

การกรองและคัดเลือกใบมีดตัดรูปโค้งอิสระโดยอัตโนมัติสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

AUTOMATIC SCREENING AND SELECTING OF PROFILE CUTTERS FOR RUBBER-WOOD FURNITURE MANUFACTURING

สาริต เทอดวงศ์วรกุล, สมชาย พัวจินดาเนตร, ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอหลักการรูปแบบ และการจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการกรอง ค้นหา และคัดเลือกใบมีดตัดที่มีอยู่ในคลังใบมีด วิธีการค้นหาใบมีดที่มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ โดยวิธีการกำหนดรหัสใบมีด และโดยเปรียบเทียบด้วยภาพได้ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิธีการกำหนดรหัสใบมีดจะใช้ได้กรณีต้องการเน้นใบมีดที่มีขนาดและรูปร่างตรงตามที่กำหนด และใช้เวลาสืบค้นเร็วที่สุด ขณะที่วิธีการเปรียบเทียบด้วยภาพจะใช้ได้กรณีต้องการใบมีดที่มีขนาดและรูปร่างคล้ายหรือเหมือนกัน

Abstract

This article describes the principal model and development of software for screening searching and selecting of profile cutter in stock. The required shape and dimension of cutter search methods by cutter coding and by image comparison were developed to computer program. The coding method was applied very well in particular to conform the precise shape and dimension requirement, and also remarkable fastest to get the solution. The image comparison method, however, could perform very well for searching both the precise and similar cutter required.

1. บทนำ

ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ โรงงานจะทำการผลิตสินค้าตามรูปแบบที่ถูกคำต้องการ สินค้าเฟอร์นิเจอร์ไม้จำนวน 1 ชุด จะประกอบไปด้วยหลายชิ้นส่วน และแต่ละชิ้นส่วนมักมีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเพลตติ้ง ซึ่งมีคมมีดตัดได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับรูปร่างชิ้นส่วน เช่น คมใบมีดมีรูปร่างตรง [1] โค้งเว้า หรือมีทั้งส่วนตรง โค้งเว้า และหักมุม หรืออาจเรียก คมใบมีดรูปโปรไฟล์ (Profile Cutter)

การผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา อาจจะต้องสั่งทำใบมีดหลายชุด เนื่องจากความหลากหลายของรูปร่างชิ้นส่วน นอกจากนี้การสืบค้นเพื่อเปรียบเทียบชุดใบมีดตัดที่เคยใช้ในอดีตที่มีอยู่ในคลังใบมีด ที่มีรูปร่างเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันกับใบมีดใหม่ที่ต้องการนั้น มักไม่ได้รับความสะดวก หรือมักถูกละเลยโดยพนักงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพราะ (1) ใบมีดเก่ามีจำนวนสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก และถูกละเลย โดยเฉพาะโรงงานที่เปิดมานาน การจัดเก็บข้อมูลของใบมีดจะใช้วิธีจัดเก็บอยู่ในรูปของสำเนาแบบ และความจำ ทำให้มักเกิดความยุ่งยากซับซ้อน และเสียเวลาในการค้นหา (2) พนักงานที่เกี่ยวข้องมักใช้วิธีการจำรูปแบบเก่าๆ จึงมักที่จะมองข้ามในกรณีที่รูปแบบใบมีดไม่ค่อยได้ทำการผลิตมากนัก

2. วิธีการวิจัย

การสร้างระบบการกรองและคัดเลือกใบมีดตัดรูปโค้งอิสระสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารานั้น เป็นการออกแบบ และจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการค้นหาแบบของใบมีดโปรไฟล์ ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆต่อไปนี้

2.1 จำแนกและกำหนดรหัสใบมีดตัดที่ใช้ในโรงงาน และวิเคราะห์ศึกษารูปแบบเอกลักษณ์ใบมีดตัดต่างๆ

ในขั้นตอนนี้ จะทำการศึกษาถึงรูปแบบต่างๆของใบมีด พร้อมทั้งกำหนดรหัสให้กับรูปแบบต่างๆของใบมีดตัด [2] เพื่อใช้ในขั้นตอนการค้นหาด้วยรหัสต่อไป

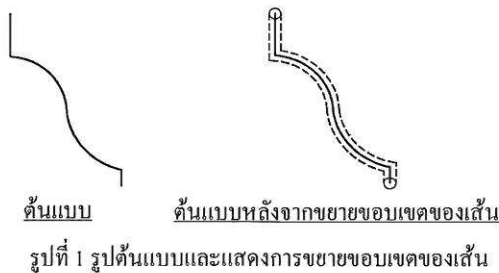
2.2 วิธีการเปรียบเทียบด้วยรหัสที่แทนรูปร่างของใบมีด

ศึกษาเอกลักษณ์ของใบมีดตัดในลักษณะต่างๆ โดยการแบ่งรูปร่างของคมตัดออกเป็นส่วนต่างๆ แล้วจึงทำการกำหนดรหัสให้กับคมตัด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบระหว่างรหัสใบมีดใหม่ และรหัสใบมีดเดิมที่มีอยู่ในคลังใบมีด

2.3 วิธีการเปรียบเทียบด้วยรูปภาพของคมตัดใบมีด

วิธีการที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นแบบจุดต่อจุด [3-4] โดยนำรูปภาพของรูปร่างคมตัดที่ต้องการค้นหา มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลรูปร่าง

ใบมีดตัดที่มีอยู่ในคลังใบมีด โดยอาจกำหนดขอบเขตหรือความแปรปรวนของส่วนโค้งของใบมีดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



จากนั้น จึงนำข้อมูลจุดของภาพของใบมีดที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบ และทำการนับจุดที่ตกอยู่ในขอบเขตและคำนวณออกมาเป็นร้อยละความเหมือน (% Similarity) ดังสมการที่ (1)

$$\% \text{ similarity} = \frac{\sum pixel_{\text{inside area}}}{\sum pixel_{\text{Total}}} \times 100\% \quad (1)$$

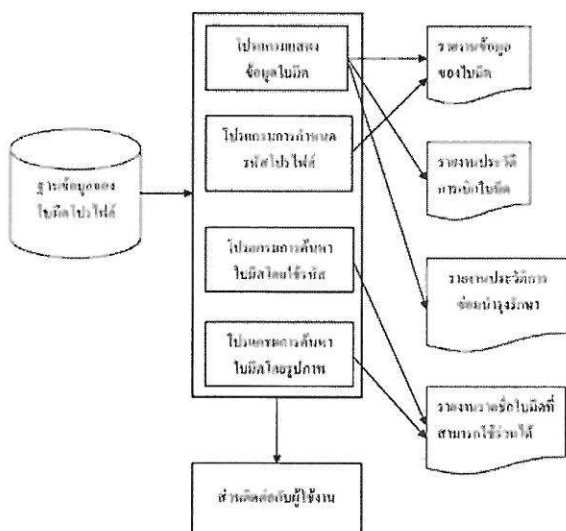
เมื่อ % Similarity คือ ค่าของความเหมือนของรูปต้นแบบกับรูปเปรียบเทียบ

$\sum pixel_{\text{inside area}}$ คือจำนวนจุดของภาพเปรียบเทียบที่ตกอยู่ในขอบเขต

$\sum pixel_{\text{Total}}$ คือจำนวนจุดของภาพเปรียบเทียบทั้งหมด

2.4 ออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการค้นหา

การออกแบบโปรแกรมการค้นหาใบมีด จัดทำเป็นโครงสร้างของระบบตามหน้าที่การทำงานโดยใช้ โดยสามารถเขียนโครงสร้างของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของโปรแกรม

2.5 เปรียบเทียบผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

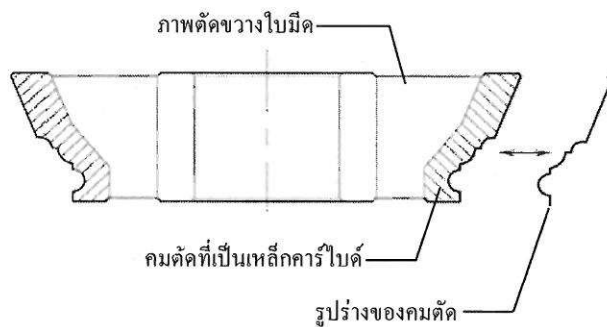
ดำเนินการเปรียบเทียบผลการค้นหาใบมีดโดยวิธีการให้รหัส วิธีการเปรียบเทียบด้วยภาพ และวิธีการค้นหาโดยพนักงานโดยใช้การทดลองค้นหาแบบใบมีดจำนวน 5 ครั้งต่อแต่ละวิธีการจากแบบใบมีดทั้งหมด 80 รูปแบบ

3. ผลการวิจัย

จากการศึกษา ปัญหา วิเคราะห์ปัญหา ออกแบบ และสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลดังนี้

3.1 ผลการจำแนกและการกำหนดรหัสของใบมีดตัด

การกำหนดรหัส จะกำหนดที่คมตัดของใบมีดโปรไฟล์ด้านใดด้านหนึ่งในส่วนที่เป็นเหล็กคาร์ไบด์ [1] จากภาพตัดขวางของรูปใบมีดดังแสดงตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกำหนดคมตัดเพื่อนำไปกำหนดรหัส

1) รูปร่างโปรไฟล์

กำหนดรูปร่างของคมตัดว่ามีรูปร่างเป็นแบบใดบ้าง เพื่อนำรูปร่างโปรไฟล์ต่างๆมาประกอบกันเป็นคมตัดของใบมีดโปรไฟล์ โดยสามารถกำหนดได้ดังตารางที่ 1

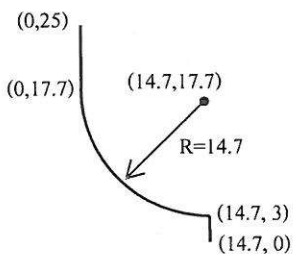
รูปร่าง	ความหมาย	รหัส
	เส้นตรงแนวตั้ง	V
—	เส้นตรงแนวนอน	H
/	เส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก	P
\	เส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ	N
↖	เส้นโค้งใน Quadrant 1	1
↗	เส้นโค้งใน Quadrant 2	2
↘	เส้นโค้งใน Quadrant 3	3
↙	เส้นโค้งใน Quadrant 4	4

ตารางที่ 1 การกำหนดรหัสโปรไฟล์

2) รหัสของใบมิดตัด แบ่งออกเป็น 2 รหัส คือ

- 2.1 รหัสโปรไฟล์ เป็นรหัสที่ใช้บอกถึงรูปร่างของคมตัดว่ามีรูปร่างเป็นแบบใดบ้าง
- 2.2 รหัสพิกัด เป็นรหัสที่ใช้ร่วมกับรหัสโปรไฟล์ในการค้นหาใบมิดตัด โดยจะเป็นรหัสที่บอกขนาดของรูปร่างโปรไฟล์ โดยจะกำหนดเป็นพิกัด (X,Y) ของจุดเริ่มต้นของเส้นและจุดสิ้นสุดของเส้น และในกรณีที่เส้นโค้งจะต้องทำการระบุพิกัดของจุดศูนย์กลางของวงกลมและค่าของรัศมีด้วย

ตัวอย่าง การให้รหัสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



จากรูป

รหัสโปรไฟล์คือ V3V

รหัสพิกัดคือ 01470000014700300147017701470000017700000250

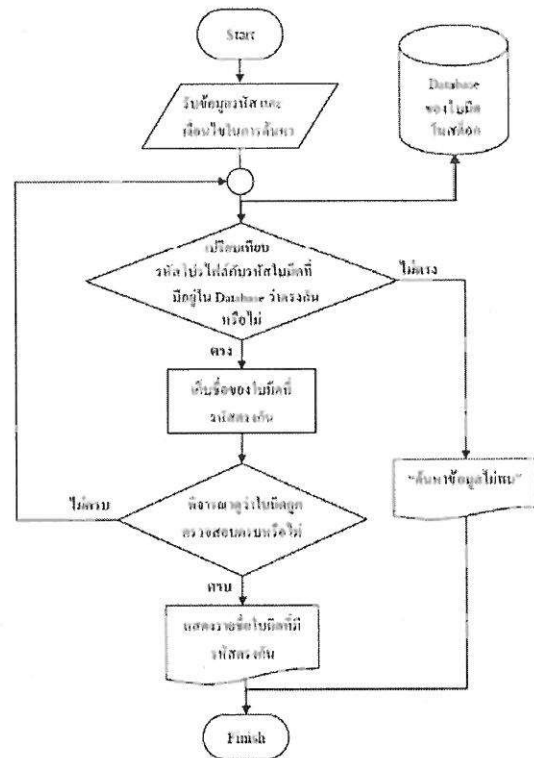
รูปที่ 4 ตัวอย่างการให้รหัส

3.2 โปรแกรมการเปรียบเทียบด้วยรหัสใบมิด

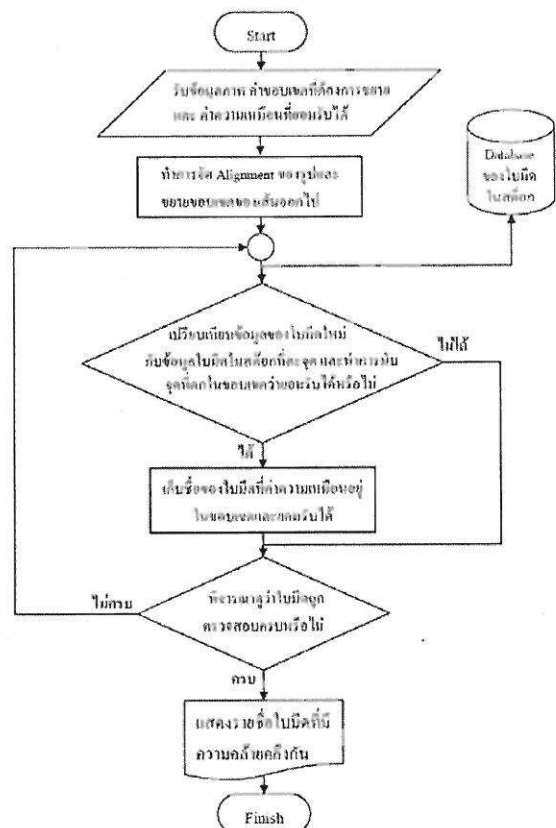
โปรแกรมสามารถทำการเปรียบเทียบใบมิดที่มีรหัสโปรไฟล์ และรหัสพิกัดที่ตรงกับใบมิดที่ทำการค้นหาได้ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 5 ข้อดีของโปรแกรมการเปรียบเทียบด้วยรหัสใบมิดคือ ใช้เวลาในการค้นหาน้อย ส่วนข้อจำกัดคือสามารถหาได้เฉพาะใบมิดที่มีรูปแบบ และขนาดเท่ากันเท่านั้น

3.3 โปรแกรมเปรียบเทียบด้วยรูปภาพของคมตัดใบมิด

สามารถค้นหาใบมิดที่มีรูปร่าง และขนาดใกล้เคียงกันได้ โดยใช้รูปภาพเป็นตัวค้นหา ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 6 ข้อดีของโปรแกรมเปรียบเทียบด้วยรูปภาพคือ สามารถค้นหารูปร่างของคมตัดใบมิดโปรไฟล์ ที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันในระดับที่ยอมรับได้ เพื่อมาใช้งานทดแทนกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้เวลาในการค้นหานานกว่าการเปรียบเทียบโดยใช้รหัสใบมิด



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมค้นหาใบมิดด้วยรหัส



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.4 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรม

หน้าจอแสดงผลของการค้นหาจะแบ่งตามวิธีการค้นหาคือ การค้นหาด้วยรหัส และการค้นหาด้วยรูปภาพ โดยวิธีการจุดต่อจุด โดยเมื่อรับข้อมูลของใบมิดหรือภาพแล้วโปรแกรมจะทำการประมวลผล และแสดงผลของการค้นหาออกมา

1) หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมการค้นหาด้วยรหัสใบมิด

หน้าจอแสดงผลจะแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆดังนี้

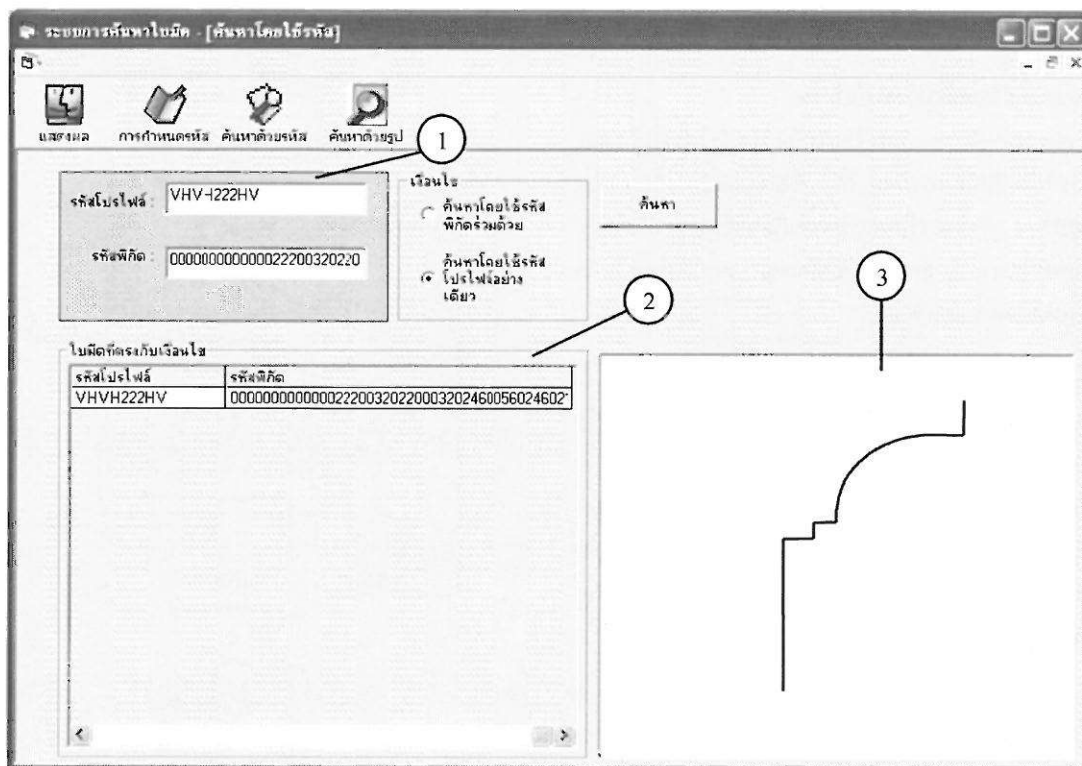
- ส่วนที่ 1 เป็นส่วนรับข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการค้นหาแบบรหัส อันประกอบไปด้วยรหัสโปรไฟล์และรหัสพิกัดของใบมิดที่จะทำการค้นหา โดยสามารถเลือกค้นหาโดยใช้รหัสโปรไฟล์อย่างเดียว หรือเลือกค้นหาโดยใช้รหัสพิกัดร่วมด้วย (ดังแสดง ①)
- ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่แสดงผลการค้นหาใบมิดที่ตรงกับเงื่อนไข โดยจะแสดงผลใบมิดที่มีรูปแบบ และขนาดเท่ากัน (ดังแสดง ②)
- ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่แสดงภาพของคมชัดใบมิดที่มีรหัสโปรไฟล์และรหัสพิกัดตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (ดังแสดง ③)

