

รายงานผลการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2541

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



การออกแบบเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความขรุขระผิวโลหะด้วยอัลตราโซนิก  
ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

A Design of Ultrasonic Measurement and Analysis Instrumentation for  
Surface Roughness Base on Microcomputer

RCH

JJ

1313

เลขที่ 25825

เลขทะเบียน 40392

วัน, เดือน, ปี 14 ก.ย. 2544

b-11105665  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ต่อไป

รายงานผลการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2541

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เรื่อง

การออกแบบเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความขรุขระผิวโลหะด้วยอัลตราโซนิก  
ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

A Design of Ultrasonic Measurement and Analysis Instrumentation for  
Surface Roughness Base on Microcomputer

นายวิทยา ทิพย์สุวรรณพร หัวหน้าโครงการ  
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขณะนี้ได้ทำโปรแกรมการวิเคราะห์ความเรียบของผิวโลหะจากการวัดแบบหัวเข็ม  
โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ และได้เขียนบทความที่เกี่ยวกับ Harmonic โดยใช้ชื่อบทความว่า  
Harmonics By DSP : Quick, Accurate and Reproducible ลงในวารสารสมาคมฟิสิกส์ไทย  
ที่จัดขึ้นเมื่อวันที่ 22-23 ธันวาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การวิเคราะห์ความเรียบของผิวโลหะจากการวัดแบบหัวเข็มโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับผลจากการวัดความเรียบของพื้นผิวโลหะจากเครื่องวัดความเรียบของพื้นผิวโลหะ (Surface Instrument) แบบใช้หัวอ่าน (Stylus) โดยการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะทำการรับสัญญาณข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิวโลหะ ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แล้วใช้โปรแกรมนี้วิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะ (Characteristic) ที่สำคัญของความขรุขระ (Roughness) ซึ่งได้แก่ค่าพารามิเตอร์  $R_a$   $R_z$   $R_{max}$  และมีการเก็บบันทึกข้อมูลไว้ เพื่อที่จะได้นำเอาไปใช้ในการวิเคราะห์ในวิธีการของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

## Computerize Surface Roughness Measurement with Stylus Instrument

### Abstract

This research present investigation a programing that use support data from measuring of surface roughness by stylus instruments. We write program on microcomputer to analysis data which received from measuring device that measured the surface roughness. This data is analog signal and then convert to digital signal, which shall transfer to microcomputer. We apply this program to analysis the important characteristic of surface roughness such as the value of parameter  $R_a$   $R_z$   $R_{max}$  and record this data to analysis in Quality Control process.

## บทที่ 1

### บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆภายในประเทศได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ มีทั้งผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ในชีวิตประจำวันและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนต่างๆของรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์และอะไหล่ของเครื่องจักร และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตและการประกอบผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ชิ้นส่วนบางชิ้นจะมีความเรียบของผิวโลหะเข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อประโยชน์ดังนี้

1. ลดการเสียดสีระหว่างโลหะสองชิ้น
2. เพื่อให้การเคลือบผิวหรือการพ่นสีมีความสวยงามคงทน
3. กันการรั่วซึมที่รอยประกบระหว่างโลหะสองชิ้น หรือกันการรั่วของซีล
4. ลดการสึกหรอของโลหะที่เกิดจากการเสียดสี
5. เพื่อการประกอบชิ้นงานให้สนิทแนบแน่น

ลักษณะงานอุตสาหกรรมที่มีความเรียบของผิวโลหะเข้ามามีบทบาทสำคัญ ซึ่งมีตัวอย่างที่เห็นได้ทั่วไปดังเช่น

1. การประกอบเครื่องยนต์
2. การผลิตเครื่องจักรกล
3. การผลิตเครื่องมือต่างๆ
4. การผลิตแม่พิมพ์โลหะ
5. การผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์และอะไหล่ของเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์

ฯลฯ

จุดประสงค์ของการวัดความเรียบของผิวโลหะ โดยทั่วไปมีดังนี้

1. เพื่อตรวจสอบชิ้นงานให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการผลิตหรือแบบแปลน(drawing)
2. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม
3. เพื่อสร้างมาตรฐานของชิ้นงาน

จะเห็นได้ว่าความหยาบหรือความเรียบของพื้นผิววัสดุเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์จักรยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหยาบหรือละเอียดของพื้นผิวชิ้นงานซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการตรวจสอบ(Inspection)ในแผนกควบคุมคุณภาพ(Quality Control) เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามแบบหรือเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดไว้และเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการคำนวณทางสถิติที่เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของการผลิตซึ่งจะกระทำโดยวิศวกรควบคุมคุณภาพ การวัดความหยาบหรือละเอียดของพื้นผิวชิ้นงานจึงมีความจำเป็นเพิ่มขึ้น แต่การใช้เครื่องวัดโดยทั่วไปยังมีความยุ่งยากอยู่ ทั้งในการเก็บข้อมูลและการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน จากเหตุดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดจะใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์



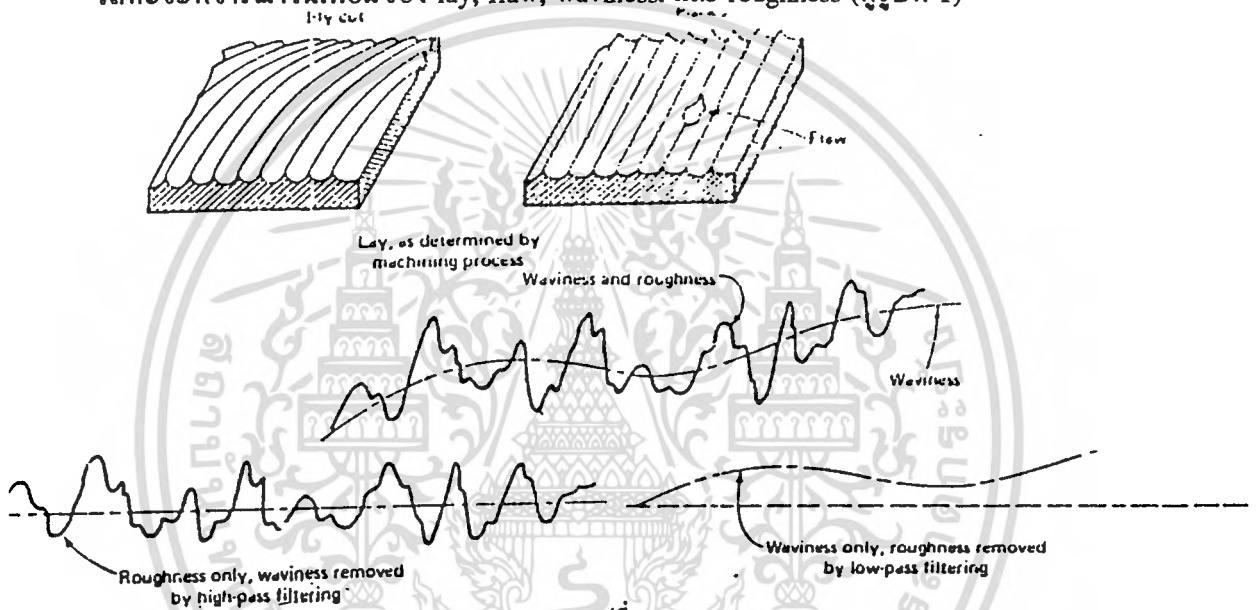
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดความขรุขระของพื้นผิว

#### 2.1 ลักษณะการวัดพื้นผิวโลหะโดยทั่วไป

การหาค่าความหยาบของชิ้นงานไม่เพียงแต่จะแสดงคุณสมบัติของผิวโลหะในสเกลที่ละเอียดกว่ากล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันความผิด การสึกหรอจากการเสียดสีกันของวัตถุ ความสะอาดในกระบวนการผลิตอาหาร การรั่วของซีล ฯลฯ การศึกษาคุณลักษณะของผิวโลหะจะพิจารณาในเทอมของ lay, flaw, waviness, และ roughness (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1

lay คือ ลักษณะทิศทางของลวดลายที่ปกคลุมผิวโลหะ

flaw คือ ขอบบพร่องหรือตำหนิที่มีอยู่เดี่ยวๆ

waviness คือ ลักษณะของผิวที่เป็นลอนหรือเป็นลูกคลื่น

roughness คือ ความหยาบหรือความขรุขระของผิวโลหะ

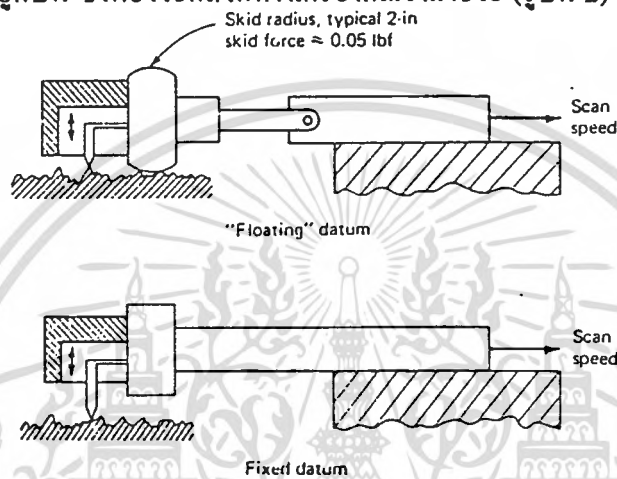
waviness + roughness เรียกว่า profile

profile คือ ลักษณะของผิวโลหะที่มองในแนวพื้นที่หน้าตัด

โดยมากการวัดพื้นผิวโลหะจะทำการวัดด้วยเครื่องวัดแบบหัวเข็ม หัวเข็มแบบที่เป็นเพชรจะมีรัศมีที่ปลายเข็มประมาณ 0.001 นิ้ว ใช้แรงที่กระทำต่อชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 0.0001 ถึง 0.001 ปอนด์ และสามารถขีดเพื่อทำการวัดได้มากกว่า 0.0002 นิ้ว การวัดที่มีความละเอียดสูงมากอาจใช้ gage blocks ที่ใช้หัวเข็มที่มีรัศมี 0.00005 นิ้ว และลดแรงกดของหัวเข็มลง ขนาดของหัวเข็มไม่สามารถที่จะลดลงให้ต่ำกว่า 0.00005 นิ้ว เพราะจะทำให้แรงกดของปลายเข็มเริ่มที่จะเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดล่างของวัสดุต่างๆ ทำให้วัสดุผิดรูปไปเนื่องจากการวัด จึงต้องกำหนดขอบเขตของแนวการวัด และความเร็วในการลากหัวเข็มจะต้องช้าๆ ( 0.0001 ถึง 0.1 นิ้ว/วินาที ) การใช้แรงกดของหัวเข็มอย่างเพียงพอและความเร็วในการวัดช้าพอ หัวเข็มจะให้ค่าที่เป็นจริงตามพื้นผิว หัวเข็มอาจจะเป็นปลอกในแนวตั้งติดกับแคร่เลื่อนหรือคาน การใช้แคร่เลื่อนจะใช้เฉพาะวัดความเป็นลอน(waviness) และเหล็กแหลมใช้วัดความขรุขระ(roughness) การวัดรูปด้านข้าง(profile)จะใช้ shooress สำหรับเป็นฐานที่อยู่กับที่ ซึ่งต้องใช้กลไกทางเครื่องกลเข้ามาช่วย (รูปที่ 2)



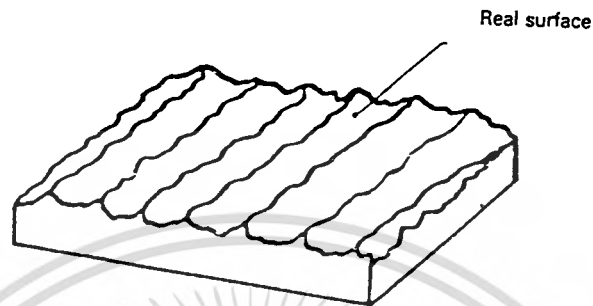
รูปที่ 2

เครื่องมือวัดหากต้องการความไวจะใช้ moving coil เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณการเคลื่อนที่ของหัวเข็ม แต่ใช้กับการวัดพื้นผิวโลหะที่มีความละเอียดสูงได้ จึงจะต้องใช้ LVDT ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันมาเป็นตัวเปลี่ยนความถี่แทน ซึ่งจะปรับความไวจากน้อยไปจนเต็มสเกล เครื่องวัดจะต้องมีแอมเพิลทอปอกค่าความไวของอัตราขยายระหว่างการเคลื่อนที่ของหัวเข็มและเครื่องบันทึกค่า สำหรับแกนตั้งการขยายสูงสุดเกือบจะเท่ากับหนึ่งล้านเท่า ในแกนอนมีกำลังขยายห้าร้อยเท่า กำลังขยายในแกนตั้งและแกนอนต่างจากการมองโดยตรง เราสามารถใช้กราฟอธิบายให้เข้าใจได้ รูปที่ แสดงการวัดพื้นผิวโลหะที่เกิด flaw โดยผ่านกระบวนการทางเครื่องกลที่มีการจ่ายไฟฟ้า กำหนดให้ Z มีอัตราขยายห้าร้อย และ X,Y มีอัตราขยายสองร้อย เมื่อหัวเข็มมีการเคลื่อนที่ในแนวนอนด้วยความเร็วคงที่ โครงสร้างของพื้นผิวโลหะเป็นลักษณะงานที่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องกับตัว สามารถที่จะหาเวลามาตรฐานโดยใช้วิธีการกรองแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยแยกความขรุขระกับลักษณะที่เป็นลอน จากตัวอย่าง โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูป sin มีความยาวคลื่น 0.005 นิ้ว มีความละเอียด 0.05 นิ้ว/วินาที ความถี่ 10 Hz ปรับให้ตัดความยาวคลื่นออกเป็นค่าความยาวคลื่น 0.0003, 0.01, 0.03, 0.1 และ 0.3 นิ้ว การวัดความขรุขระที่มีความยาวคลื่นมากต้องใช้ตัวกรองเพื่อให้ความยาวคลื่นสั้น สำหรับการวัด profile เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระสามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะพื้นผิวโลหะ

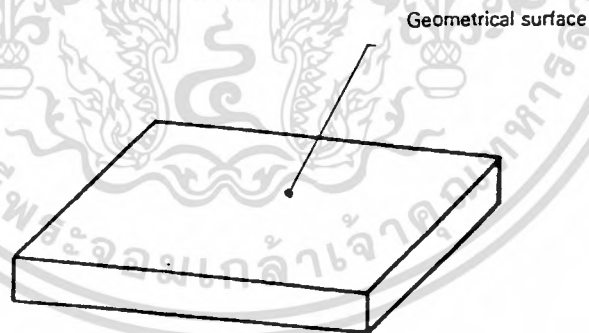
1. REAL SURFACE คือ ผิวของชิ้นงานทั่วไป (ดูรูปที่ 3)



รูปที่ 3

2. GEOMETRICAL SURFACE คือ ผิวงานทางเรขาคณิต ซึ่งเป็นผิวงานในอุดมคติ (ดูรูป

ที่ 4)

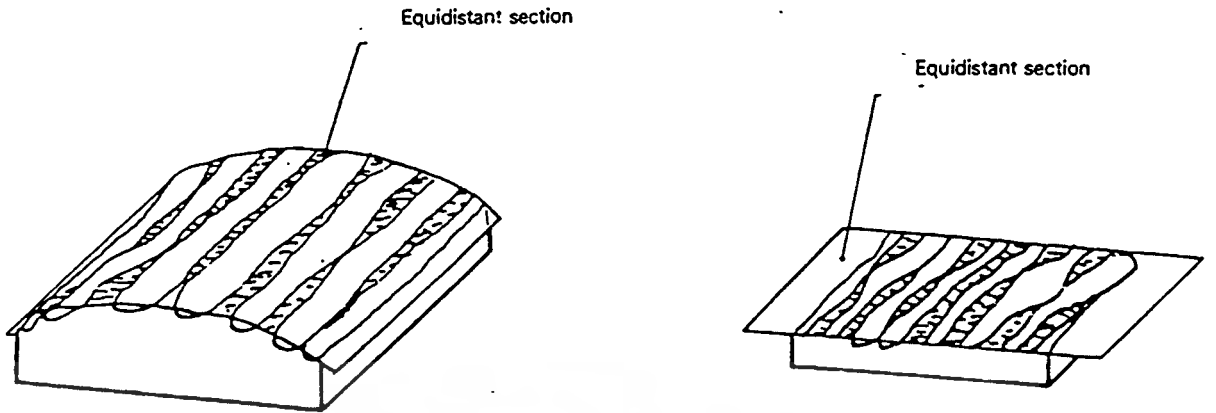


รูปที่ 4

3. REFERENCE SURFACE คือ ผิวงานอ้างอิงที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิว ผิวงานอ้างอิงมีลักษณะเป็นผิวงานทางเรขาคณิต

