# แผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตป้องกันรังสีเอกซ์

*นพวรรณ ชนัญพานิช[1] และอุทุมมา มัฆะเนมี[2]

[1]ศูนย์วิจัยบูรณาการนาโน สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800

โทรศัพท์ 0 2913 2500 ต่อ 1538 โทรสาร 0 2556 1306 E-mail: ncn@kmutnb.ac.th

[2]ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

110 ถนน อินทวโรรส ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0 5394 9214 โทรสาร 0 0 5394 6042 E-mail: asitmghn@chiangmai.ac.th

## บทคัดย่อ

แผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตพอลิยูรีเทน/แบเรียมซัลเฟต ($PU/BaSO_4$) และพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์/แบเรียมซัลเฟต ($PVDF/BaSO_4$) สามารถเตรียมได้ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าแผ่นเส้นใย PU และ PVDF มี $BaSO_4$ เท่ากับ 71.28 และ 54.16 % ของน้ำหนักโพลิเมอร์ ตามลำดับ เมื่อนำแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตไปทดสอบการดูดกลืนรังสีเอกซ์ชนิดปฐมภูมิพบว่าแผ่นเส้นใยคอมโพสิต $PU/BaSO_4$ และ $PVDF/BaSO_4$ ที่มีความหนา 1,500 ไมโครเมตรและ 2,000 ไมโครเมตรตามลำดับ สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 40% ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากอันตรายของรังสีต่อสุขภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นป้องกันอวัยวะเมื่อต้องการถ่ายภาพบริเวณอวัยวะที่ไวต่อรังสี เช่นนัยน์ตา ฯลฯ นอกจากนี้เมื่อนำแผ่นเส้นใยนาโนไปเคลือบสารแขวนลอย $BaSO_4$ โดยมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวประสานและซ้อนทับกันจนมีความหนา 1,600 ไมโครเมตร จะสามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 80% ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าแผ่นเส้นใยนาโนทั้งแบบคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของ $BaSO_4$ และแบบที่เคลือบสารแขวนลอย $BaSO_4$ สามารถนำมาใช้เป็นแผ่นป้องรังสีเอกซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ: แผ่นเส้นใยนาโน แผ่นเส้นใยป้องกันรังสีเอกซ์ แบเรียมซัลเฟต**

# Nanofiber Composite Mat for X-ray Shielding

*Noppavan Chanunpanich[1] and Utumma Maghanemi[2]

[1]Integrated Nanoscience Research Center, Science and Technology Research Institute

and Industrial Chemistry, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1518 Phibun Songkhram Rd., Wong Sawang, Bang Sue, Bangkok 10800

Phone: 0 2913 2500 ext 1538, Fax: 0 2556 1306, E-mail: ncn@kmutnb.ac.th

[2] Radiologic Technology, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University

110 Intawaroros Rd., Tambon Si Phum, Amphoe Muaeng, Chiang Mai 50200

Phone: 0 5394 9214, Fax 0 0 5394 6042, E-mail: asitmghn@chiangmai.ac.th

## Abstract

Nanofiber composite mats of polyurethane/barium sulfate ($PU/BaSO_4$) and polyvinylidene fluoride/barium sulfate ($PVDF/BaSO_4$) have been fabricated using electrospinning technique. It was found that $BaSO_4$ can be embedded in nanofiber for 71.28% and 54.16 % wt of polymer for PU and PVDF, respectively. The composite mat at the thickness of 1,500 micrometers for $PU/BaSO_4$ and 2,000 micrometers for $PVDF/BaSO_4$ could effectively block X-ray ray for 40%, the level at which it becomes unharmed to human organ. Hence, these nanofiber composite mats can be used for shielding the sensitive organ, such as eyes, during X-ray imaging for diagnosis. In addition, when the nanofiber mats was coated with $BaSO_4$, the mat with the thickness of 1,600 micrometers could shield x-ray to 80%. These results demonstrated that both the nanofiber composite mats and the nanofiber mats coated with $BaSO_4$ can efficiently be used as the organ-shielded mat from X-ray.



**Keywords: nanofiber, X-ray shielding, Barium sulfate**


## 1.บทนำ

แบเรียมซัลเฟตเป็นสารดูดกลืนรังสีเอกซ์เนื่องจากอิเล็กตรอนใน K-shell ของอะตอมแบเรียมมีพลังงาน 37.5 kVp (kilovoltage peak) ซึ่งอยู่ในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรค (26-40 kVp) เมื่อมีการผลิตวัสดุผสมระหว่างพลาสติกกับแบเรียมซัลเฟต[1] พบว่าสามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 80% ที่ความหนา 1 เซนติเมตร ด้วยเหตุนี้ จึงมีแนวคิดผลิตวัสดุให้มีความบางขึ้น แต่ยังคงป้องกันรังสีเอกซ์ได้ โดยผลิตเป็นแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ กับ $PU/BaSO_4$ ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันค่อนข้างหลากหลาย[2-5]

## 2. สารเคมี

แบเรียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตชนิดแห้งจากบริษัท Ajex FineChem พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF, Kynar-761) จากบริษัทเบเนบิซ จำกัด พอลิยูรีเทนจาก KOLON INDUSTRIES INC) ตัวทำละลายอะซีโตนไดเมทิลอะเซตาไมด์ (DMAc) ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) และเตตราไฮโดรฟิวแรนจากบริษัท Fisher Scientific

## 3. การทดลอง

**2.1 การผลิตผืนเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ และ $PU/BaSO_4$** ชั่ง $BaSO_4$ 1.05 กรัม ใส่ลงในในตัวทำละลาย DMAc 0.972 กรัมกับ Acetone 1.458 กรัม หยด BV เซอร์แฟกแตนต์ 0.1 กรัม ตาม

ด้วยการเติม $BaSO_4$ 1.05 กรัม นำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติม PVDF 0.57 กรัม และนำไปกวนให้พอลิเมอร์ละลายด้วยแท่งแม่เหล็กพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C นำสารแขวนลอยที่เตรียมได้ไปฉีดขึ้นเป็นผืนเส้นใยคอมโพสิต ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ดังรูปที่ 1 ที่อัตราการไหลของสารละลาย 1 ml/hr ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงฉากรับ 10 cm ศักย์ไฟฟ้า 10 kV (กรณีการฉีดขึ้นรูปผืนเส้นใย $PU/BaSO_4$ ได้ใช้สารแขวนลอยที่มี PU 0.30 กรัม THF 1.89 กรัม DMF 0.81 กรัม และ BV เซอร์แฟกแตนต์ 0.1 กรัม)

รูปที่ 1 เครื่องปั่นเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคปั่นเส้นใยไฟฟ้าสถิต

**2.2 การเตรียมแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ และ $PU/BaSO_4$** ตัดผืนเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ ขนาด 10x10 เซนติเมตร จำนวน 4 ผืน นำมาซ้อนกันและอัดด้วยเครื่อง Compression ที่อุณหภูมิ 100°C แรงอัด 500 psi ความร้อนก่อนการอัด (preheat) 2 นาที เวลาการอัด 2 นาที (แผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PU/BaSO_4$ ใช้แรงอัด 300 psi ที่อุณหภูมิ 70°C)

**2.3 การทดสอบการดูดกลืนรังสีเอกซ์แบบปฐมภูมิ (primary beam) ของแผ่นเส้นใยคอมโพสิต** นำแผ่นเส้นใยนาโนและแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตไปวัดการผ่านของรังสีเอกซ์ ที่ความหนาของแผ่นเส้นใยต่าง ๆ โดยใช้ความต่างศักย์ของหลอดรังสีเอกซ์เท่ากับ 80 kVp ระยะทางจากหลอดเอ็กซเรย์ถึงชิ้นงาน 100 ซม เปิดพื้นที่ของลำรังสี 10x10 cm

## 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 4.1 การผลิตผืนเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ และ $PU/BaSO_4$

สำหรับการฉีดขึ้นรูปผืนเส้นใยนาโนคอมโพสิต $PVDF/BaSO_4$ ($BaSO_4$ ส่วนใหญ่มีขนาด 0.32 ไมโครเมตร) พบว่า สามารถผสมอนุภาค $BaSO_4$ ได้ 35% โดยน้ำหนักของสารละลายพอลิเมอร์อนุภาค $BaSO_4$ หากคำนวณปริมาณ $BaSO_4$ อยู่ในเส้นใยทั้งหมด จะคิดเป็นปริมาณ $BaSO_4$ 64.8%โดย

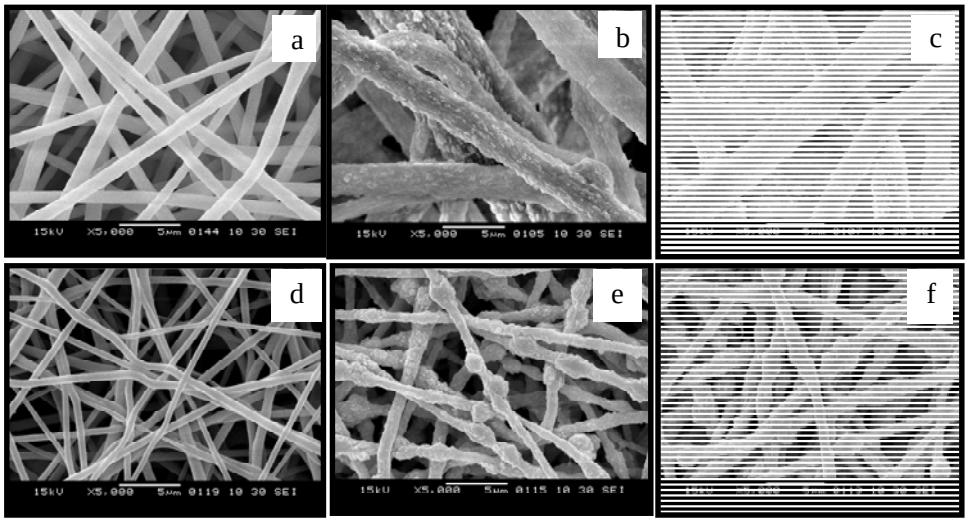
น้ำหนักของพอลิเมอร์ (PVDF 1.9 กรัม $BaSO_4$ 3.5 กรัม) ในขณะที่เส้นใยนาโนคอมโพสิต PU/$BaSO_4$ สามารถผสม $BaSO_4$ เข้าไปในเส้นใยได้มากถึง 87.5% (PU 1 กรัม $BaSO_4$ 7 กรัม) ซึ่งอาจนำไปสู่การป้องกันรังสีเอกซ์ของแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตของ PU/$BaSO_4$ ที่มากกว่าแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$

ในรูปที่ 2 จะเห็นว่าเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองยังมีผิวขรุขระเพราะมีอนุภาคแบเรียมซัลเฟตตามเส้นใย นอกจากนี้ เส้นใยนาโนคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$ มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยนาโน PVDF 2-3 เท่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย PU เล็กกว่าของเส้นใย PVDF ค่อนข้างมาก ผลทำให้แผ่นเส้นใยคอมโพสิต PU/$BaSO_4$ มีลักษณะบางกว่าแผ่นเส้นใยคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$ อย่างไรก็ตามเมื่อนำผืนเส้นใยวางซ้อนกันแล้วให้ความร้อนพร้อมแรงอัดที่เหมาะสมไม่ทำให้เส้นใยนาโนแตกหักและได้แผ่นเส้นใยที่หนาและแข็งแรง จับใช้ได้สะดวก

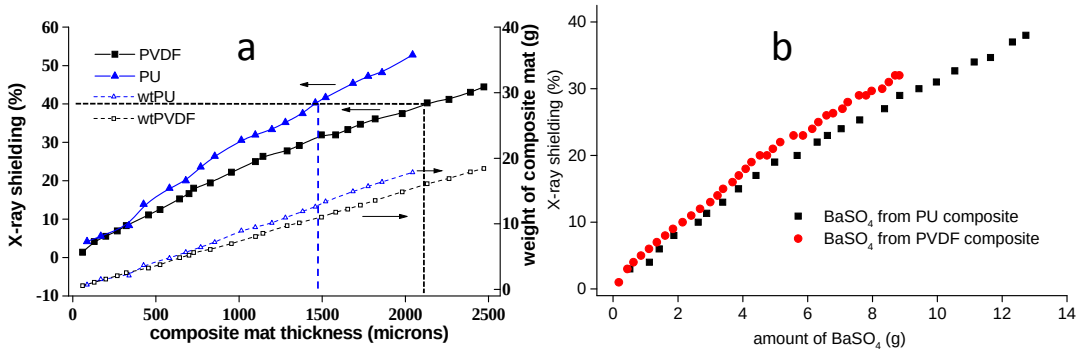
**4.2 การป้องกันรังสีเอกซ์แบบปฐมภูมิ (primary radiation) ของแผ่นเส้นใยคอมโพสิต**

แผ่นเส้นใยนาโน PVDF และ PU ไม่มีความสามารถดูดซับรังสีเอกซ์เพราะค่ารังสีเอกซ์ที่ผ่านออกมาเท่ากับ 72 mR ไม่ว่าจะใช้แผ่นเส้นใยนาโนหนาเท่าใด แต่พบว่าปริมาณรังสีเอกซ์ผ่านไปยัง detector ลดลงเมื่อความหนาของแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตเพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 3a) รูปที่ 3b เป็นปริมาณ $BaSO_4$ ที่อยู่ในเส้นใย ดังนั้นการที่ $BaSO_4$ ผสมเข้มไปใน PU ได้มากกว่านี้เอง แผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต PU/$BaSO_4$ และแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$ ที่ความหนา 1,500 และ 2,200 ไมโครเมตรตามลำดับจึงป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 40% ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากอันตรายจากรังสีต่อสุขภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นป้องกันอวัยวะเมื่อต้องการถ่ายภาพบริเวณอวัยวะที่ไวต่อรังสี เช่น การถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่กะโหลก จะทำให้นัยน์ตาบอดได้ การใช้แผ่นเส้นใยปิดที่เบ้าตาก่อนถ่ายภาพรังสีเอกซ์ จะไม่ทำให้นัยน์ตาเป็นอันตราย และยังได้ภาพถ่ายที่น่าจะนำไปวินิจฉัยต่อได้

เพื่อให้แผ่นเส้นใยนาโนสามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้มากขึ้น จึงได้นำแผ่นเส้นใยมาเคลือบด้วยวสารแขวนลอย $BaSO_4$ (เกรดเชิงการค้า อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาด 5 ไมโครเมตร) ในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าแผ่นเส้นใยเคลือบ $BaSO_4$ ความหนา 1,600 ไมโครเมตร สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 80%




รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM กำลังขยาย 5,000 เท่าของเส้นใยนาโนและเส้นใยนาโนคอมโพสิต (a) PVDF และ (b) PVDF/$BaSO_4$ (c) PVDF/$BaSO_4$ หลังให้ความร้อนและแรงอัด (d) PU (e) PU/$BaSO_4$ (f) PU/$BaSO_4$ หลังให้ความร้อนและแรงอัด




รูปที่ 3 (a) การดูดซับรังสีเอกซ์ของเส้นใยนาโนคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$ และ PU/$BaSO_4$ (b) ผลของแบเรียมซัลเฟตต่อการป้องกันรังสีเอกซ์

## 5. สรุป

การบูรณาการนำเส้นใยนาโน PVDF และ PU มาคอมโพสิตกับ $BaSO_4$ (ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่เท่ากับ 0.32 ไมโครเมตร) ซึ่งมีสมบัติดูดซับรังสีเอกซ์ได้ ทำให้ได้แผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิต PVDF/$BaSO_4$ และ PU/$BaSO_4$ ที่ความหนา 1,600-2,000 ไมโครเมตร ป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 40% และหากนำแผ่นเส้นใยนาโนไปเคลือบกับสารแขวนลอย $BaSO_4$ เกรดเชิงการค้า (ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่เท่ากับ 5 ไมโครเมตร) พบว่า แผ่นเส้นใยเคลือบความหนา 1,600 ไมโครเมตร สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ได้ 80%

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MT-B-52-POL-21-457-G)

## 7. เอกสารอ้างอิง

1. กุลนันท์ ทองคำ, ขวัญชัย รัตนเสถียร, อุทุมมา มัฆะเนมี, 2548 การออกแบบการผลิตและประเมินชุดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีในการถ่ายภาพรังสีทั่วไป งานแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 2 วันที่ 1 - 3 พฤษภาคม หน้า 56-57
2. Kim J., Choi S., Lee S., Kim B., 2004. Electrospun PVdF-based fibrous polymer electrolytes for lithium ion polymer batterie. Electrochimica Acta, 50, 69–75.
3. Haitao Z., Jinlian H., Chen S., 2008. Electrospun polyurethane nanofibres having shape memory effect, Materials letters, 68, 2074-2076.
4. Peter P., Tsai Reece Roth J., 2007. Investigation of the Fiber, Bulk, and Surface Properties of Meltblown and Electrospun Polymeric Fabrics, International Journal of Nanomedicine, 3, 433–448.
5. Wanling W., Guangcui Y., Aihua H., Han C., 2009. Surface Depletion of the Fluorine Content of Electrospun Fibers of Fluorinated Polyurethane, Langmuir, 25, 3178-3183.