บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับโพลิเมอร์

ถ้าเรามองไปรอบๆตัวเรา จะเห็นได้ว่าสิ่งของเป็นจำนวนมาก นับตั้งแต่เสื้อผ้า ของเด็กเล่น เครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องครัว เฟอร์นิเจอร์ อาคารบ้านเรือน รถยนต์ เรือ เครื่องบิน อุปกรณ์ต่างๆ และผลิตภัณฑ์อื่นๆอีกมากมาย ฯลฯ สิ่งของเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำมาจากวัตถุดิบที่เรียกว่าโพลิเมอร์ (polymer) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่มีอยู่ในธรรมชาติ แต่เป็นสิ่งที่มนุษย์เราทำขึ้นหรือสังเคราะห์ขึ้น วัตถุโพลิเมอร์ที่เราสังเคราะห์ขึ้นเรียกว่า โพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) เช่น โพลิเอทิลีน (PE) โพลิสไตรีน (PS) ซึ่งในการสังเคราะห์โพลิเมอร์เหล่านี้ จะสามารถกำหนด หรือปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน และราคาที่เหมาะสมด้วย ส่วนโพลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติที่ไม่ต้องผ่านการสังเคราะห์ได้แก่ ยางธรรมชาติ แป้ง(มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ) เส้นผม ขนสัตว์ เป็นต้น

คำว่าโพลิเมอร์มาจากคำในภาษากรีกสองคำคือ poly หมายความว่า หลายๆหรือมาก และ mer แปลว่าหน่วยหรือส่วน หรืออาจจะหมายความได้ว่าโพลิเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macro molecule) ที่ประกอบซ้ำๆกันของหน่วยย่อยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) หรือ เมอร์ (mer) บางทีก็เรียกว่าโมเลกุลมหภาค ตัวอย่างโพลิเมอร์ได้แก่ โพลิเอทิลีน (Polyethylene) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำถุงพลาสติก โพลิเอทิลีนหรือโพลิอีทันนั้นสังเคราะห์มาจากเอทิลีนดังนี้

$$n CH_2 = CH_2 \longrightarrow (CH_2 - CH)_n$$

ethylene (a monomer) — polyethylene (a polymer)

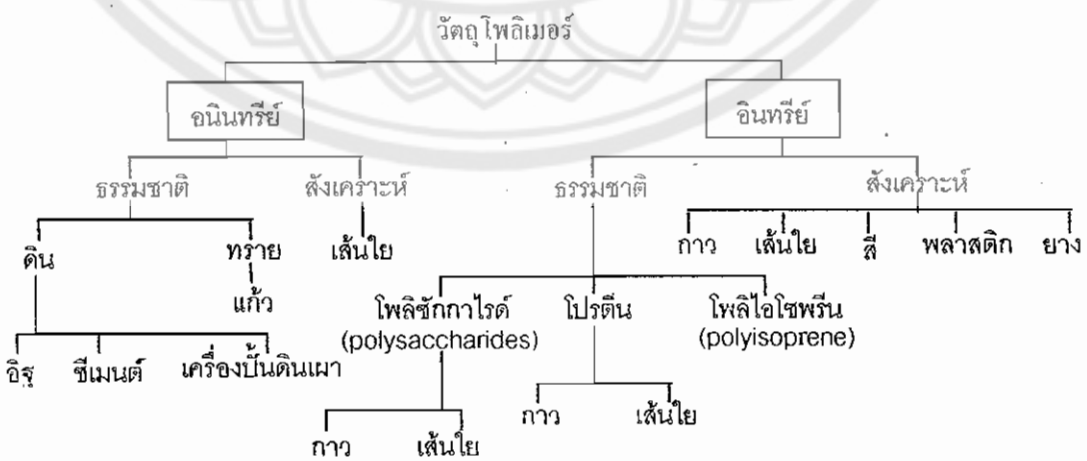
เราเรียกสารตั้งต้นซึ่งในกรณีนี้คือ เอทิลีน ว่า โมโนเมอร์ (monomer) และผลิตผลที่ได้ว่าโพลิเมอร์ อักษร n ของสูตรโพลิเอทิลีนแทนจำนวนที่ซ้ำๆกันซึ่งในที่นี้คือ CH_2 - CH_2 ของโพลิเอทิลีนค่าของ n อาจจะเป็น 100,1000,10000 ก็ได้ หมายความว่า หนึ่งโมเลกุลของโพลิเอทิลีนอาจประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆกันเป็น 100,1000,10000 หน่วย จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของโพลิเอทิลีนเป็นโมเลกุลที่ยาวมาก อย่างไรก็ตามโมเลกุลต่างๆของโพลิเอทิลีน หาได้มีค่า n เท่ากันไม่ (ถ้าจะเท่ากันก็โดยบังเอิญเท่านั้น) บางโมเลกุลมีค่า n สูง บางโมเลกุลก็มีค่า n ต่ำ ดังนั้นโพลิเอทิลีนจึงเป็นผลของโมเลกุลต่างๆที่มีค่า n แตกต่างกัน หรือมีความยาวไม่เท่ากัน แต่ละโมเลกุลจะมีหน่วยที่ซ้ำๆกันเหมือนกันคือ CH_2 - CH_2

สมาคมวิศวกรพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้

"พลาสติกคือวัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง ที่น้ำหนักโมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต มีลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัด หรือทั้งสองอย่าง"

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่งทั้งนี้ เพราะพลาสติกส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วนๆผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่นๆอีก เช่น ออกซิเจน คลอรีน ฟลูออรีน กำมะถัน ฯลฯ

2.1.1 การจำแนกโพลิเมอร์



รูป 2.1 การจำแนกวัตถุโพลิเมอร์และการใช้งาน

2.1.1.1 จำแนกตามภาวะของการเตรียมโพลิเมอร์เปรียบเทียบโครงสร้างของโพลิเมอร์ที่ได้กับสารตั้งต้น (โมโนเมอร์)

ก. โพลิเมอร์แบบควบแน่น (Condension polymer)

ข. โพลิเมอร์แบบรวมตัว (Addition polymer)

2.1.1.2 จำแนกจากชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆกันในโซ่โพลิเมอร์

ก. โฮโมโพลิเมอร์ (Homopolymer) ได้แก่โพลิเมอร์ซึ่งในโซ่โพลิเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำๆกัน เพียงชนิดเดียวเท่านั้น เช่น โพลิเอทิลีนมีหน่วยที่ซ้ำกันคือเอทิลีน

ข. โคโพลิเมอร์ (Co-Polymer) ได้แก่โพลิเมอร์ซึ่งในโซ่โพลิเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำๆกัน สองชนิด หรือมากกว่าสองชนิด เช่น โพลิเมอร์ของสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ มีทั้งสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ในโซ่ของโพลิเมอร์

2.1.1.3 จำแนกโดยยึดเอาการเปรียบเทียบของโพลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจำแนกโพลิเมอร์เป็น 2 ประเภทดังนี้

ก.เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymer)

โพลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างไม่เป็นตาข่าย ยึดติดกันที่อุณหภูมิห้อง จะมีความยืดหยุ่นเมื่อค่อยๆให้ความร้อนขึ้นเรื่อยๆจะหลอมและอ่อนตัวจนสามารถขึ้นรูปโดยไม่ปาดผิวได้ เมื่อให้ความร้อนมากจะหลอมละลายจนสามรถเชื่อมประสานกันได้ เมื่อปล่อยให้เย็นตัวจะมีความแข็งและความเค้นเหมือนเดิม การหลอมและการเย็นตัวลงกระทำได้หลายๆครั้ง ดังนั้นจึงสามารถนำเทอร์โมพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยไม่กระทบกระเทือนถึงคุณสมบัติทั้งกายภาพและทางเคมีของโพลิเมอร์นั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าโครงสร้างของโพลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โพลิเมอร์นี้ส่วนมากสามารถละลายในสารละลายบางชนิดได้ สามารถทำการปาดผิวได้ ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ โพลิสไตรีน (Polystyrene-PS)โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride – PVC)ที่มีโครงสร้างไม่เป็นร่างแห กล่าวคือ ไม่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์

เทอร์โมพลาสติกมีหลายชนิด ที่สำคัญและใช้กันอยู่ทั่วๆไป สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

-อะซีทัล (Acetal)

-อะคริลิก (Acrylic)

-ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbons)

-โพลีเอมีด (Polyamide) หรือ ไนลอน (Nylon)

-โพลีโอเลฟิน (Polyolefin)

-โพลิเอทิลีน (Polyethylene)

-โพลิโพรพิลีน (Polypropylene)

-โพลิสไตรีน (Polystyrene)

-เอบีเอส (ABS)

-ไวนิล (Vinyl)

-เซลลูโลซิก (Cellulosics)

-โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)

-ไอโอโนเมอร์ (Ionomer)

-โพลิไอมีด (Polyimide)

-โพลิซัลโฟน (Polysulphone)

-เอทิลีนไวนิลอะซีเทต (EVA)

-โพลิเอสเทอร์ (Polyester)

ข.เทอร์โมเซต (Thermosets)

โพลิเมอร์ประเภทนี้จะเกิดจาก Pre – Product ที่ยังไม่ยึดติดกัน เป็นตาข่ายแล้วจะมีการใส่สารแข็งตัว (Hardener) หรือให้ปฏิกิริยา ความดัน และความร้อน ให้กลายเป็นตาข่ายแบบยึดติดกัน ที่อุณหภูมิห้องจะมีสภาพหยุ่นตัวคล้ายเหล็กกล้า เมื่อถูกความร้อนจะสามารถทำให้เหนียวยืดหยุ่นได้ แต่ถ้าได้รับความร้อนมากเกินไปพลาสติกนี้จะสลายตัว แล้วจะได้วัสดุที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม ด้วยเหตุนี้จะนำมาขึ้นรูปได้โดยไม่ปาดผิว(NON-cutting)ไม่ได้ เชื่อมประสานไม่ได้ ในสภาพแข็งไม่สามารถละลายในสารละลายได้ จึงขึ้นรูปใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ตัวอย่างของเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก ได้แก่ เมลาไมน์เรซิน หรือ เมลาไมน์–ฟอร์มัลดีไฮด์

(Melamine Resin or Melamine Formaldehyde – MF) ซึ่งเป็นพลาสติกสามัญใช้ทำถ้วยชามและแบกีไลต์(Bakelite) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์เตรียมมาจากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างฟีนอกและฟอร์มัลดีไฮด์

เทอร์โมเซตมีหลายชนิด ที่สำคัญและใช้ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

-อะมิโน (Amino)

1.ยูเรีย (Urea)

2.เมลามีน (Melamine)

-อีพอกซี่ (Epoxy)

-ฟีนอลิก (Phenolic)

-โพลิเอสเทอร์ (Unsaturated Polyester Resin)

-ซิลิโคน (Silicone)

-ยูรีเทน (Urethane) หรือโพลิยูรีเทน (Polyurethane)

2.1.2 โครงสร้างของโพลิเมอร์

โครงสร้างของโพลิเมอร์ หรือ ลักษณะลำตัวและการจัดรูปร่างโมเลกุลของโพลิเมอร์มีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับประเภทของโพลิเมอร์และกรรมวิธีสังเคราะห์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน เช่นความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ

โครงสร้างของโพลิเมอร์มีแบบต่างๆดังนี้

1. โพลิเมอร์แบบเส้นยาวตลอด (Linear Shape) ลำตัวยิ่งยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น มีความแข็งแรงสูงขึ้น ทนทานความร้อนได้ดีขึ้น โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

รูปที่ 2.2 โพลิเมอร์แบบเส้นยาวตลอด (Linear Shape)

2. โพลิเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ (Branched Shape) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติก Thermoplastics อีกประเภทหนึ่ง

รูปที่ 2.3 โพลิเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ (Branched Shape)

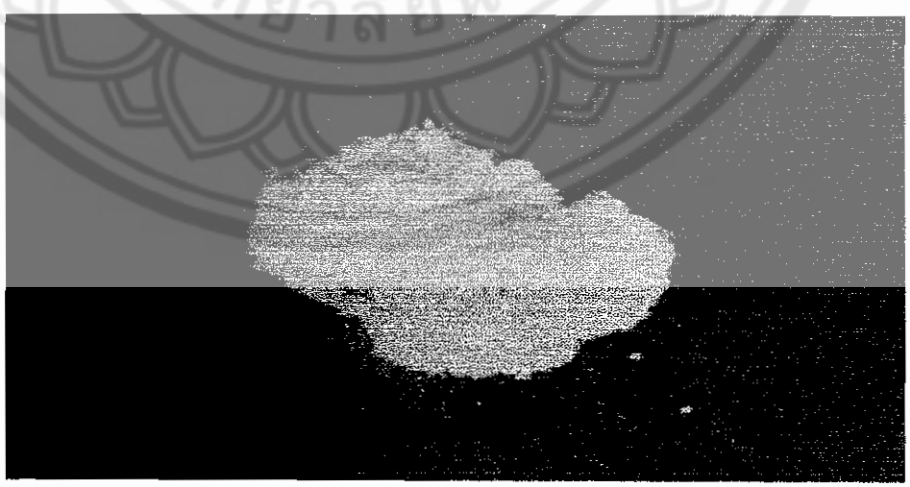
3. โพลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross- Linnked or Network Shape) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โพลิเมอร์มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้ดี โครงสร้างแบบนี้ส่วนมากจะเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetings)

รูปที่ 2.4 โพลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross- Linnked or Network Shape)

โพลิเมอร์ประเภทเดียวกันแต่มีโครงสร้างต่างกันจะมีคุณสมบัติต่างกันด้วย

โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1. พลาสติกไม่มีผลึก (Amophous Plastics) พลาสติกประเภทนี้จะประกอบด้วยสายโมเลกุลที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ โมเลกุลอยู่ห่างกันมากกว่าในพลาสติกมีผลึก ดังนั้นพลาสติกพวกนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ทนความร้อนได้ต่ำกว่า และเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยกว่า แต่มักจะใสกว่า นอกจากนั้นพลาสติกประเภทไม่มีผลึกยังเป็นพลาสติกที่ไม่มีจุดหลอมเหลวแต่จะมีเพียง "อุณหภูมิที่พลาสติกอ่อนตัว" เท่านั้น ตัวอย่างพลาสติกไม่มีผลึกเช่น Polystyrene , Acrylic ฯลฯ

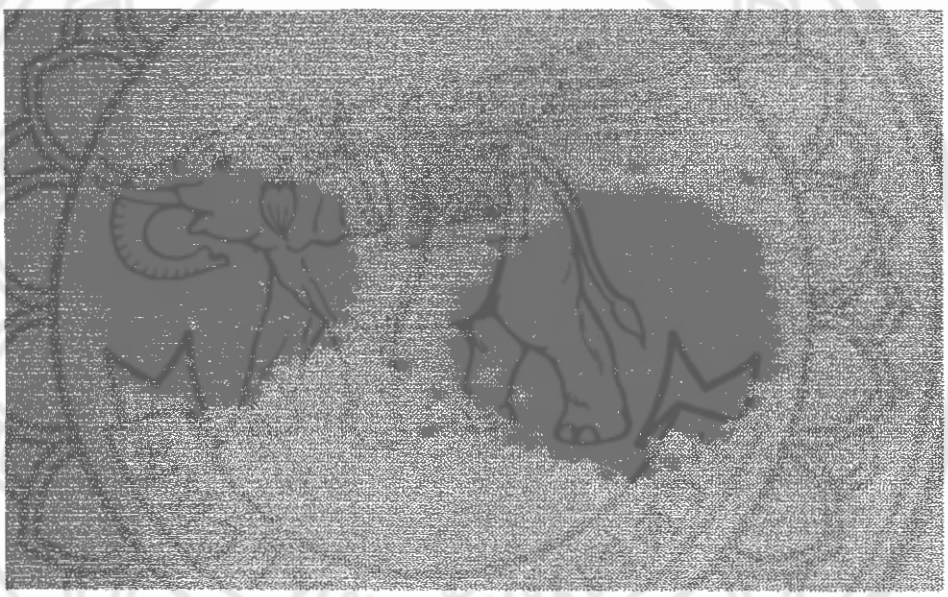


รูปที่ 2.5 พลาสติกไม่มีผลึก (Amophous Plastics)

2. พลาสติกมีผลึก (Crystalline Plastic) พลาสติกที่มีผลึกประกอบด้วยโมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ(คือส่วนที่เป็นผลึก) ปนอยู่กับส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ ปริมาณของผลึกในพลาสติกประเภทนี้โดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-98 ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกและการควบคุมสภาวะทางความร้อน และสภาวะทางกลที่ให้ขณะทำการผลิตพลาสติก

การเกิดผลึกในพลาสติกประเภทนี้ทำให้โมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้มากกว่าในพลาสติกที่ไม่มีผลึก ดังนั้นพลาสติกที่ผลึกโดยทั่วไปจะแข็งแรงและทนความร้อนได้มากกว่าพลาสติกที่ไม่มีผลึก แต่มักจะขุ่นเนื่องจากผลึกจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายแสง

ตัวอย่างพลาสติกมีผลึก เช่น Polyethylene , Polystyrene , Polyester , Nylon ฯลฯ



รูปที่ 2.6 พลาสติกมีผลึก (Crystalline Plastic)

2.1.3 คุณสมบัติของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษดีเด่นกว่าวัสดุอื่นที่ได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง เช่น ไม้ โลหะ แก้ว กระดาษ ฯลฯ ที่นิยมใช้กันมาก่อนอย่างมากมาย ทั้งนี้เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติหลายๆอย่างรวมกันในตัวของมันเอง และมีคุณสมบัติสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้ดีเท่าๆหรือดีกว่าวัสดุเดิม เช่น

-แข็ง	-ทนความร้อน
-อ่อนนุ่ม	-ทนสารเคมี

-ยืดตัว	-เป็นฉนวนไฟฟ้า
-เหนียวทนทาน	-ทนการสึกกร่อน
-ใส	-กันน้ำ
-ทึบ	-ไม่ติดไฟง่าย
-เบา	-หล่อลื่นในตัว
-ลอยน้ำได้	-ทำเป็นสีต่างๆได้

ฯลฯ

พลาสติกมีคุณสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High Molecular Weight คือมีโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันยาวกว่าสารชนิดอื่นมากนับเป็นพันเท่า ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษหลายๆอย่างพร้อมกัน คือ

คุณสมบัติทางกายภาพ (Mechanical) คือ มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ฯลฯ
คุณสมบัติทางไฟฟ้า(Electrical) คือ เป็นฉนวนไฟฟ้า
คุณสมบัติทางเคมี (Chemical) คือ สามารถทนต่อกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆได้

2.1.4 ลักษณะวัตถุดิบพลาสติกที่ใช้ผลิต

วัตถุดิบพลาสติกที่ใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โพลิเมอร์มี 3 ชนิด คือ

-ผง (Powder)
-เม็ด (Pollet & Granule)
-ของเหลว (Liquid)

วัตถุดิบพลาสติกจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปเพื่อความเหมาะสมกับกรรมวิธีการผลิต วัตถุดิบพลาสติกชนิดผงและเม็ดเหมาะสำหรับการผลิตที่ใช้เครื่องจักรซึ่งมีปริมาณการผลิตเป็นจำนวนมาก ต้องลงทุนในเรื่องเครื่องจักรและอุปกรณ์สูง เป็นที่นิยมใช้ในการผลิตพลาสติกเกือบทุกชนิด

ชนิดเหลวจะเหมาะสำหรับการประกอบอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมในครอบครัว หรืออุตสาหกรรมขนาดกลาง เช่น โพลิเอสเตอร์ (Unsaturated Polyester) นิยมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส และผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อ ผลิตภัณฑ์ไม้อัด เคลือบผิวพลาสติก

(กรอบรูปวิทยาศาสตร์) อะครีลิค(Acrylic) ใช้หล่อทำเป็นแท่งอะครีลิค โพลิยูรีเทนใช้ทำโฟม ฟองน้ำ และไม้แกะสลักเทียมชนิดต่างๆ

2.1.5 ชนิดของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการทำวิจัย

ในการวิจัยได้เลือกโพลิเมอร์ 2 ประเภท คือ

1. โพลิเอทิลีน (Polyethelene)
2. เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน โคโพลิเมอร์ (Ethylene-Propylene-Dine Copolymer : EPDM)

2.1.5.1 โพลิเอทิลีน (Polyethelene)

เป็นโพลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบทางเคมีธรรมดาที่สุดชนิดหนึ่ง โพลิเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น LD.PE (Low Density Polyethelene) เป็นโพลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ , HD.PE (High Density Polyethelene) เป็นโพลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง และได้พัฒนาให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและนิยมใช้ในขณะนี้คือ LLD.PE (Linear Low Density Polyethelene) กับ UHMW.PE (UltraHigh –Molecular Weight Polyethelene)

โพลิเอทิลีนจะมีน้ำหนักเบามากๆ คือมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.92 เท่านั้น ในรูปแผ่นบางสามารถพับงอได้ดี มีความหนามากขึ้นจะคงรูปรับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่าตัว ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เมื่อสัมผัสจะรู้สึกเป็นมัน จึงมีคุณสมบัติลื่นไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ขนาดประมาณ – 100 F ได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง และจะทนต่อน้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก น้ำมันจาระบี กรด และด่าง สามารถละลายในสารละลายบางชนิดได้ เช่น ไตรคลอเอทิลีน (Trichloroethylene) แต่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างเร็วกับ Oxidizing Acid ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน และในขณะที่มีอุณหภูมิสูงแม้ว่าจะไม่ดูดซับความชื้นแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ จึงเหมาะสำหรับใช้บรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อได้ดี

โดยทั่วไปโพลิเอทิลีนมีลักษณะใสเมื่อเป็นแผ่นบาง จะมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่างๆได้ตามต้องการ

โพลิเอทิลีนมีปริมาณการใช้สูงสุดในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แม้ว่าราคาไม่ถูกที่สุด แต่เพราะมีน้ำหนักที่เบากว่าจึงสามารถผลิตได้ปริมาณมาก นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้า ตุ๊กตาของเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุ เครื่องใช้ในครัว ถาดน้ำแข็งในตู้เย็น ขวด และภาชนะบรรจุของเหลว เขียง พลาสติกคลุมโรงเพาะชำ สายเคเบิล ที่ใช้ในน้ำทะเล แผ่นกันความชื้นในอาคาร และของใช้ราคาถูกอีกมากมายนอกจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแล้ว โพลิเอทิลีน ยังนิยมนำไปเคลือบตะแกรงโลหะใส่ของต่างๆได้ดีอีกด้วย

2.1.5.2 เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน โคโพลิเมอร์ (Ethylene-Propylene-Dine Copolymer : EPDM)

EPDM เป็นยางสังเคราะห์ชนิดเทอร์โพลิเมอร์ มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานประกอบไปด้วย เอทิลีน (Ethylene) โพรพิลีน (Propylene) และไดอีน (Diene) ในปริมาณเล็กน้อย ไดอีนที่ใส่เข้าไปนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวขึ้น ไดอีนที่ใช้โดยทั่วไปคือ Dicyclopentadine Ethylidene Norbornene และ 1-4 Hexadine

โครงสร้างของหน่วยย่อยใน EPDM มีการกระจายเป็นแบบสุ่ม ไม่เรียงลำดับของหน่วยย่อยเอทิลีนและโพรพิลีน แต่จะประกอบด้วยส่วนสั้นๆของโพลิเอทิลีนและโพลิโพรพิลีนกระจายอยู่ทั่วไประหว่างโคโพลิเมอร์ (Co-polymer) การเพิ่มสัดส่วนของไดอีนจะทำให้การไม่อิ่มตัวสูงขึ้น

โครงสร้างและส่วนผสมของ EPDM ทำให้ EPDM มีความต้านทานต่อโอโซน (Ozone) และอากาศ สารประกอบที่มี EPDM เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานกลางแจ้งหรืองานที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีโอโซนสูง โดยไม่ต้องใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน น้ำมัน หรือ สารเติมแต่งอื่นๆ นอกจากนี้ EPDM ยังทนต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

คุณสมบัติอื่นๆรวมไปถึงความต้านทานต่อของไหลที่มีขั้วเช่น แอลกอฮอล์ คีโตน เอสเทอร์ และอะซิเตท ความทนต่อสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ความสามารถในการบิดงอที่อุณหภูมิต่ำได้ดี คุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยม และการที่ EPDM มีความหนาแน่นต่ำ (ถ.พ ประมาณ 0.869) จึงมีความสามารถในการรับสารต่างๆ เช่น น้ำมัน หรือสารเติมแต่งอื่นๆ ในระดับสูง ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายขึ้น

EPDM ได้ถูกนำมาใช้ในทางการค้าตั้งแต่ปี คศ.1964 โดยนำมาใช้กันมากในงานด้านการทำชิ้นส่วนโดยแม่พิมพ์และการขับดัน งานที่นำมาประยุกต์ใช้เช่น ท่อ(Hose) ที่มีระบบหล่อเย็นในตัว ยางในรถยนต์ แผ่นเหล็กที่ทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอากาศ ฉนวนเคเบิลในกระบวนการเผาไหม้รถยนต์ อุปกรณ์ทางการเกษตร และงานก่อสร้างอาคารและโครงสร้าง

2.1.6 โพลิเมอร์ผสมในอดีตจนถึงปัจจุบัน

โพลิเมอร์ผสมในอดีตจนถึงปัจจุบัน เมื่อยุคต้นของการค้นคว้าทางด้านโพลิเมอร์ทิศทางของการวิจัยจะเน้นไปในการค้นคว้าสารตั้งต้นที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นสารโพลิเมอร์ ซึ่งๆได้มาจากหลายแหล่งด้วยกัน ต่อมาก็มีการพัฒนาจากสารชนิดเดียวกันมาเป็นสารตั้งต้นสองชนิดนำมา โพลิเมอร์ไรเซชั่นร่วมกันเกิดเป็นโพลิเมอร์ตัวใหม่ นอกจากนี้แล้วยังมีผู้ศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์โดยการใช้โพลิเมอร์ต่างชนิดนำมารวมกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการพัฒนามิได้มุ่งเน้นไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง มีการศึกษาค้นคว้าหลายแง่หลายมุมด้วยกัน แต่มีแนวโน้มที่จะพัฒนาตามความต้องการของตลาดใหม่ เงินทุนและระยะเวลาในการค้นคว้าแบบดั้งเดิมเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา จึงมีการศึกษาทางด้านการผสมผสานโพลิเมอร์หลายๆชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่ขาดหายไปของโพลิเมอร์บางชนิด เป็นการลดต้นทุนและสามารถขยายประเภทของสินค้าได้มากขึ้น

โพลิเมอร์ผสมที่เก่าแก่ที่สุดเห็นจะเป็นการนำยางมาผสมกับโพลิเมอร์ชนิดอื่น เช่น Polystyrene หรือ Poly Vinyl Chloride เพื่อทำให้โพลิเมอร์นั้นๆมีความเหนียว ทนต่อแรงกระแทกดีขึ้น เช่น HBIS และ ABS การศึกษาเกี่ยวกับโพลิเมอร์ผสมในเวลาต่อมาทำให้ได้โพลิเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆมากมาย ตัวอย่างเช่น

- โพลิเมอร์ผสมระหว่าง Polyethylene (PE) และ Polystyrene (PS) โดยมีการเติม กราฟ หรือ บล็อคโคโพลิเมอร์ ลงไป เพื่อทำให้โพลิเมอร์ทั้ง 2 เข้ากัน ทำให้ได้โพลิเมอร์ผสมที่มีความแข็งแรงที่จุดยีลด์, ความแข็งแรง ณ จุดขาด และความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

- โพลิเมอร์ผสมที่มี Polyolefin เช่น EPDM ,EP ผสมกับ PP หรือ PE ตัวอย่างเช่น โพลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PP ที่มี EPDM จะได้โพลิเมอร์ที่มีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงที่อุณหภูมิต่ำ

- โพลิเมอร์ผสมที่มี Polyamide เช่น Nylon6/HDPE, Nylon6/PS, Nylon6/PP เป็นโพลิเมอร์ผสมที่มีความเหนียวสูง

- โพลิเมอร์ผสมที่มี PE ได้มีการศึกษาโพลิเมอร์ผสมที่มี PE อย่างกว้างขวาง เนื่องจาก PE มีโครงสร้างเป็นแบบไม่มีขั้ว ตัวอย่างของโพลิเมอร์ผสมเช่น PE/PVC , PE/PET ที่เติมกราฟหรือบล็อคโคโพลิเมอร์ลงไป เพื่อทำให้โพลิเมอร์ทั้งสองเข้ากัน ทำให้ได้โพลิเมอร์ผสมที่มีความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง PE/PET ที่เติม SEBS ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

- โพลิเมอร์ผสมที่มี PS เช่น PS/PB ที่เติม SB ทำให้ได้โพลิเมอร์ผสมที่มีความทนต่อแรงกระแทกสูง PS/PP ที่เติม SEBS มีความทนต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่นสูงขึ้น

นอกจากนี้แล้วยังมีโพลิเมอร์ผสมตัวอื่นๆ อีกมากมายที่นักโพลิเมอร์ได้คิดค้นขึ้นมาเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ แนวโน้มในอนาคตจะมีการศึกษาเกี่ยวกับโพลิเมอร์ผสมมากขึ้น เพราะเป็นวิธีที่ทำให้ได้โพลิเมอร์ชนิดใหม่โดยใช้เวลาและต้นทุนในการพัฒนาต่ำลง โพลิเมอร์ผสมที่มีแนวโน้มจะใช้กันมากคือ โพลิเมอร์ในงานวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น งานทางด้านอากาศยาน โพลิเมอร์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในชีวิตประจำวันเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ สินค้าอุปโภคบริโภค เครื่องมือกล อุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน นอกจากนี้โพลิเมอร์ผสมเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโพลิเมอร์ที่ใช้แล้วมาผสมกันเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2.1.7 กรรมวิธีการผลิตในอุตสาหกรรมพลาสติก

แยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. Molding ประเภทหล่อพลาสติกเม็ดและผง โดยใช้ความร้อนและแรงอัดในแม่แบบปิด ได้แก่

-Compression (แบบอัด)

-Transfer (แบบอัดส่ง)

-Injection (แบบฉีด)

-Extrusion (แบบรีด)

-Blow (แบบเป่า)

-Calendering (แบบลูกกลิ้ง)

-Laminating(แบบอัดแผ่น)

-Cold(แบบอัดเย็น)

2. Casting (ประเภทหล่อพลาสติกเหลว)

-Simple (แบบหล่อเย็น)

-Plastisol (แบบหล่อร้อน)

3. Thermoforming (ประเภทอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่น)

-Mechanical (แบบอัดด้วยแม่แบบ)

-Vaccum (แบบสุญญากาศ)

-Blow (แบบลมอัด)

4. Reinforcing (ประเภทหล่อพลาสติกเหลวกับวัสดุเสริมกำลัง)

-Hand Lan- Up(แบบใช้มือทา)

-Spray Up (แบบใช้เครื่องพ่น)

-Matched Molding (แบบใช้แม่แบบอัด)

-Premix Molding (แบบอัดเหลว)

-Premix -Bag Molding (แบบถุงอัดอากาศ)

-Vacuum – Bag Molding (แบบสุญญากาศ)

5. Foaming (ประเภทหล่อโฟม)

-Molding Expendable Polystyrene (แบบหล่อพลาสติกเม็ด)

-Casting Rigid Flexible Polyurethane Foam (แบบหล่อพลาสติกเหลว)

2.1.8 กรรมวิธีการผลิตวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

กรรมวิธีการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้การผลิตแบบ Injection Molding กรรมวิธีการผลิตเป็นกรรมวิธีที่ออกแบบ เพื่อใช้กับเทอร์โมพลาสติกโดยเฉพาะ (ใช้กับเทอร์โมเซตติ้งพลาสติกก็ได้แต่ไม่นิยมนำมาใช้เนื่องจากการลงทุนสูง) ผลิตได้ปริมาณมากและรวดเร็ว มีลักษณะคล้ายแบบอัดส่ง (Tranfer Molding) แต่ยุ่งยากทำได้มากกว่า ทำได้รวดเร็วกว่ามาก

กรรมวิธีการผลิตแบบฉีด (Injection Molding) แบ่งออกได้หลายชนิด คือ

1. แบบฉีดชนิด Flow Molding เป็นชนิดธรรมดาที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ใช้ทำชิ้นงานทั่วๆไปเช่น ถังน้ำ ตะกร้า กล่อง ฯลฯ

2. แบบฉีดชนิด Injection Blow Molding เป็นชนิดที่ดัดแปลงแก้ไขจากกรรมวิธีการผลิตแบบเป่า (Blow Molding) ซึ่งผลิตชิ้นงานรูปขวดคือชิ้นงานกลวง แต่มีปัญหาเกี่ยวกับความหนาของส่วนต่างๆไม่เท่ากัน กรรมวิธีนี้จะผลิตชิ้นงานรูปขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น เนื้อของชิ้นงานทั่วๆไปจะมีความหนาใกล้เคียงกัน

3. แบบฉีดชนิด Reactive Injection Molding (RIM) กรรมวิธีชนิดนี้ กำลังได้รับการพัฒนาอยู่ในขณะนี้เป็นกรรมวิธีที่ใช้ฉีดเหลวโมโนเมอร์ (Monomer) เข้าไปในแม่แบบแทนการฉีดพลาสติกเหลวที่ร้อนหลอมละลายเข้าไปในแม่แบบ กรรมวิธีชนิดนี้ยังไม่สามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วๆไป ที่ใช้ได้ผลแล้วคือ Polyurethane ,Unsaturated Polyester Resin และ Nylon ชิ้นงานที่ผลิตโดยกรรมวิธีชนิดนี้เป็นชิ้นงานขนาดใหญ่ เป็นชิ้นส่วนในรถยนต์ เครื่องปรับอากาศ และฝาครอบผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ฯลฯ

4. แบบฉีดชนิด Injection Stamping เป็นกรรมวิธีการผลิตพิเศษที่ทำงานละเอียดแม่แบบ (Mold) สามารถปรับขนาดได้ ป้องกันการหดตัวหรือบิดงอของชิ้นงาน มีใช้น้อยมาก ซึ่งส่วนมากใช้กับงานผลิตเลนส์(Optical Lenses)

2.1.9 ชนิดของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกแบ่งได้ตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 4 แบบ คือ

แบบA แบบทำงานตามแนวนอน

แบบA ชุดฉีดและหน่วยเปิด – ปิด แบบอยู่ในทิศทางเดียวกัน พลาสติกจะไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอนตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบ

แบบB แบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้ง แต่พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวนอน โดยพลาสติกเหลวที่ออกจากกระบอกสูบในแนวดิ่งแล้วจะเปลี่ยนทิศทางไป 90 องศา ไปอยู่ในแนวนอนและไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบเช่นเดียวกับแบบA

แบบC แบบทำงานในแนวดิ่ง โดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งเข้าไปในแม่แบบในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิดปิดแบบ

แบบD แบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่ง พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิดปิดแบบ หรืออยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่แบบ

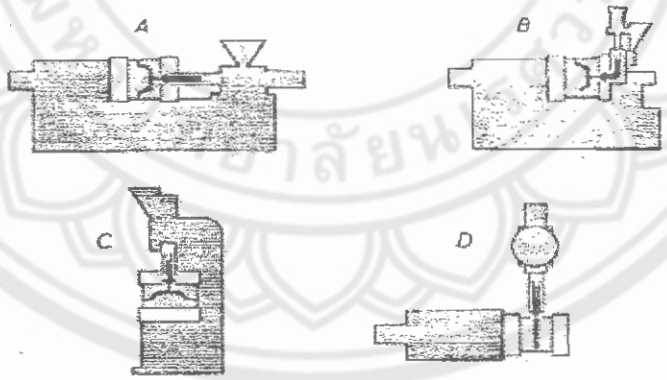
เครื่องฉีดพลาสติกที่เลือกใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นเครื่องฉีดพลาสติกแบบA แบบทำงานตามแนวนอน โดยมีหลักการทำงานคร่าวๆดังนี้

ช่วงแรก(a) พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือเป็นผงในกรวยเติมจะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบซึ่งมีความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง หลอมเหลวหลังจากนั้น ตัวหนอนจะเคลื่อนที่ดันพลาสติกที่เหลวนี้ผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่แบบซึ่งปิดอยู่ ดังแสดงในรูป (b)

หลังจากนั้นแม่แบบซึ่งหล่อเย็นอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัวสามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ดังรูป (c) ในการผลิตแบบชิ้นงาน เราจะต้องพิจารณาถึงตัวประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ

1. อุณหภูมิ
2. เวลา
3. ความดัน

ซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยอุณหภูมิ เวลา และความดัน จะมีผลโดยตรงกับจังหวะการทำงาน คือ การหลอมพลาสติก ฉีด และหล่อเย็น ซึ่งตัวประกอบแต่ละอย่างต้องมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี เพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมาอย่างสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามทิศทางการฉีด

2.2 โปรแกรมทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

โปรแกรมทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ โปรแกรม SPSS FOR WINDOWSซึ่งก่อนที่ผู้ใช้จะใช้โปรแกรม SPSS FOR WINDOWS ได้ ผู้ใช้จะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ WINDOWS และ SPSS/PC+ มาพอสมควรแล้ว ความสามารถของโปรแกรม SPSS ชุดพื้นฐาน (Basic System) สามารถจัดแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นความสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติดังต่อไปนี้

1.1 การคำนวนค่าสถิติเบื้องต้น (Descriptives Statistics) สามารถคำนวนค่าสถิติพื้นฐานทั่วๆไป เช่นค่าเฉลี่ย (Mean) พิสัย (Range) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ฯลฯ

1.2 การแจกแจงความถี่ (Frequency Distribution) สามารถแจกแจงค่าของตัวแปรตามจำนวนที่นับได้ทั้งแบบทางเดียวและแบบหลายทาง (Crosstabs) พร้อมทั้งแสดงค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง เช่น ฐานนิยม (Mode) เปอร์เซนไทล์ (Percentiles) กราฟแท่งหรือค่าสถิติที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสถิติ เช่น Chi – Squares Phi

1.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean Groups Comparision) สามารถเปรียบเทียบและทดสอบค่าเฉลี่ย ระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่มตัวอย่าง โดยค่าสถิติ t (Student' t) และสำหรับหลายกลุ่มตัวอย่างโดยค่าสถิติ F ด้วยการวิเคราะห์ความแแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) ทั้งแบบทางเดียวและแบบหลายทาง

1.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation) สามารถคำนวนหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบบต่างๆ เช่น Pearson Kendall Spearman

1.5 การวิเคราะห์การถดถอย (Regresstion Analysis) สามารถหาความสัมพันธ์เพื่อการพยากรณ์ โดยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regresstion Analysis) ทั้งแบบหนึ่งตัวแปรอิสระ และแบบหลายตัวแปรอิสระ นอกจากนี้ยังสามารถดูรูปแทนความสัมพันธ์ในลักษณะอื่นๆ ที่ไม่ใช่เส้นตรง เช่น Linear Quadratic Logarithmic

1.6 การทดสอบแบบนอนพาราเมตริก (Non – Parametric Test) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยวิธีของนอนพาราเมตริกสำหรับการทดสอบแบบต่างๆ เช่น Sign Test Wilcoxon Friedman Kolmokorov- Smirnov

1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับคำตอบแบบหลายคำตอบ (Multiple Response Analysis) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามที่มีตัวเลือกมาให้และผู้ตอบสามารถตอบได้มากกว่า 1 คำตอบ

2. ความสามารถในการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟ

โปรแกรม SPSS สำหรับวินโดวส์สามารถนำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟหรือชาร์ตแบบต่างๆ เช่น กราฟแท่ง ,Bar ,Histogram ,กราฟเส้น(Line) ,กราฟวงกลม (Pie) และกราฟชนิดอื่นๆ (Area , High –Low)

3. ความสามารถในการทำงานด้านอื่นๆ

ในการใช้โปรแกรม SPSS นอกจากจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติแล้ว ผู้ใช้อาจจะมีการดำเนินการจัดข้อมูลในลักษณะต่างๆเช่น สร้างตัวแปรเพิ่ม เรียงลำดับข้อมูล คัดเลือกข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ ฯลฯ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

3.1 การเปลี่ยนรูปข้อมูล (Data Transformation) โดยการเปลี่ยนค่าใหม่ จัดทำใหม่ หรือสร้างตัวแปรใหม่ด้วยฟังก์ชันพิเศษต่างๆ

3.2 การจัดกลุ่มตัวแปร (Define Set of Variables) โดยการเลือกตัวแปรหรือจัดกลุ่มตัวแปรไว้เป็นชุดต่างๆเพื่อนำมาวิเคราะห์เป็นชุดๆ

3.3 การเลือกข้อมูล (Select case) โดยการเลือกข้อมูลด้วยเงื่อนไขต่างๆ ที่ต้องการ หรือการเลือกข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง

3.4 การสร้างข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (Create Time Series) โดยการสร้างข้อมูลที่เกิดขึ้นตามเวลา เช่น วัน เดือน ไตรมาส ฯลฯ สำหรับการวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา

3.5 การดำเนินการกับข้อมูลในลักษณะอื่นๆ โดยการเรียงลำดับข้อมูล การให้น้ำหนักหรือความสำคัญแก่ชุดข้อมูล การสลับที่ข้อมูลระหว่างแถวและคอลัมน์

3.6 การจัดการกับไฟล์ข้อมูล โดยการรวมไฟล์ข้อมูลตั้งแต่ 2 ไฟล์ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น รวมตัวแปร รวมชุดข้อมูล ฯลฯ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุมาลี ทิพยพรกุล และ คณะ (2536) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างขยะพลาสติกชนิด PP และ PE พบว่าเมื่อ % PP เพิ่มขึ้น ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกลดลง

ความเครียดลดลง แต่ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของทุกโพลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราการไหลตัวแปรตามชนิดของพลาสติกชนิดที่มีอยู่มากกว่า

อภินันทนา อุดมศักดิกุล (2541) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) กับโพรพิลีน (Polypropylene : PP) โดยมี เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน เทอร์โพลิเมอร์ (Eyhylene Propelene Diene Terpolymer : EPDM) เป็นตัวทำให้เข้ากัน ในการศึกษาพบว่าการฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ผสม HDPE /PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 210^{0} C คุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมจะแปรไปตามโพลิเมอร์ที่มีปริมาณมากกว่า แต่เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP (75/25) จะมีค่ามากที่สุดคือ 428.37 % เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้อัตราการไหล ความถ่วงจำเพาะ ความทนต่อแรงดึง 100 % โมดูลัสของความยืดหยุ่น และความแข็งลดลง แต่จะทำให้ความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่ EPDM 5 % โดยน้ำหนัก จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นลดลง ส่วนที่ EPDM 10% และ 15% โดยน้ำหนัก จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP จะมีลักษณะแยกออกเป็นสองเฟสอย่างเห็นได้ชัด โดยมีเฟสหนึ่งกระจายอยู่บนอีกเฟสหนึ่ง เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้โพลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้มากขึ้น

Blom-HP *et al.* (1996) ได้ศึกษาเกี่ยวกับโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ผลการศึกษาพบว่า การเติมโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงลงไปในโพลิโพรพิลีนทำให้เกิดการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงกระแทก และได้ศึกษาถึงการเติม EPDM หรือ EVA ลงไปในโพลิเมอร์ผสม พบว่า EPDM มีผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกและEVA มีผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า EVA เป็นตัวปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกให้กับโพลิเมอร์ผสมได้ดีกว่า EPDM

Choudhary, V.*et al.*(1991) ได้ศึกษาผลกระทบของยาง EPDM ที่มีต่อคุณสมบัติด้านการไหล โครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (90/10) พบว่าที่ส่วนผสมของ EPDM ต่ำ (5 – 10 % โดยน้ำหนัก) จะทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้โพลิโพรพิลีนความหนาแน่นสูงเข้ากันได้ดีขึ้น ที่ EPDM สูง (20 – 25 % โดยน้ำหนัก) EPDM จะจับตัวเป็นก้อนทำให้ความหนืดของโพลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

ผลที่มีต่อคุณสมบัติทางกลคือ เมื่อ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงดึง ณ. จุด ยีลด์ ลดลง ที่ EPDM 5% โดยน้ำหนัก จะทำให้ความยืดหยุ่นลดลง แต่ที่ EPDM มากกว่า 5% ทำให้ความยืดหยุ่น ณ. จุดขาดเพิ่มขึ้น และที่ EPDM ประมาณ 20 % โดยน้ำหนักทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 620 % แต่ที่ส่วนผสมอื่น ๆ จะทำให้ลดลง

Lovinger , Andrew J. and William, M.L. (1980) ได้ศึกษาพฤติกรรมทางด้านแรงดึงของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง Linear PE/PP พบว่า ความเครียดที่จุดยีลด์ (Yield Stress) เพิ่มขึ้นเมื่อ % PP เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงสูงสุด (True Ultimate Strength) ในทุกโพลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำกว่าPP และ PE บริสุทธิ์ ความยืดหยุ่นต่ำเนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบ 2 เฟส คือมีโครงข่าย (Net Work) และ เกาะ (Island) ของ PE แทรกอยู่ในเนื้อของ PP และ PE จะเป็นตัวลดขนาดผลึกกลม (Spherulite) ของ PP

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมทางด้านแรงดึงกับโครงสร้างของโพลิเมอร์ผสม พบว่า โครงสร้างเช่น ขนาดของผลึกกลม , การเชื่อมต่อของผลึก (Intercrytalline Link) ระหว่างชั้น (lamellae) โครงสร้างของเฟสสองเฟสที่ไม่เข้ากัน และลักษณะของขอบเฟสร่วมกันของ PP และ PE อาจมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมทางด้านแรงดึง

Zhu-W *et al.*(1995) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่มี ethylene-propylene copolymer (EPC) เป็นตัวที่ทำให้เข้ากันพบว่า EPC ช่วยให้ภาวะการเกาะติดในโพลิเมอร์ดีขึ้นและค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่น ณ จุดขาดดีขึ้นเมื่อมีส่วนผสมของ EPC 5%โดยน้ำหนัก สรุปว่าค่าความแข็งแรงภายใต้แรงดึงและความยืดหยุ่น ณ จุดขาดที่ดีขึ้นนั้นมีผลมาจากการทำให้ HDPE และ PP เข้ากันได้ดีโดย EPC