รายการอ้างอิง

[1] Donald R. Askeland. The Science and Engineering Material. Third Edition, :Champman&Hall, 1992: pp 549-583

[2] สรพงศ์ วิภากรวิทย์, หทัยทัต ซื้อสุวรรณ. การทำยางเม็ดจากยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

[3] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. ยางธรรมชาติเบื้องต้น. ปัตตานี : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2541.

[4] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. เทคโนโลยีของยาง. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[5] น้ำยาง. ภาควิชาเทคโนโลยีการยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2531.

[6] พลชิต บัวแก้ว. สารเคมีผสมน้ำยาง. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตยาง ศูนย์วิจัยยางสงขลา กรมวิชาการเกษตร, 2531.

[7] วิภา เศวตถนิษฐ์. การเตรียมสารละลายของสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง. เอกสารประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมหลักสูตรเทคโนโลยีน้ำยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2537.

[8] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2541.

[9] ประชารัตน์ แต้ภักดี. การแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

[10] ปราโมทย์ ไชยเวช และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[11] Rouquerol F., Rouquerol J., Sing K., Adsorption by power & porous solid. San Diego, Calif : Academic Press, 1999.

[12] MacDonald J.A.F. and Quinn D. F., Carbon adsorbents for natural gas storage. Fuel 77(1/2 1998):61-64

[13] Pike M., Powdered liquid and thermoplastic natural rubber. United Nations Industrial Development Organization Symposium. 14-15 May 1981, Phuket, Thailand:97-162

[14] Azaar K., Rosca I.D., Vergnaud J.M., Anisotropic swelling of thin EPDM rubber discs by adsorption of toluene, polymer 43, 4261-4267 (2002)

[15] คัทลียา ชะโรจน์บวร. การถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ช่วย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[16] Chutima Chotiwatsin, Image processing for evaluation of liquid hydrocarbons transfer into natural rubber, Thesis (M.Sc.), Chulalongkorn University, (1998)

[17] ภัทริกา อรัญนารถ. การดูดซับแก๊สเชื้อเพลิงบนพื้นผิวยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[18] ชลธินี ตั้งตรีรัตน์. ออกซิเดชันของยางเม็ดและยางเส้นจากน้ำยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

[19] ศศิธร สรรพ่อค้า. การแปรรูปรวมของถ่านหินและพลาสติกผสมให้เป็นของเหลวในน้ำภาวะเหนือวิกฤต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[20] กัญจนา บุณยเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง

น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ ที่ใช้ในการทดลองได้มาจาก บริษัท ไทยรับเบอร์ แอนด์เลเท็คซ์ จำกัด มีสมบัติดังนี้

ตารางที่ ก.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

Properties	Test Results
Total Solid Content, %	61.78
Dry Rubber Content, %	60.09
Non Rubber Solids, %	1.69
Ammonia Content (on Total Weight), %	0.27
Ammonia Content (on Water Weight), %	0.71
PH Value	10.19
KOH Number	0.7443
Volatile Fatty Acid Number (V.F.A.)	0.0462
Mechanical Stability Time @ 55% TS., sec.	960 on (17-05-2003)
Specific Gravity at 25 °C	0.946
Magnesium Content (on Solids), ppm.	33
Chemical Stability Test (CST), mi.	2.0
Coagulum Content, (80 mesh), ppm.	18
Viscosity (60%TS, Spindle no.1, 60 rpm.), cps.	97.9

Remark: Free from pentachlorophenol

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

การคำนวณหาค่าความหนาแน่น

การคำนวณความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักแผ่นยางในบรรยากาศ และชั่งน้ำหนักยางใต้น้ำ จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักที่บรรยากาศ}}{\text{น้ำหนักที่บรรยากาศ} - \text{น้ำหนักใต้น้ำ}}$$

แต่อนุภาคยางพรุนนั้นลอยน้ำจึงใช้กระจกวางทับไว้ เพราะฉะนั้นน้ำหนักเปียกที่ชั่งได้ต้องหักน้ำหนักกระจกออกก่อน

ตัวอย่าง การคำนวณความหนาแน่นของอนุภาคยาง

น้ำหนักที่บรรยากาศ	=	2.58 กรัม
น้ำหนักใต้น้ำ	=	480.27 กรัม
น้ำหนักกระจก	=	481.06 กรัม

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{2.58}{2.58 - (480.27 - 481.06)}$$

$$= 0.766 \quad \text{กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

หมายเหตุ : ค่าจากการคำนวณเป็นค่าความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นยางต่อความหนาแน่นน้ำ) เพราะฉะนั้นเมื่อคูณด้วยความหนาแน่นน้ำ 1 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร จึงได้เป็นค่าความหนาแน่นของยาง ดังนั้นหน่วยความหนาแน่นจึงเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ ข.1 การคำนวณค่าความหนาแน่นของอนุภาคยางผสมผงถ่านกัมมันต์ 0, 50 และ 100 phr

อนุภาคยาง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักกระจก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	
0 phr	2.58	480.27	481.06	0.766	0.762
	1.89	480.45	481.06	0.756	
	2.43	480.31	481.06	0.764	
50 phr	1.55	480.65	481.02	0.807	0.807
	1.75	480.60	481.02	0.806	
100 phr	1.21	480.81	481.02	0.852	0.885
	2.15	480.83	481.02	0.919	

การคำนวณปริมาณการดูดซับเชื้อเพลิง

นำค่าความดันที่เวลาต่างๆ มาคำนวณหาปริมาณโมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ โดยใช้สมมุติฐานแก๊สอุดมคติ (Ideal gas) และนำโมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับเริ่มต้น (t = 0) ลบกับโมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาต่างๆ จะได้โมลแก๊สที่ถูกดูดซับสะสมที่เวลาต่างๆ
จากแก๊สอุดมคติ

$$PV = nRT$$

ตัวอย่าง การคำนวรการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊ส

ความดันเริ่มต้น (P_0)
ความดันที่เวลาต่างๆ (P_n)
ดังนั้น ปริมาณโมลของแก๊สที่ถูกดูดซับสะสมที่เวลาต่าง ๆ (n_t)

$$n_t = n_0 - n_n$$
$$= (P_0 - P_n)\,(V/RT)$$

โดย V คือ ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ที่หักลบปริมาตรยางภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก
R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส = 82.06 cm^3 (atm) / gmole (K)
T คือ อุณหภูมิ

ตารางที่ ข.2 การคำนวณการดูดซับแก๊สไฮโดรเจนของอนุภาคยาง ที่ความดันเริ่มต้น 2 บาร์

เวลา	ความดัน		โมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ	โมลแก๊สที่ถูกดูดซับ	
(นาที)	(บาร์)	(atm)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส/กรัมอนุภาค)
0	2.000	1.974	0.0336	0.0000	0.0000
1	1.986	1.961	0.0334	0.0002	0.0002
2	1.985	1.960	0.0334	0.0003	0.0002
3	1.984	1.959	0.0334	0.0003	0.0003
4	1.983	1.958	0.0333	0.0003	0.0003
5	1.982	1.957	0.0333	0.0003	0.0003
6	1.982	1.957	0.0333	0.0003	0.0003
7	1.980	1.955	0.0333	0.0003	0.0003
8	1.980	1.955	0.0333	0.0003	0.0003
9	1.978	1.953	0.0333	0.0004	0.0004
10	1.977	1.952	0.0332	0.0004	0.0004
11	1.976	1.951	0.0332	0.0004	0.0004
12	1.975	1.950	0.0332	0.0004	0.0004
13	1.975	1.950	0.0332	0.0004	0.0004
14	1.973	1.948	0.0332	0.0005	0.0004
15	1.972	1.947	0.0332	0.0005	0.0005
16	1.972	1.947	0.0332	0.0005	0.0005
17	1.970	1.945	0.0331	0.0005	0.0005
18	1.970	1.945	0.0331	0.0005	0.0005
19	1.969	1.944	0.0331	0.0005	0.0005
20	1.967	1.942	0.0331	0.0006	0.0005
21	1.967	1.942	0.0331	0.0006	0.0005
22	1.966	1.941	0.0331	0.0006	0.0006
23	1.965	1.940	0.0330	0.0006	0.0006
24	1.963	1.938	0.0330	0.0006	0.0006

เวลา	ความดัน		โมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ	โมลแก๊สที่ถูกดูดซับ	
(นาที)	(บาร์)	(atm)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส/กรัมอนุภาค)
25	1.963	1.938	0.0330	0.0006	0.0006
26	1.962	1.937	0.0330	0.0006	0.0006
27	1.962	1.937	0.0330	0.0006	0.0006
28	1.960	1.935	0.0330	0.0007	0.0007
29	1.959	1.934	0.0329	0.0007	0.0007
30	1.959	1.934	0.0329	0.0007	0.0007
31	1.957	1.932	0.0329	0.0007	0.0007
32	1.957	1.932	0.0329	0.0007	0.0007
33	1.956	1.931	0.0329	0.0007	0.0007
34	1.954	1.929	0.0329	0.0008	0.0008
35	1.952	1.927	0.0328	0.0008	0.0008
36	1.952	1.927	0.0328	0.0008	0.0008
37	1.951	1.926	0.0328	0.0008	0.0008
38	1.949	1.924	0.0328	0.0009	0.0008
39	1.949	1.924	0.0328	0.0009	0.0008
40	1.947	1.922	0.0327	0.0009	0.0009
41	1.946	1.921	0.0327	0.0009	0.0009
42	1.945	1.920	0.0327	0.0009	0.0009
43	1.944	1.919	0.0327	0.0009	0.0009
44	1.944	1.919	0.0327	0.0009	0.0009
45	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010
46	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010
47	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010
48	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010
49	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010
50	1.942	1.917	0.0326	0.0010	0.0010

เวลา	ความดัน		โมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ	โมลแก๊สที่ถูกดูดซับ	
(นาที)	(บาร์)	(atm)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส/กรัมอนุภาค)
51	1.941	1.916	0.0326	0.0010	0.0010
52	1.941	1.916	0.0326	0.0010	0.0010
53	1.941	1.916	0.0326	0.0010	0.0010
54	1.941	1.916	0.0326	0.0010	0.0010
55	1.941	1.916	0.0326	0.0010	0.0010
56	1.940	1.915	0.0326	0.0010	0.0010
57	1.940	1.915	0.0326	0.0010	0.0010
58	1.940	1.915	0.0326	0.0010	0.0010
59	1.940	1.915	0.0326	0.0010	0.0010
60	1.939	1.914	0.0326	0.0010	0.0010
61	1.939	1.914	0.0326	0.0010	0.0010
62	1.939	1.914	0.0326	0.0010	0.0010
63	1.939	1.914	0.0326	0.0010	0.0010
64	1.939	1.914	0.0326	0.0010	0.0010
65	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
66	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
67	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
68	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
69	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
70	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
71	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
72	1.938	1.913	0.0326	0.0010	0.0010
73	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010
74	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010
75	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010
76	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010

เวลา	ความดัน		โมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ	โมลแก๊สที่ถูกดูดซับ	
(นาที)	(บาร์)	(atm)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส/กรัมอนุภาค)
77	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010
78	1.937	1.912	0.0326	0.0011	0.0010
79	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
80	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
81	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
82	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
83	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
84	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
85	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
86	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
87	1.936	1.911	0.0325	0.0011	0.0011
88	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
89	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
90	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
91	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
92	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
93	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
94	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
95	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
96	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
97	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
98	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
99	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
100	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
101	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
102	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011

เวลา	ความดัน		โมลแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับ	โมลแก๊สที่ถูกดูดซับ	
(นาที)	(บาร์)	(atm)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส)	(โมลแก๊ส/กรัมอนุภาค)
103	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
104	1.935	1.910	0.0325	0.0011	0.0011
105	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
106	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
107	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
108	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
109	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
110	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
111	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
112	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
113	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
114	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
115	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
116	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
117	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
118	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
119	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011
120	1.934	1.909	0.0325	0.0011	0.0011

$V = 425\ cm^3$

$R = 82.06\ cm^3$ (atm) / gmole (K)

$T = 303.15\ K$

น้ำหนักอนุภาคยาง = 1.0197 กรัม

การคำนวณปริมาณแก๊สที่ปริมาณยางค่าต่าง ๆ

จากแก๊สอุดมคติ

$$PV = nRT$$

P = ความดัน

V = ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ 425 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = 82.06 cm^3 (atm) / gmole (K)

T = อุณหภูมิ 303.15 เคลวิน

ไม่ใส่อนุภาคยางที่ความดัน 2 บาร์ มีปริมาณแก๊สไฮโดรเจน (n_0) = 0.0337 โมล

ใส่อนุภาคยาง 1.0197 กรัม แก๊สถูกดูดซับจนมีความดัน 1.934 บาร์ (n_1) = 0.0326 โมล

ซึ่งโมลของแก๊สที่ถูกดูดซับจะเท่ากับยางที่ใช้ในการดูดซับ ($n_0 - n_1$) = 0.0011 โมล

ปริมาตรยาง = 0.0713 ลูกบาศก์เมตร

= 0.017 %ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์

ดังนั้น ยาง 0.017 %ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ ดูดซับแก๊สไฮโดรเจนได้ 0.0011 โมล

ยาง 100.0 %ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ ดูดซับแก๊สไฮโดรเจนได้ 6.5567 โมล

ดังนั้น ยาง 0.017 %ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ หนัก 1.02 กรัม

ยาง 100.0 %ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ หนัก 6078.05 กรัม

ตารางที่ ข.3 การคำนวณปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ปริมาณยางค่าต่างๆ ที่ความดันเริ่มต้น 2 บาร์

ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์		ปริมาตรยาง		ปริมาณแก๊ส (โมล)			แก๊สเพิ่มขึ้น	น้ำหนักยาง
(%)	(cm^3)	(%)	(cm^3)	เครื่องปฏิกรณ์	ยางดูดซับ	รวม	(เท่า)	(กรัม)
100	425.00	0	0.00	0.0337	0.0000	0.0337	0.0	0.00
75	318.75	25	106.25	0.0253	1.6392	1.6645	49.3	1519.51
50	212.50	50	212.50	0.0169	3.2783	3.2952	97.7	3039.02
25	106.25	75	318.75	0.0084	4.9175	4.9259	146.0	4558.54
0	0.00	100	425.00	0.0000	6.5567	6.5567	194.4	6078.05

ตารางที่ ข.4 การคำนวณปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ปริมาณยางค่าต่างๆ ที่ความดันเริ่มต้น 10 บาร์

ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์		ปริมาตรยาง		ปริมาณแก๊ส (โมล)			แก๊สเพิ่มขึ้น	น้ำหนักยาง
(%)	(cm^3)	(%)	(cm^3)	เครื่องปฏิกรณ์	ยางดูดซับ	รวม	(เท่า)	(กรัม)
100	425.00	0	0.00	0.1687	0.0000	0.1687	0.0	0.00
75	318.75	25	106.25	0.1265	5.8789	6.0054	35.6	1689.49
50	212.50	50	212.50	0.0843	11.7578	11.8421	70.2	3378.99
25	106.25	75	318.75	0.0422	17.6367	17.6788	104.8	5068.48
0	0.00	100	425.00	0.0000	23.5156	23.5156	139.4	6757.97

ตารางที่ ข.5 การคำนวณปริมาณแก๊สมีเทนที่ปริมาณยางค่าต่างๆ ที่ความดันเริ่มต้น 2 บาร์

ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์		ปริมาตรยาง		ปริมาณแก๊ส (โมล)			แก๊สเพิ่มขึ้น	น้ำหนักยาง
(%)	(cm^3)	(%)	(cm^3)	เครื่องปฏิกรณ์	ยางดูดซับ	รวม	(เท่า)	(กรัม)
100	425.00	0	0.00	0.0337	0.0000	0.0337	0.0	0.00
75	318.75	25	106.25	0.0253	5.3284	5.3537	158.7	4070.93
50	212.50	50	212.50	0.0169	10.6569	10.6737	316.4	8141.85
25	106.25	75	318.75	0.0084	15.9853	15.9937	474.2	12212.78
0	0.00	100	425.00	0.0000	21.3138	21.3138	631.9	16283.71

ตารางที่ ข.6 การคำนวณปริมาณแก๊สมีเทนที่ปริมาณยางค่าต่างๆ ที่ความดันเริ่มต้น 10 บาร์

ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์		ปริมาตรยาง		ปริมาณแก๊ส (โมล)			แก๊สเพิ่มขึ้น	น้ำหนักยาง
(%)	(cm^3)	(%)	(cm^3)	เครื่องปฏิกรณ์	ยางดูดซับ	รวม	(เท่า)	(กรัม)
100	425.00	0	0.00	0.1687	0.0000	0.1687	0.0	0.00
75	318.75	25	106.25	0.1265	7.3027	7.4292	44.1	1944.62
50	212.50	50	212.50	0.0843	14.6053	14.6897	87.1	3889.23
25	106.25	75	318.75	0.0422	21.9080	21.9502	130.2	5833.85
0	0.00	100	425.00	0.0000	29.2107	29.2107	173.2	7778.47

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์

1. **การหาค่าความร้อนของถ่านหิน** (Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by Adiabatic Bomb Calorimeter : ASTM D2015)

หลักการ

เผาตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศแก๊สออกซิเจน ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในบอมบ์จะถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่รอบๆ ค่าความร้อนคำนวณได้จากผลคูณของความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำ (ก่อนและหลังจุดระเบิด) กับค่าความจุความร้อนของเครื่องแคลอริมิเตอร์ ซึ่งหาได้จากการเผากรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ภายใต้ภาวะเดียวกัน

เครื่องมือ

1. น้ำกลั่น
2. กรดเบนโซอิก (C_6H_5COOH) ควรได้รับมาตรฐานของ National Institute of Standard and Technology
3. เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) เมธิลเรด (Methyl Red) หรือเมธิลเพอเพิล (Methyl Purple)
4. แก๊สออกซิเจนความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.0709 N (3.76 กรัมต่อลิตร) สารละลายนี้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 1 แคลอรี
6. น้ำล้างบอมบ์ สารละลายเมธิลออเรนจ์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

การวิเคราะห์

การหาค่าความจุความร้อนมาตรฐานของบอมบ์แคลอริมิเตอร์

1. ชั่งกรดเบนโซอิกประมาณ 1 กรัม ให้มีความละเอียดถึง 0.0001 กรัม ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่างของเครื่อง
2. ตัดลวด (Fuse Wire) ความยาวประมาณ 10 เซ็นติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองข้างของส่วนจุดระเบิด ให้ลวดแตะผิวตัวอย่างถ่านหินในถ้วย
3. ล้างภายในบอมบ์ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นลงในบอมบ์ 1 มิลลิลิตร

4. ประกอบบอมบ์ ปิดฝาให้แน่น อัดแก๊สออกซิเจนมีความดัน 30 บรรยากาศ และต้องเท่ากันทุกครั้ง ระวังอย่าให้ตัวอย่างกระจายจากถ้วยใส่ตัวอย่าง
5. นำบอมบ์ที่อัดแก๊สออกซิเจนแล้ววางลงในถังน้ำที่ปรับอุณหภูมิ ต่อขั้วไฟฟ้าสำหรับจุดระเบิด
6. เติมน้ำกลั่นลงในถังน้ำที่ปรับอุณหภูมิปริมาณ 2000 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิของน้ำโดยการกวนให้อุณหภูมิคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิของห้องประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส
7. ทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิคงที่
8. เมื่ออุณหภูมิคงที่ บันทึกเป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_i) กดปุ่มจุดระเบิด
9. จับเวลาทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ บันทึกเป็นอุณหภูมิสุดท้าย (T_f)
10. ปิดเครื่องและนำบอมบ์ออกจากเครื่อง ค่อยๆลดความดัน ถ้าภายในมีเขม่าหรือเผาไหม้ไม่หมดให้ทำใหม่
11. ล้างภายในบอมบ์ทุกส่วนด้วยน้ำล้างบอมบ์ที่เตรียมไว้ จนหมดความเป็นกรดและมีปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร ไตเตรตน้ำล้างด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต บันทึกปริมาตรที่ใช้
12. วัดความยาวลวดที่เหลือ บันทึกผล

การคำนวณ

$$E = [(Hg) + e_1 + e_2] / T$$

เมื่อ E = ค่าความจุความร้อนของเครื่องแคลอริมิเตอร์ (บีทียูต่อองศาเซลเซียส)

H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิก (บีทียูต้อปอนด์)

g = น้ำหนักกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)

e_1 = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร) โดย 1 มิลลิลิตรเทียบเท่ากับ 10บีทียู

e_2 = ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้ (เซ็นติเมตร) x ค่าความร้อนของลวด (บีทียูต่อเซ็นติเมตร)

T = $T_i - T_f$ ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ทำการทดลองเหมือนที่กล่าวมาทุกประการตั้งแต่ข้อ 1-12 โดยเปลี่ยนจากกรดเบนโซอิกเป็นถ่านหินแล้วคำนวณค่าความร้อนได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_v \text{ (gross)} = [(TE) - e_1 - e_2 - e_3] / g$$

เมื่อ Q_v (gross) = ค่าความร้อนของถ่านหิน (บีทียูต่อปอนด์)

T = $T_i - T_f$ ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

e_1 = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร) โดย 1 มิลลิลิตรเทียบเท่ากับ 10บีทียู

e_2 = ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้ (เซ็นติเมตร) x ค่าความร้อนของลวด (บีทียูต่อเซ็นติเมตร)

e_3 = 23.7 (บีทียู) x ร้อยละกำมะถัน x น้ำหนักถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม (Standard Test Method for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke : ASTM D3177 : Bomb Washing Method)

หลักการ

กำมะถันที่ได้จากการล้างบอมบ์จะถูกทำให้อยู่ในรูปตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO4)

เครื่องมือ

1. เตาเผา (Muffle Furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิด
3. เดซิกเคเตอร์

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc.NH_4OH) ความถ่วงจำเพาะ 0.90
3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เจือจาง (1+10) โดยผสมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 10 ส่วนโดยปริมาตร
4. กรดไฮโดรคลอริก (1+1) โดยผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 1 ส่วนโดยปริมาตร

5. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ละลายแบเรียมคลอไรด์ 100 กรัมในน้ำกลั่นและเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) ละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.43 กรัมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร
7. กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 42

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์และไตเตรตแล้วมาปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เจือจาง (จาก pH = 5.5 เป็น pH = 7.0)
2. นำไปต้มจนเดือดแล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างกระดาษกรองให้ทั่วด้วยน้ำร้อน 5-6 ครั้ง
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร นำไปต้มและเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตรทีละน้อยด้วยปิเปต คนให้ทั่วตลอดเวลา ต้มต่อให้เดือดอีก 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนหรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง
4. กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดแบเรียมคลอไรด์ (ทดสอบได้ด้วยการหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตลงในน้ำล้างตะกอน 8-10 มิลลิลิตรแล้วน้ำไม่ขุ่น)
5. นำกระดาษกรองที่มีตะกอนแบเรียมซัลเฟตใส่ถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ห่อกระดาษหลวมๆ เพื่อป้องกันตะกอนกระเด็นออกจากถ้วย
6. เผาที่อุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ นำออกจากเตาเผา ปิดฝาและทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์
7. ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

การคำนวณ

ร้อยละกำมาถันรวม = 13.738 x (A-B)/C

เมื่อ A = น้ำหนักรวมของตะกอนแบเรียมซัลเฟต จากตัวอย่างและครูซิเบิล (กรัม)

B = น้ำหนักของครูซิเบิล (กรัม)

C = น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น (กรัม)

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ค่าแรงตึงผิวระหว่างเฟสของสารละลายยางกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 6 % โดยน้ำหนัก ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของ NP9

ความเข้มข้น NP9 (โมล/ลิตร)	ค่าแรงตึงผิวระหว่างเฟส (mN/m)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0.000	9.10	9.30	9.30	9.23
0.025	8.30	8.10	8.20	8.20
0.050	7.50	7.60	7.40	7.50
0.075	6.00	6.00	5.90	5.97
0.080	5.40	5.30	5.50	5.40
0.090	5.20	5.30	5.30	5.27
0.100	5.30	5.10	5.20	5.20
0.125	5.20	5.30	5.20	5.23
0.150	5.20	5.20	5.20	5.20

ตารางที่ ง.2 ขนาดอนุภาคยางกับความเข้มข้นของ NP9 และ แรงตึงผิวระหว่างเฟส

ความเข้มข้น NP9 (โมล/ลิตร)	ค่าแรงตึงผิวระหว่างเฟส (mN/m)	เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (ไมโครเมตร)			
		1	2	3	เฉลี่ย
0.08	5.40	558.18	551.96	541.11	550.42
0.09	5.27	476.03	474.06	468.46	472.85
0.10	5.20	385.30	381.45	383.25	383.33

ตารางที่ ง.3 ค่าความดันที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับแก๊สไฮโดรเจนของอนุภาคยางผสมผงถ่านกัมมันต์ 0, 50, 100 phr และ ผงถ่านกัมมันต์ ที่ความดันเริ่มต้น 2 และ 10 บาร์

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
0	2.000	2.000	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000
1	1.986	1.979	1.968	1.950	9.875	9.844	9.841	9.787
2	1.985	1.976	1.966	1.948	9.867	9.835	9.830	9.781
3	1.984	1.975	1.965	1.947	9.863	9.830	9.825	9.779
4	1.983	1.973	1.964	1.945	9.859	9.827	9.823	9.776
5	1.982	1.973	1.964	1.945	9.858	9.824	9.820	9.775
6	1.982	1.970	1.963	1.944	9.855	9.821	9.817	9.775
7	1.980	1.970	1.962	1.944	9.853	9.819	9.814	9.773
8	1.980	1.969	1.961	1.942	9.852	9.817	9.813	9.771
9	1.978	1.968	1.961	1.941	9.849	9.815	9.811	9.769
10	1.977	1.968	1.959	1.941	9.847	9.812	9.809	9.769
11	1.976	1.966	1.958	1.939	9.845	9.811	9.808	9.767
12	1.975	1.965	1.956	1.939	9.843	9.809	9.807	9.763
13	1.975	1.965	1.956	1.938	9.839	9.809	9.804	9.761
14	1.973	1.962	1.956	1.936	9.836	9.808	9.803	9.759
15	1.972	1.961	1.955	1.936	9.834	9.806	9.803	9.757
16	1.972	1.960	1.954	1.935	9.831	9.804	9.801	9.755
17	1.970	1.959	1.953	1.934	9.829	9.804	9.799	9.750
18	1.970	1.957	1.951	1.933	9.826	9.802	9.799	9.748
19	1.969	1.957	1.951	1.932	9.824	9.801	9.796	9.745
20	1.967	1.954	1.949	1.930	9.820	9.801	9.795	9.742
21	1.967	1.952	1.947	1.928	9.819	9.799	9.794	9.740
22	1.966	1.952	1.946	1.928	9.815	9.798	9.793	9.738

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
23	1.965	1.950	1.945	1.927	9.812	9.796	9.792	9.734
24	1.963	1.949	1.943	1.926	9.808	9.795	9.792	9.733
25	1.963	1.948	1.943	1.926	9.805	9.795	9.791	9.729
26	1.962	1.947	1.941	1.923	9.803	9.794	9.790	9.726
27	1.962	1.945	1.941	1.923	9.800	9.793	9.788	9.723
28	1.960	1.944	1.938	1.921	9.798	9.791	9.785	9.722
29	1.959	1.943	1.938	1.920	9.796	9.791	9.784	9.719
30	1.959	1.942	1.938	1.919	9.791	9.791	9.784	9.717
31	1.957	1.940	1.936	1.918	9.789	9.790	9.782	9.714
32	1.957	1.939	1.935	1.917	9.787	9.788	9.781	9.709
33	1.956	1.938	1.935	1.915	9.786	9.786	9.778	9.708
34	1.954	1.936	1.933	1.915	9.785	9.785	9.776	9.706
35	1.952	1.935	1.932	1.914	9.782	9.785	9.776	9.702
36	1.952	1.933	1.930	1.913	9.780	9.785	9.774	9.701
37	1.951	1.931	1.930	1.913	9.778	9.784	9.774	9.698
38	1.949	1.931	1.928	1.910	9.776	9.783	9.773	9.696
39	1.949	1.928	1.928	1.910	9.775	9.782	9.771	9.694
40	1.947	1.927	1.928	1.909	9.772	9.780	9.770	9.692
41	1.946	1.925	1.925	1.908	9.770	9.779	9.770	9.690
42	1.945	1.923	1.925	1.907	9.768	9.778	9.767	9.688
43	1.944	1.923	1.924	1.905	9.767	9.777	9.766	9.685
44	1.944	1.922	1.923	1.904	9.765	9.777	9.766	9.682
45	1.942	1.921	1.922	1.903	9.763	9.775	9.766	9.681
46	1.942	1.921	1.921	1.903	9.762	9.773	9.762	9.678
47	1.942	1.921	1.921	1.903	9.761	9.772	9.761	9.677

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
48	1.942	1.920	1.921	1.903	9.760	9.772	9.761	9.674
49	1.942	1.920	1.921	1.903	9.758	9.771	9.760	9.671
50	1.942	1.920	1.921	1.902	9.757	9.770	9.758	9.670
51	1.941	1.920	1.921	1.902	9.755	9.769	9.757	9.669
52	1.941	1.920	1.920	1.902	9.754	9.768	9.757	9.668
53	1.941	1.919	1.920	1.902	9.752	9.767	9.756	9.666
54	1.941	1.919	1.920	1.902	9.750	9.766	9.756	9.664
55	1.941	1.919	1.920	1.902	9.749	9.766	9.754	9.662
56	1.940	1.919	1.920	1.901	9.749	9.765	9.753	9.660
57	1.940	1.919	1.919	1.901	9.747	9.764	9.752	9.657
58	1.940	1.918	1.919	1.901	9.745	9.764	9.751	9.656
59	1.940	1.918	1.919	1.901	9.745	9.764	9.750	9.655
60	1.939	1.918	1.919	1.901	9.743	9.763	9.750	9.653
61	1.939	1.918	1.919	1.901	9.741	9.763	9.748	9.652
62	1.939	1.917	1.919	1.901	9.740	9.761	9.748	9.651
63	1.939	1.917	1.919	1.900	9.740	9.761	9.744	9.650
64	1.939	1.917	1.919	1.900	9.738	9.761	9.744	9.648
65	1.938	1.917	1.918	1.900	9.738	9.761	9.744	9.647
66	1.938	1.917	1.918	1.900	9.737	9.760	9.743	9.646
67	1.938	1.917	1.918	1.900	9.736	9.760	9.741	9.645
68	1.938	1.916	1.918	1.900	9.735	9.759	9.740	9.644
69	1.938	1.916	1.918	1.900	9.735	9.759	9.739	9.643
70	1.938	1.916	1.918	1.900	9.733	9.759	9.739	9.643
71	1.938	1.916	1.918	1.900	9.733	9.758	9.738	9.643
72	1.938	1.915	1.917	1.899	9.731	9.758	9.738	9.642

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
73	1.937	1.915	1.917	1.899	9.730	9.758	9.737	9.641
74	1.937	1.915	1.917	1.899	9.730	9.758	9.737	9.640
75	1.937	1.915	1.917	1.899	9.729	9.758	9.735	9.638
76	1.937	1.915	1.917	1.899	9.729	9.758	9.735	9.637
77	1.937	1.915	1.917	1.899	9.729	9.757	9.734	9.636
78	1.937	1.915	1.916	1.899	9.728	9.757	9.734	9.635
79	1.936	1.915	1.916	1.899	9.728	9.757	9.734	9.635
80	1.936	1.915	1.916	1.899	9.727	9.756	9.733	9.635
81	1.936	1.914	1.916	1.898	9.727	9.756	9.732	9.635
82	1.936	1.914	1.916	1.898	9.727	9.756	9.731	9.635
83	1.936	1.914	1.916	1.898	9.727	9.755	9.731	9.635
84	1.936	1.914	1.915	1.898	9.727	9.755	9.731	9.635
85	1.936	1.914	1.915	1.898	9.727	9.755	9.731	9.634
86	1.936	1.914	1.915	1.898	9.727	9.753	9.731	9.634
87	1.936	1.914	1.915	1.897	9.727	9.753	9.731	9.634
88	1.935	1.914	1.915	1.897	9.727	9.752	9.731	9.633
89	1.935	1.913	1.915	1.897	9.726	9.752	9.731	9.633
90	1.935	1.913	1.915	1.897	9.726	9.752	9.729	9.633
91	1.935	1.913	1.915	1.897	9.726	9.752	9.729	9.632
92	1.935	1.913	1.915	1.897	9.726	9.752	9.729	9.632
93	1.935	1.913	1.915	1.897	9.725	9.752	9.729	9.632
94	1.935	1.913	1.914	1.897	9.724	9.752	9.728	9.631
95	1.935	1.913	1.914	1.897	9.724	9.751	9.728	9.631
96	1.935	1.912	1.914	1.897	9.723	9.750	9.728	9.631
97	1.935	1.912	1.914	1.897	9.723	9.750	9.728	9.631

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
98	1.935	1.912	1.914	1.897	9.723	9.750	9.727	9.630
99	1.935	1.912	1.914	1.897	9.723	9.747	9.727	9.630
100	1.935	1.912	1.914	1.896	9.723	9.747	9.727	9.629
101	1.935	1.912	1.914	1.896	9.723	9.747	9.727	9.629
102	1.935	1.912	1.914	1.896	9.723	9.747	9.727	9.629
103	1.935	1.912	1.913	1.896	9.723	9.747	9.727	9.629
104	1.935	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
105	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
106	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
107	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
108	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
109	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
110	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
111	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
112	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
113	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
114	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
115	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
116	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
117	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
118	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
119	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629
120	1.934	1.911	1.913	1.896	9.723	9.746	9.727	9.629

ตารางที่ ง.4 ค่าความดันที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับแก๊สมีเทนของอนุภาคยางผสมผงถ่านกัมมันต์ 0, 50, 100 phr และ ผงถ่านกัมมันต์ ที่ความดันเริ่มต้น 2 และ 10 บาร์

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
0	2.000	2.000	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000
1	1.925	1.932	1.924	1.912	9.843	9.834	9.713	9.727
2	1.922	1.929	1.922	1.908	9.832	9.823	9.701	9.710
3	1.921	1.928	1.920	1.907	9.825	9.817	9.696	9.705
4	1.919	1.928	1.919	1.907	9.819	9.812	9.691	9.703
5	1.919	1.927	1.919	1.907	9.815	9.808	9.687	9.700
6	1.918	1.927	1.917	1.906	9.811	9.805	9.687	9.698
7	1.917	1.926	1.917	1.906	9.807	9.804	9.686	9.696
8	1.916	1.926	1.917	1.903	9.804	9.801	9.684	9.695
9	1.916	1.926	1.916	1.901	9.800	9.799	9.682	9.694
10	1.915	1.926	1.915	1.900	9.797	9.795	9.681	9.694
11	1.914	1.926	1.914	1.899	9.794	9.794	9.679	9.694
12	1.914	1.926	1.914	1.899	9.790	9.794	9.672	9.692
13	1.914	1.925	1.913	1.898	9.788	9.792	9.671	9.690
14	1.913	1.925	1.911	1.898	9.785	9.791	9.671	9.689
15	1.913	1.924	1.911	1.897	9.783	9.789	9.670	9.689
16	1.912	1.923	1.910	1.896	9.780	9.787	9.669	9.688
17	1.911	1.923	1.909	1.896	9.778	9.786	9.668	9.687
18	1.911	1.923	1.907	1.896	9.776	9.786	9.668	9.685
19	1.911	1.923	1.907	1.896	9.773	9.785	9.667	9.683
20	1.911	1.922	1.906	1.896	9.771	9.785	9.666	9.683
21	1.911	1.922	1.904	1.894	9.769	9.785	9.666	9.683
22	1.910	1.921	1.904	1.893	9.768	9.783	9.666	9.683

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
23	1.909	1.920	1.902	1.893	9.765	9.782	9.665	9.682
24	1.908	1.920	1.901	1.893	9.763	9.781	9.665	9.681
25	1.908	1.920	1.901	1.892	9.760	9.779	9.665	9.679
26	1.908	1.920	1.900	1.891	9.759	9.778	9.664	9.679
27	1.907	1.919	1.898	1.891	9.757	9.777	9.662	9.678
28	1.905	1.919	1.898	1.890	9.754	9.777	9.662	9.678
29	1.904	1.918	1.897	1.889	9.753	9.775	9.660	9.677
30	1.904	1.918	1.897	1.888	9.752	9.774	9.659	9.677
31	1.903	1.918	1.896	1.888	9.750	9.774	9.658	9.675
32	1.902	1.918	1.894	1.888	9.750	9.772	9.658	9.675
33	1.902	1.918	1.893	1.887	9.747	9.770	9.657	9.674
34	1.901	1.918	1.893	1.886	9.745	9.770	9.657	9.673
35	1.900	1.917	1.892	1.885	9.743	9.770	9.655	9.673
36	1.900	1.916	1.891	1.885	9.742	9.769	9.655	9.673
37	1.900	1.915	1.891	1.885	9.740	9.767	9.655	9.671
38	1.900	1.915	1.890	1.884	9.740	9.767	9.655	9.671
39	1.900	1.915	1.888	1.883	9.737	9.767	9.653	9.671
40	1.899	1.914	1.888	1.883	9.736	9.765	9.653	9.670
41	1.899	1.913	1.886	1.883	9.735	9.764	9.652	9.669
42	1.898	1.913	1.886	1.882	9.733	9.764	9.651	9.668
43	1.898	1.912	1.885	1.882	9.730	9.763	9.651	9.667
44	1.897	1.912	1.885	1.880	9.730	9.761	9.650	9.666
45	1.896	1.911	1.883	1.880	9.727	9.761	9.649	9.665
46	1.895	1.911	1.883	1.879	9.727	9.759	9.648	9.665
47	1.895	1.910	1.880	1.879	9.725	9.759	9.647	9.665

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
48	1.894	1.910	1.880	1.877	9.724	9.759	9.647	9.664
49	1.893	1.909	1.880	1.877	9.724	9.759	9.647	9.663
50	1.893	1.908	1.879	1.877	9.723	9.758	9.647	9.663
51	1.892	1.908	1.878	1.877	9.722	9.758	9.647	9.662
52	1.891	1.908	1.878	1.875	9.720	9.757	9.647	9.661
53	1.890	1.908	1.877	1.875	9.720	9.757	9.647	9.661
54	1.890	1.908	1.875	1.875	9.718	9.757	9.645	9.661
55	1.890	1.907	1.875	1.875	9.718	9.757	9.645	9.661
56	1.889	1.907	1.875	1.874	9.717	9.756	9.643	9.661
57	1.889	1.907	1.874	1.872	9.714	9.755	9.643	9.660
58	1.888	1.907	1.872	1.872	9.713	9.754	9.643	9.659
59	1.887	1.906	1.872	1.871	9.713	9.754	9.643	9.659
60	1.887	1.906	1.872	1.870	9.713	9.753	9.643	9.658
61	1.887	1.906	1.871	1.870	9.712	9.752	9.643	9.657
62	1.887	1.906	1.871	1.870	9.711	9.752	9.641	9.657
63	1.887	1.906	1.870	1.870	9.710	9.751	9.641	9.657
64	1.887	1.906	1.870	1.870	9.709	9.751	9.641	9.657
65	1.886	1.906	1.869	1.870	9.708	9.751	9.639	9.657
66	1.886	1.906	1.869	1.870	9.707	9.751	9.639	9.656
67	1.886	1.906	1.868	1.870	9.707	9.749	9.639	9.656
68	1.886	1.905	1.868	1.870	9.707	9.749	9.639	9.656
69	1.886	1.905	1.868	1.870	9.705	9.749	9.639	9.656
70	1.885	1.905	1.868	1.870	9.705	9.749	9.638	9.655
71	1.885	1.905	1.868	1.869	9.705	9.748	9.638	9.654
72	1.885	1.905	1.867	1.869	9.704	9.747	9.636	9.653

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
73	1.885	1.905	1.866	1.869	9.702	9.747	9.636	9.652
74	1.885	1.905	1.866	1.869	9.702	9.747	9.636	9.652
75	1.885	1.905	1.866	1.869	9.701	9.747	9.635	9.652
76	1.885	1.905	1.866	1.869	9.700	9.746	9.635	9.652
77	1.884	1.905	1.865	1.869	9.700	9.745	9.634	9.652
78	1.884	1.905	1.865	1.869	9.699	9.745	9.634	9.652
79	1.884	1.905	1.865	1.869	9.699	9.745	9.634	9.652
80	1.884	1.904	1.864	1.869	9.698	9.744	9.633	9.652
81	1.884	1.904	1.864	1.869	9.698	9.744	9.632	9.652
82	1.884	1.904	1.864	1.869	9.698	9.744	9.632	9.652
83	1.884	1.904	1.864	1.868	9.698	9.743	9.632	9.652
84	1.884	1.904	1.862	1.868	9.697	9.743	9.630	9.652
85	1.884	1.904	1.862	1.868	9.697	9.743	9.630	9.652
86	1.883	1.904	1.862	1.867	9.696	9.743	9.630	9.652
87	1.883	1.904	1.862	1.867	9.696	9.743	9.630	9.652
88	1.883	1.904	1.862	1.867	9.695	9.743	9.629	9.652
89	1.883	1.904	1.862	1.866	9.695	9.743	9.629	9.652
90	1.883	1.904	1.862	1.866	9.694	9.743	9.629	9.650
91	1.882	1.904	1.862	1.866	9.694	9.743	9.628	9.650
92	1.882	1.904	1.861	1.866	9.693	9.742	9.628	9.648
93	1.882	1.904	1.860	1.866	9.693	9.742	9.628	9.648
94	1.882	1.904	1.860	1.866	9.693	9.742	9.627	9.648
95	1.882	1.904	1.860	1.866	9.693	9.742	9.627	9.648
96	1.882	1.904	1.859	1.866	9.692	9.741	9.627	9.648
97	1.882	1.903	1.859	1.866	9.692	9.741	9.627	9.648

ความดันเริ่มต้น	2 บาร์				10 บาร์			
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)				ความดัน (บาร์)			
	0 phr	50 phr	100phr	AC	0 phr	50 phr	100phr	AC
98	1.882	1.903	1.858	1.866	9.691	9.740	9.627	9.648
99	1.882	1.903	1.858	1.866	9.691	9.739	9.627	9.648
100	1.882	1.903	1.858	1.866	9.690	9.739	9.627	9.648
101	1.882	1.903	1.858	1.866	9.689	9.739	9.627	9.648
102	1.882	1.903	1.858	1.866	9.689	9.739	9.627	9.647
103	1.882	1.903	1.858	1.866	9.689	9.739	9.626	9.647
104	1.882	1.903	1.857	1.866	9.689	9.739	9.626	9.647
105	1.882	1.903	1.857	1.866	9.689	9.739	9.625	9.647
106	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
107	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
108	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
109	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
110	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
111	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
112	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
113	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
114	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
115	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
116	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
117	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
118	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
119	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647
120	1.882	1.903	1.857	1.865	9.689	9.739	9.625	9.647

ตารางที่ ง.5 ปริมาณอนุภาคยางที่ใช้ในการดูดซับแก๊สไฮโดรเจน ที่ความดันเริ่มต้น 2 และ 10 บาร์

	น้ำหนักอนุภาค (กรัม)	
	ความดันเริ่มต้น 2 บาร์	ความดันเริ่มต้น 10 บาร์
0 phr	1.0197	1.3507
50 phr	1.2010	1.1041
100 phr	1.1572	1.1141
AC	1.0220	1.0184

ตารางที่ ง.6 ปริมาณอนุภาคยางที่ใช้ในการดูดซับแก๊สมีเทน ที่ความดันเริ่มต้น 2 และ 10 บาร์

	น้ำหนักอนุภาค (กรัม)	
	ความดันเริ่มต้น 2 บาร์	ความดันเริ่มต้น 10 บาร์
0 phr	1.5280	1.3847
50 phr	1.1176	1.0331
100 phr	1.4691	1.4120
AC	1.0198	1.0146

ตารางที่ ง.7 ค่าความดันที่เวลาต่างๆ ในการดูดซับแก๊สไฮโดรเจนของอนุภาคยางกับจำนวนครั้งการดูดซับ ที่ความดันเริ่มต้น 10 บาร์

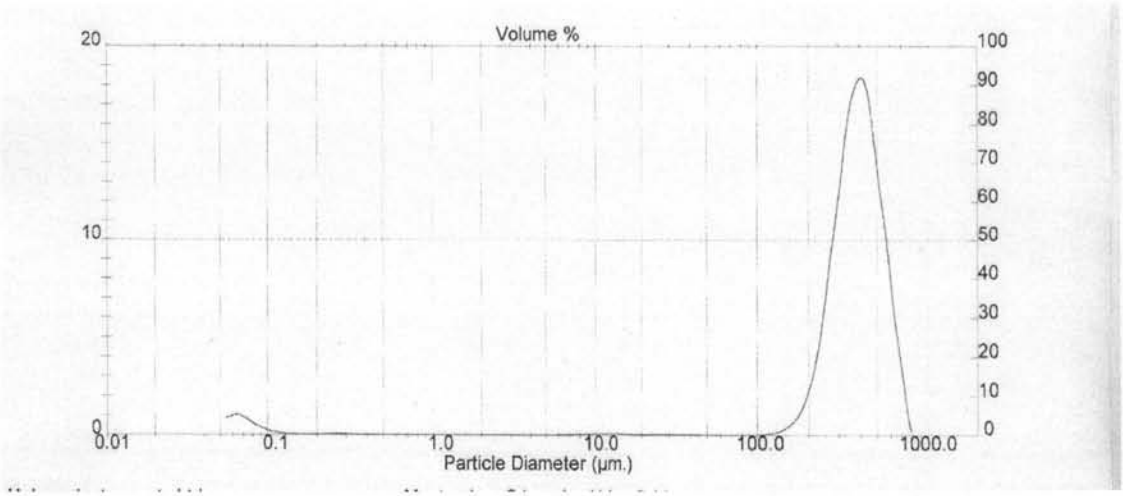
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7
0	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
1	9.871	9.805	9.938	9.880	9.934	9.910	9.874
2	9.863	9.794	9.828	9.868	9.923	9.897	9.862
3	9.859	9.789	9.823	9.861	9.916	9.887	9.854
4	9.855	9.785	9.819	9.855	9.909	9.880	9.846
5	9.854	9.784	9.815	9.850	9.904	9.875	9.841
6	9.851	9.782	9.813	9.846	9.899	9.870	9.836
7	9.849	9.781	9.810	9.842	9.894	9.865	9.832
8	9.848	9.779	9.807	9.840	9.890	9.860	9.828
9	9.845	9.778	9.805	9.836	9.885	9.855	9.823
10	9.843	9.776	9.803	9.832	9.881	9.850	9.820
11	9.841	9.775	9.801	9.828	9.878	9.845	9.818
12	9.839	9.774	9.799	9.824	9.875	9.840	9.814
13	9.835	9.772	9.797	9.822	9.870	9.835	9.811
14	9.832	9.771	9.795	9.820	9.867	9.831	9.808
15	9.830	9.770	9.793	9.816	9.863	9.827	9.805
16	9.827	9.769	9.791	9.812	9.859	9.823	9.802
17	9.825	9.767	9.790	9.809	9.855	9.819	9.800
18	9.822	9.766	9.788	9.805	9.852	9.815	9.796
19	9.820	9.766	9.785	9.803	9.848	9.811	9.794
20	9.816	9.765	9.784	9.800	9.844	9.807	9.792
21	9.815	9.764	9.783	9.797	9.841	9.804	9.788
22	9.811	9.763	9.782	9.795	9.838	9.801	9.785
23	9.808	9.761	9.779	9.793	9.835	9.798	9.781

เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7
24	9.804	9.760	9.778	9.789	9.832	9.795	9.778
25	9.801	9.759	9.774	9.787	9.828	9.792	9.777
26	9.799	9.758	9.773	9.783	9.825	9.789	9.775
27	9.796	9.757	9.772	9.781	9.821	9.786	9.773
28	9.794	9.756	9.770	9.779	9.819	9.783	9.770
29	9.792	9.756	9.768	9.776	9.815	9.780	9.768
30	9.787	9.754	9.766	9.773	9.813	9.778	9.766
31	9.785	9.754	9.765	9.770	9.809	9.776	9.764
32	9.783	9.754	9.763	9.767	9.805	9.774	9.762
33	9.782	9.753	9.762	9.765	9.803	9.771	9.760
34	9.781	9.751	9.760	9.764	9.801	9.768	9.758
35	9.778	9.750	9.760	9.761	9.797	9.766	9.756
36	9.776	9.750	9.759	9.760	9.795	9.764	9.755
37	9.774	9.749	9.757	9.758	9.792	9.762	9.752
38	9.772	9.748	9.756	9.754	9.790	9.760	9.749
39	9.771	9.747	9.756	9.753	9.786	9.757	9.748
40	9.768	9.746	9.754	9.751	9.784	9.755	9.747
41	9.766	9.744	9.754	9.749	9.782	9.753	9.744
42	9.764	9.743	9.752	9.747	9.780	9.750	9.742
43	9.763	9.742	9.752	9.745	9.777	9.748	9.741
44	9.761	9.742	9.750	9.743	9.775	9.746	9.740
45	9.759	9.741	9.749	9.742	9.774	9.744	9.740
46	9.758	9.740	9.748	9.741	9.770	9.741	9.739
47	9.757	9.739	9.747	9.738	9.769	9.739	9.739
48	9.756	9.739	9.746	9.736	9.767	9.737	9.737
49	9.754	9.738	9.745	9.734	9.765	9.736	9.736

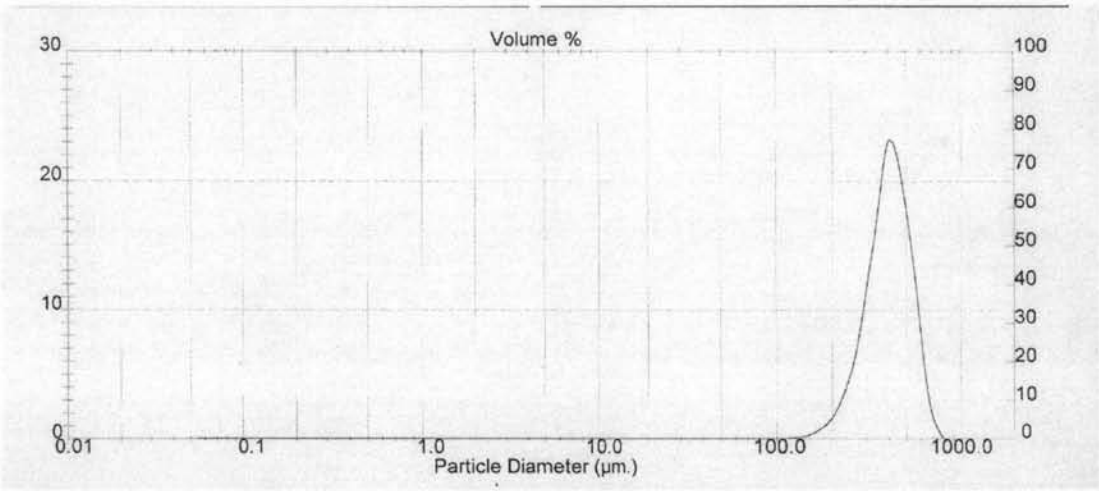
เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7
50	9.753	9.737	9.745	9.732	9.762	9.734	9.734
51	9.751	9.736	9.745	9.730	9.761	9.732	9.733
52	9.750	9.736	9.743	9.729	9.758	9.730	9.732
53	9.748	9.736	9.742	9.729	9.756	9.729	9.731
54	9.746	9.735	9.740	9.728	9.755	9.729	9.729
55	9.745	9.734	9.740	9.727	9.753	9.729	9.728
56	9.745	9.734	9.739	9.726	9.751	9.729	9.727
57	9.743	9.733	9.738	9.725	9.750	9.728	9.726
58	9.741	9.732	9.738	9.724	9.748	9.727	9.725
59	9.741	9.732	9.737	9.724	9.747	9.726	9.725
60	9.739	9.731	9.736	9.722	9.745	9.725	9.724
61	9.737	9.730	9.736	9.721	9.744	9.724	9.724
62	9.736	9.730	9.735	9.721	9.742	9.724	9.724
63	9.736	9.729	9.735	9.720	9.741	9.724	9.724
64	9.734	9.728	9.735	9.720	9.740	9.723	9.722
65	9.734	9.727	9.735	9.719	9.739	9.722	9.721
66	9.733	9.726	9.734	9.718	9.738	9.722	9.721
67	9.732	9.725	9.734	9.718	9.736	9.722	9.721
68	9.731	9.725	9.734	9.718	9.735	9.722	9.720
69	9.731	9.725	9.733	9.718	9.733	9.722	9.719
70	9.729	9.725	9.732	9.718	9.732	9.722	9.718
71	9.729	9.724	9.731	9.717	9.731	9.721	9.718
72	9.727	9.724	9.731	9.716	9.730	9.721	9.718
73	9.726	9.724	9.731	9.716	9.730	9.721	9.718
74	9.726	9.723	9.731	9.716	9.729	9.721	9.718
75	9.725	9.723	9.731	9.715	9.728	9.721	9.718

เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7
76	9.725	9.723	9.731	9.715	9.727	9.721	9.717
77	9.725	9.723	9.730	9.715	9.726	9.721	9.717
78	9.724	9.722	9.730	9.714	9.726	9.721	9.717
79	9.724	9.722	9.730	9.714	9.726	9.720	9.717
80	9.723	9.722	9.730	9.714	9.726	9.720	9.717
81	9.723	9.722	9.730	9.714	9.725	9.720	9.717
82	9.723	9.722	9.730	9.714	9.725	9.720	9.717
83	9.723	9.722	9.729	9.714	9.725	9.720	9.717
84	9.723	9.721	9.729	9.713	9.725	9.720	9.716
85	9.723	9.721	9.729	9.713	9.725	9.720	9.716
86	9.723	9.721	9.729	9.713	9.725	9.720	9.716
87	9.723	9.721	9.729	9.713	9.724	9.720	9.716
88	9.723	9.721	9.729	9.713	9.724	9.720	9.716
89	9.722	9.721	9.729	9.713	9.724	9.719	9.716
90	9.722	9.721	9.729	9.713	9.724	9.719	9.715
91	9.722	9.721	9.729	9.713	9.724	9.719	9.715
92	9.722	9.720	9.729	9.713	9.724	9.719	9.715
93	9.721	9.720	9.729	9.713	9.724	9.719	9.715
94	9.720	9.720	9.729	9.713	9.724	9.719	9.715
95	9.720	9.720	9.728	9.712	9.724	9.719	9.715
96	9.719	9.720	9.728	9.712	9.724	9.719	9.715
97	9.719	9.720	9.728	9.712	9.724	9.719	9.715
98	9.719	9.719	9.728	9.712	9.723	9.719	9.715
99	9.719	9.719	9.728	9.712	9.723	9.719	9.715
100	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.719	9.715
101	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.719	9.715

เวลา (นาที)	ความดัน (บาร์)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7
102	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.719	9.715
103	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.718	9.715
104	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.718	9.715
105	9.719	9.719	9.728	9.711	9.723	9.718	9.714
106	9.719	9.719	9.728	9.711	9.722	9.718	9.714
107	9.719	9.719	9.727	9.711	9.722	9.718	9.714
108	9.718	9.719	9.727	9.711	9.722	9.718	9.714
109	9.718	9.718	9.727	9.711	9.722	9.718	9.714
110	9.718	9.718	9.727	9.711	9.722	9.718	9.714
111	9.718	9.718	9.727	9.711	9.722	9.718	9.714
112	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
113	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
114	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
115	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
116	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
117	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
118	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
119	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714
120	9.718	9.718	9.727	9.710	9.722	9.718	9.714



รูปที่ ง.1 กราฟขนาดอนุภาคยางที่ความเข้มข้นของ NP9 0.1 โมลต่อลิตร



รูปที่ ง.2 กราฟขนาดอนุภาคยางผสมผงถ่านกัมมันต์ 100 phr ที่ความเข้มข้นของ NP9 0.1 โมลต่อลิตร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรพันธ์ กิจธนากำจร เกิดเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2524 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547