โดยขั้นตอนการทำงาน เมื่อทำการป้อนรหัสโปรไฟล์และรหัสพิกัดเข้าสู่โปรแกรมแล้วจึงทำการกดปุ่มค้นหา หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะทำการประมวลผล และแสดงผลของการค้นหาออกมา พร้อมทั้งแสดงรูปของใบมิดที่มีรูปร่างเหมือนและมีขนาดเท่ากันออกมา

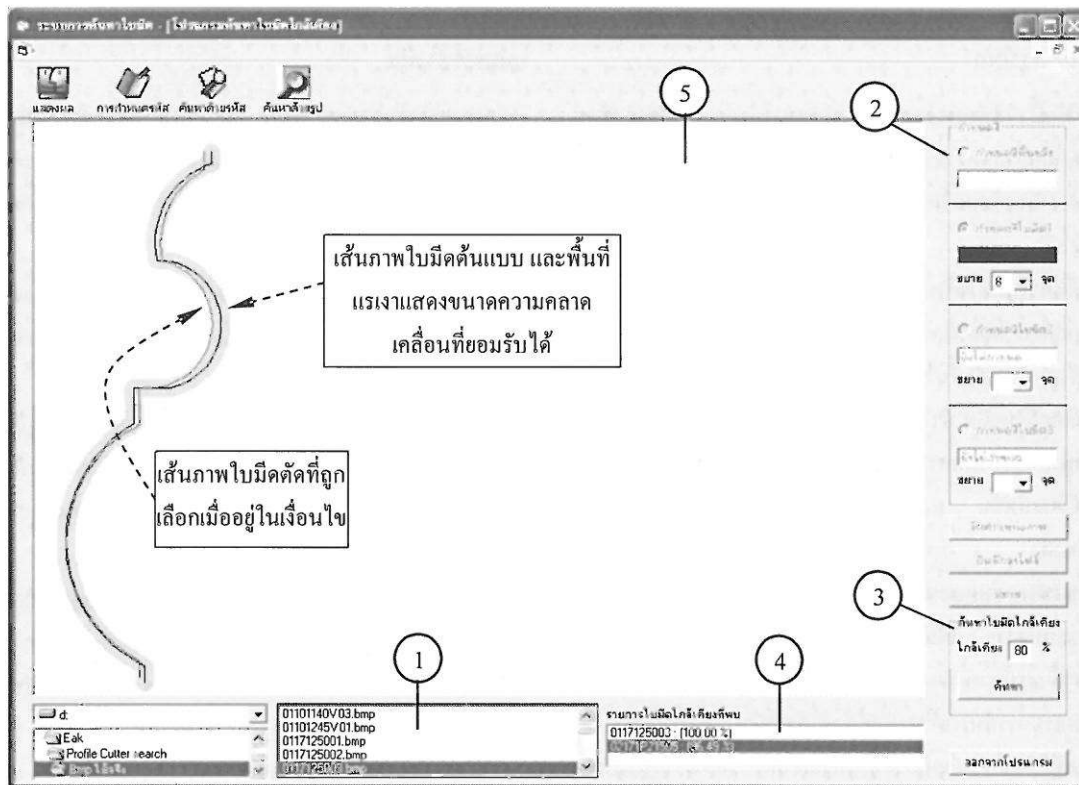
2) หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมการค้นหาด้วยรูปภาพ

หน้าจอแสดงผลจะแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆดังนี้

- ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่แสดงที่อยู่ของไฟล์ภาพของใบมิดที่จะนำไปค้นหา และชื่อไฟล์ซึ่งมีนามสกุลเป็นบิตแมพ (ดังแสดง ①)
- ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้กำหนดสีพื้นหลัง สีของเส้นคมชัดใบมิด และเป็น ส่วนที่กำหนดขอบเขตที่จะขยายความกว้างของเส้น (ดังแสดง ②)
- ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่กำหนดค่าที่ยอมรับได้ของร้อยละความเหมือนขั้นต่ำ (ดังแสดง ③)
- ส่วนที่ 4 เป็นส่วนแสดงรายชื่อของใบมิดเก่าที่มีในคลังใบมิด ที่ถูกค้นหาออกมาภายใต้เงื่อนไขค่าร้อยละของความเหมือนขั้นต่ำที่กำหนดไว้โดยผู้ใช้งาน ซึ่งโปรแกรมจะแสดงค่าร้อยละของความเหมือนออกมาหลังชื่อของใบมิดนั้นด้วย (ดังแสดง ④)
- ส่วนที่ 5 เป็นส่วนแสดงรูปภาพ โดยจะแสดงภาพของใบมิดค้นแบบที่ทำการขยายขอบเขต และทำการจัดตำแหน่งของภาพแล้ว เพื่อที่จะใช้เปรียบเทียบในการค้นหาใบมิด นอกจากนั้นยังจะแสดงรูปภาพของใบมิด ที่ผู้ใช้งานโปรแกรมทำการเลือกมาจากรายชื่อใบมิดที่ถูกค้นหาออกมาภายใต้เงื่อนไขค่าร้อยละของความเหมือนขั้นต่ำ โดยจะแสดงเป็นภาพซ้อนทับกับภาพค้นแบบเพื่อเปรียบเทียบความเหมือน (ดังแสดง ⑤)



รูปที่ 7 หน้าจอแสดงผลของการค้นหาโดยรหัส



รูปที่ 8 หน้าจอแสดงผลของการค้นหาโคจรหัส

โดยขั้นตอนการทำงาน จะเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกภาพของใบมีดที่จะนำไปค้นหา แล้วจากนั้นจึงทำการกำหนดสีพื้นหลังและสีของเส้นคมตัด และกำหนดขนาดของขอบเขตที่จะทำการขยาย แล้วจึงทำการกดปุ่มจัดตำแหน่งของภาพ เพื่อให้ภาพที่จะทำการเปรียบเทียบมีตำแหน่งอ้างอิงตรงกัน จากนั้นจึงทำการกำหนดค่าร้อยละของความเหมือนขั้นต่ำ เมื่อทำการกดปุ่มค้นหา โปรแกรมจะแสดงรายชื่อใบมีดที่ค้นพบทั้งหมด และเมื่อเลือกไปที่ชื่อของใบมีด โปรแกรมก็จะทำการวาดรูปเปรียบเทียบระหว่างใบมีดต้นแบบในการค้นหา กับใบมีดที่โปรแกรมทำการค้นหาออกมา จากนั้นผู้ใช้งานจึงทำการตัดสินใจในขั้นสุดท้ายด้วยตนเองอีกทีหนึ่ง เพื่อคัดเลือกใบมีดที่มีความใกล้เคียงมากที่สุดต่อไป

3.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการค้นหา

เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาใบมีดตัด ระหว่างวิธีเดิมที่มีข้อมูลในโรงงาน คือค้นหาโดยใช้พนักงาน กับวิธีการค้นหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจะแสดงดังตารางที่ 2

วิธีการค้นหา	กรณีที่รูปร่างเหมือนกันและมีขนาดเท่ากัน	กรณีที่รูปร่างคล้ายกันและมีขนาดใกล้เคียงกัน
	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
โดยพนักงาน	173.3 ± 37.6	212.7 ± 50.4
วิธีใช้รหัส	0.003 ± 0.004	**
วิธีใช้ภาพแบบจุดต่อจุด	0.872 ± 0.014	0.872 ± 0.014

หมายเหตุ (1) ** ไม่สามารถทำการค้นหาได้ เพราะเป็นข้อจำกัดของโปรแกรม

(2) เวลาที่ใช้ในการค้นหาขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลในฐานข้อมูล

