วารสาร
Atoms for Peace Journal
ปรมาณูเพื่อสันติ
ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2563

Nuclear & Radiation Safety and Security

บก. เปิดเล่ม

วารสารปรมาณูเพื่อสันติ ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2563 เล่มนี้ ขอนำเสนอในธีม **“Nuclear & Radiation Safety and Security”** หรือ ความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสูงสุดในการดำเนินงานของหน่วยงานกำกับดูแลฯ และหน่วยงานที่ใช้ประโยชน์ด้านนิวเคลียร์และรังสี ปส. จึงมุ่งเน้นสนับสนุนและเสริมสร้างความตระหนักด้านความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยในการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์และรังสี ซึ่งจะส่งผลให้สามารถขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านนิวเคลียร์และรังสีของประเทศให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อีกทั้ง วารสารเล่มนี้ยังเป็นวารสารเล่มแรกที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หรือ ปส. จัดทำในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-journal) แทนการตีพิมพ์วารสารแบบรูปเล่ม โดยสมาชิกจะยังคงสามารถติดตามเพื่อรับทราบข้อมูลข่าวสารและสืบค้นรายละเอียดเกี่ยวกับวารสารปรมาณูเพื่อสันติและสิ่งพิมพ์ประเภทต่าง ๆ ของ ปส. ได้ที่เว็บไซต์ **www.oap.go.th > คลังความรู้ > สื่อเผยแพร่** แต่ยังคงไว้ซึ่งเนื้อหาเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และรังสีที่น่าสนใจ

บรรณาธิการ

จัดทำโดย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ที่ปรึกษา

1. นายเพิ่มสุข สัจจาภิวัฒน์ เลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
2. นางสุชิน อุดมสมพร รองเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
3. นางเพ็ญนภา กัญชนะ รองเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

คณะทำงานพิจารณาเอกสารวิชาการและสื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (กองบรรณาธิการ)

1. นางสุชิน อุดมสมพร
   รองเลขาธิการ รักษาราชการแทนผู้อำนวยการกองยุทธศาสตร์และแผนงาน
2. นางสาวอัมพิกา อภิชัยบุคคล
   ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านพัฒนาระบบบริหารจัดการด้านพลังงานปรมาณู
3. นางวราภรณ์ วัชรสุรกุล
   ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านความปลอดภัยทางนิวเคลียร์
4. นายพิสิฏฐ์ สุนทราภัย
   ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านความปลอดภัยทางรังสี
5. นายอารักษ์ วิทิตธีรานนท์
   รักษาการในตำแหน่งผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสี
6. นางดารุณี พีขุนทด
   นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ
7. นางสุนันทา สาวิกันย์
   นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ
8. ดร.รุจจพัน เกตุกล่ำ
   วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการพิเศษ
9. ดร.ไชยยศ สุนทราภา
   วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการ
10. นางสาวกมลพร ภักดี
    นักวิชาการเผยแพร่ชำนาญการ (เลขานุการ)
11. นางสาวนุชจรีย์ สัจจา
    นักวิชาการเผยแพร่ปฏิบัติการ (ผู้ช่วยเลขานุการ)

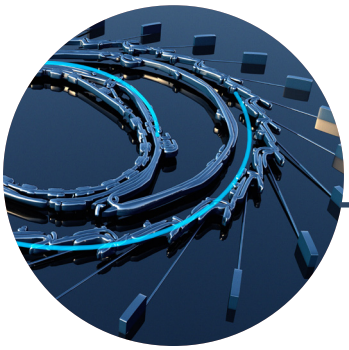
ออกแบบและพิมพ์ที่ : บริษัท อิสระดี จำกัด

Content

4 วัฒนธรรมความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี

6 ระบบการป้องกันทางกายภาพ
และการตรวจสอบสถานประกอบการทางรังสีเบื้องต้น

10 มาทำความรู้จักกับเครื่องเอกซเรย์ทางการแพทย์กันเถอะ



18 แสงซินโครตรอนกับงานวัสดุศาสตร์

22 ความรับผิดในทางอาญาตามบริบทของพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์
เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

วารสารปรมาณูเพื่อสันติจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ภารกิจและการดำเนินงานของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ รวมทั้งข่าวสาร บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ตลอดจนเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในทางเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

บรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการคัดเลือกและแก้ไขต้นฉบับทั้งเรื่องและภาพตามแต่จะเห็นสมควร โดยไม่ต้องขอความเห็นชอบจากเจ้าของเรื่องและไม่ส่งต้นฉบับคืน

ข้อคิดเห็นหรือบทความในเอกสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ซึ่งไม่มีข้อผูกพันกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติแต่อย่างใด

ผู้สนใจส่งข้อเขียน หรือข้อเสนอแนะ
สามารถติดต่อได้ที่กลุ่มส่งเสริมฝึกอบรมและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0 2596 7600 ต่อ 1113-1114, 1120-1123 โทรสาร 0 2561 3013

: pr@oap.go.th : Atoms4Peace สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
: www.oap.go.th : officeofatomsforpeace : @atomsnet

วัฒนธรรมความปลอดภัย ทางนิวเคลียร์และรังสี

ดร.พิภัทร พฤกษาโรจนกุล
วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการพิเศษ
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

“วัฒนธรรม” เป็นคำที่คุ้นหูทุกคนมาตั้งแต่เล็กจนโตเป็นอย่างมาก จนเรียกได้ว่าไม่ใช่คำศัพท์ที่แปลกใหม่ และทุกคนอยู่อย่างกลมกลืนกับสิ่งนี้ พอที่จะสามารถเรียกได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตก็ว่าได้ อาจจะเป็นคำที่ไม่ต้องอธิบายถึงความหมาย แต่ทุกคนก็จะเข้าใจไปในทางเดียวกันว่า **“วัฒนธรรม”** คือ รูปแบบของพฤติกรรม วิถี การดำเนินชีวิตและกิจกรรมระหว่างกันของมนุษย์ ตลอดจนความคิดของมนุษย์ในสังคมเดียวกัน และสิ่งเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับยุคสมัย สิ่งแวดล้อม และปัจจัยผลักดันจากทั้งภายนอกและภายในสังคม หากจะกล่าวถึงสังคมในบริบทต่าง ๆ ที่สำคัญต่อชีวิตของแต่ละคน คงจะต้องหมายรวมถึงสังคมการทำงานในลักษณะขององค์กร ซึ่งในที่นี้ก็คือ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หรือ ปส. ถึงแม้ว่าจะอธิบายไม่ได้ด้วยคำพูด แต่เชื่อว่าข้าราชการและเจ้าหน้าที่ทุกคนของ ปส. ต้องเคยรู้สึกถึงวัฒนธรรมในเรื่องต่าง ๆ ของ ปส. ไม่มากก็น้อย แต่ในฐานะที่ **ปส. มีภารกิจหลักในการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์และรังสีในประเทศ การเสริมสร้าง “วัฒนธรรมความปลอดภัย” หรือ “Safety Culture” จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการปฏิบัติหน้าที่ราชการของ ปส.** ซึ่ง ปส. จะต้องเป็นต้นแบบและมีอิทธิพลต่อวัฒนธรรมความปลอดภัยของหน่วยงานที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแล ผ่านการออกกฎระเบียบ แนวทางการปฏิบัติงาน การบังคับใช้กฎระเบียบ ตรวจสอบอย่างเข้มงวด ไม่ประนีประนอมให้กับสิ่งที่กระทบต่อความปลอดภัย รวมถึงการให้คำแนะนำต่าง ๆ การสนับสนุน ส่งเสริมวัฒนธรรมความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยของหน่วยงานกำกับดูแลเอง และหน่วยงานภายใต้การกำกับดูแลให้แข็งแกร่งขึ้น เพื่อให้การดำเนินงานด้านนิวเคลียร์และรังสีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความปลอดภัยต่อตัวผู้ปฏิบัติงาน ประชาชน และสิ่งแวดล้อม

“วัฒนธรรมความปลอดภัย” หมายถึง ลักษณะการกระทำและทัศนคติขององค์กรและบุคลากรในองค์กร ที่ได้รับการหล่อหลอมและพัฒนามาจากการให้ความสำคัญกับความปลอดภัย หลายคนอาจเข้าใจว่า วัฒนธรรมความปลอดภัยเกิดจากการกำหนดนโยบายของผู้บริหารองค์กร การกำหนดวิสัยทัศน์องค์กร หรือการจัดทำแผนปฏิบัติการระยะสั้นหรือระยะยาว แต่ในความเป็นจริงแล้ว สิ่งเหล่านี้เป็นเพียงกลไกหนึ่งในการเพาะบ่มวัฒนธรรมความปลอดภัยในองค์กร ผู้บริหารของ ปส. เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องวัฒนธรรมความปลอดภัยเป็นอย่างมาก โดยจะเห็นได้จากการริเริ่มโครงการเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัยขององค์กรร่วมกันระหว่าง ปส. และสถานประกอบการทางนิวเคลียร์และรังสี (Safety Together) ที่วางแผนเริ่มดำเนินโครงการในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 แต่จำเป็นต้องเลื่อนการดำเนินงานออกไปในปีงบประมาณหน้าเนื่องจากสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา (โควิด-19) ซึ่งโครงการนี้มุ่งหวังให้หน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัยและสถานประกอบการทางนิวเคลียร์และรังสีมีความรู้ ความเข้าใจ และจิตสำนึกด้านวัฒนธรรมความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัย โดยสามารถประเมินตนเองด้านวัฒนธรรมความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัย และนำผลการประเมินไปสู่การวางแผนพัฒนา ปรับปรุงวัฒนธรรมความปลอดภัยภายในองค์กรให้เข้มแข็ง และสามารถค้นหาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับองค์กร พร้อมทั้งกำจัดพฤติกรรมเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต่อองค์กรได้ด้วยตนเอง ตลอดจนเกิดการเสริมสร้างและพัฒนาวัฒนธรรมความปลอดภัยและวัฒนธรรมความมั่นคงปลอดภัยขององค์กรอย่างเป็นระบบ มีความต่อเนื่องอย่างยั่งยืน และสอดคล้องกับข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA)

ระบบการป้องกันทางกายภาพและการตรวจสอบสถานประกอบการทางรังสีเบื้องต้น

นางสุนันทา สาวิกันย์ นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ
นางกนกพร ธรฤทธิ์ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ปัจจุบันการก่อการร้ายด้านต่าง ๆ ถือเป็นภัยคุกคามที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจรวมถึงการก่อการร้ายโดยการนำวัสดุกัมมันตรังสีมาใช้ ดังนั้นการนำรังสีมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ นั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของการใช้วัสดุกัมมันตรังสีแล้ว เรายังต้องคำนึงถึงการจัดเก็บวัสดุกัมมันตรังสีให้มีความปลอดภัยอีกด้วย

