Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 3 Number 5 September– October2016 (ISSN 2408 – 1248)

# การประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในการศึกษาด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนิติวิทยาศาสตร์*

# Application of Synchrotron Radiation for Industrial Technology and Forensic Science*

ฉันทนา วัยนิพิฐพงษ์ (Chantana Wainiphithapong)**
ศศิวิมล ไกรทอง พรทิพย์ (Sasiwimon Kraithong)
ปิยะนุช (Pornthip Piyanuch)
อนุวัฒน์ เพ็ชรดำ (Anuwut Petdum)

**บทคัดย่อ**

แสงซินโครตรอน จะเป็นแสงที่มีพลังงานและความเข้มของแสงที่สูงกว่าพลังงานแสงที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ ทั่วไป จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยด้านต่างๆ เช่น ในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ในขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการยุติธรรม ในบทบาทนี้จะกล่าวถึงการนำแสงซินโครตรอนมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านนิติวิทยาสาสตร์ ซึ่งต้องมีความถูกต้องและแม่นยำของการวิเคราะห์ในระดับสูง โดยการนำไปใช้งานร่วมกับเทคนิคต่างๆ เช่น X-ray diffraction (XRD) X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) X-ray absorption structure (XAS) และ fourier transform infrared microspectroscopy (FTIRMS) เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำแสงซินโครตรอนไปใช้งานร่วมกับเทคนิคต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิผล

* บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่การประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนิติวิทยาศาสตร์,

The aim of this journal is presentation about application of synchrotron radiation using in industrial technology and forensic science.

** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร *e-mail*: chantana.chem@gmail.com

Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University *e-mail*: chantana.chem@gmail.com

**Abstract**

Synchrotron radiation is a high energy electromagnetic field source and can be used to enhance the capability of spectroscopic-analytical techniques such as the techniques used in industry and forensic science. In this review, basic principle of utilizing synchrotron radiation in scientific applications, especially, in forensic science that required precise and accurate analytical data will be explained. Furthermore, using of synchrotron radiation coupled with other analytic techniques such as X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), X-ray absorption structure (XAS) and fourier transform infrared microspectroscopy (FTIRMS) to promote higher effective analytical methods, were also reviewed.

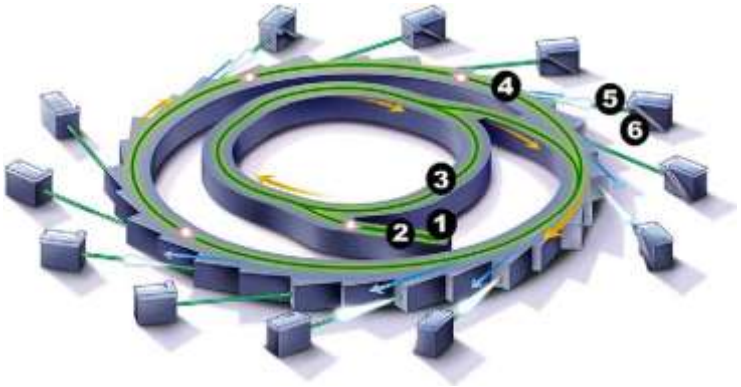
**บทนำ**

“แสง” เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่แสดงคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติความเป็นคลื่นจะเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) ซึ่งจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กและคลื่นไฟฟ้าที่ทำมุมตั้งฉากกัน และถ้าพิจารณาถึงคุณสมบัติความเป็นอนุภาค จะเรียกว่า โฟตอน (photon) ซึ่งเป็นอนุภาคที่ไม่มีมวล โดยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้นี้ (visible light) จะจัดว่าเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร นอกจากแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้แล้ว ยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ อีกเช่น รังสีแกมมา (gamma ray) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet radiation) รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) คลื่นไมโครเวฟ (microwave) และคลื่นวิทยุ (radio wave) [1] โดยปกติแล้วพลังแสงจะที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงและพลังงานสำหรับสิ่งมีชีวิต และแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น หลอดไฟฟ้านีออนซึ่งให้แสงที่มีพลังงานอยู่ในช่วงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้ หรือหลอดแสงอัลตราไวโอเลตที่ใช้ฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นแต่ละชนิดนั้น จะสามารถผลิตพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นที่มีความแตกต่างกัน อาทิเช่น หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงที่กล่าวมาข้างต้น จะสามารถผลิตพลังงานแสงได้เพียงช่วงพลังงานเดียวเท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีแหล่งกำเนิดพลังงานที่สามารถผลิตพลังงานแสงที่มีช่วงพลังงานที่กว้างมากขึ้น โดยจะมีสเปคตรัมของแสงที่มีลักษณะต่อเนื่องกัน ตั้งแต่แสงช่วงของรังสีอินฟราเรดไปจนถึงช่วงรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้เรียกว่า เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน [2]

แสงซินโครตรอน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งให้มีพลังงานสูง โดยอาศัยเครื่องเร่งอนุภาค เช่น Linear accelerator (หรือเรียกโดยย่อว่า Linac) หรือเครื่องเร่งอนุภาคชนิดซินโครตรอน (synchrotron) เป็นต้น เมื่ออิเล็กตรอนถูกเร่งจนกระทั่งมีความเร็วสูงใกล้ความเร็วแสง ($3 \times 10^8$ m/s) ก็จะถูกบังคับให้เกิดการเลี้ยวเบนออกไปจากเส้นทางการเคลื่อนที่เดิม ทำให้อิเล็กตรอนนี้ เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า แสงซินโครตรอน โดยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ประกอบด้วยสามส่วนด้วยกัน ก็คือ **ส่วนที่ 1** ปืนยิงอนุภาคอิเล็กตรอน (electron source) ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก จนมีลักษณะเป็นลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านออกไปสู่เครื่องเร่งอนุภาคต่อไป **ส่วนที่ 2** เครื่องเร่งอนุภาค ทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วที่สูงขึ้น โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 3 Number 5 September– October2016 (ISSN 2408 – 1248)

สองส่วน ก็คือส่วนที่เป็นเครื่องเร่งอนุภาคทางตรง (Linear accelerator หรือ Linac) จะทำหน้าที่ เร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงถึง 40 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) และส่งต่อไปให้เข้าสู่ส่วนที่สองคือ ส่วนที่เป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลมซึ่งเรียกว่า บูสเตอร์ซินโครตรอน (booster synchrotron : SYN) ในส่วนนี้อิเล็กตรอนจะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าของคลื่นวิทยุ มีพลังงานเพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่จนกระทั่งมีพลังงานสูง 1 พันล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีความเร็วประมาณ 99.999986% ของความเร็วแสง จากนั้นลำอิเล็กตรอนนี้จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในท่อลำเลียงอิเล็กตรอนพลังงานสูง (High Energy Beam Transport line) เข้าไปในวงกักเก็บอิเล็กตรอน **ส่วนที่ 3** วงกักเก็บอิเล็กตรอน (Storage ring) ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนเป็นขั้นสุดท้าย จาก 1 พันล้าน เป็น 1.2 พันล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งจะมีความเร็วประมาณ 99.999999% ของความเร็วแสง หลังจากนั้น วงกักเก็บอิเล็กตรอนจะกักเก็บลำของอิเล็กตรอนความเร็วสูงไว้เพื่อผลิตแสงซินโคร ตรอนต่อไป โดยอิเล็กตรอนจะถูกบังคับให้เกิดการเลี้ยวเบนด้วยสนามแม่เหล็กที่อยู่ในวงกักเก็บอิเล็กตรอน ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเลี้ยวเบนในวิถีโค้ง ทำให้อนุภาคโฟตอนถูกสลัดออกมา ซึ่งอนุภาคโฟตอนที่ถูกสลัดออกมานี้ก็คือ แสงซินโครตรอนนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 1 [3] โดยแสงซินโครตรอนที่ได้เหล่านี้ จะเป็นแสงที่มีพลังงานและความเข้มสูงกว่าแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดทั่วไปทำให้สามารถนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ต่างๆ ที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำสูง




รูปภาพที่ 1 แสดงกระบวนการเกิดแสงซินโครตรอน (1) electron source, (2) linear accelerator (LINAC), (3) booster ring, (4) storage ring, (5) beamline และ (6) experimental endstation [3]

เนื่องจากแสงซินโครตรอนมีพลังงานที่สูงมาก จึงมีความสามารถทะลุทะลวงได้ดีกว่าพลังงานแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานทั่วๆ ไป ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อพัฒนาในงานด้านต่างๆได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในงานสร้างผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่มีความละเอียดและซับซ้อน ในทางการแพทย์ งานด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รวมไปถึงงานด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์และพิสูจน์คุณสมบัติของสารตัวอย่างร่วมกับเทคนิคต่างๆ โดยการใช้แสงซินโครตรอนเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การใช้ทดแทนแหล่งกำเนิด X-ray ในเทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy ทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ในช่วงพลังงานที่กว้างมากขึ้น ตั้งแต่ infrared จนถึงช่วง hard X-ray [4] หรือการใช้แสงซินโครตรอนร่วมกับเทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy (FTIR) จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูง (resolution) ซึ่งจะแสดงผลที่มีความชัดเจนมากกว่าการใช้

แหล่งกำเนิดแสงแบบธรรมดา และจากการที่แสงซินโครตรอนนี้ มีพลังงานที่สูงกว่าแหล่งกำเนิดแสงแบบธรรมดาถึง 100-1,000 เท่า จะส่งผลให้ signal to noise ratio มีค่าลดลง ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วย[5] นอกจากนี้ ยังพบว่ามีการนำแสงซินโครตรอนไปประยุกต์ใช้งานด้านนิติวิทยาศาสตร์เพื่อประโยชน์ในการสืบสวนหาข้อเท็จจริงในคดีต่างๆ การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานเพื่อใช้เป็นพยานวัตถุในการดำเนินคดีทางกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม เพื่อนำไปสู่บุคคลที่กระทำความผิดและมีส่วนช่วยแก้ไขหรือลดปัญหาทางด้านอาชญากรรม การเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์ หรือปัญหายาเสพติด เป็นต้น ตัวอย่างของงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น การตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง และเขม่าดินปืนในสถานที่เกิดเหตุ การวิเคราะห์หาสารพิษปนเปื้อนและองค์ประกอบแปลกปลอมในพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ดังนั้นในการนำแสงซินโครตรอนที่มีพลังงานสูงนี้มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ จะก่อให้เกิดการพัฒนาที่ส่งผลดีต่อชุมชน สังคม และประเทศต่อไป

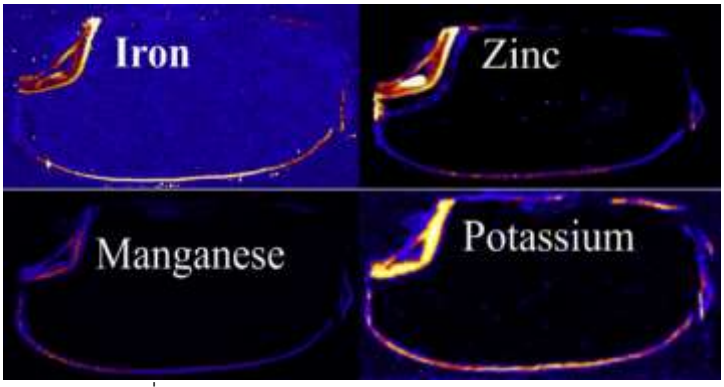
**การประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**