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการค้นหาแบบของใบมีด

4. วิจัยและสรุปผล

งานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบและจัดทำโปรแกรมเปรียบเทียบรูปแบบใบมีดที่มีอยู่ในคลังใบมีดที่เหมาะสม กับรูปแบบใบมีดใหม่ที่จะใช้ผลิตงานเฟอร์นิเจอร์แบบใหม่ๆของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การค้นหาใบมีดในปัจจุบัน จะใช้วิธีค้นหาจากแบบของใบมีดที่เป็นเอกสาร โดยพนักงานจะใช้ประสบการณ์และความเคยชินในการค้นหาแบบดังนั้นในการค้นหาจึงเกิดความผิดพลาด และคิดว่าไม่เคยมีในอดีต ทำให้มีการสั่งผลิตใบมีดใหม่ ทั้งๆที่ใบมีดเก่าที่มีอยู่ในคลังใบมีดสามารถนำมาใช้ได้ ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มจำนวนใบมีดในคลังมากขึ้นในอนาคต
2. ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการค้นหาใบมีด ประกอบด้วยระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบการค้นหาด้วยรหัส ระบบการค้นหาด้วยรูปภาพ และระบบแสดงข้อมูลของใบมีด
3. โปรแกรมการค้นหาด้วยรหัสมีข้อจำกัดคือไม่สามารถค้นหาใบมีดที่มีลักษณะและขนาดที่ใกล้เคียงได้ ในขณะที่การค้นหาด้วยรูปภาพสามารถทำได้
4. กรณีที่ต้องการค้นหาใบมีดตัดที่มีลักษณะเหมือนกัน ทั้งขนาดและรูปทรง พบว่าวิธีการค้นหาใบมีดตัดด้วยรหัสจะเร็วกว่าวิธีการค้นหาด้วยภาพแบบจุดต่อจุด โดยใช้เวลาจาก 0.872 วินาที ลดเวลาลงเหลือ 0.003 วินาที หรือคิดเป็นลดลงร้อยละ 99.66 ของการค้นหาด้วยภาพ
5. กรณีที่ต้องการค้นหาใบมีดที่มีลักษณะคล้ายกัน หรือยอมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง พบว่าวิธีการค้นหาใบมีดตัดด้วยรหัสนั้นยังมีข้อจำกัด แต่การค้นหาใบมีดตัดด้วยภาพแบบจุดต่อจุดสามารถทำได้ และสามารถระบุใบมีดได้มากกว่า 1 รูปแบบ เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตัดสินใจเลือกได้
6. การเปรียบเทียบการใช้งานของโปรแกรมของวิธีการค้นหาด้วยรูปจะใช้งานได้ง่ายกว่าการค้นหาด้วยรหัส เนื่องจากใบมีดบางตัวมีลักษณะโปรไฟล์ที่มากทำให้เกิดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูล ทำให้ผลของการค้นหาอาจคลาดเคลื่อนได้ แต่จะใช้เวลาในการค้นหานานกว่าการค้นหาโดยวิธีใช้รหัส

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสนับสนุนการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ โรงงาน พี.พี. พาราจูด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัย และ ดร.สิริง ปรีชาพันธ์ และ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตเจริญ สำหรับคำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชายพัวจินดาเนตร สมนึก วิสุทธิแพทย์ และดุสิต ธรรมแสง, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ “การจัดการการใช้ใบมีดของกระบวนการตัดแต่งสำหรับไม้ยางพาราแปรรูป”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), หน้า 1-18, 2546.
- [2] Kalpakjian S., Classification and Coding of Parts, *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd ed., New Jersey : Prentice hall (1995): 1188-1193.
- [3] ประดิษฐ์ มิตรปิยานุรักษ์. ระบบตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้พีซีสำหรับการตรวจสอบผลากพิมพ์บนขวด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตศึกษาด้านวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [4] ณรงค์ มณีเนตร. การค้นหาอาชญากรจากฐานข้อมูลทะเบียนประวัติอาชญากรด้วยภาพที่สเก็ด้วยคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.