



การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชน
เป็นสารเติมในโพลีเอสเตอร์เรซิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนของการศึกษาปริญญาโทมหาบัณฑิตหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2545

ISBN 974-05-1048-5

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

๒พ
๗๖๒๓๗
๒๕๔๕
๒.๒

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารเติมใน
โพลีเอสเตอร์เรซิน



นางสาวจุฑาทิพย์ วงศ์ชั้นสุนทร
ผู้วิจัย



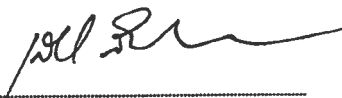
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม.
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



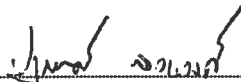
อาจารย์สมหมาย ผิวสอาด Ph.D.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สยาม อรุณศรีรมกต วท.ม.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย



อาจารย์ปฐมพงศ์ สงวนวงศ์ M.A.
รักษาราชการแทน
ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารเติมใน

โพลีเอสเตอร์เรซิน

ที่ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

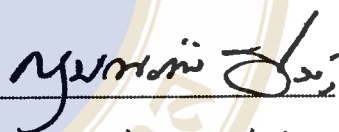
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

วันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2545



นางสาวจุฑาทิพย์ วงศ์ชั้นสุนทร

ผู้วิจัย



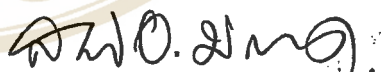
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณรัักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



รองศาสตราจารย์สุจิระ ขอบจิตต์เมตต์ วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สยาม อรุณศรีมรกต วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ถิมถ้อยวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ คือ ผศ.กฤษณรักษ์ ธีรรัฐ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.สยาม อรุณศรีมรกต และดร.สมหมาย ผิวสอาด กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความเมตตาเอาใจใส่อย่างดีจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ถูกต้อง

ขอขอบคุณ รศ.สุจิระ ขอจิตต์เมตต์ รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก อำเภอธัญบุรี ในความช่วยเหลือติดต่อสถานที่เพื่อทำการทดสอบชิ้นงาน และอ.สมเกียรติ วิฑูริย์เดชา ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ทำการทดสอบคุณสมบัติชิ้นงาน

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุด ฝ่ายการศึกษา ฝ่ายพัสดุ ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ประจำคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่าน เพื่อนร่วมงานที่ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ สำนักงานเขตยานนาวา ที่สนับสนุนช่วยเหลืองาน เพื่อน ๆ สาขาเทคโนโลยีการบริหาร สิ่งแวดล้อม รุ่น 24 ทุกคน ที่ไม่เคยทิ้งกัน โดยเฉพาะเพื่อนที่คอยส่งกำลังใจให้อย่างต่อเนื่องตลอดมา

ทำนุผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจในการศึกษานี้จนสำเร็จในครั้งนี้

จุฑาทิพย์ วงศ์ชินสุนทร

4036806 ENTM/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม ;

วท.ม. (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำทิ้งชุมชน / โพลีเอสเตอร์เรซิน / สารเติม (filler) / ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงดึง (Tensile strength) / ค่าความแข็งแรงต้านแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) / ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)

จุฬาทิพย์ วงศ์ชั้นสุนทร : การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารเติมในโพลีเอสเตอร์เรซิน (A FEASIBILITY STUDY : DRIED SLUDGE OF DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT TO MAKE AS FILLER IN POLYESTER RESIN) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ, วท.ม. , สยาม อรุณศรีมรกต, วท.ม. , สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D., 86 หน้า. ISBN 974-05-1048 -5

ปริมาณกากตะกอนน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นและยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง สามารถเพิ่มมูลค่าด้วยการนำไปเป็นสารเติมในโพลีเอสเตอร์เรซินเพื่อหล่อเป็นชิ้นงานต่าง ๆ ทำให้ชิ้นงานมีสีเข้มขึ้นโดยไม่ต้องเติมสีและยังได้ลวดลายภายในชิ้นงาน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำกากตะกอนน้ำทิ้งที่ตากแห้งและนำไปบดร่อนแยกขนาดตะกอน 2 ขนาดคือ น้อยกว่า 53 μm . และขนาด 212-300 μm . ผสมลงในโพลีเอสเตอร์เรซินที่อัตราส่วนผงตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10:90, 30:70 และ 50:50 ที่อัตราส่วน 70:30 ไม่สามารถหล่อขึ้นรูปได้ นำไปทดสอบความแข็งแรงต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ความแข็งแรงต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) และความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 638 , D 790 และ D 256 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ โพลีเอสเตอร์เรซิน 100%

ผลการศึกษาพบว่า โพลีเอสเตอร์เรซิน 100% มีความแข็งแรงมากที่สุด ในทุกค่าการทดสอบ ยกเว้นอัตราส่วน 50:50 ของตะกอนขนาด 212-300 μm . ที่โพลีเอสเตอร์เรซิน 100% มีค่าการทดสอบความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทกน้อยกว่าเล็กน้อย ในการทดสอบค่าแรงดึง พบว่าวัสดุตัวอย่างมีความแข็งแรงลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนขึ้นและลดปริมาณโพลีเอสเตอร์เรซินลง การทดสอบค่าแรงดัดพบว่าปริมาณตะกอนที่มากขึ้นทำให้ความแข็งแรงทนแรงดัดลดลง แต่เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณตะกอนเท่ากับโพลีเอสเตอร์เรซิน การทดสอบค่าแรงกระแทก พบว่า ค่าแข็งแรงทนแรงกระแทกใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง

4036806 ENTM/M : MAJOR : TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT ; M.Sc. (TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT)

KEY WORDS : SLUDGE CAKE / POLYESTER RESIN / FILLER / TENSILE
STRENGTH / FLEXURAL STRENGTH / IMPACT STRENGTH

JUTATIP WONGCHUENSUNTHORN : A FEASIBILITY STUDY : DRIED
SLUDGE OF DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT TO MAKE AS FILLER IN
POLYESTER RESIN . THESIS ADVISORS: GRITSANARUCK THEERARAJ, M.Sc. .
SAYAM AROONSRIMORAKOT, M.Sc. SOMMAI PIVSA-ART, Ph.D. 86 p. ISBN 974-
05-1048-5

There is a large amount of unused sludge cake from domestic waste water treatment. We can increase the value of sludge cake by mixing it with polyester resin for casting. The sample specimens had a strong colour without a colour filler and had figures within. The dried sludge was crushed and separated into two sizes ($< 53 \mu\text{m}$ and $212 - 300 \mu\text{m}$). The sludge powder was then mixed with polyester resin at a ratio of sludge powder : polyester resin - 10 : 90 , 30 : 70 , and 50 : 50 (at a ratio of 70 : 30 it couldn't be cast). Specimens were taken to test tensile strength , flexural strength , and impact strength compared with 100% polyester resin.

The results of the tests showed that polyester resin was strongest at all testing values except the 50:50 of 212-300 μm for impact strength. It was stronger than 100% polyester resin . The values of impact strength were nearly all the same. The tensile strength testing showed that the specimens' strengths were decreased when the amount of sludge powder was increased. The flexural strength testing showed that the specimens' strengths were decreased when the amount of sludge powder was increased but at a ratio of 50: 50 was stronger than 30:70 . Impact strength testing showed that the values were nearly all the same. But the specimens at a ratio of 50:50 of 212-300 μm were stronger than 100% polyester resin . The strength of this size increased when the amount of sludge was increased.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวคิดในการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การบำบัดน้ำเสียชุมชน	6
2.1.1 ลักษณะน้ำเสียรวมจากชุมชน	6
2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	7
2.2 ส่วนประกอบในกากตะกอนน้ำเสีย	9
2.3 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์	10
2.4 พลาสติกโพลีเมอร์	11
2.4.1 ความหมายของพลาสติกโพลีเมอร์	11
2.4.2 โครงสร้างของโพลีเมอร์	11
2.4.3 แหล่งกำเนิด	12
2.4.4 ประเภทของพลาสติก	13

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.5 โพลีเอสเตอร์เรซิน	14
	2.5.1 การผลิตโพลีเอสเตอร์เรซิน	15
	2.5.2 สารประกอบในโพลีเอสเตอร์เรซิน	16
	2.5.3 กระบวนการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน	18
	2.5.4 คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซินขณะแข็งตัว	21
	2.5.5 คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซิน	22
	2.5.6 การใช้งานโพลีเอสเตอร์เรซินในปัจจุบัน	23
	2.5.7 แม่แบบงานที่ใช้หล่อพลาสติกเหลว	23
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	
	3.1 สถานที่ทำการทดลอง	26
	3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
	3.3 ขั้นตอนการวิจัย	27
	3.3.1 ขั้นตอนเตรียมการ	27
	3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
	3.3.3 ขั้นตอนการรวบรวมวิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย	29
บทที่ 4	ผลการศึกษา	
	4.1 ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียขนานาวา	31
	4.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน	32
	4.3 น้ำหนักของกากตะกอนและโพลีเอสเตอร์เรซิน ในการผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ	33
	4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติชิ้นงาน	34
	4.4.1 Tensile Strength	34
	4.4.2 Flexural Strength	37
	4.4.3 Impact Strength	41
บทที่ 5	การอภิปรายผล	
	5.1 ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียขนานาวา	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลการทดสอบชิ้นงาน	46
5.2.1 Tensile Strength	46
5.2.2 Flexural Strength	47
5.2.3 Impact Strength	49
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา	51
6.2 ข้อเสนอแนะ	52
รายการอ้างอิง	53
ภาคผนวก ก	56
ภาคผนวก ข	71
ภาคผนวก ค	78
ประวัติผู้วิจัย	82
Executive Summary	83

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะน้ำเสียวรวมจากแหล่งชุมชนในประเทศไทย	6
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนแห้ง	10
ตารางที่ 4.1	ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งก่อนตากแห้งและเมื่อแห้งแล้ว	32
ตารางที่ 4.2	ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนน้ำทิ้งชุมชน	32
ตารางที่ 4.3	คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำทิ้งชุมชน	33
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดสอบค่า Tensile Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า Mesh 270	35
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดสอบค่า Tensile Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70	36
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดสอบค่า Flexural Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า Mesh 270	38
ตารางที่ 4.7	แสดงผลการทดสอบค่า Flexural Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70	39
ตารางที่ 4.8	แสดงผลการทดสอบค่า Impact Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า Mesh 270	42
ตารางที่ 4.9	แสดงผลการทดสอบค่า Impact Strength ที่อัตราส่วนผสมผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70	43
ตารางที่ 5.1	สรุปค่า Tensile Strength ของวัสดุทดสอบ	46
ตารางที่ 5.2	สรุปค่า Flexural Strength ของวัสดุทดสอบ	48
ตารางที่ 5.3	สรุปค่า Impact Strength ของวัสดุทดสอบ	49

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังระบบการกำจัดน้ำเสีย	8
รูปที่ 2.2 สไตรีนโมโนเมอร์แทรกอยู่ระหว่างโพลีเอสเตอร์เรซินที่ไม่อิ่มตัว	17
รูปที่ 2.3 โครงสร้างร่างแหของโพลีเอสเตอร์เรซินแข็งตัว	17
รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิดเป็นโพลีเมอร์แข็ง	20
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว	21
รูปที่ 2.6 โพลีเอสเตอร์หดตัวประมาณ 6 – 8 %	22
รูปที่ 4.1 กราฟแสดง ค่า Tensile Strength ของชิ้นงานทดสอบ	37
รูปที่ 4.2 กราฟแสดง ค่า Flexural Strength ของชิ้นงานทดสอบ	40
รูปที่ 4.3 กราฟแสดง ค่า Impact Strength ของชิ้นงานทดสอบ	44
รูปที่ 5.1 กราฟเส้นแสดง ค่า Tensile Strength	47
รูปที่ 5.2 กราฟเส้นแสดง ค่า Flexural Strength	48
รูปที่ 5.3 กราฟเส้นแสดง ค่า Impact Strength	50
รูปที่ ผข-1 ผงตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า mesh 270	72
รูปที่ ผข-2 ผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด mesh 70	72
รูปที่ ผข-3 รูปร่างชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ	73
รูปที่ ผข-4 รูปร่างชิ้นงานทดสอบค่า Tensile Strength	73
รูปที่ ผข-5 รูปร่างชิ้นงานทดสอบค่า Flexural Strength	74
รูปที่ ผข-6 รูปร่างชิ้นงานทดสอบค่า Impact Strength	74
รูปที่ ผข-7 เครื่องทดสอบค่า Tensile Strength	75
รูปที่ ผข-8 เครื่องทดสอบค่า Flexural Strength	76
รูปที่ ผข-9 เครื่องทดสอบ Izod Impact Strength	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในเมืองใหญ่ที่มีประชากรอาศัยอยู่มากมาย เช่น กรุงเทพมหานคร มักมีมาตรการควบคุมปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจากความหนาแน่นของประชากรที่เข้มงวดมากกว่าเมืองที่มีประชากรอาศัยอยู่เบาบาง อย่างเช่นปัญหาน้ำเสีย น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมหาศาลต่อวัน กฎหมายที่ใช้ควบคุมปริมาณค่าความสกปรกเพื่อไม่ให้ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งที่จะไหลรวมสู่แหล่งระบายน้ำสาธารณะ จึงถูกกำหนดขึ้นอย่างเข้มงวด ทั้งในส่วนน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงพยาบาล อาคารสูง ให้มีค่าความสกปรกในรูปของ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน 20 มก./ลิตร ซึ่งคน ๆ หนึ่ง จะสร้างน้ำเสียได้ประมาณ 80 % ของอัตราการใช้น้ำ (ประชากรในเขตเมืองมีอัตราการใช้น้ำประมาณ 200 ลิตร/คน/วัน) (1) กรุงเทพมหานครมีประชากรอาศัยอยู่ประมาณ 8 ล้านคน ซึ่งหมายถึงว่าจะมีน้ำเสียเกิดขึ้น 1,280,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นตะกอนน้ำทิ้ง 480 ตัน (ก่อนที่จะผ่านขบวนการทำให้แห้งจะมีน้ำอยู่ในตะกอนถึง 95 % โดยเฉลี่ยการบำบัดน้ำเสียชุมชนจะทำให้เกิดกากตะกอนแห้งประมาณ 60 กรัม /คน/วัน) (2) ในเมืองซึ่งที่ดินมีราคาแพงจึงจำเป็นต้องใช้ระบบที่ใช้พื้นที่น้อยแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง เช่น ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แต่ผลของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จะเกิดตะกอนน้ำทิ้งซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ ซึ่งโดยทั่วไปบางประเทศกำจัดด้วยการนำไปถมที่ดินทิ้งลงมหาสมุทร เคาไฟ (3) ซึ่งล้วนแต่ก่อมลพิษด้านอื่นตามมา หรือการนำไปเป็นปุ๋ยบำรุงดิน แต่จะมีปัญหาของโลหะหนักจากตะกอน และยังไม่ค่อยนิยมใช้ ปัญหาที่พบคือการไม่ได้นำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทั้งที่เป็นตะกอนสด หรือตะกอนแห้ง และการเพิ่มปริมาณจนอาจเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมชนิดใหม่

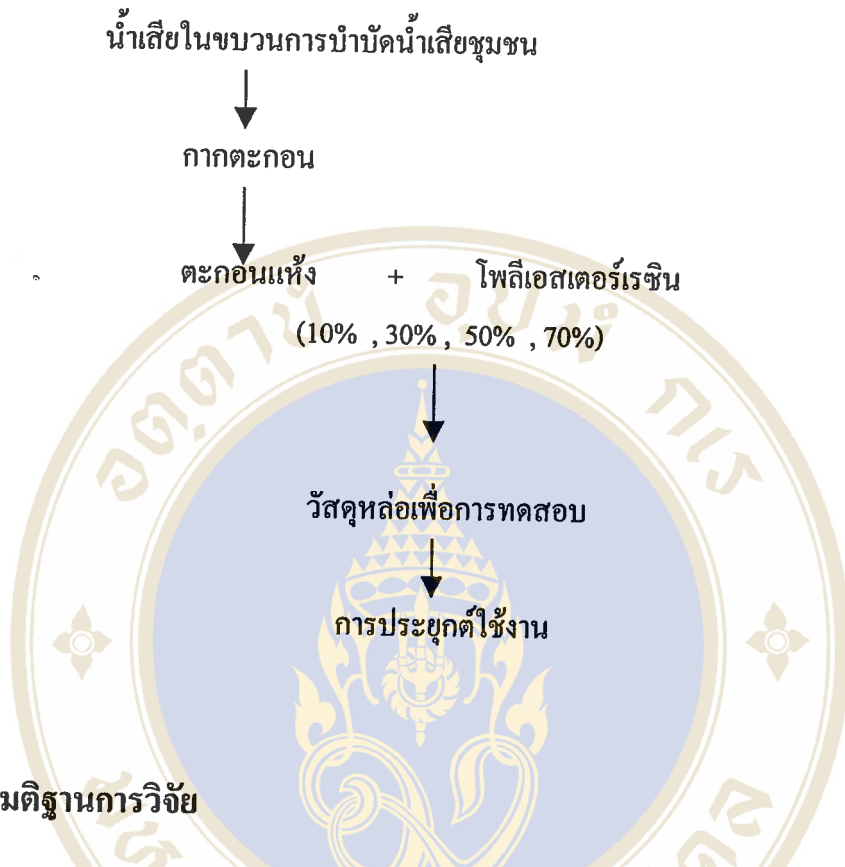
การลดการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตวิธีหนึ่ง ก็คือการใช้วัสดุเลียนแบบธรรมชาติที่สามารถผลิตขึ้นได้ นั่นคือ พลาสติก ซึ่งมีเทคโนโลยีการผลิตที่พัฒนารุดหน้าไปมาก บางชนิดสามารถทดแทนไม้ เหล็ก ได้ตามความต้องการของมนุษย์ และมีการพัฒนารูปแบบอยู่ตลอดเวลา บางผลิตภัณฑ์สามารถนำวัสดุอื่นมาเป็นส่วนประกอบ และเพิ่มคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น หินอ่อนเทียม ซึ่งนำผงปูนมาเติมในโพลีเอสเตอร์เรซิน ซึ่ง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะเหมือนใกล้เคียงหินอ่อนจริงมาก ดังนั้น กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม และมีลักษณะเป็นผงเกล็ดเติมลงไปในโพลีเอสเตอร์เรซิน (เรียกสารที่เติมลงไปนี้ว่า “ filler ”) น่าจะทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีลวดลายและพื้นผิวที่สวยงาม และเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยจะต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ใหม่นี้

1.2 แนวคิดในการวิจัย

กากตะกอนแห้งจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน นำมาเป็นสารเติมแต่ง (filler) เมื่อนำมาเติมในสารโพลีเอสเตอร์เรซิน แล้วหล่อขึ้นรูปในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยที่ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนทาน ทนแดดร้อนได้ดี ซึ่งจะเป็นทางเลือกใหม่ของการผลิตวัสดุที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป เช่น วัสดุขึ้นรูป เป็นแผ่น เป็นรูปลอยตัว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตด้วยการใช้วัสดุที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์

กรอบแนวความคิด



1.3 สมมติฐานการวิจัย

สีและลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนสามารถสร้างสี ลักษณะพื้นผิว และเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ (ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงกระแทก) ใ้กับวัสดุหล่อโพลีเอสเตอร์เรซินสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ได้

1.4 วัตถุประสงค์

- 1.4.1 ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียเติมในวัสดุหล่อจากโพลีเอสเตอร์เรซิน
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ของวัสดุทดลองโพลีเอสเตอร์เรซินและกากตะกอนน้ำทิ้งที่อัตราส่วน 10% 30% 50% 70% เปรียบเทียบกับโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 %

1.5 ขอบเขต

- 1.5.1 นำกากตะกอนแห้งที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา กรุงเทพมหานคร เติมลงโพลีเอสเตอร์เรซินในสัดส่วน 10 % 30% 50% 70% น้ำหนักต่อน้ำหนัก (W/W)
- 1.5.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงตัด และค่าความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก ด้วยวิธีการใน ASTM (American Society for Testing and Material)

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.6.1 ลดการสร้างปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดกากตะกอนน้ำทิ้ง
- 1.6.2 นำกากตะกอนน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหล่อขึ้นรูปเรซินเพื่อให้สี และลักษณะลวดลายพื้นผิวที่แปลกใหม่
- 1.6.3 เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนน้ำทิ้งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์
- 1.6.4 ทราบคุณสมบัติทางกายภาพของโพลีเอสเตอร์เรซินที่มีกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารเติม

1.7 นิยามศัพท์

- 1.7.1 Thermosetting หมายถึง พลาสติกที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อน และแรงอัด หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตประเภทหล่อพลาสติกเหลว (Casting) ไม่สามารถหลอมกลับคืนสภาพได้อีก
- 1.7.2 กากตะกอนน้ำทิ้ง (Sludge) ตะกอนในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวแบบจีเลน มีน้ำอยู่ประมาณ 80 – 90 % ได้จากการตกตะกอนของเบคทีเรียในถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย

- 1.7.3 Sludge Cake กากตะกอนน้ำทิ้งที่คั่งน้ำออกแล้วบางส่วน มีน้ำอยู่ประมาณ 50 %
- 1.7.4 โพลีเอสเตอร์เรซิน หมายถึง โพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin) ประเภทที่มีพันธะคู่ อยู่ในโมเลกุล อยู่ในสภาพของเหลวหนืด ภายหลังจากผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) แล้วจะได้พลาสติกแข็ง ไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวได้อีก
- 1.7.5 สารเติม (Filler) หมายถึง สารเติมที่ผสมในโพลีเมอร์ เพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์ เพิ่มความแข็งแรง สี สัน และลักษณะพื้นผิว และเพิ่มปริมาตร ทำให้ลดปริมาตรของโพลีเมอร์
- 1.7.6 Tensile Strength หมายถึง ค่าความแข็งแรงในการต้านทานแรงดึง แรงที่มากระทำต่อวัสดุอยู่ในลักษณะแรงดึง เพื่อให้วัสดุขาดออกจากกัน
- 1.7.7 Flexural Strength หมายถึง ค่าความแข็งแรงในการต้านทานแรงดัด เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ จุด 3 จุด จะทำให้วัสดุแตกหัก
- 1.7.8 Impact Strength หมายถึง ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก ณ จุด ๆ หนึ่งที่มากระทำต่อวัสดุและทำให้วัสดุแตกหักออกจากกัน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การบำบัดน้ำเสียชุมชน

2.1.1 ลักษณะน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน มีลักษณะเป็นกลาง ค่า pH ประมาณ 7 สิ่งสกปรกในน้ำเสียที่สำคัญ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำซึ่งวัดในรูปของ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย พยาธิ และเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น Faecal Coliform Bacteria (FCB) ซึ่งพบในอุจจาระของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่อย่างไรก็ตาม พยาธิ และ FCB ส่วนใหญ่จะถูกทำลายที่บ่อเกรอะ

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชนในประเทศไทย

ลักษณะ	กทม.	เมืองพัทยา	ชุมชนบางแสน	เทศบาลเมือง	เทศบาลเมือง	เทศบาลเมือง	เทศบาลเมือง
			จ.ชลบุรี	สุพรรณบุรี	สมุทรสาคร	สุราษฎร์ธานี	นครปฐม
1. pH	6.2-7.3	6.4-8.1	6.5-6.8	6.7-7.6	7.0-7.8	6.6-6.7	6.3-7.3
2. TS (mg/l)	-	232-1,012	652-29,180	274-2,948	666-15,592	-	123-1,720
3. SS (mg/l)	12-251	30-315	34-213	-	-	47-531	22-1,416
4. BOD(mg/l)	4-150	6-130	19-105	2-630	6-540	91-278	13-1,125
5. FCB (10 ⁶ MPN/100ml)	0.3-4.3	≥ 240	≥ 1,100	0.04-240	≥ 24	-	≥ 240
6. TKN (mg/l)	1.51-23.89	-	-	-0.9-55.8	2.5-208	-	18.5-124.3

ที่มา: ปรีชาและจิราวรรณ ; 2536 (4)

ปริมาณน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ แตกต่างออกไปตามลักษณะประเภทอาคาร ระบบประปาในชุมชน และมาตรฐานการครองชีพ แต่โดยทั่วไปสามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำ คือคิดประมาณ 70 – 90 % ของปริมาณการใช้น้ำ

กรุงเทพมหานครจัดให้มีโครงการบำบัดน้ำเสียที่ระบายออกจากบ้านเรือนประชาชน สถานที่พัก โรงพยาบาล ตลาด ด้วยเพราะปัญหาการระบายน้ำเสียที่ไม่ได้คุณภาพลงลำคลองสายต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ทำให้คุณภาพน้ำในลำคลองต่าง ๆ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจาก

ข้อมูลของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2536 (5) คุณภาพน้ำในคลองต่าง ๆ ของ กรุงเทพมหานคร มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเป็นส่วนใหญ่ เช่น คลองแสนแสบ คลองผดุงกรุงเกษม และคลองบางซื่อ มีค่า BOD 58 ,34.5 และ 31 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แต่ในปี พ.ศ. 2540 เมื่อระบบบำบัดได้เปิดใช้งานแล้ว คุณภาพน้ำในลำคลองมีคุณภาพดีขึ้น เช่น คลองแสนแสบ คลองผดุงกรุงเกษม และคลอง บางซื่อ มีค่า BOD 13 , 13.8 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

กรุงเทพมหานครมีเป้าหมายในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน 10 แห่ง ซึ่งปัจจุบันสามารถเปิดใช้งานได้ 3 แห่ง คือ สถานีบำบัดน้ำเสียสี่พระยา สามารถรองรับน้ำเสียได้วันละ 30,000 ลูกบาศก์เมตร โรงบำบัดน้ำเสียนานาว่า สามารถรองรับน้ำเสียได้วันละ 200,000 ลูกบาศก์เมตร และโรงบำบัดน้ำเสียรัตนโกสินทร์ สามารถรองรับน้ำเสียได้วันละ 40,000 ลูกบาศก์เมตร และอยู่ระหว่างดำเนินการอีก 7 แห่ง คือ 1. โครงการบำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 1 2. โครงการบำบัดน้ำเสียหนองแขม – ภาษีเจริญ 3. โครงการบำบัดน้ำเสียราษฎร์บูรณะ 4. โครงการบำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 4 5. โครงการบำบัดน้ำเสียพระโขนง – คลองเตย 6. โครงการบำบัดน้ำเสียธนบุรี 7. โครงการบำบัดน้ำเสียหนองบอน

