บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการงานค้นคว้าอิสระนี้ใช้กระบวนการมาตรฐานในการทำเหมืองข้อมูลของอุตสาหกรรมต่างๆในรูปแบบของ Crisp-Dm (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) เพื่อให้การแลกเปลี่ยนความรู้เป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 **ความเข้าใจทางธุรกิจ** (Business Understanding)

ในปัจจุบันการทำธุรกิจมีการแข่งขันกันสูงผู้ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้สูงสุดจะเป็นผู้ได้เปรียบในการแข่งขันนอกจากที่กล่าวมาแล้วต้นทุนการผลิตก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าต้นทุนการผลิตประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนด้านแรงงาน ต้นทุนด้านพลังงานและต้นทุนด้านการดำเนินงานแล้วยังต้นทุนเนื่องจากการเกิดของเสียในกระบวนผลิตอีกด้วย ฉะนั้นในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันจึงควรพิจารณาเรื่องการลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญ

ในกระบวนการฉีดโรเตอร์สิ่งที่สำคัญที่สุดคือทำอย่างไรเพื่อไม่ให้เกิดของเสียหรือเกิดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ของเสีย(Defect) หลักๆที่เกิดเป็นประจำในกระบวนการคือ การเกิดรูพรุนในเนื้ออลูมิเนียมซึ่งแยกออกเป็นหลายประเภทตามอาการและสาเหตุของการเกิด โดยธรรมชาติแล้วในงานฉีดลูมิเนียมจะเกิดรูพรุนขนาดเล็ก (Micro Porosity) อยู่แล้ว ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันได้กล่าวคือไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน ในงานศึกษานี้จะพูดถึงการเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ที่ส่งผลต่อคุณภาพและเกินการยอมรับได้ขอลูกค้า ของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีดโรเตอร์ไม่สามารถนำกลับมาซ่อมใหม่ได้ (Rework) ฉนั้นจึงเป็นเหตุให้องศ์กรต้องสูญเสียผลผลิตและมีต้นทุการผลิตสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วในการฉีดโรเตอร์ของเสียจะเกิดจากสองส่วนหลักๆคือ จากคน และเครื่องจักร ในงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นไปที่พารามิเตอร์ของเครื่องจักรเป็นหลักโดยมีเป้าหมายสำคัญอยู่ที่การลดความแปรปรวนและคลาดเคลื่อนในการปรับแต่งพารามิเตอร์เครื่องจักรเพื่อนำไปสู่การลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในที่สุด โดยมีการดำเนินงานดังนี้

4.1.1 **การกำหนดวัตถุประสงค์ทางธุรกิจ** (Determine Business Objectives)

ในสภาพปัจจุบัน การฉีดขึ้นรูปโรเตอร์ (Rotor Die Casting) ต้องอาศัยประสบการณ์ของช่างที่ชำนาญ และความเอาใจใส่ของพนักงานควบคุมเครื่องจักรเป็นหลัก ซึ่งยากต่อการควบคุมเพราะเป็นความสามารถและทักษะเฉพาะบุคคล ส่งผลให้ต่อเกิดของเสียในกระบวนการผลิตและยากต่อการวิเคราะห์ปัญหา

พื้นที่มีปัญหาคือในกระบวนการฉีดโรเตอร์ของ บริษัท อิเมอร์สัน อิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด เริ่มจากการรับคำสั่งให้ทำการผลิตโรเตอร์รุ่นต่างๆ จากหน่วยงานวางแผนการผลิต ช่างเทคนิคจะเป็นผู้ปรับพารามิเตอร์ให้กับเครื่องจักรตามรุ่นงานที่จะทำการผลิต

หน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญทั้งในด้านการสนับสนุนข้อมูลและได้รับประโยชน์หลังจากที่โครงการเสร็จเรียบร้อยแล้วได้แก่ หน่วยงานการผลิต(Production Department) และหน่วยงานวิศวกรรมการผลิต (Manufacturing Department) และการสนับสนุนทางด้านเทคนิคจากฝ่ายคอมพิวเตอร์ (MIS)

1. เป้าหมายทางธุรกิจ
   - ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต
   - ลดต้นทุนการผลิต
   - พัฒนาตัวแบบจำลองพารามิเตอร์
   - จัดทำพารามิเตอร์มาตรฐานให้กับชิ้นงาน
2. เงื่อนไขของการประสบความสำเร็จของธุรกิจ
   - ลดปริมาณของเสียเนื่องจากการเกิดรูพรุนให้ไม่เกิน 950 PPM. (จากเดิม 1100 PPM.)
   - ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรให้อยู่ภายใน 10 นาที (machine setup time)
   - เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (OEE =>85%)

4.1.2 **การประเมินสถานการณ์ปัจจุบัน** (Assess Situation)

1. ทรัพยากรที่ใช้ในงานศึกษา

ฮาร์ดแวร์

- Shot Scope System

- Compaq Presario 2800 Intel Pentium Iii 800mhz, Ram 1gb, Harddisk 20 Gb

- 100 Ton Vertical Die Casting Machine

- X-Ray Machine

แหล่งที่มาของข้อมูล

- Database: Diecast Shot Scope Server

- ใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 2009

บุคลากรที่เกี่ยวข้อง

- เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค 1 ท่าน

- เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต 1 ท่าน

- เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ 1 ท่าน

- เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลฐานข้อมูล 1 ท่าน

2. ความต้องการ สมมุติฐาน ข้อจำกัด

- ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลต้องสามารถนำไปใช้งานได้จริงกับงานฉีดโรเตอร์รุ่นที่ทำการศึกษาและสามารถลดของเสียและความแปรปรวนในการปรับตั้งเครื่องจักรของบวนการผลิตได้

- ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้อาจใช้ได้เฉพาะกับรุ่นโรเตอร์และเครื่องจักรที่ทำการศึกษาเท่านั้น

- สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างตัวแบบจำลองให้กับโรเตอร์รุ่นอื่นๆได้

3. ความเสี่ยงและความไม่แน่นอน

- ตัวแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริง
- การจัดเตียมข้อมูลไม่ครบถ้วนทำให้เกิดความผิดพลาดในการสร้างตัวแบบจำลอง
- ชนิดของข้อมูลไม่เหมาะสมกับตัวแบบจำลองที่ใช้
- ความรู้ในการทำเหมืองข้อมูลและการใช้ซอฟต์แวร์ไม่เพียงพออาจเกิดความผิดพลาดในการแปลผล
- เลือกใช้ Algorithmไม่เหมาะสมกับตัวแบบจำลองที่ต้องการ

4.1.3 **การกำหนดเป้าหมายของการทำเหมืองข้อมูล** (Determine Data Mining Goals)

1. เป้าหมายของการทำเหมืองข้อมูล

- ทำเหมืองข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแบบพารามิเตอร์และนำไปใช้ในการลดปัญหาการเกิดรูพรุนแบบต่างๆในงานฉีดขึ้นรูปโรเตอร์ด้วยอลูมิเนียม
- ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์มีความแม่นยำสูงและใช้งานได้จริง
- สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาชุดพารามิเตอร์ให้กับชิ้นงานรุ่นอื่นๆ ต่อไปได้

2. เงื่อนไขการวัดความสำเร็จของการทำเหมืองข้อมูล

- ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สามารถใช้แก้ปัญหาได้จริง
- ความรู้ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบให้กับงานรุ่นอื่นๆได้
- สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรให้น้อยกว่า 10 นาที (Setup Time)
- ลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากใช้พารามิเตอร์ไม่เหมาะสม

4.1.4 **สร้างแผนโครงการ** (Produce Project Plan)

1. แผนโครงการ

- เลือกชิ้นงานที่จะใช้ในการสร้างตัวแบบพารามิเตอร์ในงานศึกษานี้เลือกโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04
- กำหนดช่วงข้อมูลเริ่มต้นที่จะใช้ในการสร้างตัวแบบคือใช้ข้อมูลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งได้ข้อมูลที่ประกอบด้วย 14 หลักข้อมูลและ 30795 ระเบียน
- ศึกษาการใช้งานโปรแกรม WEKA Version 3.5.8
- ศึกษาเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลแบบต่างๆ
- เลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลทีมีในการสร้างตัวแบบ

2. วิธีการและเทคนิคในการประเมิน

- การทำเหมืองข้อมูลด้วยการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภท ในขั้นตอนการแปลผลต้องพิจารณาความถูกต้องของตัวแบบที่ได้ด้วยวิธีเช่น Cross-Validation โดยใช้ K-Fold Cross

Validation โดยใช้การแบ่งข้อมูลเป็น K ส่วน เท่าๆ กัน เช่น 10 Fold จะใช้ 1 ส่วนเป็น Test Data และอีก 9 ส่วนเป็น Training Data ในการทดสอบตัวแบบด้วยวิธี Cross-Validation นั้นจะสลับคู่ไปจนครบจำนวน Fold ที่กำหนด การทดสอบด้วยวิธีนี้ถือว่ามีความเที่ยงตรงสูงและความลำเอียงต่ำ

- ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับข้อ1มาใช้สร้างตัวแบบด้วยกฎการเชื่อมโยง Association. Apriori เพื่อตรวจสอบผลว่าสอดคล้องกันกับข้อ 1หรือไม่

- ใช้ข้อมูลการผลิตโรเตอร์รุ่นเดียวกันในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 จำนวน 25,000 ถึง 27,500 ราการ ซึ่งมีข้อมูลที่มีลักษณะประจำแบบเดียวกัน มาทดสอบความถูกต้องของตัวแบบอีกครั้ง

- นำตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้ไปทดลองใช้กับเครื่องฉีดโรเตอร์รุ่นที่ทำการศึกษาจำนวน 100 Shots แล้ววัดผลจากประเภทและจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นหรือพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation)ของพารามิเตอร์แต่ละตัวเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ชุดที่ใช้สร้างตัวแบบ

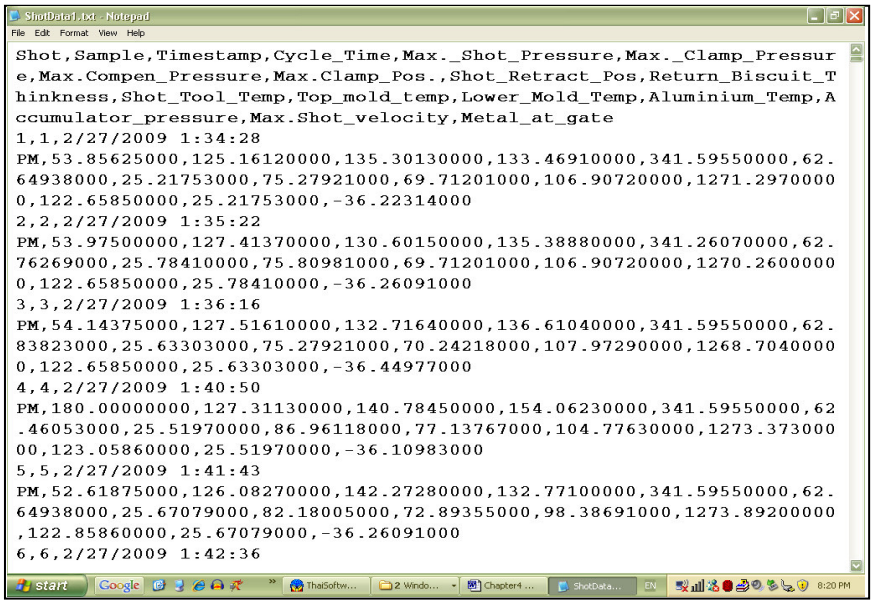
4.2 **ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูล** (Data Understanding)

4.2.1 **การเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นต้น** (Collect Initial Data)

1. ใช้ข้อมูลของปี 2009 (ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2552)
2. อัพโหลดข้อมูลจาก Shot Scope Server จำนวน 30,794 รายการ
3. เนื่องจากข้อมูลที่อัพโหลดมีรูปแบบเป็น แฟ้มข้อมูลแบบตัวอักษร(Text File) จึงต้องแปลงแฟ้มข้อมูลให้เป็นรูปแบบสมุดงาน Excel.Csv File เพื่อให้ง่ายในการจัดแต่งข้อมูลให้อยู่ในรูปหลักและแถว (Row&Column) และง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์กับโปรแกรม WEKA

ภาพที่ 4.1

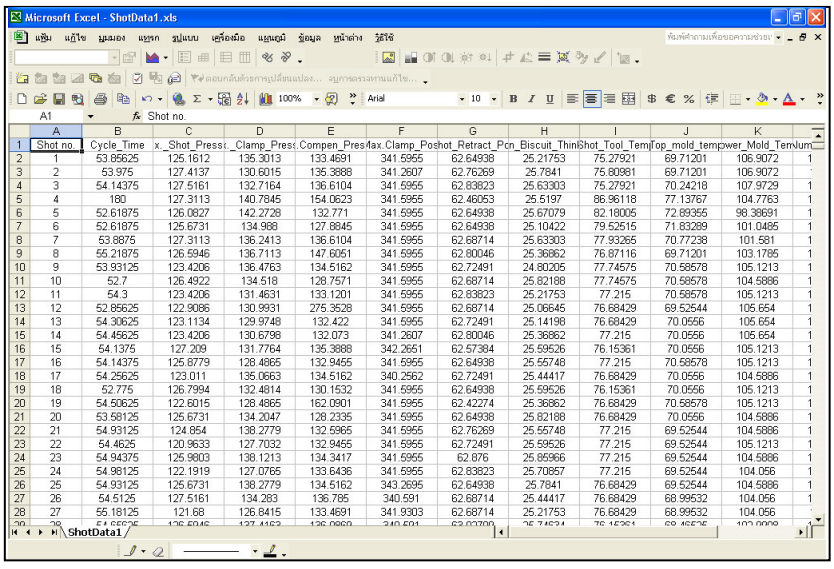
Text File ที่ Upload จาก Shot Scope Server



ภาพที่ 4.1 แสดง Text File ที่ Upload จากShot Scope Server ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่อยู่ในลักษณะ Row & Column ยากต่อการแยกแยะลักษณะประจำและไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WEKA ได้

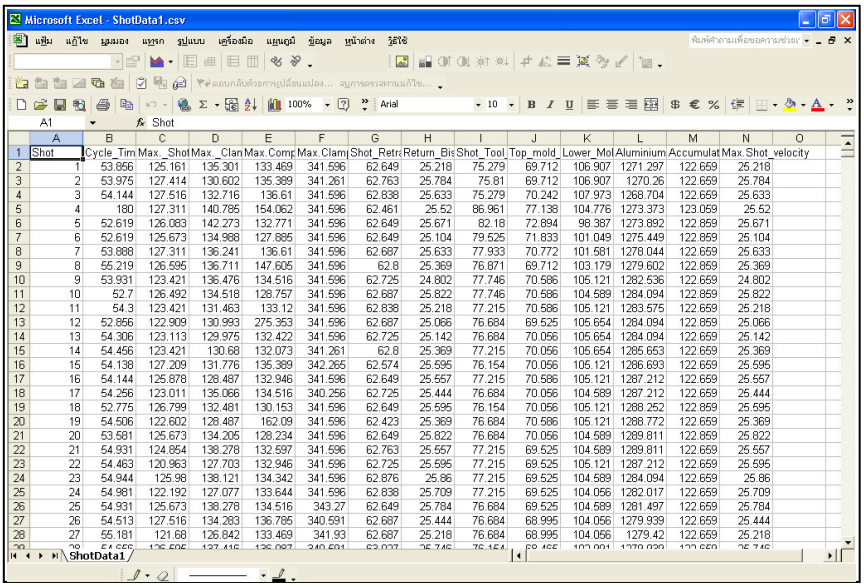
ภาพที่ 4.2

ข้อมูลเมื่อแปลงจาก Text File เป็น Excel File



ภาพที่ 4.2 แสดงแฟ้มข้อมูลที่แปลงจาก Text File เป็น Excel File ทำให้สามารถแยกแยะลักษณะประจำต่างๆให้อยู่ในลักษณะ Row&Column ได้ แต่ยังไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WEKA ได้

ภาพที่ 4.3
แฟ้มข้อมูลที่แปลงจาก Excel File .Xls เป็น Excel.Csv File



ภาพที่ 4.3 แสดงแฟ้มข้อมูลที่แปลงจาก File Excel.Xls เป็น File Excel.Csv ที่ประกอบด้วยลักษณะประจำต่างๆ และสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WEKA ได้

4.2.2 **การอธิบายข้อมูล** (Describe Data)

ภาพที่ 4.3 แสดงแฟ้มข้อมูลที่แปลงจาก Excel .Xlsเป็น Excel.Csv โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WEKAได้

ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการจัดรูปแบบใหม่ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ประกอบด้วย 14 ลักษณะประจำ (Attributes) กับ 4 คลาสเป้าหมาย (Target Class) ดังตาราง 4.1

ตาราง ที่ 4.1

ลักษณะประจำและความหมายเบื้องต้น

รายการลักษณะประจำ (Attribute)	ความหมาย
1. Shot number	จำนวนครั้งของการฉีด
2. Cycle Time	รอบเวลาการทำงานของเครื่องจักร
3. Shot Pressure	แรงดันที่ใช้ในการฉีดอลูมิเนียม
4. Clamp Pressure	แรงดันที่ใช้ในการกดชุดแม่พิมพ์
5. Compensator Pressure	แรงดันที่ใช้ในการกดลูกแม่พิมพ์
6. Shot Retract	ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลว
7. Aluminum Temperature	อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว
8. Top Mold Temperature	อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวบน
9. Lower Mold Temperature	อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง
10. Biscuit Thickness	ความหนาของเศษอลูมิเนียมที่เหลือจากการฉีด
11. Accumulator Pressure	แรงดันสะสมสำหรับสำหรับการฉีด
12. Shot Velocity	ความเร็วของน้ำอลูมิเนียมขณะฉีด
13. Clamp position	ตำแหน่งของชุดกดแม่พิมพ์
14. Shot Sleeve Temperature	อุณหภูมิของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลว

ตาราง ที่ 4.2

ลักษณะประจำ เป้าหมาย(Class Label) และความหมายเบื้องต้น

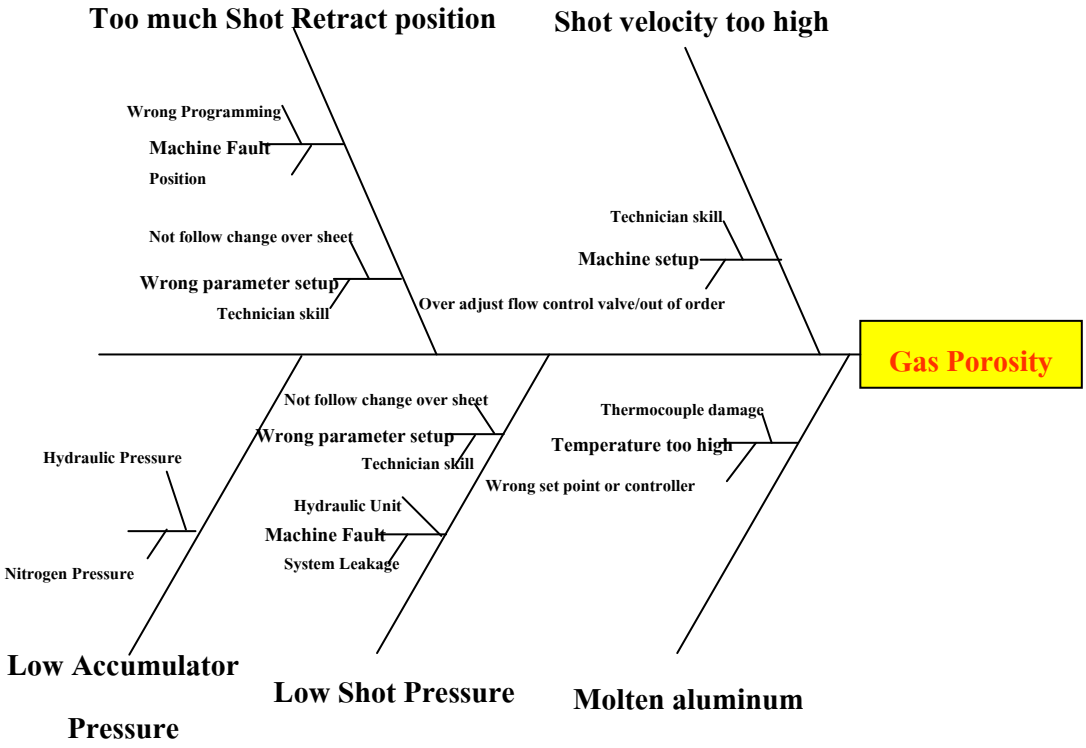
รายการ Class เป้าหมาย	ความหมาย
1. Gas Porosity	รูพรุนเนื่องจากฟองอากาศหรือแก๊สในเนื้ออลูมิเนียม
2. Flow Porosity	รูพรุนเนื่องจากการไหลของน้ำอลูมิเนียมเข้าสู่แม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์
3. Cold Shot Porosity	รูพรุนหรือผิวไม่ผสานเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ
4. Hot Crack Porosity	รูพรุนและแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิสูง

เนื่องจากประเภทและจำนวนของเสียที่เกิดไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดจากข้อมูลระเบียนใดของชุดข้อมูลเพราะเป็นข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตรวจสอบของหน่วยงานควบคุมคุณภาพดังนั้นจึงทำการคาดคะเนจาก Cause And Effect Diagram ของการเกิดของเสียแต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดย William G.Walkington , The North American Die Casting Association"Nadca" ไว้แล้วดังแผนภาพการเกิดของทั้ง 4 แบบ

4.2.3 การสร้างข้อมูลให้กับลักษณะประจำเป้าหมาย

ภาพที่ 4.4

สาเหตุของการเกิดของเสียชนิด Gas Porosity



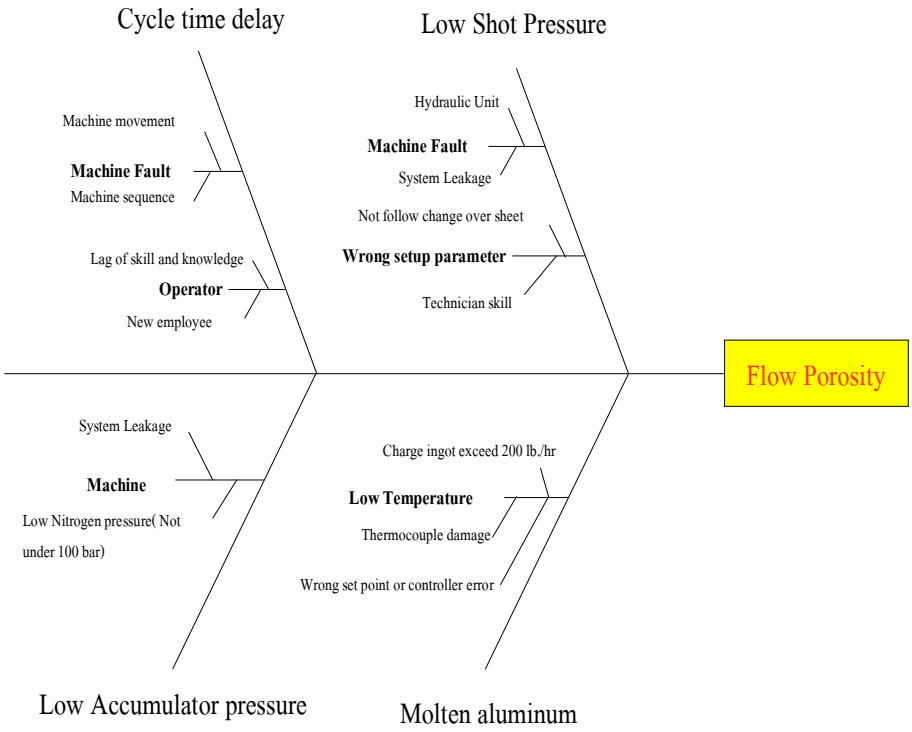
จากแผนภูมิก้างปลาของ Gas Porosity พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity มีดังนี้

1. Aluminum Temperature

2. Shot Pressure
3. Shot Velocity
4. Shot Retract Position
5. Accumulator Pressure

ภาพที่ 4.5

สาเหตุของการเกิดของเสียชนิด Flow Porosity

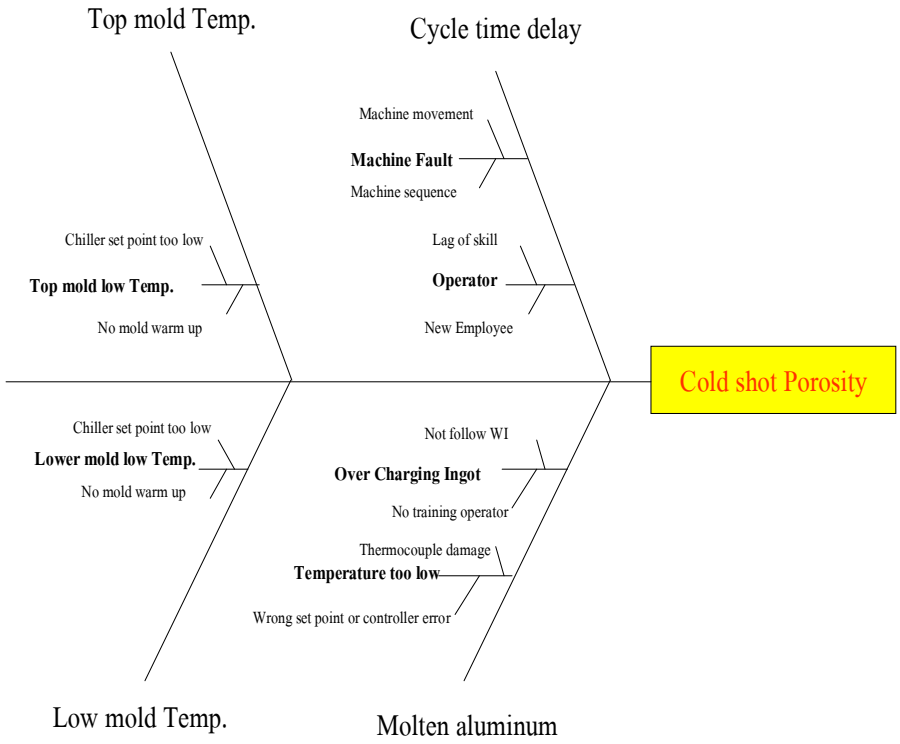


จากแผนภูมิก้างปลาของ Flow Porosity พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเกิด Flow Porosity มีดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Shot Pressure
3. Accumulator Pressure
4. Cycle Time

