

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ Industrial Floor Surface Coating และ Epoxy Surface Coating

เรซินสังเคราะห์ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวพื้น มีมากมายหลายชนิด ได้แก่

2.1.1 **อัลคิตรีซิน (Alkyd resin)** เป็นเรซินที่จัดอยู่ในประเภทโพลีเอสเตอร์ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมาก เนื่องจากราคาถูก มีสมบัติการเปียกผิวดี ราคาถูก งามทนทานต่อความร้อนและตัวทำละลายได้ดี แต่ไม่นิยมนำมาใช้ในการเคลือบผิวพื้นเนื่องจากสมบัติเชิงกลของเรซินชนิดนี้ยังไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม

2.2.2 **โพลียูรีเทน (Polyurethane)** เป็นเรซินที่มีความทนกรด-ด่างและน้ำมันได้ดี มีแรงยึดผิวหน้าดี ทนการขัดสีได้สูง แต่ความทนกรด-ด่างต่ำกว่าอีพอกซีเรซิน เหลืองง่ายเมื่อถูกแสงแดด และมีราคาสูง จึงไม่นิยมใช้ในงานเคลือบผิวพื้น แต่นิยมนำไปใช้ในงานประดับตกแต่ง แกะสลักหรือรื้อรอยต่อมากกว่า

2.2.3 **อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)** เป็นเรซินที่ใช้ประโยชน์ได้มากทางอุตสาหกรรม โดยใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมากถึง 60% และเป็นที่ยอมรับมากในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวพื้นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมดังนี้

- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งทนต่อด่างทั้งหลาย เนื่องจากโมเลกุลไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ถูกสaponifyได้ง่าย
- มีสมบัติยึดผิวหน้าต่างๆ ได้ดี
- มีความแข็งแรงดีและอ่อนตัวได้ไม่เปราะ เนื่องจากมีหมู่อะโรมาติกและพันธะเดี่ยวอยู่ในสายโซ่
- มีหมู่อีพอกซีและไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล จึงทำให้เกิดโพลีเมอร์เรซินหรือเกิดการบ่มต่อไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติที่แข็งแรงทนทานและใช้ประโยชน์ได้ดี

ส่วนข้อเสียของอีพอกซี คือ ตัวทำละลายมีราคาค่อนข้างแพง ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเรซินบางชนิด นอกจากนี้ฟิล์มที่ได้จากอีพอกซีมักจะร่วนและเมื่ออยู่ภายนอกนานๆ ความทนต่อน้ำจะด้อยลง

ตารางที่2.1 เปรียบเทียบสมบัติของเรซินสังเคราะห์

สมบัติ	เรซินสังเคราะห์		
	อัลคิต	อีพอกซี	โพลียูรีเทน
การยึดกับผิวหน้า	VG	E	G
ความแข็ง	G	VG	E
ความอ่อนตัวไม่เปราะ	G	E	VG
ความทนทานต่อการขีดสี	G	VG	E
ความทนกรด	F	G	E
ความทนด่าง	F	E	VG
ความทนผงซักฟอก	F	E	VG
ความทนต่อความร้อน	G	G	G
ความทนตัวทำละลายรุนแรง	F	E	E
ความทนน้ำ	G	G	VG
ความทนทานต่อการเปลี่ยนสี (fade resistance)	VG	G	F
ความทนทานต่อการเป็นฝุ่น (chalk resistance)	G	F	F

Key: F = Fair VG = Very good P = Poor
 G = Good or average E = Excellent, outstanding NR = Not recommend

ตารางที่ 2.2 การใช้เรซินสังเคราะห์สำหรับการเคลือบผิววัสดุต่างๆและสภาพแวดล้อมต่างๆ

สมบัติ	เรซินสังเคราะห์		
	อัลคิต	อีพอกซี	โพลียูรีเทน
ไม้	G	G	G
คอนกรีต	NR	VG	G
โลหะ	VG	VG	G
ดบแต่งภายใน	G	G	G
ดบแต่งภายนอก			
ชนบท	G	G	G
ชายทะเล	G	VG	VG
เขตอุตสาหกรรม	F	E	VG

Key: F = Fair VG = Very good P = Poor
 G = Good or average E = Excellent, outstanding NR = Not recommend

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการตัดแต่งหินแกรนิต

กระบวนการซึ่งทำให้เกิดฝุ่นผงแกรนิต ได้แก่ กระบวนการแปรรูปหินแกรนิตที่ใช้ในงานประดับตกแต่ง โดยกระบวนการเริ่มจากการนำหินแกรนิตจากเหมือง ขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร มาตัดให้เป็นแผ่นด้วยใบเลื่อยขนาดใหญ่ หลังจากนั้นนำมาตัดแต่งให้เข้ารูป แล้วนำมาเข้าเครื่องขัด ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้จะเกิดเศษหินขึ้นประมาณ 41% ของวัตถุดิบเริ่มต้น โดยที่กระบวนการ เลื่อย ตัดแต่ง และขัดเงา จะก่อให้เกิดเศษหินแกรนิตขึ้น 25 wt%, 15 wt% และ 1 wt% ตามลำดับ กล่าวอีกนัยหนึ่งจะเกิดเศษหินแกรนิตขึ้นประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัตถุดิบเริ่มต้น 1 ตัน จึงก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการเศษหินแกรนิตเหล่านี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันการจัดการกับเศษหินแกรนิตเหล่านี้ มักกระทำโดยการฝังกลบ ขณะที่เศษหินแกรนิตเหล่านี้เป็นวัสดุเหลือใช้ ที่ยังคงคุณสมบัติเชิงกล และความสวยงาม นำที่จะนำกลับมาเป็นวัตถุดิบเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยอาจนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนในเรซินเคลือบผิวโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการลดต้นทุนการผลิต และ/หรือ ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเรซินเคลือบผิวได้

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการบดย่อยหินปูน

กระบวนการบดย่อยหินปูนนั้น เกิดขึ้นในโรงโม่หิน ซึ่งจะต้องมีการกอง ตัก ขนย้าย บดย่อย คัดขนาด ลำเลียงเปลี่ยนถ่าย ซึ่งมักเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายและตกสะสมอยู่ทั่วบริเวณพื้นโรงโม่ หากมีการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นที่เหมาะสม นอกจากช่วยลดปัญหาสุขภาพและสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถรวบรวมฝุ่นผงหินปูนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุทดแทนในในเรซินเคลือบผิวโรงงานอุตสาหกรรม

2.4 ต้นทุนการผลิตอีพอกซีเคลือบผิวของบริษัท ซอสเอนจิเนียริง จำกัด

สูตรผสม Epoxy composite	ต้นทุนการผลิต (บาท/กิโลกรัม)
Part A + Part B	180.00
YD-128	105.00
Hardener	160.00

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ C.B.Ng (1999) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของ Epoxy Nanocomposite จากการเติม TiO₂ Nanoparticle โดยใช้ Ultrasonic method ในการทำให้ Nano-particle กระจายตัวใน epoxy resin

ระดับของ Nano TiO₂ ที่ผสมภายใน composite มีด้วยกัน 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 wt% แต่ปรากฏว่าที่ 10 wt% ได้ผลเหมาะสมที่สุด จึงนำมาเป็นสูตรในการผสม Epoxy composite แล้วทดลองใช้ขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน และสุดท้ายก็ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ Tensile test, Scratch test พร้อมทั้งตรวจดูโครงสร้าง Morphology ด้วย SEM

การทดลองดังกล่าว TiO₂ particle ที่ใช้ มี 2 ขนาด คือ nanometer size (D=32nm) และ micron size (0.24 μm หรือ 240 nm) หลักการในการผสมทั้งสองขนาดมีหลักการเดียวกัน คือ ประกอบด้วย 90% TiO₂ และ 10% Rutile แล้วเติมเข้าไปใน epoxy resin ที่อุณหภูมิ 60°C จะได้เรซินที่มีความหนืดต่ำ จากนั้นทำการกวนด้วยแท่งแก้ว แล้วนำไปวางใน ultrasonic bath เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 60°C และ hardener (1,3 phenylenediamine) จะถูกเติมลงไปหลังสุด แล้วรีบเทสารผสมลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน เพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Tensile

และ Scratch (ขีดสี) โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวโดยใช้ กล้อง SEM และ micrographs ที่ได้แสดงพื้นผิวของ Nanocomposite พบว่า TiO_2 Nanoparticle มีการรวมตัวกัน แต่ส่วนใหญ่จะเกิดการกระจายตัวที่ดีใน epoxy matrix

จากผลการทดลองพบว่า Neat epoxy และ epoxy resin ที่มีการเติมด้วย 10wt% micron-size และ nanometer – size TiO_2 โดย Nanometer – size TiO_2 ที่เติมลงใน epoxy แสดงการเพิ่มของ scratch resistance เมื่อเปรียบเทียบกับ Neat epoxy และ micron- TiO_2 - filled epoxy ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่สัดส่วน Nano- TiO_2 10wt% ทำให้ epoxy composite มีค่า modulus และ elongation at break หรือ strain-to-failure เพิ่มขึ้น แต่สำหรับ micron-size ของ TiO_2 เมื่อเพิ่มปริมาณขึ้นจะพบว่าค่า modulus มีการเพิ่มขึ้นแต่ strain-to-failure จะลดลง ดังนั้นการใส่ Nanoparticle จะทำให้ได้ composite ที่มีความเหนียวมากกว่า การใส่ micro-particle และ nano- TiO_2 ยังทำให้ได้ epoxy composite ที่ทนต่อการขีดสีได้ดีกว่า ทั้ง pure epoxy และ micron- TiO_2 /epoxy composite นั่นคือ ขนาดอนุภาคสารตัวเติมยังมีขนาดเล็กยิ่งให้วัสดุคอมโพสิตที่มีคุณภาพสูง

งานวิจัยของ วิชา วิทยากัย นุนาค (2543) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยในการบ่มต่อสมบัติเชิงกลของอีพอกซีเรซินเสริมเส้นใยแก้ว สำหรับเคลือบคอนกรีตและมอร์ตาร์ (Influences of curing factors on mechanical properties of glass fiber-reinforced epoxy composite for coating concrete and mortar) โดยงานวิจัยนี้เน้นการศึกษาผลของปัจจัยในการบ่มต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีสำหรับเคลือบพื้นโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง (Composite resin) นี้ประกอบด้วย

อีพอกซีเรซิน [diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA)] สารบ่ม Diethylene triamine (DETA) เส้นใยแก้ว และทราย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินทั้งในรูปแบบของสารเคลือบที่ยังไม่ได้นำไปเคลือบผิว และแบบที่เคลือบแล้ว โดยจำลองขึ้นจากการเคลือบผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินลงบนคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ งานวิจัยนี้มีการออกแบบการทดลองแปรสภาวะในการบ่มสารเคลือบผิวโดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตโรเตทาบิล (Central Composite Rotatable, CCR) และเลือกใช้การวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวดตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ทำให้ได้สมการพื้นผิวดตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการบ่มกับสมบัติเชิงกลตอบสนองของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซิน ผลจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการบ่มซึ่งได้แก่ อุณหภูมิการบ่ม ระยะเวลาในการบ่ม และปริมาณทรายที่ใช้เป็นสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล พบว่าผลิตภัณฑ์อีพอกซีเรซิน [diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA)] ที่มี Diethylene triamine (DETA) เป็นสารบ่ม ซึ่ง

ทำการบ่ม ณ อุณหภูมิห้อง (31°C) จะมีความสามารถในการรับแรงกระแทก (impact strength) และค่าความเหนียวเมื่อแตก (fracture toughness) สูง ในขณะที่ความสามารถในการรับแรงกด (compressive strength) ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการรับแรงกดตันของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง ที่บ่ม ณ อุณหภูมิสูง (99°C)

การเพิ่มเวลาในการบ่มจะช่วยให้คุณสมบัติในการรับแรงกดดีขึ้น ส่วนการใส่ทรายเพื่อเป็นสารเติมแต่งไม่ได้มีผลต่อการรับแรงกดเท่าใดนัก แต่กลับช่วยให้พลังงานการแตก (fracture energy) ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินสูงขึ้นมาก ขณะเดียวกันก็ทำให้สมบัติในการรับแรงกดและแรงกระแทกลดลงเล็กน้อย ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สมบัติเชิงกลที่ได้จะมีสภาวะที่เหมาะสมในการบ่มจะแตกต่างกันออกไป ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินจะมีคุณสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุดเมื่อบ่มที่ 31°C นาน 56.2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาบ่มที่นานที่สุดในงานวิจัย โดยใส่ทราย 23-25% สมบัติเชิงกลที่ลดลงมากที่สุด ณ สภาวะการบ่มนี้ ได้แก่ ความสามารถในการรับแรงกด ซึ่งลดลง 24.2% อย่างไรก็ตามแนวโน้มของความสามารถในการรับแรงกดจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มออกไปอีก

งานวิจัยของ Y. Zheng (2003) ได้ทำการศึกษาผลของ SiO_2 Nanoparticle ที่มีต่อประสิทธิภาพของ Epoxy composite ซึ่งผสม Nanoparticle เข้ากับเรซินโดยใช้วิธีของ Ultrasonic และวิธีทางเชิงกล เมื่อทำการผสม Resin แล้วนำไปศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ Tensile testing, Impact testing และศึกษา Morphology โดยใช้เทคนิค TEM และศึกษา free volume ในเนื้อเรซินที่ได้ โดยใช้ Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy

สำหรับงานวิจัยดังกล่าว ได้ทำการผสม epoxy resin (CYD-128) เข้ากับ SiO_2 Nanoparticle โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของ SiO_2 Nanoparticle ที่ระดับต่างๆกับ SiO_2 Nanoparticle ที่ให้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 nm ในการเตรียม Epoxy resin/ SiO_2 Nanocomposite มีหลักการดังนี้ คือ ผสม SiO_2 Nanoparticle กับ coupling agent แล้วให้ความร้อนในระดับหนึ่งแล้วจึงใส่ลงใน epoxy resin ที่อุณหภูมิ 120°C จะได้เรซินที่มีความหนืดต่ำ จากนั้นก็ลดอุณหภูมิลงมาที่ $70-80^{\circ}\text{C}$ แล้วจึงใส่ hardener แล้วรีบเทลงบนแม่พิมพ์ ทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 130°C แล้วเพิ่มเป็น 150°C ทิ้งไว้อีก 5 ชั่วโมง

สำหรับการทดสอบสมบัติของ Nano-composite ที่ได้ พบว่า Impact testing (ASTM-D256) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ SiO_2 Nanoparticle โดยสามารถเพิ่ม SiO_2 Nanoparticle ได้สูงสุด 3 wt% หากเกินกว่านี้แล้วจะทำให้ค่า Impact strength ลดลง เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก SiO_2 Nanoparticle มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ บริเวณที่ SiO_2 Nanoparticle กระจายตัวไม่สม่ำเสมอและจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเป็นบริเวณที่มี Stress concentration ตกค้าง

อยู่มาก จึงเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน สำหรับ Tensile testing (ASTM-D638) ผลที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ Impact strength นั่นคือ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของ epoxy resin / SiO₂ Nanocomposite ได้สูงสุดที่สัดส่วนของ SiO₂ Nanoparticle เท่ากับ 3wt% เท่านั้น

สำหรับการศึกษา Morphology ของ Nanocomposite ด้วย TEM microscope พบว่า Nanoparticle กระจายตัวใน epoxy resin ได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้ Nanocomposite ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม กล่าวคือ มีค่า Tensile strength, Modulus และ Impact strength เพิ่มขึ้น 114%, 12.6% และ 56% ตามลำดับ นอกจากนี้จะใช้ TEM ศึกษาการกระจายตัวของ Nanoparticle แล้ว ยังใช้ SEM ศึกษาผิวหน้ารอยแตกหักจาก Impact testing อีกด้วย จากภาพ SEM ที่ได้ พบว่าผิวหน้ารอยแตกหักของ Nanocomposite (3wt% SiO₂) มีเส้นรอยฉีกขาดน้อยกว่า Neat epoxy resin แสดงให้เห็นว่า matrix ของ Nanocomposite เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เนื้อวัสดุรับแรงได้เท่าๆกัน จึงได้สมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติการรับแรงกระแทก

จากการศึกษา Free volume ของ Nanocomposites ด้วย PATFIT (finite-term lifetime analysis) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Nanoparticle ขนาดของ free volume มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพิจารณาสัดส่วนของ free volume ต่อปริมาตรทั้งหมด ที่ระดับ SiO₂ Nanoparticle 3 wt% จะมีค่าต่ำสุดและได้ค่า Impact strength สูงสุด แสดงว่า ที่ 3 wt% SiO₂ Nanoparticle เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสม SiO₂ Nanoparticle และเมื่อ SiO₂ Nanoparticle มีค่ามากกว่า 3 wt% พบว่าสัดส่วนของ free volume เพิ่มขึ้นและส่งผลให้ได้ค่า Impact strength ลดต่ำลงเรื่อยๆ

ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณของ SiO₂ Nanoparticle ส่งผลต่อสัดส่วน free volume ในชิ้นงาน แล้วทำให้ได้ composite มีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน และยังพบว่าสัดส่วนของ SiO₂ Nanoparticle ที่เหมาะสมที่สุดคือ 3wt%

งานวิจัยของ T. Maity, B.C. Samanta, Dalai, A.K. Banthia (2007) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับ curing agent สองชนิด คือ AFAFC (amine functional *aniline* formaldehyde condensates) และ AFCFC (amine functional *chloroaniline* formaldehyde condensates) ผลการเปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารทั้งสอง และหา glass transition temperature (Tg) โดยใช้ DSC และ DMA

ผลที่ได้ปรากฏว่า AFAFC มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในระหว่าง curing สูงกว่า AFCFA (ซึ่งมี chlorine เป็นหมู่แทนที่ภายในโมเลกุล) ส่วนค่า Tg ของสารทั้งสองที่นำมาทำปฏิกิริยากับ resin ปรากฏว่า formulation A (DGEBA+AFAFC) มีค่า Tg สูงกว่า formulation B (DGEBA+AFCFC) นอกจากนี้ผลการทดสอบ Mechanical property ของทั้งสองสูตรพบว่า

formulation A มี tensile and flexural strength ที่สูงกว่า formulation B ซึ่งแสดงว่าการมี chlorine เป็นหมู่แทนที่ภายในโมเลกุลของสารบ่ม (curing agent) ทำให้มีความยืดหยุ่นลดลง เกิด curing ได้น้อยกว่า ความแข็งแรงเชิงกลจึงต่ำกว่า Formula A

