

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไมซิด ศุภก้องวารี, ทรงพล ถิมพิชัชวาทย์ และ ตะวันฉาย โพธิ์หอม.2537. การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องไล่ก๊าซไฮโดรเจนแบบใบพัดหมุนโดยใช้ก๊าซอาร์กอนสำหรับอะลูมิเนียมเหลว. ปรินซิเพิล วิศวะกรรมศาสตร์บัณฑิต.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฉัตรชัย สมศิริ และสุวันชัย พงษ์ศุกิจวัฒน์.2538. การศึกษาการเกิด Hard Spot ในอะลูมิเนียมหล่อแบบฉีด. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนัส สติรจินดา.2535. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 1-192.
- สุชาติ ชิวพานัน.2540. ผลกระทบของปัจจัยควบคุมที่มีต่อคุณสมบัติของอะลูมิเนียมในกระบวนการฉีดแบบไดแกสติง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- AFS Committee.1993. Aluminum Casting Technology, Second edition. Illinois: AFS Des Plaines, pp.145-181.
- Alan Kaye, and Arthur Street. Die Casting Metallurgy. Great Britain: Butterworths Monographs in Materials, Butterworth Scientific.
- B. Upton.1982. Pressure Diecasting. Part I. Metals-Machines-Furnaces. Great Britain: Pergamon Press.
- D.A. Granger.1986. Telegas for Determining Hydrogen in the Foundry Industry. Proceedings of the International Molten Aluminum Processing Conference. USA: AFS, pp.416-419.
- F. Shen, J.M. Khodadadi, S.J. Pien and X.K. Lan.1994. Mathematical and Physical Modeling Studies of Molten Aluminum Flow in a Tundish. Matallurgical&Materials Transactions. Vol.25B, pp.669-680.
- G.K. Sigworth.1987. A Scientific Basis for Degassing Aluminum. AFS Transactions, pp.69-75.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก



ก.1 ข้อมูลดินจากการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์(°C) ที่สภาวะการฉีดต่างๆ

*แต่ละสภาวะทำการทดลอง 15 ชิ้นแต่ละชิ้นทำการวัดอุณหภูมิ 3 จุด(ตำแหน่งการวัดรูปที่ ก.1)

| อัตราการไหลน้ำ หล่อชิ้นแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำหล่อชิ้นแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1.5s | 2.0s | 3.0s | 4.0s | 5.0s |
| 6.7 ลิตรต่อนาที | 115 113 110 | 109 114 125 | 108 120 123 | 103 112 119 | 96 101 105 |
| | 110 112 114 | 111 113 123 | 110 122 127 | 106 115 121 | 97 103 107 |
| | 109 108 120 | 115 120 128 | 110 124 130 | 107 117 123 | 96 102 107 |
| | 113 110 123 | 113 120 125 | 110 124 128 | 104 117 120 | 95 102 108 |
| | 123 120 130 | 118 123 128 | 111 122 130 | 107 115 121 | 98 105 111 |
| | 123 120 133 | 120 128 133 | 111 121 129 | 109 118 124 | 98 105 112 |
| | 120 125 130 | 123 130 132 | 112 124 130 | 106 118 121 | 96 107 111 |
| | 126 130 135 | 125 130 133 | 114 127 131 | 106 118 122 | 98 108 112 |
| | 130 135 140 | 123 130 135 | 112 127 132 | 105 117 124 | 98 108 114 |
| | 128 133 140 | 125 130 139 | 115 126 132 | 105 119 123 | 97 107 112 |
| | 130 140 145 | 127 133 141 | 113 125 132 | 106 117 122 | 98 108 111 |
| | 131 141 150 | 128 135 143 | 114 127 133 | 105 116 123 | 100 107 111 |
| | 130 139 145 | 130 136 145 | 112 128 134 | 107 117 121 | 98 107 112 |
| | 133 140 145 | 128 132 146 | 115 129 134 | 107 118 123 | 97 107 111 |
| 129 135 143 | 127 133 144 | 115 126 136 | 107 119 123 | 98 108 112 | |
| 7.2 ลิตรต่อนาที | 117 120 127 | 110 122 125 | 105 115 125 | 98 106 112 | 90 98 106 |
| | 113 124 128 | 110 123 128 | 107 114 124 | 101 108 113 | 91 102 106 |
| | 116 123 130 | 111 124 130 | 104 116 126 | 102 112 117 | 92 101 108 |
| | 116 126 132 | 113 125 132 | 105 114 124 | 101 113 115 | 93 102 109 |

ตารางที่ ก.1(ต่อ)

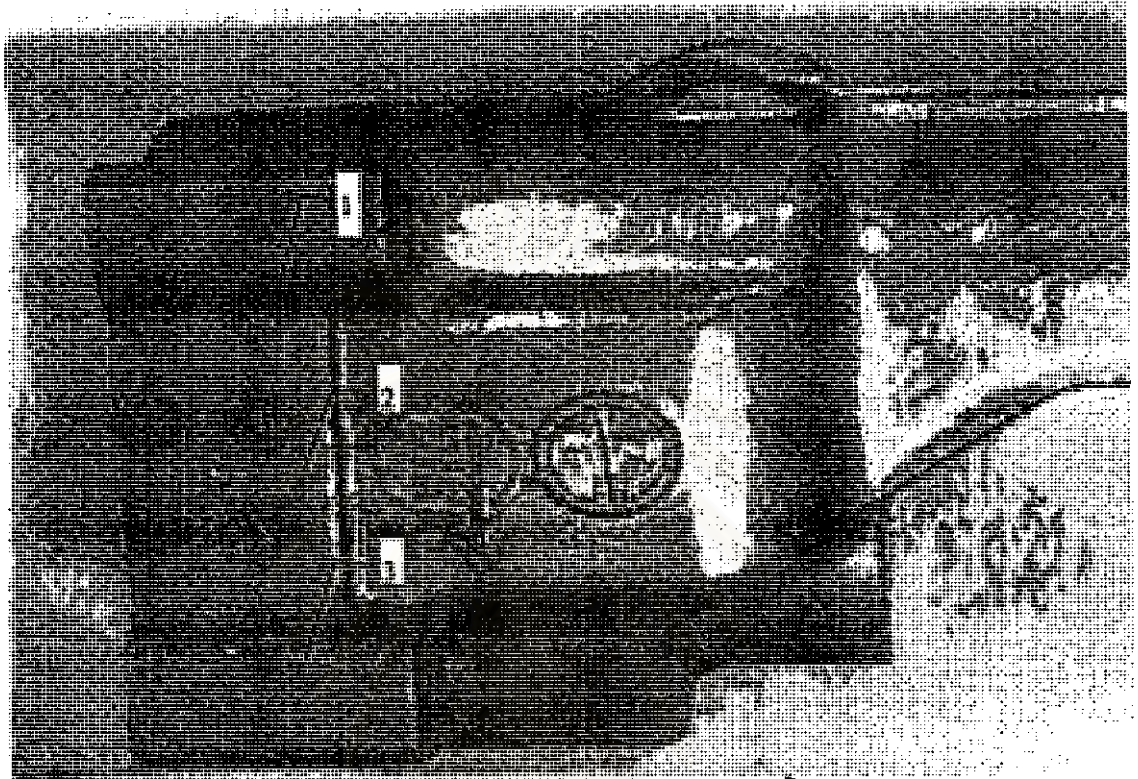
| อัตราการใช้ หน้าต่อหน้าแม่พิมพ์ | เวลาพิมพ์หน้าต่อหน้าแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 1.5s | 2.0s | 3.0s | 4.0s | 5.0s |
| 7.2 กิตรต่อนาที | 118 125 132 | 115 127 135 | 105 116 128 | 100 110 118 | 93 102 108 |
| | 119 126 133 | 117 130 136 | 107 118 125 | 101 113 117 | 92 101 109 |
| | 120 127 134 | 118 132 136 | 105 120 125 | 202 115 120 | 92 102 108 |
| | 122 130 138 | 122 131 137 | 106 122 126 | 102 113 118 | 93 102 107 |
| | 123 132 140 | 123 130 136 | 107 121 125 | 101 113 117 | 92 102 107 |
| | 125 134 142 | 125 134 139 | 105 119 127 | 101 114 120 | 92 102 109 |
| | 127 135 142 | 127 135 140 | 108 120 125 | 101 112 118 | 92 102 110 |
| | 125 138 143 | 128 135 141 | 110 123 128 | 102 113 120 | 94 102 108 |
| | 126 137 144 | 127 137 143 | 110 123 125 | 99 112 123 | 94 102 108 |
| | 128 140 144 | 130 140 144 | 108 125 129 | 100 112 124 | 93 104 110 |
| | 129 141 145 | 130 141 145 | 108 122 127 | 99 112 122 | 93 102 108 |
| 7.6 กิตรต่อนาที | 93 106 113 | 107 120 127 | 110 122 126 | 101 107 114 | 92 98 103 |
| | 96 112 117 | 108 121 128 | 110 122 125 | 100 108 116 | 93 101 106 |
| | 105 117 123 | 114 126 130 | 110 120 126 | 102 106 115 | 93 101 108 |
| | 107 116 122 | 118 127 134 | 111 122 125 | 102 106 113 | 92 102 106 |
| | 112 117 124 | 120 130 138 | 110 122 127 | 100 108 115 | 93 102 107 |
| | 112 122 130 | 121 130 135 | 109 120 125 | 101 110 115 | 93 103 109 |
| | 115 126 130 | 120 133 136 | 110 118 124 | 101 109 114 | 94 103 107 |
| | 117 127 134 | 120 132 136 | 110 120 126 | 100 109 112 | 93 104 107 |
| | 118 126 138 | 118 130 135 | 111 121 125 | 101 109 113 | 95 103 108 |
| | 120 125 139 | 120 132 137 | 110 122 128 | 102 109 114 | 93 103 110 |
| | 122 128 140 | 122 130 137 | 109 122 127 | 101 111 115 | 93 104 107 |
| | 122 130 138 | 120 130 135 | 109 121 126 | 100 108 116 | 93 103 109 |
| | 126 128 140 | 122 131 137 | 113 122 127 | 102 109 118 | 95 102 108 |

ตารางที่ ก.1(ต่อ)

| อัตราการใช้ไฟฟ้า ต่อเซ็นเซอร์ | เวลาพ่นน้ำต่อถักหน้าแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 1.5s | 2.0s | 3.0s | 4.0s | 5.0s |
| 7.6 ถักต่อหน้า | 124 133 144 | 122 132 137 | 111 122 129 | 101 110 117 | 95 103 108 |
| | 126 131 141 | 121 132 136 | 109 121 126 | 103 112 116 | 93 104 109 |
| 8.1 ถักต่อหน้า | 109 119 123 | 112 120 125 | 102 111 116 | 96 102 109 | 93 101 103 |
| | 109 119 126 | 110 118 123 | 106 114 118 | 99 106 110 | 94 102 106 |
| | 110 120 130 | 112 122 128 | 107 116 119 | 98 108 112 | 94 102 108 |
| | 110 120 126 | 113 123 127 | 107 115 121 | 100 109 111 | 94 102 107 |
| | 110 122 127 | 113 124 130 | 107 114 120 | 101 110 112 | 94 103 108 |
| | 113 124 130 | 114 126 131 | 108 116 121 | 103 112 114 | 94 103 108 |
| | 113 125 131 | 116 129 132 | 106 119 122 | 103 111 115 | 93 102 107 |
| | 115 126 132 | 117 129 133 | 108 117 123 | 102 111 114 | 94 103 107 |
| | 114 127 132 | 117 128 132 | 109 119 125 | 103 110 112 | 94 104 108 |
| | 116 129 133 | 118 127 133 | 108 117 122 | 104 112 115 | 95 106 110 |
| | 118 130 135 | 119 128 134 | 110 119 124 | 102 113 116 | 95 107 111 |
| | 118 131 136 | 117 129 132 | 108 120 123 | 103 114 117 | 95 106 110 |
| | 119 131 135 | 118 130 133 | 109 120 122 | 104 113 116 | 94 102 107 |
| | 118 129 132 | 117 127 133 | 110 118 120 | 103 114 116 | 93 101 110 |
| 120 131 134 | 117 129 132 | 109 118 122 | 103 114 116 | 93 101 110 | |

ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 3 จุด อยู่บริเวณห้องเก็บซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดข้อบกพร่องมากที่สุด รูปที่ ก.1 ประกอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 รูปแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์ที่ 3 จุด

อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์ที่วัดได้ต้องนำมาเฉลี่ย เพื่อเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ ก.2 พร้อมทั้งหาค่าต่างๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงอุณหภูมิผิวหนังแม่พิมพ์เฉลี่ย(°C) ที่สภาวะการฉีดต่างๆ

| อัตราการไหลเข้า หล่อเป็นแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์(วินาที) | | | | | | | | | | ΣL |
|-------------------------------------|--|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|----|
| | 1.5 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 6.7 ลิตรต่อนาที | 112.67 | 135.00 | 116.00 | 129.33 | 117.00 | 123.67 | 111.33 | 115.33 | 100.67 | 106.67 | |
| | 112.00 | 133.67 | 115.67 | 131.33 | 119.67 | 124.33 | 114.00 | 115.67 | 102.33 | 105.33 | |
| | 112.33 | 138.33 | 121.00 | 133.67 | 121.33 | 123.33 | 115.67 | 115.00 | 101.67 | 105.67 | |
| | 115.33 | 140.67 | 119.33 | 135.33 | 120.67 | 124.67 | 113.67 | 114.67 | 101.67 | 106.00 | |
| | 124.33 | 138.00 | 123.00 | 137.00 | 121.00 | 124.67 | 114.33 | 115.00 | 104.67 | 105.67 | |
| | 125.33 | 139.33 | 127.00 | 135.33 | 120.33 | 126.00 | 117.00 | 116.00 | 105.00 | 105.00 | |
| | 125.00 | 135.67 | 128.33 | 134.67 | 122.00 | 125.67 | 115.00 | 116.33 | 104.67 | 106.00 | |
| | 130.33 | | 129.33 | | 124.00 | | 115.33 | | 106.00 | | |
| | 1918.00 | | 1916.33 | | 1838.33 | | 1724.33 | | 1567.00 | 8964.00 | |
| 7.2 ลิตรต่อนาที | 121.33 | 131.67 | 119.00 | 129.67 | 115.00 | 117.67 | 105.33 | 110.33 | 98.00 | 100.33 | |
| | 121.67 | 133.67 | 120.33 | 132.67 | 115.00 | 117.00 | 107.33 | 111.67 | 99.67 | 73.33 | |
| | 123.00 | 134.67 | 121.67 | 134.00 | 115.33 | 117.67 | 110.33 | 110.33 | 100.33 | 101.33 | |
| | 124.67 | 135.33 | 123.33 | 134.67 | 114.33 | 120.33 | 109.67 | 111.67 | 101.33 | 101.33 | |
| | 125.00 | 135.67 | 125.67 | 135.67 | 116.33 | 119.33 | 109.33 | 111.33 | 101.00 | 101.33 | |
| | 126.00 | 137.33 | 127.67 | 138.00 | 116.67 | 120.67 | 110.33 | 112.00 | 100.67 | 102.33 | |
| | 127.00 | 138.33 | 128.67 | 138.67 | 116.67 | 119.00 | 145.67 | 111.00 | 100.67 | 101.00 | |
| | 130.00 | | 130.00 | | 118.00 | | 111.00 | | 100.67 | | |
| | 1945.33 | | 1939.67 | | 1759.00 | | 1687.33 | | 1483.33 | 8814.67 | |
| 7.6 ลิตรต่อนาที | 104.00 | 127.33 | 118.00 | 127.67 | 119.33 | 119.00 | 107.33 | 107.67 | 97.67 | 102.00 | |
| | 108.33 | 128.00 | 119.00 | 129.67 | 119.00 | 120.00 | 108.00 | 108.33 | 100.00 | 102.00 | |
| | 115.00 | 130.00 | 123.33 | 129.67 | 118.67 | 119.33 | 107.67 | 109.00 | 100.67 | 101.33 | |
| | 115.00 | 130.00 | 126.33 | 128.33 | 119.33 | 118.67 | 107.00 | 108.00 | 100.00 | 101.67 | |
| | 117.67 | 131.33 | 129.33 | 130.00 | 119.67 | 120.67 | 107.67 | 109.67 | 100.67 | 101.67 | |
| | 121.33 | 133.67 | 128.67 | 130.33 | 118.00 | 120.67 | 108.67 | 109.33 | 101.67 | 102.00 | |
| | 123.67 | 132.67 | 129.67 | 129.67 | 117.33 | 118.67 | 108.00 | 110.33 | 101.33 | 102.00 | |
| | 126.00 | | 129.33 | | 118.67 | | 107.00 | | 101.33 | | |
| | 1844.00 | | 1909.00 | | 1787.00 | | 1623.67 | | 1516.00 | 8679.67 | |

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

| อัตราการไหล ต่อเขื่อนแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำต่อพื้นที่หน้าแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | | | | | | | y ₁ |
|----------------------------------|---|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|-----------------|----------------|
| | 1.5 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 8.1 ถังต่ออากาศ | 117.00 | 124.33 | 119.00 | 125.67 | 109.67 | 117.67 | 102.33 | 108.33 | 99.00 | 102.00 | |
| | 118.00 | 126.00 | 117.00 | 126.00 | 112.67 | 115.67 | 105.00 | 110.33 | 100.67 | 103.67 | |
| | 87.00 | 127.67 | 120.67 | 127.00 | 114.00 | 117.67 | 106.00 | 110.33 | 101.33 | 104.33 | |
| | 118.67 | 128.33 | 121.00 | 126.00 | 114.33 | 117.00 | 106.67 | 111.33 | 101.00 | 103.67 | |
| | 119.67 | 128.33 | 122.33 | 127.00 | 113.67 | 117.00 | 107.67 | 111.00 | 101.67 | 101.00 | |
| | 122.33 | 126.33 | 123.67 | 125.67 | 115.00 | 116.00 | 109.67 | 111.00 | 101.67 | 101.33 | |
| | 123.00 | 128.33 | 125.67 | 126.00 | 115.67 | 116.33 | 109.67 | 111.00 | 100.67 | 101.33 | |
| | 124.33 | | 126.33 | | 116.00 | | 109.00 | | 101.33 | | |
| | 1820.83 | | 1861.00 | | 1731.33 | | 1633.33 | | 1529.67 | 8576.17 | |
| y ₁ | 7528.17 | | 7626.00 | | 7115.67 | | 6668.67 | | 6096.00 | 35019.00 | |
| | | | | | | | | | | -y ₁ | |

เมื่อบันทึกอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์แต่ละสภาวะการฉีดแล้ว นำชิ้นงานที่ได้มาทำการตรวจสอบระดับคุณภาพผิว ได้ผลดังตารางที่ ก.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงระดับคุณภาพผิวที่สภาวะการฉีดต่างๆ (นำชิ้นงานที่ฉีดได้จากสภาวะใน ตารางที่ ก.1 มาทำการตรวจสอบและแยกระดับคุณภาพผิว)

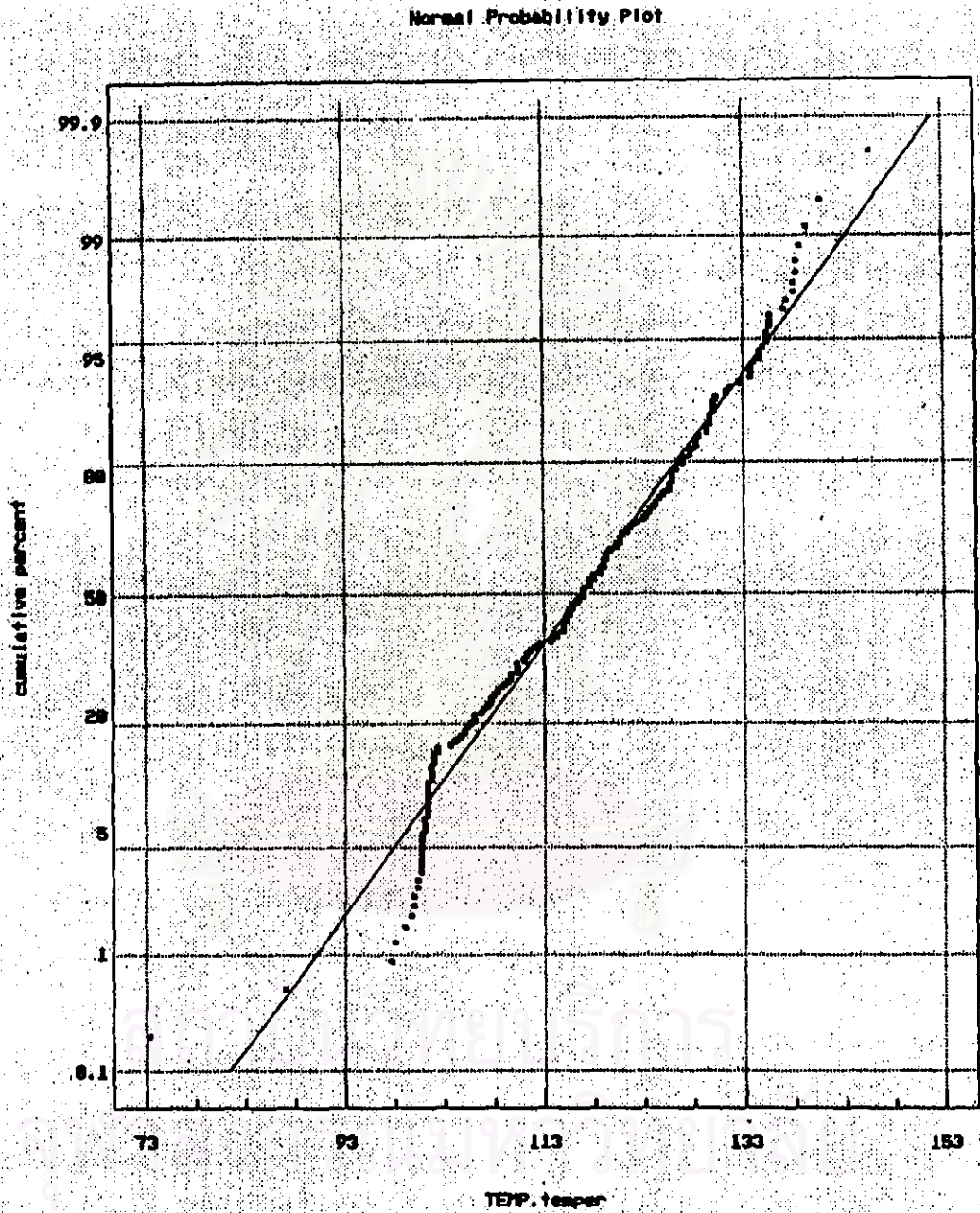
| อัตราการผลิต หล่อชิ้นแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำต่อต้นหน้าแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | | | | | | | y _L |
|----------------------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5s | | |
| 6.7 ถัดหน้า | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| | 4 | | 4 | | 4 | | 4 | | 2 | | |
| | | 60 | | 59 | | 56 | | 47 | | 30 | 252 |
| 7.2 ถัดหน้า | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | |
| | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | |
| | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | |
| | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | 4 | | 4 | | 4 | | 4 | | 2 | | |
| | | 56 | | 59 | | 51 | | 44 | | 28 | 238 |
| 7.6 ถัดหน้า | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | |
| | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | |
| | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | |
| | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | |
| | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | |

ตารางที่ ก.3(ต่อ)

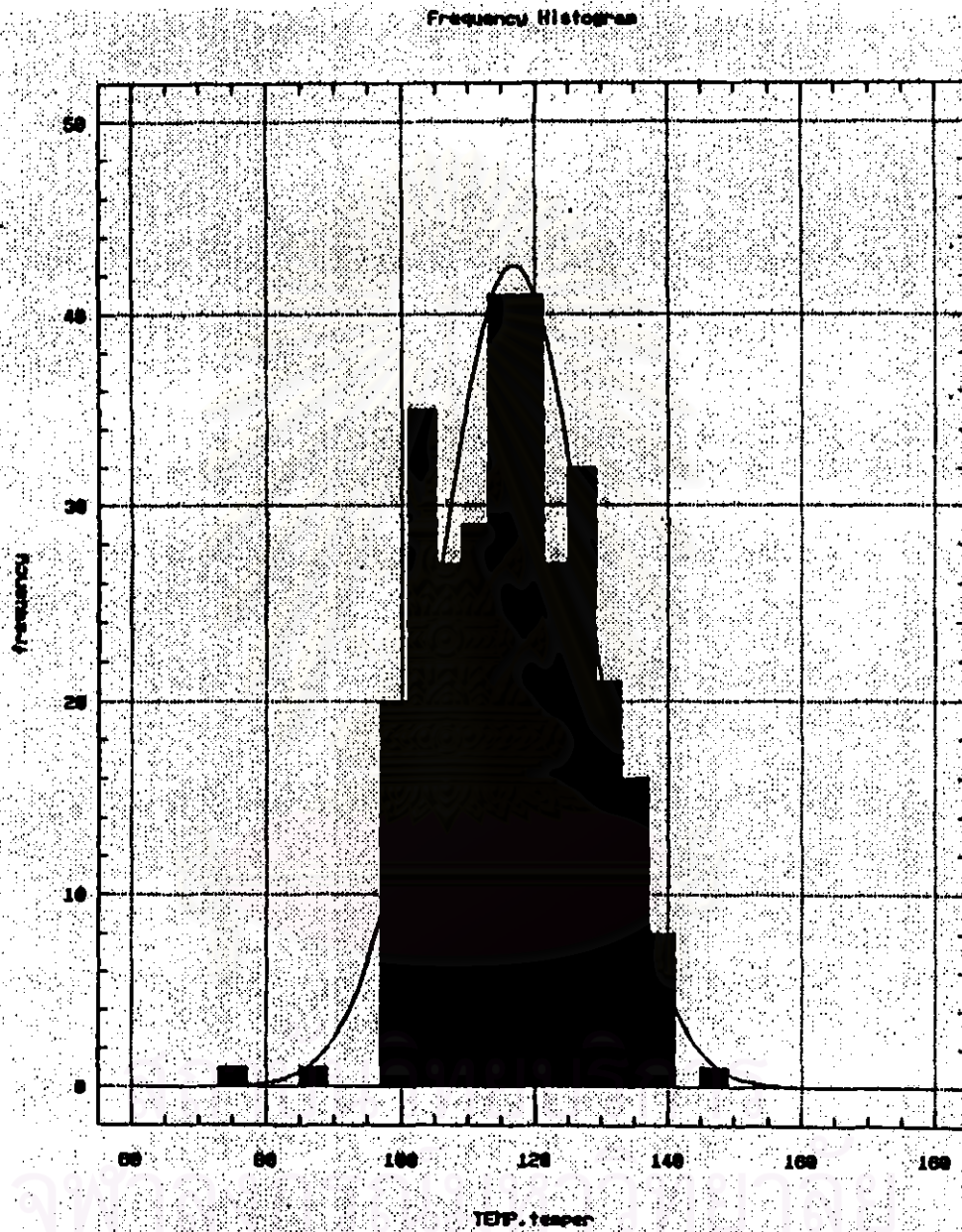
| อัตราการใช้หน้า หล่อชิ้นแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำหล่อชิ้นหน้าแม่พิมพ์ (วินาที) | | | | | | | | | | y _i |
|-------------------------------------|---|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----------------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5 s | | |
| 7.6 ถิตรต่อนาที | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 219 |
| | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | |
| | 4 | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 | | |
| | | 55 | | 51 | | 40 | | 41 | | 32 | |
| 8.1 ถิตรต่อนาที | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 164 |
| | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | |
| | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | |
| | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | |
| | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | |
| | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | |
| | 3 | | 1 | | 2 | | 3 | | 2 | | |
| | | 35 | | 35 | | 34 | | 35 | | 25 | |
| y _j | | 206 | | 204 | | 181 | | 167 | | 115 | 873.00 |
| | | | | | | | | | | | -y... |

ก.2 การทดสอบการกระจายของข้อมูล

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองในตารางที่ ก.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหน้าแม่พิมพ์ในสภาวะการฉีดต่างๆ มาทำการทดสอบการกระจายว่าการกระจายเป็นแบบนอร์มอล (Normal Probability) หรือไม่ โดยทำการวาดกราฟ Normal Probability Plot ถ้าข้อมูลที่เก็บมา มีการกระจายแบบนอร์มอลแล้วเส้นกราฟที่ได้จะดูตกเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ ก.2 และวาดกราฟ Frequency Histogram เป็นการวาดกราฟแสดงจำนวนข้อมูล(แผนภูมิแท่ง) และเส้นโค้งที่มีการกระจายแบบปกติ(เป็นรูปประฆังคว่ำ) ดังรูปที่ ก.3 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมา มีการกระจายแบบปกติ



รูปที่ ก.2 รูปแสดงกราฟ Normal Probability Plot ของอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์ ($^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ ก.3 รูปแสดงกราฟ Frequency Histogram ของอุณหภูมิผิวหนังแม่พิมพ์ (°C)

ก.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของข้อมูล (Model Adequacy Checking)

เนื่องจากการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะการฉีด ดังนั้นต้องทำการทดสอบความสม่ำเสมอของข้อมูลที่แปรตามปัจจัยหลักทั้งสองตัวด้วย โดยทำการตรวจสอบค่าของข้อมูลที่เบี่ยงเบนจากค่ากลาง โดยทำการหาค่า Residuals ของการทดลองดังสูตรต่อไปนี้

$$e_{jk} = y_{jk} - \bar{y}_{.j}$$

จากสูตรเป็นการหาค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลที่เก็บได้กับค่าเฉลี่ย ซึ่งค่า Residuals ของการทดลองแสดงในตารางที่ ก.4

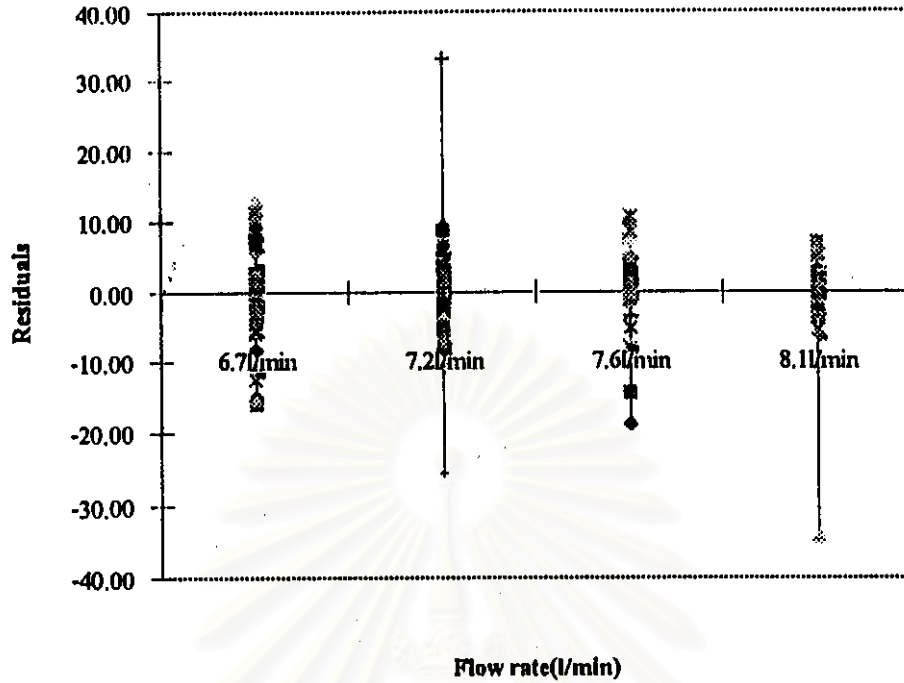
ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่า Residuals ของการทดลอง (อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์)

| อัตราการผลิต หล่อชิ้นแม่พิมพ์ | เวลาการพ่นนำหล่อชิ้นแม่พิมพ์(วินาที) | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5s | |
| 6.7 ลิตรต่อนาที | -15.20 | 7.13 | -11.76 | 1.57 | -5.56 | 1.11 | -3.63 | 0.37 | -3.80 | 2.20 |
| | -15.87 | 5.80 | -12.09 | 3.57 | -2.89 | 1.77 | -0.96 | 0.71 | -2.14 | 0.86 |
| | -15.54 | 10.46 | -6.76 | 5.91 | -1.23 | 0.77 | 0.71 | 0.04 | -2.80 | 1.20 |
| | -12.54 | 12.80 | -8.43 | 7.57 | -1.89 | 2.11 | -1.29 | -0.29 | -2.80 | 1.53 |
| | -3.54 | 10.13 | -4.76 | 9.24 | -1.56 | 2.11 | -0.63 | 0.04 | 0.20 | 1.20 |
| | -2.54 | 11.46 | -0.76 | 7.57 | -2.23 | 3.44 | 2.04 | 1.04 | 0.53 | 0.53 |
| | -2.87 | 7.80 | 0.57 | 6.91 | -0.56 | 3.11 | 0.04 | 1.37 | 0.20 | 1.53 |
| | 2.46 | | 1.57 | | 1.44 | | 0.37 | | 1.53 | |
| 7.2 ลิตรต่อนาที | -8.36 | 1.98 | -10.31 | 0.36 | -2.27 | 0.40 | -7.16 | -2.16 | -0.89 | 1.44 |
| | -8.02 | 3.98 | -8.98 | 3.36 | -2.27 | -0.27 | -5.16 | -0.82 | 0.78 | -25.56 |
| | -6.69 | 4.98 | -7.64 | 4.69 | -1.94 | 0.40 | -2.16 | -2.16 | 1.44 | 2.44 |
| | -5.02 | 5.64 | -5.98 | 5.36 | -2.94 | 3.06 | -2.82 | -0.82 | 2.44 | 2.44 |
| | -4.69 | 5.98 | -3.64 | 6.36 | -0.94 | 2.06 | -3.16 | -1.16 | 2.11 | 2.44 |
| | -3.69 | 7.64 | -1.64 | 8.69 | -0.60 | 3.40 | -2.16 | -0.49 | 1.78 | 3.44 |
| | -2.69 | 8.64 | -0.64 | 9.36 | -0.60 | 1.73 | 33.18 | -1.49 | 1.78 | 2.11 |
| | 0.31 | | 0.69 | | 0.73 | | -1.49 | | 1.78 | |

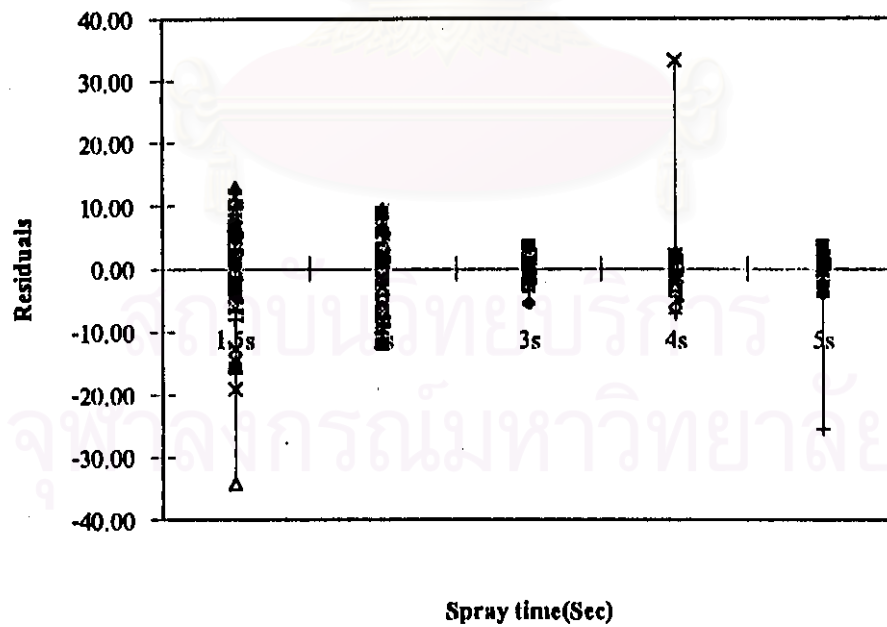
ตารางที่ ก.4(ต่อ)

| อัตราการไหลน้ำ हतोचैनमैपिथ | เวลาการพ่นน้ำहतोचैनमैपिथ(วินาที) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5 s | |
| 7.6 ทิศต่อน้ำ | -18.93 | 4.40 | -9.27 | 0.40 | 0.20 | -0.13 | -0.91 | -0.57 | -3.40 | 0.93 |
| | -14.60 | 5.07 | -8.27 | 2.40 | -0.13 | 0.87 | -0.24 | 0.09 | -1.07 | 0.93 |
| | -7.93 | 7.07 | -3.94 | 2.40 | -0.46 | 0.20 | -0.57 | 0.76 | -0.40 | 0.26 |
| | -7.93 | 7.07 | -0.94 | 1.06 | 0.20 | -0.46 | -1.24 | -0.24 | -1.07 | 0.60 |
| | -5.26 | 8.40 | 2.06 | 2.73 | 0.54 | 1.54 | -0.57 | 1.43 | -0.40 | 0.60 |
| | -1.60 | 10.74 | 1.40 | 3.06 | -1.13 | 1.54 | 0.43 | 1.09 | 0.60 | 0.93 |
| | 0.74 | 9.74 | 2.40 | 2.40 | -1.80 | -0.46 | -0.24 | 2.09 | 0.26 | 0.93 |
| | 3.07 | | 2.06 | | -0.46 | | -1.24 | | 0.26 | |
| 8.1 ทิศต่อน้ำ | -4.29 | 3.04 | -4.93 | 1.74 | -5.55 | 2.45 | -6.29 | -0.29 | -2.64 | 0.36 |
| | -3.29 | 4.71 | -6.93 | 2.07 | -2.55 | 0.45 | -3.62 | 1.71 | -0.97 | 2.03 |
| | -34.29 | 6.38 | -3.26 | 3.07 | -1.22 | 2.45 | -2.62 | 1.71 | -0.31 | 2.69 |
| | -2.62 | 7.04 | -2.93 | 2.07 | -0.89 | 1.78 | -1.95 | 2.71 | -0.64 | 2.03 |
| | -1.62 | 7.04 | -1.60 | 3.07 | -1.55 | 1.78 | -0.95 | 2.38 | 0.03 | -0.64 |
| | 1.04 | 5.04 | -0.26 | 1.74 | -0.22 | 0.78 | 1.05 | 2.38 | 0.03 | -0.31 |
| | 1.71 | 7.04 | 1.74 | 2.07 | 0.45 | 1.11 | 1.05 | 2.38 | -0.97 | -0.31 |
| | 3.04 | | 2.40 | | 0.78 | | 0.38 | | -0.31 | |

นำค่า Residuals ที่ได้มาวาดกราฟเพื่อแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล โดยวาดกราฟระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำहतोचैनमैपिथ กับค่า Residuals ของอุณหภูมิตัวหน้าของแม่พิมพ์ ดังรูปที่ ก.4 และวาดกราฟระหว่างเวลาการพ่นน้ำहतोचैनमैपिथกับค่า Residuals ของอุณหภูมิตัวหน้าของแม่พิมพ์ ดังรูปที่ ก.5 เมื่อพิจารณารูปที่ ก.4และรูปที่ ก.5 แล้วอธิบายได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายที่สม่ำเสมอ คือทั้งด้านบวกและด้านลบมีปริมาณข้อมูลพอๆกัน ในการวาดกราฟแบ่งตามปัจจัยทั้งสองปัจจัย และข้อมูลเกาะกลุ่มกันไม่กระจายตัวมาก



รูปที่ ก.4 รูปแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล(อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์)แบ่งตามอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์



รูปที่ ก.5 รูปแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล(อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์)แบ่งตามเวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์

เมื่อตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงานแบ่งระดับคุณภาพแล้ว นำข้อมูลที่ได้จากตาราง ก.3 มาทำการหาค่า Residuals เพื่อดูการกระจายของระดับคุณภาพผิวชิ้นงานว่า ที่สภาวะเดียวกันให้คุณภาพผิวต่างกันอย่างไร โดยทำการทดสอบความสม่ำเสมอของข้อมูลที่แปรตามปัจจัยหลักทั้งสองตัวด้วย โดยทำการตรวจสอบค่าของข้อมูลที่เบี่ยงเบนจากค่ากลาง โดยทำการหาค่า Residuals ของการทดลองดังสูตรต่อไปนี้

$$e_{jk} = y_{jk} - \bar{y}_{.k}$$

จากสูตรเป็นการหาค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลที่เก็บได้กับค่าเฉลี่ย ซึ่งค่า Residuals ของการทดลองแสดงในตารางที่ ก.5

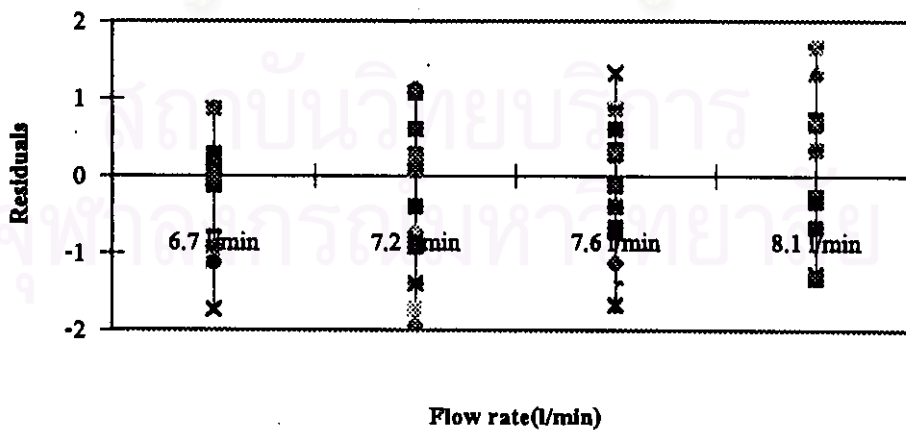
ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่า Residuals ของการทดลอง (ระดับคุณภาพผิวชิ้นงาน)

| อัตราการผลิตของน้ำ หล่อเย็นแม่พิมพ์ | เวลาการพ่นนำหล่อขึ้นหน้าแม่พิมพ์(วินาที) | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5s | |
| 6.7 ถิตร่อนาที | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.27 | -1.13 | -0.13 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | -1.73 | -0.13 | -0.13 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.27 | -0.13 | -0.13 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.27 | 0.87 | -0.13 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | -0.93 | 0.07 | 0.27 | 0.27 | -1.13 | 0.87 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | -0.73 | -0.73 | 0.87 | 0.87 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.27 | -0.13 | -1.13 | 0 | 0 |
| | 0 | | 0.07 | | 0.27 | | 0.87 | | 0 | |
| 7.2 ถิตร่อนาที | 0.27 | 0.27 | -0.93 | 0.07 | 0.6 | -0.4 | -1.93 | 0.07 | 0.13 | -0.87 |
| | 0.27 | -0.73 | 0.07 | 0.07 | 0.6 | -1.4 | 0.07 | 1.07 | -0.87 | 0.13 |
| | 0.27 | -1.73 | 0.07 | 0.07 | 0.6 | -0.4 | 0.07 | 1.07 | 0.13 | 0.13 |
| | 0.27 | -0.73 | 0.07 | 0.07 | -0.4 | -0.4 | 0.07 | 0.07 | 1.13 | 0.13 |
| | 0.27 | 0.27 | 0.07 | 0.07 | 0.6 | 0.6 | 0.07 | 0.07 | 0.13 | 0.13 |
| | 0.27 | 0.27 | 0.07 | 0.07 | 0.6 | -0.4 | 1.07 | -0.93 | 0.13 | -0.87 |
| | 0.27 | 0.27 | 0.07 | 0.07 | 0.6 | -1.4 | -0.93 | -0.93 | 0.13 | 0.13 |
| | 0.27 | | 0.07 | | 0.6 | | 1.07 | | 0.13 | |
| 7.6 ถิตร่อนาที | 0.33 | -0.67 | -0.4 | -0.4 | 1.33 | 0.33 | -0.73 | 0.27 | -1.13 | -1.13 |
| | -0.67 | 0.33 | -1.4 | 0.6 | 0.33 | -0.67 | 0.27 | 0.27 | -1.13 | 0.87 |
| | 0.33 | 0.33 | -0.4 | 0.6 | 0.33 | 0.33 | -0.73 | -0.73 | 0.87 | 0.87 |
| | 0.33 | 0.33 | 0.6 | -0.4 | 0.33 | -0.67 | 0.27 | 0.27 | -1.13 | 0.87 |

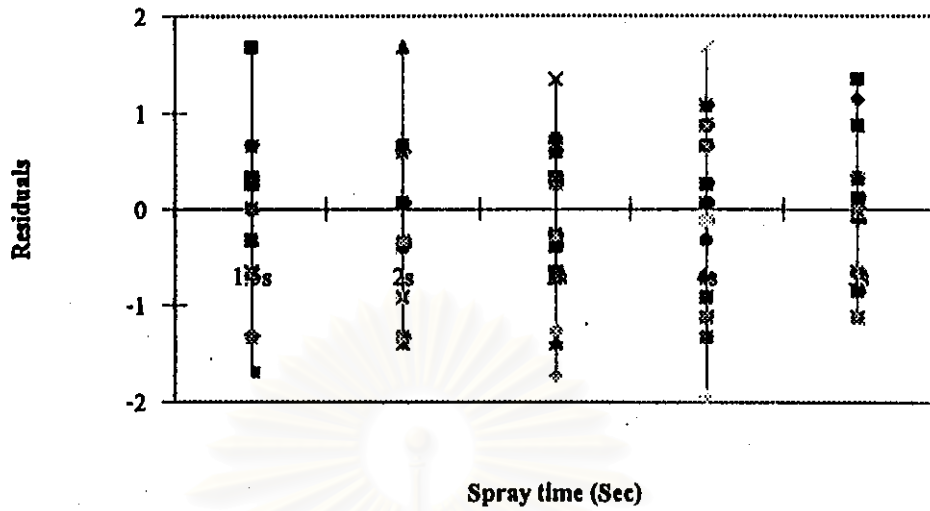
ตารางที่ ก.5(ต่อ)

| อัตราการไหลของน้ำ หล่อเย็นแม่พิมพ์ | เวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์(วินาที) | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | | 4s | | 5 s | |
| 7.6 ลิตรต่อนาที | -1.67 | 0.33 | 0.6 | 0.6 | 0.33 | -0.67 | 0.27 | 0.27 | -0.13 | -0.13 |
| | 0.33 | 0.33 | -0.4 | 0.6 | -0.67 | -0.67 | 0.27 | 0.27 | -0.13 | -0.13 |
| | -0.67 | 0.33 | -0.4 | 0.6 | 0.33 | -0.67 | 0.27 | -0.73 | 0.87 | -0.13 |
| | 0.33 | | -0.4 | | 0.33 | | 0.27 | | 0.87 | |
| 8.1 ลิตรต่อนาที | 0.67 | -1.33 | 0.67 | -0.33 | -1.27 | -0.27 | -1.33 | 0.67 | -0.67 | -0.67 |
| | -0.33 | -1.33 | -1.33 | -0.33 | -0.27 | 0.73 | -1.33 | -0.33 | 0.33 | 0.33 |
| | -1.33 | 1.67 | 0.67 | 0.67 | -0.27 | 0.73 | -1.33 | 0.67 | -0.67 | 1.33 |
| | 0.67 | -0.33 | -0.33 | 1.67 | -0.27 | 0.73 | 0.67 | -1.33 | -0.67 | 0.33 |
| | 0.67 | -1.33 | 0.67 | -0.33 | -1.27 | 0.73 | 0.67 | 1.67 | 0.33 | -0.67 |
| | -1.33 | 0.67 | -1.33 | 0.67 | -0.27 | -0.27 | 0.67 | 0.67 | -0.67 | -0.67 |
| | 1.67 | 0.67 | -0.33 | 0.67 | 0.73 | 0.73 | -0.33 | -0.33 | 0.33 | 1.33 |
| | 0.67 | | -1.33 | | -0.27 | | 0.67 | | 0.33 | |

นำค่า Residuals ที่ได้มาวาดกราฟเพื่อแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล โดยวาดกราฟระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ กับค่า Residuals ของระดับคุณภาพผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ ก.6 และวาดกราฟระหว่างเวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์กับค่า Residuals ของระดับคุณภาพผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.6 รูปแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล(ระดับคุณภาพผิวชิ้นงาน)แบ่งตามอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์



รูปที่ ก.7 รูปแสดงความสม่ำเสมอของข้อมูล(ระดับคุณภาพผิวชิ้นงาน)แบ่งตามเวลาการพ่นน้ำหล่อ
ลื่นหน้าแม่พิมพ์

ก.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากตัวอย่างตาราง ANOVA ดังตารางที่ 2.4 เมื่อต้องการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ความแตกต่างรวมออกมาในรูปของค่าความแปรปรวนแล้วแปรเป็นความแตกต่างย่อย จากนั้นนำความแตกต่างย่อยนั้นมาเปรียบเทียบกับความแตกต่างใดมีค่ามากแสดงว่าปัจจัยตัวนั้นมีผล ข้อดีของการใช้ ANOVA เป็นการแก้ปัญหาการเฟ้อของ α (inflated risk) ซึ่งต้องหาค่า Sum of Square ของปัจจัยทุกตัว

ก.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์

จากตารางที่ ก.2 ซึ่งเป็นตารางแสดงอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์เฉลี่ย($^{\circ}\text{C}$) ที่สภาวะการฉีดต่างๆ นำข้อมูลในตารางมาคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{Total}} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - (y_{...}^2 / abn) \\
 &= ((112.67)^2 + (112.00)^2 + (112.33)^2 + \dots + (101.33)^2) - \frac{(35019.00)^2}{(4 \times 5 \times 15)} \\
 &= 4,125,550.56 - 4,087,767.87
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 37,782.69 \\
SS_{\text{flow rate}} &= \sum_{i=1}^a (y_{i.}^2 / bn) - (y_{...}^2 / abn) \\
&= \frac{(8,964.00)^2 + (8,814.67)^2 + (8,679.67)^2 + (8,560.67)^2}{(5)(15)} - \frac{(35019.00)^2}{(4)(5)(15)} \\
&= \frac{306,673,271.67}{75} - 4,087,767.87 \\
&= 4,088,976.96 - 4,087,767.87 \\
&= 1,209.09 \\
SS_{\text{spray time}} &= \sum_{j=1}^b (y_{.j}^2 / an) - (y_{...}^2 / abn) \\
&= \frac{((7,526.67)^2 + (7,624.00)^2 + (7,112.67)^2 + (6,664.67)^2 + (6,091.00)^2)}{(4)(15)} - \frac{(35019.00)^2}{(4)(5)(15)} \\
&= 4,114,736.28 - 4,087,767.87 \\
&= 26,968.41 \\
SS_{\text{interaction}} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij}^2 / n) - (y_{...}^2 / abn) - SS_{\text{flow rate}} - SS_{\text{spray time}} \\
&= \frac{((1,918.00)^2 + (1,945.33)^2 + (1,844.00)^2 + \dots + (1,524.67)^2)}{15} - \frac{(35,019)^2}{(4)(5)(15)} - 1,209.09 - 26,968.41 \\
&= 4,116,818.96 - 4,087,767.87 - 1,209.09 - 26,968.41 \\
&= 873.59 \\
SS_{\text{error}} &= SS_{\text{Total}} - SS_{\text{flow rate}} - SS_{\text{spray time}} - SS_{\text{interaction}} \\
&= 37,782.69 - 1,209.09 - 26,968.41 - 873.59 \\
&= 8,731.60
\end{aligned}$$

นำค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปแทนค่าเพื่อหาค่า F_0 ดังตารางที่ ก.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 ตารางANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกับคุณภาพของแม่พิมพ์

| Source of Variation | Sum of Squares | Degrees of Freedom | Mean Square | F _o |
|---------------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|
| Flow rate | 1209.09 | 3 | 403.03 | 12.92* |
| Spray time | 26968.41 | 4 | 6742.10 | 216.2* |
| Interaction | 873.59 | 12 | 72.80 | 2.33 * |
| Error | 8731.60 | 280 | 31.18 | |
| Total | 37782.69 | 299 | | |

$$F_{.10,3,280} = 2.08$$

$$F_{.05,3,280} = 2.60$$

$$F_{.10,4,280} = 1.94$$

$$F_{.05,4,280} = 2.37$$

ก.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยกับคุณภาพผิวชิ้นงาน

จากตารางที่ ก.3 ซึ่งเป็นตารางแสดงระดับคุณภาพผิวชิ้นงานที่สภาวะการฉีดต่างๆ นำข้อมูลในตารางมาคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{Total}} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - (y_{...}^2 / abn) \\
 &= ((4)^2 + (4)^2 + (4)^2 + \dots + (3)^2) - \frac{(873)^2}{(4 \times 5 \times 15)} \\
 &= 2,837.00 - 2,540.43 \\
 &= 296.57
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{flow rate}} &= \sum_{i=1}^a (y_{i..}^2 / bn) - (y_{...}^2 / abn) \\
 &= \frac{((252)^2 + (238)^2 + (219)^2 + (164)^2)}{(3 \times 15)} - \frac{(873)^2}{(4 \times 5 \times 15)} \\
 &= 2,600.07 - 2,540.43 \\
 &= 59.64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{spray time}} &= \sum_{j=1}^b (y_{.j.}^2 / an) - (y_{...}^2 / abn) \\
 &= \frac{((206)^2 + (204)^2 + (181)^2 + (167)^2 + (115)^2)}{(4 \times 15)} - \frac{(873)^2}{(4 \times 5 \times 15)} \\
 &= 2,632.12 - 2,540.43 \\
 &= 91.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{interaction}} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij}^2 / n) - (y_{...}^2 / abn) - SS_{\text{flow rate}} - SS_{\text{spray time}} \\
 &= \frac{((60)^2 + (56)^2 + (55)^2 + (35)^2 + \dots + (28)^2 + (32)^2 + (25)^2)}{15} - \frac{(873)^2}{(4)(5)(15)} - 59.64 - 91.69 \\
 &= 2,710.07 - 2,540.43 - 59.64 - 91.69 \\
 &= 18.31
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{error}} &= SS_{\text{Total}} - SS_{\text{flow rate}} - SS_{\text{spray time}} - SS_{\text{interaction}} \\
 &= 296.57 - 59.64 - 91.69 - 18.31 \\
 &= 126.93
 \end{aligned}$$

นำค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปแทนค่าเพื่อหาค่า F_0 ดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์หึ่งปัจจัยกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน(พิจารณาโฟลว์ ไกน์และโคคค์ซ์ด)

| Source of Variation | Sum of Squares | Degrees of Freedom | Mean Square | F_0 |
|---------------------|----------------|--------------------|-------------|---------|
| Flow rate | 59.64 | 3 | 19.88 | 44.18 * |
| Spray time | 91.69 | 4 | 22.92 | 50.93 * |
| Interaction | 18.31 | 12 | 1.53 | 3.40 * |
| Error | 126.93 | 280 | 0.45 | |
| Total | 296.57 | 299 | | |

$$F_{.05,3,280} = 2.60 \quad F_{.05,4,280} = 2.37$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

นายไฉนมิตร สุขก้องวาริ เกิดเมื่อวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2517 ที่อำเภอเมือง จังหวัดชบบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2537 จากนั้นได้เข้าทำงานบริษัท เมืองทองอุตสาหกรรมอะลูมิเนียม จำกัด เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นได้ลาศึกษาต่อ ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย