



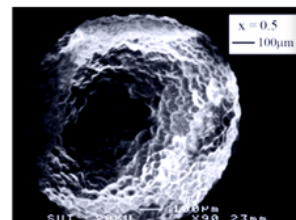
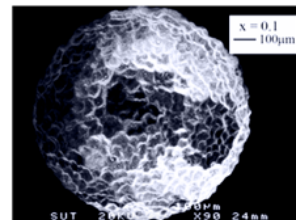
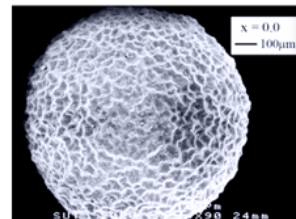
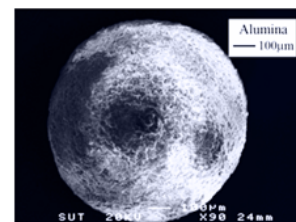
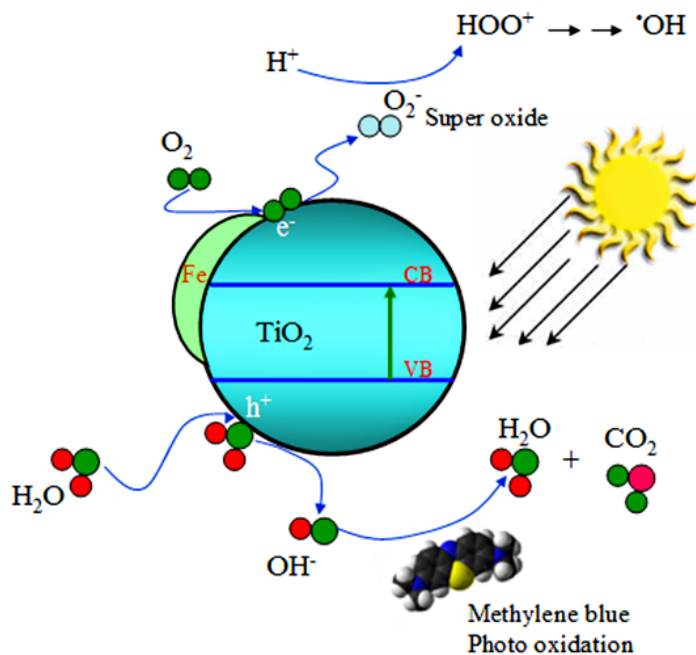
แสงสยามสาร

SLRI Newsletter

Synchrotron Light Research Institute

ISBN 1543-1416

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1: มกราคม – กุมภาพันธ์ 2555



อิทธิพลของโลหะเจือต่อประสิทธิภาพการย่อยสลาย
ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์
ผลของโครเมียมที่มีต่อปูนเม็ด และการวิเคราะห์ชนิดของโครเมียม
ในปูนเม็ดที่ได้จากการเผาพร้อมกับของเสียอันตราย

สาร จากกองบรรณาธิการ

“แสงสยามสาร” ฉบับต้อนรับพุทธศักราชใหม่ 2555 ปีมะโรงใหญ่ ขอให้สิ่งดีงามจงประสพแด่ชาวไทย และผู้อ่านแสงสยามสารทุกท่าน การประยุกต์ใช้ “แสงซินโครตรอน” ยังคงร่วมสร้างสรรค์องค์ความรู้ใหม่สู่สังคม เริ่มด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวกับภาคอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์ และการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารกึ่งตัวนำอย่างไทเทเนียมไดออกไซด์ “แสงซินโครตรอน” ร่วมไขปริศนาได้เพียงไรโปรดติดตามในฉบับ ระบบลำแสง BL 2.2 เทคนิคการกระเจิงรังสีเอกซ์เผยตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่หลากหลายสำหรับการศึกษาโครงสร้างในระดับนาโนเมตร และยังถือเป็นหนึ่งในความภูมิใจของห้องปฏิบัติการแสงสยามที่ออกแบบโดยทีมนักวิจัยและวิศวกรของสถาบันฯ และที่สำคัญอุปกรณ์ส่วนใหญ่จัดสร้างขึ้นเองโดยทีมงานของสถาบันฯ พร้อมเชิญชวนนักวิจัยจากทั่วประเทศเข้าใช้บริการ ด้วยการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการระดับอาเซียน ได้เข้ามาสัมผัส ณ ห้องปฏิบัติการแสงสยาม ในวันที่ 6 – 8 มีนาคม 2555 นี้

แสงสยามสาร SLRI Newsletter

- ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล
- บรรณาธิการ : ดร.ประพงษ์ คล้ายสุบรรณ
- กองบรรณาธิการ :
ดร.วราภรณ์ ดันทนุช น.ส.ศศิพันธุ์ ไตรทาน
ดร.กาญจนา ธรรมนุ น.ส.จันทรัตน์ บุญมาก
- ออกแบบ : นายเทวฤทธิ์ พันธุ์เพียร
- จัดทำโดย :
ส่วนงานประชาสัมพันธ์
สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
อาคารสิรินธรวิทยโขทัย
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง
จ.นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0-4421-7040 ต่อ 1251-2
โทรสาร 0-4421-7047
Website : www.slri.or.th
E-mail : prslri@slri.or.th

Research Focus

ผลของโครเมียมที่มีต่อปูนเม็ด และการวิเคราะห์ชนิดของโครเมียมในปูนเม็ด ที่ได้จากการเผาพร้อมกับของเสียอันตราย

น.ส.สุราก็ย์ สันยัง¹ ศศ.ดร.สุวิมล อัครพิศขุ¹ ศศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล¹
และ ศศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล²

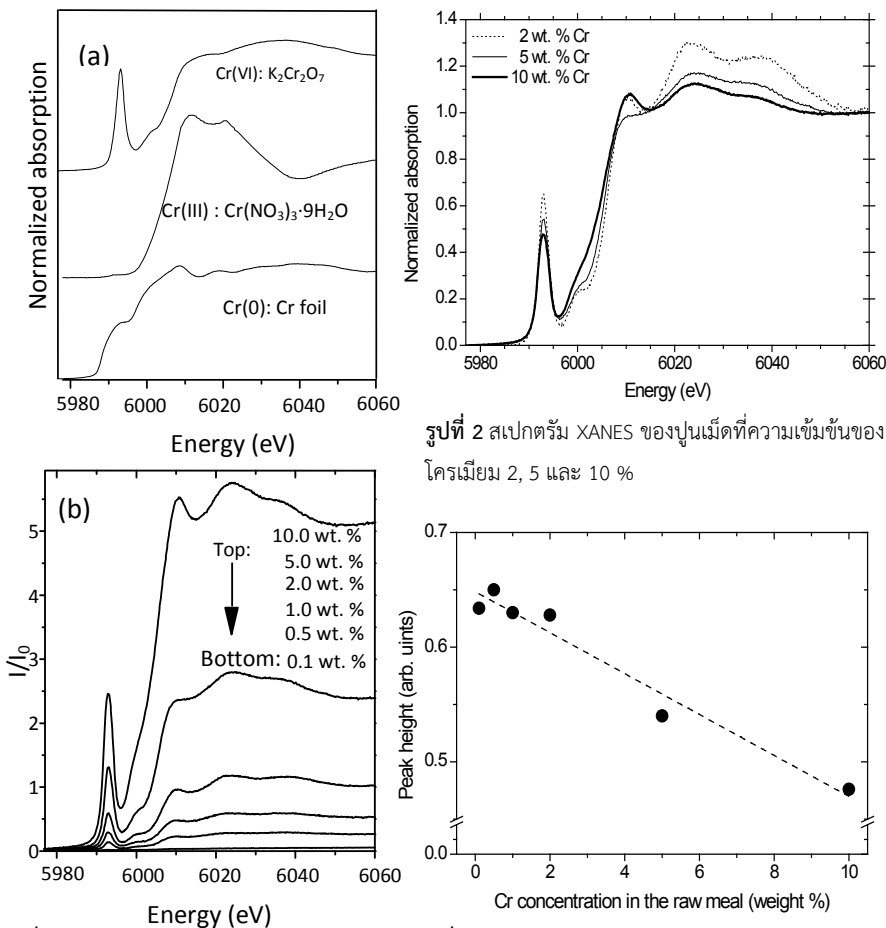
¹บ.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ²สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

ปัจจุบันของเสียอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้น จึงเป็นที่มาของแนวความคิด Zero Emission Key Concept เกี่ยวกับการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมมีลักษณะดำเนินการแบบวงจรปิด โดยไม่ก่อให้เกิดการปล่อยกากอุตสาหกรรมออกจากวงจร ลดปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ด้วยแนวความคิดนี้ การนำกากอุตสาหกรรมมาเผาร่วมในกระบวนการผลิตซีเมนต์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนหรือวัตถุดิบทดแทนจึงเกิดขึ้น

ของเสียที่สามารถนำมาเผาร่วมมีทั้งของเสียที่จัดเป็นขยะจากอุตสาหกรรม และของเสียอันตราย โดยมักจะมีโลหะหนักเจือปนมาด้วยในปริมาณที่ต่างกัน งานวิจัยนี้ได้ศึกษากากอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนโครเมียม เนื่องจากโครเมียมมีรูปที่สำคัญอยู่ 2 รูป ได้แก่ Cr^{3+} และ Cr^{6+} ซึ่งมีความเป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Cr^{6+} มีความเป็นพิษสูง และสามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของโครเมียมเมื่อทำการเผาพร้อมที่มีต่อคุณสมบัติของปูนเม็ด โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงประจุของโครเมียมและสารประกอบ ตลอดจนพฤติกรรมของโลหะของโครเมียมจากผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ในระยะยาว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินผลกระทบที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

จากผลการศึกษาพบว่าโครเมียม 89–96 % เข้าไปสะสมในปูนเม็ด และยับยั้งการทำปฏิกิริยาร่วมกันของสารประกอบหลัก ส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ นอกจากการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อองค์ประกอบของปูนเม็ดและคุณสมบัติของซีเมนต์แล้ว นักวิจัยต้องการศึกษาผลของโครเมียมที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงทำการศึกษาสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปของโครเมียมและประจุของโครเมียมที่เกิดขึ้น โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD) และ (X-ray absorption spectroscopy หรือ XAS) ร่วมกัน ผลจาก XRD พบว่าสารประกอบที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะเป็นสารประกอบ $Ca_6Al_4Cr_2O_{15}$, $Ca_5Cr_3O_{12}$, $Ca_5Cr_2SiO_{12}$, และ $CaCr_2O_7$ ประกอบด้วยโครเมียม +3, +4.6, +5, และ +6 ตามลำดับ

การวิเคราะห์สารประกอบและประจุของโครเมียมโดยใช้เทคนิค XRD เพียงอย่างเดียวพบว่าไม่เพียงพอที่จะยืนยันได้ว่าเกิดโครเมียมประจุต่างๆ ในปูนเม็ดเนื่องจากปริมาณโครเมียมเริ่มต้นในปูนเม็ดมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมด ส่งผลให้บางตำแหน่งของสารประกอบอาจจะไม่ปรากฏในกราฟของ XRD เนื่องจากการบดบั้งของสารประกอบหลักซึ่งมีปริมาณสูง ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 1 (ก) สารประกอบโครเมียมมาตรฐาน
(ข) สเปกตรัม XANES ของปูนเม็ดที่ความเข้มข้นของโครเมียมแตกต่างกัน

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมและความสูงของพีคที่ตำแหน่ง 5993 eV (จุดทึบ: ข้อมูลวิเคราะห์, เส้นประ: ค่าจากการคำนวณ).

โครงสร้างของสารประกอบโครเมียม คือ เทคนิค XAS เนื่องจากวิธีนี้จะทำให้เราสามารถเลือกวิเคราะห์โครงสร้างโดยรอบของอะตอมที่เราสนใจในสารตัวอย่างได้ โดยการปรับค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์โครงสร้างของสารที่มีปริมาณน้อยมากได้อีกด้วย ดังนั้นจึงใช้การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในย่านใกล้ขอบของการดูดกลืน (X-ray absorption near edge structure หรือ XANES) เพื่อวิเคราะห์ประจุของโครเมียมในปูนเม็ด ทำการทดสอบใน

ช่วงพลังงาน 5960 ถึง 6070 eV เพื่อให้ครอบคลุมค่าพลังงานของโครเมียม ในโหมดการวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์แบบตรวจจับการเรืองแสง (fluorescence detector) และทำการวิเคราะห์สารมาตรฐาน คือ Cr foil, $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ และ $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งเป็นสารประกอบของโครเมียม +0 +3 และ +6 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้ในอ้างอิงกับตัวอย่าง โดยทำการเปรียบเทียบจากตำแหน่งของขอบการดูดกลืนของอะตอม (pre-edge) และค่าพลังงานในการดูดกลืนของอะตอม รูปที่ 1 พบว่าตำแหน่งขอบการดูดกลืนของ

อะตอมในทุกความเข้มข้นของโครเมียมเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งเดียวกัน คือ 5993 eV ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Cr^{+3} แสดงให้เห็นว่า Cr^{+3} ได้อยู่ในองค์ประกอบของปูนเม็ดที่ทุกความเข้มข้น

และเมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของโครเมียมที่ความเข้มข้น 2, 5 และ 10 % พบว่าพลังงานที่เลื่อนขึ้นไปจากตำแหน่ง 6015 eV ลดลง เมื่อความเข้มข้นของโครเมียมสูงขึ้น ประเด็นนี้อาจเป็นผลจากการมีโครเมียมประจุอื่นที่นอกเหนือจาก Cr^{+3} ปรากฏอยู่ในปูนเม็ด และเมื่อพิจารณาในช่วงพลังงาน 5996 และ 6015 eV สังเกตได้ว่าขอบของการดูดกลืนพลังงานมีค่าต่ำลง เมื่อความเข้มข้นของโครเมียมในปูนเม็ดเพิ่มขึ้น ซึ่งให้เห็นว่าประจุของโครเมียมที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าประจุ +6 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเทคนิค XRD

ดังนั้นข้อมูลจากเทคนิค XANES จึงมีความสำคัญมากในการอธิบายประจุของโครเมียมที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้สามารถบ่งบอกถึงพฤติกรรมของโครเมียมจากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากโครเมียมได้เปลี่ยนรูปจาก +3 ไปเป็น +4, +5 และ +6 ซึ่งรูปดังกล่าวสามารถละลายน้ำได้สูง จึงถูกชะออกจากผลิตภัณฑ์ได้สูงเช่นกัน ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมในปูนเม็ดมากกว่า 1.0 % โดยน้ำหนัก จะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ในการเผาไหม้ และการนำไปใช้งานที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Sinyoung S., Asavapisit S., Kajitvichyanukul P., and Songsririttigul P. (2011). Speciation of Cr in Cement Clinkers Obtained from Co-Burning with Cr_2O_3 , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A : Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 649:, Pages 210-212.
2. Sinyoung S., Songsririttigul P., Asavapisit S., and Kajitvichyanukul P. (2011). Chromium Behavior during Cement-Production Processes: A Clinkerization, Hydration, and Leaching Study, Journal of Hazardous Materials, Vol.191:, Pages 296-305.

อิทธิพลของโลหะเจือ ต่อประสิทธิภาพการย่อยสลาย ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์

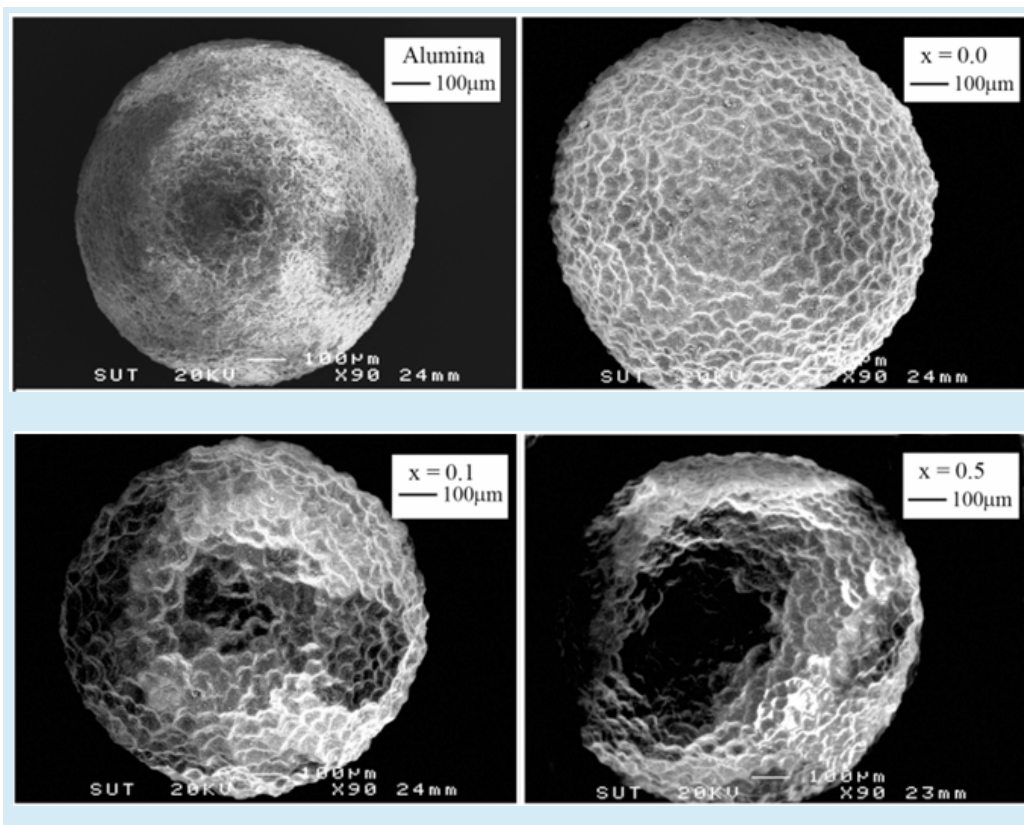
Cyril Jose Escpete Bajamundi¹, Dr. Maria Lourdes Pascual Dalidda¹,
ดร. กิติโรจน์ หวันตาหลา² ดร. พงษ์ธนวัฒน์ เข็มทอง³ สศ. ดร. นุรักษ์ กฤษฎาบุรุษ⁴

¹Department of Chemical Engineering, University of the Philippines

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



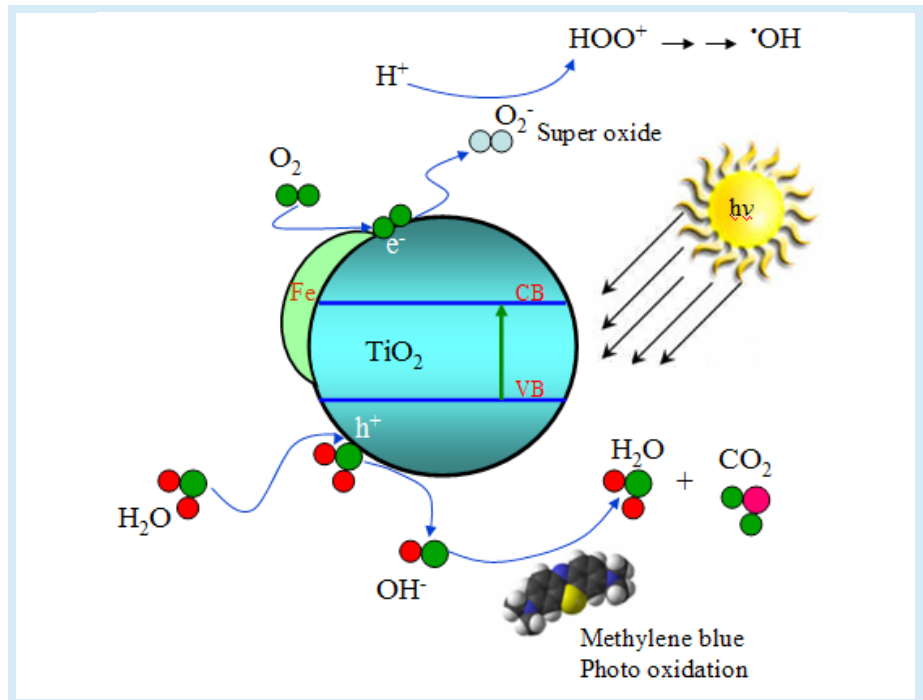
รูปที่ 1 ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเจือไทเทเนียมที่เคลือบบนเม็ดอลูมินา

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการย่อยสลายตัวเชิงแสงของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยพลังงานแสงไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น การเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยปรากฏการณ์

