

ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดรู Orifice และ Nozzle ต่อคุณบัติการวัดของแอร์เกจ

Effect Diameter of Orifice and Nozzle to Measuring Characteristic of Air Gauge

อุเทศก์ ดั่งบุตรศรี¹, วราคม เนติน้อย²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 *

²สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

ติดต่อ: E-mail : sniper_lek@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : 089-8140046, เบอร์โทรสาร : -

บทคัดย่อ

แอร์เกจ (Air Gauge) เป็นอุปกรณ์วัดระยะที่อาศัยการไหลของอากาศ โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของอากาศที่ตกคร่อมแผ่น Orifice กับระยะทางระหว่างปลายหัว Nozzle กับผิวชิ้นงาน จะแปรเปลี่ยนไปตามกัน แอร์เกจเป็นเครื่องมือวัดที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน โดยต้องออกแบบให้หัววัดมี Nozzle สองหัว และอยู่ตรงข้ามกัน ด้วยโครงสร้างนี้อากาศที่ไหลออกจากหัว Nozzle จะทำให้เกิดแรงดันอากาศ ซึ่งส่งผลให้แนวการวัดของเครื่องมือกับระยะที่ต้องการวัดอยู่ในแนวเดียวกันโดยธรรมชาติ และทำให้การวัดมีเสถียรภาพที่ดีมาก นอกจากนั้นยังสามารถให้ความละเอียดในการวัด (Resolution) ที่ดีในระดับไมโครเมตร แต่ในการออกแบบแอร์เกจ ให้มีช่วงระยะการวัด (Range) และได้ความละเอียดในการวัดตามต้องการนั้น มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการนี้ เช่นแรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด, ขนาดรู Orifice และ ขนาดรู Nozzle ในการศึกษาในครั้งนี้ใช้แรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด 5 bar โดยใช้ขนาดรูของ Orifice และ Nozzle ระหว่าง 0.5 – 1.5 mm นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงตัวแปรของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการแปลงสัญญาณความดันอากาศ ไปเป็นข้อมูลสำหรับคอมพิวเตอร์ ในการทดลองครั้งนี้สามารถได้ช่วงระยะการวัดที่กว้างที่สุดถึง 350 μm และสามารถมีความละเอียดดีที่สุดที่ 5 μm เมื่อใช้ A/D แบบ 12 bits

คำหลัก: แอร์เกจ, Orifices, Nozzle

TSF-282

1. บทนำ

สภาวะอุตสาหกรรมโลกในปัจจุบันมีการแข่งขันสูงขึ้น ทั้งในเรื่องราคา และคุณภาพ สำหรับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ของไทย จึงจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถแข่งขันได้ ไม่เพียงแต่ภายในประเทศ หรือระดับอาเซียน แต่จำเป็นต้องแข่งขันในระดับโลก ประเทศไทยซึ่งมีข้อได้เปรียบประเทศที่พัฒนาแล้ว ในด้านต้นทุนค่าแรงที่ถูกกว่า และยังมีรายได้เปรียบเรื่องฝีมือแรงงานที่มีคุณภาพกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา และด้อยพัฒนา การยกระดับด้านคุณภาพของชิ้นส่วน ก็เป็นจุดหมายหลักในการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ของไทย หนึ่งในปัจจัยที่ทำให้คุณภาพสินค้าได้รับการยอมรับคือการที่ต้องมีระบบจัดการด้านคุณภาพที่เหมาะสม (Quality Management System) และกิจกรรมหลักในการจัดการคุณภาพ คือการที่ต้องมีการตรวจสอบ/วัด (Inspection) ชิ้นงานในกระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้การตรวจสอบที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ เครื่องมือวัดที่ดีเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการตรวจสอบ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และจากแนวโน้มความต้องการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องมือวัดที่ใช้ในตรวจสอบคุณภาพย่อมต้องมีความถูกต้อง และความละเอียด (resolution) สูงขึ้นตามไปด้วย

Air Gauge เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับการยอมรับ และถูกใช้ในการวัดชิ้นส่วนอุตสาหกรรมมานาน โดยเฉพาะการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน เนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้งานง่าย มีความละเอียดในการวัดสูง และมีความถูกต้อง (accuracy) ก่อนข้างสูง รวมทั้งเป็นเครื่องมือวัดที่ไม่ต้องสัมผัสชิ้นงาน ทำให้เป็นที่นิยมในการวัดชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุอ่อน และไม่ต้องการให้เกิดรอยขีดข่วนที่ผิวชิ้นงาน แต่ในอุตสาหกรรมไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) กลับยังไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นชุดเครื่องมือวัดที่ราคาค่อนข้างสูง

ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเป็นชุดเครื่องมือที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และนอกจากนี้ Air Gauge ที่ผลิตภายในประเทศยังมีช่วงระยะการวัดที่จำกัด นั้นแสดงว่าโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่มีชิ้นส่วนอุตสาหกรรมหลากหลาย และความต้องการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลายขนาดจะต้องมี Air Gauge หลายตัวเพื่อให้สามารถรองรับการตรวจวัดได้ทุกขนาดของชิ้นงานที่ทำการผลิต ส่งผลให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย และส่งผลต่อไปถึงผู้บริโภคสินค้าสำเร็จรูปที่จะต้องซื้อสินค้าชิ้นนั้นๆ ในราคาที่สูงตามไปด้วย

ในปัจจุบัน Air Gauge เริ่มเป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมมากขึ้นแต่องค์ความรู้ต่างๆ ยังไม่มากนัก เช่น ปี ค.ศ. 2009 Miroslaw Rucki ได้นำเสนอเรื่อง "Reduction of Uncertainty in Air Gauge Adjustment Process" กล่าวถึงปัญหาของค่าความไม่แน่นอนในการ adjustment ซึ่งเกิดจากความผันผวนของความดันที่ Nozzle (P_N) ซึ่งเขามีการใช้ Piezoresistive sensor ในการรับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงความดัน P_N เพราะเป็น sensor ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน (วัดค่าได้อย่างรวดเร็ว) ทำให้เห็นว่าที่ระยะการกระจัด (s) ใดๆ จะเกิดความผันผวนของค่า P_N ดังนั้นการวัดของแอร์เกจจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าความไม่แน่นอน และปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนคือค่า อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice (O) และ Nozzle (N)

Miroslaw Ruckia , Branimir Barisicb and Gyula Vargac (6 กรกฎาคม 2552) ได้ทำการศึกษาเรื่อง "Air gauge as a part of the dimensional inspection system" โดยได้ศึกษาวิจัยถึงระบบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Air Gauge ที่มีการเปลี่ยนแปลง sensor จากเดิมเป็น piezoresistive sensor ซึ่งมีความไวในการรับสัญญาณนิวเมติก ดังนั้นระบบรับสัญญาณดิจิทัลจึงเป็นปัจจัยในการทำให้การวัดด้วย Air gauge นี้ประสบผลสำเร็จซึ่งได้มีการสร้าง PNEUTRONIK ขึ้นสำเร็จ โดยสามารถ

TSF-282

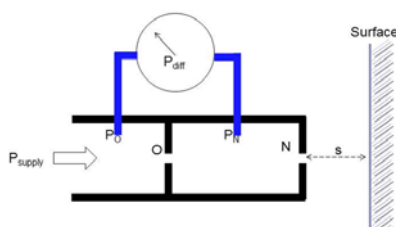
ตอบสนองการเปลี่ยนแปลง P_k ที่มีความผันผวน (สามารถวิเคราะห์ค่า P_k) ทั้งยังประมวลในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว

Czeslaw Janusz Jermak ^a, Branimir Barisic ^b, Miroslaw Rucki ^a (5 มิถุนายน 2553) มีการศึกษาถึงรูปร่างลักษณะของ measuring nozzle head surface ที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวยจะช่วยเพิ่มช่วงการวัดที่เป็นเชิงเส้น (linearity) โดยขนาด measuring nozzle มีขนาดรูปร่างที่จะทำให้เกิดความเป็นเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ช่วงระยะการวัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางให้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อหาพารามิเตอร์อื่นที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัดได้เพิ่มขึ้นอีก

ในรายงานการศึกษานี้ มีความต้องการศึกษาถึงข้อมูลพื้นฐานที่ส่งผลให้ Air gauge มีช่วงระยะการวัดที่กว้าง โดยในการศึกษานี้จะศึกษาถึงช่วงระยะวัดของ Air gauge เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูของ Orifice (O) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูของ Nozzle (N) เพื่อหาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

2. หลักการทำงานของแอร์เกจ

แอร์เกจเป็นเครื่องมือวัดระยะ (Distance : s) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของความแตกต่างของแรงดันอากาศ (P_{diff}) กับระยะ(s) ต่างๆ ดังรูป

