บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองตอนที่ 1

การทดลองตอนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการตีกระจายเยื่อ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดึงหมึกออกไม่เหมือนกัน ซึ่งค่าของสภาวะที่เหมาะสมจากผลการทดลองในตอนที่ 1 นี้ได้นำไปใช้ในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อของการทดลองในตอนต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อเมื่อใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่างกัน

อุณหภูมิ ในการตีกระจายเยื่อ (°C)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) หลังดึงหมึกออก (±SD)
50	53.79 (±0.15)	54.22 (±0.08)
65	52.05 (±0.39)	53.20 (±0.52)

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อเท่ากับร้อยละ 5

ตารางที่ 3 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อเมื่อใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่างกัน

อุณหภูมิ ในการตีกระจายเยื่อ (°C)	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังดึงหมึกออก (±SD)
50	474.0i (±9.80)	421.09 (±3.46)
65	587.40 (±8.55)	466.44 (±10.88)

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อเท่ากับร้อยล 5

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 และ 3 เมื่อใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อที่แตกต่างกันแต่ใช้ความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อเท่ากันคือที่ร้อยละ 5 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่ำให้ผลดีกว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการตีกระจายเยื่อ กล่าวคือ ได้ค่าความขาวสว่างที่สูงกว่าและค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการตีกระจายเยื่อสามารถทำให้สารยึดในหมึกพิมพ์มีความอ่อนตัวได้มากกว่า อนุภาคของหมึกจึงออกมาได้ง่ายและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่ำ หมึกมีโอกาสแยกตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆ ได้มากขึ้นในระหว่างการตีกระจายเยื่อ และอนุภาคหมึกเหล่านี้มีแนวโน้มที่อาจกลับไปเกาะติดกับเส้นใยอีกครั้งมากกว่าการถูกกำจัดออกโดยเครื่องลอยฟองอากาศ

ในการทดลองตอนที่ 1 นี้ นอกจากการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีการทดลองใช้ความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อที่ต่างกันแต่ใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อเท่ากับ 50 °C เพื่อดูประสิทธิภาพการดึงหมึกออกที่ได้และหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อที่ต่ำกว่าจะได้ค่าความขาวสว่างที่สูงและปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ต่ำกว่าการตีกระจายเยื่อที่ความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นสูงในการตีกระจายเยื่อ อาจทำให้การเสียดสีกันของเส้นใยในระหว่างการตีกระจายเยื่อมีมากกว่าความเข้มข้นต่ำ ทำให้หมึกสามารถหลุดออกมาได้ง่ายและมีปริมาณมากกว่าการใช้ความเข้มข้นต่ำ แต่โอกาสที่หมึกจะมีขนาดเล็กเกินไปจากการเสียดสีกันของเส้นใย และการที่อนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กเหล่านี้ย้อนกลับไปเกาะติดกับเส้นใยอีกครั้งก็มีสูงมากขึ้น จึงส่งผลทำให้เยื่อที่ได้มีค่าความขาวสว่างต่ำ

ตารางที่ 4 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) ต่างกัน

ความเข้มข้นของเยื่อ (%)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) หลังดึงหมึกออก (±SD)	Brightness (%) ที่เพิ่มขึ้น
5	53.23 (±0.20)	54.38 (±0.27)	1.75
10	51.61 (±0.20)	52.23 (±0.23)	0.62

หมายเหตุ : อุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อเท่ากับ 50 °C

ตารางที่ 5 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) ต่างกัน

ความเข้มข้นของเยื่อ (%)	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังดึงหมึกออก (±SD)	ค่า ERIC ที่ลดลง
5	518.15 (±7.12)	419.09 (±9.97)	99.06
10	624.80 (±14.93)	561.62 (±17.35)	63.18

หมายเหตุ : อุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อเท่ากับ 50 °C

ตารางที่ 6 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อเมื่อใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่างกัน

อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อ (°C)	Freeness (ml)	
	ก่อนดึงหมึกออก	หลังดึงหมึกออก
50	213.00	192.00
65	197.00	191.25

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อเท่ากับร้อยละ 5

ตารางที่ 7 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) ต่างกัน

ความเข้มข้นของเยื่อ (%)	Freeness (ml)	
	ก่อนดึงหมึกออก	หลังดึงหมึกออก
5	214.00	194.37
10	190.62	175.12

หมายเหตุ : อุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อเท่ากับ 50 °C

I23666639

จากตารางที่ 6 และ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อตีกระจายเยื่อที่อุณหภูมิและความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ค่าสภาพระบายได้มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการตีกระจายเยื่อที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผลให้เส้นใยคลายและยืดตัวได้มากขึ้น เส้นใยมีโอกาสถูกตัดให้สั้นลงโดยเครื่องตีกระจายเยื่อมากขึ้น ซึ่งเส้นใยที่มีขนาดสั้นเหล่านี้ มีพื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำมากกว่าเส้นใยยาว ส่งผลให้ค่าสภาพระบายได้ลดน้อยลง ส่วนในกรณีของการตีกระจายเยื่อที่ความเข้มข้นสูงนั้น ทำให้การเสียดทานระหว่างเส้นใยกับเส้นใยและเส้นใยกับเครื่องตีกระจายเยื่อเพิ่มขึ้น โอกาสที่เส้นใยถูกตัดให้สั้นลงจึงมีมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ดีเป็นที่น่าสังเกตว่า การลอยฟองอากาศทำให้เส้นใยมีค่าสภาพระบายได้ลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่เส้นใยยาวอาจถูกกักเก็บอยู่ในเครือข่ายของฟองอากาศได้ดีกว่าเส้นใยสั้นในระหว่างขั้นตอนการลอยฟองอากาศ ส่งผลให้เส้นใยยาวถูกแยกออกมากับฟองอากาศได้มากกว่า ทำให้เยื่อที่ได้หลังจากการดึงหมึกด้วยวิธีลอยฟองอากาศมีค่าสภาพระบายได้ต่ำลง เนื่องจากมีเส้นใยสั้นที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีเหลืออยู่มาก

ตารางที่ 8 ปริมาณผลผลิต (Yield) ของเยื่อเมื่อใช้อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อต่างกัน

อุณหภูมิในการตีกระจายเยื่อ (°C)	Yield (%)
50	96.50
65	96.00

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อเท่ากับร้อยละ 5

ตารางที่ 9 ปริมาณผลผลิต (Yield) ของเยื่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) ต่างกัน

ความเข้มข้นของเยื่อ (%)	Yield (%)
5	94.91
10	93.79

หมายเหตุ : อุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อเท่ากับ 50 °C

ตารางที่ 8 และ 9 แสดงปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการดึงหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศของกระดาษเมื่อใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าสภาวะอุณหภูมิและความเข้มข้นที่ต่างกันในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการลอยฟองอากาศ

ผลการทดลองที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อที่ต่างกันนั้นพบว่าการใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นต่ำกว่า ส่งผลให้ได้ค่าความขาวสว่างและค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ดีกว่า ในการทดลองตอนต่อไปจึงกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อที่ 50°C และความเข้มข้นในการตีกระจายเยื่อที่ร้อยละ 5

ผลการทดลองตอนที่ 2

การทดลองในตอนที่ 2 นี้เป็นการทดลองควบคุมและหาปริมาณหมึกที่ติดอยู่กับเส้นใยอย่างแท้จริง โดยการนำกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการเก็บมาทำการดึงหมึกออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศ และนำเยื่อที่ผ่านการดึงหมึกออกแล้วมาทำการดึงหมึกออกอีกครั้งโดยใช้วิธีการล้างเพื่อหาปริมาณหมึกที่ติดอยู่กับเส้นใยซึ่งไม่สามารถกำจัดออกไปได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการดึงหมึกออกด้วยวิธีการล้างแล้ว (ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเท่ากับ 32 ลิตร ต่อเยื่อแห้ง 36 กรัม) เยื่อที่ได้ให้ค่าความขาวสว่างสูงและมีปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ต่ำกว่าเยื่อที่ได้จากการลอยฟองอากาศ (ตารางที่ 10) แสดงว่าขนาดของอนุภาคหมึกในตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองครั้งนี้เหมาะกับการดึงหมึกออกด้วยการล้างมากกว่าวิธีการลอยฟองอากาศ อย่างไรก็ตามการดึงหมึกออกด้วยวิธีการล้างมีข้อเสียก็คือมีความสิ้นเปลืองน้ำสูงเนื่องจากใช้ปริมาณน้ำในกระบวนการมากกว่าการลอยฟองอากาศ นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วค่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากการล้างยังต่ำกว่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากการลอยฟองอากาศ เนื่องจากมีการสูญเสียเส้นใยบางส่วนออกมากับน้ำที่ล้างเยื่อ (20)

จากตารางที่ 10 ซึ่งเป็นค่าสภาพระบายได้ทั้งก่อนและหลังดึงหมึกออกของเยื่อที่ไม่มีการเก็บ แสดงให้เห็นว่า สภาพระบายได้ของเยื่อหลังดึงหมึกออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศจะมีค่าน้อยกว่าของเยื่อก่อนการดึงหมึกออก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปแล้วในตารางที่ 7 กล่าวคือ ในระหว่างการลอยฟองอากาศนั้น เส้นใยจะถูกกักเก็บอยู่ในเครือข่ายของฟองอากาศได้ดีกว่าเส้นใยสั้น ส่งผลให้เส้นใยยาวถูกกำจัดออกมาพร้อมกับฟองอากาศมากกว่า ค่าสภาพระบายได้จึงต่ำลง อย่างไรก็ตามเมื่อนำเยื่อที่ได้หลังจากการลอยฟองอากาศไปทำการดึงหมึกออกต่อด้วยการล้าง ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อมีค่าสูงขึ้นมาก เนื่องจากเส้นใยสั้นที่อุ้มน้ำได้ดีหลุดออกไปกับน้ำที่ใช้ในการล้างเยื่อเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เหลือเส้นใยยาวที่อุ้มน้ำได้น้อยในระบบมากกว่า สภาพระบายได้ของเยื่อจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 10 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) และค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการดึงหมึกออก

สมบัติที่วัด	ค่าเฉลี่ยแผ่นทดสอบ ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ยแผ่นทดสอบ หลังดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ยแผ่นทดสอบ หลังการล้าง (±SD)
Brightness (%)	53.79 (±0.15)	54.22 (±0.08)	58.04 (±0.09)
ERIC	474.01 (±9.80)	421.09 (±3.46)	258.44 (±1.41)
Freeness (ml)	213.00	192.00	521.50

หมายเหตุ : ค่าความขาวสว่างของกระดาษก่อนพิมพ์เท่ากับร้อยละ 57 ± 1.5

ผลการทดลองตอนที่ 3

ผลการทดลองจากตารางที่ 11 แสดงค่าความขาวสว่างของเยื่อกระดาษที่ผ่านการเก็บเป็นเวลา 1 เดือน โดยค่าความขาวสว่างที่เพิ่มขึ้นจากการดึงหมึกออกเป็นค่าที่คำนวณมาจากการนำค่าความขาวสว่างหลังการดึงหมึกออกมาลบด้วยค่าความขาวสว่างก่อนการดึงหมึกออก ซึ่งจะเห็นว่าการเก็บสภาพแห้งแบบห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกให้ผลที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่กระดาษที่มีการเก็บแบบสภาพเปียกนั้นกลับให้ผลที่มีความแตกต่างชัดเจนคือ ค่าความขาวสว่างต่ำกว่าแบบแห้งที่กระดาษห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก ทั้งนี้อาจเกิดจากกระดาษที่มีการเก็บแบบแช่น้ำนั้นมีการเติมน้ำและมีการบีบน้ำออก ซึ่งแรงเสียดทานที่ใช้ในการบีบน้ำออกนั้นอาจส่งผลให้หมึกมีอนุภาคที่เล็กลง และเมื่อนำกระดาษไปทำการตีกระจายเป็นเยื่อทำให้อนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กลงอยู่แล้วมีโอกาสที่จะมีขนาดเล็กลงมากขึ้น เนื่องจากการเสียดสีของเส้นใยในขั้นตอนตีกระจายเยื่อ และหมึกที่มีขนาดเล็กๆ เหล่านี้อาจมีโอกาสกลับไปเกาะติดกับเส้นใยได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความขาวสว่างลดน้อยลง ซึ่งถ้าในการตีกระจายเยื่อมีการนำน้ำที่บีบออกมาจากกระดาษมาใช้ด้วย (ปกติจะใช้น้ำใหม่โดยทำการเปลี่ยนน้ำทุก 2 อาทิตย์แต่บีบน้ำออกวันเว้นวัน) ค่าความขาวสว่างที่ได้ก็จะยิ่งลดน้อยลง เนื่องจากมีปริมาณหมึกที่อยู่ในน้ำนั้นเข้าไปเพิ่มในระบบด้วย

ตารางที่ 11 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 1 เดือนก่อนและหลังการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) หลังดึงหมึกออก (±SD)	Brightness (%) ที่เพิ่มขึ้นจากการดึงหมึกออก
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	53.16 (±0.59)	53.98 (±0.52)	0.82
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	53.23 (±0.20)	54.38 (±0.27)	1.15
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	50.87 (±0.15)	51.46 (±0.41)	0.59
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำเก่า	50.24 (±0.21)	50.78 (±0.38)	0.54

ตารางที่ 12 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 1 เดือนก่อนและหลังการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังดึงหมึกออก (±SD)	ค่า ERIC ที่ลดลง
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	506.80 (±27.50)	420.85 (±13.53)	85.95
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	518.15 (±7.12)	419.09 (±9.97)	99.06
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	668.00 (±11.37)	587.58 (±29.20)	80.42
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำเก่า	705.10 (±6.13)	655.10 (±30.47)	49.91

ตารางที่ 12 แสดงค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ของเยื่อจากกระดาษที่เก็บ 1 เดือน โดยค่า ERIC ที่ลดลงคำนวณมาจากการนำค่า ERIC ก่อนดึงหมึกออกมาลบด้วยค่า ERIC หลังดึงหมึกออก ผลการทดลองที่ได้ให้แนวโน้มเดียวกันกับค่าความขาวสว่าง คือ สภาพในการเก็บกระดาษแบบแห้งที่ห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มให้ผลไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่กระดาษที่มีการเก็บสภาพเปียกนั้นกลับให้ผลที่มีความแตกต่างชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่มากกว่า และเยื่อจากกระดาษที่เก็บแบบแช่น้ำโดยมีการใช้น้ำเก่าที่บีบออกมาเติมกลับเข้าไปในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อให้ประสิทธิภาพในการดึงหมึกออกที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 13 และ 14 เป็นค่าความขาวสว่างและค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ของเยื่อที่เก็บ 2 เดือน ผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในการเก็บกระดาษแสดงแนวโน้มเดียวกับเดือนแรก แต่ค่าความขาวสว่างที่ได้ต่ำลงรวมทั้งปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเก็บกระดาษเพียง 1 เดือน แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บกระดาษมีผลต่อการดึงหมึกออกจากกระดาษ ในส่วนอิทธิพลของสภาพการเก็บกระดาษนั้น ผลการทดลองที่ได้จากการเก็บกระดาษนาน 2 เดือน ก่อนการดึงหมึกออกจะเหมือนกับในกรณีของการเก็บกระดาษ 1 เดือน คือ การเก็บกระดาษในที่แห้งจะให้ค่าความขาวสว่างที่สูงกว่า และปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ต่ำกว่าการเก็บกระดาษในสภาพเปียก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นในตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 13 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 2 เดือนก่อนการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) หลังดึงหมึกออก (±SD)	Brightness (%) ที่เพิ่มขึ้น
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	52.72 (±0.23)	53.86 (±0.20)	1.14
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	52.25 (±0.25)	53.52 (±0.26)	1.27
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	50.67 (±0.22)	51.26 (±0.24)	0.59

ตารางที่ 14 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 2 เดือนก่อนการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังดึงหมึกออก (±SD)	ค่า ERIC ที่ลดลง
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	558.29 (±9.52)	447.90 (±5.22)	110.39
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	575.26 (±10.24)	459.56 (±10.91)	115.7
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	665.93 (±10.41)	581.96 (±15.33)	73.97

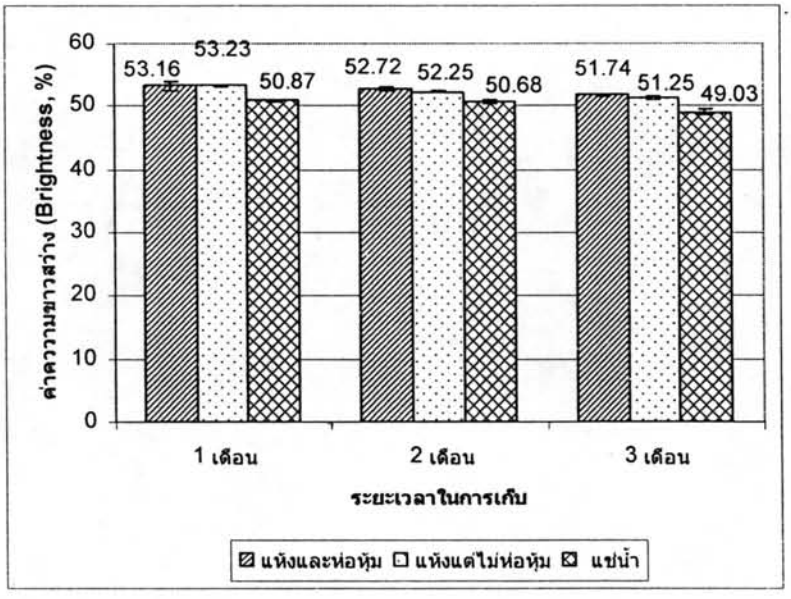
ผลของค่าความขาวสว่างและค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ของเยื่อที่ใช้ระยะเวลาเก็บ 3 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 15 และ 16 นั้นแสดงให้เห็นว่า ในแต่ละสภาวะของการเก็บกระดาษมีแนวโน้มเดียวกับเดือนแรกและเดือนที่สอง คือค่าความขาวสว่างที่ได้ลดต่ำลงรวมทั้งปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บกระดาษนานขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการดึงหมึกออกยิ่งลดลง เนื่องมาจากหมึกที่อยู่บนกระดาษมีระยะเวลาในการแห้งตัวนานขึ้น ส่งผลให้หมึกยึดติดแน่นและหลุดออกมาจากเส้นใยได้ยากขึ้น ในขณะที่ส่วนที่หลุดออกมาก็มีขนาดของอนุภาคที่ไม่เหมาะสมต่อการดึงหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศ สำหรับผลของสภาพการเก็บกระดาษที่มีต่อค่าความขาวสว่างและปริมาณหมึกที่เหลืออยู่นั้นก็จะคล้อยตามกับผลการทดลองที่ได้จากการเก็บกระดาษนาน 1 เดือน และ 2 เดือน กล่าวคือ การเก็บกระดาษในสภาพแห้งไม่ว่าจะห่อหุ้มหรือไม่ห่อหุ้มก็ตามจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเก็บกระดาษในสภาพเปียกจะส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงและปริมาณหมึกที่เหลืออยู่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแห้ง

ตารางที่ 15 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 3 เดือนก่อนการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย Brightness (%) หลังดึงหมึกออก (±SD)	Brightness (%) ที่เพิ่มขึ้น
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	51.74 (±0.09)	52.78 (±0.35)	1.04
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	51.25 (±0.16)	52.53 (±0.45)	1.28
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	49.03 (±0.38)	49.80 (±0.43)	0.77

ตารางที่ 16 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อจากกระดาษที่ผ่านการเก็บนาน 3 เดือนก่อนการดึงหมึกออก

สภาพในการเก็บกระดาษ	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนดึงหมึกออก (±SD)	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังดึงหมึกออก (±SD)	ค่า ERIC ที่ลดลง
แห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก	654.08 (±5.97)	520.30 (±5.16)	133.78
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	673.43 (±40.88)	555.85 (±44.79)	117.58
เปียก (แช่น้ำ) โดยใช้น้ำใหม่	768.98 (±13.88)	678.01 (±19.20)	90.97



ภาพที่ 23 ค่าความขาวสว่างของเยื่อก่อนการดึงหมึกออก

เมื่อค่าความขาวสว่างของการทดลองควบคุม (Zero aging) ก่อนการดึงหมึกออก = 53.79 %

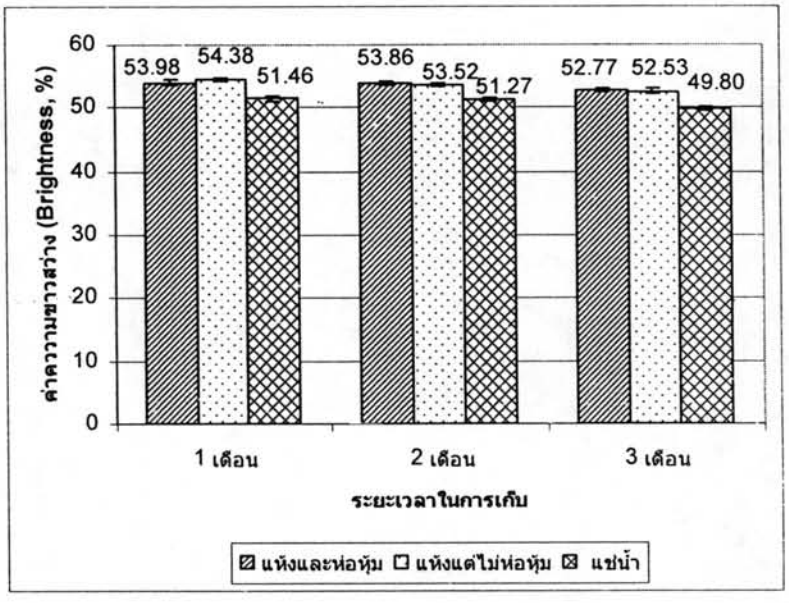
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่างของเยื่อก่อนการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	19.50191	2	9.750956	111.0236	4.54E-07	4.256495
Aging time	9.495344	2	4.747672	54.05661	9.67E-06	4.256495
Interaction	0.495656	4	0.123914	1.410874	0.305866	3.633089
Within	0.79045	9	0.087828			
Total	30.28336	17				

ภาพที่ 23 แสดงผลของตัวแปรทั้งสอง คือ ระยะเวลาในการเก็บกระดาษ และสภาพการเก็บกระดาษที่มีต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อก่อนดึงหมึกออก จากภาพเห็นได้ว่าค่าความขาวสว่างของเยื่อก่อนการดึงหมึกออกของทุกสภาพการเก็บกระดาษมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น โดยกระดาษที่แช่น้ำมีค่าความขาวสว่างน้อยที่สุด

เมื่อนำข้อมูลจากภาพที่ 23 มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์ว่าตัวแปรใดระหว่าง ระยะเวลาในการเก็บกระดาษและสภาพการเก็บกระดาษ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง จะมีผลต่อความขาวสว่างของเยื่อและปริมาณของหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมากกว่ากัน จาก

การวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรของสภาพในการเก็บกระดาษมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ (ตารางที่ 17) โดยดูได้จากค่า F ของตัวแปรสภาพในการเก็บกระดาษ (Aging condition) ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F ของระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ (Aging time) ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง (Interaction) นั้นจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่า F ของปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองมีค่าน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit)



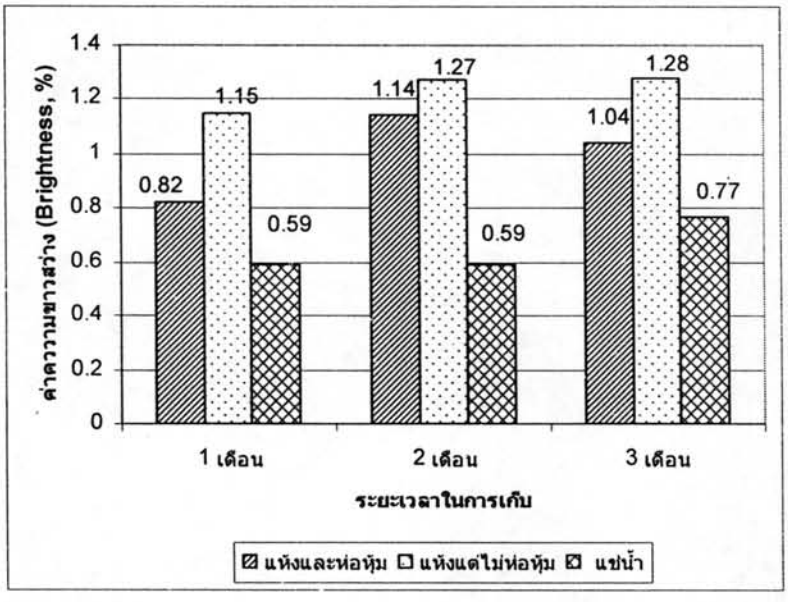
ภาพที่ 24 ค่าความขาวสว่างของเยื่อหลังการดึงหมึกออก

เมื่อค่าความขาวสว่างของการทดลองควบคุม (Zero aging) หลังการดึงหมึกออก = 54.22 %

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่างของเยื่อหลังการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	24.97748	2	12.48874	55.90304	8.41E-06	4.256495
Aging time	6.304411	2	3.152206	14.11014	0.001681	4.256495
Interaction	0.428422	4	0.107106	0.479434	0.750679	3.633089
Within	2.0106	9	0.2234			
Total	33.72091	17				

ภาพที่ 24 แสดงถึงผลของตัวแปรทั้งสอง (ระยะเวลาในการเก็บกระดาษและสภาพในการเก็บกระดาษ) ที่มีต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อหลังดึงหมึกออก ซึ่งผลการทดลองที่ได้ให้แนวโน้มเหมือนกับภาพที่ 23 กล่าวคือ เมื่อการเก็บกระดาษนานขึ้นค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ได้จะลดลง อย่างไรก็ตามการเก็บกระดาษในสภาพแช่น้ำมีผลต่อการลดลงของความขาวสว่างมากที่สุด เมื่อนำข้อมูลจากภาพที่ 24 มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับความขาวสว่างของเยื่อก่อนดึงหมึกออก กล่าวคือ ตัวแปรของสภาพในการเก็บกระดาษมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ ในขณะที่การปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18)

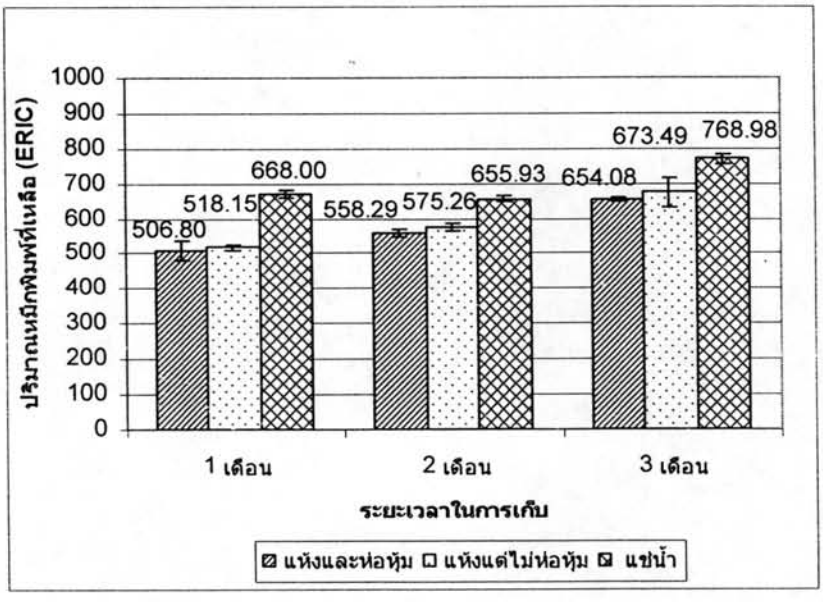


ภาพที่ 25 ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่เพิ่มขึ้นหลังการดึงหมึกออก
เมื่อค่าความขาวสว่างที่เพิ่มขึ้นหลังการดึงหมึกออกของการทดลองควบคุม (Zero aging) = 0.43%

ตารางที่19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่างที่เพิ่มขึ้นหลังการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	0.563678	2	0.281839	2.302501	0.155757	4.256495
Aging time	0.330711	2	0.165356	1.350883	0.306874	4.256495
Interaction	0.401456	4	0.100364	0.819929	0.543923	3.633089
Within	1.10165	9	0.122406			
Total	2.397494	17				

ค่าความขาวสว่างที่เพิ่มขึ้นหลังการดึงหมึกออกดังแสดงในภาพที่ 25 นั้นเป็นค่าที่ได้จากการนำค่าความขาวสว่างหลังดึงหมึกออก (ภาพที่ 24) มาลบด้วยค่าความขาวสว่างก่อนดึงหมึกออก (ภาพที่ 23) เพื่อดูผลที่ได้ของแต่ละสภาวะ สังเกตเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้หลังจากการนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 19) กล่าวคือ ตัวแปรทั้งสอง อันได้แก่ สภาพและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บกระดาษไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่า F ของแต่ละตัวแปรนั้นมีค่าต่ำกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง



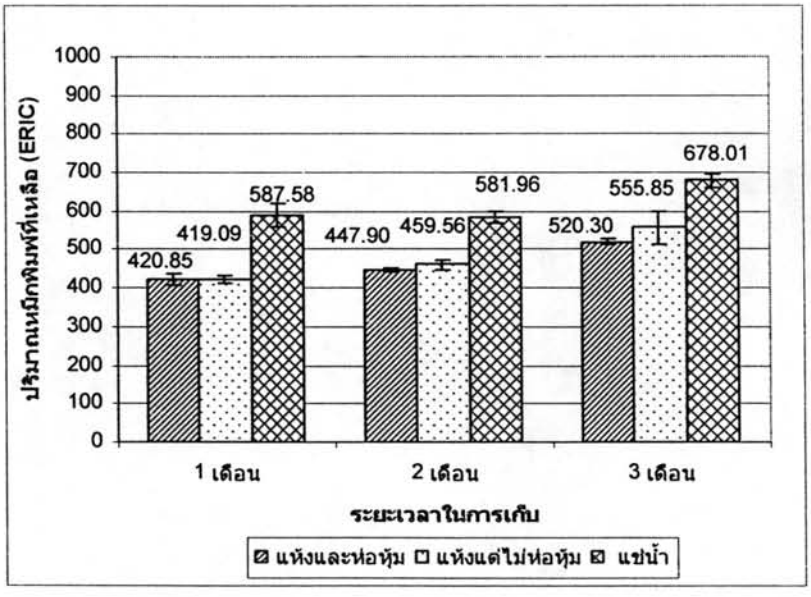
ภาพที่ 26 ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อก่อนการดึงหมึกออก
เมื่อปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ก่อนการดึงหมึกออกของการทดลองควบคุม (Zero aging) = 474.01

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อก่อนการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	54891.5	2	27445.75	55.74182	8.51E-06	4.256495
Aging time	58868.4	2	29434.2	59.78033	6.35E-06	4.256495
Interaction	3168.652	4	792.163	1.608869	0.253844	3.633089
Within	4431.354	9	492.3727			
Total	121359.9	17				

ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ก่อนการดึงหมึกออกดังแสดงในภาพที่ 26 นั้นมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าความขาวสว่างที่ได้ กล่าวคือ เมื่อมีการเก็บกระดาษนานขึ้น ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่จะมากขึ้น แสดงว่าการดึงหมึกออกทำได้ยากจึงมีปริมาณหมึกที่เหลือติดอยู่กับเส้นใยมากขึ้น โดยกระดาษที่เก็บแบบแช่น้ำมีปริมาณหมึกที่เหลืออยู่มากที่สุดและเก็บแบบแห้งทั้งแบบห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 20) พบว่าตัวแปรทั้งสองมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งคู่ โดยที่ระยะเวลาในการเก็บมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าสภาพในการเก็บกระดาษเนื่องจากมีค่า F ที่มากกว่า ส่วนปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่า F ที่ได้ในวิเคราะห์ทางสถิตินั้นมีค่าน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตารางมาก

ส่วนผลของปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังการดึงหมึกออกดังแสดงในภาพที่ 27 นั้นก็ให้แนวโน้มเดียวกันกับปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ก่อนการดึงหมึกออก กล่าวคือ มีปริมาณหมึกที่เหลือติดอยู่กับเส้นใยมากขึ้นเมื่อมีการเก็บกระดาษนานขึ้น สภาพในการเก็บกระดาษแบบแช่น้ำมีปริมาณหมึกที่เหลืออยู่มากที่สุด และสภาพเก็บแบบแห้งทั้งสองแบบให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 21) พบว่าสภาพในการเก็บมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าระยะเวลาในการเก็บ ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

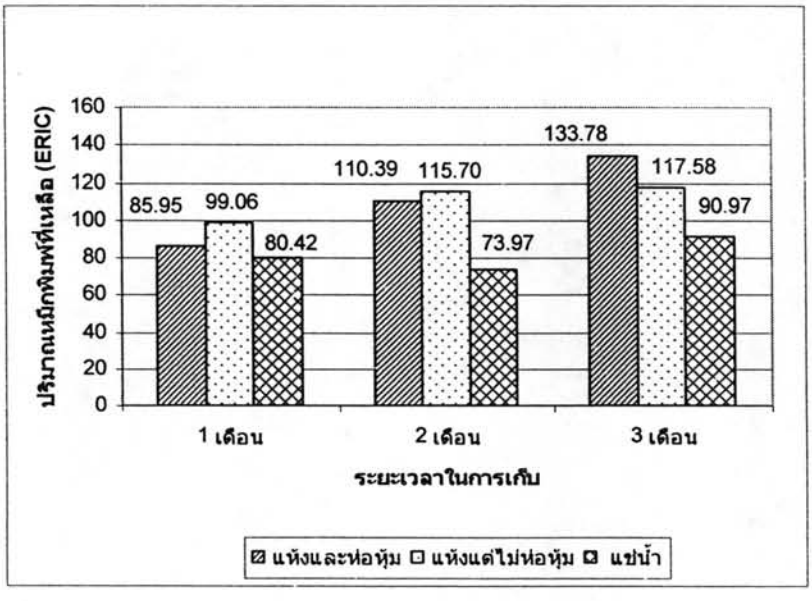


ภาพที่ 27 ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังการดึงหมึกออก
เมื่อปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังดึงหมึกออกของการทดลองควบคุม (Zero aging) = 421.09

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	85085.75	2	42542.87	67.95013	3.71E-06	4.256495
Aging time	40136.13	2	20068.06	32.05302	8.06E-05	4.256495
Interaction	1805.098	4	451.2746	0.720783	0.598996	3.633089
Within	5634.807	9	626.0897			
Total	132661.8	17				

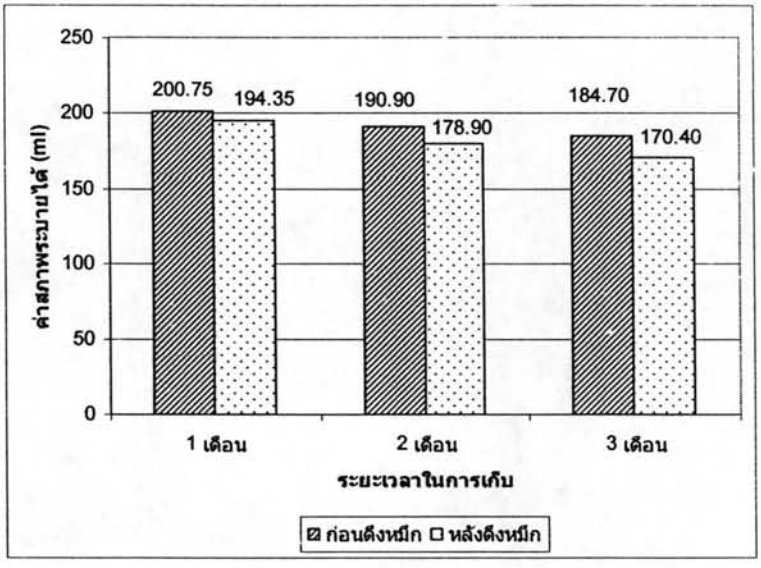
การลดลงของปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่หลังดึงหมึกออกดังแสดงในภาพที่ 28 ได้มาจากการนำค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ก่อนการดึงหมึกออก (ภาพที่ 26) ลบด้วยค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่หลังการดึงหมึกออก (ภาพที่ 27) เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 22) พบว่า สภาพในการเก็บกระดาษมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด ในขณะที่ระยะเวลาและการปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดูจากค่า F ที่น้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง



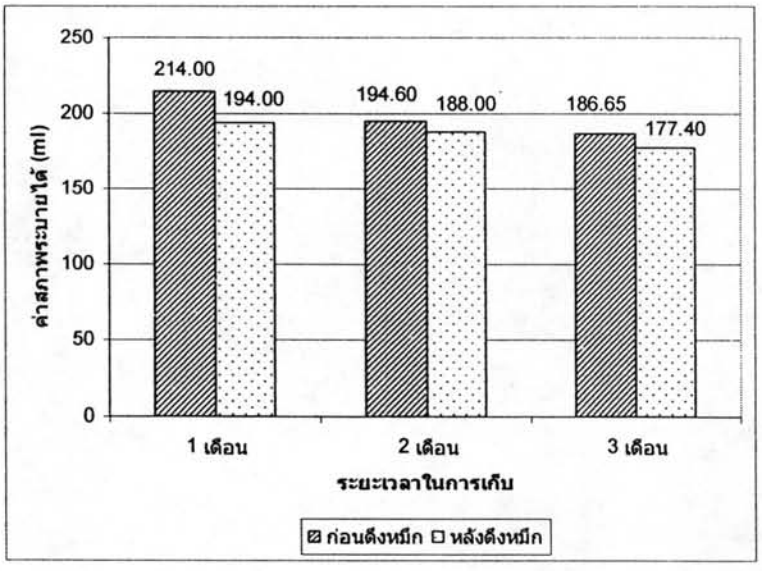
ภาพที่ 28 การลดลงของปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังการดึงหมึกออก
เมื่อการลดลงของปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ของการทดลองควบคุม (Zero aging) = 49.92

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของการลดลงของปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังการดึงหมึกออก

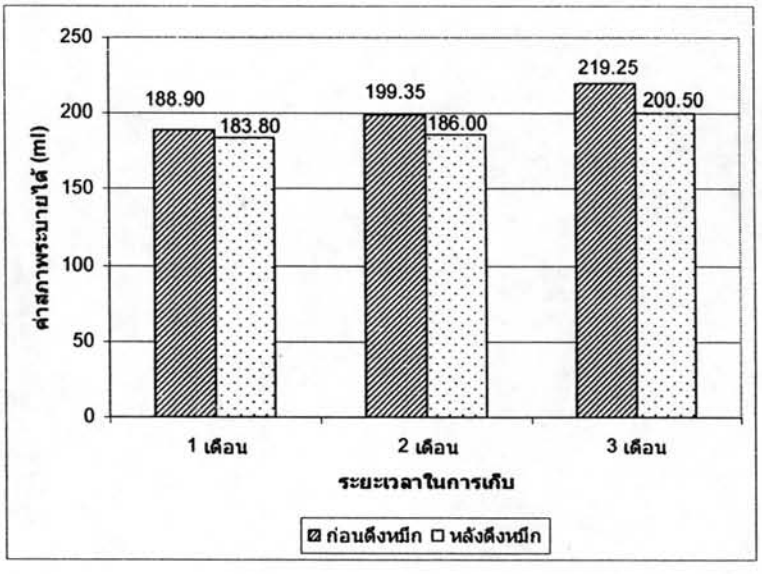
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging conditions	3334.461	2	1667.23	5.765787	0.024445	4.256495
Aging time	1903.813	2	951.9063	3.29198	0.084536	4.256495
Interaction	952.1827	4	238.0457	0.823234	0.542167	3.633089
Within	2602.433	9	289.1592			
Total	8792.889	17				



ภาพที่ 29 ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อจากกระดาษที่เก็บแบบแห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก



ภาพที่ 30 ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อจากกระดาษที่เก็บแบบแห้งแต่ไม่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก



ภาพที่ 31 ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อจากกระดาษที่เก็บแบบเปียก

จากภาพที่ 29, 30 และ 31 เป็นค่าสภาพระบายได้ทั้งก่อนและหลังดึงหมึกออกของเยื่อที่ได้จากกระดาษหนังสือพิมพ์ในสภาพการเก็บแบบแห้งและห่อหุ้มด้วยพลาสติก แบบแห้งแต่ไม่ห่อหุ้ม และแบบเปียก ตามลำดับ ซึ่งค่าสภาพระบายได้ของสภาวะในการเก็บทั้ง 3 แบบ มีแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ สภาพระบายได้ของเยื่อก่อนดึงหมึกออกมีค่ามากกว่าของเยื่อหลังการดึงหมึกออก และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อดูว่าตัวแปรไหนมีผลต่อค่าสภาพระบายได้ทั้งก่อนและหลังการดึงหมึกออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า ทั้งสภาพและระยะเวลาการเก็บกระดาษไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองกลับมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่า (ตารางที่ 23 และ 24) ซึ่งในทางสถิตินั้นหากตัวแปรหลักไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแล้วไม่อาจถือได้ว่าปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในการทดลองนี้ ทั้งระยะเวลาและสภาพในการเก็บกระดาษไม่มีผลต่อสภาพระบายได้ของเยื่อแต่อย่างใด

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้ของเยื่อก่อนการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	329.4678	2	164.7339	2.011491	0.189624	4.256495
Aging time	123.2719	2	61.63597	0.752609	0.498619	4.256495
Interaction	1884.094	4	471.0235	5.751456	0.01404	3.633089
Within	737.0675	9	81.89639			
Total	3073.901	17				

ตารางที่24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้ของเยื่อหลังการดึงหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	238.9375	2	119.4688	1.651008	0.245018	4.256495
Aging time	213.7708	2	106.8854	1.477111	0.27877	4.256495
Interaction	992.6667	4	248.1667	3.429559	0.057628	3.633089
Within	651.25	9	72.36111			
Total	2096.625	17				

ตารางที่ 25 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield)

สภาพในการเก็บกระดาษ	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%)		
	กระดาษเก็บ 1 เดือน	กระดาษเก็บ 2 เดือน	กระดาษเก็บ 3 เดือน
แห้งและห่อหุ้ม	93.93	94.75	94.20
แห้งแต่ไม่ห่อหุ้ม	94.91	94.34	93.50
แช่น้ำ	94.66	94.44	93.00

ตารางที่ 25 เป็นปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการดึงหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศของกระดาษที่ผ่านการเก็บในสภาวะต่างๆ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสภาพและระยะเวลาในการเก็บกระดาษไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้แต่อย่างใด กล่าวคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละสภาวะไม่มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติตามตารางที่ 26 ซึ่งพบว่าสภาพและระยะเวลาในการเก็บกระดาษ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่า F ของตัวแปรทั้งหมดรวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองมีค่าน้อยกว่าค่า F จากตาราง

ตารางที่ 26 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิตที่ได้

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Aging condition	0.227678	2	0.113839	0.179945	0.838249	4.256495
Aging time	3.522411	2	1.761206	2.783928	0.114501	4.256495
Interaction	2.455722	4	0.613931	0.970437	0.469227	3.633089
Within	5.6937	9	0.632633			
Total	11.89951	17				