

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย	2
2. ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ตัวชี้วัดแก๊ส	3
2.2 การทดสอบสมบัติทางกล	9
2.3 สี (Color)	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3. การดำเนินงานวิจัย	19
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	19
3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการวิจัย	23
4.1 ผลของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ methylene blue, (MB) : photoinitiator,(BDK) สำหรับการเตรียมเป็นฟิล์ม	23
4.2 ผลของความหนาของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 ต่อการเปลี่ยนแปลงสี และสมบัติทางกล	40
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 ผลของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ Redox dye (Methylene Blue) : Photoinitiator (BDK) ต่อการเปลี่ยนแปลงสีและความต้านทานแรงขาดดึงของฟิล์มตัวชี้วัดการมีออกซิเจน	50
5.2 การศึกษาผลของความหนาฟิล์ม ตัวชี้วัดการมีออกซิเจนต่อการเปลี่ยนสี และสมบัติทางกล	50
5.3 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	59
ก. ผลการทดสอบหาอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ Redox dye(MB) : photoinitiator (BDK) ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเป็นฟิล์ม	59
ข. ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มกับออกซิเจนในอากาศ	68
ค. ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม และด้านการยึดตัวของฟิล์ม	85
ง. ผลของความหนาของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 ต่อการเปลี่ยนแปลงสี และสมบัติทางกล	87
จ. ผลการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	92

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ฉ. ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม และด้านการยึดตัวของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm	101
ประวัติผู้วิจัย	103

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ตัวอย่างสีย้อมพีเอชสำหรับการพัฒนาตัวชี้วัดการสุก	6
2.2	สมบัติทางด้านความเค้นและความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ	13
4.1	แสดงสี MB ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK ต่างๆกัน ก่อนการฉายแสงยูวี	24
4.2	แสดงสี MB ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK ต่างๆกัน หลังการฉายแสงยูวีในช่วงเวลาที่กำหนด	25
4.3	การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ	31
4.4	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีความหนาของ 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี	41
4.5	แสดงการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งสังเกตด้วยตาเปล่าเมื่อฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	45
ก.1	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	55
ก.2	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 20 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศ หลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ	56
ก.3	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 14.28 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	57
ก.4	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 10 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	58
ก.5	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	59

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.6 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	60
ก.7 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33.33 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	61
ก.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 66.66 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวี ในระยะเวลาต่างๆ	62
ข.1 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33.33 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	64
ข.2 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 20 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	66
ข.3 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 14.28 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	68
ข.4 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 10 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	70
ข.5 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	72
ข.6 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	74

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.7 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33.33 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	76
ข.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 66.66 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในระยะเวลาต่างๆ	78
ค.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม และด้านการยึดตัวของฟิล์ม ก่อนและหลังฉายแสงยูวี	81
ง.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ΔE ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032 mm	83
ง.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ΔE ของฟิล์มที่มีความหนา 0.045 mm	84
ง.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ΔE ของฟิล์มที่มีความหนา 0.060 mm	85
ง.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ΔE ของฟิล์มที่มีความหนา 0.077 mm	86
จ.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่มีความหนา 0.032 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	88
จ.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่มีความหนา 0.045 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	90
จ.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่มีความหนา 0.060 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	92
จ.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่มีความหนา 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	94
ฉ.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม และด้านการยึดตัวของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ก่อนและหลังฉายแสงยูวี	92

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ปฏิกริยาสีย้อมรีดอกซ์ร่วมกับสารให้ไฮโดรเจนอะตอม	3
2.2 ปฏิกริยาสีย้อมรีดอกซ์ร่วมกับสารกึ่งตัวนำและตัวให้อิเล็กตรอน	4
2.3 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบิน	4
2.4 ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างลูโค เมทิลีน บลู และออกซิเจน โดยมีกลูโคสเป็นสารให้ไฮโดรเจนอะตอม	6
2.5 ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างลูโค เมทิลีน บลู และออกซิเจน โดยมีกรดแอสโคบิกเป็นสารให้ไฮโดรเจนอะตอม	7
2.6 ปฏิกริยาสีย้อมรีดอกซ์ระหว่างลูโค เมทิลีน บลู และออกซิเจน โดยมีไทเทเนียมออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำและกลีเซอรอลเป็นตัวให้อิเล็กตรอน	7
2.7 ปฏิกริยาสีย้อมรีดอกซ์ระหว่างลูโค เมทิลีน บลู และออกซิเจน โดยมีทินไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำและกลีเซอรอลเป็นตัวให้อิเล็กตรอน	8
2.8 หลักการทดสอบแรงดึง	9
2.9 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว	9
2.10 ตัวอย่างขนาดและรูปทรงชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	10
2.11 การหาค่ามอดูลัสในแบบต่างๆ	11
2.12 ลักษณะกราฟแรงดึง ระยะทาง ของวัสดุพอลิเมอร์กลุ่มต่างๆ	13
2.13 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุทึบแสง	14
2.14 ลักษณะการทะลุผ่านแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส	14
2.15 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี	16
2.16 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ	16
2.17 Spectrophotometer แบบพกพา	17

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 การเปลี่ยนแปลงความสว่าง (L^*) ของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ	26
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของฟิล์มที่อัตราส่วนความเข้มข้น MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ	27
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ	28
4.4 ค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ	29
4.5 การเปลี่ยนแปลงความสว่าง (L^*) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ	32
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ	33
4.7 การเปลี่ยนแปลง b^* ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของ MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ	34
4.8 การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างสี (ΔE) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ	35
4.9 ความต้านทานแรงดึงขาดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 16.66, 0 : 33 และ 0 : 66.66	36

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.10 ความต้านทานแรงดึงขาดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDk เท่ากับ 1 : 16.66, 1 : 33 และ 1 : 66.66	37
4.11 การยืดตัวทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDk เท่ากับ 0 : 16.66, 0 : 33 และ 0 : 66.66	38
4.12 การยืดตัวทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDk เท่ากับ 1 : 16.66, 1 : 33 และ 1 : 66.66	39
4.13 ค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี	42
4.14 ค่าความสว่าง (L^*) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี	43
4.15 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดง (+) เป็นสีเขียว (a^*) ของฟิล์ม ที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี	43
4.16 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง (b^*) ของฟิล์ม ที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm	44
4.17 ความแตกต่างสี ΔE ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	45
4.18 ความสว่าง (L^*) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	46
4.19 การเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเขียว (a^*) ของฟิล์ม ที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	47
4.20 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน (b^*) ของฟิล์ม ที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ	47
4.21 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี	48
4.22 การยืดตัวของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี	49