รายการอ้างอิง

[1] Gottsching, L., and Pakarinen, H. Papermaking Science and Technology 7: Recycled Fiber and Deinking. Atlanta: TAPPI PRESS, 2000.

[2] Ferguson, L.D. Deinking Chemistry: Part 2. TAPPI Journal 75(8) (August 1992): 49-58.

[3] Ferguson, L.D. The Role of pulper Chemistry in Deinking: 1991 Pulping Conference. Atlanta: TAPPI PRESS, 1991.

[4] Ferguson, L.D. Deinking Chemistry: Part 1. TAPPI Journal 75(7) (July 1992): 75-83.

[5] Ben, Y., Dagenais, M., and Dorris, G.M. Irreversible Ink Redeposition During Repulping Part 1. Journal of Pulp and Paper Science 26(3) (March 2000): 83-89.

[6] Carleton, R.J. The effect of Electrohydralic Discharge on flotation Deining Efficiency. Master's Thesis, School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, USA., 2004.

[7] Heindel, T.J. Fundamentals of flotation Deinking. TAPPI Journal 82(3) (March 1999): 115-124.

[8] Ferguson, L.D. Flotation Deinking Chemistry:1994 Deinking Short Course. Atlanta: TAPPI PRESS, 1994, pp. 227.

[9] McCormick, D. Chemistry of Flotation and Washing for Deinking Newsprint Part II: Partical Interaction and Systems. Atlanta: TAPPI PRESS, 1991, pp. 481-495.

[10] Carre, B., Magnin, L., Galland, G., and Vernac, Y. Deinking Difficulties Related to Ink Formulation: Printing Process and Type of paper. TAPPI Journal, 83(6) (2000): 1-33.

[11] เกษม สีดอกบวบ. 2543. การกำจัดหมึกอิอออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยไคโตซาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] Muzzarelli, R.A.A. Chitin. Great Britain. Pergamon Press, 1997, pp. 309.

[13] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2543. ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน. ใน Chitin Chitosan. หน้า 5-7. กรุงเทพมหานคร.

[14] รามนรี เนตรวิเชียร. 2543. การกำจัดหมึกสารหนูในรูปอาร์ซิเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เกล็ดไคโตซานแบบเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[15] Hon, D.N.S. Chitin and Chitosan: Medical Application. In Polysaccharides in Medicinal Application. New York: Marcel Dekker, 1996, pp 631-649.

[16] เยาวภา ไหวพริบ. 2534. การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] Miyoshi, H.; Shimura, K.; and Kasuki, O. Characterization of Some Fungal Chitosan. Bioscience Biotechnology and Biochemistry. 56 (12) (1992): 1901-1905.

[18] Kupongsak S. Deacetylated Chitin Used as Absorbent in Clarification of Pineapple Syrup Production. Master's Thesis. Agriculture. Aquatic Systems and Engineering Program. Asian Institute of Technology, 1995.

[19] ป๋วย อุ่นใจ, "ไคตินและ ไคโตซาน", http://www.thailabonline.com/news3chitin-chitosan.htm., Accessed date: November 1, 2007.

[20] Berg, S.R., Johnson, D.A., and Thompson, E.V. Toner Detachment During Repulping of Laser-Printed Office Copy Paper. TAPPI Journal 80(4) (April 1997): 171-179.

[21] Zeyer, C., Joyce, T.W., Rucker, J.W., and Heitmann, J.A. Factors Influencing Enzyme Deinking of Recycled Fiber. TAPPI Journal. 77(10) (October 1994): 169-177.

[22] Ling, T.F. The Surface and physical Properties of Toners and Their Effects on Office Waste Deinking. Progress in Paper Recycling 7(11) (1997): 50-60.

[23] T 277 om-99, Freeness of Pulp (Canadian Standard Method). TAPPI Press, Atlanta, GA, 1999.

[24] ISO5269-2, Pulp Preparation of Laboratory Sheets for Physical Testing, International Organization for Standardization, Switzerland,1998.

[25] T227 sp-97, Brightness of Pulp: Paper and Paperboard (Directional Reflectance at 457 nm), TAPPI Press, Atlanta, GA, 1997.

[26] T567 pm-97, Determination of Effective Residual Ink Concentration by Infrared Reflectance Measurement, TAPPI Press, Atlanta, GA, 1997

[27] Vahey, D.W., Zhu, J.Y., and Houtman C.J. ON Measurement of Effective Residual Ink Concentration (ERIC) of Deinked Paper Using Kubelka-Munk Theory Progress in Paper Recycling. 16(1) (2006): 3-11.

[28] Chen, Y., Liu, J.,and Yih-Hsu Ju. Flotation Removal of Algae from Water. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 12 (1998): 49–55.

[29] Geng, X., and Li, K., Deinking of Recycled Mixed Office Paper Using Two Endo-Glucanases, Cell B and Cell E, from the Anaerobic Fungus Orpinomyces PC-2. TAPPI Journal. 86 (7) (July 2003): 29-32.

[30] Zollner, H.K., and Schroeder, L.R., Enzymeatic Deinking of Nonimpact Printed White Office Paper with α-Amylase, TAPPI Journal. 81(3) (March 1998): 166-170.

[31] Prasad, D., Heimann, J., and Joyce, T. Enzymatic Deinking of Colored Offset Newsprint. Nordic Pulp and Paper Research Journal. 8(2) (1993): 284-286.

[32] Pranee, L. Chitosan as a dry strength agent for paper. Appita Journal. 55(3): 208-212.

[33] Welt, T., and Dinus, R.J. Enzymatic Deinking-A Review. Progress in Paper Recycling 5(2) (1995): 36.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

การคำนวณปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมผิวหน้าของกระดาษ

ปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมผิวหน้าของกระดาษ (Ink coverage) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักหมึกบนกระดาษต่อน้ำหนักกระดาษเปล่าที่ยังไม่ได้พิมพ์ โดยน้ำหนักของหมึกที่พิมพ์บนกระดาษมีค่าเท่ากับน้ำหนักกระดาษที่ผ่านการพิมพ์มาแล้วลบด้วยกระดาษเปล่าที่ยังไม่ผ่านการพิมพ์ในปริมาณพื้นที่ที่เท่ากัน โดยคำนวณได้จาก

$$\text{Ink coverage}(\%) = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษที่ผ่านการพิมพ์แล้ว} - \text{น้ำหนักกระดาษที่ไม่ผ่านการพิมพ์}}{\text{น้ำหนักกระดาษที่ไม่ผ่านการพิมพ์}} \times 100$$

กระดาษตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมี Ink coverage เท่ากับ ร้อยละ 0.54 โดยคำนวณจากน้ำหนักกระดาษที่ยังไม่ได้พิมพ์ 1 แผ่น มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 4.9740 กรัม และกระดาษที่ผ่านการพิมพ์มาแล้ว 1 แผ่น น้ำหนักเฉลี่ย 5.001 กรัม

การคำนวณความเข้มข้นของน้ำเยื่อ

ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้งต่อน้ำหนักเยื่อก่อนอบซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักเยื่อแห้งบวกกับน้ำหนักน้ำ โดยคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Consistency} = \frac{\text{น้ำหนักเยื่อแห้ง}}{\text{น้ำหนักเยื่อแห้ง} + \text{น้ำหนักน้ำ}} \times 100$$

การคำนวณหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture content) ในแผ่นกระดาษคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในแผ่นกระดาษ ต่อน้ำหนักทั้งหมดของกระดาษก่อนอบ โดยน้ำหนักของน้ำหรือความชื้นในแผ่นกระดาษ มีค่าเท่ากับน้ำหนักกระดาษก่อนอบลบด้วยน้ำหนักกระดาษหลังอบ โดยคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Moisture Content} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกระดาษหลังอบ}}{\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ}} \times 100$$

การคำนวณหาน้ำหนักเยื่อแห้ง

นำตัวอย่างกระดาษไปหาความชื้นโดยใช้เครื่องหาความชื้นของกระดาษ ผลที่ได้คือ กระดาษตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.5 % และน้ำหนักของกระดาษที่นำมาใช้ในการทดลองต่อ 1 สภาวะ จำนวน 55 แผ่น มีน้ำหนักที่ยังไม่ได้ลบค่าความชื้นออกเท่ากับ 276.89 กรัม

$$\frac{276.89 \times 9.5}{100} = 26.30 \text{ กรัม}$$

ปริมาณน้ำที่อยู่ในกระดาษ คือ 26.30 กรัม

ดังนั้นน้ำหนักเยื่อแห้ง คือ 276.89 -26.30 = 250.58 กรัม

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้

การคำนวณ Surfactant ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่ง Surfactant เท่ากับ 0.3 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่ง Surfactant เท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.3}{100} = 0.75$$

ต้องใช้ Surfactant เท่ากับ 0.75 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

การคำนวณไคโตซาน ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่งไคโตซาน เท่ากับ 0.1 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่งไคโตซานเท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.1}{100} = 0.25$$

ต้องใช้ไคโตซาน 0.25 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

<u>การคำนวณไคโตซาน ร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง</u>

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่งไคโตซาน เท่ากับ 0.2 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่งไคโตซานเท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.2}{100} = 0.5$$

ต้องใช้ไคโตซาน 0.5 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

<u>การคำนวณไคโตซาน ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง</u>

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่งไคโตซาน เท่ากับ 0.5 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่งไคโตซานเท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.3}{100} = 0.75$$

ต้องใช้ไคโตซาน 0.75 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

<u>การคำนวณเซลลูเลส ร้อยละ 0.1% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง</u>

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่งเซลลูเลส เท่ากับ 0.1 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่งเซลลูเลสเท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.1}{100} = 0.25$$

ต้องใช้เซลลูเลส 0.25 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

<u>การคำนวณเซลลูเลส ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง</u>

หมายความว่า น้ำหนักเยื่อแห้ง 100 กรัม จะต้องชั่งเซลลูเลส เท่ากับ 0.3 กรัม ถ้าน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 250.58 กรัม จะต้องชั่งเซลลูเลสเท่ากับ

$$\frac{250.58 \times 0.3}{100} = 0.75$$

ต้องใช้เซลลูเลส 0.75 กรัม ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 250.58 กรัม

<u>หมายเหตุ</u> การชั่งสารเคมีจะชั่งสารที่ได้ทำการเจือจางไว้แล้วเพื่อลดความผิดพลาดจากการชั่งสารในปริมาณน้อยๆ

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลดิบผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อหลังการตีเยื่อเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for ERIC 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		25.733	0.9136	28.16	0.000
Chitosan	-2.885	-1.443	0.9136	-1.58	0.153
Enzyme	1.075	0.537	0.9136	0.59	0.573
Time	0.210	0.105	0.9136	0.11	0.911
Chitosan*Enzyme	-0.035	-0.018	0.9136	-0.02	0.985
Chitosan*Time	0.550	0.275	0.9136	0.30	0.771
Enzyme*Time	-1.200	-0.600	0.9136	-0.66	0.530
Chitosan*Enzyme*Time	-3.380	-1.690	0.9136	-1.85	0.102

Anylysis of Variance for ERIC 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	38.092	38.092	12.967	0.95	0.461
2-Way Interactions	3	6.975	6.975	2.325	0.17	0.911
3-Way Interactions	1	45.698	45.698	45.698	3.42	0.102
Residual Error	8	106.847	106.847	13.356		
Pure Error	8	106.847	106.847	13.356		
Total	15	197.612				

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อหลังการดึงหมึกออกเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for ERIC 2

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		32.455	0.6581	49.32	0.000
Chitosan	-2.623	-1.311	0.6581	-1.99	0.081
Enzyme	0.135	0.067	0.6581	0.10	0.921
Time	0.158	0.079	0.6581	0.12	0.908
Chitosan*Enzyme	2.577	1.289	0.6581	1.96	0.086
Chitosan*Time	-1.025	-0.513	0.6581	-0.78	0.459
Enzyme*Time	-3.743	-1.871	0.6581	-2.84	0.022
Chitosan*Enzyme*Time	-2.330	-1.165	0.6581	-1.77	0.115

Anylysis of Variance for ERIC 2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	27.68	27.68	9.227	1.33	0.330
2-Way Interactions	3	86.80	86.80	28.934	4.18	0.047
3-Way Interactions	1	21.72	21.72	21.716	3.13	0.115
Residual Error	8	55.44	55.44	6.930		
Pure Error	8	55.44	55.44	6.930		
Total	15	191.64				

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่าง (Brightness) ในเยื่อหลังการตีเยื่อเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Brightness 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.2706	0.4102	7.97	0.000
Chitosan	1.7838	0.8919	0.4102	2.17	0.061
Enzyme	-0.2962	-0.1481	0.4102	-0.36	0.727
Time	0.4588	0.2294	0.4102	0.56	0.591
Chitosan*Enzyme	-0.1488	-0.0744	0.4102	-0.18	0.861
Chitosan*Time	-0.0038	-0.0019	0.4102	-0.00	0.996
Enzyme*Time	-0.9938	-0.4969	0.4102	-1.21	0.260
Chitosan*Enzyme*Time	-0.7412	-0.3706	0.4102	-0.90	0.393

Anylysis of Variance for Brightness 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	13.9199	13.9199	4.640	1.72	0.239
2-Way Interactions	3	4.0387	4.0387	1.346	0.50	0.693
3-Way Interactions	1	2.1978	2.1978	2.198	0.82	0.393
Residual Error	8	21.5367	21.5367	2.692		
Pure Error	8	21.5367	21.5367	2.692		
Total	15	41.6931				

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าความขาวสว่าง (Brightness) ในเยื่อหลังการดึงหมึกออกเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Brightness 2

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.3225	0.4042	10.69	0.000
Chitosan	1.4325	0.7163	0.4042	1.77	0.114
Enzyme	-0.3525	-0.1762	0.4042	-0.44	0.674
Time	0.4150	0.2075	0.4042	0.51	0.622
Chitosan*Enzyme	0.4150	0.2075	0.4042	0.51	0.622
Chitosan*Time	-0.1375	-0.0688	0.4042	-0.17	0.869
Enzyme*Time	-1.0825	-0.5413	0.4042	-1.34	0.217
Chitosan*Enzyme*Time	-0.5550	-0.2775	0.4042	-0.69	0.512

Anylysis of Variance for Brightness 2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	3.3942	3.3942	3.131	1.20	0.371
2-Way Interactions	3	5.4518	5.4518	1.817	0.70	0.581
3-Way Interactions	1	1.2321	1.2321	1.232	0.47	0.512
Residual Error	8	20.9151	20.9151	2.614		
Pure Error	8	20.9151	20.9151	2.614		
Total	15	36.9931				

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile) ในเยื่อหลังการตีเยื่อเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Tensile 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.128	0.2945	3.83	0.005
Chitosan	2.564	1.282	0.2945	4.35	0.002
Enzyme	0.494	0.247	0.2945	0.84	0.426
Time	1.311	0.656	0.2945	2.23	0.057
Chitosan*Enzyme	-0.944	-0.472	0.2945	-1.60	0.148
Chitosan*Time	1.504	0.752	0.2945	2.55	0.034
Enzyme*Time	-0.531	-0.266	0.2945	-0.90	0.393
Chitosan*Enzyme*Time	-2.344	-1.172	0.2945	-3.98	0.004

Anylysis of Variance for Tensile 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	34.1439	34.1439	11.381	8.20	0.008
2-Way Interactions	3	13.7366	13.7366	4.579	3.30	0.079
3-Way Interactions	1	21.9727	21.9727	21.973	15.83	0.004
Residual Error	8	11.1043	11.1043	1.388		
Pure Error	8	11.1043	11.1043	1.388		
Total	15	80.9574				

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile) ในเยื่อหลังการดึงหมึกออกเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Tensile 2

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		8.2444	0.6561	12.57	0.000
Chitosan	1.0338	0.5169	0.6561	0.79	0.454
Enzyme	2.3588	1.1794	0.6561	1.80	0.110
Time	-0.3988	-0.1994	0.6561	-0.30	0.769
Chitosan*Enzyme	0.5037	0.2519	0.6561	0.38	0.711
Chitosan*Time	0.3012	0.1506	0.6561	0.23	0.824
Enzyme*Time	2.4463	1.2231	0.6561	1.86	0.099
Chitosan*Enzyme*Time	0.1862	0.0931	0.6561	0.14	0.891

Anylysis of Variance for Tensile 2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	27.165	27.1654	9.0551	1.31	0.335
2-Way Interactions	3	25.315	25.3146	8.4382	1.23	0.362
3-Way Interactions	1	0.139	0.1388	0.1388	0.02	0.891
Residual Error	8	55.104	55.1043	6.8880		
Pure Error	8	55.104	55.1043	6.8880		
Total	15	107.723				

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear) ในเยื่อหลังการตีเยื่อเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Tear 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.2406	0.05393	4.46	0.002
Chitosan	0.2538	0.1269	0.05393	2.35	0.046
Enzyme	0.1763	0.0881	0.05393	1.63	0.141
Time	0.0488	0.0244	0.05393	0.45	0.663
Chitosan*Enzyme	0.0238	0.0119	0.05393	0.22	0.831
Chitosan*Time	-0.0638	-0.0319	0.05393	-0.59	0.571
Enzyme*Time	-0.0463	-0.0231	0.05393	-0.43	0.679
Chitosan*Enzyme*Time	-0.2438	-0.1219	0.05393	-2.26	0.054

Anylysis of Variance for Tear 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.39132	0.391319	0.130440	2.80	0.108
2-Way Interactions	3	0.02707	0.027069	0.009023	0.19	0.898
3-Way Interactions	1	0.23766	0.237656	0.237656	5.11	0.054
Residual Error	8	0.37225	0.372250	0.046531		
Pure Error	8	0.37225	0.372250	0.046531		
Total	15	1.02829				

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear) ในเยื่อหลังการดึงหมึกออกเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Tear 2

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.39563	0.07654	5.17	0.001
Chitosan	0.32875	0.16438	0.07654	2.15	0.064
Enzyme	-0.12875	-0.06438	0.07654	-0.84	0.425
Time	0.18875	0.09438	0.07654	1.23	0.253
Chitosan*Enzyme	-0.02625	-0.01313	0.07654	-0.17	0.868
Chitosan*Time	0.03125	0.01562	0.07654	0.20	0.843
Enzyme*Time	0.12875	0.06438	0.07654	0.84	0.425
Chitosan*Enzyme*Time	0.10625	0.05313	0.07654	0.69	0.507

Anylysis of Variance for Tear 2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.64112	0.641119	0.21371	2.28	0.156
2-Way Interactions	3	0.07297	0.072969	0.02432	0.26	0.853
3-Way Interactions	1	0.04516	0.045156	0.04516	0.48	0.507
Residual Error	8	0.74995	0.749950	0.09374		
Pure Error	8	0.74995	0.749950	0.09374		
Total	15	1.50919				

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อหลังการตีเยื่อเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Freeness 1

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		37.69	3.272	11.52	0.000
Chitosan	-76.63	-38.31	3.272	-11.71	0.000
Enzyme	-12.63	-6.31	3.272	-1.93	0.090
Time	-25.38	-12.69	3.272	-3.88	0.005
Chitosan*Enzyme	-2.31	-1.06	3.272	-0.32	0.754
Chitosan*Time	0.13	0.06	3.272	0.02	0.985
Enzyme*Time	-10.88	-5.44	3.272	-1.66	0.135
Chitosan*Enzyme*Time	1.12	0.56	3.272	0.17	0.868

Anylysis of Variance for Freeness 1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	26698.7	26698.7	8899.56	51.95	0.000
2-Way Interactions	3	491.2	491.2	163.73	0.96	0.459
3-Way Interactions	1	5.1	5.1	5.06	0.03	0.868
Residual Error	8	1370.5	1370.5	171.31		
Pure Error	8	1370.5	1370.5	171.31		
Total	15	28565.4				

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อหลังการดึงหมึกออกเมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Freeness 2

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		23.75	3.846	6.18	0.000
Chitosan	-78.50	-39.25	3.846	-10.21	0.000
Enzyme	-15.75	-7.88	3.846	-2.05	0.075
Time	-24.25	-12.13	3.846	-3.15	0.014
Chitosan*Enzyme	-1.75	-0.88	3.846	-0.23	0.826
Chitosan*Time	6.75	3.38	3.846	0.88	0.406
Enzyme*Time	-5.50	-2.75	3.846	-0.72	0.495
Chitosan*Enzyme*Time	2.50	1.25	3.846	0.33	0.753

Anylysis of Variance for Freeness 2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	27993.5	27993.5	9331.17	39.43	0.000
2-Way Interactions	3	315.5	315.5	105.17	0.44	0.728
3-Way Interactions	1	25.0	25.0	25.00	0.11	0.753
Residual Error	8	1893.0	1893.0	236.62		
Pure Error	8	1893.0	1893.0	236.63		
Total	15	30227.0				

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) เมื่อใช้ปริมาณตัวแปรในระดับต่างๆ (การทดลองตอนที่ 2)

Estimated Effects and Coefficients for Yield

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-0.4800	0.2794	-1.72	0.000
Chitosan	-0.5375	-0.2688	0.2794	-0.96	0.364
Enzyme	0.4825	0.2412	0.2794	0.86	0.413
Time	0.0125	0.0063	0.2794	0.02	0.983
Chitosan*Enzyme	0.2050	0.1025	0.2794	0.37	0.723
Chitosan*Time	0.1950	0.0975	0.2794	0.35	0.736
Enzyme*Time	-0.3500	-0.1750	0.2794	-0.63	0.549
Chitosan*Enzyme*Time	0.0325	0.0162	0.2794	0.06	0.955

Anylysis of Variance for Yield

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	2.0875	2.08747	0.69582	0.56	0.658
2-Way Interactions	3	0.8102	0.81020	0.27007	0.22	0.882
3-Way Interactions	1	0.0042	0.00422	0.00422	0.00	0.955
Residual Error	8	9.9937	9.99370	1.24921		
Pure Error	8	9.9937	9.99370	1.24921		
Total	15	12.8956				

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบของผลการทดลอง

ตารางที่ 12 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC) ในเยื่อ ก่อนและหลังการกำจัดออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	ERIC ก่อน Flotation ± S.D			ERIC หลัง Flotation ± S.D			ERIC ลดลง ± S.D		
0-0.1-0	25.61	24.75	25.18 ± 0.61	19.12	19.62	19.37 ± 0.35	6.49	5.13	5.81 ± 0.96
0-0.1-30	33.76	21.64	27.70 ± 8.57	22.73	14. 25	18.49 ± 6.00	11.03	7.39	9.21 ± 2.57
0-0.3-0	29.70	22.80	26.25 ± 4.88	18.54	22.27	20.41 ± 2.64	11.16	0.53	5.85 ± 7.52
0-0.3-30	24.16	24.67	24.42 ± 0.36	19.69	21.57	20.63 ± 1.33	4.47	3.1	3.79 ± 0.97
0.2-0.1-0	32.21	31.71	31.96 ± 0.35	25.42	26.33	25.88 ± 0.64	6.79	5.38	6.09 ± 1.00
0.2-0.1-30	27.5	25.74	26.62 ± 1.24	21.77	19.57	20.67 ± 1.56	5.73	6.17	5.95 ± 0.31
0.2-0.3-0	28.13	24.55	26.34 ± 2.53	19.08	15.10	17.09 ± 2.81	9.05	9.45	9.25 ± 0.28
0.2-0.3-30	29.90	30.87	30.39 ± 0.69	20.64	27.44	24.04 ± 4.81	9.26	3.43	6.35 ± 4.12

หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้

En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้

T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 13 ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	Bright ก่อน Flotation (%) ± S.D			Bright หลัง Flotation (%) ± S.D			Bright เพิ่มขึ้น (%) ± S.D		
0-0.1-0	84.51	81.96	83.24 ± 1.80	85.33	83.25	84.29 ± 1.47	0.82	1.29	1.06 ± 0.33
0-0.1-30	85.64	81.66	83.65 ± 2.81	86.73	84.01	85.37 ± 1.92	1.09	2.35	1.72 ± 0.89
0-0.3-0	84.55	81.53	83.04 ± 2.14	84.99	83.11	84.05 ± 1.33	0.44	1.58	1.01 ± 0.81
0-0.3-30	84.49	82.01	83.25 ± 1.75	85.34	82.81	84.08 ± 1.79	0.85	0.8	0.83 ± 0.04
0.2-0.1-0	84.08	84.18	84.13 ± 0.07	84.87	85.11	84.99 ± 0.17	0.79	0.93	0.86 ± 0.10
0.2-0.1-30	85.37	87.27	86.23 ± 1.34	85.80	87.81	86.81 ± 1.42	0.43	0.54	0.49 ± 0.08
0.2-0.3-0	84.37	86.47	85.42 ± 1.48	85.39	87.79	86.59 ± 1.70	1.02	1.32	1.17 ± 0.21
0.2-0.3-30	84.32	83.96	84.14 ± 0.25	86.84	83.62	85.23 ± 2.28	2.52	-0.34	1.09 ± 2.02

หมายเหตุ: Bright คือ ค่า Brightness

Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้

En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้

T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 14 ค่าดรรชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออก เมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	Tensile ก่อน Flotation (Nm/g) ± S.D			Tensile หลัง Flotation (Nm/g) ± S.D		
0-0.1-0	27.73	29.24	28.49 ± 1.07	38.10	35.16	36.63 ± 2.08
0-0.1-30	27.60	25.35	26.48 ± 1.59	36.41	30.93	33.67 ± 3.87
0-0.3-0	27.07	29.15	28.11 ± 1.47	37.07	35.38	36.23 ± 1.20
0-0.3-30	29.63	29.82	29.73 ± 0.13	39.72	35.85	37.79 ± 2.74
0.2-0.1-0	28.73	27.56	28.15 ± 0.83	36.86	37.23	37.05 ± 0.26
0.2-0.1-30	30.67	28.23	29.45 ± 1.73	38.77	38.36	38.57 ± 1.29
0.2-0.3-0	29.52	31.61	30.57 ± 1.48	34.06	40.49	37.28 ± 4.55
0.2-0.3-30	29.99	31.02	30.51 ± 0.73	41.24	38.38	39.81 ± 2.02

หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้

En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้

T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 15 ค่าดรรชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	Tear ก่อน Flotation (mN m^2/g) ± S.D			Tear หลัง Flotation (mN m^2/g) ± S.D		
0-0.1-0	4.88	5.36	5.12 ± 0.34	5.15	5.36	5.26 ± 0.15
0-0.1-30	5.14	4.93	5.04 ± 0.15	5.58	5.20	5.39 ± 0.27
0-0.3-0	4.91	5.24	5.08 ± 0.23	5.21	5.05	5.13 ± 0.11
0-0.3-30	5.33	5.44	5.39 ± 0.08	5.16	5.46	5.31 ± 0.21
0.2-0.1-0	5.19	5.15	5.17 ± 0.03	5.71	5.66	5.69 ± 0.04
0.2-0.1-30	5.51	5.38	5.45 ± 0.09	5.89	5.45	5.67 ± 0.31
0.2-0.3-0	5.44	5.88	5.66 ± 0.31	5.04	5.55	5.30 ± 0.36
0.2-0.3-30	5.17	5.54	5.36 ± 0.26	6.18	5.32	5.75 ± 0.61

หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้
En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 16 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ก่อนและหลังการกำจัดหมึกออกเมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	Freeness ก่อน Flotation (ml) ± S.D			Freeness หลัง Flotation (ml) ± S.D		
0-0.1-0	444	444	444 ± 0	449	452	451 ± 2
0-0.1-30	453	462	456 ± 6	459	488	474 ± 20
0-0.3-0	446	439	443 ± 5	463	450	457 ± 9
0-0.3-30	493	467	480 ± 18	509	482	496 ± 19
0.2-0.1-0	530	505	518 ± 18	547	516	532 ± 21
0.2-0.1-30	532	534	533 ± 1	544	548	546 ± 3
0.2-0.3-0	527	518	522 ± 6	551	541	546 ± 7
0.2-0.3-30	540	575	558 ± 25	551	582	566 ± 21

หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้

En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้

T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 17 ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) เมื่อใช้ตัวแปรในระดับต่างๆ

Chi-En-T	ค่าเฉลี่ย Yield (%) ± S.D		
0-0.1-0	88.35	90.95	89.65 ± 1.84
0-0.1-30	89.51	89.39	89.45 ± 0.08
0-0.3-0	88.57	89.41	88.99 ± 0.59
0-0.3-30	88.80	90.33	89.57 ± 1.08
0.2-0.1-0	90.59	90.52	90.56 ± 0.05
0.2-0.1-30	90.28	89.79	90.04 ± 0.35
0.2-0.3-0	90.79	88.31	89.55 ± 1.75
0.2-0.3-30	90.64	88.68	89.66 ± 1.39

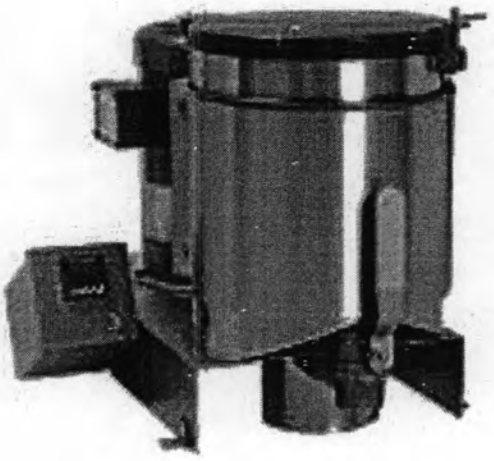
หมายเหตุ: Chi คือ ปริมาณไคโตซานที่ใช้

En คือ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้

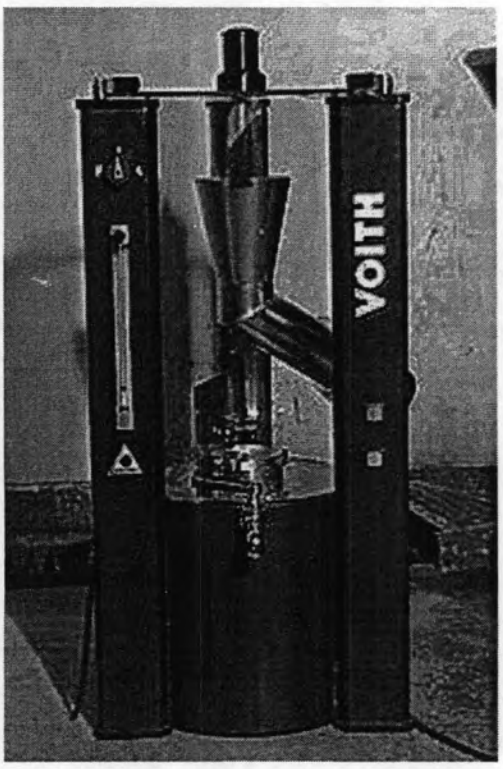
T คือ ระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

ภาคผนวก ง

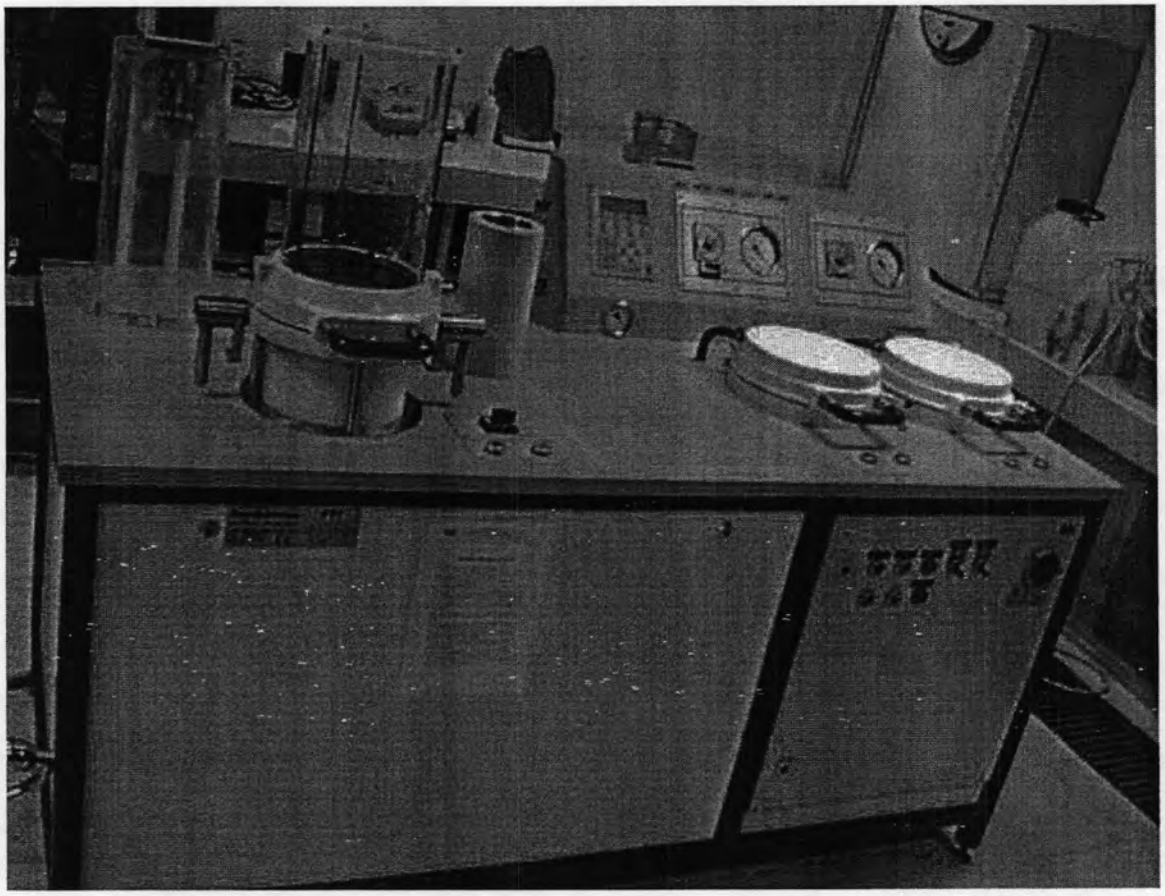
ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



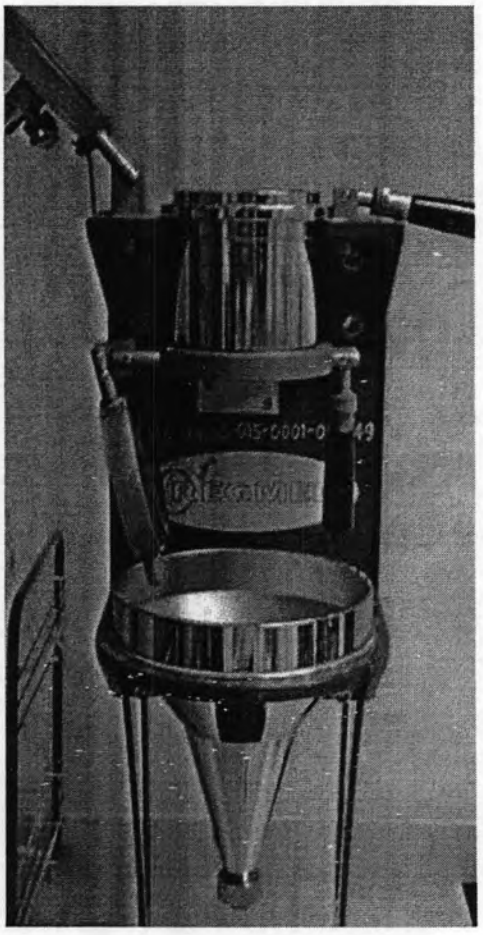
รูปที่ 1 เครื่องตีกระจายเยื่อ (Pulper)



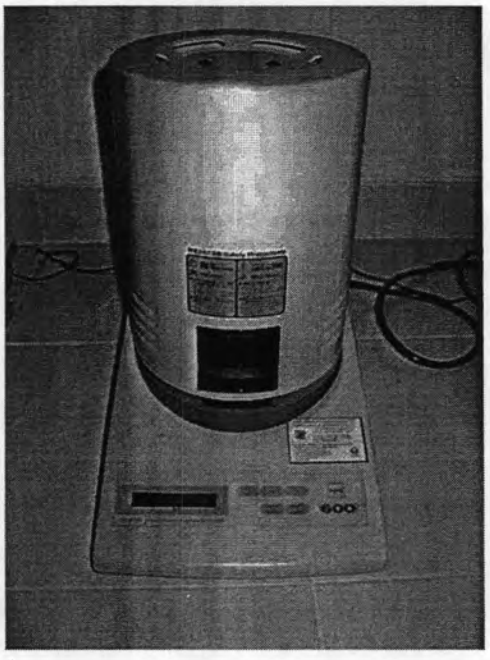
รูปที่ 2 เครื่องลอยฟองอากาศ (Flotation cell)



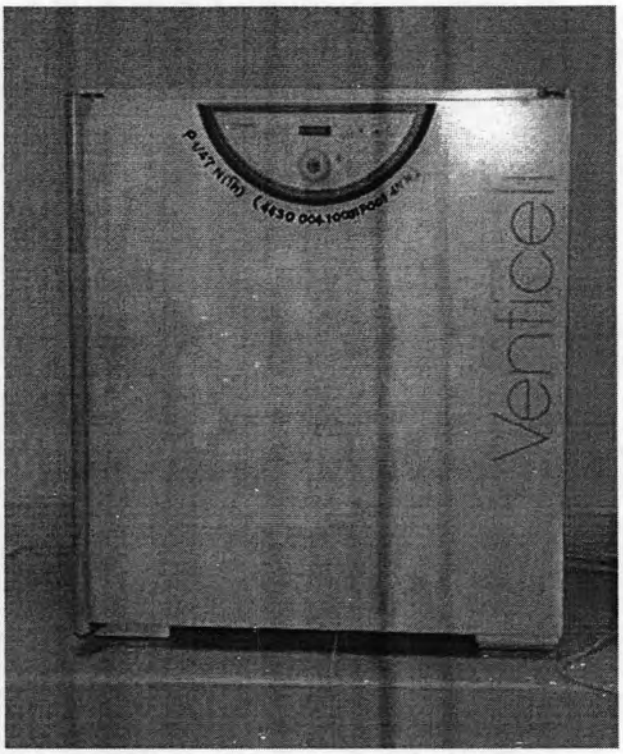
รูปที่ 3 เครื่องทำแผ่นทดสอบ (Sheet former)



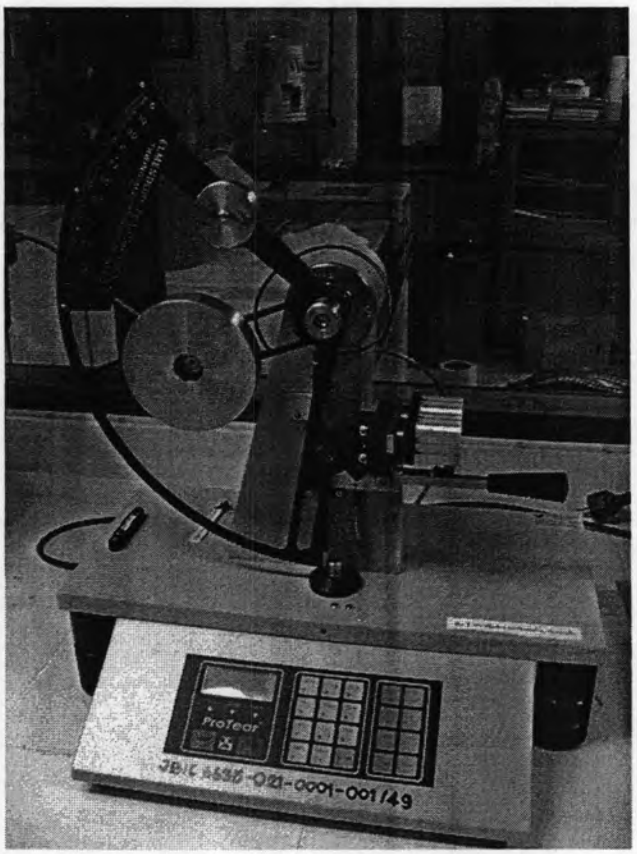
รูปที่ 4 เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ (Freeness tester)



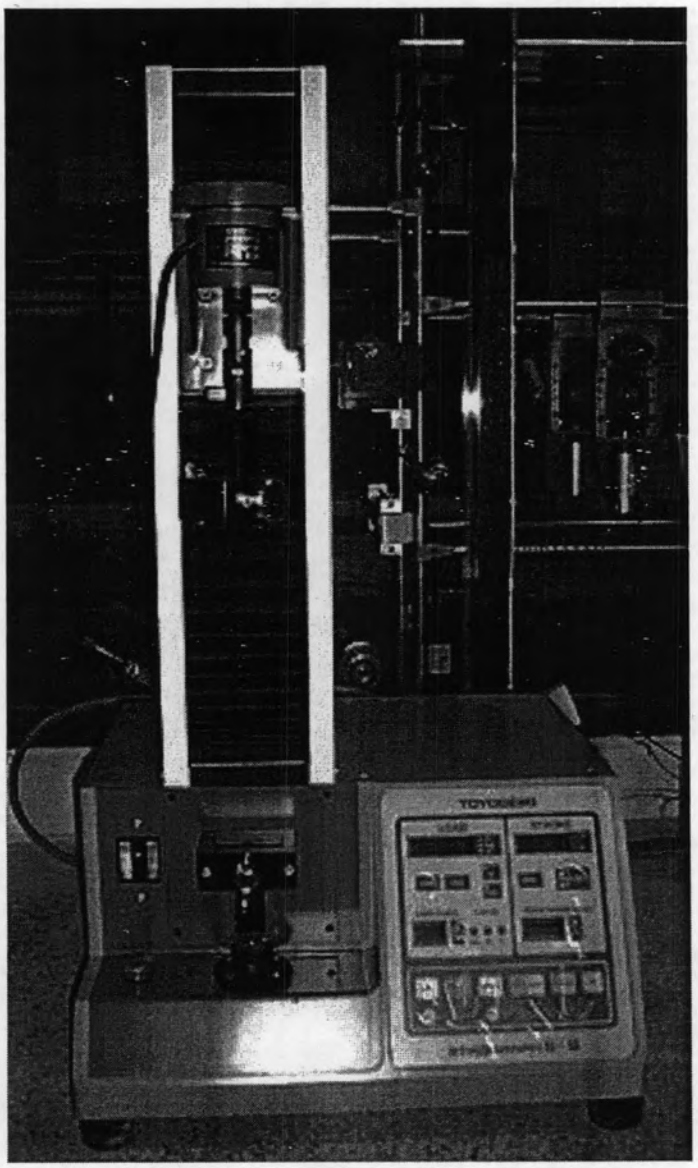
รูปที่ 5 เครื่องหาความชื้นในกระดาษ (Moisture balance)



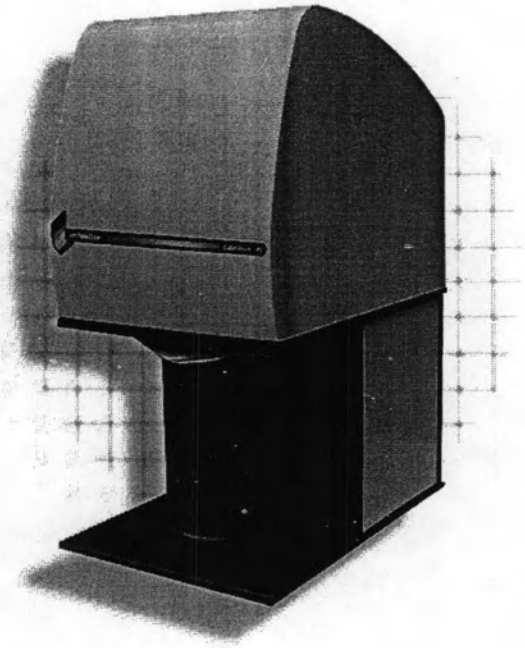
รูปที่ 6 ตู้อบ (Oven)



รูปที่ 7 เครื่องวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear tester)



รูปที่ 8 เครื่องวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile tester)



รูปที่ 9 เครื่องวัดค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่และค่าความขาวสว่าง (ERIC and Brightness tester)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวปนัดดา กลิ่นบัว

วันที่เกิด วันที่ 2 กรกฎาคม 2527

ภูมิลำเนา ประจวบคีรีขันธ์

วุฒิการศึกษา

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ ภาควิชาโรคพืช
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
(สำเร็จการศึกษา ปี 2549)

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(สำเร็จการศึกษา ปี 2551)