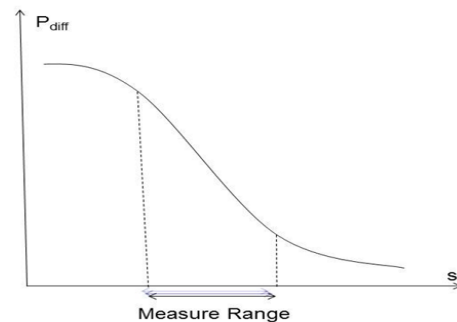


รูปที่ 2-1 หลักการทำงานของแอร์เกจ

เมื่อมีจ่ายแรงดันอากาศ (P_{supply}) ให้กับชุด Air gauge อากาศจะไหลผ่าน Orifice (O) และ Nozzle (N) การไหลของอากาศจะทำให้แรงดันที่ P_O

และ P_N ค่าแรงดันที่ความแตกต่าง (P_{diff}) นี้จะแปรผันไปกับค่าระยะทางระหว่างปลายหัว Nozzle กับผิวชิ้นงาน(s)

พฤติกรรมของ ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{diff} และ s แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปช่วงระยะการวัดค่าระยะทาง จะถูกกำหนดโดยใช้เส้นกราฟช่วงที่เป็นเส้นตรง(Linear)

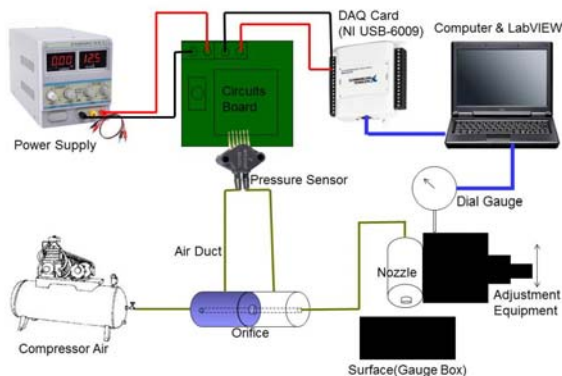


รูปที่ 2-2 ลักษณะความสัมพันธ์ของระยะทางการวัดกับความแตกต่างของความดันของแอร์เกจ

3. วิธีทำการทดลอง

การวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice และ Nozzle ที่จะทำให้เครื่องมือวัด Air Gauge มีช่วงระยะวัดที่กว้างที่สุดและความละเอียด (resolution) สูง โดยมีการกำหนดลักษณะรู Orifice และ Nozzle เป็นรูปทรงกระบอก ความลึก 2 มิลลิเมตร อากาศที่ความดัน 5 Bar ถูกจ่ายจากชุด Air-Compressor และอากาศจะถูกส่งผ่านไปยัง Orifice และ Nozzle แล้วออกสู่บรรยากาศ การวัดแรงดันอากาศ (P_{diff}) ตกคร่อมแผ่น Orifice O (รูปที่ 2.1) ทำโดย Pressure Sensors (DPX2050) และแปลงค่าแรงดันเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย DAQ Card (NI USB-6009) ขนาด 12 bit และนำค่าที่วัดได้ไปเก็บและประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรมจะทำการเก็บค่าทุกๆ 10 มิลลิวินาที จำนวน 50 ครั้ง และคำนวณหาค่าเฉลี่ยพร้อมบันทึกค่า

TSF-282



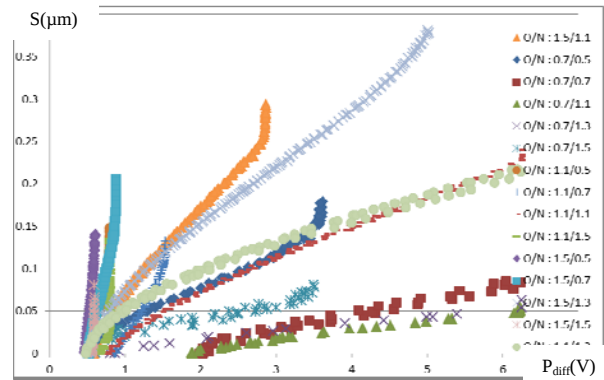
รูปที่ 3-3 รายละเอียดชุดทดลอง

วิธีการเริ่มต้นติดตั้งให้ Nozzle ติดกับผิว Gauge Box [ระยะทาง(Distance : s) ทำให้ระยะทางระหว่างหัววัดแอร์เกจและ Gauge Box เท่ากับศูนย์] และตั้งค่า Dial Gauge ให้เป็นศูนย์ ทำการเก็บค่า P_{diff} และ s จากนั้นเพิ่มระยะ s โดยเลื่อนหัว Nozzle ให้สูงขึ้น และบันทึกค่า s และ P_{diff} ที่เกิดขึ้นใหม่ ทำการเพิ่มระยะ s จนกระทั่งค่า P_{diff} ไม่เปลี่ยนแปลง นำค่า s และ P_{diff} ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์

การศึกษานี้จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิด เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นค่าแรงดันที่จะจ่ายจากแหล่งกำเนิดเพื่อหาความสัมพันธ์ของ O และ N ที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัด โดย O ที่ทดลองมีขนาด 0.7, 1.1, 1.5 และ N มีขนาด 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5

4. ผลการทดลอง (Results)

จากผลการทดลองสามารถนำ ค่า s และ P_{diff} มาแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า s และ P_{diff}

จากการทดลองจะได้ที่ค่า O:N ต่างๆ ที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ของแต่ละสัดส่วนของค่า O:N โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) จากการพิจารณาสมการ ที่ให้ค่า R^2 ใกล้เคียง 1 ผลจากการทดลองสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่มีค่าความละเอียดในการวัดต่ำ ที่มีช่วงระยะการวัดปานกลางประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ได้แก่ O:N เท่ากับ 150.7:0.5, 1.1:1.1, 1.1:1.3, 1.5:1.1, 1.5:1.3 และกลุ่มนี้จะให้ช่วงระยะการวัดที่ไม่สูงมากประมาณ 0.1 มิลลิเมตร เช่น ที่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5 สามารถเขียนสมการ Linear $R^2 = 0.9962$ ได้ดังนี้

$$y = 59.329x^3 - 93.595x^2 + 49.899x - 8.9367$$

2. กลุ่มที่มีค่าความละเอียดในการวัดปานกลาง ที่มีช่วงระยะการวัดสูงสุด ได้แก่ O:N เท่ากับ 1.5:0.5, 1.5:0.7, 1.5:1.3, 1.5:1.5, 1.1:0.5 และ 1.1:0.7 โดยมีระยะความกว้างของการวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.378 มิลลิเมตร คือ ที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3 สามารถเขียนสมการ Linear $R^2 = 0.9815$ ได้ดังนี้

$$y = 0.0041x^3 - 0.0367x^2 + 0.168x - 0.0668$$

3. กลุ่มที่มีค่าความละเอียดในการวัดสูง ที่มีช่วงระยะการวัดสูงที่สุดที่ 0.05 มิลลิเมตร กลุ่ม

TSF-282

พวกนี้ได้แก่ O:N เท่ากับ 0.7:0.7, 0.7:1.1, 0.7:1.3 และ 0.7:0. เช่น ที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3 สามารถเขียนสมการ Linear $R^2 = 0.9994$ ได้ดังนี้

$$y = 0.0008x^3 - 0.0111x^2 + 0.065x - 0.0889$$

จากการทำการทดลองพบว่าในการหาค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อช่วงระยะความกว้างของแอร์เกจ ค่าที่ต้องพิจารณาอีกค่าหนึ่งคือ ค่าความแน่นอน (Uncertainty) เพราะถึงจะมีช่วงระยะการวัดที่กว้างและมีความละเอียดสูง แต่ถ้าค่าที่วัดได้มีความไม่แน่นอนในการวัดสูง ก็จะทำให้การนำแอร์เกจนั้นไปวัดก็จะได้อ่านที่ไม่น่าเชื่อถือ

การหาค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty :U) โดยการหาอนุพันธ์ (Differential) ของสมการกำลังสามของค่า O:N นั้นๆ และแทนค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation : sd.) ณ ตำแหน่ง s ต่างๆ ดังตัวอย่างในกราฟ ซึ่งเปรียบเทียบ O:N ที่ 0.7:0.7, 1.5:0.5 และ 1.5:1.3 ซึ่งเป็นตัวแทนของ 3 กลุ่มที่ได้จากการทดลอง

ที่ O:N = 0.7:0.7 จะมีค่าความไม่แน่นอน (U)

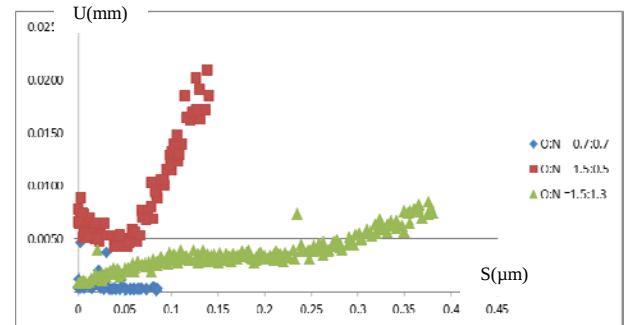
$$U = (0.0024x^2 - 0.0222x + 0.065)(2sd)$$

ที่ O:N = 1.5:0.5 จะมีค่าความไม่แน่นอน

$$U = (177.987x^2 - 187.19x + 49.899)(2sd)$$

ที่ O:N = 1.5:1.3 จะหาค่าความไม่แน่นอน

$$U = (0.0123x^2 - 0.0734x + 0.168)(2sd)$$



รูปที่4-2กราฟแสดงค่าความไม่แน่นอนของ O:N ต่างๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในทุกค่าของ O:N ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะสูงขึ้นเมื่อค่า s เพิ่มขึ้น โดยค่าความไม่แน่นอนจะมากที่สุดในกลุ่มที่มีค่าความละเอียดสูง โดยเมื่อระยะ s เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนสูงขึ้นตามไปด้วย และค่าความค่าความละเอียดต่ำ ผลจากการทดลองที่ O:N เท่ากับ 1.5:1.3 (ให้ระยะการวัดกว้างที่สุด) จะมีค่าความไม่แน่นอนที่มากที่สุดที่ 0.0085 มิลลิเมตร

5. ข้อสรุป (Conclusion)

Air gauge เป็นเครื่องมือวัดระยะ โดยนิยมใช้ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน เนื่องจากมีความสามารถที่จะวัดที่ความละเอียดสูง และสามารถวัดค่าได้รวดเร็ว แต่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับแอร์เกจไม่คอยเป็นที่แพร่หลาย โดยเฉพาะเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อช่วงระยะการวัด และความละเอียดของ Air gauge

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสัมพันธ์ของขนาดรู Orifice (O) และ Nozzle (O) มีผลต่อช่วงระยะการวัด โดยขนาด O:N = 1.5:1.3 จะให้ค่าระยะการวัดที่กว้างที่สุดที่ 0.378 มิลลิเมตร การเลือกขนาด O และ N เพื่อไปใช้ประโยชน์ในการวัดจะต้องพิจารณาร่วมกับค่าความละเอียดของการวัด จากผลการทดลองขนาด O ที่น้อยกว่า N จะให้ค่าความละเอียดสูง แต่จะให้ช่วงระยะการวัดที่ต่ำ รวมทั้งต้องพิจารณาร่วมกับค่าความไม่แน่นอนในการวัดคือ เมื่อระยะ s เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดวัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการเลือกใช้แอร์เกจจะต้องพิจารณาความเหมาะสมกับงานที่ต้องการวัด โดยในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าจะต้องพิจารณา ขนาดของงานที่

TSF-282

ต้องการวัด ความละเอียดของงานที่ต้องการวัด และค่าความไม่แน่นอนของการการวัดที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าต่างๆ ทั้ง 3 จะมีความสัมพันธ์กับขนาด O และ N เป็นหลัก

นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยยังคาดว่าจะมีอีกหลายปัจจัยที่จะส่งผลต่อช่วงระยะความกว้าง ความละเอียด และความไม่แน่นอนในการวัดของแอร์เกจ เช่น แรงดันอากาศจากแหล่งกำเนิด ลักษณะของท่อหรือห้องChamber ลักษณะของ Orifice และ Nozzle เป็นต้น เพื่อให้การเลือกใช้ Air gauge ให้เหมาะสมจึงควรทำการศึกษาผลกระทบเหล่านี้เพิ่มเติม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mirosław Rucki(2009),Reduction of Uncertainty in Air Gauge Adjustment Process, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.58, January 2009.
- [2] Czesław Janusz Jermak, Branimir Barisic and Mirosław Rucki(2010), Correction of the metrological properties of the pneumatic length measuring gauge through changes of the measuring nozzle head surface shape, Measurement 43 (2010), June 2010.
- [3] Mirosław Ruckia , Branimir Barisicb and Gyula Vargac, Air gauge as a part of the dimensional inspection system, Measurement 43 (2010), July 2010.
- [4] What-When-How, URL : <http://what-when-how.com/metrology/pneumatic-comparators-metrology>. access on 24/04/2013.