อะตอม เพื่อนนักธุรกิจ

"อะตอม...เพื่ออนาคต"

สื่อความรู้เรื่องพลังงานนิวเคลียร์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
OFFICE OF ATOMS FOR PEACE

อะตอมเพื่อนนักธุรกิจ

ตราสัญลักษณ์งานเฉลิมพระเกียรติ
เนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา
๘๐ พรรษา ๕ ธันวาคม ๒๕๕๐

คำนำ

เนื่องในโอกาสมหามงคลที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเจริญพระชนมพรรษา 80 พรรษา สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้สนองแนวพระราชดำริด้านการพัฒนาการศึกษาแก่เยาวชน ด้วยการจัดทำหนังสือชุด อะตอม...เพื่ออนาคต เพื่อเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์

ปัจจุบันนานาประเทศทั่วโลกได้พัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ให้ก้าวไกล เพื่อเป็นประโยชน์ต่อมนุษยโลกในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการเป็นพลังงานที่สำคัญ ทดแทนพลังงานจากน้ำมัน และเชื้อเพลิงธรรมชาติอื่นๆ ที่ใกล้จะหมดไป สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวนี้ จึงมีความมุ่งมั่นจะสร้างฐานความรู้ ให้เกิดความเข้าใจและทัศนคติที่ดีแก่เยาวชนและบุคคลทั่วไป เพื่ออนาคตของพลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย

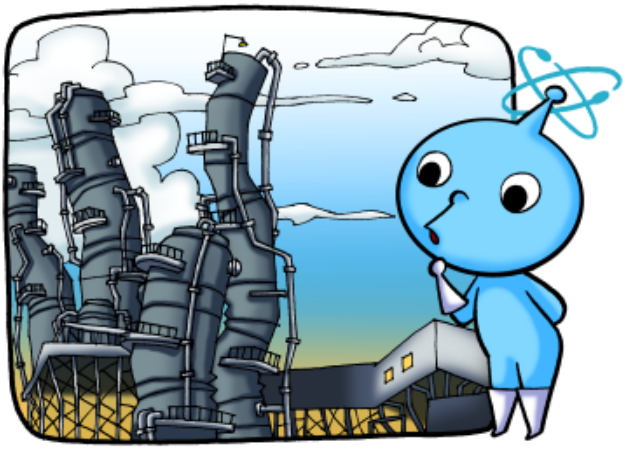
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือชุด อะตอม...เพื่ออนาคต จะสามารถถ่ายทอดและสื่อสารให้ผู้อ่าน โดยเฉพาะเยาวชนได้เกิดความสนใจ และต่อยอดไปสู่การศึกษาเฉพาะทางในระดับสูง รวมทั้งประชาชนทั่วไปได้มีความเข้าใจอย่างถูกต้องในเทคโนโลยีแขนงนี้ เพื่อการพัฒนาอย่างมุ่งมั่นต่อไป

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สารบัญ...

6 อะตอมเพื่อนนักธุรกิจ

7 เทคโนโลยีนิวเคลียร์กับอุตสาหกรรม



9 การใช้ประโยชน์จาก
ต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก

9 ระบบวัดและควบคุมเชิงนิวเคลียร์

12 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

15 การฉายรังสี

22 การใช้ประโยชน์จาก
ต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก

24 การศึกษาการไหลของของไหล

25 การศึกษาการผสม

26 การวัดปริมาตร

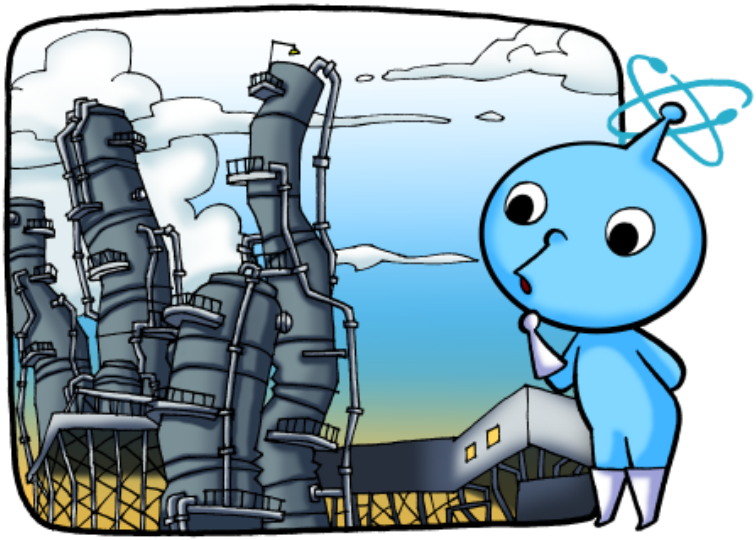
27 อุตสาหกรรมไทยกับการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์

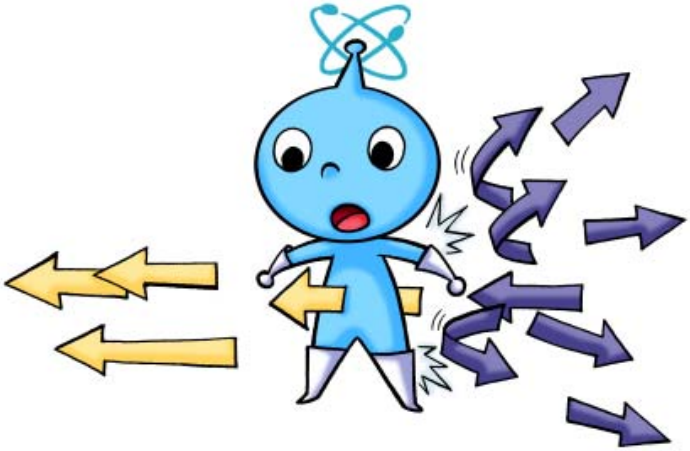
อะตอมเพื่อนนักธุรกิจ

โลกยุคการค้าเสรี การแข่งขันด้านการค้าเป็นไปอย่างเข้มข้น ทั้งนักธุรกิจและผู้ประกอบการล้วนพัฒนาตัวเองอยู่ตลอดเวลา และต่างก็พยายามค้นหาตัวช่วยที่จะทำให้กิจการก้าวหน้าไป โดยเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิต ทำอย่างไรให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สินค้าที่ได้มีคุณภาพมากขึ้น ขณะเดียวกันก็ต้องประหยัดต้นทุนในการผลิตให้มากขึ้น แล้วหนึ่งในตัวช่วยที่หลายๆ คนอาจจะคาดไม่ถึง ก็คือ พลังงานนิวเคลียร์นั่นเอง

เทคโนโลยีนิวเคลียร์กับอุตสาหกรรม

กว่า 30 ปีแล้วที่เทคโนโลยีนิวเคลียร์พัฒนาอย่างกว้างไกล และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง ทั้งในกระบวนการผลิตโดยตรงและเพื่อสนับสนุนการผลิต เช่น การวัดและควบคุมในกระบวนการผลิต การตรวจหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ตลอดจนการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต





การนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ในอุตสาหกรรมไม่เพียงช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต รวมถึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายที่ผู้ประกอบการต้องเสียไปในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต โดยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นการนำสมบัติในการทะลุทะลวงผ่านตัวกลางของรังสีแกมมาและนิวตรอนมาใช้ประโยชน์

เราสามารถแบ่งการใช้ประโยชน์จากรังสีได้เป็น 2 ประเภท คือ การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก (sealed source application) และ การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source application)

การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก

เป็นการใช้รังสีจากต้นกำเนิดรังสีที่บรรจุในแคปซูลอย่างมิดชิด ทำให้ไม่มีการสัมผัสโดยตรงของสารรังสีกับกระบวนการผลิต การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึกนี้ ยังสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

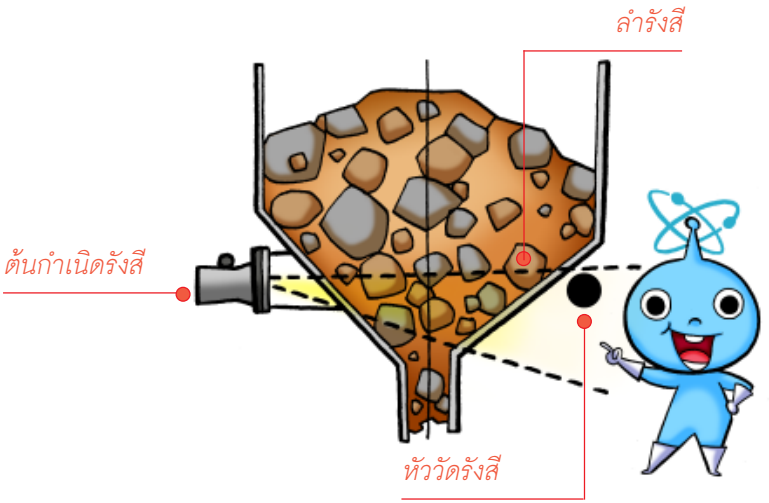
ระบบวัดและควบคุมเชิงนิวเคลียร์ (nucleonic gauging and control system)

เป็นการอาศัยสมบัติของรังสีแกมมาซึ่งเมื่อผ่านไปในตัวกลางจะมีรังสีส่วนหนึ่งกระเจิง (scatter) ออกมา และบางส่วนถูกดูดกลืน (absorb) ทำให้ปริมาณรังสีที่ผ่านตัวกลางออกมาลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางนั้น จากสมบัตินี้เราจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดและควบคุมในกระบวนการผลิต เช่น การวัด

และควบคุมระดับของของไหล (ทั้งของเหลว และแก๊สหรือไอ) ในถัง หรือในเครื่องปฏิกรณ์ การวัดและควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ หรือแม้แต่การตรวจสอบโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

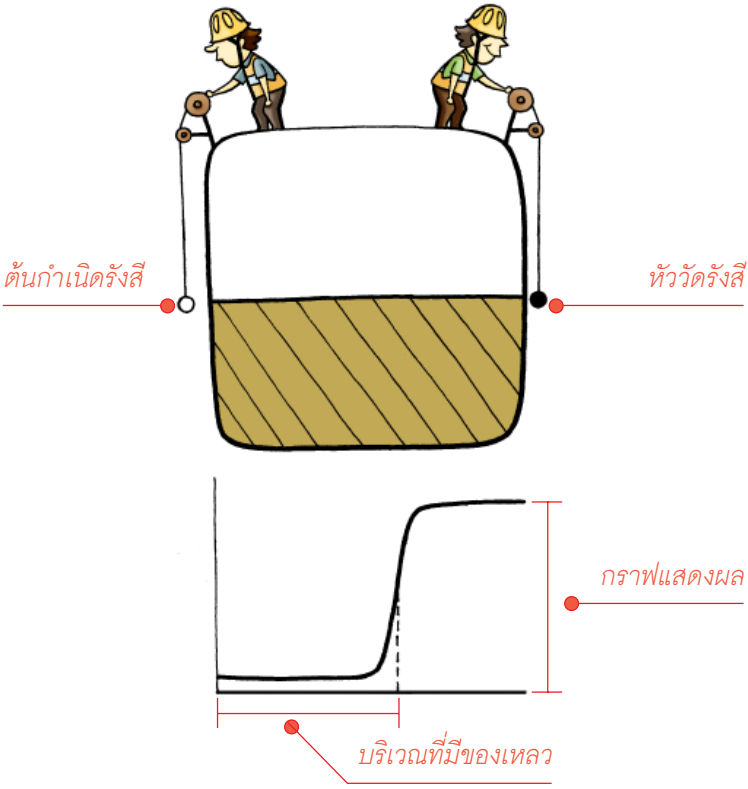
ในการปฏิบัติงาน เราต้องนำต้นกำเนิดรังสีไปวางไว้ด้านหนึ่งของตัวกลางที่ต้องการวัดหรือควบคุม โดยมีหัววัดรังสีวางไว้อีกด้านหนึ่งเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ผ่านตัวกลางมาแล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

