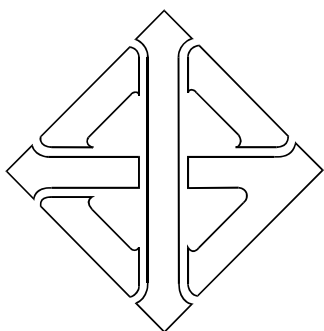




มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2554-2555

**เครื่องสูบโรโตไดนามิก – การทดสอบเพื่อการ
ยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิก – เกรด 1 และ
เกรด 2**

ROTODYNAMIC PUMPS – HYDRAULIC PERFORMANCE ACCEPTANCE
TESTS – GRADE 1 AND 2

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 23.080

ISBN 978-616-231-437-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เครื่องสูบลมโรตารีไดนามิก – การทดสอบเพื่อการ
ยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิก
– เกรด 1 และเกรด 2

มอก. 2554-2555

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 130 ตอนพิเศษ 7ง
วันที่ 18 มกราคม พุทธศักราช 2556

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 1012
มาตรฐานเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า

ประธานกรรมการ

รศ.พิชิต ถิ่นทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

กรรมการ

รศ.วิทยา ขงเจริญ

นายแสง ส่องแสง

นายอำนาจ เขียวสุด

นายทวีเดช จีระภัทร์

นายรัตนศักดิ์ ทองอ้อม

-

นายอาทิตย์ มานูบุตร

นายทศพร ศรียี่สุน

นายสุรเชษฐ์ ดีเนียนัน

นายพิรุณ ทรัพย์พิสุทธิ

นายวันชาติ ประภาวิชา

นายฉัตรชัย ฤทธิเต็ม

นายกิตติ ชาญศิริวงศ์

นายวิทยา พ่อคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประปาส่วนภูมิภาค

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

การเคหะแห่งชาติ

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

กรมชลประทาน

บริษัท กันยงอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด(มหาชน)

บริษัท ฮิตาชิ คอนซูมเมอร์ โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด

บริษัท เค เอส บี พัม จำกัด

บริษัท แอล.ที.เวค จำกัด

บริษัท มาสเตอร์คูค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

บริษัท สิ้นสงวนแอนด์ซันส์ จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นางศิริพร ช่างการ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า เฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน ขึ้น เพื่อใช้เป็นเกณฑ์กำหนดให้ผู้ทำ ผู้นำเข้า รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางในการควบคุมประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า แต่เนื่องจากในมาตรฐานดังกล่าวยังมีการอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งเป็นภาษาอังกฤษ ดังนั้นเพื่อให้มาตรฐานอ้างอิงมีความสมบูรณ์และเหมาะสม จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องสูบน้ำโรตารีไดนามิก – การทดสอบเพื่อการยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิก – เกรด 1 และเกรด 2 นี้ขึ้นเป็นภาษาไทย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยรับ ISO 9906 (1999-12-15) : Rotodynamic pumps – Hydraulic performance acceptance tests – Grades 1 and 2 มาใช้ในระดับเหมือนกันทุกประการ (identical)

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4485 (พ.ศ. 2555)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เครื่องสูบลuftไดนามิก – การทดสอบเพื่อการยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิก -
เกรด 1 และเกรด 2

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องสูบลuftไดนามิก – การทดสอบเพื่อการยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิก – เกรด 1 และเกรด 2 มาตรฐานเลขที่ มอก. 2554-2555 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2555

พงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เครื่องสูบน้ำโรโตไดนามิก – การทดสอบเพื่อการยอมรับด้าน

สมรรถนะเชิงไฮดรอลิก – เกรด 1 และเกรด 2

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดการทดสอบเพื่อการยอมรับด้านสมรรถนะเชิงไฮดรอลิกของเครื่องสูบน้ำแบบโรโตไดนามิก (เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องสูบน้ำแบบไหลผสมและเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “เครื่องสูบน้ำ”) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเครื่องสูบน้ำทุกขนาดและของเหลวที่สูบทุกชนิดที่มีคุณสมบัติเหมือนน้ำเย็นสะอาด (clean cold water) (ดังที่กำหนดไว้ในข้อ 5.4.5.2) แต่ไม่ครอบคลุมถึงรายละเอียดโครงสร้างของเครื่องสูบน้ำและคุณสมบัติทางกลของส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ระบุความแม่นยำของการวัด 2 เกรด สำหรับเกรด 1 เป็นความแม่นยำสูงกว่าและเกรด 2 เป็นความแม่นยำต่ำกว่า เกรดเหล่านี้รวมถึงค่าความแตกต่างของตัวประกอบความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าแกว่งที่ยอมรับได้และค่าความไม่แน่นอนในการวัด

สำหรับเครื่องสูบน้ำที่ผลิตเป็นอนุกรม ซึ่งเลือกจากเส้นโค้งสมรรถนะทั่วไป และสำหรับเครื่องสูบน้ำซึ่งมีกำลังไฟฟ้าด้านเข้าน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์ ฤดูกาลผนวก ก. สำหรับตัวประกอบความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ใช้กับทั้งเครื่องสูบน้ำที่ไม่มีข้อต่อใด ๆ และเครื่องสูบน้ำที่มีข้อต่อร่วมของเครื่องสูบน้ำด้านต้นทางและ/หรือปลายทางทั้งหมดหรือบางส่วน

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงที่ระบุต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดซึ่งใช้ประกอบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เอกสารอ้างอิงฉบับที่ระบุปีที่พิมพ์ให้ใช้ฉบับที่ระบุเท่านั้น ไม่ใช้ฉบับที่แก้ไขหรือเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามผู้ที่เกี่ยวข้องอาจตกลงกันโดยยึดถือมาตรฐานระหว่างประเทศเพื่อตรวจสอบว่าสามารถใช้เอกสารอ้างอิงฉบับล่าสุดได้เพียงใด ส่วนเอกสารอ้างอิงฉบับที่ไม่ได้ระบุปีที่พิมพ์ให้ใช้ฉบับล่าสุด

ISO 1438-1 *Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes – Part 1: Thin-plate weirs.*

ISO 2186 *Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements.*

- ISO 3354 *Measurement of clean water flow in closed conduits – Velocity-area method using, current-meters in full conduits and under regular flow conditions.*
- ISO 3966 *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pilot static tubes.*
- ISO 4373 *Measurement of liquid flow in open channels – Water-level measuring devices.*
- ISO 5167-1 *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.*
- ISO 5198 *Centrifugal, mixed flow and axial pumps – Code for hydraulic performance tests – Precision grade.*
- ISO 7194 *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pilot-static tubes.*
- ISO 8316 *Measurement of liquid flow in closed conduits – Method by collection of the liquid in a volumetric tank.*
- ISO 9104 *Measurement of liquid flow in closed conduits – Methods of evaluating the performance of electromagnetic flow-meters for liquids.*
- IEC 60034-2 *Recommendations for rotating electrical machinery (excluding machines for traction vehicles) – Part 2: Determination of efficiency of rotating electrical machinery.*
- IEC 60051 *Recommendations for direct acting electrical measuring instruments and their accessories.*

3. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ให้เป็นดังต่อไปนี้

- หมายเหตุ 1** บทนิยามโดยเฉพาะที่กำหนดสำหรับหัวน้ำ (head) และหัวน้ำด้านดูดสุทธิทางบวก (net positive suction head, NPSH) เหมาะสมสำหรับวัตถุประสงค์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เท่านั้น แต่อาจไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานทั่วไปในไฮโดรไดนามิกส์ คำบางคำที่ใช้อยู่ทั่วไปไม่กำหนดเป็นบทนิยามไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้
- หมายเหตุ 2** รายการตามลำดับอักษรของสัญลักษณ์ที่ใช้ ให้ไว้ในตารางที่ 1 และรายการของตัวห้อย ให้ไว้ในตารางที่ 2 ทุกสูตรในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดให้สอดคล้องกับหน่วย SI สำหรับการแปลงหน่วยอื่นให้เป็นหน่วย SI ดูภาคผนวก ง.
- หมายเหตุ 3** เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของการตีความ ควรนิยามซ้ำปริมาณและหน่วยที่กำหนดใน ISO 31 และเพิ่มเติมคำนิยามเหล่านี้ โดยให้ข้อมูลการใช้งานโดยเฉพาะตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

3.1 ความเร็วเชิงมุม (angular velocity)

จำนวนของเรเดียของเพลลาต่อหน่วยเวลา

$$\omega = 2\pi n$$

3.2 ความเร็วรอบของการหมุน

จำนวนของรอบต่อหน่วยเวลา

3.3 ความหนาแน่น (density)

มวลต่อหน่วยปริมาตร

3.4 ความดัน (pressure)

แรงต่อหน่วยพื้นที่

หมายเหตุ ความดันทั้งหมดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นความดันเกจ คือ วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ ยกเว้นความดันบรรยากาศ และความดันไอซึ่งเป็นความดันสัมบูรณ์

3.5 กำลัง (power)

พลังงานที่ส่งผ่านต่อหน่วยเวลา

3.6 ตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re)

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

3.7 อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate)

อัตราการไหลเชิงมวลภายนอกของเครื่องสูบลม คือ อัตราการไหลที่ส่งออกจากช่องทางออกของเครื่องสูบลมเข้าไปในท่อ

หมายเหตุ 1 ความสูญเสียหรือการแยกออกไป ใช้เป็นสมบัติเฉพาะตัวในเครื่องสูบลม ดังนี้

- ก) การส่งออกที่จำเป็นเพื่อให้ได้คุณสมบัติของแรงผลักดันตามแกน
- ข) การหล่อเย็นของรอกเลื่อนเครื่องสูบลมเอง
- ค) ของเหลวสำหรับตัวกันรั่ว (packing)

หมายเหตุ 2 การรั่วจากข้อต่อ การรั่วภายใน ฯลฯ ไม่ถูกคิดรวมในอัตราการไหล

ในทางตรงกันข้ามการไหลทั้งหมดที่ได้มาจากจุดประสงค์อื่น เช่น

- การหล่อเย็นของรอกเลื่อนมอเตอร์
- การหล่อเย็นของห้องเกียร์ (รอกเลื่อน น้ำมันหล่อเย็น) ฯลฯ

ให้คิดรวมในอัตราการไหล

หมายเหตุ 3 การไหลเหล่านี้จะนำมาคิดหรือไม่และอย่างไร ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ได้มาและภาคตัดของการวัดการไหลตามลำดับ

3.8 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate)

อัตราการไหลเชิงปริมาตรทางออก มีค่าดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{q}{\rho}$$

หมายเหตุ ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้สัญลักษณ์ Q อาจระบุเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรในภาคตัดที่กำหนดให้ใดๆ ซึ่งเป็นผลหารของอัตราการไหลเชิงมวลในภาคตัดนี้กับความหนาแน่น (ภาคตัดอาจระบุด้วยตัวห้อย)

3.9 ความเร็วเฉลี่ย (mean velocity)

ความเร็วตามแนวแกนเฉลี่ยของการไหล เท่ากับอัตราการไหลเชิงปริมาตรหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อ

$$U = \frac{Q}{A}$$

หมายเหตุ คำนึงถึงความจริงที่ว่า ในกรณีนี้ Q อาจเปลี่ยนแปลงตามเหตุผลต่าง ๆ ตลอดวงจร

3.10 ความเร็วเฉพาะที่ (local velocity)

ความเร็วของการไหลที่จุดใดๆ

3.11 หัวน้ำ (head)

พลังงานต่อหน่วยมวลของของไหล หารด้วยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง g

3.12 ระนาบอ้างอิง (reference plane)

ระนาบแนวระดับใดๆ ที่ใช้เป็นฐานสำหรับการวัดความสูง

หมายเหตุ ในทางปฏิบัติไม่นิยมระบุระนาบอ้างอิงจินตภาพ

3.13 ความสูงเหนือระนาบอ้างอิง (high above reference plane)

ความสูงของจุดที่พิจารณาเหนือระนาบอ้างอิง

หมายเหตุ มีค่าเป็น

- บวก ถ้าจุดที่พิจารณาอยู่เหนือระนาบอ้างอิง
- ลบ ถ้าจุดที่พิจารณาอยู่ใต้ระนาบอ้างอิง

ดูรูปที่ 3 และรูปที่ 4

3.14 ความดันเกจ (gauge pressure)

ความดันที่วัดได้เทียบกับความดันบรรยากาศ

หมายเหตุ 1 มีค่าเป็น

- บวก ถ้าความดันนี้มากกว่าความดันบรรยากาศ
- ลบ ถ้าความดันนี้น้อยกว่าความดันบรรยากาศ

หมายเหตุ 2 ความดันทั้งหมดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นความดันเกจที่อ่านค่าจากแมนอมิเตอร์หรือเครื่องวัดความดันที่คล้ายกัน ยกเว้นความดันบรรยากาศและความดันไอของของเหลวซึ่งแสดงเป็นความดันสัมบูรณ์

3.15 หัวน้ำความเร็ว (velocity head)

พลังงานจลน์ต่อหน่วยมวลของของเหลวในขณะเคลื่อนที่หารด้วย g

$$\frac{U^2}{2g}$$

3.16 หัวน้ำรวม (total head)

ในภาคตัดใดๆ หัวน้ำรวมหาได้จาก

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\rho g} + \frac{U_x^2}{2g}$$

เมื่อ z คือความสูงของกึ่งกลางภาคตัดขวางเหนือระนาบอ้างอิง และ p คือความดันเกจที่วัดตรงกึ่งกลางภาคตัดขวาง

หมายเหตุ ห้วนน้ำรวมสมบูรณ์ในภาคตัดใดๆ หาได้จาก

$$H_{x(\text{abs})} = z_x + \frac{p_x}{\rho g} + \frac{p_{\text{amb}}}{\rho g} + \frac{U_x^2}{2g}$$

3.17 ห้วนน้ำรวมทางเข้า (inlet total head)

ห้วนน้ำรวมในภาคตัดทางเข้าของเครื่องสูบ

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g}$$

3.18 ห้วนน้ำรวมทางออก (outlet total head)

ห้วนน้ำรวมในภาคตัดทางออกของเครื่องสูบ

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g}$$

3.19 ห้วนน้ำรวมของเครื่องสูบ (pump total head)

ความแตกต่างทางพีชคณิตระหว่างห้วนน้ำรวมทางออก H_2 กับห้วนน้ำรวมทางเข้า H_1

หมายเหตุ 1 ถ้าสภาพอัดได้สามารถละได้ $H = H_2 - H_1$

ถ้าสภาพอัดได้ของของเหลวที่สูบมีนัยสำคัญ ความหนาแน่น ρ ควรแทนด้วยค่าเฉลี่ย

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

และห้วนน้ำรวมของเครื่องสูบควรคำนวณจากสูตร

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho_m \cdot g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

หมายเหตุ 2 สัญลักษณ์ที่ถูกต้องทางคณิตศาสตร์จะเป็น H_{1-2}

3.20 พลังงานจำเพาะ (specific energy)

พลังงานต่อหน่วยมวลของของเหลว

$$y = gH$$

3.21 ความสูญเสียของห้วนน้ำที่ทางเข้า (loss of head at inlet)

ความแตกต่างระหว่างห้วนน้ำรวมของของเหลวที่จุดวัด กับห้วนน้ำรวมของของเหลวในภาคตัดทางเข้าของเครื่องสูบ

3.22 ความสูญเสียของหัวน้ำที่ทางออก (loss of head at outlet)

ความแตกต่างระหว่างหัวน้ำรวมของของเหลวที่จุดวัด กับหัวน้ำรวมของของเหลวในภาคตัดทางออกของเครื่องสูบ

3.23 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ (pipe friction loss coefficient)

สัมประสิทธิ์สำหรับความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ

3.24 หัวน้ำด้านดูดทางบวกสุทธิ (net positive suction head (NPSH))

หัวน้ำรวมทางเข้าสัมบูรณ์เหนือหัวน้ำซึ่งเท่ากับความดันไอที่วัดเทียบกับระนาบฐาน NPSH

$$\text{NPSH} = H_1 - z_D + \frac{p_{\text{amb}} - p_v}{\rho_1 g}$$

หมายเหตุ NPSH นี้สัมพันธ์กับระนาบฐาน NPSH ส่วนหัวน้ำรวมทางเข้าสัมพันธ์กับระนาบอ้างอิง

3.25 ระนาบฐาน NPSH (NPSH datum plane) <เครื่องสูบแบบหลายชั้น>

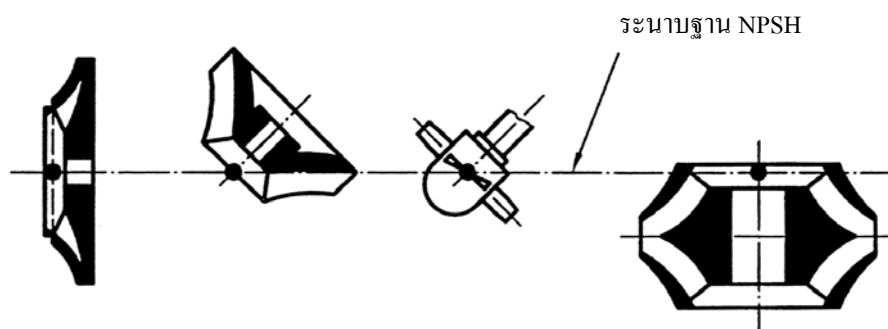
ระนาบแนวระดับผ่านกึ่งกลางวงกลมที่วาดด้วยจุดภายนอกของขอบจานใบพัดด้านเข้า

3.26 ระนาบฐาน NPSH (NPSH datum plane) <เครื่องสูบทางเข้าคู่ที่มีแกนอยู่ในแนวตั้งหรือแนวเอียง>

ระนาบผ่านกึ่งกลางที่สูงกว่า

หมายเหตุ ผู้ทำควรวัดตำแหน่งของระนาบนี้โดยอ้างอิงถึงจุดอ้างอิงที่แน่นอนบนเครื่องสูบ

รูปที่ 1



รูปที่ 1 ระนาบฐาน NPSH

3.27 NPSH ที่มีได้ (available NPSH (NPSHA))

NPSH ที่มีได้ซึ่งหาได้จากภาวะของการติดตั้งสำหรับอัตราการไหลที่ระบุ

3.28 NPSH ที่ต้องการ (required NPSH (NPSHR))

NPSH ค่าสุดที่ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กำหนดให้สำหรับเครื่องสูบลเพื่อให้มีสมรรถนะที่ระบุที่อัตราการไหล ความเร็ว และของเหลวที่สูบที่ระบุ (การเกิดคาวิเทชัน(cavitation) ที่มองเห็นได้ การเพิ่มขึ้นของเสียงรบกวนและการสั่นเนื่องจากคาวิเทชันการเริ่มมีการตกของหัวน้ำหรือประสิทธิภาพ การตกของหัวน้ำหรือประสิทธิภาพตามที่ระบุ จิตจำกัของการกร่อนเนื่องจากคาวิเทชัน)

3.29 NPSH3

NPSH ที่ต้องการเพื่อให้หัวน้ำรวมขึ้นแรกของเครื่องสูบลตกลงร้อยละ 3 ตามพื้นฐานมาตรฐานสำหรับใช้ในเส้นโค้งสมรรถนะ

3.30 เลขแบบ (type number)

ปริมาณไร้มิติซึ่งคำนวณที่จุดประสิทธิภาพดีที่สุดหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$K = \frac{2 \pi n Q'^{1/2}}{(gH')^{3/4}} = \frac{\omega Q'^{1/2}}{y'^{3/4}}$$

เมื่อ Q' คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อรู (volume rate of flow per eye) และ H' คือหัวน้ำของขึ้นแรก
หมายเหตุ เลขแบบหาได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของใบพัดขึ้นแรก

3.31 กำลังด้านเข้าเครื่องสูบล (pump power input)

กำลังที่ส่งไปยังเครื่องสูบลโดยตัวขับ

3.32 กำลังด้านออกเครื่องสูบล (pump power output)

กำลังทางกลที่ถ่ายโอนไปยังของเหลวในระหว่างที่ไหลผ่านเครื่องสูบล

$$P_u = \rho Q g H = \rho Q y$$

3.33 กำลังด้านเข้าตัวขับ (driver power input)

กำลังที่ดูคลื่น โดยตัวขับเครื่องสูบล

3.34 ประสิทธิภาพเครื่องสูบล (pump efficiency)

กำลังด้านออกเครื่องสูบลหารด้วยกำลังด้านเข้าเครื่องสูบล

$$\eta = \frac{P_u}{P}$$

3.35 ประสิทธิภาพโดยรวม (overall efficiency)

กำลังด้านออกเครื่องสูบลหารด้วยกำลังด้านเข้าตัวขับ

$$\eta_{gr} = \frac{P_u}{P_{gr}}$$

ตารางที่ 1 รายการตัวอักษรพื้นฐานที่ใช้เป็นสัญลักษณ์
เรียงตามลำดับตัวอักษร

สัญลักษณ์	ปริมาณ	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
E	พลังงาน	J
e	ความไม่แน่นอนโดยรวม ค่าสัมพัทธ์	%
f	ความถี่	s^{-1} , Hz
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ⁿ	m/s^2
H	หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ	m
H_f	ความสูญเสียในพจน์ของหัวน้ำของเหลว	m
k	ความหยาบสม่ำเสมอสมมูล	m
K	เลขแบบ	(ไม่มีหน่วย)
l	ความยาว	m
m	มวล	kg
n	ความเร็วรอบ	s^{-1} , min^{-1}
NPSH	หัวน้ำด้านดูดทางบวกสุทธิ	m
p	ความดัน	Pa
P	กำลัง	W
q	อัตราการไหลเชิงมวล ^u	kg/s
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร ⁿ	m^3/s
Re	เลขเรย์โนลด์ส์	(ไม่มีหน่วย)
t	ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนเป็นค่าสัมพัทธ์	%
t	เวลา	s
T	ทอร์ก	Nm
U	ความเร็วเฉลี่ย	m/s
v	ความเร็วเฉพาะที่	m/s
V	ปริมาตร	m^3
y	พลังงานจำเพาะ	J/kg
z	ความสูงเหนือระนาบอ้างอิง	m
z_D	ความแตกต่างระหว่างระนาบฐาน NPSH (ดูข้อ 3.25) กับระนาบอ้างอิง	m
η	ประสิทธิภาพ	(ไม่มีหน่วย)
θ	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$
λ	ตัวประกอบความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ	(ไม่มีหน่วย)
ν	ความหนืดจลน์	m^2/s
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s

ⁿ โดยหลักการ ควรใช้ค่าเฉพาะที่ของ g แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับเกรด 2 เพียงพอที่จะใช้ค่า $9.81 m/s^2$ สำหรับการคำนวณค่าเฉพาะที่ $g = 9.7803(1+0.0053\sin^2 \varphi) - 3 \times 10^{-6} \cdot z$ เมื่อ φ คือละติจูดและ z คือระดับความสูง

^u สัญลักษณ์ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับอัตราการไหลเชิงมวลคือ q_m

ⁿ สัญลักษณ์ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรคือ q_v

ตารางที่ 2 รายการตัวอักษรและตัวเลข
ที่ใช้เป็นตัวห้อย

ตัวห้อย	ความหมาย
1	ทางเข้า
1'	ภาคตัดที่วัดทางเข้า
2	ทางออก
2'	ภาคตัดที่วัดทางออก
abs	สัมบูรณ์
amb	โดยรอบ
D	ความแตกต่างจากฐาน
f	ของไหลในท่อที่วัด
G	รับประกัน
H	หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ
gr	ชุดมอเตอร์/เครื่องสูบรวมกัน (โดยรวม)
m	เฉลี่ย
M	แมนอมิเตอร์
n	ความเร็วรอบ
P	กำลัง
Q	อัตราการไหล (เชิงปริมาตร)
sp	ที่ระบุ
T	ทอร์ก ที่ทำให้เคลื่อนที่
u	ใช้ประโยชน์
v	ไอ (ความดัน)
η	ประสิทธิภาพ
x	ที่ภาคตัดใดๆ

4. การรับประกัน

4.1 หัวข้อการรับประกัน

จุดรับประกัน 1 จุดต้องระบุด้วยการไหลรับประกัน Q_G และหัวน้ำรับประกัน H_G

ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ รับประกันว่าภายใต้ภาวะที่ระบุและที่ความเร็วที่ระบุ (หรือในบางกรณีความถี่และแรงดันไฟฟ้า) เส้นโค้ง $H(Q)$ ที่วัดได้จะผ่านตลอดพิสัยความคลาดเคลื่อน (ดูตารางที่ 10 และรูปที่ 2) รอบจุดรับประกัน

พิสัยความคลาดเคลื่อนอื่น (เช่น ให้เพียงตัวประกอบความคลาดเคลื่อนทางบวก) อาจตกลงกันในสัญญา

นอกจากนี้ ปริมาณต่อไปนี้ 1 ข้อหรือมากกว่าอาจรับประกันภายใต้ภาวะที่ระบุและที่ความเร็วที่ระบุ

- | | |
|--|---|
| ก) ประสิทธิภาพเครื่องสูบ η_G หรือประสิทธิภาพรวม η_{grG} ในกรณีของชุดตัวขับเครื่องสูบโดยรวม | } ที่อัตราการไหลซึ่งระบุ
ในข้อ 6.4.2 และรูปที่ 2 |
| ข) หัวน้ำด้านดูดทางบวกสุทธิที่ต้องการ (NPSHR) ที่การไหลรับประกัน | |

โดยการตกลงกันเป็นพิเศษ อาจรับประกันจุดรับประกันหลายจุด และค่าต่างๆ ที่เหมาะสมของประสิทธิภาพ และหัวน้ำด้านดูดทางบวกสุทธิที่ต้องการที่อัตราการไหลที่ลดลงหรือที่เพิ่มขึ้น อาจรับประกันกำลังด้านเข้าสูงสุดสำหรับการไหลรับประกันหรือสำหรับพิสัยการทำงาน อย่างไรก็ตาม อาจต้องการพิสัยความคลาดเคลื่อนกว้างขึ้นซึ่งต้องตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ

4.2 ภาวะอื่นของการรับประกัน

หากมิได้ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น ต้องใช้ภาวะต่อไปนี้กับค่าที่รับประกัน

- ก) หากมิได้ระบุสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของของเหลวที่สูบ จุดรับประกันต้องใช้กับน้ำเย็นสะอาด (ดูข้อ 5.4.5.2)
- ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารับประกันภายใต้ภาวะน้ำเย็นสะอาดกับสมรรถนะที่น่าจะเกิดขึ้นภายใต้ภาวะของเหลวอื่นต้องตกลงกันในสัญญา
- ค) การรับประกันจะใช้ได้เฉพาะเครื่องสูบที่ทดสอบด้วยวิธีและการจัดเตรียมการทดสอบที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เท่านั้น
- ง) ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ เครื่องสูบไม่ได้รับผิดชอบในการกำหนด ข้อกำหนดคุณลักษณะของจุดรับประกัน

