

บทที่ 3

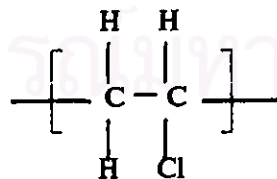
ทฤษฎี

3.1 โพลีไวนิลคลอไรด์ (POLYVINYLCHLORIDE)

โพลีไวนิลคลอไรด์ หรือ ที่เรียกอย่างย่อว่า พีวีซี เป็นไฮโมโพลิเมอร์ และ จัดเป็นพลาสติกประเภท THERMOPLASTIC โดยมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (GLASS TRANSITION TEMPERATURE, T_g) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พีวีซีที่กล่าวถึงนี้ได้จากการโพลิเมอไรเซชันประเภทรวม (ADDITION POLYMERIZATION) ซึ่งการผลิตพีวีซีเรซินในเชิงพาณิชย์มีวิธีการผลิตด้วยกัน 4 แบบ คือ SUSPENSION, BULK, EMULSION และ SOLUTION

โพลีไวนิลคลอไรด์ จัดเป็นพลาสติกที่มีความต้านทานต่อสารเคมีทั่วไป และ สภาพอากาศได้ดีเยี่ยม ต้านทานการลุกไหม้ และสามารถดับไฟได้เอง ทั้งนี้เพราะสูตรโครงสร้างของพีวีซีมีอะตอมของคลอรีนอยู่ มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ความถี่ไฟฟ้าต่ำ ๆ แต่ที่ความถี่ไฟฟ้าสูง ๆ จะเกิดการสูญเสียค่า DIELECTRIC LOSS มาก (CHARRIER, 1990:74)

พีวีซีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ๆ จะเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลเปลี่ยนไป คือ เกิดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งจัดเป็นสารมีพิษ และ ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเกิดการผุกร่อนเสียหาย โครงสร้างส่วนใหญ่ของพีวีซีจะเป็นแบบอสัณฐาน (AMORPHOUS) ดังนั้น พีวีซีตามธรรมชาติ เมื่อยังไม่ได้ผสมสารเติมแต่งจะแข็ง เปราะ และ ใส โดยมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้



POLYVINYLCHLORIDE

โดยทั่วไปแล้วจะไม่สามารถนำพีวีซีมาใช้งานโดยการหลอมได้ทันทีเนื่องจากสมบัติบางประการไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน แต่จะต้องนำมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การทำ PVC

COMPOUND ด้วยการใส่สารเติมแต่งต่าง ๆ (ADDITIVES) เพื่อปรับสมบัติให้เหมาะแก่การใช้งาน ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะแก่การใช้งานจะกล่าวถึงในหัวข้อสมบัติของ PVC COMPOUND

ในการเลือกใช้นิคมของพีวีซีเรซินให้เหมาะเพื่อนำไปทำ PVC COMPOUND เพื่อให้ได้สมบัติตามการใช้งาน ต้องพิจารณาค่าต่าง ๆ เหล่านี้

- น้ำหนักโมเลกุล (MOLECULAR WEIGHT) พีวีซีเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ๆ จะทำให้สมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ดีขึ้นคือ กำลังดึงวัสดุ (TENSILE STRENGTH) กำลังฉีกวัสดุ (TEAR STRENGTH) ซึ่งจัดเป็นสมบัติทางกายภาพ (PHYSICAL PROPERTIES) ในทางตรงข้าม ถ้าน้ำหนักโมเลกุลลดลงจะทำให้สมบัติทางกายภาพลดลง ค่าความหนืด (VISCOSITY) ลดลง ทำให้ง่ายต่อการดำเนินการผลิตหรือแปรรูป ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกพีวีซีที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่ให้ทั้งสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมแก่การใช้งาน และสามารถดำเนินการผลิตหรือแปรรูปได้ง่าย (น้ำหนักโมเลกุลจะแปรตามค่า K VALUE)

- ความหนาแน่น (BULK DENSITY) ความหนาแน่นของพีวีซีจะสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER ABSORPTIVITY) พีวีซีเรซินที่มีค่าความหนาแน่นสูง ๆ จะทำให้ได้ปริมาณการผลิตต่อครั้งในการทำการผสมแห้งในปริมาณมาก และให้อัตราการผลิตผงพีวีซีคอมปาวด์ (DRY BLEND) ในอัตราที่สูง แต่ความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มความนุ่มจะลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดความลำบากในการทำผงพีวีซีคอมปาวด์เมื่อต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มความนุ่มมาก ๆ

- การกระจายขนาดของอนุภาค (PARTICLE SIZE DISTRIBUTION) ถ้าเป็นพีวีซีเรซินประเภทกระจายตัว (DISPERSION PVC RESIN) เมื่ออนุภาคของพีวีซีเรซินแตกต่างกันมากจะมีผลต่อค่าความหนืด (PASTE VISCOSITY) แต่ถ้าเป็นพีวีซีประเภทใช้งานทั่วไป (GENERAL-PURPOSE PVC RESIN) อนุภาคของพีวีซีที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เกิดเป็นฝุ่นคลุ้ง และ ความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มความนุ่มก็ไม่แน่นอน ในทางตรงข้าม ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะทำให้เกิดปัญหาการดูดซับสารเพิ่มความนุ่มเช่นกัน และ ที่สำคัญคือ จะทำให้เกิดการหลอมละลายไม่ทั่วถึง หรือ ที่เรียกว่าเกิดตาปลา (FISH EYE) บนผิวชิ้นงาน ดังนั้น ถ้าเป็นพีวีซีประเภทใช้งานทั่วไป จะต้องมีการกระจายขนาดอนุภาคให้อยู่ในช่วงแคบที่สุด ซึ่งพีวีซีเรซินประเภทนี้มักจะได้จากการโพลีเมอร์ไรเซชันแบบ SUSPENSION POLYMERIZATION หรือ BULK POLYMERIZATION ขณะที่พีวีซีเรซินประเภทกระจายตัว (DISPERSION GRADE) มักจะได้จากการโพลีเมอร์ไรเซชันแบบ EMULSION POLYMERIZATION หรือ SOLUTION POLYMERIZATION

- สิ่งเจือปน และ โมโนเมอร์ที่ตกค้าง (CONTAMINATION AND RESIDUAL MONOMER CONTENT) สิ่งเจือปน และ โมโนเมอร์ที่ตกค้างจะต้องอยู่ในปริมาณที่น้อยตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้สมบัติในด้านอื่น ๆ เปลี่ยนไป เช่น สมบัติทางด้านไฟฟ้า, สมบัติเชิงกล เป็นต้น

3.2 พิวซีคอมพาวด์ (PVC COMPOUND)

พิวซีที่กล่าวโดยทั่วไปในงานผลิตเครื่องใช้ หรือ ชิ้นส่วนต่าง ๆ จะหมายถึง พิวซีคอมพาวด์ เนื่องจากตัวพิวซีเองนั้นมีสมบัติไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานได้ทันที เนื่องจากมีข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ความแข็งกระด้าง ความทนต่อความร้อนได้น้อย ความใส ซึ่งสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้สามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารเติมแต่ง (ADDITIVES) เพื่อปรับคุณลักษณะให้มีสมบัติเหมาะแก่การใช้งาน ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง สารเติมแต่งที่ใช้ในการทำพิวซีคอมพาวด์ การเลือกใช้สารเติมแต่งเพื่อให้ได้พิวซีคอมพาวด์มีสมบัติที่เหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้งานได้

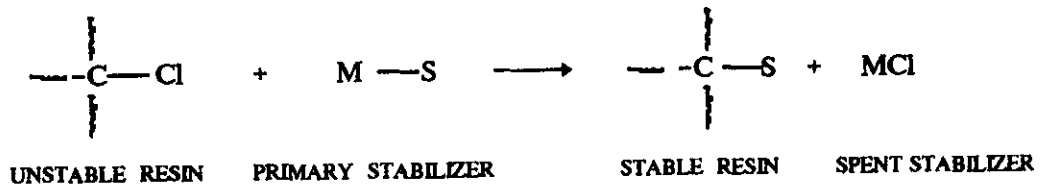
3.2.1 สารเติมแต่ง

สารเติมแต่งที่ใช้ในการทำพิวซีคอมพาวด์ มีดังนี้

3.2.1.1 สารเพิ่มความเสถียร (STABILIZER)

ภายใต้สภาวะที่มีแสงและความร้อน จะทำให้พิวซีเกิดการเสื่อมสภาพ ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION ทำให้ไฮโดรเจนและคลอรีนอะตอมในโซ่พิวซีหลุดออกมา โดยปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION จะเริ่มเกิดที่บริเวณตำแหน่งที่มีคลอรีนเกาะอยู่ไม่เสถียร (LABILE CHLORINE) ซึ่งมีเป็นจำนวนไม่มากนักเมื่อเทียบกับคลอรีนทั้งหมดที่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของพิวซี โดยตำแหน่งของคลอรีนเหล่านั้นมักจะมีโครงสร้างเป็น ALLYLIC หรือ TERTIARY และมักเกิดบริเวณโซ่กิ่งไมโซโซ่หลัก (BRANCH CHAIN) บริเวณตำแหน่งที่มีจุดบกพร่อง (DEFECT POINT) และ จุดปลาย (TERMINAL) ของโซ่พิวซี

การทำงานของสารเพิ่มความเสถียรหลักในอุดมคติ คือ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเพิ่มความเสถียร และ พิวซีเรซิน โดยสารเพิ่มความเสถียรจะเข้าไปแทนที่บริเวณตำแหน่งที่คลอรีนไม่เสถียรในพิวซีเรซิน โดยการทำงานดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์, จนศาสตร์และการถ่ายเทมวลสาร ตามสมการการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้ (FLETCHER AND JENNING, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:49)



หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (BY-PRODUCT) ของสารเพิ่มความเสถียรหลัก ซึ่งเป็นสารจำพวก METALLIC CHLORIDE ซึ่งมักจะมีค่า pH เป็นกลาง โดย METALLIC CHLORIDE ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวกระตุ้นหรือส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการแตกออกของกรดไฮโดรคลอริก (DEHYDROHALO GENATION) ในโมเลกุลพิวซีที่เสถียร (พวก METALLIC CHLORIDE เช่น ZnCl_2 , CuCl_2 เป็นต้น)

แต่สำหรับพวก METALLIC CHLORIDE ที่เป็นผลผลิตข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารเพิ่มความเสถียรหลักที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION นั้น สามารถทำให้เกิดน้อยลงได้ด้วยการใช้ EPOXIDISED OIL, METALLIC SOAP และ CHELATOR (FLETCHER AND JENNING, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:50)

พิวซีที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติโดยการเติมสารเติมแต่ง จะเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งทำให้สมบัติต่าง ๆ สูญเสียไป เช่น สมบัติทางกายภาพ เกิดการเปลี่ยนสี เกิดกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเป็นก๊าซที่มีพิษและทำให้เกิดการสึกกร่อนแก่เครื่องจักร เพื่อที่จะกำจัดสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นจำเป็นต้องเติมสารเพิ่มความเสถียรให้แก่พิวซี ซึ่งสารเพิ่มความเสถียรสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ

1. สารเพิ่มความเสถียรความร้อนหลัก (PRIMARY HEAT STABILIZER) สารเพิ่มความเสถียรที่สามารถทำหน้าที่ในการเพิ่มความเสถียรให้กับพิวซีได้ด้วยตัวเอง ซึ่งสารเพิ่มความเสถียรกลุ่มนี้แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1.1 สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนชนิดตะกั่ว (LEAD STABILIZER)

สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนที่เป็นตะกั่ว โดยส่วนใหญ่ หรือ ทั้งหมดจะเป็นอนุพันธ์ของ PbO หรือเลคออกไซด์ ซึ่งตัว PbO นี้จะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน (สารเพิ่มความเสถียรที่จะกล่าวต่อไปในงานวิจัยฉบับนี้จะหมายถึงสารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน) สารเพิ่มความเสถียรชนิดนี้เหมาะจะใช้ในพิวซีที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากประโยชน์ 4 ประการ คือ

- PbO เป็นตัวจับไฮโดรเจนคลอไรด์ที่ตีเชื่อม เพราะมันมีค่าความเป็นเบส และ ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กมาก

- PbO จัดเป็นเบสชนิดอ่อน จึงไม่ทำให้เกิด ปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION กับ พีวีซีที่เสถียร

- $PbCl_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง PbO กับ HCl จะไม่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา DEHYDROHALOGENATION กับ พีวีซี ต่อไป

- $PbCl_2$ เป็นตัวหนึ่งในกลุ่ม METALLIC CHLORIDE ที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ และ ไม่สามารถเกิดเป็นไอออนได้ จึงทำให้สมบัติความเป็นฉนวนไม่ได้ลดลงเมื่อต้องสัมผัสกับความร้อน, ความชื้น หรือ การเร่งสภาวะ (AGING) (FLETCHER AND JENNING , CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:55-51)

สำหรับตัว PbO ก็มีข้อด้อย คือ จะมีสีเหลือง ทั้งนี้ทำให้สีของพีวีซีคอมปาวด์ไม่สวยงามจึงได้มีการพัฒนาเป็น BASIC LEAD CARBONATE ($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$) ซึ่งมีสีขาวแต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ต่อมาถูกพัฒนามาเป็น TRIBASIC LEAD SULFATE ($3PbO \cdot PbSO_4 \cdot H_2O$) ซึ่งจัดเป็นสารเพิ่มความเสถียรตะกั่วที่สำคัญอย่างมากในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์เกรดแข็ง (RIGID PVC) แต่จะเกิดปัญหากับการนำไปใช้ผลิตพีวีซีคอมปาวด์เกรดนุ่ม (PLASTICIZED PVC) เพราะจะเกิดปฏิกิริยา SAPONIFIED ESTER กับ สารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER) ที่อุณหภูมิสูง ๆ ประมาณ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงใช้สารเพิ่มความเสถียรตะกั่วเป็นสารอินทรีย์แทนสารอนินทรีย์ข้างต้น คือ ใช้ DIBASIC LEAD PHTHALATE ($2PbO \cdot Pb(OOC)_2 C_6H_4 \cdot 1/2H_2O$) แต่สารเพิ่มความเสถียรชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียรในแบบ LONG-TERM สารเพิ่มความเสถียรเกือบทั้งหมดจะไม่มีสมบัติความเสถียรต่อแสงและไม่สามารถต้านทานต่อสภาพอากาศได้ (WEATHER RESISTANCE) จึงได้มีการพัฒนาสารเพิ่มความเสถียรตะกั่วเป็น DIBASIC LEAD PHOSPHITE ($2PbO \cdot PbHPO_3 \cdot 1/2H_2O$) ซึ่งจัดเป็นสารเพิ่มความเสถียรตะกั่วที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะตัวสารเพิ่มความเสถียรมีสีขาว ไม่เกิดก๊าซ ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียรได้ดีมาก และ ต้านทานต่อสภาพภูมิอากาศได้ดี และ จัดเป็นสารเพิ่มความเสถียรตะกั่วเพียงชนิดเดียวที่มีสมบัติทางไฟฟ้า และ ต้านทานต่อสภาพอากาศได้ดี แต่ในการใช้งานสารเพิ่มความเสถียรตะกั่วจะต้องมีสารหล่อลื่นร่วมอยู่ด้วย ซึ่งที่นิยมใช้คือ DIBASIC LEAD STEARATE ($2PbO \cdot Pb(C_{17}H_{35}COO)_2$) และ NORMAL LEAD STEARATE ($Pb(C_{17}H_{35}COO)_2$)

ข้อจำกัดของการใช้สารเพิ่มความเสถียรตะกั่ว คือ ไม่สามารถใช้ในงานที่ต้องการความใส (TRANSPARENCY) หรือ โปร่งแสง (TRANSLUCENT) ข้อจำกัดในเรื่องความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (COMPATIBILITY) ไม่สามารถควบคุมลักษณะสีเริ่มแรกได้ (INITIAL COLOR) และที่สำคัญคือมักจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์

(H₂S) เกิด SULFIDE STAINING และ เมื่อสัมผัสกับพีวีซีที่มีส่วนผสมของ ORGANOTIN หรือ ANTIMONY MERCAPTIDE จะเกิดการเปลี่ยนสี เนื่องจากเกิด SULFIDE CROSS-STAINING (FLETCHER AND JENNING, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:58)

อุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก ที่มักใช้สารเพิ่มความเสถียรตะกั่วจะมีอยู่ 2 ประเภทคือ อุตสาหกรรมผลิตฉนวนสายไฟและเคเบิล และอีกอุตสาหกรรมหนึ่งคือ อุตสาหกรรมผลิตท่อพีวีซีแข็ง (ตัวอย่าง สารเพิ่มความเสถียรตะกั่ว แสดงไว้ในตารางที่ 3.1)

1.2 สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนโลหะผสม (MIXED METAL HEAT STABILIZER)

มักใช้ในกรณีที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความใส เช่น พีวีซีเกรดแข็งที่ต้องการความใส เช่น OCTYL TIN เป็นสารเพิ่มความเสถียรดีบุกที่ทาง FOOD AND DRUG ADMINISTRATION หรือ FDA อนุญาตให้ใช้เป็นสารเติมแต่งในการผลิตภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างสารเพิ่มความเสถียรดีบุกชนิดอื่น ๆ เช่น ALKYL TIN MERCAPTIDE, ALKYL TIN CARBOXYLATE มีแสดงในตารางที่ 3.2

1.3 สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนดีบุก (ORGANOTIN HEAT STABILIZER)

สารเพิ่มความเสถียรโลหะผสม (MIXED METAL STABILIZER) สารเพิ่มความเสถียรประเภทนี้มักจะมีส่วนผสมของ CADMIUM หรือ สังกะสี สำหรับเกรดทั่วไปมักจะเป็น BARIUM-CADMIUM แต่สำหรับเกรดที่ทาง FDA กำหนดต้องเป็นส่วนผสมของ CALCIUM-ZINC (ตัวอย่าง สารเพิ่มความเสถียรโลหะผสม ดังแสดงในตารางที่ 3.3)

1.4 สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนชนิดพร้อมใช้งาน (ONE-PACK HEAT STABILIZER)

จัดเป็นสารเพิ่มความเสถียรที่สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องใส่สารเติมแต่งเพิ่มเติมเนื่องจากมีส่วนผสมของสารเพิ่มความเสถียร (STABILIZER) สารหล่อลื่น (LUBRICANT) สี (PIGMENT) สารเพิ่มเนื้อ (FILLER) สารเสริมแรง (REINFORCEMENT) สารหน่วงการติดไฟ (FLAME RETARDANT) สารดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV ABSORBER) และ สารเติมแต่งอื่น ๆ อยู่ในตัวอยู่แล้ว

2. สารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนรอง (SECONDARY HEAT STABILIZER) เป็นสารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนที่ต้องใช้ร่วมกับสารเพิ่มความเสถียรทางความร้อนหลักโดยตัวมันเองไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง สารเพิ่มความเสถียรกลุ่ม

Name	Formula	Specific gravity	Special property
Lead oxide	PbO	9.5	Low cost
Basic lead carbonate	$\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$	6.6	Low cost and white color
Tribasic lead sulfate	$3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6.4	Overall cost/performance
Basic lead silicate sulfate	Complex	5.5	Low cost
Dibasic lead phthalate	$2\text{PbO} \cdot \text{C}_8\text{H}_4(\text{COO})_2\text{Pb}$	4.6	Low reactivity
Dibasic lead phosphite	$2\text{PbO} \cdot \text{PbHPO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	6.1	Outdoor weatherability
Dibasic lead stearate	$2\text{PbO} \cdot (\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2\text{Pb}$	2.0	Lubricity
Normal lead stearate	$(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2\text{Pb}$	1.4	Lubricity
Lead 2-ethylhexoate	$(\text{C}_7\text{H}_{16}\text{COO})_2\text{Pb}$	1.1 ^a	Liquid product

^aSold as 60% solution in mineral spirits.

ตารางที่ 3.1 สารเพิ่มความเสถียรตะกั่ว (LEAD HEAT STABILIZER)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Component	Percent
General-purpose barium cadmium powder	
Barium stearate	60
Cadmium stearate	35
Bisphenol A	5
General-purpose barium cadmium zinc liquid	
Barium nonylphenate	25
Cadmium naphthenate	10
Zinc octoate	5
Decyl diphenyl phosphite	25
Glycol ether solvent	5
Mineral spirits	30
High-efficiency barium cadmium powder	
Cadmium laurate	50
Barium laurate	25
Pentaerythritol	20
BHT	5
Plastisol barium zinc stabilizer	
Barium neodecanoate	10
Zinc neodecanoate	5
Phenyl didecyl phosphite	20
Glycol ether solvent	5
Tall oil fatty acid	10
Octyl epoxy tallate	50
Nontoxic calcium zinc paste	
Calcium stearate	10
Zinc stearate	15
Tris(nonylphenyl) phosphite	25
Epoxidized soybean oil	50

ตารางที่ 3.2 สารเพิ่มความเสถียรโลหะผสม (MIXED METAL HEAT STABILIZER)

Dibutyltin dilaurate	$(n-C_4H_9)_2Sn(OOCC_{11}H_{23})_2$
Dibutyltin maleate	$[(n-C_4H_9)_2SnOOCH=CHCOO]_n$
Dibutyltin bis(isooctyl maleate)	$(n-C_4H_9)_2Sn(OOCCH=CHCOOC_8H_{17})_2$
Diocetyl tin maleate	$[(n-C_8H_{17})_2SnOOCH=CHCOO]_n$
Dibutyltin bis(lauryl mercaptide)	$(n-C_4H_9)_2Sn(SC_{12}H_{25})_2$
Dibutyltin bis(isooctyl mercaptoacetate)	$(n-C_4H_9)_2Sn(SCH_2COOC_8H_{17})_2$
Monobutyltin tris(isooctyl mercaptoacetate)	$n-C_4H_9Sn(SCH_2COOC_8H_{17})_3$
Dimethyltin bis(isooctyl mercaptoacetate)	$(CH_3)_2Sn(SCH_2COOC_8H_{17})_2$
Monomethyltin tris(isooctyl mercaptoacetate)	$CH_3Sn(SCH_2COOC_8H_{17})_3$
Diocetyl tin bis(isooctyl mercaptoacetate)	$(n-C_8H_{17})_2Sn(SCH_2COOC_8H_{17})_2$
Dibutyltin bis(2-mercaptoethyl oleate)	$(n-C_4H_9)_2Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_2$
Monobutyltin tris(2-mercaptoethyl oleate)	$n-C_4H_9Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_3$
Dimethyltin bis(2-mercaptoethyl oleate)	$(CH_3)_2Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_2$
Monomethyltin tris(2-mercaptoethyl oleate)	$CH_3Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_3$
Monobutyltin sulfide	$(n-C_4H_9Sn)_2S_3$
Dibutyltin sulfide	$(n-C_4H_9)_2SnS$
Thiobis[monomethyltin bis(2-mercaptoethyl oleate)]	$CH_3Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_2$ S $CH_3Sn(SCH_2CH_2OCC_{17}H_{33})_2$

ตารางที่ 3.3 สารเพิ่มความเสถียรต่อนก (ORGANOTIN HEAT STABILIZER)

นี้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ EPOXIDISED OIL และ METALLIC SOAP ในกรณีที่ใช้สารเพิ่มความเสถียรประเภทโลหะผสมที่มีส่วนประกอบของ CADMIUM หรือ ZINC จำเป็นต้องใช้ EPOXIDISED OIL ช่วยเสริมในเรื่องความเสถียร

3.2.1.2 สารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER)

สารเพิ่มความนุ่มหรือ PLASTICIZER เป็นสารที่รวมอยู่ในเนื้อพลาสติก หรือ อีลาสโตเมอร์ เพื่อเพิ่มความนุ่มหรือความยืดหยุ่น เพิ่มความสามารถในการใช้งาน และการขึ้นรูป (WORK ABILITY AND PROCESSIBILITY) ทั้งนี้อาจทำให้จุดหลอมเหลว (MELTING TEMPERATURE, T_m) หรือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (GLASS TRANSITION TEMPERATURE, T_g) ของโพลีเมอร์เปลี่ยนไป สารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์อาจจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ ซึ่งความนุ่มและความยืดหยุ่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ แต่ปริมาณการใช้สารเพิ่มความนุ่มแต่ละชนิดก็มีขีดจำกัด และยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ซึ่งสามารถทราบได้จากกราฟแสดงความเข้ากันได้ของสารเพิ่มความนุ่ม (COMPATIBILITY GRAPH) สำหรับสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ แบ่งได้ดังนี้ คือ

1. กลุ่ม PHTHALATE จัดเป็นชนิดที่นิยมใช้ในงานผลิตพีวีซีคอมปาวด์มากที่สุด ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่าง PHTHALIC ANHYDRIDE กับ ALCOHOL สารเพิ่มความนุ่มกลุ่มนี้เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นหรือมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงมากขึ้นจะทำให้สารเพิ่มความนุ่มมีค่าการระเหยต่ำ ความสามารถในการดูดซับของสารเพิ่มความนุ่มจะลดลง แต่มีความสามารถในการทนต่อการสกัดด้วยน้ำมันและน้ำได้ดี มีสมบัติในเรื่องความนุ่มและความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำได้ดี แต่ถ้าโครงสร้างของพลาสติกไซเซออร์มีลักษณะเป็นอะโรมาติกมากขึ้น ผลที่ได้จะตรงกันข้าม

2. กลุ่ม ALIPHATIC DIESTER เช่น ADIPATE, AZELATE มีสมบัติในการเพิ่มความนุ่ม และ ความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำได้ดีมาก ความสามารถในการเข้ากันได้กับพีวีซีจะลดลงเมื่อโครงสร้างเปลี่ยนจาก ADIPATE ไปเป็น AZELATE สารเพิ่มความนุ่มกลุ่มนี้ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ DIOCTYL ADIPATE

3. กลุ่ม PHOSPHATE จัดเป็นสารเพิ่มความนุ่มที่มีสมบัติเป็นสารหน่วงการติดไฟ (FLAME RETARDANT) ถ้าโครงสร้างเปลี่ยนจากความเป็น AROMATIC TRIARYL เป็น ALIPHATIC TRIALKYL จะทำให้ความนุ่ม และ ความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น ขณะที่ความต้านทานต่อสารเคมี และ การป้องกันการติดไฟลดลง และ ยังทำให้ความเสถียรทางความร้อน (HEAT STABILITY) ของ BARIUM-CADMIUM STABILIZER ลดลง

4. EPOXIDISE จัดเป็นสารเพิ่มความนุ่มที่ช่วยเสริมหน้าที่ในด้านความเสถียรต่อความร้อนและแสง โดยจะทำงานร่วมกับสารเพิ่มความเสถียรจำพวกโลหะ (METALLIC STABILIZER) โดยเฉพาะสารเพิ่มความเสถียรที่มีส่วนผสมของ CADMIUM หรือ ZINC ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ เช่น SOYBEAN, LINSEED จัดเป็นสารไม่เป็นพิษ และ มีค่าการระเหยต่ำ

5. POLYMERIC เป็นสารเพิ่มความนุ่มที่มีค่าการระเหยต่ำมาก ทนต่อการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำมัน และ มักจะใช้เป็นส่วนผสมในพีวีซีคอมปาวด์เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตฉนวนสายไฟที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง จัดเป็นสารเพิ่มความนุ่มที่มีราคาสูง

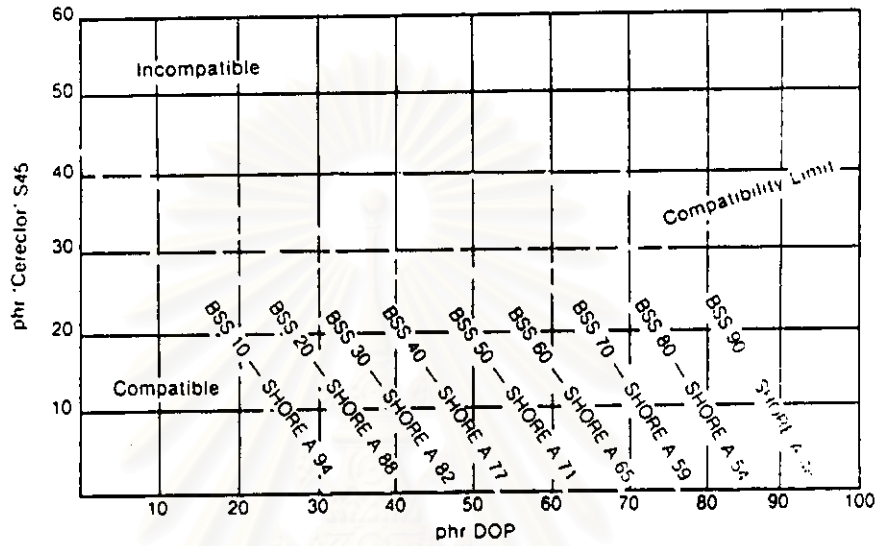
6. สารเพิ่มความนุ่มรอง (SECONDARY PLASTICIZER) เป็นสารเพิ่มความนุ่มกลุ่มที่มีข้อจำกัดในการใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความนุ่มหลัก ตามกราฟ COMPATIBILITY (กราฟที่ 3.1) สารเพิ่มความนุ่มกลุ่มนี้ เช่น CHLORINATED PARAFFIN

3.2.1.3 สารเพิ่มเนื้อ (FILLER)

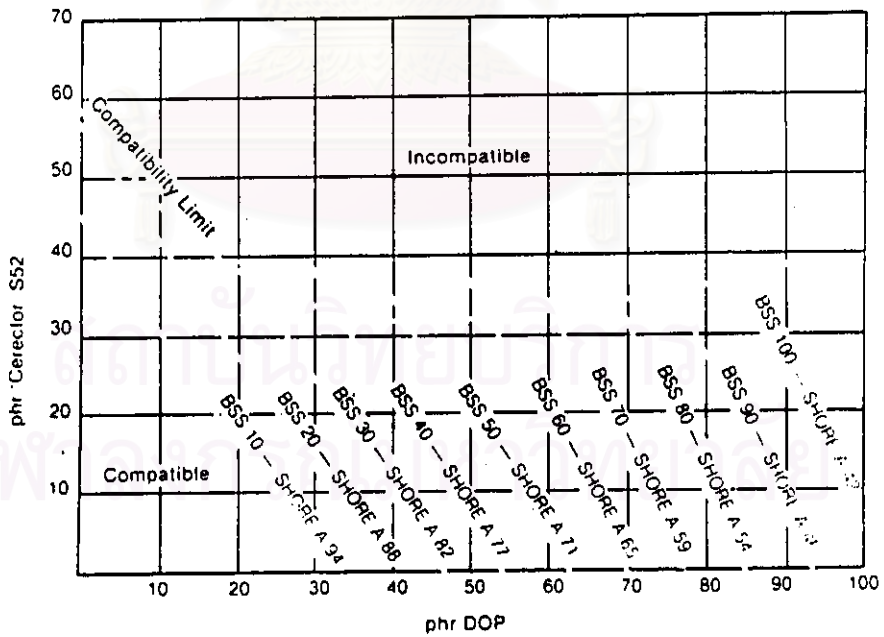
สารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์มีจุดประสงค์หลักคือ ต้องการลดต้นทุนการผลิต และ ที่สำคัญคือ ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและทางไฟฟ้าด้วย เช่น ค่าแรงกระแทก, ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTIVITY, VR) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารเพิ่มเนื้ออย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีในเรื่องขนาดอนุภาค การทำสารเพิ่มเนื้อให้บริสุทธิ์ การผ่านกรรมวิธีการเคลือบผิวอนุภาค (SURFACE TREATMENT) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรวมกันได้ และ การพัฒนา COUPLING AGENT เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างพีวีซีกับสารเพิ่มเนื้อ

สารเพิ่มเนื้อแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องเลือกสารเพิ่มเนื้อให้เหมาะแก่การใช้งาน เช่น คัลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่ได้จากการตกตะกอน และมีขนาดอนุภาคเล็กมาก (ULTRAFINE PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE) จะช่วยปรับปรุงในเรื่องแรงกระแทก, ดินขาวที่ผ่านการเผา (CALCINED CLAY) จะช่วยปรับปรุงในด้านสมบัติทางไฟฟ้า (VANDERHEIDEN AND MATHUR CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:504)

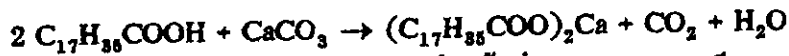
1. หินปูน (LIMESTONE) หินปูนซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติมีสูตรว่า CaCO_3 ซึ่งอาจมีส่วนผสมของ MgCO_3 และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 การทำ SURFACE TREATMENT ในสารเพิ่มเนื้อก็เพื่อต้องการลดการใช้สารหล่อลื่นที่จะช่วยส่งเสริมให้วัสดุโพลีเมอร์มีการไหลตัวได้ดี ทำให้ลดปริมาณการใช้สารเพิ่มความนุ่ม และที่สำคัญคือ ช่วยปรับปรุงค่า LOW TEMPERATURE IMPACT STRENGTH และ ลดการสึกกร่อนสำหรับปฏิกิริยาในการทำ SURFACE TREATMENT เป็นดังนี้



Graph 37 - DOP/S45



กราฟที่ 3.1 COMPATIBILITY GRAPH ของ DOP กับ CHLORINATED PARAFFIN)



การใช้สารเพิ่มเนื้อที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากที่ผ่านการเคลือบผิวในพีวีซีเกรดแข็ง (RIGID PVC) จะช่วยทำให้การผลิตง่ายขึ้น ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และ ทนต่อการรับแรงกระแทก และ รอยขีดข่วน ถ้าใช้ในพีวีซีเกรดนุ่มจะให้ค่าแรงดึง (TENSILE STRENGTH) และ ค่า MODULUS ดีขึ้น แต่ทำให้ค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดใหญ่

หินปูน หรือ LIMESTONE ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย STEARIC ACID จะทำให้ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTIVITY, VR) เพิ่มขึ้น และ ลดความชื้น (VANDERHEIDEN AND MATHUR CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:506)

2. ดินขาว (KAOLIN CLAY) KAOLIN มีสูตรทางเคมีคือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (HYDROUS ALUMINO SILICATE) ในทางทฤษฎี KAOLIN จะประกอบไปด้วย SILICA 46.5% ALUMINA 39.5% และ น้ำ 14% KAOLIN ที่ผ่านการเผา (CALCINED KAOLIN) จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 2.58 เป็น 2.63

สำหรับในอุตสาหกรรมผลิตฉนวนไฟฟ้ามักจะใช้ CALCI-NED CLAY เป็นสารเพิ่มเนื้อโดยมักใช้ในปริมาณ 5-15 phr ถ้าใช้ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) เพิ่มขึ้นแต่ทำให้ความยืดหยุ่นลดลง (VANDERHEIDEN AND MATHUR CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:510)

สำหรับ KAOLIN ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเพื่อทำฉนวนไฟฟ้า จะช่วยปรับปรุงในด้านความเป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเกล็ด KAOLIN ทำให้เส้นทางการไหลของอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น

3.2.1.4 สี (PIGMENT)

สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพีวีซีคอมปาวด์ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. สีอนินทรีย์ (INORGANIC PIGMENT) มีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดีมาก เป็นสีที่มีราคาไม่สูง แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความใสมาก ๆ

2. สีอินทรีย์ (ORGANIC PIGMENT) มีสมบัติทนต่อความร้อนได้น้อยกว่า จัดเป็นสีที่มีราคาสูงกว่าสีอนินทรีย์ เหมาะที่จะใช้กับการผลิตพีวีซีคอมปาวด์เกรดทึบ หรือ ใช้ผลิตพีวีซีเกรดใสได้บ้าง

3. DYE จัดเป็นสีที่มีราคาสูงที่สุดมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้น้อย เหมาะสำหรับการผลิตพีวีซีเกรดใส

3.2.1.5 สารหล่อลื่น (LUBRICANT)

สารหล่อลื่นที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ มีหน้าที่หลัก ๆ 2 อย่างคือ ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวโลหะของเครื่องจักรกับเนื้อพีวีซี และ ลดแรงเสียดทานภายในเนื้อพีวีซีเอง ดังนั้น จึงสามารถแบ่งสารหล่อลื่นเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. สารหล่อลื่นภายใน (INTERNAL LUBRICANT) สารหล่อลื่นที่ใช้ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายในเนื้อโพลิเมอร์เช่น GLYCEROL MONORICINOLATE, BUTYL STEARATE, CALCIUM STEARATE เป็นต้น

2. สารหล่อลื่นภายนอก (EXTERNAL LUBRICANT) สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างเนื้อโพลิเมอร์กับผิวของเครื่องจักร เช่น STEARIC ACID, HOECHST WAX E, POLYETHYLENE WAX เป็นต้น

3.2.1.6 สารเติมแต่งอื่น ๆ (OTHER ADDITIVES)

นอกจากสารเติมแต่งหลัก ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว ได้แก่ สารเพิ่มความเสถียร (STABILIZER), สารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER), สารเพิ่มเนื้อ (FILLER), สี และ สารหล่อลื่น (LUBRICANT) แล้ว ยังมีสารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์เพื่อให้ได้คุณลักษณะเหมาะที่จะใช้งานในแต่ละประเภท เช่น

1. BLOWING AGENT ใช้เพื่อต้องการให้พีวีซีมีความหนาแน่นลดลงเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า CELLULAR STRUCTURE โดยมีเซลอากาศแทรกอยู่ในเนื้อ สารกลุ่มนี้ เช่น AZODICARBONAMIDE

2. ANTISTATIC AGENT ใช้ปรับปรุงให้ผิวชิ้นงานมีประจุไฟฟ้าสถิตย์ลดลง

3. ANTIBLOCKING AGENT ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นฟิล์มติดกัน

4. FUNGICIDES ใช้เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย

5. SMOKING AGENT ใช้เพื่อลดการเกิดควันเมื่อเกิดการติดไฟ

6. UV ABSORBENT ใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลต

7. FLAME RETARDANT ใช้เพื่อหน่วงการติดไฟ

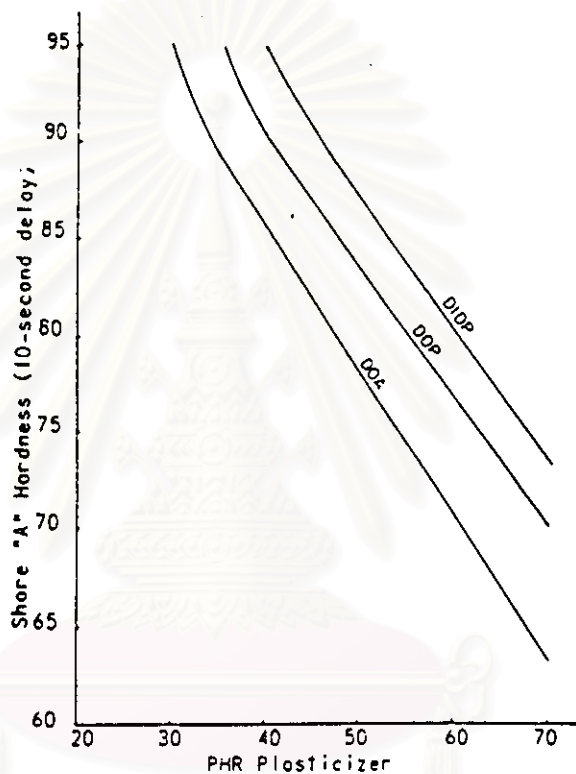
3.2.2 สมบัติของพีวีซีคอมปาวด์

ในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์นั้น ก่อนที่จะเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมเพื่อผลิตพีวีซีคอมปาวด์ให้ได้สมบัติตามต้องการนั้นจะต้องทราบถึงสมบัติต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อผลิตพีวีซีให้เหมาะแก่การใช้งาน สมบัติที่จำเป็นต้องทราบในการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ เช่น

1. ค่าความแข็ง (HARDNESS)
2. ค่ากำลังแรงดึง (TENSILE STRENGTH)
3. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (MODULUS OF ELASTICITY)
4. ค่าประสิทธิภาพของสารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER EFFICIENCY)
5. ค่าความยืดสูงสุด (ULTIMATE ELONGATION)
6. ความอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำ (LOW TEMPERATURE FLEXIBILITY)
7. ค่าการระเหย (VOLATIVITY)
8. คุณลักษณะการใช้งานที่อุณหภูมิสูง (HIGH-TEMPERATURE SERVICE CHARACTERISTICS)
9. ค่าความเสถียรทางความร้อน (HEAT STABILITY)
10. ค่าความเสถียรต่อแสง (LIGHT STABILITY)
11. สมบัติทางไฟฟ้า (ELECTRICAL PROPERTIES)
12. ความใส (CLARITY)
13. ความต้านทานทางเคมี (CHEMICAL RESISTANCE)
14. ความต้านทานต่อสิ่งแปลกปลอม (STAIN RESISTANCE)
15. ความสามารถในการติดไฟ (FLAMMABILITY)

1. ค่าความแข็ง (HARDNESS)

ค่าความแข็งจะเป็นตัวที่แสดงถึงความนุ่ม (SOFTENING) ของพีวีซี ซึ่งค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER) สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความแข็ง คือ SHORE DUROMETER ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงานทดสอบ และ การวัดค่านั้นจะใช้มาตรฐาน ASTM D 2240 ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นตัวเลขในสากล A หรือ SHORE A



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสารเพิ่มความนุ่ม

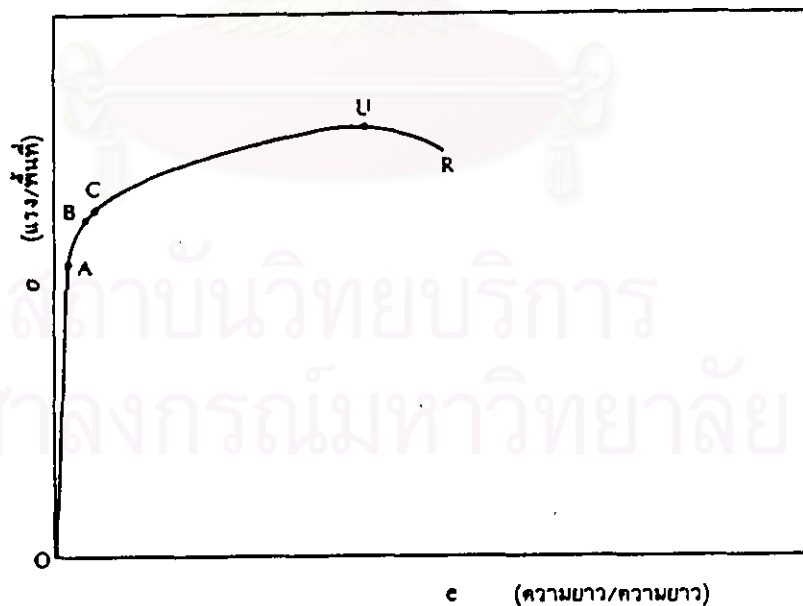
2. ค่ากำลังแรงดึง (TENSILE STRENGTH)

ค่านี้วัดจากแรงที่ใช้ดึงชิ้นงานตัวอย่างโดยเป็นแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างยืดออกก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด ค่าที่ได้จะอยู่ในหน่วย แรง/พื้นที่ เช่น ปอนด์/ตารางนิ้ว, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งค่า TENSILE STRENGTH จะเพิ่มขึ้น เมื่อ

- ลดปริมาณการใช้สารเพิ่มความนุ่ม
- เพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพิวซีเรซิน
- เพิ่มดีกรีของการหลอมละลาย (DEGREE OF FUSION)
- เพิ่มปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในพิวซีคอมปาวด์ สำหรับวิธี

การวัดค่านี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638

สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด (STRESS-STRAIN CURVE) แสดงในกราฟที่ 3.3



กราฟที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด

จากกราฟ ช่วง OA เป็นเส้นตรงมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\sigma = E e$$

σ = แรงต่อพื้นที่

E = ค่า MODULUS OF ELASTICITY

e = ค่าความยืด

จุด C คือ จุด YIELD POINT เป็นจุดเริ่มต้นที่วัสดุมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร

จุด B คือ จุดพิกัดความยืดหยุ่น โดยวัสดุจะไม่มี การเปลี่ยนรูปอย่างถาวร

จุด U คือ จุดเทนไซล์สเตรสสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH)

จุด R คือ จุดที่วัสดุเกิดการพังทลาย หรือ แตกหัก

3. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (MODULUS OF ELASTICITY)

ค่านี้ได้จากค่าความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด (STRESS-STRAIN CURVE) ซึ่งวัดจากช่วงกราฟที่เป็นเส้นตรง ค่าความชันดังกล่าวจะมีหน่วยเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สำหรับวิธีการดำเนินการวัดค่านี้จะ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638

4. ค่าประสิทธิภาพของสารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER

EFFICIENCY)

ค่านี้จะเป็นตัวระบุว่า สารเพิ่มความนุ่มชนิดใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ที่ค่าความแข็ง (HARDNESS) ค่าเดียวกัน โดยสารเพิ่มความนุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะถูกใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าสารเพิ่มความนุ่มที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า สารเพิ่มความนุ่มมักจะถูกสกัดให้แยกออกจากพีวีซีคอมพาวด์โดยมากมักเกิดจาก น้ำ, น้ำมัน, น้ำมันอินทรีย์ (ORGANIC OIL) และ ตัวทำละลาย ดังนั้น ถ้าจะป้องกันไม่ให้สารเพิ่มความนุ่มถูกสกัดด้วยน้ำ, น้ำมัน โดยใช้ สารเพิ่มความนุ่มจำพวก MONOMERIC ESTER ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ตัวอย่างเช่น DIISODECYL PHTHALATE, DIISODECYL ADIPATE และ TRIMELLITATE) แต่ถ้าต้องการป้องกันการถูกสกัดโดยน้ำมันหรือตัวทำละลายจะต้องใช้สารเพิ่มความนุ่มจำพวก POLYMERIC PLASTICIZER พีวีซีคอมพาวด์โดยมากมักจะต้องสัมผัสกับโพลีเมอร์ชนิดอื่น ดังนั้น เพื่อป้องกันการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารเพิ่มความนุ่มจากสารประกอบพีวีซีไปยังโพลีเมอร์ชนิดอื่น (MIGRATION) ควรจะใช้สารเพิ่มความนุ่มจำพวก POLYMERIC PLASTICIZER ตัวอย่างค่าประสิทธิภาพความนุ่มดูในตารางที่ 3.4

	Modulus, psi			Hardness		
	1000	1500	2000	75	85	95
DOP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DOA	0.83	0.85	0.85	0.87	0.87	0.86
TArP	—	1.28	1.32	1.16	1.26	1.29

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงประสิทธิภาพของสารเพิ่มความนุ่ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ค่าความยืดสูงสุด (ULTIMATE ELONGATION)

ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดสูงสุดเมื่อเทียบกับความยาวเดิมก่อนที่ชิ้นงานทดสอบจะฉีกขาด ค่านี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้มากขึ้น และ น้ำหนักโมเลกุลของพีวีซีเรซินเพิ่มขึ้น และ ค่านี้จะลดลงเมื่อปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้มากขึ้น

6. ความอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำ (LOW-TEMPERATURE FLEXIBILITY)

พีวีซีเกรดนุ่มทั่วไปจะมีความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) มากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและจะเกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยอัตราความอ่อนตัวจะลดลง (ที่อุณหภูมิต่ำ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ ซึ่งค่านี้จะมีค่าที่มีสมบัติดีขึ้นเมื่อใช้สารเพิ่มความนุ่มที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงของเอสเทอร์และมีค่าความหนืดต่ำ (ALIPHATIC ESTER) เช่น ADIPATES, AZELATES, SEBACATES, ALKYL EPOXY STEARATE และ TRIALKYL PHOSPHATE และ สมบัติของค่านี้จะมีสมบัติลดลงเมื่อสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้มีโครงสร้างเป็นวงแหวนมากขึ้น (AROMATICITY) และมีค่าความหนืดมากขึ้น

7. ค่าการระเหย (VOLATILITY)

พีวีซีเกรดนุ่มโดยมากเมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งแล้ว มวลของพีวีซีจะลดลงทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการระเหยของสารเพิ่มความนุ่ม ทำให้พีวีซีเมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งจะเกิดลักษณะแข็งกระด้าง (STIFFNESS) ถ้าอุณหภูมิที่ใช้งานสูงขึ้น และพื้นที่ผิวของชิ้นงานสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น (สัมพันธ์กับน้ำหนักรวม) ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารเพิ่มความนุ่มจะมีความสำคัญมาก ค่าการระเหยจะเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มความนุ่ม โดยทั่วไปแล้วสารเพิ่มความนุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะมีค่าการระเหยต่ำ ค่าการระเหยสามารถทดสอบได้โดยการวางชิ้นงานตัวอย่างไว้ในที่เปิดซึ่งมีการควบคุม อุณหภูมิ ระยะเวลา การไหลเวียนของอากาศแล้วคำนวณหามวลที่สูญเสียไปของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1203

8. คุณลักษณะการใช้งานที่อุณหภูมิสูง (HIGH-TEMPERATURE SERVICE CHARACTERISTICS)

ถ้าพีวีซีถูกออกแบบให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงแล้ว สูตรผสมที่ใช้ผลิตพีวีซีคอมปาวด์ จำเป็นต้องใช้สารเพิ่มความนุ่มที่มีค่าการระเหยต่ำ และ ส่วนประกอบอื่น ๆ ในสูตรที่ใช้ผลิตพีวีซีคอมปาวด์จะต้องไม่สลายตัวออกเป็นน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ และ ไม่ให้ค่าการระเหยสูงที่อุณหภูมิใช้งาน เพื่อป้องกันสิ่งที่กล่าวถึงจะเกิดขึ้น ควรจะเติมสาร ANTIOXIDANT

เช่น PHTHALATE ฉะนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อจะผลิตพีวีซีคอมปาวด์ให้ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ โดยไม่สูญเสียสมบัติที่ต้องการ ประกอบด้วย

- ต้องเลือกใช้สารเพิ่มความนุ่มที่มีค่าการระเหยต่ำ
- สารประกอบที่ใช้ผลิตพีวีซีคอมปาวด์ต้องเสถียรที่อุณหภูมิใช้งาน หรือ ป้องกันการสลายตัว
- สารเพิ่มความเสถียรที่จะเลือกใช้ ต้องสามารถป้องกันการสลายตัวที่อุณหภูมิการขึ้นรูป
- ส่วนประกอบรอง เช่น สี, สารเพิ่มเนื้อ ฯลฯ จะต้องไม่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสลายต่อสารเพิ่มความนุ่มหรือพีวีซีเรซิน

9. ค่าความเสถียรทางความร้อน (HEAT STABILITY)

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการต่อต้านการสลายตัว และการเปลี่ยนสี ภายใต้สภาวะการดำเนินการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ ซึ่งสามารถทดสอบเป็น 2 กรณี คือ การทดสอบแบบคงที่ (STATIC TEST) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D2115 และ การทดสอบแบบเคลื่อนที่ (DYNAMIC TEST)

10. ค่าความเสถียรต่อแสง (LIGHT STABILITY)

เช่นเดียวกับสารอินทรีย์อื่น ๆ ส่วนประกอบของพีวีซีสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อได้สัมผัสกับแสงอุลตราไวโอเลต (UV LIGHT) ซึ่งจะทำให้พีวีซีเกิดการสูญเสียสมบัติทางกายภาพ หรือ เปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ หรือที่เรียกว่า เกิดการเสื่อมสภาพ (DEGRADATION) เช่น เกิดความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) ความเปราะ (EMBRITTEMENT) และ การเปลี่ยนสี แสงที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพจะเป็นแสง UV และ แสงที่เกิดจากหลอดไฟที่ผลิตขึ้น เพื่อให้ได้พีวีซีคอมปาวด์ที่ทนต่อแสงจะต้องเลือกใช้พีวีซีเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ และสารเติมแต่งต่าง ๆ ต้องมีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขาน้อย ๆ และ สารตกค้างต้องมีปริมาณต่ำ ๆ ในขณะที่โพลีเมอร์เรซิน

สารเพิ่มความนุ่มจำพวก PHOSPHATE พบว่า มีความทนต่อแสงไม่ดี และ ไม่ควรใช้สารเพิ่มความนุ่มเสริมจำพวก CHLORINATED PARAFFIN และพวกที่มีความเป็น AROMATIC สูง ๆ แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ ALCOHOL ESTER ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่สาขา จะต้องเติมสารพวก ANTIOXIDANT ลงในระบบสารเพิ่มความเสถียร และควรจะมีสารจำพวกสารเพิ่มความนุ่มประเภท EPOXY (EPOXY PLASTICIZER) โดยใช้ประมาณ 3-5 phr (phr หมายถึง PART PER HUNDRED PARTS OF PVC RESIN, BY WEIGHT) (FLETCHER AND JENNING, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:20)

ถ้าใช้สารเพิ่มเนื้อจะต้องมีปริมาณ METALLIC OXIDE และ พวกสิ่งเจือปนประเภทเกลือต่ำ ๆ โดยควรจะใช้พวกหินปูนเป็นสารเพิ่มเนื้อ (CaCO_3) และ ถ้าต้องการความใสสำหรับเนื้อพีวีซีคอมปาวด์จะต้องใส่สารจำพวก LIGHT STABILIZER ซึ่งจะคอยดูดซับแสง UV แล้วเปลี่ยนเป็น RESONANT INTRAMOLECULAR ENERGY ตัวอย่าง สารเพิ่มความเสถียรดังกล่าว เช่น HYDROXY-SUBSTITUTED BENZOPHENONE และ BENZOTRIAZOLES สำหรับสารเพิ่มความเสถียรต่อแสงที่ดีเยี่ยมที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ BARIUM-CADMIUM-ZINC-PHOSPHITE COMBINATIONS และ สารเพิ่มความเสถียรรวมดังกล่าวจะยิ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้าใช้ร่วมกับ EPOXY PLASTICIZER และ ULTRAVIOLET ABSORBER

ตัวอย่าง สูตรพีวีซีคอมปาวด์ที่ต้องการความเสถียรต่อแสง มีดังนี้

PVC RESIN	100	phr
ESTER PLASTICIZER	30-80	phr
EPOXY PLASTICIZER	3-5	phr
CALCIUM CARBONATE	0-50	phr
Ba-Cd-Zn STABILIZER	2-4	phr
PHOSPHITE STABILIZER	0.5-1	phr
UV ABSORBER	0.1-1	phr
FATTY ACID OR ESTER LUBRICANT	0.3-1	phr

เนื่องจากรังสี UV เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพีวีซีคอมปาวด์ซึ่งอาจจะป้องกันสาเหตุดังกล่าวได้โดยการเติมสารที่ให้ความทึบแสง และ จำพวกสีที่ทนต่อแสง เช่น TITANIUM DIOXIDE และ CARBON BLACK ระดับการใช้ของ TITANIUM จะประมาณ 10-15%

11. สมบัติทางไฟฟ้า (ELECTRICAL PROPERTIES)

ฉนวนไฟฟ้า เป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญต่อการใช้งานพีวีซีเกรดนุ่ม ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในพีวีซีเกรดนุ่ม ต้องดูสมบัติของสารประกอบเหล่านั้นว่ามีผลต่อความต้านทานการเป็นฉนวนไฟฟ้า (INSULATION RESISTANCE, DIELECTRIC STRENGTH และ CAPACITANCE) โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังกล่าว ควรจะปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มีสภาพเป็นไอออน สมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการเติม CLAY และ CALCIUM CARBONATE รวมถึงสารเพิ่มความเสถียรจำพวกที่มีส่วน

ประกอบของตะกั่ว (LEAD STABILIZER) เช่น TRIBASIC LEAD SULFATE, DIBASIC LEAD PHOSPHITE และ DIBASIC LEAD PHTHALATE

12. ความใส (CLARITY)

เนื่องจากพีวีซีเกรดนุ่มด้วยตัวมันเองจะมีความใส แต่ที่พีวีซีมีความใสลดลงก็เนื่องมาจากส่วนประกอบอื่น ๆ ในพีวีซีคอมปาวด์มีขีดจำกัดในการเข้ากันได้กับพีวีซีเรซิน ดังนั้น ถ้าต้องการพีวีซีคอมปาวด์ที่มีความใสมาก ๆ ต้องพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบดังนี้

- พีวีซีเรซิน ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบโดยควรเลือกเรซินที่มีค่า K ไม่สูงมากนัก
- สารเพิ่มความนุ่ม จะต้องเป็นชนิดที่สามารถเข้ากันได้ดีกับพีวีซีเรซินและ สารประกอบอื่น ๆ
- ควรใช้สารเพิ่มความเสถียรประเภทสารเพิ่มความเสถียรดีบุก หรือ สารเพิ่มความเสถียรโลหะผสม เช่น ORGANOTIN และ พวก BARIUM-CADMIUM LIQUID แต่ถ้าต้องการพีวีซีคอมปาวด์ที่ไม่เป็นพิษจะต้องใช้ CALCIUM-ZINC และ ALKYL-TIN STABILIZER
- สารหล่อลื่นที่ใช้ต้องเป็น STEARIC ACID, STEARAMIDES, FATTY ACID ESTER ส่วนพวก METALLIC FATTY ACID SOAPS และ พวก WAXES จะต้องไม่ใช้ในการทำพีวีซีคอมปาวด์เกรดใส
- ห้ามใช้สารเพิ่มเนื้อ (FILLER) และ สีจำพวกสารอนินทรีย์ที่ไม่ละลาย (INSOLUBLE INORGANIC PIGMENTS)

13. ความต้านทานทางเคมี (CHEMICAL RESISTANCE)

ความต้านทานทางเคมี หมายถึง พีวีซีคอมปาวด์เมื่อต้องสัมผัสกับสารพวกกรด, เบส หรือ ALKALIS และ พวกเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ แล้วยังคงมีสมบัติที่ดีทั้งทางด้านกายภาพ และ พงกกล (PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES) การทดสอบความต้านทานทางเคมี โดยมากจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D543

14. ความต้านทานต่อสิ่งแปลกปลอม (STAIN RESISTANCE)

สำหรับผู้ใช้สินค้าที่ทำจากพีวีซีคอมปาวด์นั้น ย่อมต้องการให้พีวีซีมีความทนต่อการเกิดสิ่งแปลกปลอมจากสารภายนอก และ ยังคงสีให้เหมือนเดิม การที่จะสืบหาสาเหตุที่ทำให้เกิด STAINING นั้น ค่อนข้างยากและมีได้หลายสาเหตุ เช่น อุณหภูมิที่ใช้เร่งสถานะความร้อน (HEAT AGING) แสงสว่าง (LIGHT AGING) การเคลื่อนย้ายโมเลกุล

ของส่วนประกอบที่มีสีไปยังพีวีซี หรือทำให้เปลี่ยนสีภายใต้สภาวะต่าง ๆ การเกิดสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากเชื้อรา (FUNGAI) และ สภาพอากาศในย่านอุตสาหกรรม การป้องกันการเกิด STAINING เนื่องมาจากความร้อนและแสงป้องกันได้โดยการเลือกใช้สารเพิ่มความเสถียรให้ถูกต้อง แต่ในกรณี MIGRATION เนื่องจากสารประกอบอื่น ๆ ในพีวีซีคอมปาวด์ สามารถป้องกันได้โดยใช้สารเพิ่มความนุ่ม และ บางครั้งอาจจะต้องเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของโพลิเมอร์ตัวอื่น เช่น การใช้ NON-STAINING ANTIOXIDANT ในยางที่อยู่ติดกับโครงตู้เย็นที่ทำจากไวนิล แต่ถ้า STAINING ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเชื้อราสามารถป้องกันได้โดยสารที่ป้องกันที่ต่อต้านการติดเชื้อรา สำหรับกรณีที่เกิด STAINING เนื่องมาจากสภาพอากาศบริเวณอุตสาหกรรม (โดยมากมีก๊าซ NITROUS OXIDE, HYDROGEN SULFIDE) ซึ่งก๊าซดังกล่าวอาจทำปฏิกิริยากับสี (PIGMENT) หรือ สารเพิ่มความเสถียร (STABILIZER) เป็นสาเหตุให้เกิด BLEACHING หรือ เกิดการเปลี่ยนสี (DISCOLORATION) กับตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยอย่าให้พีวีซีสัมผัสกับอากาศดังกล่าว หรือ เลือกใช้สีหรือ สารเพิ่มความเสถียรที่ไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซดังกล่าว

สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สามารถป้องกันได้โดยการใช้พวก NON-STAINING STABILIZER เช่น สารเพิ่มความเสถียรดีบุก หรือ BARIUM-CADMIUM-ZINC (ZINC จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิด SULFIDE STAINING) และต้องไม่ใช่สีที่มีส่วนประกอบของตะกั่วหรือโลหะอื่น ๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (FLETCHER AND JENNING CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:25)

15. ความสามารถในการติดไฟ (FLAMMABILITY)

แม้ว่าพีวีซีจะสามารถติดไฟด้วยตัวมันเองได้ แต่ในพีวีซีคอมปาวด์จะมีสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่มีสมบัติเหมือนพีวีซี เช่น สารเพิ่มความนุ่ม แต่สารเพิ่มความนุ่มที่สามารถต้านทานการติดไฟจะเป็นจำพวก PHOSPHATE PLASTICIZER และ สารให้ความนุ่มแบบเสริม (SECONDARY PLASTICIZER) เช่น CHLORINATED PARAFFIN ก็จะทำให้หน้าที่เช่นเดียวกัน แต่มีบางสมมติฐานที่ว่า CHLORINATED PARAFFIN จะไปช่วยลดความเข้มข้นสารเพิ่มความนุ่มที่สามารถติดไฟได้ไม่ใช่ทำหน้าที่ป้องกันการติดไฟโดยตรง เราสามารถเติมสารป้องกันการติดไฟได้โดยใช้ ANTIMONY TRIOXIDE ลงในพีวีซีคอมปาวด์โดยไม่คำนึงถึงปัญหาการเกิด SULFIDE STAINING สำหรับระบบสารผสมระหว่าง ANTIMONY TRIOXIDE กับ ALUMINUM TRIHYDRATE และ ZINC BORATE จะทำให้ความสามารถในการติดไฟลดลงและป้องกันการเกิดควันไฟ การทดสอบการติดไฟสามารถดูในรายละเอียดได้จากมาตรฐาน ASTM D229, D568, D635, D757, D1433, D2843, D2863 และ D3801

3.2.3 การกำหนดสูตรพีวีซีคอมปาวด์ (FORMULATION OF PLASTICIZED VINYL)

ก่อนที่จะกำหนดสูตรพีวีซีคอมปาวด์ ผู้กำหนดสูตรต้องทราบสมบัติต่าง ๆ ของพีวีซีคอมปาวด์ว่า ต้องมีสมบัติอะไรที่เหมาะสมแก่การใช้งานในสภาวะต่าง ๆ กัน ตัวอย่างการกำหนดสูตรการผลิตพีวีซีคอมปาวด์ เป็นดังนี้

1. การกำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (SPECIFICATIONS OF PRODUCTS)

1.1 ใช้ทำฟิล์มพีวีซีโดยมีวัตถุประสงค์การใช้งานทั่วไป

1.2 หลอมละลายที่ความร้อนสูงโดยผ่านกระบวนการ

CALENDERING

1.3 ให้มีคุณลักษณะที่ดีในการใช้งาน, ต้องการความโปร่งแสง, ค่าความแข็ง SHORE A 85 และ ต้องหน่วงการติดไฟ

2. กำหนดชนิดของสารเติมแต่งและปริมาณที่ใช้

จากข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ข้างต้น สามารถนำมาเลือกชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่จะใช้เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนี้

2.1 ค่าความแข็ง SHORE A = 85

เนื่องจากสารเพิ่มความนุ่มที่นิยมใช้เป็นตัวเลือกแรก ๆ คือ DIOCTYL PHTHALATE (DOP) เนื่องจากมีสมบัติการใช้ในช่วงกว้าง และมีราคาไม่สูงนัก ดังนั้น จากค่าความแข็ง SHORE A 85 เมื่อดูจากกราฟที่ 3.2 จะได้ปริมาณ DOP 47 phr

2.2 เลือกชนิดพีวีซีที่จะใช้

เนื่องจากปริมาณสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้มีปริมาณพอสมควร ดังนั้น พีวีซีเรซินที่ใช้ควรเป็นชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ถ้าปริมาณสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้มีปริมาณมาก ๆ พีวีซีเรซินที่ใช้ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ๆ (K VALUE มาก ๆ) แต่ถ้าต้องการความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) พีวีซีเรซินที่เหมาะสมต้องมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ

2.3 กำหนดชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเสถียร

เนื่องจากสินค้าต้องการความใส และ โปร่งแสงจึงเลือกใช้ BARIUM-CADMIUM LIQUID เนื่องจากมีประสิทธิภาพในเรื่องความใสและมีราคาไม่สูงนัก สำหรับสารเพิ่มความเสถียรประเภท LEAD STABILIZER จะไม่นำมาใช้เนื่องจากจะทำให้สินค้ามีความทึบแสงและไม่สามารถควบคุมสีเริ่มต้นให้คงที่ซึ่งจำเป็นอย่างมากในกระบวนการ HIGH-SPEED CALENDERING ส่วนสารเพิ่มความเสถียรชนิดอื่น มีราคาแพงและไม่จำเป็นถึง

ผลกระทบข้างเคียงและยังเป็นสารเพิ่มความเสถียรที่ไม่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการทำพีวีซีเกรดนุ่ม ดังนั้น จึงเลือกใช้ BARIUM-CADMIUM LIQUID จำนวน 2 phr (ถ้าเป็น HIGHER SPEED และ อยู่ที่สภาวะอุณหภูมิสูง จะต้องใช้สารเพิ่มความเสถียรที่มีความเข้มข้นสูง)

2.4 กำหนดชนิดและปริมาณสารหล่อลื่น

สารเพิ่มความเสถียรที่เลือกใช้นั้นมีสารหล่อลื่นอยู่ไม่เพียงพอ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเติมสารหล่อลื่นเพิ่มเติม จึงเลือก STEARIC ACID เนื่องจากเป็นสารหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพ และมีราคาไม่สูง และ ยังช่วยเสริมให้สารเพิ่มความเสถียรทำงานได้ดีขึ้น โดยเติม STEARIC ACID จำนวน 0.5 phr

2.5 กำหนดปริมาณสารเพิ่มความเสถียรรอง (SECONDARY STABILIZER)

เพื่อให้สารเพิ่มความเสถียรหลัก (BARIUM-CADMIUM STABILIZER) ทำงานในด้านความร้อนและแสงได้ดียิ่งขึ้น จำเป็นต้องเพิ่ม EPOXY PLASTICIZER (หรือ EPOXY STABILIZER) จำนวน 3-5 phr

2.6 กำหนดชนิดและปริมาณสารหน่วงการติดไฟ

เนื่องจากข้อกำหนดของสินค้าที่ต้องการหน่วงการติดไฟจึงจำเป็นต้องเติมสารที่เรียกว่า FLAME RETARDANT ซึ่งมีกลุ่ม PHOSPHATE PLASTICIZER หรือ ANTIMONY TRIOXIDE แต่เนื่องจากเกลือของ ANTIMONY จะทำให้เกิด SULFIDE STAINING ดังนั้น จึงเลือก PHOSPHATE PLASTICIZER ซึ่งสารกลุ่มนี้ที่นิยมใช้มี 2 ชนิดคือ TRIARYL และ ALKYL DIARYL ESTER ซึ่งจะเลือกชนิดใดขึ้นอยู่กับสมบัติในด้านความสามารถป้องกันการติดไฟ หรือความสามารถในการคงสมบัติที่อุณหภูมิต่ำโดย TRIARYL PHOSPHATE จะให้สมบัติป้องกันการติดไฟได้ดีกว่า ALIPHATIC ALKYL DIARYL PHOSPHATE ซึ่งให้สมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำดีกว่า ดังนั้น จึงเลือกใช้ TRIARYL PHOSPHATE ในปริมาณ 10-15 phr เนื่องจากการป้องกันการติดไฟเป็นข้อกำหนดที่สำคัญกว่า

2.7 กำหนดปริมาณสารเพิ่มเนื้อ

เนื่องจากข้อกำหนดของสินค้า ต้องการความโปร่งแสง (TRANSLUCENT) ไม่ใช่ความใส (TRANSPARENCE) ดังนั้น จึงสามารถเติมสารเพิ่มเนื้อ (FILLER) ลงไปในสูตรได้ เนื่องจากทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงและให้สมบัติความโปร่งแสง ถ้าเติมสารเพิ่มเนื้อในปริมาณน้อย ๆ ในที่นี้เลือก CALCIUM CARBONATE จำนวน 10 phr

จากการใช้สารเพิ่มความนุ่มประเภท TRIARYL PHOSPHATE เป็นตัวช่วยทำให้เกิดการหน่วงการติดไฟ แต่สมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำนั้นไม่ดี จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ EPOXY TALLATE แทน EPOXIDISED SOYBEAN OIL ซึ่งให้สมบัติที่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่า

จากที่กล่าวถึงขั้นตอนการกำหนดสูตรเพื่อให้ได้พีวีซีคอมปาวด์ตามที่กำหนดไว้ จะได้สูตรพีวีซีคอมปาวด์ ดังนี้

PVC (MEDIUM MW.)	100	phr
DOP	27	phr
PHOSPHATE	15	phr
EPOXY TALLATE	5	phr
CALCIUM CARBONATE	10	phr
Ba-Cd LIQUID	2	phr
STEARIC ACID	0.5	phr

แต่เนื่องจากมีการเติม EPOXY SOYBEAN OIL PLASTICIZER จึงจำเป็นต้องลดปริมาณ DOP ลง (ประสิทธิภาพการให้ความนุ่มของ EPOXY เท่ากับ DOP) ฉะนั้น จึงลดปริมาณ DOP จาก 47 เหลือ 42 phr และมีการเติม PHOSPHATE PLASTICIZER อีก 15 phr จึงลดปริมาณ DOP อีกจนเหลือ 27 phr

แต่เนื่องจากเมื่อนำสูตรดังกล่าวไปทดสอบในห้องทดลองปรากฏว่า ค่าความแข็งที่ได้มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ (SHORE A 85) ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพของ PHOSPHATE PLASTICIZER ไม่เท่ากับ DOP แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่า และยังทำให้ค่าความเสถียรทางความร้อนลดลง จึงจำเป็นต้องมีการปรับสูตรจากเดิมคือ DOP เพิ่มอีก 4 phr และ Ba-Cd STABILIZER 2 phr นั้นไม่เพียงพอต่อความเสถียรจึงเติม Ba-Cd SOAP ลงไปอีก 1 phr จะทำให้ได้สูตรใหม่ ดังนี้

PVC (MEDIUM MW.)	100	phr
DOP	31	phr
PHOSPHATE	15	phr
EPOXY TALLATE	5	phr
CaCO ₃	10	phr
Ba-Cd LIQUID	2	phr
Ba-Cd SOAP	1	phr
STEARIC ACID	0.5	phr

ขณะที่เติม Ba-Cd SOAP เพื่อปรับปรุงค่าความเสถียรทางความร้อน แต่จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นมา 2 ประการคือ ทำให้สารหล่อลื่นมีปริมาณมากเกินไป (เนื่องจากตัวมันเองก็เป็นสารหล่อลื่นด้วย) สำหรับปัญหาที่สองคือ การเกิด PLATE OUT บน CALENDER ROLLS จึง

จำเป็นต้องเติม SILICA เพื่อลดการเกิด PLATE OUT ดังนั้น สูตรพีวีซีคอมปาวด์ที่ถูกต้องตามข้อกำหนด คือ

PVC (MEDIUM MW.)	100	phr
DOP	31	phr
PHOSPHATE	15	phr
EPOXY TALLATE	5	phr
CaCO ₃	10	phr
Ba-Cd LIQUID	2	phr
Ba-Cd SOAP	1	phr
STEARIC ACID	0.3	phr
SILICA	0.5	phr

3.3 สารปรับปรุงแรงกระแทกในพีวีซีคอมปาวด์ (IMPACT MODIFIER)

สารที่ทำหน้าที่ปรับปรุงค่าแรงกระแทก (IMPACT STRENGTH) ในพีวีซี มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กัน คือ ยางไนไตรล์ และ POLYACRYLATE ซึ่งจัดเป็นยางประเภทที่มีการใช้งานเฉพาะอย่าง (SPECIAL PURPOSE RUBBER) ยางชนิดใดจัดเป็นยางที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะอย่าง มีลักษณะดังนี้คือ ต้องเป็นยางที่สามารถทำ VULCANIZATION ได้ ต้องมีวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานในด้านอื่นเป็นหลักไมใช่นำมาทำเป็นยางรถยนต์หรือท่อ ต้องทำหน้าที่พิเศษที่ยางธรรมชาติ หรือ STYRENE BUTADIENE RUBBER (SBR) ไม่สามารถทำได้ (MORTON AND MAURICE, 1973:302)

แต่ที่จะขอกกล่าวในหัวข้อนี้จะเป็นยางไนไตรล์ การที่จัดยางไนไตรล์เป็นยางที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะอย่าง เนื่องจากมีความต้านทานต่อน้ำมันและสารอินทรีย์ไม่มีขั้วที่อุณหภูมิปกติ และอุณหภูมิสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

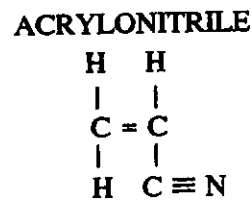
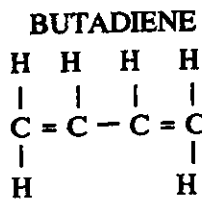
3.3.1 ประวัติการผลิตยางไนโตรล

จากการวิจัยและพัฒนาที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานเฉพาะอย่างให้สามารถต้านทานต่อน้ำมันได้เริ่มตั้งแต่ ค.ศ.1910 และได้เริ่มมีการผลิตเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1920 โดยเป็นความบังเอิญของ PATRICK ที่ต้องการจะเตรียม ETHYLENE GLYCOL แต่พบว่าปฏิกิริยาระหว่าง ETHYLENE CHLORIDE กับ SODIUM POLYSULFIDE ให้สารที่มีลักษณะคล้ายยาง และได้ผลิตในเชิงการค้าโดยบริษัท THIOKOL CORPERATION ในปี 1920-1930

สำหรับสิ่งตีพิมพ์ฉบับแรกที่กล่าวถึงยางไนโตรล คือ สิทธิบัตรที่ประเทศฝรั่งเศสซึ่งพิมพ์ในปีค.ศ.1931 ซึ่งกล่าวถึงวิธีโพลิเมอไรเซชัน BUTADIENE และ ACRYLONITRILE แต่ไม่ได้มีการผลิตในเชิงพาณิชย์จนกระทั่งปี ค.ศ.1935 บริษัท I.G.FARBENINDUSTRIE ในประเทศเยอรมัน ได้ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายภายใต้ชื่อ PERBUNAN ในปี 1936 ได้มีบริษัทจำนวนมากในอเมริกาได้ทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อที่จะผลิตยางไนโตรล จนกระทั่ง เดือนมกราคม ปี ค.ศ.1939 บริษัท B.F.GOODRICH COMPANY ได้ผลิตยางไนโตรลด้วยกำลังการผลิต 250 ปอนด์ต่อวัน เดือนกรกฎาคม ค.ศ.1940 บริษัท B.F. GOODRICH COMPANY ได้ร่วมมือกับบริษัท PHILLIPS PETROLEUM COMPANY ตั้งเป็นบริษัท HYDROCARBON CHEMICAL AND RUBBER COMPANY เพื่อที่จะผลิตและจำหน่ายยางไนโตรลภายใต้ชื่อ HYCAR ในปีเดียวกัน บริษัท GOODYEAR TIRE AND RUBBER COMPANY ได้สร้างโรงงานเพื่อที่จะผลิตสินค้าประเภทเดียวกันภายใต้ชื่อ CHEMIGUM และเช่นเดียวกับบริษัท FIRESTONE ก็ได้ผลิตยางไนโตรลภายใต้ชื่อ BUTAPRENE ดังนั้น ภายในเวลาไม่กี่ปีก็มีบริษัทที่ผลิตยางไนโตรลในประเทศอเมริกา 4 บริษัท และ เนื่องจากความทนทานต่อน้ำมันและตัวทำละลาย จึงได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนกระทั่งประเทศอเมริกาเข้าสู่สงครามโลก ในเดือนธันวาคม ปี 1941 ซึ่งได้นำยางไนโตรลมาผลิต BULLET-SEALING TANK, FUEL HOSE และ อุปกรณ์อื่น ๆ ในกองทัพ จากนั้นจนถึงหลังสงครามโลกในเดือนสิงหาคม 1945 ยางไนโตรลทั้งหมดที่ผลิตขึ้นจะถูกจำกัดการใช้งานภายในกองทัพเท่านั้น ซึ่งในระหว่างสงครามความต้องการยางไนโตรลมีถึง 2,500,000 ปอนด์ต่อเดือน

ในเดือนพฤศจิกายน ปี 1945 บริษัท PHILLIP PETROLEUM COMPANY ได้ขายบริษัท HYDROCARBON CHEMICAL AND RUBBER COMPANY ให้แก่บริษัท B.F.GOODRICH COMPANY ซึ่งทำให้กลายเป็นเจ้าของแต่เพียงผู้เดียวเพื่อที่จะดำเนินการผลิตและจำหน่ายต่อไป

3.3.2 ยางไนไตรล์ (ACRYLONITRILE BUTADIENE RUBBER, NBR)



ACRYLONITRILE BUTADIENE RUBBER (NBR) หรือ ยางไนไตรล์ เป็น โคลิโพลิเมอร์ที่มี ACRYLONITRILE ผสมอยู่ 20-50% (AN CONTENT) และมีค่าความหนืด (พิจารณาจากน้ำหนักโมเลกุล หรือ ค่า MOONEY VISCOSITY) ต่างๆ กัน โดยค่าทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดความสามารถของการเป็นเนื้อเดียวกัน (COMPATIBILITY) กับโพลิเมอร์ และเป็นตัวกำหนดสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ เช่น ค่าความแข็ง (HARDNESS), แรงดึง (TENSILE STRENGTH), แรงเฉือน (SHEAR STRESS), ความยืด (ELONGATION), แรงกระแทก (IMPACT STRENGTH) และที่สำคัญคือ ปรับปรุงค่าความแข็งแรงเหนียว (TOUGHNESS)

ACRYLONITRILE อาจพิจารณาได้เป็นโซ่คาร์บอน 2 อะตอมที่จับกันด้วย พันธะคู่และจับกับหมู่ CYANIDE ด้วยพันธะเดี่ยว (CN) ซึ่งไปแทนที่อะตอมไฮโดรเจนอะตอม ดังนั้น ACRYLONITRILE จึงเป็น VINYL MONOMER บางครั้งอาจเรียกว่า VINYL CYANIDE เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของโมโนเมอร์ทั้งสองตัวเกือบจะเท่ากัน ดังนั้น อัตราส่วน โดยน้ำหนักจะคล้ายกับอัตราส่วนโมลาร์ทำให้ยางไนไตรล์ 1 โมเลกุล จะประกอบไปด้วย BUTADIENE-ACRYLONITRILE เป็นอัตราส่วน 2:1 (MORTON AND MAURICE, 1973:302)

ถ้าใช้ NBR ในพีวีซีเกรดแข็งจะทำให้ค่า MODULUS (MODULUS OF ELASTICITY) ลดลงอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เพราะ NBR สามารถละลาย ในเนื้อพีวีซีได้บางส่วน โดยค่าการกระจายตัวของ NBR ในพีวีซีจะขึ้นอยู่กับระดับของการเกิด โครงสร้างที่เป็นร่างแห (CROSSLINKED LEVEL) ของ NBR และยังขึ้นอยู่กับสถานะในการ ผสม NBR ELASTOMER อาจอยู่ในรูปของผงเรซิน หรือ เป็นเกล็ด (CRUME) สำหรับค่า แรงดึง ความยืด และ แรงกระทบ ของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ NBR จะขึ้นอยู่กับ น้ำหนักโมเลกุล และ สัดส่วนของ NBR ที่ใช้ ในขณะที่ค่า HEAT DEFLECTION TEMPERATURE กลับมีค่าลดลง เมื่อมีการใช้ NBR ผสมในพีวีซี

HEAT DEFLECTION TEMPERATURE หรือ HEAT DEFLECTION TEMPERATURE UNDER LOAD (HDT หรือ HDTUL) เป็นค่าที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D648 โดยชิ้นงานทดสอบจะมีรูปร่างเป็นแท่งเหลี่ยมภายใต้แรงกด 3 จุด โดยการให้แรงซึ่งมีค่าคงที่ 66 psi (สำหรับใช้ทดสอบค่าความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) ที่ไม่สูงมากนัก) หรือ 264 psi (สำหรับใช้ทดสอบค่าความแข็งกระด้างที่มีค่าสูง) และ มีการเพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 2°C ต่อ 1 นาที โดยอุณหภูมิที่ทำให้จุดศูนย์กลางของชิ้นทดสอบเกิดการโค้งต่ำลงโดยมีระยะต่ำกว่าจากแนวปกติก่อนให้แรงที่ระดับ 0.254 ซม. หรือ 0.01 นิ้ว ที่อุณหภูมิดังกล่าว คือ ค่า HDT หรือ HDTUL ค่า HDT นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดแรงที่ใช้กดด้วย เช่น POLY-CARBONATE ถ้าทดสอบที่แรง 264 psi จะให้ค่า HDT 130°C ขณะที่เมื่อใช้แรง 66 psi จะให้ค่า HDT 140°C และที่สำคัญคือ วัสดุชนิดโพลีโพรพิลีนเป็นผลึก (CRYSTALLINE) ความแตกต่างของ HDT ที่แรง 2 ค่า (66 psi และ 264 psi) จะมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งค่า HDT จะใช้อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) ของโพลีเมอร์

3.3.3 สมบัติของยางไนไตรล์ (PROPERTIES OF NITRILE RUBBER)

ปริมาณ ACRYLONITRILE (AN CONTENT) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการแสดงความต้านทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์, น้ำมัน และ เชื้อเพลิง ส่วนค่า MOONEY VISCOSITY จะแสดงสมบัติทางกลของ NBR จากประโยชน์ของยางไนไตรล์ข้างต้น จึงได้นำยางไนไตรล์มาใช้เป็นตัว MODIFIER สำหรับพีวีซีเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล, ปรับปรุงทางด้านกระบวนการให้มีความง่ายในการผลิต และ ยางไนไตรล์ยังไม่สามารถสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์, น้ำมัน, เชื้อเพลิง หรือพวกตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และเนื่องจาก NBR มีค่าการระเหยต่ำ (VOLATILITY) และ การเคลื่อนย้ายของโมเลกุลเป็นไปได้ยาก (MIGRATION) จึงสามารถนำยางไนไตรล์มาใช้ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความนุ่ม (PLASTICIZER) และ สามารถใช้ร่วมกับสารเพิ่มความนุ่มประเภทอื่น ๆ เช่น DIOCTYL PHTHALATE (DOP), DI-N-BUTYL (DBP), DIOCTYL SEBACATE (DOS) อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ DOS เป็นสารเพิ่มความนุ่มร่วมกับ NBR เพื่อปรับปรุงค่า COLD RESISTANCE ควรจะเติมสารเพิ่มความนุ่มเสริม (AUXILIARY PLASTICIZER) ช่วยด้วย ทั้งนี้เพราะถ้าใช้ DOS มากเกินไป จะทำให้เกิดการ BLOOM (BLOOM คือ ปรากฏการณ์ที่สารเพิ่มความนุ่มมีปริมาณมากเกินไปที่เรซิน และ สารเพิ่มเนื้อจะสามารถดูดซับสารเพิ่มความนุ่มได้หมด ทำให้สารเพิ่มความนุ่มที่ไม่ถูกดูดซับเคลื่อนย้ายมาที่ผิวของชิ้นงาน ทำให้ผิวของชิ้นงานมีความมันเนื่องจากสารเพิ่มความนุ่มสะสมอยู่ที่ผิว) และ ไม่ควรใช้ NBR ร่วมกับ PETROLEUM SOFTENNER เนื่องจากจะเกิด BLOOM ขึ้น

เราสามารถปรับปรุงค่าสมบัติเชิงกลของ NBR ได้โดยการเติมสารเสริมแรง เช่น CARBON BLACK, WHITE CARBON (PRECIPITATED HYDRATE SILICA) และ HARD CLAY เป็นต้น

เนื่องจากโครงสร้างของ NBR มีสภาพเป็นขั้ว ทำให้มันมีค่าสูญเสียไดอิเล็กทริกมาก (DIELECTRIC LOSS) ทำให้มันมีความสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าลดลง สำหรับ NBR ที่มีปริมาณ CARBOXYL GROUP (COOH) ประมาณ 2-10% จะช่วยปรับปรุงให้ NBR มีความต้านทานต่อโอโซนและความสามารถในการอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น เราอาจเรียก NBR ประเภทนี้ว่า CARBOXYLATE NITRILE RUBBER (COX-NBR)

ถ้าผสมพีวีซี 30% ลงใน NBR จะช่วยทำให้ความต้านทานต่อโอโซนของ NBR ดีขึ้น และยังช่วยทำให้สมบัติทนต่อการติดไฟดีขึ้น ทั้งนี้เพราะมีโครงสร้างอะตอมของคลอรีนอยู่ และยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความนุ่มร่วมกับสารเพิ่มความนุ่มอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล

ถ้าผสมพีวีซีต่อ NBR เป็น 50/50 และผสมสารเพิ่มความนุ่มประมาณ 15% จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า THERMOPLASTIC หรือ THERMOPLASTIC ELASTOMER โดยหน้าที่ของ NBR ในพีวีซี คือ เป็น MODIFIER ช่วยปรับปรุงค่า TOUGHNESS และ ทำให้มีความง่ายขึ้นในการขึ้นรูป

ยางไนไตรล์เป็นยางที่สามารถต้านทานต่อน้ำมันนั้นมีหลายเกรดตามปริมาณส่วนผสมของ ACRYLONITRILE ซึ่งโดยมากมักจะมีปริมาณ 18-50% ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นยางไนไตรล์ที่มีปริมาณ ACRYLONITRILE (ACRYLONITRILE CONTENT) สูงมาก สูงปานกลาง ปานกลาง ต่ำปานกลาง และ ต่ำ ซึ่งสมบัติของยางไนไตรล์ที่ได้ก็จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณ ACRYLONITRILE ที่มีอยู่ (MORTON AND MAURICE, 1973:305)

แนวโน้มสมบัติที่สำคัญของยางไนไตรล์ตามปริมาณ ACRYLONITRILE ที่ผสมอยู่นั้นแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงแนวโน้มสมบัติของยางไนไตรล์ที่เปลี่ยนไปตามปริมาณ ACRYLONITRILE

PROPERTIES	%ACRYLONITRILE 18% → 50%
OIL RESISTANCE IMPROVES	เพิ่มขึ้น
FUEL RESISTANCE INCREASE	"
TENSILE STRENGTH INCREASE	"
HARDNESS INCREASE	"
ABRASION RESISTANCE IMPROVES	"
GAS IMPERMEABILITY INCREASES	"
HEAT RESISTANCE INCREASES	"
LOW TEMP. RESISTANCE INCREASES	ลดลง
RESILIENCE INCREASE	"
PLASTICIZER COMPATIBILITY INCREASE	"

สำหรับยางไนไตรล์ที่มีปริมาณ ACRYLONITRILE สูงมาก และสูง จะนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์ หรือ ชิ้นส่วนที่ต้านทานต่อน้ำมัน เช่น OIL WELL PART, FUEL CELL LINERS, ท่อน้ำมันเชื้อเพลิง และ สิ่งอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการต้านทาน AROMATIC FUEL, น้ำมัน และ ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

สำหรับยางไนไตรล์ที่มีปริมาณ ACRYLONITRILE ปานกลาง มักจะใช้ในงานที่ทนต่อน้ำมันที่มีโครงสร้างเป็น AROMATIC ต่ำกว่าหรือทนต่อการเกิดการบวมของยางเนื่องจากน้ำมัน สำหรับยางไนไตรล์ที่มีปริมาณ ACRYLONITRILE ต่ำ และ ต่ำปานกลางมักจะใช้ในงานที่ต้องการความนุ่มหรือความอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำมากกว่าที่จะใช้เพื่อที่จะทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลาย

ความต้านทานต่อน้ำมันของยางไนไตรล์นั้นพิจารณาได้จาก 2 ปัจจัยคือ ปริมาณของ ACRYLONITRILE ที่มีอยู่ในโพลิเมอร์ และ ลักษณะทางเคมีของน้ำมัน หรือ เชื้อเพลิง ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อการทนทานต่อน้ำมัน เช่น สารเพิ่มความนุ่ม สี (PIGMENT), สภาพของการบ่ม (CURE) ระดับของการเกิดการเชื่อมโยง (DEGREE OF CROSSLINKING) อุณหภูมิในการทำโพลิเมอไรเซชัน และความเป็นเนื้อเดียวกันของโพลิเมอร์

3.3.4 โครงสร้างของยางไนไตรล์

เนื่องจากการจะเลือกใช้ยางไนไตรล์ให้เหมาะแก่การใช้งาน เราจะต้องพิจารณาถึงส่วนประกอบทางเคมีของทั้งน้ำมัน หรือ ตัวทำละลายที่จะใช้สัมผัสกับยาง และ ส่วนประกอบทางเคมีของยางเอง ตัวอย่างเช่น ยางธรรมชาติ และ STYRENE BUTADIENE RUBBER (SBR) ซึ่งจัดเป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างที่ไม่มีขั้ว ซึ่งยางไนไตรล์คาร์บอนทั้งสองจะเกิดลักษณะบวมและเสื่อมสลายเมื่อสัมผัสกับ HYDROCARBON FLUID เช่น GASOLINE และ KEROSENE แต่ถ้าโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างมีขั้วก็จะไม่เกิดผลเสียดังกล่าว ในทางตรงข้าม ยางธรรมชาติ และ SBR จะสามารถทนต่อตัวทำละลายที่มีขั้วอย่างแรง (STRONGLY POLAR SOLVENT) เช่น ACETONE และ METHYL ETHYL KETONE ขณะที่ยางที่มีโครงสร้างมีขั้ว เช่น ยางไนไตรล์ จะไม่สามารถทนต่อสารดังกล่าวได้

ANILINE ซึ่งเป็นของเหลวประเภทอะโรมาติกที่มีขั้ว ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ยางไนไตรล์เกิดการบวมมากกว่ายางชนิดอื่น ๆ ยกเว้น THIOKOL ค่า ANILINE POINT ของน้ำมันชนิดหนึ่ง ๆ นั้นเป็นการวัดการละลายได้ของน้ำมันใน ANILINE ซึ่งจะสัมพันธ์กับผลของน้ำมันนั้นที่มีต่อยางไนไตรล์ในลักษณะที่เกิดการบวมมากหรือน้อย สำหรับน้ำมันที่มีค่า ANILINE POINT ต่ำ ๆ จะหมายถึง น้ำมันนั้นมีความเป็นขั้วสูง หรือ เป็นอะโรมาติกสูง ดังนั้น น้ำมันดังกล่าวจะทำให้ยางไนไตรล์เกิดการบวมได้ง่ายและมาก สำหรับการทดสอบค่า ANILINE POINT สามารถปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D 471-51T

3.3.5 การปรับปรุงสมบัติของยางไนไตรล์

1. เมื่อต้องการให้ยางไนไตรล์มีสมบัติเชิงกลที่ดี จำเป็นต้องเติมสารเสริมแรงหรือสารเพิ่มเนื้อ ทั้งนี้เพราะยางไนไตรล์ไม่มีโครงสร้างเป็นผลึกในขณะที่ดึงโดยใช้แรงสูงสุด
2. เมื่อต้องการให้การผสมและการผลิตมีความง่ายขึ้นจำเป็นต้องใส่สารจำพวกสารเพิ่มความนุ่ม ถ้าเป็นยางไนไตรล์ที่มีความต้านทานต่อน้ำมันสูง ๆ (ยางไนไตรล์ที่มี AN CONTENT มาก ๆ) จะสามารถเลือกใช้สารเพิ่มความนุ่มได้บางประเภท เช่น ESTER, AROMATIC OIL และ สารเพิ่มความนุ่มที่มีอนุพันธ์เป็นพวกโครงสร้างที่มีขั้ว มี 2 ปัจจัยหลักที่ส่งผลในด้านความเข้ากันได้ของสารเพิ่มความนุ่มจำพวก ESTER กับยางไนไตรล์ คือ ชนิดของสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ และ ปริมาณ ACRYLONITRILE ในยาง โดยความสามารถในการเข้ากันได้จะลดลงตาม AN CONTENT ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารเพิ่มความนุ่มสามารถใช้ในระดับ 30 PHR ในยางไนไตรล์ที่มี AN CONTENT ต่ำ ๆ แต่ถ้าใส่สารเพิ่มความนุ่มในปริมาณที่เท่ากันในยางไน

ไตรลที่มี AN CONTENT สูง ๆ อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า BLEEDING (ปรากฏการณ์ที่สารเพิ่มความนุ่มที่ไม่สามารถดูดซับโดยโพลีเมอร์ได้หมดทำให้มีการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารเพิ่มความนุ่มที่มีปริมาณมากเกินไปไปยังผิวชิ้นงาน) สารเพิ่มความนุ่มที่จะใช้ควรที่จะใช้สารเพิ่มความนุ่มเสริมหรือสารเพิ่มความนุ่มที่เข้ากันได้ดีร่วมกับสารเพิ่มความนุ่มหลัก

เมื่อต้องการสมบัติที่ดี เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำโดยการเติมสารเพิ่มความนุ่มประเภท ESTER ตัวอย่างสารที่แนะนำให้ใช้เมื่อต้องการสมบัติที่ดีที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ADIPATES, SEBACATES, TRIBUTOXYETHYL PHOSPHATE, MONOMERIC FATTY ACID ESTER, METHYL ACETYL RICINOLEATE, DI(BUTOXYETHOXYETHYL) FORMAL, DI(BUTOXYETHOXYETHYL) ADIPATE และ TRIGLYCOL ESTER OF VEGETABLE OIL FATTY ACID โดยควรผสมสารเพิ่มความนุ่มในยางในระดับ 30 phr ถ้าผสมในปริมาณที่มากกว่าจำนวนดังกล่าว อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ BLEEDING ขึ้นได้

แต่เมื่อใช้สารเพิ่มความนุ่มประเภท ESTER จะทำให้สารเพิ่มความนุ่มถูกสกัดออกมาจากเนื้อยางเมื่อยางนั้นสัมผัสกับเชื้อเพลิงหรือน้ำมัน แต่ก็สามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นโดยใช้สารเพิ่มความนุ่มที่ป้องกันการถูกสกัดผสมลงไปเช่น POLYMERIC-POLYESTERS หรือ COUMARONEINDENE RESIN ที่มีสารเพิ่มความนุ่มชนิด ESTER เพื่อให้ได้คุณสมบัติใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ และ ป้องกันการถูกสกัดเมื่อยางสัมผัสกับน้ำมันหรือเชื้อเพลิง

เมื่อต้องการสมบัติคงทนต่อความร้อน ควรเลือกใช้สารเพิ่มความนุ่มประเภท POLYESTER และ COUMARONE-INDENE RESINS ยางไนไตรล์โดยมากมักจะเกิดการเสื่อมสลายเมื่อมีการเกิดร่างแหขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการเปราะแตก ไม่อ่อนนุ่ม และไม่เกิดความยืดหยุ่น สิ่งเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยการเติมสาร ANTIOXIDANT ยางไนไตรล์มักจะมีควมไวต่อโอโซน ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องเติมสาร ANTIOZONANT เช่น ANTOZITE 67 ประมาณ 1-3 phr ในขั้นการเตรียมการ VALCANIZATE และ เติม WAX ประมาณ 1-3 phr เพื่อทำหน้าที่เป็น MIGRATORY AID

ยางไนไตรล์สามารถที่จะป้องกันผลที่เกิดจากโอโซนได้ โดยการผสมยางไนไตรล์ กับพิวซีเรซิน ซึ่งอาจจะผสมกับสารเพิ่มความนุ่มหรือไม่ผสมกับสารเพิ่มความนุ่มก็ได้ นอกจาก โอโซนแล้ว ยังสามารถป้องกันผลที่เกิดจากรังสีที่เป็นสาเหตุให้ยางไนไตรล์สูญเสียสมบัติทางด้าน TENSILE STRENGTH และมีค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นซึ่งผลของรังสีสามารถป้องกัน

โดยการใช้ ANTIRAD เช่น N-CYCLO-HEXYL-N-PHENYL-P-PHENYLENE DIAMINE (MORTON AND MAURICE, 1973:312)

สำหรับยางไนไตรล์ที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะคือ CARBOXY NITRILE RUBBER ทั้งนี้เพราะยางไนไตรล์ดังกล่าวจะมีค่า TENSILE STRENGTH สูงมาก โดยยางดังกล่าวมีส่วนผสมของ ACRYLONITRILE, BUTADIENE และ ACRYLIC ACID หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งโมเลกุล โครงสร้างของโมเลกุลยางไนไตรล์ประเภทนี้จะคล้ายกับยางไนไตรล์ธรรมดา เพียงแต่จะมีหมู่ CARBOXYL กระจายอยู่ตามโซ่อาจจะเป็นทุก ๆ 1 อะตอม หรือ ทุก ๆ 100-200 อะตอมของคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบยางไนไตรล์กับยางไนไตรล์ที่มีหมู่ CARBOXYL ที่ระดับความทนทานต่อน้ำมันเท่ากัน จะพบว่า ยางไนไตรล์ที่มีหมู่ CARBOXYL จะมีค่า TENSILE STRENGTH และ ค่า MODULUS สูงกว่ามาก ค่าความแข็งสูงกว่า สมบัติที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น ด้านทานต่อโอโซนดีขึ้นแต่มีค่าความยืดหยุ่นลดลง และ ยังคงให้สมบัติที่ดีทางด้านกายภาพหลังจากการเร่งสภาวะเมื่อใช้ HOT-OIL และ AIR

ยางไนไตรล์ในรูปผงยางสามารถผสมกับผงฟิวซีเรซินได้ง่ายเพื่อให้ได้ POLYBLEND ในแต่ละอัตราส่วนที่ต้องการ และ โพลีเมอร์ผสมดังกล่าวสามารถที่จะผ่านกระบวนการโดยใช้อุปกรณ์ทางการผลิตพลาสติกได้และยังสามารถผสมกับสารประกอบอื่น ๆ ได้อีก เช่น CURATIVES, FILLERS และ PLASTICIZER เพื่อให้เกิดการไหลได้อย่างอิสระ เช่นเดียวกับ การทำผงคอมปาวด์ทั่ว ๆ ไป (MORTON AND MAURICE, 1973:314)

3.4 ดินขาว (CLAY MINERALS)

แนวความคิดที่มีการใช้สารเพิ่มเนื้อ (FILLER) ในฟิวซีคอมปาวด์ก็คือ ต้องการลดต้นทุนในการผลิต และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคขนาดเล็ก (FINE PARTICLE SIZE TECHNOLOGY) และเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น TAILORING PARTICLE MORPHOLOGY เทคโนโลยีการทำให้วัสดุทางธรรมชาติมีความบริสุทธิ์ การทำ SURFACE TREATMENT เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน และ การพัฒนา COUPLING AGENT เพื่อทำให้เกิดพันธะยึดกันได้ดีขึ้นระหว่างสารเพิ่มเนื้อและเนื้อโพลีเมอร์เพื่อทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

นอกเหนือจากการใช้สารเพิ่มเนื้อในโพลีเมอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะหมายถึง พีวีซี เพื่อลดต้นทุนในการผลิตแล้ว สารเพิ่มเนื้อยังช่วยเสริมให้สมบัติบางประการในโพลีเมอร์ปรับปรุงดีขึ้น เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า ความทึบแสง เป็นต้น สารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในพีวีซีสามารถจัดแบ่งได้เป็นหลายชนิดตามลักษณะของอนุภาคเช่น ULTRA FINE PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE ใช้เพื่อปรับปรุงค่า NOTCHED IZOD IMPACT STRENGTH CALCINED KAOLIN CLAY ใช้ปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า

สารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในพีวีซีสามารถแบ่งออกง่าย ๆ ได้เป็น 2 ชนิดคือ EXTENDER FILLER และ FUNCTIONAL FILLER โดย EXTENDER FILLER หมายถึง สารเพิ่มเนื้อที่ให้ประโยชน์หลักในด้านลดต้นทุนในสูตรที่ใช้ผลิตพีวีซีคอมพาวด์ และ ทำให้ค่า FLEXURAL MODULUS มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ FUNCTIONAL FILLER เป็นสารเพิ่มเนื้อที่มีหน้าที่พิเศษอย่างน้อยหนึ่งอย่างที่เป็นในสูตรผสม ตัวอย่างเช่น หน้าที่ในด้าน THIXOTROPY การหน่วงการติดไฟ ความทึบแสง สี หรือ ปรับปรุงในด้านแรงกระแทก (MATHUR AND VANDERHEIDEN, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:505)

โดยทั่วไป สารเพิ่มเนื้อประเภท EXTENDER FILLER ในทางอุดมคติจะต้องประกอบไปด้วยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้คือ (1) ต้องมีรูปร่างเป็นทรงกลม ทั้งนี้เพื่อจะได้คงสภาพความเป็นสมบัติในเชิง ANISOTROPIC PROPERTIES (2) มีการกระจายหรือแจกแจงขนาดของอนุภาคให้เหมาะสมเพื่อให้มีการอยู่กันอย่างแน่นหนา (3) จะต้องไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับพีวีซีหรือสารเติมแต่งอื่น ๆ (4) มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำหรือเบากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพีวีซีเรซิน (5) ให้ค่า REFRACTIVE INDEX และ สีที่ต้องการ และ (6) มีราคาถูก

โดยทั่วไป ไม่มีสารเพิ่มเนื้อชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวที่ให้คุณสมบัติครบทั้ง 6 ประการ หินปูน (GROUND LIMESTONE) จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่กล่าวข้างต้น และ ยังใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อประเภท EXTENDER FILLER ในพีวีซี GROUND TALCS AND CLAYS แม้ว่าจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าอยู่บ้าง แต่ก็จะเป็นสารเพิ่มเนื้อประเภท EXTENDER ในพีวีซี ทั้งนี้เพราะสามารถใช้ในปริมาณมาก ๆ โดยไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และ ยังมีคุณสมบัติตามที่กล่าวไว้ข้างต้น (MATHUR AND VANDERHEIDEN, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:505)

ตัวอย่างสารเพิ่มเนื้อที่จัดเป็น EXTENDER FILLER เช่น LIMESTONE, KAOLIN CLAY, TALC และ สารเพิ่มเนื้อประเภท FUNCTIONAL FILLER เช่น PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE, PRECIPITATED SILICAS AND SILICA GELS, PRECI-

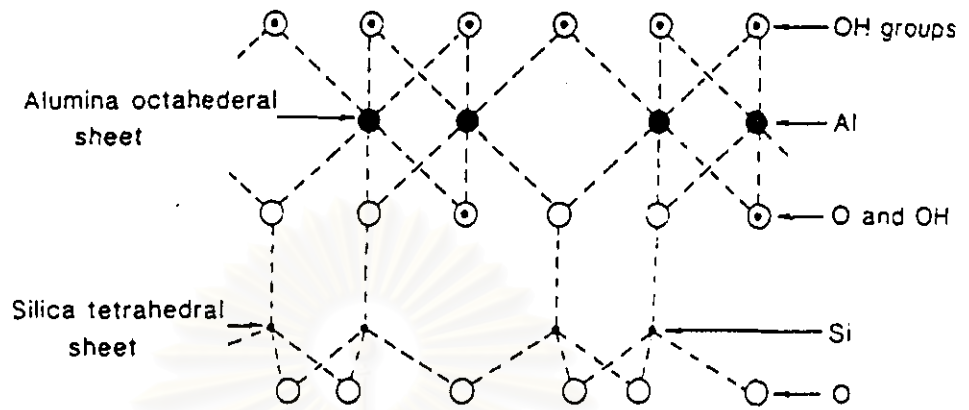
PITATED METALLIC SILICATES, PYROGENIC SILICA, ANTIMONY OXIDE, ZINC OXIDE, TITANIUM DIOXIDE, ASBESTOS เป็นต้น

3.4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

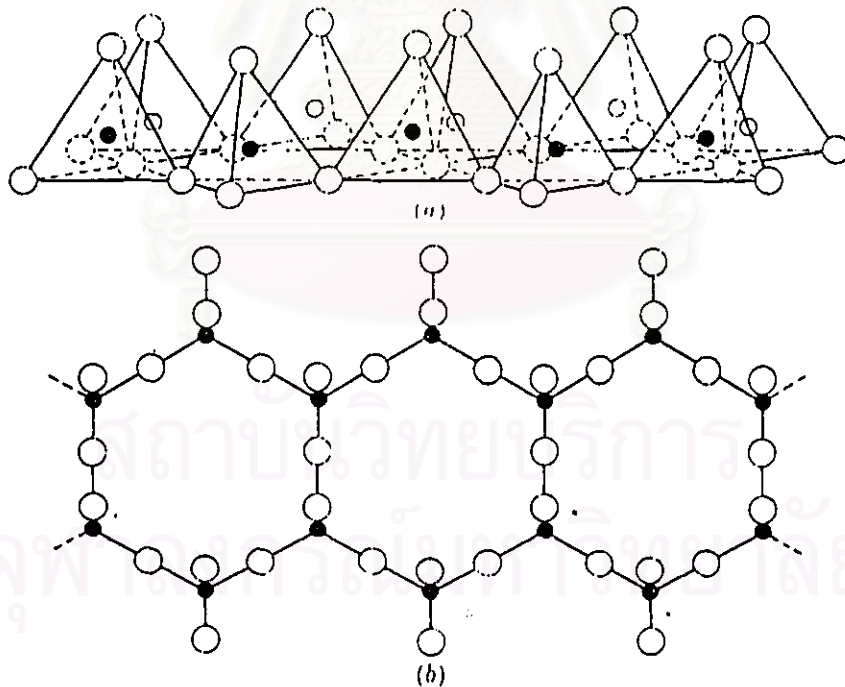
โครงสร้างของอะตอมของ CLAY สามารถพิจารณาได้เป็น 2 หน่วยคือ หน่วยของอะลูมินาหรือแมกนีเซียม กับ หน่วยของซิลิกอน โดยหน่วยของอะลูมินาจะประกอบไปด้วย 2 ระนาบที่อยู่ชิดติดกันของกลุ่มออกซิเจน หรือ ไฮดรอกซิล ซึ่งมีอะตอมของอะลูมิเนียม หรือ แมกนีเซียมยึดอยู่ในรูปของ OCTAHEDRAL ซึ่งอะตอมของอะลูมิเนียม หรือ แมกนีเซียม จะอยู่ห่างจากอะตอมของออกซิเจน หรือ ไฮดรอกซิล เป็นระยะทางเท่ากัน (ภาพที่ 3.1) ถ้าอยู่ในรูปอะลูมิเนียม โครงสร้างจะเป็น $Al_2(OH)_6$ แต่ถ้าเป็นแมกนีเซียม โครงสร้างจะเป็น $Mg_3(OH)_6$ โดยปกติ ระยะระหว่าง ออกซิเจน กับ ออกซิเจน เท่ากับ 2.6 Å ระยะระหว่าง ไฮดรอกซิล กับ ไฮดรอกซิล เท่ากับ 3 Å ในโครงสร้างหน่วยนี้ ระยะระหว่าง OH กับ OH เท่ากับ 2.94 Å และ ช่องว่างของอะตอมในโครงสร้าง OCTAHEDRAL มีค่า 0.61 Å ความหนาของหน่วยนี้เท่ากับ 5.05 Å ในโครงสร้างของ CLAY

สำหรับหน่วยของซิลิกอน ซึ่งเป็นหน่วยที่สองของโครงสร้างของ CLAY MINERALS จะเป็นโครงสร้างแบบ TETRAHEDRAL แต่ละอะตอมซิลิกอนในโครงสร้าง TETRAHEDRAL จะมีระยะห่างจากอะตอมออกซิเจนหรือไฮดรอกซิลทั้งสิ้นเท่ากัน สำหรับกลุ่มของซิลิกาทรงเหลี่ยมสี่หน้า (SILICA TETRAHEDRAL) จะจัดเรียงอยู่ในรูปตาข่ายรูปทรง HEXAGONAL ซึ่งจะต่อกันไม่มีที่สิ้นสุดเป็นแผ่นของ $Si_4O_6(OH)_4$ (ภาพที่ 3.2) โดยโครงสร้างดังกล่าวจะจัดเรียงลักษณะให้ยอดแหลมมีทิศทางเดียวกัน และ ฐานของทรงเหลี่ยมสี่หน้าจะเป็นแผ่นระนาบเดียวกันโดยอะตอมของออกซิเจนในโครงสร้าง HEXAGONAL จะทำมุมกัน 120° และระยะระหว่างออกซิเจนกับออกซิเจนในระนาบ TETRAHEDRAL จะเท่ากับ 2.55 Å และ ช่องว่างของอะตอมในโครงสร้าง TETRAHEDRAL เท่ากับ 0.55 Å ความหนาของหน่วยซิลิกอนเท่ากับ 4.93 Å ในโครงสร้างของ CLAY (GRIM, 1962:8-9)

โครงสร้างของ CLAY MINERAL จะมีลักษณะเป็นเส้นใย และ ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เป็นหน่วยอะลูมินากับซิลิกอน ที่กล่าวถึงข้างต้น โดยมีอะตอมออกซิเจนที่เป็น ACTIVE OXYGEN ATOM 6 อะตอม ของหน่วยอะลูมินา ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับหน่วยของซิลิกอนหรือระนาบของหน่วยอะลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปโครงสร้าง OCTAHEDRAL ใช้ ออกซิเจนอะตอมร่วมกันกับระนาบออกซิเจนที่เป็นจุดยอดของโครงสร้างของซิลิกาซึ่งอยู่ในรูป



ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงโครงสร้างอุดมคติของ ALUMINA/SILICA ของ KAOLIN



Diagrammatic sketch of double chains of silica tetrahedrons, as in the amphibole structural type of clay minerals: (a) in perspective, (b) projected on the plane of the base of the tetrahedrons.

ภาพที่ 3.2 ภาพแสดงโครงสร้างซิลิกอนในโครงสร้าง TETRAHEDRON

TETRAHEDRAL โดยจะทำให้เกิดระนาบชั้นภายนอก (LAYER) ของ OH และ O (ดังแสดงภาพที่ 3.1)

3.4.2 KAOLIN

KAOLIN เป็นส่วนประกอบหลักของ CLAY MINERALS ซึ่งองค์ประกอบหลักจะเป็นอะลูมินาซิลิเกต เมื่อผ่านการเผาหรือทำให้แห้งแล้วจะมีชื่อเรียกว่า SOLID KAOLIN หรือ KAOLINITE หรือ CALCINED KAOLIN หรือ DEHYDROXYLATED KAOLIN รูปร่างอนุภาคของ KAOLIN จะเป็นแผ่นเกล็ด (PLATELET) โดยมีขนาดประมาณ 1-10 μm . (CHARRIER, 1990:37)

KAOLIN CLAY จัดเป็นแร่ในเชิงพาณิชย์ที่รู้จักกันในชื่อ KAOLIN เป็นแร่พื้นฐานที่เป็น HYDROUS ALUMINOSILICATE ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ดังนั้น ในทางทฤษฎี KAOLIN จึงประกอบไปด้วยธาตุ SILICA 46.5% ALUMINA 39.5% และ น้ำ 14.0% ตระกูลของแร่ KAOLIN สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งมีชื่อเรียกดังนี้ คือ NACRITE, DICKITE และ KAOLINITE

KAOLINITE จะมีรูปร่างเป็นแผ่นเกล็ด โดยเป็นผลึกยาวจัดเรียงตัวขนานกับแกน C (C-AXIS) น้ำหนักโมเลกุลของ KAOLIN เท่ากับ 258.09 ค่าความถ่วงจำเพาะก่อนการเผา (UNCALCINED) เท่ากับ 2.58 และเพิ่มขึ้นเป็น 2.63 หลังจากการเผาให้แห้งแล้ว (CALCINED CLAY) (MATHUR AND VANDERHEIDEN, CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:508)

น้ำที่จับอยู่ในโครงสร้างของ KAOLIN จะเริ่มแยกตัวออกที่อุณหภูมิ 330°C ที่อุณหภูมิในการเผา หรือ CALCINED ประมาณ 650°C จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า PARTIAL DEHYDRATION OF THE KAOLINITE LATTICE และอาจจะเปลี่ยนไปเป็น PSEUDOCRYSTALLINE (META KAOLINITE) อุณหภูมิที่จะทำการเผาให้ KAOLIN ปราศจากน้ำประมาณ 900°C ที่สภาวะนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญมาก ในด้านความหนาแน่น และการหักเหของแสง (DENSITY AND LIGHT REFRACTIVITY) เกิดขึ้น

CALCINED CLAY เป็นสารเพิ่มเนื้อที่นิยมใช้ในการเป็นฉนวนไฟฟ้าของสายไฟและสายเคเบิล ในปริมาณ 5-15 phr ถ้าใช้ในปริมาณที่มากกว่าที่ระบุจะทำให้เกิดความแข็งกระด้าง (STIFFNESS) และ ความยืดหยุ่นลดลง ซึ่งการเติม KAOLIN ลงในพีวีซีที่ใช้

ทฤษฎีของสายไฟและสายเคเบิล จะช่วยปรับปรุงในด้านสมบัติทางไฟฟ้า (ELECTRICAL PROPERTIES) ทั้งนี้เพราะการจัดเรียงแผ่นเกล็ด KAOLIN ในเนื้อพรีซี(ดังแสดงในภาพที่ 3.3) จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไม่สะดวกเนื่องจากระยะทางที่อิเล็กตรอนวิ่งผ่านมีระยะทางเพิ่มมากขึ้น (MATHUR AND VANDERHEIDEN ,CITED IN NASS AND HEIBERGER, 1988:510)

3.4.3 สมบัติของ CLAY (PROPERTIES OF CLAY)

ขนาดอนุภาคของ KAOLIN มีผลต่อค่าความหนืดโดยอนุภาคขนาดเล็ก (FINEST PARTICLE SIZE) จะทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น และ ยังทำให้ค่า THIXOTROPY ของของผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสารเพิ่มเนื้อส่วนมากจะทำให้ค่าความหนืดของของผสมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับ CLAY สามารถที่จะควบคุมค่าความหนืดได้โดยเลือกใช้การแจกแจงขนาดอนุภาคให้เหมาะสม

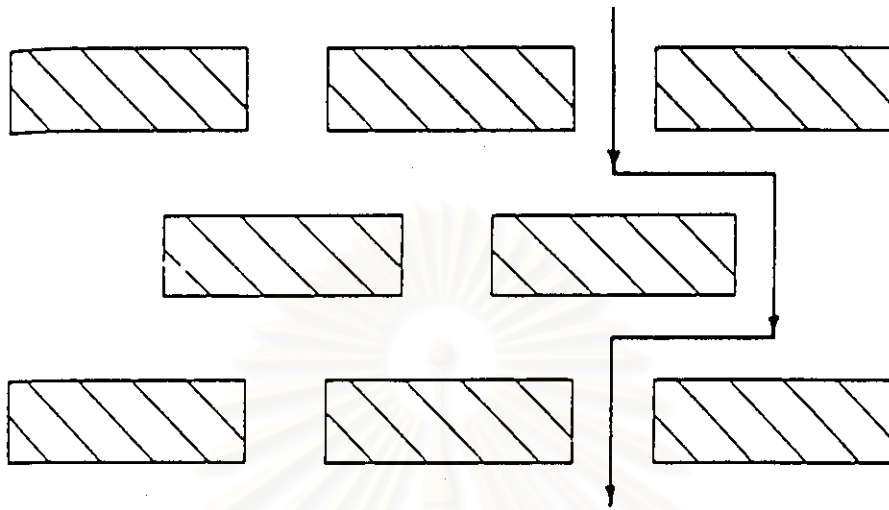
เนื่องจาก KAOLIN CLAY จะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงมีค่า DIELECTRIC STRENGTH สูงมาก และมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี KAOLIN มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ FLEXURAL STRENGTH น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ใช้เท่ากันเมื่อใช้สารเพิ่มเนื้อชนิดอื่น

อนุภาคของ KAOLIN เมื่อมีการเคลือบผิวจะทำให้สมบัติการกระจายตัว และการไหลดีขึ้นในโพลิเมอร์ และ ยังทำให้ค่าความหนืดลดลงด้วยสำหรับ CLAY ที่ผ่านการเคลือบผิว

3.5 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ

วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะต้องมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และ มีความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ ๆ ฉะนั้น วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมักจะเป็นโลหะ เช่น เงิน ทองแดง อลูมิเนียม ทังสเตน โมลิบดีนัม พลาตินัม ฯลฯ ส่วนวัสดุที่มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูง ๆ ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าไม่ดี หรือกล่าวว่าเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (อาจเรียกวัสดุประเภทนี้ว่า วัสดุประเภทไดอิเล็กทริก) เช่น แมงกานีส นิโครม

ความสามารถในการนำไฟฟ้าหรือสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุมักแปรเปลี่ยนตามความหนาแน่นของอิเล็กตรอน, RELAXATION TIME ของวัสดุที่เป็นฉนวน และ ยังมี



ภาพที่ 3.3 ภาพแสดงการไหลผ่านของอิเล็กตรอนในพีวีซีที่มี KAOLIN

Typical fillers	Dry resistivity (ohm-cm)	Humid resistivity (ohm-cm)	Dielectric strength (volt/mil)	Dielectric constant ^a Ke (at 1 mc)	Dielectric loss (%)
CaCO ₃	10 ¹¹	10 ⁷	60 - 80	6.1	0.05
Kaolin	10 ¹³	10 ⁶	70 - 120	2.6	0.1
Kaolin (calcined)	10 ¹³	10 ⁶	60 - 100	1.3	0.06
Kaolin (calcined and surface-treated)	10 ¹³	10 ¹²	80 - 150	1.3	0.003
Kaolin, partially calcined	10 ¹³	10 ⁵	70 - 100	1.3	0.01
Talc	10 ¹⁴	10 ⁹	—	5.5 - 7.5	0.001
PVC	10 ¹⁶	10 ¹⁶	700 - 1300	2.9	0.01

^aMeasured at 1 MHz.

ตาราง 3.6 สมบัติ DIELECTRIC ของ FILLER และ พีวีซี

ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า หรือ สภาพต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุ เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, ความชื้น และ แรงดันไฟฟ้า เป็นต้น (CHHALOTRA AND BHAT, 1975:4)

การที่วัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากวัสดุดังกล่าวยอมให้อิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุ 1.6×10^{-19} คูლობต่อ 1 อิเล็กตรอน พาประจุไปตามกระแสไฟฟ้า สำหรับวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นของเหลวประจุจะเคลื่อนที่โดยอาศัยอ็อนในของเหลวนั้นทั้งอ็อนบวกและอ็อนลบแต่วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระโดยอิเล็กตรอนจะถูกบังคับให้อยู่กับที่ภายใต้สนามไฟฟ้า (ทั้งนี้เพราะโครงสร้างอะตอมของโลหะ แต่ละอะตอมยึดกันด้วยพันธะโลหะโดยมีอิเล็กตรอนอยู่รอบ ๆ อะตอมเป็นลักษณะกลุ่มหมอกทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แตกต่างจากวัสดุที่เป็นฉนวน โดยมากโครงสร้างอะตอมมักยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์โดยอิเล็กตรอนจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างอะตอมทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ)

แม้ว่าวัสดุที่เป็นฉนวนจะไม่สามารถให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายใต้สนามไฟฟ้าแต่ก็จะทำให้เกิดโพลาริเซชันของวัสดุที่เป็นฉนวน สำหรับประจุที่เกิดขึ้นในวัสดุที่เป็นฉนวน จะเรียกว่า ประจุโพลาริเซชัน (POLARIZATION CHARGE) (CHHALOTRA AND BHAT, 1975:26)

สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า มักขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ, รูปร่างของวัสดุ, ขนาดของวัสดุ และ อุณหภูมิ โดยมีพารามิเตอร์หลายตัวที่ใช้เป็นตัวแสดงถึงความต้านทานทางไฟฟ้าหรือสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุ เช่น RESISTIVITY, PERMITTIVITY (DIELECTRIC CONSTANT), DIELECTRIC LOSS ANGLE, DIELECTRIC STRENGTH

3.5.1 วัสดุที่เป็นฉนวนเมื่ออยู่ในกระแสตรง (DIRECT CURRENT FIELDS)

พารามิเตอร์ที่อธิบายถึงคุณลักษณะของวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า คือ RESISTIVITY (ρ), PERMITTIVITY (ϵ_r), POLARIZATION (P)

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E = \epsilon E$$

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

โดย $D = \text{FLUX DENSITY}$ (มีหน่วยเป็น คูลอมบ์/ตารางเมตร)
 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ (มีหน่วยเป็น ฟารัด/เมตร)

ค่าคาปาซิแตนซ์จะแปรผันตรงกับค่าเพอร์มิทิวิตี ($C \propto \epsilon$) เมื่อ
 DIMENSION OF CAPACITOL PLATE หรือ CONFIGURATION มีค่าคงที่จะได้ว่า

$$C = KE$$

$$P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)E$$

$$P = (\epsilon E - \epsilon_0 E) = (D - D_0)$$

$$D = P + D_0$$

ดังนั้น POLARIZATION คือ ค่าความหนาแน่นไดอิเล็กทริกฟลักซ์
 (DIELECTRIC FLUX DENSITY) ถ้านำค่า VACUUM FLUX DENSITY เข้ามารวมด้วย จะ
 ทำให้ผลรวมดังกล่าวเป็น FLUX DENSITY ของวัสดุ

ใน 1 โมเลกุล จะกำหนดค่า POLARIZATION เป็นสมการดังนี้ คือ

$$P = \alpha E$$

$$P = N \alpha E \quad (\text{เมื่อ } N = \text{จำนวนโมเลกุล})$$

โดยที่ α คือ POLARIZABILITY ($\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_d + \alpha_m$)

เมื่อ $\alpha_e, \alpha_i, \alpha_d, \alpha_m$ คือ ELECTRONIC, EONIC, DIPOLAR และ
 MOLAR POLARIZABILITY ตามลำดับ

$$\therefore P = N(\alpha_e + \alpha_i + \alpha_d + \alpha_m)E$$

$$P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)E$$

จากสมการดังกล่าว ซึ่ง $\alpha_e, \alpha_i, \alpha_d, \alpha_m$ เมื่อถูกนำมาใช้ในทางคณิตศาสตร์และ
 แทนที่ด้วยค่าต่าง ๆ แล้ว จะได้สมการสุดท้ายเป็น

$$P = NE\alpha = \left(\frac{\alpha + \epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{D} + \frac{\mu_e^2}{3KT} \right) NE = NE \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)$$

$$X_e = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)N = N\alpha$$

เมื่อ $X_e = P/E$

โดย $M = \text{MOLECULAR WEIGHT}$

$D = \text{DENSITY OF THE MATERIAL}$

$K = \text{BOLTZMAN'S CONSTANT}$

T = KELVIN TEMPERATURE

μ_e = PERMANENT ELECTRIC DIPOLEMENT IN THE UNIT VOLUME

$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}$ = SPECIFIC POLARIZATION OF DIELECTRIC MATERIALS

ซึ่งสมการนี้สามารถนำไปใช้ได้กับวัสดุที่อยู่ในรูปของเหลว, ของแข็ง และ ก๊าซ

3.5.2 วัสดุที่เป็นฉนวนเมื่ออยู่ในกระแสสลับ (ALTERNATING CURRENT FIELD)

พฤติกรรมของวัสดุที่เป็นฉนวนในกระแสสลับจะคล้ายกับกระแสตรง เพียงแต่จำเป็นต้องพิจารณาทุก ๆ พารามิเตอร์ใน 2 ด้านคือ ด้านที่เป็นจริง และ ด้านที่เป็นจินตภาพ

ค่า PERMITTIVITY (ϵ_r) จะมีค่าแปรเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับ ความถี่ของกระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความต่างศักย์ไฟฟ้า และ ความดัน เป็นต้น

ฉนวนโดยทั่ว ๆ ไป เช่น กระดาษ, โหมดธรรมชาติ หรือ แม้แต่พวกเทอร์โมพลาสติก เช่น พิวซีที่อยู่ในสภาวะธรรมชาติ สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ ๆ เนื่องจากค่า PERMITTIVITY มีค่าต่ำคือ ประมาณ $\epsilon_r = 2$ และ DIELECTRIC LOSS มีค่าสูง เนื่องจากมีโพรงอากาศจึงทำให้มันมีสมบัติเสถียร และ เสื่อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 90°C เราเรียกฉนวนประเภทนี้ว่า "CLASS Y INSULATION"

ซึ่งฉนวนประเภทนี้สามารถปรับปรุงให้มีสมบัติดีขึ้น คือ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิ 105°C จากเดิมที่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิ 90°C ด้วยวิธีการทำให้มันอิมมัตว์โดยวิธีนำเอาฉนวนจุ่มลงในน้ำมันหรือน้ำมันชักเงา ซึ่งน้ำมันดังกล่าวจะเข้าไปทำให้หลุมอากาศในเนื้อฉนวนหมดไป (IMPREGNATION) ซึ่งฉนวนที่ผ่านการทำให้อิมมัตว์แล้ว จะเรียกฉนวนประเภทนี้ว่า CLASS A INSULATION ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานประเภทเคเบิล เทปต่าง ๆ และ พวกสายไฟฟ้า แต่ถ้าต้องการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็สามารถทำให้อิมมัตว์ได้ด้วยการใช้ซิลิโคนแทนน้ำมัน หรือน้ำมันชักเงา (VANISH) ซึ่งจะสามารถใช้งานได้สูงถึง 180°C เช่น การ

เอาไมก้า ใยแก้ว หรือ ใยหิน ทำให้อึดตัวด้วยซิลิโคน ฉนวนประเภทนี้จะจัดเป็นฉนวนประเภท CLASS H INSULATION (CHHALOTRA AND BHAT, 1975:17-18)

การศึกษาเรื่องความเป็นฉนวน จำเป็นต้องทราบถึงค่ากำหนดในแต่ละตัว ดังนี้คือ ค่าคงที่ของฉนวน (PERMITTIVITY), มุมความสูญเสียความเป็นฉนวน (DIELECTRIC LOSS ANGLE), ค่าความแข็งแรงทางไฟฟ้า (DIELECTRIC STRENGTH) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTIVITY)

3.5.3 สภาพต้านทาน (RESISTIVITY)

ค่านี้เป็นดัชนีตัวหนึ่งในการบ่งบอกความเป็นฉนวนไฟฟ้าในทางอุดมคติ ฉนวนต้องมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (RESISTANCE) มากเป็นอันดับ

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha (T - T_0))$$

เมื่อ ρ = สภาพต้านทาน

L = ความยาวของตัวนำ

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

T = อุณหภูมิของวัสดุ

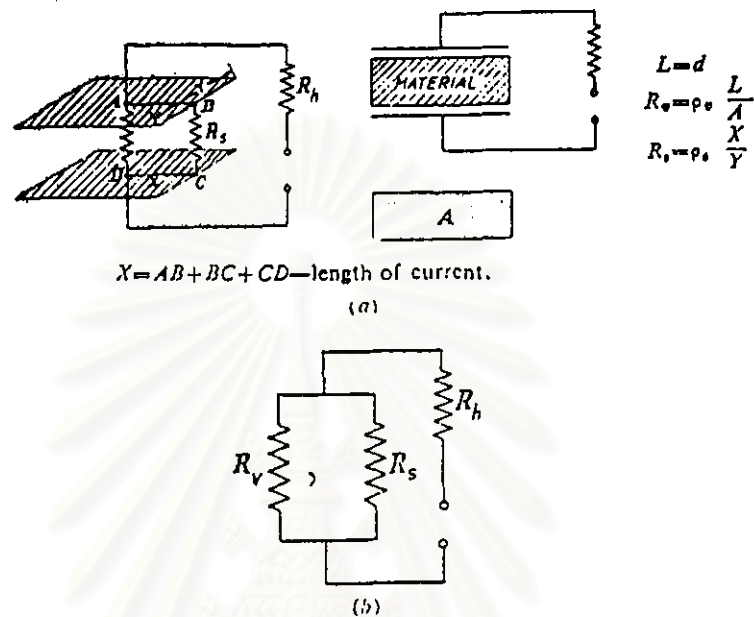
T_0 = อุณหภูมิอ้างอิง

ρ_0 = ค่าสภาพต้านทานที่อุณหภูมิ T_0

α = TEMPERATURE COEFFICIENT OF RESISTIVITY

R = ความต้านทาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงการคำนวณค่า VOLUME RESISTIVITY

ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านในฉนวนสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนคือ พิจารณาค่าความเป็นฉนวนในรูปปริมาตร และ อีกส่วนคือ พิจารณาความเป็นฉนวนในรูปพื้นผิว (แสดงในภาพที่ 3.4) สรุปได้ว่า มีค่าความต้านทาน 2 ประเภทคือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร และ ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (VOLUME RESISTANCE AND SURFACE RESISTANCE) ทำให้เราต้องพิจารณาสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร และ สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว และ การคำนวณค่าความต้านทาน เราจำเป็นต้องทราบ ขนาด และ รูปร่างของฉนวน ตามสมการข้างล่างดังนี้

$$R_v = \rho_v \frac{L}{A}$$

$$R_s = \rho_s \frac{X}{Y}$$

$$R = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s}$$

- R = ค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวน (RESISTANCE OF INSULATION)
 R_v = ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTANCE)
 R_s = ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (SURFACE RESISTANCE)
 ρ_v = สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTIVITY)
 ρ_s = สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (SURFACE RESISTIVITY)
 L = ระยะห่างระหว่างแผ่นความจุไฟฟ้า
 A = พื้นที่ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

หน่วยของสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร หรือ ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจำเพาะ (VOLUME RESISTIVITY OR SPECIFIC VOLUME RESISTANCE) คือ โอห์ม-เซนติเมตร ($\Omega \cdot \text{cm}$) หรือ โอห์ม-ตารางมิลลิเมตร/ม. ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) สำหรับค่าส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ก็คือ ความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรจำเพาะ (SPECIFIC VOLUME CONDUCTIVITY)

สำหรับการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่กล่าวถึงข้างต้นจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาน แต่ถ้าแผ่นความจุไฟฟ้าเป็นรูปทรงกระบอกจะทำการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรได้ดังนี้

$$R_v = \rho_v \frac{L}{A}$$

$$\text{เมื่อ } A = \frac{1}{2}(2\pi R_2 L' + 2\pi R_1 L')$$

$$= \pi L'(R_2 + R_1)$$

$$L = R_2 - R_1$$

$$\therefore R_v = \rho_v \frac{R_2 - R_1}{\pi L'(R_2 + R_1)}$$

R_2 = รัศมีทรงกระบอกด้านนอก

R_1 = รัศมีทรงกระบอกด้านใน

L' = ความยาวของทรงกระบอก

ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. อุณหภูมิ (TEMPERATURE)

ความเป็นฉนวนจะมีสมบัติลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. ความชื้น (HUMIDITY)

น้ำจะทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง และ เมื่อน้ำนั้นมีสิ่งเจือปนรวมอยู่จะทำให้ไอออนแตกตัว น้ำจะมีค่า PERMITTIVITY สูง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลในวัสดุที่เป็นฉนวนแตกตัว

3. ความต่างศักย์ (VOLTAGE)

ค่าความต่างศักย์จะเป็นเหตุให้เกิดการสร้างประจุเชิงปริมาณในเนื้อวัสดุ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงมากจะทำให้อนุภาคเคลื่อนย้ายจากวัสดุอย่างรวดเร็วโดยแรงของสนามไฟฟ้าซึ่งจะเป็นการเพิ่มสภาพนำไฟฟ้าให้แก่วัสดุ

4. ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (ELECTRIC FIELD INTENSITY)

โดยค่าสภาพนำไฟฟ้า (CONDUCTIVITY) จะมีความสัมพันธ์กับวัสดุตามกฎของพูลี (POOLE'S LAW)

$$g = g_0 e^{BE}$$

B = COEFFICIENT CHARACTERIZING THE MATERIAL

g_0 = CONDUCTIVITY IN WEAK FIELD

E = ELECTRIC FIELD INTENSITY

g = CONDUCTIVITY OF MATERIAL AT E

ถ้าเราป้อนกระแสตรง กระแสที่รั่วไหลออกจะลดลงทีละน้อย ๆ ซึ่งแสดงว่า ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

5. เวลา (TIME)

เวลาจะสัมพันธ์กับการเกิดประจุเชิงปริมาณ เราอาจกล่าวได้ว่า โพลาริเซชันของประจุในวัสดุที่ค่าความต่างศักย์สูง และ เกิดกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และ ในบางกรณีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะลดลงตามเวลา

6. ความสามารถที่ฉนวนจะเพิ่มการเก็บประจุ

วัสดุที่เป็นฉนวนย่อมมีความจุไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงตามขนาดของวัสดุ ความสามารถในการเก็บประจุของวัสดุจะเรียกว่า เป็นค่า PERMITTIVITY ค่าความสามารถในการเก็บประจุของสูญญากาศ (PERMITTIVITY) มีค่าเท่ากับหนึ่ง ขณะที่อากาศและวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปก๊าซ จะมีค่า

PERMITTIVITY จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง สำหรับค่า PERMITTIVITY ของวัสดุที่เป็นของแข็ง และ ของเหลว จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง ค่า PERMITTIVITY โดยมากจะทราบจากการทดลอง และ ค่า PERMITTIVITY ที่เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต้องมีค่าสูงมาก ๆ ค่า RELATIVE PERMITTIVITY (ϵ_r) ถูกกำหนดโดยโครงสร้างอะตอมของวัสดุ ค่าของ RELATIVE PERMITTIVITY ของสูญญากาศมีค่าเท่ากับหนึ่ง วัสดุทั่วไปโดยมากมีค่า ϵ_r มากกว่าหนึ่ง (วัสดุที่เป็นฉนวน)

$$\text{สมการ } D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

เมื่อ $D =$ ELECTRIC FLUX DENSITY (COULOMB/m²)

$$\epsilon_0 = \text{PERMITTIVITY OF VACUUM} = 8.854 \times 10^{-12} \text{ (FARAD/m.)}$$

$$\epsilon_r = \text{RELATIVE PERMITTIVITY}$$

สมการข้างบนจะสามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อ วัสดุที่เป็นฉนวน ดังกล่าวมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนกัน (ISOTROPIC MATERIAL) (วัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวน DIELECTRIC และ คุณสมบัติทางกายภาพไม่ได้แตกต่างไปจากทิศทางหรือแนวโน้ม ของวัสดุที่วัดได้)

วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต้องมีค่า PERMITTIVITY, VOLUME RESISTIVITY และ DIELECTRIC STRENGTH มาก ๆ และมีค่า DIELECTRIC LOSS ANGLE ต่ำ ๆ และสามารถใช้งานได้ในระยะเวลายาวนาน

3.5.4 DIELECTRIC STRENGTH

DIELECTRIC STRENGTH คือ อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ฉนวนสามารถ ทนได้ก่อนที่ฉนวนนั้นจะเกิดการแตกสลายต่อความหนาของฉนวน

$$\text{DIELECTRIC STRENGTH} = \frac{\text{BREAK DOWN VOLTAGE}}{\text{INSULATION THICKNESS}}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า DIELECTRIC STRENGTH คือ อุณหภูมิ, ความชื้น อัตราการป้อนแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบแบบ SHORT-TERM และ LONG-TERM รวมถึง ความถี่ของกระแสไฟฟ้าด้วย (ตัวอย่างปัจจัยดังกล่าวแสดงในกราฟที่ 3.4)

3.5.5 DIELECTRIC CONSTANT (PERMITTIVITY)

เมื่อวางฉนวนระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น จะทำให้ PLATE มีความสามารถที่จะเก็บประจุได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศหรือสุญญากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นโลหะ

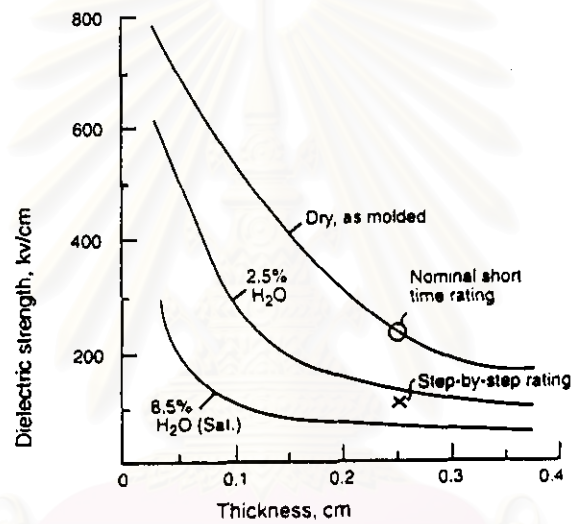
ค่า DIELECTRIC CONSTANT หรือ PERMITTIVITY คือ การวัดความสามารถของฉนวนที่จะเพิ่มความสามารถในการเก็บประจุแล้วไปเก็บอยู่ในรูปพลังงานทางไฟฟ้าสถิตย์

$$\text{DIELECTRIC CONSTANT} = \frac{\text{CAPACITANCE WITH INSULATOR}}{\text{CAPACITANCE W/O INSULATOR}}$$

3.5.6 SURFACE RESISTIVITY

เป็นค่าที่วัดความต้านทานของกระแสที่รั่วไหลไปตามพื้นผิวของฉนวน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนระหว่างขั้วของพื้นผิว 2 พื้นผิว ต่อ กระแสที่รั่วไหลออกตามพื้นผิวที่สามารถวัดได้ (ปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D 257) พื้นผิวที่สะอาดจะให้ค่าความต้านทานที่สูงกว่า พื้นผิวที่สกปรกหรือเปื้อนคราบน้ำมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Dielectric strength (short time) as a function of sample thickness and moisture content for a general purpose nylon 6/6 (Celanese 1000). Tested at 60 Hz per ASTM D149. Note: kv/cm x 2.54 = v/mil.

กราฟที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง DIELECTRIC STRENGTH กับ ค่าความหนา และ ความชื้น