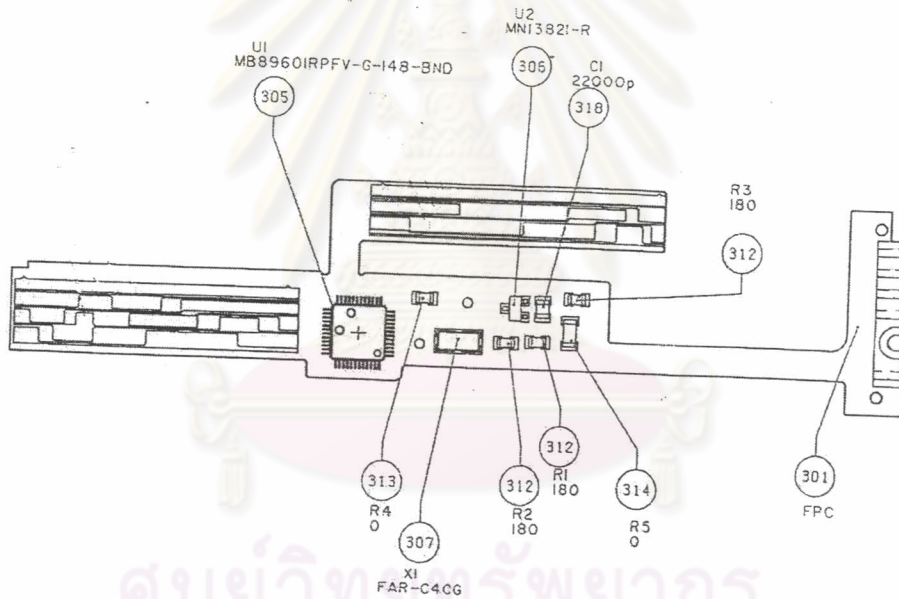


### บทที่ 3

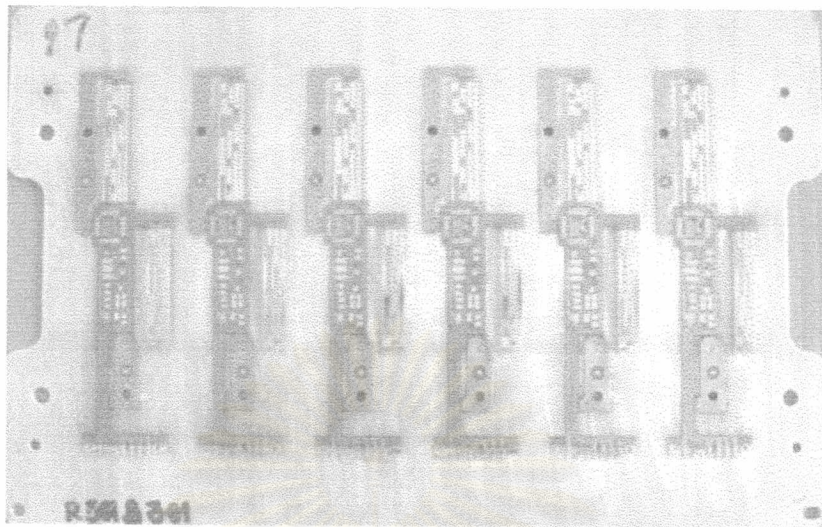
## การเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการประกอบแผ่นวงจรไฟฟ้า

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ถึงส่วนประกอบต่างๆในการจำลองแบบปัญหา ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบนั้นทั้งหมด โดยตัวผลิตภัณฑ์ที่เราจะยกมาใช้เป็นกรณีศึกษาี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า "R501 B301" ซึ่งมีรายละเอียดผลิตภัณฑ์ดังนี้

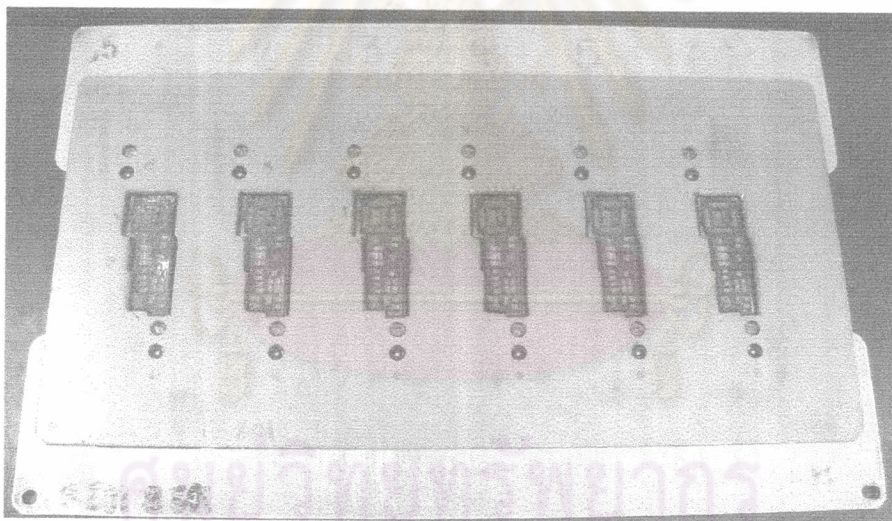


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ "R501 B301"

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 การวางแผนวงจรไฟฟ้าลงบนแพลตฟอร์ม



รูปที่ 3.3 การวางแผนประกอบที่บอร์ดวงจรไฟฟ้าหลังการพิมพ์ตะกั่ว

### 3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในแบบจำลอง

#### 3.1.1 เอนทิตี (Entities)

จากกระบวนการประกอบแผ่นวงจรไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ "R501 B301" จะประกอบไปด้วย เอนทิตีที่อยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่

3.1.1.1 แผ่นวงจรไฟฟ้า (FPC) หมายเลข 301 ดังรูป 3.1 : ซึ่งแผ่นวงจรไฟฟ้านี้เป็น เอนทิตีที่แรกในกระบวนการประกอบ โดย เอนทิตีที่นี้จะถูกนำเข้ามาคู่กันกับ เอนทิตีอีกตัวหนึ่ง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า แผ่นเพลเลต และในการศึกษาครั้งนี้ จะถือว่าแผ่นวงจรไฟฟ้าจะเข้าสู่ระบบแบบไม่ขาดมือ

3.1.1.2 แผ่นเพลเลต (ดังรูป 3.2) : แผ่นเพลเลตนี้เองถือเป็นหัวใจในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพราะว่าแผ่นเพลเลตดังกล่าวเป็น เอนทิตีที่สามารถนำกลับมาใช้ได้เรื่อยๆ ไป หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่งจำนวนของแผ่นเพลเลตจะมากน้อยเพียงใดในการใช้งานก็มีผลต่อผลิตผลของกระบวนการทั้งสิ้น รวมถึงค่าใช้จ่ายที่จะต้องลงทุนครั้งแรกกับแผ่นเพลเลตดังกล่าวด้วย

3.1.1.3 แผ่นประกบ (ดังรูปที่ 3.3) : แผ่นประกบนี้ก็ถือเป็นหัวใจในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เช่นกัน เช่นเดียวกับแผ่นเพลเลต เพราะถือว่าเป็น เอนทิตีที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

3.1.1.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 312 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะต้องใช้ปริมาณ 3 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิตีที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 5,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 313 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิตีที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 5,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.6 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 314 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิที่ที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 5,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 318 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิที่ที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 5,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.8 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 306 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิที่ที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 3,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.9 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 307 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิที่ที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 3,000 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

3.1.1.10 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 305 (ดังรูป 3.1) : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะใช้ปริมาณ 1 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็น เอนทิที่ที่ติดไปกับผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะสามารถบรรจุได้ 2,500 ชิ้นต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์

### 3.1.2 แหล่งทรัพยากร (Resource)

แหล่งทรัพยากรก็คือสิ่งที่จะรอให้เอนทิที่เข้ามาใช้บริการ โดยทั้งหมดของกระบวนการแผนวงจรไฟฟ้านั้น ประกอบไปด้วยแหล่งทรัพยากรทั้งหมดดังนี้

3.1.2.1 พนักงาน 1 : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ทำหน้าที่ในการนำแผนวงจรไฟฟ้า นำมายึดติดกับแผ่นเพลลิต รวมถึงการทำความสะอาดในขั้นตอนการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือ

3.1.2.2 สายพาน 1 : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ยึดติดอยู่บนแผ่นเพลลเลตที่แหล่งทรัพยากรพนักงาน1 ปฏิบัติมาเพื่อลำเลียงไปยังกระบวนการถัดไป

3.1.2.3 เครื่องพิมพ์ตะกั่ว : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ถัดจาก สายพาน 1 โดยหน้าที่ของแหล่งทรัพยากรนี้ จะทำการพิมพ์ตะกั่วผ่านแผ่นสกรีน เพื่อลงบนแผ่นวงจรไฟฟ้า ที่ถูกรองด้วยเพลลเลต

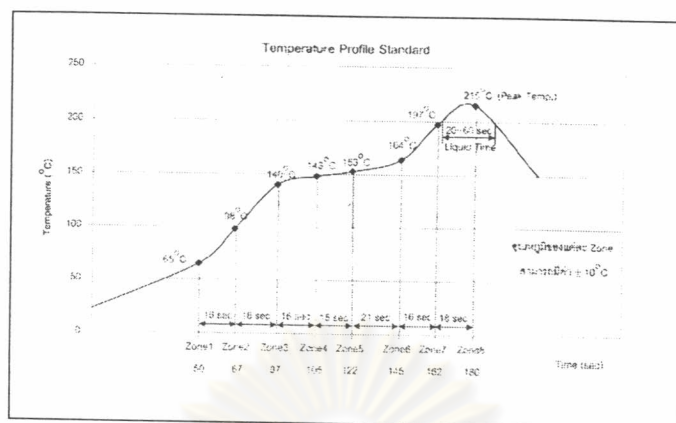
3.1.2.4 สายพาน 2 : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ลำเลียงแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการพิมพ์ตะกั่วแล้วไปยังกระบวนการถัดไป

3.1.2.5 พนักงาน 2 : เป็นแหล่งทรัพยากร ซึ่งใช้คนในการทำงานกระบวนการนี้คือ ตรวจสอบแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการพิมพ์ตะกั่วมาแล้ว รวมถึงวางแผ่นประกบลงบนแผ่นเพลลเลต เพื่อป้องกันแผ่นวงจรไฟฟ้า โกงงอเมื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป

3.1.2.6 เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ทำหน้าที่ในการวางเอนทิที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 312, 313, 314, 318, 306, 307 และ 305 ลงบนแผ่นวงจรไฟฟ้า โดยเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นี้จะถูกป้อนโปรแกรมให้วางเอนทิที่ดังกล่าวเป็นไปตามรูปที่ 3.1

3.1.2.7 สายพาน 3 : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ลำเลียงแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แล้วไปยังกระบวนการถัดไป

3.1.2.8 เครื่องหลอมละลายตะกั่ว : เป็นแหล่งทรัพยากรที่ทำหน้าที่ในการหลอมละลายตะกั่วครีมที่พิมพ์ลงบนแผ่นวงจรไฟฟ้าโดยมีกราฟแสดงมาตรฐานการหลอมละลาย ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งลักษณะของแหล่งทรัพยากรนี้จะเป็นสายพานลำเลียงโดยภายในแหล่งทรัพยากรนี้จะเป็นห้อง โดยแต่ละห้องจะมีแหล่งกำเนิดความร้อน (Heater) ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดความร้อนที่ให้อุณหภูมิในแต่ละห้องได้ และต้องกำหนดให้เป็นไปตามกราฟแสดงมาตรฐานการหลอมละลาย ตะกั่วดังรูปที่ 3.4 เช่นกัน



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงมาตรฐานการหลอมละลายของตะกั่วยี่ห้อ TAMURA รุ่น RMA-020-FP

3.1.2.9 สายพานระบายความร้อน : เป็นแหล่งทรัพยากรที่กำหนดในการเป่าลมเย็นให้กับชิ้นงานที่ออกมาจากเครื่องหลอมละลายตะกั่วเพื่อให้ชิ้นงานนั้นระบายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้สามารถใช้มือเปล่าจับชิ้นงานนั้นได้ โดยแหล่งทรัพยากรนี้จะเป็นสายพานลำเลียงและมีพัดลมเป่าทั้งด้านบนและด้านล่างของสายพานเป็นแนวยาว

3.1.2.10 พนักงาน 3 : เป็นแหล่งทรัพยากรซึ่งใช้คนในการทำหน้าที่แยกเอนทิที่ ระหว่างแผ่นวงจรไฟฟ้า ที่มีเอนทิที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 312, 313, 314, 318, 306, 307 และ 305 ติดอยู่กับแผ่นแพลตฟอร์มและแผ่นประกบ รวมถึงแหล่งทรัพยากรนี้จะต้องยกแผ่นแพลตฟอร์มและแผ่นประกบ ไปคืนยังต้นสายการประกอบอีกด้วย

## 3.2 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง

### 3.2.1 เวลาในการวางชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้าลงบนแผ่นแพลตฟอร์ม

สำหรับการวางชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้าลงบนแผ่นแพลตฟอร์มของผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า "R501 B301" นั้น จะต้องวางแผ่นวงจรไฟฟ้า จำนวน 6 ชิ้น ลงบนแผ่นแพลตฟอร์ม (ดังรูปที่ 3.2) ซึ่งขั้นตอนการทำงานนี้กระทำโดยพนักงาน 1 โดยได้จับเวลาของพนักงานในการทำงานวิธีดังกล่าวได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาในการนำแผ่นวงจรไฟฟ้า ยึดบนแผ่นเพลเลต

เวลาในการนำแผ่นวงจรไฟฟ้า ยึดบนแผ่นเพลเลต (วินาที)									
27.81	31.23	27.29	27.57	28.67	28.26	28.08	30.12	27.46	29.31
31.41	28.73	28.40	30.20	30.33	30.85	28.40	27.68	28.71	27.73
29.47	31.08	31.84	31.64	31.94	28.66	29.27	31.84	28.90	31.78
28.56	29.13	29.47	30.18	30.62	29.87	30.36	30.64	30.28	29.85
27.98	28.95	30.18	29.54	29.73	28.96	29.16	30.51	30.48	30.64
29.37	28.65	29.54	29.75	29.34	28.97	30.43	30.52	30.62	30.75
28.98	29.56	28.37	30.71	29.68	29.58	29.83	30.05	30.65	30.31
29.46	29.52	28.89	29.63	29.37	30.34	30.67	30.36	29.43	29.62
30.64	29.64	28.82	29.46	29.64	30.12	30.72	30.17	29.17	29.82
30.57	30.82	30.58	30.83	31.06	29.68	29.87	29.75	29.56	30.11

จากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 เป็นข้อมูลแบบตัวเลขซึ่งยากแก่การวิเคราะห์ถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งหากข้อมูลดังกล่าวได้สรุปให้อยู่ในรูปของฮิสโตแกรม (Histogram) จะสามารถพิจารณาความผันแปรได้ง่าย ซึ่งฮิสโตแกรม หมายถึง กราฟที่แสดงถึงความผันแปรของข้อมูล ทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง ค่าการกระจาย และรูปทรงของความผันแปร ซึ่งลำดับขั้นตอนการสร้างฮิสโตแกรม สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ทำการรวบรวมข้อมูล (ข้อมูลที่รวบรวมจะต้องมาจากกระบวนการเดียวกัน และจะต้องไม่ลำสมัย) โดยจะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่น้อยกว่า 50 ตัว และไม่ควรมากเกิน 200 ตัว ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่มีจำนวนน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแสดงตัวแบบของความผันแปรได้ และหากข้อมูลมากเกินไป โดยทั่วไปอาจจะมีค่าความเหมาะสม แต่เนื่องจากการประยุกต์ในงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ ข้อมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาภายใต้พลวัต (Dynamic) การรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก จะมีผลทำให้ข้อมูลบางส่วนลำสมัยได้ และจากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 จำนวนข้อมูลที่รวบรวมได้เท่ากับ 100 ตัว

2) พิจารณาค่าพิสัยเพื่ออธิบายถึงขนาดความผันแปรในข้อมูล ซึ่ง พิสัย = ค่ามากที่สุด - ค่าน้อยสุด และจากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 สามารถหาพิสัยได้เท่ากับ  $31.94 - 27.29 = 4.65$