5. การปฏิบัติการทดสอบ

5.1 หัวข้อการทดสอบ

5.1.1 ทั่วไป

หากมิได้ตกลงไว้เป็นอย่างอื่นระหว่าง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กับผู้ซื้อ ต้องใช้สิ่งต่อไปนี้

- ก) ความแม่นยำตามเกรด 2

ข) การทดสอบต้องทำบนแท่นทดสอบที่โรงงานของผู้ทำ

ค) ไม่รวมการทดสอบ NPSH

การเบี่ยงเบนใดๆ จากสิ่งนี้ต้องตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ ซึ่งควรทำเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และควรอย่างยิ่งที่จะทำให้เป็นส่วนหนึ่งของสัญญา

ท่ามกลางสิ่งอื่นๆ การเบี่ยงเบนนั้นอาจเป็น

- ความแม่นยำตามเกรด 1
- ไม่มีตัวประกอบความคลาดเคลื่อนทางลบ (ดูข้อ 4.1)
- ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนที่สมนัยกับภาคผนวก ก.
- การประเมินทางสถิติของผลการวัดตามภาคผนวก ฉ.
- การทดสอบในห้องปฏิบัติการที่เป็นกลางหรือที่หน่วยงาน
- การเบี่ยงเบนจากข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งเครื่องสูบลมและเครื่องวัด
- การสร้างเครื่องสูบลมที่จำลองขึ้น (เช่น โรเตอร์หลายตัวในเครื่องเดียวกัน)
- ข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ NPSH

ภาคผนวก ก. แสดงแผนรายการตรวจสอบของรายการซึ่งจะนำไปตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ

5.1.2 การทดสอบตามสัญญา – ปฏิบัติตามการรับประกัน

การทดสอบเจตนาเพื่อให้แน่ใจในสมรรถนะของเครื่องสูบลมและเพื่อเปรียบเทียบสิ่งนี้กับการรับประกันของผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ

การรับประกันที่กำหนดไว้สำหรับปริมาณใดๆ ถือว่าเป็นไปตามที่กำหนด ถ้าสมรรถนะที่วัดได้้อยู่ภายในความคลาดเคลื่อนที่ระบุสำหรับปริมาณเฉพาะ (ดูข้อ 6.) เมื่อทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เมื่อรับประกัน NPSHR ต้องระบุแบบของการทดสอบ (ดูข้อ 11.1.2)

เมื่อซื้อเครื่องสูบลมที่เหมือนกันจำนวนมาก จำนวนเครื่องสูบลมที่ทดสอบต้องตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ

5.1.3 การตรวจสอบเพิ่มเติม

ในระหว่างการทดสอบ ถ้าลักษณะของเครื่องสูบลมเป็นที่น่าพอใจเกี่ยวกับเรื่องอุณหภูมิของตัวกันรั่วและร่องลื่น การรั่วของอากาศหรือน้ำ การเกิดเสียง และการสั่น อาจทำเป็นข้อสังเกตไว้

5.2 การจัดการทดสอบ

5.2.1 ทั่วไป

ทั้งผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ มีสิทธิที่จะเป็นพยานในการทดสอบเหล่านี้

5.2.2 สถานที่ทดสอบ

5.2.2.1 การทดสอบที่โรงงาน

การทดสอบสมรรถนะควรทำที่โรงงานของผู้ทำ หรือที่สถานที่ซึ่งตกลงร่วมกันระหว่าง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กับ ผู้ซื้อ

5.2.2.2 การทดสอบที่โรงงาน

จำเป็นต้องมีการตกลงกันเป็นพิเศษสำหรับการทดสอบสมรรถนะที่โรงงาน เพื่อให้สามารถเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้ อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันว่าภาวะที่โรงงานส่วนใหญ่มักไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ในกรณีเหล่านี้ การทดสอบสมรรถนะที่โรงงานอาจยังคงยอมรับได้หากผู้ที่เกี่ยวข้องร่วมตกลงกันถึงวิธีการยอมรับสำหรับความไม่แม่นยำซึ่งจะส่งผลให้เปลี่ยนแปลงไปจากข้อกำหนดที่ระบุอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

5.2.3 วันที่ทดสอบ

วันที่ทดสอบต้องตกลงร่วมกันระหว่าง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กับผู้ซื้อ

5.2.4 เจ้าหน้าที่

การวัดที่แม่นยำไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องวัดที่ใช้เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญของบุคคลที่ทำงานและอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดในระหว่างการทดสอบ ต้องมีความระมัดระวังในการเลือกเจ้าหน้าที่ซึ่งมีผลกระทบกับการวัดเช่นเดียวกับการเลือกเครื่องทดสอบ

โดยทั่วไปผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เพียงพอในการวัดต้องทำงานและอ่านค่าจากเครื่องวัดที่ซับซ้อน ส่วนการอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดอย่างง่ายอาจเป็นความรับผิดชอบของผู้ช่วย (ได้รับการแนะนำมาแล้ว) ผู้ซึ่งเชื่อได้ว่าอ่านค่าได้แม่นยำตามที่ต้องการและใช้ความระมัดระวังอย่างเหมาะสม

ต้องร่วมกันแต่งตั้งผู้ควบคุมดูแลการทดสอบที่มีประสบการณ์เพียงพอในการวัด ตามปกติเมื่อการทดสอบทำที่โรงงานของผู้ทำ ผู้ควบคุมดูแลการทดสอบคือสมาชิกเจ้าหน้าที่ของผู้ทำเครื่องสูบ

ในระหว่างการทดสอบ ทุกคนที่มีผลกระทบกับการวัดต้องอยู่ภายใต้การบังคับบัญชาของหัวหน้างานทดสอบผู้ซึ่งดำเนินการและควบคุมดูแลการวัด รายงานภาวะทดสอบและผลการทดสอบ และร่างรายงานการทดสอบ ข้อสงสัยทั้งหมดที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการวัดและการปฏิบัติขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของหัวหน้างานทดสอบ

ทุกฝ่ายต้องให้ความช่วยเหลือตามที่หัวหน้างานทดสอบเห็นว่าจำเป็น

5.2.5 สถานะของเครื่องสูบ

เมื่อการทดสอบไม่ได้ทำที่โรงงานของผู้ทำ ต้องยอมให้มีการปรับตั้งเบื้องต้นโดยทั้งผู้ทำและผู้ติดตั้ง

5.2.6 กำหนดการทดสอบ

กำหนดการและวิธีดำเนินการที่ต้องปฏิบัติในการทดสอบต้องเตรียมโดยผู้ควบคุมดูแลการทดสอบและเสนอให้ทั้ง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ และผู้ซื้อในเวลาที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาและเห็นชอบ

เฉพาะข้อมูลการทำงานที่รับประกัน (ดูข้อ 4.1) เท่านั้นที่ใช้เป็นพื้นฐานของการทดสอบ ข้อมูลอื่นที่หาได้จากการวัดในระหว่างการทดสอบเป็นเพียงเชิงชี้แนะ (ข้อแนะนำ) และต้องระบุด้วยถ้ารวมอยู่ในกำหนดการ

5.2.7 บริภัณฑ์ทดสอบ

เมื่อตัดสินใจเลือกวิธีดำเนินการวัด ต้องระบุเครื่องวัดและบันทึกที่ต้องการในเวลาเดียวกัน

ผู้ควบคุมดูแลการทดสอบต้องรับผิดชอบการตรวจสอบการติดตั้งที่ถูกต้องของเครื่องทดสอบและการทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง

เครื่องวัดทั้งหมดต้องมีรายงานการสอบเทียบหรือการเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ISO หรือ IEC อื่นซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 6.2 รายงานเหล่านี้ต้องสามารถแสดงได้ถ้าต้องการ

คำแนะนำสำหรับคาบที่เหมาะสมระหว่างการสอบเทียบเครื่องทดสอบให้ไว้ในภาคผนวก จ.

5.2.8 บันทึก

บันทึกการทดสอบและแผนภูมิบันทึกทั้งหมดต้องทำขึ้นโดยผู้ควบคุมดูแลการทดสอบและตัวแทนของทั้ง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ และผู้ซื้อ (ถ้ามี) ซึ่งแต่ละฝ่ายต้องได้รับสำเนาของบันทึกและแผนภูมิทั้งหมด

การประเมินผลการทดสอบต้องทำเท่าที่จะเป็นไปได้ในขณะที่ดำเนินการทดสอบ และต้องทำก่อนหรือถอนชุดเครื่องทดสอบออกเพื่อให้การวัดที่มีข้อสงสัยสามารถทำซ้ำได้โดยไม่ชักช้า

5.2.9 รายงานการทดสอบ

หลังจากการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน ต้องสรุปผลการทดสอบในรายงานซึ่งลงนามโดยผู้ควบคุมดูแลการทดสอบเพียงคนเดียวหรือลงนามร่วมกับตัวแทนของ ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ และผู้ซื้อ

ทุกฝ่ายที่ระบุไว้ในสัญญาต้องได้รับสำเนาของรายงาน

รายงานการทดสอบควรมีข้อมูลดังต่อไปนี้

- ก) สถานที่และวันที่ทำการทดสอบเพื่อยอมรับ
- ข) ชื่อผู้ทำ แบบของเครื่องสูบ หมายเลขลำดับเครื่อง และ (ถ้าเป็นไปได้) ปีที่ทำ
- ค) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด มุมใบพัด หรือการจับใบพัดในรูปแบบอื่น
- ง) ลักษณะเฉพาะที่รับประกัน ภาวะการทำงานในระหว่างการทดสอบเพื่อยอมรับ
- จ) ข้อกำหนดคุณลักษณะของตัวขับเครื่องสูบ
- ฉ) แบบร่างของการจัดเตรียมการทดสอบ เส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดที่วัด คำอธิบายวิธีดำเนินการทดสอบ และเครื่องวัดที่ใช้รวมถึงข้อมูลการสอบเทียบ
- ช) ค่าที่อ่าน

ซ) การประเมินและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ฅ) บทสรุป

- การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับปริมาณที่รับประกัน
- การได้มาซึ่งสิ่งที่เกี่ยวข้องกับข้อตกลงพิเศษใดๆ
- การแนะนำว่าสามารถยอมรับเครื่องสูบได้หรือไม่ หรือควรปฏิเสธ และภายใต้ภาวะอะไร (ถ้าไม่ปฏิบัติตามการรับประกันทั้งหมด การตัดสินใจขั้นสุดท้ายว่าสามารถยอมรับเครื่องสูบได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับผู้ซื้อ)
- ข้อความที่นอกเหนือจากสิ่งที่เกี่ยวข้องกับข้อตกลงพิเศษใดๆ

ใบบันทึกการทดสอบเครื่องสูบที่ให้ไว้เป็นข้อเสนอแนะอยู่ในภาคผนวก ฅ.

5.3 การจัดเตรียมการทดสอบ

5.3.1 ทั่วไป

ภาวะที่จำเป็นเพื่อให้แน่ใจว่าการวัดเป็นไปตามข้อกำหนด ในส่วนของลักษณะเฉพาะของการทำงานระบุไว้ในข้อนี้ โดยคำนึงถึงความแม่นยำที่ต้องการสำหรับการทดสอบของเกรด 1 และเกรด 2

หมายเหตุ 1 สมรรถนะของเครื่องสูบในการจัดเตรียมการทดสอบที่ให้ ถึงแม้ว่าจะวัดอย่างแม่นยำก็ไม่สามารถยึดถือเป็นการชี้บอกความแม่นยำที่สมนัยกับสมรรถนะของเครื่องสูบในการจัดเตรียมอื่น

หมายเหตุ 2 การแนะนำและคำแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับการจัดเตรียมท่อที่เหมาะสมเพื่อให้แน่ใจว่าการวัดเป็นไปตามข้อกำหนดให้ไว้ในข้อ 7. และข้อ 8. และ (ถ้าจำเป็น) สามารถใช้ร่วมกับมาตรฐานการวัดอัตราการไหลในท่อปิดในวิธีที่ต่างกัน (ดูข้อ 7.)

5.3.2 การจัดเตรียมการทดสอบมาตรฐาน

ภาวะของการวัดที่ดีที่สุดได้มาเมื่อการไหลในภาคตัดที่วัดมี

- การกระจายความเร็วสมมาตรตามแนวแกน
- การกระจายความดันสถิตสม่ำเสมอ
- ปราศจากการหมุนวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้ง

สำหรับเกรด 1 และเกรด 2 ไม่จำเป็นต้องทวนสอบ เพราะในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เป็นไปตามข้อกำหนดเหล่านี้ได้ทั้งหมด

เป็นไปได้ที่จะป้องกันการกระจายความเร็วที่ไม่เพียงพอหรือการหมุนวน ด้วยการหลีกเลี่ยงส่วนคดโค้งหรือส่วนที่ประกอบด้วยส่วนคดโค้งต่างๆ หลายส่วน การต่อขยายใดๆ หรือความไม่ต่อเนื่องใดๆ ในหน้าตัดตามขวางในบริเวณใกล้เคียง (น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ) ภาคตัดที่วัด

โดยทั่วไปผลกระทบของภาวะการไหลทางเข้าจะเพิ่มขึ้นตามเลขแบบ K ของเครื่องสูบ เมื่อ $K > 1.2$ แนะนำให้จำลองภาวะที่หน้างาน

สำหรับการจัดเตรียมการทดสอบมาตรฐาน แนะนำให้ต่อท่อจากถังเก็บน้ำที่มีพื้นผิวอิสระ หรือจากท่อลดคลื่นขนาดใหญ่ในวงจรปิด ความยาวตรงทางเข้า L ต้องหาจากสูตร: $L/D = K + 5$ เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ซึ่งมีผลใช้ได้เฉพาะสำหรับการทดสอบเกรด 1

สูตรนี้มีผลใช้ได้สำหรับการจัดเตรียมที่รวม (ที่ระยะ L ด้านต้นทาง) การตัดโค้งมุมจากอย่างง่ายซึ่งไม่มีใบนำร่องติดตั้งอยู่ ภายใต้ภาวะเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีตัวตัดการไหลให้ตรง (flow straighter) ในท่อระหว่างส่วนตัดโค้งกับเครื่องสูบลม อย่างไรก็ตาม ในวงจรปิดซึ่งไม่มีทั้งถังเก็บน้ำและท่อลดคลื่นใกล้กับด้านต้นทางของเครื่องสูบลม จำเป็นต้องแน่ใจว่าการไหลเข้าในเครื่องสูบลมปราศจากการหมุนวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้งและมีการกระจายความเร็วสมมาตรปกติ

การหมุนวนที่มีนัยสำคัญสามารถหลีกเลี่ยงได้โดย

- การออกแบบวงจรทดสอบด้านต้นทางของภาคตัดที่วัดอย่างระมัดระวัง
- การใช้ตัวตัดการไหลให้ตรงอย่างรอบคอบ
- การจัดเตรียมตัวต่อแยกความดันอย่างเหมาะสม เพื่อลดอิทธิพลที่มีกับการวัดให้น้อยที่สุด

ไม่แนะนำให้ติดตั้ง ลิ้นปีกผีเสื้อ (throttle valve) ในท่อด้านดูด (ดูข้อ 5.4.4) แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น การทดสอบการเกิดคาวิเทชัน ความยาวท่อตรงระหว่างวาล์วกับทางเข้าเครื่องสูบลมควรเป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 11.2.2

5.3.3 การจัดเตรียมการทดสอบที่จำลองขึ้น

จากเหตุผลที่ให้ไว้ข้างต้น เป็นที่ตกลงกันว่าให้ทดสอบเครื่องสูบลมในภาวะที่หน้างานที่จำลองขึ้น เป็นสิ่งสำคัญที่ทางเข้าของวงจรที่จำลองขึ้น การไหลควรปราศจากการหมุนวนที่มีนัยสำคัญซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้งและมีการกระจายความเร็วสมมาตรเท่าที่จะเป็นไปได้ การเตรียมที่จำเป็นทั้งหมดต้องทำเพื่อให้แน่ใจว่ามีภาวะเหล่านี้

ถ้าจำเป็น สำหรับการทดสอบเกรด 1 การกระจายความเร็วของการไหลเข้าในวงจรที่จำลองขึ้นต้องหาจากการใช้พิทอต์ทิวบ์ (Pitot tube) วัดตามขวางท่ออย่างระมัดระวัง เพื่อให้มีลักษณะเฉพาะการไหลที่ต้องการ ถ้าไม่สามารถทำได้ ลักษณะเฉพาะที่ต้องการสามารถหาได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ตัวตัดการไหลให้ตรงที่ติดตั้งเพื่อปรับแก้ความผิดพร่องในการไหล (การหมุนวนหรือไม่สมมาตร) ข้อกำหนดคุณลักษณะของตัวตัดการไหลให้ตรงแบบที่ใช้กันส่วนใหญ่สามารถพบได้ใน ISO 7194 แต่ต้องระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าภาวะการทดสอบจะไม่มีผลกระทบจากการสูญเสียความดันเนื่องจากอุปกรณ์คัดตรงบางอย่าง

5.3.4 เครื่องสูบลมที่ทดสอบกับข้อต่อ

ถ้าระบุไว้ในสัญญา การทดสอบมาตรฐานสามารถทำกับเครื่องสูบลมที่รวมกับสิ่งต่อไปนี้:

- ก) ข้อต่อที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งที่หน้างานขั้นสุดท้าย หรือ
- ข) การผลิตซ้ำที่ตรงกับตัวเครื่องสูบลมเอง หรือ

ค) ข้อต่อสำหรับจุดประสงค์การทดสอบและใช้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องสูบลมเอง

การไหลที่ทางเข้าและทางออกของชุดรวมต้องเป็นไปตาม ข้อกำหนดที่ระบุในข้อ 5.3.2

การวัดต้องทำตามข้อ 8.2.2

5.3.5 การติดตั้งเครื่องสูบลมภายใต้ภาวะจุ่มในของเหลว

ในกรณีที่เครื่องสูบลม หรือชุดรวมของเครื่องสูบลมและข้อต่อของเครื่องสูบลม ถูกทดสอบหรือติดตั้งในภาวะที่การติดตั้งที่มาตรฐานตามที่อธิบายในข้อ 5.3.2 ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเข้าถึงไม่ได้หรือจุ่มในของเหลว การวัดต้องทำตามข้อ 8.2.3

5.3.6 เครื่องสูบลมแบบหลุมเจาะและแบบบ่อลึก

เครื่องสูบลมแบบหลุมเจาะและแบบบ่อลึก โดยทั่วไปไม่สามารถทดสอบกับความยาวสมบูรณ์ของส่วนหลักที่ส่งมอบได้ ดังนั้นความสูญเสียหัวน้ำในส่วนที่แตกต่างกันและกำลังที่ดูดกลืนโดยเพลลาใดๆ จึงไม่นำมาคิดรวม ร่องลื่นแบบรับแรงผลัก (trust bearing) จะมีโหลดในระหว่างการทดสอบน้อยกว่าในการติดตั้งขั้นสุดท้าย การวัดต้องทำตามข้อ 8.2.3

5.3.7 เครื่องสูบลมแบบเซฟไพรมิ่ง (self-priming pumps)

โดยหลักการ ความสามารถในการดูดของเครื่องสูบลมแบบเซฟไพรมิ่ง ต้องทวนสอบที่หัวน้ำสถิตด้านดูดตาม สัญญาซึ่งมีท่อทางเข้าที่ติดตั้งเทียบเท่ากับการติดตั้งขั้นสุดท้าย เมื่อการทดสอบไม่สามารถทำอย่างอธิบายได้ การจัดเตรียมการทดสอบที่ใช้ต้องระบุในสัญญา

5.4 ภาวะการทดสอบ

5.4.1 วิธีดำเนินการทดสอบ

ระยะเวลาการทดสอบต้องเพียงพอเพื่อให้ได้ผลที่สอดคล้องกับระดับความแม่นยำที่ต้องการ

การวัดทั้งหมดต้องทำภายใต้ภาวะคงตัวของการทำงานหรือภาวะไม่คงตัวภายในขีดจำกัดที่ให้ไว้ในตารางที่ 4 การตัดสินใจทำการวัดเมื่อไม่สามารถทำให้มีภาวะเหล่านั้นได้ ต้องเป็นการตกลงกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง การทวนสอบจุดรับประกันต้องได้จากการบันทึกจุดวัดอย่างน้อย 3 จุด (การทดสอบเกรด 2) หรือ 5 จุด (การทดสอบเกรด 1) เป็นกลุ่มใกล้เคียงกันและสม่ำเสมอรอบจุดรับประกัน เช่น ระหว่าง $0.9 Q_G$ กับ $1.1 Q_G$

ในกรณีที่จำเป็นต้องหาสมรรถนะตลอดพิสัยภาวะการทำงานเนื่องจากมีเหตุผลพิเศษ ต้องมีจำนวนของจุดวัดที่เพียงพอเพื่อให้มีสมรรถนะภายในขีดจำกัดของความไม่แน่นอนตามที่ระบุในข้อ 6.2

ถ้ากำลังขับที่มีได้ในระหว่างการทดสอบบนแท่นทดสอบไม่เพียงพอ และถ้าการทดสอบต้องทำที่ความเร็วรอบที่ลดลง ผลการทดสอบต้องปรับค่าไปที่ความเร็วรอบที่ระบุตามข้อ 6.1.2

5.4.2 เสถียรภาพการทำงาน

5.4.2.1 ข้อสังเกตทั่วไป

สำหรับจุดประสงค์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- ก) การกระเพื่อม (fluctuation) : การเปลี่ยนแปลงในค่าสั้นๆ รอบค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณทางกายภาพที่วัดได้ในระหว่างเวลาที่ทำให้อ่านค่าค่าเดียว
- ข) การแปรผัน (variation) : การเปลี่ยนแปลงค่าซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอ่านค่าครั้งหนึ่งกับการอ่านค่าครั้งถัดไป

5.4.2.2 การกระเพื่อมที่ยอมให้ในการอ่านค่าและการใช้การหน่วง

5.4.2.2.1 การสังเกตด้วยสายตาโดยตรงของสัญญาณที่ได้จากระบบการวัด

สำหรับแต่ละปริมาณที่วัดได้ ขนาดการกระเพื่อมที่ยอมให้ดังในตารางที่ 3

ในกรณีที่การสร้างหรือการทำงานของเครื่องสูบลมมีขนาดการกระเพื่อมมาก การวัดอาจทำได้โดยมีอุปกรณ์หน่วงในเครื่องวัดหรือสายต่อซึ่งสามารถลดขนาดการกระเพื่อมลงให้อยู่ภายในค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3

เนื่องจากเป็นไปได้ที่การหน่วงจะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับความแม่นยำของการอ่านค่า จึงต้องใช้อุปกรณ์หน่วงที่เหมาะสมและเป็นเชิงเส้น เช่น หลอดคะพิลลารี (capillary tube) ซึ่งต้องมีการอินทิเกรตตลอดอย่างน้อย 1 วัฏจักรสมบูรณ์ของการกระเพื่อม

ตารางที่ 3 ขนาดของการกระเพื่อมที่ยอมให้เป็นร้อยละของค่าเฉลี่ยของปริมาณที่วัดได้

ปริมาณที่วัดได้	ขนาดของการกระเพื่อมที่ยอมให้	
	เกรด 1 %	เกรด 2 %
อัตราการใช้ หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลม ทอร์ค กำลังด้านเข้า	± 3	± 6
ความเร็วรอบ	± 1	± 2
เมื่อใช้อุปกรณ์ความดันต่างวัดอัตราการใช้ หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลม ขนาดการกระเพื่อมที่ยอมให้ของความดันต่างที่สังเกตต้องเป็น $\pm 6\%$ สำหรับเกรด 1 และ $\pm 12\%$ สำหรับเกรด 2		
ในกรณีของการวัดแยกของความดันรวมทางเข้าและความดันรวมทางออก ขนาดการกระเพื่อมที่ยอมให้สูงสุดต้องคำนวณจากหัวน้ำรวมของเครื่องสูบลม		

5.4.2.2.2 การบันทึกอัตโนมัติหรือการอินทิเกรตสัญญาณที่ได้จากระบบการวัด

เมื่อสัญญาณที่ได้จากระบบการวัดถูกบันทึกอัตโนมัติหรืออินทิเกรตโดยอุปกรณ์วัด ขนาดการกระเพื่อมที่ยอมให้สูงสุดของสัญญาณเหล่านี้จะสูงกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3 ถ้า

- ก) ระบบการวัดที่ใช้รวมอุปกรณ์อินทิเกรตที่ทำงานอัตโนมัติ โดยมีความแม่นยำที่ต้องการ การอินทิเกรตที่จำเป็นในการคำนวณค่าเฉลี่ยตลอดคาบการอินทิเกรตนานกว่าเวลาตอบสนองของระบบที่สมนัยกันมาก
- ข) การอินทิเกรตที่จำเป็นในการคำนวณค่าเฉลี่ยอาจทำหลังจากบันทึกสัญญาณแอนะล็อก $x(t)$ แบบต่อเนื่องหรือแบบสุ่ม (ภาวะการสุ่มควรระบุไว้ในรายงานการทดสอบ)

5.4.2.3 จำนวนชุดของการสังเกต

5.4.2.3.1 ภาวะคงตัว

ภาวะการทดสอบถือว่าคงตัว ถ้าค่าเฉลี่ยของปริมาณทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง (อัตราการใช้เชื้อเพลิง น้ำหนักของเครื่องสูบลูกสูบ กำลังด้านเข้า ทอร์ค และความเร็วรอบ) ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ในทางปฏิบัติ ภาวะการทดสอบถือว่าคงตัวถ้าการแปรผันของแต่ละปริมาณ (ที่สังเกตที่จุดทำงานทดสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 10 วินาที) ไม่เกินค่าที่ให้ในส่วนบนของตารางที่ 4 ถ้าเป็นไปตามภาวะนี้ และถ้าการกระเพื่อมน้อยกว่าค่าที่ยอมให้ในตารางที่ 3 การอ่านค่าเพียง 1 ชุด ของแต่ละปริมาณจะถูกบันทึกสำหรับจุดทดสอบที่พิจารณา

5.4.2.3.2 ภาวะไม่คงตัว

ในกรณีที่ความไม่คงตัวของภาวะการทดสอบทำให้เกิดข้อสงสัยเกี่ยวกับความแม่นยำของการทดสอบ ต้องทำตามวิธีดำเนินการต่อไปนี้