ภาพที่ 4.6

สาเหตุของการเกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

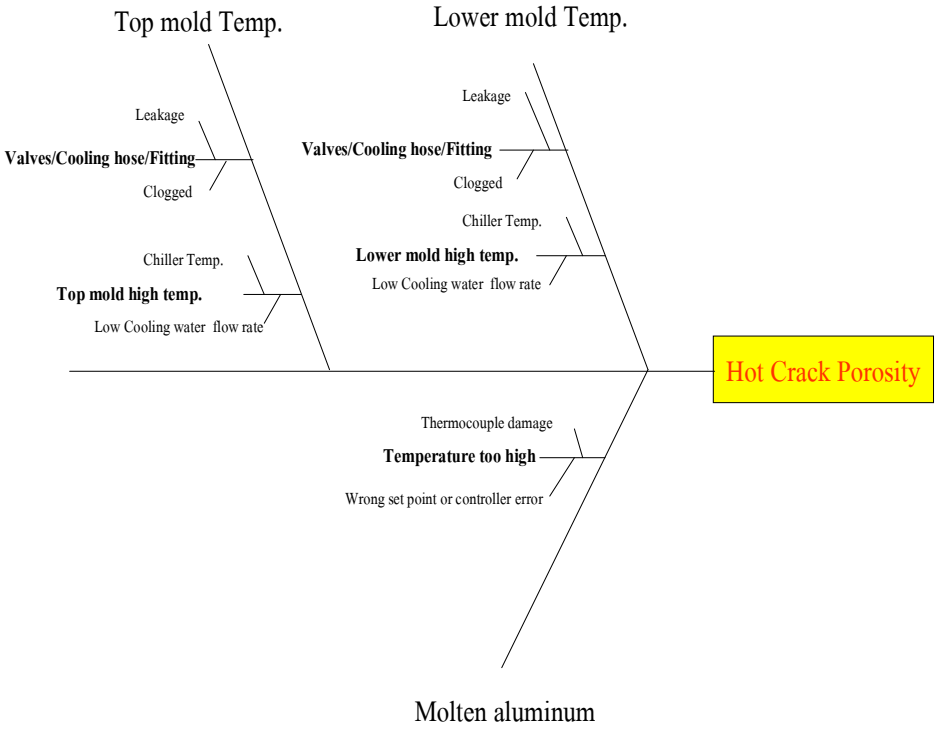


จากแผนภูมิก้างปลาของ Cold Shot Porosity พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเกิด Cold Shot Porosity มีดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Cycle Time
3. Top Mold Temperature
4. Lower Mold Temperature

ภาพที่ 4.7

สาเหตุของการเกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity



จากแผนภูมิก้างปลาของ Hot Crack Porosity พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเกิด Hot Crack Porosity มีดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Lower Mold Temperature
3. Top Mold Temperature

4.2.4 **การสำรวจข้อมูล** (Explore Data)

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นโดยอ้างอิงจาก ข้อมูลของลักษณะประจำและ Cause And Effect Diagram พบว่าลักษณะประจำบางตัวไม่ส่งผลต่อ Class เป้าหมายที่ทำการศึกษาจึงทำการตัดทิ้งไปดังมีรายการดังต่อไปนี้

1. Shot No.
2. Clamp Position
3. Clamp Pressure
4. Compensator Pressure
5. Biscuit Thickness
6. Shot Sleeve Temperature

ผลจากการตัดลักษณะประจำบางตัวที่ไม่ส่งผลการเกิดของเสียแบบต่างๆ(ลักษณะประจำเป้าหมาย) ออกไปทำเหลือลักษณะประจำนำเข้าที่จะใช้สร้างตัวแบบจำลองทั้งหมด 8 ลักษณะประจำ ต่อ 4 ลักษณะประจำเป้าหมาย (Target Class) ดังมีรายการดังต่อไปนี้

รายการลักษณะประจำนำเข้าเพื่อสร้างตัวแบบจำลอง

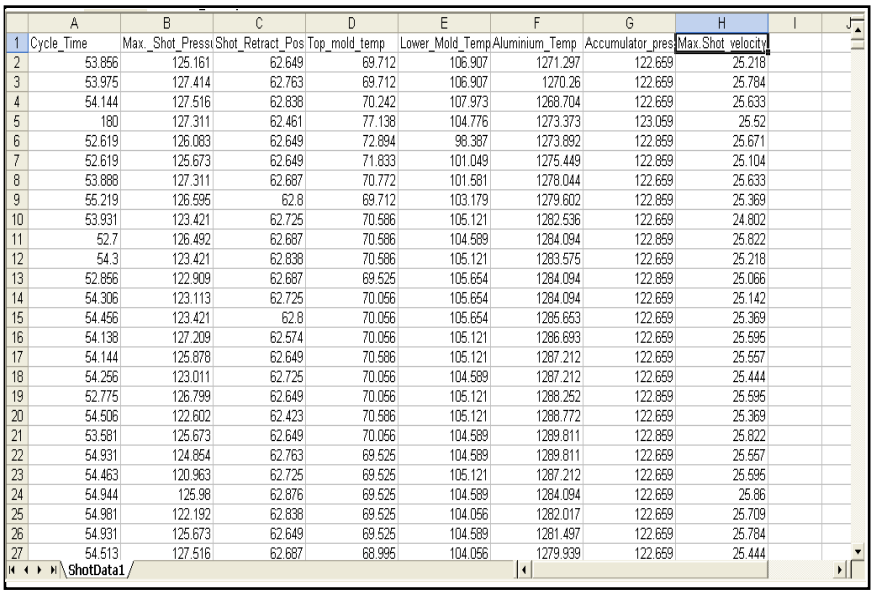
1. Cycle Time
2. Shot Pressure
3. Shot Retract
4. Top Mold Temp.
5. Lower Mold Temp.
6. Accumulator Pressure
7. Aluminum Temp.
8. Shot Velocity

รายการลักษณะประจำเป้าหมาย

1. Gas Porosity
2. Flow Porosity
3. Cold Shot Porosity
4. Hot Crack Porosity

ภาพที่ 4.8

ผลการสำรวจข้อมูลแล้วตัด ลักษณะประจำที่ไม่เกี่ยวข้องออก



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Cycle_Time	Max._Shot_Press	Shot_Retract_Pos	Top_mold_temp	Lower_Mold_Temp	Aluminium_Temp	Accumulator_pres	Max.Shot_velocity		
2	53.856	125.161	62.649	69.712	106.907	1271.297	122.659	25.218		
3	53.975	127.414	62.763	69.712	106.907	1270.26	122.659	25.784		
4	54.144	127.516	62.838	70.242	107.973	1268.704	122.659	25.633		
5	180	127.311	62.461	77.138	104.776	1273.373	123.059	25.52		
6	52.619	126.083	62.649	72.894	98.387	1273.892	122.859	25.671		
7	52.619	125.673	62.649	71.833	101.049	1275.449	122.859	25.104		
8	53.888	127.311	62.687	70.772	101.581	1278.044	122.659	25.633		
9	55.219	126.595	62.8	69.712	103.179	1279.602	122.859	25.369		
10	53.931	123.421	62.725	70.586	105.121	1282.536	122.659	24.802		
11	52.7	126.492	62.687	70.586	104.589	1284.094	122.859	25.822		
12	54.3	123.421	62.838	70.586	105.121	1283.575	122.659	25.218		
13	52.856	122.909	62.687	69.525	105.654	1284.094	122.859	25.066		
14	54.306	123.113	62.725	70.056	105.654	1284.094	122.659	25.142		
15	54.456	123.421	62.8	70.056	105.654	1285.653	122.659	25.369		
16	54.138	127.209	62.574	70.056	105.121	1286.693	122.659	25.595		
17	54.144	125.878	62.649	70.586	105.121	1287.212	122.659	25.557		
18	54.256	123.011	62.725	70.056	104.589	1287.212	122.659	25.444		
19	52.775	126.799	62.649	70.056	105.121	1288.252	122.859	25.595		
20	54.506	122.602	62.423	70.586	105.121	1288.772	122.659	25.369		
21	53.581	125.673	62.649	70.056	104.589	1289.811	122.859	25.822		
22	54.931	124.854	62.763	69.525	104.589	1289.811	122.659	25.557		
23	54.463	120.963	62.725	69.525	105.121	1287.212	122.659	25.595		
24	54.944	125.98	62.876	69.525	104.589	1284.094	122.659	25.86		
25	54.981	122.192	62.838	69.525	104.056	1282.017	122.659	25.709		
26	54.931	125.673	62.649	69.525	104.589	1281.497	122.659	25.784		
27	54.513	127.516	62.687	68.995	104.056	1279.939	122.659	25.444		

ShotData1

4.2.5 **การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล** (Verify Data Quality)

หลังจากที่ตัด ลักษณะประจำที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูล ลักษณะประจำ เชิงตัวเลข (Numerical) ทั้งหมดซึ่งไม่สะดวกในการนำไปวิเคราะห์หรือสร้างตัวแบบประเภทการจำแนกข้อมูลและ การหาความสัมพันธ์เชื่อมโยง ด้วยโปรแกรม WEKA จึงต้องทำการจัดกลุ่มข้อมูลของแต่ละ ลักษณะประจำใหม่ให้อยู่ในรูปชั้นข้อมูล สูง กลาง และต่ำ (Data Ranking) โดยใช้โปรแกรม WEKA Preprocess มาช่วยในการจัดกลุ่มข้อมูลซึ่งในโปรแกรม WEKA นอกจากจะใช้ในการสร้างตัวแบบการทำเหมืองข้อมูลแล้วยังสามารถใช้หาค่าทางสถิติของตัวแปรหรือแอทริบิวต์ต่างๆได้ดังนี้

1. การจัดกลุ่มหรือชั้นข้อมูลให้ Attributes ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ

หลักการและแนวคิดในการจัดชั้นข้อมูล Attribute

- ใช้ค่าสถิติ Minimum, Mean และ StdDve ของแต่ละ Attribute จากโปรแกรม WEKA Preprocess มาใช้โดยมีหลักดังนี้

- ช่วงชั้น Low = Minimum Value + StdDve ลงไปจนถึงค่า Minimum

- ช่วงชั้น Medium = ช่วงขอบบนของชั้น Low ถึง Mean Value + StdDve
- ช่วงชั้น High = ช่วงขอบบนของ Medium เป็นต้นไปจนถึงค่ Maximum
- เหตุผลที่จัดช่วงชั้นข้อมูลลักษณะนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียข้อมูลบริเวณช่วงต่อระหว่างชั้นข้อมูล

การจัดกลุ่มข้อมูล (Data Ranking) ให้กับลักษณะประจำนำเข้าที่จะใช้ในการสร้างตัวแบบ

จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Cycle Time

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 50.023 + 2.518

= 52.541 หรือ ประมาณ = 53 วินาที (Low= 50 To 53 Sec.)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 55.513 + 2.518

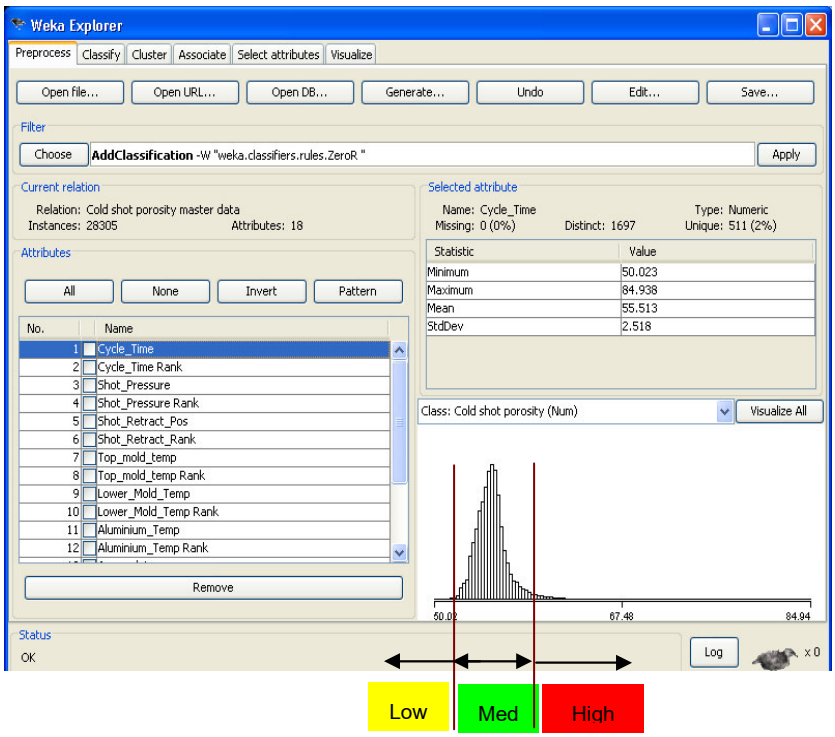
= 58 วินาที (Sec.)

ฉะนั้น Medium = 53 ถึง 58 วินาที (Sec.)

- ชั้น High > 58 วินาทีเป็นต้นไป

ภาพที่ 4.9

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Cycle Time



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Shot Pressure

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 119.066 + 2.425

= 121.5 Bar ปัดขึ้นเป็น = 122 บาร์ (Low=119 To 122 Bar)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 127.021 + 2.425

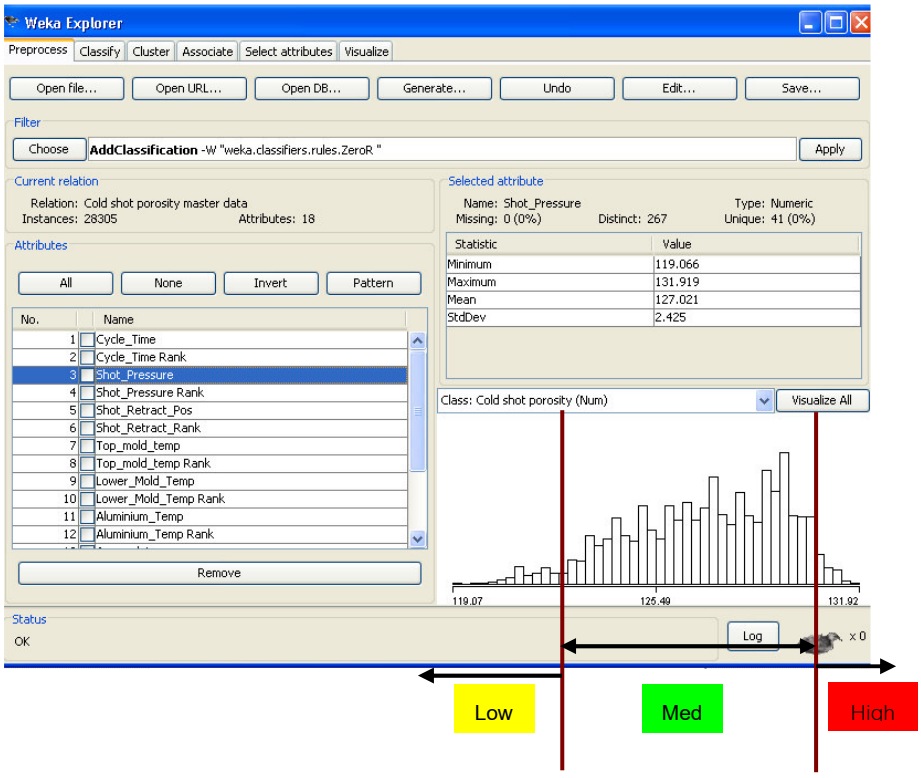
= 129.446 Bar ปัดขึ้นเป็น 130 Bar

ฉะนั้น Medium = 122 ถึง 130 บาร์ (Bar)

- ชั้น High > 130 บาร์ (Bar)

ภาพที่ 4.10

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Shot Pressure



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Shot Retract Position

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 58.30 + 0.887

= 59.20 มิลลิเมตร (Mm) ปัดขึ้นเป็น = 60 มิลลิเมตร (Low=58 To 60 Mm)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 62.766 + 0.887

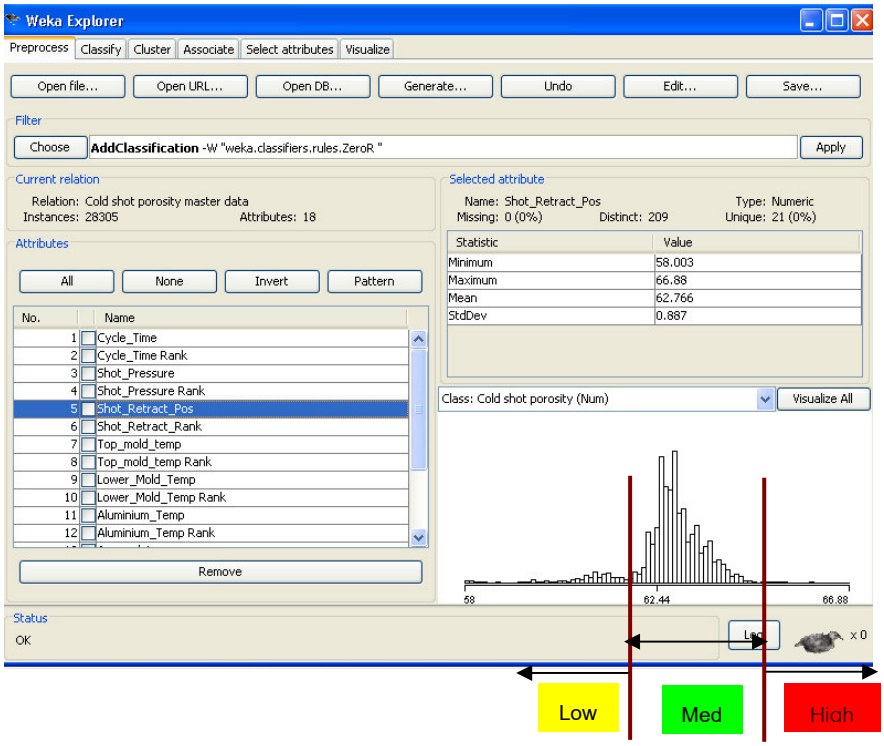
= 63.653 มิลลิเมตร (Mm) ปัดขึ้นเป็น 64 มิลลิเมตร (Mm)

ฉะนั้น Medium = 60 ถึง 64 มิลลิเมตร (Mm)

- ชั้น High > 64 มิลลิเมตร(Mm)

ภาพที่4.11

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Shot Retract Position



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Top Mold Temperature

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 56.715 + 4.624

= 61.4 F ปัดขึ้นเป็น = 62 F (Low= 56 To 62 F)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 67.806 + 4.624

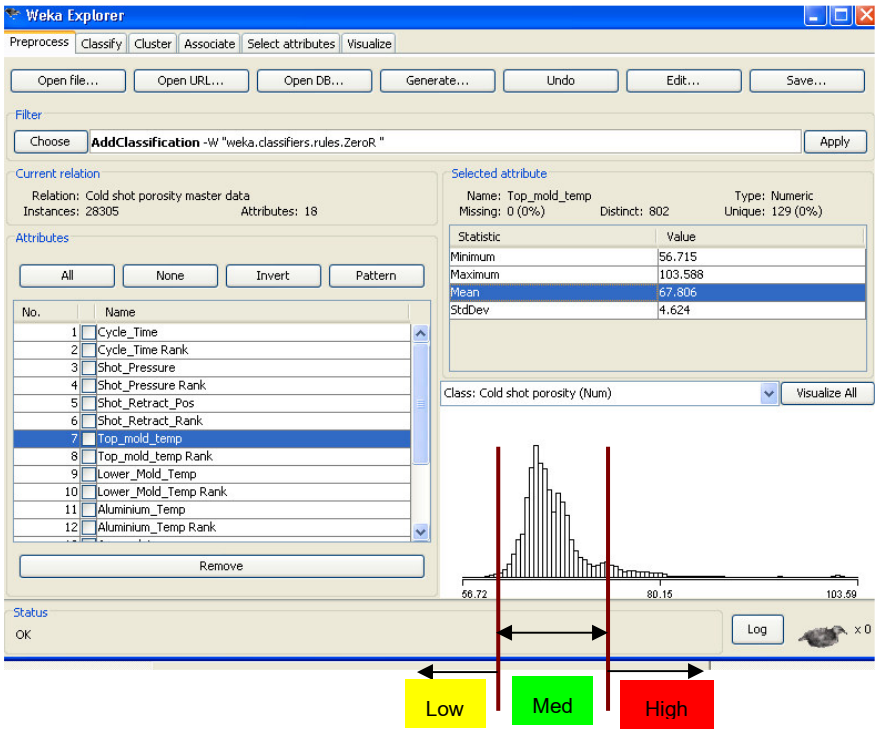
= 72.43 F ปัดขึ้นเป็น 73 F

ฉะนั้น Medium = 62 F ถึง 73 F

- ชั้น High > 73 F

ภาพที่ 4.12

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Top Mold Temperature



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Lower Mold Temperature

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 60.22 + 4.161

= 64.38 F ปัดขึ้นเป็น = 65 F (Low= 60 To 65 F)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 89.201 + 4.161

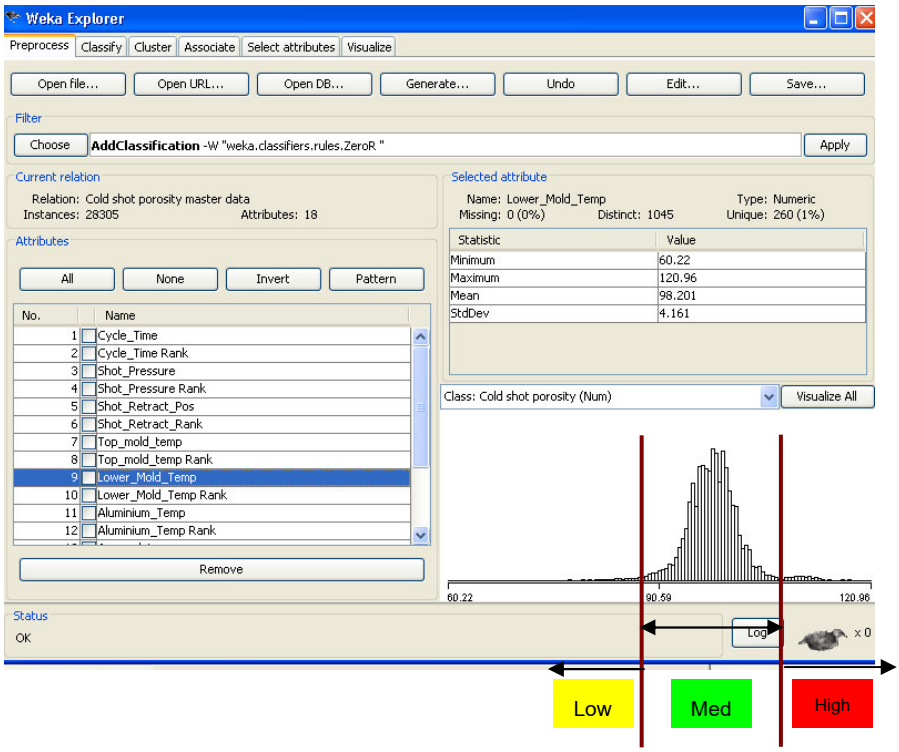
= 93.362 F ปัดขึ้นเป็น 94 F

ฉะนั้น Medium = 65 F ถึง 94 F

- ชั้น High > 94 F

ภาพที่4.13

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Lower Mold Temperature



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Aluminum Temperature

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

  = 1242.737 + 12.595

  = 1255.33 F ปัดขึ้นเป็น 1256 F, (Low = 1242 To 1256 F)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

