

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าว
อ่อนแบบไม่ทำลายผลด้วยการประมวลผลภาพเชิงเรขาคณิต โดยใช้จุดเซนทรอยด์กับเส้น
โค้ง Archimedean Spiral

**Mathematical Modeling for Non-Destructive Estimation of Young Coconut Meat
Thickness Using Geometric Image Processing Based on the Centroid and
Archimedean Spiral**

นฤกร รุ่งเรือง พรชนก หอมสุวรรณ บรรพต แซ่ปึง
สนฤดี ศรีสวัสดิ์¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี, ตำบลเขาใหญ่, อำเภอชะอำ, จังหวัดเพชรบุรี 76120

E-mail: 67banphot.sae@pccphet.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกมะพร้าวอ่อนที่สำคัญของโลก โดยความหนาของเนื้อมะพร้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพและมูลค่าทางการค้า อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจสอบในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบแบบทำลายผล ทำให้เกิดความสูญเสียของผลผลิต โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลายผล โดยประยุกต์แนวคิดทางเรขาคณิตร่วมกับการประมวลผลภาพ เริ่มจากการหาจุดเซนทรอยด์ของผลมะพร้าว สร้างวงกลมแนบในเพื่อกำหนดจุดกำเนิดของระบบพิกัดเชิงขั้ว และสร้างเส้นโค้ง Archimedean Spiral เพื่อหาตำแหน่งจุดตัดระหว่างผิวกะลาและเปลือกมะพร้าว จากนั้นพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความหนาของเนื้อมะพร้าวในรูป $T = 2\pi b(n_1 - n_2) \times 0.01667$ โดยที่ T แทนความหนาของเนื้อมะพร้าว b คือระยะห่างระหว่างรอบของเส้นโค้ง Archimedean Spiral และ n_1, n_2 คือจำนวนรอบของเส้นโค้ง ณ จุดตัดกับกะลาและเปลือกตามลำดับ นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางผลมะพร้าวกับเส้นผ่านศูนย์กลางกะลา พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.787 ซึ่งสนับสนุนความเหมาะสมของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในระบบ Web Application เพื่อทดสอบกับข้อมูลจริง พบว่าสามารถประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวได้โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 4.74% ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลายผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางในการประยุกต์องค์ความรู้ด้านเรขาคณิต การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการประมวลผลภาพ เพื่อแก้ปัญหาในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: มะพร้าวอ่อน, ความหนาเนื้อมะพร้าว, Image Processing, Archimedean Spiral, centroid

1. บทนำ

มะพร้าวอ่อนถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคเกษตรกรรมและ

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งมีความต้องการสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื้อมะพร้าวอ่อนเป็นส่วนประกอบที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญกับเนื้อที่นุ่ม รสชาติหวานตามธรรมชาติ

และปริมาณเนื้อที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของคุณภาพ โดยข้อมูลจากกระทรวงพาณิชย์ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออก มะพร้าวอ่อนสูงถึง 288.04 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือกว่า 432,000 ตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าถึงร้อยละ 3.98 สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของมะพร้าวอ่อนในระบบเศรษฐกิจของประเทศอย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การประเมินความหนาของ เนื้อมะพร้าวอ่อน ยังคงใช้วิธีแบบดั้งเดิม เช่น การเจาะเปลือก การฟังเสียง หรือการชั่งน้ำหนัก ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่มีมาตรฐาน สุ่มเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อน และที่สำคัญคือ เป็นการตรวจสอบแบบทำลาย ส่งผลให้ผลผลิตไม่สามารถจำหน่ายในรูปแบบผลสดได้ และอาจเกิดความเสียหายหรือสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยไม่จำเป็น ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนา Web Application การประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน โดยไม่ทำลายผล โดยประยุกต์ใช้ เทคนิคการประมวลผลภาพเชิงเรขาคณิต (Geometric Image Processing) ผ่านการถ่ายภาพมะพร้าวจากมุมบน (Top View) เพื่อแสดงรูปทรงเชิงเรขาคณิตของผล จากนั้นทำการแปลงภาพเป็นขาวดำ แยกวัตถุออกจากฉากหลัง สร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสล้อมผล แล้ววาดวงกลมแนบในเพื่อหาจุดศูนย์กลาง (Centroid) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการวาดเส้นโค้ง Archimedean Spiral เพื่อหาตำแหน่งจุดตัดกับขอบผลมะพร้าว Archimedean Spiral เป็นสมการในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates) ซึ่งแสดงลักษณะการเวียนของเส้นจากจุดศูนย์กลาง โดยมีสมการทั่วไปในรูป $r = a + b\theta$ (โดยที่ r คือระยะจากจุดศูนย์กลาง, a คือ จุดเริ่มต้นของเส้น Archimedean Spiral, b คืออัตราการเพิ่มขึ้นของรัศมี, θ คือ มุมที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่เท่ากัน) เมื่อนำเส้น Spiral หมุนจากจุดศูนย์กลางเพื่อหาจุดตัดกับขอบผล ก็สามารถสะท้อนความลึกของโครงสร้างภายในผลมะพร้าวได้โดยไม่

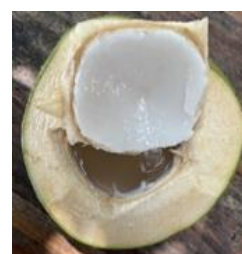
ต้องผ่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับข้อมูลทางกายภาพอื่น เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะพร้าว เส้นผ่านศูนย์กลางของกะลามะพร้าว น้ำหนักน้ำมะพร้าว น้ำหนักเนื้อมะพร้าว และความยาวของขั้วมะพร้าว กับความหนาของเนื้อภายใน เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ที่ช่วยทำนายค่าความหนาได้อย่างแม่นยำ นวัตกรรมดังกล่าวจึงสามารถลดการสูญเสียจากการประเมินแบบทำลาย ช่วยยกระดับการคัดแยกผลผลิต พัฒนามาตรฐานการส่งออก และสร้างเป็นแอปพลิเคชันสนับสนุนเกษตรกรในอนาคตได้อย่างยั่งยืน ถือเป็นก้าวสำคัญของการนำนวัตกรรมทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเกษตรกรรมยุคใหม่

2.วิธีการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความหนาของเนื้อมะพร้าว

2.1.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะเนื้อของมะพร้าวอ่อน

ศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะเนื้อของมะพร้าว ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เนื้อบาง ความหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร เนื้อปานกลาง ความหนาประมาณ 3-6 มิลลิเมตร และเนื้อหนา ความหนามากกว่า 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



ก.เนื้อบาง



ข.เนื้อปานกลาง



ค.เนื้อหนา

2.1.2 ศึกษาการใช้ image processing, สมการ Archimedean Spiral, จุด centroid และ รูปวงกลมแนบในสี่เหลี่ยม

เพื่อหาสัมพันธ์กับความหนาของเนื้อมะพร้าว และศึกษาการใช้ Flask ในการต่อยอดพัฒนาเป็น Web Application สำหรับการประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน

2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพของมะพร้าวอ่อนเก็บข้อมูลทางกายภาพของมะพร้าวน้ำหอม

เก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของมะพร้าวน้ำหอมทั้งหมด 6 ลักษณะ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะพร้าว, เส้นผ่านศูนย์กลางของกะลามะพร้าว, ความยาวของขั้วมะพร้าว, น้ำหนักน้ำมะพร้าว และ ความหนาของเนื้อมะพร้าว

2.3 การหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทางกายภาพของมะพร้าวอ่อน

จากข้อมูล ความหนาของเนื้อมะพร้าว ปริมาณน้ำมะพร้าว ปริมาณเนื้อมะพร้าว ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะพร้าว ความยาวของ

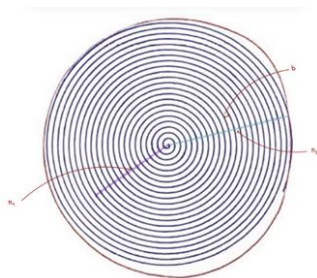
เส้นผ่านศูนย์กลางของกะลา ทำการจับคู่ความสัมพันธ์คู่ที่ 1 ความหนาของเนื้อมะพร้าวกับความยาวขั้วมะพร้าว , คู่ที่ 2 ความหนาของเนื้อมะพร้าวกับปริมาณเนื้อมะพร้าว และคู่ที่ 3 ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะพร้าวกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของกะลา โดยสร้างสมการพยากรณ์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นจากนั้นพิจารณาค่า R^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 คู่ใดอยู่ในเกณฑ์จะนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสุดท้ายจะนำไปทดสอบ t-test ดังสมการ

$$r_{xy} = r_{yx} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$\text{และ } t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