ที่จุดทดสอบแต่ละจุด การอ่านค่าปริมาณที่วัดได้ซ้ำต้องทำในช่วงเวลาแบบสุ่ม แต่ไม่น้อยกว่า 10 วินาที โดยยอมให้ควบคุมความเร็วรอบและอุณหภูมิเท่านั้น การปรับตั้งทั้งหมดของลิ้นปีกผีเสื้อ ระดับน้ำปอด (gland) น้ำปรับสมดุล ฯลฯ ต้องปล่อยไว้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ

ความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านซ้ำปริมาณเดียวกันจะวัดความไม่คงตัวของภาวะการทดสอบ ซึ่งอย่างน้อยได้รับอิทธิพลบางส่วนจากเครื่องสูบลูกสูบที่ทดสอบเช่นเดียวกับจากการติดตั้ง

ที่แต่ละจุดทดสอบต้องอ่านค่าอย่างน้อย 3 ชุด และต้องบันทึกค่าจากการอ่านค่าแยกกันแต่ละครั้งและประสิทธิภาพที่หาได้จากการอ่านค่าแต่ละชุด ความแตกต่างเป็นร้อยละระหว่างค่ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุดของแต่ละปริมาณต้องไม่มากกว่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 4 ควรสังเกตว่ายอมให้มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นถ้าจำนวนการอ่านค่าเพิ่มขึ้น (ดูตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ขีดจำกัดของการแปรผันระหว่างการวัดซ้ำของปริมาณเดียวกัน
(บนพื้นฐานของขีดจำกัดความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ภาวะ	จำนวนชุดของการอ่านค่า	ความแตกต่างที่ยอมรับได้ระหว่างค่ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุดที่อ่านได้ของแต่ละปริมาณ เทียบกับค่าเฉลี่ย			
		อัตราการไหล, หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ, ทอร์ค, กำลังด้านเข้า		ความเร็วรอบ	
		เกรด 1 %	เกรด 2 %	เกรด 1 %	เกรด 2 %
คงตัว	1	0.6	1.2	0.2	0.4
ไม่คงตัว	3	0.8	1.8	0.3	0.6
	5	1.6	3.5	0.5	1.0
	7	2.2	4.5	0.7	1.4
	9	2.8	5.8	0.8	1.6
	13	2.9	5.9	0.9	1.8
	>20	3.0	6.0	1.0	2.0

ความแตกต่างที่ยอมรับได้สูงสุดเหล่านี้ออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการกระจายร่วมกับความไม่แน่นอนแบบมีระบบที่ให้ไว้ในตารางที่ 7 จะส่งผลกับความไม่แน่นอนในการวัดโดยรวมไม่มากกว่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 8

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าที่อ่านได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละปริมาณต้องใช้เป็นค่าจริงสำหรับจุดประสงค์ของการทดสอบ

ถ้าไม่สามารถทำให้ถึงค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 4 ได้ ต้องหาสาเหตุ แก้ไขภาวะและอ่านค่าใหม่ทั้งหมด นั่นคือต้องไม่นำค่าทั้งหมดในชุดเดิมมาใช้ เพราะอยู่ภายนอกขีดจำกัด

ในกรณีที่ความแปรผันที่เกินไม่ได้มาจากวิธีการหรือความผิดพลาดของเครื่องทดสอบและไม่สามารถขจัดได้ ขีดจำกัดของความผิดพลาดสามารถคำนวณ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

5.4.3 ความเร็วรอบในระหว่างการทดสอบ

หากมิได้ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น การทดสอบอาจทำที่ความเร็วรอบทดสอบภายในพิสัยร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 120 ของความเร็วรอบที่ระบุเพื่อสร้างอัตราการไหล หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ และกำลังด้านเข้า อย่างไรก็ตาม ควรสังเกตว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าร้อยละ 20 จากความเร็วรอบที่ระบุอาจมีผลกระทบกับประสิทธิภาพ

สำหรับการทดสอบ NPSH ความเร็วรอบทดสอบควรอยู่ในพิสัยร้อยละ 80 ถึงร้อยละ 120 ของความเร็วรอบที่ระบุ หากอัตราการไหลอยู่ในร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 120 ของอัตราการไหลที่สมนัยกับประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบทดสอบ

หมายเหตุ สำหรับการทดสอบที่เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 11.1.2.1 และข้อ 11.1.2.2 อาจยอมให้มีการแปรผันที่กล่าวถึงข้างต้นได้ทุกครั้ง สำหรับการทดสอบที่เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 11.1.2.3 อาจยอมให้สำหรับเครื่องสูบน้ำที่มีเลขแบบ K น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2; สำหรับเครื่องสูบน้ำที่มีเลขแบบ K มากกว่า 2 ควรตกลงกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง

5.4.4 การปรับตั้งหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำ

ภาวะการทดสอบอาจได้มา (หนึ่งในวิธีอื่นๆ) โดยใช้การปรับวาล์วในท่อทางเข้าหรือท่อทางออก หรือทั้งสองท่อ เมื่อใช้การปรับวาล์วในท่อทางเข้า ต้องมีการพิจารณาอย่างถูกต้องถึงความเป็นไปได้ของการเกิด cavitation หรืออากาศที่ออกมาจากน้ำ ซึ่งอาจมีผลกระทบกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ อุปกรณ์วัดการไหล หรือทั้งสองอย่าง (ดูข้อ 11.2.2)

5.4.5 การทดสอบเครื่องสูบน้ำสำหรับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำเย็นสะอาด

5.4.5.1 ทั่วไป

สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำก่อนข้างจะแปรผันตามสภาพของของเหลวที่สูบ ถึงแม้ว่าไม่สามารถตั้งเป็นกฎทั่วไปที่สามารถใช้ได้กับสมรรถนะของน้ำเย็นสะอาดเพื่อคาดคะเนสมรรถนะของของเหลวอื่น บ่อยครั้งที่ผู้ที่เกี่ยวข้องต้องตกลงกันบนกฎโดยประสบการณ์เพื่อให้เหมาะสมกับสถานการณ์เฉพาะ จึงทดสอบเครื่องสูบน้ำด้วยน้ำเย็นสะอาด

อาจพิจารณาภาคผนวก ข. และภาคผนวก ข. เป็นแนวทาง

5.4.5.2 ลักษณะเฉพาะของ “น้ำเย็นสะอาด”

ลักษณะเฉพาะของน้ำที่สมนัยกับสิ่งที่เรียกในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ว่า “น้ำเย็นสะอาด” ต้องอยู่ในขีดจำกัดที่ระบุในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อกำหนดคุณลักษณะของ “น้ำเย็นสะอาด”

ลักษณะเฉพาะ	หน่วย	ค่าสูงสุด
อุณหภูมิ	°C	40
ความหนืดจลน์	m ² /s	1.75×10^{-6}
ความหนาแน่น	kg/m ³	1 050
ปริมาณของแข็งอิสระที่ไม่ดูดซึมน้ำ	kg/m ³	2.5
ปริมาณของแข็งที่ละลาย	kg/m ³	50

ปริมาณก๊าซอิสระและก๊าซที่ละลายรวมของน้ำต้องไม่เกินปริมาณอิ่มตัวที่สัมพันธ์กับ

- ความดันและอุณหภูมิในอ่างเครื่องสูบ สำหรับวงจรเปิด (open circuit)
- ความดันและอุณหภูมิในแท็งก์ สำหรับวงรอบปิด (closed loop)

5.4.5.3 ลักษณะเฉพาะของของเหลวที่การทดสอบน้ำเย็นสะอาดยอมรับได้

เครื่องสูบสำหรับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำเย็นสะอาดอาจทดสอบหัวน้ำ อัตราการไหล และประสิทธิภาพด้วยน้ำเย็นสะอาดถ้าของเหลวอยู่ในข้อกำหนดคุณลักษณะในตารางที่ 6¹⁾

ตารางที่ 6 ลักษณะเฉพาะของของเหลว

ลักษณะเฉพาะของของเหลว	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ความหนืดจลน์	m ² /s	ไม่จำกัด	10×10^{-6}
ความหนาแน่น	kg/m ³	450	2 000
ปริมาณของแข็งอิสระที่ไม่ดูดซึมน้ำ	kg/m ³	-	5.0

ปริมาณก๊าซอิสระและก๊าซที่ละลายรวมของของเหลวต้องไม่เกินปริมาณอิ่มตัวที่สัมพันธ์กับ

- ความดันและอุณหภูมิในอ่างเครื่องสูบ สำหรับวงจรเปิด
- ความดันและอุณหภูมิในแท็งก์ สำหรับวงรอบปิด

การทดสอบเครื่องสูบสำหรับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่ของเหลวที่ระบุข้างต้นต้องตกลงกันเป็นพิเศษ

ในกรณีที่ไม่มีข้อตกลงกันเป็นพิเศษ การทดสอบการเกิดควิเทชันต้องทำกับน้ำเย็นสะอาด ถ้านิ่งถึงความจริงที่ว่าผลลัพธ์อาจมีผลกระทบจากวิธีดำเนินการนี้เมื่อของเหลวที่สูบ ไม่ใช่ น้ำเย็นสะอาด

6. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

6.1 การแปลงผลการทดสอบที่ภาวะการรับประกัน

6.1.1 ทั่วไป

ปริมาณที่ต้องการเพื่อทดสอบลักษณะเฉพาะที่รับประกัน โดย ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ และที่ให้ไว้ในข้อ 4.1 โดยทั่วไปวัดภายใต้ภาวะที่ต่างกันมากกว่าหรือน้อยกว่าภาวะที่อยู่บนพื้นฐานการรับประกัน เพื่อที่จะหาว่าเป็นไปตามการรับประกันหรือไม่ถ้าการทดสอบทำภายใต้ภาวะการรับประกัน จึงจำเป็นต้องแปลงปริมาณที่วัดได้ภายใต้ภาวะที่ต่างกันให้เป็นปริมาณที่วัดได้ภายใต้ภาวะการรับประกัน

6.1.2 การแปลงผลการทดสอบให้เป็นข้อมูลบนพื้นฐานของความเร็วน้ำวน (หรือความถี่) ที่ระบุ และความหนาแน่น

¹⁾ เส้นโค้ง NPSHR ของผู้ทำเครื่องสูบตามปกติสร้างขึ้นโดยใช้น้ำเย็นสะอาด และค่า NPSHR ให้ไว้สำหรับน้ำเย็นสะอาดเสมอ

ข้อมูลการทดสอบทั้งหมดที่หาได้ที่ความเร็วรอบ n ซึ่งมีการเบี่ยงเบนจากความเร็วรอบที่ระบุ n_{sp} ต้องแปลงให้อยู่บนพื้นฐานของความเร็วรอบที่ระบุ n_{sp}

ถ้าความเร็วรอบทดสอบ n เบี่ยงเบนจากความเร็วรอบที่ระบุ n_{sp} ไม่เกินการแปรผันที่ยอมให้ซึ่งระบุในข้อ 5.4.3 และถ้าการเบี่ยงเบนของของเหลวทดสอบจากของเหลวที่ระบุอยู่ในขีดจำกัดที่ระบุในข้อ 5.4.5.3 ข้อมูลที่วัดได้ที่อัตราการไหล Q หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกสูบ H กำลังด้านเข้า P และประสิทธิภาพเครื่องสูบลูกสูบ η สามารถแปลงด้วยสมการ:

$$Q_T = Q \frac{n_{sp}}{n}$$

$$H_T = H \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2$$

$$P_T = P \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \cdot \frac{\rho_{sp}}{\rho}$$

$$\eta_T = \eta$$

และผลลัพธ์ที่ได้สำหรับ NPSHR สามารถแปลงด้วยสมการ

$$(\text{NPSHR})_T = (\text{NPSHR}) \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^x$$

ในการประมาณครั้งแรกสำหรับ NPSH อาจใช้ค่า $x = 2$ ถ้าเป็นไปตามภาวะที่ระบุซึ่งให้ไว้ในข้อ 5.4.3 สำหรับความเร็วรอบและอัตราการไหล และถ้าสถานะทางกายภาพของของเหลวที่ทางเข้าใบพัดอยู่ในลักษณะที่ไม่มีการแยกก๊าซที่สามารถมีผลกระทบกับการทำงานของเครื่องสูบลูกสูบ ถ้าเครื่องสูบลูกสูบทำงานใกล้เคียงขีดจำกัดการเกิดควาวิเทชัน หรือถ้าการเบี่ยงเบนของความเร็วทดสอบจากความเร็วที่ระบุเกินข้อกำหนดคุณลักษณะที่ให้ไว้ในข้อ 5.4.3 ปรากฏการณ์อาจได้รับอิทธิพลจาก เช่น ผลกระทบทางอุณหภูมิ การแปรผันของแรงตึงผิว หรือความแตกต่างในปริมาณอากาศที่ละลายหรืออากาศที่ถูกกัก ค่าเลขยกกำลัง x อยู่ระหว่าง 1.3 ถึง 2 และบังคับให้ตกลงกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างสูตรการแปลงที่ใช้

ในกรณีของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบลูกสูบรวมกัน หรือเมื่อการรับประกันอ้างอิงถึงความเร็วและแรงดันไฟฟ้าที่ตกลงกันแทนที่ความเร็วรอบที่ตกลงกัน (ดูข้อ 4.1) ข้อมูลอัตราการไหล หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกสูบ กำลังด้านเข้า และประสิทธิภาพให้ใช้ตามกฎการแปลงที่กล่าวถึงข้างต้น หาก n_{sp} แทนด้วยความถี่ f_{sp} และ n แทนด้วยความถี่ f อย่างไรก็ตาม การแปลงนั้นถูกจำกัดไว้สำหรับกรณีที่ความถี่ที่เลือกในระหว่างการทดสอบแปรผันไม่เกินร้อยละ 1 ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบสูงกว่าหรือต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าซึ่งอยู่บนพื้นฐานของลักษณะเฉพาะที่รับประกันไม่เกินร้อยละ 5 ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงข้อมูลการทำงานอื่น

ถ้าการเบี่ยงเบนที่กล่าวถึงข้างต้นเกิน นั่นคือ $\pm$ ร้อยละ 1 สำหรับความถี่ และ $\pm$ ร้อยละ 5 สำหรับแรงดันไฟฟ้า ผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ จำเป็นต้องตกลงกัน

6.1.3 การทดสอบที่ NPSHA ต่างจากที่รับประกัน

ไม่สามารถยอมรับสมรรถนะเครื่องสูบลูกสูบที่ NPSHA สูงได้ หลังปรับแก้ความเร็วรอบภายในพิสัยที่ยอมให้ในข้อ 5.4.3 เพื่อขึ้นบอสมรรถนะที่ NPSHA ที่ต่ำกว่า

อย่างไรก็ตาม สามารถยอมรับสมรรถนะเครื่องสูบลูกสูบที่ NPSHA ต่ำได้ หลังปรับแก้ความเร็วรอบภายในพิสัยที่ยอมให้ในข้อ 5.4.3 เพื่อขึ้นบอสมรรถนะที่ NPSHA ที่สูงกว่า หากตรวจสอบว่าไม่มีการเกิดควาวิเทชั่น ตามข้อ 11.1.2.2 หรือข้อ 11.1.2.3

6.2 การวัดความไม่แน่นอน

6.2.1 ทั่วไป

การวัดทุกครั้งมีความไม่แน่นอนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้ว่าวิธีดำเนินการวัดและเครื่องวัดที่ใช้ เช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์จะเป็นไปตามกฎที่มีอยู่ทั้งหมด และโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

6.2.2 การหาความไม่แน่นอนแบบสุ่ม

จุดประสงค์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดให้ความไม่แน่นอนในการวัดแบบสุ่มของตัวแปรเป็น 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรนี้ ความไม่แน่นอนสามารถคำนวณและขึ้นบอสำหรับการวัดใดๆ ตาม ISO 5198

เมื่อความผิดพลาดย่อยต่างๆ (เมื่อรวมกันทำให้เกิดความไม่แน่นอน) ซึ่งไม่ขึ้นต่อกัน มีค่าน้อยและมีจำนวนมาก และมีการกระจายแบบเกาส์เซียน ความผิดพลาดจริง (นั่นคือ ความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง) จะมีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอนด้วยความน่าจะเป็นร้อยละ 95

6.2.3 ความไม่แน่นอนแบบมีระบบที่ยอมให้สูงสุด

ความไม่แน่นอนของการวัดบางส่วนขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนที่เหลือยู่ในเครื่องวัดหรือในวิธีการวัดที่ใช้ หลังจากขจัดความผิดพลาดที่ทราบทั้งหมดด้วยการสอบเทียบ การวัดมีด้อย่างระมัดระวัง การติดตั้งอย่างเหมาะสม ฯลฯ ก็ยังคงมีความผิดพลาดเหลืออยู่ซึ่งจะไม่หายไปและไม่สามารถลดลงได้ด้วยการวัดซ้ำถ้าใช้เครื่องวัดเดิมและวิธีการวัดเดิม ส่วนประกอบของความผิดพลาดนี้เรียกว่า “ความไม่แน่นอนแบบมีระบบ”

ข้อ 7. ถึงข้อ 11. อธิบายวิธีการวัดต่างๆ และอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อหาอัตราการไหล หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกสูบ ความเร็วรอบ กำลังด้านเข้าเครื่องสูบลูกสูบ และค่า NPSHR ในพิสัยความแม่นยำที่ต้องการสำหรับการทดสอบตามเกรด 1 และเกรด 2

อาจใช้อุปกรณ์หรือวิธีซึ่งทราบโดยการสอบเทียบหรืออ้างอิงไปยังมาตรฐานอื่นเพื่อส่งผลให้การวัดมีความไม่แน่นอนแบบมีระบบไม่เกินค่าที่ยอมให้สูงสุดที่ให้ไว้ในตารางที่ 7 เครื่องวัดหรือวิธีเหล่านี้ต้องยอมรับโดยผู้ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 7 ค่าที่ยอมให้ของความไม่แน่นอนแบบมีระบบ

ปริมาณ	ค่าที่ยอมให้	
	เกรด 1 %	เกรด 2 %
อัตราการใช้	± 1.5	± 2.5
ความเร็วรอบ	± 0.35	± 1.4
ทอร์ก	± 0.9	± 2.0
หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ	± 1.0	± 2.5
กำลังด้านเข้าตัวขับ	± 1.0	± 2.0

6.2.4 ความไม่แน่นอนในการวัดโดยรวม

ความไม่แน่นอนแบบสุ่มเนื่องจากลักษณะเฉพาะของระบบการวัด หรือการแปรผันของปริมาณที่วัดได้ หรือทั้งสองอย่างปรากฏเป็นการกระจายของการวัดโดยตรง แตกต่างจากความไม่แน่นอนแบบมีระบบโดยความไม่แน่นอนแบบสุ่มสามารถลดลงได้ด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งของการวัดปริมาณเดิมภายใต้ภาวะเดิม

ความไม่แน่นอนในการวัดโดยรวมคำนวณจากรากที่สองของผลรวมระหว่างความไม่แน่นอนแบบมีระบบยกกำลังสองกับความไม่แน่นอนแบบสุ่มยกกำลังสอง

ทราบเท่าที่เป็นไปได้ ต้องหาความไม่แน่นอนในการวัดโดยรวม หลังการทดสอบ โดยคำนึงถึงการวัดและภาวะการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ

ถ้าทำตามข้อแนะนำเกี่ยวกับความไม่แน่นอนแบบมีระบบตามที่ให้ไว้ในข้อ 6.2.3 และข้อกำหนดทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวิธีดำเนินการทดสอบตามที่ให้ไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ อาจถือว่าความไม่แน่นอนโดยรวม (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) จะไม่เกินค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าที่ยอมให้ของความไม่แน่นอนในการวัดโดยรวม

ปริมาณ	สัญลักษณ์	เกรด 1 %	เกรด 2 %
อัตราการใช้	e_Q	± 2.0	± 3.5
ความเร็วรอบ	e_n	± 0.5	± 2.0
ทอร์ก	e_T	± 1.4	± 3.0
หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ	e_H	± 1.5	± 5.5
กำลังด้านเข้าตัวขับ	e_{pgr}		
กำลังด้านเข้าเครื่องสูบ (คำนวณจากทอร์กและความเร็วรอบ)	e_P		
กำลังด้านเข้าเครื่องสูบ (คำนวณจากกำลังตัวขับและประสิทธิภาพมอเตอร์)	e_p	± 2.0	± 4.0

6.2.5 การหาความไม่แน่นอนในการวัดประสิทธิภาพ

ความไม่แน่นอนโดยรวมในประสิทธิภาพโดยรวมและในประสิทธิภาพเครื่องสูบลำดับด้วยสูตรต่อไปนี้

$$e_{\eta_{gr}} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_{P_{gr}}^2}$$

$$e_{\eta} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_T^2 + e_n^2} \quad (\text{ถ้าประสิทธิภาพคำนวณจากทอร์คและความเร็วรอบ})$$

$$e_{\eta} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_P^2} \quad (\text{ถ้าประสิทธิภาพคำนวณจากกำลังด้านเข้าเครื่องสูบลำดับ})$$

การใช้ค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 8 ในการคำนวณทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ให้ไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าผลลัพธ์ของความไม่แน่นอนโดยรวมของประสิทธิภาพ

ปริมาณ	สัญลักษณ์	เกรด 1 %	เกรด 2 %
ประสิทธิภาพโดยรวม (คำนวณจาก Q , H และ P_{gr})	$e_{\eta_{gr}}$	± 2.9	± 6.1
ประสิทธิภาพเครื่องสูบลำดับ (คำนวณจาก Q , H , T และ n)	e_{η}	± 2.9	± 6.1
ประสิทธิภาพเครื่องสูบลำดับ (คำนวณจาก Q , H , P_{gr} และ η_{mot})	e_{η}	± 3.2	± 6.4
หมายเหตุ สำหรับการคำนึงถึงความไม่แน่นอนเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสูญเสีย อ้างอิงข้อ 10.4			

ความไม่แน่นอนตามที่ให้ไว้ในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ชี้บอกการเบี่ยงเบนที่เป็นไปได้ของค่าปริมาณที่หาได้โดยการวัดจากค่าจริง

6.3 ค่าตัวประกอบความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากความไม่แน่นอนจากการผลิตซึ่งมีขึ้นในระหว่างการทำ ต้องระบุค่าเบี่ยงเบนเชิงเรขาคณิตจากแบบเขียน (drawing) ในเครื่องสูบลำดับทุกเครื่อง

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่าที่รับประกัน (จุดทำงาน) ต้องยอมให้มีการคลาดเคลื่อน รวมถึงการเบี่ยงเบนที่เป็นไปได้ในวันที่ใช้งานระหว่างเครื่องสูบลำดับที่ทดสอบกับเครื่องสูบลำดับที่ไม่มีความไม่แน่นอนจากการผลิตใดๆ

ควรชี้ให้เห็นเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ในลักษณะการทำงานของเครื่องสูบลำดับว่าสัมพันธ์กับเครื่องสูบลำดับจริง ไม่ใช่กับภาวะการทดสอบและความไม่แน่นอนในการวัด

เพื่อให้การทวนสอบค่าที่รับประกันง่ายขึ้น แนะนำให้ใช้ตัวประกอบความคลาดเคลื่อน

ตัวประกอบความคลาดเคลื่อน $\pm t_Q$, $\pm t_H$ และ t_{η} ของอัตราการไหล หัวน้ำรวมของเครื่องสูบลำดับ และประสิทธิภาพเครื่องสูบลำดับต้องใช้กับจุดรับประกัน Q_G , H_G ตามลำดับ

ในกรณีที่ไม่มีกรตกลงจำเพาะสำหรับค่าที่ใช้ ต้องใช้ค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าตัวประกอบความคลาดเคลื่อน

ปริมาณ	สัญลักษณ์	เกรด 1 %	เกรด 2 %
อัตราการไหล	t_Q	± 4.5	± 8
หัวน้ำรวมของเครื่องสูบ	t_H	± 3	± 5
ประสิทธิภาพเครื่องสูบ	t_η	- 3	- 5

พิสัยความคลาดเคลื่อนอื่น (เช่น ให้เฉพาะตัวประกอบความคลาดเคลื่อนทางบวก) อาจตกลงกันในสัญญา

สมรรถนะของเครื่องสูบที่ผลิตเป็นอนุกรมและเลือกจากเส้นโค้งสมรรถนะทั่วไปที่พิมพ์ในแคตตาล็อก และเครื่องสูบที่มีกำลังด้านเข้าน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์ อาจแปรเปลี่ยนไปได้ ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนสำหรับเครื่องสูบเหล่านั้นระบุไว้ในภาคผนวก ก.

