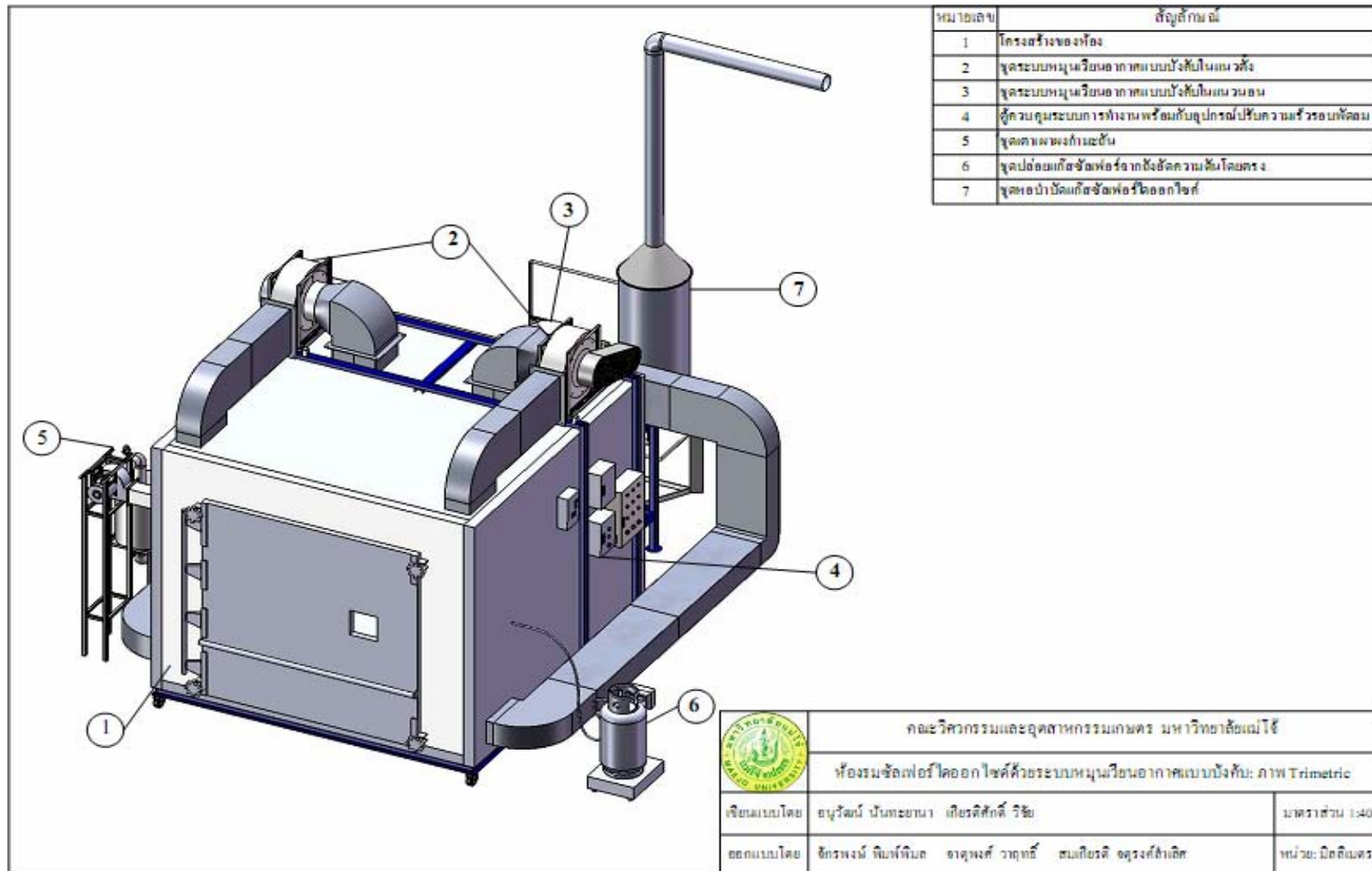




ภาพที่ 51 ห้องรม SO_2 กับผลล้าไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับหลังปรับปรุงประตูลังเป็นแบบประตูบานเดียว

กิจกรรมที่ 2.8 การศึกษาอัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศที่เหมาะสมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้ง

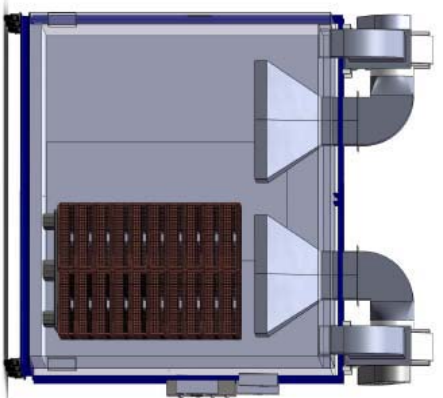
กิจกรรมวิจัยที่ปรับปรุงใหม่

จากข้อดีของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งในกิจกรรมที่ 2.7 คณะผู้วิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัยจึงได้ร่วมกันปรึกษาหารือและมีแนวคิดว่า ควรจะมุ่งศึกษาเฉพาะระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดแนวทางการสำรรับนำไปใช้ปฏิบัติหรือก่อให้เกิดประโยชน์ในการค้ามากที่สุด โดยจะทำการศึกษาทั้งในส่วนของการตั้งกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อจะได้นำเอาอัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศที่เหมาะสมมาใช้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการ SO_2 ทั้งที่ได้จากการเผาผลาญกำมะถันและจากถังอัดความดันโดยตรงกับผลล้าไยสคที่บรรจุในตะกร้าแต่ละรูปทรงต่อไปในกิจกรรมที่ 3 โดยมีกรรมวิธีที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศจำนวน 3 ระดับได้แก่

- กรรมวิธีที่ 1 อัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศ 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (30 เฮลิตรซ์)
- กรรมวิธีที่ 2 อัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (40 เฮลิตรซ์)
- กรรมวิธีที่ 3 อัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (50 เฮลิตรซ์)

โดยนำผลล้าไยสคพันธุ์คอซึ่งเป็นผลล้าไยนอกฤดูและเก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกรในเขตกิ่งอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ที่จัดเรียงในตะกร้าแต่ละรูปทรงเรียบร้อยแล้ว ตะกร้าละ 11 กิโลกรัม มายังอาคารคัดบรรจุผลิตผลเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นจึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

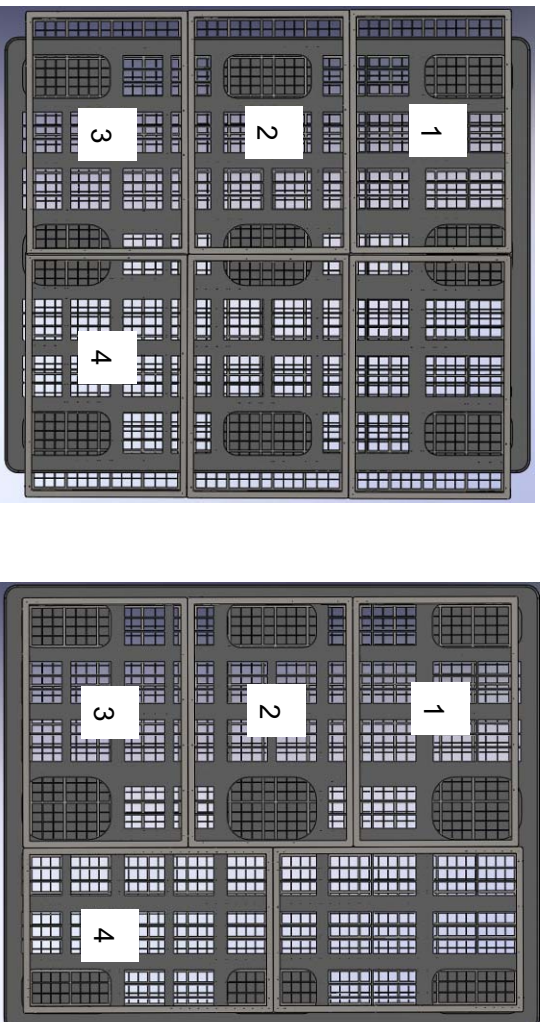
- 1) ทำการเรียงตะกร้าบรรจุผลล้าไยแต่ละรูปทรงบนแท่นวางสินค้าในแนวตั้งจำนวน 10 ชั้น รวมเป็นผลล้าไย 50 และ 60 ตะกร้า หรือเท่ากับ 550 และ 660 กิโลกรัม สำหรับตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมคางหมู ตามลำดับ (ภาพที่ 52)



ภาพที่ 52 การจัดวางตะกร้าบรรจุผลล้าไยในแนวตั้งจำนวน 10 ชั้น

2) ทำการรวม SO_2 จากถึงอาคารโดยตรง (directly SO_2 gas) กับผลล่ำ ้ยลดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งที่อัตราการไหลอากาศของพัฒนาอุตสาหกรรมวิธี โดยใช้ระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังจากสิ้นสุดการรวมเท่ากับ 4,000 ppm ทั้งนี้เพื่อจะได้ทราบถึงความสัมพันธ์และการกระจายตัวของปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลล่ำ ้ยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3) สุ่มเก็บตัวอย่างผลล่ำ ้ยในตะกร้าตำแหน่งที่ 1, 2, 3 และ 4 (ภาพที่ 53) ของชั้นที่ 2, 4, 6 และ 8 ไปวิเคราะห์หาปริมาณ SO_2 ภายในเปลือกและเนื้อของผลล่ำ ้ยทันที ด้วยวิธี Modified Monier-William Method เพื่อจะได้ทราบถึงความแตกต่างของปริมาณ SO_2 ตกค้าง รวมทั้งความสัมพันธ์ของปริมาณ SO_2 ตกค้างในแต่ละตะกร้าบรรจุผลล่ำ ้ย แล้วนำมาประเมินถึงอัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่เหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 53 ตำแหน่งตะกร้าทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผลล่ำ ้ย

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 2.8

กรณีตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมกางหนู

ผลของปริมาณ SO_2 ตกค้างเฉลี่ยในผลล่ำ ้ยที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมกางหนูจากตารางที่ 22 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแล้วพบว่า อัตราการไหลอากาศของพัฒนาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลล่ำ ้ยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 23) โดยอัตราการไหลอากาศของพัฒนาเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในส่วนเปลือกผลลดลง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า อัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่สูงขึ้น ทำให้แก๊ส SO_2 ไหลผ่านผลล่ำ ้ยได้เร็ว จึงเกิดการสัมผัสกับผิวผลล่ำ ้ยในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่าการมีอัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่ต่ำ และส่งผลให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างน้อยลงตามไปด้วย แต่สำหรับปริมาณ SO_2 ตกค้างในส่วนเนื้อของผลแล้ว อัตราการไหลอากาศของพัฒนาผลต่อการตกค้างของ SO_2 น้อยมาก เฉลี่ยแล้วไม่เกิน 3 ppm ยกเว้นอัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในส่วนเนื้อผลสูงกว่าปกติ นั่นอาจเกิดจากการปนเปื้อนระหว่างส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของผลล่ำ ้ยระหว่างการเตรียมตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์ปริมาณ SO_2 ตกค้างของผู้ปฏิบัติงาน

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลลำไยแต่ละตำแหน่งและแต่ละชั้นของตะกร้าแล้วพบว่า มีปริมาณ SO₂ ตกค้างในส่วนเปลือกใกล้เคียงกัน ($p \geq 0.05$) ซึ่งหมายความว่า มีปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลลำไยแต่ละตะกร้าค่อนข้างสม่ำเสมอประมาณ 1,500-1,800 ppm (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปริมาณ SO₂ ตกค้างในส่วนเปลือกและเนื้อผลลำไยสด (ppm) ที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยม
ทางหมู่ ซึ่งผ่านการรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนแบบบังคับแล้วตามอัตราการไหลอากาศ
ของพัดลมแต่ละระดับ

ชั้นที่	ตำแหน่ง	อัตราการไหลอากาศของพัดลม (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)					
		0.6		0.8		1.0	
		เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
2	1	7	1,807	0.75	1,500	1.43	1,384
	2	0	1,488	0.97	1,486	0	1,253
	3	0	1,933	0.48	1,440	0	2,123
	4	0	1,893	0.44	2,069	0	1,598
	เฉลี่ย	1.75	1,780	0.65	1,624	0.35	1,589
	1	3	1,876	7.08	1,614	4.26	1,496
	2	0	1,564	13.09	1,753	0	1,544
	3	0	1,910	18.53	1,631	0	1,585
4	4	0	2,282	10.31	1,641	0	1,461
	เฉลี่ย	0.75	1,908	12.25	1,660	1.06	1,522
	1	8.60	1,563	17.79	2,490	1.5	1,790
	2	0	1,761	6.07	1,632	0	1,390
6	3	0	1,697	8.96	1,676	0	1,462
	4	0	1,871	6.17	1,695	0	1,482
	เฉลี่ย	2.15	1,723	9.75	1,873	0.37	1,531
	1	2.60	1,666	10.02	1,510	2.94	1,574
8	2	0	1,846	0	1,657	0	1,455
	3	0	2,198	8.51	1,499	0	1,537
	4	0	2,056	5.18	1,547	0	1,299
	เฉลี่ย	0.65	1,941	5.90	1,553	0.73	1,466
เฉลี่ยรวม		1.30	1,840	7.60	1,680	0.60	1,530

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลลำไยที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งผ่านการรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนแบบบังคับแบบตามอัตราการไหลอากาศของพัฒนาแต่ละระดับ

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	Lambda	Power
Flow rate (m ³ /s)	2	774757.921	387378.961	7.091	.0024	14.183	.923
Column	3	217110.750	72370.250	1.325	.2802	3.974	.317
Section	3	24660.751	8220.250	.150	.9288	.451	.075
Residual	39	2130454.858	54627.048				

หมายเหตุ: Flow rate หมายถึง อัตราการไหลอากาศ, Column หมายถึง ตำแหน่งของตะกร้าบรรจุผลลำไยในแนวตั้ง และ Section หมายถึง ตำแหน่งชั้นของตะกร้าบรรจุผลลำไย

กรณีตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ผลของปริมาณ SO₂ ตกค้างเฉลี่ยในผลลำไยที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากตารางที่ 24 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแล้วพบว่า อัตราการไหลอากาศของพัฒนาทั้ง 3 ระดับ มีผลต่อปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลลำไยทั้งในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างสถิติ เช่นเดียวกับปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลลำไยแต่ละตำแหน่งและระดับชั้นของตะกร้า (p ≥ 0.05) (ตารางที่ 25) โดยมีปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลลำไยประมาณ 1,600-1,800 ppm และมีผลต่อปริมาณ SO₂ ตกค้างในส่วนของเนื้อผลน้อยมากเฉลี่ยแล้วไม่เกิน 3 ppm ยกเว้นอัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณ SO₂ ตกค้างในเนื้อผลสูงกว่าปกตินั้น อาจเกิดจากการปนื้อระหว่างการเตรียมตัวอย่างของผู้ปฏิบัติงานเช่นเดียวกับการศึกษาในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

จากปริมาณและความสม่ำเสมอของ SO₂ ที่ตกค้างในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของผลลำไยในแต่ละตะกร้าบรรจุผลลำไยแต่ละรูปทรง เมื่อนำมาพิจารณาถึงแนวทางในการเลือกอัตราการไหลอากาศของพัฒนาแล้วสามารถกล่าวได้ว่า อัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศทั้ง 3 ระดับ ของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งคือ ตั้งแต่ 0.6-1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ในแง่ของการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้อัตราการไหลอากาศของพัฒนาระดับใดนั้น ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยของอัตราการไหลอากาศของพัฒนาชุดอากาศแต่ละระดับด้วย ดังนั้นอัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่ 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที น่าจะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีกำลังของมอเตอร์ต่ำกว่า ทำให้ค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าถูกลง และส่งผลให้ต้นทุนต่ำกว่าอัตราการไหลอากาศของพัฒนาระดับอื่น ๆ

ตารางที่ 24 ปริมาณ SO_2 ตกค้างในส่วนเปลือกและเนื้อผลลำไยสด (ppm) ที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคี่นผ้า ซึ่งผ่านการกรรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนแบบบังคับแล้วตามอัตราการไหลอากาศของพัฒนาแต่ละระดับ

ชั้นที่	ตำแหน่ง	อัตราการไหลอากาศพัฒนา (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)					
		0.6		0.8		1.0	
		เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
2	1	7	1,604	6	2,028	4	1,534
	2	11	1,855	1	1,537	12	1,772
	3	4	1,575	1	1,819	5	1,232
	4	5	1,374	4	1,598	7	1,771
	เฉลี่ย	7	1,602	3	1,746	7	1,577
	1	0	1,566	0	2,214	5	1,582
	2	1.03	1,445	3.63	1,675	13	1,687
	3	0.40	1,731	0	1,499	0	1,549
4	4	0.81	1,621	3.78	1,551	2	1,673
	เฉลี่ย	1	1,591	2	1,735	5	1,623
	1	1.17	1,635	7.45	1,595	0	1,548
	2	0	1,539	1.26	1,818	8	1,518
6	3	0.43	1,684	3.65	2,153	0	1,703
	4	0.95	1,932	1.12	1,963	11	1,816
	เฉลี่ย	1	1,697	3	1,882	5	1,646
	1	0.75	1,923	3.26	2,188	5	1,949
	2	0.77	1,361	0	1,280	22	1,895
	3	0.39	1,538	0	1,614	8	1,987
	4	0	1,943	2.66	2,424	8	1,801
	เฉลี่ย	0.48	1,691	1	1,876	11	1,908
เฉลี่ยรวม		2.10	1,645	2.40	1,810	7	1,670

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลลำไยที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งผ่านการรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนแบบบังคับแนวตั้งตามอัตราการไหลอากาศของพัฒนาแต่ละระดับ

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	Lambda	Power
Flow rate (m ³ /s)	2	232377.125	116188.563	2.161	0.1288	4.321	0.404
Column	3	257139.563	85713.188	1.594	0.2064	4.782	0.377
Section	3	270893.729	90297.91	1.679	0.1873	5.038	0.396
Residual	39	2097205.396	53774.497				

หมายเหตุ: Flow rate หมายถึง อัตราการไหลอากาศ, Column หมายถึง ตำแหน่งของตะกร้าบรรจุผลลำไยในแนวตั้ง และ Section หมายถึง ตำแหน่งชั้นของตะกร้าบรรจุผลลำไย

สรุปผลการศึกษากิจกรรรมที่ 2.8

อัตราการไหลอากาศของพัฒนาอุตสาหกรรมทั้ง 3 ระดับ ของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งคือ ตั้งแต่ 0.6-1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ในแง่ของการนำมาใช้ปฏิบัติงานเชิงการค้าแล้ว ควรเลือกใช้อัตราการไหลอากาศของพัฒนาที่ 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อให้ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในส่วนของการมอเตอร์พัฒนาอุตสาหกรรมน้อยลง

กิจกรรมที่ 2.9 การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมการปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

กิจกรรมวิจัยที่ปรับปรุงใหม่

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเปลี่ยนระบบควบคุมการปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงจากเดิมซึ่งออกแบบไว้ว่า จะใช้ระบบควบคุมการปล่อยแก๊สแบบหลายทิศทาง (mamiflow) และมีชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส (flow meter) แบบลูกกลอยเป็นตัวควบคุมการไหลของแก๊ส SO₂ เข้าตู้ห่อรม แล้วจับเวลาตามปริมาณแก๊ส SO₂ ที่ต้องการปล่อย แต่ข้อได้เปรียบที่ปรึกษาหารือกับวิศวกร รวมทั้งผู้ประกอบการแล้วมีความเห็นว่า ระบบควบคุมการปล่อยแก๊สแบบหลายทิศทาง มีข้อจำกัดค่อนข้างมากทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายและความยากง่ายในการปฏิบัติงาน ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้คือ

1. ในส่วนค่าใช้จ่ายนอกเหนือจากระบบควบคุมการปล่อยแก๊สแบบหลายทิศทางแล้ว ต้องมีถังแก๊ส SO₂ เพิ่มขึ้นมากกว่า 1 ถัง พร้อมกับอุปกรณ์เชื่อมต่อกับถังแก๊สเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดการส่งผ่านและควบคุมแรงดันแก๊ส SO₂ ให้คงที่ได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงอยู่ในสถานะของเหลว (liquid guses) และจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นแก๊สเมื่อความดันภายในถังเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งก็คือเมื่อทำการเปิดวาล์วจากถังแก๊ส จากลักษณะดังกล่าวถ้าทำการปล่อยแก๊ส SO₂ เข้าตู้ห่อรมอย่างต่อเนื่อง

ตลอดเวลา ความดันภายในถังแก๊ส SO₂ จะลดลงตามไปด้วย ทำให้ไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนสถานะของแก๊ส SO₂ รวมถึงไม่มีแรงดันพอที่จะสามารถควบคุมการไหลแก๊ส SO₂ ให้คงที่ได้ตามต้องการ ส่งผลให้แก๊ส SO₂ มีการไหลผ่านชุดควบคุมอัตราการไหลไหลเคลื่อนตามไปด้วย

2. การปล่อยแก๊ส SO₂ อาจจะใช้เวลาก่อนข้างนาน โดยเฉพาะห้องที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังเพิ่มความเร็วในการปล่อยแก๊สให้เร็วขึ้นข้างยากขึ้นอยู่กับการคำนวณ และความสามารถหรืออัตราการไหลสูงชุดของชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส SO₂ เป็นสำคัญ

3. ความยากง่ายในการปฏิบัติงาน ซึ่งถึงแม้ว่าจะใช้การจับเวลา แต่ต้องมีการควบคุมอยู่ตลอดเวลาว่าแก๊ส SO₂ มีการไหลผ่านชุดควบคุมอัตราการไหลคงที่หรือไม่

จากข้อจำกัดดังกล่าว คณะผู้วิจัยและที่ปรึกษาโครงการจึงได้หาทางออกโดยการเปลี่ยนระบบการควบคุมการปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงในรูปของปริมาตรมาอยู่ในรูปมวลหรือนำหนักแทน โดยนำถังแก๊ส SO₂ มาซึ่งบนเครื่องชั่งแบบตัวเลขไฟฟ้าแล้วห้กลับน้ำหนักตามปริมาณแก๊ส SO₂ ที่ต้องการปล่อยเข้าสู่ห้องรม ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย รวมทั้งข้อจำกัดในเรื่องของเวลา และความยากง่ายในการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจาก ตามกฎของแก๊สในอุดมคติ (Ideal gas law) พบว่า มวลเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ในสถานะแก๊ส 1 กิโลกรัม เท่ากับมวลเซลล์เฟอร์ไดออกไซด์ในสถานะของเหลว 1 กิโลกรัม ซึ่งผลทดสอบประสิทธิภาพการปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงในรูปของมวลหรือนำหนักสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 26 และ 27

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการการปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการเผาฟ

กัมมะถัน (S)

แหล่งของแก๊ส SO ₂	ปริมาณ (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการปล่อยแก๊ส SO ₂ หรือเผาฟกัมมะถัน (นาที)
แก๊ส SO ₂ 500 กรัมหรือเท่ากับ ฟกัมมะถัน 250 กรัม	500 SO ₂	5
	250 S	20
แก๊ส SO ₂ 1,000 กรัมหรือเท่ากับ ฟกัมมะถัน 500 กรัม	1,000 SO ₂	10
	500 S	30

จากตารางที่ 26 พบว่า การปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงปริมาณ 500 กรัม ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณฟกัมมะถัน (S) 250 กรัม ใช้เวลาในการปล่อยแก๊สเพียง 5 นาที ขณะที่การเผาฟกัมมะถันใช้เวลาประมาณ 20 นาที และเมื่อปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงปริมาณ 1,000 กรัม ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณ 500 กรัม ใช้เวลาในการปล่อยแก๊ส 10 นาที ส่วนการเผาฟกัมมะถันใช้เวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งถ้านำมาคิดเป็นสัดส่วนแล้ว การปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อยกว่าการเผาฟกัมมะถันประมาณ 3-4 เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาฟกัมมะถันภายในห้องรม SO₂ พบว่า กรณีที่มีสัดส่วนเท่ากัน การใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงทำให้มีระดับความเข้มข้นของ SO₂ ในห้องรมสูงกว่าการเผาฟกัมมะถันประมาณร้อยละ 15 (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของแก๊ส SO₂ จากถึงวัดความดัน โดยตรงกับการเผาไหม้ถ่าน
ภายในห้อง กรณีที่มีสัดส่วนเท่ากัน

ความเข้มข้นของแก๊ส SO ₂ (ppm) ภายในห้องรมหลังสิ้นสุดการปล่อยแก๊สหรือการเผาไหม้ถ่าน 5 นาที				
ข้อที่	แก๊ส SO ₂ 500 กรัมหรือเท่ากับผงกำมะถัน 250 กรัม	แก๊ส SO ₂ 1,000 กรัมหรือเท่ากับผงกำมะถัน 500 กรัม		
	ถึงวัดความโดยตรง	ผงกำมะถัน	ถึงวัดความโดยตรง	ผงกำมะถัน
1	12,223	9,778	17,112	14,667
2	9,778	9,778	17,112	14,667
3	9,778	7,334	14,667	12,223
เฉลี่ย	10,593	8,963	16,297	13,852
แตกต่าง	ร้อยละ 15		ร้อยละ 15	

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 2.9

การปล่อยแก๊ส SO₂ จากถึงวัดความดันโดยตรงใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อยกว่าการเผาไหม้ถ่าน
ประมาณ 3-4 เท่า และการฉีดที่มีสัดส่วนเท่ากัน การใช้แก๊ส SO₂ จากถึงวัดความดัน โดยตรงทำให้มีระดับความ
เข้มข้นของแก๊ส SO₂ ภายในห้องสูงกว่าการเผาไหม้ถ่านประมาณร้อยละ 15

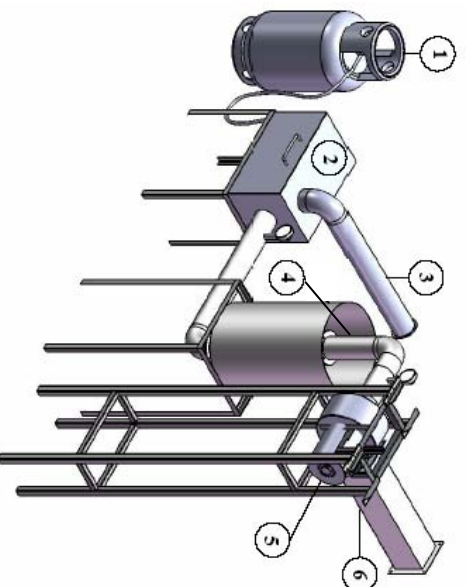
กิจกรรมที่ 2.10 การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพชุดเผาผลา้แก๊สสำหรับลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ก่อนเข้าสู่ห้องรม

2.10.1 การออกแบบชุดเผาผลา้แก๊ส

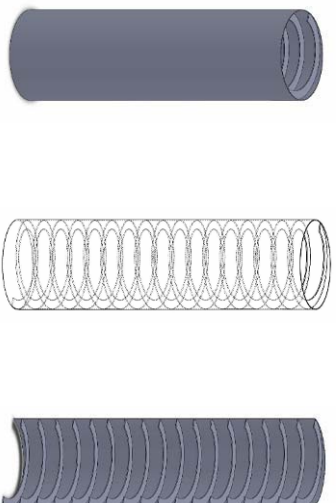
ระเบียบวิธีวิจัย

เตาเผาผลา้แก๊สที่ทำการออกแบบขึ้นมาเป็นแบบระบบปิด โดยใช้พัดลมดึงอากาศภายในห้องรม SO_2 เข้ามาช่วยเร่งการเผาไหม้ผลา้แก๊สเพื่อทดแทนการใช้แก๊สออกซิเจน (O_2) ตามวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปของสถานประกอบการ ซึ่งอาจเกิดการระเบิดได้ แต่ในส่วนของการลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ก่อนเข้าสู่ห้องรมนั้นได้นำเอาชุดลดอุณหภูมิแบบคอยล์แลกเปลี่ยน (internal finned-heat exchanger) มาใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการเผาผลา้แก๊สกับตัวกลางชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำ และน้ำผสมน้ำแข็ง ทั้งนี้เพื่อช่วยให้แก๊ส SO_2 ที่ได้มีอุณหภูมิลดลงก่อนปล่อยหรือหมุนเวียนเข้าไปในห้อง และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลล้าไยมากนัก สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของชุดเผาผลา้แก๊สสามารถแสดงดังภาพที่ 54 ได้แก่ว่า

- 1) ถังแก๊สหุงต้ม LPG
- 2) เตาเผาผลา้แก๊ส
- 3) ท่อหมุนเวียนแก๊ส SO_2
- 4) ชุดลดอุณหภูมิแบบคอยล์แลกเปลี่ยน ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 55
- 5) ชุดพัดลมหมุนเวียนอากาศ
- 6) ท่อนำแก๊ส SO_2 เข้าสู่ห้องรม



ภาพที่ 54 ชุดเผาผลา้แก๊สก่อนเข้าห้องรมอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 55 ชุดลดอุณหภูมิแบบคอยล์ภายใน (internal-finned heat exchanger)

2.10.2 การประเมินประสิทธิภาพชุดลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ที่ได้จากการเผาผลาญถ่านหิน

ระเบียบวิธีวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของชุดลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญถ่านหิน เป็นการศึกษานี้ในกรณีที่ต้องทำการรวม SO_2 กับผลลัพท์ของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับกับแวนตัวจำนวน 60 ตะกร้า หรือ 1 คอลัมน์ และ 120 ตะกร้า หรือ 2 คอลัมน์ ซึ่งเป็นการประเมินการไหลของแก๊ส และใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรวมเท่ากับ 4,000 ppm ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกระบวนการรวม SO_2 กับผลลัพท์ของสเปกโตรเมตริก 2 ชนิด คือ น้ำ และน้ำผสมน้ำแข็ง เป็นกรรมวิธีที่ทดลอง เปรียบเทียบกับการไม่ลดอุณหภูมิคือ การใช้อากาศเป็นตัวกลาง รวมเป็น 3 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 3 ชุด ได้แก่

- กรรมวิธีที่ 1 การใช้อากาศ (34°C) เป็นตัวกลาง (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 2 การใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นตัวกลาง
- กรรมวิธีที่ 3 การใช้ น้ำผสมน้ำแข็ง (5°C) เป็นตัวกลาง

จากนั้นจึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. ทำการตรวจสอบเทียบ (calibrate) สายเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จำนวน 5 จุด ได้แก่ ก่อนเข้าเตาเผา หลังออกเตาเผา หลังผ่านท่อลดอุณหภูมิ ภายในห้องรวม และภายนอกห้องรวม (อุณหภูมิสภาพแวดล้อม)

3. ทำการเผาผลาญถ่านหินตามที่กำหนดคือ 0.4 และ 0.65 กิโลกรัมสำหรับผลลัพท์ 60 ตะกร้า และ 120 ตะกร้า ตามลำดับ

4. บันทึกอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (FUEL electric รุ่น PHR 22B12-E10YV) ตั้งแต่เริ่มทำการจุดแก๊สเพื่อเผาไหม้ผลลัพท์ถ่านหินจนกระทั่งการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15-17 นาที และ 25-27 นาที สำหรับผลลัพท์ถ่านหินจำนวน 0.4 และ 0.65 กิโลกรัม ตามลำดับ

5. นำผลการบันทึกทุก 1 นาที มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ของตัวกลางชนิดต่าง ๆ

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 2.10.2

เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของแก๊ส SO_2 ที่ได้จาก การเผาผลาญกำมะถันจำนวน 0.4 กิโลกรัม และ 0.65 กิโลกรัม พบว่า การใช้อากาศ (34°C) เป็นตัวกลางซึ่งเป็น ชุดควบคุมนั้นสามารถลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 เมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ลดอุณหภูมิจาก 500°C ให้เหลือ 200-220 $^{\circ}\text{C}$ หรือลดลงประมาณร้อยละ 40 (ภาพที่ 5.6) ส่วนการใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และน้ำผสม น้ำแข็ง (5°C) สามารถลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ได้ใกล้เคียงกันแต่ดีกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง โดยสามารถ ลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 จาก 500°C ให้เหลือประมาณ 150-180 $^{\circ}\text{C}$ หรือลดลงประมาณร้อยละ 70 (ภาพที่ 5.7 และ 5.8) ทั้งนี้เนื่องจากตัวกลางแต่ละชนิดมีความสามารถในการส่งถ่ายความร้อน ซึ่งพิจารณาจากค่า Biot number (Bi) ไม่เท่ากัน โดยอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 3 วัดต่อตารางเมตร $^{\circ}\text{C}$ และ 0.0267 วัดต่อเมตร $^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นค่า Bi แล้วมีค่าเท่ากับ $112.4\text{ L } [(\text{hL}/\text{k}) = 3\text{L}/0.0267]$ ส่วนน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25°C) มีค่า h และ k เท่ากับ 15 วัดต่อตารางเมตร $^{\circ}\text{C}$ และ 0.611 วัดต่อเมตร $^{\circ}\text{C}$ หรือมีค่า Bi เท่ากับ 24.6 L $[(\text{hL}/\text{k}) = 15\text{L}/0.611]$ ขณะที่น้ำ ผสมน้ำแข็งมีค่า h และ k เท่ากับ 15 วัดต่อตารางเมตร $^{\circ}\text{C}$ และ 0.568 วัดต่อเมตร $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่า Bi เท่ากับ $26.4\text{ L } [(\text{hL}/\text{k}) = 15\text{L}/0.568]$ จากค่า Bi ของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวจะเห็นว่า ตัวอากาศมีค่า Bi สูงกว่าน้ำ ที่อุณหภูมิห้องและน้ำผสมน้ำแข็งถึง 4.5-5 เท่า ซึ่งการที่ตัวกลางมีค่า Bi สูงนั้น ทำให้การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นได้เร็วกว่าตัวกลางที่มีค่า Bi ต่ำ (Mill, 1995; Holman, 1978 and Kays *et al.*, 2005) จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้การใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้องและการใช้น้ำผสมน้ำแข็งมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถันได้ใกล้เคียงกันแต่ดีกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลางหรือการไม่ลดอุณหภูมิ

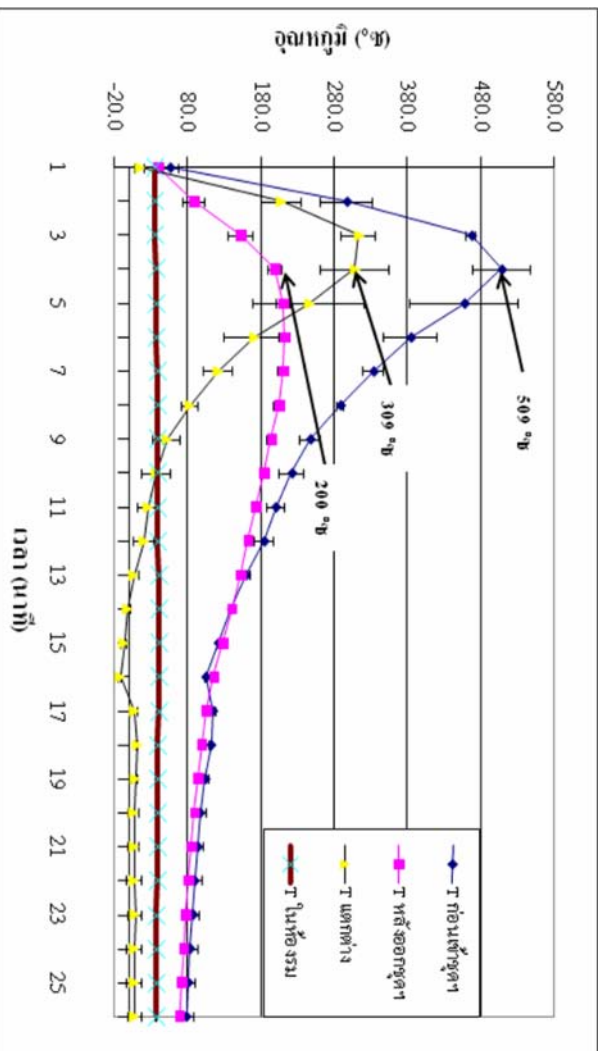
เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิภายในห้องรม SO_2 พบว่า การเผาผลาญกำมะถันจำนวน 0.4 และ 0.65 กิโลกรัม ทำให้มีอุณหภูมิสูงสุดภายในห้องเท่ากับ 41.5 และ 48.9°C ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดภายในห้องรม SO_2 นั้นพบว่า ถ้าทำการเผาผลาญกำมะถันจำนวน 0.4 และ 0.65 กิโลกรัม การใช้อากาศ เป็นตัวกลางทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิห้องเท่ากับ 5.8 และ 9.4°C ขณะที่การใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นตัวกลางทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิห้องเท่ากับ 5.4 และ 7°C ส่วนการใช้ น้ำผสมน้ำแข็งทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิห้องเท่ากับ 4.8 และ 6.7°C ตามลำดับ (ตารางที่ 2.8)

จากผลการศึกษาดังกล่าวได้พบว่า ชุดลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำที่ อุณหภูมิห้องหรือน้ำแข็งผสมน้ำสามารถลดอุณหภูมิของแก๊ส SO_2 ได้ดี รวมทั้งทำให้มีความแตกต่างของ อุณหภูมิภายในห้องน้อยกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งอีกนัยหนึ่งคือ การไม่ลดอุณหภูมิ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่มีการเผาผลาญกำมะถันปริมาณมาก การลดอุณหภูมิของแก๊ส SO_2 น่าจะเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ เพราะการเผาผลาญกำมะถันในปริมาณมากย่อมทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ภายในห้องรม SO_2 มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลได้ไฮโดรไธ

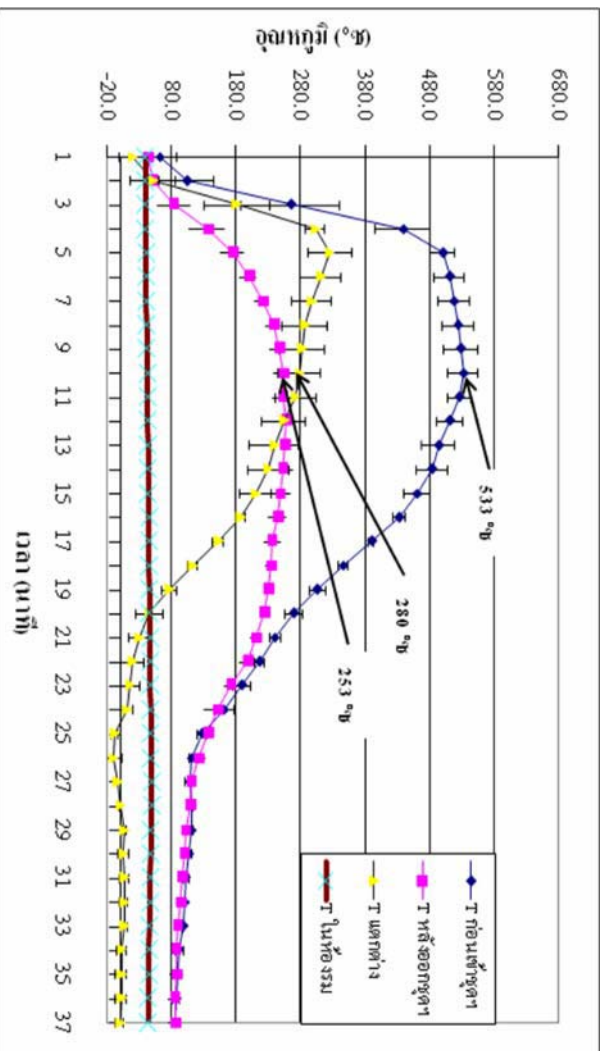
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการเลือกใช้ชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมแล้ว ควรเลือกใช้ น้ำเป็นตัวกลางในการลดอุณหภูมิมากกว่าการใช้ น้ำผสมน้ำแข็ง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานและช่วยใ้ มีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนที่ลดลง

สรุปผลการกรรรมที่ 2.10

การใช้น้ำหรือน้ำแข็งปนน้ำเป็นตัวกลางสามารถลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ก่อนเข้าสู่ห้องรม SO_2 ได้ประมาณร้อยละ 70 และช่วยให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องรม SO_2 น้อยกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลางหรือการไม่ลดอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30

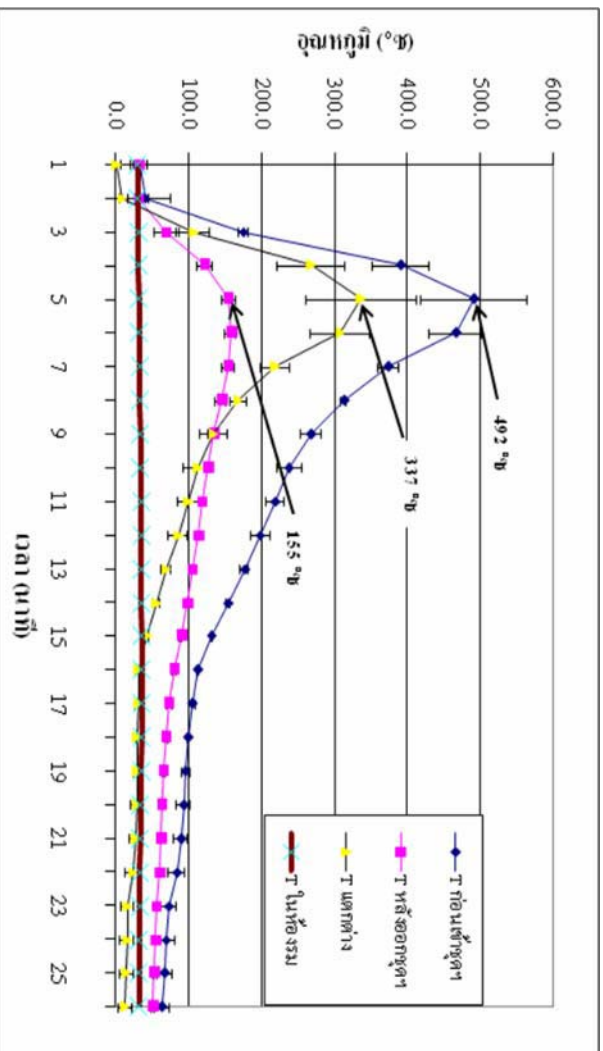


ก

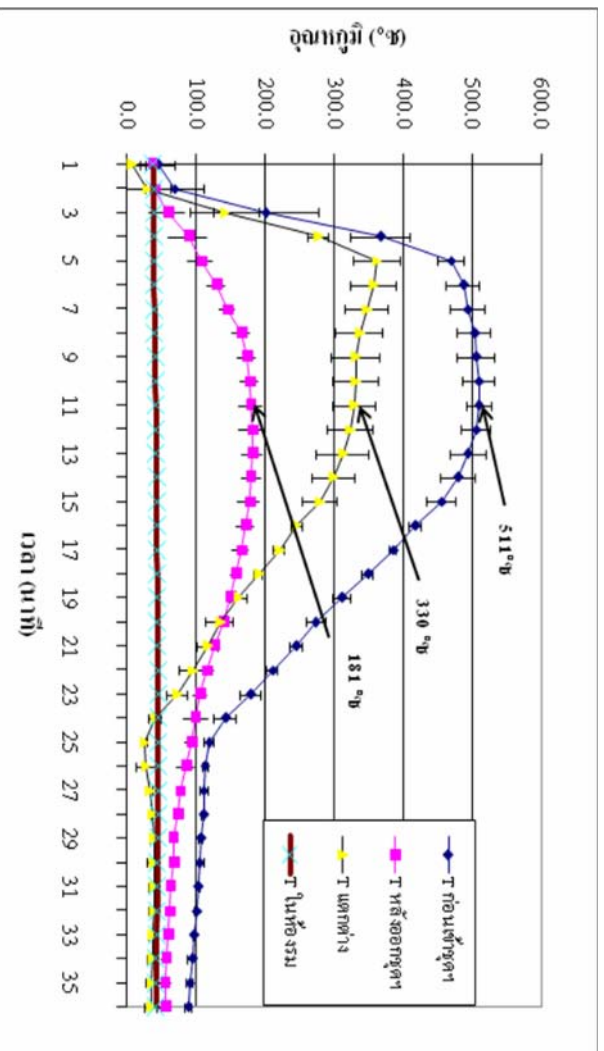


ข

ภาพที่ 56 อุณหภูมิแก๊ส SO_2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศ (34°C) เป็นตัวกลาง (ชุดควบคุม) กรณีใช้ผงกำมะถัน 0.4 กิโลกรัม (ก) และกรณีใช้ผงกำมะถัน 0.65 กิโลกรัม (ข)

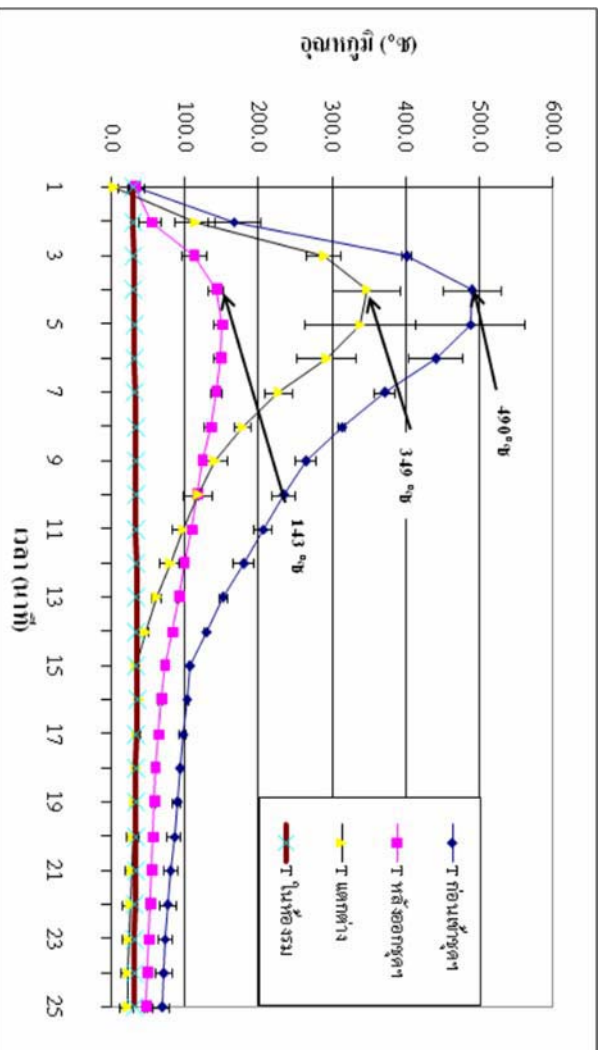


ก

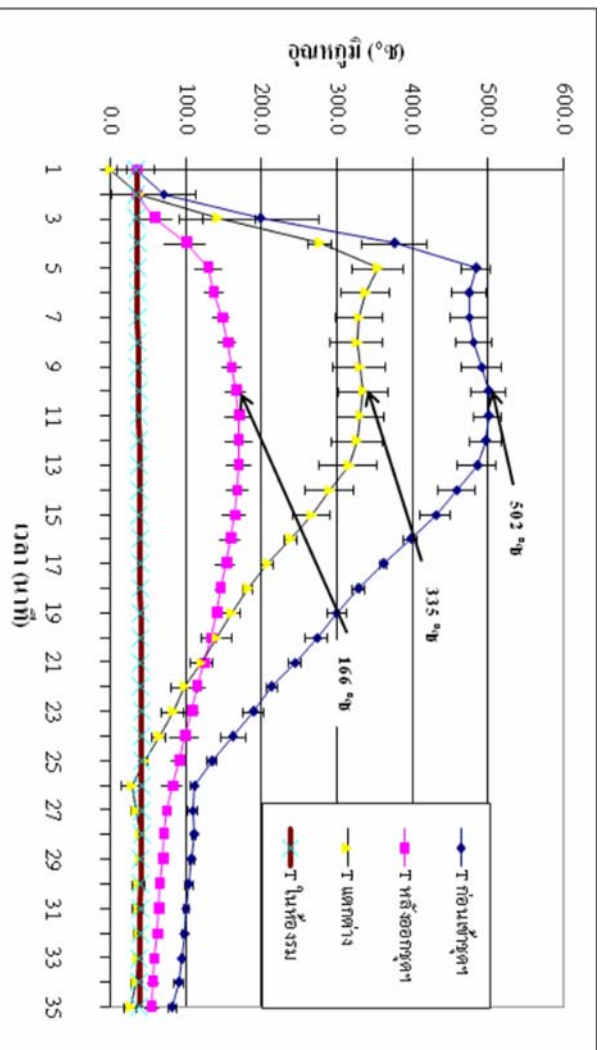


ข

ภาพที่ 57 อุณหภูมิแก๊ส SO_2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) เป็นตัวกลาง กรณีใช้ผงกำมะถัน 0.4 กิโลกรัม (ก) และกรณีใช้ผงกำมะถัน 0.65 กิโลกรัม (ข)



ก



ข

ภาพที่ 58 อุณหภูมิแก๊ส SO_2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (5°C) เป็นตัวกลาง กรณิใช้ผงกำมะถัน 0.4 กิโลกรัม (ก) และกรณีใช้ผงกำมะถัน 0.65 กิโลกรัม (ข) เป็น

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของอากาศภายในห้องรม SO₂ ระหว่างการเผาผลาญกำมะถัน
จำนวน 0.4 และ 0.65 กิโลกรัม โดยใช้ตัวกลางแต่ละชนิด

ชนิดตัวกลาง	ผงกำมะถัน 0.4 กิโลกรัม			ผงกำมะถัน 0.65 กิโลกรัม		
	อุณหภูมิต่ำสุด (°ซ)	อุณหภูมิสูงสุด (°ซ)	อุณหภูมิต่าง (°ซ)	อุณหภูมิต่ำสุด (°ซ)	อุณหภูมิสูงสุด (°ซ)	อุณหภูมิต่าง (°ซ)
อากาศ	35.6	41.5	5.8	39.4	48.9	9.4
น้ำ	30.5	35.9	5.4	38.8	45.9	7.0
น้ำผสมน้ำแข็ง	29.9	34.7	4.8	34.6	41.3	6.7

กิจกรรมที่ 3 การศึกษาระบบการรวม SO_2 จากการผสมกัมมะถันและจากถั่วอัด ความดันโดยตรงกับผลล่ำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ แนวตั้ง

การศึกษาระบบการรวม SO_2 จากการผสมกัมมะถันและจากถั่วอัดความดัน โดยตรงกับผลล่ำไยสด ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ ในกิจกรรมนี้เป็นการศึกษากับระบบหมุนเวียนแบบบังคับเพียง รูปแบบเดียวคือ แบบบังคับแบบตั้ง (vertical forced-air) ทั้งนี้เพราะผลจากการศึกษา ในกิจกรรมที่ 2 ทำให้ทราบว่า ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบรวมการรวม SO_2 กับ ผลล่ำไยสด โดยเฉพาะการตอบสนองต่อตะกร้าบรรจุผลล่ำไยทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งเป็นตะกร้าที่ใช้ในทาง การค้ามากกว่าระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอน (horizontal forced-air) และในส่วนอัตราการ ไหลของอากาศของพัดลมดูดอากาศนั้น ได้เลือกใช้อัตราการไหลของพัดลมดูดอากาศระดับเดียวคือ 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เนื่องจากมีความเหมาะสมในเรื่องของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของพัดลมดูดอากาศ มากกว่าอัตราการไหลของพัดลมดูดอากาศระดับอื่นๆ หรือในส่วนของการตะกร้าบรรจุผลล่ำไยแล้ว จะ เป็นการศึกษากในส่วนของการตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์หรือแนวทางในการ นำไปใช้ปฏิบัติในเชิงการค้ามากที่สุด

กิจกรรมที่ 3.1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 จากถั่วอัดความดันโดยตรงที่ เหมาะสำหรับการผลล่ำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

การศึกษา ในกิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้ใน การนำเอาแก๊ส SO_2 จากถั่วอัดความดันโดยตรงมาใช้ในการปฏิบัติงานจริงก่อนจะนำไปเปรียบเทียบกับ การผสมกัมมะถันซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไป

กิจกรรมวิจัยที่ปรับปรุงใหม่

1. คณะผู้วิจัย ได้เพิ่มระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรวมจากเดิม 2 ระดับ คือ 200 และ 2,000 ppm มาเป็น 3 ระดับคือ 200, 2,000 และ 4,000 ppm ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบว่า ระดับความเข้มข้น ของแก๊ส SO_2 ที่เพิ่มขึ้นจะสามารถเก็บรักษาผลล่ำไยสดได้นานขึ้นกว่าเดิม หรือยังคงมีปริมาณ SO_2 ตกค้าง ในผลล่ำไยตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อจะได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดระดับความ เข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวมของแก๊ส SO_2 ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. เปลี่ยนระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจากเดิมคือ 5°C มาเป็น 2°C ทั้งนี้เพื่อเป็นการจำลอง สภาพการณ์ของผลล่ำไยสดให้ใกล้เคียงกับวิธีปฏิบัติของสถานประกอบการ ซึ่งทำการขนส่งโดยบรรจุผล ล่ำไยในตู้คอนเทนเนอร์เย็นที่อุณหภูมิ 2°C

ระเบียบวิธีวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มีระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรมของแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง เป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธีที่ 1	ชุดควบคุม (control)
กรรมวิธีที่ 2	ระดับความเข้มข้นแก๊ส SO_2 200 ppm
กรรมวิธีที่ 3	ระดับความเข้มข้นแก๊ส SO_2 2,000 ppm
กรรมวิธีที่ 4	ระดับความเข้มข้นแก๊ส SO_2 4,000 ppm

นำผลลำไยสดพันธุ์ค้ออายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วันหลังดอกบาน จากสวนเกษตรกรในเขตอำเภอแม่วาง จ.เชียงใหม่ ที่คัดเลือกและจัดเรียงลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 60 ตะกร้า ๆ ละ 11 กิโลกรัม มาเรียงอาคารคัดบรรจุผลิตผลเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นจึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. ทำการจัดเรียงตะกร้าบรรจุผลลำไยบนแท่นวางสินค้าภายในห้องรม SO_2 โดยจัดเรียงในแนวตั้งชั้นละ 6 ตะกร้า จำนวน 10 ชั้น จากนั้นจึงนำตะกร้ามาคลุมปิดด้านข้างของตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้ง 4 ด้าน (ภาพที่ 59)



ภาพที่ 59 การจัดเรียงตะกร้าบรรจุผลลำไยภายในห้องรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่ง

2. ทำการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงเข้าไปในห้อง และให้ความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการรมตามกรรมวิธี โดยกรรมวิธีที่ 2 ใช้ปริมาณแก๊ส SO_2 เท่ากับ 0.55 กิโลกรัม และใช้เวลาปล่อยแก๊สประมาณ 5 นาที กรรมวิธีที่ 3 ใช้ปริมาณแก๊ส SO_2 เท่ากับ 0.65 กิโลกรัม และใช้เวลาปล่อยแก๊สประมาณ 6 นาที ส่วนกรรมวิธีที่ 4 ใช้ปริมาณแก๊ส SO_2 เท่ากับ 0.80 กิโลกรัม และใช้เวลาปล่อยแก๊สประมาณ 8 นาที (ภาพที่ 60)



ภาพที่ 60 การปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังวัดความดัน โดยตรงเข้าสู่ห้องรวม

3. เปิดพัดลมดูดอากาศสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยเครื่อง โดยกำหนดให้อัตราการไหลอากาศของพัดลมดูดอากาศเท่ากับ 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
4. ตรวจสอบระดับความเข้มข้นแก๊ส SO_2 ภายในห้องรวมด้วย dosimeter tube เพื่อให้มีความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรวมตามกรรมวิธี
5. กำจัดแก๊ส SO_2 ที่เหลือภายในห้องรวม โดยดูดอากาศผ่านเข้าไปในหอกำจัดแก๊สแบบเปียก (wet scrubber) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผลล้าไปออกจากห้องรวม แล้วใช้พัดลมเป่าไปยังตะกร้าบรรจุผลล้าไป (aeration) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อป้องกันการดูดแก๊สต่อเนื่อง (carry over effect)
6. คัดแยกตะกร้าบรรจุผลล้าในแต่ละกรรมวิธีในชั้นที่ 2,4,6 และ 8 ออกมาชั้นละ 5 ตะกร้า รวมเป็น 20 ตะกร้าต่อกรรมวิธี แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างผลล้าไปจากทุก ๆ ตะกร้าของแต่ละกรรมวิธี ตะกร้าละ 5 จุด ๆ ละ 5 ผล รวมเป็น 25 ผลต่อตะกร้า เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพหลังจากกรรม SO_2 ทั้งนี้ และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ทุก 5 วัน เป็นเวลา 20 วัน เพื่อจำลองสภาพการขนส่งผลล้าไปทางเรือไปตลาดต่างประเทศ ได้แก่

6.1 ปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลล้าไปยด้วยวิธี Modified Monier-William Method

6.2 การเกิดโรค โดยให้คะแนนตามความรู้แรงของการเกิดโรคบนผลล้าไปย

- 0 คะแนน หมายถึง ไม่มีการเกิดโรค
- 1 คะแนน หมายถึง มีการเกิดโรคร้อยละ 1-25 ของพื้นที่ผิวผล
- 2 คะแนน หมายถึง มีการเกิดโรคร้อยละ 26-50 ของพื้นที่ผิวผล
- 3 คะแนน หมายถึง มีการเกิดโรคร้อยละ 51-75 ของพื้นที่ผิวผล
- 4 คะแนน หมายถึง มีการเกิดโรคมากกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่ผิวผล

6.3 การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล โดยวัดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลล้าไปยด้วยเครื่องวัดสี (Minolta,

CR 10) แล้วรายงานเป็นค่า L^* (ความสว่าง), $Chroma$ (ความเข้มของสี, C^*) และ $Hue angle$ (เฉดสี, H°)

6.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากน้ำหนักผลล้าไปย ด้วยเครื่อง hand refractometer (ATAGO; N-

IE) แล้วรายงานค่าเป็นองศาบริกซ์ (°brix)

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 3.1

ก. ปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลลำไย

ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงซึ่งมีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 4,000 ppm มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกหลังจากรมทันที 2,170 ppm สูงกว่าและมีความแตกต่างทางสถิติกับผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 200 ppm ซึ่งมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกหลังจากรมทันที 1,740 และ 1,360 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 29) ทั้งนี้เนื่องจาก ระดับความเข้มข้นของ SO_2 ที่สูงย่อมทำให้มีปริมาณการตกค้างของ SO_2 สูงกว่าระดับความเข้มข้นของ SO_2 ที่ต่ำ และหลังจากเก็บรักษา ผลลำไยทุกกรรมวิธีมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกลดลง โดยผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกลดลง ใกล้ถึงกับเหลือประมาณ 950-1,000 ppm หลังจากการเก็บรักษา 20 วัน สูงกว่าและมีความแตกต่างทางสถิติกับผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 200 ppm ซึ่งมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือก 730 ppm (ตารางที่ 29) สอดคล้องกับซึ่งซึ่ง (2535) หรือจักรพงษ์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า ปริมาณการตกค้างของ SO_2 ในเปลือกและเนื้อผลลำไยจะลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษา

ส่วนปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลลำไยซึ่งพบว่า ผลลำไยทุกกรรมวิธีมีปริมาณ SO_2 ในเนื้อผลหลังจากการรมทันทีใกล้เคียงกันประมาณ 1-8 ppm และไม่พบการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลเกิดขึ้นหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน (ตารางที่ 29) สาเหตุนี้เนื่องจากเป็นไปได้ว่า ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ใช้เป็นระดับความเข้มข้นต่ำกว่าตามที่ซึ่งซึ่ง (2535) หรือสถาบันอาหาร (2541) ได้แนะนำให้ไว้คือ ประมาณ 15,000 ppm ซึ่งระดับความเข้มข้นดังกล่าวทำให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลลำไยประมาณ 30 ppm หรืออีกสาเหตุหนึ่งคือ การใช้วิธีหมუნเวียนอากาศแบบบังคับช่วยให้ความเร็วการไหลของอากาศภายในตะกร้าผลลำไยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้แก๊ส SO_2 สัมผัสกับผลลำไยโดยเฉพาะบริเวณผิวเปลือกได้มากกว่าที่จะซึมลงไปในส่วนเนื้อของผล สอดคล้องกับ จักรพงษ์ และคณะ (2550) ที่รายงานว่า ผลลำไยที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 ด้วยระบบหมუნเวียนอากาศแบบบังคับ และใช้ระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการรม 2,000 ppm มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลต่ำมากหรือไม่มีพบการตกค้างของ SO_2 เกิดขึ้นเลย

ข. การเกิดโรค

ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ทุกความเข้มข้นไม่มีการเกิดโรคปรากฏให้เห็นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน ทั้งนี้เนื่องจาก SO_2 เป็นแก๊สที่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคเน่าได้ (จักรพงษ์, 2542) ขณะที่ผลลำไยชุดควบคุมเริ่มมีการเกิดโรคปรากฏให้เห็นหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน โดยยีสะเน่นการเกิดโรค 1 คะแนน และรุนแรงมากขึ้นเป็น 2-3 คะแนน หลังจากการเก็บรักษา 15-20 วัน (ตารางที่ 30 และภาพที่ 61)

ตารางที่ 29 ปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลลำไยแต่ละกรรมวิธี หลังจากรม SO₂ ที่นัที่ และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน

คุณภาพผลลำไย	กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		หลังรมทันที	5	10	15	20
ปริมาณ SO ₂ ตกค้างในเปลือก (ppm)	หุ้ดควบคุม	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	1,360 ^c	995 ^b	920 ^b	895 ^b	730 ^b
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	1,740 ^b	1,300 ^a	1,090 ^a	956 ^{ab}	950 ^a
	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	2,170 ^a	1,180 ^a	1,160 ^a	1,090 ^a	1,000 ^a
	F-test	*	*	*	*	*
	CV (%)	4.00	7.86	7.37	7.92	3.67
ปริมาณ SO ₂ ตกค้างในเนื้อ (ppm)	หุ้ดควบคุม	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	1	0	0	0	0
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	4	0	0	0	0
	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	8	0	0	0	0
	F-test	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	CV (%)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแบบตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 30 การเกิดโรค (คะแนน) ของผลลำไยแต่ละกรรมวิธีหลังรมจากด้วย SO₂ ที่นัที่ และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน

กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	หลังรมทันที	5	10	15	20
หุ้ดควบคุม	0	1	1	2	3
แก๊ส SO ₂ 200 ppm	0	0	0	0	0
แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	0	0	0	0	0
แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	0	0	0	0	0
F-test	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CV (%)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแบบตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค. การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไย โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , C^* และค่า H^* ของสีเปลือก

ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ทุกความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง ทำให้มีค่า L^* , C^* และค่า H^* สูงขึ้น โดยผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm มีค่า L^* , C^* และค่า H^* หลังจากรรม SO_2 ที่นึ่งไกล่เดียวกัน แต่สูงกว่าและมีค่าแตกต่างทางสถิติกับผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 200 ppm และผลลำไยชุดควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 31 และภาพที่ 61) ทั้งนี้เนื่องจาก SO_2 เป็น reducing agent ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารฟอกสี (bleaching) ดังนั้นจึงช่วยให้ผลลำไยมีสีเปลือกที่สว่างมากขึ้น (จิงเก๊, 2538) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็น anti-oxidant จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลบนผิวและผลไม่ (จักรพงษ์, 2542) และหลังจากเก็บรักษา ผลลำไยทุกรรมวิธีมีสีน้ำตาลที่เปลือกผลเกิดขึ้น จึงทำให้มีค่า L^* , C^* และค่า H^* ลดลง แต่มีแนวโน้มว่า ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm เกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงยังคงมีค่า L^* , C^* และค่า H^* สูงกว่าและมีค่าแตกต่างทางสถิติกับผลลำไยทุกรรมวิธีอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจาก ความเข้มข้นของ SO_2 ที่สูง ย่อมมีคุณสมบัติในการฟอกสีและป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ได้ดีกว่าความเข้มข้นของ SO_2 ที่ต่ำ โดยหลังจากการเก็บรักษา 20 วัน ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm มีค่า L^* , C^* และค่า H^* ประมาณ 46.72-47.27, 36.71-37.35 และ 72.99-73.89 ตามลำดับ สูงกว่าผลลำไยซึ่งผ่านการรม SO_2 ระดับความเข้มข้น 200 ppm ที่มีค่า L^* , C^* และค่า H^* เท่ากับ 43.54, 34.58 และ 71.63 ตามลำดับ รวมทั้งผลลำไยชุดควบคุมที่มีค่า L^* , C^* และค่า H^* เท่ากับ 39.37, 29.24 และ 62.53 ตามลำดับ (ตารางที่ 31 และภาพที่ 61)

ง. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ผลลำไยชุดควบคุมและผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ทุกความเข้มข้น มีของแข็งที่ละลายน้ำได้หลังจากรม SO_2 ที่นึ่งไกล่เดียวกันประมาณ 17.5-19.6 องศาบริกซ์ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 32) และหลังจากเก็บรักษา ผลลำไยทุกรรมวิธีมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างไกล่เดียวกันตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 16.7-17.2 องศาบริกซ์ หลังจากเก็บรักษา 20 วัน (ตารางที่ 32)

ผลจากการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.1 ทั้งหมดที่กล่าวมา เมื่อพิจารณาถึงระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความดันโดยตรงที่มีต่อปริมาณ SO_2 และคุณภาพของผลลำไยแล้วพบว่า แก๊ส SO_2 ที่มีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 4,000 ppm ทำให้ผลลำไยมีปริมาณ SO_2 ตกค้างมากที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มข้น 2,000 และ 200 ppm ตามลำดับ และในแง่ของการเกิดโรคและยังคงสามารถป้องกันการเกิดโรคได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน แต่เมื่อพิจารณาถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลแล้วพบว่า แก๊ส SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm ทำให้ผลลำไยมีค่า L^* , C^* และค่า H^* ของสีเปลือกสูงกว่าแก๊ส SO_2 ความเข้มข้น 200 ppm ซึ่งหมายความว่า มีการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกน้อยกว่า ดังนั้นจึงทำให้ผลลำไยที่ผ่าน

การรวมตัวของแก๊ส SO₂ ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm มีสีเปลือกเหลืองสว่างมากกว่าผลลำไยที่ผ่านการรวมตัวของแก๊ส SO₂ ความเข้มข้น 200 ppm นอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่าอีกว่า ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่เหมาะสมสำหรับการรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับจากเดิมที่จักรพงษ์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาไว้คือ 2,000 ppm สามารถเพิ่มขึ้นได้เป็น 4,000 ppm โดยยังคงมีปริมาณ SO₂ ตกค้าง โดยเฉพาะในเนื้อผลต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ได้กำหนดไว้ (MRL, Maximum Residue Level) ทั้งของประเภทแคนาดาและสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 10 และ 50 ppm ตามลำดับ ขณะที่ Codex กำหนดค่า MRL ไว้เท่ากับ 30 ppm (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 31 ค่า L*, C* และ H° ของเปลือกผลลำไยแต่ละกรรมวิธีหลังจากการมด้วย SO₂ ทันที และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

คุณภาพผลลำไย	กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		หลังรมทันที	5	10	15	20
L *	ชุดควบคุม	44.10 ^c	43.13 ^c	40.46 ^c	40.22 ^c	39.37 ^c
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	45.53 ^b	46.00 ^b	45.37 ^b	43.89 ^b	43.54 ^b
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	48.38 ^a	48.27 ^a	48.46 ^a	47.16 ^a	47.27 ^a
	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	49.53 ^a	49.41 ^a	48.83 ^a	47.24 ^a	46.72 ^a
	F-test	*	*	*	*	*
C *	CV (%)	0.86	3.12	2.66	3.80	3.66
	ชุดควบคุม	31.77 ^c	31.90 ^b	30.11 ^c	28.74 ^c	29.24 ^c
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	34.11 ^b	35.99 ^{ab}	34.70 ^b	35.13 ^b	34.58 ^b
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	36.24 ^a	36.73 ^a	37.87 ^a	37.53 ^a	37.35 ^a
	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	37.09 ^a	37.53 ^a	36.73 ^a	37.09 ^a	36.71 ^a
H°	F-test	*	*	*	*	*
	CV (%)	0.97	1.63	3.40	1.60	3.74
	ชุดควบคุม	71.23 ^c	68.99 ^c	66.21 ^c	64.42 ^c	62.53 ^c
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	74.83 ^b	72.48 ^b	71.84 ^b	71.77 ^b	71.63 ^b
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	76.17 ^a	74.71 ^a	74.18 ^a	72.69 ^a	72.99 ^a
H°	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	75.92 ^a	76.74 ^a	74.95 ^a	74.11 ^a	73.89 ^a
	F-test	*	*	*	*	*
	CV (%)	0.44	1.89	1.79	1.37	1.72

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแนวตั้งที่มีตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 32 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยแต่ละกรรมวิธีหลังจากรมด้วย SO₂ วันที่ และ
หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

คุณภาพผลลำไย	กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		หลังรมทันที	5	10	15	20
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)	ชุดควบคุม	19.6	17.9	17.2	17.9	17.2
	แก๊ส SO ₂ 200 ppm	17.5	17.1	17.4	17.3	17.1
	แก๊ส SO ₂ 2,000 ppm	17.5	17.1	17.4	17.3	17.1
	แก๊ส SO ₂ 4,000 ppm	18.4	18.2	17.7	17.6	16.7
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	6.00	3.38	2.40	2.34	5.07

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแล้วพบว่า ผลลำไยที่ผ่านการรมด้วยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm ยังคงเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน เช่นเดียวกับการศึกษาของจักรพงษ์ และคณะ (2550) ซึ่งเพียงพอต่อการขนส่งทางเรือและการวางจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศพม่าประชากรจีน ซึ่งเป็นตลาดส่งออกผลลำไยรายใหญ่ที่สุดของประเทศไทย (ข้อมูลจากผู้ประกอบการ, ติดต่อส่วนตัว) และจากการทดลองเก็บรักษาผลลำไยเพิ่มชนิดอีก 10 วัน รวมเป็น 30 วัน พบว่า ผลลำไยที่ผ่านการรมด้วยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm ยังคงไม่มีการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลให้เป็นอย่างรุนแรง แต่ผลลำไยจะเกิดการแฟบ ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการสูญเสียน้ำ จึงให้มีช่องว่างระหว่างเปลือกและเนื้อผลลำไยมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติด้วย ๆ กลิ่นหมัก ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาสำหรับการยอมรับของผู้บริโภค

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 3.1

แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่มีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 2,000 และ 4,000 ppm มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการรมผลลำไยสัปดาห์ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบซึ่งมีอัตราการไหลอากาศของพัดลม 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดน้ำตาลที่เปลือกผลได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลลำไยมีปริมาณ SO₂ ตกค้าง โดยเฉพาะในเนื้อผลหลังจากรม SO₂ ทันทีไม่เกิน 8 ppm และไม่พบการตกค้างเกิดขึ้นเลยหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน



ก

ข

ภาพที่ 61 ผลลำไยแต่ละกรรมวิธีหลังจากกรรม SO_2 หนึ่ที่ (คอลัมน์ ก) และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน (คอลัมน์ ข)

กิจกรรมที่ 3.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นและรูปแบบของแก๊ส SO₂ ที่มีต่อคุณภาพผล ถ้าใช่ผ่านการรรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับกับแนวตั้ง

จากผลการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.1 ทำให้ทราบว่า แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงซึ่งมีความ
เข้มข้นหลังสิ้นสุดการรรม 2,000 และ 4,000 ppm มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการระบวนการรรม SO₂ กับ
ผลถ้าใช่สดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับกับแนวตั้ง ดังนั้นการศึกษานี้ในกิจกรรมนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้
นำเอาความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงทั้ง 2 ระดับดังกล่าว มาใช้เป็นปัจจัยในการ
กำหนดความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ ที่เหมาะสมสำหรับการรรมผลถ้าใช่สด โดยเปรียบเทียบกับแก๊ส SO₂ ที่ได้จาก
การเผาไหม้กำมะถัน ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไป ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบถึงผลที่มีต่อปริมาณ
SO₂ ตกค้างและคุณภาพของผลถ้าใช่ รวมทั้งระยะเวลา และข้อจำกัดต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน

ระเบียบวิธีวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ factorial โดย
มีปัจจัยหลักที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ หลังสิ้นสุดการรรม มี 2 ระดับ

- 2,000 ppm

- 4,000 ppm

ปัจจัยที่ 2 รูปแบบของแก๊ส SO₂ มี 2 รูปแบบ

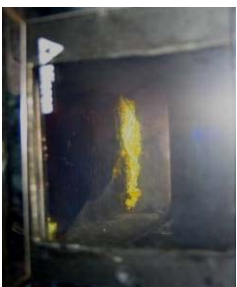
- แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

- แก๊ส SO₂ จากการเผาไหม้กำมะถัน

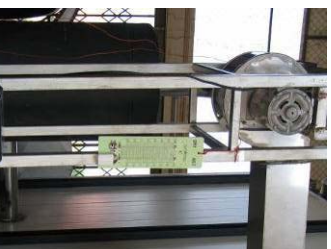
นำผลถ้าใช่สดพันธุ์คอกอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วันหลังคอกบาน จากสวนเกษตรกรในเขต
อำเภอแม่วาง จ.เชียงใหม่ ที่คัดเลือกและจัดเรียงลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 60 ตะกร้า ๆ ละ 11
กิโลกรัม มาเรียงอาคารคอกบรรจุผลผลิตเกษตร ภาควิสาหกิจ โฉนดหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นจึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. ทำการจัดเตรียมตะกร้าบรรจุผลถ้าใช่บนแผ่นวางสินค้าภายในห้องรรม SO₂ เช่นเดียวกับกิจกรรมที่
3.1

2. ปล่องแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงเข้าไปในห้อง โดยให้ความเข้มข้นของ SO₂ หลัง
สิ้นสุดการรรม 2,000 และ 4,000 ppm ซึ่งใช้ปริมาณแก๊ส SO₂ เท่ากับ 0.65 และ 0.80 กิโลกรัม และใช้เวลา
ปล่อยแก๊ส 6 นาที และ 8 นาที ตามลำดับ หรือในส่วนของผลการเผาไหม้กำมะถันแล้ว ใช้ผงกำมะถันเท่ากับ 0.33
และ 0.4 กิโลกรัม (ภาพที่ 62) พร้อมกับการเปิดชุดพัดลมหมุนเวียนอากาศเพื่อดึงอากาศภายในห้องเข้ามา
ช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ภาพที่ 63) โดยใช้เวลาในการเผาไหม้เพียงกันประมาณ 20 นาที ผงกำมะถันจึง
เผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 62 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาฟางมะถันและลักษณะฟางมะถันที่ถูกเผาไหม้



ภาพที่ 63 ชุดพัฒนาคูณอากาศเพื่อตึงอากาศในห้องเข้าช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ฟางมะถัน

3. เปิดพัฒนาคูณอากาศสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยเครื่องเป่าลม โดยกำหนดให้มีอัตราการไหลอากาศของพัฒน์เท่ากับ 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 3.1

4. ตรวจสอบและบันทึกอุณหภูมิภายในตะกร้าบรรจุผลล่ำไยจำนวน 2 จุด คือ ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 8 รวมทั้งภายในห้องรม SO_2 ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (FUII electric รุ่น PHR 22B12-E10YV) ดังภาพที่ 64



ภาพที่ 64 การเสียบสาย thermocouple ชนิด type T เข้าไปในตะกร้าบรรจุผลล่ำไย และภายในห้องรม SO_2

5. ตรวจสอบระดับความเข้มข้นแก๊ส SO_2 ภายในห้องรมด้วย dosimeter tube เพื่อให้ความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรมตามกรรมวิธี

6. กำจัดแก๊ส SO_2 ที่เหลือภายในห้องรม เช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 3.1

7. คัดแยกตะกร้าบรรจุผลล่ำไยแต่ละกรรมวิธี แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างผลล่ำไย ไปตรวจสอบคุณภาพทั้งหลังจากรวม SO_2 ทันที และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ทุก 5 วัน เป็นเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 3.1

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 3.2

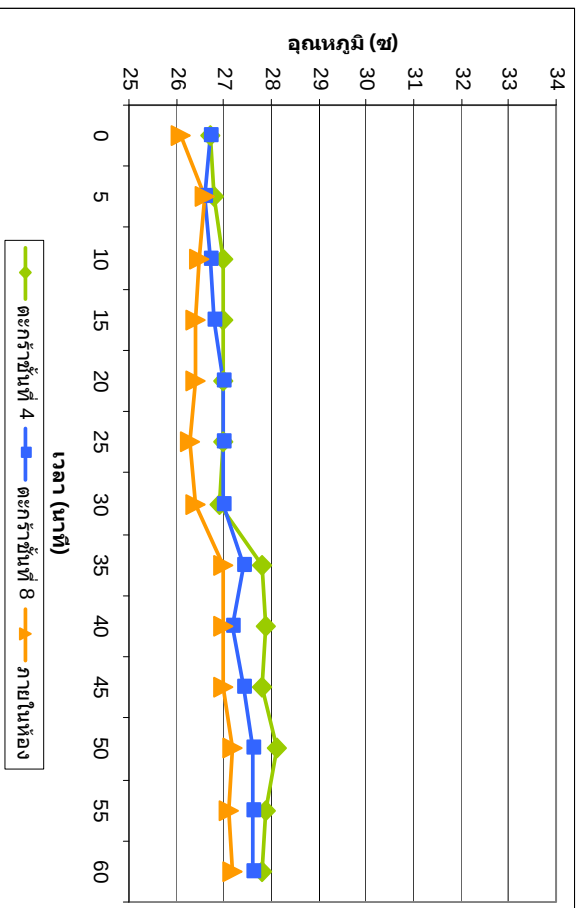
3.2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดัน

โดยตรงและจากการเผาผลาญกำมะถันกับผลล้าไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตัวตั้ง

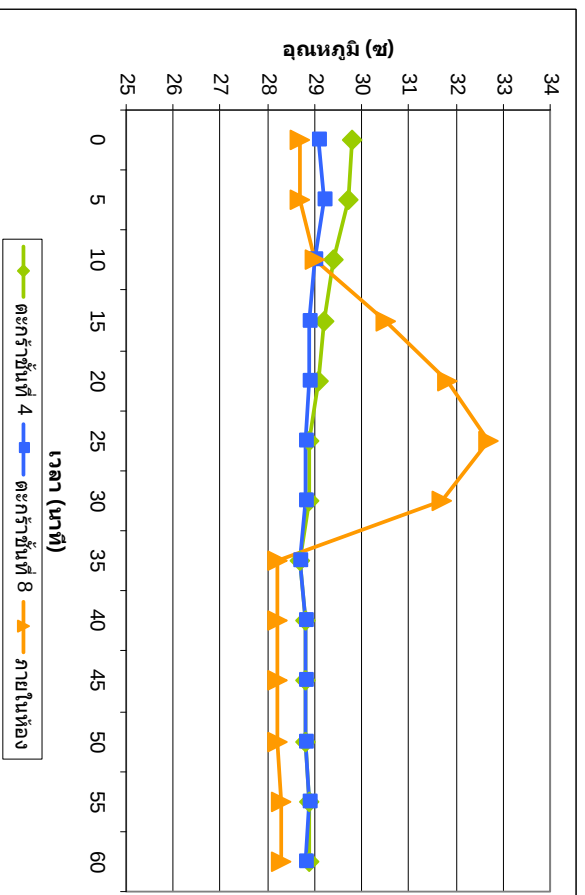
จากการตรวจวัดและบันทึกระดับอุณหภูมิภายในตะกร้าบรรจุผลล้าไยชั้นที่ 4 และ ชั้นที่ 8 รวมทั้งภายในห้องรวม SO₂ ทุก ๆ 5 นาที พบว่า กระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงทำให้มีอุณหภูมิภายในตะกร้าบรรจุผลล้าไยและภายในห้องรวม SO₂ เฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 26.71-27.32 °ซ ขณะที่กระบวนการรวม SO₂ จากการเผาผลาญกำมะถันทำให้มีอุณหภูมิภายในตะกร้าบรรจุผลล้าไยและภายในห้องรวม SO₂ เฉลี่ยประมาณ 28.88-29.42 °ซ (ภาพที่ 65 ข และตารางที่ 33) ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงเฉลี่ยแล้วประมาณ 2 °ซ ซึ่งสาเหตุนี้เนื่องจากการเผาผลาญกำมะถันทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 30 นาทีแรกของการรวม SO₂ ซึ่งเป็นช่วงที่ผลล้าไยและอุณหภูมิกำมะถันกำลังถูกเผาไหม้ ซึ่งมีอุณหภูมิภายในห้องรวม SO₂ เพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 32.7 °ซ (ภาพที่ 65 ข) จึงส่งผลให้ภายในตะกร้าบรรจุผลล้าไยและภายในห้องรวม SO₂ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ขณะที่กระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงทำให้มีอุณหภูมิภายในห้องรวม SO₂ เพิ่มขึ้นสูงสุดเพียง 27.2 °ซ หรือน้อยกว่าประมาณ 5.5 °ซ

ตารางที่ 33 อุณหภูมิ (°ซ) ภายในตะกร้าบรรจุผลล้าไยและในห้องรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญกำมะถันกับผลล้าไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตัวตั้ง

เวลา (นาที)	การใช้แก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง			การเผาผลาญกำมะถัน		
	ตะกร้าชั้นที่ 4	ตะกร้าชั้นที่ 8	ห้องรวม SO ₂	ตะกร้าชั้นที่ 4	ตะกร้าชั้นที่ 8	ห้องรวม SO ₂
0	26.7	26.7	26.1	29.8	29.1	28.7
5	26.8	26.6	26.6	29.7	29.2	28.7
10	27	26.7	26.5	29.4	29.0	29
15	27	26.8	26.4	29.2	28.9	30.5
20	27	27.0	26.4	29.1	28.9	31.8
25	27	27.0	26.3	28.9	28.8	32.7
30	26.9	27	26.4	28.9	28.8	31.7
35	27.8	27.4	27	28.7	28.7	28.2
40	27.9	27.2	27	28.8	28.8	28.2
45	27.8	27.4	27	28.8	28.8	28.2
50	28.1	27.6	27.2	28.8	28.8	28.2
55	27.9	27.6	27.1	28.9	28.9	28.3
60	27.8	27.6	27.2	28.9	28.8	28.3
เฉลี่ย	27.36	27.12	26.71	29.07	28.88	29.42



ก



ข

ภาพที่ 65 เปรียบเทียบระดับอุณหภูมิภายในตะแกรงบรรจุผลลำไยและภายในห้องรม SO_2 ของกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (ก) และจากการเผาง่ามะลิ (ข)

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 3.2.1

กระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยไฟ้การใช้การเผาง่ามะลิทำให้มีอุณหภูมิภายในตะแกรงบรรจุผลลำไยและภายในห้องรม SO_2 เติบโตสูงกว่าการใช้ SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงประมาณ 2°C

3.2.2 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมัก SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญกับผลล้าไฮสคัลด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

กระบวนการหมัก SO_2 ที่นี้ที่ได้จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาผลาญกับผลล้าไฮสคัลด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งใช้เวลาการปฏิบัติงานทุกชิ้นตอนรวมแล้วใกล้เคียงกับประมาณ 112-125 นาที หรือมีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 10 (ตารางที่ 34) ยกเว้นในส่วนขั้นตอนการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาผลาญกัน ซึ่งพบว่า การปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงใช้เวลาประมาณ 6-8 นาที ขณะที่การเผาผลาญกับผลล้าใช้เวลาประมาณ 20 นาที หรือมากกว่าประมาณ 3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจาก การเผาผลาญกับผลล้ามีขั้นตอนการปฏิบัติงานมากกว่าทั้งการฉีดพ่นแอลกอฮอล์เพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ การจุดติดแก๊ส รวมถึงการเปิดชุดพัดลมเพื่อดึงอากาศภายในห้องเข้ามาช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาผลาญกับผลล้า ต่างจากการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง ซึ่งมีขั้นตอนแค่การเปิดและปิดวาล์วถึงแก๊สเมื่อได้ปริมาณแก๊ส SO_2 ตามต้องการ ดังนั้นในแง่การปฏิบัติงานแล้วจึงกล่าวได้ว่า การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีความสะดวกและมีความแม่นยำ โดยเฉพาะในส่วนความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 ที่ได้มากกว่าการเผาผลาญกับผลล้าซึ่งต้องตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 34 เวลา (นาที) ที่ใช้ในกระบวนการหมัก SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญกับผลล้าไฮสคัลด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

กระบวนการหรือขั้นตอน	ถังอัดความดันโดยตรง		เผาผลาญแก๊ส	
	2,000 ppm	4,000 ppm	2,000 ppm	4,000 ppm
การปล่อยแก๊ส SO ₂ หรือการเผาผลาญแก๊ส	6	8	20	20
การหมุนเวียนอากาศจนมีความเข้มข้นของ SO ₂ ตามกรรมวิธี	60	60	60	60
การกำจัดแก๊ส SO ₂ ที่เหลือภายในห้องรม	30	30	30	30
การทำ aeration	15	15	15	15
เวลารวมทั้งสิ้น	111	113	125	125
เวลารวม (เฉลี่ย)	112		125	
ความแตกต่าง (ร้อยละ)	10			

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 3.2.2

กระบวนการหมัก SO_2 ที่นี้ที่ได้จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาผลาญกับผลล้าไฮสคัลด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งใช้เวลาปฏิบัติงานทุกชิ้นตอนรวมแล้วใกล้เคียงกันประมาณ 112-125 นาที หรือมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 ยกเว้นในส่วนขั้นตอนการปล่อยแก๊ส SO_2 และการเผาผลาญกับผลล้า ซึ่งพบว่า ในระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 ที่เท่ากัน การเผาผลาญกับผลล้าใช้เวลามากกว่าการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงประมาณ 3 เท่า

