บทที่ 5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล
(Data Analysis)

5.1 คำนำ

ในบทที่ 5 นี้ จะเป็นการนำข้อมูลดิบซึ่งได้ทดลองมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเร็วที่ระยะต่างๆจากผนังของถัง แล้วนำไปพลอตกราฟระหว่างระยะทางจากผนังของถังกับความเร็ว ในการพลอตกราฟนี้เราจะพลอตแบบไม่มีมิติ (dimensionless form) โดยจะคิดค่าความเร็วสูงสุดและความกว้างของถังเป็น 1 ในตอนที่ 5.2 จะนำเอาข้อมูลจากผลการทดลองในเขตการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) มาวิเคราะห์ ส่วนในตอนที่ 5.3 จะนำเอาข้อมูลจากผลการทดลองในเขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone) มาวิเคราะห์

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในเขตการไหลแบบแท่ง

ในเขตการไหลแบบเป็นแท่ง เรามีข้อมูลระหว่างระยะทางทั้งในแนวดิ่งและแนวราบกับเวลา เราจะนำข้อมูลนี้ไปพลอตระหว่างระยะทางในแนวดิ่งกับเวลาและระยะทางในแนวราบกับเวลา รูปที่พลอตจะได้แสดงในรูปที่ 5.2.1 ถึงรูปที่ 5.2.5 จากรูปกราฟเราจะพบว่า ระยะทางในแนวดิ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) กับเวลา และเราทราบว่าเส้นกราฟนี้ต้องผ่านจุดกำเนิด (origin) เพราะว่าที่เวลาเท่ากับศูนย์ระยะทางในแนวดิ่งต้องเป็นศูนย์ การหาความชันของกราฟนี้จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) โดยจะอธิบายดังนี้

ให้ $y' = mt$

เมื่อ y' = ระยะทางในแนวดิ่งซึ่งวัดจากแนวบนของกรอบอ้างอิง (reference frame) ซม.

m = ค่าความชันของเส้นตรง (slope), ซม./วินาที

t = เวลา วินาที

โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) จะได้

$$m = \frac{\Sigma y' t}{\Sigma t^2}$$

ค่า m นี้ จะเป็นค่าของความเร็วเฉลี่ยในแนวดิ่ง (average vertical velocity) นั่นเอง

สำหรับรูปการพลอตระหว่างระยะทางในแนวราบกับเวลานั้น จะเห็นว่ามีความชันเท่ากับ 0 คือ ไม่มีความเร็วในแนวราบนั่นเอง

อนึ่ง เมื่อเราทราบจากการพลอตระหว่างระยะทางในแนวดิ่งกับเวลาว่า ความเร็วที่ได้มีค่าคงที่ เพราะกราฟเป็นเส้นตรง ดังนั้น ในการทดลองครั้งต่อ ๆ ไป จึงไม่จำเป็นต้องจับเวลาทุกๆ วินาที แต่จะจับเวลาตั้งแต่เมล็ดข้าวเหนียวไหลผ่านแนวบนของกรอบอ้างอิง (reference frame) ถึงแนวล่างของกรอบอ้างอิง ซึ่งมีระยะทางเท่ากับ 20 ซม. นั่นเอง แล้วจึงหาความเร็วเฉลี่ยจาก

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทางของกรอบอ้างอิง}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \qquad (5.2.1)$$

เสร็จแล้วจึงนำไปพลอตเพื่อหาเส้นวาดแทนความเร็ว (velocity profile) ดังข้างต้น

จากการพลอต ทำให้ทราบว่า ในช่วง 80 – 40 ซม. จากรูเป็นเขตที่มีการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) จึงเลือกเอาระยะทางในช่วงนี้ มาเป็นกรอบอ้างอิง (reference frame) ซึ่งในที่นี้ เลือกระยะ 60 – 40 ซม. จากรู จากนั้นทำการทดลอง โดยเปลี่ยนขนาดของรู (orifice size) ตั้งแต่ 1.5, 2, 2.5 และ 3 ซม. และความกว้างของถัง (bin width) ตั้งแต่ 10, 12.5, 15, 18, 20 และ 22 ซม. การหาความเร็วใช้สมการ (5.2.1) รูปที่พลอตหาเส้นวาดแทนความเร็ว (velocity profile) โดยการใช้สมการ (5.2.1) นั้น แสดงในรูปที่ 5.2.6 ถึงรูปที่ 5.2.15

จากนั้นจะนำค่าความเร็วตามแนวดิ่งที่ระยะต่าง ๆ มาหาค่าเฉลี่ย เป็นค่าความเร็วอันหนึ่ง

เรียกว่า ความเร็วของการไหลแบบแท่ง (plug flow velocity) จากค่าความเร็วของการไหลแบบแท่งนี้ ขอย้อนกลับไปที่สมการ (2.3.3) ที่ว่า

$$(v_p b)^{2/3} = (Cg^{1/2})^{2/3}(D - k d_p) \qquad (2.3.3)$$

ความหมายของตัวแปรต่าง ๆ อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ค่าคงที่ที่จะหามี 2 ตัว คือ k และ C' ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

จากสมการ (2.3.3) ถ้าเราคงค่า (fix) ของความกว้างของถัง (bin width), b, แล้วเปลี่ยนค่าขนาดของรู (orifice size), D, จะได้ผลดังนี้

ขนาดของรู, D, ซม.	ความเร็วของการไหลแบบแท่ง, v_p, ซม./วินาที	$(v_p b)^{2/3}$
1.5	2.07	9.88
2.0	3.65	14.42
2.5	5.67	19.34
3.0	9.08	26.47

จากนั้น จึงพลอต $(v_p b)^{2/3}$ กับ D ดังแสดงในรูป 5.2.16 จะได้กราฟเส้นตรงออกมา ทำการหาความชัน (slope) และจุดตัดแกน Y (Y-intercept) โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ซึ่งมีรายละเอียด คือ

ถ้า $y'' = Ex'' + F \qquad (5.2.2)$

จะได้ E = ความชัน

$$= \frac{n\Sigma(x''_n y''_n) - (\Sigma x''_n)(\Sigma y''_n)}{n\Sigma(x''_n)^2 - (\Sigma x''_n)^2}$$

F = จุดตัดแกน Y

$$= \frac{(\Sigma(x''_n)^2)(\Sigma y''_n) - (\Sigma x''_n)(\Sigma x''_n y''_n)}{n\Sigma(x''_n)^2 - (\Sigma x''_n)^2}$$

เมื่อ n = จำนวนข้อมูลคิดในแต่ละแกน

x''_n = ข้อมูลซึ่งพลอตในแกน X

y''_n = ข้อมูลที่ได้จากแกน Y

โดยวิธีดังกล่าว จะได้

ความชัน = 10.94

จุดตัดแกน = −7.08

จากบทที่ 2 สมการ (2.3.3)

ความชัน = $(cg^{1/2})^{2/3}$

จุดตัดแกน = $-(cg^{1/2})^{2/3} k d_p$

นั่นคือ $(cg^{1/2})^{2/3} = 10.94$

$cg^{1/2} = (10.94)^{3/2}$

$= 36.185$

$c = \frac{36.185}{(980)^{1/2}}$

$= 1.156$

และ $(cg^{1/2})^{2/3} k d_p = 7.08$

$k = \frac{7.08}{(10.94)\, d_p}$

d_p = ขนาดของเม็ดข้าวเหนียวทางกว้าง

= 0.243 ซม.

แทนค่า $k = \frac{7.08}{(10.94)(0.243)}$

$= 2.66$

ดังนั้น สมการสำหรับการไหลแบบแท่ง จะเป็น

$$(v_p \cdot b)^{2/3} = (1.156\, g^{1/2})^{2/3} (D - 2.66\, d_p)$$

หรือ $$v_p = 1.156\, g^{1/2} \frac{(D - 2.66\, d_p)^{3/2}}{b}$$

ถ้าเราคงค่า (fix) ขนาดของรู (orifice size), D, สมการ (2.3.3) จะเปลี่ยนเป็นสมการ (2.3.5)

$$\log v_p + \log b = \log \gamma \qquad (2.3.5)$$

นำค่า v_p , b ไปพลอตในกระดาษกราฟลอกการิทึม (log-log scale)

ที่ D = 2 ซม.

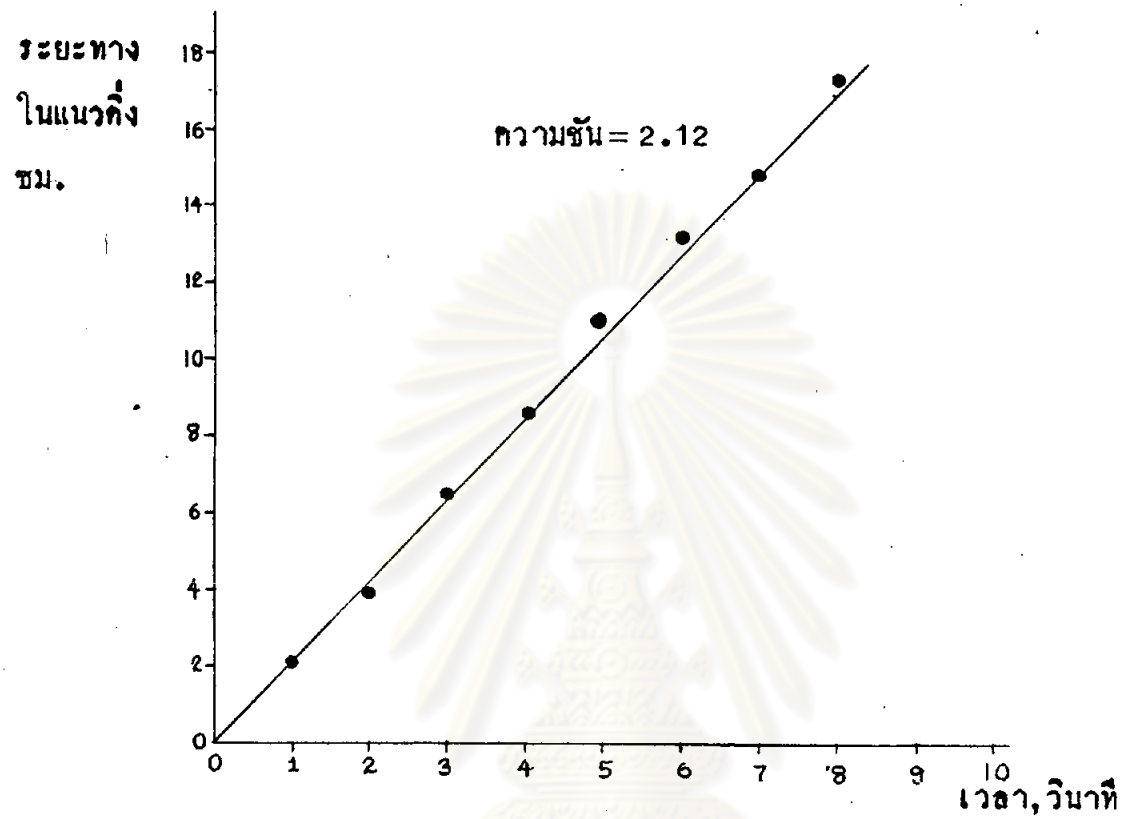
ความกว้างของถัง, ซม.	v_p , ซม./วินาที
10	5.81
12.5	4.53
15	3.65
18	3.14
20	2.73
22	2.72

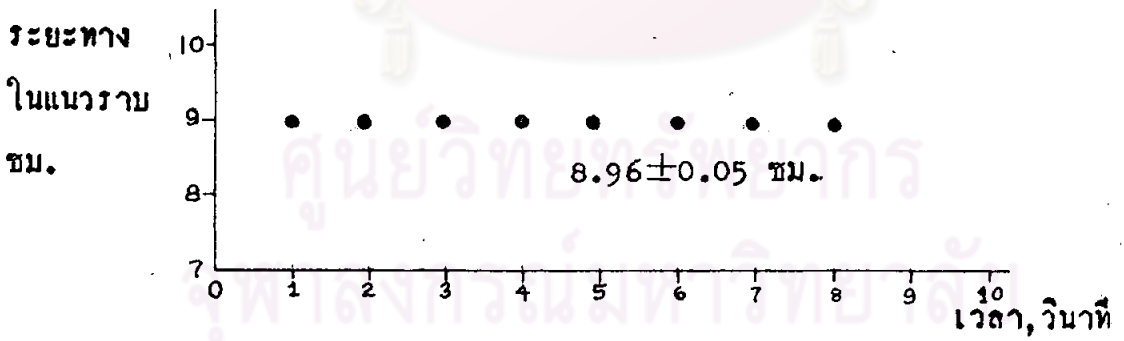
จากการพลอตในกระดาษกราฟลอการิทึม ดังในรูป 5.2.17 ได้กราฟเป็นเส้นตรง มีความชันเท่ากับ −0.97 และจุดตัดบนแกน y เท่ากับ log 56.2

หาค่า γ = 56.2

ซึ่ง γ ก็คือ ผลคูณระหว่าง ความเร็วของการไหลแบบแท่ง กับ ความกว้างของถัง

นั่นคือ ผลคูณระหว่างความเร็วของการไหลแบบแท่ง (plug flow velocity) กับความกว้างของถัง (bin width) มีค่าคงที่ และถ้าขนาดของรู (orifice size) มีขนาด 2 ซม. ค่าคงที่นั้นจะมีค่าประมาณ 56.2 ดังที่ได้พิสูจน์แล้วข้างต้น



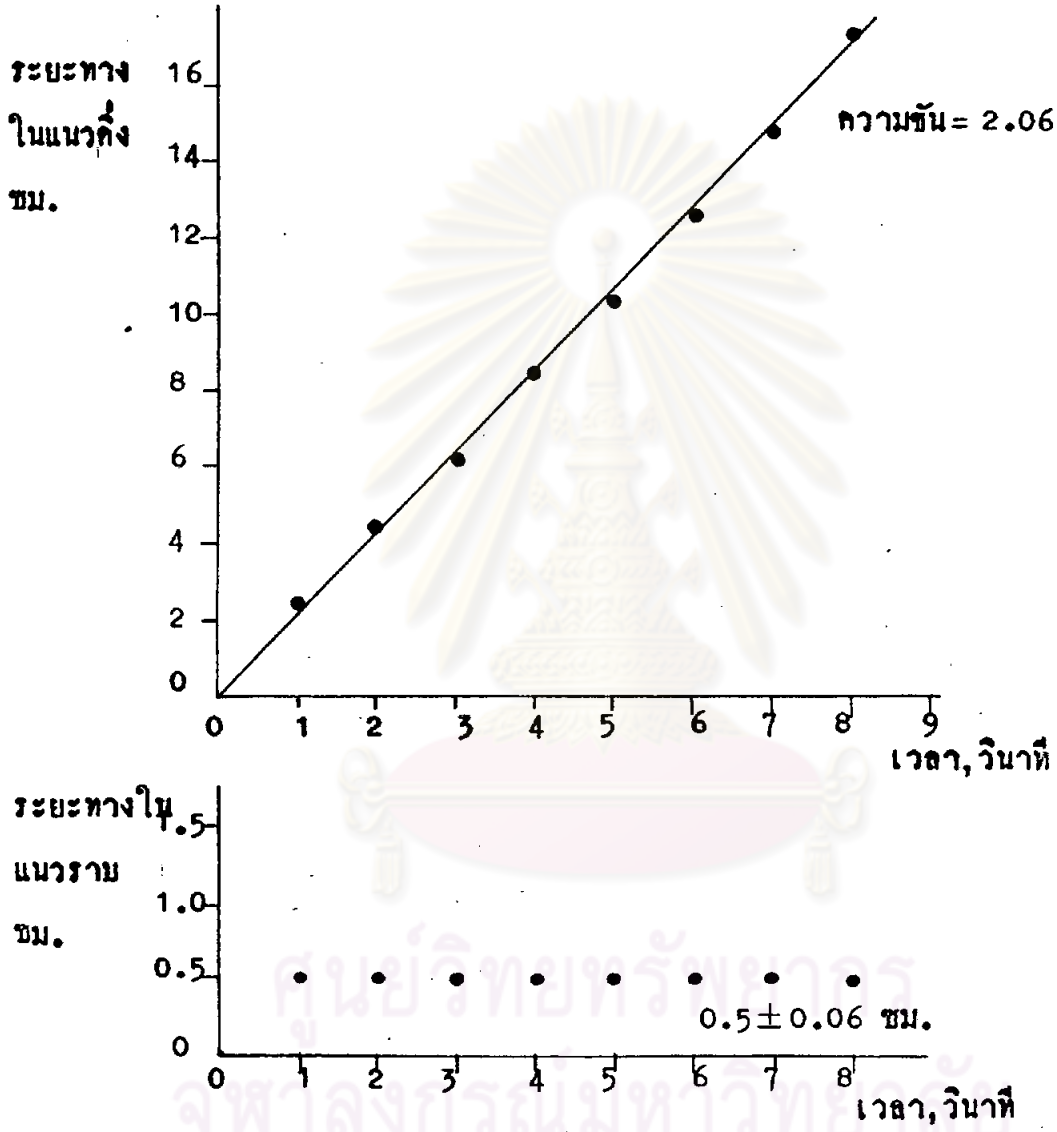


รูปที่ 5.2.1

กรอบอ้างอิง 80-60 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

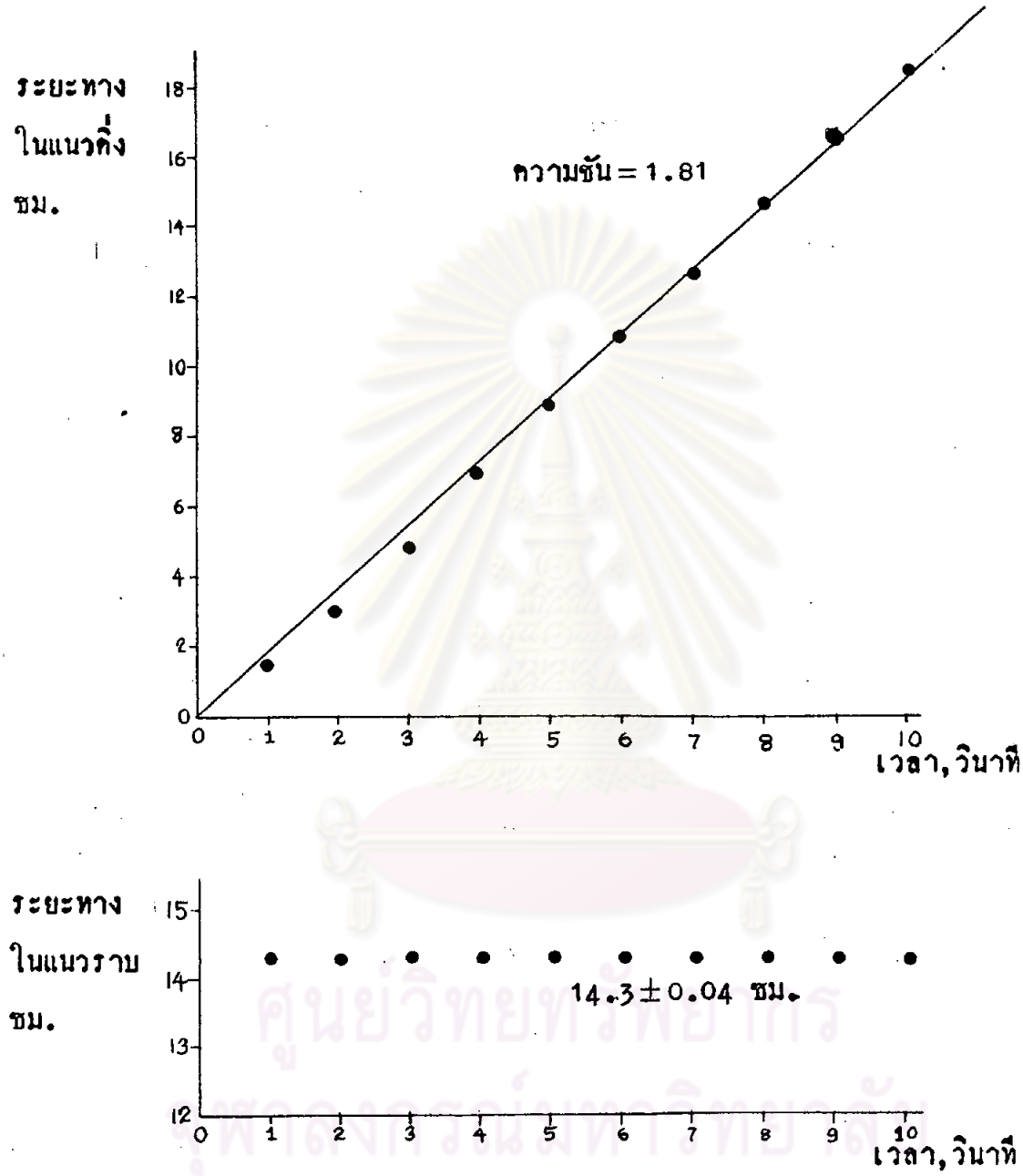


รูปที่ 5.2.2

กรอบอ้างอิง 80-60 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

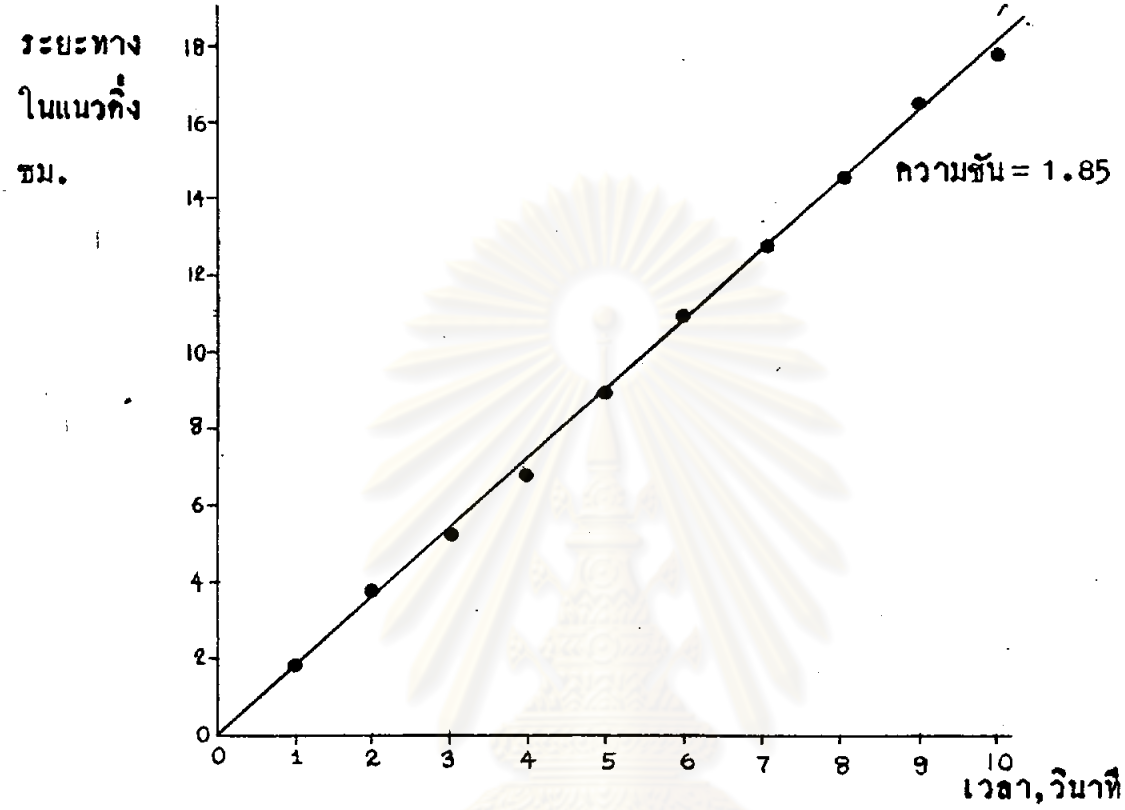


รูปที่ 5.2.3

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

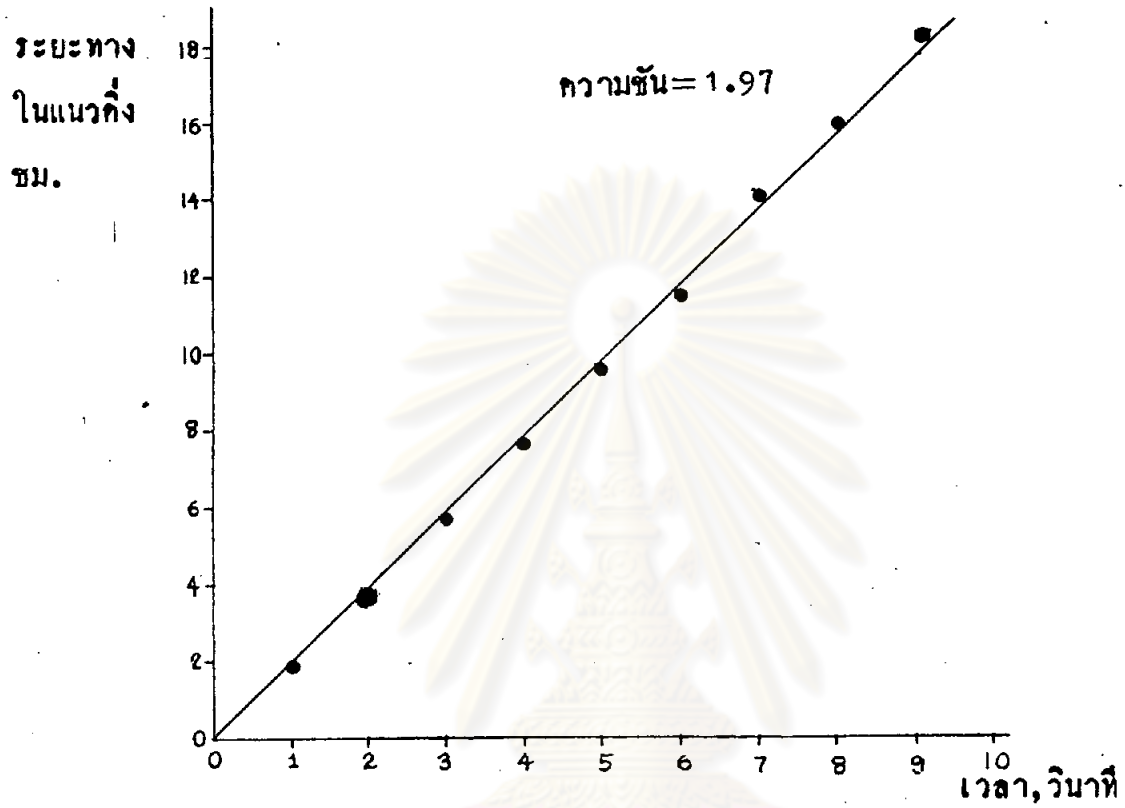


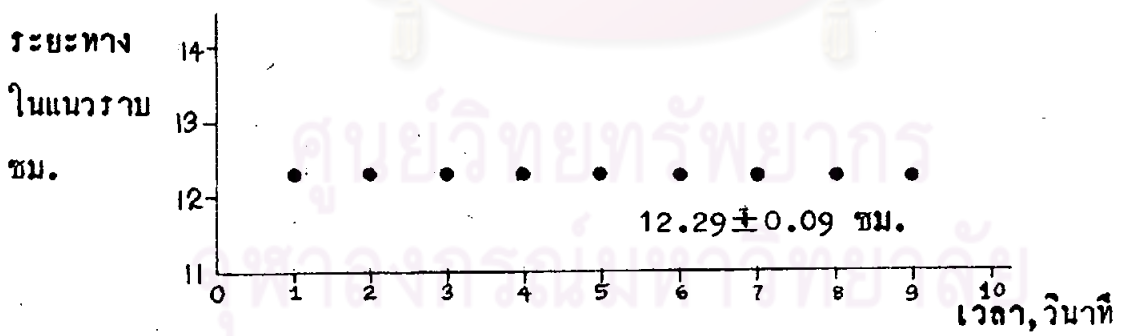
รูปที่ 5.2.4

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.



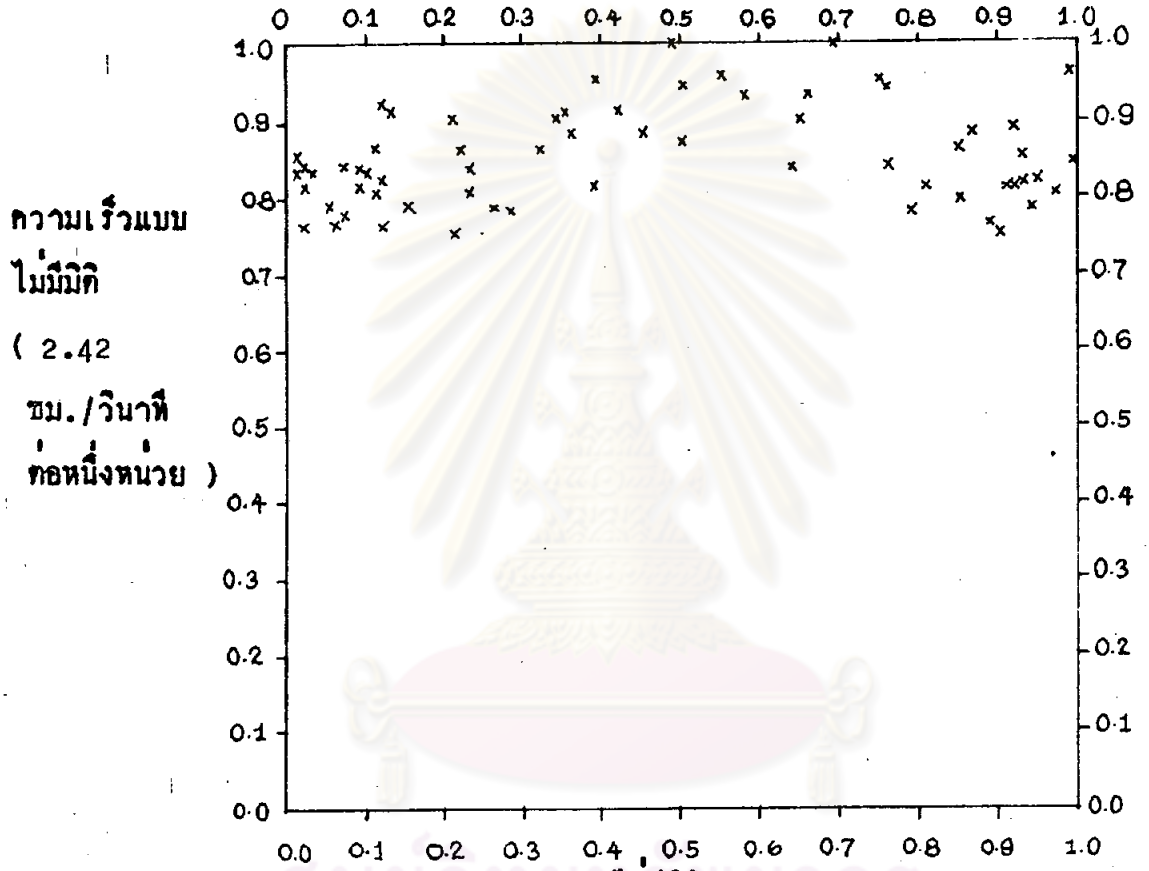


รูปที่ 5.2.5

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.



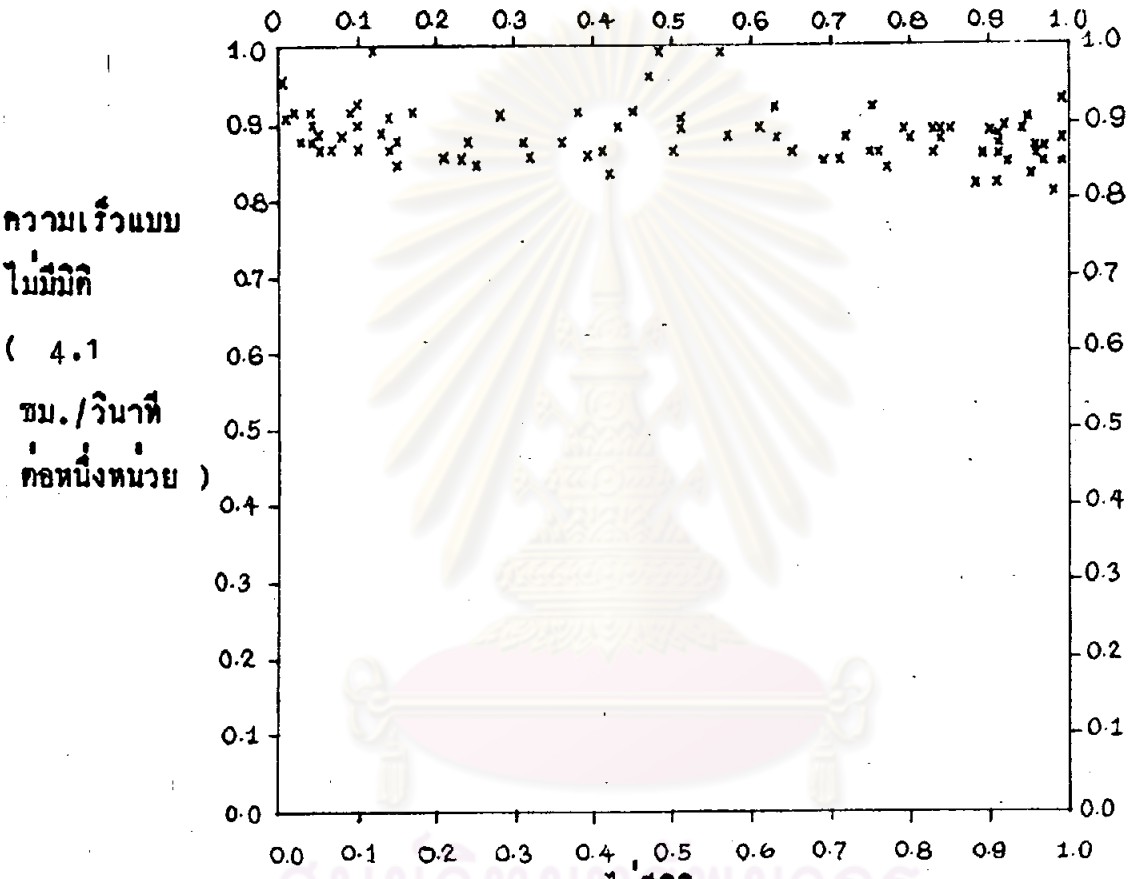
รูปที่5.2.6

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



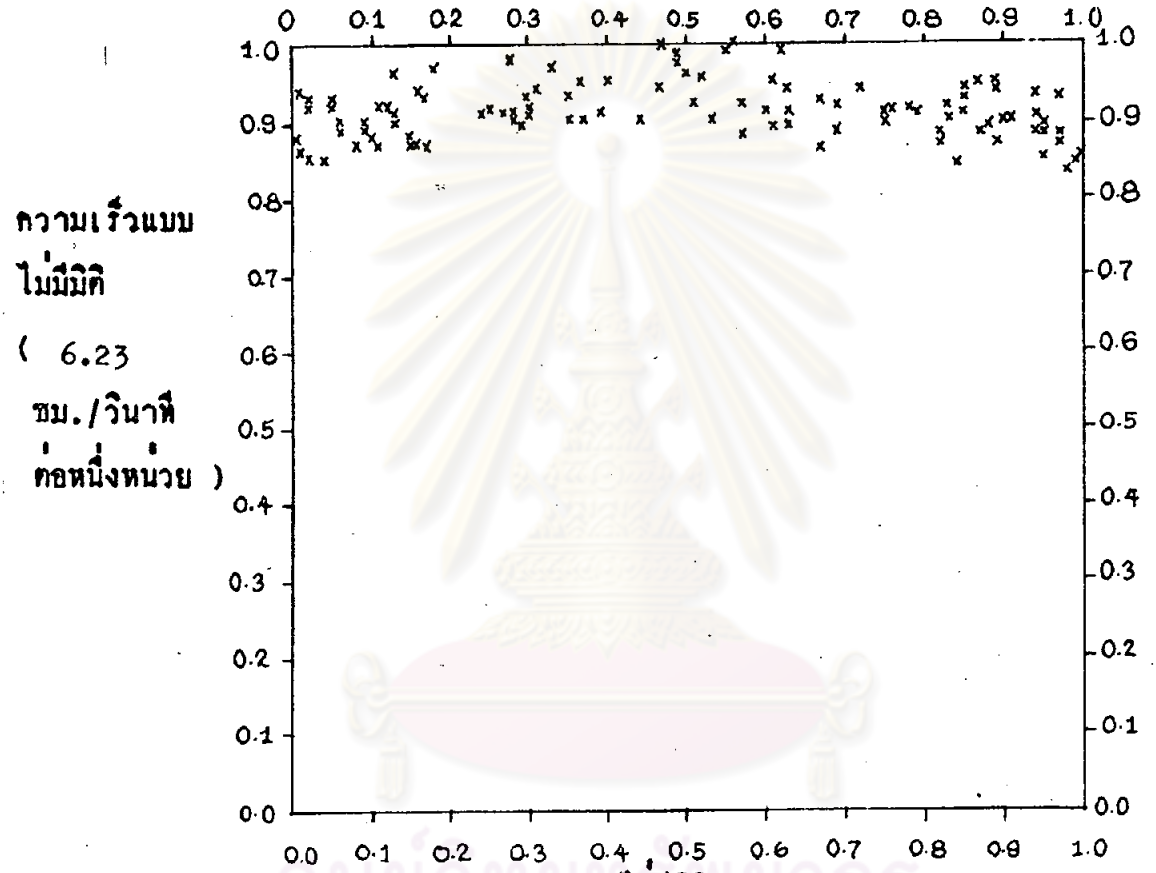
รูปที่ 5.2.7

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

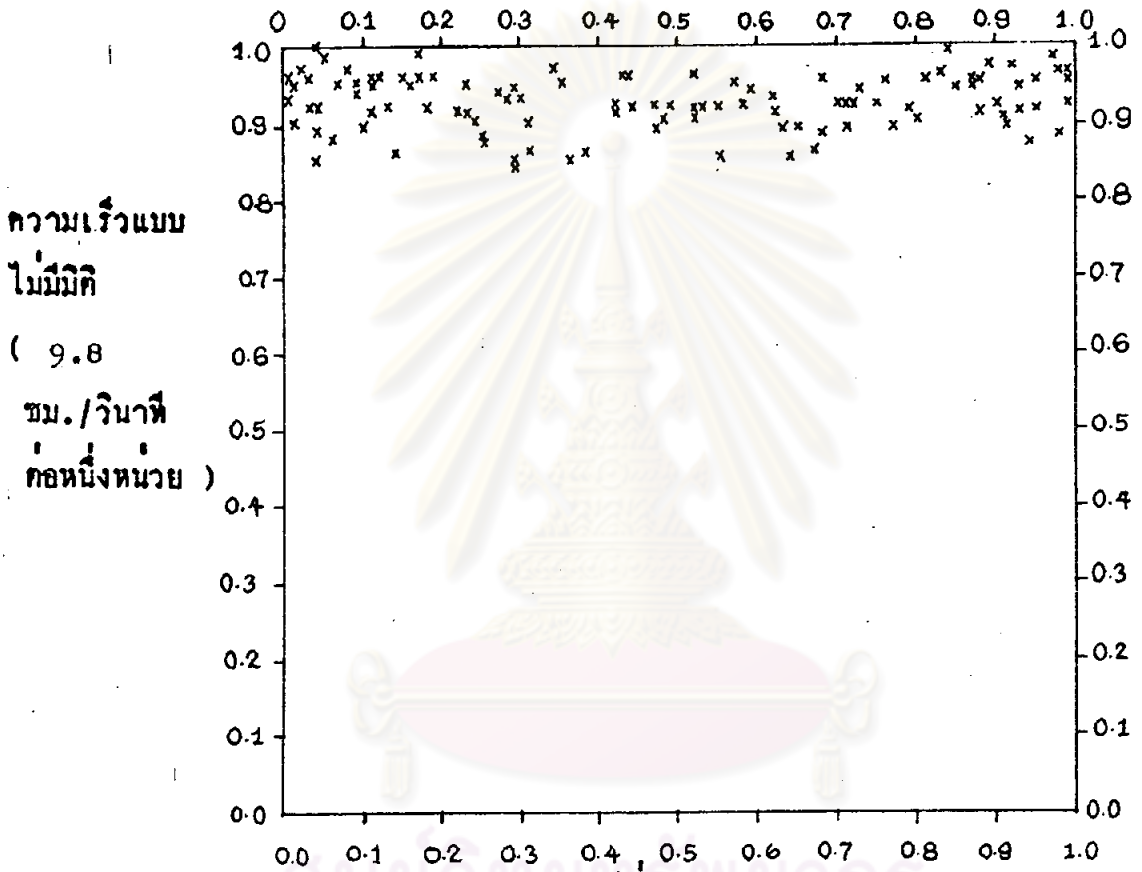
ขนาดของรู 2 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



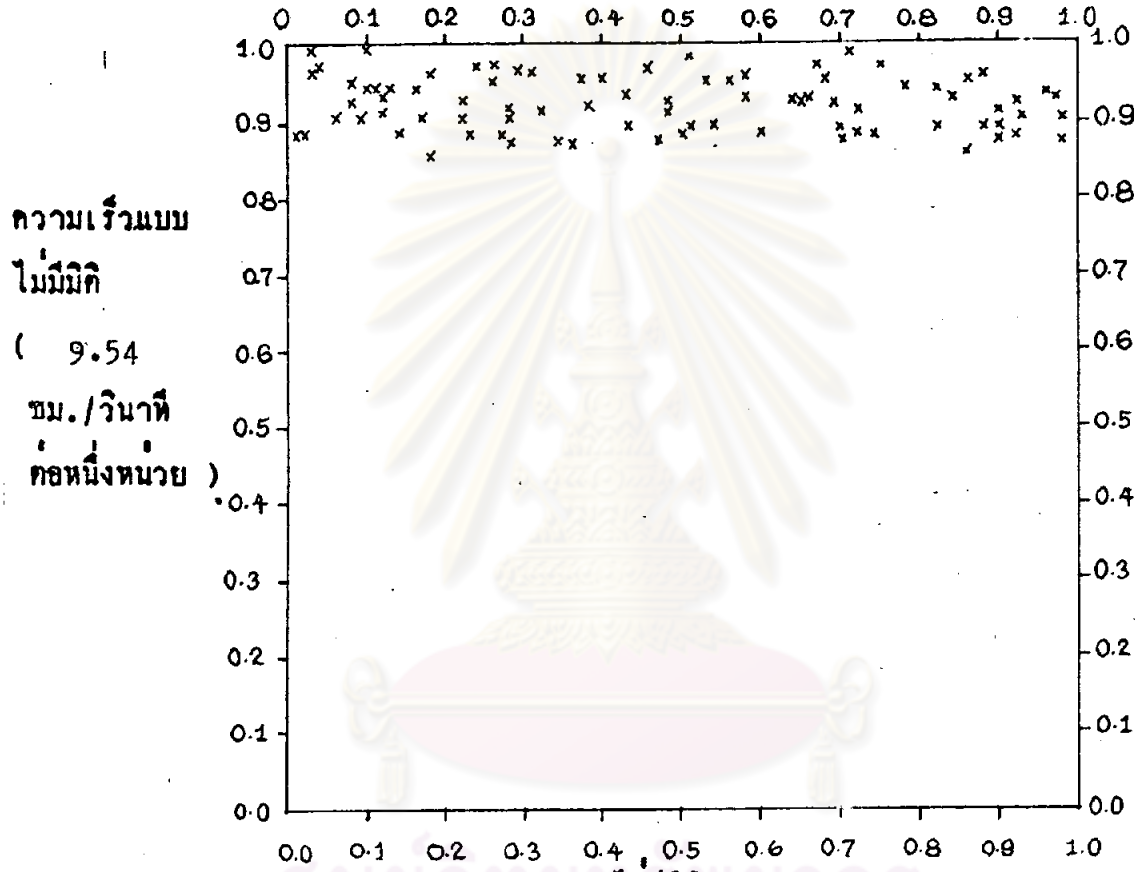
รูปที่ 5.2.8
กรอบอ้างอิง 60–40 ซม. จากรู
ความกว้างของถัง 15 ซม.
ขนาดของรู 2.5 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2.9
กรอบอ้างอิง60–40 ซม.จากรู
ความกว้างของถัง 15 ซม.
ขนาดของรู 3 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

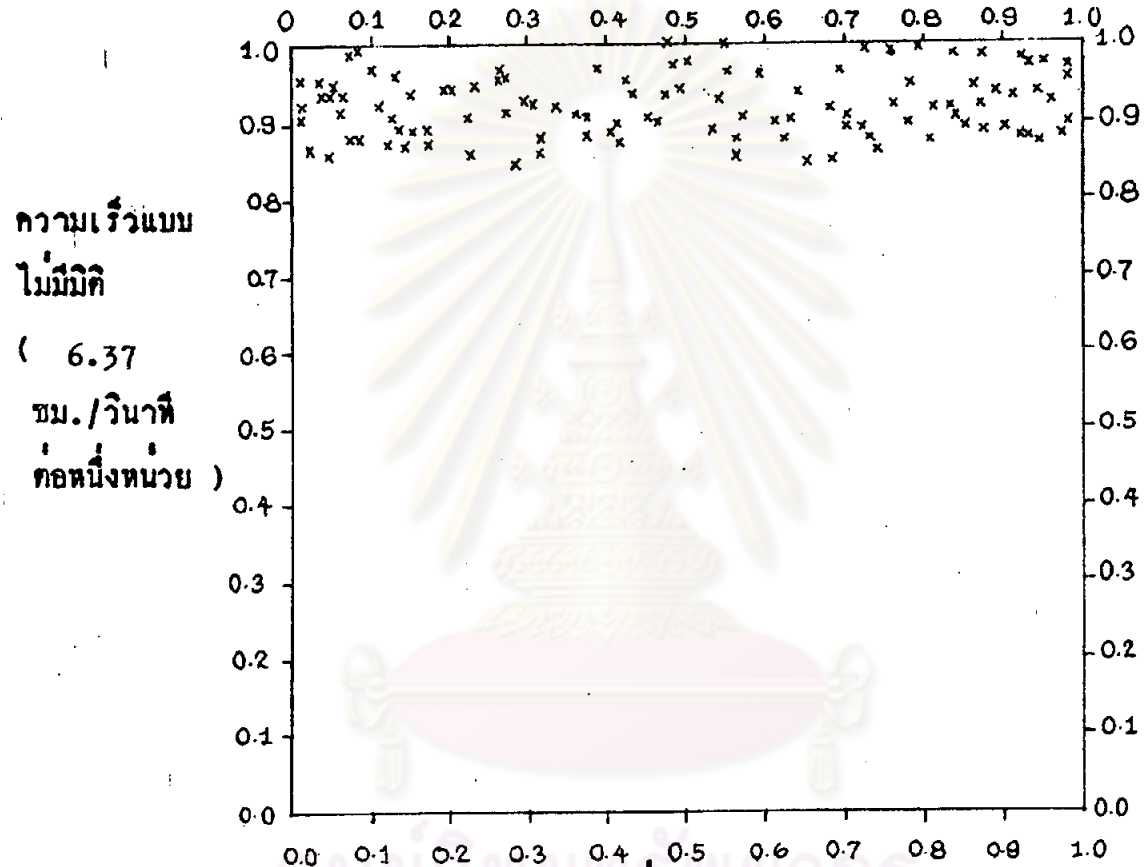


รูปที่ 5.2.10

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 5 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.



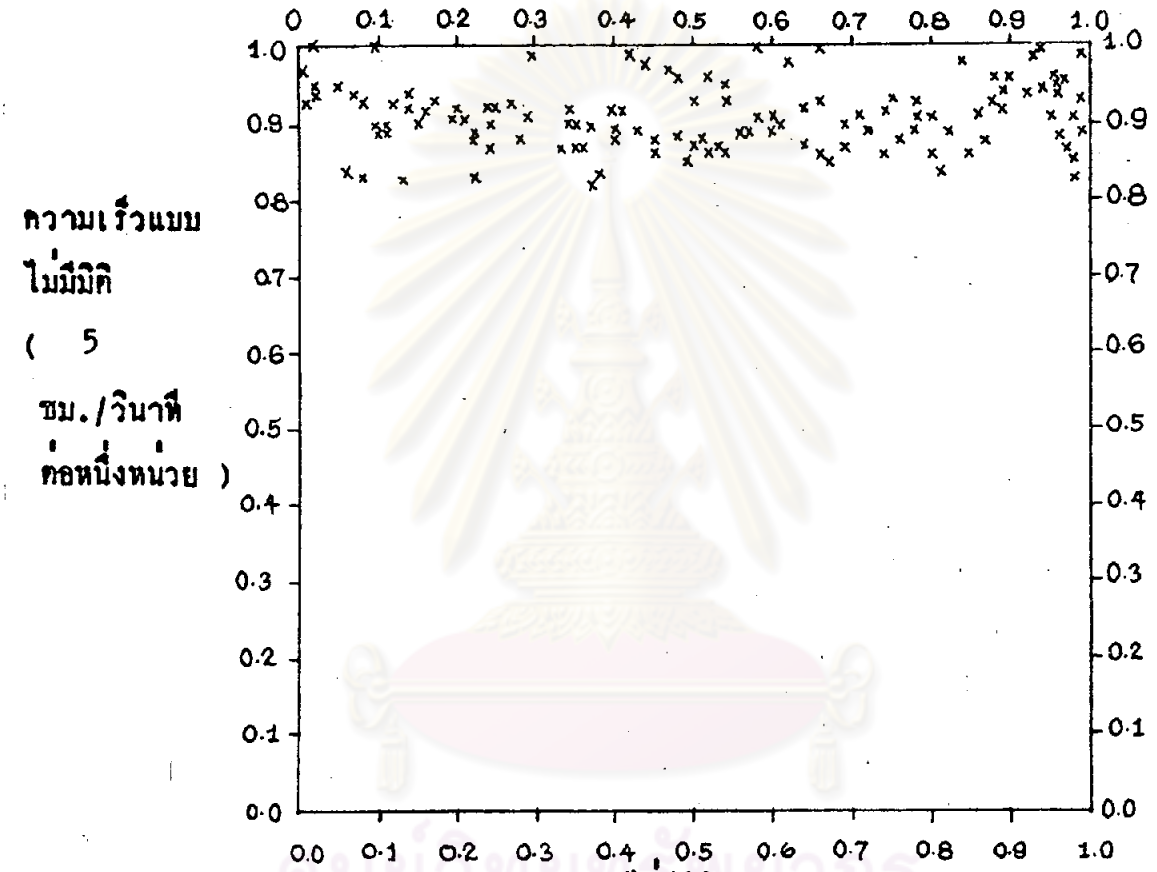
รูปที่ 5.2.11

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

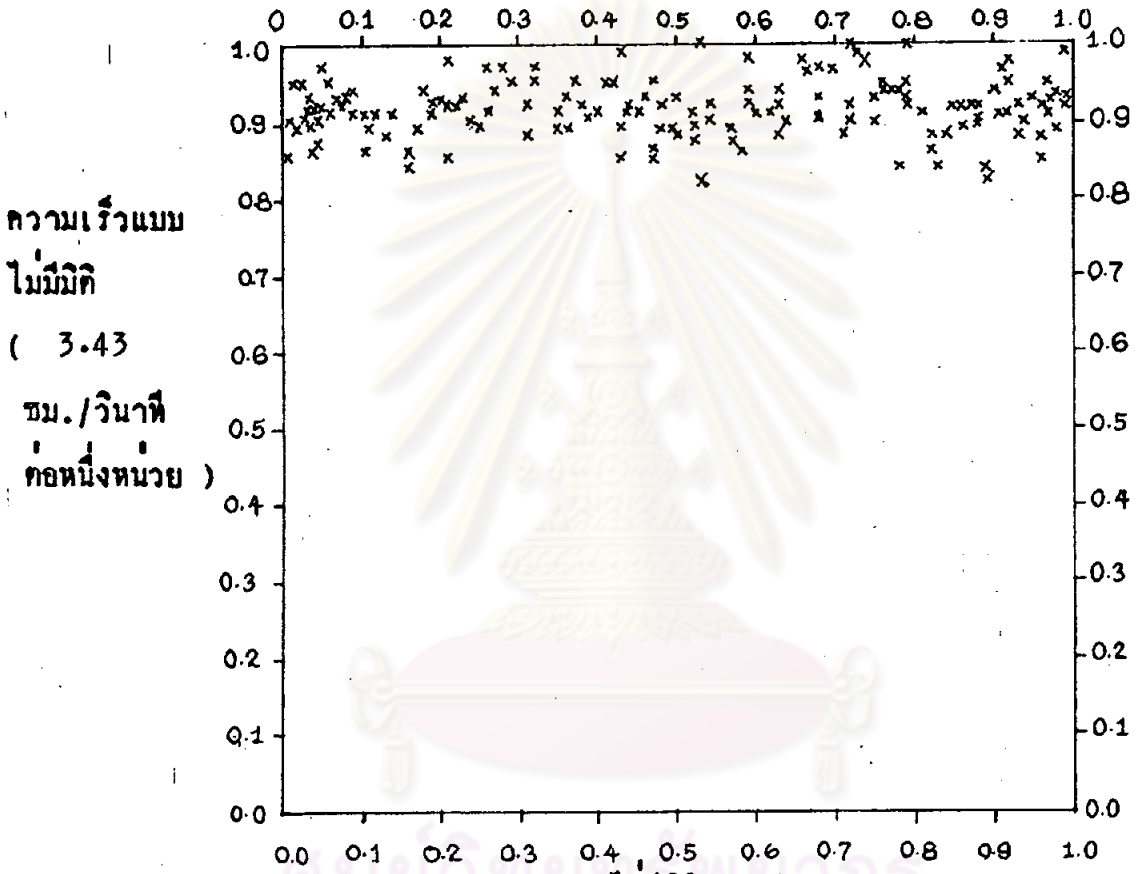
ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2.12
กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู
ความกว้างของถัง 12.5ซม.
ขนาดของรู 2 ซม.

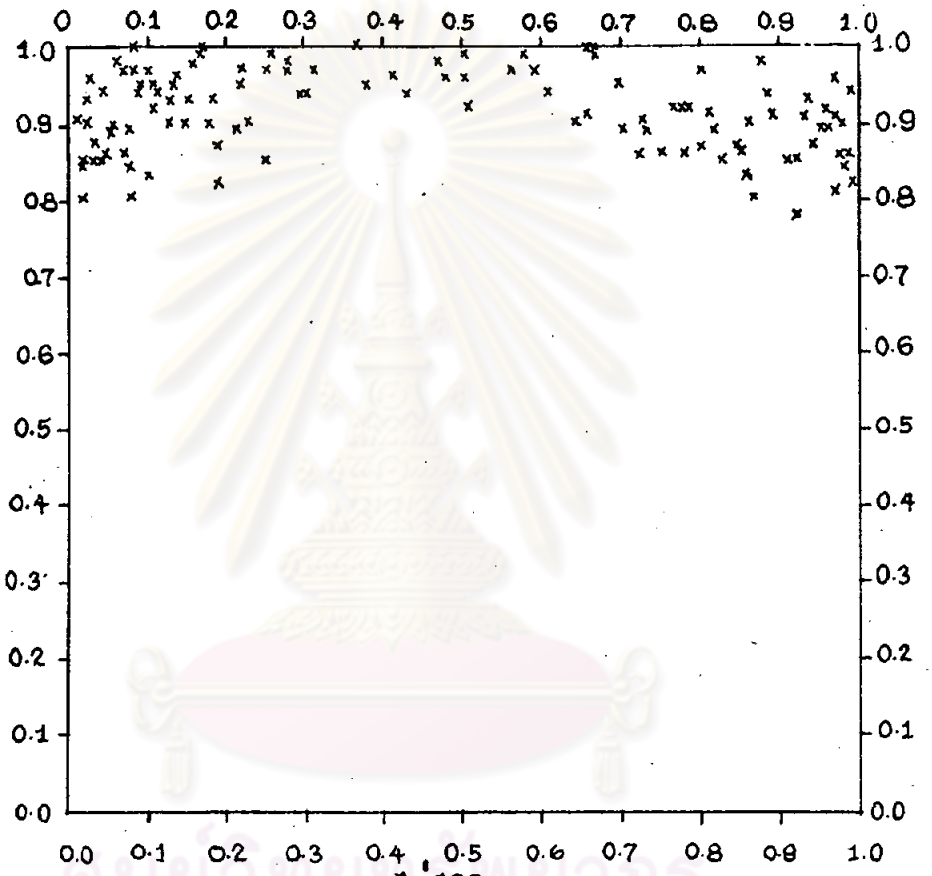


รูปที่ 5.2.13

กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 18 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

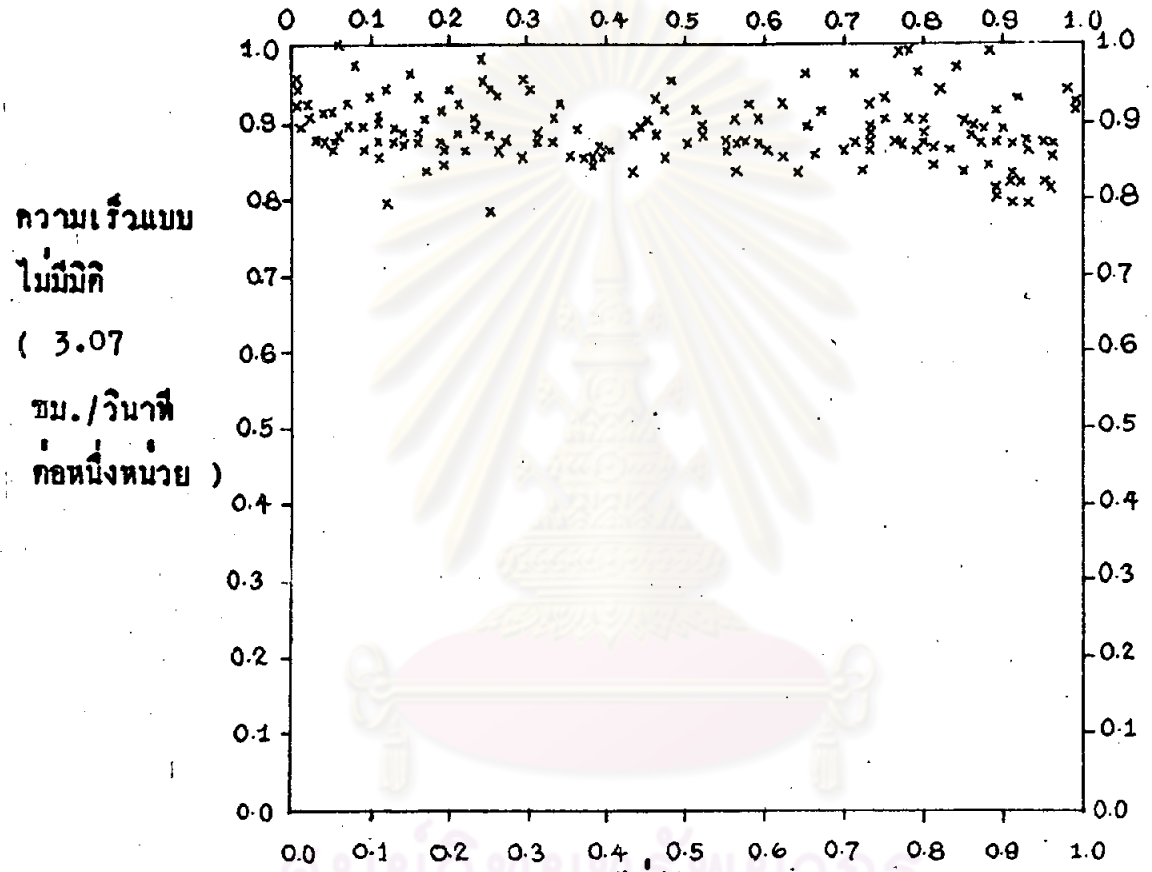


รูปที่ 5.2.14

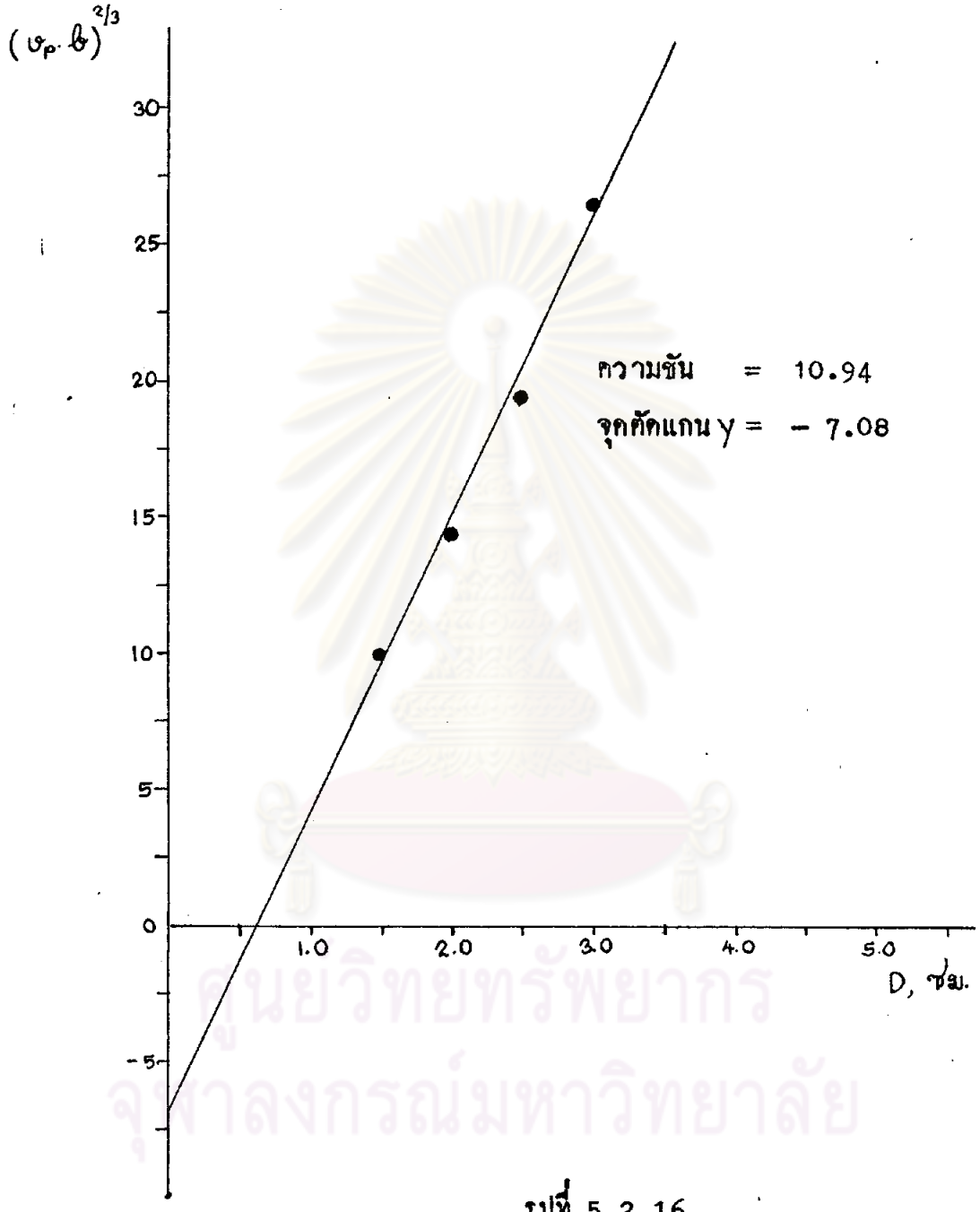
กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

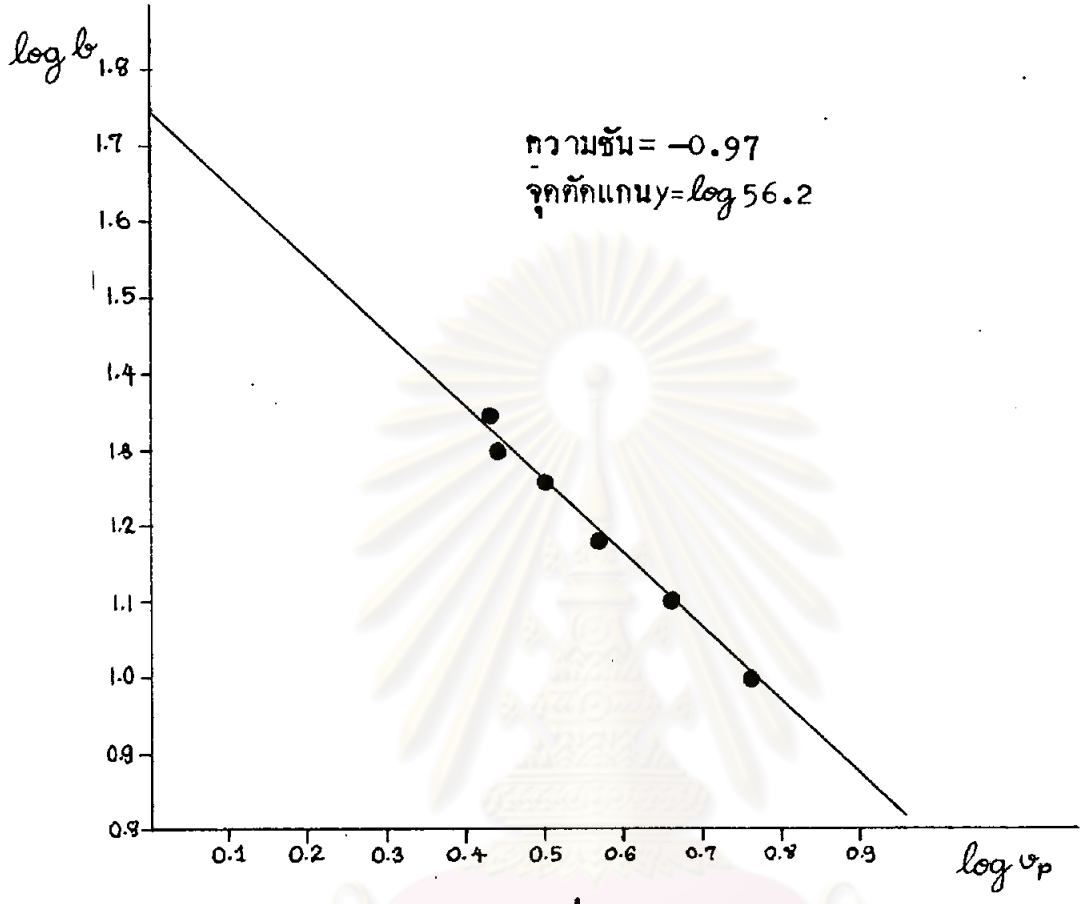


รูปที่ 5.2.15
กรอบอ้างอิง 60–40 ซม.จากรู
ความกว้างของถัง 22 ซม.
ขนาดของรู 2 ซม.



รูปที่ 5.2.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในเขตการไหลแบบลู่ลง

เขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone) เป็นเขตที่อยู่เหนือขึ้นไปจากรูไม่มากนัก การทดลองจึงเลือกกรอบอ้างอิง (reference frame) ที่มีระยะ 30 – 10 ซม. จากรู (30 – 10 cm. from orifice) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในเขตนี้ แสดงไว้แล้วในบทที่ 4 นำข้อมูลดังกล่าวมาพลอตกราฟระหว่างระยะทางตามแนวดิ่งกับเวลา จะพบว่ามีลักษณะเป็นพาราโบล่า ดังนั้นสมการที่จะมาใช้แทนข้อมูลเหล่านี้ จึงใช้สมการพาราโบล่า หรือสมการกำลังสอง (quadratic equation) ซึ่งจะอธิบายดังนี้

ถ้า $\bar{y} = G + Ht + It^2$ (5.3.1)

โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้ว่า

$$G = \frac{(\Sigma \bar{y}_n)(\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n^4) + (\Sigma t_n)(\Sigma t_n^3)(\Sigma t_n^2 \bar{y}_n) + (\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n \bar{y}_n)(\Sigma t_n^3) - (\Sigma t_n^2 \bar{y}_n)(\Sigma t_n^2)^2 - (\Sigma t_n^3)^2(\Sigma \bar{y}_n) - (\Sigma t_n^4)(\Sigma t_n \bar{y}_n)(\Sigma t_n)}{R}$$

$$H = \frac{(n)(\Sigma t_n \bar{y}_n)(\Sigma t_n^4) + (\Sigma \bar{y}_n)(\Sigma t_n^3)(\Sigma t_n^2) + (\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n)(\Sigma t_n^2 \bar{y}_n) - (\Sigma t_n^2)^2(\Sigma t_n \bar{y}_n) - (n)(\Sigma t_n^2 \bar{y}_n)(\Sigma t_n^3) - (\Sigma t_n^4)(\Sigma t_n)(\Sigma \bar{y}_n)}{R}$$

$$I = \frac{(n)(\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n^2 \bar{y}_n) + (\Sigma t_n)(\Sigma t_n \bar{y}_n)(\Sigma t_n^2) + (\Sigma \bar{y}_n)(\Sigma t_n)(\Sigma t_n^3) - (\Sigma t_n^2)^2(\Sigma \bar{y}_n) - (n)(\Sigma t_n^3)(\Sigma t_n \bar{y}_n) - (\Sigma t_n)^2(\Sigma t_n^2 \bar{y}_n)}{R}$$

และ $R = (n)(\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n^4) + (2)(\Sigma t_n)(\Sigma t_n^2)(\Sigma t_n^3) - (n)(\Sigma t_n^3)^2 - (\Sigma t_n)^2(\Sigma t_n^4) - (\Sigma t_n^2)^3$

เมื่อ $\bar{y}$ = ระยะทางที่วัดจากแนวบนของกรอบอ้างอิงลงมา, ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

G, H, I = ค่าคงที่ของตัวแปร

t = เวลา, วินาที

รูปที่ 5.3.1 ถึงรูปที่ 5.3.5 แสดงผลการใช้สมการ (5.3.1) กับ ผลที่ทดลองได้จริงๆ ซึ่งพบว่า เราสามารถใช้สมการ (5.3.1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาได้ดีพอสมควร

จากนั้นเราจะหาการกระจายความเร็ว (velocity distribution) ที่ระดับต่างๆ จากรู ซึ่งในที่นี้ทำได้โดย

1) กำหนดระดับต่าง ๆ จากรูที่ต้องการจะหา ในที่นี้กำหนดระยะทาง 5, 10, 15 และ 20 ซม. จากรู แต่ $\bar{y}$ เป็นระยะทางจากแนวแกนของกรอบอ้างอิง (ซึ่งห่างจากรู 30 ซม.) ลงมา ดังนั้นที่ระดับต่าง ๆ จากรูที่กำหนด เมื่อคิดเป็น $\bar{y}$ จะมีค่าเท่ากับ 25, 20, 15, 10 ซม. ตามลำดับ

2) หาค่าสัมประสิทธิ์ G, H และ I นั่นคือ เราหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{y}$ กับ t ในรูปสมการ

3) แก้สมการ หาค่า t เมื่อ $\bar{y}$ มีค่า 25, 20, 15, 10 ตามลำดับ

4) ดิฟเฟอเรนชิเอท $\bar{y}$ เทียบกับ t จะได้ $d\bar{y}/dt$ หรือ v เมื่อ v เป็นความเร็วที่จุดต่าง ๆ

5) แทนค่า t จากข้อ 3) ก็จะได้ค่าความเร็วที่ระดับต่าง ๆ ตามต้องการ

<u>ตัวอย่าง</u> สมมุติจากข้อมูลดิบ เราหาสัมประสิทธิ์ G, H, I แล้ว เราจะได้สมการ

$$\bar{y} = 4.02 - 0.409t + 0.625t^2$$

แก้สมการที่ $\bar{y} = 25$ หา t ได้ 6.13

$\bar{y} = 20$ หา t ได้ 5.39

$\bar{y} = 15$ หา t ได้ 4.53

$\bar{y} = 10$ หา t ได้ 3.44

หา $d\bar{y}/dt = v = -0.409 + 1.25t$

ที่ $t = 6.13$ หา v ได้ 7.25

$t = 5.39$ หา v ได้ 6.33

$t = 4.53$ หา v ได้ 5.25

$t = 3.44$ หา v ได้ 3.89

เมื่อเราทราบ v ที่ระดับต่าง ๆ แล้ว เราสามารถหาการกระจายความเร็ว (velocity distribution) ที่ระดับต่าง ๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.3.6 ถึงรูปที่ 5.3.33 จากนั้นขอย้อนกลับไปที่สมการ (1.6.7) ในบทที่ 1 ซึ่งกล่าวไว้ว่า

$$v = v_o e^{-x^2/4\alpha y} \qquad (1.6.7)$$

ใส่ลอกการิทึมฐาน e ทั้ง 2 ข้าง

$$\ln v = \frac{-x^2}{4\alpha y} + \ln v_o \qquad (5.3.2)$$

เมื่อ v = ความเร็วในแนวดิ่ง, ซม./วินาที

x = ระยะทางตามแนวระดับ ซึ่งวัดออกจากกึ่งกลางของรู, ซม.

y = ระยะทางตามแนวดิ่ง ซึ่งวัดจากพื้นถังขึ้นไป, ซม.

α = ค่าคงที่คิเนแมติกส์, ซม.

$$v_o = \frac{Q}{\sqrt{4\pi\alpha y}}$$

$$= v_{max}$$

Q = อัตราปริมาตรการไหลต่อหนึ่งหน่วยความหนาของถัง (volumetric flow rate per unit thickness of bin) ซม.^{3}/ซม.-วินาที

นำสมการ (5.3.2) ไปพลอตระหว่าง $\ln v$ และ $x^2/4y$ จะได้กราฟเส้นตรง มีความชันเท่ากับ $-1/\alpha$ จากนั้น จึงหาค่า α ได้

แต่เนื่องจากสมการ (5.3.2) มีรากฐานมาจากการสมมุติเงื่อนไขขอบเขต 2 ข้อ คือ

ก) ผนังของถังด้านข้าง (side wall) อยู่ห่างกันมาก นั่นคือ

$$-\infty < x < \infty$$

ข) รู (orifice) มีขนาดเล็กมาก

ดังนั้นการหาค่า α จึงควรใช้ข้อมูลที่มีขนาดความกว้างของถังที่ใหญ่ที่สุด และมีขนาดของรูที่เล็กที่สุด ซึ่งในที่นี้ใช้ความกว้างของถัง 40 ซม. ขนาดของรู 2 ซม. แล้วจึงทำการพลอตดังกล่าว ส่วนรูปที่พลอตได้ จะแสดงในรูป 5.3.34 ถึง 5.3.37 จากรูปกราฟอ่านค่าความชัน(slope) แล้วหาค่าเฉลี่ย เสร็จแล้วจึงกลับเศษเป็นส่วน เปลี่ยนเครื่องหมายเป็นตรงกันข้าม ก็จะหาค่า α ได้ออกมา ซึ่งในที่นี้หาค่า α ได้ เท่ากับ 0.54 ซม.

นั่นคือ ค่าคงที่คิเนแมติกส์ มีค่าเท่ากับ 0.54 ซม.

ดังนั้น จึงสามารถเขียนสมการ (1.6.7) ได้เป็น

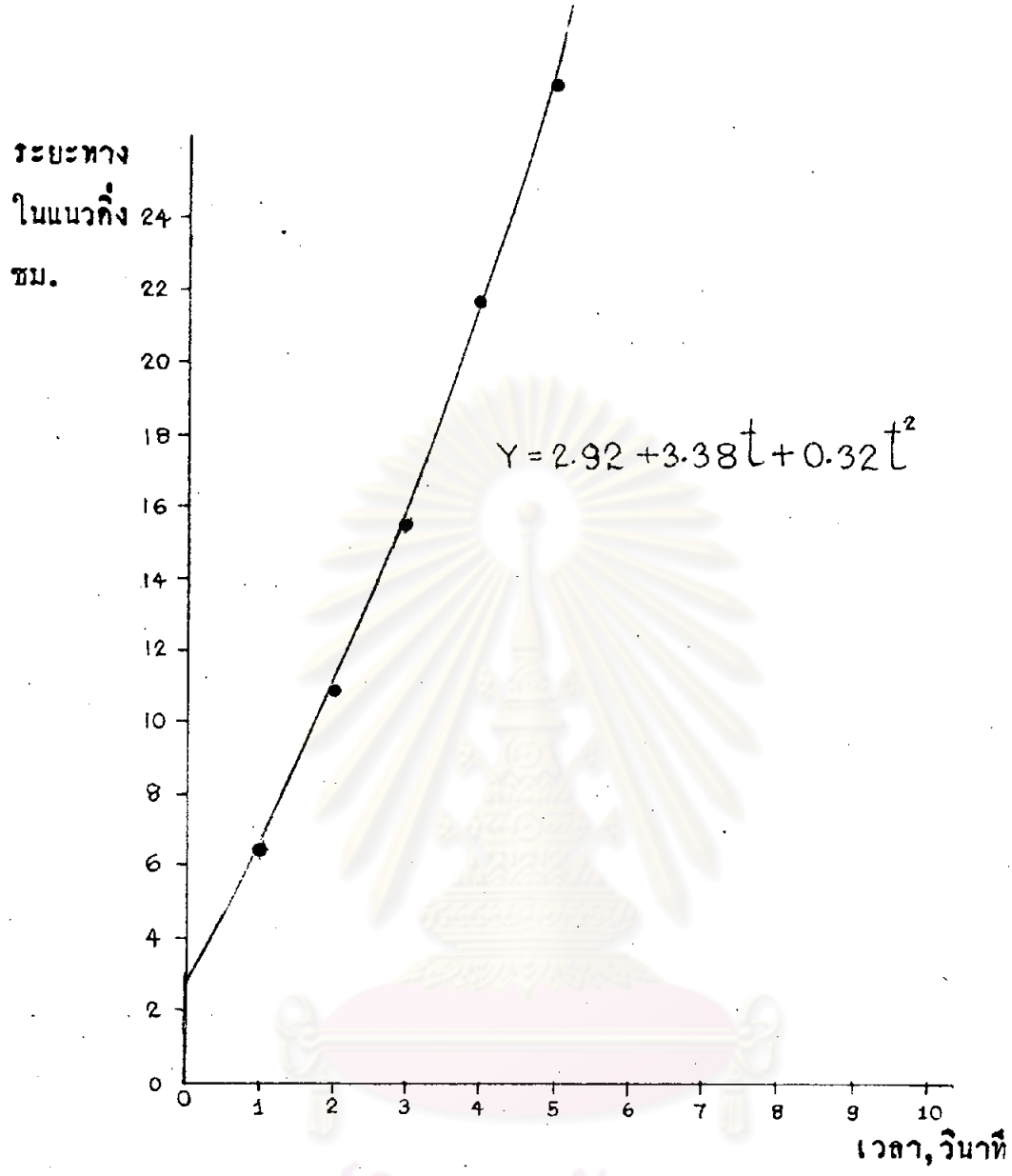
$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot exp(-x^2/2.16y) \qquad (5.3.3)$$

$$\vartheta_0 = \vartheta_{max}$$

$$= \frac{Q}{2.16\pi y} \qquad (5.3.4)$$

ส่วนการนำสมการ (5.3.3) และ (5.3.4) ไปใช้นั้น จะนำไปกล่าวไว้ในบทที่ 6 ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบการกระจายความเร็ว (velocity distribution) ซึ่งได้มาจากการทดลอง และที่ได้มาจากการใช้สมการ (5.3.3) และ (5.3.4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.1

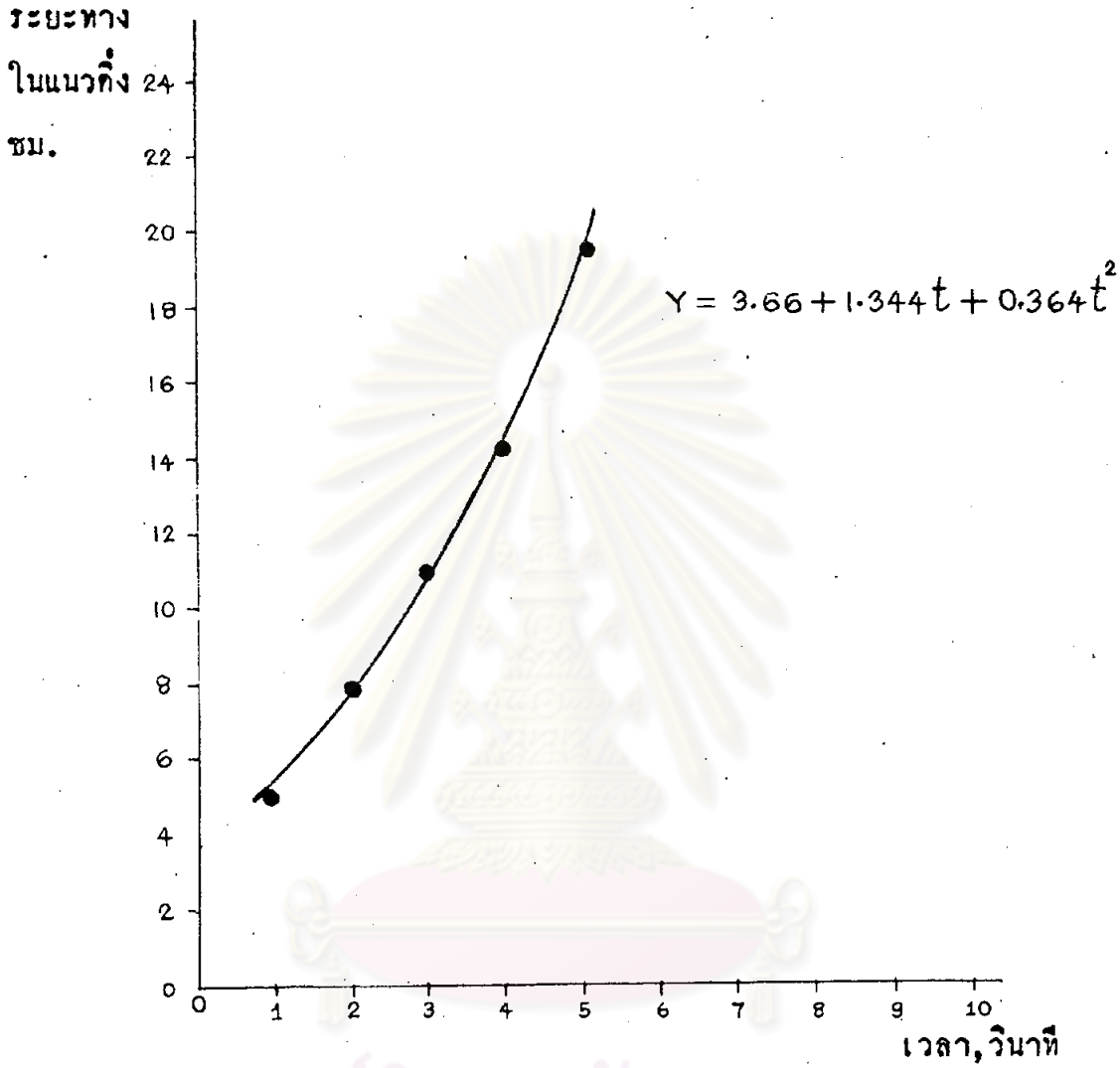
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระยะทางในแนวราบ 2.67 ± 0.84 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.2

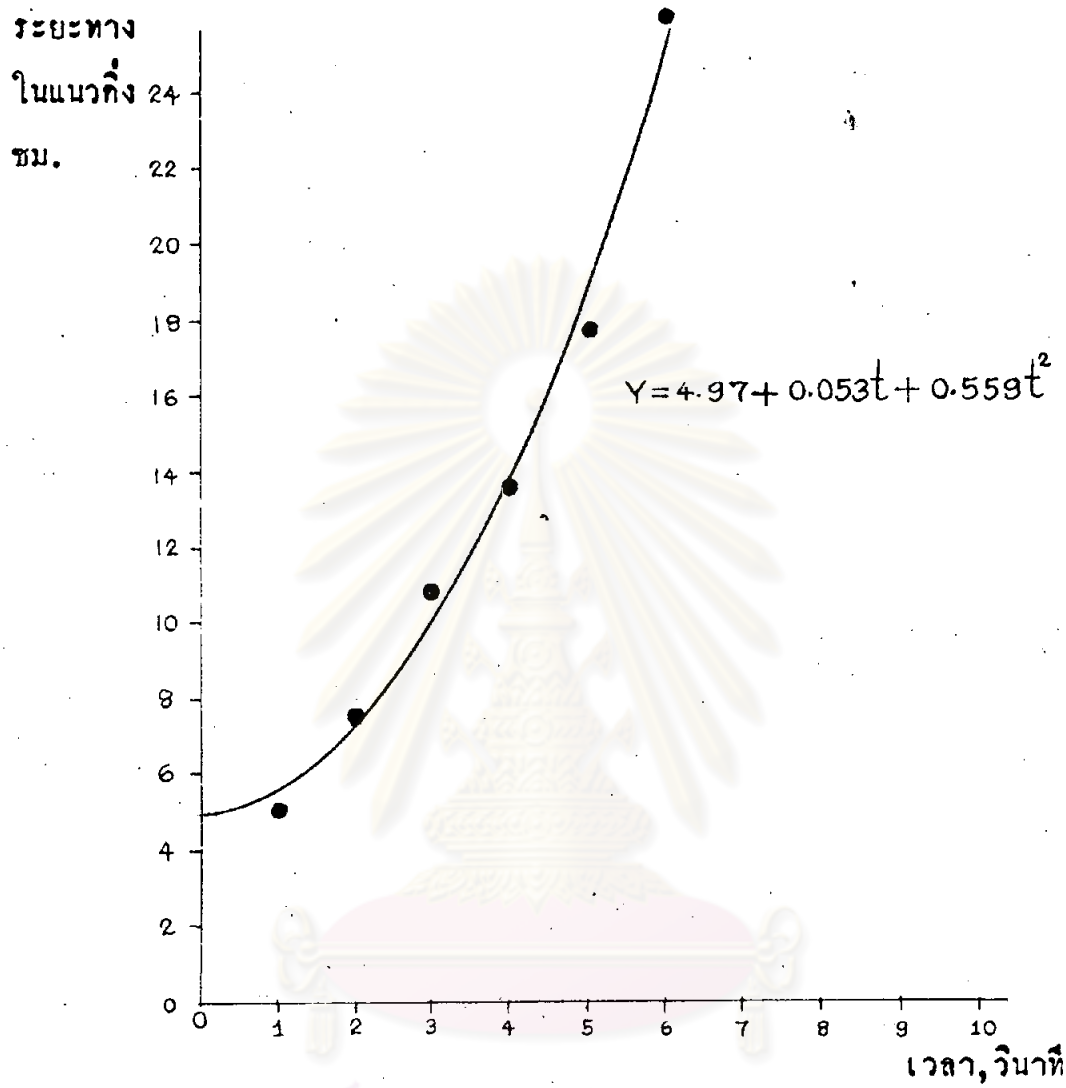
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระยะทางในแนวราบ 7.62 ± 0.12 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.3

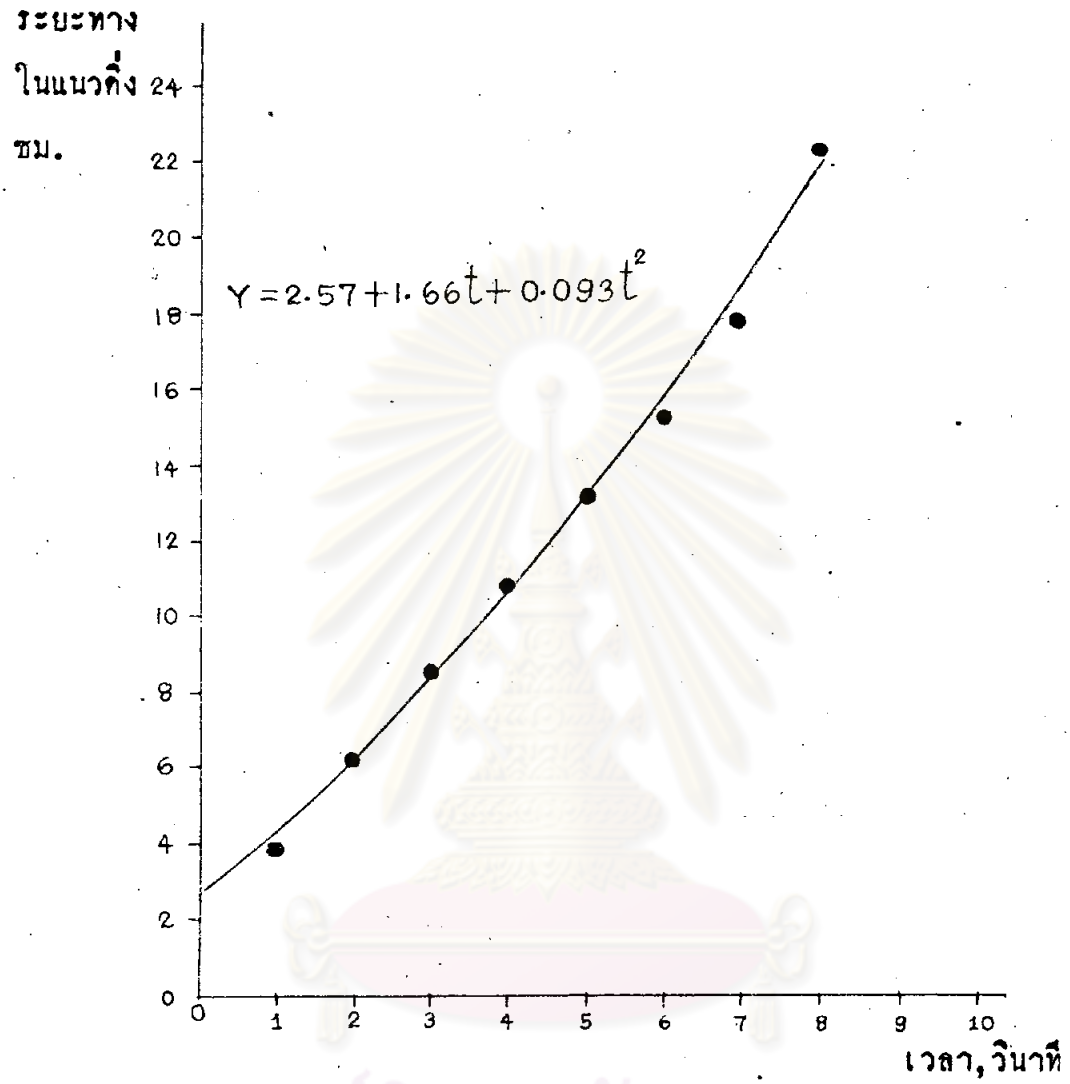
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระยะทางในแนวราบ 9.17± 0.73 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.4

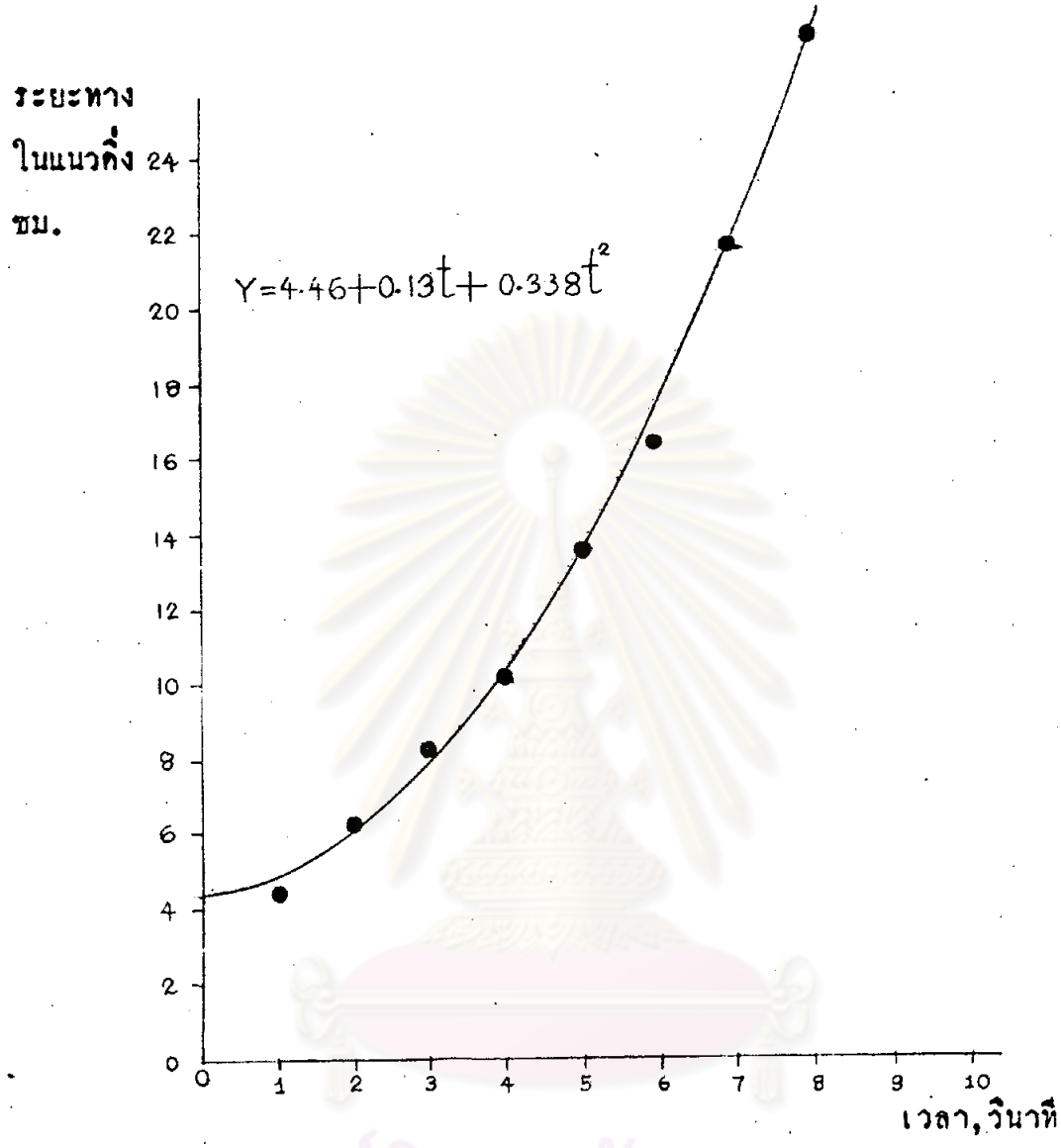
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 18 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระยะทางในแนวราบ 14.6 ± 1.63 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.5

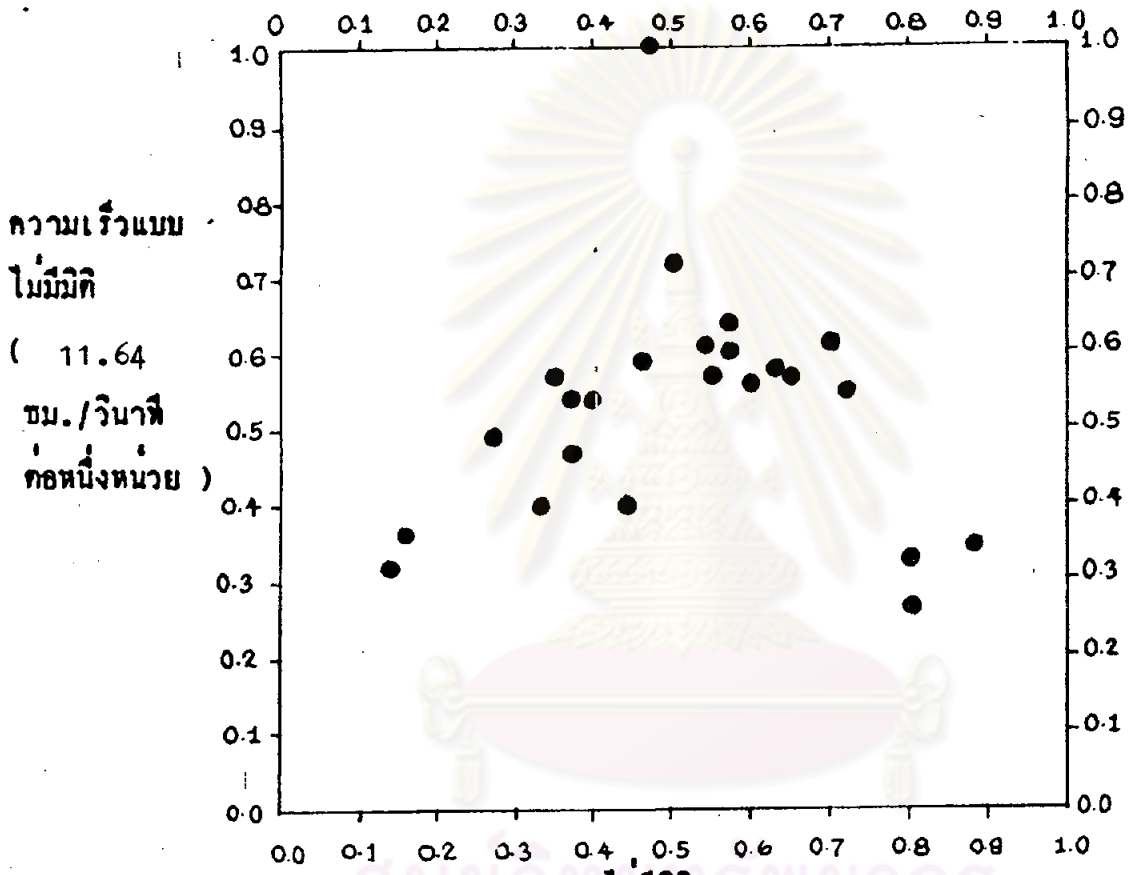
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระยะทางในแนวราบ 5.16±1.68 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.6

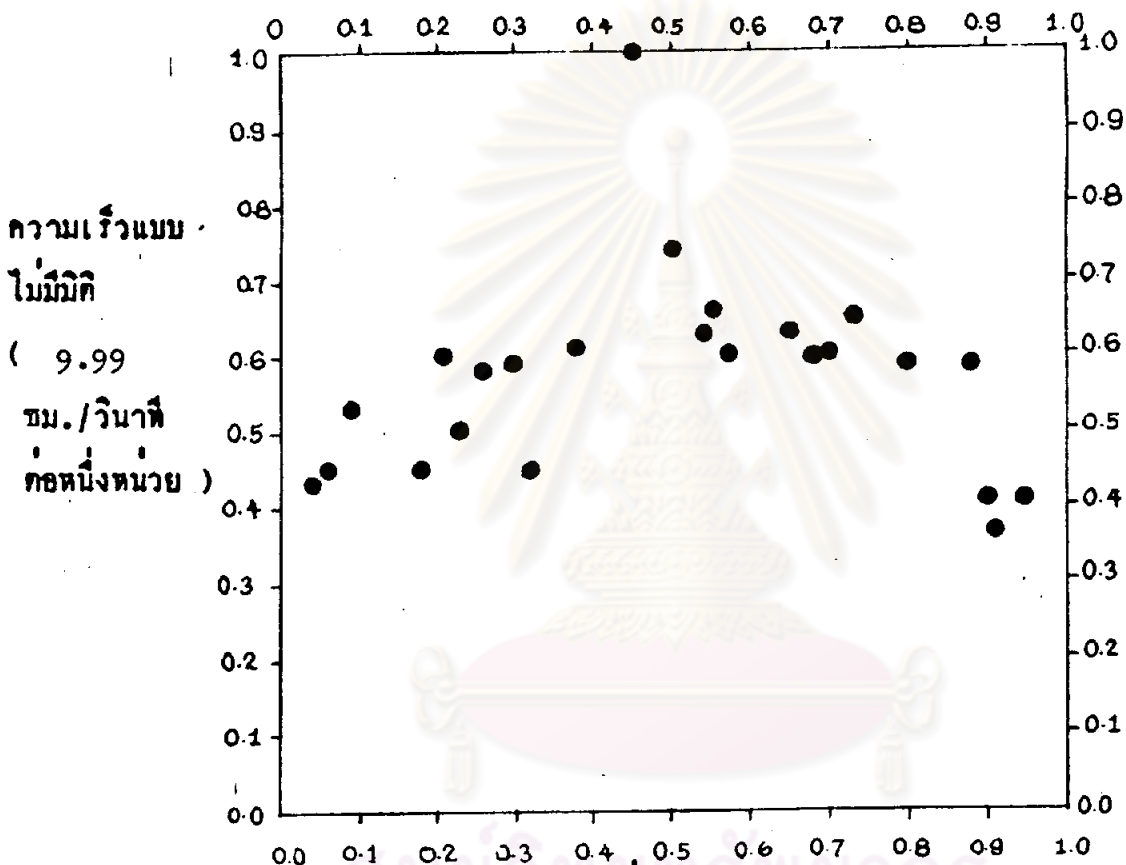
กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.7

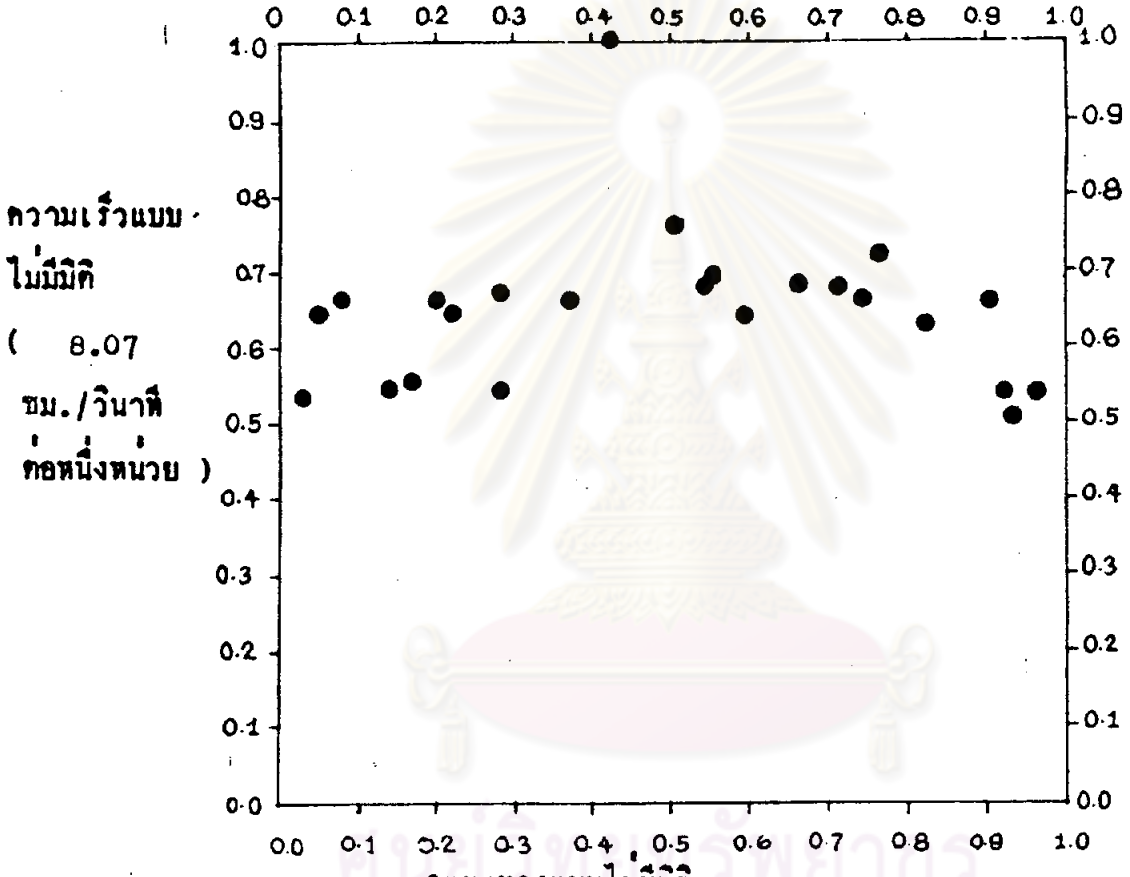
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



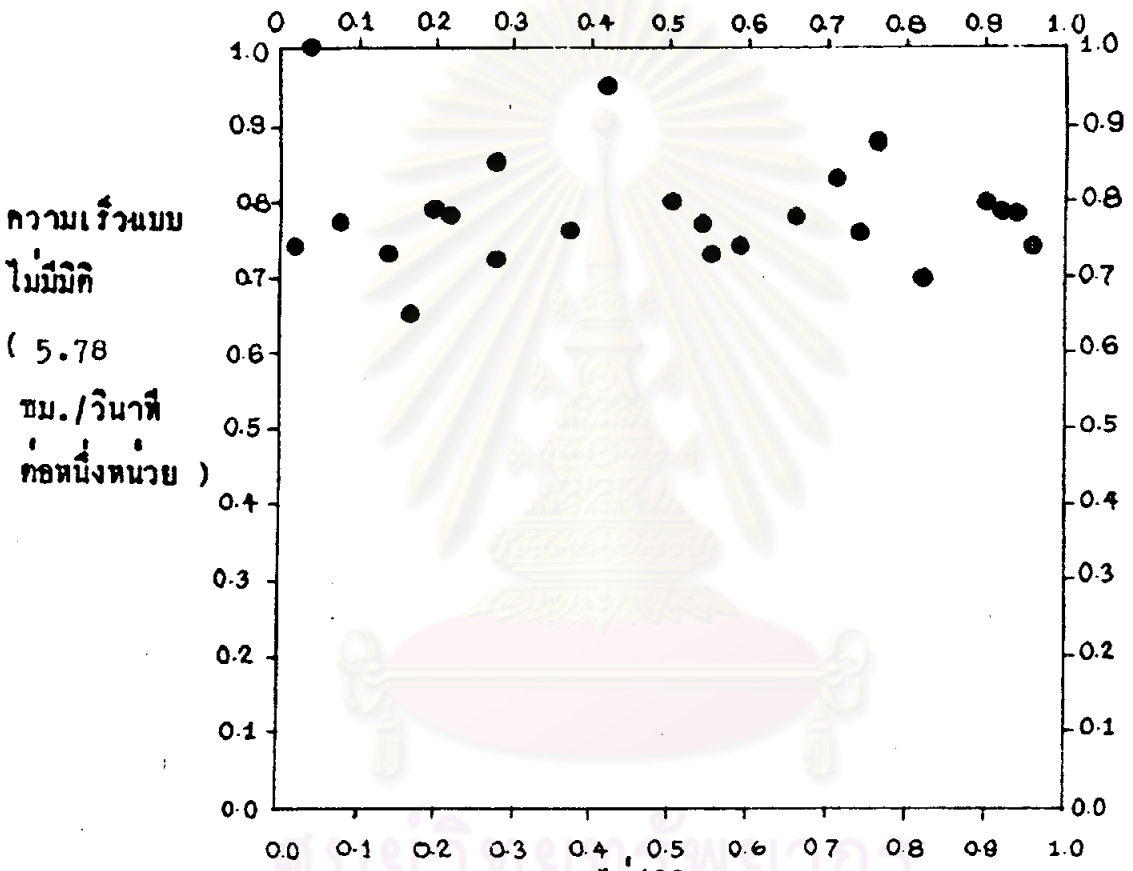
รูปที่ 5.3.8

กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.9

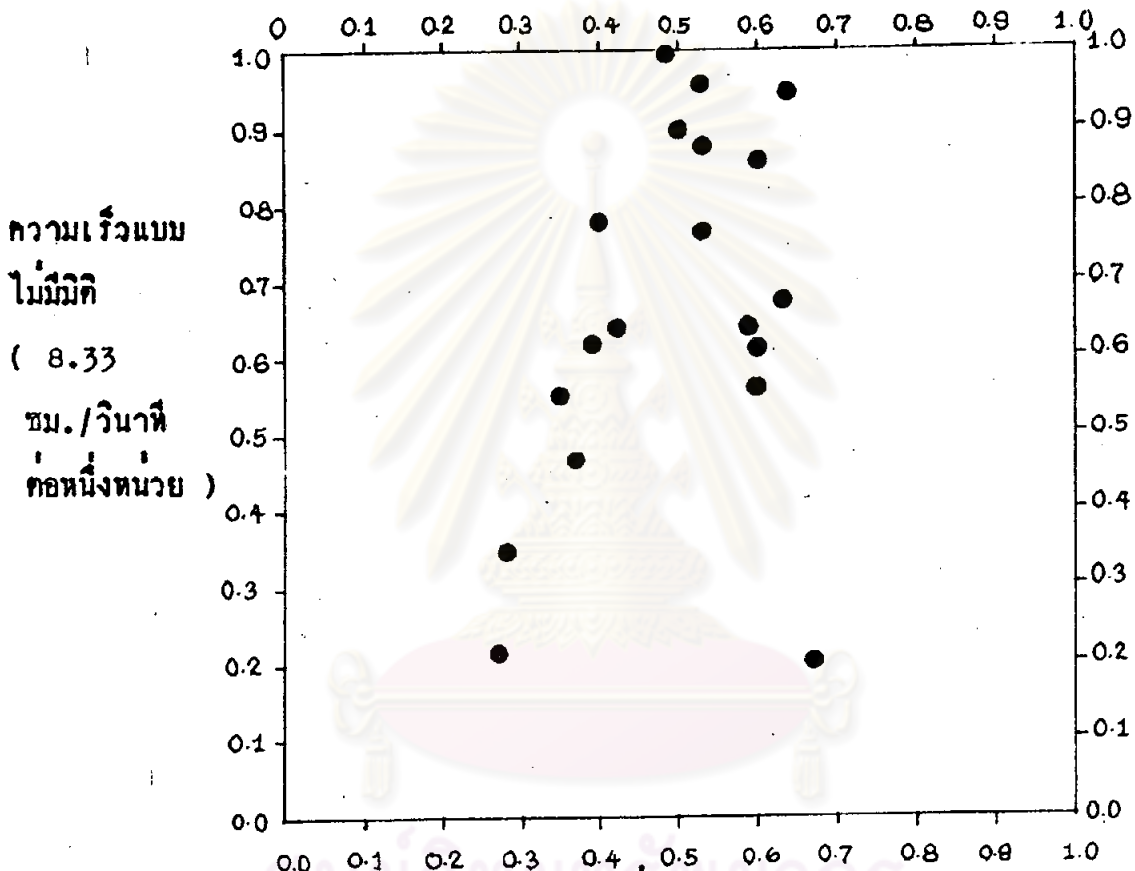
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 10 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.10

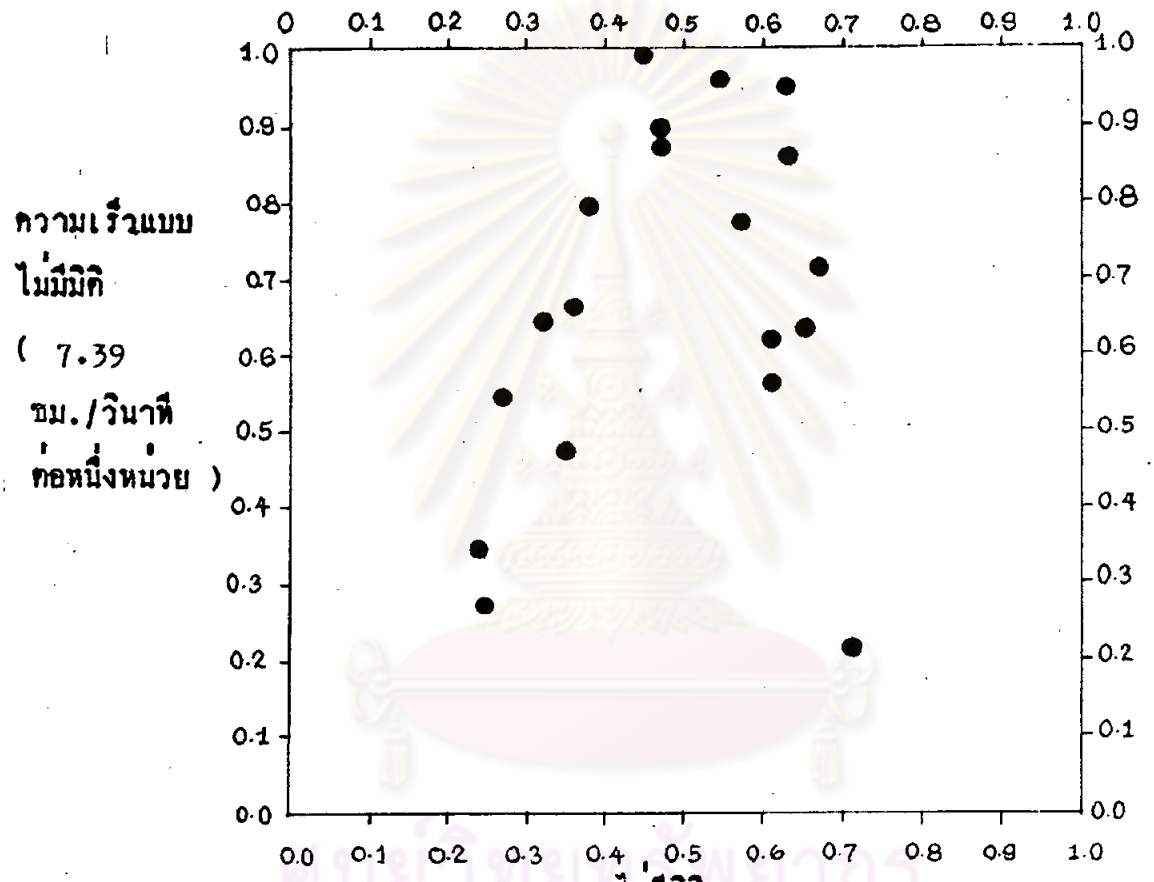
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.11

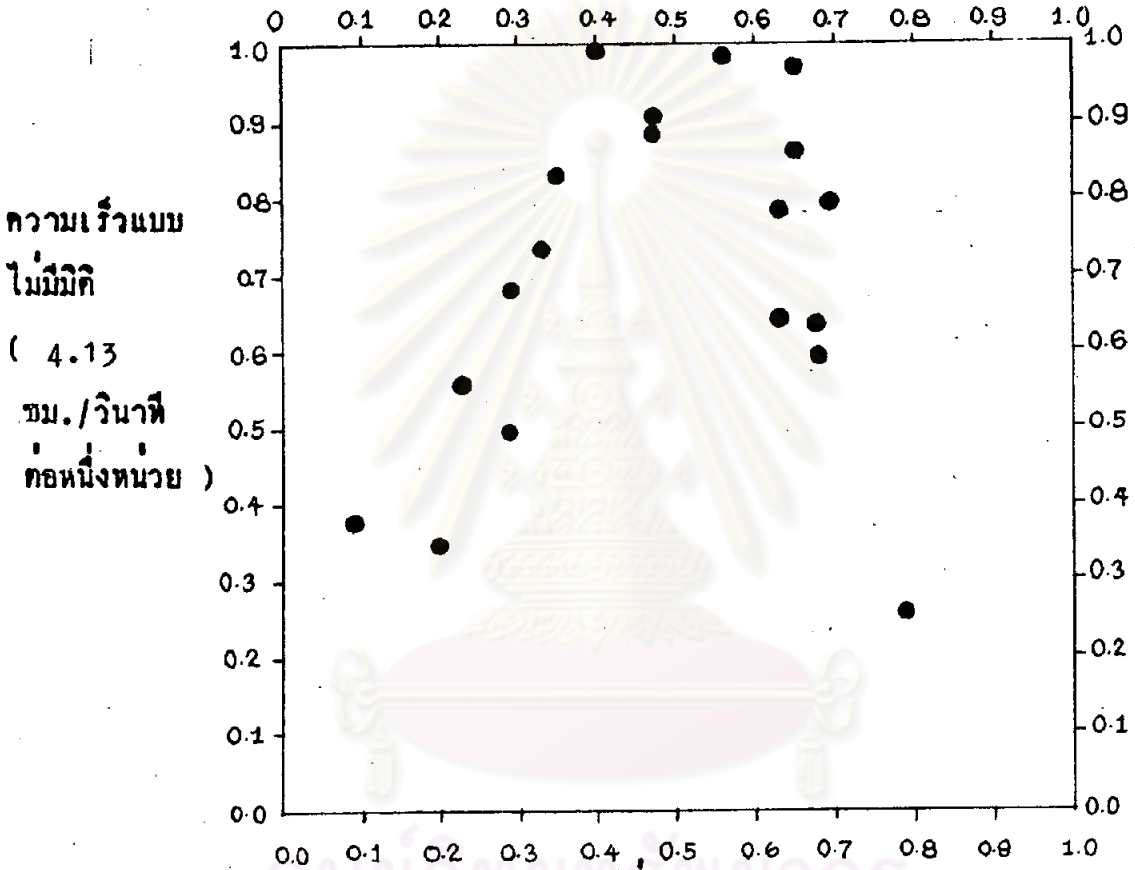
กรอบอ้างอิง30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



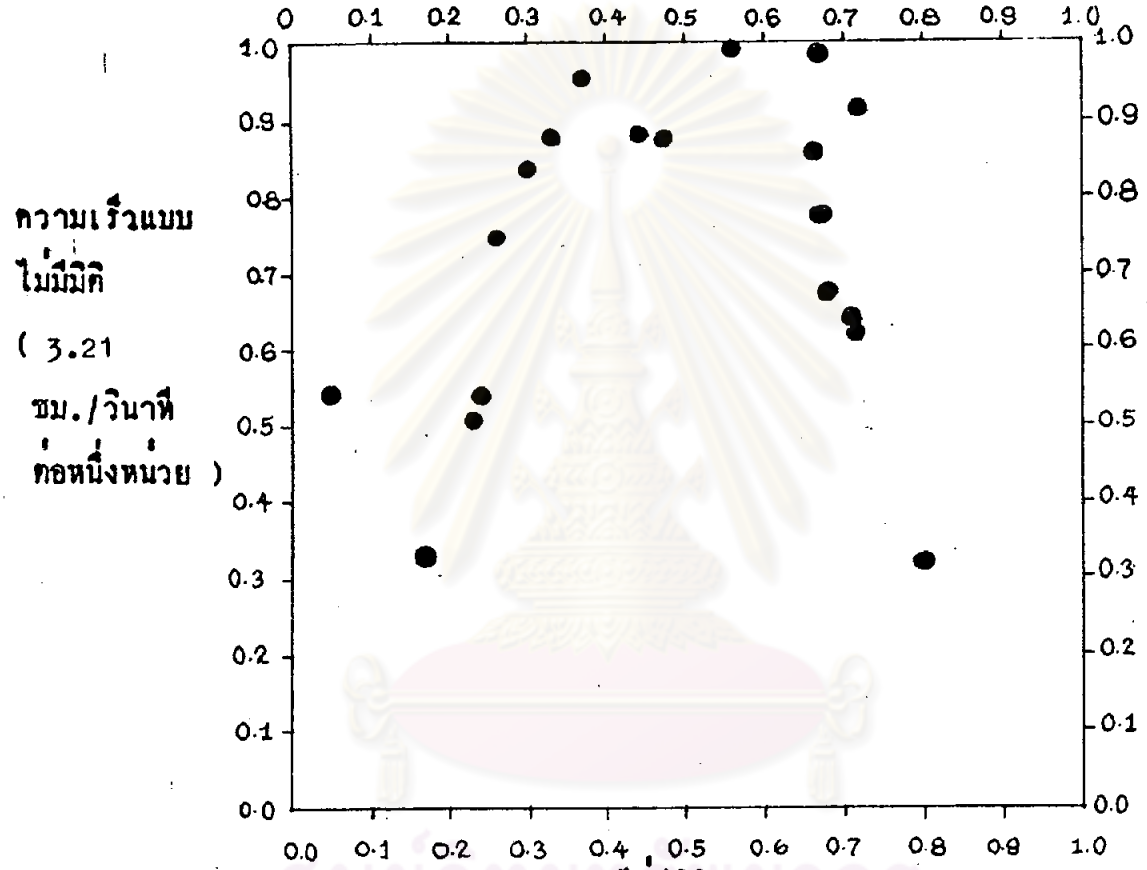
รูปที่ 5.3.12

กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.13

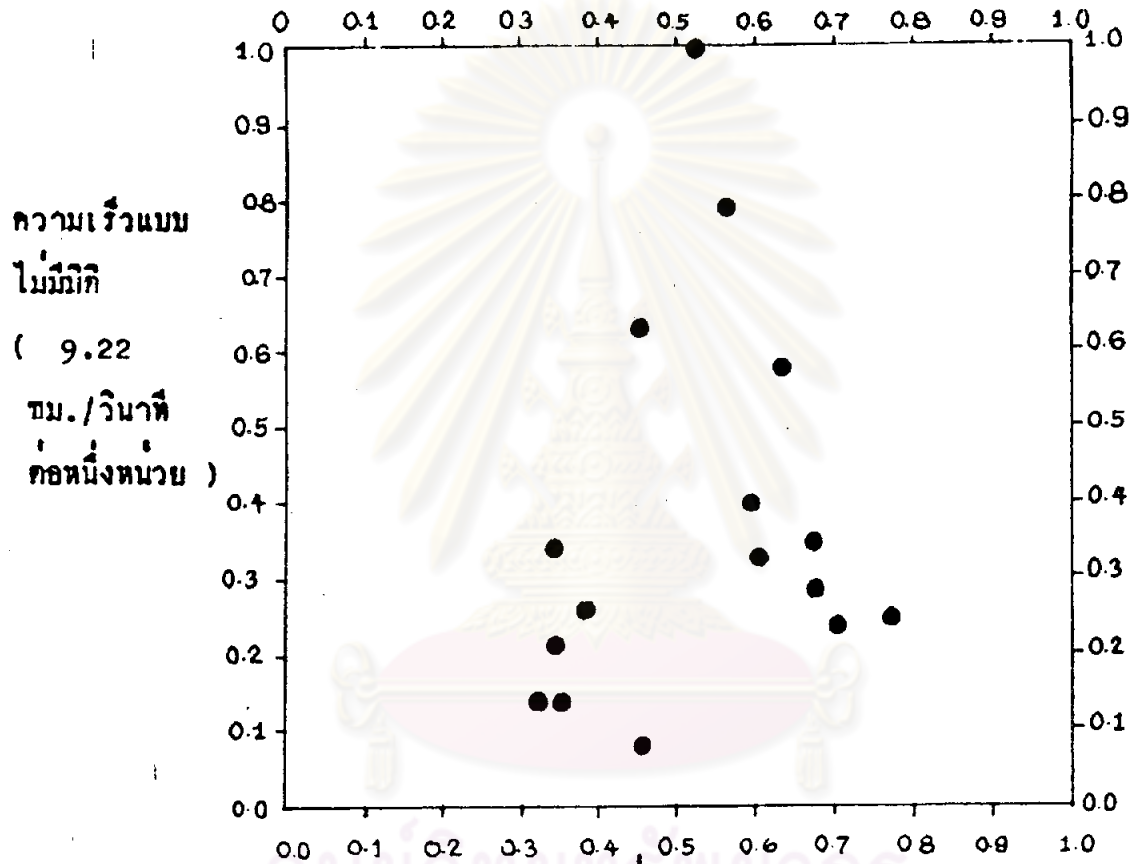
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 1.5 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.14

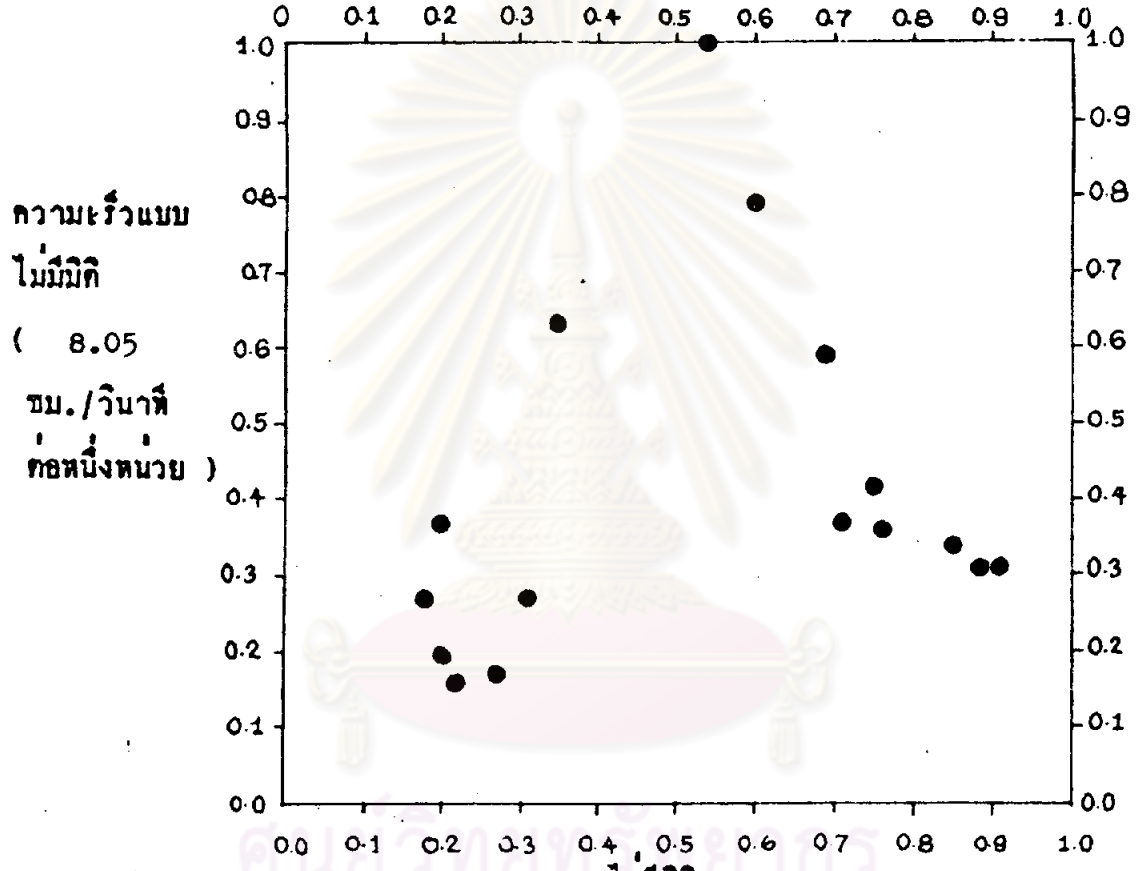
กรอบอ้างอิง30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของฉัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



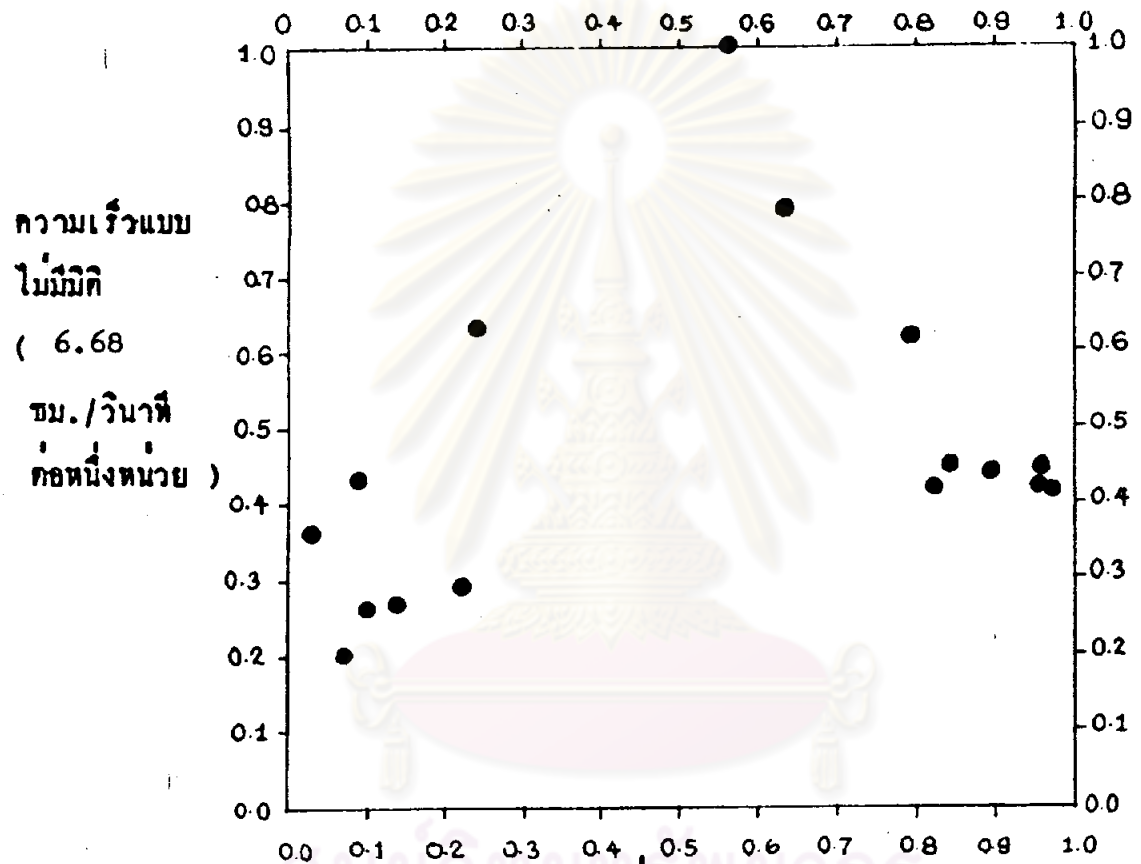
รูปที่ 5.3.15

กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู



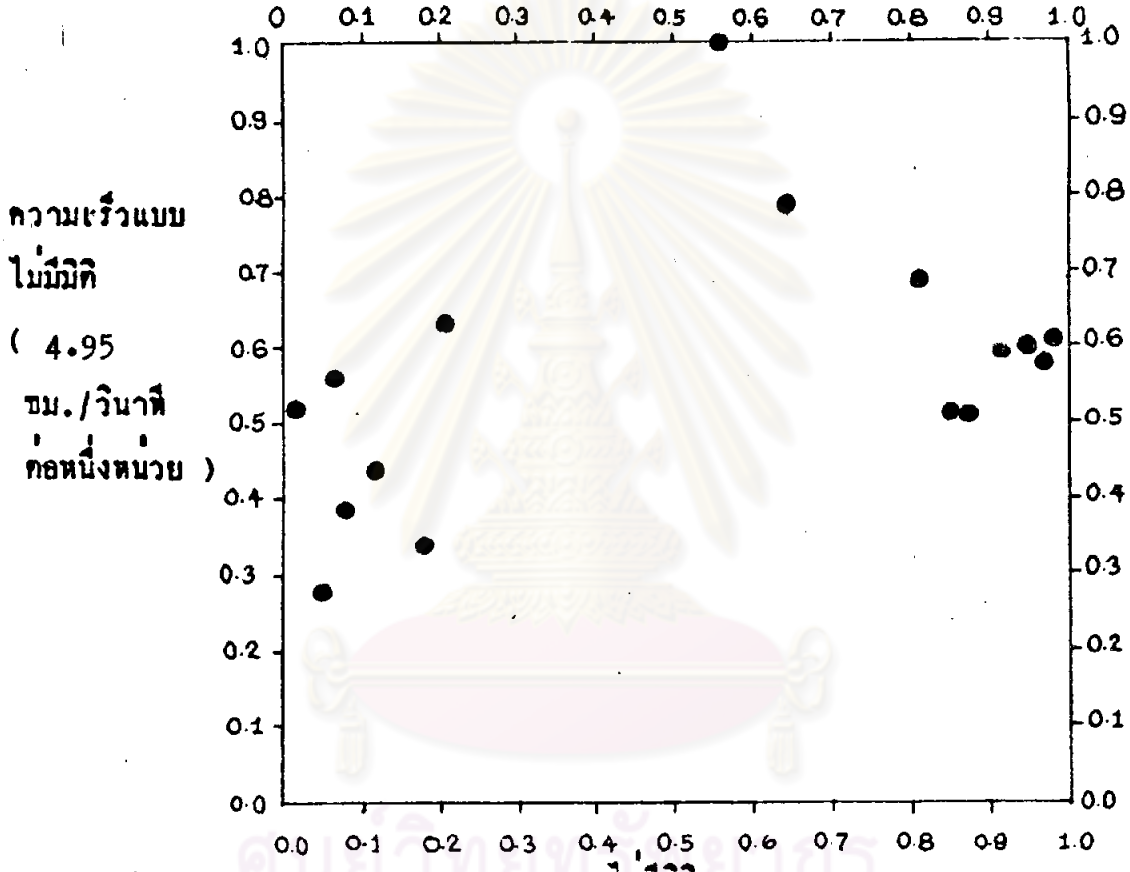
รูปที่ 5.3.16

กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของฉัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู



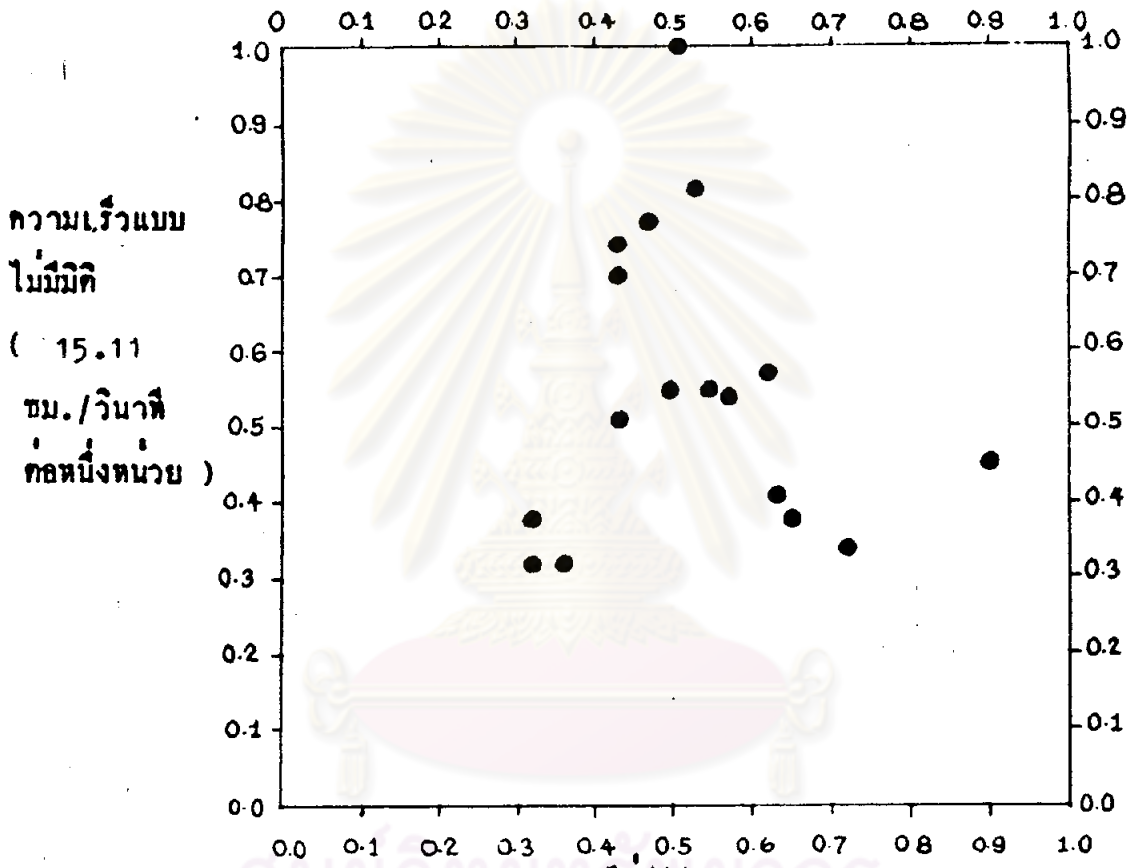
รูปที่ 5.3.17

กรอบอ้างอิง 30 –10ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.18

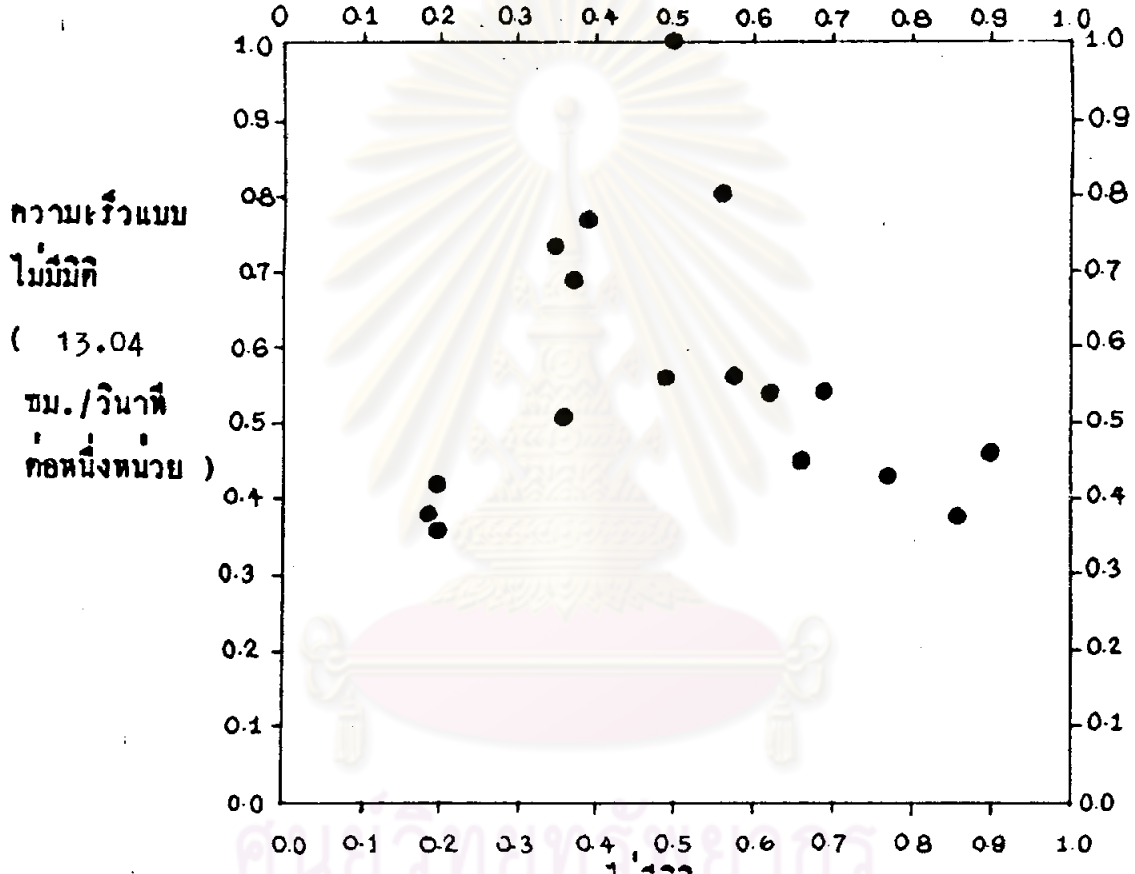
กรอบอ้างอิง 30-10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2.5 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.19

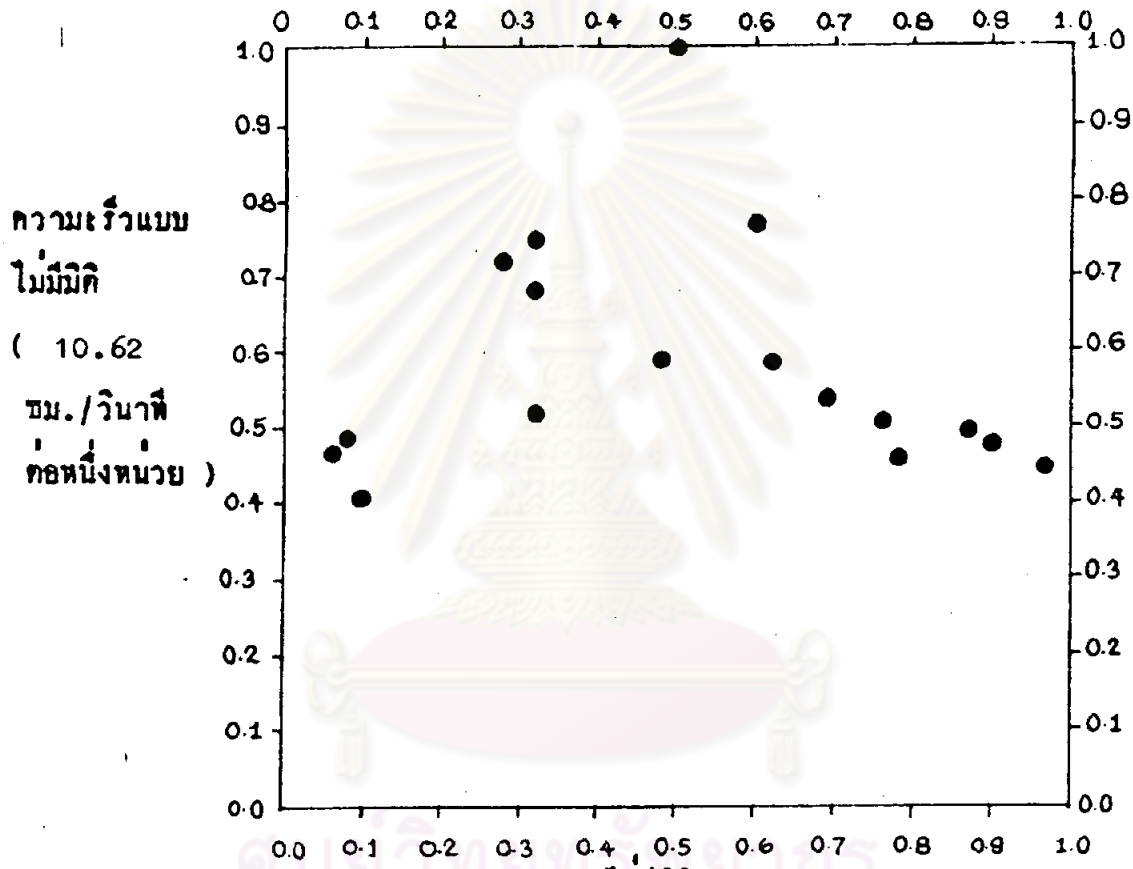
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 2.5 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



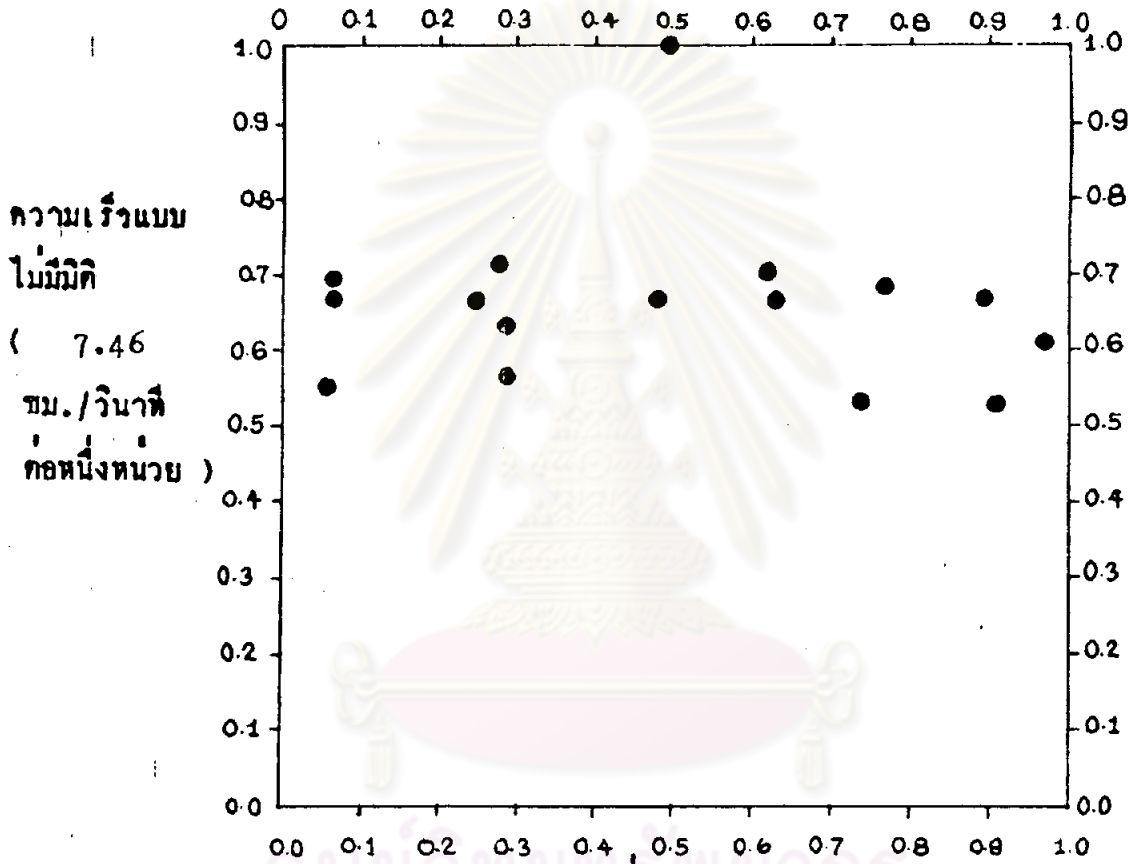
รูปที่ 5.3.20

กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

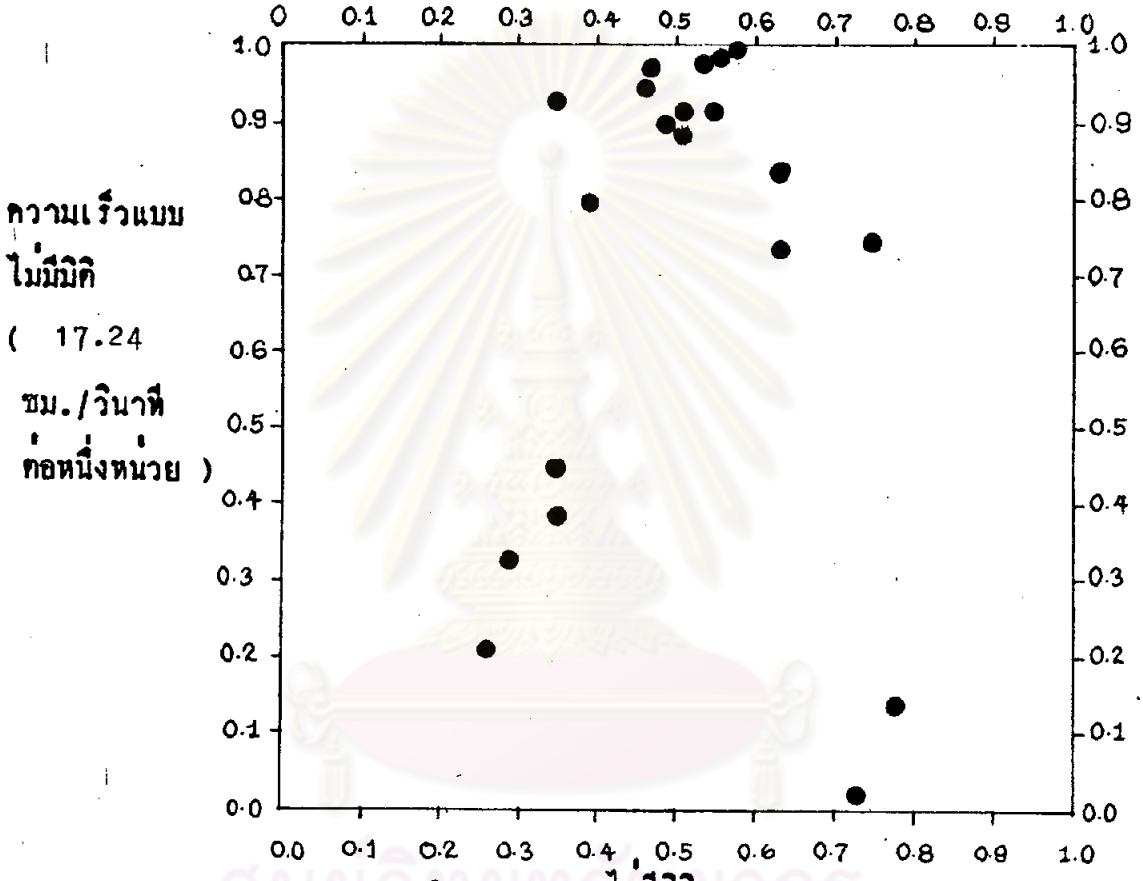
ขนาดของรู 2.5 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.21
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู
ความกว้างของถัง 15 ซม.
ขนาดของรู 2.5 ซม.
ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.22

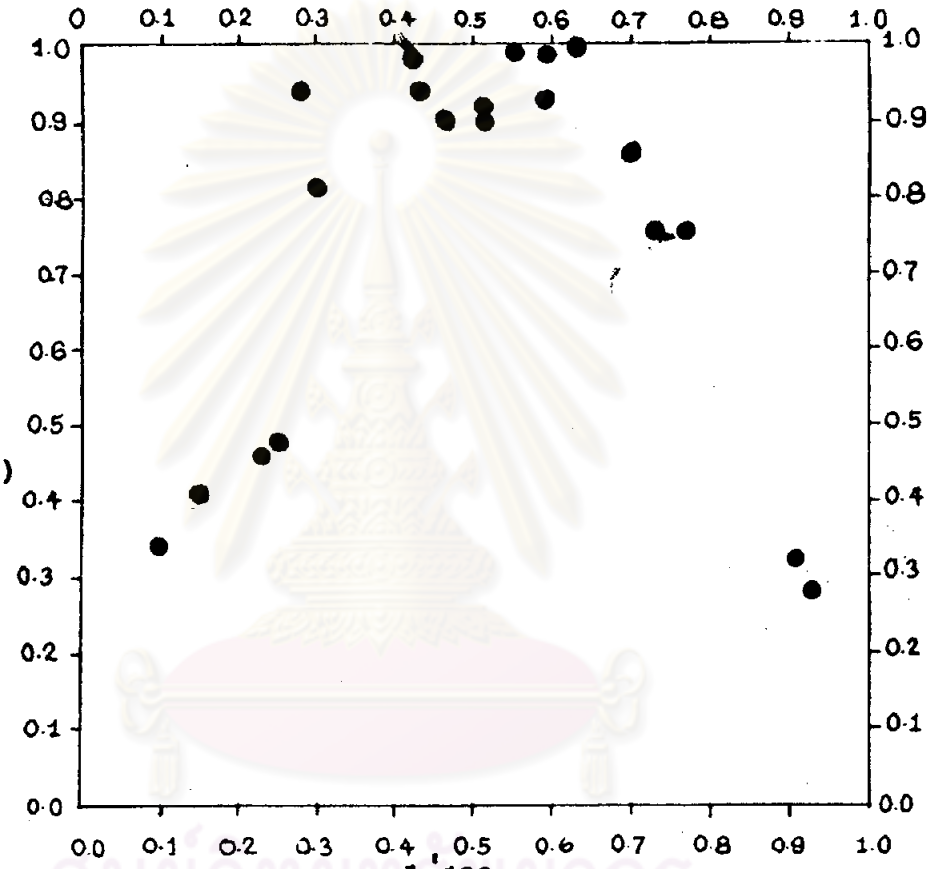
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 3 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.23

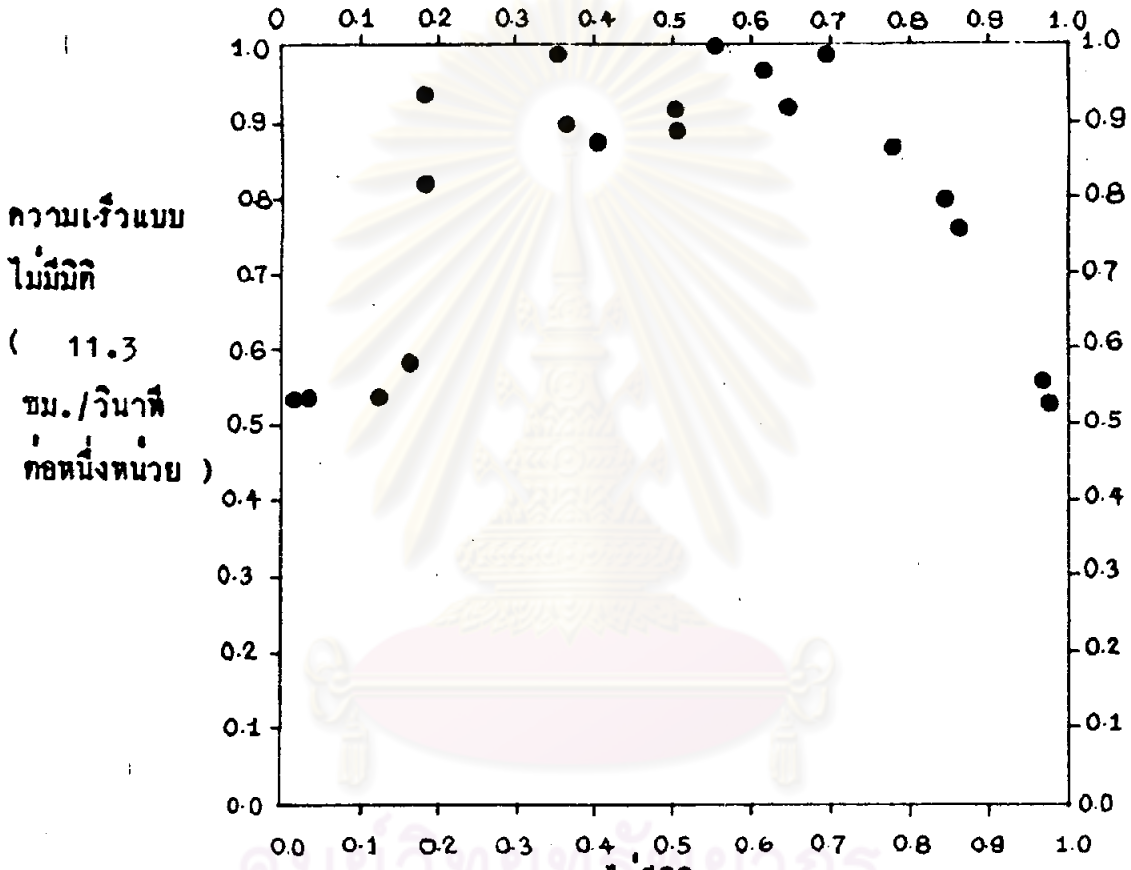
กรอบข้างอิง 30–10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 3 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.24

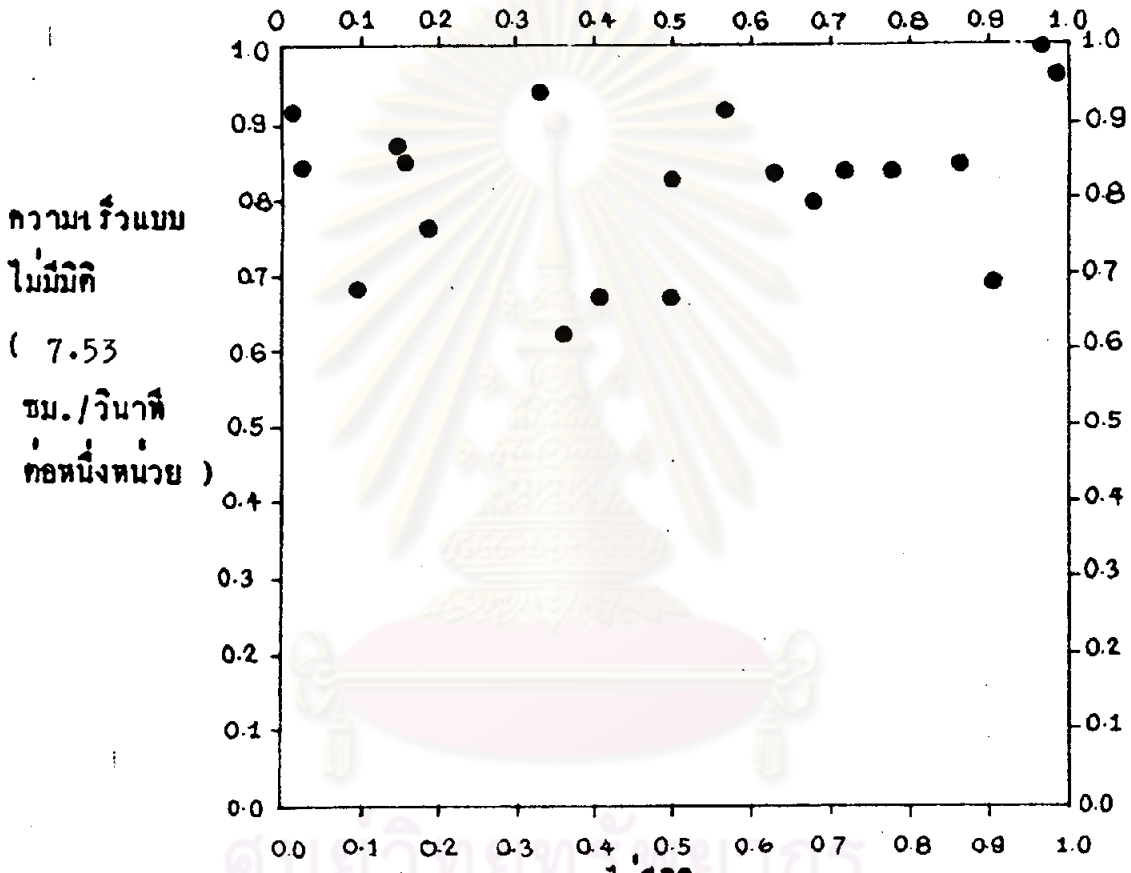
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 3 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.25

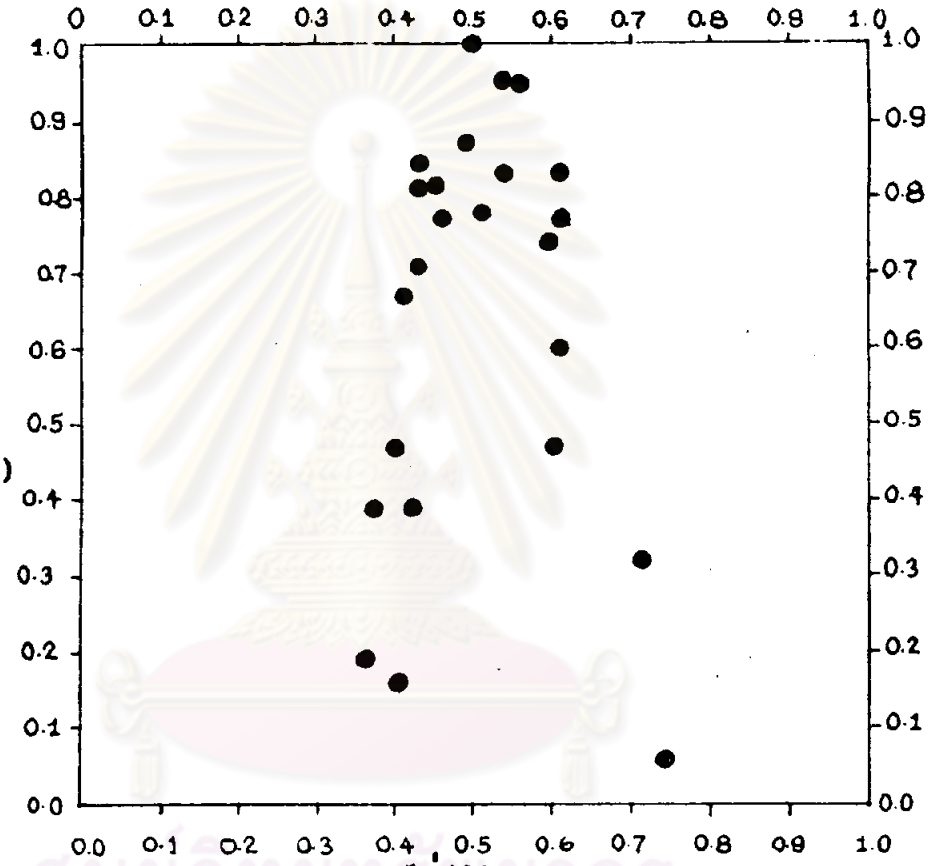
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 15 ซม.

ขนาดของรู 3 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.26

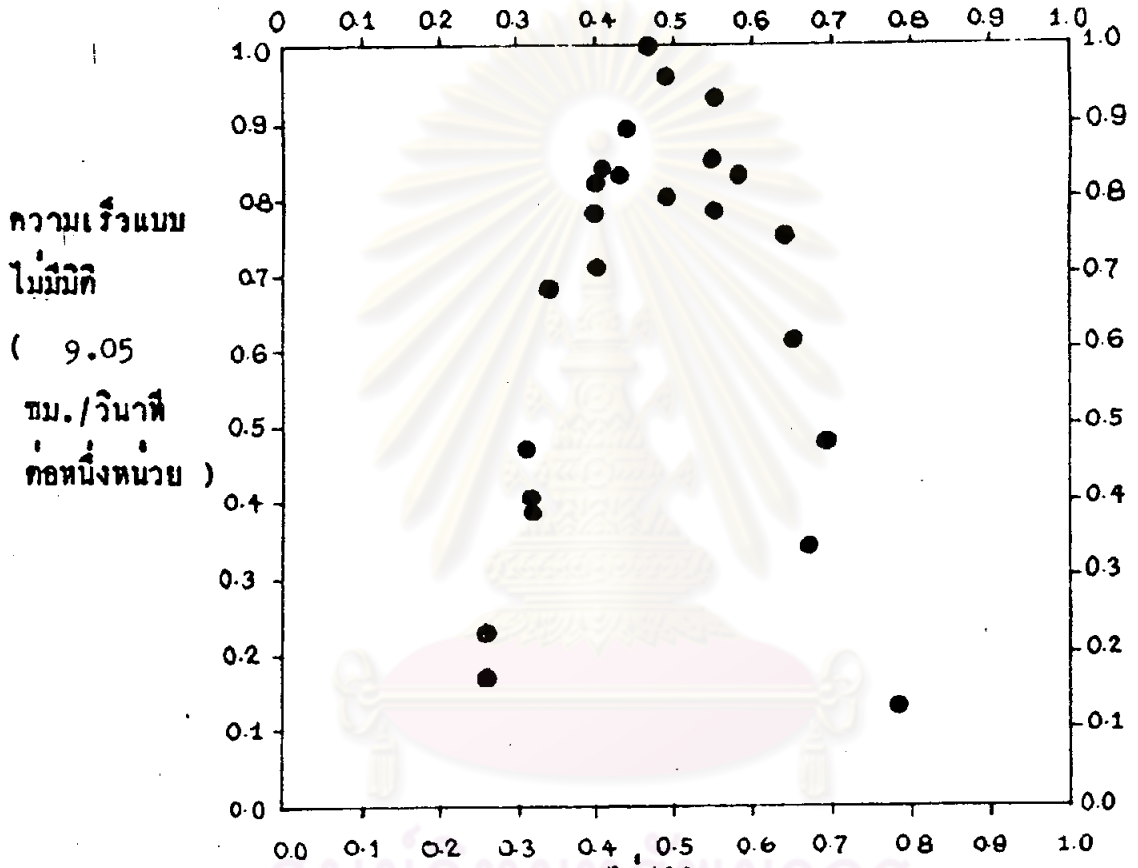
กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 18 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.27

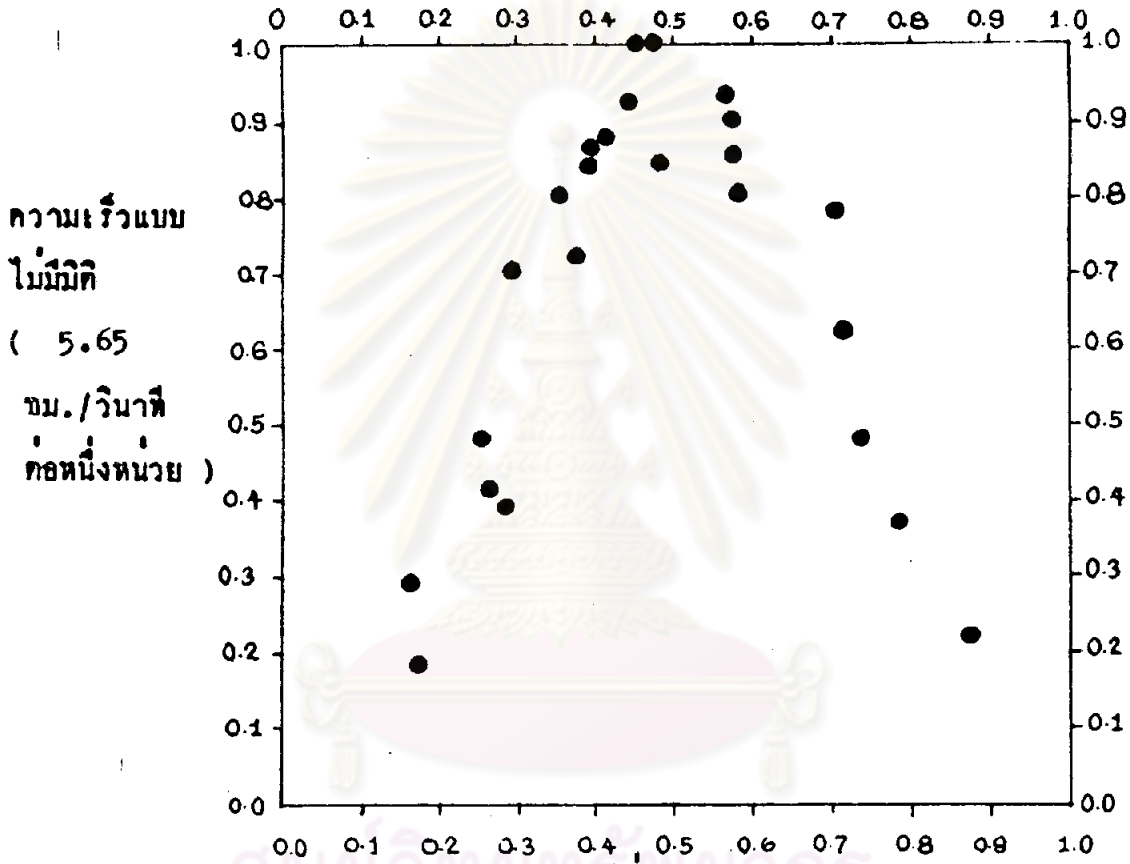
กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 18 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

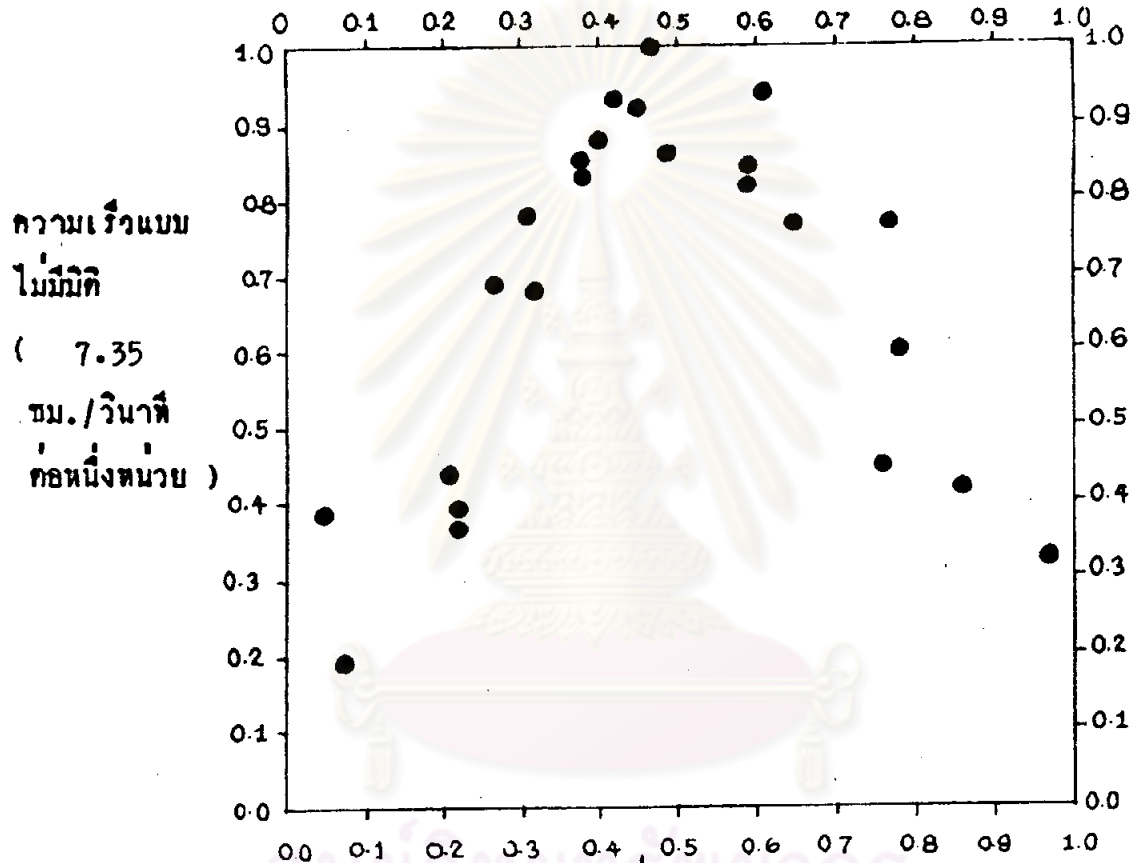
ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.28
กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู
ความกว้างของถัง 18 ซม.
ขนาดของรู 2 ซม.
ระดับความสูง 15 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.29

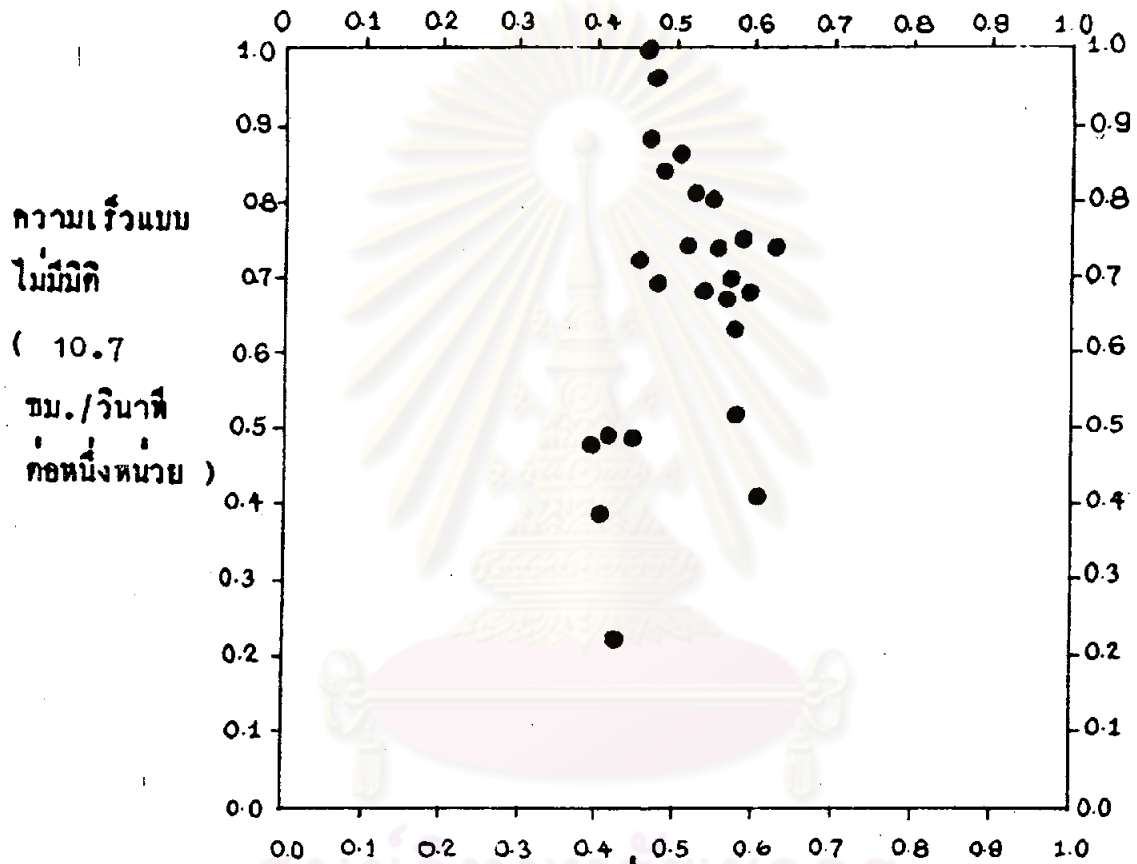
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 18 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.30

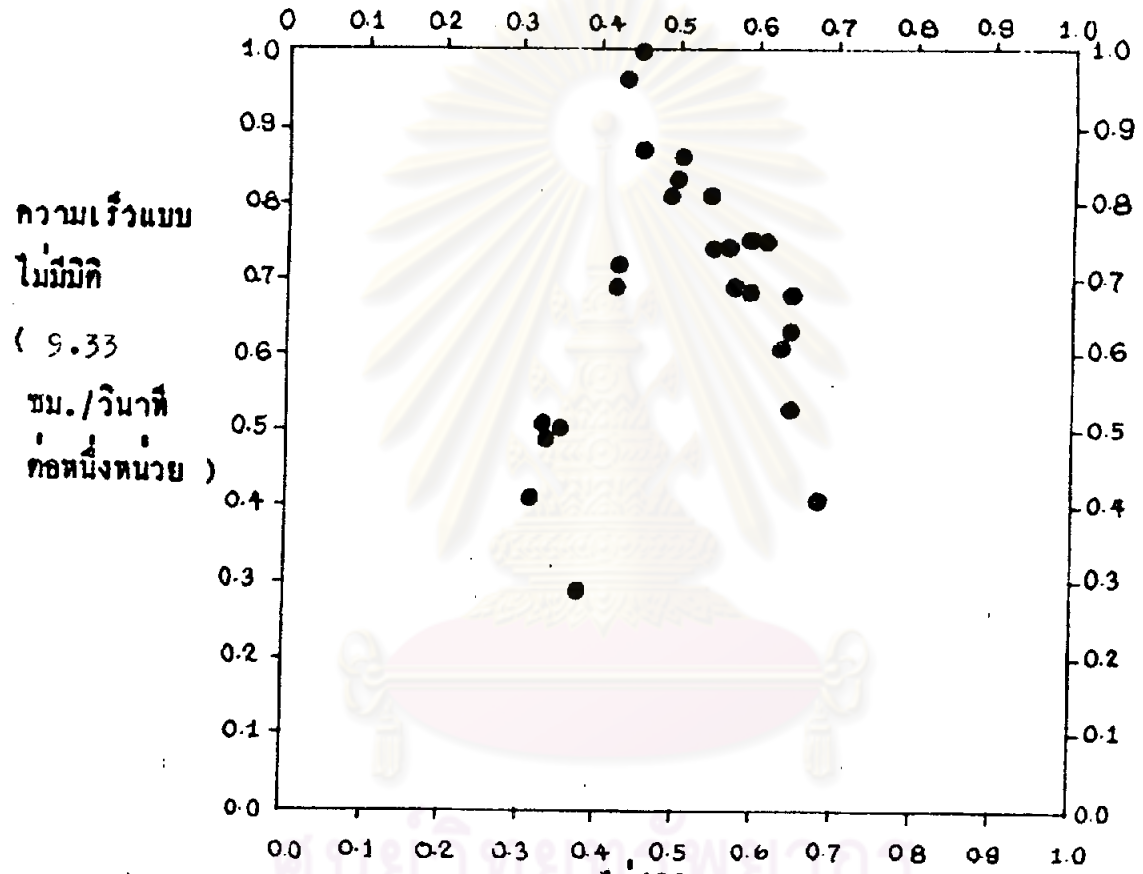
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



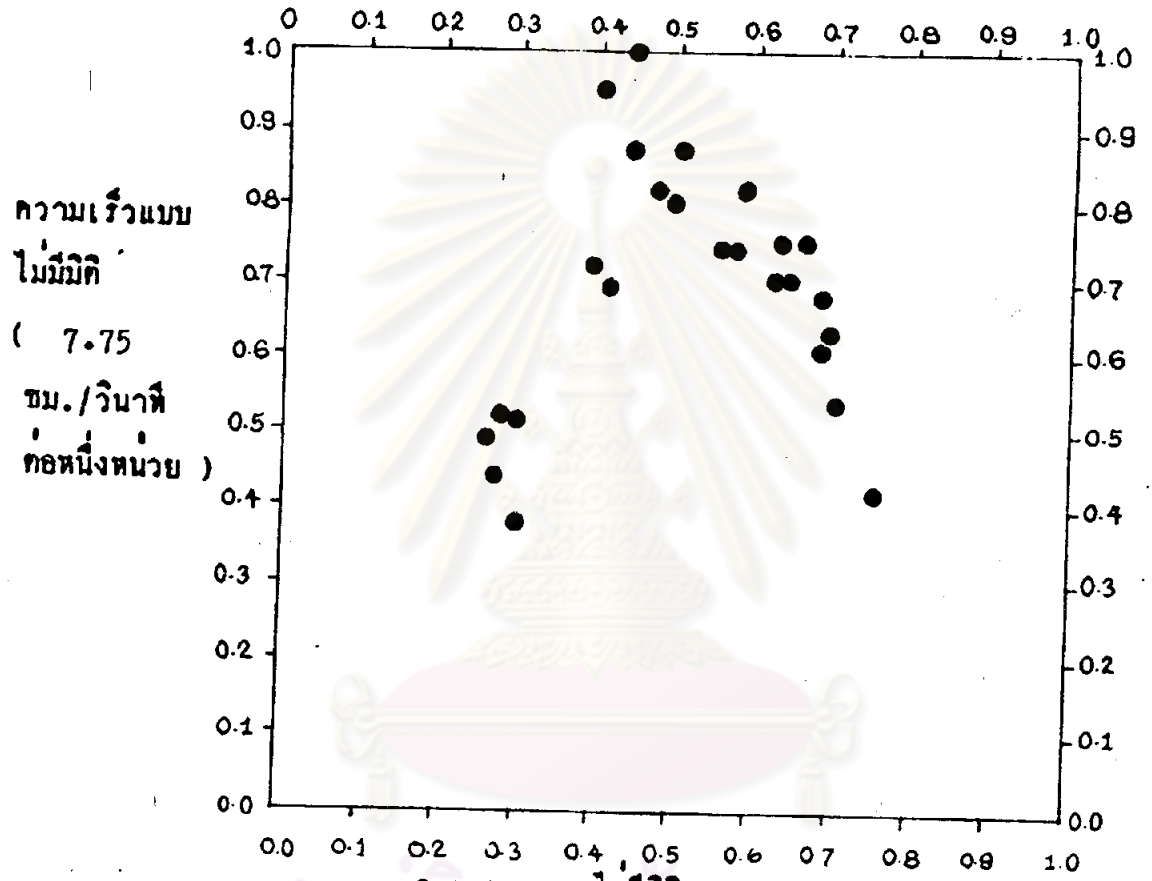
รูปที่ 5.3.31

กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.32

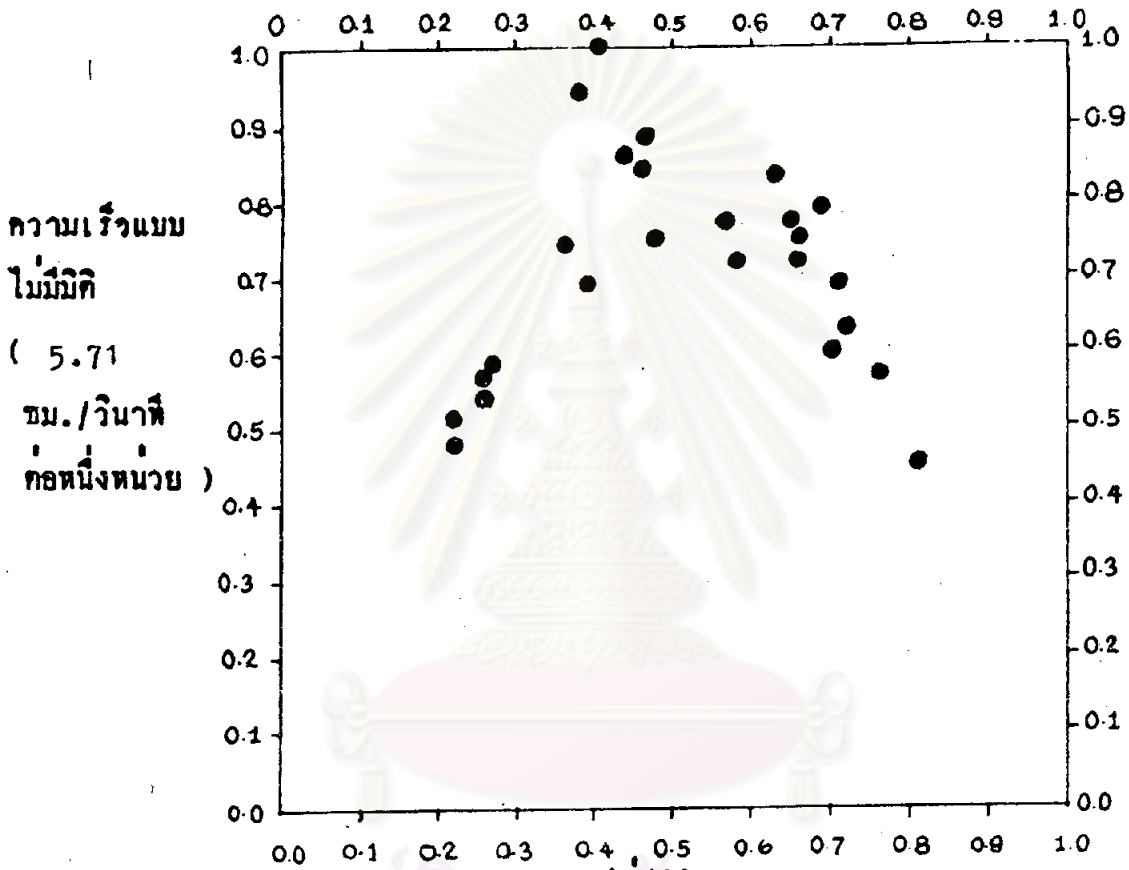
กรอบอ้างอิง 30–10ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.33

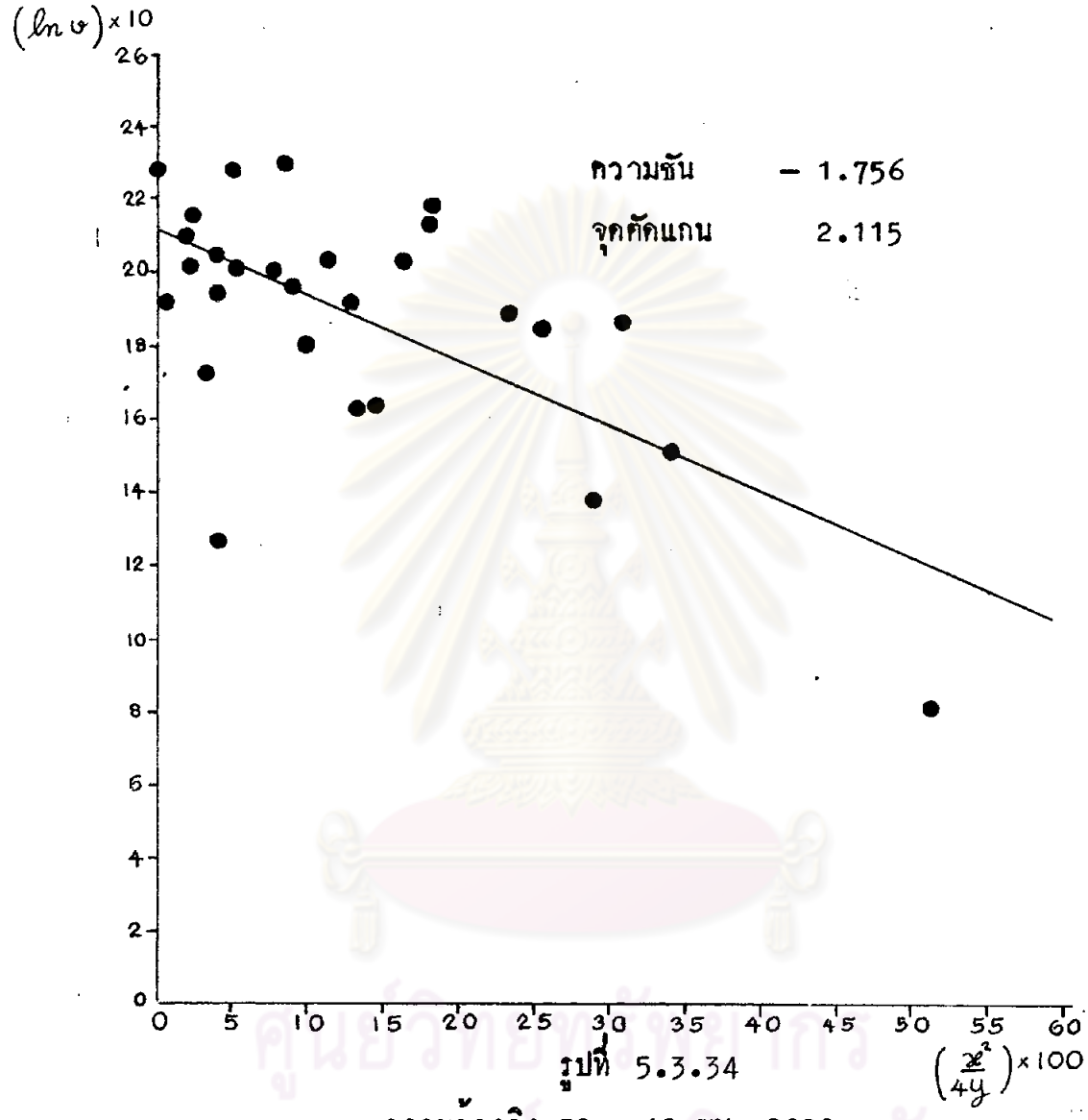
กรอบอ้างอิง 30–10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 20 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



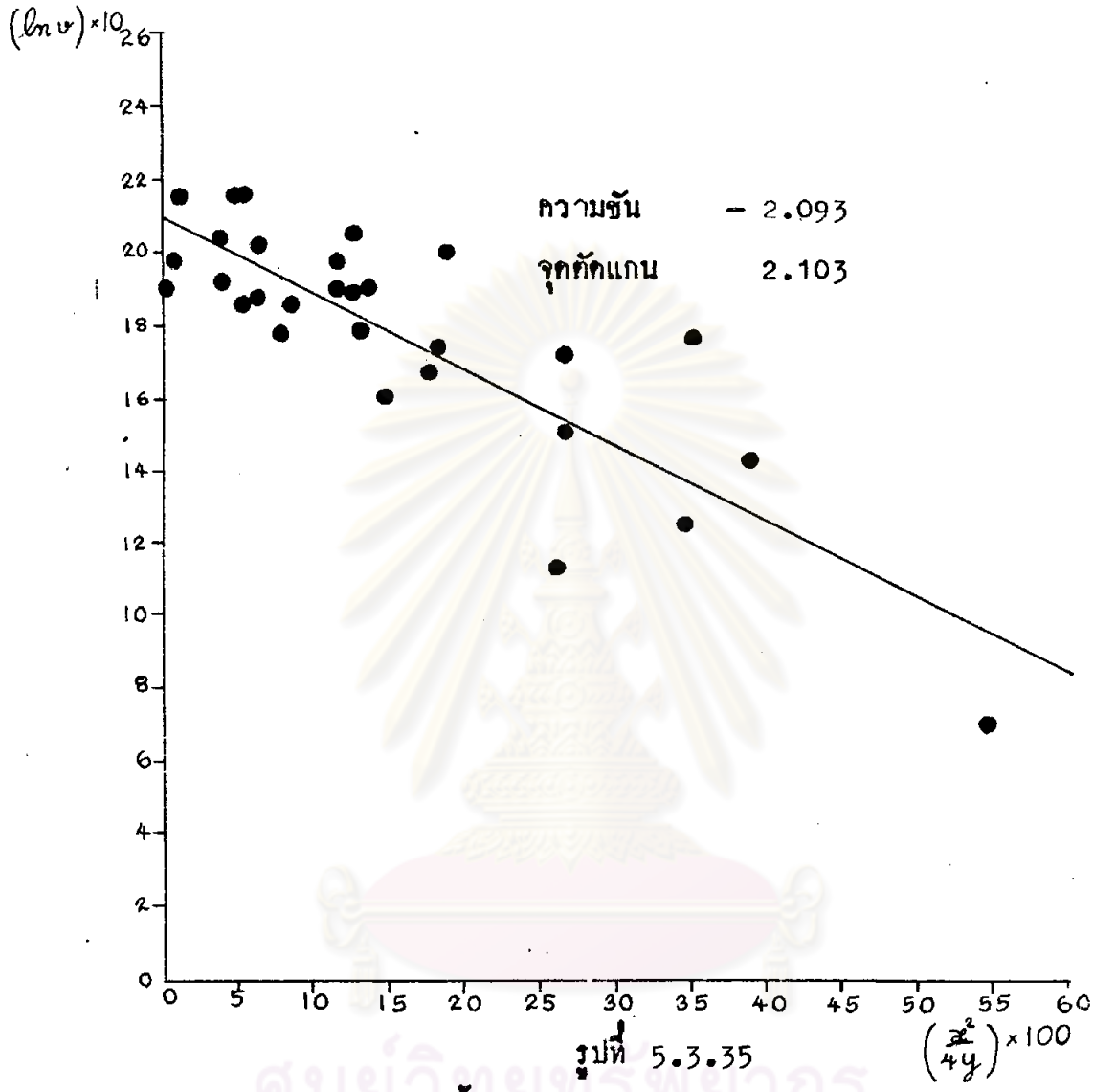
รูปที่ 5.3.34

กรอบอ้างอิง 30 – 10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 40 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 5 ซม. จากรู



รูปที่ 5.3.35

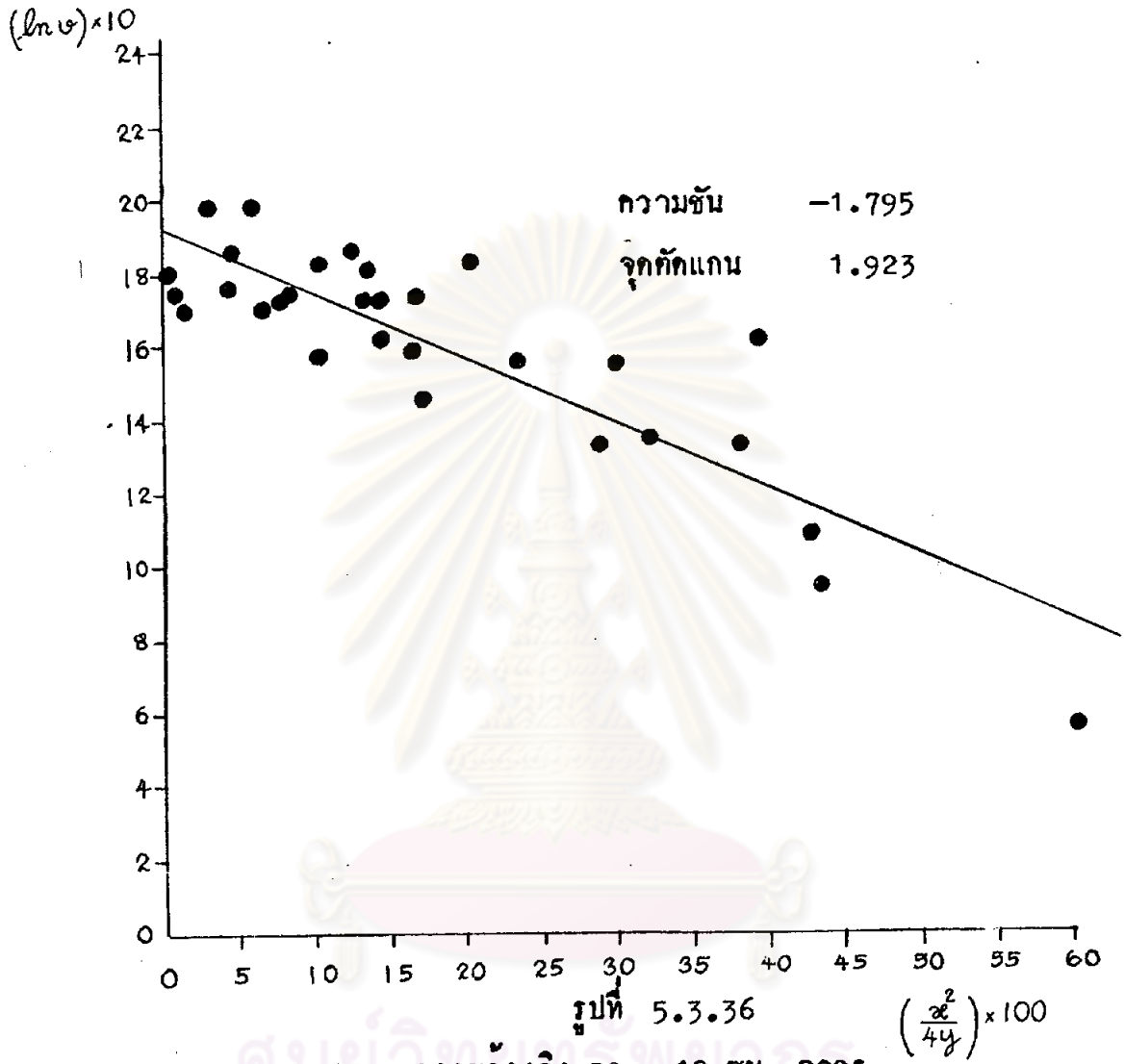
กรอบอ้างอิง 30 – 10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 40 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 10 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.36

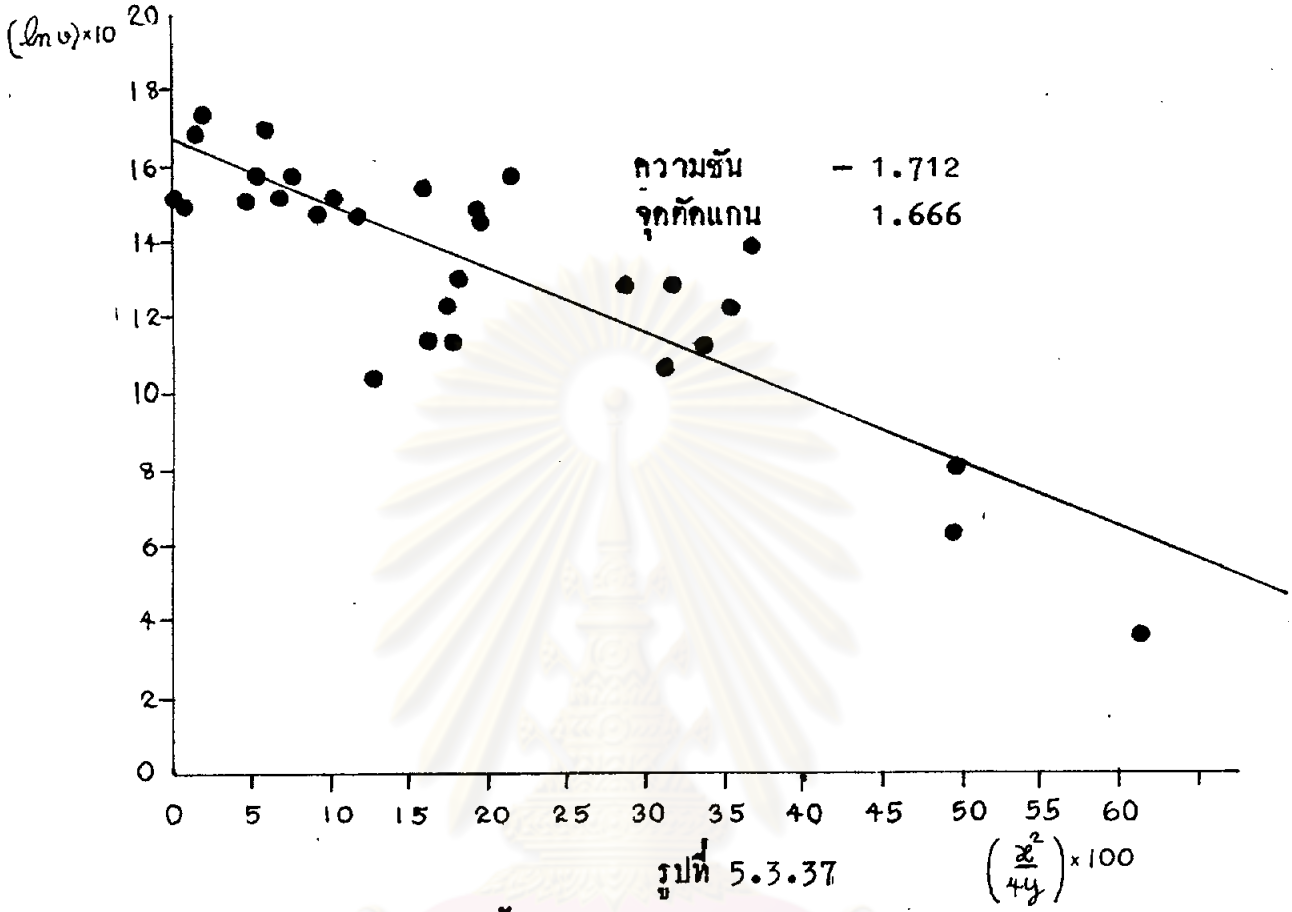
กรอบอ้างอิง 30 – 10 ซม. จากรู

ความกว้างของถัง 40 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 15 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.37

กรอบอ้างอิง 30 – 10 ซม.จากรู

ความกว้างของถัง 40 ซม.

ขนาดของรู 2 ซม.

ระดับความสูง 20 ซม. จากรู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย