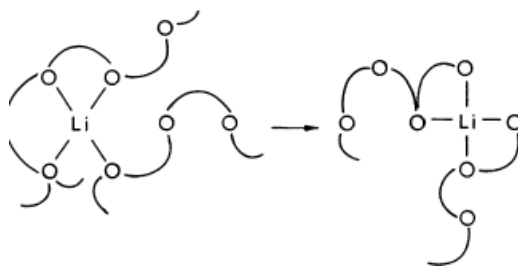


การพัฒนาสารอิเล็กโทรไลต์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ยุคใหม่

รศ.ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์

ศูนย์ความเป็นเลิศ นาโนเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้านวัสดุนาโนไฮบริดสำหรับพลังงานทางเลือก
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อิเล็กโทรไลต์ คือสารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระเมื่อละลายน้ำหรือหลอมเหลว ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามในงานบางด้าน เช่น แบตเตอรี่ลิเทียม หรือเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง พบว่าการใช้สารอิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวมีข้อเสียในด้านการหลุดร่ว และอันตรายจากสารเคมีไวไฟ ดังนั้นในปัจจุบัน งานวิจัยและพัฒนาในสาขาดังกล่าว ส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสารอิเล็กโทรไลต์แบบของแข็ง ซึ่งมีแนวทางการพัฒนา 2 แบบ ได้แก่การใช้ solid state polymer electrolyte เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (poly(ethylene glycol), PEG) ผสมกับ I_2/NaI โดยปราศจากตัวทำละลายและหรือสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) ใดๆ ทั้งสิ้น โดยในกรณีนี้ PEG จะทำหน้าที่เป็น host หรือ matrix โดยมีไอออนเคลื่อนที่อยู่ภายใน โดยอาศัยแรงกระทำระหว่างอิเล็กตรอนอิสระ (free electrons) ของออกซิเจนกับไอออนบวกของโลหะอัลคาไลน์เคลื่อนที่ผ่าน PEG ที่มีโครงสร้างเป็นแบบเกลียว (helical conformation) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียมผ่านตัวกลางพอลิเมอร์ชนิด PEO [A. Manuel Stephan European Polymer Journal 42 (2006) 21–42]

ในกรณีที่สารอิเล็กโทรไลต์ในกลุ่ม polymer gel electrolyte หรือ quasi-solid state polymer electrolyte จะอาศัยพอลิเมอร์ทำหน้าที่เป็นเจล (gelator) ผสมกับสารคู่ควรรีดอกซ์ (redox couple) เช่น I_2/NaI และนอกจากนั้นยังมีการเติมตัวทำละลายลงไปด้วยเพื่อที่จะลดความเป็นผลึกและเพิ่มความสามารถในการนำไอออนให้กับสารพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเจลในสารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่พอลิเมอร์ในตระกูลพอลิอะคริเลต พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) P(VDF-HEP) พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) และพอลิโพรพิลีนออกไซด์ (PPO) เป็นต้น

แนวทางในการปรับปรุงค่าการนำไอออน (ionic conductivity) ของสารพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นิยมใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์จะมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึกและหรือบางชนิดมีค่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูง จึงทำให้ chain mobility และค่าการนำไอออน (ionic conductivity) ของมีค่าต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับ ค่าการนำไอออนของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของเหลว (10^{-2} S/cm ที่อุณหภูมิห้อง) ดังนั้นเพื่อที่จะปรับปรุงให้มีค่าการนำไอออนสูงขึ้น จึงได้มีการพัฒนาโดยอาศัยแนวทางต่างๆ เช่น

- การใช้ PEG ในรูปของโคพอลิเมอร์ เช่น poly(ethylene oxide-co-epichlorohydrin) ซึ่งจะมีค่า T_g ที่ต่ำลงเมื่อเทียบกับ PEG และมีค่า ion conductivity อยู่ในช่วงประมาณ 2.0×10^{-4} – 1.5×10^{-5} S/cm ทั้งนี้ทั้งนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ [A.E. Nogueira, M.A.S. Spinace, W.A. Gazotti, E.M. Girotto, M. A de Paoli, Solid State Ionics, 140 (2001) 327-335]
- การพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบพอลิเมอร์อสัณฐาน เช่น poly(acrylonitrile-co-styrene) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการใช้สารอิเล็กโทรไลต์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพ (overall energy conversion efficiency) สูงถึง 2.75 % [Z. Lan, J. Wu, D. Wang, S. Hao, J. Lin, Y. Huang, Solar Energy, 80 (2006) 1483-1488]
- การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) ลงไป เช่นตัว ethylene carbonate และ propylene carbonate หรือพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น poly(ethylene glycol) methyl ether [V.V.Nogueira, C.Longo, A.F. Nogueira, M.A.Soto-Oviedo, M.A.De Paoli, J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 181 (2006) 226-232]
- การผสมสารเติมแต่งที่มีขนาดมิติในระดับนาโน (nano-fillers) เช่นอนุภาค TiO_2 ลงไปซึ่งพบว่าช่วย ทำให้พอลิเมอร์มีความเป็นผลึกลดลงและมีโครงสร้างแบบอสัณฐานมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำไอออนสูงขึ้นถึงระดับ 10^{-5} S/cm [T. Stergiopoulos, I.M. Arabatzis, G. Katsaros and P. Falaras. Nanoletters 2 (2002), p. 1259] and [G. Katsaros, T.Stergiopoulos, I.M.Arabatzis, K.G.Papadokostaki, P.Falaras, J. Photochemistry and photobiology A: Chemistry 149 (2002) 191-198] รวมทั้งสารเติมแต่งที่ช่วยในการนำประจุได้ดีขึ้น เช่น คาร์บอนนาโนทิวป์ และนาโนเคลย์ ตัวอย่างเช่น Scully และคณะ [S.R.Scully, M.T.Lloyd, R.Herrera, E.P.Giannelis, G.G.Malliaras, Synthetic Metal, 144 (2004) 291-296] ปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการเก็บรักษาตัวทำละลาย (solvent retention) ในเจล พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ โดยการเติมสารเติมแต่งนาโน ประเภท layer silicate particle ลงไปผสมกับพอลิเมอร์ จากการศึกษาพบว่านาโนคอมโพสิทเจล พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่ได้ มีค่าการนำไอออนประมาณ 2.6×10^{-3} S/cm และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จะมีค่า power conversion efficiency ใกล้เคียงกันกับกรณีที่ใช้สารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว

แนวทางในปรับปรุงการสัมผัสและการยึดเกาะระหว่างผิวของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับสีย้อมไวแสงที่เคลือบอยู่บน semiconductor electrode

เนื่องจากการสัมผัสและการยึดเกาะดังกล่าวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (dye sensitized solar cell) กล่าวคือสารอิเล็กโทรไลต์มีหน้าที่ในการนำไตรไอโอด์ไอออน [tri-iodide (I_3^-)] ให้สามารถเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนจากขั้ว Pt counter electrode เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันและได้ไอโอด์ไอออน (I^-) กลับคืนมา ในขณะที่เดียวกันไอโอด์ไอออนที่อยู่ในระบบก็จะต้องสามารถเคลื่อนที่เข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของสีย้อม (dye) ที่อยู่ในสถานะเร้าหรือที่ถูกไอออนไนซ์เพื่อให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้นได้

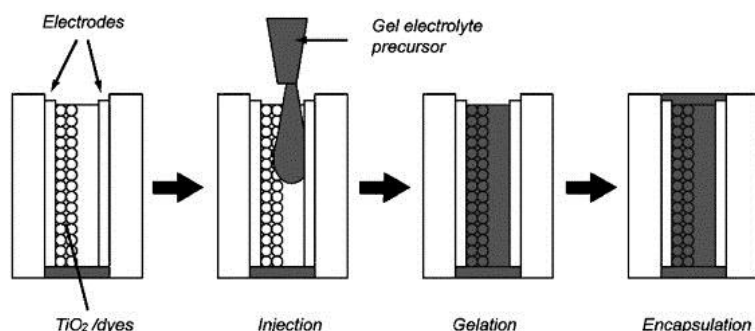
พร้อมทั้งได้สารไตรโอไอโอดีไอออนเกิดขึ้นซึ่งถ้าหากการสัมผัสและยึดเกาะระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับสีย้อมไวแสงไม่ดีแล้วจะทำให้ปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นไม่ได้และโมเลกุลสีย้อมจะถูกไอออนไปหมดโดยไม่ได้กลับคืนมาอีก

สำหรับแนวทางในการปรับปรุงการสัมผัสและยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับสีย้อม (dye) ที่เคลือบอยู่บน semiconductor electrode ควรจะทำได้โดยการขึ้นรูปประกอบ (assembly) เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารตั้งต้นสำหรับเตรียมเป็นเจลพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปต่างๆ เช่น การใช้สารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ซึ่งจะมีความหนืดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างแบบร่างแห ดังนั้นสารละลายพอลิเมอร์จึงสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในรูพรุนของอิเล็กโทรด TiO_2 ได้ดี หลังจากนั้นจึงจะทำปฏิกิริยา cross-linking ของพอลิเมอร์เพื่อให้ได้เจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้นและเก็บรักษาของเหลวที่อยู่ในเจล (retention of liquid electrolyte) ได้ดีขึ้น

นอกจากนั้น แนวทางที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่สามารถทำได้คือการบรรจุสารตั้งต้นที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก เช่น โมโนเมอร์เหลวไปบนอิเล็กโทรดก่อน จากนั้นจึงค่อยทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของรูพรุนของ TiO_2 ที่ใช้ทำเป็น semiconductor electrode นั้นจะมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นขนาดของเกลียวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่ใหญ่เกินไปอาจจะทำให้การแทรกเข้าไปในรูพรุนเกิดขึ้นได้ยาก (โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระแสการพอลิเมอร์ไรเซชันของ TiO_2 ในอนาคตที่มุ่งเน้นที่จะทำให้พื้นที่ผิวของชั้นฟิล์ม TiO_2 มีมากขึ้น ดังนั้นขนาดของรูพรุนของฟิล์ม TiO_2 จะยิ่งลดลงเป็นแบบ meso-porous ดังนั้นการทำ pore filling ยิ่งต้องเน้นเรื่องของการแทรกเข้าไปและสัมผัสกับสีย้อม dye ให้ได้ดีขึ้น) อย่างไรก็ตาม ประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ปฏิกิริยาการเกิดเจล (เช่นการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลหรือปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน) ควรจะต้องสามารถเกิดขึ้นได้สภาวะที่มีสารไอโอดีอิน (I_2) ในอิเล็กโทรไลต์ปรากฏอยู่ด้วย และปฏิกิริยาดังกล่าว ควรจะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงเกินไป สีย้อมอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพได้ และควรจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์แม้ในสภาวะที่มีสารปนเปื้อน เช่น ออกซิเจน น้ำ ไอออน อยู่ในระบบ อีกทั้งปฏิกิริยาดังกล่าว ควรจะปราศจากสารผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่จะไปลดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ (เช่นการเกิดน้ำหรือแอลกอฮอล์ จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบควบแนน) และควรจะสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวเริ่มปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเริ่มปฏิกิริยาอาจจะแตกตัวให้สารเคมีที่ไปลดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

US patent No. 6,479,745 B2 (November, 2002) กล่าวถึงการเตรียมเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ (meth)acrylate โมโนเมอร์ โดยหลีกเลี่ยงการรบกวนปฏิกิริยาดังกล่าวจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ด้วยการใช้เทคนิค impregnation ในการบรรจุเจลพอลิเมอร์และสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าไปใน semiconductor electrode แยกกันทีละลำดับ โดยในขั้นแรกจะเป็นการบรรจุสารละลายโมโนเมอร์ (ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ เช่น (meth)acrylate และ crosslinker เช่น butanediol dimethacrylate และตัวเริ่มปฏิกิริยา เช่น AIBN ใน aprotic solvent เช่น propylene carbonate (PC)) ลงบนอิเล็กโทรดโดยการจุ่ม (impregnate) semiconductor electrode (ที่มีโมเลกุลสีย้อมเคลือบอยู่บนผิวของฟิล์มนาโน TiO_2 ที่เคลือบอยู่บน transparent electrode (เช่น ITO หรือ FTO)) จากนั้นโมโนเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายใต้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ semiconductor electrode ที่มีเจลพอลิเมอร์บรรจุอยู่ที่บริเวณผิวและตามรูพรุนของ TiO_2 หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ซึ่งประกอบด้วย LiI , I_2 และตัวทำละลาย propylene carbonate) เข้าไปในเจลพอลิเมอร์โดยวิธีการ impregnation เช่นเดียวกัน ด้วยวิธีการนี้จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ (meth)acrylate โมโนเมอร์สามารถดำเนินไปได้โดยปราศจากการรบกวนจากสารเคมีที่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนั้นการใช้ acrylate โมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 เป็นโมโนเมอร์ร่วมในการสังเคราะห์จะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งทำให้เจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์มีความแข็งแรงและสามารถกักเก็บสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไว้ได้ดี อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของการเตรียมเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ด้วยวิธีนี้ก็คือความยุ่งยาก เนื่องจากมีหลายขั้นตอน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์

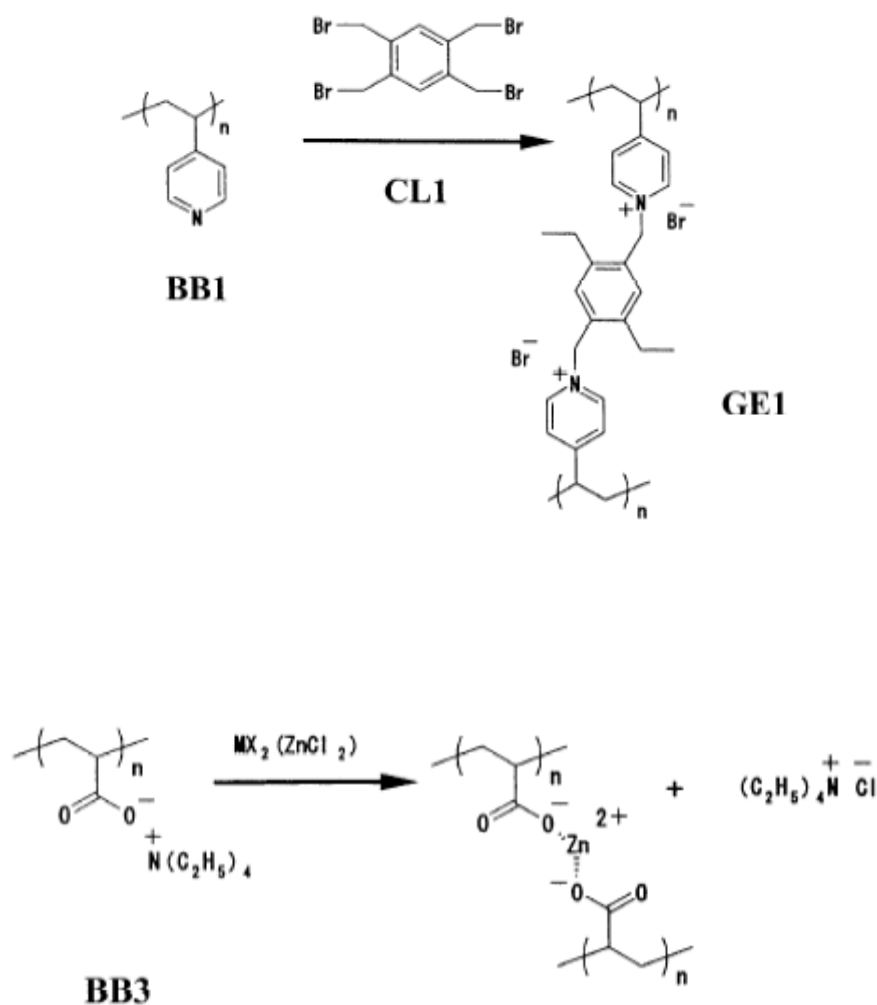
แบบสีย้อมไวแสงนี้จะสะดวกมากถ้าหากว่าสามารถทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเจลในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้โดยตรง



US patent No. 7,126,054 [October, 2006] บรรยายเกี่ยวกับการเตรียมเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์สำหรับใช้ใน dye sensitized solar cell โดยใช้พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเกลือแอมโมเนียมของกรดซัลโฟนิค [เช่น quaternary ammonium salt of poly(vinyl benzene sulfonic acid) ซึ่งเตรียมได้โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง poly(styrene sulfonic acid) กับ tributyl ammonium hydroxide] และหรือใช้พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเกลือแอมโมเนียมของกรดคาร์บอกซิลิก [เช่น quaternary ammonium salt of poly(meth)acrylic acid] เป็นพอลิเมอร์ที่ทำให้เกิดเจล (เรียกว่า gelator หรือ gelling agent) ซึ่งเมื่อเติมสารประกอบเฮไลด์ของโลหะที่แตกตัวให้อิออนของโลหะที่มีประจุไม่ต่ำกว่า 2 (helide of metal having a valency of not less than two) เช่น CuI_2 , RuI_3 , RhI_3 , $OsCl_3$, ลงไป จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ผ่านพันธะไอออนิก (ionic cross-linking)

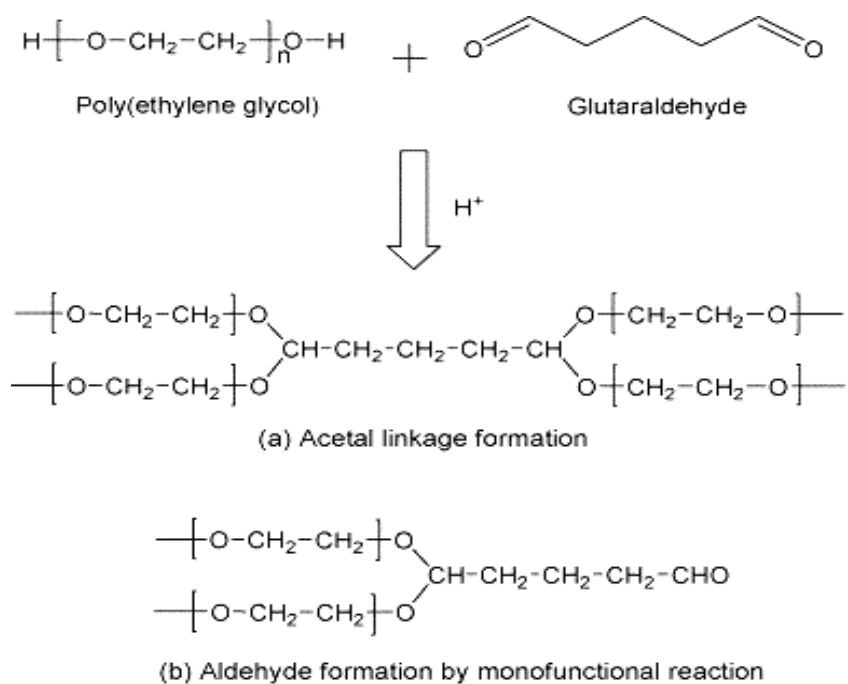
การทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยวิธีนี้จะมีข้อดีในด้านของความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา กลายเป็นเจล (gelation) ได้ในสภาวะที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น ไอโอดีนและเกลือไอโอดีนปรากฏอยู่ (ซึ่งถ้าหากเป็นการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) หรือปฏิกิริยาในแบบไอออนิก (ionic polymerization) ของโมโนเมอร์บางชนิด เช่น อะคริลิกโมโนเมอร์พบว่าปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจะไม่เกิดเนื่องจากอนุมูลอิสระหรือไอออนลบที่เกิดขึ้นในระบบอาจจะไปเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของไอโอดีน) นอกจากนี้ ในกรณีที่ใช้โมโนเมอร์ ประเภทที่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันผ่านกลไกแบบขั้นหรือแบบควบแน่น (step polymerization or condensation polymerization) ก็จะมีปัญหาในด้านของการที่ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เช่น น้ำหรือแอลกอฮอล์ไปส่งผลกระทบต่อโมเลกุลสีย้อม และสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ในทำนองเดียวกัน S.Murai และคณะ [S.Murai, S. Mikoshiba, H.Sumino, S. Hayase, J. Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, 148 (2002) 33-39] ได้พัฒนาเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลกลายเป็นเจลได้ในสภาวะที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์อยู่ด้วย (และพยายามใช้ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจล (gelator) ในระบบให้น้อยที่สุด) โดยในที่นี้ Murai ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ poly(vinyl pyridine) และหรือใช้เกลือแอมโมเนียมของพอลิอะคริเลต มาทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์ที่จะเกิดเป็นเจล โดยอาศัย cross-linker เช่น tetrabromobenzene และ $ZnCl_2$ ตามลำดับ โดยมีกลไกแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดเจลของพอลิไวนิลไพรีดีน และของเกลือพอลิอะคริลิก S.Murai, S. Mikoshiba, H.Sumino, S. Hayase, J. Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, 148 (2002) 33-39

Kang และคณะ [M.S.Kang, J.H.Kim, J.Won, Y.S.Kang, J. Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, 183 (2006) 15-21] แก้ปัญหาเรื่องของการไม่สัมผัสกันระหว่างเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับสีย้อมที่เคลือบอยู่บนชั้น TiO₂ โดยการใช้พอลิเอธิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (MW ~ 1,000) มาบรรจุเข้าไปในอิเล็กโทรดก่อนจะทำปฏิกิริยาควมแน่นให้กลายเป็นเจลที่มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห โดยการทำปฏิกิริยากับสารกลูตาลดีไฮด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเท่ากับ 2 (bi-functional glutaldehyde) (รูปที่ 3) โดยมีข้อสังเกตว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะไม่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเกิดขึ้น จึงทำให้ไม่มีสารที่จะไปทำลายสีย้อมหรืออิเล็กโทรไลต์ และจึงเหมาะที่จะใช้ในการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าการนำไอออนของเจลอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จะมีค่าประมาณ 10⁻⁵ – 10⁻³ S/cm และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 3.64 %

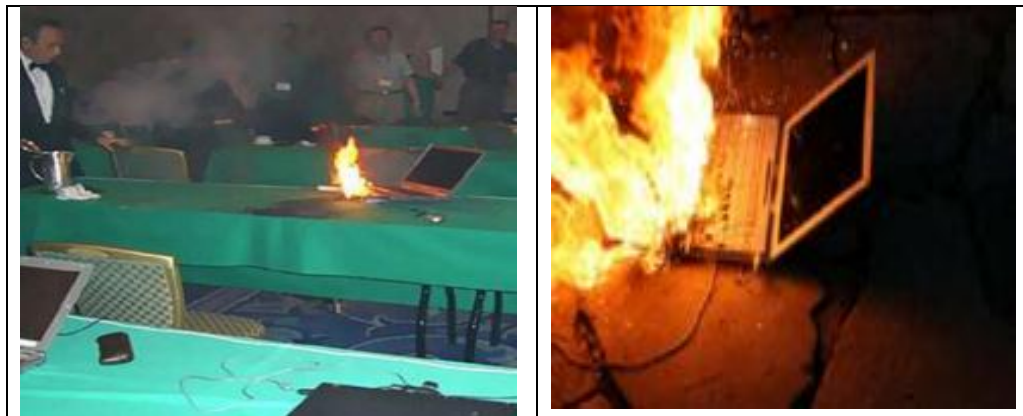


รูปที่ 3 ปฏิกิริยาควมแน่นระหว่างพอลิเอธิลีนไกลคอลกับกลูตาลดีไฮด์

(ที่มา M.S.Kang, J.H.Kim, J.Won, Y.S.Kang, J. Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, 183 (2006) 15-21)

การใช้ room temperature ionic liquid

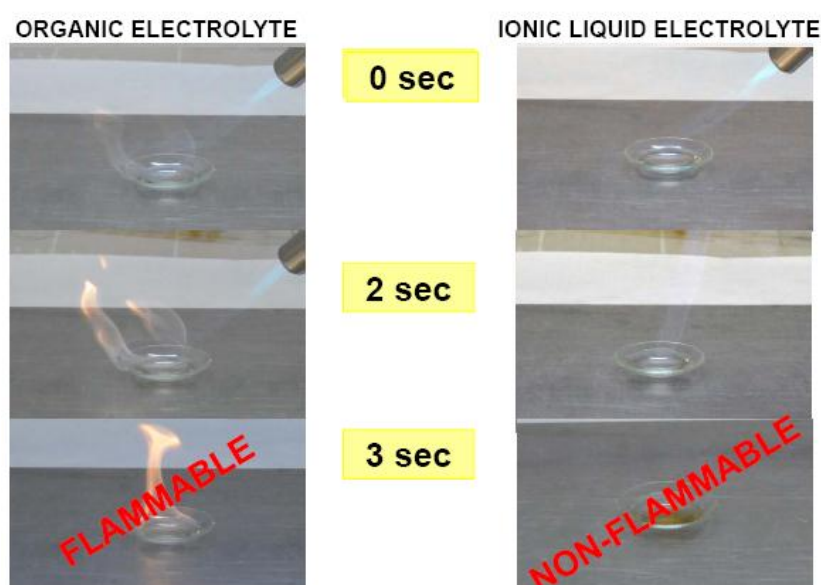
เนื่องจากสารอิเล็กโทรไลต์แบบดั้งเดิม (เช่นระบบที่ประกอบด้วย ตัวทำละลายอินทรีย์ และสารเสริมสภาพพลาสติกเช่น เอธิลีนคาร์บอเนตและอะซิโตรไนไตรล์) ยังคงมีปัญหาในด้านของความปลอดภัยอันเนื่องมาจากโอกาสในการติดไฟของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านแบตเตอรี่ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 สาธิตโอกาสในการเกิดการติดไฟจากระบบแบตเตอรี่ลิเธียมที่ใช้สารอิเล็กโทรไลต์แบบของเหลว

[Ionic Liquid-based Electrolytes for Next Generation Batteries , by Stefano Passerini, University of Muenster, June 5, 2012

ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน แนวทางในการพัฒนาฯ จึงมุ่งไปสู่การใช้สาร room temperature molten salt หรือ room temperature ionic liquid เป็นสารประเภทเกลือที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ (เช่นที่อุณหภูมิห้อง) ความเสถียรในด้านของการทนต่อสารเคมีและ ทนต่อความร้อน ไม่เกิดการระเหยกลายเป็นไอ ไม่ติดไฟ (รูปที่ 5) และยังมีค่าการนำไอออนที่สูงมาก

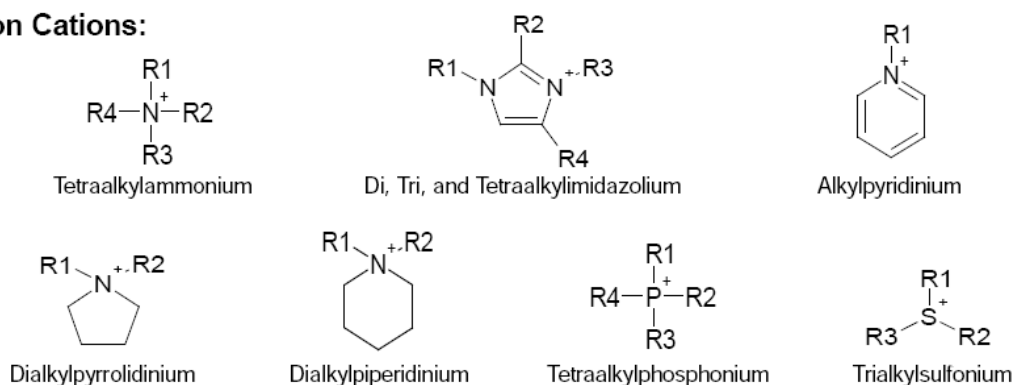


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่าง liquid electrolyte กับ room temperature ionic liquid ในด้านการติดไฟ

[Ionic Liquid-based Electrolytes for Next Generation Batteries , by Stefano Passerini, University of Muenster, June 5, 2012

ตัวอย่างของไอออนบวกและไอออนลบที่ใช้เป็นองค์ประกอบของ สาร RTIL แสดงดังรูปที่ 6 โดยมีข้อสังเกตว่าการจับคู่ของไอออนที่ต่างกัน จะทำให้เกิดความหลากหลายในด้านของสภาพขั้ว การละลายและความสามารถในการนำไอออน ตัวอย่างเช่น 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMImBF₄), 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluoro phosphate (BMImPF₆) จะมีความชอบน้ำสูง เมื่อเทียบกับสารประกอบอิมิดาโซเลียม (Imidazoleum compound) ประเภทที่จับกับไอออนลบชนิดอื่นๆ เช่น N(SO₂CF₃)₂⁺(NTf₂⁻)

Common Cations:

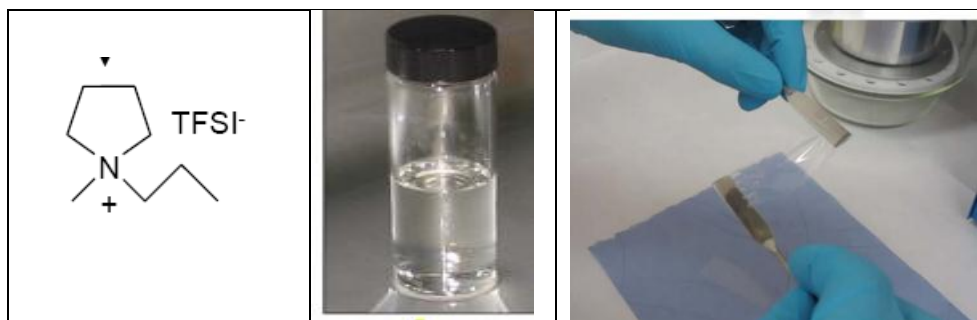


รูปที่ 6 ตัวอย่างของไอออนบวกที่เป็นองค์ประกอบของ room temperature ionic liquid

(T Tsuda and C. L. Hussey, *The Electrochemical Society Interface* • Spring (2007)41)

มีข้อสังเกตว่า ในบางกรณี [H.-R. Jhong, D. S.-H. Wong, C.-C. Wan, Y.-Y. Wang and T.-C. Wei, *Electrochem. Comm.*, 11 (2008) 209, A.P. Abbott, D. Boothby, G. Capper, D.L. Davies and R.K. Rasheed, *J. Am. Chem. Soc.*, 126 (2004) 9142] สาร room temperature ionic liquid ดังกล่าว สามารถใช้เป็นตัวทำละลายที่ให้อิโอดีต์ (ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางนำประจุ) และเป็นตัวทำละลายสำหรับอิเล็กโทรไลต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสาร room temperature ionic liquid จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอได้ยากแต่การที่สารดังกล่าวมีสภาพเป็นของเหลวก็ยังคงถือเป็นข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านของการผลิต จึงต้องมีการพัฒนาวัสดุกันรั่วซึม (sealant) สำหรับเซลล์ฯ ควบคู่กันไปด้วย

ในกรณีของการพัฒนาแบตเตอรี่ยุคใหม่ พบว่าการใช้สาร RTIL ประเภท 1-ethyl-3-methyl imidazolium จะมีข้อจำกัดในด้านของความเสถียรเมื่อใช้ร่วมกับโลหะลิเทียม ในขณะที่การใช้ RTIL ประเภท PYR14TFSI (รูปที่ 7) ร่วมกับ PEO และเกลือลิเทียม (LiTFSI) ได้ค่าการนำไอออนสูงสุดประมาณ 0.7×10^{-3} S/cm เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส [J.-H. Shin, et al., *Electrochem. Comm.* **2003**, *5*, 1016] ทั้งนี้ทั้งนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ionic liquid กับเกลือโลหะลิเทียมด้วย ซึ่งเป็นค่าที่สูงขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับค่าการนำไอออนของสารอิเล็กโทรไลต์ระบบเดียวกันที่ปราศจาก ionic liquid ดังกล่าว โดยในกรณีหลัง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงประมาณต่ำกว่า 10^{-5} S/cm



รูปที่ 7 โครงสร้างเคมีของ PYR14TFSI (ภาพซ้าย) ลักษณะของสาร RTIL ประเภทดังกล่าว (ภาพกลาง) และสารอิเล็กโทรไลต์ระบบ PEO/LiTFSI/PYR14TFSI (เมื่อ PYR14 หมายถึง N-alkyl-N-methylpyrrolidinium, TFSI หมายถึง bis(trifluoromethanesulfonyl)imide, (CF₃SO₂)₂N)

(Ionic Liquid-based Electrolytes for Next Generation Batteries , by Stefano Passerini, University of Muenster, June 5, 2012)

ซึ่งค่าการนำไอออน (Li) ที่เพิ่มขึ้น ในกรณีดังกล่าว อธิบายได้ว่าเป็นผลเนื่องมาจาก อันตรกิริยาที่แข็งแกร่งระหว่าง Li ไอออน กับ TFSI ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะโคออดิเนชันระหว่าง Li ไอออนกับออกซิเจนอะตอมของ PEO ลดลง และไอออนดังกล่าวสามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น [M. Castriota, T. Caruso, R. G. Agostino, E. Cazzanelli, W. A. Henderson, and S. Passerini, *J. Phys. Chem. A* **109** (2005) 92, I. Nicotera, C. Oliviero, W. A. Henderson, G. B. Appetecchi, and S. Passerini *J. Phys. Chem. B* **109** (2005) 22814. M. Joost et al, *Electrochim. Acta*, in press 2012]