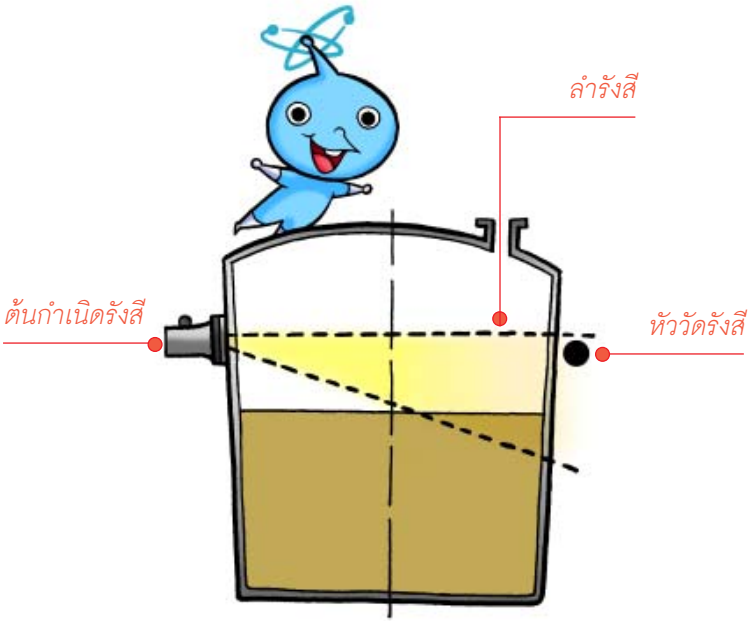
การวัดและควบคุมระดับของแข็ง



การวัดระดับของเหลวภายในถัง

บริเวณที่มีของเหลว รังสีจะทะลุผ่านได้น้อยกว่า ทำให้กราฟแสดงผลในระดับต่ำ



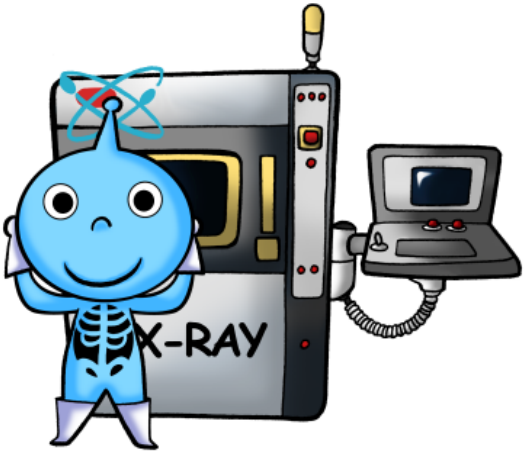


การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (non destructive testing)

ตามปกติในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนวัสดุผลิตภัณฑ์หรือตรวจสอบเพื่อการซ่อมบำรุงอยู่เป็นประจำ การตรวจสอบนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งที่ต้องทำลาย

ชิ้นส่วนที่นำมาทดสอบและไม่ต้องทำลาย การนำรังสีมาใช้เป็นหนึ่งในวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเรียกว่า **"การถ่ายภาพรังสี"** (radiography)

การถ่ายภาพรังสี ใช้หลักการเดียวกับการฉายเอกซเรย์ของแพทย์ นั่นคือ ให้รังสีผ่านตัวกลางแล้วตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์ม จากนั้นนำภาพที่ปรากฏบนฟิล์มไปวิเคราะห์ผล บริเวณที่ตัวกลางมีความหนาแน่นมากรังสีจะผ่านไปยังฟิล์มได้น้อย เมื่อนำฟิล์มไปล้างจะได้ออกมาเป็นสีขาว ในทางกลับกันบริเวณที่รังสีทะลุผ่านได้มาก เช่น รูรั่วต่างๆ จะปรากฏบนฟิล์มเป็นสีเข้มหรือดำ



รังสีที่นำมาใช้ในวิธีการนี้ ใช้ได้ทั้งรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ข้อดีของวิธีการนี้คือ สะดวก สามารถฉายรังสีทะลุผ่านวัสดุทึบแสงได้ทุกชนิด และยังเก็บฟิล์มไว้เป็นหลักฐานได้อีกด้วย

ในการตรวจสอบชิ้นส่วนวัสดุผลิตภัณฑ์ด้วยรังสี ทำได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

การตรวจสอบโดยวิธีทำลาย โดยนำชิ้นส่วนนั้นมาทดสอบด้วยการดึง ดัดโค้ง อัด กระแทก ฯลฯ เพื่อประเมินผลในการรับประกันคุณภาพทางวิศวกรรม ซึ่งชิ้นส่วนที่ผ่านการทดสอบจะได้รับความเสียหายและไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก

การตรวจสอบโดยวิธีไม่ทำลาย นิยมแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เพราะไม่ทำให้ชิ้นงานที่นำมาทดสอบเกิดความเสียหาย

นอกจากการใช้รังสีแล้ว ยังสามารถใช้วิธีการอื่น ๆ ได้ เช่น การตรวจสอบด้วยตา (visual inspection) การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (ultrasonic testing) การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (magnetic particle testing) การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (penetrant testing) และ การตรวจสอบด้วยกระแสวน (eddy current testing)

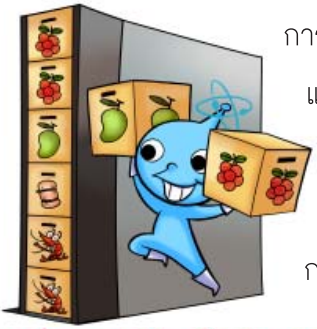
การฉายรังสี (irradiation processing)

โดยนำสมบัติของรังสีที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือชีวเคมีในสสารมาใช้ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น

การฆ่าเชื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยการฉายรังสีแกมมา หรือรังสีจากเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นเพื่อปลอดเชื้อผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ก่อนจะนำไปใช้งาน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ได้หลายชนิด ทั้งอุปกรณ์ที่ไม่ทนความร้อน หรืออุปกรณ์มีรูปร่างซับซ้อน หรือแม้แต่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์เรียบร้อยแล้วก็สามารถฆ่าเชื้อด้วยรังสีได้ โดยไม่มีสารตกค้างที่เป็นอันตรายแต่อย่างใด และสามารถนำไปใช้งานได้ทันที

การฉายรังสีอาหาร เป็นการใช้รังสีแกมมาเข้าไปทำลายหรือรบกวนการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ของสิ่งมีชีวิต เช่น แมลงและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย โดยไม่ทำให้รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการเสียไป นอกจากนี้ยังทำให้ผักผลไม้งอกหรือสุกช้าลง

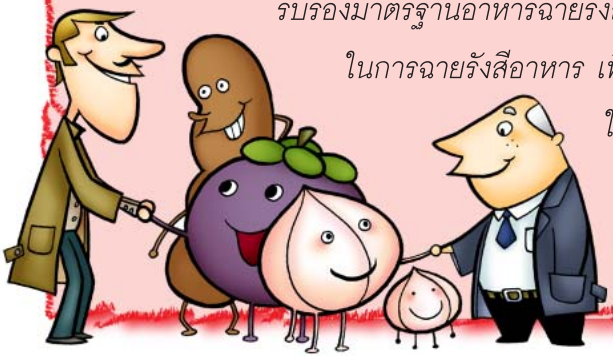
ทำให้เก็บได้นาน ส่งไปขายได้ไกลขึ้นโดยไม่งอกหรือสุกระหว่างทาง



การฉายรังสีอาหารเป็นที่ยอมรับในระดับสากล และได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

ในปี พ.ศ. 2523 องค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ได้ประกาศร่วมกันว่าอาหารใด ๆ ที่ผ่านการฉายรังสีในปริมาณเฉลี่ยไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ ไม่จำเป็นต้องทดสอบความปลอดภัยอีก ถือเป็นการยอมรับในมาตรฐานความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี

และในปี พ.ศ. 2526 โครงการมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศของ FAO และ WHO หรือในนาม CODEX ได้ประกาศรับรองมาตรฐานอาหารฉายรังสีและวิธีอันพึงปฏิบัติในการฉายรังสีอาหาร เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานในการฉายรังสีอาหารของประเทศสมาชิกทั้ง 150 ประเทศ



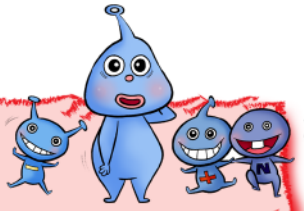
การเสริมคุณภาพน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางจากยางพาราที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตสายยาง ยางยืด ของเล่นเด็ก ถุงมือยาง ฯลฯ ต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า **"วัลคะไนเซชัน"** (vulcanization) เพื่อให้ได้น้ำยางคงรูปที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ซึ่งปกติกระบวนการนี้ต้องอาศัยสารเคมี เช่น กำมะถัน สังกะสีออกไซด์ ร่วมกับความร้อน ซึ่งบางครั้งอาจเกิดสารตกค้างที่เป็นอันตราย

แต่การวัลคะไนส์ด้วยรังสี เป็นการนำน้ำยางไปผสมกับน้ำยาเคมีซึ่งเป็นสารไวปฏิกิริยาก่อน แล้วจึงนำไปผ่านการฉายรังสีแกมมา ทำให้กระบวนการดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย น้ำยางคงรูปที่ได้จากกระบวนการนี้จึงไม่มีสารพิษตกค้าง นอกจากนี้น้ำยางคงรูปที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวยังมีข้อดีกว่า

น้ำยางคงรูปที่ได้จากการวัลคะไนส์ด้วยสารเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำยางจะหยุดทันทีเมื่อหยุดฉายรังสี ทำให้สามารถนำน้ำยางไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ทันที ในขณะที่การวัลคะไนส์ด้วยสารเคมีต้องเก็บน้ำยางไว้ก่อน 7 วัน จึงจะนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้น้ำยางคงรูปที่ผ่านการวัลคะไนส์ด้วยรังสีจะมีสีนวลขาว และมีความยืดหยุ่นมากกว่า ขั้นตอนการผลิตก็ไม่ยุ่งยาก และประหยัดพลังงานกว่า เพราะไม่ต้องใช้ความร้อน ทั้งยังสามารถเก็บน้ำยางไว้ได้นาน

กระบวนการวัลคะไนเซชัน (vulcanization)

คือ กระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางดิบ ให้มีความแข็งแรง ทนทาน และยืดหยุ่นได้ดีขึ้น โดยการนำน้ำยางดิบและสารเคมี เช่น กำมะถัน สังกะสีออกไซด์ และสารเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ มาผสมกันในอุณหภูมิสูงประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (crosslinking) ของยาง ส่งผลให้น้ำยางมีสมบัติที่เปลี่ยนไป



เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้น

(electron linear accelerator)

เป็นเครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้นชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับเพิ่มความเร็วและพลังงานจลน์ของอนุภาคอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสงแล้วนำอนุภาคเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ เช่น ในเครื่องเอกซเรย์ใช้เร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้นให้ไปชนเป้าทังสเตน จะเกิดรังสีเอกซ์ออกมา นอกจากเครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้นแล้ว ยังมีเครื่องเร่งอนุภาคอีกหลายชนิด เช่น ไซโคลทรอน ซิงโครทรอน และบีตาทรอน เป็นต้น

การเสริมคุณภาพฉนวนสายไฟฟ้า การฉายรังสีทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (crosslinking) ส่งผลให้สมบัติความเป็นฉนวนเพิ่มขึ้น ทนแรงดันไฟฟ้า ต้านกระแสไฟฟ้า ตลอดจนทนการกัดกร่อนได้มากขึ้น ขณะเดียวกันความหนาจะลดลง

ไม่เพียงแต่รังสีจะช่วยในกระบวนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่รังสียังนำมาใช้ในกระบวนการจัดการของเสียในอุตสาหกรรมได้อีกด้วย เช่น

การบำบัดน้ำเสียด้วยรังสี โดยฉายรังสีเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง การฉายรังสีปริมาณเพียงไม่เกิน 4 กิโลเกรย์ สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาได้ และยังไม่มีสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ตะกอนของเสียที่ผ่านการฉายรังสีแล้วยังนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุปรับปรุงดินได้อีกด้วย

การกำจัดแก๊สพิษจากการเผาไหม้ ในกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะการเผาไหม้ที่มีสารกำมะถันปนอยู่ ทำให้เกิดแก๊สที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ถ้านำแก๊สเหล่านั้นเข้ากระบวนการกำจัดแก๊สเสียด้วยการฉายรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้น จะทำให้อนุภาคของแก๊สเหล่านั้นแตกตัว และเมื่อสัมผัสกับอนุภาคของแอมโมเนียที่มีอยู่ในระบบกำจัดแก๊สเสีย อนุภาคเหล่านั้นจะรวมตัวกันกลายเป็นเกลือของแอมโมเนียซึ่งนำไปใช้ทำปุ๋ยได้

การใช้ประโยชน์จาก ต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก

การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดรังสีชนิดนี้ เป็นการนำต้นกำเนิดรังสีผสมหรือเติมลงไปโดยตรงในสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส โดยเราอาจเรียกต้นกำเนิดรังสีที่เติมลงไปนั้นว่า "รังสีติดตาม" (tracer)

รังสีติดตามมีใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มานานแล้ว แต่มักจะเป็นสารเคมี สี หรือสารเรืองแสงต่างๆ สารเหล่านี้มักจะมีกรรมวิธีการตรวจวัดที่ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง ในที่สุดจึงได้ประยุกต์นำสารรังสีมาใช้แทน เนื่องจากสามารถเลือกชนิดของสารติดตามที่มีสมบัติเหมือนสารที่ต้องการศึกษาได้ ไม่ถูกรบกวนจากสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่สารรังสีในระบบการผลิต ตรวจวัดได้ง่าย และสามารถตรวจวัดได้โดยไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิต

หลักการในการใช้สารรังสีเป็นรังสีติดตามนี้ คือ ให้สารรังสีผสมกับวัตถุดิบโดยตรงแล้วนำไปผ่านกระบวนการผลิตตามปกติ

