ผลกระทบของปริมาณสารเคมีต่อคุณสมบัติของวอล์ลเปเปอร์ชนิดธรรมดา

นันทพร เผือกแดง, อัญชนา สุจิมา และ ปิยฉัตร ยิ้มศิริ*
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา* Email : pyimsiri@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณสารเคมีต่อความแข็งแรงและความขาวของวอล์ลเปเปอร์ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณ PVC, $CaCO_3$ และ TiO_2 และการลดปริมาณ DOP มีผลให้ความหนืดของ PVC-mixture เพิ่มขึ้น และผลที่ตามมาคือความหนาของวอล์ลเปเปอร์เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้พบว่าความหนาน้อยที่สุดที่ทำการเคลือบโดยเหล็กปาดคือ 0.32 มิลลิเมตร ความแข็งแรงของวอล์ลเปเปอร์ซึ่งทำการวัดกำลังต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ไม่แตกต่างจากความแข็งแรงของกระดาษเปล่าและปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อความแข็งแรงของวอล์ลเปเปอร์ แต่การเพิ่มปริมาณ PVC และ DOP มีผลให้ความเหนียว (ระยะยืด) ของ PVC- coating เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ และ TiO_2 ทำให้วอล์ลเปเปอร์มีความเปราะ ดัชนีความขาว (WI CIE) ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer แสดงให้เห็นว่า เฉพาะ TiO_2 และ DOP มีผลต่อความขาวของวอล์ลเปเปอร์อย่างมาก การเพิ่มปริมาณ TiO_2 ทำให้ความขาวเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับกรณีของ DOP การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมีที่ทำให้คุณภาพของวอล์ลเปเปอร์ดีที่สุดจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 15% หรือ 770,000 บาทต่อปี

คำสำคัญ : วอล์ลเปเปอร์, PVC-coating, PVC-mixture, พลาสติกไซเซอร์

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตวอล์ลเปเปอร์มีแพร่หลายและเป็นที่รู้จักกันดีในต่างประเทศ การใช้งานของวอล์ลเปเปอร์ส่วนใหญ่เป็นการใช้งานภายในอาคาร เพื่อเพิ่มความสวยงามให้กับตัวอาคาร ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในสำนักงานและที่อยู่อาศัย

ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมผลิตวอล์ลเปเปอร์เพียง 5-6 ราย เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตและความต้องการภายในประเทศมีจำกัด อีกทั้งการผลิตวอล์ลเปอร์มีต้นทุนสูง ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวโน้มในการลดต้นทุนการผลิต โดยการศึกษาปริมาณสารเคมีที่มีผลต่อคุณสมบัติวอล์ลเปเปอร์ชนิดธรรมดา ซึ่งสารเคมีที่ทำการศึกษามี 4 ชนิด ได้แก่ Polyvinyl Chloride (PVC), Dioctyl Phthalate (DOP), Titanium Dioxide (TiO_2) และ Calcium Carbonate ($CaCO_3$)

ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับวอล์ลเปเปอร์มีไม่แพร่หลายนัก อย่างไรก็ตามมีการศึกษาเกี่ยวกับสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตวอล์ลเปเปอร์ Monney และคณะ (2001) ได้ศึกษาการเคลือบ PVC บนเบาะที่นั่งในรถไฟ พบว่าถ้ามีการสูญเสียพลาสติกไซเซอร์ โดยความร้อนและโดยการสัมผัสกับโพลียูรีเทน จะทำให้ PVC เปราะ Enomae (1999) พบว่าการสะท้อนแสงจะดีขึ้นเมื่ออนุภาคของ $CaCO_3$ มีลักษณะเป็นทรงกลม ใน การผลิต PVC จากกระบวนการโพลีเมอไรเซชั่นซึ่งใช้โมโนเมอร์ของ vinyl chloride เป็นสารตั้งต้น พบว่าพลาสติกจะเกิดความอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนหรือใส่พลาสติกไซเซอร์ 30-50% และหากใส่พลาสติกไซเซอร์น้อยกว่า 5% พลาสติกจะแข็ง (Sugiura และคณะ, 2000)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) จำหน่ายโดยบริษัทไวนิลไทยจำกัด เป็นส่วนที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายมากที่สุดในการผลิตวอล์ลเปเปอร์ มีคุณสมบัติที่สำคัญในการควบคุมความแข็ง/อ่อนและการติดสีของวอล์ลเปเปอร์ ซึ่ง PVC มีความสามารถในการทนความร้อนได้ดี

ไดออกทิลพะทาเลท (DOP) จำหน่ายโดยบริษัท Continental Petrochemical (Thailand) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรองลงมาจาก PVC มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดี และช่วยเพิ่มความอ่อนนุ่มเมื่อผสมกับ PVC

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จำหน่ายโดยบริษัทเจ็นตร้าอินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด มีคุณสมบัติคือช่วยเพิ่มความขาวแก่วอล์ลเปเปอร์

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จำหน่ายโดยบริษัท Quality Mineral มีคุณสมบัติคือ ช่วยเพิ่มความสดใสแก่วอล์ลเปเปอร์และมีราคาต่ำกว่า TiO_2

Solvent 3040 จำหน่ายโดยบริษัทเอกซ์ซอนโมไบล์เคมีคอลจำกัด

โพแทสเซียมแบเรียมซิงค์ (BZ-13P) จำหน่ายโดย บริษัทคอสมอสเคมีคอลจำกัด

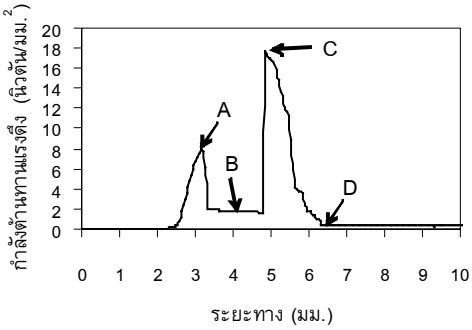
2.2 วิธีการทดลอง

<u>การเคลือบวอล์ลเปเปอร์</u>

เตรียมของผสม PVC (PVC-mixture) โดยใช้เครื่องตีไข่ (Otto) วัดความหนืดของ PVC-mixture ด้วยเครื่อง viscometer (RI: 2:H1) นำ PVC-mixture 20 มล. เทบนกระดาษและใช้เหล็กปาดรีด PVC-mixture อบกระดาษที่เคลือบแล้วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เคลือบกระดาษ 5-6 แผ่นต่อ 1 สูตร PVC-mixture วัดความหนาของกระดาษด้วย digital vernier ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

<u>การทดสอบความเหนียว</u>

ตัดกระดาษเป็นรูปดัมเบล ทดสอบความเหนียวด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2) โดยการดึงด้วยความเร็ว 1 มม./วินาที ทำการทดสอบซ้ำอย่างน้อย 9 ตัวอย่างต่อ 1 สูตร PVC-mixture ได้กราฟตัวอย่างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (มิลลิเมตร) กับกำลังต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) โดยที่

A จุดที่กระดาษขาด

B จุดที่ PVC-coating ยืดตัว

C จุดที่ PVC-coating เริ่มขาด

D ระยะสุดท้ายที่ PVC-coating ขาดหมด (elongation to break)

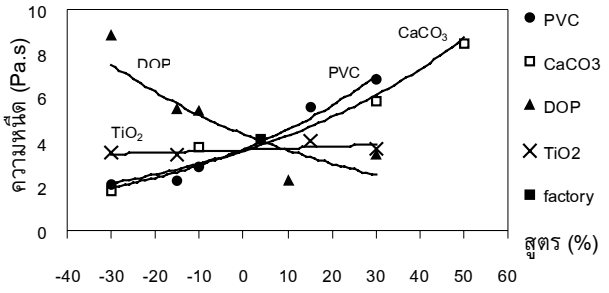
<u>การทดสอบความขาว</u>

ทดสอบความขาวด้วยเครื่อง Spectrophoto-meter (Ultrascan XE) ดัชนีความขาวที่ใช้คือ WI CIE ซึ่งเป็นค่าความขาวตามมาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination)

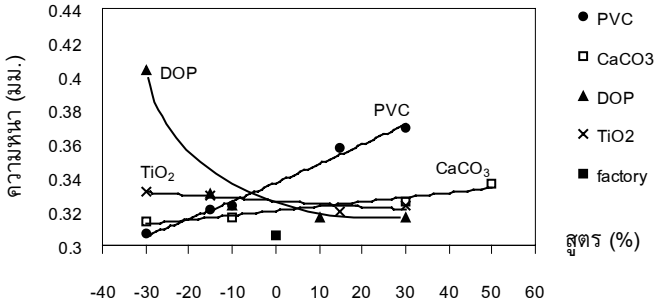
3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณของแข็ง(PVC, TiO_2 และ $CaCO_3$) และลดปริมาณของเหลว (DOP) ทำให้ความหนืดของ PVC-mixture มีค่ามากขึ้นดังแสดงในกราฟรูปที่ 2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่ม PVC ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ ความหนืดของ PVC-mixture มีค่าสูงขึ้นมาก เมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณ PVC ที่เลยจุด theta concentration (จุดที่สายโซ่โพลิเมอร์มีการพันกัน) คือตั้งแต่ -15% PVC ขึ้นไป ส่วนการเพิ่มปริมาณ TiO_2 มีผลต่อการเพิ่มความหนืดเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากปริมาณ TiO_2 ที่ใช้ใน PVC-mixture มีปริมาณเพียงเล็กน้อย (7% เมื่อเทียบกับปริมาณส่วน

ผสมทั้งหมด) เมื่อ PVC-mixture มีความหนืดสูงขึ้นจะทำให้ความหนาของวอล์ลเปเปอร์เพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 นอกจากนี้พบว่าไม่ว่าความหนืดของ PVC-mixture จะลดลงเท่าไหร่ก็ตาม ความหนาต่ำสุดของวอล์ลเปเปอร์ อยู่ที่ประมาณ 0.32 มิลลิเมตร จึงถือได้ว่าเป็นความหนาน้อยที่สุดที่สามารถเคลือบได้ด้วยเหล็กปาด

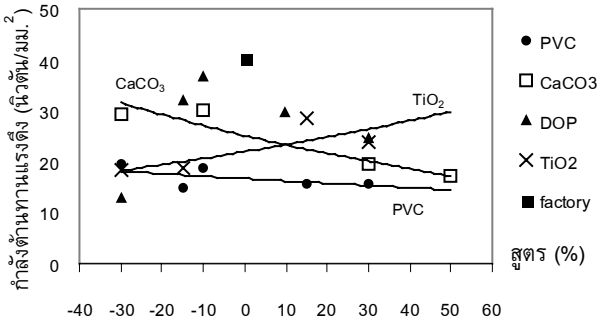


รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับความหนืดของ PVC-mixture

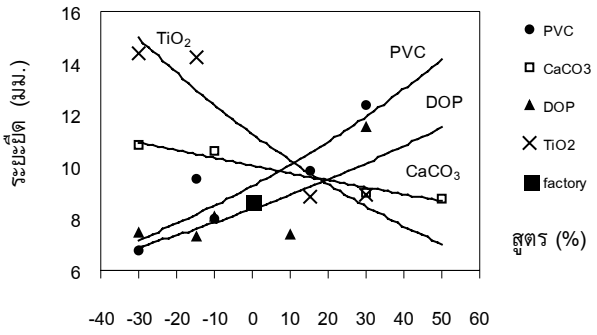


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับความหนาของวอล์ลเปเปอร์

PVC-mixture ที่เคลือบลงบนกระดาษจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษเพียงเล็กน้อย (กระดาษเปล่ามีกำลังต้านทานแรงดึงประมาณ 7-8 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนวอล์ลเปเปอร์ มีกำลังต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 8-10 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมีต่อความแข็งแรงของกระดาษวอล์ลเปเปอร์เห็นได้ไม่ชัดเจน แต่ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมีต่อความแข็งแรงของ PVC-coating เห็นได้อย่างชัดดังกราฟรูปที่ 4 จากกราฟรูปที่4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $CaCO_3$ มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของ PVC-coating กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ จะทำให้กำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating มีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก $CaCO_3$ เป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์ซึ่งมีความเปราะ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ มากขึ้นยิ่งทำให้ PVC-coating มีความเปราะมากขึ้น แต่เป็นที่น่าแปลกใจคือ TiO_2 ซึ่งเป็นเซรามิกส์เช่นเดียวกันกับ $CaCO_3$ และปริมาณที่ใช้น้อยกว่า $CaCO_3$ ประมาณ 70% แต่มีผลทำให้กำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงระยะยืด PVC-coating พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ และ TiO_2 ระยะสุดท้ายที่ชิ้นงานขาดออกจากกัน (elongation to break) มีค่าลดลงดังแสดงในกราฟรูปที่ 5 ทั้งนี้เป็นการยืนยันความเปราะของชิ้นงาน ในส่วนของ PVC กำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ PVC แต่มีผลให้ระยะสุดท้ายที่ขาดมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในกราฟรูปที่ 4 และ 5 การที่ระยะยืดตัวของ PVC-coating มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก PVC เป็นโพลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง (ความเหนียว) ในส่วนของ DOP การเพิ่มปริมาณ DOP ในช่วงแรก (เมื่อปริมาณ DOP อยู่ในช่วง –30% ถึง –10%) มีผลให้กำลังต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณ DOP มากกว่าปริมาณที่ –10% กำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating จะลดลงและมีแนวโน้มคงที่ การเพิ่มปริมาณ DOP จะทำให้ระยะขาดสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ DOP เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งมีหน้าที่เพิ่มความอ่อนนุ่มและความยืดหยุ่นให้กับ PVC-coating



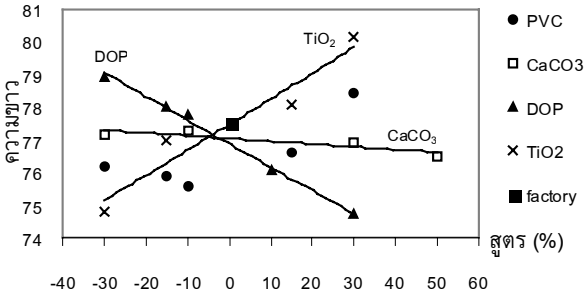
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับกำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating (จุด C ในรูปที่1)



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับระยะยืดของPVC-coating (จุดDในรูปที่1)

กราฟรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีและความขาวของวอล์ลเปเปอร์ พบว่า TiO_2 มีผลต่อความขาวมากที่สุดถึงแม้ว่าจะเป็นสารที่ใช้ปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นๆ โดยที่ความขาวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 ถึงแม้ว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาจะรายงานว่า $CaCO_3$ เป็นสารที่เพิ่มความสดใสและความขาว (Enomae, 1999) แต่จากการทดลองนี้พบว่า ความขาวของวอล์ลเปเปอร์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ ในทางตรงกันข้ามกับ TiO_2 การเพิ่มปริมาณ DOP ทำให้ความขาวของวอล์ลเปเปอร์มีค่าลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะ DOP เป็นสารที่มีสีเหลืองอ่อนๆ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณจึงทำให้สีของวอล์ลเปเปอร์คล้ำขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PVC และความขาวของวอล์ลเปเปอร์แสดงแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงปริมาณ PVC ตั้งแต่ -30% ถึง +20% (ดัชนีความขาวประมาณ 75.5-76.5) เมื่อปริมาณ PVC เพิ่มขึ้นมากถึง 30% ความขาวของวอล์ลเปเปอร์สูงขึ้นเป็น 78.5

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การลดต้นทุนการผลิต ตารางที่ 1 แสดงผลสรุปของการเปลี่ยนแปลงราคาต้นทุนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมี พบว่าปริมาณ PVC มีผลต่อต้นทุนการผลิตสูงสุด จากผลการทดลองทั้งหมดนี้จะพบว่า แนวโน้มในการลดต้นทุนการผลิตคือ การลดปริมาณ PVC และเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ ทั้งนี้เพราะผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณ 10-30% ยังทำให้คุณสมบัติต่างๆ (ความแข็งแรงและความขาว) ของวอล์ลเปเปอร์อยู่ในช่วงยอมรับได้เมื่อเทียบกับสูตรโรงงาน แต่การลดปริมาณ PVC เพียงอย่างเดียวจะทำให้ปริมาณ PVC-mixture ลดลง จึงจำเป็นต้องเพิ่มเนื้อสารด้วย $CaCO_3$ ซึ่งมีราคาถูกกว่า และการเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ ในช่วง 30-50% ก็ทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของวอล์ลเปเปอร์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับความขาวของวอล์ลเปเปอร์

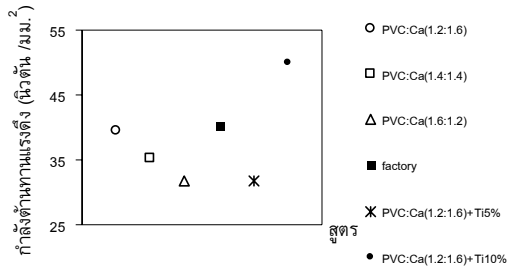
ตารางที่ 1 ตารางแสดงราคาต้นทุนในการผลิตที่ลดได้

ปริมาณสารเคมี	ต้นทุน(%)	ปริมาณสารเคมี	ต้นทุน(%)
ลด PVC 30%	-16.13	เพิ่ม $CaCO_3$ 30%	+0.83
ลด PVC 15%	-8.07	เพิ่ม $CaCO_3$ 50%	+1.39
ลด PVC 10%	-5.38	ลด TiO_2 30%	-4.33
เพิ่ม PVC 15%	+8.07	ลด TiO_2 15%	-2.17
เพิ่ม PVC 30%	+16.13	เพิ่ม TiO_2 15%	+2.17
ลด DOP 30%	-7.00	เพิ่ม TiO_2 30%	+4.33
ลด DOP 15%	-3.50	PVC;Ca(1.6:1.2)	-5.42
ลด DOP 10%	-2.33	PVC;Ca(1.4:1.4)	-10.84
เพิ่ม DOP 10%	+2.33	PVC;Ca(1.2:1.6)	-16.25
เพิ่ม DOP 30%	+7.00	PVC;Ca(1.2:1.6)+Ti5%	-15.53
ลด $CaCO_3$ 30%	-0.83	PVC;Ca(1.2:1.6)+Ti10%	-14.81
ลด $CaCO_3$ 10%	-0.28		

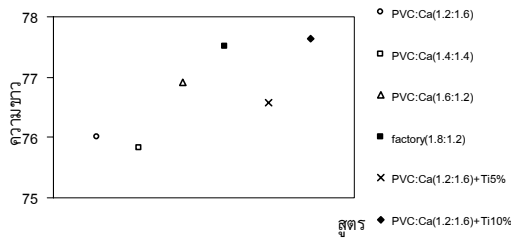
หมายเหตุ เครื่องหมายลบแสดงการลดต้นทุนการผลิต และเครื่องหมายบวกแสดงการเพิ่มต้นทุนการผลิต

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง PVC และ $CaCO_3$ จากเดิม 1.8:1 เป็น 1.6:1.2, 1.4:1.4, 1.2:1.6 พบว่าเมื่อปริมาณ PVC: $CaCO_3$ เป็นอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น ความหนืดของ PVC-mixture ทั้ง 3 สูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ระหว่าง 4-5 Pa.s

และความหนาของวอล์ลเปเปอร์ มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.32 มิลลิเมตร จากกราฟรูปที่ 7 พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง PVC:$CaCO_3$ ความแข็งแรงของวอล์ลเปเปอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PVC ลดลงและปริมาณ $CaCO_3$ เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่าง PVC: $CaCO_3$ เป็น 1.2:1.6 ค่าความแข็งแรงของ PVC-coating ดีที่สุดและมีค่าเท่ากับค่ากำลังดึงเมื่อผลิตโดยสูตรโรงงาน คือประมาณ 40 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 แต่อัตราส่วนนี้มีผลให้ความขาวของวอล์ลเปเปอร์ลดลงเมื่อเทียบกับสูตรโรงงานดังแสดงในรูปที่ 8 ดังนั้นจึงมีการเพิ่ม TiO_2 5% และ 10% ลงในอัตราส่วน PVC:$CaCO_3$ ที่เป็น 1.2:1.6 ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ TiO_2 10% จะทำให้วอล์ลเปเปอร์มีคุณภาพดีที่สุดและดีเทียบเท่ากับสูตรโรงงานทั้งในเรื่องความแข็งแรงและความขาว



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่าง PVC: $CaCO_3$ กับกำลังต้านทานแรงดึงของ PVC-coating



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ PVC: $CaCO_3$ กับความขาวของวอล์ลเปเปอร์

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าปริมาณ PVC, DOP, TiO_2 และ $CaCO_3$ ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของวอล์ลเปเปอร์ แต่มีผลต่อความแข็งแรงของ PVC-coating หน้าที่หลักของ PVC คือช่วยเพิ่มความเหนียวให้แก่ PVC-coating ส่วน $CaCO_3$ เป็นตัวที่ช่วยเพิ่มเนื้อ (filler) ให้กับ PVC-mixture แต่ไม่ได้มีผลอะไรมากนักต่อคุณสมบัติของวอล์ลเปเปอร์ แต่ถ้าใส่ $CaCO_3$ ในปริมาณมาก จะทำให้ PVC-coating เกิดการเปราะและความขาวลดลง DOP ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดี ช่วยเพิ่มความอ่อนนุ่มและความยืดหยุ่นให้กับ PVC แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ความขาวของวอล์ลเปเปอร์ลดลง หน้าที่หลักของ TiO_2 คือช่วยเพิ่มความขาวให้แก่วอล์ลเปเปอร์ แต่ถ้าปริมาณ TiO_2 มากเกินไป จะทำให้ PVC-coating เกิดการเปราะเนื่องจาก TiO_2 เป็นสารประเภทเซรามิกส์เช่นเดียวกับ $CaCO_3$ จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมีที่ดีที่สุด (กล่าวคือคุณสมบัติของวอล์ลเปเปอร์ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้) คือการลดปริมาณ PVC 33% เพิ่มของ $CaCO_3$ 60% และเพิ่ม TiO_2 10% (สูตร PVC:$CaCO_3$ 1.2:1.6 + TiO_2 10%) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 15% ซึ่งเทียบเป็นจำนวนเงิน 770,000 บาทต่อปี (คิดจากกำลังการผลิตของ โรงงาน ณ วันที่เริ่มทำการทดลอง)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ขอขอบคุณ บริษัทเอ็ม ดี ไอโฮมโปรดักส์ชั่นจำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสารเคมี

6. เอกสารอ้างอิง

บรรเลง ศรนิล. *เทคโนโลยีพลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 38,43, 2546.

Enomae, Toshiharu. 'Application of Hollow Calcium Carbonate Particles to papermaking'. *Proceedings of the 5th Asian Textile Conference*. 1:464-467; 1999.

Monney, L.; Jamois-Tasserie, M.; Dubois, C.; Lattet, P.; Villa, F.; Renaud, C. "Plasticiser migration and structural changes in an aged poly(vinyl chloride) coating." *Polymer Degradation and stability.* 72:459-468; 2001.

Sujiura, Keiji.; Sujiura, Mariko.; Hayakawa, Ritsuko.; Shamoto, Mikihiro.; Sasaki, Kazumi. "Di (2-ethylhexyl) phthalate (DOP) in vinyl-chloride slipguard of cotton gloves caused contact urticaria syndrome." *Environ Dermatol.* 7:211-216; 2000.