การวัดความหนาของวัสดุโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านของรังสี
Thickness Measurement by using Gamma Rays Transmission Technique

พฤฒิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์[1*] วสุ ชีวสุขานนท์[1] และจักรพงษ์ แก้วขาว[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*] golfpo@hotmail.com

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบความหนาของตะกั่วและอลูมิเนียม โดยทั้งสองวัสดุถูกวัดผ่านเครื่องมือเวอร์เนียคาลิเปอร์ และเทคนิคการวัดโดยใช้หลักการส่งผ่านของรังสี ซึ่งค่าทฤษฎีและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) ของทั้งสองวัสดุจะถูกคำนวนโดยใช้โปรแกรม WinXCom วัสดุทั้งสองชนิดจะถูกวัดโดยการใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และทั้งหมดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาที่ได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ค่าความหนา และค่าสัมประสิทธ์การลดทอนเชิงมวลของแผ่นตะกั่วมีค่ามากกว่าแผ่นอลูมิเนียม ค่าความหนาของตะกั่วและอลูมิเนียมที่วัดได้จากเทคนิคการส่งผ่านของรังสีมีค่าความหนาที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับเวอร์เนียคาลิเปอร์ และค่าความแตกต่าง (% RD) ระหว่างสองเทคนิคในการวัดมีค่าไม่เกิน 4%

คำสำคัญ: การวัดความหนา รังสีแกมมา เทคนิคการส่งผ่าน

Abstract

The aim of this research to study and compare thickness of lead and aluminium. The both materials were measured by using vernier caliper and gamma rays transmission technique which theoretical values and the mass attenuation coefficients of both materials were calculated by using WinXCom program. Both materials were measured by using Cs-137 source at 662 keV of the energy, and those were compared with thickness values from vernier caliper respectively. The results showed that the lead higher density and the mass attenuation coefficients than aluminium. The thickness of lead and aluminium were measured from gamma rays transmission are good agreement with vernier caliper and the relative difference percentage (% RD) is not over 4%.

Keywords: thickness measurement, gamma rays, transmission technique

1. บทนำ

ในการวัดความหนาของวัสดุ หรือแม้แต่วัสดุที่มีความยากลำบากในการวัด ล้วนแล้วแต่มีความต้องการในหลายสายงาน เช่น นักวัสดุศาสตร์ วิศวกร ด้านการแพทย์ และอีกมากมาย การวัดความหนานั้นขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ต้องการวัด และนั่นคือเหตุผลที่ว่า ไม้บรรทัด เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์ นั้นคือเครื่องมือพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในการวัดความหนาของวัสดุ แต่ก็มีบางวัสดุนั้นที่ไม่สามารถที่จะทำการวัดได้เนื่องจากลักษณะของวัสดุนั้นไม่เอื้ออำนวยต่อการวัด ดังนั้นมันจึงมีความสำคัญที่จะพัฒนาเครื่องมือในการวัดที่มีความแม่นยำ และสามารถวัดได้ครอบคลุมทุกวัสดุ

ความรู้เกี่ยวกับรังสีนั้นจึงมีความสำคัญในงานหลาย ๆด้าน และถูกให้ความสนใจในการประยุกต์และนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมเช่นกัน (S. Singh and et.al, 2008), (N. Singh, K. jit Singh, K. Singh and H. Singh, 2004) เมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนผ่านสสารหรือเนื้อของวัสดุนั้น จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสารทำให้ความเข้มของรังสีนั้นลดลง ในการลดลงของรังสีนั้นจะขึ้นกับชนิดของวัสดุ ความหนาแน่น และความหนา ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่สามารถคำนวณได้จากโปรมแกรม WinXCom ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เปิดให้ใช้งานได้โดยผ่านระบบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นโดย (L. Gerward and et.al., 2004) ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยได้นำรังสีมาใช้วัดความหนาเนื่องจากความสัมพันธ์ของการลดทอนรังสีเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสาร (K. Kaur, K.J. Singh and V. Anand, 2015), (K. Singh, S. Singh, A.S. Dhaliwal and G. Singh, 2015), (R.S. Kaundal, S. Kaur, N, Singh and K.J. Singh, 2010)

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้นำความรู้ในด้านรังสีมาประยุกต์ใช้ในการวัดความหนา โดยการให้รังสีแกมมาเคลื่อนผ่านชิ้นงานหรือวัสดุที่ต้องการวัด และทำการนับวัดจากหัววัดรังสี และสามารถคำนวณหาความหนาจากความสัมพันธ์ของการลดทอนรังสีได้ (H. Yun, S.J. Moon, and Y.J. Oh, 2016), (T.D. Nguyen, J.D.R. Valera and A.J. Moore, 2016) (M. Kusano, S. Takizawa, T. Sakai, Y. Arao and M. Kubouchi, 2017), (M.R. Yazdani, S. Setayeshi, H. Arabalibeik and M.E. Akbari, 2017)

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำตะกั่ว และ อลูมิเนียม ที่ไม่ทราบค่าความหนามาศึกษาและเปรียบเทียบค่าความหนา โดยทั้งสองวัสดุจะถูกวัดผ่านเครื่องมือคือ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และการวัดโดยใช้หลักการส่งผ่านของรังสี ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) ของวัสดุทั้งสองชนิดจะถูกวัดที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ถูกใช้ในการทดลองนี้ และนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาที่ได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์ตามลำดับ

2. ทฤษฎี

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

เมื่อรังสีเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อของสสาร ความเข้มของรังสีจะลดลงเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสาร การที่ความเข้มของรังสีลดลงจาก I_0 ถึง I สามารถคำนวนได้จากกฎของ Lambert-Beer law

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho x} \tag{1}$$

เมื่อ ρ คือค่าความหนาแน่นของตัวอย่างวัสดุ X คือความหนาของตัวอย่างวัสดุ และ μ/ρ (cm^2/g) คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าทฤษฎีของค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเชิงมวลที่ได้จากกฎการรวมและสามารถคำนวณได้จากโปรแกรม WinXCom สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้

$$\mu/\rho = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \tag{2}$$

โดยกำหนดให้ w_i และ $(\mu/\rho)_i$ คือสัดส่วนโดยน้ำหนัก และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ i ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น μ (cm^{-1}) สามารถคำนวนได้โดยการคูณจากค่าความหนาแน่นของตัวอย่างวัสดุกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล จากความสัมพันธ์สามารถหาความหนาของวัสดุตัวอย่างจากสมการ

$$e^{-(\mu/\rho)\rho x} = \frac{I}{I_0} \tag{3}$$

$$-\mu x = \ln\frac{I}{I_0} \tag{4}$$

$$x = \frac{\ln\frac{I_0}{I}}{\mu} \tag{5}$$

3. วิธีการทดลอง

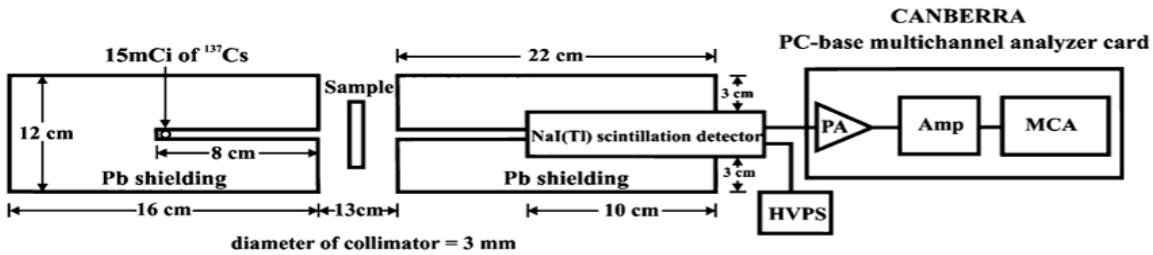
ค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่นของแผ่นตะกั่ว และแผ่นอลูมิเนียม ถูกวัดโดยใช้การแทนที่ของเหลวตามสมการของอคิมิดิส

$$\rho = \frac{W_A}{W_A - W_B} \times \rho_{Water} \tag{6}$$

โดยที่ W_A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ และ W_B คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ และค่าความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.999 g/cm^3

การส่งผ่านของรังสีแกมมา



รูปภาพที่ 1 ไดอะแกรมการทดลองกระบวนการส่งผ่านของรังสี

ที่มา: (Kaewkhao et al., 2012)

จากรูปที่ 1 ได้ใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง โดยมีถ้ำตะกั่วหุ้มแหล่งกำเนิดรังสีไว้โดยมีหัววัดรังสี NaI(Ti) ที่หุ้มด้วยถ้ำตะกั่วและทำการนับวัดค่ารังสีที่ส่งผ่านตัวอย่างวัสดุเข้าสู่หัววัด

NaI(Ti) ที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟ (HVPS) และแปลงสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อแปลค่า โดยใช้โปรแกรมซอฟแวร์ Genie 2000

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองค่าความหนาแน่น ค่าความหนาที่วัดจากเวอร์เนียคาลิเปอร์ และการส่งผ่านของรังสีของแผ่นตะกั่วและแผ่นอลูมิเนียม

ผลการทดลอง					
วัสดุ	**ความหนาแน่น (g/cm^3)**	**ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g)**	**ค่าความหนาโดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (cm)**	**ค่าความหนาโดยการส่งผ่านของรังสี (cm)**	**% RD**
แผ่นตะกั่ว	11.34	0.1101	0.1000	0.0964 ± 0.0030	3.7344
แผ่นอลูมิเนียม	2.70	0.0746	0.0750	0.0722 ± 0.0042	3.8251

จากผลการทดลอง ค่าความหนาและค่าความหนาแน่นของแผ่นตะกั่วและแผ่นอลูมิเนียม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 พบว่าตะกั่วมีค่าความหนาแน่นมากกว่าอลูมิเนียม เนื่องจากตะกั่วมีค่าเลขอะตอมที่สูงกว่า จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตะกั่วมีค่ามากกว่าอลูมิเนียม เนื่องจากโอกาสการเกิดอันตรกิริยาของตะกั่วที่มากกว่า ผลการทดลองค่าความหนาของตะกั่วและอลูมิเนียมจากเทคนิคการส่งผ่านของรังสีมีค่าความหนาที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับเวอร์เนียคาลิเปอร์ และค่าความแตกต่าง (% RD) ระหว่างสองเทคนิคในการวัดมีค่าไม่เกิน 4%

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองค่าความหนาของแผ่นตะกั่วและแผ่นอลูมิเนียมที่วัดได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์ และจากการส่งผ่านของรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 เข้าหัววัดรังสี NaI(Ti) ที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟ (HVPS) และแปลงสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อแปลค่าที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์พบว่า ค่าความหนาที่ได้จากการวัดแบบวิธีส่งผ่านของรังสีมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับเวอร์เนียคาลิเปอร์ และเป็นวิธีที่ทำให้ลดโอกาศที่จะทำให้ชิ้นงานหรือวัสดุที่วัดเกิดการชำรุดได้ และมีความแม่นยำสูง เราสามารถใช้เทคนิคการวัดความหนาได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับชิ้นงานหรือวัสดุที่ใช้วัด ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีสำหรับวัสดุที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานได้

6. เอกสารอ้างอิง

Singh S., Kumar A., Singh D., Singh Thind K., & Mudahar S. (2008). Barium–borate–flyash glasses: As radiation shielding materials: Nucl. Instr. and Meth. Vol. 266, pp. 140–146.

Singh N., Jit Singh K., Singh K.., & Singh H., (2004). Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials: Nucl. Instr. and Meth. Vol. 225, pp. 305–309.

Gerward L., Guilbert N., Bjorn Jensen K. and Levring H., (2001). X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM: Radiation Physics and Chemistry. Vol. 60, pp. 23–24

Kaur K., Singh K.J. & Anand V., (2015). Correlation of gamma ray shielding and structural properties of PbO–BaO–P_2O_5 glass system: Nuclear Engineering and Design. Vol. 285, pp. 31–38.

Singh K., Singh S., Dhaliwal A.S. & Singh G., (2015). Gamma radiation shielding analysis of lead-flyash concretes: Applied Radiation and Isotopes. Vol. 95, pp. 174–179.

Kaundal R.S., Kaur S., Singh N. & Singh K.J. (2010). Investigation of structural properties of lead strontium borate glasses for gamma-ray shielding applications: Journal of Physics and Chemistry of Solids. Vol. 71, pp. 1191–1195.

Yun, H., Moon, S.J. and Oh, Y.J., (2016). Development of Wall-Thinning Evaluation Procedure for Nuclear Power Plant Piping-Part 1: Quantification of Thickness Measurement Deviation: Nuclear Engineering and Technology. Vol. 48, pp. 820-830.

Nguyen, T.D., Valera, J.D.R. and Moore, A.J., (2016). Optical thickness measurement with multi-wavelength THz interferometry: Optics and Lasers in Engineering. Vol. 61, pp. 19-22.

Kusano, M., Takizawa S., Sakai, T., Arao, Y. and Kubouchi, M., (2017). Simultaneous sound velocity and thickness measurement by the ultrasonic pitch-catch method for corrosion-layer-forming polymeric materials: Ultrasonic. Vol. 82, pp. 178-187.

Yazdani, M.R., Setayeshi, S., Arabalibeik, H. and Akbari, M.E., (2017) Design construction and performance evaluation of the target tissue thickness measurement system in intraoperative radiotherapy for breast cancer: Nucl. Instr. and Meth. Vol. 855, pp. 32-37.