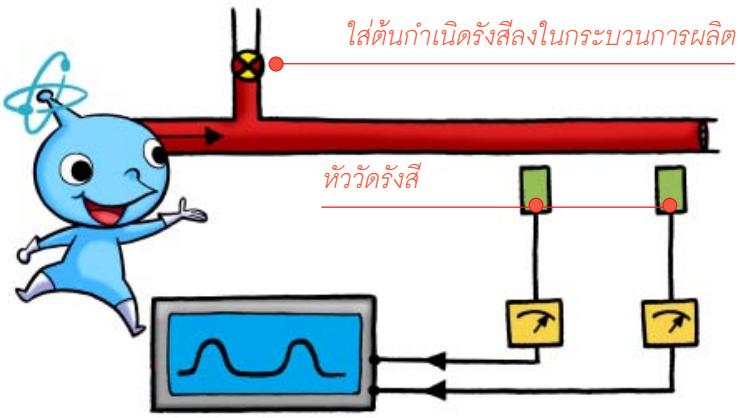
โดยจะทำการตรวจวัดปริมาณรังสีในขณะผลิตหรือผลิตเสร็จสิ้นแล้ว เพื่อให้ทราบถึงสภาพที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิตนั้น

ปัจจุบันเราสามารถนำสารรังสีมาใช้เป็นรังสีติดตามในการตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ในแทบจะทุกขั้นตอน ตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบ การผสม การแลกเปลี่ยนความร้อนหรือมวลสาร ไปจนถึงการแยกเฟส (phase) ของสารในกระบวนการผลิตและการทิ้งของเสีย

ตัวอย่างการใช้สารรังสีเพื่อเป็นตัวติดตามในอุตสาหกรรม ได้แก่

การศึกษาการไหลของของไหล (flow study)

ปกติในอุตสาหกรรมมักจะมีเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลในบริเวณที่ต้องการทราบอยู่แล้ว แต่อาจมีบางบริเวณที่เครื่องวัดเหล่านี้ไม่สามารถติดตั้งได้ การใช้เทคนิคสารติดตามจะช่วยแก้ปัญหาในจุดนี้ได้ โดยปล่อยสารรังสีให้เคลื่อนไปกับของไหลภายใน แล้วตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยหัววัดรังสีด้านนอก หรือเก็บตัวอย่างจากปลายทางเพื่อนำไปวิเคราะห์ วิธีการนี้ใช้ใน

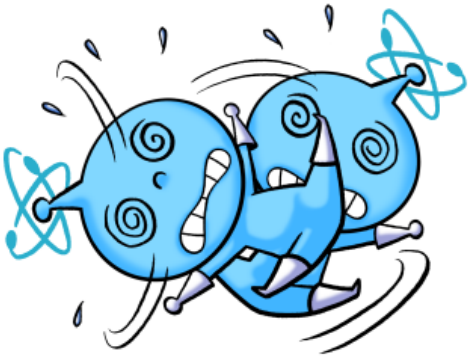


การหาอัตราการไหล

นำเวลาที่ต้นกำเนิดรังสีเคลื่อนผ่านหัววัดทั้ง 2 มาคำนวณหาความเร็วของอัตราการไหล

การตรวจสอบได้หลายอย่าง เช่น อัตราการไหล อัตราการป้อนวัตถุดิบ การรั่ว หรือการอุดตันในท่อส่ง ตลอดจนใช้ศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต รวมถึงใช้สร้างแบบจำลองของการไหลได้อีกด้วย

การศึกษาการผสม (mixing or blending study)



การผสมนับเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้ของผสมมีส่วนประกอบสม่ำเสมอกัน การศึกษาการผสมนี้ ส่วนใหญ่จะศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของอุปกรณ์เพื่อควบคุมคุณภาพของการผสม โดยจะผสมสารรังสีลงในส่วนประกอบที่ต้องการผสม แล้วปล่อยให้ผสมกันตามปกติ เพื่อวิเคราะห์สภาพภายในอุปกรณ์ผสมขณะทำงาน หรือคำนวณเวลาที่ใช้ในการผสม

ก่อนที่เราจะนำต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึกมาใช้เป็น ***รังสีติดตาม*** *ต้องพิจารณาความเหมาะสมเสียก่อน โดยพิจารณาจาก* ***ครึ่งชีวิต*** *ซึ่งควรจะสั้นที่สุด เพื่อให้สารรังสีสลายหมดไปโดยเร็ว* ***ความแรงรังสีจำเพาะ*** *ควรใช้ต้นกำเนิดที่มีความแรงจำเพาะน้อย แต่ยังคงสามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำเพื่อให้เกิดรังสีตกค้างน้อยที่สุด* ***ชนิดและระดับพลังงานของรังสี*** *เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เลือกใช้รังสีแกมมา เนื่องจากใช้ปริมาณน้อยแต่สามารถทะลุทะลวงผ่านตัวกลางได้ดี และสุดท้าย คือ* ***สมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพ*** *เพื่อให้ตัวติดตามมีสมบัติเหมือนกับสารที่ต้องการตรวจสอบมากที่สุด*

การวัดปริมาตร (volume measurement)

โดยมากใช้เพื่อศึกษาปริมาณวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบ และการหาปริมาณสารคงเหลือ

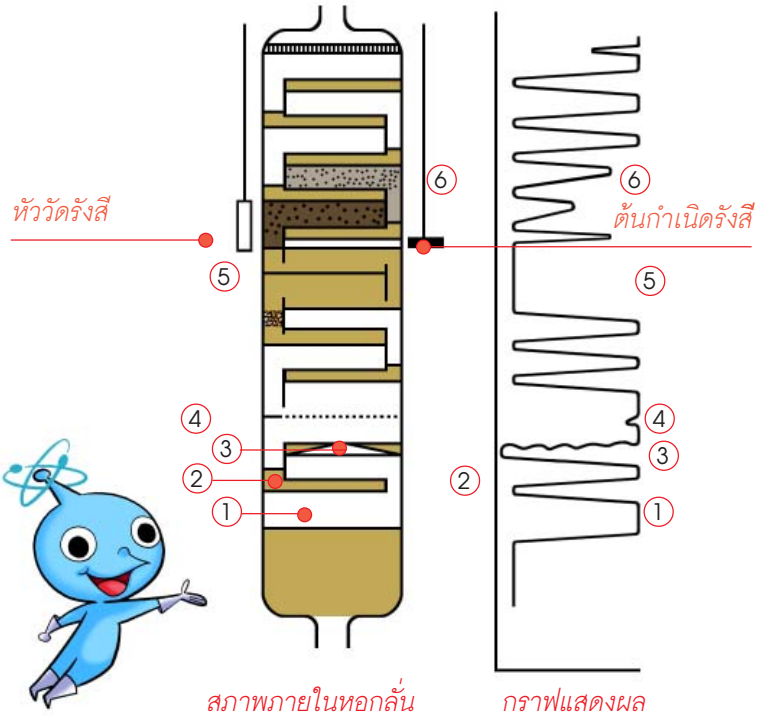
อุตสาหกรรมไทย กับการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์

ทุกวันนี้เทคโนโลยีนิวเคลียร์เริ่มเป็นที่ยอมรับมากขึ้นในประเทศไทย และได้เข้ามามีส่วนช่วยนักธุรกิจ ผู้ประกอบการและมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท

ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม และปิโตรเคมี มีการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ในการตรวจหาความผิดปกติ ชำรุด เสียหาย ของหอกลั่น การตรวจสอบด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์นี้มีข้อดี คือ สามารถทำได้โดยไม่ต้องหยุดการกลั่น และได้ผลการตรวจสอบทันที ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดงบประมาณที่ต้องสูญเสียไปจากการหยุดกระบวนการผลิต ประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในการเริ่มเดินเครื่องการผลิตใหม่ และยังช่วยให้การตัดสินใจและวางแผนแก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ในการตรวจสอบหอกลั่น จะติดตั้งต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 และอุปกรณ์วัดรังสีไว้คนละข้างของหอกลั่น แล้วจึงใช้รอกและกว้านดึงอุปกรณ์ทั้งสองให้เคลื่อนที่ขึ้นไปตามความสูงของหอกลั่นพร้อมๆ กัน พร้อมทั้งเก็บข้อมูลความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านหอกลั่นออกมาทุกๆ ระยะ 5 ซ.ม. แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปทำเป็นกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างทางวิศวกรรมของหอกลั่นนั้นๆ จะทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างภายในหอกลั่นได้

การวิเคราะห์หอกลั่นน้ำมันด้วยรังสีแกมมา



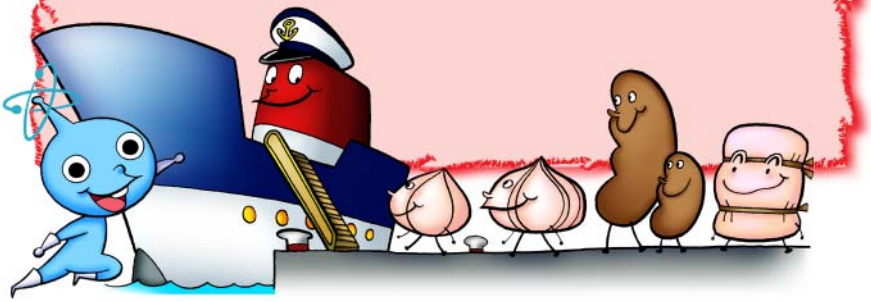
1. บริเวณช่องว่างภายในหอกลั่น ซึ่งรังสีทะลุผ่านได้มากทำให้อ่านค่าปริมาณรังสีได้สูง (กราฟมาทางด้านขวามาก)
2. ถาดกลั่นที่มีของเหลวตามปกติ ทำให้รังสีทะลุผ่านได้น้อย จึงอ่านค่ารังสีได้ต่ำ (กราฟมาทางด้านซ้ายมาก)
3. มีสิ่งแปลกปลอมภายในถาดกลั่นทำให้วัดปริมาณรังสีได้ไม่สม่ำเสมอ
4. ถาดกลั่นหายไป ทำให้วัดปริมาณรังสีทะลุผ่านได้มากกว่าปกติ
5. เกิดการอุดตัน ทำให้ของเหลวท่วม จึงอ่านค่าในช่วงที่รังสีต่ำได้กว้างกว่าปกติ
6. เกิดสิ่งแปลกปลอมในหอกลั่น ทำให้วัดปริมาณรังสีได้ไม่สม่ำเสมอ

อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ นำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ในการวัดความหนาของกระดาษ เพื่อให้กระดาษที่ผลิตออกมามีคุณภาพตามมาตรฐาน โดยติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีไว้ในกระบวนการผลิต เมื่อกระดาษเคลื่อนที่ผ่านต้นกำเนิดรังสี ก็จะตรวจวัดปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านกระดาษมายังอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี ปริมาณรังสีที่วัดได้นี้จะทำให้ทราบความหนาของกระดาษว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ สามารถตรวจสอบได้ทันที ไม่ต้องรอให้กระบวนการผลิตเสร็จสิ้นก่อน เมื่อตรวจพบข้อผิดพลาดก็สามารถคัดออกหรือยุติการผลิตได้ทัน นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือเปียกน้ำหรือมีอุณหภูมิสูงได้ ทำให้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การผลิตเหล็กแผ่นสังกะสี และยางรถยนต์

ไม่เพียงแต่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่านั้น ผู้ประกอบการรายย่อยก็สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนิวเคลียร์ได้เช่นกัน ในปัจจุบันผู้ประกอบการของไทยหลายรายได้นำผลิตภัณฑ์มารับการฉายรังสีมากขึ้น ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตผลการเกษตร เช่น หัวหอม กระเทียม เครื่องเทศ ผลไม้ชนิดต่างๆ แหนม เครื่องปรุงรส อาหารทะเลแช่แข็ง ทั้งเพื่อฆ่าเชื้อโรคและชะลอการงอก การสุก ทำให้ผลิตผลเหล่านั้นส่งไปขายยังต่างประเทศได้ไกลขึ้น และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

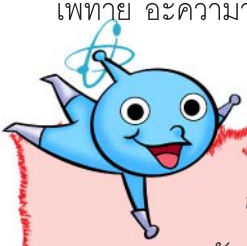
ในประเทศไทย การฉายรังสีอาหารเพื่อการพาณิชย์จะต้องดำเนินการในสถานที่และใช้เครื่องมือที่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และจะต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2529) เรื่องกำหนดกรรมวิธีการผลิตอาหารซึ่งมีการใช้กรรมวิธีการฉายรังสี เช่น แหนมฉายรังสี ใช้ปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดไม่เกิน 4 กิโลเกรย์ เครื่องเทศฉายรังสีใช้ปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดไม่เกิน 10 กิโลเกรย์



ในส่วนของพี่น้องเกษตรกร ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์หลายประการที่มุ่งช่วยเหลือเกษตรกรให้มีผลผลิตที่ดีขึ้น นับตั้งแต่การใช้รังสีปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พืชที่มีความเหมาะสมกับภูมิประเทศและภูมิอากาศแบบประเทศไทย การใช้รังสีกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อลดต้นทุนในการใช้สารเคมีฆ่าแมลง การใช้รังสีเพิ่มคุณภาพของน้ำยาง ทำให้เราสามารถส่งออกน้ำยางคงรูปซึ่งมีมูลค่าสูงกว่าการส่งออกน้ำยางดิบธรรมดา การใช้รังสีปรับปรุงพันธุ์ไหมเพื่อให้ได้ตัวไหมที่ต้านทานโรคและแมลงศัตรู นอกจากนี้ยังให้เส้นไหมที่มีคุณสมบัติดี และยังใช้รังสีช่วยย่อยโมเลกุลในผงไหมให้เล็กลง เพื่อซึมในผิวหนังได้ดีขึ้นและรังสียังช่วยฆ่าเชื้อทำให้ได้ผงไหมที่ปลอดเชื้อ เพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นกว่าการจำหน่ายเป็นเศษไหมธรรมดา 5 - 10 เท่า

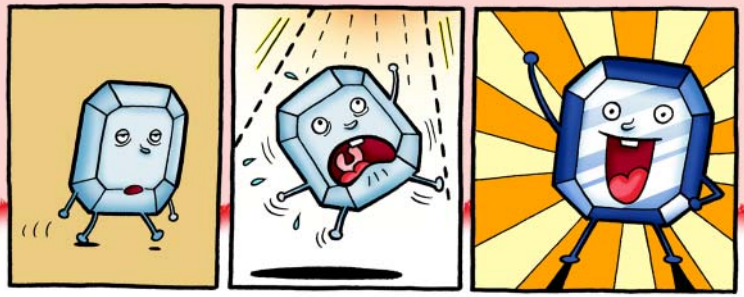
ในอุตสาหกรรมอัญมณี ผู้ประกอบการด้านอัญมณีหลายรายได้นำอัญมณีมาฉายรังสี ซึ่งจะทำให้อัญมณีเหล่านั้นมีสีสันที่สวยงามขึ้น เป็นที่ต้องการของตลาด ช่วยเพิ่มมูลค่าของอัญมณีได้

ถึงกะรัตละ 5 - 30 เท่า การฉายรังสีเพื่อเพิ่มมูลค่าของอัญมณีนี้ใช้ได้กับอัญมณีหลายชนิด เช่น โทแพซ ทัวร์มาลีน เพชร ไข่มุก เพทาย อะความารีน



สิ่งที่ทำให้อัญมณีมีสีสันสวยงาม คือ สารเจือปนในอัญมณี ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ผสมอยู่ในอัญมณีนั้นๆ แร่ธาตุเหล่านี้จะมีสมบัติการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน เช่น หยก มีสีเขียว เนื่องจากมีโครเมียมซึ่งเป็นธาตุที่ดูดกลืนแสงสีแดง น้ำเงิน และสีม่วงในแถบของคลื่นแสง แต่ไม่ดูดกลืนสีเขียว นอกจากนี้โครงสร้างผลึกของอัญมณีก็มีผลต่อการที่ทำให้เรามองเห็นอัญมณีเป็นสีต่างๆ ด้วย

ในกระบวนการนี้ รังสีจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับธาตุภายในอัญมณีนั้นๆ โดยจะทำให้อิเล็กตรอนภายในธาตุต่างๆ เคลื่อนที่ไปจากเดิมหรือเกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างธาตุภายในอัญมณี ทำให้สมบัติการดูดกลืนแสงหรือการให้สีของผลึกอัญมณีเปลี่ยนไปเกิดเป็นสีใหม่ขึ้น



ปัจจุบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญในฐานะพลังงานสร้างสรรค์ และก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย ในแวดวงธุรกิจนั้น ทั้งผู้ประกอบการตั้งแต่รายย่อยไปจนถึงรายใหญ่สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ได้ไม่แตกต่างกัน หากเราส่งเสริมให้มีการศึกษา วิจัย และเผยแพร่ความรู้ในศาสตร์ของเทคโนโลยีนิวเคลียร์อย่างทั่วถึง เชื่อว่าพลังงานนิวเคลียร์จะเป็นอีกตัวช่วยหนึ่งที่จะทำให้นักธุรกิจผู้ประกอบการสามารถดำเนินกิจการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผู้บริโภคเช่นพวกเราทุกคนก็จะได้ใช้สินค้าและบริการที่มีคุณภาพสูงขึ้นอย่างแน่นอน

อภิธานศัพท์

การเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking)

กระบวนการทางเคมีที่ทำให้เกิดพันธะเคมีของโมเลกุลตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไป ทำให้รูปแบบการจับตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไป เช่น ก่อเป็นรูปตาข่าย (network) การเชื่อมโยงโมเลกุลจะทำให้สารนั้นๆ มีสมบัติเปลี่ยนไป เช่น แข็งแกร่งมากขึ้น หรือมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เป็นต้น

ครึ่งชีวิต (half life)

คาบเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีจำนวนหนึ่ง จะสลายตัวไปเป็นปริมาณครึ่งหนึ่ง เหลืออะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีนั้น ครึ่งหนึ่งของอะตอมเริ่มต้น

เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น (electron linear accelerator)

เครื่องเร่งอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเป็นเส้นตรง โดยสามารถเร่งลำอิเล็กตรอนให้มีพลังงานได้สูงถึง 0.1-10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ควบคุมอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้าสถิต และชนิดที่ควบคุมอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้าย่านความถี่คลื่นวิทยุ โดยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นนี้เหมาะสำหรับงานวิจัยทางฟิสิกส์ และการปรับปรุงคุณภาพวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ เช่น งานเคลือบผิววัตถุและงานผลิตเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ

ซิงโครทรอน (synchrotron)

เครื่องเร่งอนุภาคด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนแปลงด้วยความถี่ในย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ และบังคับอนุภาคให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมีคงที่ โดยการควบคุมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นพร้อมสัมพันธ์กับความเร็วของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น

ซิงโครทรอนเครื่องแรก ชื่อ คอสโมทรอน (Cosmotron) สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2495 ตั้งอยู่ที่ Brookhaven National Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถเร่งโปรตอนให้มีพลังงานสูงถึง 2,300 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ปัจจุบันเครื่องเร่งอนุภาคชนิดนี้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางที่สุด

ไซโคลทรอน (cyclotron)

เป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลมชนิดแรกในโลก ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย เออร์เนสต์ ออร์แลนโด ลอว์เรนซ์ (Earnest O. Lawrence) ในปี ค.ศ. 1929

ไซโคลตรอนประกอบไปด้วย กล่องเหล็กโปร่ง 2 กล่องวางติดกันเป็นครึ่งวงกลม 2 ข้าง แต่ละข้างมีรูปร่างเหมือนตัว D ใหญ่ ทั้งสองกล่องต่อกับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งทำให้ขั้วไฟฟ้าแต่ละตัวเปลี่ยนสลับไปมา อนุภาคที่มีประจุรับพลังงานเมื่อเดินทางข้ามช่องความต่างศักย์ระหว่าง 2 กล่อง ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมคล้ายก้นหอย เมื่อได้ความเร็วที่ต้องการ อนุภาคจะถูกปล่อยให้ชนกับวัสดุที่ใช้เป็นเป้า

เครื่องเร่งอนุภาคชนิดนี้ใช้ในการวิจัยฟิสิกส์มูลฐาน และการผลิตสารไอโซโทปรังสี

นิวตรอน (neutron)

หนึ่งในอนุภาคมูลฐานที่ประกอบกันเป็นนิวเคลียสของอะตอม นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ และมีมวลมากกว่าโปรตอนเล็กน้อย พบในนิวเคลียสของทุกอะตอม ยกเว้นอะตอมของไฮโดรเจนธรรมดา

บีตาทรอน (betatron)

เครื่องเร่งอิเล็กตรอน ลักษณะเป็นรูปโดนัต โดยอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้วิ่งเป็นวงกลมรัศมีคงที่โดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก

บีตาทรอนเครื่องแรกสร้างโดย โดนัลด์ ดับเบิลยู. เคิร์สต์ (Donald W. Kerst) ในปี พ.ศ. 2483 ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงาน 2.5 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

รังสีแกมมา (gamma rays)

รังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น เกิดจากการสลายของนิวเคลียสที่ไม่เสถียร หรือจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ มักเกิดร่วมกับอนุภาคแอลฟาและอนุภาคบีตา รังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ดังนั้นในการป้องกันอันตรายจากรังสีจึงต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว ยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ หรือคอนกรีตหนา เป็นเครื่องกำบัง

"อะตอม...เพื่ออนาคต"

สื่อให้ความรู้เรื่องพลังงานนิวเคลียร์

อะตอม...เพื่ออนาคต

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ ได้รู้จักว่าอะตอมคืออะไร พลังงานนิวเคลียร์เกิดขึ้นได้อย่างไร คนเราทุกวันนี้เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ขนาดไหน และความสำคัญของพลังงานนิวเคลียร์

อะตอมออฟฟิศ

รู้จักกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เป้าหมายและความรับผิดชอบในฐานะองค์กรที่เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์โดยตรง เที่ยวชมหน่วยงานภายใน รู้จักอุปกรณ์เครื่องมือที่น่าสนใจ รวมทั้งหน้าที่ของบุคลากรในส่วนต่างๆ

อะตอมเพื่อนเกษตรกรไทย

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ในการพัฒนาด้านการเกษตรของไทย ทั้งด้านการวิจัยและการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาพันธุ์พืช การกำจัดศัตรูพืช และการถนอมอาหาร

คุณหมออะตอม

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ในด้านการแพทย์ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับชีวิตของทุกคน ทั้งด้านการวินิจฉัยโรค การรักษาโรค และการฆ่าเชื้อ ซึ่งการวิจัยเพื่อการแพทย์นี้มีพัฒนาการมาโดยตลอด

อะตอมเพื่อนนักธุรกิจ

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ที่มีต่อวงการอุตสาหกรรม ในด้านการตรวจสอบมาตรฐานการผลิต การตรวจสอบเพื่อบำรุงรักษา และการเพิ่มมูลค่าการผลิต ในประเทศไทยได้พัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดมาอย่างต่อเนื่อง

อะตอมนักสำรวจ

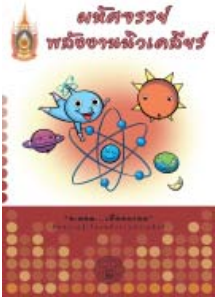
ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ที่มีต่อการสำรวจ โดยเฉพาะการสำรวจด้านโบราณคดี และการสำรวจแหล่งแร่ ทั้งนี้โดยอาศัยหลักการในเรื่องของธาตุกัมมันตรังสี และเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์อื่นๆ อีกมากมาย

อยู่ปลอดภัยกับอะตอม

รับรู้ว่าคนเราสามารถใช้ชีวิตได้อย่างปลอดภัยพร้อมๆ ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับคนเราเกือบทุกเรื่อง ได้รู้การปฏิบัติตัวอย่างถูกต้องเมื่อต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ ทั้งผู้ใช้ และผู้รับบริการ

สถานีปลายทาง

ความรู้ในเรื่องการจัดการกับกากกัมมันตรังสีที่เหลือจากการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ในกิจการต่างๆ ได้รู้จักกากกัมมันตรังสีหลากหลายประเภท และความสำคัญที่ต้องจัดการอย่างถูกต้องและไม่เป็นอันตราย



มหัศจรรย์พลังงานนิวเคลียร์

บทบาทของพลังงานนิวเคลียร์ในระดับชาติและระดับสากล แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่นานาประเทศทั่วโลกให้การยอมรับและไว้วางใจ ให้ความรู้เพื่อสร้างพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานปรมาณูแก่คนทั่วไป ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในอนาคตแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่กำลังจะหมดไป

ISBN: 978-974-229-044-3

คณะผู้จัดทำ:

- นายสุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข
- นางสุชาดา พงษ์พัฒน์
- นางสาวกรรณิกา มณีวรรณ์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2579-5230-4, 0-2562-0123, 0-2596-7600

โทรสาร 0-2561-3013

www.oaep.go.th

ศูนย์บริการประชาชน (Call Center)

โทรศัพท์ 0-2579-1824, 0-2579-1834, 0-2579-1849, 0-2579-2888

ขอขอบคุณข้อมูลจาก

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศึกษา สร้างสรรค์และผลิตโดย:

บริษัท ดาวฤกษ์ คอมมูนิเคชั่นส์ จำกัด (หนึ่งในกลุ่มบริษัททีม) 151 ชั้น 12 อาคารทีม ถนนนวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230 โทรศัพท์และโทรสาร 0-2509-9091-2 www.daoreuk.com

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2579-5230-4, 0-2562-0123, 0-2596-7600
โทรสาร 0-2561-3013
www.oaep.go.th

ศูนย์บริการประชาชน (Call Center)
โทรศัพท์ 0-2579-1824, 0-2579-1834, 0-2579-1849, 0-2579-2888