

พอลิเมอร์นำไฟฟ้า(Conducting Polymer)



1.1 บทนำ

คำว่า "พอลิเมอร์(polymer)" มาจากคำกรีกสองคำคือ "poly" แปลว่าหลาย ๆ หรือมาก และ "mer" แปลว่าหน่วยหรือส่วน ดังนั้น พอลิเมอร์ จึงหมายถึง สารที่มีโมเลกุล ยาวมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2526) โมเลกุลของพอลิเมอร์จะ ประกอบด้วยกลุ่มของอะตอมที่เหมือน ๆ กันซึ่งเราเรียกว่า "มอนอเมอร์ (monomer)" ต่อ เรียงกันเป็นสายโซ่ยาวมาก หนึ่งโมเลกุลของพอลิเมอร์อาจประกอบด้วยกลุ่มอะตอมที่เหมือน ๆ กันหลายกลุ่มหรือหลายหน่วย อาจเป็น 100 , 1,000 , หรือ 10,000 หน่วยก็เป็นได้ ดังนั้น ความยาวของสายโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน จึงมักจะยาวเท่ากัน

มีผู้ใช้คำว่า "macromolecule" ซึ่งแปลว่า โมเลกุลขนาดใหญ่หรือโมเลกุลยักษ์ แทน หรือมีความหมายเช่นเดียวกับคำว่า "พอลิเมอร์" ซึ่งความจริงแล้วศัพท์ทั้งสองคำนี้มีความหมายต่างกัน เพราะสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีนหรือกรดนิวคลีอิก แม้จะมีโมเลกุล ใหญ่ แต่โมเลกุลของมันอาจไม่ประกอบด้วยหน่วยหรือกลุ่มอะตอมที่เหมือน ๆ กันก็เป็นได้ ฉะนั้น สารที่จัดอยู่ในประเภทโมเลกุลยักษ์จึงไม่ใช่สารพอลิเมอร์เสมอไป แต่ในทางตรงกันข้าม สาร พอลิเมอร์จะจัดเป็นสารโมเลกุลยักษ์เสมอ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ไม่ค่อยจะเคร่งครัดใน เรื่องนี้กันมากนัก

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ โมเลกุลของมันจะประกอบด้วย อะตอมของ คาร์บอนเป็นจำนวนมาก ยึดกันหรือเกาะระหว่างกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เป็นโครงสร้างหลัก (backbone) ส่วนระหว่างโมเลกุลมักจะยึดกันหรือดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals)(Billmeyer & Fred, 1984; Bueche, 1962) เดิมเราจะรู้จักและใช้ พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติเท่านั้น เช่น เซลลูโลส และยาง เป็นต้น แต่ปัจจุบันมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นมาได้หลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน(polyethylene) และพอลิสไตรีน (polystyrene) เป็นต้น

ในทางอุตสาหกรรม จะแบ่งพอลิเมอร์ออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มยาง (rubber) กลุ่มพลาสติก(plastics) กลุ่มเส้นใย(fibres) กลุ่มทากาใช้เคลือบ (coatings) และ กลุ่มกาว(adhesive) แต่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ปัจจุบันนี้ จะเกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ในกลุ่ม พลาสติกเสียเป็นส่วนใหญ่ จนอาจกล่าวได้ว่า พอลิเมอร์ก็คือพลาสติกนั่นเอง เพราะอุปกรณ์

เครื่องใช้ หรือเครื่องอำนวยความสะดวกของมนุษย์ในขณะนี้ ล้วนแต่ทำจากพลาสติกหรือใช้พลาสติก เป็นส่วนประกอบแทบทั้งสิ้น ประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตหรือการสังเคราะห์พลาสติกในปัจจุบันได้เจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็วจนเราสามารถควบคุมคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของพลาสติกได้เกือบทุกด้าน เช่น ความแข็งแรงทนทาน ความยืดหยุ่น สี ความโปร่งใส ฯลฯ คาดว่าปริมาณการใช้งานพอลิเมอร์โดยเฉพาะพลาสติก จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราอันรวดเร็ว จนเข้าแทนที่สารอนินทรีย์ประเภทอื่น ๆ ถึงกับมีคำกล่าวที่ว่า "โรงงานทศวรรษหน้า คือ โรงงานของพลาสติก"

แต่เคมีนักวิทยาศาสตร์จัดพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ไว้ในกลุ่มพวกฉนวนไฟฟ้า เพราะพอลิเมอร์มีสภาพนำไฟฟ้าได้น้อยมาก อันเนื่องด้วยขั้วอะตอม หรือหน่วยของอะตอมในพอลิเมอร์ไม่มีพาหะในการนำกระแสไฟฟ้าอยู่เลย มาในระหะหลังนี้ได้ค้นพบว่า มีพอลิเมอร์บางชนิด ที่มีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) จึงนำพอลิเมอร์ชนิดนี้มาพัฒนาและประยุกต์เป็นเครื่องมือทางเสียง เช่น ใช้ทำสารพ้องเสียง นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์บางชนิดมีสมบัติทางไพโรอิเล็กทริก (pyroelectric) จึงสามารถนำมาพัฒนา และนำไปใช้ทำเครื่องมือซึ่งตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดได้

แต่ที่นักวิทยาศาสตร์ตื่นตัวกันมากคงจะเป็นการค้นพบว่า พอลิเมอร์บางชนิดซึ่งได้จากกระบวนการสังเคราะห์ (synthesis) อันเหมาะสม จะสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ ความคิดที่ว่าพอลิเมอร์เป็นได้เฉพาะฉนวนไฟฟ้าเท่านั้นจึงเปลี่ยนไป การศึกษาและวิจัยทางพอลิเมอร์นำไฟฟ้า (conducting polymer) จึงทำกันอย่างแพร่หลาย และเมื่อนำคุณสมบัติเด่นของพอลิเมอร์รวมกับความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้พอลิเมอร์กลายเป็นวัสดุที่มนุษย์จะขาดไม่ได้ ในการดำรงชีวิตทั้งปัจจุบันและอนาคต

ปัจจุบันมีการนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน และคงจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต การวิจัยครั้งนี้ ก็เป็นการนำเอาพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในด้านการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ซึ่งรายละเอียดของวิธีการวิจัยและผลการวิจัยจะกล่าวถึงโดยละเอียดในอันดับต่อ ๆ ไป

1.2 ประวัติการค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้าและการประยุกต์

ใน ค.ศ. 1970 ได้ค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้าเป็นครั้งแรก ที่ห้องปฏิบัติการของ Hedeki Shirakawa สถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น (Kaner, 1988) ทำให้ตื่นตัวและศึกษาเรื่องนี้กันมาก หลังจากนั้นไม่นานนัก คือในปี ค.ศ. 1976 พบว่าการโคบอลต์คาร์บอนไอเล็กตรอนจากสารบางชนิด เช่น ไอโซคีน ลงบนพอลิอะเซทิลีน (polyacetylene) จะทำให้สภาพนำไฟฟ้า (conductivity) ของพอลิอะเซทิลีน ซึ่งเดิมมีค่าต่ำมาก จนพอลิอะเซทิลีน

ถูกจัดอยู่ในประเภทพอลิเมอร์นำไฟฟ้า หรือสารกึ่งตัวนำ มีค่าเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัวจนเทียบเท่าทองแดง (Shirakawa, 1977) และเมื่อศึกษาโครงสร้างของพอลิอะเซทิลีน ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนสังยุคแบบเชิงเส้น (Linearly conjugated carbon compound) ชนิดหนึ่งพบว่าโครงสร้างของมันมีคาร์บอนสังยุค (conjugated carbon) ซึ่งเชื่อมร้อยด้วยพันธะคู่ (double bond) สลับกับพันธะเดี่ยว (single bond) เป็นแนวกลาง (backbone) และอนุภาคหรือหน่วยของอนุภาคที่หาหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าในพอลิอะเซทิลีนก็คือ - อิเล็กตรอน ซึ่งเกิดขึ้นจากขบวนการโคป ตามที่กล่าวมาแต่ต้นนั่นเอง (MacDiarmid, 1986) จึงได้พยายามสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ จากสารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกันหรือคล้ายคลึงกับพอลิอะเซทิลีน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างเป็นแบบวงหรือเชิงเส้น จนได้ค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้าอีกหลายชนิดในปี ค.ศ. 1980 เช่น พอลิอะนิลีน (polyaniline) พอลิไทอีโพลีน (polythienylene) (Hotta, 1988) พอลิไพร์โรล (polypyrrole) พอลิพีไคนีน (poly(P-phenylene)) พอลิพีไคนีนไวนิลีน (poly(P-phenylene vinylene)) และพอลิไทโอเฟน (polythiophene) เป็นต้น การใช้งานพอลิเมอร์ในด้านต่าง ๆ จึงไม่จำกัดอยู่แต่ในประเภทพอลิเมอร์นำไฟฟ้าเท่านั้น แต่ได้ขยายขอบข่ายการใช้งานมาอยู่ในประเภทของตัวนำไฟฟ้า นับตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา (Baeriswyl, 1982; MacDiarmid, 1986)

แม้ว่าสภาพนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้จะมีค่าไม่สูงมากพอที่จะนำมาใช้งานแทนโลหะ ซึ่งนับวันจะหายากและราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่พอลิเมอร์นำไฟฟ้ามีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจมากมาย ซึ่งไม่ค่อยจะมีโลหะหรือสารอนินทรีย์ เช่น น้ำหนักเบา กำหนดคลี่ได้ตามความต้องการ ยืดตัว บดผง ไม่เกิดปฏิกิริยาเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไป สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่ว่าเราจะต้องการให้มีรูปร่างลักษณะใดก็ตาม และด้วยการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบันเข้าช่วย ทำให้เราสามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์ในระดับโมเลกุลตามที่เรากำลังต้องการ เช่น คุณสมบัติทางแสงและทางเสียง เป็นต้น

ในปัจจุบัน มีอุปกรณ์หลายชนิดใช้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตแบตเตอรี่ประจุใหม่ (Rechargeable polymer battery) ซึ่งแบตเตอรี่ประจุใหม่ชนิดใหม่นี้ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบตเตอรี่ประจุใหม่ที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้หลายประการ คือให้ความต่างศักย์ต่อเซลล์ประมาณ 2-4 โวลต์ (ปัจจุบันประมาณ 1 โวลต์ต่อเซลล์เท่านั้น) มีอัตราการจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักตัวสูงกว่า อายุการใช้งานนานกว่า นำวัสดุที่เป็นพิษ และสามารถประดิษฐ์ให้มีรูปร่างที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในแต่ละประเภท ในปัจจุบันนี้

การผลิตแบตเตอรี่ประเภทนี้ออกจำหน่ายตามท้องตลาดบ้างแล้ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดใหม่คุณภาพสูง ซึ่งใช้พอลิไพร์โรลเป็นส่วนประกอบของบริษัท BASF และ VARTA จากประเทศเยอรมัน และแบตเตอรี่รุ่นใหม่ซึ่งใช้พอลิอะนิลีนเป็นส่วนประกอบของบริษัท Bridgestone และ Seiko ประเทศญี่ปุ่น คาดว่าแบตเตอรี่ประเภทพอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้ จะได้รับความนิยมนอย่างมากในอนาคต (Techagumpuch, Nalwa & Miyata, 1991)

อุปกรณ์การแสดงผลชนิดต่าง ๆ ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น จอภาพ ก็ได้นำเอาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าบางชนิดเข้าไปเป็นส่วนประกอบบ้างแล้ว เช่น พอลิอะนิลีน เพราะพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดนี้ สามารถเปลี่ยนสีตามความต่างศักย์ที่ป้อนให้แก่ตัวมันได้ ส่วนในด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์สุริยะ (solar cell) เช่น การผลิต electrochemical photovoltaic cells และ photoelectrolytic cells นั้น ได้นำพอลิไพร์โรลมาเคลือบเป็นฟิล์มบาง ๆ บนผิวของซิลิคอน (silicon) แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) หรือผิวของสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ เพื่อช่วยลดปัญหาการ photodecomposition อันเกิดจากการใช้สารอินทรีย์ทำเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n (n-type)

เนื่องจากเราสามารถกำหนดสภาพนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ได้โดยง่ายโดยการควบคุมความเข้มข้นของ dopant จึงนำวิธีการผลิตพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาผสมผสานกับเทคโนโลยีการผลิตสารกึ่งตัวนำ ใช้ผลิตไดโอด (Schottky barrier type diode) และทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟค (field effect transistor) ชนิดใหม่ขึ้นมา เพื่อให้เหมาะสมกับงานบางประเภท ซึ่งมีพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่นำมาใช้งานวิจัยด้านนี้หลายชนิด เช่น พอลิอะเซทิลีน พอลิไพร์โรล และพอลิไพโรทีน เป็นต้น

โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ถ่ายภาพ และการพิมพ์ ฯลฯ จะมีอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุทางไฟฟ้ามาก เพราะการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic charge) ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต จึงได้นำเอาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าเข้ามาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือป้องกันภัยประเภทต่าง ๆ เพราะพอลิเมอร์นำไฟฟ้าสามารถกำจัดประจุไฟฟ้าสถิตย์ ในอัตราที่เร็วกว่าตัวป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งใช้ในปัจจุบันนี้หลายเท่า นอกจากนี้ยังนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาใช้เป็นสารกรอง (filters) แทนผงคาร์บอน (carbon black) แกรไฟท์ หรือ โลหะ และยังสามารถใช้หาคาวนาไฟฟ้า (conductive adhesives) ได้อีกด้วย

ลักษณะของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าอีกลักษณะหนึ่ง ที่น่าสนใจก็คือ ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง (Thin film) ซึ่งได้จากการนำพอลิเมอร์ (polymeric matrix) ชนิดอื่นเป็นตัวสร้าง



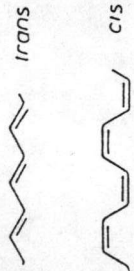
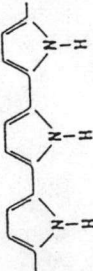
แผ่นฟิล์มบาง แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นำไฟฟ้าจึงเป็นแผ่นฟิล์มประกอบ (composite film) ซึ่งมีพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งเป็นตัวสร้างแผ่นฟิล์มบางขึ้น ส่วนตัวพอลิเมอร์นำไฟฟ้าจะแทรกอยู่ในเนื้อของแผ่นฟิล์ม หรือเคลือบเป็นฟิล์มบางอีกชั้นหนึ่งบนฟิล์มแรก แต่จะมีการยึดเกาะกันที่แข็งแรงมาก และสามารถเกาะติดบนผิวของสารอินทรีย์ เช่น โลหะได้ก็อีกด้วย จึงนำแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นำไฟฟ้าไปเคลือบบนผิวของวัตถุชนิดต่าง ๆ หลายชนิด เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ลดการสึกหรอจากการเสียดทาน ป้องกันการเกิดสนิม หรือเพื่อทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุชิ้นนั้น ๆ

แม้ว่า พอลิอะเซทิลีน จะมีสมภาชนะนำไฟฟ้าที่สูงมาก แต่ไม่คงทนเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมปกติ จึงไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางเท่าที่ควร แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ได้มีความพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ตลอดมา และนำพอลิอะเซทิลีนมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือหลายชนิด เช่น สร้างเป็นตัวรับรู้ (sensor) ในเครื่องตรวจจับชนิดต่าง ๆ เช่น ตรวจความชื้น ตรวจจับรังสี ตรวจจับทางเคมี และตรวจรอยร้าวหรือจุดสึกหรอทางจักรกล เป็นต้น

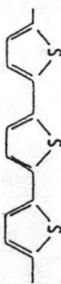

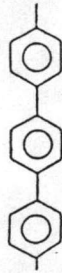
นอกจากพอลิเมอร์นำไฟฟ้าแล้ว พอลิเมอร์ประเภทเพสซออิเล็กทริก (piezoelectric polymer) ก็เป็นพอลิเมอร์อีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ และนำมาประยุกต์ใช้งานหลายด้าน โดยเฉพาะการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำเนิดเสียง (electroacoustic) เช่น นำมาผลิตเป็นลำโพงเสียง ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางใสของ poly (vinylidene cyanide vinylacetate) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประเภทเพสซออิเล็กทริกประเภทหนึ่งฉาบด้วยพอลิเมอร์นำไฟฟ้าคือ พอลิไพโรลบนผิวฟิล์มทั้งสองด้านเพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้า ลำโพงชนิดนี้ตอบสนองต่อความถี่สูง ๆ ได้ดีมาก จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงประเภท CD (CD player)

ปัจจุบันการศึกษาพอลิเมอร์นำไฟฟ้า แบ่งออกเป็น การศึกษาทางโครงสร้างและการหาทฤษฎีที่จะอธิบายกลไกการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การหาวิธีการและเทคนิคการสังเคราะห์ เพื่อให้ได้พอลิเมอร์นำไฟฟ้ามีค่าสมภาชนะนำไฟฟ้าสูงมากขึ้น เสถียร ไม่ลดลง และหาประโยชน์ในสภาพแวดล้อมปกติ มีลักษณะทางกายภาพ เช่น สีและผิว ความที่เรากำลังต้องการ และสุดท้ายก็คือ การนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้าไปประยุกต์และพัฒนาเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์บางชนิดซึ่งสามารถทำได้และมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีมาก ตามที่กล่าวทั้งหมดแต่กัน และในขณะนี้ยังอยู่ในการช่วงวิจัยและพัฒนาให้ใช้กับงานด้านอื่น ๆ อีกมาก เช่น การประยุกต์ในด้านเครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal processing) การสื่อสารทางแสง (optical communication) หน่วยเก็บข้อมูล (data storage) หน่วยความจำที่เขียนและลบได้ด้วยแสง (erasable optical recording memory device) เป็นต้น คาดว่าพอลิเมอร์นำไฟฟ้าจะมีบทบาทในทางสร้างสรรค์อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ ที่มีประสิทธิภาพ และอำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในอนาคต.

ตารางที่ 1.1 แสดงพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่สำคัญและการประยุกต์

Polymer	Chemical structure	Conductivity (S/cm)	Possible applications
Polyacetylene		10 ⁵ a	Rechargeable battery, photovoltaics, gas sensors. chemical indicators, radiation, detectors. Schottky diode, antielectrostatic, encapsulation. biotechnology, optoelectronics, solar cells.
Polypyrrole		1000 ^b	Rechargeable battery, condenser, printed circuit-boards, gas sensors, potentiometric glucose - sensor, electroplating, Schottky diode, electro-acoustic device, fillers, adhesive, transparent-coating, electromagnetic shielding, electropho-tochemical cells, field-effect transistor. photocatalysts, physiological implantations optoelectronics, conductive textiles.

ตารางที่ 1.1 แสดงพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่สำคัญและการประยุกต์ (ต่อ)

Polymer	Chemical structure	Conductivity (S/cm)	Possible applications
Polythiophene		150 ^c	Rechargeable battery, display device, field-effect transistor, optoelectronics, Schottky-diode, gas sensor, photocatalysts.
Polyaniline		5 ^d	Rechargeable battery, electrochromic devices, indicator devices, biosensors.
Poly(p-phenylene)		500 ^e	Rechargeable battery, fillers, photocatalysts

a Naarmann polyacetylene doped with iodine, b BF₄ - doped, c AsF₅ doped, d Aqueous HCL doped.

e AsF₅ doped.

ที่มา: Techagumpuch A., S. Nalwa and S. Miyata, Promising Application of Conducting Polymers.,

Chapter in "Electroresponsive Molecular and Polymeric System", Synth., .

vol.2, T. A. Skotheim ed., pp.257-294, New York, Marcel Dekker, 1991.

แม้ว่าในปัจจุบัน เราจะพบว่ามียโพลิเมอร์หลายชนิดที่นำไฟฟ้าได้ และนำโพลิเมอร์นำไฟฟ้าเหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานหลายประเภทแล้วก็ตาม (ตามตารางที่ 1.1) แต่สภาพนำไฟฟ้าของโพลิเมอร์นำไฟฟ้าทุกชนิด จะไม่คงตัว โดยสภาพนำไฟฟ้าของมันจะลดลงค่อนข้างจะเร็วพอสมควร เมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติ อุบสรรคข้อนี้จึงชักชวนการนำโพลิเมอร์นำไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ เป็นอย่างมาก (โดยเฉพาะโพลิอะเซทิลีน) ฉะนั้นการนำโพลิเมอร์นำไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้งาน นอกจากจะพิจารณาเลือกโพลิเมอร์ชนิดที่มีสภาพนำไฟฟ้าสูง ๆ แล้ว ยังต้องพิจารณาคุณสมบัติในด้านความคงตัว ของสภาพนำไฟฟ้าของโพลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ อีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยโพลิเมอร์นำไฟฟ้าหลายชนิดที่พบในปัจจุบันนี้ โพลิไพร์โรล (Polypyrrole) มีความเหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้งานมากที่สุด เพราะแม้ว่าสภาพนำไฟฟ้าของโพลิไพร์โรลจะไม่สูงมากนัก (ประมาณ 100 S/cm) แต่สภาพนำไฟฟ้าของมันมีความคงตัวค่อนข้างสูง การศึกษาโพลิเมอร์นำไฟฟ้าในปัจจุบันนี้ จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติของโพลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดนี้มากเป็นพิเศษ โดยพยายามหาวิธีการสังเคราะห์ (synthesis) ที่ทำให้โพลิไพร์โรลมีสภาพนำไฟฟ้าสูง ๆ และคงตัวมาก ๆ

การสังเคราะห์โพลิไพร์โรลที่นิยมทำกันในปัจจุบันนี้ มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งจะได้โพลิไพร์โรลทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบ และฟิล์มบาง ซึ่งวิธีการสังเคราะห์โพลิไพร์โรลเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ที่นิยมสังเคราะห์กันในปัจจุบัน มีดังต่อไปนี้

1.3 การสังเคราะห์โพลิไพร์โรล

ในปัจจุบัน มีวิธีการสังเคราะห์โพลิไพร์โรลอยู่ 3 วิธี คือ (Machida, Miyata & Techagumpuch, 1989) วิธีทางเคมีในสารละลาย (Chemical Polymerization in Solution) วิธีไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Polymerization) และวิธีฉาบทางเคมีด้วยไอระเหยของสาร (CVD - Chemical Vapour Deposition) (Ojio & Miyata, 1986; Yoshino & Sugimoto, 1984) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

1.3.1 การสังเคราะห์ทางเคมีในสารละลาย (Chemical Polymerization in Solution)

การสังเคราะห์โพลิไพร์โรล โดยวิธีทางเคมีในสารละลายนี้ มีการทำกันอย่างแพร่หลายและมีวิธีการแตกต่างกันมากพอสมควร แต่จะยกตัวอย่างการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มโพลิไพร์โรลตามแบบของ Miyata และคณะ ซึ่งทำในปี ค.ศ. 1989 โดยมีรายละเอียดการสังเคราะห์โดยย่อ ดังนี้

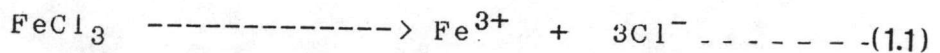
นำ Anhydrous ferric chloride (FeCl₃) มาละลายในตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำ , methanol(CH₃OH) , Pentanol , Benzene , Chloroform หรือ Acetone ฯลฯ กรองเอาตะกอนทิ้ง แล้วนำ pyrrole monomer บริสุทธิ์ผสมลงไป ซึ่งต้องคนตลอดเวลาเพื่อรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ และในขณะนี้ pyrrole จะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์(Polymerization)กับ FeCl₃ เกิดเป็นพอลิไพร์โรล มีลักษณะเป็นตะกอนสีน้ำตาล

การหยุดปฏิกิริยาทำได้โดยนำ methanol ผสมลงไปปริมาณมาก ๆ แล้วนำมากรองเอาแต่เฉพาะตะกอนสีน้ำตาล(พอลิไพร์โรล) ปล่อยให้แห้งในสูญญากาศนาน 12 ชั่วโมงขึ้นไป และเพื่อสะดวกในการวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า จึงนำตะกอนสีน้ำตาลที่ได้ใหม่อัดเป็นแผ่นกลมบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับการวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า นั้น จะวัดโดยวิธี four-point probe ในสูญญากาศ (ดูหลักการและวิธีวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าแบบ four-point probe ในหัวข้อ 3.2)

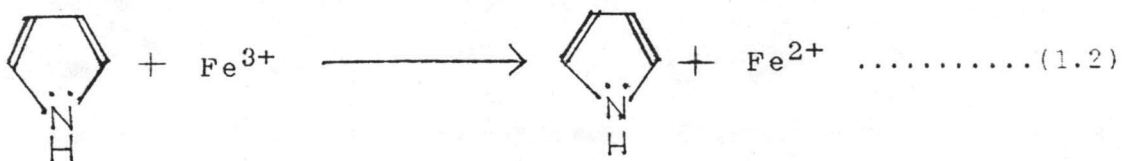
จากการวิจัยพบว่า เงื่อนไขการสังเคราะห์ที่ทำให้ได้พอลิไพร์โรลที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงที่สุดนั้น ก็คือ ใช้ methanol เป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิขณะเกิดพอลิเมอร์(Polymerization temperature)ประมาณ 0 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาในการเกิดพอลิเมอร์(Polymerization time)นาน 20 นาที สารละลายที่ใช้คือ 2.5 M FeCl₃ ใน methanol และอัตราส่วนระหว่าง FeCl₃ กับ pyrrole เท่ากับ 2.33 : 1 mol ตามลำดับ พบว่า ในการวิจัยครั้งนั้น สามารถสังเคราะห์พอลิไพร์โรลที่มีสภาพนำไฟฟ้าสูงถึง 190 S/cm และถ้ามีการควบคุมค่า Oxidation Potential ของสารละลาย FeCl₃ ใน methanol ให้เหมาะสมแล้ว จะสามารถสังเคราะห์พอลิไพร์โรลที่มีสภาพนำไฟฟ้าสูงถึง 220 S/cm

สำหรับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์(Cheical Polymerization) นั้น คาดว่ามีลำดับขั้นตอนดังนี้

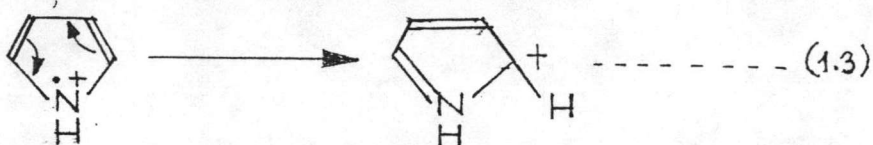
ก. FeCl₃ แยกตัวในตัวทำละลาย(solvent) ออกเป็นไอออน ตามสมการ



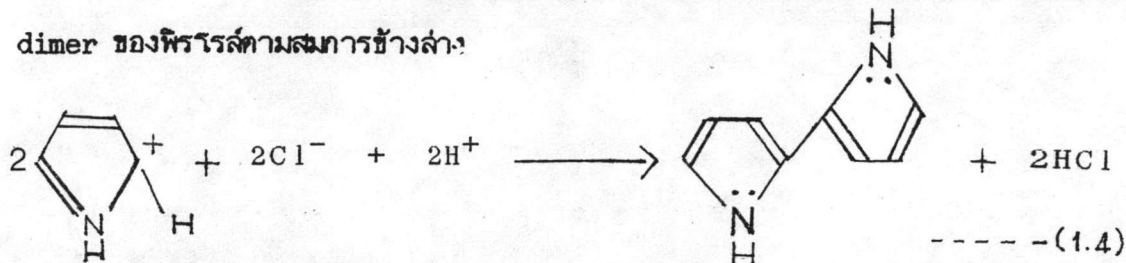
ข. ไพร์โรล 1 โมลบนเมอร์เพื่ออิเล็กตรอน 1 ตัวแก่ Fe³⁺ แล้วเกิดเป็นไอออนบวกของไพร์โรล ตามสมการ



ค. ไอออนชนิดบวกของพिरโรลซึ่งจัดหั้นระใหม่ ตามรูปข้างล่าง



ง. พिरโรลซึ่งจัดหั้นระใหม่จำนวน 2 ตัว จะมารวมกับ Cl^- สองไอออน เกิดเป็น dimer ของพिरโรลตามสมการข้างล่าง



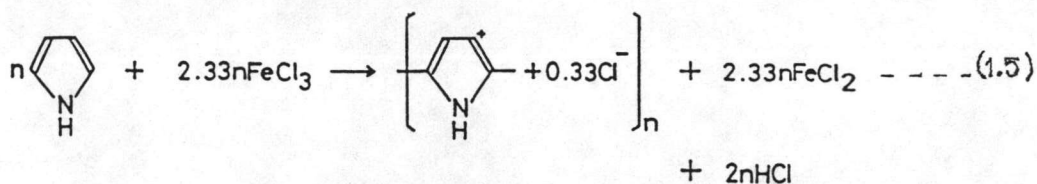
ปฏิกิริยาจะเกิดซ้ำ ๆ กันจนเกิดเป็น polypyrrole และจากการวิเคราะห์พบว่า ถ้าช่วงเวลาการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างกัน elemental analysis ของพอลิพिरโรลที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 1.2 พบว่า Fe มีน้อยเพียงเล็กน้อย จึงมีบทบาทในการนำไฟฟ้าไม่มากนัก และชี้ให้เห็นว่าทุก ๆ 3 กลุ่มของพिरโรล จะทำให้อิเล็กตรอน 1 ตัวแก่ Cl ดังนั้น Cl^- จึงเป็น dopant ion

polymerization time(min)	conductivity (S/cm)	C	N	H	Cl	Fe	O
20	190	4.00	1.00	3.25	0.33	0.003	0.12
60	147	4.00	1.00	3.26	0.31	0.003	0.13
160	102	4.00	1.00	3.32	0.30	0.004	0.14

ตารางที่ 1.2 แสดงอัตราส่วนของอะตอมชนิดต่าง ๆ ในพอลิพिरโรล ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

มีผู้รายงานมาก่อนแล้วว่า Cl^- สามารถแสดงตัวเป็น dopant ได้ นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1.2 แสดงให้เห็นว่ามีส่วนเกินของไฮโดรเจน และมีออกซิเจนน้อยอยู่ในพอลิพिरโรลที่สังเคราะห์ได้เล็กน้อย ซึ่งตรงกับผลการรายงานของการวิจัยอื่น ๆ ที่ทำมาก่อนแล้ว จึงคาดว่าออกซิเจนในพอลิพिरโรลคือตัวหลักในการพอร์ม charge - transfer complex ระหว่างโมเลกุลของออกซิเจนหรืออะตอมของออกซิเจนกับหน่วยพिरโรล ถ้าขอมารับ

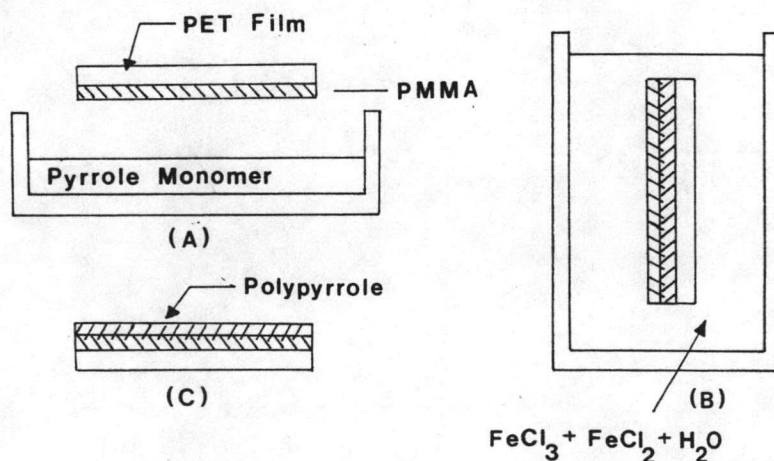
สมมติฐานข้างบน สามารถปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์ด้วย FeCl₃ จะสามารถเขียนได้ดังนี้



ในปี 1990 คณะวิจัยกลุ่มนี้ ยังได้เสนอวิธีสังเคราะห์ (synthesis) พอลิไพร์โรลแบบเคมีอีกรูปหนึ่ง ซึ่งแม้จะไม่ได้พอลิไพร์โรลที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงเทียบเท่ากับวิธีแรก แต่วิธีการสังเคราะห์วิธีนี้ เป็นวิธีการที่น่าสนใจ เพราะได้พอลิไพร์โรลอยู่ในรูปแผ่นฟิล์มบาง จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย เพื่อชุบผาผิวโลหะ (electroplating) ลงบนผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายของการวิจัยในครั้งนี้ได้เหมือนกัน สำหรับวิธีการสังเคราะห์พอลิไพร์โรลด้วยวิธีนี้ มีดังต่อไปนี้ (Yoshikawa, Machida, Ikegami & Techagumpuch, 1990)

ก. นำ PMMA (Polymethyl methacrylate) ละลายในตัวทำละลาย เช่น acetone โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำมาทาลงบนแผ่น PET ฟิล์ม (Polyethylene terephthalate) ซึ่งมีความหนาประมาณ 100 ไมครอนเมตร จากนั้นนำใบอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 40 - 50 องศาเซลเซียส

ข. นำแผ่นฟิล์มจากข้อ ก. ไปจุ่มลงใน pyrrole monomers บริสุทธิ์ กังแสดงในรูปที่ 1.1(A)



รูปที่ 1.1 แสดงวิธีสังเคราะห์พอลิไพร์โรลด้วยวิธีทาง เคมีในสารละลาย

ค. นำแผ่นฟิล์มจากข้อ ข. ไปจุ่มลงในสารละลายของ FeCl_3 ในน้ำกลั่น (ดังแสดงในรูปที่ 1.1(B)) ซึ่งมีการควบคุมค่า Oxidation potential; E โดยการเติม FeCl_2 ลงไปในปริมาณที่พอเหมาะตามสมการของ Nernst

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{FeCl}_3]}{[\text{FeCl}_2]}$$

pyrrole จะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) กับ FeCl_3 เกิดเป็นพอลิไพร์โรล ความเข้มข้นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (ดูขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาหน้า 9)

ง. นำแผ่นฟิล์มจากข้อ ค. ไปล้างน้ำ แล้วนำไปอบแห้งในสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยนำไปใส่ใน desiccator ที่ถูกอากาศภายในออกจนหมด เป็นเวลานานประมาณ 24 ชั่วโมง จะได้แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ดังแสดงในรูปที่ 1.1(C) ส่วนสภาพการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล จะวัดโดยวิธี four-point probe โดยครั้งแรกจะวัด Voltage/current ของแผ่นฟิล์มขณะยังติดกับแผ่น PMMA แล้วคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว (Surface resistance ; R_s) ของแผ่นฟิล์ม ตามสมการ

$$R_s = \frac{VT}{I \ln 2}$$

แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปจุ่มลงใน acetone ซึ่งจะทำให้ PMMA ละลาย แผ่นฟิล์มของพอลิไพร์โรลจึงหลุดออกมาจากแผ่น PET ฟิล์ม หลังจากนั้นจะใช้ SEM วัดความหนา (d) ของแผ่นฟิล์ม แล้วคำนวณหาสภาพนำไฟฟ้าที่ผิว (Surface conductivity ; σ) ของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ตามสมการ

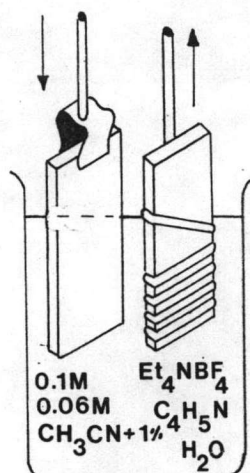
$$\sigma = \frac{1}{R_s d}$$

คณะวิจัยกลุ่มนี้พบว่า เวื่อนาเซกการสังเคราะห์ที่ทาให้ได้แผ่นฟิล์มมีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงสุดก็คือ ใช้เวลาขณะจุ่มลงในไพร์โรลบริสุทธิ์นาน 5 นาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยใส่สารละลาย 1 M ของ FeCl_3 ในน้ำ ซึ่งมีค่า Oxidation Potential 640 mV แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่ได้ จะมีค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวสูงถึง 110 S/cm

1.3.2 การสังเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Polymerization)

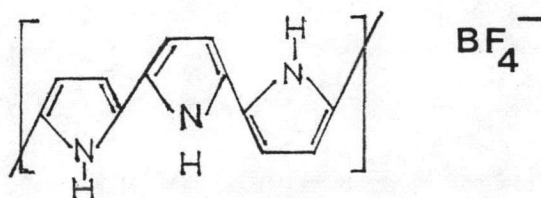
ในปี ค.ศ. 1979 Keiji Kanazawa , Diaz และคณะ ได้ใช้วิธีไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) สังเคราะห์แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล โดยใช้อิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นส่วนผสม

ระหว่าง $0.1 \text{ M Et}_4\text{NBF}_4$, 0.06 M pyrrole และสารละลายของ CH_3CN 99 % (Diaz, Kanazawa & Gardini, 1979) ส่วนขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทั้งสองนั้น จะใช้ พลาตินัมเป็นขั้วบวก และลวดทองคำพันรอบแผ่นแก้วสไลด์เป็นขั้วลบ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงการสังเคราะห์พอลิไพร์โรลทางไฟฟ้าเคมี

ในการวิจัย ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยจาก Galvanostic Control จะเพิ่มในลักษณะเป็นภูมิภาคตรงกับเวลาในช่วงประมาณ 3 นาทีแรก หลังจากนั้นจะคงที่ โดยมีค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current density) ที่เหมาะสม อยู่ในช่วงระหว่าง $0.5 - 1.5 \text{ mA.cm}^{-2}$ ซึ่งจะเกิดแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลเกาะที่แผ่นพลาตินัม หนาประมาณ 50 ไมครอนเมตร ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ เพราะมี BF_4^- เป็น dopant แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่ได้ นี้มีความอ่อนตัว (flexible) และมันเงา (shiny) โดยค่านที่ติดแผ่นพลาตินัมจะมีผิวมันเงา แต่ผิวของแผ่นฟิล์มจะด้าน (ไม่มันเงา) สำหรับด้านตรงข้ามกับแผ่นพลาตินัม ผลการดูลักษณะผิวแผ่นฟิล์มภายใต้เครื่อง Scanning electron micrographs แสดงให้เห็นว่า ผิวของแผ่นฟิล์มด้านที่ติดกับแผ่นพลาตินัมจะเรียบ แต่ผิวด้านตรงข้ามจะขรุขระ เป็นเม็ด ๆ เชื่อว่า โครงสร้างของพอลิเมอร์พอลิไพร์โรลที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการเกาะกันที่ตำแหน่ง α -Carbon ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างที่เป็นหน่วยซ้ำของพอลิไพร์โรล

ค่าสภาพนำไฟฟ้า ของแผ่นฟิล์มวัดได้ด้วยวิธี Four-point probe ซึ่งได้ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวอยู่ในช่วง 10 - 100 S/cm แต่ส่วนในท้องจะอยู่ในช่วง 30 - 100 S/cm พบว่าค่าสภาพนำไฟฟ้า จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แม้ว่าจะทิ้งไว้ในอากาศนานถึง 2 สัปดาห์ และจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้ในสุญญากาศที่ความดัน 10^{-5} ทอร์ แม้เวลาจะผ่านไปแล้ววันก็ตาม ได้ทดลองให้กระแสไฟฟ้าขนาด 10 มิลลิแอมป์ (กระแสไฟฟ้าขนาด 2 แอมแปร์ไหลผ่านนานประมาณ 13 ชั่วโมง) ไหลผ่านแผ่นฟิล์ม พบว่าไม่ทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้า เปลี่ยนไป แต่ถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับในขณะที่อยู่ในระบบดังรูปที่ 1.3 จะทำให้ dopant หลุดออกจากแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล และหมดสภาพการนำไฟฟ้าทันทีภายในเวลาที่รวดเร็วมาก เราเรียกขบวนการนี้ว่า " undoping polypyrrole "

1.3.3 การสังเคราะห์แบบ CVD (Chemical Vapour Deposition)

ในปี ค.ศ.1986 Takeaki Ojio และ Seizo Miyata นักเคมีชาวญี่ปุ่น ได้สังเคราะห์แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นำไฟฟ้าของพอลิไพร์โรลขึ้นมา (Ojio & Miyata, 1986) โดยการใช้ Poly(vinyl alcohol)(PVA; $M_n = 22000$) ผสมกับ $FeCl_3$ ในน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม นำสารละลายที่ได้นี้มาทาบลงบนแผ่น Poly(ethylene terephthalate) หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่า PET ฟิล์ม แล้วนำบอเบ้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 45 - 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำบอเบ้ของไพร์โรลที่อุณหภูมิประมาณ -15 องศาเซลเซียสใน desiccator ซึ่งมีน้ำอยู่ด้วยในปริมาณที่เหมาะสมนาน 30 นาที ถึง 24 ชั่วโมง แล้วนำบอเบ้ใน desiccator อีกบอเบ้หนึ่ง ซึ่งสุญญากาศออกหมดจนกลายเป็นสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 24 ชั่วโมง ค่าสภาพนำไฟฟ้าของผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล จะวัดในสุญญากาศโดยวิธี four-point probe ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนค่าความโปร่งแสงของแผ่นฟิล์มจะวัดโดยประมาณจากเครื่อง UV double beams spectrometer โดยใช้ PET ฟิล์มเป็นสิ่งอ้างอิง ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสภาพนำไฟฟ้า และความโปร่งแสงของผิวฟิล์มพอลิไพร์โรลก็คือ อัตราส่วนระหว่าง $FeCl_3$ กับ PVA และช่วงเวลาที่ใช้ในการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization time) ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ก. เมื่อใช้ช่วงเวลาในการเกิดพอลิเมอร์นานตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป จะได้แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวฟิล์ม ค่อนข้างจะคงที่
- ข. ความโปร่งแสงของแผ่นฟิล์มจะลดลงเมื่อปริมาณของ $FeCl_3$ และเวลาในการเกิดพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น
- ค. ผลจากการตรวจดูพื้นผิวของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ด้วยเครื่อง Scanning

Electron Micrographs แสดงให้เห็นว่า แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลจะมีผิวขรุขระ เมื่ออัตราส่วนของ FeCl_3 ใน PVA มากกว่า 30 wt% ขึ้นไป และจะมีผิวเรียบสม่ำเสมอเมื่ออัตราส่วนของ FeCl_3 ใน PVA น้อยกว่า 10 wt%

สำหรับเงื่อนไขการสังเคราะห์ที่จะทำให้ได้แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้า - สูงสุด และมีความโปร่งแสง เรียบ และสวยงามในขณะเดียวกันก็คือ ใช้อัตราส่วนของ FeCl_3 ใน PVA เท่ากับ 5 wt% โดยใช้เวลาในการเกิดพอลิเมอร์ 24 ชั่วโมง หรือใช้อัตราส่วนของ FeCl_3 ใน PVA เท่ากับ 30 wt% โดยใช้เวลาในการเกิดพอลิเมอร์ 30 นาที ซึ่งจะได้ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล สูงสุดประมาณ 8 S/cm

จากการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ที่สังเคราะห์ได้จากวิธีทางเคมีในสารละลาย (Chemical Polymerization in Solution) และวิธี CVD (Chemical Vapour Deposition) พบว่า ไม่สามารถลดค่าโด๊ป (undoping) ออกได้ง่าย ๆ เหมือนกับกรณีของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่สังเคราะห์โดยวิธีไฟฟ้าเคมี (Electrochemical polymerization) จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายในการวิจัยในครั้งนี้ได้

1.4 โครงการวิจัยและจุดมุ่งหมายของการวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ในหลาย ๆ ด้าน ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พลาสติกถูกนำมาใช้งานแทนโลหะในงานหลายประเภท หลายลักษณะ เราสามารถสังเคราะห์พลาสติกให้มีสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการได้ เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความทนทาน ความยืดหยุ่น และที่สำคัญก็คือพลาสติกไม่เป็นสนิม ต้นทุนการผลิตต่ำ จึงมีราคาถูกกว่าโลหะ ซึ่งนับวันจะหายากและราคาแพง ข้อด้อยของพลาสติกเห็นจะได้แก่ การนำไฟฟ้า ความเรียบและความมันวาวของผิว ซึ่งโลหะมีจุดเด่นในด้านนี้มาก จึงทำให้โลหะยังอยู่ในความนิยมตลอดมา ดังนั้นถ้าเราสามารถเคลือบโลหะลงบนพลาสติกได้ จึงเสมือนนำข้อเด่นของพลาสติกและโลหะมาไว้ด้วยกัน จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางกว่าเดิมมาก แม้ว่าในขณะนี้เราจะสามารถเคลือบโลหะลงบนผิวพลาสติกได้แล้วก็ตาม แต่ทำได้เฉพาะพลาสติกบางชนิดเท่านั้น ผนวกการเคลือบก็ยังมีหลุดลอกออกได้ง่าย เมื่อใช้งานไปนาน ๆ การประยุกต์ใช้งานจึงอยู่ในวงแคบ ครอบคลุมจะเป็นอุปกรณ์ใช้งานที่เน้นต้องการความทนทานและแข็งแรงมากนัก แต่สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาหาวิธีเคลือบโลหะลงบนผิวพลาสติกโดยวิธีชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) โดยคาดว่าจะมีคุณภาพการเคลือบของโลหะบนผิวพลาสติกที่ดีกว่า วิธีที่ใช้น

ปัจจุบันนี้ และเมื่อนำวิธีการซึ่งได้จากการวิจัยในครั้งนี้ ไปปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม คงจะสามารถผลิตอุปกรณ์ และ เครื่องมือ เครื่องใช้ที่มีประโยชน์และจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ได้ เป็นอันมาก

งานการวิจัยครั้งนี้จึงจะหาให้ผิวของพลาสติก คือผิวของแผ่น PET พลาสติก (Polyethylene terephthalate) นำไฟฟ้าได้ โดยการเคลือบผิวของแผ่น PET พลาสติกด้วยแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ซึ่งเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เพราะพอลิไพร์โรลสามารถรักษาสภาพการนำไฟฟ้าไว้ได้นานมากพอสมควร โดยแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ นั้น จะสังเคราะห์โดยวิธี CVD เพราะตัว dopant ของแผ่นฟิล์มจะไม่หลุด เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าย้อนกลับเหมือนแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี หลังจากนั้นจะนำแผ่นฟิล์มประกอบ (composite film) ที่ได้ นี้ ไปพัฒนาวิธีการชุบผาผิวโลหะด้วยไฟฟ้าลงบนผิวฟิล์ม เพื่อหาวิธีการ และ เทคนิคต่าง ๆ ที่จะหาให้การเคลือบของโลหะบนผิวฟิล์ม มีคุณภาพดี สวยงาม มีอำนาจการเกาะติดสูง ไม่หลุดลอกออกง่าย และทนทานเมื่อนำไปใช้งานประเภทต่าง ๆ

ปัจจุบันมีผู้นำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาวิจัยในเรื่องนี้กันบ้างแล้ว เช่นมีการนำพอลิไพร์โรลที่สังเคราะห์จากวิธีทางเคมีในสารละลาย (Chemical Polymerization in Solution) ทั้งที่อยู่ในรูปแบบของสารประกอบและที่อยู่ในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม มาหาวิธีชุบผาผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Lee and Thiam-Chye Tan, 1990) ซึ่งได้ผลดีพอสมควร แต่การที่จะหาให้แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีในสารละลายเป็นลวดลายนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ไม่สะดวกเหมือนวิธี CVD การนำมาประยุกต์ใช้งานจึงไม่กว้างขวางเท่าที่ควร เช่น ในงานการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuits boards) เป็นต้น การสังเคราะห์แผ่นฟิล์มด้วยวิธี CVD เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ จึงเป็นวิธีการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยในครั้งนี้มากที่สุด

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ จะศึกษา พัฒนา และดำเนินการ ในสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ก. ศึกษาวิธีการ ขั้นตอน และเทคนิค การสังเคราะห์แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลด้วยวิธี CVD (Chemical Vapour Deposition) และการชุบผาผิวโลหะด้วยไฟฟ้าลงบนผิวฟิล์มพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ของผู้ที่เคยกระทำมาแล้ว

ข. ศึกษาวิธีการ ขั้นตอน และเทคนิค การชุบผาผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) และการชุบพลาสติก ซึ่งใช้กันอยู่ในขณะนี้

ค. พัฒนาวิธีการและเครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว (Surface Resis-

tance ; R_g) และค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิว (Surface Conductivity ; σ) ของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล โดยวิธี four-point probe (V4PM) และวิธีนวนเคอพา (Van der Pauw)

ง. พัฒนาระบบการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อนำมาทำการคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้าของผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล

จ. พัฒนารูปการ ขั้นตอน และเทคนิคการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ด้วยวิธี CVD (Chemical Vapour Deposition) เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรลที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวฟิล์มมากที่สุด และลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ความเรียบของผิว ความโปร่งแสง ฯลฯ เหมาะสมกับการนำแผ่นฟิล์มไปชุบฉาบผิวโลหะไฟฟ้า (Electroplating) มากที่สุด

ฉ. ศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ผิว และลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล ที่สังเคราะห์ได้ เช่น อุณหภูมิขณะเกิดกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization temperature) ช่วงเวลาในการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization time) และความเข้มข้นของสารละลาย เป็นต้น

ช. จัดสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power supply) ชนิดปรับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาการชุบฉาบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าลงบนผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล

ซ. จัดสร้างเครื่องคนสารเคมี (stirrer) เพื่อนำมาใช้เตรียมสารละลายในขั้นตอนการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มพอลิไพร์โรล

ญ. พัฒนารูปการ ขั้นตอน และเทคนิค การชุบฉาบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าลงบนผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการชุบ เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า ส่วนผสมของสารเคมีในน้ำยาชุบ อุณหภูมิของน้ำยาชุบ สภาพนำไฟฟ้าของผิวฟิล์ม และลักษณะผิวฟิล์ม เป็นต้น

ฎ. ทดสอบคุณภาพทางด้านกำลังเคลื่อนของอนุภาคโลหะ บนผิวฟิล์มพอลิไพร์โรล

1.6 ระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกเริ่มเมื่อเดือน พฤศจิกายน 2532 ถึงเดือน เมษายน 2534 ในช่วงนี้ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ฟิล์มส์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนในช่วงหลังได้เคลื่อนย้ายอุปกรณ์และเครื่องมือไปวิจัยต่อที่จังหวัดจันทบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2534 ถึงเดือนเมษายน 2535 รวมระยะเวลาในการวิจัยทั้งสิ้นประมาณ 2 ปี 6 เดือน