

## การพัฒนาระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบอัตโนมัติ

ภาณุพงศ์ มหันตพลาณนท์\*, มนัสวี เลาะวีธี, และ กมลทิพย์ พลอยกระจำว

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

\*Corresponding author: manasavee.l@chula.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้ โดยมุ่งเน้นการตรวจจบบโพรงภายในต้นไม้เนื้อแข็ง อาศัยหลักการลดทอนรังสีตามทฤษฎี Beer-Lambert Law และการวิเคราะห์ค่าการนับรังสีจากการสแกนในตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้น

ในขั้นตอนการทดลอง ได้ทำการทดสอบความแม่นยำของระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่ในช่วงระยะ 0-500 มิลลิเมตร พบว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.04-1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร จากนั้นได้ทำการสแกนชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตันเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งพบว่าค่าความเข้มของรังสีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและสมมาตรจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ สอดคล้องกับการลดทอนรังสีในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

สำหรับการสแกนชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู พบว่าค่าการนับรังสีบริเวณใจกลางของชิ้นไม้มีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ ซึ่งสามารถระบุเป็นตำแหน่งของโพรงภายในได้ โดยคำนวณความกว้างของโพรงได้ประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีสามารถตรวจจบบและประมาณขนาดของโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับวัสดุไม้และวัสดุเนื้อแน่นอื่น ๆ

**คำสำคัญ:** การสแกนด้วยรังสี / การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย / โพรงภายในเนื้อไม้ / การลดทอนรังสี / Beer-Lambert Law

## Development of gamma transmission automatic scanning system for inspection of internal structure of tree

Panupong Mahuntpalanon<sup>\*</sup>, Manasavee Lohvithee, and Kamontip Ploykrachang

*Department of Nuclear Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand*

*\*Corresponding author: manasavee.l@chula.ac.th*

### Abstract

This research aims to investigate the capability of a radiation scanning system combined with a radiation detector for inspecting internal structures of wood, with particular emphasis on detecting internal cavities in hardwood samples. The study is based on the principle of radiation attenuation according to the Beer–Lambert Law and the analysis of radiation count rates obtained from scanning at different positions along the specimen. The developed system consists of a radiation source, a radiation detector, and a linear motion control mechanism.

The accuracy of the motion control system was assessed over a travel range of 0–500 mm. The results demonstrate that the system can accurately move to the specified positions, exhibiting an average positional error of approximately 1.04–1.3% and an average standard deviation of approximately 0.6 mm. Subsequently, solid cylindrical hardwood samples devoid of internal cavities were scanned to establish a reference baseline. The radiation intensity was observed to diminish gradually and symmetrically from the periphery toward the core of the sample, which aligns with the principles of radiation attenuation in a homogeneous medium.

In cylindrical hardwood samples with a single drilled cavity, radiation count rates were notably lower and relatively constant within the central region compared to the surrounding areas. This region was identified as the internal cavity, with a width estimated to be approximately 50 mm, which aligns well with the actual cavity dimensions. The findings substantiate the efficacy of the proposed radiation scanning system in detecting and estimating the size of internal cavities in wood, thereby highlighting its potential as a non-destructive testing technique for wood and other dense materials.

**Keywords:** Radiation scanning / Non-destructive testing / Internal cavity in wood / Radiation attenuation / Beer–Lambert Law

