

บทที่ ๔

ผลการทดลอง



จากบทแรกในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี พบว่าระบบฟลูอิดโต เซชันสามสถานะนี้เป็นระบบที่ดัดแปลงเพิ่มเติมจากระบบของ Bubble Column เพียงแต่เติมปริมาณของเม็ดทรงกลมของแข็งเข้าไปใน Bubble Column เม็ดของแข็งเหล่านี้จะหมุนเวียนและกลายเป็นฟลูอิดโตซ์เบดเกิดขึ้นในหอทดลอง เม็ดของแข็งยังช่วยให้ฟองก๊าซที่ใหญ่แตกออกเป็นฟองเล็ก ๆ หรือจากฟองเล็ก ๆ รวมตัวกันเกิดเป็นฟองใหญ่ได้ แล้วแต่ขนาดของเม็ดของแข็งที่ใช้ ดังที่ LEE et al⁽¹⁹⁾ ได้พบว่าถ้าขนาดของเม็ดของแข็งที่มีค่าของ Weber มากกว่า ๓ เม็ดของแข็งนั้นสามารถทำให้ฟองก๊าซแตกตัวได้ ถ้าเม็ดของแข็งนั้นมีค่า Weber น้อยกว่า ๓ ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของฟองก๊าซ กลายเป็นฟองใหญ่ขึ้น ค่าของ Weber สามารถแสดงได้ดังนี้

$$We = \frac{\rho_s U_B^2 d_p}{\sigma} \quad (42)$$

ρ_s = ความหนาแน่นของของแข็ง

U_B = ความเร็วของฟองก๊าซ

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดทรงกลมของแข็ง

σ = แรงตึงผิวของของเหลว

การทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะระบบฟลูอิดโต เซชันสามสถานะ เท่านั้น โดยใช้เม็ดของแข็งที่ทำด้วย PVC ขนาด ๐.๗๘ ซม. จำนวน ๓๐๐ เม็ด และ ๖๐๐ เม็ดตามลำดับ ดังผลการทดลองข้างล่างนี้

๔.๑ ลักษณะของงานทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลงานที่ปรากฏอยู่ในเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับการศึกษาถึง hydrodynamics ของ Bubble Column และฟลูอิดไดเซชันสามสถานะยังมีอยู่น้อย และจากการวิเคราะห์ทางภาคทฤษฎีก็พอจะสรุปได้ว่า ปริมาณของก๊าซที่ค้างอยู่ในหอทดลอง (Gas hold-up) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ เป็นสมการยกกำลัง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (38)

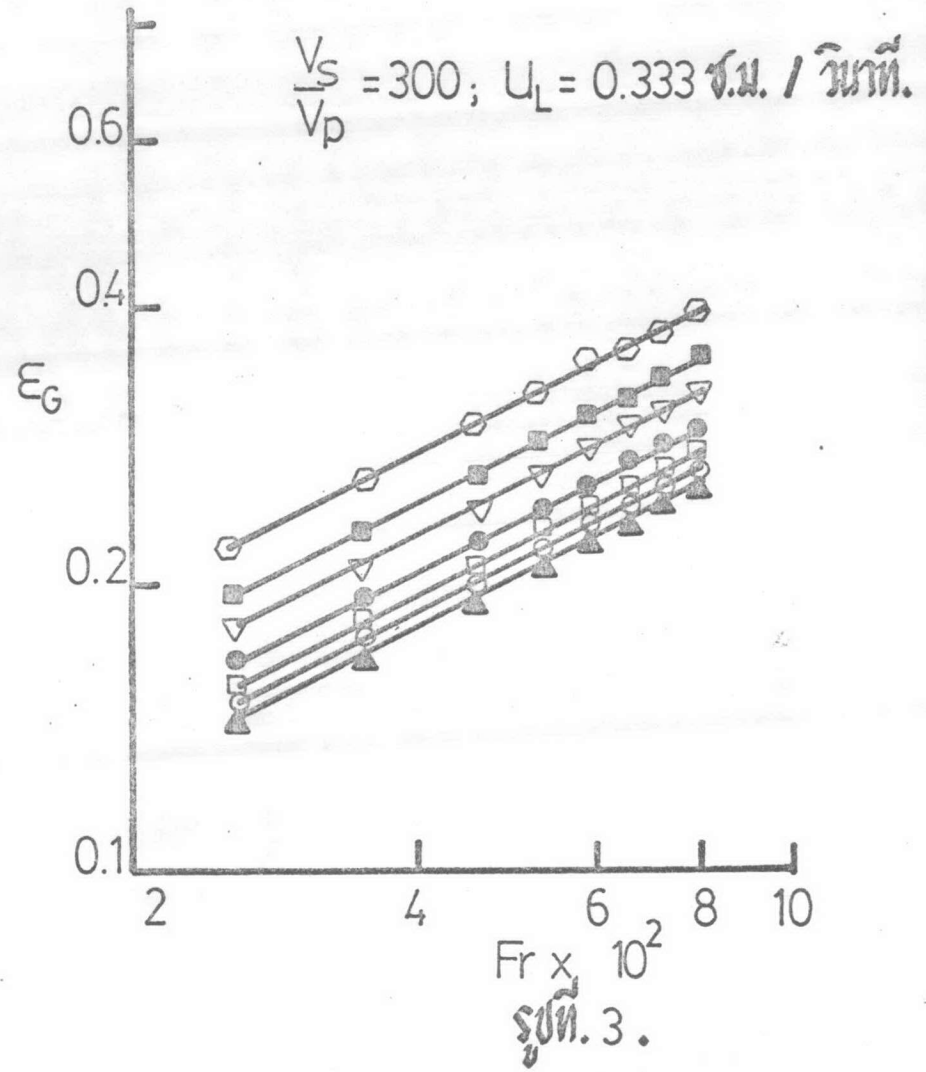
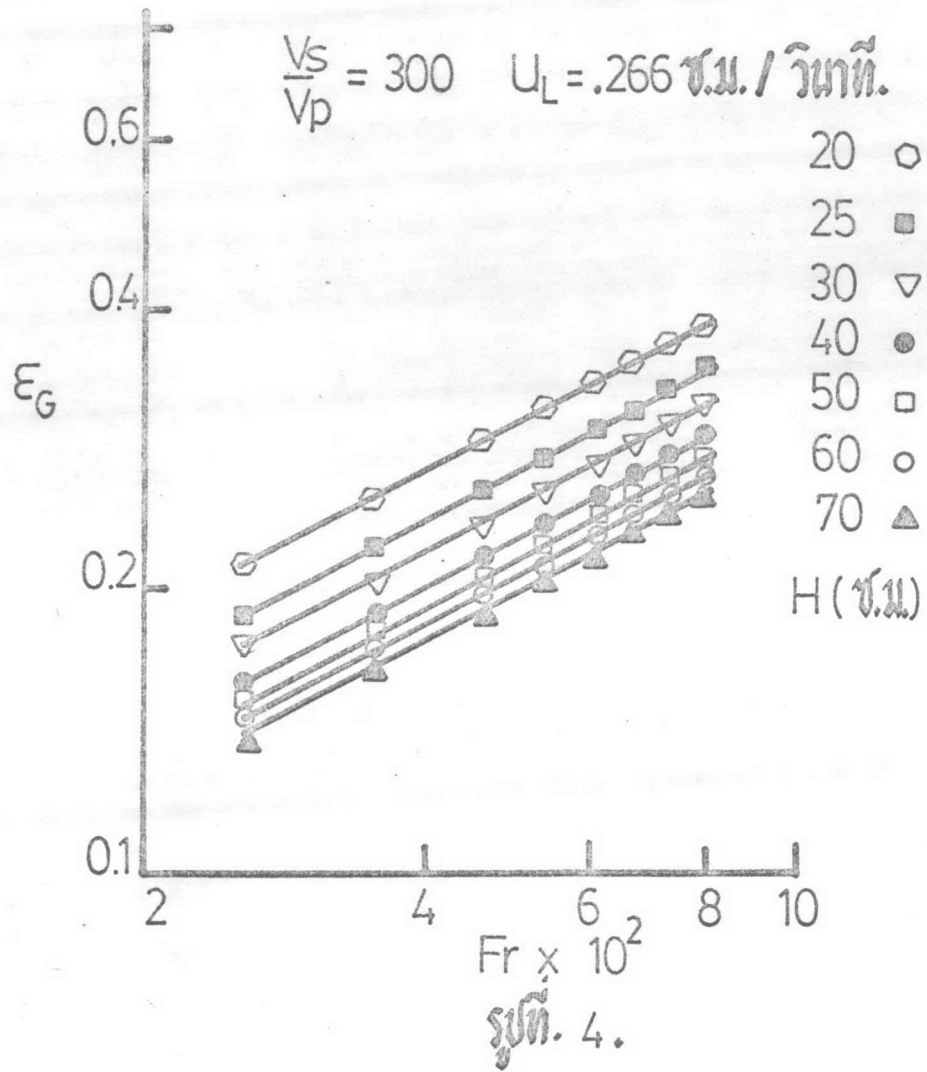
$$\epsilon_G = a_9 Fr^{b_1} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left[1 + a_7 Re_L^{b_5} + a_{10} \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{b_8} \left(\frac{H}{D_c}\right)^{b_9} \right] \quad (38)$$

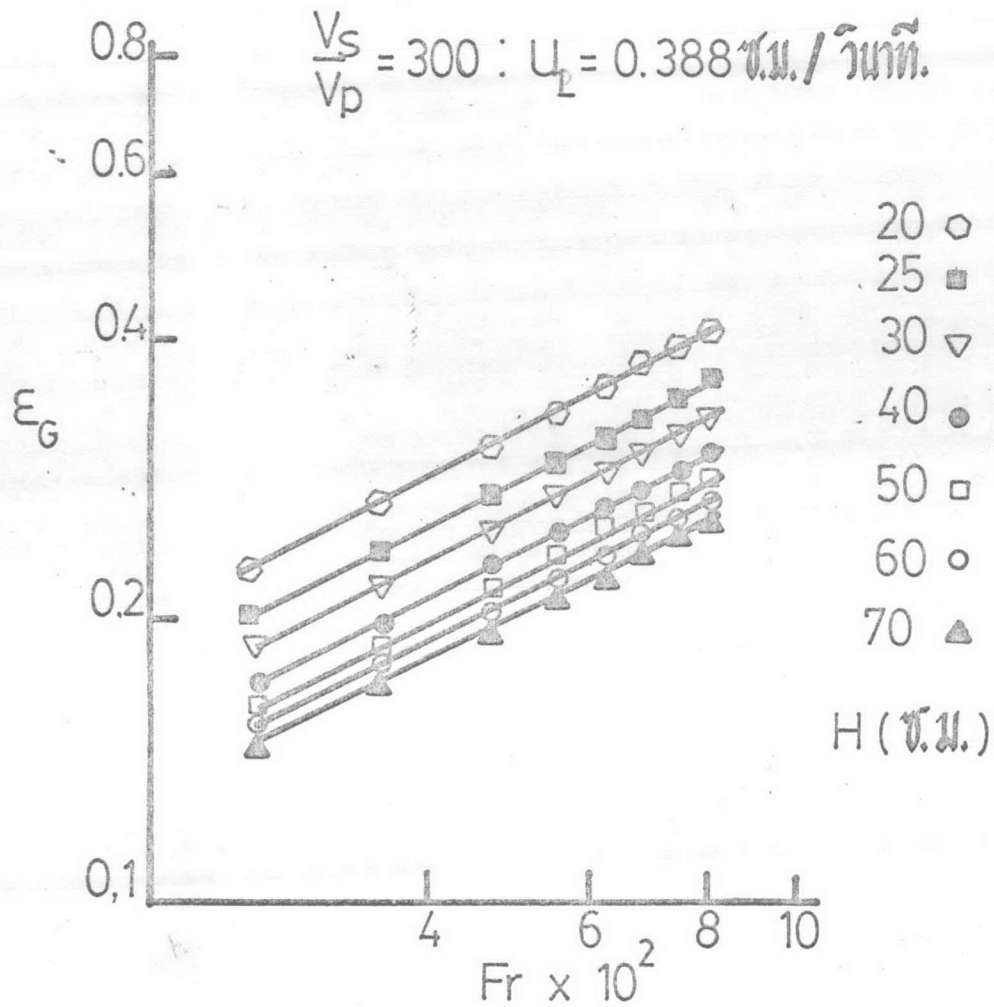
๔.๒ ศึกษาอิทธิพลของความเร็วก๊าซ หรือ Froude number (Fr)

การทดลองในแต่ละอนุกรมได้กระทำที่ความสูงของเบต, ความเร็วของของเหลว (น้ำ), และปริมาณของของแข็งคงที่ ส่วนความเร็วของก๊าซถูกเพิ่มทีละน้อยจากความเร็วต่ำสุดจนถึงความเร็วสูงสุด พบว่าอุณหภูมิของก๊าซและน้ำเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ๒°ซ. กล่าวโดยสรุปเป็นการทดลองที่รักษาค่าของ Liquid Reynolds number, ปริมาณความสูง และเทอมต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้น Froude number เป็นเทอมที่มีความเร็วของก๊าซรวมอยู่ด้วย

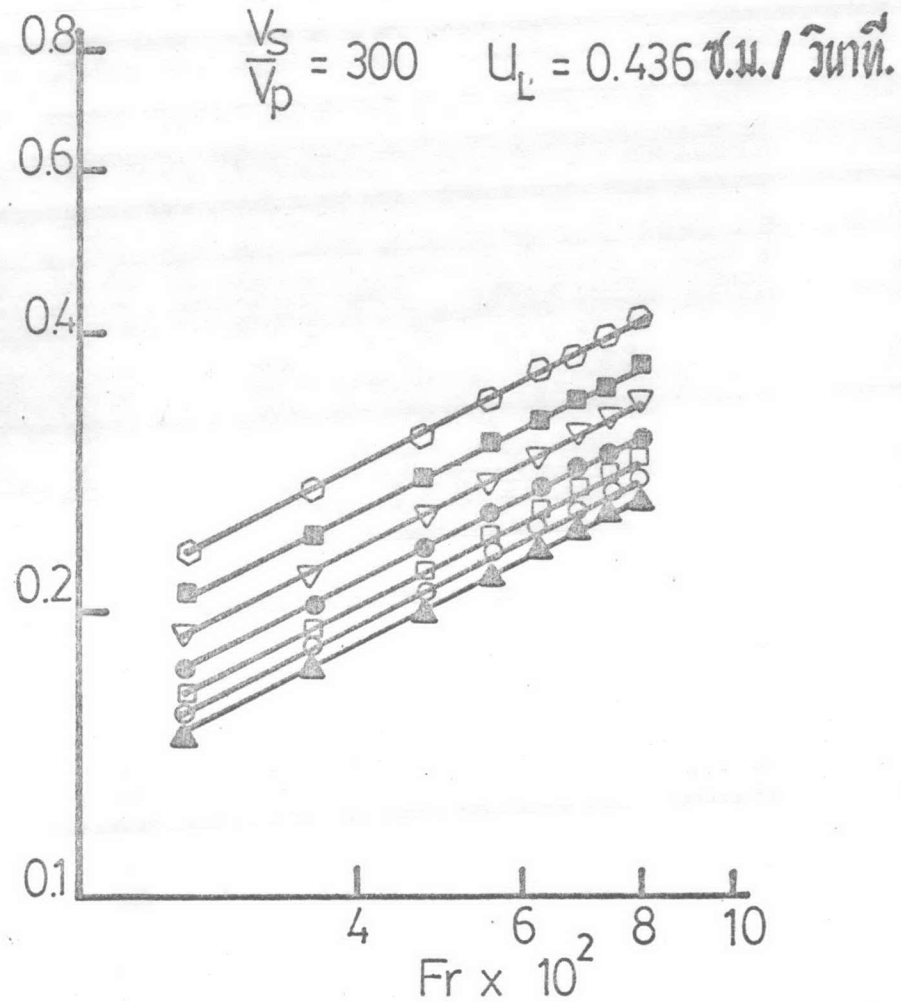
๔.๒.๑ ผลการทดลอง

ได้กระทำการทดลอง ๘๕ อนุกรม ทั้งหมดนี้สามารถปรับค่าของ Froude no. ได้ตั้งแต่ 3.0×10^{-2} ถึง 4.95×10^{-2} ที่ความสูงของเบตตั้งแต่ ๒๐ ซม. ถึง ๗๐ ซม. นำผลการทดลองทั้งหมดมาแสดงในรูปที่ ๓ ถึง ๑๖ โดยทำการ plot ระหว่างค่าของปริมาณของก๊าซและปริมาณของ Froude number ในมาตราส่วนแบบ logarithmics พบว่าจุดที่ได้จากการทดลองแต่ละอนุกรมเรียงกันอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน และแนวเส้นตรงของแต่ละอนุกรมมีลักษณะขนานกันด้วย ค่าความชันของเส้นตรงสามารถหาได้ด้วยวิธี least square method ค่าของความชันเหล่านี้ถูกรวบรวมไว้ในตารางที่ ๑ และตารางที่ ๒

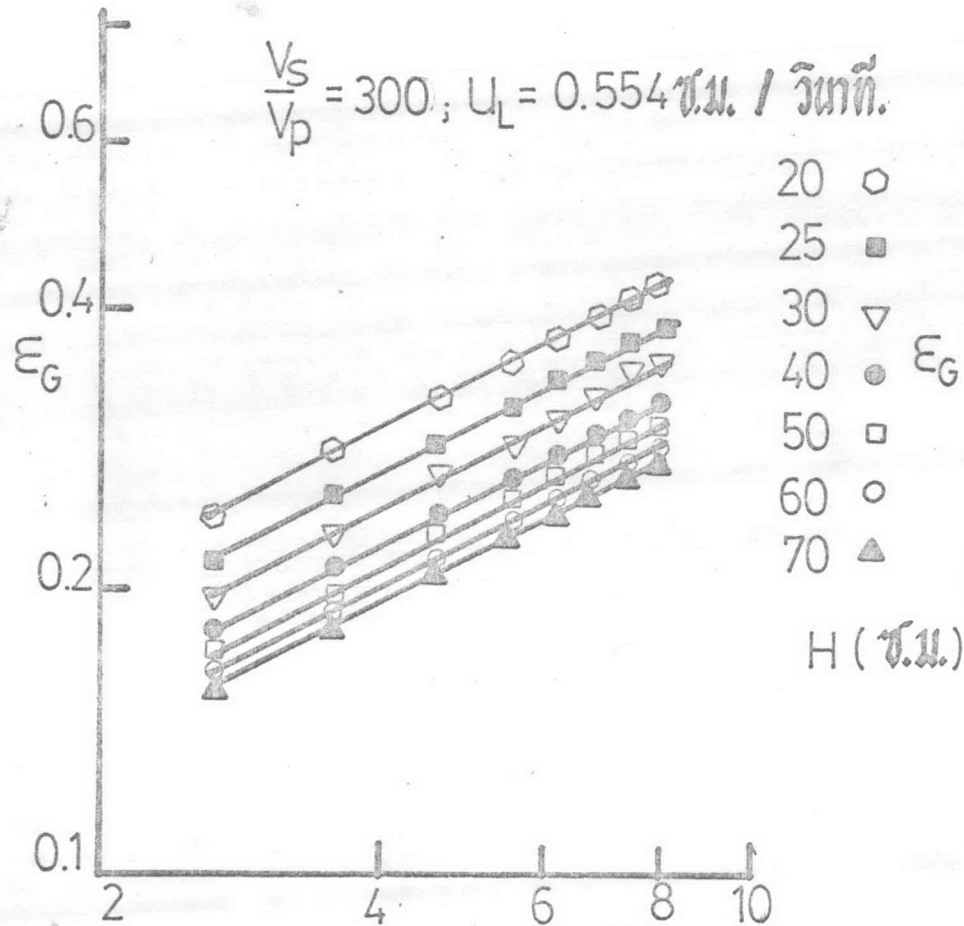




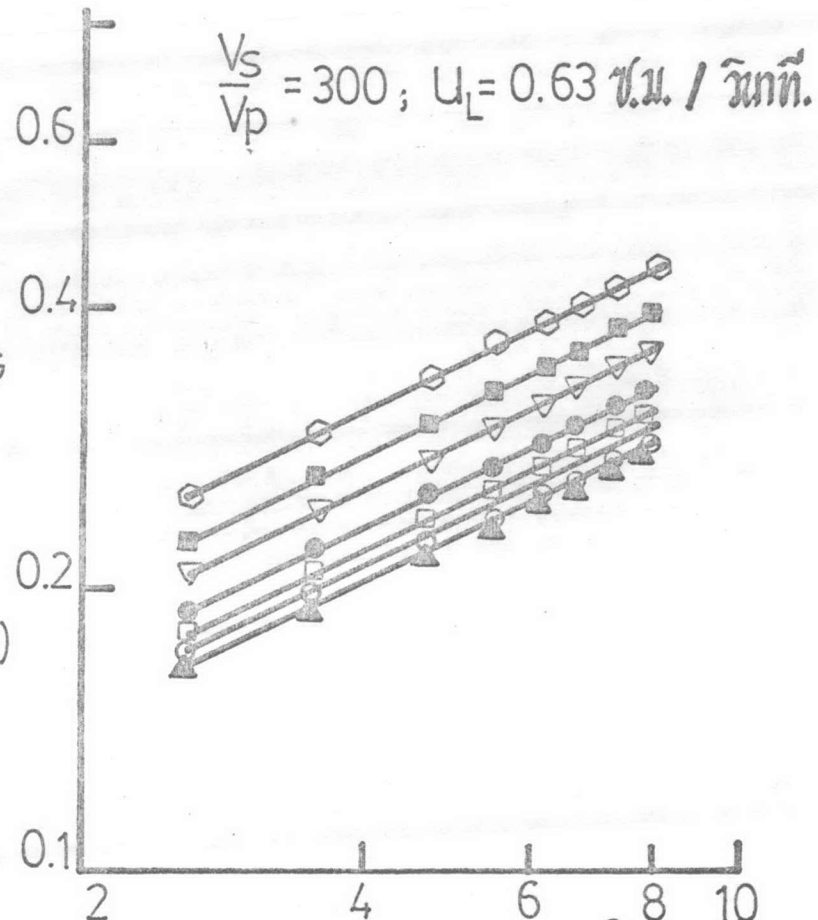
รูปที่ 5.



