



สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ทางทฤษฎีที่ได้เสนอไว้ในการศึกษาครอบคลุมการเคลื่อนที่ของอนุภาค ทั้งแบบที่ไม่มีพฤติกรรมการลอยตัว เมื่อ $A < 1$ และแบบที่มีพฤติกรรมการลอยตัวหนึ่งครั้งในแต่ละวัฏจักรเมื่อ $1 < A < 3.3$ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ได้สรุปไว้แล้วในบทที่ 4 ในรูปของกราฟที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับพารามิเตอร์การเคลื่อนตัวของอนุภาคแบบโรมิติ (X, Z) ในบทนี้จะได้ทำการสรุปถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อการเคลื่อนตัวของอนุภาค

6.1 ผลทางทฤษฎี

จากสมการที่ใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่รูปแบบต่าง ๆ ที่ได้อนุพันธ์ไว้ในบทที่ 3 นั้น การเคลื่อนตัวของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ $P1$ $P2$ A และ $P3$ โดยที่การเคลื่อนตัวของอนุภาคแนวแกน x จะขึ้นอยู่กับ $P1$ A และ $P3$ ส่วนการเคลื่อนตัวของอนุภาคในแนวแกน z จะขึ้นอยู่กับ $P2$ A และ $P3$

6.1.1 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีต่ออาณาเขตของการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.18 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์มีอิทธิพลอย่างมากต่อรูปแบบของคำตอบ ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันไปเพื่อที่จะได้ข้อสรุปอย่างกว้าง ๆ ในขั้นแรกนี้จะพิจารณาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่ออาณาเขตของการเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการพิจารณาตำแหน่งเชิงมุมที่ไม่เกิน 2π

พิจารณาสมการที่ 3.14 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กำหนดจุดเริ่มต้นในการโกลตัวไปข้างหน้าของอนุภาค ค่า $\sin \tau F_b$ จะมีค่าเป็นบวกเสมอ และจะเห็นว่า τF_b จะมีค่ามากขึ้นหรืออีกนัยหนึ่ง F-Definite Zone จะแคบลงเมื่อ $P1$ หรือ $P3$ มีค่าสูงขึ้น ในทำนองเดียวกัน τF_b จะมีค่าลดลง หรืออีกนัยหนึ่ง F-Definite Zone จะโตขึ้นเมื่อ A มีค่าสูงขึ้น

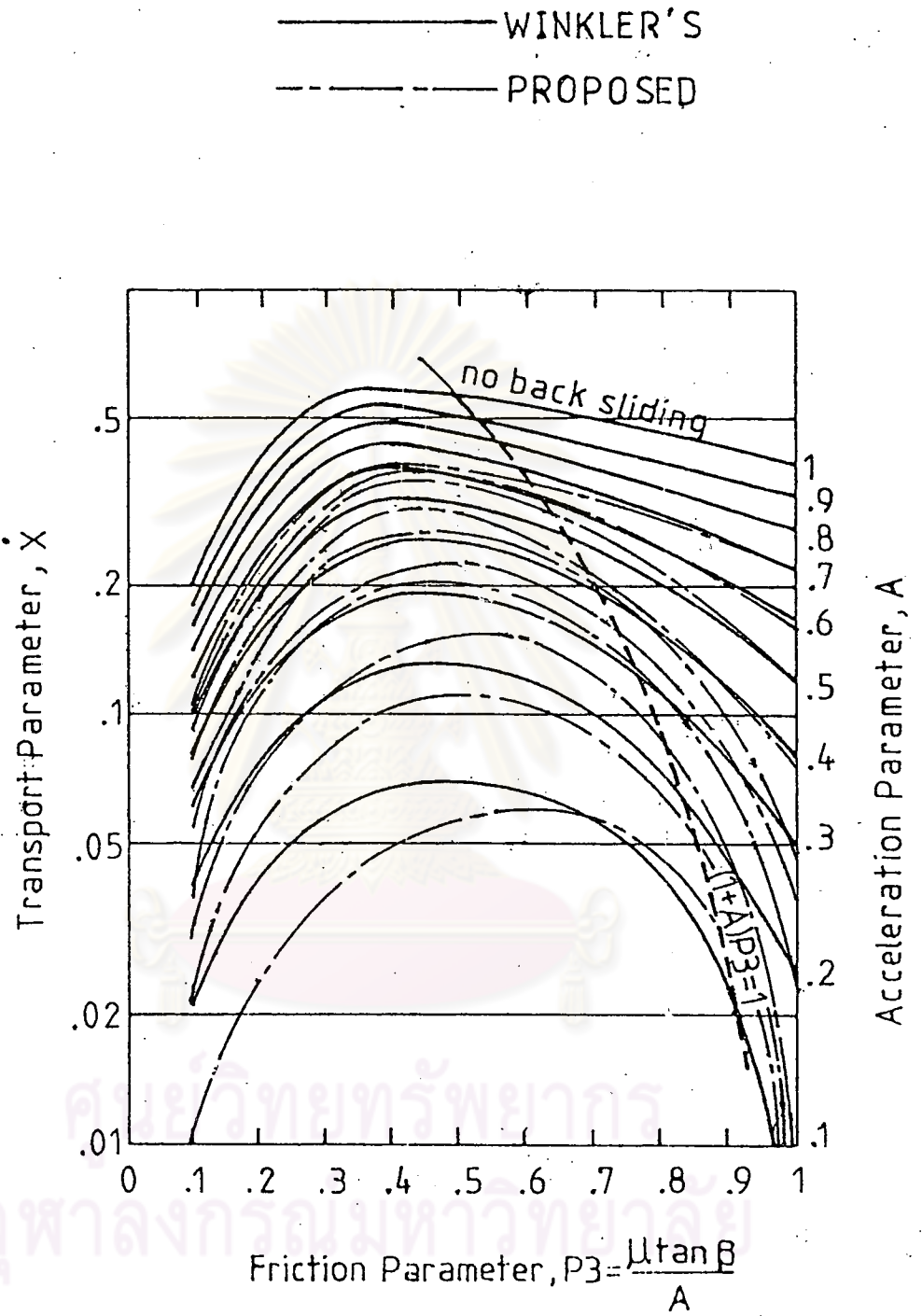
ระยะทางในการลอยตัวนี้จะมากขึ้นตาม Definite Fly Zone เมื่อ A มีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.18 และนอกจากนี้ จากกราฟยังแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของอนุภาคตามแนวแกน z ในทุกกรณี จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับ $P3$ คือ เมื่อ $P3$ มีค่าสูงขึ้นอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปในแนวแกน z ได้มากขึ้น

6.1.3 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีต่อการเคลื่อนตัวในแนวแกน x

การเคลื่อนตัวของอนุภาคในแนวแกน x จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ $P1$ A และ $P3$ โดยที่ระยะทางสุทธิต่ออนุภาคสามารถไกลตัวไปได้ในแนวแกน x จะลดลงเมื่อ $P1$ มีค่าสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของบรูส กับ แมคคัลลิสเียน และ เรดฟอร์ด กับบรูสรอยดท์ว่า เมื่อระนาบมีมุมของความลาดชันสูงขึ้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวของอนุภาคจะลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยพิจารณา F-Definite Zone และ B-Definite Zone คือเมื่อ $P1$ มีค่าสูงขึ้น F-Definite Zone จะแคบลงในขณะที่ B-Definite Zone จะโตขึ้น หมายความว่าอนุภาคจะมีแนวโน้มที่จะไกลตัวถอยหลังได้มากกว่า การไกลตัวไปข้างหน้าจึงทำให้ระยะทางสุทธิลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นลบเมื่อ $P1$ มีค่าสูงขึ้นไปอีก

ในกรณีที่อนุภาคไม่มีพฤติกรรมแบบลอยตัวประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวของอนุภาคจะสูงขึ้นเมื่อ A มีค่าสูงขึ้นและสำหรับพารามิเตอร์ A ใด ๆ การเคลื่อนตัวของอนุภาคจะเป็นฟังก์ชันของ $P3$ โดยระยะทางสุทธิในการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับ การไกลตัวไปข้างหน้าและถอยหลังของอนุภาคซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ระยะทางสุทธิในการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นตาม $P3$ และจะให้ค่าสูงสุดที่ $P3$ ค่าหนึ่งแล้วจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อ $P3$ สูงขึ้นไปอีก การเพิ่มขึ้นและลดลงของระยะทางสุทธินี้อาจเกิดขึ้นในทิศทางบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับ $P1$ และ $P3$ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อขนาดของ F-Definite Zone และ B-Definite Zone

รูปที่ 6.1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวของอนุภาคบนระนาบในแนวระดับ $P1 = 0$ ในกรณีที่ไม่มีพฤติกรรมการลอยตัว $A < 1$ ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยดิฟเฟอเรนเชียลคอมพิวเตอร์ที่เล่นกับผลลัพธ์ของวงรี (10) ซึ่งได้จากการจำลองการเคลื่อนตัวของอนุภาคด้วยอนุกรมลอคคอมพิวเตอรื จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ทั้งสองมีความสอดคล้องกันดีพอใช้ โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณที่เล่นจะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าผลลัพธ์ของวงรี คือจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 0.46 เมื่อ $A = 1$ ที่ $P3 = 0.4$



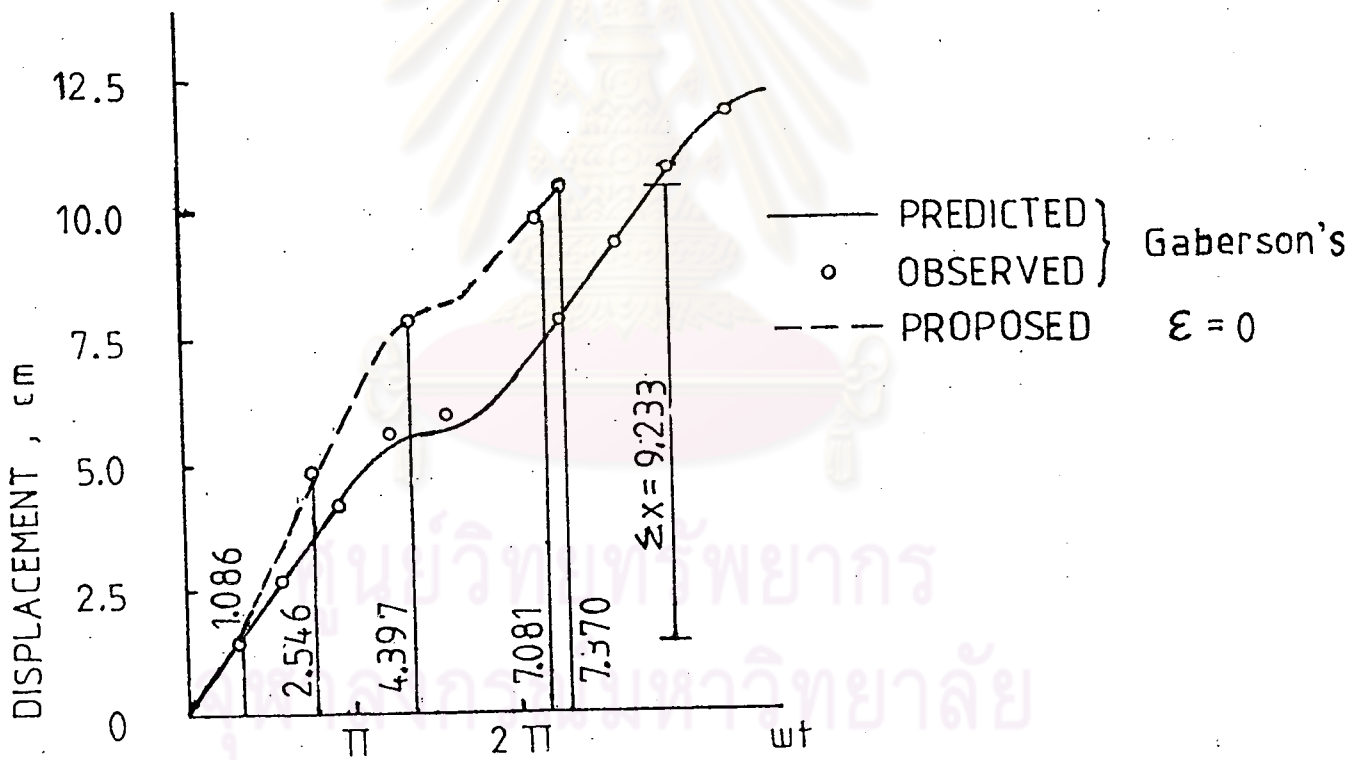
รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบทฤษฎีที่ได้ออกกับผลสำรวจของริงคเลอร์

ในกรณีที่อนุภาคมีพฤติกรรมการลอยตัวหนึ่งครั้งต่อวัฏจักร จากผลการคำนวณ ซึ่งรายงานโดยคอมพิวเตอร์พบว่าระยะทางในการเคลื่อนตัวของอนุภาคล้วนใหญ่ประมาณ $2/3$ เป็นระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วงของการลอยตัว เมื่อ $P1 = 0$ จะเห็นว่าค่า $\sin \tau_{Fb}$ จะมีค่าน้อยกว่า $\sin \tau_l$ เสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการไหลตัวไปข้างหน้าของอนุภาคจะเกิดขึ้นก่อนการลอยตัวและอนุภาคจะลอยตัวไปในทิศทางบวกเสมอ เมื่อ $P1$ มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ F-Definite Zone แยกลงในขณะที่ B-Definite Zone จะโตขึ้นถ้า $A < 1/P3$ ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นเมื่อ A และ $P3$ มีค่าต่ำ ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนตัวของอนุภาคลดลงหรืออนุภาคลำสามารถเคลื่อนตัวไปในทิศทางลบได้มากขึ้น เมื่อ A และ $P3$ มีค่าสูง ขึ้นจนทำให้ $A < 1/P3$ ในกรณีที่ค่า $\sin \tau_{Fb}$ จะมีค่าเป็นบวกเสมอหมายความว่า B-Definite Zone จะโตมากยิ่งขึ้นจนล้ำเข้าไปใน Quadrant ที่ 1 และ 2 ในลักษณะเช่นนี้ถ้า $P1$ มีค่าสูง ขึ้นมากจนทำให้ $\sin \tau_{Fb}$ มีค่าน้อยกว่า $\sin \tau_l$ แล้วอนุภาคจะไม่เกิดการไหลตัวไปข้างหน้าก่อนการลอยตัว แต่อาจจะเกาะติดหรือไหลตัวถอยหลังก่อนการลอยตัวก็ได้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของ B-Definite Zone ว่าจะล้ำเข้าไปใน Definite Fly Zone หรือไม่ ถ้า B-Definite Zone ล้ำเข้าไปใน Definite Fly Zone แล้วการเคลื่อนตัวของอนุภาคจะเป็นแบบ BH- ซึ่งหมายความว่า การเคลื่อนตัวของอนุภาคจะเป็นลบ การเคลื่อนตัวของอนุภาคแบบที่มีพฤติกรรมการลอยตัวนี้มีรูปแบบที่ซับซ้อน และเป็นไปได้มากมากเกินกว่าที่จะอธิบายหรือสรุปเป็นกฎเกณฑ์ได้ การวิเคราะห์หึ่งกระทำได้โดยการประมาณค่าเท่านั้น และผลลัพธ์ของการเคลื่อนที่เชิงปริมาณได้สรุปไว้แล้วด้วยกราฟ ดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.18

รูปที่ 6.2 ถึง 6.5 เป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการเคลื่อนที่รูปแบบต่าง ๆ ของอนุภาคที่มีพฤติกรรมการลอยตัวหนึ่งครั้งต่อวัฏจักร ระหว่างทฤษฎีและวิธีการแก้ปัญหาที่เสนอไว้เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของการกระทบ $\epsilon = 0$ กับผลลัพธ์ของ เกเบอส์สัน (6) เมื่อ $\epsilon = 1$ จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ทั้งสองมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี และยังเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ เกเบอส์สันที่ว่า ประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวของอนุภาคจะลดลงเมื่อสัมประสิทธิ์ของการกระทบมีค่าสูง ขึ้น

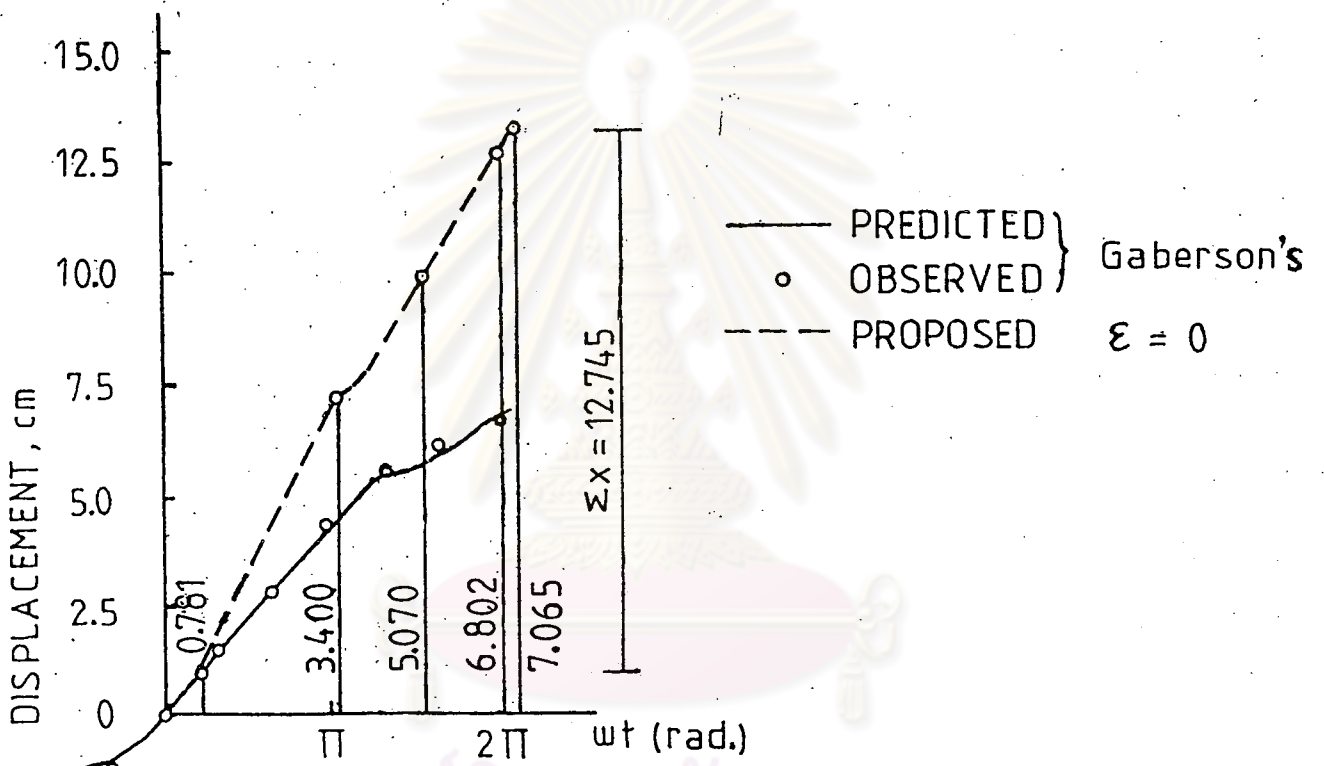
6.2 ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของทฤษฎีการเคลื่อนตัวของอนุภาคบนภาคแยกแบบสันละ เติมนัดกระทำโดยอาศัยอุปกรณ์ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 5 กับชั้นวัสดุที่มีลักษณะเป็นวง



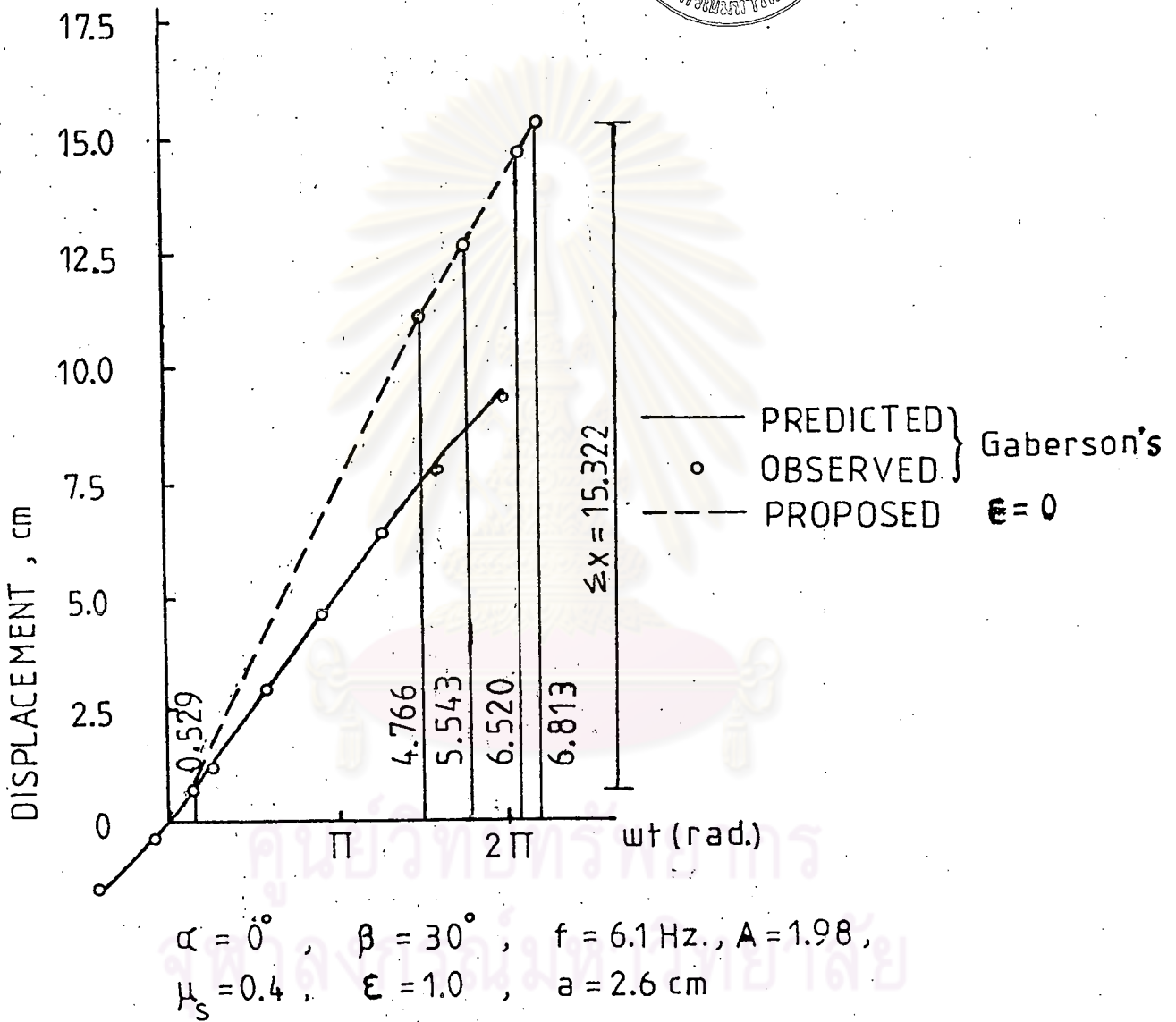
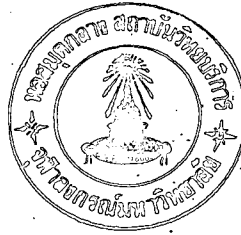
$\alpha = 0^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $f = 4.6$ Hz, $A = 1.13$
 $\mu_s = 0.5$, $\epsilon = 1.0$, $a = 2.6$ cm.

รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบทฤษฎีที่เสนอกับผลลัพธ์ของเกเบอส์แบบ "FHFB"

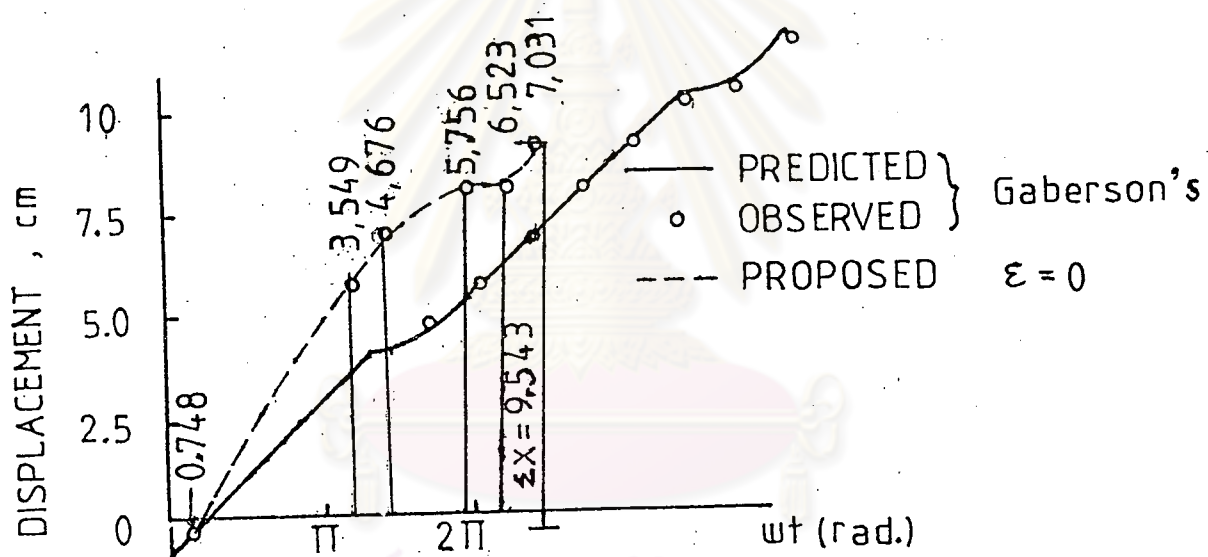


$\alpha = 0^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $f = 5.2 \text{ Hz.}$, $A = 1.42$,
 $\mu_s = 0.4$, $\epsilon = 1.0$, $a = 2.6 \text{ cm}$

รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบทฤษฎีที่เล่นอกกับผลลัพธ์ของเกเบอส์แบบ "HFB"



รูปที่ 6.4 การเปรียบเทียบทฤษฎีที่เสนอกับผลลัพธ์ของแบบจำลอง "HB"



$\alpha = 0^\circ$, $\beta = 47^\circ$, $f = 5.1 \text{ Hz}$, $A = 1.47$,
 $\mu_s = 0.5$, $\epsilon = 1.0$, $a = 2.35 \text{ cm}$.

รูปที่ 6.5 การเปรียบเทียบทฤษฎีที่เสนอกับผลลัพธ์ของเกเบอส์แบบ "SFHFB"

แหวนบนภาคแยกที่มีผิวต่าง ๆ กันซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานดังตารางที่ 5.1 การทดลองได้ดำเนินการโดยถือว่าการเคลื่อนตัวของอนุภาคในแนวแกน x และ z ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทุกตัวคือ P1 P2 A และ P3 โดยการแปรค่า P1 สามค่าคือ 0 0.2 0.4 แปรค่า P2 สามค่าคือ 0 0.4 0.8 และแปรค่า A สามค่าคือ 0.2 0.4 0.8 และ 1.2 แล้วใช้คู่ชิ้นงานทดลองและภาคแยกที่ค่าพารามิเตอร์ P3 ต่าง ๆ กัน ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์ได้ดำเนินการทดลอง 5 ครั้ง ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 6.6 ถึงรูปที่ 6.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวแกน x ขึ้นอยู่กับ P1 A และ P3 ส่วนการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวแกน z ขึ้นอยู่กับ P2 A และ P3 และจากการทดลองที่มุมในการสั่นสะเทือนต่างกันสองค่าคือ 10° และ 20° ให้ผลลัพธ์อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ยืนยันให้เห็นว่าพารามิเตอร์ P3 สามารถครอบคลุมตัวแปรสองตัวคือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมในการสั่นสะเทือนได้เป็นอย่างดี

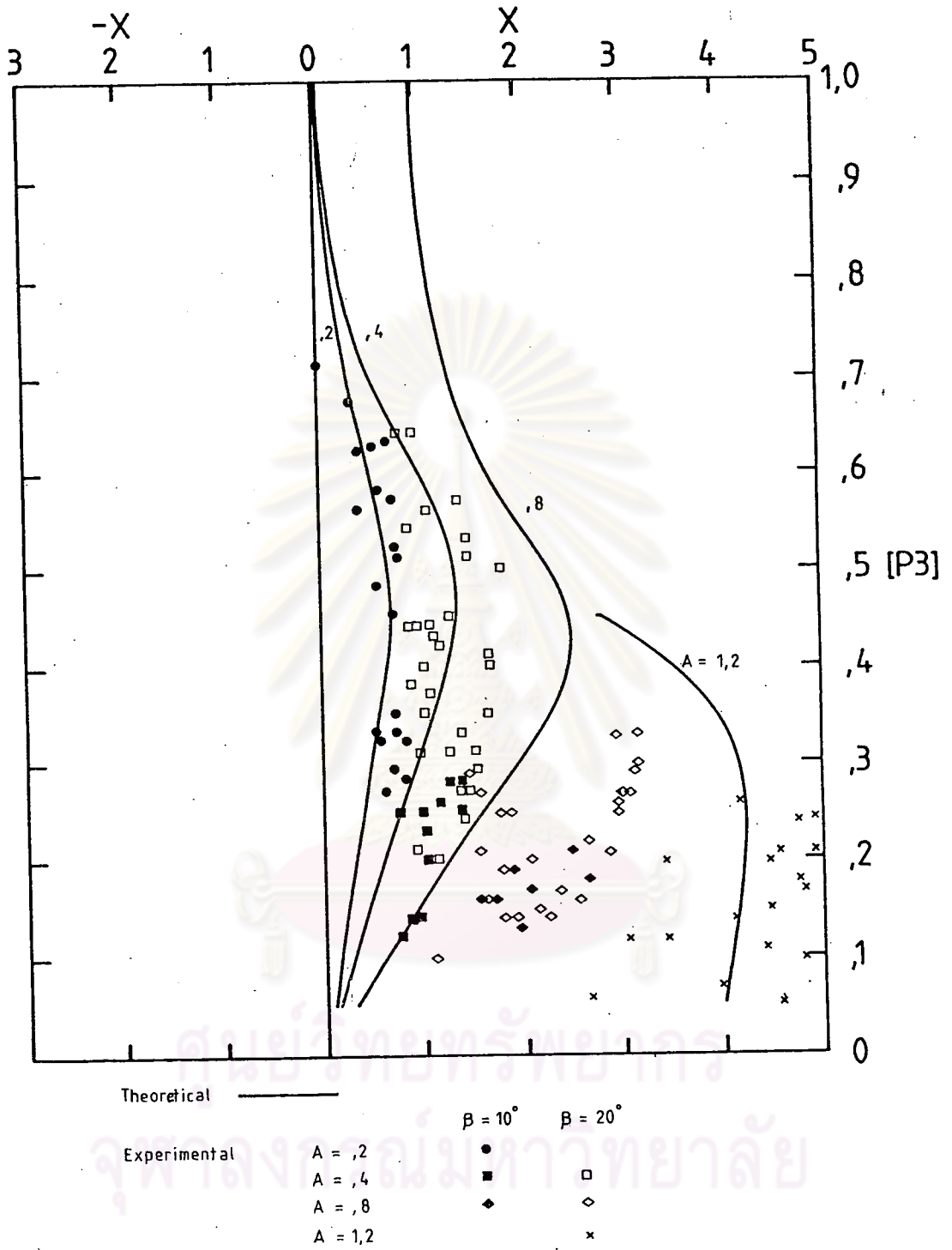
จากรูปที่ 6.6 ถึง 6.8 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคสามารถเคลื่อนตัวไปในทิศทางบวกได้มากขึ้นเมื่อ A มีค่าสูงขึ้นและมีแนวโน้มจะลดลงจนเป็นการเคลื่อนที่ในทิศทางลบเมื่อ P1 มีค่าสูงขึ้น สำหรับการเคลื่อนตัวสมบูรณ์ในแนวแกน x ของอนุภาคจะแปรตาม P3 โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อ P3 มีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลงในทิศทางตรงกันข้ามเสมอ

จากรูปที่ 6.9 และ 6.10 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคสามารถเคลื่อนตัวไปในแนวแกน z ได้มากขึ้นเมื่อ A และ P2 มีค่าสูงขึ้น และจะแปรค่าแบบเชิงเส้นตาม P3 โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ P3 มีค่าสูงขึ้น

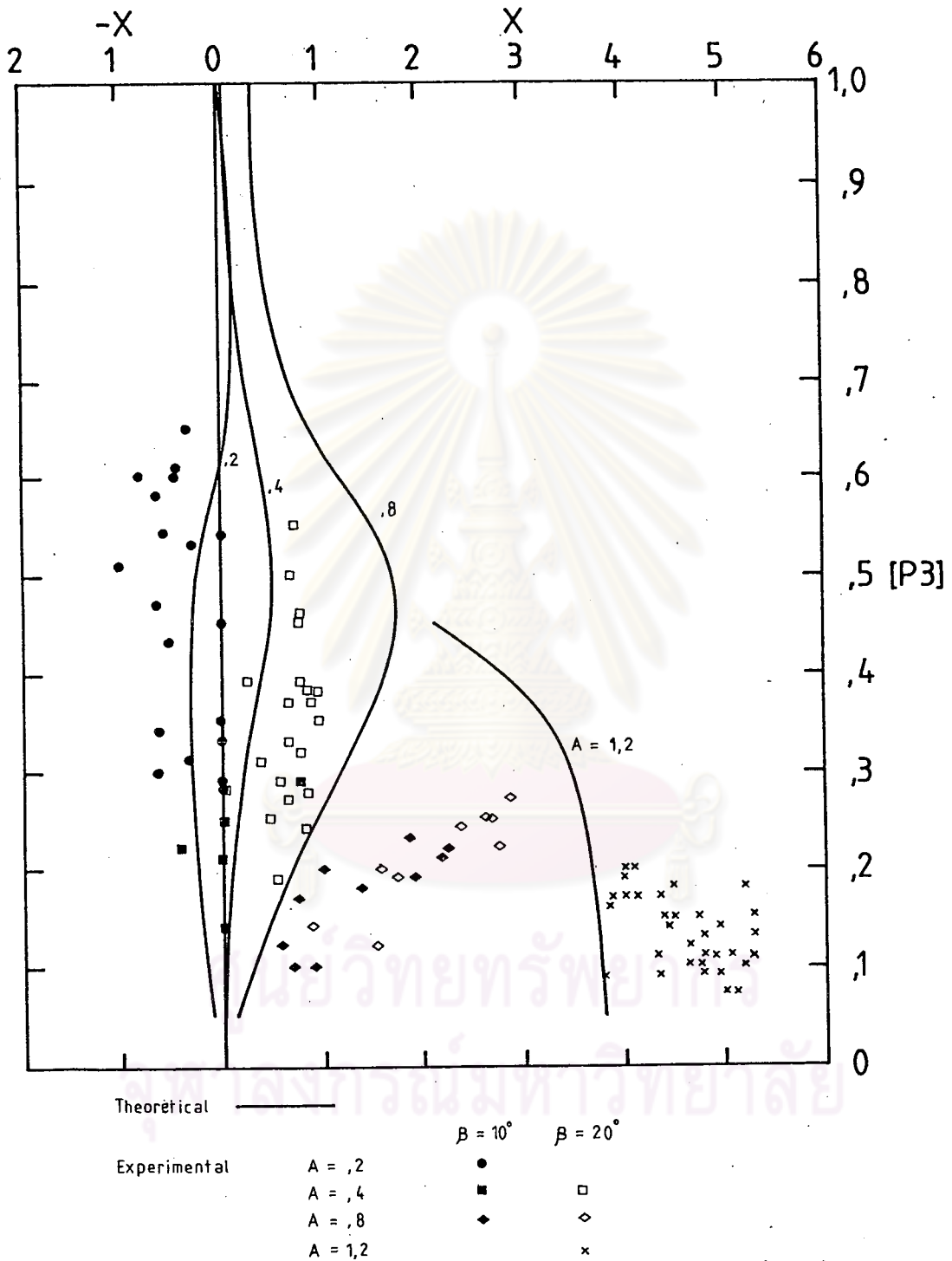
6.3 สรุปและข้อเสนอนแนะ

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางทฤษฎีและผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่พารามิเตอร์ความเร่งต่ำ ๆ เช่น เท่ากับ 0.2 และ 0.4 ผลลัพธ์ทั้งสองที่ความล่อคล่องตรงกันดีและเป็นสิ่งสนับสนุนว่า ทฤษฎีการเคลื่อนตัวของอนุภาคแบบที่ไม่มีพฤติกรรมการลอยตัวที่โต โสโนไว มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

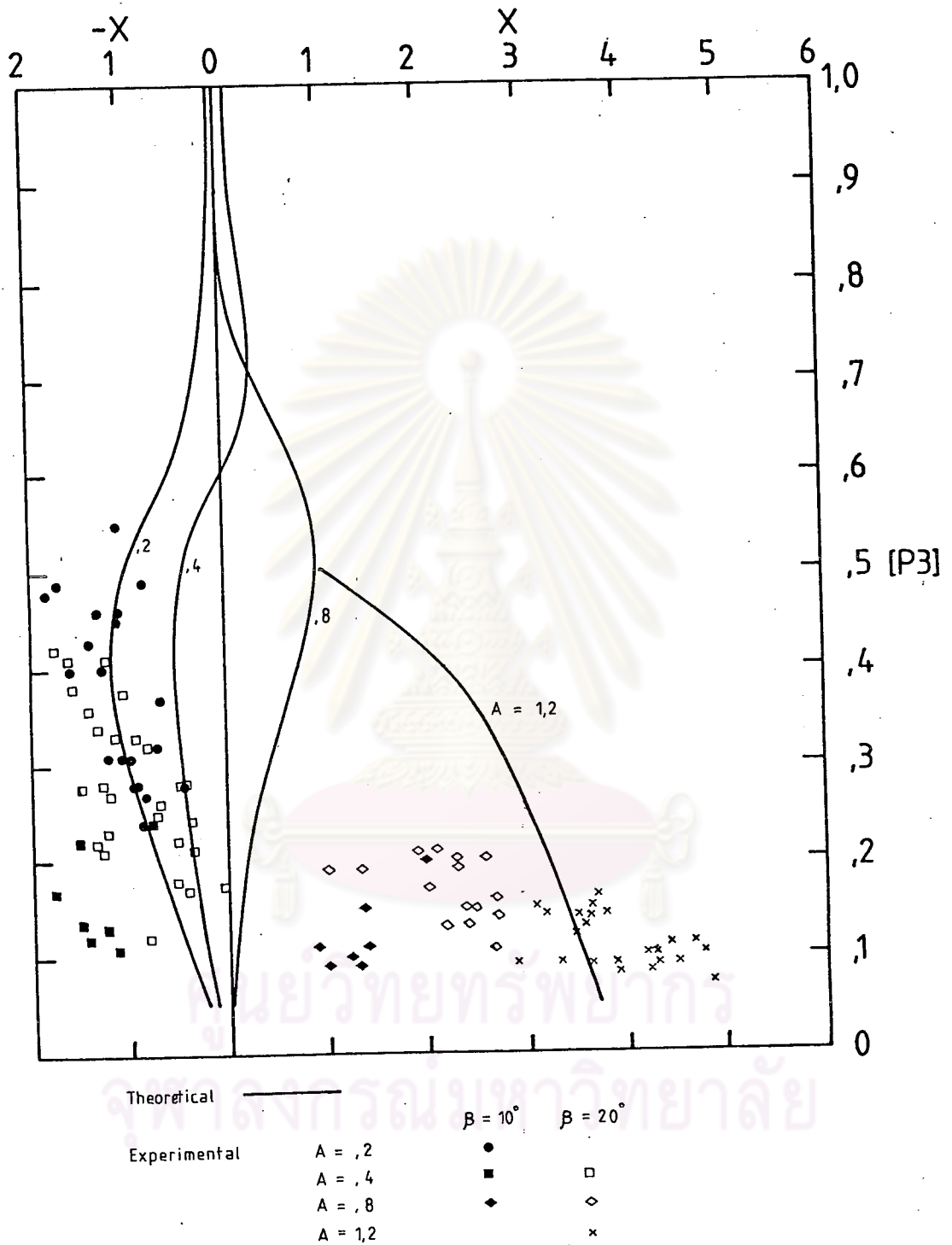
เมื่อพารามิเตอร์ความเร่งมีค่าสูงขึ้น เช่น A เท่ากับ 0.8 และ 1.2 ผลลัพธ์ทั้งสองมีแนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ผลจากการทดลองให้ค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนตัวสูงกว่าผลลัพธ์ทางทฤษฎี ความแตกต่างนี้น่าจะมีต้นเหตุมาจากความเร่งที่ผิวของภาคแยกที่เกิดขึ้นจริง



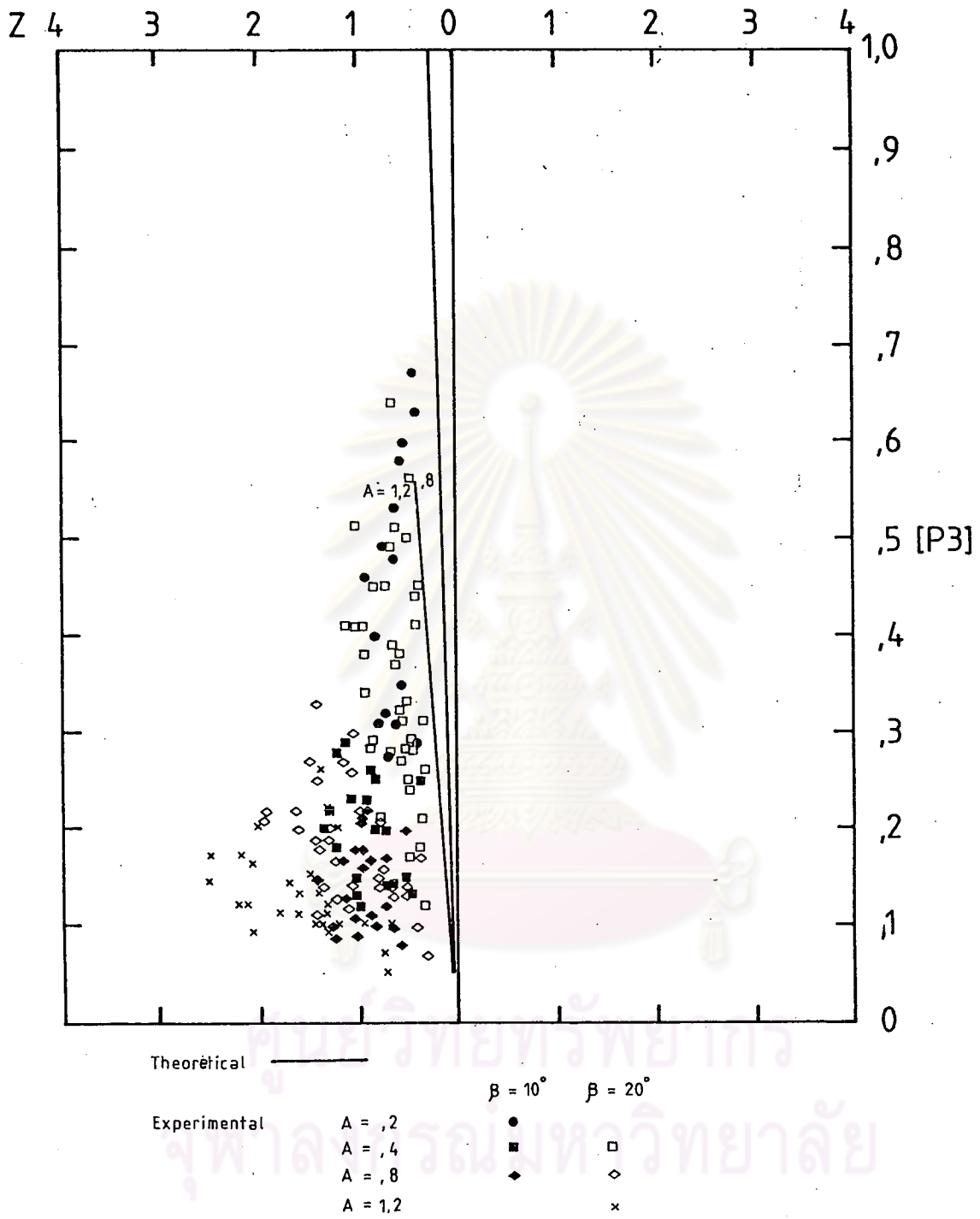
รูปที่ 6.6 ผลทางทฤษฎีและผลการทดลองซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ A และ P3 ที่มีต่อ X เมื่อ $P1 = 0$



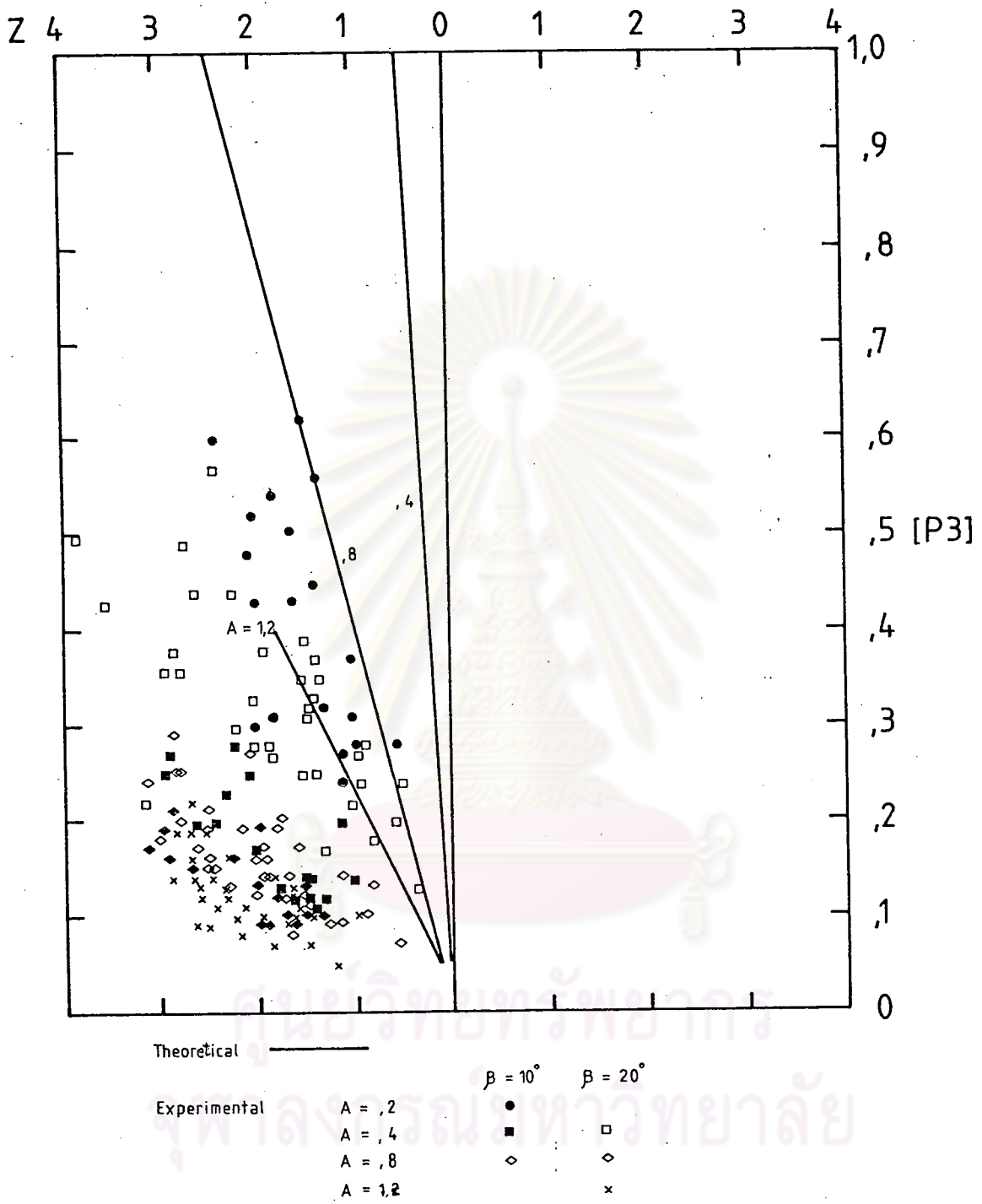
รูปที่ 6.7 ผลทางทฤษฎีและผลการทดลองซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ A และ P3 ที่มีต่อ X เมื่อ $P_1 = 0.2$



รูปที่ 6.8 ผลทางทฤษฎีและผลการทดลองซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ A และ P_3 ที่ต่อ X เมื่อ $P_1 = 0.4$



รูปที่ 6.9 ผลทางทฤษฎีและผลการทดลองซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ A และ P3 ที่สัมพันธ์ Z เมื่อ P2 = 0.4



รูปที่ 6.10 ผลทางทฤษฎีและผลการทดลองซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ A และ P3 ที่มีต่อ Z เมื่อ P2 = 0.8



ต้องแยกเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเบาหรือเสียหายออกจากเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพที่ต้องการ สำหรับการศึกษาถึงผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกตัวนั้น ควรจะได้ดำเนินการศึกษาและทดลองต่อไป จากผลการทดลองที่ได้เสนอนี้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการวัดและตรวจสอบการเคลื่อนตัวของอนุภาคด้วยนาฬิกาจับเวลาที่พารามิเตอร์ความเร่งมีค่าสูง ๆ ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป ควรจะดำเนินการโดยอาศัยอุปกรณ์ที่ให้ความละเอียดสูงกว่านี้ เช่น กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง เป็นต้น

6.4 เกณฑ์ในการออกแบบและตัวอย่างการใช้

เพื่อแสดงให้เห็นถึงการนำผลของการศึกษานี้ไปใช้ประโยชน์ ในหัวข้อนี้จึงได้วางบรรทัดฐานเบื้องต้นในการเลือกพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวและแยกตัวของวัสดุไว้ดังต่อไปนี้

1. จากข้อจำกัดของทฤษฎีที่เสนอสั่งใช้ไว้ได้กับวัสดุที่เคลื่อนตัวโดยไม่มีผลกระทบ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ $P1$ และ $P2$ ที่จะนำมาใช้จะต้องให้มุม α_1 และ α_2 น้อยกว่ามุมที่วัสดุจะกลับตัวภายใต้ความเร่ง หมายความว่าสำหรับวัสดุที่มีรูปทรง ซึ่งมีโอกาสที่จะกลับตัวได้ง่าย ควรเลือกพารามิเตอร์ใช้งานที่ $P1$ $P2$ และ A ค่าต่ำ ๆ และควรให้วัสดุเคลื่อนตัวแบบไม่มีพฤติกรรมการลอยตัว จึงทำให้การเคลื่อนตัวของวัสดุเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ
2. เพื่อให้วัสดุสามารถแยกตัวได้ง่าย ผิวของภาตควรจะทำจากวัสดุที่ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของวัสดุที่เราต้องการแยกแตกต่างกันมากที่สุด
3. เพื่อให้การแยกตัวของวัสดุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อันดับแรกควรเลือกใช้ช่วงพารามิเตอร์ความลาดชัน $P1$ ซึ่งให้เส้นกราฟของพารามิเตอร์การเคลื่อนตัว X ตัดกับแกน $X = 0$ จากผลทางทฤษฎีที่ได้เสนอนี้ดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.18 นั้น เราสามารถจำแนกกลุ่มของกราฟตามพารามิเตอร์ความเร่ง A ออกได้ 3 กลุ่มคือ
 - 3.1 กลุ่มพารามิเตอร์ความเร่ง A ค่าต่ำ ๆ $0 < A < 1$ กลุ่มนี้อนุภาคจะเคลื่อนตัวโดยไม่มีพฤติกรรมการลอยตัว และพารามิเตอร์ความลาดชัน $P1$ ค่าหนึ่ง ซึ่งให้เส้นกราฟตัดกับแกน $X = 0$ จะมีค่าเท่ากับพารามิเตอร์ความเร่ง A ดังนั้นจากจุดนี้จะได้ข้อสรุปว่าในกรณีที่วัสดุที่ต้องการแยกมีรูปทรงซึ่งมีโอกาสกลับตัวได้ง่าย ค่าพารามิเตอร์ความลาดชัน $P1$

มีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ที่โครงของถาดแยก เนื่องจากมีเงื่อนไขในการทำงานที่จำเป็นต้องทดลองเป็นจำนวนมาก และทุกครั้งที่แปรค่า P3 จำเป็นจะต้องเปลี่ยนชิ้นงานทดลองและถาดแยกเพื่อความสะอาดและความรวดเร็วในการเปลี่ยนถาดแยก สิ่งตรงถาดแยกให้แน่นกับโครงไว้เฉพาะที่ขอบเท่านั้น แรงปะทะของอากาศและแรงเสียดทานเนื่องจากมวลของถาดแยกจะมีค่าสูงขึ้นตามความเร่งผลของแรงเหล่านี้จะทำให้ถาดแยกเกิดการสั่นสะเทือน อันเป็นต้นเหตุทำให้ความเร่งที่ผิวของถาดแยกมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติถาดแยกควรจะต้องมีความแข็งแรงมากพอที่จะไม่เกิดการสั่นสะเทือนในระหว่างการใช้งาน

ข้อจำกัดข้อหนึ่งในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการที่เสนอซึ่งทำการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของอนุภาคเพียง 1 วัฏจักรเดียวก็คือ ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนตัวแบบมีพฤติกรรมการลอยตัวนั้น เมื่ออนุภาคเกิดการโถกตัวถอยหลังก่อนการลอยตัว เราไม่สามารถกำหนดความเร็วต้นที่แท้จริงในการโถกถอยหลังได้ล่วงหน้า เพราะจุดเริ่มต้นในการโถกตัวนี้อาจจะอยู่ใน Quadrant ที่ 3 หรือ 4 ซึ่งจะทราบค่าที่แน่นอนได้ก็ต่อเมื่อเราทำการคำนวณผ่านไปแล้ว 1 วัฏจักร สำหรับการศึกษานี้ได้ล้มเหลวให้จุดเริ่มต้นอยู่ในตำแหน่งเชิงมุมเป็นศูนย์ซึ่งยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไป ควรจะพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำการคำนวณและตรวจสอบได้มากกว่า 1 วัฏจักร โดยแต่ละวัฏจักรที่ผ่านไป โปรแกรมจะต้องสามารถปรับค่าเร็วต้นในการเคลื่อนที่ให้ถูกต้อง แล้วทำการตรวจสอบการเคลื่อนที่ว่าเข้ารูปแบบเดิมหรือเป็นสภาวะอยู่ตัวหรือไม่ ถ้ารูปแบบการเคลื่อนที่ยังไม่อยู่ในสภาวะอยู่ตัว ก็ทำการคำนวณและตรวจสอบในวัฏจักรถัดไปเรื่อย ๆ จนพบคำตอบที่สมบูรณ์

โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จะพัฒนาให้สมบูรณ์ขึ้นในขั้นต่อไปนั้น ควรจะครอบคลุมถึงผลของการกระทบและความยืดหยุ่น ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ในระหว่างและภายหลังจากการกระทบตลอดจนความต้านทานของอากาศ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ในระหว่างการลอยตัว และโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สมบูรณ์นี้สามารถนำไปใช้ศึกษาการเคลื่อนตัวและแยกตัวของอนุภาคโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพหลายชนิดประกอบกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลักการที่ให้อนุภาคเคลื่อนตัวอยู่ภายใต้การรองรับตัวว่าค่าบนระนาบเอียงที่เคลื่อนตัวแบบไขว้ขอยัดนั้น สามารถนำมาใช้แยกวัสดุชนิดเดียวกัน แต่มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นไม่เท่ากันออกจากกันได้ โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ซึ่งเรียกว่า Density Separator อันเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากหน่วยหนึ่งในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งจะ

ที่ใช้จะต้องให้มุม α_1 น้อยกว่ามุมที่วัสดุจะกลิ้งตัวและมีค่าระหว่าง $A - 0.2 < P_1 < A + 0.2$

3.2 กลุ่มพารามิเตอร์ความเร่ง A ค่ากลาง $1 < A < 2.4$ กลุ่มนี้ธนาคารจะเคลื่อนตัวแบบมีพฤติกรรมการลอยตัวหนึ่งครั้งต่อวัฏจักรและค่าพารามิเตอร์ความลาดชัน P_1 ซึ่งให้เส้นกราฟตัดกับแกน $X = 0$ จะมีค่ามากกว่า 0.6 และเมื่อค่าพารามิเตอร์ความเร่ง A มีค่าสูงขึ้น จุดที่เส้นกราฟตัดกับแกน $X = 0$ จะอยู่ที่จุดซึ่งพารามิเตอร์ความเสียดทาน P_3 มีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า เมื่อ A มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวถอยหลังลดลง และประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวลงด้านข้างจะเพิ่มขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ความลาดเอียง P_2 และ A มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยนวิธีของเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของวัสดุให้หมุนรอบแกน y_t ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาได้โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ความเร่ง A

3.3 กลุ่มพารามิเตอร์ความเร่ง A ค่าสูง $2.4 < A < 3.2$ กลุ่มนี้ค่าพารามิเตอร์ความลาดชัน P_1 ซึ่งให้เส้นกราฟตัดกับแกน $X = 0$ จะมีค่ามากกว่า 0.4 และเมื่อพารามิเตอร์ความเร่ง A มีค่าสูงขึ้น จุดที่เส้นกราฟตัดกับแกน $X = 0$ จะอยู่ที่จุดซึ่งพารามิเตอร์ความเสียดทาน P_3 มีค่าต่ำลงมาเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าเมื่อ A มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวถอยหลังเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวลงด้านข้างจะเพิ่มขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ความลาดเอียง P_2 และ A มีค่าสูงขึ้น ในกรณีนี้จะสรุปได้ว่าวิธีในการเคลื่อนตัวของวัสดุจะหมุนกับแกน x_t มากขึ้นเมื่อพารามิเตอร์ความเร่งมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยนวิธีของเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของวัสดุให้หมุนรอบแกน y_t ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาได้โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ของความเร่ง

4. จากหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 ซึ่งเป็นกรณีที่วัสดุเคลื่อนตัวแบบมีพฤติกรรมการลอยตัวนั้น จะเห็นว่าพารามิเตอร์ความเร่ง A ไม่มีอิทธิพลต่อการแยกตัวของวัสดุมากนัก แต่จะมีประโยชน์ต่อการปรับวิถีและความเร็วในการเคลื่อนตัวของวัสดุ ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้การแยกตัวของวัสดุเป็นไปโดยง่ายและมีประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ที่เลือกให้จะต้องสามารถกำหนดให้เวกเตอร์ในการเคลื่อนตัวของวัสดุที่ต้องการแยกแตกต่างกันมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยที่ช่วงของพารามิเตอร์ความเสียดทาน P_3 ของวัสดุที่ต้องการแยกควรจะอยู่ระหว่างจุดที่เส้นกราฟพารามิเตอร์ความลาดชันตัดแกน $X = 0$

5. เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาวะนำผลของวิทยาพหุวิธีไปใช้ประโยชน์ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวและแยกตัวของขั้วเปลือกและขั้วบนภาคแยกที่มีผิวเป็นผ้าใบ ดังต่อไปนี้

5.1 จากตารางที่ 5.1 ขั้วเปลือกและขั้วบนผิวผ้าใบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เป็น 0.457 และ 0.317 ตามลำดับ

5.2 เมล็ดข้าวเป็นวัสดุที่มีลักษณะกลม ดังนั้นจึงเลือกให้มีการเคลื่อนตัวแบบไม่มีพฤติกรรมการลอบตัวในขั้นแรกเลือกพารามิเตอร์ความเร่ง $A = 0.4$

5.3 จากรูปที่ 4.4 $P_1 = 0.4$ เป็นเส้นกราฟที่ตัดกับแกน $X = 0$ ที่ $P_3 = 0.6$ และวัสดุไหลตัวลงด้านข้างเมื่อ $P_2 > 0.8$

5.4 เมื่อเรากำหนดให้ขั้วเปลือกเคลื่อนตัวลงด้านข้างเท่านั้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ขั้วเปลือกเคลื่อนตัวที่พารามิเตอร์ $P_1 = 0.4$, $P_2 = 0.8$ และ $P_3 = 0.6$ ซึ่งให้พารามิเตอร์การเคลื่อนตัว $X = 0$ และ $Z = 0.3$ ดังรูปที่ 6.11

5.5 ที่พารามิเตอร์ชุดนี้ เราต้องปรับตัวแปรในการออกแบบ คือ

$$\tan \alpha_1 = 0.4 \times 0.457 = 0.1828$$

$$\tan \alpha_2 = 0.8 \times 0.457 = 0.3656$$

$$\tan \beta \cos \alpha_2 / A = 0.6 / 0.457 = 1.3129$$

ดังนั้นการเคลื่อนตัวของขั้วจะอยู่ที่พารามิเตอร์

$$P_1 = 0.1828 / 0.317 = 0.576$$

$$P_2 = 0.3656 / 0.317 = 1.15$$

$$P_3 = 0.317 \times 1.3129$$

5.6 พารามิเตอร์การเคลื่อนตัวของขั้วจะได้จากการอินเทอโพลเลท ดังนี้

$$X = -0.5 - \frac{(1.5 - 0.5)(0.576 - 0.4)}{(0.6 - 0.4)}$$

$$X = -1.38$$

$$Z = 0.2 + \frac{(0.2)(1.15 - 0.8)}{0.8}$$

$$Z = 0.29$$

5.7 เมื่อพร้อมกราฟลงในรูปที่ 6.11 เราจะพบว่าที่พารามิเตอร์ชุดนี้ ข้าวเปลือกและข้าวสามารถแยกออกจากกันได้ โดยข้าวเปลือกมีวิถีในการเคลื่อนตัวขนานกับ แกน z_t และข้าวมีวิถีการเคลื่อนตัวทำมุม 167° กับแกน x_t จากการวิเคราะห์ที่พารามิเตอร์ ความเร่ง $A = 0.4$ นี้จะเห็นว่าข้าวเคลื่อนตัวที่พารามิเตอร์ความลาดเอียง P_2 ที่สูงกว่า สัมมติฐาน ดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าพารามิเตอร์นี้ลง จึงเพิ่มพารามิเตอร์ความเร่งเป็น $A = 0.6$

5.3' จากรูปที่ 4.5 เส้นกราฟที่ตัดกับแกน $X = 0$ มีสองเส้นคือ $P_1 = 0.4$ ตัดที่ $P_3 = 0.3$ ซึ่งให้พารามิเตอร์เคลื่อนตัวสูงที่สุดที่ $X = 0.6$ ที่ $P_3 = 0.65$ และเส้น $P_1 = 0.6$ ตัดที่ $P_3 = 0.62$ ซึ่งให้พารามิเตอร์การเคลื่อนตัวสูงที่สุดที่ $X = -0.85$ ที่ $P_3 = 0.4$ และผลลัพธ์จะไกลตัวลงด้านข้างเมื่อ $P_2 > 0.6$

5.4' เมื่อเราตั้งใจที่จะให้ข้าวเปลือกเคลื่อนตัวไปข้างหน้าด้วยประสิทธิภาพ สูงสุด ดังนั้นเราจึงกำหนดให้ข้าวเปลือกเคลื่อนตัวที่พารามิเตอร์ $P_1 = 0.4$, $P_2 = 0.6$ และ $P_3 = 0.65$ ซึ่งจะให้พารามิเตอร์การเคลื่อนตัว $X = 0.6$ และ $Z = 0.2$ ดังรูป 6.12

5.5' ที่พารามิเตอร์ชุดนี้เราจะต้องปรับตัวแปรในการออกแบบ คือ

$$\tan \alpha_1 = 0.4 \times 0.457 = 0.1828$$

$$\tan \alpha_2 = 0.6 \times 0.457 = 0.2742$$

$$\tan \beta \cos \alpha_2 / A = 0.65 / 0.457 = 1.4223$$

ดังนั้นการเคลื่อนตัวของข้าวจะอยู่ที่พารามิเตอร์

$$P_1 = 0.1828 / 0.317 = 0.576$$

$$P_2 = 0.2742 / 0.317 = 0.864$$

$$P_3 = 0.317 / 1.4223 = 0.45$$

5.6' พารามิเตอร์การเคลื่อนตัวของข้าวจะได้จากการอินเทอโพลเลท ดังนี้

$$X = 0.2 + \frac{(-0.8 - 0.2)(0.576 - 0.4)}{(0.6 - 0.4)}$$

$$X = -0.68$$

$$Z = 0.7 + \frac{(0.7 - 0.15)(0.864 - 0.8)}{(0.8 - 0.6)}$$

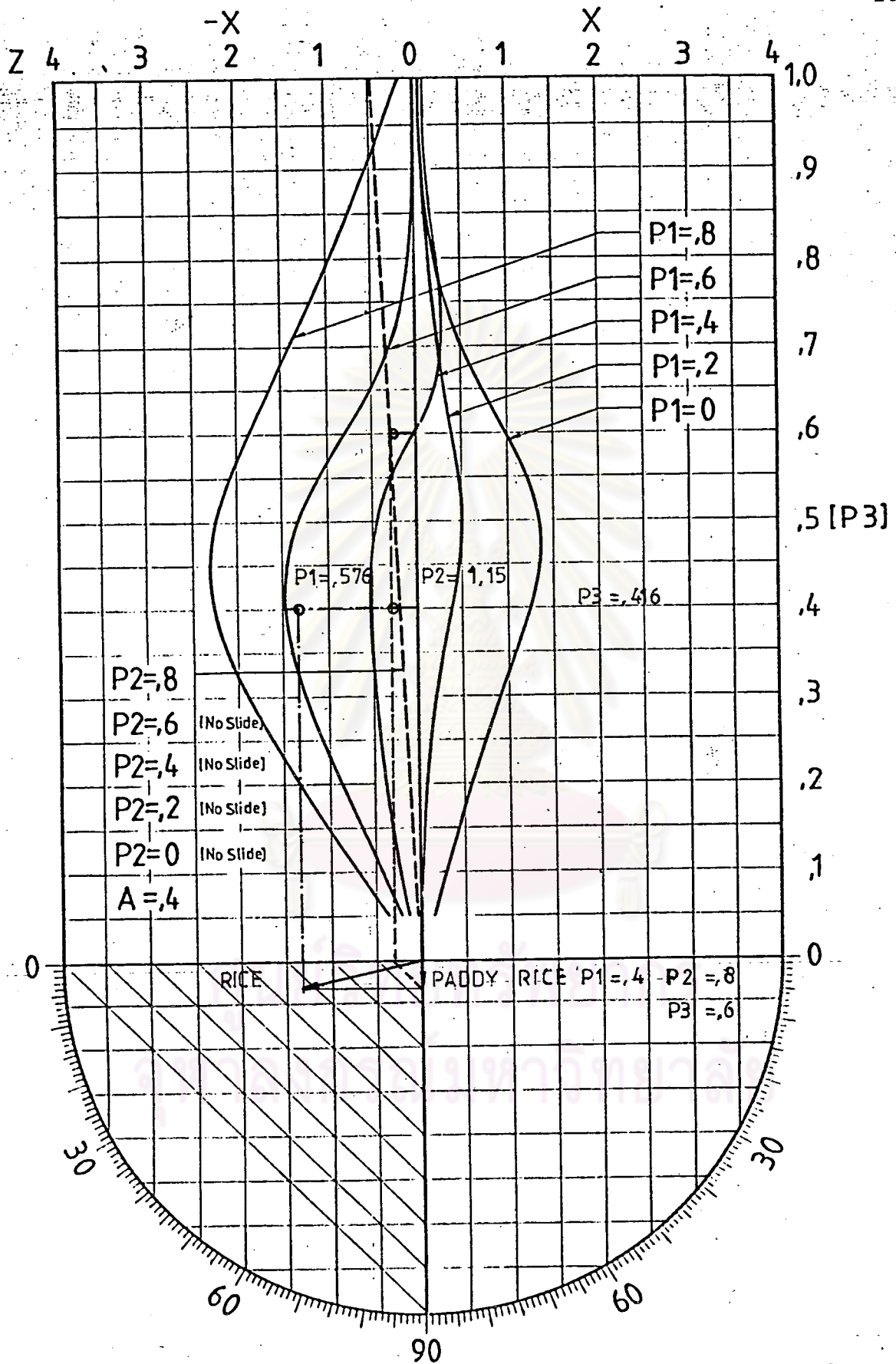
$$Z = 0.876$$

5.7 เมื่อพร้อมค่าลงในรูป 6.12 เราก็จะพบว่าที่พารามิเตอร์ชุดนี้
 ข้าวเปลือกและข้าวสามารถแยกตัวออกจากกันได้เช่นกัน โดยที่ข้าวเปลือกมีวิถีในการเคลื่อน
 ตัวทำมุม 15° กับแกน xt และข้าวมีวิถีการเคลื่อนตัวทำมุม 127° กับแกน xt

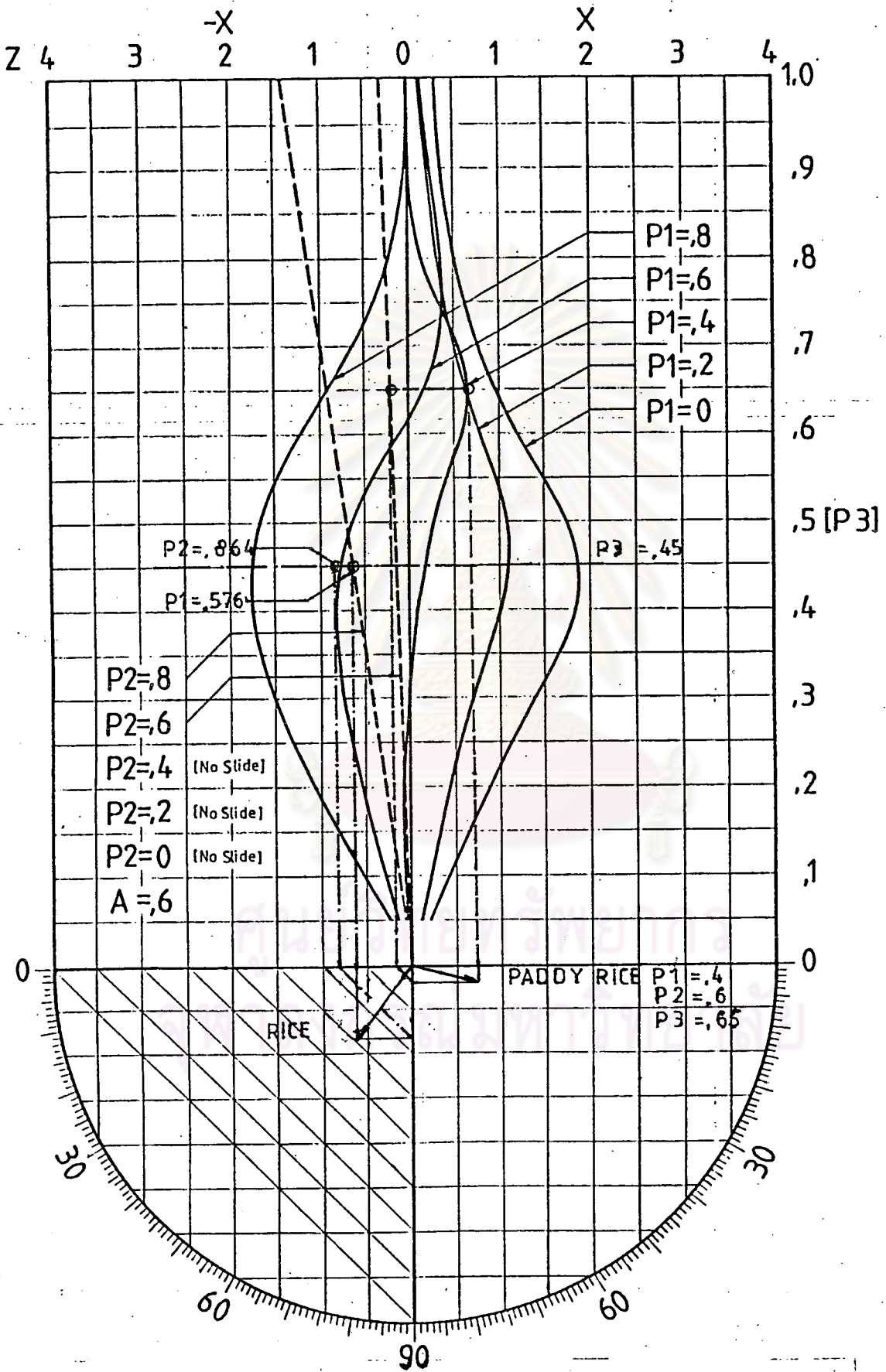
เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของพารามิเตอร์การเคลื่อนตัวของข้าวที่ได้จาก
 การอินเทอโพลด้วยกราฟและวิถีการเคลื่อนตัวที่หาได้จากกราฟกับผลการคำนวณด้วยคอม
 พิวเตอร์ในภาคผนวก ก. ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์การแยกตัว
 ของวัสดุในทางปฏิบัติ โดยอาศัยการอินเทอโพลและหาค่าตอบจากกราฟของพารามิเตอร์ที่
 ได้เสนอไว้ให้ผลลัพธ์ถูกต้องเพียงพอ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.11 วิธีการเคลื่อนตัวและแยกตัวระหว่างข้าวและข้าวเปลือกทางทฤษฎี
เมื่อ $A = 0.6$



รูปที่ 6.12 วิธีการเคลื่อนตัวและแยกตัวระหว่างข้าวและข้าวเปลือกทางทฤษฎี เมื่อ $A = 0.6$