6.4 การทวนสอบค่าที่รับประกัน

6.4.1 ทั่วไป

การทวนสอบค่าที่รับประกันแต่ละค่าต้องทำโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่รับประกันในสัญญา (รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง)

6.4.2 การทวนสอบอัตราการไหล หัวน้ำ และประสิทธิภาพที่รับประกัน

ผลการวัดต้องแปลงเป็นที่ความเร็ว (หรือความถี่) ที่ระบุตามข้อ 6.1.2 จากนั้นต้องลงจุดเทียบกับอัตราการไหล Q เส้นโค้งที่พอดีที่สุดกับจุดที่วัดได้จะแสดงสมรรถนะของเครื่องสูบ

กากบาทเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้จากการลากผ่านจุดรับประกัน Q_G , H_G เป็นเส้นแนวระดับ $\pm t_Q \cdot Q_G$ และเส้นแนวตั้ง $\pm t_H \cdot H_G$

หัวน้ำและอัตราการไหลจะเป็นไปตามการรับประกัน ถ้าเส้นโค้ง $H(Q)$ ตัดหรืออย่างน้อยสัมผัสกับเส้นแนวตั้ง และ/หรือ เส้นแนวระดับ (ดูรูปที่ 2)

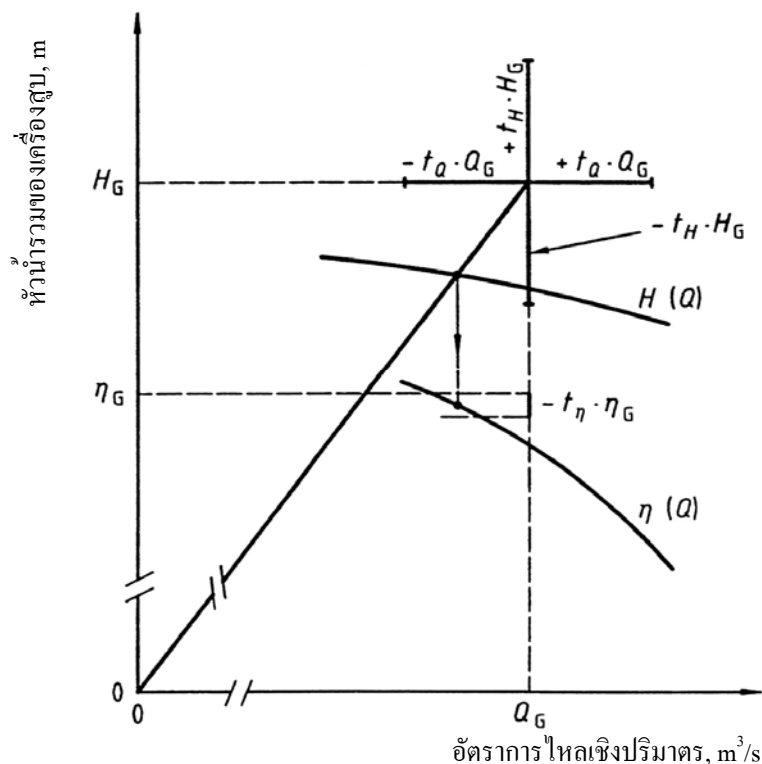
ประสิทธิภาพต้องหาจากเส้นโค้ง $H(Q)$ ที่วัดได้ที่จุดตัดกับเส้นตรงที่ลากผ่านจุดทำงานที่ระบุ Q_G , H_G และจุดศูนย์ของแกน QH และจากที่เส้นแนวตั้งตัดกับเส้นโค้ง $\eta(Q)$

ภาวะการรับประกันของประสิทธิภาพอยู่ภายในความคลาดเคลื่อน ถ้าค่าประสิทธิภาพที่จุดตัดนี้สูงกว่าหรืออย่างน้อยเท่ากับ $\eta_G(1-t_\eta)$ (ดูรูปที่ 2)

หมายเหตุ ถ้าค่าที่วัดได้ของ Q และ H มากกว่าค่าที่รับประกัน Q_G และ H_G แต่อยู่ภายในความคลาดเคลื่อน $Q_G + (t_Q \cdot Q_G)$ และประสิทธิภาพอยู่ภายในความคลาดเคลื่อนด้วย กำลังด้านเข้าจริงอาจสูงกว่าที่สมมุติไว้ในแผ่นข้อมูล

6.4.3 การทวนสอบ NPSH ที่รับประกัน

สำหรับการตรวจสอบผลกระทบของการเกิดคาวิเทชันและค่าของ NPSHR ที่รับประกัน ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ให้ในข้อ 11.1



รูปที่ 2 การทวนสอบการรับประกันอัตราการไหล หัวน้ำ และประสิทธิภาพ

6.5 การหาลักษณะเฉพาะที่ระบุ

6.5.1 การลดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

เมื่อปรากฏจากการทดสอบว่าลักษณะเฉพาะของเครื่องสูบสูงกว่าลักษณะเฉพาะที่ระบุ โดยทั่วไปจะทำการลดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

ถ้าความแตกต่างระหว่างค่าที่ระบุกับค่าที่วัดได้น้อย เป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงการทดสอบชุดใหม่โดยการใช้กฎตามสัดส่วนซึ่งยอมให้ประเมินลักษณะเฉพาะใหม่

การใช้วิธีนี้และภาวะในทางปฏิบัติสำหรับการลดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดต้องใช้การตกลงร่วมกัน

ภาคผนวก ข. ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ให้การชี้นำบางอย่างซึ่งอาจใช้ในกรณีที่มีการลดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกเฉลี่ยของใบพัดไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับเครื่องสูบลักษณะแบบ $K \leq 1.5$

6.5.2 การแปรผันของความเร็ว

ถ้าเครื่องสูบล้มการขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ไม่เป็นไปตามหรือเกินกว่าการรับประกัน อาจคำนวณจุดทดสอบใหม่สำหรับความเร็วรอบต่างกัน หากไม่เกินความเร็วรอบต่อเนื่องที่ยอมให้สูงสุด ในกรณีที่ไม่มี การตกลงจำเพาะ ความเร็วรอบที่ยอมให้สูงสุดอาจเท่ากับ $1.02 n_{sp}$ ในกรณีเช่นนั้นไม่จำเป็นต้องทดสอบใหม่

7. การวัดอัตราการไหล

7.1 การวัดด้วยการชั่ง

ISO 4185 ระบุข้อมูลที่เป็นทั้งหมดสำหรับการวัดอัตราการไหลของของเหลวด้วยวิธีชั่ง

วิธีชั่งซึ่งให้เพียงค่าอัตราการไหลเฉลี่ยในระหว่างเวลาที่ใช้ในการเติมแท็งก์ชั่ง อาจพิจารณาว่าเป็นวิธีที่แม่นยำที่สุดสำหรับการวัดอัตราการไหล โดยมีผลกระทบจากความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการชั่ง การวัดเวลาในการเติม การหาความหนาแน่นโดยคำนึงถึงอุณหภูมิของของไหล และอาจมีความผิดพลาดเกี่ยวกับการเปลี่ยนทิศทางการไหล (วิธีสถิต) หรือปรากฏการณ์พลวัตที่เวลาของการชั่ง (วิธีพลวัต)

7.2 วิธีเชิงปริมาตร

ISO 8316 ระบุข้อมูลที่เป็นทั้งหมดสำหรับการวัดอัตราการไหลของของเหลวด้วยวิธีเชิงปริมาตร

วิธีเชิงปริมาตรได้ความแม่นยำใกล้เคียงกับวิธีชั่งและในแบบเดียวกันให้เพียงค่าอัตราการไหลเฉลี่ยในระหว่างเวลาที่ใช้ในการเติมในถังที่มีเก็บบอกความจุ (gauged capacity)

การสอบเทียบถังเก็บน้ำอาจได้จากการวัดระดับน้ำหลังจากปล่อยปริมาตรน้ำอย่างต่อเนื่อง (ที่หาได้ทั้งโดยมวลหรือโดยอุปกรณ์ปีเปตต์เกจ) ลงในถังเก็บน้ำ

วิธีเชิงปริมาตรมีผลกระทบจากความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบแท็งก์ การวัดระดับ การวัดเวลาในการเติม และจากความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนทิศทางการไหล นอกจากนี้ ต้องตรวจสอบความแน่นสนิทของถังเก็บน้ำและถ้าจำเป็นให้ทำการแก้ไขปริมาณจากการรั่ว

อย่างไรก็ตาม วิธีเชิงปริมาตรยังคงมีความแปรปรวนอยู่แต่สามารถใช้ที่หน้างานและใช้สำหรับอัตราการไหลมากๆ ได้ เช่น ในกรณีที่ใช้ถังเก็บน้ำธรรมชาติเป็นความจุเกจ สามารถหาปริมาตรได้ด้วยวิธีดำเนินการทางเรขาคณิตหรือทางภูมิประเทศ คำแนะนำในการใช้วิธีนี้มีอยู่ใน IEC 60041 อย่างไรก็ตาม ต้องให้ความสำคัญว่าวิธีนี้มีความแม่นยำน้อยมากเนื่องจากความยากในการวัดระดับซึ่งอาจไม่คงตัวหรือไม่สม่ำเสมอ

7.3 อุปกรณ์ความดันต่าง

การสร้าง การติดตั้งและการใช้แผ่นช่อง (orifice plates) หัวฉีด และท่อเวนจูรี ระบุไว้ใน ISO 5167-1 และในขณะที่ ISO 2186 ให้ข้อกำหนดคุณลักษณะของการต่อระบบท่อสำหรับแมนอมิเตอร์

ควรคำนึงถึงโดยเฉพาะความยาวตรงต่ำสุดที่ต่อกับด้านต้นทางของอุปกรณ์ความดันต่าง ซึ่งระบุไว้ใน ISO 5167-1 สำหรับโครงแบบต่างๆ ของระบบท่อ ถ้าจำเป็นต้องวางอุปกรณ์ความดันต่างไว้ด้านปลายทางของ

เครื่องสูบลูบ (ซึ่งไม่ครอบคลุมในตารางที่อ้างถึง) สำหรับจุดประสงค์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้อาจพิจารณาว่าเครื่องสูบลูบสร้างการรบกวนในการไหลเท่ากับข้อเอเดี่ยว 90 องศาในระนาบเดียวกับกันหอยของเครื่องสูบลูบ (pump volute) หรือชั้นสุดท้ายของเครื่องสูบลูบแบบหลายชั้น หรือช่องทางออกของเครื่องสูบลูบ

ควรสังเกตว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและเลขเรย์โนลด์สต้องอยู่ภายในพิสัยที่ระบุใน ISO 5167-1 สำหรับอุปกรณ์แต่ละแบบ

ต้องแน่ใจว่าเครื่องวัดการไหลไม่มีอิทธิพลจากการเกิดควาวิเทชันหรือการกำจัดอากาศหลงเหลือ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ เช่น ที่วาล์วควบคุม การเกิดขึ้นของอากาศโดยทั่วไปสามารถตรวจหาได้โดยการทำงานของช่องอากาศในอุปกรณ์วัด

ต้องสามารถตรวจสอบเครื่องวัดความดันต่างได้โดยการเปรียบเทียบกับแมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลว หรือแมนอมิเตอร์แบบน้ำหนักรายตัว หรือกับมาตรฐานการสอบเทียบความดันอื่น

ถ้าเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมดของมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้สัมประสิทธิ์การปล่อยที่ให้ในมาตรฐานได้โดยไม่ต้องสอบเทียบ

7.4 แผ่นกั้นบาง (thin-plate weirs)

ข้อกำหนดคุณลักษณะสำหรับการสร้าง การติดตั้ง และการใช้งานของแผ่นกั้นบางแบบสี่เหลี่ยมหรือแบบสามเหลี่ยมให้ไว้ใน ISO 1438-1

สำหรับ ISO 4373 จะระบุอุปกรณ์วัดระดับ

โดยเฉพาะต้องคำนึงถึงความไวสูงของอุปกรณ์เหล่านี้กับภาวะการไหลด้านดันทางและความจำเป็นที่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับช่องแอมไพโรซ (approach channel)

สำหรับการใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ การแบ่งมาตราส่วนที่เล็กที่สุดของเครื่องวัดทั้งหมดที่ใช้สำหรับการวัดหัวน้ำเหนือแผ่นกั้นต้องไม่มากกว่าค่าที่สมนัยกับร้อยละ 1.5 ของอัตราการไหลที่วัดได้

7.5 วิธีพื้นที่ความเร็ว

วิธีเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของ ISO 3354 และ ISO 3966 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดการปล่อยในท่อปิดด้วยมาตรกระแสน้ำและท่อแบบพิโทตัสแต่ติดตามลำดับ มาตรฐานเหล่านี้ให้ข้อกำหนดคุณลักษณะที่จำเป็นทั้งหมดเกี่ยวกับภาวะการใช้งาน การเลือกและการทำงานของเครื่องวัด การวัดความเร็วเฉพาะที่ และการคำนวณอัตราการไหลด้วยการอินทิเกรตการกระจายความเร็ว

ความซับซ้อนของวิธีเหล่านี้ไม่ได้ตัดสินใจว่าใช้สำหรับการทดสอบเกรด 2 แต่บางครั้งเป็นเพียงวิธีที่สามารถใช้ได้เมื่อทดสอบเครื่องสูบลูบที่มีอัตราการไหลมากสำหรับการทดสอบเกรด 1

ยกเว้นท่อที่ติดตั้งยาวมาก นิยมที่จะติดตั้งส่วนที่วัดไว้ที่ต้นทางของเครื่องสูบเพื่อหลีกเลี่ยงความปั่นป่วนหรือการไหลหมุนวนมากเกินไป

7.6 วิธีตัวตามรอย

วิธีเหล่านี้ใช้กับการวัดอัตราการไหลในท่อซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ISO 2975 ส่วนที่ต่างกันซึ่งครอบคลุมทั้งวิธีทำให้เจือจาง (การฉีดด้วยอัตราคงที่) และวิธีเวลาแทรกซึม แต่ละวิธีใช้ตัวตามรอยกัมมันตรังสีหรือตัวตามรอยเคมี

ในกรณีของวิธีพื้นที่ความเร็ว วิธีตัวตามรอยพิสูจน์แล้วว่าใช้ได้สำหรับการทดสอบเกรด 1 เท่านั้น วิธีนี้ควรใช้โดยเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นและควรสังเกตว่าการใช้ตัวตามรอยกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขบังคับที่แน่นอน

7.7 วิธีอื่น

อาจใช้อุปกรณ์บางอย่าง เช่น มาตรอัตราการไหลแบบเทอร์ไบน์ แบบแม่เหล็กไฟฟ้า (ISO 9140) หรือแบบอัลตราโซนิก แบบกระแสนวน หรือแบบพื้นที่แปรผันได้ หากสอบเทียบไว้ก่อนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งในวิธีเบื้องต้นที่อธิบายในข้อ 7.1 หรือข้อ 7.2 เมื่อติดตั้งอย่างถาวรบนเครื่องทดสอบ ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบของการสอบเทียบเป็นคาบ

ต้องสอบเทียบมาตรอัตราการไหลทั้งหมดและระบบการวัดที่เกี่ยวข้อง ตามปกติการสอบเทียบควรทำภายใต้ภาวะการทำงานจริง (ความดัน อุณหภูมิ คุณภาพน้ำ ฯลฯ) ในระหว่างการทดสอบ ต้องระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่ามาตรอัตราการไหลไม่มีผลกระทบจากการเกิดคาวิเทชันในระหว่างการทดสอบ

มาตรอัตราการไหลแบบเทอร์ไบน์และแบบแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ต้องการความยาวท่อตรงด้านต้นทางที่ยาวมาก (ส่วนใหญ่ความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อก็เพียงพอ) และมีความแม่นยำมาก มาตรอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกมีความไวสูงต่อการกระจายความเร็วและต้องสอบเทียบภายใต้ภาวะการทำงานจริง การใช้มาตรอัตราการไหลแบบพื้นที่แปรผันได้ควรจำกัดไว้สำหรับการทดสอบเกรด 2

8. การวัดหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ

8.1 หัวไป

8.1.1 หลักการวัด

หัวน้ำรวมของเครื่องสูบกำนวนตามบทนิยาม (ข้อ 3.19) แสดงเป็นความสูงของคอลัมน์ของเหลวที่สูบ แสดงพลังงานที่ส่งผ่านโดยเครื่องสูบท่อน้ำหนักของของเหลว

แนวคิดของหัวน้ำอาจแทนด้วยพลังงานจำเพาะ ($y = gH$, ดูข้อ 3.20) ซึ่งแสดงพลังงานที่ส่งผ่านโดยเครื่องสูบท่อน้ำหนักของของเหลว ถึงแม้ว่าปกติจะมีใช้น้อย แต่แนะนำให้ใช้

ปริมาณต่างๆ ที่ระบุในบทนิยามของหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำในข้อ 3.19 ตามกฎควรรหาในภาคตัดทางเข้า S_1 และภาคตัดทางออก S_2 ของเครื่องสูบน้ำ (หรือของชุดเครื่องสูบน้ำและข้อต่อซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบ) ในทางปฏิบัติ เพื่อความสะดวกและความแม่นยำในการวัด โดยทั่วไปการวัดทำในภาคตัดขวาง S_1 และ S_2 ในเส้นทางหนึ่งด้านต้นทางจาก S_1 และด้านปลายทางจาก S_2 (รูปที่ 3) ดังนั้นต้องคำนึงถึงความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ นั่นคือ H_{j1} ระหว่าง S_1 กับ S_1' และ H_{j2} ระหว่าง S_2 กับ S_2' (และความเป็นไปได้ของความสูญเสียหัวน้ำเฉพาะที่) และหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำหาได้จาก

$$H = H_{2'} - H_{1'} + H_{j1} + H_{j2}$$

เมื่อ $H_{1'}$ และ $H_{2'}$ คือหัวน้ำรวมที่ S_1' และ S_2'

ข้อ 8.2 ระบุภาคตัดที่วัดในการติดตั้งแบบต่างๆ และวิธีประเมินความสูญเสียหัวน้ำ

8.1.2 วิธีวัดแบบต่างๆ

หัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำอาจหาด้วยการวัดหัวน้ำทางเข้าและทางออกแยกต่างหาก หรือด้วยการวัดความดันต่างระหว่างทางเข้ากับทางออกและบวกด้วยความแตกต่างของหัวน้ำความเร็ว (ถ้ามี) (ดูรูปที่ 10) โดยขึ้นอยู่กับภาวะการติดตั้งของเครื่องสูบน้ำและของการวางผังวงจรของท่อ

หัวน้ำรวมอาจลดลงได้ทั้งจากการวัดความดันในท่อหรือการวัดระดับน้ำในอ่างน้ำ สำหรับกรณีเหล่านี้ ข้อ 8.2 ถึงข้อ 8.4 ระบุเกี่ยวกับการเลือกและการจัดเตรียมภาคตัดที่วัด อุปกรณ์วัดแบบต่างๆ ซึ่งสามารถใช้ได้ และการหาหัวน้ำความเร็ว

8.1.3 ความไม่แน่นอนในการวัด

ความไม่แน่นอนในการวัดหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำต้องได้จากการรวมความไม่แน่นอนที่ประเมินได้ของแต่ละส่วนที่ประกอบอยู่ ดังนั้นลักษณะการคำนวณนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการวัดที่ใช้และเป็นไปได้ที่จะให้เพียงข้อมูลทั่วไปบางอย่างสำหรับความผิดพลาดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

- ก) ความผิดพลาดด้านความสูงโดยทั่วไปสามารถตัดทิ้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับความผิดพลาดจากแหล่งอื่น
- ข) ความผิดพลาดด้านหัวน้ำความเร็วที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากความผิดพลาดในการวัดอัตราการไหล และในการวัดพื้นที่ภาคตัด และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากความจริงที่ว่า การใช้ $U^2/2g$ ในการประเมินหัวน้ำความเร็วเฉลี่ยเป็นเพียงการประมาณซึ่งจะมีความแม่นยำมากขึ้นถ้าการกระจายความเร็วสม่ำเสมอมากขึ้น ความผิดพลาดเหล่านี้สามารถมีนัยสำคัญได้ สำหรับเครื่องสูบน้ำที่มีหัวน้ำรวมต่ำโดยสัมพัทธ์
- ค) ความผิดพลาดในการวัดระดับหรือการวัดความดันต้องประเมินในแต่ละกรณีเฉพาะ โดยให้การพิจารณาไม่แต่เพียงแบบของเครื่องทดสอบที่ใช้ แต่พิจารณาภาวะการใช้งาน (คุณภาพของตัวต่อแยกความดัน การกั้นน้ำรั่วของท่อที่ต่อ ฯลฯ) และลักษณะเฉพาะของการไหลด้วย (ความไม่คงตัว การกระเพื่อม การกระจายความดัน ฯลฯ)

8.2 บทนิยามของภาคตัดที่วัด

8.2.1 เครื่องสูบลูกที่ทดสอบในการติดตั้งมาตรฐาน

8.2.1.1 ภาคตัดที่วัดทางเข้า

เมื่อทดสอบเครื่องสูบลูกในการจัดเตรียมการทดสอบมาตรฐานตามที่อธิบายในข้อ 5.3.2 ตามปกติภาคตัดที่วัดทางเข้าต้องอยู่ที่ระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านต้นทางจากหน้าแปลนทางเข้าเครื่องสูบลูก เมื่อความยาวของท่อทางเข้ายอมให้ทำได้ หากความยาวไม่เพียงพอ (เช่น ในกรณีของข้อต่อสั้นปากกระฉิง (short bellmouth)) และไม่มีการตกลงกันไว้ก่อน ความยาวตรงที่ใช้ได้ควรแบ่งเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดที่เป็นไปได้ในภาวะเฉพาะที่ด้านต้นทางและด้านปลายทางของภาคตัดที่วัด (เช่น ในอัตราส่วนด้านต้นทาง 2 ต่อด้านปลายทาง 1)

ภาคตัดที่วัดทางเข้าควรอยู่ในภาคตัดตรงของท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันและร่วมแกนกับหน้าแปลนทางเข้าเครื่องสูบลูก เพื่อให้ภาวะการไหลใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้กับที่แนะนำในข้อ 5.3.2 ถ้ามีข้องอในระยะสั้นด้านต้นทางของภาคตัดที่วัด และถ้าใช้เพียงตัวต่อแยกความดัน 1 ตัวหรือ 2 ตัว (การทดสอบเกรด 2) สิ่งเหล่านี้ควรตั้งฉากกับระนาบข้องอ รูปที่ 3 และรูปที่ 4

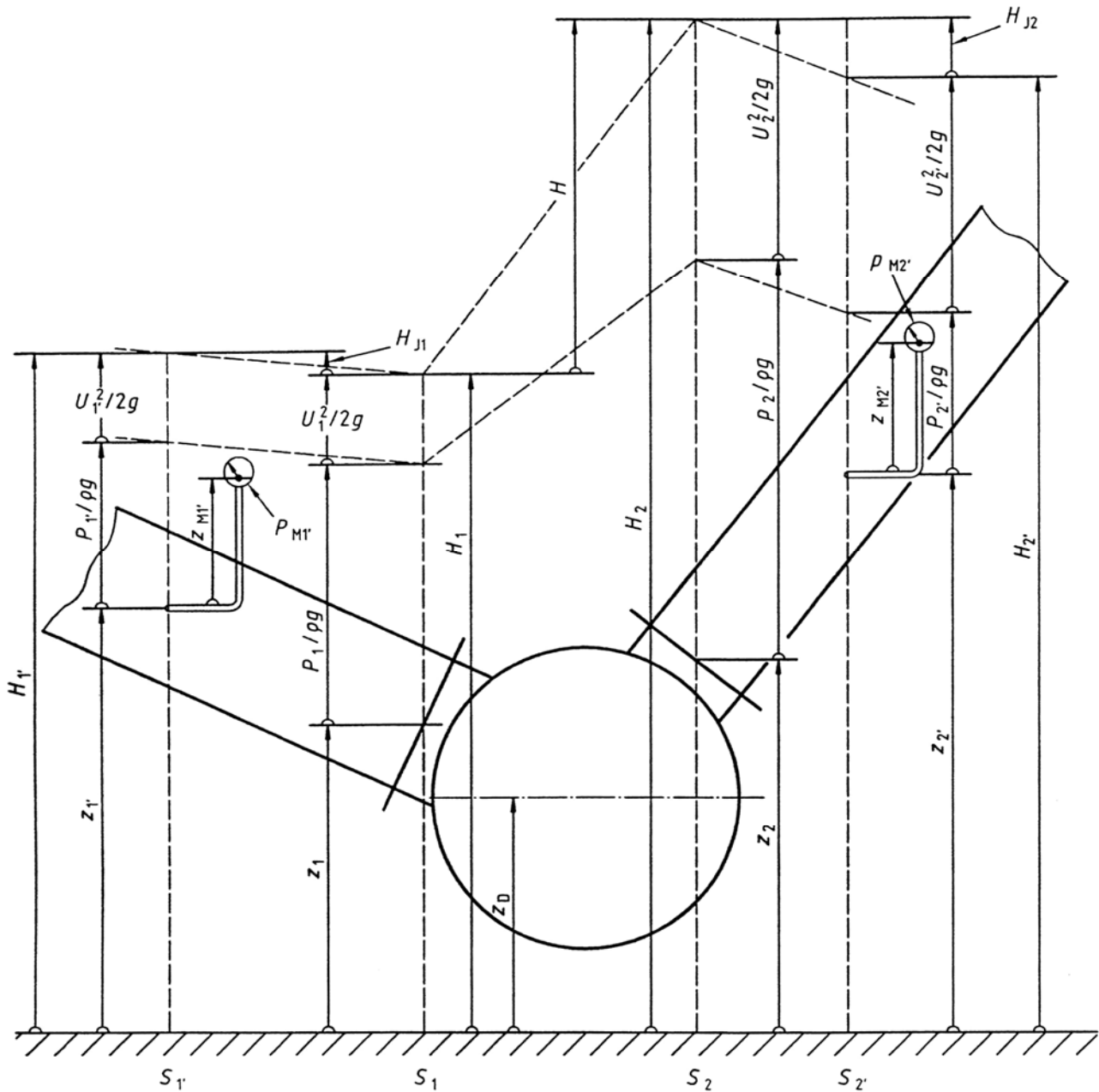
สำหรับการทดสอบเกรด 2 ถ้าอัตราส่วนของหัวน้ำความเร็วทางเข้าต่อหัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่าร้อยละ 0.5) และถ้าการรับรู้ค่าหัวน้ำรวมทางเข้าเองไม่สำคัญมาก (ไม่ใช่ในกรณีของการทดสอบ NPSH) อาจเพียงพอที่ตัวต่อแยกความดัน (ดูข้อ 8.4.1) จะอยู่บนหน้าแปลนทางเข้าเองและไม่อยู่ที่ระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านต้นทาง

หัวน้ำรวมทางเข้าหาได้จากหัวน้ำเกจที่วัดได้ จากความสูงของจุดที่วัดเหนือระนาบอ้างอิง และจากหัวน้ำความเร็วที่คำนวณได้ถ้ามีการกระจายความเร็วสม่ำเสมอในท่อด้านดูด

ความผิดพลาดในการวัดหัวน้ำทางเข้าเครื่องสูบลูกสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งที่การไหลบางส่วนเนื่องจากการหมุนวนก่อน ความผิดพลาดเหล่านี้สามารถตรวจหาได้และควรปรับแก้ดังต่อไปนี้

ก) ถ้าเครื่องสูบลูกจากถังเก็บน้ำที่มีพื้นผิวอิสระซึ่งระดับน้ำและความดันที่เกิดขึ้นคงที่ ความสูญเสียหัวน้ำระหว่างถังเก็บน้ำกับภาคตัดที่วัดทางเข้า (ในกรณีที่ไม่มี การหมุนวนก่อน) เป็นไปตามกฎกำลังสองกับอัตราการไหล ค่าของหัวน้ำรวมทางเข้าควรเป็นไปตามกฎเดียวกัน เมื่อผลกระทบของการหมุนวนก่อนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงจากความสัมพันธ์ที่อัตราการไหลต่ำ หัวน้ำรวมทางเข้าที่วัดได้ควรปรับแก้โดยคำนึงถึงความแตกต่างนี้ (รูปที่ 5)

ข) ถ้าเครื่องสูบลูกไม่ได้สูบลูกจากถังเก็บน้ำที่มีระดับและความดันคงที่ ต้องเลือกภาคตัดที่วัดอื่นห่างจากด้านต้นทางอย่างเพียงพอที่จะแน่ใจว่าไม่มีการหมุนวนก่อน แล้วจึงเป็นไปได้ที่จะคาดคะเนความสูญเสียหัวน้ำระหว่างภาคตัด 2 ภาคตัด (แต่ไม่เกี่ยวกับหัวน้ำรวมทางเข้าโดยตรง) ในทางเดียวกับข้างต้น รูปที่ 3 และรูปที่ 4



$$H = H_2 - H_1$$

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

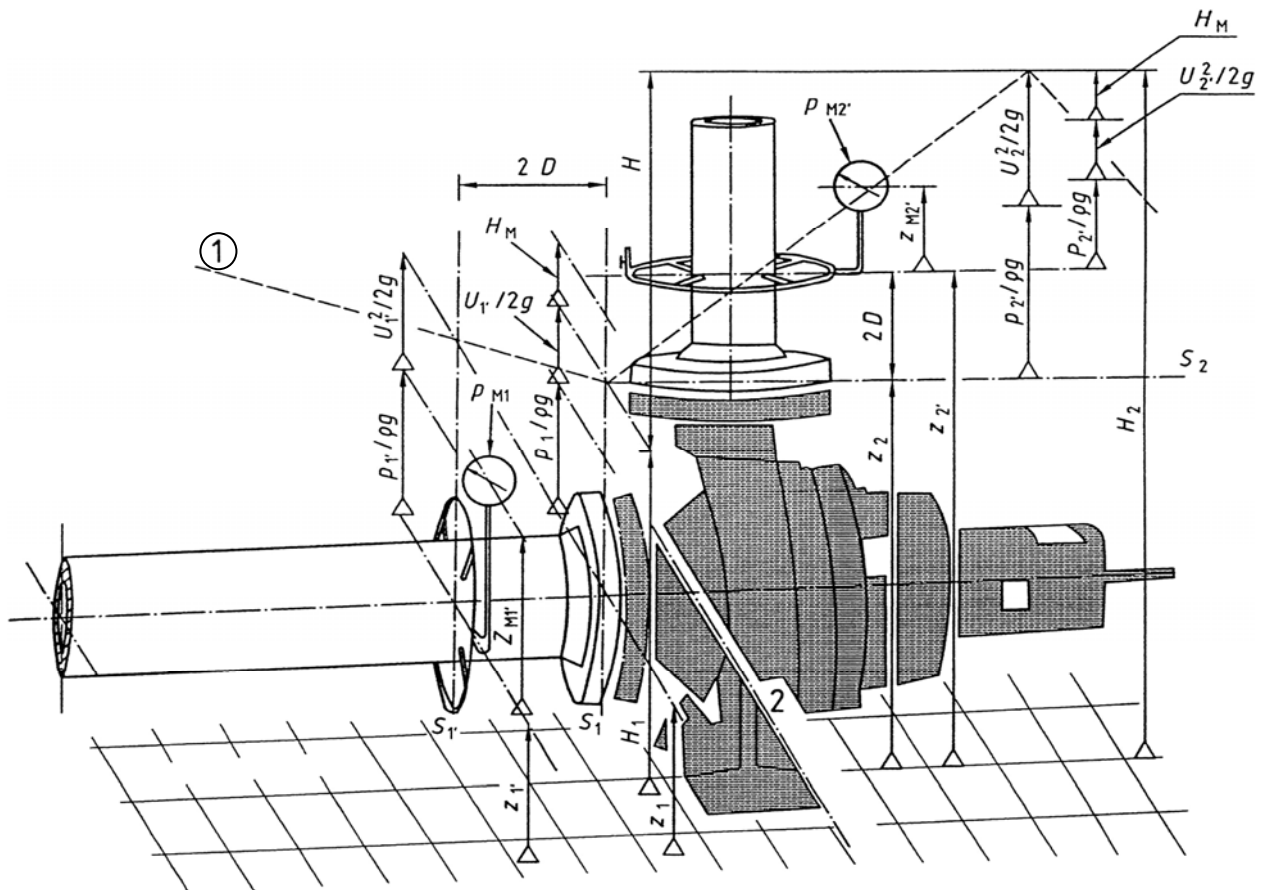
$$H = z_{2'} - z_{1'} + z_{M2'} - z_{M1'} + \frac{p_{M2'} - p_{M1'}}{\rho \cdot g} + \frac{U_{2'}^2 - U_{1'}^2}{2g} + H_{J2} + H_{J1}$$

หมายเหตุ 1 ตำแหน่งลาดเอียงของเครื่องสูบเพื่อแสดง z_1 และ $z_{1'}$ หรือ z_2 และ $z_{2'}$ ตามลำดับ อาจต่างกันซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของความดันที่สมนัยกัน

หมายเหตุ 2 แบบเขียน แสดงเพียงหลักการและไม่มีรายละเอียดทางเทคนิค

รูปที่ 3 การหาหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ

(ข้อ 8.2.1.1)

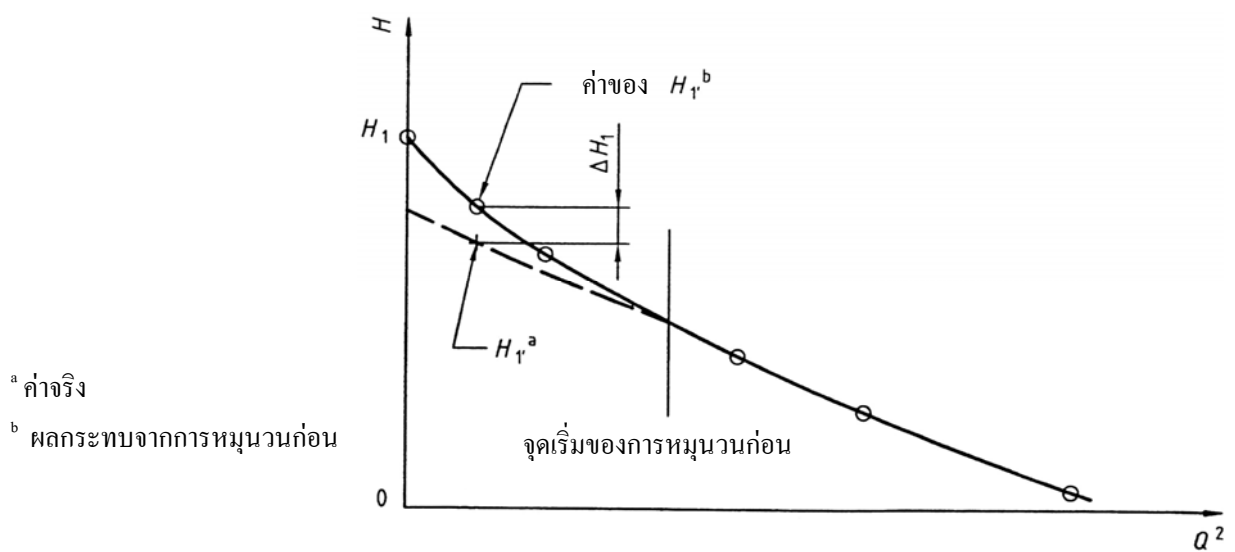


① เส้นของหัวน้ำรวม (พลังงานรวม)

หมายเหตุ ในกรณีนี้ใช้สำหรับเพลานวระดับ $z_1 = z_D = z_1'$

รูปที่ 4 ภาพไอโซเมตริกของการหาหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ

(ข้อ 8.2.1.1)



^a ค่าจริง

^b ผลกระทบจากการหมุนวนก่อน

รูปที่ 5 การปรับแก้หัวน้ำรวมทางเข้า

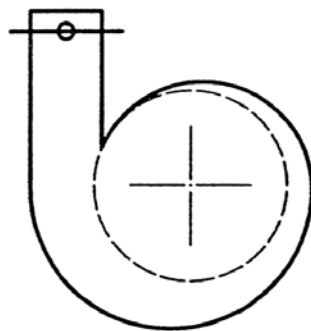
(ข้อ 8.2.1.1)

8.2.1.2 ภาคตัดที่วัดทางออก

ตามปกติภาคตัดที่วัดทางออกต้องอยู่ที่ระยะ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจากหน้าแปลนทางออกเครื่องสูบลำดับสำหรับเครื่องสูบลที่มีหัวน้ำความเร็วทางออกน้อยกว่าร้อยละ 5 ของหัวน้ำรวมของเครื่องสูบล ภาคตัดที่วัดทางออกสำหรับการทดสอบเกรด 2 อาจอยู่ที่หน้าแปลนทางออก

ภาคตัดที่วัดทางออกควรอยู่ในส่วนที่ตรงของท่อที่รวมแกนกับหน้าแปลนทางออกเครื่องสูบลและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน เมื่อใช้เพียงตัวต่อแยกความดัน 1 ตัวหรือ 2 ตัว (การทดสอบเกรด 2) ตัวต่อแยกความดันควรตั้งฉากกับระนาบของกันหอยหรือข้องอใดๆ ที่อยู่ในตัวถังเครื่องสูบล (ดูรูปที่ 6)

หัวน้ำรวมทางออกหาได้จากหัวน้ำเกวที่วัดได้ จากความสูงของจุดที่วัดเหนือระนาบอ้างอิง และจากหัวน้ำความเร็วที่คำนวณได้ถ้ามีการกระจายความเร็วสม่ำเสมอในท่อด้านส่ง การหาหัวน้ำรวมอาจได้รับอิทธิพลจากการหมุนวนของการไหลที่เกิดขึ้นจากเครื่องสูบลหรือจากการกระจายความเร็วหรือความดันไม่สม่ำเสมอ ตัวต่อแยกความดันสามารถอยู่ในระยะไกลขึ้นจากด้านปลายทาง ต้องคำนึงถึงความสูญเสียหัวน้ำระหว่างหน้าแปลนทางออกกับภาคตัดที่วัด (ดูข้อ 8.2.4)



รูปที่ 6 ตัวต่อแยกความดันที่ตั้งฉากกับระนาบของกันหอยหรือระนาบของข้องอ

(ข้อ 8.2.1.2)

8.2.2 เครื่องสูบลที่ทดสอบโดยมีข้อต่อ

ถ้าทดสอบเครื่องสูบลรวมกับข้อต่อ (ซึ่งพิจารณาว่าเป็นส่วนรวมหน่วยของเครื่องสูบล) ที่ต่อต้านดันทางและด้านปลายทางของเครื่องสูบลทั้งหมดหรือบางส่วน ให้ใช้ข้อกำหนดข้อ 8.2.1 กับหน้าแปลนทางเข้าและทางออกของข้อต่อแทนหน้าแปลนทางเข้าและทางออกของเครื่องสูบล วิธีดำเนินการนี้คิดรวมความสูญเสียหัวน้ำทั้งหมดที่เกิดจากข้อต่อ

แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าเป็นการรับประกันเฉพาะสมรรถนะของเครื่องสูบล ความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานและความสูญเสียหัวน้ำเฉพาะที่ที่เป็นไปได้ระหว่างภาคตัดที่วัดหัวน้ำรวมทางเข้ากับหน้าแปลนทางเข้า H_{j1} และระหว่างหน้าแปลนทางออกกับภาคตัดที่วัดหัวน้ำรวมทางออก H_{j2} ต้องหาตามวิธีที่อธิบายในข้อ 8.2.4 และคำนึงถึงการคำนวณหัวน้ำรวมของเครื่องสูบล

ถ้าข้อต่อเป็นส่วนของอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการทดสอบ และไม่ใช้ส่วนของเครื่องสูบล ให้ใช้วิธีเดียวกันนี้

8.2.3 เครื่องสูบบแบบจุ่มในของเหลวและเครื่องสูบบแบบบ่อลึก

เครื่องสูบบแบบนี้ไม่สามารถทดสอบในการจัดเตรียมมาตรฐานตามที่อธิบายในข้อ 5.3.2 ได้ ภาวะการติดตั้งแสดงด้วยแผนภาพดังในรูปที่ 7

หัวน้ำรวมทางเข้าเท่ากับความสูงเหนือระนาบอ้างอิงของระดับพื้นผิวอิสระของของเหลวซึ่งสูบโดยเครื่องสูบบวกกับหัวน้ำที่เท่ากับความดันเกจที่เกิดขึ้นเหนือพื้นผิวน้ำ

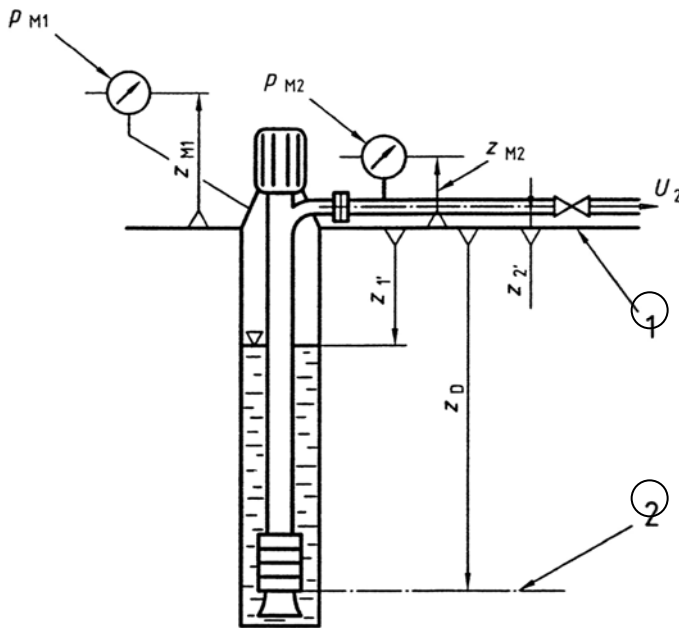
หัวน้ำรวมทางออกสามารถหาได้โดยการวัดความดันในท่อด้านส่ง (ดูข้อ 8.2.1.2) หรือโดยการวัดระดับในอ่างน้ำ (ถ้าเครื่องสูบบส่งเข้าไปในอ่างน้ำที่มีพื้นผิวอิสระ) ตามแต่สถานการณ์ ในกรณีนี้หัวน้ำทางออกเท่ากับความสูงเหนือระนาบอ้างอิงของระดับพื้นผิวอิสระของของเหลวซึ่งเครื่องสูบบส่งออก บวกกับหัวน้ำที่เท่ากับความดันเกจที่เกิดขึ้นเหนือพื้นผิวน้ำ และเป็นผลให้ของเหลวอยู่ใกล้จุดวัดระดับอย่างแท้จริง

วิธีดำเนินการนี้วัดรวมความสูญเสียหัวน้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างภาคตัดที่วัดต่างๆ

ถ้าจำเป็น ความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานระหว่างภาคตัดที่วัดกับข้อจำกัดของสัญญาของเครื่องสูบบหาได้ตามวิธีที่อธิบายในข้อ 8.2.4 ความสูญเสียหัวน้ำเฉพาะที่เนื่องจากลักษณะเฉพาะของวงจรรและเนื่องจากข้อต่อต่างๆ (ตัวกรองด้านดูด วาล์วก้นกลับ ข้อต่อ วาล์ว ข้อต่อขยาย ฯลฯ) ต้องระบุไว้เท่าที่จะเป็นไปได้เมื่อร่างสัญญาโดยผู้ที่เกี่ยวข้องซึ่งจัดให้มีข้อต่อเหล่านี้ ถ้าปรากฏว่าไม่สามารถทำได้ ผู้ซื้อและผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ ต้องตกลงค่าที่ใช้ก่อนการทดสอบเพื่อยอมรับ

โดยทั่วไปเครื่องสูบบแบบบ่อลึก (รูปที่ 7ก) ไม่ทดสอบกับท่อแนวดิ่งทั้งหมด เว้นแต่การทดสอบเพื่อยอมรับ ทำที่หน้างาน ความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานในส่วนที่ขาดไป ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบต้องประเมินและระบุให้แก่ผู้ซื้อ ถ้าปรากฏว่าจำเป็นต้องทวนสอบลักษณะเฉพาะที่ระบุด้วยการทดสอบที่หน้างาน ต้องระบุไว้ในสัญญา

สำหรับการทดสอบเครื่องสูบบแบบนี้ อาจใช้หรือไม่ใช้การรับประกันกับข้อต่อด้วยก็ได้



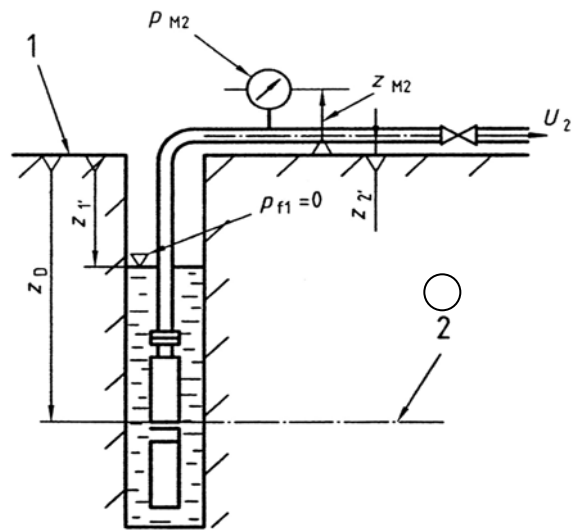
- ① ระบายอ้างอิง
② ระบายฐาน NPSH

$$H_1 = z_1' + \frac{p_{M1}}{\rho g} + \frac{p_{f1}}{\rho} (z_{M1} - z_1')$$

$$H_2 = z_2' + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{p_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_2') + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_2' - z_1' + \frac{p_{M2} - p_{M1}}{\rho g} + \frac{p_{f2}(z_{M2} - z_2') - p_{f1}(z_{M1} - z_1')}{\rho} + \frac{U_2^2}{2g}$$

ก)



- ① ระบายอ้างอิง
② ระบายฐาน NPSH

$$H_1 = z_1'$$

$$H_2 = z_2' + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{p_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_2') + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_2' - z_1' + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{p_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_2') + \frac{U_2^2}{2g}$$

ข)

รูปที่ 7 การวัดหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำ H สำหรับแบบต่างๆ ของเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มในของเหลว

8.2.4 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ทางเข้าและทางออก

การรับประกันภายใต้ข้อ 4.1 อ้างถึงหน้าแปลนทางเข้าและทางออกเครื่องสูบน้ำ และโดยทั่วไปจุดที่วัดความดันที่ระยะห่างจากหน้าแปลนเหล่านี้ (ดูข้อ 8.2.1 ถึงข้อ 8.2.3) ดังนั้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มหัวน้ำรวมของเครื่องสูบน้ำที่วัดด้วยความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทาน (H_{j1} และ H_{j2}) ระหว่างจุดที่วัดกับหน้าแปลนเครื่องสูบน้ำ

การปรับแก้ควรใช้เมื่อ

$$H_{j1} + H_{j2} \geq 0.005 H \text{ สำหรับเกรด 2 หรือ}$$

$$H_{j1} + H_{j2} \geq 0.002 H \text{ สำหรับเกรด 1}$$

ถ้าท่อระหว่างจุดที่วัดกับหน้าแปลนไม่มีสิ่งกีดขวาง เป็นท่อตรง มีภาคตัดขวางกลมสม่ำเสมอ และมีความยาว L ดังนั้น:

$$H_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

ค่าของ λ หาได้จาก:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.7D} \right]$$

เมื่อ

k คือ ความหยาบสม่ำเสมอสมมูลของท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$\frac{k}{D}$ คือ ความหยาบสัมพัทธ์ (ไม่มีหน่วย)

ภาคผนวก ค. แสดงว่าการปรับแก้จำเป็นต้องทำหรือไม่ และจะคำนวณการปรับแก้ได้อย่างไร (ถ้าจำเป็น)

ถ้าท่อไม่เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้น การปรับแก้ต้องตกลงกันเป็นพิเศษในสัญญา

8.3 การวัดระดับน้ำ

8.3.1 การจัดเตรียมภาคตัดที่วัด

ที่หน้างานการวัด การไหลต้องคงที่และต้องไม่มีการรบกวนเฉพาะที่ ถ้าพื้นผิวน้ำอิสระถูกรบกวนโดยคลื่นหรือคลื่นหัวเรียบขนาดเล็กอาจจำเป็นต้อง (ขึ้นอยู่กับแบบของอุปกรณ์วัดที่ใช้) จัดให้มีบ่อลดคลื่นหรือกล่องลดคลื่นติดต่อกับอ่างน้ำผ่านแผ่นเจาะรู รูทั้งหมดในแผ่นต้องเล็กเพียงพอ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตรถึง 5 มิลลิเมตร) เพื่อหน่วงการกระเพื่อมของความดัน

8.3.2 เครื่องวัด

อาจใช้เครื่องวัดระดับน้ำแบบต่างๆ ตามแต่สภาพแวดล้อม (พื้นผิวอิสระเข้าถึงได้ คงตัว หรือถูกรบกวน ฯลฯ) และความแม่นยำที่ต้องการเกี่ยวกับหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ อุปกรณ์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นดังนี้

ก) เกจแนวตั้งหรือแนวเอียง ที่ติดตั้งกับผนัง

ข) เกจแบบจุดหรือแบบตะขอ ซึ่งจำเป็นต้องมีบ่อลดคลื่นและชุดโครงรองรับเหนือพื้นผิวอิสระอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ค) เกจแบบแผ่น ประกอบด้วยจานโลหะแนวระดับแขวนจากแถบเทปเหล็กกล้าที่มีขีดแบ่งวัดระดับ

ง) เกจแบบลอย ใช้ในบ่อลดคลื่นเท่านั้น

จ) แมนอมิเตอร์แบบของเหลวในรูปแบบสมบูรณ์หรือผลต่าง ตามที่อธิบายในข้อ 8.4.3.1

ฉ) เครื่องทำคาวิเทชัน โดยใช้การระบายอากาศอัด

ข) ตัวแปลงสัญญาณความดันแบบจุ่ม (immersed pressure transducer)

3 แบบสุดท้ายเหมาะสมเฉพาะในกรณีที่พื้นผิวอิสระไม่สามารถเข้าถึงได้

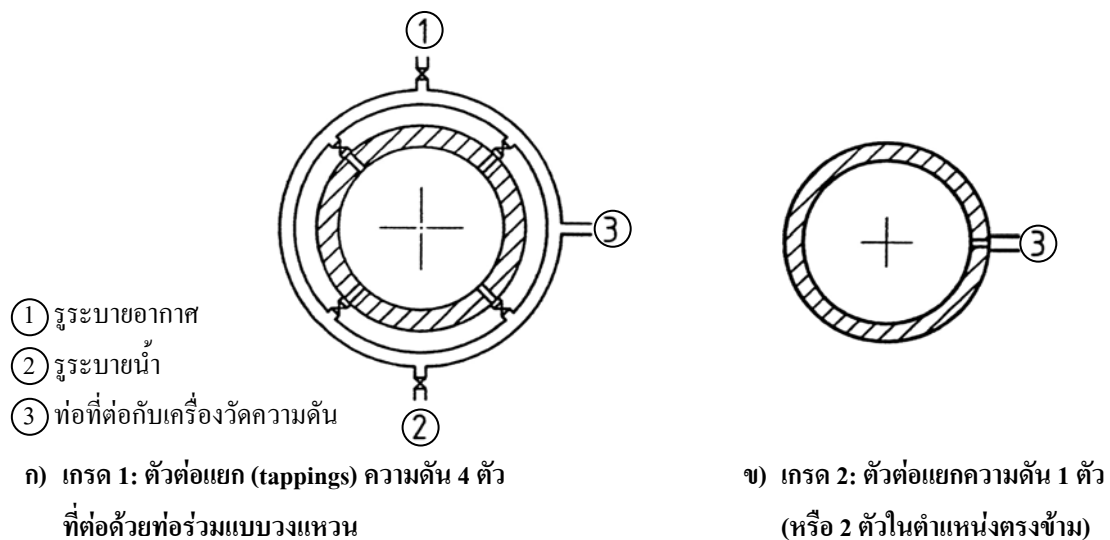
เครื่องวัดเหล่านี้อธิบายไว้ใน ISO 4373

8.4 การวัดความดัน

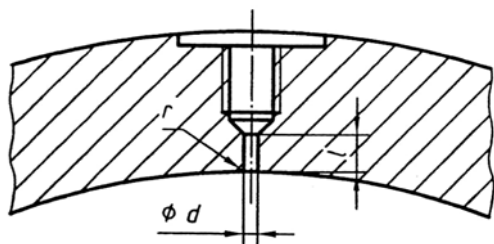
8.4.1 ตัวต่อแยกความดัน (pressure tapping)

สำหรับการทดสอบเกรด 1 ต้องจัดให้มีตัวต่อแยกความดันสถิต 4 ตัว รอบๆ เส้นรอบวงของแต่ละภาคตัดที่วัด ดังแสดงในรูปที่ 8 ก)

สำหรับการทดสอบเกรด 2 ตามปกติเพียงพอที่จะมีตัวต่อแยกความดันสถิตเพียง 1 ตัวที่แต่ละภาคตัดที่วัด แต่เมื่อการหมุนวนหรือไม่สมมาตรมีผลกระทบต่อการไหล อาจจำเป็นต้องมี 2 ตัวหรือมากกว่า [ดูรูปที่ 8 ข)]



รูปที่ 8 ตัวต่อแยกความดันสำหรับการทดสอบเกรด 1 และเกรด 2

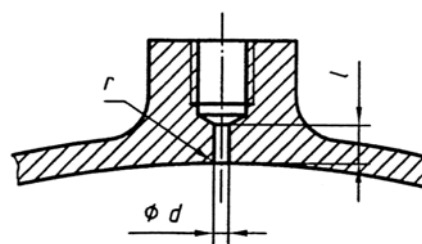


$$l \geq 2.5 d$$

เมื่อ $d = 3$ มิลลิเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร หรือ

$1/10$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ แล้วแต่อย่างใดเล็กกว่า

ก) พนักหนา



$$r \leq d/10$$

ข) พนักบาง

รูปที่ 9 ข้อกำหนดสำหรับตัวต่อแยกความดันสถิต

ยกเว้นในกรณีเฉพาะซึ่งตำแหน่งตัวต่อแยกความดันหาได้จากการจัดเตรียมวงจร (ดูข้อ 8.2.1.1 และข้อ 8.2.1.2) ตัวต่อแยกความดันไม่ควรอยู่ที่หรือใกล้กับจุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดของภาคตัดขวาง

ตัวต่อแยกความดันสถิตต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่แสดงในรูปที่ 9 และต้องปราศจากเสียงและความไม่สม่ำเสมอ ตั้งฉากและเรียบเสมอกับผนังภายในท่อ

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของตัวต่อแยกความดันต้องอยู่ระหว่าง 3 มิลลิเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ $1/10$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ แล้วแต่อย่างใดเล็กกว่า ความยาวของรูตัวต่อแยกความดันต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางรู

รูของท่อที่มีตัวต่อแยกความดันต้องสะอาด เรียบ และทนต่อปฏิกิริยาเคมีกับของเหลวที่สูบ การเคลือบใดๆ เช่น สี ที่ใช้ในรูของท่อต้องอยู่ในสภาพเดิม ถ้าเชื่อมท่อตามยาว รูตัวต่อแยกต้องห่างจากรอยเชื่อมที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

เมื่อใช้ตัวต่อแยกความดันหลายตัว ต้องต่อตัวต่อแยกความดันผ่านก๊อกปิด (shut-off cock) ไปที่ท่อร่วมแบบวงแหวนที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางไม่น้อยกว่าผลรวมของพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวต่อแยก ในลักษณะที่อาจวัดความดันจากตัวต่อแยกใดๆ ได้ถ้าต้องการ ก่อนทำการสังเกต ต้องวัดความดันที่ตัวต่อแยกแต่ละตัวที่เปิดต่อเนื่องกันในภาวะการทดสอบตามปกติของเครื่องสูบ ถ้าค่าที่อ่านได้ค่าใดค่าหนึ่งแสดงความแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.5 ของหัวน้ำรวมที่เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการวัด 4 ครั้ง หรือถ้าแสดงการเบี่ยงเบนมากกว่า 1 เท่าของหัวน้ำความเร็วในภาคตัดที่วัด ต้องค้นหาสาเหตุและแก้ไขภาวะการวัดก่อนเริ่มการทดสอบจริง

เมื่อใช้ตัวต่อแยกความดันเดียวกันสำหรับการวัด NPSH การเบี่ยงเบนนี้ต้องไม่เกินร้อยละ 1 ของค่า NPSH หรือ 1 เท่าของหัวน้ำความเร็วทางเข้า

ท่อที่ต่อตัวต่อแยกความดันกับอุปกรณ์หน่วยที่เป็นไปได้ (ดูข้อ 5.4.2.2) และกับเครื่องวัดต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าขนาดของตัวต่อแยกความดัน ระบบต้องปราศจากรอยรั่ว

จุดใดๆ ที่อยู่สูง ในเส้นทางของท่อที่ต้องจัดให้มีวาล์วระบาย เพื่อไม่ให้ฟองอากาศเข้าไปในระหว่างการวัด เมื่อใดก็ตามที่เป็นไปได้ แนะนำให้ใช้ท่อโปร่งใสเพื่อหาว่ามีอากาศในท่อหรือไม่ การชั่งบอกเกี่ยวกับท่อที่ต่อให้ไว้ใน ISO 2186

8.4.2 การแก้ไขเมื่อความสูงแตกต่าง

การแก้ไขความดันที่อ่านค่าได้ p_M

เมื่อความสูงแตกต่าง ($z_M - z$) ระหว่างกึ่งกลางของภาคตัดที่วัดกับระนาบอ้างอิงของเครื่องวัดความดันต้องทำโดยสมการต่อไปนี้

$$p = p_M + \rho_f \cdot g \cdot (z_M - z)$$

เมื่อ ρ_f คือ ความหนาแน่นของของไหลในท่อที่ต่อ

ควรระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าความยาวทั้งหมดของท่อที่ต่อบรรจุของไหลชนิดเดียวกัน ท่อต่อแนวระดับที่สั้น ($z_M - z \approx 0$) จะลดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ให้ต่ำที่สุด

8.4.3 เครื่องวัดความดัน

8.4.3.1 แมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลว

อาจใช้แมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลว ซึ่งไม่จำเป็นต้องสอบเทียบเพื่อวัดความดันต่ำ

ของเหลวในแมนอมิเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำและปรอท แต่อาจใช้ของเหลวอื่นที่มีความหนาแน่นเหมาะสมกับความดันที่วัดได้ด้วย ถ้าเป็นไปได้ต้องหลีกเลี่ยงการใช้คอลัมน์ของเหลวที่สูงน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ความยาวนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้แมนอมิเตอร์เอียงหรือโดยใช้ของเหลวในแมนอมิเตอร์อื่น ถ้าไม่สามารถทำได้ต้องคำนึงถึงโดยเฉพาะความผิดพลาดในการวัด

เพื่อที่จะลดผลกระทบจากแรงตึงผิวให้ต่ำที่สุด ขนาดของหลอดแมนอมิเตอร์ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร สำหรับเกจปรอท และไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร สำหรับเกจน้ำและเกจของเหลวอื่น และต้องเป็นขนาดเดียวกันในทั้ง 2 ช่องทาง

ต้องคงความสะอาดของของเหลวในแมนอมิเตอร์และของพื้นผิวภายในหลอด เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากการแปรผันของแรงตึงผิว

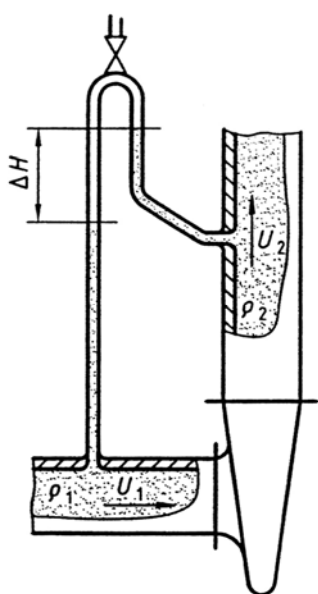
การออกแบบแมนอมิเตอร์ต้องเป็นในลักษณะที่มีความผิดพลาดที่เกิดจากมุมมองที่ต่างกันมีน้อยที่สุด

ช่วงระหว่างขีดแบ่งมาตราส่วน 2 ขีด ตามปกติต้องเป็น 1 มิลลิเมตร

แมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลวอาจเป็นแบบปลายเปิดหรือปลายปิด โดยที่อากาศในวงจรรที่ต่อทั้งสองข้างถูกอัดจนถึงปริมาณที่ต้องการเพื่อยอมให้อ่านค่าหัวน้ำแตกต่างบนมาตราส่วนได้ หรือเป็นรูปแบบหลอดรูปตัวยูที่เติมด้วยของเหลวในแมนอมิเตอร์ ในกรณีแรก ความดันวัดจากระนาบอ้างอิงคงที่และอยู่เหนือความดันบรรยากาศโดยรอบซึ่งถือว่าคงที่ 2 แบบหลังยอมให้หาหัวน้ำรวมของเครื่องสูบล้างจากการวัดแตกต่างครั้งเดียว (ดูรูปที่ 10)

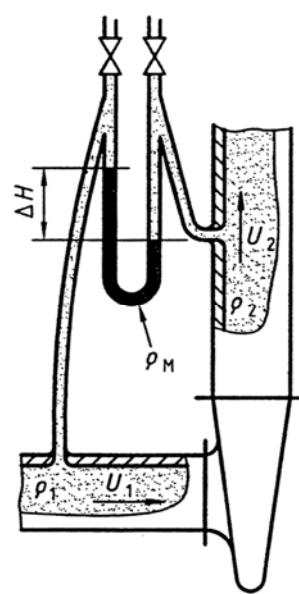
เมื่อท่อที่ต่อมีอากาศอยู่ อาจเกิดคอลัมน์ตกค้าง (ความสูง h) ของของเหลวที่สูบล้างเหลืออยู่ที่ระดับของปรอท ดังนั้น

$$p = p_M - \rho g h$$



$$H = \Delta H + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

ก) แมนอมิเตอร์แบบผลต่างแบบน้ำ-อากาศ



$$H = \frac{p_M - p_1}{\rho_1} \Delta H + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

ข) แมนอมิเตอร์แบบผลต่างแบบปรอท

หมายเหตุ แบบเขียน แสดงเพียงหลักการและไม่มีรายละเอียดทางเทคนิค

รูปที่ 10 การหาหัวน้ำรวมของเครื่องสูบล้างด้วยแมนอมิเตอร์แบบผลต่าง

8.4.3.2 แมนอมิเตอร์แบบน้ำหนักตายตัว

สำหรับความดันเกินกว่าที่จะสามารถใช้แมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลวได้ แมนอมิเตอร์แบบน้ำหนักรตายตัว (แบบลูกสูบ) เหมาะสมสำหรับใช้ในทางปฏิบัติไม่ว่าจะเป็นเรื่องของรูปแบบที่ง่ายหรือความหลากหลาย อย่างไรก็ตาม สามารถใช้ได้เฉพาะที่ความดันมากกว่าความดันต่ำสุดที่สมนัยกับน้ำหนักของชุดชิ้นส่วนที่หมุน

สามารถใช้เส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิภาพ D_c ของแมนอมิเตอร์แบบธรรมดาเท่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ D_p (ที่วัดได้โดยตรง) กับเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ D_c ซึ่งสามารถใช้สำหรับการคำนวณความดันโดยไม่ต้องสอบเทียบเพิ่มเติม ถ้าก่อนการทดสอบเป็นไปตามภาวะต่อไปนี้

$$\frac{D_c - D_p}{D_c + D_p} \leq 0.1\%$$

ความเสียดทานระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบในทางปฏิบัติอาจขจัดได้โดยการหมุนลูกสูบที่ความเร็วไม่น้อยกว่า 30 รอบต่อนาที

แนะนำให้ตรวจสอบแมนอมิเตอร์แบบน้ำหนักด้วยการเปรียบเทียบกับแมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลว เพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบประสิทธิภาพให้กว้างที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตลอดพิสัยความดัน

8.4.3.3 เกจความดันแบบสปริง

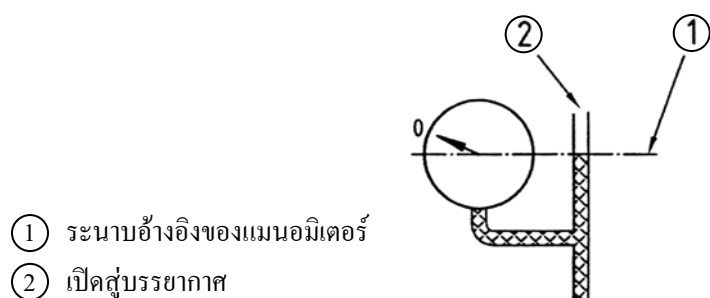
เกจแบบนี้ใช้การเบนทางกลของวงวนของหลอด ที่เรียบหรือเว้าก้นหอย (เกจหน้าปัดบูร์ดอน) หรือแผ่น (membrane) เพื่อชี้บอกความดัน

ถ้าใช้เครื่องวัดแบบนี้เพื่อวัดความดันที่ทางเข้าหรือทางออก แนะนำให้

- ก) ใช้เครื่องวัดแต่ละเครื่องภายในพิสัยการวัดที่เหมาะสมที่สุด (มากกว่าร้อยละ 40 ของค่าเต็มมาตราส่วน)
- ข) ช่วงระหว่างขีดแบ่งมาตราส่วนต่อเนื่องกัน 2 ขีด อยู่ระหว่าง 1.5 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร
- ค) การแบ่งนั้นสมนัยกับค่าสูงสุดของร้อยละ 5 ของหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ

การสอบเทียบเครื่องวัดนี้ต้องตรวจสอบเป็นประจำ

รูปที่ 11 แสดงการจัดเตรียมสำหรับการหาระนาบอ้างอิงของเกจวัดความดันแบบสปริง



รูปที่ 11 การจัดเตรียมสำหรับการหาระนาบอ้างอิงของเกจวัดความดันแบบสปริง

8.4.3.4 แมนอมิเตอร์แบบอื่น

ตัวแปลงสัญญาณความดันมีความหลากหลายมาก (แบบสัมบูรณ์หรือแบบผลต่าง) บนพื้นฐานของการแปรผันสมบัติทางกล และ/หรือ สมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งอาจใช้ได้หากมีความแม่นยำ การทำซ้ำได้ และความเชื่อถือได้ที่ต้องการ ให้ใช้ตัวแปลงสัญญาณภายในพิสัยการวัดที่เหมาะสมที่สุด และสอบเทียบตัวแปลง

สัญญาณร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นประจำโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดความดันที่มีความแม่นยำและความเชื่อถือได้สูงกว่า

9. การวัดความเร็วรอบ

ความเร็วรอบสามารถวัดได้ด้วยการนับจำนวนรอบในช่วงเวลาที่วัด ด้วยมาตรอัตราการรอบที่อ่านค่าได้โดยตรง ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับสำหรับวัดความเร็วรอบ ด้วยตัวนับแบบเชิงแสงหรือแบบแม่เหล็กหรือด้วยสตรอโบสโคป

ในกรณีที่เครื่องสุบับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับ ความเร็วรอบยังสามารถหาได้จากการสังเกตความถี่กริดและข้อมูลสลิปของมอเตอร์ซึ่งให้มาโดยผู้ทำมอเตอร์หรือวัดได้โดยตรง (เช่น การใช้ชดวลดเหนี่ยวนำ) ความเร็วรอบหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$n = \frac{2}{i} \left(f - \frac{j}{\Delta t} \right)$$

เมื่อ

i คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

f คือ ความถี่กริดที่วัดได้ หน่วยเป็นเฮิรตซ์

j คือ จำนวนภาพที่วัดได้ในระหว่างช่วงเวลา Δt ด้วยสตรอโบสโคปที่ซิงโครไนส์กับกริด

ในกรณีที่ความเร็วรอบไม่สามารถวัดได้โดยตรง (เช่น สำหรับเครื่องสุบแบบจุ่มในของเหลว) โดยทั่วไปการตรวจสอบความถี่กริดและแรงดันไฟฟ้าก็ถือว่าเพียงพอแล้ว

10. การวัดกำลังด้านเข้าเครื่องสุบ

10.1 ทัวไป

กำลังด้านเข้าเครื่องสุบให้หาจากการวัดความเร็วรอบและทอร์ก หรือจากการวัดกำลังไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์ที่ทราบประสิทธิภาพ ซึ่งต่อควาโดยตรงกับเครื่องสุบ

ในกรณีที่กำลังไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์ที่ต่อควากับเฟืองกลาง หรือความเร็วรอบและทอร์กวัดด้วยทอร์กมิเตอร์ระหว่างเฟืองกับมอเตอร์ถูกใช้สำหรับการหาลำกำลังด้านเข้าเครื่องสุบ วิธีหาความสูญเสียเนื่องจากเฟืองลดต้องระบุไว้ในสัญญา

ดู ISO 5198 สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมในการทดสอบที่อธิบายไว้ดังต่อไปนี้

10.2 การวัดทอร์ก

ทอร์กต้องวัดด้วยไดนาโมมิเตอร์ที่เหมาะสมหรือทอร์กมิเตอร์ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 8

การวัดทอร์กและความเร็วรอบต้องทำในเวลาเดียวกัน (ภายในขีดจำกัดในทางปฏิบัติ)

10.3 การวัดกำลังไฟฟ้า

ในกรณีที่ใช้กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์ที่ต่อควบโดยตรงกับเครื่องสูบ เพื่อกำลังด้านเข้าเครื่องสูบ มอเตอร์ต้องทำงานภายใต้ภาวะซึ่งทราบประสิทธิภาพอย่างแม่นยำเพียงพอเท่านั้น ประสิทธิภาพมอเตอร์ต้องหาตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง และต้องระบุโดยผู้ทำมอเตอร์

ประสิทธิภาพนี้ไม่ได้คำนึงถึงความสูญเสียในสายไฟฟ้าของมอเตอร์

กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์กระแสลับต้องวัดด้วยวิธีวัดคัมมิเตอร์ 2 เครื่อง หรือวิธีวัดคัมมิเตอร์ 3 เครื่อง ซึ่งยอมให้ใช้วัดคัมมิเตอร์เฟสเดียว หรือวัดคัมมิเตอร์ที่วัด 2 เฟส หรือ 3 เฟสในเวลาเดียวกัน หรือวัดคัมมิเตอร์แบบรวม

ในกรณีของมอเตอร์กระแสตรง อาจใช้ได้ทั้งวัดคัมมิเตอร์ หรือแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

แบบและชั้นความแม่นยำของเครื่องวัดสำหรับวัดกำลังไฟฟ้า ต้องเป็นไปตาม IEC 60051

10.4 กรณีพิเศษ

10.4.1 เครื่องสูบที่ปลายทางไม่สามารถเข้าถึงได้

ในกรณีของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบรวมกัน (เช่น เครื่องสูบบแบบจุ่มในของเหลว หรือเครื่องสูบบแบบหล่อขึ้นเดียว หรือเครื่องสูบและมอเตอร์แยกกันที่รับประกันประสิทธิภาพโดยรวม) กำลังของชุดต้องวัดที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ถ้าเข้าถึงได้ เมื่อเกี่ยวข้องกับเครื่องสูบบแบบจุ่มในของเหลว การวัดที่ปลายสายไฟฟ้าด้านไฟเข้า จะได้รับผลกระทบจากความสูญเสียในสายไฟฟ้าที่รวมอยู่ด้วยและให้ระบุไว้ในสัญญาประสิทธิภาพที่ให้ต้องเป็นของชุดรวมที่ถูกต้อง ไม่รวมถึงความสูญเสียในสายไฟฟ้าและตัวเริ่มเดินเครื่อง

10.4.2 เครื่องสูบบแบบบอลลีก

ในกรณีนี้ ต้องคำนึงถึงกำลังที่ดูตกคืน โดยรอกเส้นแบบรับแรงผลัก และเพลานวดิ่งและรอกเส้นแนวดิ่ง

เนื่องจากโดยทั่วไปเครื่องสูบบแบบบอลลีกทดสอบกับท่อยื่นทั้งหมดที่ติดตั้ง ยกเว้นการทดสอบเพื่อยอมรับทำที่หน้างาน ความสูญเสียในรอกเส้นแบบรับแรงผลักและเพลานวดิ่งต้องประเมินและระบุโดย ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ

10.4.3 ชุดมอเตอร์และเครื่องสูบที่มีรอกเส้นตามแนวแกนร่วมกัน (ไม่ใช่เครื่องสูบที่ต่อควบบแบบปิด)

ในกรณีนี้ ถ้ากำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์และของเครื่องสูบต้องหาแยกกัน ต้องคำนึงถึงอิทธิพลของแรงผลักตามแนวแกนและอิทธิพลที่เป็นไปได้ของน้ำหนักของโรเตอร์เครื่องสูบต่อความสูญเสียในรอกเส้นแบบรับแรงผลัก

10.4.4 การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของชุดเครื่องสูบ

เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดเครื่องสูบลม ให้วัดกำลังด้านเข้าและกำลังด้านออกเท่านั้น โดยตัวขับทำงานภายใต้ภาวะที่ระบุในสัญญา ในการทดสอบนี้ไม่เกิดสัดส่วนของความสูญเสียระหว่างตัวขับกับเครื่องสูบลม หรือความสูญเสียใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลระหว่างกลาง เช่น ก่อเลี้ยงเฟือง หรืออุปกรณ์ปรับความเร็วรอบได้

11. การทดสอบการเกิดคาวิเทชัน

11.1 ทัวไป

11.1.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบการเกิดคาวิเทชัน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เกี่ยวข้องเฉพาะกับการวัดสมรรถนะไฮดรอลิกของเครื่องสูบลม (การแปรผันของหัวน้ำ อัตราการไหล ประสิทธิภาพ) และไม่เกี่ยวข้องกับผลกระทบอื่นซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้โดยการเกิดคาวิเทชัน (เสียงรบกวน การสั่น ความเสียหายของวัสดุ ฯลฯ)

ห้ามใช้การทดสอบการเกิดคาวิเทชัน เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องสูบลมจะปราศจากการกร่อนเนื่องจากคาวิเทชันในระหว่างอายุการใช้งาน

การเกิดคาวิเทชัน สามารถตรวจหาได้จากการลดลงของหัวน้ำหรือประสิทธิภาพที่อัตราการไหลที่กำหนด หรือการลดลงของอัตราการไหลหรือประสิทธิภาพที่หัวน้ำกำหนด โดยส่วนใหญ่ใช้เกณฑ์ของหัวน้ำตกที่อัตราการไหลที่กำหนด ในกรณีของเครื่องสูบลมแบบหลายชั้น หัวน้ำตกต้องสัมพันธ์กับหัวน้ำของชั้นแรก ซึ่งควรวัดถ้าเข้าถึงได้

ในแทบทุกกรณี การทดสอบการเกิดคาวิเทชันจะทำกับน้ำเย็นสะอาด การทดสอบการเกิดคาวิเทชันไม่สามารถคาดคะเนพฤติกรรมของเครื่องสูบลมกับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำเย็นสะอาดได้อย่างแม่นยำ (ดูข้อ 5.4.5)

ในกรณีของการทดสอบกับของเหลวที่อุณหภูมิสูงหรือใกล้กับจุดวิกฤต การวัด NPSH ที่มีความแม่นยำที่ต้องการอาจทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้ (ดูข้อ 11.3.3)

11.1.2 แบบของการทดสอบ

11.1.2.1 การทวนสอบลักษณะเฉพาะที่รับประกันที่ NPSHA ที่ระบุ

การตรวจสอบอาจทำได้ง่ายเพื่อหาสมรรถนะไฮดรอลิกของเครื่องสูบลมที่ NPSHA ที่ระบุโดยไม่มีการสำรวจหาผลกระทบของการเกิดคาวิเทชัน

เครื่องสูบลมจะเป็นไปตามข้อกำหนด ถ้าหัวน้ำรวมของเครื่องสูบลมและประสิทธิภาพที่รับประกันหาได้ตามข้อ 6.4.1 ภายใต้อัตราการไหลที่ระบุและภายใต้ NPSHA ที่ระบุ

11.1.2.2 การทวนสอบการหายไปของอิทธิพลของการเกิดคาวิเทชันต่อสมรรถนะที่ NPSHA ที่ระบุ

การตรวจสอบอาจทำเพื่อแสดงว่าสมรรถนะไฮดรอลิกของเครื่องสูบน้ำไม่มีผลกระทบจากการเกิดคาวิเทชันที่ภาวะการทำงานที่ระบุ

เครื่องสูบน้ำจะเป็นไปตามข้อกำหนด ถ้าการทดสอบที่ค่า NPSH สูงกว่าค่า NPSHA ที่ระบุให้หัวน้ำรวมและประสิทธิภาพเดียวกันที่อัตราการไหลเดียวกัน

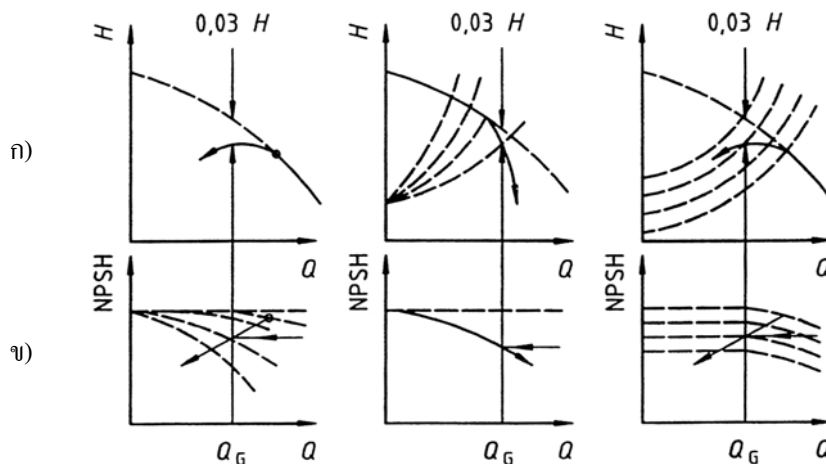
11.1.2.3 การหา NPSH3

ในการทดสอบนี้ NPSH จะลดลงแบบก้าวหน้าจนกระทั่งการตกของหัวน้ำรวม (ของขั้นแรก) ที่อัตราการไหลคงที่ถึงร้อยละ 3 ค่า NPSH นี้คือ NPSH3 (ดูตารางที่ 11 และรูปที่ 12 ถึงรูปที่ 14)

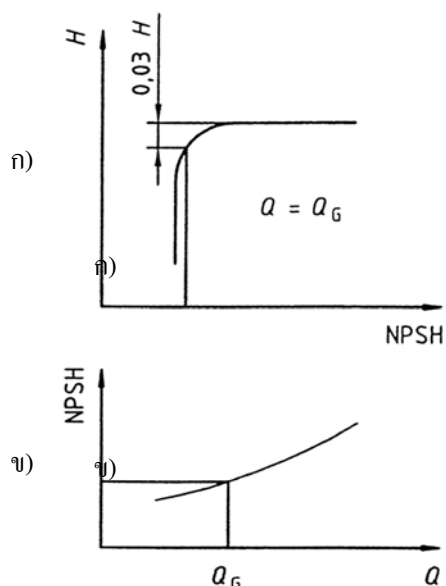
สำหรับเครื่องสูบน้ำที่หัวน้ำต่ำมาก อาจจะต้องลดยอมให้มีหัวน้ำตกมากขึ้น

ตารางที่ 11 วิธีหา NPSH3

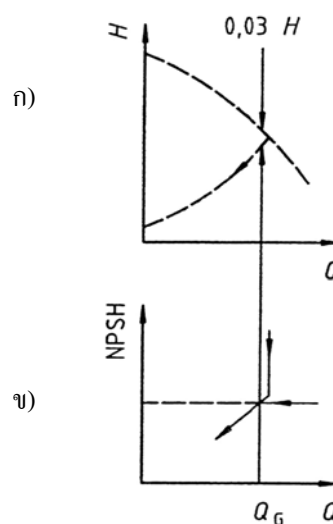
แบบของการติดตั้ง	อ่างเปิด	อ่างเปิด	อ่างเปิด	อ่างเปิด	อ่างเปิด	วงรอบปิด	วงรอบปิด	วงรอบปิด	อ่างปิดหรือวงรอบปิด
ตัวแปรอิสระ	ล้นปีกผีเสื้อทางเข้า	ล้นปีกผีเสื้อทางออก	ระดับน้ำ	ล้นปีกผีเสื้อทางเข้า	ระดับน้ำ	ความดันในแท็งก์	อุณหภูมิ (ความดันไอ)	ความดันในแท็งก์	อุณหภูมิ (ความดันไอ)
ค่าคงตัว	ล้นปีกผีเสื้อทางออก	ล้นปีกผีเสื้อทางเข้า	ล้นปีกผีเสื้อทางเข้าและทางออก	อัตราการไหล	อัตราการไหล	อัตราการไหล	อัตราการไหล	ล้นปีกผีเสื้อทางเข้าและทางออก	
ปริมาณซึ่งการแปรผันขึ้นอยู่กับ การควบคุม	หัวน้ำรวม อัตราการไหล NPSHA ระดับน้ำ	หัวน้ำรวม อัตราการไหล NPSHA ระดับน้ำ	หัวน้ำรวม อัตราการไหล NPSHA	NPSHA หัวน้ำรวม ล้นปีกผีเสื้อทางออก (สำหรับอัตราการไหลคงที่)	NPSHA หัวน้ำรวม ล้นปีกผีเสื้อทางออก	หัวน้ำรวม NPSHA ล้นปีกผีเสื้อทางออก (สำหรับอัตราการไหลคงที่เมื่อหัวน้ำรวมเริ่มตก)	NPSHA หัวน้ำ ล้นปีกผีเสื้อทางออก (สำหรับอัตราการไหลคงที่ เมื่อหัวน้ำรวมเริ่มตก)	NPSHA หัวน้ำรวมและอัตราการไหล เมื่อถึงระดับการเกิดคาวิเทชันที่แน่นอน	
เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของหัวน้ำเทียบกับอัตราการไหลและ NPSH	ดูรูปที่ 12 ก)			ดูรูปที่ 13 ก)				ดูรูปที่ 14 ก)	
เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของ NPSH เทียบกับอัตราการไหล	ดูรูปที่ 12 ข)			ดูรูปที่ 13 ข)				ดูรูปที่ 14 ข)	