3) พิจารณาหาจำนวนชั้นสำหรับการสร้างตารางแจกแจงความถี่ โดย Amsden et.al (1986) ได้แนะนำไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าจำนวนชั้นที่แนะนำสำหรับการสร้างตารางแจกแจงความถี่โดย Amsden et.al

จำนวนข้อมูล	จำนวนชั้น
ต่ำกว่า 50	5 ถึง 7
50 ถึง 100	6 ถึง 10
101 ถึง 150	7 ถึง 14
151 ถึง 200	10 ถึง 10

โดยจำนวนชั้นนี้อาจจะหาได้ง่ายๆ จากการพิจารณาจากรากที่สองของจำนวนข้อมูล ( $\sqrt{n}$ ) แต่อย่างไรก็ดี ในการสร้างฮิสโตแกรมนี้ มิได้มีข้อกำหนดตายตัวมากนักเกี่ยวกับจำนวนชั้น เพียงแต่ว่าหากมีการสร้างฮิสโตแกรมที่มีจำนวนชั้นน้อยเกินไป อาจทำให้ไม่สามารถอ่านสารสนเทศที่มีมูลค่าได้และหากมีการสร้างฮิสโตแกรมที่มีจำนวนชั้นมากเกินไป ก็อาจจะมีผลทำให้ตัวแบบของฮิสโตแกรมกระจายจนกระทั่งไม่สามารถอ่านสารสนเทศใดๆ ได้เช่นกัน และจากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 มีจำนวนข้อมูลอยู่ที่ 100 ตัว เลยกำหนดจำนวนชั้นสำหรับการสร้างตารางแจกแจงความถี่ไว้ที่ 10 ชั้น

4) หาขนาดของอันตรภาคชั้น (Class Interval) โดยที่

$$\text{ขนาดของอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{พิสัย}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

นอกจากนี้ ในการกำหนดขอบเขต (Boundary) ของแต่ละชั้น จะต้องกำหนดให้ละเอียดกว่าหน่วยที่วัดได้ละเอียดที่สุดของข้อมูลเสมอ ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดปัญหาในการจัดตารางแจกแจงความถี่ที่ข้อมูลตัวหนึ่งอาจจะปรากฏได้ถึง 2 ชั้น ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแนะนำให้บวกเข้าหรือลบออกกับพิสัยของชั้นด้วยครึ่งหนึ่งของหน่วยที่วัดได้ละเอียดที่สุดของข้อมูล เช่นหากข้อมูลเป็นเลขจำนวนเต็ม ก็ควรจะบวกเข้าหรือลบออกด้วย  $\frac{1}{2}$  ของ 1 คือ 0.5 หรือหากข้อมูลเป็นเลขทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง (วัดได้ละเอียด 1 ใน 10) ก็ควรจะบวกเข้าหรือลบออกด้วย  $\frac{1}{2}$  ของ 0.1 คือ 0.05 เป็นต้น และจากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 จะได้ขนาดของอันตรภาคชั้นคือ 0.5

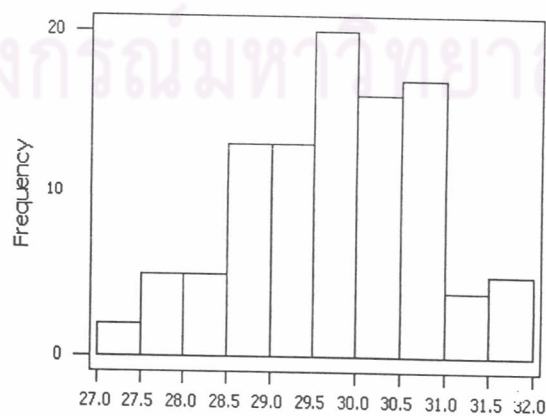


5. สร้างตารางแจกแจงความถี่ ซึ่งจากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 สามารถแสดงเป็น ตารางแจกแจงความถี่ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางแจกแจงความถี่ของข้อมูลเวลาในการนำแผ่นวงจรไฟฟ้ายึดบนแผงเลด

ชั้นที่	ขอบเขตชั้น	ความถี่	ความถี่สะสม	ความถี่สัมพัทธ์	ความถี่สัมพัทธ์สะสม
1	27.0 – 27.5	2	2	0.02	0.02
2	27.5 – 28.0	5	7	0.05	0.07
3	28.0 – 28.5	5	12	0.05	0.12
4	28.5 – 29.0	13	25	0.13	0.25
5	29.0 – 29.5	13	38	0.13	0.38
6	29.5 – 30.0	20	58	0.20	0.58
7	30.0 – 30.5	16	74	0.16	0.74
8	30.5 – 31.0	17	91	0.17	0.91
9	31.0 – 31.5	4	95	0.04	0.95
10	31.5 – 32.0	5	100	0.05	1.00
ผลรวม		100	-	1.00	-

6) ทำการเขียนกราฟฮิสโตแกรม โดยอาศัยข้อมูลจากตารางการแจกแจงความถี่ และกำหนดให้แกน X แสดงถึงข้อมูล และแกน Y แสดงถึงขนาดความถี่ของแต่ละชั้นของข้อมูล และข้อมูลจากตารางที่ 3.3 สามารถสร้างเป็นกราฟฮิสโตแกรมได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กราฟฮิสโตแกรมที่ได้จากข้อมูลเวลาในการวางแผ่นวงจรไฟฟ้าลงบนแผงเลด

จากกราฟฮิสโตแกรมดังรูปที่ 3.5 ยังไม่สามารถบอกถึงรูปแบบการกระจายได้ จึงมีอีกวิธีหนึ่งเพื่อเป็นการหาคุณภาพที่เหมาะสมของการกระจาย โดยวิธีหา Square Error ที่น้อยที่สุด (อ้างอิงจากหนังสือ Simulation With Arena 1998 หน้า 150) ซึ่งวิธีการหา Square Error สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Square Error} = \sum \{ f_i - f(x_i) \}^2$$

โดยที่  $f_i$  หมายถึง ความถี่สัมพัทธ์ของข้อมูล ณ อัตราภาคนั้น

$f(x_i)$  หมายถึง ความถี่สัมพัทธ์ของรูปแบบการกระจายความน่าจะเป็น (Probability Density) ที่เหมาะสม ณ อัตราภาคนั้น

โดยค่า  $f(x_i)$  สามารถหามาได้โดยการอินทิเกรตค่าปริมาณความน่าจะเป็นจากอัตราภาคนั้น แต่ถ้าทราบถึงความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Distribution) ที่ชัดเจน ดังนั้นค่า  $f(x_i)$  ก็สามารถหาได้จาก  $F(x_i) - F(x_{i-1})$  ซึ่งค่า  $F$  จะหมายถึงความน่าจะเป็นสะสม และ  $x_i$  ก็หมายถึง ค่าขอบเขตของอัตราภาคชั้นด้านขวา ส่วน  $x_{i-1}$  ก็จะหมายถึงค่าขอบเขตของอัตราภาคชั้นด้านซ้าย แต่ถ้าไม่ทราบค่าความน่าจะเป็นสะสมที่ชัดเจน ก็จะสามารถหาค่า  $f(x_i)$  ได้ดังที่กล่าวแล้วคือการอินทิเกรตค่าปริมาณความน่าจะเป็นจากอัตราภาคนั้น

จากข้อมูลตารางที่ 3.1 สามารถทำการหาค่า Square Error กับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด โดยตารางที่ 3.4 จะแสดงถึงตัวอย่างวิธีการหาค่า Square Error กับรูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular Distribution) โดยที่ฟังก์ชันการกระจายแบบสามเหลี่ยมคือ

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{สำหรับ } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{สำหรับ } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

โดยที่  $x$  หมายถึง ค่าข้อมูลใด

a หมายถึง ค่าต่ำสุด (Minimum)

b หมายถึง ค่ามากที่สุด (Maximum)

m หมายถึง ค่าฐานนิยม (Mode)

ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันการกระจายได้ดังนี้คือ  $TRIA(a,m,b)$  และจากข้อมูลตารางที่ 3.1 นั้น สามารถจัดรูปแบบให้เป็นการกระจายแบบสามเหลี่ยมและเขียนฟังก์ชันการกระจายได้  $TRIA(27,30.2,32)$  ส่วนตารางที่ 3.5 จะเป็นการสรุปค่า Square Error เมื่อรูปแบบการกระจายต่างๆ กันไป

ตารางที่ 3.4 แสดงวิธีการหาค่า Square Error กับการกระจายแบบ Triangular

ชั้นที่	ขอบเขตชั้น	ความถี่	Probability Density		Cumulative Distribution		Square Error
			$f_i$	$f(x_i)$	$F_i$	$F(x_i)$	
1	27.0 – 27.5	2	0.0200	0.0156	0.0200	0.0156	0.00002
2	27.5 – 28.0	5	0.0500	0.0467	0.0700	0.0623	0.00001
3	28.0 – 28.5	5	0.0500	0.0778	0.1200	0.1401	0.00077
4	28.5 – 29.0	13	0.1300	0.1090	0.2500	0.2491	0.00044
5	29.0 – 29.5	13	0.1300	0.1400	0.3800	0.3891	0.00010
6	29.5 – 30.0	20	0.2000	0.1710	0.5800	0.5601	0.00084
7	30.0 – 30.5	16	0.1600	0.1880	0.7400	0.7481	0.00078
8	30.5 – 31.0	17	0.1700	0.1400	0.9100	0.8881	0.00090
9	31.0 – 31.5	4	0.0400	0.0839	0.9500	0.9720	0.00193
10	31.5 – 32.0	5	0.0500	0.0280	1.0000	1.0000	0.00048
ผลรวม		100	1.0000	1.0000	-	-	0.00628

ตารางที่ 3.5 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.1

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00628
Normal	0.00654
Beta	0.00713
Weibull	0.00771
Gamma	0.0163
Erlang	0.0166
Lognormal	0.0258
Uniform	0.0378
Exponential	0.0816

ซึ่งจากตารางที่ 3.5 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular) แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า รูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดนั้น จะเป็นรูปแบบการกระจายที่ดีที่สุด ยังต้องมีการหาต่อไปอีกว่า รูปแบบการกระจายที่ได้มานั้นมีการกระจายของความน่าจะเป็น สม่ำเสมอหรือไม่ โดยทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน (Goodness of Fit Test) ซึ่งจะมีวิธีการ ทดสอบอยู่ 2 วิธี คือ การทดสอบไคสแควร์สำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน ( $\chi^2$ ) และ การทดสอบโดยวิธีคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov หรือ K-S)

การทดสอบไคสแควร์สำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน จะเป็นการ ทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันความเชื่อว่าข้อมูลมีได้มาจากระบุการแจกแจงหรือไม่ โดย จะอยู่ภายใต้สมมติฐานทั่วไปว่า

$H_0$  : สิ่งตัวอย่างมาจากประชากรที่ระบุการแจกแจงประเภทหนึ่ง

$H_1$  : สิ่งตัวอย่างมิได้มาจากประชากรที่ระบุการแจกแจงไว้

ในการทดสอบไคสแควร์สำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกันนี้ จะอยู่ ภายใต้นัยความคิดในการเปรียบเทียบความถี่ กล่าวคือ ถ้าหากข้อมูลมาจากประชากรตาม สมมติฐาน  $H_0$  ที่ระบุไว้จริงแล้ว ความถี่ที่เกิดขึ้นจริงของข้อมูล (Observed Frequency : O) จะ ต้องมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับความถี่ที่คาดหวัง (Expected Frequency : E) ที่

ประเมินได้ภายใต้สมมติฐาน  $H_0$  เป็นจริง แต่ถ้าหาก  $O$  และ  $E$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ก็แสดงว่า ข้อมูลไม่ควรมาจากประชากรที่มีการแจกแจงภายใต้สมมติฐาน จึงควรมีการตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน และการทดสอบไคสแควร์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

โดยที่  $k$  = จำนวนกลุ่มของข้อมูล

$O_i$  = ค่าความถี่ของข้อมูล (Observed Refquency)

$E_i$  = ค่าความถี่คาดหวัง (Expected Frequency) ของข้อมูลที่มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ

$$= N / k$$

$N$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ถ้า  $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha, k-1}$  ยอมรับสมมติฐานหลักว่าข้อมูลมีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ ด้วยระดับนัยสำคัญ  $\alpha\%$

การทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ หรือ K-S สำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืน จะอาศัยการเปรียบเทียบกันระหว่างฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของสิ่งตัวอย่าง (Observed Cumulative Probability) กับฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมที่คาดว่าจะได้จากการแจกแจง เมื่อสมมติฐาน  $H_0$  เป็นจริง (Expected Cumulative Probability) ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าค่าความน่าจะเป็นสะสมทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าข้อมูลที่ทดสอบมิได้แจกแจงตามสมมติฐาน (คือปฏิเสธสมมติฐาน) และในการพิจารณาค่าความแตกต่างของความน่าจะเป็นสะสมทั้งสองนี้ จะพิจารณาเพียงความแตกต่างที่มากที่สุด โดยไม่คำนึงถึงว่าค่าใดจะมากกว่ากัน ซึ่งเรียกว่า "ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ที่มากที่สุด (Maximum Absolute Different) ;  $D$ " ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$D = \max_x |S(x) - F(x)|$$

โดยที่  $x$  = ค่าของข้อมูล

$S(x)$  = ความน่าจะเป็นสะสมของตัวอย่าง (Observed Cumulative Probability)

$F(x)$  = ความน่าจะเป็นสะสมของที่คาดว่าจะได้จากการแจกแจงตามที่ระบุ (Expect Cumulative Probability)

เปรียบเทียบค่า  $D$  ที่คำนวณได้กับค่าวิกฤต  $D_{\alpha,n}$  โดยที่ถ้า  $D \leq D_{\alpha,n}$  ยอมรับสมมติฐานหลักว่าข้อมูลมีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสมมาตร ด้วยระดับนัยสำคัญ  $\alpha\%$

แต่จากการทดสอบทั้งสองแบบทั้งการทดสอบแบบไคสแควร์และการทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ (K-S) นั้นจะเห็นได้ว่าการทดสอบแบบไคสแควร์จะอาศัยการทดสอบความแตกต่างของความถี่ที่ได้จากการทดลองจริงกับความถี่คาดหวัง เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงตามสมมติฐาน ในขณะที่เทคนิคคอลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ (K-S) จะอาศัยการทดสอบความแตกต่างของความน่าจะเป็นสะสมที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าความน่าจะเป็นสะสมคาดหวังเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงตามสมมติฐาน และโดยที่การทดสอบแบบไคสแควร์จะมีการคำนวณองศาความอิสระใดๆ จึงแสดงว่าการทดสอบแบบไคสแควร์จะมีความเหมาะสมกับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงตามสมมติฐาน นอกจากนี้แล้วการทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ (K-S) จะอาศัยการเปรียบเทียบความแตกต่างที่ทุกค่าของความน่าจะเป็นสะสมที่มีผลทำให้ตัวสถิติทดสอบมีความต่อเนื่อง จึงทำให้วิธีการทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ (K-S) มีความเหมาะสมกับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่ทราบพารามิเตอร์ ดังสรุปได้ด้วยตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืน

ประเภทการแจกแจงตามสมมติฐาน	ค่าพารามิเตอร์	วิธีทดสอบ
แบบช่วง	ทราบค่า	ไคสแควร์
แบบช่วง	ไม่ทราบค่า	ไคสแควร์
แบบต่อเนื่อง	ทราบค่า	K-S
แบบต่อเนื่อง	ไม่ทราบค่า	ไคสแควร์

จากข้อมูลตารางที่ 3.1 เบื้องต้นสันนิษฐานถึงลักษณะการแจกแจงว่าเป็นการกระจายแบบสามเหลี่ยม (โดยการหาค่าที่น้อยที่สุดของ Square Error กับการกระจายลักษณะต่างๆ) โดยมีฟังก์ชันการกระจายเป็น  $TRIA(27,30.2,32)$  จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบเทียบความกลมกลืน เพื่อทดสอบถึงรูปแบบการกระจายที่ได้มานั้นมีการกระจายของความน่าจะเป็นสมมาตรหรือไม่ เนื่องจากเราทราบค่าพารามิเตอร์และประเภทการแจกแจงตามสมมติฐานเป็นแบบต่อเนื่อง จึงเลือกวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร်นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.1 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(27,30.2,32)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0579$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.1 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(27,30.2,32)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.2 เวลาที่ขึ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้าพร้อมกับแผ่นเพลเลต ไหลเข้าและไหลออก ในกระบวนการพิมพ์ตะกั่ว

