หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการศึกษาและผลการทดลอง

การทดลองเรื่องการบำบัดน้ำเสียแบบเครื่องปฏิกรณ์จำลองชนิดท่อร่วมศูนย์กลาง ที่มี Colume-Tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.762 เมตร และ Draught-Tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.355 เมตร โดยมีของเหลวบรรจุสูง 3.5 เมตร นั้นได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ทางด้านไฮโดรไดนามิคระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของของเหลวกับกำลังงานที่ใส่ในของเหลวที่มีความหนืดต่างกัน และความสัมพันธ์ทางด้านการถ่ายเทมวลของก๊าซกับของเหลวระหว่างค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่และความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาที่กำลังงานที่ใส่ต่างกัน เมื่อมีของเหลวที่นำมาทดลองมีความหนืดต่างกันซึ่งความสัมพันธ์ของค่าเหล่านั้นจะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

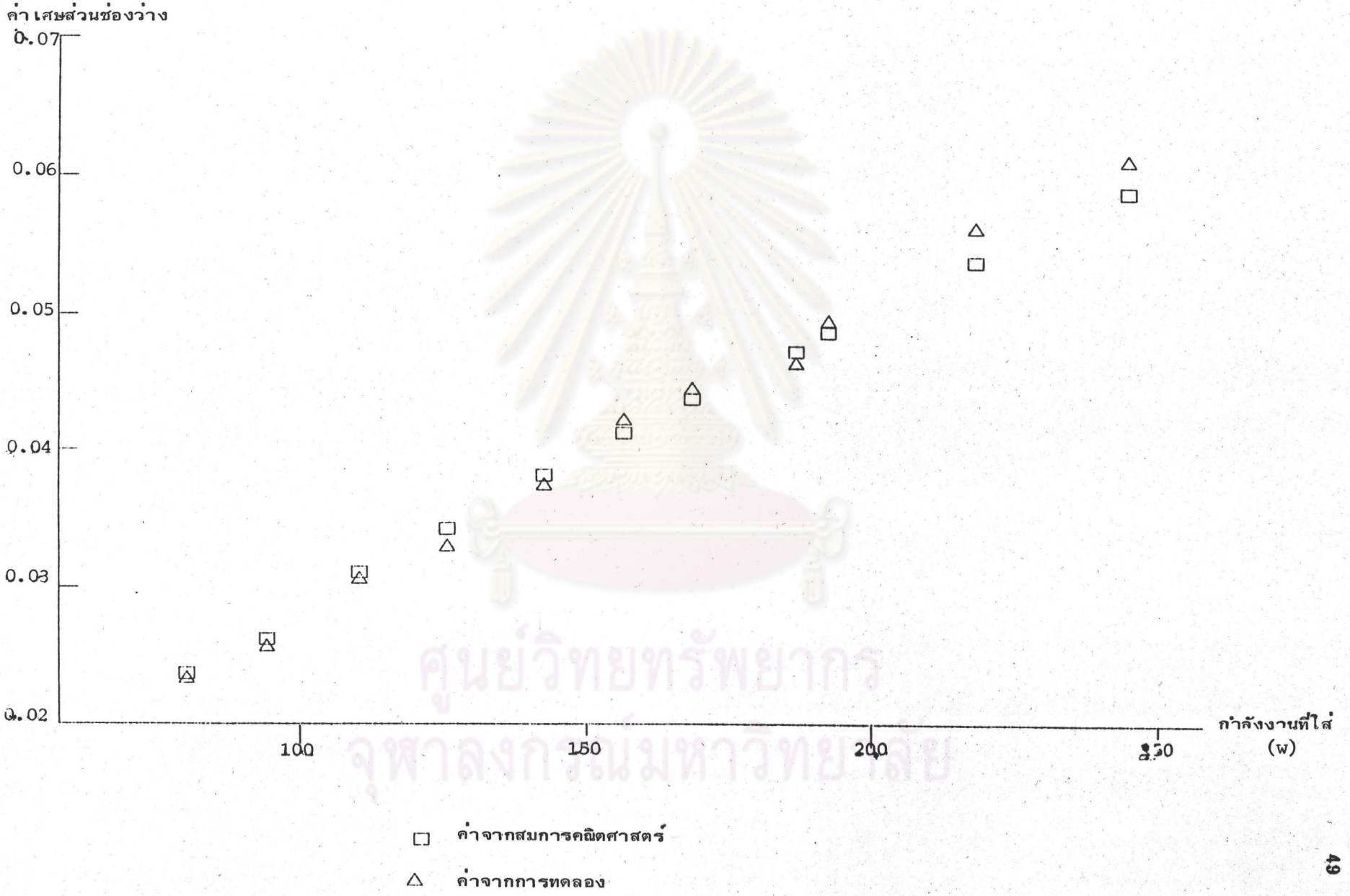
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่

จากรูปที่ 5.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง กับกำลังงานที่ใส่ที่ได้จากผลการทดลองและจากการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลจากการทดลองหาค่าเศษส่วนช่องว่าง และผลจากการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์หาค่าเศษส่วนช่องว่างในช่วงกำลังงานที่ใส่ใดๆ จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่มีบางส่วนผิดพลาดไปบ้างเมื่อกำลังงานที่ใส่มีค่ามาก เนื่องจากลักษณะของฟองอากาศในของเหลวไหลแบบปั่นป่วนจึงทำให้ความสูงของของเหลวในมาโนมิเตอร์สั่นขึ้นลงมากซึ่งส่งผลให้อ่านค่าคลาดเคลื่อนได้

จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่ของน้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s แสดงไว้รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นเส้นตรงทั้ง น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากการให้กำลังงานที่ใส่ ทำให้เกิดปริมาณและปริมาตรของฟองอากาศที่เป็นสัดส่วนกัน กล่าวคือ ในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อยๆ มีจำนวนฟองอากาศน้อยและฟองอากาศมีขนาดเล็ก แต่เมื่อให้กำลังงานที่ใส่มากขึ้นจำนวนฟองอากาศจะมีจำนวนมากขึ้นและฟองอากาศมีลักษณะเป็นขนาดใหญ่จึงทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่างมีค่าน้อยในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อยและมีค่าเศษส่วนช่องว่างมากในช่วงกำลังงานที่ใส่มาก

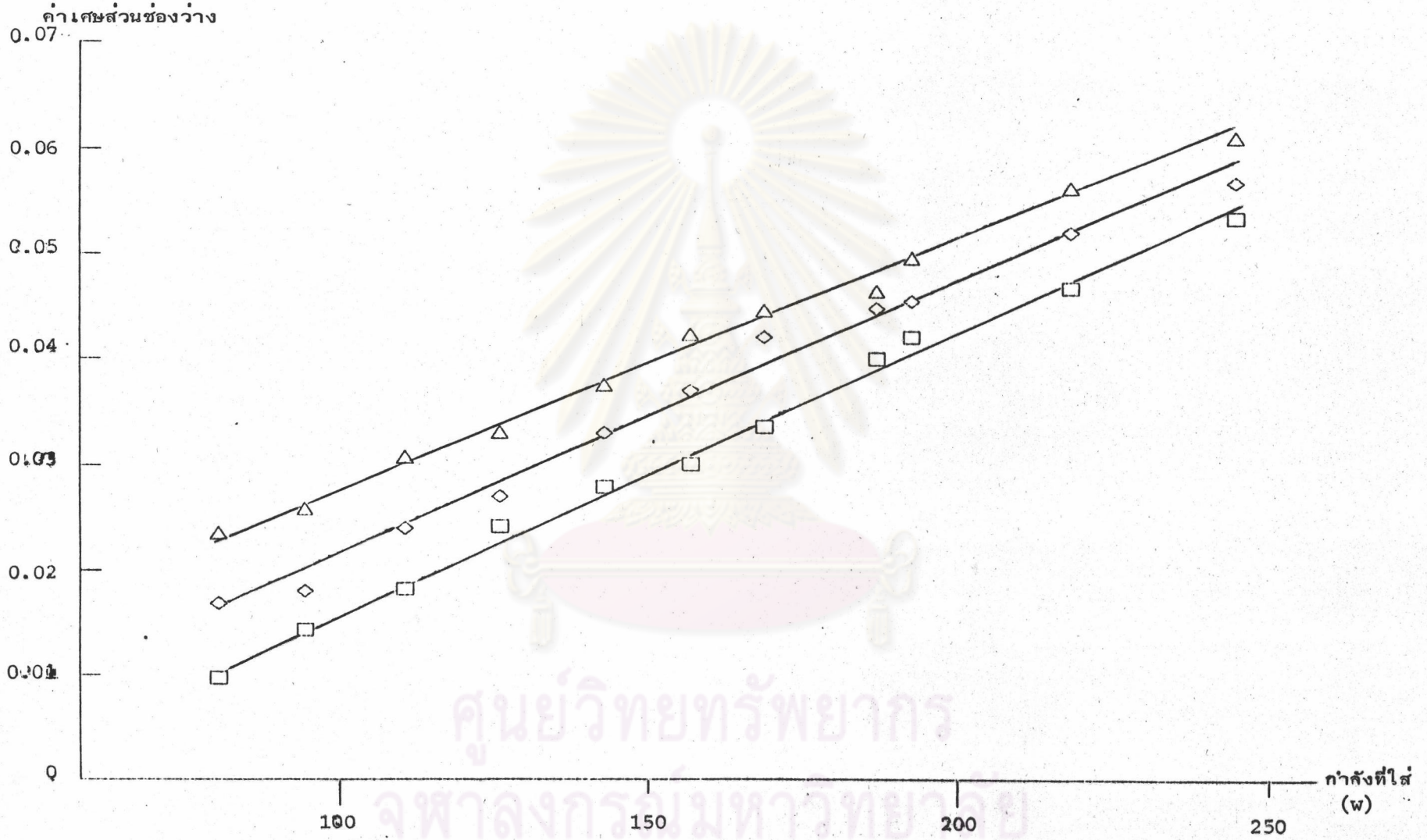
จากรูปที่ 5.2 เมื่อกำลังงานที่ใส่ใดๆ เท่ากันของ น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s จะได้ค่าเศษส่วนช่องว่างของน้ำมีค่ามากกว่าค่าเศษส่วนช่องว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวที่ใช้คือ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s จะมีความหนืดมากกว่าความหนืดใน น้ำ จึงเป็นผลทำให้ปริมาตรของฟองอากาศในของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีขนาดน้อยกว่าปริมาตรของฟองอากาศในน้ำในทำนองเดียวกันนี้ค่าเศษส่วนช่องว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีค่ามากกว่าค่าเศษส่วนช่องว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนืดของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีค่าน้อยกว่าความหนืดของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s จึงทำให้ปริมาตรของฟองอากาศในของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีขนาดมากกว่าปริมาตรของฟองอากาศในของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s

◇ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s △ น้ำ

รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับกำลังงานที่ใส่เมื่อมีความหนืดต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับ กำลังงานที่ใส่

จากรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับ กำลังงานที่ใส่ที่ได้จากผลการทดลองและจากการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่า True Linear Liquid Velocity ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของสมการคณิตศาสตร์จะมีค่าใกล้เคียงกันแต่ช่วงใน กำลังงานที่ใส่มากๆ ค่าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของสมการคณิตศาสตร์แตกต่างกันบ้างเนื่องจากของเหลวไหลแบบปั่นป่วนมากจึงเป็นผลทำให้การวัดค่า True Linear Liquid Velocity นั้นวัดได้ไม่ละเอียด

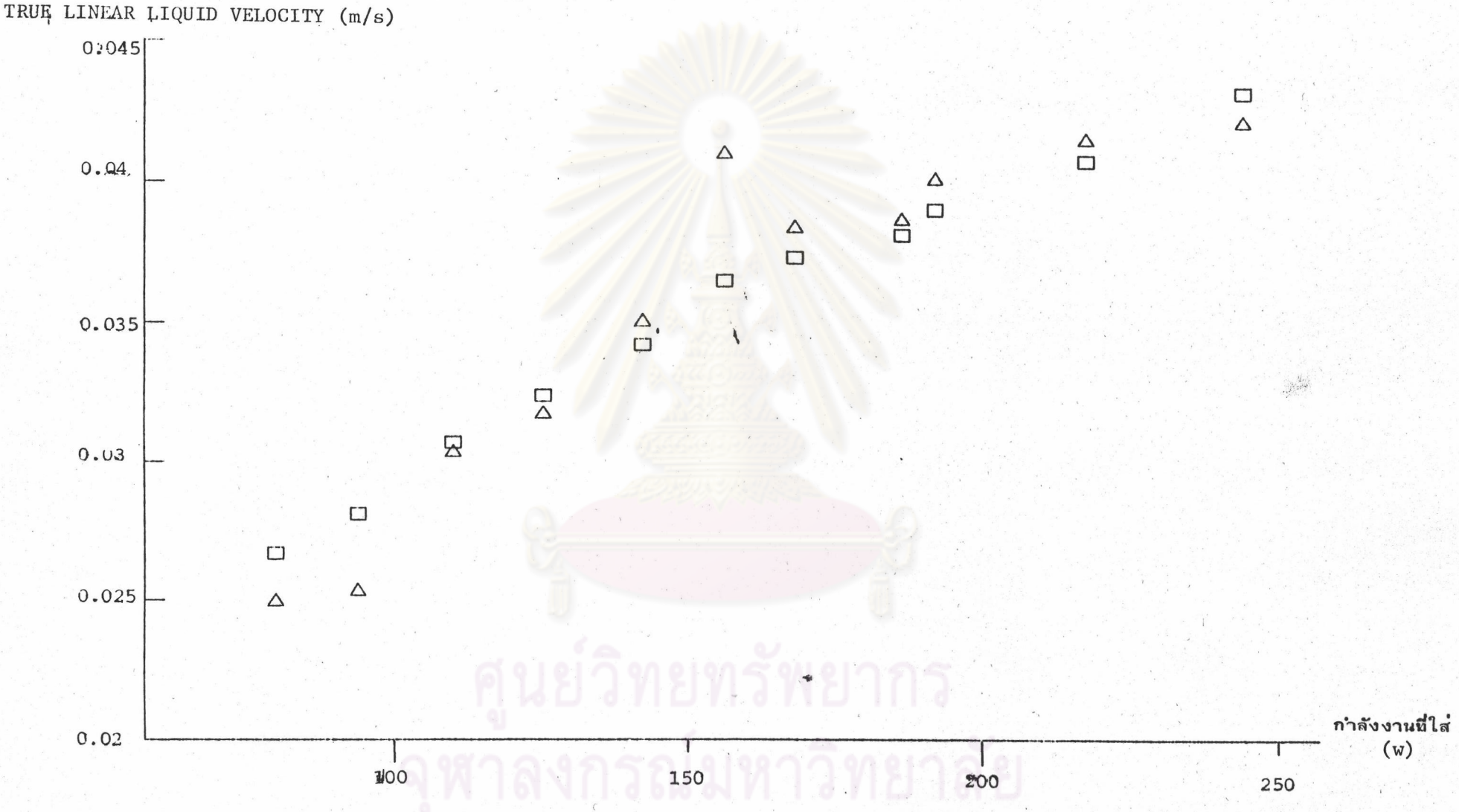
จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับ กำลังงานที่ใส่ของน้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีความชันมากในช่วงกำลังงานที่ใส่ น้อยๆแต่เมื่อกำลังงานที่ใส่มากขึ้นเส้นตรงจะมีความชันค่อยๆ น้อยลงทั้ง น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของเส้นกราฟได้ดังนี้

โดยช่วงแรกนั้นจำนวนของฟองอากาศยังมีจำนวนน้อยและลักษณะของฟองอากาศมีขนาดเล็กพร้อมกันนี้แรงเสียดทานยังมีค่าน้อยอยู่จึงทำให้ค่าดังกล่าวนั้นมีผลน้อยต่อค่า True Linear Liquid Velocity เมื่อ กำลังงานที่ใส่เพิ่มขึ้น

ส่วนในช่วงหลังการเพิ่มของค่าของ True Linear Liquid Velocity จะลดลงเมื่อกำลังงานที่ใส่เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มกำลังงานที่ใส่จะทำให้จำนวนของฟองอากาศปริมาตรของฟองอากาศมีมากขึ้นซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการขัดขวางทางเดินของของเหลวและจะเกิดแรงเสียดทานมากขึ้นพร้อมกันนั้นการไหลของของเหลวจะมีลักษณะปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งจากสาเหตุดังข้างต้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า True Linear Liquid Velocity ลดลงเมื่อกำลังงานที่ใส่เพิ่มขึ้น

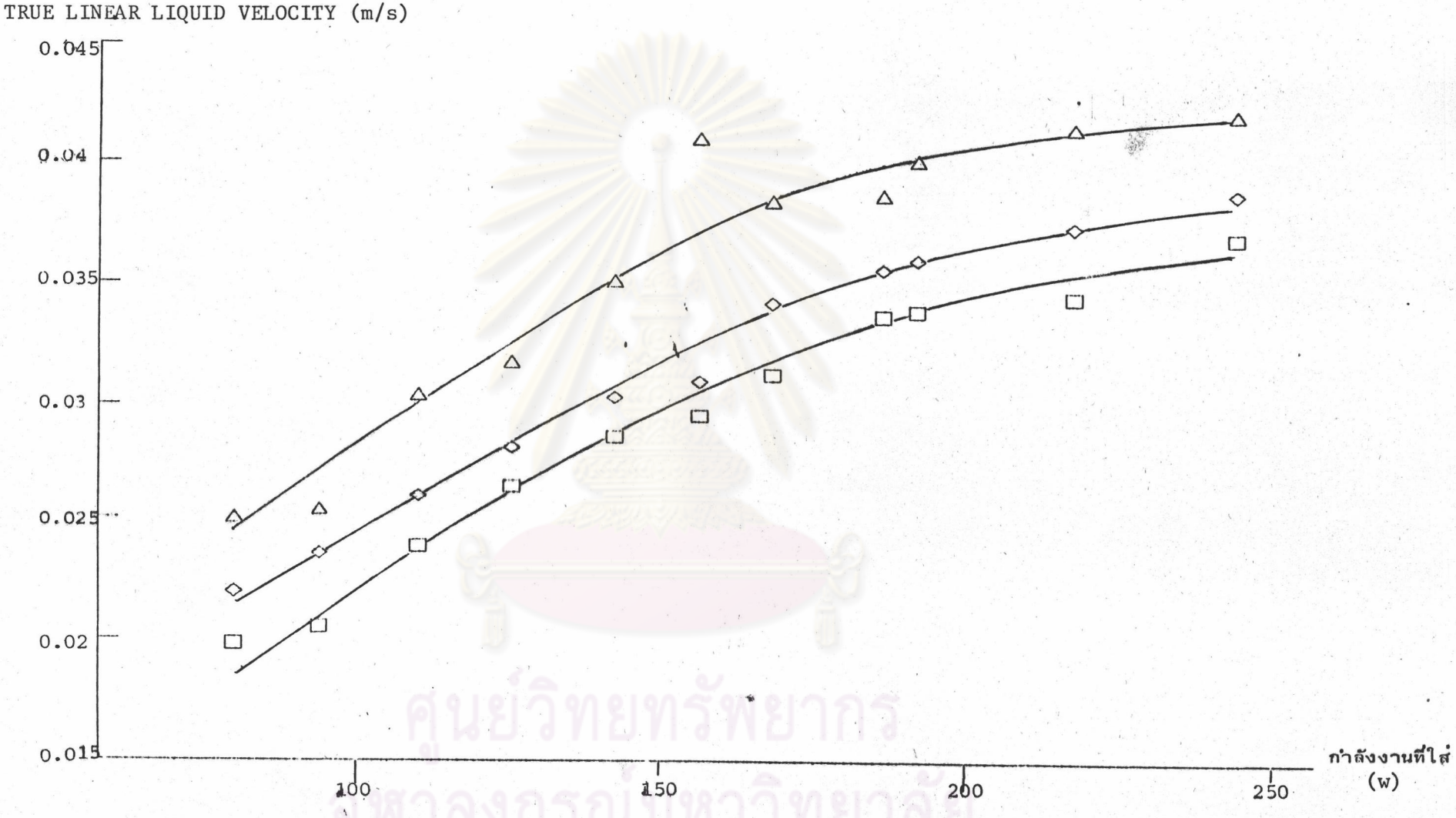
จากรูปที่ 5.4 เมื่อมีกำลังงานที่ใส่ใดๆ เท่ากันของ น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s จะได้ค่า True Linear Liquid Velocity ของ น้ำมีค่ามากกว่าค่า True Linear Liquid Velocity ของ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s จะมีความหนืดมากกว่าและเป็นผลทำให้แรงเสียดทานมีค่ามากกว่าที่เกิดขึ้นในน้ำ จึงทำให้ค่า True Linear Liquid Velocity ใน ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s ช้ากว่าค่า True Linear Liquid Velocity ในน้ำ ในทำนองเดียวกันค่า True Linear Liquid Velocity ในของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s จะช้ากว่าค่า True Linear Liquid Velocity ในของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s เนื่องจากเหตุผลในทำนองเดียวกับข้างต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๖.๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง



□ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s

◇ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s △ น้ำ

รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า True Linear Liquid Velocity กับกำลังงานที่ใส่เมื่อของเหลวมีความหนืดต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด กับ กำลังงานที่ใส่

จากรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด กับกำลังงานที่ใส่จากการทำลองและจากการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่จากการทดลองและจากสมการคณิตศาสตร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงกำลังงานที่ใส่มากๆ ปริมาณการให้ออกซิเจนของฟองอากาศสู่ของเหลวจะมีมากจึงทำให้เข็มมิเตอร์วัดค่า ดีโอ เคลื่อนที่เร็วทำให้อ่านค่าดีโอผิดพลาดได้

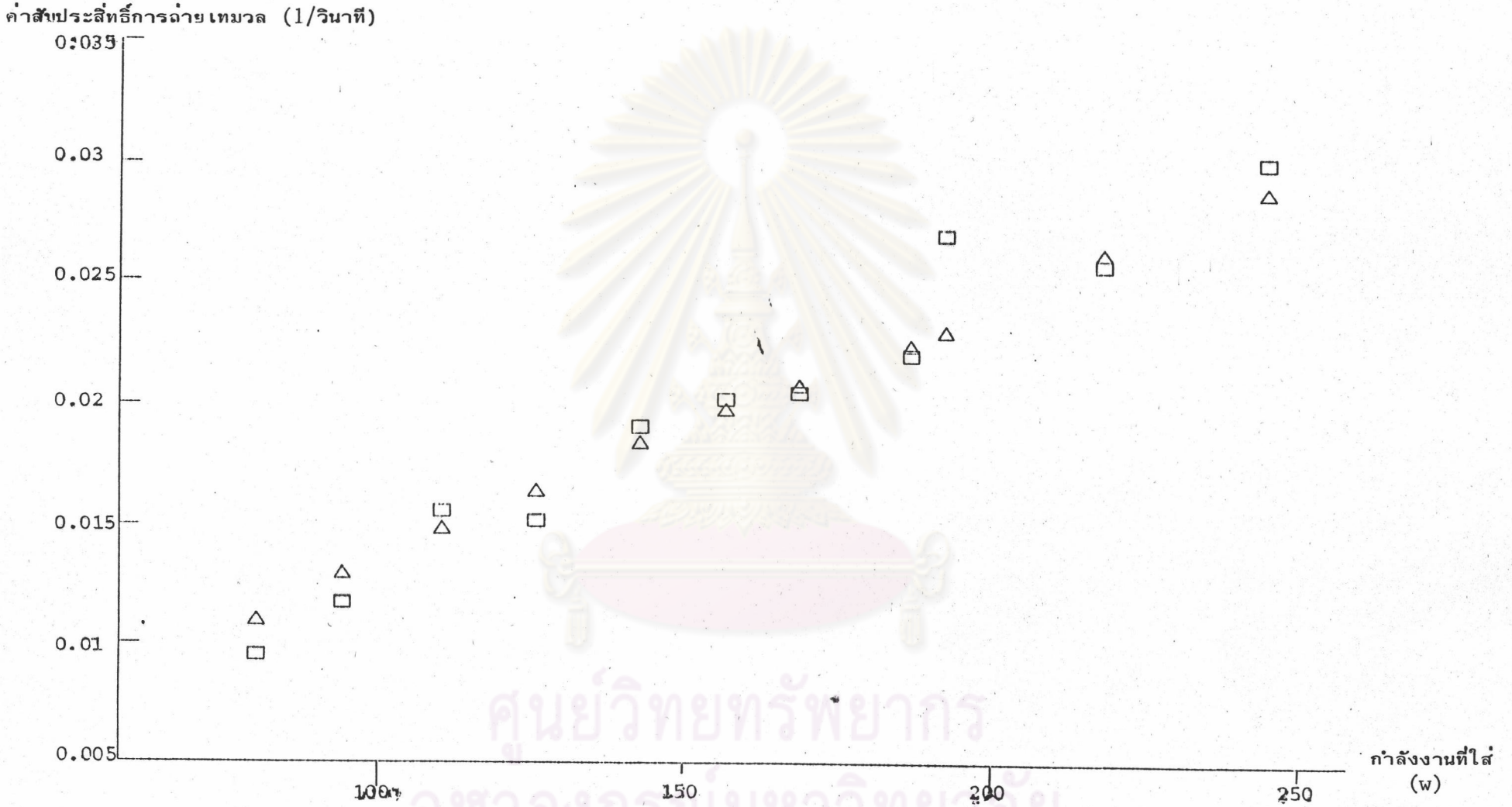
จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดกับกำลังงานที่ใส่ของ น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ดังรูปที่ 5.6 จะได้กราฟซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงทั้ง น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อยๆ นั้นจำนวนฟองอากาศและปริมาตรของฟองอากาศยังน้อยอยู่ซึ่งจะทำให้พื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศกับของเหลวมีค่าน้อยแต่ในช่วงกำลังงานที่ใส่มากขึ้นจะทำให้จำนวนของฟองอากาศและปริมาตรของฟองอากาศมีมากขึ้น ซึ่งสาเหตุเหล่านั้นจึงทำให้ปริมาณการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ของเหลวมีค่ามากขึ้นและรวดเร็วกว่าในช่วงกำลังงานที่ใส่น้อยๆ

จากรูปที่ 5.6 เมื่อกำลังงานที่ใส่ใดๆ เท่ากันของ น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากในของเหลวที่มีความหนืดมากจะทำให้ค่าเศษส่วนช่วงว่างของ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s น้อยกว่าค่าเศษส่วนช่วงว่างของน้ำ ซึ่งจากผลข้างต้นทำให้พื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศกับของเหลวหรือค่า Interfacial Area per Unit Unaerated Liquid Volume มีค่าน้อยลงดังสมการต่อไปนี้

$$a_L = \frac{6\varepsilon}{d_B(1-\varepsilon)}$$

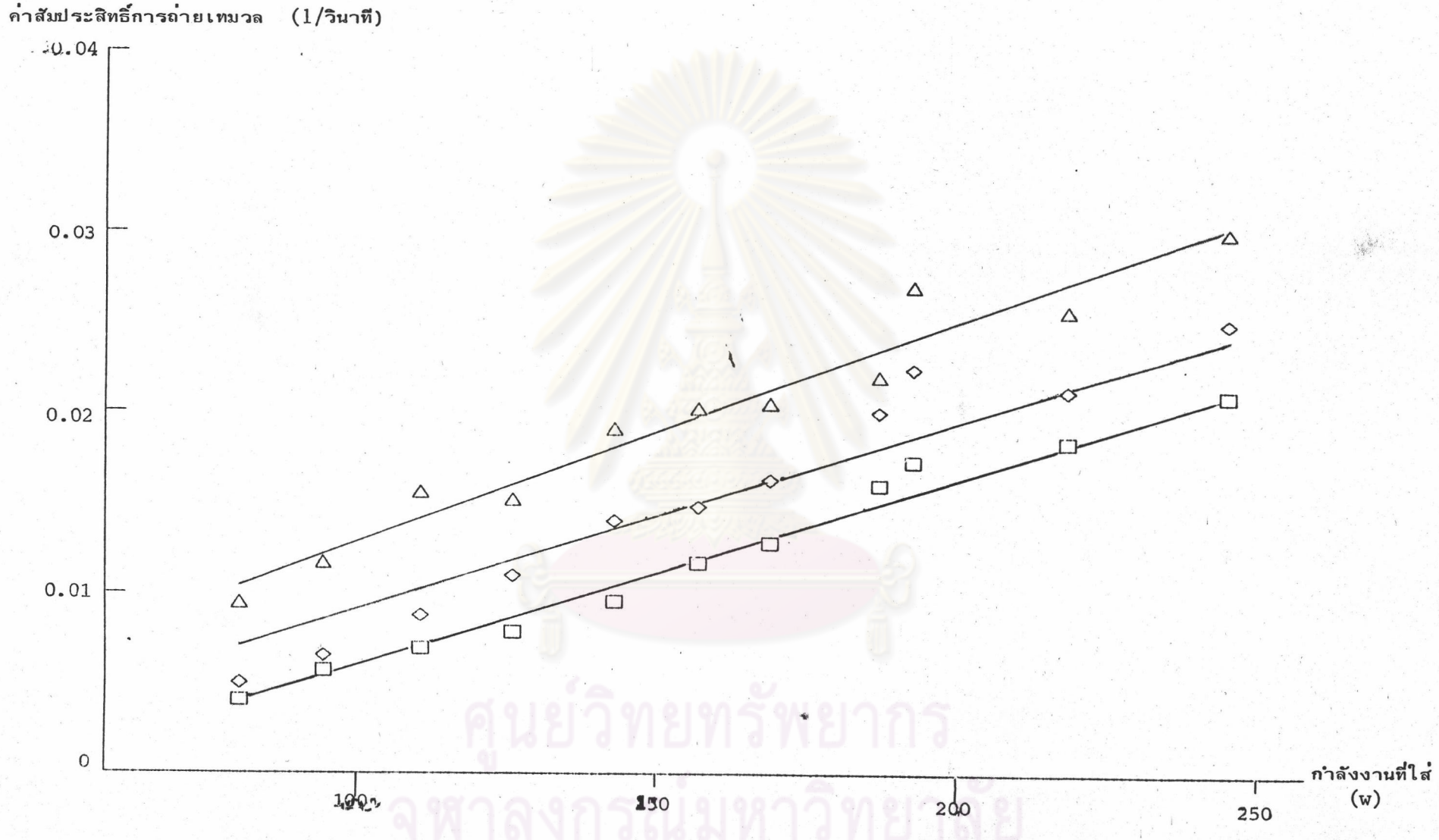
ดังนั้นจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดมีค่าน้อยลงไปด้วยในทำนองเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดในของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดในของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s เนื่องจากเหตุผลในทำนองเดียวกับข้างต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับกำลังงานที่ใส่ของสมการคณิตศาสตร์และจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s

◇ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s △ น้ำ

รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับกำลังงานที่ใส่
เมื่อมีความหนืดต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลา

จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาของน้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ในกรณีที่กำลังงานที่ใส่เดียวกันดังกราฟที่ 5.7,5.8 และ 5.9 โดยลักษณะกราฟทั้งหมดจะลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งจะมีความชันมากในช่วงแรกๆ หลังจากนั้นเส้นโค้งนั้นจะมีความชันน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไปและจะเข้าใกล้สู่ระดับหนึ่งเมื่อใช้เวลามากขึ้นซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเป็นทั้ง น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงระยะเวลาต้นๆ ค่าความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในของเหลวกับปริมาณออกซิเจนในฟองอากาศยังมีความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนมากดังนั้นจึงทำให้การถ่ายเทปริมาณออกซิเจนจากฟองอากาศสู่ของเหลวมีมากในช่วงนี้ซึ่งจากสาเหตุข้างต้นนี้ทำให้ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นแต่เมื่อระยะเลยจากช่วงนี้ไปแล้วความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในของเหลวกับปริมาณออกซิเจนในฟองอากาศจะมีความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนน้อยลงจึงเป็นผลทำให้การถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ของเหลวมีปริมาณน้อยลงซึ่งจากสาเหตุข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล มีค่าเพิ่มน้อยลงไปเมื่อระยะเวลาผ่านไปและจะเป็นไปตามกฎข้อที่หนึ่งของ Fick ดังนี้

$$\text{Mass Flux of Diffusing} = J_{o_2} = k\Delta C$$

เมื่อ k = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (ms^{-1})

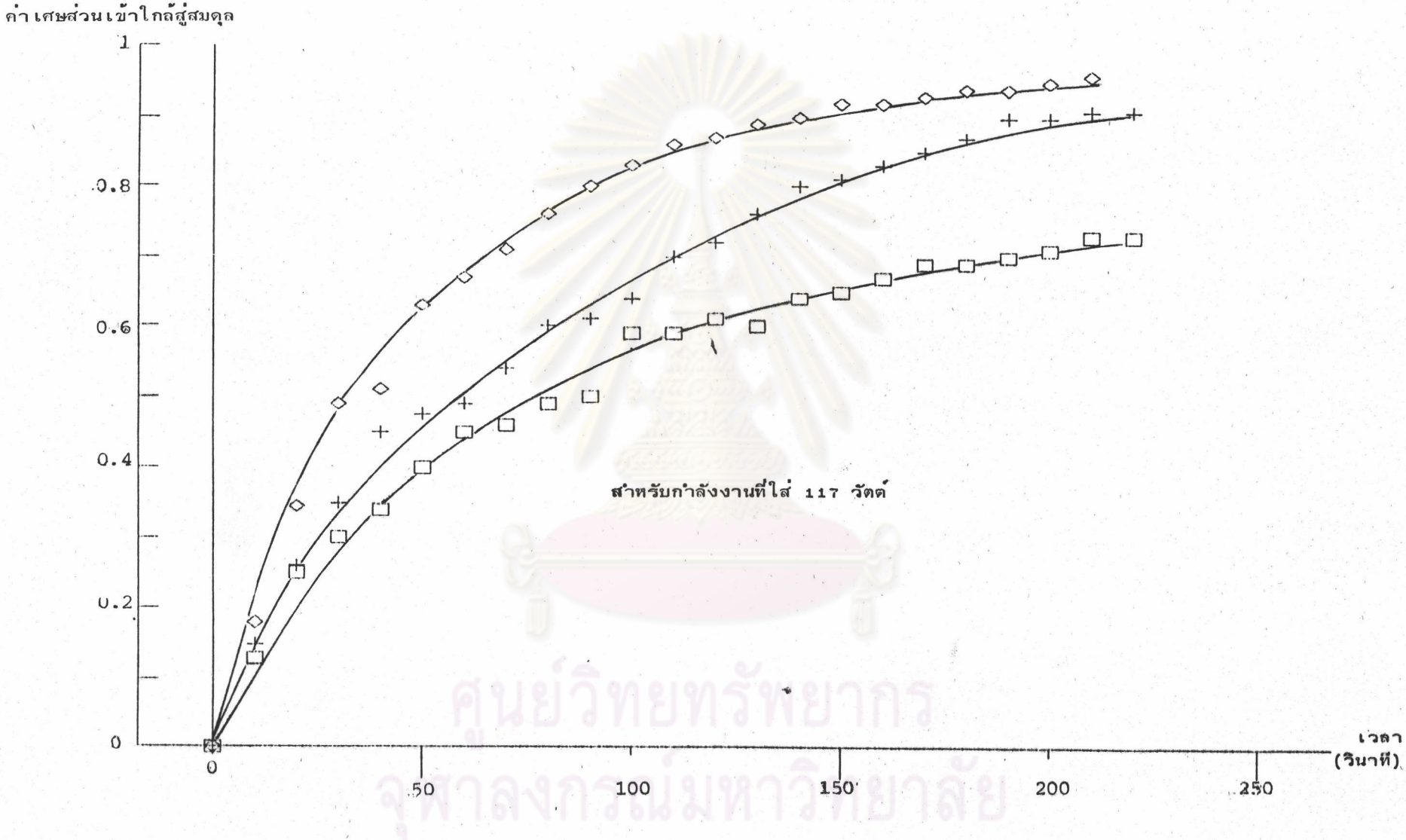
ΔC = ความแตกต่างของความเข้มข้น (kgm^{-3})

จากรูปที่ 5.7,5.8 และ 5.9 จะพบว่าค่าเศษส่วนช่องว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากค่าเศษส่วนช่วงว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s มีค่าน้อยกว่าค่าของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และค่าเศษส่วนช่องว่างของของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s จะน้อยกว่าค่าของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของของเหลวจะน้อยลงจึงเป็นผลทำให้ค่าของพื้นผิวสัมผัสของฟองอากาศกับของเหลวมีค่ามากขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้การถ่ายเทออกซิเจนของฟองอากาศสู่ของเหลวมีค่ามากขึ้นไปด้วยดังนั้นจะทำให้ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล มีค่ามากขึ้นไปด้วยดังรูปที่ 5.7, 5.8และ 5.9

จากการทดลองในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล กับเวลาเมื่อกำลังงานที่ใส่ต่างๆ กันในของเหลวเดียวกันดังรูปที่ 5.10, 5.11 และ 5.12 จากกราฟทั้งหมดจะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันมากในช่วงแรกๆ หลังจากนั้นเส้นโค้งจะมีความชันน้อยลงจนกระทั่งสิ้นสุดที่ระดับหนึ่งซึ่งสาเหตุที่กราฟเป็นเช่นนั้นได้อธิบายดังข้างต้นไว้แล้ว

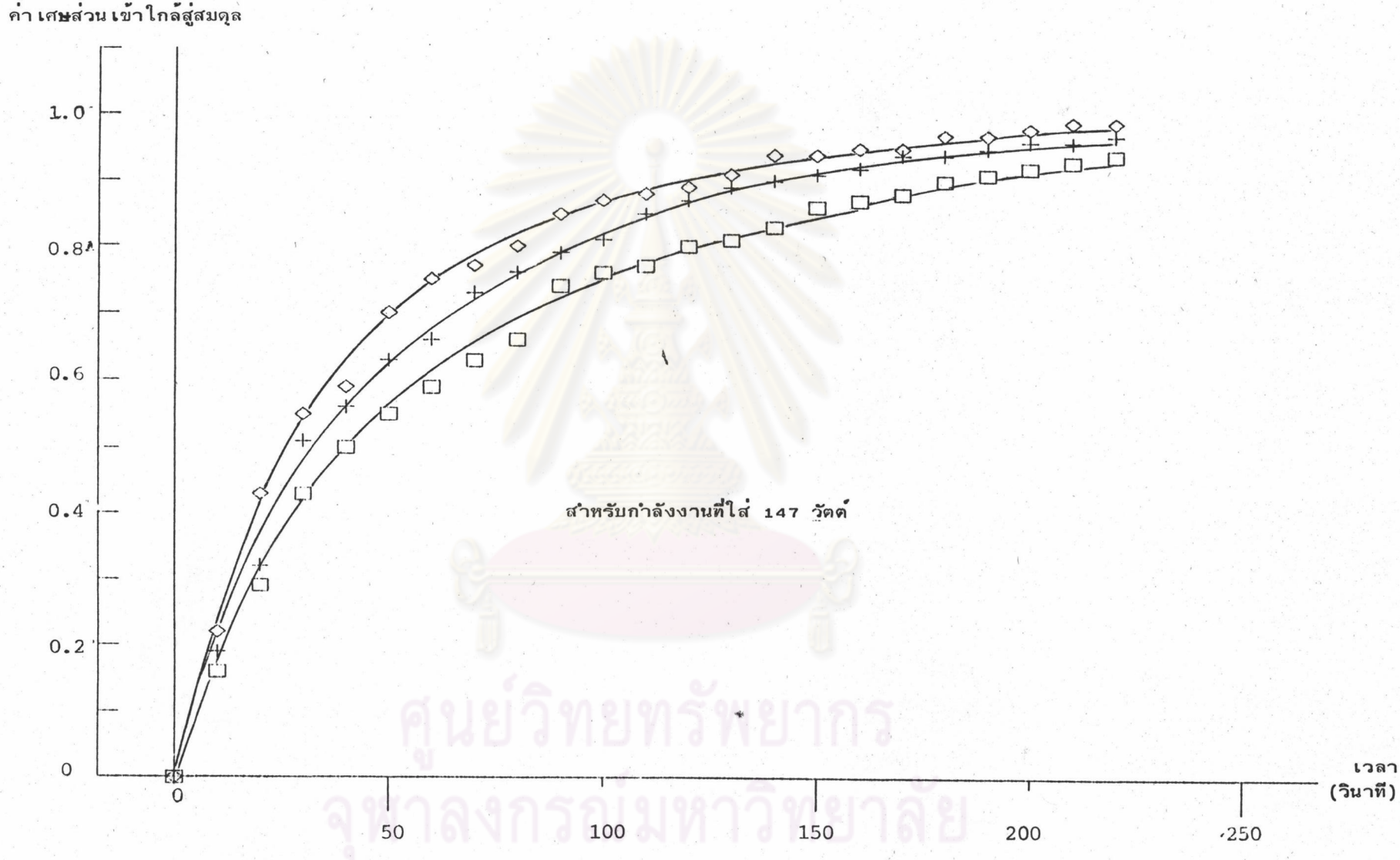
ส่วนเส้นกราฟที่มีกำลังงานที่ใส่มากจะทำให้ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลสูงกว่าค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล ในกำลังงานที่ใส่น้อยทั้งของเหลวที่เป็น น้ำ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s และของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s ทั้งนี้เนื่องจากกำลังงานที่ใส่สูงๆ จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่างมากขึ้นจึงทำให้การถ่ายเทปริมาณออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ของเหลวมีมากกว่ากำลังงานที่ใส่น้อยๆ นั้นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาเมื่อมีความหนืดต่างกัน

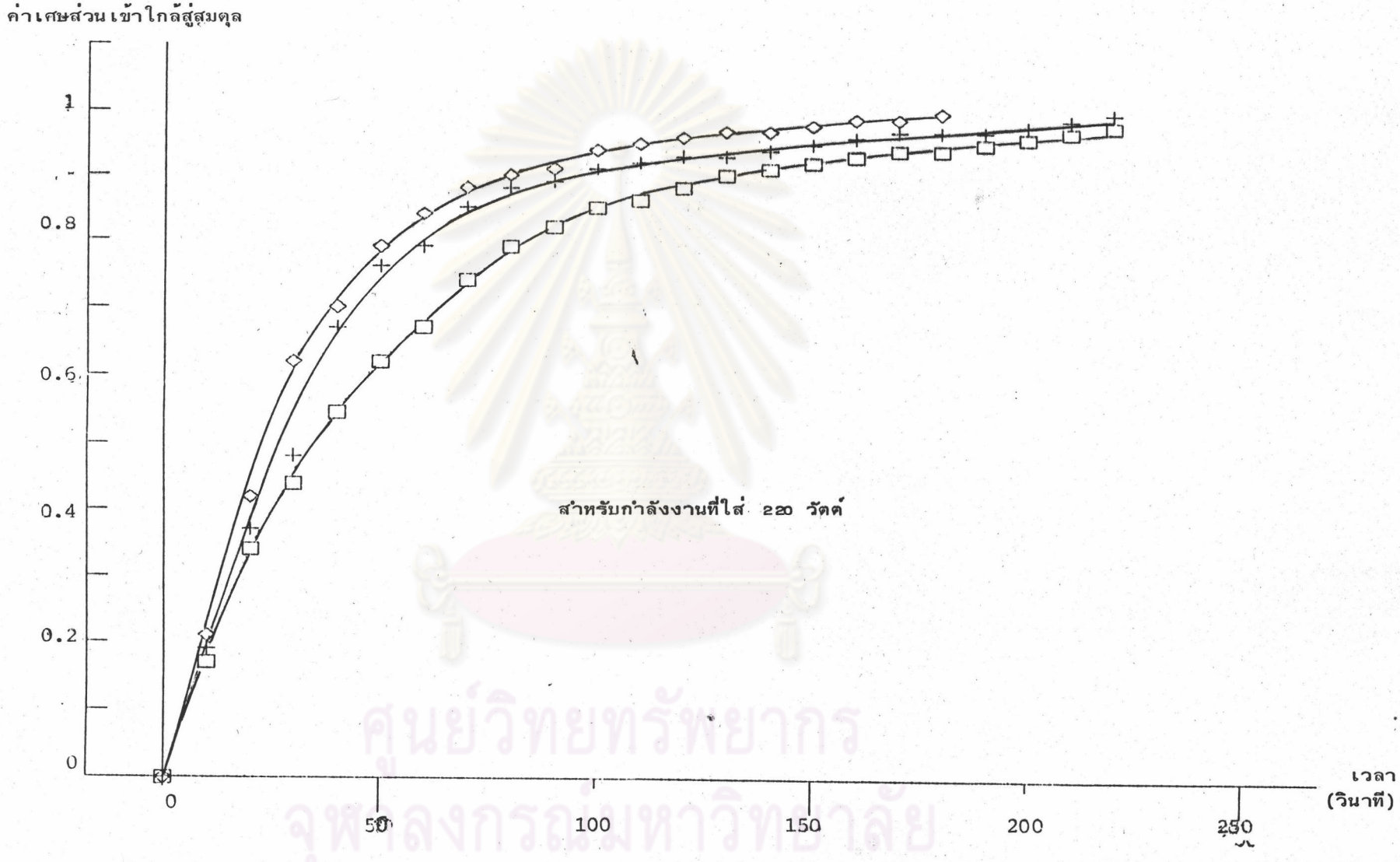
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ ของเหลวที่มีความหนืด 0 .05 2 Pa.s

+ ของเหลวที่มีความหนืด 0 .0 23 Pa.s ◇ น้ำ

รูปที่ 5 .8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับ เวลา เมื่อความหนืดต่างกัน

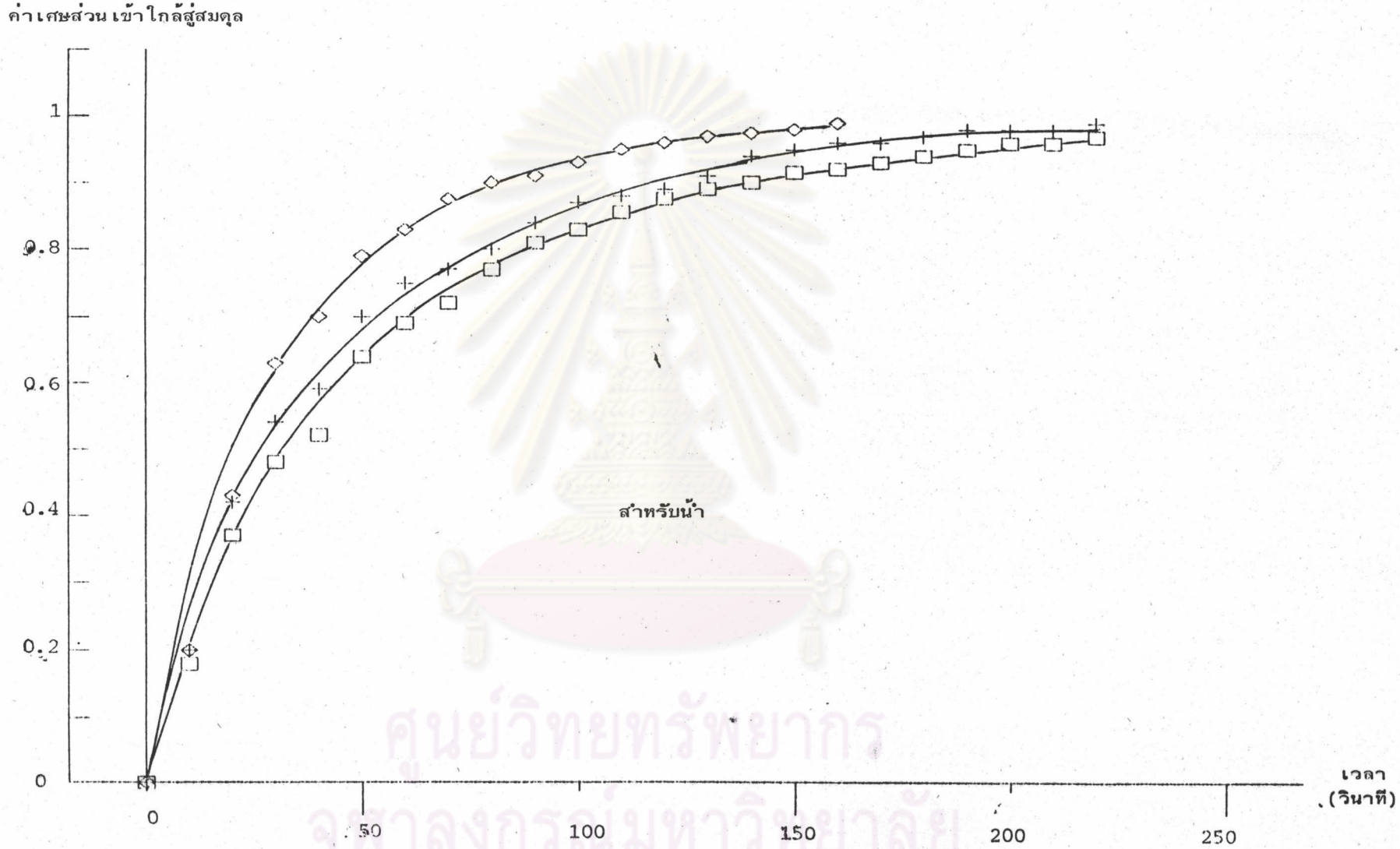


□ ของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s

+ ของเหลวที่มีความหนืด 0.023 Pa.s ◇ น้ำ

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาเมื่อมีความหนืดต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

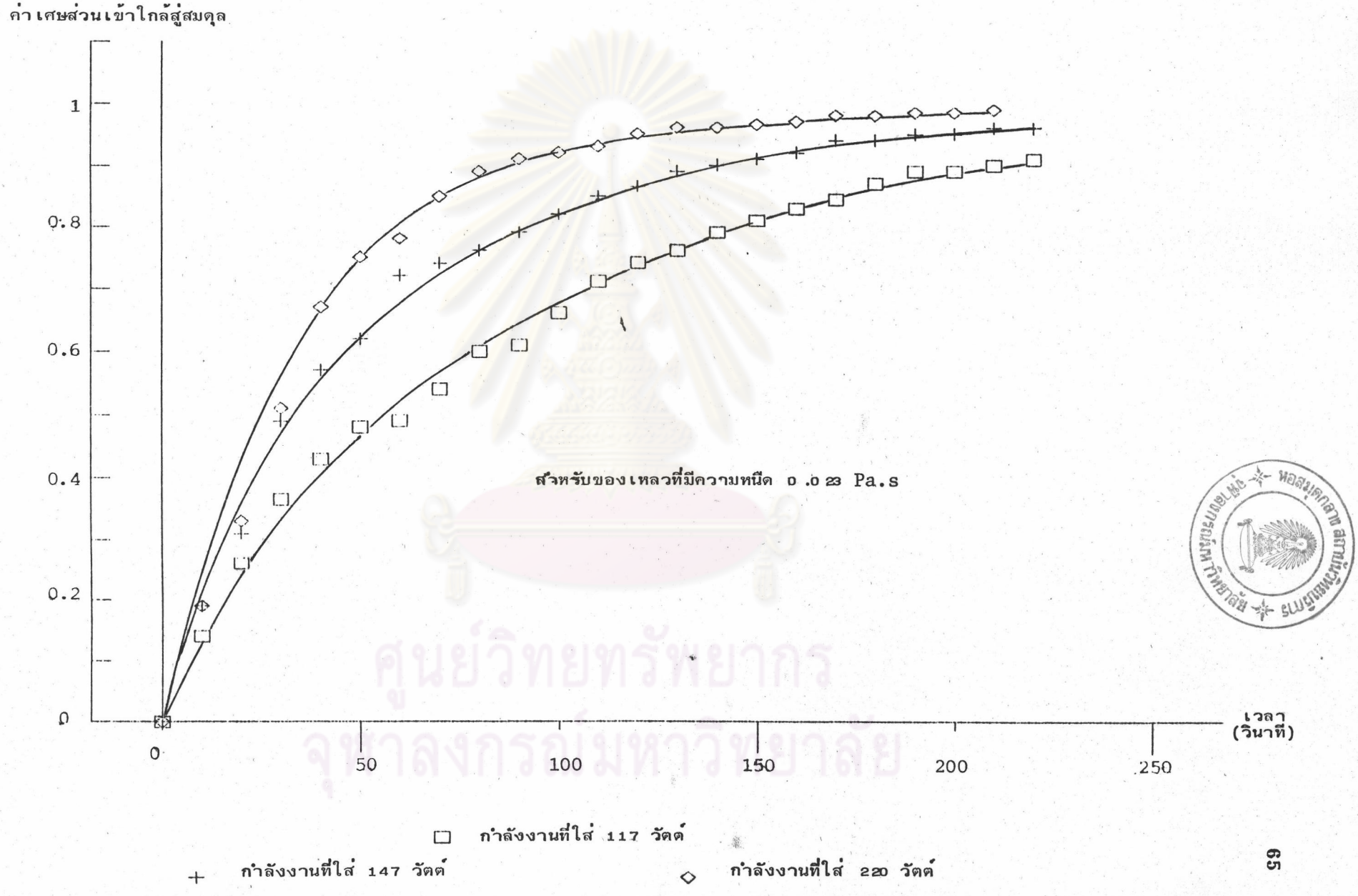


□ กำลังงานที่ใส่ 117 วัตต์

\+ กำลังงานที่ใส่ 147 วัตต์ ◇ กำลังงานที่ใส่ 220 วัตต์

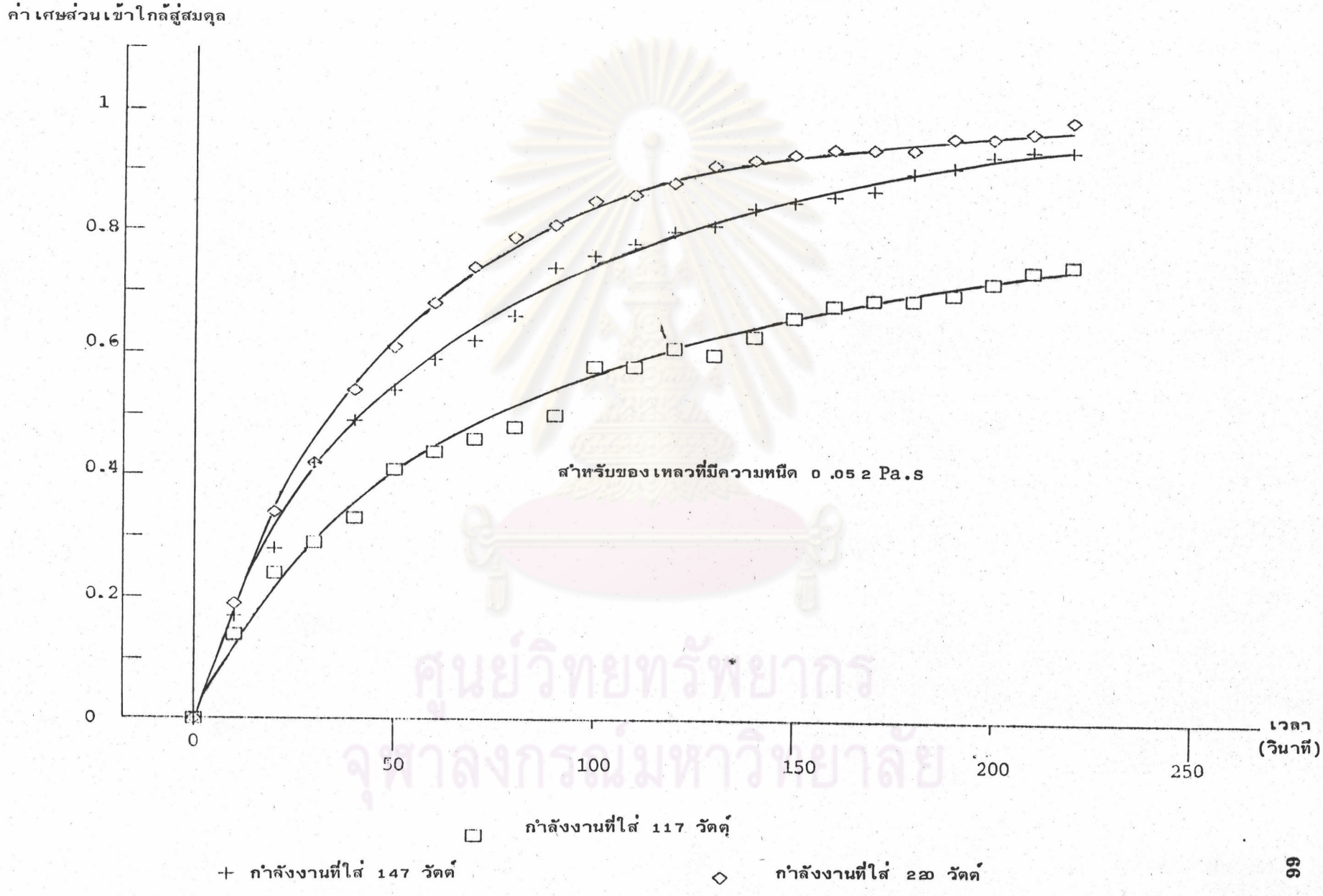
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาของน้ำเมื่อมีกำลังงานที่ใส่ต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เศษส่วน เข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาของของเหลวที่มีความหนืด 0.023Pa.s เมื่อมีกำลังงานที่ใส่ต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลกับเวลาของของเหลวที่มีความหนืด 0.052 Pa.s เมื่อมีกำลังงานที่ใส่ต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย