

บทที่ 3

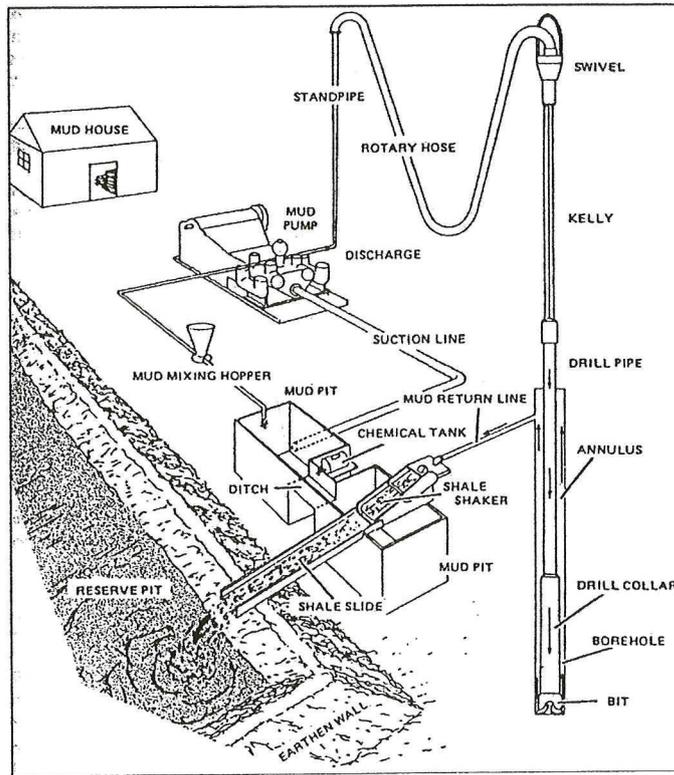
การออกแบบความดันสูญเสียและกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม

3.1 บทนำ

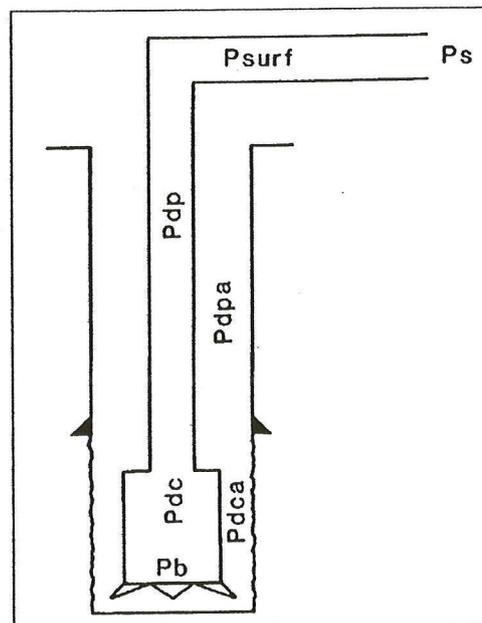
การออกแบบความดันสูญเสียและกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคำนวณหาผลรวมของความดันสูญเสียทั้งหมด เพื่อนำไปพิจารณาในการออกแบบกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม ซึ่งในบทนี้จะมีการอธิบายหลักการและปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบความดันสูญเสียและกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม

3.2 การออกแบบความดันสูญเสียและกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม

การออกแบบความดันสูญเสียและกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคำนวณหาผลรวมของความดันสูญเสียทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วย ความดันสูญเสียบริเวณพื้นผิว (Surface Pressure Loss) ความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะ (Drill Pipe) ความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะหนัก (Heavy Weight Drill Pipe) ความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก (Drill Collar) ความดันสูญเสียบริเวณหัวเจาะ (Bit) ความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะผนังหนาและหนักกับผนังหลุมเจาะ (Annulus of Drill Collar) ความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะหนักกับผนังหลุมเจาะ (Annulus of Heavy Weight Drill Pipe) ความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะ (Annulus of Drill Pipe) โดยผลรวมของความดันสูญเสียทั้งหมดจะนำไปถูกพิจารณาเพื่อออกแบบกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียมต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

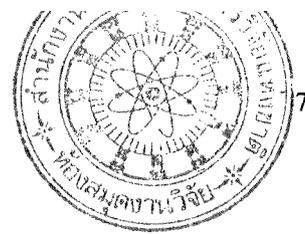


รูปที่ 3.1 การสูญเสียความดัน และกำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม



$$\Delta P_T = P_s + P_{surf} + P_{dp} + P_{dc} + P_b + P_{dca} + P_{dpa}$$

รูปที่ 3.2 การสูญเสียความดัน ณ จุดต่างๆ ภายในการเจาะหลุมปิโตรเลียม



3.2.1 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณพื้นผิว (Surface Pressure Loss)

