ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิไวนิลคลอไรด์ผสม สมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน สมบัติเชิงเคมีและการใช้งานพอลิไวนิลคลอไรด์

ณฐกมลวรรณ ศรีจั่นเพชร*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี
*Corresponding author email: nathakamolwan@vru.ac.th

ได้รับบทความ: 31 ตุลาคม 2566
ได้รับบทความแก้ไข: 24 พฤศจิกายน 2566
ยอมรับตีพิมพ์: 15 ธันวาคม 2566

บทคัดย่อ

พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) คือเทอร์โมพลาสติกที่มีความสำคัญ มีราคาถูกและใช้งานได้อย่างปลอดภัย PVC ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ โดยใช้กระบวนการแบบแขวนลอยและกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน เรซิน PVC ที่สังเคราะห์ได้สามารถนำมาปรับปรุงสมบัติโดยใช้สารเติมแต่งต่างๆ เช่น พลาสติไซเซอร์ สารตัวเติม สารเพิ่มความทนทานต่อแรงกดอัด เป็นต้น ทำให้ PVC มีสมบัติได้ต่างกัน และยังสามารถนำมาทำเป็นพอลิเมอร์โดยผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นได้ สามารถนำมาทดแทนการใช้ไม้และการใช้โลหะ มีความทนทานและมีน้ำหนักเบา สามารถนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การใช้เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวหรือแบบสกรูคู่ (extrusion) การขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้ง (calendering) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming) เป็นต้น ทำให้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ถุงใส่เลือด ประตู ชิ้นส่วนในรถและเครื่องบิน รองเท้า กระเป๋า ท่อ เป็นต้น ในบทความนี้จะกล่าวถึงการสังเคราะห์ PVC สารเติมแต่งที่ใช้กับ PVC การทำ PVC ผสม การขึ้นรูป PVC สมบัติเชิงเคมี สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล โครงสร้างของ PVC และการนำ PVC ไปใช้ประโยชน์

คำสำคัญ: พอลิไวนิลคลอไรด์/ พีวีซี/ พีวีซีผสม/ การใช้งานพีวีซี

Polymerization of Polyvinyl Chloride, Polyvinyl Chloride Blends, Physical, Mechanical, Thermal, Chemical Properties and Applications of Polyvinyl Chloride

Nathakamolwan Srijunpetch*

Chemistry Department, Faculty of Science and Technology,
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal patronage,
Pathum Thani
*Corresponding author email: nathakamolwan@vru.ac.th

Received: 31 October 2023
Revised: 24 November 2023
Accepted: 15 December 2023

Abstract

Polyvinyl chloride (PVC) is an important thermoplastic that has low cost and is safe to use. PVC can be synthesized by free radical polymerization via suspension and emulsion processes. PVC resin can be modified by using various additives such as, plasticizers, fillers, and impact modifiers to achieve different required properties. It can be blended with other polymers. It can be replaced by wood and metal due to its durability and lightweight. Various molding techniques for instance, single screw extrusion or twin screw extrusion, calendering, and thermoforming can be utilized with PVC, thus producing varieties of products such as blood bags, doors, airplane and car parts, shoes, bags, and tubes. PVC synthesis, PVC additives, PVC blends, PVC moldings, structure, and chemical, physical, and mechanical properties of PVC will be discussed in this article. Also, the applications of PVC will be mentioned.

Keywords: Polyvinyl chloride/ PVC/ PVC blends/ Applications of PVC

บทนำ

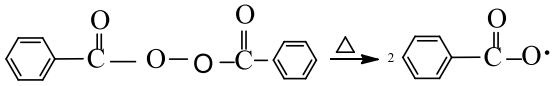
พอลิไวนิลคลอไรด์หรือที่รู้จักกันในชื่อทางการค้าว่า PVC คือพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถนำมาใช้ในงานได้หลากหลาย เช่น บรรจุภัณฑ์ รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ในทางการแพทย์ กีฬา และงานก่อสร้าง PVC สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระโดยวิธีแขวนลอย และวิธีการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน PVC อิมัลชันจะอยู่ในรูป พลาสติโซล (plastisol) หรือเลเท็กซ์ ใช้ในงานเคลือบ งานฟิล์ม เป็นต้น PVC บริสุทธิ์มีสีขาว มีสมบัติเปราะ PVC ผลิตโดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์แบบอนุมูลอิสระ มีระดับการเกิดพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 300-1500 [1] ปริมาณคลอไรด์ใน PVC มีประมาณ 57% โดยน้ำหนัก PVC มีสองชนิดคือชนิดที่เป็น PVC แข็งและชนิดที่เป็น PVC ที่มีสมบัติยืดหยุ่น นิ่ม PVC แข็งใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ท่อ แผ่นทำหลังคา ส่วน PVC นิ่มใช้ทำผลิตภัณฑ์ เช่น รองเท้า สายไฟ เป็นต้น PVC มีความเสถียรเชิงความร้อนต่ำ การขึ้นรูป PVC ต้องมีการใส่สารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อน เพื่อป้องกันการสลายตัวของ PVC มีการใช้สารเติมแต่งเพื่อให้ได้ PVC ที่มีสมบัติตามต้องการเช่น สารตัวเติม สารช่วยในการขึ้นรูป สี และสารหล่อลื่น เป็นต้น เรซิน PVC แบ่งเกรดตามค่า K ที่เกี่ยวข้องกับระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) และน้ำหนักโมเลกุลของ PVC ถ้าค่า K มีค่ามากจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความยาวมากขึ้น มีความพรุน (porosity) มากขึ้น ความหนาแน่นของมวลรวม (bulk density) น้อยลง มีการดูดซับพลาสติไซเซอร์มากขึ้น มีความเป็นผลึกมากขึ้น มีความใสลดลงและ มีค่า T_g (glass transition temperature) มากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ความหนืดจากการหลอมเหลวมากขึ้น ต้องใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงขึ้นและขึ้นรูปได้ยากขึ้น [2] พอลิเมอร์ที่ได้สามารถนำมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องมือหลายชนิด เช่น เครื่องอัดรีดพลาสติก (extruder) ลูกกลิ้ง (calendering) เครื่องเป่าขึ้นรูป (blow moulding) PVC สามารถนำมาผสมกับพอลิเมอร์หรือสารตัวเติมอื่น ๆ เช่น สารตัวเติมนาโน เพื่อปรับปรุงสมบัติ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงแสง เป็นต้น [1] ในบทความนี้จะกล่าวถึงการปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) และการทำให้เกิดพอลิเมอร์ในทางปฏิบัติโดยวิธีแขวนลอย (suspension polymerization) และการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) และกล่าวถึงสารเติมแต่งต่าง ๆ ที่ใส่ใน PVC เรซิน สมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงเคมี ตลอดจนการขึ้นรูปและการนำ PVC ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

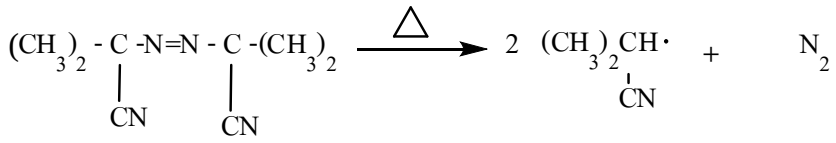
การสังเคราะห์ PVC

1. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์

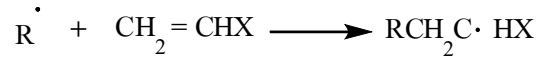
PVC สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ ซึ่งมีวิธีการทั่วๆ ไปดังนี้

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ เป็นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่ที่สำคัญที่สุด โดยทั่วไปเกี่ยวกับ ไวนิลมอนอเมอร์ (CH_2=CHX หรือ CH_2 = CXY) ในขั้นตอนแรกเริ่มปฏิกิริยา ต้องใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา สารริเริ่มปฏิกิริยาจะแตกตัวโดยใช้ความร้อนหรือโดยการฉายรังสี สารริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้กันโดยทั่วไปคือเบนโซอิลเปอร์-ออกไซด์ (benzoyl peroxide) และเอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตล์ (azobisisobutyronitrile) (AIBN) โดยจะมีการแตกตัวดังนี้ [3]

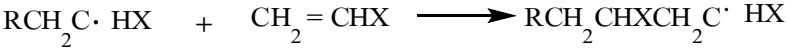




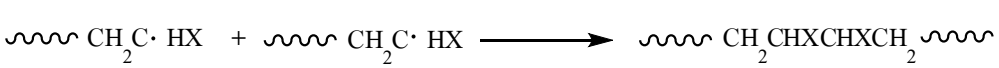
อนุมูลอิสระ (free radical, $R^{\cdot}$) ที่เกิดจากการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับมอนอเมอร์ได้เป็น สปีชีส์อนุมูลอิสระใหม่ดังนี้



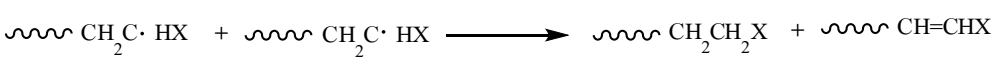
ขั้นแผ่ขยายสายโซ่ (propagation) เกี่ยวข้องกับชุดปฏิกิริยา ซึ่งอนุมูลอิสระที่ปลายสายโซ่ที่กำลังเติบโตทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เพื่อเพิ่มความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ ดังนี้



ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยามี 2 วิธี คือการรวมตัว (combination) และดิสพรอบพอชันเนชัน (disproportionation) ระหว่างการสิ้นสุดปฏิกิริยาโดยการรวมตัว สปีชีส์อนุมูลอิสระสองตัวจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ เกิดเป็นพันธะเดี่ยว และผลิตภัณฑ์ 1 โมเลกุล ดังนี้



ส่วนการสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบดิสพรอบพอชันเนชันจะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สองตัวดังนี้ [3]

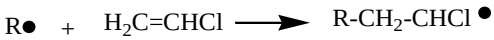


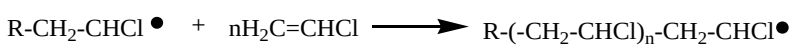
ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของ PVC

- การแตกตัวของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา

- ขั้นแผ่ขยายสายโซ่

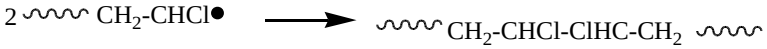
อนุมูลอิสระของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยากับไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์



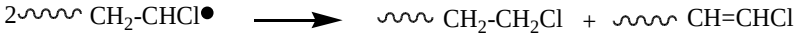


- ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา

ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยาโดยการรวมตัวของอนุมูลอิสระ



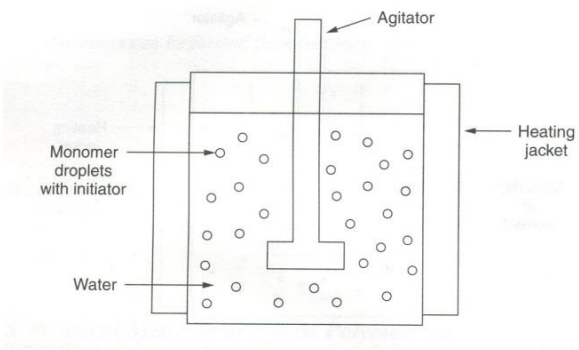
การสิ้นสุดปฏิกิริยาโดยการเกิด disproportionation



2. กระบวนการทำให้เกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ในทางปฏิบัติแบบแขวนลอย

การเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยเกิดเมื่อของผสมของปฏิกิริยาถูกแขวนลอยเป็นเม็ดในตัวกลางเฉื่อย วิธีการนี้สามารถใช้สำหรับเตรียมพอลิเมอร์ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอ-ลิสไตรีน และพอลิ(เมทิล เมตระคลิเลต) การแขวนลอยทำให้ความหนืดลดลง และควบคุมการถ่ายเทความร้อนได้ดี แต่ต้องมีการกวนอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาการแขวนลอย และการล้างและทำพอลิเมอร์ให้แห้งเป็นสิ่งจำเป็น ระบบการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยแสดงในภาพที่ 1 [3]

วิธีการนี้ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์หรือของผสมของมอนอเมอร์ร่วม จะถูกปล่อยเข้าสู่ถังทำปฏิกิริยาที่มีอุปกรณ์กวน และใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาและสารแขวนลอย เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ คือ 50-65 °C เมื่อได้ PVC พอลิเมอร์ สารที่ได้จะถูกทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อน ถ้าใช้ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์อย่างเดียว จะได้เป็น PVC แต่ถ้าใช้ไวนิลแอซิเตทร่วมด้วยจะได้ พอลิเมอร์ร่วมของ PVC [3]

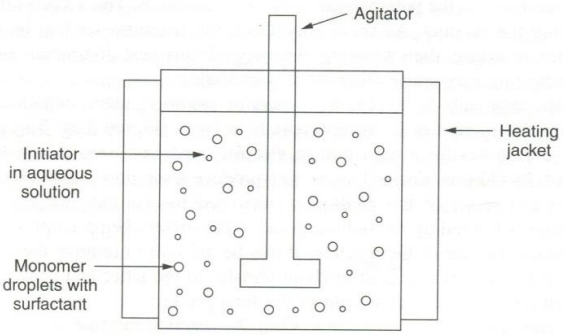


ภาพที่ 1 ภาชนะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย [3]

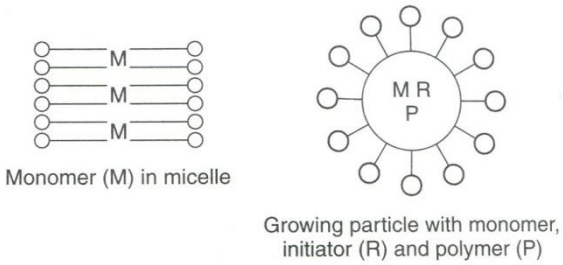
3. การเกิดพอลิเมอร์ในทางปฏิบัติแบบอิมัลชัน

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง และใช้ผลิตพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น อิลาสโตเมอร์และสี ภาชนะทำปฏิกิริยา สำหรับการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน แสดงในภาพที่ 2 วิธีนี้หยดมอนอเมอร์ กระจายอยู่ในน้ำ โดยการใช้สารอิมัลซิ-ไฟเออร์หรือสบู่อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ประกอบด้วยโซเดียมโดเดกซิลซัลเฟต (SDS)($CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$) และโซเดียมพาล์มิเทต ($CH_3(CH_2)_{14}COO^-Na^+$) สบู่จะเกิดเป็นไมเซลล์เล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-100 μm ซึ่งบรรจุมอนอเมอร์จำนวนเล็กน้อย การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน เริ่มต้นโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา ที่ละลายน้ำ เช่น โพแทสเซียม เปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ซึ่งเกิดเป็นอนุมูลอิสระซัลเฟตไอออนในเฟสของน้ำ อนุมูลอิสระเหล่านี้เข้าไปยังในไมเซลล์ และเริ่มต้นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แล้วมอนอเมอร์แพร่จากหยด (ในเฟสที่เป็นน้ำ) เข้าในไมเซลล์ และไมเซลล์เติบโตเป็นอนุภาค (ภาพที่ 3) การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันทำให้ได้พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูง มีความหนืดค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อเสียคือ มีการปนเปื้อนของอิมัลซิไฟเออร์ และจำเป็นที่จะต้องทำพอลิเมอร์ที่ได้ให้แห้ง

สารเริ่มต้นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันของ PVC คือ โซเดียมไบซัลเฟต โพแทสเซียมเพอร์ออกซีไดซัลเฟต เหล็ก และทองแดง อิมัลซิไฟเออร์ส่งผลต่อขนาดอนุภาคเลเท็กซ์ PVC ที่ได้ อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้โดยทั่วไปคือ กรดไขมันเอทอกซิเลต แอลคิลฟีนอลเอทอกซิเลต สบู่ของกรดไขมัน เกลือโซเดียมของแอลคิลเอทอกซีซัลเฟต ไดแอลคิลซัลโฟซัคซิเนต แอลคิลเบนซีนซัลโฟเนต แอลคิลซัลโฟเนต และแอลคิลซัลเฟต [4] มีการใช้สารถ่ายโอนสายโซ่ในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลน้ำหนักโมเลกุลของ PVC ที่ได้ หลังจากนั้นจึงทำให้แห้งและบด พอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากวิธีการนี้ใช้ทำหนังเทียม พลาสติโซล (plastisol) [5]



ภาพที่ 2 ภาชนะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน [3]



ภาพที่ 3 กลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน [3]

สารเติมแต่ง

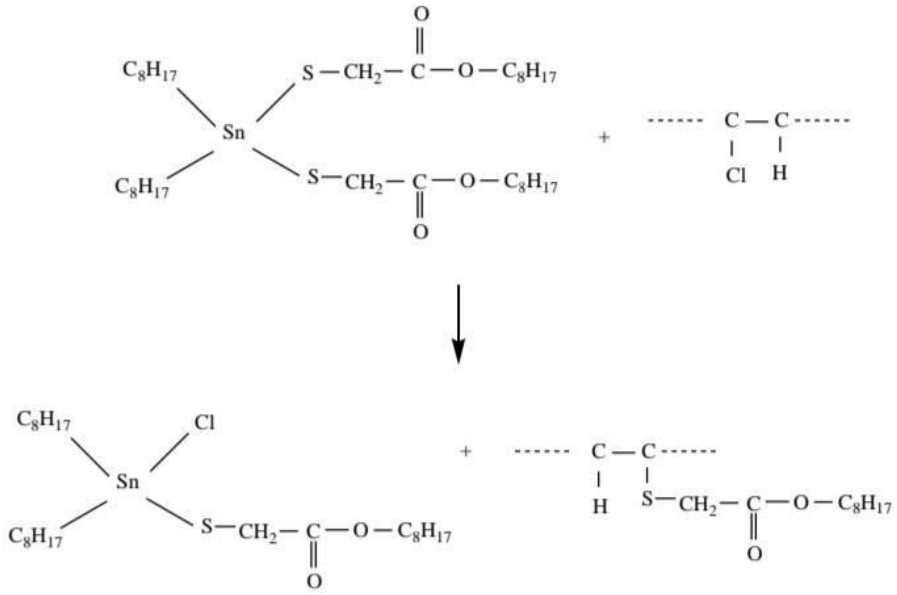
PVC เรซินที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งจะไม่ยืดหยุ่นและเปราะ ซึ่งทำให้สลายตัวโดยใช้ความดันและความร้อน ทำให้แตกหักและเปลี่ยนสีกลายเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล [6,7] การใช้สารเติมแต่งทำให้ PVC สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ถุงเลือด ท่อ PVC ขอบหน้าต่าง สารเติมแต่งที่นำมาใช้กับ PVC มีดังนี้

1. สารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อน

PVCไม่เสถียรเชิงความร้อนจึงมีการใส่สารจำพวกสารประกอบอินทรีย์ของดีบุกและโลหะหนักและสารเพิ่มความเสถียรร่วมอินทรีย์ เป็นสารเพิ่มความเสถียรต่อแสงและความร้อน PVC สลายตัวที่อุณหภูมิสูงและภายใต้แสงยูวี และมีการแตกออกของสายโซ่พอลิเมอร์และปล่อยแก๊สไฮโดรคลอริก (HCl) สารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อน เป็นสารกลุ่มที่มีธาตุโลหะที่ทำปฏิกิริยากับ HCl และป้องกันการสลายตัวของ PVC เช่น เกลือของโลหะ, สบู่ เช่น พวกตะกั่ว ดีบุก [1] สารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อนอินทรีย์ของดีบุก มีหมู่คาร์บอกซิ

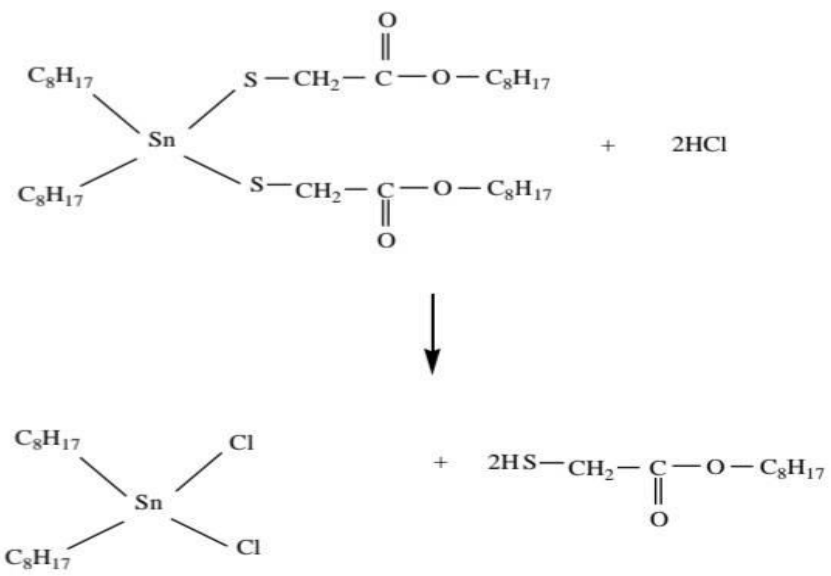
เลต และ PVC มี Fe, Zn, Ca, Cu, Sn อยู่ในปริมาณน้อย PVC สลายตัวโดยการสูญเสีย HCl เกิดพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (conjugation) ต้องมีการใส่สารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อนโดยใช้สบู่ของโลหะ, สารประกอบอีพอกซี่, ฟอสไฟต์, สารประกอบอะลิฟาติคและแอโรมาติค และสารประกอบอินทรีย์ของดีบุก [8]
Tin thioglycollates ลดการสลายตัวเชิงความร้อนโดย

1. อะตอมคลอรีนที่ไม่เสถียรถูกแทนที่ด้วยอะตอม S ทำให้ป้องกันการเกิดพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (conjugation) บนสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิไวนิลคลอไรด์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์ของดีบุกในการป้องกันการเกิดการสลายตัวของสายโซ่ PVC เป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว [8]

2. HCl ที่หลุดออกมาจากการสลายตัวของสายโซ่ PVC และสามารถเร่งการเกิดพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวซึ่งทำให้ PVC สลายตัวเร็วขึ้น โดย HCl จะเข้ามาเกิดปฏิกิริยากับสารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อนและทำให้เกิดการยับยั้งการสลายตัวของ PVC (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอินทรีย์ของดีบุกกับ HCl ที่หลุดออกมาจากการสลายตัวของ PVC [8]

2. สารเพิ่มความอ่อนนุ่ม (plasticizer)

ความอ่อนนุ่มของ PVC ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความอ่อนนุ่ม หรือ พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ เช่น ไดแอลคิลพทาเลต ซึ่งราคาถูกและเข้ากันได้กับ PVC พทาเลตน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พทาเลตชนิดอื่น เช่น ไดเอทิลเฮกซิลพทาเลต ไดไอโซโนนิลพทาเลต ไดบิลทิลพธาเลต ไดออกทิลพธาเลต เป็นต้น [5,9] PVC ตามปกติจะแข็งเพราะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก เมื่อมีการเติมพลาสติไซเซอร์ ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น

- พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ ใส่ในปริมาณ 140-150 PHR พลาสติไซเซอร์ชนิดนี้มีลักษณะเกือบเป็นของเหลว กระจายตัวใน PVC ได้ดี

- พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ กระจายตัวใน PVC ได้จำกัด ช่วยในการทำให้ลดต้นทุนของ PVC ให้มีราคาถูกลง พลาสติไซเซอร์ชนิดนี้ เช่น Chlorinated paraffin wax หรือ chlorinated paraffin oils

ไดออกทิลพธาเลต (DOP) ทำให้ T_g ของ PVC ลดลง พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในงานทางการแพทย์ เช่น di(n-decyl)phthalate [1]

3. สารช่วยในการขึ้นรูป

สารช่วยในการขึ้นรูปช่วยทำให้พอลิเมอร์หลอมและไหลได้ดี สารช่วยในการขึ้นรูปเป็นสารจำพวกแอลคิลอะคริเลตน้ำหนักโมเลกุลสูงและพอลิเมอร์ร่วมของเมทิลเมตระคลิเลต

4. สารหล่อลื่น

สารหล่อลื่นช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวที่ร้อนและพอลิเมอร์หลอมเหลวในระหว่างการขึ้นรูป และช่วยลดแรงเสียดทานในพอลิเมอร์ ทำให้ความหนืดลดลง

5. สารตัวเติม

สารตัวเติม คือสารอนินทรีย์ มีสมบัติเฉื่อย ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มสมบัติเชิงกล และสามารถใช้เพื่อเป็นผงสีและเพิ่มความทนทานต่อสารเคมีได้ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ทิเทเนียมไดออกไซด์ ทัลค์ เป็นต้น สารตัวเติมบางชนิดใส่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มสมบัติบางประการ การเติมสารตัวเติมอาจทำให้สมบัติทางกายภาพลดลงได้

- สารตัวเติมนาโน สารชนิดนี้ใส่ใน PVC ในปริมาณร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนัก เช่น เส้นใยคาร์บอน นาโนเคลย์ ท่อนาโนคาร์บอน

- สารเพิ่มความทนทานต่อแรงกดอัด เป็นสารจำพวกยาง เช่น ยางอะคริลิค, chlorinated polyethylene หรือ บิวตะไดอีน-สไตรีน ใส่ใน PVC ปริมาณร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก โดยสารกลุ่มนี้จะดูดซับพลังงานการกดอัด ทำให้ PVC ไม่แตกหัก

6. สี

สีที่ใช้กับ PVC ไม่ละลายน้ำ มีสีอนินทรีย์และสีอินทรีย์ เช่น ultramarine ให้สีน้ำเงิน, ม่วง chromes ให้สีเหลืองส้ม cadmiums ให้สีแดง, ส้ม, เหลือง ทิเทเนียมไดออกไซด์ ให้สีขาวขุ่น สีที่ใช้ควรกระจายตัวได้ดีและมีความเสถียรเชิงความร้อน [1]

7. สารเป่า (blowing agent)

สารเป่าสามารถแตกตัวที่อุณหภูมิหนึ่งแล้วปล่อยแก๊สออกมา สารเป่ามีสองชนิดหลัก คือ

- โซเดียมไบคาร์บอเนต สามารถดูดความร้อนและทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

- เอโซไดคาร์โบนาไมด์ สามารถแตกตัวและปล่อยแก๊สไนโตรเจน

8. สารฆ่าจุลชีพ

สารฆ่าจุลชีพ ใช้เติมใน PVC ที่ใช้ทำพื้นหรือหลังคา

9. สารปรับแต่งความหนืด

สารปรับแต่งความหนืดเป็นสารจำพวก fumed silica แคลเซียมซัลโฟเนตเจล

10. สารป้องกันไฟฟ้าสถิต

สารป้องกันไฟฟ้าสถิต ป้องกันการเกิดประจุไฟฟ้าที่ไม่เคลื่อนที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดไฟช๊อต หรือเกิดการติดไฟ ในพื้นที่ ที่มีเปลวไฟ หรือทำให้เกิดการเกาะฝุ่น

11. สารแอนติออกซิแดนท์

สารแอนติออกซิแดนท์ปฐมภูมิเช่น hindered phenols ทำหน้าที่เป็นสารที่จับอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดการสลายตัวด้วยแสง สารแอนติออกซิแดนท์ทุติยภูมิช่วยลดสารมัธยันต์ออกซิเดชันเป็นสารจำพวก thiosynergists และ ฟอสไฟต์ [5,10]

12. สารช่วยให้เกิดพันธะ

PVC พลาสติโซล ที่ใช้กับผ้าไนลอนพอลิเอไมด์ หรือ พอลิเอสเทอร์ ต้องมีการใส่สารช่วยให้เกิดพันธะ เพื่อให้เกิดการยึดติดระหว่างเฟสของ PVC และผ้า เช่น polyisocyanurates based PVC จะเกิดอันตรกิริยากับหมู่ที่มีขั้วในเส้นใยสังเคราะห์ ทำให้เกิดพันธะระหว่าง PVC กับผ้า

13. สารดูดซับยูวี

สารเติมแต่งนี้ทำให้ PVC สลายตัวจากรังสียูวีได้ช้า

การขึ้นรูป PVC

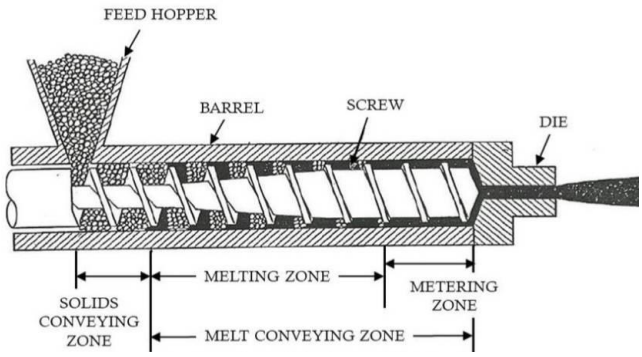
PVC สามารถนำมาขึ้นรูปโดยใช้อุปกรณ์หลายชนิดดังนี้

1. การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ (single screw extrusion and twin screw extrusion)

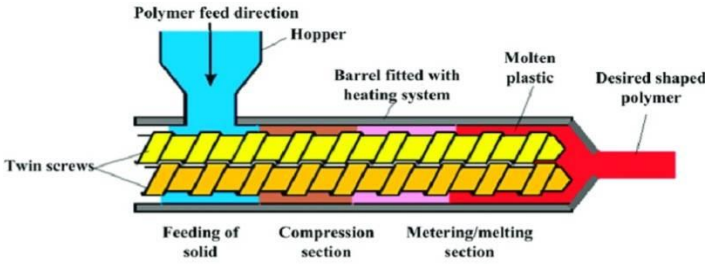
การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่นี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละมากๆ เช่น การใช้ PVC ห่อหุ้มสายไฟและการผลิตท่อเป็นต้น โดยเม็ด PVC หรือผง PVC สามารถถูกหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยวหรือสกรูคู่ หลังจากที่ PVC ถูกหลอมเหลวและขึ้นรูปเช่น การขึ้นรูปเป็นท่อก็จะถูกทำให้เย็นตัวลงในน้ำ PVC ที่อัดรีดออกมาเป็นแผ่นทำให้เย็นและสามารถเคลือบโดยใช้ลูกกลิ้ง (calendering) และยังสามารถนำ PVC หลอมเหลวจากเครื่องอัดรีดมาขึ้นรูปโดยการเป่าได้เป็นฟิล์มบาง (film blowing) (ภาพที่ 6)

เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว (ภาพที่ 6(ก)) ส่วนสกรูจะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนป้อนส่งสาร (feeding zone) ส่วนกดอัด (compression zone) และส่วนส่งพลาสติกหลอมสู่หัวฉีด (metering zone) ส่วนแรกคือส่วนป้อนส่งสารจะมีสันสกรูที่มีความลึกมากที่สุด ส่วนกดอัดมีสันสกรูที่มีความลึกลดลงตามลำดับ พอลิเมอร์ที่อยู่ในส่วนนี้จะกลายเป็นพอลิเมอร์หลอมเหลว ส่วนส่งพลาสติกหลอมสู่หัวฉีดจะเป็นส่วนที่สันสกรูตื้นที่สุด พอลิเมอร์ในส่วนนี้จะถูกส่งไปยังส่วนที่เป็นหัวฉีดต่อไป

เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูคู่ (ภาพที่ 6(ข)) แบ่งตามทิศทางการหมุนของสกรู เป็นชนิดที่สกรูหมุนทางเดียวกันกับชนิดที่สกรูหมุนสวนทางกัน หรือแบ่งตามการซ้อนกันของสันสกรู เป็นชนิดที่สันสกรูไม่ซ้อนกัน กับชนิดที่สันสกรูทั้งสองซ้อนเหลื่อมกัน ซึ่งใช้ประโยชน์ในการผสมพลาสติกต่างกัน เช่น เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูคู่หมุนตามกันใช้ความเร็วต่ำสำหรับการอัดขึ้นรูปโปรไฟล์ (profile extrusion) เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูคู่หมุนสวนกันสามารถใช้ความเร็วสูงสำหรับผสมพลาสติกและสารเติมแต่งต่าง ๆ ได้ เป็นต้น [11]



(ก)

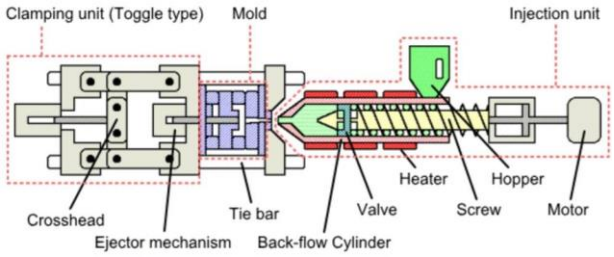


(ข)

ภาพที่ 6 (ก) เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว [12]
(ข) เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบสกรูคู่ [13]

2. การขึ้นรูปโดยการฉีด (injection moulding)

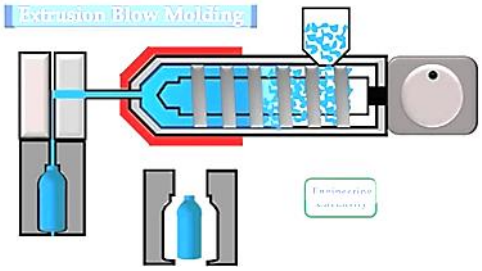
การขึ้นรูปโดยการฉีด (ภาพที่ 7) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนได้ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ วาล์ว เป็นต้น การขึ้นรูปวิธีนี้จะทำโดยให้เม็ด PVC หรือผง PVC ถูกทำให้ร้อนจนหลอมเหลวและส่งเข้าไปในแม่แบบขึ้นรูป หลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกทำให้เย็นตัวลงและถูกปล่อยออกจากแม่แบบ



ภาพที่ 7 เครื่องฉีดพลาสติกโดยจะทำการหลอมพลาสติกโดยใช้เครื่องอัดรีดพลาสติก แล้วจึงฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าในแม่แบบ [14]

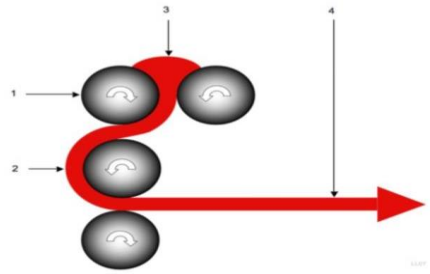
3. การขึ้นรูปโดยการเป่า (blow moulding)

การขึ้นรูปโดยการเป่าสามารถใช้ผลิตขวดพลาสติกได้ ขวดพลาสติกที่ได้มีความใสและเป็นมันวาว PVC ทนทานต่อสารเคมีและไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช จึงสามารถทำเป็นขวดน้ำมันพืช และขวดแชมพูได้ การขึ้นรูปโดยการเป่า (ภาพที่ 8) ทำโดยการเป่าแท่ง PVC ที่เรียกว่า parison ที่ใส่เข้าไปในแม่แบบขึ้นรูป แล้วเป่าอากาศเข้าไปในแท่ง PVC ในแม่แบบเกิดเป็นขวด PVC ตามต้องการ แล้วแม่แบบถูกทำให้เย็นตัวลง การยืดแท่ง PVC สองทางในแนวแกนและในแนวรัศมี ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีสมบัติเชิงกล เช่น ความทนทานต่อแรงดึงดีขึ้นและใสเป็นต้น



ภาพที่ 8 เครื่องเป่าขึ้นรูปพลาสติกโดยขั้นแรกจะหลอมพลาสติกโดยใช้เครื่องอัดรีดพลาสติก แล้วจึงทำการเป่าแท่งพลาสติกในแม่แบบ [15]

4. การขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง (calendaring)

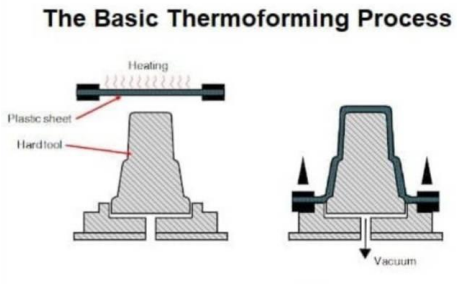


ภาพที่ 9 ลูกกลิ้งขึ้นรูปพลาสติกโดยจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวก่อนแล้วจึงส่งต่อมายังชุดลูกกลิ้งเพื่อขึ้นรูปพลาสติกให้เป็นแผ่น [16]

การขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้ง (ภาพที่ 9) ใช้ผลิตฟิล์มและแผ่นพลาสติกที่มีขนาดต่างๆ เช่น แผ่นปิดผนัง ผ้าพลาสติกคลุมเบาะ

5. การขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming)

การขึ้นรูปด้วยความร้อน (ภาพที่ 10) จะให้ความร้อนกับแผ่นพลาสติก แล้วอัดลงแม่แบบเพื่อขึ้นรูปเป็นรูปร่างที่ต้องการ เช่น อ่างอาบน้ำ



ภาพที่ 10 การขึ้นรูปด้วยความร้อน [17]

สมบัติของ PVC

1. สมบัติเชิงกายภาพ

PVC เกรดต่างกันเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน น้ำหนักโมเลกุลของ PVC จะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การใช้สารถ่ายโอนสายโซ่ เช่น trichloroethylene และ 2-mercaptoethanol ใช้ในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของ PVC โดยการลดน้ำหนักโมเลกุลที่อุณหภูมิการเกิดพอลิเมอร์ที่กำหนด การวัดความหนืดของ

สารละลาย PVC เจือจางเป็นการบ่งบอกถึงน้ำหนักโมเลกุลของ PVC ได้ เป็นวิธีการควบคุมคุณภาพ PVC เป็นการวัดเวลาการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ในอุปกรณ์วัดความหนืดแบบคะปิลารี

2. สมบัติเชิงเคมีของ PVC

PVC ไม่เสถียรเชิงความร้อน ต้องมีการเติมสารเพิ่มความเสถียรเชิงความร้อน ซึ่งทำให้ PVC สลายตัวช้าลง การสลายตัวของ PVC เกิดจากการหลุดออกทีละหน่วยของ HCl ทำให้ PVC เปลี่ยนสีซึ่งเกิดจากการเกิดโครงสร้างโพลิอีน

3. สมบัติเชิงไฟฟ้าและเชิงแสงของ PVC

PVC ใช้เป็นฉนวน สมบัติเชิงไฟฟ้าของ PVC ขึ้นกับโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ PVC และขึ้นกับระดับความเป็นระเบียบของโมเลกุล PVC PVC นำมาใช้งานเป็นพอลิเมอร์ห่อหุ้มสายไฟ

4. สมบัติเชิงความร้อนและการติดไฟของ PVC

พารามิเตอร์เชิงความร้อนของ PVC ที่ต้องพิจารณาคืออุณหภูมิสภาวะคล้ายแก้ว (T_g) คืออุณหภูมิที่ PVC เปลี่ยนจากสภาวะคล้ายแก้วเป็นสภาวะคล้ายยาง PVC มีสมบัติคล้ายแก้วที่อุณหภูมิห้อง เมื่อมีการให้ความร้อนจนถึง T_g PVC จะมีมอดูลัสต่ำลง T_g สัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล และสารเติมแต่ง เช่น พลาสติไซเซอร์ทำให้ค่า T_g ลดลง PVC ไม่มีอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ที่ชัดเจน การใส่ไดออกทิลพธาเลต (DOP) ทำให้สายโซ่พอลิ-เมอร์มีความเป็นระเบียบเพิ่มขึ้น T_g เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่ DOP มากๆ T_g จะลดลง

PVC มีสมบัติการหน่วงไฟที่ดีเนื่องจากมีคลอรีนในโครงสร้าง อุณหภูมิการติดไฟของ PVC อยู่ที่ 455 °C และติดไฟได้ยาก การใส่ DOP ใน PVC ลดสมบัติการหน่วงไฟ ต้องมีการเติมสารหน่วงไฟและสารระงับควัน

5. สมบัติเชิงกล

PVC มีค่ามอดูลัสของยังส์เท่ากับ 2.14 – 4.140 GPa มีค่าความทนทานต่อแรงกดอัดเท่ากับ 42.5 - 89.6 MPa และมีอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.383 – 0.407

โครงสร้างของ PVC

เม็ด PVC ที่กลมสม่ำเสมอจะป้อนเข้าเครื่องอัดรีดพลาสติกได้ดีและรวดเร็ว ความมีรูพรุนของอนุภาค PVC ส่งผลต่อการกำจัดไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ตกค้างและสมบัติของเรซิน ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิการเกิดพอลิเมอร์ การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (conversion) ชนิดและความเข้มข้นของสารแขวนลอย การใช้สารแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิวทุติยภูมิ การกวนขณะเกิดปฏิกิริยา การเกิดพอลิเมอร์ และอัตราส่วนน้ำต่อมอนอ-เมอร์ ถ้าใช้สารแขวนลอยทุติยภูมิมาก ขนาดอนุภาค PVC จะลดลง การใช้สาร

แขวนลอยหรือสารลดแรงตึงผิวทุติยภูมิร่วมด้วย ทำให้ขนาด PVC ที่ได้ลดลงและความหนาแน่นของมวลรวมมากขึ้น และความพรุนเพิ่มขึ้น

1. โครงสร้างผลึกของ PVC

PVC มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์อสัญฐาน มีระดับความเป็นผลึกต่ำ มีโครงสร้างแบบซินดิโอแทคติคบางส่วน ถ้าพอลิเมอร์ทำให้เกิดที่ -50 ถึง -100 °C จะสามารถทำให้เกิดเป็นโครงสร้างผลึกได้ แต่โดยทั่วไป PVC มีโครงสร้างเป็นอะแทคติค T_m ของ PVC ที่เกิดจากการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 102–210 °C โดยทั่วไป PVC เชิงพาณิชย์มีร้อยละความเป็นผลึกอยู่ที่ 7-20 % ความเป็นผลึกของ PVC เพิ่มขึ้นเมื่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เกิดที่อุณหภูมิต่ำลง [18]

2. ความทนทานต่อสภาพอากาศและรังสี

PVC สลายตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศและรังสีได้ ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เปราะและเปลี่ยนสี ปัจจัยที่ทำให้ PVC สลายตัวคือความชื้น ออกซิเจน ความเค้นเชิงกล รังสีที่แตกตัวเป็นไอออน อุณหภูมิที่สูง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงของ PVC ทำให้เกิดโพลิอีน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดคลอไรด์ของกรด β-chlorocarboxylic acid α, α'- dichloroketones และเกิดสายโซ่เชื่อมโยงในโครงสร้าง PVC ที่เกิดจากการเชื่อมของสายโซ่ขนาดยาวที่เป็นอนุมูลอิสระ PVC เมื่อสัมผัสกับรังสีจะเกิดพันธะคู่ที่คอนจูเกตกันและเกิดกรดไฮโดรคลอริกเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสลายตัวของ PVC นอกจากเปลี่ยนสีแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและมีการลดลงของสมบัติเชิงกล การฉายรังสีทำให้สารเติมแต่งใน PVC สลายตัวได้ด้วยและทำให้เกิดการปนเปื้อนใน PVC ที่ใช้ในเชิงการแพทย์ได้

3. การใช้งาน PVC

- งานก่อสร้าง เช่น ท่อ กรอบหน้าต่าง ประตู แผ่นปิดผนัง เก้าอี้ในสนามกีฬา
- ใช้ในเชิงการแพทย์ เช่น สายยาง ถุงเลือด ถุงพลาสมา
- ใช้ในงานที่เกี่ยวกับไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ ระบบในโทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ แป้นพิมพ์
- งานที่เกี่ยวกับรถ ชิ้นส่วนในรถ
- บรรจุภัณฑ์ เช่น ฝาขวด ขวดใส่ผงซักฟอก ถาดเครื่องสำอาง บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถ้วย
- บัตร เช่น บัตรประชาชน บัตรเครดิต
- กีฬา เช่น ห่วงยางว่ายน้ำ ลูกบอล ของเล่น สายยาง

- อุปกรณ์สำนักงาน เช่น แป้นพิมพ์ ซองใส่คอมพิวเตอร์ แฟ้ม ห่วงในแฟ้ม ไม้บรรทัด

- เสื้อผ้า เช่น รองเท้าบูท ส้นรองเท้า หนังเทียม

4. ผลกระทบของ PVC ต่อสิ่งแวดล้อม

PVC มีการปล่อยไฮโดรเจนคลอไรด์ เมื่อทำการขึ้นรูปหรือเผาไหม้ ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์มีความเป็นพิษ ปัจจุบันมีการผลิตสารเพิ่มความอ่อนนุ่มที่ไม่เป็นพิษ สารเพิ่มความเสถียรที่ไม่มีโลหะและไม่เป็นพิษ มีการปรับปรุงสมบัติของ PVC โดยการทำพอลิเมอร์ผสมและการต่อกิ่ง

5. การใช้งาน PVC และ PVC ผสม

ปัจจุบันมีการผลิต PVC ผสมกับสารตัวเติมอินทรีย์และอนินทรีย์เพื่อปรับปรุงสมบัติ เช่น การเข้ากันได้ทางชีวภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงแสงและเพื่อลดต้นทุน

การเติมอนุภาคนาโน เช่น ท่อนาโนคาร์บอน ลงใน PVC ทำให้สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานต่อการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนได้

PVC ผสมกับสารอื่นๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการ เพื่อลดผลของการเคลื่อนย้ายของสารเพิ่มความอ่อนนุ่ม และเพื่อวัตถุประสงค์ในการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้สารเพิ่มความอ่อนนุ่มทางชีวภาพและสารเติมแต่งอื่นๆ PVC เป็นที่นิยมใช้เพราะขึ้นรูปได้ง่าย ติดไฟได้ต่ำและราคาถูก แต่ไม่เสถียรเชิงความร้อน ระหว่างการหลอมขึ้นรูป ต้องมีการเติมสารเพิ่มความเสถียรและสารช่วยในการขึ้นรูปอื่นๆ การใช้งาน PVC ต้องการทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใส หรือสามารถใส่สีได้ หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่แข็ง อ่อนนุ่ม ซึ่งทำให้เกิดได้โดยการผสมกับสารเติมแต่ง

6. การใช้งาน PVC และ PVC ผสมเป็นบรรจุภัณฑ์

การผสม PVC โดยใช้สารตัวเติมนาโนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ประโยชน์ของการใส่อนุภาคนาโนผสมใน PVC คือช่วยปรับปรุงความทนทานต่อความร้อน สมบัติความต้านทานต่อการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจน สมบัติเชิงกล ความเสถียรเชิงมิติ ความทนทานต่อเปลวไฟ อนุภาคนาโนที่ใช้เติมใน PVC คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ทอง เซรามิค เซลลูโลส ไมคา ซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมใน PVC ยังทำให้ต้นทุนต่ำลง การทำ PVC ผสมกับอนุภาคนาโนช่วยเพิ่มความเสถียรต่อแสงยูวี ความแข็ง ความเหนียว ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวเติมที่ใช้

วิธีในการเตรียม PVC ผสมกับสารตัวเติมนาโน คือการทำให้สารตัวเติมกระจายตัวใน PVC หลอมเหลว สารตัวเติมที่ใส่ใน PVC เช่น montmorillonite, ammonium-treated montmorillonite แคลเซียมคาร์บอเนต หรือ เคาลิน ความเข้มข้น 40-65% โดยน้ำหนัก เช่น เส้นใยธรรมชาติ กราฟีน ท่อนาโนคาร์บอน เป็นต้น บรรจุภัณฑ์ปัจจุบันมี

การปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติความต้านทานการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจน และสามารถตรวจวัดเชื้อโรค มีการผลิตผลิตภัณฑ์ PVC โดยเคลือบภายในด้วยชั้นอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานต่อการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนที่ดี [19]

การผสมนาโนเคลย์ใน PVC จะขัดขวางการแพร่ของของเหลวและขัดขวางการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดสมบัติการต้านทานต่อการซึมผ่าน ปรับปรุง shelf life และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีการเติมอนุภาคนาโนเงิน เพื่อประโยชน์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

7. การใช้งาน PVC ผสมในเชิงโครงสร้าง

PVC ผสมอนุภาคนาโนที่ใช้ในงานโครงสร้างมีสมบัติอย่างไรขึ้นกับขนาดอนุภาค รูปร่างอนุภาค ลักษณะพื้นผิวอนุภาค และการกระจายตัวของอนุภาคนาโนใน PVC ในอุปกรณ์ไฟฟ้ามักเติมคาร์บอนแบลคใน PVC เพื่อควบคุม resistivity และ permittivity [4, 20-23]

8. การใช้งาน PVC ผสมอนุภาคนาโนในงานเกี่ยวกับทหาร

พลาสติก PVC ผสม นำมาใช้ในงานเกี่ยวกับทหารโดยทดแทนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงและสามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้ตามต้องการและมีราคาถูก ชิ้นส่วนพลาสติกยังมีประโยชน์ในการป้องกันการตรวจจับเรดาร์แม่เหล็กไฟฟ้าและแหล่งความร้อนจากรังสีอินฟราเรด PVC ผสมอนุภาคนาโนใช้ในงานทหาร เช่น ชิ้นส่วนเรือ เครื่องบินและเฮลิคอปเตอร์

การเติมสารตัวเติมอนินทรีย์เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า ปรับปรุงความต้านทานความร้อนและแสงยูวี และช่วยให้ราคาต้นทุนต่ำ เช่น การเติมเส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล

9. การใช้งาน PVC ผสมอนุภาคนาโนในงานเกี่ยวกับเครื่องบิน

การใช้งาน PVC ในงานเกี่ยวกับเครื่องบินจะทำให้เครื่องบินมีน้ำหนักเบา ปลอดภัยและประหยัดเชื้อเพลิง โดยจะนำวัสดุเชิงประกอบของ PVC มาใช้งานเป็นวัสดุองค์ประกอบในเครื่องบิน อุปกรณ์ในการนำทางเป็นต้น ประโยชน์ของการใช้ PVC ผสมวัสดุนาโนในงานเกี่ยวกับเครื่องบินคือ ทำให้เครื่องบินมีน้ำหนักเบาและประพยัดพลังงาน ไม่ขึ้นสนิม ทนทานต่อเปลวไฟ มีการขยายตัวเชิงความร้อนต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีประสิทธิภาพสูง มีสมบัติเชิงกลที่ดี

10. การใช้งาน PVC ผสมกับเทอร์โมพลาสติกในงานบรรจุภัณฑ์

PVC สามารถนำมาผสมกับเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกายภาพ ความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีและยังสามารถทำให้ใช้งานที่

อุณหภูมิสูงได้ด้วย เช่น การนำพอลิเอสเทอร์มาผสมกับ PVC การผลิตบรรจุภัณฑ์สามารถทำได้โดยการขึ้นรูปด้วยความร้อน เช่น การทำถาดขนมปังกรอบ ประโยชน์ของการใช้ PVC คือ มีความใส เฉื่อยต่อสารเคมี และมีความเหนียว

11. การใช้งาน PVC ผสมเทอร์โมพลาสติกในงานเกี่ยวกับเครื่องบิน

มีการใช้ PVC ผสมพอลิเมทิลเมตระคลิเลตในการทำเป็นชิ้นส่วนองค์ประกอบเครื่องบินเนื่องจากสามารถนำมาขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ ทนทานต่อแรงกดอัด ป้องกันเปลวไฟ และไม่เป็นพิษ ทนทานต่อสารเคมี ขึ้นรูปง่าย สามารถทำให้เกิดลักษณะบนพื้นผิวและสีได้ตามต้องการ

บทสรุป

PVC สามารถสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระโดยวิธีแขวนลอยและอิมัลชัน PVC ที่ผลิตได้ต้องนำมาเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อให้มีสมบัติตามต้องการทั้งสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล PVC สามารถผสมกับพอลิเมอร์ต่างชนิดเพื่อผลิตพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่างจากเดิมได้ และขึ้นรูปได้โดยวิธีการที่หลากหลาย ทำให้ PVC เป็นพลาสติกที่มีประโยชน์มากมาย และสามารถทำให้มีสมบัติเหมาะสมกับงาน ใช้งานได้ทนทานและปลอดภัย เราสามารถนำสารเติมแต่งที่ต่างจากที่ได้กล่าวถึงในที่นี้มาทดลองผสมกับ PVC ได้เพื่อให้มีสมบัติต่างออกไป หรือนำ PVC มาขึ้นรูปด้วยวิธีการที่แตกต่างจากที่ได้กล่าวถึงในบทความ หรือสามารถนำ PVC ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต่างจากนี้ได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

1. Abddallah Elgharbawy S. Polyvinyl chloride additives and applications-A review. JRACR 2022;12(3):143-51.
2. How to decide appropriate K-value for UPVC films & sheets? [Internet]. Yashodhan Kanade. [cited 26 Oct, 2023]. Available from: https://www.linkedin.com/pulse/how-decide-appropriate-k-value-upvc-films-sheets-yashodhan-kanade
3. Stuart BH. Polymer analysis. Chichester: John Wiley & Sons; 2002.
4. Yousif E, Abdallh M, Hashim H, Salih N, Salimon J, Abdullah BM, Win Y-F. Optical properties of pure and modified poly(vinyl chloride). Int J Ind Chem 2013;4:1–8.

5. Khan SM, Gull N, Khan RU, Butt MTZ. Polyvinylchloride (PVC): Structure and Properties Relationship. In: Visakh PM, Darie-Nita RN, editors. Polyvinylchloride-based Blends: preparation characterization and applications. Cham: Springer 2022:19-47.
6. Unar IN, Soomro SA, Aziz S. Effect of various additives on the physical properties of polyvinylchloride resin. Pak J Anal Environ Chem 2010;11:44-50.
7. Elgozali A, Hassan M. Effect of additives on the mechanical properties of polyvinylchloride. J Sci Technol 2008;9:1–12.
8. Arkis E, Balkose D. Thermal stabilization of poly(vinyl chloride) by organotin compounds. Polym Degrad Stab 2005;88:46-51.
9. Jimenez A, Lopez J, Iannoni A, Kenny JM. Formulation and mechanical characterization of PVC plastisols based on low-toxicity additives. J Appl Polym Sci 2001;81:1881-90.
10. Lee RE, Pearson K. Stabilization of polyvinyl chloride against oxidation. In: Compounding polyvinyl chloride in the 21st century. Brookfield; 2002.
11. Polymer processing I [Internet]. [cited 2023 Oct 26]. Available from: http://eng.sut.ac.th/polymer/2015/newversion/administrator/document/subjectDocument/14470345894857.pdf
12. Understanding Rheology and Technology of Polymer Extrusion (First Edition) [Internet]. ResearchGate. [cited 2023 Oct 26]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/1-Schematic-representation-of-a-single-screw-extruder-and-the-various-functional-zones_fig59_336141022
13. Recent advances in fused deposition modeling based additive manufacturing of thermoplastic composite structures: A review - Scientific Figure on ResearchGate. [Internet]. [cited 2023 Oct 26]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Twin-screw-extrusion-system_fig5_360780938
14. Polyplastics [Internet]. [Cited 2023 Oct 26]. Available from: https://www.polyplastics.com/en/support/mold/outline/
15. Engineering chemistry [Internet]. [cited 26 Oct, 2023]. Available from:

https://youtu.be/HFXY5ATm67o?si=_r11SdUJgYPwipUL
16. Calender [Internet]. Wikipedia. [cited 2023 Oct 26]. Available from: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Calender
17. Thermoforming [Internet].Cited 2023 Oct 26]. Available from: https:// www.iqsdirectory.com/articles/vacuum-forming/thermoforming.html
18. Manson JA, Iobst SA, Acosta R. Preparation of poly(vinyl chloride) at low temperature by a photochemical method. J Polym Sci Part A Polym Chem 1972;10:179–86.
19. Grosu E. Applications of Polyvinylchloride (PVC)/Thermoplastic Nano-, Micro- and Macroblends. In: P. M. V, Darie-Nita RN, editors. Polyvinylchloride-based Blends. Cham: Springer; 2022:75-89. (Springer Series on Polymer and Composite Materials).
20. Bratovcic A, Odobašic A, Šestan I. Application of polymer nanocomposite materials in food packaging. Croatian J Food Sci Technol 2015;7(2):86–94.
21. Nelson JK, Fothergill JC. Internal charge behavior of nanocomposites. Nanotechnology 2004;15(5):586–95.
22. Thabet A, Mobarak YA, Bakry M. A review of nano-fillers effects on industrial polymers and their characteristics. J Eng Sci, Assiut University 2011;39(2):377–403.
23. Adebahr J, Byrne N, Forsyth M, MacFarlane DR, Jacobsson P. Enhancement of ion dynamics in PMMA-based gels with addition of TiO2 nano-particles. Electrochim Acta 2003;48(14-16):2099-103.