2.4 การใช้ image processing กับการสร้างวงกลมแนบในสี่เหลี่ยม Archimedean Spiral

นำไฟล์ภาพมะพร้าวที่ตัดขั้วมะพร้าวออกที่ได้อัปโหลดเข้าสู่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ภาพจะถูกแปลงเป็นภาพสีเทา (Grayscale) และใช้เทคนิคการแบ่งแยกภาพตามค่าขอบเขต (Thresholding) เพื่อจำแนกขอบเขตของมะพร้าวออกจากพื้นหลังอย่างชัดเจน เมื่อได้ภาพที่แยกพื้นหลังแล้ว จะทำการสร้างเส้น ขอบ (Contour) ของลูกมะพร้าว จากนั้นสร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใหญ่ที่สุดซึ่งอยู่ภายในเส้นขอบและสร้างวงกลมแนบในสี่เหลี่ยมดังกล่าว ต่อมาทำการหาจุดศูนย์กลางมวล (Centroid) ของวงมะพร้าวเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างเส้นโค้งแบบ Archimedean Spiral โดยเส้นโค้งจะเวียนออกจากจุดศูนย์กลางไปติดกับวงกลมแนบในและเส้นรอบรูปของมะพร้าว เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อมะพร้าวต่อไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การสร้างวงกลมแบบในสี่เหลี่ยม และเส้น Archimedean Spiral ที่เริ่มจากจุดศูนย์กลางบนลูกมะพร้าว

2.5 การหาสมการเพื่อประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน

เมื่อนำหลักการของ Archimedean spiral มาใช้ในการศึกษารูปร่างของลูกมะพร้าว จะพบว่าเส้นโค้งชนิดนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์รูปทรงจากจุดศูนย์กลางของลูกมะพร้าวไปจนถึงขอบกะลา ได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากลักษณะการเพิ่มขึ้นของรัศมีอย่างเป็นระบบของเส้นเกลียว มีความคล้ายคลึงกับการขยายตัวของโครงสร้างภายในลูกมะพร้าวตามธรรมชาติ จากสมการ $r = a + b\theta$ เส้น Archimedean Spiral เริ่มต้นที่จุดศูนย์กลาง ดังนั้น $a = 0$ จะได้ $r(\theta) = b\theta$ ใช้แนวคิดจากรัศมีระหว่างรอบ ดังนี้

1. จาก 1 รอบของวงกลม จะได้ $\theta = 2\pi$
2. เส้น Archimedean Spiral มีการหมุนและมีจุดตัด 2 จุด ได้แก่ บริเวณขอบกะลา และ บริเวณขอบลูกมะพร้าว ให้ $\theta_1 = 2\pi n_1$, $\theta_2 = 2\pi n_2$
3. ทำการหาผลต่างระหว่าง 2 จุดตัด จะได้

$$\Delta\theta = 2\pi(n_2 - n_1)$$

$$\text{จาก } r = b\theta$$

$$\text{จะได้ } \Delta r = r(\theta_2) - r(\theta_1)$$

$$= b(\theta_2 - \theta_1)$$

$$= b\Delta\theta$$

$$= 2\pi b(n_2 - n_1)$$

แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลความหนาของเนื้อมะพร้าวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร(mm) จึงต้องทำการ

เปลี่ยนหน่วย โดยการคูณค่าคงที่ m มีหน่วยเป็น $\frac{mm}{pixel}$ มีค่าเท่ากับ 0.01667 ซึ่งมีที่มาจากการแบ่งข้อมูลมะพร้าวออกเป็น 60% และ 40% โดยทำการแทนค่าจริงของข้อมูลมะพร้าว 60% แล้วทำการแก้สมการหาค่าคงที่ออกมา จากนั้นนำค่าคงที่ไปแทนในข้อมูลอีก 40% พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความหนาของเนื้อมะพร้าว

2.6 การพัฒนา Web Application สำหรับการประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน

เริ่มจากการปรับปรุงโค้ดประมวลผลภาพและคำนวณความหนาของเนื้อมะพร้าวด้วยภาษา Python ให้สามารถทำงานร่วมกับ Flask Framework จากนั้นออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ HTML และ CSS เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอัปโหลดภาพมะพร้าวได้สะดวก สุดท้ายทำการทดสอบระบบโดยรัน Flask บน Local Host เพื่อทดสอบการอัปโหลดภาพ การประมวลผล และการแสดงผลพร้อมตรวจสอบความถูกต้องและปรับปรุงแก้ไขระบบ

3.ผลการทดลอง

3.1 ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกมะพร้าวมีความสัมพันธ์กับความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของกะลา ได้สมการเป็น $y = 1.15x + 2.6$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ 0.787

3.2 สมการประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อนคือ

$$T = 2\pi b(n_2 - n_1) \times 0.01667$$

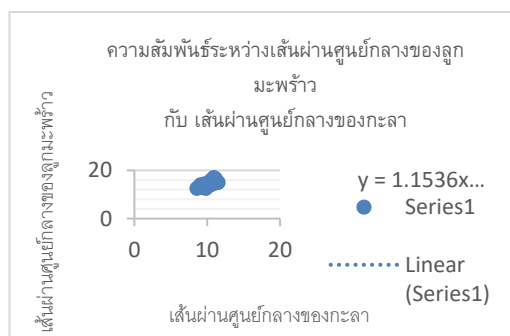
โดยที่ T แทนความหนาของเนื้อมะพร้าว b แทนระยะห่างระหว่างเส้นของ Archimedean Spiral และ n แทนจำนวนรอบของเส้นโค้งในแต่ละจุดตัด

3.3 เมื่อทดสอบระบบผ่าน Web Application พบว่าสมการสามารถประมาณค่าความหนาได้โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.74

4.อภิปรายผลการทดลอง

4.1 การหาความสัมพันธ์ของลักษณะภายนอกกับส่วนต่างๆของมะพร้าว

จากการหาความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงเรขาคณิต โดยใช้จุดเซนทรอยด์ของผลมะพร้าวร่วมกับเส้นโค้ง Archimedean Spiral พบว่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะพร้าวมีความสัมพันธ์กับความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของกะลา ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์เป็น $y = 1.15x + 2.6$ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.787 แสดงให้เห็นว่าการวัดขนาดภายนอกของลูกมะพร้าวสามารถใช้แทนหรือลดความซับซ้อนในการวัดขนาดกะลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะพร้าว กับ เส้นผ่านศูนย์กลางของกะลา

4.2 สมการเพื่อประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน

การประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อนที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ตัวแปรหลักคือ ระยะห่างระหว่างเส้นของ Archimedean Spiral b และจำนวน

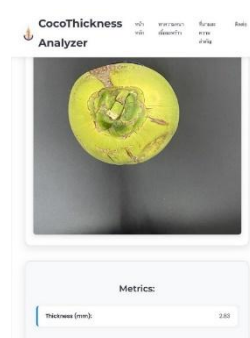
รอบของเส้นโค้งในแต่ละจุดตัด ได้สมการเป็น

$$T = 2\pi b(n_2 - n_1) \times 0.01667$$

อธิบายความหนาของเนื้อมะพร้าวได้อย่างแม่นยำ ความสัมพันธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงเรขาคณิต โดยเฉพาะการใช้เส้นโค้ง Archimedean Spiral และจุดเซนทรอยด์เป็นเครื่องมือสำคัญในการวัดคุณลักษณะภายในของผลไม้ชนิดนี้โดยไม่ต้องทำลายผล

4.3 Web Application สำหรับประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าว

เมื่อทดสอบสมการผ่านระบบ Web Application พบว่าสามารถประมาณค่าความหนาของเนื้อมะพร้าวได้อย่างแม่นยำ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.74 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานในภาคปฏิบัติ ความแม่นยำในระดับนี้แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในการช่วยลดความสูญเสียจากการตรวจสอบแบบทำลาย และสามารถใช้งานจริงในสถานการณ์ของเกษตรกรและผู้ประกอบการได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Web Application

ข้อเสนอแนะ

พัฒนาระบบแก้ไขภาพอัตโนมัติ เช่น การปรับแสงและคอนทราสต์ เพื่อให้ภาพมีคุณภาพเหมาะสมกับการประมวลผล



กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความ
 อนุเคราะห์และการสนับสนุนจากหลายฝ่าย คณะ
 ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ครูสนธิดี ศรีสวัสดิ์ ครู
 ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ
 ตลอดการดำเนินงาน ขอขอบพระคุณ คณะครูกลุ่ม
 สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และ โรงเรียน
 วิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี ที่ให้
 การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และสถานที่ รวมทั้ง
 ขอขอบคุณเพื่อนร่วมโครงการที่ให้ความร่วมมือจน
 โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- Katchwattana, P. (2024). มะพร้าวไทย กับโอกาส
 เติบโตในเวทีการค้าโลก. กรุงเทพฯ. Salika.
 สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2568, จาก
<https://www.salika.co/2024/02/26/thai-coconut-in-world-trading/>
- Khruealee, S., Sukkagai, K., Rattanasupha, W.,
 & Phutthakan, T. (2021). Effects of fruit age on
 harvesting quality of aromatic coconut. -.
 RMUTSV Research Journal. สืบค้นเมื่อ 23
 มกราคม 2568, จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/download/242459/172900>
- Spíchal, L. (2022). Gielis transformation of the
 Archimedean spiral. -. ResearchGate. สืบค้นเมื่อ
 22 มกราคม 2568, จาก
<https://www.researchgate.net/publication/361228819>