ก. สมการคำนวณหาอัตราการหมุนเวียนน้ำโคลน (q) ในหลุมเจาะเมื่อชั้นหินอ่อน

$$q = 2.45(d_h^2 - d_{op}^2) \times 3 \quad \text{--- (สมการ 3.1)}$$

เมื่อชั้นหินแข็ง

$$q = 2.45(d_h^2 - d_{op}^2) \times 2.75 \quad \text{--- (สมการ 3.2)}$$

โดย q = อัตราการไหล, แกลลอนต่อนาที
 d_h = ขนาดหัวเจาะ, นิ้ว
 d_{op} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของก้านเจาะ, นิ้ว

ข. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณพื้นผิว (P_s) ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมการคำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณพื้นผิว

		รูปแบบความดันสูญเสียบริเวณพื้นผิว			
		แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
Standpipe (P_{sp})	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)	3	3.5	4	4
	ความยาว (ฟุต)	40	40	45	45
Horse (P_h)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)	2	2.5	3	3
	ความยาว (ฟุต)	45	55	55	55
Swivel Wash Pip Gooseneck (P_{sw})	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)	2	2.5	2.5	3
	ความยาว (ฟุต)	4	5	5	6
Kelly (P_k)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)	2.25	3.25	3.25	4
	ความยาว (ฟุต)	40	40	40	40
สมการ		3.3	3.4	3.5	3.6

*หมายเหตุ ค่าคงตัวในสมการ 3.3-3.6 เป็นค่าคงตัวที่พิจารณาข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวแล้ว

$$P_{sp} = \frac{(0.0007q^2 + 0.0385q)\rho_m}{9.5} \quad \text{--- (สมการ 3.3)}$$

$$P_h = \frac{(0.00022q^2 + 0.0149q)\rho_m}{9.5} \quad \text{--- (สมการ 3.4)}$$

$$P_{sw} = \frac{(0.0003q^2 + 0.0186q)\rho_m}{9.5} \quad \text{--- (สมการ 3.5)}$$

$$P_k = \frac{(0.0001q^2 + 0.0081q)\rho_m}{9.5} \quad \text{--- (สมการ 3.6)}$$

โดย P_{sp} = ความดันสูญเสียบริเวณ Standpipe, psi
 P_h = ความดันสูญเสียบริเวณ Hose, psi
 P_{sw} = ความดันสูญเสียบริเวณ Swivel, psi
 P_k = ความดันสูญเสียบริเวณ Kelly, psi
 ρ_m = ความหนาแน่นน้ำโคลน, ปอนด์ต่อแกลลอน

3.2.2 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะ (Pressure Loss inside Drill Pipe)

ก. คำนวณหาความเร็ววิกฤตภายในก้านเจาะ (V_c) ในหน่วยฟุตต่อวินาที เพื่อการตรวจสอบว่าเป็น Laminar flow หรือ Turbulent flow

$$V_c = \frac{(1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m d_{ip}^2 Y_p})}{\rho_m d_{ip}} \quad \text{--- (สมการ 3.7)}$$

โดย μ_p = ความหนืดน้ำโคลนในสถานะพลาสติก, เซนติพอยต์
 d_{ip} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในก้านเจาะ, นิ้ว
 Y_p = จุดครากของบริงแฮม, ปอนด์ต่อ 100 ตารางฟุต

- ข. กำหนดหาความเร็วจริงภายในก้านเจาะ (V_{ap}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{ap} = \frac{q}{2.45d_{ip}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.8)}$$

- ค. กำหนดหาความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะ (P_p) ในหน่วย psi
เมื่อ $V_{ap} > V_c$ (Turbulent flow) เมื่อ $Re > 2,000$

$$P_p = \frac{\frac{0.0458}{Re^{0.19}} \left(\frac{2,970 \rho_m V_{ap} d_{ip}}{\mu_p} \right)^{-0.2037} \rho_m L_{dp} V_{ap}^2}{25.8 d_{ip}} \quad \text{--- (สมการ 3.9)}$$

- เมื่อ $V_{ap} \leq V_c$ (Laminar flow) เมื่อ $Re \leq 2,000$

$$P_p = \frac{\mu_p L_{dp} V_{ap}}{1,500 d_{ip}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.10)}$$

- โดย L_{dp} = ความยาวก้านเจาะ, ฟุต
 Re = Reynold Number

3.2.3 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะหนัก (Pressure Loss inside Heavy Weight Drill Pipe)

- ก. กำหนดหาความเร็ววิกฤตภายในก้านเจาะ (V_{chw})
ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{chw} = \frac{(1.08 \mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p^2 + 9.3 \rho_m d_{ihw}^2 Y_p})}{\rho_m d_{ihw}} \quad \text{--- (สมการ 3.11)}$$

โดย d_{ihw} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในก้านเจาะหนัก, นิ้ว

- ข. คำนวณหาความเร็วจริงภายในก้านเจาะหนัก (V_{ahw})
ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{ahw} = \frac{q}{2.45d_{ihw}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.12)}$$

- ค. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะหนัก (P_{hw})
ในหน่วย psi

เมื่อ $V_{ahw} > V_{chw}$ (Turbulent flow) $Re > 2,000$

$$P_{hw} = \frac{\frac{0.0458}{R_e^{0.19}} \left(\frac{2,970 \rho_m V_{ahw} d_{ihw}}{\mu_p} \right)^{-0.2037} \rho_m L_{hw} V_{ahw}^2}{25.8 d_{ihw}} \quad \text{--- (สมการ 3.13)}$$

เมื่อ $V_{ahw} \leq V_{chw}$ (Laminar flow) $Re \leq 2,000$

$$P_{hw} = \frac{\mu_p L_{hw} V_{ahw}}{1,500 d_{ihw}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.14)}$$

โดย L_{hw} = ความยาวก้านเจาะหนัก, ฟุต

3.2.4 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก (Pressure Loss inside Drill Collar)

- ก. คำนวณหาความเร็ววิกฤตภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก (V_{ccol})
ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{ccol} = \frac{(1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m d_{ic}^2 Y_p})}{\rho_m d_{ic}} \quad \text{--- (สมการ 3.15)}$$

โดย d_{ic} = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก,
นิ้ว

- ข. คำนวณหาความเร็วจริงภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก (V_{ac})
ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{ac} = \frac{q}{2.45d_{ic}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.16)}$$

- ค. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณภายในก้านเจาะผนังหนาและหนัก
(P_c) ในหน่วย psi

เมื่อ $V_{ac} > V_{ccol}$ (Turbulent flow)

$$P_c = \frac{0.0458 \left(\frac{2,970\rho_m V_{ac} d_{ic}}{\mu_p} \right)^{-0.2037} \rho_m (L - L_{dp} - L_{hw}) V_{ac}^2}{25.8d_{ic}} \quad \text{--- (สมการ 3.17)}$$

เมื่อ $V_{ac} \leq V_{ccol}$ (Laminar flow)

$$P_c = \frac{\mu_p (L - L_{dp}) V_{ac}}{1,500d_{ic}^2} \quad \text{--- (สมการ 3.18)}$$

โดย L = ความลึกของหลุมเจาะ, ฟุต

3.2.5 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณหัวเจาะ (Pressure Loss across Bit)

- ก. คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าๆ กัน (3 รู) ของรูปปล่อยน้ำโคลน (d_e) ในหน่วยนิ้ว

$$d_e = \sqrt{\frac{q}{1,837.5}} \quad \text{--- (สมการ 3.19)}$$

- ข. คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปปล่อยน้ำโคลน (d) ในหน่วยนิ้ว ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เท่ากันของรูปปล่อยน้ำโคลนกับพื้นที่ของรูปปล่อยน้ำโคลน

d_e	0.282	0.391	0.422	0.469	0.532	0.594	0.657	0.719	0.782	0.844
d	0.188	0.375	0.406	0.438	0.5	0.563	0.563	0.688	0.75	0.813

- ค. คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าๆ กันของรูปปล่อยน้ำโคลนที่ถูกคำนวณ (d_{eq}) ในหน่วยนิ้ว

$$d_{eq} = \sqrt{3d^2} \quad \text{--- (สมการ 3.20)}$$

- ง. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณหัวเจาะ (P_b) ในหน่วย psi

$$P_b = \frac{q^2 \rho_m}{6,705.58 d_{eq}^4} \quad \text{--- (สมการ 3.21)}$$

3.2.6 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะผนังหนาและหนัก กับผนังหลุมเจาะ (Pressure Loss in Annular around Drill Collar)

- ก. คำนวณหาความเร็ววิกฤตบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะผนังหนาและหนักกับผนังหลุมเจาะ (V_{cc}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{cc} = \frac{(1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m(d_h - d_{oc})^2} Y_p)}{\rho_m(d_h - d_{oc})}$$

--- (สมการ 3.22)

โดย d_{oc} = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของก้านเจาะผนังหนาและ
หนักร, นิ้ว

- ข. คำนวณหาความเร็วจริงบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะผนังหนาและ
หนักรกับผนังหลุมเจาะ (V_{acc}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{acc} = \frac{q}{2.45(d_h^2 - d_{oc}^2)}$$

--- (สมการ 3.23)

- ค. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะผนังหนาและ
หนักรกับผนังหลุมเจาะ (P_{ac}) ในหน่วย psi

เมื่อ $V_{acc} > V_{cc}$ (Turbulent flow)

$$P_{ac} = \frac{\frac{0.0458}{R_e^{0.19}} \left(\frac{2,970\rho_m V_{acc}(d_h - d_{oc})}{\mu_p} \right)^{-0.1359} \rho_m (L - L_{dp}) V_{acc}^2}{25.8(d_h - d_{oc})}$$

--- (สมการ 3.24)

เมื่อ $V_{acc} \leq V_{cc}$ (Laminar flow)

$$P_{ac} = \frac{\mu_p (L - L_{dp}) V_{acc}}{1,500(d_h - d_{oc})^2}$$

--- (สมการ 3.25)

3.2.7 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะหนักรกับผนังหลุม
เจาะ (Pressure Loss in Annular around Heavy Weight Drill Pipe)

- ก. คำนวณหาความเร็ววิกฤตบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะหนักกับผนังหลุมเจาะ (V_{cchw}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{cchw} = \frac{(1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m(d_h - d_{ohw})^2}Y_p)}{\rho_m(d_h - d_{ohw})} \quad \text{--- (สมการ 3.26)}$$

โดย d_{ohw} = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของก้านเจาะหนัก, นิ้ว

- ข. คำนวณหาความเร็วจริงบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะหนักกับผนังหลุมเจาะ (V_{achw}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{achw} = \frac{q}{2.45(d_h^2 - d_{ohw}^2)} \quad \text{--- (สมการ 3.27)}$$

- ค. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะหนักกับผนังหลุมเจาะ (P_{ahw}) ในหน่วย psi

เมื่อ $V_{achw} > V_{cchw}$ (Turbulent flow)

$$P_{ahw} = \frac{\frac{0.0458}{R_e^{0.19}} \left(\frac{2,970\rho_m V_{achw}(d_h - d_{ohw})}{\mu_p} \right)^{-0.1359} \rho_m L_{hw} V_{achw}^2}{25.8(d_h - d_{ohw})} \quad \text{--- (สมการ 3.28)}$$

เมื่อ $V_{achw} \leq V_{cchw}$ (Laminar flow)

$$P_{ahw} = \frac{\mu_p L_{hw} V_{achw}}{1,500(d_h - d_{ohw})^2} \quad \text{--- (สมการ 3.29)}$$

3.2.8 การออกแบบความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะ
(Pressure Loss in Annular around Drill Pipe)

- ก. คำนวณหาความเร็ววิกฤตบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะ (V_{cp}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{cp} = \frac{(1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m(d_h - d_{op})^2 Y_p})}{\rho_m(d_h - d_{op})}$$

--- (สมการ 3.30)

- ข. คำนวณหาความเร็วจริงบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะ (V_{acp}) ในหน่วยฟุตต่อวินาที

$$V_{acp} = \frac{q}{2.45(d_h^2 - d_{op}^2)} \quad \text{--- (สมการ 3.31)}$$

- ค. คำนวณหาความดันสูญเสียบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุมเจาะ (P_{ap}) ในหน่วย psi

เมื่อ $V_{acp} > V_{cp}$ (Turbulent flow)

$$P_{ap} = \frac{\frac{0.0458}{R_e^{0.19}} \left(\frac{2,970\rho_m V_{acp}(d_h - d_{op})}{\mu_p} \right)^{-0.1359} \rho_m L_{dp} V_{acp}^2}{25.8(d_h - d_{op})}$$

--- (สมการ 3.32)

เมื่อ $V_{acp} \leq V_{cp}$ (Laminar flow)

$$P_{ap} = \frac{L_{dp} Y_p}{300(d_p - d_{op})} + \frac{\mu_p L_{dp} V_{acp}}{1,500(d_h - d_{op})^2} \quad \text{--- (สมการ 3.33)}$$

3.2.9 กำหนดหาความดันสูญเสียทั้งหมดในการเจาะหลุมปิโตรเลียม (P_t) ในหน่วย psi

$$\Delta p_t = \Delta p_s + \Delta p_p + \Delta p_{hw} + \Delta p_c + \Delta p_b + \Delta p_{ac} + \Delta p_{apw} + \Delta p_{ap}$$

--- (สมการ 3.34)

3.2.10 กำหนดหาค่ากำลังเครื่องยนต์ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม (HP)

$$HP = \frac{q \times \Delta P_t}{1,714 \times V \times M}$$

--- (สมการ 3.35)

โดย M = ประสิทธิภาพเชิงเครื่องกล
 V = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

3.2.11 กำหนดหาอัตราการหมุนเวียนน้ำโคลนที่เหมาะสมที่สุด

ก. การวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังแรงม้า

$$q_{opt} = 10 \frac{(\ln P_c) - S_2 - (S \times S_4)}{S}$$

--- (สมการ 3.36)

โดย P_c = (สมการ 3.34) x 0.35

$$S = \frac{S_1 - S_2}{S_3 - S_4}$$

S_1 และ S_2 = $\ln(\Delta p_t - \Delta p_s - \Delta p_b)$ หรือ P_c
 จุดที่ 1 และที่ 2

S_3 และ S_4 = $\ln q$ จุดที่ 1 และที่ 2

ความสัมพันธ์ต่างๆ ของ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4 ดังแสดงรูปที่ 3.3

ข. การวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงกระทำ

$$q_{opt} = 10 \frac{(\ln P_c) - S_2 - (S \times S_4)}{S}$$

--- (สมการ 3.37)

โดย P_c = (สมการ 3.34) x 0.52

$$S = \frac{S_1 - S_2}{S_3 - S_4}$$

$$S_1 \text{ และ } S_2 = \ln(\Delta p_t - \Delta p_s - \Delta p_b) \text{ จุดที่ 1 และที่ 2}$$

$$S_3 \text{ และ } S_4 = \ln q \text{ จุดที่ 3 และที่ 4}$$

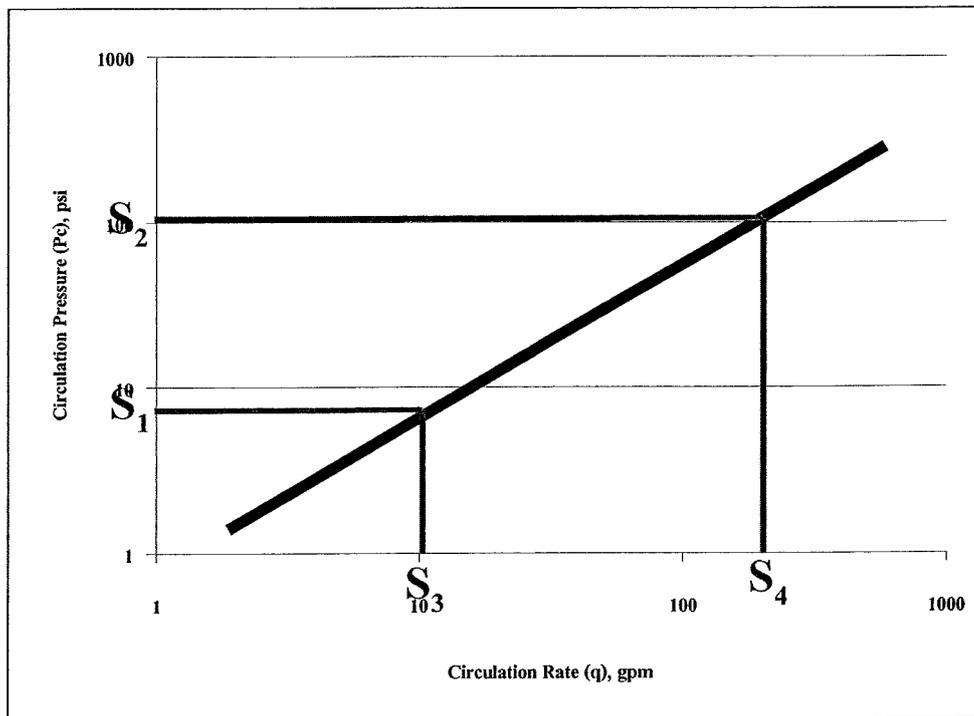
3.2.12 คำนวณหาขนาดรพ่นน้ำโคลนที่เหมาะสมที่สุด

ก. การวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังแรงม้า

$$S_n = \sqrt{434.6 \sqrt{\frac{6.14 \times 10^{-5} \times \rho_m \times q_{opt}}{0.65 \times \Delta p_t}}} \quad \text{--- (สมการ 3.38)}$$

ข. การวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงกระแทก

$$S_n = \sqrt{434.6 \sqrt{\frac{6.14 \times 10^{-5} \times \rho_m \times q_{opt}}{0.48 \times \Delta p_t}}} \quad \text{--- (สมการ 3.39)}$$



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ต่างๆ ของ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4