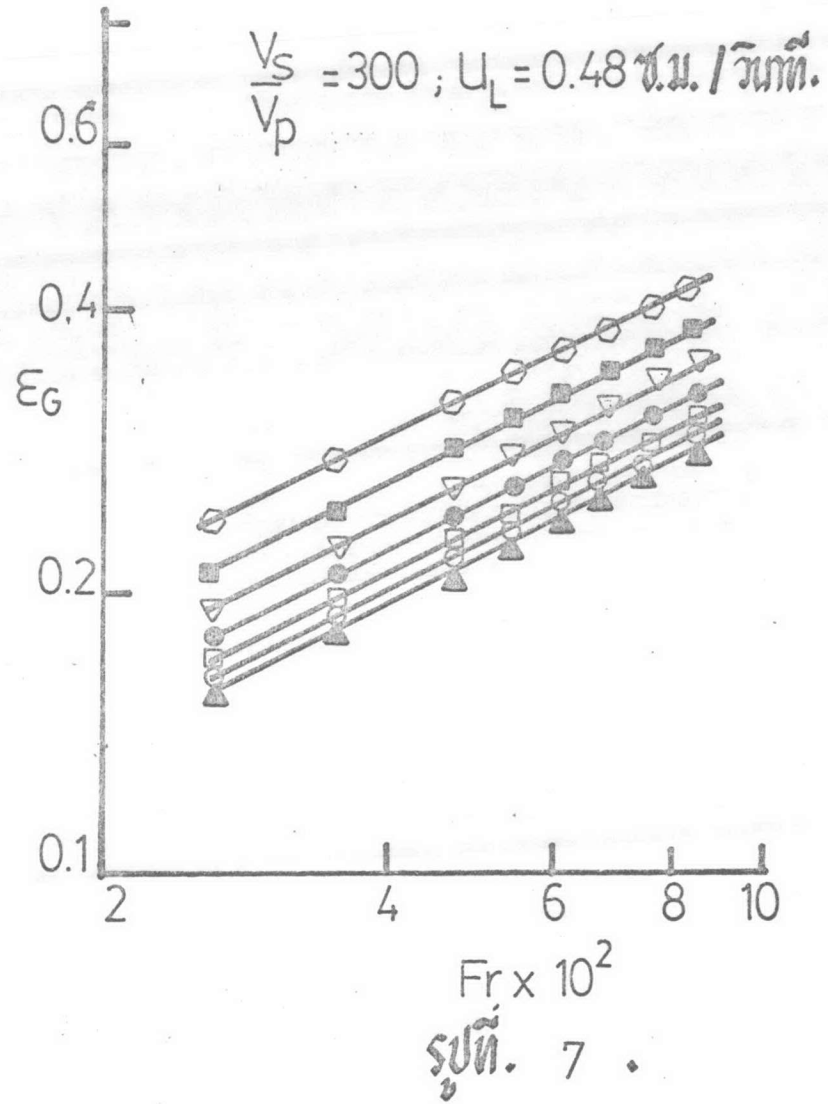
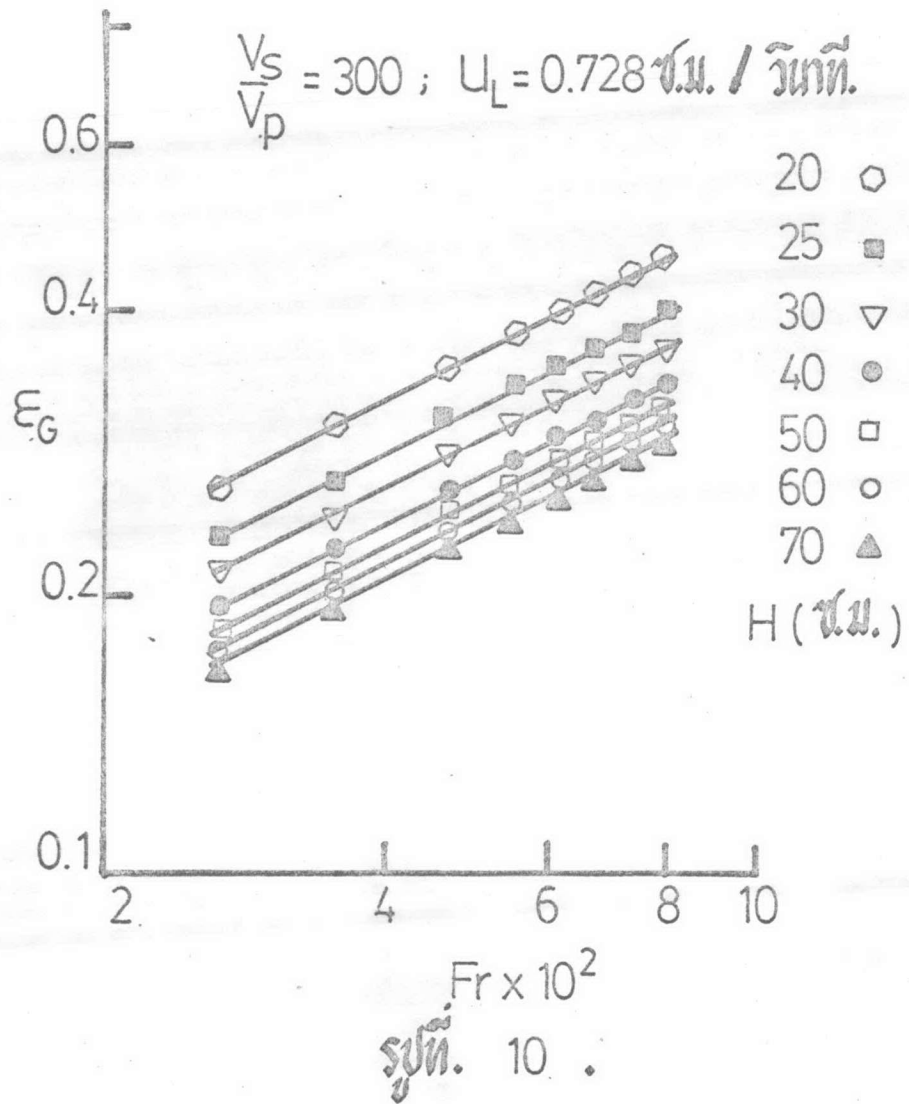
รูปที่ 6.

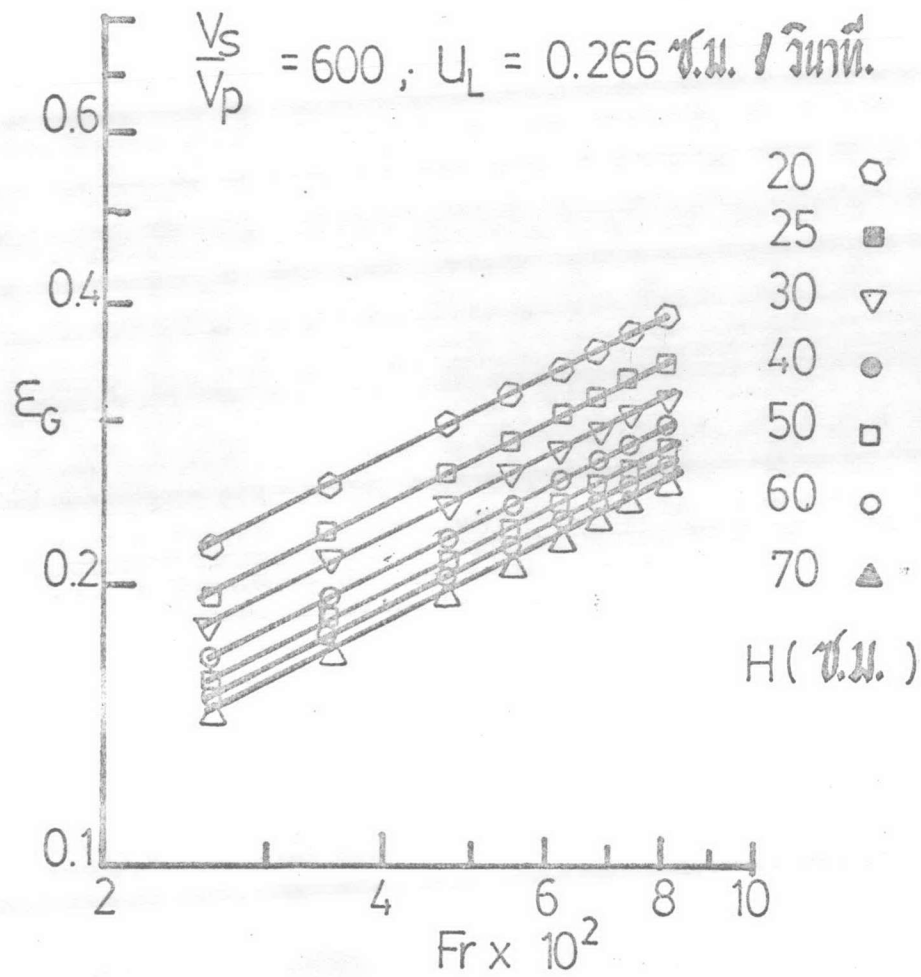


Fr x 10²
รูปที่ 8.

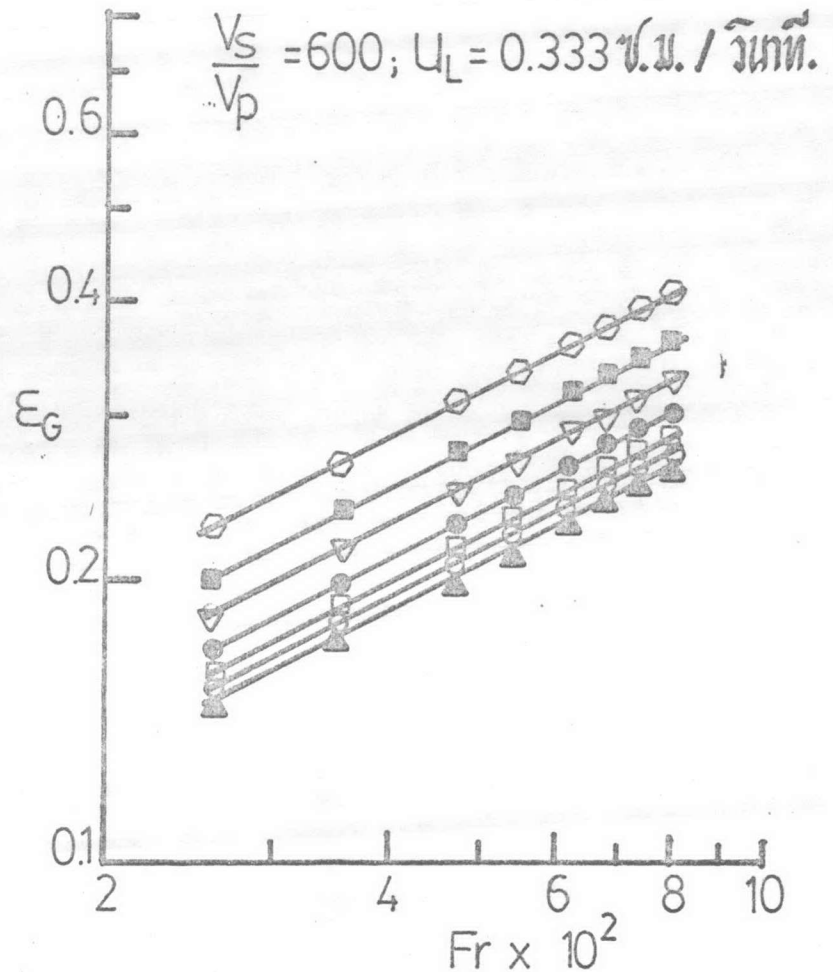


Fr x 10²
รูปที่ 9.

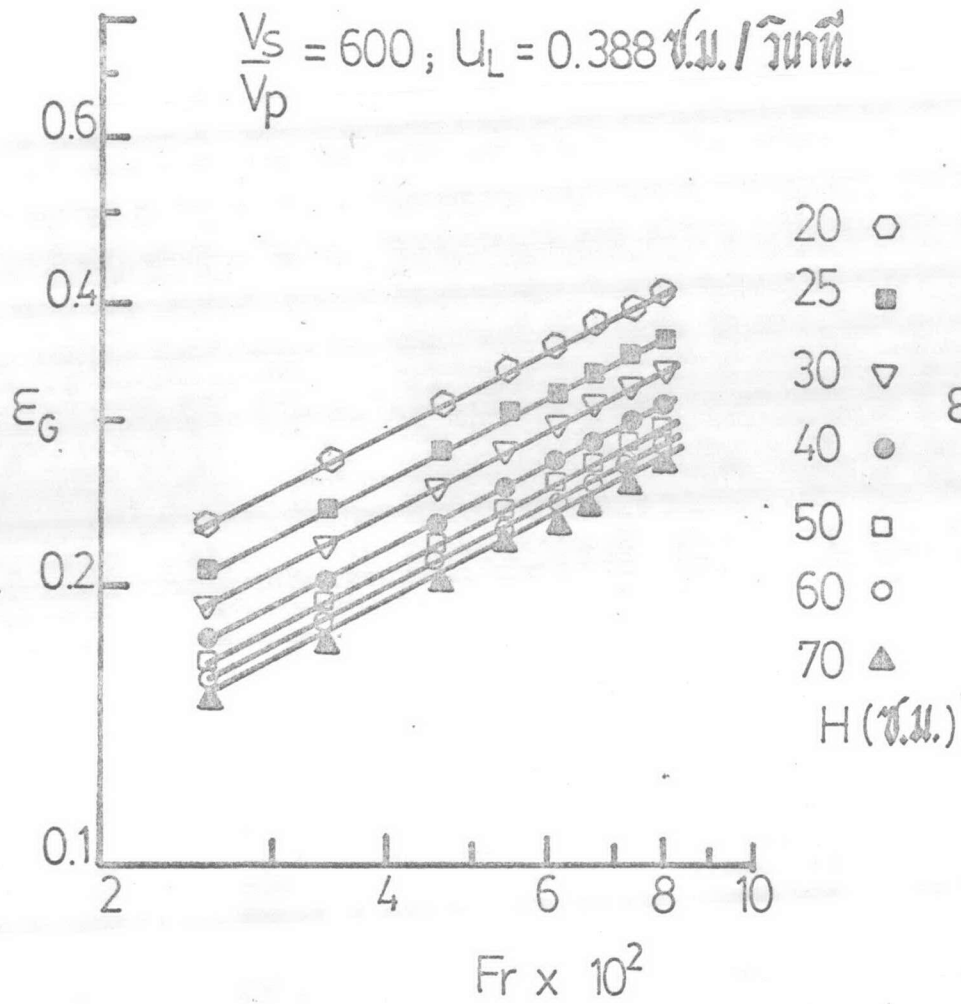




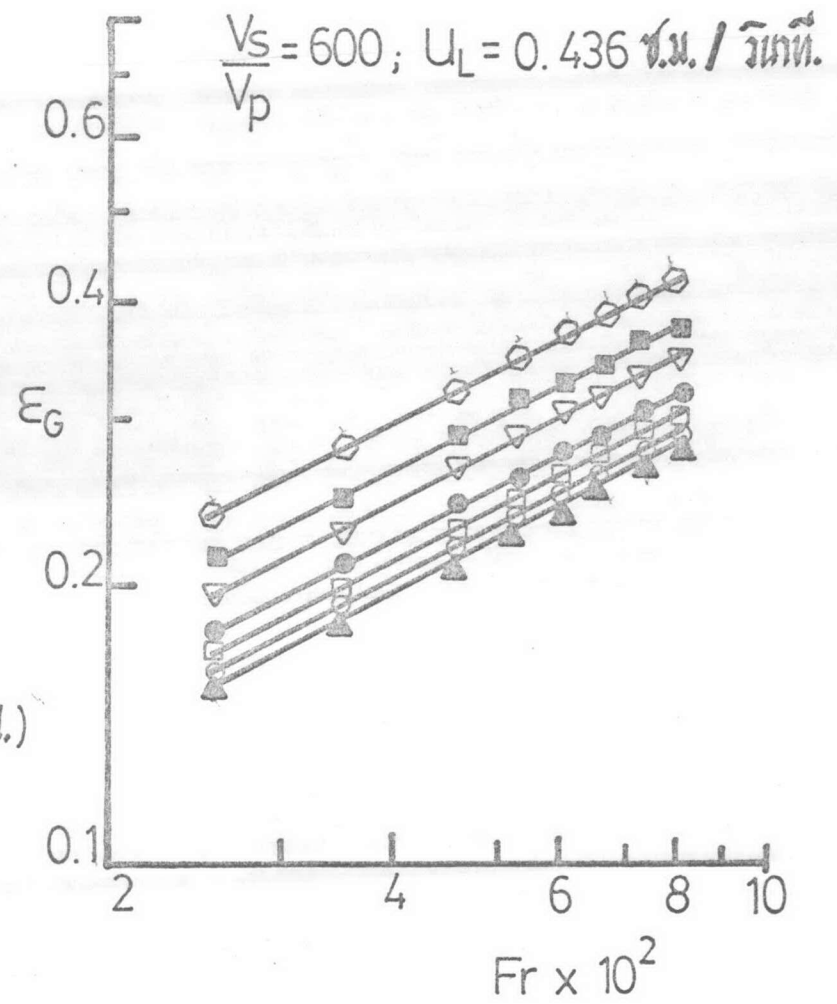
รูปที่. 11.



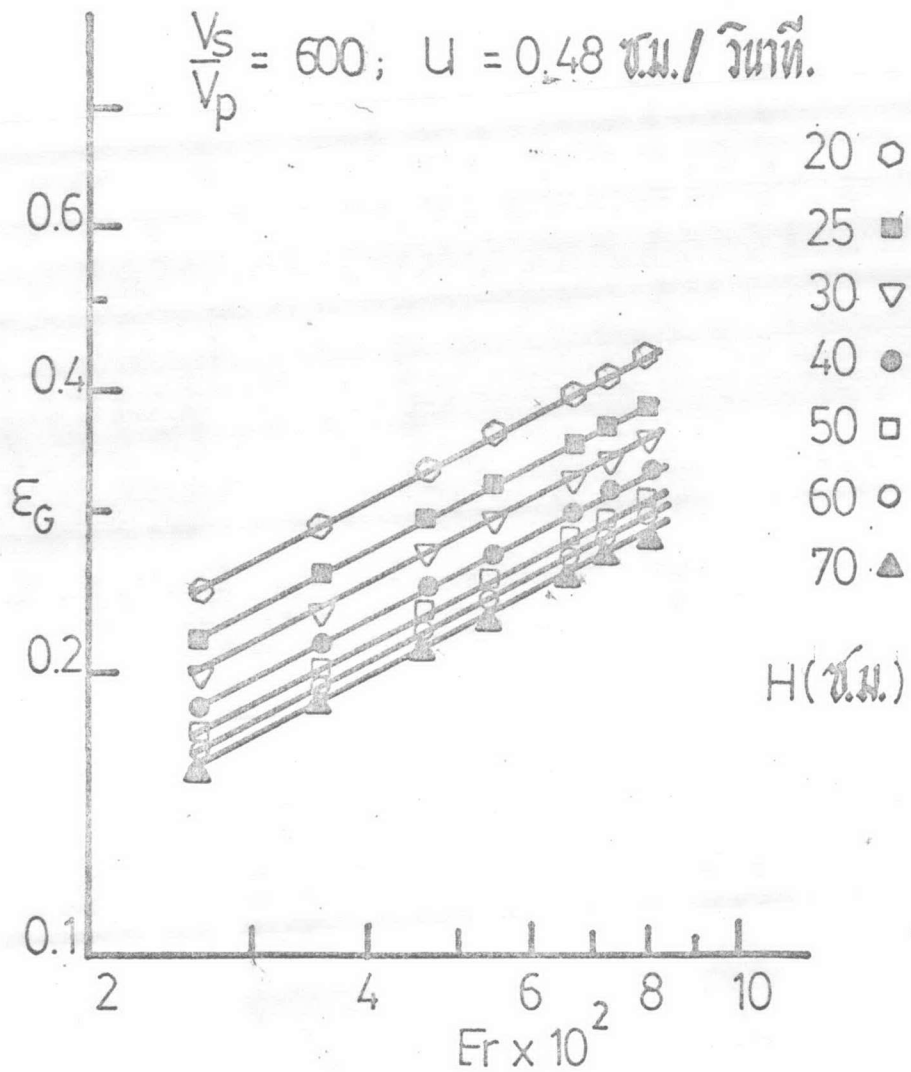
รูปที่. 12.



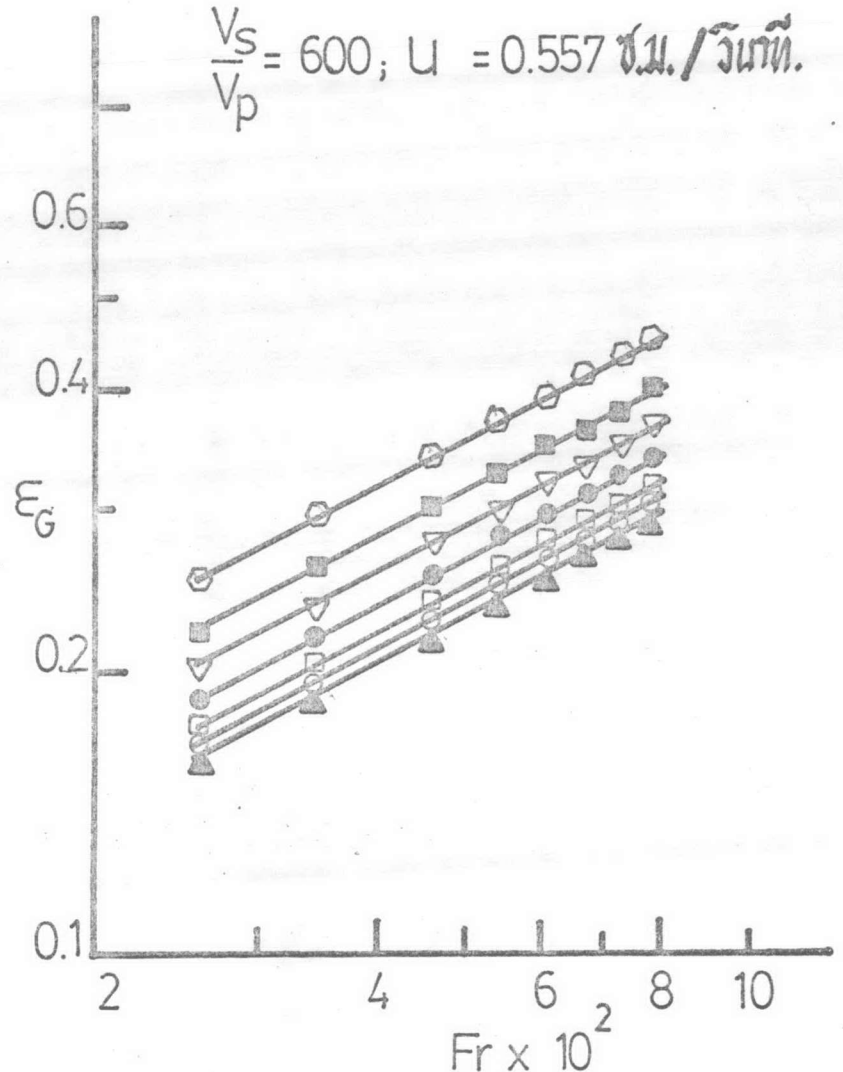
รูปที่ 13.



รูปที่ 14.



รูปที่. 15.



รูปที่. 16.

ตารางที่ ๑

จำนวนเม็ดพลาสติก ๓๐๐ เม็ด

ความสูง ของ เบด (ซม.)	ความชื้นของเส้นตรง							
	$U_L=0.266$ ชม./วินาที	$U_L=0.333$ ชม./วินาที	$U_L=0.388$ ชม./วินาที	$U_L=0.436$ ชม./วินาที	$U_L=0.480$ ชม./วินาที	$U_L=0.554$ ชม./วินาที	$U_L=0.633$ ชม./วินาที	$U_L=0.728$ ชม./วินาที
20	0.510	0.515	0.512	0.497	0.504	0.503	0.501	0.510
25	0.512	0.500	0.512	0.510	0.508	0.499	0.498	0.501
30	0.517	0.509	0.510	0.513	0.495	0.505	0.498	0.504
40	0.514	0.510	0.503	0.502	0.506	0.506	0.491	0.512
50	0.502	0.508	0.502	0.502	0.508	0.507	0.497	0.514
60	0.510	0.506	0.512	0.506	0.515	0.491	0.500	0.512
70	0.499	0.503	0.497	0.503	0.512	0.494	0.506	0.503

ตารางที่ ๒

จำนวน เม็ดพลาสติก ๖๐๐ เม็ด

ความสูง ของเบด (ซม.)	ความชื้นของเส้นตรง					
	$U_L = 0.266$ ซม./วินาที	$U_L = 0.333$ ซม./วินาที	$U_L = 0.388$ ซม./วินาที	$U_L = 0.436$ ซม./วินาที	$U_L = 0.480$ ซม./วินาที	$U_L = 0.554$ ซม./วินาที
20	0.506	0.511	0.512	0.503	0.509	0.515
25	0.512	0.519	0.510	0.516	0.515	0.511
30	0.511	0.515	0.516	0.514	0.510	0.518
40	0.510	0.514	0.513	0.512	0.512	0.518
50	0.513	0.516	0.514	0.519	0.511	0.519
60	0.515	0.508	0.519	0.511	0.512	0.510
70	0.503	0.515	0.519	0.509	0.511	0.510

นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ ๐.๕๐๔ จะเห็นว่าผลการทดลองที่วัดได้แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยนี้ไม่เกินร้อยละ ๒.๐ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าเฉลี่ยนี้เป็นค่ายกกำลังของ Froude number ได้

๔.๓ ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของขนาดของท่อทดลองต่อความสูงของเบด

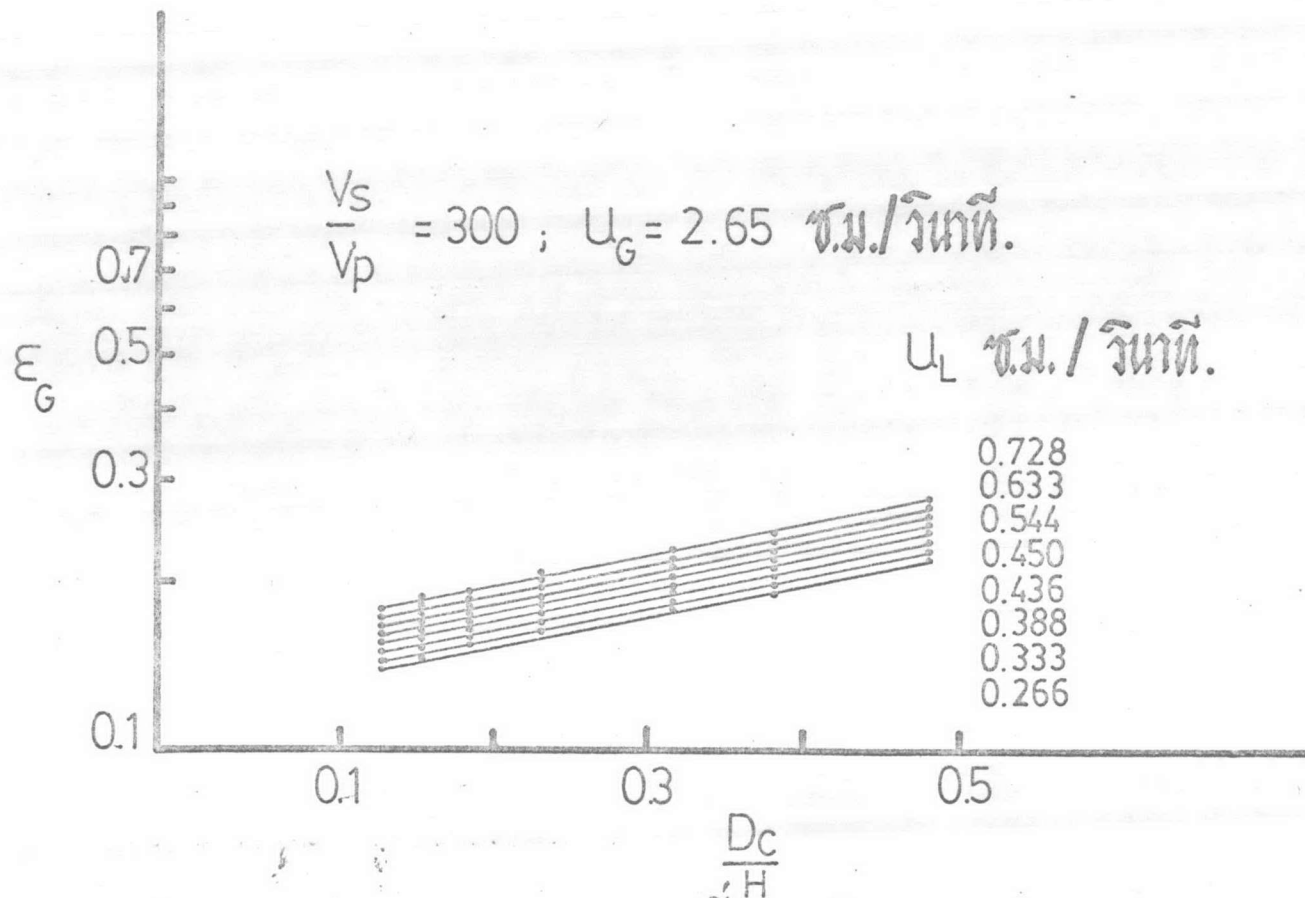
การศึกษาถึงอิทธิพลของความสูงของเบด สามารถกระทำได้โดยพยายามรักษาความเร็วของน้ำและของก๊าซให้คงที่อยู่ตลอดการทดลอง จากนั้นค่อย ๆ เปลี่ยนความสูงของเบดจากน้อยไปมาก หรือจากมากกลับมาน้อยก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้ขนาดและจำนวนของเม็ดของแข็ง เท่ากันตลอดการทดลองด้วย

๔.๓.๑ ผลการทดลอง

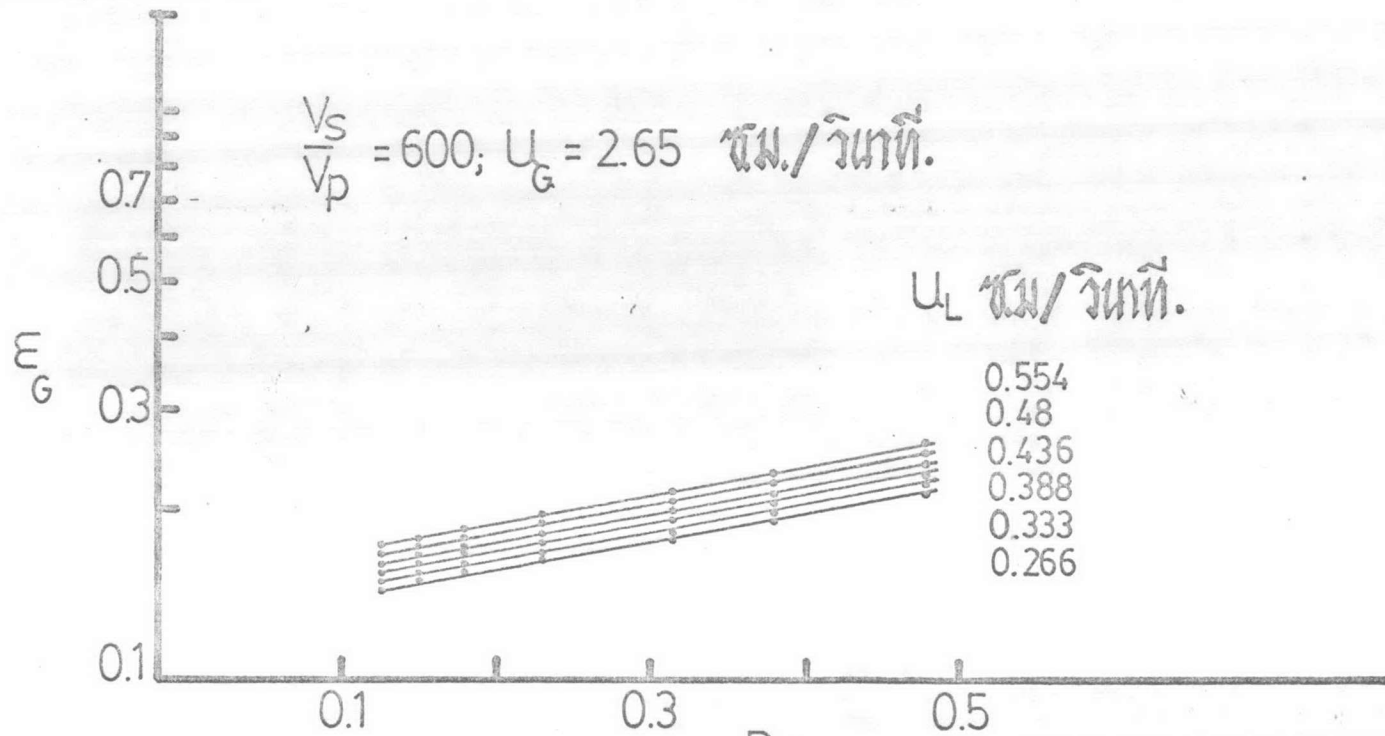
ผลการทดลองจำนวน ๑๔ อนุกรมได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ ๑๗ และ ๑๘ ในรูปที่ ๑๗ ใช้เม็ดของแข็งจำนวน ๓๐๐ เม็ด ความเร็วของก๊าซ ๒.๖๕ ซม.ต่อวินาที พบว่าในแต่ละอนุกรมที่แต่ละความเร็วของของเหลว เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมา plot หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_G และ $\frac{D}{H}$ พบว่าจุดเหล่านั้นเรียงอยู่ในแนวเส้นตรงบนมาตราส่วน semi-logarithmic เส้นตรงของแต่ละอนุกรมายังขนานกันอีกด้วย ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_G และ $\frac{D}{H}$ จะเป็นแบบ exponential ของ $\frac{D}{H}$ แทนที่จะเป็นแบบยกกำลังดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (38) เมื่อเขียนใหม่จะได้สมการอยู่ในรูปของ

$$\epsilon_G = a_9 Fr^{b_1} \exp b_3 \left(\frac{D}{H} \right) \left[1 + a_7 Re_L^{b_5} + a_{10} \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^{b_8} \left(\frac{H}{D} \right)^{b_9} \right] \quad (43)$$

ในรูปที่ ๑๘ เป็นผลการทดลองที่ใช้จำนวนเม็ดของของแข็ง ๖๐๐ เม็ด ความเร็วของก๊าซ ๒.๖๕ ซม.ต่อวินาที ผลการทดลองที่วัดได้มีลักษณะคล้ายกัน ผลการทดลองในรูปที่ ๑๘ กำหนดหาค่าความชันของเส้นตรงเหล่านี้ด้วยวิธี least square method ผลที่ได้ถูกรวบรวมไว้ทั้งหมดอยู่ในตารางที่ ๓ และ ๔



สม. 17.



$\frac{D_C}{H}$
 รูปที่. 18.

ตารางที่ ๓

จำนวนเม็ดพลาสติก ๓๐๐ เม็ด

ความเร็วของน้ำ ชม./วินาที	ความชื้น
0.266	1.458
0.333	1.436
0.388	1.472
0.436	1.435
0.480	1.410
0.554	1.441
0.633	1.440
0.728	1.440

ตารางที่ ๔

จำนวนเม็ดพลาสติก ๖๐๐ เม็ด

ความเร็วของน้ำ ชม./วินาที	ความชื้น
0.266	1.436
0.333	1.464
0.388	1.478
0.436	1.456
0.480	1.433
0.554	1.426