3.2.3 ปริมาณ SO_2 ตกค้าง รวมทั้งคุณภาพของผลล้าไยหลังจากกรม SO_2 ทันทีและหลังจากเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

ผลล้าไยที่ผ่านการกรม SO_2 ทั้งที่ได้จากองค์ความต้นโดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกหลังการหมักที่ใกล้เคียงกันประมาณ 1,710-1,955 ppm แต่ในแง่ระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการหมักแล้ว มีแนวโน้มว่า ความเข้มข้น 4,000 ppm ทำให้มีการตกค้างของ SO_2 ในเปลือกเท่ากับ 2,095 ppm สูงกว่าและมีความแตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้น 2,000 ppm ที่มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกเท่ากับ 1,575 ppm (ตารางที่ 35) และหลังจากเก็บรักษา ผลล้าไยทุกกรรมวิธีมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกลดลงอย่างใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลประมาณ 850-1,100 ppm หรือเฉลี่ยแล้วลดลงประมาณร้อยละ 50-60 หลังจากการเก็บรักษา 20 วัน (ตารางที่ 35) ส่วนปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลนั้นพบว่า ผลล้าไยทุกกรรมวิธีมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลหลังจากการหมักที่ใกล้เคียงกันประมาณ 2-8 ppm และไม่พบการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลเกิดขึ้นเลยหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน (ตารางที่ 35) ผลการศึกษาดังกล่าว เป็นไปในทำนองเดียวกันกับการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.1 ซึ่งพบว่า แก๊ส SO_2 จากองค์ความต้นโดยตรงระดับความเข้มข้น 4,000 ppm ทำให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลล้าไยมากกว่าระดับความเข้มข้น 2,000 ppm รวมทั้งมีการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลไม่เกิน 8 ppm ทั้งนี้เนื่องจาก ดังที่ได้อธิบายไปแล้วว่า การใช้ความเข้มข้นของ SO_2 ที่สูงย่อมทำให้มีปริมาณ SO_2 ตกค้างสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ต่ำ และการใช้วิธีหมักในเวียนอากาศแบบบังคับช่วยให้ความเร็วการไหลของอากาศภายในตะกร้าผลล้าไยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้แก๊ส SO_2 สัมผัสกับผลล้าไยโดยเฉพาะบริเวณผิวเปลือกได้มากกว่าที่จะซึมลงไปในส่วนเนื้อของผล

เช่นเดียวกับการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ซึ่งผลล้าไยทุกกรรมวิธีไม่มีการเกิดโรคปรากฏให้เห็นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน ดังนั้นจึงไม่ได้แสดงข้อมูลให้เห็น และการใช้แก๊ส SO_2 ทั้งจากองค์ความต้นโดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันซึ่งมีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการหมัก 2,000 และ 4,000 ppm สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 66 และ 67) เนื่องจากมีค่า L*, C* และ H* ของเปลือกผลล้าไยหลังจากการหมักที่ใกล้เคียงกันประมาณ 48.17-50.10, 36.03-38.14 และ 75.23-76.99 แล้วลดลงเหลือประมาณ 45.77-47.82, 35.79-37.36 และ 71.01-73.89 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หรือเฉลี่ยแล้วลดลงประมาณร้อยละ 5 หลังจากการเก็บรักษา 20 วัน (ตารางที่ 36)

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้นั้นพบว่า ผลล้าไยที่ผ่านการกรม SO_2 ทั้งที่ได้จากองค์ความต้นโดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันในทุกระดับความเข้มข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้หลังจากการหมัก SO_2 ทันทีประมาณ 17.4-19.9 องศาบริกซ์ แล้วลดลงเหลือประมาณ 16.7-18.2 องศาบริกซ์ หรือเฉลี่ยแล้วลดลงประมาณร้อยละ 7 หลังจากการเก็บรักษา 20 วัน (ตารางที่ 35) ซึ่งจากการทดลองชิมแล้วมีรสชาติหวานและยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



ก

ข

ภาพที่ 66 ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังความดันโดยตรงและการเผาฟุ้งกำมะถัน (S) ซึ่งมีระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 2,000 ppm หลังจากรมทันที (ก) และหลังจากเก็บรักษา (ข)



ก

ข

ภาพที่ 67 ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังความดันโดยตรงและการเผาฟุ้งกำมะถัน (S) ซึ่งมีระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 4,000 ppm หลังจากรมทันที (ก) และหลังจากเก็บรักษา (ข)

ผลจากการศึกษาในส่วนของกิจกรรมที่ 3.2 จึงสามารถกล่าวได้ว่า การใช้แก๊ส SO_2 ในรูปแบบต่างๆ ทั้งจากถึงอากาศตามต้นโดยตรงหรือการเผาผลาญกำมะถัน รวมทั้งระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรวมทั้ง 2 ระดับคือ 2,000 และ 4,000 ppm สามารถนำมาใช้ในกระบวนการรวม SO_2 กับผลล้าโยสคด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งได้ โดยสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ และที่ค่าเฉลี่ยคือ ช่วยให้ได้ผลล้าโยปริมาณ SO_2 ตกค้าง โดยเฉพาะในเมื่อผลต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่กำหนดไว้เช่นเดียวกับการศึกษาในกิจกรรมที่

3.1

แต่จากการสังเกตด้วยสายตาเกี่ยวกับสีผิวของผลล้าโยทั้งหมดจากผู้วิจัย ที่ปรึกษาโครงการ และผู้ประกอบการแล้วมีความเห็นว่า ผลล้าโยที่ผ่านการรวม SO_2 ซึ่งมีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวม 4,000 ppm มีสีเปลือกเหลืองค่อนข้างสวยงามกว่าผลล้าโยที่ผ่านกรรม SO_2 ซึ่งมีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวม 2,000 ppm และในระดับความเข้มข้นของ SO_2 ที่เท่ากันแล้ว การใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถันทำให้ผลล้าโยมีเปลือกสีเหลืองนวลและค่อนข้างสวยงามกว่าการใช้แก๊ส SO_2 จากถึงอากาศตามต้นโดยตรง ซึ่งสาเหตุนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่สันนิษฐานว่า อาจจะเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องรวม SO_2 เนื่องจากการเผาผลาญกำมะถันนั้นมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้ภายในห้องรวม SO_2 มีอุณหภูมิสูงขึ้น และอาจไปช่วยเร่งปฏิกิริยาการฟอกสีให้เกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น แต่ข้อดีของการใช้แก๊ส SO_2 จากถึงอากาศตามต้นโดยตรงคือ มีกลิ่นของแก๊ส SO_2 ติดอยู่ที่ผิวของผลล้าโยน้อยกว่าการเผาผลาญกำมะถัน ซึ่งอาจช่วยให้ผู้บริโภคการยอมรับในคุณภาพของผลล้าโยได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามข้อสังเกตดังกล่าวนี้ ส่วนใหญ่เป็นการประเมินในเชิงจิตวิสัย (subjective) และมักจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนเมื่อสังเกตด้วยสายตาตามภาพถ่าย ซึ่งถ้ามีการศึกษาการสร้างต่อไป คณะผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อสังเกตกล่าวมีลักษณะเป็นการประเมินในเชิงวัตถุวิสัย (objective) มากยิ่งขึ้น

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 3.2

แก๊ส SO_2 ทั้งที่ได้จากถึงอากาศตามต้นโดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันซึ่งมีระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวม 4,000 ppm มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการรวม SO_2 กับผลล้าโยสคด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้ง โดยสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ และยังช่วยให้ผลล้าโยมีปริมาณ SO_2 ตกค้าง โดยเฉพาะในเมื่อผลต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่กำหนดไว้

ตารางที่ 35 ปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกและเนื้อผลลำไย รวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้หลังรม SO₂ ทันที และหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}
		2,000	4,000			2,000	4,000			2,000	4,000	
หลังจาก รมทันที	ปริมาณ SO ₂ ตกค้างในเปลือก (ppm)				ปริมาณ SO ₂ ตกค้างในเนื้อ (ppm)				ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)			
	ถึงขีดความดัน	1,740	2,170	1,955	ถึงขีดความดัน	2	8	5	ถึงขีดความดัน	17.5	18.4	17.9
	ผงกำมะถัน	1,410	2,010	1,710	ผงกำมะถัน	6	8	7	ผงกำมะถัน	19.9	17.4	18.7
	เฉลี่ย ^{2/}	1,575 ^y	2,095 ^x		เฉลี่ย ^{2/}	4	8		เฉลี่ย ^{2/}	18.7	17.9	
	CV = 9.35 %				CV = 14.67%				CV = 13.45 %			
5 วัน	ถึงขีดความดัน	1,300	1,180	1,240	ถึงขีดความดัน	0	0	0	ถึงขีดความดัน	17.2	18.2	17.7
	ผงกำมะถัน	1,090	1,230	1,160	ผงกำมะถัน	0	0	0	ผงกำมะถัน	17.3	17.8	17.6
	เฉลี่ย ^{2/}	1,095	1,205		เฉลี่ย ^{2/}	0	0		เฉลี่ย ^{2/}	17.2	18.0	
	CV = 11.15 %				CV = N/A				CV = 4.86 %			
10 วัน	ถึงขีดความดัน	1,090	1,160	1,125	ถึงขีดความดัน	0	0	0	ถึงขีดความดัน	17.4	17.7	17.5
	ผงกำมะถัน	945	1,180	1,060	ผงกำมะถัน	0	0	0	ผงกำมะถัน	18.2	17.4	17.8
	เฉลี่ย ^{2/}	1,020	1,170		เฉลี่ย ^{2/}	0	0		เฉลี่ย ^{2/}	17.8	17.6	
	CV = 12.88 %				CV = N/A				CV = 3.51 %			
15 วัน	ถึงขีดความดัน	960	1,095	1,030	ถึงขีดความดัน	0	0	0	ถึงขีดความดัน	17.4	17.6	17.5
	ผงกำมะถัน	890	1,160	1,025	ผงกำมะถัน	0	0	0	ผงกำมะถัน	17.9	17.1	17.5
	เฉลี่ย ^{2/}	925 ^y	1,130 ^x		เฉลี่ย ^{2/}	0	0		เฉลี่ย ^{2/}	17.6	17.4	
	CV = 6.64 %				CV = N/A				CV = 4.40 %			
20 วัน	ถึงขีดความดัน	950	1,000	975	ถึงขีดความดัน	0	0	0	ถึงขีดความดัน	17.1	16.7	16.9
	ผงกำมะถัน	850	1,100	975	ผงกำมะถัน	0	0	0	ผงกำมะถัน	18.2	16.9	17.6
	เฉลี่ย ^{2/}	900 ^y	1,050 ^x		เฉลี่ย ^{2/}	0	0		เฉลี่ย ^{2/}	17.6	16.8	
	CV = 8.40 %				CV = N/A				CV = 6.13 %			

^{1/2/} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งและแนวนอนที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, C* และ H° ของเปลือกผลลำไยหลังรม SO₂ ทันทีและหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}	รูปแบบ แก๊ส SO ₂	ระดับความเข้มข้น (ppm)		เฉลี่ย ^{1/}
		2,000	4,000			2,000	4,000			2,000	4,000	
หลังจาก รมทันที	ค่า L*				ค่า C*				ค่า H ^o			
	ถึงอัดความดัน	48.39	49.53	48.96	ถึงอัดความดัน	36.24	37.09	36.67	ถึงอัดความดัน	76.18	75.92	76.05
	พวงก้ามะถัน	48.17	50.10	49.14	พวงก้ามะถัน	36.03	38.14	37.09	พวงก้ามะถัน	75.23	76.99	76.11
	เฉลี่ย ^{2/}	48.28	49.82		เฉลี่ย ^{2/}	36.14	37.61		เฉลี่ย ^{2/}	75.71	76.46	
		CV = 2.86 %				CV = 2.17 %				CV = 1.02 %		
5 วัน	ถึงอัดความดัน	48.28	49.41	48.85	ถึงอัดความดัน	36.74	37.53	37.14	ถึงอัดความดัน	74.72	76.75	75.73
	พวงก้ามะถัน	47.32	49.65	48.48	พวงก้ามะถัน	36.74	37.12	36.93	พวงก้ามะถัน	75.45	75.39	75.42
	เฉลี่ย ^{2/}	47.8	49.53		เฉลี่ย ^{2/}	36.74	37.33		เฉลี่ย ^{2/}	75.08	76.07	
		CV = 2.71 %				CV = 1.63 %				CV = 1.65 %		
10 วัน	ถึงอัดความดัน	48.47	48.84	48.65	ถึงอัดความดัน	37.88	36.74	37.31	ถึงอัดความดัน	74.19	74.96	74.57
	พวงก้ามะถัน	47.00	48.37	47.68	พวงก้ามะถัน	36.43	36.84	36.63	พวงก้ามะถัน	74.55	74.01	74.28
	เฉลี่ย ^{2/}	47.73	48.60		เฉลี่ย ^{2/}	37.15	36.79		เฉลี่ย ^{2/}	74.37	74.48	
		CV = 2.88 %				CV = 1.90 %				CV = 1.83 %		
15 วัน	ถึงอัดความดัน	47.16	47.25	47.21	ถึงอัดความดัน	37.53	37.09	37.31	ถึงอัดความดัน	72.7	74.12	73.41
	พวงก้ามะถัน	46.69	48.03	47.36	พวงก้ามะถัน	36.35	36.66	36.5	พวงก้ามะถัน	73.63	75.35	74.49
	เฉลี่ย ^{2/}	46.93	47.64		เฉลี่ย ^{2/}	36.94	36.87		เฉลี่ย ^{2/}	73.16	74.73	
		CV = 3.65 %				CV = 2.06 %				CV = 1.25 %		
20 วัน	ถึงอัดความดัน	47.28	46.73	47.00	ถึงอัดความดัน	37.36	36.72	37.04	ถึงอัดความดัน	73.00	73.89	73.44
	พวงก้ามะถัน	45.77	47.82	46.80	พวงก้ามะถัน	35.79	35.93	35.86	พวงก้ามะถัน	71.01	73.50	72.26
	เฉลี่ย ^{2/}	46.53	47.27		เฉลี่ย ^{2/}	36.58	36.32		เฉลี่ย ^{2/}	72.00	73.70	
		CV = 3.18 %				CV = 3.38 %				CV = 1.92 %		

^{1/2/} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งและแนวนอนที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

กิจกรรมที่ 3.3 การศึกษาร่วมกับผู้ประกอบการในการส่งออกผลล่ำยสดที่ผ่านกระบวนการหมุมเวียนอากาศแบบบังคับไปยั้งตลาดต่างประเทศ พร้อมทั้งศึกษาถึงการยอมรับของพ่อค้าหรือผู้บริโภค

กระบวนการหมุม SO_2 กับผลล่ำยสดด้วยระบบหมุมเวียนอากาศแบบบังคับแล้วตั้งล่ำยไว้บริเวณนี้ คณะผู้วิจัยได้นำผลการศึกษาทั้งหมดในกิจกรรมที่ 3.2 มาพิจารณาพร้อมกับที่ปรึกษาโครงการรวมทั้งผู้ประกอบแล้วได้ข้อสรุปว่า จะเลือกใช้แก๊ส SO_2 ที่ได้จากถึงอัตราความคั้นโดยตรง และใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการหมุมเท่ากับ 4,000 ppm ทั้งนี้เนื่องจาก

1. ผู้ประกอบการต้องการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่า แก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความคั้นโดยตรง สามารถนำมาใช้งานในระดับปฏิบัติการจริงกับผลล่ำยสดเพื่อส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศได้จริงหรือไม่ทั้งความสามารถในการป้องกันโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลล่ำย รวมทั้งคุณภาพอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับผลล่ำยที่ผ่านกระบวนการหมุม SO_2 ตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการซึ่งใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญแก๊สเป็นส่วนใหญ่

2. ในส่วนระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการหมุม ซึ่งถึงแม้ว่าในทางสถิติแล้ว แก๊ส SO_2 ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 ppm มีผลต่อปริมาณ SO_2 ตกค้าง รวมทั้งคุณภาพของผลล่ำยก็ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 34 และภาพที่ 66 และ 67) แต่สิ่งที่ได้กล่าวไปแล้วว่า เมื่อพิจารณาด้วยสายตา แก๊ส SO_2 ที่มีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการหมุม 4,000 ppm ช่วยยให้ผลล่ำยมีผิวเปลือกเหลืองสวยงามและเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าแก๊ส SO_2 ที่มีความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการหมุม 2,000 ppm

กิจกรรมวิจัยที่ปรับปรุงใหม่

คณะผู้วิจัยได้มีการเปลี่ยนแปลงตลาดต่างประเทศจากเดิมคือ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนและอินโดนีเซียมาเป็นประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนและฮ่องกง ทั้งนี้เพราะหลังจากที่ได้หารือกับที่ปรึกษาโครงการแล้วมีความเห็นว่า ในปัจจุบันประเทศไทยสาธารณรัฐประชาชนจีนและฮ่องกงถือว่าเป็นตลาดบนล่ำยรับผลไม่สุด โดยทั้งผู้ค้าและผู้ซื้อหรือผู้บริโภคได้หันมาให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลล่ำยมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นจึงน่าจะมีความสำคัญภาพในการทดสอบตลาด รวมทั้งการยอมรับของผู้ค้าหรือผู้ซื้อได้ดีกว่าประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งถือเป็นตลาดล่ำยที่มุ่งเน้นในเรื่องปริมาณของล่ำยมากกว่าคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการส่งผลล่ำยไปยังประเทศอื่น ๆ ผ่านกระบวนการ SO_2 ดังกล่าวทางไปยั้งประเทศฮ่องกงเครื่องบินด้วย

กิจกรรมที่ 3.3.1 การส่งออกผลลำไยสดที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งไปยังประเทศฮ่องกงทางเครื่องบิน

กิจกรรมนี้เป็นการศึกษาร่วมกับสถานประกอบการคือ บริษัท ไทยองผลไม้ จำกัด ที่ได้มีการส่งออกผลลำไยสดซึ่งไม่ผ่านการรม SO_2 ไปยังประเทศฮ่องกงทางเครื่องบิน โดยสามารถจำหน่ายได้ราคาดี (แพงกว่าผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ประมาณ 3 เท่า) และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคอย่างมากเนื่องจากมีความสดและมีกลิ่นหอมของเนื้อผลลำไยมากกว่าผลลำไยสดที่ผ่านการรมด้วย SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน ซึ่งมีกลิ่นของแก๊ส SO_2 ติดอยู่ที่ผิวของผลลำไย แต่อย่างไรก็ตาม ผลลำไยสดที่ไม่ผ่านการรม SO_2 มักมีข้อจำกัดคือมีอายุการวางจำหน่ายค่อนข้างสั้นประมาณ 2-3 วัน เนื่องจากเปลือกของผลลำไยมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

และผลจากการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.2 ซึ่งผู้ประกอบการได้เข้าร่วมตรวจสอบคุณภาพผลลำไยด้วยพบว่า ผลลำไยสดที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีกลิ่นของแก๊ส SO_2 ติดอยู่ที่ผิวของผลลำไยน้อยมากเมื่อเทียบกับการเผาผลาญกำมะถัน ดังนั้นจึงจะนำมาทดลองใช้เพื่อลดข้อจำกัดเกี่ยวกับกลิ่นของแก๊ส SO_2 ที่ติดมากับผิวของผลลำไย และช่วยให้ผลลำไยมีอายุการวางจำหน่ายได้นานขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

1. นำผลลำไยสดพันธุ์ค้อที่คัดเลือกและจัดเรียงลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจากสวนเกษตรกรที่รับซื้อโดยบริษัท ไทยองผลไม้ จำกัด จำนวน 60 ตะกร้า ๆ ละ 11 กิโลกรัม มายังอาคารผลิตบรรจุผลเกษตร ภาควิสาหกิจโน โดลย์หลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. รม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงกับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งและใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรม 4,000 ppm โดยยี่สิบตอน พร้อมทั้งการสุ่มเก็บตัวอย่างผลลำไยจำนวน 4 ตะกร้า เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพหลังจากการรม SO_2 ทั้งนี้ และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.2

3. จนส่งผลลำไยจำนวน 56 ตะกร้าที่เหลือ ไปยังบริษัท ไทยองผลไม้ จำกัด อ.เวียงหนองล่อง จ.ลำพูน จากนั้นจึงนำไปจัดเรียงในกล่องโฟม กล่องละ 13 กิโลกรัม (ภาพที่ 68) และจัดเรียงในรถกระบะขนานตเล็กลงไปยังสนามบิน จ.เชียงใหม่ ในวันรุ่งขึ้น (ภาพที่ 69) เพื่อขนส่งทางเครื่องบิน ไปยังสนามบินสุวรรณภูมิ จ. กรุงเทพฯ และประเทศฮ่องกงต่อไป



ภาพที่ 68 การจัดเรียงผลลำไยสดลงในกล่องโฟมเพื่อทำการขนส่งทางเครื่องบิน



ภาพที่ 69 การจัดเรียงกล่องโฟมบรรจุผลลำไยลงในตู้ขนส่งสินค้าทางเครื่องบิน ณ สนามบิน จ.เชียงใหม่

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 3.3.1

ผลลำไยสดที่ผ่านการรวม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ แนวตั้งและมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรวม 4,000 ppm มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือก หลังจาการหมักที่ 1,735 ppm และไม่พบการตกค้างในส่วนของเนื้อผล โดยยังคงสามารถป้องกันกาเกิดโรค และการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยซึ่งพิจารณาจากค่า L^* , C^* และ H^* ได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 37) ซึ่งนำไปในการทำนงเดียวกับการศึกษา ในกิจกรรมที่ 3.2

ตารางที่ 37 ปริมาณ SO_2 ตกค้างและคุณภาพหลังจากรวม SO_2 ทันที และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 วัน ของผลลำไยสดที่ผ่านการรวม SO_2 จากถังอัดความดันด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง ซึ่งขนส่งทางเครื่องบิน ไปยังประเทศฮ่องกง

คุณภาพผลลำไย		หลังรมทันที		ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
				5	10	15	20	
ปริมาณ SO_2 ตกค้าง (ppm)	เปลือก	1,735	1,230	1,120	940	920	920	
	เนื้อ	0	0	0	0	0	0	
การเกิดโรค (คะแนน)		0	0	0	0	0	0	
การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล		L^*	50.1	48.8	48.2	48.4	48.5	
		C^*	40.3	38.8	39.0	39.5	40.2	
		H^*	73.0	71.3	72.4	72.0	68.0	
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)		17.8	17.5	18.1	18.3	18.6		

อย่างไรก็ตามในส่วนของคุณภาพ รวมทั้งการยอมรับจากผู้บริโภคแล้ว คณะผู้วิจัยไม่แนะนำให้เดินทางไปตรวจสอบคุณภาพผลลำไยด้วยตัวเอง แต่ให้รับข้อมูลจากตัวแทนของสถานประกอบการในประเทศฮ่องกง ซึ่งแจ้งมาว่า ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากผลลำไยยังคงมีกลิ่นของแก๊ส SO_2 ติดอยู่ที่ผิวอยู่ สาเหตุนี้น่าจะเกิดจาก บรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้บรรจุผลลำไยเป็นกล่องโฟมและมีช่องระบายอากาศน้อยมาก (สังเกต

จากภาพที่ 69 และ 70) จึงส่งผลให้เกิดการสะสมกลิ่นของแก๊ส SO_2 ภายในกล่องโฟม และติดไปกับผิวของผลลำไยมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดหรือผู้บริโภค ซึ่งประเด็นปัญหาดังกล่าว ถ้ามีโอกาสนักผดุงผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาต่อไป ทั้งการลดระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 การเพิ่มช่องระบายอากาศของกล่องโฟม รวมถึงการเปลี่ยนรูปแบบของบรรจุภัณฑ์

กิจกรรมที่ 3.3.2 การส่งออกผลลำไยสดที่ผ่านกระบวนการหมัก SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยปั๊มประเทสออกทางเร็ว

กิจกรรมนี้เป็นการศึกษาร่วมกับสถานประกอบการคือ บริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด โดยนำผลลำไยสดพันธุ์ตอที่คัดเลือกและจัดเรียงลงในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมตามจำนวน 60 ตะกร้า มายังอาคารคัดบรรจุผลิตผลเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทำการหมัก SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นกับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยปั๊มและใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการหมัก 4,000 ppm (ภาพที่ 70) จากนั้นจึงทำการศึกษาตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ



ภาพที่ 70 การศึกษาร่วมกับบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด ในการส่งออกผลลำไยสดไปยังประเทศฮ่องกงทางเรือ

1. ส่วนเก็บตัวอย่างผลลำไยจำนวน 4 ตะกร้า เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพทั้งหลังการหมัก SO_2 ทันที และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษากิจกรรมที่ 3.1
2. จนส่งผลลำไยจำนวน 56 ตะกร้าที่เหลือไปยังบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด อ.เวียงหนองล่อง จ.ลำพูน แล้วนำไปจัดเรียงภายในตู้คอนเทนเนอร์เย็น ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 2 °ซ ร่วมกับตะกร้าบรรจุผลลำไยที่ผ่านการหมัก SO_2 ด้วยการเผาสองกิโลกรัมภายในวันเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด ทั้งนี้เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันในเรื่องคุณภาพของผลลำไย รวมทั้งช่วยให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพผลลำไยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นจึงขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เย็นด้วยรถบรรทุกหัวลากไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จ.ชลบุรี เพื่อขนส่งทางเรือไปยังประเทศฮ่องกงต่อไป

3. ส่วนเก็บตัวอย่างผลลำไยที่ผ่านกระบวนการหมัก SO_2 ตามกรรมวิธีของสถานประกอบการจำนวน 2 ตะกร้า มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพโดยเปรียบเทียบกับผลลำไยสดที่ผ่านการหมัก SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยปั๊มได้เก็บตัวอย่างไว้ในขั้นตอนที่ 1

4. เดินทางไปยังประเทศฮ่องกง ร่วมกับทีปภักษาโครงการคือ คุณหญิงชิง ทองดี และผู้ประกอบการส่งออกจากบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด เพื่อสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค รวมทั้งเก็บตัวอย่างผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยตนเอง ตลาดขายส่งผลไม้ในย่าน Monge Kok มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้วยเครื่องวัดสี (Mimolta, CR10) รวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง hand refractometer (ATAGO; N-1E) โดยเปรียบเทียบกับผลลำไยที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 ของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด และจากสถานประกอบการอื่นจำนวน 2 แห่ง ซึ่งวางจำหน่ายในบริเวณเดียวกัน

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 3.3.2

ผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยตนเอง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลลำไยสดของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด พบว่า มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลหลังจาการรมที่ประมาณ 1,690 ppm และไม่พบการตกค้างในส่วนของเนื้อผล ขณะที่ผลลำไยของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลประมาณ 1,400 ppm และมีการตกค้างเนื้อผลประมาณ 12 ppm (ตารางที่ 38) และหลังจากเก็บรักษา ผลลำไยสดทั้งที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับและผลลำไยของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด ไม่มีการเกิดโรคปรากฏให้เห็นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกซึ่งหมายถึง การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไย รวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ก็แตกต่างกัน (ตารางที่ 38)

สำหรับคุณภาพผลลำไย ณ ตลาดขายส่งย่าน Monge Kok ประเทศฮ่องกงนั้น ได้ตรวจสอบหลังจากขนส่งทางเรือจากประเทศไต้หวันมาแล้ว 12 วัน (ใช้เวลาในการขนส่งทางเรือ 7 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นเพื่อรอการตรวจสอบคุณภาพจากคณะผู้วิจัยอีก 5 วัน) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลลำไยของบริษัท ไทยสงผลไม้ จำกัด และจากสถานประกอบการอื่นจำนวน 2 แห่ง (ภาพที่ 71) ซึ่งพบว่า ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกซึ่งหมายถึง การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไย รวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ก็เกิดขึ้นหรือดีกว่าผลลำไยจากสถานประกอบการบางแห่ง (ตารางที่ 39 และภาพที่ 72) แต่สิ่งที่น่าสนใจแตกต่างซึ่งเป็นเรื่องความคิดเห็นจากการสังเกตได้ของผู้ประกอบการคือ ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง มีความสดของผิวเปลือก โดยเฉพาะผิวเปลือกด้านในซึ่งมีความขาวและมองเห็นส่วนต่างๆ ของเซลล์ผิวได้ชัดเจนกว่าผลลำไยจากสถานประกอบการซึ่งมีสีน้ำตาลและเซลล์ผิวค่อนข้างแห้ง (ภาพที่ 73) สาเหตุนี้นี้อาจเป็นไปได้ว่ากระบวนการรม SO_2 ของสถานประกอบการเป็นการเพิ่มการเพิ่มการเพิ่มแก๊ส SO_2 ออกมา ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูงถึง 250°C ซึ่งจะสามารถเผาไหม้ผงกำมะถันได้ (ซึ่งซึ่ง, 2535) ดังนั้นจึงทำให้ภายในห้องรม SO_2 มีความร้อนเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลลำไยดังกล่าวได้

ตารางที่ 38 ปริมาณ SO₂ ตกค้างและคุณภาพหลังจากกรม SO₂ ที่นํ้า และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 20 วัน ของผลลํ้าไยสดที่ผ่านการรม SO₂ จากถังอัด ความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบวนตั้งและผลลํ้าไยของบิริยท ไทยสง ผลไม้ จํากัด ที่ขนส่งทางเรือไปยังประเทศฮ่องกง

เวลาเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่างผลลํ้าไย	ปริมาณ SO ₂ ตกค้าง (ppm)		การเกิดโรต (คะแนน)	การเกิดสีนํ้าตาลที่เปลือกผล			ปริมาณของแข็งที่ละลายนํ้าได้ (องศาบิริกซ์)
		เปลือก	เนื้อ		L*	C*	H°	
หลังจากรมทันที	SO ₂ จากถังฯ	1,690	0	0	49.7	38.1	72.1	17.4
	บิริยทไทยสงฯ	1,400	12	0	49.0	37.5	72.8	18.0
5 วัน	SO ₂ จากถังฯ	1,360	0	0	48.1	38.4	73.3	18.1
	บิริยทไทยสงฯ	1,179	8	0	48.1	38.0	72.2	17.8
10 วัน	SO ₂ จากถังฯ	1,080	0	0	48.0	38.1	73.2	17.8
	บิริยทไทยสงฯ	1,113	6	0	46.7	38.1	71.0	17.1
15 วัน	SO ₂ จากถังฯ	1,020	0	0	47.2	39.1	67.0	18.3
	บิริยทไทยสงฯ	1,096	4	0	46.7	39.4	69.8	16.9
20 วัน	SO ₂ จากถังฯ	910	0	0	46.4	37.7	66.7	18.1
	บิริยทไทยสงฯ	1,091	3	0	46.3	38.1	67.0	17.0

ตารางที่ 39 คุณภาพของผลลํ้าไยที่ผ่านการรม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศ แบบบังคับแบบวนตั้งเปรียบเทียบกับผลลํ้าไยของบิริยท ไทยสงผลไม้ จํากัด และจากสถานที่ประกอบกาอื่นจำนวน 2 แห่ง ณ ตลาดขายส่งย่าน Monge Kok ประเทศฮ่องกง

กรรมวิธี	คุณภาพผลลํ้าไย			
	L*	C*	H°	ปริมาณของแข็งที่ละลายนํ้าได้ (องศาบิริกซ์)
แบบบังคับ	47.51 ^a	44.59 ^a	69.75 ^b	18.80 ^b
บิริยท ไทยสงผลไม้ จํากัด	45.41 ^b	44.32 ^a	69.70 ^b	16.44 ^c
สถานที่ประกอบการ ก.	48.09 ^a	45.17 ^a	71.74 ^a	20.68 ^a
สถานที่ประกอบการ ข.	43.85 ^b	40.18 ^b	67.20 ^c	16.48 ^c
F-test	*	*	*	*
CV (%)	5.27	8.23	2.75	4.12

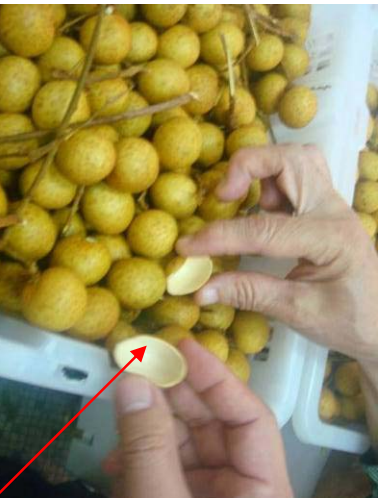
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยบนตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 71 ผลลำไยสดซึ่งผ่านการการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบ บังคับแนวตั้ง (เชือกกรัดลิ้นหูก) ณ ตลาดขายส่งผลไม้ในย่าน Mong Kok ประเทศฮ่องกง



ภาพที่ 72 การเปรียบเทียบคุณภาพผลลำไยสดซึ่งผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบ หมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งกับผลลำไยของสถานที่ประกอบกรอื่น ๆ



ผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันฯ มีผิวเปลือกขาวและเนื้อนุ่มมากกว่า
ผลลำไยของสถานที่ประกอบการ

ภาพที่ 73 การตรวจสอบความสะอาดผิวเปลือกผลลำไยซึ่งผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วย ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งกับผลลำไยของสถานที่ประกอบการ

กิจกรรมที่ 3.3.3 การส่งออกผลลำไยสดที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วยปั๊มประพาสธารณรัฐประชาชนจีนทางเรือ

กิจกรรมนี้เป็นการศึกษาความร่วมมือกับสถานประกอบการคือ บริษัท เอ็มไทยฟรุ๊ต จำกัด โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ เหมือนกับการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.3.2 แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ การศึกษาครั้งนี้ได้เพิ่มจำนวนตะกร้าบรรจุผลลำไยเป็น 120 ตะกร้า ซึ่งเป็นจำนวนตะกร้าที่สามารถปฏิบัติงานได้สูงสุดของห้องรม SO_2 ที่ได้ออกแบบขึ้นมา (ภาพที่ 74) โดยใช้เวลาในการขนส่งทั้งสิ้นประมาณ 8 วัน แยกเป็นการขนส่งทางเรือจากประเทศไทยไปยังประเทศฮ่องกงประมาณ 7 วัน แล้วขนส่งด้วยรถยนต์ไปยังตลาดเจียงหนาน มณฑลกว่างโจว ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนอีก 1 วัน ซึ่งคณะผู้วิจัยร่วมกับที่ปรึกษาโครงการ และผู้ประกอบการส่งออก ได้เดินทางไปสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค รวมทั้งเก็บตัวอย่างผลลำไยสด ณ ตลาดเจียงหนานฯ มาตรวจสอบคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.3.2



ภาพที่ 74 การศึกษาร่วมกับบริษัท เอ็มไทยฟรุ๊ต จำกัด ในการส่งออกผลลำไยสดไปยังประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนทางเรือ

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 3.3.3

ผลลำไยสดที่ผ่านกรรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้ว นำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลลำไยสดที่ผ่านกรรม SO_2 ด้วยการเผางាំងมะถันภายในวันเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ของบริษัท เอ็มไทยฟรุ๊ต จำกัด พบว่า มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลหลังจากรมทันทีประมาณ 1.870 ppm และมีการตกค้างในเนื้อผลเท่ากับ 6 ppm หรือประมาณร้อยละ 12 ของเกณฑ์สูงสุดที่ประเทศจีนกำหนดไว้ในเนื้อผลคือ 50 ppm ขณะที่ผลลำไยของบริษัท เอ็มไทยฟรุ๊ต จำกัด

มีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลประมาณ 1,330 ppm และมีการตกค้างเมื่อผลเท่ากับ 33 ppm หรือประมาณร้อยละ 66 ของเกณฑ์สูงสุดที่ประเทศจีนกำหนดไว้ (ตารางที่ 40) ผลการศึกษาดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับการศึกษาในกิจกรรมที่ 3.3.2 โดยผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเปลือกผลสูงกว่าผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถันซึ่งป็นวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปของผู้ประกอบการ ทั้งๆ ที่ใช้ระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการรมต่ำกว่าประมาณ 4-5 เท่า ซึ่งสาเหตุนี้ขึ้นเป็นผลเนื่องจากการมีระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องรม SO_2 ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงเป็นการใช้ร่วมกับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ แนวตั้ง ดังนั้นจึงช่วยให้แก๊ส SO_2 สามารถสัมผัสกับผลลำไยได้อย่างทั่วถึงมากกว่าการรม SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถันซึ่งเป็นการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการ นอกจากนี้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับยังช่วยให้ความเร็วการไหลของอากาศภายในตะกร้าผลลำไยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้แก๊ส SO_2 สัมผัสกับผลลำไยโดยเฉพาะบริเวณผิวเปลือกได้มากกว่าที่จะซึมลงไปในส่วนของผล ซึ่งช่วยให้ผลลำไยสดมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในเนื้อผลน้อยลงตามไปด้วย และหลังจากเก็บรักษา ผลลำไยสดทั้งที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับและผลลำไยของบริษัท เอ็ม ไลฟ์ฟู้ด จำกัด ไม่มีการเกิดโรคปรากฏให้เห็นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกซึ่งหมายถึง การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำแล้วมีแนวโน้มว่า ผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าผลลำไยของบริษัท เอ็ม ไลฟ์ฟู้ด จำกัด ซึ่งสาเหตุนี้อาจเนื่องมาจาก ผลลำไยที่นำมาศึกษา ไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกัน หรืออาจได้รับการปฏิบัติดูแลรักษาที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้มีความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำแตกต่างกันได้ (ตารางที่ 40)

สำหรับคุณภาพผลลำไย ณ ตลาดเจียงหนาน มณฑลกว่างโจว ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งได้ตรวจสอบคุณภาพทันทีหลังจากที่ผู้คอนเทนเนอร์ได้เดินทางมาถึง (8 วัน หลังจากขนส่ง) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลลำไยที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 ด้วยการเผาผลาญกำมะถันของบริษัท เอ็ม ไลฟ์ฟู้ด จำกัด พบว่า ผลลำไยสดที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ แนวตั้งมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกซึ่งหมายถึง การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไย รวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกันกับผลลำไยของบริษัท เอ็ม ไลฟ์ฟู้ด จำกัด (ตารางที่ 41) แต่สิ่งที่เห็นข้อแตกต่างนั้นก็เช่นเดียวกันคือ ผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีความสดของผิวเปลือกมากกว่าผลลำไยจากสถานประกอบการ และจากการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ประกอบการเกี่ยวกับคุณภาพผลลำไยที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงระหว่างการจัดจำหน่าย ณ ตลาดขายปลีกพบว่าสามารถวางจำหน่ายได้อีกประมาณ 8 วัน โดยยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ค้าและผู้บริโภค

ตารางที่ 40 เปรียบเทียบปริมาณ SO₂ ตกค้างและคุณภาพหลังจากกรม SO₂ หน้าที่ และหลังจากเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 2 ๖ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 20 วัน ของผลล่ำยีสต์ที่ผ่านการหม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับและผลล่ำยีสต์ของบริษัท เอม ๒ไทยฟู้ด จำกัด ที่ขนส่งทางเรือไปยังประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

เวลา เก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่างผลล่ำยีสต์	ปริมาณ SO ₂ ตกค้าง (ppm)		การเกิด ร็อก (คะแนน)	การเกิดสีน้ำตาล ที่เปลือกผล			ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)
		เปลือก	เนื้อ		L*	C*	H°	
หลังจาก รมทันที	แบบบังคับ	1,870	6	0	49.6	40.3	73.4	18.3
	บ. เอม ๒ไทยฟู้ด ฯ	1,330	33	0	47.8	38.2	68.1	15.9
5 วัน	แบบบังคับ	1,210	4	0	49.3	38.4	76.6	18.3
	บ. เอม ๒ไทยฟู้ด ฯ	1,200	15	0	48.0	39.6	64.3	16.7
10 วัน	แบบบังคับ	1,160	2	0	48.6	41.1	68.3	18.6
	บ. เอม ๒ไทยฟู้ด ฯ	1,170	8	0	48.1	40.3	64.6	16.5
15 วัน	แบบบังคับ	960	0	0	48.1	39.8	68.5	19.3
	บ. เอม ๒ไทยฟู้ด ฯ	1,020	3	0	49.1	40.7	66.1	17.1
20 วัน	แบบบังคับ	850	0	0	49.0	40.3	69.4	18.9
	บ. เอม ๒ไทยฟู้ด ฯ	930	0	0	52.3	40.3	66.3	16.4

ตารางที่ 41 คุณภาพของผลล่ำยีสต์ผ่านการหม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศ แบบบังคับและแนวตั้งเปรียบเทียบกับผลล่ำยีสต์จากสถานประกอบการจำนวน 2 แห่ง ณ ตลาดเจียง นาน นมณฑลกวางโจว ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

กรรมวิธี	คุณภาพผลล่ำยีสต์			
	L*	C*	H°	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)
แบบบังคับ	53.37	41.77	71.52	19.36
บริษัท เอม ๒ไทยฟู้ด จำกัด	52.48	41.64	71.05	20.56
T-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.56		2.65	3.97

ผลจากการศึกษาทั้งหมดในกิจกรรมที่ 3.3.3 จึงสามารถกล่าวได้ว่า แก๊ส SO₂ จากถังอัดความ โดยตรงสามารถนำมาใช้ปฏิบัติในเชิงการค้ากับผลล่ำยีสต์ได้จริง โดยสามารถรักษากุณภาพของผลล่ำยีสต์ได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าผลล่ำยีสต์ที่ผ่านกระบวนการหม SO₂ ตามวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปของสถานประกอบการ โดยเฉพาะความสดผิวเปลือกผลล่ำยีสต์ หรือในส่วนของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ แนวตั้งแล้ว มีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับตะกร้าบรรจุผลล่ำยีสต์ที่ห้อยแขวนเป็นตะกร้าที่ใช้ในทาง

การทำให้หายไป โดยทำให้อากาศหรือแก๊ส SO_2 เข้าไปสัมผัสกับผลลําไยได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรมให้เหลือ 4,000 ppm หรือประมาณ 4-5 เท่า เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรมตามค่าแนะนำหรือตามที่ผู้ประกอบการใช้กัน โดยทั่วไปคือ 15,000-20,000 ppm ซึ่งผลที่ตามมาคือ ช่วยให้ผลลําไยมีปริมาณ SO_2 ตกค้าง โดยเฉพาะในเนื้อผลไม่เกิน 8 ppm หรือต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ประเทศจีนซึ่งเป็นผู้นำเข้าผลลําไยสดรายใหญ่จากประเทศไทยกำหนดไว้ถึงร้อยละ 80

อย่างไรก็ตามในแง่ของการนำเอาแก๊ส SO_2 จากถังอัดความโดยตรง หรือระบบหมุนอากาศแบบบังคับแวนต์งมมาใช้ปฏิบัติในเชิงการค้ากับผลลําไยสดนั้น ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอยู่ โดยเฉพาะในส่วนของการให้จ่ายต่อหน่วยเมื่อเทียบกับกระบวนการปฏิบัติแบบเดิมที่ผู้ประกอบการใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติ (circulating-air) และเป็นการเผผลงាំងมะถันเพื่อให้ได้แก๊ส SO_2 ออกมา ซึ่งคณะผู้วิจัยจะไ้รายงานผลให้ทราบในกิจกรรมที่ 4

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 3.3

กระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความโดยตรงตัวระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแวนต์งมสามารถนำมาใช้ปฏิบัติในเชิงการค้ากับผลลําไยสดเพื่อส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศได้จริง โดยสามารถรักษาคุณภาพของผลลําไยสดได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าผลลําไยสดที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากการเผผลงាំងมะถันซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปของสถานประกอบการ และที่สำคัญคือ ช่วยให้ผลลําไยมีปริมาณ SO_2 ตกค้าง โดยเฉพาะในเนื้อผลต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ประเทศจีนซึ่งเป็นผู้นำเข้าผลลําไยสดรายใหญ่จากประเทศไทยกำหนดไว้ถึงร้อยละ 80



ภาพที่ 75 สภาพและบรรยากาศในการซื้อขายผลลำไยสด ณ ตลาดเจียกหนาน มณฑลกว่างโจว ประเทศ
สาธารณรัฐประชาชนจีน



ภาพที่ 76 ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ขนส่งผลลำไยสำหรับการศึกษารุ่นนี้ รวมทั้งการขนส่งจากตู้ แล้วจัด
วางลงบนรถสามล้อเพื่อขนส่งไปให้ผู้รับซื้อรายย่อย



ภาพที่ 77 การตรวจสอบคุณภาพผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (ตะกร้าล่าง)
เปรียบเทียบกับผลลำไยของสถานที่ประกอบการ (2 ตะกร้าบน) และการเก็บตัวอย่างผลลำไย
ณ ตลาดเจียกหนาน มณฑลกว่างโจว ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

กิจกรรมที่ 4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับนํ้าอาระบบหมุนเวียนอากาศแบบ บังคับแบบตั้งมาให้ในกระบวนการรวม SO₂ กับผลลําไยสด

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการศึกษา ในกิจกรรมนี้ มีทั้งหมด 4 กิจกรรมย่อยได้แก่

4.1 การคิดต้นทุนดำเนินงานเกี่ยวกับกระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการ
การเผาผลาญกำมะถันกับผลลําไยสด

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งที่
ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาสำหรับดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งที่
มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตสำหรับการปฏิบัติงานในระดับอุตสาหกรรม

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนคิดแปลงห้องรวม SO₂ ของผู้ประกอบการมา
เป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้ง

4.5 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสร้างและดัดแปลงห้องรวม SO₂

โดยมีรายละเอียดในส่วนของกรรมวิธี และผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าต่อไปนี้คือ

กิจกรรมที่ 4.1 การคิดต้นทุนดำเนินงานเกี่ยวกับกระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดัน

โดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันกับผลลําไยสด

ระบบวิจัย

การคิดต้นทุนดำเนินงาน ในกิจกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายหรือต้นทุน
ต่อหน่วยสำหรับการรวมการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาผลาญกำมะถันกับผลลําไยสด
โดยใช้ห้องรวม SO₂ ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา แต่จะไม่รวมถึงค่าลงทุนในการสร้างห้องรวม SO₂ โดยมี
สมมติฐานการวิเคราะห์ดังนี้คือ

ก. คิดเทียบจากค่าความจุและกำลังการผลิตสูงสุดของห้องคือ 2,640 กิโลกรัม (240 ตันกรัม×11
กิโลกรัม)

ข. มีกำลังการผลิตสูงสุดต่อวันคือ 4 รอบ ซึ่งรวมแล้วมีกำลังการผลิตต่อวันเท่ากับ 10,560
กิโลกรัม หรือประมาณ 10.56 ตัน

ค. ใช้ระดับความเข้มข้นของ SO₂ หลังสิ้นสุดการรวมเท่ากับ 4,000 ppm

ง. ไม่คิดค่าใช้จ่ายด้านการตลาด

จ. ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการจัดการวัตถุดิบและสินค้า

ซึ่งรายละเอียดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนแปรสำหรับการรวมการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง
และการเผาผลาญกำมะถัน SO₂ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 42 และ 43

ตารางที่ 42 ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนผันแปรต่อวันสำหรับกระบวนการ SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงกับผลล้าเยสศด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับนิวตัง

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	ค่าแรงงานจำนวน 2 คน ๆ ละ 300 บาท	600.00
2	ค่าไฟฟ้า ประมาณ 10 หน่วย ๆ ละ 3 บาท	30.00
3	ปูนขาว 2 กิโลกรัม ๆ ละ 12 บาท ผสมน้ำจำนวน 100 ลิตร	40.00
4	แก๊ส SO ₂ (ความจุถังละ 65 กิโลกรัม ราคาถังละ 30,000 บาท) 2.4 กิโลกรัม×4 รอบ	4,430.77
5	ค่าเช่าถังแก๊ส 350 บาทต่อเดือน หรือเท่ากับ 11.67 บาทต่อวัน	11.67
รวมค่าใช้จ่าย		5,112.44
ค่าใช้จ่ายในการรวมต่อหน่วย		0.48

ตารางที่ 43 ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนผันแปรต่อวันสำหรับกระบวนการ SO₂ จากการเผาไหม้ถังกับผลล้าเยสศด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับนิวตัง

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	ค่าแรงงานจำนวน 2 คน ๆ ละ 300 บาท	600.00
2	ค่าไฟฟ้า ประมาณ 10 หน่วย ๆ ละ 3 บาท	30.00
3	ปูนขาว 2 กิโลกรัม ๆ ละ 12 บาท ผสมน้ำจำนวน 100 ลิตร	40.00
4	ผงกำมะถัน (ความจุกระสอบละ 25 กิโลกรัม ราคา 1,500 บาท) 1.2 กิโลกรัม×4 รอบ	288.00
5	แก๊สหุงต้ม LPG (ความจุถังละ 16 กิโลกรัม ราคา 315 บาทต่อ 2 เดือน)	5.25
6	แอลกอฮอล์ (300 บาทต่อ 1 เดือน)	10.00
รวมค่าใช้จ่าย		973.25
ค่าใช้จ่ายในการรวมต่อหน่วย		0.09

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 4.1

จากค่าใช้จ่ายในตารางที่ 42 และ 43 เมื่อนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยแล้ว สามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้คือ

กรณีใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

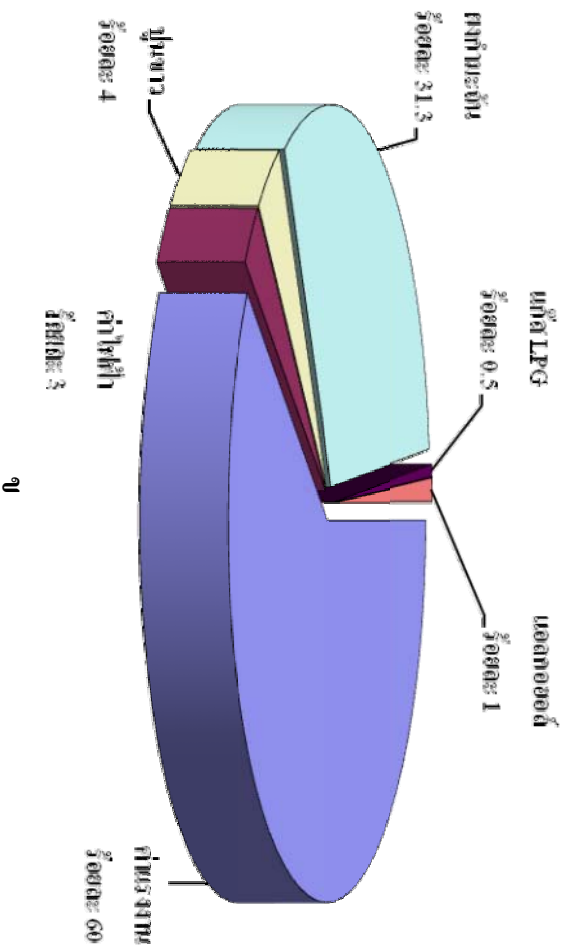
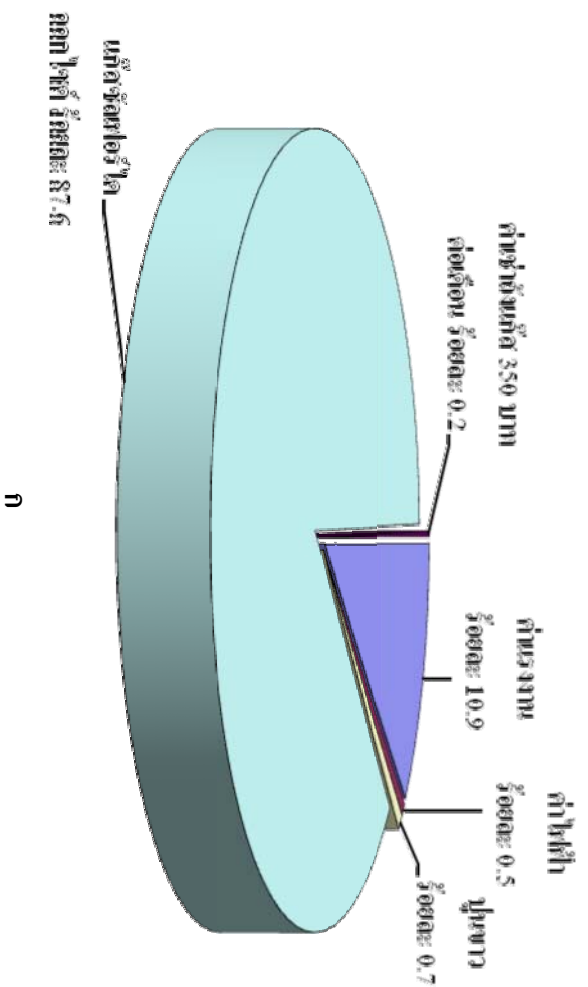
มีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วย 5112.44 บาท / 10,560 กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับ 0.48 บาทต่อกิโลกรัม หรือประมาณ 0.50 บาทต่อกิโลกรัม

กรณีใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาไหม้ถังกับ

มีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วย 973.25 บาท / 10,560 กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับ 0.09 บาทต่อกิโลกรัม หรือประมาณ 0.10 บาทต่อกิโลกรัม

เมื่อนำค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยมาเปรียบเทียบกับแนวโน้มแล้วจึงทำให้ทราบว่า การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยสูงกว่าการเผาผลาญก๊าซถ่านหินประมาณ 5 เท่า

สำหรับสัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการใช้ SO_2 ทั้งสองรูปแบบพบว่าการใช้ SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายของแก๊ส SO_2 สูงที่สุดคือ ร้อยละ 87.6 รองลงมาคือ ค่าแรงงาน คิดเป็นร้อยละ 11 ขณะที่ค่าไฟฟ้า ค่าปูนขาว และค่าเช่าถังแก๊สมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายไม่เกินร้อยละ 1 (ภาพที่ 78 ก) ส่วนการเผาผลาญถ่านหินมีค่าแรงงานเป็นสัดส่วนค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดคือ ร้อยละ 60 รองลงมาคือ ค่าผลกำไร คิดเป็นร้อยละ 31.3 ตามด้วยค่าปูนขาวร้อยละ 4 ค่าไฟฟ้าร้อยละ 3 ค่าแอลกอฮอล์ร้อยละ 1 และค่าแก๊ส LPG ร้อยละ 0.5 ตามลำดับ (ภาพที่ 78 ข)



ภาพที่ 78 สัดส่วนค่าใช้จ่ายในการใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (ก) และการเผาผลาญถ่านหิน (ข)

ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายในการใช้แก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงจะมีราคาสูงคือประมาณ 0.50 บาทต่อกิโลกรัมผลกำไรมูลค่าสุทธิ แต่จากการสอบถามผู้ประกอบการส่งออกผลกำไรมูลค่าสุทธิที่ได้ศึกษาว่าร่วมกับคณะผู้วิจัยสำหรับนำเอาแก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงมาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลกำไรมูลค่าสุทธิแล้วพบว่าผู้ประกอบการมีความพึงพอใจกับคุณภาพของผลกำไรมูลค่าสุทธิที่ได้คือ ผลกำไรมูลค่าสุทธิก่อนซึ่งสอดคล้อง โดยเฉพาะผู้ประกอบการซึ่งมีผลิตภัณฑ์มากกว่า และเมื่อสอบถามถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหากจำเป็นต้องมีการใช้ SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรง ผู้ประกอบการพึงพอใจที่จะจ่ายเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1 บาทต่อกิโลกรัมผลกำไรมูลค่าสุทธิ โดยต้นทุนที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถนำไปบวกเพิ่มกับราคายา ฆ ตลาดปลายทางได้

อย่างไรก็ตามราคาแก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงที่นำมาใช้ในการคำนวณครั้งนี้เป็นราคาที่ซื้อมาสำหรับดำเนินงานวิจัยซึ่งอาจจะมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจาก สิ่งซื้อในปริมาณที่น้อยคือ ครั้งละ 1 ถึง ๓ กิโลกรัม ราคา 30,000 บาท หรือคิดเป็นกิโลกรัมละประมาณ 460 บาท และเมื่อทำการสอบถามกับบริษัทผู้ผลิตแก๊ส SO_2 แห่งหนึ่ง (ติดต่อส่วนตัว) ได้ให้ข้อมูลว่า ราคาแก๊ส SO_2 ถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงสามารถลดลงได้ตามปริมาณการใช้หรือการสั่งซื้อที่เพิ่มมากขึ้น เช่น กรณีที่สั่งซื้อเป็นแท่งขนาดความจุ 950 กิโลกรัม จะมีราคาลดลงเหลือกิโลกรัมละ 200-250 บาท หรือลดลงประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับถึงขนาด 65 กิโลกรัม ซึ่งก็จะช่วยให้อำนาจการนำเข้าแก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงมาใช้กับผลกำไรมูลค่าสุทธิช่วยหรือต้นทุนต่อหน่วยลดลง

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 4.1

การใช้แก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 0.50 บาทต่อกิโลกรัมผลกำไรมูลค่าสุทธิ ส่วนการใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกะถันมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 0.10 บาทต่อกิโลกรัมผลกำไรมูลค่าสุทธิ หรือถูกกว่าการใช้แก๊ส SO_2 จากถึงอัตราความเข้มข้นโดยตรงประมาณ 5 เท่า

