



## REFERENCES

1. Beverloo, W.A., Leniger, H.A. and Van de Velde, J.,  
Chem. Engng. Sci., 15, 260-269, 1961
2. Davidson, J.F. and Nedderman, R.M., Trans. Instn. Chem. Engrs., 51, 29-31, 1973
3. Spink, C.D., Ph.D. Thesis, University of Cambridge, 1974
4. Bingham, E.C. and Wikoff, R.W., Rheology, 2, 395, 1931
5. Brown, R.L. and Richards, J.C., Principles of Powder Mechanics, Oxford: Pergamon Press, 1970
6. Brown, R.L. and Hawksley, P.G.W., Fuel, 26, 159-173, 1947
7. Brown, R.L. and Richards, J.C., Trans. Instn. Chem. Engrs., 38, 243-256, 1960
8. Brown, R.L., Nature, 191, 458-461, 1961
9. Perry, M.G. and Handley, M.F., Trans. Instn. Chem. Engrs., 45, 361-371, 1967
10. Richards, J.C., Brit. Coal Util. Res. Assoc. Members' Private Information Circular No. 267, 1962
11. Roscoe, K.H., Geotechnique, 20, 129, 1970
12. Janssen, H.A., Zeits. d. Vereins Deutsch Ing., 39(35), 1045-1049, 1895 (German)
13. Nedderman, R.M. and Tüzün, U., Powder technology, 1978, Paper 243-253

14. Caughey , R.A. , Tooles , C.W. and Scheer , A.C. , Bull.  
172, Iowa Engng. Expt. Stn. Iowa State Coll.  
Bull., 50(24) , 1-32 , 1951
15. Deming , W.E. and Mehring , A.L., Ind. Engng. Chem. ,  
29 , 661 , 1929
16. Rausch , J.M. , Ph.D. Thesis , University of Princeton ,  
1949
17. Franklin , F.C. and Johanson , L.N. , Chem. Engng. Sci. ,  
4 , 119-129 , 1955
18. Newton , R.H., Dunham , G.S. and Simpson , T.P. , Trans.  
Am. Inst. Chem. Engrs. , 41 , 215 , 1945
19. Takahasi , K. , Geophys. Mag. (Tokyo) , 11 , 165 , 1937
20. Brown , R.L. and Richards , J.C. , Rheologica Acta ,  
4(3) , 153-165 , 1965
21. Jenike , A.W. , Bull. 108 , Utah Engng. Expt. Stn. ;  
Bull. Univ. Utah , 52 , 1961
22. Loahakul, C., Ph.D. Thesis , University of  
Cambridge , 1978
23. Brown , R.L. and Richards , J.C. , Trans. Instn. Chem.  
Engrs. , 37 , 108-119 , 1959

ח. הנהגות.



ตารางที่ 3.1.2

เส้นผ่าศูนย์กลางของรูและมุมครึ่งของกรวย

เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง* $\alpha$ (องศา)	ค่าเฉลี่ย ของมุมครึ่ง (องศา)	เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง $\alpha$ (องศา)	ค่าเฉลี่ย ของมุมครึ่ง (องศา)
1.8	9.1		1.8	13.1	
2.0	9.1		2.0	13.7	
2.3	9.1	9.3 $\pm$ 0.4	2.2	13.0	13.3 $\pm$ 0.6
2.6	9.2		2.4	12.4	
3.2	10.1		2.9	14.3	
3.3	9.4		3.3	13.5	
1.8	18.0		1.8	22.6	
2.0	17.2		2.0	22.3	
2.3	17.6	18.1 $\pm$ 0.6	2.2	21.8	22.2 $\pm$ 0.4
2.6	18.4		2.6	22.6	
2.8	18.5		2.7	21.7	
3.3	18.6		3.3	22.4	
1.9	28.4				
2.1	27.3				
2.4	27.5	27.6 $\pm$ 0.5	-	-	-
2.6	27.0				
2.8	27.3				
3.3	28.0				

\*  $\alpha$  คือมุมระหว่างแนวคิ่งกับผนังของกรวย

ตารางที่ 3. 2.1

จำนวนการกระจายขนาดของชาวสาร

คานกว้างคานที่ 1 ของชาวสาร		
เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ.ม.)	จำนวนของเม็ด	ความถี่ (%)
0.175-0.180	1	0.31
0.180-0.185	1	0.31
0.185-0.190	5	1.56
0.190-0.195	1	0.31
0.195-0.200	18	5.63
0.200-0.205	7	2.19
0.205-0.210	37	11.56
0.210-0.215	21	6.56
0.215-0.220	77	24.06
0.220-0.225	25	7.81
0.225-0.230	50	15.63
0.230-0.235	24	7.50
0.235-0.240	38	11.88
0.240-0.245	4	1.25
0.245-0.250	7	2.19
0.250-0.255	1	0.31
0.255-0.260	2	0.63
0.260-0.265	1	0.31

คานกว้างคานที่ 1 เฉลี่ย = 0.223 ซ.ม.  
 มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.010 ซ.ม.

ทอ :

คานกว้างคานที่ 2 ของชาวสาร		
เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ.ม.)	จำนวนของเมล็ด	ความถี่ (%)
0.135-0.140	2	0.62
0.140-0.145	4	1.25
0.145-0.150	6	1.87
0.150-0.155	6	1.87
0.155-0.160	41	12.77
0.160-0.165	29	9.03
0.165-0.170	76	23.68
0.170-0.175	47	14.64
0.175-0.180	71	22.12
0.180-0.185	24	7.48
0.185-0.190	11	3.43
0.190-0.195	3	0.93
0.195-0.200	1	0.31
คานกว้างคานที่ 2 เฉลี่ย = 0.173 ซ.ม. มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.009 ซ.ม.		

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย} = \frac{\text{คานกว้างคานที่ 1} + \text{คานกว้างคานที่ 2}}{2}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของชาวสาร} = 0.198 \text{ ซ.ม.}$$

ค่านยาวของชาวสาร		
เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ.ม.)	จำนวนของเมล็ด	ความถี่ (%)
0.620-0.640	8	2.51
0.640-0.660	12	3.77
0.660-0.680	17	5.35
0.680-0.700	46	14.47
0.700-0.720	53	16.67
0.720-0.740	54	16.98
0.740-0.760	67	21.07
0.760-0.780	37	11.64
0.780-0.800	20	6.29
0.800-0.820	1	0.31
0.820-0.840	2	0.63
0.840-0.860	1	0.31
ค่านยาวเฉลี่ยของชาวสาร = 0.738 ซ.ม. มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.024 ซ.ม.		

### ตารางที่ 3.2.2

จำนวนการกระจายขนาดของถั่วเขียว

ค่านกว้างคานที่ 1 ของถั่วเขียว		
เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ.ม.)	จำนวนของเมล็ด	ความถี่ (%)
0.300-0.350	2	1.16
0.350-0.400	96	55.49
0.400-0.450	71	41.04
0.450-0.500	4	2.31
ค่านกว้างคานที่ 1 เฉลี่ย = 0.407 ซ.ม. มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.026 ซ.ม.		

คย :

คานวางคานที่ 2 ของถั่วเขียว		
เสนยาคูนบกลาง (ช.ม.)	จำนวนของเมล็ด	ความถี่ (%)
0.300-0.350	10	5.78
0.350-0.400	82	47.40
0.400-0.450	68	39.31
0.450-0.500	13	7.51
คานวางคานที่ 2 เฉลี่ย = 0.409 ช.ม. มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.032 ช.ม.		

เสนยาคูนบกลางเฉลี่ยของถั่วเขียว = 0.408 ช.ม.

คานยาวของถั่วเขียว		
เสนยาคูนบกลาง (ช.ม.)	จำนวนของเมล็ด	ความถี่ (%)
0.400-0.450	4	2.31
0.450-0.500	22	12.72
0.500-0.550	48	27.75
0.550-0.600	62	35.84
0.600-0.650	18	10.41
0.650-0.700	13	7.51
0.700-0.750	3	1.73
0.750-0.800	3	1.73
คานยาวเฉลี่ยของถั่วเขียว = 0.569 ช.ม. มาตรฐานแห่งความคลาดเคลื่อน = 0.035 ช.ม.		



ตารางที่ 3.2.3

ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหลของ เมล็ดพืช  
ทำการทดลองโดยไซ้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม.

เส้นผ่าศูนย์กลาง ของท่อ (ซ.ม.)	ข้าวสาร		ถั่วเขียว	
	$e_p = 1.43$ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	$E_f$	$e_p = 1.34$ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	$E_f$
	$e_f$ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	$E_f$	$e_f$ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	$E_f$
15.4	$0.86 \pm 0.02$	0.40	$0.84 \pm 0.01$	0.38
13.1	$0.80 \pm 0.01$	0.45	$0.85 \pm 0.01$	0.37
10.2	$0.82 \pm 0.03$	0.43	$0.87 \pm 0.01$	0.35
8.1	$0.81 \pm 0.01$	0.43	$0.86 \pm 0.01$	0.36
5.3	$0.84 \pm 0.01$	0.41	$0.87 \pm 0.01$	0.35
4.0	$0.85 \pm 0.01$	0.41	$0.90 \pm 0.01$	0.35
ค่าเฉลี่ย	$0.83 \pm 0.03$	$0.42 \pm 0.02$	$0.87 \pm 0.02$	$0.36 \pm 0.02$

ตารางที่ 3.2.4

ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหลของ เมล็ดพืช  
ทำการทดลองโดยไซ้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8.10 ซม.

เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหลของ เมล็ดพืช (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	
	ข้าวสาร	ถั่วเขียว
2.0	$0.81 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$
2.3	$0.81 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$
2.6	$0.81 \pm 0.00$	$0.87 \pm 0.01$
2.9	$0.80 \pm 0.01$	$0.87 \pm 0.01$
3.1	$0.80 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$
3.6	$0.80 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$
ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหล	$0.81 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$

ตารางที่ 3.2.5

มุมแห่งความเสียดทาน (มุมของการสิ้นโดล)

เมตริกซ์	มุมของการสิ้นโดล ( $\theta_s$ ) (องศา)			
	ผนัง พลาสติก	ผนัง สังกะสี	ผนัง เมตริกซ์	ผนัง กระดาษทราย
ข้าวสาร	22.5 ± 1.0	24.7 ± 0.4	30.8 ± 0.3	41.5 ± 0.4
ถั่วเขียว	16.8 ± 0.8	16.6 ± 0.5	25.5 ± 2.2	35.0 ± 0.4

ตารางที่ 4.2.1 อัตรามวลการไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังเรียบ (กรัม/วินาที)

เมล็ดพืช : ข้าวสาร

จำนวนครั้งของการทดลอง : 15 ครั้ง/1 รุ

เลขมาตรฐาน กลางของท่อ (ซ.ม.)	เลขมาตรฐานกลางของรู (ซ.ม.)										
	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.6	3.9	4.6	5.1
15.4	18.2 ±1.9	22.7 ±1.6	42.8 ±2.6	68.2 ±4.0	95.7 ±3.5	126.2 ±3.3	154.7 ±3.8	233.4 ±10.0	322.7 ±9.0	454.9 ±12.5	571.8 ±12.9
13.1	18.3 ±1.8	25.9 ±2.2	39.7 ±2.5	66.6 ±2.6	86.1 ±3.3	120.2 ±7.7	166.7 ±6.5	253.0 ±7.4	281.2 ±9.6	439.8 ±23.9	648.6 ±35.6
10.2	17.2 ±1.6	24.6 ±1.5	41.6 ±3.7	66.3 ±4.1	97.1 ±3.9	124.2 ±3.7	150.2 ±6.3	216.0 ±7.6	297.6 ±4.6	498.1 ±31.2	514.9 ±21.8
8.1	19.3 ±2.3	25.9 ±1.4	45.4 ±2.3	64.1 ±4.7	87.0 ±2.8	126.9 ±4.4	164.6 ±7.9	252.7 ±5.8	271.3 ±20.5	283.8 ±4.3	334.6 ±11.5
5.3	18.9 ±1.9	24.3 ±3.3	44.7 ±2.4	58.2 ±2.9	61.6 ±3.0	71.7 ±1.7	84.6 ±2.0	121.5 ±2.7	142.9 ±1.8	354.0 ±20.8	1083.8 ±55.1
4.0	-	16.6 ±1.7	19.7 ±1.9	25.1 ±2.7	42.0 ±1.8	64.8 ±1.9	97.3 ±2.4	216.0 ±9.4	536.9 ±29.6	-	-

ตารางที่ 4.2.2 อัตราการผลิตไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังเรียบ (กรัม/วินาที)

เมล็ดพืช : ถั่วเขียว

จำนวนครั้งของการทดลอง . 15 ครั้ง/1 รุ

เลขมาตรฐานกลางของท่อ (ซ.ม.)	เลขมาตรฐานกลางของรู (ซ.ม.)									
	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.6	3.9	4.6	5.1
15.4	22.7 ±0.9	38.2 ±0.8	61.5 ±2.3	84.3 ±1.3	115.5 ±1.5	143.6 ±2.1	209.9 ±1.6	259.4 ±4.2	406.4 ±5.9	565.4 ±4.2
13.1	22.0 ±1.5	37.2 ±0.6	59.2 ±0.6	84.6 ±1.3	116.3 ±2.2	145.9 ±3.1	214.7 ±0.7	255.2 ±4.0	397.5 ±4.4	548.6 ±9.6
10.2	21.3 ±2.8	36.1 ±0.7	58.6 ±0.8	84.1 ±1.4	114.2 ±1.3	143.3 ±2.6	209.0 ±4.6	251.4 ±2.7	404.0 ±3.8	557.5 ±4.3
8.1	20.5 ±2.5	35.0 ±0.9	55.5 ±0.9	79.5 ±0.7	103.2 ±1.8	134.1 ±1.7	207.4 ±2.0	245.3 ±4.4	387.6 ±6.3	555.5 ±9.4
5.3	18.2 ±1.4	32.8 ±1.4	54.2 ±1.1	76.1 ±0.9	103.4 ±1.4	131.7 ±0.9	207.8 ±2.5	260.4 ±3.2	534.3 ±24.2	1075.7 ±41.5
4.0	20.7 ±2.3	30.9 ±1.0	51.6 ±0.7	77.6 ±1.7	118.6 ±1.3	155.0 ±3.0	278.3 ±3.7	569.7 ±11.7	-	-

ตารางที่ 4.2.3 อัตรามวลการไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังขรุขระ (กรัม/วินาที)

จำนวนครั้งของการทดลอง : 10 ครั้ง / 1 รู

เมตริกซ์	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (ซ.ม.)	เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)									
		1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.6	8.9	4.6	5.1
ขาสาร	10.2	22.1 ±1.0	41.5 ±2.4	65.1 ±2.7	96.3 ±2.3	126.4 ±0.5	238.3 ±5.3	242.1 ±6.8	293.2 ±3.5	460.9 ±10.9	666.4 ±18.6
	8.1	22.2 ±1.1	43.3 ±2.5	55.2 ±4.1	98.7 ±2.5	121.7 ±2.1	166.8 ±7.0	226.0 ±5.2	330.4 ±5.1	470.9 ±10.0	580.2 ±16.0
	5.3	21.8 ±2.2	45.0 ±2.7	75.7 ±5.5	104.3 ±4.1	129.4 ±1.9	134.7 ±0.7	174.8 ±7.1	219.4 ±4.1	499.1 ±10.3	—
ถ้วยเก็บ	10.2	22.9 ±2.6	39.1 ±0.7	58.7 ±0.3	82.2 ±1.1	116.5 ±2.2	140.1 ±2.1	202.1 ±2.0	264.5 ±4.0	431.1 ±6.8	571.2 ±6.0
	8.1	20.7 ±2.5	33.3 ±0.7	56.7 ±0.8	92.0 ±4.0	10.5 ±1.4	144.0 ±0.9	219.0 ±0.7	258.3 ±3.0	444.4 ±10.1	637.5 ±9.3
	5.3	22.6 ±2.0	34.5 ±1.1	61.7 ±1.0	85.0 ±3.8	130.3 ±1.7	158.8 ±0.2	257.6 ±3.9	339.8 ±9.6	510.0 ±18.2	—

ตารางที่ 4.3.1

อัตราการปลดปล่อยไฮโดรเจนจากกรวยที่มีผนังเรียบ

จำนวนครั้งของการทดลอง : 10 ครั้ง / 1 รู

เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง $\alpha$ (องศา)	อัตราการปลดปล่อย (กรัม/วินาที)			
		ขาจร		ตัวเขี้ยว	
		y = 10	y = 5	y = 10	y = 5
1.8	9.1	48.9 ± 2.4	52.3 ± 0.9	53.9 ± 1.0	55.0 ± 1.0
2.0	9.1	106.2 ± 0.9	108.9 ± 1.2	108.1 ± 1.0	111.5 ± 1.4
2.3	9.1	138.0 ± 1.8	139.0 ± 1.9	141.2 ± 0.9	148.4 ± 2.3
2.6	9.2	207.7 ± 1.8	207.4 ± 1.9	227.1 ± 0.8	237.6 ± 5.2
3.2	10.1	362.0 ± 1.2	372.0 ± 3.5	379.4 ± 2.5	385.6 ± 1.6
3.3	9.4	380.7 ± 3.0	383.5 ± 2.8	434.4 ± 1.7	442.6 ± 1.4
1.8	13.1	51.1 ± 0.8	51.2 ± 0.9	51.5 ± 0.6	53.4 ± 1.0
2.0	13.7	78.3 ± 1.4	78.3 ± 1.1	79.9 ± 0.8	80.9 ± 1.0
2.2	13.0	88.2 ± 0.5	89.9 ± 1.3	92.3 ± 1.0	94.4 ± 1.6
2.4	12.4	110.2 ± 1.2	110.7 ± 2.0	114.4 ± 0.7	115.4 ± 1.0
2.9	14.3	197.3 ± 1.6	198.1 ± 2.8	204.0 ± 1.4	211.2 ± 1.7
3.3	13.5	253.5 ± 1.0	256.3 ± 1.3	261.4 ± 1.9	272.1 ± 3.9
1.8	18.0	38.7 ± 1.1	38.8 ± 0.9	41.4 ± 0.4	42.3 ± 0.8
2.0	17.2	70.6 ± 1.0	72.7 ± 1.8	75.6 ± 0.6	78.3 ± 1.1
2.3	17.6	93.1 ± 1.2	93.9 ± 1.8	101.5 ± 1.0	105.9 ± 1.4
2.6	18.4	142.4 ± 1.3	144.4 ± 2.8	167.7 ± 0.6	176.3 ± 3.5
2.8	18.5	157.8 ± 1.2	158.1 ± 1.2	185.6 ± 0.3	191.8 ± 2.4
3.3	18.6	274.8 ± 2.6	280.7 ± 4.4	317.3 ± 1.9	325.3 ± 3.4

ข้อ :

เลขที่ศูนย์ กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง $\alpha$ (องศา)	อัตราการไหลเฉลี่ย (กรัม/วินาที)			
		ขาวสาร		ตัวเขียว	
		$y = 10$	$y = 5$	$y = 10$	$y = 5$
1.8	22.6	42.6 ± 0.6	44.2 ± 1.5	44.8 ± 0.6	46.1 ± 0.7
2.0	22.3	57.9 ± 0.8	60.9 ± 0.7	60.9 ± 0.7	62.3 ± 2.0
2.2	21.8	72.8 ± 0.9	75.9 ± 1.5	75.9 ± 0.6	77.4 ± 1.6
2.6	22.6	103.7 ± 1.8	103.7 ± 0.8	113.6 ± 0.9	116.3 ± 0.9
2.7	21.7	116.5 ± 1.1	118.7 ± 1.1	131.0 ± 1.0	135.0 ± 1.4
3.3	22.4	217.7 ± 1.6	219.8 ± 2.2	248.5 ± 1.6	457.5 ± 2.7
1.9	28.4	40.6 ± 0.9	43.3 ± 2.0	43.2 ± 0.5	44.6 ± 1.1
2.1	27.3	55.1 ± 1.4	53.8 ± 1.9	61.6 ± 0.7	63.2 ± 1.3
2.4	27.5	84.1 ± 1.4	88.6 ± 3.9	93.1 ± 0.6	97.2 ± 1.4
2.6	27.0	94.1 ± 1.9	96.4 ± 1.6	110.0 ± 0.7	113.4 ± 2.3
2.8	27.3	130.9 ± 1.5	132.9 ± 2.0	151.3 ± 1.2	157.1 ± 2.8
3.3	28.0	186.4 ± 2.9	189.7 ± 1.5	230.7 ± 1.5	236.4 ± 4.2

ตารางที่ 4.3.2

อัตราการปลดปล่อยจากทวารที่มีผนังขรุขระ

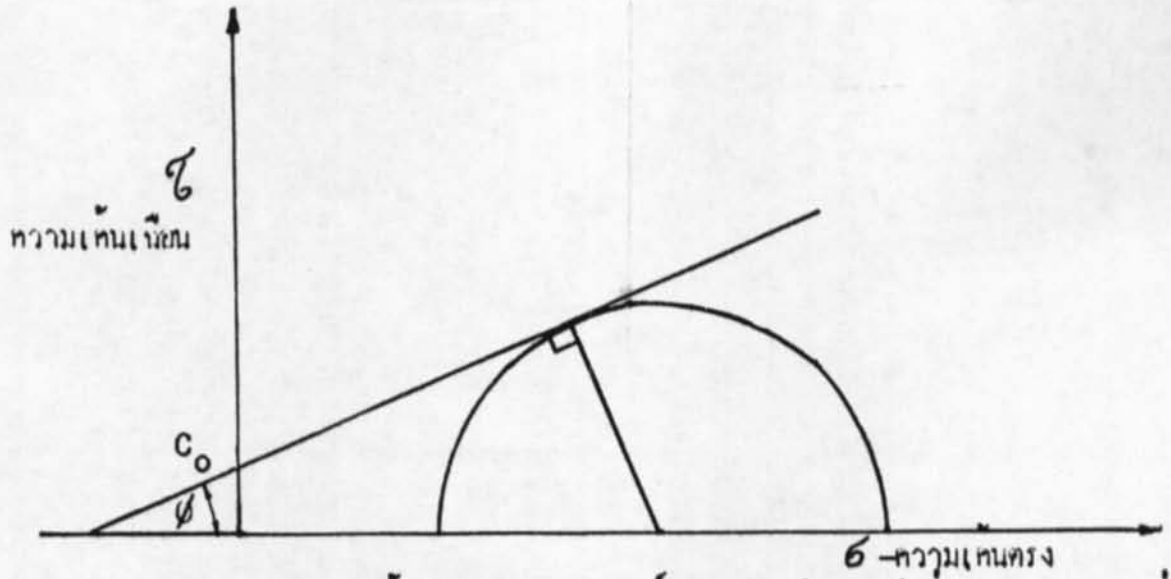
จำนวนครั้งของการทดลอง 6 ครั้ง/ 1 รู

เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง $\alpha$ (องศา)	อัตราการปลดปล่อย (กรัม/วินาที)
		ขาลสาร
		$y = 10$
1.7	22.6	$34.5 \pm 0.6$
1.9	22.3	$45.3 \pm 0.4$
2.2	21.9	$62.1 \pm 0.7$
2.5	22.7	$94.7 \pm 1.1$
2.6	21.7	$95.3 \pm 1.0$
3.2	22.5	$186.0 \pm 1.1$

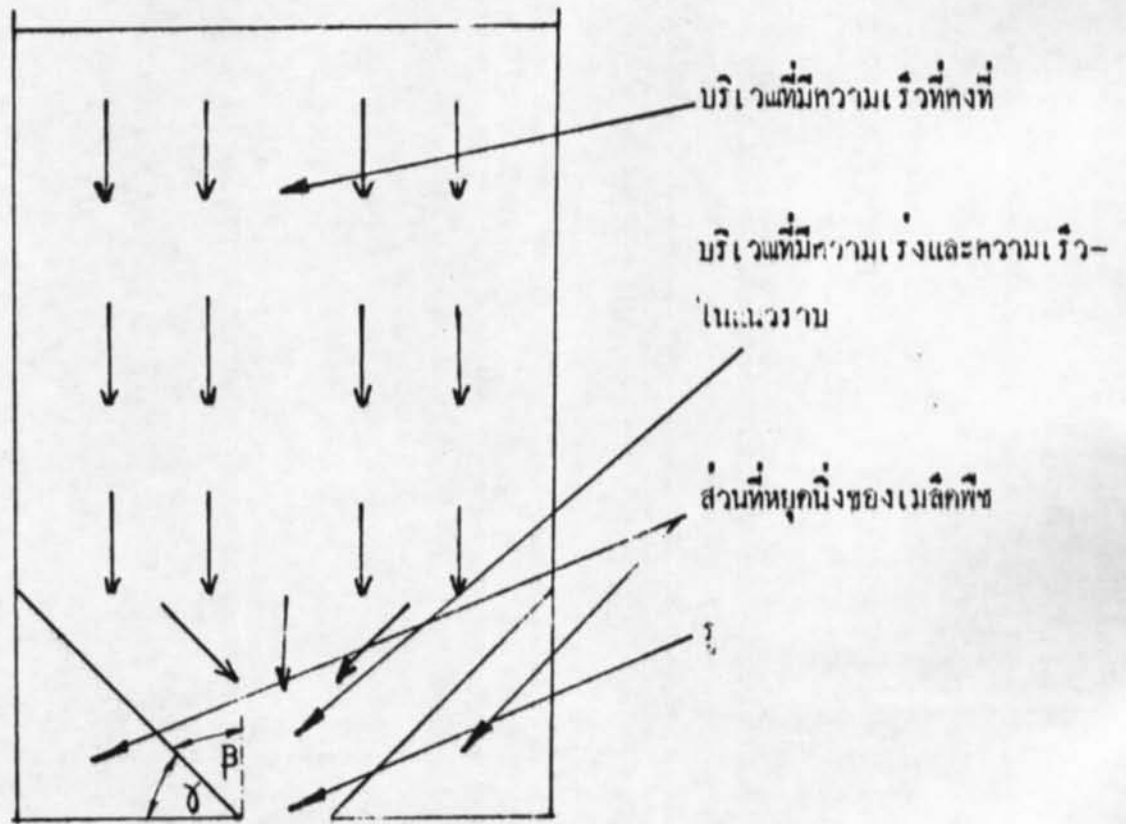
เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)	มุมครึ่ง $\alpha$ (องศา)	อัตราการปลดปล่อย (กรัม/วินาที)
		ตัวเชื่อม
		$y = 10$
1.6	22.6	$25.7 \pm 0.6$
1.7	22.3	$34.1 \pm 0.5$
2.1	21.9	$59.5 \pm 0.6$
2.5	22.7	$82.2 \pm 1.3$
2.6	21.7	$83.2 \pm 1.2$
3.0	22.5	$174.7 \pm 1.4$



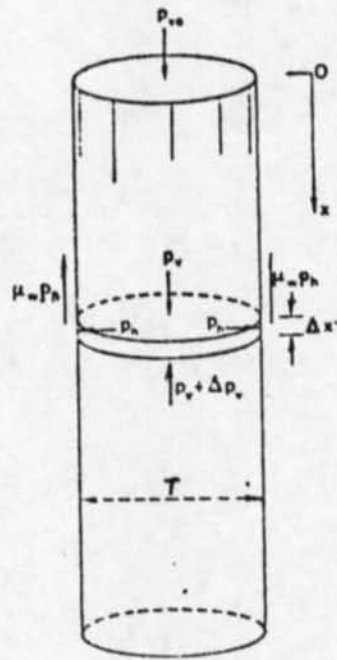
ภาคผนวก. ข



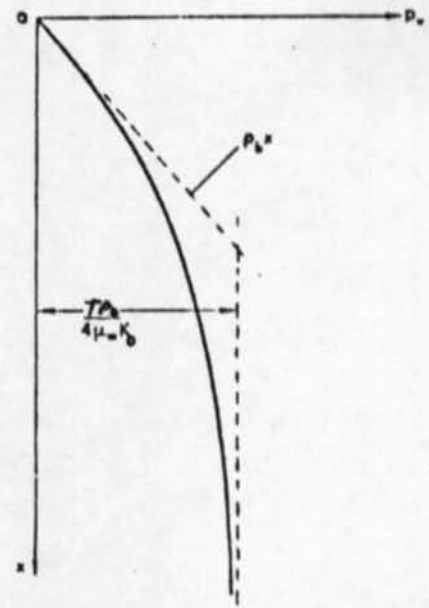
รูป 1.1.1 เส้นสัมผัสวงกลมของมอร์ สำหรับเมื่อกของแข็งที่มีแรงเคาะระหว่างกัน



รูป 1.1.2 ลักษณะการไหลในสองมิติของเมื่อกของแข็ง



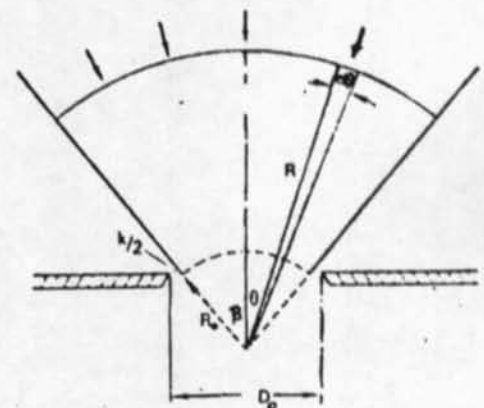
รูป 1.2.1 แรงที่กระทำบนเม็ทของแข็งที่อยู่ปริมาตร  $\frac{\pi r^2}{4} \Delta x$



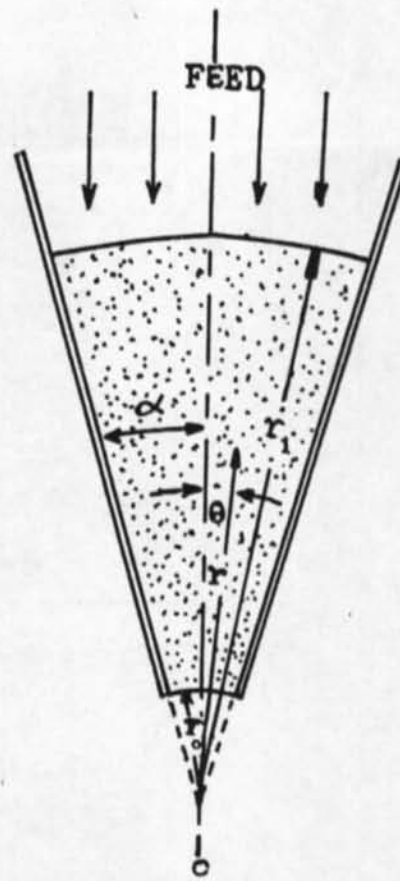
รูป 1.2.2 ความดันในแนวตั้งของเม็ทของแข็งที่อยู่ภายในท่อทรงกระบอก



รูป 1.3.1 ลักษณะการไหลเป็นรูปน้ำต่อของเม็ทของแข็งที่อยู่ใกล้รู

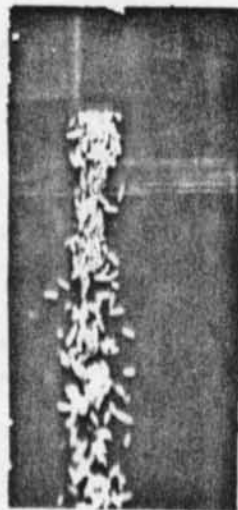


รูป 1.3.2 อาณาเขตของการไหลที่เกิดขึ้นใกล้รูทางออกของท่อทรงกระบอกที่มิกนแบนในแนวราบ



รูป 1.5.1 ภาคตัดขวางของกรวยที่บรรจุเม็ดของแข็ง

$$y = \frac{r_1}{r_0}$$

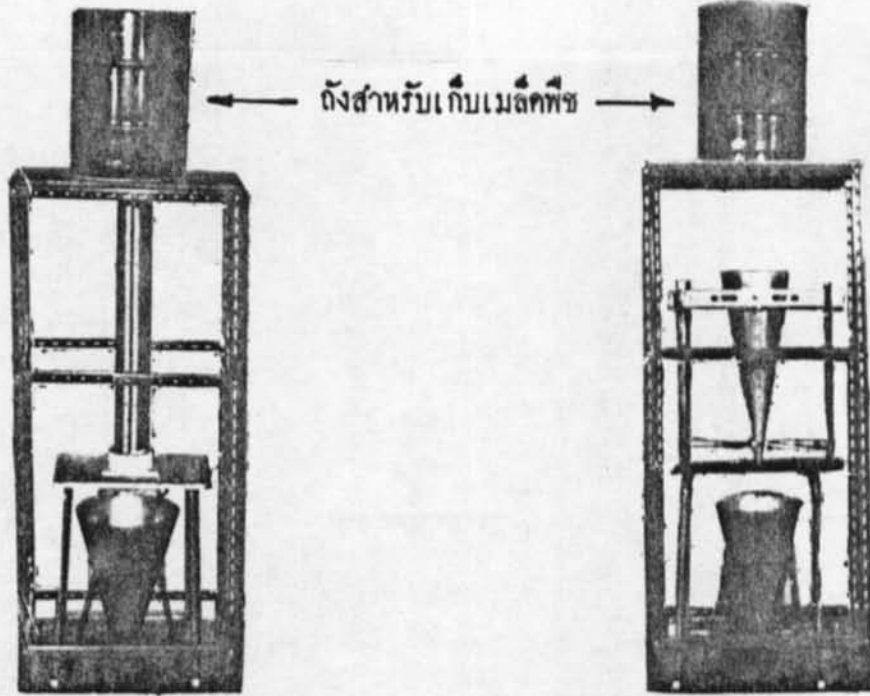


ข้าวสาร



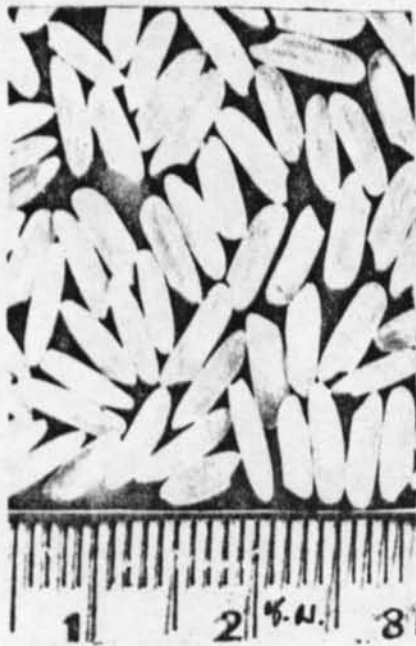
ถั่วเขียว

รูป 2.1.1 เมล็ดพืชขณะไหลผ่านรูกลมของท่อทรงกรวยกลับ

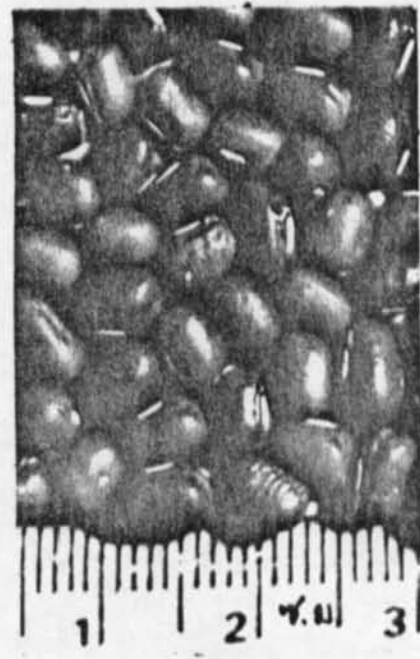


รูป 3.1.1 เครื่องสำเร็จ  
หอทรงกระบอก

รูป 3.1.2 เครื่องสำเร็จ  
กรวย

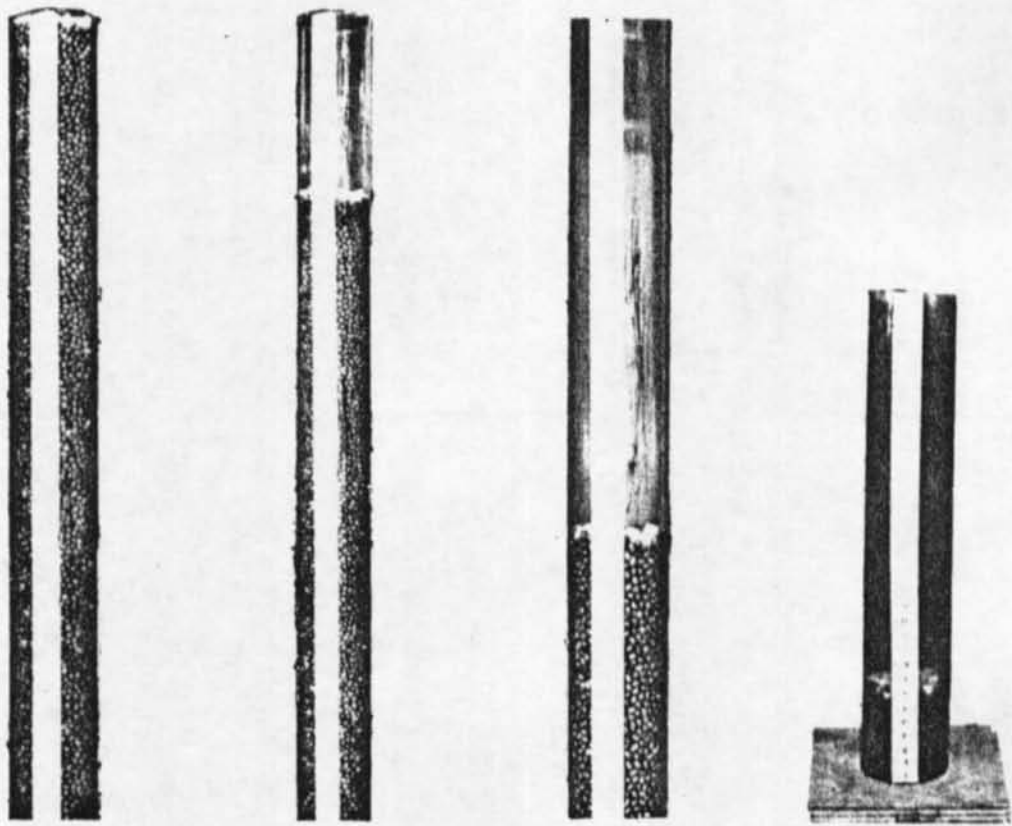


ข้าวสาร

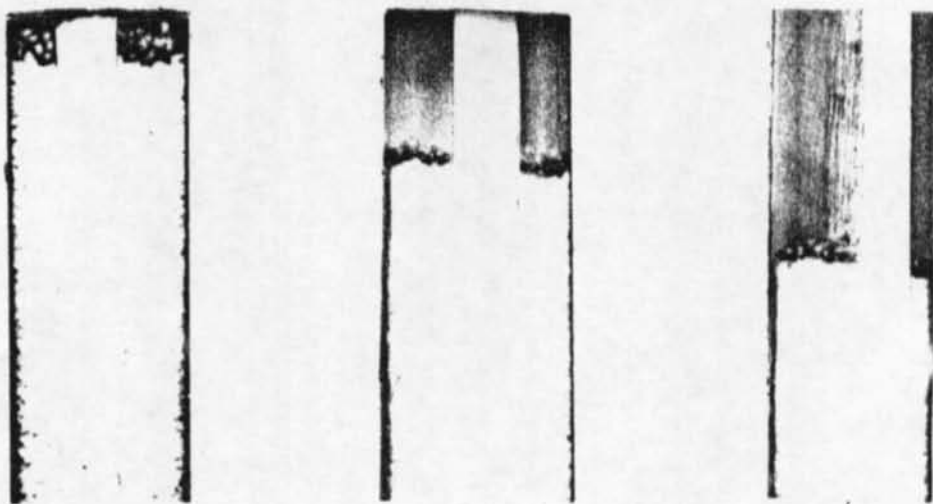


ข้าวเขียว

รูป 3.2.1 เมล็ดพืชที่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง

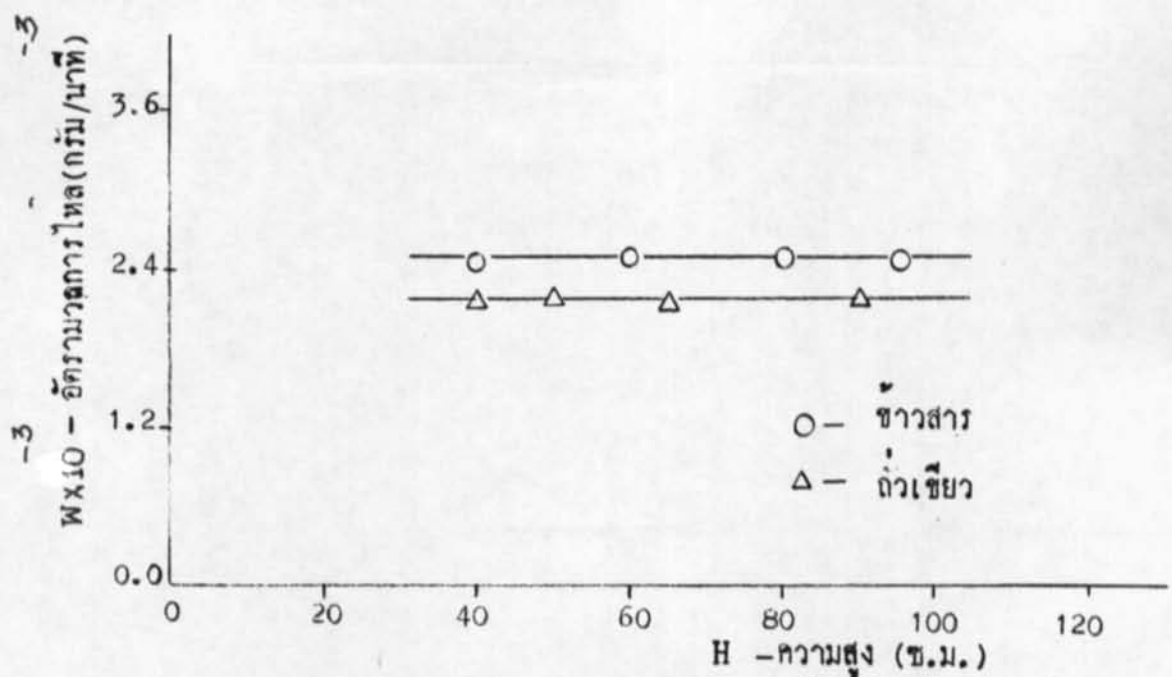


แก้วเขียว

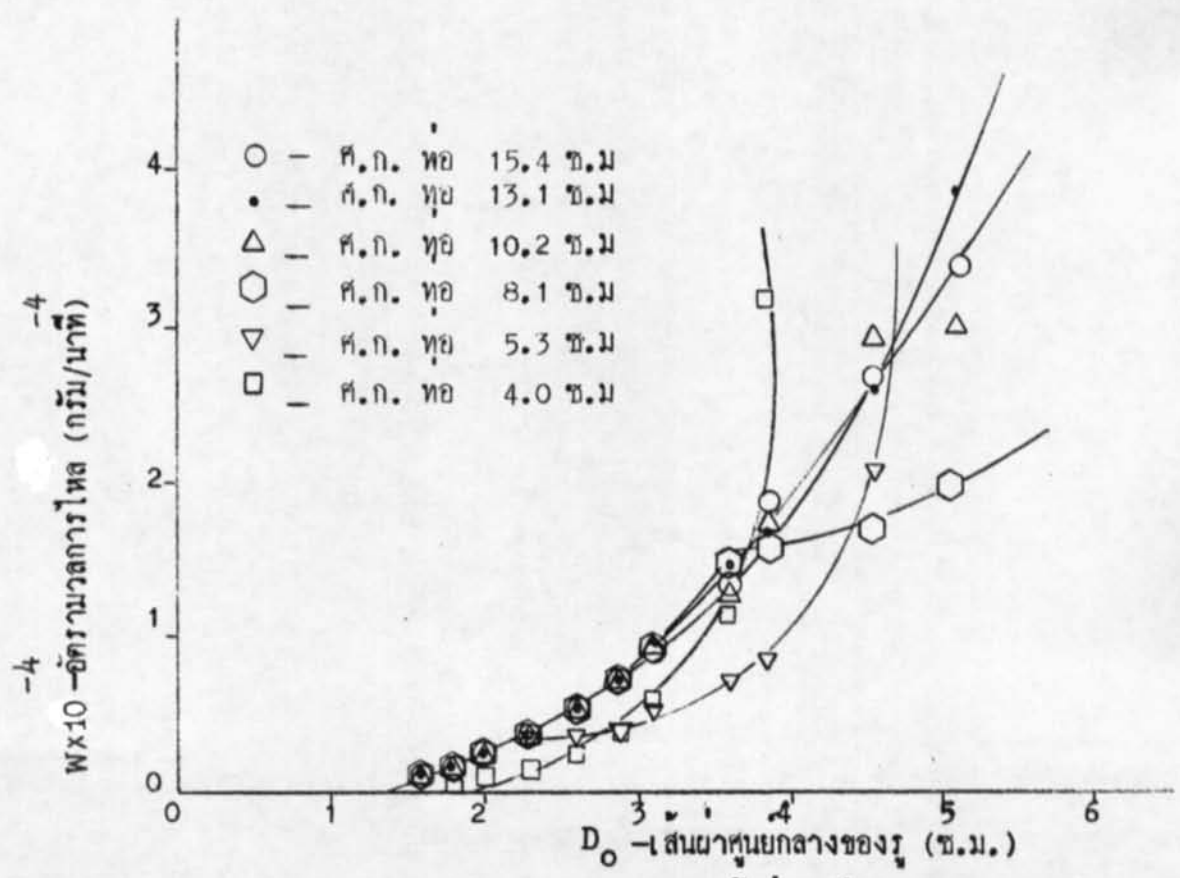


ขาวสาร

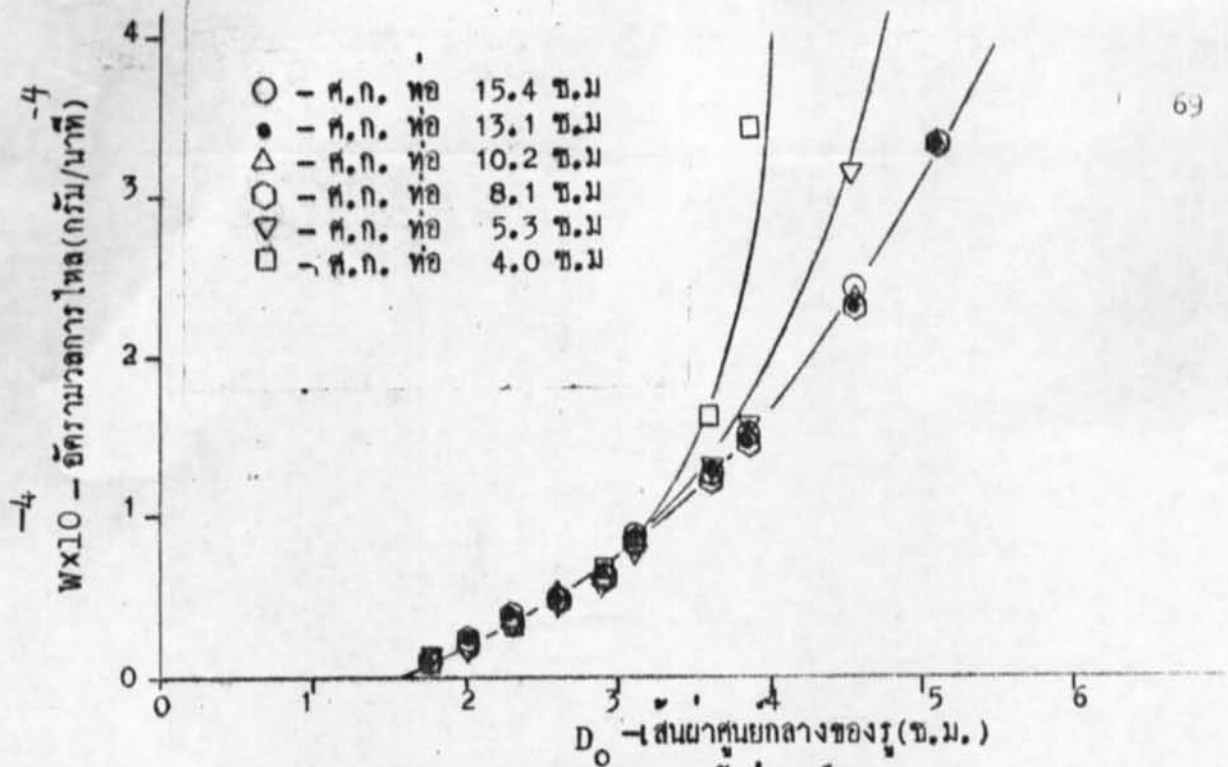
รูป 5.1.1.1 ระยะเวลาในแนวราบที่ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่เมล็ดพืชกำลังไหลออกจาก



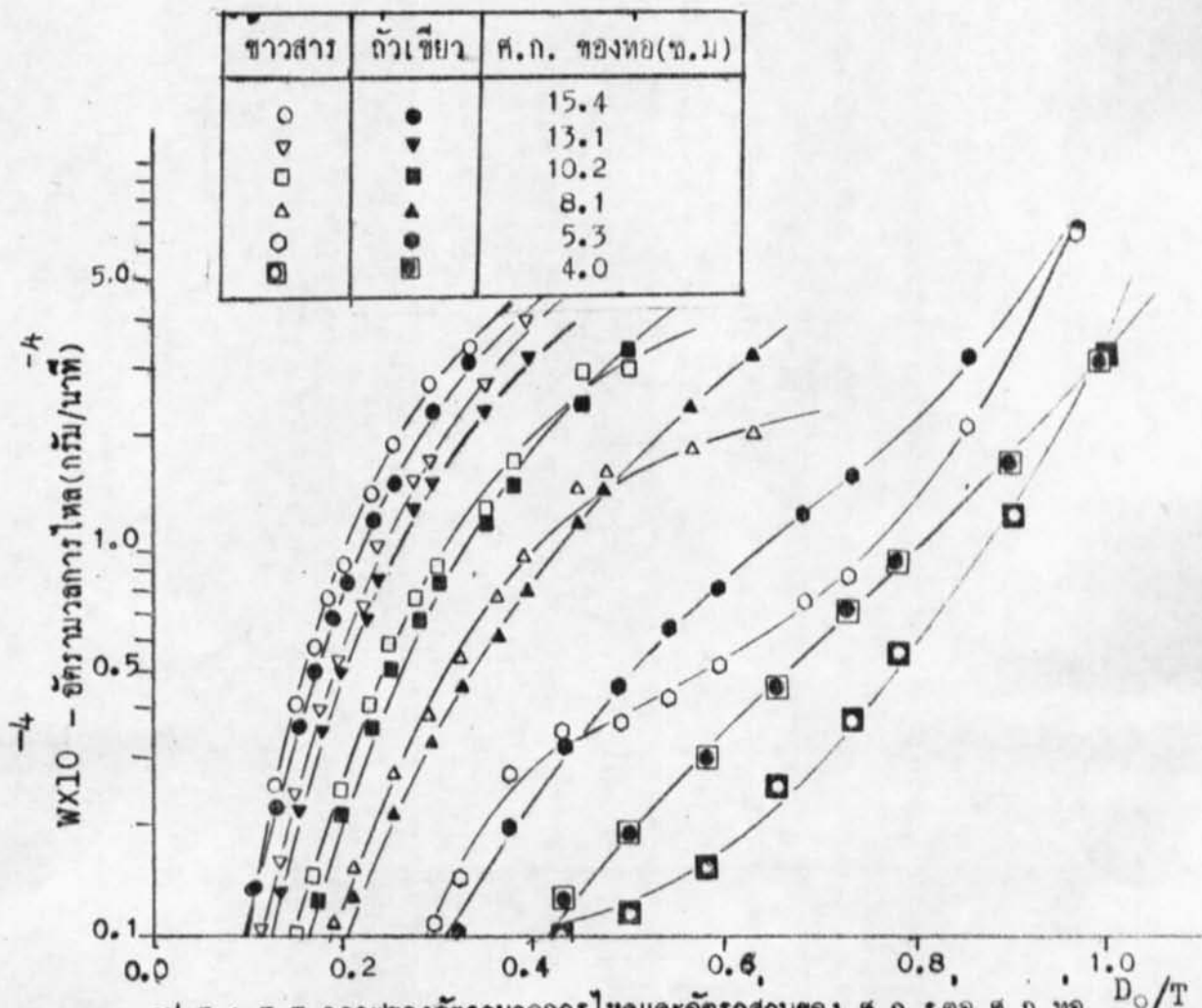
รูป 5.1.2.1 กราฟของอัตราการผลิตและ ความสูงของเมล็ดพืชทั้งหมดที่อยู่ในหอ ทำการทดลองโดยใช้หอขนาด ศ.ก. 10.2 ซม. , รูขนาด ศ.ก. 2.0 ซม.



รูป 5.1.3.1 กราฟของอัตราการผลิตและเส้นผ่าศูนย์กลางของรู เมล็ดพืช: ข้าวสาร

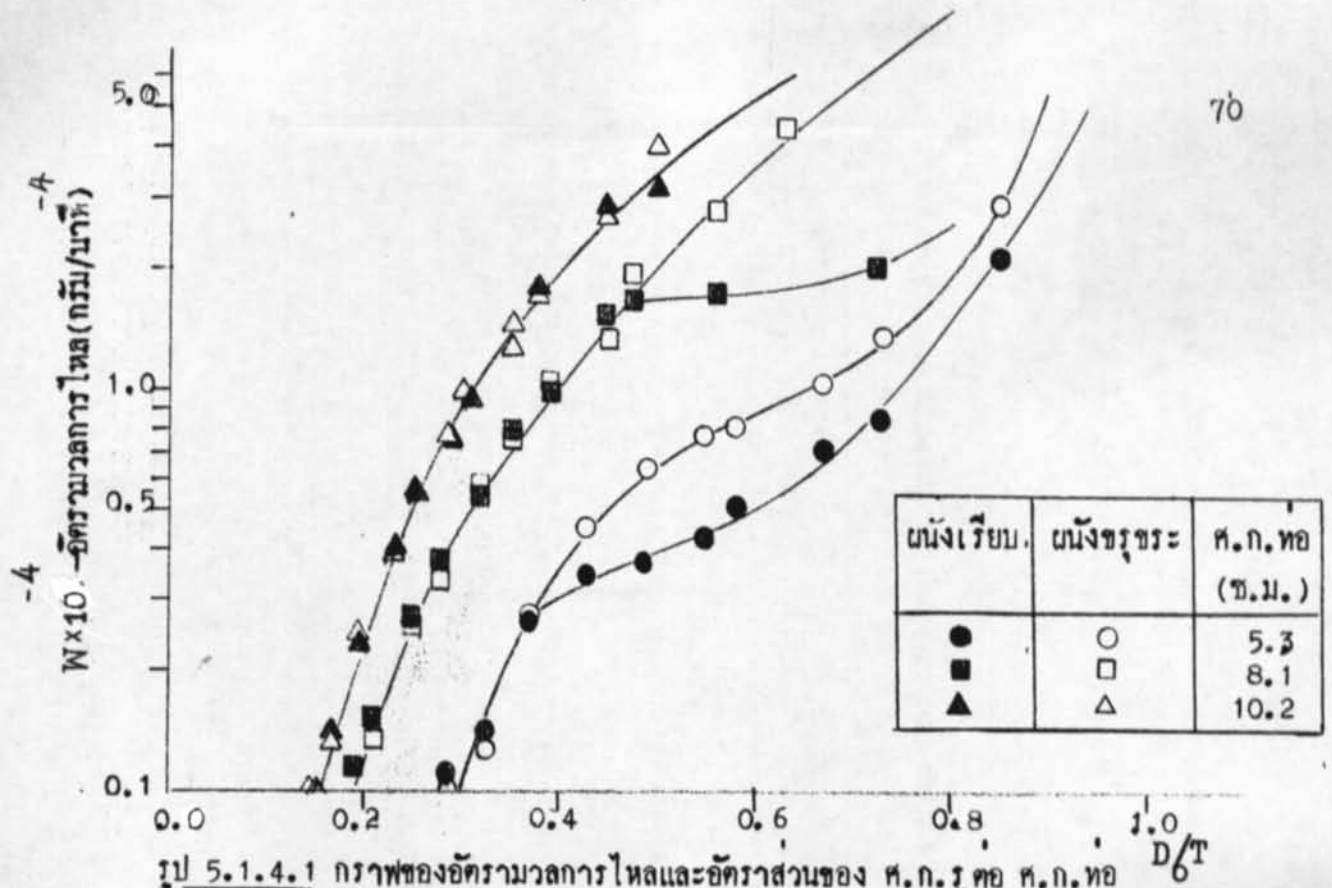


รูป 5.1.3.2 กราฟของอัตราการไหลและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ  
เมตคัพช. ถั่วเขียว

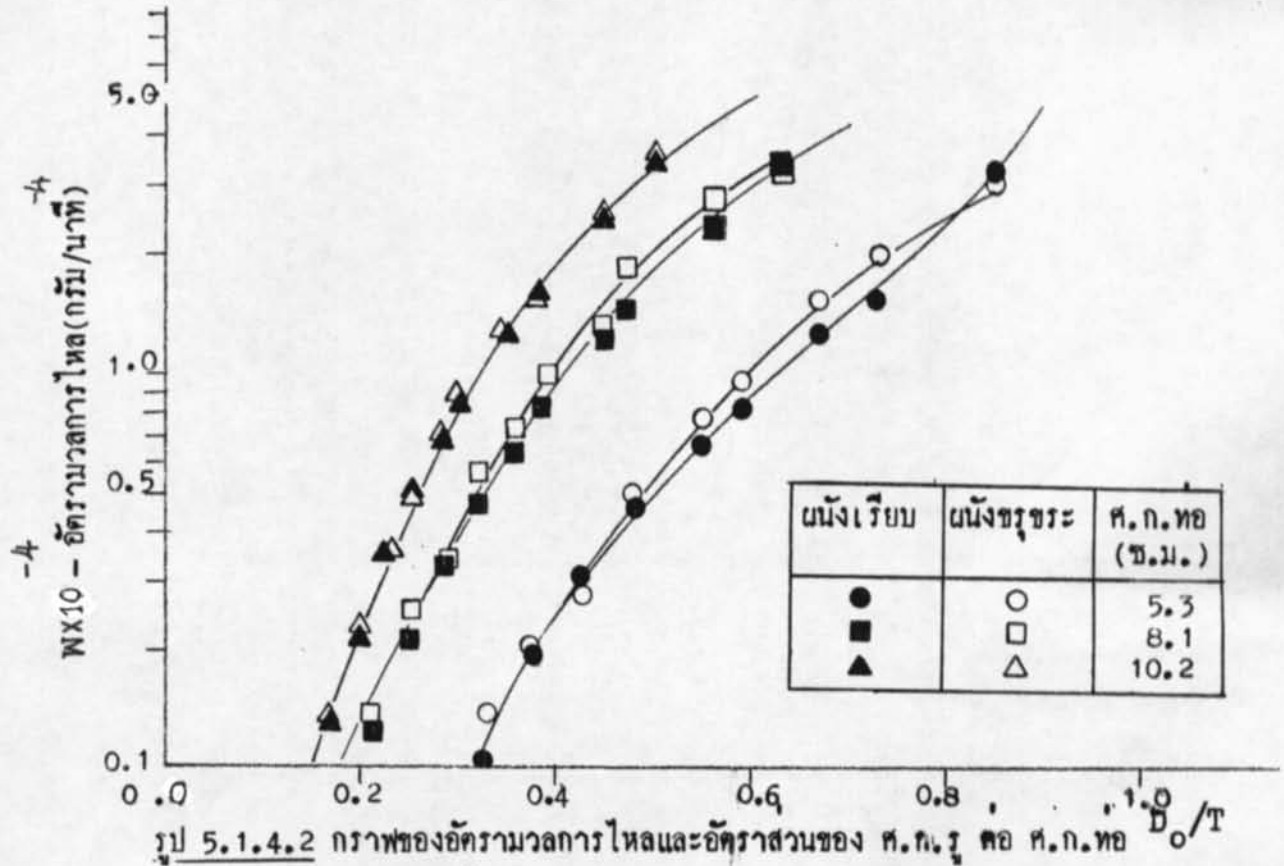


รูป 5.1.3.3 กราฟของอัตราการไหลและอัตราส่วนของ ศ.ก.ท่อ. ศ.ก.ถัง

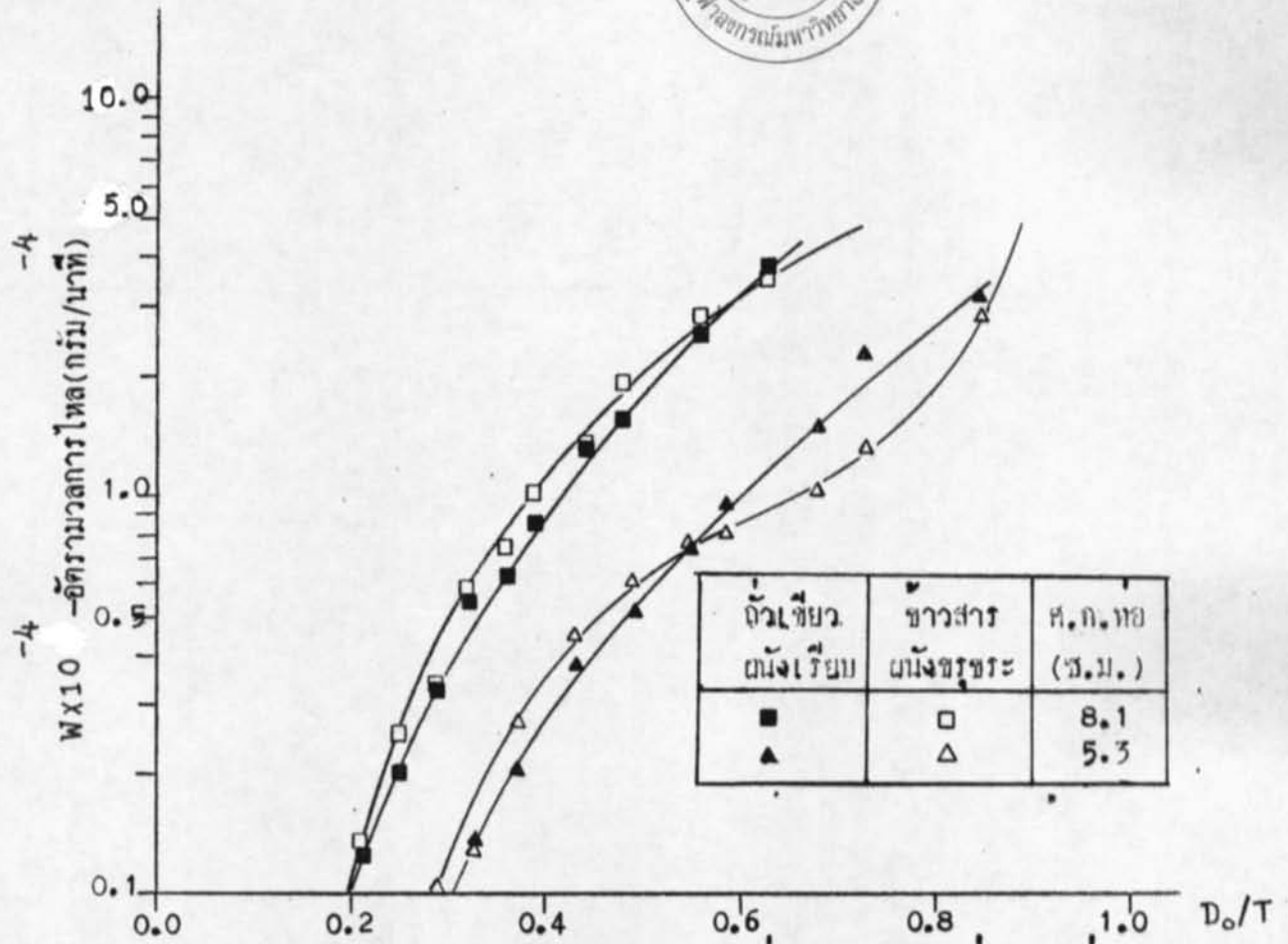




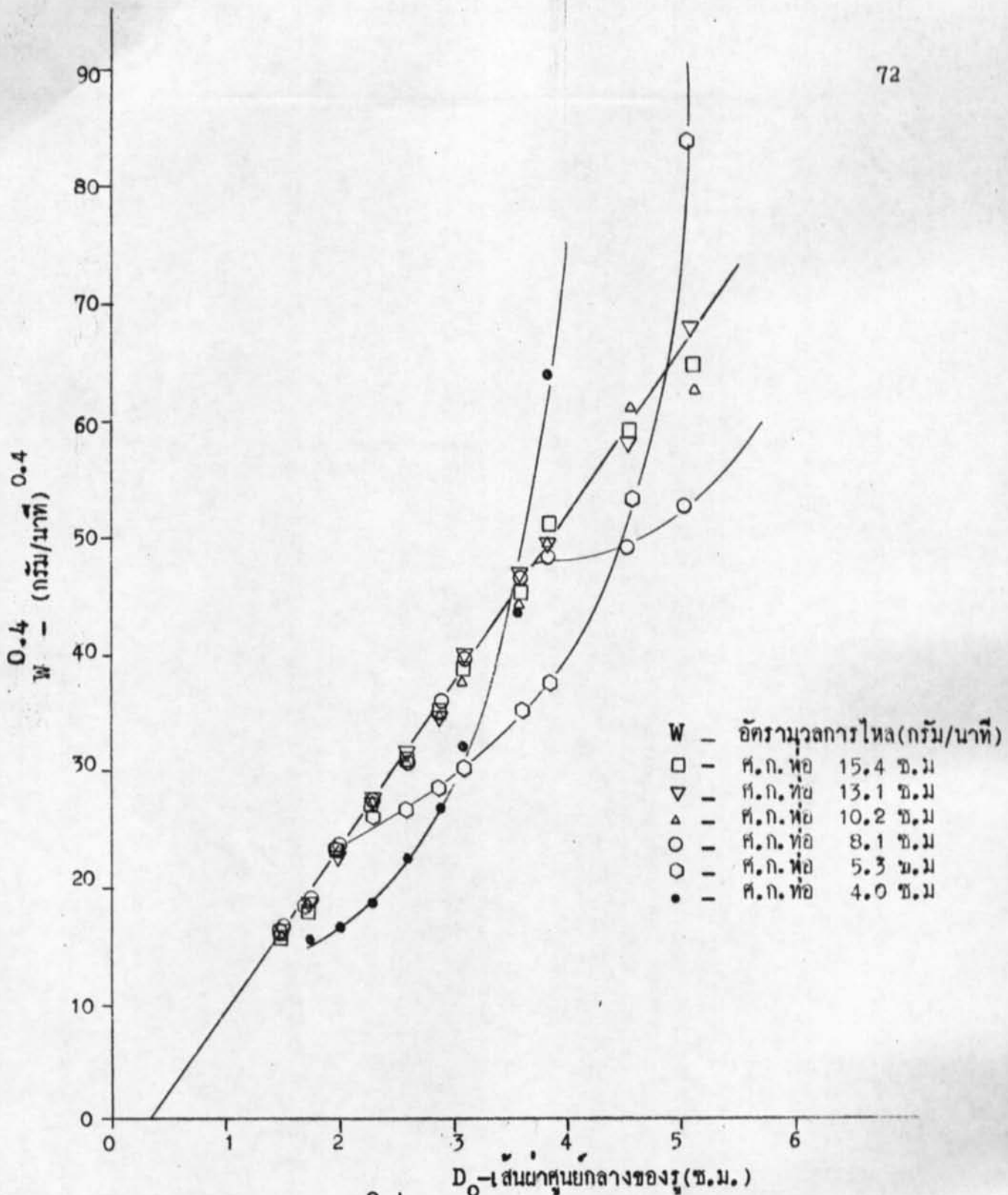
รูป 5.1.4.1 กราฟของอัตรามวลการไหลและอัตราสวนของ ศ.ก.รู คอ ศ.ก.ทอ  
 เมล็ดพืช: ข้าวสาร



รูป 5.1.4.2 กราฟของอัตรามวลการไหลและอัตราสวนของ ศ.ก.รู คอ ศ.ก.ทอ  
 เมล็ดพืช: ถั่วเขียว

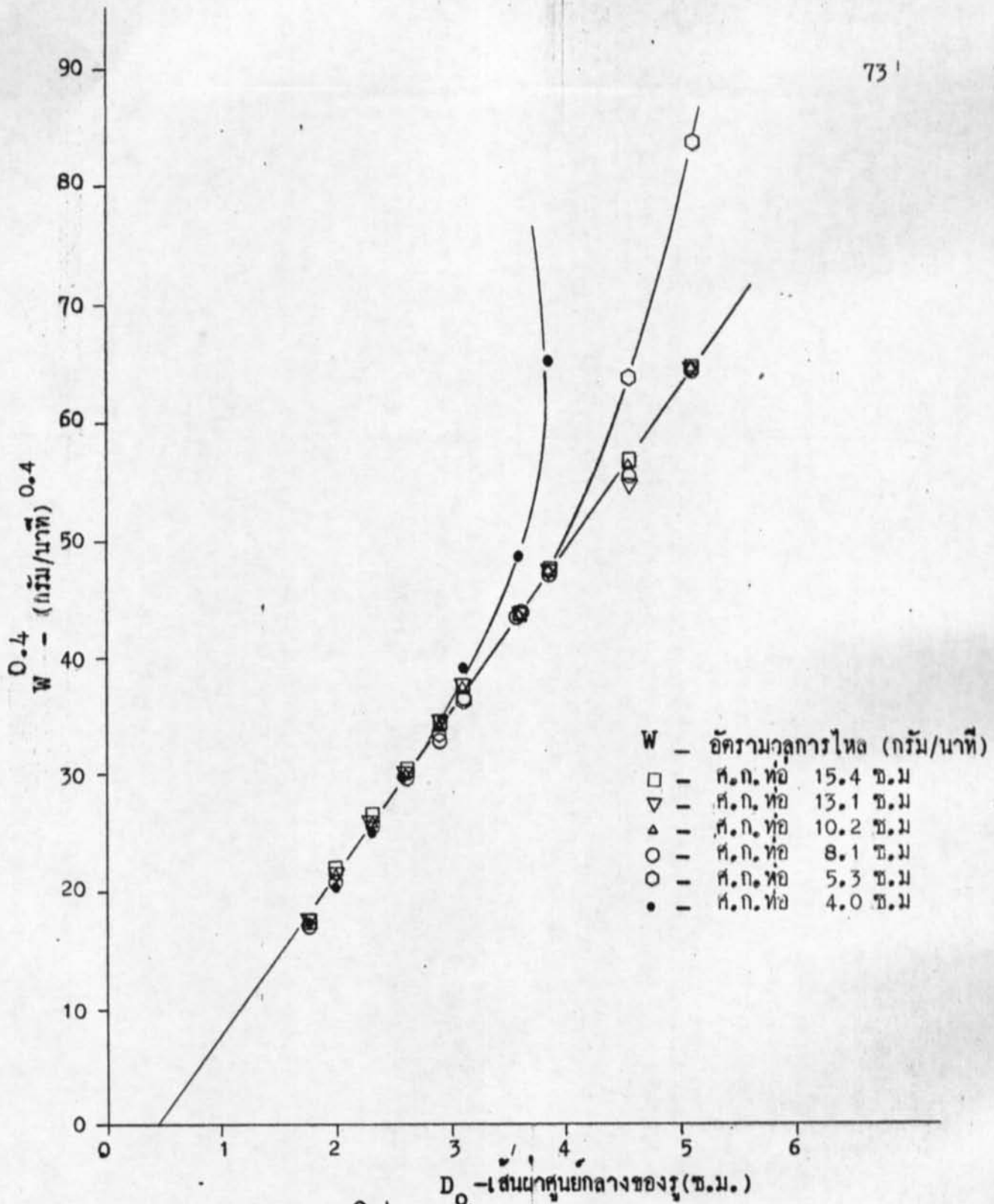


รูป 5.1.4.3 กราฟของอัตราความหนาและอัตราส่วนของ ค.ก. รุ ทอ คอ ค.ก. ทอ



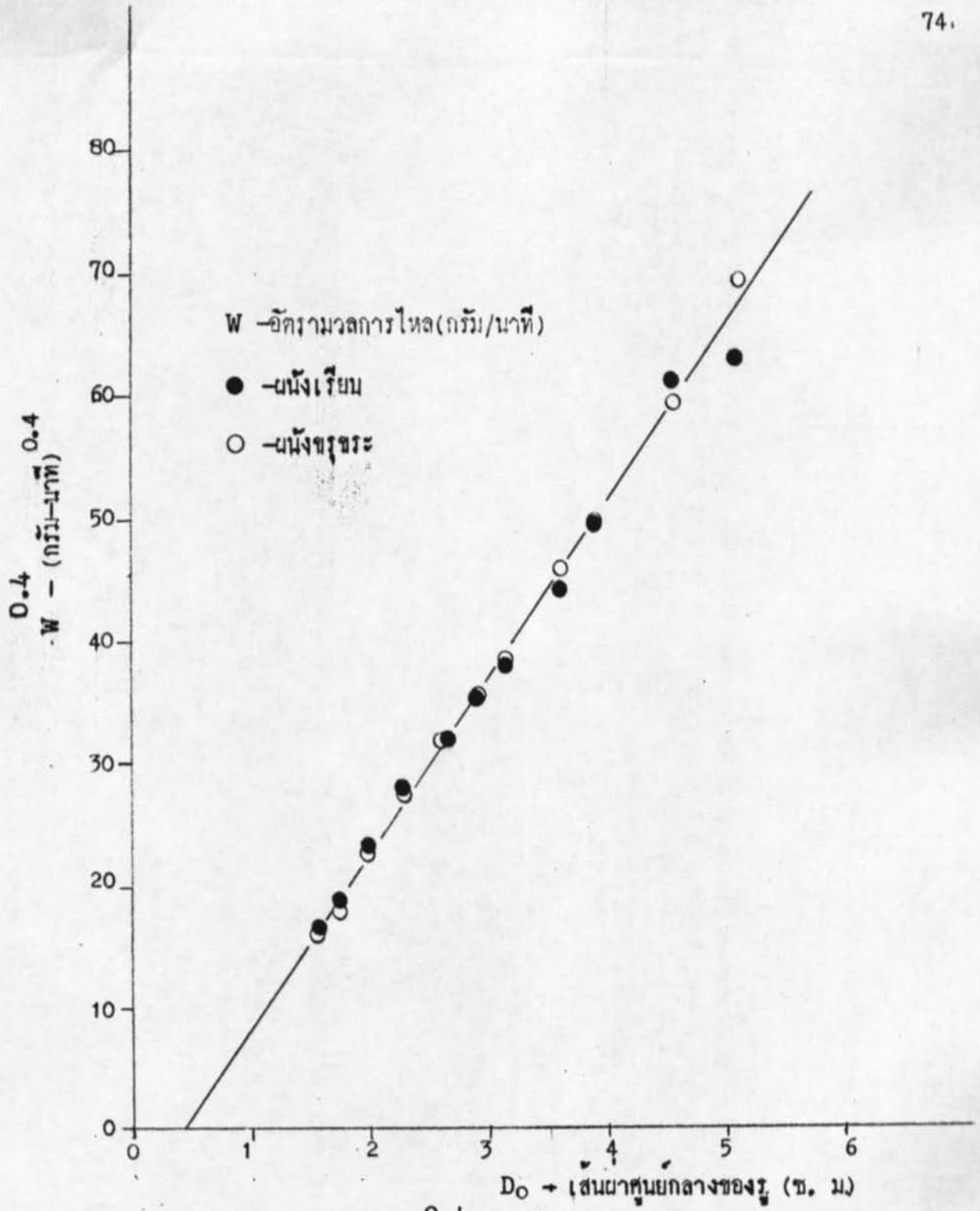
รูป 5.1.5.1 กราฟของ  $W_{0.4}$  และเส้นขนาดศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช: ข้าวสาร ,      เม็ดห่อ: เรียบ

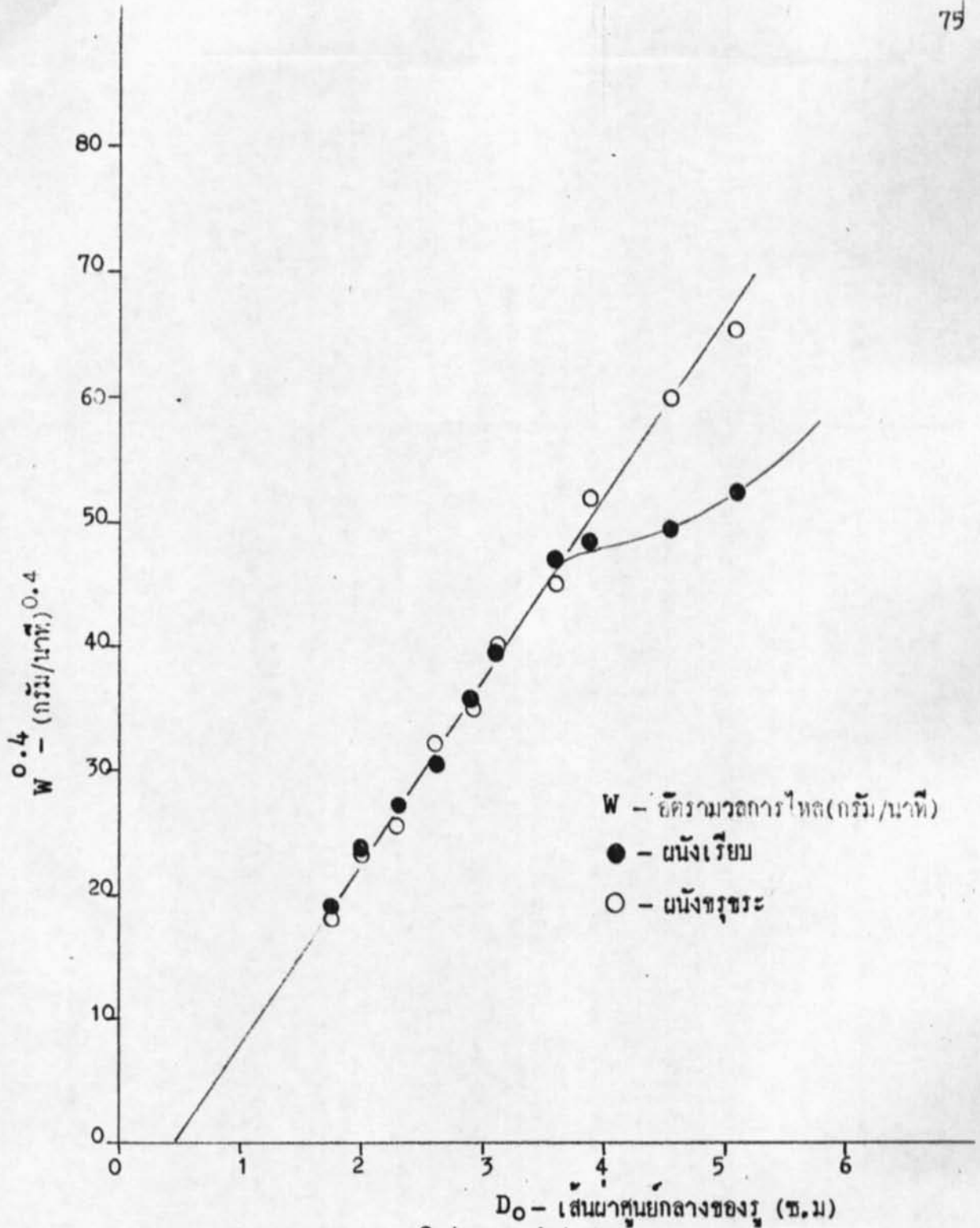


รูป 5.1.5.2 กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช: ถั่วเขียว ,      เมล็ดทอ: เรียบ



รูป 5.1.5.3 กราฟของ  $D_{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ศ.ก.ทอ : 10.2 ซ.ม.

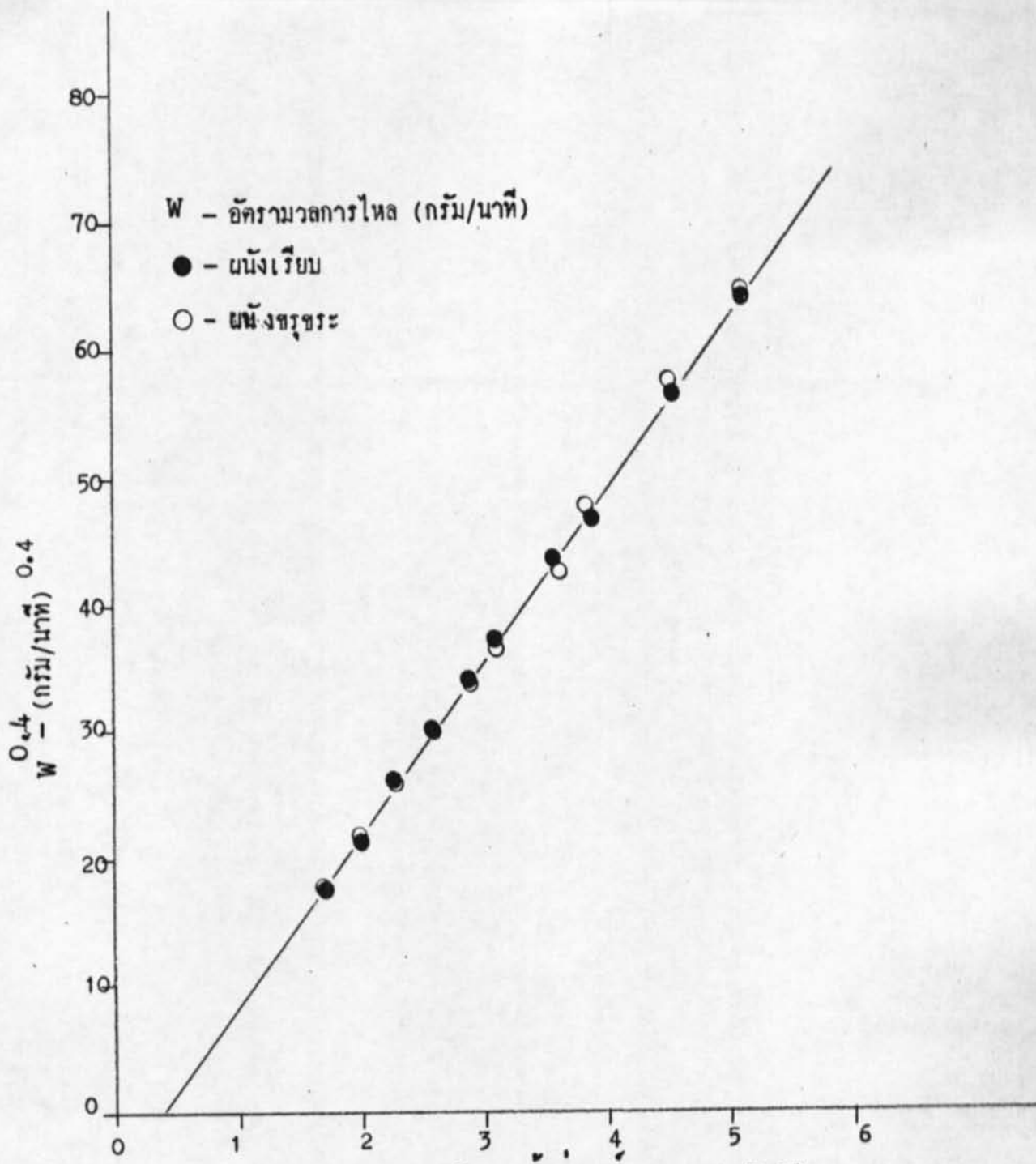


รูป 5.1.5.4

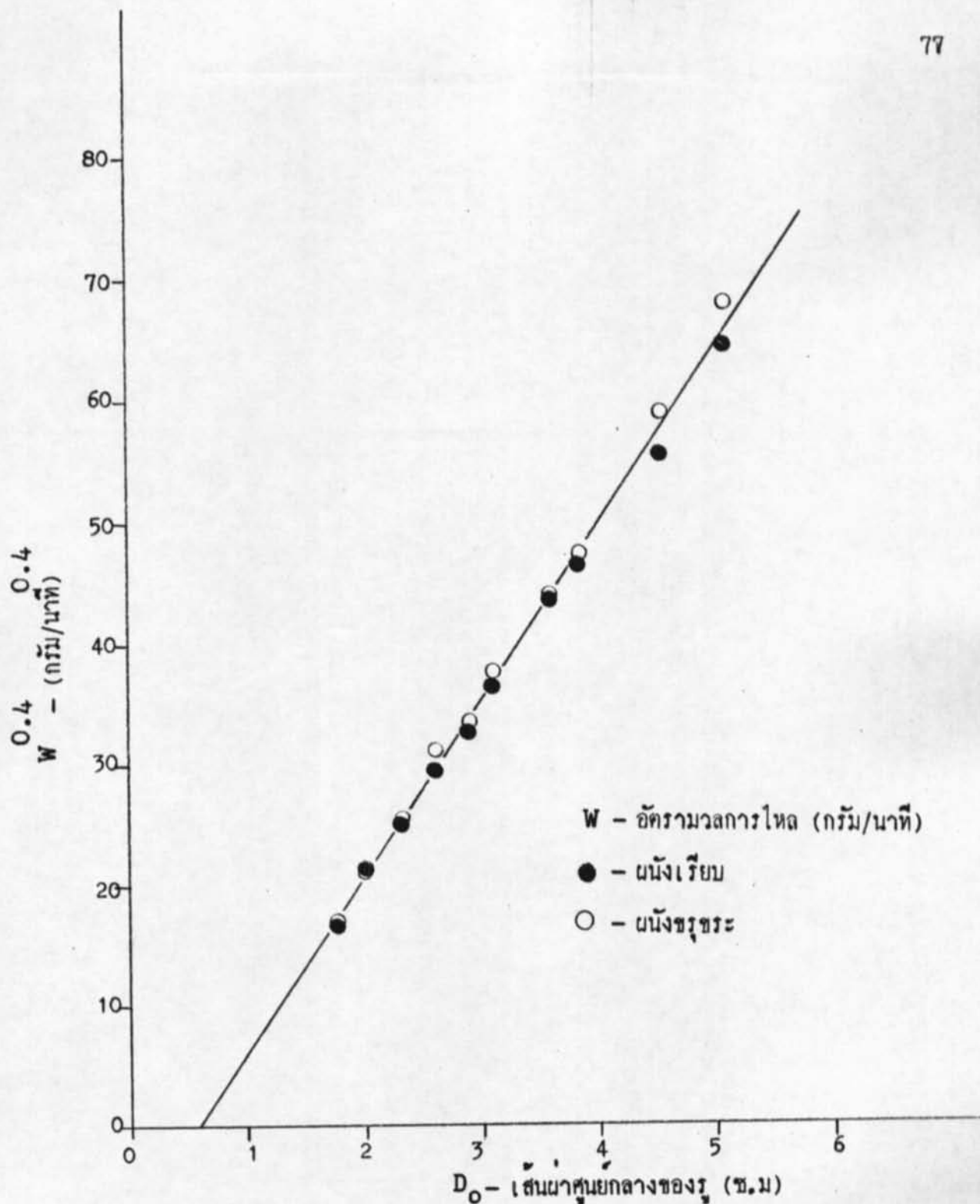
กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมื่อก๊าซ : ซิวสาร,

ศ.ก. ทอ : 8.1 ซ.ม



รูป 5.1.5.5 กราฟของ W และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  
 เมล็ดพืช : ถั่วเขียว , ศ.ก. ทอ : 10.2 ซม

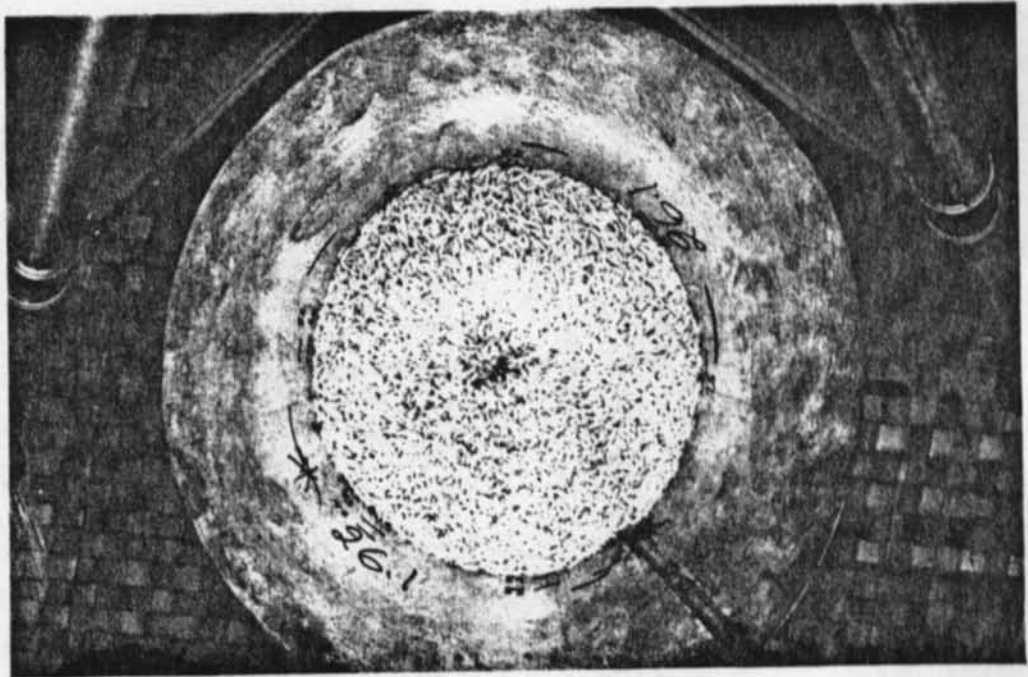


รูป 5.1.5.6

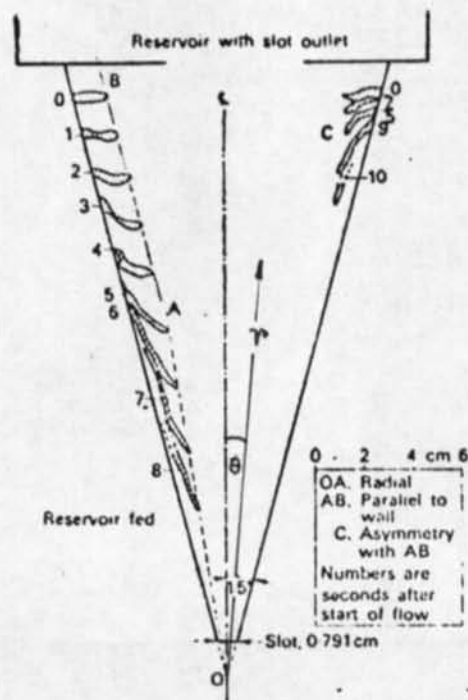
กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช : ถั่วเขียว , ส.ก ทอ : 8.1 ซม.

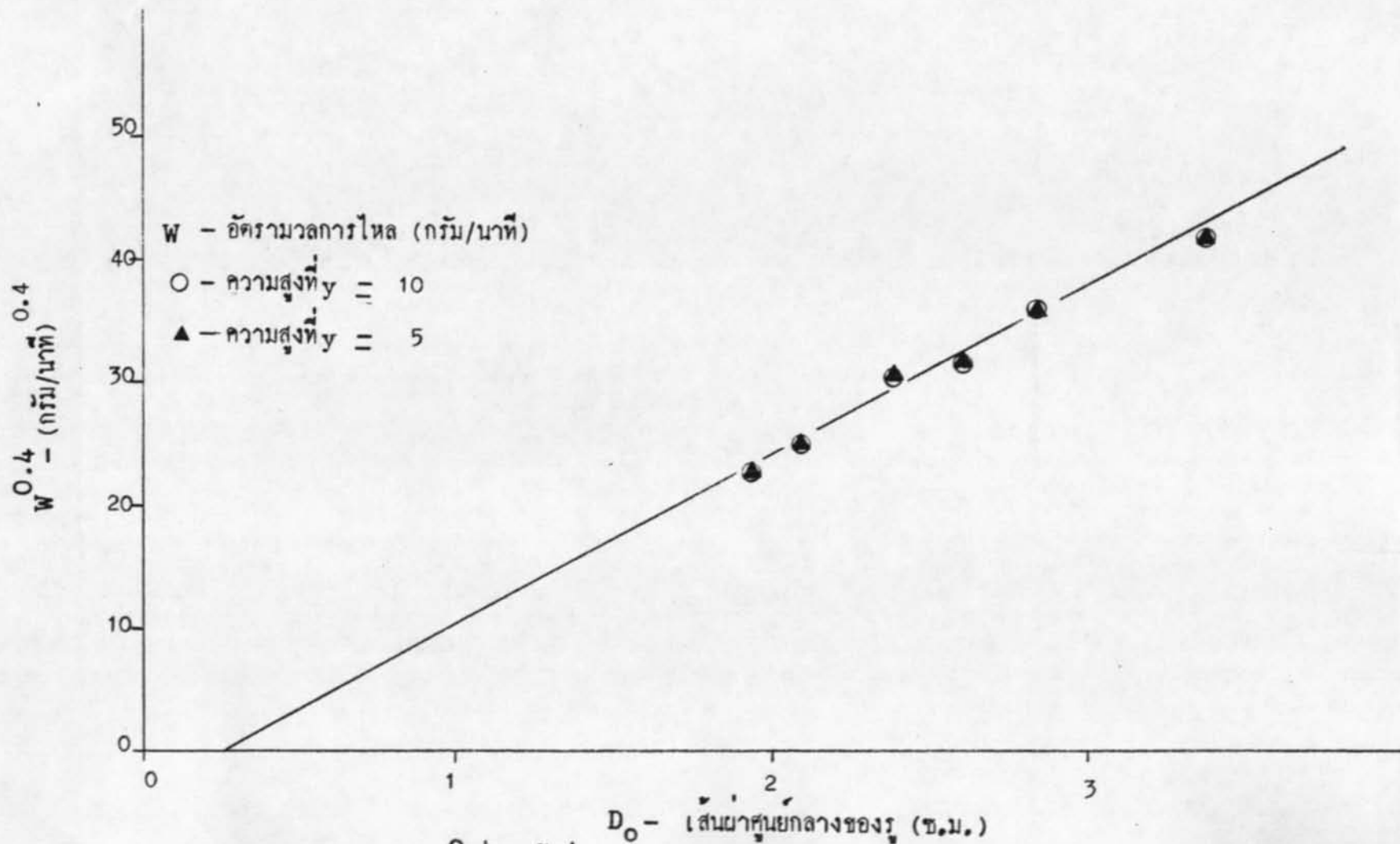




รูป 5.2.1.1 การเรียงตัวในแนวรัศมีของชาวสาร

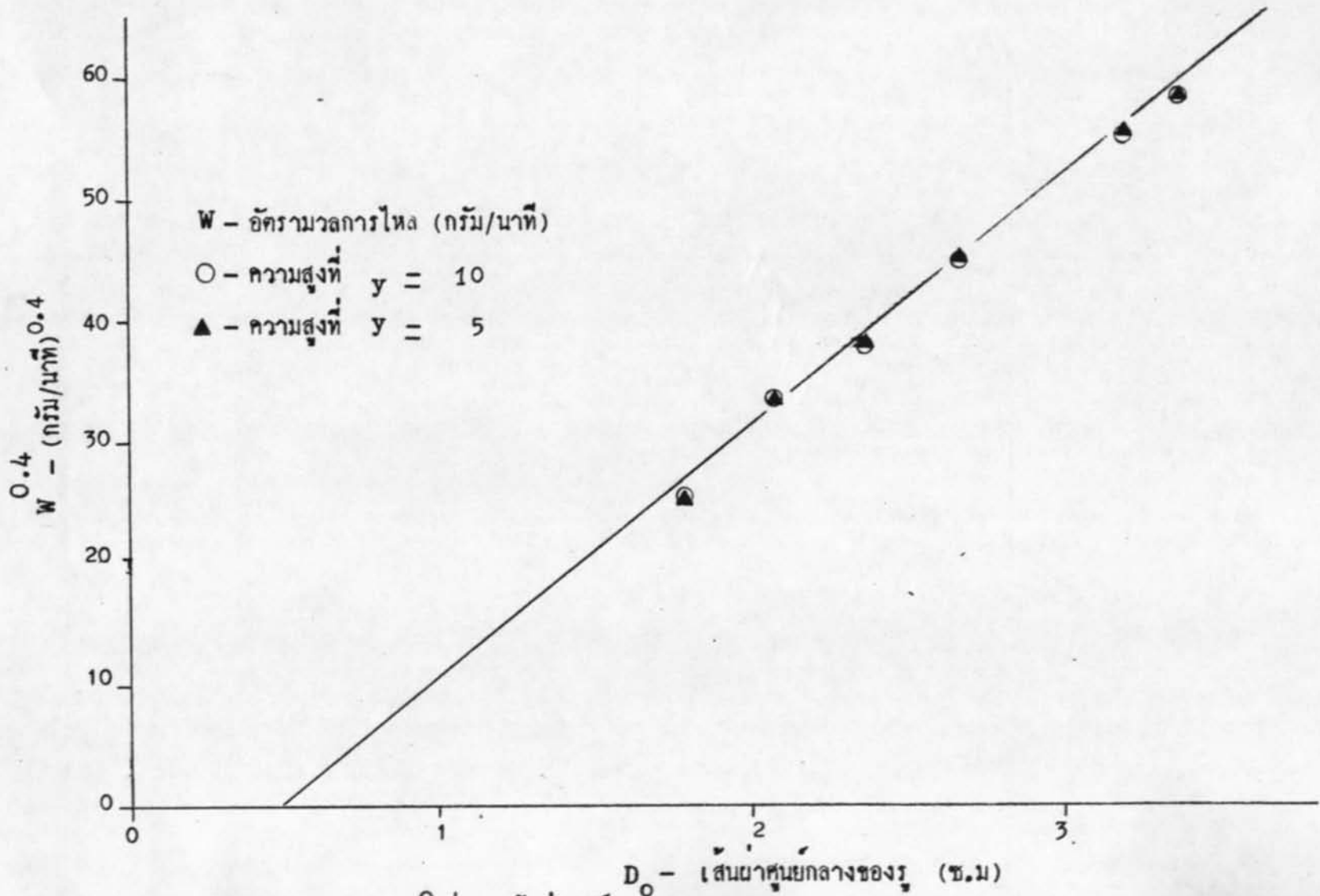


รูป 5.2.1.2 ลักษณะของการไหลในแนวรัศมีที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่ง  $r, \theta$ . (18)

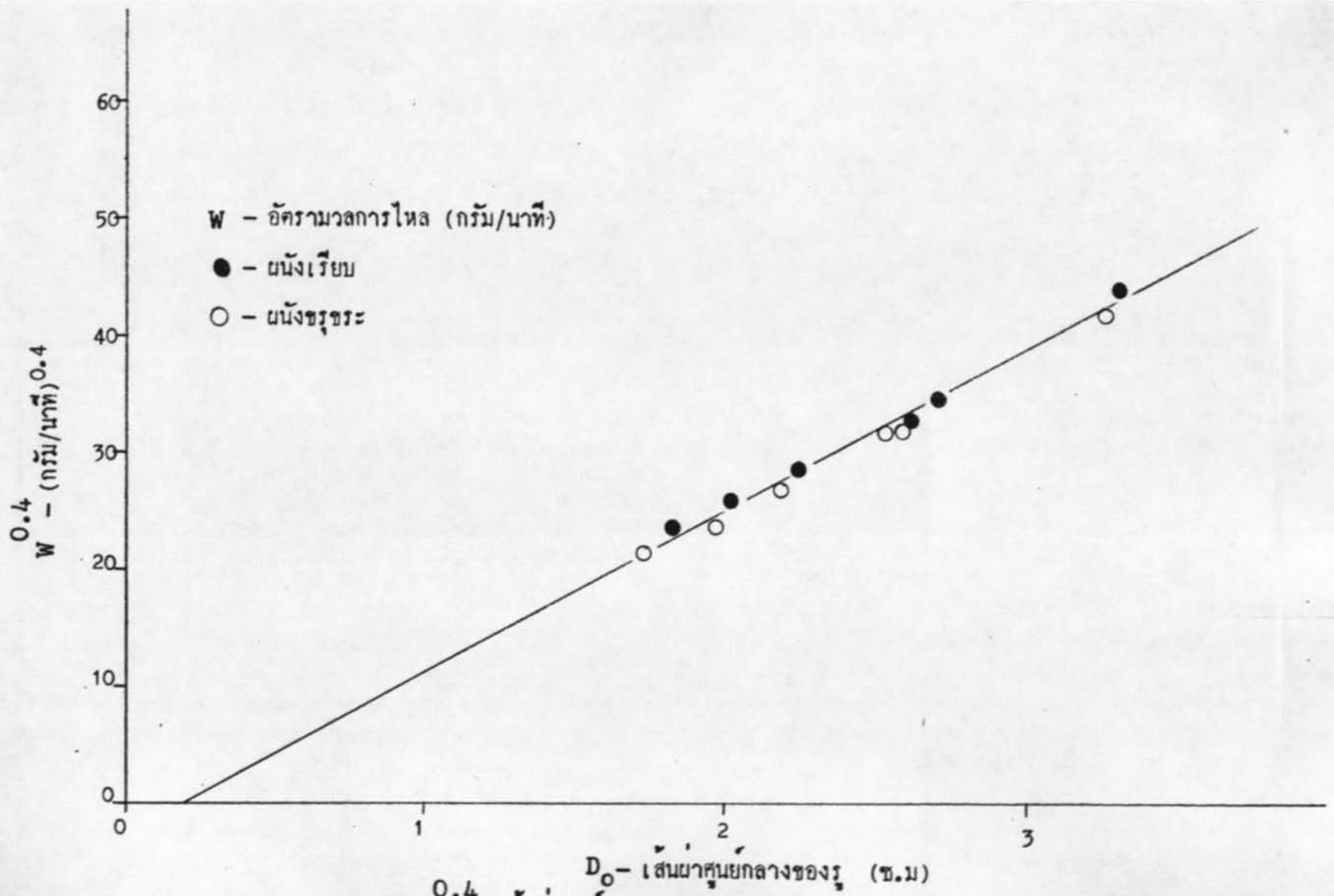


รูป 5.2.2.1 กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมลิกพิช : ชาวสาร , มุมครึ่ง ,  $\alpha : 27.6^\circ$



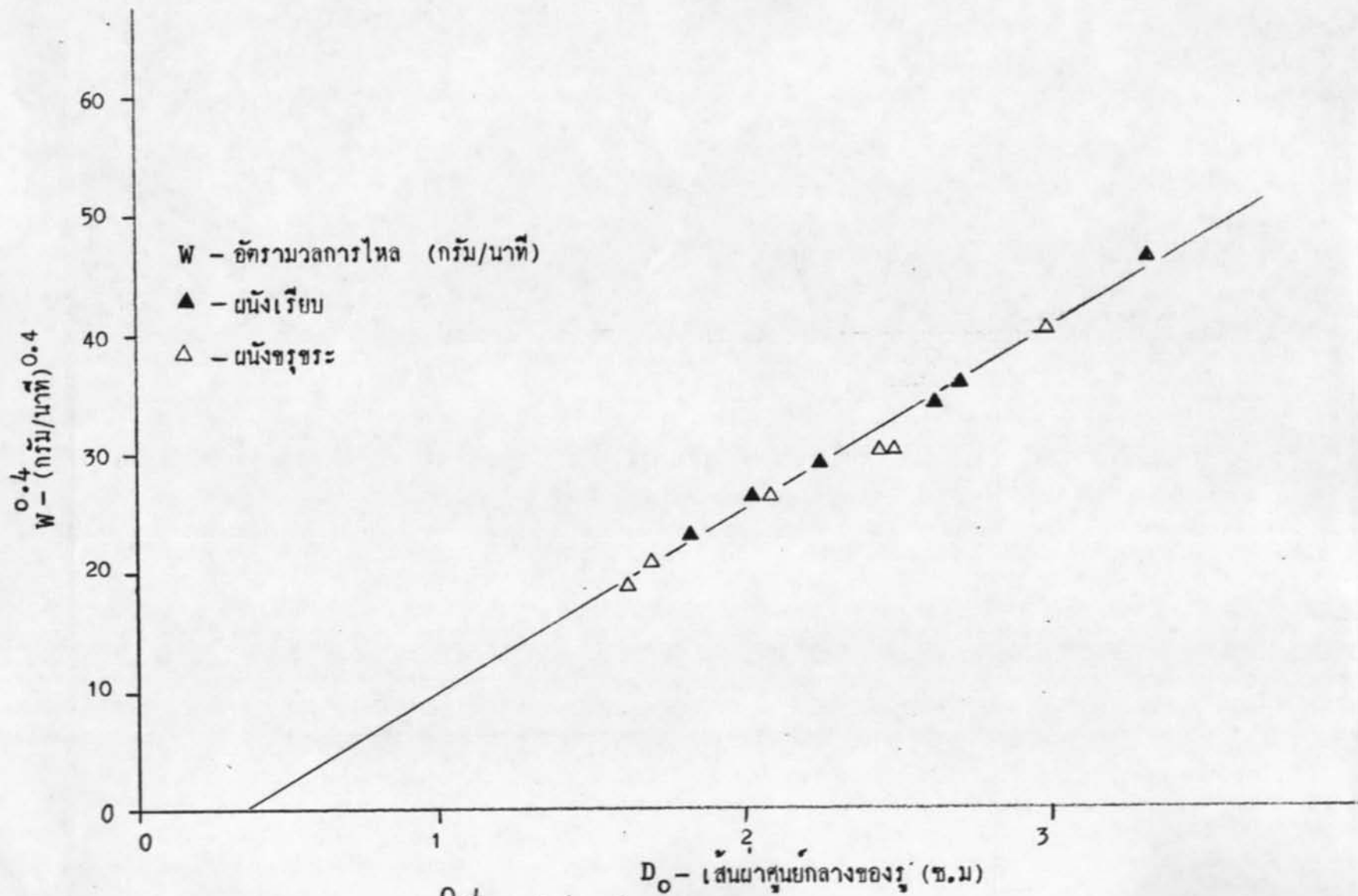
รูป 5.2.2.2 กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ  
 เมล็ดพืช : ถั่วเขียว , มุมครึ่ง ,  $\alpha : 9.3^\circ$