  = 1272.89 + 12.595

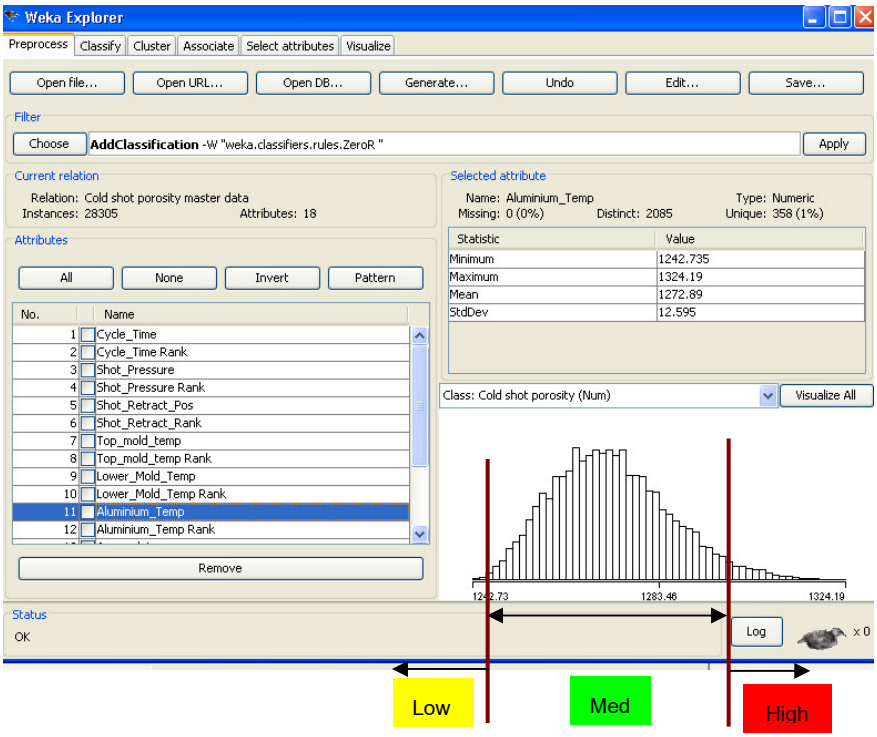
  = 1285.38 F ปัดขึ้นเป็น 1286 F

ฉะนั้น Medium = 1256 F ถึง 1286 F

- ชั้น High > 1286 F

ภาพที่4.14

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Aluminum Temperature



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Accumulator Pressure

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 121.058 + 0.914

= 121.97 Bar ปัดขึ้นเป็น 122 Bar,(Low =121 To 122 Bar)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 125.784+ 0.914

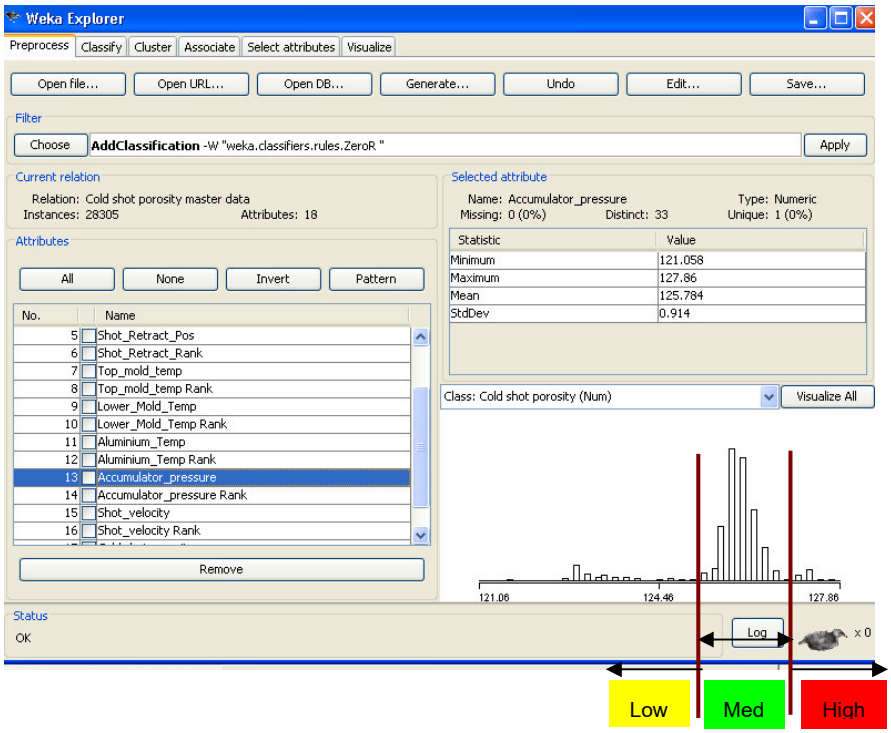
= 126.69 Bar ปัดขึ้นเป็น 127 Bar

ฉะนั้น Medium = 122 Bar ถึง 127 Bar

- ชั้น High > 127 F

ภาพที่ 4.15

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Accumulator Pressure



จัดชั้นข้อมูลของ ลักษณะประจำ Shot Velocity

- ชั้น Low = Minimum + StdDve

= 19.59 + 0.671

= 21.26 Ips ปัดขึ้นเป็น 22 Ips, (Low = 19.5 To 22 Ips)

- ชั้น Medium = Mean + StdDve

= 25.085+ 0.671

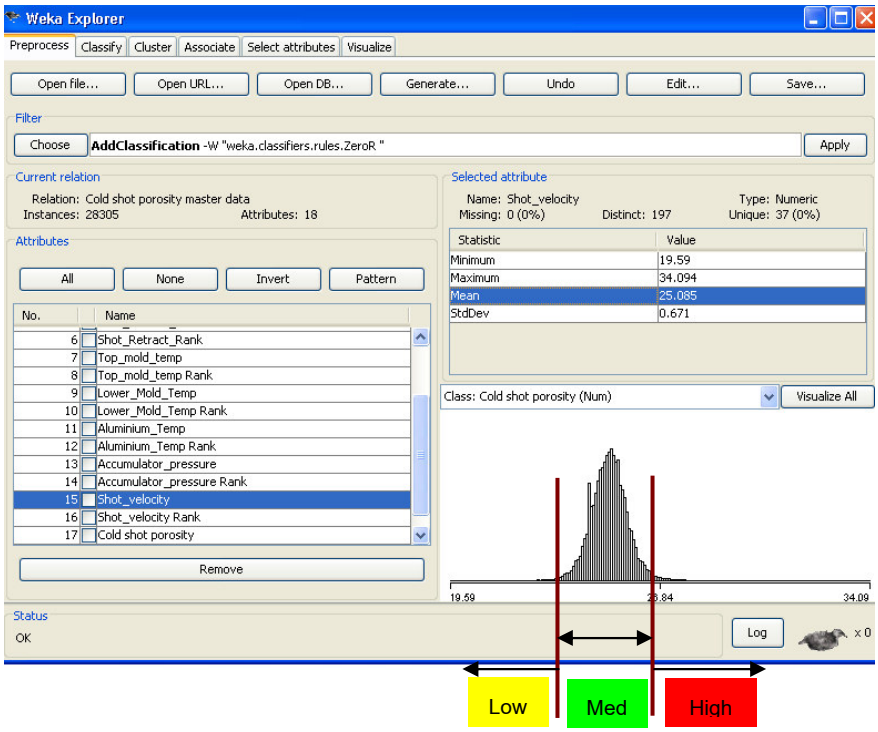
= 25.75 Ips ปัดขึ้นเป็น 26 Ips

ฉะนั้น Medium = 22 Ips ถึง 26 Ips

- ชั้น High > 26 Ips

ภาพที่ 4.16

การจัดกลุ่มข้อมูล ลักษณะประจำ Shot Velocity



สรุปผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลของลักษณะประจำที่ใช้ในการทำเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างสร้างตัวแบบ ให้กับลักษณะประจำเป้าหมายได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

รายละเอียดของลักษณะประจำ ที่จัดกลุ่มข้อมูลใหม่ให้อยู่ในรูปข้อมูลตัวอักษร

Attribute ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	ชั้นข้อมูล	ชนิดข้อมูล
1	Cycle Time	รอบเวลาการทำงานของเครื่องจักร		ตัวเลข
		Cycle Time< 53 Sec	Low	ตัวอักษร
		Cycle Time 53 to 70 Sec	Medium	ตัวอักษร
		Cycle Time >70 Sec	High	ตัวอักษร
2	Shot Pressure	แรงดันที่ใช้ในการอัดโรเตอร์		ตัวเลข
		Shot Pressure < 122 Bar	Low	ตัวอักษร
		Shot Pressure 122 to 130 Bar	Medium	ตัวอักษร
		Shot Pressure >130 Bar	High	ตัวอักษร
3	Shot Retract Position	ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำโลหะเหลว		ตัวเลข
		Shot Retract < 60 mm.	Low	ตัวอักษร
		Shot Retract 60 to 65mm.	Medium	ตัวอักษร
		Shot Retract > 65 mm.	High	ตัวอักษร
4	Top Mold Temp.	อุณหภูมิของโมลด้านบน(Top Mold)		ตัวเลข
		Top Mold Temp.< 60 F	Low	ตัวอักษร
		Top Mold Temp. 60 to 85 F	Medium	ตัวอักษร
		Top Mold Temp.> 85 F	High	ตัวอักษร
5	Lower Mold Temp.	อุณหภูมิของโมลด้านล่าง(Lower Mold)		ตัวเลข
		Lower Mold Temp. < 80 F	Low	ตัวอักษร
		Lower Mold Temp.80 to 110 F	Medium	ตัวอักษร
		Lower Mold Temp. > 110 F	High	ตัวอักษร
6	Aluminum Temp.	อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว		ตัวเลข
		Aluminum Temp. < 1250 F	Low	ตัวอักษร
		Aluminum Temp. 1250 to 1300 F	Medium	ตัวอักษร
		Aluminum Temp.>1300 F	High	ตัวอักษร
7	Accumulator Pressure	แรงดันในถังสะสมแรงดัน		ตัวเลข
		Accumulator Pressure < 122 Bar	Low	ตัวอักษร
		Accumulator Pressure 122 to 127 Bar	Medium	ตัวอักษร
		Accumulator Pressure >127 Bar	High	ตัวอักษร
8	Shot Velocity	ความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลว		ตัวเลข
		Shot Velocity <22.5 IPS	Low	ตัวอักษร
		Shot Velocity 22.5 to 27.5 IPS	Medium	ตัวอักษร
		Shot Velocity >27.5 IPS	High	ตัวอักษร

ตารางที่ 4.4

รายละเอียดของลักษณะประจำ เป้าหมายที่จัดข้อมูลใหม่ให้อยู่ในรูปข้อมูลตัวอักษร

Class ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	ค่าการเกิดของเสีย	ชนิดข้อมูล
1	Gas Porosity	รูพรุนจากฟองอากาศหรือแก๊ส	Yes/No	ตัวอักษร
2	Flow Porosity	รูพรุนที่เกิดจากการไหลของน้ำโลหะ	Yes/No	ตัวอักษร
3	Cold Shot Porosity	รูพรุนที่เกดจากการขึ้นรูปไม่สมบูรณ์	Yes/No	ตัวอักษร
4	Hot Crack Porosity	รูพรุนจากการแตกร้าว	Yes/No	ตัวอักษร

4.3 **การเตรียมข้อมูล** (Data Preparation)

4.3.1 **การคัดเลือกข้อมูล** (Data Selection)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยใช้ข้อมูลจากบริษัท อิเมอร์สันอิเลคทริค (ประเทศไทย) จำกัด ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของเครื่องฉีดโรเตอร์ (Die casting Shot Scope Server) โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2552 สำหรับการสร้างตัวแบบ และใช้ข้อมูลเดือนตุลาคมถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2551ในการทดสอบตัวแบบ

ข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างตัวแบบคือข้อมูลที่ทำการคัดแยกลักษณะประจำที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปแล้วในขั้นตอนศึกษาและสำรวจข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 28305 ระเบียน 8 ลักษณะประจำ กับ 4 ลักษณะประจำเป้าหมาย มีรายการดังนี้

รายการ ลักษณะประจำ

1. Cycle Time (Numerical)
2. Shot Pressure (Numerical)
3. Shot Retract (Numerical)

4. Top Mold Temp. (Numerical)
5. Lower Mold Temp. (Numerical)
6. Aluminum Temp. (Numerical)
7. Accumulator Pressure (Numerical)
8. Shot Velocity (Numerical)

รายการ ลักษณะประจำเป้าหมาย

1. Gas Porosity (Nominal)
2. Flow Porosity (Nominal)
3. Clod Shot Porosity (Nominal)
4. Hot Crack Porosity (Nominal)

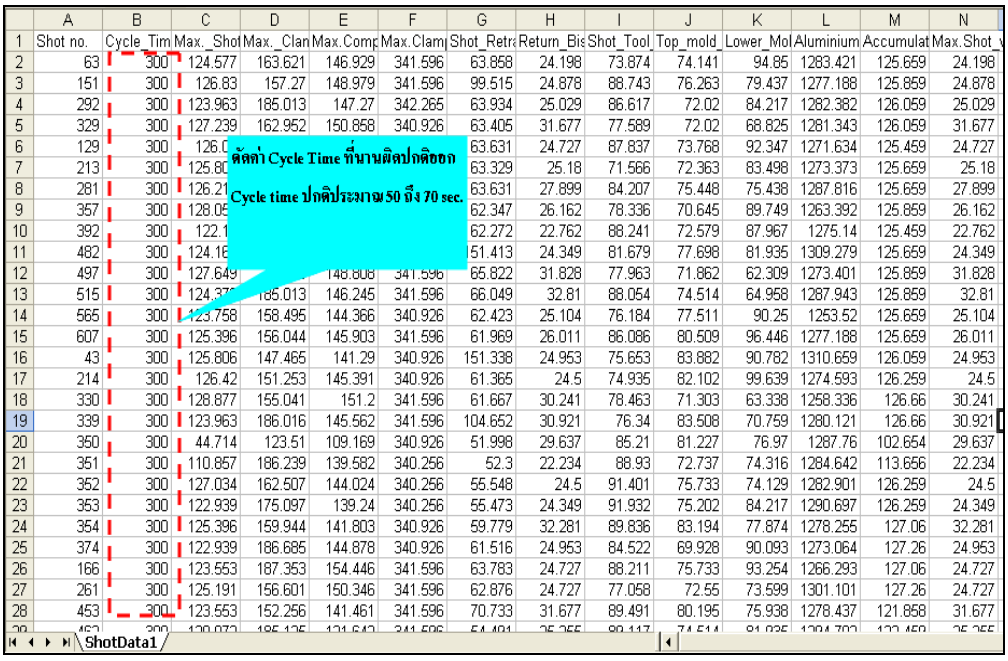
4.3.2 **การทำความสะอาดข้อมูล** (Data Cleansing)

ขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูลมีดังนี้

1. ตัดคอลัมน์ที่มีค่าไม่ซ้ำกันเลยออกไป เช่น คอลัมน์ Shot Number
2. เลือกเฉพาะคอลัมน์ที่มีความเกี่ยวพันธ์กับ Class เป้าหมาย ในขั้นตอนนี้ใช้ความรู้จาก จากประสบการณ์ทำงานร่วมกับ Cause And Effect Diagram มาช่วยในการพิจารณา
3. ตัดค่าที่ผิดปกติออก (Outlier)
4. จัดกลุ่มข้อมูลเพื่อลดการกระจายและง่ายในการใช้สร้างตัวแบบ

ภาพที่ 4.17

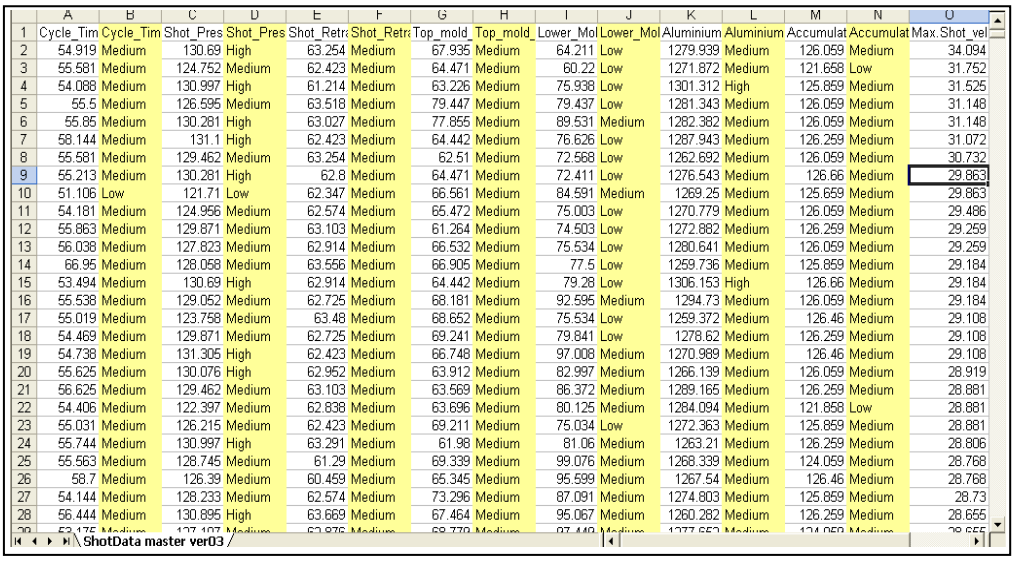
การตัดข้อมูล Outlier ของ Attributes บางตัวออก



จัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ช่วยในการจัด กลุ่มข้อมูล (Low, Medium, High) ให้ ลักษณะประจำ แต่ละตัวดังนี้

ภาพที่ 4.18

รายงานผลการจัดกลุ่มข้อมูล (Attributes Data Ranking)



4.3.3 **การสร้างข้อมูล ใหม่** (Construct Data)

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.2 การอธิบายข้อมูลว่าข้อการเกิดของเสียแต่ละชนิดไม่สามารถระบุได้ว่ามาจากข้อมูลระเบียนใดในชุดข้อมูลฉะนั้นในงานวิจัยนี้จะอนุมานปริมาณข้อมูลการเกิดของเสียแต่ละชนิดจาก Cause And Effect Diagram ดังนี้

1. การสร้างข้อมูลใหม่ให้ ลักษณะประจำเป้าหมาย Gas Porosity
2. จาก Cause And Effect Diagram พารามิเตอร์หลัก (Critical Parameter) ที่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity คือ
3. อุณหภูมิของน้ำโลหะเหลวสูงเกินไป (Aluminum Molten Temperature Too High)
4. ความเร็วของน้ำโลหะเหลวที่วิ่งเข้าสู่โมล(Mold Cavity)สูงเกินไป(Shot Velocity Too High)
5. แรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำเกินไป (Low Shot Pressure)
6. ระยะของเบ้ารับน้ำโลหะเหลวลึกเกินไป (Too Much Shot Retract Position)
7. แรงดันน้ำมันในถังสะสมแรงดันต่ำ (Low Accumulator Pressure)

ภาพที่ 4.19

การสร้างข้อมูลการเกิดของเสียชนิด Gas Porosity

	C	D	E	F	K	L	O	P	Q
1	Shot_Pressure	Shot_Pressure	Shot_Retract_	Shot_Retract_	Aluminium_Temp	Aluminium_Temp	Shot_velocity	Shot_velocity	Gas posity
2	129.257	Medium	61.516	Medium	1324.19	High	25.18	Medium	Y
3	123.728	Medium	61.29	Medium	1324.19	High	25.104	Medium	Y
4	125.161	Medium	61.29	Medium	1322.625	High	25.255	Medium	Y
5	130.281	High	61.29	Medium	1322.103	High	24.953	Medium	Y
6	129.871	Medium	61.214	Medium	1320.538	High	25.255	Medium	Y
7	127.414	Medium	61.214	Medium	1319.494	High	24.878	Medium	Y
8	125.366	Medium	62.121	Medium	1318.169	High	24.802	Medium	Y
9	123.625	Medium	62.461	Medium	1318.112	High	24.009	Medium	Y
10	128.028	Medium	61.214	Medium	1317.929	High	25.104	Medium	Y
11	124.547	Medium	61.29	Medium	1317.929	High	24.424	Medium	Y
12	123.216	Medium	58.532	Low	1317.224	High	24.613	Medium	Y
13	127.414	Medium	62.498	Medium	1317.126	High	25.029	Medium	Y
14	129.871	Medium	62.574	Medium	1317.126	High	25.482	Medium	Y
15	130.69	High	62.423	Medium	1316.858	High	25.369	Medium	Y
16	124.956	Medium	62.612	Medium	1316.858	High	24.84	Medium	Y
17	122.602	Medium	62.574	Medium	1316.731	High	25.482	Medium	Y
18	121.885	Low	62.385	Medium	1316.731	High	25.142	Medium	Y
19	123.523	Medium	62.536	Medium	1316.731	High	25.142	Medium	Y
20	124.752	Medium	62.876	Medium	1316.083	High	25.029	Medium	Y
21	129.666	Medium	63.329	Medium	1315.871	High	25.709	Medium	Y
22	130.076	High	63.48	Medium	1315.871	High	26.237	Medium	Y
23	129.052	Medium	63.329	Medium	1315.871	High	26.388	Medium	Y
24	130.793	High	62.612	Medium	1315.815	High	25.18	Medium	Y
25	128.335	Medium	62.423	Medium	1315.688	High	25.52	Medium	Y
26	130.69	High	62.385	Medium	1315.294	High	24.802	Medium	Y
27	125.161	Medium	62.347	Medium	1315.167	High	25.029	Medium	Y
28	125.673	Medium	59.59	Low	1315.139	High	25.897	Medium	Y

Gas porosity

1. การสร้างข้อมูลใหม่ให้ Defect Class Flow Porosity

จาก Cause And Effect Diagram พารามิเตอร์หลัก (Critical Parameter) ที่ส่งผลต่อการเกิด Flow Porosity คือ

- อุณหภูมิของน้ำโลหะเหลวต่ำเกินไป (Aluminum Molten Temperature Too Low)
- แรงดันสะสมใน Accumulator ต่ำเกินไป (Low of Accumulator Pressure)
- รอบเวลาการทำงานของเครื่องจักรนานเกินไป (Delay of Machine Cycle Time)
- แรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำเกินไป (Low of Shot Pressure)

ภาพที่ 4.20

การสร้างข้อมูลการเกิดของเสียชนิด Flow Porosity

	A	B	C	D	K	L	M	N	Q
1	Cycle_Tim	Cycle_Tim	Shot_Pres	Shot_Pres	Aluminium	Aluminium	Accumulat	Accumulat	Flow porosity
2	56.425	Medium	119.066	Low	1260.254	Medium	126.059	Medium	Y
3	56.338	Medium	119.066	Low	1260.773	Medium	126.259	Medium	Y
4	56.338	Medium	119.066	Low	1260.773	Medium	126.059	Medium	Y
5	56.338	Medium	119.066	Low	1260.773	Medium	126.059	Medium	Y
6	56.188	Medium	119.066	Low	1261.809	Medium	126.259	Medium	Y
7	55.9	Medium	119.066	Low	1264.583	Medium	126.059	Medium	Y
8	55.9	Medium	119.066	Low	1264.583	Medium	126.059	Medium	Y
9	55.744	Medium	119.066	Low	1266.139	Medium	126.059	Medium	Y
10	55.569	Medium	119.066	Low	1268.213	Medium	126.059	Medium	Y
11	55.381	Medium	119.066	Low	1270.288	Medium	126.059	Medium	Y
12	55.15	Medium	119.066	Low	1272.882	Medium	126.059	Medium	Y
13	55.013	Medium	119.066	Low	1274.439	Medium	126.059	Medium	Y
14	54.906	Low	119.066	Low	1275.477	Medium	126.059	Medium	Y
15	53.394	Medium	119.12	Low	1294.098	Medium	121.258	Low	Y
16	59.138	Medium	119.253	Low	1251.967	Medium	126.059	Medium	Y
17	56.688	Medium	119.253	Low	1258.7	Medium	126.059	Medium	Y
18	55.844	Medium	119.27	Low	1265.102	Medium	126.059	Medium	Y
19	55.656	Medium	119.27	Low	1267.176	Medium	126.059	Medium	Y
20	55.3	Medium	119.27	Low	1271.143	Medium	126.059	Medium	Y
21	55.244	Medium	119.27	Low	1271.844	Medium	126.059	Medium	Y
22	55.175	Medium	119.27	Low	1272.7	Medium	126.059	Medium	Y
23	53.963	Medium	119.325	Low	1286.299	Medium	121.258	Low	Y
24	56.425	Medium	119.458	Low	1260.254	Medium	126.059	Medium	Y
25	55.538	Medium	119.53	Low	1268.676	Medium	121.658	Low	Y
26	55.063	Medium	119.53	Low	1273.836	Medium	121.458	Low	Y
27	53.019	Medium	119.53	Low	1299.301	Medium	121.258	Low	Y
28	57.563	Medium	119.662	Low	1255.592	Medium	126.059	Medium	Y

Flow Porosity1

2. การสร้างข้อมูลใหม่ ให้ Defect Class Cold Shot Porosity

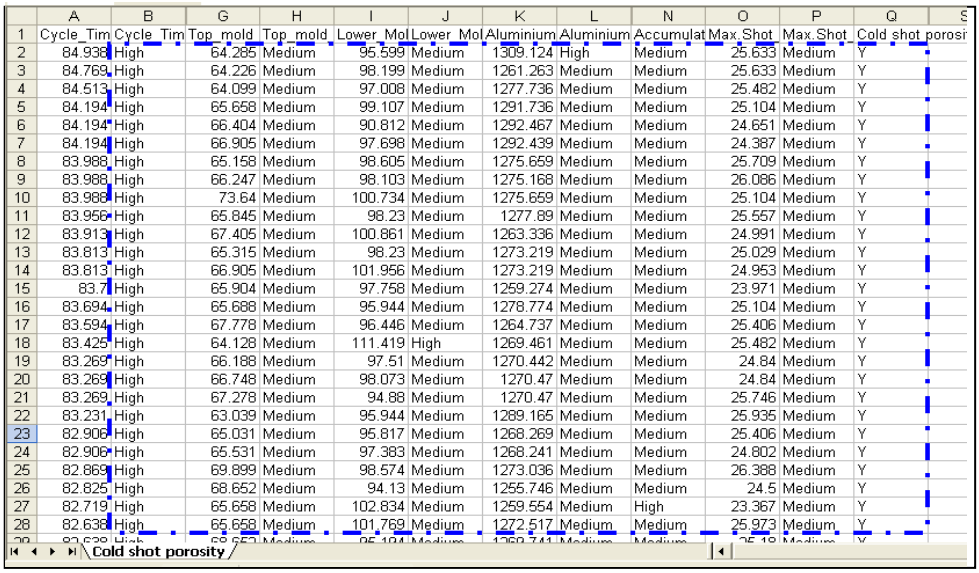
จาก Cause And Effect Diagram พารามิเตอร์หลัก (Critical Parameter) ที่ส่งผลต่อการเกิด Cold Shot Porosity คือ

- อุณหภูมิของน้ำโลหะเหลวต่ำเกินไป (Aluminum Molten Temperature Too Low)
- รอบเวลาการทำงานของเครื่องจักรนานเกินไป (Delay Of Machine Cycle Time)

- อุณหภูมิของโมลชุดบนต่ำเกินไป(Top Mold Low Temperature)
- อุณหภูมิของโมลชุดล่างต่ำเกินไป(Lower Mold Low Temperature)

ภาพที่4.21

การสร้างข้อมูลการเกิดของเสียชนิด Clod Shot Porosity



	A	B	G	H	I	J	K	L	N	O	P	Q
1	Cycle_Tim	Cycle_Tim	Top_mold	Top_mold	Lower_Mol	Lower_Mol	Aluminium	Aluminium	Accumulat	Max_Shot	Max_Shot	Cold shot porosi
2	84.938	High	64.285	Medium	95.599	Medium	1309.124	High	Medium	25.633	Medium	Y
3	84.769	High	64.226	Medium	98.199	Medium	1261.263	Medium	Medium	25.633	Medium	Y
4	84.513	High	64.099	Medium	97.008	Medium	1277.736	Medium	Medium	25.482	Medium	Y
5	84.194	High	65.658	Medium	99.107	Medium	1291.736	Medium	Medium	25.104	Medium	Y
6	84.194	High	66.404	Medium	90.812	Medium	1292.467	Medium	Medium	24.651	Medium	Y
7	84.194	High	66.905	Medium	97.698	Medium	1292.439	Medium	Medium	24.387	Medium	Y
8	83.988	High	65.158	Medium	98.605	Medium	1275.659	Medium	Medium	25.709	Medium	Y
9	83.988	High	66.247	Medium	98.103	Medium	1275.168	Medium	Medium	26.086	Medium	Y
10	83.988	High	73.64	Medium	100.734	Medium	1275.659	Medium	Medium	25.104	Medium	Y
11	83.956	High	65.845	Medium	98.23	Medium	1277.89	Medium	Medium	25.557	Medium	Y
12	83.913	High	67.405	Medium	100.861	Medium	1263.336	Medium	Medium	24.991	Medium	Y
13	83.813	High	65.315	Medium	98.23	Medium	1273.219	Medium	Medium	25.029	Medium	Y
14	83.813	High	66.905	Medium	101.956	Medium	1273.219	Medium	Medium	24.953	Medium	Y
15	83.7	High	65.904	Medium	97.758	Medium	1259.274	Medium	Medium	23.971	Medium	Y
16	83.694	High	65.688	Medium	95.944	Medium	1278.774	Medium	Medium	25.104	Medium	Y
17	83.594	High	67.778	Medium	96.446	Medium	1264.737	Medium	Medium	25.406	Medium	Y
18	83.425	High	64.128	Medium	111.419	High	1269.461	Medium	Medium	25.482	Medium	Y
19	83.269	High	66.188	Medium	97.51	Medium	1270.442	Medium	Medium	24.84	Medium	Y
20	83.269	High	66.748	Medium	98.073	Medium	1270.47	Medium	Medium	24.84	Medium	Y
21	83.269	High	67.278	Medium	94.88	Medium	1270.47	Medium	Medium	25.746	Medium	Y
22	83.231	High	63.039	Medium	95.944	Medium	1289.165	Medium	Medium	25.935	Medium	Y
23	82.906	High	65.031	Medium	95.817	Medium	1268.269	Medium	Medium	25.406	Medium	Y
24	82.906	High	65.531	Medium	97.383	Medium	1268.241	Medium	Medium	24.802	Medium	Y
25	82.869	High	69.899	Medium	98.574	Medium	1273.036	Medium	Medium	26.388	Medium	Y
26	82.825	High	68.652	Medium	94.13	Medium	1255.746	Medium	Medium	24.5	Medium	Y
27	82.719	High	65.658	Medium	102.834	Medium	1259.554	Medium	High	23.367	Medium	Y
28	82.638	High	65.658	Medium	101.769	Medium	1272.517	Medium	Medium	25.973	Medium	Y

Cold shot porosity

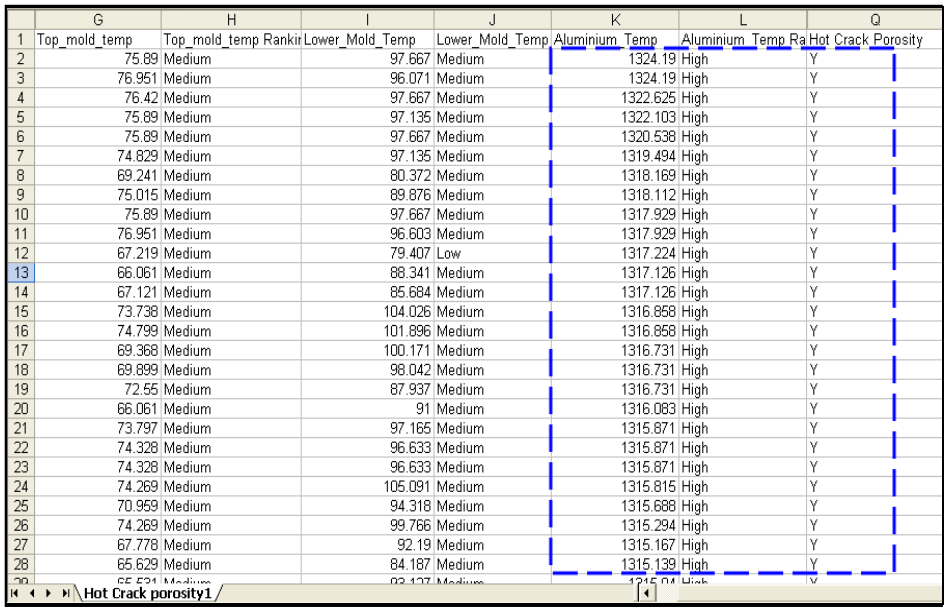
3. การสร้างข้อมูลใหม่ ให้ Defect Class Hot Crack Porosity

จาก Cause And Effect Diagram พารามิเตอร์หลัก (Critical Parameter) ที่ส่งผลต่อการเกิด Hot Crack Shot Porosity คือ

- อุณหภูมิของน้ำโลหะเหลวสูงเกินไป (Aluminum Molten Temperature Too High)
- อุณหภูมิของโมลชุดบนสูงเกินไป(Top Mold High Temperature)
- อุณหภูมิของโมลชุดล่างสูงเกินไป(Lower Mold High Temperature)

ภาพที่4.22

การสร้างข้อมูลการเกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity



	G	H	I	J	K	L	Q
1	Top_mold_temp	Top_mold_temp Rankir	Lower_Mold_Temp	Lower_Mold_Temp	Aluminium_Temp	Aluminium_Temp Ra	Hot Crack Porosity
2	75.89	Medium	97.667	Medium	1324.19	High	Y
3	76.951	Medium	96.071	Medium	1324.19	High	Y
4	76.42	Medium	97.667	Medium	1322.625	High	Y
5	75.89	Medium	97.135	Medium	1322.103	High	Y
6	75.89	Medium	97.667	Medium	1320.538	High	Y
7	74.829	Medium	97.135	Medium	1319.494	High	Y
8	69.241	Medium	80.372	Medium	1318.169	High	Y
9	75.015	Medium	89.876	Medium	1318.112	High	Y
10	75.89	Medium	97.667	Medium	1317.929	High	Y
11	76.951	Medium	96.603	Medium	1317.929	High	Y
12	67.219	Medium	79.407	Low	1317.224	High	Y
13	66.061	Medium	88.341	Medium	1317.126	High	Y
14	67.121	Medium	85.684	Medium	1317.126	High	Y
15	73.738	Medium	104.026	Medium	1316.858	High	Y
16	74.799	Medium	101.896	Medium	1316.858	High	Y
17	69.368	Medium	100.171	Medium	1316.731	High	Y
18	69.899	Medium	98.042	Medium	1316.731	High	Y
19	72.55	Medium	87.937	Medium	1316.731	High	Y
20	66.061	Medium	91	Medium	1316.083	High	Y
21	73.797	Medium	97.165	Medium	1315.871	High	Y
22	74.328	Medium	96.633	Medium	1315.871	High	Y
23	74.328	Medium	96.633	Medium	1315.871	High	Y
24	74.269	Medium	105.091	Medium	1315.815	High	Y
25	70.959	Medium	94.318	Medium	1315.688	High	Y
26	74.269	Medium	99.766	Medium	1315.294	High	Y
27	67.778	Medium	92.19	Medium	1315.167	High	Y
28	65.629	Medium	84.187	Medium	1315.139	High	Y

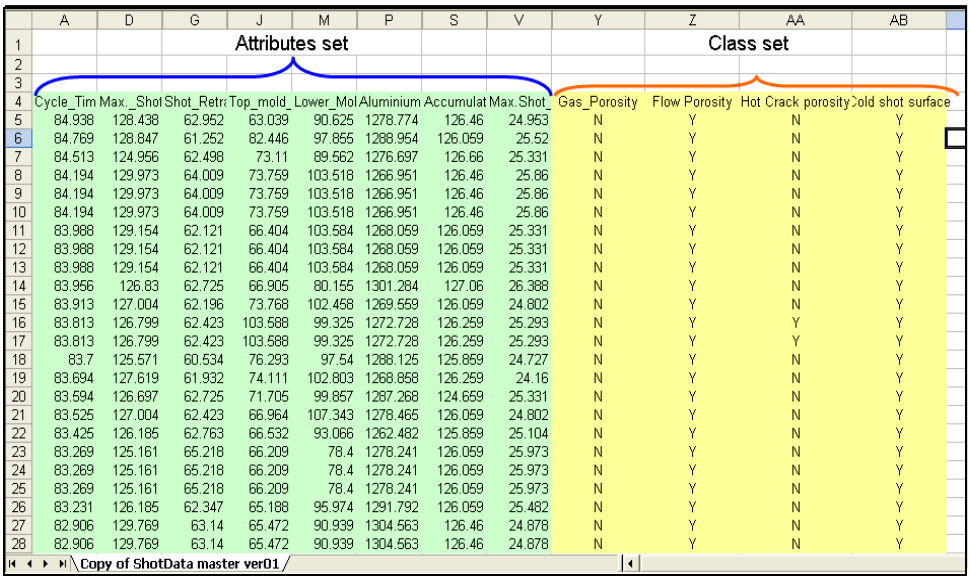
Hot Crack porosity1

4.3.4 **การรวมข้อมูล** (Integrate Data)

จากการสร้างตารางข้อมูลใหม่ของ Defect Class ทั้ง 4 แบบ เสร็จแล้วนำหลายๆตารางมารวมในไฟล์เดียวกันในรูปแบบลักษณะประจำที่เป็นตัวอักษรกับคลาสเป้าหมายที่เป็นตัวอักษรและรูปแบบลักษณะประจำที่เป็นตัวเลขกับคลาสเป้าหมายที่เป็นตัวอักษรเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WEKA ต่อไป สุดท้ายแล้วจะได้พารามิเตอร์หรือลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบทั้งหมด 8 ลักษณะประจำ และคลาสเป้าหมาย 4 ลักษณะประจำเป้าหมาย ข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบทั้งหมด 28305 ระเบียน จากเดิมข้อมูลที่อัพโหลดจากฐานข้อมูลมี 30794 ระเบียน สาเหตุที่เหลือเท่ากับ 28305 เพราะได้ทำการตัดระเบียนข้อมูลที่มีค่าผิดปรกติออกไปแล้ว ฉะนั้นจะได้ลักษณะประจำข้อมูลที่ใช้ทำเหมืองข้อมูลเพื่อค้นหาและสร้างตัวแบบดังแสดงในรูป 4.23. และ รูป 4.24

ภาพที่ 4.23

ชุดลักษณะประจำ ที่เป็นตัวเลขกับ ชุดลักษณะประจำเป้าหมายที่เป็นตัวอักษร

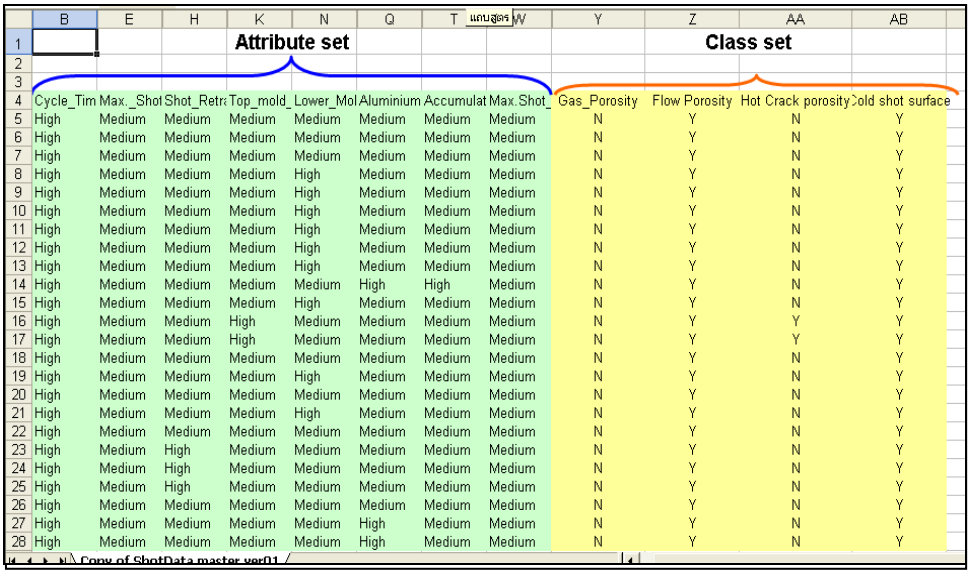


	A	D	G	J	M	P	S	V	Y	Z	AA	AB
1	Attributes set								Class set			
4	Cycle_Tim	Max._Shot	Shot_Retra	Top_mold_	Lower_Mol	Aluminium	Accumulat	Max.Shot_	Gas_Porosity	Flow Porosity	Hot Crack porosity	Cold shot surface
5	84.938	128.438	62.952	63.039	90.625	1278.774	126.46	24.953	N	Y	N	Y
6	84.769	128.847	61.252	82.446	97.855	1288.954	126.059	25.52	N	Y	N	Y
7	84.513	124.956	62.498	73.11	89.562	1276.697	126.66	25.331	N	Y	N	Y
8	84.194	129.973	64.009	73.759	103.518	1266.951	126.46	25.86	N	Y	N	Y
9	84.194	129.973	64.009	73.759	103.518	1266.951	126.46	25.86	N	Y	N	Y
10	84.194	129.973	64.009	73.759	103.518	1266.951	126.46	25.86	N	Y	N	Y
11	83.988	129.154	62.121	66.404	103.584	1268.059	126.059	25.331	N	Y	N	Y
12	83.988	129.154	62.121	66.404	103.584	1268.059	126.059	25.331	N	Y	N	Y
13	83.988	129.154	62.121	66.404	103.584	1268.059	126.059	25.331	N	Y	N	Y
14	83.956	126.83	62.725	66.905	80.155	1301.284	127.06	26.388	N	Y	N	Y
15	83.913	127.004	62.196	73.768	102.458	1269.559	126.059	24.802	N	Y	N	Y
16	83.813	126.799	62.423	103.588	99.325	1272.728	126.259	25.293	N	Y	Y	Y
17	83.813	126.799	62.423	103.588	99.325	1272.728	126.259	25.293	N	Y	Y	Y
18	83.7	125.571	60.534	76.293	97.54	1288.125	125.859	24.727	N	Y	N	Y
19	83.694	127.619	61.932	74.111	102.803	1268.858	126.259	24.16	N	Y	N	Y
20	83.594	126.697	62.725	71.705	99.857	1287.268	124.659	25.331	N	Y	N	Y
21	83.525	127.004	62.423	66.964	107.343	1278.465	126.059	24.802	N	Y	N	Y
22	83.425	126.185	62.763	66.532	93.066	1262.482	125.859	25.104	N	Y	N	Y
23	83.269	125.161	65.218	66.209	78.4	1278.241	126.059	25.973	N	Y	N	Y
24	83.269	125.161	65.218	66.209	78.4	1278.241	126.059	25.973	N	Y	N	Y
25	83.269	125.161	65.218	66.209	78.4	1278.241	126.059	25.973	N	Y	N	Y
26	83.231	126.185	62.347	65.188	95.974	1291.792	126.059	25.482	N	Y	N	Y
27	82.906	129.769	63.14	65.472	90.939	1304.563	126.46	24.878	N	Y	N	Y
28	82.906	129.769	63.14	65.472	90.939	1304.563	126.46	24.878	N	Y	N	Y

Copy of ShotData master ver01

ภาพที่ 4.24

ชุดลักษณะประจำที่เป็นตัวอักษรกับ ชุดลักษณะประจำเป้าหมายที่เป็นตัวอักษร



	B	E	H	K	N	Q	T	แถบสูตร W	Y	Z	AA	AB
1				Attribute set						Class set		
4	Cycle_Tim	Max._Shot	Shot_Retra	Top_mold_	Lower_Mol	Aluminium	Accumulat	Max.Shot_	Gas_Porosity	Flow Porosity	Hot Crack porosity	Cold shot surface
5	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
6	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
7	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
8	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
9	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
10	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
11	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
12	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
13	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
14	High	Medium	Medium	Medium	Medium	High	High	Medium	N	Y	N	Y
15	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
16	High	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	Y	Y
17	High	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	Y	Y
18	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
19	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
20	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
21	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
22	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
23	High	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
24	High	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
25	High	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
26	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	N	Y	N	Y
27	High	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	N	Y	N	Y
28	High	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	N	Y	N	Y

Copy of ShotData master ver01

4.3.5 **การเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูล** (Format Data)

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างตัวแบบได้มีการแปลงเป็นข้อมูลประเภทสมุดงาน (Spread Sheet) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างแอทริบิวต์และคลาสเป้าหมายอยู่แล้ว (Relational Data Set) จึงไม่จำเป็นต้องแปลงข้อมูล แต่จะใช้ Information Gain ในการวัดความเกี่ยวพันระหว่างข้อมูลลักษณะประจำ กับข้อมูลทั้งชุดซึ่งเป็นค่าที่คำนวณจาก โปรแกรม WEKA โดยค่าที่ได้จะบอกถึงความสำคัญของลักษณะประจำต่างๆที่ส่งผลต่อกับชุดข้อมูลหรือลักษณะประจำเป้าหมายที่สนใจ

1. การเลือกลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบของของเสียแต่ละประเภท มีดังนี้

1.1 ลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ Gas Porosity

นอกจากจะพิจารณาจาก Cause And Effect Diagramแล้ว ยังต้องพิจารณาความสอดคล้องกันกับชุดข้อมูลด้วยโดยการนี้จะใช้ค่า Information Gain ของลักษณะประจำที่ส่งต่อคลาสเป้าหมาย Gas Porosity โดยใช้ โปรแกรม WEKA ในการหา Information Gain ดังนี้

- Evaluation Mode: Evaluate On All Training Data
- Attribute Selection On All Input Data
- Search Method:
- Attribute Ranking.
- Attribute Evaluator (Supervised, Class (Nominal): 9 Gas Porosity):
- Information Gain Ranking Filter

Ranked Attributes:

- 0.09052 2 Shot Pressure
- 0.07654 6 Aluminum Temp
- 0.01868 7 Accumulator Pressure
- 0.01644 3 Shot Retract Pos
- 0.01101 8 Shot Velocity

สรุปผลจากการใช้ตัววัด Information Gain ได้ลักษณะประจำ ที่มีความสำคัญต่อลักษณะประจำ เป้าหมาย Gas Porosity ดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Shot Velocity

3. Shot Pressure

4. Shot Retract Position

5. Accumulator Pressure

1.2 ลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ Cold Shot Porosity

โดยพิจารณาจากการหาค่า Information Gain ของลักษณะประจำต่อ คลาสเป้าหมาย Cold Shot Porosity ด้วย โปรแกรม WEKA ดังนี้

- Evaluation Mode: Evaluate On All Training Data
- Attribute Selection On All Input Data
- Search Method:
- Attribute Ranking.
- Attribute Evaluator (Supervised, Class (Nominal): 9 Cold Shot Porosity):
- Information Gain Ranking Filter

Ranked Attributes:

- 0.08607 6 Aluminum Temp
- 0.04177 1 Cycle Time
- 0.01811 5 Lower Mold Temp
- 0.00486 4 Top Mold Temp

สรุปผลจากการใช้ตัววัด Information Gain ของ ลักษณะประจำ ที่มีความสำคัญต่อลักษณะประจำ เป้าหมาย Cold Shot Porosity ได้ดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Cycle Time
3. Lower Mold Temp.
4. Top Mold Temp

1.3 ลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ Flow Porosity

โดยพิจารณาจากการหาค่า Information Gain ของลักษณะประจำต่อ คลาสเป้าหมาย Flow Porosity ด้วย โปรแกรม WEKA ดังนี้

- Evaluation Mode: Evaluate On All Training Data
- Attribute Selection On All Input Data
- Search Method:

- Attribute Ranking.
- Attribute Evaluator (Supervised, Class (Nominal): 9 Flow Porosity):
- Information Gain Ranking Filter

Ranked Attributes:

- 0.14361 2 Shot Pressure
- 0.0644 6 Aluminum Temp
- 0.03212 1 Cycle Time
- 0.0293 7 Accumulator Pressure

สรุปผลจากการใช้ตัววัด Information Gain ของ ลักษณะประจำที่มีความสำคัญต่อลักษณะประจำเป้าหมาย Flow Porosity ได้ดังนี้

1. Aluminum Temperature
2. Accumulator Pressure
3. Shot Pressure
4. Cycle Time

1.4 ลักษณะประจำที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ Hot Crack Porosity

โดยพิจารณาจากการหาค่า Information Gain ของลักษณะประจำต่อ คลาสเป้าหมาย Hot Crack Porosity ด้วย โปรแกรม WEKA ดังนี้

- Attribute Selection On All Input Data
- Search Method:
- Attribute Ranking.
- Attribute Evaluator (Supervised, Class (Nominal): 9 Hot Crack Porosity):
- Information Gain Ranking Filter

Ranked Attributes:

- 0.09672 6 Aluminum Temp
- 0.06063 5 Lower Mold Temp
- 0.04548 4 Top Mold Temp

สรุปผลจากการใช้ตัววัด Information Gain ของ ลักษณะประจำที่มีความสำคัญต่อลักษณะประจำเป้าหมาย Hot Crack Porosity ได้ดังนี้

1. Aluminum Temp.

2. Top Mold Temp.

3. Lower Mold Temp

เมื่อได้ข้อมูลจากขั้นตอนจัดเตรียมข้อมูลแล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลไปสร้างตัวแบบเพื่อค้นหาลักษณะประจำหรือรูปแบบที่ส่งผลต่อคลาสเป้าหมาย

4.4 การพัฒนาตัวแบบ (Modeling)

4.4.1 เลือกเทคนิคการสร้างตัวแบบ (Select Modeling Technique)

ในการศึกษานี้เลือกใช้การทำเหมืองข้อมูลแบบการจำแนกประเภท (Classification) และการทำเหมืองข้อมูลแบบกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง (Association Rule) ในการสร้างตัวแบบจำลอง สาเหตุที่สร้างตัวแบบทั้ง 2 ประเภทเพราะต้องการตรวจสอบความแม่นยำและความสอดคล้องกันของตัวแบบ โดยอัลกอริทึมที่ใช้สร้างตัวแบบดังนี้

1. J48 Decision Tree ซึ่งเป็นอัลกอริทึมอันหนึ่งที่ใช้สร้าง Decision Tree และเป็นส่วนขยายที่เพิ่มเติมจาก อัลกอริทึม Id3 Decision Tree

เหตุผลที่เลือก J48 Decision Tree

- ใช้เวลาในการเรียนรู้สั้นกว่าวิธีอื่น
- ผลลัพธ์ที่ได้เขียนเป็นกฎที่เข้าใจได้ง่าย
- ความถูกต้องสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น
- ใช้ได้กับลักษณะประจำที่มีค่าต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องได้

2. ทำเหมืองข้อมูลแบบกฎการเชื่อมโยง(Association Rule) ด้วยวิธี Apriori

เหตุผลที่เลือก Association. Apriori

- เหมาะกับการหารูปแบบที่เกิดบ่อยๆ (Frequent Pattern)
- มีความสามารถในการหาความเชื่อมโยงหรือสหสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลได้ดี

4.4.2 การสร้างแบบการทดสอบ (Test Design)

ในการดำเนินการสร้างและทดสอบตัวแบบจำลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ใช้วิธีการทดสอบตัวแบด้วยวิธี Cross-Validation K-Fold =10 ในตอนสร้างตัวแบบ
2. เตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างตัวแบบจำลองจำนวน 28305 ข้อมูลและข้อมูลที่

ใช้สำหรับทดสอบตัวแบบจำลองจำนวน 25,000 ถึง 27,500 ข้อมูล

3. ดำเนินการสร้างตัวแบบจำลองด้วยข้อมูล Training Data

4. ทดสอบความแม่นยำและประเมินผลตัวแบบจำลองถ้าผลลัพธ์ออกมามีความผิดพลาดสูงให้กลับไปปรับปรุงขั้นตอนที่ 2 และ 1 ใหม่ และผลลัพธ์ออกมาแม่นยำสูงให้สำรวจความถูกต้องและความเที่ยงตรงอีกครั้งก่อนนำไปใช้งานจริง

5. นำตัวแบบจำลองไปใช้กับข้อมูลที่ไม่ทราบมาก่อนเพื่อพยากรณ์ผลลัพธ์

6. นำความรู้ที่ได้จากตัวแบบจำลองไปสร้างชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04

7. นำชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ไปทดลองกับเครื่องฉีดอลูมิเนียมแล้ววัดผลจากจำนวนของเสียที่เกิด 4 ชนิด เทียบผลกับพารามิเตอร์ชุดเดิม(ใช้ WEKA Preprocess)

8. ในกรณีที่ผลจากการวัดจากจำนวนของเสียไม่ชัดเจนให้พิจารณาที่ค่าทางสถิติของพารามิเตอร์แต่ละตัวซึ่งจะใช้ค่าความเป็นปกติของข้อมูล (Normality) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัวชี้วัด

9. จัดทำชุดพารามิเตอร์มาตรฐานสำหรับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04

10. ขยายผลไปพัฒนาปรับปรุงชุดพาริมิเตอร์สำหรับงานฉีดโรเตอร์รุ่นอื่นๆ

4.4.3 **การสร้างตัวแบบ** (Build Model)

1. ส ร้างตัวแบบจำลองการเกิด Gas Porosity ด้วย Classifier J48 Decision Tree ด้วยโปรแกรม WEKA ซึ่งได้ผลจากการตัวแบบดังนี้

จำนวนข้อมูลที่ใช้ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเท่ากับ 28305 ข้อมูล ประกอบด้วยลักษณะประจำนำเข้า 5 ตัว ดังนี้

- Aluminum Temp.
- Shot Pressure
- Accumulator Pressure
- Shot Retract
- Shot Velocity

คลาสเป้าหมายที่ต้องการคือ Gas Porosity Defect ใช้การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม (Cross Validation) จำนวนครั้งที่สลับ (Fold=10) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5

การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม (Cross Validation)

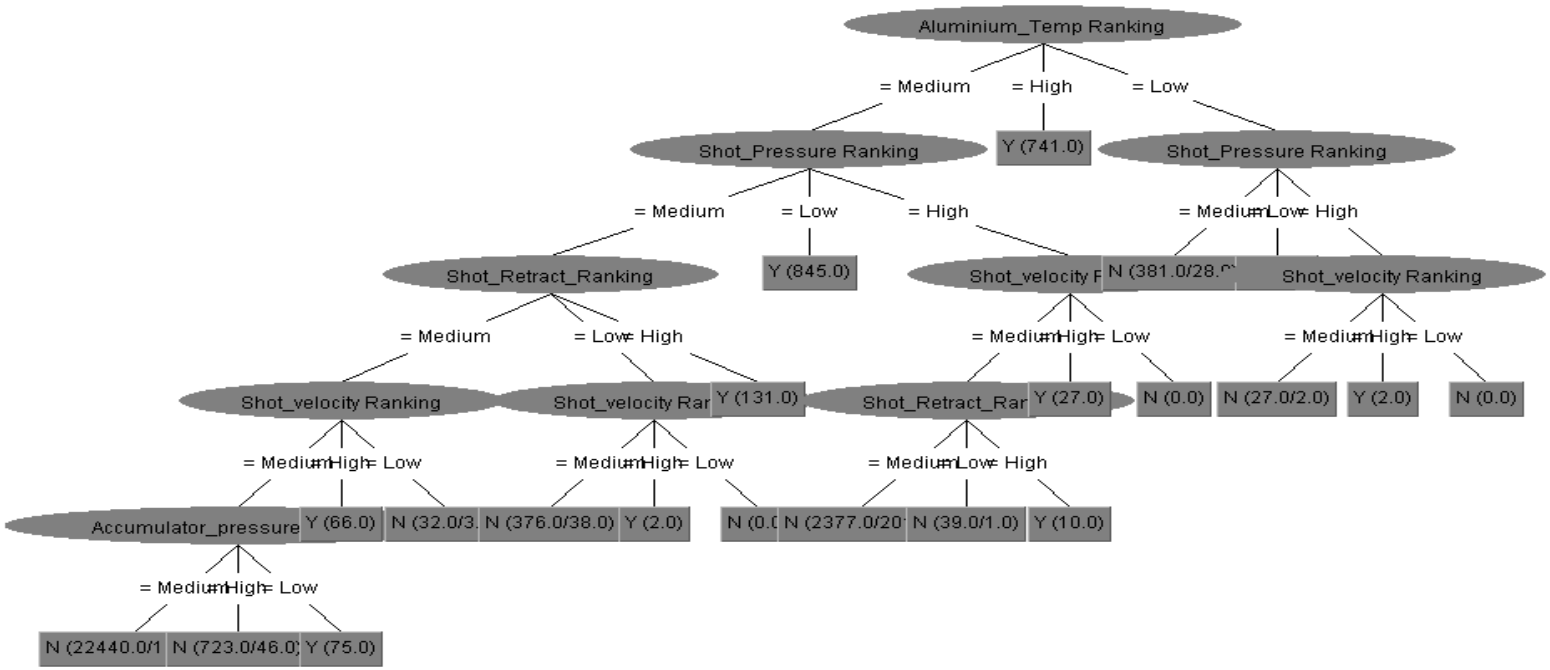
Gas Porosity J48 Decision Tree Model	
Correctly Classified Instance	92.15%
Incorrectly Classified Instance	7.85%
MSE	0.2682

- ค่าความถูกต้องของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 92.1498 %
- ค่าความผิดพลาดของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 7.8502 %
- ค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.2682

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของตัวแบบแล้วพบว่าตัวแบบมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์สูง (92.1498 %) โดยปรกติแล้วถ้าค่าความถูกต้องเกิน 85 % ถือว่ายอมรับได้ และเมื่อค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจแล้วขั้นตอนต่อไปคือทำการแสดงผลตัวแบบในรูปของแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจเพื่อให้ง่ายต่อการแปลผลหาความรู้หรือรูปแบบของการเกิด Gas Porosity จากตัวแบบ

ภาพที่ 4.25

แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Gas Porosity



แปลผลจากตัวแบบการจำแนกประเภทแบบ Classifier J48 Decision Tree ของ Gas Porosity Defect ได้ดังนี้

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงจะทำให้เกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและแรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำและแรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางแรงดันที่ใช้ในการฉีดสูงและความเร็วของน้ำอลูมิเนียมสูงจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับให้ปานกลางแรงดันที่ใช้ในการฉีดสูงความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลวในระดับปานกลางและระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำ แรงดันที่ใช้ในการฉีดสูงและความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลวสูง จะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง แรงดันที่ใช้ในการฉีดปานกลาง และระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง แรงดันที่ใช้ในการฉีดปานกลาง ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำและความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลวสูงจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง แรงดันที่ใช้ในการฉีดปานกลาง ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลวสูงจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง แรงดันที่ใช้ในการฉีดปานกลาง ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง ความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลวระดับปานกลางและแรงดันสะสมสำหรับการฉีดต่ำจะเกิดของเสียชนิด Gas Porosity

สรุปผลการทำนายหรือความรู้ที่ได้จากตัวแบบ Gas Porosity J48 Decision Tree ลักษณะประจำหรือพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Gas Porosity มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว (Aluminum Temperature) สูงเกินไป
- แรงดันที่ใช้ในการฉีด (Shot Pressure) ต่ำเกินไป
- ระยะความลึกของเบ้ารับน้ำอลูมิเนียมเหลว (Shot Retract) ลึกเกินไป
- ความเร็วของน้ำอลูมิเนียมเหลว (Shot Velocity) สูงเกินไป
- แรงดันในถังสะสมแรงดัน (Accumulator Pressure) ต่ำเกินไป

2. สร้างตัวแบบการเกิด Gas Porosity Defect ด้วย Associations.Apriori

จากการสร้างตัวแบบด้วย Associations.Apriori ได้กฎความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างค่าลักษณะประจำนำเข้าและลักษณะประจำเป้าหมายดังนี้

- ค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์หรือเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ค่ากลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั้น 98 % ถึง 100 %
- ถ้าค่าลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity ที่ระดับความเชื่อมั้น 91 % ถึง 92 %

เมื่อพิจารณาผลจากการสร้างตัวแบบ Gas Porosity ด้วย Associations.Apriori เปรียบเทียบกับตัวแบบ Gas Porosity แบบ J48 Decision Tree ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกันคือ ถ้าค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity

สรุปการแปลผล Gas Porosity Defect จาก WEKA.Associations.Apriori

- จากการสร้างตัวแบบ Associations.Apriori (Car = False) สรุปผลได้ว่าค่าพารามิเตอร์ Shot Pressure , Shot Retract , Aluminum Temp , Accumulator Pressure และ Shot Velocity จะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันที่ค่าระดับปานกลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- จากการสร้างตัวแบบ Associations.Apriori (Car = True) สรุปผลได้ว่าถ้าค่าพารามิเตอร์ Shot_Pressure , Shot_Pressure , Aluminium_Temp , Accumulator_Pressure และ Shot_Velocity อยู่ที่ระดับปานกลาง (Medium) แล้วจะไม่ส่งผลให้เกิด Gas Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 91.5%

3. สร้างตัวแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหา Gas Porosity

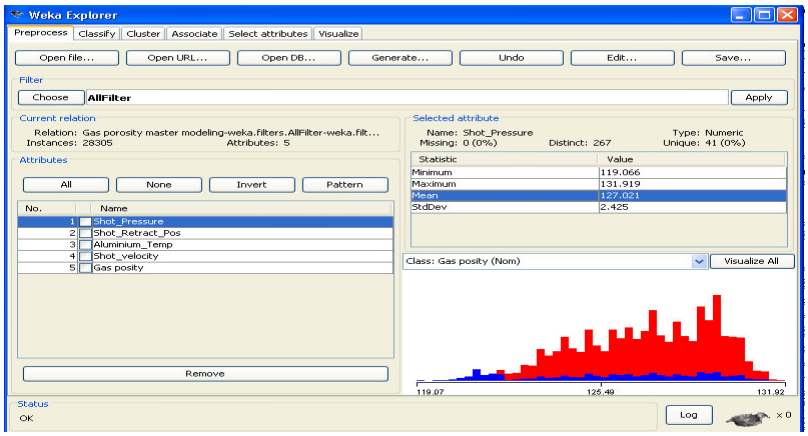
จากการตัวแบบ WEKA.Associations.Apriori และClassifier Trees J48 จะพบว่าค่า Attributes หรือ พารามิเตอร์ที่ไม่ส่งผลต่อคลาสเป้าหมาย (Gas Porosity = No) จะมีค่าอยู่ที่ Medium Rank หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ฉะนั้นการที่จะได้มาซึ่งค่าตัวเลขเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะใช้ WEKA Preprocess ในการหาค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับที่ใช้ตอนสร้างตัวแบบมาใช้ในการหาค่าทางสถิติของ Attributes แต่ละตัวดังนี้

จากขั้นตอนในการสร้างตัวแบบของ Gas Porosity Defect ด้วย J48 Decision Tree และ Associations.Apriori ผลออกมาไปในแนวทางกันคือถ้าค่าพารามิเตอร์ มีค่าอยู่ที่ระดับปานกลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity ฉะนั้นในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของลักษณะประจำที่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity ได้ดังนี้

ภาพที่ 4.26

ค่า Shot Pressure Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Gas Porosity

Preprocess Shot pressure attributes statistical value

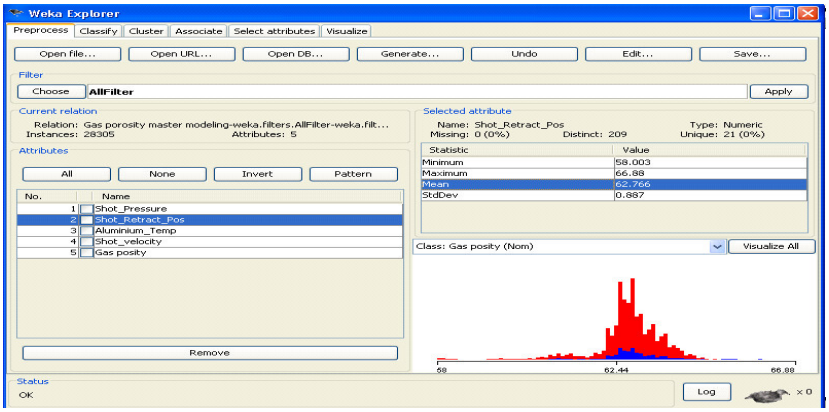


อธิบายภาพที่ 4.26 แสดงการหาค่า Shot Pressure Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Shot Pressure และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Shot Pressure Parameter = 127.021 +/- 2.425 Bar

ภาพที่ 4.27

ค่า Shot Retract Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Gas Porosity Defect

Preprocess Shot retract attributes statistical value

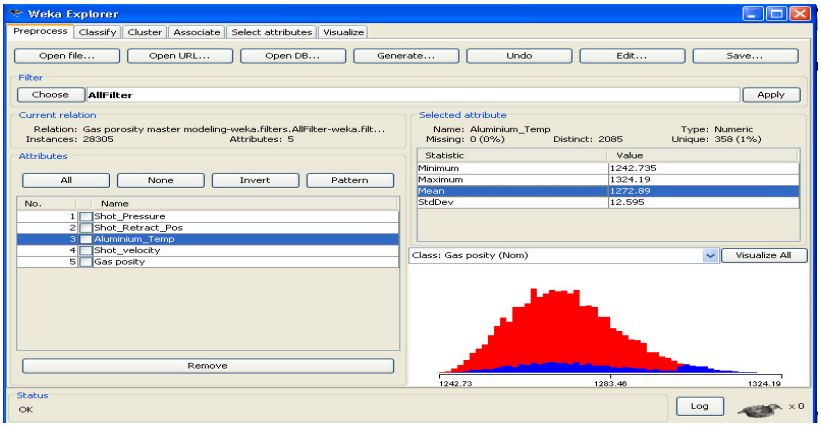


อธิบายภาพที่ 4.27 แสดงการหาค่า Shot Retract Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Shot Retract และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Shot Retract Parameter = 62.766 +/- 0.887 Mm.

ภาพที่ 4.28

ค่า Aluminum Temperature Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Gas Porosity

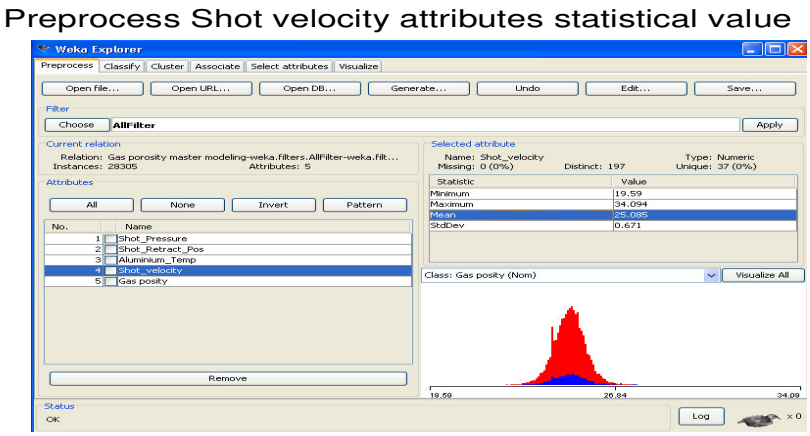
Preprocess Aluminum temp. attributes statistical value



อธิบายภาพที่ 4.28 แสดงการหาค่า Aluminum Temperature Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Aluminum Temp.และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Aluminum Temperature Parameter = 1273 +/- 13 F.

ภาพที่ 4.29

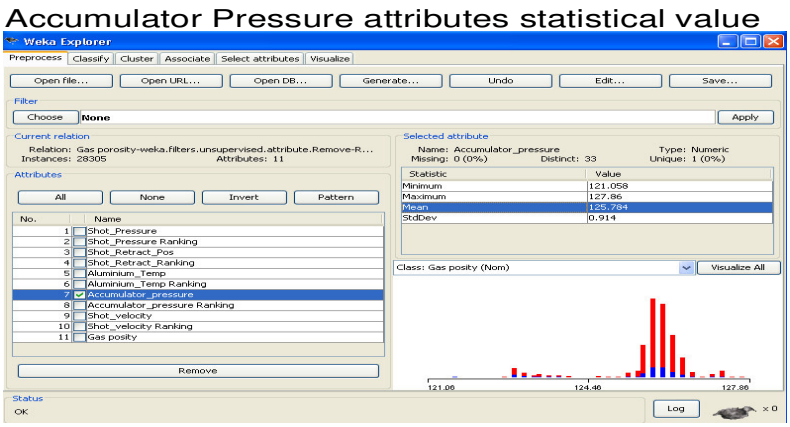
ค่า Shot Velocity Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Gas Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.29 แสดงการหาค่า Shot Velocity Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Shot Velocity และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Shot Velocity Parameter = 25.085 +/- 0.671 Ips.

ภาพที่ 4.30

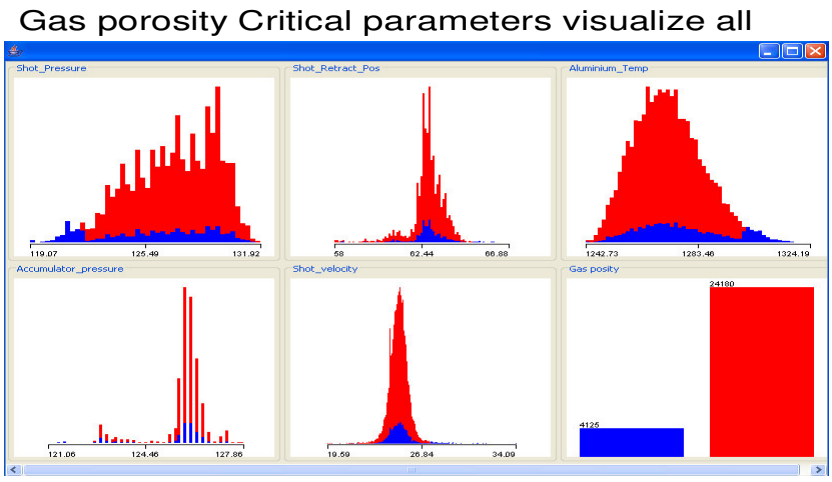
ค่า Accumulator Pressure Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Gas Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.30 แสดงการหาค่า Accumulator Pressure Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Accumulator Pressure และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Accumulator Pressure Parameter = 125.085 +/- 0.914 Bar

ภาพที่ 4.31

Critical Parameter ของ Gas Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.31 คือภาพแสดงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ส่งผลต่อการเกิด Gas Porosity จากตัวแบบต่างๆที่สร้างและทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบตัวแบบได้ค่าความถูกต้องของ Correctly Classified Instance ออกมาใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 90% ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าลักษณะประจำหรือที่เหมาะสมสำหรับคลาสเป้าหมายหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา Gas Porosity ดังต่อไปนี้

ค่าตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับคลาสเป้าหมาย Gas Porosity Defect ประกอบด้วย

- Shot Pressure = 127 Bar +/- 2.5 Bar
- Shot Retract = 63 Mm. +/- 1mm.
- Aluminum Temperature = 1273 F +/- 13 F
- Shot Velocity = 25 Ips +/- 0.7 Ips
- Accumulator Pressure = 125 Bar +/- 1 Bar

4. สร้างตัวแบบจำลองการเกิด Flow Porosity Defect ด้วย Classifier J48 Decision Tree

จำนวนข้อมูลที่ใช้ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเท่ากับ 28305 ข้อมูล ประกอบด้วยลักษณะประจำนำเข้า 4 ตัว ดังนี้

- Aluminum Temp.
- Shot Pressure
- Accumulator Pressure
- Cycle Time

คลาสเป้าหมายที่ต้องการคือ Cold Shot Porosity Defect

ใช้การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม (Cross Validation) จำนวนครั้งที่สลับ (Fold=10) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6

การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม (Cross Validation)

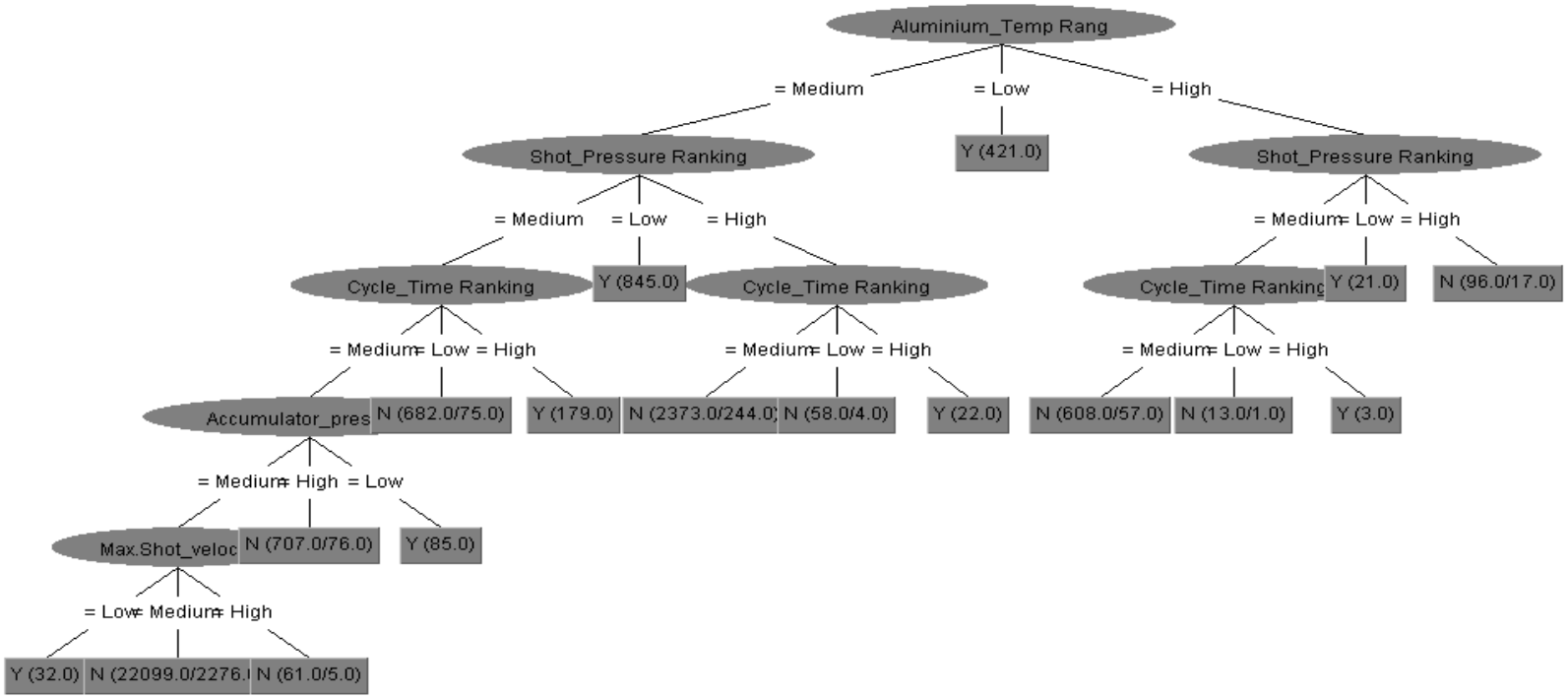
Flow Porosity J48 Decision Tree Model	
Correctly Classified Instance	90.14%
Incorrectly Classified Instance	9.86%
MSE	0.2972

- ค่าความถูกต้องของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 90.1431 %
- ค่าความผิดพลาดของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 9.8569 %
- ค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.2972

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของตัวแบบแล้วพบว่าตัวแบบมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์สูง (90.1431 %) โดยปรกติแล้วถ้าค่าความถูกต้องเกิน 85 % ถือว่ายอมรับได้ และเมื่อค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจแล้วขั้นตอนต่อไปคือทำการแสดงผลแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Flow Porosity เพื่อนำไปสู่การแปลผลลัพธ์จากตัวแบบ

ภาพที่ 4.32

แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Flow Porosity



แปลผลการเกิด Flow Porosity Defect จากตัวแบบจำลองการจำแนกประเภทแบบ Classifier J48 Decision Tree ได้ดังนี้

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและแรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงและแรงดันที่ใช้ในการฉีดต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงและแรงดันที่ใช้ในการฉีดปานกลางแต่รอบเวลาในการเดินเครื่องจักรช้า(Cycle Time)จะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและแรงดันที่ใช้ในการฉีดสูงแต่รอบเวลาในการเดินเครื่องจักรช้า(Cycle Time)จะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและแรงดันที่ใช้ในการฉีดอยู่ในระดับกลางแต่รอบเวลาในการเดินเครื่องจักรช้า(Cycle Time)จะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง แรงดันที่ใช้ในการฉีดอยู่ในระดับปานกลางรอบเวลาในการเดินเครื่องจักรปานกลาง(Cycle Time)แต่แรงดันสะสมที่ใช้ในการฉีดต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Flow Porosity

สรุปการทำนายผล Flow Porosity Defect จากตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ลักษณะประจำหรือพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Flow Porosity มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว (Aluminum Temperature) ต่ำเกินไป
- แรงดันที่ใช้ในการฉีด (Shot Pressure) ต่ำเกินไป
- รอบเวลาการเดินจักร(Cycle Time) ช้าเกินไป
- แรงดันในถังสะสมแรงดัน (Accumulator Pressure) ต่ำเกินไป

ฉะนั้นการที่จะนำผลการทำนายของตัวแบบหรือความรู้ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลแบบการจำแนกประเภท Classifier J48 Decision Tree ไปประยุกต์ใช้กับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04 เพื่อลดของเสียชนิดรูพรุนเนื่องจากการการไหลของน้ำหลอมโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ (Flow Porosity) ได้นั้นต้องตั้งค่าพารามิเตอร์หลักไว้ที่ระดับปานกลาง จึงจะทำให้การเกิด

ของเสียชนิด Flow Porosity น้อยที่สุด ข้อสังเกตุจากแผนภูมิต้นไม้การตัดสินใจทุกกิ่งของ Attributesที่มีค่าอยู่ในระดับกลาง (Medium) จะไม่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Flow Porosity

5. สร้างตัวแบบจำลอง Flow Porosity Defect ด้วยกฎความเชื่อมโยง Associations. Apriori

จากการสร้างตัวแบบด้วย Associations.Apriori ได้กฎความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างค่าลักษณะประจำนำเข้าและลักษณะประจำเป้าหมายดังนี้

- ค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์หรือเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ค่ากลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั้น 92 % ถึง 96 %

- ถ้าค่าลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Flow Porosity ที่ระดับความเชื่อมั้น 88% ถึง 90%

เมื่อพิจารณาผลจากการสร้างตัวแบบ Flow Porosity ด้วย Associations.Apriori เปรียบเทียบกับตัวแบบ Flow Porosity แบบ J48 Decision Tree ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกันคือ ถ้าค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Flow Porosity

สรุปการแปลผลตัวแบบ Flow Porosity Defect จาก WEKA.Associations.Apriori

- ค่าพารามิเตอร์ Cycle Time, Shot Pressure, Aluminum Temp. และ Accumulator Pressure จะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันที่ค่าระดับปานกลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั่น 96.5%

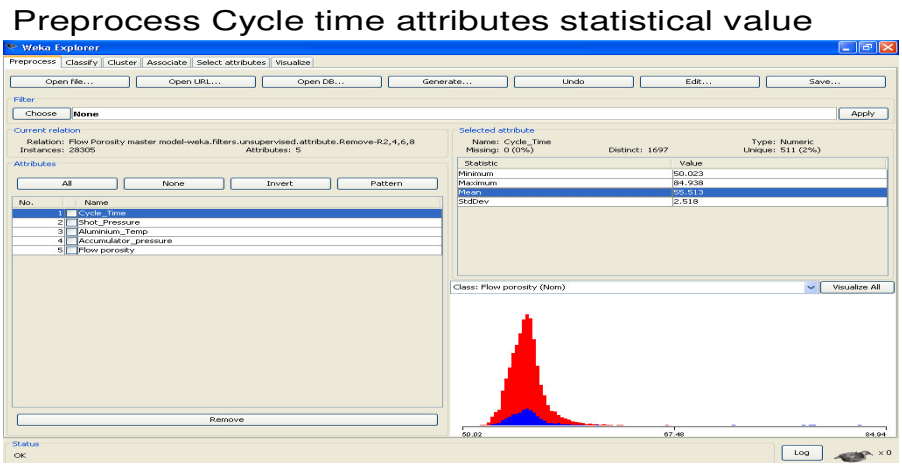
- ถ้าค่าพารามิเตอร์ Shot Pressure , Cycle Time , Aluminum Temp , และ Accumulator Pressure อยู่ที่ระดับปานกลาง (Medium) จะไม่ส่งผลให้เกิด Flow Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 88%

6. สร้างตัวแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหา Flow Porosity Defect

จากการตัวแบบ WEKA.Associations.Apriori และClassifier Trees J48 จะพบว่าค่า Attributes หรือ พารามิเตอร์ที่ไม่ส่งผลต่อคลาสเป้าหมาย (Flow Porosity = No) จะมีค่าอยู่ที่ Medium Rank หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ฉะนั้นการที่จะได้มาซึ่งค่าตัวเลขเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะใช้ WEKA Preprocess ในการหาค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์แต่ละตัวโดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับตอนสร้างตัวแบบมาใช้ในการหาค่าทางสถิติของ Attributes แต่ละตัวดังนี้

ภาพที่ 4.33

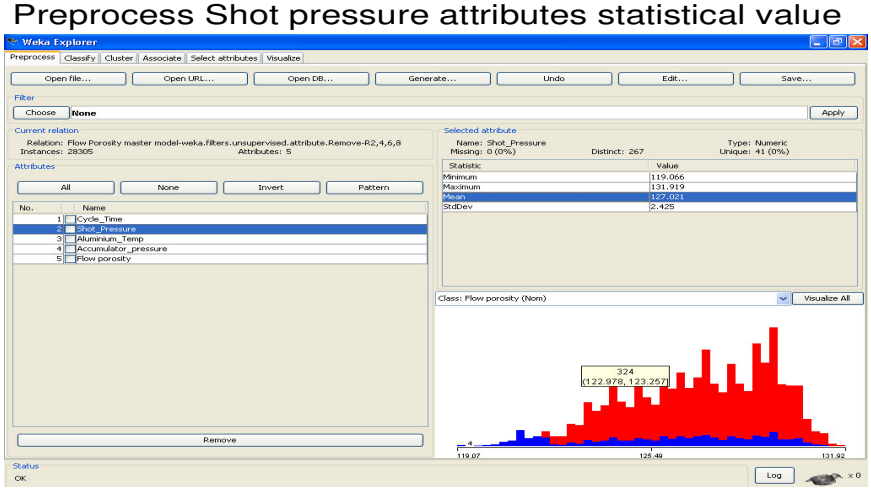
ค่า Cycle Time Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Flow Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.33 แสดงการหาค่า Cycle Time Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Cycle Time และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Cycle Time Parameter = 55.513 +/- 2.518 Sec.

ภาพที่ 4.34

ค่า Shot Pressure Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Flow Porosity

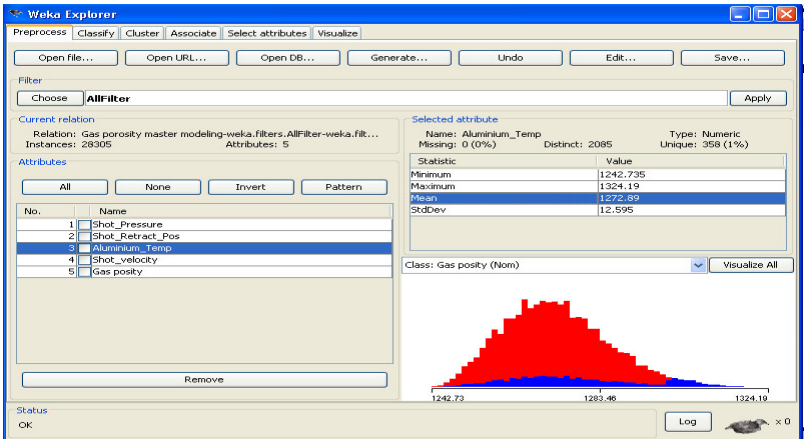


อธิบายภาพที่ 4.34 แสดงการหาค่า Shot Pressure Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Shot Pressure และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Shot Pressure Parameter = 127.02 +/- 2.425 Bar

ภาพที่ 4.35

ค่า Aluminum Temp. Parameter ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Flow Porosity Defect

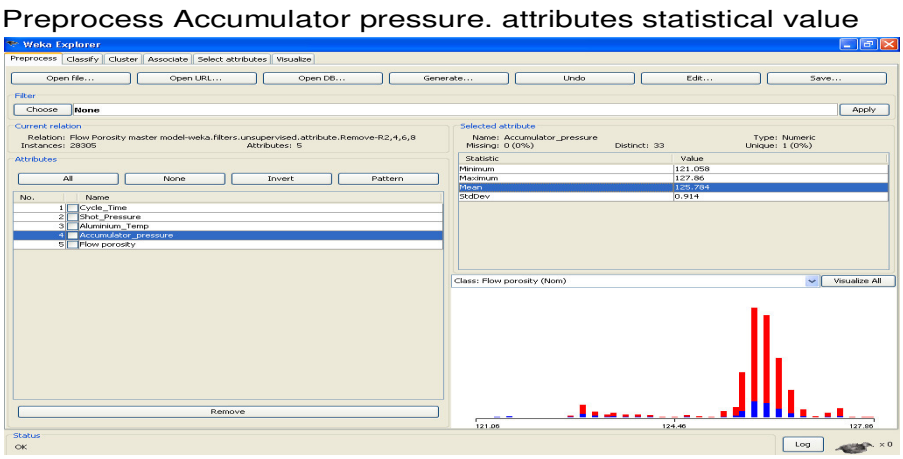
Preprocess Aluminum temp. attributes statistical value



อธิบายภาพที่ 4.35 แสดงการหาค่า Aluminum Temp. Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Aluminum Temp และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Aluminum Temp Parameter = 1273 +/- 13 F.

ภาพที่ 4.36

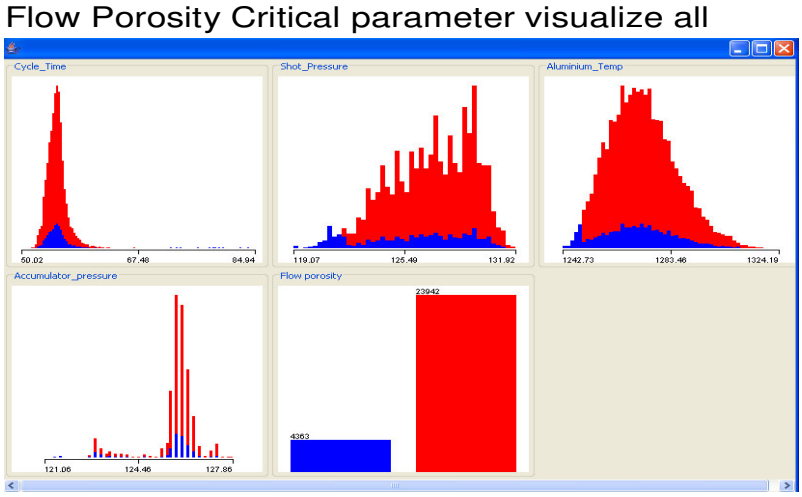
ค่า Accumulator Pressure ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Flow Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.36 แสดงการหาค่า Accumulator Pressure Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Accumulator Pressure และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Accumulator Pressure Parameter = 125.784 +/- 0.914 Bar.

ภาพที่ 4.37

Critical Parameters ของ Flow Porosity Defect



อธิบายภาพที่ 4.37 คือภาพที่แสดงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ส่งผลต่อการเกิด Flow Porosity

จากตัวแบบจำลองต่างๆที่สร้างและทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบตัวแบบได้ค่าความถูกต้องของ Correctly Classified Instance ออกมาใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 90% ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าลักษณะประจำที่เหมาะสมสำหรับคลาสเป้าหมายหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา Flow Porosity ดังต่อไปนี้

ค่าตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับคลาสเป้าหมาย Flow Porosity Defect ประกอบด้วย

- Cycle Time = 55.5 +/- 2.5 Sec.
- Shot Pressure = 127.02 +/- 2.425 Bar
- Aluminum Temp. = 1273 +/- 13 F
- Accumulator Pressure = 125.784 +/- 0.914 Bar

7. สร้างตัวแบบการเกิดCold Shot Porosity Defectด้วยClassifier J48 Decision Tree

จำนวนข้อมูลที่ใช้ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเท่ากับ 28305 ข้อมูล

ประกอบด้วยลักษณะประจำนำเข้า 4 ตัว ดังนี้

- Aluminum Temp.
- Top Mold Temp.
- Lower Mold Temp.
- Cycle Time

คลาสเป้าหมายที่ต้องการคือ Cold Shot Porosity Defect

ใช้การทดสอบความแม่นยำของตัวแบบสุ่ม (Cross Validation) จำนวนครั้งที่สลับ (Fold=10) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ดังตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7

การทดสอบความแม่นยำของตัวแบบสุ่ม (Cross Validation)

Cold Shot Porosity J48 Decision Tree Model	
Correctly Classified Instance	97.80%
Incorrectly Classified Instance	2.21%
MSE	0.145

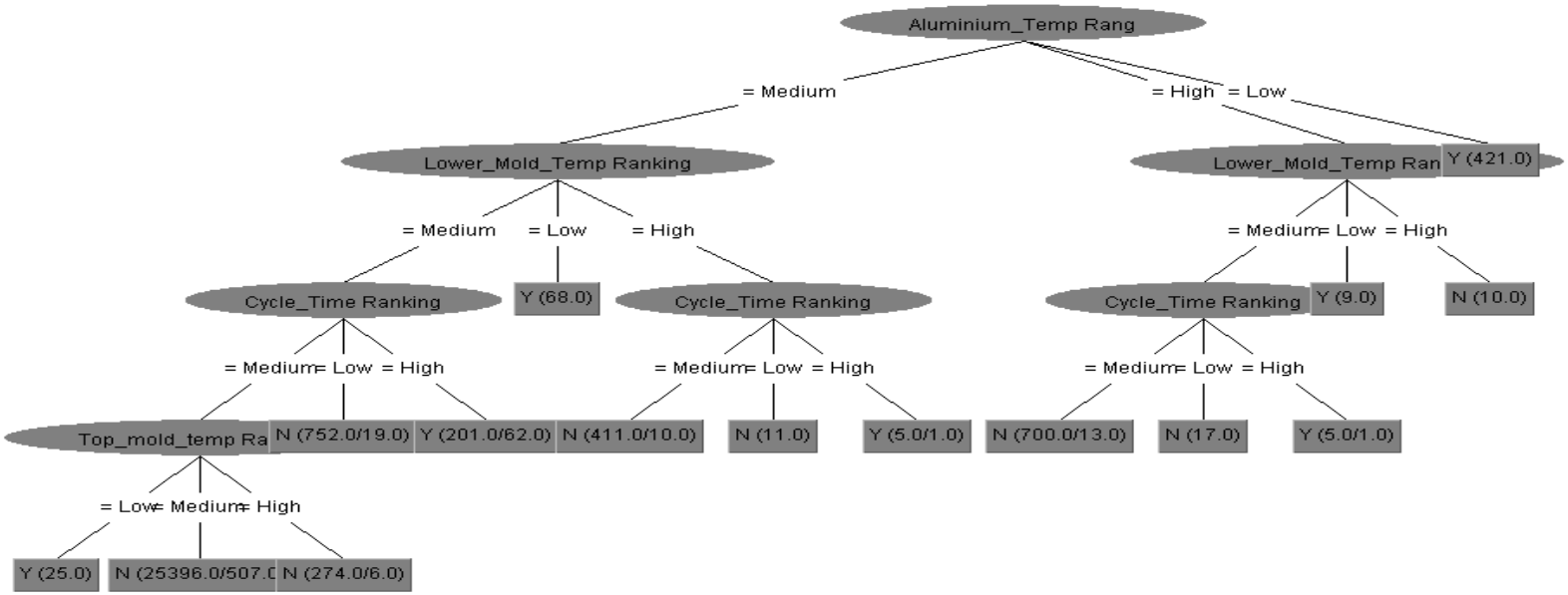
- ค่าความถูกต้องของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 97.80 %
- ค่าความผิดพลาดของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 2.21 %

- ค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.145

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของตัวแบบแล้วพบว่าตัวแบบมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์สูง (97.8 %) โดยปรกติแล้วถ้าค่าความถูกต้องเกิน 85 % ถือว่ายอมรับได้ และเมื่อค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจแล้วขั้นตอนต่อไปคือทำการแสดงผลแผน ภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Cold Shot Porosity เพื่อนำไปสู่การแปลผลลัพธ์จากตัวแบบ

ภาพที่ 4.38

แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Cold Shot Porosity



แปลผลจากตัวแบบการจำแนกประเภทแบบ Cold Shot Porosity Classifier J48 Decision Tree ได้ดังนี้

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวสูงแต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold) ต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosityจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวสูงและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold) อยู่ในระดับปานกลางแต่รอบเวลาการเดินเครื่องนาน (Delay Cycle Time)จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางแต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold)ต่ำจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold)สูงแต่รอบเวลาการเดินเครื่องนาน(Cycle Time)จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold)อยู่ในระดับปานกลางแต่รอบเวลาการเดินเครื่องนาน (Long Cycle Time) จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลาง อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold)อยู่ในระดับปานกลางและรอบเวลาการเดินเครื่องอยู่ที่ระดับปานกลาง(Long Cycle Time)แต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวบน (Top Mold) ต่ำ จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity

สรุปผลการทำนาย Cold Shot Porosity Defect จากตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ลักษณะประจำหรือพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว (Aluminum Temperature) ต่ำเกินไป
- อุณหภูมิของของแม่พิมพ์ตังล่าง (Lower Mold) ต่ำเกินไป
- อุณหภูมิของของแม่พิมพ์ตัวบน (Top Mold) ต่ำเกินไป
- รอบเวลาการเดินเครื่องจักร(Cycle Time) ช้าเกินไป

ฉะนั้นการที่จะนำผลการทำนายของตัวแบบหรือความรู้ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลแบบการจำแนกประเภท Classifier J48 Decision Tree ไปประยุกต์ใช้กับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04 เพื่อลดของเสียชนิดรูพรุนเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Cold Shot Porosity) ได้นั้นต้องตั้งค่าพารามิเตอร์หลักไว้ที่ระดับปานกลาง จึงจะทำให้การเกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity น้อยที่สุด ข้อสังเกตจากแผนภูมิต้นไม้การตัดสินใจทุกกิ่งของ Attributes ที่มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (Medium) จะไม่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Cold Shot Porosity ที่ระดับความเชื่อมั่น 97.8%

8. สร้างตัวแบบจำลอง Cold Shot Porosity Defect ด้วยกฎความเชื่อมโยง Associations. Apriori

จากการสร้างตัวแบบด้วย Associations.Apriori ได้กฎความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างค่าลักษณะประจำนำเข้าและลักษณะประจำเป้าหมายดังนี้

- ค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์หรือเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ค่ากลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั้น 96 % ถึง 98 %

- ถ้าค่าลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Cold Shot Porosity ที่ระดับความเชื่อมั้น 96% ถึง 98%

เมื่อพิจารณาผลจากการสร้างตัวแบบ Cold Shot Porosity ด้วย Associations.Apriori เปรียบเทียบกับตัวแบบ Cold Shot Porosity แบบ J48 Decision Tree ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกันคือ ถ้าค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Cold Shot Porosity

สรุปการแปลผล Cold Shot Porosity Defect จาก WEKA.Associations.Apriori

- ค่าพารามิเตอร์ Cycle Time, Top Mold Temp, Lower Mold Temp และ Aluminum Temp. มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันที่ค่าระดับปานกลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ถ้าค่าพารามิเตอร์ Cycle Time , Aluminum Temp , Top Mold Temp และ Lower Mold Temp อยู่ที่ระดับปานกลาง (Medium) จะไม่ส่งผลให้เกิด Cold Shot Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97%

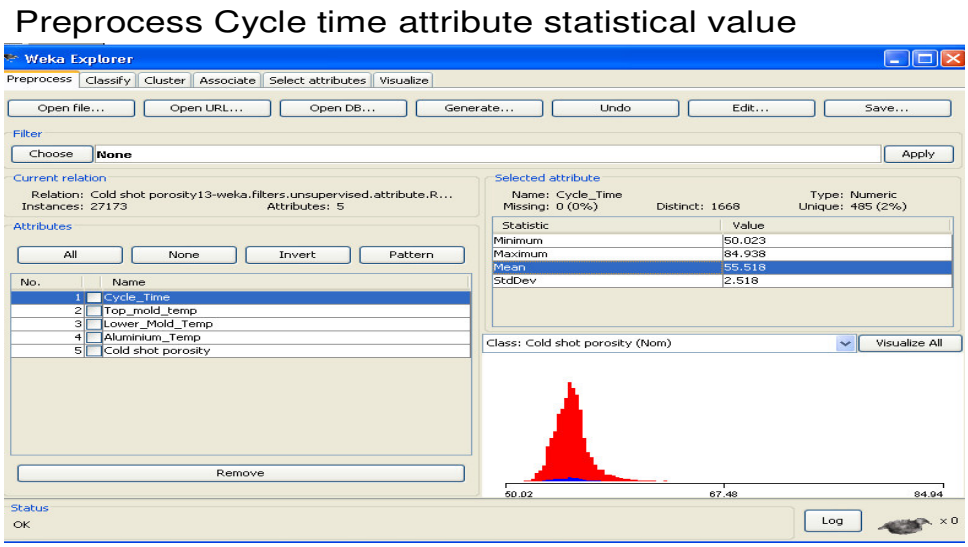
9. สร้างตัวแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหา Cold Shot Porosity

จากการตัวแบบ WEKA Associations.Apriori และClassifier Trees J48 จะพบว่าค่าลักษณะประจำ หรือ พารามิเตอร์ที่ไม่ส่งผลต่อคลาสเป้าหมาย (Cold Shot Porosity= No) จะมีค่าอยู่ที่ Medium Rank หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ฉะนั้นวิธีการที่จะได้มาซึ่ง

ค่าตัวเลข เฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะใช้ WEKA Preprocess ในการหาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวโดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับตอนสร้างตัวแบบมาใช้ในการหาค่าทางสถิติของ Attributes แต่ละตัวดังนี้

ภาพที่ 4.39

ค่า Cycle Time ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Cold Shot Porosity

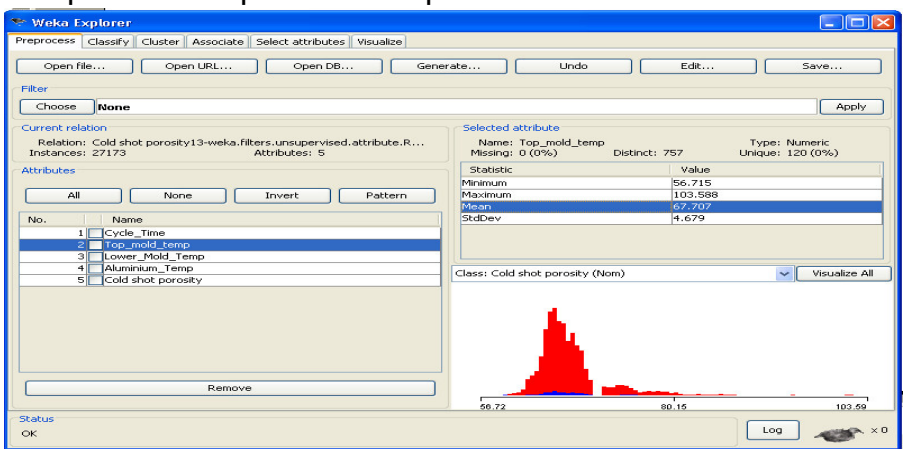


อธิบายภาพที่ 4.39 แสดงการหาค่า Cycle Time Parameter ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Cycle Time และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Cycle Time Parameter = 55.513 +/- 2.518 Sec.

ภาพที่ 4.40

ค่า Top Mold Temp. ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Cold Shot Porosity

Preprocess Top mold Temp. attribute statistical value

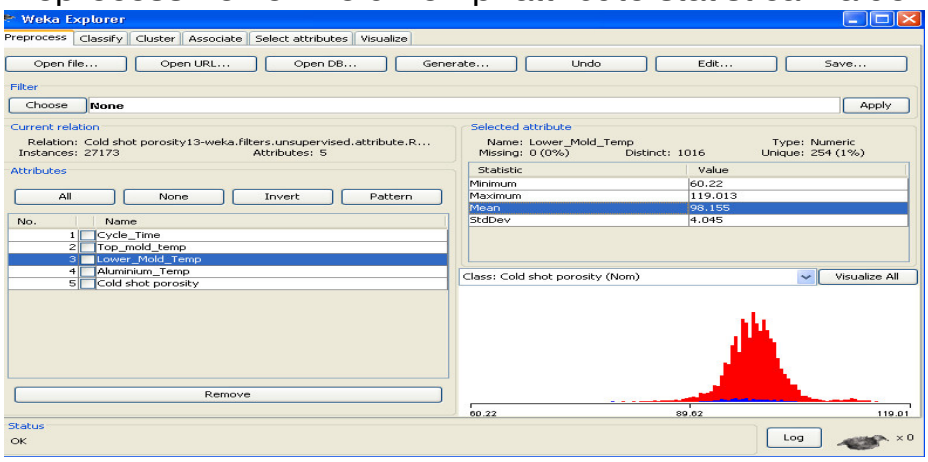


อธิบายภาพที่ 4.40 แสดงการหาค่า Top Mold Temp ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Top Mold Temp และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Top Mold Temp Parameter = 68 +/- 5 F

ภาพที่ 4.41

ค่า Lower Mold Temp. ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Cold Shot Porosity

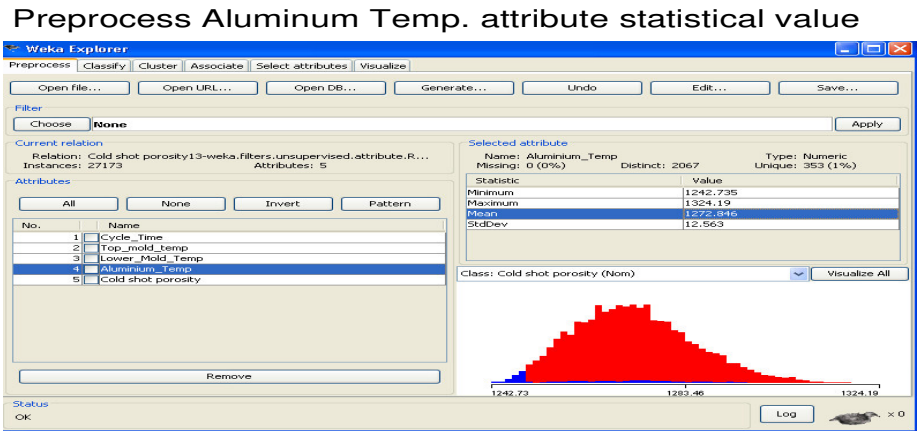
Preprocess Lower mold Temp. attribute statistical value



อธิบายภาพที่ 4.41 แสดงการหาค่า Lower Mold Temp. ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Lower Mold Temp. และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Lower Mold Temp. Parameter = 98 +/- 4 F

ภาพที่ 4.42

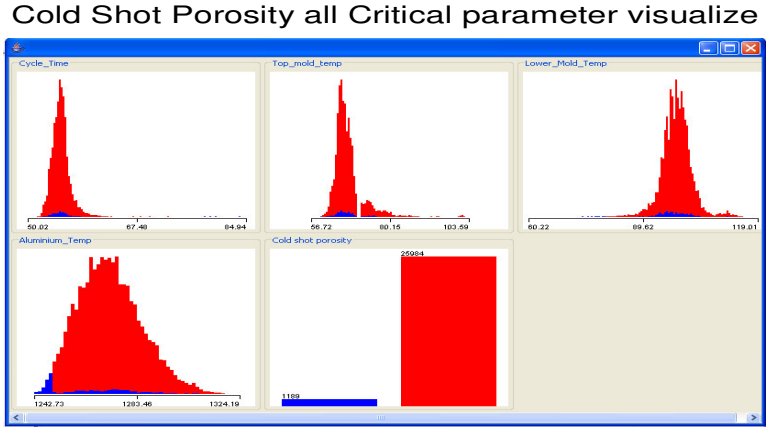
ค่า Aluminum Temp. ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Cold Shot Porosity



อธิบายภาพที่ 4.42 แสดงการหาค่า Aluminum Temp. ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Aluminum Temp. และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Aluminum Temp. Parameter = 1273 +/- 13 F

ภาพที่ 4.43

Critical Parameters ของ Cold Shot Porosity



อธิบายภาพที่ 4.43 คือภาพที่แสดงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ส่งผลต่อการเกิด Cold Shot Porosity

จากตัวแบบต่างๆที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบตัวแบบได้ค่าความถูกต้องของ Classified Instance ออกมาใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 98% ฉะนั้นจะได้ว่าค่าลักษณะประจำที่เหมาะสมสำหรับคลาสเป้าหมายหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา Cold Shot Porosity ดังต่อไปนี้

ค่าตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับคลาสเป้าหมาย Clod Shot Porosityประกอบด้วย

- Cycle Time = 55.5 +/- 2.5 Sec.
- Top Mold Temp. = 68 +/- 5 F
- Lower Mold Temp. = 98 +/- 4 F
- Aluminum Temp. = 1273 +/- 13 F

10. สร้างตัวแบบทำนายการเกิด Hot Crack Porosity Defect ด้วย Classifier J48 Decision Tree

จำนวนข้อมูลที่ใช้ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเท่ากับ 28305 ข้อมูล

ประกอบด้วยลักษณะประจำนำเข้า 3 ตัว ดังนี้

- Aluminum Temp.
- Top Mold Temp.
- Lower Mold Temp.

คลาสเป้าหมายที่ต้องการคือ Hot Crack Porosity Defect

ใช้การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม(Cross Validation) จำนวนครั้งที่สลับ (Fold=10) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ดังตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8

การทดสอบความแม่นยำแบบสุ่ม(Cross Validation)

Hot Crack Porosity J48 Decision Tree Model	
Correctly Classified Instance	96.23%
Incorrectly Classified Instance	3.77%
MSE	0.1902

- ค่าความถูกต้องของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 96.23 %

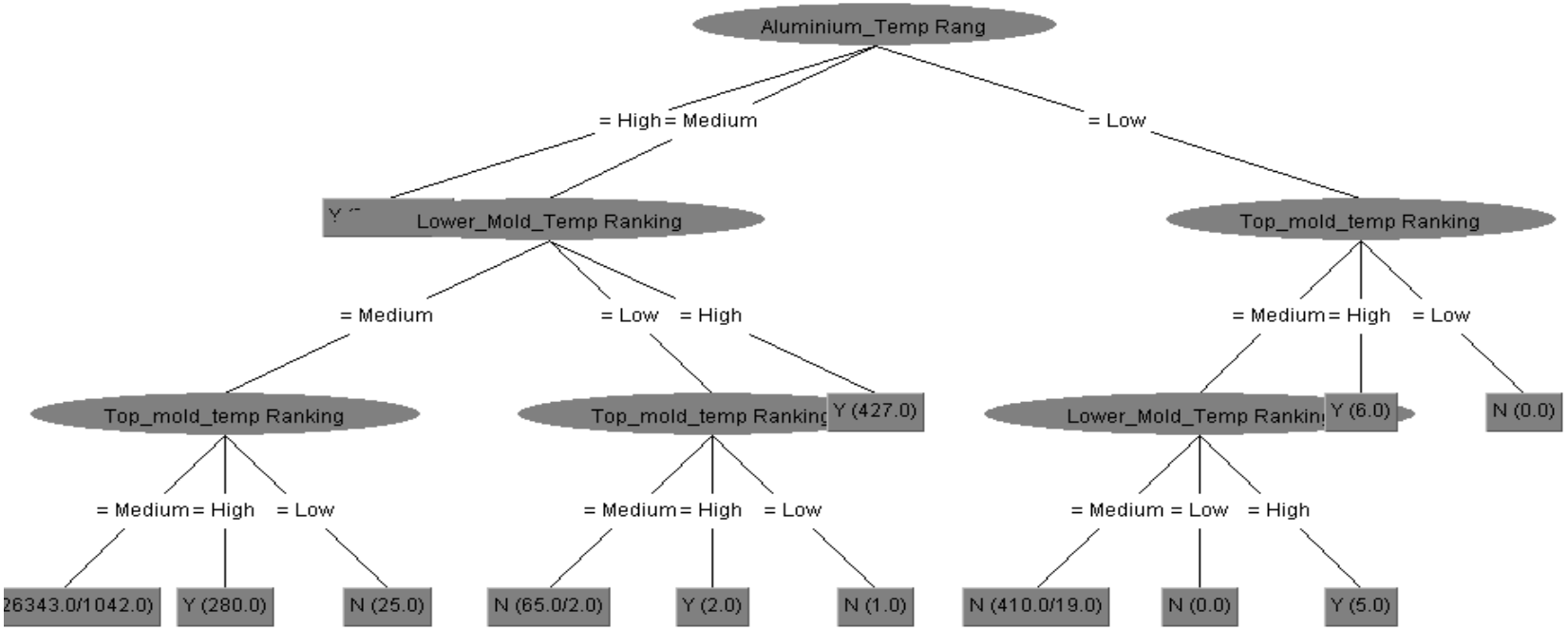
- ค่าความผิดพลาดของตัวแบบที่ได้เท่ากับ 3.77 %

- ค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.1902

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของตัวแบบแล้วพบว่าตัวแบบมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์สูง (96.23 %) ซึ่งโดยปรกติแล้วถ้าค่าความถูกต้องเกิน 85 % ถือว่ายอมรับได้ และเมื่อค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจแล้วขั้นตอนต่อไปคือทำการแสดงผลแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Hot Crack Porosity เพื่อนำไปสู่การแปลผลลัพธ์จากตัวแบบ

ภาพที่ 4.44

แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจของการเกิดของเสียประเภท Hot Crack Porosity



แปลผลตัวแบบ Hot Crack Porosity จากตัวแบบการจำแนกประเภท Classifier J48 Decision Tree

- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับสูงจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำแต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวบน (Top Mold)สูงจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับต่ำและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวบน (Top Mold)อยู่ในระดับปานกลางและถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่างสูงจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางแต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold)สูงจะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวอยู่ในระดับปานกลางและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold) ต่ำ แต่อุณหภูมิที่แม่พิมพ์ตัวบนสูง (Top Mold) จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ตัวล่างอยู่ในระดับปานกลางแต่อุณหภูมิที่แม่พิมพ์ตัวบนสูง (Top Mold) จะส่งผลให้เกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity

สรุปผล Hot Crack Porosity Defect จากการทำนายด้วยตัวแบบจำลอง Classifier J48 Decision Tree

ลักษณะประจำหรือพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลว (Aluminum Temperature) สูงเกินไป
- อุณหภูมิของของแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Mold) สูงเกินไป
- อุณหภูมิของของแม่พิมพ์ตัวบน (Top Mold) สูงเกินไป

ฉะนั้นการที่จะนำผลการทำนายของตัวแบบหรือความรู้ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลแบบการจำแนกประเภท Classifier J48 Decision Tree ไปประยุกต์ใช้กับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04 เพื่อลดของเสียชนิดรูพรุนจากการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงเกินไป (Hot Crack Porosity) ได้นั้นต้องใช้ค่า Mean ของลักษณะประจำ หรือ

ตั้งค่าพารามิเตอร์หลักไว้ที่ระดับปานกลาง จึงจะทำให้การเกิดของเสียชนิด Hot Crack Porosity ที่ระดับความเชื่อมั่น 96%

11. สร้างตัวแบบจำลอง Hot Crack Porosity Defect ด้วยกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Associations. Apriori

จากการสร้างตัวแบบด้วย Associations.Apriori ได้กฎความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างค่าลักษณะประจำนำเข้าและลักษณะประจำเป้าหมายดังนี้

- ค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์หรือเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ค่ากลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั้น 98% ถึง 100 %
- ถ้าค่าลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Hot Crack Porosity ที่ระดับความเชื่อมั้น 92% ถึง 96%

เมื่อพิจารณาผลจากการสร้างตัวแบบ Hot Crack Porosity ด้วย Associations.Apriori เปรียบเทียบกับตัวแบบ Hot Crack Porosity แบบ J48 Decision Tree ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกันคือ ถ้าค่าของลักษณะประจำนำเข้าหรือค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ค่ากลางแล้วจะไม่ส่งผลต่อการเกิด Hot Crack Porosity

สรุปการแปลผล Hot Crack Porosity Defect จาก WEKA.Associations.Apriori

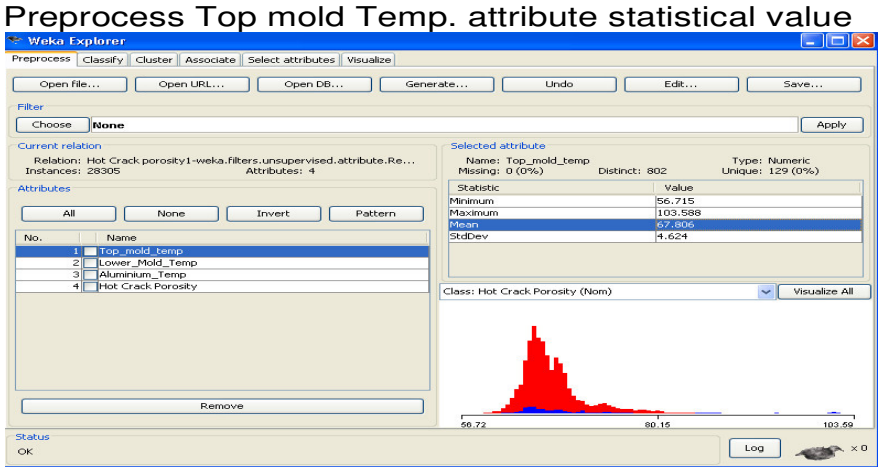
- ค่าพารามิเตอร์ Top Mold Temp, Lower Mold Temp และ Aluminum Temp. มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันที่ค่าระดับปานกลาง (Medium) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- ถ้าค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temp , Top Mold Temp และ Lower Mold Temp อยู่ที่ระดับปานกลาง (Medium) จะไม่ส่งผลให้เกิด Hot Crack Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 94%

12. สร้างตัวแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหา Hot Crack Porosity

จากการตัวแบบ WEKA.Associations.Apriori และClassifier Trees J48 จะพบว่าค่าลักษณะประจำหรือ พารามิเตอร์ที่ไม่ส่งผลต่อคลาสเป้าหมาย (Hot Crack Porosity = No) จะมีค่าอยู่ที่ Medium Rank หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ฉะนั้นวิธีการที่จะได้มาซึ่งค่าตัวเลข เฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะใช้ WEKA Preprocess ในการหาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวโดยใช้ชุดข้อมูลที่นำมาจัดกลุ่มตอนสร้างตัวแบบมาใช้ในการหาค่าทางสถิติของ Attributes แต่ละตัวดังนี้

ภาพที่ 4.45

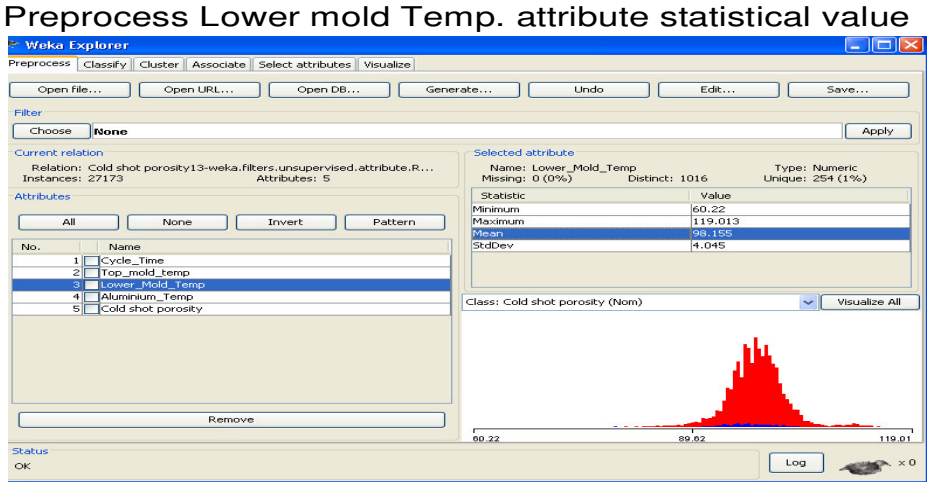
ค่า Top Mold Temp. ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Hot Crack Porosity



อธิบายภาพที่ 4.45 แสดงการหาค่า Top Mold Temp. ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Top Mold Temp. และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Top Mold Temp. Parameter = 68+/- 5 F

ภาพที่ 4.46

ค่า Lower Mold Temp. ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Hot Crack Porosity

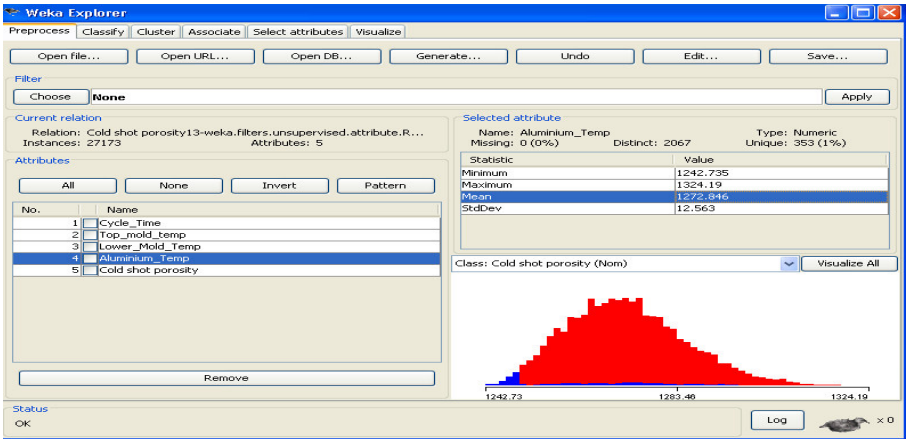


อธิบายภาพที่ 4.46 แสดงการหาค่า Lower Mold Temp. ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Lower Mold Temp. และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Lower Mold Temp. Parameter = 98 +/- 4 F.

ภาพที่ 4.47

ค่า Aluminum Temp.ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา Hot Crack Porosity

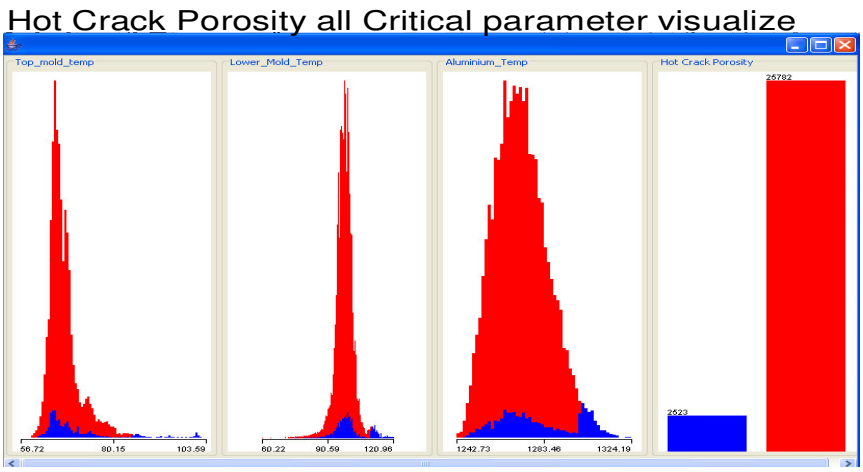
Preprocess Aluminum Temp. attribute statistical value



อธิบายภาพที่ 4.47 แสดงการหาค่า Aluminum Temp. ด้วย WEKA Preprocess โดยใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำ Aluminum Temp. และค่า StdDve ในการคำนวณ ฉะนั้นจะได้ว่า Aluminum Temp. Parameter = 1273 +/- 13 F

ภาพที่ 4.48

Critical Parameters ของ Hot Crack Porosity



อธิบายภาพที่ 4.48 คือภาพที่แสดงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ส่งผลต่อการเกิด Hot Crack Porosity

จากตัวแบบต่างๆที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบ(Test Set) ได้ค่าความถูกต้องของ Classified Instance ออกมาใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 95% ฉะนั้นจะได้ว่าค่าแอทริบิวต์ที่เหมาะสมสำหรับคลาสเป้าหมายหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา Hot Crack Porosity ดังต่อไปนี้

ค่าตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับคลาสเป้าหมาย Hot Crack Porosity ประกอบด้วย

- Top Mold Temp. = 68 +/- 5 F
- Lower Mold Temp. = 98 +/- 4 F
- Aluminum Temp. = 1273 +/- 13 F

4.5 การประเมินตัวแบบ (Assess Model)

ตัวแบบควรจะได้รับการประเมินเพื่อให้แน่ใจว่าผ่านมาตรฐานการประเมินที่ได้จากขั้นตอนการสร้างตัวแบบโดยใช้เทคนิคดาต้าไมน์นิงซึ่งได้ทำการนำข้อมูลมาทำการเรียนรู้และ

ทดสอบแล้วนั้นก็จะมีค่าทางสถิติออกมาหลายค่า เช่นค่าRoot Mean Square Error,Tp,Fp รวมถึงค่า Confusion Matrix ในงานค้นคว้านี้จะใช้วิธีประเมินความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบด้วยวิธีการสุ่มตรวจสอบแบบ Cross Validation โดยกำหนด K-Fold =10 ร่วมกับชุดข้อมูลทดสอบ 2 ชุดโดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติดังนี้

1. Percentage Of Correctly Classified Instances คือค่าร้อยละของความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูล

2. Percentage Of Incorrectly Classified Instances คือค่าร้อยละของความไม่ถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูล

3. Root Mean Squared Error คือค่ารากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของตัวแบบ

4. Confusion Matrix คือค่าตารางแมทริคซ์ สับสนที่ใช้บอกค่าความแม่นยำของตัวแบบซึ่งประกอบด้วย

5. TP (True Positive) คือจำนวนตัวอย่างที่ตัวแบบทำนายว่า Yes และค่าคลาสเป้าหมายเป็น Yes ด้วย

6. TN (True Negative) คือจำนวนตัวอย่างที่ตัวแบบทำนายว่า No และค่าคลาสเป้าหมายเป็น No ด้วย

7. FP (False Positive) คือจำนวนตัวอย่างที่ตัวแบบทำนายว่า Yes และค่าคลาสเป้าหมายเป็น No

8. FN (False Negative) คือจำนวนตัวอย่างที่ตัวแบบทำนายว่า No และค่าคลาสเป้าหมายเป็น Yes ด้วย

ในส่วนของ Confusion Matrix งานวิจัยนี้จะใช้ ค่า TP (True Positive) และ TN (True Negative) เป็นตัวชี้วัด

4.6 การทดสอบตัวแบบ (Evaluation)

ในการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบของของเสียแต่ละประเภท(Class เป้าหมาย) จะทำการทดสอบ 2 ครั้ง ด้วยชุดข้อมูลทดสอบ2 ชุด (Test Sets) ที่เตรียมไว้ เสร็จแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบที่สร้างด้วยวิธี K-Fold Cross Validation โดย Fold =10 เหตุผลที่ทำการเปรียบเทียบกับวิธี K-Fold Cross Validation เพราะวิธี

นี้มีความแม่นยำสูงโดยมีหลักการดังนี้ โปรแกรมจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน (Fold) ข้อมูล 9 ส่วนใช้สำหรับสร้างตัวแบบทีเหลือ1ส่วนใช้สำหรับทดสอบโดยการทดสอบนั้นจะทำการสุ่มทดสอบวนไปจนครบทั้ง 10 ส่วนข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดสอบตัวแบบทั้ง 4 แบบดังนี้

4.6.1 ผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบ Gas Porosity Defect Classifier J48 Decision

ตารางที่ 4.9

ผลค่าความถูกต้องของตัวแบบ Gas Porosity Defect J48 Model กับชุดทดสอบ

ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบ	Gas Porosity J48 Tree (Fold =10)	Gas Porosity Test Set1	Gas Porosity Test Set2
Correctly Classified Instances	92.15%	92.09%	91.83%
Incorrectly Classified Instances	7.85%	7.91%	8.17%
Root Mean Squared Error	0.2682	0.269	0.273
TP Rate	1905	1910	1910
TN Rate	24178	23874	22883
Total Number of Instances	28305	27999	27000

จากตาราง 4.9 ผลการสอบตัวแบบ Gas Porosity Defect การทดสอบทั้ง 2 ครั้งได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับ Cross Validation K- Fold =10 โดยมีความแม่นยำของตัวแบบอยู่ที่ประมาณ 92%นั้นหมายความว่าตัวแบบมีความแม่นยำพอและเชื่อถือได้

4.6.2 ผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบ Flow Porosity Defect Classifier J48 Decision

ตารางที่ 4.10

ผลค่าความถูกต้องของตัวแบบ Flow Porosity Defect J48 Model กับชุดทดสอบ

ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบ	Flow Porosity J48 (Fold =10)	Flow Porosity J48 Test Set1	Flow Porosity Test Set2
Correctly Classified Instances	90.14%	90.05%	89.94%
Incorrectly Classified Instances	9.86%	9.95%	10.06%
Root Mean Squared Error	0.2972	0.2984	0.2997
TP Rate	1573	1576	1576
TN Rate	23942	23636	23343
Total Number of Instances	28305	27999	27706

จากตาราง 4.10 ผลการสอบตัวแบบ Flow Porosity Defect การทดสอบทั้ง 2 ครั้งได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับ Cross Validation K- Fold นั้นหมายความว่าตัวแบบมีความน่าเชื่อถือได้ โดยมีความแม่นยำของตัวแบบอยู่ที่ประมาณ 90%

4.6.3 ผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบ Clod Shot Porosity Defect Classifier J48 Decision

ตารางที่ 4.11

ผลค่าความถูกต้องของตัวแบบ Cold Shot Porosity Defect J48 Model กับชุดทดสอบ

ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบ	Cold Shot Porosity J48 (Fold =10)	Cold Shot Porosity Test Set1	Cold Shot Porosity Test Set2
Correctly Classified Instances	97.79%	97.81%	97.76%
Incorrectly Classified Instances	2.21%	2.19%	2.24%
Root Mean Squared Error	0.145	0.1444	0.1459
TP Rate	664	653	653
NT Rate	27016	25924	25352
Total Number of Instances	28305	27173	26600

จากตาราง 4.11 ผลการสอบตัวแบบ Clod Shot Porosity Defect การทดสอบทั้ง 2 ครั้งได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับ Cross Validation K- Fold นั้นหมายความว่าตัวแบบมีความน่าเชื่อถือได้โดยมีความแม่นยำของตัวแบบอยู่ที่ประมาณ 97.8%

4.6.4 ผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบ Hot Crack Porosity Defect Classifier J48 Decision

ตารางที่ 4.12

ผลค่าความถูกต้องของตัวแบบ Hot Crack Porosity Defect J48 Model กับชุดทดสอบ

ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบ	Hot Crack Porosity J48 Tree Model	Hot Crack Porosity Test Set1	Hot Crack Porosity Test Set2
Correctly Classified Instances	96.23%	95.95%	94.34%
Incorrectly Classified Instances	3.77%	4.05%	5.66%
Root Mean Squared Error	0.1902	0.1968	0.2315
TP Rate	1458	1435	1461
TN Rate	25781	25268	25242
Total Number of Instances	28305	27744	25734

จากตาราง 4.12 ผลการสอบตัวแบบ Hot Crack Porosity Defect การทดสอบทั้ง 2 ครั้งได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับ Cross Validation K- Fold นั้นหมายความว่าตัวแบบมีความน่าเชื่อถือได้ โดยมีความแม่นยำของตัวแบบอยู่ที่ประมาณ 95.5%

4.7 ประเมินตัวแบบจำลอง

4.7.1 ประเมินตัวแบบจำลอง Classifier J48 Decision Tree

ในการประเมินผลตัวแบบจำลองการเกิดรูพรุนในเนื้ออลูมิเนียมทั้ง 4 แบบที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบและ แบบ Cross Validation K- Fold จะนำค่าสถิติต่างๆที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 แบบมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินตัวแบบจำลองต่างๆ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตาราง 4.13

ตารางที่ 4.13
เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ใช้วัดความถูกต้องของตัวแบบจำลอง Classification J48 Decision Tree Model ของของเสียแต่ละชนิด

ตัวชี้วัดความถูกต้อง	Gas Porosity J48 Tree Model	Flow Porosity J48 Tree Model	Cold Shot Porosity J48 Tree Model	Hot Crack Porosity Tree Model
Correctly Classified Instances	92.00%	90.00%	94.34%	95.50%
Incorrectly Classified Instances	8.00%	10.00%	2.21%	5.00%
Root Mean Squared Error	0.270	2.686	0.145	0.206
TP Rate	1908	1575	657	1451
TN Rate	23645	23640	26097	25430

จากการประเมินผลตัวแบบจำลอง J48 Decision Tree ด้วยวิธี K-Fold Cross Validation โดย Fold =10 และทดสอบตัวแบบจำลองด้วย Test Set จำนวน 2 ชุดต่อ Class เป้าหมาย (Porosity Defect Type) สรุปได้ผลดังนี้

1. ค่าความถูกต้องในการทำนายของตัวแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 85%ขึ้นไป

2. แผนภาพต้นไม้ตัดสินใจที่ได้จากตัวแบบของเสียแต่ละประเภทมีความสอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram ของการเกิดของเสียแต่ละชนิดที่ทำการศึกษา

3. ความรู้ที่ค้นพบจากตัวแบบสามารถพัฒนาตัวเป็นตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับชิ้นงานที่ทำการศึกษาได้

4.7.2 ประเมินตัวแบบ Associations. Apriori

จากการแปลผลความสัมพันธ์เชื่อมโยงของตัวแบบ Associations.Apriori จะได้รูปแบบของ Frequent Items Sets ออกมาสอดคล้องกับตัวแบบ J48 Decision Tree กล่าวคือมีรูปแบบของการเกิด Class เป้าหมายและไม่เกิด (Yes /No) เป็นไปในแนวทางเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 85% ขึ้นไปเช่นกัน

สรุปผลจากการประเมินตัวแบบ Associations. Apriori ได้ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ว่า Attribute หรือ Parameter ตัวไหนส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิดต่างๆที่ทำการศึกษาได้

2. สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ว่าค่า Attribute หรือ Parameter อยู่ในช่วงใดของชุดข้อมูล (Ranking) ที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิดต่างๆที่ทำการศึกษาได้

3. ความสัมพันธ์ของ Attributes และ Class เป้าหมายสอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram ของการเกิดของเสียแต่ละชนิดที่ทำการศึกษา

4. สามารถแปลผลไปหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่นำมาศึกษาได้

4.8 กระบวนการตรวจทาน (Review Process)

ในขั้นตอนนี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลองต่างๆไปสร้างชุดพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาและหาความสอดคล้องว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ทางธุรกิจหรือไม่ หรือสามารถ

ตอบสนองความต้องการทางธุรกิจได้จริงหรือไม่ พร้อมทั้งตรวจสอบว่ายังมีปัจจัยอื่นๆที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีกหรือไม่

เนื่องจากการสร้างตัวแบบจำลองด้วยกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยงของตัวแบบ Associations.Apriori นั้นไม่สามารถทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลทดสอบเหมือนกับ J48 Decision Tree ได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจก่อนจะนำผลการทำเหมืองข้อมูลไปสร้างชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์จึงต้องทำการตรวจทานโดยทำการเปรียบเทียบผลของตัวแบบ J48 Decision Tree, ตัวแบบ Associations.Apriori และ Cause And Effect Diagram ว่ามีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันหรือไม่

4.8.1 ตรวจทานความสอดคล้องกันระหว่างแผนภาพต้นไม้การตัดสินใจกับ Cause And Effect Diagram และกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง ของของเสียแต่ละชนิด

ตรวจทานความสอดคล้องกันระหว่างแผนภาพต้นไม้การตัดสินใจกับ Cause And Effect Diagram และกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง ของของเสียแต่ละชนิด ดังนี้

1. ของเสียประเภท Gas Porosity

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Gas Porosity Defect ผลออกมาสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงผลในตาราง

ตารางที่ 4.14

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Gas Porosity Defect

Cause and Effect Diagram	Gas Porosity	J48 Decision Tree	Gas Porosity
Aluminum Temp High	Yes	Aluminum Temp High	Yes
Shot Velocity High	Yes	Shot Velocity High	Yes
Shot Retract High	Yes	Shot Retract High	Yes
Shot Pressure Low	Yes	Shot Pressure Low	Yes

สรุปผลจากตัวแบบกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori ค้นพบกฎที่ดีทีสุดสำหรับ Gas Porosity Defect ดังนี้

ผลจากกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori พบว่าถ้าค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temperature, Shot Pressure, Shot Retract และ Shot Velocity อยู่ในระดับปานกลางแล้วจะไม่เกิด Gas Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่น 89% (โดยเฉลี่ย) ซึ่งสอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram และตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ที่ค่าปานกลาง (Medium) ของพารามิเตอร์ดังกล่าวก็จะไม่เกิด Gas Porosity Defect เช่นกัน

2. Flow Porosity Defect

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Flow Porosity Defect ผลออกมาสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.15

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Flow Porosity Defect

Cause and Effect Diagram	Flow Porosity	J48 Decision Tree	Flow Porosity
Aluminum Temp Low	Yes	Aluminum Temp High	Yes
Shot Pressure Low	Yes	Shot Pressure Low	Yes
Accumulator Pressure Low	Yes	Accumulator Pressure Low	Yes
Cycle Time High	Yes	Cycle Time High	Yes

สรุปผลจากตัวแบบกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori ค้นพบกฎที่ดีทีสุดสำหรับ Flow Porosity Defect ดังนี้

ผลจากกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori พบว่าถ้าค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temperature, Shot Pressure, Accumulator Pressure และ Cycle Time อยู่ในระดับปานกลางแล้วจะไม่เกิด Flow Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่น 88% (โดยเฉลี่ย) ซึ่ง

สอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram และตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ที่ค่าปานกลาง (Medium) ของพารามิเตอร์ดังกล่าวก็จะไม่เกิด Flow Porosity Defect เช่นกัน

3. Cold Shot Porosity Defect

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Cold Shot Porosity Defect ผลออกมาสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.16

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Cold Shot Porosity Defect

Cause and Effect Diagram	Cold Shot Porosity	J48 Decision Tree	Cold Shot Porosity
Aluminum Temp Low	Yes	Aluminum Temp Low	Yes
Top Mold Temp. Low	Yes	Top Mold Temp. Low	Yes
Lower Mold Temp. Low	Yes	Lower Mold Temp. Low	Yes
Cycle Time High	Yes	Cycle Time High	Yes

สรุปผลจากตัวแบบกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori ค้นพบกฎที่ดีทีสุดสำหรับ Cold Shot Porosity Defect ดังนี้

ผลจากกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori พบว่าถ้าค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temperature, Top Mold Temp, Lower Mold Temp และ Cycle Time อยู่ในระดับปานกลางแล้วจะไม่เกิดCold Shot Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่น 97% (โดยเฉลี่ย) ซึ่งสอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram และตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ที่ค่าปานกลาง (Medium) ของพารามิเตอร์ดังกล่าวก็จะไม่เกิด Cold Shot Porosity Defect เช่นกัน

4. Hot Crack Porosity Defect

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Hot Crack Porosity Defect ผลออกมาสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.17

ผลการเปรียบเทียบผลจาก Cause And Effect Diagram และ J48 Decision Tree ของ Hot Crack Porosity Defect

Cause and Effect Diagram	Hot Crack Porosity	J48 Decision Tree	Hot Crack Porosity
Aluminum Temp High	Yes	Aluminum Temp High	Yes
Top Mold Temp. High	Yes	Top Mold Temp. High	Yes
Lower Mold Temp. High	Yes	Lower Mold Temp. High	Yes

สรุปผลจากตัวแบบกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori ค้นพบกฎที่ดีที่สุดสำหรับ Hot Crack Porosity Defect ดังนี้

ผลจากกฎความสัมพันธ์เชื่อมโยง Association.Apriori พบว่าถ้าค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temperature, Top Mold Temp และ Lower Mold Temp อยู่ในระดับปานกลางแล้วจะไม่เกิด Hot Crack Porosity Defect ที่ระดับความเชื่อมั่น 94% (โดยเฉลี่ย) ซึ่งสอดคล้องกันกับ Cause And Effect Diagram และตัวแบบ Classifier J48 Decision Tree ที่ค่าปานกลาง (Medium) ของพารามิเตอร์ดังกล่าวก็จะไม่เกิด Hot Crack Porosity Defect เช่นกัน

4.8.2 สรุปผลจากกระบวนการตรวจทาน

จากการตรวจทานตัวแบบของ Porosity Defect แต่ละชนิดที่สร้างจาก Algorithm Classifier J48 Decision Tree และ Association.Apriori โดยเปรียบเทียบกับ Cause And Effect Diagram แบบต่างๆ ผลออกมาสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงปานกลาง(Medium) จะเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับทุก Class เป้าหมาย (Porosity Defect

Types) และพารามิเตอร์ที่สูงหรือต่ำเกินไปจะก่อให้เกิด Porosity Defect ที่แตกต่างกันไปตามแนวทาง Cause And Effect Diagram ของ Defect แต่ละชนิด

เมื่อผ่านขั้นตอนประเมินและการตรวจทานตัวแบบแล้วขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมผลจากการสร้างตัวแบบพารามิเตอร์ทั้ง 4 แบบเข้าด้วยกันเพื่อจัดทำชุดพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองกับงานจริงต่อไป

ในส่วนของเป้าหมายทางธุรกิจนั้น ชุดตัวแบบพารามิเตอร์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรุ่นงานที่ทำการศึกษาได้แต่ยังไม่ทราบผลลัทธ์ว่าเป็นอย่างไร จนกว่าจะนำไปทดลองใช้งานจริงแล้ววัดผลจากจำนวนของเสียหรือค่าทางสถิติของพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อการนำตัวแบบไปใช้งาน (Deployment)

เมื่อผ่านกระบวนการรตรวจทานแล้วขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ (Parameter Set) ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูล โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มารวมเข้าด้วยกัน ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18

รวมพารามิเตอร์ของ Defect Type ต่างๆ

	Porosity Defect Types					
Parameter	Unit	Gas	Flow	Cold Shot	Hot Crack	StdDve
Cycle Time	Sec.		55	55		2.5
Shot Pressure	Bar	127	127			2.5
Accumulator Pressure	Bar		125			1
Shot Retract	Mm.	63				1
Top Mold Temp.	Degree F			68	68	4
Lower Mold Temp.	Degree F			98	98	5
Aluminum Temp.	Degree F	1273	1273	1273	1273	13
Shot Velocity	Ips	25				0.7

หลักการในการเลือกพารามิเตอร์จากตาราง 4.18 ในช่องตารางที่แสดงค่าพารามิเตอร์และระบายสีหมายความว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Porosity ประเภทนั้นๆ และในช่องที่ไม่มีค่าพารามิเตอร์และไม่ได้ระบายสีหมายความว่าค่าพารามิเตอร์นั้นๆไม่ส่งผลต่อาการเกิดปัญหา Porosity ฉะนั้นสรุปผลได้ว่า

1. ค่าพารามิเตอร์ Cycle Time = 55 Sec., StdDve = 2.5 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Flow และ Cold Shot Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Gas และ Hot Crack Porosity

2. ค่าพารามิเตอร์ Shot Pressure = 127 Bar., StdDve = 2.5 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Gas และ Flow Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Cold Shot และ Hot Crack Porosity

3. ค่าพารามิเตอร์ Accumulator Pressure = 125 Bar.,StdDve = 1 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Flow Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Porosity ประเภทอื่นๆ

4. ค่าพารามิเตอร์ Shot Retract = 63 Mm. ,StdDve = 1 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Gas Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Porosity ประเภทอื่นๆ

5. ค่าพารามิเตอร์ Top Mold Temp. = 68 Degree F.,StdDve = 4 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Cold Shot และ Hot Crack Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Gas และ Flow Porosity

6. ค่าพารามิเตอร์ Lower Mold Temp. = 98 Degree F.,StdDve = 5 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Cold Shot และ Hot Crack Porosity และไม่ส่งผลการเกิดปัญหา Gas และ Flow Porosity

7. ค่าพารามิเตอร์ Aluminum Temp. = 1273 Degree F.,StdDve = 13เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Porosity ทั้ง 4 ประเภท

8. ค่าพารามิเตอร์ Shot Velocity = 25 Ips. ,StdDve = 0.7 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา Gas Porosity และไม่ส่งผลต่อการเกิดปัญหา Porosity ประเภทอื่นๆ

เมื่อทำการรวมค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดทั้ง 4 แบบเข้าด้วยกันจะได้ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการทดลองงานจริงดังตาราง 4.19

ตารางที่ 4.19

ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04

Parameters	Value	StdDve	Unit
Cycle Time	55	2.5	Sec
Shot Pressure	127	2.5	Bar
Accumulator Pressure	125	1	Bar
Shot Retract	63	1	Mm
Top Mold Temp.	68	5	Degree F
Lower Mold Temp.	98	4	Degree F
Aluminum Temp.	1273	13	Degree F
Shot Velocity	25	0.7	Ips

4.8.3 **การกำหนดขั้นตอนถัดไป** (Determine Next Steps)

หลังจากผ่านการตรวจทานโครงการแล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำตัวแบบไปทดลองจริงกับงานฉีดโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04 โดยมีแผนงานดังนี้

1. ทดลองใช้ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์กับการผลิตโรเตอร์ รุ่น Quest 2036-04
2. จำนวนครั้งที่ทดลอง 100 ครั้ง (Shot) หรือ 400 ชิ้นงาน
3. กำหนดตัวชี้วัดคือ จำนวนและประเภทของเสีย ค่าทางสถิติของพารามิเตอร์แต่ละตัว
4. วิธีการตรวจสอบใช้เครื่อง X-Ray และตรวจสอบด้วยสายตา
5. วิธีการเก็บตัวอย่างใช้วิธีแบบสุ่มตรวจ จำนวน 30 ตัวอย่าง
6. รายงานและสรุปผลการทดลอง

ในกรณีที่ผลการทดลองออกมาเป็นที่พอใจหรือใช้งานได้จริงแผนการต่อไปคือจัดทำชุดพารามิเตอร์มาตรฐานสำหรับรุ่นงานที่ทำการศึกษา (Job Pattern or Standard Parameter) และนำไปขยายผลกับชิ้นงานรุ่นอื่นๆต่อไป และในกรณีที่ผลออกมาไม่เป็นที่พอใจ จะต้องศึกษาปัจจัยหรือตัวแปลอื่นๆเพิ่มเติม

4.9 การนำตัวแบบไปใช้ (Deployment)

4.9.1 การวางแผนการปรับใช้ตัวแบบ (Plan Deployment)

1. ทดลองใช้งานจริงและวัดผลจากจำนวนของเสียหรือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์แต่ละตัวแล้วเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ชุดเดิมที่ใช้สร้างตัวแบบ

2. ถ้าผลการทดลองออกมาเป็นที่พอใจและใช้งานได้จริงให้จัดทำชุดพารามิเตอร์มาตรฐาน (Standard Parameter Set) สำหรับรุ่นงานที่ทำการศึกษา

3. พัฒนาใบเปลี่ยนรุ่นงาน(Change Over Sheet) ใหม่โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในใบเปลี่ยนรุ่นเพื่อใช้ในการอ้างอิงให้กับช่างหรือพนังงานเดินเครื่องเพื่อลดความผิดพลาดในการปรับแต่งเครื่องจักร (Machine Set Up) หรือลดของเสียจากการลองผิดลองถูก (Trial And Error)

4. ขยายผลไปพัฒนาใช้กับงานรุ่นอื่นๆต่อไป

5. สร้างค่าควบคุมพารามิเตอร์แต่ละตัว (Control Limit)

6. พัฒนาระบบแจ้งเตือนหรือหยุดเครื่องเมื่อค่าพารามิเตอร์หลุดออกนอกขอบเขตการควบคุม (Out Of Control Limit) เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้น

7. แบ่งปันความรู้ภายในองค์กรและ บริษัทในเครืออิเมอร์สันอิเลคทริค (Knowledge Sharing)

จากการทดลองใช้ชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์และทำการสุ่มตรวจวัดหาจำนวนของเสียแต่ละชนิดจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่างปรากฏว่าไม่พบจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่าง ฉนั้นจึงต้องทำการพิจารณาที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ทำการทดลอง 100 ครั้ง (100 Shots) โดยใช้โปรแกรม WEKA Preprocess ในการหาค่าสถิติแล้วทำการเปรียบเทียบกับทางค่าสถิติของพารามิเตอร์ชุดเดิมที่ใช้ตอนสร้างตัวแบบ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.20
ค่าสถิติของพารามิเตอร์ชุดเดิมที่ใช้สร้างตัวแบบ

Parameter	Unit	Minimum	Maximum	Mean	StdDve
Cycle Time	Sec	50.023	84.938	55.513	2.518
Shot Pressure	Bar	119.066	131.919	127.021	2.425
Shot Retract	Mm.	58.003	66.880	62.765	0.887
Top Mold Temp	Degree F	56.715	103.588	67.806	4.625
Lower Mold Temp	Degree F	60.220	120.960	98.201	4.161
Aluminum Temp	Degree F	1242.735	1324.190	1272.890	12.595
Accumulator Pressure	Bar	121.058	127.860	125.784	0.914
Shot Velocity	Ips	19.590	34.034	25.085	0.671

ตารางที่ 4.21
ค่าสถิติของพารามิเตอร์ที่ได้จากผลการทดลองใช้ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์

Parameter	Unit	Minimum	Maximum	Mean	StdDve
Cycle Time	Sec	52.413	58.144	55.141	1.087
Shot Pressure	Bar	125.059	128.850	126.885	0.829
Shot Retract	Mm.	62.045	64.018	63.018	0.421
Top Mold Temp	Degree F	63.456	74.000	68.583	2.185
Lower Mold Temp	Degree F	95.255	99.875	98.375	0.988
Aluminum Temp	Degree F	1268.560	1287.000	1277.580	3.110
Accumulator Pressure	Bar	124.870	126.320	125.534	0.297
Shot Velocity	Ips	24.350	25.822	25.231	0.319

ในการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าสถิติของพารามิเตอร์จะพิจารณาที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ชุดเดิมและพารามิเตอร์ชุดที่ได้จากตัวแบบการทำเหมืองข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวแบบการทำเหมืองข้อมูลมีค่าน้อยหรือแคบกว่าค่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ชุดเดิมหรืออาจกล่าวได้ว่าชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลทำให้กระบวนการมีความแปรปรวนน้อยลงหรือมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้โอกาสเกิดของเสียน้อยลง

ตารางที่ 4.22

เปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์แต่ละตัวจากการทดลองใช้ชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูล

Parameter	StdDev Improvement Percentage
Cycle Time	56.83
Shot Pressure	65.81
Shot Retract	52.53
Top Mold Temp	52.76
Lower Mold Temp	76.26
Aluminum Temp	75.31
Accumulator Pressure	67.5
Shot Velocity	52.46

จากการนำตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำเหมืองข้อไปทดลองใช้งานจริงได้ผลออกมาเป็นที่พอใจ คือไม่พบของเสียจากการสุ่มตรวจกลุ่มชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นงาน และความแปรปรวนของกระบวนการผลิตลดลง จึงทำให้มั่นใจได้ว่าตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ได้สามารถใช้งานได้จริงและสามารถนำไปใช้เป็นชุดพารามิเตอร์มาตรฐานให้กับชิ้นงานที่ทำการศึกษาได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.23

ตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สำหรับโรเตอร์รุ่น Quest 2036-04

Parameters	Value	StdDve	Unit
Cycle Time	55	2.5	Sec
Shot Pressure	127	2.5	Bar
Accumulator Pressure	125	1	Bar
Shot Retract	63	1	Mm
Top Mold Temp.	68	5	Degree F
Lower Mold Temp.	98	4	Degree F
Aluminum Temp.	1273	13	Degree F
Shot Velocity	25	0.7	Ips

4.9.2 **แผนการติดตามและการบำรุงรักษา** (Plan Monitoring and Maintenance)

จากการทำเหมืองข้อมูลเพื่อค้นหารูปแบบการเกิดของเสียประเภทรูพรุนแบบต่างๆ แล้วได้พัฒนาไปสู่การสร้างตัวแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาได้แล้วนั้นสิ่งที่ต้องทำต่อไปคือการติดตามและการบำรุงรักษาให้คงไว้โดยมีแผนการดังนี้

1. ติดตามผลลัทธ์จากการนำไปใช้งาน เช่นจำนวนของเสียและ ความถูกต้องแม่นยำ
2. ตรวจสอบว่ามีการปฏิบัติตามมาตรฐานที่ว่างไว้หรือไม่ (Work Station Audit)
3. ติดตามและตรวจสอบค่าพารามิเตอร์จาก Shot Scope System Monitoring
4. จัดทำตารางการสอบเทียบอุปกรณ์วัดหรือแปลงสัญญาณต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Transducer Calibration)
5. จัดการอบรมให้ความรู้แก่พนังงานระดับช่างเพื่อให้เกิดความตระหนักถึงสำคัญของข้อมูล และการประยุกต์ใช้สารสนเทศในการแก้ปัญหา
6. จัดเตรียมแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันรายสัปดาห์ (Weekly Preventive Maintenance) ให้ Shot Scope System และอุปกรณ์วัดสัญญาณต่างๆ

7. ร่วมทำแผนการจัดเก็บและดูแลรักษาข้อมูลกับหน่วยงาน MIS (Management Information System)

4.9.3 จัดทำรายงานขั้นสุดท้าย (Produce Final Report)

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นงานโรเตอร์โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลเพื่อค้นหารูปแบบการเกิดรูพรุนแบบต่างๆที่เป็นผลมาจากการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมซึ่งผลจากการดำเนินการสามารถค้นหาตัวแบบพารามิเตอร์ได้ดังนี้

จากการที่นำตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ไปทดลองใช้กับงานจริงผลปรากฏว่าสามารถลดความแปรปรวนของกระบวนการลงได้ ประมาณ 62.43% นั้นหมายความว่าจากการศึกษาเพื่อค้นหาตัวแบบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับกระบวนการโดยการใช้เทคนิดการทำเหมืองข้อมูลสามารถไปใช้งานได้จริง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ที่ศึกษาสามารถลดความแปรปรวนในกระบวนการฉีดโรเตอร์ได้

2. มีความเป็นไปได้ที่จะนำตัวแบบจำลองพารามิเตอร์ไปช่วยลดของเสียเนื่องจากการเกิดรูพรุนแบบต่างๆที่ศึกษาได้

3. ชุดตัวแบบจำลองพารามิเตอร์สามารถที่จะนำไปเป็นแนวทางในปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงานรุ่นอื่นๆ ได้ต่อไป

4. เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลสามารถใช้ค้นหาความรู้และช่วยในการตัดสินใจในการแก้ปัญหาได้

4.9.4 ทบทวนโครงการ (Review Project)

จากการดำเนินการศึกษาพัฒนาแบบจำลองพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตโรเตอร์ผลลัพธ์ออกมาเป็นที่พอใจ คือสามารถใช้งานได้จริงและสามรถความแปรปรวนของกระบวนการผลิตได้ สิ่งที่ต้องพึงระวังในการนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างตัวแบบคือเรื่องความถูกต้องของข้อมูลเนื่องจากในงานศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากการอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดและแปลงค่าสัญญาณที่ติดอยู่ตามจุดต่างๆของเครื่องจักรฉะนั้นค่าความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านอาจเกิดขึ้นได้ถ้าอุปกรณ์นั้นชำรุดหรือสกปรก เพื่อป้องกันปัญหานี้จึงต้องหมั่นตรวจสอบหรือทำ

การสอบเทียบตามระยะเวลา นอกจากเรื่องอุปกรณ์วัดค่าแล้วยังมีเรื่องสัญญาณรบกวนจากระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆที่ส่งผลต่อสัญญาณข้อมูล

4.9.5 **สิ่งที่ต้องปรับปรุงในงานวิจัย**

สิ่งที่ต้องปรับปรุงในงานวิจัยนี้คือเรื่อง

1. ค่าของคลาสเป้าหมายของชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบไม่ได้มาจากข้อมูลการบันทึกจริงเนื่องจากการตรวจสอบของเสียในกระบวนการใช้วิธีสุ่มตรวจดังได้กล่าวมาแล้วจึงไม่สามารถระบุได้ว่ามาจากระเบียนใดของชุดข้อมูล ดังนั้นค่าคลาสเป้าหมายที่ใช้จึงอ้างอิงจาก Cause And Effect Diagram ของการเกิดของเสียแต่ละชนิดที่เคยศึกษาไว้แล้ว ซึ่งอาจยังมีตัวแปรอื่นๆที่ไม่นำมาพิจารณา

2. ค่าอุณหภูมิของ Top Mold และ Lower Mold ไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของอุณหภูมิที่ผิวโมลแต่เป็นค่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่วิ่งผ่านตัวโมลซึ่งอาจจะไม่สะท้อนความเป็นจริง เท่าใดนัก

3. ในขั้นตอนการเลือกลักษณะประจำโดยใช้ค่า Information Gain ที่มีค่าสูงและตัดลักษณะประจำที่มีค่าต่ำออกไปนั้นอาจส่งผลต่อความแม่นยำของตัวแบบได้