กิจกรรมที่ 4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้วงรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียน

ออกแบบบังคับแบบครั้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาสำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในกิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการนำเอาค่าใช้จ่ายในการสร้างห้วงรม SO₂ สำหรับดำเนินงานวิจัยในครั้งนั้นมาทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาดำเนินทุน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้สถานประกอบการหรือผู้ที่สนใจนำมาใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนสร้างห้วงรม SO₂ ที่ได้ออกแบบขึ้นมา โดยเป็นการคิดเฉพาะในส่วนของการลงทุนสร้างห้วงและค่าการรับจ้างรม SO₂ กับผลล่ำไยสด ซึ่งมีสมมติฐานการวิเคราะห์ดังนี้

- ก. การวิเคราะห์เป็นแบบเส้นตรง และประมาณการแบบพื้นฐาน
- ข. คิดเทียบจากต้นทุนและค่าลังการผลผลิตสูงสุดของห้วงคือ 2,640 กิโลกรัม (240 ตะกร้า×11 กิโลกรัม)
- ค. มีค่าลังการผลิตสูงสุดต่อวันคือ 4 รอบ ซึ่งรวมแล้วมีค่าลังการผลิตต่อวันเท่ากับ 10,560 กิโลกรัม หรือประมาณ 10.56 ตันต่อวัน ซึ่งเท่ากับ 316.8 ตันต่อเดือน
- ง. ใช้ระดับความเข้มข้นของ SO₂ หลังสิ้นสุดการรมเท่ากับ 4,000 ppm
- จ. ไม่คิดค่าใช้จ่ายด้านการตลาด
- ฉ. ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการจัดการวัตถุดิบและสินค้า

ซึ่งรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการสร้างห้วงรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบครั้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาสำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้จะแยกออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง และกรณีที่ใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาผลาญกำมะถัน ดังตารางที่ 44 และ 45

ผลการศึกษาและวิจารณ์กิจกรรมที่ 4.2

จากตารางที่ 44 และ 45 พบว่า ห้วงรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบครั้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา และเป็นกรณีที่ใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง มีค่าใช้จ่ายการลงทุนประมาณ 554,500 บาท ส่วนกรณีที่ใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาผลาญกำมะถัน มีค่าใช้จ่ายการลงทุนประมาณ 560,000 บาท ซึ่งสูงกว่าการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงประมาณ 5,500 บาท ซึ่งสาเหตุนี้เนื่องจากเขาเผากำมะถันที่ได้ออกแบบขึ้นมามีโครงสร้างเป็นสแตนเลส รวมทั้งมีชุดลดอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์เขาเผาในเพื่อลดอุณหภูมิของแก๊ส SO₂ ที่เกิดจากการเผาผลาญกำมะถันก่อนเข้าสู่ห้วงรม ซึ่งต่างจากเขาเผากำมะถันโดยตรงไปของสถานประกอบการที่มีโครงสร้างเป็นปูนซีเมนต์และไม่มีชุดลดอุณหภูมิของแก๊ส SO₂

เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนค่าใช้จ่ายการลงทุนสร้างห้วงรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบครั้งที่สำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ทั้งกรณีที่ใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญ

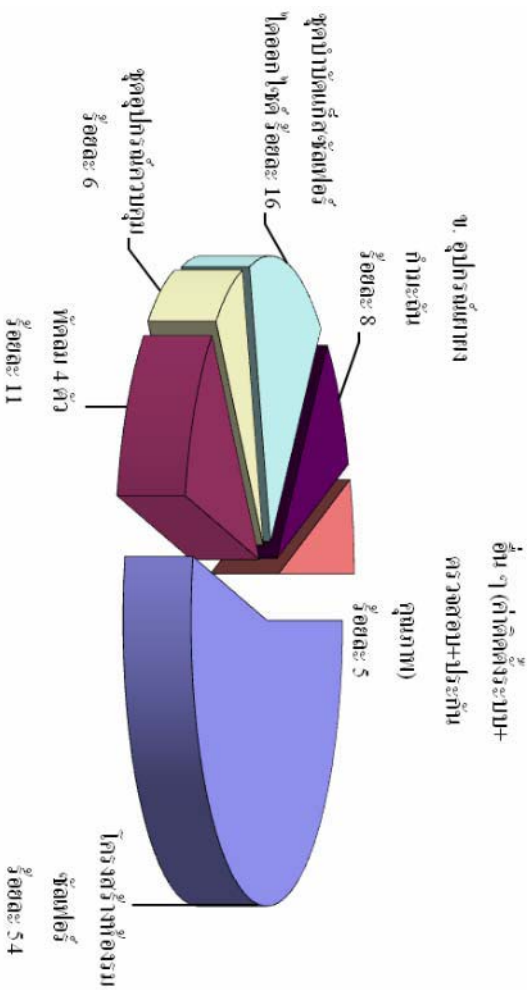
กำหนดเห็นว่า มีสัดส่วนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน โดยโครงสร้างห้องมีสัดส่วนสูงที่สุดประมาณร้อยละ 55-56 รองลงมาคือ ชุดหอพักจัดแก๊ส SO₂ แบบเปียก ชุดพัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ ชุดอุปกรณ์ปล่อยแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงหรือการเผาผลาญกำมะถัน ชุดอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ตามลำดับ

ตารางที่ 44 ค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแก๊สที่ใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

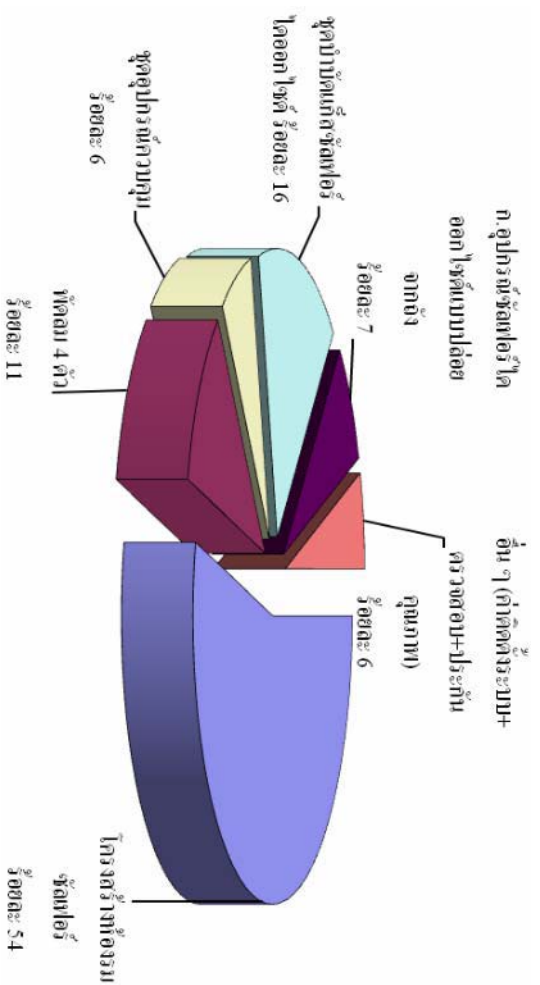
ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	โครงสร้างห้อง	300,000
2	ชุดพัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ 4 ตัว	60,000
3	ชุดอุปกรณ์รับความเร็วรอบพัดลม (inverter)	30,000
4	ตู้ควบคุมการทำงาน	5,000
5	ชุดหอพักจัดแก๊ส SO ₂ แบบเปียก	90,000
6	ชุดอุปกรณ์ปล่อยแก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง	
	6.1 หัวควบคุมแรงดัน	27,500
	6.2 เครื่องขึ้นน้ำหนักแบบตัวเลขไฟฟ้า	10,000
	6.3 ชุดรับน้ำหนักถังแก๊ส SO ₂ แบบล้อเลื่อน	2,000
7	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (ค่าติดตั้งระบบ+ตรวจสอบ+ประกันคุณภาพ)	30,000
รวมทั้งสิ้น		554,500

ตารางที่ 45 ค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแก๊สที่ใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาผลาญกำมะถัน

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	โครงสร้างห้อง	300,000
2	ชุดพัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ 4 ตัว	60,000
3	ชุดอุปกรณ์รับความเร็วรอบพัดลม (inverter)	30,000
4	ตู้ควบคุมการทำงาน	5,000
5	ชุดหอพักจัดแก๊ส SO ₂ แบบเปียก	90,000
6	ชุดอุปกรณ์เผาผลาญกำมะถัน	45,000
7	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (ค่าติดตั้งระบบ+ตรวจสอบ+ประกันคุณภาพ)	30,000
รวมทั้งสิ้น		560,000



ก



ข

ภาพที่ 79 สัดส่วนค่าใช้จ่ายการลงทุนสร้างห้องรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับด้วย
 ลำหรับดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ทั้งกรณีที่ใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (ก) และจากการเผา
 ผงกำมะถัน (ข)

จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ห้องรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ
 นั้นได้ใช้รูปแบบและสร้างขึ้นมาที่มีสัดส่วนค่าใช้จ่ายของโครงสร้างห้องก่อนข้างสูง แต่ในแง่ของการ
 ลงทุนแล้วอาจจะพิจารณาปรับลดหรือหาโครงสร้างรูปแบบอื่นมาทดแทน เช่น แบบก้ออติฐานปูน หรือใน
 ส่วนของชุดระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับนั้น สามารถที่จะลดจำนวนพัดลมชุดอากาศได้ และเมื่อทราบ
 ระดับอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ปรับอากาศความเร็วพัดลมอีก
 ซึ่งแนวทางการคำนวณนั้นมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับผู้ประกอบการหรือผู้สนใจที่ไม่ต้องการลงทุนสูง
 มากนัก

เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบ บังคับแบบตัวตั้งสำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้ โดยคิดเทียบจากการรับจ้างรม SO₂ กับผลลำไยสดซึ่งมี 2 ทางเลือกคือ ทางเลือกที่ 1 รับจ้างรม SO₂ ในราคากิโลกรัมละ 1.00 บาท (ราคารับจ้างเฉลี่ยในปีปัจจุบัน) และ ทางเลือกที่ 2 รับจ้างรม SO₂ ในราคากิโลกรัมละ 1.50 บาท (ราคาบวกกำไร 50 เปอร์เซ็นต์) ดังตารางที่ 46 ผลจากการวิเคราะห์พบว่า หากใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง มีจุดคุ้มทุนที่ 1,075 และ 546 ต้น ต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.4 และ 1.7 เดือนตามลำดับ ส่วนการใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาผลาญ ซึ่งถึงแม้ว่า การเผาผลาญกำมะถันจะมีต้นทุนในส่วนของการลงทุนสูงกว่าการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดัน โดยตรง แต่กลับมีจุดคุ้มทุนต่ำกว่า รวมทั้งมีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่าเนื่องจาก มีต้นทุนผันแปรในการรม SO₂ ต่ำกว่าการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

ตารางที่ 46 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบ บังคับแบบตัวตั้งสำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้

รายการ	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2
ราคารับจ้าง (บาท ต่อ กก.ผลลำไย) ; p	1.00	1.50
ต้นทุนผันแปรการรมแก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง (บาท ต่อ กก.ลำไย) ; v1	0.50	0.50
ต้นทุนแปรทุนการรมแก๊ส SO ₂ จากการเผาผลาญกำมะถัน (บาท ต่อ กก.ลำไย) ; v2	0.10	0.10
ต้นทุนคงที่ที่กรณี่ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง (บาท) ; FC1	554,500	554,500
ต้นทุนคงที่ที่กรณี่ใช้การเผาผลาญกำมะถัน (บาท) ; FC2	560,000	560,000
จุดคุ้มทุนกรณี่ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง = FC1/(p-v1) (ต้นต่อปี)	1,075	546
จุดคุ้มทุนกรณี่ใช้การเผาผลาญกำมะถัน = FC2/(p-v2) (ต้นต่อปี)	617	398
ระยะเวลาคืนทุนกรณี่ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังอัดความดันโดยตรง (เดือน)	3.4	1.7
ระยะเวลาคืนทุนกรณี่ใช้การเผาผลาญกำมะถัน (เดือน)	2	1

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 4.2

ห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตัวตั้งสำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทั้งกรณีที่ใช้ แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญกำมะถันมีค่าใช้จ่ายการลงทุนใกล้เคียงกันประมาณ 554,500-560,000 บาท โดยการใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาผลาญกำมะถันมีจุดคุ้มทุนเมื่อรับจ้างรม SO₂ ในราคากิโลกรัมละ 1.00 และ 1.50 บาท เท่ากับ 617 และ 398 ต้นต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 และ 1 เดือนตามลำดับ ซึ่งต่ำและสั้นกว่าการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่มีจุดคุ้มทุนเท่ากับ 1,075 และ 546 ต้นต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.4 และ 1.7 เดือนตามลำดับ

กิจกรรมที่ 4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียน
อากาศแบบบังคับแบบตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตสำหรับการปฏิบัติงานในระดับ
อุตสาหกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

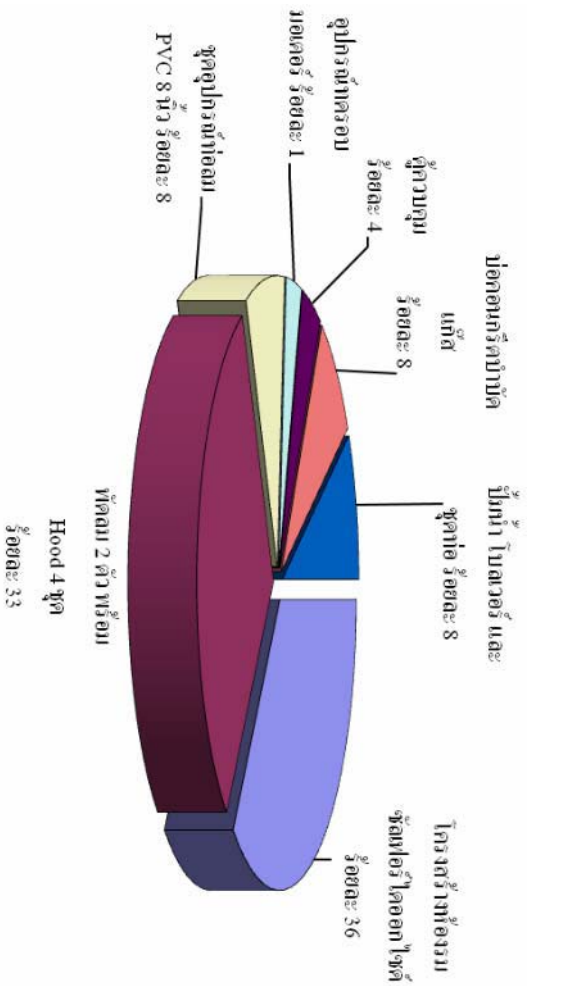
การศึกษาในกิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการนำค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตมาทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่สถานประกอบการหรือผู้สนใจที่ต้องการสร้างห้องรม SO₂ ขึ้นมาใหม่และมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการสร้างน้อยลง โดยเป็นการคิดเฉพาะในส่วนของการลงทุนสร้างห้องและการรับจ้างรม SO₂ กับผลกำไรสุทธิ ซึ่งมีสมมติฐานการวิเคราะห์เช่นเดียวกับ กิจกรรมย่อยที่ 4.2

ตารางที่ 47 ค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้ง กรณีที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตและใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	โครงสร้างห้องรมก่ออิฐฉาบปูน (คิดเฉพาะผนัง โดยพื้นที่ 45 ตร.ม.×1,200 บาท)	54,000
2	ชุดพัฒนาสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบตั้งจำนวน 4 Hood	40,000
3	ชุดอุปกรณ์ท่อลม PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว	10,000
4	ชุดอุปกรณ์ครอบมอเตอร์พัดลม	4,000
5	ตู้ควบคุมการทำงาน	5,000
6	บ่อคอนกรีตบำบัดแก๊ส SO ₂ (12 ตร.ม.×800 บาท)	9,600
7	ปั้มน้ำ พัดลม และชุดท่อสำหรับกำจัดแก๊ส SO ₂	10,000
8	อุปกรณ์ชุดเฟืองไคออก ไซค์แบบปล่อยตรง	
	8.1 หัวควบคุมแรงดัน	27,500
	8.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล	10,000
	8.3 ชุดรับน้ำหนักถึงแก๊สแบบล้อเลื่อน	2,000
9	อื่นๆ (ค่าติดตั้งระบบ+ตรวจสอบ+ประกันคุณภาพ)	30,000
รวมทั้งสิ้น		202,100

หมายเหตุ: ในกรณีนี้ไม่รวมชุดเตาเผาผงบำมะลันที่ได้ออกแบบมาสำหรับดำเนินงานวิจัยเนื่องจาก
ผู้ประกอบการยังมีความต้องการใช้ระบบเผาผงบำมะลันแบบเดิม

จากค่าใช้จ่ายในการลงทุนดังตารางที่ 47 ซึ่งคิดเปรียบเทียบเฉพาะกรณีที่ใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงพบว่า มีค่าใช้จ่ายประมาณ 202,100 บาท ถูกกว่าห้จรง SO_2 ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ประมาณ 352,400 บาท เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในส่วนของโครงสร้างห้อง และระบบกำจัดแก๊ส SO_2 น้อยกว่าโดยมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายการลงทุนดังภาพที่ 80



ภาพที่ 80 สัดส่วนการลงทุนสร้างห้องรณ SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง กรณีที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีต

เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของห้องรณ SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีต โดยคิดเทียบจากการรับจ้างรณ SO_2 กับผลล่ำไยสดซึ่งมี 2 ทางเลือกเช่นเดียวกับการรณย่อยที่ 4.2 คือ กิโลกกรัมละ 1.00 และ 1.50 บาท ดังตารางที่ 48 พบว่า การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง มีจุดคุ้มทุนที่ 392 และ 199 ต้นต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.2 และ 0.6 เดือนตามลำดับ ส่วนกรณีที่ต้องการใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผล่งกำมะถันตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการ (จากการสอบถามผู้ประกอบการมีต้นทุนแผ่นแปะการใช้ผงกำมะถันกิโลกกรัมละ 0.10 บาท) มีจุดคุ้มทุนที่ 179 และ 115 ต้นต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.6 และ 0.4 เดือนตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับห้องรณ SO_2 ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้แล้ว มีจุดคุ้มทุนที่ต่ำกว่าประมาณ 2-3 เท่า อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างห้องรณ SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามราคาก่อนก่อสร้างในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 48 การวิเคราะห์จุดต้นทุนและระยะเวลาต้นทุนของห้องรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบต่าง การผลิตที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีต ซึ่งใช้ทั้งแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาผลาญกำมะถันตามวิธีปฏิบัติของสถานประกอบการ

รายการ	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2
ราคารับจ้าง (บาท ต่อ กก.ผลลำไย) ; p	1.00	1.50
ต้นทุนผันแปรการรมแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (บาท ต่อ กก.ลำไย) ; v1	0.50	0.50
ต้นทุนแปรปรวนการรมแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน (บาท ต่อ กก.ลำไย) ; v2	0.10	0.10
ต้นทุนคงที่การผลิตแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (บาท) ; FC1	202,100	202,100
ต้นทุนคงที่การผลิตแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน (บาท) ; FC2	162,600	162,600
จุดคุ้มทุนการผลิตแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง = $\text{FC1}/(\text{p}-\text{v1})$ (ตันต่อปี)	391.77	198.94
จุดคุ้มทุนการผลิตแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน = $\text{FC2}/(\text{p}-\text{v2})$ (ตันต่อปี)	179.11	115.50
ระยะเวลาคืนทุนการผลิตแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (เดือน)	1.2	0.6
ระยะเวลาคืนทุนการผลิตแก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน (เดือน)	0.6	0.4

หมายเหตุ: ต้นทุนผันแปรของการรม SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถัน เท่ากับ 0.10 บาทต่อกิโลกรัมผลลำไย
ได้มาจากการสอบถามของผู้ประกอบการ

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 4.3

ห้องรม SO_2 กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบต่างที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายการลงทุนประมาณ 202,100 บาท โดยการใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมีจุดคุ้มทุนเมื่อรับจ้างรม SO_2 ในราคากิโลกรัมละ 1.00 และ 1.50 บาท เท่ากับ 392 และ 199 ตันต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.2 และ 0.6 เดือนตามลำดับ ส่วนการใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญกำมะถันตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการ มีจุดคุ้มทุนที่ 179 และ 116 ตันต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.6 และ 0.4 เดือนตามลำดับ

กิจกรรมที่ 4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนติดตั้งห้องรม SO₂ ของผู้ประกอบการมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเบวตั้ง

ระเบียบวิธีวิจัย

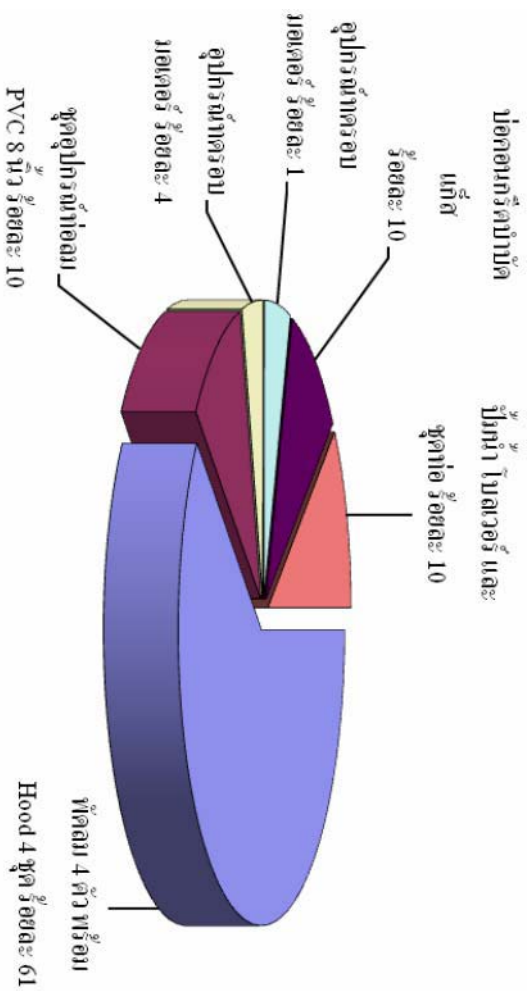
การศึกษาในกิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งห้องรม SO₂ ที่มีอยู่แล้วของผู้ประกอบการมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเบวตั้ง เพื่อต้องการให้สถานประกอบการซึ่งมีห้องรม SO₂ อยู่แล้ว ไม่ต้องการสร้างห้องรม SO₂ ขึ้นมาใหม่ นำมาใช้เป็นแนวทางตัดสินใจลงทุนติดตั้งห้องรม SO₂ ต่อไป โดยเป็นการคิดเฉพาะในส่วนของการลงทุนติดตั้งห้องและการรับจ้างรม SO₂ กับผลกำไรยสด ซึ่งมีสมมติฐานการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกิจกรรมย่อยที่ 4.2

ตารางที่ 49 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งห้องรม SO₂ ของผู้ประกอบการมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเบวตั้ง

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	ชุดพัฒนาลำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเบวตั้งจำนวน 4 Hood	40,000
2	ชุดอุปกรณ์ท่อลม PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว	10,000
3	ชุดอุปกรณ์ท่อลมมอเตอร์พัดลม	4,000
4	ผู้ควบคุมการทำงาน	5,000
5	บ่อคอนกรีตบำบัดแก๊ส SO ₂ (12 ตร.ม.×800 บาท)	9,600
6	ปั้มน้ำ พัดลม และชุดท่อสำหรับกำจัดแก๊ส SO ₂	10,000
7	อุปกรณ์ซีลเฟอร์ โคอออก ไซส์แบบปล่อยตรง 7.1 หัวควบคุมแรงดัน 7.2 เครื่องขั้่น้ำหนักแบบดิจิทัล 7.3 ชุดรับน้ำหนักถังแก๊สแบบล้อเลื่อน	27,500 10,000 2,000
8	อื่น ๆ (ค่าติดตั้งระบบ+ตรวจสอบ+ประกันคุณภาพ)	30,000
รวมทั้งสิ้น		148,100

หมายเหตุ: ในกรณีนี้ไม่รวมชุดเตาเผาฟังกำมะถันที่ได้ออกแบบมาสำหรับดำเนินงานวิจัยเนื่องจากผู้ประกอบการยังมีความต้องการใช้ระบบเผาฟังกำมะถันแบบเดิม

จากค่าใช้จ่ายในการลงทุนตั้งตารางที่ 49 ซึ่งคิดเปรียบเทียบเฉพาะกรณีที่ใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงพบว่า มีค่าใช้จ่ายประมาณ 148,100 บาท และโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายการลงทุน 202,100 บาท ซึ่งถูกกว่าห้จรม SO_2 ที่สร้างขึ้นมาใหม่ ประมาณ 54,000 บาท หรือประมาณร้อยละ 27 โดยมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายการลงทุนดังภาพที่ 81



ภาพที่ 81 สัดส่วนค่าใช้จ่ายในการคิดแปลงห้จรม SO_2 ของผู้ประกอบการเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับกับแนวตั้ง

เมื่อพิจารณาถึงจุดหมุนทุนและระยะเวลาต้นทุนของห้จรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับกับแนวตั้งซึ่งเป็นการคิดแปลงจากห้จรม SO_2 เดิมของสถานประกอบ โดยคิดเทียบจากการรับจ้างรรม SO_2 กับผลล้าเยสตรงซึ่งมี 2 ทางเลือกเช่นเดียวกักิจกรรมย่อยที่ 4.2 คือ กิโลกัรรมละ 1.00 และ 1.50 บาท ตั้งตารางที่ 50 พบว่า การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง มีจุดหมุนทุนที่ 287 และ 146 ต้นต่อปี โดยมีระยะเวลาต้นทุนประมาณ 0.9 และ 0.5 เดือนตามลำดับ ส่วนที่กรณีที่ต้องการใช้แก๊ส SO_2 จากการเผาผลาญตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการมีจุดหมุนทุนที่ 120 และ 77 ต้นต่อปี โดยมีระยะเวลาต้นทุนประมาณ 0.4 และ 0.2 เดือนตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับห้จรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตแล้ว มีจุดหมุนทุนที่ต่ำกว่าประมาณ 2 เท่า อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการลงทุนคิดแปลงห้จรม SO_2 ดังกล่าวเป็นประมาณราคาค่าแรงจ้างเหมา ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้ตามสถานะเศรษฐกิจ

ตารางที่ 50 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของการคิดแปลงห้องรม SO₂ ที่มีอยู่แล้วของ
ผู้ประกอบการมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

รายการ	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2
ราคารับจ้าง (บาท ต่อ กก.ผลล่ำไย) ; p	1.00	1.50
ต้นทุนผันแปรการรมแก๊ส SO ₂ จากถึงััดความคืนโดยตรง (บาท ต่อ กก.ล่ำไย) ; v1	0.50	0.50
ต้นทุนแปรทุนการรมแก๊ส SO ₂ จากการเผางกำมะถัน (บาท ต่อ กก.ล่ำไย) ; v2	0.10	0.10
ต้นทุนคงที่แบบป่้อยแก๊ส (บาท) ; FC1	148,100	148,100
ต้นทุนคงที่แบบเผาง (บาท) ; FC2	108,600	108,600
จุดคุ้มทุน แบบป่้อยแก๊ส = FC1/(p-v1) (ตันต่อปี)	287.09	145.79
จุดคุ้มทุน แบบเผาง = FC2/(p-v2) (ตันต่อปี)	119.63	77.14
ระยะเวลาคืนทุน แบบป่้อยแก๊ส (เดือน)	0.9	0.5
ระยะเวลาคืนทุน แบบเผาง (เดือน)	0.4	0.2

สรุปผลการศึกษากิจกรรมที่ 4.4

ห้องรม SO₂ กับผลล่ำไยสััดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งซึ่งเป็นการัดแปลงจากห้องรม SO₂ เดิมของสถานประกอบการ มีค่าใช้จ่ายการลงทุนประมาณ 148,100 บาท โดยการให้แก๊ส SO₂ จากถึงััดความคืนโดยตรง มีจุดคุ้มทุนเมื่อรับจ้างรม SO₂ ในราคากิโลกรัมละ 1.00 และ 1.50 บาท เท่ากับ 287 และ 146 ตันต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.9 และ 0.5 เดือนตามล่ำดับ ส่วนการให้แก๊ส SO₂ จากการเผางกำมะถันตามวิธีปฏิบัติของผู้ประกอบการ มีจุดคุ้มทุนที่ 120 และ 77 ตันต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.4 และ 0.2 เดือนตามล่ำดับ

