

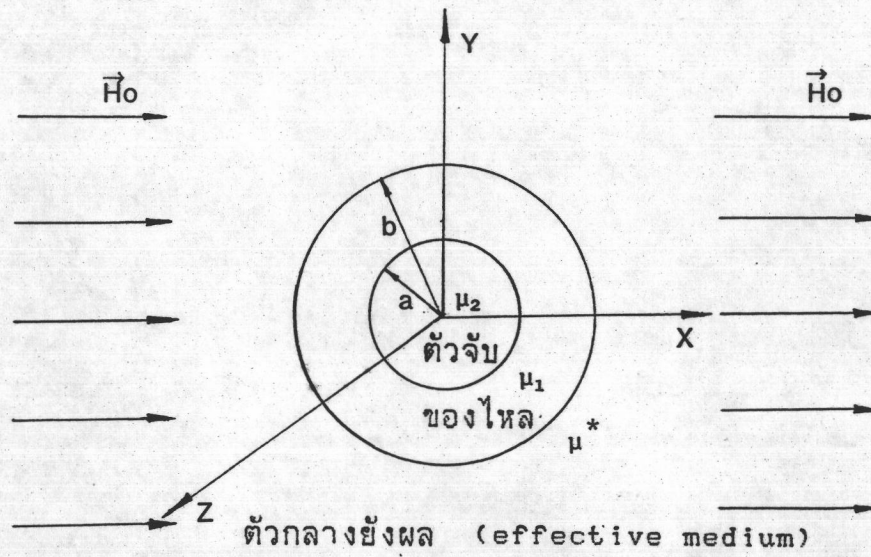
การจับอนุภาคในสนามแม่เหล็กแบบตัวกลางยังผล

ในบทนี้จะเป็นการปรับปรุงทฤษฎีของเกอร์เบอร์ โดยใช้สนามแม่เหล็กรอบตัวจับ ซึ่งคำนวณโดยวิธีตัวกลางยังผล (5) เพื่ออธิบายการจับอนุภาคในตัวกรองแม่เหล็กทรงกระบอกแบบตามแนวแกนให้สมบูรณ์ขึ้น เริ่มจากการศึกษาทบทวนรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีประมาณสนามแม่เหล็กแบบตัวกลางยังผล คำนวณทางเดินของอนุภาคและคาดคะเนประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็ก

3.1 สนามแม่เหล็กแบบตัวกลางยังผล

วิธีตัวกลางยังผล (5) เป็นวิธีใช้ประมาณสนามแม่เหล็กในตัวกลางที่กระจายแบบสุ่ม การประมาณสนามแม่เหล็กรอบตัวจับใด ๆ ในตัวกรองแม่เหล็กได้พิจารณาระบบของตัวกรองแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยตัวจับทรงกระบอกรัศมี a กระจายแบบสุ่มนั้น ให้แต่ละตัวจับถูกล้อมรอบด้วยของไหลทรงกระบอกแกนร่วมมีรัศมีภายนอก b ซึ่งกำหนดค่า b โดยให้ปริมาตรของตัวจับต่อปริมาตรของของไหลทรงกระบอกรัศมี b เท่ากับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) นั่นคือ $a^2/b^2 = F$ และเรียกตัวจับใด ๆ ที่พิจารณาซึ่งมีค่าสภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็ก μ_2 และของไหลที่ล้อมรอบซึ่งมีค่าสภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็ก μ_1 ว่า เซลล์ โดยวิธีตัวกลางยังผล เราพิจารณาที่เซลล์ตัวแทน (representative cell) และแทนเซลล์รอบ ๆ และเซลล์อื่น ๆ ที่ตัดไปด้วยตัวกลางยังผลโดยให้มีค่าสภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กเป็น μ^* (ซึ่งยังไม่ทราบค่า) ดังรูปที่ 3.1

สำหรับสนามแม่เหล็กรอบตัวจับ (H) ภายในตัวจับและในตัวกลาง



รูปที่ 3.1 แสดงภาคตัดขวางของเซลล์ตัวแทนซึ่งประกอบด้วยตัวจับ และของไหลรอบตัวจับ ตัวกลางยังผล และสนามแม่เหล็ก ภายนอกความเข้มสม่ำเสมอ (\vec{H}_0)

ยังผลหาได้โดยวิธีการแก้ปัญหาแบบมีขอบเขตเพื่อหาค่าแม่เหล็ก Φ กำหนดแกน z ในทิศทางกระบอกให้อยู่ซ้อนกับแกนของตัวจับ Φ_1 , Φ_2 และ Φ^* เป็นค่าแม่เหล็กบริเวณรอบตัวจับ ภายในตัวจับและในตัวกลางยังผลตามลำดับ ซึ่ง Φ_1 , Φ_2 และ Φ^* ต้องสอดคล้องกับสมการลาปลาซในแต่ละบริเวณคือ

$$\nabla^2 \Phi^* = 0 \quad \text{เมื่อ } b < r < \infty \quad (3.1.1)$$

$$\nabla^2 \Phi_1 = 0 \quad \text{เมื่อ } a < r < b \quad (3.1.2)$$

$$\nabla^2 \Phi_2 = 0 \quad \text{เมื่อ } 0 < r < a \quad (3.1.3)$$

และมีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

1) สนามแม่เหล็กบริเวณไกลจากตัวจับมาก ๆ คือ สนามแม่เหล็กภายนอก H_0 นั่นคือ

$$\Phi^*(r, \theta) = -H_0 r \cos \theta \quad \text{ที่ } r \rightarrow \infty$$

2) สนามแม่เหล็กในแนวขนานกับผิวของตัวจับมีค่าต่อเนื่องที่บริเวณรอยต่อผิวของตัวจับกับของไหล นั่นคือ

$$\left. \frac{\partial \Phi_1}{\partial \theta} \right|_{r=a} = \left. \frac{\partial \Phi_2}{\partial \theta} \right|_{r=a}$$

3) สนามแม่เหล็กในแนวขนานกับผิวของของไหลทรงกระบอกมีค่าต่อเนื่องที่บริเวณรอยต่อผิวของของไหลกับตัวกลางยังผล นั่นคือ

$$\left. \frac{\partial \phi_2}{\partial \theta} \right|_{r=b} = \left. \frac{\partial \phi^*}{\partial \theta} \right|_{r=b}$$

4) ความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผิวของตัวจับมีค่าต่อเนื้อที่บริเวณรอยต่อผิวของตัวจับของไหล นั่นคือ

$$\mu_1 \left. \frac{\partial \phi_1}{\partial r} \right|_{r=a} = \mu_2 \left. \frac{\partial \phi_2}{\partial r} \right|_{r=a}$$

5) ความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผิวของของไหลทรงกระบอก มีค่าต่อเนื้อที่บริเวณรอยต่อผิวของของไหลกับตัวกลางยังผล นั่นคือ

$$\mu_1 \left. \frac{\partial \phi_1}{\partial r} \right|_{r=b} = \mu^* \left. \frac{\partial \phi^*}{\partial r} \right|_{r=b}$$

รูปทั่วไปของ ϕ^* , ϕ_1 และ ϕ_2 ซึ่งเป็นผลเฉลยของสมการลาปลาซ (3.1.1), (3.1.2) และ (3.1.3) และเป็นจริงตามเงื่อนไขขอบเขต 1) คือ

$$\phi^*(r, \theta) = -H_0 r \cos \theta + \sum_{n=1}^{\infty} A_n r^{-n} \cos n\theta \quad (3.2.1)$$

$$\phi_1(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} [B_n r^n + C_n r^{-n}] \cos n\theta \quad (3.2.2)$$

$$\text{และ } \phi_2(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} D_n r^n \cos n\theta \quad (3.2.3)$$

จากเงื่อนไขขอบเขต 2) - 5) จะได้

$$aB_1 + a^{-1}C_1 - aD_1 = 0 \quad \text{สำหรับ } n = 1$$

$$B_n a^n + C_n a^{-n} - D_n a^n = 0 \quad \text{สำหรับ } n \neq 1$$

$$H_0 b - bA_1 + bB_1 + b^{-1}C_1 = 0 \quad \text{สำหรับ } n = 1$$

$$A_n b^{-n} - B_n b^n - C_n b^{-n} = 0 \quad \text{สำหรับ } n \neq 1$$

$$\mu_1 B_1 - \mu_2 a^{-2} C_1 - \mu_2 D_1 = 0 \quad \text{สำหรับ } n = 1$$

$$\mu_1 C_n a^{-n-1} - \mu_1 B_n a^{n-1} + \mu_2 D_n a^{n-1} = 0 \quad \text{สำหรับ } n \neq 1$$

$$\mu^* H_0 + \mu^* b^{-2} A_1 + \mu_1 B_1 - \mu_1 b^{-2} C_1 = 0 \quad \text{สำหรับ } n = 1$$

$$\mu^* A_n b^{-n-1} + \mu_1 (B_n b^{n-1} - C_n b^{-n-1}) = 0 \quad \text{สำหรับ } n \neq 1$$

ซึ่งหาค่าคงที่ A_n , B_n , C_n และ D_n จากสมการข้างต้นได้ดังนี้

$$A_1 = \frac{H_0 a^2}{IF} (F(v-1)(v^*+1) - (v^*-1)(v+1)) ,$$

$$B_1 = \frac{-2H_0 v^*(v+1)}{I} ,$$

$$C_1 = \frac{2H_0 a^2 v^*(v-1)}{I} ,$$

$$D_1 = \frac{-4H_0 v^*}{I} ,$$

และ $A_n = B_n = C_n = D_n = 0$ สำหรับ $n \neq 1$

$$\text{เมื่อ } v^* = \frac{\mu^*}{\mu_1} , \quad v = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad \text{และ } I = (v^*+1)(v+1) - F(v^*-1)(v-1)$$

แทนค่า A_n, B_n, C_n และ D_n ในสมการ (3.2.1), (3.1.2) และ (3.1.3) จะได้ศักย์แม่เหล็ก

$$\phi^*(r, \theta) = H_0 \left[\frac{a^2(v-1)(v^*+1) - (v^*-1)(v+1)}{IF} - r \right] \cos \theta \quad (3.3.1)$$

$$\phi_1(r, \theta) = \frac{2H_0 v^*}{I} \left[\frac{(v-1)a^2}{r} - (v+1)r \right] \cos \theta , \quad (3.3.2)$$

$$\text{และ } \phi_2(r, \theta) = \frac{-4H_0 v^*}{I} r \cos \theta \quad (3.3.3)$$

จะได้สนามแม่เหล็กรอบตัวจับจาก $\vec{H} = -\vec{\nabla}\phi$ ดังนี้

$$\vec{H} = 2H_0 v^* (v+1) \left[\left(1 + \frac{K}{r_a^2}\right) \cos \theta \hat{r} - \left(1 - \frac{K}{r_a^2}\right) \sin \theta \hat{\theta} \right], \quad 1 < r_a < b/a \quad (3.4.1)$$

$$= \vec{H}_0 , \quad b/a < r_a < \infty \quad (3.4.2)$$

$$\text{เมื่อ } r_a = \frac{r}{a} \quad \text{และ } K = \frac{(\nu-1)}{(\nu+1)}$$

สำหรับ μ^* หาได้จากหลักความไม่ขัดแย้งกันในตัวเอง (self consistency) ที่ว่าความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเฉลี่ย (average magnetic induction, $\langle \vec{B} \rangle = \mu \langle \vec{H} \rangle$) ของเซลล์ตัวแทนที่พิจารณาต้องเท่ากับความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเฉลี่ยของตัวกลางยังผลดังนี้

$$F \mu_2 \langle \vec{H}_2 \rangle_i + (1-F) \mu_1 \langle \vec{H} \rangle_i = \mu^* \langle \vec{H}^* \rangle_i$$

เมื่อ i แทนส่วนประกอบตามแกน x, y หรือ z

จากสมการข้างต้นคำนวณสภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ของตัวกลางยังผล (ν^*) ได้เป็น

$$\nu^* = \frac{\nu(1+F) - (1-F)}{\nu(1-F) + (1+F)} \quad (3.5)$$

เมื่อแทนค่า ν^* จากสมการ (3.5) ในสมการ (3.4) จะได้สนามแม่เหล็กรอบตัวจับและในตัวกลางยังผล ดังนี้

$$\vec{H} = A H_0 \left[\left(1 + \frac{K}{r_a^2}\right) \cos\theta \hat{r} - \left(1 - \frac{K}{r_a^2}\right) \sin\theta \hat{\theta} \right], \quad 1 < r_a < r_{ca} \quad (3.6.1)$$

$$= \vec{H}_0, \quad r_{ca} < r_a < \infty \quad (3.6.2)$$

เมื่อ $A = \frac{1}{(1 - FK)}$ เรียกค่าคงที่ยังผล และรัศมีของเซลล์ $r_{ca} = \frac{b}{a} = \frac{1}{F^2}$

จะเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กยังผล สมการ (3.6) ต่างกับสนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดี่ยว สมการ (2.5) เพียงเฟกเตอร์ค่าคงที่

ยังผล A ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 และค่าคงที่ยังผล (A) มีค่าประมาณ 1 ถ้ามีเพียงตัวจับเดียวเนื่องจากสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เข้าใกล้ 0 ($F \rightarrow 0$) และสมการ (3.6.1) สอดคล้องตรงกันกับสมการ (2.5) ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กกรณีตัวจับเดียว

3.2 สมการการเคลื่อนที่

สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามแม่เหล็กแบบตัวกลางยังผล สามารถคำนวณโดยวิธีเดียวกับกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ภายใต้สนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดียว ดังกล่าวในหัวข้อ 2.2 ได้ผลเป็นดังนี้

$$\frac{dr_a}{dt} = -\frac{P_m A^2}{4\eta l a} \left(\frac{K}{r_a^5} + \frac{\cos 2\theta}{r_a^3} \right) \quad (3.7.1)$$

$$r_a \frac{d\theta}{dt} = -\frac{P_m A^2 \sin 2\theta}{4\eta l a r_a^3} \quad (3.7.2)$$

$$\frac{dz_a}{dt} = \frac{P_o a}{4\eta l a} (1 - r_a^2 + q \ln r_a) \quad (3.7.3)$$

เมื่ออนุภาคอยู่ในเซลล์ ($r_a < r_{ca}$)

เมื่ออนุภาคอยู่นอกเซลล์แรงแม่เหล็กซึ่งขึ้นกับเกรเดียนต์สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ เนื่องจากสนามแม่เหล็กนอกเซลล์คงที่ อนุภาคจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของของไหลซึ่งมีทิศทางตามแนวแกน z และจะไม่ถูกจับด้วยตัวจับในเซลล์ตัวแทนที่พิจารณา

จากสมการ (3.7.1), (3.7.2) และ (3.7.3) เราสามารถกำจัดอนุพันธ์ของเวลา (dt) ได้ดังนี้

$$\frac{dr_a}{d\theta} = \frac{K}{r_a \sin 2\theta} + r_a \cot 2\theta, \quad (3.8.1)$$

$$\text{และ} \quad \frac{dz_a}{d\theta} = - \frac{P_o (1-r_a^2 + q \ln r_a) r_a^4}{P_m^* \sin 2\theta} \quad (3.8.2)$$

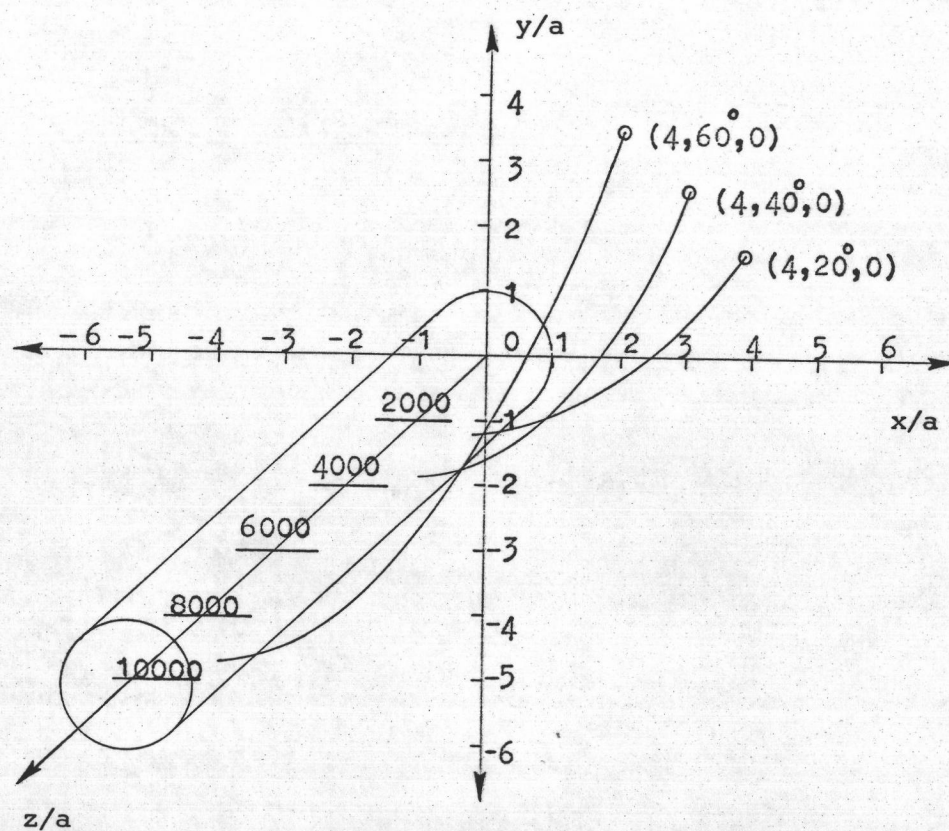
ซึ่งต่างจากสมการ (2.14) และ (2.16) กรณีสนามแม่เหล็กแบบจำลองตัวจับเดี่ยวเพียง P_m เปลี่ยนเป็น $P_m^* = P_m A^2$ ($A = \frac{1}{(1-FK)}$) โดยวิธีรังก์ กัตต้า เราสามารถอินทิเกรตเชิงตัวเลขสมการ (3.8.1) และ (3.8.2) เมื่อทราบจุดตั้งต้นของอนุภาค ($r_{ai}, \theta_i, 0$) เราสามารถคำนวณทางเดินของอนุภาคได้

ในทำนองเดียวกันการอินทิเกรตสมการการเคลื่อนที่แบบเชิงวิเคราะห์ (analytic method) จะได้ r_a และ z_a ที่มุม θ ต่าง ๆ เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งตั้งต้น (r_{ai}, θ_i) ในรูปแบบเดียวกับ (2.15) และ (2.17) โดยต่างกันเพียงค่า P_m กรณีแบบจำลองตัวจับเดี่ยวเปลี่ยนเป็น $P_m^* = P_m A^2$ ในกรณีนี้ เนื่องจากสมการการเคลื่อนที่ภายใต้สนามแม่เหล็กยังผลต่างจากกรณีสนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดี่ยวเพียงค่า P_m เปลี่ยนเป็น P_m^* เท่านั้น

3.3 ทางเดินของอนุภาค

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาทางเดินของอนุภาครอบตัวจับใดตัวจับหนึ่งในตัวกรองแม่เหล็กในกรณีต่าง ๆ โดยวิธีรังก์ กัตต้า คือ

กรณีที่ 1 แสดงทางเดินของอนุภาคที่มีรัศมีตั้งต้น (r_{ai}) เท่ากันเท่ากับ 4 แต่มีมุมตั้งต้น (θ_i) ต่างกันคือ 20° , 40° และ 60° โดยที่อนุภาคอยู่ในเซลล์ ($r_{ai} < r_{ca}$) ผลการคำนวณดังรูปที่ 3.2



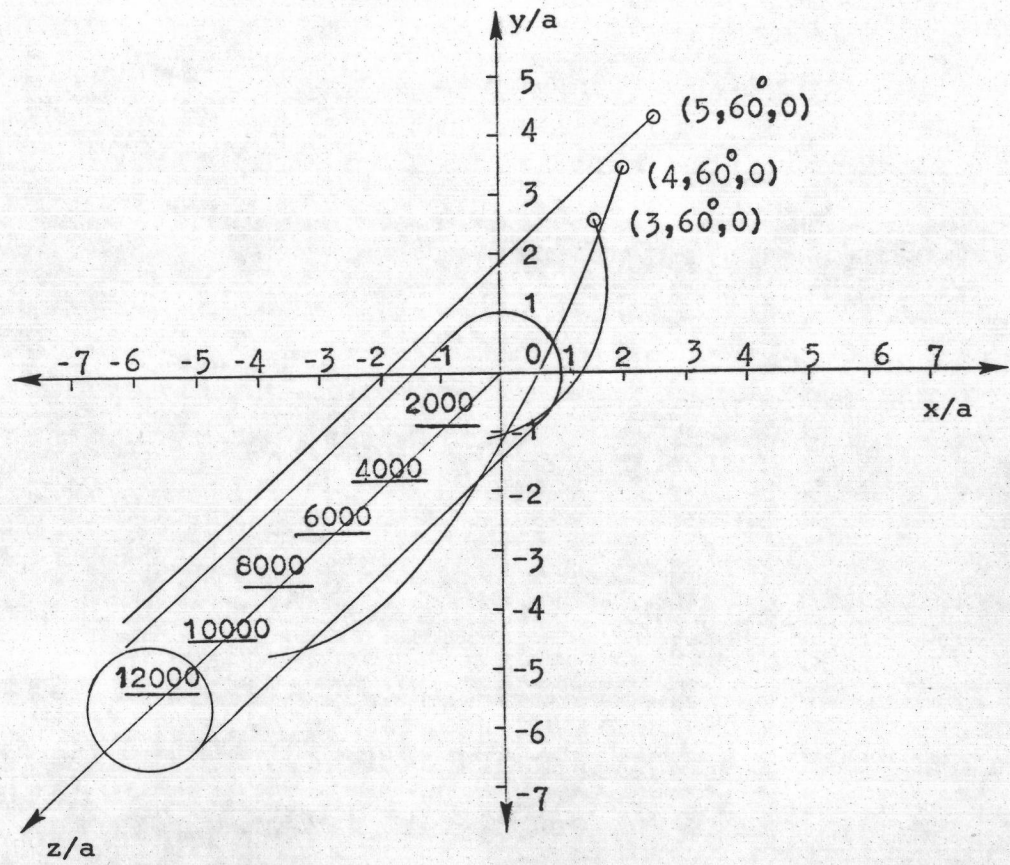
รูปที่ 3.2 แสดงทางเดินของอนุภาคสำหรับ $K = 0.8$, $F = 5\%$
 $(r_{ca} = 4.472)$, $P_o/P_m = 1$, $r_{ai} = 4$ เมื่อ
 $\theta_i = 20^\circ$, 40° และ 60°

แสดงให้เห็นว่า ลักษณะทั่วไปของการจับอนุภาคเหมือนกรณีสนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดี่ยว (ดังรูปที่ 2.2)

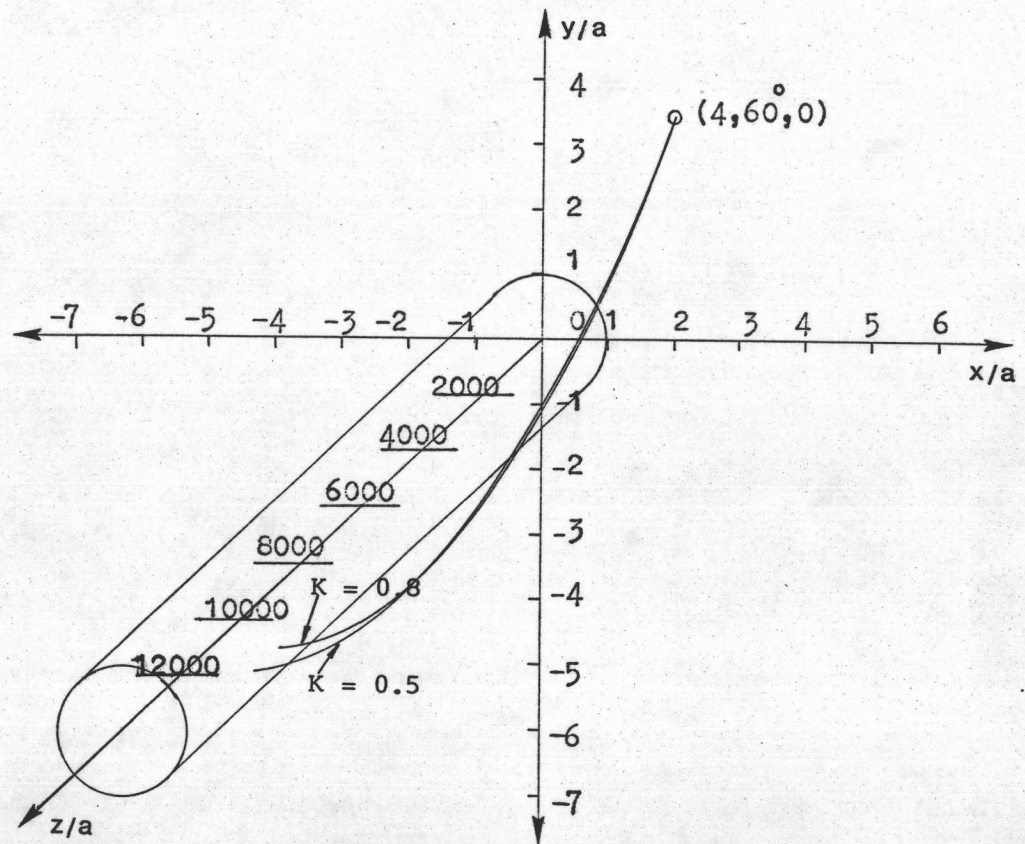
กรณีที่ 2 แสดงทางเดินของอนุภาคที่มีมุมตั้งต้น (θ_i) เท่ากันเท่ากับ 60° แต่รัศมีตั้งต้น (r_{ai}) ต่างกันคือ 3, 4 และ 5 ผลการคำนวณดังรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ตำแหน่งตั้งต้นของอนุภาคอยู่นอกเซลล์ ($r_{ai} > r_{ca}$) อนุภาคเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน z ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของของไหล เนื่องจากสนามแม่เหล็กในตัวกลางยังผลคงที่ แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาค ($\vec{F}_m \propto \vec{V}H^2$) เป็นศูนย์ กรณีที่ตำแหน่งตั้งต้นของอนุภาคอยู่ในเซลล์ ($r_{ai} < r_{ca}$) ลักษณะทั่วไปของการจับเหมือนกับกรณีสนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดี่ยว

กรณีที่ 3 แสดงทางเดินของอนุภาคที่มีตำแหน่งตั้งต้น (r_{ai}, θ_i, z_{ai}) เท่ากันเท่ากับ (4, 60° , 0) แต่มีค่าคงที่ทางแม่เหล็ก (K) ต่างกันคือ 0.5 และ 0.8 โดยที่อนุภาคอยู่ในเซลล์ ($r_{ai} < r_{ca}$) ผลการคำนวณดังรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าลักษณะทั่วไปของการจับอนุภาคเหมือนกรณีสนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดี่ยว (ดังรูปที่ 2.4)

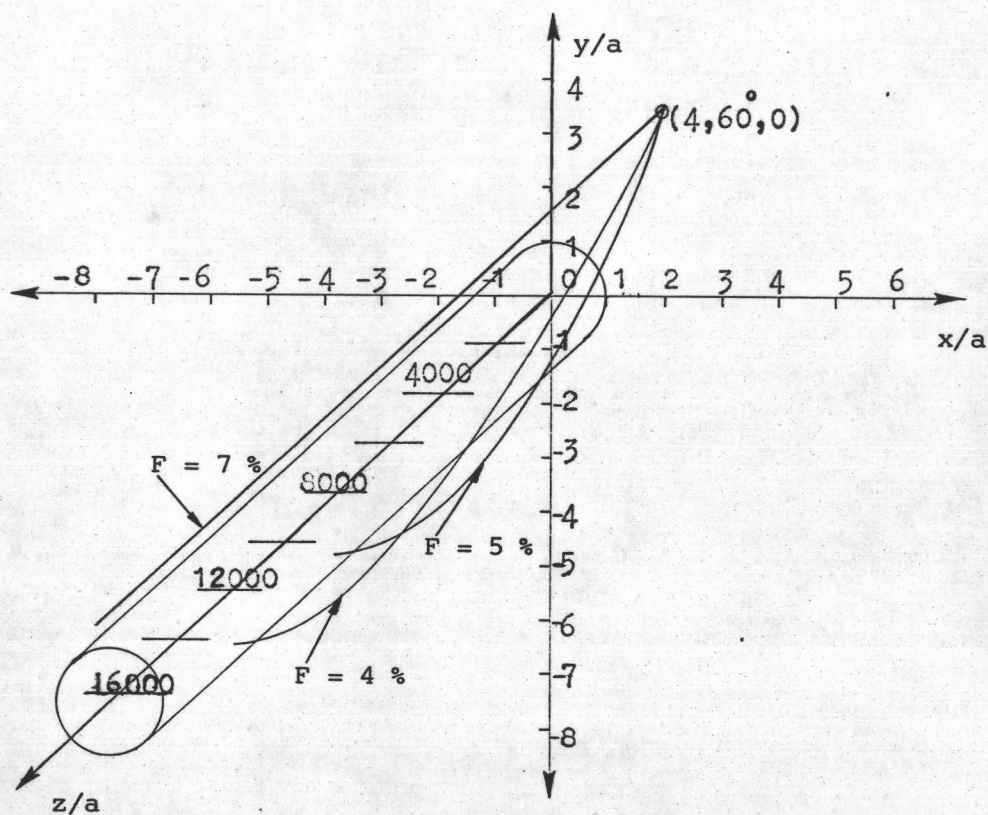
กรณีที่ 4 แสดงทางเดินของอนุภาคที่มีตำแหน่งตั้งต้น (r_{ai}, θ_i, z_{ai}) เท่ากันเท่ากับ (4, 60° , 0) แต่มีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) ต่างกันคือ 4 %, 5 % และ 7 % ผลการคำนวณดังรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อตำแหน่งตั้งต้นของอนุภาคอยู่นอกเซลล์คือ กรณี $F = 7\%$ ($r_{ai} = 4 > r_{ca} = 3.779$) ตามทฤษฎีตัวกลางยังผลอนุภาคไม่ถูกจับด้วยตัวจับที่พิจารณาซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่าอนุภาคนี้อยู่ใกล้กับตัวจับอนุภาคข้างเคียงมากกว่า จึงไม่ถูกจับด้วยตัวจับที่พิจารณา



รูปที่ 3.3 แสดงทางเดินของอนุภาคสำหรับ $K = 0.8$, $F = 5\%$
 $(r_{ca} = 4.472)$, $P_o/P_m = 1$ $\theta_i = 60^\circ$ เมื่อ
 $r_{ai} = 3, 4$ และ 5



รูปที่ 3.4 แสดงทางเดินของอนุภาคสำหรับ $r_{ai} = 4$,
 $\theta_i = 60^\circ$, $P_o/P_m = 1$, $F = 5\%$
 $(r_{ca} = 4.472)$ เมื่อ $K = 0.5$ และ 0.8



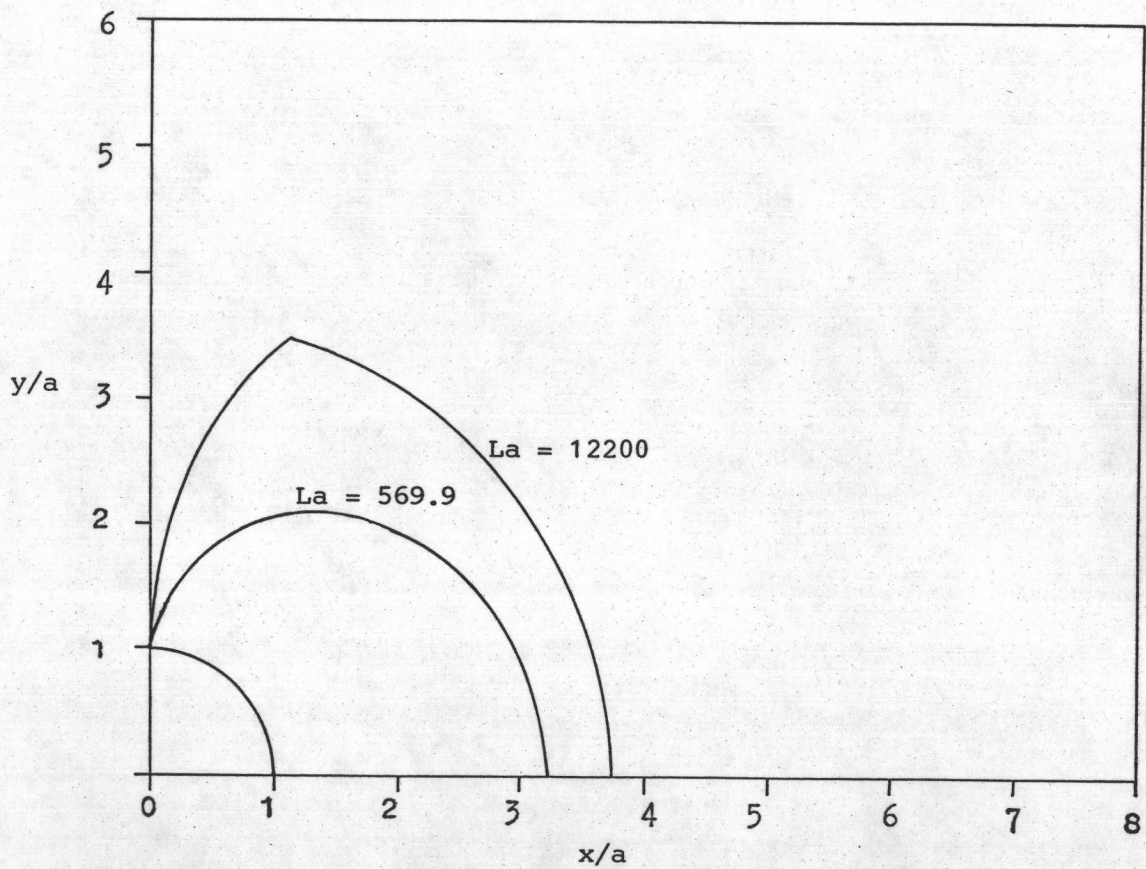
รูปที่ 3.5 แสดงทางเดินของอนุภาคสำหรับ $r_{ai} = 4$,
 $\theta_i = 60^\circ$, $P_o/P_m = 1$, $K = 0.8$
 เมื่อ $F = 4\%$ ($r_{ca} = 5.00$), 5%
 ($r_{ca} = 4.472$) และ 7% ($r_{ca} = 3.779$)

3.4 เส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับและพื้นที่ของการจับ

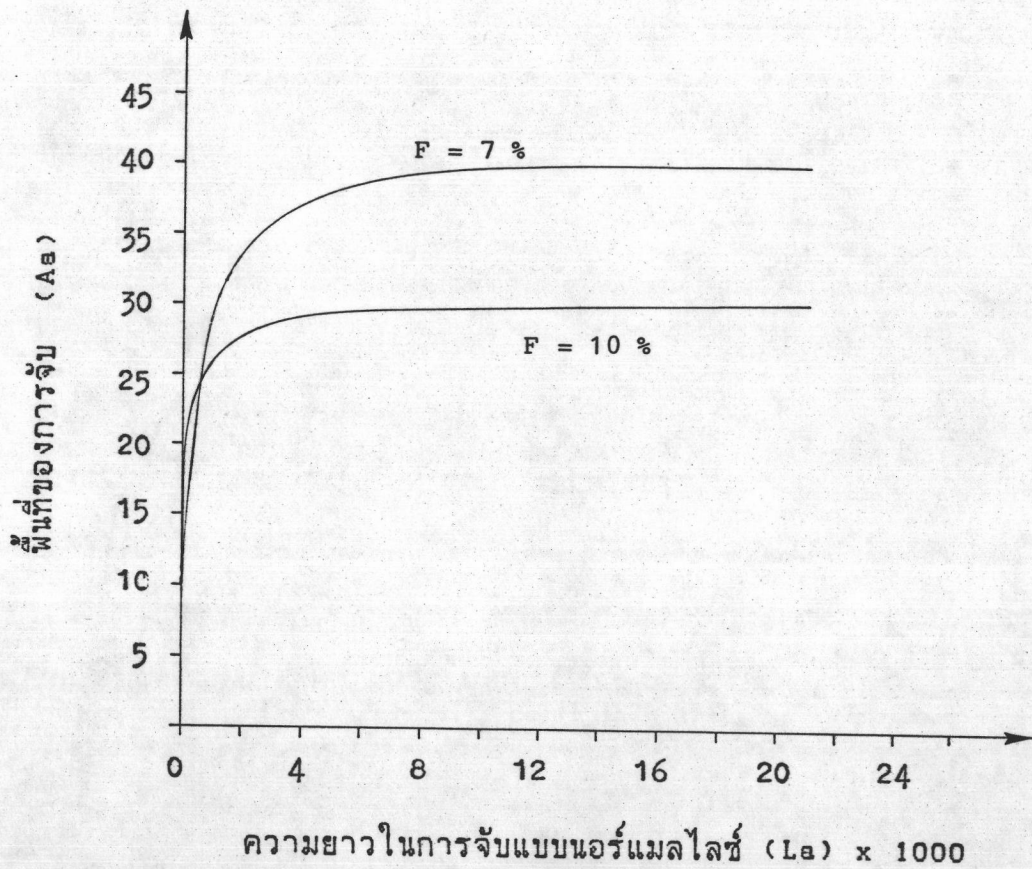
การเคลื่อนที่ของอนุภาครอบตัวจับใด ๆ ในตัวกรองแม่เหล็กทรงกระบอกแบบตามแนวแกน ภายใต้สนามแม่เหล็กยังผลนั้น อนุภาคซึ่งเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาในตัวกรองแม่เหล็กจะถูกจับด้วยตัวจับที่พิจารณานั้นต่อเมื่ออนุภาคตั้งต้นภายในเซลล์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.5 เมื่ออนุภาคมีตำแหน่งตั้งต้นอยู่บริเวณนอกเซลล์ตัวแทนอนุภาคจะไม่ถูกจับด้วยตัวจับในเซลล์ตัวแทนนั้น ดังนั้นเส้นเชื่อมโยงจุดตั้งต้นของอนุภาคซึ่งแสดงขอบเขตพื้นที่ของการจับภายใต้สนามแม่เหล็กตัวกลางยังผลจึงอยู่ในขอบเขตรัศมีของเซลล์ ($r_{ca} = 1/F^{1/2}$) เสมอ นั่นคือพื้นที่ของการจับกรณีสนามแม่เหล็กตามแบบวิธีตัวกลางยังผลมีขนาดไม่เกินพื้นที่ของเซลล์เสมอ ดังนั้นพื้นที่การจับของตัวจับที่พิจารณาจึงไม่คาบเกี่ยว (overlap) กับพื้นที่การจับของตัวจับข้างเคียงดังเช่นทฤษฎีของเกอร์เบอร์

ในการวิจัยนี้ได้คำนวณลักษณะเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับในจุดภาคที่ 1 ของตัวจับที่พิจารณาด้วยวิธีการเดียวกับที่แสดงในหัวข้อ 2.3 และคำนวณพื้นที่ของการจับ ในกรณีต่าง ๆ ดังนี้คือ

กรณีที่ 1 เมื่อสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) และค่าคงที่ทางแม่เหล็ก (K) คงที่มีความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) เป็นตัวแปร ผลการคำนวณเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับอนุภาคอยู่ภายในเซลล์เสมอ และเมื่อเราศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (A_a) กับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) ที่สัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) คงที่ 2 ค่าคือ 7% และ 10% ดังกราฟรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของการจับ (A_a) เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง แม้ความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) จะมีค่าเพิ่มขึ้น

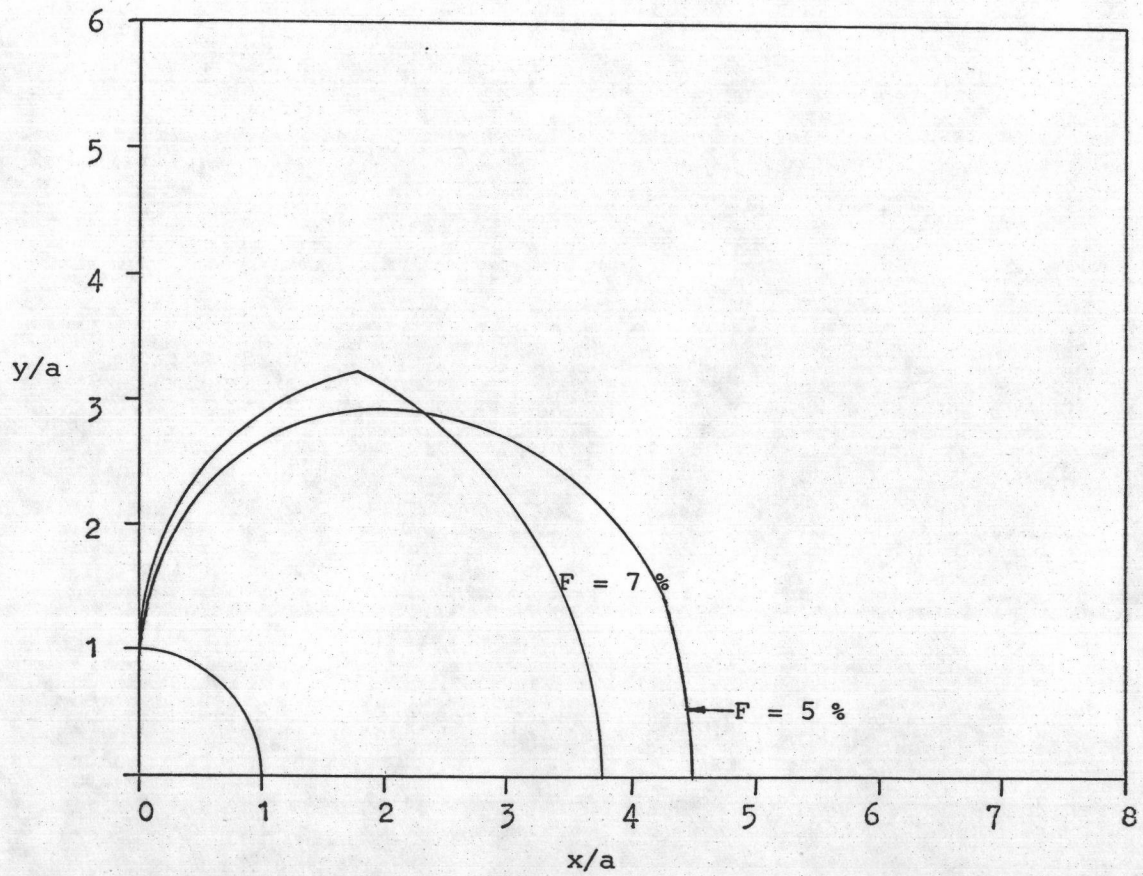


รูปที่ 3.6 แสดงเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับสำหรับ $K = 0.8$,
 $F = 7\%$ ($r_{ca} = 3.779$) เมื่อ $La = 569.9$
 และ 12200



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (A_a) กับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) เมื่อ $F = 7\%$ (พื้นที่ของเซลล์ = 44.88) และ $F = 10\%$ (พื้นที่ของเซลล์ = 31.41) สำหรับ $K = 0.8$

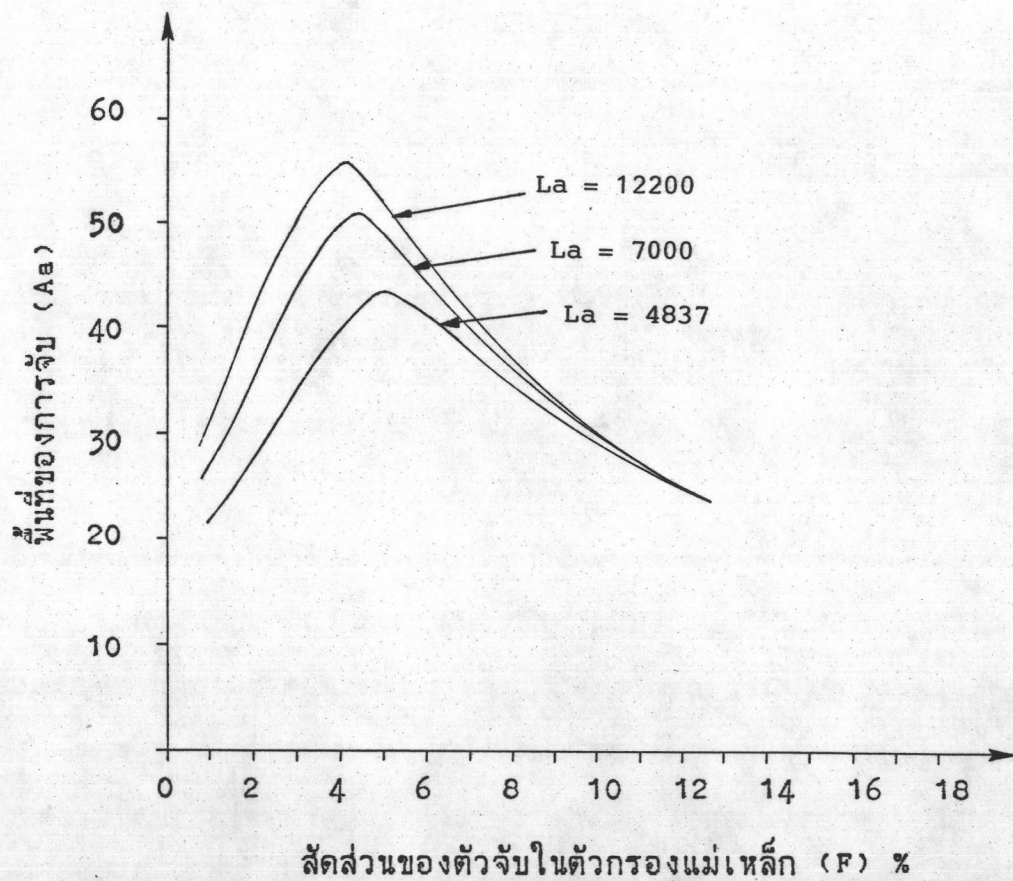
กรณีที่ 2 เมื่อความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) และค่าคงที่ทางแม่เหล็ก (K) คงที่ มีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เป็นตัวแปร ผลการคำนวณเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับอยู่ภายในเซลล์เช่นกัน และเมื่อศึกษาพื้นที่ของการจับ (A_a) เพื่อดูความสัมพันธ์กับค่าสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) ที่ความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) 3 ค่าคือ 4837, 7000 และ 12200 ดังกราฟในรูปที่ 3.9 จากกราฟจะเห็นได้ว่าพื้นที่ของการจับ (A_a) เพิ่มขึ้นกับค่าสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วพื้นที่ของการจับจะลดลงเมื่อสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เพิ่มขึ้น ลักษณะดังกล่าวเป็นจริงในทุกกรณีที่ความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) ทั้ง 3 ค่า และค่าสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็กที่ทำให้พื้นที่ของการจับ (A_a) สูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 3 - 5 % โดยที่พื้นที่ของการจับ (A_a) มีค่าสูงสุดที่สัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) ต่ำกว่าสำหรับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) ที่มีค่าสูงกว่า



รูปที่ 3.8 แสดงเส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับสำหรับ

$La = 4837$, $K = 0.8$ เมื่อ $F = 5\%$

($r_{ca} = 4.472$) และ $F = 7\%$ ($r_{ca} = 3.779$)



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (Aa) กับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เมื่อ $La = 4837, 7000$ และ 12000 สำหรับ $K = 0.8$

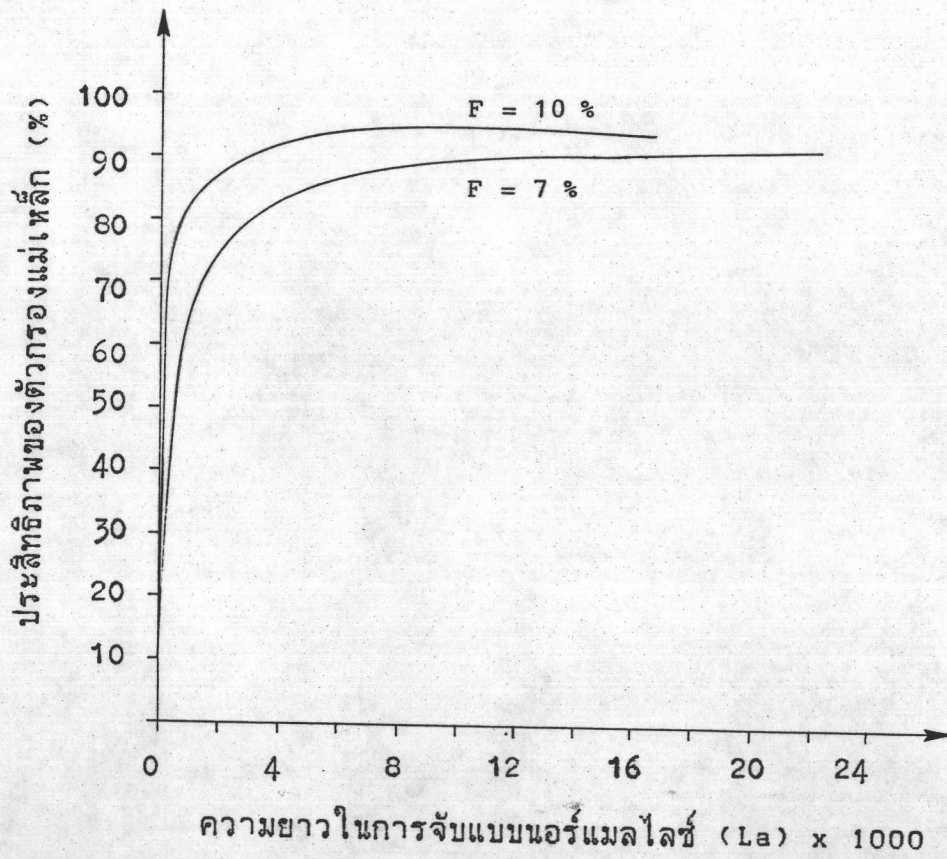
3.5 ประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็ก

ในการวิจัยนี้ได้คำนวณประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กทรงกระบอกแบบตามแนวแกนภายใต้สนามแม่เหล็กตัวกลางยังผลจากสมการ (2.18.2) กรณีต่าง ๆ ดังนี้

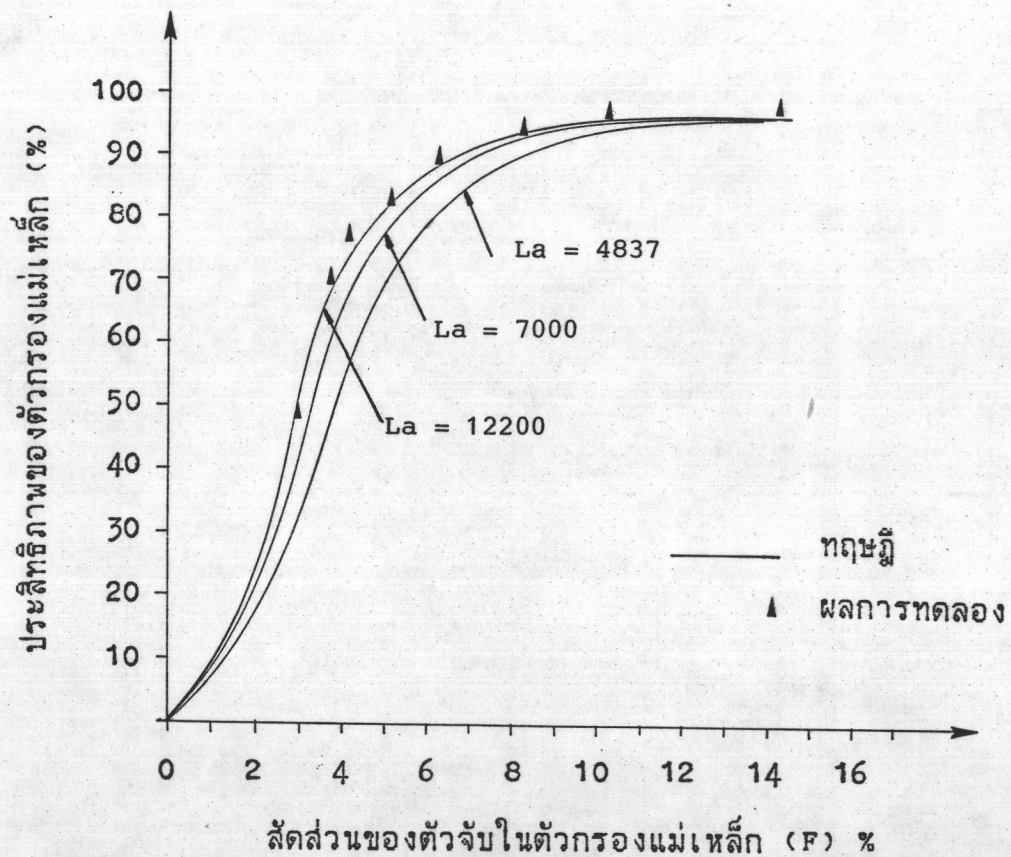
กรณีที่ 1 พิจารณาระบบของตัวกรองแม่เหล็กที่มีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) คงที่ แต่แปรค่าความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) สำหรับค่าคงที่ทางแม่เหล็ก (K) เท่ากับ 0.8 ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กที่ L_a น้อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อ L_a เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อ L_a เพิ่มขึ้นมาก ๆ

กรณีที่ 2 พิจารณาระบบของตัวกรองแม่เหล็กที่มีความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) เท่ากัน แต่มีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) ต่าง ๆ สำหรับค่าคงที่ทางแม่เหล็ก (K) เท่ากับ 0.8 และความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) 3 ค่าคือ 4837, 7000 และ 12200 ดังรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อ F เพิ่มขึ้นมาก ๆ

จากการคำนวณประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กสำหรับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) เท่ากับ 4837, 7000 และ 12200 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กและสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็กเป็นลักษณะเดียวกันกับผลการทดลอง สำหรับกรณี L_a เท่ากับ 12200 ผลการคำนวณได้ค่าใกล้เคียงผลการทดลอง และผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลองในเชิงปริมาณสำหรับทุกค่า F เมื่อ L_a เท่ากับ 4000



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) เมื่อ $F = 7\%$ และ 10% สำหรับ $K = 0.8$



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เมื่อ $La = 4837, 7000$ และ 12200 สำหรับ $K = 0.8$ และแสดงผลการทดลอง

รูปที่ 3.11 แสดงผลการทดลองของบริษัท (7) ที่ทำการทดลองจับอนุภาคพวกคิวปริสออกไซด์ (CuO) ในของไหล ซึ่งไหลเข้ามาในตัวกรองแม่เหล็กด้วยอัตราเร็ว 2×10^{-2} เมตรต่อวินาที โดยที่ตัวกรองแม่เหล็กมีความยาว 0.1 เมตร สามารถบรรจุตัวจับทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12×10^{-6} เมตร ให้มีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) ได้ถึง 14 % และวางอยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้ม 1.05 เทสลา (T) เนื่องจากขนาดของแต่ละอนุภาคไม่ค้ำยเท่ากัน ค่าความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (L_a) คำนวณได้ประมาณ 4000