

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่วงระยะเวลาการวัดของแอร์เกจ

อุเทศก์ ดั่งบุตรศรี

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2557

FACTORS AFFECTING THE RANGE MEASURE OF AIR GAUGE

Uted Duangbootsee

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โดย

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่วงระยะเวลาการวัดของแอร์เกจ

อุเทศก์ ดั่งบุตรศรี

เทคโนโลยีวิศวกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่ เดือน พ.ศ.

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอเกียรติ วงศ์สารพิกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญัฐพล ลิ่มจีระจรัส)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย)

อุเทศก์ ด้วงบุตรศรี : ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่วงระยะเวลาวัดของแอร์เกจ. อาจารย์ที่
 ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย, 149 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าของแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิส (Orifice) และนอซเซิล (Nozzle) ที่ส่งผลกระทบต่อช่วงระยะเวลาวัดของแอร์เกจ นอกจากนี้ยังพิจารณาผลกระทบอื่น เช่น ความละเอียดของการวัด และความไม่แน่นอนของการวัด ค่าระยะเวลาวัดของแอร์เกจมีผลมาจากค่าความแตกต่างของแรงดันที่ตกคร่อมออร์ฟิส ในการทดลองนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดความดันขึ้นใช้ ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ MPX2050DP วงจรขยายสัญญาณ และ DAQ Card USB-6009 พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมสำหรับอ่าน และบันทึกผลการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยในการทดลองเพื่อหาแรงดันของแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมระหว่าง 3, 4, 5 และ 6 บาร์ และพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิส ที่ 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเซิล ที่ 0.9, 1.1 และ 1.3 มิลลิเมตร

จากการศึกษาพบว่าที่ขนาดออร์ฟิสและนอซเซิลชุดเดียวกัน ช่วงระยะเวลาวัดที่สามารถวัดได้มีค่าไม่แตกต่างเมื่อแรงดันแรงดันอากาศของแหล่งกำเนิดเปลี่ยนแปลง แต่ค่าความละเอียดในการวัดจะดีขึ้นเล็กน้อย เมื่อความดันอากาศของแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิส และนอซเซิล มีผลกระทบดังนี้ ถ้าขนาดออร์ฟิสใหญ่ขึ้น ความละเอียดของการวัดจะดีขึ้น (ค่าเฉลี่ย) ถ้าขนาดนอซเซิลใหญ่ขึ้น ช่วงระยะเวลาวัดที่สามารถวัดได้จะกว้างขึ้น แต่เมื่อมีระยะเวลาวัดเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดแย่ลง (มีค่าสูง) จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วนออร์ฟิสต่อออร์ฟิส ที่ดีที่สุดคือ 1.9:1.3 มิลลิเมตร มีช่วงระยะเวลาวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.418 มิลลิเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความไม่แน่นอนอยู่ที่ 0.0240 มิลลิเมตร

TNI

บัณฑิตวิทยาลัย
 สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
 ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

UTED DUAGBOOTSEE : FACTORS AFFECTING THE RANGE MEASURE OF AIR
GAUGE. ADVISOR : ASST. PROF. DR. WARAKOM NERDNOI, 149 PP.

The objective of this study is to examine the impacts on the measurement of an air gauge due to changes in these three factors: the pressure of supply air, the diameter of the orifice and nozzle of the air gauge. The impacts are evaluated in terms of range, resolution, and accuracy of the measurement. The apparatus of this measuring system consists of an air-pressure sensor, MPX2050DP, condition-amplify circuit and DAQ Card USB-6009. The soft-ware for measuring and recording was developed by LabVIEW. In this study, the pressures of supply air were set at 3, 4, 5, and 6 BAR. The diameter of the orifice is set at 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 and 1.9 mm. Lastly, the diameter of the nozzle is set at 0.9, 1.1, and 1.3 mm.

The results show that the measuring range were not effect from the changing of pressures of supply air when the size of the orifice and nozzle were fixed. But by increasing pressure of supply air, the resolution of the measurement slightly improves. The larger the diameter of the orifice gives a bad resolution. The larger nozzle will give a longer range of the measurement but the uncertainty of measurement will have larger value which is not good for the measurement. The orifice-nozzle ratio that yields the best result is 1.9:1.3 mm, in which the greatest length of measurement and its standard deviation are 0.418 and 0.0240 mm, respectively.

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อันเนื่องมาจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนติน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่านมาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาแนวทางและการพัฒนาในการทำวิจัย ตลอดจนสอนขั้นตอนการดำเนินวิจัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา อีกทั้งยังแนะนำแนวทางการสั่งซื้ออุปกรณ์ทำวิจัยและความรู้ในเรื่องต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอเกียรติ วงศ์สารพิบูล (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณเพื่อนๆ อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งผู้ที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

อุเทศก์ ด้วงบุตรศรี

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	25
3.1 อุปกรณ์ทำการทดลอง.....	25
3.2 หลักการทำงานของชุดทดลอง.....	33
3.3 วิธีการทดลอง.....	34
3.4 วิธีการวิเคราะห์และประมวลผล.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	40
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสม.....	40
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอตซิล.....	46
4.3 สรุปผลการทดลอง.....	62
5 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดัน.....	68
ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดรูออริฟิสและนอตซิล.....	104
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	149

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 แสดงวิธีการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการวัดของแอร์เกจ.....	35
3.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนการจ่ายแรงดันสู่ชุดทดลอง.....	36
3.3 ขนาดออร์ฟิสและนอซเซิลที่ใช้ทำการทดลอง.....	37
4.1 แสดงผลการคำนวณหาสมการกำลัง 3 และ R^2 ที่มีผลต่อช่วงระยะวัด.....	40
4.2 ค่าความละเอียดในการวัดที่แรงดัน และนอซเซิลต่างๆ เมื่อออร์ฟิสคงที่.....	44
4.3 ผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสและนอซเซิลต่างๆ.....	47
4.4 ตารางแสดงอัตราส่วนพื้นที่ต่างๆ ที่ส่งผลต่อความกว้างของช่วงระยะการวัด.....	54
4.5 ค่าความละเอียดของการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสและนอซเซิลต่างๆ.....	55
4.6 สมการในการหาค่า Uncertainty และ ค่า Uncertainty ในแต่ละช่วงที่ O:N ต่างๆ..	58
ก-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:05 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 3 บาร์.....	69
ก-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:05 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 4 บาร์.....	72
ก-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:05 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 5 บาร์.....	75
ก-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:05 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 6 บาร์.....	77
ก-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 3 บาร์.....	80
ก-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 4 บาร์.....	83
ก-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 5 บาร์.....	86
ก-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 6 บาร์.....	89
ก-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 3 บาร์.....	92
ก-10 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ที่ 4 บาร์.....	95

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ก-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากหลังกำเนิด ที่ 5 บาร์.....	98
ก-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากหลังกำเนิด ที่ 6 บาร์.....	101
ข-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.7:0.9.....	105
ข-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:0.9.....	106
ข-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:0.9.....	108
ข-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:0.9.....	110
ข-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9.....	112
ข-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:0.9.....	114
ข-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:0.9.....	116
ข-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.7:1.1.....	118
ข-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:1.1.....	119
ข-10 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.1.....	120
ข-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.1.....	122
ข-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.1.....	125
ข-13 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.1.....	128
ข-14 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.1.....	131
ข-15 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.7:1.3.....	133
ข-16 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:1.3.....	134
ข-17 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.3.....	136
ข-18 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.3.....	138
ข-19 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3.....	140
ข-20 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.3.....	143
ข-21 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.3.....	146

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	เครื่องมือวัดแอร์เกจที่ใช้สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน.....	2
1.2	หลักการทำงานของแอร์เกจ.....	3
2.1	ภาพจำลองหลักการทำงานของ Back Pressure Gauges.....	5
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_2}{P_1}$ กับ $\frac{N}{O}$	6
2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_2}{P_1}$ กับ ที่มีค่า P1 ต่างๆ.....	6
2.4	การคำนวณพื้นที่ของออริฟิส.....	7
2.5	ช่วงการวัดที่เป็น Linear	9
2.6	Orifice Place	10
2.7	Normal distribution.....	14
2.8	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	15
2.9	ระยะระหว่างจุด (ค่าจริง) กับเส้นสมการ.....	16
2.10	แสดงความแตกต่างของค่า R-Squared.....	17
2.11	แผนภาพของเส้นตัวแบบ (Fitted Line Plot)	19
2.12	Versus Fits.....	20
2.13	กราฟแสดงความผันผวนของ P_k เมื่อ s คงที่.....	21
2.14	กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัด s.....	22
2.15	แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน $d_c/d_p \leq 1.5$	22
2.16	หลักการทำงานของวงจรทดลอง piezoresistive sensor.....	23
2.17	แสดงพารามิเตอร์ของ measuring nozzle.....	24
3.1	ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	25
3.2	ภาพชุดออริฟิสที่สามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสได้.....	26
3.3	ภาพจำลองการทดสอบการรั่วซึมของชุดออริฟิส.....	27
3.4	ภาพชุดนอชเชิล ที่สามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลได้.....	27
3.5	ภาพจำลองการทดสอบการรั่วซึมของชุดนอชเชิล.....	28
3.6	ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดแรงดัน.....	29
3.7	DAQ Card (NI USB-6009).....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.8 Dial Gauge (ยี่ห้อ Sylvac) ที่มีความละเอียด 1 ไมโครเมตร.....	30
3.9 เครื่องมือปรับระยะ (Adjustment Equipment) พร้อมตัวยึดจับชุดนอชเชิล.....	30
3.10 ชุดจับยึดที่ติดตั้งเครื่องมือปรับระยะและ Dial Gauge.....	31
3.11 โปรแกรม LabVIEW.....	32
3.12 หลักการทำงานของชุดทดลอง.....	33
3.13 ระยะ (s) ของชุดทดลอง.....	34
4.1 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 มิลลิเมตร.....	41
4.2 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 มิลลิเมตร.....	42
4.3 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7 มิลลิเมตร.....	43
4.4 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5.....	44
4.5 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7.....	45
4.6 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9.....	45
4.7 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 1.9 มิลลิเมตร.....	48
4.8 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร.....	48
4.9 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิส เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร.....	49
4.10 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร.....	49
4.11 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร.....	50
4.12 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร.....	50
4.13 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร.....	51
4.14 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร.....	52
4.15 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร.....	52
4.16 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร.....	53
4.17 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอชเชิลคงที่ 0.9 มิลลิเมตร.....	56
4.18 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอชเชิลคงที่ 1.1 มิลลิเมตร.....	57
4.19 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอชเชิลคงที่ 1.3 มิลลิเมตร.....	57
4.20 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร.....	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.21 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร.....	60
4.22 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร.....	60
4.23 แสดงการไหลของอากาศผ่านออริฟิส และนอชเชิล.....	61



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะอุตสาหกรรมโลกในปัจจุบันที่มีการแข่งขันสูงขึ้น ทั้งในเรื่องราคา และคุณภาพ อุตสาหกรรมของไทยจึงจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถแข่งขันได้ ไม่เพียงแต่ภายในประเทศ หรือระดับอาเซียน แต่จำเป็นต้องแข่งขันในระดับโลก ประเทศไทยซึ่งมีข้อได้เปรียบประเทศที่พัฒนาแล้วในด้านต้นทุนค่าแรงที่ถูกว่า และยังมีขีดความสามารถฝีมือแรงงานที่มีคุณภาพกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา และด้อยพัฒนา ดังนั้นการยกระดับด้านคุณภาพของสินค้าจึงจำเป็นในการพัฒนาอุตสาหกรรมไทย ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณภาพสินค้าได้รับการยอมรับคือจะต้องมีระบบการจัดการด้านคุณภาพที่เหมาะสม (Quality Management System) สิ่งที่จะการันตีเรื่องคุณภาพคือระบบการวัด ซึ่งประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 2 ประการ คือ วิธีการวัด และเครื่องมือวัดต้องเลือกใช้อย่างเหมาะสม ประเด็นที่สำคัญในระบบการจัดการด้านคุณภาพคือการที่มีการตรวจสอบ/วัด (Inspection) ชิ้นงานก่อนส่งให้ลูกค้าจะต้องถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งเครื่องมือวัดเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ทำทราบถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

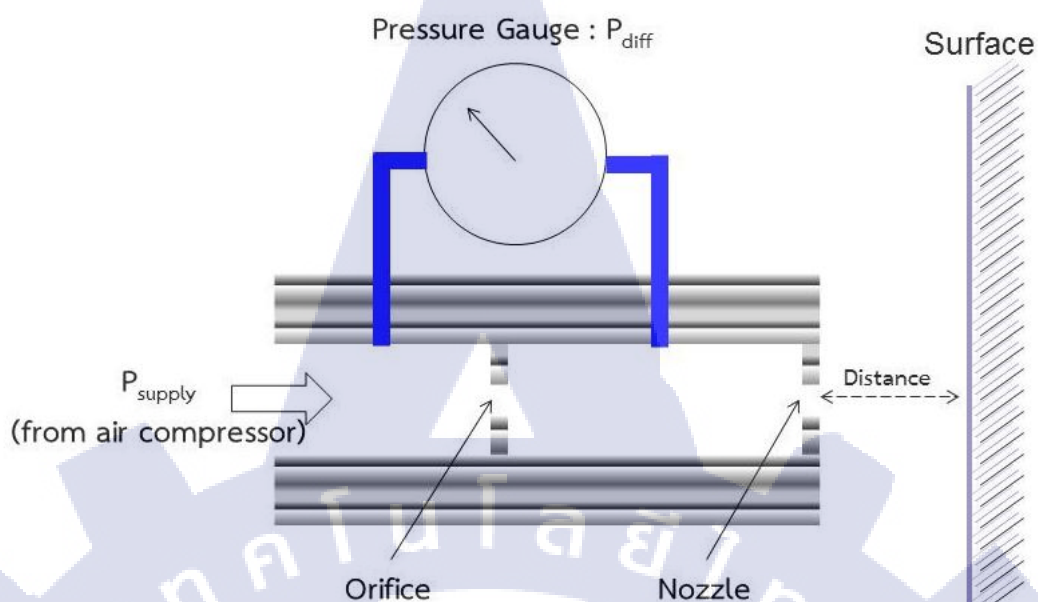
แอร์เกจ (Air Gauge) เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับการยอมรับและถูกใช้ในการวัดชิ้นส่วนอุตสาหกรรมมานานนับหลายทศวรรษ เช่น การวัดขนาดความสูงของงาน การวัดความเรียบผิว และรูปแบบที่ได้รับการนิยมนิยมใช้มากที่สุดคือการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน เนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้งานง่าย สามารถวัดชิ้นงานที่มีความละเอียด (Resolution) และต้องการความถูกต้อง (accuracy) ได้ค่อนข้างดีมาก รวมทั้งเป็นเครื่องมือวัดที่ไม่ต้องสัมผัสชิ้นงานทำให้ยังเป็นที่นิยมในการวัดชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการให้เกิดรอยขีดข่วน



รูปที่ 1.1 เครื่องมือวัดแอร์เกจที่ใช้สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน

แต่สำหรับอุตสาหกรรมไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) กลับยังไม่ได้ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดที่ราคาสูง ซึ่งสาเหตุหลักคือแอร์เกจที่ได้รับความนิยมและเชื่อถือในคุณภาพนั้นจะต้องผลิตจากต่างประเทศเช่น ญี่ปุ่น เยอรมัน เป็นต้น และนอกจากนี้แอร์เกจที่ผลิตภายในประเทศยังมีช่วงระยะการวัดที่จำกัด(มีช่วงระยะวัดที่สั้นกว่า) นั้นแสดงว่าโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่มีชิ้นส่วนอุตสาหกรรมหลากหลาย และความต้องการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลายขนาดจะต้องมีแอร์เกจหลายตัวเพื่อให้สามารถรองรับการตรวจวัดได้ทุกขนาดของชิ้นงานที่ทำการผลิต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย และส่งผลถึงผู้บริโภคสินค้าสำเร็จรูปที่จะต้องซื้อสินค้าชิ้นๆ ในราคาที่สูงตามไปด้วย

ปัจจุบันองค์ความรู้เกี่ยวกับแอร์เกจมีไม่มากนัก จากหลักการทำงานของแอร์เกจดังรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นว่าแอร์เกจเป็นเครื่องมือวัดที่อาศัยหลักการวัดความแตกต่างของแรงดัน 2 จุด เทียบกับระยะ(Distance : s) ระหว่างหัววัดและผิวชิ้นงาน ซึ่งมีหลายปัจจัยที่จะส่งผลต่อผลการวัดของแอร์เกจ อาทิเช่น ขนาดรูออริฟิส(Orifice) และนอซเซิล(Nozzle) แรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด(Pressure Supply : P_{supply}) ลักษณะของหัววัดและรูออริฟิสหรือนอซเซิล ดังนั้นหากศึกษาให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวัดของแอร์เกจและเผยแพร่สู่สถานประกอบการที่มีความสนใจและมีโอกาสเพิ่มศักยภาพในการผลิตแอร์เกจจะส่งผลให้อุตสาหกรรมไทย โดยเฉพาะผู้ประกอบการไทยสามารถเข้าถึงเครื่องมือวัดที่มีประสิทธิภาพสูงได้ง่ายในราคาที่ไม่สูงมากนัก



รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของแอร์เกจ

หลักการทำงานของแอร์เกจคือการวัดความแตกต่างของแรงดัน 2 จุด โดยอากาศจะเครื่องตัวผ่านรู 2 รู โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เรียกรูแรกว่าออริฟิส(Orifice) และรูที่ 2 ที่อากาศจะออกสู่บรรยากาศภายนอกเรียกว่านอซเซิล(Nozzle) และนำค่าความแตกต่างของแรงดันไปหาความสัมพันธ์กับระยะจากหัววัดไปสู่ชิ้นผิวชิ้นงาน

ดังนั้นการศึกษาวิจัยถึงวิธีที่ทำให้ Air gauge สามารถมีช่วงระยะการวัดที่กว้างนี้ จะเน้นศึกษาศึกษาวิจัยปัจจัยพื้นฐานของเครื่องมือวัดแอร์เกจ คือ ขนาดแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมต่อการทำงานของแอร์เกจ และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิ และนอซเซิล และเพื่อหาปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อช่วงระยะการวัดของแอร์เกจ เพื่อใช้ศึกษาต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของแอร์เกจ
2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัดของแอร์เกจ

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย

1. ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของขนาดแรงดันต่างๆ กับลักษณะ/ผลการวัดของแอร์เกจ
2. ศึกษาช่วงระยะการวัดของแอร์เกจ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิส 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอชเชิลที่ 0.9, 1.1 และ 1.3 มิลลิเมตร
3. การวัดการเปลี่ยนแปลงของความดัน (P_{diff}) โดยใช้ Pressure Sensor ที่สามารถวัดความแตกต่างของแรงดัน 2 จุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงหลักการทำงานของแอร์เกจ
2. หาความเหมาะสมของแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่จะใช้ในการวัดด้วยแอร์เกจ
3. เข้าใจความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสและนอชเชิลที่จะส่งผลกระทบต่อช่วงระยะการวัด และความละเอียดที่สามารถวัดได้ของแอร์เกจ
4. ทราบถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการวัดของแอร์เกจ

บทที่ 2

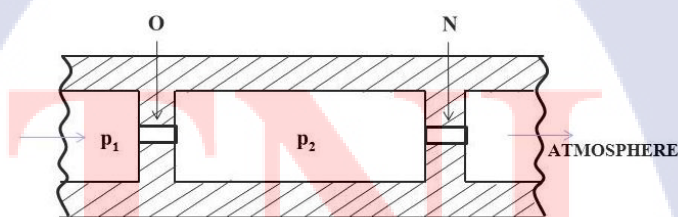
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แอร์เกจ (Air Gauge) เป็นเครื่องมือวัดระยะ ที่อาศัยการพื้นฐานโดยการวัดค่าความแตกต่างของแรงดัน 2 จุด ที่มีออริฟิส ชั้นกลางระหว่างจุดวัดแรงดัน กับระยะการวัดจากหัววัดกับผิวชิ้นงาน โดยมีปัจจัยมากมายที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัดที่สามารถวัดได้ ความละเอียดในการวัด (Resolution) และความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) แต่มีปัจจัยพื้นฐานคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิส และนอซเซิล เพราะอากาศจะผ่านและออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ต้องผ่านออริฟิส และนอซเซิล ซึ่งความสัมพันธ์ของออริฟิส นอซเซิล และระยะการวัด ที่สนใจจะได้มาจากการทดลอง (มิใช่การคำนวณ)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

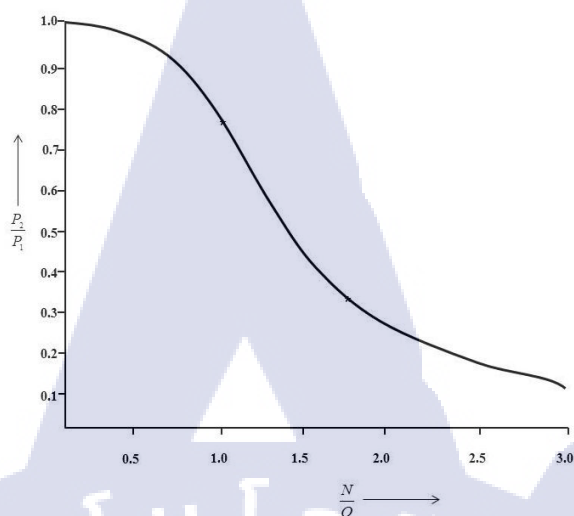
2.1.1 Back Pressure Gauges [1]

แรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ความดันคงที่ไปสู่ที่บรรยากาศ (ณ ความดันบรรยากาศ) ผ่านรูออริฟิสและนอซเซิล โดย P_1 เป็นความดันเริ่มต้นจากแหล่งกำเนิดและ P_2 เป็นความดันระหว่างรูออริฟิสและนอซเซิล ที่วัดอ้างอิงจากความดันบรรยากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P_1 และ P_2 จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูทั้ง 2 รูของระบบการวัด คือ P_1 จะมีค่าเท่ากับ P_2 เมื่อนอซเซิล (Nozzle : N) ถูกปิด และจะมีแนวโน้มจะเป็นศูนย์ เมื่อ N มีขนาดเพิ่มขึ้น



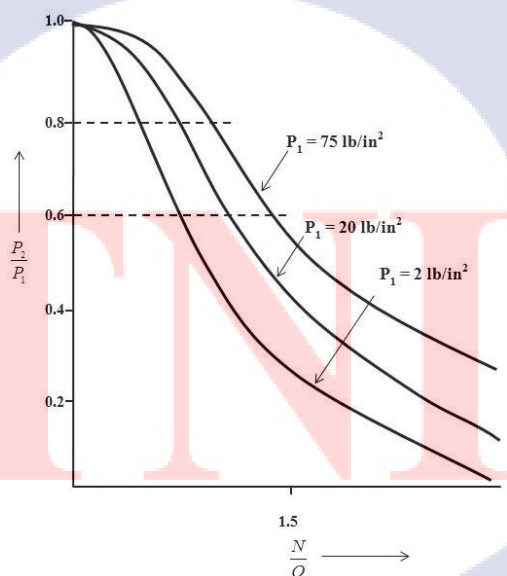
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองหลักการวัดด้วย Back Pressure Gauges

ที่ O คือขนาดพื้นที่ของรูออริฟิส (Orifices : O) และ N คือขนาดพื้นที่ของรูนอซเซิล (Nozzle : N) ถ้าทดลองโดยให้ P_1 และ O คงที่ ขณะที่ N เปลี่ยนค่า ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_2}{P_1}$ กับ $\frac{N}{O}$ สามารถอธิบายได้ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_2}{P_1}$ กับ $\frac{N}{O}$

เรามีความสนใจในบริเวณส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟเส้นโค้ง วิธีการทดลองซึ่งอยู่บนพื้นฐานการศึกษาทดลองที่ National Physical Laboratory (NPL) ของสัมพันธ์ระหว่างแรงกดดันและพื้นที่ของรู



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_2}{P_1}$ กับ $\frac{N}{O}$ ที่มีค่า P_1 ต่างๆ

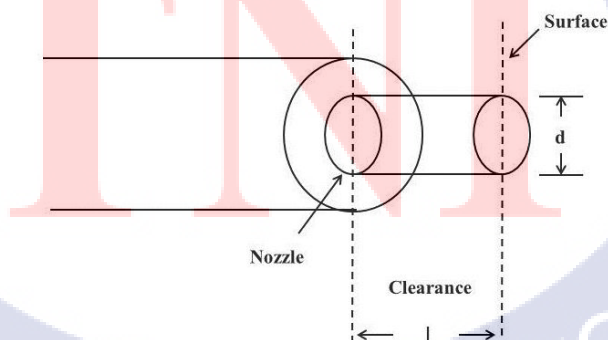
ลักษณะความสัมพันธ์ของ $\frac{P_2}{P_1}$ และ $\frac{N}{O}$ ที่หาได้จากการทดลอง สำหรับที่แรงดัน P_1 ที่มีค่าระหว่าง 2-75 Pounds Per SQ Inch (0.13 - 5 kg/cm²) และทำการวัดค่า จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าทุกเส้นกราฟของค่า P ระหว่าง 0.13 - 5 kg/cm² จะมีช่วงที่เป็นเส้นตรงคือช่วงที่ $\frac{P_2}{P_1}$ เท่ากับ 0.6-0.8 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\frac{P_2}{P_1} = A - B \times \left(\frac{N}{O} \right) \quad (2.1)$$

จากกราฟของการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าที่ $\frac{P_2}{P_1}$ ต่างจะมีค่าคงที่ A ที่ใกล้เคียงกันประมาณเท่ากับ 1.10 ความชัน b ในส่วนที่เป็นเส้นตรงของส่วนโค้งจะขึ้นอยู่กับค่า P_1 คือความชันจะลดลงเมื่อค่า P_1 เพิ่มขึ้น และค่าที่ได้สูงสุดและต่ำสุดคือ $b=0.6$ เมื่อ $P_2=2$ lbf/in.² (0.13 kg/cm²) $b=0.4$, เมื่อ $P_1=75$ lbf/in.² (5 kg/cm²)

พื้นที่ของรูทางออกของอากาศ (Area of Escape Orifice) เมื่อช่องว่าง (Clearance) ระหว่าง ผิวชิ้นงานและผิวหน้าหัววัด (Nozzle Face) เป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีอากาศออกจากหัววัด นั่นคือไม่มีรูให้อากาศออกสู่บรรยากาศ

เมื่อช่องว่างระหว่างผิวชิ้นงานและผิวหน้าหัววัดมีระยะกว้าง นั่นคือพื้นที่รูทางออกของอากาศจะเท่ากับ $\pi/4 d^2$ เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของหัววัด ที่ช่องว่างที่เล็ก และแอร์เกจ Air gauge สามารถวัดได้ พื้นที่ของรูทางออกของอากาศจะเท่ากับ πdl ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การคำนวณพื้นที่ของออริฟิส

Range of linear measurement ที่ $0.6 < \frac{P_2}{P_1} < 0.8$ จะแสดงให้เห็นช่วงของเส้นตรงของ

เส้นโค้งของกราฟที่มีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 1% คือ N_n เป็นค่าที่น้อยที่สุดของ N ที่ $\frac{P_2}{P_1} = 0.8$ และ

N_x เป็นค่าที่มากที่สุดของ N ที่ $\frac{P_2}{P_1} = 0.6$

ถ้าเป็นค่าที่ไม่อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง คือ ช่วง $0.55 < \frac{P_2}{P_1} < 0.85$ จะมีค่าเบี่ยงเบนจากเส้นตรงไม่เกิน 2%

จากรูป 2.5 ในช่วงที่เป็นเส้นตรง จะได้

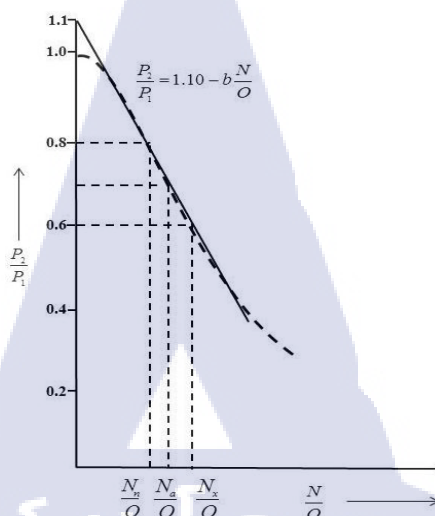
$$b\left(\frac{N_n}{O}\right) - 1.10 - 0.8 = 0.3$$

$$b\left(\frac{N_n}{O}\right) = 1.10 - 0.6 = 0.5$$

$$\frac{N_x}{N_n} = \frac{5}{3} \quad \text{and} \quad N_x - \frac{N_a}{N_x} + N_n = \frac{1}{4}$$

Let
$$N_a = \frac{1}{2} \left(\frac{N_x}{N_n} \right)$$

Then
$$\frac{(N_x - N_n)}{2N_n} = \frac{1}{4} \quad \text{and} \quad N_x - N_n = \frac{N_n}{2}$$



รูปที่ 2.5 ช่วงการวัดที่เป็น Linear

จากสมการ $\frac{P_1}{P_2} = A - b\left(\frac{N}{O}\right)$ เมื่อทำการหาการเปลี่ยนแปลงเมื่อ N เปลี่ยน
(differentiating equation) จะได้ดังสมการ (2.2)

$$\frac{D_p}{d_M} = -\left(\frac{b}{C}\right)P_1 \quad (2.2)$$

จากสมการอาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้งาน โดย P_2 จะมีค่าเท่ากับ $0.7P$ เมื่อ N เป็นค่าเฉลี่ย (M_a) จะได้ดังสมการ (2.3) และ (2.4)

$$0.7 = 1.10 - b\left(\frac{N_a}{O}\right) \quad (2.3)$$

$$\frac{b}{O} = \frac{0.40}{N} \quad (2.4)$$

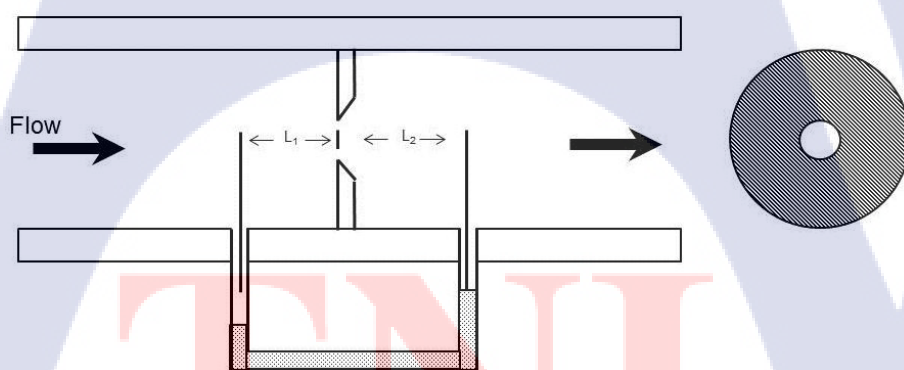
เพราะฉะนั้น $\frac{d_p}{d_M} = -\frac{b}{O} \times P_1 = -\frac{0.40 \times P_1}{N_a}$

จะเห็นว่าค่าความไว (Sensitivity) จะขึ้นอยู่กับค่า P_1 แต่จะแปรผกผันกับค่า N_a

2.1.2 Orifice Plate [2]

Orifice Plate เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลวแบบ Differential Pressure ที่นิยมใช้ชนิดหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม หลักการโดยทั่วไปในการวัดคือ จะใช้หลักการของ Bernoulli Effect ร่วมกับกฎทรงตัวของพลังงานและมวล (ปริมาณของเหลวที่เข้าสู่ระบบ จะมีค่าเท่ากับของเหลวที่ออกจากระบบ) และกฎความเร็วในการไหล (ความเร็วของของเหลวที่ไหลผ่านที่แคบหรือเล็กจะมีความเร็วมากกว่าไหลผ่านที่กว้าง)

Orifice Plate เป็นแผ่นโลหะเจาะรูแล้วไปวางคั่นการไหลแบบแรก (ดังแสดงในรูปที่ 2.6) หลักการทำงาน คือเมื่อของเหลวไหลในที่แคบจะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นแต่กำลังดันลดลง ดังนั้นกำลังดันของของเหลวก่อนผ่านรูของแผ่นก็จะแตกต่างกับกำลังดันหลังจากที่ผ่านรูแผ่นนั้นแล้ว (กำลังทางออกลดลงอย่างมาก แต่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นมาก) สำหรับการอ่านค่าความเร็วสามารถอ่านได้จากระดับของเหลวในหลอดแก้วของมาโนมิเตอร์ โดยดูผลต่างของระดับของเหลว เนื่องจากว่าหลอดแก้วจะมีปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยจะยอมให้ความดันของของเหลวเข้ามามี ผลเปรียบเทียบกับ ผลต่างของระดับจะขึ้นกับผลต่างของความดันก่อนและหลังจากที่ผ่านแผ่นนั้น



รูปที่ 2.6 Orifice Place

โดยความดันจุด P_1 หรือ P_2 จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับระยะ L_1 และ L_2 ตามลำดับ กล่าวคือ ความดันจุด P_1 จะมากเมื่อ L_1 มีระยะสั้น และความดันจุด P_2 จะมากเมื่อ L_2 มีระยะยาว แต่ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาขนาดรู O และ N ที่ส่งผลต่อการวัด ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการศึกษาถึงระยะ L ที่ส่งผลต่อความดัน P

2.1.3 ความไม่แน่นอนของการวัด [3]

ความไม่แน่นอนของการวัด หมายถึง พารามิเตอร์ที่รวมมากับผลของการวัดที่บอกลักษณะการกระจายของค่า ซึ่งสามารถอ้างได้อย่างสมเหตุสมผลว่าเป็นของปริมาณที่ถูกวัดนั้น (Parameter, Associated with the Result of a Measurement, that Characterizes the Dispersion of the Values that could Reasonably be Attributed to the Measurand : VIM 3.9)

จากนิยามข้างต้น สามารถให้ความหมายของความไม่แน่นอนของการวัดได้ว่า ความไม่แน่นอนของการวัด คือ สิ่งที่ชี้บอกความไม่สมบูรณ์ในความรู้ของปริมาณที่ถูกวัด ความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้นทุกครั้งที่ในการถ่ายทอดความถูกต้องของการวัด ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนไหนของความสามารถสอบกลับได้ ซึ่งในแต่ละระดับของการวัดจะเกิดความไม่แน่นอนของการวัดสะสมขึ้นเรื่อยๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายทอดการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการ ความไม่แน่นอนอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น วิธีการวัด เครื่องมือวัด ผู้ปฏิบัติการ และสภาวะแวดล้อมในการวัด เป็นต้น ความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องคำนวณโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นทางการ และโดยทั่วไปจะต้องรายงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ในแต่ละขั้นตอนของการถ่ายทอดความถูกต้องนั้น จะต้องจัดทำไว้เป็นเอกสารเพื่อให้สามารถทวนสอบความถูกต้องได้โดยผู้เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถสอบกลับได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะถูกรายงานร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ในใบรายงานผลการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และค่าที่รายงานนี้จะเป็ความจริงก็เฉพาะ ณ เวลาที่ทำการสอบเทียบและภายใต้เงื่อนไขของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับผลการสอบเทียบ แต่ในเวลาที่แตกต่างกัน หรือยิ่งกว่านั้นคือการใช้เครื่องมือวัดในเงื่อนไขที่ต่างออกไปจากผลการสอบเทียบก็จะมีทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัดยังมีค่ามากกว่าที่ระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งบางครั้งอาจจะเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบ จะได้รับการยอมรับว่ามีความสัมพันธ์กับมาตรฐานแห่งชาติได้ก็ต่อเมื่อใบรายงานผลการสอบเทียบนั้นออกให้โดยห้องปฏิบัติการที่สามารถแสดงความสามารถโดยผ่านกระบวนการรับรองความสามารถโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศ

บางครั้งใบรายงานผลการสอบเทียบจะรายงานความเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะทางมาตรวิทยาของปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีเช่นนี้ค่าที่วัดได้เมื่อรวมกับความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องไม่ขยายเกินไปกว่าขีดจำกัดหรือเกณฑ์ยอมรับที่ระบุของปริมาณที่ถูกวัดนั้นๆ

ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) คือสิ่งที่บอกได้ถึงคุณภาพของผลการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด การรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัดเสมอ เพื่อที่จะให้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับข้อกำหนดจำเพาะหรือมาตรฐาน หรือเกณฑ์ยอมรับสำหรับสิ่งที่ถูกวัด (Measurand) เป็นที่ยอมรับกันว่าการวัดทุกครั้งมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผลการวัดมีความแตกต่างจากค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด (True Value) และความไม่แน่นอนของการวัดส่วนหนึ่งได้มาจากการกระจายค่าของผลการวัดนั้นๆ เมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง มีแนวคิดหลากหลายที่ใช้แสดงความน่าเชื่อถือได้ของผลการวัด อย่างไรก็ตามก็มีความยากลำบากในการใช้วิธีประเมินความน่าเชื่อถือได้ที่ต่างๆ กันเหล่านั้น ในปี ค.ศ.1990 องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standardization Organization, ISO) ร่วมกับ สำนักงาน ชั่ง ตวง วัด ระหว่างประเทศ (BIPM) ได้แนะนำให้ใช้ความไม่แน่นอนของการวัดเป็นมาตรการในการบอกความน่าเชื่อถือของผลการวัดและได้เสนอแนวทางในการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด คือ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) ซึ่งมีแนวคิด ดังนี้

ปริมาณที่ถูกวัด “Y” ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณอินพุตที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวัด $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (2.13)$$

ในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงของปริมาณอินพุตเหล่านั้นได้ปริมาณอินพุตที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวัดจะมีความไม่แน่นอนติดมาด้วยเสมอ ดังนั้นผลการวัด “Y” จึงเป็นเพียงค่าประมาณ “y” พร้อมกับความไม่แน่นอนของการวัดที่เกิดจากปริมาณอินพุตเหล่านั้นด้วย

ในการรายงานผล ปริมาณที่ถูกวัดจะอยู่ในรูป

$$Y = y \pm U \quad (2.14)$$

โดยความไม่แน่นอน “U” ได้มาจากการประเมินองค์ประกอบรวมทั้งหมดของความไม่แน่นอนในรูปแบบที่เป็น Type A และ Type B การประเมิน Type A เป็นผลมาจากการประเมินทางสถิติที่อยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการประเมิน Type B จะใช้วิธีอื่นๆ ที่มีใช้การประเมินทางสถิติ ซึ่งอยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มาจากใบรับรองการสอบเทียบ หรือข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ เป็นต้น

ในการวัด (Measurement) หรือ การหาปริมาณในทางวิเคราะห์ ค่า Parameter หนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากในปัจจุบันได้แก่ ค่า "Uncertainty" หรือ ค่าความไม่แน่นอนจากการวัด การหา ค่า Uncertainty ในปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่พยายามหาวิธีที่จะคำนวณค่าดังกล่าวออกมาให้มี ความเข้าใจง่ายที่สุด และไม่ซับซ้อน โดย 2 ตัวอย่างที่นิยมใช้เป็นแบบแผนในการคำนวณ ได้แก่ Eurachem และ UKAS (United Kingdom Accreditation Service) ซึ่งในที่นี้จะนำเสนอแนว ทางการคำนวณของ UKAS เป็นหลัก เพื่อให้เข้าใจถึง หลักการและแนวคิดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้

Uncertainty เป็น parameter ที่ข้องเกี่ยวกับผลของการวัด ว่ามีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ ซึ่ง เกิดจากความไม่แน่นอนของการวัดอยู่เท่าไรในระดับความเชื่อมั่นที่เหมาะสม อาทิเช่น ในการวัด ความกว้างของผ้าผืนหนึ่ง จะรายงานว่า "กว้าง 2 ± 1 cm" ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ค่า 1 cm ที่ รายงานในที่นี้ไม่ใช่ค่า standard deviation แต่เป็นค่า uncertainty จากการวัดว่ามีความไม่แน่นอน ของการวัดในครั้งนี้อยู่ ± 1 cm

ความแตกต่างระหว่าง Uncertainty ค่า Error [4]

หลายคนอาจมีความเข้าใจผิดว่า ค่า uncertainty นั้นก็คือค่า error แต่แท้จริงแล้ว คำนิยามของทั้ง 2 ตัวแตกต่างกันเนื่องจาก :

1) Error เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ (measured value) กับค่าที่แท้จริงที่ ควรจะเป็น (true value) error of measurement เองสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ random error และ systemic error

-Random error มักไม่ทราบสาเหตุที่ทำให้เกิด error ได้ และมักเป็น random effect โดยไม่สามารถคาดการณ์ว่าจะเป็น error ในทิศทางใด แต่ทั้งนี้การเพิ่มจำนวนครั้งของการวัด ให้มากขึ้นก็สามารถลด error ชนิดนี้ลงไปได้

-Systemic error สามารถคาดการณ์ค่าที่วัดได้ว่าจะมีการเบี่ยงเบนไปในทิศทางใด โดยเกิดจาก systemic effect error ประเภทนี้ไม่สามารถลดด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งของการวัดให้ มากขึ้นได้