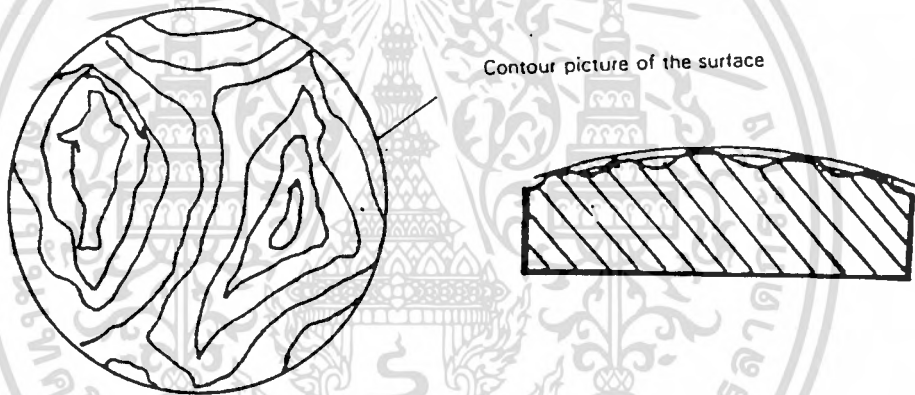
4. EQUIDISTANT SECTION คือ ผิวงานที่เกิดจากการตัดผิวงานจริง แล้วเปรียบเทียบกับผิวงานทางเรขาคณิตที่มีขนาดเท่ากัน(ดูรูปที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



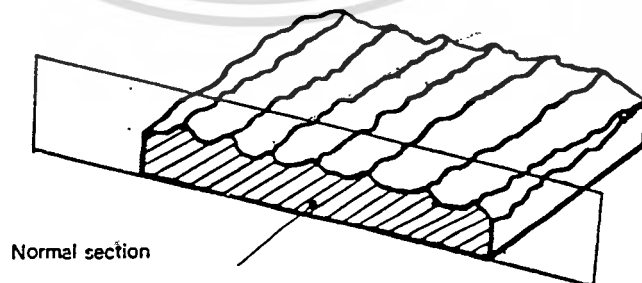
รูปที่ 5

5. CONTOUR PICTURE OF THE SURFACE คือ จำนวนลายเส้นด้านตัดของผิวงานจริงบน Equidistant section (ดูรูปที่ 6)



รูปที่ 6

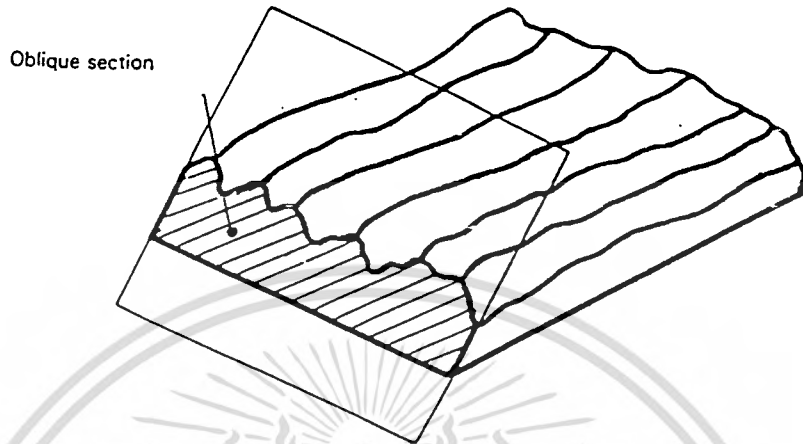
6. NORMAL SECTION คือ ส่วนที่เกิดจากการตัดชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับผิวงาน (ดูรูปที่ 7)



รูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

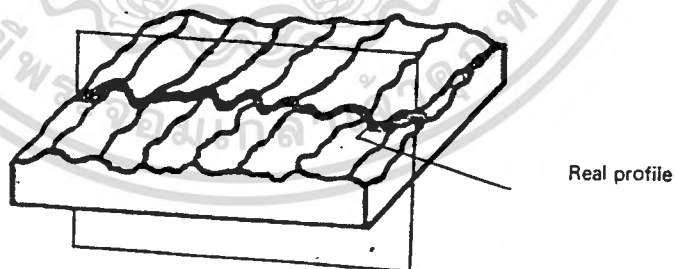
7. OBLIQUE SECTION คือ ส่วนที่เกิดจากการตัดชิ้นงานในแนวที่เอียงกับผิวงาน(ดูรูปที่ 8)



รูปที่ 8

8. SURFACE PROFILE คือ เส้นบนผิวงานที่เกิดจากการตัดชิ้นงานใดๆ โดยใช้ระนาบหนึ่งๆ

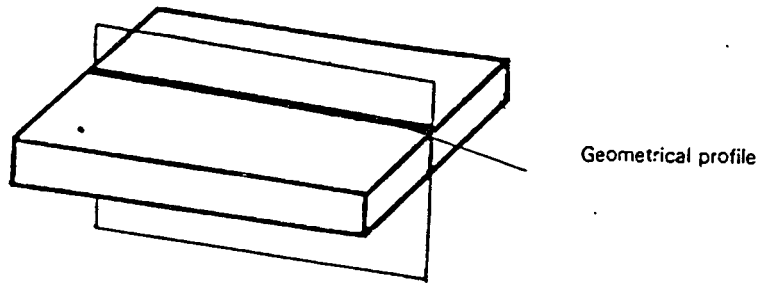
9. REAL PROFILE คือ เส้นบนผิวงาน ซึ่งเกิดจากการตัด Real Surface โดยใช้ระนาบหนึ่งๆ (ดูรูปที่ 9)



รูปที่ 9

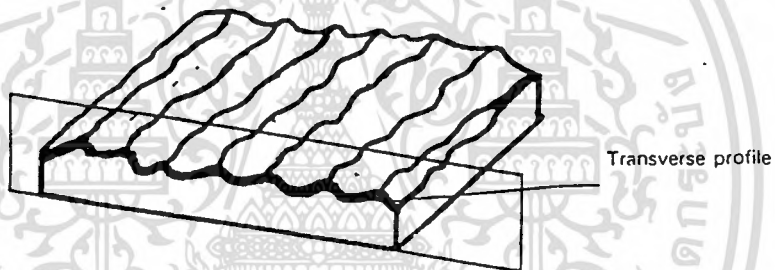
10. GEOMETRICAL PROFILE คือ เส้นบนผิวงาน ซึ่งเกิดจากการตัด Geometrical Surface (ดูรูปที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



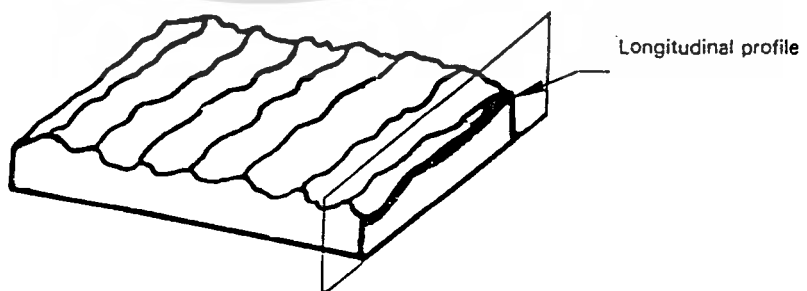
รูปที่ 10

11. TRANSVERSE PROFILE คือ เส้นบนผิวงานซึ่งมีแนวเส้นที่ตั้งฉากกับ Surface Lay (ดูรูปที่ 11)



รูปที่ 11

12. LONGITUDINAL PROFILE คือ เส้นบนผิวงานซึ่งใช้ระนาบที่ขนานกับ Surface Lay (ดูรูปที่ 12)



รูปที่ 12

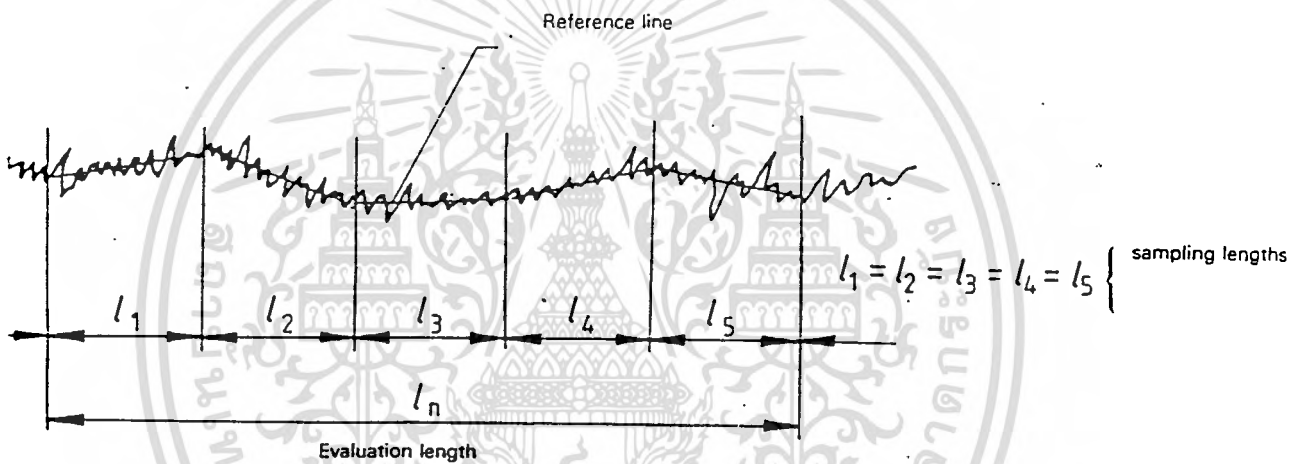
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. PERIODIC PROFILE คือ Profile ที่สามารถเขียนหรือวาดอธิบายอย่างคร่าวๆ โดยมี ลักษณะรูปที่เป็นช่วง ๆ หรือคาบเวลา สำหรับตัวอย่างเช่นรูป Profile ที่ได้จากการกลิ้ง

14. RANDOM PROFILE คือ profile ที่ไม่ใช่ periodic profile ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยมี ลักษณะเป็น random function สำหรับตัวอย่าง เช่น profile จากการฝนหรือการลับ การขึงปิ่น และ การระเบิดหิน เป็นต้น

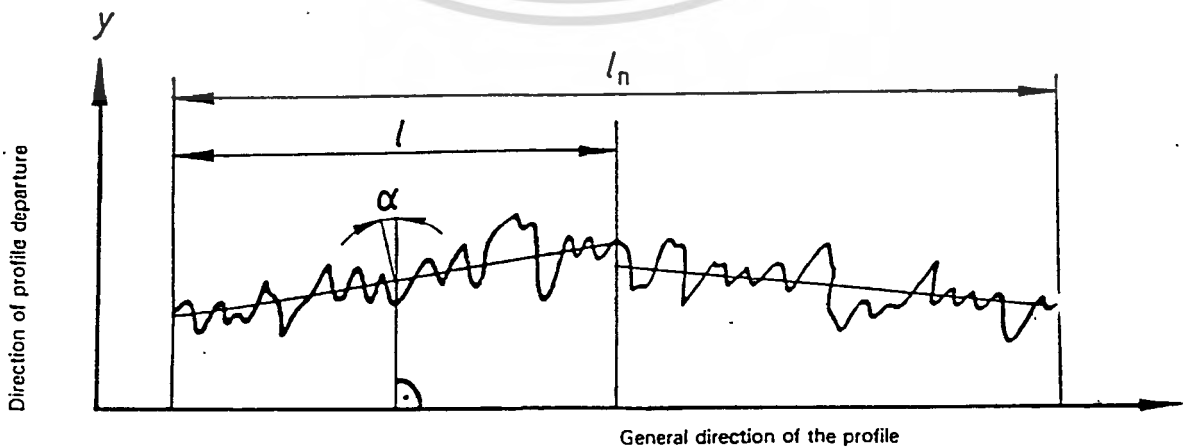
15. REFERENCE LINE คือ เส้นที่มีความสัมพันธ์กับการทำการประเมินหาค่าพารามิเตอร์ของ profile

16. SAMPLING LENGTH,  $l$  คือ ความยาวของเส้นที่อ้างอิง ที่ใช้สำหรับแยกลักษณะ ความขรุขระของพื้นผิว (ดูรูปที่ 13)



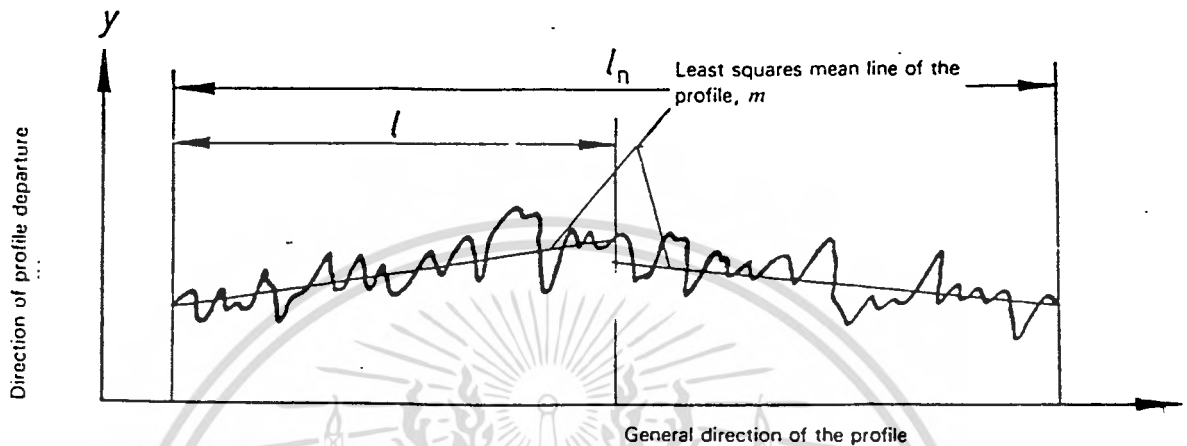
17. EVALUATION LENGTH,  $l_n$  คือ การหาความยาวของผิวหน้าที่เกินเป็นการกำหนด ค่าความยาวที่มากกว่า sampling length

18. PROFILE DEPARTURE,  $y$  คือ ระยะระหว่างจุดของ profile และ reference line ใน แนวการวัด (ดูรูปที่ 14)



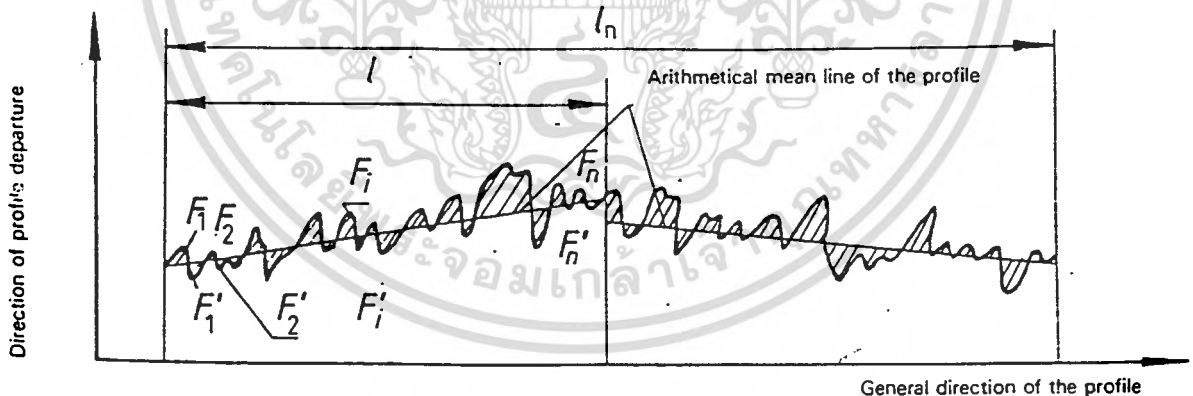
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. LEAST SQUARES MEAN LINE OF THE PROFILE ( MEAN LINE ),  $m$  คือ reference line ที่ได้จากผลรวมของกำลังสองของ profile departures ภายใน sampling length (ดูรูปที่ 15)



รูปที่ 15

20. ARITHMETICAL MEAN LINE OF THE PROFILE ( CENTRE LINE ) คือ reference line ที่เป็น geometrical profile และขนานกับแนวระนาบของ profile ตลอดแนวของ sampling length นั่นคือ ผลรวมของพื้นที่ที่กำหนดโดย centre line กับ profile ซึ่งเท่ากันทั้งสองด้าน (ดูรูปที่ 16)



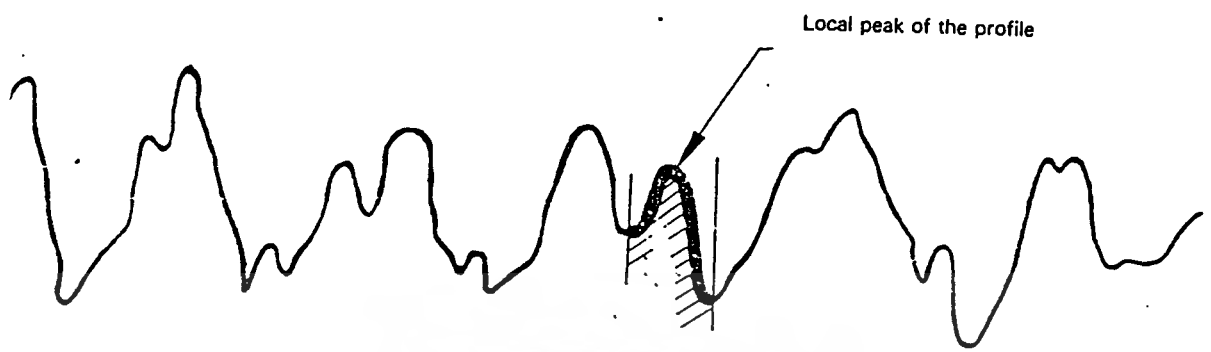
$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n F_i'$$

รูปที่ 16

21. MEAN LINE SYSTEM คือ กระบวนการคำนวณที่ใช้สำหรับการหาค่าของพารามิเตอร์ของความขรุขระ ซึ่งจะใช้ mean line เป็น reference line

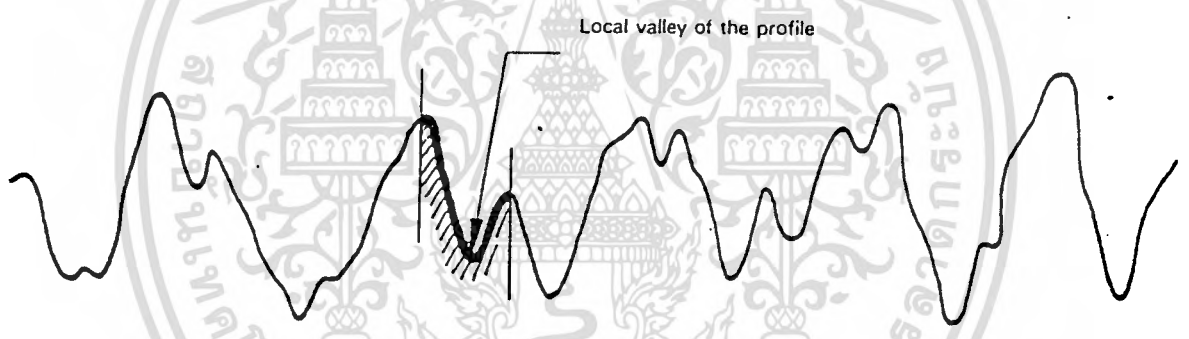
22. LOCAL PEAK OF PROFILE คือ ส่วนของ profile ที่อยู่ระหว่างจุดต่ำสองจุดของ profile (ดูรูปที่ 17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17

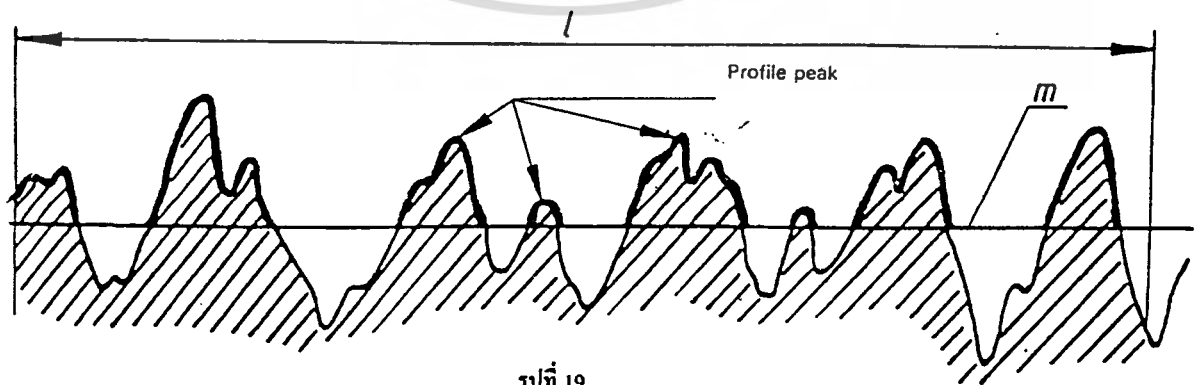
23. LOCAL VALLEY OF PROFILE คือ ส่วนของ profile ที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุดสองจุด  
ของกราฟของ profile (ดูรูปที่ 18)



รูปที่ 18

24. LOCAL IRREGULARITY หมายถึง local peak และ local valley ที่อยู่ติดกัน

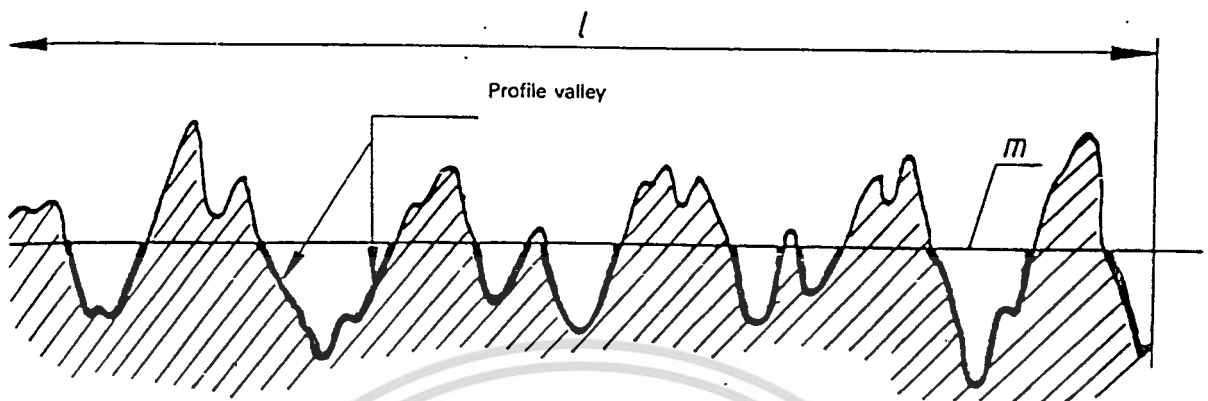
25. PROFILE PEAK คือ ส่วนของ profile ที่อยู่เหนือเส้น mean line (ดูรูปที่ 19)



รูปที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. PROFILE VALLEY ส่วนของ profile ที่อยู่ต่ำกว่าเส้น mean line (ดูรูปที่ 20)



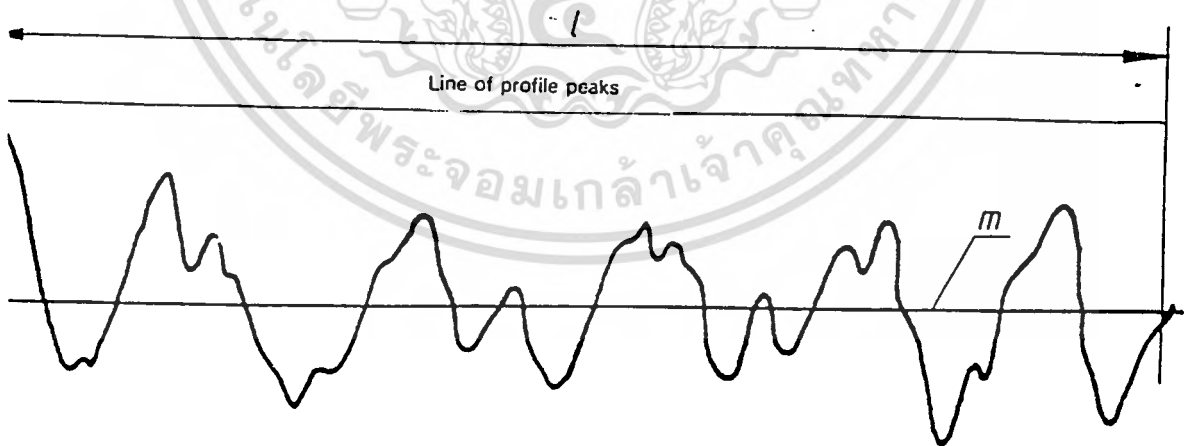
รูปที่ 20

27. PROFILE IRREGULARITY หมายถึง profile peak และ profile valley ที่อยู่ชิดติดกัน

28. SURFACE LAY คือ ทิศทางหรือแนวของความหยาบละเอียดที่กระจายไปทั่วพื้นผิว

29. SURFACE ROUGHNESS คือ พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอในเนื้อที่เล็กๆของพื้นผิวชิ้นงาน (ซึ่งก็คือความขรุขระของพื้นผิวนั่นเอง)

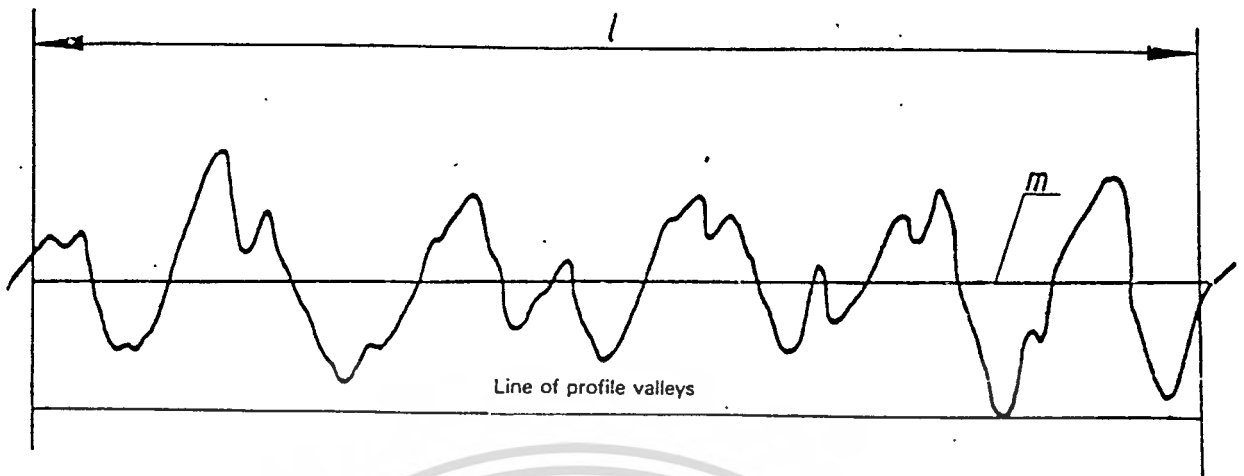
30. LINE OF PROFILE PEAK คือ เส้นที่ขนานกับเส้น mean line และตัดผ่านจุดสูงสุดของ profile ภายในความยาวของ sampling length (ดูรูปที่ 21)



รูปที่ 21

31. LINE OF PROFILE VALLEY คือ เส้นที่ขนานกับเส้น mean line และตัดผ่านจุดต่ำสุดของ profile ภายในความยาว sampling length (ดูรูปที่ 22)

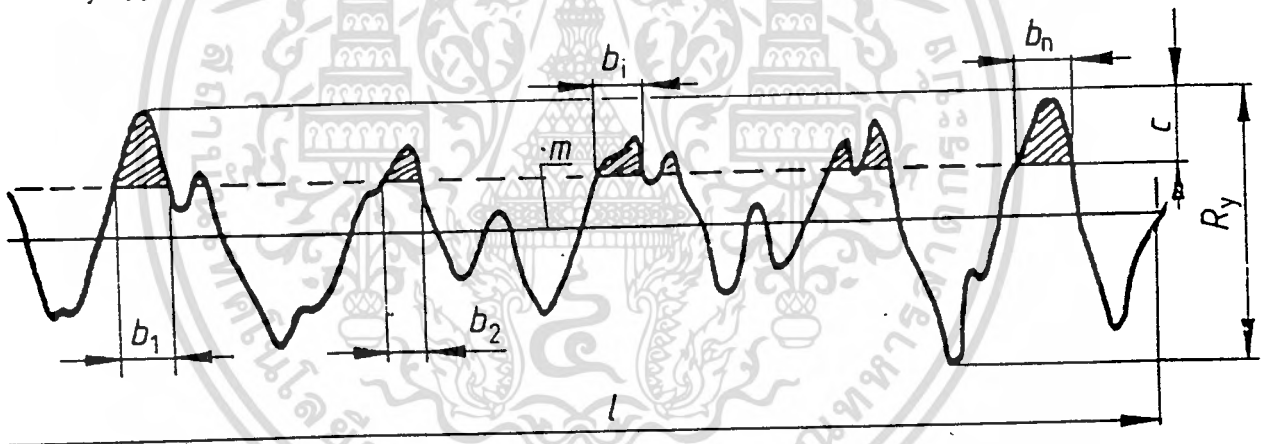
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22

32. PROFILE SECTION LEVEL,  $c$  คือ ระยะระหว่างเส้น line of profile peak และ ขนานกับเส้นที่ตัดกับ profile

profile section level นี้สามารถที่จะกำหนดค่าได้ ในหน่วยไมโครเมตรหรือเป็น % ของ  $R_y$  (ดูรูปที่ 23)

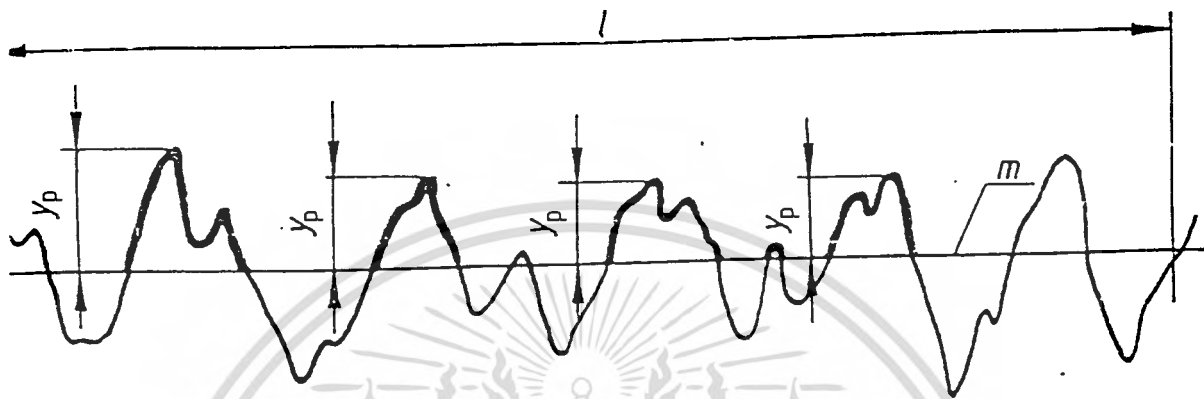


รูปที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

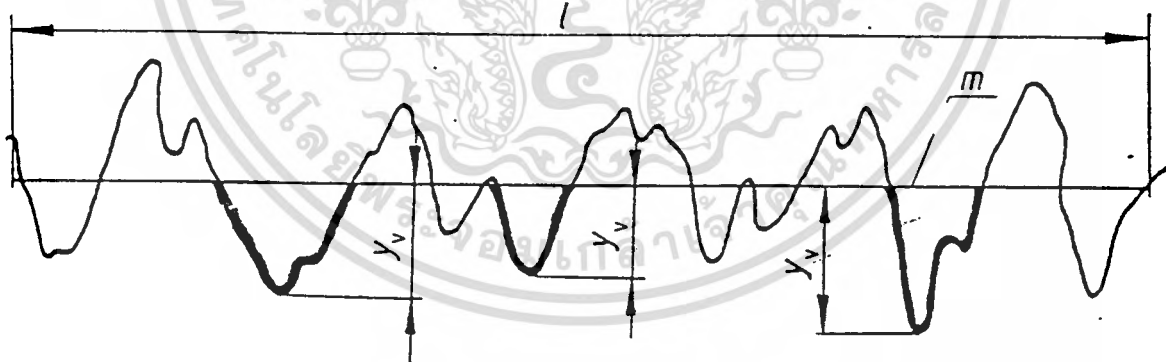
## 2.3 พารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิว(Surface Roughness Parameters)

1. PROFILE PEAK HEIGHT,  $y_p$ : ระยะทางระหว่างเส้นเฉลี่ยและจุดสูงสุดของยอดกราฟ  
( รูปที่ 24)



รูปที่ 24

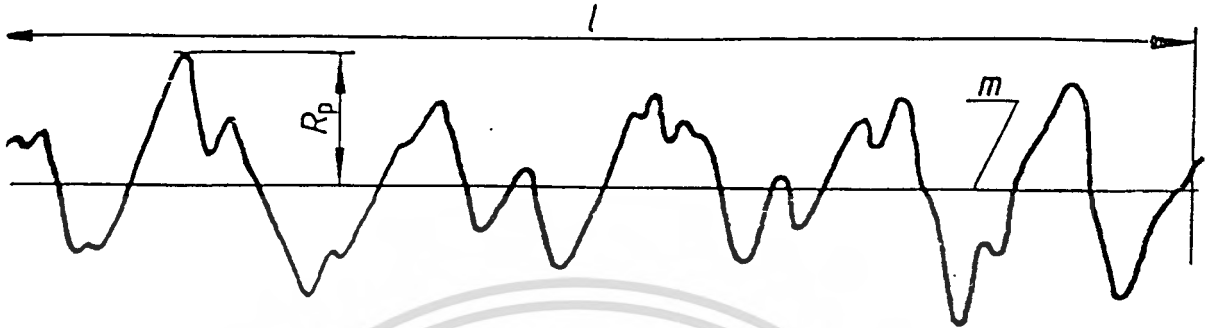
2. PROFILE VALLEY DEPTH,  $y_v$ : ระยะทางระหว่างเส้นเฉลี่ยและจุดต่ำสุดของกราฟ  
( รูปที่ 25)



รูปที่ 25

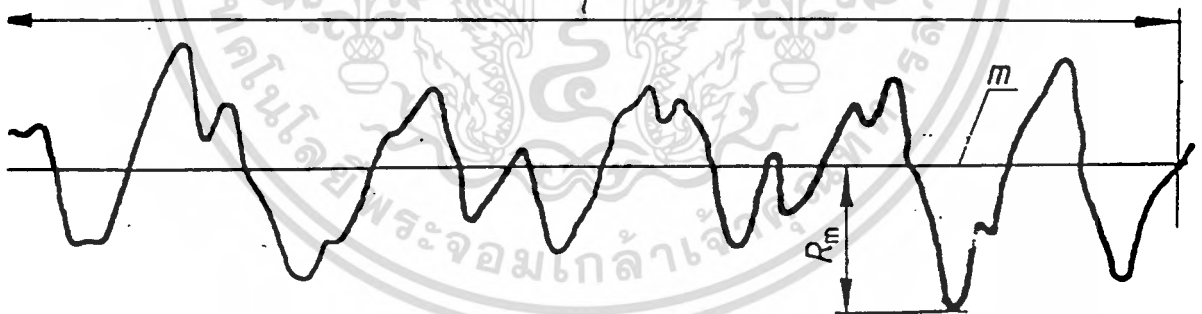
3. MAXIMUM PROFILE PEAK HEIGHT,  $R_p$ : ระยะทางระหว่างจุดสูงสุดและเส้นเฉลี่ย  
( รูปที่ 26)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26

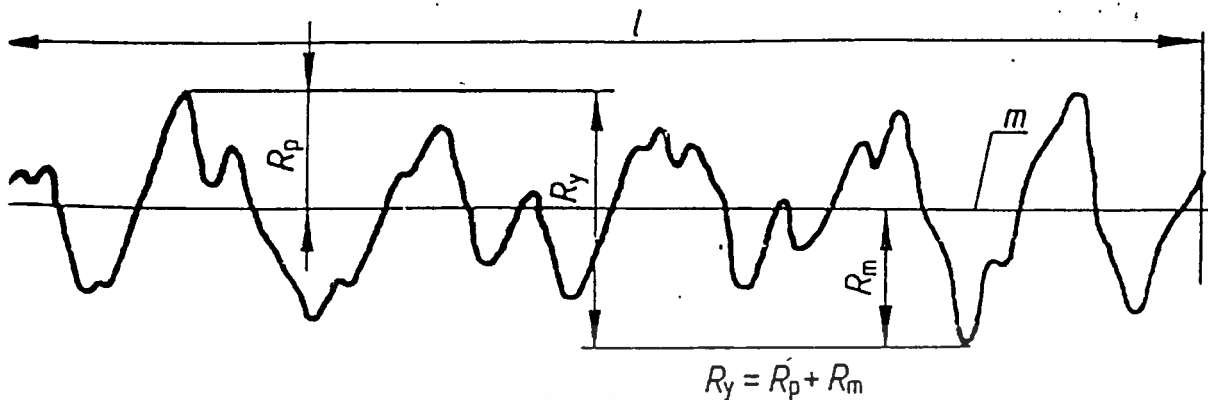
4. MAXIMUM PROFILE VALLEY DEPTH,  $R_m$  : ระยะทางระหว่างจุดต่ำสุดกับเส้น  
เฉลี่ย ( ดูรูปที่ 27)



รูปที่ 27

5. MAXIMUM HEIGHT OF THE PROFILE,  $R_y$  ( $R_{max}$ ) : ระยะระหว่างเส้นของจุดสูง  
สุด( $R_p$ )กับเส้นของจุดต่ำสุด( $R_m$ ) ดังรูปที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



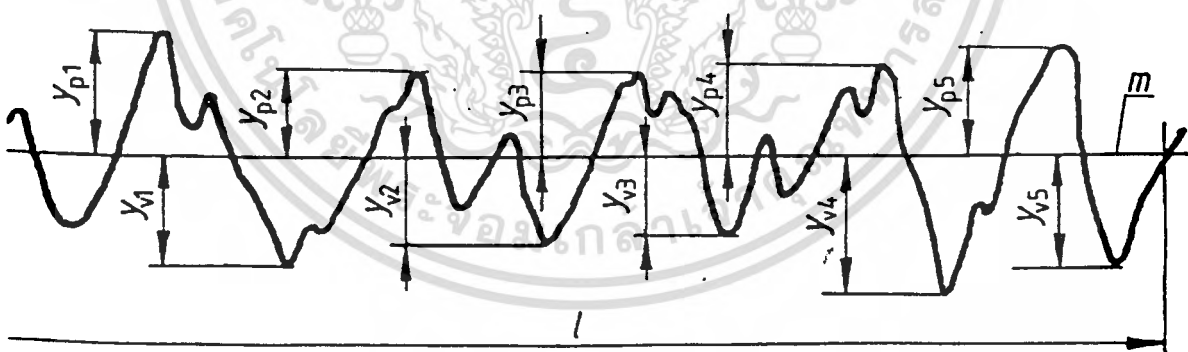
รูปที่ 28

6. TEN POINT HEIGHT OF IRREGULARITIES,  $R_z$  : ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของความสูงของ profile peak จำนวน 5 จุดและความลึกของ profile valley ภายในความยาว sampling length (ดูรูปที่ 29) หาได้จากสมการ

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$

$y_{pi}$ : เป็นส่วนนูนที่สูงที่สุดของยอดกราฟ

$y_{vi}$ : เป็นส่วนที่ลึกที่สุดของกราฟ



รูปที่ 29

7. MEAN HEIGHT OF PROFILE IRREGULARITIES,  $R_c$ : ผลบวกของค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของความสูงของ profile peak และความลึกของ profile valley ซึ่งหาได้จากสมการ

$$R_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{pi}| + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_{vj}|$$

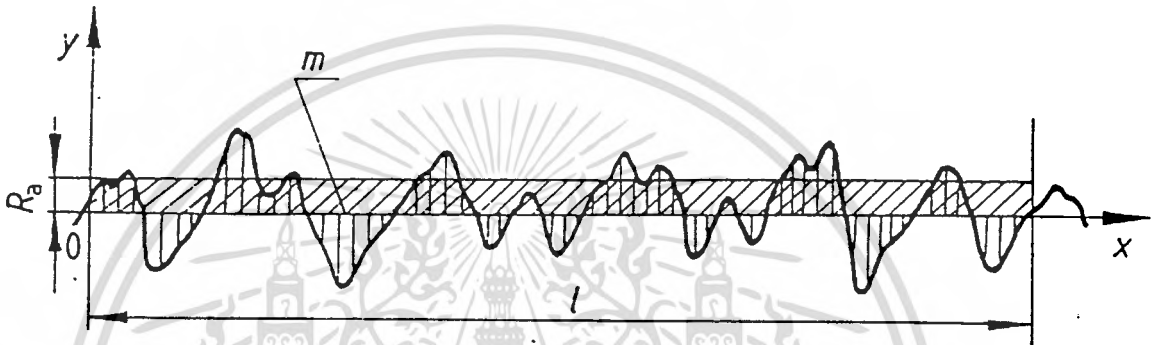
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ARITHMETICAL MEAN DEVIATION OF THE PROFILE,  $R_a$ : ค่าสัมบูรณ์ของตัวเลขเฉลี่ยของ profile ภายใต้ความยาว sampling length  $l$  (ดูรูปที่ 30) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

หรือ

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$



รูปที่ 30

9. ROOT-MEAN-SQUARE DEVIATION OF THE PROFILE,  $R_q$ : ค่า root-mean-square ของ profile ภายในความยาว sampling length ซึ่งหาได้จากสมการ

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความหยาบของพื้นผิวโลหะ

1. ความยาวคลื่นของ  $R_q$  ของกราฟ

คือค่าของ  $2\pi$  คูณกับอัตราส่วนของ root-mean-square ที่เปลี่ยนไปของ  $R_q$  กับค่า root-mean-square ของความชันของกราฟ ( $\Delta_q$ )

หาได้จากสมการ

$$\lambda_q = 2\pi \frac{R_q}{\Delta_q}$$

โดย

$$\Delta_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx}$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta_q \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right)^2}$$

2. ความยาวคลื่นของ  $R_a$  ของกราฟ

คือค่าของ  $2\pi$  คูณอยู่กับอัตราส่วนของตัวเลขเฉลี่ย  $R_a$  กับตัวเลขเฉลี่ยความชัน

( $\Delta_a$ ) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\lambda_a = 2\pi \frac{R_a}{\Delta_a}$$

โดย

$$\Delta_a = \frac{1}{l} \int_0^l \left| \frac{dy}{dx} \right| dx$$

หรือ

$$\Delta_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right|$$

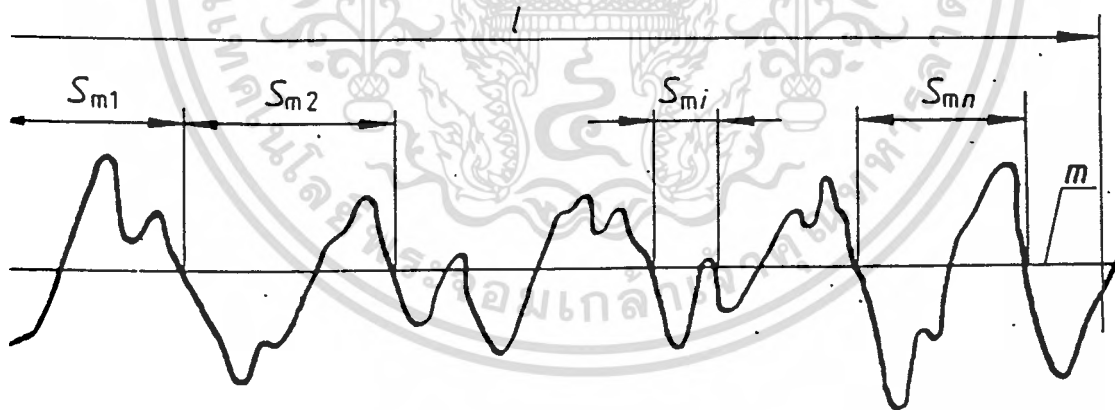
3.  $S_m$  คือค่าเฉลี่ยของความยาวช่วงคลื่นทั้งหมดของรูปกราฟ (รูปที่ 31) ซึ่งหาได้จากสมการ

การ

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

$S_{mi}$  เป็นความยาวของแต่ละช่วงคลื่น

$n$  เป็นจำนวนของช่วงคลื่นทั้งหมดของกราฟ



รูปที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 คุณลักษณะพื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องวัดแบบใช้หัวเข็ม

1. มุมของเข็ม มีการกำหนดขนาดของมุมดังต่อไปนี้ ( radians(degrees) )

1.05(60); 1.57(90)

2. รัศมีของปลายเข็ม ปกติค่าของรัศมีของปลายเข็มมีหน่วยเป็น micrometer กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ คือ

2; 5; 10

3. แรงกดที่ใช้ตอนหัวเข็มอยู่กับที่ มีค่าที่แนะนำสำหรับออกแรงกดตอนที่หัวเข็มอยู่กับที่ และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงกดในการวัด กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ค่าของรัศมีของปลายเข็ม( $\mu\text{m}$ )	2	5	10
แรงกดสูงสุดตอนที่หัวเข็มอยู่กับที่ newtons (grams-force)	0.0007 (0.07)	0.004 (0.4)	0.016 (1.6)
อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงกด newtons/metre (grams-force/ $\mu\text{m}$ )	35 (0.003 5)	200 (0.020 0)	800 (0.080 0)

ตารางที่ 1 แสดงค่าแรงกดตอนที่หัวเข็มอยู่กับที่และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงกดในการวัด

## 2.5 หลักการและการปฏิบัติสำหรับกรวัดความขรุขระของพื้นผิวโดยใช้เครื่องวัดแบบหัวเข็ม

รูปแบบการกำหนดรายละเอียดข้อกำหนดของความเรียบของพื้นผิวในกระบวนการผลิต จำเป็นจะต้องเปรียบเทียบค่าของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวซึ่งงานกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ในแบบหรือเอกสารทางเทคนิคของการผลิต

ในการตรวจสอบความขรุขระของชิ้นงานสามารถทำให้เห็นรูปร่างของวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือเป็นพื้นที่ ที่มีความแตกต่างกันหลายๆชนิด ในกรณีที่มีการวัดความขรุขระของพื้นผิวมีรูปร่างเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระจะหาจากพื้นผิวทั้งหมดเพื่อที่จะใช้เปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ในแบบหรือเอกสารทางเทคนิคของการผลิต

การระบุขอบเขตสูงสุด(upper limit)และขอบเขตต่ำสุด(lower limit)ของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวเพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวที่วัดได้ ซึ่งจะเป็นความสะดวกในการตรวจสอบว่าสามารถจะยอมรับได้ตามที่ระบุไว้ในแบบหรือเอกสารทางเทคนิคของการผลิต

การระบุขอบเขตสูงสุดของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิว ค่าของพื้นผิวที่วิเคราะห์แล้วสามารถที่จะยอมรับได้ถ้าไม่มากกว่า 16% ของขอบเขตสูงสุดของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวที่ตั้งไว้

### การหาค่าความยาว

เพื่อที่จะตัดสินใจว่าพื้นผิวชิ้นงานจัดอยู่ในลักษณะที่ต้องการหรือไม่ ให้ตั้งค่าพารามิเตอร์ของพื้นผิวขึ้นมาตัวหนึ่ง โดยกำหนดจากแต่ละค่าความยาวที่ทดลอง ค่าที่น่าเชื่อถือของการวัดจะขึ้นกับความยาวที่สุ่มทดลอง ค่าที่ประมาณจะเป็นไปตามค่าพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิว และจะเป็นไปตามจำนวนของความยาวที่ประเมิน

การวัดพื้นผิวและการหาค่าความยาวที่มากขึ้นจะยังมีความน่าเชื่อถือต่อการตัดสินใจ ดังนั้นพื้นผิวที่ได้รับการตรวจสอบจะมีความแม่นยำสูงในการหาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิว

### หลักการและการปฏิบัติสำหรับการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัดแบบหัวเข็ม

#### 1. การวัดค่าของพารามิเตอร์ของความขรุขระของพื้นผิวที่เป็นค่าเดี่ยวๆ

การวัดชิ้นงานตัวอย่างจะต้องมีความยาวของการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน (sampling lengths) เท่ากับที่กำหนดไว้ในการตรวจสอบความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงาน

โดยทั่วไปมักจะ ไม่จำเป็นที่จะกำหนดค่าความยาวของการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน (sampling lengths) ในแบบหรือเอกสารทางเทคนิค ในกรณีนี้การวัดหาค่าพารามิเตอร์  $R_x$ ,  $R_y$  และ  $R_z$  จะใช้ค่าตามตารางที่ 1, 2 หรือ 3

อย่างไรก็ตาม ในกรณีพิเศษซึ่งต้องการที่จะเลือกค่าความยาวของการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน (sampling lengths) นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในตาราง จะต้องมีการคำนวณหาค่าความยาวจากตัวอย่างชิ้นงาน

## บทที่ 3

### ทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้าง

#### 3.1 การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี

##### 3.1.1 การเขียนโปรแกรมภาษาซีในการสื่อสารแบบอนุกรม

##### การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมอะซิงโครนัส

ก่อนที่จะได้เรียนรู้ของการทำงานของพอร์ตอนุกรมนั้นควรจะได้ทำความเข้าใจกับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (asynchronous) เสียก่อน ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านพอร์ตอนุกรมครั้งละ 1 บิต ซึ่งแตกต่างจากการส่งแบบขนาน ซึ่งส่งครั้งละ 1 ไบต์ และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสแต่ละไบต์นั้น ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จึงได้ชื่อว่าการรับข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ในการส่งผ่านพอร์ตข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลแต่ละไบต์จะประกอบด้วย

1. บิตเริ่มต้น (start bit) 1 บิต
2. บิตข้อมูล (data bit) 7 หรือ 8 บิต
3. พาริตีบิต (parity bit) (จะมีหรือไม่มีก็ได้)
4. บิตสิ้นสุด (stop bit) 1 หรือ 2 บิต

สถานะของสายส่งในขณะที่ไม่มีสัญญาณจะมีสถานะสูง ข้อมูลบิตใดมีค่า 0 จะทำให้สายส่งมีสถานะต่ำ ข้อมูลบิตใดที่มีค่า 1 จะทำให้สายส่งมีสถานะสูง เช่นเดิม บิตเริ่มต้นใช้สำหรับบอกจุดเริ่มต้นของไบต์ข้อมูล โดยทำให้สถานะของสายส่งมีค่าเป็นเวลา 1 รอบ จากนั้นจะเป็นบิตของข้อมูล ตามด้วยพาริตีบิต ซึ่งจะมีหรือไม่มีก็ได้ สุดท้ายคือบิตสิ้นสุด ซึ่งจะมี 1 หรือ 2 บิตก็ได้ขึ้นกับว่าต้องการใช้เท่าไร

พาริตีบิตหากมีในไบต์ข้อมูลก็จะทำหน้าที่ตรวจเช็คความผิดพลาดของข้อมูลพาริตีมีค่า 2 อย่างคือ เป็นคู่ หรือ คี่ (even or odd) ถ้าเป็นคู่หมายความว่าเมื่อรวมพาริตีบิตแล้วจำนวนบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 มีจำนวนคู่ และถ้าเป็นคี่หมายความว่า เมื่อรวมพาริตีแล้วจำนวนบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 มีจำนวนคี่

อัตราการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น อัตราบิต ( baud , bit per second ) ค่าอัตราบิต ที่ค่าต่ำที่ใช้กันคือ 300 บิต ซึ่งจะใช้กันในโมเด็มรุ่นเก่า ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ IBM PC สามารถใช้ค่าอัตราบิต ได้สูงถึง 9600 บิต และ 19200 บิต

#### มาตรฐาน RS-232

การที่จะเข้าใจว่าปัญหามากมายที่เกิดขึ้นกับพอร์ตแบบอนุกรมนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไมถึงเกิดขึ้นได้ จะต้องเข้าใจถึงมาตรฐานของการสื่อสารแบบอนุกรมอะซิงโครนัสของ RS-232

มากพอสมควร พอร์ตแบบอนุกรมส่วนใหญ่ จะรูปร่างขึ้นอยู่กับมาตรฐานของ RS-232 คือมีขา 25 ขาที่คอนเน็กเตอร์แต่ละ ปลายสายส่ง แต่ถึงแม้ว่าจะมีขาจำนวนเท่ากันแต่พอร์ตส่วนใหญ่จะมี สัญญาณของ RS-232 ทั้งหมดเพราะว่าบางสัญญาณ ไม่จำเป็นต้องใช้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

สัญญาณ	ชื่อย่อ	หมายเลขขา
Request to send	RTS	4
Clear to send	CTS	5
Data set ready	DSR	6
Data terminal ready	DTR	20
Transmit data	TxD	2
Receive data	RxD	3
Ground	GRD	7

ตารางที่ 3.1

สัญญาณทั้งหมดมีมากกว่านี้ เพราะว่าแรกเริ่มนั้น พอร์ตอนุกรมออกแบบมาเพื่อใช้งานกับ โมเด็ม ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่น บางสัญญาณจึงไม่จำเป็น เพราะสัญญาณเหล่านี้มีใช้เพื่อเป็นข้อตกลงระหว่างโมเด็มในคอมพิวเตอร์ว่า

- 1.คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งข้อมูลให้กับโมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อมส่งข้อมูล
- 2.คอมพิวเตอร์จะไม่อ่านข้อมูลจาก โมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อม

#### ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล(framing error)คือความผิดพลาดของการส่งข้อมูล ที่เกิด จากสัญญาณ(clock) ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองด้านมีค่าไม่เท่ากัน เพราะการเริ่ม การทำงานของพอร์ตอนุกรมเมื่อพอร์ตอนุกรมได้รับบิตเริ่มต้นก็จะสุ่มอ่านค่าจากส่วนรับข้อมูลจาก 1 ครั้งต่อ 1 รอบ เพื่ออ่านบิตต่อไป ซึ่งระยะเวลาในการสุ่มอ่านแต่ละรอบกำหนดได้จากอัตราบิตอด ถ้าหากว่าคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องมีสัญญาณนาฬิกาไม่ตรงกัน คอมพิวเตอร์ด้านรับก็จะอ่าน ข้อมูลจากส่วนรับข้อมูลของตนซ้ำเกิน ไปหรือเกิน ไปก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ด้าน ส่ง ทำให้เกิดเฟรมมิ่งเออร์เรอร์ขึ้น

### ฮาร์ดแวร์แฮนด์เชกกิ้ง

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เชกกิ้ง ( hardware handshaking ) คือวิธีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ตอนุกรม โดยจะต้องตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์ด้านของการรับข้อมูลว่าพร้อมที่จะมีการรับข้อมูลหรือไม่ เมื่อคอมพิวเตอร์ด้านของการรับข้อมูลว่าพร้อมที่จะมีการรับข้อมูลหรือไม่ เมื่อคอมพิวเตอร์ด้านพร้อมที่จะส่งข้อมูลจะถูกกลับมาจากคอมพิวเตอร์ด้านรับ สัญญาณพร้อมรับข้อมูลของคอมพิวเตอร์ด้านรับคือ clear to send (CTS)

โปรแกรมจำลองการรับส่งข้อมูล จะมีรูปแบบดังนี้คือ

```
do
while(not CTS) wait;
send (byte);
while (bytes to send);
```

หมายความว่า จะมีการตรวจสอบสถานะ CTS ตลอดเวลาว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่พร้อมก็จะรอไปเรื่อยๆ แต่ถ้าพร้อม ก็จะส่งข้อมูลไปให้ จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดที่ยังมีข้อมูลที่จะต้องส่งอยู่

### ปัญหาของการสื่อสาร

เพื่อที่จะให้การสื่อสารเป็นไปอย่างถูกต้อง สัญญาณหลายๆ สัญญาณถูกใช้เพื่อตรวจสอบดูว่าข้อมูลพร้อมเมื่อใดหรือข้อมูลไบต์ต่อไปจะถูกส่งมาเมื่อใดแต่ต่อมาเมื่อมีการสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์ สัญญาณบางสัญญาณได้ถูกตัดทิ้งไปเพื่อว่าสายสัญญาณจะได้ลดน้อยลง และลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสายส่ง สัญญาณจึงเหลือเพียง GND , TXD, และ RTD ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วเมื่อคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะส่งข้อมูล คอมพิวเตอร์อีกเครื่องจะต้องพร้อมรับข้อมูลแต่เมื่อลดสายสัญญาณลงแล้ว จะทำให้เกิดปัญหาตามมามากมาย ที่ผู้ขงปัญหาหนึ่งคือ ปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ (overrun error)

### ปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ

เมื่อมีการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมใช้สายเพียง 2 สายนั้น จะต้องใช้กรรมวิธีพิเศษเล็กน้อยเพื่อให้พอร์ตตัวส่งเข้าใจว่าพอร์ตด้านรับเพื่อที่จะรับข้อมูลเสมอโดยการต่อขา 6,8 และ 20 ของคอนเน็คเตอร์เข้าด้วยกันวิธีการเช่นนี้เป็นการตัดฮาร์ดแวร์เชกกิ้งไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดข้อมูลถูกเขียนทับได้ง่าย ซึ่งก็คือความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลอย่างหนึ่งที่เกิดจากการที่คอมพิวเตอร์เครื่องส่ง ส่งข้อมูลใหม่มาให้คอมพิวเตอร์ด้านรับยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลเนื่องจากในขณะนั้นข้อมูลเดิมยังไม่ได้ถูกอ่านเข้า แต่ข้อมูลใหม่ถูกส่งกลับมาแล้ว ข้อมูลเดิมจึงถูกเขียนทับไปจึงเกิดเป็นความผิดพลาดของข้อมูลขึ้น

### การใช้งานพอร์ตอนุกรมผ่าน BIOS

การใช้งานพอร์ตอนุกรมทำได้ 3 วิธีคือ ผ่านทางคอส ผ่านทาง bios และสุดท้ายคือ การเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ตอนุกรมโดยตรง

การเรียกพอร์ตอนุกรมผ่านทางคอสนั้น ไม่เหมาะสมเท่าใดนักเพราะว่าคอสไม่มีวิธีที่จะตรวจสอบสถานะของการรับส่งตัวพอร์ตอนุกรม

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมโดยตรงนั้นคงไม่จำเป็นเพราะวิธีที่ง่ายและดีกว่าคือ การเรียกใช้ผ่าน bios อินเทอร์รัพต์หมายเลข 14 ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้

#### การเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต

ในการเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมเราสามารถทำได้ โดยผ่านอินเทอร์รัพต์หมายเลข 14 ฟังก์ชัน รีจิสเตอร์ ah ผ่านค่ารหัสที่จะตั้งสถานะของพอร์ตอนุกรมโดยมีความหมายแต่ละบิตดังตารางที่ 3.2

ตัวอย่างการใช้รหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรม เช่น อัตราบิต 9600 มีพาริตีคู่มี 1 บิตสิ้นสุด และใช้ 8 บิตต่อ 1 ไบต์ข้อมูล จะได้รูปแบบดังตารางที่ 3.3

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะมีพอร์ตอนุกรมได้มากถึง 7 พอร์ตโดยหมายเลขพอร์ตที่จะใช้สามารถกำหนดผ่าน รีจิสเตอร์ DX พอร์ตแรก ( COM1 ) มีหมายเลข 0 พอร์ตต่อไปหมายเลข 1 เช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆดังตัว ไปเรื่อยๆดังตัวอย่างการรับส่งสถานะของพอร์ต

```
void init_port(port,code)
```

```
int port;
```

```
unsigned char code;
```

```
union REGS r;
```

```
r.x.dx = port; /*หมายเลขพอร์ตอนุกรม*/
```

```
r.h.ah = 0; /*เรียกฟังก์ชันหมายเลข 0 ทำหน้าที่เตรียมสถานะ*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
r.h.al = code; /*รหัสตั้งสถานะเริ่มต้น*/
int86(ox14,&r,&r);
```

หมายเลขประจำบิต	ความหมาย
7, 6, 5	อัตรารับส่งข้อมูล 000 = 110 baud 001 = 150 baud 010 = 300 baud 011 = 600 baud 100 = 1200 baud 101 = 2400 baud 110 = 4800 baud 111 = 9600 baud
4, 3	พาริตี 00 หรือ 10 = ไม่มีพาริตี 01 = พาริตีคี่ 11 = พาริตีคู่
2	จำนวนของบิตสิ้นสุด 0 = 1 บิตสิ้นสุด 1 = 2 บิตสิ้นสุด
1, 0	จำนวนบิตในข้อมูล 1 ไบต์ 10 = 7 11 = 8

ตารางที่ 3.2

บิตที่	7	6	5	4	3	2	1	0
รหัส	1	1	1	1	1	0	1	1

ตารางที่ 3.3

### การส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม 1 ไบต์

อินเทอร์ร็พต์หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 1 ของ BIOS ทำหน้าที่ส่งข้อมูล 1 ไบต์ออกจากพอร์ตอนุกรม หมายเลขของพอร์ตอนุกรมที่จะทำการส่งข้อมูล สามารถกำหนดได้ผ่านรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DX ข้อมูลที่จะทำการส่งอยู่ในรีจิสเตอร์ AL เมื่อทำการส่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว สถานะการส่งข้อมูล จะปรากฏในรีจิสเตอร์ AH เพื่อใช้สำหรับตรวจดูว่าการส่งข้อมูลถูกต้องหรือไม่

ตัวอย่างโปรแกรมส่งข้อมูล 1 ไบต์

```
void sport(port,ch)
int port;
char ch;
union RESG r; /*กำหนดหมายเลขพอร์ต*/
r.x.dx = port; /*ตัวอักษรที่ต้องการส่ง*/
r.h.al = ch; /*ฟังก์ชันหมายเลข 1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล 1 ไบต์*/
r.h.ah = 1;
int86(0x14,&r,&r);
if(r.h.ah & 128);
printf("send error in serial port ");
exit(1);
```

### 3.1.2 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของพื้นผิว

เราจะรับข้อมูลที่เป็นจำนวนเต็ม(integer)เข้ามาเก็บไว้ในอาเรย์ โดยกำหนดจำนวนของอาเรย์ให้สัมพันธ์กับความยาวของ sampling length โดยใน project นี้ใช้ sampling length ที่ยาวสุดเท่ากับ 15 mm. ซึ่งจะใช้อาเรย์ขนาด 450 ดังนั้นจะมีอัตราส่วนเป็น 1:30

การหาค่า mean หรือ mean line

วิธีการหาค่า mean ใน project นี้จะนำเอาค่าของ data ที่เป็น integer จากอาเรย์ทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยขนาดของอาเรย์ จากนั้นก็คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าที่ได้จากค่าจริงของพื้นผิวหารด้วยค่าของข้อมูลที่เป็น integer ในอาเรย์(จากการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์นี้เท่ากับ 0.2) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{mean} = 0.2 \sum_{i=1}^n D_i$$

การหาค่า  $R_y$  หรือ  $R_{\max}$

วิธีการหาค่า  $R_y$  หรือ  $R_{\max}$  ใน project นี้จะนำเอาค่าของ data ที่เป็น integer จากอาเรย์ทั้งหมดมาหาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด แล้วนำค่าทั้งสองนี้มาลบกัน จากนั้นก็คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าที่ได้จากค่าจริงของพื้นผิวหารด้วยค่าของข้อมูลที่เป็น integer ในอาเรย์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R_y = 0.2(D_{\max} - D_{\min})$$

### การหาค่า $R_z$

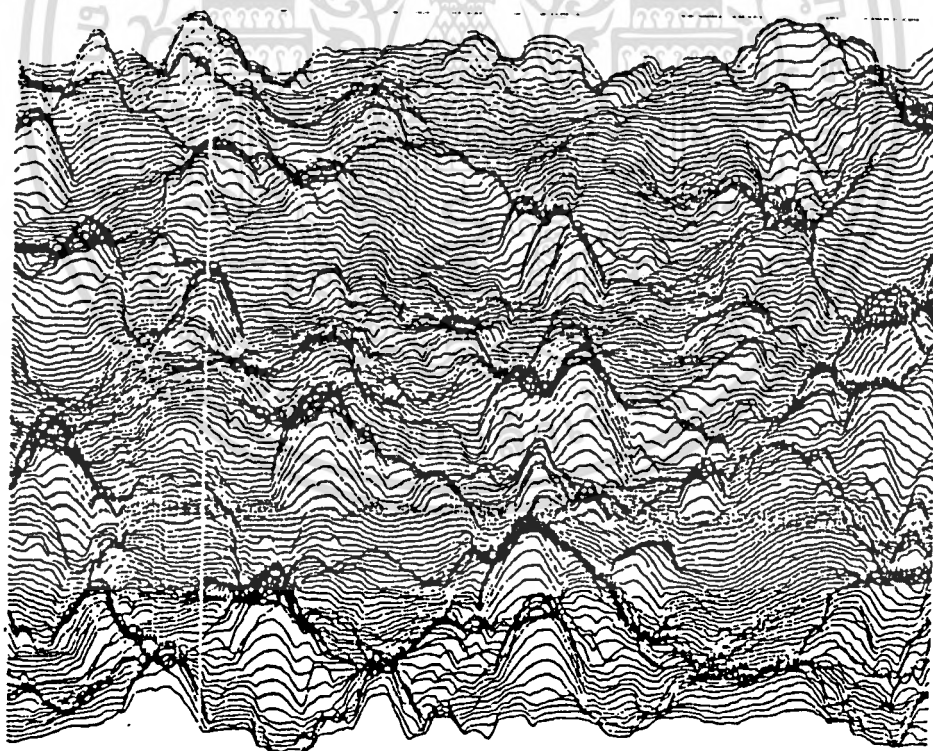
วิธีการหาค่า  $R_z$  ใน project นี้จะมีการกำหนดช่วงที่จะพิจารณา 5 ช่วงที่ติดต่อกัน และจะหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละช่วงนำมารวมกันแล้วหารด้วย 5 จากนั้นก็คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าที่ได้จากค่าจริงของพื้นผิวหารด้วยค่าของข้อมูลที่เป็น integer ในอาร์เรย์ ผลที่ได้จะเป็นค่าของ  $R_z$

### การหาค่า $R_x$

วิธีการหาค่า  $R_x$  ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของ profile หาโดยการเปรียบเทียบค่าข้อมูลในอาร์เรย์ทั้งหมดกับค่า mean โดยนำค่าสัมบูรณ์จากการเปรียบเทียบมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

### 3.1.3 การเขียนโปรแกรมภาพสามมิติ

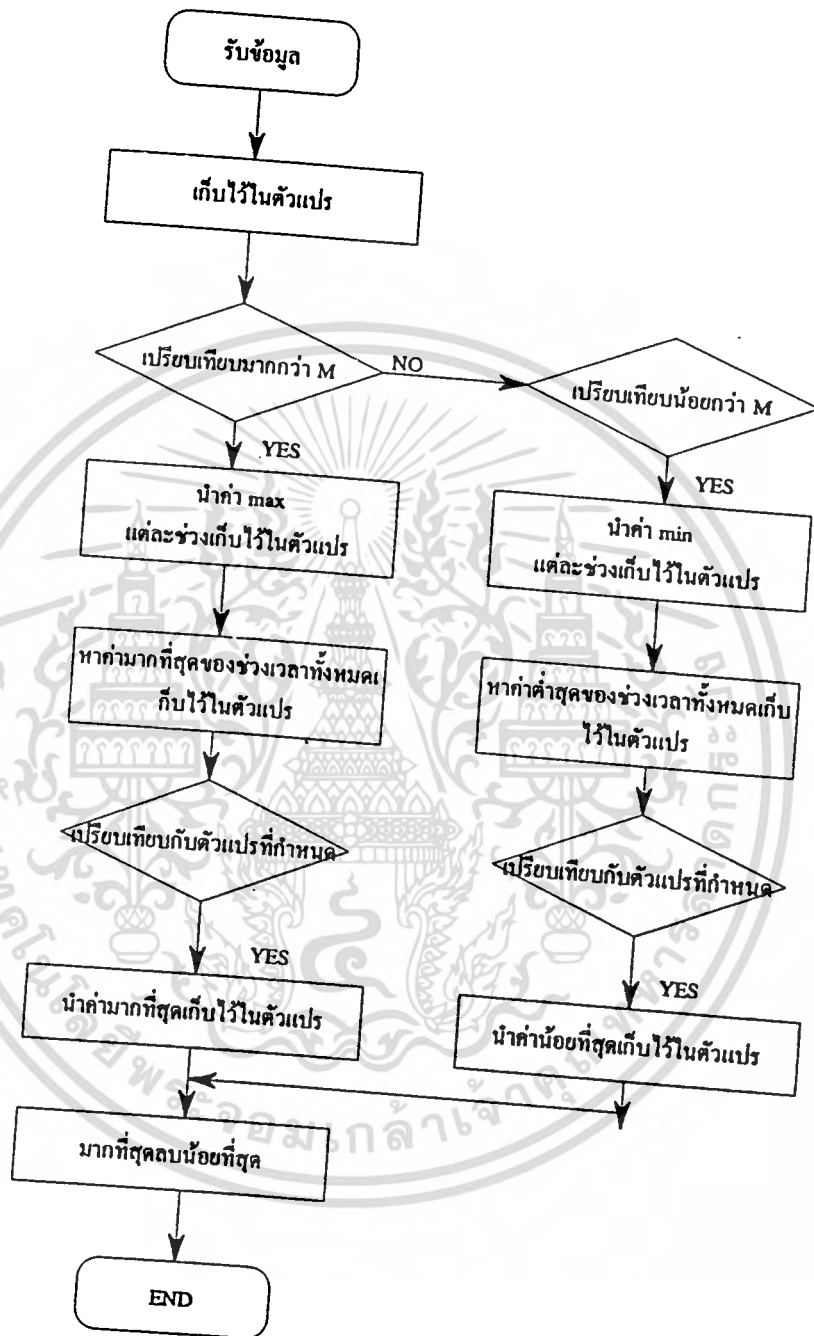
ในการวัดความเรียบของพื้นผิวด้วยเครื่องวัดแบบหัวเข็ม เราสามารถทำให้เกิดเป็นภาพที่เป็นเหมือนภูมิประเทศของพื้นผิวได้ โดยการให้หัวเข็มวัดพื้นผิวในลักษณะ scan เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็กๆ แล้วนำค่าที่วัดได้มาเรียงกันตามลักษณะที่วัดมาจากพื้นผิว ( ตัวอย่างภาพ ดังรูปที่ 32)



รูปที่ 32

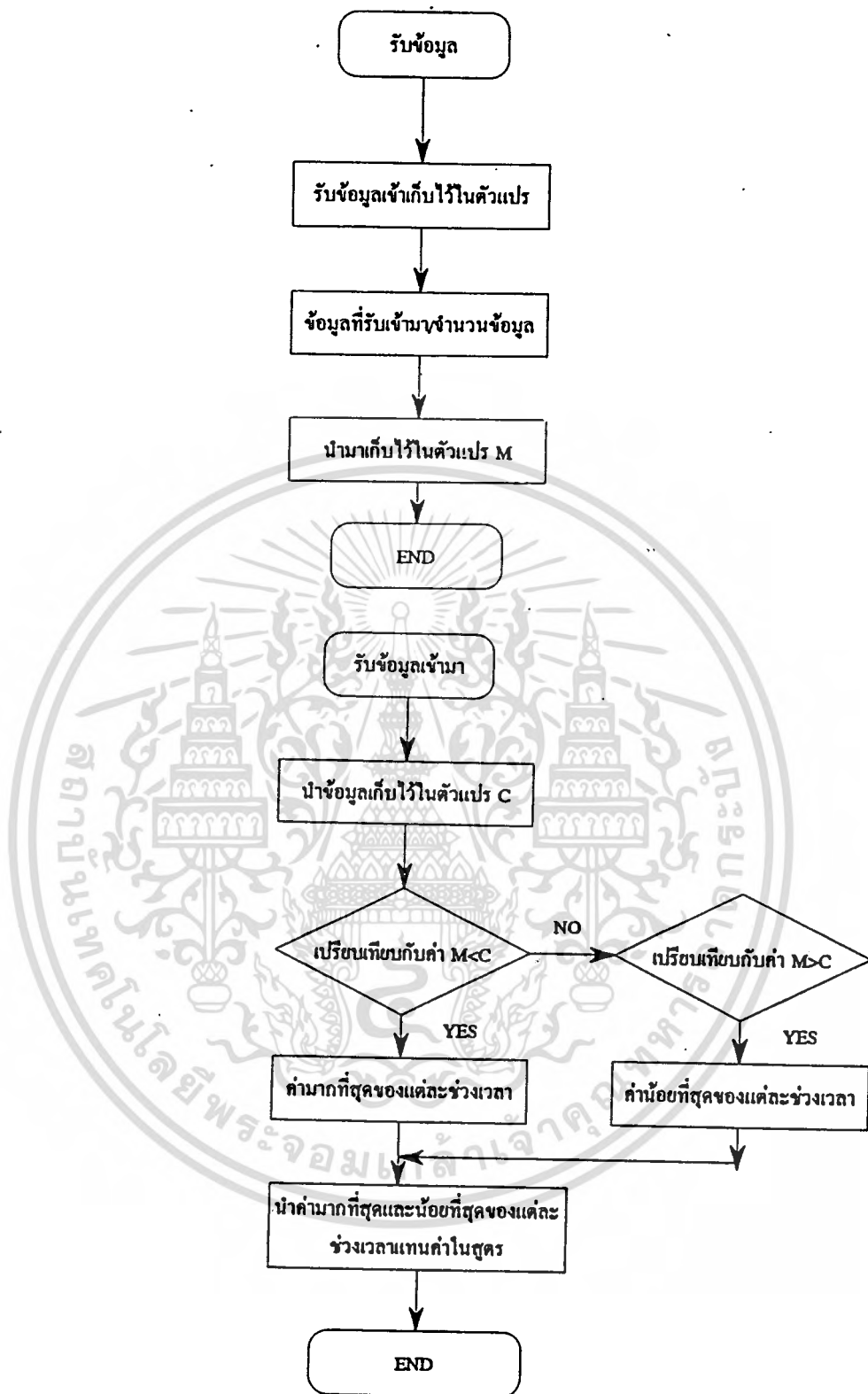
ในโครงการนี้ เราไม่ได้ใช้หัววัด ดังนั้นจึงเลือกใช้สัญญาณจาก Jazz 31 เป็นตัวสร้างภาพสามมิติแทน ซึ่งจะได้ภาพที่ไม่เหมือนจริงเพราะสัญญาณจะมาในลักษณะที่เป็น random

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

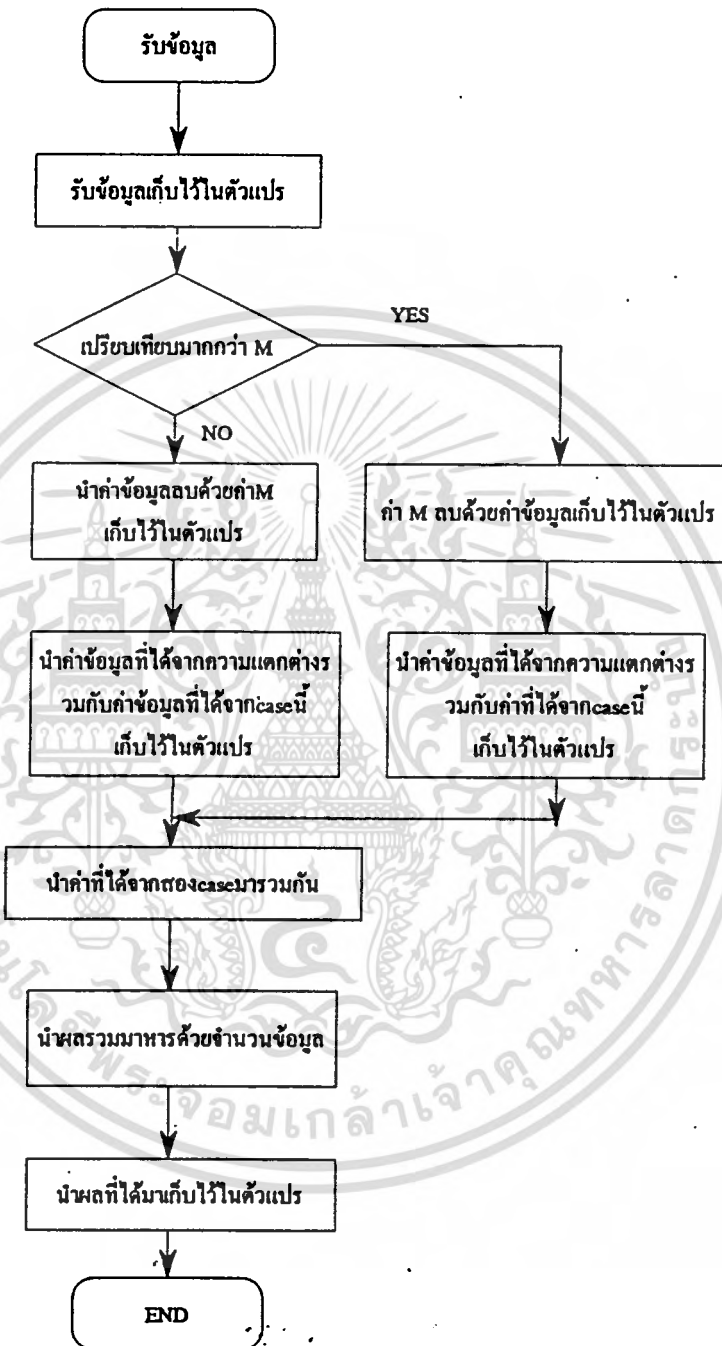


รูปที่ 33 แสดง flow chart การหาค่า  $R_y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 34 แสดง flow chart การหาค่า  $R_2$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35 แสดง flow chart การหาค่า  $R_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้ใช้ไอซี ADC 0809 ซึ่งใช้การแปลงแบบ successive approximation หลักการทำงานคือ เมื่อมีสัญญาณอนาลอกเข้ามา MSB จะให้เป็น 1 โดยบิตอื่นเป็น 0 ก่อน คั้งนั้นจะเป็น 1000 0000 คั้งนั้นเมื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกจะเท่ากับ 128 ถ้ามากกว่าสัญญาณที่เข้ามา MSB จะเท่ากับ 0 ต่อมาวางจรรจีสเตร์(register)จะเลื่อนบิตต่อไปเข้ามาเป็น 0100 0000 ซึ่งเท่ากับ 64 ถ้าสัญญาณที่เข้ามามากกว่าบิตนี้จะเป็น 1 ซึ่งจะกระทำไปเรื่อยๆจนมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับสัญญาณที่เข้าจนครบ 8 บิต เมื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแล้ว ค่อไปจะนำข้อมูลนี้เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะนำเข้าทางซีเรียลพอร์ท(serial port)ซึ่งเป็นการส่งแบบ RS232-C

ในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้การส่งข้อมูลสื่อสารแบบอนุกรมไม่ได้ใช้ซีพียู(CPU)ควบคุมการส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ใช้วงจรรคั้งในรูป ซึ่งใช้ 74165 ซึ่งเป็นไอซีแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม ในส่วนบิตเริ่มต้นจะใช้ 7474 ซึ่งเป็นไอซี D-Flip Flop สร้างขึ้น

โดยหลักการทำงานสามารถอธิบายได้คั้งนี้ เมื่อ ADC 0809 แปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว จะส่งสัญญาณ EOC (end of conversion) ออกมาให้ 74221 ซึ่งเป็นไอซีสร้างสัญญาณโมโนสแตเบิล(monostable) ซึ่ง 74221 จะสร้างสัญญาณทริก(trigger)เข้าที่ขา OE (output enable) ของ ADC 0809 และหน่วงสัญญาณช่วงหนึ่งก่อนส่งสัญญาณทริกไปเข้าที่ขา ชิฟ/โหลด (shift/load) ของ 74165 ก็เพื่อเป็นการนำข้อมูลเข้ามาจาก ADC 0809 มาชิฟ(shift)ข้อมูลออกเป็นแบบอนุกรมตามสัญญาณนาฬิกา ซึ่งได้กำหนดให้สัญญาณเท่ากับบอครเรต(baud rate) ในที่นี้ใช้บอครเรตเท่ากับ 9600 สร้างขึ้นโดยใช้คริสตอลความถี่ 1.8432 MHz แล้วหารด้วย 2 และยกกำลัง 5 จะได้ 57.6 kHz แล้วหารด้วย 6 จะได้ 9600 Hz พอดี

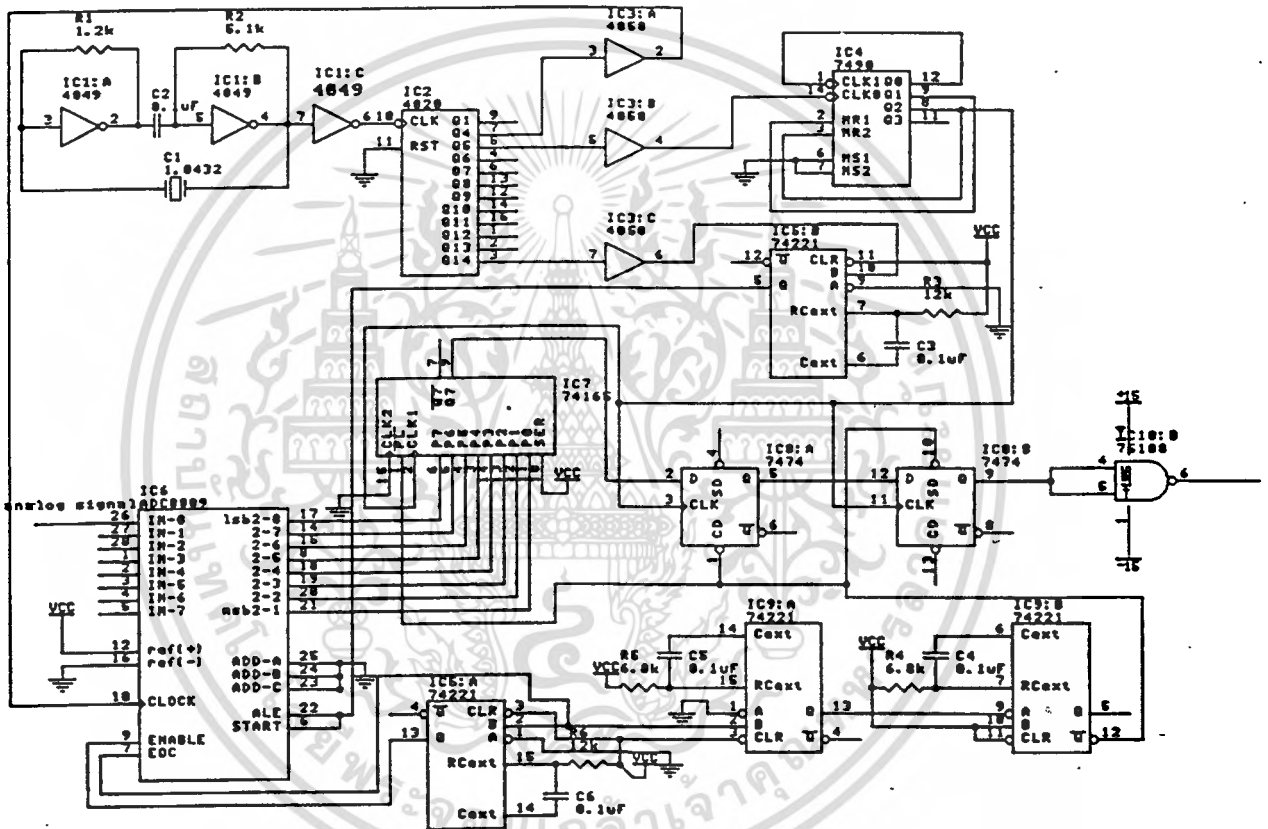
ในการสร้างบิตเริ่มต้น จะใช้ D-Flip Flop ที่มีขาเคลียร์(clear) ต่อมาจากขาเอาต์พุทของ 74165 เข้าขา D ของ 7474 2 ตัว โดยใช้สัญญาณเดียวกันกับ ชิฟ/โหลด เมื่อได้รับสัญญาณนี้ D-Flip Flop จะให้เอาต์พุทตัวแรกเป็น 0 และเอาต์พุทตัวหลังเป็น 1 ซึ่งจะนำหน้าสัญญาณข้อมูลเสมอ

ในส่วนบิตหยุด 74165 จะสร้างขึ้น คือ ในตอนที่ไม่มีสัญญาณอินพุทเข้ามา สัญญาณที่เอาต์พุทจะเป็น 1 เสมอ ซึ่งตรงกับสัญญาณบิตหยุดพอดี

ตามมาตรฐาน RS232-C ขนาดสัญญาณจะมีขนาดอยู่ในช่วง 3V ถึง 5V และช่วง -3V ถึง -15V ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC1488 ในการแปลงสัญญาณให้อยู่ในช่วงคั้งกล่าว

ในส่วนการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลอนี้ เราไม่สามารถแปลงสัญญาณทุกจุดบนเส้นสัญญาณอนาลอก เพื่อให้ได้รูปที่สวยงาม จึงได้กำหนดให้มีการแซมปลิง(sampling)แบบคง

ที่ คือให้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนด ในที่นี้ ใช้อัตราแรมปลิงเท่ากับ 112 Hz ส่วนสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับ ADC 0809 เท่ากับ 115.2 kHz



รูปที่ 36 วงจร A/D converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การสร้างตัวกำเนิดของสัญญาณที่ได้จากการวัดพื้นผิว

ในปริิณญานิพนธ์ฉบับนี้เราใช้ moving coil ในการให้กำเนิดสัญญาณจากการวัดพื้นผิว โดยอาศัยหลักการการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์ที่ว่า เมื่อโคก็ตามถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กก็จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$e = Blv$$

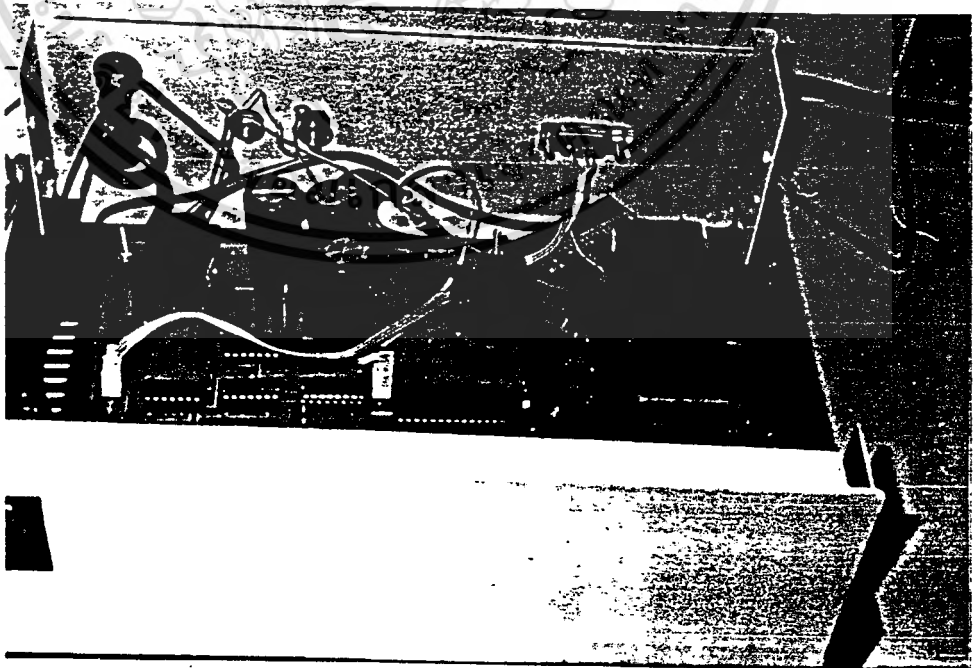
$e$  : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลท์)

$B$  : ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์/ตารางเมตร)

$l$  : ความยาวของตัวนำ (เมตร)

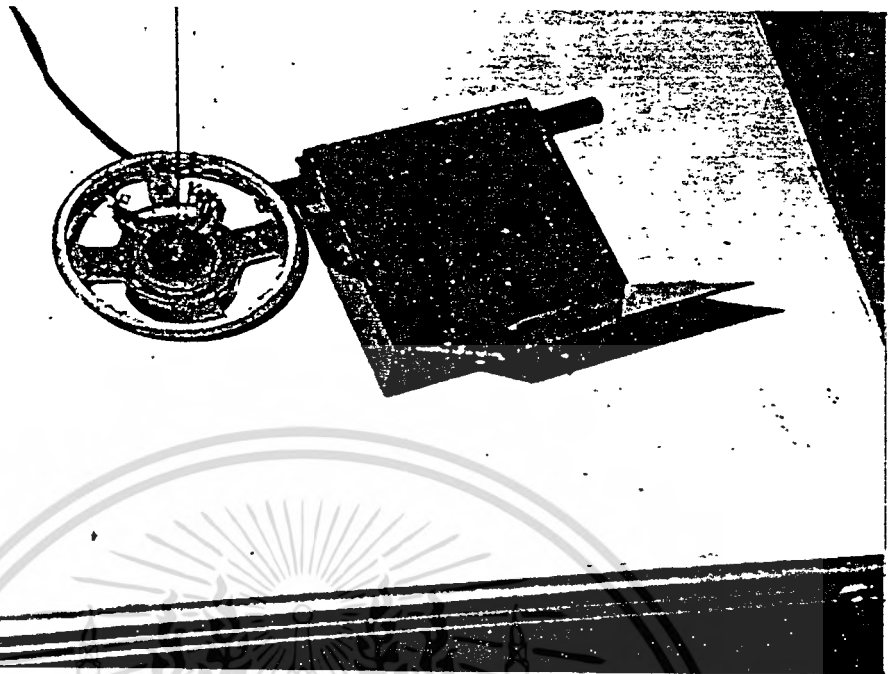
$v$  : ความเร็ว (เมตร/วินาที)

จากสมการข้างบนนี้ เราสามารถกำหนดให้  $B$  และ  $l$  คงที่ได้ ส่วนค่าของ  $v$  นั้นจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวที่วัดและความเร็วในการลากหัววัด สัญญาณที่ได้จะมีค่าน้อยมากอยู่ในหน่วยของมิลลิโวลท์(mV) ดังนั้นจะนำสัญญาณนี้เข้าวงจรขยายโดยใช้วงจรขยายออปแอมป์เพื่อที่จะได้สัญญาณในระดับโวลท์เพื่อส่งเข้าวงจร A/D Converter และเพื่อความเที่ยงตรงเราจึงสร้างเครื่องมือขึ้นมาเพื่อลากหัววัดนี้ในความเร็วที่เท่ากันหมดทุกครั้ง โดยเราจะใช้ synchronous motor ในการลากหัววัดนี้เพราะ synchronous motor จะมีความเร็วรอบในการหมุนคงที่ซึ่งมีความเร็วรอบประมาณ 4-5 รอบ/นาที

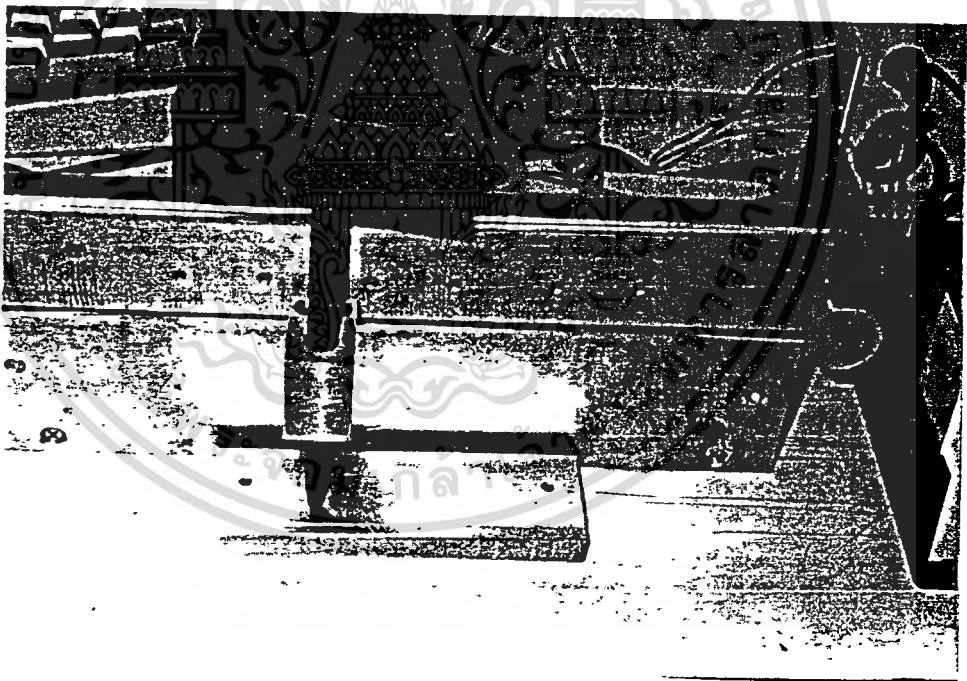


รูปที่ 37 ชุด A/D Converter ภาคขยายและชุดส่งผ่านเข้าเทอร์มินัล RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องต่อไป



รูปที่ 38 จุดที่กำเนิดสัญญาณจากที่ผิวที่ทำงาน moving coil ของฮับโทง



รูปที่ 39 ตัว driver ที่ใช้จากหัววัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง

เนื่องจากเราไม่สามารถที่จะทดลองกับเครื่องวัดความเร็วของโลหะจริงๆได้ ในการทดลองนี้จะใช้อุปกรณ์ที่เราสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการการกำเนิดไฟฟ้าของ moving coil จากลำโพงแทนสัญญาณที่มาจากเครื่องวัดความเร็วแทน ซึ่งโดยปกติสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วของโลหะจะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยหรือขนาดเป็น ไมโครโวลต์( $\mu\text{V}$ ) แล้วส่งเข้าวงจรขยายแรงดันให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ เมื่อผ่านวงจรขยายเรียบร้อยแล้วจึงส่งเข้าวงจร A/D converter แล้วส่งเข้า PC Computer ทางพอร์ตอนุกรม

#### การทดลองที่ 1

##### จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการใช้โปรแกรมการรับข้อมูลจาก serial port ร่วมกับ A/D converter
2. เพื่อทดสอบโปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์ของความเร็วยของผิวโลหะตามที่กำหนด

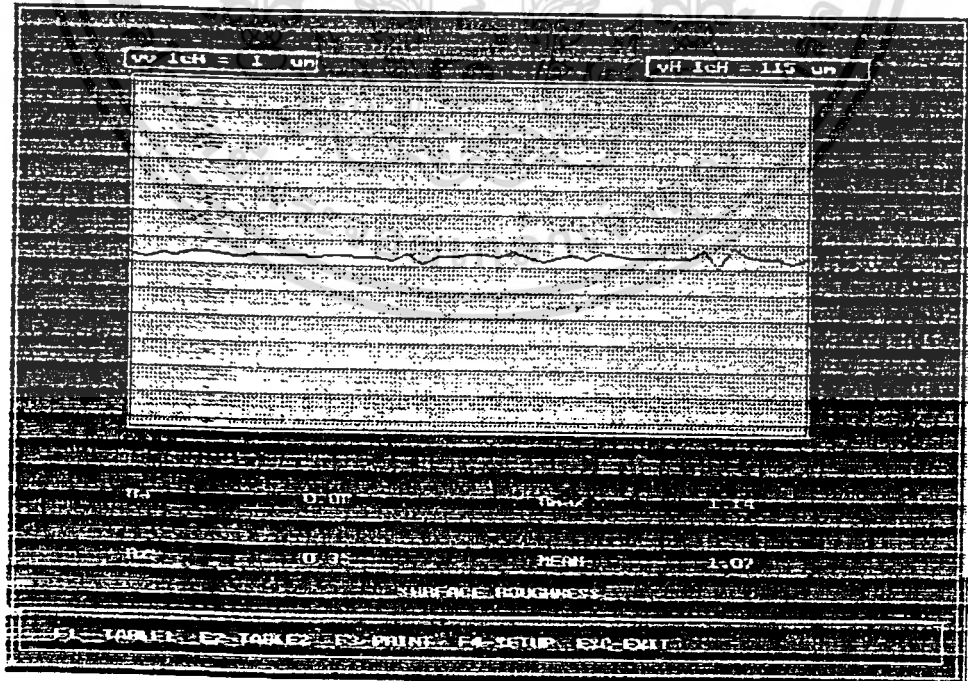
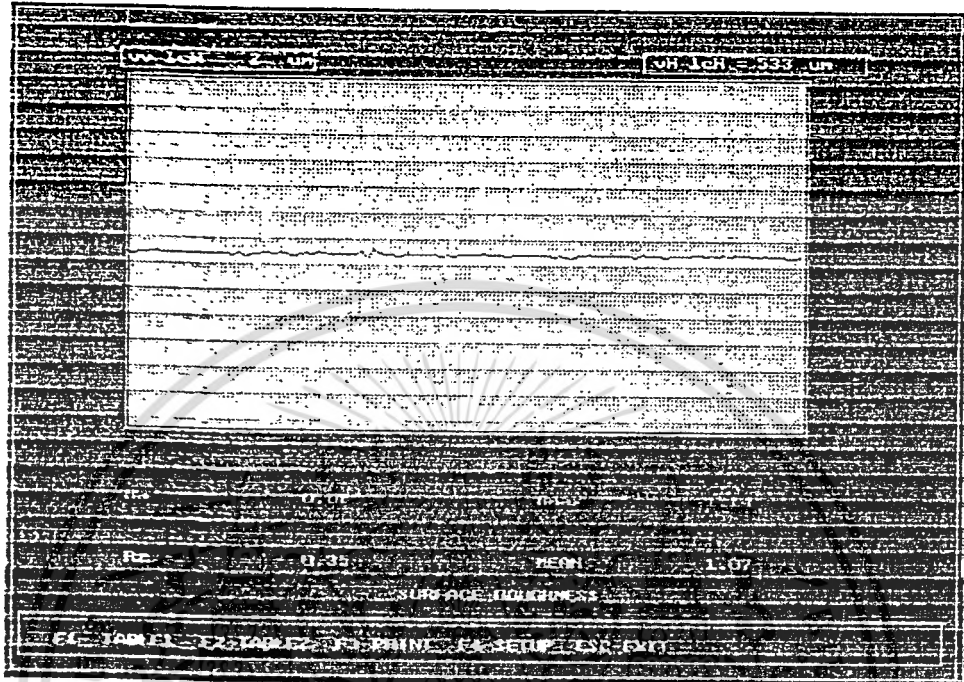
##### อุปกรณ์

1. personal computer
2. A/D converter
3. อุปกรณ์ชุดกำเนิดสัญญาณจากพื้นผิว

##### วิธีการทดลอง. ต่ออุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

- 1.1 ต่อ supply เข้าที่ A/D converter
- 1.2 ต่อ function generator เข้าที่ input ของ A/D converter
- 1.3 ต่อ output ของ A/D converter เข้าที่ serial port ของ personal computer
- 1.4 ต่อ micro scope ที่ input ของ A/D converter เพื่อวัดสัญญาณ input
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และ run โปรแกรมขึ้นมา
3. เปิดสวิทซ์ให้ synchronous motor ทำงานเพื่อที่จะให้หัววัดตกเข้มนไปบนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ
4. แล้วเลือกที่ receive เพื่อที่จะรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม
5. เมื่อโปรแกรมรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะขึ้นจอภาพเพื่อเลือกสเกลที่จะแสดงภาพโดยการกด F1 และ F2 เมื่อเลือกเรียบร้อยแล้วกด Enter โปรแกรมก็จะแสดงภาพกราฟและค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ

ผลการทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 2

### จุดประสงค์

เพื่อทดสอบโปรแกรมสามมิติ

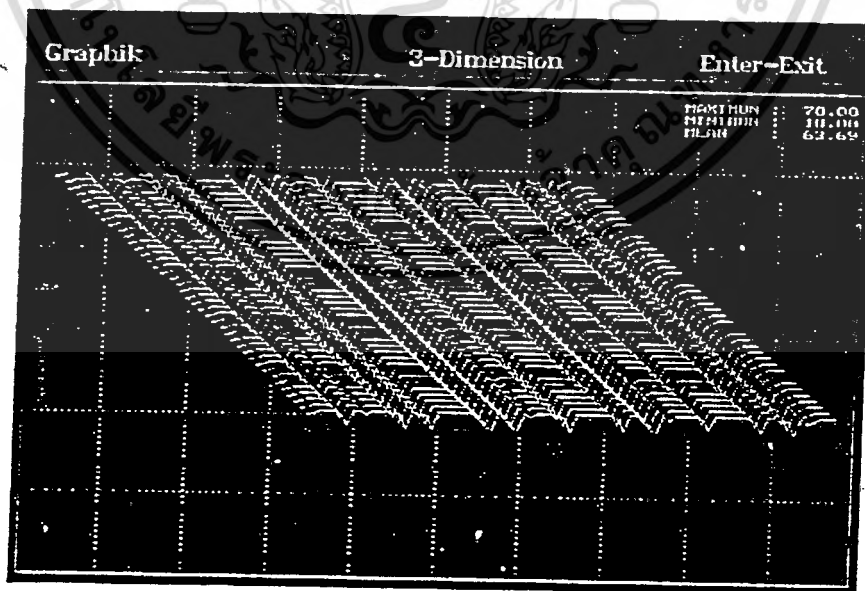
### อุปกรณ์

1. personal computer
2. A/D converter
3. อุปกรณ์ชุดกำเนิดสัญญาณจากพื้นผิว

### วิธีการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์การทดลองตามการทดลองที่ 1
2. run โปรแกรม และเลือกที่ 3DIMENSION
3. เปิดสวิทซ์ให้หัววัดลากเส้นบนชิ้นงาน เมื่อโปรแกรมแสดงเส้นที่ลากแล้ว ให้หัววัดลากเส้นใหม่โดยให้แต่ละเส้นเรียงต่อเนื่องกัน จนกว่าโปรแกรมจะแสดงคำว่า Complete
4. แสดงภาพที่เกิดขึ้น

### ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 5.1 บทวิจารณ์

ในโครงการนี้จะเน้นถึงการรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งข้อมูลนี้จะอยู่ในรูปของเลขจำนวนเต็มเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงภาพและหาค่าพารามิเตอร์ของความเรียบที่จำเป็นบางส่วนที่ใช้กันบ่อยมากโดยโปรแกรมที่เขียนจากภาษาซี ซึ่งจากการทดลอง โปรแกรมก็สามารถที่จะรับข้อมูล แสดงภาพ และหาค่าพารามิเตอร์ได้ ภาพที่แสดงจะแสดงภาพในลักษณะของ profile เท่านั้น เนื่องจากวิธีการวัดซึ่งในโครงการนี้มีได้ใช้ตัวจับเคลื่อนหัววัดแบบที่กำหนดจุดหรือแกนแบบแกน X และแกน Y เป็นผลจากขอบเขตและข้อจำกัดของผู้จัดทำ

#### 5.2 สรุป

ในโครงการนี้เป็นเพียงแนวทางในการพัฒนาการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ร่วมกับเครื่องวัดพื้นผิวแบบใช้หัววัดที่เป็นเข็ม โดยการโปรแกรมภาษาซีเพื่อที่จะรองรับข้อมูลจากการวัดความเรียบจากเครื่องวัดแบบใช้หัวเข็ม เพื่อที่หาค่าพารามิเตอร์ของความเรียบของพื้นผิวที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆมาพิจารณาขึ้นงานว่าเหมาะสมในการผลิตเพื่อให้มีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการหรือไม่ ซึ่งยังต้องได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแน่นอนสามารถใช้ควบคู่กับเครื่องวัดความเรียบของผิวโลหะแบบใช้หัวเข็มได้จริงๆ และใกล้เคียงกับมาตรฐานทางอุตสาหกรรม



สมาคมฟิสิกส์ไทย  
ตึกฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กรุงเทพมหานคร 10330  
โทร. 252-8873 โทรสาร 255-2775

พท. 030/2543

วันที่ 12 ธันวาคม 2543

เรื่อง ขอเชิญร่วมประชุมและเสนอผลงานวิจัยในการประชุม  
“ฟิสิกส์ไทยในสหัสวรรษใหม่”

เรียน นายธเรศ ธนภักดีวิรุฬ

สิ่งที่ส่งมาด้วย เอกสารประกอบการประชุม

ด้วยสมาคมฟิสิกส์ไทย ได้กำหนดจัดประชุมเรื่อง “ฟิสิกส์ไทยในสหัสวรรษใหม่” ขึ้น วัตถุประสงค์ของการจัดงานก็เพื่อทบทวนบทบาทของสมาคมฟิสิกส์ไทยกับความก้าวหน้าของฟิสิกส์ในโลกปัจจุบัน และถือได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อวงการฟิสิกส์และนักฟิสิกส์ภายในประเทศได้ก้าวหน้าไปตลอดจนทราบถึงแนวทางในการทำวิจัยและความร่วมมือกันของนักวิจัยภายในประเทศ และได้เชิญชวนให้นักวิจัย อาจารย์ และผู้มีความรู้ความสามารถทางด้านสาขาวิชาฟิสิกส์ ให้จัดส่งผลงาน บทความ งานวิจัย เพื่อเสนอต่อที่ประชุม

สมาคมฯ ขอแจ้งให้ทราบว่า ได้รับผลงานของท่านที่ได้จัดส่งให้กับสมาคมฯ เรื่อง “Real Time Physics: Motion Studies” และ “Harmonics By DSP: Quick, Accurate and Reproducible” ไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่จะเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการประชุมและเสนอผลงานวิจัยนี้ ในระหว่างวันที่ 22-23 ธันวาคม 2543 ซึ่งทางสมาคมฯ จะจัดวันเวลาให้ตามความเหมาะสมต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อทราบและขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายชรินทร์ เชื้อรามัญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
งานเลขานุการสมาคมฟิสิกส์ไทย

โทรศัพท 218-5113

# Harmonics By DSP: Quick, Accurate and Reproducible

Tharest Thanakitivirun \*, Vittaya Tipsuwanporn\*\*, David Wheeler\*\*\*

## Abstract

We describe a system which uses Digital Signal Processing (DSP) to generate sinusoidal inputs by the Linear Interpolation Method. Our system, which operates on Windows 98 O/S software, produces a very stable computer-controlled frequency for each sinusoidal input. This results in rapid determination of precise, reproducible harmonic frequencies with very little dependence on subjective observer judgement. Used in our student physics laboratory to study “Standing Waves in a Rope”, this easy to use system has proved significantly better than the traditional signal generator method.

## 1. Introduction

With most signal generators the obtaining of precise frequencies is difficult because of inherent fluctuations which although small cause significant problems in experiments that require determination of exact frequencies (like measuring the harmonic frequencies of standing waves in a rope).

These inherent fluctuations occur because the method used to create the output frequency of a signal generator involves adjusting the voltage across a potentiometer connected to a signal generating IC. The fineness of this output frequency control is determined by both the size of the potentiometer (typically 5 k $\Omega$ ) and the resolution of the IC.

All of which means that precision measurements that are both repeatable and reliable are very difficult to achieve with a signal generator, so decisions on harmonic frequencies become highly dependent on observer judgement.

We report here on a solution to this problem using a computer-controlled system to generate sinusoidal inputs from a digital signal processing board. This approach produces a very stable frequency, is very easy to use and set up, and allows rapid determination of precise, reproducible harmonic frequencies with very little dependence on subjective observer judgement.

---

\* Master degree student, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok

\*\* Assoc. Prof., Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok

\*\*\* Lecturer, Physics Department, Mahanakorn University Of Technology, Nong Chok, Bangkok

Our instrumentation for studying standing waves (Fig. 1) consists of a digital signal processing board, an amplifier, a vibration generator, an elastic rope, a hanging mass (to supply tension to the rope), and a computer.

The digital signal processing board (TMDS3200031) generates a sinusoidal input (in the frequency range 3-250 Hz) to the vibration generator which then oscillates the rope. The computer is used to adjust the frequency in steps of 0.15 Hz allowing determination of the harmonic frequencies of rope.

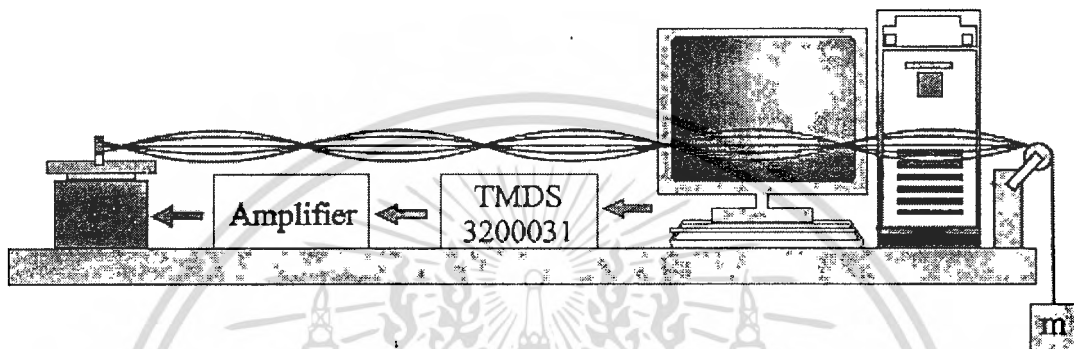


Fig. 1 A diagram of our instrumentation for standing wave studies

## 2. Theory

If the left end of a stretched string is forcibly oscillated by a sinusoidal vibration while the other end is kept immobile, a continuous travelling sine wave will move rightward along the string. The frequency of this wave is that of the applied oscillation. The wave reflects at the fixed end and travels leftward back through itself. The right-going wave and the left-going wave then interfere with each other. The resulting wave pattern is called a "Standing Wave".

We write:

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$y_2 = A \sin(kx + \omega t) \quad (2)$$

where  $k$  is the wave number ( $= 2\pi / \text{wavelength}$ )

$\omega$  is the angular frequency ( $= 2\pi \times \text{frequency}$ )

The interference function is  $y = y_1 + y_2$ . So the formula of the standing wave is:

$$y = 2A \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generation of sine waves

The simple way to generate sine waves is to use a lookup table where all the values are calculated beforehand and entered into the memory of the digital signal processing board. The software reads the correct value from the table and sends it to a Digital to Analog Converter (DAC). The advantage of this method is that it is very fast but it uses a lot of memory. For TMS3200031 the sine table is generated from the cosine function:

$$y = A \cos\left(\frac{2n\pi}{N}\right); n = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \tag{4}$$

where A is the amplitude, n is the particular division of the sine table (c.g. 3<sup>rd</sup>, 8<sup>th</sup>, etc) and N is the total number of divisions of the sine table. (In our case N = 256.)

Using a sine table the board can generate a single frequency sine wave. To generate a sine wave of a different frequency using the same table requires use of the linear interpolation method. With this method it is not necessary to have the sampled measurement (the x value) coincide with any of the values in the sine table: it can fall between values.

Fig. 2 shows an example of how a sine graph can be calculated by equation (4), by dividing the x-axis into n smaller equal sections. The general form of it is:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = 1 \text{ division} \tag{5}$$

where n = 0, 1, 2, ..., N-1.

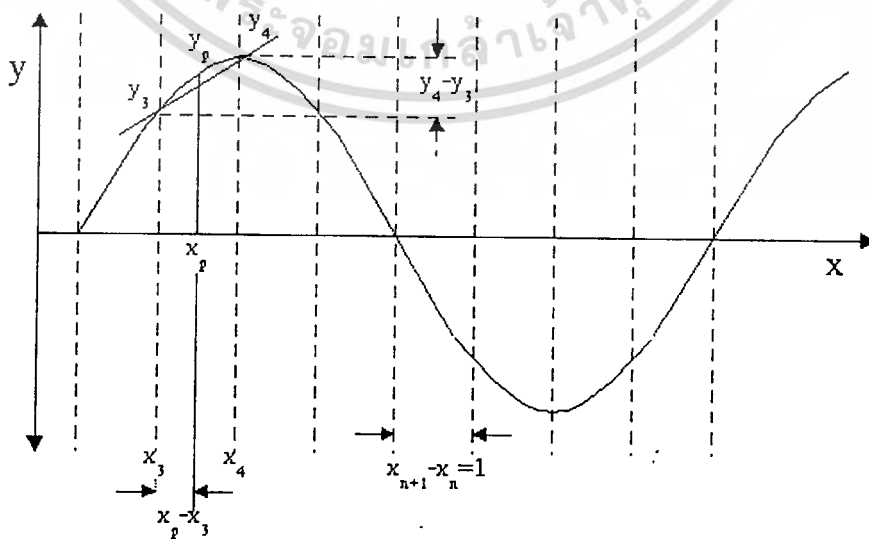


Fig. 2 A sample of a sine graph calculated by the Linear Interpolation Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assume in Fig. 2, we want to find output  $y_p$  at location  $x_p$ , in the interval  $[x_3, x_4]$ . Although the stored sine table does not have a value for location  $x_p$ , we can find the nearest location and the value for it.

We can determine the new  $x_p$  by the addition of the old  $x_p$  (in radians) and the number of radians between sampling events ( $h$ ), which we calculate by equation (6) below:

$$h = f \times \frac{N}{f_{\text{sampling}}} \tag{6}$$

where  $f$  is frequency of the applied sine wave

$f_{\text{sampling}}$  is the sampling frequency (i.e. the number of samplings per second)

$N$  is the size of table

From the condition described by equation (5), and since in practice the interval used is very small, we can approximate the curve of the sine graph over the interval  $[x_3, x_4]$  by a straight line. The equation of this line is then:

$$\frac{y_p - y_3}{x_p - x_3} = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} \tag{7}$$

Using equation (7), we can approximate the value of output  $y_p$  by :

$$y_p = y_3 + [(x_p - x_3) \cdot (y_4 - y_3)] \tag{8}$$

Equation (8) can be written more generally as:

$$y_p = y_n + [(x_p - x_n) \cdot (y_{n+1} - y_n)] \tag{9}$$

The digital signal processing board TMDS3200031 uses equation (4) to generate a sine table and uses equation (9) to calculate a sequence output  $y_p$ . It does this by having the user set the frequency of the sine wave and send it to the analog interface circuit (AIC) which is a 14 bit Digital to Analog Converter (DAC). The digital signal processing board can then generate another frequency sine wave by using the Linear Interpolation Method.



## \*NOTE

The theoretical mean velocity was calculated from  $v = \sqrt{T/\mu}$  where  $T$  is the tension in the rope and  $\mu$  is the linear density of the rope. The relevant data (see figure 3) are: total length of elastic rope =  $2.12 \pm 0.01$  meters; length of tensioned rope in which there was sine wave propagation ( $L$ ) =  $1.57 \pm 0.01$  meters; mass of the whole rope =  $3.986 \pm 0.001$  grams; hanging mass ( $m$ ) supplying tension in the rope =  $50.001 \pm 0.001$  grams. Because the rope was elastic the length of rope in which there was sine wave propagation shrinks under zero tension (to  $1.47 \pm 0.01$  meters).

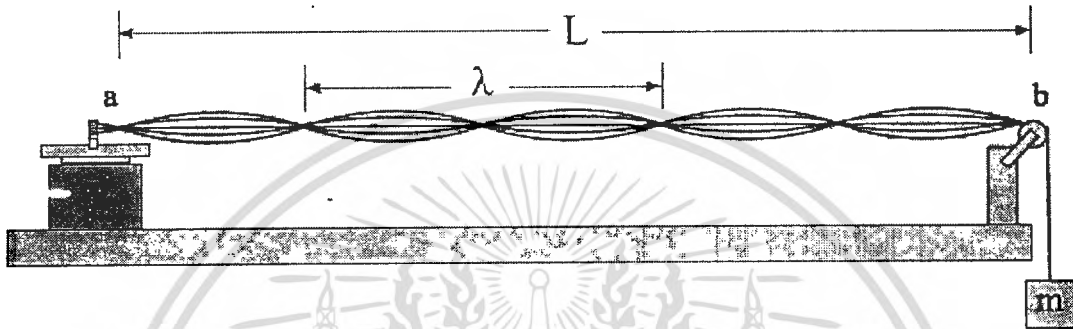


Fig. 3 Parameters For Theoretical Determination of the Wave Velocity

## 4. Conclusion

Our system permits quick, accurate, reproducible measurement of harmonic frequencies (and wave velocity) in an elastic rope without the high degree of subjectivity the traditional signal generator method involves.

## 5. References

- *Fundamentals of Physics*, David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, John Wiley & Sons Inc., 1997
- *Inside Visual C++ Version 1.5*, David J. Kruglinski, Microsoft Corporation, 1994
- *Numerical Recipes in C*, William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery; Cambridge University Press, 1992