2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

2.1.2.1 หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

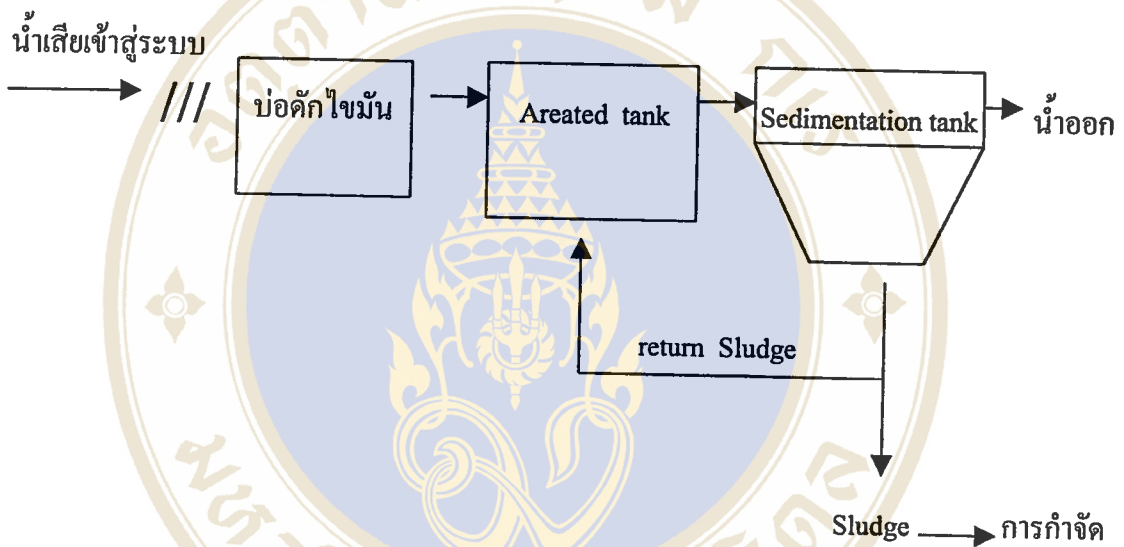
การบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่เป็นการบำบัดด้วยระบบชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนซึ่งมีหลายแบบ โดยมีหลักการแบบเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปสร้างเซลล์ เพิ่มจำนวนขึ้นมากมาย แล้วจึงตกตะกอนแบคทีเรียเหล่านี้ ออกมา แต่ระบบจะแตกต่างกันด้วยวิธีการเติมออกซิเจน จำนวนพื้นที่ และ ประสิทธิภาพ ซึ่งรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ในพื้นที่ที่มีจำกัด ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากถึง 95 % (6)

การบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง จะลดค่า BOD ของน้ำเสียโดยกระบวนการทาง ชีวภาพของแบคทีเรีย ดังสมการ



ระบบนี้ประกอบด้วยถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นตัวเติมอากาศ (Aeration tank) และ ถังตกตะกอน (Sedimentation tank) โดยน้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีระบบการเติมอากาศทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และกวนส่วนผสมให้น้ำทิ้งได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่ว

ถึง ตะกอนแบคทีเรียจะอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเดิมอากาศ น้ำทิ้งผสมรวมกับแบคทีเรียจับตัวกันเป็นก้อน (Mix Liquor) จากนั้นจะสูบน้ำจากถังเดิมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำ เพื่อให้ได้น้ำใสและมีค่า BOD ต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่กันถึงตกตะกอน จะสูบบางส่วนกลับเข้าถังเดิมปฏิบัติการอีกครั้งหนึ่ง เป็นเช่นนี้เรื่อยไปเพื่อรักษาให้มีแบคทีเรียในถังเดิมอากาศคงที่ ตะกอนส่วนเกินจะนำไปกำจัดด้วยขั้นกันหลายวิธี โดยยึดหลักที่ทำให้มีน้ำน้อยที่สุด และเหลือเป็นกากตะกอนน้อยที่สุด เพื่อให้เป็นภาระการกำจัดตะกอนน้อยที่สุดด้วย



รูปที่ 2.1 แผนผังระบบการบำบัดน้ำเสีย

2.1.2.2 การกำจัดกากตะกอน

หลังจากที่นำกากตะกอนจากถังตกตะกอนไปผ่านขบวนการบำบัดตะกอนเพื่อให้ปริมาณของน้ำเหลือน้อยที่สุด และเป็นกากตะกอนน้อยที่สุดแล้ว จึงนำไปกำจัด ซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การนำไปปรับปรุงคุณภาพของดิน การเผาทิ้ง การนำไปทิ้งลงทะเล หรือนำไปถมที่ ศิราณี (2) ได้สอบถามเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง สังกัดกรุงเทพมหานคร พบว่ากำจัดกากตะกอนบางส่วนโดยนำไปผสมกับวัสดุต่าง ๆ เช่น ขุยมะพร้าว แกลบ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นปุ๋ยใส่ต้นไม้ของกรุงเทพมหานคร และกำจัดด้วยวิธีอื่นด้วย เช่น นำไปกองทิ้งไว้ และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา พบว่า กากตะกอนที่เกิดขึ้นได้รวบรวมเพื่อนำไปฝังกลบกับขยะ ซึ่งจะเห็นว่ากากตะกอนส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำไปกำจัด แต่มีการศึกษาถึงแนวทางในการนำ

กากตะกอนไปใช้ประโยชน์ คือ ในปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) จะมีการนำไปเป็นปุ๋ย 65 % และอีก 35 % ยังคงเป็นการกำจัดโดยวิธีฝังกลบ (5)

2.2 ส่วนประกอบในกากตะกอนน้ำเสีย

จรงค์ (2) ได้ประมาณอัตราการเกิดกากตะกอนในประเทศกำลังพัฒนารูปน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ 25 – 40 กิโลกรัมต่อคนต่อปี กากตะกอนน้ำเสียมีคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันตามแต่ละสถานที่ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการบำบัดตะกอน โดยทั่วไป ส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (7) คือ

1. ธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี และธาตุอื่น ๆ

2. สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และพยาธิต่าง ๆ

มีการศึกษากากตะกอนน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่น Yoshida (8) ได้วิเคราะห์กากตะกอนจากโรงงานผลิตอาหาร พบว่า มีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3.84 – 11.41 % ฟอสฟอรัส 1.7 – 8.62 % ต่อมา Yoshida และ Yoneyama (9) ได้วิเคราะห์กากตะกอนจากโรงงานต่าง ๆ ในเมือง Hanamuro ประเทศญี่ปุ่น พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยของคาร์บอน ทั้งหมด มี ประมาณ 17.00 – 40.2 % ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีประมาณ 2.83 – 6.48 %

Sommer et al . (10) ได้เก็บตัวอย่างกากตะกอนจากแหล่งต่าง ๆ ในช่วงปี 1974 – 1975 พบว่ากากตะกอนประกอบด้วยคาร์บอน 50 % ส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์สาร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.26 – 4.33 % และอยู่ในรูปของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (แอมโมเนีย ไนโตรเจน) มากกว่า 90 % จากการทดลองของ Sommers (11) พบว่า $\text{NO}_3 - \text{N}$ (ไนเตรต ไนโตรเจน) จะพบหลังจากการทำให้ตะกอนแห้ง

รัตเกล้า (12) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนแห้งของโรงงานผลิตภัณฑ์นม , สุรา และผงชูรส พบว่า ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.1 - 6.6 ไนโตรเจนทั้งหมด 3.8 – 5.07 % Organic-C 19.49 – 45.53 % ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งการศึกษาของรพีพร (7) ได้เก็บตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร มีผลใกล้เคียงกับรัตเกล้า และมีค่า Organic Matter 18.89- 65.26 %

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนแห้ง

คุณสมบัติ	นม	สุรา	ผงชูรส
pH	6.63	6.2	6.1
Total - N %	3.90	5.07	3.8
Organic - C %	19.49	16.97	45.53
Nitrate - N %	0.431	0.372	0.650

ส่วนเชื้อโรค จุลินทรีย์อื่น ๆ ที่อาจพบในกากตะกอนของน้ำเสียชุมชน กัลยา
(13) ได้พบว่ากากตะกอนที่ได้รับแสงแดดจัดเป็นเวลา 7 วัน จะตรวจไม่พบเชื้อซัลโมเนลล่า

2.3 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

มีผู้ทดลองและวิจัยการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่นด้านการเกษตร ศิราณี (2535) นำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนนำไปทดลองปลูกพืช เพื่อตรวจสอบการสะสมของโลหะหนักในผักบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดปทุมธานี เพื่อเป็นแนวทางในการนำกากตะกอนทดแทนปุ๋ย รพีพร (7) ได้นำกากตะกอนจากโรงงานผลิตอาหาร 5 แห่ง คือ โรงงานผลิตเบียร์, โรงงานผลิตน้ำอัดลม, โรงงานผลิตสุรา, โรงงานผลไม้กระป๋อง และ โรงงานผลิตผงชูรส ไปทดลองปลูกผักกาดหอม ซึ่งพบว่า โลหะหนักถูกดูดซึมเข้าสู่ผักกาดหอมได้ แต่ไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชและอันตรายต่อมนุษย์ แต่อาจเป็นพิษต่อพืชชนิดอื่น

ในด้านอุตสาหกรรม Frederick, WM.J. และคณะ (14) ศึกษาถึงการนำพลังงานและวัสดุคืนกลับมาจากตะกอนของโรงงานผลิตกระดาษที่ใช้เส้นใยชนิดที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กากตะกอนที่มีสภาพเป็นของแข็งให้ค่าความร้อน 8.38 เมกะจูลต่อกิโกรัม ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่ต่ำและยากลำบากในการขจัดน้ำออกจากเส้นใยให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 42 % (เกณฑ์แบบเปียก) ทำให้กากตะกอนชนิดนี้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำ และได้ศึกษาถึงการนำตะกอนไปหมักให้เกิดเป็นแก๊ส เพื่อให้พลังงานความร้อน

2.4 พลาสติกโพลีเมอร์

2.4.1 ความหมายของพลาสติกโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ มาจากคำ 2 คำ คือ Poly แปลว่า หลาย ๆ หรือมาก mer แปลว่า หน่วย หรือส่วน โพลีเมอร์ จึงหมายถึง สารที่มีโมเลกุลยาวมากประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ (monomer) ที่ซ้ำ ๆ กัน เป็นจำนวนมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (15)

การรวมตัวในรูปแบบโพลีเมอร์เกิดขึ้นได้จากสารที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือจากการประดิษฐ์ขึ้นของมนุษย์ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งโพลีเมอร์ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- 1) โพลีเมอร์ในธรรมชาติ (Natural Polymer) เช่น เส้นใยธรรมชาติ ยางไม้ กาว ขนสัตว์ ฝ้าย
- 2) โพลีเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) เช่น เส้นใยสังเคราะห์ สี พลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

2.4.2 โครงสร้างของโพลีเมอร์ (15)

โครงสร้างของโพลีเมอร์หรือลักษณะลำตัวและการจัดรูปร่างโมเลกุลของโพลีเมอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับประเภทของโพลีเมอร์และกรรมวิธีการสังเคราะห์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน เช่น ความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ

โครงสร้างของโพลีเมอร์มีแบบต่าง ๆ ดังนี้

- 1) โพลีเมอร์แบบเส้นยาว (Linear Shape) ลำตัวยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น มีความแข็งแรงสูงขึ้น ทนความร้อนได้ดี โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)



- 2) โพลีเมอร์แบบแยกสาขา (Branched Shape) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกอีกประเภทหนึ่ง



- 3) โพลีเมอร์แบบร่างแห (Cross-linked or Network Shape) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โพลีเมอร์มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้ดี ส่วนมากจะเป็นพลาสติกประเภท เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting)



2.4.3 แหล่งกำเนิด

พลาสติกมีแหล่งกำเนิดจาก 5 แหล่งใหญ่ (15) คือ

- 1) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (Agriculture) เช่น Cellulose Nitrate , Cellulose Acetate , Cellulose Acetate Butyrate , Shellac , Ethyl Cellulose Casein
- 2) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและน้ำมัน (Agriculture and Petroleum) มีน้อยมาก เช่น Furam

- 3) น้ำมันและถ่านหิน (Petroleum and Coal) เป็นแหล่งที่ใช้ผลิตพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้มากที่สุด เช่น Polyethylene , Polypropylene , Polystyrene , Phenol Formaldehyde , Melamine-Formaldehyde , polyester ฯลฯ
 - 4) น้ำมันและสินแร่ (Petroleum and Mineral) เช่น Polyvinyl Butyral , Polyvinyl Carbazole , Polyvinyl Alcohol , Silicone ฯลฯ
 - 5) สินแร่ (Mineral) มีน้อย เช่น Calcium Aluminium Silicate
- พลาสติกที่ใช้อยู่ทั่วไปมีแหล่งกำเนิดมาจาก น้ำมันและแก๊สธรรมชาติเกือบทั้งสิ้น (90%) และน้ำมันดิบที่ใช้ผลิตพลาสติกใช้เพียง 1 % ของน้ำมันดิบที่ผลิตได้รวมกันทั่วโลก

2.4.4 ประเภทของพลาสติก

โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของพลาสติกได้ 2 ประเภท ใหญ่ คือ (16)

2.4.4.1 พลาสติกประเภทค้ำรูปได้ หรือเรียกว่า Thermoplastic คือพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยการหลอมที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และสามารถนำพลาสติกชนิดนี้กลับมาหลอมทำผลิตภัณฑ์พลาสติกใหม่ได้อีก พลาสติกประเภทนี้ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ทนต่อความกดดันสูง ๆ เช่น Polyester , Polyvinyl chlorine การนำพลาสติกชนิดนี้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จะใช้วิธีการฉีด (injection) รีด (extrusion) เป่า (blow) หรืออัด (compression) ลงไปในแม่แบบ (mold) แล้วถอดแม่แบบออกจะได้ชิ้นงานที่ต้องการ

โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ คือ (15)

- 1) พลาสติกไม่มีผลึก (Amorphous plastic) พลาสติกประเภทนี้ ประกอบด้วยโมเลกุลที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ โมเลกุลอยู่ห่างกันมาก ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่า ทนความร้อนได้ต่ำกว่า และเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยกว่า แต่มักจะใสกว่า นอกจากนี้พลาสติกประเภทนี้ยังเป็นพลาสติกที่ไม่มีจุดหลอมเหลว แต่จะมีเพียง “ อุณหภูมิที่พลาสติกอ่อนตัว ” เท่านั้น ตัวอย่าง เช่น โพลีสไตรีน , อคริลิก
- 2) พลาสติกที่มีผลึก (Crystalline Plastic) พลาสติกที่มีผลึก ประกอบด้วยโมเลกุลที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (เป็นผลึก) ปนอยู่กับส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ ปริมาณของผลึกในพลาสติกประเภทนี้โดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30 – 98 ขึ้นกับชนิดของพลาสติก และการควบคุม

คุณสมบัติทางความร้อน และสถานะทางกลที่ให้อุณหภูมิผลิตพลาสติก โมเลกุลเข้ามาอยู่ชิดตัวกันมากกว่าพลาสติกไม่มีผลึก ทำให้แข็งแรง ทนความร้อนได้มากขึ้น

2.4.4.2 พลาสติกประเภททรงรูป หรือเรียกว่า Thermosetting ไม่สามารถนำ พลาสติกชนิดนี้ ขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลมีการจับตัวกันเป็นร่างแห อย่างแน่นหนา พลาสติกชนิดนี้ทนต่อความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ทนต่อ สารเคมี และทนต่อความกดดัน และทนต่อการกัดและด่าง จึงเหมาะ สำหรับนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานแข็งแรง เช่น โพลี เอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester)

2.5 โพลีเอสเทอร์เรซิน (Polyester resin)

หมายถึง โพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ ($-CO-O-$) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไปอยู่ใน โครงสร้างของโมเลกุลส่วนที่เป็นสายโซ่หลัก (main chain) รวมตัวด้วยปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแบบ ควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างโพลีเบสิกแอซิด (polybasic acid) ที่มีหมู่ คาร์บอกซิล ($-COOH$) อย่างน้อย 2 หมู่ กับโพลีไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohols) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) อย่างน้อย 2 หมู่ เช่น ปฏิกิริยาของไกลคอลกับไดคาร์บอกซิลิก แอซิด ซึ่งจะได้โพลีเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ปฏิกิริยานี้เรียกว่า เอสเตอริฟิเคชัน (esterification) โดยจะได้น้ำออกมาจากปฏิกิริยาด้วย ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกไปให้หมด เพื่อป้องกันปฏิกิริยาย้อนกลับ (17) โดยทั่วไปสามารถแบ่งโพลีเอสเทอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ (18)

- 1) โพลีเอสเทอร์แบบอิ่มตัว (Saturated Polyester) เกิดปฏิกิริยาเพียงสองขั้น ได้สาย โซ่โมเลกุลเป็นเส้นเกิดเป็น thermoplastic
- 2) โพลีเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin) โมโนเมอร์มีคุณสมบัติ ในการเกิดปฏิกิริยาหลาย ๆ ครั้ง โซ่โมเลกุลจับตัวกันเป็นตาข่าย เกิดเป็นพลาสติก ชนิด thermosetting โพลีเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเรซินเหลว สี เหลืองอ่อน และมีดีกรีของการโพลีเมอไรเซชัน (degree of polymerization) ที่ต่ำ ประมาณ 8 – 10 (น้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 2000) ภายหลังจากการผสมกับตัวเร่ง ปฏิกิริยา หรือได้รับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็น พลาสติกแข็ง ซึ่งไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวหรือคืนรูปได้อีก สามารถ

ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) 1.1 – 1.5 เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนกรด ต่างชนิดอ่อนได้ แต่ไม่ทนกับสารละลายชนิด Chlorinated Solvents เช่น คาร์บอนเตตราคลอไรด์, อะซีโตน และเมื่อไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้วจะติดไฟได้ช้า และจะดับไปเอง ในรูปของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส สามารถทนความร้อนได้ระหว่าง 250 – 350 องศาฟาเรนไฮต์ ผิวหน้ามีความแข็งพอสมควร ถูกแดดจะซีด ทนสภาพ อากาศภายนอกได้ดี (15), (19)

2.5.1 การผลิตโพลีเอสเตอร์เรซิน

วัตถุดิบที่เป็นกรดส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของแข็ง ไกลคอลส่วนใหญ่อยู่ในสภาพของเหลว เติมวัตถุดิบทั้งสองชนิดลงในถังทำปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 200 - 220 องศาเซลเซียส ขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีน้ำเกิดขึ้น ภายในถังปฏิกิริยาจะมีก๊าซออกซิเจนไม่ได้ มีฉะนั้น จะเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันทำให้เรซินมีสีเข้ม ดังนั้น จึงมีการเติมก๊าซเฉื่อย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไนโตรเจนลงในถัง ซึ่งนอกจากเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนแล้ว ยังช่วยพ่นน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ออกจากถังทำให้เกิดโพลีเอสเตอร์เร็วขึ้น นอกจากนี้อัตราการกวน และความเร็วก๊าซเฉื่อยที่เข้าไปจะมีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นเช่นกัน ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไป จะมีการวัดขนาดของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อได้ขนาดที่ต้องการแล้วก็หยุดปฏิกิริยาโดยเติมสารยับยั้งปฏิกิริยา และลดอุณหภูมิลง จะได้โพลีเอสเตอร์ที่มีลักษณะแข็งหรือเกือบแข็ง จากนั้นจะถูกถ่ายลงในถังซึ่งมีสไตรีนโมโนเมอร์ ในขณะที่ละลายโพลีเอสเตอร์ด้วยสไตรีนโมโนเมอร์ ต้องไม่ให้ อุณหภูมิในถังเกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันโพลีเอสเตอร์เรซินแข็งตัวก่อนที่นำไปใช้ (20),(21)

นอกจากการผลิตโพลีเอสเตอร์ด้วยสารสังเคราะห์ใหม่แล้ว เสาวรจน์ (20) ยังพบว่า สามารถผลิตด้วยวัสดุที่ใช้แล้ว เช่น ขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส ที่เรียกว่าขวดเพท (PET – Polyethylene Terephthalate) ในสหรัฐอเมริกา คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐ ได้รับรองเรซินจากขวด เพท นำไปผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหารได้อย่างปลอดภัย (22) การนำขวดเพทมาผลิตโพลีเอสเตอร์เรซินนั้น มีหลายขั้นตอน กล่าวโดยสรุป คือ นำขวดเพทมาย่อยบด เติมไกลคอลและซิงค์ อะซีเตด นำไปกลั่น ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง แล้วเติม เลนิกแอนไฮไดรด์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ปรับอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จนปฏิกิริยาลิ้นสุดลง เป็นเรซิน แต่ต้องเติมไฮโดรควิโนนลง ไปเพื่อป้องกันการแข็งตัว ซึ่งพบว่ามีความสมบัติดีกว่าโพลีเอสเตอร์ที่ได้จากเรซินที่ผลิตจากโรงงาน (23)

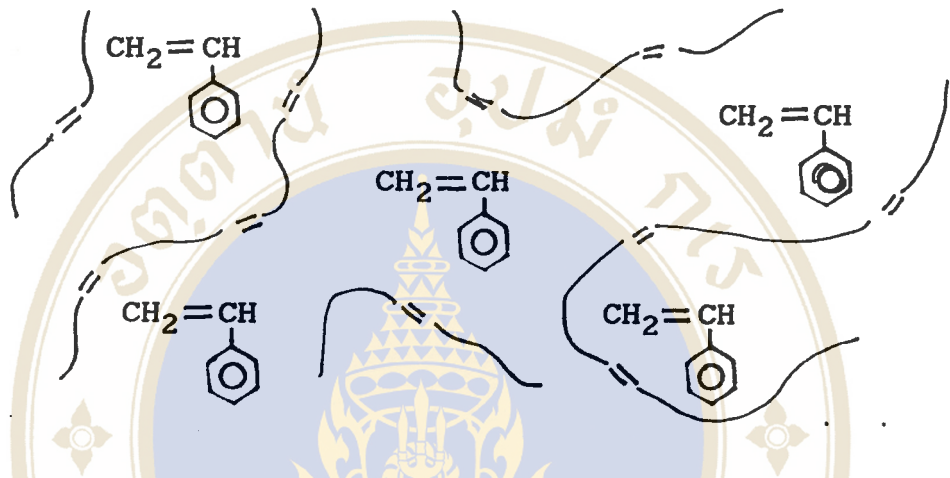
2.5.2 สารประกอบในโพลีเอสเตอร์เรซิน

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมโพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว และสารที่ทำให้โพลีเอสเตอร์เรซินแข็งตัว (20),(21) ได้แก่

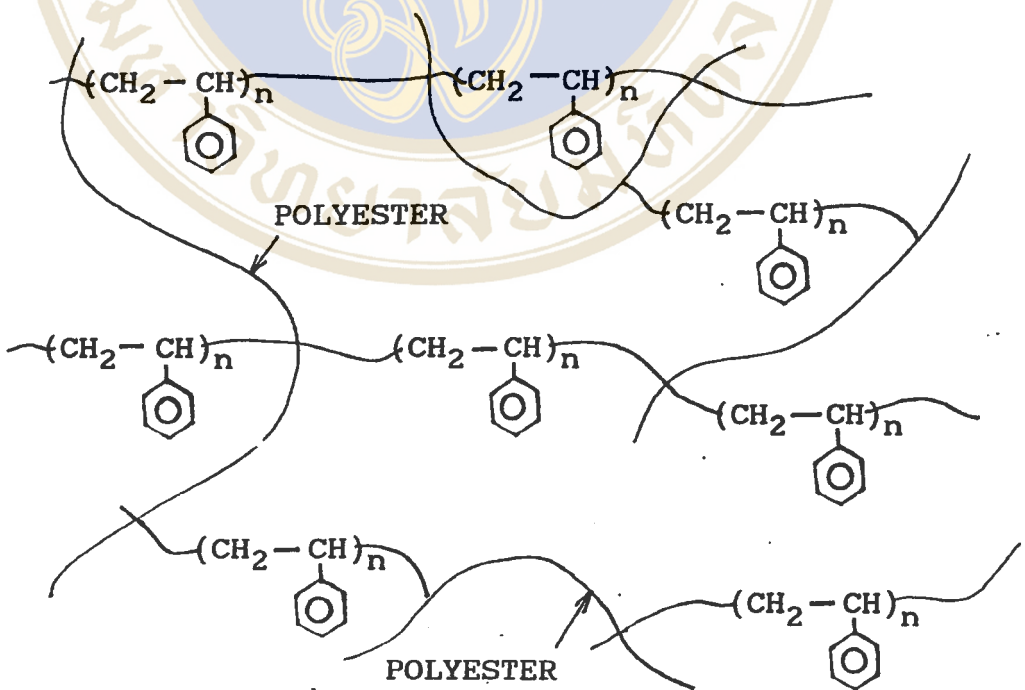
1. ไกลคอล (glycol) การสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว จะใช้ไกลคอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียง 2 หมู่ (ไดออล) และใช้แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในการหยุดปฏิกิริยา ไกลคอลที่นิยมใช้คือ เอทิลีนไกลคอล (EG) โพรพิลีนไกลคอล (PG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) และไดโพรพิลีนไกลคอล (DPG) เป็นต้น ไกลคอลแต่ละชนิดจะมีผลต่อคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์ต่างกัน เช่น ความเหนียว (Toughness) ความยืดหยุ่น (Resiliency) ความทนสารเคมี (Chemical Resistance) และความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นต้น
2. กรดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Acid) ที่นิยมใช้ได้แก่ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) ฟูมาริกแอซิด (Fumaric acid) หากมีส่วนผสมของกรดไม่อิ่มตัวต่ำจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลน้อย จึงมีความยืดหยุ่นมาก การแข็งตัวเกิดขึ้นได้ช้า กรดไม่อิ่มตัวเป็นตัวควบคุมการทำปฏิกิริยาของ โพลีเอสเตอร์เรซิน ซึ่งจะมีผลต่อความแข็ง อัตราเร็วความแข็งตัวของเรซิน ความร้อนในขณะที่โพลีเอสเตอร์แข็งตัว และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ อื่น ๆ
3. กรดอิ่มตัว (Saturated acid) ที่นิยมใช้คือ กรดอดิพิก (Adipic acid) ฟทาสิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) กรดไอโซฟทาสิก (Isophthalic acid) เป็นตัวควบคุมความนิ่มและยืดหยุ่น ช่วยในการละลายของโพลีเอสเตอร์เรซินในสไตรีนโมโนเมอร์ให้ดีขึ้น เพิ่มความใส ทนสารเคมี
4. โมโนเมอร์ (Monomer) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของโพลีเอสเตอร์ที่มีความหนืดสูงในช่วงก่อนการแข็งตัว และเมื่อได้รับความร้อนหรือภายหลังการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว โมโนเมอร์จะถูกใช้เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลีเอสเตอร์ ทำให้มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแหโพลีเอสเตอร์เรซิน ก็จะแข็งตัว แม้ว่าโพลีเอสเตอร์สายโซ่ตรงชนิดไม่อิ่มตัว อาจเกิดการเชื่อมโยงกันเองระหว่างสายโซ่ได้ แต่จะเกิดอย่างช้า ๆ และได้ดีกรีของการเชื่อมโยงต่ำ ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีดีกรีของการเชื่อมโยงสูงและรวดเร็วขึ้นจึงนิยมเติมสารซึ่งมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาลงไป ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สไตรีนโมโนเมอร์ เนื่องจากราคาถูก เป็นตัวทำละลายที่ดี และสามารถทำปฏิกิริยากับโพลีเอสเตอร์เรซินในขณะแข็งตัวได้ดี ส่วนสารอื่น ๆ ที่นิยมใช้บ้าง เช่น เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate)

โพลีเอสเตอร์เรซินสามารถละลายในตัวทำละลายไม่อิ่มตัว เช่น สไตรีนโมโนเมอร์ เพื่อให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยโมเลกุลของสไตรีนโมโนเมอร์จะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของโพลีเอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว พันธะที่ไม่อิ่มตัวของโพลีเอสเตอร์เรซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะที่ไม่อิ่ม

ตัวของโมโนเมอร์บางส่วน แต่จะเข้าทำปฏิกิริยาได้เต็มที่เมื่อได้รับความร้อนหรือเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป



รูปที่ 2.2 สไตรีนโมโนเมอร์แทรกอยู่ระหว่างโพลีเอสเตอร์เรซินที่ไม่อึดตัว



รูปที่ 2.3 โครงสร้างร่างแหของโพลีเอสเตอร์เรซินภายหลังการแข็งตัว

5. สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารละลายของโพลีเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน เมื่อได้รับการกระตุ้น จึงต้องใช้สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา เพื่อป้องกันไม่ให้โพลีเอสเทอร์เรซินแข็งตัว และช่วยยืดอายุการใช้งานของโพลีเอสเทอร์ให้สามารถเก็บไว้ได้นาน ช่วยในการปรับเวลาการแข็งตัวของโพลีเอสเทอร์เรซิน และยังช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะโพลีเอสเทอร์เรซินแข็งตัว โดยเลือกสารยับยั้งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งเป็นสารจำพวก ควิโนน (quinone) ได้แก่ benzoquinone หรือ hydroquinone

6. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำให้โพลีเอสเทอร์เรซิน แข็งตัวเร็วขึ้น โดยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxide) เช่น เมทิล เอทิล คีโตนเปอร์ออกไซด์ (Methyl Ethyl Ketone Peroxide ; MEKPO) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide)

7. ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เป็นสารช่วยเร่งให้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเกลือของโลหะ (Metalic Salt) เช่น โคบอลต์ ออกโตเตต (Cobalt Octotate) โคบอลต์ แนฟทีเนต (Cobalt naphthenate) หรือสารจำพวกเอมีน เช่น ไดเอทิล แอนีลีน (Diethyl Aniline) ไดเมทิล แอนีลีน (Dimethyl Aniline)

8. สารเติมแต่ง (additive) มีมากมายหลายชนิดเติมลงในโพลีเอสเทอร์เรซินเพื่อเพิ่ม คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ลดการหดตัวของโพลีเอสเทอร์เรซิน ลดความร้อนขณะโพลีเอสเทอร์เรซินแข็งตัว ดูดแสงอุลตราไวโอเล็ต เพื่อให้โพลีเอสเทอร์เรซินคงคุณสมบัติเดิม สารทำให้เกิดสี สารเพิ่มหรือสารทำให้ทึบแสง (filler) เช่น ผงทัลคัม ผงหิน

2.5.3 กระบวนการแข็งตัวของโพลีเอสเทอร์เรซิน (21)

โพลีเอสเทอร์เรซินสามารถแข็งตัวได้หลายวิธี คือ

- 1) อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และความร้อน
- 2) อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) อาศัยแสงอุลตราไวโอเล็ต
- 4) อาศัยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam)

วิธีที่ง่าย สะดวก และนิยมที่สุด ได้แก่ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิห้อง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะโพลีเอสเทอร์เรซินแข็งตัว คือปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันระหว่าง สไตรีน โมโนเมอร์และพันธะไม่อิ่มตัวของโพลีเอสเทอร์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา และตัว

ช่วยเร่งปฏิกิริยากระตุ้นและเร่งให้เกิดปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเดี่ยวที่อุณหภูมิห้อง จะไม่เกิดปฏิกิริยาต้องอาศัยความร้อนกระตุ้นการทำงาน โดยทั่วไปการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงแรก ช่วงนี้คือหลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา จนกระทั่งเรซินเริ่มแข็งตัวเป็นก้อน เรียกช่วงนี้ว่า gel time

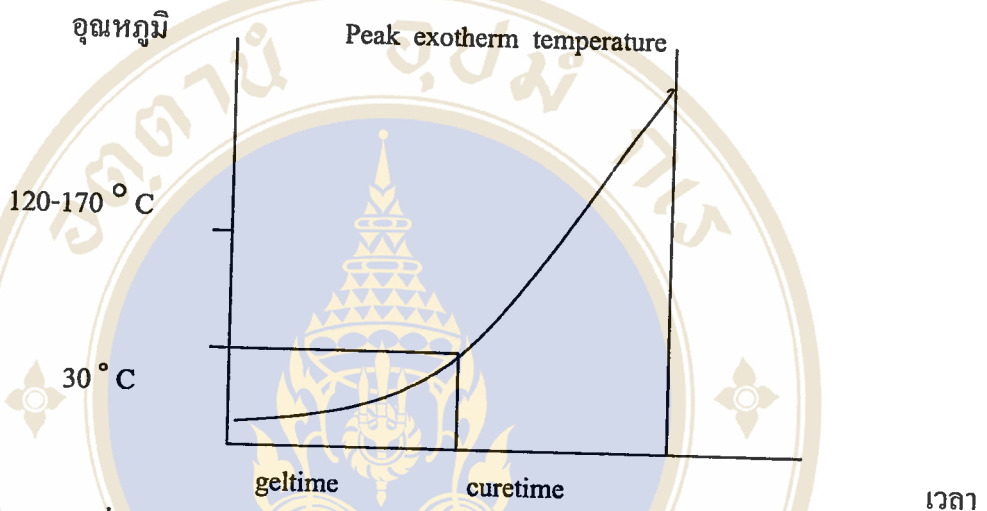
ช่วงสอง จากเรซินเป็นเหมือนก้อนและเริ่มมีการแข็งตัวมากยิ่งขึ้น จนมีสภาพแข็งตัวทั้งหมด เรียกว่า cure time



2.5.4 คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซินขณะแข็งตัว

2.5.4.1 ปฏิกริยาในการแข็งตัวจะให้ความร้อน

ขณะโพลีเอสเตอร์เรซินแข็งตัว จะเกิดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาภายหลังการเติมตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว

ขณะที่ปฏิกิริยาการแข็งตัวดำเนินไป ความแข็งของโพลีเอสเตอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา (Peak Exotherm Temperature) โพลีเอสเตอร์เรซินจะแข็งตัวถึง 95% จากนั้นเรซินจะแข็งตัวต่อไปอย่างช้า ๆ แต่เพื่อป้องกันไม่ไห้เรซินเปลี่ยนรูปร่างภายหลังเนื่องจากการแข็งตัวไม่เต็มที่ ในกระบวนการผลิตจึงมักกะผลิตภัณฑ์ไปทำ “post cure” เสียก่อน โดยการอบที่อุณหภูมิ 100 – 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 6 ชั่วโมง หรือโดยการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือล้างด้วยไอน้ำ

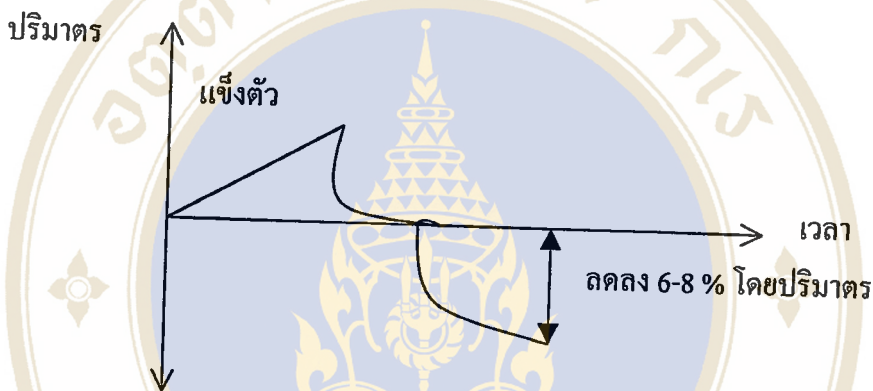
องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน คือ

- 1) อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูง โพลีเอสเตอร์เรซิน จะแข็งตัวได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
- 2) ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ถ้าใส่ในปริมาณมากจะแข็งตัวได้เร็วกว่าปริมาณน้อย
- 3) ปริมาณโพลีเอสเตอร์เรซิน ปริมาณโพลีเอสเตอร์เรซิน มาก การแข็งตัวเกิดขึ้นได้เร็วกว่าปริมาณน้อย

- 4) ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูง การแข็งตัวของเรซินจะเกิดขึ้นได้ช้า โดยปกติ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในโพลีเอสเตอร์เรซิน ต้องมีค่าไม่เกิน 0.05 %
- 5) ปริมาณออกซิเจน ออกซิเจนเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์ ถ้าปริมาณออกซิเจนสูง เช่น การกวนมาก ๆ จะทำให้ออกซิเจนเข้าสู่โพลีเอสเตอร์ เรซินได้มาก การแข็งตัวจะช้าลง

2.5.4.2 โพลีเอสเตอร์เรซินจะหดตัวขณะแข็งตัว (Shrinkage)

ขณะแข็งตัว เรซินจะเกิดการหดตัวโดยปริมาตรประมาณ 6-8%



รูปที่ 2.6 โพลีเอสเตอร์หดตัวประมาณ 6-8%

สามารถเพิ่มความแข็งแรงคงทนต่อ แรงกระแทก แรงอัด ความสึกหล่อ หรือมีน้ำหนักมากขึ้นให้แก้วสุดได้โดยการเติมสารบางอย่าง ซึ่งเรียกว่า “filler” ผสมในเรซินขณะที่ทำการหล่อซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ เช่น ใยแก้ว ผงปูน ใยเหล็ก ทัลคัม เป็นต้น

2.5.5. คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซิน (21)

คุณสมบัติทางกายภาพ

โพลีเอสเตอร์เรซินมีคุณสมบัติแข็ง ใส เงาม และสามารถใช้งานในอุณหภูมิสูง ดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก แต่เมื่อไม่สามารถเทียบเท่ากับโลหะในด้านความเหนียว ความยืดหยุ่น และความแข็งแรง แต่ในปัจจุบันสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับโพลีเอสเตอร์เรซินได้ โดยการเติมสารที่มีลักษณะเป็นเส้นใยประสาน เช่น ใยแก้ว

คุณสมบัติทางเคมี

สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ยกเว้นสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง เช่น กรดแก่และด่างแก่

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

ไม่นำไฟฟ้า สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

2.5.6. การใช้งานโพลีเอสเตอร์ในปัจจุบัน

โพลีเอสเตอร์เรซินถูกนำมาเป็นตัวเลือกในการทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น การทำหินอ่อนเทียม พิซิต เลียมพิพัฒนา (15) ได้แนะนำการทำหินอ่อนเทียมด้วยการเติมผงหิน พงทลคัม ลงในโพลีเอสเตอร์เรซิน โดยแบ่งเรซินออกเป็นสองส่วนใส่สีลงไปอย่างละสี เพื่อให้เกิดเป็นลวดลายแบบหินอ่อน ด้วยการเทเรซินสีหนึ่งลงไปอีกสีหนึ่งและคนให้เป็นลวดลาย อัตราส่วนผสมระหว่างเรซินและผงปูนที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 1 : 1 โดยปริมาตร นอกจากนี้จะสร้างชิ้นงานเป็นหินอ่อนแล้วยังสามารถสร้างเป็นงานช่างเทียม หยกเทียม และเซรามิกเทียม การผลิตงานช่างเทียมจะเพิ่มขึ้นตอนทาสีและขัดสี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ชิ้นงานมองดูเหมือนงานช่างจริง ๆ การผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ต่าง ๆ สามารถนำวัสดุเลียนแบบธรรมชาติเช่นนี้ ไปเป็นวัตถุดิบได้ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ใน งานเคลือบผิวหน้าวัสดุอื่น เช่น ไม้ เพื่อให้เกิดความมันเงาและรักษาชิ้นงาน เช่น การทำกรอบรูป วิทยาศาสตร์ และการผลิตไฟเบอร์กลาส

ในงานพลาสติก มีการนำพลาสติกชนิดอื่น เช่น โพลียูเรเทน อีพอกซี มาใช้ประดิษฐ์เป็น สิ่งของเครื่องใช้ เครื่องประดับ ได้หลากหลาย ตรงกับความต้องการของผู้ใช้และผู้ สร้างสรรค์งาน

โพลีเอสเตอร์เรซินมีกลิ่นฉุนรุนแรงมากเมื่อเก็บไว้ในห้องอับอากาศ ดังนั้น ห้องเก็บควรมีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี และอุณหภูมิไม่ควรเกิน 20 องศาเซลเซียส จะทำให้มีอายุการเก็บได้นานประมาณ 3 – 6 เดือน หากเก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส โพลีเอสเตอร์เรซินจะหยุดทำปฏิกิริยา และจะมีอายุการเก็บได้นานกว่านี้มาก

2.5.7 แม่แบบงานหล่อที่ใช้พลาสติกเหลว (23)

แม่แบบหรือแม่พิมพ์ (Mold) เป็นหัวใจสำคัญในการสร้างชิ้นงาน ทำได้จากวัสดุหลายชนิด ดังนี้

- 1) แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium Foil) เป็นแม่แบบที่ใช้งานชั่วคราว ใช้หล่อชิ้นงานที่มีรูปทรงอิสระหรือรูปทรงเรียบง่าย เพื่อนำไปขัดหรือเจียรต่อไป

- ต้องทากี๊ฟ้งถอดแบบหรือวาสลินที่ผิวหน้าแบบเพื่อป้องกันไม่ให้เรซินติดกับแบบ
- 2) พิล์มพลาสติก เป็นแม่แบบใช้งานชั่วคราว รูปทรงที่หล่อจะเป็นรูปทรงกระบอกหรือทรงกรวย จากนั้นนำไปตัดหรือขีดให้ได้รูปทรงที่ต้องการ พิล์มที่ใช้ควรเป็นฟิล์มหนาประเภทฟิล์มไมลาร์ (Mylar) หรือฟิล์มพีวีซี (PVC) ไม่ต้องทากี๊ฟ้งถอดแบบ เนื่องจากฟิล์มเป็นชนิดที่ไม่ติดกับเรซิน
 - 3) ภาชนะวัสดุต่าง ๆ เลือกใช้พลาสติกชนิดที่บีบแล้วไม่แตก เช่น ขวดเพท ถ้วยขามพลาสติก แก้ว เซรามิก โลหะ เหมาะเป็นสื่อการเรียน ควรใช้กี๊ฟ้งถอดแบบหรือวาสลินทาเคลือบผิวหน้าก่อน
 - 4) ปูนปลาสเตอร์สำหรับหล่อชิ้นงานทดลอง จะเป็นแม่แบบขึ้นเดียวหรือหลายชิ้นก็ได้ การนำไปใช้งานปูนต้องแห้งสนิท และต้องเคลือบผิวหน้าด้วยสีพลาสติกหรือสีน้ำมันหรือเซลแล็ก เพื่อป้องกันการดูดซึม และต้องทากี๊ฟ้งถอดแบบ พีวีเอ หรือกี๊ฟ้งถอดแบบหรือวาสลินเคลือบป้องกันการติดทับลงไปอีก
 - 5) กี๊ฟ้ง (Wax หรือ Paraffin) หรือดินน้ำมัน ใช้สำหรับหล่อชิ้นงานทดลองเป็นแม่แบบชั่วคราว ทำโดยหล่อกี๊ฟ้งหรือพาราฟินในภาชนะให้ได้รูปทรงใกล้เคียงกับที่ต้องการ จากนั้นแกะสลักลวดลายที่ต้องการ
 - 6) ไม้ ลักษณะเหมือนการทำแบบด้วยปูนปลาสเตอร์ เพื่อความสวยงามของชิ้นงาน และเพื่อให้ถอดชิ้นงานง่าย กรอบไม้ควรปิดหน้าด้วยพลาสติกแผ่นฟอรัไมก้า และทากี๊ฟ้งถอดแบบ แม่แบบชนิดนี้เหมาะกับที่ไม่ต้องการลวดลาย
 - 7) พลาสติกอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน เป็นแม่แบบที่ต้องการหล่อชิ้นงานเป็นจำนวนมาก รูปทรงเรียบง่าย นิยมใช้พลาสติก พี.วี.ซี. โดยดัดขึ้นรูปด้วยระบบอัดขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน (Vacuum Thermoforming) หากต้องการชิ้นงานรูปทรงลอยตัว เช่น ทรงกลม สามารถทำได้โดยแบ่งแม่แบบเป็น 2 ชั้น นำมาเชื่อมต่อกัน แล้วเจาะรูด้านหนึ่งสำหรับเทพลาสติกเหลว
 - 8) ไฟเบอร์กลาส ใช้สำหรับหล่อชิ้นงานที่มีรูปทรงเรียบง่าย จะหล่อบางโดยเสริมใยแก้ว
 - 9) ยางซิลิโคน เป็นแม่แบบที่นิยมใช้หล่อชิ้นงานเครื่องประดับที่ทำจากพลาสติกเหลว โพลีเอสเทอร์เรซินมากที่สุด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากโพลีเอสเตอร์มีคุณสมบัติที่สามารถหล่อเป็นชิ้นงาน เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ สามารถใช้งานได้หลากหลาย และเติมสารชนิดอื่น ๆ ได้ตามความต้องการ จึงมีการทดลองนำมาใช้ประโยชน์ด้วยการนำวัสดุที่ต้องการ recycle มาเติมในเรซิน โดยมุ่งเน้นที่ความคงทนแข็งแรง และเกิดประโยชน์ของชิ้นงาน เช่นการทดลองของอภิสิทธิ์ (19) ได้ศึกษาความต้านทานแรงอัด แรงดึง แรงคด ความหนาแน่นของโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ต้าโพลีเอสเตอร์กับทราย เพื่อนำไปเป็นวัสดุอุดตัวที่เป็นโพรงของเสาเข็มต้น ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ เรซิน 1 ส่วน และทราย 3 ส่วน มีค่าการทดสอบ คือ ค่าต้านทานแรงอัดได้ 561 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความต้านทานแรงดึง 57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น 1,812 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 219×10^4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และพบว่า โพลีเอสเตอร์ที่ 7 วัน สามารถรองรับกำลังได้ดีกว่า 28 วัน เนื่องจากโพลีเอสเตอร์ จะเริ่มรับกำลังได้ตั้งแต่ 1 วัน เป็นต้นไป และเมื่อถึงระยะเวลาให้นานขึ้น มีการแข็งตัวเต็มที่ ความเหนียวจะลดลง ทำให้ค่าของกำลังลดลง และสามารถทนความร้อนได้ถึง 120 องศาเซลเซียส และถูกติดไฟเมื่อถึง 145 องศาเซลเซียส

ในการทดลองของจิตรลดา (21) นำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเก่าที่ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว มาย่อยบดผสมในโพลีเอสเตอร์เรซิน เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสอีกครั้งหนึ่ง โดยศึกษาความแข็งแรงต้านทานแรงดึง ความแข็งแรงต้านทานแรงกด และความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก ซึ่งพบว่าการเติมวัสดุไฟเบอร์กลาสลงในเรซิน ที่ขนาด mesh 30 ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงดึง และแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงต้านทานแรงคดมีค่าลดลง

ในประเทศแคนาดา ได้มีการทดลองนำต้นพืชประเภทปอ (Oil Seed Flax) มาทำเป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติก สร้างเป็นวัสดุปูพื้น ชื่อว่า Durafiber ผลิตโดยบริษัท cargill บริษัทแห่งนี้ได้ใช้เส้นใยจากส่วนแก่นของลำต้น นิยมใช้ผสมกับ Polyethylene และ Polypropylene ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง มีค่าต้านทานแรงดึงสูงขึ้น มีจุดอ่อนตัวสูงขึ้น และหน้าตัดมีความคงที่ที่ดีขึ้น (25)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนมาเติมในโพลีเอสเตอร์เรซินในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. ขั้นเตรียมการ
2. ขั้นตอนการทดลอง
3. ขั้นตอนที่รวบรวมวิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย
4. ขั้นตอนที่สรุปและข้อเสนอแนะในการวิจัย

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กากตะกอนน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ตากจนแห้งสนิท
2. ชุดตะแกรงร่อน (sieve) mesh เบอร์ 50 , 70 , 140 , 200 และ 270
3. โพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว
4. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาดเล็ก
5. แม่แบบขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ (ในภาคผนวก)
6. เครื่องทดสอบคุณภาพชิ้นงาน
 - เครื่องวัดค่าความแข็งแรงด้านทานแรงดึง
 - เครื่องวัดค่าความแข็งแรงด้านทานแรงดัด
 - เครื่องวัดค่าความแข็งแรงด้านทานแรงกระแทก

3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

3.3.1 ขั้นเตรียมการ

3.3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของโพลีเอสเตอร์เรซินและกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชน รวมทั้งทดสอบชิ้นงาน ทดสอบที่อัตราส่วนการผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งมีการดำเนินการศึกษาดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนยานนาวา
3. ศึกษาและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองpretest ตามขั้นตอนต่าง ๆ
 - (3.1) นำกากตะกอนน้ำทิ้ง (sludge cake) ตากให้แห้ง
 - (3.2) นำกากตะกอนที่แห้งแล้วมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน sieve เบอร์ 50 , 70 , 140 , 200 และ 270 เพื่อให้ได้อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง sieve เบอร์ 50 ถึง 70 , 140 , 200 , 270 และ น้อยกว่า 270
 - (3.3) คัดเลือกขนาดตะกอนที่เหมาะสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ
 - (3.4) ศึกษาการทดสอบชิ้นงานต่าง ๆ ตามมาตรฐานของ ASTM โดยเครื่องทดสอบชิ้นงาน

3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.2.1 การเตรียมวัสดุในการทดลอง

- (1) การนำกากตะกอนแห้งมาบดย่อย โดยนำกากตะกอนน้ำทิ้ง (sludge cake) จากโรงบำบัดน้ำเสียมาตากแห้ง แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็กลงจนเป็นผง
- (2) นำมาแยกร่อนเพื่อคัดขนาดของผงตะกอน เบอร์ 50 – 70 และ น้อยกว่า 270 นำไปศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

3.3.2.2 การเตรียมแม่แบบชิ้นงาน

- (1) นำกระดาษขนาด 10x 10 นิ้ว หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น เป็นแม่แบบ โดยใช้กระดาษขนาด 3 มิลลิเมตร กั้นกลางเป็นความหนาของวัสดุหล่อ

3.3.2.3 การหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน

(1) นำผงตะกอนน้ำทิ้ง 2 ขนาด ที่ผ่านการร่อนผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซินในสัดส่วนกากตะกอนต่อโพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90, 30 : 70 , 50 : 50 และ 70 : 30 โดยน้ำหนัก ไปจนถึงกระทั่งไม่สามารถขึ้นรูปได้ ขึ้นรูปดังนี้

(1.1) ชั่งน้ำหนักผงตะกอนตามอัตราส่วนที่ใช้ ทั้งนี้ต้องได้ปริมาณรวมพอดีกับแม่แบบ

(1.2) ชั่งน้ำหนักโพลีเอสเตอร์เรซิน ตามอัตราส่วนที่ใช้

(1.3) ใส่ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาลงในเรซินคนให้เข้ากัน

(1.4) ใส่ผงตะกอนลงในเรซินคนให้ผงเข้ากับเรซินเป็นเนื้อเดียวกัน

(1.5) เติมสารเร่งปฏิกิริยา (hardener) 1% เทเรซินลงในแบบ

(1.6) เรซินแข็งตัว ประมาณ 2 ชั่วโมง

(2) ขึ้นรูปชิ้นงานหล่อด้วยโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 %

3.3.2.4 ตัดชิ้นงานทดสอบขนาดตามค่าที่ทดสอบ ชนิดละ 10 ชิ้นงาน ในแต่ละอัตราส่วน

(1) การทดสอบค่าแรงดึง เป็นรูปคัมพ์เบล ขนาด $1/8 \times 1/2 \times 6.6$ นิ้ว

(2) การทดสอบค่าแรงดัด เป็นรูปแผ่นขนาด $1/8 \times 1/2 \times 5$ นิ้ว

(3) การทดสอบค่าแรงกระแทก เป็นรูปแผ่นขนาด $1/8 \times 1/2 \times 2$ นิ้ว

3.3.2.5 การทดสอบชิ้นงาน ชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้ว นำไปทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลตามที่กำหนดไว้ โดยเครื่องทดสอบ

(1) การทดสอบค่าแรงดึง (Tensile Strength) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าแรงดึงสูงสุดที่มากกระทบต่อชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 638

(2) การทดสอบค่าแรงดัด (Flexural Strength) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินแรงกดสูงสุดที่มากกระทบต่อชิ้นงานจนชิ้นงานมีลักษณะถูกดัดโค้ง ทำให้ชิ้นงานแตกหักออกจากกัน โดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D790

(3) การทดสอบค่าแรงกระแทก (Impact Strength) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินแรงกระแทกสูงสุดที่มากกระทำต่อชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงาน

แตกหักออกจากกัน โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D256

3.3.3 ขั้นตอนการรวบรวมผลวิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย

ทำการรวบรวมผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบในระดับขนาดของอนุภาค แยกตามอัตราส่วนที่ผสม และชนิดของคุณสมบัติที่ทดสอบ บันทึกผลลงในตาราง การวิเคราะห์นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณเป็นค่า K โดยเป็นค่าเปรียบเทียบความแตกต่าง ของวัสดุทดสอบในอัตราส่วนต่าง ๆ กับโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % ของการทดสอบคุณสมบัติทาง กายภาพ แต่ละชนิด โดย

$$\text{ค่า } K_T = \frac{T_o - T_x^-}{T_o} \times 100 \%$$

เมื่อ T_o เป็นค่า Tensile Strength ของเรซิน 100 %
 T_x^- เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุทดลอง

$$K_F = \frac{F_o - F_x^-}{T_o} \times 100 \%$$

เมื่อ F_o เป็นค่า Flexural Strength ของเรซิน 100 %
 F_x^- เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุทดลอง

$$K_I = \frac{I_o - I_x^-}{I_o} \times 100 \%$$

เมื่อ I_o เป็นค่า Impact Strength ของเรซิน 100 %
 I_x^- เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุทดลอง

และนำมาวิเคราะห์หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; S.D.)

$$S.D = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2) / (n-1)}$$

ตารางแสดงผลการทดสอบค่า..... ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด.....

Ratio of example	Number of example (X)										$\sum X$	\bar{X}	S.D.	K		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
ภาคตะกอน : เรซิน																
เรซิน 100 %																
10 : 90																
30 : 70																
50 : 50																
70 : 30																

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นสารเติมในโพลีเอสเตอร์เรซิน โดยพิจารณากากตะกอนแห้ง 2 ขนาด คือ 212 – 300 μm (mesh 70) และขนาดน้อยกว่า 53 μm (น้อยกว่า mesh 270) ในอัตราส่วน กากตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90 , 30:70 , 50:50 และ 70:30 แล้วนำตัวอย่างวัสดุนี้ไปวัดค่าความแข็งแรง 3 ค่า คือ ความแข็งแรงต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ความแข็งแรงต้านทานแรงดัดโค้งงอ (Flexural Strength) และความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานในการประเมินคุณภาพชิ้นงาน สามารถพิจารณานำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ซึ่งจะได้เสนอผลการศึกษา โดยมีลำดับดังนี้

- ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา
- คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน
- น้ำหนักของกากตะกอนและโพลีเอสเตอร์เรซินในการผสมอัตราที่ส่วนต่าง ๆ
- ผลการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน

4.1 ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานบำบัดน้ำเสียยานนาวา

น้ำเสียชุมชนเมื่อผ่านขั้นตอนขบวนการบำบัดจนได้ตะกอนน้ำทิ้ง และเมื่อผ่านการรีดน้ำออกแล้วจะยังมีความชื้นสูง ลักษณะคล้ายดินเหนียวอุ้มน้ำ ซึ่งเรียกตะกอนลักษณะนี้ว่า “Sludge Cake” เมื่อนำไปตากผึ่งจนแห้งแล้ว จะมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม สามารถเปรียบเทียบลักษณะของกากตะกอนก่อนและหลังจากแห้งแล้วได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของกากตะกอนน้ำทิ้งก่อนตากแห้งและเมื่อแห้งแล้ว

คุณลักษณะ	ตะกอนก่อนตาก	ตะกอนหลังตาก
1. ความชื้น (%)	80	5
2. ขนาดตะกอน	เป็นก้อนเหนียว	แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ
3. สี	ดำ	น้ำตาลเข้ม
4. กลิ่น	เหม็นมาก	กลิ่นอ่อนคล้ายกลิ่นดิน
5. ความแข็ง	อ่อนนุ่ม	แข็ง

เมื่อนำตะกอนตากผึ่งในที่โล่งประมาณ 7 วัน ความชื้นลดลง 90% แห้งพอที่จะนำไปบดขยี้เพื่อใช้ผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซินได้ กากตะกอนมีสีซีดลงเมื่อแห้ง เมื่อนำไปบดขยี้ให้มีขนาดเล็กลงจะมีสีซีดจางลงไป และเมื่อมีขนาดเล็กจนเหมือนผงแป้ง จะมีสีน้ำตาลอ่อน แต่เมื่อผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซินแล้ว จะกลับมามีสีเข้มเช่นเดิม

4.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

เนื่องจากตะกอนน้ำทิ้งมีสารโลหะหนักปนเปื้อน และไม่ได้กำจัดออก JIGA (5) ได้ศึกษาปริมาณสารโลหะหนัก และคุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำทิ้งชุมชน ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนน้ำทิ้งชุมชน

โลหะหนัก	ปริมาณ (mg/kg)
แคดเมียม (Cd)	1.7
โครเมียม (Cr)	542
ทองแดง (Cu)	944
ตะกั่ว (Pb)	138
นิกเกิล (Ni)	297
ปรอท (Hg)	7

ที่มา : JIGA , 1998 (5)



ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำทิ้งชุมชน

คุณสมบัติ	ปริมาณ	
	หน้าฝน	หน้าแล้ง
ความชื้น (%)	83.6	85.8
Total Solid (%)	16.4	14.2
Volatile Solid (%)	44.8	55.5
กำมะถัน (S) (mg/kg)	8	49
คลอรีน (Cl) (mg/kg)	290	406
Alkalinity (mg/kg)	5,608	6,975
pH	6.9	7.2
คาร์บอน (C) (%)	33.8	24.7
ไนโตรเจน (N) (mg/kg)	28,921	38,696
ฟอสฟอรัส (P) (mg/kg)	3,803	4,732
โปแตสเซียม (K) (mg/kg)	172	426

ที่มา : JIGA , 1998 (5)

4.3 น้ำหนักของกากตะกอนและโพลีเอสเทอร์เรซินในการผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ชิ้นงานรูปร่างต่าง ๆ ที่นำไปทดสอบค่าในการศึกษาครั้งนี้ ตัดจากแผ่นที่หล่อขึ้นรูป ในอัตราส่วน กากตะกอน : โพลีเอสเทอร์เรซิน 10 : 90 , 30 : 70 , 50 : 50 และ 70 : 30 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นตะกอนขนาด Mesh 70 และน้อยกว่า Mesh 270 โดยแต่ละแผ่นมีน้ำหนักรวม 150 กรัม เมื่อคำนวณปริมาณน้ำหนักตะกอนและน้ำหนักของโพลีเอสเทอร์เรซินในอัตราส่วนดังกล่าว จะเป็นน้ำหนักของส่วนผสมดังนี้

อัตราส่วน ตะกอน : เรซิน	น้ำหนักตะกอน (g)	น้ำหนักเรซิน (g)
10 : 90	15	135
30 : 70	45	105
50 : 50	75	75
70 : 30	105	45

ในอัตราส่วน 10 : 90 เมื่อผสมตะกอนกับโพลีเอสเตอร์เรซินแล้ว ส่วนผสมยังมีความใส เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ จากการกวนผสมและค่อย ๆ ลดจำนวนลงเมื่อดังวางไว้ แต่เมื่อผสมตะกอนกับโพลีเอสเตอร์เรซินในอัตราส่วนที่เพิ่มตะกอนมากขึ้น แล้วลดปริมาณโพลีเอสเตอร์เรซินลง ส่วนผสมจะเพิ่มความข้นเหนียวมากขึ้น และจับตัวกันมากขึ้น ซึ่งในอัตราส่วน 70 : 30 ตะกอนกับโพลีเอสเตอร์เรซินไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้และขึ้นรูปได้

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติชิ้นงาน

ในการศึกษานี้ได้ทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน 3 ค่า คือ Tensile Strength , Flexural Strength และ Impact Strength ตามมาตรฐาน ASTM D 638 , D 790 และ D 256 ตามลำดับ ด้วยอุปกรณ์มาตรฐานการทดสอบวัสดุโพลีเมอร์ ของภาควิชาวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ศูนย์คลองหก

4.4.1 Ttensile Trength

การทดสอบค่าความแข็งแรงด้านทานแรงดึง ด้วยเครื่องทดสอบโดยยึดปลายทั้งสองด้านของชิ้นวัสดุทดสอบ (ASTM D 638 type I) วัดแรงที่ทำให้ชิ้นงานถูกดึงขาดออกจากกัน (26),(27) จำนวน 10 ชิ้นงาน หน่วยเป็น MPa (เมกะปาสคาล) มีผลดังตารางที่ 4.4 และ4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่า Tensile Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด น้อยกว่า Mesh 270

Ratio of example	Number of example (X)										\bar{X}	S.D.	K	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
กากตะกอน : เรซิน 100 %	55.60	56.61	56.73	56.11	50.44	55.22	55.64	61.19	51.61	59.40	558.55	55.86	3.166	0
10 : 90	32.99	41.88	41.08	36.13	31.45	39.30	37.32	34.96	48.50	44.80	388.41	38.84	5.342	30.47
30 : 70	24.11	23.60	21.85	23.59	22.95	9.312	8.467	8.919	9.342	8.201	160.34	16.03	7.605	71.30
50 : 50	13.82	14.39	14.36	12.53	12.85	12.66	11.25	13.05	19.85	19.83	144.59	14.46	2.986	74.11
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

หน่วยเป็น MPa (เมกะปาสคาล) เท่ากับ 10^6 N/m^2

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K_T หมายถึง เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็นบวก

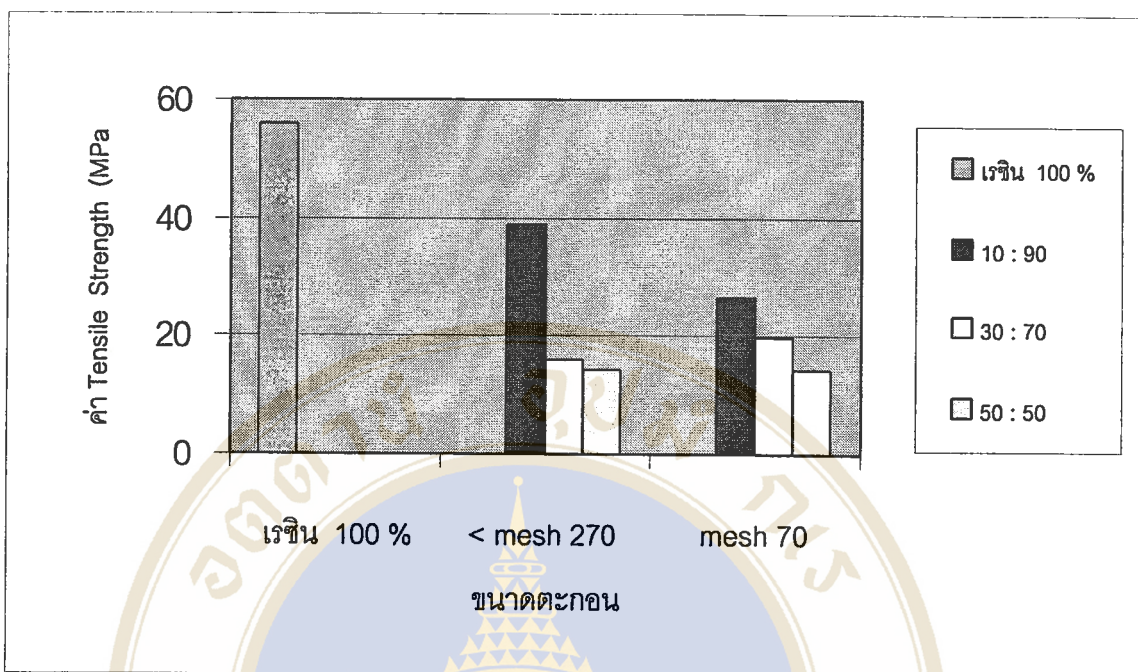
เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่า เป็นลบ

ที่อัตราส่วน 30 : 70 ดูรายละเอียดผลทดสอบในภาคผนวก ก (ข้อมูลที่ ผก-3)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่า Tensile Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70

Ratio of example	Number of example (X)										$\sum X$	\bar{X}	S.D.	K		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
กากตะกอน : เรซิน																
เรซิน 100 %	55.60	56.61	56.73	56.11	50.44	55.22	55.64	61.19	51.61	59.40	558.55	55.86	3.166	0		
10 : 90	31.73	33.85	30.07	27.67	20.54	24.19	28.95	27.35	25.67	17.19	267.21	26.72	5.054	52.166		
30 : 70	20.16	22.43	19.94	22.56	16.61	18.79	19.38	19.53	19.67	17.83	196.90	19.69	1.822	64.75		
50 : 50	14.23	13.34	15.32	15.25	15.80	16.28	12.09	10.40	13.26	15.97	141.94	14.19	1.913	74.59		
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ หน่วยเป็น MPa (เมกะปาสคาล) เท่ากับ 10^6 N/m^2
 S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 K_r หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็นบวก
 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็นลบ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Tensile Strength ของชิ้นงานทดสอบ

โพลีเอสเตอร์เรซิน 100% มีค่า Tensile Strength 55.86 MPa เมื่อนำตะกอนขนาดน้อยกว่า Mesh 270 ผสมในโพลีเอสเตอร์เรซิน ในอัตราส่วน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50 : 50 มีค่า Tensile Strength คือ 38.84 , 16.03 และ 14.46 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่า โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % มีค่า Tensile Strength สูงที่สุด รองลงมา คือ ที่อัตราส่วน 10 : 90

ตะกอนขนาด Mesh 70 ผสมกับโพลีเอสเตอร์ในอัตราส่วน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50 : 50 มีค่า Tensile Strength คือ 26.72 , 19.69 และ 14.19 MPa ตามลำดับ

4.4.2 Flexural Strength

การทดสอบค่าความแข็งแรงด้านทานการคดโค้งงอ โดยวางชิ้นงานบนจุด 2 จุด และกดน้ำหนักตรงกึ่งกลาง วัดแรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักออก หน่วยเป็น MPa ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 790 (26) จำนวน 10 ชิ้นงาน มีผลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่า Flexural Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด น้อยกว่า Mesh 270

Ratio of example	Number of example (X)										$\sum X$	\bar{X}	S.D.	K	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
กากตะกอน : เรซิน															
เรซิน 100 %	107.8	109.2	102.6	102.1	100.5	95.04	90.64	93.04	105.0	82.67	988.59	98.86	8.567	0	
10 : 90	89.46	88.87	75.45	79.70	80.99	63.25	68.00	65.91	81.61	80.02	773.26	77.33	9.092	21.78	
30 : 70	15.98	17.41	19.67	20.36	20.87	18.69	15.87	25.28	23.01	17.86	1950	19.50	3.013	80.27	
50 : 50	32.44	33.17	32.24	33.94	30.60	31.82	33.32	35.11	36.36	29.78	328.78	32.88	1.973	66.74	
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ

หน่วยเป็น MPa (เมกะปาสคาล) เท่ากับ 10^6 N/m^2

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K_F หมายถึง เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็น บวก

เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่า เป็น ลบ

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบค่า Flexural Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70

Ratio of example	Number of example (X)										\bar{X}	S.D.	K	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
กากตะกอน : เรซิน 100 %	107.8	109.2	102.6	102.1	100.5	95.04	90.64	93.04	105.0	82.67	988.59	98.86	8.567	0
10 : 90	37.41	38.97	45.79	46.38	40.30	40.99	32.41	33.85	44.19	39.44	399.73	39.97	4.672	59.57
30 : 70	11.95	22.70	21.67	12.99	24.63	22.95	22.25	17.22	22.61	19.25	198.22	19.82	4.396	79.04
50 : 50 *	35.68	30.61	30.95	32.20	34.40	34.65	29.55	28.32	-	-	256.36	32.05	2.645	67.58
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

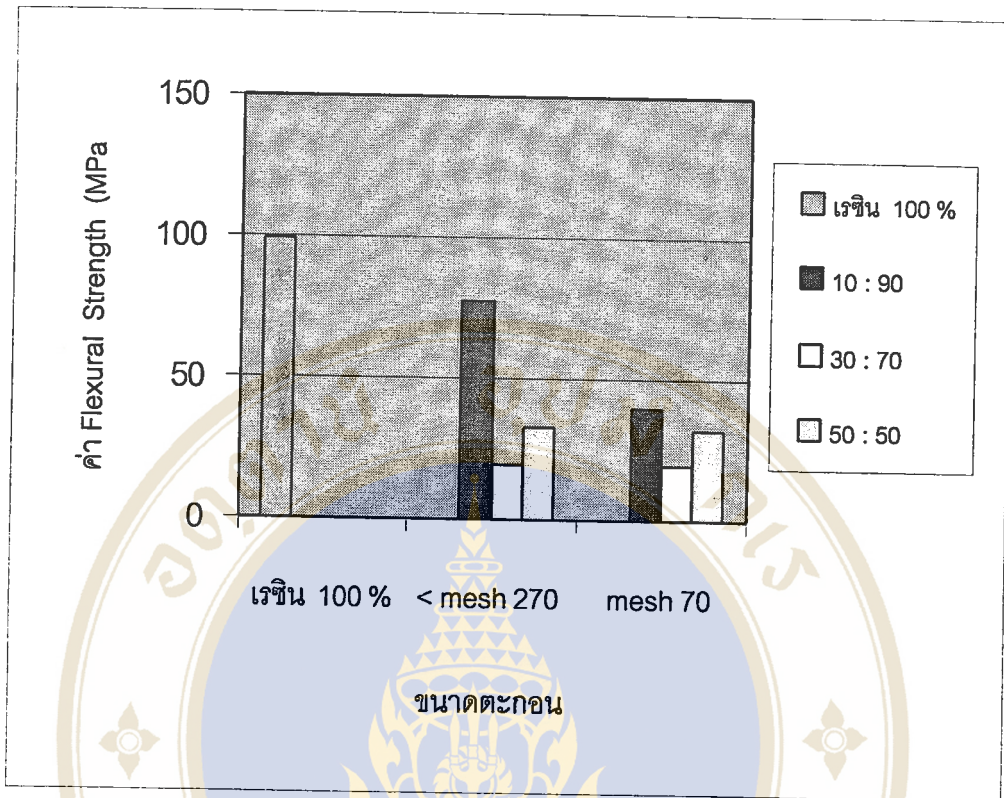
หน่วยเป็น MPa (เมกะปาสคาล) เท่ากับ 10^6 N/m^2

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K_f หมายถึง เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็น บวก

เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็น ลบ

* มีจำนวนชิ้นงาน 8 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยหารด้วย 8



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Flexural Strength ของวัสดุทดสอบ

โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % มีค่า Flexural Strength 98.86 MPa เมื่อนำไปผสมกับตะกอนขนาด น้อยกว่า Mesh 270 ในอัตราส่วนตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50 : 50 มีค่า Flexural Strength 77.33 , 19.50 และ 32.88 MPa ตามลำดับ โดยโพลีเอสเตอร์เรซิน 100% มีค่า Flexural Strength สูงสุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน 10 : 90

ตะกอนขนาด Mesh 70 ผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซิน ในอัตราส่วนตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50 : 50 มีค่า Flexural Strength 39.97 , 19.82 และ 32.05 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบค่า Impact Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด น้อยกว่า Mesh 270

Ratio of example กากตะกอน :	Number of example (X)										$\sum X$	\bar{X}	S.D.	K
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
เรซิน 100 %	11.43	8.57	8.27	11.03	11.19	22.37	13.98	8.57	16.55	11.43	123.49	12.35	4.20	0
10 : 90	14.28	11.43	8.57	11.43	11.43	8.57	17.14	11.43	11.43	11.03	116.74	11.67	2.26	5.74
30 : 70	11.43	8.57	11.43	11.43	11.85	11.85	8.88	11.85	8.88	11.85	108.02	10.80	1.33	12.53
50 : 50	10.52	13.33	9.41	11.76	10.32	10.0	13.95	15.48	9.41	14.11	118.291	11.83	16.97	4.21
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

หน่วยเป็น kJ/m (กิโลจูล/เมตร)

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K₁ หมายถึง เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็นบวก
 เปอร์เซนต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่า เป็นลบ

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบค่า Impact Strength ที่อัตราส่วนผสมของผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด Mesh 70

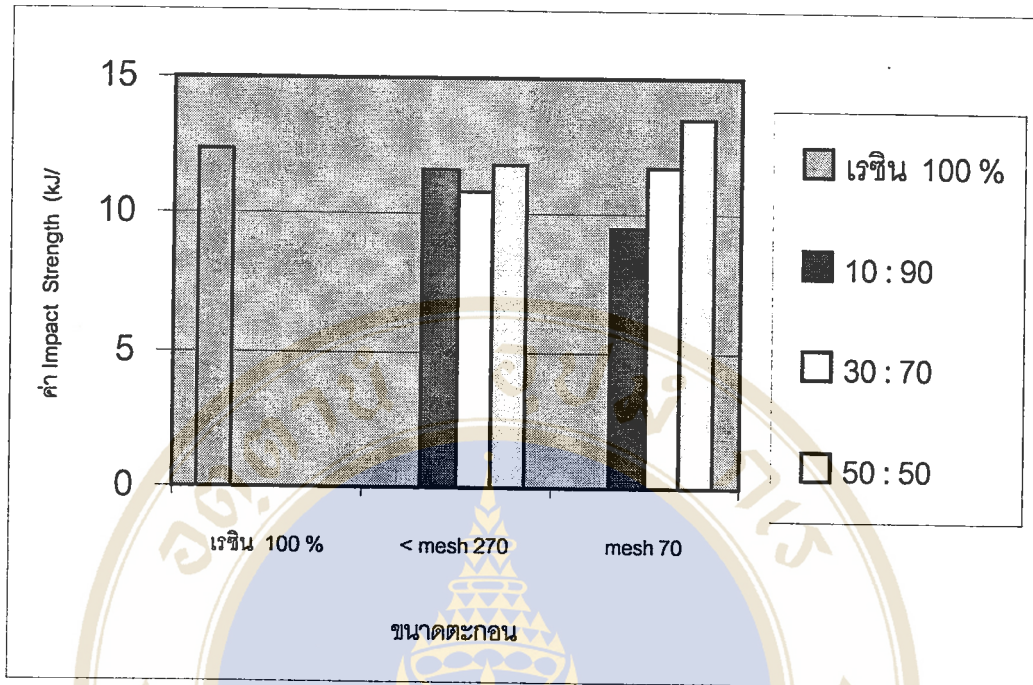
Ratio of example กากตะกอน :	Number of example (X)										$\sum X$	\bar{X}	S.D.	K
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
เรซิน 100 %	11.43	8.57	8.27	11.03	11.19	22.37	13.98	8.57	16.55	11.43	123.49	12.35	4.20	0
10 : 90	11.03	8.39	8.57	11.18	11.43	7.857	11.43	7.58	11.43	8.57	95.47	9.54	1.544	22.75
30 : 70	15.48	10.66	10.32	11.18	10.0	10.66	18.46	13.33	10.0	7.64	117.33	11.73	2.44	4.99
50 : 50	11.76	16.0	14.58	26.66	8.89	9.14	7.5	18.27	10.0	11.76	134.56	13.46	5.25	-8.99
70 : 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

หน่วยเป็น kJ/m (กิโลจูล/เมตร)

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K₁ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของวัสดุทดสอบที่น้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่าเป็นบวก
เปอร์เซ็นต์ของวัสดุทดสอบที่มากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เมื่อมีค่า เป็นลบ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า Impact Strength ของวัสดุทดสอบ

โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % มีค่า 12.35 kJ/m เมื่อนำไปผสมกับตะกอนขนาดน้อยกว่า Mesh 270 ในอัตราส่วน ตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50:50 มีค่า Impact Strength 11.67 , 10.80 และ 11.83 kJ/m ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีความแข็งแรงทนการกระแทกของจากโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เล็กน้อย

ตะกอน Mesh 70 ผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซิน ในอัตราส่วน ตะกอน : โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50:50 มีค่า Impact Strength 9.54 , 11.73 และ 13.76 kJ/m ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีความแข็งแรงทนการกระแทกมากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 %

บทที่ 5

การอภิปรายผล

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซินนี้ ในแต่ละอัตราส่วนและขนาดของตะกอนที่ต่างกัน ทำให้มีผลการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุทดสอบทั้งสามค่าที่ต่างกันออกไป แต่มีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือมีความแข็งแรงน้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % ยกเว้นที่อัตราส่วน 50 : 50 ของตะกอนขนาด mesh 70 ในการอภิปรายผลการศึกษาจะเสนอโดยลำดับ ดังนี้

- ลักษณะตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียขนานาวา
- ผลการทดสอบคุณภาพชิ้นงาน

5.1 ลักษณะตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียขนานาวา

กากตะกอนน้ำทิ้งที่ผ่านการตากแห้งและนำมาบดย่อยแล้ว จะมีรูปทรงเหมือนทรงกลม มีปริมาณความชื้นอยู่ในอนุภาคน้อยมาก ซึ่งมีผลให้ความชื้นลดลง และเมื่อบดย่อยจนมีขนาดอนุภาคเล็กเหมือนฝุ่นแป้งความชื้นจะยิ่งซึดจางลง เนื่องจากอนุภาคไม่ได้จับตัวกันแน่น แต่เมื่อผสมลงไปรวมกับเรซินแล้วจะทำให้มีสีเข้มเหมือนเดิม เนื่องจากโพลีเอสเตอร์เรซินเป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลชนิด hygroscopic มีน้ำเป็นสารประกอบ จึงถ่ายเทความชื้นเข้าสู่ตะกอน

กลิ่นเหม็นของกากตะกอนก่อนตากแห้งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย เนื่องจากมีความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะ แบคทีเรียจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น แต่เมื่อตากแห้งแล้ว ปริมาณความชื้นที่ลดลงทำให้แบคทีเรียหยุดกระบวนการย่อยสลาย และตายไปในที่สุด และกลิ่นก็ลดลงจนไม่มีกลิ่นเช่นกัน

เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินผสมกับตะกอนหล่อจนขึ้นรูปแล้ว ผงตะกอนไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับเรซิน เพียงเข้าไปแทรกอยู่ภายในโครงสร้างของร่างแหของโพลีเอสเตอร์เรซินและเรซินได้ห่อหุ้มตะกอนไว้ มวลชีวภาพต่าง ๆ ในตะกอนจะถูกเรซินยึดตรึงไว้เช่นกัน ในขณะที่ตัด

รูปชิ้นงานทดสอบ จะเกิดฝุ่นผงขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นฝุ่นผงของเรซิน ที่โดยทั่วไปควรมีการป้องกัน ฝุ่นเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

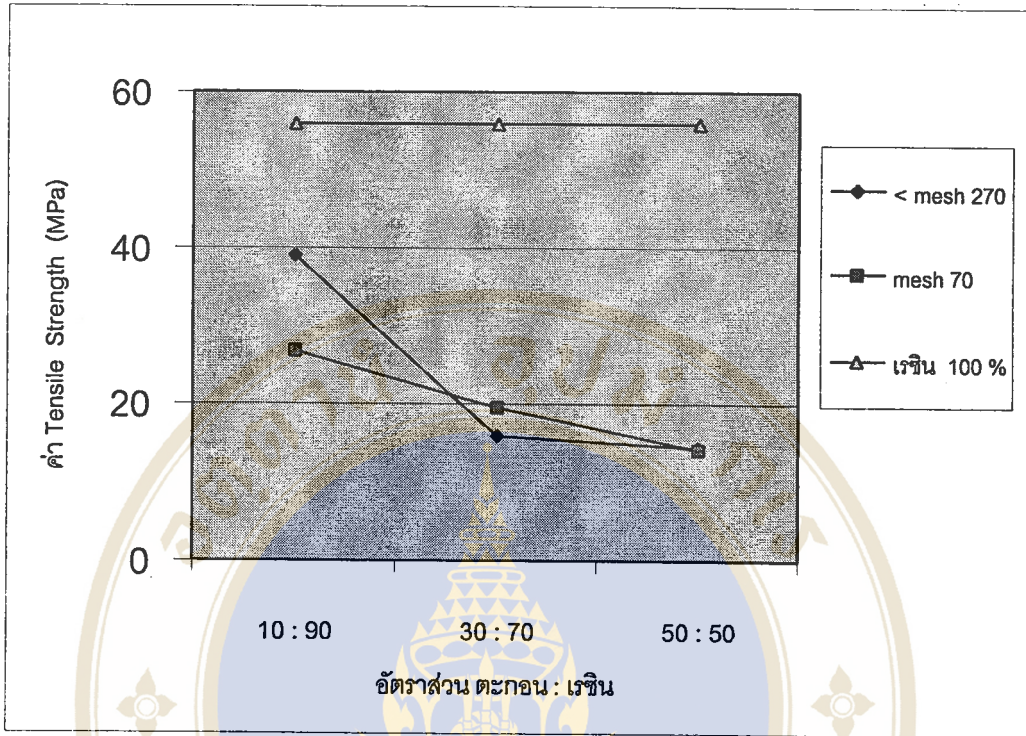
5.2 ผลการทดสอบคุณภาพชิ้นงาน

5.2.1 Tensile Strength

ในการผสมกากตะกอนขนาดน้อยกว่า Mesh 270 และ Mesh 70 กับ โพลีเอสเตอร์เรซิน ในอัตราส่วน 10 : 90 , 30 : 70 และ 50 : 50 เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเอสเตอร์เรซิน 100% ค่า Tensile Strength มีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมของกากตะกอนเพิ่มมากขึ้น เป็นลักษณะเส้นตรง ซึ่งเกิดขึ้นกับตะกอนทั้ง 2 ขนาด ดังตารางที่ 5.1 และ รูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปค่า Tensile Strength ของวัสดุทดสอบ

อัตราส่วน ตะกอน : เรซิน	< Mesh 270 (MPa)	Mesh 70 (MPa)	เรซิน 100% (MPa)
10 : 90	38.84	26.72	58.86
30 : 70	16.03	19.69	
50 : 50	14.46	14.19	



รูปที่ 5.1 กราฟเส้นแสดงค่า Tensile Strength

โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % ไม่มีวัสดุอื่นใดแทรกอยู่ในโครงสร้างภายใน ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการกวนหลังจากแข็งตัวแล้วมีเหลือน้อยมาก ดังนั้นทำให้เกิดการจับยึดตัวได้ดี แต่เมื่อเติมตะกอน เข้าไปแทรกตัวอยู่ในโพลีเอสเตอร์เรซิน ทำให้ความแข็งแรงต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากอนุภาคมีลักษณะเม็ดกลม จึงไม่ได้มีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงต้านทานแรงดึงให้กับวัสดุทดสอบ และเมื่อเติมกากตะกอนมากยิ่งขึ้นในอัตราส่วน 30 : 70 และ 50 : 50 ทำให้ส่วนผสมความชื้นเหนียวมากขึ้น ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการกวนผสมไม่สามารถลอยขึ้นมาและสลายไปได้สะดวก ประกอบกับฟองอากาศจำนวนมากเข้าไปจับกับผิวของอนุภาคตะกอน เกิดช่องว่างระหว่างตะกอนกับโพลีเอสเตอร์เรซิน ซึ่งผลของการทดสอบ ค่า Tensile Strength ของอนุภาคขนาดเล็กกว่า Mesh 270 และ Mesh 70 มีผลสอดคล้องและไม่แตกต่างกัน

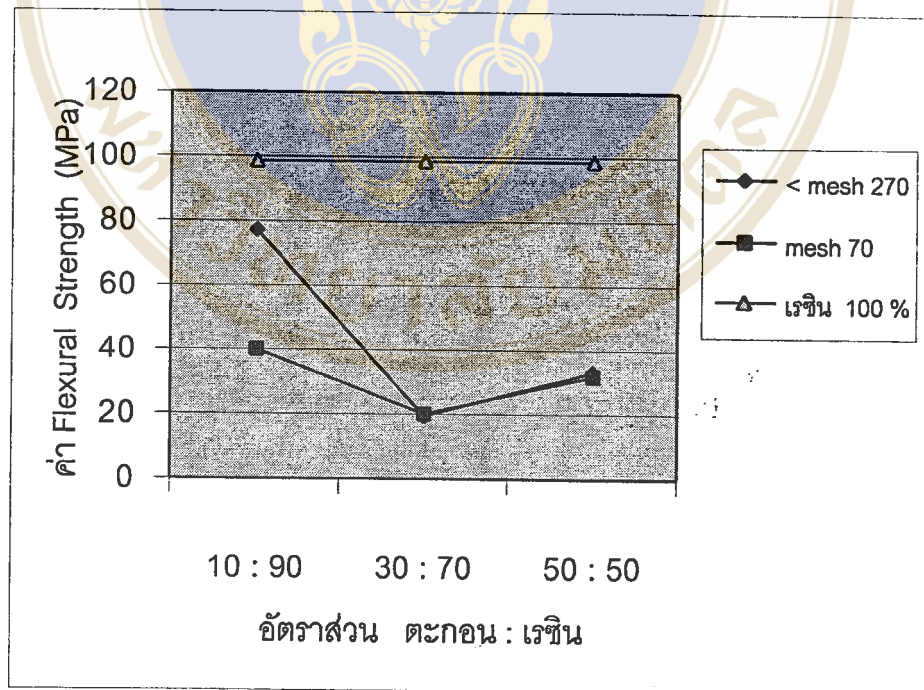
5.2.2 Flexural Strength

เมื่อเปรียบเทียบค่า Flexural Strength ของโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % กับการผสมกากตะกอนขนาดเล็กกว่า Mesh 270 และ Mesh 70 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ค่าที่ 10 : 90 มีค่าการทดสอบ สูงกว่าอีก 2 อัตราส่วน กล่าวคือ ค่าการทดสอบจะลดลงที่อัตราส่วน 30 : 70 แต่เมื่อ

เพิ่มตะกอนมากขึ้นในอัตราส่วน 50 : 50 ค่าการทดสอบกลับสูงขึ้นแต่ไม่ถึง ที่อัตราส่วน 10 : 90 แนวโน้มการขึ้นลงของค่าการทดสอบของตะกอนทั้ง 2 ขนาดไปในทิศทางเดียวกัน ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุป ค่า Flexural Strength ของวัสดุทดสอบ

อัตราส่วน ตะกอน : เรซิน	< Mesh 270 (MPa)	Mesh 70 (MPa)	เรซิน 100% (MPa)
10 : 90	77.33	39.97	98.86
30 : 70	19.50	19.82	
50 : 50	32.88	32.05	



รูปที่ 5.2 กราฟเส้นแสดงค่า Flexural Strength

ที่อัตราส่วน 10 : 90 ค่า Flexural Strength ของชิ้นงานทดสอบของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กกว่า Mesh 270 และ Mesh 70 มีค่าน้อยกว่า โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % จาก 98.86 MPa เป็น 77.33 MPa ในขนาดอนุภาคเล็กกว่า Mesh 270 และ 39.97 MPa ในขนาดอนุภาค Mesh 70 เนื่องจากตะกอนขนาดเล็กกว่า Mesh 270 มีขนาดเล็กมากกว่า ได้เข้าไปแทรกอยู่ในโพลีเอสเตอร์เรซิน ซึ่งจับตัวประสานกันได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

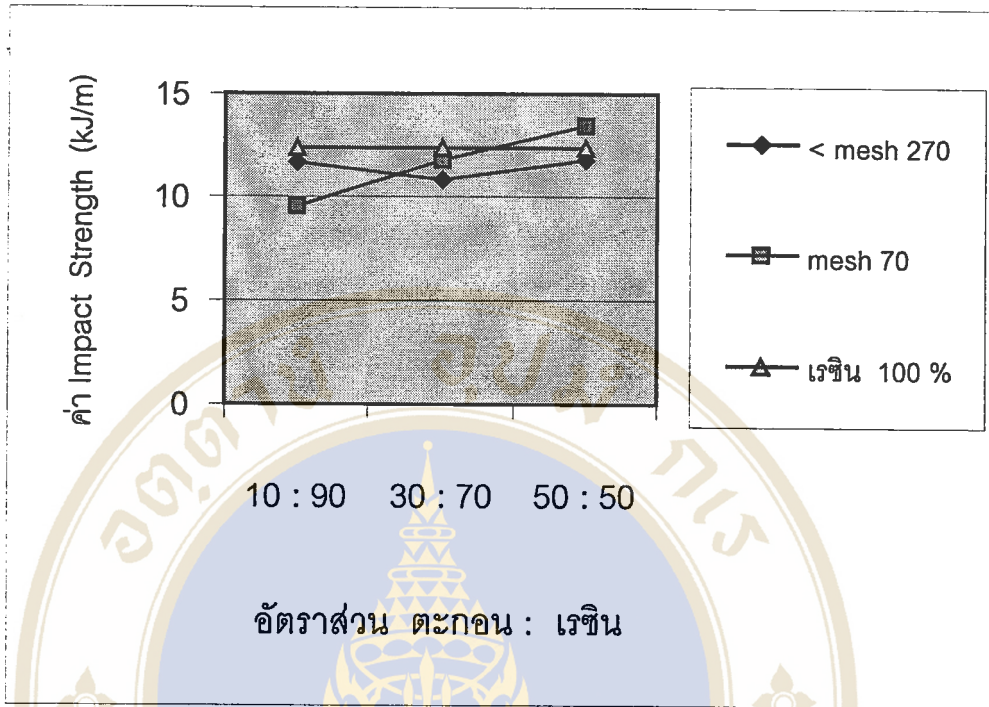
จากคุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซิน ที่มีความแข็งแต่เปราะ ขาดความยืดหยุ่น ที่อัตราส่วน 30 : 70 ภาชนะตะกอนเข้าไปแทรกอยู่ในโพลีเอสเตอร์เรซิน ทำให้การยึดตัวระหว่างโพลีเอสเตอร์เรซินลดลง แต่เมื่อผสมตะกอนเพิ่มเข้าไปถึงอัตราส่วน 50 : 50 วัสดุทดสอบสามารถรับแรงค้ำโค้งได้มากขึ้นเนื่องจากปริมาณโพลีเอสเตอร์เรซินที่ลดลงและปริมาณตะกอนที่มากขึ้น ทำให้คุณสมบัติแข็งแต่เปราะลดลง ภายในวัสดุตัวอย่างมีความยืดหยุ่นในตัวเองได้ดีขึ้น แต่ไม่แข็งแรงเท่าโพลีเอสเตอร์ 100 %

5.2.3 Impact Strength

ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีความแข็งแรงมากกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % ซึ่งเกิดขึ้นกับขนาดอนุภาคทั้งสองขนาด ดังตารางที่ 5.3 และ รูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปค่า Impact Strength ของวัสดุทดสอบ

อัตราส่วน ตะกอน : เรซิน	< Mesh 270 (kJ/m)	Mesh 70 (kJ/m)	เรซิน 100% (kJ/m)
10 : 90	11.67	9.54	12.35
30 : 70	10.80	11.73	
50 : 50	11.83	13.46	



รูปที่ 5.3 กราฟเส้นแสดงค่า Impact Strength

ที่อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % มีค่า Impact Strength 12.35 kJ/m แต่เมื่อเพิ่มตะกอนเข้าไปภายในโพลีเอสเตอร์เรซิน ทำให้แรงยึดระหว่างกันของวัสดุทดสอบลดลง ขนาดอนุภาคน้อยกว่า Mesh 270 มีขนาดเล็กกระจายตัวแทรกในโพลีเอสเตอร์เรซินทำให้ลดแรงยึดระหว่างโพลีเอสเตอร์ เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนมากยิ่งขึ้น ที่อัตราส่วน 30 : 70 ความแข็งแรงต้านทานแรงกระแทกลดลง อนุภาคของตะกอนยังไม่เพียงพอต่อการรับแรงกระแทก แต่เมื่อมีปริมาณตะกอนมากขึ้นที่อัตราส่วน 50 : 50 มีจำนวนตะกอนมากพอที่รองรับแรงกระแทก ทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้ยิ่งขึ้น แต่อยู่ในช่วงแคบ ๆ เท่านั้น

แต่ขนาด Mesh 70 การรับแรงลดลงจากโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % ที่อัตรา 10 : 90 เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่เข้าไปแทรกอยู่ในโพลีเอสเตอร์เรซิน การยึดตัวของโพลีเอสเตอร์เรซินมีลดลง รับแรงกระแทกได้ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนจนส่วนผสมมีความเหนียว ทำให้เกิดฟองอากาศอยู่ภายในโพลีเอสเตอร์เรซินมากขึ้นประกอบกัน วัสดุตัวอย่างจึงสามารถรับแรงกระแทกได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งลักษณะของแรงกระแทกที่กระทำต่อวัสดุทดสอบนี้ถูกรองรับโดยอนุภาคที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาคือความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งเป็นสารเติมในโพลีเอสเตอร์เรซินครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงโอกาสที่จะนำกากตะกอนน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นทุกวันจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ในด้านการทำวัสดุใหม่ และสามารถขยายผลไปได้ในเชิงพาณิชย์ แต่ที่สำคัญเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกากตะกอนน้ำทิ้งเหล่านี้ และในการนำวัสดุทดสอบจากการนำกากตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า Mesh 270 และ Mesh 70 ผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซิน และโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. มีความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนมาผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซิน ถึงแม้ค่าความแข็งแรงด้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรงด้านทานแรงคด และค่าความแข็งแรงด้านทานแรงกระแทก ส่วนใหญ่จะให้ผลน้อยกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % แต่สามารถเลือกในอัตราส่วนและขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมเพื่อใช้งาน เช่น เมื่อใช้ในงานที่ต้องอยู่ในสถานะที่มีแรงกด ทำให้วัสดุเกิดการโค้งงอภายในอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนที่ 10 : 90 ขนาดอนุภาคน้อยกว่า Mesh 270 เนื่องจากรับแรงคดโค้งได้มากที่สุด
2. อนุภาคของกากตะกอนถึงแม้โดยรวมแล้วไม่ทำให้โพลีเอสเตอร์เรซินแข็งแรงขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 50 : 50 ของอนุภาค Mesh 70 สามารถทำให้วัสดุรับแรงกระแทก โดยมี Impact Strength สูงกว่าโพลีเอสเตอร์เรซิน 100 %
3. ที่อัตราส่วน 50 : 50 ของอนุภาคน้อยกว่า Mesh 270 มีค่า Impact Strength ที่ใกล้เคียงกับ โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 % เนื่องจากมีค่า K น้อยที่สุด
4. ที่อัตราส่วน 10 : 90 ส่วนผสมที่หล่อขึ้นรูปแล้ว จะมีลักษณะไม่ทึบแสง เนื่องจากมีปริมาณตะกอนน้อยและตะกอนอยู่กันอย่างกระจายตัว

5. ปริมาณของสารทำปฏิกิริยา (Hardener) มีผลต่อการแข็งตัวของวัสดุหล่อ ถ้ามีสารนี้น้อยเกินไปต่อการทำปฏิกิริยา ผลที่ได้คือวัสดุจะจับตัวกันได้แต่ไม่แข็งตัว ซึ่งทำให้มีลักษณะคล้ายแผ่นยางเหนียว ขึ้นรูปได้ แต่ไม่แข็ง สามารถโค้งงอได้
6. การนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเดิมในการหล่อโพลีเอสเตอร์ ทำให้วัสดุหล่อมีสีดำน สามารถทดแทนการเติมสี เมื่อใส่ผงตะกอนในปริมาณน้อย ๆ วัสดุหล่อจะเกิดลวดลายซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของผงตะกอนขึ้นภายในชิ้นงาน แต่เมื่อเติมผงตะกอนในปริมาณมาก สีของวัสดุหล่อจะเข้ม ทึบแสง ดังนั้น จึงอาจประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป เช่น การทำแผ่นฉากัน กระเบื้องปูพื้น รูปหล่อต่าง ๆ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย มีส่วนประกอบที่สารชีวภาพ ซึ่งอาจทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ถึงแม้จะผ่านความร้อนและแห้งแล้วก็ตาม ดังนั้นในการนำมาใช้งานจึงต้องมีการเพิ่มความระมัดระวังโดยการใส่ผ้าปิดจมูก เพื่อป้องกันระบบทางเดินหายใจ และล้างมือด้วยสบู่ทุกครั้งหลังสัมผัส
2. อาจมีการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแข็งตัวของโพลีเอสเตอร์เรซิน เช่น ปริมาณของสารทำปฏิกิริยา (Hardener) ที่เหมาะสมในการทำให้โพลีเอสเตอร์แข็งตัว รวมทั้งสัดส่วนของ filler ที่มีผลกระทบต่อปริมาณของ Hardener ด้วย
3. ในการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เกิดวัสดุชนิดใหม่ซึ่งมีลักษณะคล้ายยางเหนียว ซึ่งอาจศึกษาคุณสมบัติของวัสดุชนิดนี้ รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
4. การขึ้นรูปชิ้นงานควรมีการผสมระหว่าง โพลีเอสเตอร์เรซิน ผงตะกอน และ สารทำปฏิกิริยา อย่างทั่วถึง จะทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพดีขึ้น
5. ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจศึกษาในอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนและโพลีเอสเตอร์เรซินที่ละเอียดกว่านี้ เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุตัวอย่างที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น
6. นอกจากการใช้กากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนเป็นสารเติมแล้ว ยังสามารถใช้วัสดุชนิดอื่นเป็นสารเติมได้ โดยพิจารณาที่สามารถลดปริมาณการกำจัด เช่น waste จากขบวนการผลิต
7. อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมกรณีความสามารถในการก่อให้เกิดโรคจากการนำตะกอนน้ำทิ้งชุมชนไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

1. โกมล ศิวะบวร . การประปาเบื้องต้น . กรุงเทพฯ ฯ : ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ; 2523.
- 2.ศิริราณี ศิริสุขโขดม. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักในพืชผักบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดปทุมธานี[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต].กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2535.
3. A.C.Twort, R.C. Hother, F.M.Law. Water Supply.2nd . London: 1974
4. ปรีชา พลอยภัทรภิญโญ, จีราวรรณ เศษจุกมเดชา. การบำบัดน้ำเสียชุมชน , วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2536 ; ปีที่ 8 (1) : 9 – 18.
5. JICA . The Study for The Master Plan on Sewage Sludge Treatment/Disposal and Reclaimed Wastewater Reuse in Bangkok . Bangkok : October ; 1998.
- 6.ชาติ เฉียมไชยศรี . เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย ใน : เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการบำบัดน้ำเสียและการตรวจสอบระบบบำบัดเบื้องต้น สำหรับเจ้าหน้าที่งานอนามัยเขต รุ่นที่ 1-18 (5 กรกฎาคม - 25 สิงหาคม 2537). กองควบคุมคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ; 2537.
7. รพีพร จรดล. การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม]. นครปฐม : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2539.
8. Yoshida T. 1976. Utilization of Activated Sludge from Industrial Waste Water as Fertilizers . Inorganic Mater and Rice. Inst. Rice. Res.Int. Los Bonos Loguna Philippines.
9. Yoshida T. and Yoneyama T. 1978 . Nitrogen Minerization of Sewage Sludge in Soil. Soil Sci.Plant Nutr. 24 : 139-144.
10. Sommer Le. , Nelson DW. and Yost JK.1976. Variable Nature of Chemical Composition of Sewage Sludge. J. Envi. Qual.5 :303-306.
11. Sommer Le. 1977. Chemical Composition of Sewage Sludge and Analysis of Their Potential use as Fertilizers. J. Envi . Qual.6: 225-232.

12. รัตเกล้า ต้นสกลิตย์. ผลของกากตะกอนแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม *Lactuca Savita* และปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อใบ และในดินที่ใช้ปลูก [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2532
13. กัลยา สุนทรวงศ์สกุล . อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลา เนื่องจากการตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] . กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2537.
14. อมรรัตน์ ศรีไพจิตร . การใช้ประโยชน์และแก้ปัญหากากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม. วารสาร กฟผ. . 2541 ; ปีที่ 7 (1) ม.ค. – มี.ค. : 10-14 .
15. พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 12 . กรุงเทพฯ ฯ ; 2538.
16. ภูวนัฐ เชษฐสุมน. พลาสติก: สารพัฒนาอุตสาหกรรมไม่รู้จบ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2536; ปีที่ 8 (3) ก.ย. – ธ.ค. : 51 – 56.
17. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ ฯ . สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสโตร์ ; 2537.
18. บรรณเลง สรนิล . เทคโนโลยีพลาสติก . พิมพ์ครั้งที่ 13 . กรุงเทพฯ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2542.
19. อภิสัทธ์ พงษ์สวัสดิ์. กำลังของมอดต้าโพลีเอสเตอร์เรซิน.[วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาโยธา] . กรุงเทพฯ ฯ . บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ; 2538.
20. เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร, อมร เพชรสม. การสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากขวดเพทที่ใช้แล้ว. กรุงเทพฯ ฯ . ทุนวิจัรัชดาภิเษกสมโภชน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2537.
21. จิตรลดา ปานะวิภาต. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุและผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้แล้วมาทำเป็นวัสดุเพื่อนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในอุตสาหกรรม[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] . นครปฐม : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล ; 2539.
22. พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. เทคโนโลยีการสร้างชีวิตที่สองของพลาสติก. พลาสติก. 2543 ; ปีที่ 16 (2) มี.ค. – เม.ย. : 22 – 23.
23. พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. เครื่องประดับ. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ ฯ : ป.สัมพันธ์พาณิชย์ ; 2540.
24. มรกต งามภักดี. พลาสติกกับสิ่งแวดล้อม: วิธีการเปลี่ยนขวดเพทของน้ำดื่ม, น้ำอัดลมให้กลับเป็นสารเรซินโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว . พลาสติก. 2543 ; ปีที่ 16 (4) ก.ค. – ส.ค. : 64-66.

25. จินตนา ลีกิจวัฒน์. การนำเส้นใยจากพืชจำพวกปอมาใช้เสริมแรงพลาสติก. งานวิจัย. 2542:[2]
จาก: URL: <http://WWW.dss.go.th/knowledge/update270613/Plastic.htm>. [สืบค้น 9 พฤษภาคม 2544]
26. Ellis, John W. . Plastic Testing . Bangkok . : The International Programs Petroleum and Petrochemical Callage , Chulalongkorn University ; 1995.
27. สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ. กำลังวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ .สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ ; 2527.
28. กัญจนา ตระกูลกู . เทคโนโลยีโพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ ฯ : เอ็กซ์เพรสมีเดีย ; 2538.





ข้อมูลที่ ผก-1 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength โพลีเอสเตอร์เรซิน 100%

First Page Inputs

Product Code : RESIN 100% -1
 Batch Reference : RESIN 100%-1
 Product Description :
 Date : 2/12/2002
 Operator :
 Temperature [C] :
 Relative Humidity :

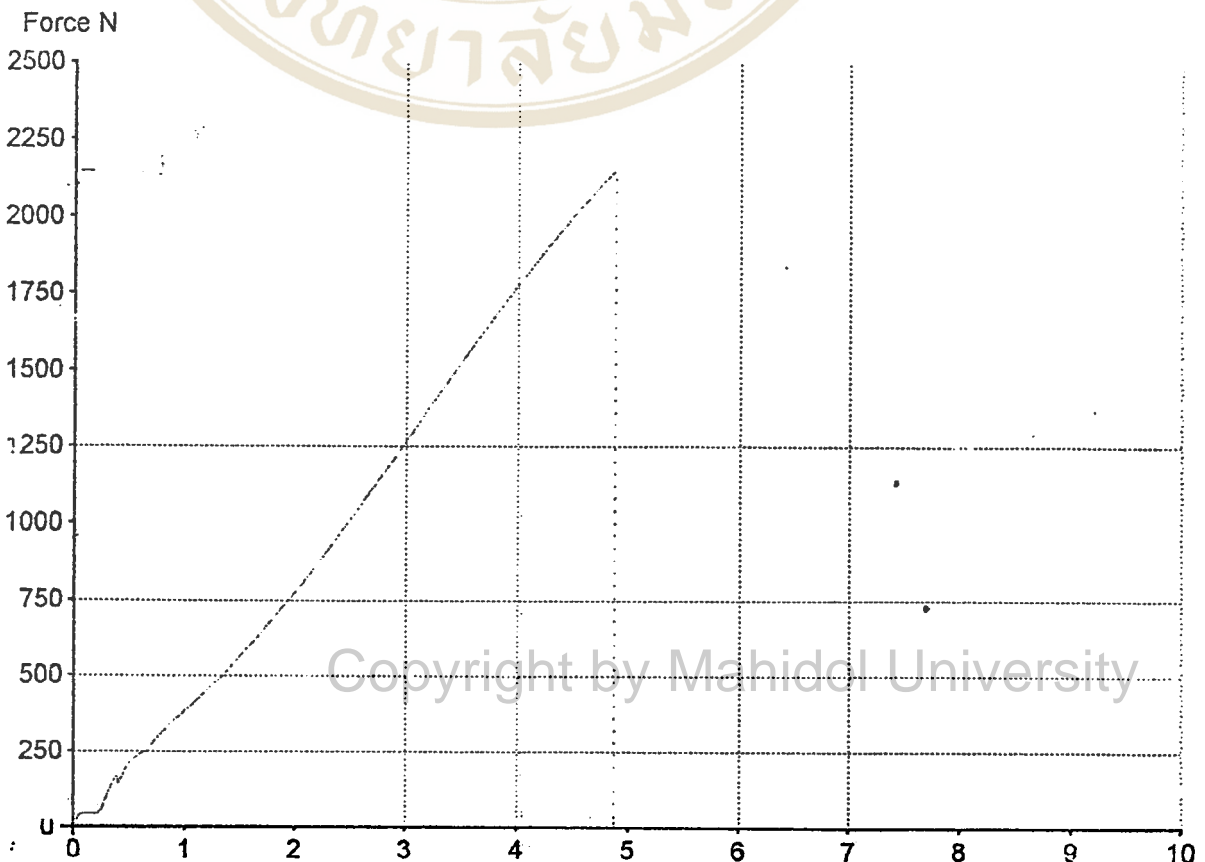
Machine Settings

Load Range : 2000 N
 Extension Range : 500.0 mm
 Speed : 5.000 mm/min
 Sample Length : 115.0 mm
 Preload : 0.0000 N
 Auto Return : ON

Test Results [TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	2.760	12.76	1958	55.60	5.209	7.000	-
2	2.800	12.76	2023	56.61	5.209	7.783	-
3	2.800	13.00	2065	56.73	5.183	6.623	-
4	2.800	13.00	2043	56.11	4.904	7.948	-
5	2.800	12.90	1822	50.44	3.930	3.930	-
6	2.800	13.00	2010	55.22	5.130	7.017	-
7	2.800	12.76	1844	51.61	4.317	4.322	-
8	2.800	12.76	1988	55.64	5.339	7.357	-
9	2.760	13.10	2213	61.19	4.383	4.383	-
10	2.760	13.10	2148	59.40	4.235	4.235	-
Mean			2011	55.86	4.784	6.060	
Std. Dev.			120.3	3.166	0.5133	1.634	
Range			390.5	10.75	1.409	4.017	
Median			2016	55.88	5.017	6.811	
Maximum			2213	61.19	5.339	7.948	
Minimum			1822	50.44	3.930	3.930	

Graph



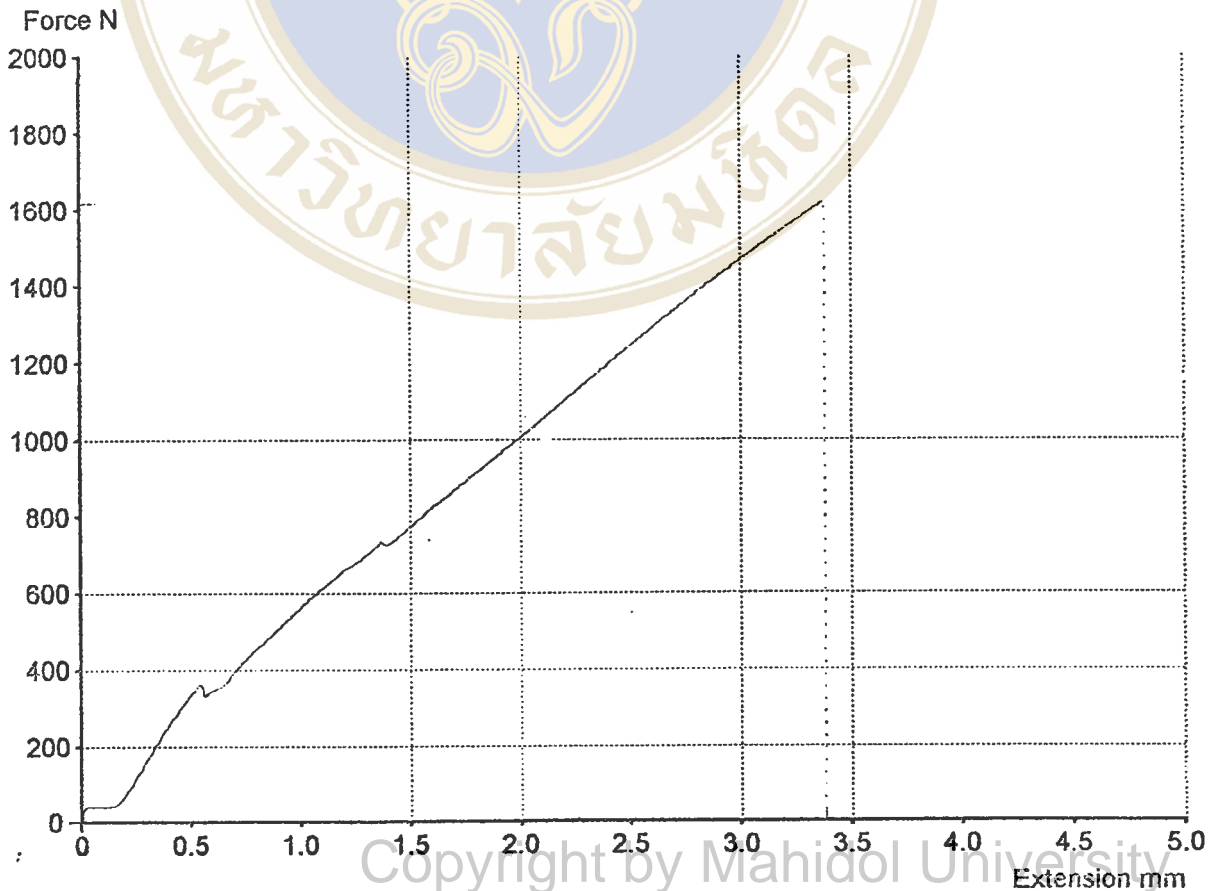
ข้อมูลที่ ผก-2 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270

อัตราส่วน 10 : 90

Test Results [TENX-010] Tensile Stress/Elongation [%Head]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	2.700	12.80	1140	32.99	2.428	2.428	-
2	2.700	13.00	1470	41.88	3.722	3.722	-
3	2.700	13.20	1464	41.08	3.465	3.470	-
4	2.700	12.70	1239	36.13	2.765	2.765	-
5	2.900	12.80	1168	31.45	2.581	2.581	-
6	2.700	13.10	1390	39.30	3.450	3.450	-
7	2.700	13.20	1330	37.32	3.433	3.443	-
8	2.700	12.90	1218	34.96	3.009	3.009	-
9	2.760	12.70	1700	48.50	3.774	3.774	-
10	2.800	12.90	1618	44.80	2.939	2.939	-
Mean			1374	38.84	3.157	3.158	
Std. Dev.			190.2	5.342	0.4765	0.4775	
Range			560.0	17.05	1.346	1.346	
Median			1360	38.31	3.221	3.226	
Maximum			1700	48.50	3.774	3.774	
Minimum			1140	31.45	2.428	2.428	

Graph



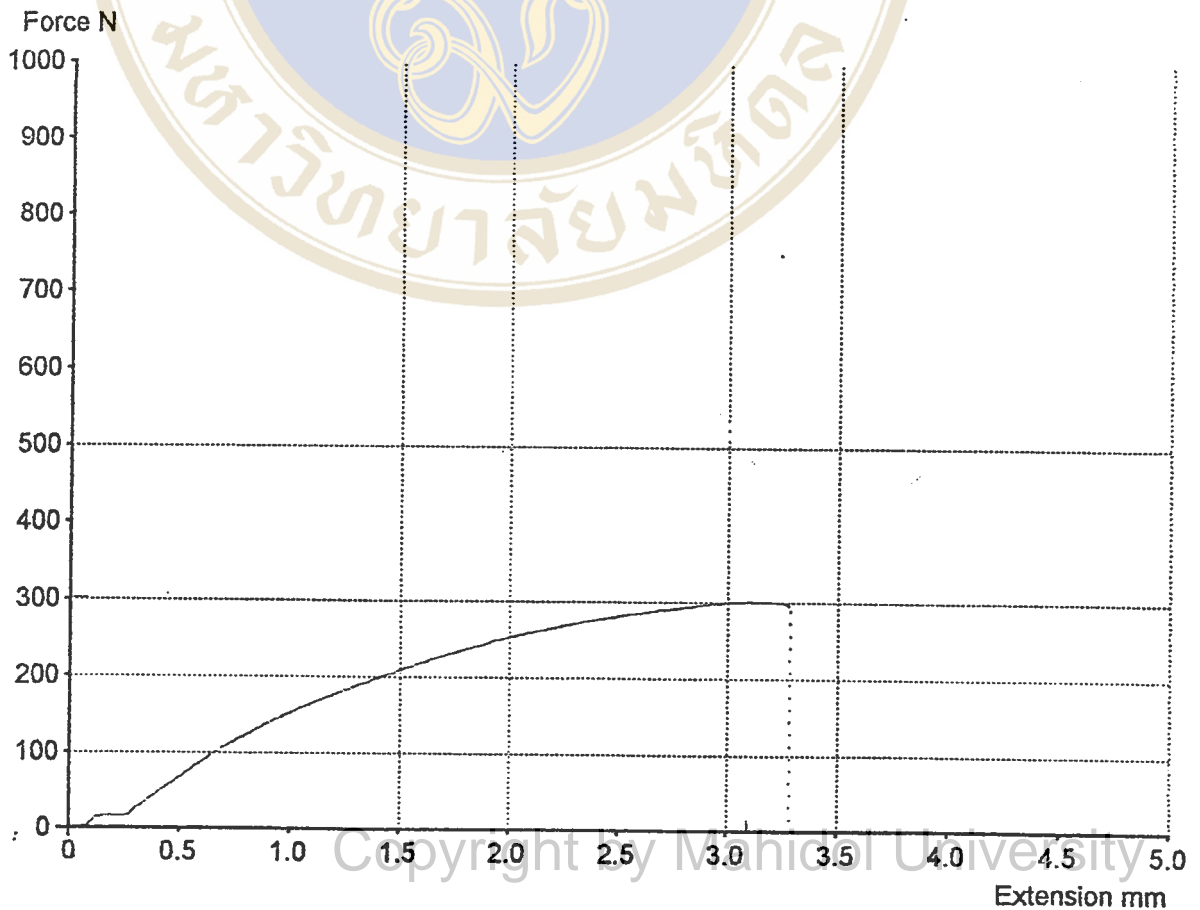
ข้อมูลที่ ผก-3 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270
อัตราส่วน 30 : 70

Test Results

[TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	2.900	13.00	909.0	24.11	2.163	2.163	-
2	2.900	12.80	876.0	23.60	2.310	2.313	-
3	3.100	12.80	867.0	21.85	2.337	2.337	-
4	2.900	12.70	869.0	23.59	2.459	2.477	-
5	2.900	12.80	852.0	22.95	2.299	2.313	-
6	2.900	12.96	350.0	9.312	2.835	2.915	-
7	2.900	13.00	319.2	8.467	3.217	3.381	-
8	2.860	13.00	331.6	8.919	3.843	4.270	-
9	2.860	13.10	350.0	9.342	3.339	3.548	-
10	2.800	13.10	300.8	8.201	2.685	2.852	-
	Mean		602.5	16.03	2.749	2.857	
	Std. Dev.		287.5	7.605	0.5546	0.6862	
	Range		608.2	15.91	1.680	2.106	
	Median		601.0	15.60	2.572	2.664	
	Maximum		909.0	24.11	3.843	4.270	
	Minimum		300.8	8.201	2.163	2.163	

Graph



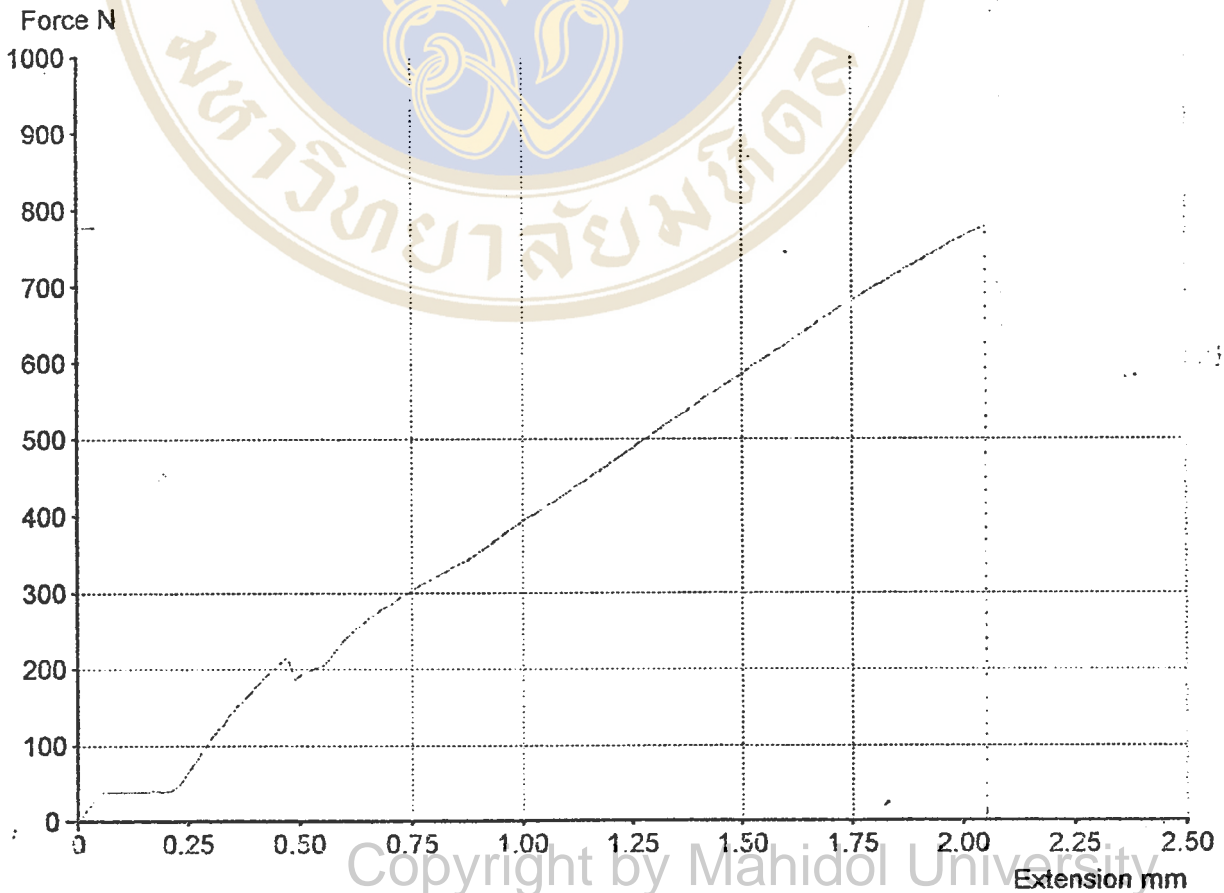
ข้อมูลที่ ผก-4 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270
อัตราส่วน 50 : 50

Test Results

[TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	3.400	13.04	612.8	13.82	1.435	1.435	-
2	3.400	13.00	636.0	14.39	1.700	1.713	-
3	3.400	12.90	630.0	14.36	1.649	1.661	-
4	3.400	12.80	545.3	12.53	1.562	1.565	-
5	3.340	12.90	553.5	12.85	1.483	1.487	-
6	3.240	13.00	533.3	12.66	1.424	1.426	-
7	3.200	13.10	471.5	11.25	1.530	1.530	-
8	3.100	13.24	535.5	13.05	1.909	1.913	-
9	3.000	13.30	792.0	19.85	1.728	1.730	-
10	3.060	12.80	776.8	19.83	1.783	1.783	-
Mean			608.7	14.46	1.620	1.624	
Std. Dev.			105.4	2.986	0.1603	0.1617	
Range			320.5	8.602	0.4843	0.4870	
Median			583.1	13.43	1.605	1.613	
Maximum			792.0	19.85	1.909	1.913	
Minimum			471.5	11.25	1.424	1.426	

Graph

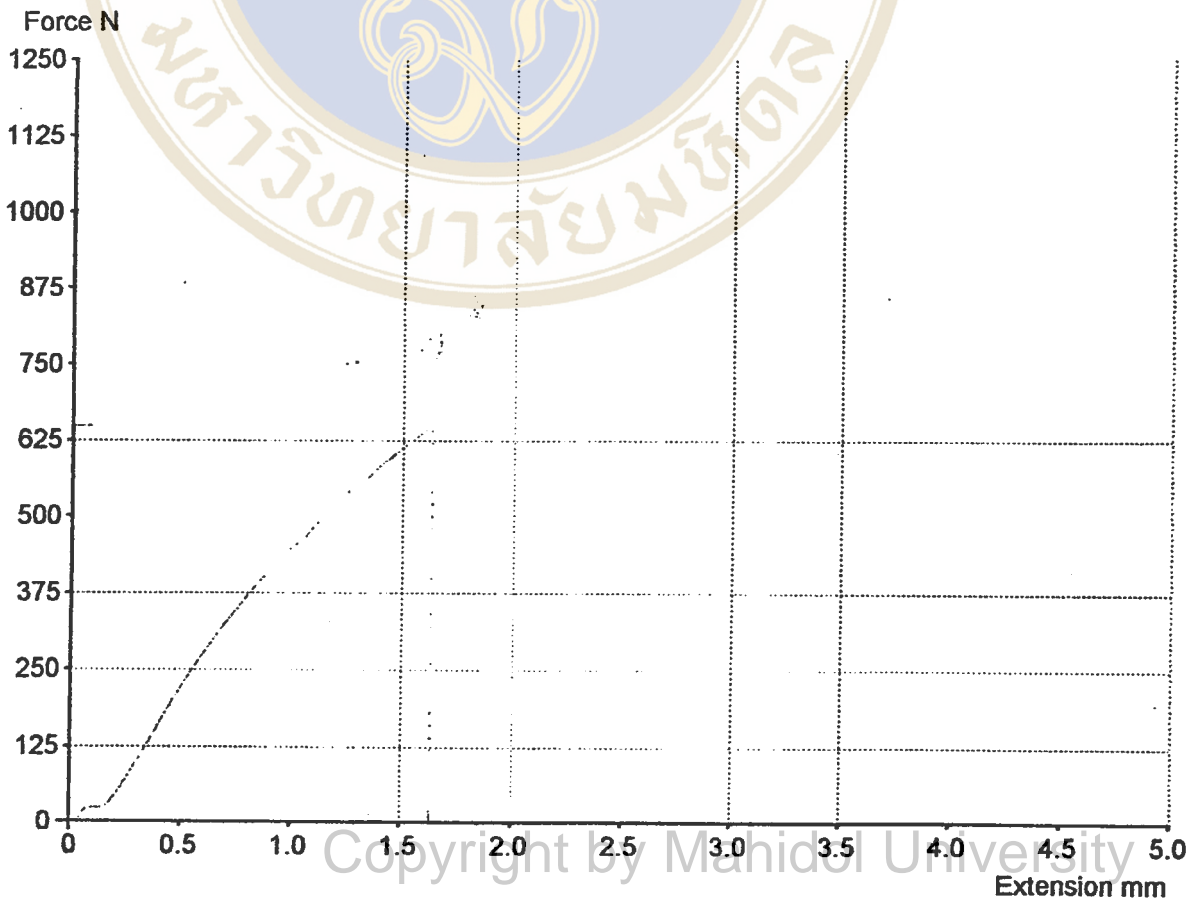


ข้อมูลที่ ผก-5 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 10 : 90

Test Results [TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	2.900	13.00	1196	31.73	2.148	2.157	-
2	2.900	13.00	1276	33.85	2.383	2.383	-
3	2.900	13.00	1134	30.07	1.957	1.957	-
4	2.860	13.00	1029	27.67	2.070	2.070	-
5	2.900	13.00	774.4	20.54	1.461	1.461	-
6	2.900	13.10	919.0	24.19	1.974	1.974	-
7	2.900	13.00	1091	28.95	2.477	2.477	-
8	2.900	13.00	1031	27.35	2.268	2.268	-
9	3.000	13.00	1001	25.67	1.800	1.800	-
10	2.900	13.00	648.0	17.19	1.417	1.417	-
			Mean	1010	26.72	1.995	1.996
			Std. Dev.	189.5	5.054	0.3566	0.3570
			Range	628.0	16.66	1.059	1.059
			Median	1030	27.51	2.022	2.022
			Maximum	1276	33.85	2.477	2.477
			Minimum	648.0	17.19	1.417	1.417

Graph

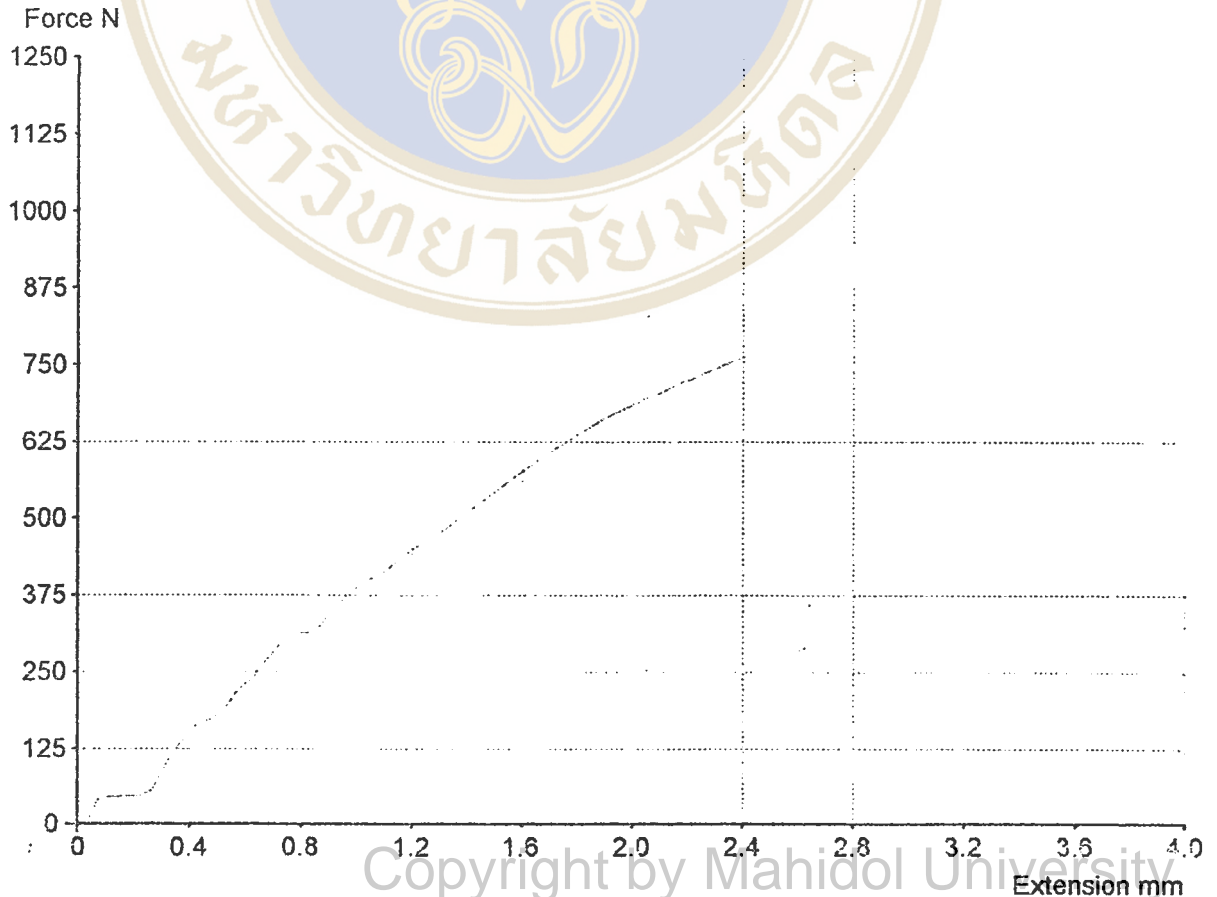


ข้อมูลที ผก-6 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 30 : 70

Test Results [TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	3.340	13.10	882.0	20.16	2.574	2.574	-
2	3.100	13.00	904.0	22.43	2.581	2.581	-
3	3.340	13.00	866.0	19.94	2.337	2.337	-
4	3.100	13.10	916.0	22.56	1.983	1.983	-
5	3.400	13.00	734.3	16.61	1.609	1.609	-
6	3.400	13.10	837.0	18.79	1.974	1.974	-
7	3.100	13.10	787.2	19.38	1.885	1.887	-
8	3.100	13.20	799.2	19.53	1.948	1.948	-
9	3.000	13.00	767.2	19.67	2.463	2.463	-
10	3.300	13.00	764.8	17.83	2.093	2.096	-
Mean			825.8	19.69	2.145	2.145	
Std. Dev.			64.02	1.822	0.3273	0.3271	
Range			181.8	5.944	0.9722	0.9722	
Median			818.1	19.60	2.038	2.039	
Maximum			916.0	22.56	2.581	2.581	
Minimum			734.3	16.61	1.609	1.609	

Graph



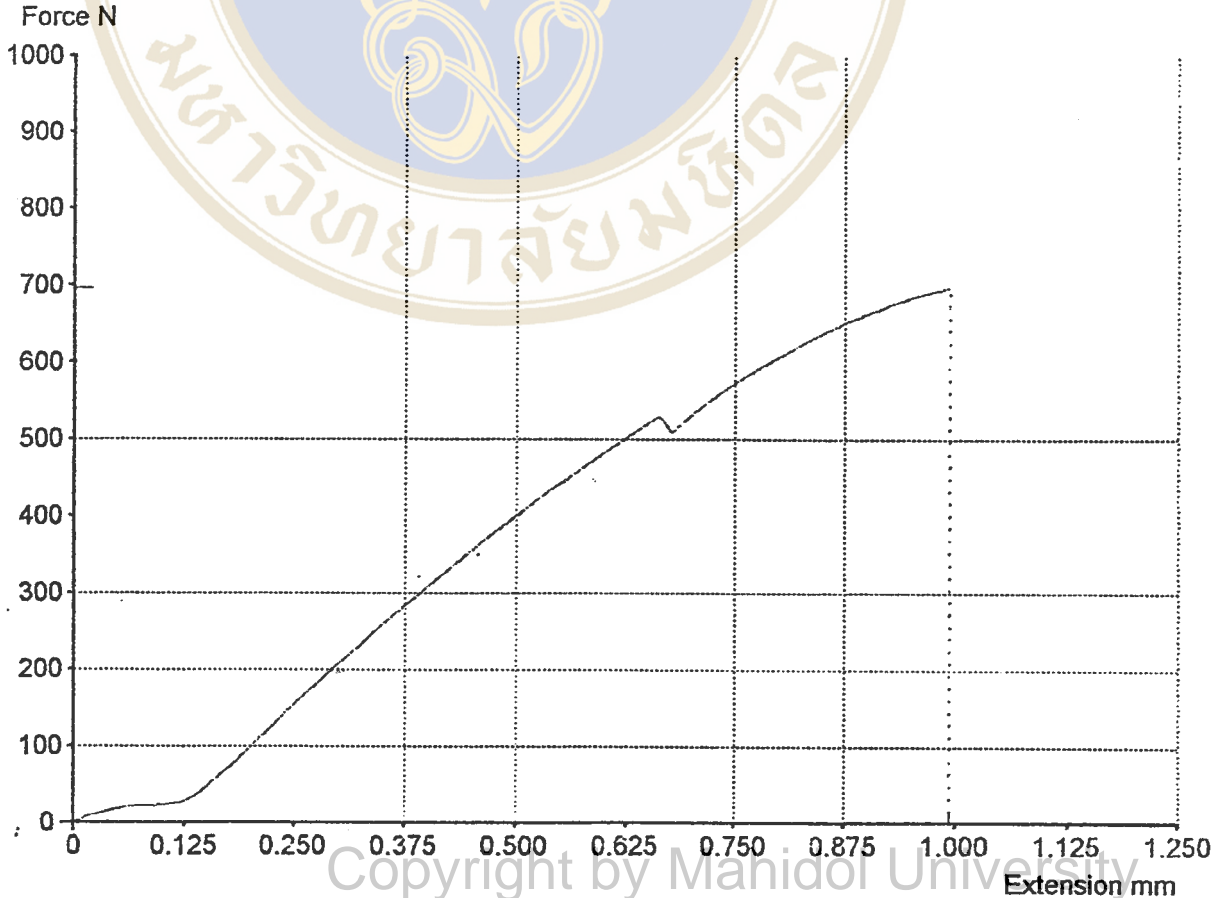


ข้อมูลที่ ผก-7 รายละเอียดผลทดสอบ Tensile Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 50 : 50

Test Results [TENX-010] Tensile Stress/Elongation [XHead]

Specimen No	Thickness mm	Width mm	Max Force N	Max Stress MPa	Ext at Max %	Ext at Brk %	Attributes
1	3.500	12.80	637.5	14.23	0.7061	0.7061	-
2	3.500	12.80	597.5	13.34	0.8174	0.8174	-
3	3.500	12.70	680.8	15.32	0.8157	0.8165	-
4	3.500	12.80	683.3	15.25	0.8557	0.8565	-
5	3.500	13.20	730.0	15.80	0.8435	0.8443	-
6	3.440	12.80	717.0	16.28	0.9120	0.9130	-
7	3.400	13.20	542.5	12.09	0.6591	0.6591	-
8	3.300	13.16	451.7	10.40	0.5765	0.5765	-
9	3.200	13.10	555.8	13.26	0.7235	0.7235	-
10	3.300	13.20	695.8	15.97	0.8626	0.8635	-
Mean			629.2	14.19	0.7772	0.7777	
Std. Dev.			90.31	1.913	0.1061	0.1065	
Range			278.3	5.883	0.3354	0.3365	
Median			659.2	14.74	0.8165	0.8170	
Maximum			730.0	16.28	0.9120	0.9130	
Minimum			451.7	10.40	0.5765	0.5765	

Graph



ข้อมูลที่ ผก-8 รายละเอียดผลการทดสอบ Flexural Strength โพลีเอสเตอร์เรซิน 100 %

First Page Inputs

Product : RE 100%
 Batch : RE 100%
 Date : 2/13/2002
 Operator :

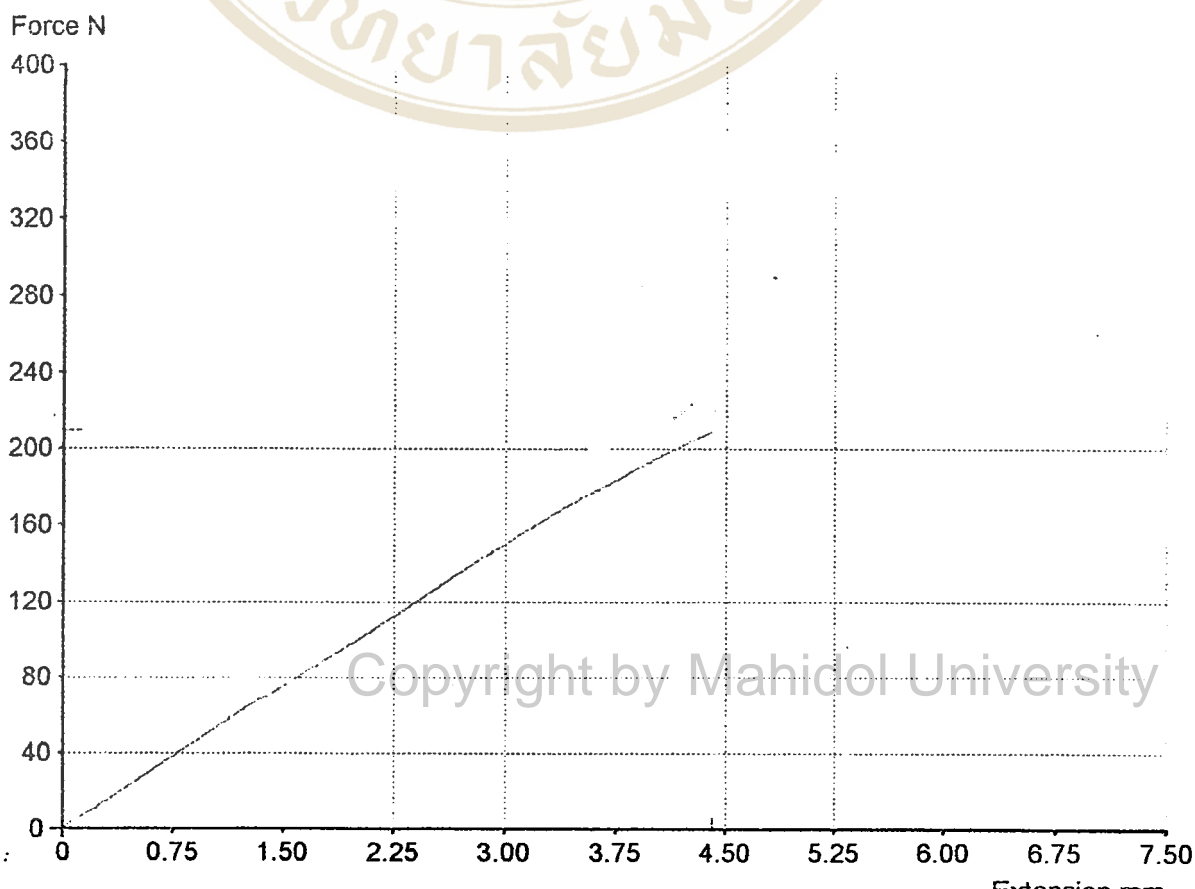
Machine Settings

Load Range : 10000 N
 Displacement Range : 6.400 mm
 Speed : 1.200 mm/min
 Auto Return : ON
 Span : 48.00 mm
 Approach Speed : 0.0100 mm/min
 Preload : 0.0000 N

Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	2.700	24.80	107.8	2962	-
2	2.700	24.90	109.2	2972	-
3	2.700	24.80	102.6	2969	-
4	2.700	24.50	102.1	2943	-
5	2.700	24.50	100.5	2687	-
6	2.700	24.50	95.04	2524	-
7	2.700	24.60	90.64	2477	-
8	2.700	24.60	93.04	2560	-
9	2.700	24.90	105.0	2863	-
10	2.700	25.00	82.67	2851	-
			Mean	98.86	2781
			Std. Dev.	8.367	199.5
			Range	26.49	495.1
			Median	101.3	2857
			Maximum	109.2	2972
			Minimum	82.67	2477

Graph

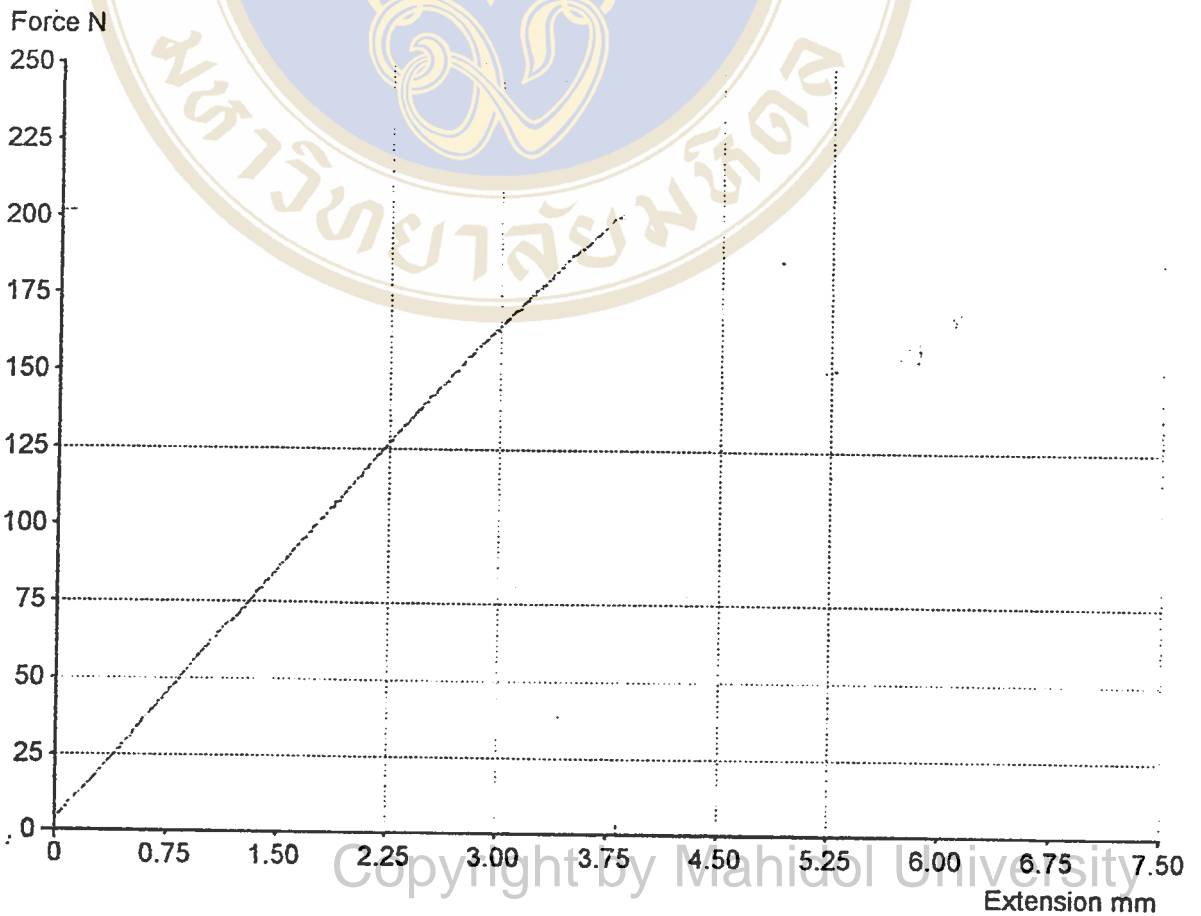


ข้อมูลที่ ผก-9 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270
อัตราส่วน 10 : 90

Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	2.700	25.20	89.46	3228	-
2	2.700	25.20	88.67	3252	-
3	2.700	25.20	75.45	3325	-
4	2.700	25.00	79.70	3375	-
5	2.700	25.00	80.99	3446	-
6	2.700	25.10	63.25	1881	-
7	2.700	24.80	68.00	2083	-
8	2.700	25.10	65.91	2679	-
9	2.700	24.90	81.61	2948	-
10	2.700	24.90	80.02	3177	-
			Mean	77.33	2939
			Std. Dev.	9.092	553.3
			Range	26.20	1565
			Median	79.86	3203
			Maximum	89.45	3446
			Minimum	63.25	1881

Graph



ข้อมูลที่ ผก-10 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270
อัตราส่วน 30 : 70

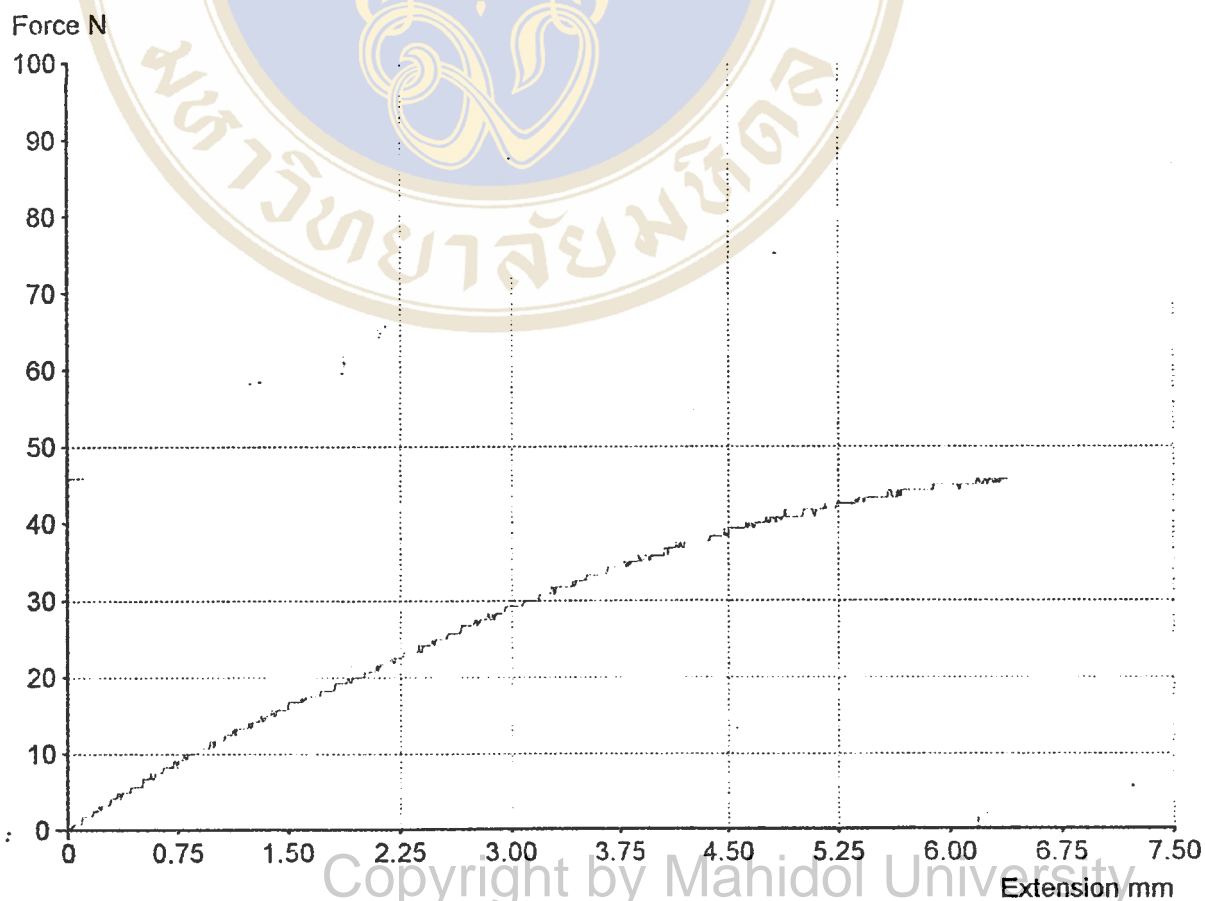
Test Results

[PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	2.700	24.72	15.98	408.9	-
2	2.700	25.10	17.41	483.3	-
3	2.700	25.10	19.67	543.6	-
4	2.700	25.10	20.36	584.6	-
5	2.700	25.20	20.87	615.4	-
6	2.700	25.10	18.69	538.9	-
7	2.700	24.90	15.87	413.1	-
8	2.700	25.10	25.28	704.2	-
9	2.700	25.00	23.01	657.6	-
10	2.700	25.30	17.86	485.1	-

Mean	19.50	543.5
Std. Dev.	3.013	98.82
Range	9.416	295.2
Median	19.18	541.3
Maximum	25.28	704.2
Minimum	15.87	408.9

Graph

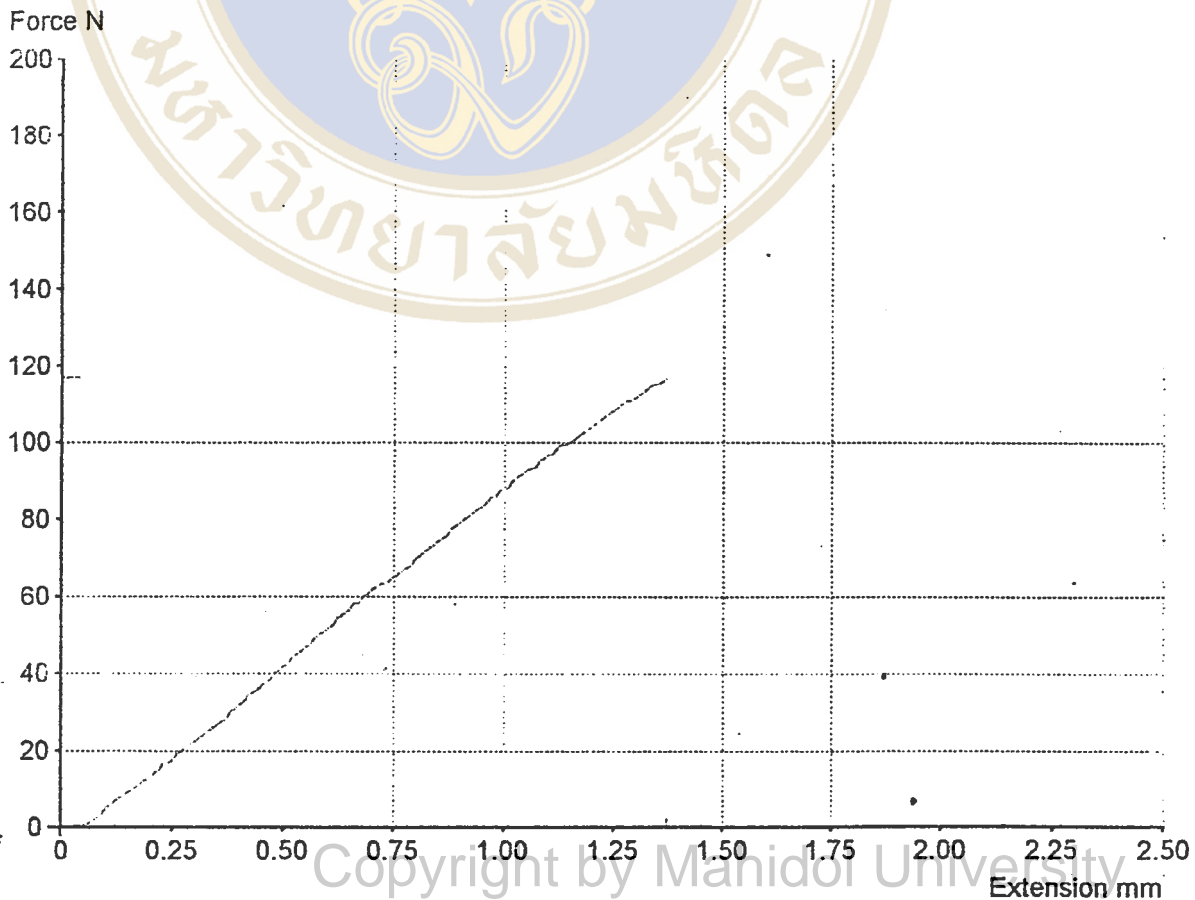


ข้อมูลที่ ผก-11 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาดน้อยกว่า mesh 270
อัตราส่วน 50 : 50

Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	3.100	25.00	32.44	2864	-
2	3.000	24.90	33.17	3106	-
3	3.000	25.00	32.24	2933	-
4	3.100	25.00	33.94	2924	-
5	3.100	25.10	30.60	2647	-
6	3.100	24.90	31.82	2811	-
7	3.100	24.90	33.32	2732	-
8	3.100	24.70	35.11	3075	-
9	3.440	25.10	36.36	3324	-
10	3.360	25.00	29.78	2581	-
			Mean	32.88	2900
			Std. Dev.	1.973	225.5
			Range	6.578	742.7
			Median	32.81	2894
			Maximum	36.36	3324
			Minimum	29.78	2581

Graph



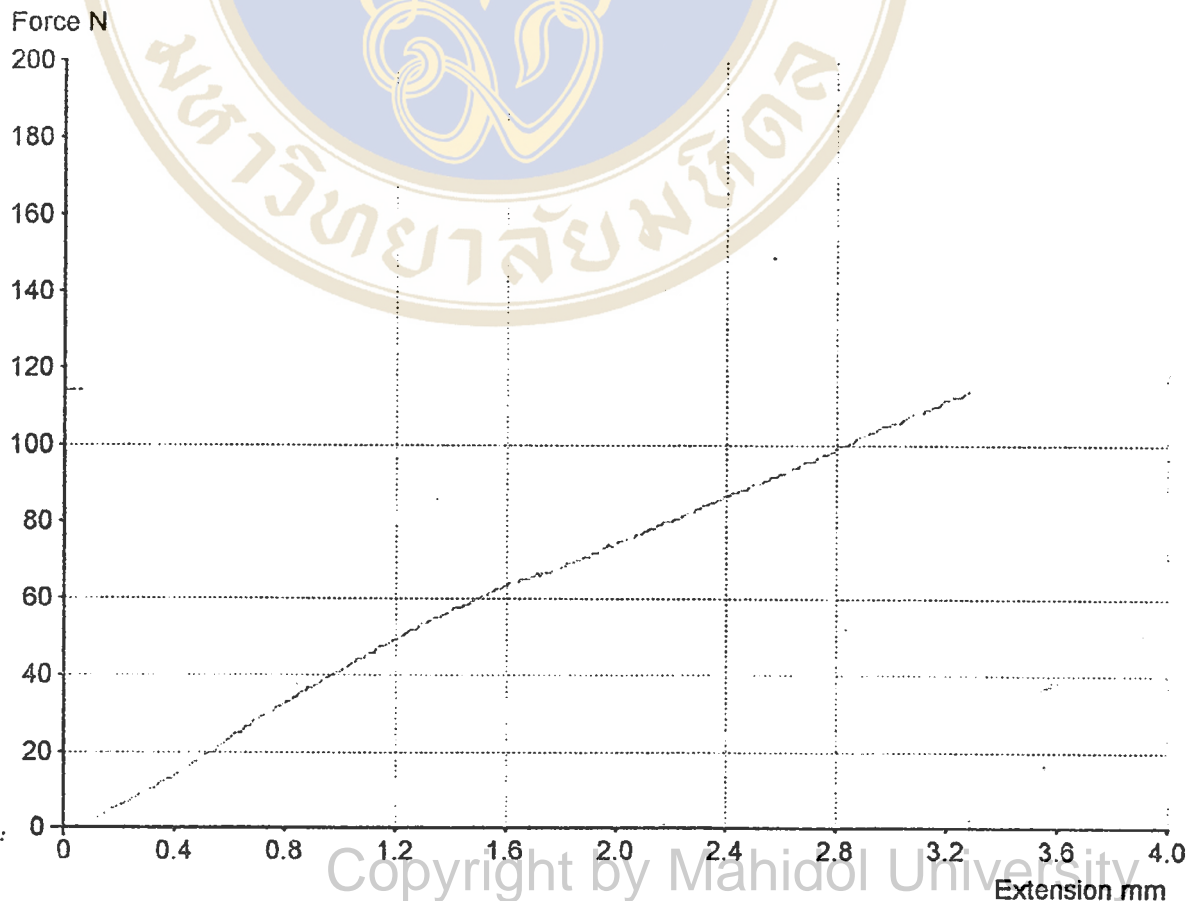
ข้อมูลที ผก-12 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 10 : 90

Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	2.900	25.00	37.41	1571	-
2	2.900	25.10	38.97	1952	-
3	2.900	25.10	45.79	2073	-
4	2.900	24.92	46.38	2028	-
5	2.900	24.80	40.30	1945	-
6	2.500	24.80	40.99	1836	-
7	2.900	24.90	32.41	2055	-
8	2.900	25.10	33.65	2077	-
9	2.900	24.70	44.19	1955	-
10	2.900	24.80	39.44	2067	-

Mean	39.97	1960
Std. Dev.	4.672	156.2
Range	13.97	506.2
Median	39.87	2011
Maximum	46.38	2077
Minimum	32.41	1571

Graph

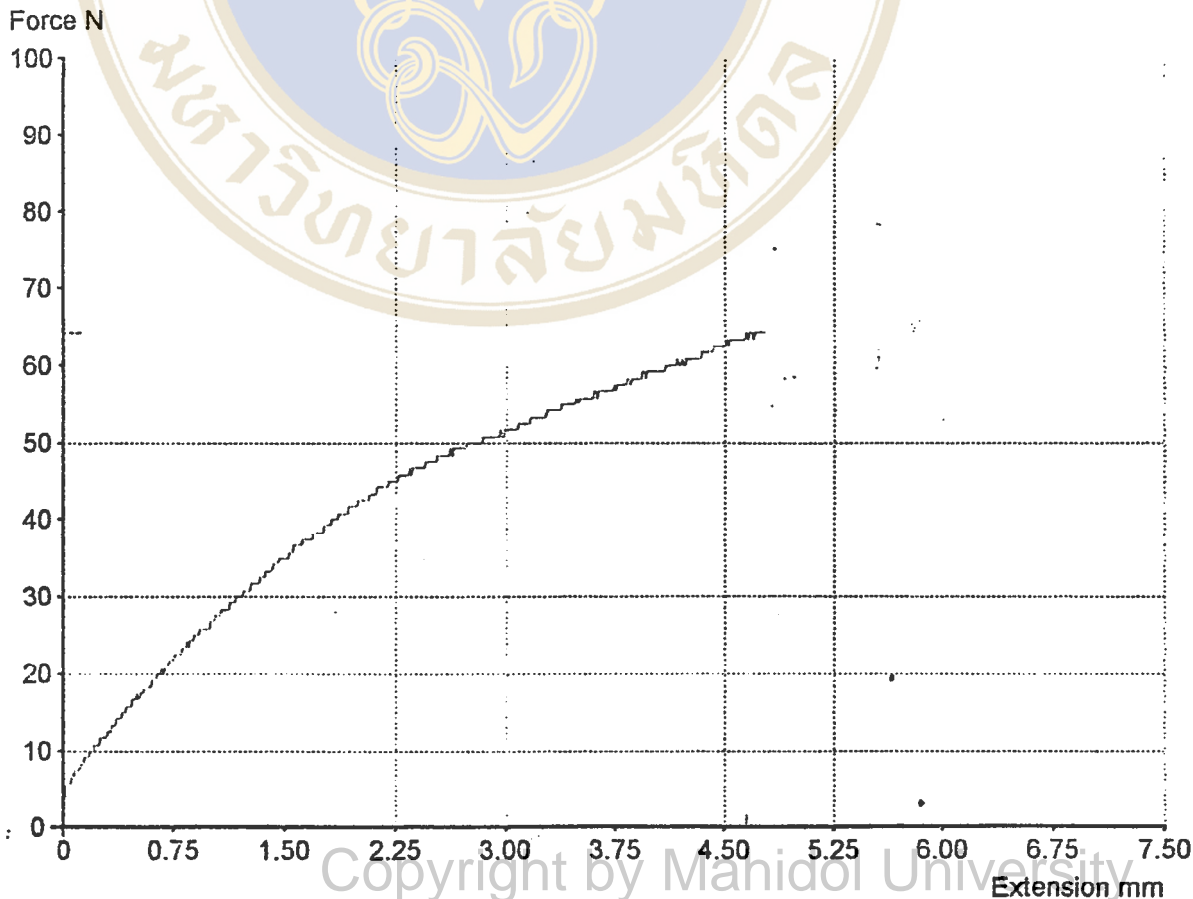


ข้อมูลที่ ผก-13 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 30 : 70

Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	3.000	25.10	11.95	320.2	-
2	3.100	25.00	22.70	1511	-
3	3.000	25.20	21.67	1231	-
4	3.000	25.10	12.99	480.6	-
5	3.100	25.10	24.63	1553	-
6	3.100	25.30	22.95	1258	-
7	3.100	25.00	22.25	1201	-
8	3.000	25.20	17.22	980.9	-
9	3.100	25.10	22.61	1425	-
10	3.100	25.00	19.25	930.4	-
			Mean	19.82	1089
			Std. Dev.	4.396	417.1
			Range	12.67	1233
			Median	21.96	1216
			Maximum	24.63	1553
			Minimum	11.95	320.2

Graph

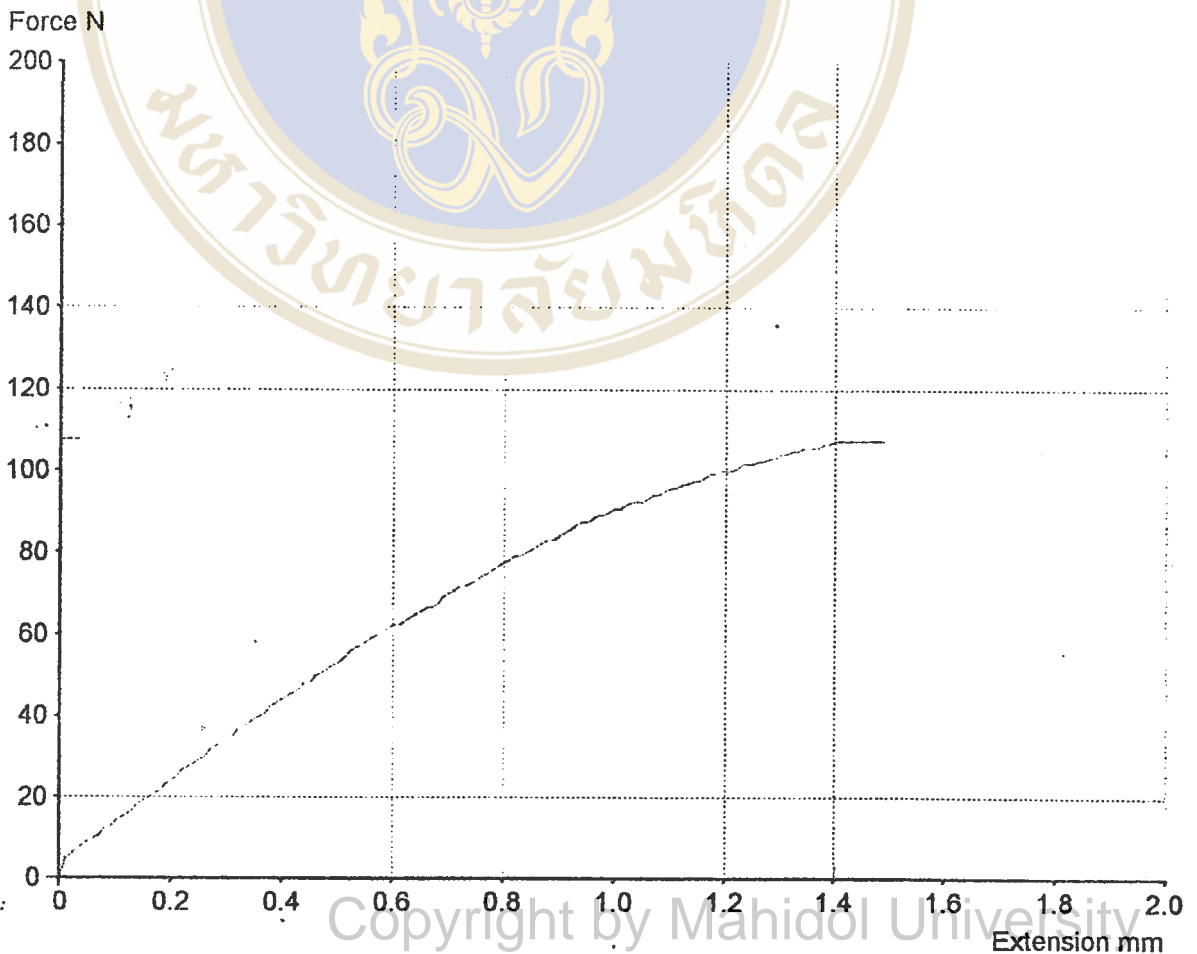


ข้อมูลที่ ผก-14 รายละเอียดผลทดสอบ Flexural Strength อนุภาคตะกอนขนาด mesh 70
อัตราส่วน 50 : 50

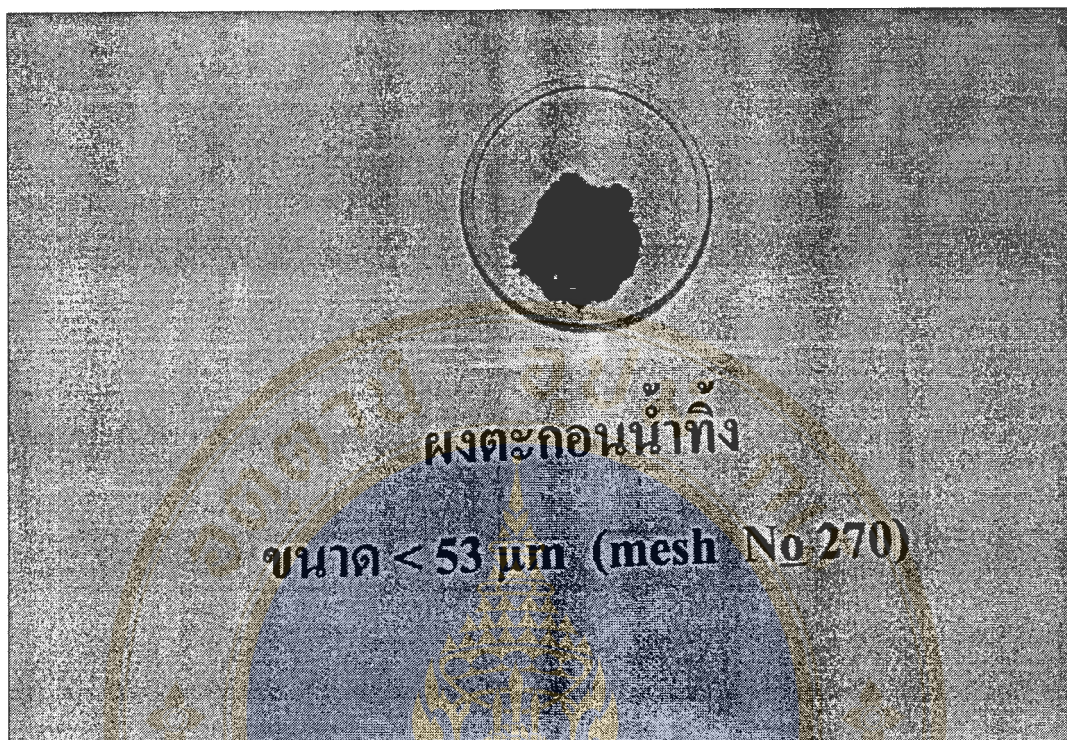
Test Results [PLFL-002] T-point

Specimen No	Thick mm	Width mm	Flex Strength MPa	Flex Mod MPa	Attributes
1	3.700	24.80	35.68	3248	-
2	3.300	25.00	30.61	3228	-
3	3.300	25.10	30.95	3184	-
4	3.300	25.00	32.20	3406	-
5	3.800	25.00	34.40	2294	-
6	4.000	25.00	34.65	2434	-
7	3.300	25.00	29.55	2954	-
8	3.300	25.10	28.32	3091	-
			Mean	2980	
			Std. Dev.	403.2	
			Range	1112	
			Median	3138	
			Maximum	3406	
			Minimum	2294	

Graph



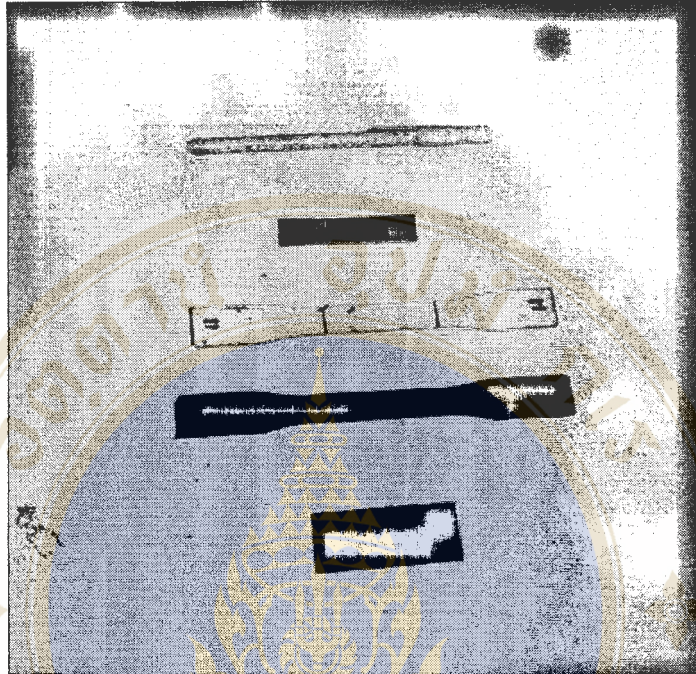




รูปที่ ผข-1 ผงตะกอนน้ำทิ้งขนาดน้อยกว่า mesh 270



รูปที่ ผข-2 ผงตะกอนน้ำทิ้งขนาด mesh 70



รูปที่ ผข-3 รูปร่างตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



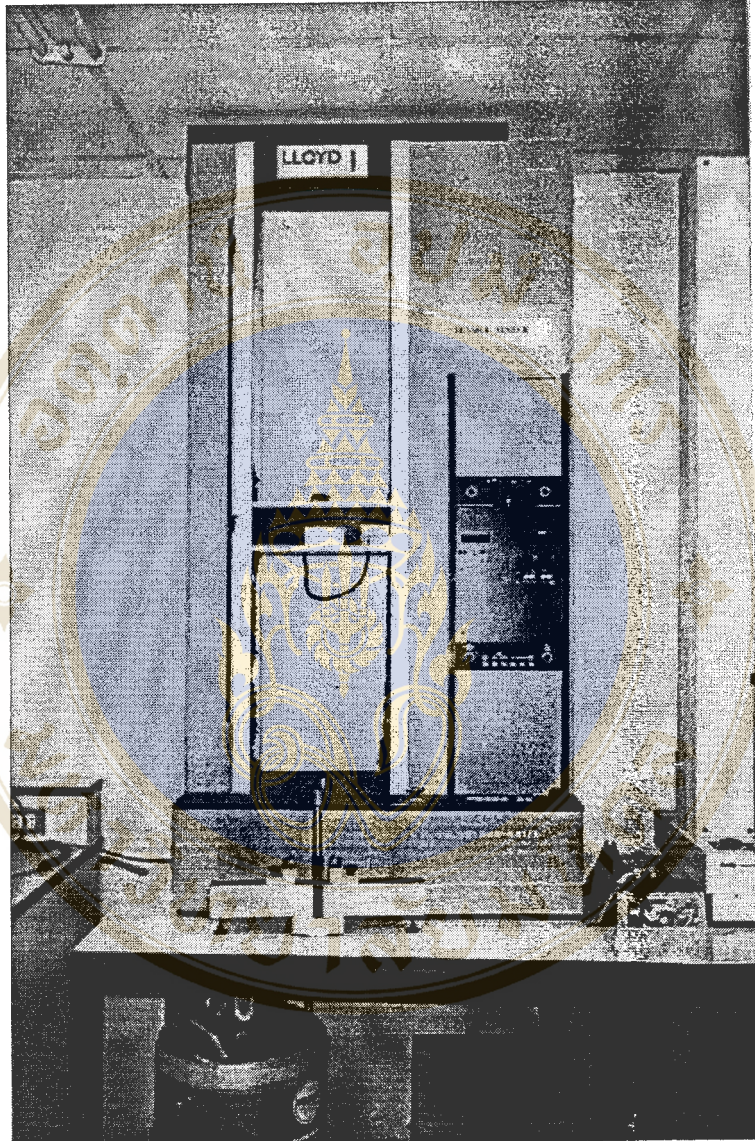
รูปที่ ผข-4 รูปร่างชิ้นงานทดสอบ Tensile Strength



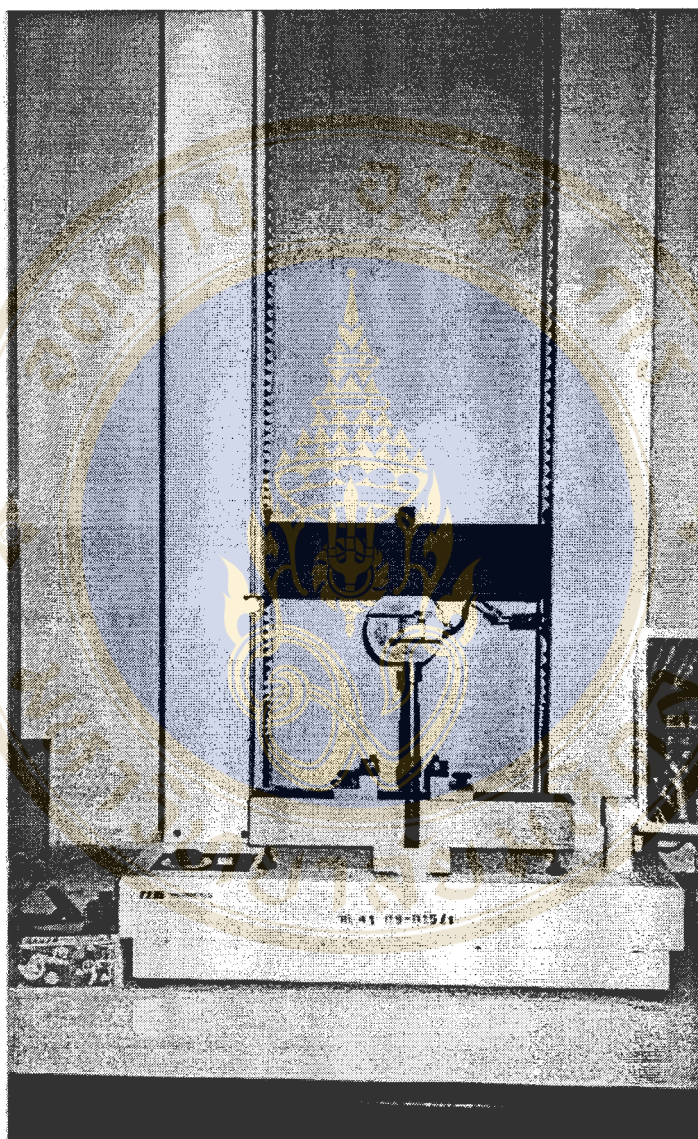
รูปที่ ผข-5 รูปร่างชิ้นงานทดสอบ Flexural Strength



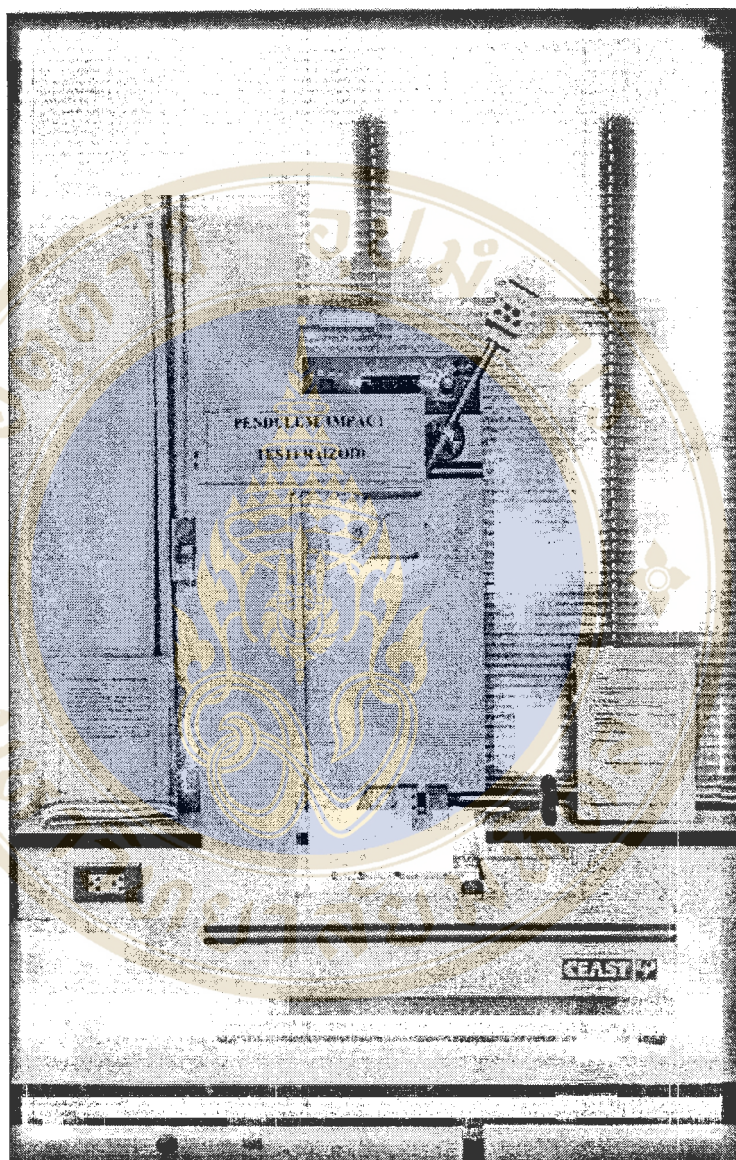
รูปที่ ผข-6 รูปร่างชิ้นงานทดสอบ Impact Strength



รูปที่ ผข-7 เครื่องทดสอบค่า Tensile Strength



รูปที่ ผข-8 เครื่องทดสอบค่า Flexural Strength



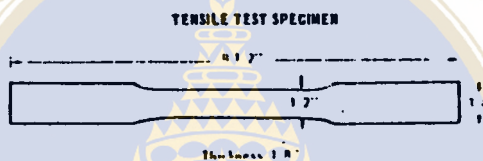
รูปที่ ผข-9 เครื่องทดสอบ Izod Impact Strength



วิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM

Tensile Properties (ASTM D6.38)

Specimen: Specimens can be injection molded or machined from compression molded plaques. They are given standard conditioning.* Typically $\frac{1}{8}$ inch thick, their size can vary; their shape is exemplified in the figure below.†



Procedure: Both ends of the specimen are firmly clamped in the jaws of an Instron testing machine. The jaws may move apart at rates of 0.2, 0.5, 2, or 20 inches a minute, pulling the sample from both ends. The stress is automatically plotted against strain (elongation) on graph paper.

Significance: Tensile properties are the most important single indication of strength in a material. The force necessary to pull the specimen apart is determined, along with how much the material stretches before breaking.

The elastic modulus ("modulus of elasticity" or "tensile modulus") is the ratio of stress to strain below the proportional limit of the material. It is the most useful tensile data because parts should be designed to accommodate stresses to a degree well below this.

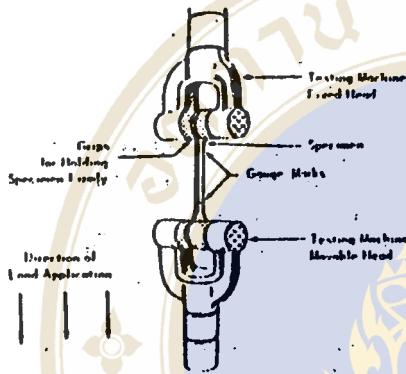
For some applications where almost rubbery elasticity is desirable, a high ultimate elongation may be an asset. For rigid parts, on the other

* See ASTM D618--"Conditioning Plastics."

† For polyethylene, the Standard (D-1248-72) requires the use of specimens described in ASTM D638 as Type IV. This specimen is smaller and allows for the much greater elongation of PE.

hand, there is little benefit in the fact that they can be stretched extremely long.

There is great benefit in moderate elongation, however, since this quality permits absorbing rapid impact and shock. Thus the total area under a stress-strain curve is indicative of overall toughness. A material of very high tensile strength and little elongation would tend to be brittle in service.

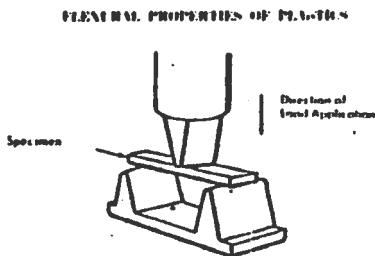


Flexural Properties of Plastics (ASTM D790)

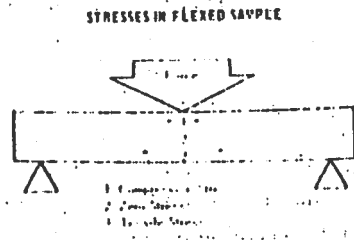
Specimen: Usually $\frac{1}{8} \times \frac{1}{2} \times 5$ inches. Sheet or plaques as thin as $\frac{1}{16}$ inch may be used. The span and width depend upon thickness.

Specimens are conditioned according to Procedure A, ASTM D618.

Procedure: The specimen is placed on two supports spaced 4 inches apart. A load is applied in the center of a specified rate and the loading at failure (psi) is the flexural strength. For materials which do not break, the flexural property usually given is Flexural Stress at 5% strain.



Significance: In bending, a beam is subject to both tensile and compressive stresses, as indicated in the following sketch:



Since most thermoplastics do not break in this test even after being greatly deflected, the flexural strength can not be calculated. Instead, stress at 5% strain is calculated that is, the loading in psi necessary to stretch the outer surface 5%.

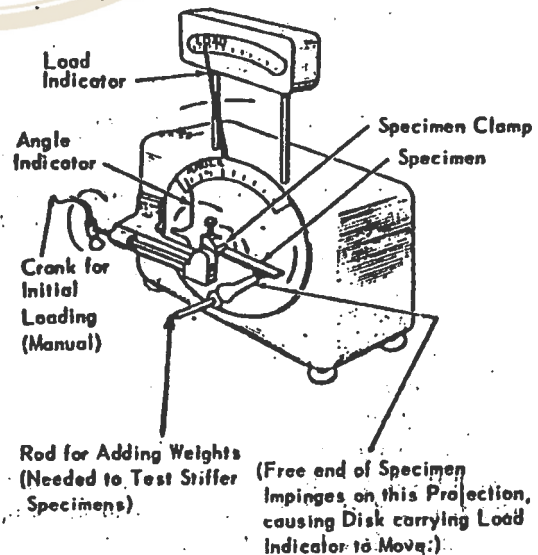
Stiffness in Flexure (ASTM D747)

Specimen: The specimens must have rectangular cross section, but dimensions may vary with the kind of material.

Specimens are conditioned according to Procedure A, ASTM D618.

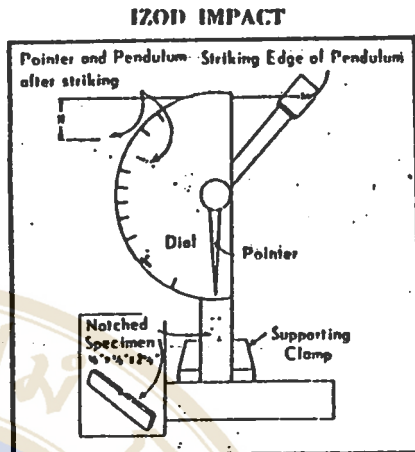
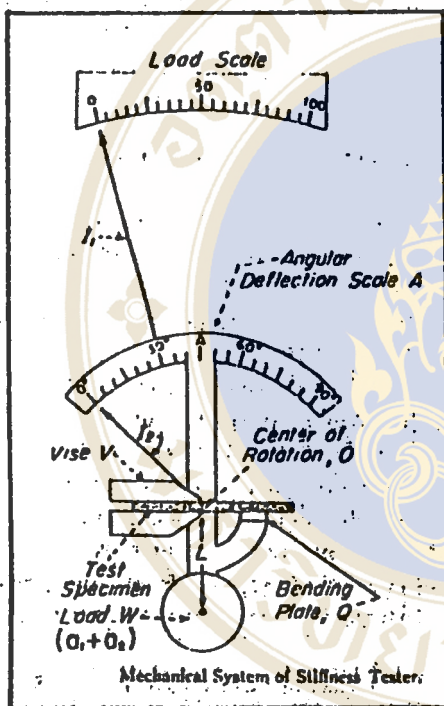
Procedure: The specimen is clamped into the apparatus (sketch at right) and a 1% load is applied manually. The deflection scale is set at zero. The motor is engaged and the loading increased, with deflection and loading figures recorded at intervals. A curve is drawn of deflection versus load, and from this is calculated stiffness in flexure in pounds per square inch.

STIFFNESS IN FLEXURE APPARATUS



Significance: This test does not distinguish the plastic and elastic elements involved in the measurement and therefore a true elastic modulus is not calculable. Instead, an apparent value is obtained and called "stiffness in flexure." It is a measure of the relative stiffness of various plastics and taken with other pertinent property data is useful in material selection.

STIFFNESS IN FLEXURE



Significance: The Izod Impact test indicates the energy required to break notched specimens under standard conditions. It is calculated as ft lb per inch of notch and is usually calculated on the basis of a one inch specimen although the specimen used may be thinner in the lateral direction. (This is indicated in the sketch of the Izod Specimen).

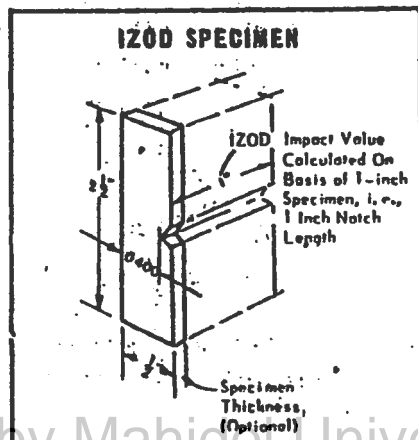
The Izod value is useful in comparing various types or grades of a plastic. In comparing one plastic with another, however, the Izod impact test should not be considered a reliable indicator of overall toughness or impact strength. Some materials are notch-sensitive and derive greater concentrations of stress from the notching operation. The Izod impact test may indicate the need for avoiding sharp corners in parts made of such materials. For example nylon and acetal-type plastics, which in molded parts are among the toughest materials, are notch sensitive and register relatively low values on the notched Izod impact test.

Izod Impact (ASTM D256)

Specimen: Usually $\frac{1}{8} \times \frac{1}{2} \times 2$ inches. Specimens of other thicknesses can be used (up to $\frac{1}{2}$ inch) but $\frac{1}{8}$ inch is frequently used for molding materials because it is representative of average part thickness.

A notch is cut on the narrow face of the specimen, which is conditioned according to Procedure A of ASTM D618.

Procedure: A sample is clamped in the base of a pendulum testing machine. (see figure) so that it is cantilevered upward with the notch facing the direction of impact. The pendulum is released, and the force consumed in breaking the sample is calculated from the height the pendulum reaches on the follow-through.



© ASTM-Reprinted by permission.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวจุฑาทิพย์ วงศ์ชั้นสุนทร
วัน เดือน ปี เกิด 6 ตุลาคม 2512
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , พ.ศ. 2531 – 2535
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรัฐสภาพ)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช , พ.ศ. 2537 – 2540
สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย)
มหาวิทยาลัยมหิดล , พ.ศ. 2540 – 2545
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)
สถานที่ทำงาน พ.ศ. 2535 – ปัจจุบัน
ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ สำนักงานเขตยานนาวา
กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่ง : นักวิชาการสุขภาพ 5

Executive Summary

A Feasibility Study : Dried Sludge of Domestic Waste Water Treatment To Make As Filler In Polyester Resin

Introduction

The sludge from The Domestic Waste Water Treatment Plants have been disposed by dumping on land or landfill . It could make heavy metal contaminate into soil and sea-dumping which will make the environmental problems especially, The Waste Water Treatment Plants generate sludge everyday and there was a little of agriculture utility. The idea that took dried sludge powder mixed with polyester resin to casting. It would got a dark colour object, recompensed the natural things. This study would separated sludge powder to two size ($<53 \mu\text{m}$ and $212\text{-}300 \mu\text{m}$) and compared of various ratio with 100% polyester resin.

Polyester resin is thermoplastic , Casting by cross-link chemical reaction of polyester resin , promoter and catalyst (called hardener) and setting within about 2 hours and cannot recycle by heat.

The Objective of Study

1. Feasibility study to mix sludge powder with polyester resin casting .
2. Compare the strength of 100% polyester resin with specimens at ratio of 10:90 , 30:70 , 50:50 and 70:30 ; sludge powder : polyester resin .

Methodology

1. Dried sludge cake from treatment plant by sunlight and crushed them finely.
2. Sieved sludge by sieve mesh No. 50,70 and 270 for separate the particles to 2 size; $212\text{-}300 \mu\text{m}$ passed from mesh 50 and remained on mesh 70 and $<53 \mu\text{m}$ passed from mesh 270.

3. Cast specimen by mix each particle size with polyester resin at ratio of sludge : resin 10:90 , 30:70 , 50 :50 and 70:30 .
4. Cast 100% polyester resin
5. Cut specimen shape as American Society for Testing and Material standard (ASTM) for theirs kind testing ; thus
 - Tensile Strength : dumbbell shape was 1/8 x 1/2 x 6.6 inches
 - Flexural Strength : rectangle shape was 1/8 x 1/2 x 5 inches
 - Impact Strength : rectangle shape was 1/8 x 1/2 x 2 inches
6. Tested the specimens and took the values of testing to analyse effecting of sludge powder to strength of polyester resin and compare with 100 % polyester resin

Result and Discussion

1. The fine grain sludge powder is brown but when mix with resin it become black because the structure of resin is hygroscopic substance.
2. The 70:30 ingredient can't cast.
3. pH of dried sludge is 7.7 . It have some heavy metal thus cadmium , chromium, copper , nickle , etc.
4. testing values of specimens

value	ratio	< mesh 270	mesh 70	100% resin
Tensile strength (Mpa)	10:90	38.84	26.72	58.86
	30:70	16.03	19.69	
	50:50	14.46	14.19	
Flexural Strength (MPa)	10:90	77.33	39.97	98.86
	30:70	19.50	19.82	
	50:50	32.88	32.05	
Impact Strength (kJ/m)	10:90	11.67	9.54	12.35
	30:70	10.80	11.73	
	50:50	11.83	13.46	

Tensile Strength

Tensile strength value of < mesh 270 and mesh 70 specimens were decrease when increase sludge powder because there was bubble within it that made specimen non tight. The high concentrate ingredient was sticky , bubble can't push out and caught particle.

Flexural Strength

Flexural Strength value of 50:50 of < mesh 270 and mesh 70 were specimens higher than 30:70 but lower than 10:70 because sludge powder increase specimen's elasticity Commonly, resin is hard but brittle. Mesh 70 particle decrease flexural strength at 10:90 but it same like < mesh 270 at 50:50

Impact Strength

Impact Strength value of specimen had nearly all . Particle couldn't make difference in this test but the value of mesh 70 showed that it stronger when increase sludge powder. Because sludge powder and bubble adsorbed force which fell to it. At 50:50 specimen was stronger than 100% polyester resin .

Conclusion and Recommendation

1. There are feasibility to fill domestic sludge as filler in polyester resin but not over than ratio 50:50.
2. Sludge powder can make colour like dark brown to black pigment and make texture within it .
3. The almost of testing values; 100% polyester resin is strongest . Except 50:50 of mesh 70 of impact strength.
4. Tensile Strength, the specimen at 10:90 of <mesh 270 is best. Flexural strength , the specific at 10:90 of <mesh 270 is best . Impact Strength , the specimen at 50:50 of mesh 70 is best.
5. At high concentration, size of particle can't make difference result
6. Next study should test fine scale . It can shown result clearly .



7. Have to wear mask for protect own respiratory system during test every step.

