บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการทดลอง

จากการทดลองฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซนจากเครื่องมือที่ออกแบบและสร้างขึ้น แล้วทดสอบจำนวนเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย ของก่อนและหลังการฉีดพ่น ด้วย ซับโบรอด เดกซ์โตรส อาการ์ และบลัด อาการ์ ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ แสดงในตารางที่ 5.1และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ตำแหน่งที่วางถาดเพาะเชื้อ 1และ2 ในส่วนทั้งของช่วงก่อนและหลังฉีดพ่น ด้วยก๊าซโอโซนค่าจำนวนของเชื้อโรคที่ตรวจพบ จะให้ค่าที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงได้ทำการหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ จากค่าเฉลี่ยที่ได้ทำการคำนวณค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและเชื้อแบคทีเรีย (EFFECTIVENESS)ของแต่ละการทดลอง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.5 และ 5.6 และตัวอย่างการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ก.2 และ ก.3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

จากผลที่ได้ในตารางที่ 5.5 และ 5.6 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดเชื้อโรคกับระยะเวลาในการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซน ซึ่งมีรายละเอียดคือ

1. ส่วนของตารางที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส กับระยะเวลาในการฉีดพ่นก๊าซโอโซน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการทดสอบด้วยซับโปรอด เคลชั่โตรส อาการ์

ข้อมูลทั่วไป : ปริมาตรของห้องทดสอบ = 41.25 ลบ.ม.

จำนวนหลอดอุลตราไวโอเลตที่ใช้ = 4 หลอด

ระยะเวลาวางถาดเชาะเชื้อ (ก่อนฉีดพ่น) = 10 ชั่วโมง

ระยะเวลาวางถาดเชาะเชื้อ (หลังฉีดพ่น) = 10 ชั่วโมง

EXPN No.	PRE-OZONIZATION PERIOD					OZONIZATION PERIOD				POST-OZONIZATION PERIOD				
	CONDITIONS			NO.OF COLONY FOUND		FUMIGATION TIME	CONDITIONS			CONDITIONS			NO.OF COLONY FOUND	
	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	POS.1	POS.2	(HRS)	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	POS.1	POS.2
1	88	55	756	110	114	0.5	89	55	755	90	53	754	38	40
2	88	55	756	113	116	0.5	89	55	755	90	53	754	39	42
3	88	55	756	112	118	0.5	89	55	755	90	53	754	39	46
4	85	57	757	86	79	1.0	83	56	757	85	60	756	27	25
5	85	57	757	75	73	1.0	83	56	757	85	60	756	23	20
6	85	57	757	100	103	1.0	83	56	757	85	60	756	33	27
7	84	60	757	102	105	1.5	86	55	757	86	55	758	28	32
8	84	60	757	97	99	1.5	86	55	757	86	55	758	25	31
9	84	60	757	104	110	1.5	86	55	757	86	55	758	29	34
10	87	67	756	98	95	2.0	87	67	756	86	67	756	23	26
11	87	67	756	107	110	2.0	87	67	756	86	67	756	25	27
12	87	67	756	102	108	2.0	87	67	756	86	67	756	25	30
13	85	57	758	89	92	2.5	85	55	758	86	56	758	19	22
14	85	57	758	95	88	2.5	85	55	758	86	56	758	20	24
15	85	57	758	89	90	2.5	85	55	758	86	56	758	19	21
16	89	60	758	70	75	3.0	90	60	758	86	55	758	13	17
17	89	60	758	78	75	3.0	90	60	758	86	55	758	19	16
18	89	60	758	77	74	3.0	90	60	758	86	55	758	18	15
19	89	58	755	75	77	3.5	90	58	755	88	55	756	12	14
20	89	58	755	82	79	3.5	90	58	755	88	55	756	15	12
21	89	58	755	85	84	3.5	90	58	755	88	55	756	16	13
22	85	67	756	75	72	4.0	85	67	756	85	57	758	12	9
23	85	67	756	71	74	4.0	85	67	756	85	57	758	13	10
24	85	67	756	84	80	4.0	85	67	756	85	57	758	11	9

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการทดสอบด้วยยีสต์ อาการ์

ข้อมูลทั่วไป : ปริมาตรของห้องทดสอบ = 41.25 ลบ.ม.

จำนวนหลอดอุลตราไวโอเลตที่ใช้ = 4 หลอด

ระยะเวลาวางถาดเพาะเชื้อ (ก่อนฉีดพ่น) = 10 ชั่วโมง

ระยะเวลาวางถาดเพาะเชื้อ (หลังฉีดพ่น) = 10 ชั่วโมง

EXPN No.	PRE-OZONIZATION PERIOD					OZONIZATION PERIOD				POST-OZONIZATION PERIOD				
	CONDITIONS			NO.OF COLONY FOUND		FUMIGATION TIME	CONDITIONS			CONDITIONS			NO.OF COLONY FOUND	
	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	POS.1	POS.2	(HRS)	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	T(°F)	RH(%)	P(mmHg)	POS.1	POS.2
1	88	55	756	110	104	0.5	89	55	755	90	53	754	43	48
2	88	55	756	104	108	0.5	89	55	755	90	53	754	47	40
3	88	55	756	110	113	0.5	89	55	755	90	53	754	49	46
4	85	57	757	110	105	1.0	83	56	757	85	60	756	43	39
5	85	57	757	108	112	1.0	83	56	757	85	60	756	40	43
6	85	57	757	113	109	1.0	83	56	757	85	60	756	42	40
7	84	60	757	95	101	1.5	86	55	757	86	55	758	30	32
8	84	60	757	110	114	1.5	86	55	757	86	55	758	35	31
9	84	60	757	107	115	1.5	86	55	757	86	55	758	36	34
10	87	67	756	113	108	2.0	87	67	756	86	67	756	30	28
11	87	67	756	109	106	2.0	87	67	756	86	67	756	27	32
12	87	67	756	112	106	2.0	87	67	756	86	67	756	25	31
13	85	57	758	103	98	2.5	85	55	758	86	56	758	22	26
14	85	57	758	101	100	2.5	85	55	758	86	56	758	20	25
15	85	57	758	105	102	2.5	85	55	758	86	56	758	21	23
16	89	60	758	100	104	3.0	90	60	758	86	55	758	17	20
17	89	60	758	89	85	3.0	90	60	758	86	55	758	16	18
18	89	60	758	84	87	3.0	90	60	758	86	55	758	14	17
19	89	58	755	89	93	3.5	90	58	755	88	55	756	16	14
20	89	58	755	94	97	3.5	90	58	755	88	55	756	17	15
21	89	58	755	95	93	3.5	90	58	755	88	55	756	18	14
22	85	67	756	96	91	4.0	85	67	756	85	57	758	14	16
23	85	67	756	90	93	4.0	85	67	756	85	57	758	13	12
24	85	67	756	90	92	4.0	85	67	756	85	57	758	14	12

ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยของจำนวนฟังกัสที่พบของสภาวะก่อนและหลังการบำบัด โดยการฉีดพ่นก๊าซโอโซน ที่ทดสอบด้วยซับโบรอด เดกซ์โตรส อาการ์

EXPERIMENT NO.	FUMIGATION TIME (HOURS)	NO.OF COLONY FOUND AT PRE-OZONIZATION PERIOD			NO.OF COLONY FOUND AT POST-OZONIZATION PERIOD		
		POS.1	POS.2	AVERAGE	POS.1	POS.2	AVERAGE
1	0.5	110	114	112	38	40	39
2	0.5	113	116	114.5	39	42	40.5
3	0.5	112	118	115	39	46	42.5
4	1.0	86	79	82.5	27	25	26
5	1.0	75	73	74	23	20	21.5
6	1.0	100	103	101.5	33	27	30
7	1.5	102	105	103.5	28	32	30
8	1.5	97	99	98	25	31	28
9	1.5	104	110	107	29	34	31.5
10	2.0	98	95	96.5	23	26	24.5
11	2.0	107	110	108.5	25	27	26
12	2.0	102	108	105	25	30	27.5
13	2.5	89	92	90.5	19	22	20.5
14	2.5	95	88	91.5	20	24	22
15	2.5	89	90	89.5	19	21	20
16	3.0	70	75	72.5	13	17	15
17	3.0	78	75	76.5	19	16	17.5
18	3.0	77	74	75.5	18	15	16.5
19	3.5	75	77	76	12	14	13
20	3.5	82	79	80.5	15	12	13.5
21	3.5	85	84	84.5	16	13	14.5
22	4.0	75	72	73.5	12	9	10.5
23	4.0	71	74	72.5	13	10	11.5
24	4.0	84	80	82	11	9	10

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยของจำนวนแบคทีเรียที่พบของสภาวะก่อนและหลังการบำบัด โดยการฉีดพ่นก๊าซโอโซน ที่ทดสอบด้วยบลัด อาการ์

EXPERIMENT NO.	FUMIGATION TIME (HOURS)	NO.OF COLONY FOUND AT PRE-OZONIZATION PERIOD			NO.OF COLONY FOUND AT POST-OZONIZATION PERIOD		
		POS.1	POS.2	AVERAGE	POS.1	POS.2	AVERAGE
1	0.5	110	104	107	43	48	45.5
2	0.5	104	108	106	47	40	43.5
3	0.5	110	113	111.5	49	46	47.5
4	1.0	110	105	107.5	43	39	41
5	1.0	108	112	110	40	43	41.5
6	1.0	113	109	111	42	40	41
7	1.5	95	101	98	30	32	31
8	1.5	110	114	112	35	31	33
9	1.5	107	115	111	36	34	35
10	2.0	113	108	110.5	30	28	29
11	2.0	109	106	107.5	27	32	29.5
12	2.0	112	106	109	25	31	28
13	2.5	103	98	100.5	22	26	24
14	2.5	101	100	100.5	20	25	22.5
15	2.5	105	102	103.5	21	23	22
16	3.0	100	104	102	17	20	18.5
17	3.0	89	85	87	16	18	17
18	3.0	84	87	85.5	14	17	15.5
19	3.5	89	92	90.5	16	14	15
20	3.5	94	97	95.5	17	15	16
21	3.5	95	93	94	18	14	16
22	4.0	96	91	93.5	14	16	15
23	4.0	90	93	91.5	13	12	12.5
24	4.0	90	92	91	14	12	13

ตารางที่ 5.5 ผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสที่ทดสอบด้วย ซับโบรอด เดกซ์โตรส อาการ์ ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

EXPN No.	FUMIGATION TIME (HOURS)	No.OF COLONY FOUND AT PRE-OZ PERIOD (AVERAGE)	No.OF COLONY FUOND AT POST-OZ PERIOD (AVERAGE)	No.OF COLONY ELIMINATED	EFFECTIVENESS (%)
1	0.5	112	39	73	65.18
2	0.5	114.5	40.5	74	64.63
3	0.5	115	42.5	72.5	63.04
4	1.0	82.5	26	56.5	68.48
5	1.0	74	21.5	52.5	70.94
6	1.0	101.5	30	71.5	70.44
7	1.5	103.5	30	73.5	71.01
8	1.5	98	28	70	71.43
9	1.5	107	31.5	75.5	70.56
10	2.0	96.5	24.5	72	73.06
11	2.0	108.5	26	82.5	76.04
12	2.0	105	27.5	77.5	73.81
13	2.5	90.5	20.5	70	77.35
14	2.5	91.5	22	69.5	75.96
15	2.5	89.5	20	69.5	77.65
16	3.0	72.5	15	57.5	79.31
17	3.0	76.5	17.5	59	77.12
18	3.0	75.5	16.5	59	78.14
19	3.5	76	13	63	82.89
20	3.5	80.5	13.5	67.5	83.23
21	3.5	84.5	14.5	70	82.84
22	4.0	73.5	10.5	63	85.71
23	4.0	72.5	11.5	61	84.14
24	4.0	82	10	72	87.80

ตารางที่ 5.6 ผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่ทดสอบด้วยบลัด อาการ์ ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

EXPN No.	FUMIGATION TIME (HOURS)	No.OF COLONY FOUND AT PRE-OZ PERIOD (AVERAGE)	No.OF COLONY FUOND AT POST-OZ PERIOD (AVERAGE)	No.OF COLONY ELIMINATED	EFFECTIVENESS (%)
1	0.5	107	45.5	61.5	57.48
2	0.5	106	43.5	62.5	58.96
3	0.5	111.5	47.5	64	57.40
4	1.0	107.5	41	66.5	61.86
5	1.0	110	41.5	68.5	62.27
6	1.0	111	41	70	63.06
7	1.5	98	31	67	68.37
8	1.5	112	33	79	70.54
9	1.5	111	35	76	68.47
10	2.0	110.5	29	81.5	73.76
11	2.0	107.5	29.5	78	72.58
12	2.0	109	28	81	74.31
13	2.5	100.5	24	76.5	76.12
14	2.5	100.5	22.5	78	77.61
15	2.5	103.5	22	81.5	78.74
16	3.0	102	18.5	83.5	81.86
17	3.0	87	17	70	80.46
18	3.0	85.5	15.5	70	81.87
19	3.5	90.5	15	75.5	83.42
20	3.5	95.5	16	79.5	85.25
21	3.5	94	16	78	82.98
22	4.0	93.5	15	78.5	83.96
23	4.0	91.5	12	79	86.34
24	4.0	91	13	78	85.71

1.1 การทดลองชุดที่ 1 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 1 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.1 (1ST SET EX)

1.2 การทดลองชุดที่ 2 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 2 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.1 (2ND SET EX)

1.3 การทดลองชุดที่ 3 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 3 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.1 (3RD SET EX)

เมื่อรวม 3 กราฟเข้าด้วยกัน ค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง แสดงดังในกราฟรูปที่ 5.2

2. ส่วนของตารางที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียกับระยะเวลาในการฉีดพ่นก๊าซโอโซน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดเช่นเดียวกัน ดังนี้

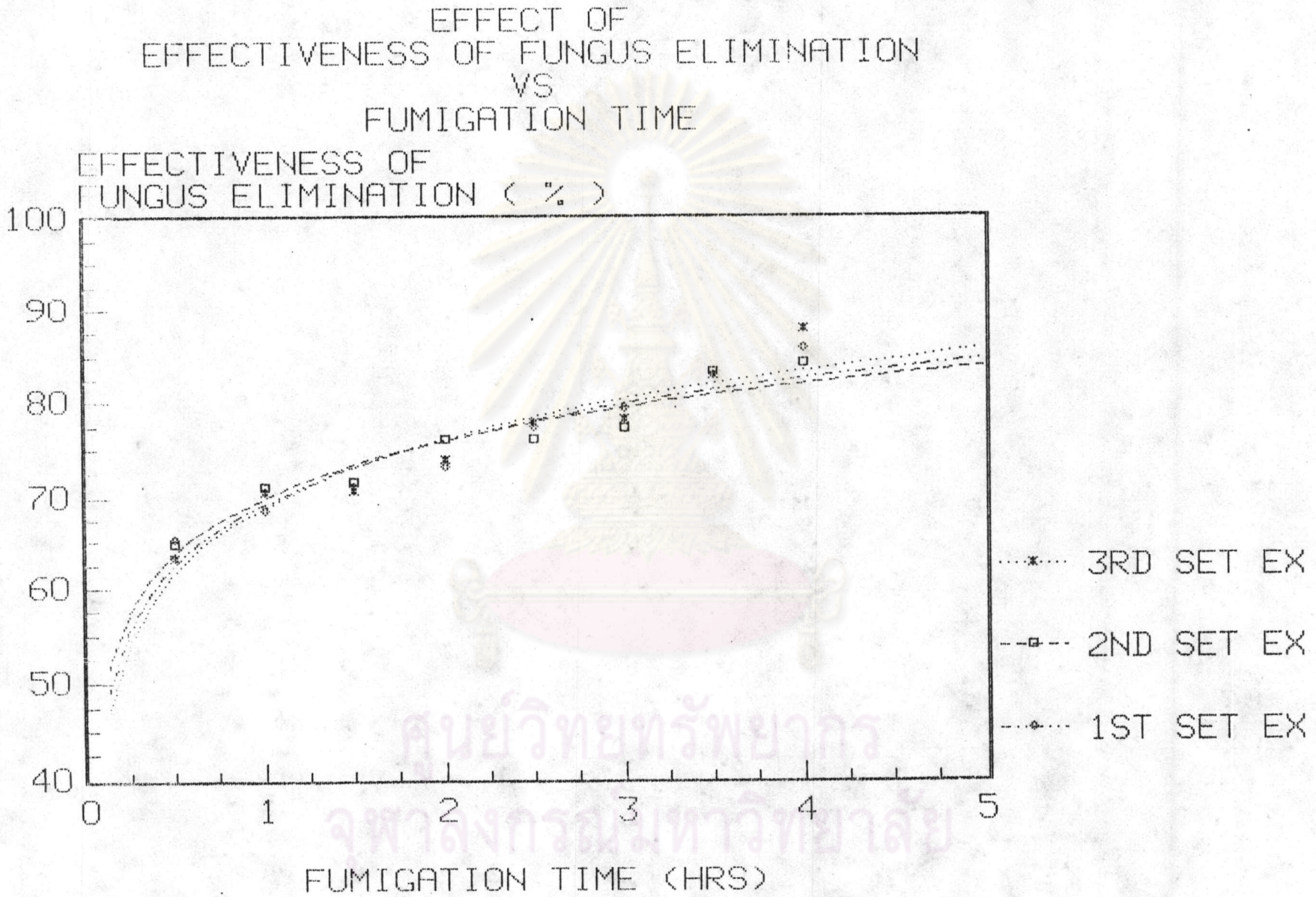
1.1 การทดลองชุดที่ 1 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 1 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.3 (1ST SET EX)

1.2 การทดลองชุดที่ 2 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 2 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.3 (2ND SET EX)

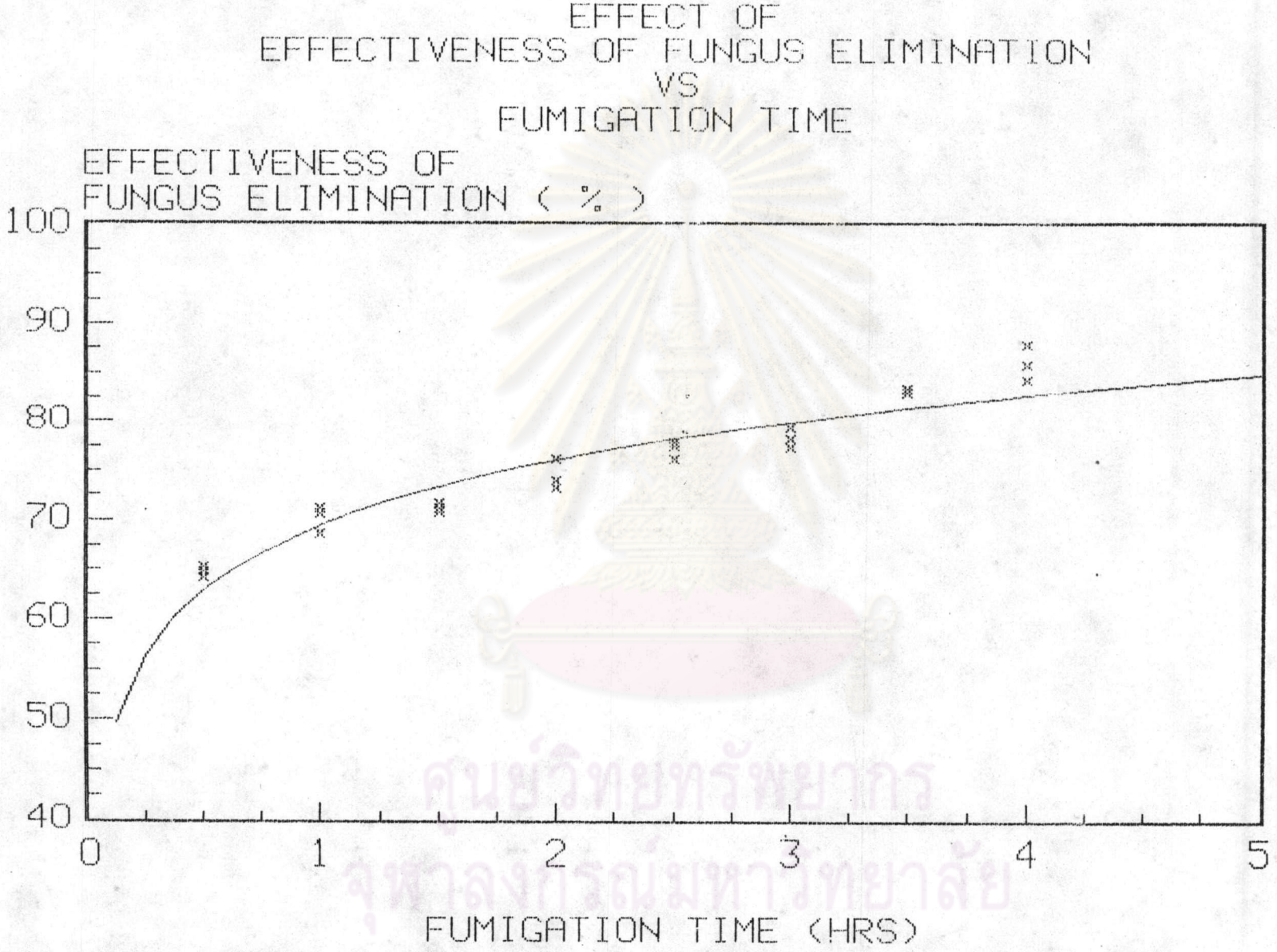
1.3 การทดลองชุดที่ 3 ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 3 ของแต่ละระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้ แสดงในรูปที่ 5.3 (3RD SET EX)

เมื่อรวม 3 กราฟเข้าด้วยกัน ค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง แสดงดังในกราฟรูปที่ 5.4

จากกราฟรูปที่ 5.2 และ 5.4 เมื่อนำมาขยายส่วนออก เพื่อวิเคราะห์หาช่วงของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียและขนาดของห้องตัวอย่างที่ทดลองจะได้กราฟดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

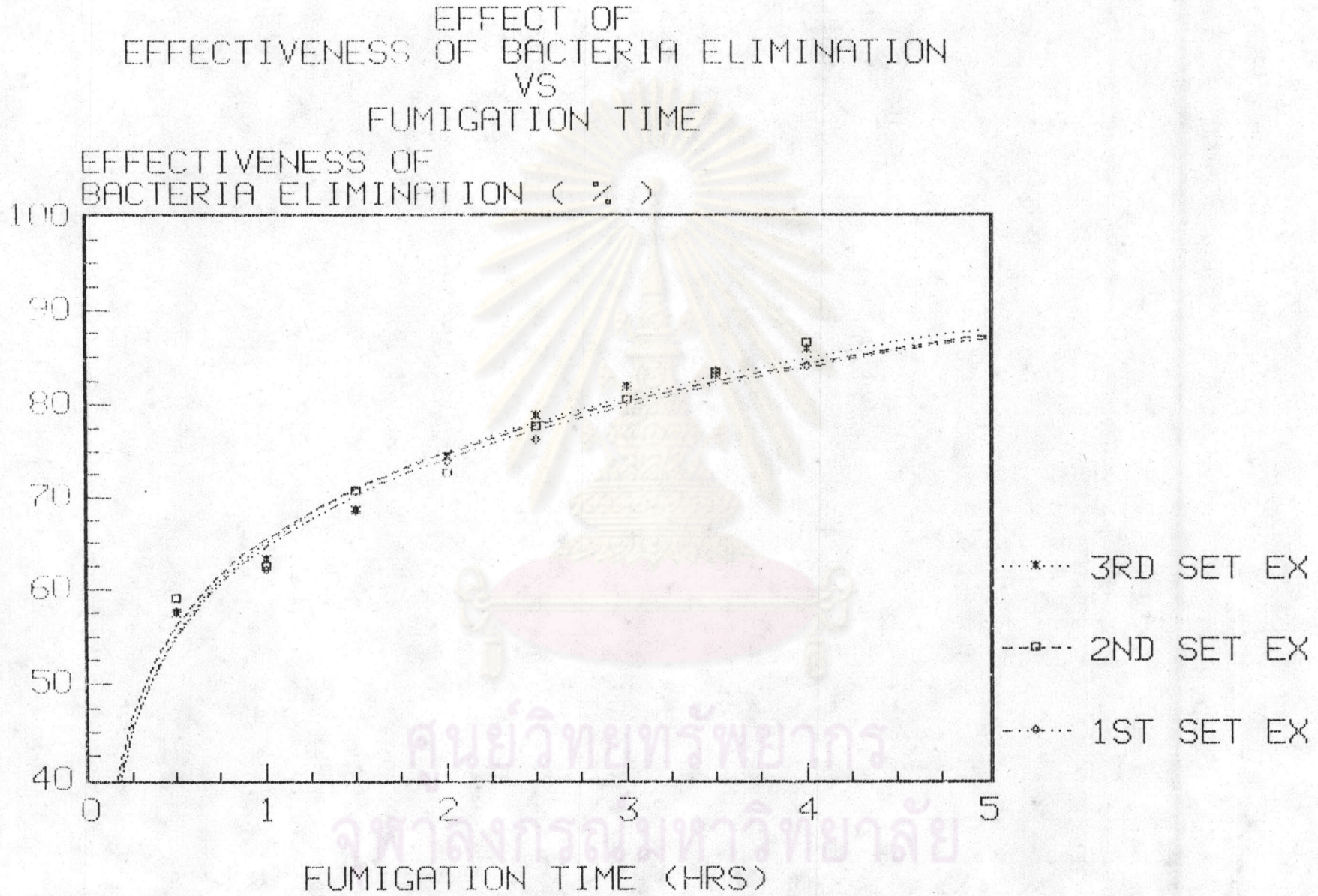


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟังกัสกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนของการทดลองชุดที่ 1,2 และ 3



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟังกัสกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซนของการทดลองชุดที่ 1,2 และ 3 (เฉลี่ย)

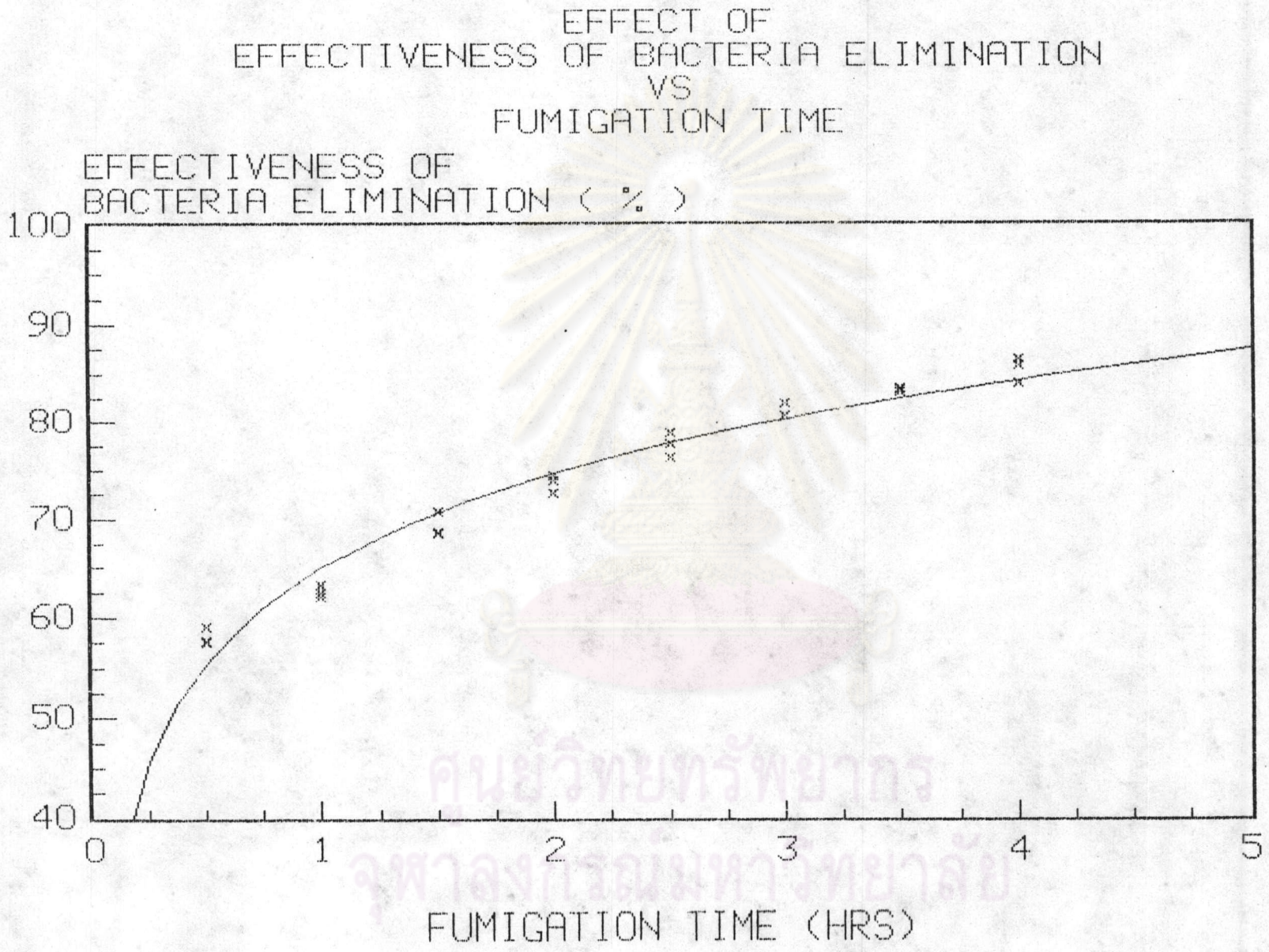
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

ของการทดลองชุดที่ 1,2 และ 3

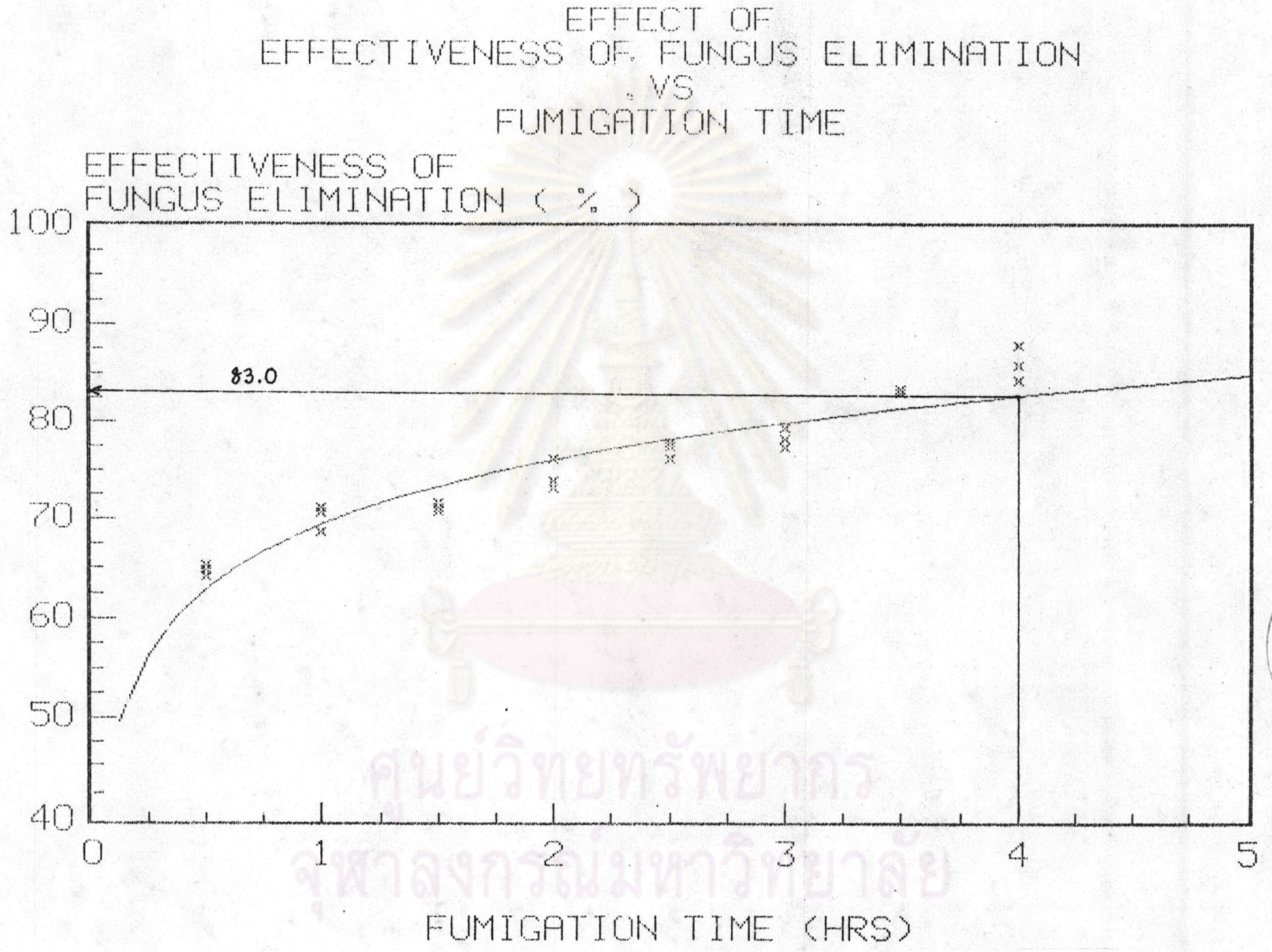
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

ของการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 (เฉลี่ย)

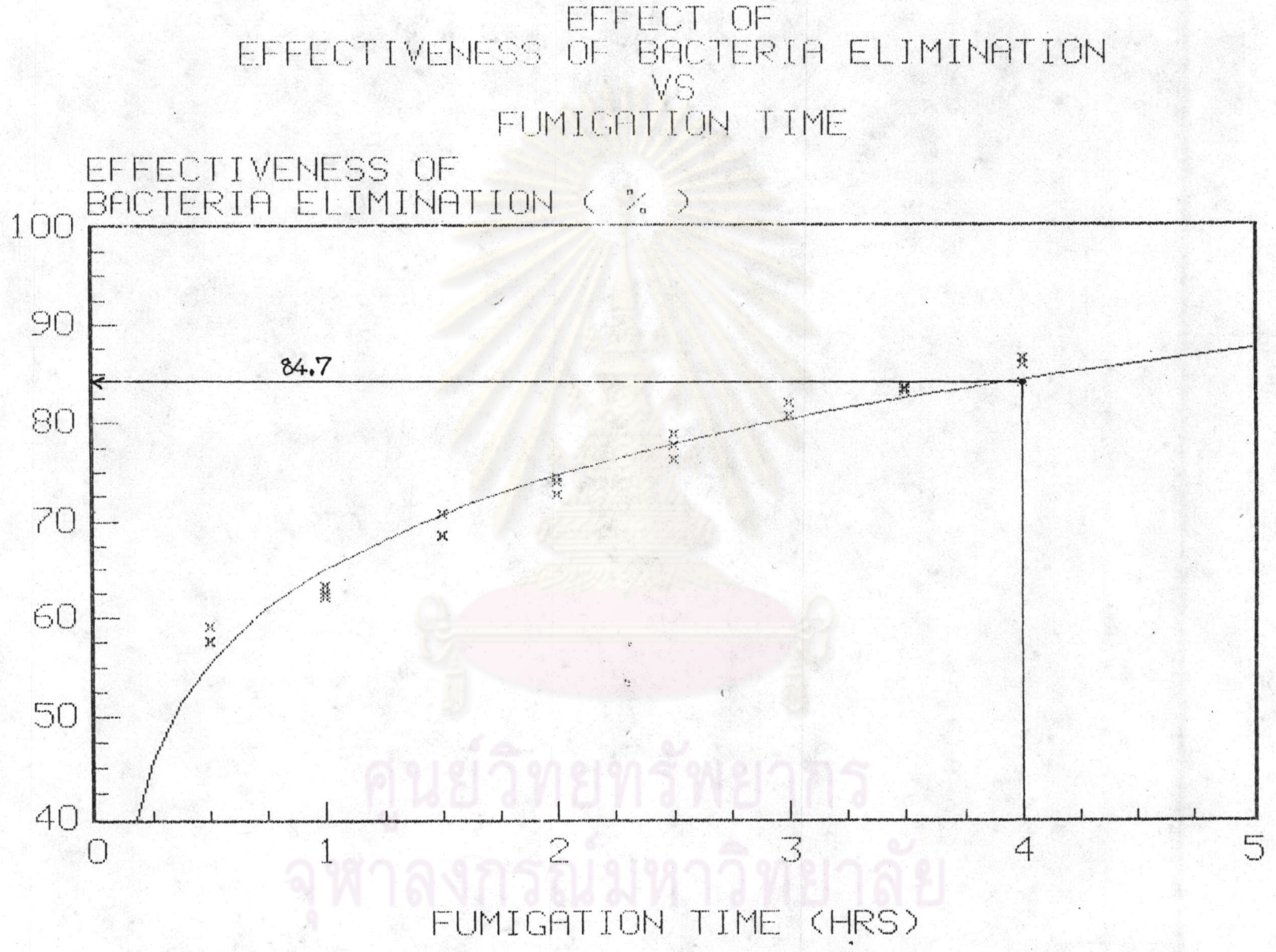
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟังก์สกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

ของการทดลองชุดที่ 1,2 และ 3 (เฉลี่ยและขยายส่วนสเกล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียกับระยะเวลาการฉีดพ่นก๊าซโอโซน

ของการทดลองชุดที่ 1,2 และ 3 (เฉลี่ยและขยายส่วนสเกล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการวิจัยครั้งนี้ แยกการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. การวิเคราะห์ ความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียด้วยก๊าซโอโซนของเครื่องมือ

2. การวิเคราะห์หาช่วงของระยะเวลาที่เหมาะสม ต่อการกำจัดเชื้อฟังกัส และแบคทีเรีย สำหรับสภาวะและขนาดของห้องตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4. การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องมือที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมที่ใช้

1. การวิเคราะห์ ความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียด้วยก๊าซโอโซนของเครื่องมือ

จากรูปที่ 5.1 ถึง 5.4 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียในช่วงระยะเวลาการฉีดพ่นตอนต้นจะดีกว่าระยะเวลาฉีดพ่นมาก ๆ แม้ว่าจะทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก และอาจจะไม่คุ้มค่าต่ออายุการทำงานของหลอดอุลตราไวโอเลตแต่ก็สามารถฆ่าเชื้อโรคทั้งสองได้ในระดับหนึ่ง เส้นกราฟที่สรุปความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย ที่เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาในการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซนจากเครื่องมือผลิตก๊าซโอโซน ด้วยหลอดอุลตราไวโอเลต ที่มีความยาวคลื่นแสงต่ำกว่า 200 นาโนเมตร ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ แสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.4 ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์หาช่วงของระยะเวลาที่เหมาะสม ต่อการกำจัดเชื้อฟังกัส และแบคทีเรีย สำหรับสภาวะและขนาดของห้องตัวอย่าง

การหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย สำหรับสภาวะและขนาดของห้องตัวอย่าง มีปัจจัยหลายอย่าง ที่ต้องพิจารณาร่วมกัน ได้แก่

2.1 การพิจารณาจากความสามารถในการกำจัดเชื้อโรคโดยพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 5.5 สำหรับการกำจัดเชื้อฟังกัส และ รูปที่ 5.6 สำหรับการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งเป็นกราฟส่วนขยายในช่วงที่ต้องการพิจารณาของกราฟรูปที่ 5.2 และ 5.4 ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของตัวเลขมากขึ้น

2.2 การพิจารณา ระยะเวลาในการสลายตัวของก๊าซโอโซนภายหลังจากฉีดพ่นเรียบร้อยแล้ว จนถึงระยะเวลาที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติการที่ต้องการใช้ห้องในการทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จะเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ และผิวหนังของสิ่งมีชีวิตได้ โดยระยะเวลาที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติการที่สามารถเข้าไปทำงานในห้องที่ได้ทำการฉีดพ่นไว้ เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา ตั้งแต่เริ่มต้นทำการฉีดพ่น จนถึงเวลาที่สามารถเข้าไปทำงานได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 ระยะเวลาที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นทำการฉีดพ่น จนถึงเวลาที่สามารถเข้าไปทำงานได้

ระยะเวลาการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซน (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ปลอดภัย* ภายหลังจากเครื่องหยุดฉีดพ่น (ชั่วโมง)	ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้น* ทำการฉีดพ่นจนถึงเวลาที่สามารถเข้าไปทำงานได้ (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซโอโซน* ที่เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)
0.5	8	8.5	3.22
1.0	10	11.0	2.97
1.5	10	11.5	4.14
2.0	12	14.0	2.56
2.5	12	14.5	2.97
3.0	12	15.0	3.32
3.5	14	15.5	3.61
4.0	14	16.0	3.85

* รายละเอียดตัวอย่างการคำนวณ ดูได้จาก ภาคผนวก ก.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การพิจารณาระยะเวลาในการใช้ห้องทำงาน หรือเวลาในการทำงานตามปกติ เวลาในการทำงานศูนย์บริการโลหิต สภากาชาดไทยมี ลักษณะเช่นเดียวกับการทำงานของภาครัฐบาลทั่ว ๆ ไป คือเวลาเริ่มทำงาน 8.30 น. เวลาพักกลางวัน 12.00น.-13.00 น. และเวลาเลิกงาน 16.30 น. ดังนั้น จึงใช้บรรทัดฐานที่ว่า เวลาในการทำงานเริ่มจาก 8.30 น.-16.30 น. เท่านั้น เวลาที่เหลืออยู่ตั้งแต่ 16.30 น.-24.00 น. (7.5 ชั่วโมง) และจาก 0.00-8.30 น. (8.5 ชั่วโมง) ของวันรุ่งขึ้น เป็นเวลาที่ไม่มีผู้ปฏิบัติการอยู่ในห้องทำงาน ซึ่งมีระยะเวลาปลอดผู้ปฏิบัติการรวมทั้งสิ้น = (7.5 + 8.5) = 16 ชั่วโมง หมายความว่า การทำงานของเครื่องตั้งแต่เริ่มฉีดพ่นจนถึงเวลาที่ปลอดภัย สำหรับเงื่อนไขข้างต้นมีให้ได้เพียง 16 ชั่วโมง เท่านั้น สำหรับกรณีที่เปิดเครื่องฉีดพ่นในวันธรรมดา

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับ กราฟของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย ตามรูปที่ 5.5 และ 5.6 จะเห็นได้ว่า ช่วงของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย สำหรับสภาวะและขนาดของห้องตัวอย่าง คือ ระยะเวลาการฉีดพ่น 4.0 ชั่วโมง ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียได้ 83.0% และ 84.7% (โดยเฉลี่ย) ตามลำดับ และระยะเวลาที่ปลอดภัยนับตั้งแต่เริ่มต้นทำการฉีดพ่นจนถึงเวลาที่สามารถเข้าไปทำงานในห้องนั้นได้ คือ 16.0 ชั่วโมง ตัวอย่างเช่น ถ้าทำการเปิดเครื่องเวลา 16.30 น. และตั้งเวลา 4 ชั่วโมงในการฉีดพ่น จะสามารถเริ่มเข้าไปทำงานในห้องนั้น ๆ ได้อีกครั้งในเวลา 8.30 น. ของวันรุ่งขึ้น นั่นเอง

อย่างไรก็ตาม การที่ต้องการจะกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียในบรรยากาศที่เป็นระบบปิดให้ได้อย่างสมบูรณ์(100%) สามารถที่จะทำได้ แต่ต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการฉีดพ่น ระยะเวลาที่ปลอดภัยต่อการปฏิบัติงาน อายุการใช้งานของหลอดอุลตราไวโอเลต และระดับความสะอาดในห้องปฏิบัติการที่ยอมรับได้ จึงจะเหมาะสมที่สุดต่อการนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้งานจริง ๆ

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ จัดเป็นการทดลองที่มีเพียง 1 ปัจจัย ที่เป็นตัวแปรอิสระ คือ ระยะเวลาในการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซนที่มี 8 ระดับ (0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5 และ 4.0 ชั่วโมง) และมีตัวแปรตาม ซึ่งก็คือ ความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย ของแต่ละชุดการทดลอง ตามลำดับ และได้ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้น จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่จะนำมาเลือกใช้ ก็คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดี่ยว (SINGLE FACTOR ANALYSIS OF VARIANCE) โดยการใช้ โปรแกรม SPSS ในการทดสอบข้อมูล ทำให้ได้ผลดังนี้

3.1 การทดสอบข้อมูลระยะเวลาในการฉีดพ่น ด้วยก๊าซโอโซนกับความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส

การกำหนดค่าตัวแปร มีดังนี้

ตัวแปรอิสระ : ระยะเวลาในการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซน : FMTIME

ตัวแปรตาม : ความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส : EFFTN

และกำหนดกลุ่มของข้อมูลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 : การทดลองที่ 1, 2,และ 3 : GRP1 (0.5ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 2 : การทดลองที่ 3, 4,และ 5 : GRP2 (1.0ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 3 : การทดลองที่ 6, 7,และ 8 : GRP3 (1.5ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 4 : การทดลองที่ 9,10,และ 11 : GRP4 (2.0ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 5 : การทดลองที่ 12,13,และ 14 : GRP5 (2.5ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 6 : การทดลองที่ 15,16,และ 17 : GRP6 (3.0ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 7 : การทดลองที่ 18,19,และ 20 : GRP7 (3.5ชั่วโมง)

ข้อมูลชุดที่ 8 : การทดลองที่ 21,22,และ 23 : GRP8 (4.0ชั่วโมง)

โดยใช้ค่าตัวแปรตามจากตารางที่ 5.5 คือ ค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส เป็นข้อมูลที่ป้อนเข้า สมมติฐานหลักที่จะทดสอบ คือ

H_0 : ระยะเวลาในการฉีดพ่นไม่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส

H_1 : ระยะเวลาในการฉีดพ่นกับความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส มีความสัมพันธ์กันอย่างน้อย 1 ค่า

ที่ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ง.1 รายละเอียดมีดังนี้

3.1.1 จากส่วนที่ 1, ค่า F RATIO ที่ทดสอบได้มีค่า = 110.0954 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า $F_{.05,\nu_1,\nu_2} = F_{.05,7,16} = 2.66$ (4) จะเห็นได้ว่าค่า F ที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่าค่า F ตามตาราง แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่า ระยะเวลาในการฉีดพ่นมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส

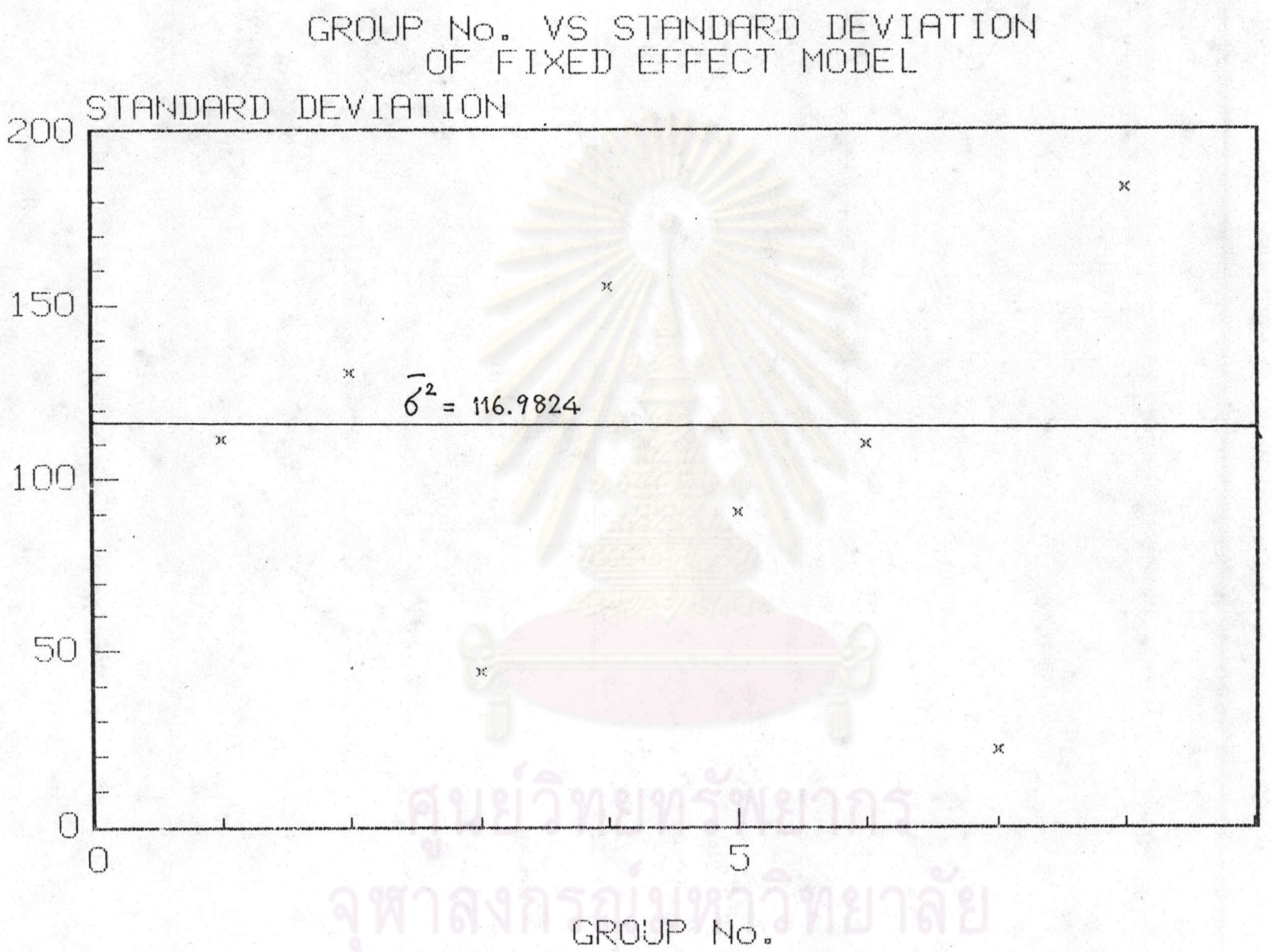
3.1.2 โดยการใช้ FIXED EFFECT MODEL ในการตรวจสอบว่าข้อมูลความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสในแต่ละการทดลองมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งมีเงื่อนไขคือตัวอย่างข้อมูลที่สุ่มของแต่ละกลุ่มต้องมีการแจกแจงแบบนอร์มอลและเป็นอิสระต่อกัน ส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 เป็นการทดสอบข้อมูลชุดนี้ สมมติฐานหลักมีดังนี้

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2 = \sigma_7^2 = \sigma_8^2$

H_1 : มี σ^2 อย่างน้อย 1 กลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยไม่เหมือนกัน

กำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.05

เมื่อทำการทดสอบตามวิธี COCHRANS จะมีค่า P=0.608 และตามวิธี BARTLETT-BOX จะมีค่า P=0.377 เมื่อเปรียบเทียบกับ $\chi^2_{0.5,7} = 14.067$ (4) จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าตามตาราง ดังนั้น สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ ค่าของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสที่ได้มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ยคือ 116.9824 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของการทดลองกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ด้วยซับโบรอด เดกซ์โตรส อาการ์ เมื่อรันด้วย FIXED EFFECT MODEL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองแต่ละชุด โดยการทดสอบด้วย LSD ผลแสดงในส่วนที่ 4-6 สรุปได้ว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส ที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดพ่นที่ 1.0 ชั่วโมงกับ 1.5 ชั่วโมง และ 2.5 ชั่วโมงกับ 3.0 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อทดสอบด้วย TURKEY-HSD ซึ่งแสดงผลในส่วนที่ 7-9 จะได้ผลที่คล้าย ๆ กัน แต่มีรายละเอียดมากกว่า คือผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดพ่นที่ 1.0 ชั่วโมงกับ 1.5 ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมงกับ 2.0 ชั่วโมง, 2.0 ชั่วโมงกับ 2.5 ชั่วโมง, 2.5 ชั่วโมงกับ 3.0 ชั่วโมง และ 3.5 ชั่วโมงกับ 4.0 ชั่วโมงให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน

3.1.4 การทดสอบความเป็น LINEARITY ของข้อมูล จากผลการทดสอบข้อมูลความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส ซึ่งแสดงผลในส่วนที่ 10 พบว่า เป็น NON-LINEAR และเนื่องจากค่า R (สหสัมพันธ์ : CORRELATION) มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าตัวแปรทั้งสอง ซึ่งก็คือ ค่าระยะเวลาในการฉีดพ่น และค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมากนั่นเอง

3.2 การทดสอบข้อมูลระยะเวลาในการฉีดพ่นด้วยก๊าซโอโซน กับความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

การกำหนดค่าตัวแปรและกำหนดกลุ่มของข้อมูล มีลักษณะเหมือนกับข้อ 3.1 แต่จะใช้ค่าตัวแปรตาม จากตารางที่ 5.6 คือ ค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัส เป็นข้อมูลที่ป้อนเข้า สมมติฐานหลัก ก็มีลักษณะเดียวกับข้อ 3.1 ดังนี้

H_o : ระยะเวลาในการฉีดพ่นไม่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

H_i : ระยะเวลาในการฉีดพ่นกับความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย มีความสัมพันธ์กันอย่างน้อย 1 ค่า

ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ผลการทดสอบ แสดงในภาคผนวก ง.2 รายละเอียดมีดังนี้

3.2.1 จากส่วนที่ 1, ค่า F RATIO ที่ทดสอบได้มีค่า = 323.4903 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า $F_{.05,7,16}$ = 2.66 (4) จะเห็นได้ว่า ค่า F ที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่า ค่า F ตามตาราง แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่า ระยะเวลาในการฉีดพ่นมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

3.2.2 โดยการใช้ FIXED EFFECT MODEL ในการตรวจสอบว่าข้อมูลความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในแต่ละการทดลองมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งมีเงื่อนไข คือ ตัวอย่างข้อมูลที่สุ่มของแต่ละกลุ่มต้องมีการแจกแจงแบบนอร์มอลและเป็นอิสระต่อกัน ส่วนที่ 2 และ 3 เป็นการทดสอบข้อมูลชุดนี้ สมมติฐานหลักมีดังนี้

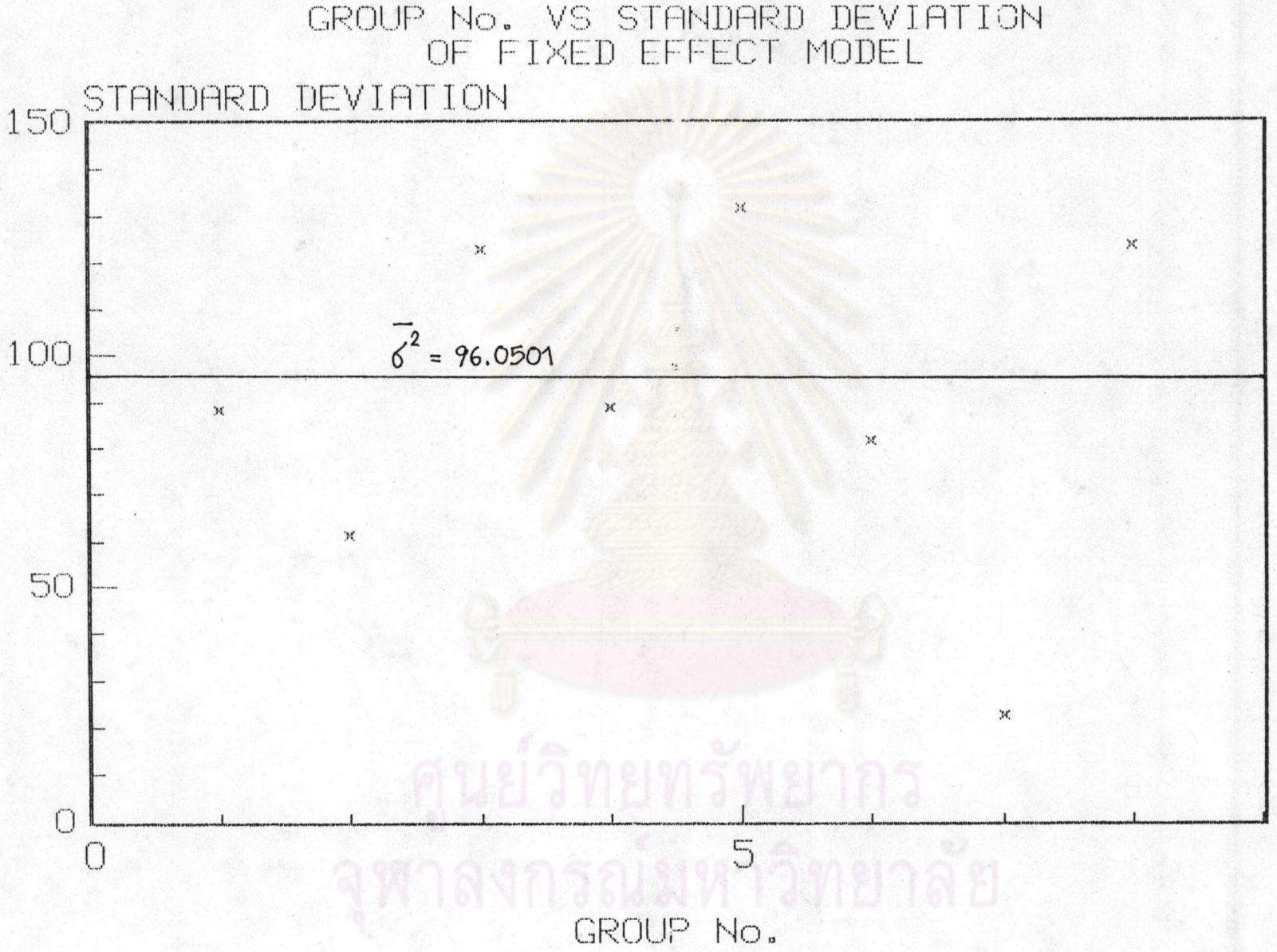
H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2 = \sigma_7^2 = \sigma_8^2$

H_1 : มี σ^2 อย่างน้อย 1 กลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยไม่เหมือนกัน

กำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.05

เมื่อทำการรันตามวิธี COCHRANS จะมีค่า P=1.000 และตามวิธี BARTLETT-BOX จะมีค่า P=0.677 เมื่อเปรียบเทียบกับ $\chi^2_{0.5,7}$ = 14.067 (4) จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่าค่าตามตาราง ดังนั้น สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือค่าของความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่ได้มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ย = 96.0501 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.8

3.2.3 การทดสอบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองแต่ละชุด โดยการทดสอบด้วย LSD ผลแสดงในส่วนที่ 4-6 สรุปได้ว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดพ่นของทุกกลุ่มมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อทดสอบด้วย TURKEY-HSD ซึ่งแสดงผลในส่วนที่ 7-9 จะได้ผลที่คล้าย ๆ กัน ยกเว้นผลของความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดพ่นที่ 3.0 ชั่วโมงกับ 3.5 ชั่วโมง และ 3.5 ชั่วโมงกับ 4.0 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของการทดลองกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ด้วยบลัด อาการ์ เมื่อรันด้วย FIXED EFFECT MODEL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 การทดสอบความเป็น LINEARITY ของข้อมูลจากผลการทดสอบข้อมูล ความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งแสดงผลในส่วนที่ 10 พบว่า เป็น NON-LINEAR และค่า R ก็ใกล้เคียง 1 เช่นเดียวกัน ดังนั้น ค่าระยะเวลาในการฉีดพ่นและค่าความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมากเช่นเดียวกัน นั่นเอง

4. การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องมือที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีเดิมที่ใช้

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการวิจัยครั้งนี้ ทำเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัด ด้วยการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับวิธีรมด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลีนกับด่างทับทิม

จากภาคผนวก ก.5 สามารถสรุปได้ว่า

ต้นทุนในการผลิตเครื่องมือในการวิจัยนี้	=	82,000	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดด้วยเครื่องมือ	=	3.30	บาทต่อครั้ง
ค่าฟอร์มาลีนและด่างทับทิมที่ใช้ในการบำบัดด้วยวิธีเดิม	=	19.60	บาทต่อครั้ง

จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับการบำบัดห้องตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ฟอร์มาลีนทำปฏิกิริยากับด่างทับทิมของวิธีเดิมอยู่ถึง 16.30 บาทต่อครั้งของการบำบัด หรือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดได้ถึง 5.94 เท่า และจากข้อมูลในอดีตเกี่ยวกับการทดสอบหาความสามารถในการกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรีย ตลอดจนการทำการทดลองเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผลการทดลองด้วยการรมด้วยฟอร์มาลีนและด่างทับทิม พบว่า สามารถกำจัดเชื้อฟังกัสและแบคทีเรียได้ประมาณ 90% โดยเฉลี่ย (ข้อมูลและผลการทดลองแสดงในภาคผนวก จ) แต่เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ความสะดวกในการบำบัด และ สารเคมีที่จะตกค้างและเป็นอันตราย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น แทนวิธีเดิมที่ใช้อยู่ เหมาะสมกว่า เพราะสะดวกต่อการใช้งานมากกว่า และไม่มีสารเคมีตกค้าง เพราะจะสลายตัวเป็นก๊าซออกซิเจนจนหมดในที่สุด แม้ว่าจะมี

ความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและฟังกัสได้น้อยกว่าแต่สามารถที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและฟังกัสได้ โดยการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดพ่นก๊าซโอโซน แต่จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นสำหรับการรอการสลายตัวของก๊าซโอโซน ก่อนที่จะเข้าไปทำงานในห้องปฏิบัติการอีกครั้งหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย