บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองตอนที่ 1: การหาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม (ยังไม่ใช้เอนไซม์)

การทดลองตอนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม โดยในการทดลองจะใช้ไคโตซานที่ปริมาณร้อยละ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลจาก ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อ ค่าความขาวสว่าง ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก ค่าสภาพระบายได้ และค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ โดยใช้สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือค่า α เท่ากับ 0.05 เพื่อพิจารณาเลือกใช้ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมสำหรับในการทดลองตอนที่ 2 ต่อไป หากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 จะยอมรับสมมุติฐานหลักที่ว่า ปริมาณไคโตซานไม่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ที่ศึกษาในการทดลองนี้ แต่หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงว่าสามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักได้ นั่นคือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้มีผลต่อสมบัติต่างๆของเยื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-1 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อเมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณไคโตซานที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ค่าเฉลี่ย ERIC ก่อนการกำจัดหมึกออก $\pm$ S.D	ค่าเฉลี่ย ERIC หลังการกำจัดหมึกออก $\pm$ S.D
0	34.16 $\pm$ 0.42	28.70 $\pm$ 0.92
0.1	33.02 $\pm$ 0.19	27.12 $\pm$ 0.39
0.2	33.08 $\pm$ 0.25	25.67 $\pm$ 0.00
0.3	33.11 $\pm$ 0.18	28.08 $\pm$ 0.30

จากผลการทดลองตารางที่ 4-1 พบว่า การลอยฟองอากาศ ทำให้หมึกที่เหลืออยู่ในระบบน้อยลง ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังการลอยฟองอากาศจึงลดลง การใช้ไคโตซานมีแนวโน้มทำให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีค่าลดลง ทั้งในส่วนของก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก และเมื่อใช้ปริมาณไคโตซานมากขึ้น มีผลทำให้ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานทำหน้าที่เป็น Collector ในการจับหมึก ทำให้สามารถกำจัดหมึกออกได้มากขึ้น

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานเป็นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งกลับส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ไคโตซานมีประจุเป็นบวกในสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งทำให้สามารถจับตัวกับเส้นใยที่มีประจุเป็นลบได้ดีด้วยเช่นกัน ทำให้ไคโตซานเหลือพื้นที่ผิวในการจับอนุภาคหมึกได้น้อยลง หมึกไม่สามารถลอยออกมากับฟองอากาศได้ ฉะนั้นค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่จึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ไคโตซานในปริมาณที่มากเกินไป

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ก่อนการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	1.785938	3	0.595313	7.793324	0.038012	6.591382
Within Groups	0.30555	4	0.076388			
Total	2.091488	7				

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	10.4387	3	3.479567	12.7843	0.016188	6.591382
Within Groups	1.0887	4	0.272175			
Total	11.5274	7				

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังปรากฏในตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เติมลงไปในแต่ละการทดลองนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ปริมาณไคโตซานมีผลกับค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกพิมพ์ออก โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 4-4 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ในเยื่อเมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณไคโตซานที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ค่าเฉลี่ย Brightness ก่อนกำจัดหมึกออก (%) ± S.D	ค่าเฉลี่ย Brightness หลังกำจัดหมึกออก (%) ± S.D
0	82.78 ± 0.30	85.25 ± 0.00
0.1	82.67 ± 0.28	85.59 ± 0.96
0.2	82.62 ± 0.26	85.71 ± 0.16
0.3	81.41 ± 0.11	84.55 ± 0.02

ค่าความขาวสว่างจะแปรผกผันกับปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ คือ หากมีปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่น้อยก็จะส่งผลให้ค่าความขาวสว่างสูงขึ้น จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-4 พบว่า การกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศ ทำให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างสูงขึ้น การใช้ไคโตซานในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานเป็นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งกลับทำให้ค่าความขาวสว่างมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ไคโตซานมีประจุเป็นบวก ซึ่งทำให้ไปจับกับเส้นใยซึ่งมีประจุเป็นลบได้ดี ดังนั้นเมื่อใช้ไคโตซานในปริมาณที่สูงขึ้น ไคโตซานอาจไปจับกับเส้นใยมากจนกระทั่งไคโตซานเหลือพื้นที่ผิวในการจับอนุภาคหมึกได้น้อยลง เพราะฉะนั้นค่าความขาวสว่างจึงมีค่าน้อยลงเมื่อใช้ไคโตซานในปริมาณที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่างก่อนการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	1.10745	3	0.36915	7.710705	0.038691	6.591382
Within Groups	0.1915	4	0.047875			
Total	1.29895	7				

ตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่างหลังการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	2.823937	3	0.941312	42.09335	0.001749	6.591382
Within Groups	0.08945	4	0.022362			
Total	2.913387	7				

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังปรากฏในตารางที่ 4-5 และตารางที่ 4-6 พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เติมลงไปในแต่ละการทดลองนั้นมีผลกับค่าความขาวสว่างทั้งก่อนและหลังกำจัดหมึกพิมพ์ออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 4-7 ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) เมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณไคโตซานที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	**ค่าเฉลี่ย Tensile index ก่อนการกำจัดหมึกออก (Nm/g) ± S.D**	**ค่าเฉลี่ย Tensile index หลังการกำจัดหมึกออก (Nm/g) ± S.D**
0	24.37 ± 1.17	33.18 ± 3.03
0.1	27.13 ± 1.16	34.09 ± 0.87
0.2	29.72 ± 0.68	33.96 ± 1.05
0.3	28.34 ± 0.70	33.69 ± 1.03

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-7 พบว่าเมื่อใช้ไคโตซานมีผลทำให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้ไคโตซานมากเกินไปกลับส่งผลให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเริ่มมีค่าลดลงได้

การที่ไคโตซานมีผลทำให้แผ่นทดสอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ (Dry strength agent) อยู่แล้ว โดยไคโตซานอาจเป็นตัวเชื่อมทำให้เส้นใยจับตัวกันจนเกิดเป็นกลุ่มของเส้นใย (Floc) ขึ้น และหากกลุ่มของเส้นใยนั้นมีการกระจายตัวที่ดีจะส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงขึ้น อย่างไรก็ตามจาก

ผลการทดลองนี้พบว่าการใช้ไคโตซานในปริมาณที่มากเกินไปกลับส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นทดสอบลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มของเส้นใยที่เกิดขึ้นมากจนเกินไป จนอาจทำให้การกระจายตัวของกลุ่มของเส้นใยในแผ่นทดสอบไม่ดีนัก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นทดสอบโดยรวมลดลง ในการทดลองยังพบด้วยว่า การกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศ ทำให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เส้นใยที่มีขนาดสั้นได้ลอยออกไปพร้อมกับอนุภาคของหมึกและฟองอากาศ ทำให้เยื่อที่ผ่านการกำจัดหมึกออกมีเส้นใยขนาดยาวเหลืออยู่ในระบบมาก ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงก่อนการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	31.01984	3	10.33995	11.25911	0.020264	6.591382
Within Groups	3.67345	4	0.918363			
Total	34.69329	7				

ตารางที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงหลังการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	13.36994	3	4.456646	8.983588	0.029933	6.591382
Within Groups	1.98435	4	0.496088			
Total	15.35429	7				

จากตารางที่ 4-8 และ ตารางที่ 4-9 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ว่า ปริมาณไคโตซานที่ใส่ลงไปในแต่ละการทดลองนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ไคโตซานมีผลกับค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกพิมพ์ออก โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 4-10 ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index) เมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณไคโตซานที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ค่าเฉลี่ย Tear index ก่อนการกำจัดหมึกออก (mNm^2/g) $\pm$ S.D	ค่าเฉลี่ย Tear index หลังการกำจัดหมึกออก (mNm^2/g) $\pm$ S.D
0	4.88 $\pm$ 0.13	5.06 $\pm$ 0.06
0.1	5.29 $\pm$ 0.08	5.34 $\pm$ 0.11
0.2	5.20 $\pm$ 0.06	5.61 $\pm$ 0.34
0.3	5.04 $\pm$ 0.01	5.74 $\pm$ 0.16

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-10 พบว่าเมื่อใช้ไคโตซานมีผลทำให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก หากแต่เมื่อมีการใช้ไคโตซานมากเกินไปกลับส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกลดลง

การใช้ไคโตซานมีผลทำให้แผ่นทดสอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ โดยไคโตซานอาจเป็นตัวเชื่อมทำให้เส้นใยจับตัวกันจนเกิดเป็นกลุ่มของเส้นใยขึ้น และหากกลุ่มของเส้นใยนั้นมีการกระจายตัวที่ดีจะทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงฉีกขึ้น อย่างไรก็ตามหากมีการใช้ไคโตซานในปริมาณที่มากเกินไปกลับทำให้ค่าความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มของเส้นใยที่เกิดขึ้นอาจมีมากเกินไป จนทำให้การกระจายตัวของกลุ่มของเส้นใยในแผ่นทดสอบไม่ดีนัก ค่าความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบโดยรวมจึงลดลง ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าดรรชนีความแข็งต่อแรงดึง นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่า เยื่อหลังจากการกำจัดหมึกออกมีค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เส้นใยขนาดสั้นถูกกำจัดออกไปพร้อมกับอนุภาคหมึกในระหว่างการลอยฟองอากาศ จึงส่งผลให้เยื่อที่เหลืออยู่ในระบบมีความยาวโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกจึงสูงขึ้น

ตารางที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกก่อนการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	0.194238	3	0.064746	9.366486	0.027876	6.591382
Within Groups	0.02765	4	0.006912			
Total	0.221888	7				

ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกหลังการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	0.46045	3	0.153483	14.04882	0.013674	6.591382
Within Groups	0.0437	4	0.010925			
Total	0.50415	7				

จากตารางที่ 4-11 และ ตารางที่ 4-12 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ว่าปริมาณไคโตซานที่ใช้ในแต่ละการทดลองนั้น มีผลกับค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกพิมพ์ออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 4-13 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) เมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณ chitosan ที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ค่าเฉลี่ย Freeness ก่อนการกำจัดหมึกออก (ml) $\pm$ S.D	ค่าเฉลี่ย Freeness หลังการกำจัดหมึกออก (ml) $\pm$ S.D
0	440 $\pm$ 5	432 $\pm$ 8
0.1	445 $\pm$ 8	437 $\pm$ 10
0.2	430 $\pm$ 5	416 $\pm$ 5
0.3	437 $\pm$ 0	421 $\pm$ 8

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-13 พบว่า ค่าสภาพระบายได้หลังการกำจัดหมึกออกมีค่าไม่แตกต่างจากค่าสภาพระบายได้ก่อนการกำจัดหมึกออกเท่าไหร่นัก แสดงว่าการลอยฟองอากาศแทบไม่มีผลต่อค่าสภาพระบายได้ ซึ่งผลที่ปรากฏออกมานี้ค่อนข้างที่จะตรงกันข้ามกับผลการทดลองที่ได้จากดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง และดรรชนีความต้านทานแรงฉีก ซึ่งมีค่าสูงขึ้นหลังการกำจัดหมึกออก แสดงว่ามีเส้นใยยาวเหลืออยู่ในระบบมากขึ้นหลังการกำจัดหมึกออก และหากเป็นดังนี้ค่าสภาพระบายได้ควรมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระบบมีเส้นใยยาวมากพื้นที่ผิวของ เส้นใยในระบบจะลดลง ฉะนั้นการดูดน้ำของเส้นใยควรลดลง เยื่อควรระบายน้ำออกมากขึ้น ในการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ไคโตซานที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าสภาพระบายได้ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติก็ยืนยันเช่นนั้น ซึ่งค่อนข้างตรงข้ามกับที่คาดไว้ เนื่องจากการใช้ไคโตซานน่าจะทำให้เส้นใยมาเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน พื้นที่ผิวของเส้นใยในการอุ้งน้ำน่าจะลดลง ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อน่าจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้ก่อนการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	238.375	3	79.45833	2.902588	0.164957	6.591382
Within Groups	109.5	4	27.375			
Total	347.875	7				

ตารางที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้หลังการกำจัดหมึกออก

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	541.375	3	180.4583	1.37886	0.370201	6.591382
Within Groups	523.5	4	130.875			
Total	1064.875	7				

จากตารางที่ 4-14 และ ตารางที่ 4-15 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ว่าปริมาณไคโตซานที่ใช้ในแต่ละการทดลองนั้น ไม่มีผลกับค่าสภาพระบายได้ทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกพิมพ์ออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า F ที่ได้

จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของค่าสภาพระบายได้ในตารางที่ 4-13 จะเห็นได้ว่าค่าสภาพระบายได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการใช้ไคโตซานในการทดลอง

ตารางที่ 4-16 ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) เมื่อใช้ไคโตซานปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณ chitosan ที่ใช้ (%ของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ค่าเฉลี่ย Yield (%) ± S.D
0	89.93 ± 0.28
0.1	92.17 ± 0.62
0.2	90.82 ± 0.30
0.3	90.88 ± 0.62

จากผลการทดลองตารางที่ 4-16 พบว่าค่าปริมาณผลผลิตที่ได้หลังการกำจัดหมึกพิมพ์ออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศในทุกการทดลองมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วงปริมาณ 90-92% และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4-17 พบว่าปริมาณไคโตซานที่ใช้ในแต่ละการทดลองนั้นไม่มีผลกับค่าปริมาณผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดูจากค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง (F crit) และค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณผลผลิตที่ได้

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F-crit
Between Groups	5.584138	3	1.861379	5.030245	0.076318	6.591382
Within Groups	1.48015	4	0.370038			
Total	7.064288	7				

จากผลการทดลองตอนที่ 1 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์จากผลข้อมูลค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อ ค่าความขาวสว่าง

ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก สภาพระบายได้ และปริมาณผลผลิตที่ได้ ทำให้สรุปได้ว่าปริมาณไคโตซานร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองตอนที่ 2 ต่อไป

ผลการทดลองตอนที่ 2: ผลของการใช้ไคโตซานและเซลลูเลสต่อประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออก

ในการทดลองตอนที่ 2 เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีผลกับประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออก โดยศึกษาจาก 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณไคโตซานที่ใช้ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ และเวลาพักเยื่อโดยทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา (Reaction time) หลังจากการตีเยื่อ ในแต่ละตัวแปรใช้ค่าที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือที่ค่าระดับต่ำและค่าระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 2

ชนิดของตัวแปร	ระดับต่ำ	ระดับสูง
ปริมาณไคโตซาน (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	0	0.2
ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	0.1	0.3
Reaction time หลังตีเยื่อเป็นเวลา 60 นาที (นาที)	0	30

หมายเหตุ: สำหรับการทดลองตอนที่ 2 มีการทำการทดลองควบคุมคือ การทดลองที่ไม่ใส่ไคโตซาน ไม่ใส่เอนไซม์ และไม่มีระยะเวลาในการพักเยื่อเพื่อให้เอนไซม์ทำปฏิกิยา

การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้การวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ANOVA) โดยใช้ค่า P-value อ้างอิงกับที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.15 (α=0.15) กล่าวคือจะยอมรับสมมติฐานหลัก ถ้าค่า P-value มากกว่า 0.15 และปฏิเสธถ้าค่า P-value เท่ากับหรือน้อยกว่า 0.15 โดยที่สมมติฐานหลักคือ การใช้ตัวแปร 3 ตัวแปร ทั้ง 2 ระดับ ส่งผลต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อ ค่าความขาวสว่าง ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก ค่าสภาพระบายได้

และปริมาณผลผลิตที่ได้เท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรทั้งสามไม่มีผลต่อสมบัติต่างๆของเยื่อนั่นเอง ค่า P-value ของผลการทดลองตอนที่ 2 แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 ค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ก่อน	0.145	0.592	0.935	0.962	0.793	0.510	0.096
การกำจัดหมึกออก	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)
ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลัง	0.199	0.730	0.866	0.208	0.712	0.067	0.116
การกำจัดหมึกออก	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)
ค่าความขาวสว่าง	0.078	0.672	0.662	0.933	0.935	0.309	0.363
ก่อนการกำจัดหมึกออก	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)
ค่าความขาวสว่าง	0.109	0.653	0.643	0.643	0.846	0.227	0.531
หลังการกำจัดหมึกออก	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรง	0.045	0.033	0.740	0.814	0.526	0.387	0.078
ดึงก่อนการกำจัดหมึกออก	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรง	0.143	0.344	0.621	0.676	0.321	0.314	0.516
ดึงหลังการกำจัดหมึกออก	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)
ค่าดรรชนีความต้านทานแรง	0.046	0.141	0.663	0.831	0.571	0.679	0.054
ฉีกก่อนการกำจัดหมึกออก	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)

ตารางที่ 4-19 ค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ต่อ)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
ค่าดรรชนีความต้านทานแรง	0.067	0.439	0.263	0.850	0.825	0.439	0.494
ฉีกหลังการกำจัดหมึกออก	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)
สภาพระบายได้	0.000	0.090	0.005	0.754	0.985	0.135	0.868
ก่อนการกำจัดหมึกออก	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
สภาพระบายได้	0.000	0.075	0.014	0.826	0.406	0.495	0.753
หลังการกำจัดหมึกออก	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
ปริมาณผลผลิตที่ได้	0.366	0.415	0.988	0.719	0.735	0.548	0.950
	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)

หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสทีใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา
เครื่องหมายบวก (+) คือ ผลที่ได้จะแปรผันตรงกับการใช้ตัวแปรนั้นๆ
เครื่องหมายลบ (-) คือ ผลที่ได้จะแปรผกผันกับการใช้ตัวแปรนั้นๆ

ตารางที่ 4-19 เป็นตารางที่สรุปภาพรวมของค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (สามารถดูรายละเอียดตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ANOVA) ได้จากภาคผนวก ข) โดย Chi คือ ปริมาณการใช้ไคโตซานที่ใช้ En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา ส่วน Chi*En, Chi*T และ En*T คือปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว (2-way interaction) และ Chi*En*T คือ ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรสามตัว (3-way interaction) สำหรับเครื่องหมายบวก (+) และลบ (-) ที่ปรากฏอยู่ในตารางนั้นเป็นการบอกให้ทราบว่าตัวแปรนั้นมีผลต่อสมบัติของเยื่อที่พิจารณาในทิศทางใด เช่น หากเป็นบวกก็หมายความว่า ถ้าเพิ่มตัวแปร

นั้นสมบัติของเยื่อก็จะเพิ่มตามด้วย แต่ถ้าเป็นลบก็หมายความว่า การเพิ่มตัวแปรนั้นกลับส่งผลให้สมบัติดังกล่าวมีค่าลดลง

ตารางที่ 4-20 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อ ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	ERIC ก่อน Flotation ± S.D	ERIC หลัง Flotation ± S.D	ERIC ลดลง ± S.D
0-0.1-0	25.18 ± 0.61	19.37 ± 0.35	5.81 ± 0.96
0-0.1-30	27.70 ± 8.57	18.49 ± 6.00	9.21± 2.57
0-0.3-0	26.25 ± 4.88	20.41 ± 2.64	5.85 ± 7.52
0-0.3-30	24.42 ± 0.36	20.63 ± 1.33	3.79 ± 0.97
0.2-0.1-0	31.96 ± 0.35	25.88 ± 0.64	6.09 ± 1.00
0.2-0.1-30	26.62 ± 1.24	20.67 ± 1.56	5.95 ± 0.31
0.2-0.3-0	26.34 ± 2.53	17.09 ± 2.81	9.25 ± 0.28
0.2-0.3-30	30.39 ± 0.69	24.04 ± 4.81	6.35 ± 4.12

หมายเหตุ : ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อ ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกของการทดลองควบคุม คือ 53.06 และ 19.70 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-20 พบว่าการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศนั้น ทำให้ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อลดลง โดยเปรียบเทียบจากค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อในกรณีหลังการกำจัดหมึกออกที่มีค่าต่ำกว่ากรณีก่อนการกำจัดหมึกออก สำหรับผลของไคโตซานที่มีต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อนั้นกลับพบว่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นส่วนใหญ่แทบทุกการทดลอง ยกเว้นการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 ในกรณีของค่าความขาวสว่างก่อนการกำจัดหมึกออก และการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 ในกรณีของค่าความขาวสว่างหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งการที่ใช้ไคโตซานแล้วกลับทำให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีค่ามากขึ้นนั้น เป็นผลที่ได้ไม่ตรงกลับที่คาดไว้ รวมถึงไม่สอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 1 ซึ่งเป็นการศึกษาถึงผลของ

ปริมาณไคโตซานที่มีต่อปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อ ซึ่งพบว่าการใช้ไคโตซานมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อลดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานทำหน้าที่เป็น Collector โดยจะไปช่วยจับอนุภาคของหมึก ทำให้อนุภาคหมึกมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและถูกกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงผลของไคโตซานต่อค่าความขาวสว่างดังที่จะได้อธิบายต่อไป ก็พบว่าไคโตซานส่งผลให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าไคโตซานช่วยกำจัดอนุภาคของหมึกออกไปจริง ดังนั้นค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อควรมีค่าลดน้อยลงเมื่อใช้ไคโตซาน เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า P-value ของไคโตซานก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกมีค่าเท่ากับ 0.145 และ 0.183 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.150 แสดงว่าไคโตซานมีผลต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกเท่านั้น

ตารางที่ 4-21 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อ

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
ERIC ก่อน Flo	0.145	0.592	0.935	0.962	0.793	0.510	0.096
	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)
ERIC หลัง Flo	0.183	0.746	0.886	0.192	0.686	0.060	0.115
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)

หมายเหตุ : Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ในส่วนผลของการใช้เอนไซม์ต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อพบว่า เมื่อใช้เอนไซม์ในปริมาณที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีค่ามากขึ้น ดังเห็นได้จากในกรณีของค่าความขาวสว่างก่อนการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 และในกรณีของค่าขาวสว่างหลังการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 3 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับ

การทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ซึ่งผลที่ได้ไม่ตรงกับที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากการใช้เอนไซม์ในปริมาณมากขึ้น เอนไซม์น่าจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยตรงบริเวณผิวหน้า โดยไปตัดสายโซ่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของเส้นใย ทำให้หมึกโทนเนอร์ที่เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของเส้นใยหลุดออกมาด้วย ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อน่าจะน้อยลงเมื่อใช้เอนไซม์ อย่างไรก็ตามอาจจะเป็นไปได้ว่าเอนไซม์ที่ใช้บางส่วนอาจไปทำปฏิกิริยากับไคโตซานด้วย เนื่องจากไคโตซานผลิตมาจากไคตินซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส [11] ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์ในการกำจัดหมึกออกด้อยลง เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าค่า P-value ของเอนไซม์เซลลูเลสทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.592 และ 0.746 มีค่ามากกว่า 0.150 มาก แสดงว่าปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาพักเยื่อทิ้งไว้เพื่อให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาที่มีต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อพบว่ามีทิศทางที่ไม่ชัดเจน เพราะครึ่งหนึ่งของการทดลองพบว่าค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการพักเยื่อนานขึ้น เช่น ในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออก โดยการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 7 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 และหลังการกำจัดหมึกออก โดยการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 7 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ขณะที่การทดลองที่เหลือกลับพบว่าค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการพักเยื่อนานขึ้น เช่น การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 (กรณีก่อนการกำจัดหมึกออก) และการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 (กรณีหลังการกำจัดหมึกออก) ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากที่คาดการณ์ไว้เนื่องจากเมื่อทิ้งเยื่อให้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์นานขึ้น เอนไซม์น่าจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยทำให้อนุภาคของหมึกหลุดออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้การให้ระยะเวลาในการพักเยื่อนานขึ้น ก็หมายถึงว่าไคโตซานเองก็มีเวลาในการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของหมึกนานมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อน่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่าระยะเวลาที่เลือกใช้ในการทดลองอาจอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้เห็นผลของระยะเวลาการพักเยื่อต่อปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อไม่ชัดเจนนัก นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า P-value ของระยะเวลาพักเยื่อทั้งในกรณีของก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.935 และ 0.886 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่า 0.150 มาก แสดงว่าระยะเวลาไม่มีผลต่อค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อทั้งก่อนและหลังการดึงหมึกออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-22 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	Brightness ก่อน Flotation (%) ± S.D	Brightness หลัง Flotation (%) ± S.D	Brightness เพิ่มขึ้น (%) ± S.D
0-0.1-0	83.24 ± 1.80	84.29 ± 1.47	1.06 ± 0.33
0-0.1-30	83.65 ± 2.81	85.37 ± 1.92	1.72 ± 0.89
0-0.3-0	83.04 ± 2.14	84.05 ± 1.33	1.01 ± 0.81
0-0.3-30	83.25 ± 1.75	84.08 ± 1.79	0.83 ± 0.04
0.2-0.1-0	84.13 ± 0.07	84.99 ± 0.17	0.86 ± 0.10
0.2-0.1-30	86.23 ± 1.34	86.81 ± 1.42	0.49 ± 0.08
0.2-0.3-0	85.42 ± 1.48	86.59 ± 1.70	1.17 ± 0.21
0.2-0.3-30	84.14 ± 0.25	85.23 ± 2.28	1.09 ± 2.02

หมายเหตุ : ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกของการทดลองควบคุม คือ 80.84 % และ 83.20 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4-23 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าความขาวสว่าง (Brightness)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
Brightness ก่อน Flotation	0.078	0.672	0.662	0.933	0.935	0.309	0.363
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)
Brightness หลัง Flotation	0.109	0.653	0.643	0.643	0.846	0.227	0.531
	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)

หมายเหตุ : Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-22 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศนั้น ทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ได้หลังการกำจัดหมึกออกสูงกว่าก่อนการกำจัดหมึกออกทุกกรณี สำหรับผลของไคโตซานที่มีต่อค่าความขาวสว่างนั้นพบว่า การใช้ไคโตซานทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกในทุกการทดลองกล่าวคือ การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 5 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 4 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานทำหน้าที่เป็น Collector ช่วยจับอนุภาคของหมึกให้มารวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น กลุ่มอนุภาคของหมึกเหล่านี้จะไปเกาะติดกับฟองอากาศและถูกกำจัดหมึกออกไปตรงบริเวณผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศในที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า P-value ของไคโตซานทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.078 และ 0.109 ตามลำดับ พบว่าไคโตซานจะมีผลต่อค่าความขาวสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก โดยค่าความขาวสว่างจะแปรผันตรงกับปริมาณไคโตซานกล่าวคือ การใช้ไคโตซานส่งผลให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างมากขึ้น

การใช้เอนไซม์ในปริมาณเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความขาวสว่างลดลง โดยพิจารณาจากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 3 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 แม้นจะเป็นการคาดหวังว่าการใส่เอนไซม์น่าจะทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยตรงบริเวณผิวหน้า โดยไปตัดสายโซ่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของเส้นใย ทำให้หมึกโทนเนอร์ที่เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของเส้นใยหลุดออกมาด้วย อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์เซลลูเลสในปริมาณที่สูงเกินไปอาจส่งผลทำให้ค่าความขาวสว่างลดลงได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเอนไซม์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยที่มีขนาดสั้นในระบบได้เร็วกว่า เนื่องจากเส้นใยขนาดสั้นมีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้เส้นใยขนาดสั้นในระบบลดน้อยลง การที่มีเส้นใยขนาดสั้นในระบบน้อยลง ทำให้พื้นที่ผิวในการกระเจิงแสงของเยื่อทั้งระบบลดลง ค่าความขาวสว่างของเยื่อจึงลดลง นอกจากนี้สีของเอนไซม์ที่ใช้ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาล ซึ่งหากใช้เอนไซม์ในปริมาณมากอาจไปลดค่าความขาวสว่างของเยื่อทั้งระบบด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้พบว่าค่า P-value ของเอนไซม์เซลลูเลสทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.672 และ 0.653 นั้น มีค่าสูงกว่า 0.150 มาก แสดงว่าเอนไซม์เซลลูเลสไม่มีผลต่อค่าความขาวสว่างของเยื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาพักเยื่อทิ้งไว้เพื่อให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาที่มีต่อค่าความขาวสว่างพบว่าเมื่อให้เวลานานขึ้น ค่าความขาวสว่างทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะว่าเมื่อทิ้งเยื่อให้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์นานขึ้น เอนไซม์จะไปเปิดผิวของเส้นใยทำให้อนุภาคของหมึกหลุดออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้การให้ระยะเวลาในการพักเยื่อนานขึ้นก็หมายถึงว่าไคโตซานเองก็มีเวลาในการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของหมึกนานมากขึ้นเช่นกัน จึงอาจจะเป็นผลดีต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อในภาพรวม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า P-value ของระยะเวลาพักเยื่อทั้งในกรณีของก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.662 และ 0.643 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่า 0.150 มาก แสดงว่าระยะเวลาไม่มีผลต่อค่าความขาวสว่างของเยื่อทั้งก่อนและหลังการดึงหมึกออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-24 ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	Tensile ก่อน Flotation (Nm/g) ± S.D	Tensile หลัง Flotation (Nm/g) ± S.D
0-0.1-0	28.49 ± 1.07	36.63 ± 2.08
0-0.1-30	26.48 ± 1.59	33.67 ± 3.87
0-0.3-0	28.11 ± 1.47	36.23 ± 1.20
0-0.3-30	29.73 ± 0.13	37.79 ± 2.74
0.2-0.1-0	28.15 ± 0.83	37.05 ± 0.26
0.2-0.1-30	29.45 ± 1.73	38.57 ± 1.29
0.2-0.3-0	30.57 ± 1.48	37.28 ± 4.55
0.2-0.3-30	30.51 ± 0.73	39.81 ± 2.02

หมายเหตุ : ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกของการทดลองควบคุม คือ 28.35 Nm/g และ 36.36 Nm/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4-25 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
Tensile ก่อน Flotation	0.045	0.033	0.740	0.814	0.526	0.387	0.078
	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Tensile หลัง Flotation	0.143	0.344	0.621	0.676	0.321	0.314	0.516
	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)

หมายเหตุ Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4-24 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศนั้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นทั้งในกรณีก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในกระบวนการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศนั้นเส้นใยขนาดสั้นบางส่วนได้ถูกกำจัดหมึกออกไปพร้อมกับฟองอากาศด้วย จึงส่งผลให้เยื่อที่เหลือในระบบหลังการลอยฟองอากาศจึงมีเส้นใยขนาดยาวมากกว่าเส้นใยขนาดสั้น แผ่นทดสอบที่ผลิตได้จึงมีค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้น

ผลการทดลองในตารางที่ 4-24 ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณไคโตซานที่ใช้ส่งผลให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 5 (ยกเว้นในกรณีของผลที่ได้จากก่อนกำจัดหมึกออก) การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 4 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ ดังนั้นในกรณีที่ใส่ไคโตซานจึงมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติพบว่าค่า P-value ของไคโตซานทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งเท่ากับ 0.045 และ 0.143 ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่า 0.150 แสดงว่าไคโตซานมีผลต่อค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงแปรผันตรงกับปริมาณไคโตซานที่ใช้ นั่นคือเมื่อใส่ไคโตซานลงในระบบ ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้น

เอนไซม์เซลลูเลสส่งผลต่อค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงในทิศทางเดียวกับไคโตซาน กล่าวคือเมื่อใช้เอนไซม์เซลลูเลสในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเพิ่มขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ดังจะเห็นได้จาก การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 เนื่องจากการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าเอนไซม์จะทำให้ความแข็งแรงโดยรวมของเยื่อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยที่มีขนาดสั้นก่อน เนื่องจากเส้นใยสั้นมีพื้นที่ผิวให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้มากกว่า ส่งผลให้ในระบบมีเส้นใยยาวมากกว่าเส้นใยสั้น ซึ่งเส้นใยยาวนั้นมีความแข็งแรงกว่าเส้นใยสั้น รวมถึงเส้นใยยาวมีพื้นที่ให้เส้นใยอื่นพาดผ่านมากกว่า การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยจึงดีกว่าเส้นใยสั้น ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ได้จึงสูงขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า P-value ของเอนไซม์ในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกมีค่าเท่ากับ 0.033 ในขณะที่ค่า P-value หลังการกำจัดหมึกออกของเอนไซม์มีค่าเท่ากับ 0.344 แสดงว่าปริมาณเอนไซม์ที่ใช้มีผลต่อค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกเท่านั้น โดยค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกแปรผันตรงกับปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ นั่นคือเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้น ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการพักเยื่อเพื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาที่มีต่อค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงนั้นพบว่า โดยส่วนใหญ่การในระยะเวลานานขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้เยื่อมีค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น อาทิเช่น ในกรณีของก่อนการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 และในกรณีของหลังการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 การทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 และการทดลองที่ 7 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 เนื่องจากเมื่อให้เวลากับเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยากับเส้นใยนานขึ้น เส้นใยขนาดสั้นในระบบมีแนวโน้มถูกกำจัดหมึกออกมากขึ้น ในระบบจึงมีเส้นใยสั้นน้อยลงและมีเส้นใยยาวมากขึ้น ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษจึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์นั้นก็ควรระวังไม่ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับเส้นใยนานมากจนเกินไป เพราะที่สุดแล้วเส้นใยอาจจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยยาว และส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์

ทางสถิติที่ได้พบว่าระยะเวลาพักเยื่อมีค่า P-value ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเท่ากับ 0.740 และ 0.621 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.150 แสดงว่าระยะเวลาในการพักเยื่อไม่มีผลต่อค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-26 ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	Tear **ก่อน** Flotation ($mN\ m^2/g$) $\pm$ S.D	Tear **หลัง** Flotation ($mN\ m^2/g$) $\pm$ S.D
0-0.1-0	5.12 $\pm$ 0.34	5.26 $\pm$ 0.15
0-0.1-30	5.04 $\pm$ 0.15	5.39 $\pm$ 0.27
0-0.3-0	5.08 $\pm$ 0.23	5.13 $\pm$ 0.11
0-0.3-30	5.39 $\pm$ 0.08	5.31 $\pm$ 0.21
0.2-0.1-0	5.17 $\pm$ 0.03	5.69 $\pm$ 0.04
0.2-0.1-30	5.45 $\pm$ 0.09	5.67 $\pm$ 0.31
0.2-0.3-0	5.66 $\pm$ 0.31	5.30 $\pm$ 0.36
0.2-0.3-30	5.36 $\pm$ 0.26	5.75 $\pm$ 0.61

หมายเหตุ : ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกของการทดลองควบคุม คือ 5.03 $mN\ m^2/g$ และ 5.31 $mN\ m^2/g$ ตามลำดับ

ผลจากการทดลองในตารางที่ 4-26 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศนั้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกก่อนการกำจัดหมึกออกจะมีค่ามากกว่าค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกหลังการกำจัดหมึกออกเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจจะอธิบายได้ว่าการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศนั้นทำให้มีเส้นใยบางส่วนโดยเฉพาะเส้นใยที่มีขนาดสั้นได้ถูกกำจัดหมึกออกไปพร้อมกับฟองอากาศด้วยจึงส่งผลให้เยื่อที่เหลือในระบบหลังการลอยฟองอากาศจึงมีเส้นใยขนาดยาวมากกว่าเส้นใยขนาดสั้น แผ่นทดสอบที่ได้จึงมีค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น

ตารางที่ 4-27 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
Tear ก่อน Flotation	0.046	0.141	0.663	0.831	0.571	0.679	0.054
	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
Tear หลัง Flotation	0.064	0.425	0.253	0.868	0.843	0.425	0.507
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)

หมายเหตุ : Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ผลการทดลองในตารางที่ 4-26 ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณไคโตซานที่ใช้ส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 5 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 4 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 (ยกเว้นในกรณีของผลที่ได้จากก่อนกำจัดหมึกออก) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานนั้นเป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใส่กับไม่ใส่ไคโตซาน กรณีที่ใส่ไคโตซานจึงมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติพบว่าค่า P-value ของไคโตซานทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งเท่ากับ 0.046 และ 0.064 ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่า 0.150 แสดงว่าไคโตซานมีผลต่อค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับผลของปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ต่อค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกนั้นพบว่าในบางกรณีปริมาณเอมไซม์เซลลูเลสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น เช่น ผลที่ได้จากก่อนการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 รวมถึงผลที่ได้จากหลังการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ในกรณีที่เหลือกลับส่งผลให้ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกลดลง ซึ่งการทดลองที่ได้ค่อนข้างไม่สอดคล้องกับที่คาดไว้ เนื่องจากการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าเอนไซม์จะทำให้ความแข็งแรงโดยรวม

ของเยื่อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยที่มีขนาดสั้นก่อน เนื่องจากเส้นใยสั้นมีพื้นที่ผิวให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้มากกว่า ส่งผลให้ในระบบมีเส้นใยยาวมากกว่าเส้นใยสั้น ซึ่งเส้นใยยาวนั้นมีความแข็งแรงกว่าเส้นใยสั้น ความต้านทานแรงฉีกซึ่งเป็นสมบัติที่ขึ้นกับความยาวของเส้นใยจึงสูงกว่า อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้อาจเป็นไปได้ที่เอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้บางส่วนกลับไปทำปฏิกิริยากับไคโตซานมากกว่าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใย ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานผลิตมาจากไคตินซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส [11] จึงทำให้ผลของเอนไซม์ที่มีต่อสมบัติของเส้นใยโดยเฉพาะต่อความต้านทานแรงฉีกจึงไม่ชัดเจนนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า P-value ของเอนไซม์ในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกมีค่าเท่ากับ 0.141 ในขณะที่ค่า P-value หลังการกำจัดหมึกออกของเอนไซม์มีค่าเท่ากับ 0.425 แสดงว่าปริมาณเอนไซม์ที่ใช้มีผลต่อค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกรณีก่อนการกำจัดหมึกออกเท่านั้น โดยค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกก่อนการกำจัดหมึกออกแปรผันตรงกับปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ นั่นคือเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้น ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกจะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการพักเยื่อเพื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาที่มีต่อค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกนั้นพบว่าโดยส่วนใหญ่การใช้ระยะเวลานานขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้เยื่อมีค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากในกรณีของก่อนการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 และในกรณีของหลังการกำจัดหมึกออก: การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 7 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่อให้เวลากับเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยากับเส้นใยนานขึ้น เส้นใยสั้นๆในระบบจะถูกกำจัดหมึกออกมากขึ้น ในระบบจึงเหลือเส้นใยยาวมากกว่าเส้นใยสั้น ความแข็งแรงของกระดาษจึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์นั้นก็ควรระวังไม่ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับเส้นใยนานมากจนเกินไป เพราะที่สุดแล้วเส้นใยอาจจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยยาว และส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้พบว่าระยะเวลาพักเยื่อมีค่า P-value ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเท่ากับ 0.663 และ 0.253 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.150 แสดงว่าระยะเวลาในการพักเยื่อไม่มีผลต่อค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-28 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	Freeness ก่อน Flotation (ml) ± S.D	Freeness หลัง Flotation (ml) ± S.D
0-0.1-0	444 ± 0	451 ± 2
0-0.1-30	456 ± 6	474 ± 20
0-0.3-0	443 ± 5	457 ± 9
0-0.3-30	480 ± 18	496 ± 19
0.2-0.1-0	518 ± 18	532± 21
0.2-0.1-30	533 ± 1	546 ± 3
0.2-0.3-0	522 ± 6	546 ± 7
0.2-0.3-30	558 ± 25	566 ± 21

หมายเหตุ : ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกของการทดลองควบคุม คือ 532 ml และ 525 ml ตามลำดับ

ตารางที่ 4-29 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าสภาพระบายได้ (Freeness)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
Freeness ก่อน Flotation	0.000	0.090	0.005	0.754	0.985	0.135	0.868
	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Freeness หลัง Flotation	0.000	0.075	0.014	0.826	0.406	0.495	0.753
	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)

หมายเหตุ : Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4-28 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศมีแนวโน้มทำให้ค่าสภาพระบายได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้นั้นสอดรับกับค่าความแข็งแรงของเยื่อหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการกำจัดหมึกออกที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในการลอยฟองอากาศนั้น มีเส้นใยบางส่วนถูกกำจัดออกไปพร้อมกับฟองอากาศด้วย ซึ่งเส้นใยส่วนที่ถูกกำจัดออกไปนั้น น่าจะเป็นเส้นใยที่มีขนาดสั้น จึงส่งผลให้เยื่อในระบบหลังการกำจัดหมึกออกมีเส้นใยยาวเหลืออยู่มากกว่าเส้นใยสั้น ซึ่งเส้นใยยาวนั้นจะมีความแข็งแรงสูงกว่าเส้นใยสั้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของเยื่อหลังการกำจัดหมึกออกเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันเส้นใยยาวก็มีพื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำน้อย ส่งผลให้น้ำสามารถระบายออกได้มากกว่า ดังนั้นค่าสภาพระบายได้ของเยื่อหลังการกำจัดหมึกออกจึงมีค่าสูงกว่าก่อนการกำจัดหมึกออก

เมื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อค่าสภาพระบายได้นั้นพบว่าเมื่อใช้ไคโตซานส่งผลให้ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อเพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก (การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 5 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 4 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8) อาจจะเป็นเพราะว่าไคโตซานทำให้เส้นใยมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น พื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำของเส้นใยลดลง ค่าสภาพระบายได้จึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลทางสถิติ เพราะค่า P-Value ของไคโตซานทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.150 มาก แสดงว่าไคโตซานมีผลต่อค่าสภาพระบายได้ของเยื่อทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาถึงผลของเอนไซม์เซลลูเลสที่มีต่อค่าสภาพระบายได้พบว่า เมื่อใช้เอนไซม์มากขึ้นทำให้ค่าสภาพระบายได้ทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 3 (ยกเว้นในกรณีของค่าสภาพระบายได้ก่อนการกำจัดหมึกออก) การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 การทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 และการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ทั้งนี้อาจจะสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเอนไซม์เซลลูเลสเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยนั้น เอนไซม์น่าจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยที่มีขนาดสั้นก่อน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้เอนไซม์เข้าไปทำปฏิกิริยามากกว่า ส่งผลให้ปริมาณของเส้นใยขนาดสั้นในระบบลดน้อยลง พื้นที่ผิวในการอุ้มน้ำของเส้นใยน้อยลง ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อจึงมีค่ามากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ผลสถิติที่ได้พบว่าค่า P-value ของเอนไซม์เซลลูเลสทั้งก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งเท่ากับ 0.090 และ 0.075 ตามลำดับ

มีค่าน้อยกว่า 0.150 แสดงว่าปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้มีผลต่อค่าสภาพระบายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจริง

ในส่วนอิทธิพลของเวลาในการพักเยื่อเพื่อทิ้งให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับเยื่อนั้น พบว่า เมื่อใช้เวลาในการพักเยื่อนานขึ้น ค่าสภาพระบายได้จะยิ่งสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 การทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 6 และการทดลองที่ 7 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 8 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าเมื่อทิ้งให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับเยื่อนานขึ้น ปริมาณเส้นใยสั้นในระบบจะยิ่งลดลง ดังนั้นความสามารถในการอุ้มน้ำของเยื่อจึงลดลง ค่าสภาพระบายได้จึงสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้ เนื่องจากค่า P-value ของระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ทั้งในกรณีของก่อนการกำจัดหมึกออกและหลังการกำจัดหมึกออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.005 และ 0.014 ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่า 0.150 แสดงว่าระยะเวลาในการพักเยื่อทิ้งไว้เพื่อให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยามีผลต่อค่าสภาพระบายเยื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นพบว่ามีเพียงกรณีเดียวที่ให้ค่า P-value ต่ำกว่า 0.150 นั่นคือปฏิสัมพันธ์ระหว่างเอนไซม์และระยะเวลาในการพักเยื่อ (En*T) ซึ่งมีค่า P-value 0.135 และค่าสภาพระบายได้นั้นแปรผันตรงกับปฏิสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งก็คือค่าสภาพระบายได้เพิ่มขึ้น เมื่อใช้เอนไซม์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและใช้ระยะเวลาในการพักเยื่อนานนั่นเอง

ตารางที่ 4-30 ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) เมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

ไคโตซาน-เอนไซม์-เวลา	ค่าเฉลี่ย Yield (%) ± S.D
0-0.1-0	89.65 ± 1.84
0-0.1-30	89.45 ± 0.08
0-0.3-0	88.99 ± 0.59
0-0.3-30	89.57 ± 1.08
0.2-0.1-0	90.56 ± 0.05
0.2-0.1-30	90.04 ± 0.35
0.2-0.3-0	89.55 ± 1.75
0.2-0.3-30	89.66 ± 1.39

ตารางที่ 4-31 ค่า P-value และเครื่องหมายของปฏิกิริยาสำหรับค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield)

สมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์	Chi	En	T	Chi*En	Chi*T	En*T	Chi*En*T
% Yield	0.366	0.415	0.988	0.719	0.735	0.548	0.950
	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)

หมายเหตุ Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองตารางที่ 4-30 พบว่าค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละการทดลองมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4-31 พบว่า ตัวแปรเดี่ยวทั้งหมด ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว และปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรสามตัว ต่างมีค่า P-value สูงกว่า 0.15 ทั้งหมด แสดงว่าตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัว ไม่มีผลกับค่าปริมาณผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