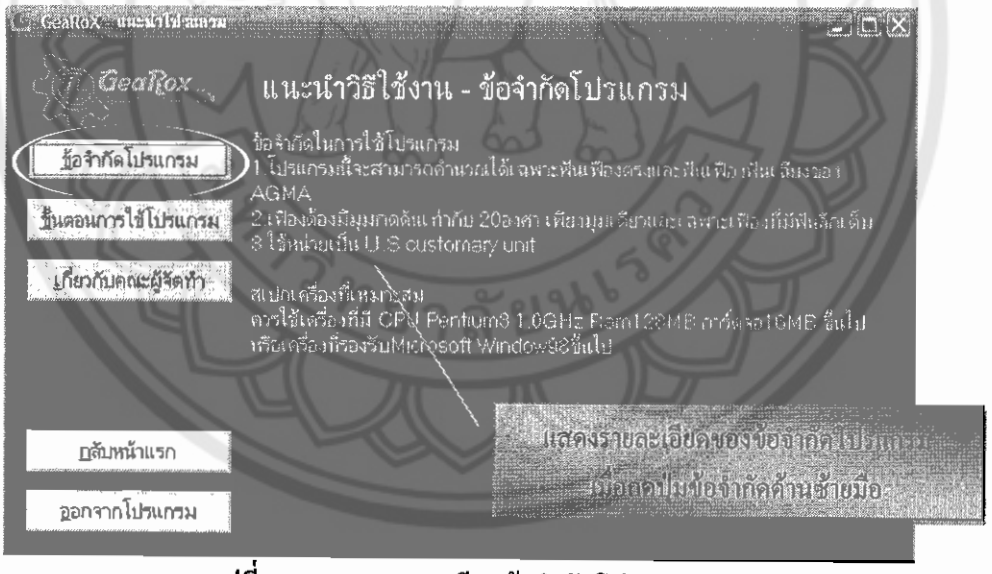


รูปที่ ข.4 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม

3.1 เมื่อกดปุ่ม แนะนำวิธีการใช้งาน เพื่อเข้าสู่หน้าแนะนำวิธีใช้โปรแกรม ดังรูปที่ ข.5

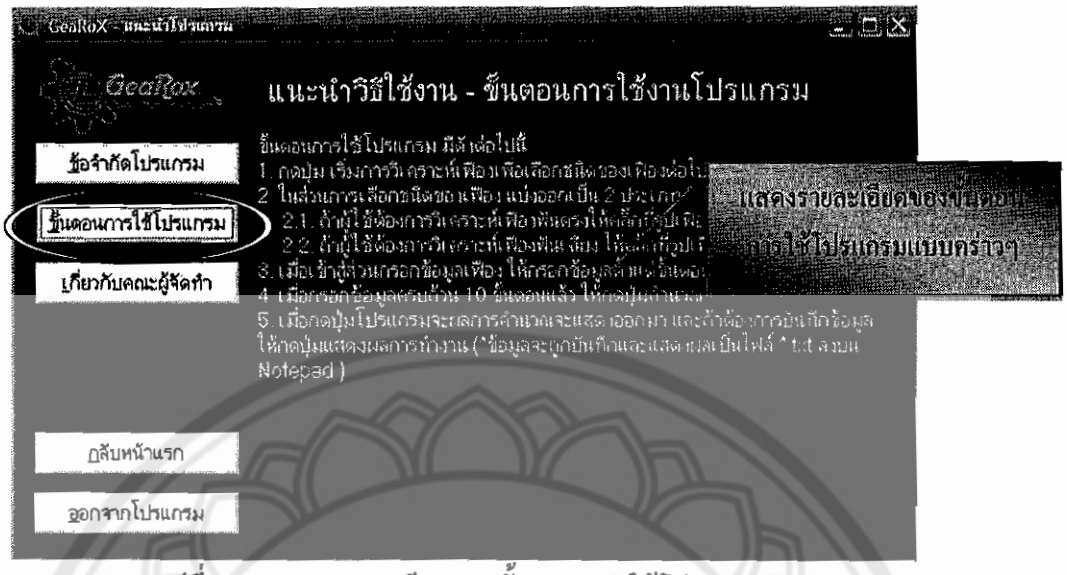
รูปที่ ข.5 แสดงรายละเอียดของหน้าแนะนำโปรแกรม

3.1.1 เมื่อกดปุ่ม ข้อจำกัดโปรแกรม จะแสดงรายละเอียดข้อจำกัดโปรแกรม**ที่กล่อง**ข้อความด้านขวาของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ข.6



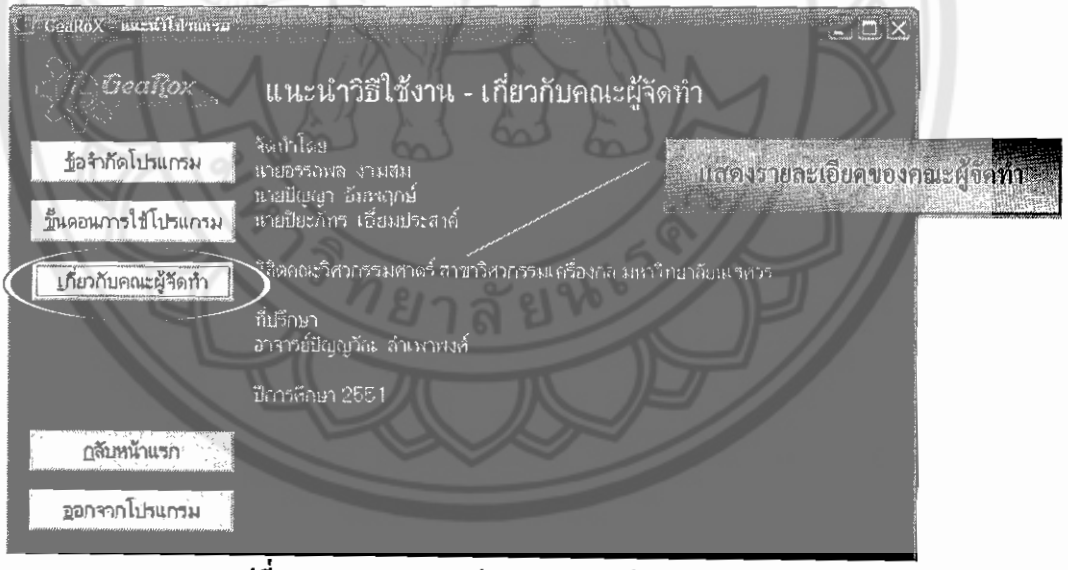
รูปที่ ข.6 แสดงรายละเอียดข้อจำกัดโปรแกรม

3.1.2 เมื่อกดปุ่ม ขั้นตอนการใช้โปรแกรม จะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการใช้โปรแกรมที่กล่องข้อความด้านขวามือของตัวโปรแกรม ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการใช้โปรแกรม

3.1.3 เมื่อกดปุ่ม [เกี่ยวกับคณะผู้จัดทำ] จะแสดงรายละเอียดของข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดทำที่กล่องข้อความด้านขวา ดังรูปที่ ข.8



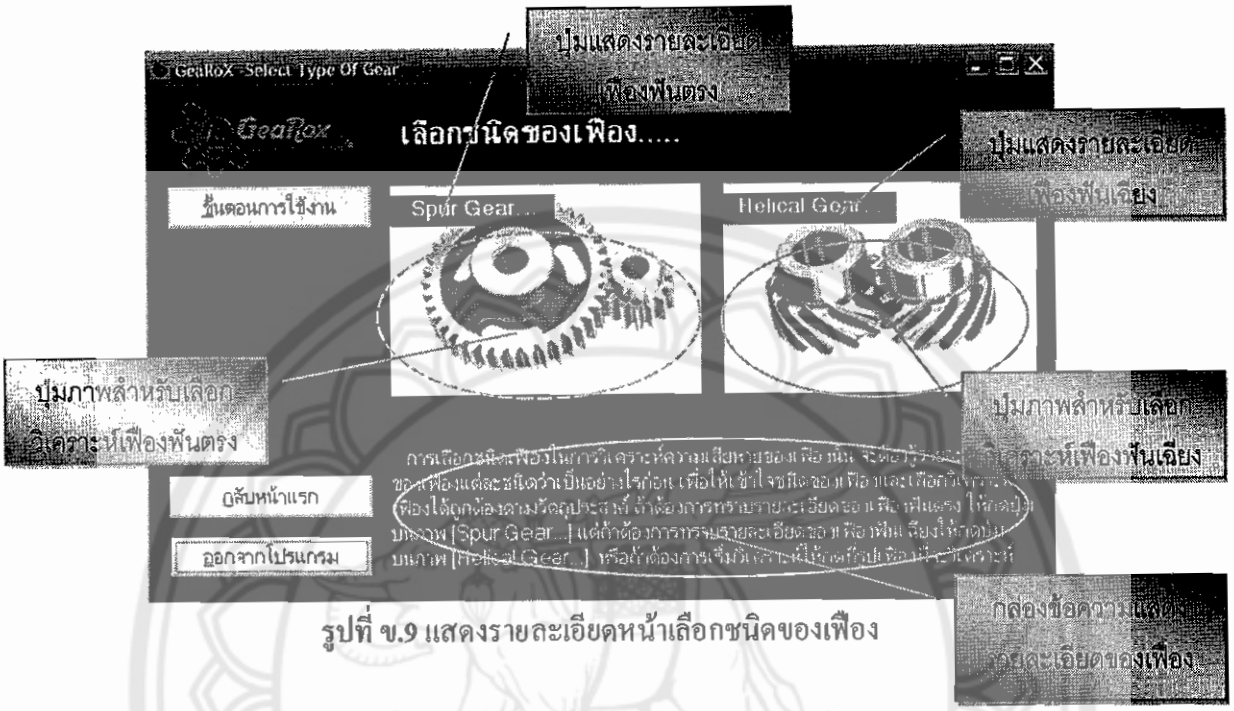
รูปที่ ข.8 แสดงรายละเอียดของคณะผู้จัดทำ

3.1.4 เมื่อกดปุ่ม [กลับหน้าแรก] จะกลับสู่หน้าแรกของโปรแกรม

3.1.5 เมื่อกดปุ่ม [ออกจากโปรแกรม] จะออกจากโปรแกรม

3.2 เมื่อกดปุ่ม [เริ่มการวิเคราะห์เฟือง] จะเข้าสู่หน้าเลือกชนิดของเฟืองที่จะวิเคราะห์ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

4. เมื่อกดปุ่ม [เริ่มการวิเคราะห์เฟือง] จะเป็นขั้นตอนการเลือกชนิดของเฟือง โปรแกรมจะแสดงผล ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 แสดงรายละเอียดหน้าเลือกชนิดของเฟือง

4.1 ในการจะวิเคราะห์เฟืองต้องเลือก จะเลือกที่ภาพเฟืองสำหรับวิเคราะห์ความเสียหายของเฟือง ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

4.1.1 เมื่อกดที่ (ภาพเฟืองฟันตรง) โปรแกรมจะเข้าไปสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

4.1.2 เมื่อกดที่ (ภาพเฟืองฟันเฉียง) โปรแกรมจะเข้าไปสู่หน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง

4.2 คำสั่งเพิ่มเติมในการใช้งาน มีดังต่อไปนี้

4.2.1 เมื่อกดปุ่มที่ชื่อ บนภาพของเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียงจะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองแต่ละชนิดที่ส่วนกล่องข้อความด้านล่าง

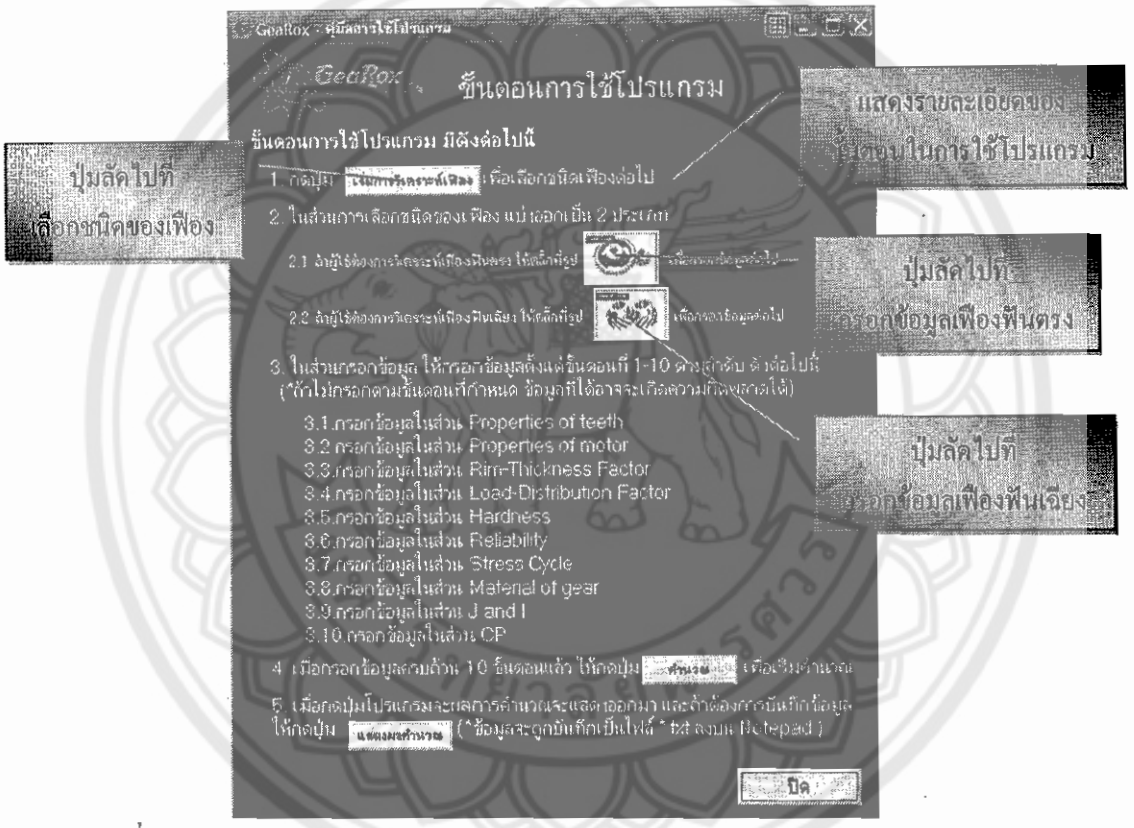
4.2.1.1 เมื่อกดปุ่ม [Spur Gear...] จะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันออกมาบริเวณกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.1.2 เมื่อกดปุ่ม [Helical Gear...] จะเป็นการแสดงรายละเอียดของเฟืองฟันเฉียงออกมาบริเวณกล่องข้อความด้านล่าง

4.2.2 เมื่อกดปุ่ม [ขั้นตอนการใช้งาน] จะมี pop-up ที่แสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรม เพื่อสะดวกต่อการใช้งานของโปรแกรมนี้ซึ่งจะสรุปขั้นตอนไว้ในนั้น ดังรูปที่ ข.10 (ซึ่งสามารถกดปุ่มที่คู่มือการใช้งานได้เลย ยกเว้นปุ่มคำนวณและปุ่มบันทึก เพราะยังไม่ได้กรอกข้อมูลข้างต้น)

4.3 เมื่อกดปุ่ม [กลับหน้าแรก] จะกลับหน้าแรกของโปรแกรม

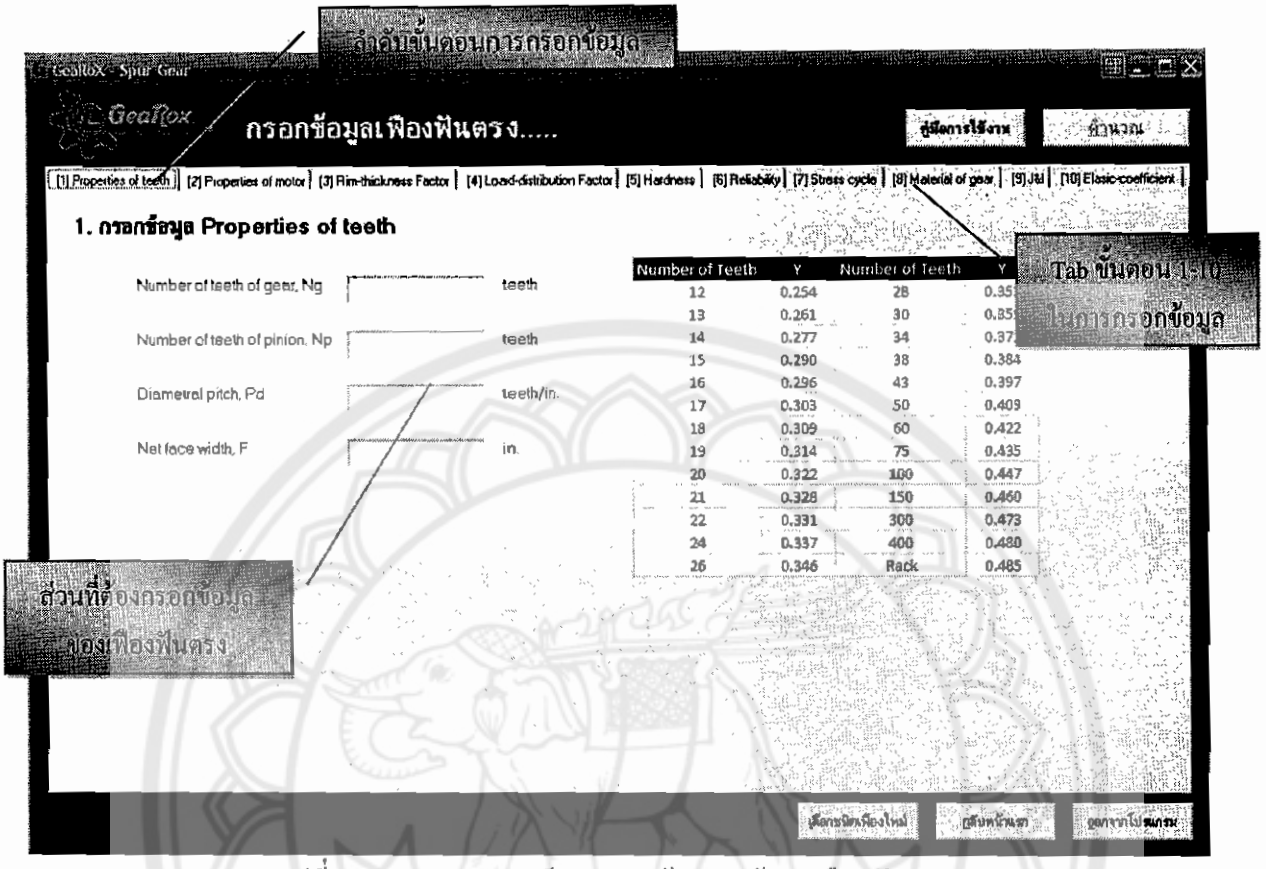
4.4 เมื่อกดปุ่ม [ออกจากโปรแกรม] จะออกจากโปรแกรม



รูปที่ ข.10 แสดงหน้าของ pop-up และรายละเอียดของคู่มือการใช้งานของโปรแกรม

5. เมื่อเลือกชนิดของเฟืองเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการกรอกข้อมูลของเฟือง ซึ่งแบ่งการกรอกข้อมูลออกเป็น 2 แบบตามการเลือกชนิดของเฟือง ดังต่อไปนี้

5.1 การกรอกข้อมูลของเฟืองฟันตรง โดยการกดที่ (ภาพของเฟืองฟันตรง) โปรแกรมจะแสดงหน้า ดังรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.11 แสดงรายละเอียดของหน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันตรง

5.1.1 การกรอกข้อมูลเฟืองฟันตรงตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-10 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 1 กรอกข้อมูลส่วน Properties of teeth

- กรอกค่า Number of teeth of gear, *Ng* (ใช้หน่วย teeth)

  * ควรใส่ค่า *Ng* ตั้งแต่ 12 ขึ้นไป

- กรอกค่า Number of teeth of pinion, *Np* (ใช้หน่วย teeth)

  * ควรใส่ค่า *Np* ตั้งแต่ 12 ขึ้นไป

- กรอกค่า Diametral pitch, *Pd* (ใช้หน่วย teeth/in.)

  * ควรใส่ค่า $Pd > 0$

- กรอกค่า Net face width, *F* (ใช้หน่วย in.)

  * ควรใส่ค่า $F > 0$

ขั้นตอนที่ 2 กรอกข้อมูลส่วน Properties of motor

- กรอกค่า Power, *H* (ใช้หน่วย hp)

* ควรใส่ค่า $H > 0$

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

* ควรใส่ค่า $ps > 0$

ขั้นตอนที่ 3 กรอกข้อมูลส่วน Rim-Thickness Factor

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

* ควรใส่ค่า $ht > 0$

- กรอกค่า Rim thickness below the tooth, t_R (ใช้หน่วย in.)

* ควรใส่ค่า $t_R > 0$

ขั้นตอนที่ 4 กรอกข้อมูลส่วน Load-Distribution Factor

- เลือกคุณสมบัติของ *Cmc*

- เลือกคุณสมบัติของ *Cpm*

- เลือกคุณสมบัติของ *Cma*

ขั้นตอนที่ 5 กรอกข้อมูลส่วน Hardness

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

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

ขั้นตอนที่ 6 กรอกข้อมูลส่วน Reliability

- เลือกค่า Reliability

ขั้นตอนที่ 7 กรอกข้อมูลส่วน Stress cycle

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

- เลือก *YN* และ *ZN* เมื่อจำนวนรอบ ($N < 10^7$)

ขั้นตอนที่ 8 กรอกข้อมูลส่วน Material of gear

- เลือก Material ของ Bending Strength

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Steel

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Heat Treatment

* เลือก Grade

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Iron and Bronze

* เลือกชนิด Material

* เลือกชนิดของ Material Designation

- เลือก Material ของ Contact Strength

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Steel

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Heat Treatment

* เลือก Grade

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Iron and Bronze

* เลือกชนิด Material

* เลือกชนิดของ Material Designation

ขั้นตอนที่ 9 กรอกข้อมูลส่วน *J* และ *I*

- กรอกค่า *Jp* (อ่านค่า *J* จากกราฟ14-6 ของ AGMA)

- กรอกค่า *Jg* (อ่านค่า *J* จากกราฟ14-6 ของ AGMA)

*กดปุ่ม กราฟแสดงค่า J จะแสดงกราฟ 14-6 ของ AGMA

- เลือกชนิดของคุณสมบัติของ *I*

ขั้นตอนที่ 10 กรอกข้อมูลส่วน Elastic Coefficient หรือค่า *Cp*

- เลือกชนิด Material ของ Pinion

- เลือกชนิด Material ของ Gear

- เลือกค่า Quality

5.1.2 เมื่อกรอกข้อมูลในขั้นตอน 1-10 เรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม คำนวณ กรณีที่ยังกรอกข้อมูลไม่ครบปุ่ม คำนวณ จะไม่สามารถใช้งานได้ จะต้องกรอกข้อมูลให้ครบก่อนจึงกดปุ่มเพื่อเริ่มการคำนวณได้ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงผลออกมาในหน้าผลการคำนวณ และค่าคำนวณที่ได้ต่างๆออกมา

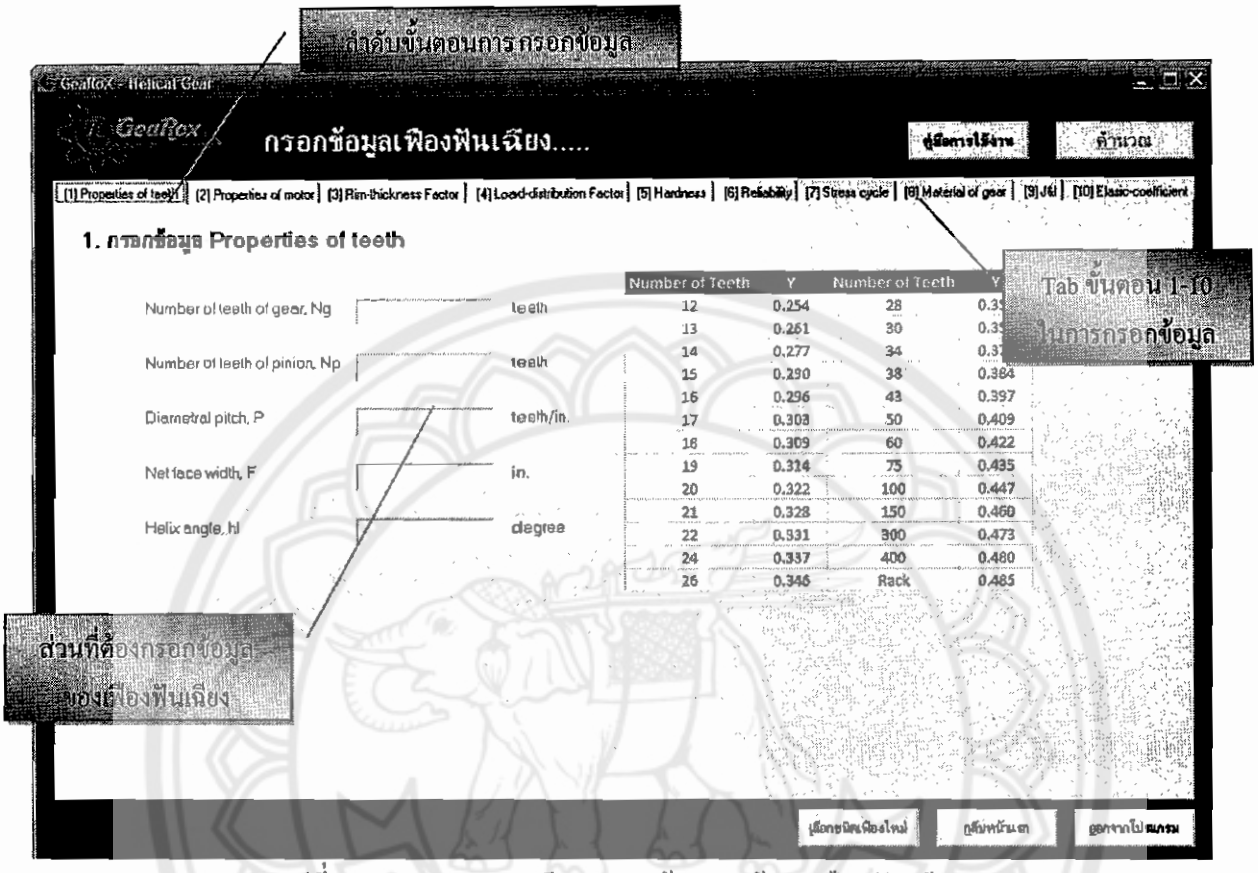
5.1.3 ถ้าต้องการดูคู่มือการใช้โปรแกรมเป็นไฟล์นามสกุล html ให้กดปุ่ม คู่มือการใช้งาน

5.1.4 ถ้าต้องการกลับไปที่หน้าเลือกชนิดเฟือง ให้กดปุ่ม เลือกชนิดเฟืองใหม่

5.1.5 ถ้าต้องการกลับไปหน้าแรกของโปรแกรม ให้กดปุ่ม กลับหน้าแรก

5.1.6 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม

5.2 การกรอกข้อมูลของเฟืองฟันเฉียง โดยกดที่ (ภาพของเฟืองฟันเฉียง) โปรแกรมจะแสดงหน้า ดังรูปที่ ข.12



รูปที่ ข.12 แสดงรายละเอียดของหน้ากรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียง

5.2.1 การกรอกข้อมูลเฟืองฟันเฉียงตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-10 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่1 กรอกข้อมูลส่วน Properties of teeth

- กรอกค่า Number of teeth of gear, *Ng* (ใช้หน่วย teeth)

  * ควรใส่ค่า *Ng* ตั้งแต่ 12 ขึ้นไป

- กรอกค่า Number of teeth of pinion, *Np* (ใช้หน่วย teeth)

  * ควรใส่ค่า *Np* ตั้งแต่ 12 ขึ้นไป

- กรอกค่า Diametral pitch, *Pd* (ใช้หน่วย teeth/in.)

  * ควรใส่ค่า $Pd > 0$

- กรอกค่า Net face width, *F* (ใช้หน่วย in.)

  * ควรใส่ค่า $F > 0$

- กรอกค่า Helix angle, *hl* (degree)

ขั้นตอนที่ 2 กรอกข้อมูลส่วน Properties of motor

- กรอกค่า Power, H (ใช้หน่วย hp)

  * ควรใส่ค่า $H > 0$

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

  * ควรใส่ค่า $ps > 0$

ขั้นตอนที่ 3 กรอกข้อมูลส่วน Rim-Thickness Factor

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

  * ควรใส่ค่า $ht > 0$

- กรอกค่า Rim thickness below the tooth, t_R (ใช้หน่วย in.)

  * ควรใส่ค่า $t_R > 0$

ขั้นตอนที่ 4 กรอกข้อมูลส่วน Load-Distribution Factor

- เลือกคุณสมบัติของ *Cmc*
- เลือกคุณสมบัติของ *Cpm*
- เลือกคุณสมบัติของ *Cma*

ขั้นตอนที่ 5 กรอกข้อมูลส่วน Hardness

- กรอกค่า Brinell hardness of gear, *HBG* (ใช้หน่วย Brinell)
- กรอกค่า Brinell hardness of pinion, *HBP* (ใช้หน่วย Brinell)

ขั้นตอนที่ 6 กรอกข้อมูลส่วน Reliability

- เลือกค่า Reliability

ขั้นตอนที่ 7 กรอกข้อมูลส่วน Stress cycle

- กรอกค่า Number of stress cyccle, *Ncp* (ใช้หน่วย rev)
- เลือก *YN* และ *ZN* เมื่อจำนวนรอบ ($N < 10^7$)

ขั้นตอนที่ 8 กรอกข้อมูลส่วน Material of gear

- เลือก Material ของ Bending Strength

  เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Steel

  * เลือกชนิดของ Material Designation
  * เลือก Heat Treatment
  * เลือก Grade

  เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Iron and Bronze

* เลือกชนิด Material

* เลือกชนิดของ Material Designation

- เลือก Material ของ Contact Strength

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Steel

* เลือกชนิดของ Material Designation

* เลือก Heat Treatment

* เลือก Grade

เมื่อเลือกชนิดของ Material เป็น Iron and Bronze

* เลือกชนิด Material

* เลือกชนิดของ Material Designation

ขั้นตอนที่ 9 กรอกข้อมูลส่วน J และ I

- กรอกค่า Jpn (อ่านค่า *J* จากกราฟ 14-6 ของ AGMA)
- กรอกค่า Jfp (อ่านค่า *J* จากกราฟ 14-7 หรือ 14-8 ของ AGMA)
- กรอกค่า Jpg (อ่านค่า *J* จากกราฟ 14-6 ของ AGMA)
- กรอกค่า Jfg (อ่านค่า *J* จากกราฟ 14-7 หรือ 14-8 ของ AGMA)

* กดปุ่ม กราฟแสดงค่า J จะแสดงกราฟ14-6 ของ AGMA

* กดปุ่ม กราฟแสดงค่า J' จะแสดงกราฟ14-7 ของ AGMA

* กดปุ่ม กราฟแสดงค่า J' จะแสดงกราฟ14-8 ของ AGMA

- เลือกชนิดของ I

ขั้นตอนที่ 10 กรอกข้อมูลส่วน Elastic Coeffieient หรือค่า Cp

- เลือกชนิด Material ของ Pinion
- เลือกชนิด Material ของ Gear
- เลือกค่า Quality

5.2.2 เมื่อกรอกข้อมูลในขั้นตอน 1-10 ครบ แล้วให้กดปุ่ม คำนวณ เพื่อเริ่มการคำนวณ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงผลออกมาในหน้าผลการคำนวณ และค่าคำนวณที่ได้ต่างๆออกมา

5.2.3 ถ้าต้องการดูคู่มือการใช้โปรแกรมเป็นไฟล์นามสกุล .html ให้กดปุ่ม คู่มือการใช้งาน

5.2.4 ถ้าต้องการกลับไปที่หน้าเลือกชนิดเฟือง ให้กดปุ่ม เลือกชนิดเฟืองใหม่

5.2.5 ถ้าต้องการกลับไปหน้าแรกของโปรแกรม ให้กดปุ่ม กลับหน้าแรก

5.2.6 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม [ออกจากโปรแกรม]

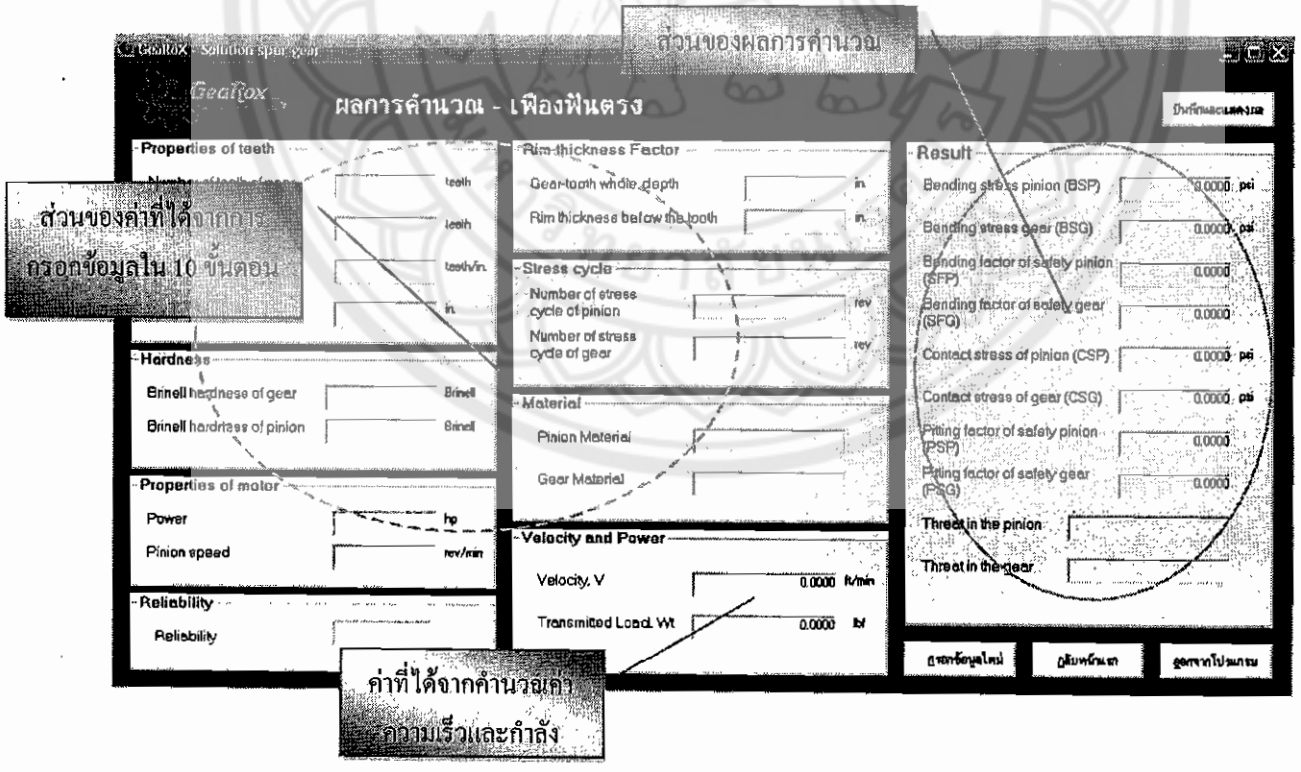
6. เมื่อกดปุ่ม [คำนวณ] แล้ว จะเป็นขั้นตอนการแสดงผลของโปรแกรมและแสดงคำตอบออกมา ซึ่งจะแสดงผลคำตอบที่ได้จากการคำนวณออกมา

6.1 ผลจากการคำนวณ ผลที่ได้จะบ่งบอกว่าเฟืองจะเกิดความเสียหายที่ใดก่อน ซึ่งแบ่งรูปแบบของผลการคำนวณได้ดังนี้

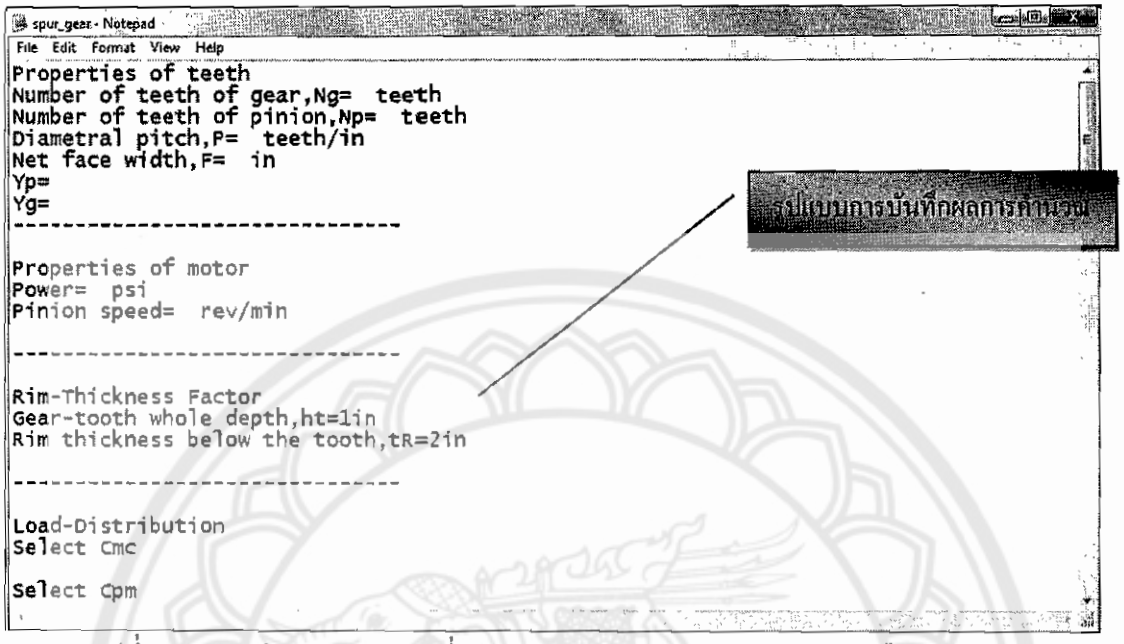
6.1.1 รูปแบบของผลการคำนวณของเฟืองฟันตรง ดังรูปที่ ข.13

6.1.2 รูปแบบของผลการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง ดังรูปที่ ข.15

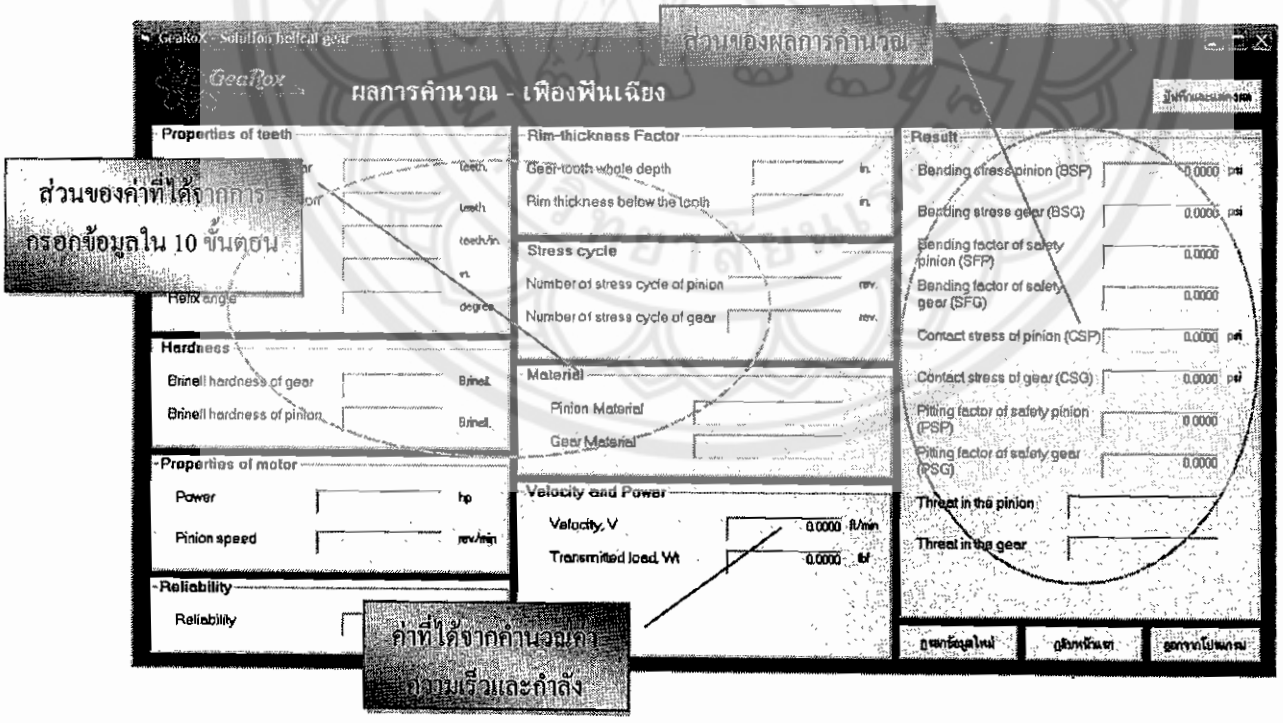
6.2 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลและแสดงไฟล์ข้อมูลเฟืองที่คำนวณ ให้กดปุ่ม [บันทึกและแสดงผล] ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะถูกส่งไปยังไฟล์ *.txt เพื่อทำการบันทึกค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกลงไปทั้งหมดและแสดงผลไฟล์ดังกล่าวขึ้นมา สำหรับเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง ดังรูปที่ ข.14 และรูปที่ ข.16 ตามลำดับ ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ที่ C:\Program Files\GeaRox*.txt ของฮาร์ดดิสก์ โดยชื่อของเอกสารที่เก็บจะมีชื่อว่า spur_gear และhelical_gear ขึ้นอยู่กับว่าเลือกวิเคราะห์เฟืองชนิดไหน



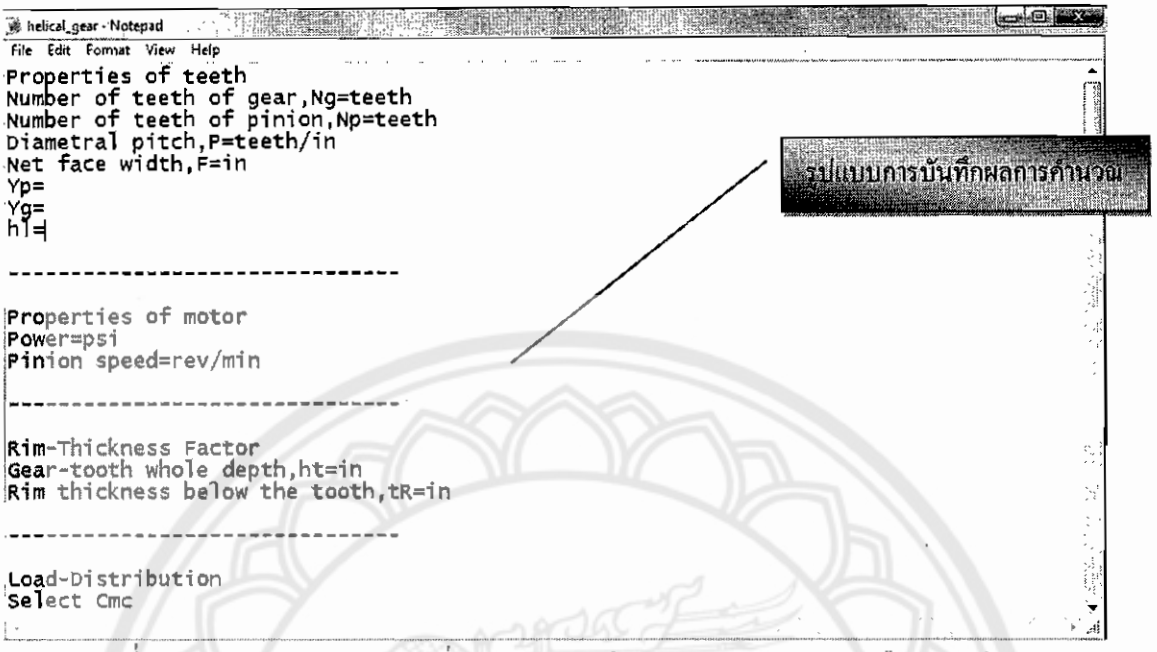
รูปที่ ข.13 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันตรง



รูปที่ ข.14 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRox ของเฟืองฟันตรง



รูปที่ ข.15 แสดงหน้าของผลการคำนวณและรายละเอียดของการคำนวณของเฟืองฟันเฉียง



รูปที่ ข.16 ตัวอย่างการแสดงผลที่ส่งออกมาจากโปรแกรม GeaRox ของเฟืองฟันเฉียง

6.3 ถ้าต้องการกรอกข้อมูลใหม่ ให้กดปุ่ม กรอกข้อมูลใหม่

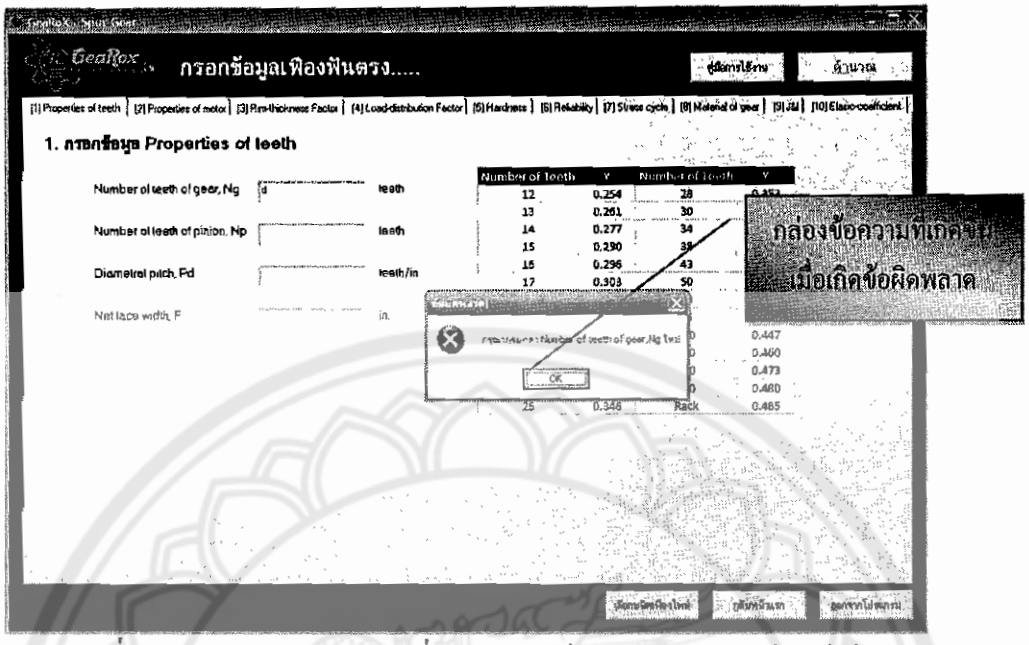
6.4 ถ้าต้องการกลับไปหน้าแรก ให้กดปุ่ม กลับหน้าแรก

6.5 ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม ให้กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม

ข้อความตอบโต้เมื่อในกรณีเกิดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการกรอกข้อมูลที่ผิดพลาด

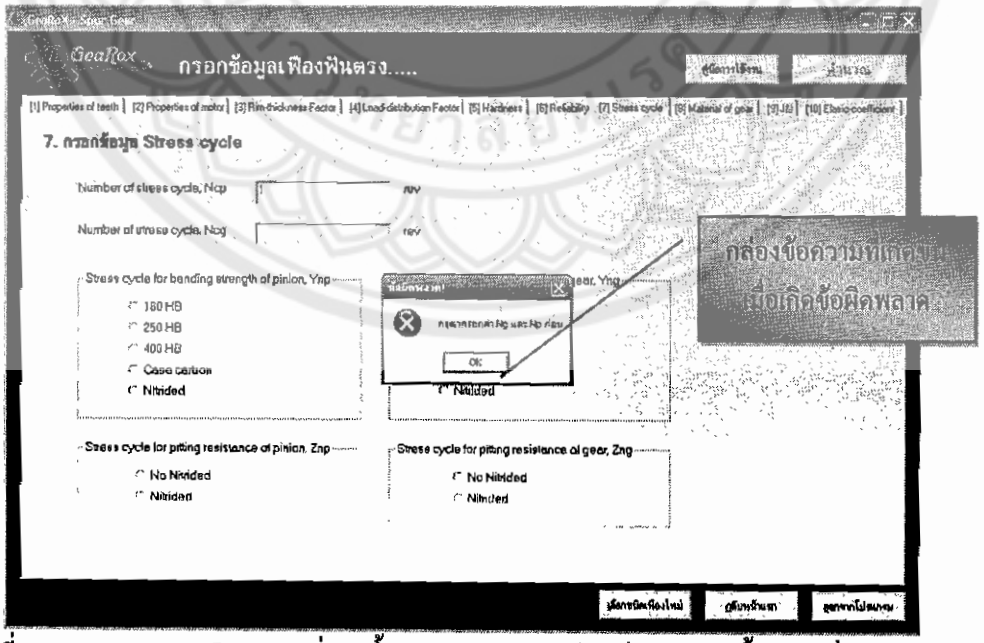
ข้อความตอบโต้ในกรณีที่ป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือว่า ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจะทำให้เกิดกล่องข้อความโต้ตอบ ข้อดีของการมีกล่องโต้ตอบเพื่อการวิเคราะห์เฟืองอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งภายกล่องข้อความจะมีคำสั่งให้ปฏิบัติตามเพื่อความถูกต้องของโปรแกรม

1. ในกรณีที่พิมพ์ตัวหนังสือหรือปล่อยช่องว่างให้ว่างเปล่า กล่องข้อความโต้กลับจะแสดง ดังรูปที่ ข.17



รูปที่ ข.17 แสดงความผิดพลาดที่เกิดจากพิมพ์ผิด หรือลืมกรอกข้อมูลไว้

2. ในกรณีที่ไปกรอกไม่เป็นไปตามขั้นตอนไปกรอกค่า stress cycle ก่อน ทำให้เกิดความผิดพลาด เนื่องจากค่าดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากค่า Ng และ Np ซึ่งยังไม่ได้กรอกจึงทำให้ค่าเกิดความผิดพลาด ดังรูปที่ ข.18



รูปที่ ข.18 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการกรอกค่าไม่เป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดไว้