

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยะ ศิริธรรมปิติ, 2550. การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] รศ.ดร. ปารเมศ ชูติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, 2545
- [3] รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และรศ.ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์: การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.
- [4] Tangjitsitcharoen, S. and Rungruang, C., Effect of various strategies on cutting performance for ball end milling, 2nd Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems, II-11-7, 2009
- [5] Tangjitsitcharoen, S., Monitoring of dry cutting and applications of cutting fluid, Journal of Engineering Tribology, Vol.224 NoJ2, pp.209-219, 2010
- [6] Tangjitsitcharoen, S., Rungruang, C. and Laiaddee, D., Cutting and applications of cutting fluid for ball end milling, 10th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 108-115, 2009.
- [7] Mikell P.Groover, Fundamental of Modern Manufacturing, 3rd ed., USA; John Wiley&Sons, 2007.
- [8] Juneja, L, and Sekhon, G. S., Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, Indian Institute of Technology, India: Delhi, 2003.
- [9] Phillip Ostwald, and Jairo Munoz, Manufacturing Processes and System, 9th ed., USA: John Wiley&Sons, 2004.
- [10] J. W. Sutherland, V. N. Kukur, N. C. King, An experimental investigation of air quality in wet and dry turning, Annals of the CIRP, 49/1 (2000): 64-61.

- [11] M.Y.Noordin, V.C. Venkatesh, S.Sharif, S.Elting, A.Abdullah, **Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel**, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 145, pp. 46-58, 2004
- [12] Basim A. Khidhir, **Selecting of Cutting Parameters from Prediction Model of Cutting Force for Turning Nickel Based Hastelloy C-276 Using Response Surface Methodology**, European Journal of Scientific Research, Vol. 33 No3, pp.525-535, 2009
- [13] N.H. Elmagrabi, C.H.Che Haron, Jaharah A. Ghani,Gusri.A.I, Yasir,M.S,Yanur.B, **Dry Machining of Titanium Alloys and its Impact on the Environment and Tool life**, International Conference on Environmental Research and Technology, pp.773-777, 2008
- [14] T. Thepsonthi, M. Hamdi, K. Mitsui, **Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills**, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 49, pp. 156-162, 2009
- [15] Yusuf Sahin and A.Riza Motorcu, **Surface Roughness Prediction Model in Machining of Carbon Steel by PVD Coated Cutting Tools**, American Journal of Applied Sciences 1(1), pp.12-17, 2004
- [16] Mohamed A. Dabnun, M.S.J. Hashmi, M.A. El-Baradie, **Surface roughness prediction model by design of experiments for turning machinable glass–ceramic (Macor)**, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 164-165, pp. 1289-1293, 2005
- [17] Junakarn Wutilerdcharoenwong, Chansit Charernthamanont, Papichaya Tovichit, **In-Process Monitoring of Surface Finish of Automotive Parts on CNC Turning**, Senior Project, Chulalongkorn University, 2009

- [18] [19] http://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-d_1368.html, เข้าถึงวันที่
9 มีนาคม พ.ศ. 2553

ภาคผนวก

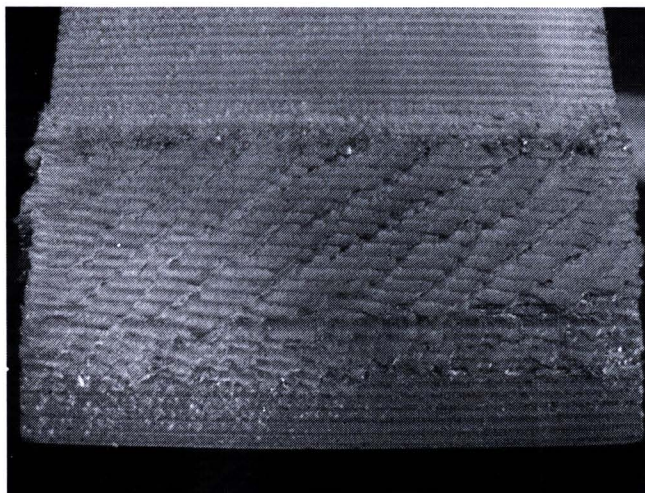
ภาคผนวก ก

Specifications of measuring equipment

Measurement	Model	Uncertainty (%)
Surface Roughness Tester	Surfcom1400D-12	1.57
Particle Sizer	3321	±10

Measurement		Model	Sensitivity (pC/N)
Force sensor	Fx	Kistler 9257B	-7.922
	Fy		-7.912
	Fz		-3.701

ภาคผนวก ข
ภาพถ่ายผิวชิ้นงาน



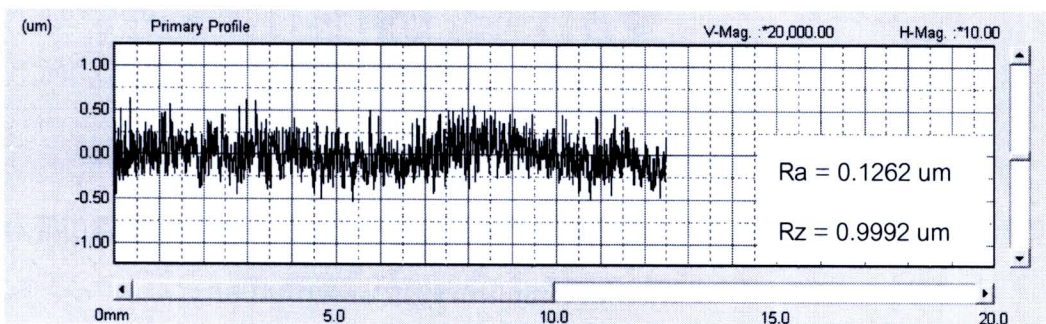
รูปที่ ข1 ผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบตัดสูงในช่วง 10000 – 12000 รอบต่อนาที

ภาคผนวก ค

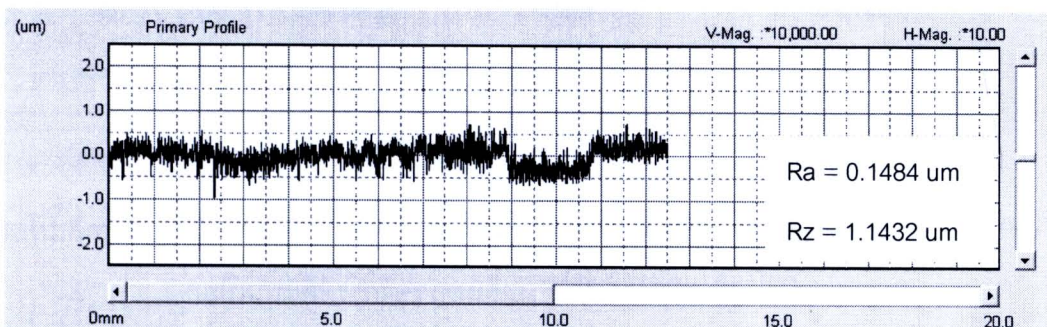
ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัด

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความเร็วรอบต่างกันของการตัดแบบเปียก

จากรูปที่ ค1 และ ค2 จะเห็นว่าการตัดที่ความเร็วรอบสูงจะให้ค่าความหยาบผิวมากกว่าการตัดที่ความเร็วรอบต่ำ



รูปที่ ค1 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก

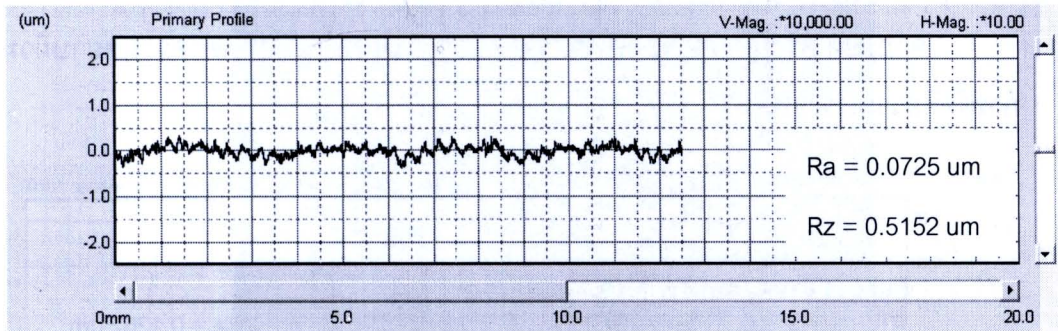


รูปที่ ค2 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก

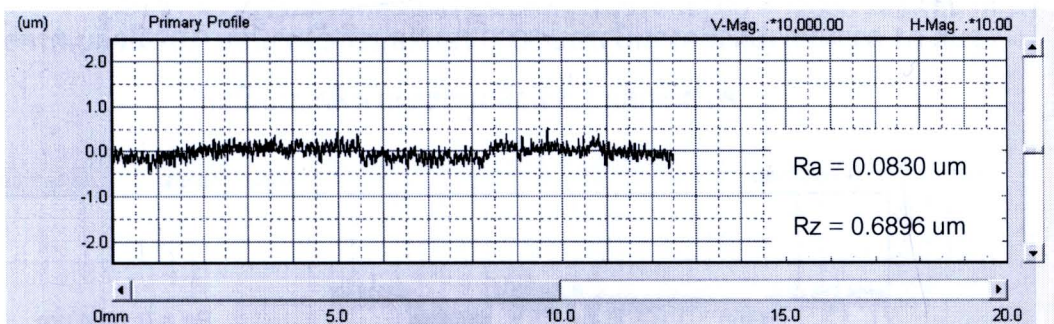


ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่อัตราป้อนต่างกันของการตัดแบบเปียก

จากรูปที่ ค3 และ ค4 จะเห็นว่าการตัดที่อัตราป้อนสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่อัตราป้อนต่ำ



รูปที่ ค3 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก

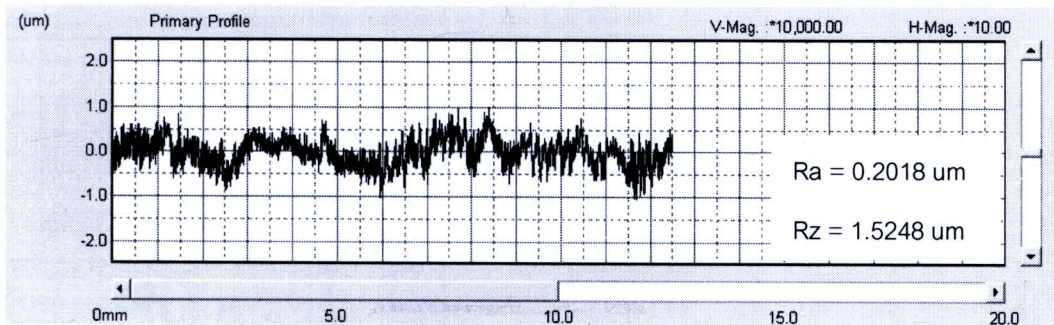


รูปที่ ค4 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก

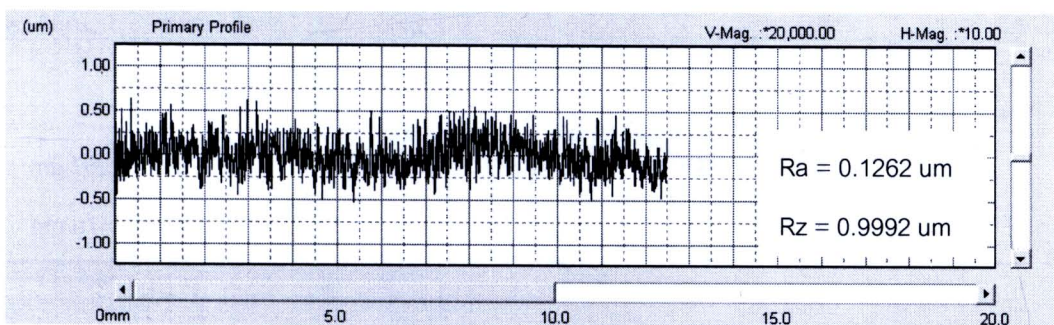


ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความลึกตัดต่างกันของการตัดแบบเปียก

จากรูปที่ ค5 และ ค6 จะเห็นว่าการตัดที่ความลึกตัดสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่ความลึกตัดต่ำ



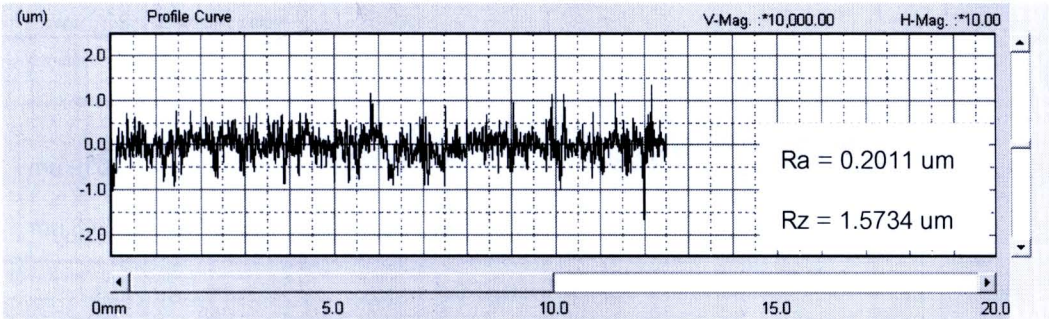
รูปที่ ค5 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก



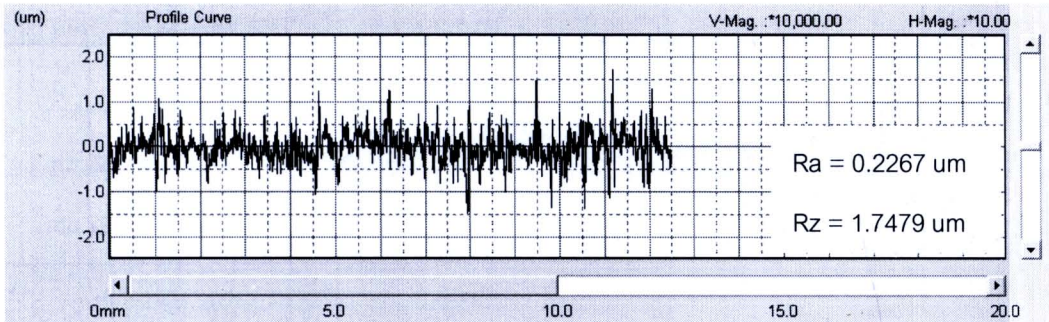
รูปที่ ค6 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบเปียก

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความเร็วรอบต่างกันของการตัดแบบลมเป่า

จากรูปที่ ค7 และ ค8 จะเห็นว่าการตัดที่ความเร็วรอบสูงจะให้ค่าความหยาบผิวมากกว่าการตัดที่ความเร็วรอบต่ำ



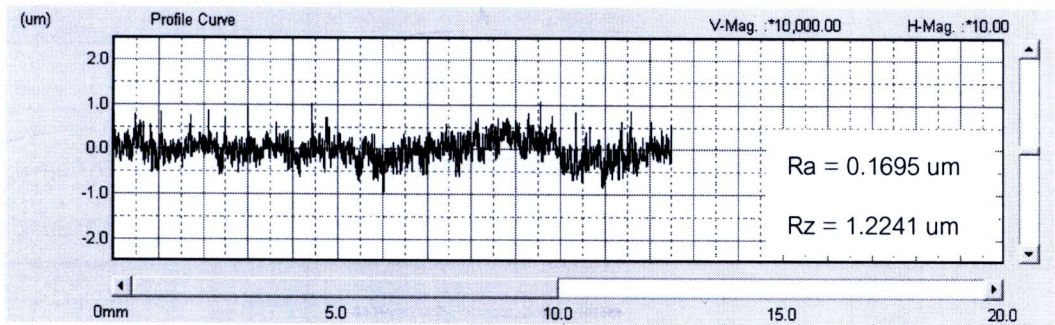
รูปที่ ค7 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมเป่า



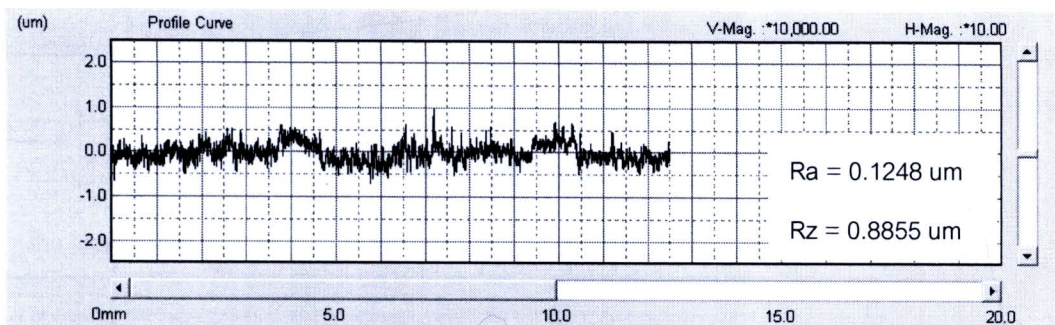
รูปที่ ค8 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมเป่า

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่อัตราป้อนต่างกันของการตัดแบบลมนเป่า

จากรูปที่ ค9 และ ค10 จะเห็นว่าการตัดที่อัตราป้อนสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่อัตราป้อนต่ำ



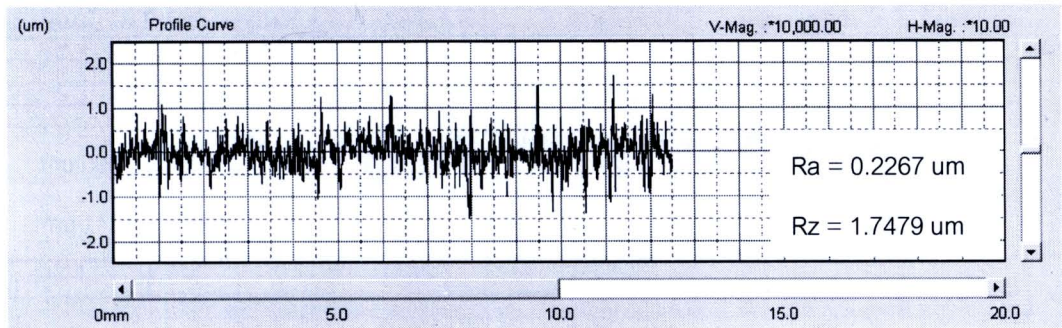
รูปที่ ค9 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมนเป่า



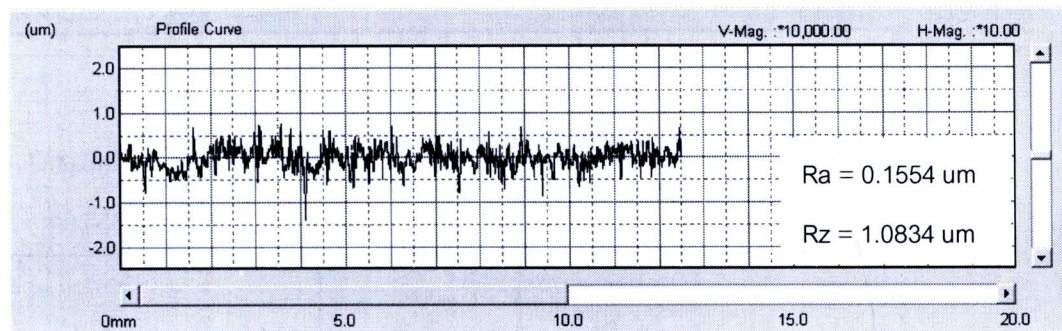
รูปที่ ค10 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมนเป่า

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความลึกตัดต่างกันของการตัดแบบลมเป่า

จากรูปที่ ค11 และ ค12 จะเห็นว่าการตัดที่ความลึกตัดสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่ความลึกตัดต่ำ



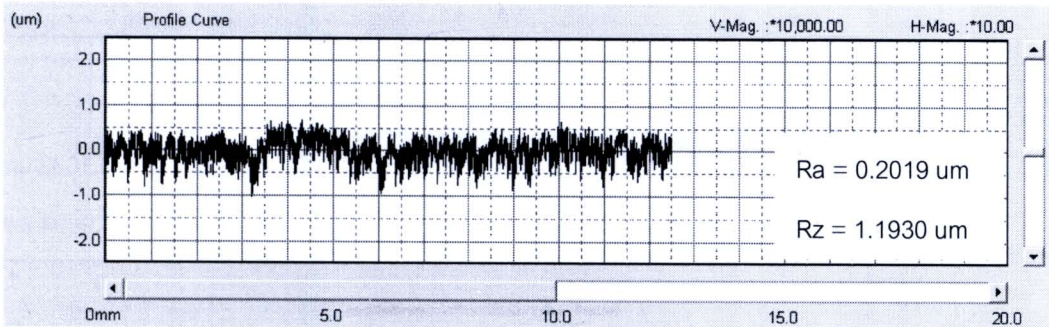
รูปที่ ค11 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมเป่า



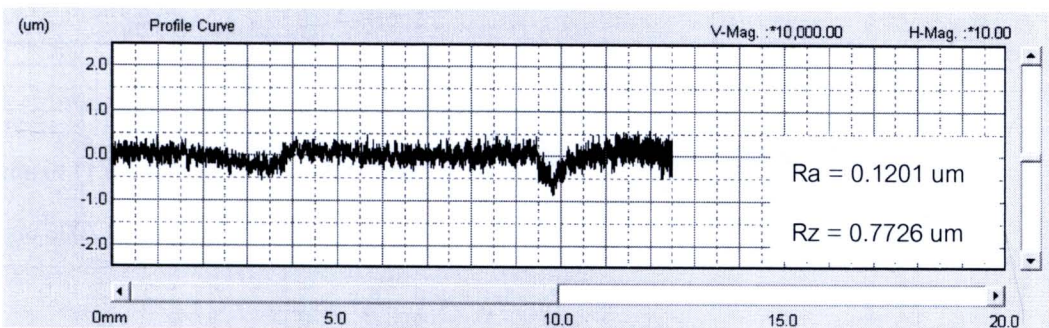
รูปที่ ค12 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบลมเป่า

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความเร็วรอบต่างกันของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

จากรูปที่ ค13 และ ค14 จะเห็นว่าการตัดที่ความเร็วรอบสูงจะให้ค่าความหยาบผิวมากกว่าการตัดที่ความเร็วรอบต่ำ



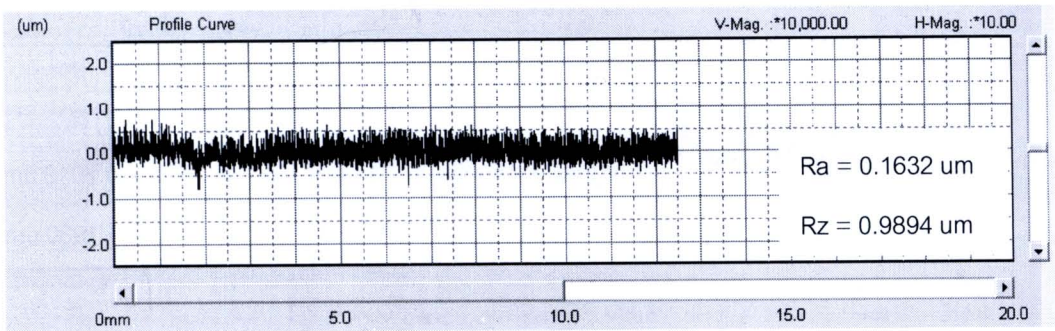
รูปที่ ค13 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น



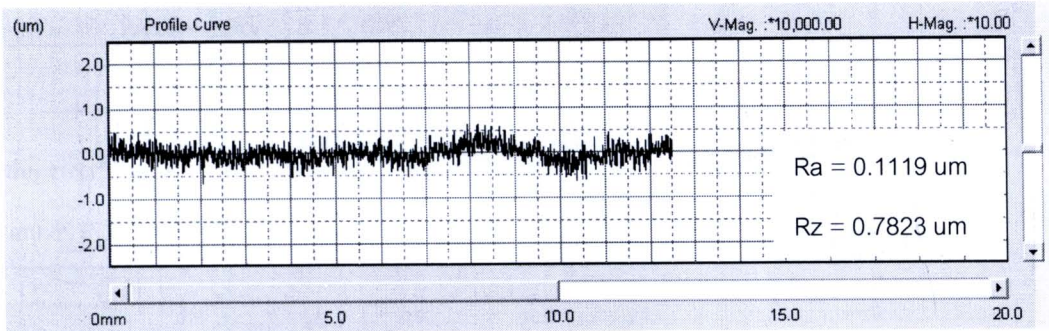
รูปที่ ค14 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่อัตราป้อนต่างกันของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

จากรูปที่ ค15 และ ค16 จะเห็นว่าการตัดที่อัตราป้อนสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่อัตราป้อนต่ำ



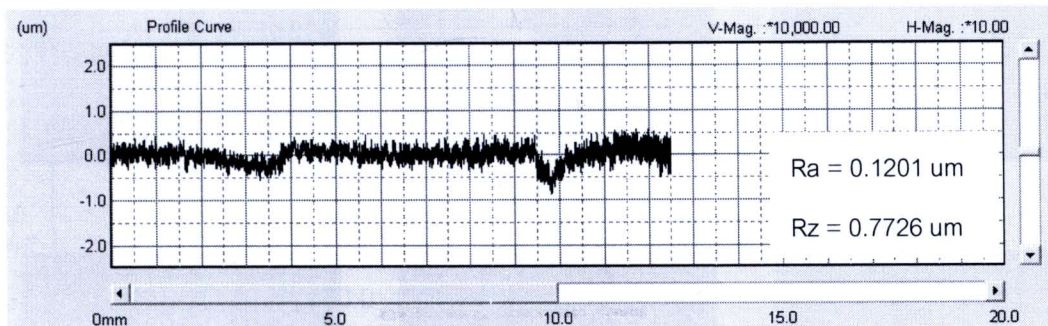
รูปที่ ค15 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น



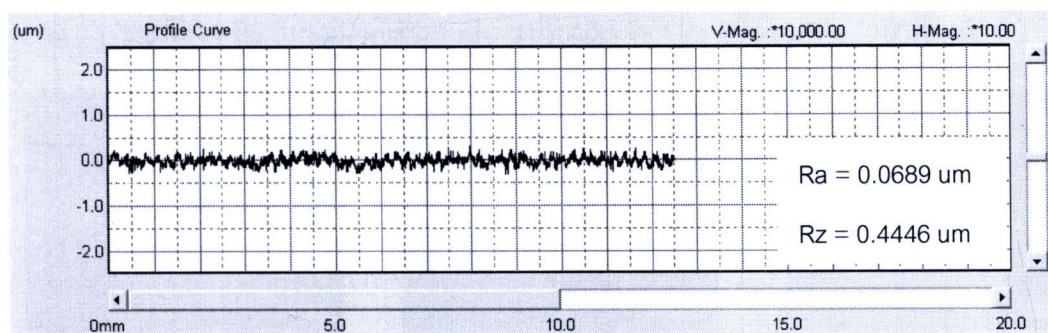
รูปที่ ค16 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 1 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดที่ความลึกตัดต่างกันของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

จากรูปที่ ค17 และ ค18 จะเห็นว่าการตัดที่ความลึกตัดสูงจะให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าการตัดที่ความลึกตัดต่ำ



รูปที่ ค17 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น



รูปที่ ค18 ความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตรของการตัดแบบละของของสารหล่อเย็น

ภาคผนวก ง

รูปการสึกหรอของมิดดัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ

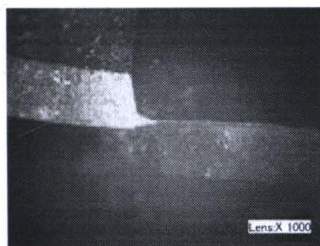
ตารางที่ ง1 เงื่อนไขการตัดต่างๆของการตัดแบบเปียก

รูปที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)
ง1	1000	0.01	1
ง2	3000	0.01	1
ง3	1000	0.03	1
ง4	3000	0.03	1
ง5	1000	0.02	0.5
ง6	3000	0.02	0.5
ง7	1000	0.02	1.5
ง8	3000	0.02	1.5
ง9	2000	0.01	0.5
ง10	2000	0.03	0.5
ง11	2000	0.01	1.5
ง12	2000	0.03	1.5
ง13	2000	0.02	1

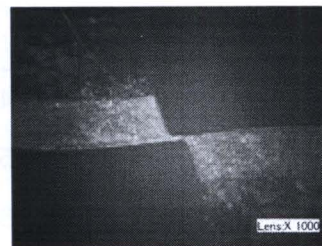
จากรูปที่ ง1 ถึง ง13 จะเห็นว่ามิตมีความสึกน้ยมากจึงส่งผลให้ค่าความหยาบผิวที่เวลาต่าง ๆ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน



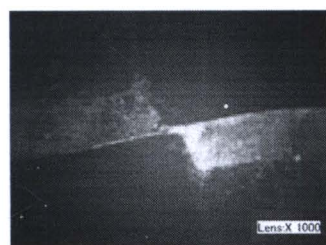
รูปที่ ง1



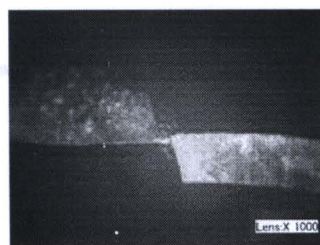
รูปที่ ง2



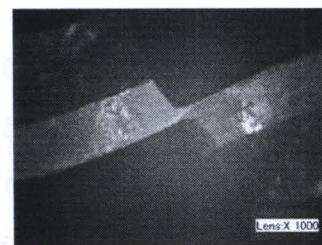
รูปที่ ง3



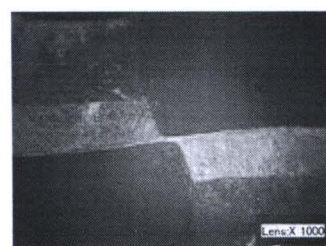
รูปที่ ง4



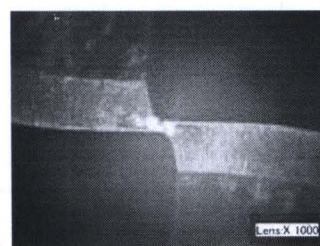
รูปที่ ง5



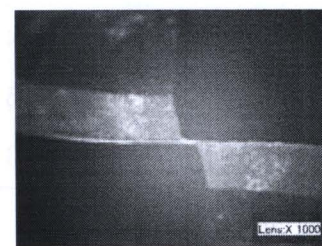
รูปที่ ง6



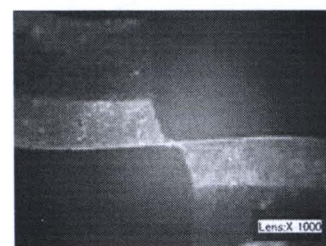
รูปที่ ง7



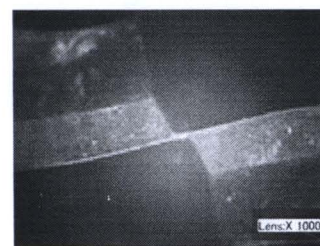
รูปที่ ง8



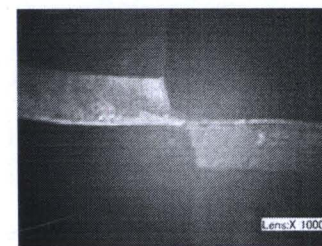
รูปที่ ง9



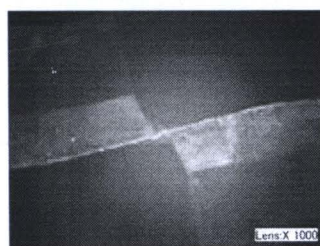
รูปที่ ง10



รูปที่ ง11



รูปที่ ง12

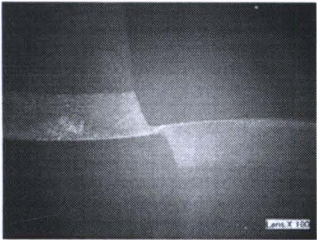


รูปที่ ง13

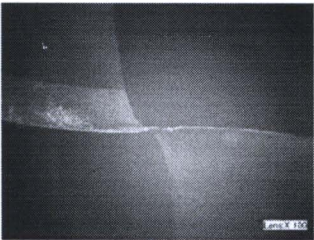
ตารางที่ ง2 เงื่อนไขการตัดต่าง ๆของการตัดแบบลมเป่า

รูปที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)
ง14	1000	0.01	1
ง15	3000	0.01	1
ง16	1000	0.03	1
ง17	3000	0.03	1
ง18	1000	0.02	0.5
ง19	3000	0.02	0.5
ง20	1000	0.02	1.5
ง21	3000	0.02	1.5
ง22	2000	0.01	0.5
ง23	2000	0.03	0.5
ง24	2000	0.01	1.5
ง25	2000	0.03	1.5
ง26	2000	0.02	1

จากรูปที่ ง14 ถึง ง26 จะเห็นว่ามิตมีความสึกน้ยมากจึงส่งผลให้ค่าความหยาบผิวที่เวลาต่าง ๆ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน



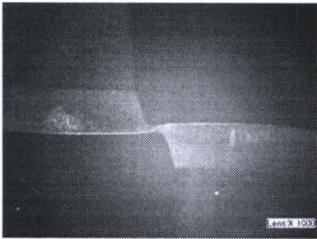
รูปที่ ง14



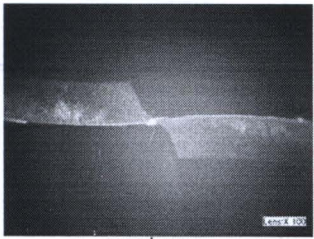
รูปที่ ง15



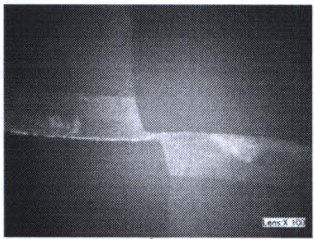
รูปที่ ง16



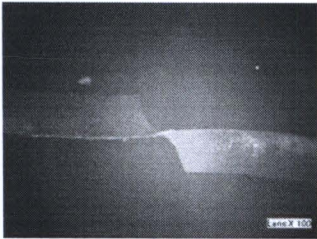
รูปที่ ง17



รูปที่ ง18



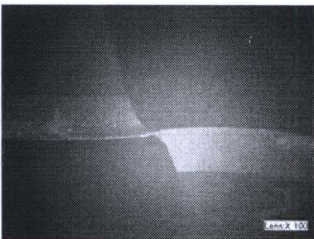
รูปที่ ง19



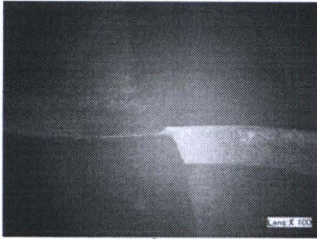
รูปที่ ง20



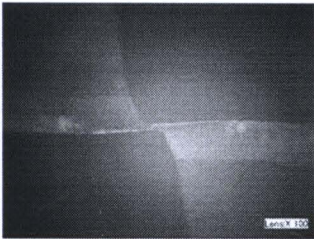
รูปที่ ง21



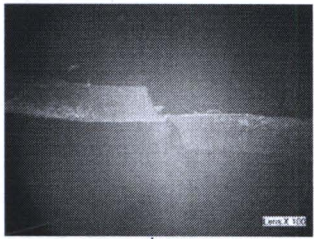
รูปที่ ง22



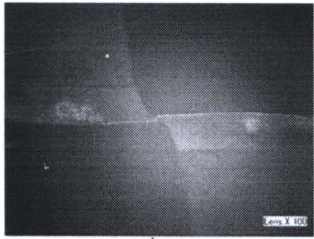
รูปที่ ง23



รูปที่ ง24



รูปที่ ง25

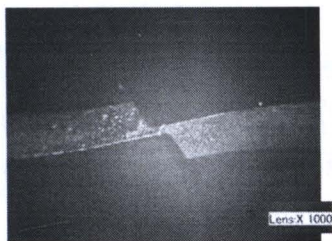


รูปที่ ง26

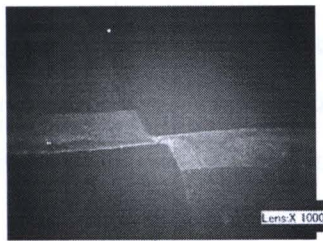
ตารางที่ ง3 เงื่อนไขการตัดต่าง ๆของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

รูปที่	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)
ง27	1000	0.01	1
ง28	3000	0.01	1
ง29	1000	0.03	1
ง30	3000	0.03	1
ง31	1000	0.02	0.5
ง32	3000	0.02	0.5
ง33	1000	0.02	1.5
ง34	3000	0.02	1.5
ง35	2000	0.01	0.5
ง36	2000	0.03	0.5
ง37	2000	0.01	1.5
ง38	2000	0.03	1.5
ง39	2000	0.02	1

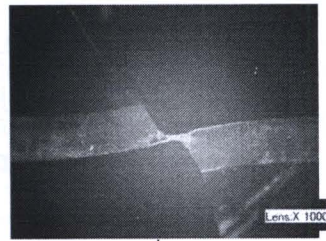
จากรูปที่ ง27 ถึง ง39 จะเห็นว่ามีความสึกน้ยมากจึงส่งผลให้ค่าความหนาผิวที่เวลาต่าง ๆ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน



รูปที่ ง27



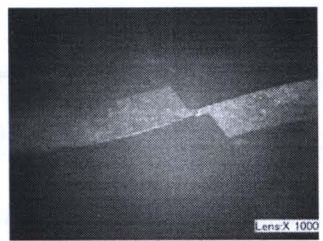
รูปที่ ง28



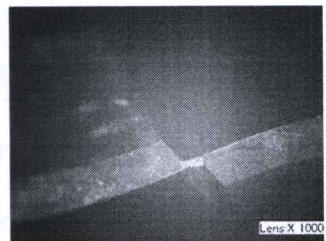
รูปที่ ง29



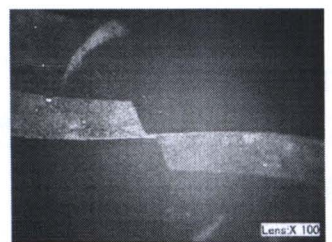
รูปที่ ง30



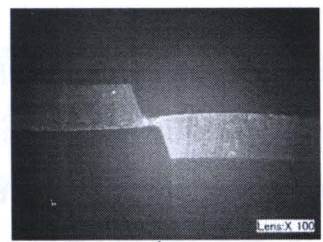
รูปที่ ง31



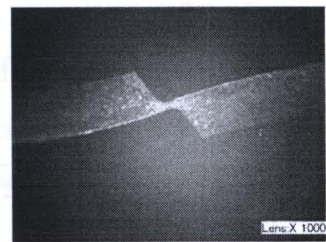
รูปที่ ง32



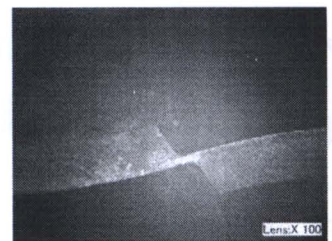
รูปที่ ง33



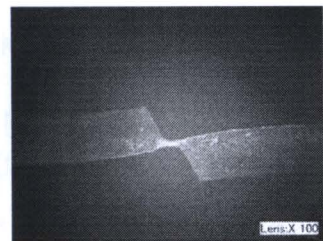
รูปที่ ง34



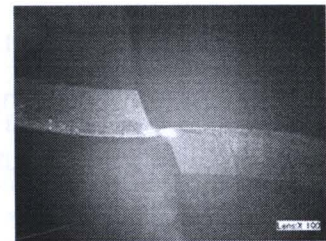
รูปที่ ง35



รูปที่ ง36



รูปที่ ง37



รูปที่ ง38



รูปที่ ง39

ภาคผนวก จ

การออกแบบการทดลอง [10], [11]

การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input variables) ในกระบวนการหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or responses)

ตัวแปรที่นำเข้า (Input variables) สามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ หรือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controlled variables or factors) หรือตัวแปรที่สามารถออกแบบได้ (Design variables) และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or noise variables)

ประเภทของการทดลอง (Types of experiment) [11]

ในการทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทหลักตามข้อมูลที่ทราบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง ดังนี้

1) การทดลองเดียวหรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (Single experiment)

คือ การทดลองที่ผู้ทดลองทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเบื้องต้นเป็นอย่างดี แต่ต้องการทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2) การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous experiment)

คือ การทำการทดลองเพื่อที่จะลดค่าเปลี่ยนแปลง (Variation) ในกระบวนการ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการอย่างชัดเจน แต่ผู้ทดลองไม่มีความรู้ในกระบวนการหรือระบบที่ต้องปรับปรุงมาก แต่ทราบว่ายังไม่ได้มาตรฐาน

3) การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening experiment)

คือ การทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาระบบหรือกระบวนการใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และผู้ทดลองมีความเข้าใจในกระบวนการน้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ พยายามปรับลดรายละเอียดของตัวแปรหรือปัจจัยในกระบวนการ หรือเพื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในกระบวนการต่อไป

4) การทดลองแบบเจาะจง (Focusing experiment)

คือ การทดลองที่ทำขึ้นโดยมีเป้าหมายกำหนดจากความต้องการในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการกำหนดค่าที่เหมาะสมกับปัจจัยที่เลือกนั้นๆ

5) การทดลองเชิงลำดับ (Sequential experiment)

คือ การทดลองที่สร้างขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่สนใจศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอน หรือ กระบวนการย่อย ๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้มีปัจจัยที่ศึกษาในภาพรวมในแต่ละขั้นตอนมาก จึง จำเป็นต้องแบ่งกระบวนการออกเป็น ส่วน ๆ และทำการทดลองกำหนดปัจจัย จากนั้นจึงนำมา รวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวมเพื่อให้สามารถทำการศึกษากิจกรรมการหรือระบบที่มี ขนาดใหญ่มากได้

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) [11]

เนื่องจากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์โดยการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นไม่มีหลักฐานการ ทดสอบทางสถิติที่ชัดเจนสนับสนุนการสรุปผล การวิเคราะห์ผลจากข้อมูลตัวอย่างทำได้แค่เพียง การประมาณค่าแบบจุด (Point estimation) เท่านั้น ซึ่งค่าสถิติที่ประมาณได้เป็นตัวแปรสุ่มที่มี ความแปรปรวน และมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มได้ ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานถือ เป็นทางเลือกหนึ่งในการสรุปข้อมูลเชิงคุณภาพ (Quality characteristic) ของระบบ แบ่งได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 สุ่มตัวอย่าง 1 ชุด (One sample): มีวัตถุประสงค์เพื่อสรุปค่าบ่งชี้ตำแหน่งของ กระบวนการ (Mean, μ) และค่าที่บอกการกระจาย (Variance, σ) เพื่อทราบถึงสภาพปัจจุบัน หรือเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด (Specification)

กรณีที่ 2 สุ่มตัวอย่าง 2 ชุด (Two samples): มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้มา จากสองแหล่งที่ต่างกัน หรือเงื่อนไขที่ต่างกัน ว่ามีลักษณะเหมือนหรือต่างกัน โดยทั่วไปจะทำการ ทดสอบค่าพารามิเตอร์หลัก คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย ($\mu_1 - \mu_2 = 0$) และอัตราส่วนของความ แปรปรวน ($\sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 0$)

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน [11] แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) ตั้งสมมติฐาน คือ การระบุข้อความที่ต้องการพิสูจน์เกี่ยวกับระบบ หรือประชากร โดยทั่วไปจะกำหนด H_1 ก่อนและส่วนกลับของข้อความใน H_1 จะถูกระบุใน H_0

H_1 คือ ข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริง (Prove)

H_0 คือ ข้อความที่เป็นบทกลับของ H_1 (Disprove)

- 2) กำหนดระดับทดสอบหรือระดับนัยสำคัญ (Significance level, α)

โดยทั่วไปค่าที่นิยมใช้ คือ 5% หรือ $\alpha = 0.05$ แต่ความเป็นจริงแล้วค่า α ที่ใช้สามารถ ใช้ได้ในช่วง 1% ถึง 10% หรือมีระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 90%

3) ระบุค่าตัวทดสอบทางสถิติหรือการแจกแจงทางสถิติที่ใช้ทดสอบ

ค่าตัวทดสอบทางสถิติแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

3.1) สนใจทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีทราบค่าความแปรปรวนที่แท้จริง (σ^2) ใช้ทดสอบ Z

กรณีไม่ทราบ σ^2 แต่ทราบค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง (S^2) ใช้ทดสอบ t

3.2) สนใจทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวน แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีศึกษาประชากรเดียว (σ^2) ใช้ตัวทดสอบ χ^2

กรณีศึกษาสองประชากร (σ_1^2 / σ_2^2) ใช้ตัวทดสอบ F

4) กำหนดบริเวณวิกฤต หรือบริเวณปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

คือ ค่าที่เป็นตัวแบ่งบริเวณปฏิเสธ H_0 และบริเวณปฏิเสธ H_0 ไม่ได้ คือ ค่าวิกฤต (Critical value) ซึ่งได้จากการเปิดตารางของตัวทดสอบนั้นๆ ในปัจจุบันใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะใช้ค่า P-Value เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจแทน

5) สรุปผลการทดสอบ

ในปัจจุบันการสรุปผลทำได้ 2 ลักษณะ คือ

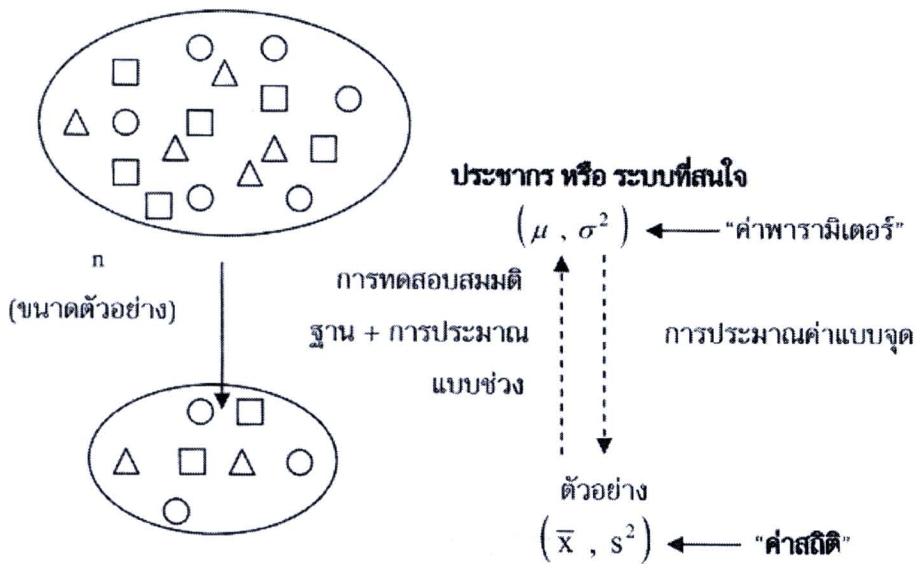
5.1) พิจารณาจากค่าที่ได้จากการทดสอบทางสถิติ (3) ว่าอยู่ใน H_0 หรือไม่ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าใน (3) ตกในบริเวณปฏิเสธ H_0

5.2) พิจารณาเทียบพื้นที่โดยใช้ค่า P-Value เทียบกับพื้นที่ของบริเวณปฏิเสธ H_0 แทน จะปฏิเสธ $H_0 (\alpha)$ เมื่อค่า P-Value $< \alpha$ เท่านั้น

การทดสอบสมมติฐานในกรณีต่าง ๆ [11]

ในการทดสอบสมมติฐานสามารถแบ่งได้ 3 กรณีดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างหนึ่งชุด (One-sample hypothesis testing) โดยทั่วไปใช้สำหรับการศึกษาลักษณะลักษณะของระบบหรือประชากรเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยมีวิธีดังรูปที่ 2.17



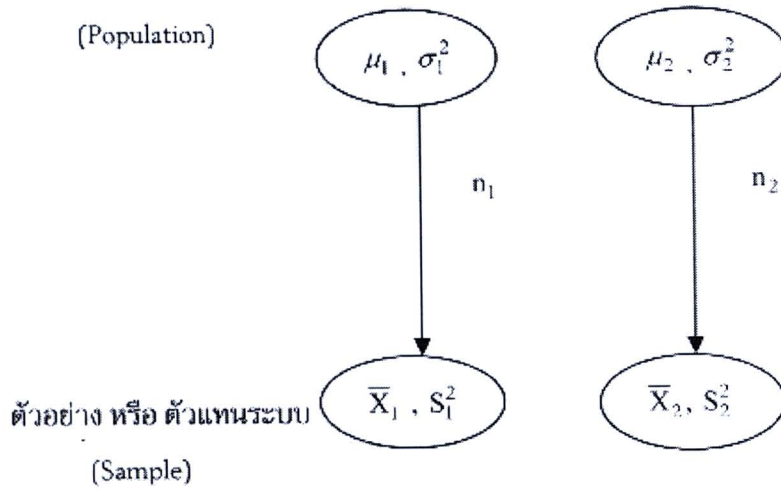
รูปที่ 1 วิธีการทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างหนึ่งชุด

2) การทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างสองชุดที่เป็นอิสระต่อกัน (Hypothesis testing for two independent samples) คือ ผู้ศึกษาทำการเก็บตัวอย่างโดยไม่คำนึงถึงลำดับข้อมูล ขนาดข้อมูลตัวอย่างมาก แต่ละประชากรจะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้มาจากสองแหล่งที่ต่างกัน หรือเงื่อนไขที่ต่างกัน ว่ามีลักษณะเหมือนหรือต่างกัน โดยทั่วไปจะทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์หลัก คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย ($\mu_1 - \mu_2 = 0$) และอัตราส่วนของความแปรปรวน ($\sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 0$) ดังรูปที่ 2.18

(Hypothesis Testing for two Independent Samples)

ประชากรหรือระบบที่สนใจ

(Population)



รูปที่ 2 วิธีการทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างสองชุดที่เป็นอิสระต่อกัน

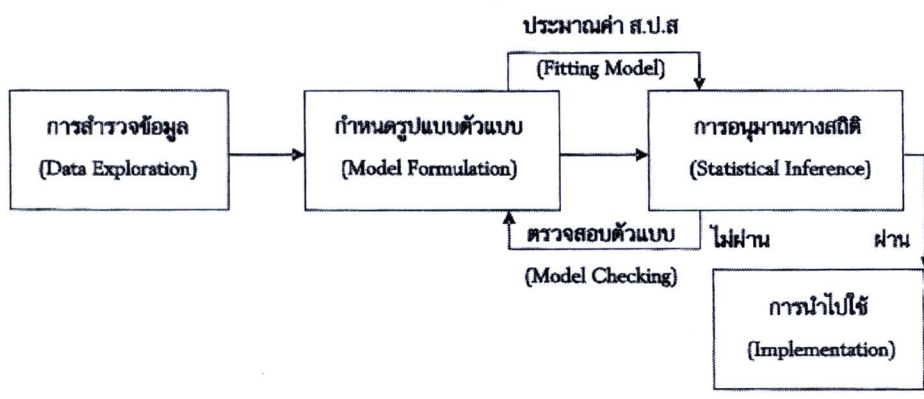
3) การทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างสองชุดที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Hypothesis testing for two dependent samples) ทำได้โดยการเลือกหน่วยตัวอย่างมาเพียง 1 ชุดและทำการวัดซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง การวัดครั้งแรก คือ การเก็บข้อมูลตัวอย่างชุดที่หนึ่ง การวัดครั้งที่สอง คือ การเก็บข้อมูลตัวอย่างชุดที่สอง ทำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความผันแปรที่สามารถควบคุมได้จากความแตกต่างของหน่วยตัวอย่าง เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในการเปรียบเทียบ เช่น การเปรียบเทียบระยะเบรคก่อนผู้ขับขี่ดื่มสุราและหลังจากที่ผู้ขับขี่ดื่มสุรา

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis) [11]

การวิเคราะห์สถิติทางวิศวกรรมแบ่งเป็น 3 ระดับคือ การประมาณค่าและการพยากรณ์ (Estimation and prediction) การเปรียบเทียบ (Comparison) และการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) ซึ่งเริ่มจากการสร้างสมการตัวแปรแบบความสัมพันธ์ (Model building) จากนั้นจะใช้วิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดจากสมการ (Model optimization) การวิเคราะห์การถดถอยเป็นเครื่องมือหนึ่งที่น่าสนใจในระดับแรก และระดับสุดท้าย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ กับค่าตอบสนองหรือตัวแปรตาม ว่ามีความสัมพันธ์กันลักษณะใด เพื่อประโยชน์ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวางแผนกระบวนการผลิต ปรับปรุงกระบวนการผลิต

ขอบเขตของการวิเคราะห์การถดถอยนั้นกว้างกว่าการออกแบบแผนการทดลอง อาจกล่าวได้ว่า การออกแบบการทดลองเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์การถดถอย และมักจะใช้ร่วมกันเสมอ โดยเริ่มจากการศึกษาว่าตัวแปรปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยการเปรียบเทียบด้วย ANOVA จากนั้นทำการสร้างสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง และตัวแปรปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยตอบสนอง เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของกระบวนการนั้น สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะตามจำนวนตัวแปรอิสระ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหนึ่งตัวแปรต้นและหนึ่งตัวแปรตาม และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตั้งแต่สองตัวขึ้นไป และหนึ่งตัวแปรตาม



รูปที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย

การทดสอบข้อสมมติในการวิเคราะห์การถดถอย (Test of assumption in regression) [11]

ข้อสมมติที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การถดถอยที่สำคัญมี 4 ประการคือ

- 1) ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ
- 2) ค่าเฉลี่ยผิดพลาดเท่ากับศูนย์
- 3) ความแปรปรวนคงที่
- 4) ค่าผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

ในการทดสอบข้อสมมติจะใช้กราฟที่แตกต่างกันดังคือ

- 1) กราฟความน่าจะเป็นเป็นการแจกแจงปกติ (Normal probability plot) ใช้ในการทดสอบข้อข้อที่ 1 ถ้ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ข้อสมมติที่ 1 ผ่าน

- 2) Residual plot ใช้ในการทดสอบข้อสมมติข้อที่ 2 และ 3 โดยพิจารณาว่าค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (จุดกระจายรอบศูนย์ อย่างสมดุล) และความกว้างของแถบคงที่ (ความแปรปรวนคงที่) และกราฟกระจายอย่างสุ่มแสดงถึงความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาด ตรวจสอบข้อสมมติที่ 4
- 3) Residual plot (ตัวแปรอิสระ) ใช้พิจารณาความเป็นอิสระต่อกัน ถ้ายังมีรูปแบบสัมพันธ์กัน แสดงว่าสมการถดถอยที่ใช้มีรูปแบบไม่เหมาะสม

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple linear regression analysis) [11]

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว หรือปัจจัยตั้งแต่สองตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม หรือค่าตอบสนอง มนทางปฏิบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณความสัมพันธ์ สามารถเกิดได้หลายกรณี โดยสรุปแบ่งได้เป็น 5 กรณี คือ

- 1) ค่าผิดพลาดจากการวัด (Measurement error or pure error) เกิดจากการคลาดเคลื่อนในการวัดค่า
- 2) ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการละตัวแปรอิสระ (Omission error) เกิดจากการใส่ตัวแปรในสมการประมาณน้อยกว่าความสัมพันธ์ที่แท้จริง
- 3) ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการเพิ่มตัวแปรอิสระ (Inclusion error) เกิดในกรณีใส่ตัวแปรอิสระลงในสมการถดถอยมากเกินไปจนความสัมพันธ์ที่แท้จริง
- 4) ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการเลือกรูปแบบสมการผิด (Functional form error) เกิดในกรณีที่ผู้ศึกษากำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระผิดไปจากที่ควรเป็น
- 5) ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการเลือกวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ (Estimation error)

การสร้างสมการถดถอยเชิงพหุ สามารถพิจารณาได้ 3 วิธีคือ

- 1) วิธี Backward elimination เริ่มจากการสร้างสมการเต็มรูปแบบแล้วลดรูปโดยพิจารณาจากค่า P-Value ของตัวแปรอิสระ ที่มีค่า $P\text{-Value} > \alpha$ และมีค่าสูงสุดจะถูกเลือกออกจากสมการจนไม่สามารถลดรูปได้อีก
- 2) วิธี Forward elimination เริ่มจากสมการถดถอยอย่างง่ายและพิจารณาเพิ่มตัวแปรอิสระทีละตัว โดยดูจากค่านัยสำคัญ P-Value ที่น้อยที่สุดเป็นตัวเริ่ม แล้วเพิ่มจนกว่าจะเพิ่มไม่ได้อีกจึงหยุด

- 3) วิธี Stepwise selection เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากเป็นหลักการของวิธี Backward elimination และ Forward elimination คู่กัน โดยทุกครั้งที่เราเลือกตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าในสมการจะทำการพิจารณาว่า ตัวแปรอิสระเดิมในสมการจะสามารถอยู่ในสมการได้ หรือควรตัดออกไป