การติดตั้งระบบการป้องกันทางกายภาพสำหรับสถานประกอบการทางรังสี (Physical Protection for Radiation Facilities) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการช่วยป้องกันเหตุการณ์ก่อการร้าย โดยระบบดังกล่าวต้องสามารถตรวจจับการบุกรุกของบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตในการเข้าพื้นที่รังสี และสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับรังสีได้ทันท่วงที ระบบการป้องกันทางกายภาพ (Physical Protection System, PPS) จึงถือได้ว่าเป็นระบบที่มีความสำคัญในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของสถานประกอบการทางรังสีเพื่อป้องกันการก่อการร้าย การก่อวินาศกรรมหรือการโจรกรรมจากผู้ก่อการร้าย ดังนั้น การติดตั้งระบบการป้องกันทางกายภาพนี้จะต้องมีการประเมินภัยคุกคามและการจัดการความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น โดยข้อมูลที่ได้จากการประเมินต้องถูกนำมาออกแบบการป้องกันทางกายภาพให้สอดคล้องกับวัสดุกัมมันตรังสีที่มีไว้ใช้งาน

ทั้งนี้ ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ได้มีข้อแนะนำในการจัดทำแผนสนับสนุนความมั่นคงแบบบูรณาการ โดยแผนการดำเนินงานต้องครอบคลุมรายละเอียด ดังนี้

- กรอบกฎหมายและข้อบังคับ (Legislative and Regulatory Framework)
- การออกแบบภัยคุกคาม (Design Basic Threats)
- การประเมินภัยคุกคามและความเสี่ยง (Threat and Risk Assessment)
- การดำเนินการป้องกัน (Prevention)
- การตรวจจับผู้บุกรุก (Detection)
- การตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Response)
- แผนที่นำมาใช้มีการพัฒนาแบบยั่งยืน (Sustainability)

(ทั้งนี้ เอกสารเกี่ยวกับการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี สามารถค้นหาและดาวน์โหลดเอกสารได้ที่ https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc/225/revision-5 ซึ่งตัวอย่างเอกสารมีดังนี้)

ดังนั้น เมื่อผู้ประกอบการต้องการนำรังสีมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ผู้ประกอบการจะต้องติดตั้งระบบการป้องกันทางกายภาพของสถานประกอบการ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงความมั่นคงปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561 เมื่อผู้ประกอบการมีการติดตั้งระบบดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ประกอบการต้องยื่นเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบกับชุดคำขออนุญาตในการนำรังสีมาใช้งานต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) โดย ปส. เป็นหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่ในการกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี เมื่อ ปส. ได้รับเอกสารชุดคำขออนุญาตฯ จะดำเนินการประเมินชุดคำขออนุญาตฯ พร้อมทั้งจัดส่งพนักงานเจ้าหน้าที่ไปดำเนินการตรวจสอบสถานประกอบการ โดยจะนำผลการตรวจสอบมาประเมินความปลอดภัยและความมั่นคงปลอดภัย เพื่อประกอบการพิจารณาในการออกใบอนุญาตฯ

ในการตรวจสอบระบบการป้องกันทางกายภาพ ปส. จะดำเนินการตรวจสอบเอกสารที่ผู้ประกอบการยื่นขออนุญาตฯ และตรวจสอบการดำเนินการตามข้อกำหนดที่ระบุตามเงื่อนไขการขอรับใบอนุญาตฯ ทั้งนี้ เงื่อนไขในการขอรับใบอนุญาตฯ ต้องรวมถึงมาตรการป้องกันทางกายภาพของวัสดุกัมมันตรังสี การตรวจสอบ ณ สถานประกอบการ ซึ่งจะตรวจสอบโปรแกรมการใช้งานและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ของระบบป้องกันทางกายภาพ การจัดทำวัฒนธรรมความมั่นคงปลอดภัยทางนิวเคลียร์ของสถานประกอบการและการนำไปใช้งาน การมีระบบการรายงานเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมทั้งตรวจสอบโปรแกรมการฝึกอบรมสำหรับเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย ทั้งนี้ ประเภทของการตรวจสอบ (Types of Inspection) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเป็นประจำทุกปี (Planned Inspection) โดยแผนนี้จะรวมโปรแกรมการตรวจสอบและแผนการตรวจสอบ ซึ่งแผนการตรวจสอบอาจจัดทำเป็นแบบตารางที่มีข้อมูลเชื่อมโยงกันกับข้อมูลในใบอนุญาตและภารกิจของสถานประกอบการที่ต้องการตรวจสอบ การตรวจสอบจะมีทั้งการแจ้งให้ทราบล่วงหน้าหรือไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้าก็ได้ และการตรวจสอบตามเหตุการณ์ (Reactive Inspection) จะตรวจสอบสถานประกอบการที่มีข้อสงสัยแบบมีนัยสำคัญ เช่น เกิดเหตุการณ์ความเสียหายที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า

การตรวจสอบตามแผนที่วางไว้ พนักงานเจ้าหน้าที่ต้องมีการวางแผนการตรวจสอบ โดยมีการทบทวนกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ ดำเนินการกำหนดช่วงเวลาของการตรวจสอบที่ชัดเจนและครอบคลุมระยะเวลาการตรวจสอบของครั้งก่อน กำหนดประเภทของการตรวจสอบ และหากเป็นการตรวจสอบแบบบูรณาการควรมีการประสานงานกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย โดยทีมตรวจสอบจะต้องจัดเตรียมเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสถานประกอบการ นั้น ๆ มีการประชุมทีมฯ เตรียมการเกี่ยวกับขั้นตอนการตรวจสอบ มีการทบทวนข้อกำหนดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ตรวจสอบข้อมูลภัยคุกคาม เตรียมรายการการตรวจสอบ (Checklists) ทบทวนการออกแบบระบบป้องกันทางกายภาพและประวัติการตรวจสอบก่อนหน้า (เช่น ข้อแนะนำในการนำไปปฏิบัติต่าง ๆ) เตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจสอบ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการเข้าพื้นที่ของสถานประกอบการ และแจ้งเตือนไปยังสถานประกอบการเพื่อรับการตรวจสอบ

วิธีการตรวจสอบมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- **การเข้าพื้นที่** ต้องมีการประชุมร่วมกันระหว่างทีมตรวจสอบกับผู้นำตรวจที่ได้รับมอบหมายจากสถานประกอบการ เพื่อแนะนำภารกิจการตรวจสอบและทีมตรวจสอบ โดยหัวหน้าทีมตรวจสอบต้องชี้แจงบทบาทความรับผิดชอบของทีมตรวจสอบ ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ ขอบเขตของการตรวจสอบ ติดตามผลการดำเนินการจากข้อแนะนำในรายงานการแจ้งผลตรวจสอบครั้งก่อน
- **เทคนิคการตรวจสอบ** ตรวจสอบและตรวจพิสูจน์ทราบเอกสารต่าง ๆ ของผู้ประกอบการ การลงบันทึกต่าง ๆ โดยการตรวจสอบอาจดำเนินการโดยการสัมภาษณ์และพูดคุยกับผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง หรือบุคลากรของสถานประกอบการ หรือตรวจสอบจากการสังเกตโดยตรง การเข้าเยี่ยมชมพื้นที่ปฏิบัติงาน และการสุ่มตรวจวัดและทดสอบ

การสรุปผลการตรวจสอบ เมื่อตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทีมตรวจสอบจะต้องมีการสรุปผลการตรวจสอบ โดยแจ้งให้ผู้รับอนุญาตทราบเกี่ยวกับผลการตรวจสอบ ข้อสรุปทั่วไปเกี่ยวกับการปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ และหากมีข้อปรับปรุงแก้ไขต้องแจ้งกำหนดระยะเวลาเพื่อดำเนินการแก้ไขให้แล้วเสร็จและถูกต้อง

รายงานการตรวจสอบ ทีมตรวจสอบจะต้องจัดทำรายงานการตรวจสอบเกี่ยวกับข้อสรุปทั่วไปของการปฏิบัติงาน แสดงรายละเอียดของการตรวจสอบ ผลการตรวจสอบและข้อสังเกตต่าง ๆ ในระหว่างการตรวจสอบ ข้อแนะนำเพิ่มเติม หรือข้อปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างถูกต้องและต้องกำหนดระยะเวลาของการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขให้แล้วเสร็จให้ผู้ประกอบการรับทราบด้วย

จากรายละเอียดข้างต้นจะเห็นได้ว่าภารกิจในการกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีไม่ได้จบลงเพียงการให้ใบอนุญาตครอบครองหรือใช้เท่านั้น การตรวจสอบตามระยะเวลาที่ผู้ประกอบการถือครองใบอนุญาต เป็นอีกภารกิจที่สร้างความมั่นใจต่อประชาชนได้ว่า ปส. มุ่งมั่นสร้างความปลอดภัยและปกป้องประชาชนและสิ่งแวดล้อมเพื่อไม่ให้รับผลกระทบที่อาจจะเกิดจากการดำเนินกิจกรรมทางนิวเคลียร์และรังสี ทั้งนี้ รายละเอียดการตรวจสอบอุปกรณ์เฉพาะทางจะมีรายละเอียดการตรวจสอบแยกเป็นการเฉพาะต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารประกอบการฝึกอบรม IAEA International Training Course on Physical Protection Inspection at Nuclear Facilities, 7-11 ตุลาคม 2562, เมืองออบนินสค์ สหพันธรัฐรัสเซีย.