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการทำงานของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว โดยการจับเวลาของกระบวนการนี้ จะเป็นเวลาดังแต่ที่ขึ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า พร้อมเพลเลตไหลเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ตะกั่ว โดยเครื่องพิมพ์ตะกั่ว รวมกับเวลาที่ขึ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า พร้อมเพลเลต ไหลออกจากเครื่องพิมพ์ตะกั่ว โดยไม่รวมเวลาพิมพ์ตะกั่ว เพราะเวลาพิมพ์ตะกั่วจะขึ้นกับความเร็วของแปรงปาดตะกั่วที่สามารถตั้งค่าได้ โดยข้อมูลการจับเวลาดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 เวลาที่แผ่นวงจรไฟฟ้าและเพลเลตไหลเข้าและออกจากกระบวนการพิมพ์ตะกั่ว

เวลาที่แผ่นวงจรไฟฟ้าและเพลเลตไหลเข้าออกจากกระบวนการพิมพ์ตะกั่ว (วินาที)									
25.98	26.22	25.93	26.01	26.28	25.76	26.21	26.26	25.60	26.49
25.27	26.28	26.02	25.98	26.24	26.15	25.94	25.82	26.06	25.72
26.23	25.42	26.08	25.78	26.22	26.25	25.71	26.49	26.03	25.99
26.08	25.76	26.38	25.93	26.40	25.82	25.99	26.14	25.56	25.60
26.04	25.60	25.34	26.48	25.32	26.06	25.22	25.49	26.54	26.33
26.50	26.48	25.40	26.31	25.91	26.08	25.85	25.93	26.03	25.71
26.25	26.08	26.26	26.29	25.48	26.01	25.81	26.43	26.05	25.44
25.60	25.32	26.21	26.29	25.70	25.54	26.27	25.99	26.07	26.15
26.08	25.99	26.44	25.63	26.21	26.14	25.63	25.94	25.82	26.11
26.01	25.93	25.84	26.31	25.93	26.20	25.34	26.21	25.77	26.08

จากข้อมูลตารางที่ 3.2 สามารถทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบกระจายที่ดีที่สุดของข้อมูลได้ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์เหมือนดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.1 ฉะนั้นจึงขอสรุปแต่สิ่งที่สำคัญในการวิเคราะห์เพียงเท่านั้น

จากข้อมูลตารางที่ 3.7 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.7 แสดงได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.7

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00711
Beta	0.00888
Normal	0.0131
Weibull	0.0141
Erlang	0.0263
Gamma	0.0266
Lognormal	0.0368
Uniform	0.0452
Exponential	0.0907

ซึ่งจากตารางที่ 3.8 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular) ซึ่งมีฟังก์ชันการกระจายเป็น  $TRIA(25.1,26.2,26.7)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า D เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.8 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(25.1,26.2,26.7)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0756$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100}(0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูล



ตารางที่ 3.8 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย TRIA(25.1,26.2,26.7) ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.3 เวลาในการพิมพ์ตะกั่ว

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าในหัวข้อ 3.2.2 เวลาในการพิมพ์ตะกั่วจะขึ้นอยู่กับความเร็วของแปรงปาดตะกั่วด้วย โดยเครื่องพิมพ์ตะกั่วสามารถตั้งค่าความเร็วในแปรงปาดตัวได้ตั้งแต่ 0 ~ 250 มม./ วินาที และชิ้นงานจะมีระยะปาดเท่ากับ 250 มม. ซึ่งเป็นระยะความยาวของแพลเลต ฉะนั้นเวลาในการพิมพ์ตะกั่วจะขึ้นตรงต่อการตั้งค่าความเร็วในการปาดตะกั่วของค่านี้ๆ

### 3.2.4 เวลาในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนอัตโนมัติ

ขั้นตอนการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนอัตโนมัติจะเป็นหนึ่งในขั้นตอนการทำงานของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว โดยเมื่อเครื่องพิมพ์ตะกั่วพิมพ์ตะกั่วไปเรื่อยๆ ใต้แผ่นสกรีนจะมีคราบของเศษครีมตะกั่วค้างติดอยู่ที่รูของสกรีน เป็นผลให้เศษตะกั่วดังกล่าวอาจหลุดเลอะเปื้อนกับแผ่นชิ้นงานในส่วนที่เราไม่ต้องการให้ลงตะกั่วก็เป็นไปได้ ฉะนั้นจึงต้องมีการกำหนดให้เครื่องพิมพ์ตะกั่วทำความสะอาดใต้สกรีนอัตโนมัติ โดยผู้ใช้เป็นผู้กำหนดความถี่ในการทำความสะอาดอัตโนมัตินี้เอง โดยจะกำหนดในเครื่องพิมพ์ตะกั่วเป็น จำนวนกี่แพลเลตต่อหนึ่งครั้งการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนอัตโนมัติ โดยได้จับเวลาที่เครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติในแต่ละครั้งดังตารางที่ 3.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 เวลาที่เครื่องพิมพ์จะก้าวทำความสะอาดได้สกรีนอัตโนมัติ

เวลาที่เครื่องพิมพ์จะก้าวทำความสะอาดได้สกรีนอัตโนมัติ (วินาที)									
29.68	29.61	29.67	29.66	29.55	29.51	29.62	29.68	29.54	29.69
29.86	29.66	29.56	29.54	29.52	29.69	29.78	29.81	29.76	29.81
29.77	29.71	29.66	29.61	29.59	29.68	29.73	29.44	29.65	29.69
29.58	29.49	29.61	29.59	29.53	29.61	29.66	29.69	29.71	29.74
29.67	29.72	29.54	29.69	29.79	29.58	29.55	29.68	29.66	29.63
29.54	29.58	29.65	29.63	29.74	29.68	29.77	29.73	29.61	29.63
29.78	29.74	29.78	29.65	29.59	29.58	29.68	29.64	29.69	29.70
29.69	29.67	29.64	29.68	29.74	29.71	29.71	29.66	29.68	29.67
29.67	29.58	29.67	29.54	29.76	29.54	29.73	29.66	29.60	29.68
29.66	29.68	29.79	29.59	29.61	29.57	29.60	29.69	29.64	29.65

จากข้อมูลตารางที่ 3.9 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.9 แสดงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.9

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Normal	0.0129
Weibull	0.0131
Beta	0.014
Erlang	0.0207
Gamma	0.021
Triangular	0.026
Lognormal	0.028
Uniform	0.0932
Exponential	0.137

ซึ่งจากตารางที่ 3.10 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบปกติ มีฟังก์ชันการกระจายคือ

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad ; \quad -\alpha < x < \alpha$$

โดยที่  $x$  หมายถึง ค่าข้อมูลใด

$\sigma$  หมายถึง ค่าความแปรปรวนของข้อมูลใด

$\mu$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลใด

$\pi = 3.1415926$

$e = 2.7182818$

โดยอาจเขียนรูปแบบการกระจายได้เป็น  $NORM(\mu, \sigma)$  ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 3.10 มีฟังก์ชันการกระจายเป็น  $NORM(29.7, 0.0785)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืน ด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.10 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $NORM(29.7, 0.0785)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0877$  ซึ่ง  $< D_{0.05, 100} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.10 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $NORM(29.7, 0.0785)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.5 เวลาในการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือ

สำหรับการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือนั้น เป็นการเสริมหรือเพิ่มการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนแบบอัตโนมัติให้มีความถี่มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนแบบอัตโนมัติไม่เพียงพอที่จะทำให้ได้แผ่นสกรีนสะอาดได้ จึงต้องมีการทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือเพิ่มเข้าไปด้วย ซึ่งจะปฏิบัติโดยพนักงาน 1 และขณะพนักงาน 1 ปฏิบัติงานขั้นตอนนี้อยู่ เครื่องพิมพ์ตะกั่วก็จะไม่สามารถใช้งานได้ ในขณะที่ โดยจะกำหนดขั้นตอนการทำงานทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือเป็นขั้นตอนที่ต้องทำก่อนของพนักงาน 1 ถ้าพนักงาน 1 กำลังทำขั้นตอนนำแผ่นวงจรไฟฟ้ายึดบนแผ่นเพลเลตอยู่ โดยพนักงาน 1 จะทำขั้นตอนที่ทำค้างไว้ให้เสร็จก่อนที่จะทำความสะอาดได้แผ่นสกรีนด้วยมือ และความถี่ในการทำ

ความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือนั้น สามารถกำหนดได้จากผู้ใช้ โดยจะกำหนดในเครื่องพิมพ์ ตะกั่วเป็น จำนวนกี่เพลเลตต่อหนึ่งครั้งการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือ โดยได้จับเวลา ในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือ ดังนี้

ตารางที่ 3.11 เวลาในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือ

เวลาในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือ (วินาที)									
19.54	20.18	19.54	18.28	21.21	20.30	21.42	20.96	21.01	18.56
20.82	19.62	19.72	19.52	20.08	18.27	20.72	19.56	20.92	20.17
22.08	19.59	20.28	20.19	19.19	18.61	19.51	20.25	20.94	21.19
19.48	22.16	21.09	21.13	18.14	21.12	20.19	20.17	21.94	18.93
20.29	19.43	20.09	20.06	19.95	19.66	19.12	20.33	21.41	18.94
18.76	19.29	20.12	19.84	20.27	20.33	19.53	18.14	20.25	18.76
19.46	18.28	19.34	18.92	19.21	20.56	19.55	22.24	18.85	18.44
18.74	19.19	20.48	19.07	18.65	21.94	21.25	20.60	19.71	20.71
18.36	19.19	18.54	20.25	20.53	19.56	18.17	20.22	18.68	21.75
18.39	21.64	19.66	20.65	22.60	20.21	21.67	19.78	18.31	20.75

จากข้อมูลตารางที่ 3.11 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับ รูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึง รูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจาย แบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.11 แสดงได้ดังตารางที่ 3.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.12 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.11

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Normal	0.0064
Beta	0.00815
Weibull	0.0113
Triangular	0.0161
Gamma	0.018
Erlang	0.0189
Lognormal	0.0321
Uniform	0.0332
Exponential	0.0446

ซึ่งจากตารางที่ 3.12 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบปกติ มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $NORM(20,1.07)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.11 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $NORM(20,1.07)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0567$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100}$  (0.136) ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.11 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $NORM(20,1.07)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.6 เวลาในการตรวจสอบสภาพการพิมพ์ตะกั่วและปิดฝาประกบ

สำหรับเวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่พักงาน 2 ต้องตรวจสอบสภาพการพิมพ์ตะกั่วด้วยตา หลังจากที่ยิงงานได้ผ่านขั้นตอนการพิมพ์ตะกั่วแล้ว จากนั้นพนักงาน 2 ก็จะนำแผ่นประกบปิดลงบนแผ่นเพลเลต ซึ่งมีแผ่นวงจรไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง โดยได้ทำการจับเวลาจากพนักงาน โดยข้อมูลที่จับเวลาได้เป็นไปดังตาราง 3.13

ตารางที่ 3.13 เวลาในการตรวจสอบสภาพการพิมพ์ตะกั่วและปิดฝาประกบ

เวลาในการตรวจสอบสภาพการพิมพ์ตะกั่วและปิดฝาประกบ (วินาที)									
29.57	28.80	28.38	30.52	28.44	30.77	29.32	29.85	30.44	28.50
30.63	28.74	28.40	28.82	29.22	30.74	31.02	27.12	26.95	29.33
28.75	26.84	30.02	29.01	28.05	29.64	29.11	30.16	27.82	27.98
26.96	29.42	28.46	27.46	29.71	29.92	28.73	30.74	28.72	30.56
28.74	27.83	27.72	27.78	26.78	28.01	28.67	27.12	29.67	29.56
26.72	30.27	28.58	29.37	29.72	27.26	27.25	27.73	28.25	27.84
28.46	28.67	27.74	27.53	28.68	29.31	28.64	30.65	30.95	29.24
27.62	27.63	30.25	28.75	28.45	29.22	29.75	30.13	28.12	28.85
29.14	29.33	29.47	28.90	29.23	27.01	29.84	29.13	29.87	30.05
29.32	30.15	28.05	29.34	29.30	29.17	28.05	28.36	27.69	28.25

จากข้อมูลตารางที่ 3.13 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.13 แสดงได้ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.13

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00577
Normal	0.00784
Weibull	0.00844
Beta	0.00851
Gamma	0.0141
Erlang	0.0145
Lognormal	0.0222
Uniform	0.0354
Exponential	0.0705

ซึ่งจากตารางที่ 3.14 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (TRIANGULAR) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $TRIA(26.3,28.9,31.4)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.13 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(26.3,28.9,31.4)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0497$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100}(0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.13 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(26.3,28.9,31.4)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.7 เวลาที่เครื่องจักรติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า

ขั้นตอนการทำงานนี้ เป็นขั้นตอนการทำงานของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเวลาดังกล่าวจะเป็นเวลาดังแต่ที่แผ่นเพลเลตที่มีแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการพิมพ์ตะกั่วและปิดแผ่นประกบแล้ว ไหลเข้าสู่เครื่องจักร ยึดแผ่นเพลเลตไว้กับเครื่องจักร ทำการเช็คตำแหน่งของจุดอ้างอิงของแผ่นวงจรไฟฟ้าทั้งหมด 12 จุด (1 แผ่นเลตมี 6 ชิ้นงาน โดยแต่ละชิ้นงานมีจุดอ้างอิง 2 จุด) เพื่อเก็บค่าไว้ในการคำนวณตำแหน่งการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นก็ทำการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กทั้งหมด 48 ตัว (1 แผ่นเลตมี 6 ชิ้นงาน โดยแต่ละชิ้นงานมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก 8 ตัว) และวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ทั้งหมด 6 ตัว (1 แผ่นเลตมี 6 ชิ้นงาน โดยแต่ละชิ้นงานมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ 1 ตัว) จากนั้นแผ่นเพลเลตพร้อมชิ้นงานที่ผ่านการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดแล้วก็ไหลออกจากเครื่องจักร ซึ่งเวลาทั้งหมดดังกล่าวสามารถจับเวลาแสดงได้ดังตารางที่ 3.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.15 เวลาที่เครื่องจักรติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า

เวลาที่เครื่องจักรติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า (วินาที)									
38.47	38.66	38.53	38.71	38.47	38.67	38.49	38.62	38.49	38.66
38.67	38.70	38.73	38.69	38.57	38.52	38.59	38.60	38.71	38.64
38.68	38.58	38.66	38.70	38.50	38.65	38.55	38.51	38.65	38.64
38.69	38.70	38.67	38.48	38.52	38.57	38.66	38.63	38.61	38.71
38.63	38.69	38.64	38.61	38.59	38.56	38.65	38.57	38.55	38.65
38.70	38.66	38.50	38.56	38.58	38.53	38.67	38.63	38.59	38.69
38.66	38.58	38.61	38.64	38.68	38.67	38.71	38.49	38.70	38.66
38.50	38.57	38.60	38.62	38.69	38.61	38.65	38.70	38.54	38.58
38.67	38.54	38.57	38.66	38.62	38.68	38.64	38.60	38.70	38.59
38.55	38.58	38.63	38.68	38.65	38.69	38.64	38.57	38.56	38.59

จากข้อมูลตารางที่ 3.15 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.15 แสดงได้ดังตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.15

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00448
Beta	0.0069
Normal	0.0105
Weibull	0.0124
Gamma	0.0244
Erlang	0.0246
Lognormal	0.0356
Uniform	0.0372
Exponential	0.0813



ซึ่งจากตารางที่ 3.16 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (TRIANGULAR) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $TRIA(38.4,38.7,38.8)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า D เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.15 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(38.4,38.7,38.8)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0759$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.15 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(38.4,38.7,38.8)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.8 เวลาที่พนักงานเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ในกรณีที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวหมดจากเครื่องจักร

เมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งไว้ในเครื่องจักรหมด จะต้องเป็นหน้าที่ของพนักงาน 2 ในการจัดเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ โดยขั้นตอนการทำงานเริ่มตั้งแต่นำฟีดเดอร์ (Feeder) (ซึ่งเป็นเครื่องมือจับยึดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมด ออกจากเครื่องจักร จากนั้นไปหยิบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมดจากชั้นเก็บ แล้วนำไปเปลี่ยนกับอุปกรณ์เก่าที่หมดบนฟีดเดอร์ แล้วนำฟีดเดอร์เข้าไปยึดบนเครื่องจักรดังเดิม โดยขณะที่พนักงาน 2 ปฏิบัติงานขั้นตอนนี้อยู่ เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะหยุดการทำงานเพื่อรอ โดยได้ทำการจับเวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละครั้ง ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.17

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.17 เวลาในการเปลี่ยนฟีดเดอร์เมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนเครื่องจักรหมด

เวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่ออุปกรณ์ดังกล่าวบนเครื่องจักรหมด (วินาที)									
144.47	154.36	185.51	169.01	166.26	126.67	116.92	135.98	163.54	153.58
165.02	178.83	150.05	125.54	119.21	178.32	145.58	137.12	147.19	179.24
142.21	136.62	100.08	144.32	164.87	161.15	118.39	118.18	180.58	152.74
131.23	144.73	151.08	147.11	127.65	119.32	136.98	161.19	131.93	162.73
167.58	107.64	144.91	147.11	109.31	159.94	140.01	192.04	175.37	126.11
169.35	125.41	105.84	132.56	161.00	131.13	152.31	141.33	139.98	124.32
139.39	147.34	148.27	169.18	122.04	126.69	158.23	119.14	165.18	161.56
154.58	186.74	151.94	148.32	184.45	130.01	137.47	117.98	147.74	168.32
136.98	153.39	180.25	137.21	169.32	135.63	146.91	146.63	127.54	143.36
134.61	132.02	142.05	147.54	124.31	146.35	133.49	145.25	138.16	143.47

จากข้อมูลตารางที่ 3.17 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.17 แสดงได้ดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.17

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00312
Weibull	0.00319
Normal	0.00382
Beta	0.00509
Gamma	0.00858
Erlang	0.0102
Lognormal	0.0275
Uniform	0.03
Exponential	0.0643

ซึ่งจากตารางที่ 3.18 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (TRIANGULAR) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $TRIA(100,144,193)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.17 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(100,144,193)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0711$  ซึ่ง  $< D_{0.05,100} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.17 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(100,144,193)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.9 ความเร็วของสายพานในเครื่องหลอมละลายตะกั่ว สายพาน 3 และสายพานระบายความร้อน

เนื่องจากความเร็วของสายพานของเครื่องหลอมละลายตะกั่วนี้ ได้ถูกกำหนดโดยกราฟแสดงมาตรฐานการหลอมละลายของตะกั่วยี่ห้อ TAMURA รุ่น RMA-020-FP ซึ่งเป็นตะกั่วที่ทางโรงงานการศึกษาใช้อยู่ โดยกราฟแสดงมาตรฐานการหลอมละลายดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.4

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสูงสุดของกราฟใช้เวลาทั้งหมด 180 วินาที (3 นาที) และเนื่องจากความยาวของเครื่องหลอมละลายตะกั่ววัดตั้งแต่มุมหน้าสุดของเครื่องจักรจนถึงจุดที่ตะกั่วหลอมละลายวัดความยาวได้ 315 ซม. ฉะนั้นความเร็วของสายพานที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้กราฟดังรูปที่ 3.5 คือ 315 ซม./3 นาที หรือเท่ากับ 105 ซม./นาที ซึ่งจะนำค่าความเร็วของสายพานดังกล่าว ไปใช้ในแบบจำลองต่อไป

สำหรับสายพาน 3 และสายพานระบายความร้อนซึ่งต่ออยู่ด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องหลอมละลายตะกั่ว นั้น จากผู้เชี่ยวชาญของโรงงานการศึกษาแนะนำคือสายพาน 3 และสายพานระบายความร้อนควรมีความเร็วสายพานเท่ากับสายพานของเครื่องหลอมละลายตะกั่ว ก็เนื่องจากหลังจากที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกวางบนแผ่นวงจรไฟฟ้าที่พิมพ์ตะกั่วแล้วนั้น ไม่ควรมีการขยับเขยื้อนชิ้นงานดังกล่าว ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรไฟฟ้านั้น ทำให้เกิดงานเสียขึ้นได้ ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากช่วงรอยต่อระหว่างสายพาน 3 กับสายพานเครื่องหลอมละลายตะกั่ว และรอยต่อระหว่างสายพานเครื่องหลอมละลายตะกั่ว

กับสายพานระบายความร้อน ถ้ามีความเร็วต่างกันจะทำให้การเคลื่อนที่ของแผ่นเพลเลตไม่ราบเรียบได้ รวมถึงถ้าความเร็วทั้งสามส่วนสายพานไม่เท่ากันแล้ว แผ่นเพลเลตอาจจะชนกันระหว่างข้อต่อของสายพานได้ เนื่องจากความเร็วสายพานที่ไม่เท่ากันนั่นเอง ฉะนั้นการกำหนดค่าความเร็วของสายพาน 3 และสายพานระบายความร้อน จะกำหนดตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจากการคำนวณได้ความเร็วสายพานเท่ากับ 105 ซม./นาที

### 3.2.10 เวลาในการแยกชิ้นงานที่ประกอบสมบูรณ์แล้วกับแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบ

เมื่อชิ้นงานผ่านสายพานระบายความร้อนแล้ว พนักงาน 3 จะทำหน้าที่ในการหยิบชิ้นงานและแยกชิ้นงานออกจากแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบ เพื่อนำชิ้นงานที่ประกอบสมบูรณ์ไปทำการตรวจสอบด้วย ฌ กระบวนการถัดไป ส่วนแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบก็จะเก็บไว้รวมกันเพื่อรอการนำไปคืนยังต้นสายการประกอบ เพื่อนำไปใช้ใหม่ต่อไป และจากการจับเวลาของพนักงานในการแยกชิ้นงานออกจากแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบได้ข้อมูล ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 เวลาในการแยกชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วออกจากแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบ

เวลาในการแยกชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วออกจากแผ่นเพลเลตและแผ่นประกบ (วินาที)									
20.32	21.84	21.98	20.64	23.82	24.27	22.18	21.61	23.60	23.48
21.17	24.31	20.73	22.79	22.59	21.68	24.39	22.02	24.51	20.89
23.21	23.56	24.66	22.59	20.77	21.50	23.98	23.71	22.86	22.21
23.31	23.29	21.31	20.57	23.74	20.61	21.41	22.67	21.94	21.28
20.53	20.96	23.94	20.41	20.87	24.58	21.32	21.09	24.99	22.39
21.85	22.84	20.95	22.36	21.91	20.50	21.17	23.33	22.09	23.09
21.21	25.14	21.73	20.48	23.01	22.24	23.28	22.16	21.62	21.48
22.56	20.81	20.72	21.81	22.56	23.01	20.99	21.84	22.04	21.45

จากข้อมูลตารางที่ 3.19 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.19 แสดงได้ดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.19

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.00199
Beta	0.00313
Weibull	0.00325
Gamma	0.00395
Erlang	0.00507
Lognormal	0.00928
Normal	0.0113
Uniform	0.0309
Exponential	0.0432

ซึ่งจากตารางที่ 3.20 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (TRIANGULAR) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $TRIA(20,21.1,25.6)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.19 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(20,21.1,25.6)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0534$  ซึ่ง  $< D_{0.05,80} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.19 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(20,21.1,25.6)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.11 เวลาในการนำแพลเลตและแผ่นประกบไปคืนยังต้นสายการผลิต

แผ่นแพลเลตและแผ่นประกบหลังจากที่ได้ถอดแยกงาน แผ่นวงจรไฟฟ้า ที่ประกอบเสร็จแล้ว จะต้องนำไปคืนยังต้นสายการประกอบโดยจำนวนในการนำไปคืนแต่ละครั้งนั้นจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้ เพื่อนำแผ่นแพลเลตและแผ่นประกบวนกลับไปใช้ใหม่ ซึ่งขั้นตอนี้จะมีพนักงาน 3 ปฏิบัติงานอยู่ และพนักงาน 3 จะนำแพลเลตและแผ่นประกบไปคืนยังต้นสายการประกอบก่อนที่จะแยกชิ้นงานออกจากแผ่นแพลเลตและแผ่นประกบ ถ้าจำนวนแพลเลตและแผ่น

ประเภทที่เตรียมไว้คืนเท่ากับจำนวนที่ใช้กำหนด และได้จับเวลาที่พนักงานได้เดินนำแผ่นแพลเลตและแผ่นประเภทไปคืนยังต้นสายการผลิต ดังข้อมูลตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 เวลาในการนำแผ่นแพลเลตและแผ่นประเภทไปคืนยังต้นสายการผลิต

เวลาในการนำแผ่นแพลเลตและแผ่นประเภทไปคืนยังต้นสายการผลิต (วินาที)									
34.16	39.01	23.86	28.14	27.23	44.19	23.95	30.17	32.05	26.54
32.62	32.48	35.16	36.75	31.10	29.41	38.11	35.76	25.49	42.62
25.27	44.12	37.06	37.14	29.52	42.38	29.39	24.59	31.53	27.18
33.04	33.74	31.18	38.45	26.95	29.46	30.05	33.11	27.54	22.65
34.28	35.85	39.60	26.03	37.85	36.16	29.64	33.54	30.24	35.86
32.21	41.45	29.57	34.61	26.89	32.76	31.95	29.54	26.94	28.79
31.05	30.39	33.24	27.64	39.61	36.53	26.76	28.64	29.71	30.39
32.06	33.26	31.53	33.36	26.26	37.36	27.31	33.72	39.57	25.82
33.61	29.14	24.69	33.61	30.57	31.36	24.32	39.72	34.67	34.15
42.26	33.62	39.65	33.29	27.46	26.95	34.78	30.65	28.54	36.74

จากข้อมูลตารางที่ 3.21 สามารถทำการหาค่า Square Error ระหว่างข้อมูลกับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ เพื่อหาค่า Square Error ที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการสันนิษฐานถึงรูปแบบการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่า Square Error ที่คำนวณได้จากจากรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.21 แสดงได้ดังตารางที่ 3.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.22 ค่า Square Error สำหรับรูปแบบการกระจายแบบต่างๆ ของข้อมูลตารางที่ 3.21

รูปแบบการกระจาย	ค่า Square Error
Triangular	0.000353
Weibull	0.000652
Beta	0.00146
Normal	0.00247
Gamma	0.00328
Erlang	0.00397
Lognormal	0.0106
Uniform	0.0282
Exponential	0.0536

ซึ่งจากตารางที่ 3.22 ก็แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายที่ทำให้ค่า Square Error น้อยที่สุดคือ รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (TRIANGULAR) โดยที่รูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม มีฟังก์ชันการกระจายคือ  $TRIA(22,29.4,45)$  และทำการทดสอบเทียบความกลมกลืนด้วยวิธีทดสอบแบบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (K-S)

ผลจากการคำนวณค่า  $D$  เพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก  $H_0$  ว่าข้อมูลดังตารางที่ 3.21 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(22,29.4,45)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ได้ค่า  $D = 0.0543$  ซึ่ง  $< D_{0.05,80} (0.136)$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  คือข้อมูลตารางที่ 3.21 มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบสามเหลี่ยมด้วยฟังก์ชันการกระจาย  $TRIA(22,29.4,45)$  ด้วยระดับนัยสำคัญ 5%

### 3.2.12 ความเร็วสายพาน 1 และความเร็วสายพาน 2

สายพาน 1 เป็นสายพานลำเลียงชิ้นงานเข้าสู่เครื่องพิมพ์ตะกั่ว และสายพาน 2 เป็นสายพานลำเลียงชิ้นงานเชื่อมต่อระหว่างเครื่องพิมพ์ตะกั่วและเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ความเร็วของทั้งสองสายพานสามารถปรับค่าความเร็วได้ตั้งแต่ 0 ~ 780 ซม./ นาที

จากข้อมูลที่ใช้เป็นสำหรับแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์มานั้น สามารถสรุปเป็นข้อมูลดังตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 : สรุปข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง

หัวข้อ	แหล่งทรัพยากรที่ใช้	รูปแบบการกระจายข้อมูล (วินาที)
1) เวลาในการวางชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า ลงบนแพลเลต	พนักงาน 1	TRIA(27,30.2,32)
2) เวลาที่ชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า พร้อมกับแผ่นแพลเลตไหลเข้าและไหลออกในกระบวนการพิมพ์ตะกั่ว	Printer	TRIA(25.1,26.2,26.7)
3) เวลาในการพิมพ์ตะกั่ว	Printer	1~ 250 วินาที
4) เวลาในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนอัตโนมัติ	Printer	NORM(29.7,0.0785)
5) เวลาในการทำความสะอาดใต้แผ่นสกรีนด้วยมือ	พนักงาน 1	NORM(20,1.07)
6) เวลาในการตรวจสอบชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า หลังการพิมพ์ตะกั่วและปิดฝาประกบ	พนักงาน 2	TRIA(26.3,28.9,31.4)
7) เวลาที่เครื่องจักรติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนชิ้นงานแผ่นวงจรไฟฟ้า	Mounter	TRIA(38.4,38.7,38.8)
8) เวลาที่พนักงานเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ในกรณีที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวหมดจากเครื่องจักร	พนักงาน 2	TRIA(100,144,193)
9) เวลาในการแยกชิ้นงานที่ประกอบสมบูรณ์แล้วกับแผ่นแพลเลตและแผ่นประกบ	พนักงาน 3	TRIA(20,21.1,25.6)
10) ความเร็วสายพานในเครื่องหลอมละลายตะกั่วสายพาน 3 และสายพานระบายความร้อน	สายพาน 3 , เครื่องหลอมละลายตะกั่ว , สายพานระบายความร้อน	105 ซม./ นาที
11) เวลาในการนำแพลเลตและแผ่นประกบไปคืนยังต้นสายการผลิต	พนักงาน 3	TRIA(22,29.4,45)
12) ความเร็วสายพาน 1 และสายพาน 2	สายพาน 1 , 2	0 ~ 780 ซม./ นาที



จากข้อมูลดังตารางที่ 3.23 จะเห็นได้ว่าข้อมูลในหัวข้อ 2) , 4) และ 7) เป็นเวลาที่เครื่องจักรทำงาน แต่เวลาที่สรุปได้นั้นเป็นเวลารูปแบบการกระจาย ซึ่งเวลาที่เครื่องจักรทำงานจริงๆ ควรจะเป็นค่าคงที่ แต่ที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุมาจาก การจับเวลาการทำงานของทั้งสามหัวข้อนั้น เป็นการจับเวลาด้วยคนโดยใช้นาฬิกาจับเวลา อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเนื่องจากการกดเริ่มต้นและกดเสร็จสิ้นการจับเวลาของคนที่จับเวลาก็เป็นไปได้ เพราะถ้าสังเกตจากเวลารูปแบบการกระจายของแต่ละหัวข้อแล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าการกระจายของข้อมูลหรือพิจารณาได้จากค่าพิสัยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจะมีค่าน้อยมาก นั่นก็หมายถึง ข้อมูลมีการกระจายน้อยมาก ก็สอดคล้องกับที่กล่าวไปแล้วว่า เวลาการทำงานของเครื่องจักรควรจะเป็นค่าคงที่ ฉะนั้นรูปแบบการกระจายที่ใช้สำหรับทั้งสามหัวข้อ จึงใช้ได้

ในเนื้อหาบทที่ 3 ทั้งหมดนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อการทดลองต่อไป ซึ่งปัจจุบันการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่งจะทำให้ได้ผลที่รวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ที่กล่าวถึงนั้นมีมากมาย เช่น Minitab, SPSS, Mathlab และอื่นๆ อีกมากมาย และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้ใช้การวิเคราะห์และคำนวณทางสถิติจากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab และการวิเคราะห์บางส่วนจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARENA

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย