บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต

5.1.1 ผลของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

สารเติมแต่งที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ไม่ว่าจะเป็น สารเสริมสภาพพลาสติก (พลาสติไซเซอร์) สารเพิ่มเนื้อพลาสติก (ฟิลเลอร์) สารคงสภาพ หรือ สารหล่อลื่น ต่างก็ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติของพลาสติก ทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล แต่เนื่องจากจะมีสารเติมแต่งเพียงบางชนิดเท่านั้น คือ พลาสติไซเซอร์ และฟิลเลอร์ ที่มีการใช้ในปริมาณมากเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับปริมาณของพีวีซีเรซินที่ใช้ ส่วนสารเติมแต่งชนิดอื่น ได้แก่ สารหล่อลื่น และสารคงสภาพ ซึ่งเป็นสารที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิต หรือ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเฉพาะอย่างของผลิตภัณฑ์พลาสติก สารเติมแต่งเหล่านี้ มีการใช้ในปริมาณน้อย จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกน้อยไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้เน้นให้ความสำคัญ และทำการศึกษาเฉพาะสารเติมแต่งที่มีการใช้ในปริมาณมาก นั่นคือ พลาสติไซเซอร์ และ ฟิลเลอร์ โดยทำการศึกษาเฉพาะพลาสติไซเซอร์ชนิด DOP และฟิลเลอร์ชนิดแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทราบถึงผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติก ดังนี้

1) ผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ได้ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซีอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยสามารถอธิบาย

ได้จากค่าความถ่วงจำเพาะของพีวีซีเรซิน DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.40 0.986 และ 2.70 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของ DOP มีค่าต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของพีวีซีเรซิน แต่ค่าความถ่วงจำเพาะของแคลเซียมคาร์บอเนต สูงกว่าความถ่วงจำเพาะของพีวีซีเรซิน ดังนั้น DOP จึงส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซีมีค่าลดลง ในขณะที่แคลเซียมคาร์บอเนตจะส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซีมีค่าเพิ่มขึ้น

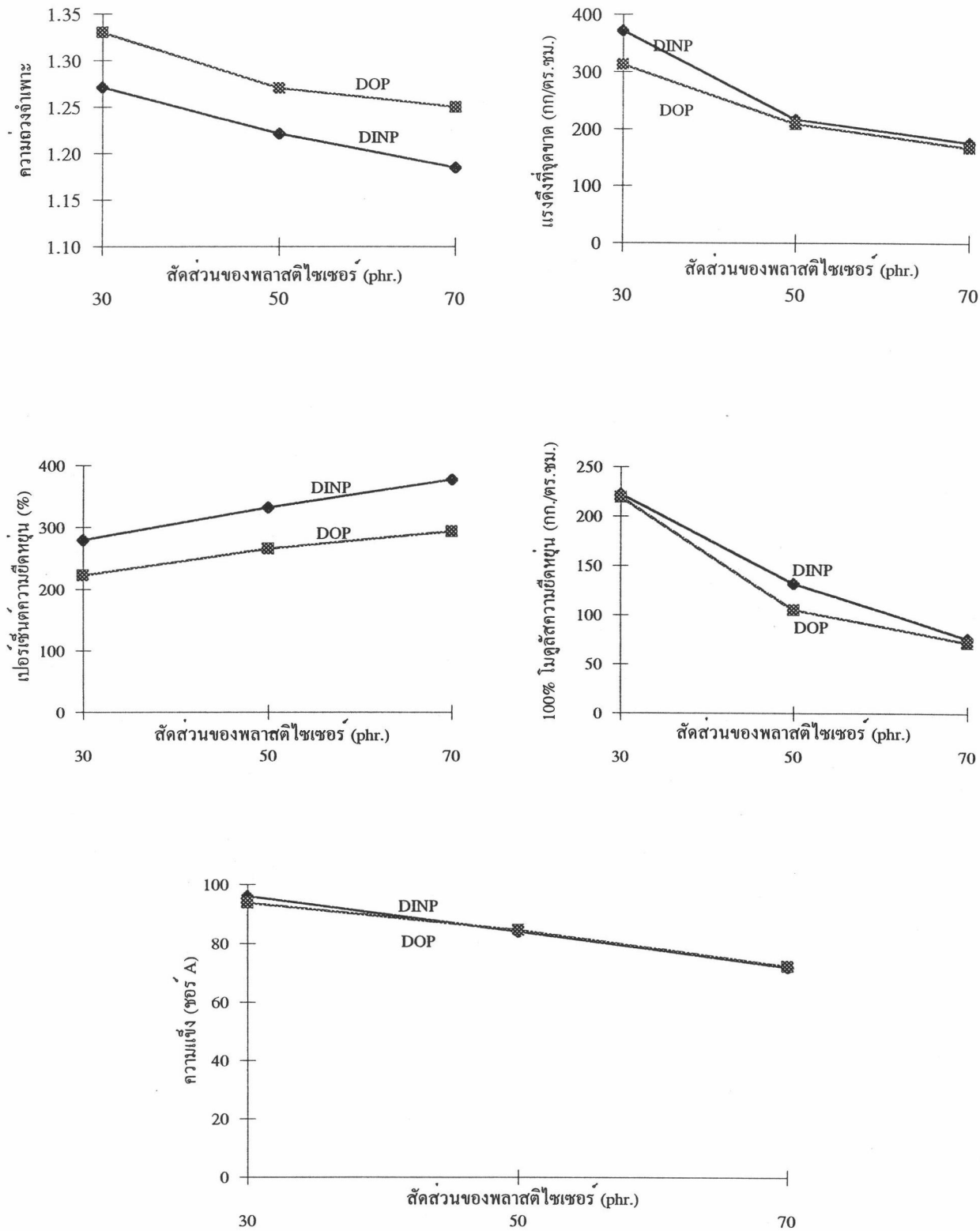
2) ผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติก จากผลการทดลอง พบว่า ทั้ง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ได้ส่งผลให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า DOP ที่เติมลงในพลาสติกพีวีซีนั้น จะทำให้แรงปฏิกิริยา(interaction force) ระหว่างลูกโซ่ของโพลิเมอร์มีค่าลดลง ความแข็งแรงของโครงสร้างภายในพลาสติกจึงน้อยลง ส่งผลให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกพีวีซีมีค่าลดลงด้วย ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น เป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อพลาสติก ที่เติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์ คือ ลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเท่านั้น มิใช่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านใดๆ และในทางกลับกัน ก็ได้ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลหลาย ๆ ด้านของพลาสติกพีวีซีมีค่าต่ำลง รวมไปถึงค่าแรงดึงที่จุดขาดนี้ด้วย

3) ผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต จะส่งต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าเมื่อปริมาณการใช้ DOP มากขึ้น อยู่ระหว่าง 30-70 phr. ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก DOP เป็นสารเติมแต่งที่เติมลงในพลาสติกเพื่อเพิ่มสภาพความเป็นพลาสติก ซึ่งได้แก่ ความเหนียว ความยืดหยุ่น และความง่ายต่อการขึ้นรูปของพลาสติกโดยตรง และเมื่อปริมาณการใช้ DOP มีค่าอยู่ระหว่าง 70-90 phr. ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีจึงเริ่มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพีวีซีเรซินจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับพลาสติไซเซอร์ (plasticizer absorbtivity) และความสามารถในการรวมตัวกันได้ (compatibility) กับพลาสติไซเซอร์ ดังนั้นถ้ามีการใช้ DOP ในปริมาณที่มากกว่าขีดจำกัดนี้ ปริมาณของ DOP ที่เติมลงไปจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของพลาสติกน้อยลง ซึ่งใกล้เคียงกับผลงานวิจัยที่นำเสนอโดย Krauskopf (1995) ที่ได้สรุปว่า เมื่อปริมาณของพลาสติไซเซอร์มีค่ามากกว่า 90 phr. คุณสมบัติเชิงกลด้านต่าง ๆ จะได้รับผลเนื่องจากพลาสติไซเซอร์น้อยลง และสำหรับแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น สรุปได้ว่า เมื่อปริมาณการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพีวีซีมีค่าลดลง

4) ผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อค่า100%โมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ส่งผลต่อค่า 100%โมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าเมื่อปริมาณการใช้ DOP มีค่ามากขึ้น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากว่าการเติม DOP ลงในพลาสติก จะส่งผลให้ความแข็งแรงของพลาสติกในการรับแรงดึงมีค่าลดลง ในขณะที่ความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น นั่นก็คือ เป็นการทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง และสำหรับแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นพบว่า เมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตได้ส่งผลให้แรงดึงที่จุดขาดมีค่าลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

5) ผลกระทบของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อค่าความแข็งของพลาสติก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ส่งต่อค่าความแข็งของพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าเมื่อปริมาณการใช้ DOP มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็ง ของพลาสติกพีวีซีมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก DOP ได้ส่งผลให้พลาสติกพีวีซีมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าความแข็งที่วัดได้จึงมีค่าลดลง ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นพบว่าเมื่อปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่ามากขึ้น ค่าความแข็งของพลาสติกพีวีซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่วัดได้จากงานวิจัยนี้ กับค่าคุณสมบัติโดยทั่วไปสำหรับพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ใช้ DINP เป็นพลาสติไซเซอร์ และไม่มีการใช้ฟิลเลอร์ ซึ่งนำเสนอโดย Krauskopf (1995) จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากกราฟจะเห็นได้ว่า แนวโน้มของคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน และเมื่อพิจารณาที่ค่าคุณสมบัติที่วัดได้จากพลาสติกทั้ง 2 ชนิด จะพบว่า ค่าคุณสมบัติบางอย่าง โดยเฉพาะค่า 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น และค่าความแข็ง จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งแตกต่างกันตามส่วนผสมที่แตกต่างกัน ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นนั้นพบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่นำเสนอไว้ค่อนข้างมาก ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กับ พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการนำเสนอ เป็นพลาสติไซเซอร์ต่างชนิดกัน จึงมีความสามารถในการเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer efficiency) ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้วัด สภาพเงื่อนไขในการเก็บรักษา และระยะเวลาในการเก็บรักษาก่อนทำการวัด มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ของพลาสติกพีวีซีที่ใช้ DINP และ DOP เป็นพลาสติไซเซอร์ ไม่มีการใช้ฟิลเลอร์

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล กับ สัดส่วนของสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซี (DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ซึ่งได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น 100% โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็ง ของพลาสติกพีวีซีแล้ว ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของสารเติมแต่งที่ใช้ คือ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเพื่อหารูปแบบที่แน่นอนของความสัมพันธ์ดังกล่าวในเชิงปริมาณ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล (regression analysis) ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ กับ สัดส่วนของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ โดยสามารถประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นรูปแบบใดก็ได้ ซึ่งสำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 เช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Brofman, Caillault และ Krauskopf ในปี 1989

เนื่องจากความยาวของสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบโพลีโนเมียลดีกรี2 ทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้ ดังนั้นจึงลดจำนวนตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการลง โดยการตัดตัวแปรที่ไม่มีความจำเป็นต่อการทำนายค่าคุณสมบัติออก สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วิธี stepwise (the stepwise procedure) เป็นวิธีการในการเลือกตัวแปรนำเข้า และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ชื่อ SAS ช่วยในการวิเคราะห์ โดยจะพิจารณาตัวแปรนำเข้าตัวแรกจากค่า r (หรือ r^2) ของตัวแปรที่มีค่าสูงสุดก่อน แล้วจึงพิจารณาเลือกตัวแปรนำเข้าตัวต่อไป จากค่า F (F Value) ที่สูงที่สุด และจะตัดตัวแปรที่พบว่าไม่มีนัยสำคัญออกจากสมการ จนกระทั่งเหลือเฉพาะตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.15

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (R^2) ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลในงานวิจัยนี้ กับผลงานวิจัยที่ได้เคยมีการทำมาในต่างประเทศ ดังเช่นผลงานวิจัยของ Bolh ในปีคศ. 1987 พบว่า ในงานวิจัยนี้ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณที่ต่ำกว่าในงานวิจัยจากต่างประเทศเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ลักษณะของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ในงานวิจัยนี้ ใช้สารเคมีเกรดที่นำมาใช้กันในทางการค้า ไม่ได้เป็นเกรดที่ใช้กันในระดับของห้องปฏิบัติการ อีกทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานก็มีความแตกต่างกันด้วย

5.1.3 การวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต

การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อให้ได้พลาสติกพีวีซีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็ง ที่ต้องการภายใต้ต้นทุนที่เหมาะสมนั้น มีจุดสำคัญในการวิเคราะห์ดังนี้

1) การกำหนดชุดสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไข ที่นำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม สำหรับสมการเป้าหมายนั้น คือสมการต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจากบทความของ Krauskopf (1995) ได้เสนอให้คิดต้นทุนในรูปแบบของ ต้นทุนวัตถุดิบ/ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ 1 หน่วย โดยให้เหตุผลว่า ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบโดยใช้ ต้นทุนของวัตถุดิบ/ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เป็นเกณฑ์ แต่สำหรับงานในวิจัยนี้ ได้พิจารณาคิดต้นทุนวัตถุดิบในรูปแบบของ ต้นทุนวัตถุดิบ/น้ำหนักของสารประกอบพลาสติกที่ได้ 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตสารประกอบพีวีซี (PVC compound) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ คือ เม็ดพลาสติกพีวีซีที่มีการผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆแล้ว ในอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดราคาในการจำหน่ายเป็น ราคา/น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้ ในชุดสมการเงื่อนไขที่นำมาวิเคราะห์หาจุดการผสมที่เหมาะสมนี้ ยังได้นำสมการของค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาตรของผลิตภัณฑ์ มาเป็นเงื่อนไขหนึ่งในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมแล้วด้วย และสำหรับในส่วนของราคาต่อกิโลกรัมของวัตถุดิบที่นำมาคิดต้นทุนนั้น กำหนดให้ใช้ที่ระดับราคาปัจจุบัน ถ้าหากราคานี้มีการเปลี่ยนแปลง อาจส่งผลให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน

สำหรับชุดสมการเงื่อนไขนั้น การกำหนดค่าของขีดจำกัดบน และขีดจำกัดล่างของชุดสมการ เพื่อให้คลอบคลุม และสามารถนำไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่นทั่วๆไปได้ โดยยกตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่มีข้อจำกัดดังกล่าว ได้แก่ เสื้อฝน ตุ๊กตา ส้นรองเท้า กระเบื้องยางปูพื้น ลูกฟุตบอล เป็นต้น

2) วิธีการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ GINO ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งถึงแม้ว่าผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมดังกล่าว อาจไม่ใช่ผลที่ดี

ที่สุด กล่าวคือ อาจเป็นเพียงจุดที่ให้ค่าที่เป็น local optimal ไม่ใช่ global optimal ก็ตาม แต่ GINO ก็ยังเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับ และใช้กันทั่วไป ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมของชุดสมการที่มีรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง

5.2 สัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ

5.2.1 ผลของ DOP และซีรีคลอที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

ทั้ง DOP และซีรีคลอ ต่างก็เป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ซึ่งได้แก่ ความเหนียว และความยืดหยุ่นให้แก่พลาสติก แต่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มที่แตกต่างกัน กล่าวคือ DOP ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ พาทาเลท (phthalate) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์กลุ่มที่มีการนำมาใช้ประโยชน์แพร่หลายที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี รวมถึงราคาก็ไม่แพงนัก ส่วนซีรีคลอนั้น ได้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของพลาสติไซเซอร์เอ็กเทนเดอร์ (plasticizer extender) ซึ่งเป็นกลุ่มของพลาสติไซเซอร์ที่ถูกนำมาลดปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ในกลุ่มอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิดที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกพีวีซี โดยได้ออกแบบการทดลองด้วยวิธีการซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ สมศักดิ์ แซ่จึง และ สมบูรณ์ โลเกศกระวี (สมศักดิ์ และ สมบูรณ์, 1993) แต่กำหนดให้ในแต่ละรุ่นของการทดลอง มีการแปรค่าปริมาณของ DOP และซีรีคลอไป เท่ากับ 5 phr. ซึ่งผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่า พลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกพีวีซีแตกต่างกัน ดังนี้

1) ผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซีมีค่าเปลี่ยนไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะของ DOP กับ ซีรีคลอ โดยได้กล่าวมาแล้วว่า DOP ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.986 $\pm$ 0.005 ในขณะที่ซีรีคลอมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.25 $\pm$ 0.02 จึงส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติกพีวีซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2) ผลต่อค่าการทนต่อความร้อนของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าการทนต่อความร้อนของพลาสติกพีวีซีมีค่าเปลี่ยนไปในลักษณะที่ลดลง ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก ซีรีคลอเป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติด้อยในเรื่องของการทนต่อความร้อน ดังนั้น เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี จึงทำให้ค่าการทนความร้อนของพลาสติกพีวีซีมีค่าต่ำลงด้วยนั่นเอง

3) ผลต่อค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกพีวีซีมีค่าเปลี่ยนไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ จึงส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกพีวีซีในลักษณะที่แตกต่างกัน และมีค่าไม่เท่ากัน แต่ผลโดยรวมแล้วจะเป็นการทำให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกพีวีซีมีค่าเพิ่มขึ้น

4) ผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีมีค่าเปลี่ยนไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งเมื่อปริมาณการใช้ DOP มีค่าอยู่ที่ประมาณ 25 phr. ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น จึงมีแนวโน้มที่จะลดลง ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ประกอบกับความสามารถในการนำซีรีคลอมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณการใช้ DOP นั้น ได้ถูกจำกัดด้วยค่าความสามารถในการเข้ากันได้(compatibility) ของซีรีคลอกับพีวีซีเรซิน และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ปริมาณสูงสุดของซีรีคลอที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทน DOP ได้ โดยที่ยังไม่เกิดการแยกตัวออกจากพีวีซี คือ ที่ปริมาณการใช้ซีรีคลอมีค่าประมาณ 25 phr. หรือ คิดเป็น 34.7% ของปริมาณ DOP (72.07 phr.) นั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kraushopf (1995) ที่ได้สรุปไว้ว่า สามารถนำซีรีคลอมาใช้ทดแทนปริมาณการใช้ DOP ได้ในสัดส่วนประมาณ 35% ของปริมาณซีรีคลอที่ต้องใช้

5) ผลต่อค่า 100% โมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซี มีค่าเปลี่ยนไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้แทน DOP ได้ส่งผลให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดของพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เป็นการเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดึงที่จุดขาด ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อของค่าแรงดึงที่จุดขาดและเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงเป็นการทำให้ค่า 100% โมดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกพีวีซีมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั่นเอง

6) ผลต่อค่าความแข็งของพลาสติกพีวีซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณการใช้ DOP ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน จะส่งผลให้ค่าความแข็งของพลาสติกพีวีซีมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

5.2.2 ผลการวิเคราะห์หาจุดการทดแทนที่เหมาะสม

เมื่อมีการนำพลาสติไซเซอร์ชนิดซีรีคลอ มาใช้ทดแทนปริมาณการใช้ DOP เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตลงนั้น จากผลการวิจัยพบว่า จุดที่เหมาะสมของการนำซีรีคลอมาใช้แทน DOP คือ จุดที่ปริมาณการใช้ซีรีคลอมีค่าเท่ากับ 35 phr. ซึ่งจะต้องใช้ DOP เท่ากับ 37.07 phr. จุดการผสมดังกล่าว จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น และค่าความแข็งที่ต้องการ นั่นคือ อยู่ภายในขอบเขตของค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ และทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่อหน่วยลดลงจากเดิม 1.00 บาท/กิโลกรัม

ในการวิเคราะห์หาจุดการทดแทนที่เหมาะสมนี้ ไม่ได้มีการนำค่าการทนต่อความร้อนของพลาสติก ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อมีการนำซีรีคลอมาใช้แทน DOP ดังแสดงในรูปที่ 4.18 มาพิจารณาประกอบด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ในงานวิจัย นี้ไม่ได้มุ่งที่จะทำการศึกษาให้ครอบคลุมไปถึงในเรื่องของการทนต่อความร้อนของพลาสติก ดังนั้นถ้าหากต้องการนำเอาค่าการทนต่อความร้อนของพลาสติกมาพิจารณาประกอบด้วย ให้พิจารณาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของซีรีคลอ กับ ค่าการทนความร้อนของพลาสติก ในรูปที่ 4.18 และ จะสามารถพิจารณาหาต้นทุนที่ลดลงได้ จากตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต ตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.23

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพลาสติกพีวีซี

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยการประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง และโพลีโนเมียลดีกรี 2 ได้ผลสรุปของสมการดังแสดงในตารางที่ 4.31 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังกล่าวนี้ ไม่ได้เป็นการแสดงถึงว่า คุณสมบัติทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด รูปแบบหนึ่ง หรือ ไม่มีความสัมพันธ์กันเลยแต่อย่างใด เพราะการที่จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างคุณสมบัติคู่ใดๆนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาไปถึงโครงสร้างในระดับจุลภาคของพลาสติก สำหรับในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จึงเป็นแต่เพียงการบ่งบอกถึงลักษณะของแนวโน้มที่อาจจะเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์กันระหว่างคุณสมบัติคู่หนึ่งคู่ใดเท่านั้น