

การเตรียมแผ่นหน้ากากเอกซเรย์จากเทอร์โมพลาสติก เพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

จินดารัตน์ พิมพ์สมาน¹ และ ดลใจ เรืองฤทธิ์²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษหาโพลิเมอร์ที่เหมาะสม เพื่อเตรียมหน้ากากเทอร์โมพลาสติก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ด้านรังสีรักษา จากการวิเคราะห์หน้ากากเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบันโดยใช้เทคนิคฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี (DSC) จากผลการทดลองนี้พบว่าโพลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมหน้ากากเทอร์โมพลาสติกคือ โพลีคาโพรแลกโตน ซึ่งค่าความต้านแรงดึง ค่าความแข็ง และค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของหน้ากากเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบันวัดได้ 17.35 MPa, 51.40 D Scale และ 9×10^{-3} จูลส์/ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการเตรียมหน้ากากเทอร์โมพลาสติกด้วย โพลิเมอร์ 3 ชนิด คือ โพลีคาโพรแลกโตน (PCL) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และ โพลีคาร์บอเนต (PC) โดยสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์เตรียมด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ โดยใช้ไดทูเอทิลเฮกซิลฟทาเลท (DEHP) เป็นพลาสติกไซเซอร์ และได้มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ DEHP 8-25 phr พบว่าสัดส่วนของ DEHP ที่เหมาะสมคือ 18-25 phr ส่วนสารประกอบ โพลีคาร์บอเนตเตรียมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ โดยใช้ไตรออกทิลไตรเมลลิตเตต (TOTM) เป็นพลาสติกไซเซอร์ และได้มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ TOTM 20-80 phr พบว่าสัดส่วนของ TOTM ที่เหมาะสมคือ 75-80 phr และสารประกอบโพลีคาโพรแลกโตนที่เหมาะสมเตรียมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ โดยใช้โพลีเอททิลีน 25 phr โพลีคาโพรแลกโตน 73 phr ไตรอัลลิลไซยานูเรต 2 phr เป็นตัวทำให้เกิดการเชื่อมขวางและเออร์กานอกซ์ 1010 ปริมาณเล็กน้อยเป็นตัวแอนติออกซิแดนท์

คำสำคัญ : รังสีรักษา / มะเร็งศีรษะและลำคอ / หน้ากากเทอร์โมพลาสติก / โพลีคาโพรแลกโตน

¹ อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

² นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

Preparation of Thermoplastic X-ray Masks for Medical Applications

Jindarat Pimsamarn ¹, and Donjai Ruangrit ²

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

The objective of this thesis was to study the appropriate polymer for preparation of thermoplastic masks for medical applications. The commercial thermoplastic mask was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and differential scanning calorimetry (DSC). The results indicated that the type of polymer being used is polycaprolactone. The tensile strength, hardness and impact strength of the commercial thermoplastic mask were 17.35 MPa, 51.40 D Scale and 9 10-3 J/(mm)², respectively. The polymers used for preparing the masks in this study were polycaprolactone (PCL), poly(vinyl chloride) (PVC) and polycarbonate (PC). The PVC compound was prepared by mixing on a two roll mill using di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) as a plasticizer. The concentration of DEHP was varied from 8 to 25 phr. From the results, it was found that the optimum PVC compound is that obtained by using 18-25 phr of DEHP. The PC compound was prepared in twin-screw extruder using trioctyl trimellitate (TOTM) as a plasticizer. The concentration of TOTM was varied from 20 to 80 phr. From the results, it was found that the optimum PC compound is that obtained by using 75-80 phr of TOTM. Finally, the PCL compound was prepared in twin-screw extruder using 25 phr of high density polyethylene (HDPE), 73 phr of PCL, 2 phr of triallyl cyanurate as a crosslink enhance and 2 phr of Irganox 1010 antioxidant gave the optimum PCL compound.

Keywords : Radiotherapy / Head and Neck Cancer / Thermoplastic Masks / Polycaprolactone

¹ Lecturer, Department of Chemical Engineering.

² Graduate Student, Department of Chemical Engineering.

1. บทนำ

พลาสติกได้มีการพัฒนาเข้าสู่วงการแพทย์ โดยได้อาศัยพลาสติกใช้ทำเครื่องมือการแพทย์ต่างๆ เช่น หน้ากากเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Masks) ซึ่งหน้ากากเทอร์โมพลาสติกนี้เป็นอุปกรณ์เสริมที่ช่วยสำหรับจับยึดตรึงผู้ป่วยในการฉายรังสีในกรณีของผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอ (Head and Neck Cancer) [1-3] เพื่อความแม่นยำในการฉายรังสี มีความสะดวกรวดเร็ว ลดความเสี่ยงที่จะเป็นอันตรายต่อผิวหนังบริเวณใกล้เคียง และไม่มีเส้นที่หน้าของผู้ป่วย เนื่องจากต้องกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของการฉายรังสีด้วยหมึก เมื่อนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-70 °C แผ่นเทอร์โมพลาสติกจะอ่อนตัวเมื่อนำมาทาบกับผิวหนังผู้ป่วย จัดรูปร่างไปตามใบหน้า รอจนหน้ากากเย็นลงจะแข็งตัวตามรูปร่างที่จัดไว้ นำมาสวมทุกครั้งที่ผู้ป่วยทำการฉายรังสี แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการผลิตหน้ากากเทอร์โมพลาสติกนี้ ต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาหาโพลีเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อเตรียมหน้ากากเทอร์โมพลาสติก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ด้านรังสีรักษา

2. วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์

แผ่นหน้ากากเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบัน, โพลีไวนิลคลอไรด์เรซิน น้ำหนักโมเลกุล 37,000 จากบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน), โพลีคาร์บอเนต เกรด S-3001R จากบริษัท ไทยโพลีคาร์บอเนต จำกัด (มหาชน), โพลีคาโพรแลกโตน (Fluka), โพลีเอททิลีน (HDPE), Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) (Fluka), Polyvinyl alcohol, Calcium stearate (Riedel-de Haën), Zinc stearate, Trioctyl trimellitate (TOTM) (Aldrich), Triallyl cyanurate (Fluka), Irganox 1010 (Aldrich) และ Acrylic processing aid, Glycerol monostearate, Epoxidized soybean oil, Tri-nonylphenyl phosphate และ Methylmethacrylate-butadiene-styrene จากบริษัท ศรีเทพไทยคอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของแผ่นเทอร์โมพลาสติก

นำแผ่นเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบัน ไปวิเคราะห์โครงสร้างหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) รุ่น 1760X ยี่ห้อ Perkin Elmer ตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยทำการวัดอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Tg) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (Tm) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น 200 ยี่ห้อ Netzsch และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ทดสอบความต้านแรงดึง ตามมาตรฐาน JIS K 7127 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น Autograph AG-I บริษัท Shimadzu จำกัด โดยใช้ความเร็วในการดึงขึ้นทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-97 ด้วยเครื่อง Durometer Hardness รุ่น 475 บริษัท PTC instruments และทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM 256 ด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก บริษัท Yasuda

2.2.2 การเตรียมสารประกอบ

โพลีไวนิล คลอไรด์

สารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ ถูกผสมเบื้องต้นในเครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) จากนั้นผสมโดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) โดยใช้อุณหภูมิในการผสม 160 °C โดยปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมแสดงดังตารางที่ 1 โดยได้มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ DEHP เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมให้ได้สมบัติความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติก แล้วจึงนำไปขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) ต่อจากนั้นนำขึ้นทดสอบไปทดสอบแรงดึง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกของทางโรงพยาบาล

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบวัตถุดิบของสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ [4]

วัตถุดิบ	ปริมาณส่วนผสม (phr)
PVC resin (MW=37,000)	100
Methylmethacrylate-butadiene-styrene	12
Acrylic processing aid	1.8
Glycerol monostearate	1.25
Epoxidized soybean oil	5
Tri-nonylphenyl phosphate	1.5
Polyvinyl alcohol	0.0675
Calcium stearate	0.27
Zinc stearate	0.31
Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP)	8-25

2.2.3 การเตรียมสารประกอบ

โพลีคาร์บอเนต

สารประกอบโพลีคาร์บอเนตเตรียมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนคู่ (Twin-screw extruder) ใช้อุณหภูมิโพรไฟล์ในการผสม 240/250/260/250 °C โดยใช้ปริมาณของโพลีคาร์บอเนต 100 phr และได้มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ TOTM 20-80 phr เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมให้ได้สมบัติความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติก แล้วจึงนำไปขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) ต่อจากนั้นนำขึ้นทดสอบไปทดสอบแรงดึง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกของทางโรงพยาบาล

2.2.4 การเตรียมสารประกอบ

โพลีคาโพรแลกโตน

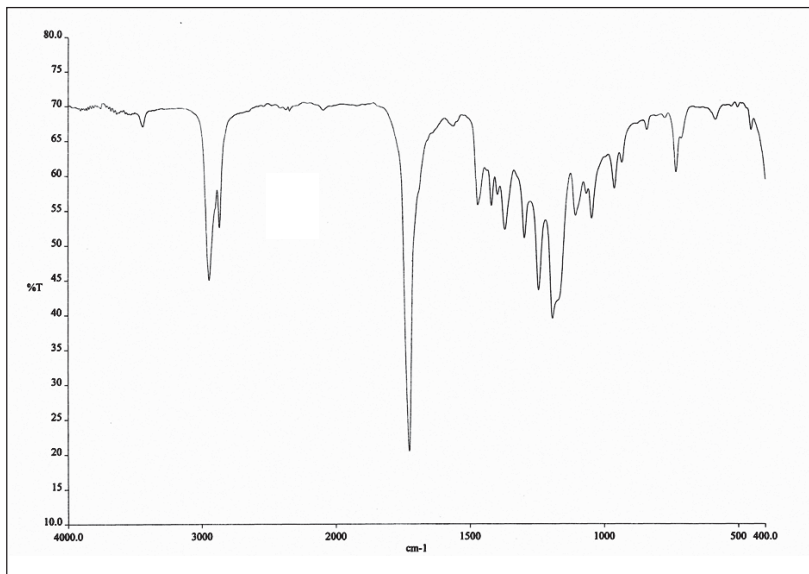
สารประกอบโพลีคาโพรแลกโตนเตรียมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนคู่ (Twin-screw extruder) ใช้อุณหภูมิโพรไฟล์ในการผสม 140/150/150/160 °C โดยได้ปรับเปลี่ยนปริมาณโพลีเอททิลีน (HDPE)

0-30 phr โพลีคาโพรแลกโตน 68-98 phr Triallyl cyanurate 2 phr เป็นตัวช่วยทำให้เกิดการเชื่อมขวาง และ Irganox 1010 ปริมาณเล็กน้อยเป็นตัวแอนต็อกซิแดนท์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมให้ได้สมบัติความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติก จากนั้นนำไปขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine) โดยใช้อุณหภูมิโพรไฟล์ในการฉีด 155/165/175 °C ความดันในการฉีด 40 bar ส่วนเม็ดพลาสติกโพลีคาโพรแลกโตน (Pure polycaprolactone) ใช้อุณหภูมิโพรไฟล์ในการผสม 140/150/160 °C ความดันในการฉีด 90 bar จากนั้นนำไปทำการเชื่อมขวางด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณความเข้มของรังสี 150 kGy ต่อจากนั้นนำขึ้นทดสอบไปทดสอบแรงดึง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกของทางโรงพยาบาล

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงผลของอินฟราเรดสเปกตรัมของหน้ากากที่ใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งจากการบ่งชี้ชนิดของพันธะต่างๆ ในสเปกตรัม (ตารางที่ 2) สามารถระบุได้ว่าเป็นสเปกตรัมของโพลีคาโพรแลกโตน นอกจากนี้มีอุณหภูมิซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (-57 ถึง -60 °C) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (58-62 °C) ของโพลีคาโพรแลกโตน นอกจากนี้จากผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของแผ่นเทอร์โมพลาสติกด้วยเครื่อง DSC พบว่า แผ่นเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบันมีอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วเป็น -53.9 °C และอุณหภูมิการหลอมเหลวเป็น 69.9 °C ดังรูปที่

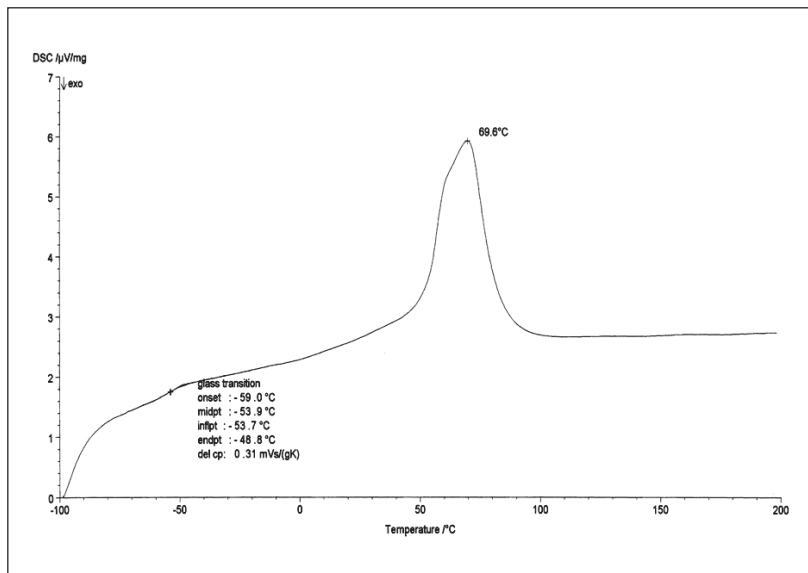
2 ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมเหลวของโพลีคาโพรแลกโตน จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัท Orfit และบริษัท Huestis Medical [5] กล่าวว่า การนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกไปใช้ทำหน้ากานั้น ต้องนำแผ่น เทอร์โมพลาสติกไปแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 °C ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวใกล้เคียงกับอุณหภูมิหลอมเหลวที่ได้จากเครื่อง DSC ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า โพลีเมอร์ที่นำมาทำแผ่นหน้ากานั้นน่าจะเป็นโพลีคาโพรแลกโตน นอกจากนี้จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า แผ่นหน้ากากเทอร์โมพลาสติกมีค่าความต้านแรงดึง 17.35 MPa ค่าความแข็ง 51.40 D Scale และค่าความทนทานต่อแรงกระแทก 9 10-3 จูลส์/ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 1 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 ชนิดของการสั่นที่เลขคลื่นต่างๆ จากอินฟราเรดสเปกตรัม

เลขคลื่น (cm^{-1})	ชนิดของการสั่น
2944	Asymmetric CH_2 stretching
2866	Symmetric CH_2 stretching
1726	Carbonyl stretching ($\text{C}=\text{O}$)
1296	C-O and C-C stretching in the crystalline phase
1244	Asymmetric C-O
1193	O-C-O stretching
1170	Symmetric C-O-C stretching



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนกับอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมพลาสติก
ที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบัน จากเครื่อง DSC

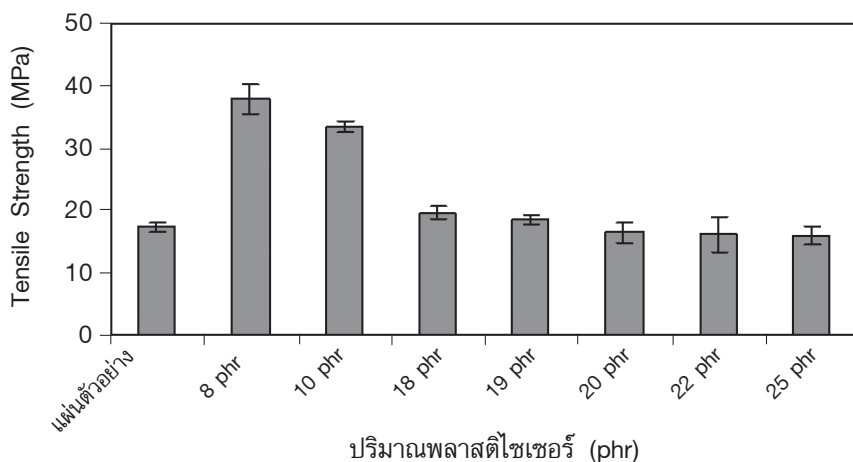
3.1 ผลการทดสอบสารประกอบ โพลีไวนิลคลอไรด์ที่เตรียมได้

จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลาสติกไซเซอ์กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ พบว่าเมื่อมีการเติม พลาสติกไซเซอ์ลงในสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ลดลง เนื่องจากพลาสติกไซเซอ์จะเข้าไปเพิ่มช่องว่างระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ จึงทำให้โพลีเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ค่าความต้านแรงดึงจึงลดลงตามปริมาณของพลาสติกไซเซอ์ที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณพลาสติกไซเซอ์ที่ 18-25 phr พบว่าค่าความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกตัวอย่าง ดังนั้นปริมาณพลาสติกไซเซอ์ช่วงนี้จึงเหมาะสมในการเตรียมหน้ากากได้ ส่วนปริมาณพลาสติกไซเซอ์ที่ 8-10 phr พบว่ามีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าแผ่นตัวอย่าง ทำให้เวลาดึงยึดแผ่นหน้ากากก่อนนำมาทาบบนใบหน้าผู้ป่วยจะดึงยาก จึงไม่เหมาะในการเตรียมแผ่นหน้ากาก

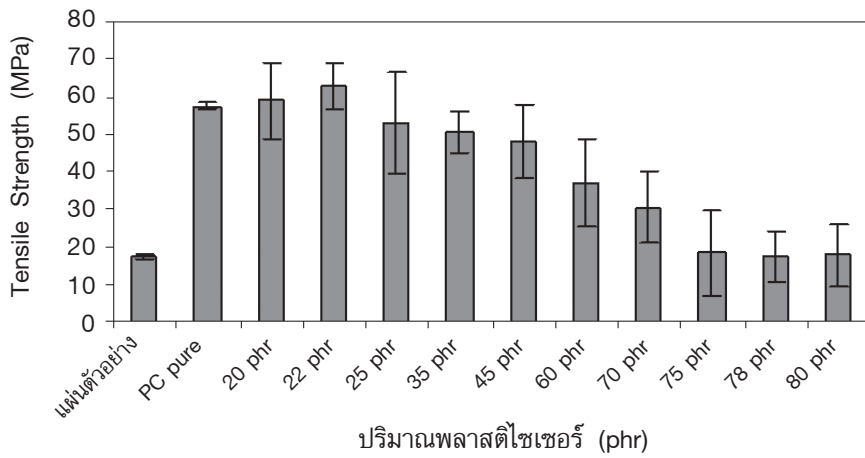
3.2 ผลการทดสอบสารประกอบโพลีคาร์บอนเนตที่เตรียมได้

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

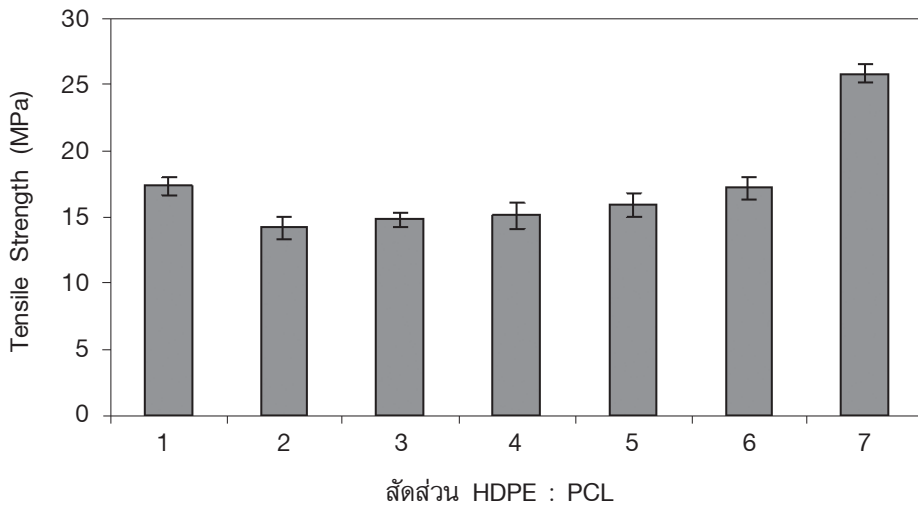
พลาสติกไซเซอ์กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีคาร์บอนเนต พบว่าเมื่อมีการเติม พลาสติกไซเซอ์ลงในสารประกอบโพลีคาร์บอนเนตในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ที่ปริมาณพลาสติกไซเซอ์ 20-22 phr มีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าโพลีคาร์บอนเนตที่ยังไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอ์ เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ แอนติพลาสติกไซเซชัน (Antiplasticization) [6] โดย พลาสติกไซเซอ์ที่เติมลงไปส่งผลให้โพลีเมอร์สามารถเคลื่อนที่และเกิดการจับตัวเป็นระเบียบได้ดีขึ้น ปริมาณผลึกจึงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้โพลีเมอร์แข็งและเปราะขึ้น ค่าความต้านแรงดึงจึงเพิ่มขึ้นด้วย และที่ปริมาณพลาสติกไซเซอ์ 25-80 phr มีค่าความต้านแรงดึงลดลง เนื่องจากปริมาณพลาสติกไซเซอ์ที่เพิ่มเข้าไปในปริมาณสูงมากพอจะขัดขวางการเกิดผลึกของโพลีเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของโพลีเมอร์ลดลงและเกิดกระบวนการพลาสติกไซเซชันขึ้น โดยปริมาณพลาสติกไซเซอ์ที่ 75-80 phr พบว่าค่าความต้านแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกตัวอย่าง ดังนั้นปริมาณพลาสติกไซเซอ์ช่วงนี้จึงเหมาะสมในการเตรียมหน้ากากได้ ส่วนปริมาณพลาสติกไซเซอ์ที่ 20-70 phr พบว่ามีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าแผ่นตัวอย่าง ทำให้เวลาดึงยึดแผ่นหน้ากากก่อนนำมาทาบบนใบหน้าผู้ป่วยจะดึงยาก จึงไม่เหมาะในการเตรียมแผ่นหน้ากาก



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลาสติกไซเซอ์กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลาสติกโพลีเอสเตอร์กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีคาร์บอนเนต



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ HDPE : PCL กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีโพรพิลีน

3.3 ผลการทดสอบสารประกอบ

โพลีคาโพรแลกโตนที่เตรียมได้

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลาสติไซเซอร์กับค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีคาโพรแลกโตน พบว่าเมื่อมีการเติมสัดส่วนของโพลีเอททิลีน (HDPE) ลงในสารประกอบโพลีคาโพรแลกโตนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงของสารประกอบโพลีคาโพรแลกโตนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโพลีเอททิลีนทำหน้าที่เหมือนกับฟิลเลอร์ ทำให้ความหนาแน่นของสารประกอบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งดึง (Stiffness) สูงขึ้น ค่าความต้านแรงดึงจึงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของโพลีเอททิลีนที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเตรียมสารประกอบด้วยโพลีเอททิลีน 25 phr และโพลีคาโพรแลกโตน 73 phr มีค่าความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นเทอร์โมพลาสติกตัวอย่าง ดังนั้นสัดส่วนของสารประกอบนี้จึงเหมาะสมในการเตรียมหน้ากาก

4. สรุปผลการทดลอง

1. โพลีเมอร์หลักที่ใช้ในการเตรียมแผ่นเทอร์โมพลาสติกสำหรับทำหน้ากากเอกซเรย์ที่ใช้ในทางการค้าในปัจจุบันคือ โพลีคาโพรแลกโตน
2. ปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์เพื่อเตรียมหน้ากากคือ 18-25 phr
3. ปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบโพลีคาร์บอนเนตเพื่อเตรียมหน้ากากคือ 75-80 phr
4. สารประกอบโพลีคาโพรแลกโตนที่เหมาะสมเพื่อเตรียมหน้ากาก เตรียมด้วยโพลีเอททิลีน 25 phr และโพลีคาโพรแลกโตน 73 phr

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.น.พ.วิทย์ วราวิทย์ และ ผศ.พ.ญ.ชมพร สีตะธณี ที่ให้ความอนุเคราะห์แผ่นหน้ากากเทอร์โมพลาสติกที่ทางโรงพยาบาลใช้ในปัจจุบัน ขอขอบคุณ บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน), บริษัท ไทยโพลีคาร์บอนเนต จำกัด (มหาชน) และบริษัท ศรีเทพ

ไทยคอร์บอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่อนุเคราะห์เครื่องฉายรังสีแกมมาในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Caroline W., Katrien K., Guy V. and Walter Van Der B., 1995, "Comparison of plastic and Orfit masks for patient head fixation during radiotherapy : precision and costs", *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics.*, Vol. 33, No. 2, pp 499-507.
2. Leah L., Sharon M., Michael B. and Leigh Smith., 2003, "Is one head and neck immobilization system as good as another? One center's experience", *Journal of American of Medical Dosimetrists.*, Vol. 28, No. 1, pp. 39-43.
3. Russell L., James E., and James A., 1982, "The use of thermal plastics for immobilization of patients during radiotherapy", *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics.*, Vol. 8, pp 1461-1462.
4. Turbo-cast RT [Online], Available : <http://www.huestismedical.com>.
5. Arluck M., 1977, "Orthopedic Device", US. Patent, No. 4,006,741.
6. อรุษา สรวารี, 2546, *สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1*, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 111-112.