

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลน้ำหนักของเยื่อแผ่น PES/Al₂O₃/CS ก่อนและหลังจากกรองน้ำผ่านเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารเชื่อมขวาง ที่ความเข้มข้นของ CS 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% wt/v โดยควบคุมปริมาณ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.05%wt

ชนิดของเยื่อแผ่น	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักแห้ง (g)				
		แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	% loss of coating layer (UF)
PES/Al ₂ O ₃ /CS 0.1%	0	0.1005	0.1010	0.0997	0.1004	4.48
	5	0.0986	0.0961	0.0930	0.0959	
PES/Al ₂ O ₃ /CS 0.2%	0	0.0942	0.0924	0.0939	0.0935	3.21
	5	0.0898	0.0901	0.0916	0.0905	
PES/Al ₂ O ₃ /CS 0.3%	0	0.1033	0.1049	0.1041	0.1041	2.50
	5	0.1024	0.1013	0.1008	0.1015	
PES/Al ₂ O ₃ /CS 0.4%	0	0.0897	0.0908	0.0901	0.0902	2.33
	5	0.0889	0.0873	0.0881	0.0881	
PES/Al ₂ O ₃ /CS 0.5%	0	0.0921	0.0905	0.0916	0.0914	2.30
	5	0.0904	0.0883	0.0892	0.0893	

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลน้ำหนักของเยื่อแผ่น PES/Al₂O₃/CS/GA ก่อนและหลังจากกรองน้ำผ่านเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเติมสารเชื่อมขวาง (GA) 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 %wt/v โดยควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

ชนิดของเยื่อแผ่น	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักแห้ง (g)				
		แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	% loss of coating layer (UF)
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0%	0	0.1010	0.0997	0.1005	0.1004	4.81
	24	0.0955	0.0943	0.0969	0.0956	
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	0	0.0928	0.0942	0.0935	0.0935	4.31
	24	0.0886	0.0903	0.0895	0.0895	
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	0	0.1037	0.1053	0.1033	0.1041	3.20
	24	0.1017	0.0996	0.1010	0.1008	
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1%	0	0.0884	0.0921	0.0901	0.0902	2.21
	24	0.0865	0.0897	0.0884	0.0882	
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	0	0.1075	0.1091	0.1098	0.1088	2.65
	24	0.1056	0.1063	0.1059	0.1059	

ตารางที่ ก.3 เปรูเซ็นต์ของ Al_2O_3 บนเยื่อแผ่น PES/ Al_2O_3 /CS ก่อนและหลังกรองน้ำผ่าน เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์จากเครื่อง XRF โดยไม่มีการเติมสารเชื่อมขวาง ที่ความเข้มข้นของ CS 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% wt/v โดยควบคุมปริมาณ Al_2O_3 คงที่ๆ 0.05%wt

เยื่อแผ่น	เวลา (ชั่วโมง)	Al_2O_3 (%wt)
PES/ Al_2O_3 /CS 0.1%	0	16.230%
	5	15.902%
PES/ Al_2O_3 /CS 0.2%	0	15.230%
	5	15.038%
PES/ Al_2O_3 /CS 0.3%	0	13.460%
	5	13.312%
PES/ Al_2O_3 /CS 0.4%	0	17.110%
	5	16.928%
PES/ Al_2O_3 /CS 0.5%	0	17.960%
	5	17.773%

ตารางที่ ก. 4 เปรียบเทียบค่าของ Al_2O_3 บนเยื่อแผ่น PES/ Al_2O_3 /CS/GA ก่อนและหลังกรองน้ำผ่านเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยวิเคราะห์จากเครื่อง XRF โดยเติมสารเชื่อมขวาง (GA) 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 %wt/v โดยควบคุมความเข้มข้น CS และ Al_2O_3 คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เยื่อแผ่น	เวลา (ชั่วโมง)	Al_2O_3 (%wt)
PES/ Al_2O_3 /CS/GA 0.0%	0	16.230%
	24	15.852%
PES/ Al_2O_3 /CS/GA 0.1%	0	12.430%
	24	12.153%
PES/ Al_2O_3 /CS/GA 0.5%	0	11.900%
	24	11.670%
PES/ Al_2O_3 /CS/GA 1.0%	0	17.000%
	24	16.719%
PES/ Al_2O_3 /CS/GA 1.5%	0	17.820%
	24	17.500%

ตารางที่ ก. 5 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและเปอร์เซ็นต์การหลุดหลังแช่น้ำของสารเคลือบบนเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยเติมสารเชื่อมขวาง (GA) 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 %wt/v ที่ทำการแช่เยื่อแผ่นในน้ำ DI 1, 3, 5, 7 วัน โดยควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เยื่อแผ่น	น้ำหนัก (g)			Water absorption (%) (1 วัน)	% Loss of coating layer
	Dry1	wet	Dry2		
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0%	0.0978	0.4644	0.0974	374.85	0.41
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	0.1056	0.4892	0.1053	363.26	0.28
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	0.0986	0.4331	0.0984	339.25	0.20
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1%	0.1008	0.4203	0.1007	316.96	0.10
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	0.1088	0.4455	0.1088	309.47	0.00
เยื่อแผ่น	น้ำหนัก (g)			Water absorption (%) (3 วัน)	% Loss of coating layer
	Dry1	wet	Dry2		
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0%	0.1098	0.5302	0.1092	382.88	0.55
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	0.0975	0.4588	0.0971	370.56	0.41
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	0.0970	0.4341	0.0967	347.53	0.31
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1%	0.1032	0.4363	0.1030	322.77	0.19
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	0.1054	0.4407	0.1053	318.12	0.09
เยื่อแผ่น	น้ำหนัก (g)			Water absorption (%) (5 วัน)	% Loss of coating layer
	Dry1	wet	Dry2		
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0%	0.0986	0.4814	0.0980	388.24	0.61
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	0.0962	0.4631	0.0958	381.39	0.42
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	0.0907	0.4156	0.0904	358.21	0.31
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1%	0.1023	0.4464	0.1021	336.36	0.20
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	0.1044	0.4425	0.1043	323.85	0.10
เยื่อแผ่น	น้ำหนัก (g)			Water absorption (%) (7 วัน)	% Loss of coating layer
	Dry1	wet	Dry2		
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0%	0.0978	0.4786	0.0972	389.37	0.61
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	0.093	0.4490	0.0926	382.80	0.43
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	0.0965	0.4423	0.0962	358.34	0.31
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1%	0.0987	0.4323	0.0985	337.99	0.20
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	0.1054	0.4477	0.1053	324.76	0.09

ตารางที่ ก. 6 ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยเติมสารเชื่อมขวาง (GA) 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 %wt/v โดยควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

ชนิดของเยื่อแผ่น	Area	Maximum load	Tensile strength	Gauge length	Deflection at Maximum load	Elongation at break
	mm ²	N	MPa	mm	mm	(%)
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.0%	1.3	4.003	3.08	30	1.2099	4.03
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	1.3	4.112	3.16	30	1.5446	5.15
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	1.3	4.873	3.75	30	2.117	7.06
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.0%	1.3	5.570	4.28	30	3.2379	10.79
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	1.3	5.159	3.97	30	2.8889	9.63

ตารางที่ ก. 7 ค่า contact angle ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยเติมสารเชื่อมขวาง (GA) 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 %wt/v โดยควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เยื่อแผ่น	Contact Angle (°)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	Average
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.0%	50	51	50	52	50	50.6
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	50	51	52	50	52	51.0
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	52	52	56	54	52	53.2
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.0%	53	58	56	57	55	55.8
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	54	60	60	56	56	57.2

ตารางที่ ก. 8 ค่าการกักกันของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 0 – 1.5 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เยื่อแผ่นและค่าการกักกันเฉลี่ย 3 แผ่น (% Rejection)	น้ำหนักโมเลกุล PEG (kDa)				
	4	15	35	100	400
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.0%	77.39	95.68	97.40	97.51	98.90
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.1%	79.13	96.01	96.81	98.08	98.51
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 0.5%	79.89	96.57	97.17	97.78	98.57
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.0%	80.38	96.65	97.04	98.07	99.57
PES/Al ₂ O ₃ /CS/GA 1.5%	81.38	97.00	98.07	98.63	99.64

ตารางที่ ก. 9 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยไม่มีการเติมสารเชื่อมขวาง (GA 0 %) ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

สภาวะ : ความดัน 2 bar อัตราการไหล 0.877 L/min และที่อุณหภูมิห้อง (25±1)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำ (ml)				ฟลักซ์น้ำ, j_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	21.00	20.00	22.00	21.00	128.34	122.23	134.45	128.34
10	20.00	19.00	21.00	20.00	122.23	116.12	128.34	122.23
15	19.00	18.50	20.00	19.17	116.12	113.06	122.23	117.14
20	18.50	18.00	19.50	18.67	113.06	110.01	119.18	114.08
25	18.00	17.50	19.00	18.17	110.01	106.95	116.12	111.03
30	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
35	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
40	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
45	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
50	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
55	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01
60	18.00	17.50	18.50	18.00	110.01	106.95	113.06	110.01

ตารางที่ ก. 10 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 0.1 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ
สภาวะ : ความดัน 2 bar อัตราการไหล 0.877 L/min และที่อุณหภูมิห้อง (25±1)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำ (ml)				ฟลักซ์น้ำ, j_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	18.50	19.00	19.00	18.83	113.06	116.12	116.12	115.10
10	18.00	18.00	18.00	18.00	110.01	110.01	110.01	110.01
15	17.50	17.50	17.00	17.33	106.95	106.95	103.90	105.93
20	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
25	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
30	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
35	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
40	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
45	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
50	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
55	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90
60	17.00	17.50	16.50	17.00	103.90	106.95	100.84	103.90

ตารางที่ ก. 11 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 0.5 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ
สภาวะ : ความดัน 2 bar อัตราการไหล 0.877 L/min และที่อุณหภูมิห้อง (25±1)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำ (ml)				ฟลักซ์น้ำ, j_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	16.00	17.00	16.00	16.33	97.78	103.90	97.78	99.82
10	15.00	16.00	15.00	15.33	91.67	97.78	91.67	93.71
15	14.50	15.00	14.50	14.67	88.62	91.67	88.62	89.64
20	14.00	14.50	14.00	14.17	85.56	88.62	85.56	86.58
25	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
30	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
35	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
40	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
45	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
50	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
55	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54
60	13.50	14.00	14.00	13.83	82.51	85.56	85.56	84.54

ตารางที่ ก. 12 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 1.0 %wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ
สภาวะ : ความดัน 2 bar อัตราการไหล 0.877 L/min และที่อุณหภูมิห้อง (25±1)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำ (ml)				ฟลักซ์น้ำ, j_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	15.00	14.00	14.00	14.33	91.67	85.56	85.56	87.60
10	14.00	13.00	13.00	13.33	85.56	79.45	79.45	81.49
15	13.00	12.00	12.00	12.33	79.45	73.34	73.34	75.38
20	12.50	11.50	11.00	11.67	76.39	70.28	67.23	71.30
25	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
30	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
35	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
40	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
45	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
50	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
55	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26
60	12.00	11.00	11.00	11.33	73.34	67.23	67.23	69.26

ตารางที่ ก. 13 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 1.5 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ
สภาวะ : ความดัน 2 bar อัตราการไหล 0.877 L/min และที่อุณหภูมิห้อง (25±1)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำ (ml)				ฟลักซ์น้ำ, j_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	13.00	14.00	13.00	13.33	79.45	85.56	79.45	81.49
10	12.00	13.00	12.00	12.33	73.34	79.45	73.34	75.38
15	11.00	12.00	11.00	11.33	67.23	73.34	67.23	69.26
20	10.50	11.00	10.00	10.50	64.17	67.23	61.12	64.17
25	10.00	10.50	9.50	10.00	61.12	64.17	58.06	61.12
30	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
35	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
40	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
45	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
50	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
55	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08
60	10.00	10.00	9.00	9.67	61.12	61.12	55.00	59.08

ตารางที่ ก. 14 ผลการทดลองวัดค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีน BSA ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยไม่มีการเติมสารเชื่อมขวาง (GA 0 %) ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เวลา (นาท)	ปริมาตรน้ำก่อนทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน, J_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	19.00	20.00	19.00	19.33	116.09	122.20	116.09	118.13
10	18.00	19.00	18.00	18.33	109.98	116.09	109.98	112.02
15	18.00	18.50	17.50	18.00	109.98	113.03	106.92	109.98
20	18.00	18.50	17.50	18.00	109.98	113.03	106.92	109.98
25	18.00	18.50	17.50	18.00	109.98	113.03	106.92	109.98
30	18.00	18.50	17.50	18.00	109.98	113.03	106.92	109.98
	ปริมาตรสารละลายโปรตีน (ml)				ฟลักซ์สารละลายโปรตีน, J_v (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	15.00	15.50	16.00	15.50	91.65	94.70	97.76	94.70
10	14.00	14.00	15.00	14.33	85.54	85.54	91.65	87.58
15	13.00	12.50	14.00	13.17	79.43	79.43	85.54	80.45
20	12.00	11.00	13.00	12.00	73.32	73.32	79.43	73.32
25	11.00	10.00	12.00	11.00	67.21	67.21	73.32	67.21
30	10.00	9.50	11.00	10.17	61.10	61.10	67.21	62.12
40	17.50	18.00	17.50	17.67	53.46	54.99	53.46	53.97
50	17.00	17.60	17.00	17.20	51.93	53.77	51.93	52.55
60	16.70	17.20	16.60	16.83	51.02	52.55	50.71	51.43
70	16.40	17.00	16.30	16.57	50.10	51.93	49.80	50.61
80	16.20	16.70	16.10	16.33	49.49	51.02	49.19	49.90
90	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
100	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
110	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
120	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
130	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
140	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
150	16.00	16.50	16.00	16.17	48.88	50.41	48.88	49.39
	ปริมาตรน้ำหลังทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำหลังทดสอบโปรตีน, J'_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81
10	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81
15	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81
20	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81
25	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81
30	16.50	17.00	16.00	16.50	100.81	103.87	97.76	100.81

ตารางที่ ก. 15 ผลการทดลองวัดค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีน BSA ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 0.1 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เวลา (นาท)	ปริมาตรน้ำก่อนทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน, J_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	17.00	16.00	17.00	16.67	103.87	97.76	103.87	101.83
10	16.00	15.50	16.00	15.83	97.76	94.70	97.76	96.74
15	16.00	15.50	16.00	15.83	97.76	94.70	97.76	96.74
20	16.00	15.50	16.00	15.83	97.76	94.70	97.76	96.74
25	16.00	15.50	16.00	15.83	97.76	94.70	97.76	96.74
30	16.00	15.50	16.00	15.83	97.76	94.70	97.76	96.74
	ปริมาตรสารละลายโปรตีน (ml)				ฟลักซ์สารละลายโปรตีน, J_v (L/m ² .h)			
5	14.00	13.00	12.00	13.00	85.54	79.43	73.32	79.43
10	13.00	12.00	11.00	12.00	79.43	79.43	67.21	73.32
15	12.00	11.00	10.00	11.00	73.32	73.32	61.10	67.21
20	11.00	10.00	9.00	10.00	67.21	67.21	54.99	61.10
25	10.50	9.00	8.00	9.17	64.15	64.15	48.88	56.01
30	10.00	8.30	7.00	8.43	61.10	61.10	42.77	51.53
40	16.00	14.20	15.00	15.07	48.88	43.38	45.82	46.03
50	15.40	13.40	14.20	14.33	47.05	40.94	43.38	43.79
60	15.00	13.00	13.80	13.93	45.82	39.71	42.16	42.57
70	14.30	12.70	13.40	13.47	43.69	38.80	40.94	41.14
80	14.20	12.40	13.10	13.23	43.38	37.88	40.02	40.43
90	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
100	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
110	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
120	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
130	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
140	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
150	14.00	12.20	13.00	13.07	42.77	37.27	39.71	39.92
	ปริมาตรน้ำหลังทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำหลังทดสอบโปรตีน, J'_w (L/m ² .h)			
5	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37
10	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37
15	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37
20	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37
25	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37
30	14.50	14.00	14.40	14.30	88.59	85.54	87.98	87.37

ตารางที่ ก. 16 ผลการทดลองวัดค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีน BSA ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 0.5 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรน้ำก่อนทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน, J_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	15.00	16.00	15.50	15.50	91.65	97.76	94.70	94.70
10	14.50	15.00	15.00	14.83	88.59	91.65	91.65	90.63
15	14.00	15.00	15.00	14.67	85.54	91.65	91.65	89.61
20	14.00	15.00	15.00	14.67	85.54	91.65	91.65	89.61
25	14.00	15.00	15.00	14.67	85.54	91.65	91.65	89.61
30	14.00	15.00	15.00	14.67	85.54	91.65	91.65	89.61
	ปริมาตรสารละลายโปรตีน (ml)				ฟลักซ์สารละลายโปรตีน, J_v (L/m ² .h)			
5	12.00	13.00	13.00	12.67	73.32	79.43	79.43	77.39
10	11.00	12.00	12.00	11.67	67.21	67.21	73.32	71.28
15	10.00	11.50	11.00	10.83	61.10	61.10	67.21	66.19
20	9.00	10.00	10.00	9.67	54.99	54.99	61.10	59.06
25	8.00	9.20	9.00	8.73	48.88	48.88	54.99	53.36
30	7.40	8.00	8.20	7.87	45.21	45.21	50.10	48.07
40	13.00	13.40	13.80	13.40	39.71	40.94	42.16	40.94
50	12.00	12.70	13.20	12.63	36.66	38.80	40.33	38.59
60	11.80	12.40	12.80	12.33	36.05	37.88	39.10	37.68
70	11.60	12.20	12.60	12.13	35.44	37.27	38.49	37.07
80	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
90	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
100	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
110	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
120	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
130	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
140	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
150	11.50	12.00	12.50	12.00	35.13	36.66	38.19	36.66
	ปริมาตรน้ำหลังทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำหลังทดสอบโปรตีน, J'_w (L/m ² .h)			
5	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62
10	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62
15	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62
20	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62
25	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62
30	12.40	13.00	13.20	12.87	75.76	79.43	80.65	78.62

ตารางที่ ก. 17 ผลการทดลองวัดค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีน BSA ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 1.0 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เวลา (นาท)	ปริมาตรน้ำก่อนทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน, J_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	13.00	12.00	14.00	13.00	79.43	73.32	85.54	79.43
10	12.00	12.00	13.50	12.50	73.32	73.32	82.48	76.37
15	12.00	11.50	13.00	12.17	73.32	70.26	79.43	74.34
20	12.00	11.50	12.00	11.83	73.32	70.26	73.32	72.30
25	12.00	11.50	12.00	11.83	73.32	70.26	73.32	72.30
30	12.00	11.50	12.00	11.83	73.32	70.26	73.32	72.30
	ปริมาตรสารละลายโปรตีน (ml)				ฟลักซ์สารละลายโปรตีน, J_v (L/m ² .h)			
5	11.00	10.00	11.00	10.67	67.21	61.10	67.21	65.17
10	10.50	9.50	10.20	10.07	64.15	64.15	62.32	61.51
15	10.00	9.00	9.50	9.50	61.10	61.10	58.04	58.04
20	9.00	9.00	8.00	8.67	54.99	54.99	48.88	52.95
25	8.00	8.50	7.00	7.83	48.88	48.88	42.77	47.86
30	7.00	8.00	6.20	7.07	42.77	42.77	37.88	43.18
40	10.80	10.60	10.60	10.67	32.99	32.38	32.38	32.59
50	10.00	10.20	10.00	10.07	30.55	31.16	30.55	30.75
60	9.80	10.00	9.80	9.87	29.94	30.55	29.94	30.14
70	9.60	9.50	9.30	9.47	29.33	29.02	28.41	28.92
80	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
90	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
100	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
110	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
120	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
130	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
140	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
150	9.50	9.40	9.20	9.37	29.02	28.72	28.11	28.62
	ปริมาตรน้ำหลังทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำหลังทดสอบโปรตีน, J'_w (L/m ² .h)			
5	10.00	10.00	10.40	10.13	61.10	61.10	63.54	61.91
10	10.00	9.50	10.40	9.97	61.10	58.04	63.54	60.90
15	10.00	9.50	10.40	9.97	61.10	58.04	63.54	60.90
20	10.00	9.50	10.40	9.97	61.10	58.04	63.54	60.90
25	10.00	9.50	10.40	9.97	61.10	58.04	63.54	60.90
30	10.00	9.50	10.40	9.97	61.10	58.04	63.54	60.90

ตารางที่ ก. 18 ผลการทดลองวัดค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีน BSA ของเยื่อแผ่น PES เคลือบด้วย CS/Al₂O₃ โดยการเติม GA 1.5 % wt/v ซึ่งควบคุมความเข้มข้น CS และ Al₂O₃ คงที่ๆ 0.3 wt/v และ 0.05%wt ตามลำดับ

เวลา (นาท)	ปริมาตรน้ำก่อนทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน, J_w (L/m ² .h)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
5	12.00	11.00	12.00	11.67	73.32	67.21	73.32	71.28
10	11.00	10.00	10.00	10.33	67.21	61.10	61.10	63.14
15	10.00	9.00	9.00	9.33	61.10	54.99	54.99	57.03
20	10.00	9.00	9.00	9.33	61.10	54.99	54.99	57.03
25	10.00	9.00	9.00	9.33	61.10	54.99	54.99	57.03
30	10.00	9.00	9.00	9.33	61.10	54.99	54.99	57.03
	ปริมาตรสารละลายโปรตีน (ml)				ฟลักซ์สารละลายโปรตีน, J_v (L/m ² .h)			
5	9.40	8.00	9.00	8.80	57.43	48.88	54.99	53.77
10	8.60	7.50	8.00	8.03	52.55	52.55	48.88	49.08
15	8.00	7.00	7.50	7.50	48.88	48.88	45.82	45.82
20	7.00	6.80	7.00	6.93	42.77	42.77	42.77	42.36
25	6.00	6.00	6.00	6.00	36.66	36.66	36.66	36.66
30	5.00	5.20	5.00	5.07	30.55	30.55	30.55	30.96
40	9.00	9.00	8.20	8.73	27.49	27.49	25.05	26.68
50	8.00	8.50	8.00	8.17	24.44	25.97	24.44	24.95
60	7.80	8.20	7.60	7.87	23.83	25.05	23.22	24.03
70	7.60	8.00	7.40	7.67	23.22	24.44	22.61	23.42
80	7.40	7.80	7.20	7.47	22.61	23.83	22.00	22.81
90	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
100	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
110	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
120	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
130	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
140	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
150	7.20	7.50	7.00	7.23	22.00	22.91	21.38	22.10
	ปริมาตรน้ำหลังทดสอบโปรตีน (ml)				ฟลักซ์น้ำหลังทดสอบโปรตีน, J'_w (L/m ² .h)			
5	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44
10	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44
15	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44
20	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44
25	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44
30	8.20	7.40	7.20	7.60	50.10	45.21	43.99	46.44

ตารางที่ ก. 19 ค่าความต้านทานเยื่อแผ่น (R_m) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่าความต้านทานเยื่อแผ่น, R_m (m^{-1})			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	7.29084E+12	7.09379E+12	7.49915E+12	7.2946E+12
PES/CS/GA 0.1%	8.2022E+12	8.46679E+12	8.2022E+12	8.29039E+12
PES/CS/GA 0.5%	9.37394E+12	8.74901E+12	8.74901E+12	8.95732E+12
PES/CS/GA 1%	1.09363E+13	1.14118E+13	1.09363E+13	1.10948E+13
PES/CS/GA 1.5%	1.31235E+13	1.45817E+13	1.45817E+13	1.40956E+13

ตารางที่ ก. 20 ค่าความต้านทานรวม (R_t) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่าความต้านทานรวม, R_t (m^{-1})			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	1.43086E+13	1.3875E+13	1.43086E+13	1.41641E+13
PES/CS/GA 0.1%	1.63527E+13	1.87654E+13	1.76106E+13	1.75762E+13
PES/CS/GA 0.5%	1.99077E+13	1.90782E+13	1.8315E+13	1.91003E+13
PES/CS/GA 1%	2.40987E+13	2.43551E+13	2.48846E+13	2.44461E+13
PES/CS/GA 1.5%	3.17969E+13	3.05251E+13	3.27054E+13	3.16758E+13

ตารางที่ ก. 21 ค่าความต้านทานคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (R_{cp}) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่าความต้านทานคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน, R_{cp} (m^{-1})			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	6.35498E+12	6.15531E+12	6.10643E+12	6.20557E+12
PES/CS/GA 0.1%	7.30201E+12	9.39147E+12	8.49706E+12	8.39685E+12
PES/CS/GA 0.5%	9.32417E+12	8.98315E+12	8.37298E+12	8.89343E+12
PES/CS/GA 1%	1.09752E+13	1.05409E+13	1.22658E+13	1.12606E+13
PES/CS/GA 1.5%	1.57927E+13	1.27906E+13	1.44783E+13	1.43539E+13

ตารางที่ ก. 22 ค่าความต้านทานฟาวลิง (R_f) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่าความต้านทานฟาวลิง, R_f (m^{-1})			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	6.62804E+11	6.25923E+11	7.03046E+11	6.63924E+11
PES/CS/GA 0.1%	8.48503E+11	9.07156E+11	9.11355E+11	8.89005E+11
PES/CS/GA 0.5%	1.20954E+12	1.346E+12	1.19305E+12	1.24953E+12
PES/CS/GA 1%	2.18725E+12	2.40247E+12	1.6825E+12	2.09074E+12
PES/CS/GA 1.5%	2.88077E+12	3.1528E+12	3.64542E+12	3.22633E+12

ตารางที่ ก. 23 ค่าการกักกันสารละลายโปรตีน BSA (R_j) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่าการกักกันสารละลายโปรตีน BSA, R_j (%)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	95.38	95.87	94.72	95.32
PES/CS/GA 0.1%	95.96	95.47	95.31	95.58
PES/CS/GA 0.5%	96.06	95.94	96.21	96.07
PES/CS/GA 1%	96.40	96.32	96.25	96.32
PES/CS/GA 1.5%	96.71	97.08	97.08	96.96

ตารางที่ ก. 24 ค่า Flux recovery ratio (% FRR) ของเยื่อแผ่น

ชนิดเยื่อแผ่น	ค่า FRR (%)			
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
PES/CS/GA 0%	91.67	91.89	91.43	91.66
PES/CS/GA 0.1%	90.63	90.32	90.00	90.32
PES/CS/GA 0.5%	88.57	86.67	88.00	87.75
PES/CS/GA 1%	83.33	82.61	86.67	84.20
PES/CS/GA 1.5%	82.00	82.22	80.00	81.41