

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาตัวชี้วัดการมีออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ ศึกษาผลของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ Redox dye กับ Photoinitiator ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose, MC) ที่มี methylene blue กับ BDK ผสมอยู่ โดยการเตรียมเป็นฟิล์มบรรจุในถุงสุญญากาศ และฉายแสงยูวี จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่ได้โดยใช้เครื่อง spectrodensitometer วัดค่าสี และวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIELAB ศึกษาความต้านทานแรงดึงขาด และการยึดตัวของฟิล์ม ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้








### 4.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ methylene blue, (MB) : Photoinitiator, (BDK) สำหรับการเตรียมเป็นฟิล์ม

#### 4.1.1 ผลการทดสอบหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Redox dye(MB) : photoinitiator (BDK) ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเป็นฟิล์ม











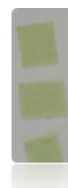










เตรียมฟิล์มเมทิลเซลลูโลส ที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ Redox dye กับ Photoinitiator ต่างๆและทำการสังเกตสีที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่าทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ทำการวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ของฟิล์ม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.4 และวิเคราะห์ค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ด้วยระบบ CIELAB และความแตกต่างสี  $\Delta E$  ด้วยเครื่อง spectrodensitometer โดยค่า  $L^*$  บ่งบอกถึงค่าความสว่างของฟิล์ม ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะบ่งบอกความเป็นสีของฟิล์มโดยจะมีทั้งค่าสีที่เป็นบวกและค่าสีที่เป็นลบ เมื่อค่าสี  $a^*$  มีค่าเป็นบวกจะบ่งบอกถึงความเป็นสีแดง และถ้าค่าสี  $a^*$  มีค่าเป็นลบจะบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว เมื่อค่า  $b^*$  มีค่าเป็นบวกจะบ่งบอกถึงความเป็นเหลือง และถ้าค่าสี  $b^*$  มีค่าเป็นลบจะบ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน และความแตกต่างสี  $\Delta E$  จะเป็นค่าที่คำนวณจากความแตกต่างของ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ที่เวลาใดๆ เทียบกับค่าดังกล่าวที่เวลาเริ่มต้น ( $L = 0$ )

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า สีของฟิล์มก่อนการฉายแสงยูวีจะให้เฉดสีน้ำเงิน ขึ้นกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ MB : BDK โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33 จะให้ฟิล์มที่มีสีอ่อนที่สุด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าและสามารถพิจารณาจากค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$

ตารางที่ 4.1 แสดงสี MB ของฟิล์มที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักของ MB : BDK ต่างๆกันก่อนการฉายแสงยูวี

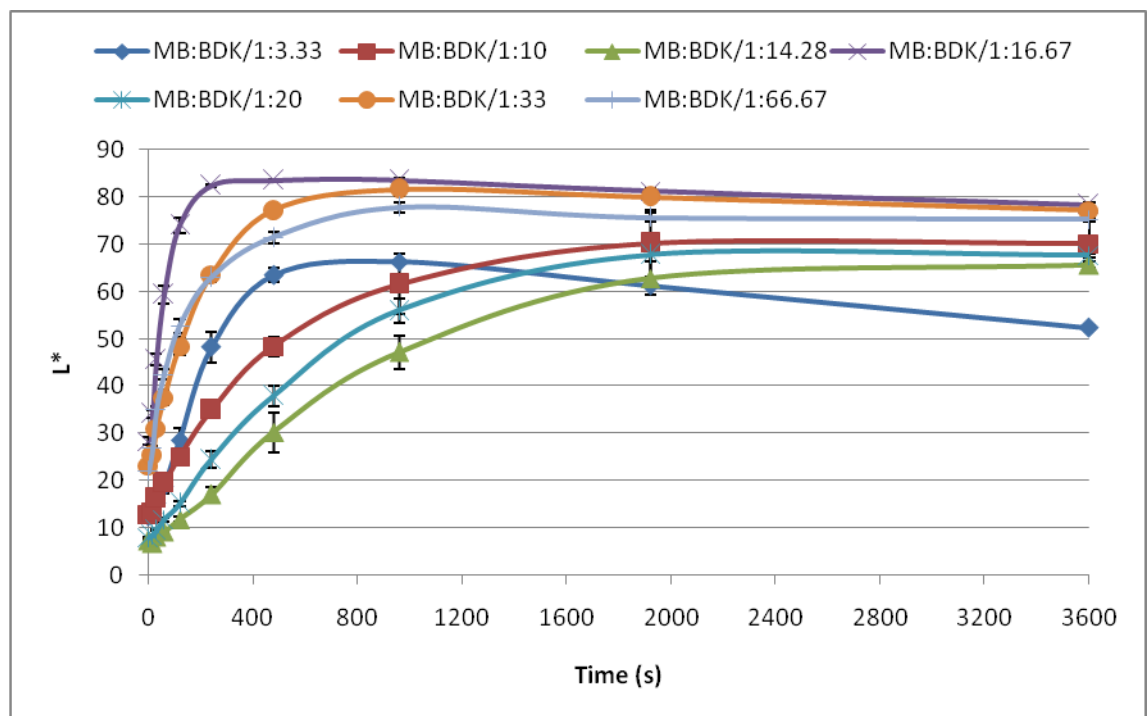
เวลาฉายแสง (นาท)	สีของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ MB : BDK						
	1 : 3.33	1 : 10	1 : 14.28	1 : 16.67	1 : 20	1 : 33	1 : 66.67
0							

ตารางที่ 4.2 แสดงสี MB ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ MB : BDK ต่างๆกันหลังการฉายแสงยูวีในช่วงเวลาที่กำหนด

เวลาฉายแสง (นาทีก)	สีของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ MB : BDK						
	1 : 3.33	1 : 10	1 : 14.28	1 : 16.67	1 : 20	1 : 33	1 : 66.67
1 นาที							
4 นาที							
16 นาที							

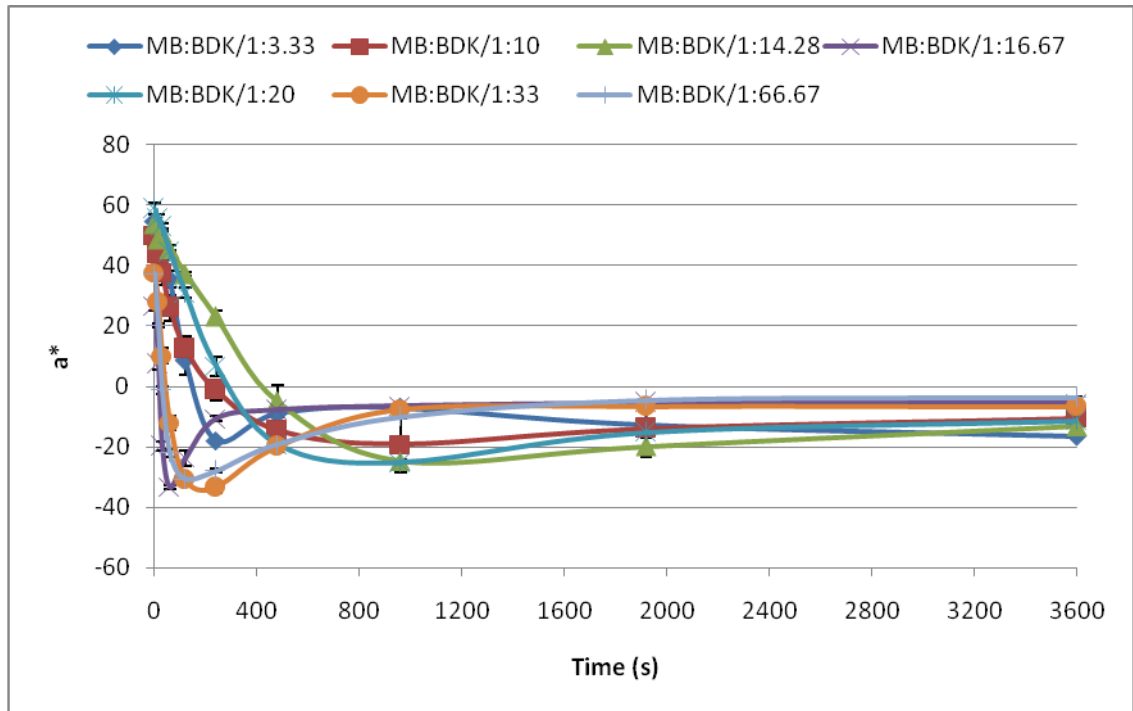
จากตารางที่ 4.2 พบว่า หลังการฉายแสงยูวี MB ที่อยู่ในฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำเงินอ่อนหรือเป็นสีเหลือง โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง ในเวลาน้อยกว่า 16 นาที

เมื่อพิจารณาค่าสีของฟิล์มทั้งหมด พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายกันคือ ค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และลดลงอย่างช้าๆจนในที่สุดฟิล์มจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงความสว่างของสี แสดงว่าฟิล์มมีความสว่างขึ้นหลังการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.1) โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ฟิล์มจะมีความสว่างใกล้เคียงกันและมีค่า  $L^*$  สูงที่สุด และใช้เวลาน้อยในการทำให้ฟิล์มไม่มี การเปลี่ยนแปลงความสว่างของสี



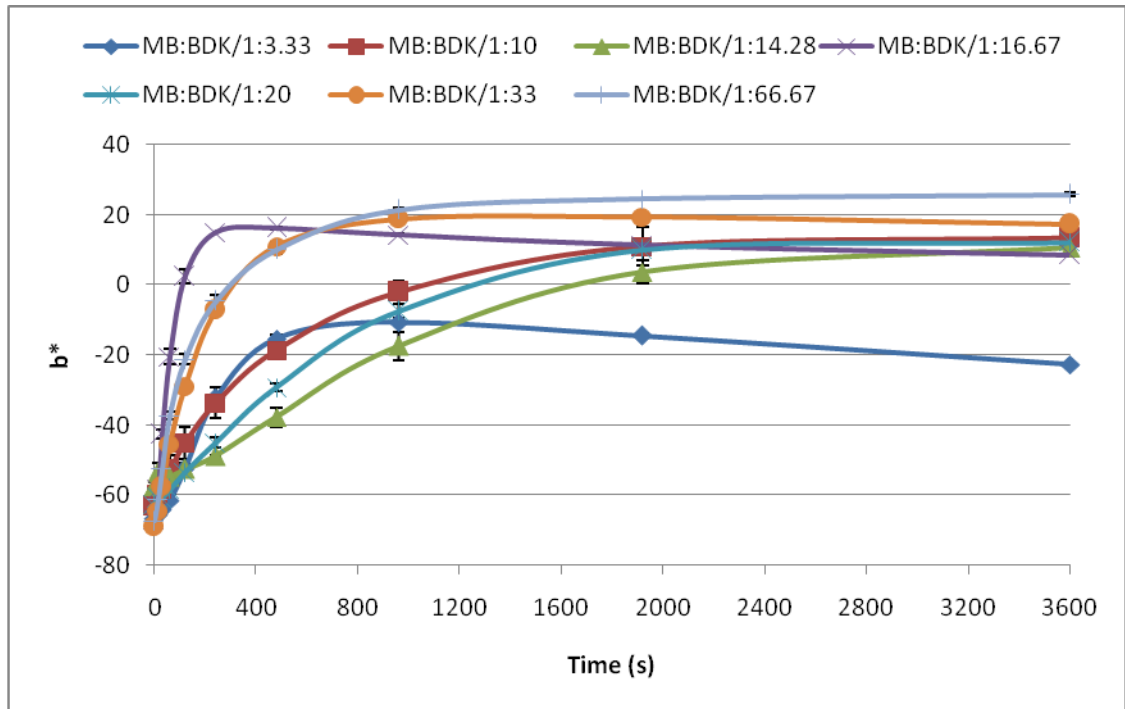
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความสว่าง ( $L^*$ ) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศ หลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่า  $a^*$  ที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ผ่านการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.2) พบว่า  $a^*$  มีค่าเป็นบวกก่อนการฉายแสงยูวีและลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าลบ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงจากสีที่มีองค์ประกอบของสีแดงมากไปเป็นสีที่มีองค์ประกอบของสีเขียวมากขึ้น โดยฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  มากที่สุดและเร็วที่สุดคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33 และ 1:16.67



รูปที่ 4.2 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 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ

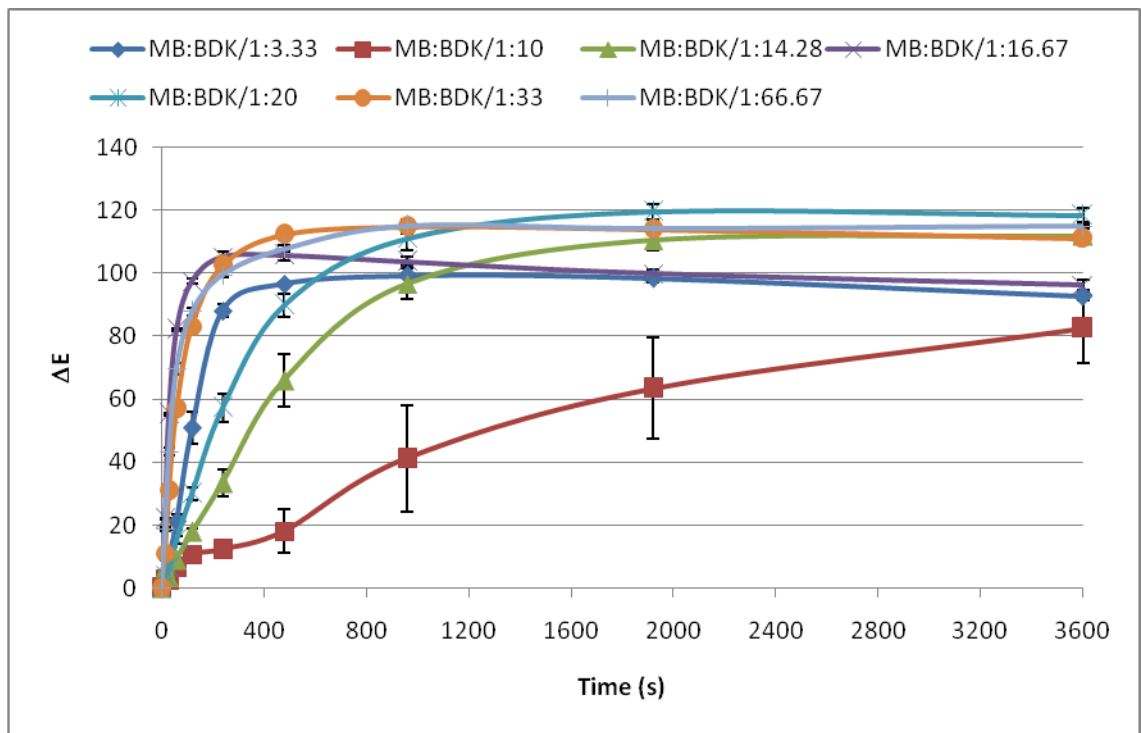
เมื่อพิจารณาค่า  $b^*$  ที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ผ่านการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.3) พบว่า  $b^*$  มีค่าเป็นลบก่อนการฉายแสงยูวีและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงจากสีที่มีองค์ประกอบของสีน้ำเงินไปเป็นสีที่มีองค์ประกอบของสีเหลืองมากขึ้น โดยฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  มากที่สุดและเร็วที่สุดคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1:16.67, 1 : 33 และ 1 : 66.67



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศหลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ

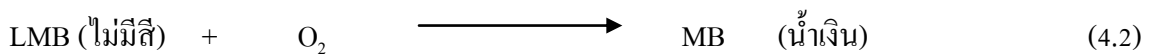
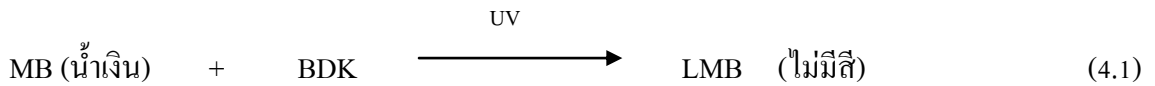
ความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK ต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกับค่า  $L^*$  และ  $b^*$  (รูปที่ 4.4) โดยพบว่า ความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการฉายแสงนานขึ้น โดยฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  มากที่สุดและเร็วที่สุดคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67, 1 : 33 และ 1 : 66.67

เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 มีการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดและเร็วที่สุด รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการฉายแสงน้อย



รูปที่ 4.4 ค่าความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 ซึ่งบรรจุในถุงสุญญากาศ หลังการฉายแสงยูวีในระยะเวลาต่างๆ















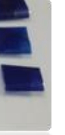






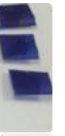






การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อ BDK ถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี ทำให้ BDK สูญเสียอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะรีดิวซ์ methylene blue (MB) ซึ่งมีสีน้ำเงินให้กลายเป็น leuco methylene blue (LMB) ซึ่งไม่มีสี ดังแสดงในสมการ (4.1) หลังจากนั้นเมื่อ LMB ถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนก็จะเปลี่ยนกลับมาเป็น MB ที่มีสีน้ำเงินดั้งเดิม ดังแสดงในสมการ (4.2) [1]

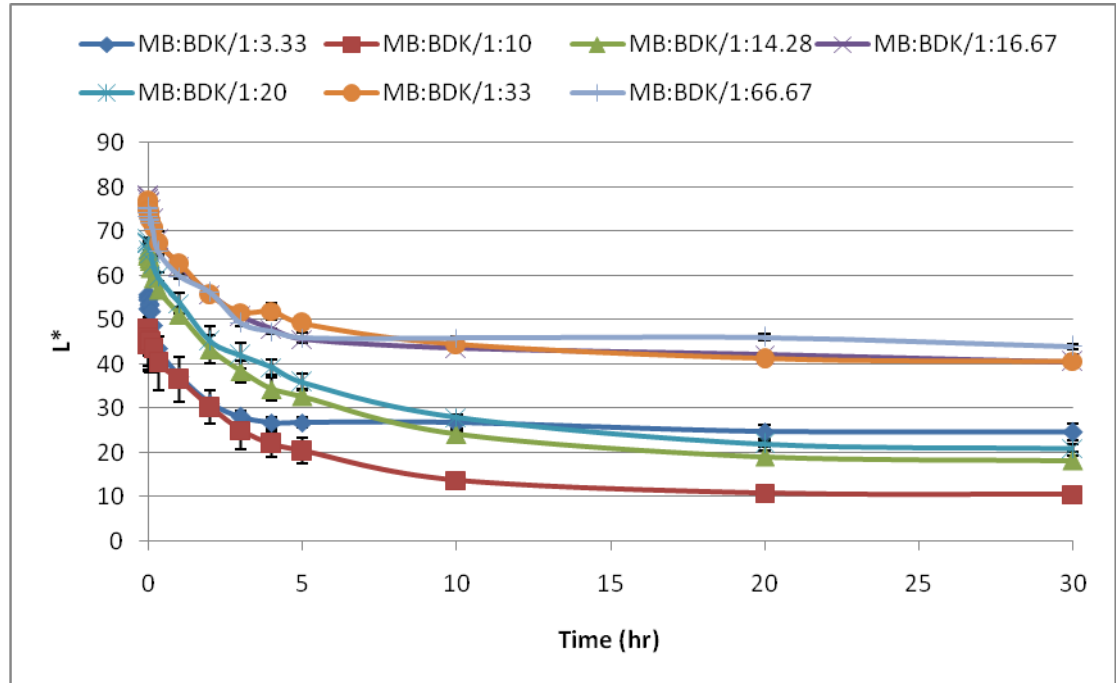


#### 4.1.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มกับออกซิเจนในอากาศ

เมื่อนำฟิล์มที่ผ่านการฉายแสงยูวีจนทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองแกมเขียวเนื่องจาก MB ถูกรีดิวซ์เป็น LMB มาทดสอบกับออกซิเจนจะเห็นว่าฟิล์มจะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองแกมเขียวกลับเป็นสีน้ำเงินอีกครั้งหนึ่งเนื่องจาก LMB ถูกออกซิไดซ์ด้วย  $\text{O}_2$  ไปเป็น MB ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเมื่อทำการวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $\Delta E$  ด้วยเครื่อง spectrodensitometer จะได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 - 4.8 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสี  $L^*$  และ  $b^*$  จะลดลงและคงที่ตามระยะเวลาที่ฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ (รูปที่ 4.5 และ 4.7) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมีความสว่างลดลงทำให้มองเห็นฟิล์มมีสีทึบขึ้นและมีสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ

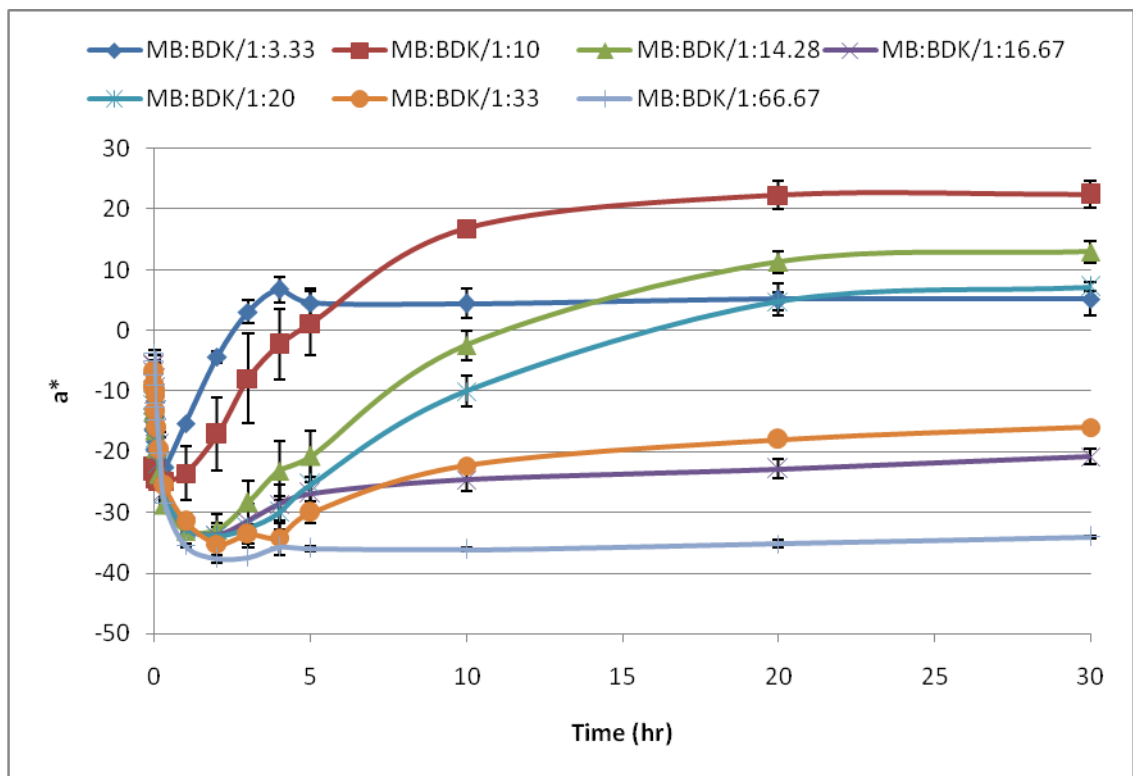
เวลาสัมผัส O <sub>2</sub> (นาที)	การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK						
	1 : 3.33	1 : 10	1 : 14.28	1 : 16.67	1 : 20	1 : 33	1 : 66.67
4 นาที							
1 ชม							
5 ชม							
30 ชม							



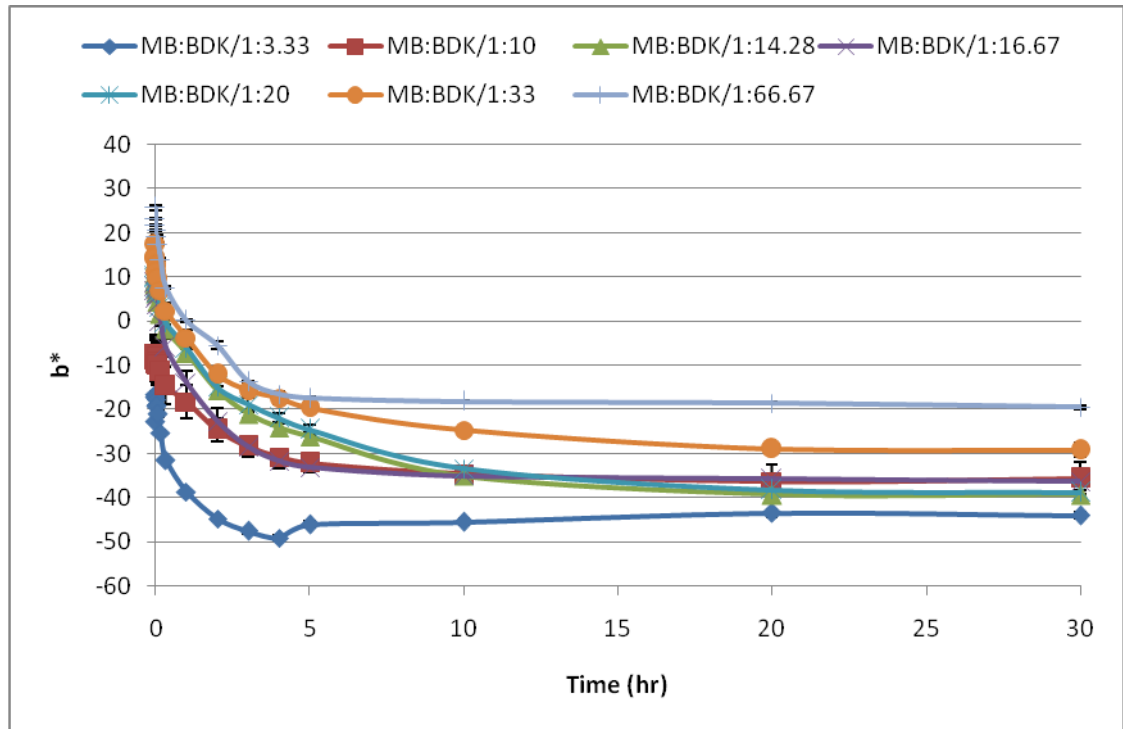
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความสว่าง ( $L^*$ ) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่า  $a^*$  ที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ (รูปที่ 4.6) พบว่า ค่า  $a^*$  มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าติดลบในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมง แสดงว่าฟิล์มมีองค์ประกอบของสีเขียวเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นค่า  $a^*$  จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่ ซึ่งแสดงว่าฟิล์มมีสีแดงเพิ่มขึ้น แต่สำหรับฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33 และ 1 : 10 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ที่รวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  พบว่า  $b^*$  ก่อนสัมผัสกับออกซิเจนจะมีค่าเป็นบวก หลังจากนั้นเมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ค่า  $b^*$  มีค่าลดลงอย่างช้าๆจนกระทั่งมีค่าคงที่ แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีที่มีองค์ประกอบของสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น (รูปที่ 4.7)

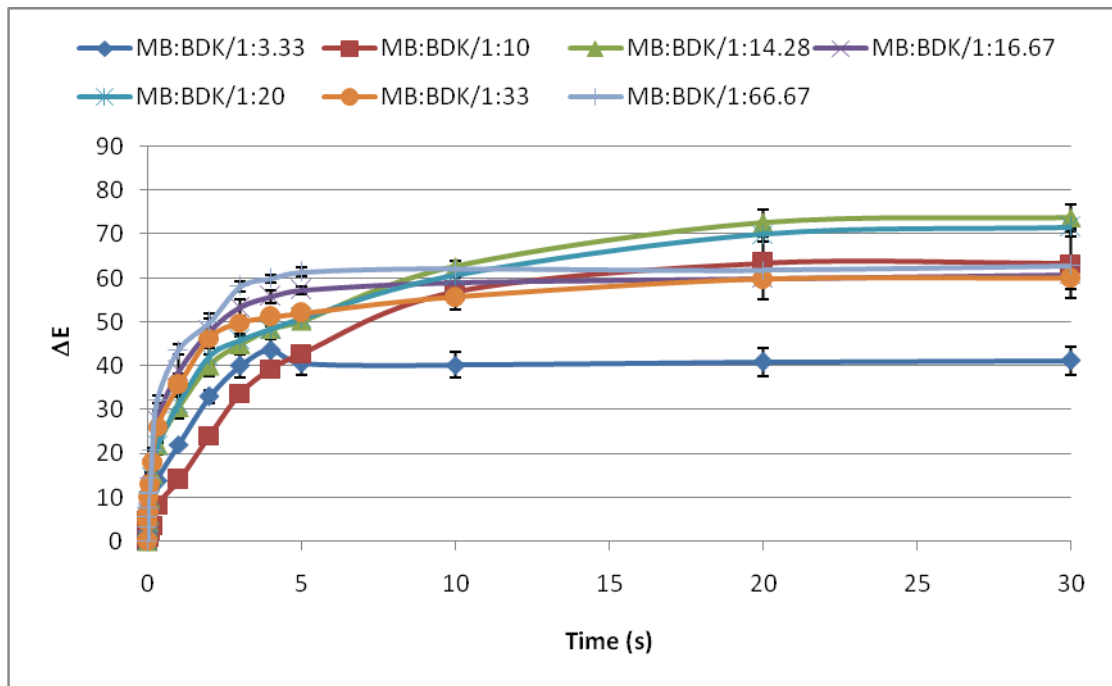


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่า ความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นค่า  $\Delta E$  จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าจนกระทั่งคงที่ โดยฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  มากที่สุดและเร็วที่สุดคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67, 1 : 33 และ 1 : 66.67



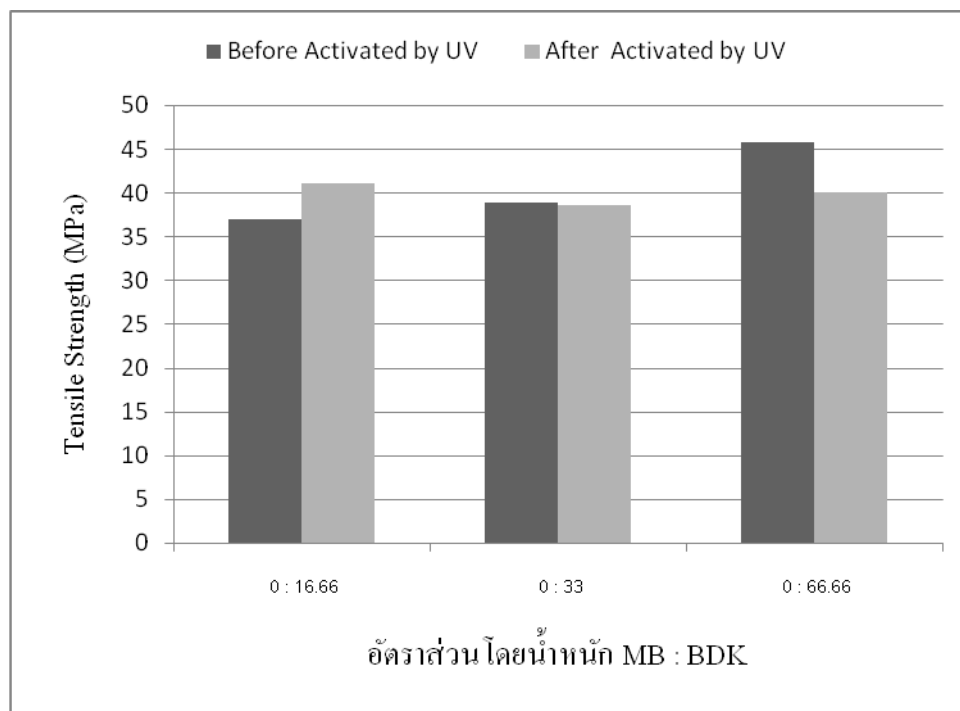
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 3.33, 1 : 10, 1 : 14.28, 1 : 16.67, 1 : 20, 1 : 33 และ 1 : 66.67 เมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในช่วงระยะเวลาต่างๆ

เนื่องจากฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 และ 1 : 66.67 เป็นฟิล์มที่ให้การเปลี่ยนแปลงของสีเร็วที่สุดและให้ความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เร็วที่สุดทั้งหลังการฉายแสงยูวีและหลังการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 ในการศึกษาต่อไป

### 4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

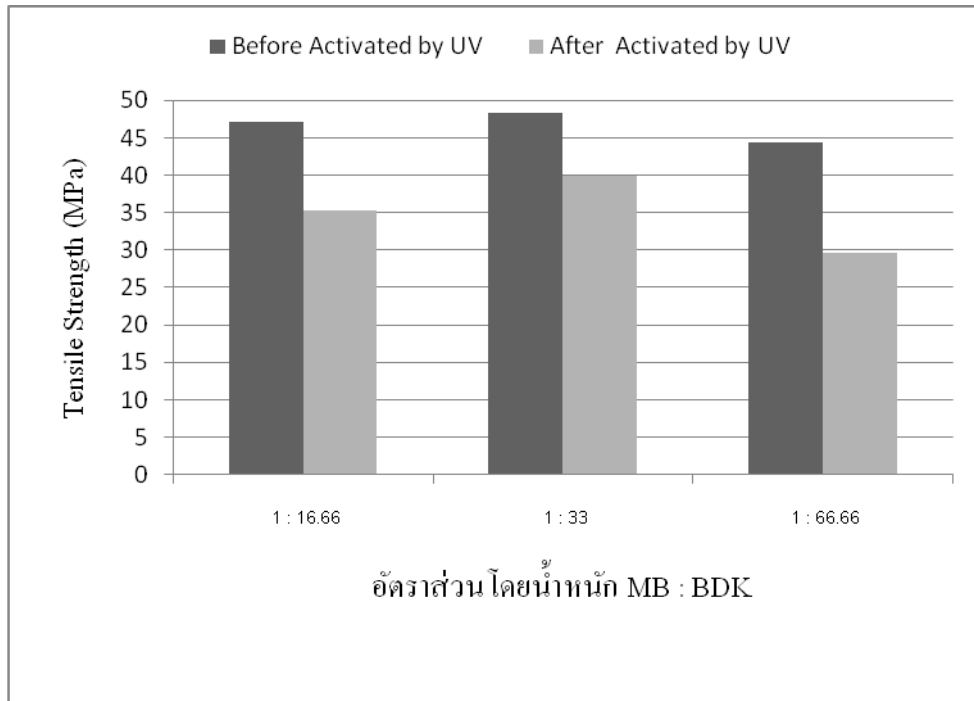
ในการทดสอบสมบัติทางกล จะเตรียมฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 16.66, 0 : 33, 0 : 66.66, 1 : 16.66, 1 : 33 และ 1 : 66.66 และทำการทดสอบฟิล์มทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี โดยศึกษาความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์ม

#### 4.1.3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม (Tensile Properties)



รูปที่ 4.9 ความต้านทานแรงดึงขาดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 16.66, 0 : 33 และ 0 : 66.66

รูปที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่ไม่ผสม MB โดยทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มก่อนการฉายแสงยูวีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตามปริมาณความเข้มข้นของ BDK ที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 66.66 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด และหลังจากการฉายแสงยูวีฟิล์มที่มีอัตราส่วนผสมของ BDK เพิ่มขึ้นจะมีความต้านทานแรงดึงขาดลดลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าการฉายแสงยูวี และ BDK ไม่มีผลต่อการเสื่อมสภาพและการเกิดพันธะเชื่อมข้ามของ methylcellulose (MC) จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี

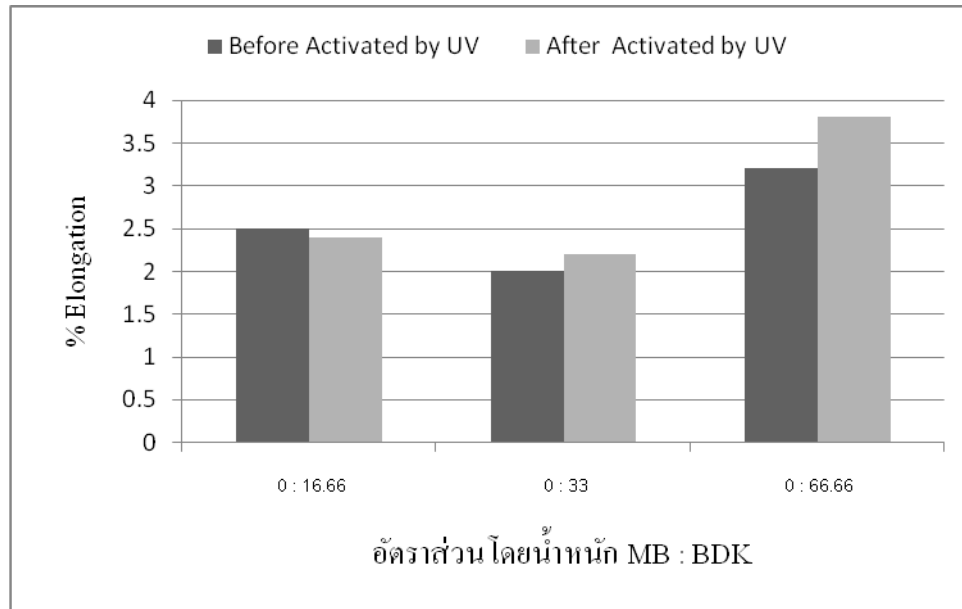


รูปที่ 4.10 ความต้านทานแรงดึงขาดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.66, 1 : 33 และ 1 : 66.66

รูปที่ 4.10 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มตัวอย่างที่ผสม MB และ BDK ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ฟิล์มก่อนการฉายแสงยูวีมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าฟิล์มหลังการฉายแสงยูวีเพียงเล็กน้อย

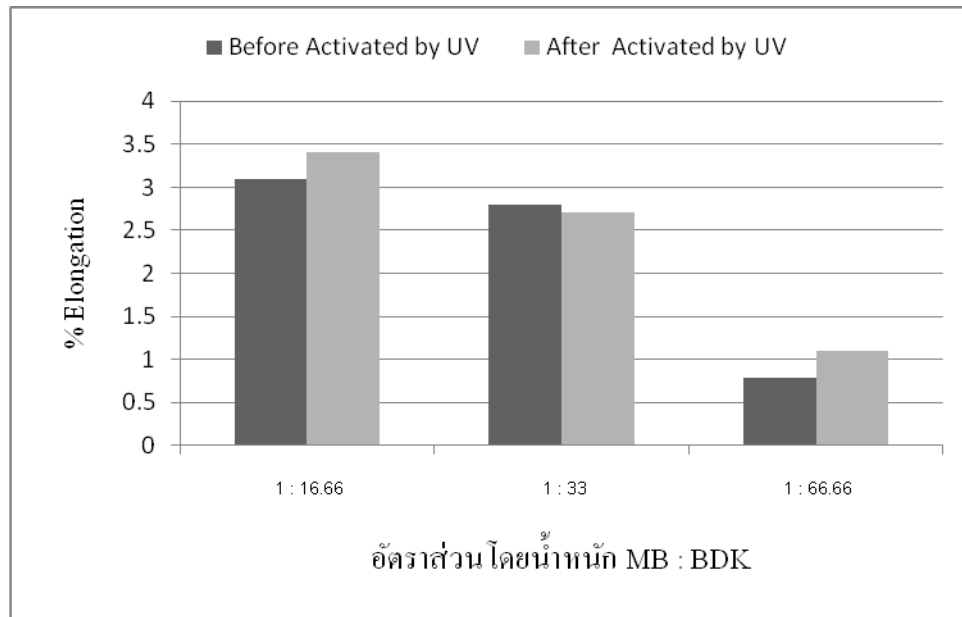
จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ทั้งที่มีการผสมและไม่ผสม MB ในฟิล์มร่วมกับ BDK พบว่า ก่อนการฉายแสงยูวีทั้ง MB และ BDK ไม่มีผลต่อการเสื่อมสภาพและการเกิดพันธะเชื่อมข้ามของ methylcellulose (MC) จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่หลังการฉายแสงยูวีการผสม MB ลงไปมีผลทำให้ฟิล์มทนต่อแรงดึงขาดลดลงเพียงเล็กน้อย

#### 4.1.3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลทางการยืดตัวของฟิล์ม (Elongation)



รูปที่ 4.11 การยืดตัวทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 16.66, 0 : 33 และ 0 : 66.66

จากรูปที่ 4.11 แสดงการยืดตัวของฟิล์มตัวอย่างที่ไม่ผสม MB โดยทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 66.66 จะมีการยืดตัวของฟิล์มได้สูงสุดทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี แต่ที่อัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 0 : 33 ฟิล์มจะมีการยืดตัวได้น้อยสุด และหลังจากการฉายแสงยูวี กราฟมีลักษณะชันขึ้น แสดงว่าฟิล์มมีการยืดตัวได้มากตามปริมาณ BDK ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.12 การยืดตัวทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวีของฟิล์มที่มีอัตราส่วน โดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.66, 1 : 33 และ 1 : 66.66

จากรูปที่ 4.12 แสดงการยืดตัวของฟิล์มตัวอย่างที่ผสม MB และผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฟิล์มก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ให้ผลการทดลองไปในทางเดียวกันคือ เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของ BDK เพิ่มมากขึ้น ฟิล์มยืดตัวได้น้อยลง

โดยสรุปเมื่อพิจารณาจากค่าความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength) และการยืดตัวของฟิล์ม (% Elongation) (รูปที่ 4.9 – 4.12) ฟิล์มที่มีการผสม MB และ BDK ที่ผ่านการฉายแสงยูวีจะมีคุณสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์มลดลง เมื่ออัตราส่วนของ BDK เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 33 จะมีสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงได้สูงที่สุด (รูปที่ 4.10) แต่ค่าที่ได้ไม่ได้มีความแตกต่างจากฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK อื่นๆอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นจึงเลือกฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.66 มาทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป เพราะเมื่อพิจารณาจากการยืดตัวของฟิล์ม (รูปที่ 4.12) ฟิล์มมีความสามารถในการยืดตัวได้ค่อนข้างดี

















## 4.2 ผลของความหนาของฟิล์มที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 ต่อการเปลี่ยนแปลงสี และสมบัติทางกล

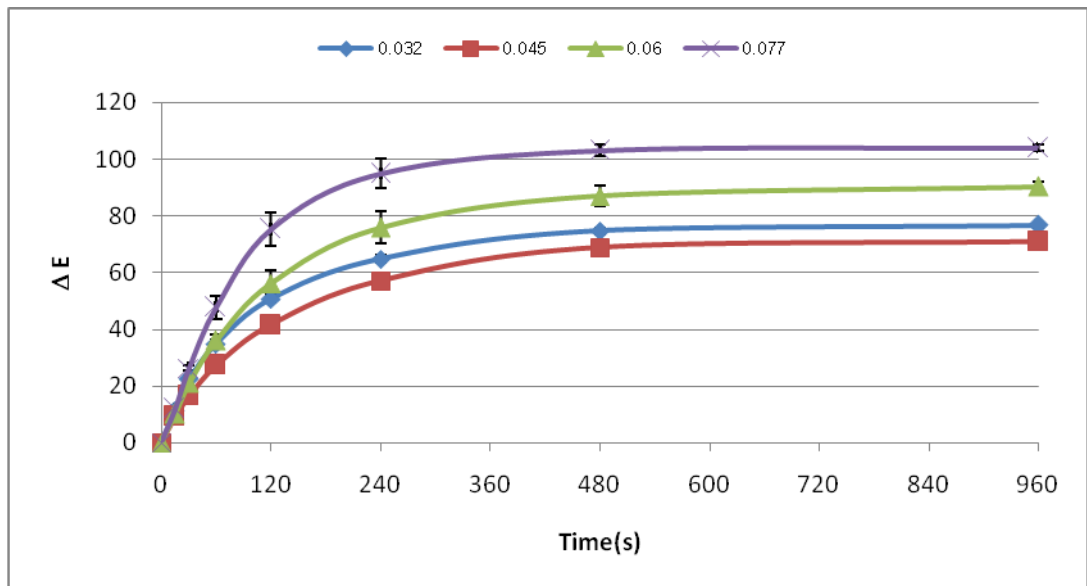
### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี

ในการทดลองได้เตรียมฟิล์มที่มีความแตกต่างของความหนา 4 ค่า คือ 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB : BDK เท่ากับ 1 : 16.67 จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่ได้โดยใช้เครื่องspectrodensitometer วัดค่าสี และวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIELAB ศึกษาความต้านทานแรงดึงขาดและการยึดตัวของฟิล์ม ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

สีเริ่มต้นของฟิล์มทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสีฟ้า ซึ่งจะมองเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า โดยที่ความหนาฟิล์มเท่ากับ 0.032 mm (ตารางที่ 4.4) เมื่อฉายแสงยูวี ฟิล์มจะเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ค่าสีทั้งหมด ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $\Delta E$ ) มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายกัน โดยที่ความหนาฟิล์ม 0.077 mm จะมีความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) มากที่สุด (รูปที่ 4.13) เนื่องจากสีเริ่มต้นของฟิล์มมีสีที่เข้มกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ ในขณะที่ฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045 และ 0.06 mm จะให้ความแตกต่างของค่าสีต่างๆและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงของสีจนได้สีคงที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.13 – 4.16)

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี

เวลาฉายแสง (นาที)	การเปลี่ยนแปลงสี			
	ความหนาของฟิล์ม (mm)			
	0.032 mm	0.045 mm	0.06 mm	0.077 mm
0				
4 นาที				
8 นาที				
16 นาที				

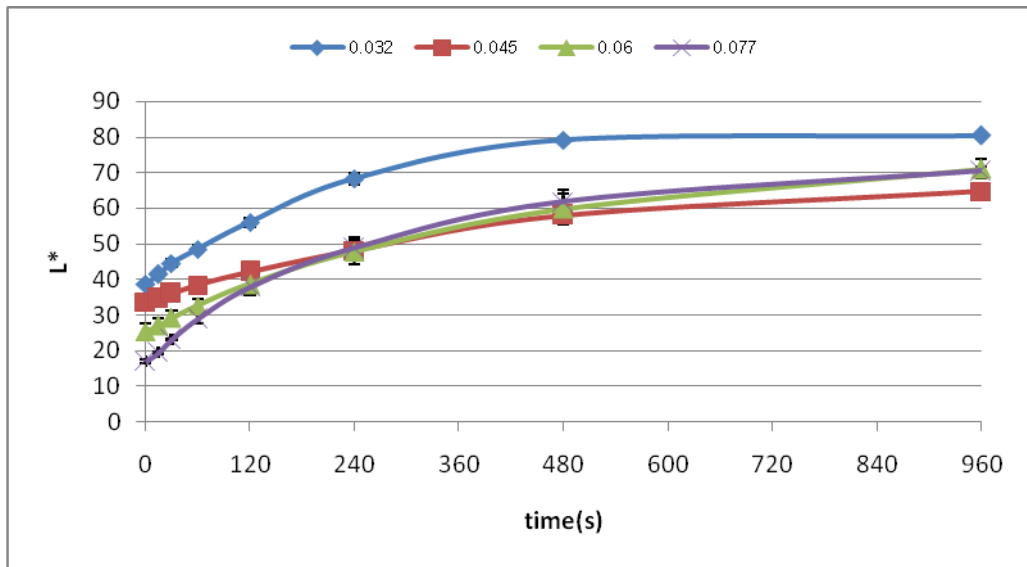


รูปที่ 4.13 ค่าความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี

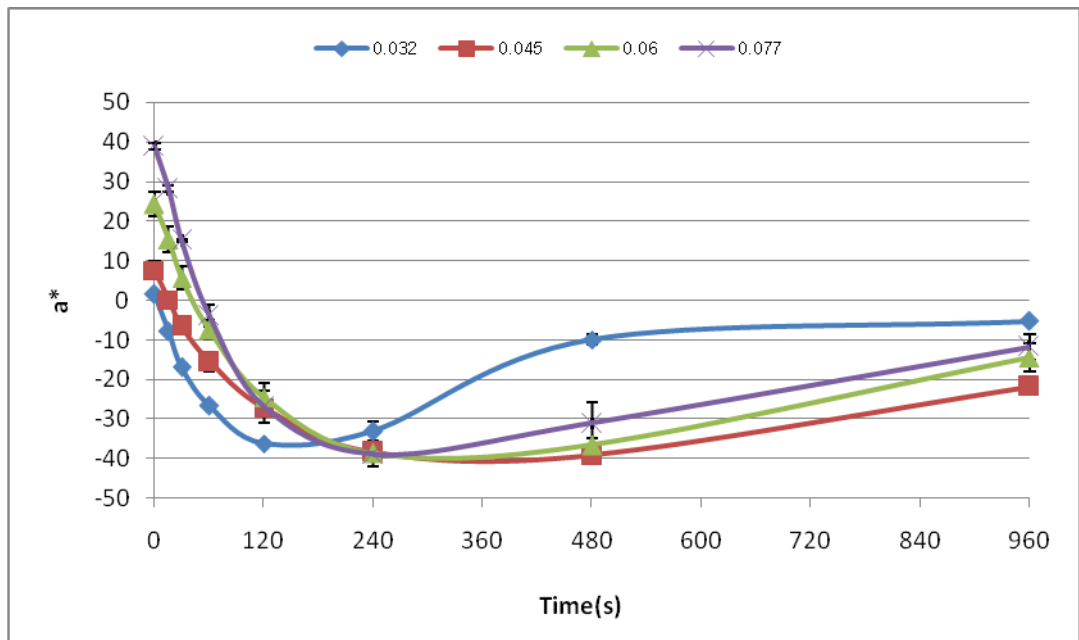
เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  พบว่าค่า  $L^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ได้รับการฉายแสงยูวี และมีค่าคงที่หลังจากเวลา 8 นาที (รูปที่ 4.14) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีความสว่างมากยิ่งขึ้นเมื่อได้รับการฉายแสงยูวี โดยความหนาของฟิล์ม 0.032 mm จะมีความสว่างที่สูงและมีค่าความสว่างของสีคงที่เร็วที่สุด ส่วนความหนาของฟิล์ม 0.045, 0.06 และ 0.077 mm จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันทั้งความสว่างและเวลาที่ทำให้สีของฟิล์มมีค่าคงที่

เมื่อพิจารณาค่า  $a^*$  พบว่า เริ่มต้นค่า  $a^*$  ของฟิล์มจะมีค่ามากและเมื่อฉายแสงยูวี ค่า  $a^*$  ของฟิล์มมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นลบ (รูปที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของสีจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยความหนาฟิล์ม 0.045, 0.06 และ 0.077 mm จะมีการเปลี่ยนไปในลักษณะเดียวกันและใกล้เคียงกัน แต่ความหนาฟิล์ม 0.032 mm จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  ต่างจากฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ และหลังจากฉายแสงเป็นเวลามากกว่า 240 วินาที ค่า  $a^*$  จะเพิ่มขึ้นและไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่เร็วกว่า โดยฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆยังคงมีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  อยู่

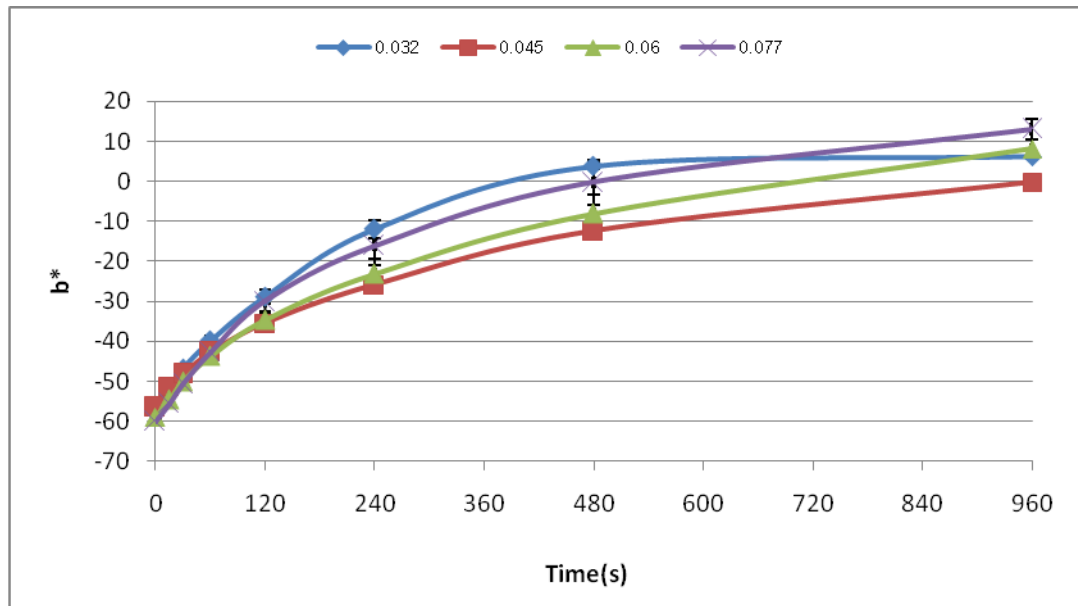
และการเพิ่มขึ้นของค่า  $b^*$  ตามเวลาที่ฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.16) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเวลาที่ฉายแสงยูวีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.16) และยังพบว่าหลังการฉายแสงยูวี ฟิล์มทั้งหมดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า  $b^*$  ไปในทิศทางเดียวกันและใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.14 ค่าความสว่าง (L\*) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงเป็นสีเขียว (a\*) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังการฉายแสงยูวี



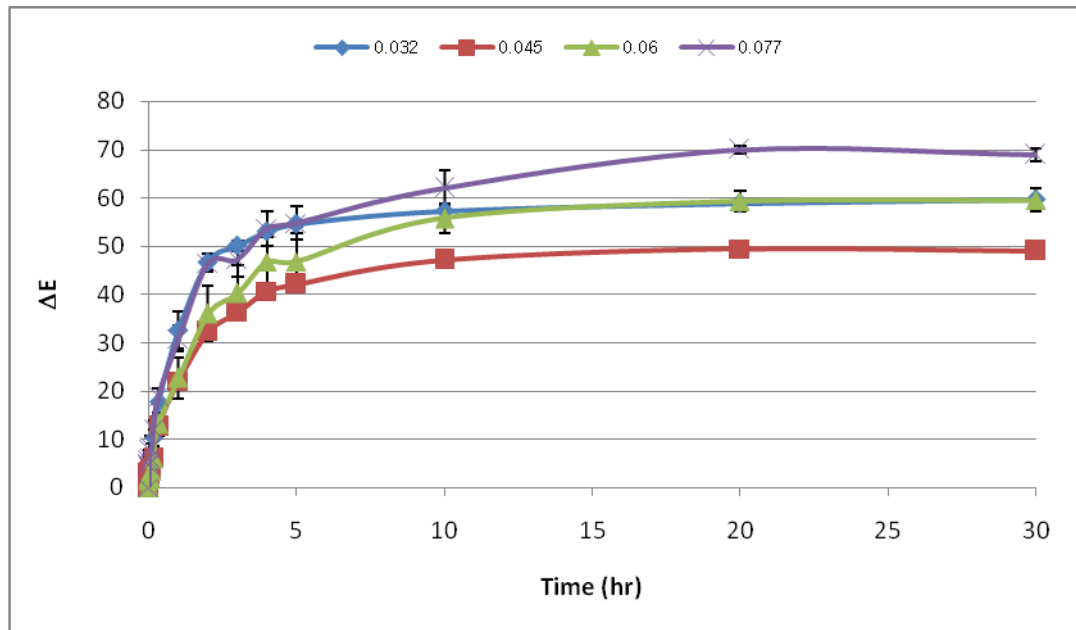
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm

#### 4.2.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มกับออกซิเจนในอากาศ

ฟิล์มแต่ละความหนาที่ผ่านการกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากน้ำเงินของ MB เป็นไม่มีสีของ leuco methylene blue, LMB และเมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ LMB จะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนและเปลี่ยนสีกลับเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง (ตารางที่ 4.5) โดยฟิล์มที่มีความหนา 0.077 mm ให้ความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) มากกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ อย่างไรก็ตามในช่วงเริ่มต้นของการสัมผัสกับออกซิเจน ฟิล์มทั้ง 4 ความหนามีความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง ฟิล์มที่มีความหนา 0.077 mm จะเริ่มมีค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) มากกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ และเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนต่อเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) จะคงที่ ดังรูปที่ 4.17

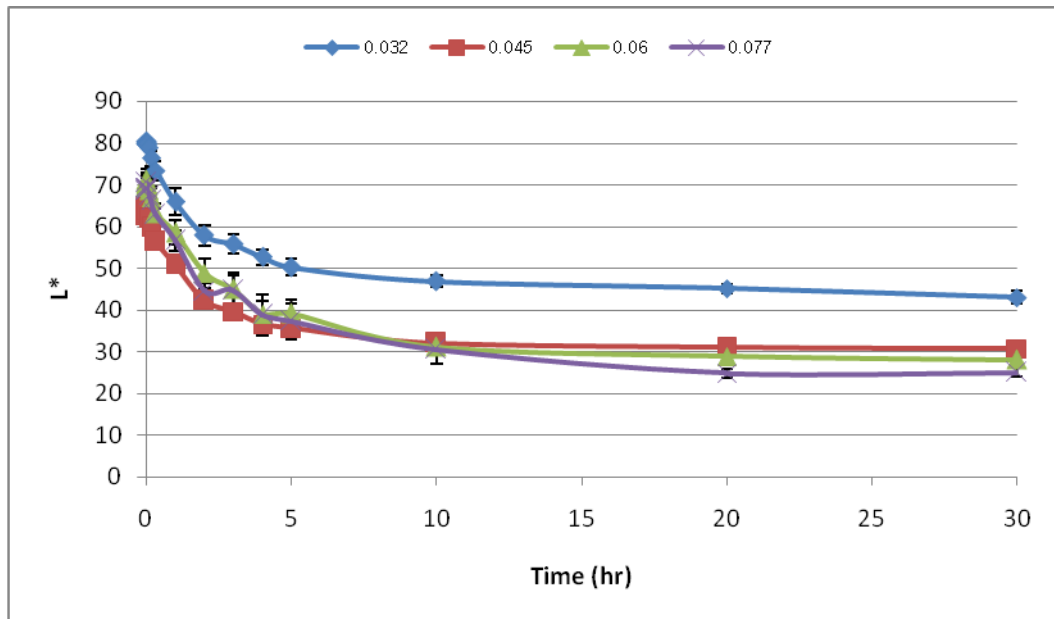
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งสังเกตด้วยตาเปล่าเมื่อฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

สัมผัสกับ อากาศ (นาทึ)	การเปลี่ยนแปลงสี			
	ความหนาของฟิล์ม (mm)			
	0.032 mm	0.045 mm	0.06 mm	0.077 mm
4 นาที				
8 นาที				
30 ชม				



รูปที่ 4.17 ความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

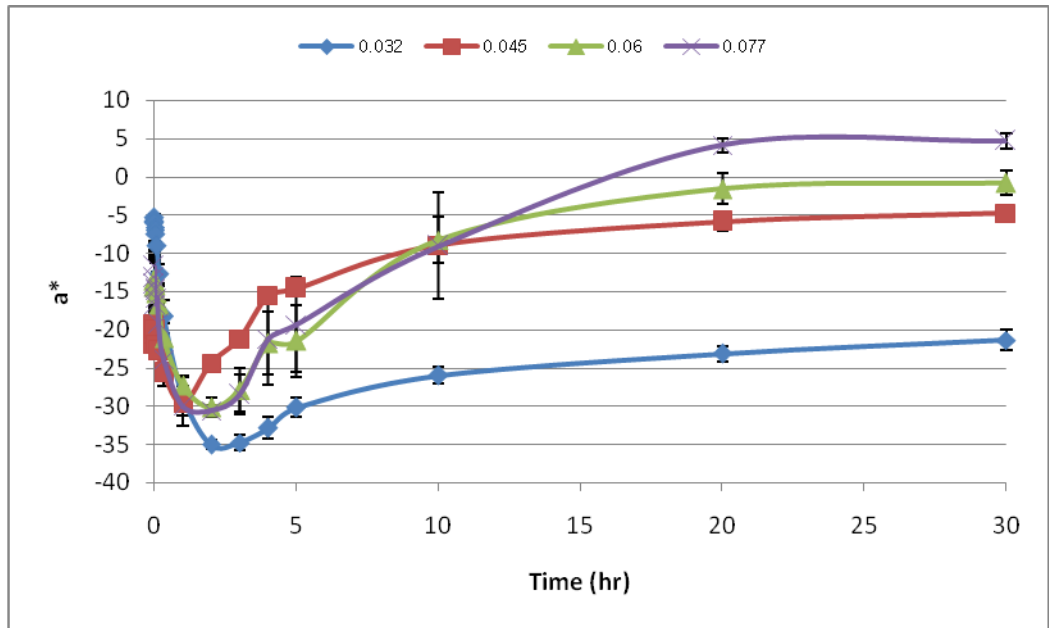
เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  ของฟิล์มที่มีความหนาต่างๆกันหลังจากสัมผัสกับออกซิเจน จะเห็นว่า ค่า  $L^*$  ของฟิล์มทั้งหมดมีค่าลดลงตามเวลาที่สัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งแสดงว่าฟิล์มมีความสว่างน้อยลง จึงทำให้มองเห็นฟิล์มมีสีเข้มขึ้น โดยที่ความหนา 0.032 mm ฟิล์มมีความสว่างสูงสุดและมีความสว่างมากกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆในช่วงเวลาที่ศึกษา ส่วนฟิล์มที่มีความหนา 0.045, 0.06 และ 0.077 mm จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.18



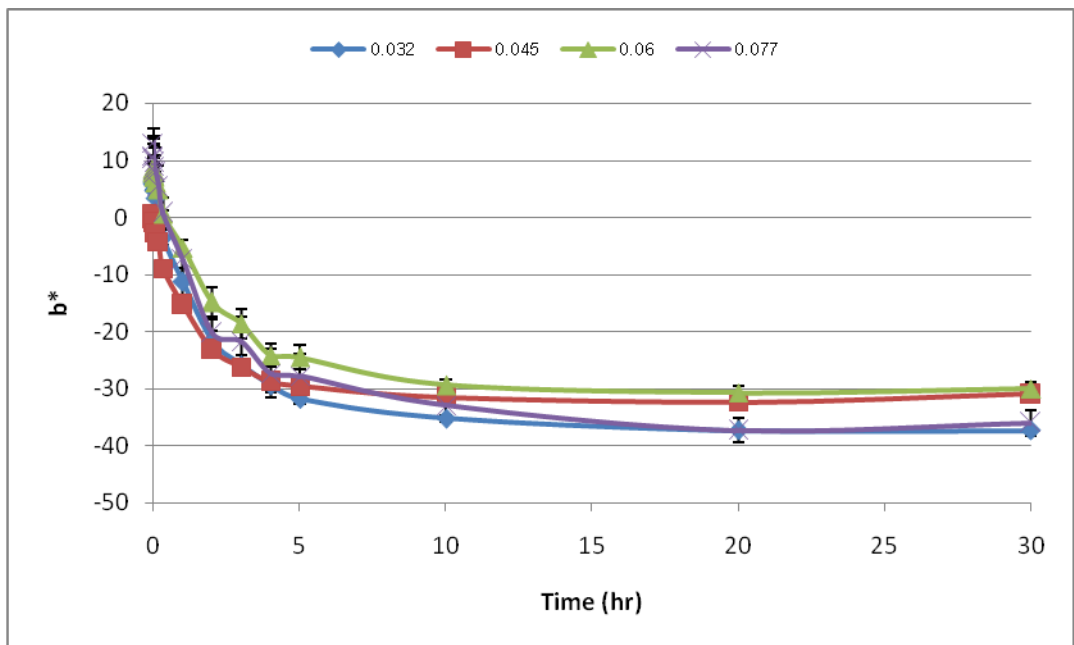
รูปที่ 4.18 ความสว่าง ( $L^*$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

เมื่อพิจารณาค่า  $a^*$  จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการสัมผัสกับออกซิเจนฟิล์มที่มีความหนาต่างๆจะมีค่า  $a^*$  ลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนนานขึ้น ฟิล์มที่มีการทดสอบทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  ในลักษณะคล้ายกัน ซึ่งแสดงว่าฟิล์มมีความเป็นสีเขียวน้อยลง แต่ที่ความหนา 0.032 mm ฟิล์มยังมีความเป็นสีเขียวมากกว่าที่ความหนาอื่นๆ เพราะค่า  $a^*$  ของฟิล์มยังมีค่าลบ (รูปที่ 4.19) ค่า  $b^*$  ของฟิล์มทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันโดย

ค่า  $b^*$  จะมีค่าลดลงจนมีค่าลบ แสดงว่าฟิล์มมีความเป็นสีเหลืองน้อยลงและมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น และฟิล์มทุกความหนามีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $b^*$  ไปในทางเดียวกันและใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเขียว ( $a^*$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ



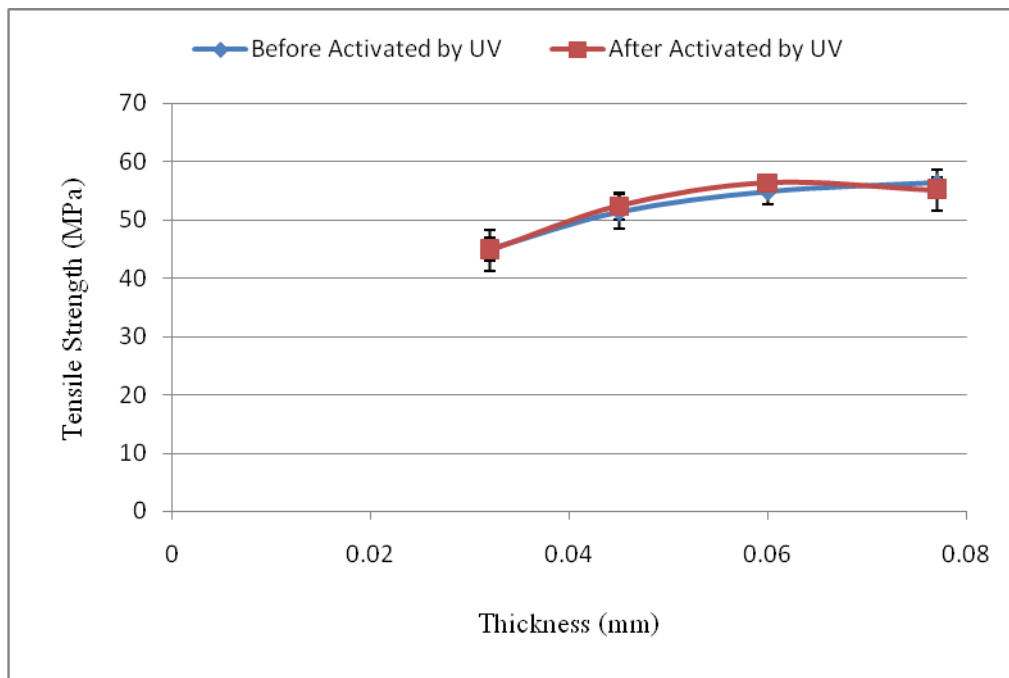
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm หลังสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

โดยสรุปฟิล์มที่มีความหนา 0.032 mm มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน เพราะฟิล์มมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงสีที่เร็วตั้งแต่เริ่มต้นฉายแสงยูวี และเมื่อฟิล์มสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ฟิล์มยังมีความสามารถเปลี่ยนสีกลับ ไปเป็นสีน้ำเงินในช่วงเวลาน้อยกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ

#### 4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

##### 4.2.3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม (Tensile Strength)

ในงายวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มทั้งหมด 4 ความหนา คือ 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm และทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี ผลการทดสอบที่ได้ชี้ว่า ฟิล์มทั้งก่อนและหลังฉายแสงยูวี มีความต้านแรงดึงขาดไม่แตกต่างกัน โดยฟิล์มที่มีความหนาของฟิล์มมากจะมีการต้านทานแรงดึงขาดได้สูงกว่า ดังรูปที่ 4.21

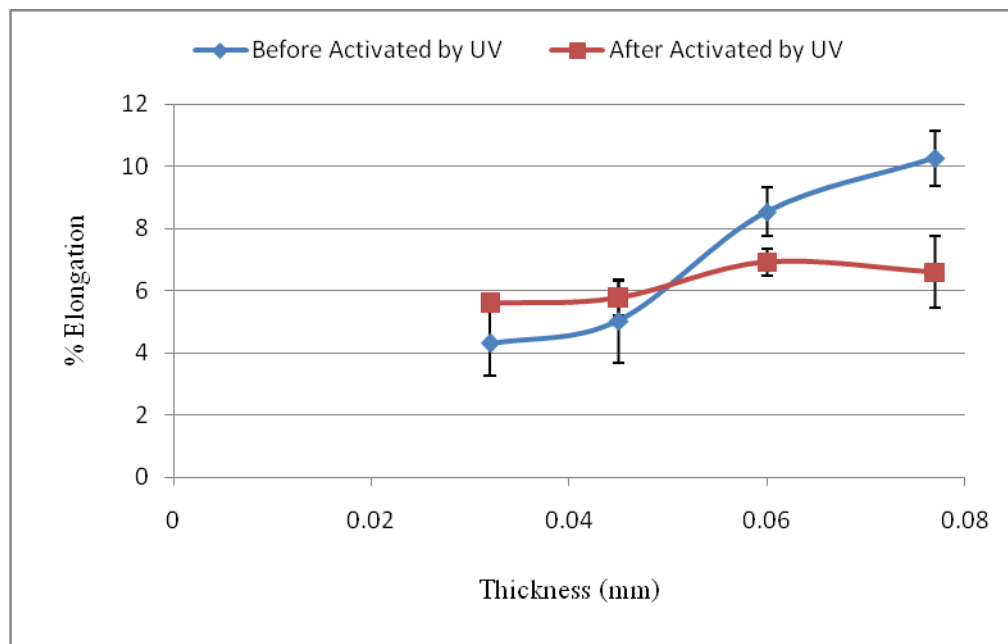


รูปที่ 4.21 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี

#### 4.2.3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านการยืดตัวของฟิล์ม (% Elongation)

ผลการทดสอบการยืดตัวของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ก่อนและหลังการฉายแสงยูวี แสดงดังรูปที่ 4.22

ก่อนการฉายแสงยูวี กราฟแสดง % elongation กับ thickness ของฟิล์มมีลักษณะชันขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อฟิล์มมีความหนามากขึ้น ฟิล์มจะมีการยืดตัวดีขึ้น แต่หลังการฉายแสงยูวี ฟิล์มทุกความหนา มีการยืดตัวแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และเมื่อฟิล์มมีความหนามากกว่า 0.06 mm การยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการยืดตัวของฟิล์มทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี พบว่าฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่า 0.045 mm หลังการฉายแสงยูวี ฟิล์มมีการยืดตัวดีขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม หลังการฉายแสงยูวี ฟิล์มที่มีความหนามากกว่า 0.045 mm จะยืดตัวได้น้อยลงเมื่อเทียบกับก่อนการฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การยืดตัวของฟิล์มที่มีความหนา 0.032, 0.045, 0.06 และ 0.077 mm ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงยูวี

กล่าวโดยสรุปคือ เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านการต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength) และการยืดตัวของฟิล์ม (% Elongation) ฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่า 0.045 mm มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน นอกจากนั้นฟิล์มยังมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่เร็วกว่าฟิล์มที่มีความหนาอื่นๆ ทั้งหลังการฉายแสงยูวีและการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