## 1. บทนำ

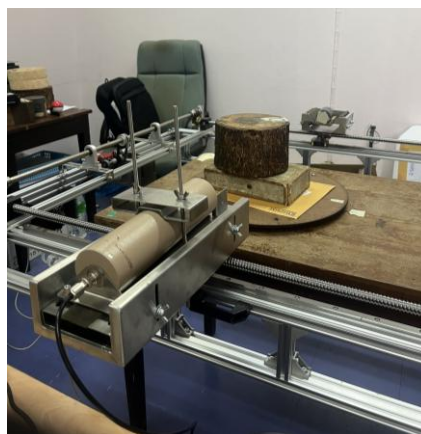
การตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้เป็นปัญหาที่ท้าทาย เนื่องจากความเสียหายภายในลำต้นไม่สามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบภายนอกด้วยสายตา เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยการส่งผ่านรังสีจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการประเมินสภาพภายในของเนื้อไม้ โดยอาศัยหลักการลดทอนรังสีตามกฎ Beer-Lambert [1,2] ซึ่งความแตกต่างของการลดทอนรังสีสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาและความหนาแน่นของวัสดุได้ โดยทฤษฎีของ Beer-Lambert Law[1,2] ซึ่งระบุว่า

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

|        |       |                                       |
|--------|-------|---------------------------------------|
| โดยที่ | $I$   | คือ ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุ      |
|        | $I_0$ | คือ ความเข้มเริ่มต้น                  |
|        | $\mu$ | คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้น |
|        | $x$   | คือ ความหนาของวัสดุที่รังสีผ่าน       |

เมื่อรังสีผ่านเนื้อไม้ปกติ ความเข้มของรังสีจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดขนาดของเนื้อไม้ สอดคล้องกับความหนาและความหนาแน่นของเนื้อไม้ในแต่ละตำแหน่งตามความหนาของวัสดุ แต่ในกรณีที่มีโพรงภายใน การลดลงของความหนาและความหนาแน่นของเนื้อไม้จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสัญญาณรังสีจากรูปแบบสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากเนื้อไม้ปกติ ซึ่งความเบี่ยงเบนดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ตำแหน่งของโพรงภายในลำต้นได้

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้ด้วยรังสี โดยใช้การเปรียบเทียบสัญญาณรังสีที่วัดได้กับค่าพื้นฐานของเนื้อไม้ปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณ โดยอุปกรณ์แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ระบบเคลื่อนที่ทางกล ระบบนับวัดรังสี และ ต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 1 การทดลองดำเนินการกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบต้นและแบบเจาะรูเพื่อจำลองโพรงภายใน โดยไม้ทรงกลมต้นทำการสแกนในช่วงระยะทุก 10 มิลลิเมตร และวัดซ้ำ 3 ครั้งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมแบบเจาะรู ทำการสแกนในช่วงระยะทุก 2 มิลลิเมตร และ วัดจำนวน 1 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์โพรงภายในต้นไม้ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับตำแหน่งโพรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาพภายในต้นไม้ในงานภาคสนามได้



รูปที่ 1 ระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาและทดสอบระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย โดยอาศัยหลักการลดทอนรังสีตามกฎ Beer-Lambert
2. เพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณรังสีในเนื้อไม้ปกติและบริเวณที่มีโพรงจำลอง รวมถึงพัฒนาเกณฑ์การตรวจจับตำแหน่งโพรงจากการเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน และการวิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณเชิงสถิติ
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสแกนในการตรวจจับโพรงภายในเนื้อไม้

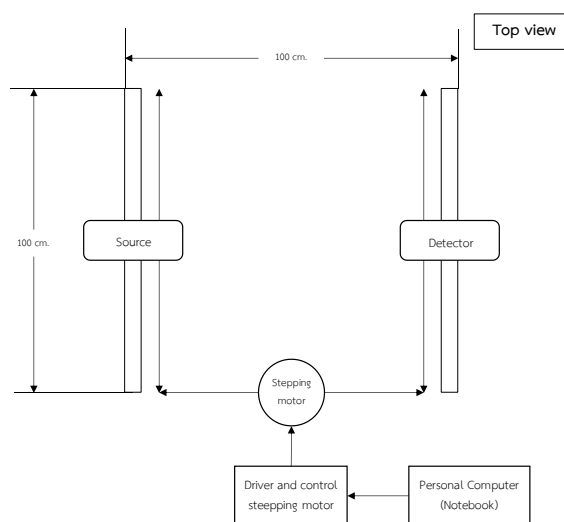
## 3. ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษานี้จำกัดขอบเขตที่การตรวจสอบโพรงภายในเนื้อไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าการนับรังสีตามหลักการลดทอนรังสีของ Beer-Lambert
2. การทดลองดำเนินการกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบต้นและแบบเจาะรูเพื่อจำลองโพรงภายใน ภายใต้สภาวะการสแกนแบบหนึ่งมิติ ด้วยระยะและเวลาการวัดคงที่ในแต่ละตำแหน่ง
3. การวิเคราะห์ข้อมูลมุ่งเน้นการตรวจจับตำแหน่งโพรงจากการเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน ของไม้ปกติ และทำการวิเคราะห์ขนาดโพรงจากข้อมูลที่วัดได้

## 4. วิธีการศึกษา

### 4.1 วิธีการทดสอบระบบทางกล

การทดสอบระบบกลสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ทำได้โดยการจัดระบบทดสอบ ดังรูปที่ 2 กำหนดให้ระบบเคลื่อนที่ไปและกลับ โดยทำเครื่องหมายที่ระยะ 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 425, 450, 475 และ 500 มิลลิเมตร แล้ววัดพร้อมบันทึกผลของแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 2 การทดสอบระบบการเคลื่อนที่

### 4.2 วิธีการทดสอบระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้

การทดสอบระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ดำเนินการโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย ขึ้นงานทดสอบเป็นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบต้นและแบบเจาะรูเป็นทรงกลมขนาด 5 เซนติเมตร เพื่อจำลองโพรงภายใน ดังตารางที่

1 ระบบสแกนควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดในแนวเส้นตรงผ่านชิ้นงาน โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาการวัดตำแหน่งละ 10 วินาที และวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งสำหรับตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน ค่าการนับรังสีที่ตรวจวัดได้ถูกนำมาสร้างโปรไฟล์ และเปรียบเทียบกับผลการสแกนของชิ้นงานที่มีโพรง โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบโปรไฟล์ของไม้ทรงกลมตันกับโปรไฟล์ของเนื้อไม้ที่ทำการเจาะรูเพื่อวิเคราะห์ขนาดของโพรง

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างชิ้นไม้ที่ใช้ในการทดสอบ

| ชั้นที่ | ภาพชิ้นไม้   | หมายเหตุ  |
|---------|--|---|
| 1       |   | ตัวอย่างไม้เนื้อแข็งทรงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร                    |
| 2       |  | ตัวอย่างไม้เนื้อแข็งทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรเจาะรูขนาด 5 เซนติเมตร |

## 5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 5.1 ผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบกล

การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ได้ทำการวัดตำแหน่งที่ระยะการเคลื่อนที่ตั้งแต่ 0-500 มิลลิเมตร โดยวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการวัดการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่ง

| ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 1 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 2 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 3 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 4 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 5 (มิลลิเมตร) | ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร) | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0                                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                     | 0.00%                  |
| 5                                 | 5                         | 5                         | 5                         | 5                         | 5                         | 5                     | 0.00%                  |
| 10                                | 10                        | 10                        | 10                        | 10                        | 10                        | 10                    | 0.00%                  |
| 25                                | 25                        | 25                        | 25                        | 25                        | 26                        | 25.2                  | 0.80%                  |
| 50                                | 50                        | 50                        | 50                        | 50                        | 51                        | 50.2                  | 0.40%                  |
| 75                                | 75                        | 74                        | 75                        | 74                        | 75                        | 74.6                  | 0.53%                  |
| 100                               | 99                        | 99                        | 99                        | 99                        | 100                       | 99.2                  | 0.80%                  |
| 125                               | 124                       | 124                       | 124                       | 124                       | 124                       | 124                   | 0.80%                  |
| 150                               | 149                       | 149                       | 149                       | 148                       | 149                       | 148.8                 | 0.80%                  |

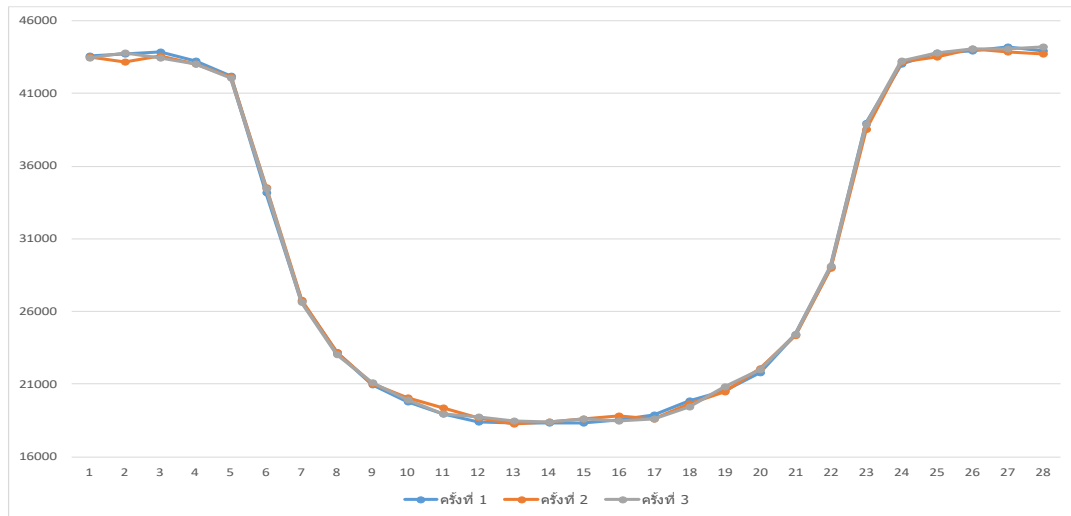
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการวัดการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่ง (ต่อ)

| ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 1 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 2 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 3 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 4 (มิลลิเมตร) | วัดครั้งที่ 5 (มิลลิเมตร) | ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร) | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| 175                               | 173                       | 174                       | 173                       | 173                       | 174                       | 173.4                 | 0.91%                  |
| 200                               | 198                       | 198                       | 197                       | 197                       | 198                       | 197.6                 | 1.20%                  |
| 225                               | 222                       | 223                       | 222                       | 222                       | 223                       | 222.4                 | 1.16%                  |
| 250                               | 248                       | 247                       | 247                       | 247                       | 248                       | 247.4                 | 1.04%                  |
| 275                               | 273                       | 272                       | 271                       | 271                       | 272                       | 271.8                 | 1.16%                  |
| 300                               | 298                       | 296                       | 296                       | 296                       | 297                       | 296.6                 | 1.13%                  |
| 325                               | 323                       | 321                       | 321                       | 321                       | 322                       | 321.6                 | 1.05%                  |
| 350                               | 348                       | 345                       | 345                       | 345                       | 346                       | 345.8                 | 1.20%                  |
| 375                               | 371                       | 369                       | 369                       | 369                       | 372                       | 370                   | 1.33%                  |
| 400                               | 396                       | 395                       | 394                       | 394                       | 395                       | 394.8                 | 1.30%                  |
| 425                               | 421                       | 419                       | 419                       | 419                       | 420                       | 419.6                 | 1.27%                  |
| 450                               | 445                       | 444                       | 444                       | 444                       | 445                       | 444.4                 | 1.24%                  |
| 475                               | 470                       | 469                       | 469                       | 469                       | 469                       | 469.2                 | 1.22%                  |
| 500                               | 495                       | 494                       | 494                       | 494                       | 494                       | 494.2                 | 1.16%                  |

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยค่าระยะทางที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนวณได้จากผลการวัดอยู่ในช่วงประมาณ 1.04–1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่มากขึ้น ผลการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่งมีการกระจายตัวต่ำ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่งนอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ในลักษณะไป-กลับ ไม่พบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าความคลาดเคลื่อนตามจำนวนรอบการเคลื่อนที่

## 5.2 ผลการทดสอบแกนโพรงภายในตัวอย่างชิ้นไม้

5.2.1 จากการเก็บโปรไฟล์การลดทอนรังสีของชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตัน โดยทำการเคลื่อนตำแหน่งการวัดครั้งละ 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง 10 วินาที และทำการวัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าอ่านบิวต์รังสีที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบกราฟผังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าความเข้มของรังสีที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงบริเวณขอบของชิ้นไม้ และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นไม้

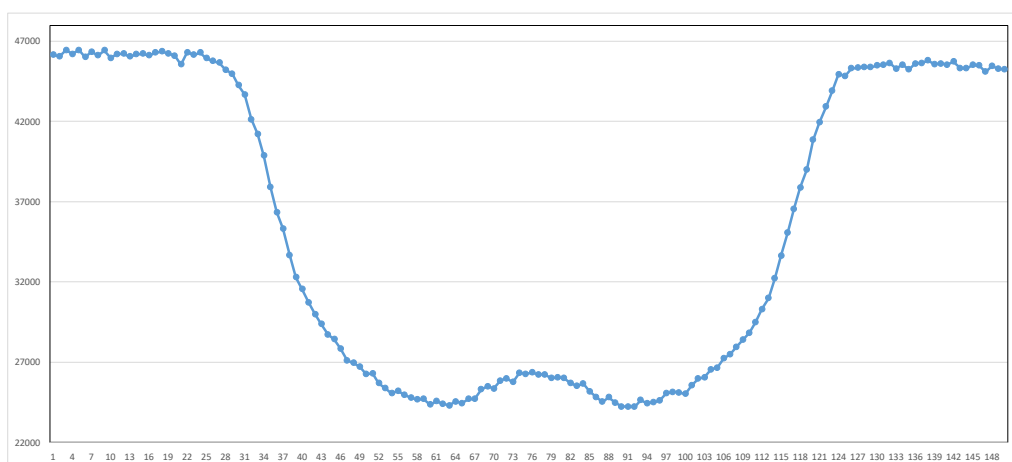


รูปที่ 3 กราฟที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน

รูปที่ 3 แสดงกราฟค่าดัชนีวัดรังสีที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของรังสีลดลงอย่างสม่ำเสมอจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากบริเวณใจกลางออกไปสู่ขอบอีกด้านหนึ่ง ลักษณะดังกล่าวสะท้อนถึงการดูดกลืนและการลดทอนของรังสีภายในเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

ตามทฤษฎีของ Beer-Lambert Law [1,2] ความเข้มของรังสีจะลดลงในลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียลเมื่อรังสีผ่านตัวกลางที่มีสมบัติที่บ่งชี้ ดังนั้นแนวโน้มของกราฟที่ลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอจึงสอดคล้องกับลักษณะของชิ้นไม้ทรงกลมตันที่ไม่มีโพรงหรือความไม่สม่ำเสมอภายในเนื้อไม้

5.2.2 จากการเก็บโปรไฟล์ชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 2 มิลลิเมตรใช้เวลาในแต่ละตำแหน่ง 10 วินาที ได้ค่าดัชนีวัดรังสีแล้วนำมาแสดงข้อมูลเป็นรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ระบบสแกนด้วยรังสีและหัววัดรังสีสามารถตรวจจับโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถระบุตำแหน่งของโพรงจำลองได้ตรงกับลักษณะจริงของชิ้นไม้ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4 กราฟที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ที่เจาะรู 5 เซนติเมตร

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์การลดทอนรังสีผ่านชั้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมที่มีการเจาะโพรงภายใน โดยทำการสแกนรังสีตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน ใช้ระยะการเคลื่อนตำแหน่งการวัด 2 มิลลิเมตรต่อจุด และใช้เวลาเก็บข้อมูลตำแหน่งละ 10 วินาที ค่านับวัดรังสีที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ในลักษณะโปรไฟล์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของชิ้นไม้

จากการพิจารณาข้อมูลดิบ พบว่าค่านับวัดรังสีมีค่าสูงบริเวณขอบของชิ้นไม้และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่บริเวณภายใน อันเป็นผลจากการดูดกลืนรังสีในเนื้อไม้ตาม Beer-Lambert Law อย่างไรก็ตาม บริเวณใจกลางของชิ้นไม้พบช่วงที่ค่านับวัดรังสีลดลงมาอยู่ในระดับต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ โดยช่วงที่ค่านับวัดรังสีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่อยู่ระหว่าง จุดที่ 65 ถึงจุดที่ 90 ซึ่งสอดคล้องกับบริเวณที่ลำรังสีเดินทางผ่านอากาศภายในโพรงเป็นหลัก จึงสามารถนิยามช่วงดังกล่าวให้เป็นตำแหน่งของโพรงภายในชิ้นไม้ตามแนวการสแกน

เมื่อคำนวณความกว้างของโพรงจากช่วงตำแหน่งดังกล่าว โดยใช้ระยะการเคลื่อนตำแหน่งการวัด 2 มิลลิเมตรต่อจุด พบว่าโพรงมีความกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริงที่ทำการเจาะไว้ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าวิธีการนิยามโพรงจากช่วงที่ค่านับวัดรังสีต่ำและมีลักษณะค่อนข้างคงที่ สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งและขนาดของโพรงภายในชิ้นไม้ได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ทั้งยังเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการสแกนรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในของวัสดุไม้และวัสดุเนื้อแน่นอื่น ๆ

## 6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถของระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้ โดยเริ่มจากการประเมินความแม่นยำของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ และต่อด้วยการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับโพรงภายในชิ้นไม้เนื้อแข็ง

ผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีในช่วงระยะ 0-500 มิลลิเมตร พบว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยค่าระยะทางที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.04-1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะการเคลื่อนที่มากขึ้น ขณะที่ผลการวัดซ้ำในแต่ละตำแหน่งมีการกระจายตัวต่ำ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงความเสถียรและความสม่ำเสมอของระบบกลในการควบคุมตำแหน่งการสแกน ทั้งนี้ไม่พบแนวโน้มของการสะสมความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ซึ่งยืนยันถึงความเหมาะสมของระบบสำหรับการใช้งานสแกนรังสีในงานทดลอง

ในส่วนของการทดสอบสแกนโพรงภายในชิ้นไม้ การทดลองกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตันซึ่งไม่มีโพรงภายในแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของรังสีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและสมมาตรจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ สอดคล้องกับการลดทอนรังสีในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอและเป็นไปตามทฤษฎี Beer-Lambert Law ผลดังกล่าวสามารถใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงของเนื้อไม้ปกติสำหรับการตรวจหาความผิดปกติภายใน

สำหรับการทดสอบกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู ระบบสแกนด้วยรังสีสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าการนับวัดรังสีบริเวณใจกลางของชิ้นไม้ได้อย่างชัดเจน โดยช่วงที่ค่านับวัดรังสีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ถูกระบุว่าเป็นตำแหน่งของโพรงภายในชิ้นไม้ เมื่อกำหนดจากข้อมูลเชิงปริมาณพบว่าโพรงมีความกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริงที่ทำการเจาะไว้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์โปรไฟล์การลดทอนรังสีสามารถใช้ในการระบุตำแหน่งและขนาดของโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

โดยสรุป ระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสำหรับการสแกนเชิงตำแหน่ง และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Swinehart, D. F. (1962). The Beer–Lambert law. *Journal of Chemical Education*, 39(7), 333–335. <https://doi.org/10.1021/ed039p333>
- [2] International Union of Pure and Applied Chemistry. (2014). *Beer–Lambert law*. In *Compendium of Chemical Terminology (IUPAC Gold Book)*. <https://goldbook.iupac.org/terms/view/B00626>