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรม SO₂ ทั้ง 3 กรณีคือ ห้องล่ำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ห้องที่มีผนังเป็นคอนกรีต และห้องที่ติดแปลงจากห้องเดิมของสถานประกอบการสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 51 ซึ่งพบว่า ห้องรม SO₂ ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมากที่สุด และมีจุดคุ้มทุน รวมทั้งระยะเวลาคืนทุนล่ำที่สุด รองลงมาคือ ห้องรม SO₂ ที่มีผนังเป็นคอนกรีต ส่วนห้องรม SO₂ ที่ัดแปลงจากห้องเดิมของสถานประกอบการมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยที่สุด และมีจุดคุ้มทุน รวมทั้งระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

ตารางที่ 51 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของค่าใช้จ่ายในการลงทุน จุดคุ้มทุน รวมทั้ง
ระยะเวลาคืนทุนการลงทุนของห้องรม SO₂ ทั้ง 3 กรณี

รายการ	รูปแบบหรือกรณีของห้องรม SO ₂		
	ห้องรม SO ₂ ที่ใช้ใน การดำเนินงานวิจัย	ห้องรม SO ₂ ที่มี พนักงานคนกริต	ห้องดีดแปลงจากห้องรม SO ₂ ของผู้ประกอบการ
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างห้อง (บาท)			
กรณี ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังโดยตรง	554,500	202,100	148,100
กรณี ใช้การเผางามะฉัณ	560,000	162,600	108,600
ต้นทุนผันแปรการรมแก๊ส SO₂ (บาท)			
กรณี ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังโดยตรง	0.48	0.48	0.48
กรณี ใช้การเผางามะฉัณ	0.09	0.09	0.09
รายได้จากการรับจ้างรม (บาท)			
กรณี ใช้แก๊ส SO ₂ จากถังโดยตรง			
จุดคุ้มทุน (ต้นต่อปี)	1,075	392	146
ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	3.39	1.24	0.46
กรณี ใช้การเผางามะฉัณ			
จุดคุ้มทุน (ต้นต่อปี)	617	179	77
ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	1.95	0.57	0.24

หมายเหตุ: รายได้จากการลงทุนคิดเทียบจากการรับจ้างรม SO₂ กับผลล่ำไยสดในราคาดิโลกรัมละ 1.00 บาท

ปัญหาและข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

1. หอกรม SO_2 กับผลล่ำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาในช่วงแรกมักประสบปัญหาเกี่ยวกับการรั่วของแก๊ส SO_2 ออกจากห้องโดยเฉพาะบริเวณประตูและแกนพลาของชุดพัฒลมบั้งกับอากาศ ดังนั้นในกรณีที่พักานประกอบหรือผู้ที่สนใจต้องการสร้างห้องรม SO_2 ในลักษณะนี้ขึ้นมามีการออกแบบเพื่อให้สามารถรับภาระแรงดันสถิตจากลมได้ โดยเฉพาะในส่วนของประตูต้องมีโครงสร้างแข็งแรงและทนต่อแรงดันจากลม รวมทั้งการทำบั้งใบและเสริมขอบด้วยยางที่มีความยืดหยุ่นสูงเพื่อให้สามารถเปิดประตูได้สนิทมากขึ้น นอกจากนี้ควรมีการติดตั้ง release valve เพื่อลดแรงดันสถิตภายในห้อง ซึ่งช่วยลดการรั่วไหลของแก๊ส SO_2 ได้มากยิ่งขึ้น หรือในส่วนองแกนพลาพัฒลมบั้งนั้นต้องมีการทำซีลกันรั่วระหว่างแกนพลากับตัวเรือนของพัคลม

2. กรณีที่ผู้ประกอบการไม่ต้องการสร้างห้องขึ้นมาใหม่ แต่ต้องการนำเอาระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบดั่งไปใช้ในระบบการรม SO_2 กับผลล่ำไยสด สามารถทำได้โดยการดัดแปลงระบบหมุนเวียนอากาศห่อกรม SO_2 ที่มีอยู่เดิมของสถานประกอบการมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบดั่ง โดยการติดตั้งเฉพาะชุดพัฒลมบั้งกับอากาศพร้อมฝาซีลรอบและผ้าใบ แต่ทั้งนี้ต้องศึกษาถึงขนาดของพัคลมที่เหมาะสมกับการบังคับอากาศภายในห้องรม SO_2 ของสถานประกอบการแต่ละแห่งก่อน รวมทั้งปริมาณการประะตูห่อให้ปิดได้อย่างสนิทเพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊ส SO_2 ที่อาจเกิดขึ้นได้

3. การรม SO_2 กับผลล่ำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบดั่งนั้นยังคงใช้เวลาก่อนข้างนาน โดยเฉพาะในส่วนองกระบวนการรม SO_2 หรือการบังคับอากาศต้องใช้เวลากประมาณ 60 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับวิธีปฏิบัติในเชิงการค้าโดยทั่วไปของสถานประกอบการที่ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติ (circulating-air) ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบดั่งให้สามารถปฏิบัติงานได้เร็วขึ้น และเป็นผลดีต่อการเพิ่มกำลังการผลิตให้แก่สถานประกอบการ ควรจะต้องมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ SO_2 และเวลาที่ใช้ในกระบวนการรม SO_2 ซึ่งเรียกว่า CT product โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะผกผัน ในทางตรงกันข้ามคือ ถ้าต้องการใช้เวลาในกระบวนการรมสั้นลง ต้องใช้ความเข้มข้นของ SO_2 สูงขึ้น แต่ถ้ำต้องการใช้ความเข้มข้นของ SO_2 ลดลง เวลาที่ในกระบวนการรม SO_2 ต้องมีมากขึ้น ซึ่งถ้ำมีโอกาศละผู้วิจัยจะได้ดำเนินการศึกษาต่อไป

4. กรณีที่ใช้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรมเท่ากัน การใช้แก๊ส SO_2 ถึงอัตราความคั่นโดยตรงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเผางำมะถันประมาณ 5 เท่า และการนำเอาแก๊ส SO_2 ถึงอัตราความคั่นโดยตรงมาใช้ในสถานประกอบการซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นนิติบุคคลนั้นต้องมีการขอใบอนุญาตการมีแก๊ส SO_2 ไว้ในครอบครอง จากกรมการอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ตั้งแต่การสอบประวัติ การตรวจสถานทีเก็บ การยื่นคำขอและเอกสารต่าง ๆ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 45 วัน แต่ในแง่ของการปฏิบัติงานและคุณภาพของผลล่ำไยแล้ว การใช้แก๊ส SO_2 มีความสะดวกในการปฏิบัติงานโดยสามารถลดเวลาในขั้นตอน

การปล่อยแก๊ส SO_2 เข้าสู่อากาศได้ประมาณ 3-4 เท่า เมื่อเทียบกับการเผาผลาญถ่าน นอกจากนั้นยังมีความร้อนเกิดขึ้นภายในห้องรม SO_2 น้อยมาก จึงช่วยให้ผลล้าไม่คุณภาพ โดยเฉพาะความสดของผิวเปลือกมากกว่าการเผาผลาญถ่าน ซึ่งประเด็นดังกล่าวนี้ มีผู้ประกอบการบางรายที่พึงพอใจในคุณภาพของล้า ไซสค และมีควมพร้อมที่จะลงทุน แต่ส่วนใหญ่แล้วยังเกิดความลังเลในการนำเอาแก๊ส SO_2 ถึงอัตราต้นทุนโดยตรงมาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลล้า ไซสค ยกเว้นว่าจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของแก๊ส SO_2 ที่ถูกลงหรือมีขั้นตอนการขอใบอนุญาตการมีแก๊ส SO_2 ไว้ในครอบครองน้อยลง และจากข้อมูลวันดังกล่าว บริษัทไทยอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด ซึ่งเป็นผู้จำหน่ายแก๊ส SO_2 รายใหญ่แห่งหนึ่ง ได้ให้ข้อมูลว่า ราคาแก๊ส SO_2 ถึงอัตราความต้นทุนโดยตรงสามารถลดลงได้ตามปริมาณการใช้หรือการสั่งซื้อที่เพิ่มมากขึ้น หรือในส่วนของ การขอใบอนุญาตการมีแก๊ส SO_2 ไว้ในครอบครองนั้น เจ้าหน้าที่กรมการอุตสาหกรรมทหารได้แนะนำว่า อาจจะต้องให้สถานที่ประกอบการที่อยู่ในบริเวณเดียวกันเตรียมเอกสารและดำเนินการขอใบอนุญาตพร้อมกันซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินงานได้

การใช้ประโยชน์จากงานวิจัย

จากการออกแบบและสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับและนำรวมกับการนำเอาแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงมาใช้ในกระบวนการรม SO₂ กับผลลำไยสด สามารถแบ่งประโยชน์ที่ได้ออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้วตั้ง

ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้วตั้งช่วยให้อากาศหรือแก๊ส SO₂ เข้าไปสัมผัสกับผลลำไยโดยตรงและการบรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งเป็นตะกร้าที่ใช้ในทางการค้าได้มากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ หลังสิ้นสุดการรมให้เหลือเพียง 4,000 ppm ซึ่งต่ำกว่าระดับความเข้มข้นตามคำแนะนำหรือตามที่อยู่ประกอบการใช้กันโดยทั่วไปคือ 15,000-20,000 ppm ประมาณ 4-5 เท่า หรือในแง่ของการเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้แก๊ส SO₂ ที่ต้องปล่อยเข้าไปในห้องรม SO₂ ที่ได้ออกแบบขึ้นมาซึ่งมีความจุ 22.5 ลูกบาศก์เมตร พบว่า กรณีที่มีปริมาณผลลำไยเท่ากัน การใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้วตั้ง สามารถลดปริมาณการใช้แก๊ส SO₂ ได้ประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติซึ่งวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปของสถานประกอบการ (ตารางที่ 52) ส่งผลให้ใช้ปริมาณ SO₂ ตกค้าง โดยผลพวงในเนื้อผลหลังจากกรรมพันธ์ที่ไม่เกิน 8 ppm และไม่พบการตกค้างเกิดขึ้นหลังจากการเก็บรักษา 5 วัน โดยยังคงสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 52 เปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่ต้องปล่อยเข้าไปในห้องเมื่อใช้

ระบบหมุนเวียนอากาศต่างกัน

ระบบหมุนเวียนอากาศ	ความเข้มข้นของแก๊ส SO ₂ ที่ต้องใส่ (ppm)	ปริมาณแก๊ส SO ₂ ที่ต้องปล่อยเข้าไปในห้อง		ความแตกต่าง
		ผลลำไย 60 ตะกร้า (660 กิโลกรัม)	ผลลำไย 120 ตะกร้า (1,320 กิโลกรัม)	
แบบบังคับแล้วตั้ง	4,000	0.80	1.30	ร้อยละ 45
แบบปกติ	15,000-20,000	1.45	2.00	

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแล้วตั้งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการลดปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลลำไยสดหรือนำมาใช้ปฏิบัติในเชิงการค้าสำหรับแก้ปัญหาการมีปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลลำไยสดที่สูงกว่าเกณฑ์ซึ่งประเทศผู้กำหนดไว้ และจากการสอบถามคุณอุไร สุวรรณวงศ์ กงสุตฝ่ายการเกษตรของประเทศไทย ประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นครกวางโจว ประเทศสาธารณรัฐ

ประชาชนจีน (ติดต่อด่วนตัว) ซึ่งเป็นประเทศผู้นำเข้าผลล่ำไยสดรายใหญ่ที่สุดของไไทยได้ให้ข้อมูลว่า ผลล่ำไยสดของประเทศไไทยยังคงมีปัญหาการมีปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลล่ำไยสูงกว่าเกณฑ์ที่ประเทศจีนกำหนดไว้ และในอนาคตคาดว่าประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนจะมีการลดค่าปริมาณ SO_2 ตกค้างสูงสุด ในเนื้อผลให้ต่ำกว่า 50 ppm

กรณีการใช้แก๊ส จากถังอัดความดันโดยตรง

การนำแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันมาใช้ในกระบวนการรม กับผลล่ำไยสดนั้นช่วยให้สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก และลดการใช้แก๊ส O_2 ที่จะนำมาใช้เร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ผงกำมะถัน ทำให้ลดความเสียยที่จะการระเบิดขึ้นได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นภายในห้องรม SO_2 ทำให้อุณหภูมิภายในห้องไม่สูงมาจากเกิน 100 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถรักษาคุณภาพผลล่ำไย โดยเฉพะความสดของผิวเปลือกได้ดียิ่งขึ้น และที่สำคัญคือ ช่วยให้การระบวณการรม SO_2 กับผลล่ำไยสดของไไทยมีมาตรฐานและได้รับการยอมรับจากต่างชาติมากขึ้น และเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยขยายตลาดส่งออกผลล่ำไยสดของประเทศไไทยไปยังประเทศที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลล่ำไยค่อนข้างเข้มงวด เช่น ประเทศในกลุ่มยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย

จากประโยชน์ทั้ง 2 กรณีดังกล่าว จึงถือเป็นทางเลือกให้แก่สถานประกอบการรม SO_2 กับผลล่ำไยสดของไไทยได้นำไปใช้ปฏิบัติเพื่อให้ตรงหรือบรรลุตตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการที่จะนำเอาผลงานวิจัยดังกล่าวไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้วต้องได้รับความร่วมมือจากทุก ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะในปัจจุบันซึ่งทั้งผู้ค้าและผู้บริโภคให้ความสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพของผลลิตผลเป็นอย่างมาก ดังนั้นผู้ประกอบการหรือผู้ส่งออกผลลิตไม่จกประเทศไไทยต้องมีการปรับกลยุทธในการส่งออกผลลิตเกษตรโดยหันมานั้นในเรื่องคุณภาพของผลลิตมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้มีลักษณะตรงตามความต้องการของตลาดหรือในส่วนองภาครัฐแล้ว ต้องมีการกำหนดข้อบังคับต่าง ๆ ให้ชัดเจน และที่สำคัญคือ ต้องสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2551. การรณล่ำไยสศเพื่อการส่งออก. กลุ่มพัฒนาระบตรงสอบและมาตรฐานการผลิตพืชและผลิตภัณฑ์พืช ล่ำน้กวิจยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. (เอกสารแผ่นพับ): กตม. 51004.
- จริมแท้ ศิริพานิช. 2538. สรรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมการฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 396 หน้า.
- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล. 2542. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 206 หน้า.
- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล จาตุพงศ์ วาฤทธิ และสมเกียรติ จตุรงค์ดีเลิศ. 2550 ก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการรณมลเฟอร์ไคออกไซด์ (SO₂) กับผลล่ำไยสศด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศแบบ forced-air. ล่ำน้กงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 87 หน้า.
- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล จาตุพงศ์ วาฤทธิ และสมเกียรติ จตุรงค์ดีเลิศ. 2550 ข. คุณภาพของผลล่ำไยสศที่ผ่านการรณมลเฟอร์ไคออกไซด์ (SO₂) ด้วยวิธีบังคับอากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 38 (6): 505-516.
- ซิงซิง ทองดี. 2535. การปฏิบัติการที่ถูกต้อง (GMP) ในการรณล่ำไยด้วย SO₂. หน้า 71-80. ใน เอกสารการฝึกอบรมการรณล่ำไยสศเฟอร์ไคออกไซด์กับล่ำไยสศหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก. 18 มีนาคม 2535 ณ โรงแรมรณการเค้นส์ กรุงเทพฯ.
- ธีรณุช เจริญกิจ จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และสุชาดา ทองศรี. 2548. สถานการณ์มลเฟอร์ไคออกไซด์คั่งค้างในผลล่ำไยสศของจังหวัดเชียงใหม่อล่ำพูน. หน้า 228. ใน รายงานการประชมุวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ 5. 26-29 พฤษภาคม 2548. โรงแรมเวฒ์คณมเทียนบิษ พัทยา ชลบุรี.
- มนตรี พิรุณเกษตร. 2545. กศสศสตร้อยงไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทวิทยพัฒนาจำกัด, กรุงเทพฯ. 588 หน้า.
- มาตรฐานสินค้ำเกษตรและอาหาร. 2553. ล่ำไย. [ระบบออนไลน์].
- แหล่งข้อมูล: <http://www.acfs.go.th/standard/download/longan.pdf>
- สถาบันอาหาร. 2541. คู่มือการอบรมรณล่ำไย-อบแห้งล่ำไยพร้อมกรรมวิธีและแบบแปลน. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทอินโนเมคย จำกัด, กรุงเทพฯ. 74 หน้า
- สมศักดิ์ ไซยะภันท์. 2547. กศสศสตร้อยงไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. ล่ำน้กพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 736 น.
- ล่ำน้กงานมาตรฐานสินค้ำเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2553. [ระบบออนไลน์].
- แหล่งข้อมูล: <http://www.acfs.go.th>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 2003. Resistance to airflow of grains, seeds, other agricultural products, and perforated metal sheets. ASAE D272.3, pp 570-574.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). 2001. Handbook of fundamental. USA: ASHRAE. 1200 p.
- Bill, W. T. 2005. Fans & ventilation: a practical guide; the practical reference book and guide to fans, ventilation and ancillary equipment with a comprehensive buyers' guide to worldwide manufactures and suppliers. Amsterdam: Elsevier. 424 p.
- Bleier, F. P. 1998. Fan handbook: selection, application, and design. New York: McGraw-Hill. 640 p.
- Bruno, E. 1899. Fan design and operation of centrifugal, axial-flow, and cross-flow fans. Oxford: Pergamon Press. 592 p.
- Brooker, D., F. Bakker and C. Hall. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: Van Nostrand Reinhold. 457 p.
- Ergan, S. 1952. Fluid flow through packed columns. Chemical Engineering Process 48(2): 89-94.
- Fluent Inc. 2001. Airpak 2.0 User's Guide, Fluent Inc.
- Holman, J. P 1978. Experimental methods for engineers, 4th eds. New York: McGraw-Hill. 514 p
- Jiang, Y., Z. Zhang, D.C. Joyce and S. Ketsa. 2002. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour). Postharvest Biology and Technology 26(3): 241-252.
- Kaviani, M. 1995. Principle of heat transfer in porous media. Springer. 708 p.
- Kays, W., Crawford, M. and B. Weigand. 2005. Convective heat and mass transfer, 4th eds. New York: McGraw-Hill. 546 p.
- Kosmos, S., G. Riskowski and L. Christianson. 1993. Force and static pressure resulting from airflow through screens. American Society of Agricultural Engineers 36(5): 1467-1472
- Laguerre, O., S. B. Amara and D. Flick. 2006. Heat transfer between wall and packed bed crossed by flow velocity airflow. Applied Thermal Engineering 26: 1951-1960.
- Lin, H.T., S.J. Chen, J.Q. Chen and Q.Z. Hong. 2001. Current situation and advances in post-harvest storage and transportation technologies of longan fruit. In Proceeding of The First International Symposium on Litchi and Longan. Acta Hort. 558: 343-351.
- Luvisi, D.A., H.H. Shorey, J.L. Smilanick, J.F. Thompson, B.H. Gump and J.Knuton. 1992. Sulfur Dioxide Fumigation of Table Grapes. Bulletin 1932. Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland: University of California. 21 p.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mill, A. F. 1995. Heat and mass transfer. Chicago: Irwin. 1240 p.
- Pan, X.C. 1994. Study on relationship between preservation and microstructure of longan fruit. J. Guangxi Agric 13: 185-188.
- Paul, R.E. and N.J. Chen. 1987. Change in longan and rambutan during post-harvest storage. Hortscience 22: 1303-1304.
- Sithiphong, N. 1989. Multi-Crop Dryers Project. First Phase (1986-1988). IDRC File No. 3-P-85-0063. Chiangmai University, Thailand.

ภาคผนวก

1. บทความเผยแพร่งานวิจัย

1.1 บทความงานวิจัยต้นมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จัดพิมพ์โดย ฝ่ายวิจัย สำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการ
การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้



47

ชื่อผลงาน	ห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) กับผลลำไยสดด้วยระบบ หมุนเวียนอากาศแบบบังคับ
ชื่อเจ้าของผลงาน	1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรพงษ์ พิมพ์พิมล ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและ อุตสาหกรรมเกษตร 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพจน์ วาฤทธิ์ 3. อาจารย์สมเกียรติ จตุรงค์ลาลิศ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - รางวัลที่ได้รับ (เป็นผลงานที่คาดว่าจะได้รับการยอมรับเชิงประจักษ์ในการนำไป ใช้ประโยชน์) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัย แม่โจ้

เนื้อหาผลงานโดยสังเขป

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่จำเป็นอย่างหนึ่งสำหรับผลลำไยสดคือ การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดได้ยาวนานขึ้นประมาณ 20-30 วัน และในปัจจุบันได้มีการวิจัยเพื่อปรับปรุงรูปแบบการรม SO₂ กับผลลำไยสด โดยนำเอาระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ (forced-air) เข้ามาใช้ในกระบวนการ รมพบว่า ช่วยให้มีปริมาณการไหลหรือการกระจายของอากาศภายในตะกร้าบรรจุ ผลลำไยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระดับความเข้มข้นของ SO₂ หลังจากสิ้นสุด การรมให้เหลือเพียง 2,000 ppm เมื่อเทียบกับกระบวนการปฏิบัติในเชิงการค้าโดยทั่วไปของผู้ประกอบการ ซึ่งใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติ (circulating-air) และมีระดับความเข้มข้นของ SO₂ หลังจากสิ้นสุดการรม 12,000-15,000 ppm โดยยังคงสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลได้เป็นเวลา 20 วัน หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ สำคัญคือ ทำให้ผลลำไยมีปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลลดลง และไม่พบปริมาณ SO₂ ตกค้างในส่วนของเนื้อผล



เปรียบเทียบการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติและแบบบังคับในระบบควบคุมการรวม SO_2

กับผลล้าโยสด

ระบบหมุนเวียนอากาศ	ความเข้มข้นของ SO_2 (ส่วนต่อล้านส่วน)	การป้องกันโรคและ การเกิดสัปดาห์ที่ผิดปกติ	ปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลล้าโย (ส่วนต่อล้านส่วน)	
			ส่วนเปลือก	ส่วนเนื้อ
แบบปกติ	12,000-15,000	✓	2,360	38
แบบบังคับ	2,000	✓	1,520	0

ส่วนประกอบที่สำคัญของห้องรวม SO_2 สำหรับผลล้าโยสด

1. ส่วนโครงสร้าง

1.1 โครงสร้างเป็นเหล็กทาสีกันสนิมมีขนาดกว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 3 x 3 x 2.50 เมตร ซึ่งสามารถบรรจุผลล้าโยได้สูงสุดประมาณ 1.5 ตัน (ตะกร้าละ 1.1 กิโลกรัม)

1.2 หลังคาและผนังใช้วัสดุ sheet steel color bond เคลือบสังกะสีและสีโพลีเอสเตอร์ มีฉนวนเป็นโพลีสไตรีนชนิดไม่ลามไฟ ความหนา 3 นิ้ว ส่วนพื้นมีไม้เนื้อแข็งรับน้ำหนักและปิดทับด้วยแผ่นสแตนเลสชนิดเรียบ

1.3 ประตูห้องเป็นแบบบานเดี่ยว

2. ส่วนของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ

2.1 ชุดระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง จำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดสามารถจัดวางตะกร้าบรรจุผลล้าโยบนแท่นวาง (pallet) ได้ 60 ตะกร้า รวมเป็น 120 ตะกร้า หรือประมาณ 1.320 กิโลกรัม โดยมีฝาครอบและผ้าใบสำหรับคลุมปิดด้านข้างของตะกร้าบรรจุผลล้าโยทั้ง 4 ด้าน พร้อมทั้งพัดลมดูดอากาศขนาดความเร็วลม 2,000 ฟุตต่อนาที (cfm) จำนวน 1 ตัว

2.2 ตู้ควบคุมระบบการทำงานพร้อมกับอุปกรณ์ปรับรอบความเร็วของพัดลม (inverter)

3. ชุดเตาเผาผงกำมะถัน

3.1 วัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลสตีลขนาดกว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 เซนติเมตร มีประตูเปิดปิด พร้อมกับท่อสแตนเลสตีลสำหรับนำแก๊ส SO_2 ผ่านชุดลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นก่อนเข้าสู่ห้องรวม SO_2

3.2 ใช้กรณีที่ต้องการแก๊ส SO_2 จากการผลิตผงกำมะถัน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยค่อนข้างต่ำ

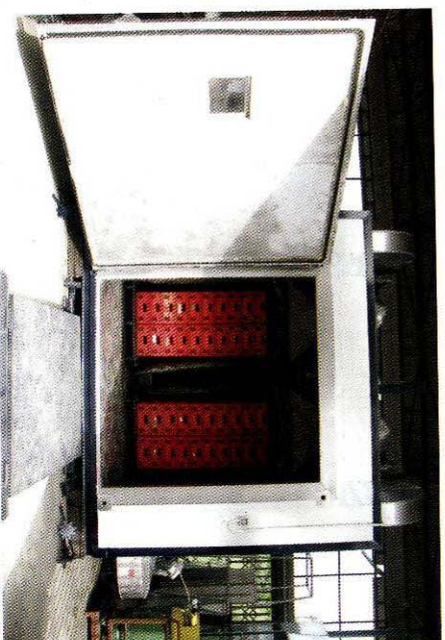
4. ชุดปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง (directly SO_2 gas)

4.1 นำถังแก๊ส SO_2 มาซึ่งบนเครื่องซึ่งแบบตัวเลขวีไฟฟ้า แล้วหักลบน้ำหนักตามปริมาณแก๊ส SO_2 ที่ต้องการปล่อยเข้าสู่ห้องรม

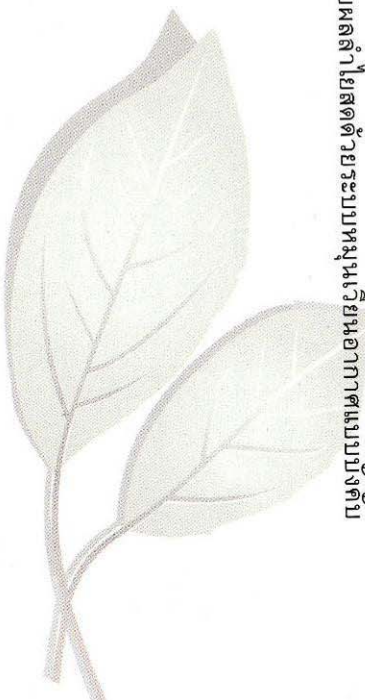
4.2 ใช้กรณีที่ต้องการใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง ซึ่งจะช่วยลดข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและความยากง่ายในการปฏิบัติงาน ที่ไม่ต้องมีกระบวนการเผาผลาญแก๊ส แต่มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสูงกว่าการเผาผลาญแก๊ส

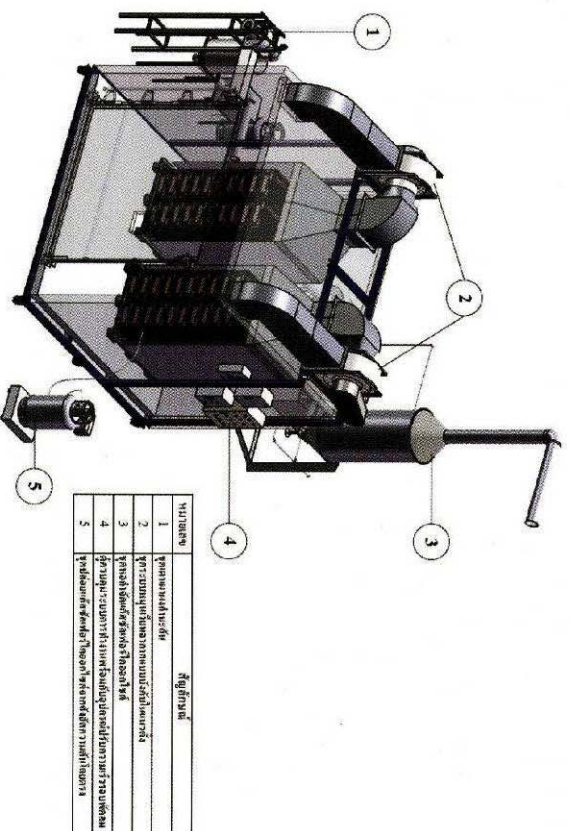
5. ชุดหมอกำจัดแก๊ส SO_2

วัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลสสตีล และเป็นระบบกำจัดแก๊สแบบเปียก (wet scrubber) คือ ภายในหมอกำจัดแก๊สมีชุดพ่นน้ำในใตจากด้านบนลงสู่ด้านล่างพร้อมกับตัวชะลอการไหลของแก๊ส SO_2 (packing) ทั้งนี้เพื่อให้ละอองน้ำในสลิสมส์กับแก๊ส SO_2 ที่ต้องการบำบัดมากที่สุด



ห้องรม SO_2 กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ





แหล่งติดต่อข้อมูลเพิ่มเติม

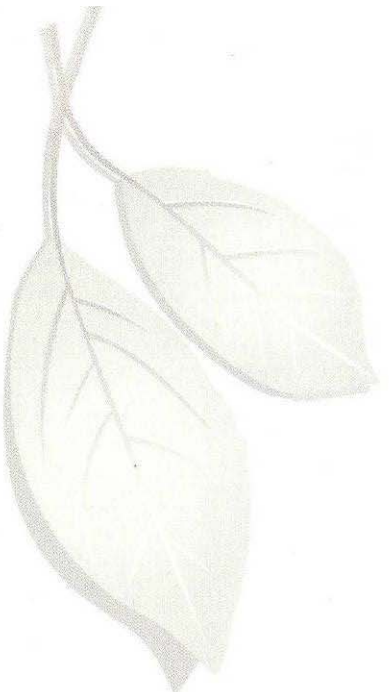
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรพงษ์ พิมพ์พิมล

ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์: 0-5387-8117 หรือ 0-8136-6299-3 โทรสาร: 0-5387-8122

E-mail: jakrapho@mjn.ac.th



1.2 บทคัดย่อสำหรับนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย การสัมมนาวิชาการ วิทยากรหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 19-20 สิงหาคม 2552 ณ โรงแรมอ่าวมาวิลดำ รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่

1.2.1 การศึกษาความตื่นตระหนกสำหรับห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

โดย พรเทพ จอมเมือง, จาตุพงษ์ วาสุพธิ์, สมเกียรติ จาตุรงค์กล้าเลิศ และจักรพงษ์ พิมพ์พิมล
1.2.2 คุณภาพของผลลำไยสดที่ผ่านการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

โดย กนกวรรณ จัปนบ, จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และจรัสแท้ ศิริพานิช

1.3 บทคัดย่อสำหรับนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เรื่อง “Improved sulphur dioxide fumigation of fresh longan using a vertical forced-air technique” ในการประชุมวิชาการนานาชาติ The Postharvest Pacifica 2009 ระหว่างวันที่ 15-19 พฤศจิกายน 2552 ณ เมือง Napier ประเทศนิวซีแลนด์

การศึกษาความดันตกคร่อมสำหรับห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของลำไย ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง

Study of Pressure Drop for Longan Sulfur dioxide Fumigation Chamber using Vertical Forced-Air System

พรเทพ จอมเมือง¹, จาตุพงษ์ วาฤทธิ¹, สมเกียรติ จตุรงค์คำเลิศ¹ และ จักรพงษ์ พิมพ์พิมล²
Pornthep Chommuang¹, Jatuphong Varith¹, Somkiat Jaturonglumert¹ and Jakraphong Phimpimoi²

Abstract

This objective of this research was to study the air flow resistance in term of pressure drop (ΔP) on the packed-longan basket which is an important factor for the design of vertical forced-air system in SO_2 fumigation process. The study was conducted by collecting ΔP from the test rig where the baskets were arranged into 1, 4 and 5 columns and 2-10 stacking levels. The data were analyzed for the relationship for the factors affecting ΔP using Buckingham Pi theorem with two dimensionless groups. These were a group of flow characterization, e.g., Euler's number (Eu) and Reynolds' number (Re), and a group of basket arrangement, e.g., ratio between equivalent diameter of basket column to basket stacking height (D/L). Results showed that Eu had no relationship with ΔP as well as other dimensionless groups. However, ΔP increased with increasing Re , meanwhile Re expressed exponentially relationship with D/L for each specific air flow rate. The ΔP was in a range of 10-500 Pa. At a given D/L , ΔP can be predicted from the relationship between Re and D/L with the error of 3.16 percent compared to the result from the experiment.

Key word: pressure drop, forced-air, longan

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้านทานการไหลของอากาศหรือค่าความดันตกคร่อม (ΔP) ของตะกร้าบรรจุผลลำไยสดชิ้นผ้า ซึ่งมีความสำคัญในการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง (vertical forced-air) สำหรับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในกลุ่มตัวแปรไร้มิติจากชุดทดสอบที่มีการจัดเรียงตะกร้าลำไยแบบ 1, 4 และ 5 ตะกร้า/ชั้น และมีการวางซ้อนในแนวตั้ง 2 ถึง 10 ชั้น จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่คิดค่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ΔP ด้วยทฤษฎีบัคคิงแฮม-ไพ (Buckingham Pi Theorem) ได้ตัวแปรไร้มิติแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้วิธีขยายพฤติกรรมการไหล ได้แก่ Euler's number (Eu) กับ Reynolds' number (Re) และกลุ่มที่ใช้วิธีขยายรูปแบบการจัดเรียง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดชั้นตะกร้ากับกำลังสองของความสูงชั้นตะกร้า (A/L^2) และอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ตะกร้ากับความสูงชั้นตะกร้า (D/L) ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ตัวเลข Eu ไม่มีความสัมพันธ์แบบยกกำลังกับค่า D/L และกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มอื่น ๆ แต่พบว่า ค่า ΔP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตัวเลข Re ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบยกกำลังกับค่า D/L และยังสามารถหาความสัมพันธ์การไหล ΔP มีค่าอยู่ระหว่าง 10-500 Pa จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลข Re กับค่า D/L จึงสามารถทำนายค่า ΔP เมื่อทราบค่า D/L และอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.16 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ ความดันตกคร่อม, การหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ, ลำไย

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Department of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

² ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² Department of Post Harvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

คุณภาพของผลลำไยสดที่ผ่านการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง

The Quality of Fresh Longan Fumigated with Sulfur Dioxide under Vertical Forced-Air Technique

กนกวรรณ ขันนบ¹, อัครพงษ์ พิมพ์พิมพ์และจิรเมศร์ ศิริพานิช¹
Kanokwan Kubnop¹, Jakraphong Phimphimol² and Jingfai Siriphanich¹

Abstract

The implementation of vertically forced-air technique at three air flow rates of 0.88, 1.15 and 1.40 m³/s using two basket shapes: the trapezoid shape (commercial basket) and the rectangle shape was studied. The fumigation was set to have 4,000 µg/l concentration of sulfur dioxide at the end on the process. The results has revealed that the quality of longans in all air flow rate in both basket shapes were alike after stored at 2°C and 95 %RH for 20 day. Soluble solids content was about 17.1-18.5 °brix and the brightness value (L*) of longan peel was around 49-51. These qualities were better than the untreated control. The sulfur dioxide residue in the pulp was not found. In the peel it was approximately 1,600-1,800 mg/kg and decreased to about 660-780 mg/kg after 20 days of storage. Therefore, the vertically forced-air technique at air flow rate of 0.88 m³/s can be applied with current commercial basket. This technique was also effective in preventing post-harvest diseases and browning in longan peel similar to those obtained from commercial fumigation process.

Key word: sulfur dioxide, vertically forced-air technique, quality of fresh longan

บทคัดย่อ

การศึกษาคูณภาพของผลลำไยพันธุ์ตี่ผ่านกระบวนการรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้งที่อัตราเร็ว 0.88, 1.15 และ 1.40 m³/s ปรจุในตะกร้า 2 ชนิด ได้แก่ ตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งใช้ทั่วไปทางการค้า และตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกำหนดให้มีระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรม 4,000 µg/l เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95 % เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่าอัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลลำไยในตะกร้าทั้ง 2 ชนิด คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 17.1-18.5 องศาบริกซ์และมีค่าความสว่าง (L*) ของผิวเปลือกประมาณ 50-51 ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าผลลำไยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการรม SO₂ (ชุดควบคุม) ส่วนปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกหลังการรมทั้งที่พบบประมาณ 1,600-1,800 mg/kg และลดลงจนเหลือประมาณ 660-780 mg/kg เมื่อเก็บรักษาไว้ 20 วัน ส่วนในเนื้อผล ไม่พบปริมาณ SO₂ ตกค้าง ดังนั้นการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้งกับตะกร้าที่ใช้ทั่วไปทางการค้าเพื่อตราราวอากาศไ้ไม่ต่ำกว่า 0.88 m³/s จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการระบบการรม SO₂ กับผลลำไยสดทางการค้าได้ โดยยังงป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลลำไยได้ดี

คำสำคัญ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง, คุณภาพผลลำไยสด

³ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Kamphaeng Seen Campus, Nakhon Pathom 73140

² ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² Department of Postharvest Technology Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

Improved sulfur dioxide fumigation of fresh longan using a vertical forced-air technique

Jakrathong Phimphimol¹, Jatuphong Varith², Somkiat Jaturonglumlert², Pornthep Chommuang² and Kanokwan Kubnop³

¹ Department of Postharvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry Maejo University, Chiangmai, Thailand.

² Department of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry

Maejo University, Chiangmai, Thailand.

³ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture

Kasetart University, Kamphangsae

Nakornpathom, Thailand.

Key word: Fresh longan, Sulfur dioxide, Vertical forced-air technique

Abstract

The problem of high sulfur dioxide (SO₂) residues on fresh longan (*Dimocarpus longan* Lour.) remains persistent in Thailand because of inefficient fumigation technology. An improved SO₂ fumigation process has been developed for longan by applying a vertical forced-air technique to reduce usage of SO₂. An experiment was conducted using a vertical forced-air column at three air flow rates of 0.6, 0.8 and 1.0 m³/s, with two types of basket, (rectangle and trapezoidal shaped-baskets), capable of holding of 550 and 660 kg of longan per batch, respectively. During the fumigation process, SO₂ with an initial concentration of 10,000-12,000 ppm was circulated through the forced-air column inside the fumigation chamber for about 60 min. After being absorbed by longan fruit, the SO₂ concentration decreased to the final concentration of 4,000 ppm, at which time the fumigation process was terminated. Quality and shelf-life of fresh longan were determined every fifth day during storage of 2 °C / 95%RH. Forced-air fumigation at all air-flow rates effectively prevented postharvest diseases and browning of fresh longan for at least 20 days. Air-flow rate and basket type were not significant factors ($p \geq 0.05$) affecting SO₂ residue on longan peel and pulp, which was within the range of 1,600-1800 mg/kg and 5 mg/kg immediately after fumigation respectively. The SO₂ concentration used in this work was approximately 3-5 times lower than official recommendations and commonly practiced by longan processors. It is suggested that a minimum air flow rate of 0.6 m³/s (or 3.27 m³/hr/kg-produce) should be applied to obtain minimal SO₂ residues with this vertical forced-air technique. Vertical forced-air SO₂ fumigation offers enhanced effectiveness for commercial practice with a trapezoidal-shaped basket where the SO₂ flow-thru is much weaker than the tunneled or horizontal forced-air technique.

2. กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

2.1 งานเผยแพร่ความรู้กิจกรรมและเทคโนโลยี วันเกษตรแม่โจ้ 75 ปี ระหว่างวันที่ 4-10 ธันวาคม 2551 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



ภาพผนวกที่ 1 ประมาณภาพงานเผยแพร่กิจกรรมและเทคโนโลยี วันเกษตรแม่โจ้ 75 ปี

2.2 งานนำเสนอผลงานวิจัยระดับภูมิภาค ครั้งที่ 1 ภาคเหนือ ระหว่างวันที่ 25-26 ธันวาคม 2551 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติติเอิมเพรส โรงแรมติเอิมเพรส จ.เชียงใหม่



ภาพผนวกที่ 2 การนำเสนอผลงานวิจัยระดับภูมิภาค ครั้งที่ 1

2.3. งานประชาสัมพันธ์คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ณ ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลเชียงใหม่แอร์พอร์ตพลาซ่า ระหว่างวันที่ 4-5 เมษายน 2552



ภาพผนวกที่ 3 ประมวลภาพงานประชาสัมพันธ์คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2.4 คณะทำงานทูตพาณิชย์ของประเทศไทยจากเมืองคูณหมิง และจากมณฑลกวางโจว นำเจ้าหน้าที่ CIQ ของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเข้าเยี่ยมชม เมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2552



ภาพผนวกที่ 4 ประมวลภาพการดูงานของเจ้าหน้าที่ CIQ จากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

2.5 การจัดโครงการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง การรณรงค์เผยแพร่ใบออกฤทธิ์ (SO₂) กับผลลัมไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ ณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร และ อาคารตีตบรจุผลิตผลเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 4 พฤศจิกายน 2552 โดยมีผู้ประกอบการ นักวิจัย นักวิชาการ และเกษตรกรผู้ที่สนใจเข้าร่วมโครงการจำนวน 72 คน ซึ่งมีรายละเอียดตามรายงานสรุปผลการดำเนินงานโครงการ

2.6 งานมหกรรมสินค้าและท่องเที่ยวไทย “คนไทยหัวใจเกษตร” ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 26–29 พฤศจิกายน 2552 ณ กันตนาบูฟิวทาวน์ อ.สาขลา จ.นครปฐม

2.7 คณะกรรมการส่งเสริมกิจการมหาวิทยาลัยแม่โจ้จากภายนอก เข้าเยี่ยมชมและดูงาน เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2552



ภาพผนวกที่ 5 ประมวลภาพการดูงานของคณะกรรมการส่งเสริมกิจการมหาวิทยาลัยแม่โจ้จากภายนอก

โปสเตอร์และแผ่นพับที่ใช้เผยแพร่ผลงานวิจัย

ห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) กับผลล่ายีสต์ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

- การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) กับผลล่ายีสต์
- ป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล
 - ยืดอายุการเก็บรักษาผลล่ายีสต์ได้
- โครงสร้างและส่วนประกอบของห้องรม SO₂ แบบบังคับแนวตั้ง

การรม SO₂ กับผลล่ายีสต์ด้วยระบบหมุนเวียนแบบบังคับ

บังคับ SO₂ ให้สัมผัสกับผลล่ายีสต์ให้ดียิ่งขึ้น

↓

ควบคุมการเกิดโรค การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ได้มากกว่า 20 วัน
ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์
และลดปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลล่ายีสต์

ควบคุมระดับความเข้มข้นของ SO₂ ที่ใช้ในกระบวนการได้ประมาณ 4-5 เท่า
เมื่อเทียบกับการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติ ซึ่งเป็นระบบหมุนเวียนอากาศ
ที่สภาพประกอบการรม SO₂ กับผลล่ายีสต์เดียวกันโดยทำไป

↓

ป้องกันการเกิดโรค การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ได้มากกว่า 20 วัน
ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์
และลดปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลล่ายีสต์

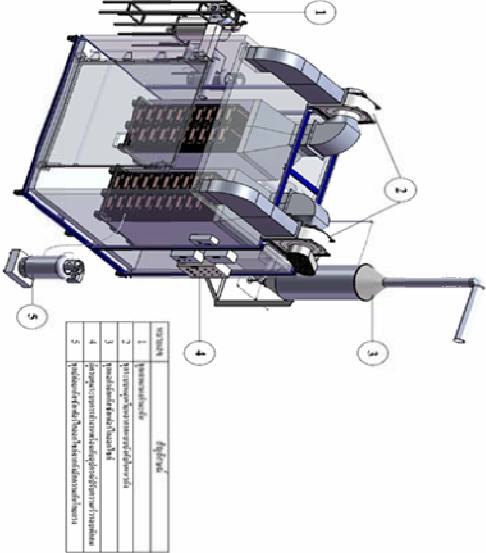
- ส่วนโครงสร้าง**
- โครงสร้างเป็นเหล็ก ขนาด 3x3x2.50 เมตร สามารถบรรจุผลล่ายีสต์ SO₂ กับผลล่ายีสต์ได้ครั้งละประมาณ 1.3 ตัน
 - หลังคาเคลือบสังกะสี sheet steel color bond โดยมีขนาดเป็นโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่ลามไฟ
 - ประตูห้องเป็นแบบบานเดียว
 - สามารถใช้ SO₂ ได้ทั้งจากภายนอกและถังและจากถังอัดความดันโดยตรง (directly SO₂ gas)
 - มีชุดหมักกำจัด SO₂ ก่อนปล่อยทิ้ง
- ส่วนของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ**
- ชุดระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับขนาดจำนวน 2 ชุด ซึ่งสามารถจัดตั้งและระบายผลล่ายีสต์แบบหมุนเวียนได้ชุดละ 60 ตันราคา รวม 2 ชุด ได้เท่ากับ 120 ตันราคา
- ประกอบโดย**
- > วัสดุก่ออากาศขนาดความกว้าง 2,000 ลูกบาศก์ฟุต
 - ถังหมัก (cftm) จำนวน 1 ตัวต่อชุด
 - > ฝาถังหมักและฝาในสำหรับกลุ่มปิดด้วยข้างของถังกว้างบรรจุผลล่ายีสต์ 4 ตัน

เปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊ส SO₂ จากถึงอัตราความถี่โดยตรงที่ต้องการนำไปในห้องเมื่อใช้ระบบหมุนเวียนอากาศต่างกัน

ระบบหมุนเวียนอากาศ	ความเข้มข้นของแก๊ส SO ₂ ที่ต้องใส่ (ppm)	ปริมาณแก๊ส SO ₂ ที่ต้องปล่อยเข้าไปในห้อง (660 กิโลกรัม)		ความถี่ต่อครั้ง
		ผลล่ายีสต์ 60 ตันราคา	ผลล่ายีสต์ 120 ตันราคา	
แบบบังคับ	4,000	0.8	1.3	
แบบปกติ	15,000-20,000	1.45	2.0	ร้อยละ 45

เปรียบเทียบปริมาณ SO₂ ตกค้างในผลล่ายีสต์ผ่านการการรม SO₂ จากถึงอัตราความถี่โดยตรงเมื่อใช้ระบบหมุนเวียนอากาศต่างกัน

ระบบหมุนเวียนอากาศ	การป้องกันโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล	ปริมาณ SO ₂ ตกค้าง (ppm) เฉลี่ยหลังจากรมทันที	
		เปลือก	เนื้อ
แบบบังคับ	✓	1,700	8
แบบปกติ	✓	1,800	38



หน้าเข้าโครงการวิจัย: จักรพงษ์ พิมพ์พิณ
ผู้ร่วมวิจัย: จาตุพจน์ วาฤทธิ และสมเกียรติ จรุงศักดิ์
รายละเอียดเพิ่มเติม โปรดติดต่อ
ศาสตราจารย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
โทรศัพท์ 081-3662993 หรือ jakapho@mjpu.ac.th

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการศึกษาวิจัย

3. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
การออกแบบและสร้างห้องรม SO ₂ ที่มีระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ (forced-air) ซึ่งเหมาะสมและสามารถนำมาใช้กับกระบวนการรม SO ₂ ผลลัพท์ในเชิงอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือเชิงการค้าได้	1. การออกแบบชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความดันตกคร่อมภายในตะกร้าบรรจุผลลัพท์ไลสคแล้วนำค่าความดันตกคร่อมมาใช้คำนวณหาขนาดของพัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน	1.1 การออกแบบชุดทดสอบเพื่อศึกษาค่าความดันตกคร่อมภายในตะกร้าบรรจุผลลัพท์ไลสคทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและทรงสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน 1.2 การศึกษาค่าความดันตกคร่อมภายในตะกร้าแต่ละรูปทรงเพื่อนำมาใช้คำนวณขนาดพัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน	1.1 ชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการสำหรับศึกษาค่าความดันตกคร่อมภายในตะกร้าบรรจุผลลัพท์ไลสคแต่ละรูปทรงของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับทั้งแนวดิ่งและแนวนอน 1.2.1 ค่าความดันตกคร่อมภายในตะกร้าผลลัพท์ไลสคแต่ละรูปทรงของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน 1.2.2 สมการความสัมพันธ์ของค่าความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลอากาศซึ่งจะนำมาใช้คำนวณขนาดพัดลมที่เหมาะสมสำหรับตะกร้าแต่ละรูปทรงของระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน
	2. การออกแบบและสร้างห้องรม SO ₂ กับผลลัพท์ไลสคด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน	2.1 การเขียนแบบและสร้างห้องรม SO ₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอน เตาเผาฟังกามะถันที่มีชุดลดอุณหภูมิแก๊ส SO ₂ แบบคอยล์ขดภายใน และชุดหอกำจัดแก๊ส SO ₂ แบบเปียก	2.1 ห้องรม SO ₂ ผลลัพท์ไลสคด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งและแนวนอนที่มีขนาดความจุผลลัพท์ไลสคสูงสุดประมาณ 1.3 ตัน พร้อมทั้งชุดเผาฟังกามะถัน และหอกำจัดแก๊ส SO ₂

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
		2.2 การออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอนภายในห้องรม SO₂ 2.3 การคำนวณขนาดพัดลมที่เหมาะสมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอนของห้องรม SO₂ ผลลัพธ์ที่ได้สร้างขึ้นมาสสำหรับดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ 2.4 การทดสอบประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอนของห้องรม SO₂ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ รูปทรงของตะกร้า จำนวนชั้นและรูปแบบการจัดเรียงตะกร้า รวมทั้งอัตราการไหลอากาศของพัดลมดูดอากาศจำนวน 3 ระดับ	2.2.1 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดสามารถรม SO₂ กับผลลำไยสดได้ครั้งละ 60 ตะกร้า รวมเป็นความจุสูงสุด 120 ตะกร้า 2.2.2 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอน ซึ่งสามารถรม SO₂ กับผลลำไยสดได้สูงสุดครั้งละ 112 ตะกร้า 2.3 พัดลมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอนของห้องรม SO₂ ที่สร้างขึ้นมาสสำหรับดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ต้องสามารถสร้างแรงดันสถิตได้ไม่ต่ำกว่า 2 นิ้วน้ำ และมีอัตราการไหลอากาศประมาณ 2,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) 2.4.1 ทิศทางการไหลและการกระจายของอากาศภายในห้องรม SO₂ ที่ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแต่ละรูปแบบ 2.4.2 การจัดเรียงตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เหมาะสมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งควรมีความสูงของตะกร้าจำนวน 10 ชั้น

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
		2.4.3 การจัดเรียงตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอนควรจัดเรียงแบบ 2×2×7 2.4.4 ข้อจำกัดของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอน 2.5 การศึกษาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอน ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ รูปทรงของตะกร้า รูปแบบการคลุมปิดผ้าใบ การเปิดและปิดช่องอากาศของแท่นรองตะกร้าบรรจุผลลำไย และความกว้างของช่องอุโมงค์ลม 2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอน	2.4.3 การจัดเรียงตะกร้าบรรจุผลลำไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอนควรจัดเรียงแบบ 2×2×7 2.4.4 ข้อจำกัดของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งและแนวนอน 2.5. แนวทางหรือวิธีปฏิบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพของหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอนสำหรับตะกร้าบรรจุผลลำไยทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2.6 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการหมัก SO₂ กับผลลำไยสดในเชิงการค้าคือ ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
		2.7 การศึกษาอัตราการไหลอากาศของพัดลมดูดอากาศที่เหมาะสมสำหรับการรม SO_2 กับผลล้าไยสดที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งเป็นตะกร้าที่ใช้ในทางการค้าด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง 2.8 การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง 2.9 การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพชุดเผาพวงก้ามะถันสำหรับลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ก่อนเข้าสู่ห้องรม	2.7 อัตราการไหลอากาศของพัดลมดูดอากาศสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่เหมาะสมกับตะกร้าบรรจุผลล้าไยทั้งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ ต้องไม่ต่ำกว่า 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที 2.8 ระบบควบคุมการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงเข้าสู่ห้องรม SO_2 ในรูปของมวลหรือน้ำหนัก ซึ่งใช้เวลาในขั้นตอนการปล่อยแก๊ส SO_2 เข้าสู่ห้องรมน้อยกว่าการเผาพวงก้ามะถันประมาณ 3-4 เท่า 2.9 ชุดเผาพวงก้ามะถันที่สามารถลดอุณหภูมิแก๊ส SO_2 ก่อนเข้าสู่ห้องรม SO_2 ได้ประมาณร้อยละ 70 และช่วยให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องรม SO_2 น้อยลง

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
	3. การศึกษากระบวนการรวม SO ₂ จากการเผาฟองกำมะถันและจากถังอัดความดันโดยตรงกับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง	3.1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่เหมาะสมสำหรับการรวมผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง 3.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นและรูปแบบของแก๊ส SO₂ ที่มีต่อคุณภาพผลลำไยซึ่งผ่านการรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง	3.1 ระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวมของแก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงที่เหมาะสมสำหรับการรวมผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งคือ 2,000-4,000 ppm 3.2.1 ระดับความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการรวมของแก๊ส SO₂ ทั้งที่ได้จากถังอัดความดันโดยตรงและการเผาฟองกำมะถันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการรวมผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งคือ 4,000 ppm 3.2.2 สามารถในการป้องกันโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ 3.2.3 มีปริมาณ SO₂ ตกค้างในเปลือกผลหลังการสิ้นสุดการรวมทันทีเฉลี่ยประมาณ 1,800 ppm และไม่เกิน 8 ppm ในส่วนของเนื้อผล และไม่พบการตกค้างในเนื้อผลหลังจากเก็บรักษา 5 วัน

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
		3.2.4 การเผาพวงกำมะถันทำให้มีอุณหภูมิภายในตะกร้าบรรจุผลลำไยและภายในห้องรม SO_2 เหลือแล้วสูงกว่าการใช้ SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงประมาณ 2°C และใช้เวลาในขั้นตอนการเผาพวงกำมะถันมากกว่าขั้นตอนการปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงเข้าสู่ห้องรมประมาณ 3 เท่า 3.3 การศึกษาร่วมกับผู้ประกอบการในการส่งผลลำไยสดที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาใช้กับผลลำไยสด โดยช่วยให้ผลลำไยสดมีความสดของผิวเปลือกมากกว่าผลลำไยที่ผ่านการรม SO_2 จากการเผาพวงกำมะถันของสถานประกอบการ และสามารถวางจำหน่าย ณ ตลาดขายปลีกได้ประมาณ 8 วัน	

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
	4. การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์และการเผยแพร่ผลงานวิจัย	4.1 การคิดต้นทุนดำเนินงานเกี่ยวกับกระบวนการรวม SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการการเผาพวงก๊าซกับผลล้าไฮสค 4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาสำหรับดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ โดยคิดค่าใช้จ่ายการลงทุนพร้อมทั้งจุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุน เมื่อรับจ้างรวม SO₂ กับผลล้าไฮสคกิโกรัมละ 1.00 บาท 4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของห้องรวม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่มีโครงสร้างเป็นผนังคอนกรีตสำหรับการปฏิบัติงานในระดับอุตสาหกรรม โดยคิดค่าใช้จ่ายการลงทุนพร้อมทั้งจุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุน เมื่อรับจ้างรวม SO₂ กับผลล้าไฮสคกิโกรัมละ 1.00 บาท	4.1 การใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงและจากการเผาพวงก๊าซมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 0.50 และ 0.10 บาท ต่อกิโกรัมผลล้าไฮสคตามลำดับ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการสร้างห้อง 560,000 บาท <u>กรณีใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดัน</u> จุดคุ้มทุน 1,075 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3.4 เดือน <u>กรณีใช้การเผาพวงก๊าซ</u> จุดคุ้มทุน 617 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน 4.3 ค่าใช้จ่ายในการสร้างห้อง 202,100 บาท <u>กรณีใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดัน</u> จุดคุ้มทุน 392 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.2 เดือน <u>กรณีใช้การเผาพวงก๊าซ</u> จุดคุ้มทุน 179 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 0.6 เดือน

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
		4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนดัดแปลงห้องรม SO_2 ของผู้ประกอบการทั่วไปมาเป็นระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง โดยคิดค่าใช้จ่ายการลงทุน พร้อมทั้งจุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุน เมื่อรับจ้างรม SO_2 กับผลล้าไฮสตกิโลกรัมละ 1.00 บาท 4.5 การจัดโครงการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับผลล้าไฮสตกด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 4.6 การเข้าร่วมประชุมวิชาการในประเทศและต่างประเทศ 4.7 การจัดทำสื่อ เช่น VCD หรือสิ่งพิมพ์ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย	4.4 ค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงห้อง 148,100 บาท <u>กรณีใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดัน</u> จุดคุ้มทุน 287 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 0.9 เดือน <u>กรณีใช้การเผาฟางกำมะถัน</u> จุดคุ้มทุน 120 ต้นต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 0.4 เดือน 4.5 มีผู้ประกอบการ นักวิจัย นักวิชาการ และเกษตรกร ผู้ที่สนใจเข้าร่วมโครงการจำนวน 72 คน ซึ่งมีรายละเอียดข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตามรายงานสรุปผลการดำเนินงานโครงการ 4.6 บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ 2 เรื่อง และนานาชาติ 1 เรื่อง 4.7 มี VCD เผยแพร่ผลงานวิจัย 1 เรื่อง โปสเตอร์จำนวน 3 แผ่น พร้อมแผ่นปลิวมากกว่า 500 แผ่น