ในปัจจุบัน การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้นำแสงซินโครตรอนมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ ได้นำแสงซินโครตรอนมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของโมเลกุลเป้าหมายที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต เช่น เชื้อไวรัสและแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เนื้อเยื่อและอวัยวะที่มีการทำงานผิดปกติ เป็นต้น ในงานด้านเทคโนโลยีเภสัชกรรมที่ต้องการพัฒนายาและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันและรักษาโรค [6] นอกจากนี้ในงานวิจัยทางการแพทย์ ได้รายงานการใช้แสงซินโครตรอนไว้ เช่น ในปี ค.ศ. 2010 Qi และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้นผมของผู้ป่วยโรคมะเร็งกระเพาะอาหารกับคนปกติ โดยใช้เทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy และ imaging ด้วยแสงซินโครตรอน พบว่า คนปกติกับผู้ป่วยโรคมะเร็งนั้นมีปริมาณของไขมันและพันธะฟอสเฟตบนเส้นผมแตกต่างกัน ใน ค.ศ. 2014 Wood และคณะ [8] ได้ใช้แสงซินโครตรอนร่วมกับเทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy เพื่อศึกษาความผิดปกติของสายดีเอ็นเอและการสะสมของไขมันในเซลล์ต่อมลูกหมาก เพื่อป้องกันการเกิดเนื้อร้ายที่จะนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง

ในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมที่ได้นำแสงซินโครตรอนมาประยุกต์ใช้ เช่น ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกล ได้นำแสงซินโครตรอนมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของเครื่องบิน เพื่อให้สามารถทนต่อความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งสามารถนำมาใช้พัฒนาเพื่อผลิตหน้าจออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรศัพท์มือถือ หน้าจอโทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้ใช้แสงซินโครตรอนในการพัฒนากระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตช็อกโกแลต การผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารประเภททอดหรืออบกรอบ เป็นต้น และในอุตสาหกรรมเกษตรใช้แสงซินโครตรอนในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและสารปนเปื้อนต่างๆ ในดินหรือผลผลิตทางการเกษตร เช่น การวิเคราะห์แร่ธาตุและสารอาหารในเมล็ดข้าว การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ดังนี้ ในปี ค.ศ. 2016 Reinke และคณะ [9] ใช้เทคนิค X-ray microtomography ร่วมกับการใช้แสงซินโครตรอน เพื่อศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบต่างๆ ในระดับจุลภาคของช็อกโกแลต เพื่อตรวจพิสูจน์ลักษณะของช่องว่างภายในและการแตกหักของ

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 3 Number 5 September– October2016 (ISSN 2408 – 1248)

ช็อกโกแลต ที่นำไปสู่ปัญหาการละลายของช็อกโกแลตซึ่งเป็นปัญหาหลักในกระบวนการผลิตของช็อกโกแลต ในปี ค.ศ. 2016 Torley และคณะ [10] ได้ใช้แสงซินโครตรอนร่วมกับเทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy ในการศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการหุงข้าวอย่างไรเพื่อให้สารอาหารเช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และโพแทสเซียม ยังคงมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวที่มิได้ผ่านการหุง สามารถแสดงผลจากการทดลองได้ดังรูปที่ 2




รูปภาพที่ 2 แสดงความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ในข้าว [8]

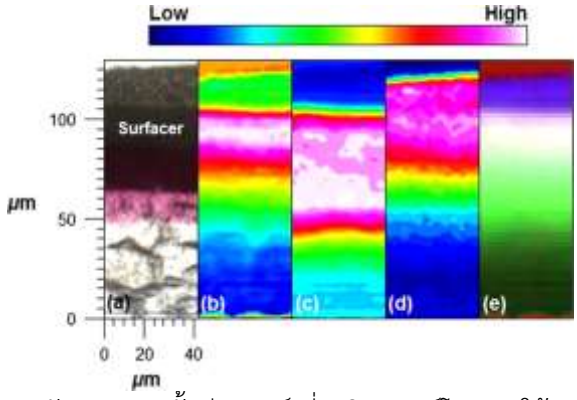
ในปี ค.ศ. 2016 Samarasingha และคณะ [11] ได้ใช้เทคนิค powder synchrotron diffraction และ X-ray absorption spectroscopy ในการศึกษาการจัดเรียงตัวของแคตไอออน และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเรียงของสารประกอบเชิงซ้อน $LiMn_{1.5}Ni_{0.5}O_4$ ในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ซึ่งพบว่าส่งผลต่อการใช้งานและการนำมาใช้งานซ้ำ และในปีเดียวกัน Korsunsky และคณะ [12] ได้นำแสงซินโครตรอนใช้งานร่วมกับเทคนิค X-ray diffraction เพื่อศึกษาการบิดงอของ Magnesium alloy ชนิด AZ31B ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำไปใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นได้ยกตัวอย่างที่ทำให้เห็นถึงประโยชน์ของการนำแสงซินโครตรอนมาใช้พัฒนางานในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

**การประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในด้านนิติวิทยาศาสตร์**

การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งในทุกขั้นตอนของกระบวนการยุติธรรมซึ่งวิธีหรือเทคนิคที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์นั้นจะต้องมีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในระดับสูง เนื่องจากพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้ระบุบุคคลที่กระทำความผิดในคดีอาชญากรรม หรือมีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นๆ ได้ และอาจทำให้เกิดการระบุตัวบุคคลนี้เกิดความผิดพลาดได้ ถ้าเทคนิคหรือวิธีที่ใช้นั้นไม่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเพียงพอ ดังนั้นเทคนิคและเครื่องมือที่มีความทันสมัย สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงสุด จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

การใช้แสงซินโครตรอนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อตรวจพิสูจน์หลักฐานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่สามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น งานวิจัยทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่ให้ความสนใจและนำแสงซินโครตรอนมาใช้ในการวิเคราะห์และตรวจพิสูจน์หลักฐาน อาทิเช่น ในปี ค.ศ. 2008 Suzuki และคณะ [13] ได้ศึกษาองค์ประกอบที่เป็นแร่ธาตุบนชิ้นส่วนของกระจกที่ขนาดเล็กมาก ที่ตรวจพบจากที่เกิดเหตุที่ถูกทำลายโดยผู้ไม่ประสงค์ดี โดยวิธีวิเคราะห์หาชนิดของแร่ธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence

spectroscopy โดยแสงซินโครตรอนเป็นแหล่งพลังงาน ใน ค.ศ. 2011 Blackledge และคณะ [14] ได้ศึกษาวัตถุพยานที่มีความวาวจากเครื่องสำอาง โดยได้ศึกษาสี ขนาด และรูปร่างของวัตถุเครื่องสำอางนั้น ด้วยเทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy ร่วมกับแสงซินโครตรอน เพื่อใช้เป็นวัตถุพยานประกอบการสืบหาตัวบุคคลที่กระทำความผิด ใน ค.ศ. 2012 Nakai และคณะ [15] ได้ศึกษาเพื่อหาโลหะหนักที่แตกต่างกันในตัวอย่างของดินตะกอนจากเมือง Kofu และ Chiba ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งพบว่าตัวอย่างดินตะกอนที่มาจากเมือง Kofu จะมีลักษณะตะกอนดินดาน แต่ดินตัวอย่างที่มาจากเมือง Chiba มีลักษณะเป็นตะกอนดินภูเขาไฟ โดยในการศึกษาได้เลือกใช้เทคนิค X-ray powder diffraction และ X-ray fluorescence spectroscopy ร่วมกับแสงซินโครตรอน ซึ่งพบว่าเทคนิคที่ใช้ร่วมกันนี้สามารถนำมาพัฒนาใช้กับการตรวจหาองค์ประกอบของดินที่แตกต่างกันได้ดี ใน ค.ศ. 2014 Lewis และคณะ [5] ได้ใช้เทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy ร่วมกับแสงซินโครตรอน เพื่อใช้ศึกษาหาองค์ประกอบของสีเคลือบรถยนต์ของรถยนต์ที่มียี่ห้อ รุ่น และสถานที่ผลิตแตกต่างกัน โดยศึกษาเพื่อรวบรวมเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการสืบค้นเพื่อเปรียบเทียบกับสีของรถยนต์ที่อาจตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุ เพื่อใช้ระบุตัวบุคคลที่เกี่ยวข้องในคดีอาชญากรรมที่มีรถยนต์ร่วมด้วย หรืออาจใช้เป็นข้อมูลประกอบการสืบสวนของเจ้าหน้าที่ต่อไป จากรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของการกระจายตัวขององค์ประกอบของสีเคลือบรถยนต์ในชั้นสีต่างๆ




รูปภาพที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของชั้นสีรถยนต์ ที่ถูกวิเคราะห์โดยการใช้แสงซินโครตรอน [14]

และในปีเดียวกัน Kawai [16] ได้รายงานการใช้แสงซินโครตรอนร่วมกับเทคนิค X-rayfluorescence spectroscopy เพื่อวิเคราะห์หาสารหนูในเชิงปริมาณและคุณภาพจากตัวอย่างภาชนะที่ใช้ในการปรุง ในปี ค.ศ. 2011 Cervelli และคณะ [17] ได้ศึกษาการสร้างภาพถ่ายของลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ โดยใช้แสงซินโครตรอนร่วมกับเทคนิค fourier transform infrared microspectroscopy X-ray fluorescence spectroscopy X-ray absorption structure และ phase contrast microradiography จากการสร้างภาพถ่ายของลายนิ้วมือแฝง ด้วยเทคนิคนี้ภาพถ่ายที่สร้างได้นี้มีคุณภาพดีเพียงพอที่จะใช้ในการตรวจเอกลักษณ์บุคคลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยไม่ถูกรบกวนจากสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ และในปีเดียวกันนี้ Richter [18] ได้เขียนบทความเรื่องการตรวจพิสูจน์ความจริงจากพยานหลักฐานที่เก็บได้ในเหตุการณ์ที่หญิงชาวออสเตรเลียเสียชีวิต

จากงานวิจัยและการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการนำแสงซินโครตรอนมาประยุกต์ใช้งานตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิคและวิธีให้ศักยภาพที่สูงขึ้น พร้อมๆ ไปกับการพัฒนาเทคนิคการตรวจพิสูจน์ให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือในขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการยุติธรรมนั่นเอง

**สรุป**

แสงซินโครตรอนได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายมาก เนื่องจากการพัฒนานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งในด้านสาธารณสุข สาธารณูปโภคและความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ในขณะที่การพัฒนาทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยเฉพาะในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการยุติธรรมที่ต้องมีการตรวจพิสูจน์ความจริง เพื่อระบุตัวของบุคคลที่เกี่ยวข้องหรือกระทำความผิดในคดีอาชญากรรม หรือคดีแพ่ง ให้มีความถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้การพัฒนาทั้ง 2 ด้านที่กล่าวมาแล้ว ผู้เขียนยังเชื่อว่าแสงซินโครตรอนยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในการนำไปใช้พัฒนาด้านต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางต่อไป

**เอกสารอ้างอิง**

**ภาษาต่างประเทศ**

Bjoera Seipel. (2011). “Electromagnetic waves.” Lecture Notes to Electromagnetic Waves for General Physics 203, college of liberal arts & sciences, Portland state university.

Geloni, G., Kocharyan, V., Saldin E. (2014). “Brightness of synchrotron radiation from undulators and bending magnets.” **Journal of Synchrotron Radiation** 22: 288–316.

Kempson, Ivan. M., Kirkbride, K. Paul., Skinner, William. M., Coumbaros, J. (2005). “Applications of synchrotron radiation in forensic trace evidence analysis.” **Talanta** 67: 286–303.

Lewis, R. (1997). “Medical applications of synchrotron radiation X-rays.” **Physics in Medicine and Biology** 42: 1213–1243.

Maric, M., Bronswijk, W, V., Lewis, Simon, W., Pitts, Kari. (2014). “Synchrotron FTIR characterization of automotive primer surfacer paint coatings for forensic purposes.” **Talanta** 118: 156–161.

Longo R. (2016). “Current studies and future perspectives of synchrotron radiation imaging trials in human patients.” **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A** 809: 13–22.

Wang, X., Qi, Z., Liu, X., Wang, S., Li, C., Liu, G., Xiong, Y., Li, T., Tao, J., Tian, Y. (2010). “The comparison of hair from gastric cancer patients and from healthy persons studied by infrared microspectroscopy and imaging using synchrotron radiation.” **Cancer Epidemiology** 34: 453–456.

Lipiec, E., Bambery, Keith R., Heraud, P., Hirschmugl, C., Lekki, J., Kwiatek, Wojciech M., Tobin, Mark J., Vogel, C., Whelan, D., Wood, Bayden R. (2014). "Synchrotron FTIR shows evidence of DNA damage and lipid accumulation in prostate adenocarcinoma PC-3 cells following proton irradiation." **Journal of Molecular Structure**. 1073: 134–141.

Reinke, Svenja, K., Wilde, F., Kozhar, S., Beckmann, F., Vieira, J., Heinrich, S., Palzer, S. (2016). "Synchrotron X-Ray microtomography reveals interior microstructure of multicomponent food materials such as chocolate." **Journal of Food Engineering** 174: 37-46.

Oli, P., Ward, R., Adhikari, B., Mawson, J., Adhikari, R., Wess, T., Pallas, L., Spiers, K., Paterson, D., Torley, P. (2016). "Synchrotron X-ray Fluorescence Microscopy study of the diffusion of iron, manganese, potassium and zinc in parboiled rice kernels." **LWT – Food Science and Technology** 71: 138-148.

Samarasingha, Pushpaka, B., Sottmann, J., Margadonna, S., Emerich, H., Nilsen, O., Fjellvåg, H. (2016). "*In situ* synchrotron study of ordered and disordered $LiMn_{1.5}Ni_{0.5}O_4$ as lithium ion battery positive electrode." **Acta Materialia** 116: 290-297.

Zhang, H., Fong, K, S., Song, X., Ying, S., Salvati, E., Sui, T., Korsunsky M. Alexander. (2016). "Synchrotron X-ray Diffraction Analysis of Bending Strains in Magnesium Alloy AZ31B Processed by Severe Plastic Deformation." In **the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, March 16 – 18, 2016, Hong Kong, proceedings,** Vol II.

Nakanishi, T., Nishiwaki, Y., Miyamoto, N., Shimoda, O., Watanabe, S., Muratsu, S., Takatsu, M., Terada, Y., Suzuki, Y., Kasamatsu, M., Suzuki, S. (2008). "Lower limits of detection of synchrotron radiation high-energy X-ray fluorescence spectrometry and its possibility for the forensic application for discrimination of glass fragments." **Forensic Science International**. 175: 227–234.

Vernoud, L., Bechtel, Hans A., Martin, Michael C., Reffner, John A., Blackledge, Robert D. (2011). "Characterization of multilayered glitter particles using synchrotron FT-IR microscopy." **Forensic Science International** 210: 47–51.

Bong, Willy S. K., Nakai, I., Furuya, S., Suzuki, H., Abe, Y., Osaka, K., Matsumoto, T., Itou, M., Imai, N., Ninomiya, T. (2012). "Development of heavy mineral and heavy element database of soil sediments in Japan using synchrotron radiation X-ray powder diffraction and high-energy (116 keV) X-ray fluorescence analysis 1. Case study of Kofu and Chiba region." **Forensic Science International** 220: 33–49.

Kawai J. (2014). “Forensic analysis of arsenic poisoning in Japan by synchrotron radiation X-ray fluorescence.” **X-Ray Spectrometry** 43: 2–12.

Cervelli, F., Carratoa, S., Matteib, A., Jerianc, M., Benevolid, L., Mancinid, L., Zaninid, F., Vaccarid, L., Perucchid, A., Aquilantid, G. (2013). “Imaging using synchrotron radiation for forensic science.” In **Image Processing: Algorithms and Systems IX, January 23, 2011, California, proceedings**, 7870.

Richter, Viviane. (2016). **Synchrotron helps clear up cold case file**. Accessed July 23. Available from https://cosmosmagazine.com/technology/synchrotron-helps-clear-cold-case-file/