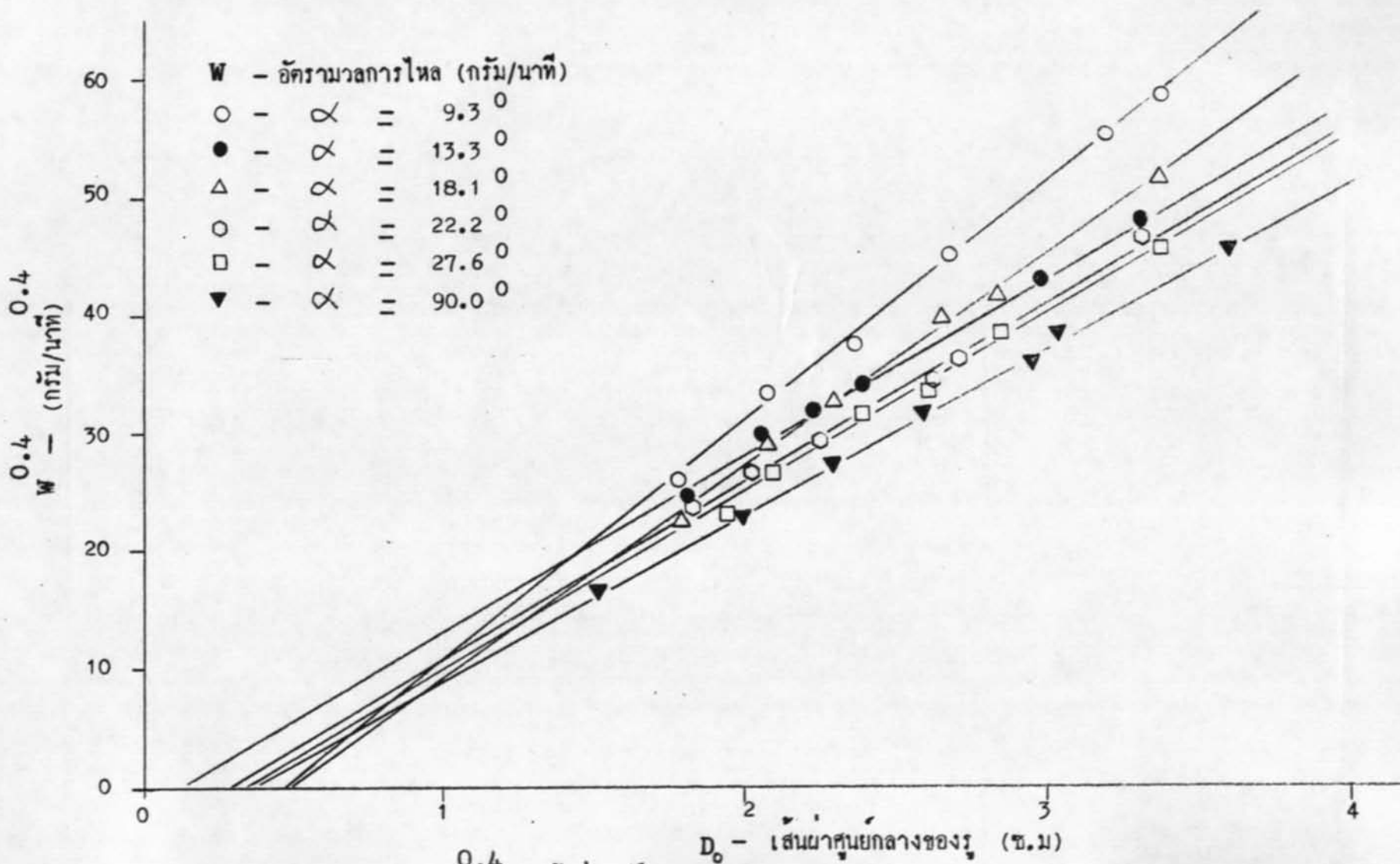
รูป 5.2.3.1

กราฟของ  $W$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช : ข้าวสาร , มุมครึ่ง ,  $\alpha : 22.2^\circ$



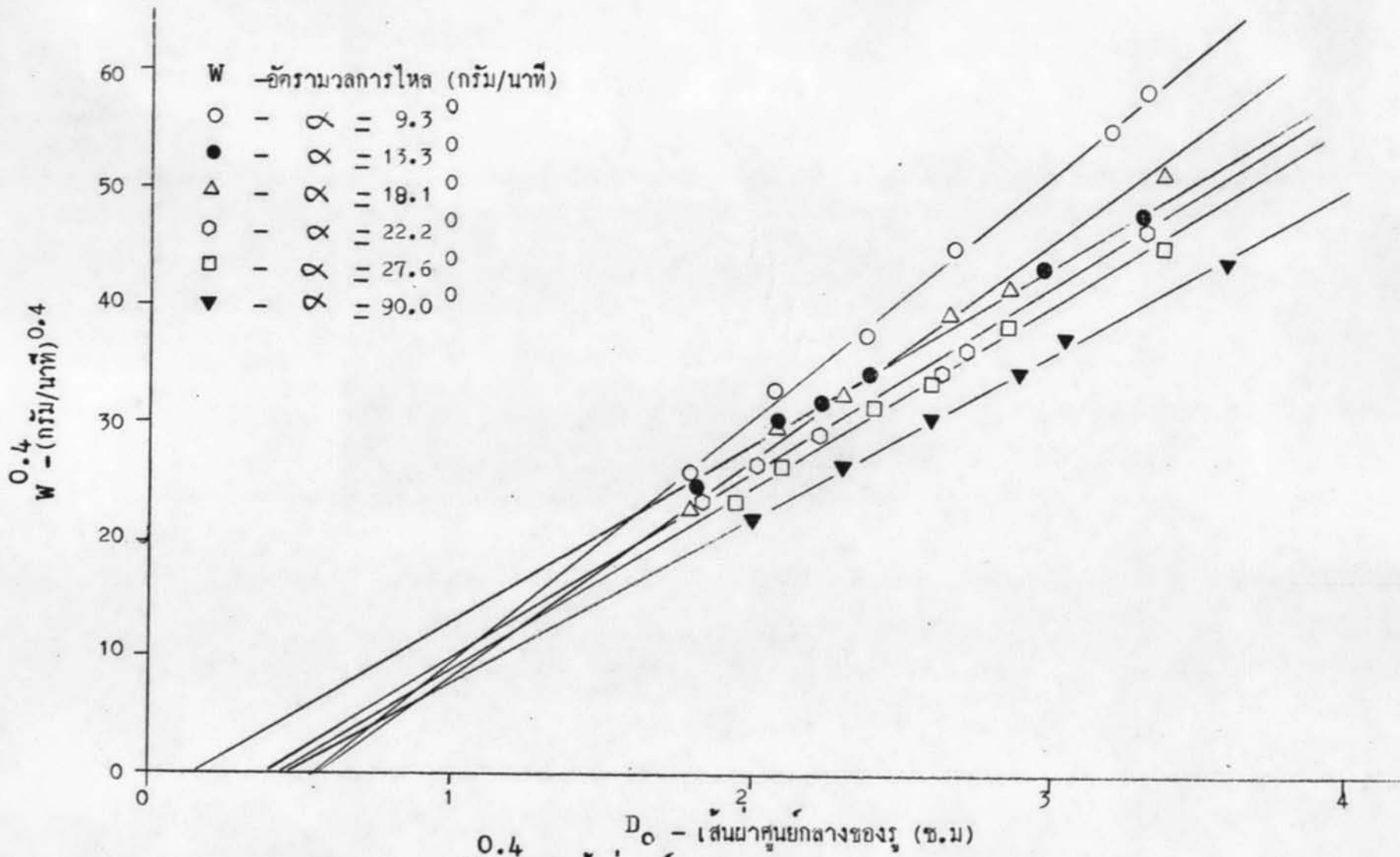
รูป 5.2.3.2 กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลวด  
 เมล็ดพืช : ถั่วเขียว , มุมครึ่ง ,  $\infty$  :  $22.2^\circ$



รูป 5.2.4.1

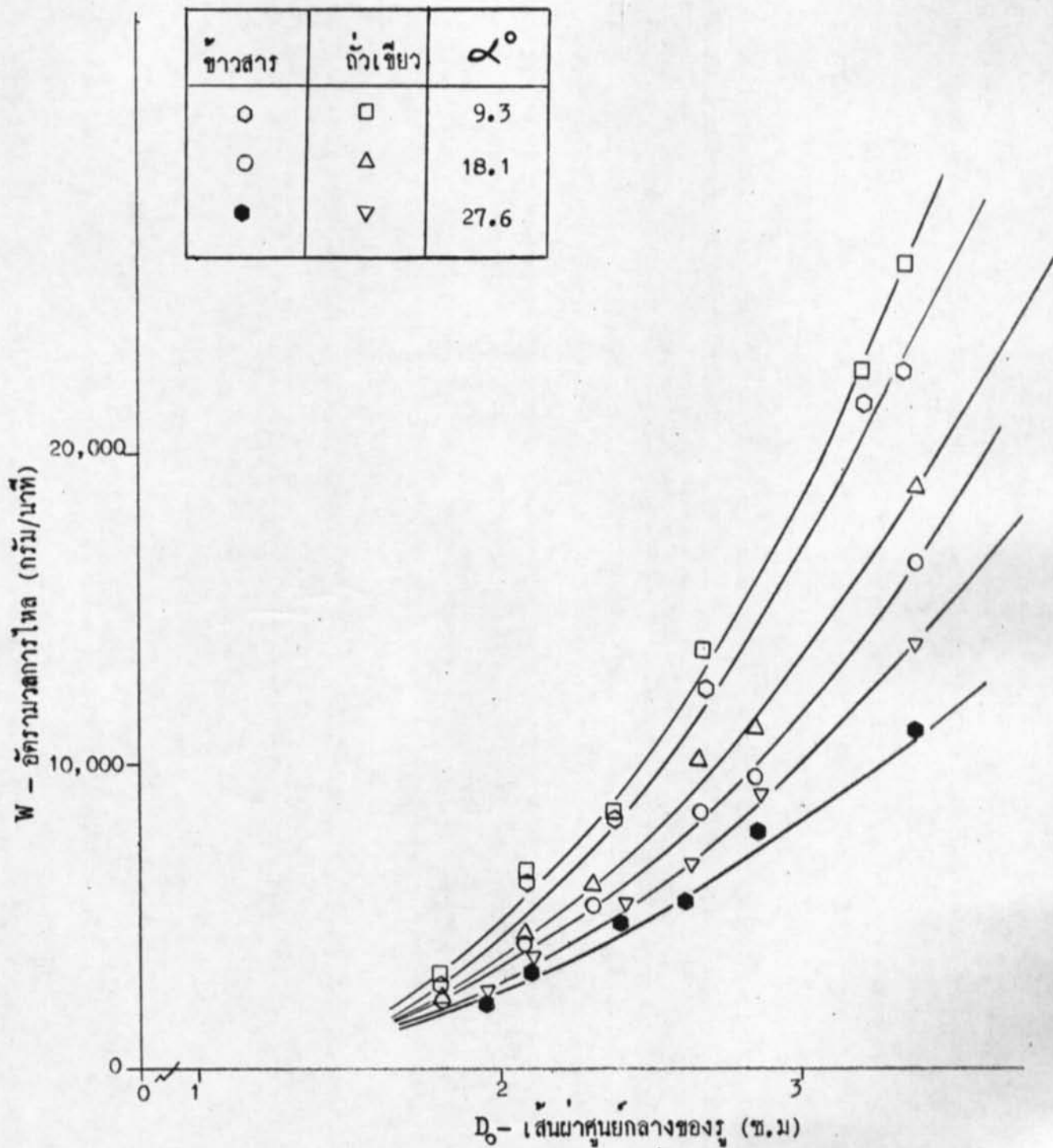
กราฟของ  $W$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมื่อกำหนด : ข้าวสาร , มุมครึ่ง, α : 9.3<sup>0</sup>, 13.3<sup>0</sup>, 18.1<sup>0</sup>, 22.2<sup>0</sup>, 27.6<sup>0</sup>, 90.0<sup>0</sup>



รูป 5.2.4.2 กราฟของ  $W^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  $D_0^{0.4}$

เมล็ดพืช : ถั่วเขียว, มุมครึ่ง,  $\alpha$  : 9.3<sup>0</sup>, 13.3<sup>0</sup>, 18.1<sup>0</sup>, 22.2<sup>0</sup>, 27.6<sup>0</sup>, 90.0<sup>0</sup>

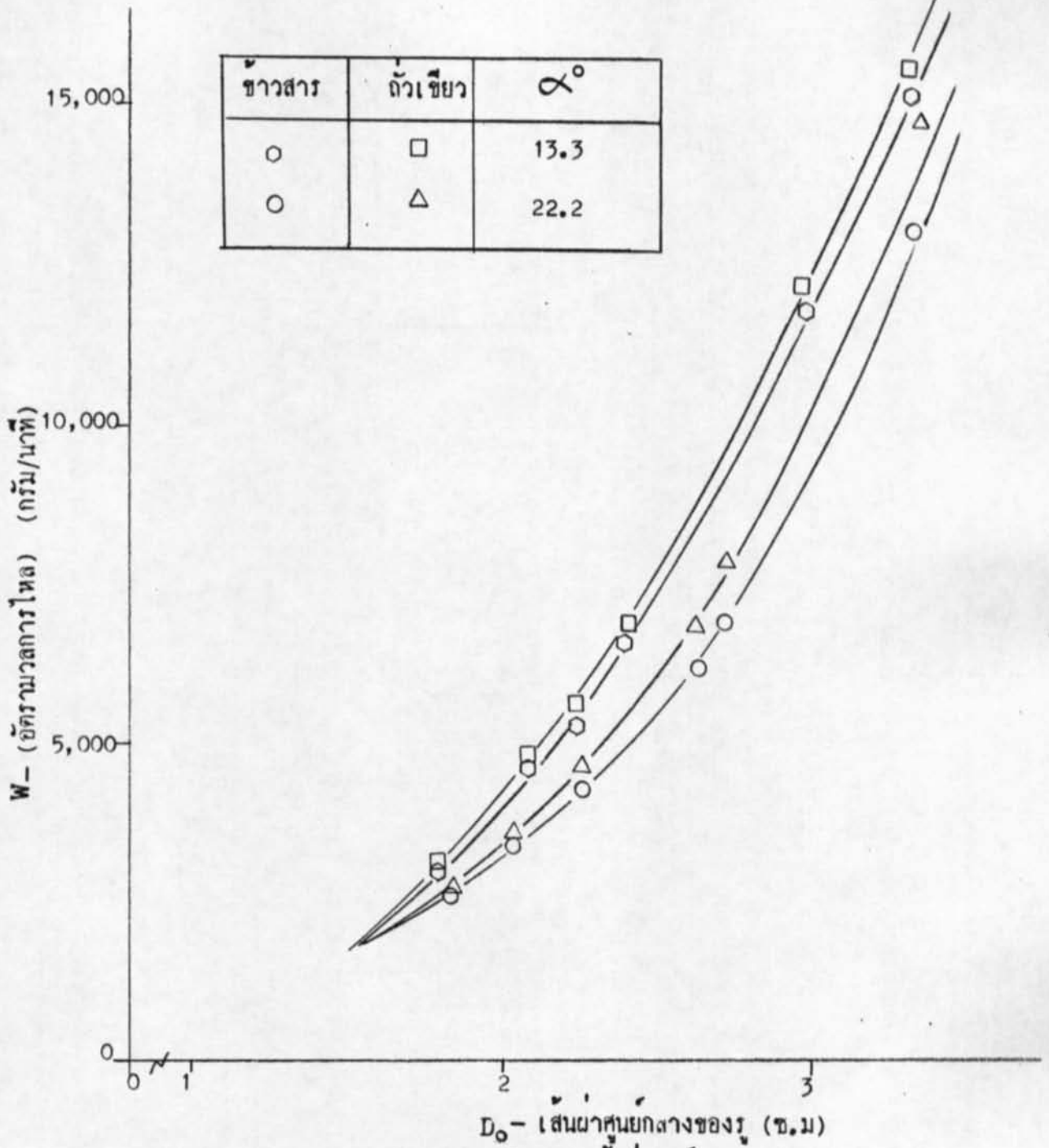


รูป 5.2.4.3

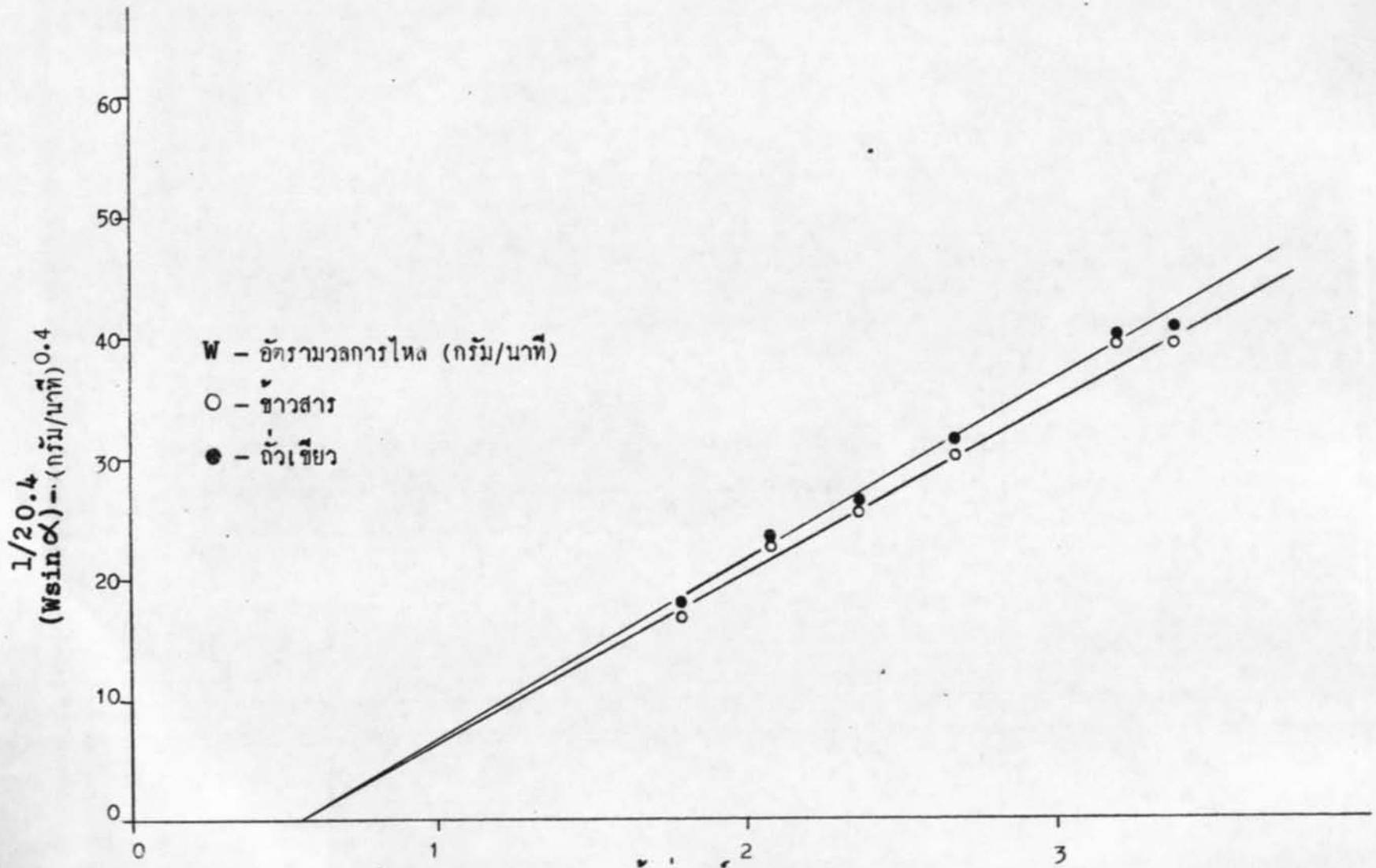
กราฟของอัตรามวลการไหลและเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช : ขาวสาร , ถั่วเขียว , นมครึ่ง,  $\alpha$ : 9.3<sup>o</sup>, 18.1<sup>o</sup>, 27.6<sup>o</sup>

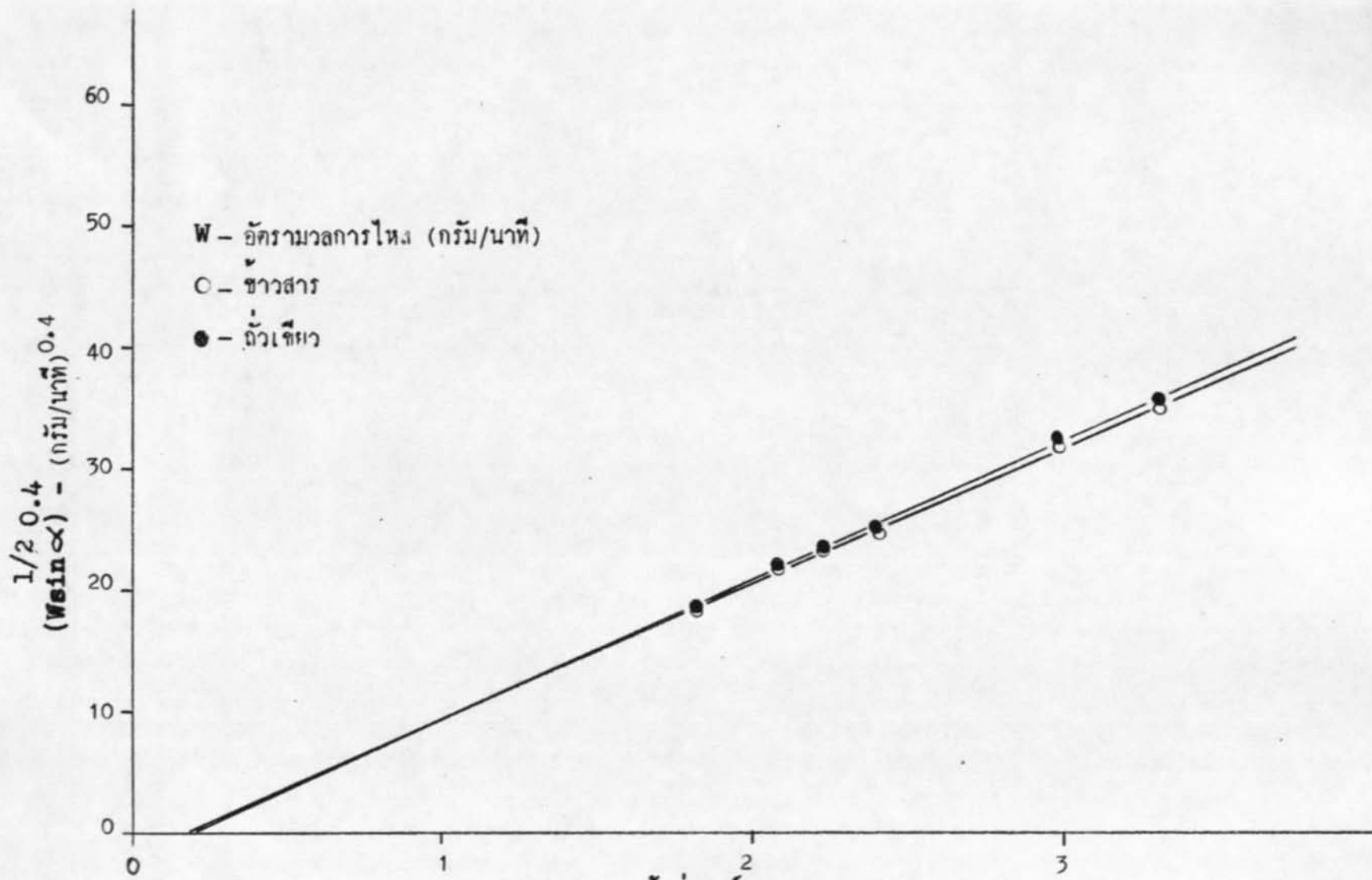




รูป 5.2.4.4 กราฟของอัตรามวลการไหลและเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว, มุมครึ่ง,  $\alpha$ :  $13.3^\circ$ ,  $22.2^\circ$

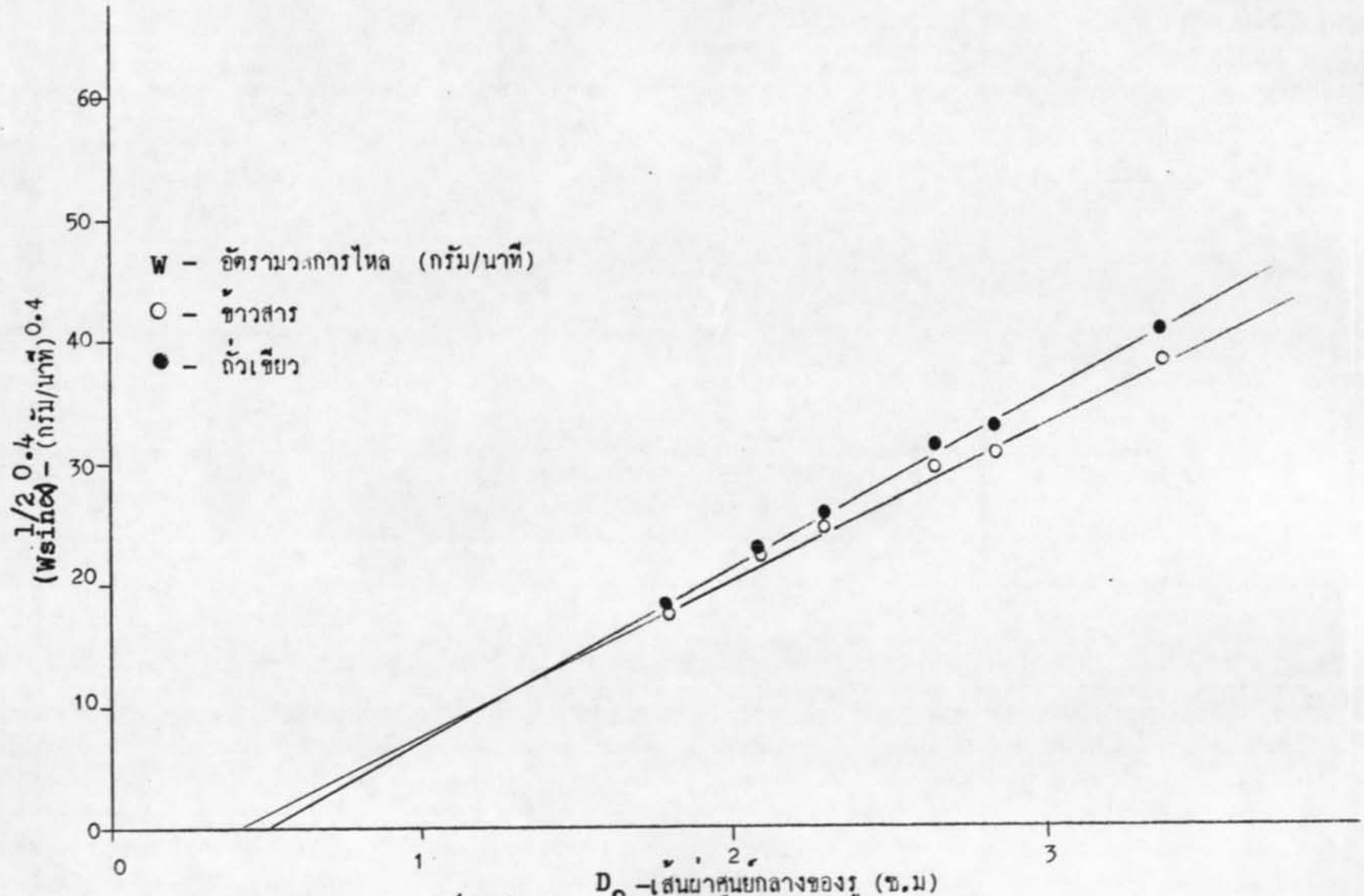


รูป 5.2.5.1 กราฟของ  $(W \sin \alpha)^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร , ถั่วเขียว, มุมครึ่ง,  $\alpha$  :  $9.3^\circ$

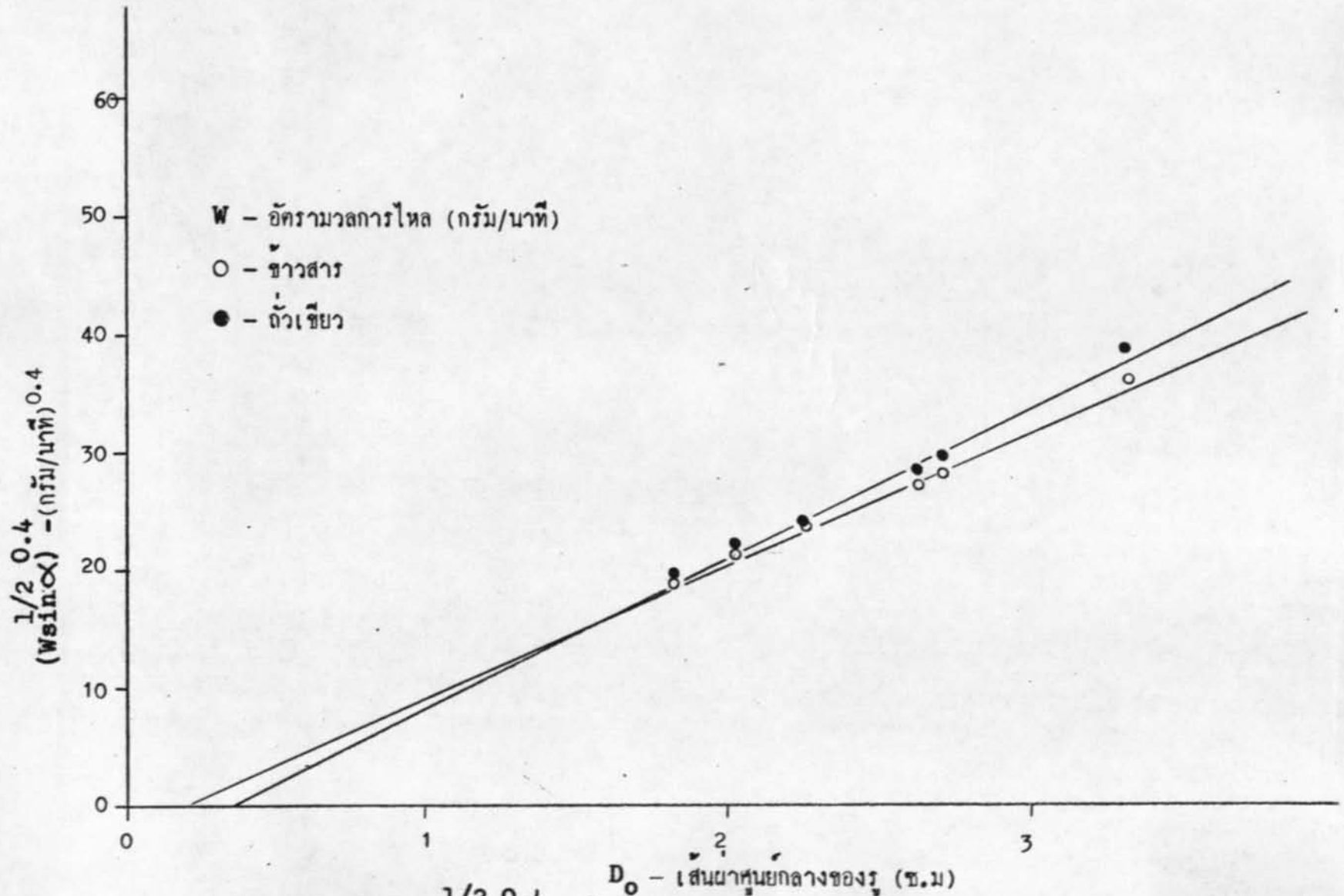


รูป 5.2.5.2 กราฟของ  $\frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot D_0$  - เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม) และ  $\frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot (W \sin \alpha)$

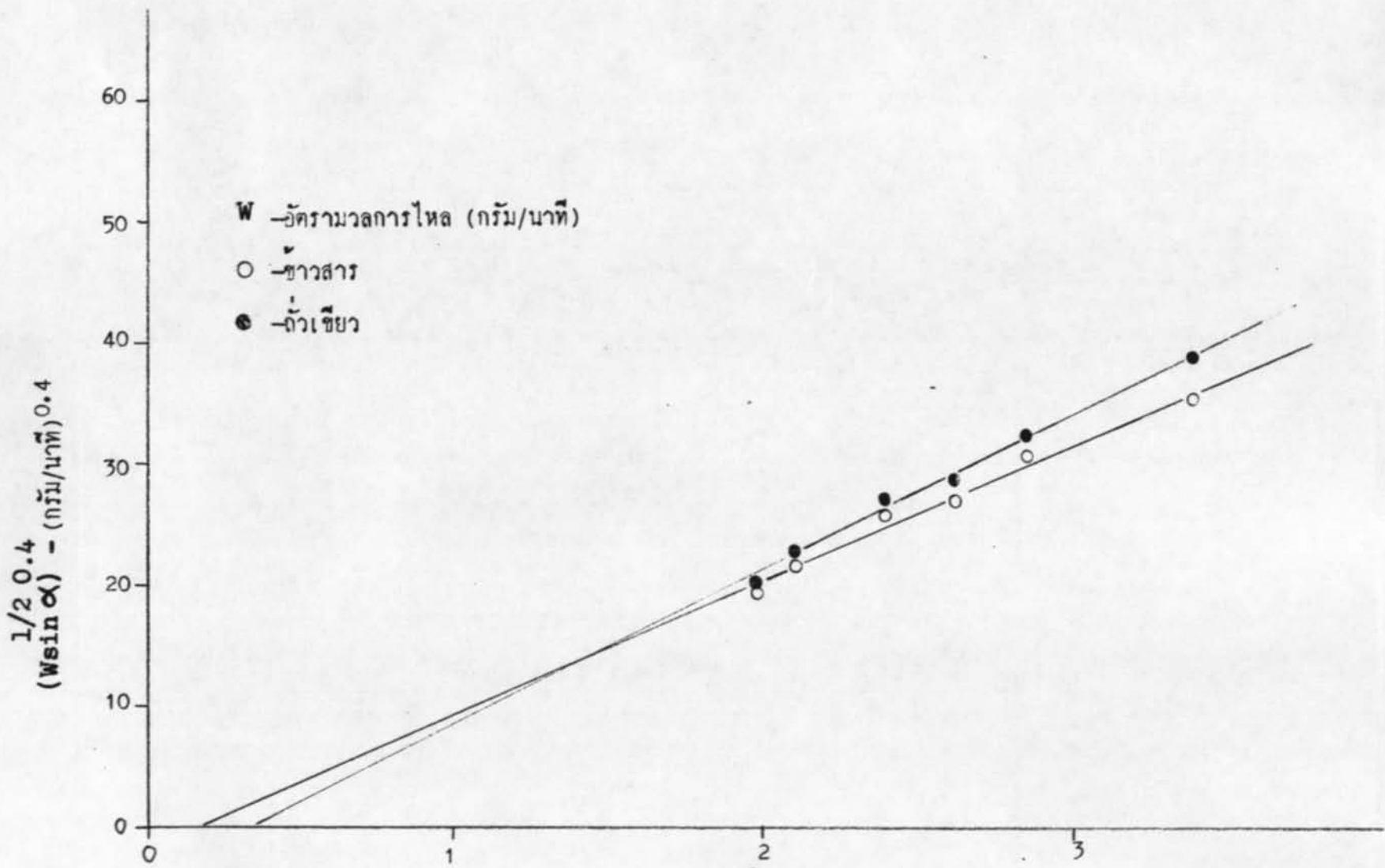
เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว มุมครึ่ง,  $\alpha$  :  $13.3^\circ$



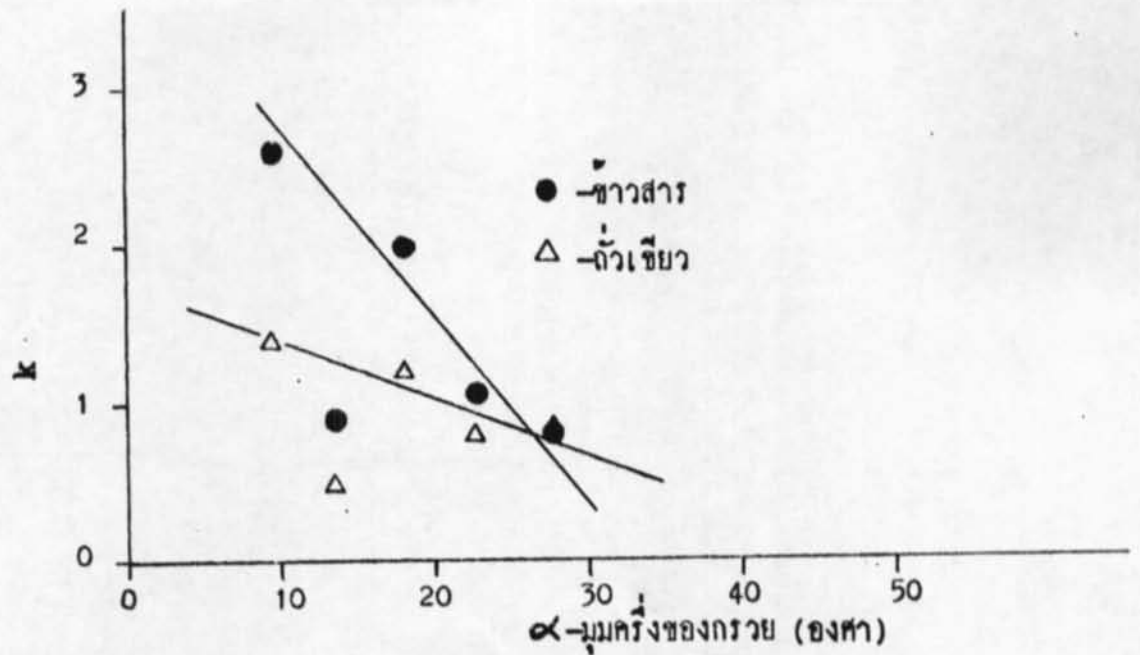
รูป 5.2.5.3 กราฟของ  $(W \sin \alpha)^{1/2}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว มุมครึ่ง,  $\alpha$  :  $18.1^\circ$



รูป 5.2.5.4 กราฟของ  $(W \sin \alpha)^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  $D_o$   
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว, มุมครึ่ง  $\alpha$ ,  $22.2^\circ$

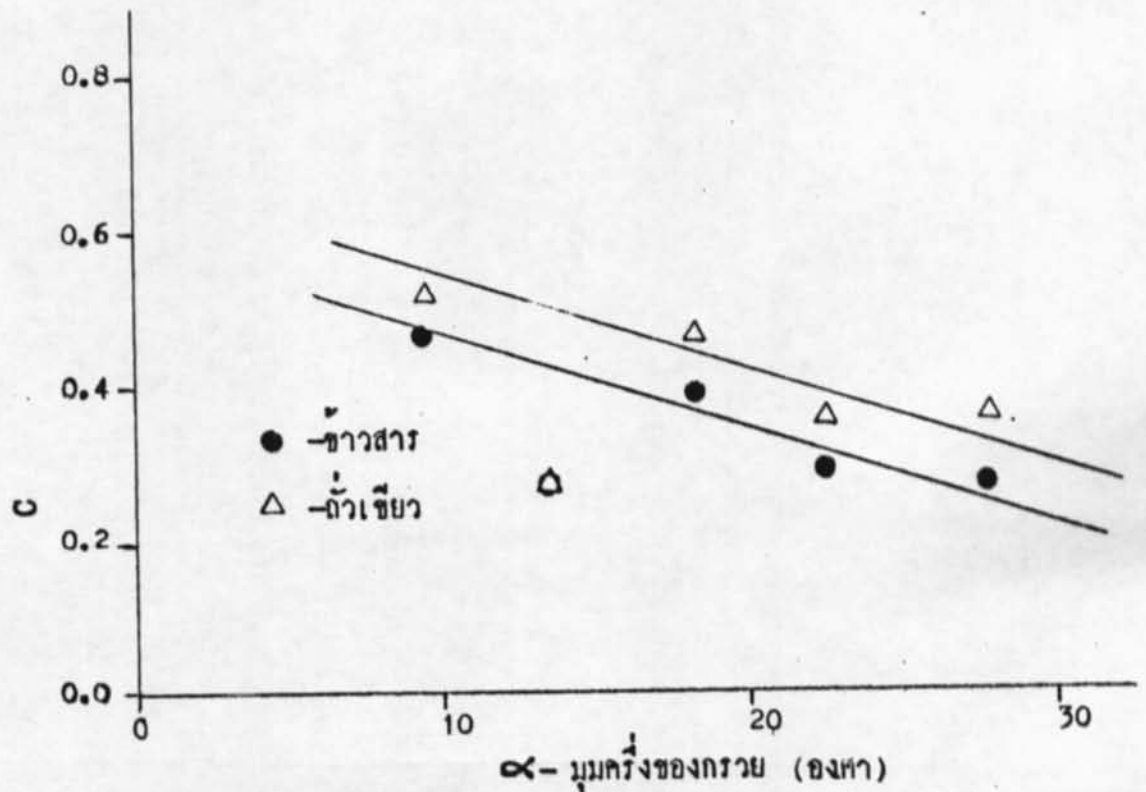


รูป 5.2.5.5 กราฟของ  $\frac{1}{2} 0.4 (W \sin \alpha)$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  $D_o$  - เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม)  
 เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว, นมคั้น,  $\alpha : 27.6^\circ$



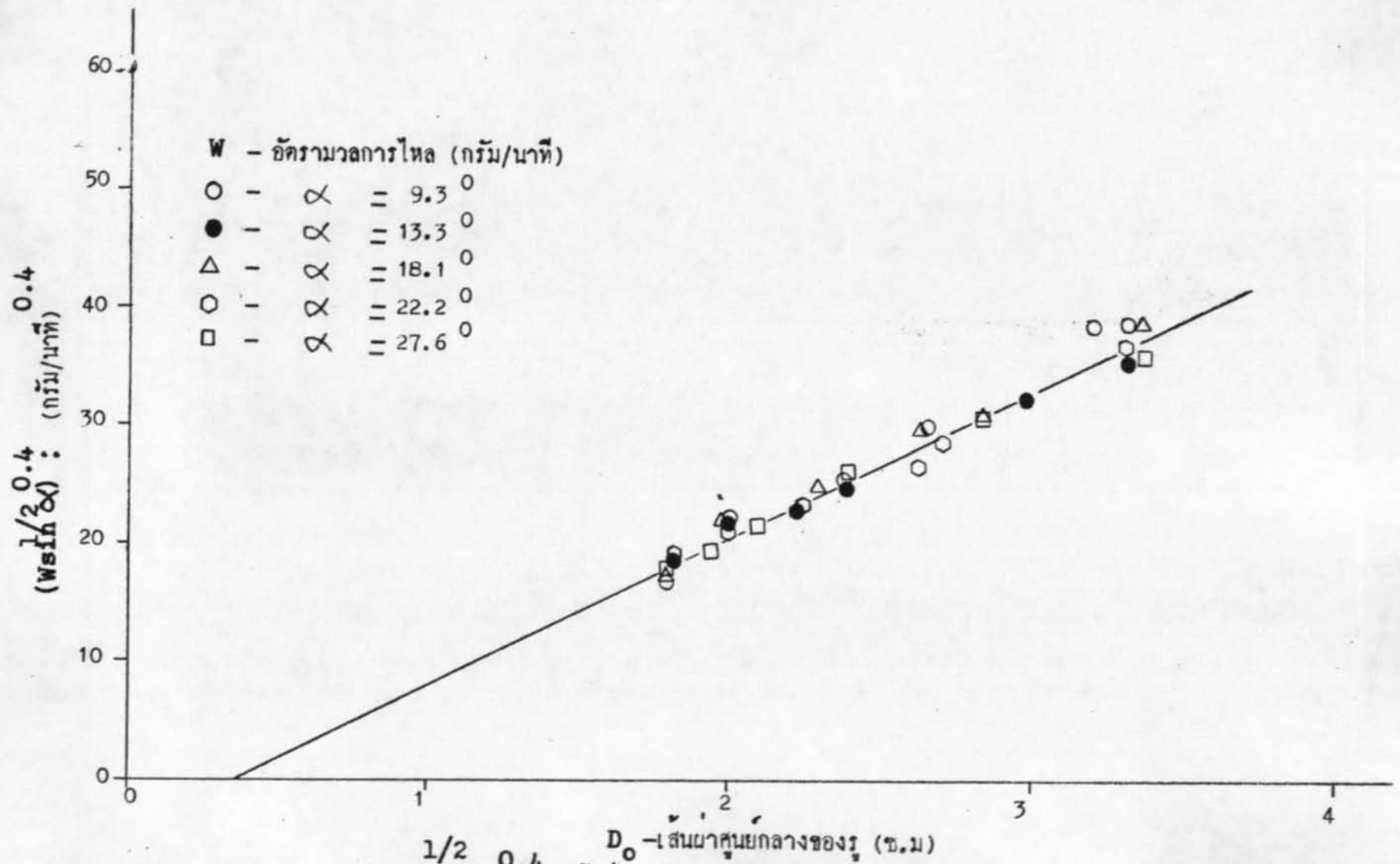
รูป 5.2.5.6 กราฟของ  $k$  และ  $\alpha$

เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว



รูป 5.2.5.7 กราฟของ  $C$  และ  $\alpha$

เมล็ดพืช : ข้าวสาร, ถั่วเขียว

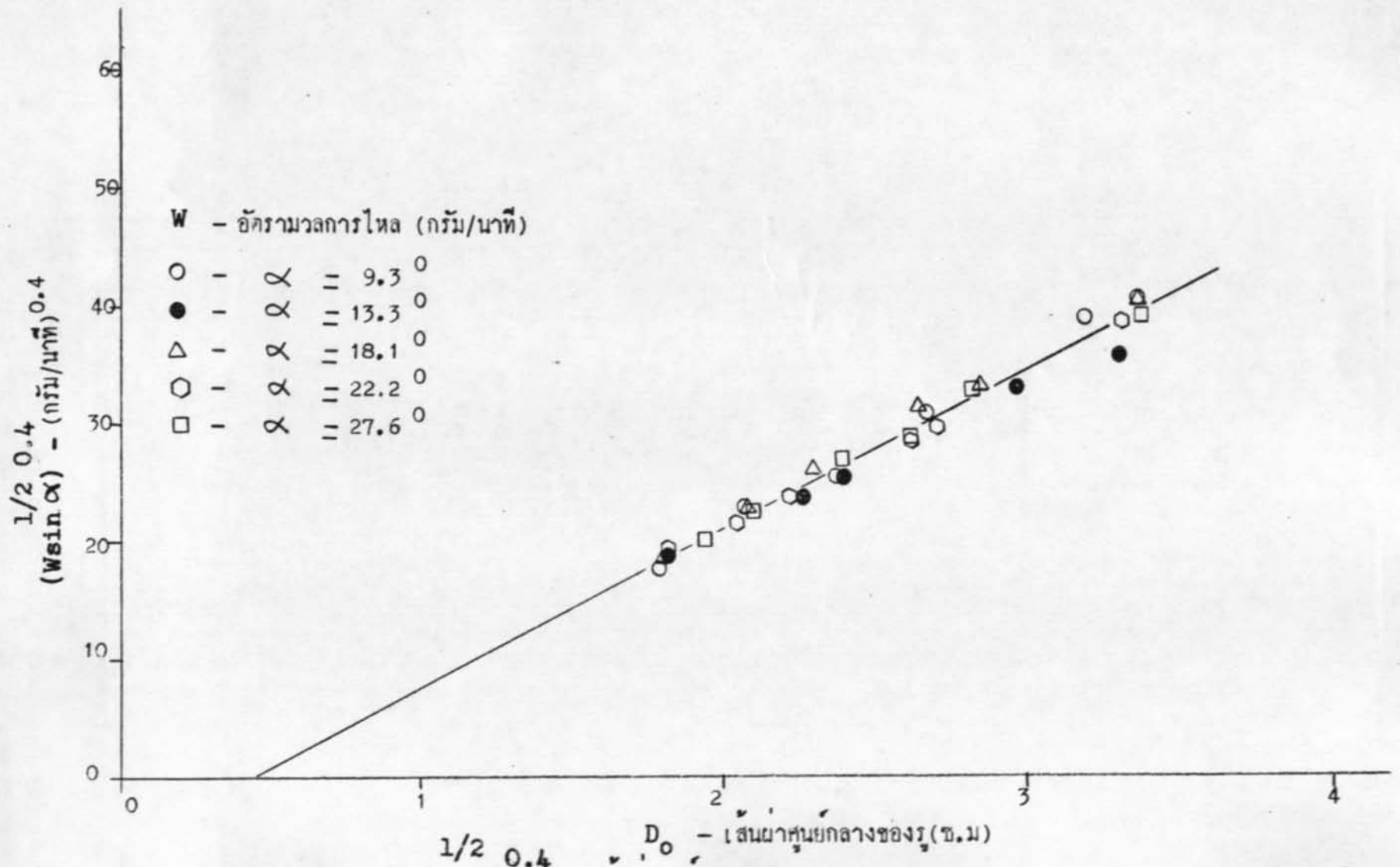


รูป 5.2.5.8 กราฟของ  $(W \sin \alpha)^{1/2}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมล็ดพืช : ข้าวสาร

มุมครึ่ง, α : 9.3°, 13.3°, 18.1°, 22.2°, 27.6°

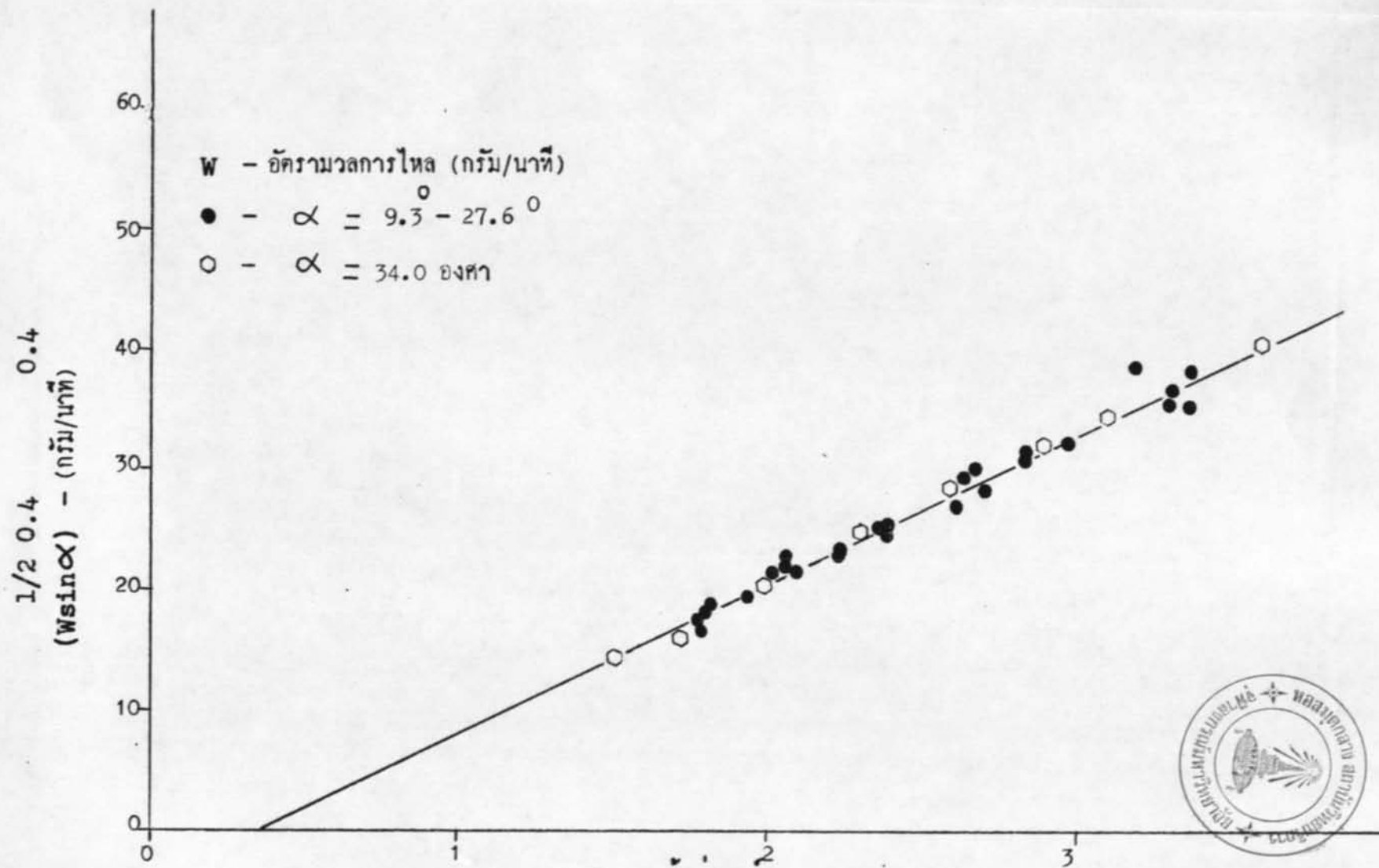




รูป 5.2.5.9

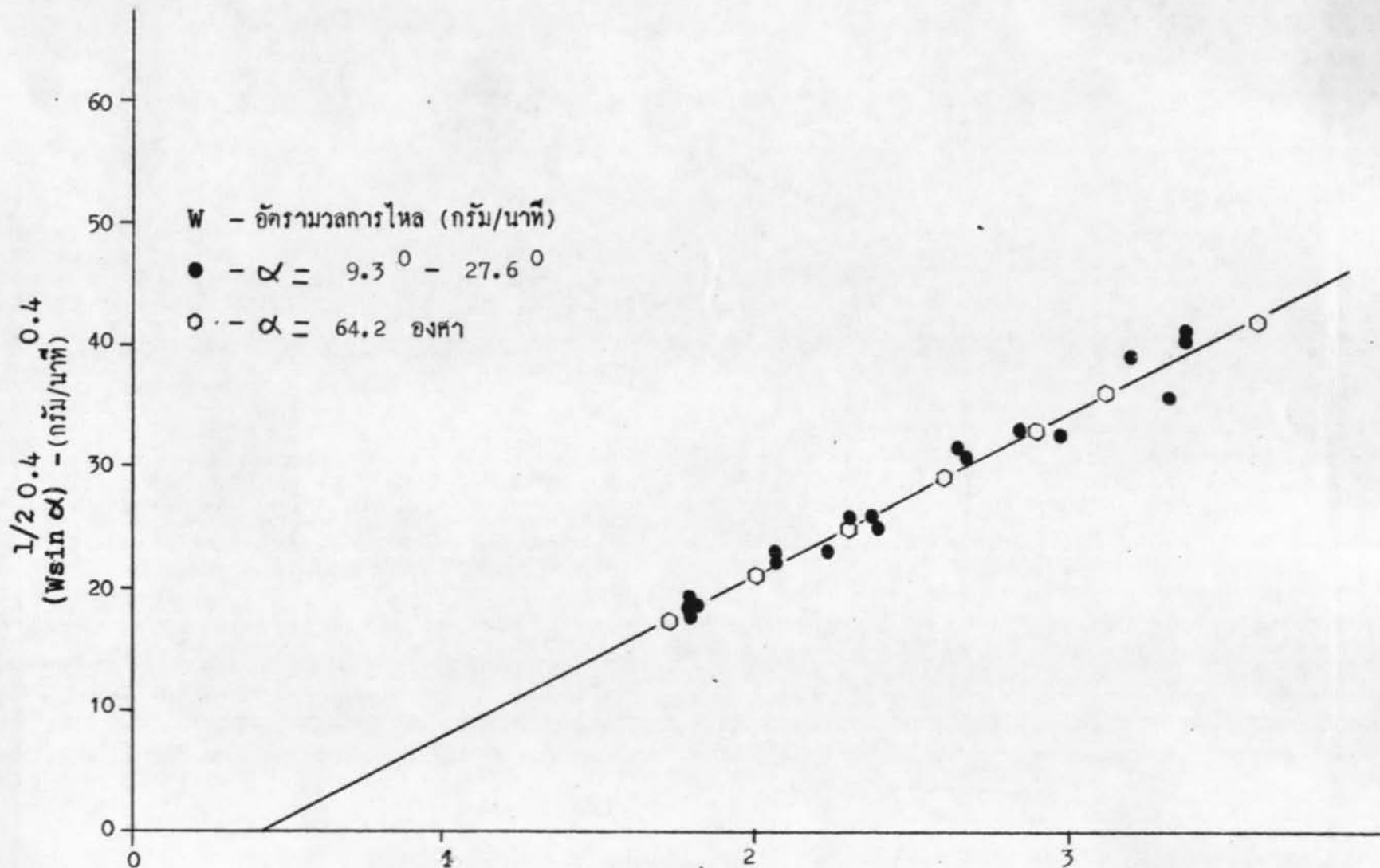
กราฟของ  $(W \sin \alpha)$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมื่อกำลัง : ตัวเขียว มุมครึ่ง,  $\alpha$  :  $9.3^\circ, 13.3^\circ, 18.1^\circ, 22.2^\circ, 27.6^\circ$

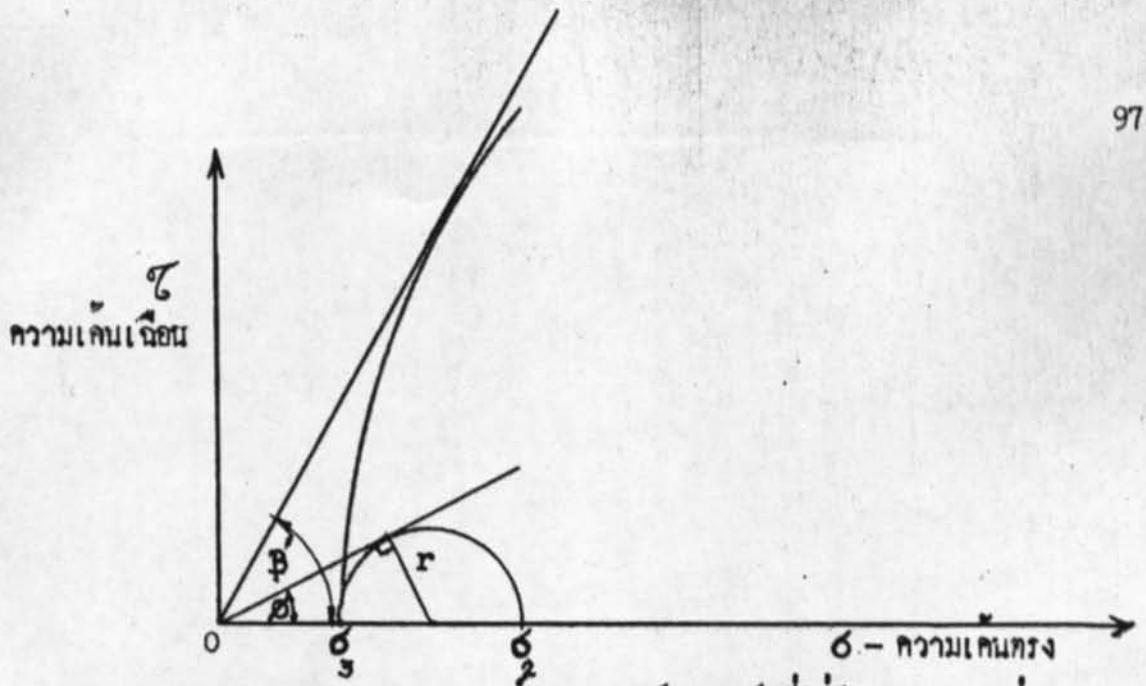


รูป 5.2.5.10 แสดงกราฟของ  $(W \sin \alpha)^{0.4}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

เมื่ักพีช : ข้าวสาร , มมครึ่ง ,  $\alpha$  :  $9.3^{\circ} - 27.6^{\circ}$  , ศ.ก. ทอ : 15.4 ซ.ม



รูป 5.2.5.11 แสดงกราฟของ  $(W \sin \alpha)$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของรู  $\frac{1}{2} D_{0.4}$  - เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (ซ.ม.)  
 เมล็ดพืช : ถั่วเขียว , มุมครึ่ง ,  $\alpha$  :  $9.3^\circ - 27.6^\circ$  , ศ.ก.ทอ : 15.4 ซ.ม



รูป 6.1.1 วงกลมของมอร์ สำหรับเม็ทของแข็งที่ไม่มีแรงเกาะระหว่างกัน

ภาคผนวก. ก

## สัญลักษณ์

$C_o$	ค่าคงที่ของแรงเกาะกันระหว่างเม็คของแข็ง
$C$	ค่าคงที่ของสูตรสำหรับหาอัตรามวลการไหล
$d$	เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็คของแข็ง
$D_o$	เส้นผ่าศูนย์กลางของรู
$E$	พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
$f$	ความเร่งในแนวรัศมี
$f_m$	ความเร่งในแนวรัศมี ที่ตำแหน่ง $R_m, \theta$
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
$H$	ความสูงของเม็คของแข็งทั้งหมดที่ถูกบรรจุอยู่ในท่อทรงกระบอก
$h_1, h_2$	ความสูงของของเหลวที่ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ตามลำดับ
$K_L$	ค่าคงที่ซึ่งมีค่าแปรตามขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็คของแข็ง
$K_o$	ค่าคงที่ซึ่งไม่แปรตามความลึกของท่อทรงกระบอก
$K$	$(1+\sin\theta)/(1-\sin\theta)$
$K'_1$	$(1+\sin\beta)/(1-\sin\beta)$
$K'_2$	$(1+\sin\theta)/(1-\sin\theta)$
$K'$	$K'_1 + K'_2$
$k$	ค่าคงที่ของช่องว่างวงแหวนรอบๆ รู
$L$	ความยาว
$M$	มวล
$m$	น้ำหนักของเม็คของแข็งหนึ่งเม็ค
$N$	จำนวนเม็คของแข็งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา
$P_h$	แรงแห่งความดันในแนวราบ
$P_{vo}$	แรงแห่งความดันในแนวตั้ง ที่ตำแหน่ง $x = 0$
$P_v$	แรงแห่งความดันในแนวตั้ง ที่ตำแหน่ง $x$ ใด ๆ

$\Delta Q$	น้ำหนักของเม็คของแข็งที่ซังได้เมื่อเวลา = $\Delta t$
R	รัศมีของลำท่อ
$R_m$	รัศมีของลำท่อ ที่ตำแหน่งแนวความโค้งแห่งการคดอย่างอิสระ
$r_0$	รัศมีจากจุด 0 ถึงรูของกรวย
$r_1$	ตำแหน่งในแนวรัศมีของเม็คของแข็งที่อยู่ในกรวย
r	ตำแหน่งในแนวรัศมีใด ๆ ของกรวย
S	พื้นที่ ที่ตั้งฉากกับรัศมี R ของลำท่อ
T	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อทรงกระบอก
$\Delta t$	เวลา ตั้งแต่เริ่มต้นจับเวลาจนถึงเลิกจับเวลา
t	เวลา
U	สัมประสิทธิ์แห่งความเสียหาย
$U_w$	สัมประสิทธิ์แห่งความเสียหายที่ยัง
$V_0$	ปริมาตรของลำท่อ
V	อัตราส่วนที่แปรตามปริมาตรการไหล
v	ความเร็วในแนวรัศมี r
W	อัตรามวลการไหล
X	ตำแหน่งของเม็คของแข็งที่อยู่ในท่อทรงกระบอก
y	$r_1/r_0$
$e_b$	ความหนาแน่นของเม็คของแข็งที่อยู่ในปริมาตรที่กำลังพิจารณา
$e_f$	ความหนาแน่นขณะไหลของเม็คของแข็ง
$e_p$	ความหนาแน่นของเม็คของแข็ง
$\theta_s$	มุมแห่งการ ลื่นไถล
$\beta'$	มุมของ เส้นสัมผัสสว่างกลมมอร์
$\beta$	มุมระหว่างแนวคิ่งกับพื้นที่แห่งการ ลื่นไถลของเม็คของแข็ง
$\theta$	มุมใด ๆ จากแนวคิ่งของกรวย

$\lambda(\theta)$	ค่าคงที่ซึ่งมีค่าแปรตามค่าของมุม $\theta$
$\alpha$	มุมครึ่งของกรวย
$\delta$	ความเค้นเฉือน
$\delta_{r\theta}$	ความเค้นเฉือนบนระนาบ $r$ ในทิศทาง $\theta$
$\delta_{r\psi}$	ความเค้นเฉือนบนระนาบ $r$ ในทิศทาง $\psi$
$\delta_{\theta\psi}$	ความเค้นเฉือนบนระนาบ $\theta$ ในทิศทาง $\psi$
$\delta$	ความเค้นตรง
$\delta_{\theta}$	ความเค้นตรงบนระนาบ $\theta$
$\delta_r$	ความเค้นตรงบนระนาบ $r$
$\delta_{\psi}$	ความเค้นตรงบนระนาบ $\psi$
$\delta_1, \delta_2, \delta_3$	ความเค้นหลัก อันดับที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ
$\phi$	มุมแห่งความเสียหายภายใน
ศ.ก.	เส้นผ่าศูนย์กลาง



ประวัติผู้เขียน

นางสาวสาวิตรี โรจนโรช ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2520 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาศิลปกรรมเคมี ภาควิชาศิลปกรรมเคมี มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2521

