



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษานวัตกรรม การเคลือบผิวยางด้วยสารช่วยจับตัวในรูปสารประกอบเชิงซ้อนโดย
เทคนิคโซล-เจล

โดย ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์ และคณะ

กันยายน 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษานวัตกรรม การเคลือบผิวยางด้วยสารช่วยจับตัวในรูปสารประกอบเชิงซ้อนโดย
เทคนิคโซล-เจล

คณะผู้วิจัย

1. ดร.นุชนา ตั้งบริบูรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์
2. นางสาวศิริกาญจน์ ภักดีนิต ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์

สังกัด

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา (Small Projects on Rubber; SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝาย 5 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย RDG 5350027 ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำยางชั้นชนิด HA เครื่องทดสอบทางกล เครื่องวัดความหนา ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบการวิเคราะห์พื้นที่ผิวขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำนวยความสะดวกสถานที่ปฏิบัติการวิจัย

รายงานการวิจัยนี้มีความสมบูรณ์โดยได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านจากหน่วยงานต่างๆดังกล่าวข้างต้นมา ณ โอกาสนี้ จากการประสานงานเรื่องทุนวิจัย การให้บริการวิเคราะห์และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นงานวิจัยด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัยฯ

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	3
วัตถุประสงค์	4
ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง	4
วัสดุ-อุปกรณ์และวิธีการ	7
วิธีการทดลอง	9
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	15
สรุป	25
ข้อเสนอแนะ	25
อ้างอิง	26
ภาคผนวก	
ภาคผนวก 1 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอร์มของปูนปลาสเตอร์	28
ภาคผนวก 2 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอร์มของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกต	29
ภาคผนวก 3 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอร์มของซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกต	30

สารบัญแผนภาพ		
แผนภาพที่		หน้า
1	สายการผลิตถุงมือยาง	3
2	กระบวนการขึ้นรูปโดยเทคนิคโซล-เจล	4
3	ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางชั้น	5
4	ตัวอย่างรูปทรงดัมเบลล์ (Dumbbell shape) สำหรับทดสอบแรงดึง	8
5	แบบพิมพ์พลาสติกที่ใช้ในการวิจัย	10
6	แสดงการเตรียมเจลเปียกและเจลแห้งของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต	11
7	การทดสอบการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับตัวและน้ำยาง ชั้นชนิด HA	13
8	แรงตึงผิวระหว่างรอยต่อที่ผิวของของเหลว ของแข็งที่มีผลต่อค่า wetting and nonwetting	13
9	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัส (contact angle), องค์ประกอบของ wetting, และความแข็งแรงระหว่างผิวหน้าวัสดุของแข็งและของเหลว (interfacial interaction between solid surface and liquid)	14

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การทดสอบสมบัติน้ำยางข้น	9
2	ผลทดสอบสมบัติน้ำยางข้นตามมาตรฐาน	15
3	ผลการทดสอบขนาดและปริมาณรพูนของแคลเซียมซิติลิกเตดและปูนปลาสเตอร์	16
4	เวลาที่ใช้ในการแห้งของแบบพิมพ์ปลาสเตอร์เมื่อเคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ ปลาสเตอร์ (Coagulant)	20
5	เวลาคงรูปของน้ำยางบนแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิด เจลเปือกแคลเซียมซิติลิกเตดและแคลเซียมคลอไรด์	20
6	ความหนาของฟิล์มยางหน่วยเป็นมิลลิเมตรระหว่างตัวอย่างแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิดเจลเปือกแคลเซียมซิติลิกเตดและแคลเซียมคลอไรด์	23
7	การรับแรงดึงของตัวอย่างฟิล์มยางที่เคลือบด้วยเจลเปือกแคลเซียมซิติลิกเตดและ แคลเซียมคลอไรด์	24

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	ขนาดอนุภาคของปูนปลาสเตอร์	17
2	ขนาดอนุภาคของซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง	17
3	ขนาดอนุภาคของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกต	18
4	การนำแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่ไม่มีสารช่วยจับตัว (Coagulant) จุ่มลงในน้ำยางข้น	19
5	มูมส์มัดของน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียม ซิลิเกต	21
6	การจับตัวของน้ำยางข้นบนผิวแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียม ซิลิเกต	21
7	มูมส์มัดของน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์	22
8	การจับตัวของน้ำยางข้นบนผิวแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์	22
9	ฟิล์มยางที่ได้จากแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่จุ่มเคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต นาน 1 นาที	23

บทคัดย่อ

เจลของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3 gel) ที่เตรียมจากสารประกอบแคลเซียมออกไซด์และฟุ่มซิลิกา ผ่านกระบวนการโซล-เจล สามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยจับพิมพ์ (Coagulant) ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มยาง เช่น ถูมือ ลูกโป่ง ถูยาง ได้เช่นเดียวกับสารช่วยจับพิมพ์ชนิดอื่นๆ โดยการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกลงในเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต ปลดปล่อยให้แห้งแล้วจึงนำไปจุ่มลงในน้ำยางข้นชนิด HA จะได้ฟิล์มยางที่บางและรับแรงดึงยืดได้สูง เช่นเดียวกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มยางจากน้ำยางข้น นิยมใช้เป็นสารช่วยจับพิมพ์ พบว่าสถานะที่เหมาะสมของการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกลงในสารช่วยจับพิมพ์ควรใช้เวลาประมาณ 1 นาที และเมื่อพิมพ์ที่เคลือบสารช่วยจับพิมพ์แห้ง ควรนำไปจุ่มลงในน้ำยางข้นนานประมาณ 3 นาที เวลาที่น้ำยางข้นชนิด HA เกิดการคงรูปจนแห้งบนผิวแบบพิมพ์นานประมาณ 318.70 ± 31.04 วินาที ฟิล์มยางที่ได้จะมีความหนาเท่ากับ 0.328 ± 0.001 มิลลิเมตร ค่ามุมสัมผัส (contact angle) เท่ากับ 60 องศา ความสูงจากฐานถึงยอดของหยดน้ำยางข้นเท่ากับ 5.6 มิลลิเมตร สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตฟิล์มยางโดยการเปรียบเทียบฟิล์มยางที่เตรียมได้ เช่น รูปร่างของพิมพ์พลาสติก เวลาของการจุ่มเคลือบระหว่างเจลแคลเซียมซิลิเกตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ รวมทั้งศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการคงรูปน้ำยางข้น ความสามารถรับแรงดึงยืดของฟิล์มยาง และมุมสัมผัสของน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ทั้งสองชนิด

คำสำคัญ สารช่วยการยึดเกาะ มุมสัมผัส แบบพิมพ์พลาสติก แคลเซียมซิลิเกต

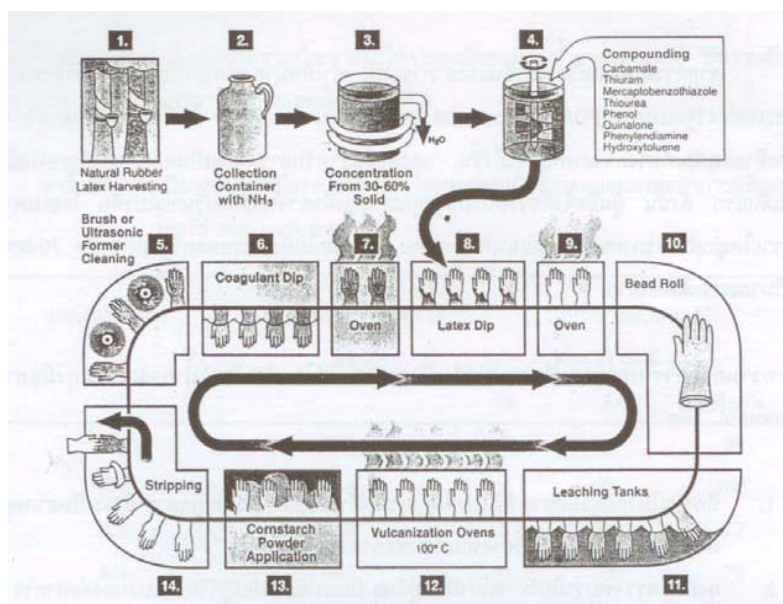
Abstract

Calcium silicate gel prepared from calcium oxide compounds and fumed silica via sol-gel process. Calcium silicate gel can be used as a coagulant in latex films industries i.e. gloves; balloons; condoms as other coagulants. Plaster molds were dipped into calcium silicate gel, let plaster molds dry, then dipped the plaster molds coated with coagulant into HA concentrated latex to obtain thin and high tensile strength latex films. In general, most the latex film industries used calcium chloride solution as coagulant. The suitable condition of the experimental is dipping the plaster mold into the wet gel of calcium silicate for 1 minute and let it dry. After that, the plaster mold coated with calcium silicate gel dipped into the HA concentrated latex for 3 minutes. The duration time of dipping plaster mold coated with calcium silicate wet gel into concentrated rubber latex and casting to the latex film is approximately 318.70 ± 31.04 seconds. The thickness of obtained concentrated latex film is 0.328 ± 0.001 mm. The contact angle and height of concentrated latex on plaster mold coated with calcium silicate gel are equal to 60° and 5.6 mm, respectively. This research focused to study factors effect on latex films by comparison received latex films such as shapes of plaster molds, time of dipping in between calcium silicate gel and calcium chloride solution. Furthermore, the drying time, tensile strength, and contact angle of latex on plaster molds coated with two kinds of coagulants were studied.

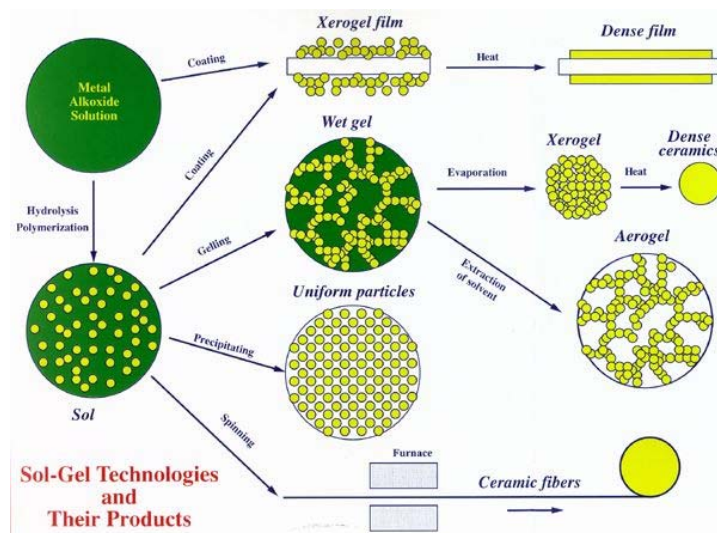
Keywords: Coagulant; Contact angle; Plaster mold; Calcium silicate

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากโจทย์วิจัยเรื่องนวัตกรรมการผลิตแม่พิมพ์ด้วยสารช่วยการจับตัวของยางที่ให้อะเอียดการผลิตสูงมือยางจะมีแม่พิมพ์เซรามิกเป็นรูปมือเพื่อจุ่มลงในน้ำยางข้น แต่ก่อนจุ่มจะต้องเอาแม่พิมพ์จุ่มลงในสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ (Coagulant) ซึ่งเป็นสารละลายน้ำกับสารประกอบแคลเซียมในรูปของ CaCl_2 , CaNO_3 และ CaCO_3 เพื่อช่วยการถอดถุงมือ และหลังจากจุ่มจะต้องผ่านลมร้อน 100°C เพื่อระเหยน้ำออก เหลือผง CaCl_2 หรือ CaNO_3 และ CaCO_3 ติดแม่พิมพ์ หลังจากนั้นทำให้เย็นลงแล้วจุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์ สารเคมีที่ค้างอยู่ในแม่พิมพ์นั้นทำหน้าที่ให้ยางจับตัวกับแม่พิมพ์ และช่วยหล่อลื่นการถอดถุงมือเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังรูปสายการผลิตถุงมือยาง ดังนั้นแนวทางที่ผู้วิจัยนำเสนอคือ การใช้สารประกอบเซรามิกที่มีรูปร่างซับซ้อนเช่น CaSiO_3 หรือ CaAl_2O_4 จากกระบวนการโซล-เจล ทำหน้าที่คล้ายสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ (Coagulant) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นคล้ายเจลแล้วนำมาเคลือบโดยการพ่น(แบบพ่นสีรถ)หรือการเกาะติดด้วยหลักการไฟฟ้าสถิตย์ หรือเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าที่เรียกว่า CVD หรืออาจใช้วิธีทา ลงบนผิวแบบพิมพ์เซรามิก หากทิ้งไว้โดยการผึ่งลมหรือแดดเพียงเล็กน้อย เจลดังกล่าวจะแห้งแล้วจึงนำไปจุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์ เป็นแนวทางแก้ปัญหาวิธีหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตทั้งด้านวัตถุดิบและพลังงาน การใช้เทคนิคโซล-เจลทำให้เกิดโครงสร้างสารประกอบเซรามิกที่ซับซ้อนทั้งในรูปพรีเคอร์เซอร์ และ/หรือสารประกอบเมทออลออกไซด์ที่เสถียร โดยการใช้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและลม รวมทั้งสภาพอากาศจากสิ่งแวดล้อมช่วยทำให้สารประกอบเซรามิกแห้งกลายเป็นผงอนุภาคแล้วนำมาประยุกต์ใช้กับการเคลือบบนผิวแบบพิมพ์เซรามิก โซล-เจลเป็นเทคนิคที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยวิธีเคมีผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสและคอนเดนเซชันทำให้ได้โครงสร้างอยู่ในรูปของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง วิธีดังกล่าวทำให้ได้สารประกอบบริสุทธิ์ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสม่ำเสมอ ประหยัดพลังงานและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง อาทิเช่น ค่ะตะลิสต์ เมมเบรน ฉนวนความร้อน เส้นใยไฟเบอร์ อนุภาคบริสุทธิ์ และฟิล์มบาง โครงการวิจัยนี้จะอาศัยหลักการเกิดฟิล์มบางโดยเทคนิคโซล-เจลเพื่อประยุกต์ติดสารประกอบเชิงซ้อนเซรามิกบนผิวแบบพิมพ์



แผนภาพที่ 1 สายการผลิตถุงมือยาง



แผนภาพที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปโดยเทคนิคโซล-เจล

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษานวัตกรรมการเคลือบผิวยางด้วยสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนโดยเทคนิคโซล-เจล

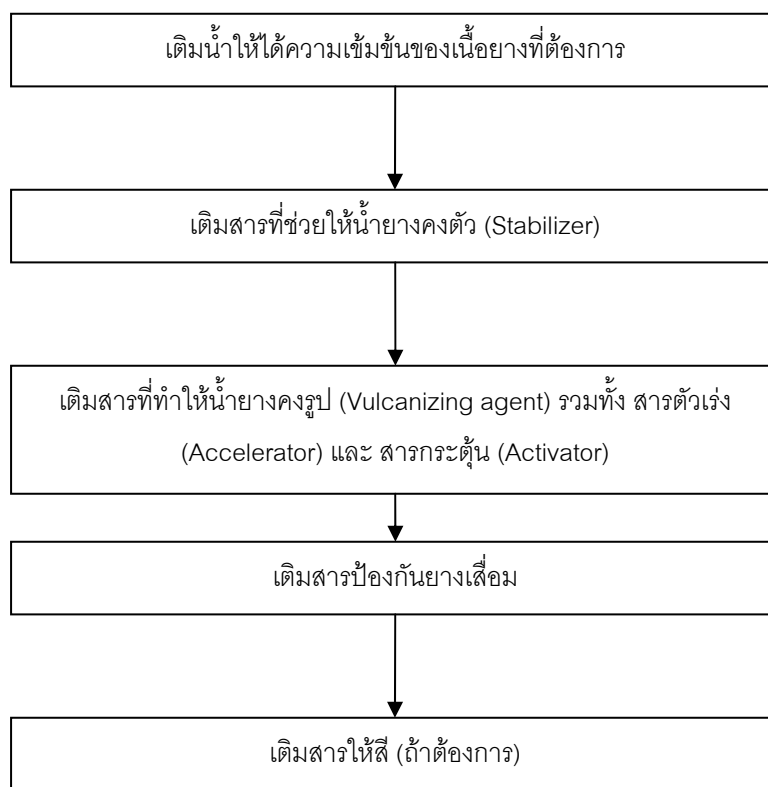
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

จากโจทย์วิจัยเรื่องนวัตกรรมการเคลือบแม่พิมพ์ด้วยสารช่วยการจับตัวของยางที่ให้อายุการผลิตสูงมีอย่างจะมีแม่พิมพ์เซรามิกเป็นรูปมือเพื่อจุ่มลงในน้ำยางข้น แต่ก่อนจุ่มจะต้องเอาแม่พิมพ์จุ่มลงในสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ (Coagulant) ซึ่งเป็นสารละลายน้ำกับสารประกอบแคลเซียมในรูปของ CaCl_2 , CaNO_3 และ CaCO_3 เพื่อช่วยการถอดยางมือ และหลังจากจุ่มจะต้องผ่านลมร้อน 100°C เพื่อระเหยน้ำออก เหลือผง CaCl_2 หรือ CaNO_3 และ CaCO_3 ติดแม่พิมพ์ หลังจากนั้นทำให้เย็นลงแล้วจุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์ สารเคมีที่ค้างอยู่ในแม่พิมพ์นั้นทำหน้าที่ให้ยางจับตัวกับแม่พิมพ์ และช่วยหล่อลื่นการถอดยางมือเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังรูปสายการผลิตยางมือยาง ดังนั้นแนวทางที่ผู้วิจัยนำเสนอคือ การใช้สารประกอบเซรามิกที่มีรูปร่างซับซ้อนเช่น CaSiO_3 หรือ CaAl_2O_4 จากกระบวนการโซล-เจล ทำหน้าที่คล้ายสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ (Coagulant) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นคล้ายเจลแล้วนำมาเคลือบโดยการพ่น(แบบพ่นสเปรย์)หรือการเกาะติดด้วยหลักการไฟฟ้าสถิตย์ หรือทาลงบนผิวแบบพิมพ์เซรามิกส์ หากทิ้งไว้โดยการผึ่งลมหรือแดดเพียงเล็กน้อย เจลดังกล่าวจะแห้งแล้วจึงนำไปจุ่มลงในน้ำยางข้น เป็นแนวทางแก้ปัญหาวิธีหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตทั้งด้านวัตถุดิบและพลังงาน เนื่องจากการใช้เทคนิคโซล-เจลที่ทำให้เกิดโครงสร้างสารประกอบเซรามิกส์ที่ซับซ้อนทั้งในรูปพรีเคอร์เซอร์และ/หรือสารประกอบเมทพอลออกไซด์ที่เสถียรโดยการใช้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและลมรวมทั้งสภาพอากาศจากสิ่งแวดล้อมช่วยทำให้สารประกอบเซรามิกส์แห้งกลายเป็นผงอนุภาคเคลือบบนผิวแบบพิมพ์เซรา

มิกซ์ โซล-เจลเป็นเทคนิคที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยวิธีเคมีผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสและคอนเดนเซชันทำให้ได้โครงสร้างอยู่ในรูปของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง วิธีดังกล่าวทำให้ได้สารประกอบบริสุทธิ์ ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ ประหยัดพลังงานและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง อาทิเช่น คะตะลิสต์ เมมเบรน ฉนวนความร้อน เส้นใยไฟเบอร์ อนุภาครีซอร์ทและฟิล์มบาง ดังภาพ สำหรับแนวทางของโครงการวิจัยนี้จะอาศัยหลักการเกิดฟิล์มบางโดยเทคนิคโซล-เจล ของสารประกอบเซรามิกส์ออกไซด์ประยุกต์ติดบนผิวแบบพิมพ์เซรามิกส์

การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

น้ำยางข้นและสารเคมีที่ใช้ ก่อนทำการผสมควรนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ก่อนการใช้งาน ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมปาวด์เป็นไปดังนี้



แผนภาพที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

การเตรียมพิมพ์

แบบพิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการจุ่มทำได้จากวัสดุต่างๆ เช่น แก้ว อะลูมิเนียม อะลูมิเนียมผสม ไม้ ปูนปลาสเตอร์ กระเบื้อง เป็นต้น ลักษณะผิวของพิมพ์มีผลอย่างมากต่อการเกาะพิมพ์ของสารช่วยจับตัว (Coagulant) และน้ำยาง หากแบบพิมพ์มีผิวหยาบมากจะส่งผลกระทบต่อารขึ้นรูปฟิล์มยางอย่างมาก

เมื่อได้แบบพิมพ์ที่ต้องการ สิ่งสำคัญที่ต้องทำก่อนจะนำไปจุ่มคือ การทำความสะอาดโดยอาจใช้ผงหรือกรดอินทรีย์ชะล้าง แล้วล้างแบบพิมพ์ด้วยน้ำสะอาดที่เป็นน้ำอ่อน อาจใช้แปรงขัดถูสิ่งสกปรกออก จากนั้นนำแบบพิมพ์ที่ได้ทำความสะอาดแล้วมาอบให้แห้งก่อนการจุ่ม

กระบวนการจุ่ม (Dipping Process)

หลักการสำคัญของกระบวนการจุ่มน้ำยาง คือ การจุ่มพิมพ์ลงในน้ำยางที่ผสมเคมีแล้ว จากนั้นยกพิมพ์ออกจากน้ำยางด้วยความระมัดระวัง ให้ชั้นของน้ำยางเคลือบผิวแบบพิมพ์อย่างสม่ำเสมอ เมื่อยางที่จับแบบพิมพ์แห้งและคงรูปแล้ว จะถูกถอดออกจากพิมพ์

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการจุ่มได้แก่ ถุงมือตรวจโรค ถุงมือแม่บ้าน ถุงมือผ่าตัด ถุงมือสำหรับใช้งานทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย จุกนม เป็นต้น

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางโดยวิธีการจุ่มมี 3 แบบคือ การจุ่มน้ำยางโดยตรง (Straight Dipping) การจุ่มโดยใช้สารช่วยน้ำยางจับตัว (Coagulant Dipping) และการจุ่มโดยใช้สารที่ไวต่อความร้อน (Heat-Sensitive Dipping)

1) การจุ่มน้ำยางโดยตรง (Straight Dipping) เป็นวิธีการที่ง่ายและธรรมดาที่สุด หลักการคือ นำพิมพ์ที่ล้างสะอาดและแห้งมาจุ่มลงในน้ำยางผสมเคมีโดยตรง จากนั้นนำพิมพ์ขึ้นจากน้ำยางช้าๆ ให้ชั้นของน้ำยางเคลือบผิวอย่างสม่ำเสมอ ปล่อยให้แห้งและคงรูป ถ้าต้องการให้ยางมีความหนา ให้นำพิมพ์ที่เคลือบด้วยฟิล์มยางแห้งพอสมควร มาจุ่มในน้ำยาง ผสมเคมีซ้ำอีกครั้ง แต่มีข้อควรระวังคือ ถ้าฟิล์มยางชั้นแรกแห้งไป ฟิล์มชั้นที่สองที่จุ่มน้ำยางซ้ำอีกครั้งจะไม่ติดกับฟิล์มยางชั้นแรก

ความหนาของฟิล์มยางจากการจุ่มโดยตรง 1 ครั้ง ปกติจะหนาประมาณ 0.1-0.2 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณสารของแข็งในน้ำยางผสมเคมี และความหนืดของน้ำยางผสมเคมี

การจุ่มโดยตรงเหมาะสำหรับงานผลิตภัณฑ์ที่มีความบางมากๆ เช่น การผลิตถุงยางอนามัย

2) การจุ่มโดยใช้สารช่วยน้ำยางจับตัว (Coagulant Dipping) เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด โดยนำพิมพ์ที่ล้างสะอาดและแห้งมาจุ่มลงในสารช่วยน้ำยางจับตัว ยกพิมพ์ขึ้นให้สารช่วยน้ำยางจับตัวเคลือบแบบพิมพ์อย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นงานและแห้งพอสมควร แล้วจึงนำพิมพ์นั้นมาจุ่มลงในน้ำยางผสมเคมีแช่ไว้ระยะเวลาหนึ่ง โดยระยะเวลาในการจุ่มจะมีผลต่อความหนาของยาง เมื่อได้เวลาที่สมควรให้ยกแบบพิมพ์จากน้ำยางขึ้นช้าๆ แล้วปล่อยให้แห้งและคงรูป

นอกจากเวลาในการจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยาง ความหนาของยางยังขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของสาร ช่วยน้ำยางจับตัว ปริมาณสารของแข็งในน้ำยาง และความหนืดของน้ำยาง ปกติการจุ่มน้ำยางโดยวิธีนี้จะได้ความหนาประมาณ 0.2- 0.8 มิลลิเมตร และสามารถทำให้หนามากขึ้นได้ด้วยการจุ่มซ้ำ คือ จุ่มแบบพิมพ์ที่มียางชั้นแรกเคลือบอยู่หลายๆ ลงในสารช่วยน้ำยางจับตัวและน้ำยางผสมเคมี

สารที่นิยมใช้เป็นตัวช่วยน้ำยางจับตัว คือ เกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมไนเตรด แคลเซียมคลอไรด์ โดยนำมาละลายด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์ หรือใช้ทั้งน้ำและแอลกอฮอล์ ทั้งนี้การใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพราะราคาถูก ส่วนการใช้แอลกอฮอล์จะทำให้สารระเหยได้เร็ว นอกจากนี้ยังมีการผสมสารอื่นๆลงไปด้วยตามแต่วัตถุประสงค์ของการผลิตผลิตภัณฑ์ Dafader et al. (2008) รายงานว่าระหว่างสารละลายแคลเซียมคลอไรด์, แคลเซียมไนเตรดและแอมโมเนียมไนเตรด ในน้ำและแอลกอฮอล์ พบว่า สารละลายแคลเซียมไนเตรดเหมาะสำหรับการใช้เป็นสารช่วยจับพิมพ์สำหรับการ

ขึ้นรูปฟิล์มยางมากที่สุด Cristopher, D.A, and Daniels, E.S. (2003) รายงานการใช้สารช่วยจับพิมพ์ชนิดแคลเซียมไนเตรดและแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถช่วยลดปัญหาการแพ้โปรตีน โดยการควบคุมความหนืด ความเข้มข้นและชนิดสารเติมแต่ง (filler) ที่เติมลงในน้ำยางขึ้นสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ฟิล์มยาง ฟิล์มยางที่ได้จะมีความอ่อนนุ่มรับแรงดึงและการทนแรงฉีกขาดได้เป็นอย่างดี Vivaygananthan, K. and Amir Hashim, M.Y. รายงานการใช้แคลเซียมไนเตรดเป็นสารละลายช่วยจับพิมพ์สำหรับการทำฟิล์มยางธรรมชาติ(NR) และ carboxylated nitrile-butadiene rubber พบว่าฟิล์มยางที่ได้จะรับแรงทางกล ด้านทานการฉีกขาดและมีสมบัติทางกายภาพที่ดี

3) การจุ่มโดยใช้สารที่ไวต่อความร้อน (Heat-Sensitive Dipping) เป็นการจุ่มแบบพิมพ์ที่ผสมสารที่มีความว่องไวต่อการทำให้น้ำยางคงตัวหรือจับเป็นเจลเมื่อได้รับความร้อน สารเคมีที่ไวต่อความร้อน ได้แก่ สารพวกเกลือแอมโมเนียม โลหะออกไซด์ เอนไซม์ พอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์ (Poly-vinyl methyl ether, PVME) และพอลิโพรพิลีนไกลคอล (Polypropylene Glycol, PPG) มีหลักการคือ ใช้แบบพิมพ์ที่เป็นโลหะที่มีอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส จุ่มลงในน้ำยางที่ผสมสารที่ไวต่อความร้อน แช่ไว้ระยะหนึ่งแล้วดึงแบบพิมพ์ขึ้นช้าๆ ทำให้แห้งและคงรูป ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ได้ความหนาถึง 4 มิลลิเมตรจากการจุ่มเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำยางที่ผสม อุณหภูมิและความจุความร้อนของแบบพิมพ์ และระยะเวลาในการจุ่มในน้ำยาง

กระบวนการจุ่มแบบนี้ เหมาะสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนาในการจุ่มครั้งเดียว ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม รองเท้า จุกนม ถุงลมยาง ลูกโป่ง เป็นต้น

วัสดุ-อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

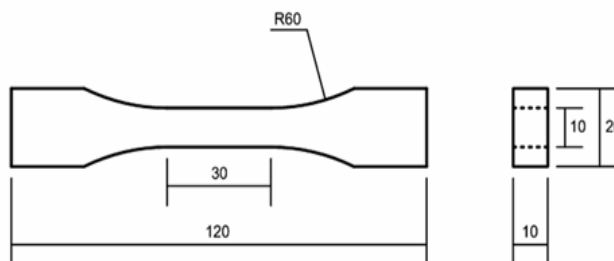
1. **วัสดุและอุปกรณ์สำหรับเตรียมแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์**
 - 1.1 แผ่นพลาสติกสำหรับทำเป็นแบบพิมพ์ในการขึ้นรูป
 - 1.2 กรรไกร มีดคัตเตอร์ เทปพลาสติกใส
 - 1.3 ปูนปลาสเตอร์ความบริสุทธิ์สูง ขนาดละเอียด สำหรับทำแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์
 - 1.4 น้ำสะอาดสำหรับการทำแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์
 - 1.5 ภาชนะสำหรับผสมส่วนผสมปูนปลาสเตอร์
2. **วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการเตรียมสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต**
 - 2.1 เปลือกไข่ไก่ประมาณ 1 กิโลกรัม จากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - 2.2 โกร่งบดสารสำหรับบดเปลือกไข่ไก่
 - 2.3 เตาเผาอุณหภูมิชนิด Nebertherm, Germany เตาเผาดังกล่าวสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,400 องศาเซลเซียส

- 2.4 พอร์ซเลนครุชีเบิล (Porcelain crucible) สำหรับเผาเปลือกไขไก่ในเตาเผาอุณหภูมิสูง 900 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
 - 2.5 เครื่องชั่งสาร Denver Instrument ความละเอียด 0.001 กรัม
 - 2.6 กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์ (กรดวิเคราะห์ AR)
 - 2.7 ฟุ้งซิลิกา ความบริสุทธิ์สูง 99 เปอร์เซ็นต์ ผงละเอียดสีขาว ความหนาแน่นประมาณ 2.20 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร เกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท ตริวิทย์ชีพพลายเคมีคอล จำกัด ประเทศไทย
 - 2.8 ภาชนะสำหรับผสมสารและหม้อดูดความชื้น (Dessicator)
3. **วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการเคลือบผิวและจุ่มน้ำยาง**
- 3.1 น้ำยางชั้นชนิด HA จากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
 - 3.2 ภาชนะพลาสติกสำหรับใส่สารช่วยจับตัว (Coagulant) และน้ำยางชั้น
 - 3.3 ตะแกรงพร้อมถาดรองสำหรับขึ้นงานที่จุ่มน้ำยางชั้นแล้ว

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยประกอบด้วย

1. X-ray diffraction patterns (XRD) สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟส และโครงสร้างผลึกโดยเครื่อง Bruker AXS รุ่น D8 Discover ประกอบด้วยเครื่องบันทึกภาพ VANTEC-1 Detector
2. Micrographs สำหรับวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคทั้งภาคตัดขวาง (Cross section) และบริเวณผิวหน้า (Surface) โดยเครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM, JEOL-5200)
3. Particle size distribution สำหรับศึกษาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัตถุดิบและสารประกอบเคลือบเซียมออกไซด์และปูนปลาสเตอร์ โดยเครื่อง Mastersizer S long bed Ver. 2.19, Serial Number: 32734-89, Malvern Instruments Ltd., UK
4. Universal Testing Machine ของ Housefield รุ่น H50k-s, 0309 สำหรับทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง สำหรับทดสอบความเค้นและความเครียดดึง (Tensile stress - Tensile strain) ค่ามอดุลัส (Modulus) การยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus) การเตรียมตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 37 และ ASTM D42 ดังแผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 ตัวอย่างรูปทรงดัมเบลล์ (Dumbbell shape) สำหรับทดสอบแรงดึง

5. Digital Balance เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งสำหรับการตรวจสอบน้ำหนัก
6. Contact Angle สำหรับตรวจสอบมุมสัมผัสของสารช่วยจับตัวกับผิวแบบพิมพ์พลาสติก รุ่น Sony CCD, C mount, 60 รอบ/วินาที ประเทศญี่ปุ่น โดยการหยดสารที่ต้องการวิเคราะห์เพียง 1 หยด ลงบนพื้นผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์เรียบร้อยแล้ว อ่านค่ามุมที่ปรากฏ
7. Brunauer-Emmett-Teller (BET) รุ่น Quantachrome / Autosorb-1, Thermo Finnigan / Sorptomatic 1990 สำหรับหาขนาดพื้นผิวของอนุภาค

วิธีการทดลอง

1. การทดสอบสมบัติน้ำยางชั้นชนิด HA ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ ดังตาราง
ตาราง 1 การทดสอบสมบัติน้ำยางชั้น

สมบัติ	มาตรฐาน ISO 2004-1997 (E)	วิธีทดสอบ
ปริมาณของแข็งทั้งหมดในยาง (TSC)	ไม่น้อยกว่า 61.5	ISO 124
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DSC)	ไม่น้อยกว่า 60.0	ISO 126
ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non rubber solids)	ไม่เกิน 2.0	ISO 2004
ปริมาณความเป็นด่าง (NH ₃ content)	ไม่น้อยกว่า 0.6	ISO 125
จำนวนกรดไขมันระเหย (VFA Number)	ไม่เกิน 0.20	ISO 506
จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH Number)	ไม่เกิน 1.0	ISO 127
ค่า pH		ISO 976
ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล(MST)	ไม่น้อยกว่า 650	ISO 35

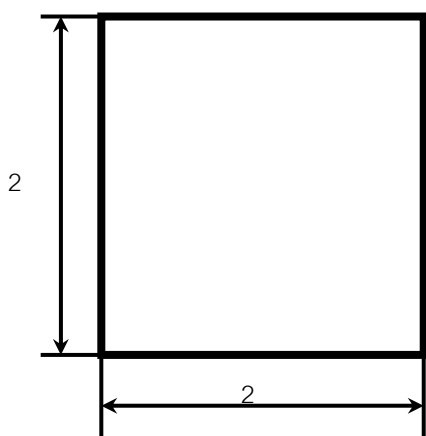
ปริมาณของแข็งทั้งหมดในยาง (TSC, Total Solids Content) หมายถึง ปริมาณยางส่วนที่เป็นเนื้อยางทั้งหมดในน้ำยาง รวมกับสารอื่นๆ ที่เป็นของแข็งและที่ไม่ใช่ยาง เป็นสมบัติที่สามารถบ่งชี้ว่าน้ำยางมีส่วนอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความเสถียรของน้ำยาง [11] **ปริมาณเนื้อยางแห้ง** (DSC, Dry Rubber Content) หมายถึง ปริมาณของส่วนที่เป็นเนื้อยางในน้ำยาง เป็นค่าบ่งชี้ปริมาณของเนื้อยางจริงๆ ซึ่งมีความสำคัญในการซื้อขาย และมีความสำคัญต่อผู้นำน้ำยางชั้นไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางเพราะการออกสูตรส่วนผสมของสารเคมีต่างๆ ในการทำผลิตภัณฑ์ยางโดยคำนวณปริมาณสารเคมีต่อน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง [12] **ปริมาณความเป็นด่าง** (Alkalinity) หมายถึง ปริมาณด่างอิสระทั้งหมดในน้ำยาง แสดงในรูปปริมาณแอมโมเนีย การทดสอบค่าความเป็นด่างเพื่อให้ทราบการรักษาสภาพน้ำยางว่าเพียงพอหรือไม่ [13] **ความคงตัวเชิงกล** (MST, Mechanical Stability) หมายถึงความเสถียรของน้ำยางต่ออิทธิพลทางกล MST เป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความเสถียรของน้ำยางต่อการเคลื่อนย้าย การกวน การบีบ หรือการกระทำทางกลโดยวิธีการอื่นๆ [14] **จำนวนกรดไขมันระเหย** (VFA No., Volatile Fatty Acid Number) หมายถึง ปริมาณของกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นโดยการไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตในเซรุ่มของน้ำยาง VFA No. จึงเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสถานการณ์เสียสภาพ [15] **จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์** (KOH No., Potassium Hydroxide Number)

หมายถึงจำนวนกรัมของ KOH ที่สมมูลย์พอดีกับอนุมูลอิสระของกรดทั้งหมดที่รวมกับแอมโมเนียในน้ำยาง ที่มี TSC 100 กรัม ค่า KOH เป็นค่าที่บ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำยางและอาจบ่งชี้อายุการใช้งานน้ำยาง [16]

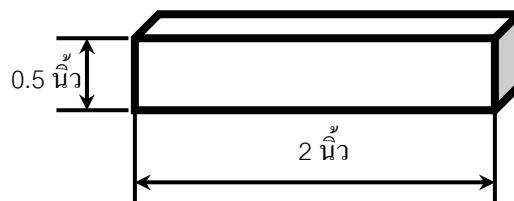
2. การทำแบบพิมพ์พลาสติก, การเตรียมสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและการทดสอบขนาดและรูปทรงของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต

2.1 การทำแบบพิมพ์พลาสติก

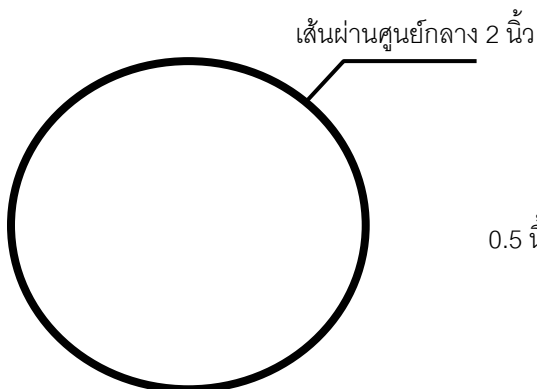
นำปูนปลาสเตอร์มาผสมกับน้ำด้วยสัดส่วนปูนปลาสเตอร์ 100 กรัมต่อน้ำ 60 กรัม (Consistency 60) จากนั้นเทใส่แบบที่เตรียมไว้ซึ่งเป็นรูปแบบที่เตรียมง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นจึงกำหนดรูปแบบของพิมพ์เป็นสองลักษณะคือ แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 2 นิ้ว สูง 0.5 นิ้ว และแบบวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 0.5 นิ้ว ดังแผนภาพที่ 5 หลังจากเทส่วนผสมลงในแบบพิมพ์ ก็ให้ส่วนผสมเกิดการแข็งตัวแล้วจึงถอดพิมพ์ออกจากแบบพิมพ์



ภาพจากด้านบน



ภาพจากด้านข้าง



ภาพจากด้านบน

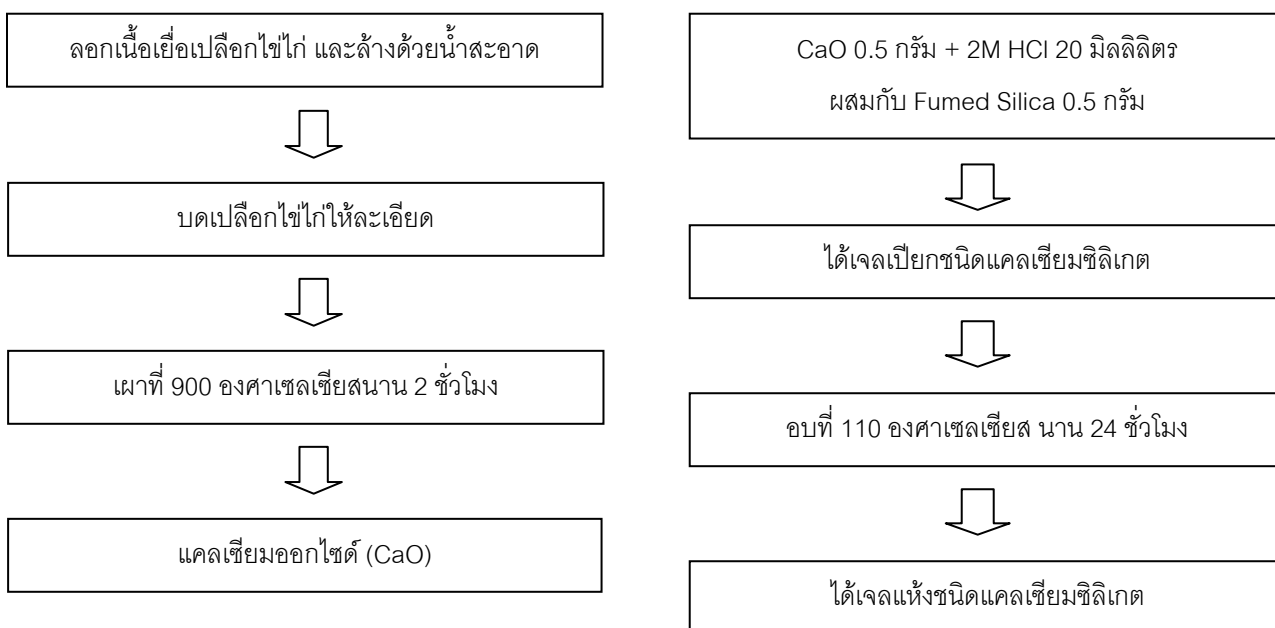


ภาพจากด้านข้าง

แผนภาพที่ 5 แบบพิมพ์พลาสติกที่ใช้ในการวิจัย

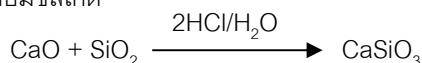
2.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตจากเปลือกไข่ไก่

นำเปลือกไข่ไก่มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำและลอกเนื้อเยื่อออก จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยโม่บดสาร แล้วนำมาใส่ในครุชีเบล (Crucible) ถ้วยละประมาณ 20-25 กรัม แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จะได้สารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากนั้นนำสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ที่ได้มา 0.5 กรัม ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร และฟุ้งซิลิกา (Fumed Silica) 0.5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วจึงนำส่วนผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริก กับฟุ้งซิลิกาที่ผสมกับน้ำกลั่น มาผสมรวมกันแล้วควนให้เข้ากันจะได้เจลเปือกของแคลเซียมซิลิเกต จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติการเป็นสารช่วยน้ำยางจับตัว (Coagulant) จากนั้นแบ่งส่วนของเจลเปือกที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จะได้เจลแห้งของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต ดังแสดงในแผนภาพที่ 6 หลังจากนั้นทดสอบสมบัติการเป็นสารช่วยน้ำยางจับตัว (Coagulant) สาเหตุของการอบเจลเปือกเป็นเจลแห้งเพื่อความสะดวกในการทดลองครั้งถัดไป จากนั้นทดสอบสมบัติของตัวอย่างที่เตรียมได้



แผนภาพที่ 6 แสดงการเตรียมเจลเปือกและเจลแห้งของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต

สมการการเตรียมเจลแคลเซียมซิลิเกต



2.3 การทดสอบขนาดและปริมาณรูพรุนของเจลแห้งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์

การทดสอบขนาดและปริมาณรูพรุนของเจลแห้งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่เรียกว่า BET (Brunauer–Emmet–Teller) รุ่น AUTOSORB-1 (QUANTACHROME) ซอฟต์แวร์ของเครื่อง

วิเคราะห์ BET สามารถวิเคราะห์พื้นที่ผิว (surface area ชนิด single และ multipoint), พื้นที่ผิวแบบ the Langmuir surface area การวิเคราะห์ไอโซเทอรัม (the adsorption and/or desorption isotherms) ขนาดรูพรุนและการกระจายตัวของรูพรุน รวมทั้งปริมาตรรูพรุน (micropore volume)

3. การทดสอบขนาดอนุภาคของเจลแห้งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์

การทดสอบขนาดอนุภาคของเจลแห้งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์ (Particle size analyzer, Mastersizer X Ver.2.18 Malvern) ที่ใช้น้ำเป็นตัวช่วยให้อนุภาคกระจายตัว

4. การจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกในน้ำยางชั้นโดยตรง

เมื่อได้แบบพิมพ์พลาสติกที่ต้องการแล้วนำมาจุ่มในน้ำยางชั้นชนิด HA โดยศึกษาเวลาที่ใช้ในการจุ่มเป็นเวลานาน 1 นาที และ 3 นาที ตามลำดับ เพื่อดูประสิทธิภาพของการดูดเกาะของแบบพิมพ์กับน้ำยางชั้น จากนั้นยกแบบพิมพ์ขึ้นจากน้ำยาง แล้วจับเวลาในการอยู่ตัวและปล่อยให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มยางที่ได้ไปทำการทดสอบ

5. การทดสอบการละลายของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตเพื่อใช้เป็นสารช่วยจับตัว

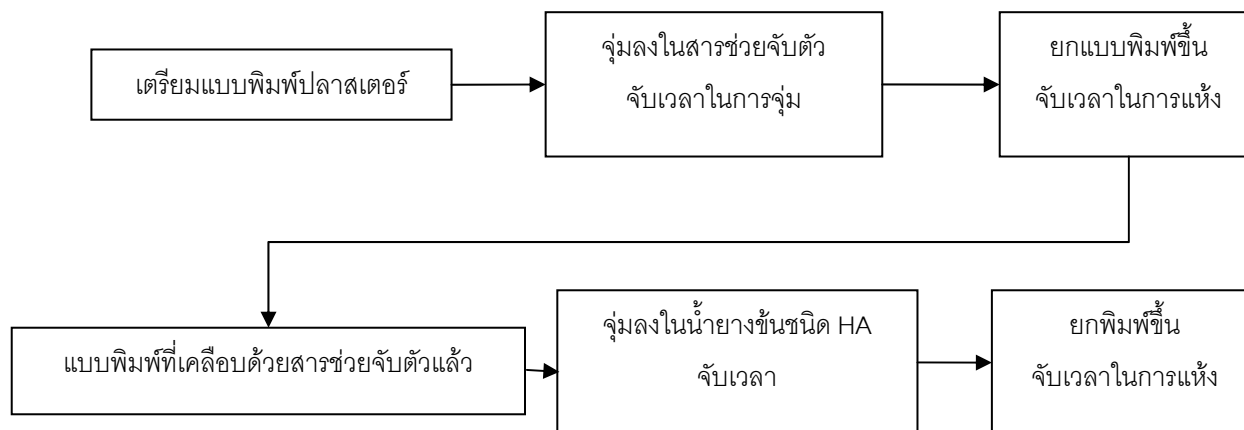
เมื่อได้เจลแห้งของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตแล้ว จึงนำไปทดสอบการละลายโดยใช้เจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตและผงอนุภาคแคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 0.5 กรัม มาละลายด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิดประมาณ 3 มิลลิลิตร ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก 37% (HCl 37% หรือ 12 โมลาร์), กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 โมลาร์ (2M HCl), กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 เข้มข้น 2 โมลาร์), อะซีโตน (Acetone), กรดอะซิติก (Acetic Acid) เข้มข้น 2 โมลาร์, และกรดไนตริก (HNO_3 เข้มข้น 2 โมลาร์)

6. การเตรียมสารช่วยจับตัว

หลังจากที่ทดสอบการละลายของเจลแห้งชนิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตแล้ว จึงเตรียมสารช่วยจับตัวของยาง โดยสารช่วยจับตัวที่จะใช้ในการทดลองนี้คือ 1. สารละลายของแคลเซียมซิลิเกตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% หรือ 12 โมลาร์ 2. เจลเปียกของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตที่แบ่งแยกไว้ในตอนแรกตามแผนภาพที่ 6 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ และ 3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 35% หรือประมาณ 3.5 โมลาร์ที่สั่งซื้อมาจากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร โดยทำการทดลองดังนี้

การทดสอบการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับตัว (Coagulant) และน้ำยางชั้นชนิด HA

การทดสอบการเคลือบผิวแบบพิมพ์พลาสติกนี้จะใช้วิธีการจุ่มลงในสารช่วยจับตัว จับเวลาในการจุ่ม แล้ว ยกขึ้นมาและจับเวลาในการแห้ง จากนั้นจะนำไปจุ่มในน้ำยางชั้นชนิด HA 60% ต่อ จับเวลาในการจุ่มและเวลาที่แห้ง



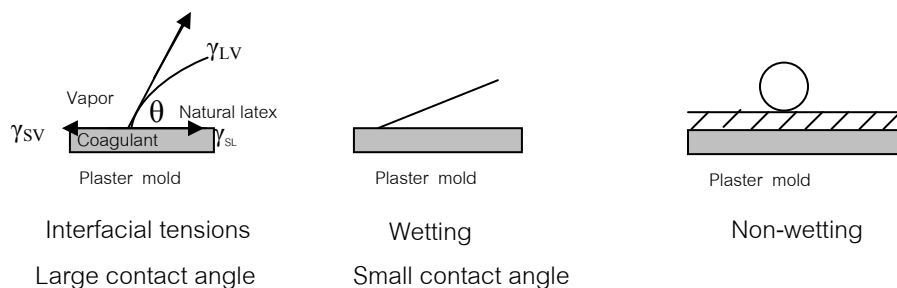
แผนภาพที่ 7 การทดสอบการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับตัวและน้ำยางชั้นชนิด HA

6. ทดสอบสมบัติของฟิล์มยางบนแบบพิมพ์พลาสติก ได้แก่ มุมสัมผัสระหว่างน้ำยางชั้นกับพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยน้ำยางจับตัว ความหนาของแผ่นฟิล์มยางและการทดสอบแรงดึงของฟิล์มยาง

ทดสอบมุมสัมผัสระหว่างน้ำยางชั้นกับพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยน้ำยางจับตัว ความหนาของแผ่นฟิล์มยางและการทดสอบแรงดึงของฟิล์มยาง โดยการทดสอบด้วย Contact angle, Vernier caliper และ Universal testing machine

จากทฤษฎีเรื่องมุมสัมผัส (Contact angles) บนผิวแบบพิมพ์พลาสติกอื่นเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่เรียกว่า adhesion force และแรงตึงผิวระหว่างผิวหน้าของวัสดุที่เรียกว่า interfacial tensions ดังแผนภาพที่ 8 ตามทฤษฎีของ the Young equation ($\theta > 0^\circ$) ดังสมการ

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$$



แผนภาพที่ 8 แรงตึงผิวระหว่างรอยต่อที่ผิวของของเหลว ของแข็งที่มีผลต่อค่า wetting and nonwetting

Contact angle	Degree of wetting	Strength of:	
		Sol./Liq.	Liq./Liq.
		Interactions	interactions
$\theta = 0$	perfect wetting	strong	weak
$0 < \theta < 90^\circ$	high wettability	strong	strong
		weak	weak
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	low wettability	weak	strong
$\theta = 180^\circ$	Perfectly	weak	strong
	non-wetting		

แผนภาพที่ 9 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัส (contact angle), องศาของการ wetting, และความแข็งแรงระหว่างผิวหน้าวัสดุของแข็งและของเหลว (interfacial interaction between solid surface and liquid)

8. วิเคราะห์ สรุป และ รายงานผล

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. ผลการทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้น 60%

ตารางที่ 2 ผลทดสอบสมบัติน้ำยางชั้นตามมาตรฐาน

สมบัติน้ำยางชั้น	ผลการทดสอบ	มาตรฐาน ISO 2004-1997 (E)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง)	61.45 ± 0.11	ไม่น้อยกว่า 61.5
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง)	59.97 ± 0.10	ไม่น้อยกว่า 60.0
ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง)	1.66 ± 0.005	ไม่เกิน 2.0
ปริมาณความเป็นด่าง, NH_3 (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง)	0.55 ± 0.08	ไม่น้อยกว่า 0.60
ปริมาณความเป็นด่าง, NH_3 (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำ)	1.43 ± 0.215	-
จำนวนกรดไขมันระเหย	0.052 ± 0.009	ไม่เกิน 0.20
จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.78	ไม่เกิน 1.0
ค่า pH	10.14	-
ความถ่วงจำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส	0.949	-
ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (วินาที)	673 ± 39	ไม่น้อยกว่า 650
ปริมาณสลัดจ์ (Sludge)	0.007	ไม่เกิน 0.1
ปริมาณยางจับเป็นก้อน	0.0004	ไม่เกิน 0.05
ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	22	-
ความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส ; Spindle No.1 Speed 6 rpm (cPs)	212 ± 62	
Speed 30 rpm (cPs)	129 ± 37	
Speed 60 rpm (cPs)	103 ± 27	

ผลทดสอบน้ำยางชั้นเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 2004-1997 แสดงว่าน้ำยางชั้นที่นำมาทำการลองมีความพร้อมในการขึ้นรูปฟิล์มยาง

2. ผลการทดสอบขนาดและปริมาณรูพรุนของเจลแห้งชนิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์

การหาขนาดและปริมาณรูพรุนของผงเจลแห้งชนิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์ ด้วยเครื่อง BET ตัวอย่างเป็นผงเจลแห้งชนิดแคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ขนาดและปริมาณรูพรุนที่เปลี่ยนไปเมื่อถูกความร้อน รวมทั้งผงเจลแห้งชนิดแคลเซียมซิลิเกตผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และผงปูนปลาสเตอร์ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

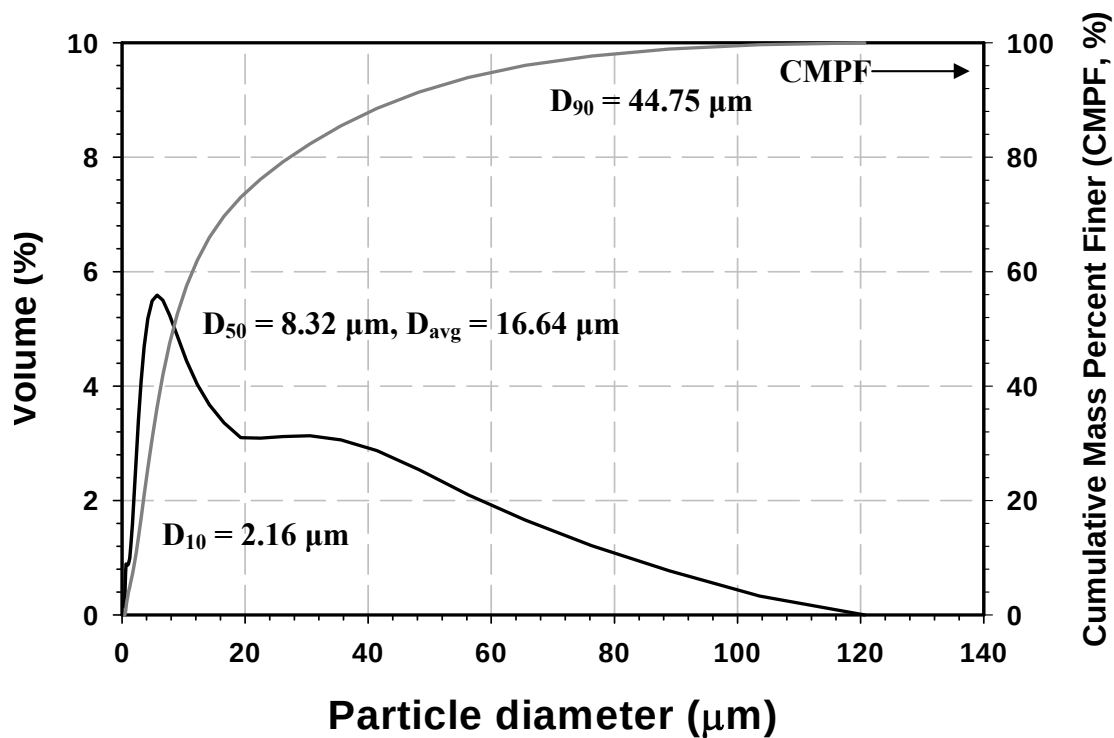
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบขนาดและปริมาณรูพรุนของแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์

สารตัวอย่าง	Multipoint BET (m^2/g)	Total Pore Volume (cc/g)	Average Pore Diameter ($\text{\AA}$)
ซินเทอร์สารประกอบแคลเซียมซิลิเกต เเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส	2.04	0.0034	66.47
เจลแห้งแคลเซียมซิลิเกต ผ่านการอบที่ 110 องศาเซลเซียส	107.00	0.3991	149.10
ปูนปลาสเตอร์	15.23	0.0556	146.10

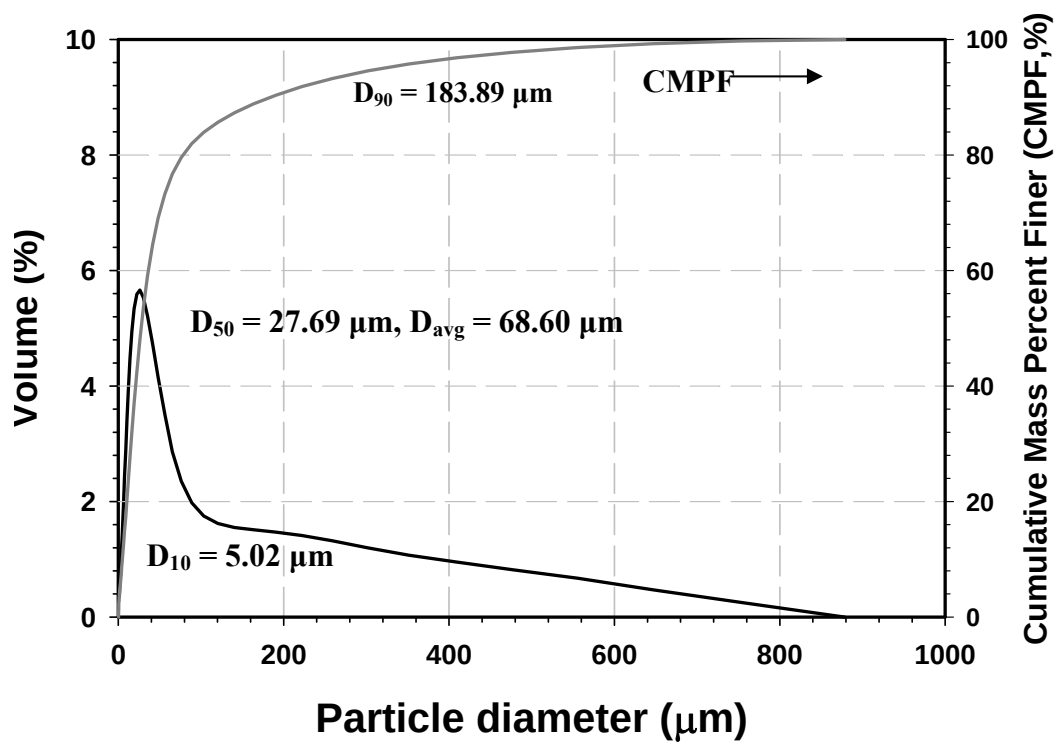
จากตารางที่ 2 พบว่าพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของตัวอย่างซินเทอร์สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวน้อยมากเท่ากับ 2.04 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเท่ากับ 66.47 อังสตรอม ปูนปลาสเตอร์มีพื้นที่ผิวประมาณ 15.23 ตารางเมตรต่อกรัม รูพรุนมีขนาด 146.10 อังสตรอม ขณะที่ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เท่ากับ 146.10 อังสตรอม พื้นที่ผิวเท่ากับ 107 ตารางเมตรต่อกรัม จากผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีขนาดพื้นที่ผิว และ ปริมาตรรูพรุน ต่ำกว่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์มากๆ ทำให้การยึดเกาะของซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตที่ผ่านการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส เกาะบนผิวแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ไม่ค่อยดีหรือมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเจลอบแห้งหรือเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตที่ยังไม่ผ่านการเผาพบว่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูง รวมทั้งขนาดรูพรุนใกล้เคียงกับขนาดรูพรุนของปูนปลาสเตอร์ ดังนั้นการยึดเกาะและการดูดซับของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตบนผิวแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์จะค่อนข้างดีกว่าอนุภาคของตัวอย่างซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

3. ผลการทดสอบขนาดอนุภาคของเจลแห้งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและปูนปลาสเตอร์

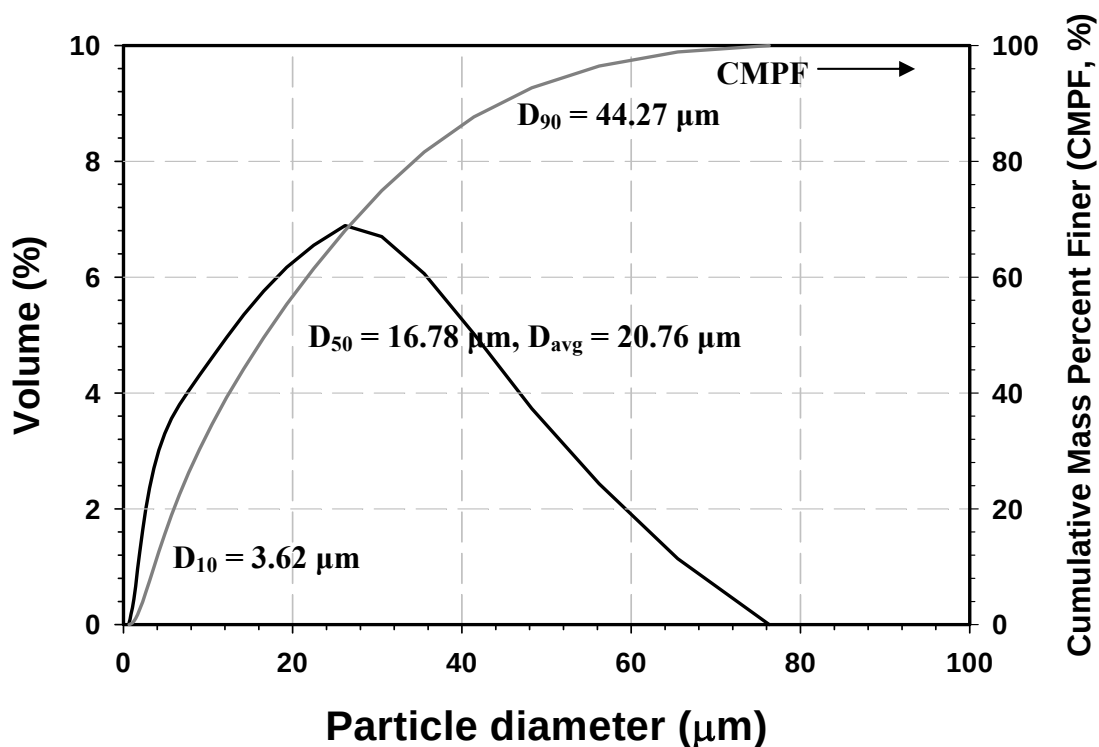
ทดสอบหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle ของผงตัวอย่างซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เจลอบแห้งหรือเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตที่ไม่ผ่านการเผาและผงปูนปลาสเตอร์ พบว่าอนุภาคปูนปลาสเตอร์มี d_{10} , d_{50} , d_{90} , d_{avg} เท่ากับ 2.16, 8.32, 44.75 และ 16.64 ไมครอน ตามลำดับ พบว่าขนาดอนุภาคของปูนปลาสเตอร์ใกล้เคียงกับการกระจายตัวอนุภาคของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตซึ่งมี d_{10} , d_{50} , d_{90} , d_{avg} เท่ากับ 3.62, 16.78, 44.27 และ 20.76 ไมครอน ตามลำดับ กล่าวได้ว่าอนุภาคของผงปูนปลาสเตอร์และเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตมีการกระจายตัวใกล้เคียงกันมากกว่าการกระจายตัวของอนุภาคซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตที่พบ d_{10} , d_{50} , d_{90} , d_{avg} เท่ากับ 5.02, 27.69, 183.89 และ 68.60 ไมครอน ตามลำดับ ดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1 ขนาดอนุภาคของอนุภาคนาโพลีสเตอรั



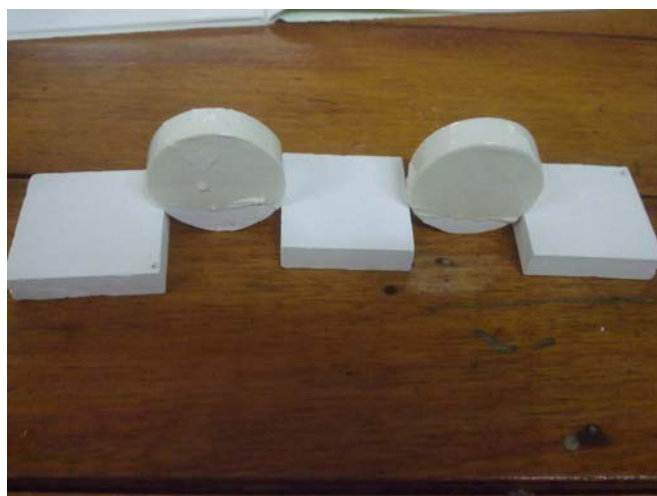
รูปที่ 2 ขนาดอนุภาคของซินเทอร์เคลือบซิลิเกตผ่านการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3 ขนาดอนุภาคของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกต

4. ผลของการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกในน้ำยางชั้นโดยตรง

จากรูปที่ 4 คือรูปแสดงการนำแบบพิมพ์พลาสติกไปจุ่มในน้ำยางชั้นโดยตรง พบว่าน้ำยางชั้นสามารถจับแบบพิมพ์ได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยจับพิมพ์ที่เรียกว่า Coagulant แต่ต้องใช้เวลาในการจับแบบพิมพ์ รวมทั้งการปล่อยให้แห้งนานกว่าการใช้สารช่วยในการจับตัว (Coagulant) โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกลงในน้ำยางชั้นนานเพียง 1 นาที จะใช้เวลาในการอยู่ตัวประมาณ 15-20 นาที (900-1800 วินาที) ซึ่งใช้เวลานานกว่าการจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางชั้นนาน 3 นาที จะใช้เวลาในการอยู่ตัวประมาณ 10 นาที (600 วินาที) เนื่องจากแบบพิมพ์จะดูดน้ำยางชั้นจนแห้งสนิทนานกว่าการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกในน้ำยางชั้นนาน 3 นาที นอกจากนี้ผลการทดลองเรื่องรูปร่างของแบบพิมพ์พลาสติกพบว่าแบบพิมพ์พลาสติกแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบบวงกลมใช้เวลาในการจับตัวและคงรูปต่างกัน ไม่เกิน 1 นาที (เวลาในการจับแบบพิมพ์ หมายถึงระยะเวลาที่น้ำยางชั้นชนิด HA เริ่มเกาะตัวบนแบบพิมพ์พลาสติก, เวลาในการอยู่ตัวหมายถึงระยะเวลาที่น้ำยางชั้นชนิด HA จับหรือเกาะอยู่บนแบบพิมพ์พลาสติกอย่างแข็งแรงโดยไม่เกิดการไหลอีก และเวลาในการจับตัวและคงรูปหมายถึง ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่การจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางชั้นชนิด HA แล้วรอจนกระทั่งน้ำยางชั้นชนิด HA เกาะบนแบบพิมพ์อย่างแข็งแรงโดยไม่เกิดการไหลตัวอีก)



รูปที่ 4 การนำแบบพิมพ์พลาสติกที่ไม่มีสารช่วยจับตัว (Coagulant) จุ่มลงในน้ำยางข้น

5. ผลของการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารละลายของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตและซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตลงในตัวทำละลายประเภทต่างๆ

จากการศึกษาการละลายของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตและผงอนุภาคซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกต พบว่า การใช้สารละลายที่มาจากการละลายผงอนุภาคซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตผ่านการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% รวมทั้งสารละลายของเจลแคลเซียมซิลิเกตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% เพื่อใช้เป็นสารช่วยจับพิมพ์ พบว่าสารละลายดังกล่าว มีผลทำให้แบบพิมพ์พลาสติกเกิดความเสียหาย สีของแบบพิมพ์เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเกิดการกัดกร่อนจากไฮดรอกไซด์ที่เป็นตัวทำละลายเพราะกรดไฮโดรคลอริกดังกล่าวมีความเข้มข้นสูง และเมื่อนำแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารละลายดังกล่าวไปจุ่มในน้ำยางข้น ปรากฏว่าเกิดการเปลี่ยนสีของน้ำยางข้นกลายเป็นสีน้ำตาลและเกิดการจับตัวกันเองอย่างรวดเร็วแต่ไม่ยึดเกาะกับแบบพิมพ์พลาสติก ทำให้เกิดการเสียรูปร่างไปจากรูปแบบที่ต้องการ นอกจากนี้ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ขั้นตอนการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกลงในสารช่วยจับตัวจนกระทั่งปล่อยให้แห้งหลังจากจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางข้นทำให้เป็นพิษและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นสารละลายที่เกิดขึ้นจากผงอนุภาคซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกตที่ผ่านการเผา 1100 องศาเซลเซียส หรือเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (12 โมลาร์) พบว่าไม่เหมาะสมในการเตรียมเป็นสารช่วยจับพิมพ์ (Coagulant)

6. ผลการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับตัวของยางด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการแห้งของแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับตัวของพิมพ์ชนิดเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ดังตารางที่ 4 และการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคงรูปของน้ำยางข้นบน

แบบพิมพ์พลาสติกที่ถูกเคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ (coagulant) ชนิดเจลเปือกแคลเซียมซิลิเกตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการแห้งของแบบพิมพ์พลาสติกเมื่อเคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์พลาสติก (Coagulant)

เวลาการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับพิมพ์ (นาทีก)	เวลาการแห้งของการเคลือบด้วยเจลเปือก CaSiO_3 (วินาที)	เวลาการแห้งของการเคลือบด้วยสารละลาย CaCl_2 (วินาที)
1	34.80 ± 10.36	40.95 ± 7.96
3	95.75 ± 24.52	97.25 ± 8.58

ตารางที่ 5 เวลาการคงรูปของน้ำยางบนแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิดเจลเปือกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์

เวลาการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับพิมพ์ (นาทีก)	เวลาการจุ่มน้ำยางชั้นด้วยแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว (นาทีก)	เวลาการคงรูปของน้ำยางชั้นบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยเจลเปือก CaSiO_3 (วินาที)	เวลาการคงรูปของน้ำยางชั้นบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วย CaCl_2 (วินาที)
1	1	332.00 ± 47.07	273.00 ± 21.47
3	1	273.90 ± 45.84	257.00 ± 28.91
1	3	318.70 ± 31.04	237.50 ± 13.65
3	3	251.00 ± 37.07	238.00 ± 14.00

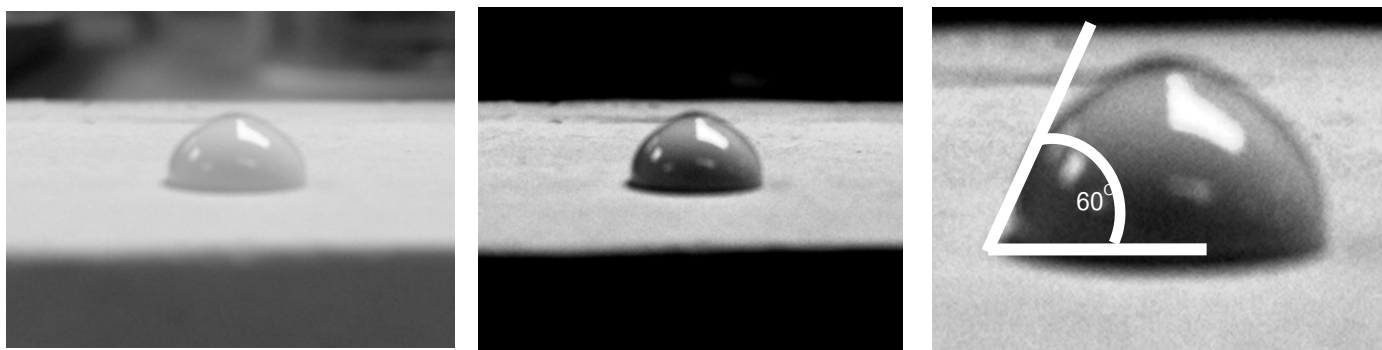
(เวลาในการจับแบบพิมพ์ หมายถึงสารช่วยจับพิมพ์เริ่มเกาะตัวบนแบบพิมพ์พลาสติกหรือน้ำยางชั้นชนิด HA หรือน้ำยางชั้นเริ่มเกาะตัวบนแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์, เวลาในการอยู่ตัวหมายถึงระยะเวลาที่น้ำยางชั้นชนิด HA จับหรือเกาะอยู่บนแบบพิมพ์พลาสติกอย่างแข็งแรงโดยไม่เกิดการไหลอีก และเวลาในการคงรูปหมายถึงระยะเวลาเริ่มตั้งแต่การจุ่มแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ลงในน้ำยางชั้นชนิด HA แล้วรอจนกระทั่งน้ำยางชั้นชนิด HA เกาะบนแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์อย่างแข็งแรงโดยไม่เกิดการไหลตัวอีก)

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งตัวของการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกลงในสารช่วยจับพิมพ์ระหว่างเจลเปือกแคลเซียมซิลิเกตและสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์นาน 1 และ 3 นาที ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงว่า สารทั้งสองชนิดดังกล่าว สามารถใช้เป็นสารช่วยจับพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกัน

สำหรับตารางที่ 5 แสดงระยะเวลาการจุ่มแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับแบบพิมพ์ลงในน้ำยางชั้นชนิด HA นาน 1 และ 3 นาที พบว่าการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับพิมพ์นาน 3 นาทีแล้วจึงนำแบบพิมพ์ดังกล่าวมาจุ่มลงในน้ำยางชั้นชนิด HA นาน 3 นาที จะใช้เวลาในการคงรูปที่สั้นกว่าการจุ่มเคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิดเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์ทั้งสองชนิดนาน 3 นาที แล้วตามด้วยการจุ่มลงในน้ำยางชั้น นาน 1 นาที แสดงให้เห็นว่าการจุ่มแบบพิมพ์ลงในสารช่วยจับพิมพ์ทั้งสองชนิดดังกล่าวจะมีผลต่อระยะเวลาการจับตัวและการคงรูปของน้ำยางชั้นชนิด HA

7. ผลการทดสอบมุมสัมผัสของน้ำยางชั้นบนแบบพิมพ์พลาสติกเมื่อถูกเคลือบด้วยสารช่วยน้ำยางจับตัว

น้ำยางชั้นบนแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับตัวชนิด เจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต

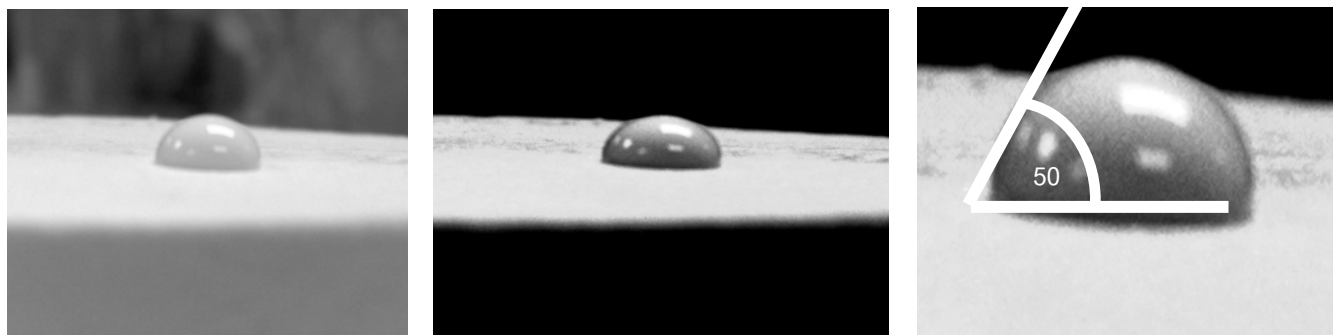


รูปที่ 5 มุมสัมผัสของน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต

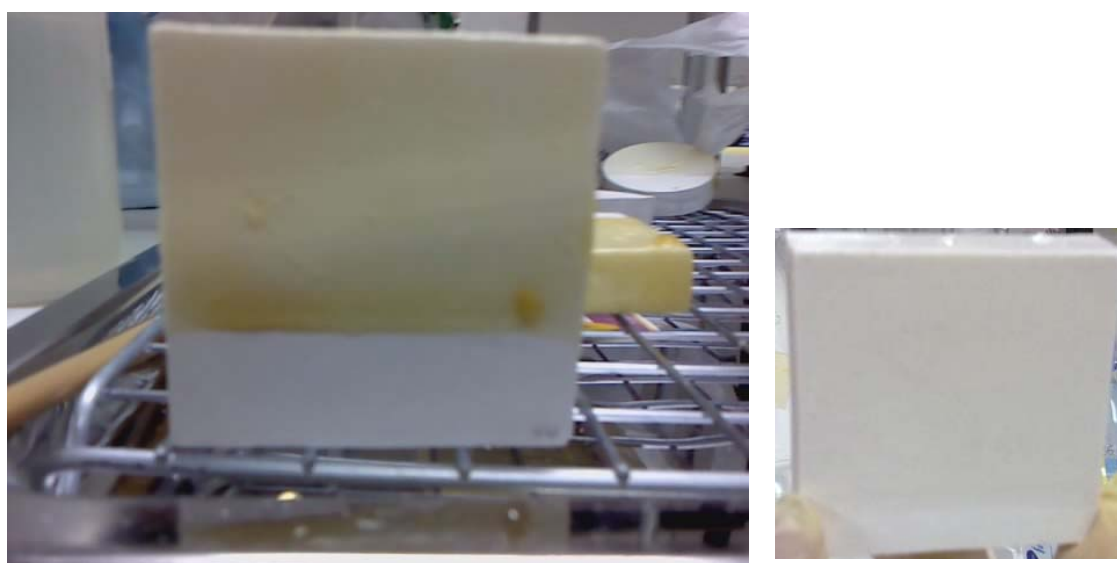


รูปที่ 6 การจับตัวของน้ำยางชั้นบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต

น้ำยางชั้นบนแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับตัวชนิดแคลเซียมคลอไรด์



รูปที่ 7 มุมสัมผัสของน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์



รูปที่ 8 การจับตัวของน้ำยางชั้นบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์

จากการทดสอบวัดมุมสัมผัสของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต ดังรูปที่ 5 พบว่ามุมสัมผัสที่ได้จากการหยดน้ำยางชั้นชนิด HA บนแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตเท่ากับ 60 องศา ความสูงจากฐานไปถึงยอดเท่ากับ 5.6 มิลลิเมตร ลักษณะของการเคลือบผิวน้ำยางบนผิวแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตเป็นดังรูปที่ 6 ซึ่งผิวฟิล์มมีความเรียบเนียนกับแบบพิมพ์พลาสติก และรูปที่ 7 แสดงการวัดมุมสัมผัสของน้ำยางที่มีสารแคลเซียมคลอไรด์เคลือบอยู่บนผิวแบบพิมพ์พลาสติกเท่ากับ 50 องศา ความสูงจากฐานจนถึงยอดเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร กล่าวได้ว่า การเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยแคลเซียมคลอไรด์ให้มุมสัมผัสใกล้เคียงกับแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตแสดงว่าแรงดึงดูดและแรงยึดเกาะระหว่างผิวของสารช่วยจับพิมพ์ชนิดเจล เปียกแคลเซียมซิลิเกตกับน้ำยางชั้นมีค่าน้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารช่วยจับพิมพ์ชนิดแคลเซียมคลอไรด์กับน้ำยางชั้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่ได้ แสดงให้เห็นว่าเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตมีสมบัติช่วยในการยึดเกาะของน้ำยางชั้นได้ดีเช่นเดียวกับการเคลือบแบบพิมพ์พลาสติกด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิด

แคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ลักษณะของฟิล์มยางบนแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์ที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 8 มีความเรียบเนียนของผิวฟิล์มเช่นเดียวกัน

8. ผลการทดสอบความหนาของแผ่นฟิล์มยาง

ผลการทดสอบความหนาของแผ่นฟิล์มยางเมื่อใช้สารช่วยจับตัวชนิดเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์เคลือบบนแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์โดยการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์ลงในสารช่วยจับตัวนาน 1 นาทีแล้วจึงนำไปจุ่มในน้ำยางข้นนาน 1 นาทีและ 3 นาที ตามลำดับ ได้ผลออกมาเป็นค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 6



รูปที่ 9 ฟิล์มยางที่ได้จากแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์ที่จุ่มเคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตนาน 1 นาที

ตารางที่ 6 ความหนาของฟิล์มยางหน่วยเป็นมิลลิเมตรระหว่างตัวอย่างแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ชนิดเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์

เวลาการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกเตอร์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์นาน 1 นาทีแล้วจุ่มลงในน้ำยางข้น (นาที)	ความหนาของฟิล์มยางเคลือบด้วยเจลเปียก CaSiO_3 (มม.)	ความหนาของฟิล์มยางเคลือบด้วย CaCl_2 (มม.)
1	0.250 ± 0.002	0.513 ± 0.094
3	0.328 ± 0.001	0.575 ± 0.051

จากการทดลองเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มยางพบว่าความหนาของฟิล์มยางจากแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารช่วยจับพิมพ์จะให้น้ำยางเกาะกันได้มากกว่า ฟิล์มยางที่ได้จึงหนากว่าแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกต เนื่องจากมุมสัมผัส (contact angle) ของน้ำยางขึ้นบนแบบพิมพ์มีค่ามากกว่ามุมสัมผัสของแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ที่จุ่มลงในน้ำยางขึ้น นอกจากนี้ก็นำแบบพิมพ์ที่จุ่มด้วยสารช่วยจับพิมพ์ทั้งสองชนิดคือเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์จุ่มลงในน้ำยางขึ้นเป็นเวลานานขึ้นประมาณ 3 นาที พบว่าฟิล์มยางที่ได้จะมีความหนาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับทั้งสองชนิดของสารช่วยจับพิมพ์ (coagulants)

9. ผลการทดสอบแรงดึงของฟิล์มยาง

การทดสอบฟิล์มยางด้วย Universal Testing Machine สำหรับทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน (uncured) ทำการทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส โดยใช้ Load Cell 900 นิวตัน และความเร็วในการดึง 250 มิลลิเมตรต่อวินาที ได้ผลของ Tensile Strength ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การรับแรงดึงของตัวอย่างฟิล์มยางที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมคลอไรด์

เวลาการจุ่มแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์นาน 1 นาทีแล้วจุ่มลงในน้ำยางขึ้น (นาที)	การรับแรงดึงของฟิล์มยางเคลือบด้วยเจลเปียก CaSiO_3 (MPa)	การรับแรงดึงของฟิล์มยางเคลือบด้วย CaCl_2 (MPa)
1	0.9501 ± 0.5512	0.7099 ± 0.1850
3	0.8495 ± 0.7402	0.8571 ± 0.5551

จากการทดลองพบว่า ค่า Tensile Strength ของฟิล์มยางจากแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตนาน 1 นาที มีค่ามากกว่าค่า Tensile Strength ของฟิล์มยางจากแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และหากการจุ่มแบบพิมพ์ในน้ำยางขึ้นนานขึ้นเป็น 3 นาที พบว่าค่า Tensile Strength ของฟิล์มยางจากแบบพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์ทั้งสองชนิดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงว่าแรงยึดเกาะของฟิล์มยางที่เคลือบลงบนแบบพิมพ์พลาสติกที่เคลือบด้วยสารช่วยจับพิมพ์จะมีความสำคัญมากในขั้นแรกๆ ที่สัมผัสกัน และหากเวลาการจุ่มลงในน้ำยางขึ้นนานขึ้น การรับแรงดึงจะขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มยางในขั้นถัดไป และจากผลการทดสอบเรื่องแรงดึงดังกล่าว ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบเป็นทางเลือกของสารช่วยจับพิมพ์ยาง นอกจากนี้จากกล่าวได้ว่าเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตมีศักยภาพในการเป็นสารช่วยจับพิมพ์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำ

ยางชั้นเช่นเดียวกันกับสารช่วยจับฟิมพ์ชนิดแคลเซียมคลอไรด์ จากข้อมูลที่ได้เอาไว้เป็นข้อมูลประกอบการผลิตแผ่นฟิล์มยางประเภทอื่นๆ ที่ต้องการผลิตฟิล์มบางที่สามารถรับแรงดึงยืด

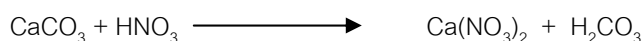
สรุปผล

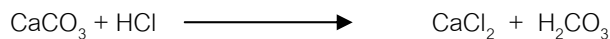
เจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตมีขนาดอนุภาค ขนาดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนสูงและขนาดรูพรุนใกล้เคียงกับขนาดรูพรุนของปูนปลาสเตอร์ ทำให้การยึดเกาะและการดูดซับของเจลเปียกและเจลแห้งชนิดแคลเซียมซิลิเกตทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยจับฟิมพ์ (Coagulant) บนผิวแบบฟิมพ์ปูนปลาสเตอร์ชนิดแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้พบว่าความแข็งแรงของการยึดเกาะผิวมีค่าใกล้เคียงกันกับ Coagulant ชนิดแคลเซียมคลอไรด์ที่สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัส (Contact angle) รวมทั้งความสูงของน้ำยางบนแบบฟิมพ์ปลาสเตอร์ที่เคลือบด้วยเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตมีค่ามุมสัมผัส(contact angle) ที่ใกล้เคียงกับค่ามุมสัมผัสของแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารช่วยจับฟิมพ์ การเปรียบเทียบเวลาปล่อยให้แห้งของการเคลือบสารช่วยจับฟิมพ์บนแบบฟิมพ์ปลาสเตอร์ระหว่างเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเวลาจับฟิมพ์จนแห้งกลายเป็นเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกตใช้เวลาสั้นกว่าแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้เมื่อนำแบบฟิมพ์ปลาสเตอร์จุ่มลงในน้ำยางชั้นทำให้ได้ฟิล์มยางมีคุณภาพดีเช่นเดียวกับสารช่วยจับฟิมพ์ชนิดแคลเซียมคลอไรด์แต่ฟิล์มยางที่ได้จากการทดลองจะบางกว่า จากการทดลองพบว่าฟิล์มยางที่ได้มีความบางและความสามารถรับแรงดึง (Tensile strength) ดังนั้นเจลเปียกและเจลแห้งชนิดแคลเซียมซิลิเกตที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ไก่ทำปฏิกิริยากับฟุ้งซิลิกาผ่านกระบวนการโซล-เจลมีศักยภาพในการเตรียมเป็นตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยจับฟิมพ์ยางเช่นเดียวกันกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมไนเตรดที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยจับฟิมพ์ในอุตสาหกรรมการผลิต ผลิตภัณฑ์ฟิล์มยางจากน้ำยางชั้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม

1. การพัฒนาขยายผลการศึกษาเคลือบสารช่วยจับฟิมพ์ยางชนิดเจลเปียกแคลเซียมซิลิเกตกับน้ำยางชั้นที่เป็นสูตรการผลิตฟิล์มยางในอุตสาหกรรมเพื่อจะได้เปรียบเทียบความสามารถในการยึดเกาะและความหนา-บางแต่ละผลิตภัณฑ์ตามค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท
2. การออกแบบรูปแบบฟิมพ์หรือเลือกใช้ฟิมพ์ที่คล้ายกับฟิมพ์ในอุตสาหกรรม
3. การเตรียมหรือการบดเจลเปียกและเจลแห้งชนิดแคลเซียมซิลิเกตให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าที่ได้จากการทดลองเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับและการยึดเกาะระหว่างสารช่วยจับฟิมพ์กับฟิมพ์ปลาสเตอร์และสารช่วยจับฟิมพ์กับน้ำยางชั้น
4. ศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมสารช่วยจับฟิมพ์ยางจากสารประกอบระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตจากการคั่วกับแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก เพื่อให้ได้สารประกอบในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ หรือ แคลเซียมไนเตรด ดังสมการ





5. ศึกษาการผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์จาก อลูมินา หรือ พอร์ซีเลน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำและน้ำยาง

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

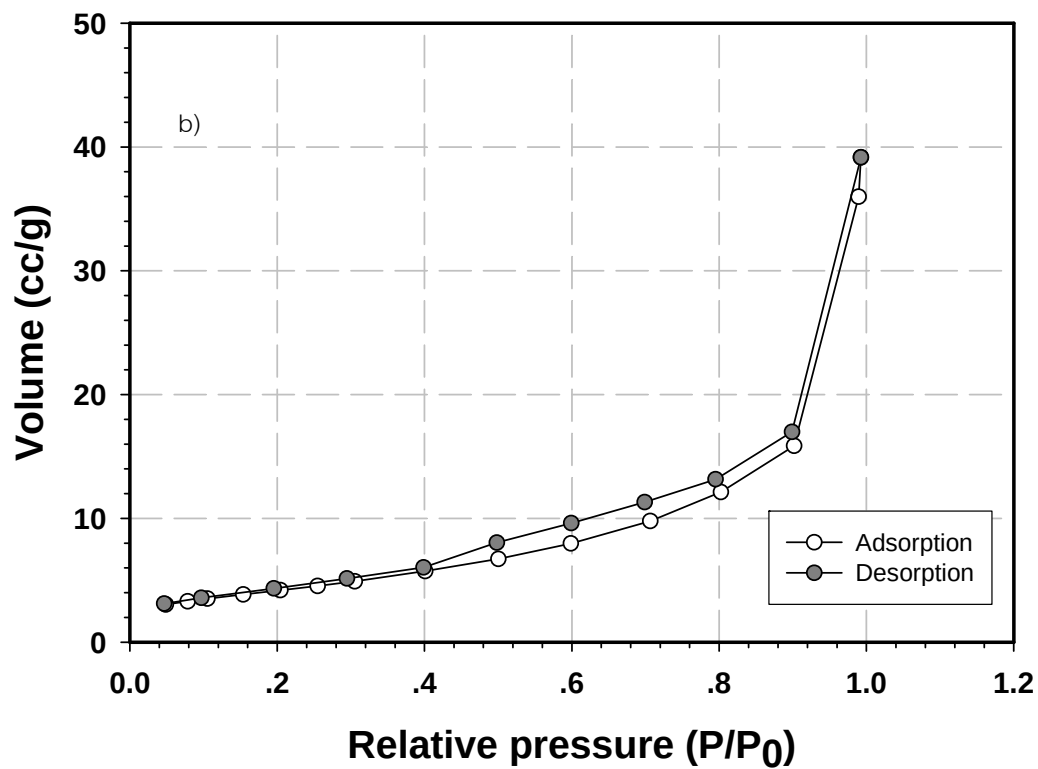
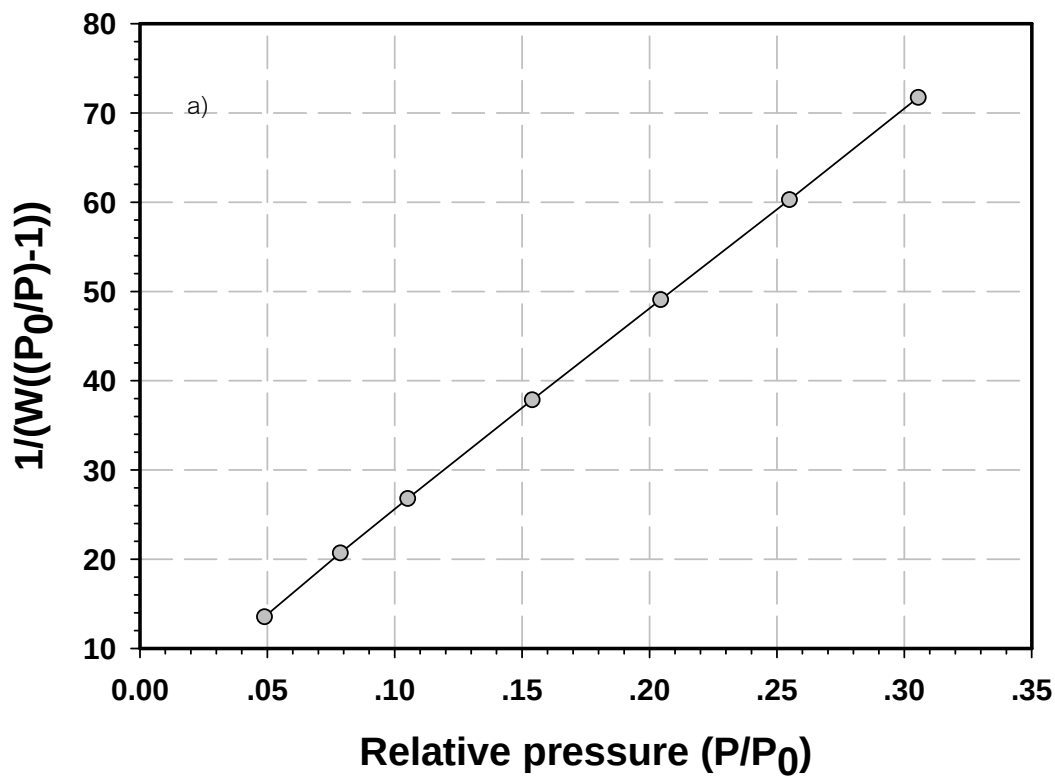
1. พัฒนานวัตกรรมเคลือบแบบแม่พิมพ์ด้วยสารช่วยน้ำยางจับพิมพ์ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนเซรามิกส์ โดยเทคนิคโซล-เจล
2. เพิ่มทางเลือกการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนที่ใช้ช่วยการจับตัวของน้ำยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิห้อง
3. ลดปัญหาต้นทุนเรื่องพลังงานโดยการใช้สารประกอบเชิงซ้อนเซรามิกส์ที่มีลักษณะคล้ายเจล
4. ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ของวิธีโซล-เจลสำหรับการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนชนิดเจลเปื่อยและเจลแห้ง แคลเซียมซิลิเกตต่อการยึดเกาะติดบนผิวแบบพิมพ์พลาสติก

เอกสารอ้างอิง

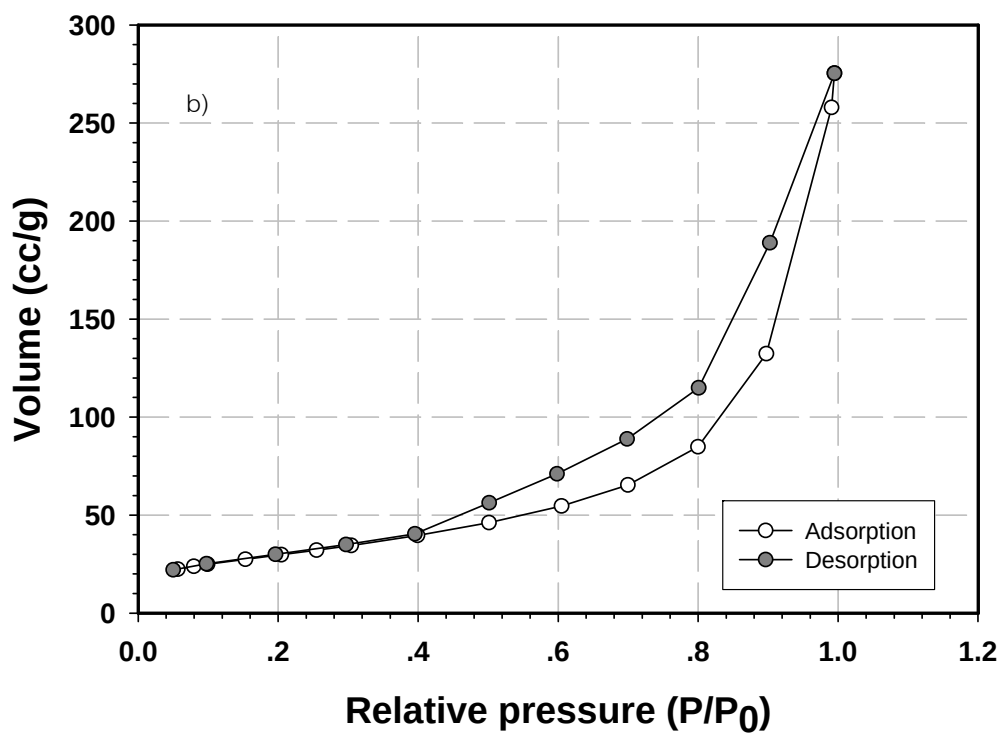
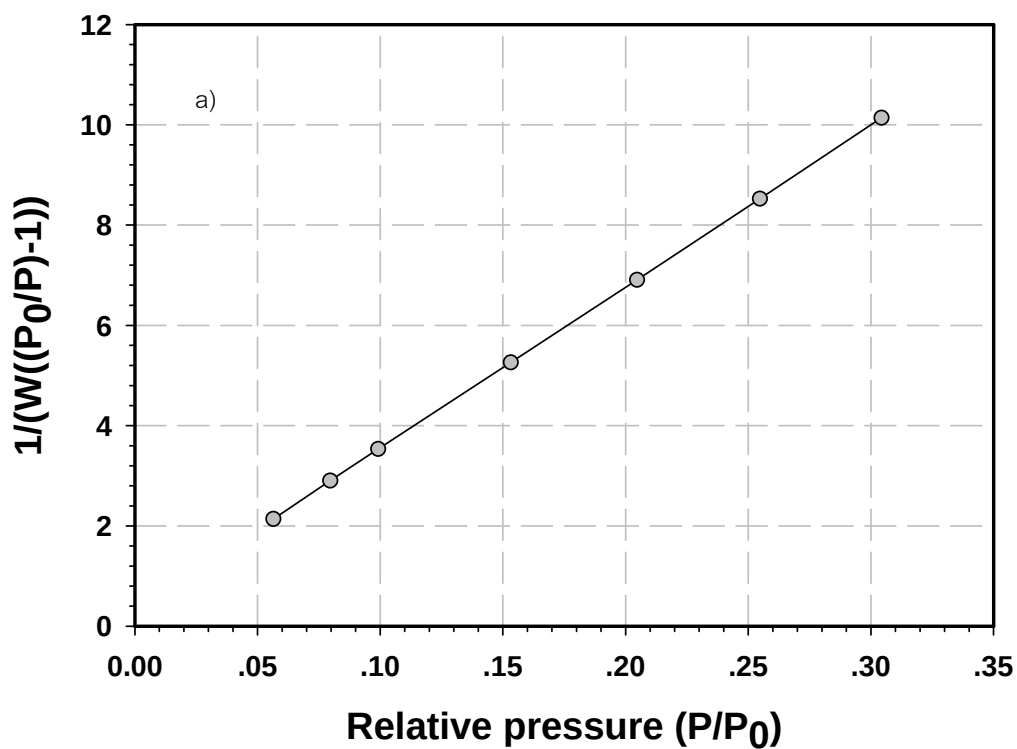
1. McCandlish, L.E., Chemical Processing of Nanostructured Materials, Mat.Tech.,8(9/10), 193-197, 1993.
2. WWW.Encyclopedia.co.th
3. Dafader, N.C., Jolly, Y.N., Haque, M.E., Akhtar, F., and Ahmad, M.U., The Role of Coagulants on the Preparation of Dipped film from Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 38/2, 2008, 267-274.
4. Cristopher, D.A, and Daniels, E.S., Emulsion Polymerization and Latex Applications, UK, 2003, 160 pp.
5. Vivaygananthan, K., and Amir Hashim, M.Y., Natural Rubber and Carboxylated Nitrile-Butadien Rubber Latex Blends and Evaluation of Coagulant Dipped Film Properties, PRIM Bulletin, Issue 1, 10 pp.
6. Mitsumata, T., Sugitani, K., and Koyama, K. (2004). Electrorheological response of swollen silicone gels containing barium titanate, Polym. J. 45, 3811-3817.
7. Callister, W.D., Materials Science and Engineering: an Introduction, 7thed, John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 806.
8. Shiga, T. (1997). Deformation and viscoelastic behavior of polymer gels in electric fields, Adv. Polym. Sci., 134, 131-163.
9. Tangboriboon, Pakdeewanishukho, K.,N.,Jamieson, A.M.,Sirivat, A.,Wongkasemjit, S., Electrical properties of a novel lead alkoxide precursor: Lead glycolate, Mat.Chem.Phys.,(2006),98,138-143.

10. Tangboriboon, N., Jamieson, A.M., Sirivat, A., Wongkasemjit, S., A novel route to perovskite lead titanate and lead titanium glycolates via the sol-gel process, *Appl. Org. Chem.*, (2006), 20, 886-894.
11. International Organization for Standardisation. 2008. Determination of total solids content. ISO 124: 2008.
12. International Organization for Standardisation. 2005. Determination of dry rubber content. ISO 126: 2005
13. International Organization for Standardisation. 2003. Determination of alkalinity. ISO 125: 2003.
14. International Organization for Standardisation. 2004. Determination of mechanical stability. ISO 35: 2004.
15. International Organization for Standardisation. 1992. Determination of volatile fatty acid number. ISO 506: 1992.
16. International Organization for Standardisation. 1995. Determination of KOH number. ISO 127: 1995.

ภาคผนวก 1 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอรั่มของปูนปลาสเตอร์



ภาคผนวก 2 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอรั่มของเจลแห้งแคลเซียมซิลิเกต



ภาคผนวก 3 a) พื้นที่ผิวและ b) ไอโซเทอรั่มของซินเทอร์แคลเซียมซิลิเกต