มาทำความรู้จักกับ เครื่องเอกซเรย์ทางการแพทย์กันเถอะ

นางสาวเกศรินทร์ สายตา นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการ
นางสาวหทัยกาญจน์ กุหลาบเสาวคนธ์ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

“เครื่องเอกซเรย์” หรือเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์จัดเป็นเครื่องกำเนิดรังสี ตามนิยามในพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 มาตรา 4 ความว่า *“เครื่องกำเนิดรังสี”* หมายความว่า เครื่องหรือระบบอุปกรณ์เมื่อมีการให้พลังงานเข้าไปแล้วจะก่อให้เกิดการปลดปล่อยรังสีออกมา และอุปกรณ์ตามที่กำหนดในกฎกระทรวงที่ใช้ประกอบเป็นเครื่องกำเนิดรังสี

ในการใช้งานเครื่องกำเนิดรังสีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยทางรังสี ผู้ใช้งานจะต้องมีศักยภาพประกอบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่

หนึ่งในองค์ประกอบของแผนป้องกันอันตรายจากรังสีคือ กฎระเบียบ มาตรการความปลอดภัยทางรังสี และขั้นตอนวิธีปฏิบัติงานที่เหมาะสมกับชนิด ประเภท และลักษณะการใช้งานของเครื่องกำเนิดรังสี ซึ่งหากมีกฎระเบียบ มาตรการความปลอดภัยทางรังสีที่เหมาะสมแล้ว จำเป็นต้องมีการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานด้านการป้องกันและความปลอดภัยทางรังสีด้วย โดยถือเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการป้องกันอันตรายจากรังสีที่มีความสำคัญมาก การฝึกอบรมจึงควรได้รับการปรับให้เหมาะสมกับระดับของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นตามประเภทของเครื่องกำเนิดรังสี ณ สถานประกอบการทางรังสีนั้น ๆ เพื่อเป็นการสร้างความรู้ ความเข้าใจ รวมทั้งเป็นการสร้างจิตสำนึกให้มีความตระหนักตลอดเวลาที่มีการปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดวัฒนธรรมองค์กรเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสีและเป็นการเพิ่มทักษะในการปฏิบัติงาน เพราะหากผู้ปฏิบัติงานทางรังสีขาดความรู้ความเข้าใจ หรือละเลยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานกับรังสีแล้ว ก็อาจได้รับอันตรายได้ ถึงแม้ว่าจะมีระบบป้องกันอันตรายจากรังสีที่ดีแล้วก็ตาม

ประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากเครื่องกำเนิดรังสีในด้านต่าง ๆ อาทิ การแพทย์ อุตสาหกรรม การศึกษาวิจัย และการรักษาความปลอดภัย

ในส่วนของเครื่องเอกซเรย์ทางการแพทย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน คือ เครื่องกำเนิดรังสีเพื่อการรักษาโรค และเครื่องกำเนิดรังสีเพื่อการวินิจฉัยโรค รายละเอียดดังนี้

1. เครื่องเอกซเรย์เพื่อการรักษาโรค ประกอบด้วย

1.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดตื้น (Superficial X-ray Therapy Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้สำหรับรักษามะเร็งที่ผิวหนังชนิดตื้น หรือแผลเป็นเนื้อนูน (Keloid) หรืออาจจะใช้สำหรับศัลยกรรมตกแต่งก็สามารถทำได้ ซึ่งลักษณะการใช้งานเครื่องจะฉายรังสีเอกซ์ลงบนผิวหนังในตำแหน่งที่วางแผนไว้ โดยจะใช้อุปกรณ์จำกัดลำรังสี (Collimator) ร่วมด้วยขณะทำการฉายรังสี เพื่อจำกัดให้ลำรังสีมีขนาดใกล้เคียงและครอบคลุมกับรอยโรคนั้น ๆ สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จำกัดลำรังสีร่วมด้วย เนื่องจากเวลาในการฉายรังสีแก่ผู้ป่วยแต่ละรายนั้นค่อนข้างนาน ประมาณ 3-5 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความลึกของรอยโรค ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นคือ อาการบาดเจ็บที่ผิวหนัง (Skin Injury) หรือเนื้อเยื่อที่อยู่ข้างเคียงได้ โดยเครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดตื้นนี้มีกำลังสูงสุดอยู่ระหว่าง 40-120 กิโลโวลต์

รูปที่ 1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดตื้น
(ที่มา: โรงพยาบาลผิวหนังอโศก)

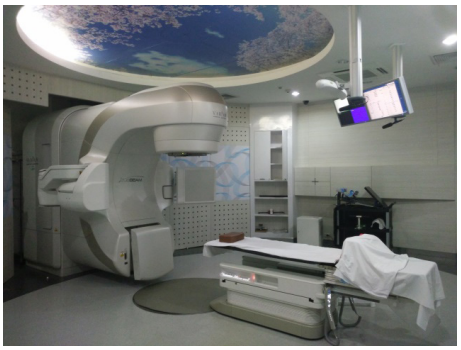
1.2 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดลึก (Orthovoltage หรือ Deep X-ray Therapy Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์สำหรับรักษามะเร็งที่อยู่ลึกไม่เกิน 2 เซนติเมตร มีกำลังสูงสุดอยู่ระหว่าง 150-400 กิโลโวลต์ ตัวอย่างเช่น การรักษามะเร็งเต้านม เป็นต้น แต่เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดลึกมีข้อเสียหลายประการ เช่น ไม่สามารถใช้รักษามะเร็งที่อยู่ลึกเกินกว่า 2 เซนติเมตรได้ ปริมาณรังสีสูงสุดจะอยู่ที่ผิวหนัง และมีการดูดกลืนรังสีที่กระดูก เป็นต้น ปัจจุบันจึงไม่เป็นที่นิยมใช้เพื่อการรักษามะเร็ง

รูปที่ 2 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดลึก
(https://jeccr.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-9966-27-57)

1.3 เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น (Linear Accelerator)

เป็นเครื่องฉายรังสีเพื่อรักษามะเร็งเป็นส่วนใหญ่ ด้วยคุณสมบัติของเครื่องสามารถเลือกใช้ประโยชน์ได้สองรูปแบบ คือ รูปแบบแรกใช้ลำอิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาคโดยตรง ส่วนรูปแบบที่สองต้องใช้เป้า (Target) เข้าไปขวางลำอิเล็กตรอนจึงจะเกิดเป็นรังสีเอกซ์ออกมา



รูปที่ 3 เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น
(ที่มา : ภาพซ้ายมือโรงพยาบาลจุฬาภรณ์
ภาพขวามือโรงพยาบาลศิริราช ปิยมหาราชการุณย์)

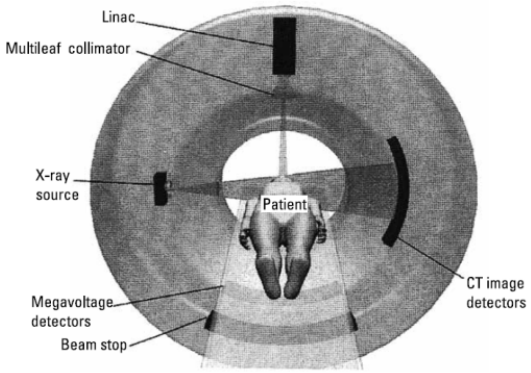
ประเทศไทยในปัจจุบันมีการครอบครองหรือใช้เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้นที่มีกำลังเริ่มตั้งแต่ 6 10 15 และสูงสุดที่ 18 เมกะโวลต์ ซึ่งมีทั้งแบบฉายได้พลังงานเดียวและสองพลังงาน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานเครื่อง เนื่องด้วยเครื่องมีพลังงานสูงจึงทำให้รังสีที่ออกมามีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถเข้าทำลายเซลล์มะเร็งในร่างกายได้ลึกมากขึ้นและสามารถใช้สำหรับรักษามะเร็งทุกส่วนของร่างกาย โดยการฉายรังสีเอกซ์พลังงานสูงไปยังรอยโรคในร่างกายของผู้ป่วย ซึ่งลักษณะการทำงานของเครื่องจะกำหนดลำรังสีที่ออกจากเครื่องให้มีรูปร่างสอดคล้องกับรูปร่างของก้อนมะเร็ง ซึ่งลำรังสีสามารถเปิดกว้างได้ถึง 40 x 40 เซนติเมตร และสามารถฉายรังสีได้หลายทิศทางโดยการหมุนของแกนทรี (Gantry) ซึ่งในเครื่องเร่งฯ บางรุ่นจะมีเครื่องเอกซเรย์ช่วยในการกำหนดตำแหน่ง (Image-guided Positioning) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการรักษาได้มากยิ่งขึ้น

1.4 เครื่องโทโมเทอราปี (Tomotherapy)

เป็นเครื่องฉายรังสีที่พัฒนามาจากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และเครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น โดยในยุคแรกแหล่งกำเนิดรังสีของเครื่องโทโมเทอราปีนั้นประกอบด้วย 2 แหล่งกำเนิด คือ

- เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ที่มีกำลังสูงสุด 140 กิโลโวลต์ ใช้ในการสร้างภาพแบบ 3 มิติเพื่อกำหนดและตรวจสอบตำแหน่ง รวมทั้งดูกายวิภาคของรอยโรคในผู้ป่วย เช่น ระบุขนาดและรูปร่างก้อนมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการรักษามากยิ่งขึ้น

- เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น ที่มีกำลังสูงสุด 6 เมกะโวลต์ การฉายรังสีเอกซ์พลังงานสูงไปยังรอยโรค เมื่อลำรังสีออกจากเครื่องจะมีรูปร่างสอดคล้องกับรูปร่างของก้อนมะเร็ง และรังสีสามารถส่งไปยังเนื้องอกได้จากทุกมุมโดยการหมุนแกนทรี (Gantry) ได้ถึง 360 องศา แต่ปัจจุบันเครื่องโทโมเทอราปีมีข้อจำกัดคือสามารถฉายได้พลังงานเดียวและลำรังสีสามารถเปิดกว้างได้ 5 x 40 เซนติเมตร



รูปที่ 4 แสดงแผนผังองค์ประกอบหลักเครื่องโทโมเทอราปี (Hanna Samy. 2012. RF linear accelerators for medical and industrial applications. Boston/London: Artech House)

แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีแหล่งกำเนิดรังสีเพียง 1 แหล่งกำเนิด โดยที่มีกำลังสูงสุด 6 เมกะโวลต์ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการกำหนดตำแหน่ง ตรวจสอบตำแหน่ง ดูกายวิภาคของรอยโรคในผู้ป่วย และฉายเพื่อทำลายเซลล์มะเร็งได้

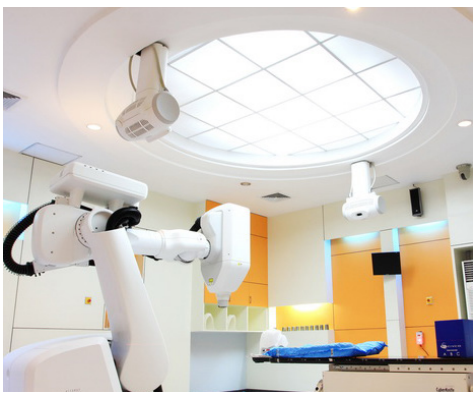
รูปที่ 5 เครื่องโทโมเทอราปี (ที่มา : สถาบันมะเร็งแห่งชาติ)

1.5 Intraoperative Radiotherapy (IORT)

เป็นเครื่องฉายรังสีในรูปแบบของลำอิเล็กตรอน กำลังสูงสุด12 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ โดยจะฉายรังสีปริมาณสูงลงบนตำแหน่งที่วางแผนไว้แก่ผู้ป่วยหลังจากที่ได้ผ่าตัดเอาก้อนมะเร็งออกไป สาเหตุที่ฉายหลังผ่าตัดเอาก้อนมะเร็งออกไป เพราะจะสามารถเห็นขอบเขตที่แน่นอนและตำแหน่งที่มีการลุกลามของรอยโรคได้ ซึ่งในการฉายรังสีนี้จะเลือกใช้อุปกรณ์จำกัดลำรังสีร่วมด้วย เพื่อจำกัดให้ขนาดลำรังสีครอบคลุมกับขนาดของรอยโรคและเป็นการลดผลกระทบต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงด้วย

1.6 เครื่องฉายรังสีไซเบอร์ไนฟ์ (Cyber Knife Machine)

เป็นเครื่องฉายรังสีซึ่งมีลำรังสีขนาดเล็กมาก เหมาะสำหรับมะเร็งที่มีก้อนขนาดเล็กและมะเร็งที่ไม่สามารถผ่าตัดออกได้ เช่น มะเร็งกระดูกสันหลัง มะเร็งปอด มะเร็งตับ มะเร็งสมองและบริเวณคอ เป็นต้น กำลังสูงสุด 6 เมกะโวลต์ เครื่องฉายรังสีชนิดนี้จะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากเครื่องฉายชนิดอื่นคือ กลไกในการหมุนของเครื่องสามารถหมุนได้ทุกทิศทาง



รูปที่ 7 เครื่องฉายรังสีไซเบอร์ไนฟ์ (https://med.mahidol.ac.th/radiology/th/radiology/th/division/radiosurgery/cyberknife-th)

รูปที่ 6 เครื่องฉายรังสีในขณะทำผ่าตัด (http://www.ohsu.edu/xd/health/services/cancer/getting-treatment/services/radiation-therapy/understanding-radiation-therapy/internal-radiation-therapy/mobetron.cfm)

1.7 เครื่องจำลองรังสีรักษา (Simulator)

กระบวนการฉายรังสีเพื่อการรักษาโรคนั้น มีขั้นตอนต่าง ๆ โดยจะเริ่มต้นจากการจำลองการรักษา การวางแผนการรักษา การตรวจสอบตำแหน่งก่อนเริ่มรักษา และการรักษาโดยการฉายรังสี ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจำลองการรักษาเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขอบเขตเพื่อจำกัดลำรังสีให้ครอบคลุมรอยโรค กำหนดบริเวณทางเข้าของลำรังสีเพื่อลดผลกระทบต่ออวัยวะที่สำคัญโดยรอบของรอยโรค และเทคนิคที่จะใช้การรักษาเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องและเหมาะสม เครื่องจำลองรังสีรักษา แบ่งเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่

1) เครื่องจำลองการรักษาแบบทั่วไป (Conventional Simulator) มีกำลังสูงสุด 120 กิโลโวลต์ มีลักษณะคล้ายกับเครื่องเอกซเรย์โดยทั่วไป เพียงแต่มีคุณลักษณะเฉพาะเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองการรักษา เช่น เตียงแบนราบเหมือนเครื่องฉายรังสี มีตัวรับภาพแบบดิจิทัล สามารถแสดงผลเป็นภาพแบบ 2 มิติบนหน้าจอได้ทันที และที่สำคัญจะต้องมีเลเซอร์ที่ผนังและเพดานห้องเพื่อใช้กำหนดจุดอ้างอิงบนตัวผู้ป่วยที่สัมพันธ์กับบริเวณที่ต้องการฉายรังสีของอวัยวะภายในตัวผู้ป่วยและผิวภายนอกตัวผู้ป่วย ซึ่งจุดอ้างอิงบนตัวผู้ป่วยนี้จะใช้เป็นจุดอ้างอิงในการจัดท่าผู้ป่วยเพื่อทำการฉายรังสีครั้งต่อไป

รูปที่ 8 เครื่องจำลองการรักษาแบบทั่วไป (ที่มา: โรงพยาบาลมะเร็งกรุงเทพ ขนาดเล็ก)

รูปที่ 9 เครื่องจำลองการรักษาแบบคอมพิวเตอร์ (https://www.itnonline.com/channel/ct-virtual-simulation)

2) เครื่องจำลองการรักษาแบบคอมพิวเตอร์ (Computed Tomography Simulator) มีกำลังสูงสุด 140 กิโลโวลต์ ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อการวินิจฉัยโรค คือ ขนาดของอุโมงค์ที่กว้างกว่าปกติ เพื่อเหมาะกับผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ยึดตรึงที่มีขนาดใหญ่ เตียงแบน และมีเลเซอร์เช่นเดียวกับเครื่องจำลองการรักษา แต่ภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จะเป็นภาพ 3 มิติ สามารถแสดงผลภาพความแตกต่างระหว่างกระดูกกับเนื้อเยื่อได้ชัดเจน มองเห็นรอยโรคที่อยู่ภายในตัวผู้ป่วยได้ทั้งแนวกว้าง ยาว และลึก อีกทั้งสามารถมองเห็นขอบเขตอวัยวะข้างเคียงเพื่อใช้ประกอบการเลือกทิศทางการเข้าของลำรังสีในกระบวนการวางแผนการรักษาต่อไป

2. เครื่องเอกซเรย์เพื่อการวินิจฉัยโรค

2.1 เครื่องเอกซเรย์วินิจฉัยทั่วไป (General Radiography X-ray Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้สำหรับถ่ายภาพทางรังสีแบบ 2 มิติและใช้ถ่ายภาพเพื่อวินิจฉัยอาการเบื้องต้นได้เกือบทุกส่วนของร่างกาย เช่น ศีรษะ ทรวงอก ช่องท้อง กระดูกสันหลัง สะโพก แขน ขา และนิ้วมือ เป็นต้น ซึ่งมีหลักการสร้างภาพคือ เมื่อรังสีเอกซ์จากเครื่องเอกซเรย์เดินทางผ่านอากาศมายังอวัยวะที่เป็นเป้าหมาย รังสีจะถูกดูดกลืนที่อวัยวะที่เป็นเป้าหมายและเนื้อเยื่อใกล้เคียง โดยกระดูกที่มีความหนาแน่นมากจะดูดกลืนรังสีได้มาก ส่วนที่มีความหนาแน่นน้อย เช่น ปอด ตับ เป็นต้น จะดูดกลืนรังสีได้น้อยกว่า เมื่อรังสีผ่านอวัยวะเป้าหมายแล้ว รังสีที่เหลือจะผ่านตกไปยังตัวรับภาพซึ่งทำหน้าที่แปลผล ทำให้เกิดภาพถ่ายรังสีขึ้นโดยส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อที่มีความหนาแน่นน้อย ภาพถ่ายรังสีจะปรากฏเป็นสีดำ เพราะรังสีผ่านได้มากกว่า กระดูกที่มีความหนาแน่นมากภาพถ่ายรังสีจะปรากฏเป็นสีขาว ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 150 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1) เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary Radiography)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ติดตั้งและใช้งานประจำห้องเอกซเรย์ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถป้องกันรังสีได้ หลอดเอกซเรย์สามารถหมุนปรับทิศทางและเคลื่อนที่ได้ตามลักษณะของแกนยึดหลอดเอกซเรย์ แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกนอกห้องที่ติดตั้งได้ โดยที่ห้องเอกซเรย์ที่ติดตั้งเครื่องนั้นมีการจัดแบ่งพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีและประชาชนทั่วไปอย่างชัดเจน

รูปที่ 10 เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดติดตั้งอยู่กับที่ (http://med.swu.ac.th/msmc/radiation/index.php/news-menu)

2) เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดเคลื่อนที่ได้ (Mobile Radiography)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่มีขนาดเล็ก มีกลไกในการขับเคลื่อนไปใช้งานตามสถานที่ให้บริการอื่นได้ เช่น หอผู้ป่วย (Ward) แผนกฉุกเฉิน (Emergency Room หรือ ER) ห้องผู้ป่วยวิกฤต (Intensive Care Units หรือ ICU) ที่ผู้ป่วยไม่สามารถเคลื่อนย้ายมารับการเอกซเรย์ที่ห้องเอกซเรย์ได้ การทำงานของเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดเคลื่อนที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่ติดตั้งในห้องเอกซเรย์

3) เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดติดตั้งบนรถยนต์ (Radiographic Bus)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ติดตั้งและใช้งานประจำบนรถยนต์ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถป้องกันรังสีได้ แต่หลอดเอกซเรย์จะไม่สามารถหมุนปรับทิศทางได้ เนื่องจากมีพื้นที่ให้บริการจำกัด ดังนั้นแกนยึดหลอดเอกซเรย์จะติดตั้งสำหรับการถ่ายเอกซเรย์ทรวงอกเท่านั้น วัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตรวจสุขภาพเป็นหลัก ภายในรถเอกซเรย์มีการจัดแบ่งพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีและผู้รับการเอกซเรย์เท่านั้น

รูปที่ 11 เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดเคลื่อนที่ได้ (https://www.kamolhospital.com/stock/userfiles/images/about/Medical-Technology-08.jpg)

2.2 เครื่องเอกซเรย์ทันตกรรม (Dental Radiography X-ray Machine)

ใช้ในการวินิจฉัยโรคสำหรับวางแผนการรักษา การติดตามผลการรักษา เปรียบเทียบการรักษา เช่น ถ่ายภาพรังสีเอกซ์เพื่อดูลักษณะของรากฟัน ในการรักษารากฟัน ในการจัดฟันเพื่อวางแผนการรักษาให้ถูกต้อง เครื่องเอกซเรย์ฟันแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

รูปที่ 12 เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปชนิดติดตั้งบนรถยนต์ (http://ostinhealtplus.com/?cid=514099&subid=19890)

1) เครื่องเอกซเรย์ฟันภายในช่องปาก (Intra Oral Dental Radiography)

ลักษณะการทำงานของเครื่องเอกซเรย์นี้ เป็นการถ่ายภาพรังสีของฟันเฉพาะจุด เฉพาะซี่ ที่ต้องการวินิจฉัย ภาพถ่ายรังสีที่ออกมาจะเป็นภาพ 2 มิติ ที่สามารถมองเห็นตัวฟันและเนื้อเยื่อรอบ ๆ ฟันได้อย่างชัดเจน ในปัจจุบันเครื่องเอกซเรย์ฟันภายในช่องปากมี 3 แบบ คือ แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed) แบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile) และแบบถือหรือหิ้วได้ (Portable) ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 80 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed)

เคลื่อนที่ได้ (Mobile)

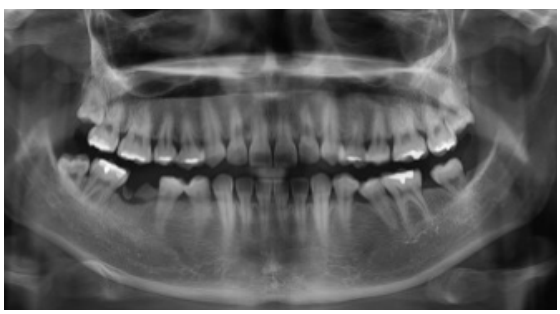
ถือหรือหิ้วได้ (Portable)

รูปที่ 13 เครื่องเอกซเรย์ฟันภายในช่องปาก (http://abdentcare.com/dental_xray.php)

2) เครื่องเอกซเรย์ฟันแบบทั้งปากและแบบด้านข้างศีรษะ (Panoramic and Cephalometric Dental Radiography)

ลักษณะการทำงานของเครื่องเอกซเรย์นี้ เป็นการถ่ายภาพรังสีของฟันได้ 2 ลักษณะ ซึ่งลักษณะแรกคือ การถ่ายภาพรังสีแบบทั้งปาก (Panoramic Dental Radiography) สามารถแสดงให้เห็นภาพของฟันทุกซี่ในช่องปาก กระดูกขากรรไกร ข้อต่อขากรรไกร กะโหลกศีรษะ และไซนัสได้

ส่วนลักษณะที่สองคือ การถ่ายภาพรังสีแบบเห็นภาพกะโหลกศีรษะด้านข้าง (Cephalometric Dental Radiography) สามารถแสดงให้เห็นภาพของกะโหลกศีรษะ ฐานกะโหลกศีรษะ ลักษณะกระดูกขากรรไกรบนและล่าง ฟันบนและฟันล่างได้ ซึ่งภาพถ่ายรังสีที่ออกมาจะเป็นภาพ 2 มิติ และเครื่องเอกซเรย์ฟันแบบทั้งปากและแบบด้านข้างศีรษะนี้มีกำลังสูงสุด 120 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต



รูปที่ 14 เครื่องเอกซเรย์ฟันแบบทั้งปากและแบบด้านข้างศีรษะ (http://www.medicalexpo.com/prod/imageworks/product-79304-496220.html)

3) เครื่องเอกซเรย์ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ทางทันตกรรม (Dental Computed Tomography)

เป็นการถ่ายภาพรังสีที่สามารถมองเห็นได้ 3 มิติ คือภาพตัดแนวแกนกลางหรือบน-ล่าง ภาพตัดแนวขวาง และภาพแนวกว้างทั้งหมด โดยใช้ร่วมกับการวางแผนก่อนการรักษา เพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเที่ยงตรงด้านกายวิภาคของผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 150 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

รูปที่ 15 เครื่องเอกซเรย์ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ทางทันตกรรม (http://www.thairath.co.th/content/277691)

2.3 เครื่องเอกซเรย์เต้านม (Mammography X-ray Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษคือ มีหลอดเอกซเรย์ที่แตกต่างจากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ตรงที่วัสดุที่ใช้ทำเป็นเป้า (Target) ในหลอดเอกซเรย์เต้านมนั้นจะทำด้วยโลหะโมลิบดีนัม (Molybdenum) หรือโรเดียม (Rhodium) แต่วัสดุที่ใช้ทำเป็นเป้าหลอดของเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปจะทำด้วยโลหะทังสเตน เนื่องจากเต้านมเป็นอวัยวะที่มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งต่างจากอวัยวะส่วนอื่นของร่างกายที่มีกระดูกเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ในการถ่ายภาพรังสีของเต้านมจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานรังสีที่ต่ำในการสร้างภาพ ซึ่งถ้าหากใช้เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปถ่ายภาพเต้านมแล้วภาพถ่ายรังสีนั้นจะไม่สามารถวินิจฉัยโรคได้ เนื่องจากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปจะมีพลังงานสูงกว่าเครื่องเอกซเรย์เต้านมมาก รังสีที่ออกมาจะทะลุทะลวงผ่านเนื้อเยื่อของเต้านม ทำให้ภาพถ่ายรังสีไม่สามารถแยกความแตกต่างของเนื้อเยื่อในเต้านมกับความผิดปกติอื่น ๆ ได้ ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 49 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

รูปที่ 16 เครื่องเอกซเรย์เต้านม (https://www.vejthani.com/web-thailand/Digital-Mammogram.php)

รูปที่ 17 เครื่องเอกซเรย์มวลกระดูก (http://www.mali-imc.com/x-ray/)

2.4 เครื่องเอกซเรย์มวลกระดูก (Bone Mineral Densitometertry X-ray Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในการตรวจวัดความหนาแน่นของกระดูก มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ขณะสแกนเพื่อวัดความหนาแน่นของกระดูกนั้น ลำรังสีจะแคบและค่อย ๆ เลื่อนจากตำแหน่งเริ่มต้นที่กำหนดไปยังตำแหน่งสิ้นสุด ซึ่งจะใช้เวลาในการสแกน 3-5 นาที ขึ้นอยู่กับอวัยวะที่ต้องการวินิจฉัย โดยค่าความหนาแน่นของกระดูก หมายถึงปริมาณของแคลเซียมที่อยู่ภายในกระดูก ยิ่งความหนาแน่นมากแสดงว่ากระดูกมีความแข็งแรงมาก

เครื่องตรวจวัดความหนาแน่นของกระดูกจะคำนวณความหนาแน่นของกระดูกโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อได้ค่าความหนาแน่นของกระดูกแล้ว แพทย์จะพิจารณาว่ากระดูกมีความหนาแน่นปกติหรือลดลง ซึ่งสามารถวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนได้ การตรวจด้วยเครื่องนี้จะช่วยแพทย์ในการวางแผนป้องกันและรักษาโรคกระดูกพรุนได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันท่วงที ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 140 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

2.5 เครื่องเอกซเรย์ระบบหลอดเลือด (Angiogram หรือ Digital Subtraction Angiography)

เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้สำหรับการตรวจระบบหลอดเลือดและการทำงานของหัวใจ เห็นภาพการเคลื่อนไหวของอวัยวะภายในตลอดการตรวจซึ่งเป็นภาพจริง ณ ขณะนั้น (Real Time) และแสดงภาพเคลื่อนไหวทางจอ (Display Monitor) แต่มีความพิเศษคือมีความเร็วในการตรวจสูงกว่า สามารถถ่ายภาพความเร็วสูงถึง 30 ภาพต่อวินาที และสามารถสร้างภาพเฉพาะหลอดเลือดด้วยวิธีการที่เรียกว่า Subtraction คือ ระบบคอมพิวเตอร์จะลบภาพอวัยวะส่วนอื่นออกไป เหลือแต่เฉพาะส่วนของเส้นเลือดที่ชัดเจนเพียงอย่างเดียว และสามารถบันทึกภาพทั้งระบบภาพนิ่งและระบบภาพเคลื่อนไหว ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 150 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

รูปที่ 18 เครื่องเอกซเรย์ระบบหลอดเลือด (https://www.philips.co.uk/healthcare/product/HC722014/allura-xper-fd-20-20#galleryTab=PI)

2.6 เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography X-ray Machine)

เป็นเครื่องเอกซเรย์แบบพิเศษที่สร้างภาพในแนวตัดขวางลำตัวผู้ป่วย (Axial Tomography) โดยสร้างภาพแบบ 3 มิติ ภาพที่ออกมามีลักษณะเป็นแว่นๆ ซึ่งจะให้ภาพอวัยวะภายในทีละชั้น ความหนาเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2-1.00 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความละเอียดและอวัยวะที่ต้องการวินิจฉัย โดยเทคโนโลยีในการสร้างภาพอาศัยคอมพิวเตอร์ประมวลผล เพื่อสร้างภาพตัดขวางเฉพาะจุดของอวัยวะที่ทำการสแกน เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านอวัยวะของผู้ป่วยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่แตกต่างกัน ทำให้ความเข้มของรังสี ณ จุดต่าง ๆ เมื่อมากระทบกับตัวรับรังสี (Detector) ในเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แตกต่างกันออกไป จากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำสัญญาณเหล่านี้ไปประมวลผลและสร้างออกมาเป็นภาพที่แสดงเป็นความเข้ม ขาว เทา ดำ ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 140 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

รูปที่ 19 เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55[1].pdf)

2.7 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี (Fluoroscopy X-ray Machine)

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีหรือเครื่องส่องตรวจทางรังสีเป็นเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในการตรวจเพื่อค้นหาความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย สามารถดูภาพจริง ณ ขณะนั้น (Real Time) และแสดงภาพเคลื่อนไหวทางจอมอนิเตอร์ ใช้สำหรับตรวจอวัยวะภายในโดยใช้สารทึบรังสีร่วมในการตรวจ เพื่อให้เห็นอวัยวะที่ต้องการตรวจได้ชัดเจนขึ้น เพราะสารทึบรังสีจะเกาะอยู่ที่อวัยวะที่ต้องการตรวจ จะทำให้เกิดความแตกต่างในการดูดกลืนรังสีระหว่างอวัยวะที่ต้องการตรวจกับอวัยวะอื่นที่อยู่ใกล้เคียง เช่น การตรวจกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ซึ่งผู้ป่วยต้องใช้สารทึบรังสีที่เรียกว่า แบเรียมซัลเฟต (Barium Sulphate) เป็นต้น จากนั้นจะนำผู้ป่วยไปเอกซเรย์เพื่อวินิจฉัยขณะกลืนสารทึบรังสี โดยจะปรากฏภาพที่จอมอนิเตอร์เป็นภาพการเคลื่อนไหวของอวัยวะภายในตลอดการตรวจ และมีอุปกรณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ Image Intensifier ทำหน้าที่แปลงพลังงานรังสีที่ได้รับเป็นสัญญาณไฟฟ้าและสามารถบันทึกภาพได้ทั้งแบบภาพนิ่งหรือแบบเคลื่อนไหว ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 150 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

เครื่องส่องตรวจทางรังสีแบ่งเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานคือ เครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดติดตั้งประจำที่ ซึ่งจะสร้างภาพแบบ 2 มิติ และเครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดเคลื่อนที่ได้

สำหรับเครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดเคลื่อนที่ได้ นิยมใช้สำหรับห้องผ่าตัดขณะทำหัตถการ ซึ่งจะมี 2 แบบ โดยพิจารณาจากรูปร่างของอุปกรณ์ยึดระหว่างหลอดเอกซเรย์และตัวรับภาพหรือที่เรียกว่า อาร์ม

แบบแรกคือ ซีอาร์ม (C-Arm) ซึ่งรูปร่างเป็นตัวซี จะสร้างภาพแบบ 2 มิติ ซึ่งมีข้อจำกัดในการหมุนเอียงทำมุมของหลอดเอกซเรย์

ส่วนแบบที่ 2 คือ โออาร์ม (O-Arm) รูปร่างเป็นตัวโอจะสร้างภาพแบบ 3 มิติ ซึ่งการหมุนเอียงทำมุมของหลอดเอกซเรย์จะสามารถหมุนได้รอบตัวผู้ป่วย

รูปที่ 20 เครื่องเอกซเรย์ส่องตรวจทางรังสีชนิดติดตั้งประจำที่ (http://lvradiology.com/x-ray/)

รูปที่ 21 เครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดเคลื่อนที่ได้ แบบซีอาร์ม (http://chularat.com/service_detail.php?id=1)

ลักษณะการทำงานของเครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดเคลื่อนที่ได้คล้ายเครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดติดตั้งประจำที่ แต่มีขนาดเล็กกว่า สามารถดูภาพจริง ณ ขณะนั้น (Real Time) ระหว่างดำเนินการผ่าตัดกระดูก ข้อ และงานศัลยกรรมช่องท้อง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัด การใส่โลหะเพื่อดามกระดูกในการผ่าตัด การจัดกระดูกหักให้เข้าที่โดยเฉพาะบริเวณข้อที่ซับซ้อน และการผ่าตัดเนื้องอกในบริเวณต่าง ๆ ซึ่งเครื่องเอกซเรย์นี้มีกำลังสูงสุด 110 กิโลโวลต์ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

รูปที่ 22 เครื่องส่องตรวจทางรังสีชนิดเคลื่อนที่ได้ แบบโอาร์ม (http://praewpii.blogspot.com/2012/08/o-arm.html)

การกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี

ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559

มาตรา 26 ผู้ใดจะดำเนินการดังต่อไปนี้ ต้องได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการ

(1) ทำเครื่องกำเนิดรังสี

(2) มีไว้ในครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสี

(3) นำเข้าหรือส่งออกเครื่องกำเนิดรังสี

การขอรับใบอนุญาต การออกใบอนุญาต และการออกใบแทนใบอนุญาตสำหรับเครื่องกำเนิดรังสีแต่ละประเภท ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

ตามพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562

มาตรา 26/1 ให้เครื่องกำเนิดรังสีที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับใช้เพื่อการวินิจฉัยทางการแพทย์ซึ่งไม่มีวัสดุกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบและเพื่อใช้งานในสถานพยาบาล ตามที่กำหนดในกฎกระทรวงเป็นเครื่องกำเนิดรังสีที่ผู้ดำเนินการไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 26

ผู้ใดมีไว้ในครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีที่ไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีต่อผู้ที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขมอบหมาย

มาตรา 26/2 นอกจากเครื่องกำเนิดรังสีตามมาตรา 26/1 ให้เครื่องกำเนิดรังสีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง เป็นเครื่องกำเนิดรังสีที่ผู้ดำเนินการไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 26 ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงค่าระดับพลังงานหรือลักษณะการใช้งานเครื่องกำเนิดรังสี

ผู้ใดมีไว้ในครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีที่ไม่ต้องขอรับใบอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีต่อเลขาธิการ

ดังนั้น เครื่องเอกซเรย์เพื่อการรักษาโรคทางการแพทย์ หากผู้ใดมีไว้ในครอบครองหรือใช้ ต้องขอรับใบอนุญาตตามมาตรา 26 จากเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ แต่เครื่องเอกซเรย์เพื่อการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ต้องแจ้งการครอบครองหรือใช้เครื่องกำเนิดรังสีต่อผู้ที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขมอบหมายตามมาตรา 26/1

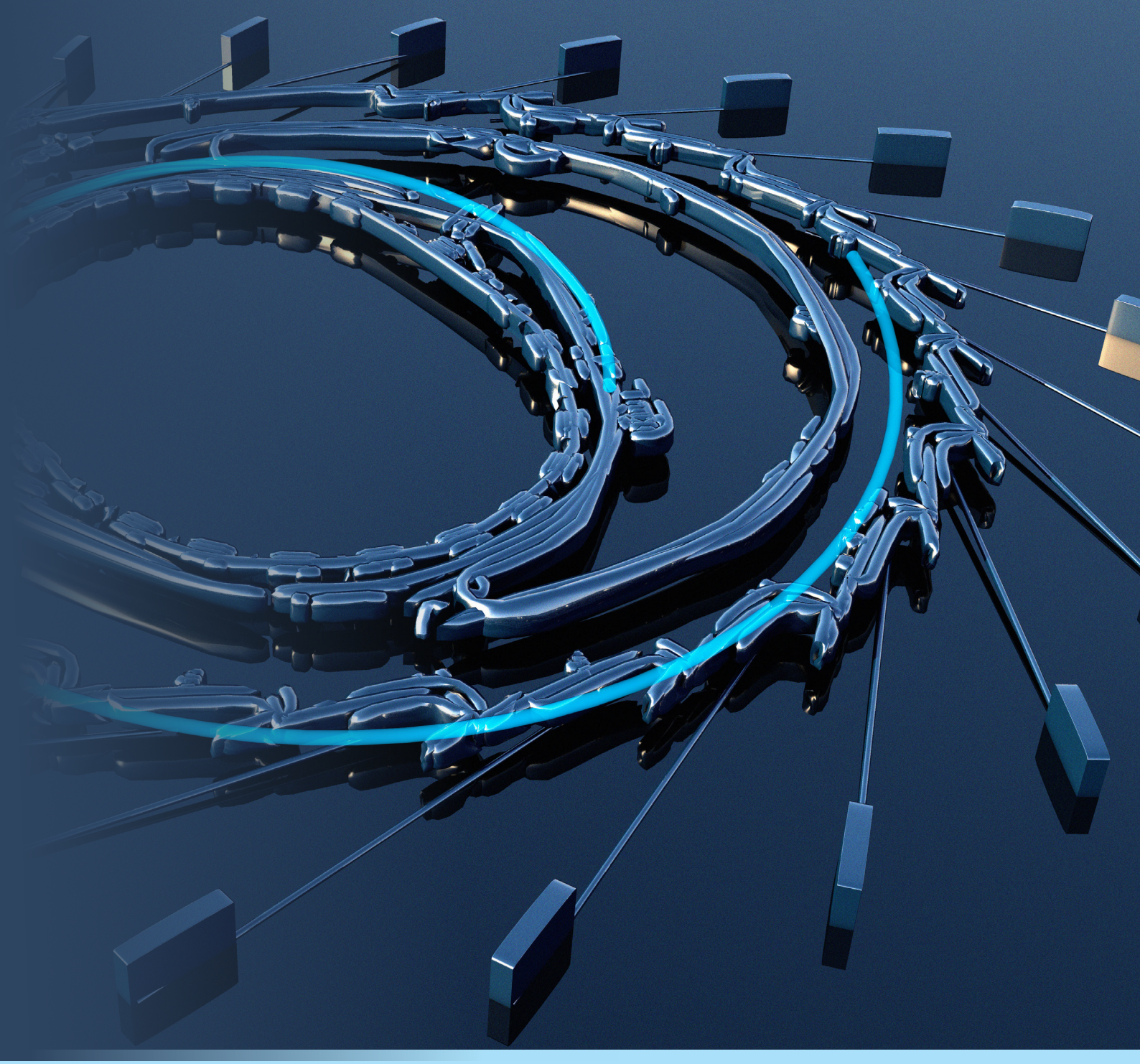
แสงซินโครตรอน
กับ
งานวัสดุศาสตร์

ดร.ธีรพัทธ์ มานุวงศ์
วิศวกรนิวเคลียร์ชำนาญการพิเศษ
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

แสงซินโครตรอน ปัจจุบันชื่อนี้คงมีหลายคนได้ยินและรู้จักถึงที่มาของแสงนี้บ้างแล้ว แต่คงยังมีอีกหลายคนที่ยังไม่รู้จัก และอยากจะรู้จักกับแสงซินโครตรอนและเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนนี้ ในบทความนี้ผู้เขียนจะขอบรรยายกล่าวถึงแบบสั้น ๆ เพื่อให้เข้าใจได้อย่างง่ายและรวดเร็ว ส่วนรายละเอียดผู้อ่านสามารถหาอ่านได้จากหนังสือวิชาการ รวมถึงเว็บไซต์ที่เกี่ยวกับซินโครตรอน

ในปัจจุบัน ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมีการใช้เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนทั้งสิ้น 23 ประเทศ (รวมทั้งสิ้นจำนวน 47 เครื่อง) ในเอเชียมีจำนวน 17 เครื่อง โดยประเทศไทยมีใช้จำนวน 1 เครื่อง ชื่อ *"เครื่องกำเนิดแสงสยาม"* ตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา ส่วนประเทศที่มีเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนไว้ใช้ประโยชน์มากที่สุด จำนวน 7 เครื่อง คือ ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศญี่ปุ่น

แสงซินโครตรอนจัดเป็นรังสีหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่ง ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอนุภาคที่มีประจุซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเกือบเท่าความเร็วแสง และถูกบังคับให้เลี้ยวโค้งด้วยสนามแม่เหล็ก ทำให้อิเล็กตรอนสูญเสีย



พลังงานบางส่วนและปลดปล่อยออกมาเป็นแสงซินโครตรอน ซึ่งแตกต่างจากรังสีเอกซ์ที่กำเนิดจากการเร่งอิเล็กตรอนจากไส้หลอดเอกซเรย์ที่ถูกเผาให้ร้อน แล้วให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปชนเป้าโลหะที่มีเลขอะตอมสูง ๆ เช่น ทังสเตน ทำให้เกิดการเปลี่ยนชั้นพลังงานของโลหะที่ใช้ทำเป็นเป้า และคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ ที่สามารถควบคุมพลังงานของรังสีเอกซ์ได้โดยการปรับค่าศักย์ไฟฟ้า (High Voltage) ที่ป้อนให้หลอดเอกซเรย์

ปัจจุบันมีการนำแสงซินโครตรอนมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง อาทิ การวิเคราะห์วิจัยเชิงลึกทางวิทยาศาสตร์ของวัตถุต่าง ๆ ทั้งในระดับอะตอมและโมเลกุล โดยเฉพาะทางด้านการแพทย์และชีววิทยา ด้านวิจัยทางอุตสาหกรรม ด้านวิจัยวิทยาศาสตร์และด้านวัสดุศาสตร์ (วัสดุชั้นสูงและอุตสาหกรรมวัสดุ) เป็นต้น ซึ่งแตกต่างกับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (General X-ray) ที่เป็นการใช้รังสีเอกซเรย์พลังงานต่ำถ่ายภาพอวัยวะผู้ป่วย ซึ่งสามารถเอกซเรย์ได้ทุกส่วนของร่างกาย เช่น เอกซเรย์ปอด เอกซเรย์กระดูกแขนและขา เอกซเรย์กระดูกสันหลัง เอกซเรย์ศีรษะ เป็นต้น

โดยทั่วไปหลักการกำเนิดแสงซินโครตรอนมีสั้น ๆ 5 ขั้นตอน ที่สอดคล้องกับตำแหน่งในรูปที่ 1 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนของการผลิตอิเล็กตรอน โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้กับไส้โลหะของปืนอิเล็กตรอนจนเกิดความร้อนและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา และใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงขั้วบวกในการดึงอิเล็กตรอนให้วิ่งไปในทิศทางเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการเร่งความเร็วอิเล็กตรอนในแนวเส้นตรง ด้วยเครื่องเร่งอนุภาคแนวตรงหรือ Linear Accelerator (LINAC) เพื่อเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงในระดับที่ต้องการ (ตัวอย่างเช่น 40 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์) จากนั้นป้อนอิเล็กตรอนนี้เข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลมหรือเครื่องซินโครตรอน

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนของการบังคับอิเล็กตรอนให้วิ่งเป็นวงกลม โดยการใช้สนามแม่เหล็กบังคับให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปตามแนววงกลมและมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามพลังงานที่ต้องการ เช่น กำหนดให้มีพลังงานเท่ากับ 1,200 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ แล้วจึงถูกส่งต่อไปยังวงกักเก็บอิเล็กตรอน

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการกักเก็บอิเล็กตรอน โดยที่อิเล็กตรอนจะถูกกักเก็บในวงเก็บอิเล็กตรอนและนำไปผลิตแสงซินโครตรอน ในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ ทำหน้าที่บังคับให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงเหล่านี้เคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการภายในท่อสูญญากาศ โดยบริเวณที่เป็นแม่เหล็กบังคับเลี้ยวสองขั้ว (Bending Magnet) จะเป็นบริเวณที่อิเล็กตรอนเลี้ยวโค้ง (มีความเร่ง) และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเราเรียกว่า *"แสงซินโครตรอน"* เข้าสู่ระบบลำเลียงแสง

ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนระบบลำเลียงแสง ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงแสงซินโครตรอนมายังสถานีทดลอง โดยที่ระหว่างทางจะมีการโฟกัสและคัดเลือกพลังงานแสง เพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้ประโยชน์ในงานวิจัยด้านต่าง ๆ

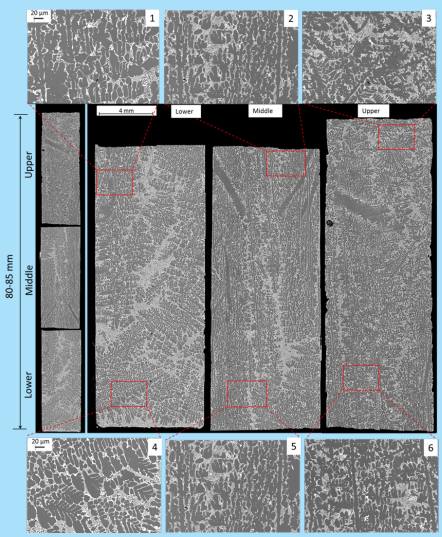
รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบหลักของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

ในงานด้านวัสดุศาสตร์มีการศึกษาการจัดเรียงตัว (จัดโครงสร้างโมเลกุล) ของโลหะและโลหะอัลลอย เพื่อสร้างความเข้าใจในกระบวนการจัดเรียงตัวและลักษณะภายในที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ ปรับปรุง และพัฒนาโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้ดีขึ้น เพื่อให้ได้โลหะและโลหะอัลลอยที่เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่าง ๆ มากขึ้น ทั้งนี้ ในอดีตการศึกษาการจัดเรียงตัวทำได้โดยการหล่อชิ้นงาน ทิ้งให้เย็น นำมาตัด ขัดผิวชิ้นงานจนเผยถึงโครงสร้างที่เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) ซึ่งเป็นลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของชิ้นงานนั้น ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 จากรูปเป็นการเผยโครงสร้างเดนไดรต์ของชิ้นงานอะลูมิเนียมอัลลอย

ปัจจุบันสามารถนำเอาประโยชน์จากแสงซินโครตรอนมาใช้งาน เพื่อเป็นวิธีในการศึกษาการเรียงตัวของโมเลกุลชิ้นงาน ทั้งนี้ ผู้เขียนเองได้รับโอกาสในการเข้าร่วมวิจัยในการใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอนของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ชื่อ Diamond Light Source ณ เมืองออกซฟอร์ด ประเทศอังกฤษ ซึ่งผู้เขียนเองได้นำเอาเทคนิคการถ่ายภาพแบบเอกซเรย์ ที่ได้จากการฉายแสงซินโครตรอนลงบนชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นโลหะที่อยู่ในสภาพของเหลวผสมหรือโลหะอัลลอยที่กำลังเริ่มเย็นตัวและมีการจัดเรียงตัว เพื่อการศึกษาการจัดเรียงตัวของโลหะอัลลอยของชิ้นงานนั้น

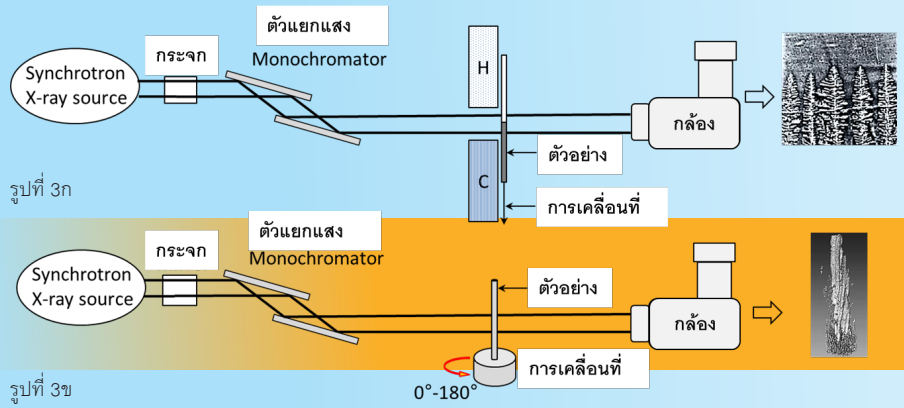
การดำเนินงานวิจัยของผู้เขียนได้จัดองค์ประกอบดังรูปที่ 3 ในห้องทดลองตำแหน่งที่ 6 ของรูปที่ 1 โดยผู้เขียนนำเอาแสงซินโครตรอนที่มีพลังงานมากพอที่สามารถทะลุผ่านตัวอย่างอัลลอยแล้วสามารถสร้างภาพเอกซเรย์ได้ ภาพเอกซเรย์ที่ได้จากการฉายแสงซินโครตรอนทะลุผ่านตัวอย่างชิ้นงาน (รูปที่ 3 ขวาสุด) จะสามารถเห็นลักษณะการจัดเรียงตัวแบบเรียลไทม์ ทำให้ทราบถึงขั้นตอนและลักษณะของการจัดเรียงตัวของอัลลอยนั้น ๆ ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ เช่น การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการหลอมตัวอย่างด้านบน-ล่าง ความเร็วในการจัดเรียงตัว รวมไปถึงปัจจัยอื่นที่นำไปสร้างผลกระทบต่อการจัดเรียงตัว เช่น แรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผลให้การเรียงตัวเป็นแบบหนาแน่นมากขึ้นกว่าการจัดเรียงตัวแบบที่ไม่มีแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำ เป็นต้น

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเดนไดรต์ของอะลูมิเนียมอัลลอยนี้ มีขนาดระดับไมโครเมตรจนถึงมิลลิเมตร ทำให้การศึกษาด้วยเครื่องมือธรรมดาในห้องแล็บทำได้ยากลำบาก และด้วยศักยภาพของแสงซินโครตรอนที่มีการปลดปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องและมีพลังงานที่สูง ทำให้สามารถสร้างภาพเอกซเรย์ต่อเนื่องและสามารถบันทึกเป็นภาพวิดีโอต่อเนื่องได้ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างเดนไดรต์ของอะลูมิเนียมอัลลอยโดยวิธีการหล่อแท่งอัลลอยแล้วขัดผิว

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่นำมาวิจัยมี 2 แบบ คือ แบบแผ่นและแบบแท่ง ซึ่งทำให้สามารถศึกษาขั้นตอนการจัดเรียงตัวแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เผยให้เห็นลักษณะและขั้นตอนการจัดเรียงตัวทั้งแบบ 2 มิติ (รูปที่ 3ก) และแบบ 3 มิติ (รูปที่ 3ข) ที่ไม่มีเครื่องมือใด ๆ ในปัจจุบันสามารถทำได้ เป็นการไขความลับทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่ง เพื่อนำเอาไปพัฒนาต่อยอดสร้างนวัตกรรมทางวัสดุศาสตร์ชั้นสูงออกมาใช้ประโยชน์ในอนาคต เช่น การปรับปรุงโครงสร้างของล้อรถยนต์ที่ทำด้วยอัลลอย เพื่อให้สามารถรับแรงกด แรงกระแทก และทนทานต่อการใช้งานได้ทุกสภาพการใช้งาน



รูปที่ 3 แสดงการจัดองค์ประกอบในการวิจัยโดยใช้ประโยชน์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนในการศึกษาการเรียงตัวของอัลลอย

ข้อแตกต่างระหว่างวิธีแบบฉายแสงซินโครตรอนเทียบกับวิธีแบบการตัดและขัดผิวชิ้นงาน คือ 1) ตัวอย่างชิ้นงานไม่ถูกทำลาย 2) สามารถดำเนินการปรับสภาวะแวดล้อมได้หลากหลาย ให้สามารถสร้างการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ได้ตลอดเวลา โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการหลอมตัวอย่างด้านบน-ล่าง 3) สามารถศึกษาแบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งวิธีเดิมต้องรอจนเย็นแล้วตัดชิ้นงาน เป็นการศึกษาตัวอย่างที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวขณะทำการศึกษา 4) สามารถศึกษาการเรียงตัวได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (ขึ้นกับการจัดองค์ประกอบ) และ 5) สามารถศึกษาร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดเรียงตัวได้

จากที่บรรยายข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการนำเอาแสงซินโครตรอนมาใช้ประโยชน์ในด้านงานวัสดุศาสตร์ ยังมีอีกมากมายที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ และงานด้านวัสดุศาสตร์ที่นำเอามากล่าวนี้เป็นเพียงส่วนย่อยของงานวิจัยของผู้เขียน ที่ทำให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางวัสดุศาสตร์ที่นำเอาประโยชน์จากการใช้รังสี มาเป็นจุดสำคัญในการมุ่งเน้นการพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติในอนาคตต่อไป

หากมีนักวิจัยไทยท่านใดมีความสนใจจะใช้ประโยชน์แสงซินโครตรอนของเครื่องกำเนิดแสงสยาม ณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ขอให้มั่นใจได้ว่าการใช้ประโยชน์ในงานวิจัยจะมีความปลอดภัยจากรังสี เนื่องจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติได้กำกับดูแลให้มีการใช้ประโยชน์อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานสากล

เอกสารอ้างอิง

1. Manuwong, T., et al. (2015). *"Solidification of Al Alloys Under Electromagnetic Pulses and Characterization of the 3-D Microstructures Using Synchrotron X-ray Tomography"*, Metallurgical and Materials Transactions A. (online publication)

2. Manuwong, T., et al. (2014). *"Control of Solidification Microstructure Using Programmable Electro-Magnetic Pulses"*, proceeding of 4th International Conference on Advances in Solidification Processes Beaumont Estates, Old Windsor, UK, on 8-11 July 2015.

3. Manuwong, T., et al. (2014). *"Shocking the Growing Grains during Solidification by Electro-magnetic Pulses"*, proceeding of TMS 2015 144th Annual meeting & Exhibition, Orlando, FL, USA, on 5-19 March 2015.

4. Manuwong, T. (2015) *"SOLIDIFICATION OF METAL ALLOYS IN PULSE ELECTROMAGNETIC FIELDS"*, Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, School of Engineering in the University of Hull, April 2015.

ความรับผิดในทางอาญา

ตามบริบทของพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

นายป้องนภา พึ่งทอง
นิติกรปฏิบัติการ
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เป็นไปเพื่อการกำกับดูแลความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานนิวเคลียร์และรังสีให้กับประชาชน ซึ่งมีเป้าประสงค์ให้ผู้ใช้ประโยชน์ทางด้านนิวเคลียร์และรังสีต้องตระหนักถึงความปลอดภัยต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานสากลเป็นสำคัญ โดยได้บัญญัติบทกำหนดโทษเกี่ยวกับความรับผิดในทางอาญาซึ่งเป็นกลไกที่มีนัยสำคัญต่อการบังคับใช้กฎหมายหลายประการ

กล่าวโดยเฉพาะการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์ทางด้านนิวเคลียร์และรังสีในระบบ *"ใบอนุญาต"* อาจถือเป็นกลไกหลักที่รัฐใช้เพื่อกำกับดูแลความปลอดภัย ซึ่งผู้ที่ประสงค์ผลิต มีไว้ในครอบครองหรือใช้ ตลอดจนนำเข้าหรือส่งออกนอกราชอาณาจักร ซึ่งวัสดุกัมมันตรังสี เครื่องกำเนิดรังสี หรือวัสดุนิวเคลียร์ ต้องได้รับใบอนุญาตจากเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติตามกฎหมาย โดยผู้ฝ่าฝืนต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสองปี หรือปรับไม่เกินสองแสนบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ถึงกระนั้นก็ตาม การกำกับดูแลความปลอดภัยในระบบ *"การแจ้งการครอบครองหรือใช้"* ซึ่งออกแบบมาสำหรับผู้ที่ประสงค์มีไว้ในครอบครองหรือใช้วัสดุกัมมันตรังสีหรือเครื่องกำเนิดรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายทางนิวเคลียร์และรังสีแก่ประชาชนอย่างร้ายแรง กล่าวคือ วัสดุกัมมันตรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพต่ำ ตลอดจนเครื่องกำเนิดรังสีที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับใช้ในกิจการบางประเภท เช่น เครื่องเอกซเรย์ตรวจกระเป๋า (Baggage Inspection X-ray Unit) เครื่องเอกซเรย์กระเจิงกลับแบบมือถือสำหรับงานรักษาความปลอดภัย (Handheld Backscatter X-ray Security Inspection Unit) ซึ่งใช้ในงานรักษาความปลอดภัยเพื่อตรวจหาวัตถุที่ซ่อนไว้ เช่น อาวุธ สารเคมี ยาเสพติด เงิน ของหนีภาษี เป็นต้น ถือเป็นการลดระดับความเคร่งครัดในการบังคับใช้กฎหมายของรัฐ หากแต่ยังคงมีบทกำหนดความรับผิดในทางอาญาแก่ผู้ที่ฝ่าฝืนไม่แจ้งการครอบครองหรือใช้ต่อเลขาธิการสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กล่าวคือ ผู้กระทำผิดต้องระวางโทษปรับไม่เกินหนึ่งแสนบาท ซึ่งสามารถเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบคดีโดยคณะกรรมการเปรียบเทียบคดีได้

นอกจากนี้ หากผู้ใดกระทำความผิดฐานลักทรัพย์ ชิงทรัพย์ หรือปล้นทรัพย์ที่เป็นวัสดุนิวเคลียร์ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสามสิบปี หรือปรับไม่เกินสามล้านบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ ตามมาตรา 130 แห่งพระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นอัตราโทษที่ถือว่าสูงมาก หากเทียบกับกฎหมายอาญาฉบับอื่นในปัจจุบัน ทั้งนี้ ก็เพื่อเป็นการ *"ป้องปราม"* มิให้เกิดการกระทำความผิดเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์ ซึ่งอาจนำไปสู่การก่อการร้ายทางนิวเคลียร์ในทางสากล อันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิต ร่างกาย อนามัย หรือทรัพย์สินของบุคคลหรือต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

ทั้งนี้ ความรับผิดในทางอาญาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผู้กระทำความผิดได้กระทำครบ *"องค์ประกอบ"* ที่กฎหมายบัญญัติ กล่าวคือ

1. **มีการกระทำ** โดยแบ่งออกเป็น
   1.1 การกระทำโดยการเคลื่อนไหวร่างกาย
   1.2 การกระทำโดยไม่เคลื่อนไหวร่างกาย (เช่น การงดเว้น ละเว้น)

ยกตัวอย่างเช่น ฐานความผิดตามมาตรา 130 ดังกล่าวข้างต้น กรณีมี *“การกระทำ”* คือ มีการเคลื่อนไหวร่างกายในลักษณะที่เป็นความผิดฐานลักทรัพย์ ชิงทรัพย์ หรือปล้นทรัพย์ตามประมวลกฎหมายอาญา

2. การกระทำนั้นต้องครบองค์ประกอบภายนอก กล่าวคือ

2.1 ผู้กระทำ

2.2 การกระทำ

2.3 วัตถุแห่งการกระทำ

มาตรา 130 *“ผู้ใดกระทำความผิดฐานลักทรัพย์ ชิงทรัพย์ หรือปล้นทรัพย์ที่เป็นวัสดุนิวเคลียร์ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสามสิบปี หรือปรับไม่เกินสามล้านบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ”*

ผู้ใด	**- ผู้กระทำ**
ลักทรัพย์/ชิงทรัพย์/ปล้นทรัพย์	**- การกระทำ**
วัสดุนิวเคลียร์	**- วัตถุแห่งการกระทำ**

3. การกระทำนั้นต้องครบองค์ประกอบภายใน กล่าวคือ เรื่องเจตนา ซึ่งประมวลกฎหมายอาญามาตรา 59 วรรคสอง ได้บัญญัติหลักเกณฑ์เกี่ยวกับเรื่องของเจตนาไว้ ดังนี้

“กระทำโดยเจตนา ได้แก่ กระทำโดยรู้สำนึกในการที่กระทำ และในขณะเดียวกันผู้กระทำประสงค์ต่อผล หรือย่อมเล็งเห็นผลของการกระทำนั้น”

ทั้งนี้ เจตนาแบ่งออกเป็นสองกรณี กล่าวคือ

3.1 เจตนาโดยตรง ได้แก่

3.1.1 เจตนาประสงค์ต่อผล คือ ประสงค์ให้ผลร้ายนั้นเกิดขึ้น ผลที่เกิดตรงตามเจตนาที่ต้องการ

3.1.2 เจตนาย่อมเล็งเห็นผล คือ เจตนาที่ไม่ได้ประสงค์ต่อผลที่จะให้เกิดแก่บุคคลนั้นโดยตรง แต่เล็งเห็นผลได้ว่าผลจะเกิดขึ้นอย่างนั้นอย่างแน่นอน

3.2 เจตนาโดยผลของกฎหมาย เช่น เจตนาโดยพลาด เจตนาโดยสำคัญผิดในตัวบุคคล เป็นต้น

ซึ่งในกรณีตามมาตรา 130 นั้น ผู้กระทำย่อมต้องรู้สำนึกว่าตนกำลังกระทำการลักทรัพย์ ชิงทรัพย์ หรือปล้นทรัพย์วัตถุหรือสิ่งของที่เป็นวัสดุนิวเคลียร์

4. การกระทำสัมพันธ์กับผลของการกระทำ กล่าวคือ ผู้กระทำความผิดย่อมได้ไปหรือมีไว้ในครอบครองซึ่งวัสดุนิวเคลียร์ที่ตนได้กระทำการลักทรัพย์ ชิงทรัพย์ หรือปล้นทรัพย์นั่นเอง

อย่างไรก็ตาม ผู้กระทำจะต้องรับผิดในทางอาญาก็ต่อเมื่อการกระทำที่ครบองค์ประกอบดังกล่าวข้างต้นนั้น จะต้องไม่มีกฎหมายบัญญัติยกเว้นความผิด และจะต้องไม่มีกฎหมายบัญญัติยกเว้นโทษไว้ด้วย

66 เรามุ่งมั่นเพื่อความปลอดภัย ของประชาชนและสิ่งแวดล้อม 99

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0 2596 7600 ต่อ 1113-1114, 1120-1123 โทรสาร 0 2561 3013
: pr@oap.go.th : Atoms4Peace สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
: www.oap.go.th : officeofatomsforpeace : @atomsnet