2) Uncertainty เป็นค่าที่เกิดจากความไม่แน่นอนของการวัด (quantification of the doubt) ซึ่งจะบอกช่วงความไม่แน่นอน ช่วงที่เป็นไปได้ของ ผลที่วัดได้นั้นประโยชน์ต่าง ๆ ของ ค่า uncertainty สามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

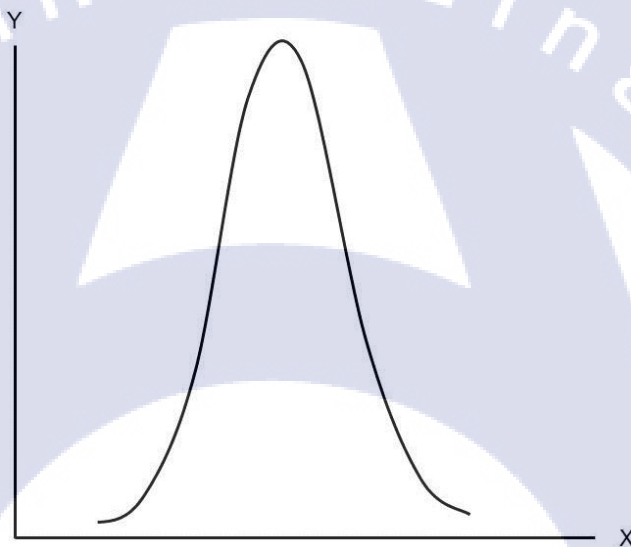
2.1) ค่า uncertainty จะเป็นปริมาณที่บ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพ (quality) ของ การวัดนั้น ๆ

2.2) สามารถนำมาใช้เป็น parameter หนึ่งในการเปรียบเทียบผลของการวัด ระหว่างห้องปฏิบัติการ

2.3) ทำให้ customer นำไปใช้ในการตัดสินใจจากการแปรผลข้อมูล ซึ่งจะได้ข้อมูลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยค่าที่รายงานจะรวมถึงความไม่แน่นอนจากการวัดทั้งระบบ

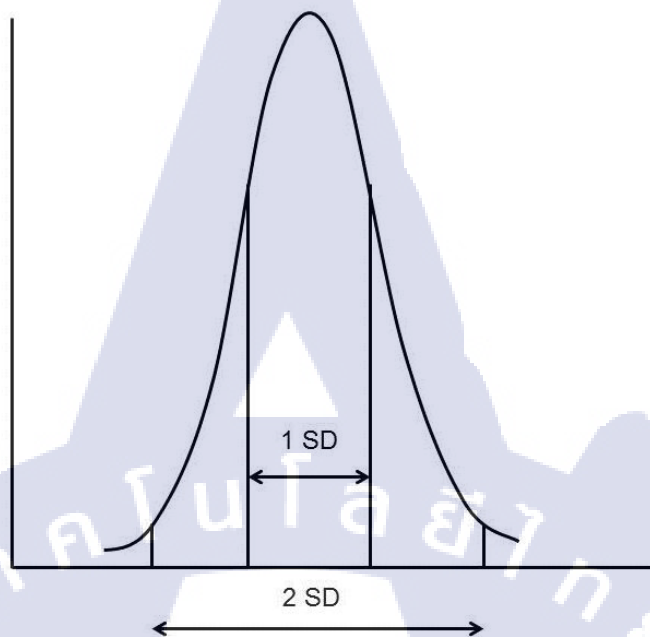
2.4) สามารถนำมาเป็น factor ที่ใช้พิจารณา วิเคราะห์ วิธีการวัดว่าควรต้องมีการปรับปรุงแก้ไข หรือไม่วิธีการวัดที่กำหนดไว้มีความไม่แน่นอนสูงเพียงใด และอาจจะทำการลดค่าความไม่แน่นอนดังกล่าวลงโดยการปรับปรุงวิธีการวัดใหม่ได้

Normal distribution หรือ Gaussian distribution เป็นรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ โดยเฉพาะจะวัดในประชากรที่มีขนาดใหญ่ โดยที่ค่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงเป็นลักษณะของรูประฆังคว่ำ



รูปที่ 2.7 Normal Distribution

ทำการแปลงค่าความไม่แน่นอนที่ประมาณของ แต่ละปัจจัยให้อยู่ในช่วง 1 SD (one standard deviation) ซึ่งโดยปกติ ๓ 1SD พื้นที่ใต้กราฟจะอยู่ในช่วง 68 %, $\pm 2SD$ พื้นที่ใต้กราฟจะอยู่ในช่วง 95 %



รูปที่ 2.8 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

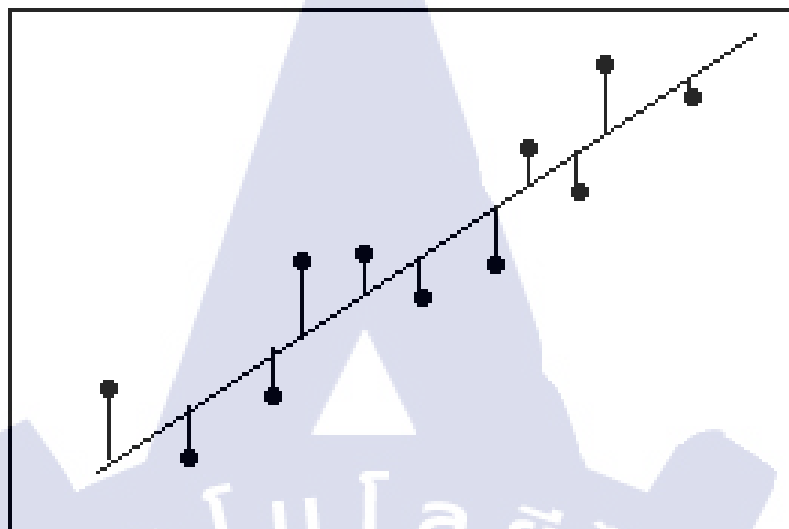
2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) [5]

เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด (ตัวแปรตามสามารถอธิบายโดยตัวแปรอิสระได้มากน้อยเพียงใด)

เมื่อทำการหาตัวแบบเชิงเส้นด้วยการวิเคราะห์การถดถอย ANOVA และ การออกแบบการทดลอง เราจะต้องมีการประเมินตัวแบบนั้นด้วยว่ามีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานหรือไม่ ซึ่งใน Minitab มีตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความสมบูรณ์ของตัวแบบ (Goodness of fit statistics) การวิเคราะห์ว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้นั้น มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ได้หรือไม่ โดยให้เลือกนำมาใช้ในการประเมินตัวแบบอยู่หลากหลายตัว แต่ในที่นี้จะพูดถึงตัวสถิติ ค่า R^2 (R-Squared) โดยพูดถึงข้อจำกัดและความหมายอื่นๆ ซึ่งในบางครั้งการที่ค่า R^2 มีค่าต่ำอาจไม่ได้หมายความว่าไม่ดีทุกครั้งไป และเช่นกันค่า R^2 ที่มีค่าสูงก็ไม่ได้มีความหมายในเชิงบวกเสมอไป

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) ได้มาจากการคำนวณระยะห่างระหว่างเส้นตรง ที่มาจากข้อมูลค่าสังเกต และค่าที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง (Fitted) และสมการเส้นตรงที่ได้จะให้เกิดค่าระยะห่างของจุดข้อมูลกับเส้นตรงโดยรวมน้อยที่สุด

ทางเทคนิคจะใช้ค่า OSL (Ordinary Least Square) เพื่อทำให้เกิดค่าผลรวมของค่าเศษเหลือกำลังสอง (sum of the square residual) ให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.9 ระยะระหว่างจุด (ค่าจริง) กับเส้นสมการ

โดยทั่วไปแล้วตัวแบบที่เหมาะสม จะมีความแตกต่างของค่าที่สังเกตได้กับค่าที่คำนวณตามสมการน้อยและเป็นค่าที่ไม่เอนเอียง (unbiased) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ความสมรูปทางสถิติ คุณควรที่ทำการตรวจสอบแผนภาพเศษเหลือ (Residual plots) ร่วมด้วยเสมอ ซึ่งจากแผนภาพเศษเหลือนี้จะทำให้เห็นรูปแบบของค่าเศษเหลือที่ไม่มีคุณภาพ ซึ่งบ่งบอกถึงความเอนเอียงได้ดีกว่าการวิเคราะห์ด้วยตัวเลข ถ้าแผนภาพเศษเหลือนี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความผิดปกติใดๆ การวิเคราะห์ด้วยตัวเลขก็ทำให้น่าเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น แล้วจึงไปทำการวิเคราะห์ความสมรูปของตัวแบบอีกทีหนึ่ง

ค่า R-Squared คือตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้ี้มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อยอย่างไร หรือรู้จักกันในอีกความหมายหนึ่งว่าเป็น ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเชิงซ้อน (Coefficient of Multiple Determination) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression)

นิยามของค่า R-Squared คือ ค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่สามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้กี่เปอร์เซ็นต์ หรือ

$$R\text{-Squared} = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \text{ (Explained variation / Total Variation)}$$

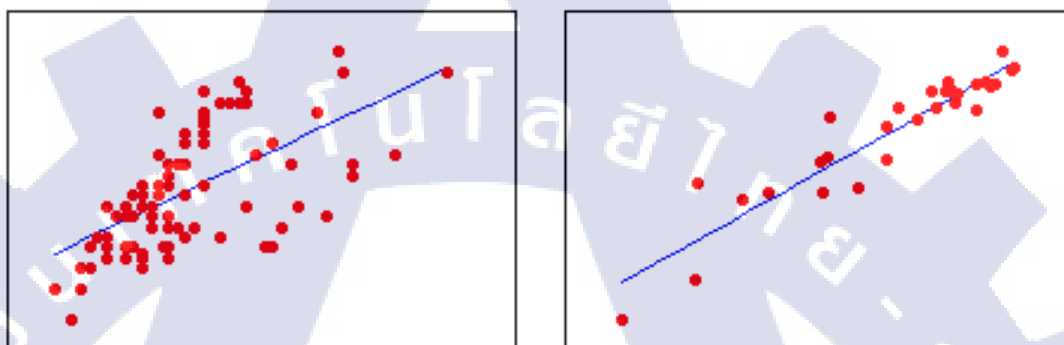
ค่า R-Squared จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0% - 100%

- 0% แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้น ไม่สามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองต่างที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เลย

- 100% แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้น สามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองต่างที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

โดยทั่วไปแล้ว ค่า R-Squared สูงๆ หมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้น ดี (เหมาะสมกับข้อมูล) แต่อย่างไรก็ตามยังมีเงื่อนไขบางอย่างที่ต้องมีพร้อมกับค่า R-Squared สูงๆ นี้ด้วย

แผนภาพที่แสดงถึงค่า R-Squared เป็นการพลอตค่าข้อมูลที่สังเกตได้และค่าข้อมูลที่คำนวณได้จากตัวแบบคณิตศาสตร์ ซึ่งทั้งสองแผนภาพนี้มีค่า R-Squared แตกต่างกัน



รูปที่ 2.10 แสดงความแตกต่างของค่า R-Squared

จากรูปที่ 2.10 ด้านซ้าย มีค่า 38% ของความแปรปรวน ส่วนของตัวแบบด้านขวามีค่า 87.4% ของความแปรปรวน ซึ่งถ้าค่าเปอร์เซ็นต์นี้มีค่ามาก หมายความว่าตัวแบบสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตมาก (หรือ ค่าสังเกตจะอยู่บนเส้นตรงของตัวแบบ) ในทางทฤษฎีถ้าตัวแบบสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 100% หมายความว่า ค่าที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับค่าสังเกตได้ ดังนั้นค่าข้อมูลที่สังเกตได้จะอยู่บนเส้นตรงของตัวแบบคณิตศาสตร์ทุกจุด

ข้อจำกัดของค่า R-Squared คือไม่สามารถบอกได้ว่าค่าที่คำนวณได้นั้นมีความเอนเอียงหรือไม่ ซึ่งจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์แผนภาพเศษเหลือมาเป็นตัวช่วย

ค่า R-Squared ไม่สามารถบอกได้ว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นี้มีความเหมาะสมดีแล้วหรือไม่ ซึ่งบางครั้ง ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ดีอาจให้ค่า R-Squared ต่ำ และบางกรณีที่มีค่า R-Squared สูงตัวแบบก็ไม่เหมาะสมกับข้อมูล

ค่า R-Squared ต่ำ ไม่ได้มีความหมายไปในทางที่ไม่ดีเสมอไป โดยในบางสาขา ค่า R-Squared ที่จะได้มาจะมีค่าต่ำ เช่น การทำนายพฤติกรรมมนุษย์ ในสาขาจิตวิทยาโดยทั่วไปค่า R-Squared ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า 50% เนื่องด้วย มนุษย์เป็นสิ่งที่ยากจะคาดเดาได้ เมื่อเทียบกับกระบวนการทางกายภาพ ถ้าในกรณีที่ R-Squared มีค่าต่ำ แต่ค่าตัวทำนายมีนัยสำคัญทางสถิติ ยัง

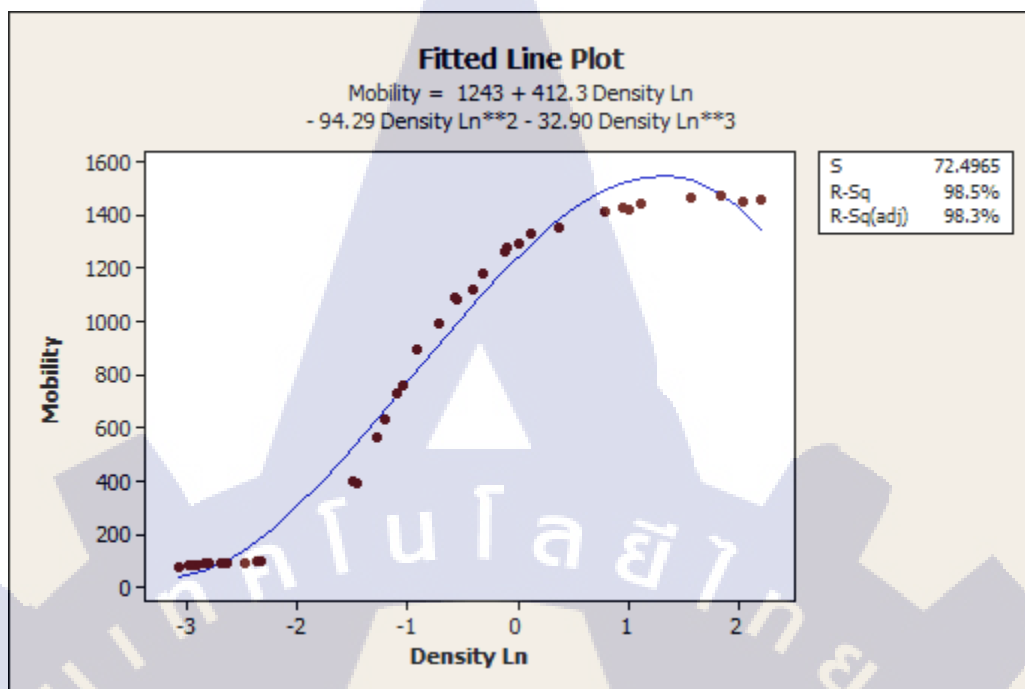
สามารถใช้ผลสรุปว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวทำนายนี้เป็นแบบไหน จะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองเป็นอย่างไร และไม่ว่า ค่า R-Squared จะเป็นอย่างไร ค่าสัมประสิทธิ์ในตัวแบบตัวใดที่มีนัยสำคัญ ก็ยังคงใช้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองว่ามีจำนวนเท่าไร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวทำนาย (Predictor) 1 หน่วย (โดยที่ให้ค่าตัวทำนายที่เหลือมีค่าคงที่) ซึ่งว่าข้อมูลตรงนี้มีคุณค่าที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก

ส่วนค่า R-Squared ที่มีค่าต่ำจะเป็นปัญหาอย่างมากเมื่อต้องการทำนายค่าตัวแปรตอบสนองให้มีความแม่นยำของค่าที่มากขึ้น (ช่วงของการทำนาย (Prediction Interval) มีค่าช่วงไม่กว้างมากนัก)

ดังนั้นเพื่อให้การทำนายได้ผลอย่างเหมาะสม ค่า R-Squared ควรมีค่าประมาณเท่าไร คำตอบก็ขึ้นอยู่กับว่าความต้องการที่อยากจะได้ช่วงของความกว้างของค่าที่ทำนายนั้น มีขนาดช่วงเท่าไร และความผันแปรที่จะมีในข้อมูลมีค่าเป็นเท่าไร เพราะค่า R-Squared ที่มีค่าสูงย่อมให้การทำนายค่าตัวแปรตอบสนองที่มีความแม่นยำสูงกว่า แต่เท่านี้อาจไม่เพียงพอ ซึ่งเราจะมาดูกันในหัวข้อต่อไป

ค่า R-Squared ที่มีค่าสูง อาจไม่ได้หมายความว่าตัวแบบที่ได้นั้นมีความสมรูปกับข้อมูลเป็นอย่างไร ซึ่งมีคำตอบที่ซ่อนอยู่ ดูจากแผนภาพเศษเหลือและแผนภาพของเส้นตัวแบบ ด้านล่างทั้ง 2 รูปนี้ (รูปที่ 2.11 และ 2.12)

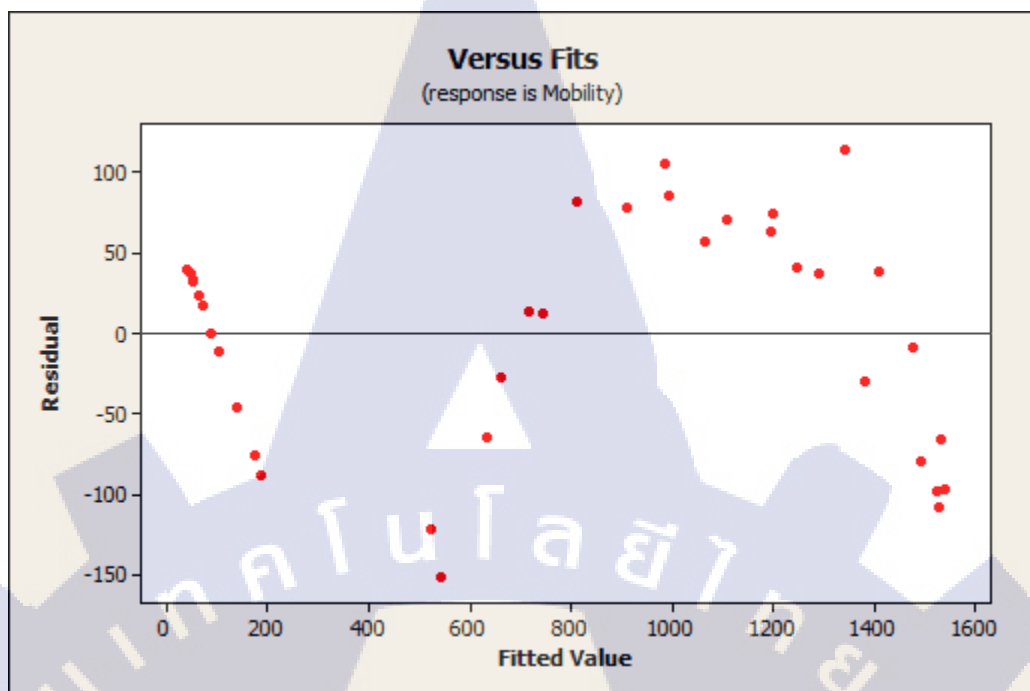
รูปที่ 2.11 แผนภาพของเส้นตัวแบบ (Fitted Line Plot) เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Mobility ของอิเล็กตรอนในชั้นส่วน Semiconductor และค่า natural log (ln) ของ density ที่เกิดขึ้นในการทดลอง



รูปที่ 2.11 แผนภาพของเส้นตัวแบบ (Fitted Line Plot)

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า ตัวแบบมีความเหมาะสมดีกับข้อมูล (ข้อมูลเรียงตัวอยู่บนเส้นสมการในแผนภาพ) และค่า R-Squared สูงถึง 98.5% ซึ่งถือว่าเป็นผลที่ดีมากแต่ถ้าดูไปที่เส้นสมการถดถอยจะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงของเส้นโค้งจะมีความเบี่ยงเบน (Bias) ของข้อมูลอยู่ทั้ง เหนือ และ ได้เส้นโค้งตลอดช่วง

ซึ่งเมื่อมาพิจารณาที่แผนภาพเศษเหลือ (Residual Plot) จะเห็นได้ว่าในแผนภาพเศษเหลือไม่แสดงรูปแบบ Random ของข้อมูลซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าตัวแบบนั้นไม่ดี ดังนั้นทุกครั้งที่ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจะต้องมีการวิเคราะห์แผนภาพเศษเหลือด้วยเสมอ



รูปที่ 2.12 Versus Fits

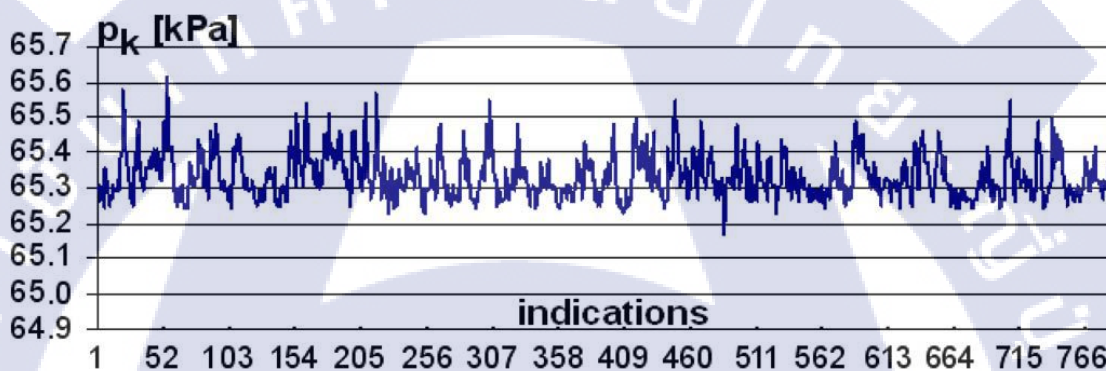
จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าการต้องเลือกระหว่างสมการถดถอยเชิงเส้นและสมการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น ถ้าจะต้องนำมาพิจารณา คำตอบสำหรับตัวอย่างกรณีนี้คือจะต้องมีการใช้ตัวแบบสมการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพราะว่าข้อมูลไม่สมรูปกับตัวแบบเชิงเส้นนั่นเอง

ดังนั้นค่า R-Squared ถือเป็นค่าที่นำมาใช้วัดว่าตัวแบบสมการเชิงเส้นที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตาม การมองเฉพาะค่า R-Squared อย่างเดียวอาจไม่สามารถตอบได้ว่าตัวแบบสมการนั้นเหมาะสมหรือไม่ แต่ต้องมีการพิจารณาค่า R-Squared ร่วมกับการวิเคราะห์แผนภาพเศษเหลือ และตัวสถิติอื่นๆ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

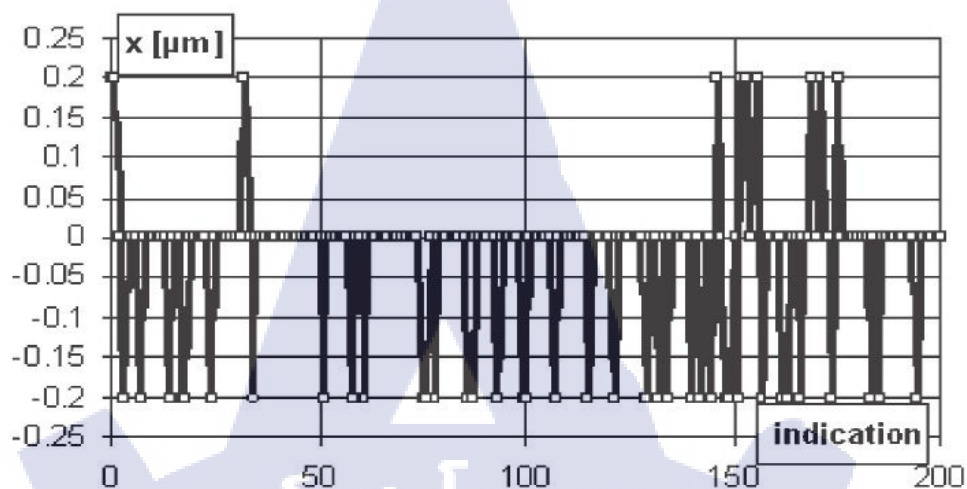
2.2.1 Reduction of Uncertainty in Air Gauge Adjustment Process [6]

การประมวลผลเป็นสิ่งที่สำคัญในการคำนวณค่าต่างๆ ของ Air gauge ปี ค.ศ. 2009 Mirosław Rucki ได้นำเสนอเรื่อง “Reduction of Uncertainty in Air Gauge Adjustment Process” กล่าวถึงปัญหาของค่าความไม่แน่นอนในการ adjustment ซึ่งเกิดจากความผันผวนของความดัน P_k ซึ่งเขามีการใช้ piezoresistive sensor ในการรับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงความดัน P_k เพราะเป็น sensor ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน ทำให้เห็นว่าที่ระยะการกระจัด (s) ใดๆ จะเกิดความผันผวนของค่า P_k ในช่วงๆ หนึ่งดังรูป 2.18 แสดงให้เห็นว่า ณ จุดที่กำหนดให้ s คงที่แต่ค่า P_k กลับมีความผันผวน



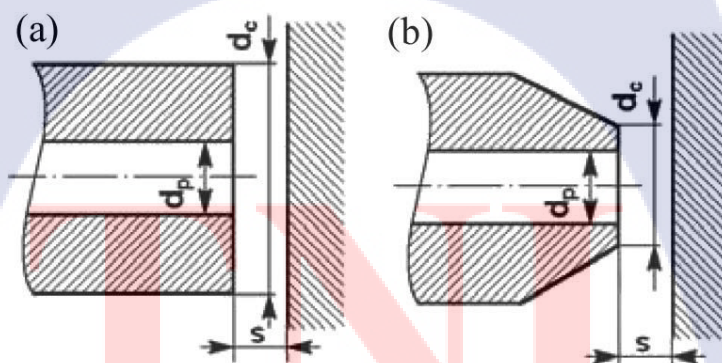
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความผันผวนของ P_k เมื่อ s คงที่

และหลังจากการ setting master กำหนดให้จุดตั้งกล้าวเครื่องประมวลผลจะอ่านค่าได้ $0.00 \mu\text{m}$ แต่ในความเป็นจริงค่าที่อ่านได้กลับอยู่ในช่วง $\pm 0.2 \mu\text{m}$ ดังรูป 2.19 ซึ่งปัจจัยหนึ่งเกิดจากความผันผวนของ P_k



รูป 2.14 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัด s

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเลือกค่า P_k ที่เหมาะสม ซึ่งใน Air gauge ส่วนใหญ่จะใช้ค่า mean และค่า medium ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีคำแนะนำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปของ measuring nozzle โดยให้มีอัตราส่วน $d_c/d_p \leq 1.5$ ดังรูป 2.20 จะทำให้ช่วงความผันผวนของ P_k ลดลง และส่งผลให้ค่า mean และค่า medium มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

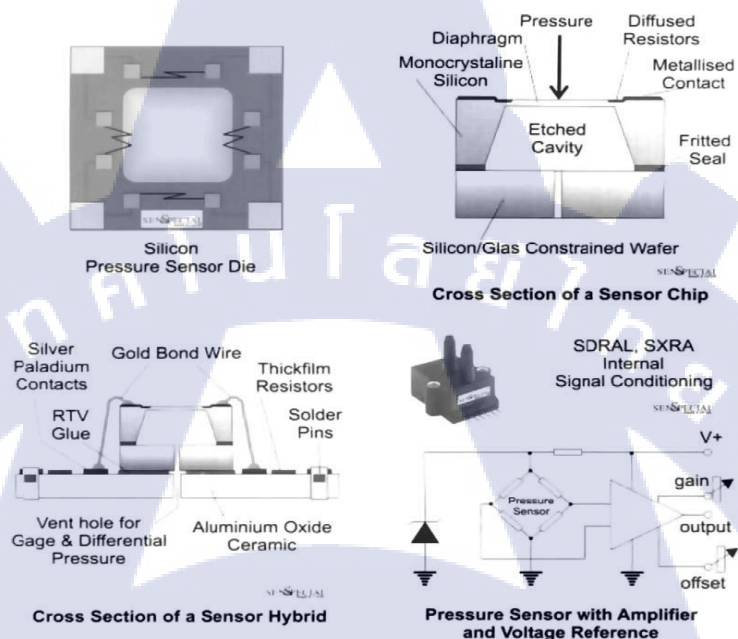


รูปที่ 2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน $d_c/d_p \leq 1.5$

2.2.2 Air gauge as a part of the dimensional inspection system [7]

Mirosław Ruckia, Branimir Barisic and Gyula Vargac ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Air gauge as a part of the dimensional inspection system” ซึ่งอุตสาหกรรมมีความต้องการ

ระบบการวัดที่ไม่ใช่เพียงแค่ ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัด ปัจจุบันยังต้องพิจารณาเรื่องวิธีการเก็บข้อมูลและประมวลผลด้วยที่รวดเร็วและถูกต้องด้วย จึงได้มีการศึกษาวิจัยถึงระบบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Air Gauge ที่มีการเปลี่ยนแปลง sensor แบบเดิมเป็น piezoresistive sensor ซึ่งมีความไวในการรับสัญญาณนิวเมติก ดังรูปที่ 2.21

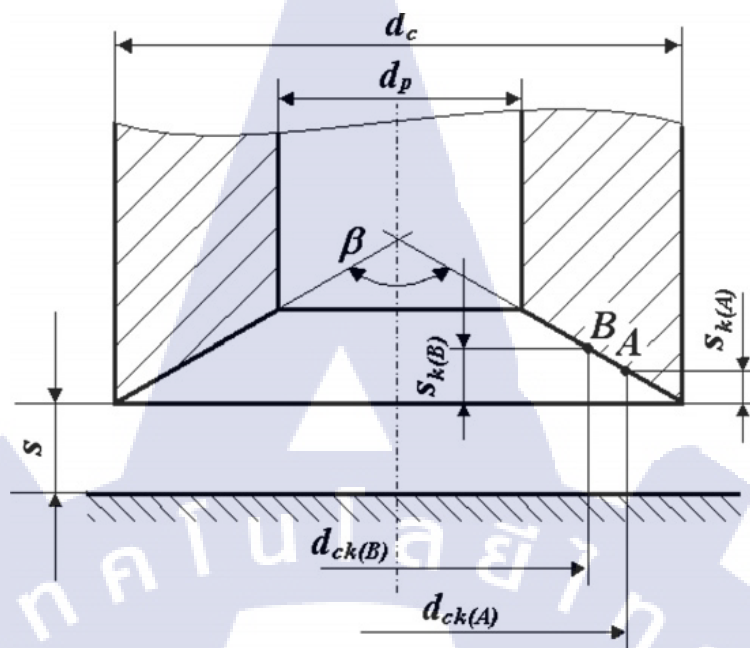


รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของวงจรทดลอง piezoresistive sensor

ดังนั้นระบบรับสัญญาณดิจิทัลจึงเป็นปัจจัยในการทำให้การวัดด้วย Air gauge นี้ประสบผลสำเร็จซึ่งได้มีการสร้าง PNEUTRONIK ขึ้นสำเร็จ โดยสามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลง P_k ที่มีความผันผวน(สามารถวิเคราะห์ค่า P_k) ทั้งยังประมวลในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว

2.2.3 Correction of the metrological properties of the pneumatic length measuring gauges through changes of the measuring nozzle head surface shape [8]

Czeslaw Janusz Jermak ^a, Branimir Barisic ^b, Mirosław Rucki ^a มีการศึกษาถึงรูปร่างลักษณะของ measuring nozzle head surface ที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวยจะเพิ่มช่วงการวัดที่เป็นเชิงเส้น (linearity) เพิ่มขึ้น โดยขนาด measuring nozzle head surface เมื่อขนาดรูคองที่ จะทำให้เกิดความเป็นเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงระยะการวัดเพิ่มขึ้น โดยการทำการทดลองเปลี่ยนขนาดมุม β ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งมีการเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองที่มุม β เท่ากับ 160, 166, 170, 172, 174 และ 180 องศา และขนาด d_w เท่ากับ 1 และ 1.6 มิลลิเมตร



รูป 2.17 แสดงพารามิเตอร์ของ measuring nozzle

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนรูปร่างให้คล้ายกับทรวงกรวยจะสามารถเพิ่มช่วงวัดที่เป็นเชิงเส้นเพิ่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปพัฒนาเพื่อหาพารามิเตอร์อื่นที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัดได้เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ Inlet Nozzle และค่าคงที่ K ที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัดที่เป็นเชิงเส้นตรง

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

แอร์เกจซึ่งใช้หลักการวัดความแตกต่างของแรงดันอากาศ 2 จุด ที่มีออริฟิส ชั้นกลาง เทียบกับระยะระหว่างหัววัดและผิวชิ้นงาน ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวัดของแอร์เกจ แต่ในงานวิจัยนี้จะเน้นหาปัจจัยหลักพื้นฐานที่ส่งผลกระทบต่อผลการวัดคือ ขนาดแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิส และนอชเชิล โดยพิจารณาผลการวัดจากช่วงระยะการวัดที่ชุดทดลองสามารถวัดได้ ความละเอียดในการวัด (Resolution) และค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

3.1 อุปกรณ์ทำการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองเน้นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอชเชิล ซึ่งจะมีการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสและนอชเชิล ต่างๆ ดังนั้นชุดอุปกรณ์การทดลองจึงสร้างเพื่อให้สามารถเปลี่ยนขนาดออริฟิสและนอชเชิลได้โดยง่าย และทำการวัดค่าและจัดเก็บที่รวดเร็ว

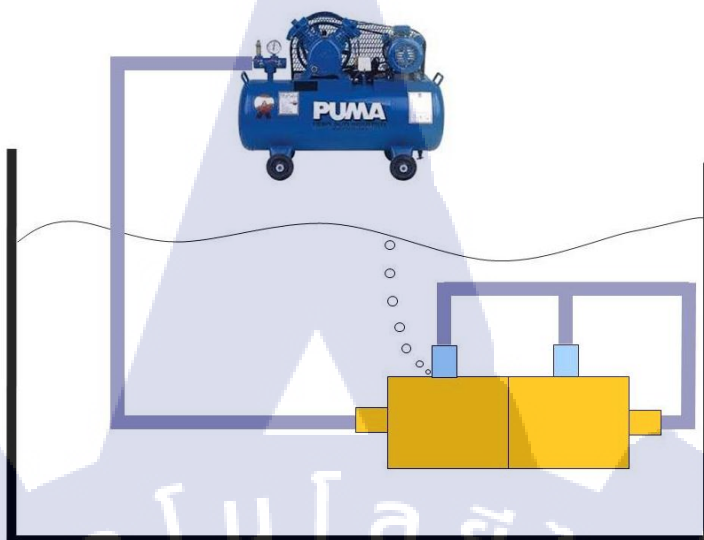


รูปที่ 3.1 ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง

3.1.1 ชุดออร์ฟิส ที่ผลิตจากทองเหลืองรูปทรงกระบอก ภายในเจาะรูขนาด 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งชุดออร์ฟิสสามารถถอดเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ออร์ฟิสได้ ในการทดลอง ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิส 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 มิลลิเมตร (ออร์ฟิส-มีความหนา ประมาณ 2 มิลลิเมตร) โดยมี O-Ring ป้องกันการรั่วซึมของอากาศระหว่างรอยต่อของชุดออร์ฟิส จำนวน 2 ชั้น และทำการทดสอบการรั่วซึมด้วยการอัดอากาศเข้าสู่ชุดออร์ฟิส (โดยปิดรูอื่นๆ ด้วยการต่อท่อเข้าด้วยกัน) และนำไปจุ่มน้ำ เพื่อสังเกตว่าเกิดฟองอากาศขึ้นหรือไม่ หากเกิดฟองขึ้น แสดงว่าจุดนั้นมีการรั่วซึมของอากาศต้องทำการแก้ไขไม่ให้เกิดการรั่วซึม ดังรูปภาพที่ 3.3

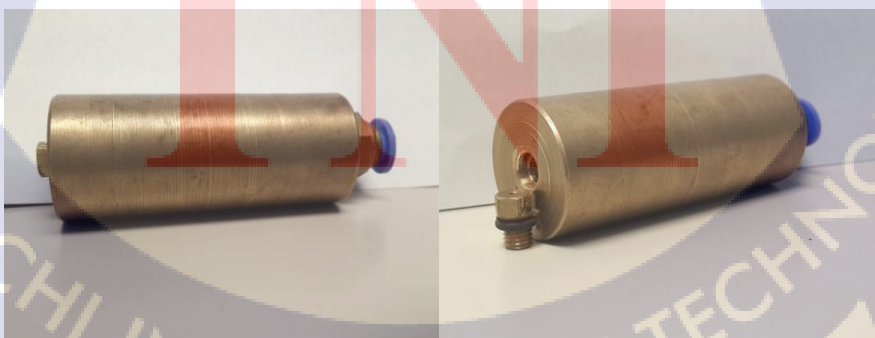


รูปที่ 3.2 ภาพชุดออร์ฟิสที่สามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสได้

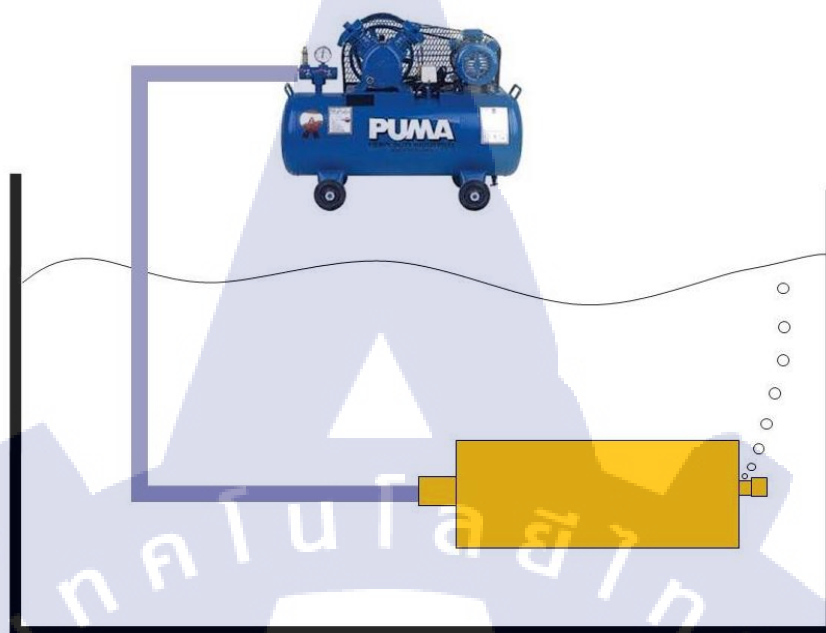


รูปที่ 3.3 ภาพจำลองการทดสอบการรั่วซึมของชุดออริฟิส

3.1.2 ชุดนอชเชิลที่ผลิตจากทองเหลืองรูปทรงกระบอก ภายในเจาะรูขนาด 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งชุดนอชเชิลสามารถถอดเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Nozzle ได้ ซึ่งในการทดลองใช้เส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลได้ ซึ่งในการทดลองใช้เส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลที่ 0.9, 1.1 และ 1.3 มิลลิเมตร (นอชเชิลมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร) โดยมี O-Ring ป้องกันการรั่วซึมของอากาศระหว่างรอยต่อของชุดนอชเชิลจำนวน 1 ชิ้น และทำการทดสอบการรั่วซึมด้วยการอัดอากาศเข้าสู่ชุดนอชเชิล (โดยปิดรูอีกด้านไม่ให้อากาศสามารถออกได้) และนำไปจุ่มน้ำ เพื่อสังเกตดูว่าเกิดฟองอากาศขึ้นหรือไม่ หากเกิดฟองขึ้นแสดงว่าจุดนั้นมีการรั่วซึมของอากาศต้องทำการแก้ไขไม่ให้เกิดการรั่วซึม ดังรูปภาพที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ภาพชุดนอชเชิล ที่สามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลได้

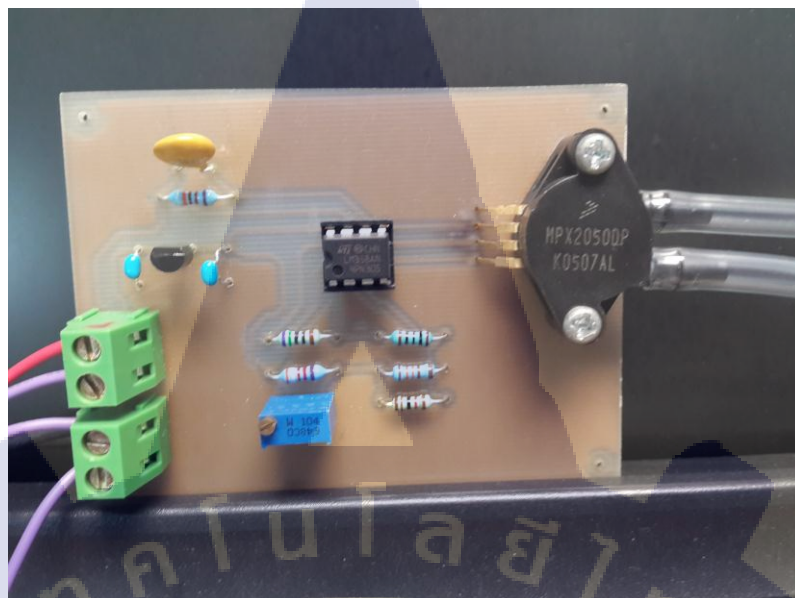


รูปที่ 3.5 ภาพจำลองการทดสอบการรั่วซึมของชุดนอซเซลล์

3.1.3 ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดแรงดัน ดังรูปที่ 3.6 โดยใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดัน รุ่น DPX2050 ซึ่งเป็นเครื่องวัดแรงดันที่อ่านค่าความแตกต่างระหว่างจุด 2 จุด วงจรอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการแปลงสัญญาณของแรงดันอากาศ ที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดแรงดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งชุดวงจรนี้ใช้กระแสไฟขนาด 8 โวลต์ โดยในวงจรมีตัวแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าในตัวให้คงที่ที่ 8 โวลต์

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY



รูปที่ 3.6 ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดแรงดัน

3.1.4 DAQ Card (NI USB-6009) ขนาด 2 analog outputs (12-bit, 150 S/s); 12 digital I/O; 32-bit counter ซึ่งใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อก(Analog) ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นสัญญาณดิจิทัล(Digital) ดังรูปที่ 3.7



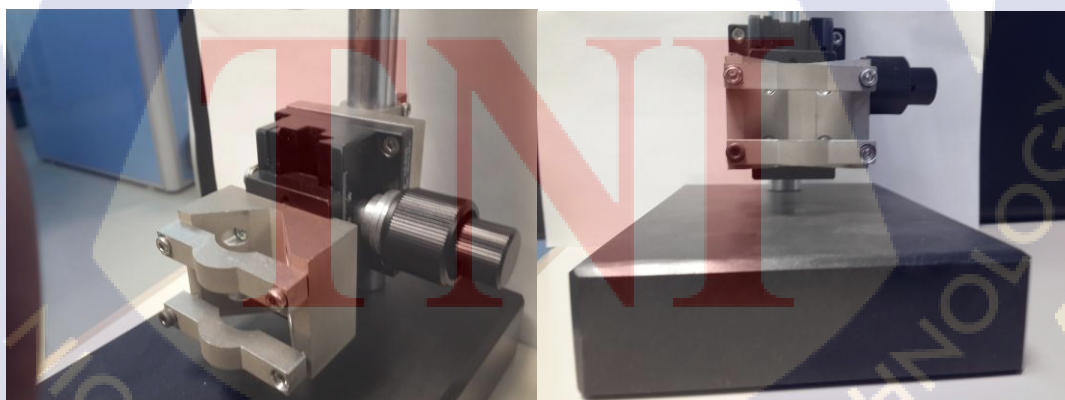
รูปที่ 3.7 DAQ Card (NI USB-6009)

3.1.5 Dial Gauge (ยี่ห้อ Sylvac) ที่มีความละเอียด 1 ไมโครเมตร ส่งสัญญาณค่าเป็นตัวเลข(ดิจิตอล) พร้อมสายเชื่อมต่อ USB เพื่อส่งสัญญาณค่าที่วัดได้ไปยังคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Dial Gauge (ยี่ห้อ Sylvac) ที่มีความละเอียด 1 ไมโครเมตร

3.1.6 เครื่องมือปรับระยะ (Adjustment Equipment) ซึ่งจะมีส่วนที่ปรับหายและปรับละเอียด แต่ในการทำลองจะใช้วิธีการปรับละเอียด เนื่องจากเครื่องมือวัดอาร์เกจเป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง พร้อมทั้งตัวยึดจับชุดนอชเชิล ดังรูปที่ 3.9



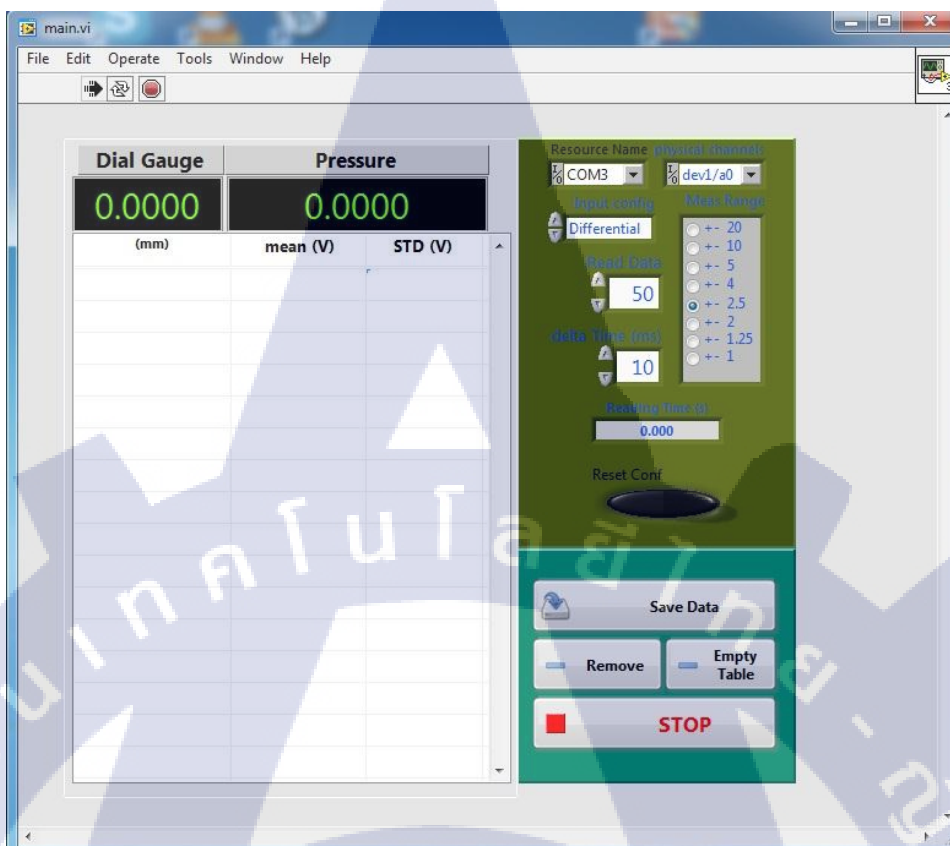
รูปที่ 3.9 เครื่องมือปรับระยะ (Adjustment Equipment) พร้อมตัวยึดจับชุดนอชเชิล

3.1.7 ชุดจับยึด ใช้ในการจับยึดชุดเครื่องมือปรับระยะ และ Dial Gauge พร้อมทั้งใช้ฐานของชุดจับยึดแทนผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 3.10 ชุดจับยึดที่ติดตั้งเครื่องมือปรับระยะและ Dial Gauge

3.1.8 โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโปรแกรมเครื่องมือวัดเสมือน (Virtual Instrument) โดยใช้ในการอ่านค่าจากการวัดและประมวลผล และคอมพิวเตอร์ใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง

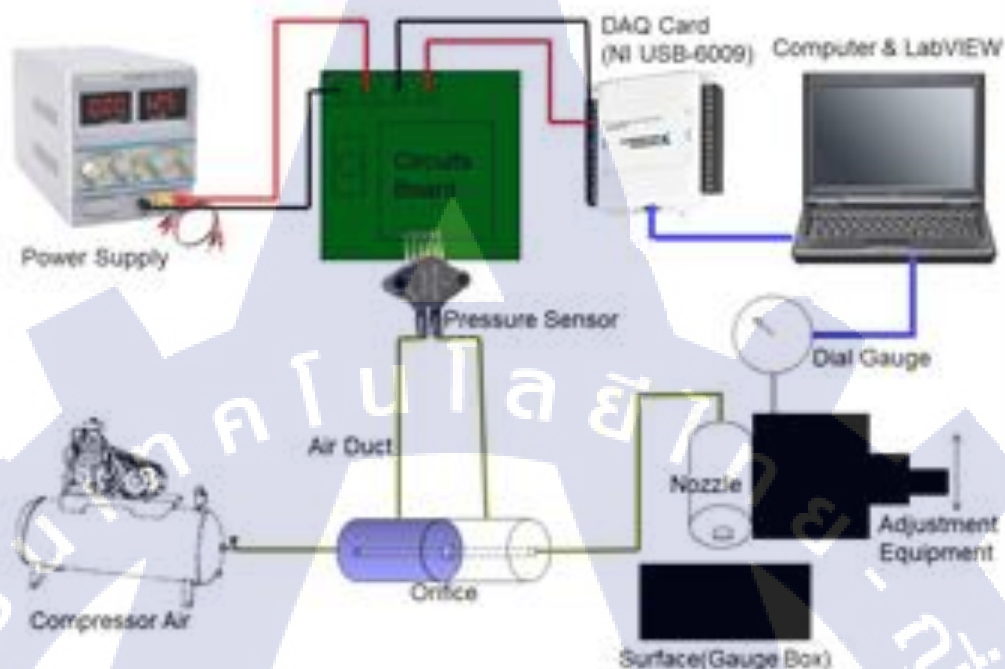


รูปที่ 3.11 โปรแกรม LabVIEW

3.1.9 Compressor Air (KOBELCO : Kobelion II – AG, Screw Compressor AG 280 A-15) และตัวปรับตั้งแรงดันกรองอากาศ(Filter Regulator)

3.1.10 Power Supply เพื่อใช้จ่ายกระแสไฟในการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.2 หลักการทำงานของชุดทดลอง



รูปที่ 3.12 หลักการทำงานของชุดทดลอง

แรงดันอากาศที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องปั๊ม (Compressor Air) และอากาศไหลผ่านตัวปรับตั้งแรงดันกรองอากาศ (Filter Regulator) เพื่อตั้งค่าแรงดันที่จะเข้าสู่ชุดทดลองตามที่ต้องการ จากนั้นอากาศจะไหลผ่านชุดออร์ฟิสและ ชุดนอชเชิลตามลำดับ เพื่อออกสู่บรรยากาศภายนอก โดยที่

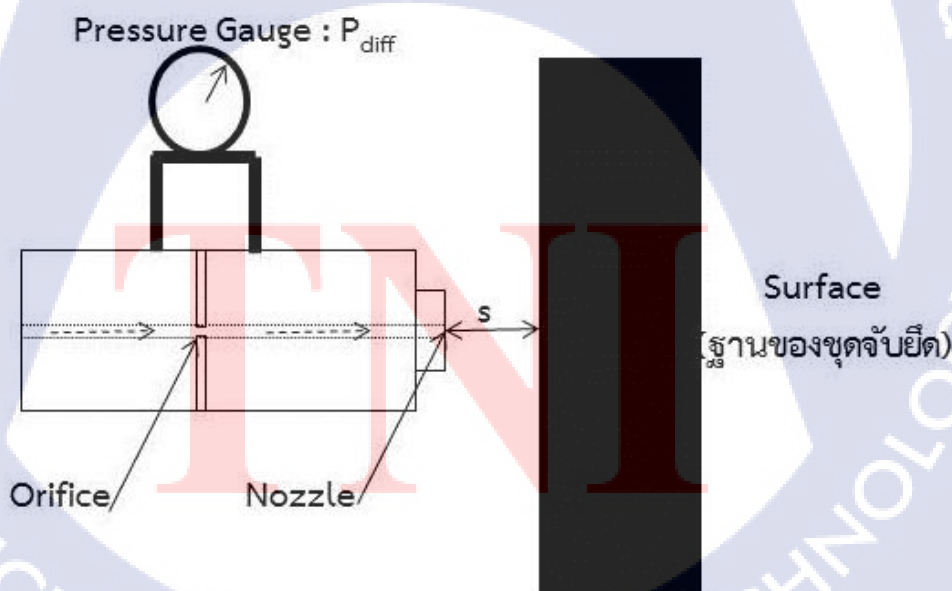
- Pressure Sensors (DPX2050) จะทำการวัดความแตกต่างของแรงดันอากาศ 2 จุดที่มีออร์ฟิสกั้นอยู่ระหว่างกลาง และแปลงสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดแรงดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ซึ่งได้รับพลังงานจาก Power Supply) และส่งสัญญาณผ่าน DAQ Card (NI USB-6009) เพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็น Digital และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์
- Dial Gauge ทำการวัดค่าระยะห่าง (distance : s) ระหว่างปลายนอชเชิลและพื้นผิวฐานของชุดจับยึด และส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม LabVIEW จะทำการประมวลและเก็บค่าที่ได้จากการวัด โดยจะมีการเก็บค่าความแตกต่างของแรงดัน (P_{diff}) ทุกๆ 10 มิลลิวินาที และนำค่าที่เก็บได้จำนวน 50 ค่าทำการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบน (σ) ของ P_{diff} พร้อมกันนั้นจะทำการเก็บค่าระยะ s เพื่อที่จะทราบความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s ต่อไป

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการวัดของแอร์เกจที่เหมาะสม

- 1) ติดตั้งออร์ฟิสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร และนอซเซิลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร
- 2) ตั้งค่าระหว่างปลายนอซเซิลและพื้นผิวฐานของชุดจับยึดให้ชิดกัน (ระยะ s เท่ากับ 0 มิลลิเมตร) และตั้งค่าเริ่มต้นของ Dial Gauge ให้เป็น 0.000 มิลลิเมตร
- 3) ตั้งค่าแรงดันลมที่ออกจากแหล่งกำเนิดเท่ากับ 3 บาร์ ด้วยตัวปรับตั้งแรงดันกรองอากาศ และปล่อยแรงดันอากาศดังกล่าวเข้าสู่ชุดทดลอง
- 4) บันทึกค่า P_{diff} และ s ที่ได้จาก Dial Gauge (ซึ่งค่าแรกที่สามารถอ่านได้คือ 0.000 มิลลิเมตร)
- 5) ปรับละเอียดเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายนอซเซิลและพื้นผิวฐานของชุดจับยึด และทำการวัด/บันทึกค่าความแตกต่างของแรงดัน (P_{diff}) และวัด/บันทึกค่า s ที่อ่านได้จาก Dial Gauge
- 6) ปรับละเอียดเพิ่มระยะทาง (s) ระหว่างนอซเซิลและพื้นผิวฐานของชุดจับยึด และทำการวัดค่าเหมือนดังข้อที่ 6) โดยเพิ่มระยะ s ขึ้นจนกระทั่งค่า P_{diff} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.13 ระยะ (s) ของชุดทดลอง

7) ทำการทดลองดังข้อ 2) - 6) อีกจำนวน 2 รอบ

8) จากข้อ 1) - 7) ถือเป็นการทดลองเสร็จสิ้นจำนวน 1 การทดลอง และทำการทดลองจำนวนทั้งสิ้น 12 การทดลอง ดังตารางที่ 3.1 โดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอชเชิลตามข้อที่ 1) และขนาดแรงดันเริ่มต้นตามข้อที่ 3)

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการวัดของแอร์เกจ

การทดลองที่	แรงดัน (Bar)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ออริฟิส	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง นอชเชิล
1	3	1.5	0.5
2	3	1.5	0.7
3	3	1.5	0.9
4	4	1.5	0.5
5	4	1.5	0.7
6	4	1.5	0.9
7	5	1.5	0.5
8	5	1.5	0.7
9	5	1.5	0.9
10	6	1.5	0.5
11	6	1.5	0.7
12	6	1.5	0.9

9) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และระยะ s พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.3.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอชเชิล

- 1) ปรับค่าแรงดันที่ออกจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งที่ได้รับผลรับจากการทำการทดลองที่ 3.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสม
- 2) ติดตั้งนอชเชิลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ในชุดนอชเชิล
- 3) ติดตั้งออริฟิสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร ในชุดออริฟิส

4) ตั้งค่าระหว่างปลายนอชเชิลและพื้นผิวฐานของชุดจับยึดให้ชิดกันโดยไม่มีช่องว่าง (ไม่มีลมออกจากนอชเชิล) และตั้งค่า Dial Gauge ให้เป็น 0.000 มิลลิเมตร

5) ทำการวัดค่า P_{diff} และบันทึกค่า

6) จ่ายแรงดันอากาศเข้าสู่ชุดทดลอง และทำการวัดค่า P_{diff} และบันทึกค่าอีกครั้ง เปรียบเทียบค่า P_{diff} ระหว่างการจ่ายแรงดันและหลังการจ่ายแรงดัน ซึ่งหากค่าต่างกันไม่เกิน ± 0.01 โวลต์ (เป็นค่าความแตกต่างที่มากที่สุดที่ตั้งค่าได้) ถือว่ามีการตั้งค่าเริ่มต้นที่มีการรั่วไหลออกของอากาศในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าความแตกต่างของ P_{diff} ระหว่างการจ่ายแรงดันและหลังการจ่ายแรงดันที่เหมาะสมที่สุดที่จะยอมรับได้เท่ากับ ± 0.0035 โวลต์ ซึ่งมากจากค่าที่เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Division : s.d.) ที่มากที่สุดที่วัดได้ในช่วงติดตั้งก่อนจ่ายลมเข้าสู่ชุดทดลอง หากมีค่า P_{diff} ระหว่างการจ่ายแรงดันและหลังการจ่ายแรงดัน ต่างกันเกิน ± 0.01 โวลต์ จะต้องทำการปรับตำแหน่ง ระบายของหัวนอชเชิล ให้ขนานและแนบชิดติดกับ Gauge Box (ซึ่งถือว่าเป็นผิวชิ้นงานที่ต้องการวัดระยะห่าง) และทำตามข้อ 1.3-1.4 และเปรียบเทียบค่า จนกระทั่งค่า P_{diff} ระหว่างการจ่ายแรงดันและหลังการจ่ายแรงดันไม่เกิน ± 0.01 โวลต์

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนการจ่ายแรงดันเข้าสู่ชุดทดลอง

No.	P_{diff} (Volt)	s.d. (mm)	No.	P_{diff} (Volt)	s.d. (mm)	No.	P_{diff} (Volt)	s.d. (mm)
1	0.4521	0.0029	11	0.4500	0.0034	21	0.4492	0.0026
2	0.4513	0.0029	12	0.4503	0.0032	22	0.4597	0.0030
3	0.4514	0.0030	13	0.4511	0.0027	23	0.4549	0.0028
4	0.4496	0.0031	14	0.4502	0.0033	24	0.4555	0.0026
5	0.4494	0.0033	15	0.4539	0.0027	25	0.4547	0.0030
6	0.4491	0.0032	16	0.4517	0.0030	26	0.4539	0.0027
7	0.4503	0.0035	17	0.4512	0.0032	27	0.4557	0.0028
8	0.4499	0.0030	18	0.4503	0.0026	28	0.4594	0.0029
9	0.4501	0.0032	19	0.4514	0.0026	29	0.4545	0.0030
10	0.4513	0.0032	20	0.4517	0.0027	30	0.4555	0.0029

7) จ่ายลมที่มีแรงดันอากาศตามข้อ 2.1 เข้าสู่ระบบของชุดทดลอง

8) ทำการวัดค่าความแตกต่างของแรงดัน (P_{diff}) ระหว่าง Orifice และนอซเชิล และค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge

9) เพิ่มระยะทาง (s) ระหว่างนอซเชิลและ ผิวฐานของชุดจับยึดและทำการวัดค่าเหมือนดังข้อที่ 4 โดยเพิ่มระยะ s ขึ้นจนกระทั่งค่า P_{diff} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำซ้ำจำนวน 3 รอบ

10) ทำการทดลองดังข้อ 2.1-2.9 โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอซเชิล ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ขนาดออริฟิส และนอซเชิลที่ใช้ทำการทดลอง

การทดลองที่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิล
1	0.7	0.9
2	0.9	0.9
3	1.1	0.9
4	1.3	0.9
5	1.5	0.9
6	1.7	0.9
7	1.9	0.9
8	0.7	1.1
9	0.9	1.1
10	1.1	1.1
11	1.3	1.1
12	1.5	1.1
13	1.7	1.1
14	1.9	1.1
15	0.7	1.3
16	0.9	1.3
17	1.1	1.3
18	1.3	1.3
19	1.5	1.3
20	1.7	1.3
21	1.9	1.3

11) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสและนอชเชิล ที่ได้จากผลการวัดค่าเปรียบเทียบระหว่าง P_{diff} และระยะ s พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.4 วิธีการวิเคราะห์และประมวลผล

1. นำข้อมูล P_{diff} ที่ได้จากการทดลองมาพิจารณาค่า ซึ่งในการเก็บค่าจะทำโดยนำค่าจำนวน 50 ค่า โดยเก็บทุกๆ 10 มิลลิวินาที แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation : sd)

2. นำค่า P_{diff} ที่อ่านได้ หาค่าด้วยค่าแรงดันที่มากที่สุดที่ Pressure Gauge สามารถอ่านได้เท่ากับ 5 บาร์ (P_{diff}/P_{max}) และนำค่า s ที่อ่านได้หารด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสของการทดลองนั้นๆ (s/O)

3. นำค่าเฉลี่ย P_{diff}/P_{max} และ s/O มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ในทุกค่าของการทดลองที่ออริฟิส และนอชเชิล ต่างๆ โดยคำนวณหาสมการและสร้างกราฟ พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งการตัดสินใจคำนวณหาสมการและกราฟ ต้องพิจารณาร่วมกับค่า R^2 โดยพิจารณาสมการที่ให้ค่า R^2 ที่มากกว่า 0.99 [ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) อธิบายผลของ y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร และผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้น หากสมการมีค่า R^2 ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ , 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์)] ซึ่งในผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องใช้สมการกำลัง 3 (Cubic Equation) ดังสมการข้างล่าง ซึ่งจะทำให้ทุกๆ ความสัมพันธ์ของออริฟิสและนอชเชิล มีค่า R^2 มากกว่า 0.99

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (3.1)$$

การคำนวณค่า R^2 ถ้าน้อยกว่า 0.9900 ต้องพิจารณาตัดค่าบางค่าซึ่งมีความผิดปกติของความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s โดยสาเหตุของค่าที่ผิดพลาดจะต้องพิจารณาจากข้อมูลที่เก็บในแต่ละครั้ง

4. หาค่าความละเอียดในการวัดในการวัด (Resolution) โดยการหาอนุพันธ์ (Differential) ของสมการกำลังสามของค่าอัตราส่วน $O:N$ นั้นๆ ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Resolution} = (3ax^2 + 2bx + c)(\Delta x) \quad (3.2)$$

เมื่อ Δx = ความละเอียดต่ำที่สุดที่สามารถอ่านค่าได้ = 0.0048 มิลลิเมตร

5. แทนค่าตัวแปร $x = P_{\text{diff}}/P_{\text{max}}$ ในสมการเพื่อหาค่าความไม่แน่นอน และนำค่าที่ได้จากการคำนวณสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{\text{diff}}/P_{\text{max}}$ และ s/O เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาค่าความไม่แน่นอนเป็นช่วงๆ (ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย)

6. หาค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty : U) โดยการหาอนุพันธ์ (Differential) ของสมการกำลังสามของค่าอัตราส่วน O:N นั้นๆ ดังสมการข้างล่าง

$$U = (3ax^2 + 2bx + c)(\Delta x) \quad (3.3)$$

7. แทนค่าตัวแปร $x = P_{\text{diff}}/P_{\text{max}}$ และค่า sd (Standard Deviation) ในสมการเพื่อหาค่าความไม่แน่นอน และนำค่าที่ได้จากการคำนวณสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{\text{diff}}/P_{\text{max}}$ และ s/O เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาค่าความไม่แน่นอนเป็นช่วงๆ (ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย)

8. วิเคราะห์และสรุปผลเรื่องแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการวัด และความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสและนอซเชิลที่ส่งผลต่อช่วงระยะความกว้าง (distance : s) ในการวัดและความละเอียดในการวัด โดยพิจารณาร่วมกับค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการวัด

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะวิเคราะห์ผลการทดลองถึงแรงดันดันจากแหล่งกำเนิดที่ใช้สำหรับแอร์เกจ และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอซเชิลที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการวัดของชุดทดลอง โดยพิจารณา ช่วงความกว้างของระยะการวัดที่สามารถวัดได้ ความละเอียดของการวัด และความไม่แน่นอนในการวัด

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อหาค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมสำหรับแอร์เกจ ที่การทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสคงที่เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5, 0.7 และ 0.9 มิลลิเมตร โดยในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลใช้แรงดันอากาศที่ต่างกันที่ 3, 4,5 และ 6 บาร์ ให้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 สมการกำลัง 3 (Cubic Equation) และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)

ผลการทดลองที่อัตราส่วนออริฟิสต่อนอซเชิล (O:N) ต่างๆ สามารถคำนวณหาสมการกำลัง 3 (Cubic Equation) และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) ที่มีผลต่อช่วงระยะความกว้างของการวัด (Distance : s) ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณหาสมการกำลัง 3 และ R^2 ที่มีผลต่อช่วงระยะวัด

แรงดัน (Bar)	การทดลอง (O:N)	สมการกำลัง 3 (Cubic Equation)	R^2	Distance (mm)
3	1.5 : 0.5	$y = 9526.3x^3 - 13713x^2 + 6581.9x - 1053.4$	0.9921	0.085
	1.5 : 0.7	$y = 766.98x^3 - 1156.2x^2 + 583.03x - 98.276$	0.9971	0.167
	1.5 : 0.9	$y = 27.333x^3 - 47.439x^2 + 28.225x - 5.6281$	0.9994	0.195
4	1.5 : 0.5	$y = 4811.3x^3 - 6987.2x^2 + 3384.3x - 546.68$	0.9924	0.080
	1.5 : 0.7	$y = 497.53x^3 - 762.58x^2 + 391.22x - 67.109$	0.9956	0.169
	1.5 : 0.9	$y = 19.362x^3 - 34.679x^2 + 21.305x - 4.3701$	0.9965	0.210
5	1.5 : 0.5	$y = 1504.2x^3 - 2199.5x^2 + 1073.9x - 175.03$	0.9927	0.081
	1.5 : 0.7	$y = 360.97x^3 - 561.49x^2 + 292.44x - 50.93$	0.9941	0.178
	1.5 : 0.9	$y = 9.911x^3 - 18.73x^2 + 12.303x - 2.6829$	0.9982	0.208

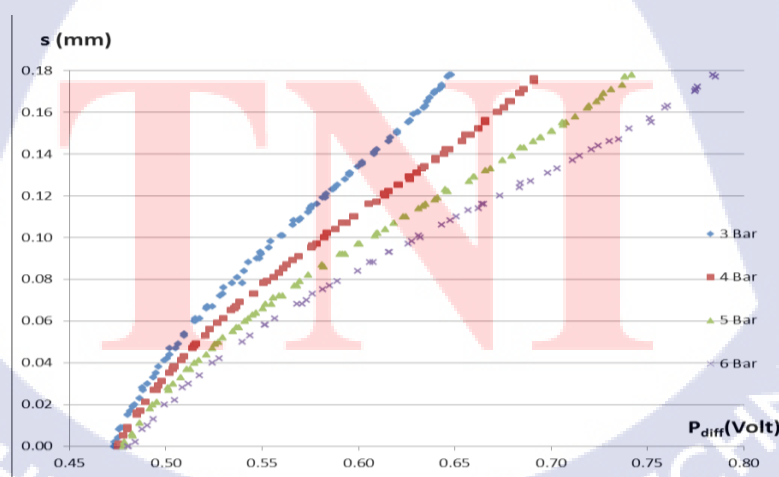
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณหาสมการกำลัง 3 และ R^2 ที่มีผลต่อช่วงระยะวัด (ต่อ)

แรงดัน (Bar)	การทดลอง (O:N)	สมการกำลัง 3 (Cubic Equation)	R^2	Distance (mm)
6	1.5 : 0.5	$y = 1563.1 x^3 - 2299.9 x^2 + 1129.5x - 185.11$	0.9931	0.080
	1.5 : 0.7	$y = 228.7 x^3 - 361.48 x^2 + 191.6x - 33.987$	0.9910	0.177
	1.5 : 0.9	$y = 6.649 x^3 - 13.052 x^2 + 8.9739x - 2.0362$	0.9978	0.207

จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน O:N ในทุกๆ แรงดันสามารถเขียนสมการกำลัง 3 (Cubic Equation) สามารถคำนวณหาค่า R^2 ที่มากกว่า 0.99 ซึ่งถือว่าทุกๆ ผลการทดลองให้ค่า y ที่มีความสัมพันธ์กับค่า x มาก ซึ่งหมายถึงสมการกำลัง 3 ของทุกๆ การทดลองเมื่อมีการแทนค่า $P_{diff} = x$ จะมีค่า $y = s$ ที่ถูกต้องเชื่อถือได้ และมีความสามารถในการวัดระยะได้ระหว่าง 0.080 – 0.210 มิลลิเมตร

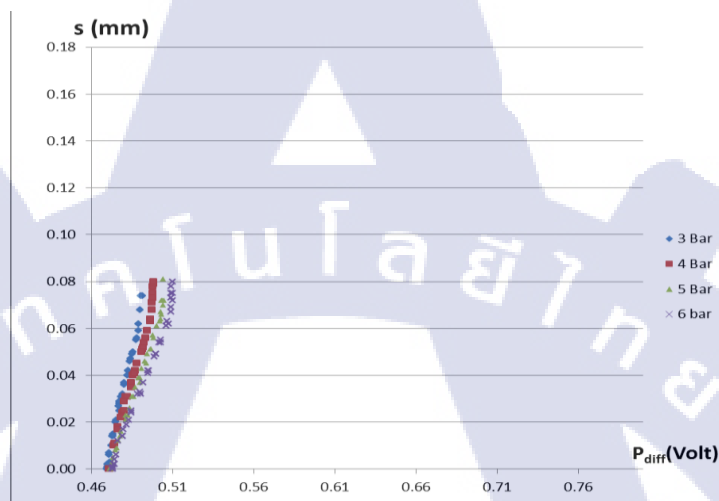
4.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของแรงดัน (P_{diff}) และระยะการวัดต่างๆ (s)

กราฟแสดงผลการทดลองของอัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.5:0.9 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งหมดมีความสามารถในการวัดได้ช่วงระยะการวัดที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.20 มิลลิเมตร และความละเอียดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อแรงดันอากาศเพิ่มขึ้น (3 บาร์ > 4 บาร์ > 5 บาร์ > 6 บาร์)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 มิลลิเมตร

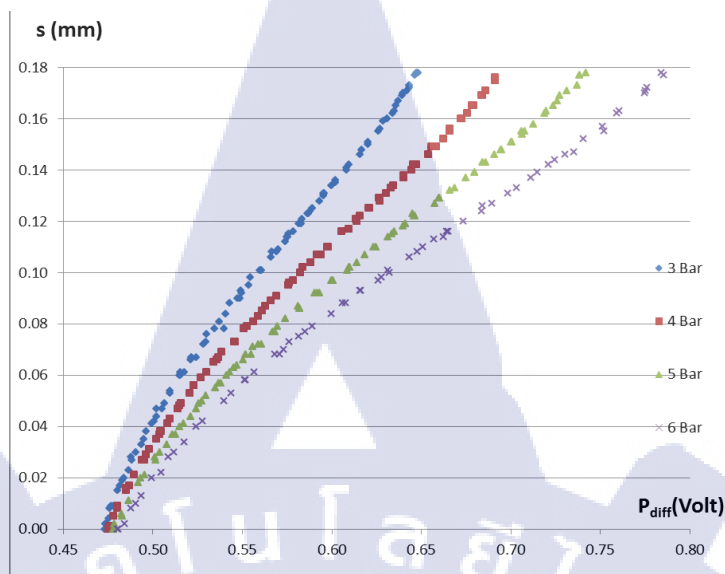
กราฟแสดงผลการทดลองของอัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.5:0.5 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.2 พบว่าที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งหมดมีความสามารถในการวัดได้ช่วงระยะการวัดที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.08 มิลลิเมตร และความละเอียดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อแรงดันอากาศเพิ่มขึ้น (3 บาร์ > 4 บาร์ > 5 บาร์ > 6 บาร์)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 มิลลิเมตร

กราฟแสดงผลการทดลองของอัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.5:0.7 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งหมดมีความสามารถในการวัดได้ช่วงระยะการวัดที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.165 มิลลิเมตร และความละเอียดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อแรงดันอากาศเพิ่มขึ้น (3 บาร์ > 4 บาร์ > 5 บาร์ > 6 บาร์)

TNI



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวัดที่แรงดันต่างๆ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7 มิลลิเมตร

ผลการทดลองรูปที่ 4.1 – 4.3 พบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในแต่ละการทดลองดังนี้

- ที่อัตราส่วน O:N เดียวกันในแต่ละการทดลองที่แรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีแนวโน้มความสามารถในการวัดที่มีช่วงระยะการวัดที่กว้างใกล้เคียงกัน และค่าความละเอียดของการวัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น
- ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิสที่เท่ากัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอซเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ มีแนวโน้มความสามารถในการวัดที่มีช่วงระยะการวัดที่กว้างกว่า และมีค่าความละเอียดที่สูงกว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอซเซลล์ที่มีขนาดเล็ก

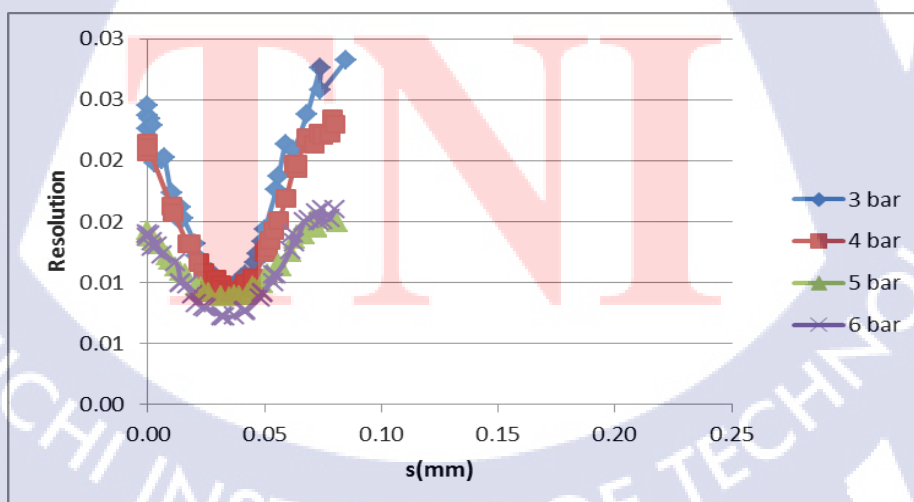
ในการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตแนวโน้มความเหมาะสมของแรงดันอากาศที่จะใช้ในการทดลองถัดไป ดังนั้นผลการทดลองอาจมีความไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการตั้งค่าเริ่มต้นก่อนทดลองไม่ได้ควบคุมปัจจัยบางอย่าง เช่น ระยะระหว่างหัวนอซเซลล์และผิว Gauge Box ที่ไม่แนบสนิท ส่งผลให้ช่วงระยะการวัด ค่าความไม่แน่นอนในการวัดอาจมีความผิดพลาด รวมไปถึงช่วงระยะการวัดของชุดทดลอง แต่สามารถที่จะทราบแนวโน้มของการทดลองโดยที่แรงดันอากาศที่ต่างกันว่ามีผลกระทบต่อผลการทดลองน้อย (ที่ O:N ต่างๆ)

4.1.3 ค่าความละเอียดของการวัดที่แรงดันต่างๆ

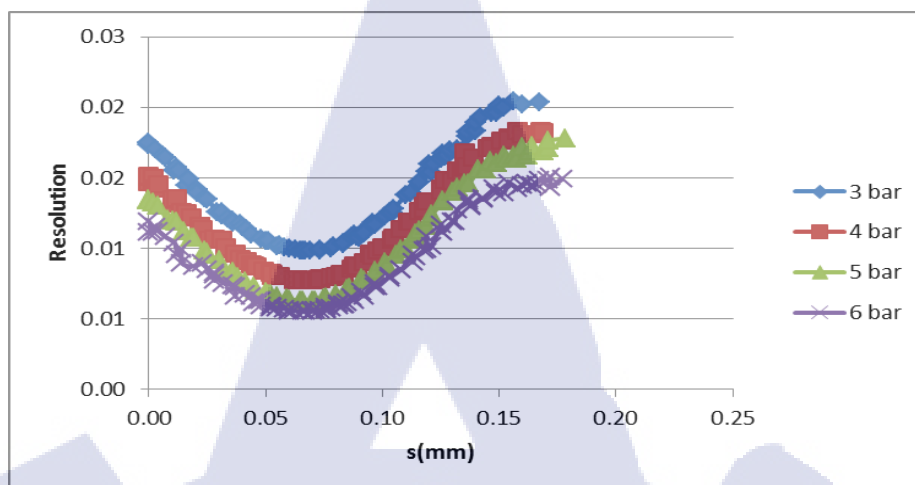
จากการทดลองและได้ผลการทดลองสามารถคำนวณหาความละเอียดในการวัดได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าที่มีค่าสูงสุดหมายถึงค่าที่มีความละเอียดแย่ที่สุด ซึ่งในแต่ละการทดลองจะเลือกเอาค่าที่มีค่าสูงสุดเป็นตัวแทนของค่าความละเอียดในการทดลองนั้น

ตารางที่ 4.2 ค่าความละเอียดในการวัดที่แรงดัน และนอชเชิล ต่างๆ เมื่อออริฟิส คงที่

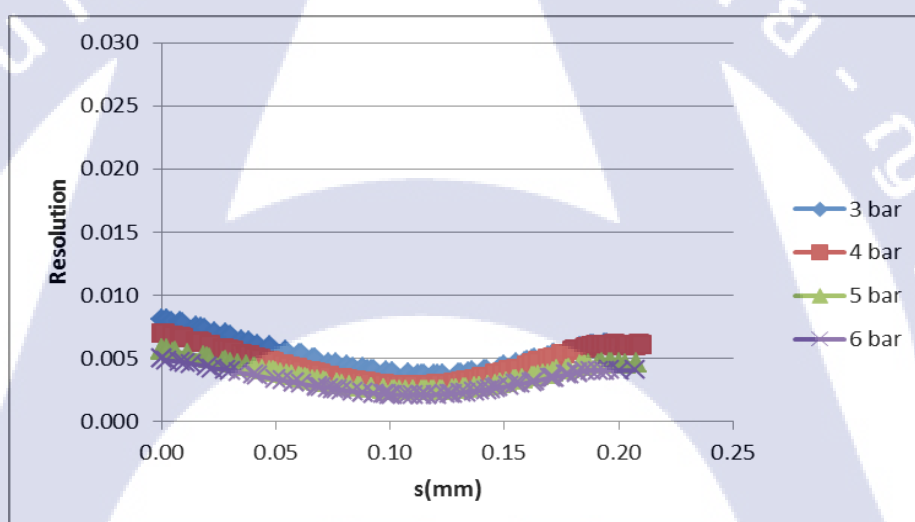
แรงดัน	O:N	สมการค่าความละเอียด	ค่าความละเอียด (mm)		
			ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
3	1.5 : 0.5	$y=(28578.9x^2-27426x+6581.9) \times 0.0048$	0.0201	0.0106	0.0190
	1.5 : 0.7	$y=(2300.94 x^2-2312.4x+583.03) \times 0.0048$	0.0137	0.0107	0.0173
	1.5 : 0.9	$y=(81.999 x^2-94.878x+28.225) \times 0.0048$	0.0068	0.0041	0.0051
4	1.5 : 0.5	$y=(14433.9 x^2-13974.4x+3384.3) \times 0.0048$	0.0145	0.0113	0.0211
	1.5 : 0.7	$y=(1492.59 x^2-1525.16x+391.22) \times 0.0048$	0.0117	0.00088	0.0160
	1.5 : 0.9	$y=(58.086 x^2-69.358x+21.305) \times 0.0048$	0.0054	0.0031	0.0053
5	1.5 : 0.5	$y=(4512.6 x^2-4399x+1073.9) \times 0.0048$	0.0118	0.0093	0.0135
	1.5 : 0.7	$y=(1082.91 x^2-1122.98x+292.44) \times 0.0048$	0.0096	0.0080	0.0155
	1.5 : 0.9	$y=(29.733 x^2-37.46x+12.303) \times 0.0048$	0.0043	0.0026	0.0038
6	1.5 : 0.5	$y=(4689.3 x^2-4599.8x+1129.5) \times 0.0048$	0.0117	0.0081	0.0141
	1.5 : 0.7	$y=(686.1 x^2-722.96x+191.6) \times 0.0048$	0.0081	0.0094	0.0130
	1.5 : 0.9	$y=(19.947 x^2-26.104x+8.9739) \times 0.0048$	0.0037	0.0022	0.0034



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความละเอียดของการวัดในแต่ละระยะที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9

จากรูปที่ 4.4-4.6 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะมีค่าความละเอียดที่ไม่ดี (ค่าสูง) และจะค่อยๆ ดีขึ้น (ค่าลดลง) เมื่อระยะ s เพิ่มขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่งค่าความละเอียดก็จะกลับไปมีค่าความละเอียดที่ไม่ดี (ค่าสูง) โดยค่าความละเอียดดี (ค่าต่ำ) เมื่อแรงดันจากแหล่งกำเนิดสูง แต่ในแต่ละการทดลองจะมีความแตกต่างระหว่างค่าความละเอียดไม่มาก

ซึ่งผลจากการทดลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองถัดไป(เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์บิทัลและนอซเซลล์ ดังนั้นเมื่อแรงดันมีผลกระทบต่อช่วงระยะการวัดที่ไม่มาก การทดลองถัดไปจึงเลือกใช้แรงดันจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์ เนื่องจากแรงดัน 5 บาร์ เป็น

แรงดันที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม ไม่เพียงเฉพาะเครื่องมือวัด ยังรวมไปถึงระบบจับยึดด้วยระบบนิวเมติกส์ต่างๆ เป็นต้น

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอซเชิล

การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอซเชิลที่การทดลองที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดคงที่ที่ 5 บาร์ ซึ่งได้จากการทดลองที่ 4.1 และอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง O:N เท่ากับ 0.7:0.9, 0.7:1.1, 0.7:1.3, 0.9:0.9, 0.9:1.1, 0.9:1.3, 1.1:0.9, 1.1:1.1, 1.1:1.3, 1.3:0.9, 1.3:1.1, 1.3:1.3, 1.5:0.9, 1.5:1.1, 1.5:1.3, 1.7:0.9, 1.7:1.1, 1.7:1.3, 1.9:0.9, 1.9:1.1 และ 1.9:1.3 ให้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 สมการกำลัง 3 (Cubic Equation) และ R^2 และช่วงความกว้างของระยะวัด

ผลการทดลองที่อัตราส่วนออริฟิสต่อนอซเชิล (O:N) ต่างๆ สามารถคำนวณหาสมการกำลัง 3 (Cubic Equation) และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) ที่มีผลต่อช่วงระยะความกว้างของการวัด (Distance : s) ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส และนอซเชิลต่างๆ

การทดลอง (O:N)	สมการกำลัง 3 (Cubic Equation)	R^2	Distance (mm)
0.7:0.9	$y = 0.2404x^3 - 0.4592x^2 + 0.3743x - 0.0223$	0.9915	0.083
0.9:0.9	$y = 0.3066x^3 - 0.6225x^2 + 0.5602x - 0.0353$	0.9973	0.182
1.1:0.9	$y = 1.9733x^3 - 2.328x^2 + 1.179x - 0.0796$	0.9975	0.242
1.3:0.9	$y = 7.0771x^3 - 6.032x^2 + 2.0347x - 0.1354$	0.9970	0.246
1.5:0.9	$y = 24.89x^3 - 15.375x^2 + 3.6842x - 0.2232$	0.9982	0.242
1.7:0.9	$y = 73.966x^3 - 37.241x^2 + 6.8587x - 0.3693$	0.9927	0.249
1.9:0.9	$y = 308.28x^3 - 127.2x^2 + 18.44x - 0.85$	0.9981	0.249
0.7:1.1	$y = 0.2257x^3 - 0.4229x^2 + 0.3276x - 0.0206$	0.9877	0.066
0.9:1.1	$y = 0.2584x^3 - 0.5257x^2 + 0.4626x - 0.0322$	0.9968	0.139
1.1:1.1	$y = 0.3793x^3 - 0.7454x^2 + 0.6462x - 0.0424$	0.9974	0.246
1.3:1.1	$y = 0.7371x^3 - 1.1531x^2 + 0.8071x - 0.0576$	0.9977	0.283

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิส และนอซเชิลต่างๆ (ต่อ)

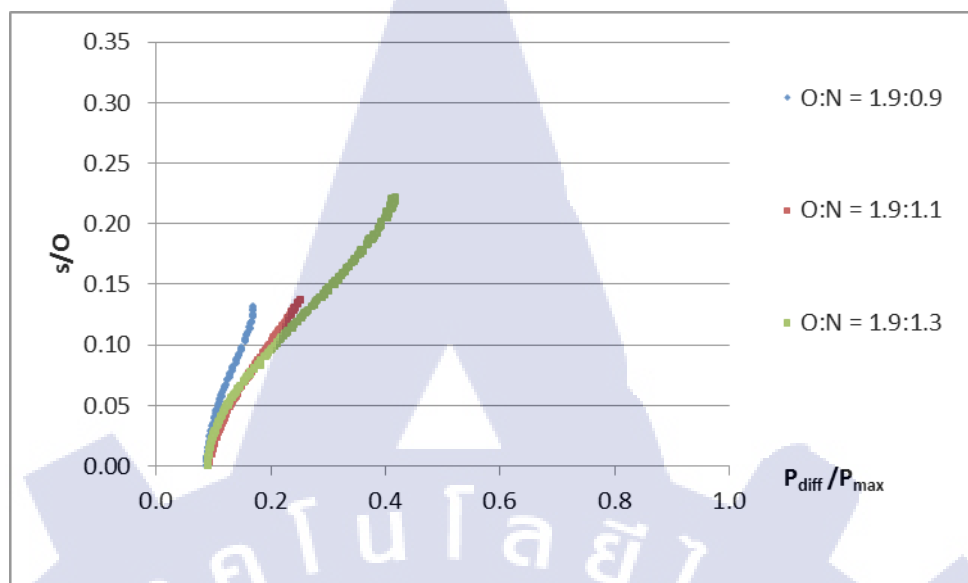
การทดลอง (O:N)	สมการกำลัง 3 (Cubic Equation)	R^2	Distance (mm)
1.5:1.1	$y = 2.3895x^3 - 2.5226x^2 + 1.2053x - 0.0868$	0.9989	0.274
1.7:1.1	$y = 5.3216x^3 - 4.4667x^2 + 1.6413x - 0.1148$	0.9985	0.271
1.9:1.1	$y = 24.809x^3 - 14.653x^2 + 3.5137x - 0.214$	0.9995	0.260
0.7:1.3	$y = 0.2142x^3 - 0.4398x^2 + 0.3596x - 0.0206$	0.9578	0.073
0.9:1.3	$y = 0.5264x^3 - 0.9563x^2 + 0.6426x - 0.0373$	0.9842	0.135
1.1:1.3	$y = 0.3896x^3 - 0.7683x^2 + 0.623x - 0.0379$	0.9921	0.215
1.3:1.3	$y = 0.3343x^3 - 0.6543x^2 + 0.5753x - 0.0367$	0.9967	0.276
1.5:1.3	$y = 0.6576x^3 - 1.0414x^2 + 0.7609x - 0.0504$	0.9977	0.448
1.7:1.3	$y = 1.8765x^3 - 2.1579x^2 + 1.1051x - 0.0733$	0.9979	0.449
1.9:1.3	$y = 8.1326x^3 - 6.4566x^2 + 2.1406x - 0.1367$	0.9976	0.445

จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน O:N ในทุกๆ การทดลองสามารถเขียนสมการกำลัง 3 (Cubic Equation) สามารถคำนวณหาค่า R^2 ที่มากกว่า 0.98 ซึ่งถือว่าทุกๆ ผลการทดลองให้ค่า y ที่มีความสัมพันธ์กับค่า x มาก ซึ่งหมายถึงสมการกำลัง 3 ของทุกๆ การทดลองเมื่อมีการแทนค่า $P_{diff}/P_{max} = x$ จะมีค่า $y = s/O$ ที่ถูกต้องเชื่อถือได้ ซึ่งที่อัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.7:1.3 มีช่วงระยะการวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.449 มิลลิเมตร และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9979 และที่อัตราส่วน O:N เท่ากับ 0.7:1.1 มีช่วงระยะการวัดที่แคบที่สุดที่ 0.076 มิลลิเมตร และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9877

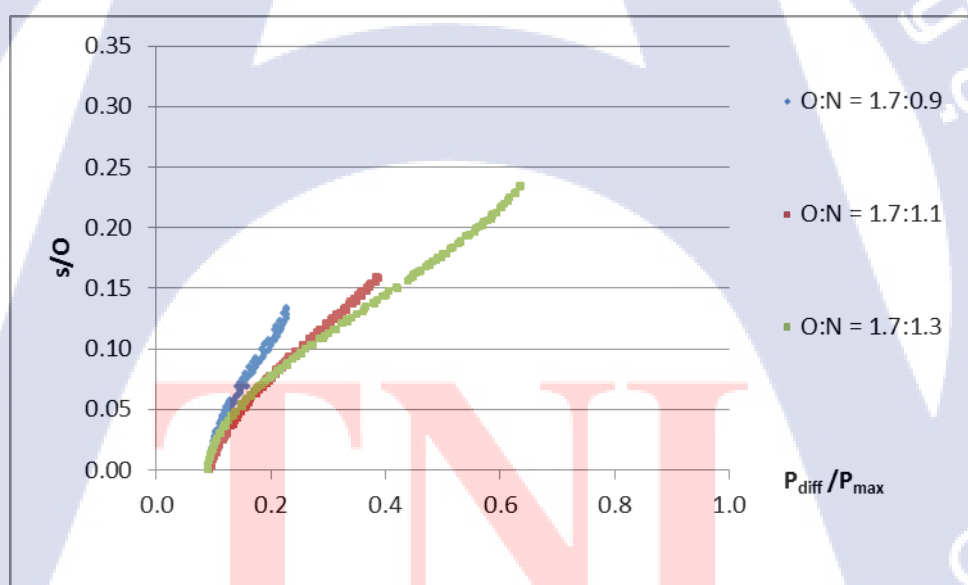
4.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของแรงดัน (P_{diff}) และระยะการวัดต่างๆ (s)

4.2.2.1 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิสคงที่

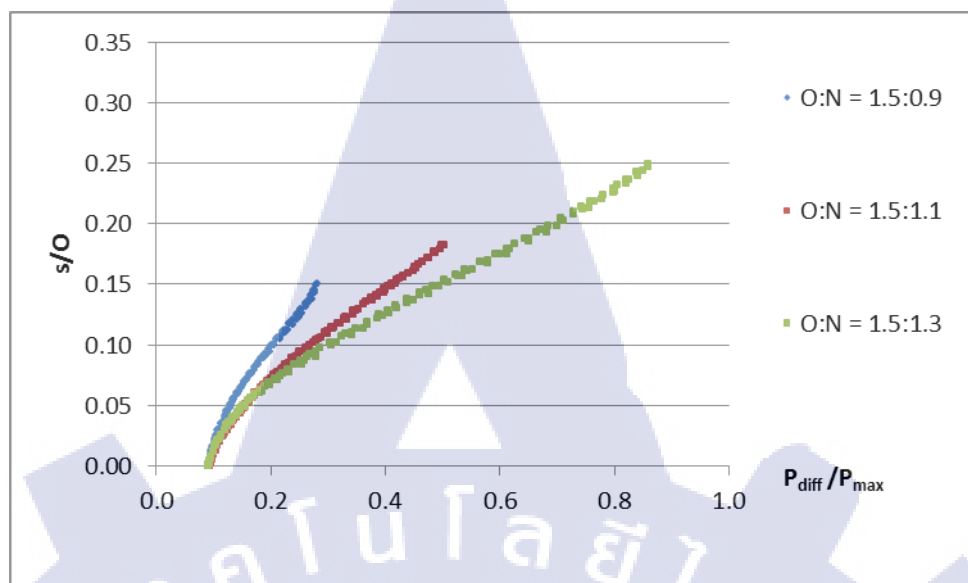
กราฟแสดงผลการทดลองของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิสคงที่เท่ากับ 1.9 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลเท่ากับ 0.9, 1.1 และ 1.3 มิลลิเมตร และมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff}/P_{max} และ s/O ดังรูปที่ 4.7 พบว่ามีความสามารถในการวัดได้ช่วงระยะการวัดที่กว้างขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลเพิ่มขึ้น



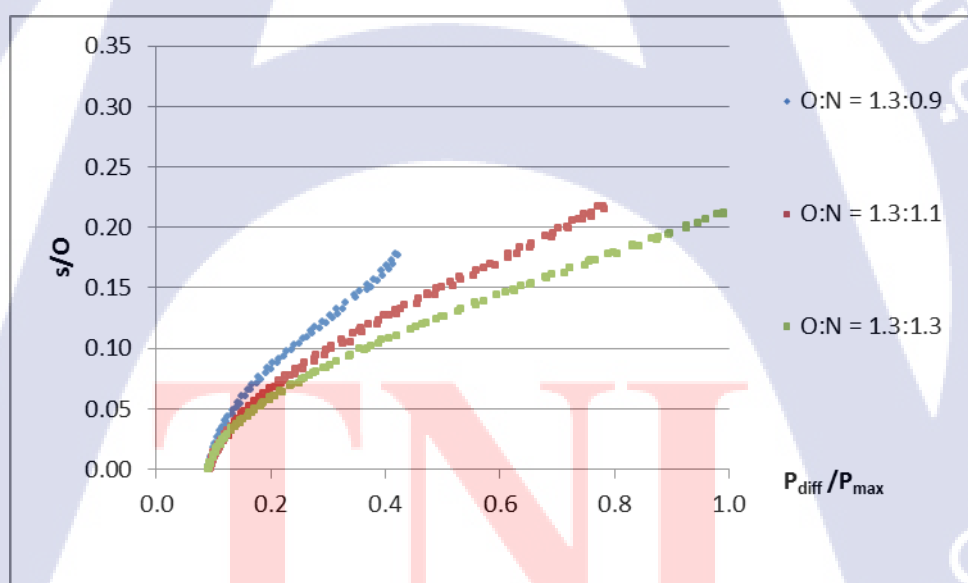
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 1.9 มิลลิเมตร



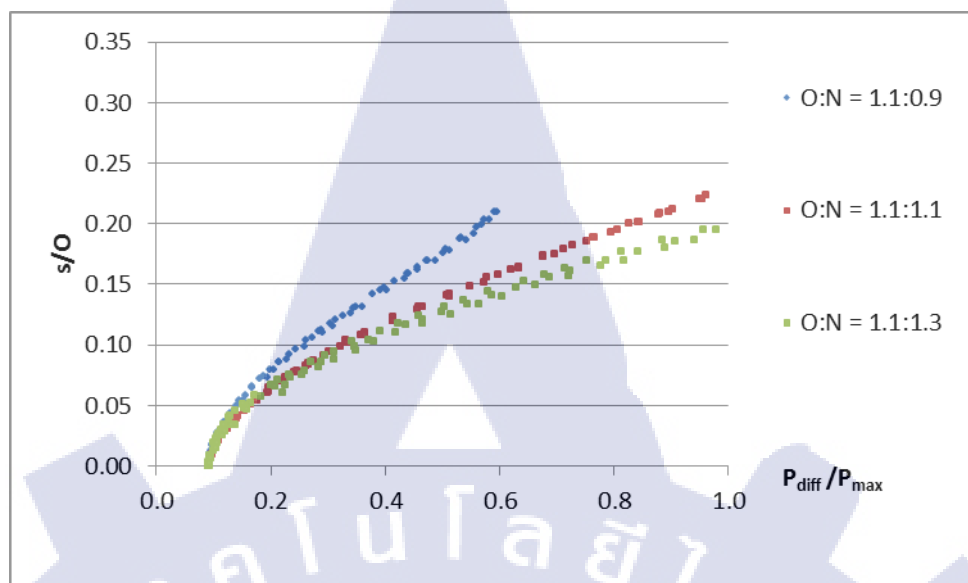
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร



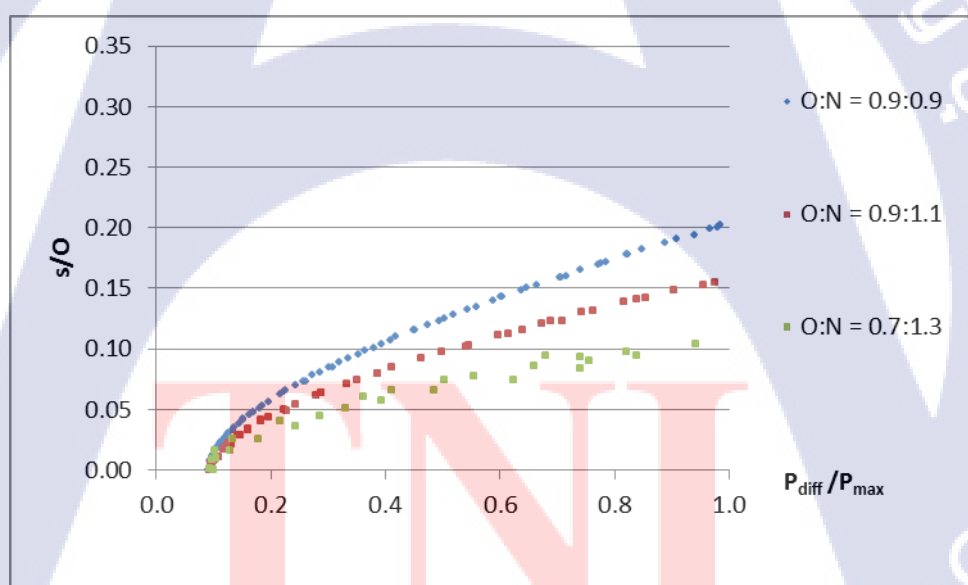
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร



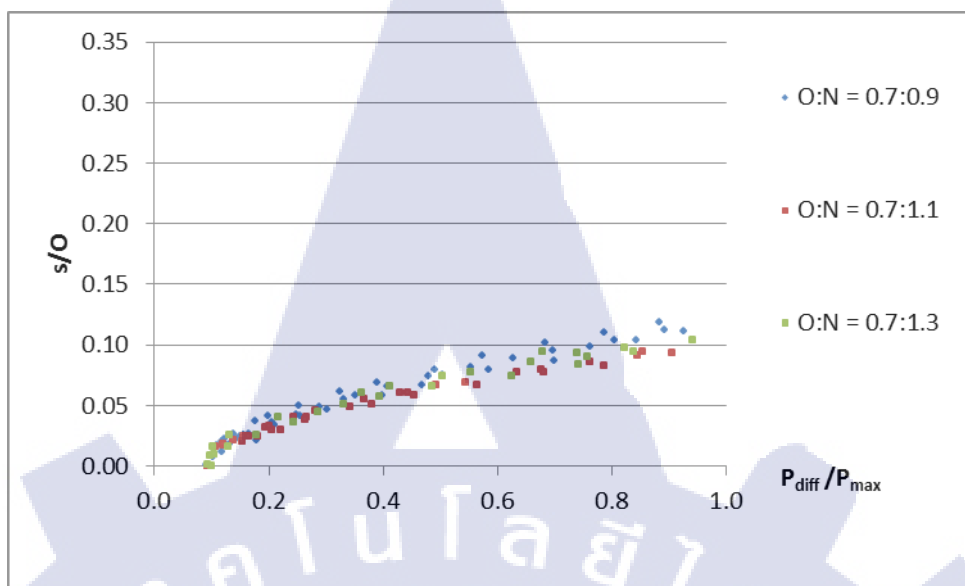
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร

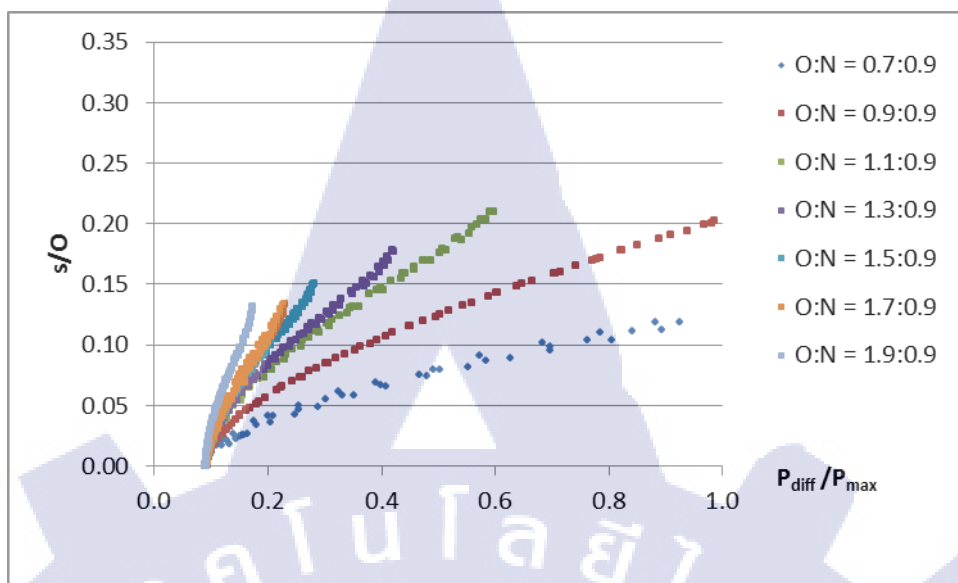


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.8-4.10 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสคงที่ที่ 1.7, 1.5 และ 1.3 ให้ผลการทดลองสอดคล้องผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสคงที่ที่ 1.9 คือเมื่อขนาดนอซเชิลเพิ่มขึ้นจะมีช่วงระยะที่สามารถวัดได้กว้างขึ้น แต่ในขณะที่ผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสคงที่ที่ 1.1, 0.9 และ 0.7 จะให้ผลคล้ายกันแต่เมื่อขนาดออริฟิสเล็กกว่านอซเชิล จะทำให้ช่วงระยะการวัดแคบลงดังรูปที่ 4.11-4.13

4.2.2.2 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอซเชิลคงที่

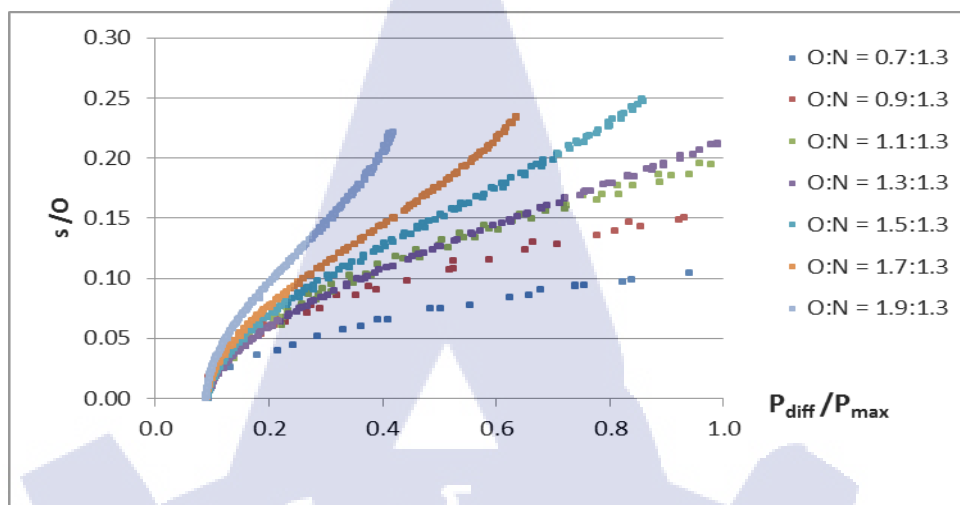
กราฟแสดงผลการทดลองของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลคงที่เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเท่ากับ 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 มิลลิเมตร และมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff}/P_{max} และ s/O ดังรูปที่ 4.14 พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลจะให้ผลการวัดที่มีช่วงระยะความสามารถในการวัดที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลจะมีช่วงระยะการวัดที่แคบ และจะแคบลงเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอซเชิลเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร

การทดลองที่เส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลคงที่ที่ 1.1 และ 1.3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.14 – 4.16 ให้ผลลัพธ์ไปในแนวทางเดียวกับการทดลองที่พบว่ากราฟมีแนวโน้มที่ไปในแนวทางเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลคงที่ที่ 0.9 มิลลิเมตร คือที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอริฟิสใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลจะให้ผลการวัดที่มีช่วงระยะความสามารถในการวัดที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอริฟิสเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลจะมีช่วงระยะการวัดที่แคบ

4.2.3 พิจารณาอัตราส่วนขนาดพื้น อริฟิส, นอชเชิล และ พื้นที่ออกของลม ที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัด

อากาศที่ไหลออกจากชุดทดลองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของอริฟิสและนอชเชิล สามารถคำนวณหาพื้นที่ของรูได้จากสูตรพื้นที่วงกลม นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างหัวนอชเชิล และฐานตัวจับยึดโดยสามารถคำนวณหาพื้นที่การไหลออกของอากาศภายนอกชุดทดลองได้จากสูตรพื้นที่ผิวทรงกระบอกแสดงผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงอัตราส่วนพื้นที่ต่างๆ ที่ส่งผลต่อความกว้างของช่วงระยะการวัด

d_o	d_N	s_{max}	A_C	A_o	A_N	A_C/A_o	A_C/A_N
0.7	0.9	0.083	0.280	0.385	0.636	0.727	0.440
0.9	0.9	0.182	0.557	0.636	0.636	0.876	0.876
1.1	0.9	0.242	0.685	0.951	0.636	0.720	1.076
1.3	0.9	0.246	0.696	1.328	0.636	0.524	1.093
1.5	0.9	0.242	0.685	1.768	0.636	0.387	1.076
1.7	0.9	0.249	0.704	2.271	0.636	0.310	1.107
1.9	0.9	0.249	0.704	2.836	0.636	0.248	1.107
0.7	1.1	0.066	0.263	0.385	0.951	0.682	0.276
0.9	1.1	0.139	0.522	0.636	0.951	0.820	0.549
1.1	1.1	0.246	0.927	0.951	0.951	0.975	0.975
1.3	1.1	0.283	0.978	1.328	0.951	0.737	1.029
1.5	1.1	0.274	0.947	1.768	0.951	0.536	0.996
1.7	1.1	0.271	0.947	2.271	0.951	0.417	0.996
1.9	1.1	0.260	0.898	2.836	0.951	0.317	0.945
0.7	1.3	0.073	0.339	0.385	1.328	0.881	0.255
0.9	1.3	0.135	0.613	0.636	1.328	0.963	0.462
1.1	1.3	0.215	0.939	0.951	1.328	0.988	0.708
1.3	1.3	0.276	1.193	1.328	1.328	0.898	0.898
1.5	1.3	0.448	1.830	1.768	1.328	1.035	1.378
1.7	1.3	0.449	1.834	2.271	1.328	0.808	1.382
1.9	1.3	0.445	1.817	2.836	1.328	0.641	1.369

d_o และ d_N คือเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิส และนอซเชิลตามลำดับ

s_{max} คือระยะที่กว้างที่สุดที่สามารถวัดได้ หรือช่วงระยะการวัด

A_C , A_o และ A_N คือพื้นที่ของรูออริฟิส, นอซเชิล และพื้นที่ทรงกระบอกที่อากาศไหลออก

ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิส และนอซเซลล์ แสดงให้เห็นว่าที่ขนาดออริฟิส ใหญ่กว่านอซเซลล์ ช่วงระยะการวัดจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของนอซเซลล์ แต่ที่ขนาดออริฟิส เล็กกว่านอซเซลล์ ช่วงระยะการวัดจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของออริฟิส

4.2.4 พิจารณาค่าความละเอียด (Resolution) ของการวัด

ในการสรุปผลการทดลองเรื่องความละเอียดในการวัดนี้จะสรุปเป็นช่วงๆ ของระยะการวัด ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย แต่ในการระบุค่าความละเอียดจะใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณที่มากที่สุด ซึ่งคือค่าความละเอียดที่แย่ที่สุดของแต่ละการทดลอง

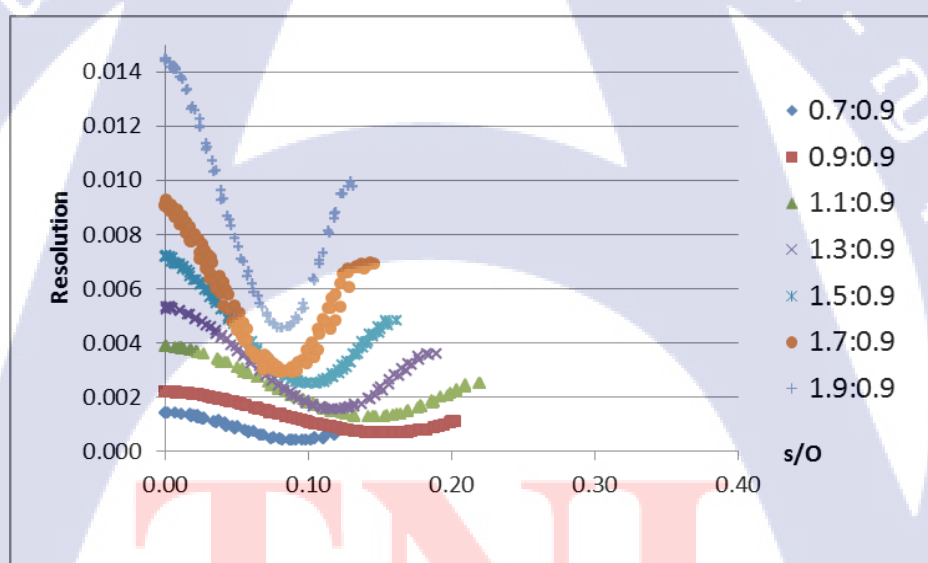
ตารางที่ 4.5 ค่าความละเอียดของการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสและนอซเซลล์ ต่างๆ

O:N	สมการค่าความละเอียด	ค่าความละเอียด (mm)		
		ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
0.7:0.9	$y=(0.7212x^2-0.9184x+0.3743)\times 0.0048$	0.00129	0.00076	0.00048
0.9:0.9	$y=(0.9198x^2-1.245x+0.5602)\times 0.0048$	0.00206	0.00118	0.00078
1.1:0.9	$y=(5.9199x^2-4.656x+1.179)\times 0.0048$	0.00343	0.00172	0.00180
1.3:0.9	$y=(21.2313x^2-12.064x+2.0347)\times 0.0048$	0.00487	0.00239	0.00243
1.5:0.9	$y=(74.67x^2-30.75x+3.6842)\times 0.0048$	0.00621	0.00323	0.00353
1.7:0.9	$y=(221.898x^2-74.482x+6.8587)\times 0.0048$	0.00823	0.00430	0.00512
1.9:0.9	$y=(924.84x^2-254.4x+18.44)\times 0.0048$	0.01320	0.00688	0.00701
0.7:1.1	$y=(0.6771x^2-0.8458x+0.3276)\times 0.0048$	0.00107	0.00061	0.00038
0.9:1.1	$y=(0.7752x^2-1.0514x+0.4626)\times 0.0048$	0.00166	0.00098	0.00059
1.1:1.1	$y=(1.1379x^2-1.4908x+0.6462)\times 0.0048$	0.00231	0.00131	0.00091
1.3:1.1	$y=(2.2113x^2-2.3062x+0.8071)\times 0.0048$	0.00277	0.00179	0.00120
1.5:1.1	$y=(7.1685x^2-5.0452x+1.2053)\times 0.0048$	0.00339	0.00206	0.00176
1.7:1.1	$y=(15.9648x^2-8.9334x+1.6413)\times 0.0048$	0.00389	0.00242	0.00216
1.9:1.1	$y=(74.427x^2-29.306x+3.5137)\times 0.0048$	0.00579	0.00356	0.00339
0.7:1.3	$y=(0.6426x^2-0.8796x+0.3596)\times 0.0048$	0.00126	0.00052	0.00033
0.9:1.3	$y=(1.5792x^2-1.9126x+0.6426)\times 0.0048$	0.00225	0.00158	0.00058
1.1:1.3	$y=(1.1688x^2-1.5366x+0.623)\times 0.0048$	0.00222	0.00123	0.00070
1.3:1.3	$y=(1.0029x^2-1.3086x+0.5753)\times 0.0048$	0.00200	0.00110	0.00089

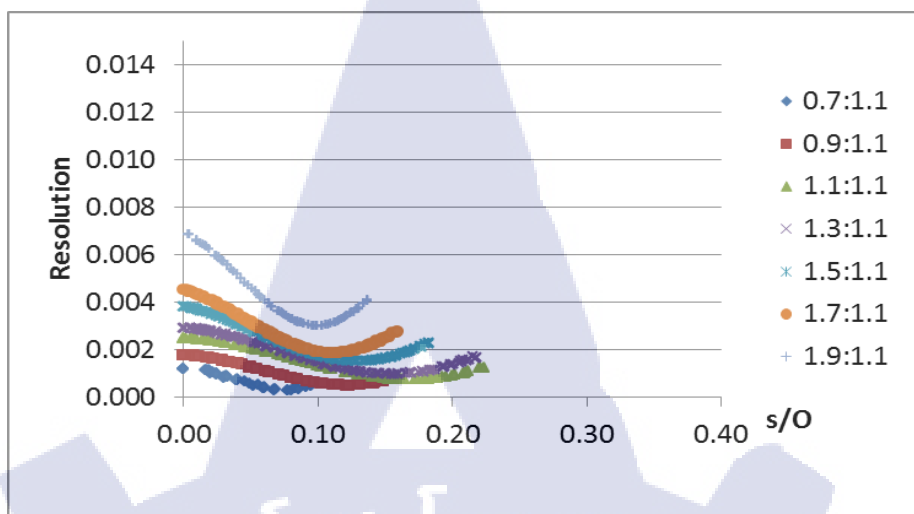
ตารางที่ 4.5 ค่าความละเอียดของการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออร์ฟิส และนอซเซิล ต่างๆ (ต่อ)

O:N	สมการค่าความละเอียด	ค่าความละเอียด (mm)		
		ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
1.5:1.3	$y = (1.9728x^2 - 2.0828x + 0.7609) \times 0.0048$	0.00237	0.00119	0.00191
1.7:1.3	$y = (5.6295x^2 - 4.3158x + 1.1051) \times 0.0048$	0.00303	0.00153	0.00265
1.9:1.3	$y = (24.3978x^2 - 12.9132x + 2.1406) \times 0.0048$	0.00491	0.00246	0.00359

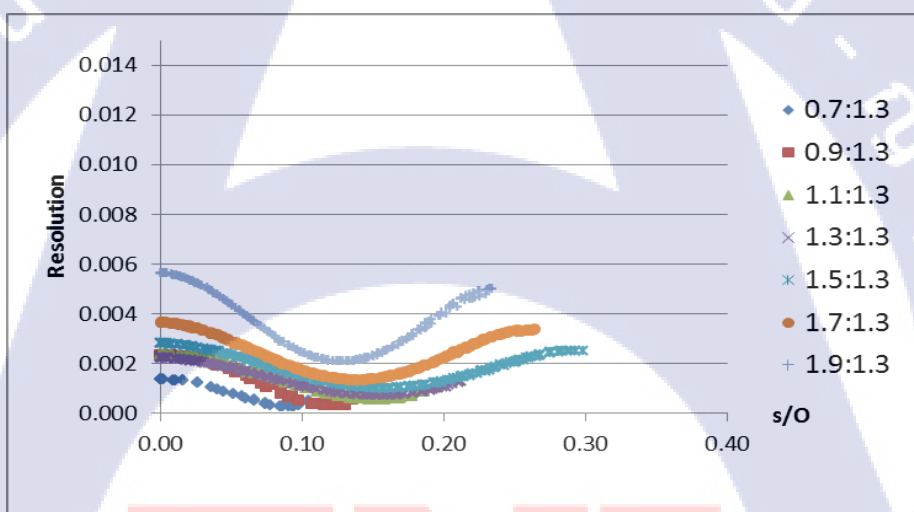
จากการทดลองดังตารางที่ 4.5 ช่วงค่าความละเอียดที่สูงที่สุด (ค่าน้อยที่สุด) ที่สามารถวัดได้คือช่วงปลายของอัตราส่วน O:N เท่ากับ 0.7:1.3 มีค่าความละเอียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.00070 มิลลิเมตร และมีช่วงค่าความละเอียดที่แย่ที่สุด (ค่ามากที่สุด) ที่ช่วงต้นของอัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.9:0.9 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.00903 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอซเซิลคงที่ 0.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอซเชิลคงที่ 1.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าความละเอียดที่นอซเชิล คงที่ 1.3 มิลลิเมตร

แนวโน้มของความละเอียดในการวัดของแต่ละการทดลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.17-4.19 คือในช่วง s แรก (ช่วงต้น) ความละเอียดในการวัดจะแย่ (มีค่ามาก) และจะค่อยดีขึ้น ในช่วง s ที่ 2 (ช่วงกลาง) และจะมีความละเอียดในการวัดที่แย่ลงในช่วง s/O ที่ 3 (ช่วงปลาย) และที่ขนาดออริฟิสเดียวกัน ขนาดนอซเชิลที่เล็กให้มีความละเอียดในการวัดที่ดี และที่ขนาดนอซเชิลเดียวกัน เมื่อออริฟิสมีขนาดเล็กขึ้นจะส่งผลให้ค่าความละเอียดในการวัดดีกว่า ออริฟิสที่มีขนาดใหญ่ และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสเล็กจะมีความละเอียดค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งช่วงระยะการวัดเมื่อเทียบกับชุดวัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่

4.2.5 พิจารณาค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

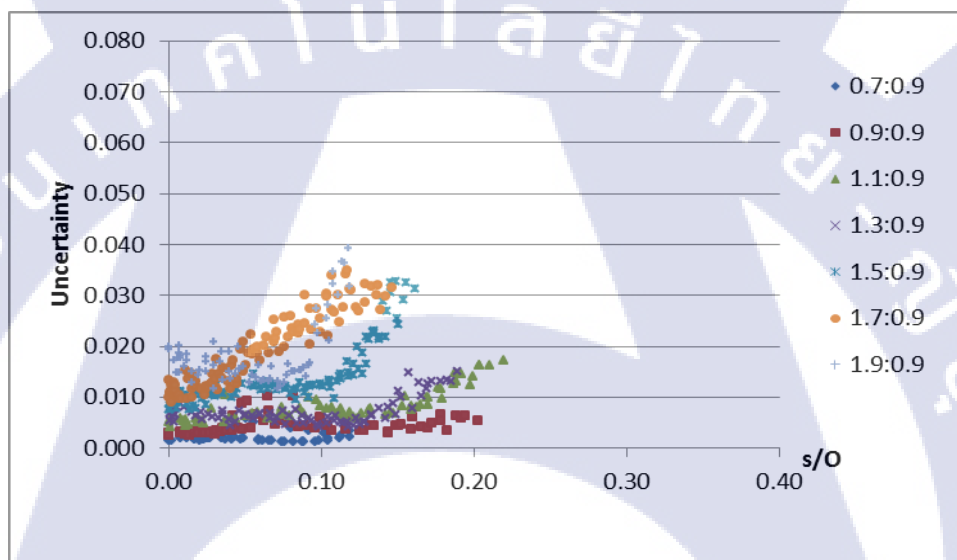
ในการสรุปผลการทดลองเรื่องค่าความไม่แน่นอนในการวัดนี้จะสรุปเป็นช่วงๆ ของระยะการวัด ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย ในการระบุค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะใช้ค่าการคำนวณที่ได้จากการวัดที่มีค่าสูงที่สุดของแต่ละการทดลอง ซึ่งหมายถึงมีค่าความไม่แน่นอนแย่งที่สุดของแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4.6 สมการในการหาค่า Uncertainty และ ค่า Uncertainty ในแต่ละช่วงที่ O:N ต่างๆ

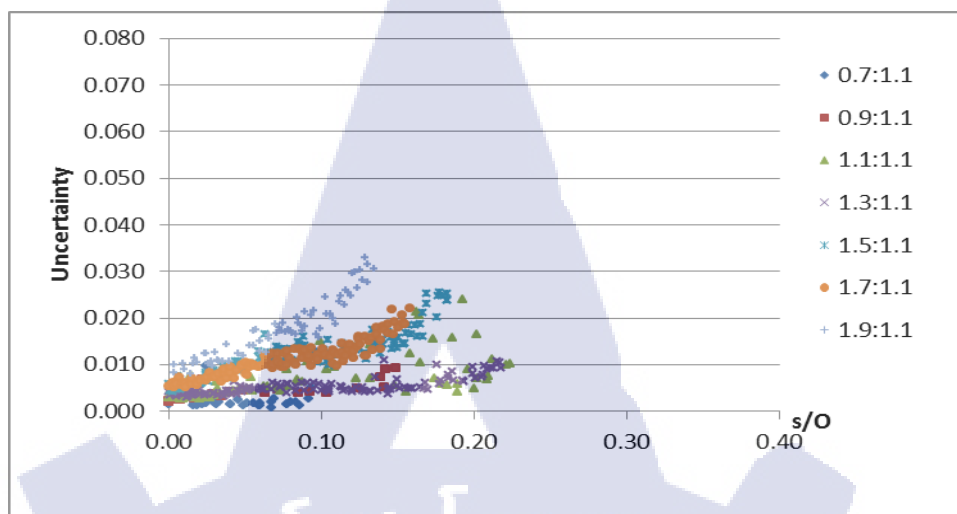
O:N	สมการค่าความละเอียด	ค่าความไม่แน่นอน		
		ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
0.7:0.9	$y=(0.7212x^2-0.9184x+0.3743)\times 2sd$	0.00182	0.00229	0.00202
0.9:0.9	$y=(0.9198x^2-1.245x+0.5602)\times 2sd$	0.00336	0.00535	0.00477
1.1:0.9	$y=(5.9199x^2-4.656x+1.179)\times 2sd$	0.00584	0.00730	0.01160
1.3:0.9	$y=(21.2313x^2-12.064x+2.0347)\times 2sd$	0.00645	0.00578	0.00913
1.5:0.9	$y=(74.67x^2-30.75x+3.6842)\times 2sd$	0.00989	0.01201	0.02065
1.7:0.9	$y=(221.898x^2-74.482x+6.8587)\times 2sd$	0.01195	0.01920	0.02848
1.9:0.9	$y=(924.84x^2-254.4x+18.44)\times 2sd$	0.01678	0.01473	0.02489
0.7:1.1	$y=(0.6771x^2-0.8458x+0.3276)\times 2sd$	0.00240	0.00173	0.00340
0.9:1.1	$y=(0.7752x^2-1.0514x+0.4626)\times 2sd$	0.00363	0.00610	0.01045
1.1:1.1	$y=(1.1379x^2-1.4908x+0.6462)\times 2sd$	0.00414	0.00849	0.01073
1.3:1.1	$y=(2.2113x^2-2.3062x+0.8071)\times 2sd$	0.00398	0.00495	0.00673
1.5:1.1	$y=(7.1685x^2-5.0452x+1.2053)\times 2sd$	0.00714	0.01229	0.01700
1.7:1.1	$y=(15.9648x^2-8.9334x+1.6413)\times 2sd$	0.00716	0.01105	0.01512
1.9:1.1	$y=(74.427x^2-29.306x+3.5137)\times 2sd$	0.01096	0.01721	0.02461
0.7:1.3	$y=(0.6426x^2-0.8796x+0.3596)\times 2sd$	0.00226	0.00403	0.00403
0.9:1.3	$y=(1.5792x^2-1.9126x+0.6426)\times 2sd$	0.00309	0.00549	0.00346
1.1:1.3	$y=(1.1688x^2-1.5366x+0.623)\times 2sd$	0.00356	0.00375	0.00374
1.3:1.3	$y=(1.0029x^2-1.3086x+0.5753)\times 2sd$	0.00368	0.00576	0.00672
1.5:1.3	$y=(1.9728x^2-2.0828x+0.7609)\times 2sd$	0.00757	0.01228	0.02446
1.7:1.3	$y=(5.6295x^2-4.3158x+1.1051)\times 2sd$	0.00692	0.01304	0.02966
1.9:1.3	$y=(24.3978x^2-12.9132x+2.1406)\times 2sd$	0.00958	0.01783	0.04459

จากการทดลองดังตารางที่ 4.6 มีช่วงความไม่แน่นอนที่แย่ที่สุด (ค่าสูงที่สุด) ที่อัตราส่วน O:N เท่ากับ 1.9:1.3 มีความไม่แน่นอนในการวัดเฉลี่ย 0.024 มิลลิเมตร ซึ่งมีระยะการวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.445 มิลลิเมตร และมีค่าความละเอียดที่ดีที่สุด (ต่ำที่สุด) ที่อัตราส่วน O:N เท่ากับ 0.7:1.1 มีความไม่แน่นอนเฉลี่ยเท่ากับ 0.00251 มิลลิเมตร ซึ่งมีระยะการวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.066 มิลลิเมตร

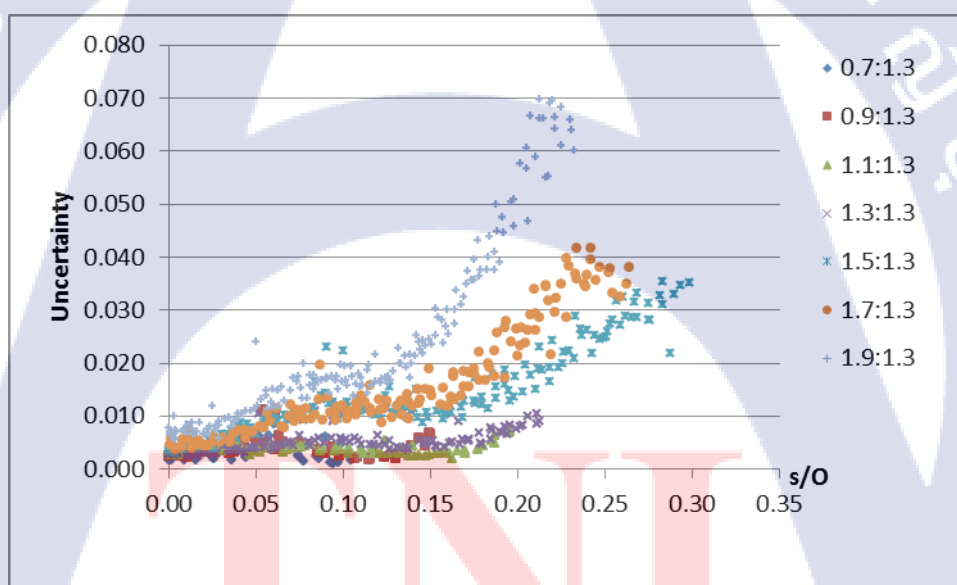
แนวโน้มของความความไม่แน่นอนในการวัดของแต่ละการทดลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.20-4.22 คือค่าความไม่แน่นอนในการวัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างหัวนอชเชิล และพื้นผิวฐานจับยึดต่างกันมากขึ้น และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลคงที่ที่ออริฟิซขนาดใหญ่จะมีผลการวัดที่ให้ค่าความไม่แน่นอนแย่



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง นอชเชิล เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิล เท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร

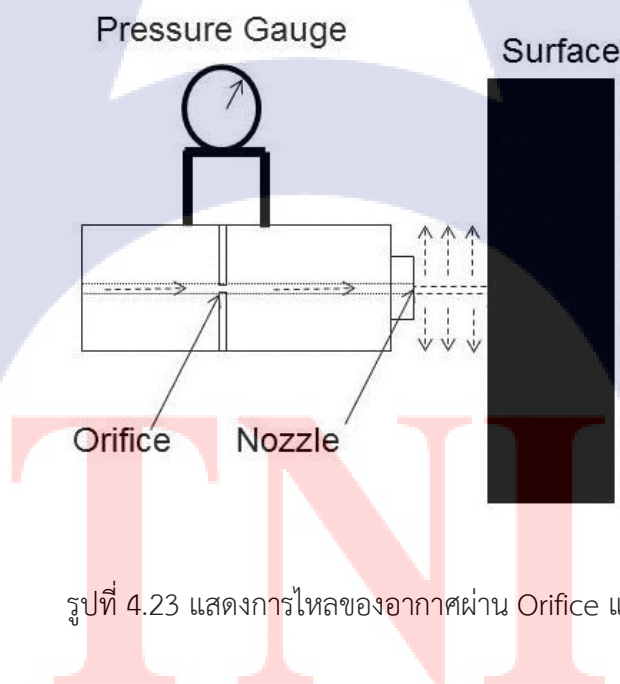


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความไม่แน่นอนในการวัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอชเชิลเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสและนอซเซลสามารถวิเคราะห์ได้ว่า

- ค่า P_{diff}/P_{max} ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสกล่าวคือถ้า ออริฟิส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กอากาศจะไหลผ่านออริฟิสได้น้อย ทำให้วัดค่า P_{diff}/P_{max} ได้ค่าต่ำ ในทางกลับกันถ้าออริฟิสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่อากาศจะไหลผ่านออริฟิสได้สูง

- อัตราการไหลของอากาศที่จะไหลออกสู่ชั้นบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนอซเซล กล่าวคือถ้าปล่อยให้อากาศไหลผ่านนอซเซล และมีสิ่งของกั้นไม่ให้อากาศไหลผ่านนอซเซล ได้นั้นหมายถึงมีอัตราการไหลต่ำสุด(ไม่มีการไหลของอากาศ) และมีค่า P_{diff}/P_{max} ต่ำที่สุด (ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดและ O:N เดียวกัน) เมื่อค่อยนำสิ่งกีดขวางนอซเซล ออกจะทำให้ค่า P_{diff}/P_{max} สูงขึ้นเพราะอากาศสามารถไหลผ่านนอซเซลได้มากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่งที่ค่า P_{diff}/P_{max} จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หมายความว่า เป็นอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดที่สามารถไหลผ่านนอซเซลได้ และเป็นช่วงที่กว้างที่สุดที่จะสามารถวัดค่าได้โดยชุดทดลอง



รูปที่ 4.23 แสดงการไหลของอากาศผ่าน Orifice และ Nozzle

- ที่นอซเซลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เมื่อเลื่อนสิ่งกีดขวางออกเพียงนิดเดียวอากาศจะสามารถไหลออกได้มากกว่านอซเซลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก โดยพื้นที่การไหลของอากาศประมาณการได้จากสมการรูปทรงกระบอก

$$\text{พื้นที่การไหลออกของอากาศ} = 2\pi rh \quad (4.1)$$

เมื่อ r = รัศมีของ Nozzle
 h = ระยะจาก Nozzle ถึงผิวชิ้นงาน

ดังนั้นหมายความว่าเมื่อระยะ s/O เปลี่ยนแปลงน้อย แต่ P_{diff}/P_{max} เปลี่ยนแปลงมาก แสดงความค่าความละเอียดของการวัดจะสูง โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของเซ็นเซอร์วัดแรงดันที่นำมาวัดค่าด้วยถ้ามีความละเอียดมากก็จะแสดงความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน

- ที่หัวนอชเชิลกับชิ้นงานจะมีการไหลของอากาศคงที่ และเป็นไปในแนวเดียวกัน ทำให้ผลการวัดค่าได้ค่อนข้างไม่แกว่งตัว ส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะมีค่าที่ดี แต่เมื่อหัวนอชเชิล ห่างจากชิ้นงาน จะทำให้การไหลของอากาศไม่มีรูปแบบส่งผลให้การมีแนวโน้มการแกว่งตัวของค่า P_{diff}/P_{max} ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดสูงตามไปด้วย

4.3 สรุปผลการทดลอง

- แรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมสำหรับชุดทดลองคือ 5 บาร์ เนื่องจากแรงดันที่สูงจะมีค่าความละเอียดในการวัดที่ดี ในขณะที่จะได้ช่วงความกว้างของการวัดที่ไม่แตกต่างกัน แต่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องมือเครื่องมือนี่มีแรงดันประมาณ 5 บาร์
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (พื้นที่รู้) ของออร์ฟิสที่มีขนาดใหญ่กว่านอชเชิล Nozzle จะมีช่วงระยะการวัดที่กว้าง และมีช่วงระยะการวัดที่กว้างที่ใกล้เคียงกันที่นอชเชิลคงที่ นั้นหมายความว่าช่วงระยะการวัดขึ้นอยู่กับขนาดของนอชเชิล คือขนาดของนอชเชิลใหญ่จะมีช่วงระยะการวัดที่สูง
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (พื้นที่รู้) ของนอชเชิลที่มีขนาดเล็กกว่าออร์ฟิสจะมีช่วงระยะการวัดที่ต่ำ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดออร์ฟิสมีขนาดใหญ่ขึ้น
- ความละเอียดของการวัดจะดีที่สุดในช่วงการวัดที่ s/O ช่วงกลาง กล่าวคือ ช่วงแรกจะมีค่าความละเอียดในการสูง และจะค่อยๆ ลดลงมาถึงจุดๆ และจะกลับไปมีค่าสูงอีกครั้งในช่วงปลายของช่วงระยะการวัด
- ที่ขนาดนอชเชิลเท่ากัน ค่าความละเอียดจะดี (ค่าต่ำ) เมื่อออร์ฟิสมีขนาดเล็ก
- ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น (ค่าความไม่แน่นอนที่แย่ลง) เมื่อระยะการวัดเพิ่มมากขึ้น (s/O มากขึ้น) และเมื่อขนาดนอชเชิลเดียวกันค่าความไม่แน่นอนจะไม่ดีเมื่อขนาดออร์ฟิส สูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิสและนอซเชิลส่งผลต่อช่วงระยะการวัดที่สามารถวัดได้ ความละเอียด และความไม่แน่นอนในการวัดของแอร์เกจ

จากการทดลองพบว่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่สูงจะช่วยให้ชุดทดลองมีความละเอียดในการวัดที่สูงตามไปด้วย แต่จะมีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละแรงดัน โดยในอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้แรงดันอากาศนิยมใช้แรงดันที่ 4-5 บาร์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้แรงดันที่ 5 บาร์เพราะจะให้ค่าความละเอียดในการวัดสูงกว่า

อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิสและนอซเชิลมีความสัมพันธ์ที่จะส่งผลต่อช่วงระยะการวัด ความละเอียด และค่าความไม่แน่นอนในการวัด โดยแรงดันจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมสำหรับชุดทดลองคือ 5 บาร์ เนื่องจากแรงดันที่สูงจะมีค่าความละเอียดในการวัดที่ดี ในขณะที่จะได้ช่วงความกว้างของการวัดที่ไม่แตกต่างกัน แต่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องมือที่มีแรงดันประมาณ 5 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(พื้นที่รู) ของออริฟิสที่มีขนาดใหญ่กว่านอซเชิลจะมีช่วงระยะการวัดที่กว้าง และมีช่วงระยะการวัดที่กว้างที่ใกล้เคียงกันที่ นอซเชิลคงที่ นั้นหมายความว่าช่วงระยะการวัดขึ้นอยู่กับขนาดของนอซเชิลคือขนาดของนอซเชิลใหญ่จะมีช่วงระยะการวัดที่กว้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(พื้นที่รู) ของนอซเชิลที่มีขนาดเล็กกว่าออริฟิส จะมีช่วงระยะการวัดที่แคบ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดออริฟิสมีขนาดใหญ่ขึ้น ความละเอียดของการวัดจะดี(มีค่าต่ำ) ที่สุดในช่วงการวัดที่ s/O ช่วงกลาง กล่าวคือ ช่วงแรกจะมีค่าความละเอียดในการวัดที่ดี และจะค่อยๆ ลดลงมาถึงจุดๆ และจะกลับไปมีค่าดีอีกครั้งในช่วงปลายของช่วงระยะการวัดที่ขนาดนอซเชิลที่เดียวกัน ค่าความละเอียดจะดี(ค่าต่ำ) เมื่อออริฟิสมีขนาดเล็ก ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะแปรลง (ค่าตัวเลขความไม่แน่นอนที่สูงขึ้น) เมื่อระยะการวัดเพิ่มมากขึ้น(s/O มากขึ้น) และเมื่อขนาดนอซเชิลเดียวกันค่าความไม่แน่นอนจะไม่ดีเมื่อขนาดออริฟิสเพิ่มขึ้น

ช่วงระยะการวัดไม่ใช่สิ่งจำเป็นเพียงอย่างเดียวในการพิจารณาเลือกใช้แอร์เกจที่มีขนาดรูออริฟิสและนอซเชิลต่างๆ แต่ต้องพิจารณาถึงความต้องการของระบบการวัดซึ่งต้องการความละเอียดในการวัด หรือความไม่แน่นอนในการวัดด้วย ซึ่งเครื่องมือวัดทั่วไป รวมไปถึงแอร์เกจหากต้องการช่วงระยะการวัดที่กว้าง จะมีความละเอียดในการวัดที่ไม่ดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าการตั้งค่าเริ่มต้นก่อนการทดลองเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังนั้นในการทดลองต้องทำการชิม(Shim) ให้หัวนอชเชิลแนบสนิทกับผิวฐานยึดจับ(ผิวชิ้นงาน) ซึ่งการกระทำดังกล่าวทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นหากต้องการทำการทดลองเพิ่มเติมแบบเดียวกับการทดลองของงานวิจัยนี้ควมสร้างวิธีการปรับที่ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องทำการชิม(Shim)

นอกจากนี้ลักษณะของรูออริฟิสและนอชเชิล ที่อาจจะไม่กลม ดังนั้นเพื่อให้รูเจาะมีลักษณะขนาด และความละเอียดตามที่ต้องการอาจมีการเครื่องจักรในการเจาะรูที่มีความละเอียดสูง ซึ่งอาจใช้เป็นการเจาะด้วยเครื่องไวร์คัท(Wire Cut)

ในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบของแอร์เกจนั้น จากการศึกษาพบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวัด อาทิเช่น ขนาดและลักษณะของรูออริฟิสและนอชเชิล [6],[7] รวมถึงจุดที่ใช้วัดแรงดันทั้ง 2 จุด ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้ให้ความสำคัญ ซึ่งปกติแอร์เกจที่ใช้วัดจะมีการเจาะรูที่ใกล้ออริฟิสมากที่สุด นอกจากนี้ลักษณะหัวนอชเชิลก็มีความสำคัญที่จะส่งผลต่อค่าความละเอียดและค่าความไม่แน่นอนในการวัด

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Pneumatic Comparators Metrology. “*Systems of Pneumatic Gauges & Free Flow Air Gauges Flow or Velocity Type*,” [Online]. Available: <http://what-when-how.com/metrology/pneumatic-comparators-metrology/>. [Accessed: February 27, 2012].
- [2] สมมาตร กบกระปี่ และสิทธิรักษ์ พรหมณีย์, “เครื่องมือวัดความดันและเครื่องมือวัดอัตราการไหล” [Online]. Available: http://library.rtna.ac.th/opac/multimedia/RTNA_Journal/y.2c.1/05.pdf. [Accessed: March 2, 2014].
- [3] Calibration Laboratory Co.,Ltd. “*มาตรวิทยา*” [Online]. Available: http://www.callaboratory.com/page_bx.php?cid=21&cno=38#top. [Accessed: February 20, 2014].
- [4] อิศเรศ โกสิยวิวัฒนา. “*Uncertainty in Analytical Measurement*” [Online]. Available: <http://www.gpo.or.th/rdi1/html/uncer.html>. [Accessed: March 2, 2013].
- [5] Solution Center “*Minitab Solution Center*” [Online]. Available: <http://solutioncenterminitab.com/web2014/web/html/blogs/CaseStudy3.pdf>. [Accessed: April 2, 2013].
- [6] M. Rucki et al., “Reduction of uncertainty in air gauge adjustment process,” *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 1, pp. 52-57, January 2009.
- [7] C.J. Jermak, et al., “Correction of the metrological properties of the pneumatic length measuring gauges through changes of the measuring nozzle head surface shape,” *Measurement*, vol. 43, no. 1, pp.1217-1227, June 2010.
- [8] M. Rucki et al., “Air gauges as a part of the dimensional inspection systems,” *Measurement*, vol. 43, no. 1, pp 83-91, July 2009.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

ตารางผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดัน

TNI

ตารางที่ ก-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4694	0.0025	16	0.0270	0.4768	0.0022	31	0.0560	0.4880	0.0025	46	0.0900	0.4909	0.0026
2	0.0000	0.4701	0.0025	17	0.0280	0.4772	0.0022	32	0.0590	0.4891	0.0025	47	0.0900	0.4923	0.0026
3	0.0000	0.4697	0.0024	18	0.0290	0.4775	0.0023	33	0.0600	0.4906	0.0024	48	0.0920	0.4909	0.0023
4	0.0010	0.4698	0.0024	19	0.0310	0.4781	0.0022	34	0.0610	0.4889	0.0026	49	0.0930	0.4908	0.0025
5	0.0020	0.4700	0.0022	20	0.0320	0.4794	0.0027	35	0.0620	0.4889	0.0025	50	0.0940	0.4916	0.0023
6	0.0030	0.4712	0.0026	21	0.0360	0.4803	0.0023	36	0.0680	0.4900	0.0025	51	0.0960	0.4908	0.0023
7	0.0060	0.4711	0.0023	22	0.0370	0.4804	0.0023	37	0.0690	0.4914	0.0025	52	0.0970	0.4908	0.0024
8	0.0070	0.4710	0.0026	23	0.0400	0.4822	0.0026	38	0.0720	0.4921	0.0025	53	0.0980	0.4920	0.0023
9	0.0100	0.4723	0.0022	24	0.0420	0.4826	0.0024	39	0.0740	0.4907	0.0025	54	0.1020	0.4909	0.0025
10	0.0140	0.4735	0.0022	25	0.0420	0.4825	0.0022	40	0.0740	0.4913	0.0023	55	0.1030	0.4917	0.0020
11	0.0140	0.4729	0.0022	26	0.0460	0.4837	0.0024	41	0.0770	0.4913	0.0023	56	0.1070	0.4908	0.0026
12	0.0150	0.4734	0.0024	27	0.0470	0.4843	0.0027	42	0.0800	0.4913	0.0028	57	0.1070	0.4916	0.0024
13	0.0200	0.4747	0.0022	28	0.0490	0.4851	0.0022	43	0.0810	0.4921	0.0027	58	0.1080	0.4910	0.0026
14	0.0210	0.4755	0.0022	29	0.0500	0.4857	0.0024	44	0.0850	0.4915	0.0025	59	0.1140	0.4911	0.0024
15	0.0250	0.4771	0.0026	30	0.0550	0.4875	0.0024	45	0.0860	0.4926	0.0025	60	0.1140	0.4922	0.0025

ตารางที่ ก-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1150	0.4910	0.0023	76	0.1380	0.4919	0.0021	91	0.1580	0.4917	0.0027	106	0.1860	0.4913	0.0025
62	0.1170	0.4919	0.0027	77	0.1400	0.4913	0.0024	92	0.1600	0.4915	0.0026	107	0.1880	0.4915	0.0027
63	0.1190	0.4904	0.0025	78	0.1420	0.4904	0.0027	93	0.1630	0.4912	0.0024	108	0.1900	0.4908	0.0026
64	0.1200	0.4926	0.0023	79	0.1420	0.4911	0.0024	94	0.1650	0.4909	0.0028	109	0.1920	0.4908	0.0021
65	0.1220	0.4911	0.0025	80	0.1430	0.4911	0.0023	95	0.1660	0.4907	0.0029	110	0.1950	0.4914	0.0025
66	0.1220	0.4907	0.0029	81	0.1430	0.4916	0.0025	96	0.1680	0.4912	0.0022	111	0.1960	0.4907	0.0022
67	0.1250	0.4914	0.0021	82	0.1480	0.4909	0.0024	97	0.1690	0.4913	0.0025	112	0.2000	0.4914	0.0026
68	0.1260	0.4906	0.0025	83	0.1490	0.4910	0.0028	98	0.1700	0.4913	0.0025	113	0.2010	0.4908	0.0025
69	0.1300	0.4916	0.0029	84	0.1490	0.4920	0.0025	99	0.1720	0.4915	0.0023	114	0.2040	0.4915	0.0022
70	0.1330	0.4905	0.0024	85	0.1510	0.4914	0.0026	100	0.1760	0.4904	0.0026	115	0.2070	0.4908	0.0026
71	0.1330	0.4919	0.0024	86	0.1520	0.4920	0.0024	101	0.1780	0.4914	0.0026	116	0.2070	0.4912	0.0022
72	0.1340	0.4907	0.0022	87	0.1540	0.4911	0.0024	102	0.1790	0.4918	0.0025	117	0.2090	0.4912	0.0029
73	0.1340	0.4910	0.0024	88	0.1550	0.4915	0.0028	103	0.1820	0.4916	0.0024	118	0.2130	0.4907	0.0023
74	0.1370	0.4911	0.0024	89	0.1580	0.4913	0.0025	104	0.1830	0.4909	0.0025	119	0.2150	0.4910	0.0024
75	0.1380	0.4909	0.0032	90	0.1580	0.4918	0.0023	105	0.1830	0.4913	0.0023	120	0.2190	0.4910	0.0025

ตารางที่ ก-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2190	0.4917	0.0023	136				151				166			
122	0.2240	0.4908	0.0025	137				152				167			
123	0.2240	0.4910	0.0025	138				153				168			
124	0.2280	0.4915	0.0023	139				154				169			
125	0.2300	0.4915	0.0021	140				155				170			
126	0.2310	0.4913	0.0023	141				156				171			
127	0.2320	0.4903	0.0023	142				157				172			
128	0.2370	0.4918	0.0028	143				158				173			
129	0.2380	0.4916	0.0023	144				159				174			
130	0.2390	0.4910	0.0023	145				160				175			
131	0.2430	0.4914	0.0027	146				161				176			
132	0.2440	0.4910	0.0024	147				162				177			
133	0.2450	0.4911	0.0026	148				163				178			
134	0.2510	0.4906	0.0023	149				164				179			
135	0.2520	0.4905	0.0025	150				165				180			

ตารางที่ ก-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4710	0.0024	16	0.0400	0.4856	0.0021	31	0.0730	0.4978	0.0023	46	0.1030	0.4973	0.0022
2	0.0000	0.4712	0.0024	17	0.0410	0.4864	0.0022	32	0.0750	0.4977	0.0023	47	0.1060	0.4969	0.0023
3	0.0000	0.4708	0.0023	18	0.0420	0.4873	0.0021	33	0.0780	0.4978	0.0023	48	0.1070	0.4984	0.0025
4	0.0100	0.4740	0.0022	19	0.0450	0.4881	0.0025	34	0.0790	0.4984	0.0023	49	0.1090	0.4980	0.0024
5	0.0110	0.4744	0.0021	20	0.0500	0.4909	0.0026	35	0.0800	0.4982	0.0022	50	0.1120	0.4977	0.0028
6	0.0170	0.4765	0.0020	21	0.0510	0.4913	0.0026	36	0.0850	0.4979	0.0024	51	0.1140	0.4971	0.0023
7	0.0180	0.4765	0.0020	22	0.0520	0.4919	0.0025	37	0.0850	0.4968	0.0022	52	0.1160	0.4970	0.0022
8	0.0220	0.4782	0.0024	23	0.0540	0.4926	0.0021	38	0.0860	0.4981	0.0029	53	0.1170	0.4981	0.0024
9	0.0240	0.4792	0.0020	24	0.0560	0.4933	0.0023	39	0.0890	0.4982	0.0021	54	0.1180	0.4984	0.0022
10	0.0250	0.4804	0.0025	25	0.0590	0.4946	0.0022	40	0.0900	0.4976	0.0022	55	0.1220	0.4984	0.0019
11	0.0290	0.4802	0.0022	26	0.0630	0.4964	0.0026	41	0.0930	0.4971	0.0022	56	0.1220	0.4975	0.0022
12	0.0310	0.4822	0.0020	27	0.0640	0.4964	0.0025	42	0.0950	0.4977	0.0020	57	0.1240	0.4976	0.0022
13	0.0310	0.4811	0.0026	28	0.0640	0.4962	0.0027	43	0.0950	0.4980	0.0022	58	0.1260	0.4972	0.0024
14	0.0350	0.4847	0.0024	29	0.0680	0.4976	0.0023	44	0.1000	0.4981	0.0025	59	0.1280	0.4979	0.0023
15	0.0370	0.4845	0.0022	30	0.0710	0.4973	0.0023	45	0.1000	0.4974	0.0023	60	0.1300	0.4975	0.0024

ตารางที่ ก-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1320	0.4977	0.0024	76	0.1580	0.4973	0.0023	91	0.1880	0.4982	0.0022	106	0.2220	0.4982	0.0025
62	0.1320	0.4966	0.0022	77	0.1610	0.4973	0.0025	92	0.1890	0.4977	0.0021	107	0.2220	0.4980	0.0020
63	0.1330	0.4974	0.0020	78	0.1620	0.4980	0.0025	93	0.1930	0.4979	0.0022	108	0.2240	0.4979	0.0025
64	0.1350	0.4975	0.0021	79	0.1630	0.4970	0.0026	94	0.1950	0.4976	0.0021	109	0.2280	0.4972	0.0024
65	0.1360	0.4978	0.0024	80	0.1650	0.4976	0.0025	95	0.1980	0.4974	0.0025	110	0.2290	0.4976	0.0028
66	0.1390	0.4974	0.0023	81	0.1700	0.4980	0.0023	96	0.1990	0.4971	0.0024	111	0.2300	0.4977	0.0025
67	0.1410	0.4981	0.0023	82	0.1710	0.4974	0.0027	97	0.2040	0.4975	0.0022	112	0.2340	0.4981	0.0022
68	0.1420	0.4982	0.0024	83	0.1740	0.4980	0.0023	98	0.2050	0.4977	0.0017	113	0.2340	0.4974	0.0019
69	0.1450	0.4977	0.0026	84	0.1750	0.4974	0.0023	99	0.2070	0.4974	0.0027	114	0.2380	0.4982	0.0022
70	0.1460	0.4979	0.0022	85	0.1780	0.4974	0.0026	100	0.2110	0.4981	0.0025	115	0.2380	0.4968	0.0021
71	0.1490	0.4979	0.0022	86	0.1800	0.4978	0.0023	101	0.2110	0.4976	0.0023	116	0.2430	0.4977	0.0026
72	0.1520	0.4975	0.0027	87	0.1810	0.4975	0.0024	102	0.2130	0.4968	0.0026	117	0.2430	0.4976	0.0025
73	0.1520	0.4973	0.0022	88	0.1830	0.4975	0.0023	103	0.2150	0.4980	0.0022	118	0.2440	0.4974	0.0026
74	0.1550	0.4973	0.0021	89	0.1840	0.4980	0.0023	104	0.2160	0.4979	0.0027	119	0.2480	0.4978	0.0026
75	0.1580	0.4977	0.0024	90	0.1880	0.4979	0.0024	105	0.2170	0.4978	0.0023	120	0.2480	0.4978	0.0027

ตารางที่ ก-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2500	0.4981	0.0025	136				151				166			
122	0.2510	0.4971	0.0026	137				152				167			
123	0.2530	0.4976	0.0023	138				153				168			
124				139				154				169			
125				140				155				170			
126				141				156				171			
127				142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ก-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4716	0.0025	16	0.0310	0.4853	0.0025	31	0.0630	0.5022	0.0024	46	0.0910	0.5043	0.0022
2	0.0000	0.4719	0.0024	17	0.0310	0.4859	0.0027	32	0.0640	0.5028	0.0028	47	0.0910	0.5037	0.0022
3	0.0010	0.4723	0.0024	18	0.0350	0.4873	0.0026	33	0.0660	0.5032	0.0022	48	0.0920	0.5030	0.0021
4	0.0030	0.4729	0.0022	19	0.0370	0.4900	0.0022	34	0.0670	0.5028	0.0026	49	0.0940	0.5045	0.0029
5	0.0050	0.4734	0.0023	20	0.0390	0.4891	0.0024	35	0.0700	0.5044	0.0023	50	0.0980	0.5039	0.0026
6	0.0080	0.4749	0.0024	21	0.0390	0.4898	0.0023	36	0.0720	0.5037	0.0021	51	0.0980	0.5040	0.0020
7	0.0090	0.4756	0.0019	22	0.0430	0.4911	0.0022	37	0.0720	0.5035	0.0026	52	0.1010	0.5041	0.0023
8	0.0120	0.4767	0.0025	23	0.0450	0.4939	0.0024	38	0.0720	0.5045	0.0021	53	0.1010	0.5042	0.0024
9	0.0140	0.4776	0.0022	24	0.0460	0.4932	0.0023	39	0.0790	0.5029	0.0024	54	0.1040	0.5054	0.0027
10	0.0160	0.4781	0.0028	25	0.0490	0.4946	0.0020	40	0.0810	0.5042	0.0022	55	0.1060	0.5040	0.0025
11	0.0210	0.4810	0.0028	26	0.0510	0.4964	0.0019	41	0.0810	0.5041	0.0025	56	0.1080	0.5035	0.0027
12	0.0230	0.4812	0.0025	27	0.0510	0.4968	0.0024	42	0.0840	0.5043	0.0024	57	0.1100	0.5042	0.0027
13	0.0230	0.4825	0.0025	28	0.0560	0.4986	0.0022	43	0.0860	0.5043	0.0025	58	0.1110	0.5043	0.0021
14	0.0260	0.4835	0.0020	29	0.0570	0.4980	0.0024	44	0.0870	0.5029	0.0024	59	0.1140	0.5039	0.0023
15	0.0310	0.4853	0.0023	30	0.0610	0.5004	0.0025	45	0.0890	0.5036	0.0025	60	0.1160	0.5039	0.0023

ตารางที่ ก-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1170	0.5037	0.0027	76	0.1490	0.5031	0.0026	91	0.1800	0.5036	0.0021	106	0.2120	0.5040	0.0023
62	0.1210	0.5037	0.0026	77	0.1510	0.5043	0.0021	92	0.1820	0.5036	0.0026	107	0.2140	0.5047	0.0023
63	0.1210	0.5037	0.0025	78	0.1550	0.5046	0.0027	93	0.1870	0.5039	0.0023	108	0.2180	0.5037	0.0021
64	0.1220	0.5039	0.0022	79	0.1560	0.5039	0.0025	94	0.1870	0.5043	0.0025	109	0.2230	0.5036	0.0021
65	0.1250	0.5041	0.0024	80	0.1570	0.5042	0.0023	95	0.1880	0.5033	0.0027	110	0.2230	0.5041	0.0024
66	0.1280	0.5037	0.0023	81	0.1600	0.5036	0.0022	96	0.1910	0.5044	0.0021	111	0.2240	0.5035	0.0025
67	0.1290	0.5036	0.0022	82	0.1600	0.5041	0.0028	97	0.1920	0.5043	0.0023	112	0.2300	0.5043	0.0024
68	0.1300	0.5042	0.0025	83	0.1620	0.5034	0.0026	98	0.1950	0.5038	0.0023	113	0.2320	0.5037	0.0026
69	0.1320	0.5035	0.0023	84	0.1640	0.5039	0.0025	99	0.1970	0.5044	0.0026	114	0.2350	0.5040	0.0023
70	0.1340	0.5041	0.0027	85	0.1690	0.5035	0.0024	100	0.1990	0.5044	0.0023	115	0.2360	0.5046	0.0024
71	0.1360	0.5043	0.0022	86	0.1710	0.5040	0.0021	101	0.2020	0.5038	0.0025	116	0.2440	0.5037	0.0022
72	0.1380	0.5037	0.0024	87	0.1750	0.5041	0.0024	102	0.2020	0.5040	0.0021	117	0.2440	0.5041	0.0023
73	0.1380	0.5042	0.0025	88	0.1750	0.5037	0.0026	103	0.2050	0.5036	0.0019	118	0.2500	0.5028	0.0022
74	0.1450	0.5039	0.0025	89	0.1770	0.5044	0.0024	104	0.2090	0.5035	0.0024	119	0.2500	0.5042	0.0023
75	0.1480	0.5034	0.0022	90	0.1780	0.5040	0.0022	105	0.2110	0.5040	0.0018	120	0.2530	0.5038	0.0023

ตารางที่ ก-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4731	0.0020	16	0.0320	0.4888	0.0016	31	0.0630	0.5069	0.0023	46	0.0930	0.5106	0.0028
2	0.0000	0.4734	0.0020	17	0.0320	0.4905	0.0025	32	0.0670	0.5091	0.0023	47	0.0950	0.5099	0.0027
3	0.0010	0.4732	0.0024	18	0.0330	0.4902	0.0026	33	0.0690	0.5093	0.0027	48	0.0960	0.5092	0.0030
4	0.0020	0.4739	0.0020	19	0.0370	0.4920	0.0024	34	0.0720	0.5099	0.0023	49	0.1000	0.5093	0.0026
5	0.0020	0.4745	0.0024	20	0.0410	0.4948	0.0024	35	0.0730	0.5091	0.0027	50	0.1010	0.5094	0.0025
6	0.0040	0.4744	0.0020	21	0.0420	0.4949	0.0022	36	0.0750	0.5092	0.0027	51	0.1040	0.5102	0.0023
7	0.0060	0.4755	0.0024	22	0.0420	0.4954	0.0023	37	0.0750	0.5102	0.0026	52	0.1050	0.5100	0.0029
8	0.0120	0.4764	0.0020	23	0.0480	0.4988	0.0026	38	0.0780	0.5094	0.0028	53	0.1080	0.5098	0.0030
9	0.0140	0.4793	0.0023	24	0.0490	0.4996	0.0024	39	0.0800	0.5102	0.0023	54	0.1090	0.5096	0.0023
10	0.0140	0.4794	0.0024	25	0.0490	0.4998	0.0023	40	0.0820	0.5096	0.0022	55	0.1100	0.5093	0.0024
11	0.0170	0.4797	0.0029	26	0.0540	0.5017	0.0022	41	0.0830	0.5093	0.0025	56	0.1130	0.5100	0.0027
12	0.0190	0.4816	0.0022	27	0.0540	0.5028	0.0026	42	0.0860	0.5096	0.0026	57	0.1150	0.5093	0.0024
13	0.0210	0.4834	0.0026	28	0.0550	0.5028	0.0025	43	0.0870	0.5096	0.0025	58	0.1160	0.5097	0.0024
14	0.0240	0.4845	0.0024	29	0.0610	0.5060	0.0025	44	0.0890	0.5099	0.0025	59	0.1190	0.5102	0.0022
15	0.0250	0.4847	0.0021	30	0.0620	0.5078	0.0024	45	0.0900	0.5094	0.0021	60	0.1230	0.5095	0.0025

ตารางที่ ก-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1250	0.5094	0.0025	76	0.1550	0.5096	0.0026	91	0.1860	0.5093	0.0027	106	0.2160	0.5092	0.0028
62	0.1260	0.5106	0.0027	77	0.1600	0.5095	0.0025	92	0.1900	0.5092	0.0025	107	0.2170	0.5100	0.0026
63	0.1310	0.5093	0.0021	78	0.1600	0.5094	0.0024	93	0.1900	0.5111	0.0021	108	0.2200	0.5102	0.0025
64	0.1320	0.5095	0.0029	79	0.1610	0.5103	0.0028	94	0.1920	0.5096	0.0021	109	0.2220	0.5097	0.0027
65	0.1330	0.5095	0.0029	80	0.1640	0.5098	0.0024	95	0.1930	0.5102	0.0027	110	0.2240	0.5093	0.0025
66	0.1370	0.5093	0.0028	81	0.1690	0.5096	0.0025	96	0.1950	0.5093	0.0022	111	0.2250	0.5091	0.0027
67	0.1370	0.5093	0.0026	82	0.1710	0.5105	0.0024	97	0.1980	0.5091	0.0028	112	0.2270	0.5094	0.0028
68	0.1420	0.5093	0.0024	83	0.1730	0.5091	0.0026	98	0.2000	0.5103	0.0024	113	0.2290	0.5101	0.0026
69	0.1440	0.5102	0.0025	84	0.1760	0.5096	0.0023	99	0.2050	0.5104	0.0024	114	0.2300	0.5093	0.0029
70	0.1450	0.5095	0.0021	85	0.1760	0.5096	0.0023	100	0.2050	0.5094	0.0029	115	0.2320	0.5091	0.0021
71	0.1480	0.5095	0.0024	86	0.1790	0.5098	0.0025	101	0.2050	0.5100	0.0028	116	0.2330	0.5096	0.0026
72	0.1510	0.5100	0.0026	87	0.1800	0.5093	0.0026	102	0.2100	0.5095	0.0026	117	0.2360	0.5095	0.0027
73	0.1520	0.5098	0.0027	88	0.1800	0.5098	0.0027	103	0.2120	0.5096	0.0023	118	0.2380	0.5099	0.0023
74	0.1540	0.5091	0.0028	89	0.1840	0.5097	0.0024	104	0.2120	0.5095	0.0027	119	0.2400	0.5096	0.0026
75	0.1540	0.5097	0.0024	90	0.1850	0.5099	0.0025	105	0.2140	0.5095	0.0024	120	0.2410	0.5094	0.0024

ตารางที่ ก-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2440	0.5089	0.0026	136				151				166			
122	0.2470	0.5094	0.0029	137				152				167			
123	0.2510	0.5097	0.0023	138				153				168			
124	0.2510	0.5097	0.0025	139				154				169			
125	0.2530	0.5093	0.0027	140				155				170			
126	0.2570	0.5098	0.0024	141				156				171			
127				142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ก-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4762	0.0021	16	0.0290	0.4867	0.0021	31	0.0580	0.4982	0.0025	46	0.0890	0.5121	0.0025
2	0.0000	0.4762	0.0026	17	0.0310	0.4868	0.0021	32	0.0600	0.4992	0.0022	47	0.0900	0.5116	0.0027
3	0.0000	0.4764	0.0026	18	0.0310	0.4874	0.0027	33	0.0630	0.5006	0.0021	48	0.0910	0.5129	0.0026
4	0.0030	0.4770	0.0021	19	0.0340	0.4881	0.0021	34	0.0650	0.5021	0.0025	49	0.0910	0.5131	0.0025
5	0.0060	0.4778	0.0024	20	0.0360	0.4892	0.0023	35	0.0660	0.5024	0.0023	50	0.0920	0.5130	0.0024
6	0.0070	0.4781	0.0021	21	0.0360	0.4887	0.0024	36	0.0670	0.5020	0.0025	51	0.0960	0.5155	0.0022
7	0.0110	0.4799	0.0024	22	0.0390	0.4895	0.0021	37	0.0690	0.5035	0.0024	52	0.0960	0.5158	0.0027
8	0.0120	0.4794	0.0027	23	0.0400	0.4902	0.0023	38	0.0730	0.5051	0.0023	53	0.0970	0.5153	0.0020
9	0.0130	0.4798	0.0023	24	0.0420	0.4907	0.0029	39	0.0730	0.5042	0.0024	54	0.1010	0.5172	0.0025
10	0.0160	0.4821	0.0024	25	0.0440	0.4925	0.0023	40	0.0780	0.5065	0.0026	55	0.1030	0.5182	0.0027
11	0.0170	0.4811	0.0023	26	0.0480	0.4938	0.0025	41	0.0790	0.5078	0.0026	56	0.1040	0.5179	0.0026
12	0.0210	0.4833	0.0021	27	0.0500	0.4945	0.0025	42	0.0830	0.5095	0.0026	57	0.1050	0.5189	0.0023
13	0.0210	0.4828	0.0028	28	0.0510	0.4948	0.0021	43	0.0830	0.5091	0.0024	58	0.1100	0.5214	0.0028
14	0.0240	0.4842	0.0025	29	0.0550	0.4973	0.0021	44	0.0870	0.5118	0.0026	59	0.1120	0.5218	0.0023
15	0.0250	0.4843	0.0024	30	0.0560	0.4969	0.0022	45	0.0880	0.5125	0.0023	60	0.1160	0.5235	0.0023

ตารางที่ ก-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1160	0.5235	0.0024	76	0.1420	0.5317	0.0026	91	0.1750	0.5334	0.0025	106	0.2100	0.5333	0.0025
62	0.1190	0.5250	0.0017	77	0.1470	0.5322	0.0027	92	0.1770	0.5328	0.0026	107	0.2130	0.5337	0.0025
63	0.1200	0.5260	0.0028	78	0.1490	0.5322	0.0027	93	0.1810	0.5330	0.0024	108	0.2130	0.5334	0.0021
64	0.1210	0.5249	0.0023	79	0.1500	0.5330	0.0024	94	0.1850	0.5329	0.0028	109	0.2200	0.5328	0.0024
65	0.1220	0.5260	0.0026	80	0.1520	0.5328	0.0026	95	0.1870	0.5332	0.0020	110	0.2210	0.5324	0.0029
66	0.1250	0.5268	0.0025	81	0.1560	0.5326	0.0022	96	0.1890	0.5323	0.0026	111	0.2230	0.5336	0.0020
67	0.1260	0.5275	0.0023	82	0.1560	0.5335	0.0025	97	0.1900	0.5336	0.0024	112	0.2240	0.5332	0.0023
68	0.1270	0.5270	0.0027	83	0.1600	0.5331	0.0025	98	0.1940	0.5333	0.0027	113	0.2270	0.5334	0.0025
69	0.1280	0.5272	0.0029	84	0.1630	0.5333	0.0023	99	0.1950	0.5321	0.0023	114	0.2290	0.5331	0.0023
70	0.1290	0.5279	0.0023	85	0.1640	0.5333	0.0026	100	0.1970	0.5332	0.0019	115	0.2310	0.5335	0.0027
71	0.1320	0.5280	0.0025	86	0.1670	0.5334	0.0029	101	0.1980	0.5334	0.0026	116	0.2320	0.5327	0.0027
72	0.1360	0.5301	0.0027	87	0.1670	0.5329	0.0026	102	0.2010	0.5326	0.0026	117	0.2340	0.5332	0.0026
73	0.1360	0.5295	0.0025	88	0.1680	0.5335	0.0024	103	0.2050	0.5332	0.0023	118	0.2350	0.5335	0.0020
74	0.1400	0.5311	0.0025	89	0.1720	0.5323	0.0024	104	0.2060	0.5331	0.0025	119	0.2390	0.5333	0.0025
75	0.1400	0.5302	0.0028	90	0.1740	0.5334	0.0025	105	0.2080	0.5324	0.0024	120	0.2410	0.5333	0.0021

ตารางที่ ก-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2440	0.5329	0.0023	136				151				166			
122	0.2440	0.5327	0.0027	137				152				167			
123	0.2480	0.5331	0.0025	138				153				168			
124	0.2500	0.5331	0.0026	139				154				169			
125	0.2530	0.5330	0.0028	140				155				170			
126	0.2550	0.5333	0.0027	141				156				171			
127				142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ 6-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4789	0.0022	16	0.0310	0.4910	0.0027	31	0.0640	0.5085	0.0026	46	0.0960	0.5266	0.0024
2	0.0000	0.4813	0.0024	17	0.0320	0.4981	0.0020	32	0.0660	0.5180	0.0024	47	0.0980	0.5280	0.0021
3	0.0010	0.4788	0.0026	18	0.0330	0.4928	0.0028	33	0.0690	0.5113	0.0025	48	0.1000	0.5289	0.0025
4	0.0020	0.4791	0.0019	19	0.0370	0.4947	0.0029	34	0.0700	0.5115	0.0021	49	0.1040	0.5309	0.0025
5	0.0020	0.4794	0.0024	20	0.0390	0.5024	0.0032	35	0.0730	0.5140	0.0022	50	0.1050	0.5315	0.0024
6	0.0020	0.4819	0.0024	21	0.0420	0.4971	0.0022	36	0.0730	0.5150	0.0020	51	0.1060	0.5436	0.0030
7	0.0040	0.4801	0.0025	22	0.0440	0.4984	0.0022	37	0.0760	0.5239	0.0027	52	0.1110	0.5350	0.0022
8	0.0100	0.4825	0.0022	23	0.0460	0.4990	0.0027	38	0.0800	0.5176	0.0025	53	0.1120	0.5350	0.0026
9	0.0100	0.4855	0.0026	24	0.0520	0.5023	0.0025	39	0.0800	0.5261	0.0022	54	0.1130	0.5473	0.0026
10	0.0120	0.4824	0.0025	25	0.0520	0.5087	0.0025	40	0.0830	0.5190	0.0027	55	0.1180	0.5376	0.0024
11	0.0150	0.4878	0.0024	26	0.0530	0.5033	0.0025	41	0.0860	0.5318	0.0029	56	0.1190	0.5388	0.0027
12	0.0160	0.4851	0.0022	27	0.0560	0.5042	0.0027	42	0.0870	0.5219	0.0024	57	0.1190	0.5505	0.0025
13	0.0220	0.4878	0.0026	28	0.0600	0.5139	0.0019	43	0.0890	0.5228	0.0026	58	0.1250	0.5407	0.0028
14	0.0230	0.4885	0.0022	29	0.0620	0.5086	0.0022	44	0.0920	0.5243	0.0026	59	0.1270	0.5424	0.0024
15	0.0250	0.4928	0.0026	30	0.0640	0.5085	0.0026	45	0.0920	0.5354	0.0024	60	0.1300	0.5423	0.0028

ตารางที่ ก-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1300	0.5571	0.0025	76	0.1620	0.5630	0.0022	91	0.1900	0.5631	0.0026	106	0.2230	0.5489	0.0025
62	0.1340	0.5438	0.0028	77	0.1660	0.5490	0.0026	92	0.1920	0.5495	0.0031	107	0.2230	0.5496	0.0024
63	0.1350	0.5444	0.0024	78	0.1680	0.5494	0.0031	93	0.1950	0.5629	0.0026	108	0.2280	0.5658	0.0021
64	0.1350	0.5465	0.0029	79	0.1690	0.5492	0.0027	94	0.1980	0.5495	0.0033	109	0.2290	0.5490	0.0030
65	0.1360	0.5445	0.0030	80	0.1690	0.5636	0.0034	95	0.1980	0.5491	0.0026	110	0.2300	0.5495	0.0028
66	0.1370	0.5585	0.0026	81	0.1720	0.5490	0.0026	96	0.2030	0.5631	0.0025	111	0.2350	0.5493	0.0027
67	0.1440	0.5609	0.0027	82	0.1740	0.5630	0.0027	97	0.2060	0.5488	0.0028	112	0.2350	0.5642	0.0029
68	0.1450	0.5471	0.0025	83	0.1760	0.5496	0.0027	98	0.2070	0.5492	0.0028	113	0.2360	0.5494	0.0027
69	0.1470	0.5471	0.0026	84	0.1790	0.5492	0.0022	99	0.2080	0.5644	0.0032	114	0.2380	0.5488	0.0030
70	0.1490	0.5619	0.0027	85	0.1790	0.5493	0.0027	100	0.2130	0.5495	0.0028	115	0.2400	0.5493	0.0026
71	0.1510	0.5481	0.0026	86	0.1810	0.5634	0.0035	101	0.2130	0.5492	0.0025	116	0.2420	0.5644	0.0029
72	0.1540	0.5483	0.0029	87	0.1820	0.5492	0.0029	102	0.2150	0.5644	0.0024	117	0.2440	0.5497	0.0026
73	0.1570	0.5626	0.0036	88	0.1850	0.5639	0.0027	103	0.2180	0.5499	0.0030	118	0.2480	0.5497	0.0025
74	0.1580	0.5493	0.0029	89	0.1880	0.5491	0.0026	104	0.2190	0.5496	0.0027	119	0.2490	0.5489	0.0030
75	0.1580	0.5493	0.0027	90	0.1890	0.5489	0.0028	105	0.2220	0.5650	0.0028	120	0.2500	0.5641	0.0027

ตารางที่ ก-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.7 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2510	0.5503	0.0028	136				151				166			
122	0.2520	0.5491	0.0027	137				152				167			
123				138				153				168			
124				139				154				169			
125				140				155				170			
126				141				156				171			
127				142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ก-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.000	0.482	0.003	16	0.032	0.498	0.002	31	0.065	0.517	0.002	46	0.097	0.539	0.003
2	0.000	0.482	0.002	17	0.035	0.499	0.002	32	0.066	0.518	0.002	47	0.097	0.538	0.003
3	0.000	0.481	0.002	18	0.036	0.499	0.003	33	0.070	0.521	0.003	48	0.101	0.542	0.003
4	0.002	0.482	0.002	19	0.038	0.501	0.003	34	0.071	0.522	0.003	49	0.102	0.541	0.002
5	0.004	0.483	0.002	20	0.039	0.502	0.003	35	0.075	0.524	0.003	50	0.106	0.544	0.003
6	0.008	0.485	0.002	21	0.041	0.502	0.002	36	0.076	0.525	0.002	51	0.108	0.545	0.002
7	0.010	0.486	0.003	22	0.045	0.505	0.002	37	0.076	0.524	0.003	52	0.110	0.545	0.002
8	0.012	0.486	0.002	23	0.046	0.507	0.003	38	0.080	0.528	0.002	53	0.113	0.547	0.003
9	0.015	0.488	0.002	24	0.050	0.508	0.002	39	0.080	0.526	0.002	54	0.114	0.549	0.003
10	0.018	0.489	0.003	25	0.051	0.509	0.003	40	0.085	0.531	0.003	55	0.114	0.548	0.003
11	0.019	0.489	0.003	26	0.052	0.509	0.003	41	0.086	0.531	0.002	56	0.116	0.550	0.002
12	0.024	0.492	0.002	27	0.055	0.511	0.003	42	0.086	0.532	0.003	57	0.119	0.551	0.003
13	0.025	0.493	0.002	28	0.059	0.514	0.002	43	0.091	0.536	0.003	58	0.121	0.553	0.003
14	0.025	0.493	0.003	29	0.059	0.514	0.002	44	0.091	0.535	0.003	59	0.121	0.552	0.003
15	0.030	0.495	0.003	30	0.060	0.514	0.002	45	0.092	0.535	0.002	60	0.126	0.556	0.002

ตารางที่ ก-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.228	0.566	0.002	136				151				166			
122	0.235	0.564	0.003	137				152				167			
123	0.242	0.564	0.003	138				153				168			
124	0.250	0.564	0.003	139				154				169			
125				140				155				170			
126				141				156				171			
127				142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ๓-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.000	0.484	0.002	16	0.028	0.498	0.003	31	0.055	0.518	0.002	46	0.081	0.537	0.003
2	0.000	0.483	0.003	17	0.028	0.501	0.003	32	0.058	0.519	0.003	47	0.081	0.540	0.003
3	0.000	0.486	0.003	18	0.032	0.502	0.002	33	0.060	0.521	0.003	48	0.083	0.539	0.003
4	0.002	0.486	0.002	19	0.036	0.503	0.002	34	0.060	0.525	0.002	49	0.084	0.539	0.003
5	0.003	0.484	0.003	20	0.037	0.504	0.002	35	0.062	0.523	0.003	50	0.085	0.541	0.003
6	0.004	0.485	0.002	21	0.037	0.509	0.002	36	0.066	0.526	0.003	51	0.087	0.544	0.003
7	0.007	0.487	0.002	22	0.041	0.508	0.003	37	0.067	0.528	0.003	52	0.088	0.542	0.003
8	0.011	0.489	0.002	23	0.044	0.509	0.002	38	0.070	0.529	0.003	53	0.091	0.547	0.002
9	0.012	0.492	0.003	24	0.045	0.513	0.002	39	0.070	0.529	0.002	54	0.092	0.545	0.003
10	0.014	0.490	0.002	25	0.047	0.512	0.003	40	0.071	0.532	0.002	55	0.097	0.550	0.003
11	0.014	0.495	0.002	26	0.048	0.512	0.003	41	0.073	0.532	0.003	56	0.097	0.551	0.003
12	0.019	0.496	0.002	27	0.048	0.516	0.003	42	0.076	0.534	0.003	57	0.098	0.550	0.003
13	0.023	0.495	0.003	28	0.052	0.516	0.002	43	0.076	0.533	0.002	58	0.103	0.554	0.003
14	0.025	0.497	0.002	29	0.052	0.519	0.002	44	0.076	0.537	0.003	59	0.103	0.554	0.002
15	0.028	0.499	0.002	30	0.053	0.517	0.002	45	0.078	0.535	0.003	60	0.108	0.557	0.003

ตารางที่ ๓-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.108	0.557	0.003	76	0.137	0.576	0.003	91	0.171	0.580	0.003	106	0.201	0.580	0.003
62	0.113	0.559	0.003	77	0.138	0.575	0.004	92	0.172	0.579	0.003	107	0.202	0.580	0.003
63	0.113	0.562	0.003	78	0.138	0.574	0.003	93	0.172	0.581	0.003	108	0.207	0.580	0.003
64	0.114	0.561	0.003	79	0.143	0.576	0.003	94	0.177	0.580	0.003	109	0.207	0.580	0.003
65	0.118	0.563	0.003	80	0.143	0.576	0.003	95	0.178	0.581	0.003	110	0.208	0.580	0.003
66	0.119	0.563	0.003	81	0.148	0.578	0.003	96	0.179	0.579	0.003	111	0.212	0.580	0.003
67	0.119	0.567	0.003	82	0.149	0.577	0.003	97	0.182	0.581	0.003	112	0.212	0.581	0.003
68	0.121	0.564	0.005	83	0.152	0.578	0.003	98	0.183	0.580	0.003	113	0.217	0.580	0.003
69	0.125	0.568	0.003	84	0.154	0.579	0.003	99	0.187	0.580	0.002	114	0.218	0.579	0.003
70	0.125	0.570	0.003	85	0.158	0.578	0.003	100	0.189	0.580	0.003	115	0.219	0.580	0.003
71	0.126	0.568	0.003	86	0.160	0.579	0.003	101	0.193	0.580	0.003	116	0.222	0.581	0.003
72	0.130	0.571	0.003	87	0.162	0.580	0.003	102	0.193	0.581	0.003	117	0.224	0.581	0.003
73	0.131	0.571	0.004	88	0.164	0.579	0.003	103	0.196	0.580	0.003	118	0.230	0.579	0.003
74	0.132	0.574	0.003	89	0.166	0.579	0.003	104	0.198	0.580	0.003	119	0.231	0.581	0.003
75	0.137	0.576	0.003	90	0.167	0.580	0.003	105	0.198	0.579	0.003	120	0.234	0.581	0.003

ตารางที่ ก-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:07 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.238	0.580	0.003	136	0.287	0.580	0.003	151				166			
122	0.239	0.579	0.003	137	0.295	0.580	0.003	152				167			
123	0.239	0.580	0.003	138	0.304	0.580	0.003	153				168			
124	0.243	0.580	0.003	139				154				169			
125	0.245	0.580	0.003	140				155				170			
126	0.247	0.579	0.003	141				156				171			
127	0.250	0.581	0.003	142				157				172			
128	0.252	0.578	0.003	143				158				173			
129	0.256	0.579	0.002	144				159				174			
130	0.257	0.580	0.003	145				160				175			
131	0.263	0.580	0.003	146				161				176			
132	0.267	0.580	0.003	147				162				177			
133	0.273	0.581	0.003	148				163				178			
134	0.277	0.580	0.003	149				164				179			
135	0.281	0.581	0.003	150				165				180			

ตารางที่ ก-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4733	0.0024	16	0.0270	0.4884	0.0024	31	0.0600	0.5148	0.0024	46	0.0900	0.5485	0.0028
2	0.0000	0.4734	0.0024	17	0.0280	0.4880	0.0024	32	0.0610	0.5176	0.0021	47	0.0900	0.5475	0.0026
3	0.0000	0.4734	0.0024	18	0.0300	0.4904	0.0023	33	0.0610	0.5152	0.0021	48	0.0920	0.5497	0.0026
4	0.0020	0.4744	0.0022	19	0.0330	0.4937	0.0023	34	0.0660	0.5212	0.0020	49	0.0930	0.5490	0.0025
5	0.0020	0.4737	0.0021	20	0.0350	0.4949	0.0022	35	0.0670	0.5244	0.0029	50	0.0950	0.5537	0.0026
6	0.0020	0.4736	0.0025	21	0.0380	0.4964	0.0023	36	0.0670	0.5217	0.0026	51	0.0980	0.5544	0.0030
7	0.0040	0.4752	0.0023	22	0.0410	0.4995	0.0023	37	0.0670	0.5217	0.0023	52	0.1010	0.5602	0.0026
8	0.0080	0.4759	0.0022	23	0.0420	0.5006	0.0024	38	0.0720	0.5282	0.0025	53	0.1010	0.5605	0.0024
9	0.0090	0.4782	0.0021	24	0.0440	0.5020	0.0025	39	0.0730	0.5297	0.0028	54	0.1010	0.5597	0.0030
10	0.0090	0.4769	0.0021	25	0.0470	0.5050	0.0018	40	0.0760	0.5302	0.0027	55	0.1060	0.5659	0.0024
11	0.0150	0.4802	0.0028	26	0.0470	0.5022	0.0028	41	0.0780	0.5344	0.0023	56	0.1080	0.5689	0.0026
12	0.0170	0.4814	0.0024	27	0.0490	0.5066	0.0025	42	0.0780	0.5396	0.0023	57	0.1080	0.5664	0.0022
13	0.0190	0.4827	0.0020	28	0.0530	0.5097	0.0023	43	0.0810	0.5369	0.0024	58	0.1090	0.5700	0.0027
14	0.0200	0.4839	0.0024	29	0.0540	0.5094	0.0026	44	0.0840	0.5406	0.0023	59	0.1120	0.5738	0.0026
15	0.0230	0.4865	0.0024	30	0.0600	0.5153	0.0026	45	0.0880	0.5431	0.0025	60	0.1140	0.5754	0.0025

ตารางที่ ก-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1140	0.5749	0.0027	76	0.1350	0.6018	0.0028	91	0.1630	0.6347	0.0031	106	0.1890	0.6556	0.0029
62	0.1150	0.5757	0.0025	77	0.1360	0.6021	0.0024	92	0.1650	0.6357	0.0028	107	0.1900	0.6544	0.0035
63	0.1160	0.5786	0.0026	78	0.1400	0.6080	0.0027	93	0.1670	0.6369	0.0031	108	0.1940	0.6571	0.0031
64	0.1190	0.5828	0.0027	79	0.1410	0.6084	0.0029	94	0.1690	0.6393	0.0030	109	0.1950	0.6567	0.0032
65	0.1190	0.5814	0.0027	80	0.1420	0.6096	0.0031	95	0.1700	0.6396	0.0025	110	0.1970	0.6545	0.0028
66	0.1210	0.5833	0.0028	81	0.1460	0.6158	0.0027	96	0.1710	0.6422	0.0033	111	0.1990	0.6567	0.0032
67	0.1230	0.5871	0.0029	82	0.1480	0.6167	0.0027	97	0.1720	0.6431	0.0027	112	0.2000	0.6554	0.0026
68	0.1230	0.5863	0.0029	83	0.1500	0.6201	0.0025	98	0.1730	0.6432	0.0033	113	0.2060	0.6565	0.0030
69	0.1240	0.5878	0.0030	84	0.1510	0.6203	0.0032	99	0.1770	0.6465	0.0031	114	0.2080	0.6558	0.0031
70	0.1250	0.5891	0.0028	85	0.1550	0.6260	0.0028	100	0.1780	0.6474	0.0029	115	0.2090	0.6557	0.0036
71	0.1280	0.5933	0.0025	86	0.1560	0.6267	0.0029	101	0.1780	0.6481	0.0026	116	0.2100	0.6545	0.0034
72	0.1300	0.5952	0.0026	87	0.1590	0.6285	0.0031	102	0.1830	0.6518	0.0031	117	0.2100	0.6563	0.0034
73	0.1310	0.5959	0.0029	88	0.1600	0.6310	0.0031	103	0.1830	0.6524	0.0032	118	0.2120	0.6573	0.0031
74	0.1310	0.5955	0.0028	89	0.1600	0.6308	0.0028	104	0.1850	0.6535	0.0033	119	0.2130	0.6546	0.0028
75	0.1340	0.5996	0.0032	90	0.1620	0.6340	0.0032	105	0.1880	0.6559	0.0026	120	0.2160	0.6565	0.0028

ตารางที่ ก-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 3 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2180	0.6549	0.0030	136	0.2440	0.6550	0.0032	151				166			
122	0.2180	0.6563	0.0033	137	0.2460	0.6570	0.0036	152				167			
123	0.2210	0.6568	0.0032	138	0.2470	0.6553	0.0031	153				168			
124	0.2220	0.6546	0.0030	139	0.2490	0.6560	0.0024	154				169			
125	0.2250	0.6557	0.0034	140	0.2520	0.6561	0.0030	155				170			
126	0.2260	0.6567	0.0034	141	0.2530	0.6560	0.0026	156				171			
127	0.2280	0.6565	0.0036	142				157				172			
128	0.2300	0.6563	0.0033	143				158				173			
129	0.2310	0.6546	0.0035	144				159				174			
130	0.2330	0.6554	0.0033	145				160				175			
131	0.2360	0.6565	0.0034	146				161				176			
132	0.2390	0.6558	0.0032	147				162				177			
133	0.2400	0.6550	0.0032	148				163				178			
134	0.2400	0.6562	0.0034	149				164				179			
135	0.2410	0.6568	0.0028	150				165				180			

ตารางที่ ก-10 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 4 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4754	0.0018	16	0.0310	0.4981	0.0023	31	0.0650	0.5341	0.0025	46	0.0960	0.5764	0.0028
2	0.0000	0.4752	0.0021	17	0.0350	0.5019	0.0024	32	0.0660	0.5360	0.0028	47	0.0970	0.5786	0.0026
3	0.0000	0.4755	0.0021	18	0.0370	0.5038	0.0022	33	0.0670	0.5367	0.0027	48	0.1000	0.5824	0.0028
4	0.0010	0.4759	0.0025	19	0.0380	0.5048	0.0027	34	0.0690	0.5385	0.0028	49	0.1020	0.5838	0.0030
5	0.0050	0.4778	0.0021	20	0.0380	0.5044	0.0021	35	0.0730	0.5461	0.0023	50	0.1040	0.5883	0.0030
6	0.0080	0.4802	0.0026	21	0.0410	0.5081	0.0022	36	0.0730	0.5455	0.0026	51	0.1070	0.5917	0.0035
7	0.0090	0.4804	0.0027	22	0.0430	0.5095	0.0027	37	0.0780	0.5508	0.0026	52	0.1070	0.5940	0.0027
8	0.0150	0.4852	0.0030	23	0.0470	0.5139	0.0027	38	0.0790	0.5527	0.0029	53	0.1100	0.5976	0.0028
9	0.0160	0.4853	0.0025	24	0.0480	0.5151	0.0026	39	0.0810	0.5562	0.0031	54	0.1100	0.5981	0.0028
10	0.0170	0.4868	0.0022	25	0.0490	0.5156	0.0022	40	0.0830	0.5589	0.0024	55	0.1160	0.6055	0.0025
11	0.0210	0.4895	0.0024	26	0.0530	0.5207	0.0028	41	0.0850	0.5612	0.0027	56	0.1170	0.6095	0.0034
12	0.0270	0.4952	0.0017	27	0.0560	0.5231	0.0024	42	0.0870	0.5630	0.0029	57	0.1200	0.6139	0.0027
13	0.0270	0.4938	0.0023	28	0.0560	0.5231	0.0024	43	0.0890	0.5662	0.0023	58	0.1210	0.6134	0.0029
14	0.0270	0.4945	0.0022	29	0.0590	0.5269	0.0025	44	0.0910	0.5692	0.0025	59	0.1220	0.6158	0.0029
15	0.0290	0.4963	0.0027	30	0.0610	0.5299	0.0027	45	0.0950	0.5758	0.0030	60	0.1250	0.6208	0.0026

ตารางที่ ก-10จ ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศแห้งที่ 4 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1250	0.6212	0.0031	76	0.1550	0.6658	0.0033	91	0.1850	0.7003	0.0030	106	0.2170	0.7042	0.0031
62	0.1280	0.6268	0.0027	77	0.1560	0.6658	0.0029	92	0.1860	0.7017	0.0034	107	0.2170	0.7036	0.0036
63	0.1290	0.6264	0.0028	78	0.1600	0.6720	0.0033	93	0.1880	0.7032	0.0036	108	0.2180	0.7046	0.0033
64	0.1310	0.6304	0.0031	79	0.1600	0.6728	0.0030	94	0.1900	0.7036	0.0035	109	0.2220	0.7033	0.0041
65	0.1330	0.6330	0.0030	80	0.1620	0.6759	0.0032	95	0.1930	0.7042	0.0038	110	0.2250	0.7051	0.0037
66	0.1340	0.6345	0.0030	81	0.1650	0.6784	0.0030	96	0.1950	0.7038	0.0038	111	0.2260	0.7030	0.0038
67	0.1370	0.6401	0.0026	82	0.1650	0.6795	0.0029	97	0.1980	0.7035	0.0030	112	0.2270	0.7042	0.0032
68	0.1380	0.6403	0.0030	83	0.1690	0.6838	0.0039	98	0.1980	0.7051	0.0036	113	0.2320	0.7038	0.0037
69	0.1400	0.6445	0.0035	84	0.1690	0.6841	0.0030	99	0.2000	0.7026	0.0037	114	0.2320	0.7055	0.0033
70	0.1420	0.6454	0.0035	85	0.1710	0.6859	0.0036	100	0.2030	0.7035	0.0032	115	0.2350	0.7038	0.0035
71	0.1420	0.6475	0.0038	86	0.1750	0.6911	0.0035	101	0.2040	0.7038	0.0031	116	0.2410	0.7050	0.0032
72	0.1460	0.6538	0.0031	87	0.1760	0.6912	0.0037	102	0.2070	0.7032	0.0038	117	0.2420	0.7040	0.0026
73	0.1490	0.6557	0.0038	88	0.1800	0.6961	0.0028	103	0.2090	0.7053	0.0032	118	0.2430	0.7045	0.0030
74	0.1490	0.6583	0.0032	89	0.1810	0.6984	0.0034	104	0.2100	0.7038	0.0035	119	0.2460	0.7041	0.0034
75	0.1520	0.6623	0.0031	90	0.1810	0.6977	0.0031	105	0.2100	0.7042	0.0034	120	0.2460	0.7038	0.0030

ตารางที่ ก-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4780	0.0025	16	0.0370	0.5110	0.0027	31	0.0660	0.5505	0.0029	46	0.0920	0.5931	0.0029
2	0.0000	0.4779	0.0025	17	0.0400	0.5147	0.0022	32	0.0680	0.5548	0.0027	47	0.0970	0.6005	0.0033
3	0.0010	0.4790	0.0026	18	0.0410	0.5170	0.0023	33	0.0680	0.5520	0.0029	48	0.0970	0.6001	0.0029
4	0.0020	0.4784	0.0024	19	0.0440	0.5212	0.0024	34	0.0710	0.5556	0.0028	49	0.0970	0.5999	0.0028
5	0.0050	0.4830	0.0025	20	0.0470	0.5241	0.0026	35	0.0720	0.5605	0.0026	50	0.1010	0.6085	0.0030
6	0.0060	0.4824	0.0023	21	0.0490	0.5254	0.0026	36	0.0720	0.5590	0.0029	51	0.1020	0.6102	0.0030
7	0.0110	0.4864	0.0025	22	0.0500	0.5274	0.0029	37	0.0770	0.5683	0.0023	52	0.1020	0.6095	0.0029
8	0.0180	0.4918	0.0024	23	0.0520	0.5297	0.0024	38	0.0770	0.5671	0.0025	53	0.1040	0.6142	0.0027
9	0.0200	0.4933	0.0024	24	0.0550	0.5347	0.0024	39	0.0790	0.5696	0.0030	54	0.1070	0.6184	0.0027
10	0.0210	0.4953	0.0025	25	0.0570	0.5382	0.0029	40	0.0820	0.5739	0.0025	55	0.1100	0.6234	0.0029
11	0.0270	0.5017	0.0024	26	0.0570	0.5368	0.0028	41	0.0860	0.5821	0.0026	56	0.1100	0.6246	0.0030
12	0.0280	0.5011	0.0028	27	0.0600	0.5409	0.0026	42	0.0860	0.5821	0.0026	57	0.1140	0.6313	0.0032
13	0.0300	0.5040	0.0024	28	0.0610	0.5430	0.0022	43	0.0870	0.5813	0.0027	58	0.1150	0.6335	0.0037
14	0.0330	0.5076	0.0022	29	0.0630	0.5451	0.0027	44	0.0920	0.5905	0.0029	59	0.1160	0.6350	0.0035
15	0.0370	0.5128	0.0024	30	0.0640	0.5470	0.0023	45	0.0920	0.5919	0.0029	60	0.1180	0.6397	0.0033

ตารางที่ ก-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 5 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1190	0.6412	0.0032	76	0.1480	0.6944	0.0034	91	0.1770	0.7385	0.0031	106	0.2060	0.7531	0.0038
62	0.1220	0.6460	0.0030	77	0.1480	0.6948	0.0035	92	0.1770	0.7385	0.0038	107	0.2080	0.7543	0.0034
63	0.1220	0.6463	0.0033	78	0.1510	0.7008	0.0040	93	0.1780	0.7419	0.0032	108	0.2110	0.7528	0.0038
64	0.1230	0.6453	0.0031	79	0.1510	0.7003	0.0038	94	0.1830	0.7482	0.0045	109	0.2130	0.7539	0.0047
65	0.1270	0.6576	0.0038	80	0.1540	0.7062	0.0033	95	0.1840	0.7481	0.0044	110	0.2140	0.7544	0.0040
66	0.1290	0.6600	0.0036	81	0.1550	0.7076	0.0039	96	0.1850	0.7493	0.0039	111	0.2170	0.7534	0.0041
67	0.1290	0.6599	0.0032	82	0.1550	0.7061	0.0041	97	0.1870	0.7514	0.0036	112	0.2200	0.7543	0.0041
68	0.1320	0.6659	0.0032	83	0.1580	0.7125	0.0032	98	0.1910	0.7519	0.0045	113	0.2220	0.7533	0.0040
69	0.1330	0.6686	0.0032	84	0.1620	0.7189	0.0034	99	0.1920	0.7530	0.0038	114	0.2260	0.7528	0.0035
70	0.1370	0.6750	0.0036	85	0.1630	0.7197	0.0034	100	0.1930	0.7544	0.0041	115	0.2260	0.7529	0.0039
71	0.1390	0.6797	0.0030	86	0.1650	0.7236	0.0036	101	0.1960	0.7536	0.0043	116	0.2300	0.7546	0.0035
72	0.1390	0.6799	0.0034	87	0.1670	0.7261	0.0038	102	0.1970	0.7535	0.0043	117	0.2310	0.7536	0.0039
73	0.1430	0.6843	0.0035	88	0.1690	0.7272	0.0046	103	0.2000	0.7539	0.0039	118	0.2320	0.7530	0.0036
74	0.1430	0.6860	0.0045	89	0.1710	0.7314	0.0034	104	0.2030	0.7533	0.0037	119	0.2330	0.7535	0.0039
75	0.1460	0.6910	0.0036	90	0.1730	0.7372	0.0041	105	0.2040	0.7544	0.0034	120	0.2340	0.7533	0.0038

ตารางที่ ก-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:09 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.000	0.480	0.002	16	0.035	0.512	0.003	31	0.068	0.571	0.003	46	0.093	0.616	0.003
2	0.000	0.481	0.002	17	0.040	0.524	0.003	32	0.070	0.573	0.003	47	0.095	0.602	0.003
3	0.000	0.480	0.002	18	0.042	0.523	0.004	33	0.073	0.563	0.003	48	0.097	0.626	0.003
4	0.002	0.484	0.003	19	0.042	0.528	0.002	34	0.073	0.576	0.003	49	0.098	0.628	0.003
5	0.003	0.483	0.003	20	0.049	0.528	0.002	35	0.075	0.581	0.003	50	0.099	0.609	0.003
6	0.008	0.488	0.003	21	0.050	0.540	0.003	36	0.077	0.571	0.003	51	0.100	0.632	0.003
7	0.010	0.490	0.003	22	0.053	0.544	0.003	37	0.077	0.585	0.003	52	0.101	0.631	0.003
8	0.013	0.493	0.002	23	0.055	0.537	0.002	38	0.079	0.574	0.003	53	0.103	0.616	0.003
9	0.015	0.493	0.002	24	0.058	0.552	0.003	39	0.079	0.589	0.003	54	0.106	0.643	0.003
10	0.020	0.499	0.003	25	0.058	0.552	0.003	40	0.083	0.581	0.003	55	0.108	0.625	0.003
11	0.022	0.505	0.004	26	0.059	0.542	0.003	41	0.084	0.600	0.003	56	0.108	0.648	0.003
12	0.026	0.501	0.002	27	0.061	0.557	0.003	42	0.088	0.606	0.003	57	0.110	0.651	0.003
13	0.028	0.509	0.003	28	0.065	0.552	0.003	43	0.088	0.608	0.003	58	0.112	0.633	0.003
14	0.030	0.512	0.003	29	0.067	0.554	0.003	44	0.089	0.591	0.003	59	0.113	0.657	0.004
15	0.034	0.518	0.003	30	0.068	0.568	0.003	45	0.093	0.616	0.003	60	0.114	0.663	0.004

ตารางที่ ก-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.116	0.641	0.003	76	0.139	0.715	0.004	91	0.170	0.737	0.003	106	0.195	0.760	0.005
62	0.116	0.664	0.003	77	0.142	0.721	0.003	92	0.170	0.775	0.004	107	0.196	0.798	0.004
63	0.116	0.665	0.004	78	0.144	0.725	0.004	93	0.171	0.775	0.004	108	0.200	0.759	0.004
64	0.120	0.674	0.003	79	0.145	0.697	0.003	94	0.172	0.776	0.005	109	0.200	0.798	0.004
65	0.122	0.652	0.003	80	0.146	0.730	0.004	95	0.177	0.785	0.004	110	0.200	0.797	0.004
66	0.124	0.684	0.004	81	0.147	0.735	0.004	96	0.178	0.747	0.004	111	0.202	0.797	0.006
67	0.125	0.658	0.003	82	0.152	0.741	0.005	97	0.178	0.784	0.004	112	0.206	0.759	0.004
68	0.126	0.684	0.003	83	0.153	0.708	0.004	98	0.182	0.788	0.004	113	0.207	0.798	0.004
69	0.127	0.690	0.004	84	0.155	0.752	0.005	99	0.182	0.792	0.004	114	0.208	0.798	0.004
70	0.129	0.667	0.003	85	0.156	0.715	0.004	100	0.184	0.754	0.004	115	0.210	0.797	0.004
71	0.131	0.699	0.004	86	0.157	0.752	0.005	101	0.185	0.795	0.004	116	0.215	0.798	0.005
72	0.133	0.703	0.004	87	0.161	0.723	0.004	102	0.188	0.797	0.004	117	0.216	0.798	0.005
73	0.135	0.679	0.003	88	0.162	0.759	0.004	103	0.189	0.759	0.004	118	0.217	0.759	0.004
74	0.137	0.711	0.004	89	0.163	0.761	0.003	104	0.191	0.797	0.004	119	0.219	0.798	0.004
75	0.139	0.683	0.004	90	0.164	0.727	0.005	105	0.194	0.798	0.004	120	0.221	0.758	0.004

ตารางที่ ก-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 และแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิดที่ 6 บาร์ (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.221	0.797	0.004	136	0.244	0.756	0.004	151			166
122	0.222	0.798	0.004	137	0.244	0.798	0.004	152			167
123	0.223	0.798	0.005	138	0.246	0.798	0.004	153			168
124	0.226	0.758	0.003	139	0.248	0.757	0.004	154			169
125	0.229	0.797	0.005	140	0.249	0.798	0.004	155			170
126	0.231	0.757	0.004	141	0.250	0.796	0.005	156			171
127	0.231	0.797	0.005	142	0.251	0.756	0.004	157			172
128	0.232	0.797	0.004	143	0.252	0.798	0.004	158			173
129	0.234	0.799	0.004	144				159			174
130	0.235	0.759	0.005	145				160			175
131	0.237	0.798	0.004	146				161			176
132	0.239	0.757	0.004	147				162			177
133	0.239	0.798	0.004	148				163			178
134	0.239	0.797	0.004	149				164			179
135	0.242	0.798	0.004	150				165			180

ภาคผนวก ข.

ตารางผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดรู Orifice และ Nozzle
ที่แรงดันจากแหล่งกำเนิดคงที่ที่ 5 บาร์

TNI

ตารางที่ ข-1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 0.7:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4634	0.0026	16	0.0180	0.7813	0.0038	31	0.0430	1.6163	0.0049	46	0.0730	4.0212	0.0096
2	0.0000	0.4582	0.0033	17	0.0190	0.8194	0.0039	32	0.0460	2.0359	0.0060	47	0.0730	3.8092	0.0083
3	0.0010	0.4592	0.0027	18	0.0190	0.6921	0.0042	33	0.0470	1.9898	0.0059	48	0.0770	3.9247	0.0542
4	0.0050	0.4730	0.0032	19	0.0240	0.8970	0.0042	34	0.0480	1.9452	0.0726	49	0.0780	4.2085	0.0085
5	0.0080	0.5056	0.0033	20	0.0250	1.0211	0.0300	35	0.0520	2.3956	0.0059	50	0.0790	4.4604	0.0091
6	0.0120	0.5478	0.0030	21	0.0260	0.8760	0.0036	36	0.0530	2.3332	0.0057	51	0.0830	4.4116	0.0139
7	0.0120	0.5916	0.0031	22	0.0290	0.9941	0.0052	37	0.0560	2.4539	0.0502	52	0.0830	4.6209	0.0082
8	0.0130	0.6558	0.0037	23	0.0290	1.0494	0.0042	38	0.0560	2.5171	0.0207	53	0.0850	5.0843	0.0528
9	0.0140	0.5843	0.0025	24	0.0300	1.2371	0.0055	39	0.0570	2.7643	0.0071	54	0.0890	5.1293	0.0123
10	0.0150	0.6423	0.0036	25	0.0330	1.2741	0.0049	40	0.0610	2.9171	0.0072	55	0.0900	5.0011	0.0569
11	0.0160	0.7157	0.0033	26	0.0340	1.4361	0.0059	41	0.0620	3.1351	0.0083	56	0.0940	5.2810	0.0022
12	0.0160	0.6145	0.0030	27	0.0350	1.2658	0.0156	42	0.0640	2.8631	0.0198	57	0.0980	5.2806	0.0027
13	0.0170	0.7475	0.0037	28	0.0390	1.5120	0.0155	43	0.0670	3.4841	0.0071	58	0.0990	5.2800	0.0025
14	0.0170	0.7552	0.0038	29	0.0410	1.7603	0.0063	44	0.0690	3.4884	0.0082	59	0.0730	4.0212	0.0096
15	0.0180	0.7784	0.0039	30	0.0410	1.6557	0.0053	45	0.0710	3.4170	0.0179	60	0.0730	3.8092	0.0083

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4535	0.0032	16	0.0170	0.5352	0.0034	31	0.0460	0.9020	0.0127	46	0.0860	1.7650	0.0083
2	0.0000	0.4537	0.0033	17	0.0200	0.5529	0.0033	32	0.0480	0.9207	0.0055	47	0.0890	1.8161	0.0131
3	0.0000	0.4539	0.0027	18	0.0210	0.5635	0.0033	33	0.0510	0.9773	0.0094	48	0.0910	1.8981	0.0103
4	0.0070	0.4702	0.0034	19	0.0240	0.5945	0.0036	34	0.0560	1.0758	0.0080	49	0.0940	1.9615	0.0103
5	0.0070	0.4746	0.0032	20	0.0240	0.6013	0.0034	35	0.0580	1.1093	0.0155	50	0.0960	2.0390	0.0086
6	0.0080	0.4801	0.0034	21	0.0270	0.6217	0.0033	36	0.0590	1.1210	0.0111	51	0.0990	2.0927	0.0213
7	0.0100	0.4844	0.0030	22	0.0280	0.6353	0.0042	37	0.0630	1.2156	0.0075	52	0.1040	2.2552	0.0098
8	0.0100	0.4877	0.0031	23	0.0300	0.6634	0.0039	38	0.0660	1.2777	0.0089	53	0.1040	2.2441	0.0135
9	0.0100	0.4924	0.0031	24	0.0320	0.6809	0.0049	39	0.0660	1.3000	0.0524	54	0.1080	2.3639	0.0251
10	0.0110	0.4904	0.0031	25	0.0340	0.7207	0.0043	40	0.0710	1.3615	0.0086	55	0.1110	2.4756	0.0547
11	0.0110	0.4968	0.0032	26	0.0370	0.7523	0.0043	41	0.0730	1.4236	0.0180	56	0.1130	2.5163	0.0102
12	0.0120	0.5012	0.0036	27	0.0380	0.7536	0.0079	42	0.0760	1.5117	0.0078	57	0.1150	2.5937	0.0105
13	0.0120	0.5017	0.0028	28	0.0410	0.8068	0.0051	43	0.0760	1.5350	0.0197	58	0.1190	2.7125	0.0142
14	0.0150	0.5164	0.0034	29	0.0430	0.8453	0.0116	44	0.0800	1.5933	0.0085	59	0.1210	2.7964	0.0142
15	0.0150	0.5175	0.0039	30	0.0430	0.8442	0.0050	45	0.0830	1.6773	0.0210	60	0.1260	2.9413	0.0209

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1290	3.0199	0.0114	76	0.1690	4.4431	0.0174	91				106			
62	0.1290	3.0108	0.0102	77	0.1720	4.5413	0.0154	92				107			
63	0.1340	3.1909	0.0159	78	0.1750	4.6941	0.0155	93				108			
64	0.1350	3.2300	0.0154	79	0.1790	4.8359	0.0302	94				109			
65	0.1370	3.3215	0.0164	80	0.1800	4.9052	0.0609	95				110			
66	0.1430	3.5183	0.0129	81	0.1820	4.9257	0.0121	96				111			
67	0.1430	3.5316	0.0313	82	0.1850	5.0646	0.0138	97				112			
68	0.1440	3.5758	0.0216	83	0.1850	5.0076	0.0417	98				113			
69	0.1490	3.7067	0.0147	84	0.1870	5.1111	0.0166	99				114			
70	0.1530	3.8582	0.0130	85	0.1890	5.2111	0.0141	100				115			
71	0.1540	3.8853	0.0335	86	0.1900	5.2095	0.0244	101				116			
72	0.1550	3.9216	0.0159	87	0.1970	5.2807	0.0022	102				117			
73	0.1600	4.1032	0.0205	88	0.1970	5.2789	0.0023	103				118			
74	0.1600	4.1128	0.0172	89	0.1970	5.2799	0.0028	104				119			
75	0.1640	4.2452	0.0101	90	0.1690	4.4431	0.0174	105				120			

ตารางที่ ข-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.1:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4524	0.0031	16	0.0410	0.6134	0.0075	31	0.0940	1.0739	0.0085	46	0.1390	1.7004	0.0121
2	0.0010	0.4516	0.0025	17	0.0430	0.6329	0.0042	32	0.0940	1.0706	0.0087	47	0.1440	1.7253	0.0134
3	0.0010	0.4513	0.0034	18	0.0460	0.6358	0.0226	33	0.0970	1.1417	0.0079	48	0.1450	1.7995	0.0146
4	0.0080	0.4680	0.0037	19	0.0480	0.6410	0.0043	34	0.1010	1.1595	0.0120	49	0.1450	1.7481	0.0125
5	0.0100	0.4665	0.0033	20	0.0550	0.7000	0.0049	35	0.1060	1.2127	0.0119	50	0.1560	1.8911	0.0126
6	0.0120	0.4800	0.0033	21	0.0590	0.7188	0.0123	36	0.1090	1.2964	0.0111	51	0.1600	2.0154	0.0131
7	0.0120	0.4689	0.0036	22	0.0600	0.7607	0.0056	37	0.1140	1.3046	0.0106	52	0.1600	1.9607	0.0136
8	0.0120	0.4715	0.0027	23	0.0640	0.7741	0.0058	38	0.1170	1.3624	0.0113	53	0.1620	1.9905	0.0128
9	0.0140	0.4765	0.0029	24	0.0710	0.8302	0.0051	39	0.1210	1.4471	0.0103	54	0.1680	2.0837	0.0157
10	0.0190	0.4907	0.0038	25	0.0720	0.8383	0.0053	40	0.1230	1.4182	0.0101	55	0.1700	2.1735	0.0186
11	0.0200	0.4929	0.0033	26	0.0790	0.9079	0.0061	41	0.1240	1.4359	0.0119	56	0.1750	2.1891	0.0136
12	0.0240	0.5087	0.0035	27	0.0810	0.9676	0.0081	42	0.1270	1.5387	0.0103	57	0.1750	2.2017	0.0148
13	0.0250	0.5258	0.0033	28	0.0820	0.9369	0.0068	43	0.1300	1.5226	0.0115	58	0.1780	2.2843	0.0141
14	0.0300	0.5373	0.0052	29	0.0870	1.0298	0.0068	44	0.1330	1.5682	0.0101	59	0.1810	2.2864	0.0146
15	0.0400	0.5888	0.0036	30	0.0870	0.9939	0.0064	45	0.1360	1.6284	0.0100	60	0.1860	2.3624	0.0164

ตารางที่ ข-3 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1870	2.4385	0.0157	76	0.2310	2.9516	0.0193	91				106			
62	0.1870	2.3735	0.0141	77	0.2410	3.0085	0.0166	92				107			
63	0.1940	2.5065	0.0177	78	0.2420	3.0031	0.0188	93				108			
64	0.1960	2.5634	0.0169	79				94				109			
65	0.1970	2.5303	0.0144	80				95				110			
66	0.2050	2.7025	0.0162	81				96				111			
67	0.2060	2.6491	0.0198	82				97				112			
68	0.2070	2.6675	0.0174	83				98				113			
69	0.2110	2.7740	0.0173	84				99				114			
70	0.2170	2.7975	0.0145	85				100				115			
71	0.2190	2.8383	0.0159	86				101				116			
72	0.2240	2.9151	0.0171	87				102				117			
73	0.2240	2.8697	0.0178	88				103				118			
74	0.2310	2.9820	0.0224	89				104				119			
75	0.2310	2.9529	0.0164	90				105				120			

ตารางที่ ข-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.3:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0010	0.4698	0.0213	16	0.0270	0.5153	0.0034	31	0.0780	0.7497	0.0044	46	0.1270	1.1361	0.0057
2	0.0010	0.4566	0.0031	17	0.0280	0.5092	0.0027	32	0.0780	0.7737	0.0049	47	0.1280	1.1855	0.0053
3	0.0010	0.4597	0.0024	18	0.0340	0.5294	0.0032	33	0.0860	0.7976	0.0043	48	0.1340	1.2055	0.0066
4	0.0030	0.4571	0.0028	19	0.0370	0.5514	0.0030	34	0.0860	0.8272	0.0053	49	0.1350	1.2489	0.0084
5	0.0030	0.4608	0.0033	20	0.0420	0.5548	0.0030	35	0.0910	0.8325	0.0042	50	0.1410	1.2785	0.0079
6	0.0040	0.4575	0.0023	21	0.0460	0.5745	0.0038	36	0.0920	0.8754	0.0050	51	0.1420	1.3170	0.0095
7	0.0040	0.4587	0.0030	22	0.0460	0.5939	0.0035	37	0.0970	0.9134	0.0063	52	0.1460	1.3638	0.0078
8	0.0040	0.4630	0.0042	23	0.0510	0.6151	0.0031	38	0.0990	0.8892	0.0043	53	0.1490	1.3492	0.0076
9	0.0050	0.4599	0.0036	24	0.0520	0.6001	0.0025	39	0.1030	0.9612	0.0056	54	0.1520	1.4270	0.0080
10	0.0050	0.4648	0.0030	25	0.0570	0.6243	0.0029	40	0.1080	1.0045	0.0076	55	0.1530	1.3858	0.0064
11	0.0070	0.4639	0.0037	26	0.0600	0.6608	0.0043	41	0.1090	0.9726	0.0053	56	0.1570	1.4790	0.0070
12	0.0130	0.4781	0.0036	27	0.0640	0.6661	0.0039	42	0.1140	1.0168	0.0064	57	0.1590	1.4457	0.0091
13	0.0140	0.4768	0.0045	28	0.0660	0.6986	0.0041	43	0.1150	1.0629	0.0053	58	0.1630	1.5405	0.0073
14	0.0200	0.4928	0.0033	29	0.0710	0.7280	0.0041	44	0.1190	1.0656	0.0068	59	0.1660	1.5155	0.0077
15	0.0230	0.4944	0.0030	30	0.0720	0.7105	0.0040	45	0.1210	1.1167	0.0064	60	0.1670	1.5802	0.0078

ตารางที่ ข-4 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1720	1.5756	0.0094	76	0.2210	2.0627	0.0101	91				106			
62	0.1720	1.6307	0.0095	77	0.2240	2.0515	0.0097	92				107			
63	0.1790	1.6478	0.0107	78	0.2300	2.1103	0.0113	93				108			
64	0.1840	1.7436	0.0081	79	0.2310	2.0901	0.0090	94				109			
65	0.1870	1.7300	0.0098	80	0.2370	2.1262	0.0095	95				110			
66	0.1910	1.7739	0.0109	81	0.2400	2.1188	0.0088	96				111			
67	0.1930	1.8436	0.0076	82	0.2460	2.1267	0.0102	97				112			
68	0.1960	1.8727	0.0118	83				98				113			
69	0.1980	1.8363	0.0100	84				99				114			
70	0.2030	1.9358	0.0152	85				100				115			
71	0.2040	1.8982	0.0136	86				101				116			
72	0.2080	1.9760	0.0075	87				102				117			
73	0.2130	1.9658	0.0110	88				103				118			
74	0.2150	2.0285	0.0088	89				104				119			
75	0.2190	2.0140	0.0092	90				105				120			

ตารางที่ ๗-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.5:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4585	0.0025	16	0.0260	0.4951	0.0028	31	0.0660	0.6146	0.0052	46	0.1000	0.7598	0.0084
2	0.0010	0.4556	0.0025	17	0.0260	0.5027	0.0039	32	0.0670	0.6213	0.0057	47	0.1030	0.7686	0.0088
3	0.0010	0.4568	0.0032	18	0.0300	0.5118	0.0042	33	0.0680	0.6126	0.0078	48	0.1050	0.7696	0.0085
4	0.0010	0.4564	0.0030	19	0.0330	0.5120	0.0037	34	0.0720	0.6384	0.0065	49	0.1060	0.7903	0.0083
5	0.0050	0.4585	0.0033	20	0.0360	0.5254	0.0033	35	0.0750	0.6515	0.0092	50	0.1080	0.7901	0.0120
6	0.0060	0.4701	0.0076	21	0.0390	0.5197	0.0045	36	0.0760	0.6430	0.0098	51	0.1100	0.7958	0.0089
7	0.0080	0.4605	0.0026	22	0.0420	0.5389	0.0042	37	0.0800	0.6619	0.0067	52	0.1140	0.8319	0.0091
8	0.0090	0.4709	0.0031	23	0.0450	0.5372	0.0041	38	0.0830	0.6663	0.0067	53	0.1150	0.8166	0.0089
9	0.0110	0.4724	0.0039	24	0.0450	0.5428	0.0044	39	0.0830	0.6806	0.0083	54	0.1150	0.8253	0.0094
10	0.0110	0.4735	0.0038	25	0.0470	0.5561	0.0052	40	0.0840	0.6822	0.0069	55	0.1200	0.8582	0.0089
11	0.0130	0.4751	0.0034	26	0.0520	0.5652	0.0047	41	0.0890	0.7095	0.0075	56	0.1220	0.8618	0.0095
12	0.0160	0.4731	0.0036	27	0.0530	0.5638	0.0065	42	0.0910	0.7001	0.0067	57	0.1250	0.8855	0.0081
13	0.0180	0.4858	0.0031	28	0.0530	0.5757	0.0047	43	0.0930	0.7238	0.0080	58	0.1260	0.8736	0.0099
14	0.0200	0.4811	0.0027	29	0.0590	0.5939	0.0067	44	0.0970	0.7319	0.0084	59	0.1290	0.8927	0.0112
15	0.0240	0.4877	0.0030	30	0.0620	0.5942	0.0046	45	0.0970	0.7425	0.0076	60	0.1330	0.9127	0.0098

ตารางที่ ๗-5 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1330	0.9328	0.0109	76	0.1690	1.1518	0.0129	91	0.2020	1.3046	0.0151	106	0.2420	1.4320	0.0156
62	0.1370	0.9595	0.0094	77	0.1690	1.1263	0.0125	92	0.2020	1.3281	0.0147	107			
63	0.1380	0.9464	0.0115	78	0.1750	1.1881	0.0144	93	0.2060	1.3582	0.0130	108			
64	0.1390	0.9495	0.0112	79	0.1760	1.1565	0.0130	94	0.2070	1.3351	0.0134	109			
65	0.1420	0.9866	0.0117	80	0.1760	1.1637	0.0122	95	0.2110	1.3502	0.0175	110			
66	0.1440	0.9750	0.0130	81	0.1810	1.2218	0.0131	96	0.2130	1.3607	0.0129	111			
67	0.1490	0.9977	0.0119	82	0.1820	1.1924	0.0120	97	0.2140	1.3846	0.0150	112			
68	0.1490	1.0273	0.0122	83	0.1850	1.2464	0.0151	98	0.2180	1.3765	0.0174	113			
69	0.1510	1.0212	0.0116	84	0.1870	1.2216	0.0124	99	0.2180	1.3855	0.0181	114			
70	0.1570	1.0471	0.0124	85	0.1900	1.2729	0.0134	100	0.2230	1.4140	0.0171	115			
71	0.1580	1.0780	0.0126	86	0.1900	1.2385	0.0112	101	0.2240	1.3918	0.0140	116			
72	0.1590	1.0613	0.0114	87	0.1940	1.2641	0.0121	102	0.2260	1.4058	0.0129	117			
73	0.1630	1.0880	0.0093	88	0.1940	1.2629	0.0160	103	0.2310	1.4344	0.0144	118			
74	0.1650	1.1252	0.0121	89	0.1970	1.3063	0.0143	104	0.2320	1.4248	0.0176	119			
75	0.1670	1.1010	0.0131	90	0.2000	1.2991	0.0155	105	0.2330	1.4182	0.0167	120			

ตารางที่ ข-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.7:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4601	0.0035	16	0.0120	0.4733	0.0028	31	0.0440	0.5073	0.0033	46	0.0720	0.5721	0.0048
2	0.0000	0.4593	0.0026	17	0.0140	0.4648	0.0026	32	0.0470	0.5140	0.0034	47	0.0750	0.6056	0.0036
3	0.0010	0.4575	0.0029	18	0.0180	0.4822	0.0041	33	0.0480	0.5336	0.0035	48	0.0750	0.5803	0.0038
4	0.0010	0.4537	0.0029	19	0.0200	0.4717	0.0026	34	0.0480	0.5410	0.0040	49	0.0800	0.6304	0.0056
5	0.0030	0.4598	0.0029	20	0.0210	0.4796	0.0036	35	0.0520	0.5221	0.0037	50	0.0830	0.6306	0.0043
6	0.0030	0.4605	0.0030	21	0.0250	0.4926	0.0027	36	0.0530	0.5464	0.0033	51	0.0830	0.5994	0.0059
7	0.0030	0.4610	0.0024	22	0.0250	0.4784	0.0031	37	0.0530	0.5544	0.0048	52	0.0860	0.6500	0.0047
8	0.0030	0.4616	0.0033	23	0.0260	0.4926	0.0039	38	0.0540	0.5253	0.0031	53	0.0880	0.6146	0.0053
9	0.0040	0.4607	0.0030	24	0.0300	0.5020	0.0033	39	0.0560	0.5324	0.0040	54	0.0920	0.6656	0.0065
10	0.0050	0.4611	0.0033	25	0.0300	0.4850	0.0035	40	0.0580	0.5586	0.0038	55	0.0930	0.6326	0.0053
11	0.0060	0.4653	0.0034	26	0.0310	0.5041	0.0070	41	0.0600	0.5710	0.0044	56	0.0940	0.6777	0.0057
12	0.0070	0.4640	0.0030	27	0.0350	0.4936	0.0031	42	0.0650	0.5512	0.0043	57	0.0980	0.6459	0.0054
13	0.0070	0.4589	0.0033	28	0.0400	0.4998	0.0028	43	0.0660	0.5778	0.0037	58	0.0980	0.6743	0.0058
14	0.0100	0.4627	0.0027	29	0.0410	0.5186	0.0032	44	0.0690	0.5607	0.0032	59	0.1020	0.7052	0.0051
15	0.0110	0.4694	0.0026	30	0.0410	0.5258	0.0033	45	0.0700	0.6002	0.0046	60	0.1050	0.7080	0.0060

ตารางที่ ข-6 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.7:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1080	0.7286	0.0066	76	0.1460	0.8676	0.0075	91	0.1880	1.0529	0.0107	106	0.2270	1.1416	0.0146
62	0.1120	0.7303	0.0056	77	0.1510	0.9038	0.0099	92	0.1900	1.0480	0.0088	107	0.2320	1.1398	0.0113
63	0.1170	0.7601	0.0077	78	0.1510	0.8420	0.0078	93	0.1940	1.0749	0.0100	108	0.2330	1.1448	0.0120
64	0.1170	0.7935	0.0065	79	0.1570	0.9184	0.0068	94	0.1970	1.0733	0.0136	109	0.2360	1.1382	0.0102
65	0.1180	0.7163	0.0065	80	0.1570	0.8730	0.0089	95	0.1970	1.0320	0.0121	110	0.2370	1.1430	0.0135
66	0.1200	0.7598	0.0070	81	0.1580	0.9323	0.0078	96	0.1980	1.0906	0.0127	111	0.2410	1.1436	0.0112
67	0.1230	0.7341	0.0057	82	0.1640	0.9421	0.0092	97	0.2020	1.0513	0.0112	112	0.2440	1.1459	0.0122
68	0.1280	0.7930	0.0080	83	0.1680	0.9767	0.0078	98	0.2030	1.0977	0.0114	113	0.2490	1.1448	0.0118
69	0.1280	0.7552	0.0061	84	0.1690	0.9209	0.0085	99	0.2080	1.1165	0.0114	114	0.2270	1.1416	0.0146
70	0.1330	0.8215	0.0069	85	0.1750	0.9987	0.0105	100	0.2090	1.0767	0.0100	115	0.2320	1.1398	0.0113
71	0.1350	0.7750	0.0080	86	0.1760	0.9922	0.0103	101	0.2120	1.1312	0.0100	116	0.2330	1.1448	0.0120
72	0.1370	0.8430	0.0075	87	0.1770	0.9499	0.0075	102	0.2180	1.1321	0.0107	117			
73	0.1390	0.8379	0.0073	88	0.1820	1.0310	0.0120	103	0.2180	1.1372	0.0147	118			
74	0.1440	0.8726	0.0079	89	0.1820	0.9755	0.0093	104	0.2190	1.1101	0.0119	119			
75	0.1440	0.8141	0.0071	90	0.1840	1.0211	0.0094	105	0.2260	1.1401	0.0119	120			

ตารางที่ ๗-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 1.9:0.9

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4520	0.0033	16	0.0290	0.4649	0.0027	31	0.0770	0.5238	0.0035	46	0.1350	0.6317	0.0062
2	0.0000	0.4509	0.0032	17	0.0340	0.4744	0.0053	32	0.0830	0.5349	0.0040	47	0.1350	0.6359	0.0056
3	0.0010	0.4513	0.0037	18	0.0360	0.4733	0.0027	33	0.0860	0.5372	0.0056	48	0.1390	0.6509	0.0061
4	0.0070	0.4528	0.0029	19	0.0390	0.4747	0.0029	34	0.0880	0.5415	0.0045	49	0.1440	0.6561	0.0065
5	0.0090	0.4547	0.0025	20	0.0460	0.4836	0.0034	35	0.0920	0.5509	0.0049	50	0.1460	0.6597	0.0074
6	0.0110	0.4543	0.0030	21	0.0460	0.4791	0.0035	36	0.0970	0.5574	0.0099	51	0.1490	0.6773	0.0087
7	0.0120	0.4553	0.0034	22	0.0460	0.4826	0.0030	37	0.1010	0.5682	0.0044	52	0.1530	0.6808	0.0080
8	0.0120	0.4559	0.0032	23	0.0550	0.4950	0.0035	38	0.1040	0.5704	0.0049	53	0.1560	0.6819	0.0079
9	0.0130	0.4548	0.0025	24	0.0550	0.4918	0.0044	39	0.1090	0.5843	0.0052	54	0.1620	0.7058	0.0080
10	0.0140	0.4553	0.0031	25	0.0560	0.4940	0.0025	40	0.1110	0.5791	0.0059	55	0.1650	0.7070	0.0080
11	0.0150	0.4558	0.0030	26	0.0630	0.5010	0.0038	41	0.1150	0.5916	0.0051	56	0.1670	0.7090	0.0082
12	0.0190	0.4595	0.0028	27	0.0650	0.5076	0.0044	42	0.1180	0.6014	0.0055	57	0.1700	0.7203	0.0071
13	0.0220	0.4594	0.0032	28	0.0670	0.5068	0.0031	43	0.1240	0.6062	0.0055	58	0.1740	0.7359	0.0079
14	0.0230	0.4606	0.0030	29	0.0750	0.5242	0.0039	44	0.1260	0.6158	0.0060	59	0.1760	0.7309	0.0083
15	0.0280	0.4655	0.0023	30	0.0750	0.5186	0.0047	45	0.1280	0.6219	0.0072	60	0.1820	0.7502	0.0111

ตารางที่ ๗-7 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:0.9 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1830	0.7601	0.0120	76				91				106			
62	0.1850	0.7525	0.0102	77				92				107			
63	0.1960	0.7884	0.0096	78				93				108			
64	0.1980	0.7878	0.0107	79				94				109			
65	0.1990	0.7860	0.0081	80				95				110			
66	0.2050	0.8061	0.0118	81				96				111			
67	0.2050	0.8028	0.0112	82				97				112			
68	0.2100	0.8125	0.0099	83				98				113			
69	0.2160	0.8300	0.0108	84				99				114			
70	0.2180	0.8285	0.0108	85				100				115			
71	0.2240	0.8384	0.0110	86				101				116			
72	0.2250	0.8418	0.0087	87				102				117			
73	0.2260	0.8432	0.0119	88				103				118			
74	0.2330	0.8544	0.0110	89				104				119			
75	0.2350	0.8545	0.0108	90				105				120			

ตารางที่ ข-8 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O.N เท่ากับ 0.7:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4710	0.0033	16	0.0270	1.3228	0.0128	31	0.0560	3.3781	0.0145	46			
2	0.0000	0.4707	0.0028	17	0.0280	1.3301	0.0052	32	0.0580	3.9328	0.0128	47			
3	0.0000	0.4733	0.0030	18	0.0280	1.2198	0.0044	33	0.0600	3.8084	0.0081	48			
4	0.0110	0.5350	0.0027	19	0.0320	1.4083	0.0084	34	0.0640	4.2195	0.0135	49			
5	0.0120	0.5952	0.0034	20	0.0340	1.7089	0.0050	35	0.0650	4.5197	0.0222	50			
6	0.0130	0.5953	0.0026	21	0.0360	1.9049	0.0085	36	0.0660	4.2700	0.0675	51			
7	0.0140	0.7656	0.0042	22	0.0390	1.8346	0.0084	37	0.0710	5.1819	0.0109	52			
8	0.0150	0.6929	0.0035	23	0.0410	2.2713	0.0070	38	0.0720	5.0170	0.0211	53			
9	0.0170	0.8216	0.0237	24	0.0420	2.2115	0.0104	39	0.0760	5.2709	0.0041	54			
10	0.0170	0.7746	0.0043	25	0.0420	2.1442	0.0070	40				55			
11	0.0170	0.8989	0.0048	26	0.0470	2.4644	0.0053	41				56			
12	0.0210	1.0217	0.0106	27	0.0470	2.8246	0.0156	42				57			
13	0.0210	1.1078	0.0049	28	0.0480	2.7151	0.0195	43				58			
14	0.0220	0.9737	0.0042	29	0.0540	3.1722	0.0119	44				59			
15	0.0230	1.0071	0.0052	30	0.0540	3.4007	0.0107	45				60			

ตารางที่ ๗-9 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4628	0.0031	16	0.0310	0.8022	0.0051	31	0.0830	2.3094	0.0142	46	0.1340	4.5234	0.0314
2	0.0000	0.4604	0.0030	17	0.0360	0.9120	0.0068	32	0.0880	2.4935	0.0327	47	0.1370	4.7731	0.1574
3	0.0000	0.4611	0.0028	18	0.0370	0.9094	0.0121	33	0.0920	2.7034	0.1689	48	0.1390	4.8769	0.0943
4	0.0050	0.4866	0.0048	19	0.0390	0.9792	0.0486	34	0.0930	2.7237	0.0159	49	0.1440	5.0091	0.0443
5	0.0050	0.4809	0.0033	20	0.0440	1.1317	0.0451	35	0.1000	2.9873	0.0518	50	0.1480	5.2793	0.0045
6	0.0070	0.5012	0.0033	21	0.0450	1.1114	0.0081	36	0.1010	3.0701	0.0559	51	0.1510	5.2810	0.0039
7	0.0080	0.5104	0.0074	22	0.0490	1.2157	0.0511	37	0.1040	3.1943	0.0999	52			
8	0.0100	0.5480	0.0287	23	0.0550	1.3987	0.0573	38	0.1090	3.3687	0.0965	53			
9	0.0150	0.5926	0.0038	24	0.0570	1.4425	0.0089	39	0.1110	3.4427	0.0232	54			
10	0.0170	0.6084	0.0038	25	0.0570	1.4347	0.0673	40	0.1110	3.5459	0.2415	55			
11	0.0190	0.6607	0.0307	26	0.0640	1.6628	0.0119	41	0.1170	3.7080	0.0593	56			
12	0.0200	0.6364	0.0100	27	0.0670	1.7485	0.0573	42	0.1180	3.8095	0.0530	57			
13	0.0260	0.7376	0.0054	28	0.0720	1.9342	0.0419	43	0.1250	4.0846	0.0301	58			
14	0.0260	0.7137	0.0055	29	0.0720	1.9331	0.1177	44	0.1270	4.1976	0.0204	59			
15	0.0300	0.8033	0.0122	30	0.0760	2.0557	0.0119	45	0.1280	4.2790	0.0344	60			

ตารางที่ ข-10 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4574	0.0029	16	0.0290	0.5789	0.0034	31	0.0710	0.9866	0.0069	46	0.1140	1.6564	0.0164
2	0.0000	0.4571	0.0029	17	0.0300	0.5736	0.0031	32	0.0770	1.0757	0.0068	47	0.1190	1.7920	0.0183
3	0.0020	0.4568	0.0029	18	0.0320	0.5918	0.0035	33	0.0800	1.1272	0.0265	48	0.1190	1.8217	0.0568
4	0.0060	0.4634	0.0033	19	0.0340	0.6183	0.0066	34	0.0800	1.1424	0.0061	49	0.1210	1.8188	0.0350
5	0.0070	0.4626	0.0030	20	0.0350	0.6245	0.0052	35	0.0850	1.2084	0.0126	50	0.1320	2.0649	0.0311
6	0.0080	0.4708	0.0027	21	0.0420	0.6822	0.0043	36	0.0860	1.2237	0.0078	51	0.1320	2.0668	0.0632
7	0.0080	0.4739	0.0026	22	0.0430	0.7010	0.0094	37	0.0910	1.3087	0.0296	52	0.1350	2.0663	0.0156
8	0.0100	0.4724	0.0027	23	0.0460	0.7122	0.0047	38	0.0920	1.3337	0.0102	53	0.1420	2.2821	0.0468
9	0.0110	0.4931	0.0096	24	0.0500	0.7718	0.0252	39	0.0930	1.3274	0.0095	54	0.1450	2.2894	0.0173
10	0.0160	0.5057	0.0028	25	0.0510	0.7636	0.0054	40	0.0960	1.3755	0.0100	55	0.1450	2.3243	0.0362
11	0.0160	0.5142	0.0076	26	0.0560	0.8216	0.0057	41	0.1000	1.4601	0.0172	56	0.1540	2.5572	0.0726
12	0.0200	0.5185	0.0031	27	0.0590	0.8671	0.0087	42	0.1040	1.5026	0.0401	57	0.1550	2.5352	0.0573
13	0.0210	0.5268	0.0039	28	0.0600	0.8807	0.0052	43	0.1040	1.5212	0.0198	58	0.1560	2.5669	0.0466
14	0.0220	0.5328	0.0028	29	0.0670	0.9698	0.0242	44	0.1090	1.6068	0.0264	59	0.1630	2.7363	0.0165
15	0.0240	0.5407	0.0030	30	0.0680	0.9800	0.0066	45	0.1120	1.6683	0.0414	60	0.1670	2.8628	0.0791

ตารางที่ ข-10 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1710	2.8854	0.0129	76	0.2200	4.1291	0.0129	91	0.2680	5.2801	0.0033	106			
62	0.1740	2.9930	0.0386	77	0.2220	4.2121	0.0176	92				107			
63	0.1780	3.0989	0.0667	78	0.2220	4.2257	0.0414	93				108			
64	0.1800	3.1667	0.0649	79	0.2290	4.3950	0.0156	94				109			
65	0.1810	3.1731	0.0333	80	0.2300	4.3980	0.0176	95				110			
66	0.1900	3.3856	0.0491	81	0.2310	4.4780	0.0739	96				111			
67	0.1910	3.3830	0.0222	82	0.2330	4.5079	0.0248	97				112			
68	0.1920	3.4782	0.0734	83	0.2420	4.7746	0.0811	98				113			
69	0.1970	3.5556	0.0184	84	0.2430	4.7518	0.0194	99				114			
70	0.2010	3.6360	0.0173	85	0.2460	4.8001	0.0194	100				115			
71	0.2040	3.7662	0.0470	86	0.2540	5.0239	0.0138	101				116			
72	0.2080	3.8254	0.0120	87	0.2550	5.0454	0.0287	102				117			
73	0.2080	3.8214	0.0170	88	0.2570	5.1917	0.0870	103				118			
74	0.2120	3.9779	0.0662	89	0.2640	5.2446	0.0124	104				119			
75	0.2150	4.0319	0.0245	90	0.2670	5.2792	0.0036	105				120			

ตารางที่ ข-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4700	0.0034	16	0.0160	0.4989	0.0032	31	0.0310	0.5612	0.0030	46	0.0590	0.7421	0.0043
2	0.0010	0.4694	0.0029	17	0.0170	0.5233	0.0040	32	0.0330	0.5989	0.0032	47	0.0610	0.7895	0.0054
3	0.0010	0.4764	0.0037	18	0.0170	0.5002	0.0031	33	0.0360	0.6293	0.0108	48	0.0620	0.7690	0.0042
4	0.0060	0.4816	0.0033	19	0.0180	0.5029	0.0030	34	0.0380	0.5983	0.0033	49	0.0670	0.8401	0.0046
5	0.0060	0.4834	0.0029	20	0.0190	0.5299	0.0035	35	0.0380	0.6297	0.0036	50	0.0670	0.8103	0.0049
6	0.0070	0.4838	0.0035	21	0.0200	0.5344	0.0029	36	0.0410	0.6576	0.0187	51	0.0690	0.8642	0.0054
7	0.0070	0.4848	0.0034	22	0.0210	0.5159	0.0033	37	0.0410	0.6195	0.0030	52	0.0730	0.8958	0.0052
8	0.0070	0.4839	0.0031	23	0.0210	0.5359	0.0033	38	0.0460	0.6536	0.0035	53	0.0730	0.8584	0.0048
9	0.0070	0.4857	0.0027	24	0.0210	0.5387	0.0029	39	0.0470	0.6941	0.0031	54	0.0770	0.8980	0.0052
10	0.0100	0.5023	0.0057	25	0.0220	0.5408	0.0031	40	0.0490	0.6957	0.0042	55	0.0790	0.9509	0.0056
11	0.0120	0.4877	0.0030	26	0.0230	0.5490	0.0035	41	0.0490	0.6970	0.0034	56	0.0800	0.9757	0.0053
12	0.0140	0.4935	0.0030	27	0.0260	0.5650	0.0048	42	0.0510	0.6855	0.0041	57	0.0810	0.9381	0.0051
13	0.0140	0.5126	0.0038	28	0.0260	0.5407	0.0041	43	0.0540	0.7099	0.0035	58	0.0870	0.9897	0.0052
14	0.0150	0.5149	0.0025	29	0.0270	0.5647	0.0032	44	0.0560	0.7560	0.0061	59	0.0880	1.0329	0.0071
15	0.0160	0.4970	0.0027	30	0.0300	0.5856	0.0032	45	0.0580	0.7742	0.0036	60	0.0930	1.0881	0.0072

ตารางที่ ข-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.0950	1.0719	0.0062	76	0.1330	1.5339	0.0089	91	0.1710	2.0873	0.0092	106	0.2080	2.7664	0.0119
62	0.0950	1.1288	0.0068	77	0.1350	1.6270	0.0082	92	0.1720	2.1379	0.0099	107	0.2140	2.7958	0.0120
63	0.1000	1.1728	0.0049	78	0.1370	1.6240	0.0072	93	0.1760	2.1635	0.0165	108	0.2170	2.8566	0.0114
64	0.1010	1.1306	0.0073	79	0.1370	1.6995	0.0081	94	0.1780	2.2767	0.0102	109	0.2190	2.9605	0.0141
65	0.1020	1.2132	0.0077	80	0.1390	1.6208	0.0099	95	0.1830	2.2915	0.0257	110	0.2210	2.9111	0.0111
66	0.1080	1.2152	0.0059	81	0.1460	1.7199	0.0097	96	0.1870	2.3693	0.0109	111	0.2280	3.0780	0.0221
67	0.1080	1.2867	0.0076	82	0.1470	1.7925	0.0097	97	0.1870	2.3678	0.0088	112	0.2310	3.1571	0.0124
68	0.1090	1.2694	0.0225	83	0.1490	1.7746	0.0082	98	0.1880	2.4299	0.0125	113	0.2320	3.0727	0.0146
69	0.1140	1.2894	0.0084	84	0.1510	1.7878	0.0086	99	0.1890	2.3676	0.0109	114	0.2380	3.1741	0.0166
70	0.1160	1.3870	0.0065	85	0.1560	1.8527	0.0090	100	0.1940	2.4501	0.0130	115	0.2380	3.2628	0.0147
71	0.1180	1.3802	0.0090	86	0.1560	1.9331	0.0086	101	0.1950	2.4958	0.0167	116	0.2410	3.2772	0.0175
72	0.1230	1.3986	0.0070	87	0.1600	1.9479	0.0103	102	0.1970	2.5933	0.0120	117	0.2430	3.2737	0.0132
73	0.1230	1.4701	0.0095	88	0.1650	2.0316	0.0093	103	0.2010	2.5645	0.0125	118	0.2500	3.4541	0.0123
74	0.1280	1.4796	0.0091	89	0.1650	1.9866	0.0107	104	0.2040	2.6566	0.0120	119	0.2510	3.3939	0.0123
75	0.1300	1.5284	0.0071	90	0.1670	2.1040	0.0091	105	0.2070	2.6529	0.0120	120	0.2530	3.4642	0.0282

ตารางที่ ข-11 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2590	3.5079	0.0169	136				151				166			
122	0.2590	3.6021	0.0137	137				152				167			
123	0.2610	3.5830	0.0123	138				153				168			
124	0.2670	3.6377	0.0120	139				154				169			
125	0.2680	3.7241	0.0122	140				155				170			
126	0.2690	3.6882	0.0159	141				156				171			
127	0.2710	3.8021	0.0137	142				157				172			
128	0.2740	3.7353	0.0144	143				158				173			
129	0.2760	3.8033	0.0138	144				159				174			
130	0.2800	3.9185	0.0149	145				160				175			
131	0.2820	3.8581	0.0152	146				161				176			
132	0.2830	3.8972	0.0132	147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ข-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4675	0.0037	16	0.0210	0.5191	0.0040	31	0.0560	0.6704	0.0071	46	0.0880	0.8602	0.0118
2	0.0010	0.4690	0.0027	17	0.0260	0.5347	0.0042	32	0.0580	0.6788	0.0054	47	0.0900	0.8827	0.0093
3	0.0010	0.4693	0.0033	18	0.0280	0.5325	0.0039	33	0.0600	0.6977	0.0086	48	0.0900	0.8587	0.0104
4	0.0040	0.4731	0.0026	19	0.0310	0.5592	0.0040	34	0.0600	0.7027	0.0095	49	0.0930	0.9029	0.0105
5	0.0070	0.4785	0.0030	20	0.0320	0.5563	0.0041	35	0.0620	0.7034	0.0076	50	0.0950	0.9136	0.0157
6	0.0080	0.4852	0.0039	21	0.0330	0.5483	0.0042	36	0.0650	0.7291	0.0085	51	0.0970	0.9105	0.0121
7	0.0090	0.4899	0.0049	22	0.0370	0.5636	0.0054	37	0.0670	0.7226	0.0078	52	0.0990	0.9415	0.0107
8	0.0110	0.4915	0.0030	23	0.0370	0.5767	0.0057	38	0.0680	0.7415	0.0087	53	0.1010	0.9490	0.0111
9	0.0110	0.4873	0.0035	24	0.0390	0.5894	0.0045	39	0.0710	0.7396	0.0088	54	0.1010	0.9370	0.0098
10	0.0140	0.4977	0.0033	25	0.0410	0.5972	0.0056	40	0.0720	0.7622	0.0078	55	0.1050	0.9643	0.0106
11	0.0140	0.4990	0.0033	26	0.0440	0.5970	0.0058	41	0.0730	0.7751	0.0073	56	0.1060	0.9983	0.0118
12	0.0150	0.4989	0.0033	27	0.0440	0.6197	0.0063	42	0.0760	0.7729	0.0085	57	0.1060	0.9885	0.0142
13	0.0160	0.5019	0.0036	28	0.0490	0.6354	0.0060	43	0.0780	0.7990	0.0099	58	0.1080	1.0021	0.0138
14	0.0190	0.5154	0.0038	29	0.0510	0.6563	0.0058	44	0.0790	0.8163	0.0089	59	0.1130	1.0294	0.0142
15	0.0210	0.5152	0.0040	30	0.0530	0.6524	0.0072	45	0.0800	0.8000	0.0088	60	0.1140	1.0474	0.0116

ตารางที่ ข-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1160	1.0567	0.0142	76	0.1480	1.3333	0.0146	91	0.1820	1.6633	0.0209	106	0.2180	1.9949	0.0237
62	0.1200	1.0952	0.0151	77	0.1500	1.3362	0.0171	92	0.1830	1.6387	0.0216	107	0.2190	1.9904	0.0202
63	0.1210	1.1034	0.0125	78	0.1530	1.3687	0.0181	93	0.1840	1.6513	0.0206	108	0.2220	2.0492	0.0215
64	0.1250	1.1237	0.0122	79	0.1550	1.3908	0.0150	94	0.1870	1.7147	0.0218	109	0.2220	2.0185	0.0226
65	0.1270	1.1574	0.0176	80	0.1560	1.3966	0.0215	95	0.1920	1.7180	0.0193	110	0.2250	2.0571	0.0199
66	0.1280	1.1534	0.0170	81	0.1580	1.4155	0.0141	96	0.1930	1.7404	0.0193	111	0.2260	2.0853	0.0225
67	0.1320	1.1867	0.0193	82	0.1590	1.4393	0.0179	97	0.1940	1.7676	0.0177	112	0.2310	2.1041	0.0202
68	0.1330	1.2096	0.0175	83	0.1640	1.4924	0.0145	98	0.2000	1.8123	0.0275	113	0.2320	2.1181	0.0205
69	0.1340	1.1854	0.0143	84	0.1650	1.4690	0.0173	99	0.2030	1.8360	0.0233	114	0.2330	2.1520	0.0232
70	0.1360	1.2201	0.0153	85	0.1670	1.4986	0.0181	100	0.2050	1.8847	0.0211	115	0.2360	2.1564	0.0253
71	0.1370	1.2400	0.0165	86	0.1700	1.5445	0.0221	101	0.2080	1.8781	0.0191	116	0.2380	2.1978	0.0220
72	0.1410	1.2488	0.0149	87	0.1710	1.5277	0.0202	102	0.2100	1.9323	0.0233	117	0.2420	2.2417	0.0241
73	0.1420	1.2848	0.0163	88	0.1720	1.5491	0.0253	103	0.2110	1.9152	0.0221	118	0.2450	2.2642	0.0204
74	0.1450	1.3024	0.0162	89	0.1770	1.6108	0.0212	104	0.2150	1.9849	0.0252	119	0.2470	2.2612	0.0238
75	0.1460	1.3011	0.0139	90	0.1770	1.5849	0.0216	105	0.2150	1.9503	0.0258	120	0.2500	2.2881	0.0264

ตารางที่ ข-12 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2500	2.2870	0.0202	136				151				166			
122	0.2530	2.3247	0.0280	137				152				167			
123	0.2530	2.3209	0.0310	138				153				168			
124	0.2570	2.3689	0.0310	139				154				169			
125	0.2580	2.3741	0.0328	140				155				170			
126	0.2640	2.4377	0.0225	141				156				171			
127	0.2650	2.4188	0.0280	142				157				172			
128	0.2660	2.4299	0.0286	143				158				173			
129	0.2690	2.4753	0.0265	144				159				174			
130	0.2740	2.5097	0.0247	145				160				175			
131	0.2740	2.5030	0.0264	146				161				176			
132	0.2740	2.4958	0.0250	147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ข-13 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4684	0.0028	16	0.0320	0.5421	0.0034	31	0.0640	0.6722	0.0049	46	0.0910	0.7733	0.0079
2	0.0040	0.4720	0.0032	17	0.0350	0.5598	0.0041	32	0.0680	0.6713	0.0056	47	0.0940	0.8172	0.0082
3	0.0050	0.4773	0.0028	18	0.0360	0.5488	0.0038	33	0.0680	0.6882	0.0066	48	0.0950	0.7943	0.0077
4	0.0060	0.4835	0.0029	19	0.0410	0.5834	0.0041	34	0.0690	0.6683	0.0064	49	0.1000	0.8244	0.0079
5	0.0080	0.4794	0.0034	20	0.0420	0.5691	0.0039	35	0.0730	0.7096	0.0051	50	0.1030	0.8317	0.0081
6	0.0090	0.4842	0.0031	21	0.0430	0.5790	0.0045	36	0.0750	0.7039	0.0062	51	0.1070	0.8833	0.0105
7	0.0110	0.4860	0.0040	22	0.0450	0.5947	0.0051	37	0.0770	0.7265	0.0082	52	0.1080	0.8678	0.0087
8	0.0140	0.4950	0.0031	23	0.0490	0.5988	0.0045	38	0.0770	0.7070	0.0077	53	0.1090	0.8631	0.0095
9	0.0150	0.5017	0.0034	24	0.0490	0.6068	0.0046	39	0.0820	0.7315	0.0074	54	0.1110	0.9030	0.0109
10	0.0180	0.5090	0.0034	25	0.0510	0.6168	0.0048	40	0.0820	0.7482	0.0073	55	0.1150	0.9095	0.0085
11	0.0190	0.5043	0.0029	26	0.0520	0.6014	0.0046	41	0.0860	0.7703	0.0081	56	0.1150	0.8936	0.0111
12	0.0240	0.5297	0.0035	27	0.0550	0.6217	0.0052	42	0.0860	0.7462	0.0061	57	0.1160	0.9392	0.0094
13	0.0250	0.5238	0.0033	28	0.0580	0.6254	0.0041	43	0.0870	0.7778	0.0061	58	0.1210	0.9654	0.0121
14	0.0250	0.5219	0.0040	29	0.0610	0.6449	0.0055	44	0.0890	0.7665	0.0076	59	0.1210	0.9321	0.0102
15	0.0310	0.5476	0.0033	30	0.0610	0.6534	0.0061	45	0.0900	0.7897	0.0076	60	0.1220	0.9440	0.0100

ตารางที่ ข-13 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1250	0.9903	0.0101	76	0.1550	1.1826	0.0140	91	0.1930	1.4226	0.0160	106	0.2230	1.6632	0.0173
62	0.1260	0.9621	0.0092	77	0.1580	1.2044	0.0118	92	0.1930	1.4056	0.0187	107	0.2260	1.6404	0.0185
63	0.1280	0.9713	0.0094	78	0.1580	1.1611	0.0160	93	0.1940	1.4558	0.0137	108	0.2270	1.6509	0.0153
64	0.1280	1.0102	0.0126	79	0.1650	1.2219	0.0148	94	0.1970	1.4307	0.0152	109	0.2320	1.6819	0.0203
65	0.1320	1.0084	0.0101	80	0.1660	1.2575	0.0136	95	0.2000	1.5007	0.0168	110	0.2320	1.7131	0.0181
66	0.1320	0.9906	0.0129	81	0.1660	1.2131	0.0136	96	0.2020	1.4792	0.0180	111	0.2360	1.7518	0.0163
67	0.1340	1.0448	0.0120	82	0.1720	1.3024	0.0168	97	0.2050	1.4877	0.0145	112	0.2360	1.7016	0.0148
68	0.1400	1.0557	0.0144	83	0.1740	1.2785	0.0148	98	0.2060	1.5325	0.0161	113	0.2390	1.7339	0.0195
69	0.1400	1.0513	0.0112	84	0.1740	1.2769	0.0151	99	0.2100	1.5702	0.0168	114	0.2400	1.7249	0.0191
70	0.1420	1.0995	0.0110	85	0.1800	1.3540	0.0149	100	0.2110	1.5334	0.0199	115	0.2440	1.7991	0.0170
71	0.1450	1.0833	0.0147	86	0.1830	1.3400	0.0167	101	0.2120	1.5434	0.0193	116	0.2450	1.7663	0.0196
72	0.1480	1.1004	0.0127	87	0.1830	1.3353	0.0129	102	0.2130	1.5921	0.0172	117	0.2490	1.7899	0.0223
73	0.1490	1.1409	0.0147	88	0.1840	1.3845	0.0160	103	0.2180	1.6235	0.0189	118	0.2500	1.7977	0.0167
74	0.1520	1.1256	0.0150	89	0.1870	1.3691	0.0124	104	0.2180	1.5779	0.0145	119	0.2510	1.8407	0.0185
75	0.1550	1.1476	0.0128	90	0.1890	1.4200	0.0155	105	0.2200	1.6024	0.0143	120	0.2550	1.8659	0.0253

ตารางที่ ข-13 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.2560	1.8448	0.0173	136				151				166			
122	0.2600	1.8616	0.0194	137				152				167			
123	0.2610	1.8756	0.0177	138				153				168			
124	0.2630	1.9194	0.0165	139				154				169			
125	0.2690	1.9432	0.0189	140				155				170			
126	0.2700	1.9232	0.0218	141				156				171			
127	0.2710	1.9365	0.0246	142				157				172			
128				143				158				173			
129				144				159				174			
130				145				160				175			
131				146				161				176			
132				147				162				177			
133				148				163				178			
134				149				164				179			
135				150				165				180			

ตารางที่ ข-14 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.1

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0060	0.4665	0.0029	16	0.0610	0.5605	0.0047	31	0.1210	0.7261	0.0076	46	0.1650	0.8945	0.0142
2	0.0070	0.4660	0.0035	17	0.0620	0.5616	0.0046	32	0.1250	0.7482	0.0098	47	0.1660	0.8931	0.0131
3	0.0180	0.4807	0.0037	18	0.0670	0.5757	0.0047	33	0.1250	0.7449	0.0101	48	0.1690	0.9103	0.0165
4	0.0190	0.4839	0.0033	19	0.0710	0.5857	0.0065	34	0.1330	0.7739	0.0123	49	0.1700	0.9120	0.0141
5	0.0230	0.4919	0.0063	20	0.0750	0.5952	0.0049	35	0.1340	0.7789	0.0111	50	0.1770	0.9370	0.0162
6	0.0270	0.4939	0.0030	21	0.0800	0.6126	0.0116	36	0.1380	0.7883	0.0121	51	0.1810	0.9534	0.0170
7	0.0300	0.4988	0.0038	22	0.0860	0.6269	0.0061	37	0.1400	0.7967	0.0118	52	0.1840	0.9669	0.0130
8	0.0320	0.5017	0.0043	23	0.0920	0.6410	0.0061	38	0.1420	0.8066	0.0130	53	0.1870	0.9818	0.0126
9	0.0350	0.5084	0.0040	24	0.0960	0.6555	0.0102	39	0.1450	0.8147	0.0118	54	0.1890	0.9875	0.0141
10	0.0440	0.5287	0.0050	25	0.1010	0.6637	0.0075	40	0.1480	0.8288	0.0124	55	0.1950	1.0088	0.0194
11	0.0460	0.5298	0.0050	26	0.1050	0.6809	0.0096	41	0.1520	0.8411	0.0125	56	0.1960	1.0105	0.0165
12	0.0490	0.5327	0.0041	27	0.1060	0.6831	0.0078	42	0.1530	0.8470	0.0123	57	0.2010	1.0292	0.0165
13	0.0530	0.5445	0.0044	28	0.1090	0.6955	0.0099	43	0.1580	0.8636	0.0123	58	0.2050	1.0428	0.0155
14	0.0550	0.5474	0.0041	29	0.1130	0.7063	0.0088	44	0.1600	0.8710	0.0150	59	0.2070	1.0588	0.0145
15	0.0570	0.5504	0.0053	30	0.1140	0.7096	0.0076	45	0.1610	0.8792	0.0142	60	0.2120	1.0742	0.0180

ตารางที่ ข-14 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.1 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.2140	1.0832	0.0188	76	0.2600	1.2617	0.0218	91				106			
62	0.2180	1.1010	0.0171	77	0.2600	1.2548	0.0248	92				107			
63	0.2200	1.1060	0.0192	78				93				108			
64	0.2230	1.1233	0.0185	79				94				109			
65	0.2260	1.1322	0.0179	80				95				110			
66	0.2290	1.1455	0.0210	81				96				111			
67	0.2310	1.1518	0.0210	82				97				112			
68	0.2350	1.1707	0.0180	83				98				113			
69	0.2380	1.1820	0.0204	84				99				114			
70	0.2410	1.1867	0.0188	85				100				115			
71	0.2440	1.2036	0.0213	86				101				116			
72	0.2470	1.2153	0.0175	87				102				117			
73	0.2470	1.2085	0.0203	88				103				118			
74	0.2540	1.2405	0.0231	89				104				119			
75	0.2550	1.2395	0.0186	90				105				120			

ตารางที่ ข-15 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.7:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4629	0.0029	16	0.0460	2.0524	0.0214	31	0.0800	5.2829	0.0029	46			
2	0.0000	0.4690	0.0034	17	0.0460	1.9627	0.0227	32	0.0830	5.2839	0.0030	47			
3	0.0010	0.4666	0.0031	18	0.0520	2.5171	0.0171	33				48			
4	0.0060	0.4896	0.0033	19	0.0520	2.4261	0.0153	34				49			
5	0.0070	0.5023	0.0039	20	0.0540	2.7689	0.0109	35				50			
6	0.0110	0.5130	0.0033	21	0.0590	3.1216	0.0202	36				51			
7	0.0110	0.5184	0.0038	22	0.0600	3.2957	0.0157	37				52			
8	0.0180	0.6611	0.0037	23	0.0630	3.3975	0.0510	38				53			
9	0.0180	0.6430	0.0037	24	0.0650	3.6975	0.0109	39				54			
10	0.0250	0.8931	0.0036	25	0.0660	3.7010	0.1020	40				55			
11	0.0280	1.0817	0.0156	26	0.0660	3.7795	0.0074	41				56			
12	0.0310	1.2176	0.0058	27	0.0680	4.1106	0.0095	42				57			
13	0.0360	1.4248	0.0200	28	0.0690	4.1921	0.0316	43				58			
14	0.0400	1.6549	0.0229	29	0.0730	4.7050	0.0082	44				59			
15	0.0420	1.8125	0.0342	30	0.0790	5.2800	0.0037	45				60			

ตารางที่ ข-16 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4590	0.0026	16	0.0230	0.5546	0.0035	31	0.0550	0.9552	0.0054	46	0.0970	2.6209	0.0149
2	0.0010	0.4606	0.0033	17	0.0260	0.5377	0.0037	32	0.0550	1.0447	0.0163	47	0.1030	2.6213	0.0121
3	0.0010	0.4602	0.0030	18	0.0270	0.5956	0.0045	33	0.0570	1.1500	0.0111	48	0.1040	2.9444	0.0162
4	0.0030	0.4600	0.0029	19	0.0310	0.5882	0.0034	34	0.0570	1.1077	0.0073	49	0.1110	3.2567	0.0170
5	0.0060	0.4602	0.0033	20	0.0340	0.6245	0.0036	35	0.0590	1.0548	0.0084	50	0.1150	3.5391	0.0168
6	0.0060	0.4624	0.0025	21	0.0350	0.6842	0.0064	36	0.0610	1.1060	0.0078	51	0.1170	3.3232	0.0143
7	0.0070	0.4638	0.0033	22	0.0360	0.7282	0.0062	37	0.0640	1.3323	0.0090	52	0.1220	3.8890	0.0153
8	0.0090	0.4650	0.0023	23	0.0380	0.7260	0.0073	38	0.0670	1.4486	0.0110	53	0.1250	4.0476	0.0168
9	0.0100	0.4663	0.0034	24	0.0390	0.6850	0.0052	39	0.0700	1.3663	0.0098	54	0.1290	4.2708	0.0178
10	0.0120	0.4654	0.0033	25	0.0430	0.7446	0.0076	40	0.0770	1.5983	0.0098	55	0.1320	4.1747	0.0152
11	0.0130	0.4707	0.0031	26	0.0440	0.8082	0.0091	41	0.0770	1.7657	0.0095	56	0.1340	4.6064	0.0156
12	0.0140	0.4753	0.0034	27	0.0450	0.7606	0.0060	42	0.0810	1.9428	0.0106	57	0.1350	4.6595	0.0140
13	0.0160	0.4690	0.0040	28	0.0480	0.9263	0.0163	43	0.0840	1.8752	0.0139	58	0.1410	5.0233	0.0176
14	0.0200	0.5112	0.0037	29	0.0490	0.8196	0.0054	44	0.0880	2.2161	0.0114	59	0.1470	5.1235	0.0137
15	0.0220	0.5037	0.0035	30	0.0490	0.9163	0.0070	45	0.0960	2.5874	0.0136	60	0.1480	5.2861	0.0026

ตารางที่ ข-16 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 0.9:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1500	5.2851	0.0029	76				91				106			
62				77				92				107			
63				78				93				108			
64				79				94				109			
65				80				95				110			
66				81				96				111			
67				82				97				112			
68				83				98				113			
69				84				99				114			
70				85				100				115			
71				86				101				116			
72				87				102				117			
73				88				103				118			
74				89				104				119			
75				90				105				120			

ตารางที่ ข-17 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4570	0.0034	16	0.0250	0.5210	0.0044	31	0.0520	0.7673	0.0042	46	0.0950	1.3495	0.0057
2	0.0000	0.4570	0.0028	17	0.0250	0.5237	0.0034	32	0.0560	0.7579	0.0046	47	0.0950	1.4394	0.0066
3	0.0000	0.4611	0.0028	18	0.0270	0.5289	0.0040	33	0.0570	0.8296	0.0041	48	0.0970	1.5491	0.0075
4	0.0030	0.4597	0.0035	19	0.0280	0.5753	0.0071	34	0.0630	0.9105	0.0050	49	0.1000	1.4789	0.0142
5	0.0030	0.4622	0.0027	20	0.0290	0.5456	0.0034	35	0.0640	0.8591	0.0055	50	0.1040	1.5487	0.0067
6	0.0040	0.4570	0.0034	21	0.0320	0.6017	0.0044	36	0.0670	1.1093	0.0172	51	0.1050	1.7491	0.0083
7	0.0070	0.4765	0.0032	22	0.0330	0.5608	0.0037	37	0.0720	1.0405	0.0045	52	0.1080	1.7295	0.0079
8	0.0090	0.4628	0.0028	23	0.0370	0.6311	0.0322	38	0.0740	1.0042	0.0050	53	0.1090	1.7339	0.0171
9	0.0090	0.4716	0.0033	24	0.0370	0.6910	0.0043	39	0.0740	1.1241	0.0070	54	0.1130	1.7131	0.0083
10	0.0140	0.4945	0.0037	25	0.0380	0.5897	0.0045	40	0.0780	1.0641	0.0055	55	0.1130	1.9047	0.0071
11	0.0160	0.5163	0.0035	26	0.0380	0.6558	0.0042	41	0.0800	1.1742	0.0070	56	0.1140	1.8528	0.0085
12	0.0190	0.5163	0.0037	27	0.0440	0.6376	0.0052	42	0.0830	1.1578	0.0064	57	0.1210	2.0899	0.0099
13	0.0210	0.5033	0.0035	28	0.0460	0.6481	0.0043	43	0.0830	1.2765	0.0070	58	0.1230	1.9536	0.0074
14	0.0210	0.5373	0.0042	29	0.0500	0.6908	0.0044	44	0.0860	1.2922	0.0073	59	0.1280	2.1791	0.0112
15	0.0230	0.5321	0.0035	30	0.0510	0.7921	0.0033	45	0.0900	1.4141	0.0082	60	0.1290	2.3261	0.0090

ตารางที่ ข-17 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.1:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1300	2.1167	0.0099	76	0.1710	3.4355	0.0127	91	0.2140	4.8902	0.0141	106			
62	0.1330	2.3317	0.0095	77	0.1730	3.6054	0.0133	92	0.2150	4.7874	0.0159	107			
63	0.1360	2.2977	0.0164	78	0.1740	3.3894	0.0160	93	0.2180	5.1473	0.0135	108			
64	0.1380	2.5742	0.0105	79	0.1770	3.6184	0.0115	94	0.2220	5.1588	0.0134	109			
65	0.1400	2.4962	0.0114	80	0.1790	3.5669	0.0082	95	0.2230	5.0644	0.0107	110			
66	0.1450	2.5224	0.0098	81	0.1820	3.8889	0.0125	96	0.2260	5.2860	0.0030	111			
67	0.1470	2.7163	0.0118	82	0.1860	3.7596	0.0130	97	0.2300	5.2824	0.0042	112			
68	0.1470	2.8172	0.0117	83	0.1870	3.9327	0.0128	98	0.2300	5.2869	0.0026	113			
69	0.1510	2.6843	0.0094	84	0.1870	4.0845	0.0100	99				114			
70	0.1540	3.0255	0.0179	85	0.1950	4.0693	0.0137	100				115			
71	0.1550	2.9372	0.0102	86	0.1950	4.2104	0.0117	101				116			
72	0.1580	2.9002	0.0112	87	0.1980	4.4449	0.0123	102				117			
73	0.1620	3.1445	0.0104	88	0.2040	4.5400	0.0138	103				118			
74	0.1640	3.3131	0.0113	89	0.2050	4.4285	0.0138	104				119			
75	0.1680	3.2142	0.0126	90	0.2050	4.7007	0.0151	105				120			

ตารางที่ ข-18 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4583	0.0030	16	0.0320	0.5776	0.0030	31	0.0650	0.8608	0.0055	46	0.1000	1.3341	0.0157
2	0.0010	0.4585	0.0031	17	0.0330	0.6013	0.0034	32	0.0670	0.9091	0.0141	47	0.1040	1.3698	0.0089
3	0.0020	0.4592	0.0031	18	0.0350	0.5985	0.0035	33	0.0710	0.9216	0.0076	48	0.1050	1.3964	0.0075
4	0.0040	0.4646	0.0029	19	0.0380	0.6241	0.0059	34	0.0720	0.9366	0.0058	49	0.1090	1.4660	0.0097
5	0.0060	0.4658	0.0031	20	0.0410	0.6545	0.0053	35	0.0750	0.9896	0.0079	50	0.1090	1.4837	0.0198
6	0.0060	0.4736	0.0034	21	0.0440	0.6606	0.0044	36	0.0770	0.9957	0.0053	51	0.1120	1.5135	0.0109
7	0.0070	0.4703	0.0031	22	0.0460	0.6857	0.0042	37	0.0780	1.0362	0.0059	52	0.1160	1.5732	0.0094
8	0.0130	0.4991	0.0027	23	0.0480	0.6975	0.0041	38	0.0790	1.0201	0.0059	53	0.1210	1.6825	0.0119
9	0.0140	0.4962	0.0033	24	0.0500	0.7303	0.0044	39	0.0830	1.1038	0.0064	54	0.1220	1.6891	0.0180
10	0.0150	0.4975	0.0028	25	0.0520	0.7383	0.0048	40	0.0840	1.0806	0.0067	55	0.1230	1.6911	0.0192
11	0.0180	0.5174	0.0028	26	0.0540	0.7557	0.0043	41	0.0890	1.1673	0.0077	56	0.1280	1.8170	0.0126
12	0.0220	0.5259	0.0026	27	0.0560	0.7970	0.0042	42	0.0910	1.1846	0.0074	57	0.1290	1.7753	0.0112
13	0.0240	0.5327	0.0034	28	0.0610	0.8290	0.0054	43	0.0930	1.2459	0.0071	58	0.1300	1.8461	0.0224
14	0.0270	0.5641	0.0032	29	0.0610	0.8117	0.0050	44	0.0970	1.2744	0.0103	59	0.1320	1.8721	0.0126
15	0.0280	0.5572	0.0039	30	0.0630	0.8579	0.0052	45	0.0980	1.2902	0.0214	60	0.1350	1.9371	0.0117

ตารางที่ ข-18 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.3:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1390	1.9695	0.0136	76	0.1870	2.9773	0.0176	91	0.2240	3.7867	0.0172	106	0.2640	4.7350	0.0174
62	0.1410	2.0376	0.0131	77	0.1900	3.0490	0.0160	92	0.2240	3.8334	0.0168	107	0.2680	4.7948	0.0204
63	0.1430	2.0971	0.0112	78	0.1910	3.1275	0.0156	93	0.2310	3.9439	0.0206	108	0.2740	4.8983	0.0202
64	0.1500	2.2251	0.0124	79	0.1930	3.1199	0.0172	94	0.2320	4.0267	0.0141	109	0.2740	4.9530	0.0162
65	0.1530	2.2635	0.0124	80	0.1970	3.1892	0.0177	95	0.2330	3.9885	0.0140	110	0.2760	4.9509	0.0170
66	0.1560	2.3247	0.0172	81	0.1990	3.2682	0.0151	96	0.2400	4.1555	0.0213	111	0.280	5.089	0.023
67	0.1570	2.3608	0.0122	82	0.2000	3.2744	0.0138	97	0.2400	4.2157	0.0152	112	0.2840	5.0937	0.0187
68	0.1610	2.4452	0.0133	83	0.2050	3.4090	0.0142	98	0.2410	4.1601	0.0201	113	0.284	5.184	0.017
69	0.1640	2.4945	0.0153	84	0.2060	3.3977	0.0352	99	0.2470	4.3694	0.0180	114	0.2850	5.1425	0.0181
70	0.1640	2.5108	0.0106	85	0.2090	3.4490	0.0166	100	0.2480	4.3254	0.0177	115	0.289	5.219	0.014
71	0.1700	2.6357	0.0124	86	0.2110	3.5662	0.0172	101	0.2500	4.3857	0.0201	116	0.2920	5.2420	0.0072
72	0.1720	2.6588	0.0123	87	0.2160	3.6078	0.0297	102	0.2520	4.4745	0.0161	117	0.292	5.246	0.004
73	0.1770	2.7889	0.0132	88	0.2170	3.6066	0.0154	103	0.2540	4.4793	0.0198	118			
74	0.1790	2.7841	0.0118	89	0.2190	3.7473	0.0175	104	0.2590	4.6280	0.0170	119			
75	0.1810	2.8641	0.0351	90	0.2230	3.7795	0.0167	105	0.2620	4.6264	0.0181	120			

ตารางที่ ข-19 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4545	0.0031	16	0.0340	0.5518	0.0050	31	0.0750	0.7609	0.0068	46	0.1160	1.1626	0.0223
2	0.0000	0.4573	0.0027	17	0.0390	0.5691	0.0036	32	0.0810	0.7997	0.0091	47	0.1190	1.1635	0.0150
3	0.0010	0.4575	0.0034	18	0.0450	0.6005	0.0061	33	0.0840	0.8488	0.0098	48	0.1200	1.1452	0.0145
4	0.0040	0.4593	0.0030	19	0.0500	0.6167	0.0050	34	0.0840	0.8244	0.0102	49	0.1250	1.2077	0.0157
5	0.0040	0.4630	0.0028	20	0.0500	0.6139	0.0053	35	0.0890	0.8605	0.0106	50	0.1260	1.2666	0.0229
6	0.0060	0.4621	0.0025	21	0.0510	0.6133	0.0062	36	0.0910	0.9034	0.0106	51	0.1310	1.2883	0.0183
7	0.0100	0.4713	0.0044	22	0.0540	0.6329	0.0068	37	0.0920	0.9218	0.0100	52	0.1310	1.2624	0.0193
8	0.0100	0.4757	0.0034	23	0.0540	0.6508	0.0070	38	0.0940	0.9144	0.0100	53	0.1350	1.3113	0.0203
9	0.0120	0.4756	0.0031	24	0.0580	0.6664	0.0056	39	0.0990	0.9515	0.0116	54	0.1360	1.3888	0.0344
10	0.0180	0.4948	0.0071	25	0.0610	0.6652	0.0078	40	0.1010	0.9879	0.0108	55	0.1380	1.3402	0.0180
11	0.0180	0.4960	0.0037	26	0.0620	0.6950	0.0086	41	0.1030	0.9835	0.0116	56	0.1410	1.3959	0.0190
12	0.0250	0.5078	0.0038	27	0.0670	0.7070	0.0084	42	0.1070	1.0577	0.0133	57	0.1460	1.4327	0.0145
13	0.0260	0.5213	0.0039	28	0.0690	0.7375	0.0179	43	0.1080	1.0333	0.0127	58	0.1500	1.5321	0.0363
14	0.0270	0.5188	0.0037	29	0.0710	0.7321	0.0077	44	0.1110	1.0789	0.0139	59	0.1530	1.5197	0.0189
15	0.0320	0.5329	0.0041	30	0.0730	0.7828	0.0146	45	0.1150	1.0998	0.0121	60	0.1530	1.5712	0.0211

ตารางที่ ข-19 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1610	1.6174	0.0182	76	0.2020	2.1847	0.0257	91	0.2430	2.7617	0.0250	106	0.2890	3.4070	0.0362
62	0.1630	1.7101	0.0233	77	0.2050	2.2498	0.0219	92	0.244	2.690	0.031	107	0.292	3.357	0.029
63	0.1640	1.6554	0.0192	78	0.2060	2.1936	0.0255	93	0.2510	2.8895	0.0269	108	0.2930	3.4123	0.0250
64	0.1650	1.7028	0.0206	79	0.2110	2.3047	0.0259	94	0.252	2.825	0.023	109	0.297	3.417	0.026
65	0.1700	1.7386	0.0204	80	0.2130	2.3741	0.0346	95	0.2540	2.8923	0.0298	110	0.2980	3.5008	0.0322
66	0.1700	1.8119	0.0405	81	0.2140	2.3042	0.0220	96	0.2620	2.9906	0.0293	111	0.3040	3.5560	0.0264
67	0.1750	1.8367	0.0200	82	0.2180	2.3526	0.0202	97	0.263	2.963	0.028	112	0.306	3.536	0.036
68	0.1780	1.8393	0.0195	83	0.2220	2.4099	0.0249	98	0.2630	3.0616	0.0382	113	0.3110	3.6476	0.0305
69	0.1830	1.9277	0.0190	84	0.2230	2.4687	0.0229	99	0.2690	3.0834	0.0267	114	0.315	3.643	0.026
70	0.1860	1.9814	0.0280	85	0.2270	2.5494	0.0372	100	0.269	3.058	0.030	115	0.3180	3.7219	0.0311
71	0.1870	1.9450	0.0228	86	0.2300	2.5157	0.0259	101	0.275	3.132	0.025	116	0.3190	3.7763	0.0366
72	0.1900	2.0266	0.0321	87	0.2350	2.6354	0.0267	102	0.2780	3.2520	0.0373	117	0.321	3.710	0.031
73	0.1930	2.0179	0.0221	88	0.2360	2.6686	0.0225	103	0.2810	3.2577	0.0274	118	0.327	3.794	0.026
74	0.1950	2.0946	0.0220	89	0.2370	2.6162	0.0241	104	0.281	3.220	0.033	119	0.3280	3.8207	0.0298
75	0.1980	2.0880	0.0224	90	0.2420	2.7161	0.0256	105	0.289	3.315	0.033	120	0.3300	3.8929	0.0360

ตารางที่ ข-19 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.335	3.900	0.029	136	0.3790	4.3735	0.0305	151	0.425	4.619	0.034	166			
122	0.3390	3.9890	0.0279	137	0.381	4.346	0.032	152	0.431	4.630	0.021	167			
123	0.3400	3.9982	0.0310	138	0.385	4.375	0.035	153	0.434	4.626	0.032	168			
124	0.344	3.987	0.031	139	0.3880	4.4323	0.0293	154	0.440	4.619	0.033	169			
125	0.348	4.028	0.029	140	0.3900	4.4385	0.0348	155	0.448	4.631	0.034	170			
126	0.3490	4.0994	0.0380	141	0.3930	4.4741	0.0302	156				171			
127	0.354	4.101	0.035	142	0.398	4.468	0.030	157				172			
128	0.3550	4.1253	0.0328	143	0.4000	4.5050	0.0325	158				173			
129	0.3600	4.2065	0.0324	144	0.402	4.507	0.029	159				174			
130	0.364	4.195	0.027	145	0.402	4.529	0.034	160				175			
131	0.3660	4.2463	0.0304	146	0.412	4.579	0.031	161				176			
132	0.3710	4.2980	0.0285	147	0.412	4.557	0.028	162				177			
133	0.374	4.290	0.029	148	0.413	4.582	0.028	163				178			
134	0.376	4.302	0.029	149	0.422	4.594	0.032	164				179			
135	0.3770	4.3387	0.0295	150	0.424	4.609	0.030	165				180			

ตารางที่ ข-20 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0010	0.4527	0.0031	16	0.0340	0.5083	0.0030	31	0.0750	0.6499	0.0045	46	0.1190	0.9279	0.0123
2	0.0020	0.4526	0.0038	17	0.0360	0.5067	0.0031	32	0.0750	0.6798	0.0181	47	0.1230	0.9450	0.0091
3	0.0020	0.4509	0.0031	18	0.0390	0.5250	0.0031	33	0.0810	0.7014	0.0057	48	0.1250	0.9527	0.0114
4	0.0030	0.4548	0.0030	19	0.0440	0.5357	0.0036	34	0.0810	0.6848	0.0057	49	0.1280	0.9867	0.0108
5	0.0060	0.4535	0.0024	20	0.0440	0.5307	0.0043	35	0.0880	0.7556	0.0233	50	0.1290	1.0061	0.0177
6	0.0080	0.4580	0.0025	21	0.0500	0.5601	0.0037	36	0.0890	0.7395	0.0067	51	0.1310	1.0049	0.0102
7	0.0130	0.4671	0.0028	22	0.0510	0.5563	0.0075	37	0.0920	0.7437	0.0067	52	0.1340	1.0336	0.0127
8	0.0140	0.4642	0.0037	23	0.0520	0.5691	0.0043	38	0.0960	0.7797	0.0093	53	0.1390	1.0619	0.0106
9	0.0190	0.4768	0.0051	24	0.0600	0.5856	0.0038	39	0.0990	0.7840	0.0079	54	0.1390	1.0761	0.0162
10	0.0190	0.4725	0.0038	25	0.0610	0.6118	0.0111	40	0.1030	0.8213	0.0107	55	0.1420	1.0875	0.0117
11	0.0220	0.4804	0.0026	26	0.0620	0.6094	0.0049	41	0.1030	0.8328	0.0217	56	0.1460	1.1495	0.0159
12	0.0260	0.4838	0.0036	27	0.0640	0.6044	0.0051	42	0.1050	0.8215	0.0105	57	0.1470	1.1375	0.0238
13	0.0290	0.4937	0.0032	28	0.0680	0.6315	0.0057	43	0.1100	0.8517	0.0075	58	0.1500	1.1522	0.0113
14	0.0290	0.4979	0.0036	29	0.0690	0.6295	0.0076	44	0.1130	0.8834	0.0076	59	0.1550	1.1911	0.0171
15	0.0310	0.4962	0.0034	30	0.0740	0.6606	0.0057	45	0.1170	0.9010	0.0098	60	0.1580	1.2246	0.0138

ตารางที่ ข-20 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1620	1.2686	0.0125	76	0.1970	1.5755	0.0177	91	0.2440	1.9952	0.0221	106	0.2870	2.3872	0.0235
62	0.1630	1.2651	0.0143	77	0.2050	1.6159	0.0218	92	0.2450	2.0140	0.0236	107	0.288	2.374	0.028
63	0.1640	1.2576	0.0154	78	0.2060	1.6292	0.0189	93	0.2500	2.0366	0.0268	108	0.292	2.415	0.027
64	0.1690	1.3056	0.0164	79	0.2080	1.6737	0.0150	94	0.2540	2.1063	0.0332	109	0.2930	2.4463	0.0229
65	0.1690	1.3031	0.0164	80	0.2100	1.6601	0.0193	95	0.2550	2.1045	0.0260	110	0.298	2.458	0.026
66	0.1740	1.3463	0.0153	81	0.2130	1.7032	0.0224	96	0.2560	2.0987	0.0242	111	0.2980	2.4871	0.0268
67	0.1740	1.3700	0.0138	82	0.2180	1.7540	0.0169	97	0.2650	2.1955	0.0206	112	0.302	2.532	0.030
68	0.1750	1.3729	0.0157	83	0.2220	1.8126	0.0214	98	0.2680	2.2217	0.0254	113	0.303	2.507	0.023
69	0.1830	1.4315	0.0186	84	0.2260	1.8176	0.0229	99	0.2710	2.2407	0.0198	114	0.309	2.568	0.022
70	0.1830	1.4281	0.0154	85	0.2280	1.8292	0.0183	100	0.2730	2.2416	0.0197	115	0.3110	2.5918	0.0262
71	0.1840	1.4615	0.0175	86	0.2330	1.9055	0.0254	101	0.2750	2.2720	0.0222	116	0.312	2.590	0.025
72	0.1870	1.4675	0.0213	87	0.2340	1.8936	0.0172	102	0.2770	2.2935	0.0281	117	0.317	2.638	0.028
73	0.1910	1.5048	0.0199	88	0.2340	1.8922	0.0229	103	0.2770	2.3046	0.0291	118	0.3180	2.6535	0.0219
74	0.1960	1.5504	0.0257	89	0.2370	1.9273	0.0216	104	0.2790	2.3068	0.0211	119	0.320	2.654	0.032
75	0.1960	1.5451	0.0183	90	0.2430	1.9721	0.0268	105	0.2850	2.3579	0.0214	120	0.327	2.708	0.021

ตารางที่ ข-20 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.7:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.3280	2.7315	0.0311	136	0.368	3.005	0.032	151	0.411	3.226	0.031	166	0.449	3.283	0.0272
122	0.329	2.732	0.033	137	0.3700	3.0134	0.0289	152	0.411	3.229	0.030	167			
123	0.3340	2.7801	0.0269	138	0.373	3.034	0.019	153	0.416	3.244	0.026	168			
124	0.339	2.796	0.029	139	0.3760	3.0713	0.0255	154	0.417	3.238	0.032	169			
125	0.340	2.814	0.023	140	0.378	3.073	0.028	155	0.420	3.253	0.028	170			
126	0.3430	2.8454	0.0246	141	0.382	3.089	0.030	156	0.427	3.264	0.033	171			
127	0.344	2.845	0.028	142	0.388	3.142	0.023	157	0.429	3.259	0.027	172			
128	0.348	2.865	0.025	143	0.3880	3.1237	0.0327	158	0.430	3.268	0.032	173			
129	0.350	2.892	0.027	144	0.390	3.136	0.031	159	0.430	3.258	0.028	174			
130	0.3520	2.9330	0.0284	145	0.396	3.176	0.029	160	0.433	3.249	0.025	175			
131	0.356	2.924	0.034	146	0.398	3.181	0.033	161	0.439	3.265	0.032	176			
132	0.357	2.939	0.026	147	0.3980	3.1726	0.0284	162	0.440	3.269	0.024	177			
133	0.358	2.938	0.029	148	0.405	3.210	0.027	163	0.443	3.278	0.034	178			
134	0.3610	2.9718	0.0271	149	0.4060	3.2072	0.0263	164	0.446	3.273	0.025	179			
135	0.367	3.012	0.032	150	0.408	3.209	0.028	165	0.411	3.226	0.031	180			

ตารางที่ ข-21 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.3

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
1	0.0000	0.4496	0.0033	16	0.0250	0.4691	0.0033	31	0.0550	0.5153	0.0042	46	0.0960	0.6252	0.0066
2	0.0010	0.4508	0.0028	17	0.0250	0.4692	0.0038	32	0.0550	0.5173	0.0039	47	0.1010	0.6454	0.0075
3	0.0020	0.4495	0.0030	18	0.0270	0.4700	0.0029	33	0.0620	0.5296	0.0045	48	0.1060	0.6599	0.0086
4	0.0040	0.4521	0.0028	19	0.0280	0.4716	0.0029	34	0.0650	0.5408	0.0047	49	0.1060	0.6627	0.0081
5	0.0050	0.4513	0.0024	20	0.0310	0.4751	0.0031	35	0.0660	0.5410	0.0047	50	0.1070	0.6644	0.0067
6	0.0050	0.4514	0.0042	21	0.0340	0.4785	0.0039	36	0.0690	0.5471	0.0039	51	0.1110	0.6796	0.0075
7	0.0060	0.4531	0.0029	22	0.0380	0.4839	0.0029	37	0.0710	0.5549	0.0044	52	0.1130	0.6874	0.0091
8	0.0070	0.4526	0.0025	23	0.0400	0.4892	0.0029	38	0.0760	0.5649	0.0048	53	0.1150	0.6992	0.0072
9	0.0070	0.4541	0.0031	24	0.0420	0.4920	0.0034	39	0.0760	0.5674	0.0053	54	0.1180	0.7075	0.0093
10	0.0070	0.4524	0.0031	25	0.0430	0.4925	0.0030	40	0.0790	0.5767	0.0053	55	0.1200	0.7139	0.0075
11	0.0090	0.4531	0.0030	26	0.0450	0.4970	0.0036	41	0.0840	0.5903	0.0057	56	0.1230	0.7289	0.0100
12	0.0150	0.4586	0.0030	27	0.0470	0.5017	0.0054	42	0.0860	0.5983	0.0082	57	0.1240	0.7294	0.0098
13	0.0160	0.4599	0.0032	28	0.0500	0.5035	0.0034	43	0.0890	0.6035	0.0058	58	0.1260	0.7367	0.0084
14	0.0200	0.4630	0.0030	29	0.0510	0.5066	0.0038	44	0.0930	0.6155	0.0062	59	0.1310	0.7642	0.0115
15	0.0210	0.4644	0.0036	30	0.0540	0.5132	0.0027	45	0.0950	0.6324	0.0134	60	0.1330	0.7702	0.0101

ตารางที่ ข-21 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
61	0.1350	0.7777	0.0120	76	0.1720	0.9569	0.0150	91	0.2070	1.1301	0.0192	106	0.242	1.317	0.020
62	0.1390	0.7922	0.0116	77	0.1740	0.9636	0.0128	92	0.2080	1.1408	0.0168	107	0.2440	1.3309	0.0213
63	0.1410	0.8019	0.0125	78	0.1780	0.9791	0.0160	93	0.2100	1.1529	0.0188	108	0.2500	1.3621	0.0264
64	0.1440	0.8182	0.0113	79	0.1820	1.0052	0.0157	94	0.2110	1.1519	0.0170	109	0.2520	1.3797	0.0229
65	0.1450	0.8202	0.0099	80	0.1830	1.0096	0.0165	95	0.2160	1.1873	0.0159	110	0.253	1.388	0.023
66	0.1470	0.8271	0.0148	81	0.1840	1.0104	0.0143	96	0.2170	1.1783	0.0206	111	0.2570	1.3961	0.0245
67	0.1510	0.8511	0.0102	82	0.1870	1.0323	0.0190	97	0.2180	1.1838	0.0218	112	0.259	1.409	0.022
68	0.1530	0.8619	0.0139	83	0.1880	1.0309	0.0160	98	0.2210	1.2076	0.0177	113	0.2630	1.4286	0.0195
69	0.1540	0.8567	0.0123	84	0.1910	1.0550	0.0194	99	0.2250	1.2219	0.0187	114	0.2630	1.4491	0.0240
70	0.1580	0.8914	0.0144	85	0.1930	1.0605	0.0167	100	0.2250	1.2377	0.0245	115	0.264	1.447	0.022
71	0.1580	0.9165	0.0126	86	0.1940	1.0635	0.0158	101	0.2310	1.2565	0.0186	116	0.2680	1.4707	0.0235
72	0.1590	0.8889	0.0129	87	0.1980	1.0831	0.0199	102	0.2320	1.2655	0.0196	117	0.270	1.456	0.028
73	0.1620	0.9115	0.0140	88	0.2000	1.0958	0.0182	103	0.236	1.280	0.020	118	0.2730	1.4844	0.0262
74	0.1660	0.9171	0.0141	89	0.2010	1.0971	0.0143	104	0.2390	1.3015	0.0188	119	0.2740	1.5079	0.0242
75	0.1720	0.9459	0.0151	90	0.2040	1.1085	0.0168	105	0.2390	1.2976	0.0203	120	0.276	1.480	0.027

ตารางที่ ข-21 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.9:1.3 (ต่อ)

No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)	No.	P _{diff} (Volte)	s (mm)	sd (mm)
121	0.277	1.504	0.024	136	0.319	1.703	0.027	151	0.356	1.899	0.033	166	0.404	2.062	0.036
122	0.280	1.510	0.025	137	0.3210	1.7329	0.0272	152	0.357	1.865	0.031	167	0.408	2.048	0.035
123	0.2840	1.5585	0.0253	138	0.324	1.745	0.029	153	0.361	1.911	0.025	168	0.410	2.077	0.028
124	0.286	1.538	0.025	139	0.325	1.734	0.031	154	0.363	1.892	0.032	169	0.414	2.054	0.029
125	0.290	1.562	0.026	140	0.330	1.759	0.029	155	0.364	1.928	0.028	170	0.415	2.083	0.035
126	0.2910	1.5874	0.0302	141	0.332	1.776	0.031	156	0.373	1.947	0.031	171	0.418	2.058	0.036
127	0.293	1.590	0.029	142	0.3330	1.7827	0.0280	157	0.375	1.953	0.031	172	0.420	2.089	0.033
128	0.297	1.598	0.028	143	0.337	1.807	0.033	158	0.376	1.969	0.027	173	0.421	2.062	0.033
129	0.299	1.622	0.023	144	0.338	1.789	0.028	159	0.383	1.968	0.034	174	0.427	2.099	0.039
130	0.3020	1.6313	0.0256	145	0.3390	1.8057	0.0284	160	0.389	2.004	0.032	175	0.428	2.067	0.031
131	0.303	1.628	0.029	146	0.346	1.845	0.027	161	0.389	2.018	0.034	176	0.428	2.102	0.033
132	0.304	1.648	0.024	147	0.348	1.849	0.028	162	0.391	2.024	0.026	177	0.437	2.084	0.033
133	0.311	1.668	0.025	148	0.349	1.842	0.032	163	0.394	2.032	0.036	178	0.438	2.106	0.031
134	0.3120	1.6797	0.0270	149	0.355	1.853	0.027	164	0.399	2.011	0.033	179	0.441	2.116	0.029
135	0.313	1.685	0.030	150	0.355	1.890	0.027	165	0.403	2.054	0.035	180	0.445	2.112	0.040