ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน

โดยทั่วไปการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงานอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามขอบข่ายดังนี้

1. กรณีที่มีเครื่องอบแห้งอยู่แล้ว เกณฑ์ที่ใช้ตัดสินแบบหนึ่งก็คือ การลดค่าใช้จ่ายรวมที่ใช้ในการเดินเครื่องอบแห้งให้เหลือค่าต่ำที่สุด โดยการเลือกตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อย่างเช่น ความเร็วของลมร้อน (superficial velocity of hot air) อุณหภูมิของลมร้อน, อัตราการหมุนเวียนลมทิ้ง เป็นต้น (ดูหัวข้อ 5.1)

2. กรณีที่ต้องทิ้งออกแบบเครื่องอบแห้งใหม่ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงานเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินแบบหนึ่งคือ การลดค่าใช้จ่ายรวมตลอดปี (total annoual cost) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องให้มีค่าต่ำที่สุด (36) โดยเลือกตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง อย่างเช่น ขนาดและรูปร่างของเครื่อง, ความเร็วและอุณหภูมิของลมร้อน, อัตราการหมุนเวียนลมทิ้ง เป็นต้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ใคอะแกรมของระบบของเครื่องอบแห้ง ซึ่งถือว่ามีอยู่แล้วจะเป็นดังที่แสดงในรูป 5.1 ส่วนเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินจะเป็นค่าใช้จ่ายรวมที่ใช้ในการเดินเครื่องอบแห้งต่อน้ำหนักหนักผลิตภัณฑ์ ดังนิยามของออบเจคทีฟฟังก์ชันในหัวข้อ 5.1 ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันนี้จะใช้ได้ไม่ว่ากำลังเปรียบเทียบเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่ต่างกันของระบบเครื่องอบแห้งชุดเดียวกัน หรือเปรียบเทียบระบบเครื่องอบแห้งต่างชุดกันที่มีเงื่อนไขการอบแห้งเหมือนกัน ไม่ว่าในกรณีใดข้างต้นเราต้องการลดค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันให้เหลือต่ำที่สุดเสมอ

5.1 นิยามของออบเจคทีฟฟังก์ชันที่ใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้จะคิดว่าค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้งต่อน้ำหนักผลผลิต ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายของพลังงานความร้อนที่ใช้ในเครื่องอุ่นอากาศ, ค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องเป่าลมและค่าใช้จ่ายของบุคลากรที่ควบคุมเครื่องอบแห้ง, ค่าใช้จ่ายแต่ละส่วน จะมีความสำคัญแตกต่างกันตามสภาพของราคาเชื้อเพลิง ราคาไฟฟ้าและค่าจ้างแรงงานตลอดจนสวัสดิการของคนงาน นิยามของออบเจคทีฟฟังก์ชันที่ใช้คือ

$$G = a_1*(C_1E_1 + C_2E_2) + a_2C_2*(1/P) \quad \ldots\ldots (5.1)$$

โดยที่ G คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้งต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์, a_1,a_2 เป็นตัวคูณ (weighting factor) ที่ให้น้ำหนักความสำคัญของค่าใช้จ่ายพลังงานกับค่าจ้างแรงงาน C_1, C_2, C_3 เป็นราคาของพลังงานความร้อนที่ใช้ในเครื่องอุ่นอากาศ (ในที่นี้จะใช้ไอน้ำอิ่มตัวมาควบแน่น) ราคาของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องเป่าลม (มอเตอร์ไฟฟ้า) และค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน, E_1,E_2 เป็นพลังงานจำเพาะ (specific energy) หรือพลังงานสิ้นเปลืองต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการเดินเครื่องอุ่นอากาศและเครื่องเป่าลม, P เป็นน้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (productivity ของเครื่องอบแห้ง)

ค่าของ a_1, a_2, C_1, C_2, C_3 ที่เลือกใช้มีสรุปอยู่ในตาราง 5.1 (รายละเอียดประเมินค่าเหล่านี้มีแสดงไว้ในภาคผนวก ค.1)

ตาราง 5.1 ค่าของตัวคูณ (weighting factor) a_1, a_2 และราคาต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ C_1, C_2,และ C_3

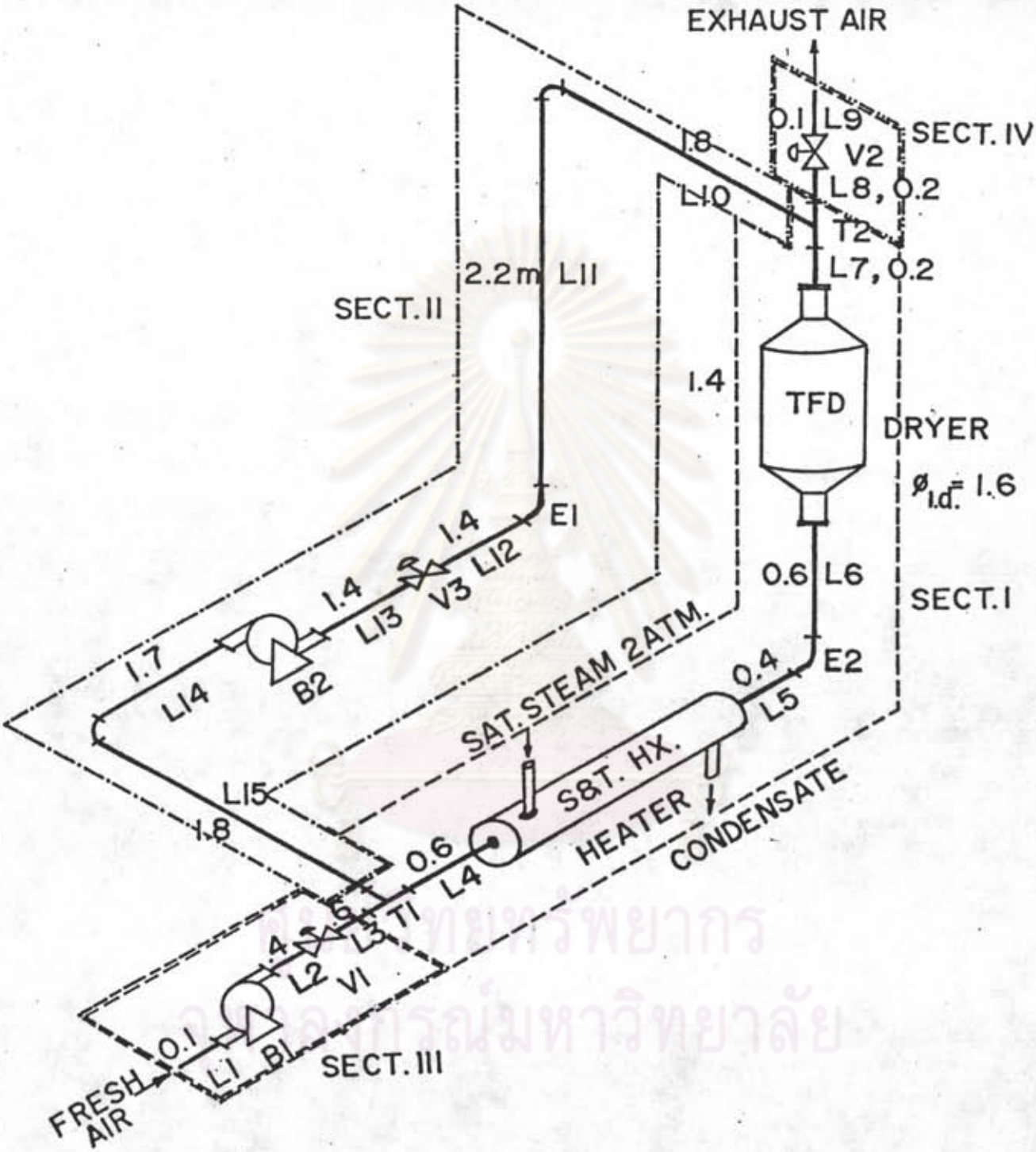
a_1/a_2	C_1 (baht/kJ)	C_2 (baht/kJ)	C_3 (baht/sec)
1/1, 9/1, 1/9	1.235×10^{-7}	3.89×10^{-4}	6.944×10^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ระบบของเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่ศึกษา

ระบบเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่ศึกษานี้มีส่วนประกอบคือ เครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่ปฏิบัติงานเป็นงวด, เครื่องอุ่นอากาศ (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ ซึ่งใช้ไอน้ำที่อิ่มตัวมาอุ่นลมร้อน), เครื่องเป่าลม (2 เครื่อง), ระบบท่อและอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (ดูรูป 5.1) โดยทั่วไปแล้วระบบของเครื่องอบแห้งยังต้องมีอุปกรณ์วัดและควบคุมต่างๆ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ, เครื่องวัดความดัน, เครื่องมือวัดความเร็วลม, ระบบควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบมีสรุปไว้ในตาราง 5.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.1 ระบบของเครื่องอบแห้งที่ศึกษา

ตาราง 5.2 อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบเครื่องอบแห้งที่ศึกษา

สัญญลักษณ์	อุปกรณ์	ขนาด	จำนวน
TFD	เครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่ทำงานเป็นงวดๆ	1.60 m x 1.40 m ($\varnothing_{ID}$ x H)	1
HX	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ	0.764 m x 3.5 m ($\varnothing_{SHELL}$ x L)	1
B	เครื่องเป่าลม	ท่อ 12"	2
E	ข้องอ 90 องศา แบบ long sweep	ท่อ 12"	4
T	ตัวที แบบมาตรฐาน	ท่อ 12"	
V	เกทวาล์ว	ท่อ 12"	
L	ท่อเหล็กกล้า commerical steel	12"Sch. no.20	(10.2m)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ความดันและพลังงานที่ใช้เดินเครื่อง

ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 พลังงานที่ใช้ในการเดินเครื่องอบแห้งมี 2 ชนิดคือ

1. พลังงานความร้อนที่เครื่องอุ่นอากาศ ใช้อุ่นลมร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยใช้ไอน้ำอิ่มตัวมาควบแน่น แลกเปลี่ยนความร้อนกับลมร้อน พลังงานส่วนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.10) ในบทที่ 3

2. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องเป่าลม ซึ่งคำนวณได้จากความดันลดของทั้งระบบที่เกิดขึ้นและปริมาณลมร้อนที่ใช้

ความดันลดของระบบอาจแบ่งเป็น 4 ส่วน ตามเส้นประในรูป 5.1 คือ ส่วน I, II, III และ IV ในส่วนที่ I ความดันลดจะเกิดจากความต้านทานการไหลของลมร้อนทั้งหมดผ่านเครื่องอุ่นอากาศและเครื่องอบแห้งในส่วนที่ II, III และ IV นั้น ความดันลดจะเกิดจากการไหลของลมร้อนทิ้งส่วนหนึ่งที่หมุนเวียนกลับมา (recycle air), ลมใหม่ (fresh air), ที่นำเข้า และลมร้อนที่ปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศ (exhaust air) ตามลำดับ

ความดันลดของเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่าน (TFD) ($-\Delta P_{bed}$) เกิดจาก 2 ส่วนคือ

1. ความดันลดเมื่อลมร้อนไหลผ่านชั้นวัสดุชั้นในเครื่อง ($-\Delta P_{bed}$) สามารถหาได้จากสมการของ Ergun (สมการ 3.10) ในบทที่ 3

$$\frac{(-\Delta P_b) g_c \epsilon^3 d_p \left(\frac{1}{V_H}\right)}{L(1-\epsilon)G^2} = \frac{150*(1-\epsilon)}{(d_p G/\mu)} + 1.75 \qquad \text{..... (3.10)}$$

2. ความดันลดเมื่อลมร้อนไหลผ่านแผ่นรูพรุน (perforted plate) (-ที่รองรับวัสดุ (เมล็ดพืช) ซึ่งหาได้จากสมการของ Henderson (สมการ 3.11) ในบทที่ 3

$$-\Delta P_p = 2.979 \times 10^{-7} \left(\frac{Q_a}{\epsilon O_f}\right)^2 \qquad \text{..... (3.11)}$$

ในที่นี้ ($-\Delta P_p$) คือ ความดันลดที่ผ่านแผ่นรูพรุน (หน่วย kPa), Q_a คืออัตราการไหลของลมร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ($m^3/min.$) และ O_f คือพื้นที่ที่เป็นช่องเปิดของแผ่นรูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมด (หน่วย m^2/m^2)

ในที่นี้กำหนดให้พื้นที่ที่เป็นช่องเปิดของแผ่นรูพรุนเป็น 15% ของพื้นที่แผ่นทั้งหมดหรือ $O_f = 0.15$ ดังนั้น

$$(-\Delta P_T) = (-\Delta P_b) + (-\Delta P_p) \qquad \text{..... (5.2)}$$

ตาราง 5.3 สรุปว่า ความดันลดของเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่คำนวณได้จากสมการ (3.10), (3.11) และ (5.2) ตามลำดับ สำหรับเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ชีมูเลต

ตาราง 5.3 ค่าความดันลดของเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านที่เงื่อนไขต่างๆ

ความเร็วลมที่ผ่านชั้นวัสดุ (m/s)	ความดันลดผ่านชั้นวัสดุวัสดุ (mm H_2O)	ความดันลดผ่านแผ่นรูพรุน (mm H_2O)	ความดันลดของเครื่องอบแห้ง (mm H_2O)
0.4634	44.7322	5.3562	50.0884
0.6594	83.3510	10.8439	94.1949
0.8792	140.9865	19.2784	160.2649

อนึ่งความดันลดของเครื่องอุ่นอากาศ (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) หาได้จากสมการการทดลองความดันลดภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (ไอน้ำอิ่มตัวควบแน่นและไหลอยู่ในเชลล์ ส่วนลมร้อนไหลภายในท่อ) (56) ในตาราง 5.4 สรุปค่าความดันลดของลมร้อนผ่านเครื่องอุ่นอากาศ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค.2)

ตาราง 5.4 ค่าความดันลดของลมร้อนผ่านเครื่องอุ่นอากาศ ที่เงื่อนไขต่างๆ

ความเร็วลมที่ไหลผ่านชั้นวัสดุ (m/s)	ความดันลดของเครื่องอุ่นอากาศ (mm H_2O)
0.4634	9.3076
0.6594	17.8768
0.8792	29.2044

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ความดันลดของระบบท่อ (ส่วน I, II, III และ IV) ก็คำนวณได้โดยการประมาณความดันลดของชิ้นส่วนต่างในระบบให้เทียบเท่ากับความยาวท่อตรงที่จะทำให้เกิดความดันลดเท่ากัน (equivalent length) หรือเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$(-\Delta P_L) = 4f\Sigma\left(\frac{L_e}{D_j}\right)\frac{\rho V_i^2}{2} \quad \text{.... (5.3)}$$

โดยที่ f คือ fanning friction factor ซึ่งหาได้จาก (57) เมื่อทราบค่า Re

L_e เป็นความยาวเทียบเท่าของชิ้นส่วนของระบบท่อที่ทำให้เกิดความดันลดเท่ากับความยาวของท่อตรง

ตาราง 5.5 และ 5.6 แสดงค่าความยาวเทียบเท่าของชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบท่อ (58) และค่าความดันทั้งหมดของส่วนที่ I, II, III และ IV ตามลำดับ

ตาราง 5.5 ความยาวเทียบเท่าของชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบท่อ

ชิ้นส่วน	ขนาด (Nominal size)	ความยาวเทียบเท่า (m)
ตัวทีมาตรฐาน (Standard Tee)	12"	20.7264
ข้องอ 90 (long sweep)	12"	6.4000
ประตูน้ำ (Gate valve) 100%	12"	2.1336

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.6 ความดันลดของแต่ละระบบเครื่องอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ

ความเร็วที่ไหลผ่านชั้นวัสดุ (m/s)	อัตราส่วนหมุนเวียนกลับ (-)	ความดันลด (mm H_2O)			
		ส่วน I	ส่วน II	ส่วน III	ส่วน IV
0.4634	0	72.2616	-	1.2937	0.9736
	0.33	"	0.9322	0.7601	0.5720
	1	"	3.3771	0.3450	0.2596
	2	"	5.6847	0.1534	0.1155
	3	"	7.4400	0.0952	0.0717
	4	"	7.7445	0.0633	0.0476
0.6594	0	149.6079	-	2.4445	1.8397
	0.33	"	1.7084	1.4405	1.0841
	1	"	6.5518	0.6693	0.5037
	2	"	11.2533	0.3074	0.2314
	3	"	14.1006	0.1819	0.1369
	4	"	16.0435	0.1164	0.0876
0.8792	0	253.0237	-	4.1388	3.1149
	0.33	"	0.0702	2.4445	1.8397
	1	"	10.6350	1.0864	0.8177
	2	"	19.0869	0.5296	0.3986
	3	"	23.9287	0.3136	0.2360

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อคำนวณความดันลดของส่วนต่างๆ I-IV ของระบบเสร็จแล้ว ก็สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_{BL} = \frac{A' q_a (-\Delta P_{BL})}{1000 \times \eta \times 6.12} \quad \ldots\ldots\ldots (5.4)$$

โดย A' เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1.2 (safety factor), q_a เป็นอัตราการไหลของลมร้อน(หน่วย m^3/min), η เป็นประสิทธิภาพของเครื่องเป่าลม (หรือ $\eta = 0.77$), $(-\Delta P_{BL})$ เป็นความดันลดที่เครื่องเป่าลมต้องเอาชนะ (หน่วย mmH_2O) และ Q_{BL} เป็นกำลังของเครื่องเป่าลม (หน่วย KW)

สรุปแล้วสมการ (5.4) สามารถใช้คำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องเครื่องเป่าลม เครื่องเป่าลม B1 ต้องเอาชนะความดันลดของส่วน III, I และ IV รวมกัน อัตราการไหลของลมใหม่ ส่วนเครื่องเป่าลม B2 ต้องเอาชนะความดันลดของส่วน I และ II ที่อัตราการไหลของลมร้อนทิ้งที่หมุนเวียนกลับมา เมื่อรวมพลังงานของ B1 กับ B2 ก็จะได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้เดินเครื่องเป่าลมทั้ง 2 มีสรุปแสดงอยู่ในตาราง 5.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.7 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้เดินเครื่องเป่าลมของระบบ

ความเร็วลมที่ไหลผ่านชั้นวัสดุ (m/s)	อัตราการหมุนเวียนกลับ (-)	พลังงานที่ใช้ (kW)
0.4634	0	1.0952
	0.33	1.0832
	1	1.0933
	2	1.1182
	3	1.1411
	4	1.1489
0.6594	0	2.9415
	0.33	2.9095
	1	2.9382
	2	3.0094
	3	3.0652
	4	3.1989
0.8792	0	6.6334
	0.33	6.5617
	1	6.6187
	2	6.7997
	3	6.9139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 เงื่อนไขการอบแห้งกับค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันของการอบแห้งข้าวโพดในเชิงอุตสาหกรรม

ข้อมูลที่ชี้มูเลตได้ในหัวข้อ 4.3 ได้ถูกนำมาคำนวณหาค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันเงื่อนไขต่างๆ (ดูหัวข้อ 5.2 และ 5.3) โดยจำแนกออกเป็น 2 กรณีคือ

ก. กรณีที่ถือว่าการผสมวัสดุในเบดแต่ละครั้งใช้เวลาสั้นมาก คือไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุเลย

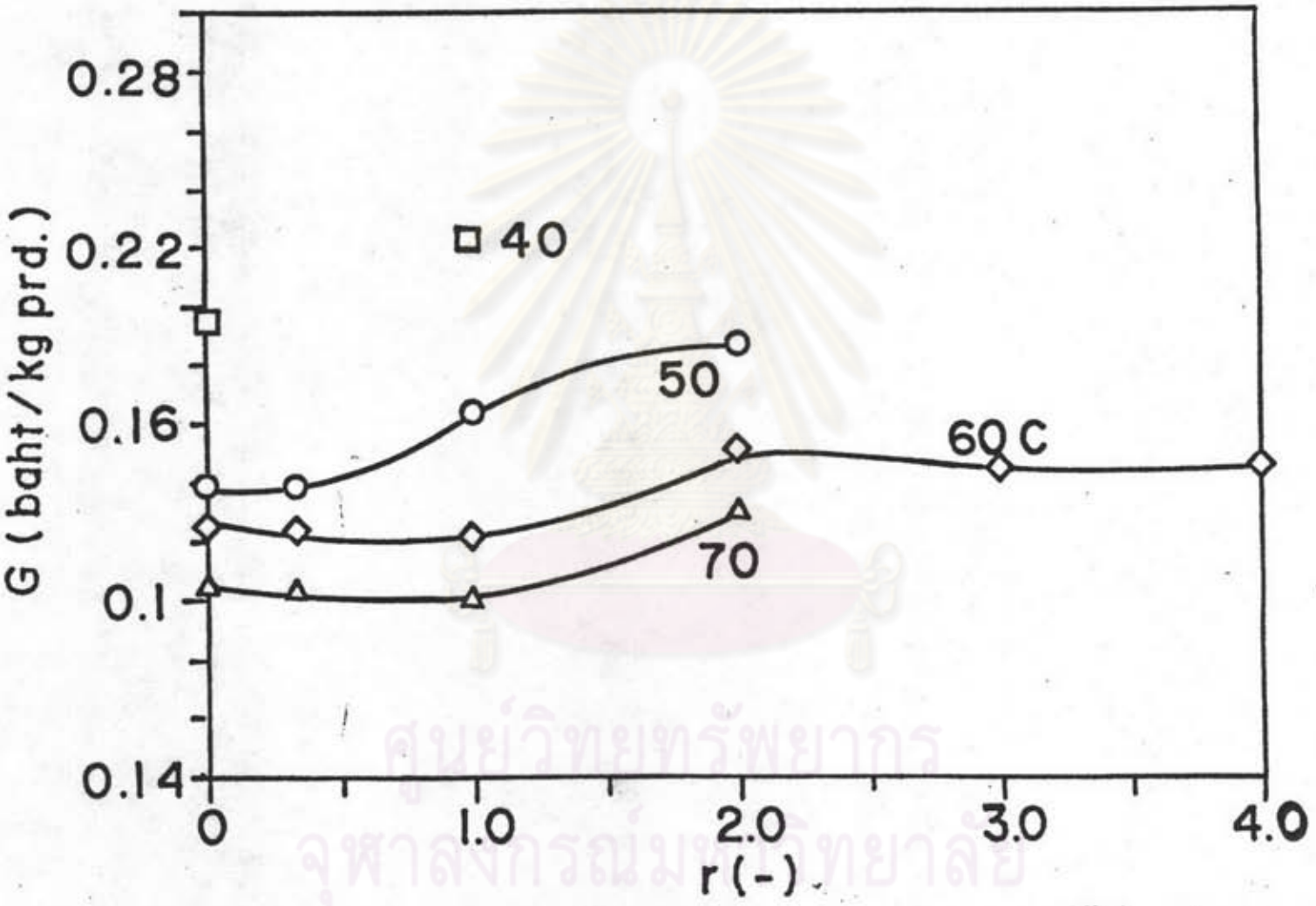
ข. กรณีที่ให้การผสมวัสดุในเบดกินเวลาเท่ากับ 10 นาที ต่อครั้ง

อนึ่งทั้งสองกรณีนี้ยังจำแนกออกเป็น 3 กรณีย่อย ซึ่งให้น้ำหนักของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานกับค่าใช้จ่ายด้านแรงงานแตกต่างกัน

5.4.1 อุณหภูมิลมร้อนที่ทางเข้าของเครื่องอบแห้ง

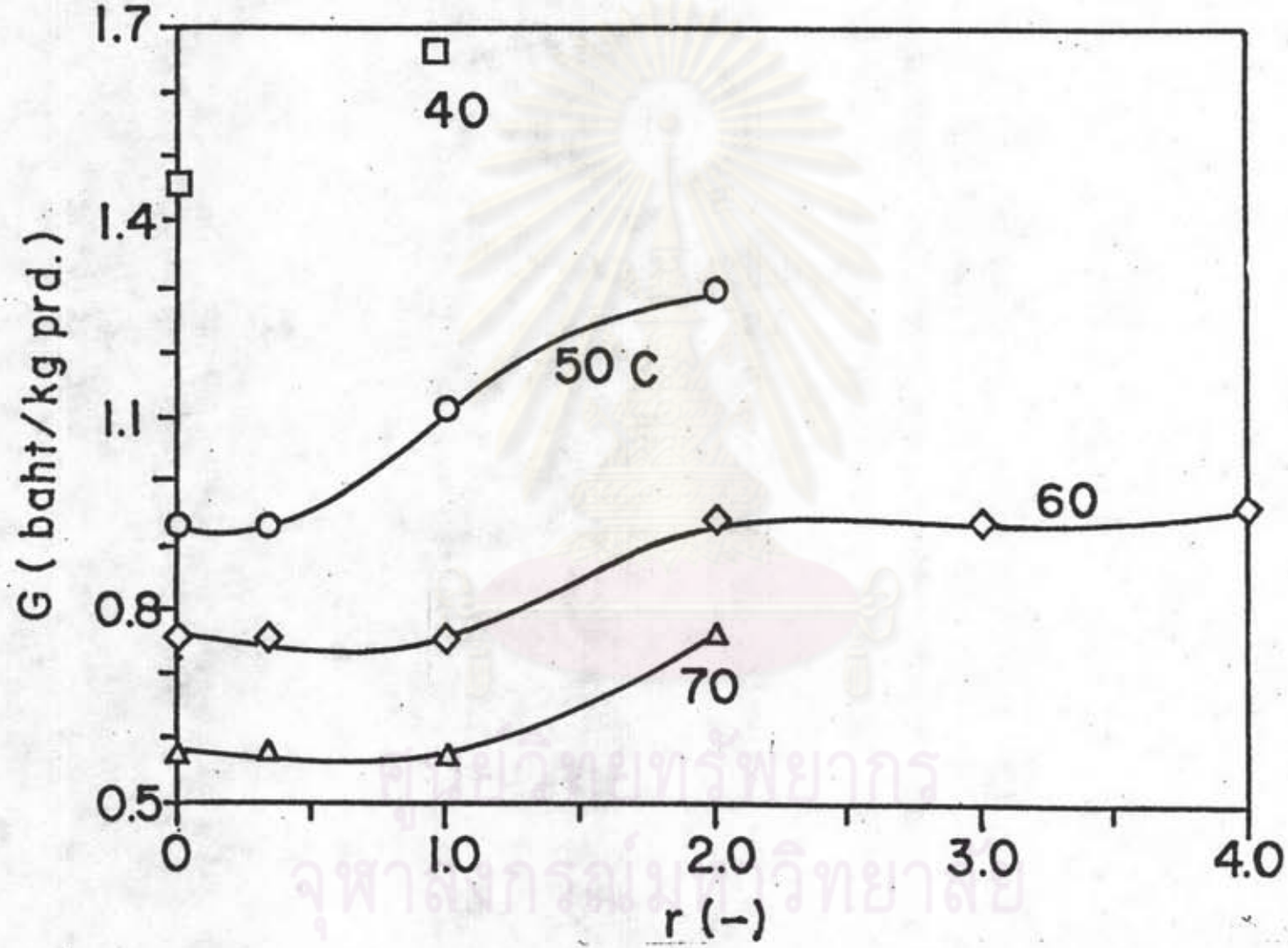
รูป 5.2 - 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน ค่าใช้จ่ายของการอบแห้งกับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง ที่อุณหภูมิเข้าของลมร้อน 40 - 70 °C ทั้งกรณีที่ไม่คำนึงถึง และกรณีที่คำนึงถึงเวลาที่ต้องใช้ผสมวัสดุ ตามลำดับ อนึ่งเงื่อนไขอื่นๆของการอบแห้ง คือ ความชื้นวัสดุเริ่มต้น 0.25 (d.b), ความเร็วลมร้อนผ่านเบด 0.4634 m/s, ช่วงห่างของเวลาที่ผสมวัสดุในเบดทุกๆ 30 นาที (รายละเอียดข้อมูลอยู่ในตาราง 5.8) นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำหนักที่ให้กับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานกับค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน (a_1/a_2) ยังแบ่งเป็น 3 กรณีย่อย คือ 1/9, 1/1, และ 9/1 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

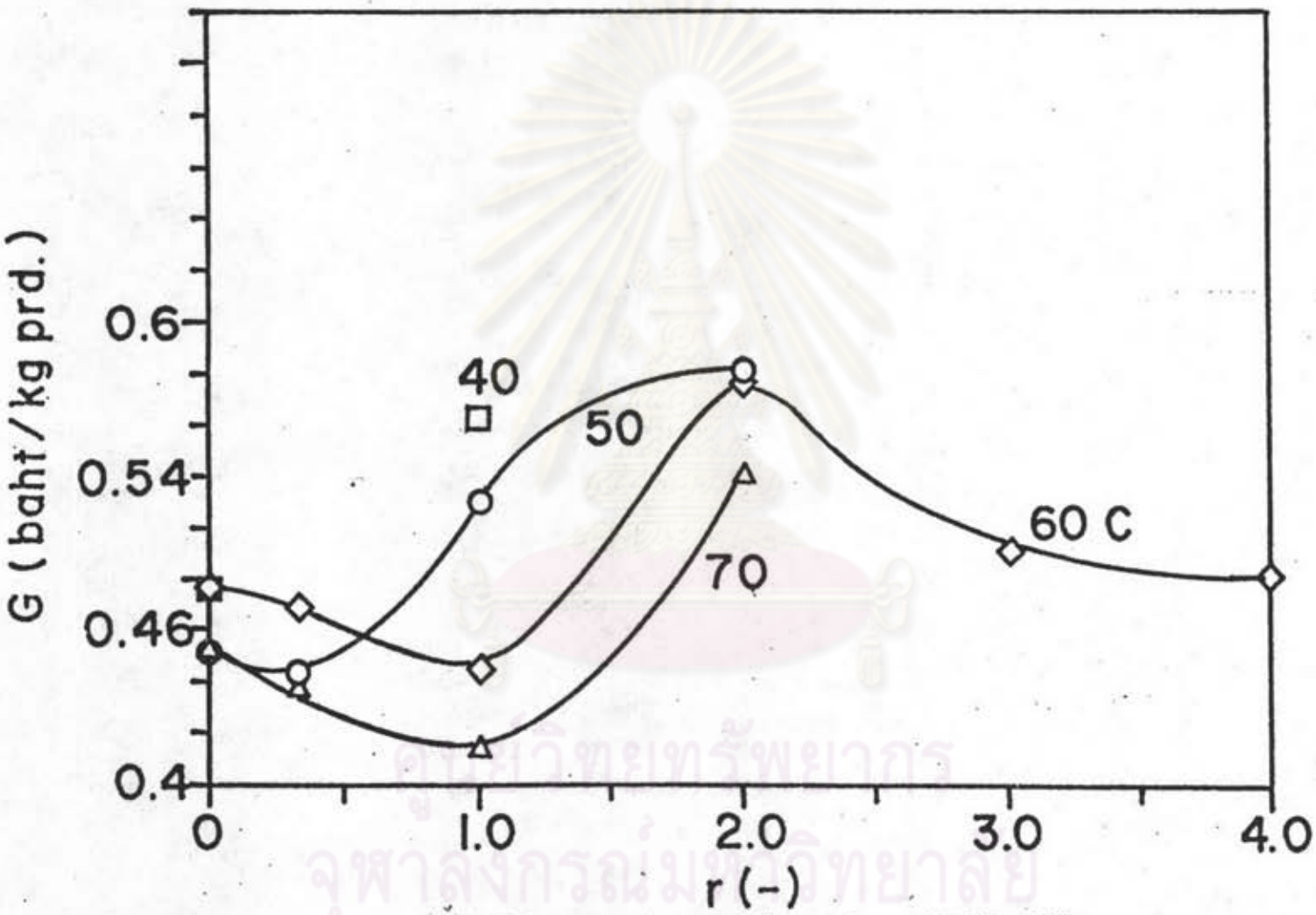


รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลคในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 1/1 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

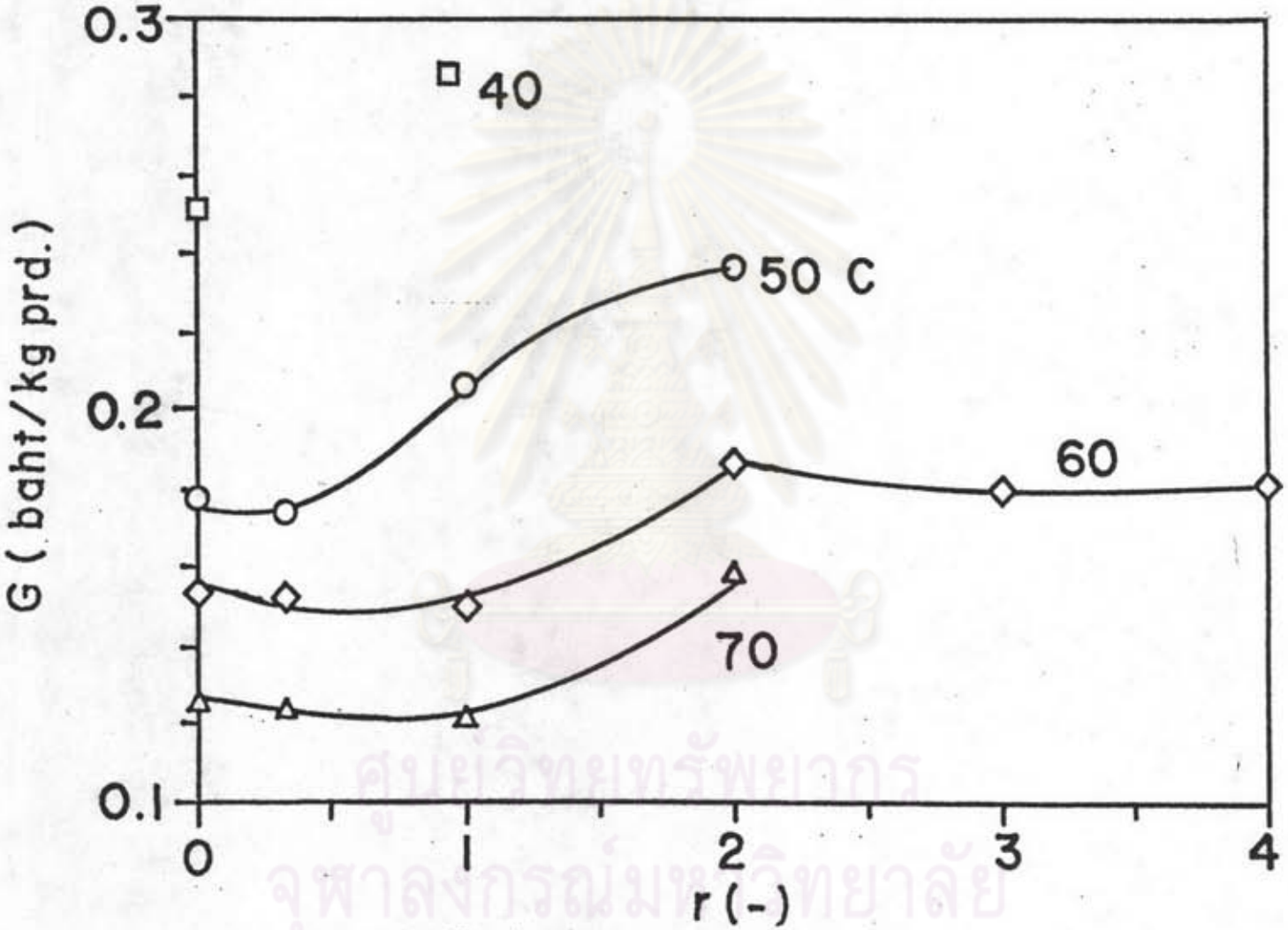


รูป 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 1/9 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด



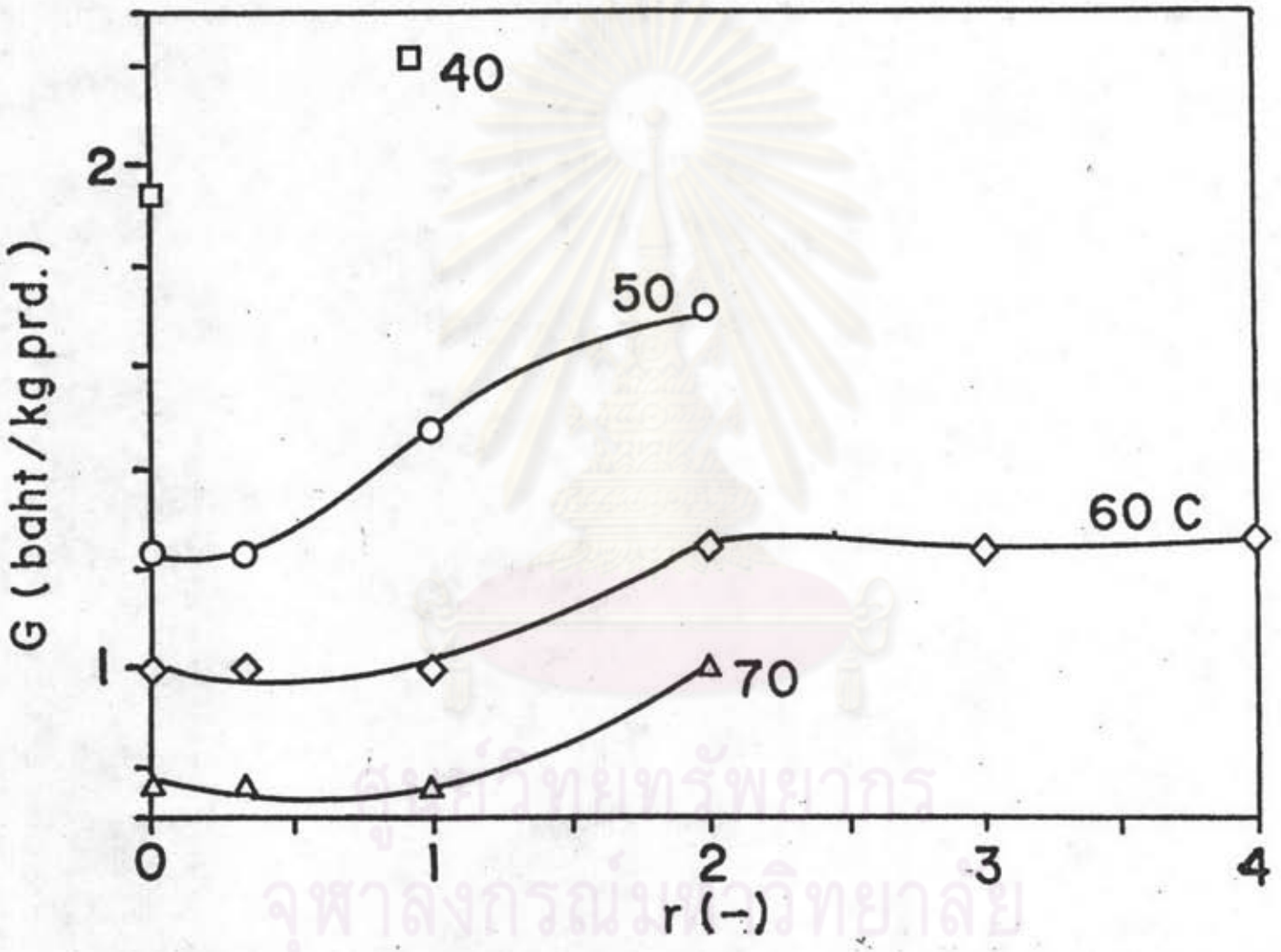
รูป 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 9/1 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



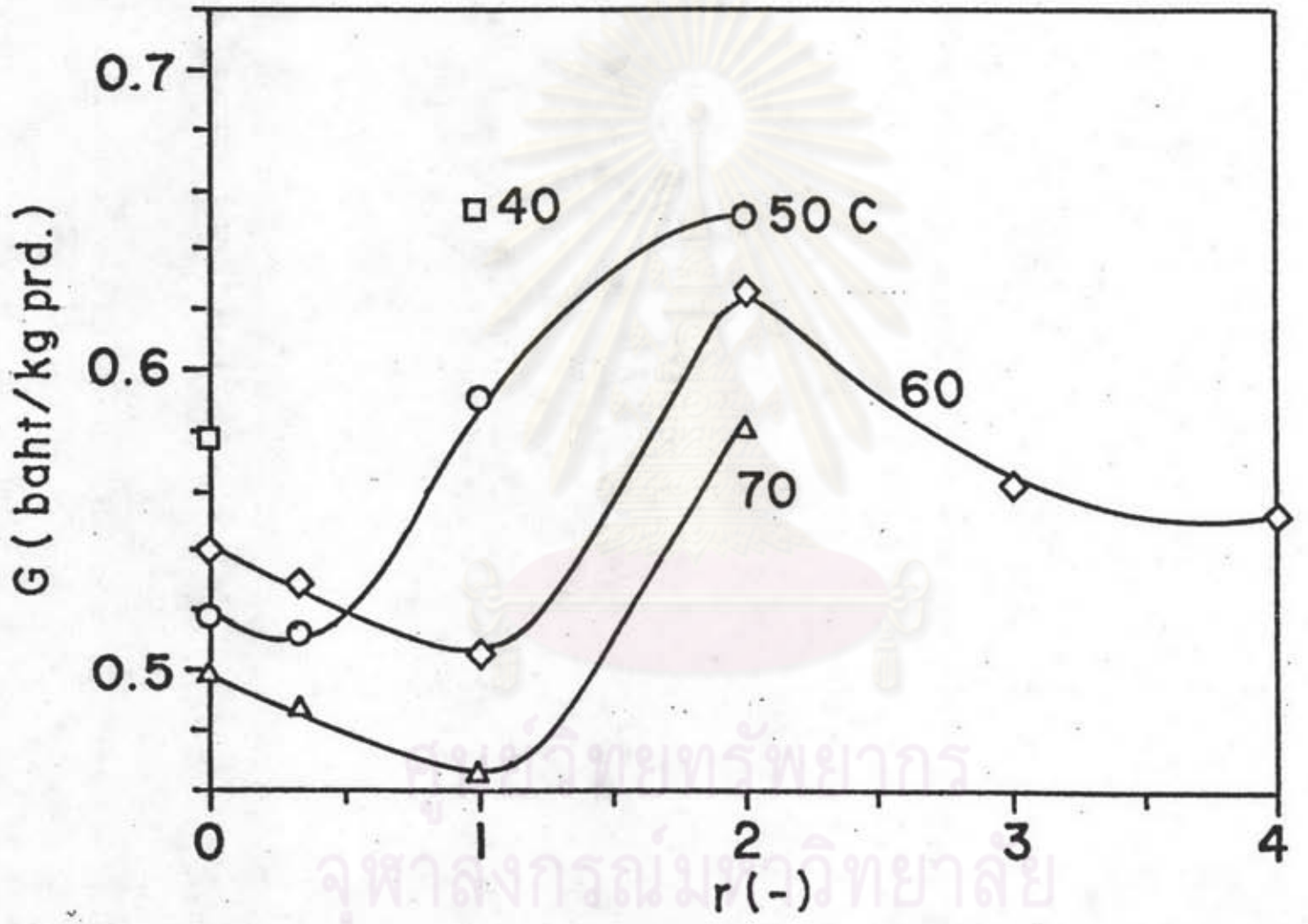
รูป 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 1/1 และถือว่าการผสมวัสดุกินเวลา 10 นาที/ครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 1/9 และถือว่าการผสมวัสดุกินเวลา 10 นาที/ครั้ง.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.1) เมื่อ T_A = 40, 50, 60 และ 70 °ซ โดย a_1/a_2 = 9/1 และถือว่าการผสมวัสดุกินเวลา 10 นาที/ครั้ง

ตาราง 5.8 ผลการคำนวณค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิทางเข้าของลมร้อน (40, 50, 60 และ 70 °ซ) ในหัวข้อ 4.3.1 สำหรับกรณี a_1/a_2 ต่างๆ กัน

FEED = 696.25 KG	PRODUCT = 633.31 KG	
Wi = 0.25 D.B.	Wf = 0.137 D.B.	
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
40	0.00	30.0	0	1.432E+05	1.58E+04	240.00	1.4587	0.1955	0.4963
	1.00			1.598E+05	1.79E+04	273.48	1.6615	0.2221	0.5593
50	0.00	30.0	0	1.790E+05	9.86E+03	150.00	0.9291	0.1396	0.4672
	0.33			1.758E+05	9.73E+03	150.00	0.9284	0.1389	0.4608
	1.00			1.974E+05	1.18E+04	180.00	1.1116	0.1641	0.5299
	2.00			2.071E+05	1.41E+04	210.00	1.2925	0.1872	0.5793
60	0.00	30.0	0	2.148E+05	7.89E+03	120.00	0.7573	0.1257	0.4994
	0.33			2.089E+05	7.79E+03	120.00	0.7561	0.1244	0.4884
	1.00			1.950E+05	7.86E+03	120.00	0.7534	0.1218	0.4646
	2.00			2.207E+05	1.01E+04	150.00	0.9374	0.1479	0.5415
	3.00			2.027E+05	1.03E+04	150.00	0.9340	0.1445	0.5111
	4.00			1.937E+05	1.07E+04	154.62	0.9599	0.1460	0.5005
	0.00			3.026E+05	1.11E+04	169.08	1.0670	0.1770	0.7035
70	0.00	30.0	0	2.148E+05	5.91E+03	90.00	0.5784	0.1047	0.4687
	0.33			2.084E+05	5.84E+03	90.00	0.5771	0.1034	0.4571
	1.00			1.952E+05	5.89E+03	90.00	0.5746	0.1009	0.4343
	2.00			2.378E+05	8.04E+03	120.00	0.7618	0.1302	0.5408
40	0.00	30.0	10	1.432E+05	2.10E+04	320.00	1.9356	0.2514	0.5779
	1.00			1.598E+05	2.38E+04	363.48	2.1980	0.2849	0.6511
50	0.00	30.0	10	1.790E+05	1.31E+04	200.00	1.2272	0.1745	0.5182
	0.33			1.758E+05	1.30E+04	200.00	1.2265	0.1738	0.5116
	1.00			1.974E+05	1.57E+04	240.00	1.4692	0.2060	0.5911
	2.00			2.071E+05	1.88E+04	280.00	1.7099	0.2361	0.6513
60	0.00	30.0	10	2.148E+05	1.05E+04	160.00	0.9957	0.1536	0.5402
	0.33			2.089E+05	1.04E+04	160.00	0.9945	0.1524	0.5291
	1.00			1.950E+05	1.05E+04	160.00	0.9919	0.1497	0.5054
	2.00			2.207E+05	1.34E+04	200.00	1.2355	0.1828	0.5929
	3.00			2.027E+05	1.37E+04	200.00	1.2322	0.1795	0.5629
	4.00			1.937E+05	1.41E+04	204.62	1.2580	0.1810	0.5524
	0.00			3.026E+05	1.11E+04	169.08	1.0670	0.1770	0.7035
70	0.00	30.0	10	2.148E+05	7.89E+03	120.00	0.7573	0.1257	0.4993
	0.33			2.084E+05	7.79E+03	120.00	0.7560	0.1244	0.4876
	1.00			1.952E+05	7.86E+03	120.00	0.7534	0.1218	0.4649
	2.00			2.378E+05	1.07E+04	160.00	1.0003	0.1582	0.5817

5.4.1.1 กรณีที่ไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุ

ดังเห็นได้จากรูป 5.2 - 5.4 สำหรับกรณีที่ไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุ ออบเจคทีฟฟังก์ชันจะมีค่ามากในกรณีไม่มีการหมุนเวียนลมทิ้ง ($r = 0$) แล้วลดค่าลงเมื่อ r มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าต่ำที่สุดแล้วก็จะสร้างเพิ่มขึ้นอีกเมื่อ r มีค่าเพิ่มขึ้น โดยลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักรคล้ายกับลูกคลื่น ดังเห็นได้จากกรณีอุณหภูมิลมร้อน 60°C

เมื่อเปรียบเทียบกรณีลมร้อนอุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70°C ในช่วง r ที่ซีมูเลต พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่า r ที่เหมาะสม (ซึ่งให้ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันต่ำที่สุด) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันต่ำสุดจะมีค่าลดลง ยกเว้นกรณีอัตราส่วน a_1/a_2 เป็น 9/1 และอุณหภูมิลมร้อนในช่วง 50 และ 60°C อนึ่งค่า r ที่เหมาะสมของอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C คือ 0.25, 0.8, 0.85 เมื่อ $a_1/a_2 = 1/1$ และ 0.20, 0.7, 0.75 เมื่อ $a_1/a_2 = 1/9$ และ 0.33, 1.0 และ 1.1 เมื่อ $a_1/a_2 = 9/1$ ตามลำดับ

เหตุที่เมื่ออุณหภูมิของลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่า r ที่เหมาะสมก็มีค่าเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อลมร้อนมีอุณหภูมิทางเข้ายิ่งสูง ความสามารถในการระเหยความชื้นย่อมมากขึ้น (หัวข้อ 4.3.1) ขณะเดียวกันลมทิ้งก็มีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย (ความร้อนสัมผัสของลมทิ้งสูงด้วย) การหมุนเวียนลมทิ้งมามากขึ้น (ค่า r สูงขึ้น) ก็ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการอุ่นลมร้อนน้อยลง ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายพลังงานทั้งหมดมีค่าลดลงด้วย อนึ่งเมื่อน้ำหนักของค่าใช้จ่ายพลังงานมีความสำคัญกว่าค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ($a_1/a_2 = 9/1$) จะเห็นว่าเวลาที่ใช้อบแห้งสำคัญน้อยลง หรือพลังงานสำคัญกว่า การพยายามหมุนเวียนลมทิ้งกลับมา จึงเป็นวิธีการประหยัดพลังงาน ดังนั้นค่า r ที่เหมาะสมจึงขยับไกลออกไปไกลจาก 1 ในทางตรงข้ามเมื่อ $a_1/a_2 = 1/9$ การประหยัดเวลาที่ใช้การอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญมากกว่าราคาของพลังงาน การหมุนเวียนลมจึงน้อยลง เพราะฉะนั้นค่า r ที่เหมาะสมจึงมีค่าขยับเข้าใกล้ 0 ทั้ง 2 กรณีนี้เปรียบเทียบกับกรณีน้ำหนักของค่าใช้จ่ายพลังงานกับค่าใช้จ่ายแรงงานเป็น 1/1 (41)

5.4.1.2 กรณีที่การผสมวัสดุกินเวลา 10 นาทีต่อครั้ง

รูป 5.5 - 5.7 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันกับค่า r สำหรับกรณีนี้ก็มีแนวโน้มเหมือนกับกรณีหัวข้อ 5.4.1.1 นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่า r ที่เหมาะสมก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าออบเคทีฟฟังก์ชันต่ำสุดก็จะมีค่าลดลง เมื่อน้ำหนักสัมพันธ์ $a_1/a_2 =$ เป็น 9/1 ค่า r ที่เหมาะสมของทุกอุณหภูมิจะขยับเข้าใกล้ 0 และในทางตรงข้ามเมื่อ $a_1/a_2 =$ เป็น 1/9 ค่า r ที่เหมาะสมของทุกอุณหภูมิจะขยับไกลออกจาก 1 ไป (ดูตาราง 5.8)

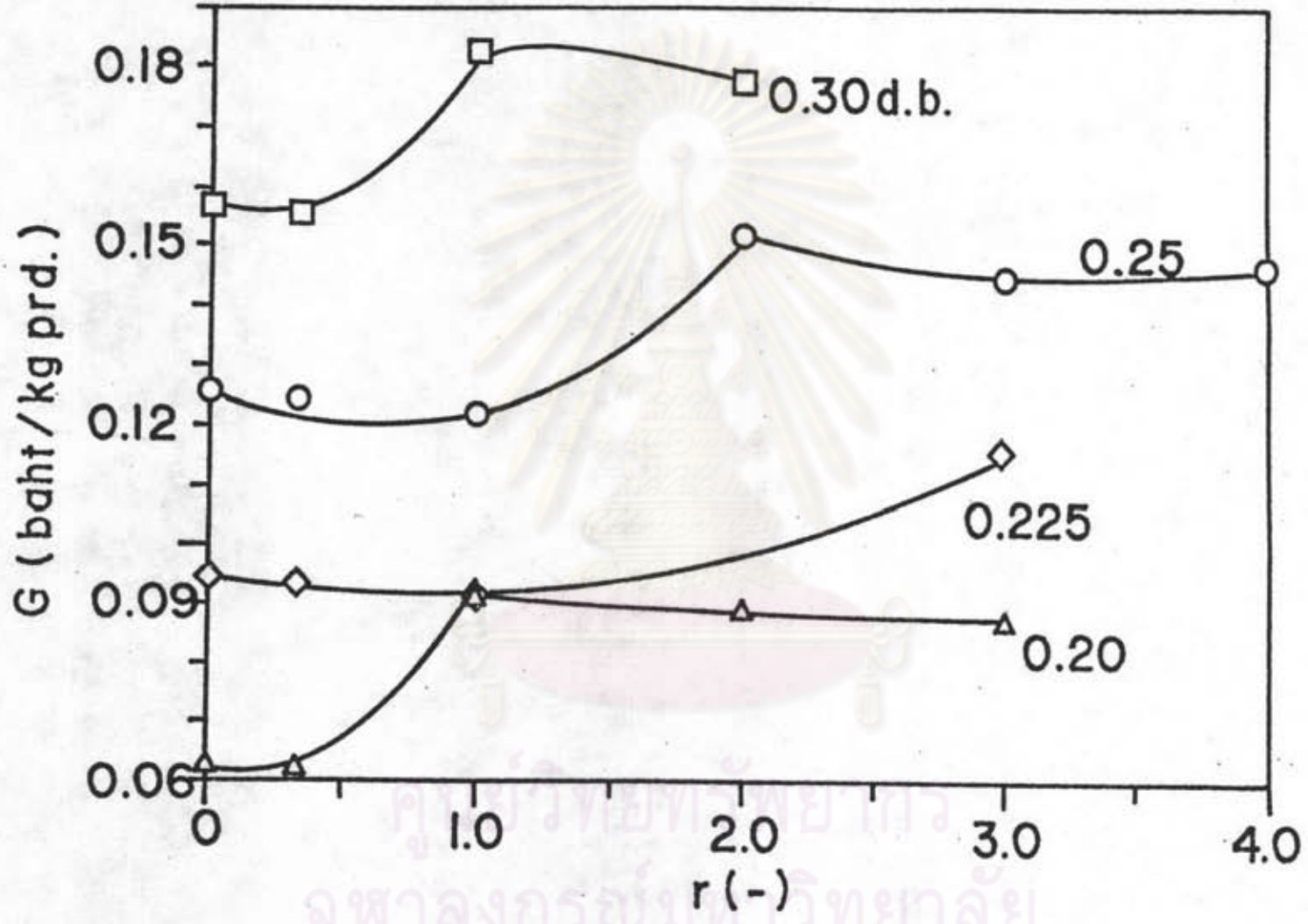
เหตุผลที่ใช้อธิบายก็เหมือนกับที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 5.4.1.1

อนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่เสียและเสียเวลาในการผสมวัสดุ จะพบว่าค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันในกรณีหลังจะสูงกว่าของในกรณีแรก ไม่ว่าเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมือนกันจะเป็นอย่างไร ทุกกรณี

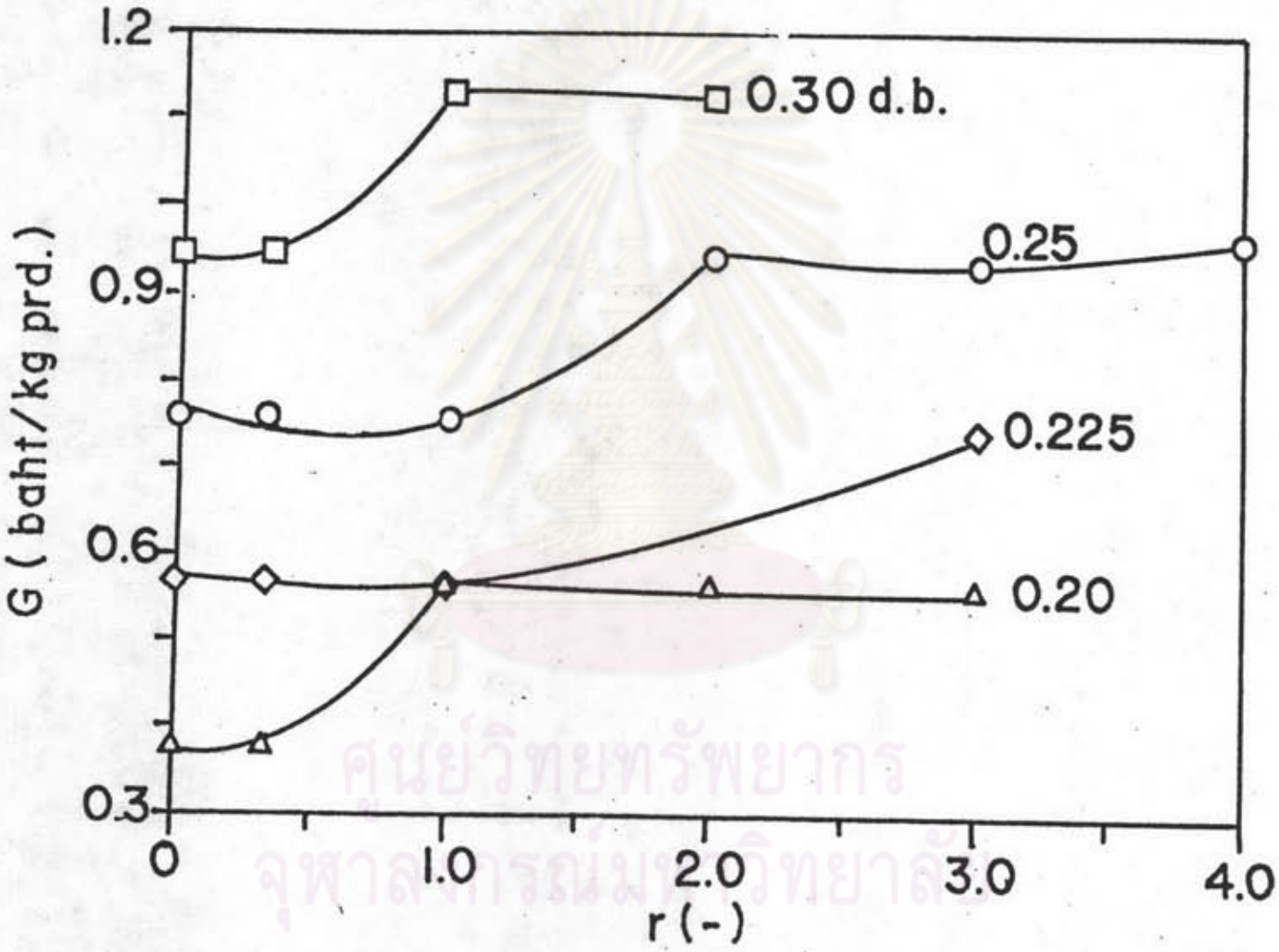
5.4.2 ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ

ดังเช่นในกรณีของรูป 5.2 - 5.7, รูป 5.8 - 5.13 นั้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง r ที่ค่าความชื้นวัสดุเริ่มต้นต่างกัน 4 ค่าคือ 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 (d.b) ตามลำดับ โดยมีเงื่อนไขการอบแห้งดังนี้ อุณหภูมิลมร้อน 60 °C, ความเร็วลมร้อนผ่านเบด 0.4634 m/s และช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบดทุกๆ 30 นาที (รายละเอียดของข้อมูลมีอยู่ในตาราง 5.9)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

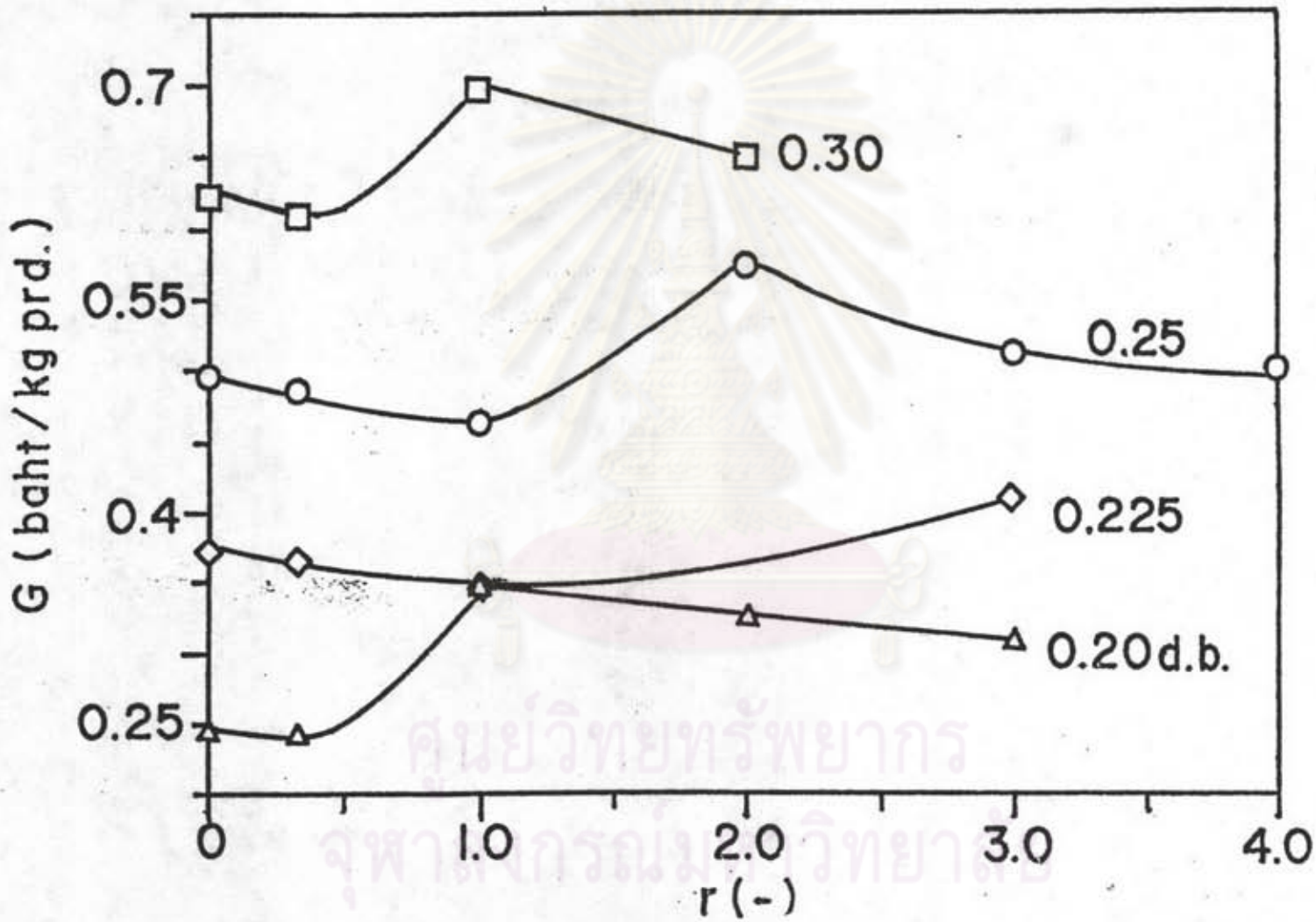


รูป 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ W_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 1/1 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ



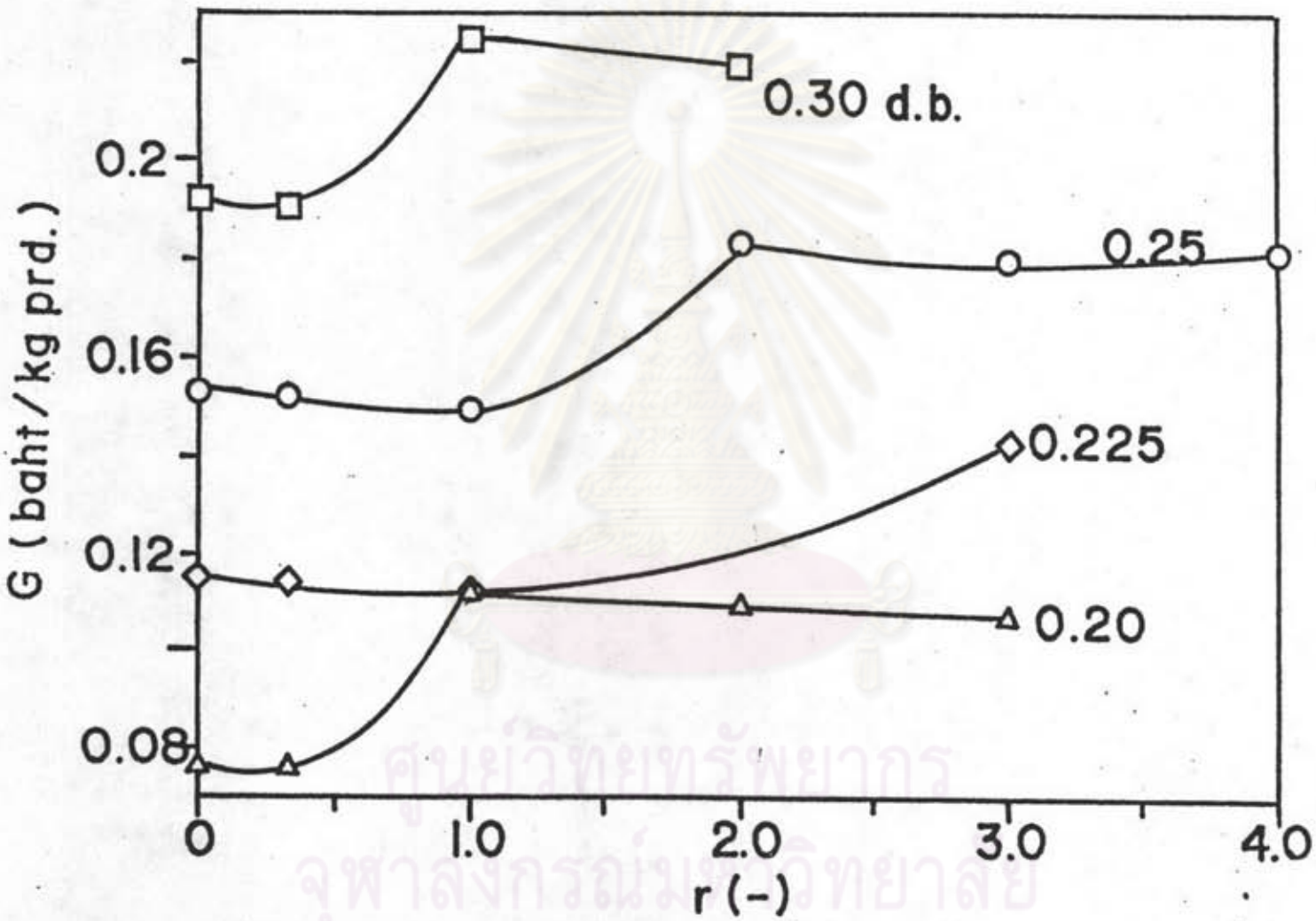
รูป 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ w_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



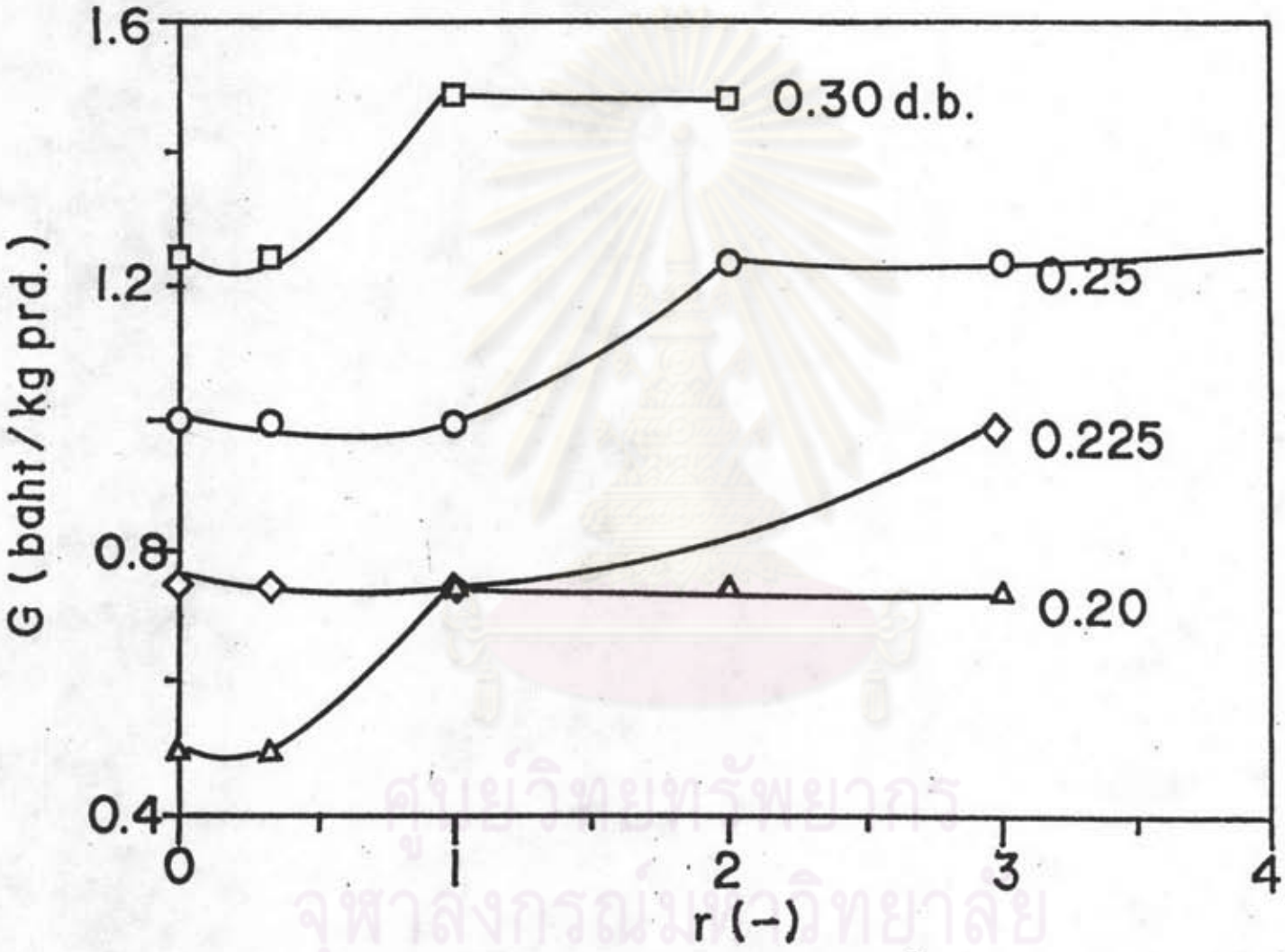
รูป 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูลเลขในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ w_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 9/1 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



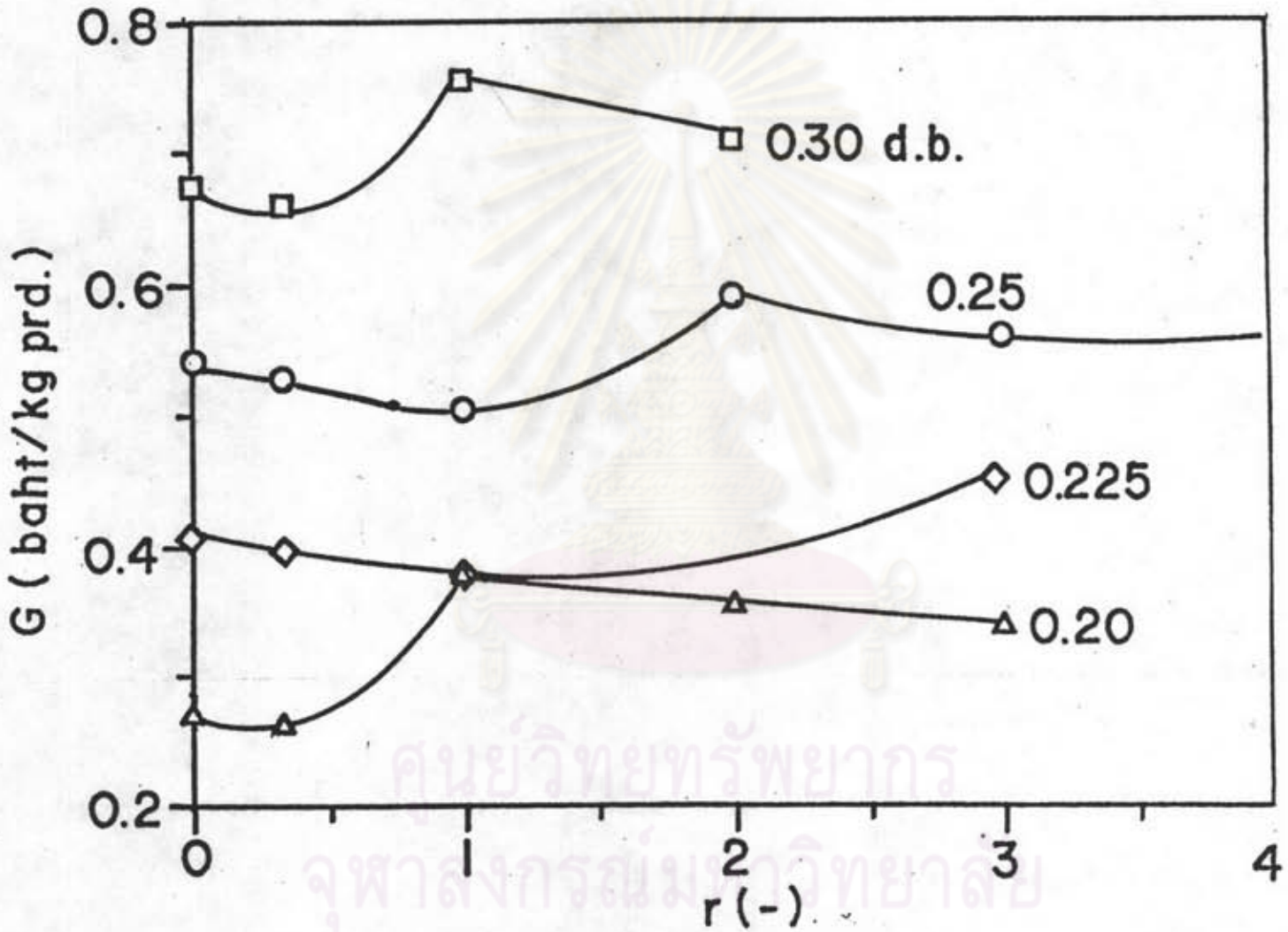
รูป 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ w_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 1/1 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ w_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.2) สำหรับ w_{in} = 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ในกรณี a_1/a_2 = 9/1 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.9 ผลการคำนวณค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน สำหรับความชื้นวัสดุเริ่มต้น ในหัวข้อ 4.3.2 และกรณี a_1/a_2 ต่างๆ กัน

FEED = 724.1 KG		PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.30 D.B.		Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	30.0	0	2.685E+05	9.86E+03	150.00	0.9466	0.1571	0.6242
	0.33			2.611E+05	9.73E+03	150.00	0.9451	0.1556	0.6105
	1.00			2.921E+05	1.18E+04	180.00	1.1300	0.1826	0.6960
	2.00			2.638E+05	1.21E+04	180.00	1.1247	0.1773	0.6479
60	0.00	30.0	10	2.685E+05	1.31E+04	200.00	1.2446	0.1920	0.6752
	0.33			2.611E+05	1.30E+04	200.00	1.2431	0.1904	0.6613
	1.00			2.921E+05	1.57E+04	240.00	1.4877	0.2245	0.7572
	2.00			2.638E+05	1.61E+04	240.00	1.4824	0.2192	0.7096

FEED = 696.25 KG		PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.25 D.B.		Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	30.0	0	2.148E+05	7.89E+03	120.00	0.7573	0.1257	0.4994
	0.33			2.089E+05	7.79E+03	120.00	0.7561	0.1244	0.4884
	1.00			1.950E+05	7.86E+03	120.00	0.7534	0.1218	0.4646
	2.00			2.207E+05	1.01E+04	150.00	0.9374	0.1479	0.5415
	3.00			2.027E+05	1.03E+04	150.00	0.9340	0.1445	0.5111
	4.00			1.937E+05	1.07E+04	154.62	0.9599	0.1460	0.5005
60	0.00	30.0	10	2.148E+05	1.05E+04	160.00	0.9957	0.1536	0.5402
	0.33			2.089E+05	1.04E+04	160.00	0.9945	0.1524	0.5291
	1.00			1.950E+05	1.05E+04	160.00	0.9919	0.1497	0.5054
	2.00			2.207E+05	1.34E+04	200.00	1.2355	0.1828	0.5929
	3.00			2.027E+05	1.37E+04	200.00	1.2322	0.1795	0.5629
	4.00			1.937E+05	1.41E+04	204.62	1.2580	0.1810	0.5524

ตาราง 5.9 (ต่อ)

FEED = 682.33 KG	PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.225 D.B.	Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) 1/9	A1/A2 1/1	9/1
60	0.00	30.0	0	1.611E+05	5.91E+03	90.00	0.5679	0.0942	0.3745
	0.33			1.567E+05	5.84E+03	90.00	0.5671	0.0934	0.3665
	1.00			1.466E+05	5.89E+03	90.00	0.5651	0.0914	0.3489
	3.00			1.628E+05	8.21E+03	120.00	0.7473	0.1157	0.4100
60	0.00	30.0	10	1.611E+05	7.89E+03	120.00	0.7468	0.1152	0.4051
	0.33			1.567E+05	7.79E+03	120.00	0.7459	0.1143	0.3970
	1.00			1.466E+05	7.86E+03	120.00	0.7440	0.1123	0.3795
	3.00			1.628E+05	1.09E+04	160.00	0.9859	0.1437	0.4514

FEED = 682.33 KG	PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.20 D.B.	Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) 1/9	A1/A2 1/1	9/1
60	0.00	30.0	0	1.074E+05	3.94E+03	60.00	0.3786	0.0628	0.2497
	0.33			1.046E+05	3.89E+03	60.00	0.3781	0.0623	0.2446
	1.00			1.467E+05	5.89E+03	90.00	0.5651	0.0914	0.3491
	2.00			1.334E+05	6.03E+03	90.00	0.5626	0.0889	0.3265
	3.00			1.230E+05	6.16E+03	90.00	0.5607	0.0870	0.3090
60	0.00	30.0	10	1.074E+05	5.26E+03	80.00	0.4979	0.0768	0.2701
	0.33			1.046E+05	5.19E+03	80.00	0.4973	0.0762	0.2649
	1.00			1.467E+05	7.86E+03	120.00	0.7440	0.1124	0.3797
	2.00			1.334E+05	8.04E+03	120.00	0.7415	0.1099	0.3574
	3.00			1.230E+05	8.21E+03	120.00	0.7396	0.1080	0.3401

5.4.2.1 กรณีไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ดังเห็นได้จากรูป 5.8 - 5.10 สำหรับกรณีที่ไม่เสียเวลาผสมวัสดุในเบด ในช่วงแรกค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะลดลง เมื่อ r เพิ่มขึ้นจากศูนย์ จากนั้นจะกลับเพิ่มขึ้นอีกจนถึงค่า r ค่าหนึ่ง แล้วก็ลดลงอีกดังรูปคลื่น อนึ่งเมื่อความชื้นวัสดุเริ่มต้นลดลง 0.30 เป็น 0.25 และ 0.225 ค่า r ที่เหมาะสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะลดน้อยลงและเปลี่ยนแปลงน้อยลงตามค่า r แต่เมื่อความชื้นวัสดุเริ่มต้นเป็น 0.20 ค่า r ที่เหมาะสมและกราฟออบเจคทีฟฟังก์ชันจะเหมือนกับกรณีความชื้นวัสดุเริ่มต้น 0.30

ในกรณีที่น้ำหนักสัมพันธ์ a_1/a_2 = 1/1 ค่า r ที่เหมาะสมสำหรับเงื่อนไขความชื้นวัสดุเริ่มต้น 0.30, 0.25, 0.225 และ 0.20 d.b. ตามลำดับ คือ 0.33, 0.85, 1.0, 0.33 ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 ค่า r ที่เหมาะสมคือ0.20, 0.8, 1.0, 0.20 และในกรณี a_1/a_2 = 9/1 ค่า r ที่เหมาะสมคือ 0.4, 1.1, 1.2, 0.4 ตามลำดับ (ดูตาราง 5.9)

เหตุที่เมื่อความชื้นวัสดุเริ่มต้นมีค่าลดลงจาก 0.3 - 0.20 ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะต่ำลงด้วยนั้น เนื่องจากความชื้นที่ต้องระเหยออกมามีปริมาณลดลง ในขณะที่อัตราการอบแห้งเฉลี่ยของเบดนั้นมีค่าคงที่ (ดูผลในหัวข้อ 4.3.2) ดังนั้นเวลาที่ต้องใช้อบแห้งจึงลดลง ซึ่งพลอยให้พลังงานที่ใช้ลดลงด้วย อนึ่งเมื่อเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งต่างกัน (อาจรวมผลกระทบของจังหวะความพอดีของการผสมวัสดุในเบดให้ได้ความชื้นพอดีด้วย) ค่า r ที่เหมาะสมจึงต่างกัน แม้ว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยจะเท่ากันก็ตาม อนึ่งการขยับตัวของค่า r ที่เหมาะสมในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และ 9/1 ก็สามารถอธิบายได้เหมือนกับหัวข้อ 5.4.1.1

5.4.2.2 กรณีเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

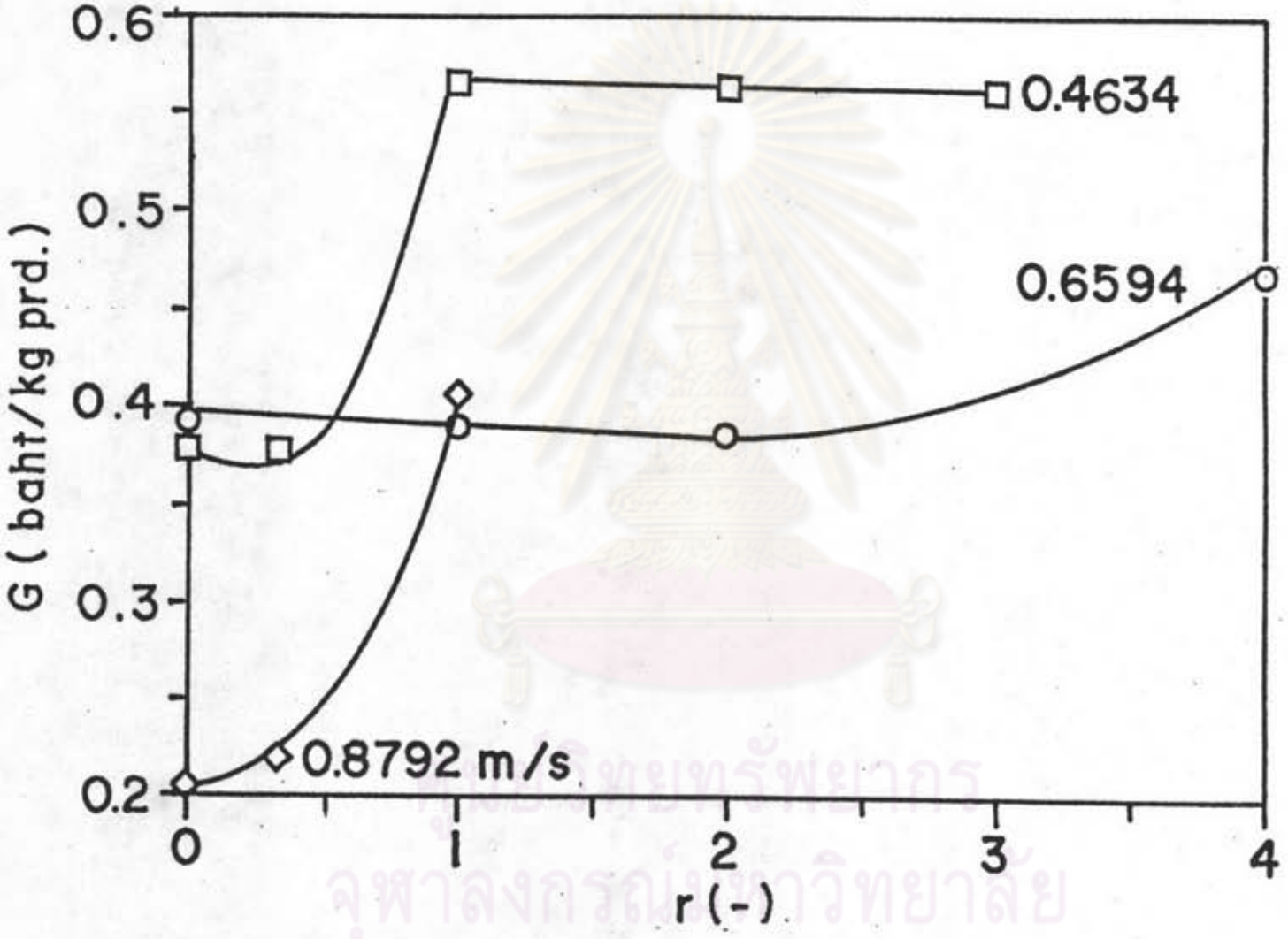
รูป 5.11 - 5.13 สำหรับกรณีเสียเวลาผสมวัสดุในเบดครั้งละ 10 นาที ชี้ให้เห็นว่าค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน มีแนวโน้มเหมือนกับกรณีที่ไม่ต้องเสียเวลาผสมวัสดุ แต่กรณีนี้จะมีค่าสูงกว่า อนึ่งเมื่อความชื้นวัสดุเริ่มต้นลดลง ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันและทั้ง 3 กรณีของ a_1/a_2 จะให้แนวโน้มของค่า r ที่เหมาะสมเหมือนกับกรณีเสียเวลาผสมวัสดุ (หัวข้อ 5.4.2.1)

เหตุผลที่ใช้อธิบายเหมือนกับกรณีที่ไม่เสียเวลาผสมวัสดุในเบด

5.4.3 ความเร็วของลมร้อนผ่านเบด

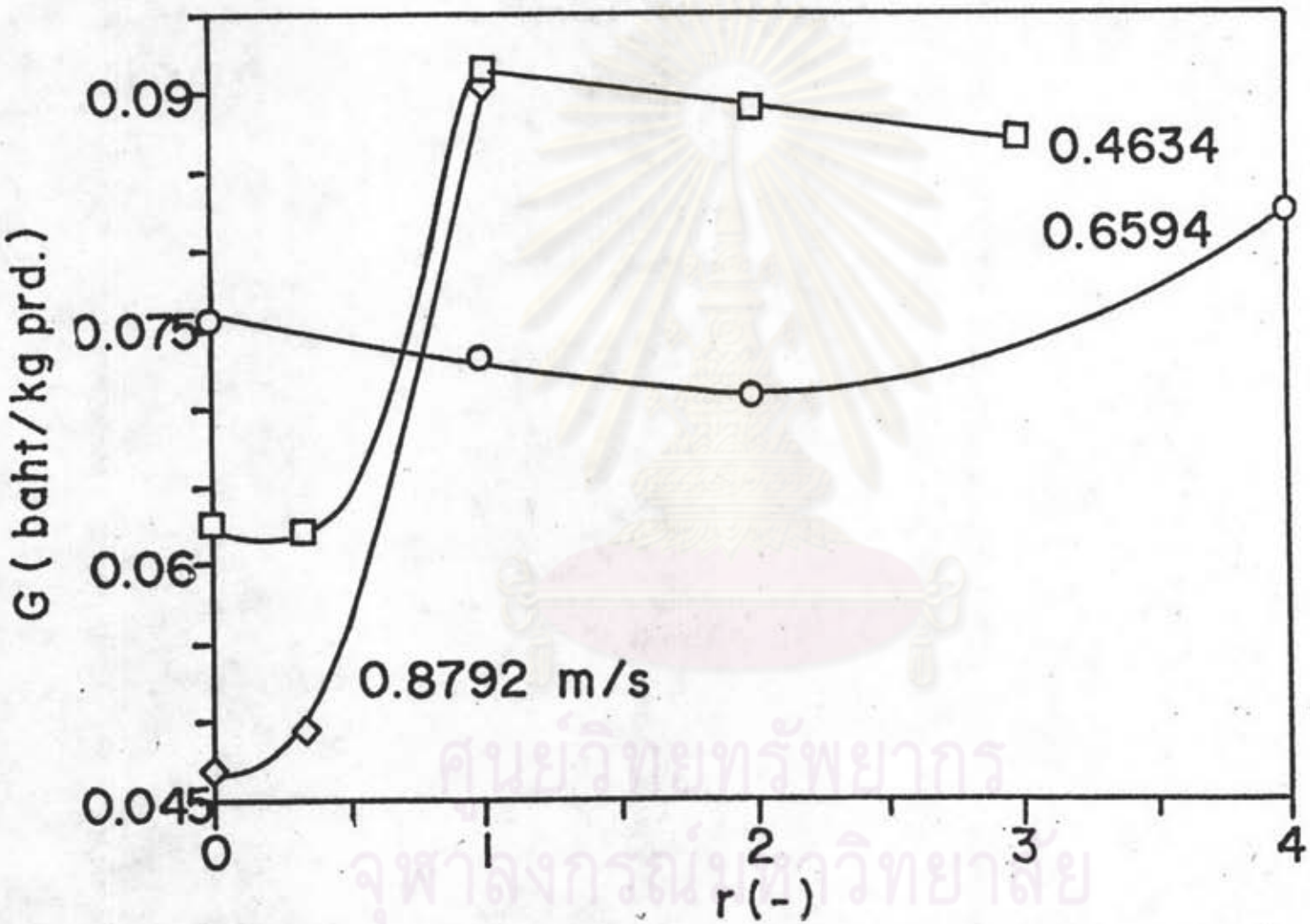
ดังในกรณีของหัวข้อ 5.4.1 รูป 5.14 - 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันกับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง ที่มีค่าความเร็วลมร้อนผ่านเบดต่างกัน คือ 0.4634, 0.6594, และ 0.8792 m/s ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งดังนี้ คือ ความชื้นวัสดุเริ่มต้น 0.20 d.b, อุณหภูมิของลมร้อน 60 °C และช่วงห่างของเวลาในการผสมวัสดุในเบด 30 นาที (รายละเอียดข้อมูลอยู่ในตาราง 5.10)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



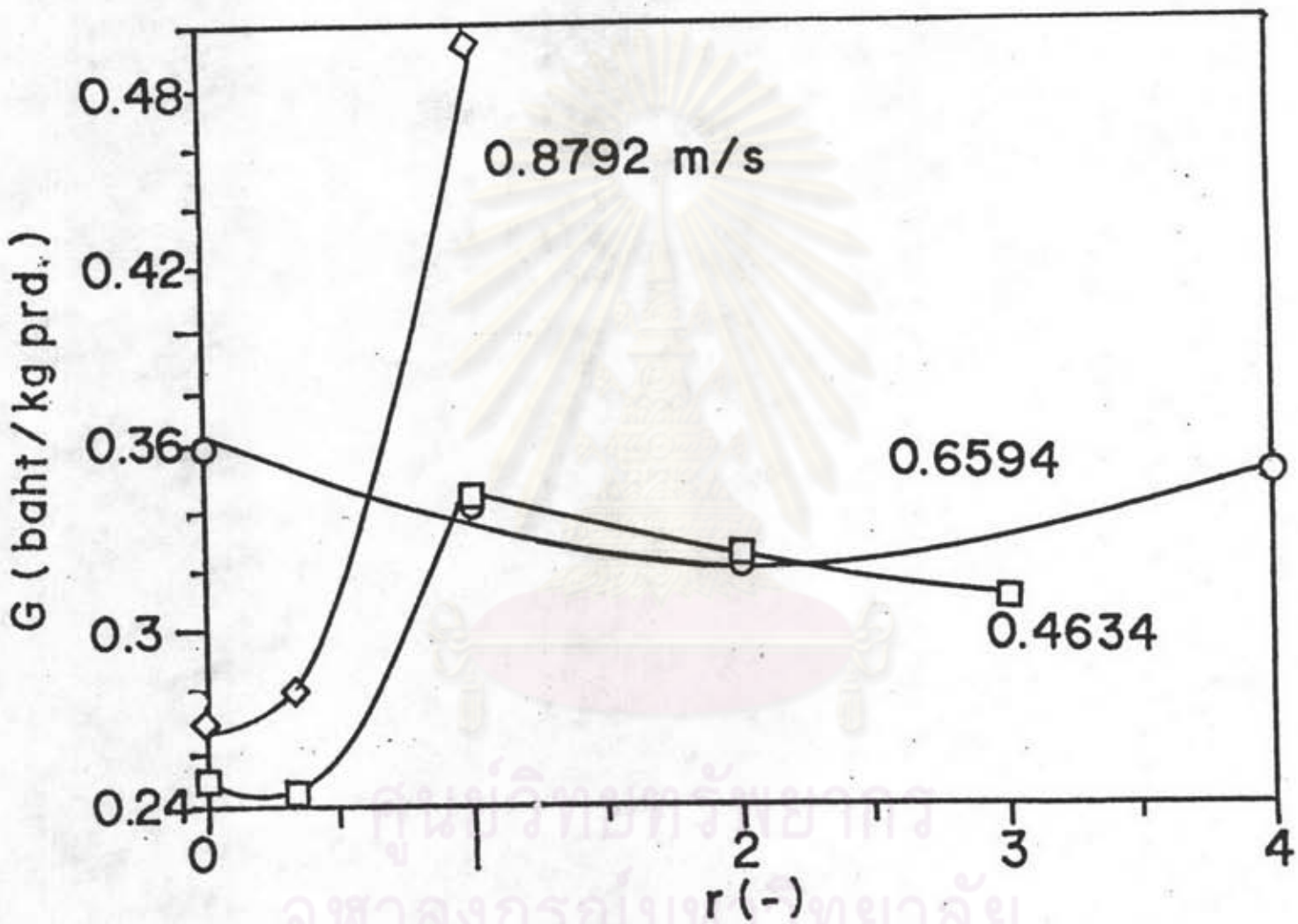
รูป 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.3) เมื่อ v_{bed} = 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s โดย a_1/a_2 = 1/1 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



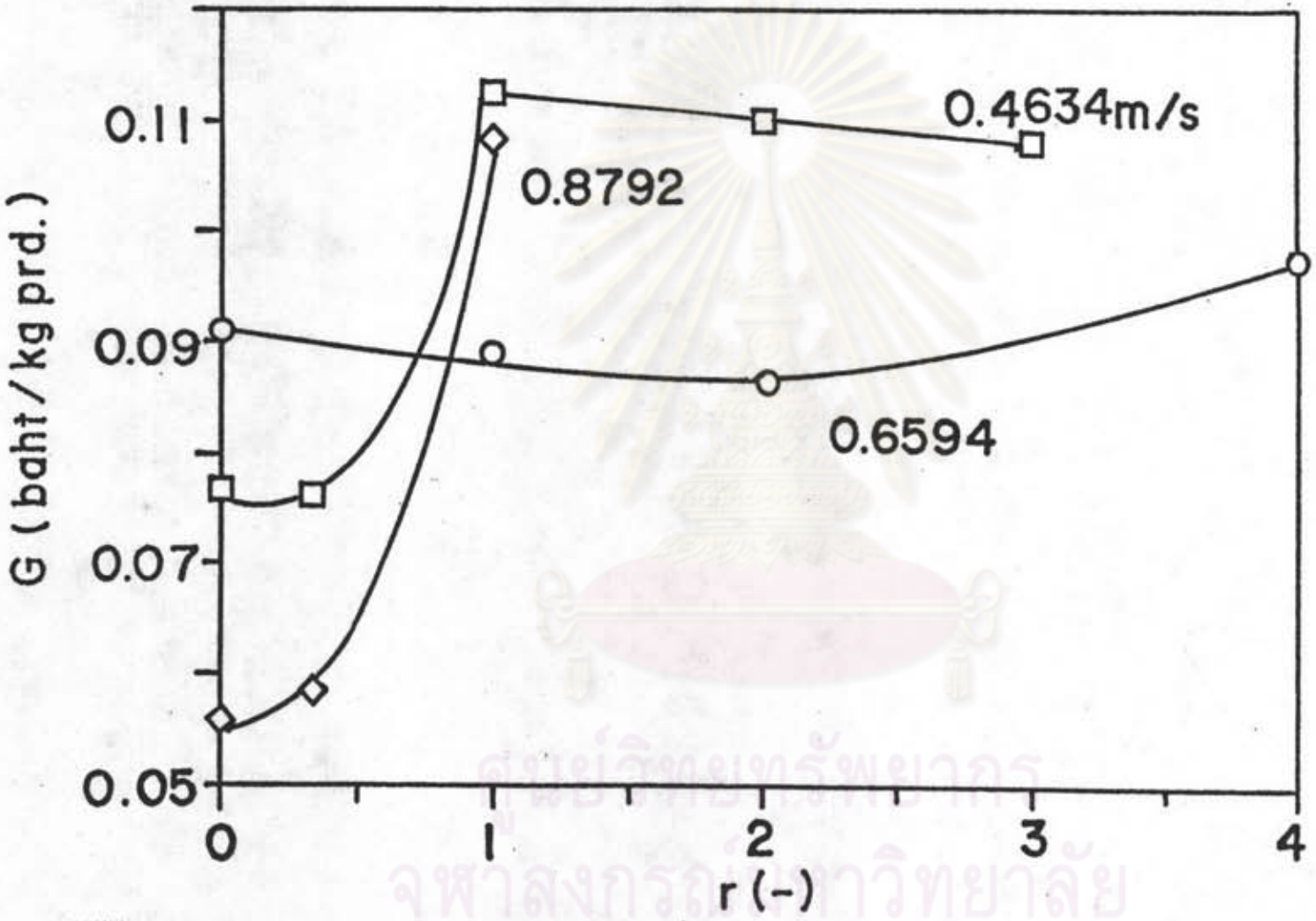
รูป 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.3) เมื่อ V_{bed} = 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s โดย a_1/a_2 = 1/9 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



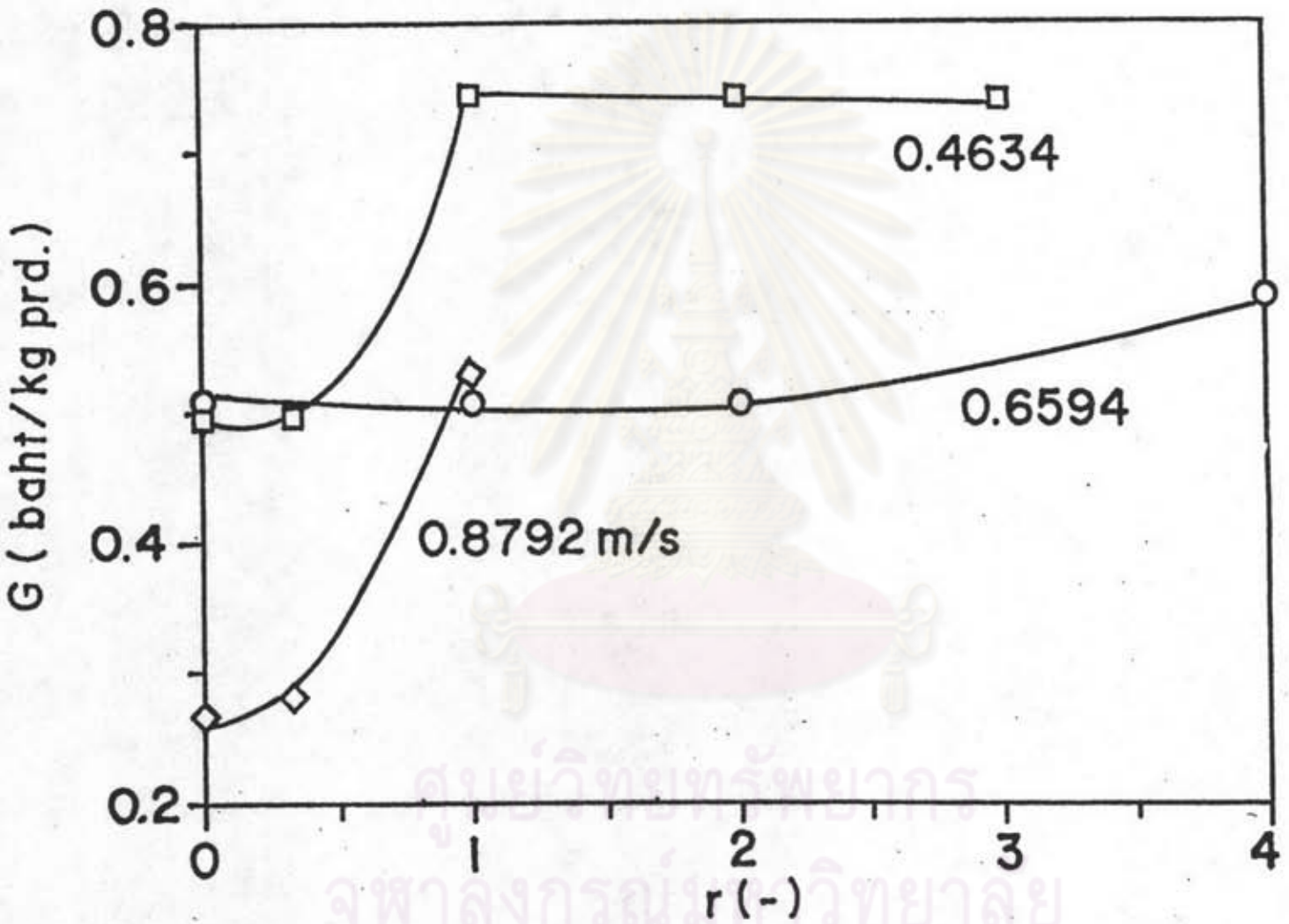
รูป 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.3) เมื่อ V_{bed} = 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s โดย a_1/a_2 = 9/1 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



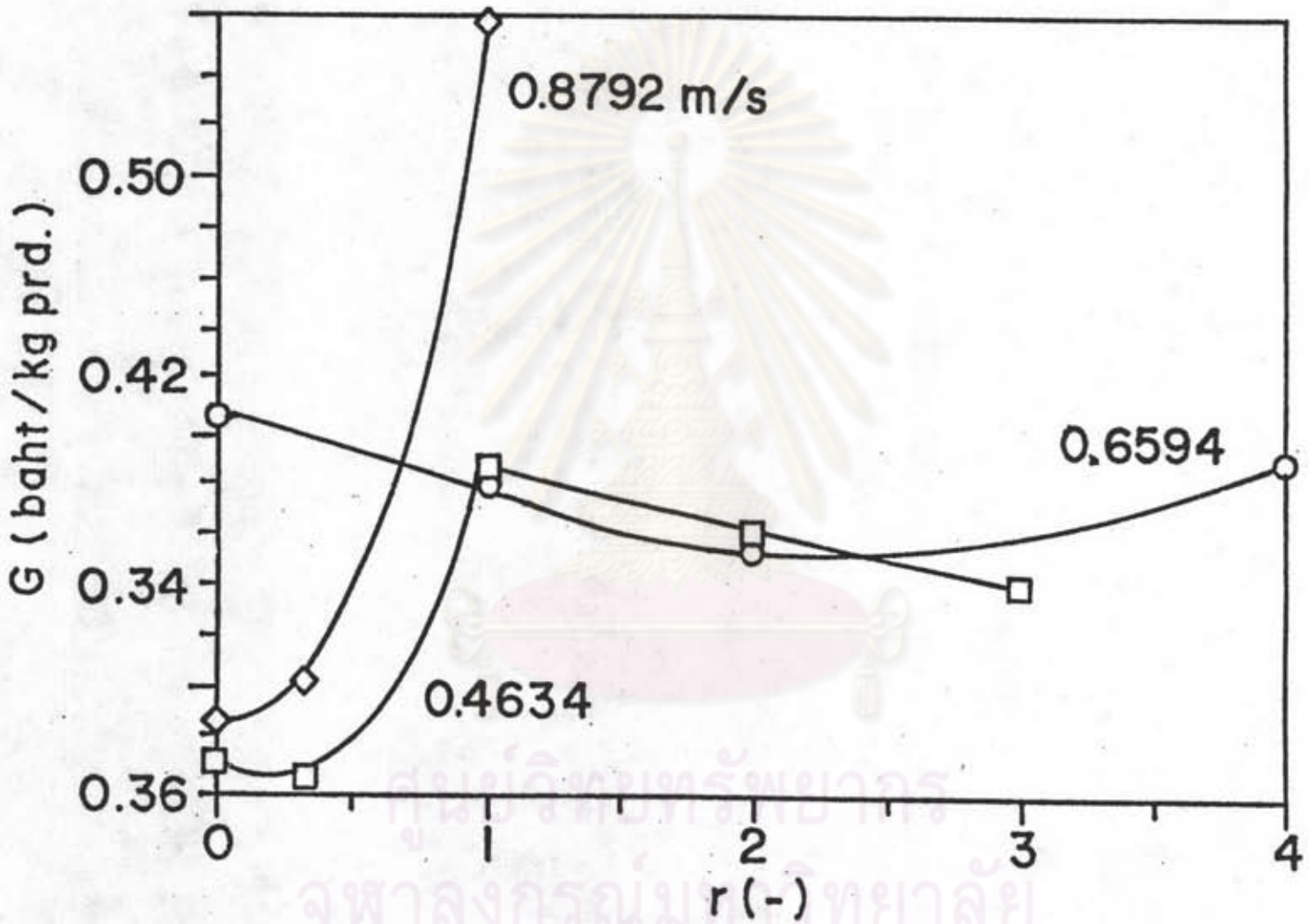
รูป 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากข้อมูลที่ซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.3) เมื่อ v_{bed} = 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s โดย a_1/a_2 = 1/1 และถือว่าไม่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับค่าอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากผลการซิมูเลตในหัวข้อ 4.3.3) ที่ความเร็วลมร้อนผ่านเบดต่างกันคือ 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และเสียเวลาการผสมวัสดุเบดครั้งละ 10 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับค่าอัตราส่วนการหมุนเวียนลมทิ้ง (จากผลการชีมูเลตในหัวข้อ 4.3.3) ที่ความเร็วลมร้อนผ่านเบดต่างกันคือ 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 9/1 และไม่เสียเวลาการผสมวัสดุเบดครั้งละ 10 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.10 ผลการคำนวณค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน สำหรับความเร็วลมร้อนต่างๆ กัน ในหัวข้อ 4.3.3 สำหรับกรณี a_1/a_2 ต่างๆ กัน

FEED = 682.33 KG PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.20 D.B. Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02 Vbed = 0.4634 M/S Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	A1/A2 1/1	A1/A2 9/1
60	0.00	30.0	0	1.074E+05	3.94E+03	60.00	0.3786	0.0628	0.2497
	0.33			1.046E+05	3.89E+03	60.00	0.3781	0.0623	0.2446
	1.00			1.467E+05	5.89E+03	90.00	0.5651	0.0914	0.3491
	2.00			1.334E+05	6.03E+03	90.00	0.5626	0.0889	0.3265
	3.00			1.230E+05	6.16E+03	90.00	0.5607	0.0870	0.3090
60	0.00	30.0	10	1.074E+05	5.26E+03	80.00	0.4979	0.0768	0.2701
	0.33			1.046E+05	5.19E+03	80.00	0.4973	0.0762	0.2649
	1.00			1.467E+05	7.86E+03	120.00	0.7440	0.1124	0.3797
	2.00			1.334E+05	8.04E+03	120.00	0.7415	0.1099	0.3574
	3.00			1.230E+05	8.21E+03	120.00	0.7396	0.1080	0.3401

FEED = 682.33 KG PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.20 D.B. Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02 Vbed = 0.6594 M/S Mfa = 2440.9 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	A1/A2 1/1	A1/A2 9/1
60	0.00	30.0	0	1.528E+05	1.06E+04	60.00	0.3916	0.0758	0.3661
	1.00			1.394E+05	1.06E+04	60.00	0.3889	0.0731	0.3424
	2.00			1.267E+05	1.08E+04	60.00	0.3866	0.0708	0.3215
	4.00			1.313E+05	1.36E+04	72.96	0.4660	0.0819	0.3535
60	0.00	30.0	10	1.528E+05	1.41E+04	80.00	0.5122	0.0911	0.3987
	1.00			1.394E+05	1.41E+04	80.00	0.5095	0.0885	0.3750
	2.00			1.267E+05	1.44E+04	80.00	0.5073	0.0862	0.3546
	4.00			1.313E+05	1.73E+04	92.96	0.5867	0.0974	0.3872

ตาราง 5.10 (ต่อ)

FEED = 682.33 KG		PRODUCT = 633.31 KG	
Wi = 0.20 D.B.		Wf = 0.137 D.B.	
Hfa = 0.02	Vbed = 0.8792 M/S	Mfa = 3254.5 M^3/HR	

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	30.0	0	1.019E+05	1.19E+04	30.00	0.2048	0.0469	0.2644
	0.33			1.061E+05	1.26E+04	32.10	0.2185	0.0495	0.2769
	1.00			1.858E+05	2.38E+04	60.00	0.4061	0.0903	0.4969
60	0.00	30.0	10	1.019E+05	1.59E+04	40.00	0.2665	0.0559	0.2930
	0.33			1.061E+05	1.65E+04	42.10	0.2801	0.0585	0.3052
	1.00			1.858E+05	3.17E+04	80.00	0.5294	0.1083	0.5539

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.3.1 กรณีไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ดังเห็นได้จากรูป 5.14 - 5.16 สำหรับกรณีไม่เสียเวลาที่ผสมวัสดุในเบค ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะลดลงแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นถึงสูงสุด ก่อนลดลงอีก สำหรับความเร็วลมร้อนผ่านเบค 0.4634 m/s ส่วนในกรณีที่ความเร็วลมร้อนผ่านเบค 0.6594 และ 0.8792 m/s ในช่วงซีมูเลตค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะลดลงและเพิ่มขึ้นเท่านั้น อนึ่งค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันที่ความเร็วลมร้อนผ่านเบค 0.6594 m/s จะอยู่สูงกว่ากรณีความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s ในช่วง r ประมาณ 0 - 0.75 และกลับลดลงต่ำกว่าเมื่อ r เพิ่มขึ้น ส่วนค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันในกรณีความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s จะอยู่ต่ำกว่ากรณีความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s เมื่อ r น้อยกว่า 1.0 แต่เมื่อ r = 1.0 จะกลับมีค่าสูงกว่ากรณีความเร็วลมร้อน 0.6594 m/s

ค่า r ที่เหมาะสมในกรณีให้น้ำหนักสัมพันธ์ a_1/a_2 = 1/1 คือ 0.28, 2 และ 0 ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 ค่า r ที่เหมาะสมคือ 0.25, 1.8 และ 0 ส่วนกรณี a_1/a_2 = 9/1 นั้นค่า r ที่เหมาะสมคือ 0.30, 2.2 และ 0 สำหรับความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ตามลำดับ (ดูตาราง 5.10)

เหตุที่ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันในกรณีที่ความเร็วลมร้อน 0.6594 m/s สูงกว่าทั้งกรณีความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s และ กรณีความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s (ดังที่กล่าวแล้ว) นั้น อาจเนื่องจากเมื่อความเร็วลมร้อนสูงขึ้น อัตราการอบแห้งเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเส้นตรง ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง ในขณะเดียวกันพลังงานความร้อนที่ใช้อุ่นลมร้อนก็เพิ่มขึ้นตามความเร็วลม จึงทำให้เกิดความเร็วลมที่พอเหมาะ (ปานกลาง) อนึ่งเมื่อเพิ่มค่า r ขึ้น อัตราเฉลี่ยของการอบแห้งจะลดลงทำให้เสียเวลาที่ต้องใช้อบแห้งนานขึ้น แต่ในขณะเดียวกันพลังงานความร้อนที่ต้องใช้อุ่นลมร้อนก็ลดลงด้วย เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวไม่แปรผันเป็นเส้นตรงตามค่า r จึงทำให้ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันของกรณีความเร็วลมต่างๆ เกิดสลับตำแหน่งกันได้เมื่อค่า r สูงพอ

ส่วนการขยับค่า r ที่เหมาะสมจากกรณี a_1/a_2 = 1/9 และ 9/1 นั้นก็สามารถอธิบายได้เหมือนในหัวข้อ 5.4.1

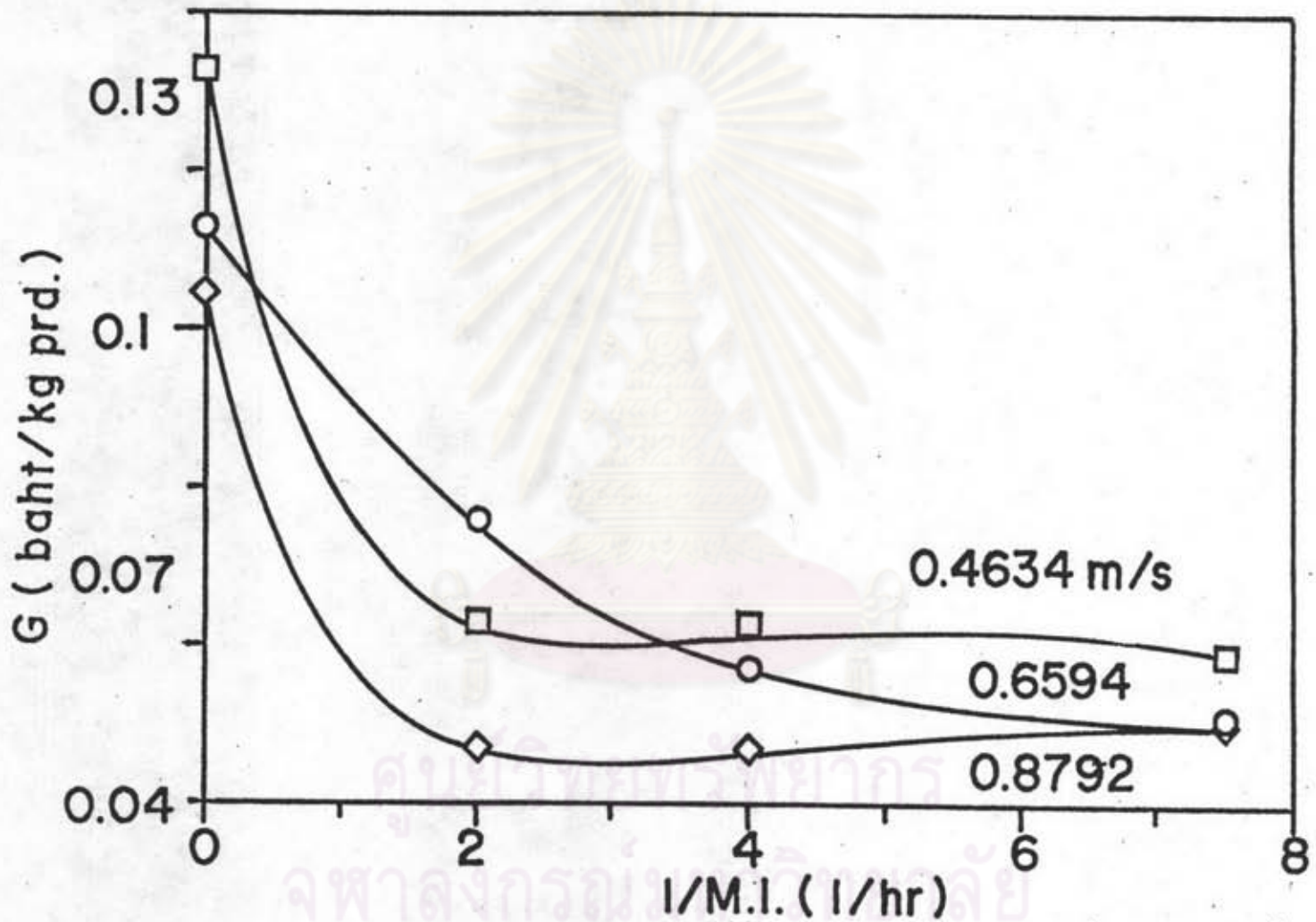
5.4.3.2 กรณีเสียเวลาผสมวัสดุในเบคครั้งละ 10 นาที

ดังเห็นได้จากรูป 5-17 - 5.19 สำหรับกรณีเสียเวลาผสมวัสดุในเบคครั้งละ 10 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันกับ r มีแนวโน้มเหมือนกันกับกรณีไม่เสียเวลาผลิตวัสดุ แต่จะมีค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน อนึ่งทั้งกรณี a_1/a_2 = 1/1, 1/9, และ 9/1 ให้ค่า r ที่เหมาะสมเท่ากับในกรณีที่ไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

5.4.4 ช่วงห่างของเวลาในการผสมวัสดุในเบด

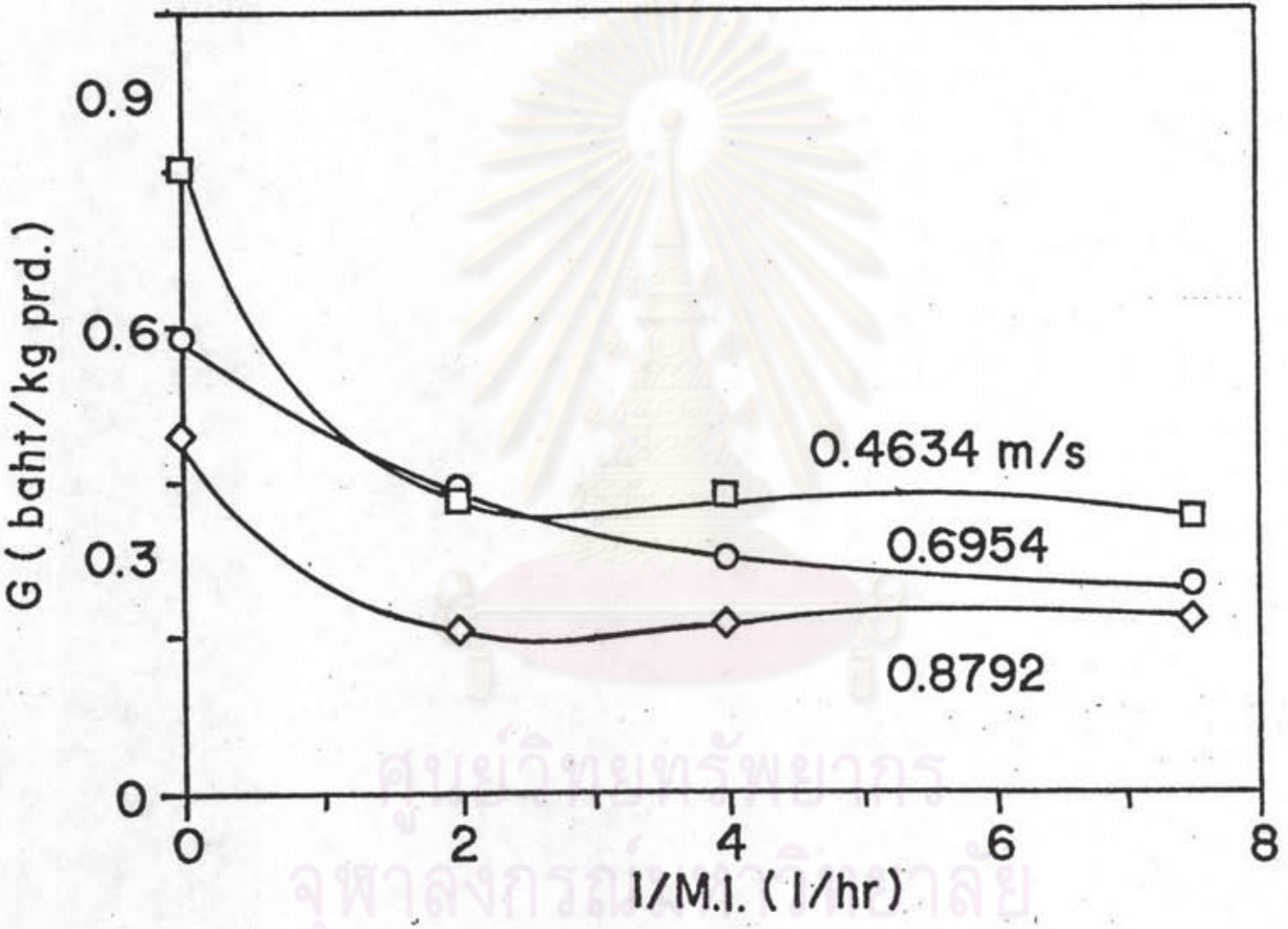
รูป 5.20 - 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันกับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาในการผสมวัสดุในเบด เมื่อความเร็วลมร้อนผ่านเบดมีค่า 0.4634 , 0.6594 และ 0.8792 m/s ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งดังนี้ อุณหภูมิลมร้อน 60 °C , ความชื้นของวัสดุเริ่มต้น 0.20 d.b. ช่วงห่างของเวลาที่ศึกษา คือ 8, 15, 30 และ ∞ นาที ตามลำดับ (รายละเอียดของข้อมูลมีอยู่ในตาราง 5.11)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



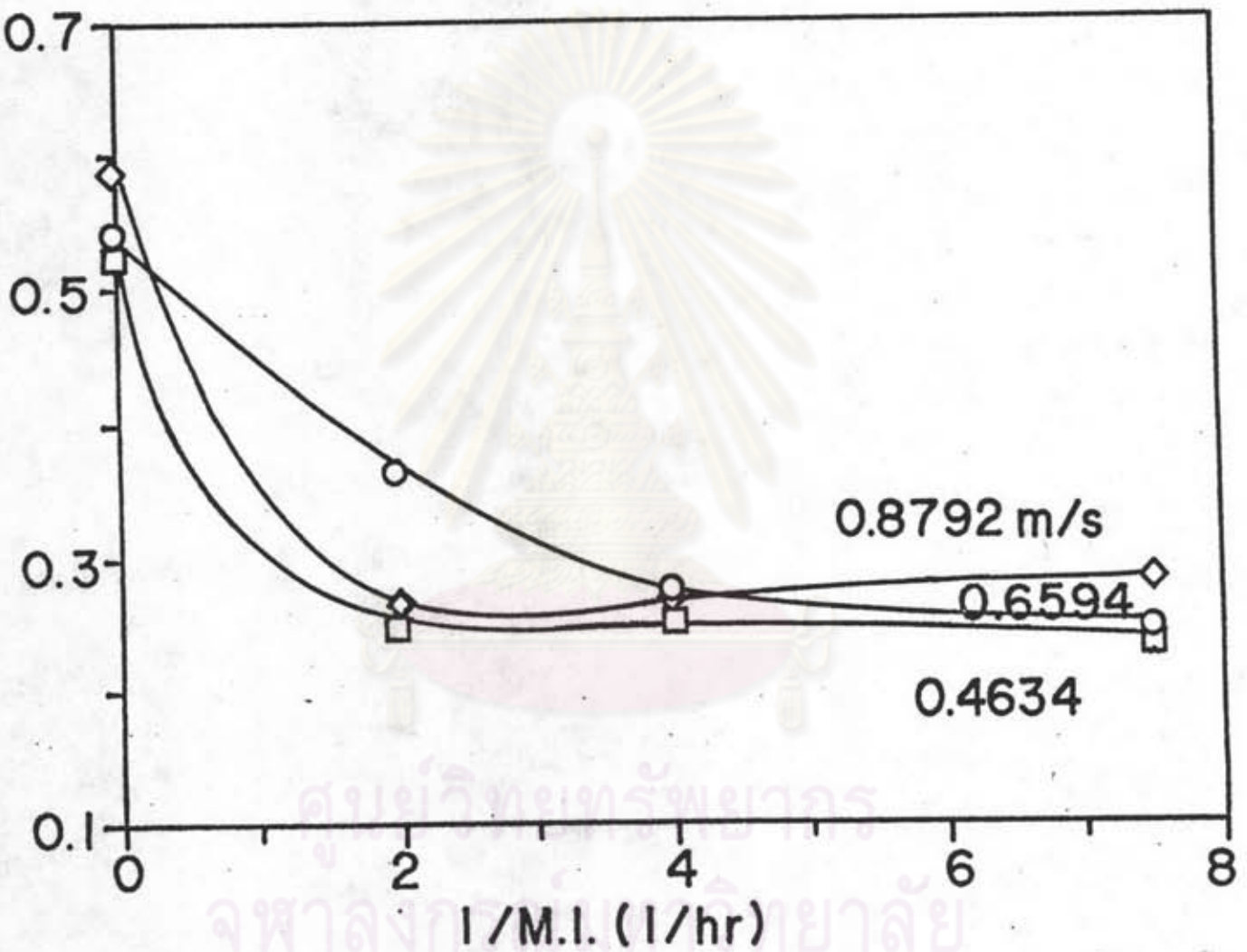
รูป 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบค (จากผลการชีมูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 1/1 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



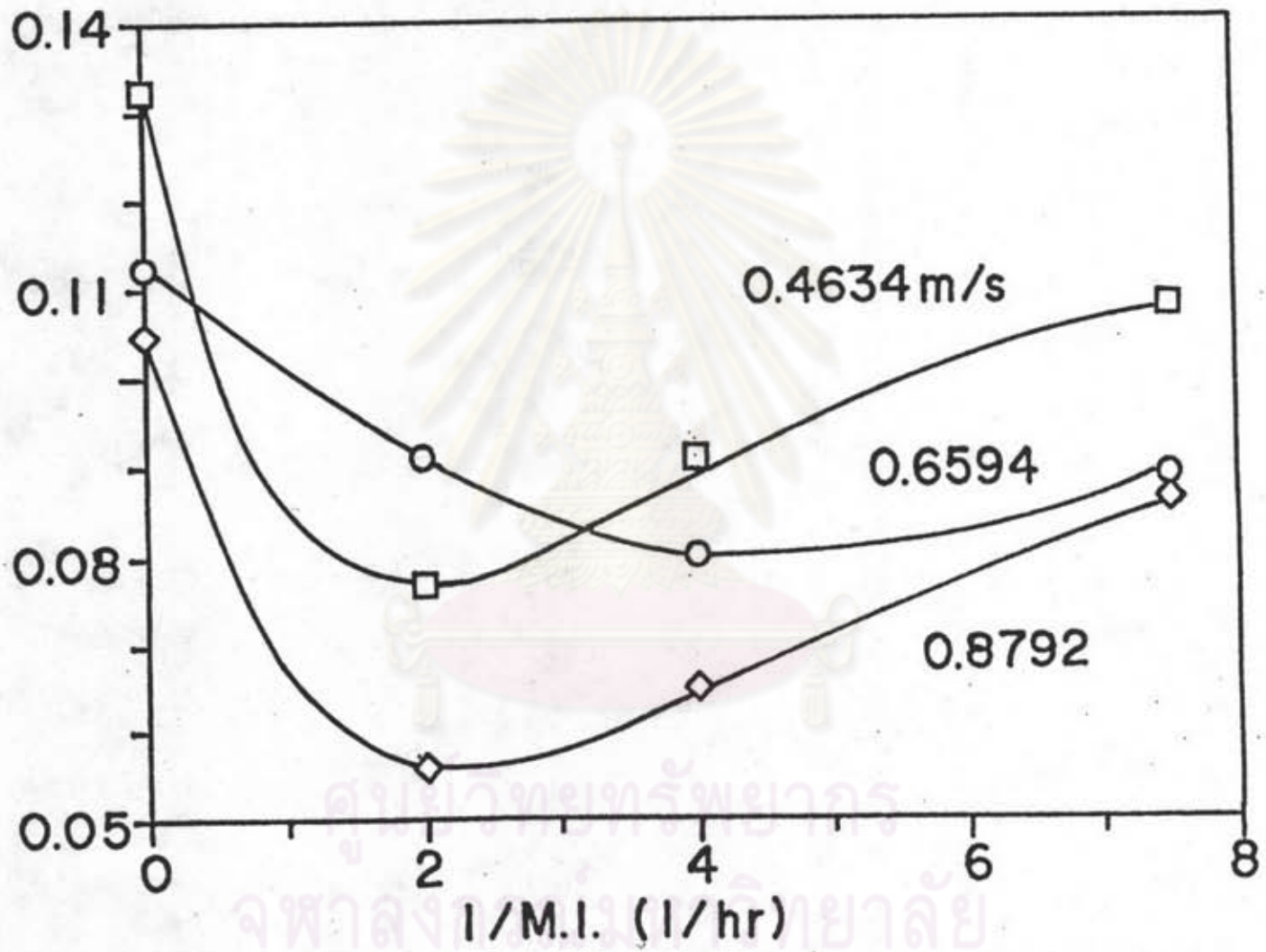
รูป 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบด (จากผลการชีมูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

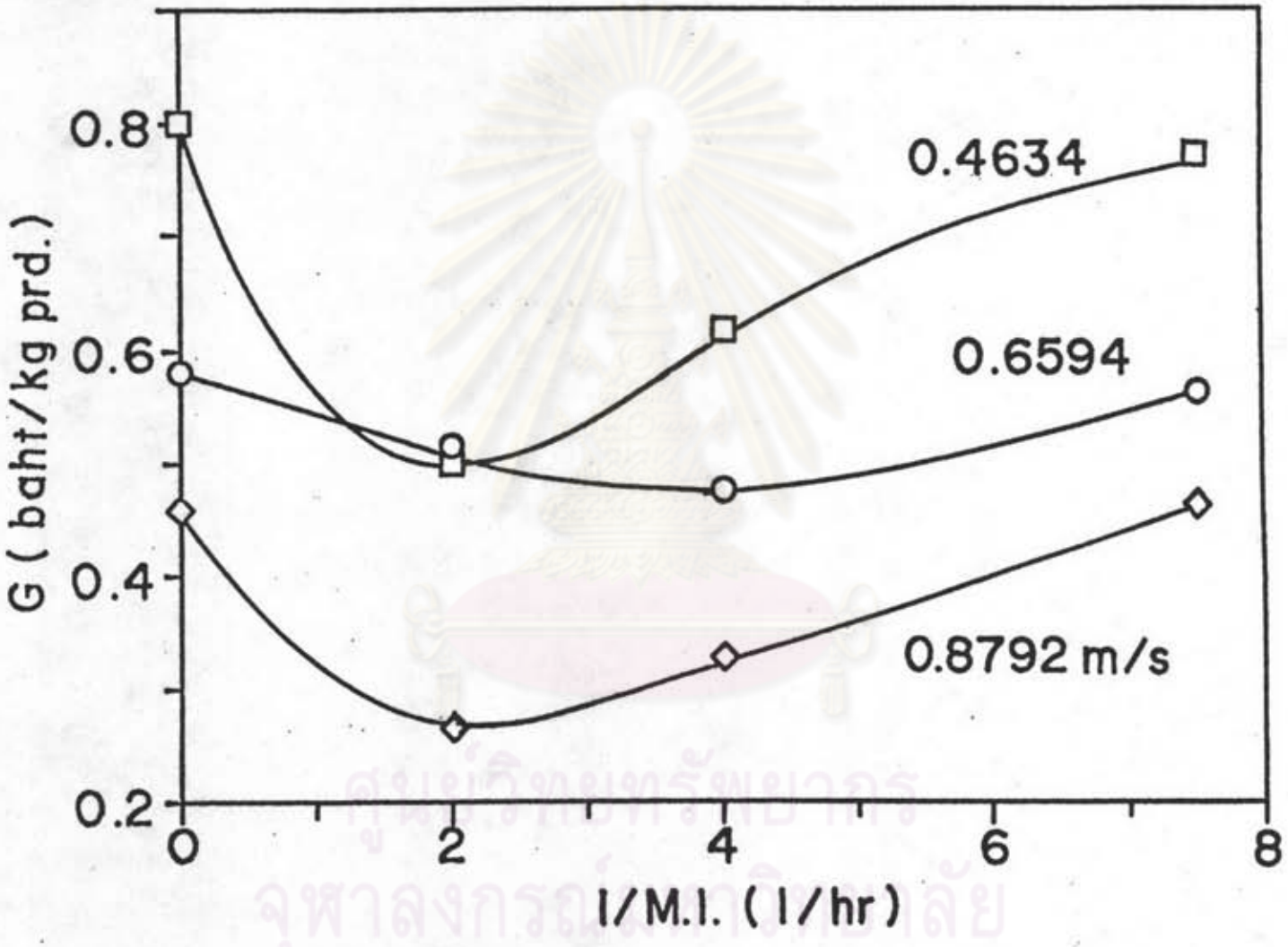


รูป 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบด (จากผลการชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 9/1 และไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

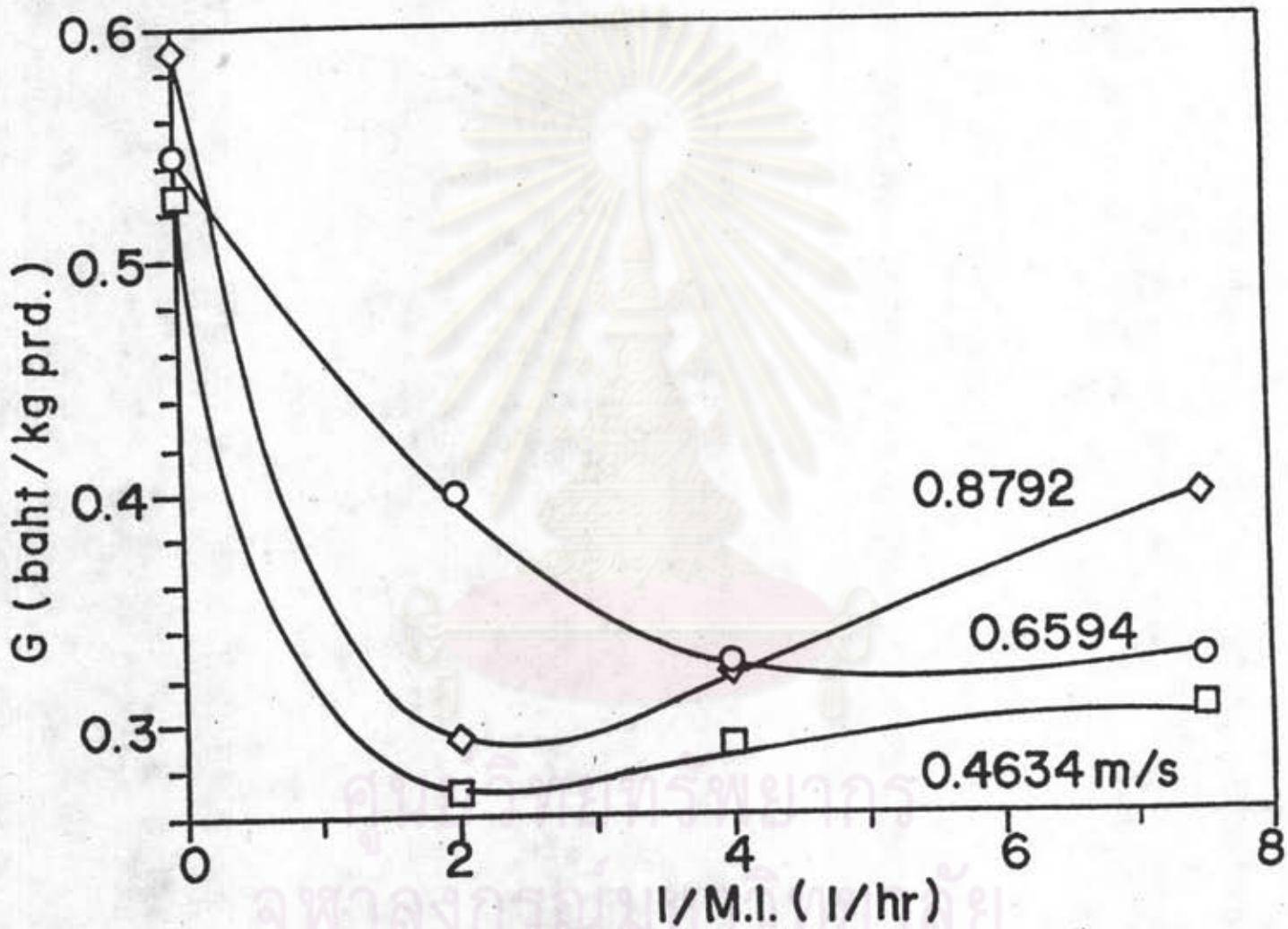
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบด (จากผลการชีมูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 1/1 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที



รูป 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบค (จากผลการซีมูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 1/9 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที



รูป 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน กับส่วนกลับของช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบค (จากผลการชี้มูเลตในหัวข้อ 4.3.4) ที่ความเร็วลมร้อน 0.4634, 0.6594 และ 0.8792 m/s ในกรณี a_1/a_2 = 9/1 และเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

ตาราง 5.11 ผลการคำนวณค่าออบเจคทีฟฟังก์ชัน ช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบดต่างๆ กัน ในหัวข้อ 4.3.4 สำหรับกรณี a_1/a_2 ต่างๆ กัน

FEED = 668.4 KG	PRODUCT = 633.31 KG	
Wi = 0.20 D.B.	Wf = 0.137 D.B.	
Hfa = 0.02	Vbed = 0.4634 M/S	Mfa = 1715.6 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	8.0	0	1.002E+05	3.68E+03	56.00	0.3533	0.0586	0.2330
		15.0		1.074E+05	3.94E+03	60.00	0.3786	0.0628	0.2497
		30.0		1.074E+05	3.94E+03	60.00	0.3786	0.0628	0.2497
		∞		2.267E+05	8.32E+03	126.66	0.7993	0.1326	0.5270
60	0.00	8.0	10	1.002E+05	8.28E+03	126.00	0.7706	0.1075	0.3045
		15.0		1.074E+05	6.57E+03	100.00	0.6171	0.0908	0.2905
		30.0		1.074E+05	5.26E+03	80.00	0.4979	0.0768	0.2701
		∞		2.267E+05	8.32E+03	126.66	0.7993	0.1326	0.5270

FEED = 668.4 KG	PRODUCT = 633.31 KG	
Wi = 0.20 D.B.	Wf = 0.137 D.B.	
Hfa = 0.02	Vbed = 0.6594 M/S	Mfa = 2440.9 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	8.0	0	1.019E+05	7.06E+03	40.00	0.2612	0.0505	0.2441
		15.0		1.146E+05	7.94E+03	45.00	0.2937	0.0568	0.2746
		30.0		1.528E+05	1.06E+04	60.00	0.3916	0.0758	0.3661
		∞		2.269E+05	1.57E+04	89.10	0.5815	0.1125	0.5437
60	0.00	8.0	10	1.019E+05	1.59E+04	90.00	0.5626	0.0888	0.3257
		15.0		1.146E+05	1.32E+04	75.00	0.4746	0.0798	0.3236
		30.0		1.528E+05	1.41E+04	80.00	0.5122	0.0911	0.3987
		∞		2.269E+05	1.57E+04	89.10	0.5815	0.1125	0.5437

ตาราง 5.11 (ต่อ)

FEED = 668.4 KG		PRODUCT = 633.31 KG
Wi = 0.20 D.B.		Wf = 0.137 D.B.
Hfa = 0.02	Vbed = 0.8792 M/S	Mfa = 3254.5 M^3/HR

Ta in (C)	R (-)	MIXING BED INTERVAL (min.)	MIXING TIME INTERVAL (min.)	Qheater (KJ)	Qblower (KJ)	DRYING TIME (min.)	G(BAHT/KG PRD.) A1/A2 1/9	1/1	9/1
60	0.00	8.0	0	1.087E+05	1.27E+04	32.00	0.2184	0.0500	0.2820
		15.0		1.019E+05	1.19E+04	30.00	0.2048	0.0469	0.2644
		30.0		1.019E+05	1.19E+04	30.00	0.2048	0.0469	0.2644
		∞		2.271E+05	2.66E+04	66.90	0.4568	0.1046	0.5896
60	0.00	8.0	10	1.087E+05	2.86E+04	72.00	0.4650	0.0861	0.3963
		15.0		1.019E+05	1.99E+04	50.00	0.3281	0.0650	0.3216
		30.0		1.019E+05	1.59E+04	40.00	0.2665	0.0559	0.2930
		∞		2.271E+05	2.66E+04	66.90	0.4568	0.1046	0.5896

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.4.1 กรณีไม่เสียเวลาผสมวัสดุ

ดังเห็นได้จากรูป 5.20 - 5.22 สำหรับกรณีที่ไม่เสียเวลาผสมวัสดุในเบค โดยทั่วไปค่าออบเจคทีฟพังก์ชันจะมีค่าลดลง เมื่อทำการผสมวัสดุในเบคถี่ขึ้น ที่ความเร็วลมร้อน 3 ค่า ยกเว้นที่ความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s ซึ่งค่าออบเจคทีฟจะลดลงแล้วกลับค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อผสมวัสดุในเบคถี่มากเกินไป

ในกรณี a_1/a_2 = 1/1 และ 1/9 ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนกรณี a_1/a_2 = 9/1 ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันของความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s จะมากกว่ากรณีความเร็ว 0.6594 m/s เมื่อไม่มีการผสมวัสดุในเบคแต่จะลดลงต่ำกว่าเมื่อช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบคเป็น 30 และ 15 นาที และกลับมากกว่าเมื่อช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุเป็น 8 นาที อนึ่งค่าออบเจคทีฟพังก์ชันที่ความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s จะต่ำที่สุดในทั้ง 3 ความเร็ว นอกจากนี้ ช่วงห่างที่เหมาะสมของเวลาผสมวัสดุในเบคที่ความเร็วลมร้อน 3 ค่า จะเป็น 27, ไม่พบ และ 27 นาที โดยไม่ขึ้นกับค่าของ a_1/a_2 (เพียงแต่ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันจะขยับขึ้นลงเท่านั้น) (ดูตาราง 5.11)

เหตุที่ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันมีลักษณะค่อยๆลดลง เมื่อผสมวัสดุในเบคถี่ขึ้นนั้นสามารถอธิบายได้คือ เมื่อไม่มีการผสมวัสดุในระหว่างการอบแห้ง (การอบแห้งธรรมดา) เวลาที่ต้องใช้อบแห้งจะนาน ดังนั้นพลังงานที่ใช้อุ่นลมร้อนกับพลังงานเดินเครื่องเป่าลมก็จะสูง ทำให้ค่าใช้จ่ายรวม (ค่าออบเจคทีฟพังก์ชัน) มีค่าสูง เมื่อทำการผสมวัสดุในเบคจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง (เพราะอัตราการอบแห้งสูงขึ้น ดังรายละเอียดในบทที่ 4) จึงสิ้นเปลืองพลังงานอุ่นลมร้อนและเดินเครื่องเป่าลมลดลง เป็นผลให้ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันลดลง แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับจังหวะความพอดีในการผสมวัสดุในเบคด้วย (เช่น ในกรณีความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s เมื่อช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบค 8 นาที จังหวะการผสมไม่ดีเลยทำให้ค่าออบเจคทีฟพังก์ชันมีค่าสูงขึ้นอีก เนื่องจากเวลาในการอบแห้งสูงขึ้น)

เมื่อพิจารณากรณีน้ำหนักสัมพันธ์ a_1/a_2 ต่างๆ ค่าช่วงที่เหมาะสมของเวลาในการผสมวัสดุในเบคจะมีค่าคงที่ทั้ง 3 ความเร็วลมร้อน เพราะเมื่อ a_1/a_2 เท่ากับ 1/1 และ 1/9 นั่นคือ เมื่อใช้จ่ายด้านแรงงานมีความสำคัญกว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (หรือเวลานั้นมีความสำคัญสูง) ดังนั้นการประหยัดพลังงานให้มากที่สุด จึงต้องผสมวัสดุในเบคให้ถี่มากที่สุด อันจะทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด ส่วนในกรณี a_1/a_2 = 9/1 ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีความสำคัญกว่าค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน จึงต้องทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด นั่นคือต้องผสมวัสดุในเบคให้ถี่ที่สุด เช่นกัน ดังนั้นที่ช่วงห่างที่เหมาะสมของเวลาผสมวัสดุในเบคของแต่ละความเร็วลมร้อน จึงไม่ขึ้นกับค่าของ a_1/a_2

เหตุนี้เมื่อ a_1/a_2 = 9/1 ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันของความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s จะสูงกว่าของความเร็วลมร้อน 0.6594 m/s เมื่อไม่มีการผสมวัสดุในเบด เพราะพลังงานความร้อนในการอุ่นลมร้อน จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่พลังงานเดินเครื่องเป่าลมจะแตกต่างกันประมาณเกือบ 2 เท่า จึงทำให้ค่าใช้จ่ายรวมสูงกว่า แต่เมื่อมีการผสมวัสดุในเบดจำนวน 2 และ 4 ครั้งต่อชั่วโมง ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันของความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s จะกลับต่ำกว่าที่ความเร็ว 0.6594 m/s เพราะใช้พลังงานความร้อนในการอุ่นลมร้อนน้อยกว่ามาก จึงทำให้ค่าฟังก์ชันลดลง แต่เมื่อช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบดเป็น 8 นาที ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันที่ความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s จะกลับมาสูงกว่า กรณีความเร็ว 0.6594 m/s เพราะพลังงานความร้อนในการอุ่นลมร้อนมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก แต่พลังงานเดินเครื่องเป่าลมต่างกันประมาณ 2 เท่า ถึงแม้ว่าเวลาการอบแห้งจะน้อยกว่า จึงทำให้ค่าใช้จ่ายรวมกลับสูงกว่า (ดูตาราง 5.11)

เหตุที่ความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s ให้ค่าฟังก์ชันต่ำสุด เพราะพลังงานอุ่นลมร้อนไม่ต่างกับกรณีอื่นมาก แต่พลังงานเดินเครื่องเป่าลมน้อยกว่ากรณีอื่นมาก จึงทำให้กราฟออบเจคฟังก์ชันต่ำกว่า ถึงแม้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะต่างกัน

5.4.4.2 กรณีเสียเวลาผสมวัสดุครั้งละ 10 นาที

ดังเห็นได้จากรูป 5.23 - 5.25 สำหรับกรณีที่เสียเวลาในการผสมวัสดุในเบด ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันจะลดลงแล้วเพิ่มขึ้น เมื่อความถี่ของการผสมวัสดุในเบดสูงขึ้น นอกจากนี้ช่วงห่างที่เหมาะสมของเวลาผสมวัสดุในเบดคือ 30, 14.3 และ 30 นาที สำหรับความเร็วลมร้อน 0.4634, 6594 และ 0.8792 m/s ตามลำดับ และมีค่าคงที่ โดยไม่ขึ้นกับ a_1/a_2

อนึ่งในกรณี a_1/a_2 = 9/1 ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันของความเร็วลมร้อน 0.8792 m/s เมื่อเปรียบเทียบของกับความเร็วลมร้อน 0.6594 m/s จะสูงกว่า ถ้าไม่มีการผสมวัสดุในเบด แต่ต่ำกว่าถ้าช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุเท่ากับ 30 และ 15 นาที แต่กลับเพิ่มขึ้นอีก เมื่อช่วงห่างของเวลาผสมวัสดุในเบดเท่ากับ 8 นาที สรุปแล้วความเร็วลมร้อน 0.4634 m/s จะให้ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันต่ำสุด

เหตุที่ ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันมีค่าลดลงแล้วเพิ่มขึ้นอีก เมื่อความถี่ของการผสมวัสดุในเบดเพิ่มขึ้นนั้น สามารถอธิบายได้เพราะการผสมวัสดุในเบดจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง ตลอดจนพลังงานความร้อนที่อุ่นลมร้อนลดลงและพลังงานเดินเครื่องเป่าลมลดลง ทำให้ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันลดลง เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีการผสมวัสดุในเบด อนึ่งเมื่อมีการผสมวัสดุถี่มากขึ้นก็จะทำให้เสียเวลาในการผสมวัสดุมากขึ้น นั่นคือเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าออบเจคทีฟฟังก์ชันกลับมีค่าสูงขึ้นอีก การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่เหลือก็สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.4.4.1