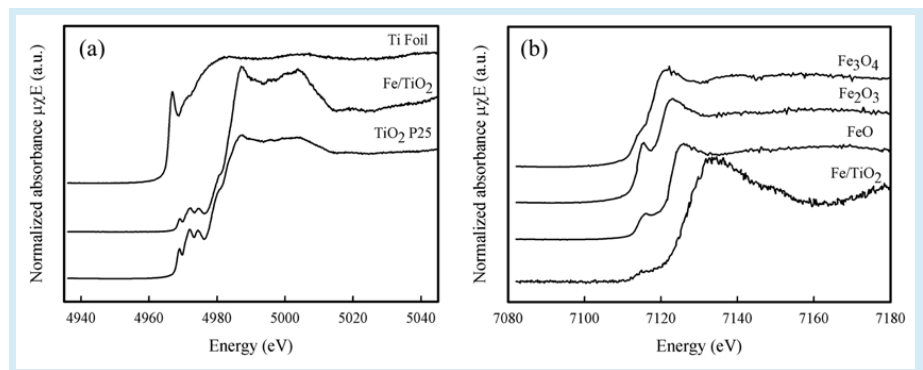
การถ่ายเทมวล และสามารถที่จะทำงานในสภาวะบรรยากาศปกติ โดยจะทำให้สารคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นสารปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามไทเทเนียมไดออกไซด์ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการต้องการพลังงานคลื่นแสงที่สูงเพื่อใช้ในการกระตุ้น ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อด้อยนี้

จึงต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการเจือด้วย Fe^{3+} เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอนของไทเทเนียมไดออกไซด์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอน (e^-) และหลุมประจุบวก (h^+) และยังมีผลต่อการต้องการพลังงานในการกระตุ้นที่น้อยลงด้วย

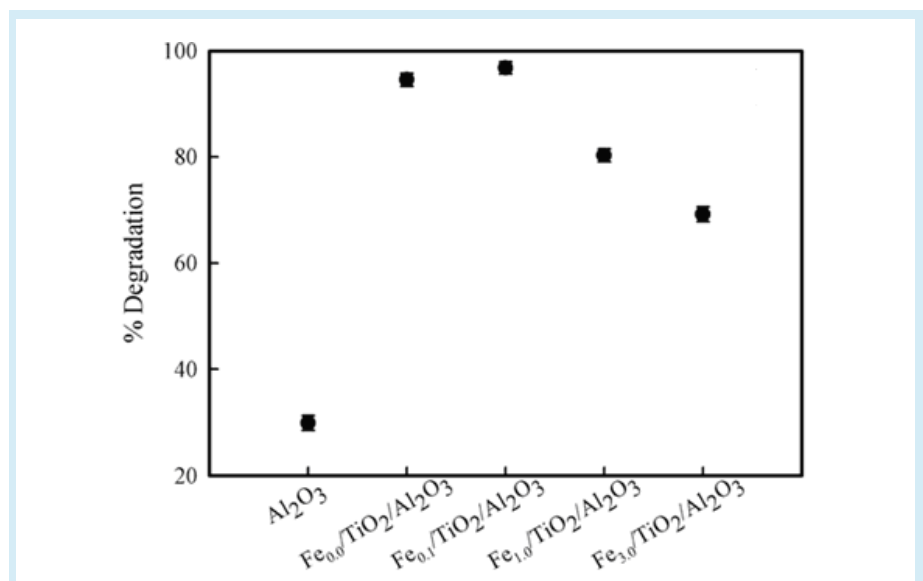
งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในช่วง XANES (ระบบลำเลียงแสงที่ 8 ห้องปฏิบัติการแสงสยาม) เพื่อศึกษาสถานะออกซิเดชันของโลหะเหล็ก รวมทั้งโคออร์ดิเนชันที่เปลี่ยนไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ คณะผู้วิจัยพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์หลังจากเจือด้วย Fe^{3+} จะมีโคออร์ดิเนชันที่ต่างไปจากเดิม และโลหะเหล็กเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ผสมกับไทเทเนียมที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายพบว่าหลังจากเจือด้วยไอออนของ Fe^{3+} ในปริมาณที่เล็กน้อยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีในการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสงของ Methylene Blue เนื่องจากโลหะ Fe^{3+} ที่เจือลงไปนั้นสามารถไปช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอน (e^-) และหลุมประจุบวก (h^+) นอกจากนี้ Fe^{3+} ยังไปช่วยในการรับส่งอิเล็กตรอนระหว่างเกิดปฏิกิริยาอีกด้วย แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปตัวโลหะเหล็กเองจะเป็นศูนย์กลางในการให้อิเล็กตรอนเองแก่หลุมประจุบวก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายของ Methylene Blue ลดลง



รูปที่ 2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาบนผิวของตัวเร่งหลังจากเจือด้วยโลหะเหล็ก



รูปที่ 3 สเปกตร้า XANES ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนไปของโคออร์ดิเนชันหลังจากเจือด้วยโลหะเหล็ก



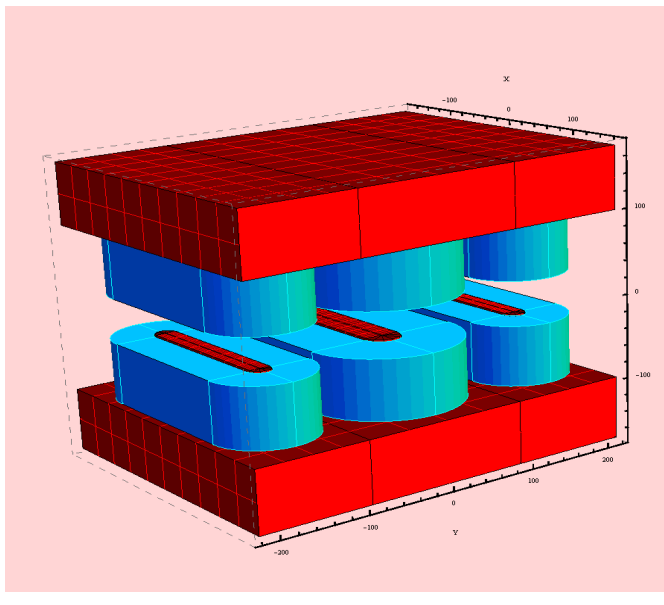
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการย่อยสลาย Methylene Blue ภายใต้แสงยูวีด้วยตัวเร่งที่เตรียมได้

เอกสารอ้างอิง

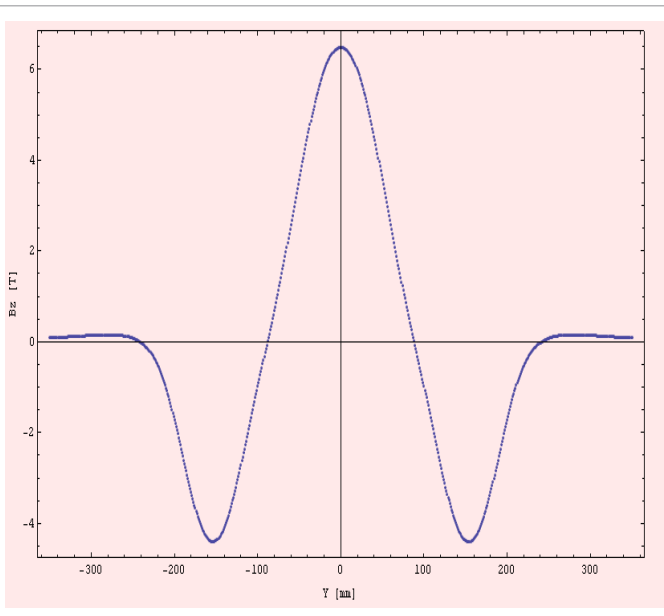
C.J.E. Bajamundi, M.L.P. Dalida, K. Wantala, P. Khemthong, N. Grisdanurak, (2011). "Effect of Fe^{3+} Doping on The Performance of TiO_2 Mechanocoated Alumina Bead Photocatalysts", The Korean Journal of Chemical Engineering, 28(8): 1688-1692.

อุปกรณ์แทรก (Insertion devices) (ตอนจบ)

ดร. อนุสรณ์ ทองอ่อน สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองแม่เหล็กแบบ WLS ด้วยโปรแกรม Mathematica



รูปที่ 2 แสดงค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จาก WLS ด้วยโปรแกรม Mathematica

จากอุปกรณ์แทรก (ตอนแรก) ได้กล่าวถึงอันดูลเลเตอร์ไปแล้วนั้น ในตอนนี้จะขอกล่าวถึงอุปกรณ์แทรกอีกแบบหนึ่งที่เรียกว่า วิกเลอร์ (wiggler) ซึ่งในกรณีของวิกเลอร์นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ (1) คือ 1. Wavelength shifter (WLS) และ 2. Multipole wiggler (MPW) ในกรณีของ WLS นั้น จะมีขั้วแม่เหล็กทั้งหมด 3 คู่ ดังรูปที่ 1

โดยมีขั้วหลักอยู่ตรงกลางและมีขั้วด้านข้างอีก 2 คู่ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่ได้จากขั้วหลักจะสูงกว่าขั้วด้านข้าง ดังรูปที่ 2

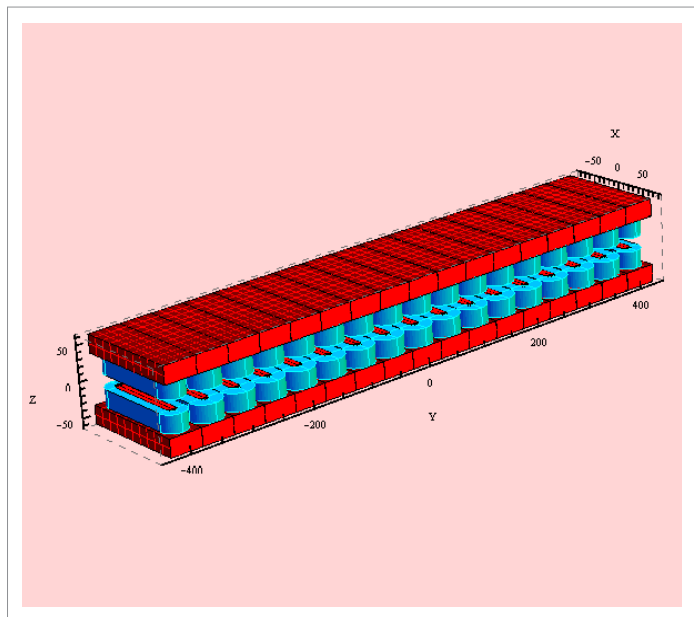
แม่เหล็กแบบนี้ถูกสร้างด้วยหลักการแม่เหล็กเหนี่ยวนำ โดยขดลวดที่ใช้พันรอบแกนเหล็กนั้น จะเป็นวัสดุที่เป็นตัวนำยิ่งยวด ซึ่งต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำมากที่ 4.2 เคลวิน หรืออุณหภูมิของฮีเลียมเหลวนั่นเอง ซึ่งแสงที่ผลิตได้จาก WLS นั้นจะมีพลังงานที่สูงขึ้นมากกว่าแม่เหล็กแบบสองขั้ว

ส่วน MPW ก็จะมีลักษณะคล้ายกับ WLS เพียงแต่จำนวนของแม่เหล็กขั้วหลักที่มากขึ้น ดังรูปที่ 3

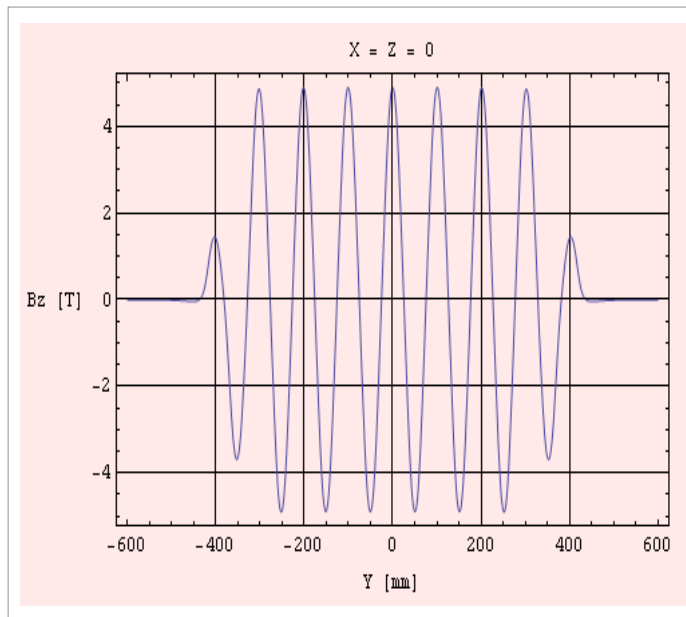
ในการสร้างแม่เหล็กแบบนี้ ก็เหมือนการสร้างแม่เหล็กแบบ WLS โดยใช้ขดลวดที่เป็นวัสดุตัวนำยิ่งยวด วัสดุที่นิยมนำมาใช้ก็คือ NbTi และ Nb₃Sn (2) ซึ่งแสงที่ผลิตได้จาก MPW นั้นจะได้พลังงานที่สูงขึ้นและปริมาณฟลักซ์ที่มากขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับแสงที่ผลิตได้จากแม่เหล็กแบบสองขั้ว

ปัจจุบันมีแม่เหล็กแบบวิกเลอร์อีกแบบหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Hybrid wiggler สร้างมาจากแม่เหล็กถาวรและมีการจัดเรียงแม่เหล็กเหมือนอันดูลเลเตอร์ แตกต่างกันตรงที่มีขั้วโลหะแทรกอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวร ดังรูปที่ 5 ทำให้ได้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มที่มากขึ้น

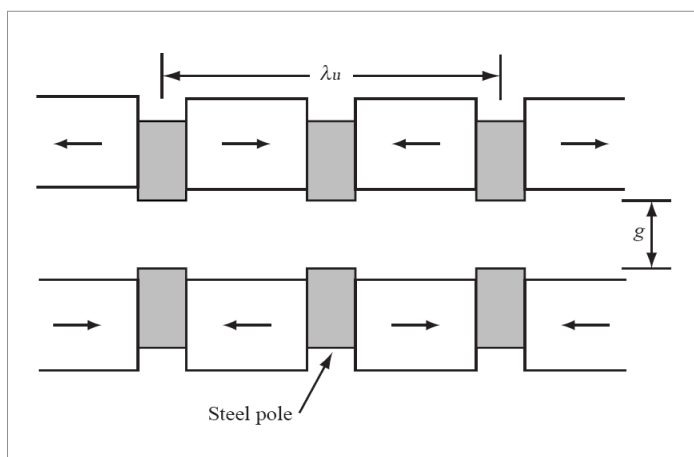
ทางสถาบันฯ กำลังจะดำเนินการติดตั้งวิกเลอร์ในเดือน มิถุนายน 2012 นี้ โดยได้รับความอนุเคราะห์ให้ยืมแม่เหล็กแบบ Hybrid wiggler มาจาก Daresbury Laboratory ประเทศอังกฤษ ซึ่งแม่เหล็กแบบ Hybrid wiggler นี้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ 2.4 เทสลา ■



รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองแม่เหล็กแบบ MPW ที่มีจำนวนขั้วหลัก 13 คู่ และจำนวนขั้วด้านข้าง 4 คู่ ด้วยโปรแกรม Mathematica



รูปที่ 4 แสดงค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จาก MPW ด้วยโปรแกรม Mathematica



รูปที่ 5 แสดงรูปแบบการจัดวางแม่เหล็กการแบบ Hybrid wiggler



รูปที่ 6 แสดงรูป 2.4 เทสลา Hybrid wiggler จาก Darebury Laboratory ประเทศอังกฤษ

เอกสารอ้างอิง

- (1) Winick, H., Brown, G., Halbach, K., and Harris, J. (1981). Wiggler and Undulator Magnets. Physics Today. 34: 50-63.
- (2) Korostelev, M., (2006). Optics Design and Performance of an Ultra-Low Emittance Damping Ring for the Compact Linear Collider. Doctoral Thesis, Novosibirsk State University, Russia.

BL2.2: ระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลอง เทคนิคการกระเจิงรังสีเอกซ์

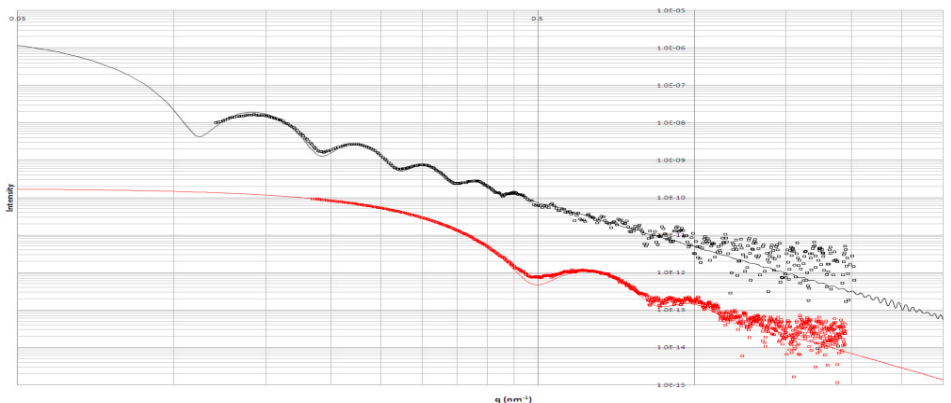
Small Angle X-ray Scattering (SAXS) และ Wide Angle X-ray Scattering (WAXS)

ดร. สุภกร รักใหม่, สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

เทคนิค SAXS/WAXS เป็นเทคนิคสำคัญสำหรับการศึกษาคโครงสร้างสารที่อยู่ในระดับนาโนเมตร หรือหนึ่งในพันล้านของเมตร ซึ่งเป็นช่วงขนาดของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของสาร เทคนิค SAXS/WAXS จึงถูกใช้ในการดูขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน หรือการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในวัสดุ เช่น โพลีเมอร์ เส้นใย หรือดูโครงสร้างโมเลกุลในสารชีวภาพ เช่น คอลลาเจนในเส้นเอ็นหรือกล้ามเนื้อ ซึ่งข้อมูลโครงสร้างระดับนาโนเมตรนี้เป็นส่วนสำคัญในการทำนายคุณสมบัติของสาร เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น หรือลักษณะการทำปฏิกิริยากับสารอื่น

หลักการของเทคนิค SAXS/WAXS คือการให้รังสีเอกซ์ตกกระทบบนสารที่ต้องการศึกษา จากนั้นวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาที่มุมต่างๆ โดยที่สถานีทดลองของ BL2.2 มีอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีเอกซ์ประเภท CCD ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับกล้องดิจิตอลขนาดใหญ่ สำหรับวัดรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมา ทำให้ได้แผนผังการกระเจิงซึ่งสามารถนำไปแปลผลเป็นรูปแบบโครงสร้างภายในของสารได้

ระบบลำเลียงแสง BL2.2 ถูกออกแบบโดยทีมนักวิจัยและวิศวกรของสถาบันฯ โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่จัดสร้างขึ้นเองภายในสถาบันฯ และได้ทำการติดตั้งและทดสอบระบบลำเลียงแสงแล้วเสร็จ และเริ่มเปิดให้บริการในตั้งแต่เดือนมีนาคม 2554 ที่ผ่านมา



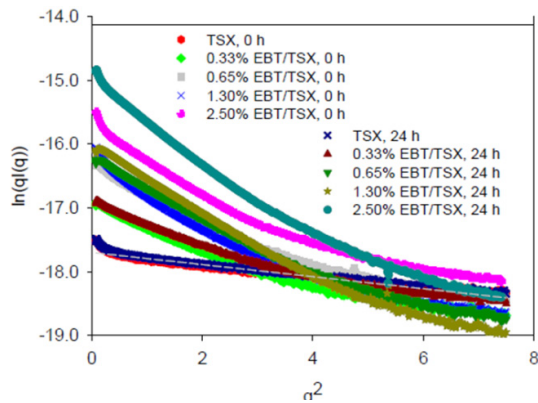
↑รูปแสดงผลการวัดการกระเจิงรังสีเอกซ์ด้วยเทคนิค SAXS ที่ BL2.2 ของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์จากสารโพลีเมอร์ PMMA (จุดสีดำ) และอนุภาคทอง (จุดสีแดง) แสดงให้เห็นความเป็นอนุภาคนาโนของ PMMA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 นาโนเมตร และการกระจายขนาด 6.25% (ยืนยันจากผลการคำนวณทางทฤษฎีด้วยเส้นสีดำ) และความเป็นอนุภาคนาโนของทองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นาโนเมตร และการกระจายขนาด 9% (ยืนยันจากผลการคำนวณทางทฤษฎีด้วยเส้นสีแดง)

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ระบบลำเลียงแสง BL2.2 ศึกษาขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน

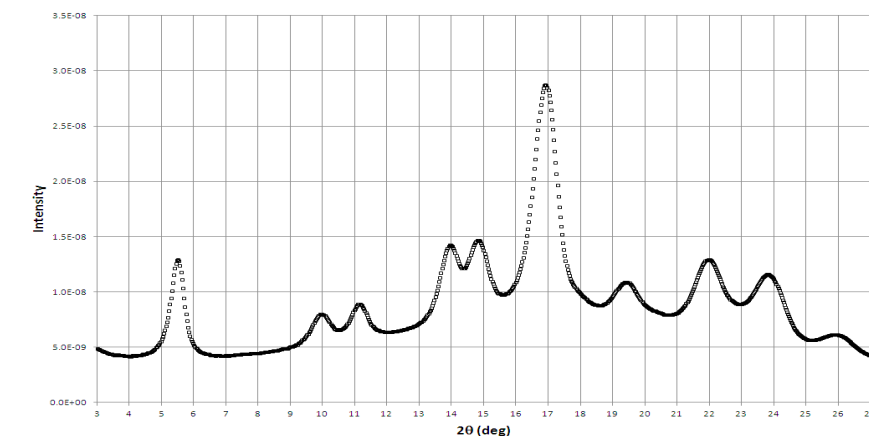
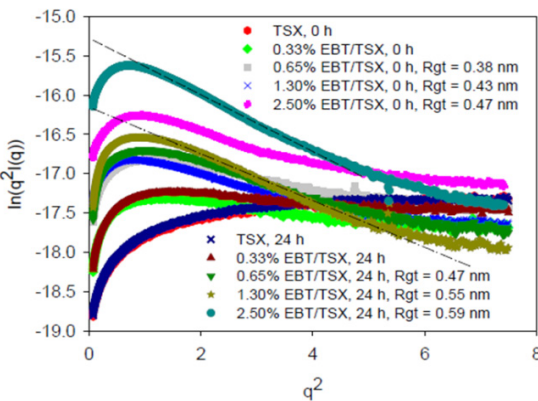
อนุภาคนาโน ถูกประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในปัจจุบัน เช่น ใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณสมบัติของอนุภาคนาโนเหล่านี้เปลี่ยนแปลงตามรูปร่างและขนาดของอนุภาค ซึ่งเทคนิค SAXS สามารถใช้บอกทั้งรูปร่าง ขนาด รวมทั้งการกระจายขนาดของอนุภาคได้

ศึกษาแบบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในสารโพลีเมอร์ หรือวัสดุทางชีวภาพ

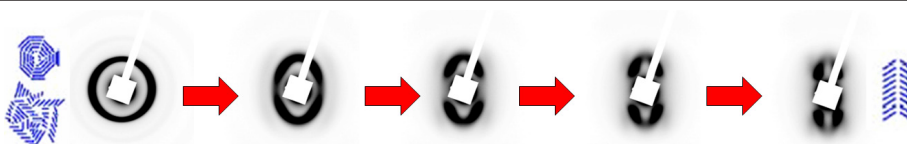
สารโพลีเมอร์ ประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งเรียงตัวกันอยู่ภายในสาร สารโพลีเมอร์นี้มีทั้งสารสังเคราะห์ เช่น พลาสติก หรือสารชีวภาพ เช่น เส้นใยไหม แป้ง หรือแม้แต่เส้นเอ็นของมนุษย์ ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรงหรือความยืดหยุ่นของสารเหล่านี้ เทคนิค SAXS/WAXS สามารถบอกได้ว่าในสารนั้นประกอบด้วยโมเลกุลที่เรียงตัวเป็นเส้นหรือเป็นแผ่น หรือเป็นก้อน และมีความเป็นระเบียบหรือไม่ อย่างไร นอกจากนั้น ที่ BL2.2 ยังสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของโพลีเมอร์ หรือเส้นใยในขณะที่มีแรงดึงได้



รูปที่ 1 แสดงผลการวัดด้วยเทคนิค SAXS ที่ BL2.2 ของแป้งเม็ดมะขามผสมสารที่ทำให้เกิดสภาพเป็นเจล นักวิจัยใช้เทคนิค SAXS ในการติดตามศึกษาการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงโมเลกุลในแป้งเม็ดมะขามในขณะที่เกิดสภาพเป็นเจล เพื่อศึกษาระบวนการที่เหมาะสมในการใช้แป้งเม็ดมะขามเป็นส่วนผสมในยา โดยผลจากเทคนิค SAXS แสดงให้เห็นการจัดเรียงโมเลกุลรูปทรงกระบอกในช่วงเริ่มต้น (รูปบน) และเปลี่ยนสภาพเป็นแผ่นบาง (รูปล่าง) โดยสามารถระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก และความหนาของแผ่นโมเลกุลซึ่งอยู่ในระดับประมาณ 1 นาโนเมตร



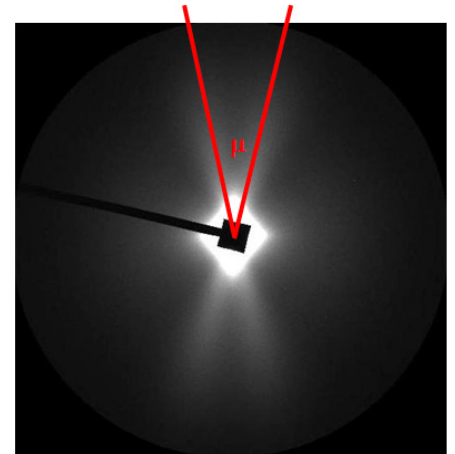
รูปที่ 2 ด้านบนแสดงผลการวัดการกระเจิงรังสีเอกซ์ด้วยเทคนิค WAXS ที่ BL2.2 ของตัวอย่างแป้ง² แสดงให้เห็นการเรียงตัวเป็นผลึกของโมเลกุลในเม็ดแป้ง ซึ่งการใช้รังสีเอกซ์จากแสงซินโครตรอนทำให้ได้ผลการวัดที่มีคุณภาพสูง นักวิจัยสามารถดูการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับโมเลกุลของแป้งหลังจากการบำบัด เช่นการย่อยด้วยเอนไซม์ได้



รูปที่ 3 แสดงแผนผังการกระเจิงรังสีเอกซ์ด้วยเทคนิค SAXS ที่ BL2.2 ของสารโพลีเมอร์ที่ถูกดัดแปลง³ แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลจากไม่เป็นระเบียบซึ่งให้แผนผังการกระเจิงเป็นวงกลม (รูปซ้ายมือ) และมีความเป็นระเบียบมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถูกดัด ทำให้แผนผังการกระเจิงเป็นสี่จุดในที่สุด (รูปขวามือ)

ศึกษารูปแบบการจัดศึกษาของเส้นใยรอบเซลล์เนื้อไม้

ภายในเนื้อไม้ ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมเรียงตัวกันหลายชั้น รอบเซลล์เหล่านี้มีเส้นใยที่เรียกว่าไมโครไฟบริลพันอยู่โดยรอบคล้ายบันไดวน มุมของเส้นใยไมโครไฟบริลรอบเซลล์ไม้เนื้อแข็งที่มีส่วนสำคัญในการกำหนดความแข็งแรงของเนื้อไม้ เทคนิคการกระเจิงรังสีเอกซ์สามารถใช้ดูมุมของเส้นใยไมโครไฟบริลในเนื้อไม้ได้ ■



รูปที่ 4 แสดงผลการวัดมุมเส้นใยไมโครไฟบริลในไม้ยางพารา⁴ ที่ BL2.2 เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบเนื้อไม้ จะเกิดการกระเจิงจากเส้นใยไมโครไฟบริลในเนื้อไม้ ทำให้เกิดแผนผังการกระเจิงเป็นรูปกากบาท (รูปบน) ซึ่งมุมระหว่างแนวการกระเจิงนี้จะเท่ากับมุมของเส้นใยไมโครไฟบริลที่พันอยู่รอบเซลล์ไม้ (รูปล่าง) ทำให้นักวิจัยสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยไมโครไฟบริลเมื่อทำการบำบัดไม้ เช่นการอบด้วยความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อไม้ได้

เอกสารอ้างอิง

งานวิจัยโดยทีมวิจัยของ ศ.ดร.วิมล ตันติไชยกุล คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
งานวิจัยโดยทีมวิจัยของ ผศ.ดร.สุนันทา ทองทาสานักวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ตัวอย่างโดย ดร.ปณิธาน วานากมล ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
งานวิจัยโดย ผศ.ดร.นิรันดร์ มาแทน หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

สช. มอบกระเช้าอวยพรปีใหม่ผู้บริหาร



ดร.นวลวรรณ สงวนศักดิ์ รักษาการผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน นำคณะเจ้าหน้าที่ เข้ามอบของที่ระลึกและขอพรเนื่องในโอกาสวันขึ้นปีใหม่ 2555 แก่ ดร.ปลอดประสพ สุรัสวดี รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดร.พรชัย รุจิประภา ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศ.ดร.ไพรัช ธัชยพงษ์ ประธานกรรมการบริหารสถาบันฯ และ ศ.ดร.ประสพ สืบคำ อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นต้น ■

ซินโครตรอน ในงานวิจัยด้านการเกษตรนำเสนอต่อสมาชิกวุฒิสภา



คณะอนุกรรมการการศึกษาวิจัย การผลิตภายใต้เกษตรทฤษฎีใหม่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมาชิกวุฒิสภา ได้ให้ความสนใจเรื่องการใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอนในการวิจัยทางการเกษตร จึงได้เชิญผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันฯ นำทีมโดย ดร.นวลวรรณ สงวนศักดิ์ รักษาการผู้อำนวยการ ดร.วันวิสา ลิ้มพิรัตน์ และ ดร.กาญจนา ธรรมบุญ นักวิจัยของสถาบัน เข้าร่วมให้ข้อมูลและแสดงข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางการวิจัยและการพัฒนาของสถาบันฯ ทางด้านการเกษตรที่เหมาะสมกับเกษตรทฤษฎีใหม่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2554 ณ อาคารรัฐสภา กรุงเทพมหานคร ■

นักวิจัย มทส.- ร่วมกับนักวิจัย สช. ใช้แสงซินโครตรอนยืนยันการพัฒนาสเต็มเซลล์สู่เซลล์ตับ



สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จัดแถลงข่าว "แสงซินโครตรอนยืนยันการพัฒนาสเต็มเซลล์สู่เซลล์ตับ" เมื่อวันพุธที่ 30 พฤศจิกายน 2554 โดยมี รศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล ผู้อำนวยการฝ่ายสถานีวิจัย เป็นประธานเปิดงานและร่วมแถลงข่าว โดยในโอกาสนี้ รองศาสตราจารย์ดร.รังสรรค์ พาลพ่าย ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวอ่อนและเซลล์ต้นกำเนิด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) และ ดร.กาญจนา ธรรมนุ นักวิจัยประจำสถาบันฯ ได้ร่วมกันแถลงถึงผลสำเร็จ ในงานวิจัยนี้ ที่ได้ร่วมกันพัฒนาสเต็มเซลล์จากตัวอ่อนของหนูเพื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ตับ และได้ทำการติดตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงเซลล์ในระดับชีวโมเลกุล พร้อมทั้งทดสอบเทคโนโลยีการแยกเซลล์อย่างรวดเร็ว โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด (FTIR microspectroscopy) ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การพัฒนาที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิจัยต่อไปในอนาคต ■

บันทึกเทป “บทบาทหน้าที่สถาบันวิจัยซินโครตรอน” ในรายการ “Station Five” สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5



ดร.นวลวรรณ สงวนศักดิ์ รักษาการผู้อำนวยการสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ให้สัมภาษณ์พิเศษ ถึง บทบาท ภารกิจ หน้าที่ และการดำเนินงานของสถาบัน ในการบันทึกเทปรายการโทรทัศน์ "Station

Five" ทางสถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 โดยมี นายอรรณพ กิตติกุล เป็นพิธีกร เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2554 ซึ่งจะออกอากาศในเดือน มกราคม 2555 นี้ พร้อมนี้ ทีมงานได้เดินทาง เข้าสัมภาษณ์พิเศษ ดร.วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นักวิจัย ผู้ให้บริการแสงซินโครตรอนด้วยเทคนิค อินฟราเรด ร่วมถึงบันทึกภาพบรรยากาศการ ปฏิบัติการภายในห้องปฏิบัติการแสงสยาม จังหวัดนครราชสีมาอีกด้วย ■



2nd ASEAN Workshop on Small Angle X-ray Scattering

6-8 March 2012

**Synchrotron Light Research Institute
Nakhon Ratchasima, Thailand**

Topics

- Training on Small Angle Scattering data analyses
- Basic theory of Small Angle Scattering
- Applications of Small Angle Scattering for nano structural characterization
- Introduction to Small Angle X-ray Scattering facility at Siam Photon Laboratory
- Introduction to Small Angle Neutron Scattering facility at BATAN

Invited Keynote Speakers

Dr. Joachim Kohlbrecher, Paul Scherrer Institute, Switzerland

Dr. Tae Joo Shin, Pohang Accelerator Laboratory, Korea

Dr. Edy Giri Rachman Putra, Neutron Scattering Laboratory, BATAN, Indonesia

more information: <http://www.slri.or.th/awsaxs2011>

Email: saxs@slri.or.th

