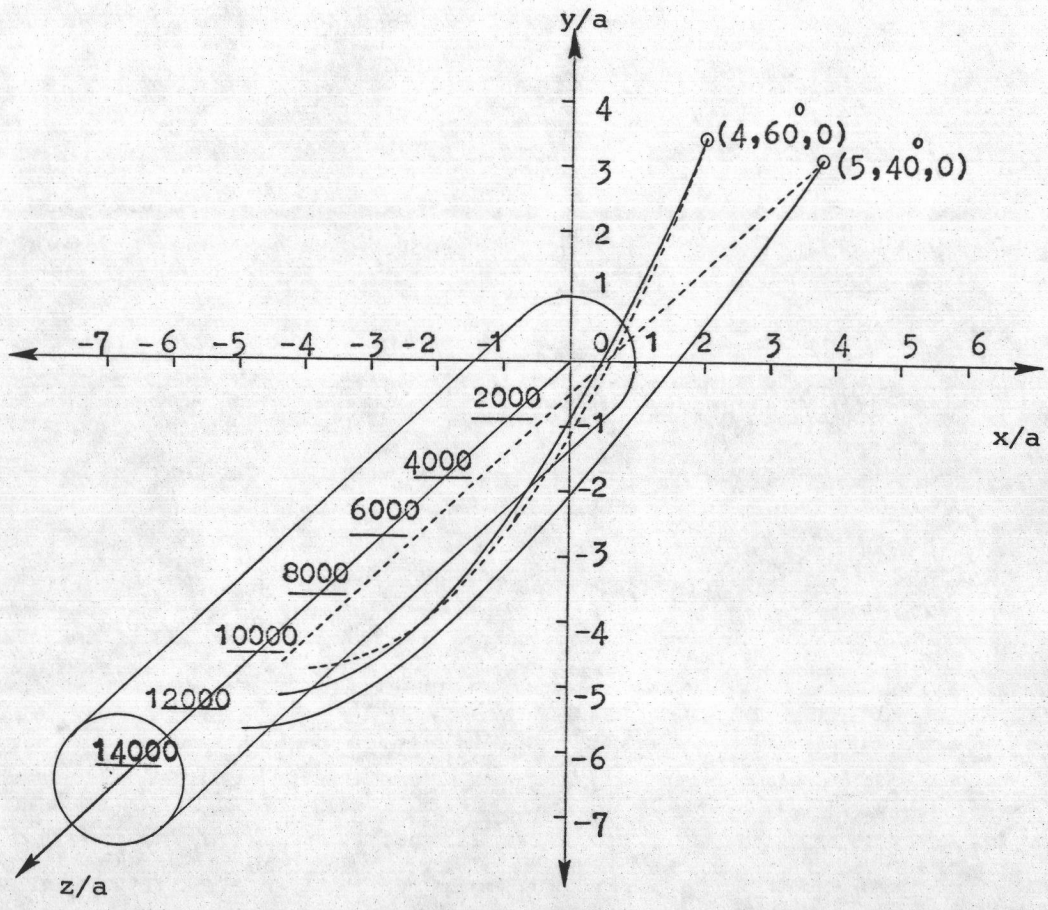
บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์

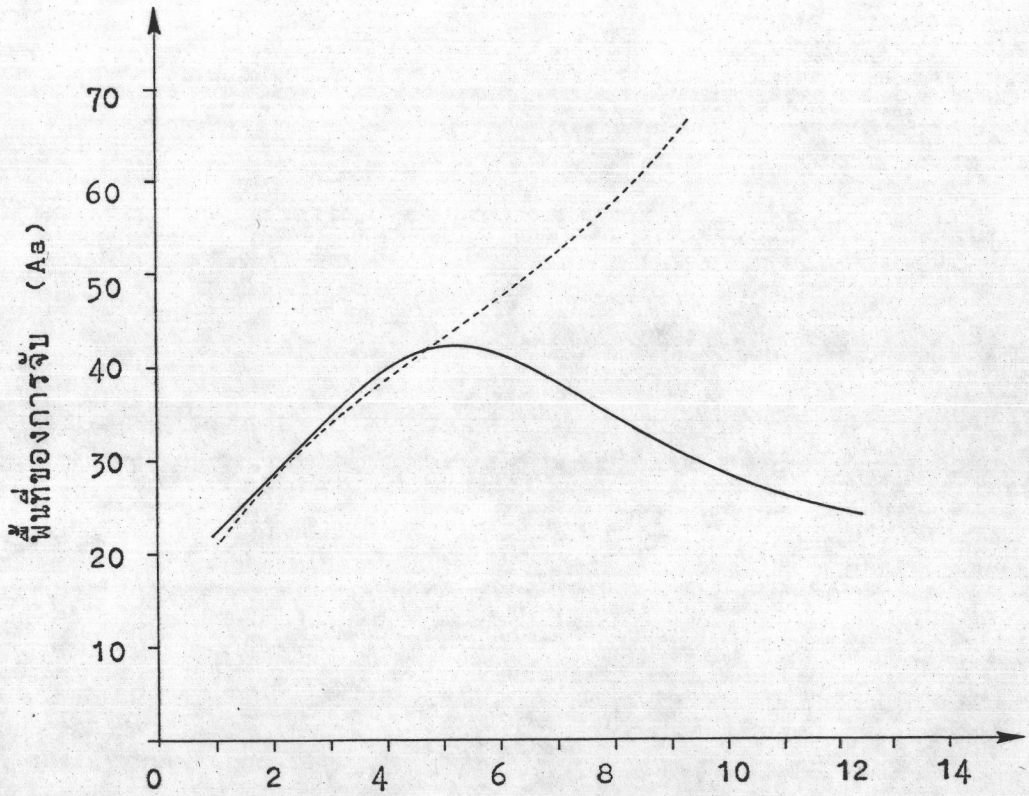
ทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (2) ได้ประมาณสนามแม่เหล็กรอบตัวจับใด ๆ ตามแบบจำลองตัวจับเดียว เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาครอบตัวจับและคาดคะเนประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กทรงกระบอกแบบตามแนวแกนดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กที่คำนวณโดยวิธีตัวกลางยังผล (5) เพื่อปรับปรุงทฤษฎีของเกอร์เบอร์ให้สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคและคาดคะเนประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กให้ได้ผลถูกต้องและสอดคล้องกับผลการทดลองยิ่งขึ้นดังกล่าวในบทที่ 3 ในบทนี้จะสรุปผลการคำนวณและเปรียบเทียบผลที่ได้กับทฤษฎีอื่น ๆ พร้อมทั้งสรุปข้อดีและประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยนี้

เราได้ศึกษาเปรียบเทียบทางเดินของอนุภาครอบตัวจับใดตัวจับหนึ่งในตัวกรองแม่เหล็กทรงกระบอกแบบตามแนวแกนซึ่งประกอบด้วยตัวจับอนุภาคทรงกระบอกกระจายแบบสุ่ม ภายใต้สนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดียวและภายใต้สนามแม่เหล็กตัวกลางยังผล ดังผลการคำนวณซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1 ปรากฏว่าอนุภาคภายใต้สนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดียวถูกจับโดยตัวจับที่พิจารณาเมื่อมีตำแหน่งตั้งต้นที่ (5, 40°, 0) และ (4, 60°, 0) ซึ่งแตกต่างกับอนุภาคภายใต้สนามแม่เหล็กแบบตัวกลางยังผล กล่าวคือ กรณีที่อนุภาคตั้งต้นที่ (5, 40°, 0) ซึ่งอยู่นอกเซลล์ตัวแทนรัศมี 4.172 อนุภาคภายใต้สนามแม่เหล็กยังผลไม่ถูกจับและเคลื่อนที่ขนานไปกับแกนทรงกระบอก ทั้งนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็กบริเวณนอกเซลล์คงที่ ตามสมการ (3.4.2) ทำให้แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาค ($\vec{F}_m \propto \vec{\nabla}H^2$) มีค่าเป็นศูนย์ อนุภาคจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของของไหลซึ่งมีทิศขนานกับแกนตัวจับเป็นผลให้อนุภาคไม่ถูกจับด้วยตัวจับที่พิจารณา ดังนั้นพื้นที่ของการจับแบบตัวกลาง

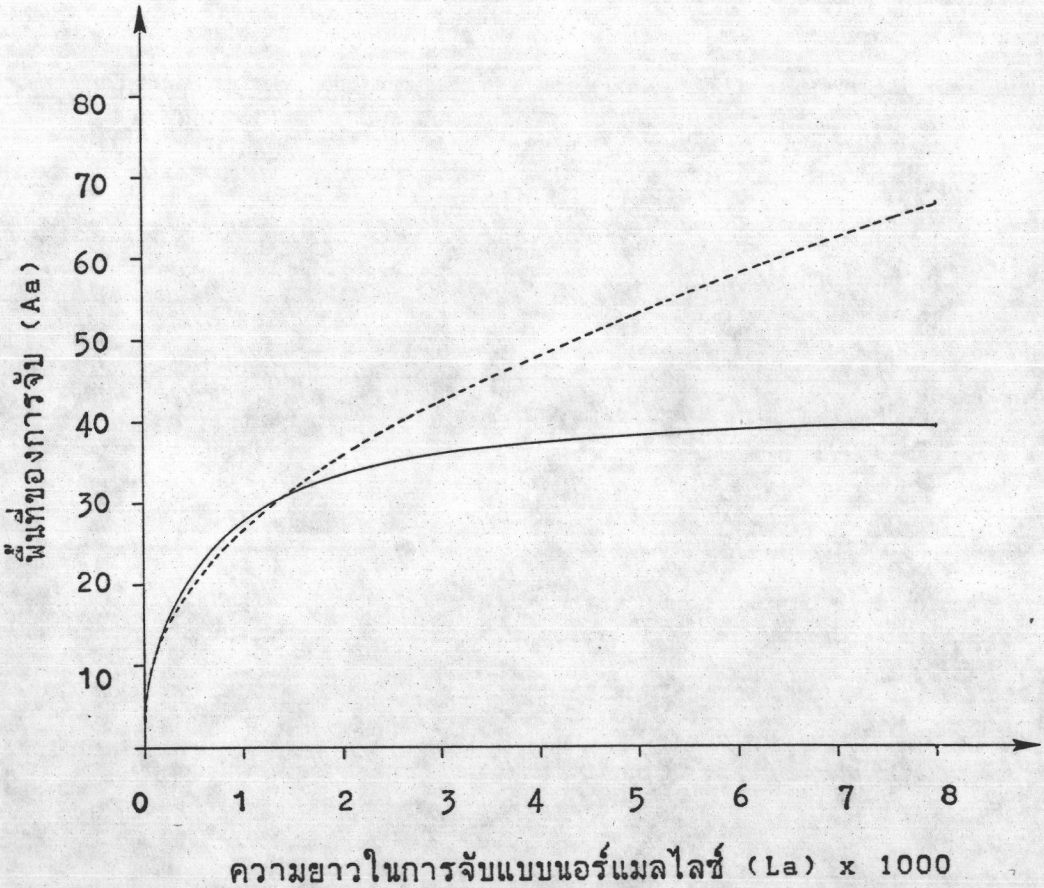


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบทางเดินของอนุภาคระหว่างทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (————) และทฤษฎีของตัวกลางยังผล (----------) เมื่อพิจารณาตำแหน่งตั้งต้นอยู่ในเซลล์และนอกเซลล์ สำหรับ F = 5 % (r_{ca} = 4.472), K = 0.8, และ P_o/P_m = 1

ยังผลมีความแตกต่างกับผลการคำนวณของเกอร์เบอร์ตามแบบจำลองตัวจับเดียว ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (Aa) กับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) และความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) ภายใต้สนามแม่เหล็กตามแบบจำลองตัวจับเดียวและสนามแม่เหล็กตัวกลางยังผล ในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ผลการคำนวณสรุปได้ว่าตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์พื้นที่ของการจับของตัวจับที่พิจารณาจะมีค่าเพิ่มขึ้นทางเดียว (monotonic increasing) กับการเพิ่มสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) (เมื่อความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) คงที่) และความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) (เมื่อสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) คงที่) ซึ่งแตกต่างกับกรณีตัวกลางยังผลซึ่งพื้นที่ของการจับมีค่าสูงสุดที่ F ประมาณ 5 % ในรูปที่ 4.2 และพื้นที่ของการจับมีค่าคงที่เมื่อ La ประมาณมากกว่า 5000 ในรูปที่4.3 ทั้งนี้เนื่องจากทฤษฎีของเกอร์เบอร์ได้ประมาณสนามแม่เหล็กรอบตัวจับใด ๆ โดยไม่คิดผลจากการมีตัวจับอื่น ๆ อยู่ข้างเคียง นั่นคือ สนามแม่เหล็กรอบตัวจับใด ๆ ในตัวกรองแม่เหล็กสมมุติว่าเป็นสนามแม่เหล็กซึ่งคำนวณจากกรณีมีตัวจับเดียวในตัวกรองแม่เหล็ก การวิจัยนี้สนับสนุนข้อสรุปของเกอร์เบอร์ที่กล่าวถึงข้อจำกัดของการใช้สนามแม่เหล็กแบบจำลองตัวจับเดียวว่าใช้ได้กรณีสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) มีค่าน้อย ๆ ประมาณไม่เกิน 5 % (3) และกรณีความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La α $H_o^2 la^2$) หรือความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก (H_o) มีค่าไม่สูงเกินไป เพราะจะทำให้พื้นที่ของการจับของตัวจับที่พิจารณาคาบเกี่ยว (overlap) กับพื้นที่ของการจับของตัวจับข้างเคียง ทั้งนี้เนื่องจากวิธีตัวกลางยังผลได้ประมาณสนามแม่เหล็กรอบตัวจับใด ๆ ในตัวกรองแม่เหล็กโดยคิดผลจากการมีตัวจับอื่น ๆ อยู่ข้างเคียง ดังกล่าวในหัวข้อ 3.1 มาแล้วทำให้ผลการคำนวณได้เส้นขอบเขตพื้นที่ของการจับถูกจำกัดอยู่ภายในเซลล์เท่านั้น



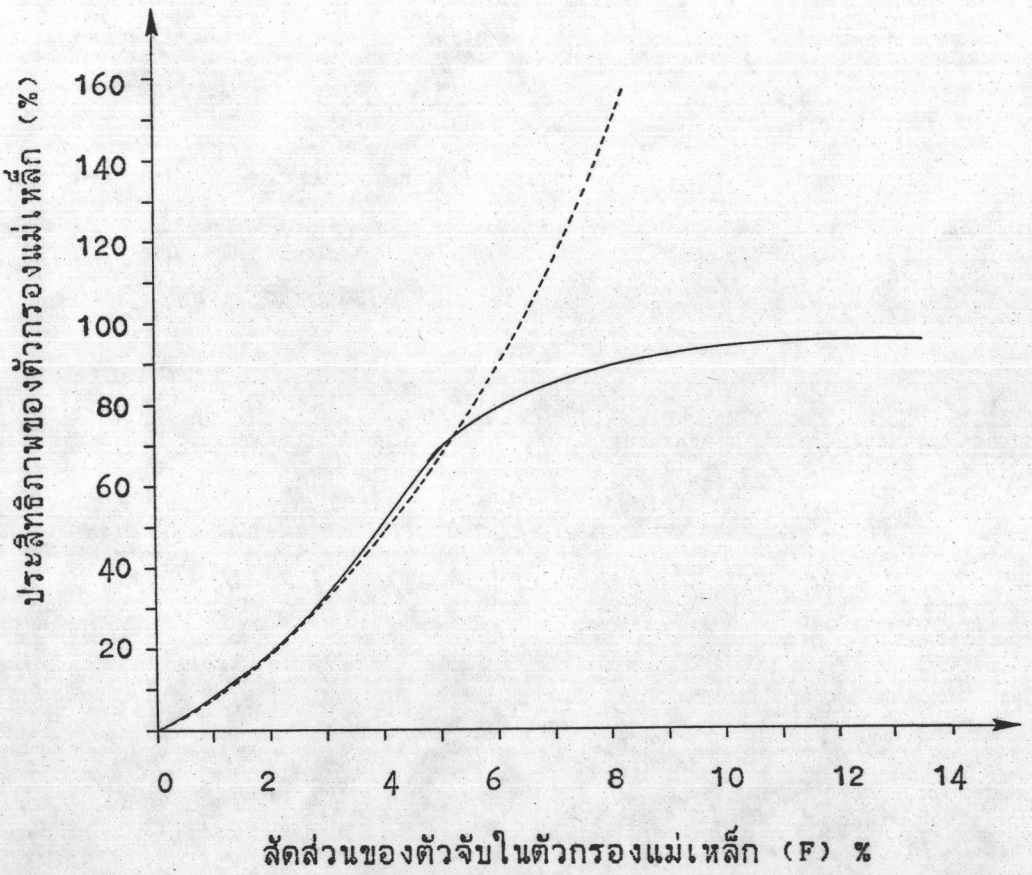
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (Aa) กับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เปรียบเทียบผลการคำนวณตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (-------) และทฤษฎีตัวกลางยังผล (————) สำหรับ La = 4837 และ K = 0.8



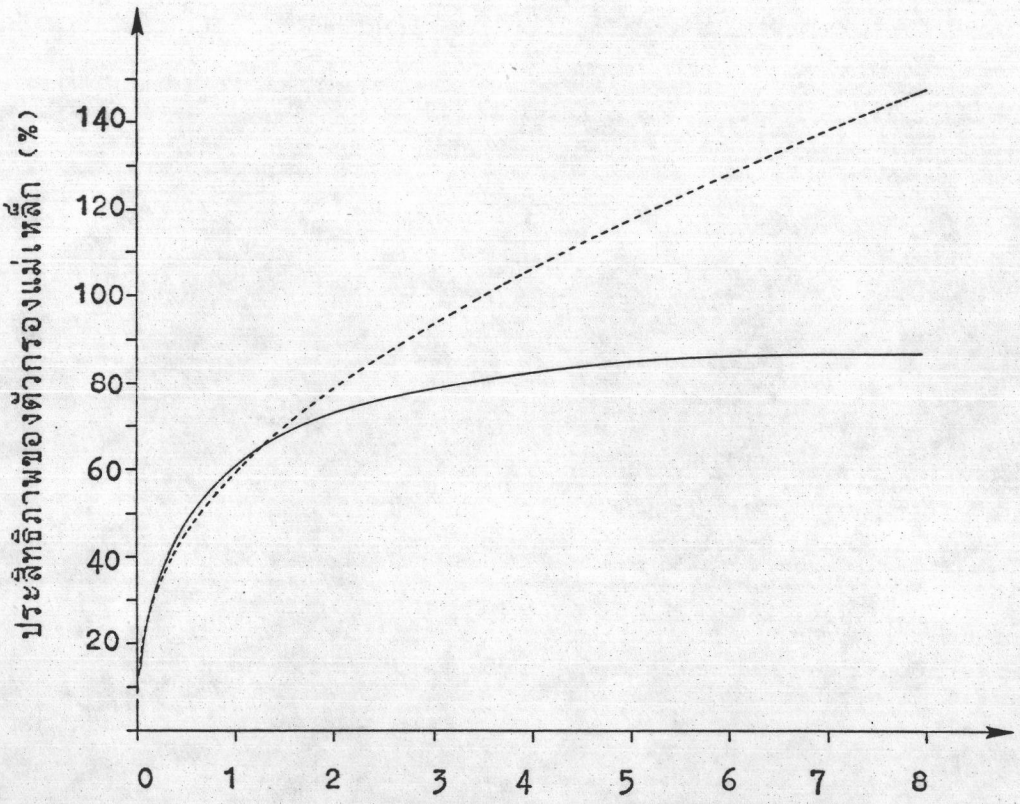
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของการจับ (Aa) กับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) เปรียบเทียบผลการคำนวณตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (---------) และทฤษฎีตัวกลางยังผล (————) สำหรับ F = 7 % และ K = 0.8

เมื่อเปรียบเทียบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) และความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) ตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์และวิธีตัวกลางยังผล ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์มีค่าเพิ่มขึ้นทางเดียวกับการเพิ่มของสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) และความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) ซึ่งแตกต่างกับวิธีตัวกลางยังผลคือ ประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) หรือความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) เพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งแล้วประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับการเพิ่มค่าสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) หรือความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์(La) ต่อไป เรียกมีการอิ่มตัว (saturation) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของบริซซ์ (Birss) (7) ที่ว่าประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กมีลักษณะอิ่มตัวมื่อเพิ่มค่าสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เกินค่าหนึ่ง และสอดคล้องกับผลการคำนวณของไกร์เนอร์และฮอฟมานน์ (4) ที่ว่าประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กมีลักษณะมีการอิ่มตัวเมื่อเพิ่มค่าความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) เกินค่าหนึ่งเช่นกัน

ปัจจุบันความสนใจในการประยุกต์ใช้ตัวกรองแม่เหล็กมีเพิ่มขึ้นมาก แต่ทฤษฎีอธิบายการจับอนุภาคในตัวกรองแม่เหล็กยังอยู่ในขั้นที่ต้องพัฒนาต่อไป ในการวิจัยนี้สามารถคำนวณทางเดินของอนุภาค คาดคะเนประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็ก และยืนยันผลการคำนวณกับของเกอร์เบอร์ นอกจากนี้เรายังได้ปรับปรุงทฤษฎีของเกอร์เบอร์โดยใช้สนามแม่เหล็กโดยวิธีตัวกลางยังผลซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกรองแม่เหล็กและคาดคะเนประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กได้สมบูรณ์ขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับสัดส่วนของตัวจับในตัวกรองแม่เหล็ก (F) เปรียบเทียบผลการคำนวณตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (---------) และทฤษฎีตัวกลางยังผล (————) สำหรับ L_B = 4837 และ K = 0.8



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวกรองแม่เหล็กกับความยาวในการจับแบบนอร์แมลไลซ์ (La) เปรียบเทียบผลการคำนวณตามทฤษฎีของเกอร์เบอร์ (----------) และทฤษฎีตัวกลางยังผล (————————) สำหรับ F = 7 % และ K = 0.8