รูปที่ 12



รูปที่ 13



รูปที่ 14

11.1.2.4 การทดสอบการเกิดควาเทชันอื่น

อาจใช้เกณฑ์การเกิดควาเทชันอื่น (เช่น การเพิ่มขึ้นของเสียงรบกวน) และการทดสอบการเกิดควาเทชันแบบที่สมนัยกัน ในกรณีนี้จำเป็นต้องมีการตกลงกันเป็นพิเศษในสัญญา

11.2 การติดตั้งการทดสอบ

11.2.1 ทั่วไป

การทดสอบที่อธิบายในข้อ 11.1.2 สามารถทำได้วิธีอื่นที่ชี้บอกในตารางที่ 11 และการติดตั้งใดๆ ที่อธิบายในข้อต่อไปนี

เป็นไปได้ที่จะปรับพารามิเตอร์ควบคุม 2 ตัว และรักษาสภาพการไหลให้คงที่ในระหว่างการทดสอบ แต่โดยทั่วไปทำได้ยาก

11.2.2 ลักษณะเฉพาะทั่วไปของวงจร

วงจรทดสอบต้องเป็นลักษณะที่เมื่อปรากฏว่ามีการเกิดควาวิเทชั่นขึ้นในเครื่องสูบ ต้องไม่เกิดขึ้นที่อื่นเป็นปริมาณที่มีผลกระทบกับเสถียรภาพของการทำงานตามที่กำหนดของการติดตั้งหรือการวัดสมรรถนะเครื่องสูบ

ต้องแน่ใจว่าการเกิดควาวิเทชั่น และฟองและการกำจัดอากาศ เนื่องจากการเกิดควาวิเทชั่นในเครื่องสูบไม่มีผลกระทบกับการทำงานของเครื่องวัด โดยเฉพาะอุปกรณ์วัดการไหล

ภาวะการวัดของเครื่องทดสอบการเกิดควาวิเทชั่น (ไม่ว่าจะเป็นแบบเดียวกับที่ใช้สำหรับการหาเส้นโค้งประสิทธิภาพหรือไม่) ต้องเป็นไปตามภาวะที่ระบุในข้อ 5.3 และข้อ 5.4

แบบของการติดตั้งที่อธิบายในข้อ 11.2.4 อาจทำให้จำเป็นต้องใช้วาล์วควบคุมค่าชนิดพิเศษที่ทางเข้าและทางออก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดควาวิเทชั่นในสิ่งเหล่านี้ซึ่งสามารถมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์

การเกิดควาวิเทชั่นในการไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อบางครั้งสามารถป้องกันได้โดยใช้อุปกรณ์ปรับได้ 2 ตัวหรือมากกว่ามาต่ออนุกรมกัน หรือโดยจัดเตรียมลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อส่งตรงเข้าไปในภาชนะปิดหรือถังกักที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ที่ต่ออยู่ระหว่างลิ้นปีกผีเสื้อและทางเข้าเครื่องสูบ อาจจำเป็นต้องใช้แผ่นกั้นและอุปกรณ์แยกอากาศออกจากภาชนะนั้น โดยเฉพาะเมื่อ NPSH มีค่าต่ำ

เมื่อปิดลิ้นปีกผีเสื้อบางส่วน จำเป็นต้องทำให้แน่ใจว่าท่อเต็มไปด้วยของเหลวและการกระจายความดันและความเร็วที่ภาคตัดที่วัดทางเข้าสม่ำเสมอ อาจทำได้โดยใช้อุปกรณ์จัดการไหลให้ตรงที่เหมาะสม และ/หรือท่อตรงยาวอย่างน้อย 12D ที่ทางเข้าเครื่องสูบ

11.2.3 ลักษณะเฉพาะของของเหลวทดสอบ

ของเหลวต้องสะอาดและใส และไม่ควรมีวัตถุที่เป็นของแข็ง ก่อนการทดสอบควรกำจัดอากาศออกเท่าที่จะเป็นไปได้

การกำจัดอากาศในน้ำที่ใช้สำหรับการทดสอบการเกิดควาวิเทชั่น จำเป็นก็ต่อเมื่อในทางปฏิบัติใช้เครื่องสูบกับน้ำที่กำจัดก๊าซแล้วเท่านั้น

ในทางกลับกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการกำจัดอากาศในส่วนใดๆ ของเครื่องสูบ น้ำในวงจรไม่ควรอิมตัวยิ่งยวด

ภาวะการไหลทั่วไปต้องเป็นไปตามที่ระบุในข้อ 5.3 และข้อ 5.4 โดยเฉพาะที่ทางเข้าของเครื่องสูบ

11.2.4 แบบต่างๆ ของการติดตั้ง

หมายเหตุ 1 ในข้อ 11.2.4.1 ถึงข้อ 11.2.4.3 อธิบายแบบต่างๆ ของการติดตั้งซึ่งอาจใช้ได้ การติดตั้งนั้นอาจไม่เหมาะสมสำหรับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำเย็น เนื่องจากความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิอาจทำให้เกิดความผิดพลาดเกินค่าที่กำหนดในการหาความดันไอ

หมายเหตุ 2 การทดสอบที่ใช้การติดตั้งที่อธิบายในข้อ 11.2.4.1 และข้อ 11.2.4.2 จะให้ความเที่ยงและผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบที่ใช้การติดตั้งที่อธิบายในข้อ 11.2.4.3

11.2.4.1 การจัดวางรอบปิด

ติดตั้งเครื่องสูบลมในวงรอบปิดของท่อดังแสดงในรูปที่ 15 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความดัน ระดับ หรืออุณหภูมิทำให้ NPSH แปรผันโดยไม่มีอิทธิพลต่อหัวน้ำเครื่องสูบลมหรืออัตราการไหลจนกระทั่งมีการเกิดคาวิเทชันในเครื่องสูบลม

อาจจำเป็นต้องจัดการหล่อเย็นหรือการให้ความร้อนของเหลวในวงรอบ เพื่อคงอุณหภูมิที่ต้องการ และอาจจำเป็นต้องใช้แท็งก์แยกก๊าซด้วย

อาจจำเป็นต้องใช้วงรอบหมุนเวียนกลับของเหลวเพื่อหลีกเลี่ยงความแตกต่างอุณหภูมิที่ยอมรับไม่ได้ในแท็งก์ทดสอบ

แท็งก์ต้องมีขนาดเพียงพอและออกแบบในลักษณะที่ป้องกันการดูดอากาศเข้าไปในเครื่องสูบลมด้านทางเข้า นอกจากนี้ อาจจำเป็นต้องใช้ตะแกรงกั้นลดคลื่นในแท็งก์ถ้าความเร็วเฉลี่ยเกิน 0.25 เมตรต่อวินาที

11.2.4.2 อ่างเปิดที่มีการควบคุมระดับ

เครื่องสูบลมของเหลวผ่านท่อที่ไม่มีสิ่งกีดขวางจากอ่างซึ่งระดับของพื้นผิวของเหลวอิสระอาจปรับได้ (รูปที่ 16)

11.2.4.3 อ่างเปิดที่มีลิ้นปีกผีเสื้อ

ความดันของของเหลวที่เข้าไปในเครื่องสูบลมถูกปรับด้วยลิ้นปีกผีเสื้อที่ติดตั้งในท่อทางเข้าที่ระดับต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ (รูปที่ 17)

11.3 การหา NPSH ที่ต้องการของเครื่องสูบลม

11.3.1 วิธีวัดปริมาณต่างๆ

หากมิได้ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น วิธีสำหรับการวัดหัวน้ำ อัตราการไหล ความเร็วรอบ และ (ถ้าจำเป็น) กำลังด้านเข้าในระหว่างการทดสอบการเกิดคาวิเทชันให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 7. ถึงข้อ 10.

จำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อให้แน่ใจว่าในการวัดการไหลการเกิดคาวิเทชันไม่มีผลกระทบกับความแม่นยำของมาตรอัตราการไหล จำเป็นต้องระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงอากาศเข้าผ่านทางข้อต่อและปลอก (เช่น โดยการใช้ ตัวกั้นน้ำรั่ว/แผ่นกั้นของเหลว)

ถ้าภาวะการทดสอบไม่เสถียรจนทำให้ต้องอ่านค่าซ้ำ ยอมให้มีการปรับ NPSH จนถึงค่าสูงสุด

- 1.5 เท่าของค่าที่ให้สำหรับหัวน้ำในตารางที่ 7 หรือ

- 0.2 เมตร

แล้วแต่อย่างใดสูงกว่า

11.3.2 การหาความดัน

ความดันไอของของเหลวทดสอบที่เข้าไปในเครื่องสูบล้างโดยมีความแม่นยำเพียงพอเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 11.3.3 เมื่อความดันไอหาได้จากข้อมูลมาตรฐานและการวัดอุณหภูมิของของเหลวที่เข้าไปในเครื่องสูบล้าง ต้องระบุความแม่นยำที่ต้องการของการวัดอุณหภูมิ

แหล่งของข้อมูลมาตรฐานที่ใช้ต้องตกลงกันระหว่าง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กับผู้ซื้อ

ส่วนแฉีกทึบของโพรบวัดอุณหภูมิต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 1/8 ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้าวัดจากผนังของท่อทางเข้า ถ้าการจุ่มส่วนวัดอุณหภูมิในการไหลทางเข้าน้อยกว่าที่กำหนดโดยผู้ทำเครื่องวัด ต้องสอบเทียบที่ความลึกที่จุ่ม

ต้องระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าโพรบวัดอุณหภูมิที่ใส่เข้าไปในท่อทางเข้าเครื่องสูบล้างไม่มีอิทธิพลต่อการวัดความดันทางเข้า

11.3.3 ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนสำหรับ NPSHR

ค่าที่ยอมรับสูงสุดของความแตกต่างระหว่าง NPSHR ที่วัดได้กับ NPSHR ที่รับประกันคือ

- สำหรับเกรด 1 : $t_{\text{NPSHR}} = + 3 \%$ หรือ $t_{\text{NPSHR}} = + 0.15$ เมตร

- สำหรับเกรด 2 : $t_{\text{NPSHR}} = + 6 \%$ หรือ $t_{\text{NPSHR}} = + 0.30$ เมตร

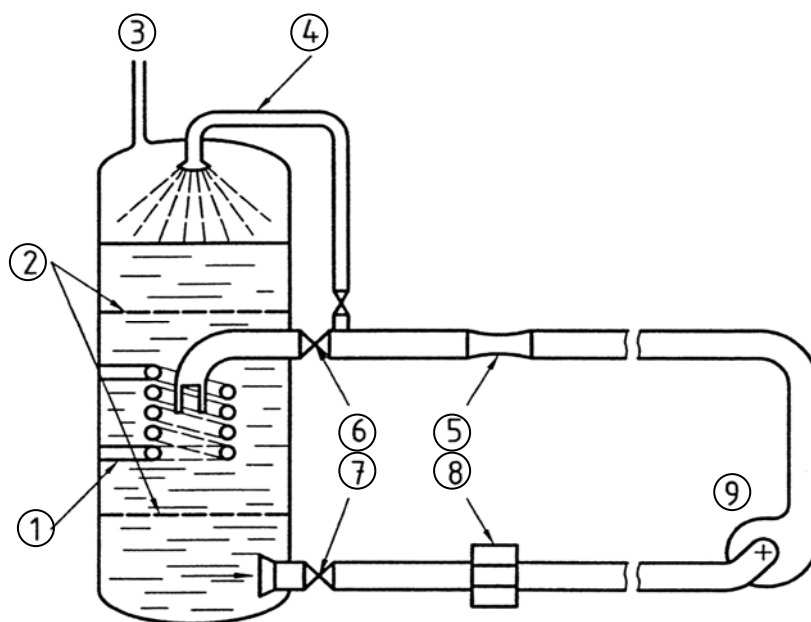
แล้วแต่อย่างใดมากกว่า

การใช้สูตรต่อไปนี้จะเป็นการรับประกันถ้า

$$(\text{NPSHR})_G + t_{\text{NPSHR}} \cdot (\text{NPSHR})_G \geq (\text{NPSHR})_{\text{measured}} \text{ หรือ}$$

$$(\text{NPSHR})_G + (0.15 \text{ เมตร หรือ } 0.3 \text{ เมตร ตามลำดับ}) \geq (\text{NPSHR})_{\text{measured}}$$

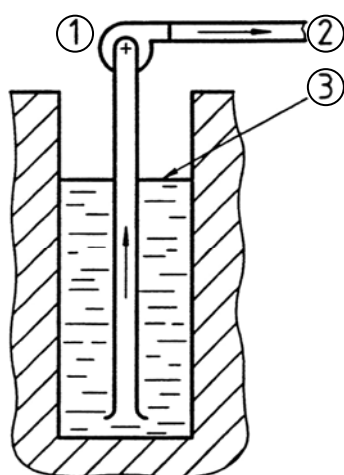
รูปที่ 15 ถึงรูปที่ 17 แสดงหลักการแต่ไม่มีรายละเอียดทางเทคนิคและสามารถใช้เป็นตัวอย่างได้



หมายเหตุ การหล่อเย็นด้วยคอยล์อาจแทนด้วยการฉีดน้ำเย็นเหนือพื้นผิวอิสระของของเหลวและการแยกน้ำร้อน

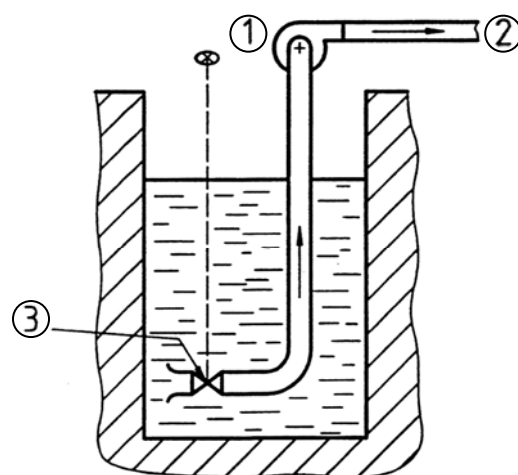
- | | | |
|-------------------------------------|---|------------------------------|
| ① คอยล์ระบายความร้อนหรือให้ความร้อน | ④ หัวฉีดพ่นสำหรับการกำจัดอากาศในของเหลว | ⑦ วาล์วแยก (isolating valve) |
| ② ตระแกรงกั้นลดคลื่น | ⑤ มาตรวัดอัตราการไหล | ⑧ จุดวัดปริมาณก๊าซ |
| ③ ไปยังตัวควบคุมสุญญากาศหรือความดัน | ⑥ วาล์วควบคุมการไหล | ⑨ เครื่องสูบทดสอบ |

รูปที่ 15 การทดสอบควาวิเทชั่น การแปรผันของ NPSH โดยวงจรปิด
ที่ควบคุมความดัน และ/หรือ อุณหภูมิ



- | |
|--|
| ① เครื่องสูบทดสอบ |
| ② ไปยังวาล์วควบคุมการไหลและมาตรอัตราการไหล |
| ③ ระดับน้ำปรับได้ |

รูปที่ 16 การทดสอบควาวิเทชั่น การแปรผันของ NPSH
โดยการควบคุมระดับของเหลวที่อ่างทางเข้าเครื่องสูบ



- | |
|--|
| ① เครื่องสูบทดสอบ |
| ② ไปยังวาล์วควบคุมการไหลและมาตรอัตราการไหล |
| ③ วาล์วควบคุมความดันทางเข้า |

รูปที่ 17 การทดสอบควาวิเทชั่น การแปรผันของ NPSH
ด้วยวาล์วควบคุมความดันทางเข้า

ภาคผนวก ก.

(ข้อกำหนด)

ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนสำหรับเครื่องสูบลูกสูบที่ผลิตเป็นอนุกรมและทำการเลือกจากเส้นโค้งสมรรถนะทั่วไป และสำหรับเครื่องสูบลูกสูบที่ตัวขับมีกำลังด้านเข้าน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์ (เกี่ยวกับเครื่องสูบลูกสูบอนุกรม เกรด 2)

หมายเหตุ ภาคผนวกนี้ใช้กับพิธีการโรงงานที่ยอมให้ของเครื่องสูบลูกสูบเท่านั้น

ก.1 เครื่องสูบลูกสูบที่ผลิตเป็นอนุกรมและทำการเลือกจากเส้นโค้งสมรรถนะทั่วไป

เส้นโค้งสมรรถนะในแคตตาล็อกแสดงสมรรถนะเฉลี่ย (ไม่ใช่ค่าต่ำสุด) ของอนุกรมเครื่องสูบลูกสูบที่เป็นแบบเดียวกัน ซึ่งใช้กับประสิทธิภาพและกำลังด้านเข้าด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นและความคลาดเคลื่อนของกำลัง

เมื่อ ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ ทำการอ้างอิงในแคตตาล็อกมาที่ภาคผนวกนี้ ต้องใช้ตัวประกอบสูงสุดต่อไปนี้:

- สำหรับอัตราการไหล $t_Q = \pm 9 \%$
- สำหรับหัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกสูบ $t_H = \pm 7 \%$
- สำหรับกำลังด้านเข้าเครื่องสูบลูกสูบ $t_P = + 9 \%$
- สำหรับกำลังด้านเข้าตัวขับ $t_{P_{gr}} = + 9 \%$
- สำหรับประสิทธิภาพ $t_\eta = - 7 \%$

ก.2 เครื่องสูบลูกสูบที่ตัวขับมีกำลังด้านเข้าน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์

สำหรับเครื่องสูบลูกสูบที่ตัวขับมีกำลังด้านเข้าน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์ แต่มากกว่า 1 กิโลวัตต์ ในกรณีที่ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในส่วนประกอบทางกลต่างๆ มีความสำคัญและไม่สามารถคาดคะเนได้ง่าย อาจไม่สามารถใช้ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนที่ให้ไว้ในตารางที่ 10 ได้ ในกรณีนี้ต้องใช้ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้:

- สำหรับอัตราการไหล $t_Q = \pm 10 \%$
- สำหรับหัวน้ำรวมของเครื่องสูบลูกสูบ $t_H = \pm 8 \%$

ตัวประกอบความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพ (t_η) หากมิได้ตกลงไว้เป็นอย่างอื่นอาจคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$t_\eta = - \left[10 \left(1 - \frac{P_{gr}}{10} \right) + 7 \right] \%$$

เมื่อ P_{gr} คือกำลังด้านเข้าตัวขับสูงสุด หน่วยเป็นกิโลวัตต์ ตลอดพิธีการทำงาน ยอมให้ตัวประกอบความคลาดเคลื่อน $t_{P_{gr}}$ ใช้สูตรต่อไปนี้:

$$t_{P_{gr}} = \sqrt{(7\%)^2 + t_\eta^2} \%$$

หมายเหตุ สำหรับเครื่องสูบลูกสูบที่มีกำลังด้านเข้าน้อยมาก (น้อยกว่า 1 กิโลวัตต์) อาจตกลงกันเป็นพิเศษระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ข.

(ข้อกำหนด)

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดที่ลดลง

ถ้าลักษณะเฉพาะของเครื่องสูบลมสูงกว่าลักษณะเฉพาะที่ระบุ โดยทั่วไปจะทำการลดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

ตามการตกลงที่กล่าวถึงในข้อ 6.5.1 อาจใช้กฎต่อไปนี้ ในกรณีที่อัตราส่วนของการลดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกเฉลี่ยของใบพัดไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับเครื่องสูบลมแบบ $K \leq 1.5$ ถ้ารูปร่างของใบพัดยังคงไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากการตัดแต่ง (มุมทางออก การทำให้เรียบลง ฯลฯ)

กฎที่ยอมให้ประเมินลักษณะเฉพาะใหม่คือ:

$$R = \left(\frac{D_r^2 - D_1^2}{D_t^2 - D_1^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ

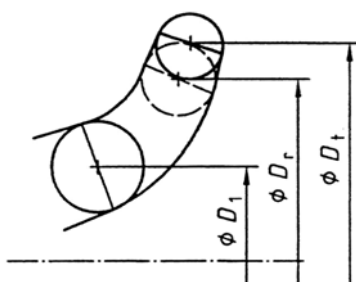
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ให้ในรูปที่ ข.1

ตัวห้อย t = ทดสอบ

r = ที่ลดลง

$$Q_r = R \cdot Q_t$$

$$H_r = R^2 \cdot H_t$$



รูปที่ ข.1 เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดที่ลดลง

อาจถือว่าในทางปฏิบัติประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างจุดทำงานต่างๆ สำหรับเครื่องสูบลมแบบ $K \leq 1.0$ และสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดที่ลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 3

ภาคผนวก ค.

(ข้อกำหนด)

ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน

สูตรที่ให้ในข้อ 8.2.4 สำหรับการคำนวณความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานรวมถึงการคำนวณที่ยืดยาว ซึ่งหลายกรณีนำไปสู่บทสรุปที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการปรับแก้

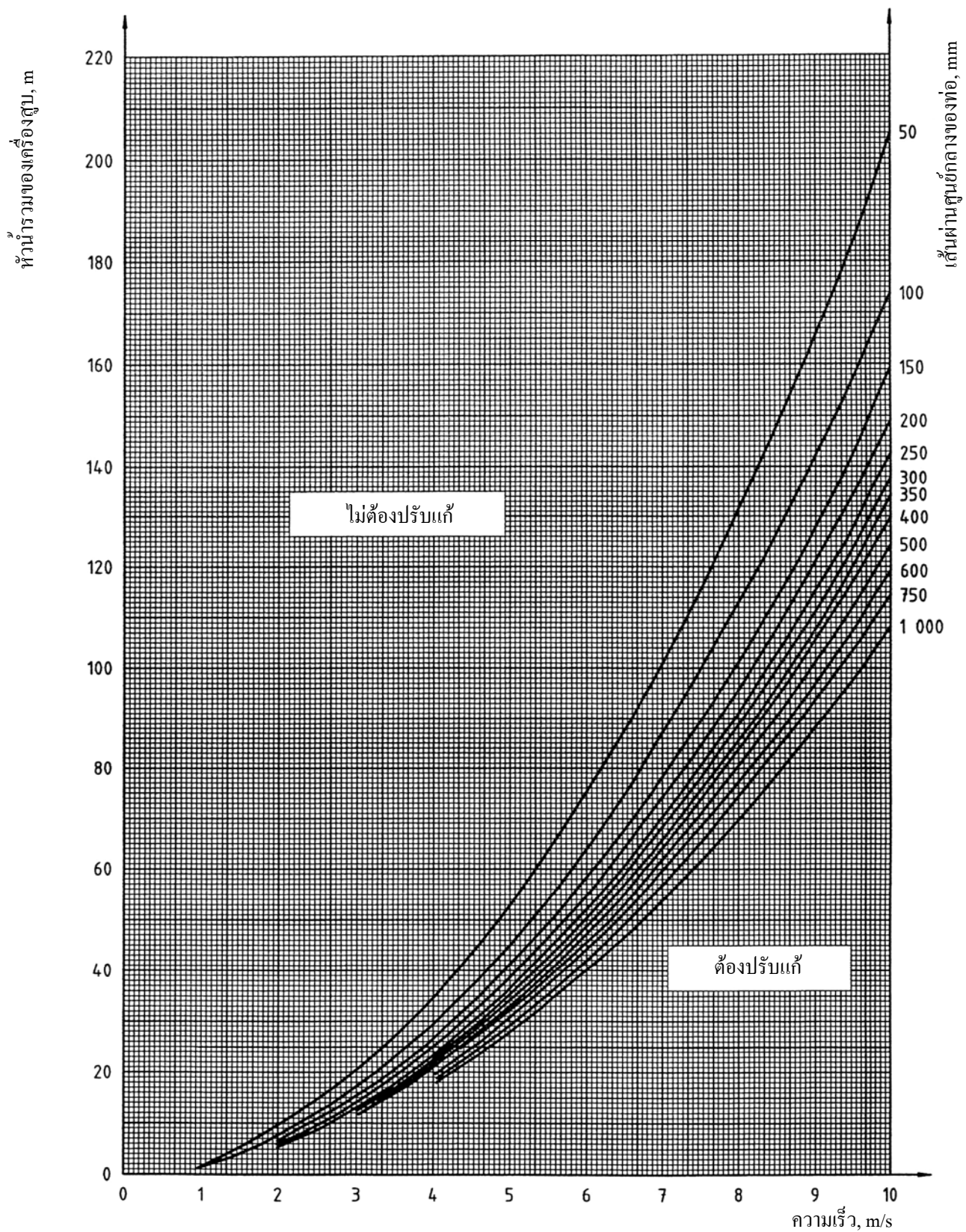
การตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อหาว่าการคำนวณจำเป็นต้องทำหรือไม่ ให้ไว้ในรูปที่ ค.1 สำหรับการทดสอบเกรด 1 และรูปที่ ค.2 สำหรับการทดสอบเกรด 2 ซึ่งใช้กับท่อเหล็กกล้าตรงที่มีภาคตัดขวางกลมคงที่และใช้กับน้ำเย็น ท่อทางเข้าและทางออกถือว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน และจุดวัดคือจุดที่มีระยะเท่ากับ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ด้านต้นทางและด้านปลายทางของหน้าแปลนทางเข้าและทางออกตามลำดับ (ดูข้อ 8.2.1)

ถ้าท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ควรใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เล็กกว่า ดังนั้นถ้าเขียนว่า “ไม่ต้องปรับแก้” ไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณ

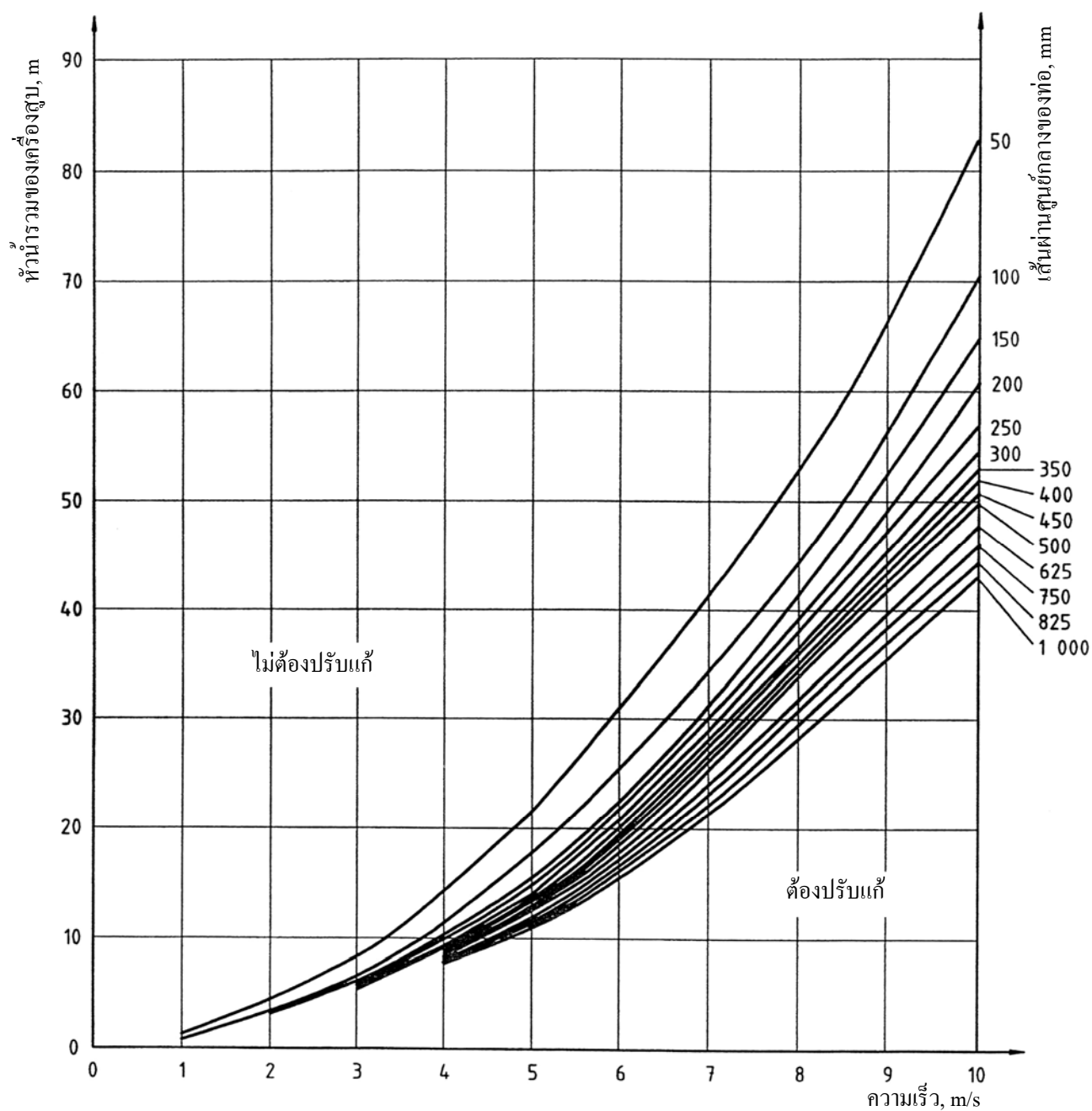
ถ้าเขียนว่า “ต้องปรับแก้” อาจใช้รูปที่ ค.3 (ซึ่งใช้กับท่อเหล็กกล้าที่ใช้กับน้ำเย็นเท่านั้น) เพื่อหาค่าของ λ ในกรณีที่ท่อทำจากวัสดุอื่นหรือของเหลวที่ไม่ใช่น้ำเย็น อาจใช้กราฟโดยมูดี้ (Moody) ที่ให้ไว้ในรูปที่ ค.4 หรืออาจใช้สูตรสำหรับ λ ที่ให้ไว้ในข้อ 8.2.4 (ถ้าต้องการ) สำหรับท่อที่มีความหยาบ k อาจใช้ค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ความหยาบสม่ำเสมอสมมูล k สำหรับท่อ

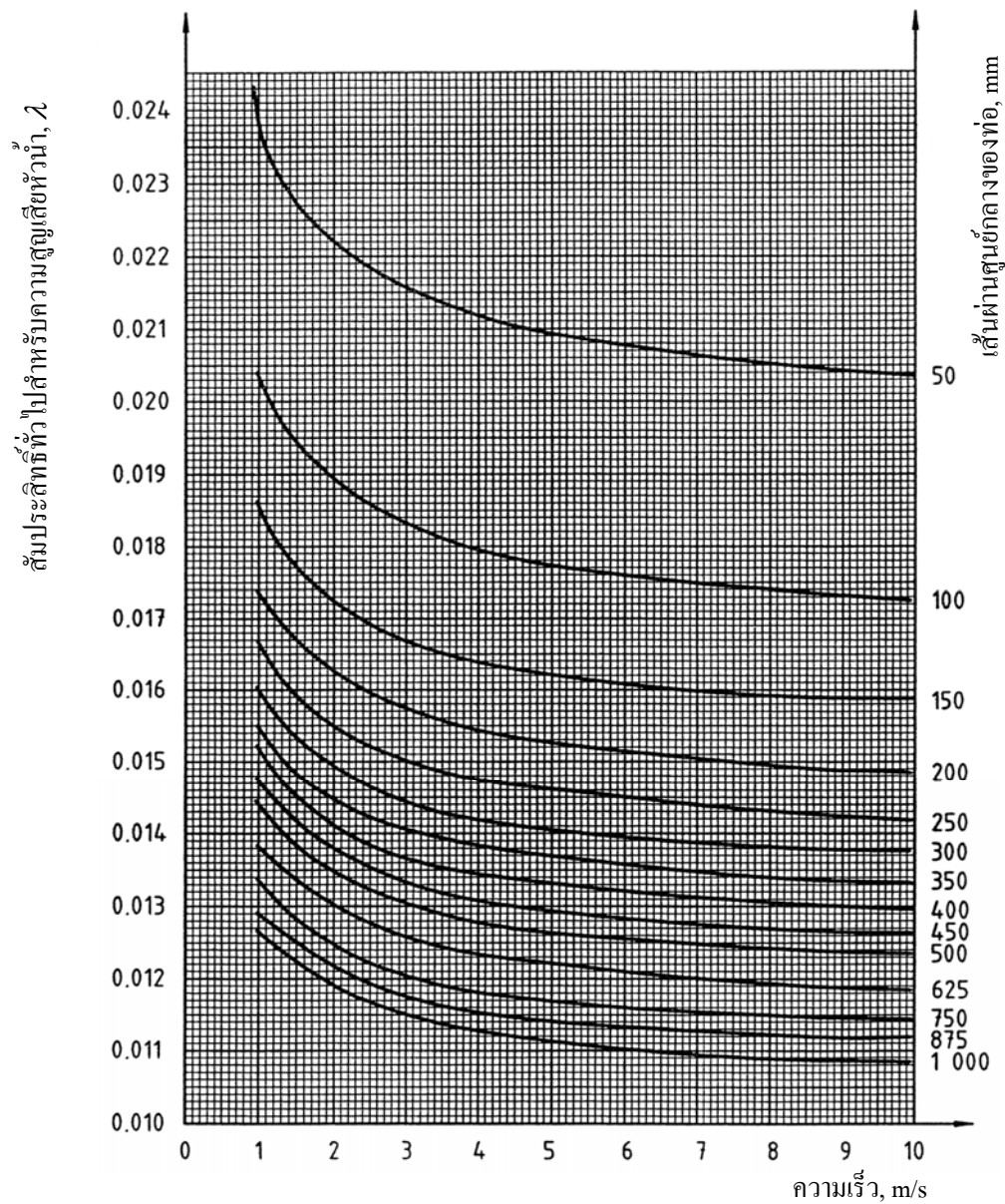
วัสดุ (ใหม่) ของท่อเชิงพาณิชย์	ความหยาบสม่ำเสมอสมมูล k ของพื้นผิว mm
แก้ว ท่อทองเหลือง ทองแดง หรือตะกั่ว	เรียบ
เหล็กกล้า	0.05
เหล็กหล่อแอสไฟต์	0.12
เหล็กชุบสังกะสี	0.15
เหล็กหล่อ	0.25
คอนกรีต	0.30 ถึง 3.0
เหล็กกล้ายึดด้วยหมุดย้ำ	1.0 ถึง 10.0



รูปที่ ค.1 แผนภูมิสำหรับการทดสอบเกรด 1 แสดงความเร็วซึ่งต้องการการปรับแก้ความสูญเสีย
(สำหรับภาคตัดที่วัดซึ่งมีระยะห่าง 2D ด้านต้นทางและด้านปลายทางของหน้าแปลนเครื่องสูบลม)



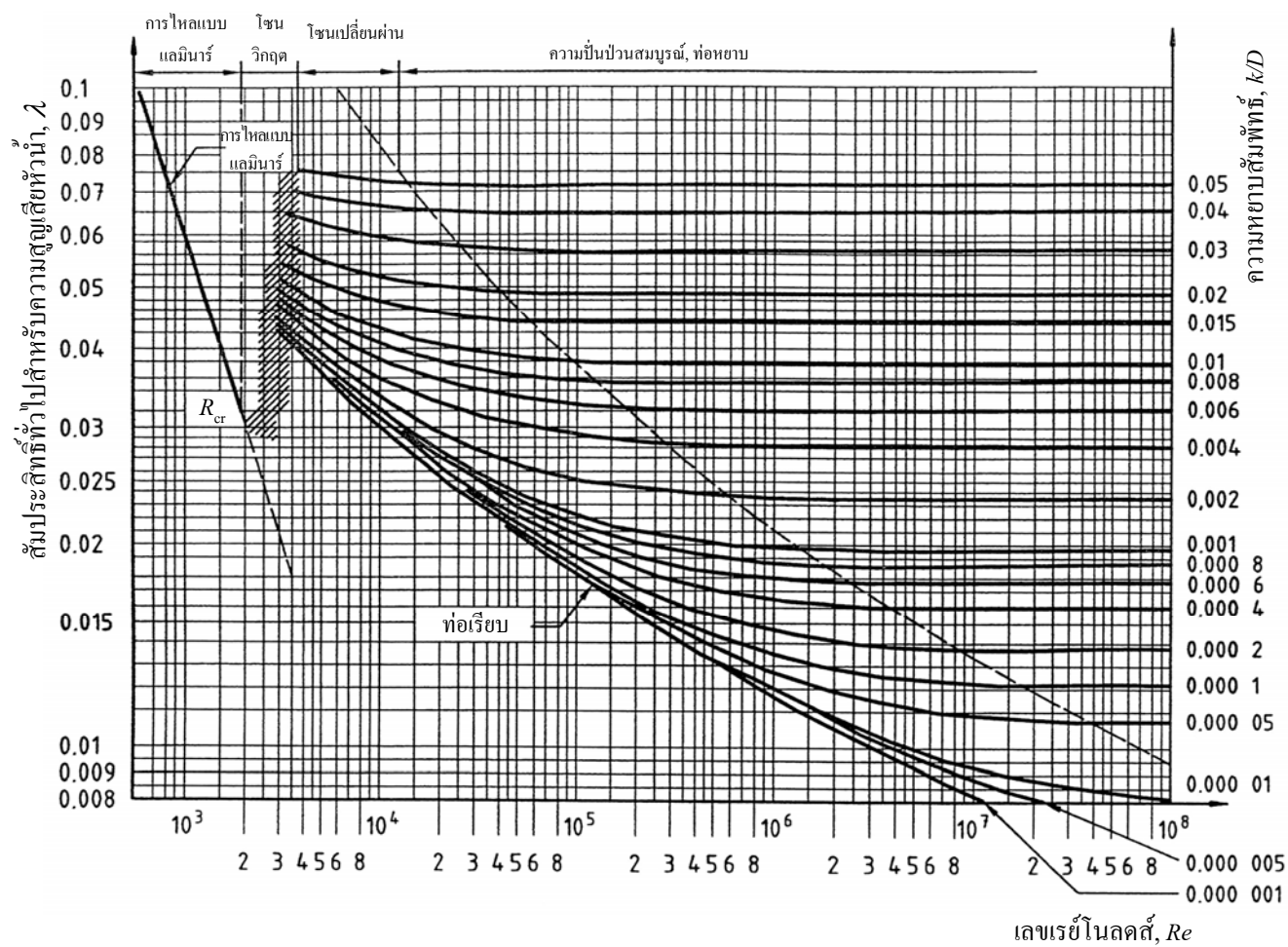
รูปที่ ค.2 แผนภูมิสำหรับการทดสอบเกรด 2 แสดงความเร็วซึ่งต้องการการปรับแก้ความสูญเสีย (สำหรับภาคตัดที่วัดซึ่งมีระยะห่าง $2D$ ด้านต้นทางและด้านปลายทางของหน้าแปลนเครื่องสูบ)



ความหยาบของพื้นผิว $k = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$

ความหนืดจลน์ $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ค.3 สัมประสิทธิ์ทั่วไปสำหรับความสูญเสียหัวน้ำ



รูปที่ ค.4 ค่าของสัมประสิทธิ์ทั่วไปสำหรับความสูญเสียหัวน้ำ (แผนภูมิมูดี)

ภาคผนวก ง.

(ข้อแนะนำ)

การแปลงเป็นหน่วย SI

ตารางที่ ง.1 ให้ตัวประกอบสำหรับการแปลงเป็นหน่วย SI ของปริมาณบางอย่างที่แสดงในรูปของตัวคูณหรือตัวคูณย่อยของหน่วย SI และเป็นหน่วยอื่นที่ไม่ใช่หน่วย SI ตัวประกอบการแปลงเป็นตัวเลขซึ่งควรคูณกับค่าที่แสดงอยู่ในรูปของหน่วยต่างๆ เพื่อแปลงให้เป็นค่าที่สมนัยกันในหน่วย SI

ตารางที่ ง.1 ตัวประกอบการแปลง

ปริมาณ	สัญลักษณ์ของ หน่วย SI	หน่วยต่างๆ		ตัวประกอบการแปลง
		ชื่อ	สัญลักษณ์	
อัตราการไหล (เชิงปริมาตร)	m^3/s	ลิตรต่อวินาที	l/s	10^{-3}
		ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	m^3/h	$1/3600$
		ลิตรต่อชั่วโมง	l/h	$1/3600000$
		ลิตรต่อนาที	l/min	$1/60000$
		แกลลอน (สหราชอาณาจักร) ต่อนาที	gal (UK)/min	75.77×10^{-6}
		ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที	ft^3/s	28.3168×10^{-3}
		แกลลอน (สหรัฐ) ต่อนาที	gal (US)/min	63.09×10^{-6}
		แกลลอน (สหรัฐ) ต่อชั่วโมง (ปิโตรเลียม)	barrel (US)/h	44.16×10^{-6}
อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s	ตันต่อวินาที	t/s	10^3
		ตันต่อชั่วโมง	t/h	$1/3.6$
		กิโลกรัมต่อชั่วโมง	kg/h	$1/3600$
		ปอนด์ต่อวินาที	lb/s	0.45359237
ความดัน	Pa	กิโลปอนด์ต่อตารางเซนติเมตร	kp/cm^2	98066.5
		กิโลกรัม-แรงต่อตารางเซนติเมตร	kgf/cm^2	98066.5
		บาร์	bar	10^5
		เฮกโตพีซ	hpz	10^5
		ทอร์	torr	133.322
		มิลลิเมตรปรอททั่วไป	mmHg	133.322
		มิลลิเมตรน้ำทั่วไป	mmH_2O	9.80665
		ปอนด์ต่อตารางฟุต	pdl/ft^2	1.48816
		บรรยากาศมาตรฐาน	atm	101325
		ปอนด์-แรงต่อตารางนิ้ว	$\text{lbf/in}^2 (\text{psi})$	6894.76
ความหนาแน่น	kg/m^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	kg/dm^3	10^3
		กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	g/cm^3	10^3
		ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต	lb/ft^3	16.0185

ตารางที่ ง.1 ตัวประกอบการแปลง (ต่อ)

ปริมาณ	สัญลักษณ์ของ หน่วย SI	หน่วยต่างๆ		ตัวประกอบการแปลง
		ชื่อ	สัญลักษณ์	
กำลัง	W	กิโลวัตต์	kW	10^3
		กิโลปอนด์ เมตรต่อวินาที	kp·m/s	9.80665
		I.T. กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง	kcal _{IT} /h	1.163
		ชีวัลเวเปียร์ (cheval vapeur)	ch	735.5
		แรงม้า	hp	745.7
		หน่วยทางความร้อนอังกฤษต่อชั่วโมง	Btu/h	0.293071
		กิโลกรัม-แรง เมตรต่อวินาที	kgf·m/s	9.80665
ความหนืด (ความหนืดพลวัต)	Pa s	พอยส์	P	10^{-1}
		ไดน์วินาทีต่อตารางเซนติเมตร	dyn·s/cm ²	10^{-1}
		กรัมต่อวินาที เซนติเมตร	g/s·cm	10^{-1}
		กิโลปอนด์ วินาทีต่อตารางเมตร	kp·s/m ²	9.80665
		ปอนด์ วินาทีต่อตารางฟุต	pdl·s/ft ²	1.48816
ความหนืดจลน์	m ² /s	สโตกส์	St = cm ² /s	10^{-4}
		ตารางฟุตต่อวินาที	ft ² /s	92.903×10^{-3}

ภาคผนวก จ.

(ข้อเสนอแนะ)

คำแนะนำสำหรับคาบเวลาที่เหมาะสมระหว่างการสอบเทียบเครื่องทดสอบ

ข้อมูลที่ให้ไว้ในตารางที่ จ.1 บางส่วนอยู่บนพื้นฐานของ “มาตรฐานการทดสอบสถาบันไฮดรอลิก, ค.ศ.1988, เครื่องสูบบแบบหมุนเหวี่ยง 1-6” ให้ไว้เป็นคำแนะนำเท่านั้น ความถี่ในการสอบเทียบขึ้นอยู่กับประสบการณ์และอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการสอบเทียบ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และควรระบุไว้ในวิธีดำเนินการประกันคุณภาพสำหรับเครื่องทดสอบ

ตารางที่ จ.1 คาบเวลาที่เหมาะสมระหว่างการสอบเทียบเครื่องทดสอบ

ค่ามีหน่วยเป็นปี เว้นแต่จะบอกด้วย “ด.” สำหรับเดือน

บริษัท	คาบ	บริษัท	คาบ
อัตราการไหล		กำลัง	
แท็งก์ชั่ง	1	ไดนาโมมิเตอร์	6 ด.
แท็งก์เชิงปริมาตร	10	ทอร์กบาร์	1
เวนจูรี	ก	มอเตอร์ที่สอบเทียบแล้ว	ไม่จำเป็น
หัวฉีด	ก	วัตต์-แอมป์-โวลต์-มิเตอร์ แบบพกพา	1
แผ่นช่อง	ก	วัตต์-แอมป์-โวลต์-มิเตอร์ แบบตั้งอยู่กับที่	3
เทอร์ไบน์	1	ทอร์กมิเตอร์ที่มีเกจวัดความเครียด	6 ด.
แม่เหล็กไฟฟ้า	1	เฟืองระหว่างกลางไม่เกิน 375 kW	10 ด.
แผ่นกั้น (weir)	ก	เฟืองระหว่างกลางเกิน 375 kW	20 ด.
มาตรกระแสน้ำ	2	ความเร็ว	
แบบอัลตราโซนิก	6 ด.	มาตรอัตราการรอบ (ทั่วไป)	3
ความดัน		อิเล็กทรอนิกส์	1
เกจวัดความดันแบบสปริง	4 ด.	อุปกรณ์ตอบสนองความถี่	
น้ำหนักตายตัว	ไม่จำเป็น	แม่เหล็ก	10
แมนอมิเตอร์แบบคอลัมน์ของเหลว	ไม่จำเป็น	ออปติคัล	10
ตัวแปลงสัญญาณ	4 ด.	สโตรโบสโคป	5
		ทอร์กมิเตอร์ (ความเร็ว)	1
ก ไม่จำเป็น เว้นแต่สงสัยว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางมิติวิกฤต			

ภาคผนวก จ.

(ข้อแนะนำ)

ค่าใช้จ่ายและการทดสอบซ้ำ

หมายเหตุ ในส่วนของสภาพเชิงพาณิชย์อย่างเดียว เช่น ค่าใช้จ่ายของการทดสอบไม่รวมอยู่ในขอบข่ายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ และควรขึ้นอยู่กับข้อตกลงกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง

จ.1 ค่าใช้จ่ายของการทดสอบเพื่อยอมรับและการทดสอบพิเศษ

แนะนำให้ระบุค่าใช้จ่ายของการทดสอบเพื่อยอมรับไว้อย่างชัดเจนในสัญญา

คำนึงถึงความจริงที่ว่าค่าทดสอบจะเพิ่มขึ้นถ้าทำการทดสอบ NPSH

จ.2 การทดสอบซ้ำ

ในกรณีที่สงสัยถึงความถูกต้องหรือความแม่นยำเพียงพอของข้อมูลการวัดที่ได้ ทั้ง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ และผู้ซื้อ มีสิทธิเรียกร้องให้มีการทดสอบซ้ำ ถ้าการวัดใหม่ไม่สามารถยืนยันตามข้อสงสัยได้ ผู้ที่เรียกร้องให้มีการทดสอบซ้ำใหม่ต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของการทดสอบซ้ำ

ภาคผนวก ข.

(ข้อแนะนำ)

แผนภูมิแก้ไขสมรรถนะสำหรับของเหลวหนืด

รูปที่ ข.1 คือ แผนภูมิแก้ไขสมรรถนะสำหรับการหาสมรรถนะของเครื่องสูบบแบบหมุนเหวี่ยงทั่วไปที่ใช้กับของเหลวหนืด เมื่อทราบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ใช้น้ำ เส้นโค้งที่แก้ไขไม่ถูกต้องโดยแท้จริงสำหรับเครื่องสูบบแบบเฉพาะใดๆ

เมื่อข้อมูลที่แม่นยำเป็นสิ่งจำเป็น การทดสอบสมรรถนะควรทำกับของเหลวหนืดเฉพาะที่จะใช้

เนื่องจากรูปที่ ข.1 อยู่บนพื้นฐานความพึงพอใจของประสบการณ์ (empirical) มากกว่าการพิจารณาทางทฤษฎี การประมาณค่านอกช่วงเกินขีดจำกัดที่แสดงจะออกนอกพิสัยประสบการณ์ซึ่งแผนภูมิดังกล่าวนี้ครอบคลุม และไม่แนะนำให้ใช้

ใช้เฉพาะกับเครื่องสูบน้ำที่มีการออกแบบทางไฮดรอลิกทั่วไป (ในพิสัยการทำงานตามปกติ) ซึ่งมีใบพัดเปิดหรือปิด ไม่ใช้กับเครื่องสูบน้ำการไหลผสมหรือการไหลตามแนวแกน หรือเครื่องสูบน้ำที่มีการออกแบบทางไฮดรอลิกพิเศษสำหรับของเหลวหนืดหรือไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ ข.1 ใช้เฉพาะในกรณีที่มี NPSH เพียงพอเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดคาวิเทชัน

ควรใช้เฉพาะกับของเหลวหนืด (สม่ำเสมอ) เจล ของเหลวผสมกับของแข็ง จำพวกกระดาษ และของเหลวไม่สม่ำเสมออื่นอาจทำให้เกิดผลลัพธ์ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของของเหลว

สัญลักษณ์และบทนิยามที่ให้ไว้ในตารางที่ ข.1 ใช้ในภาคผนวกนี้

ตารางที่ ข.1 สัญลักษณ์และบทนิยามเพิ่มเติมที่ใช้ในภาคผนวก ข.

สัญลักษณ์	ปริมาณ	บทนิยาม
Q_{vis}	อัตราการไหลหนืด	อัตราการไหลเมื่อสูบน้ำของเหลวหนืด
H_{vis}	หัวน้ำหนืด	หัวน้ำเมื่อสูบน้ำของเหลวหนืด
η_{vis}	ประสิทธิภาพหนืด	ประสิทธิภาพเมื่อสูบน้ำของเหลวหนืด
P_{vis}	กำลังด้านเข้าหนืด	กำลังด้านเข้าที่เครื่องสูบน้ำต้องการสำหรับภาวะหนืด
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ	อัตราการไหลเมื่อสูบน้ำ
H_w	หัวน้ำของน้ำ	หัวน้ำเมื่อสูบน้ำ
η_w	ประสิทธิภาพของน้ำ	ประสิทธิภาพเมื่อสูบน้ำ
ρ	ความหนาแน่น	
C_Q	ตัวประกอบปรับแก้อัตราการไหล	
C_H	ตัวประกอบปรับแก้หัวน้ำ	
C_η	ตัวประกอบปรับแก้ประสิทธิภาพ	
Q_{NW}	อัตราการไหลของน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	

ใช้สมการต่อไปนี้เพื่อหาสมรรถนะหนืด เมื่อทราบสมรรถนะน้ำของเครื่องสูบ:

$$Q_{vis} = C_Q \times Q_W$$

$$H_{vis} = C_H \times H_W$$

$$\eta_{vis} = C_\eta \times \eta_W$$

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \times H_{vis} \times \rho \times g}{\eta_{vis}}$$

C_Q , C_H และ C_η หาได้จากรูปที่ ข.1 ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของสมรรถนะน้ำ

จากเส้นโค้งประสิทธิภาพ หาค่าแห่งอัตราการใช้ของน้ำ ($1.0 \times Q_{NW}$) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากอัตราการใช้ ห้ออัตราการใช้: ($0.6 \times Q_{NW}$), ($0.8 \times Q_{NW}$) และ ($1.2 \times Q_{NW}$)

เริ่มที่ด้านล่างแผนภูมิด้วยอัตราการใช้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ($1.0 \times Q_{NW}$) ขึ้นข้างบนไปที่หัวน้ำที่เกิดขึ้น (ในชั้นหนึ่ง) (H_W) ที่อัตราการใช้ แล้วลากตามแนวระดับ (ไม่ว่าทางซ้ายหรือขวา) ไปที่ความหนืดที่ต้องการ แล้วขึ้นข้างบนไปที่เส้นโค้งแก้ไขต่างๆ

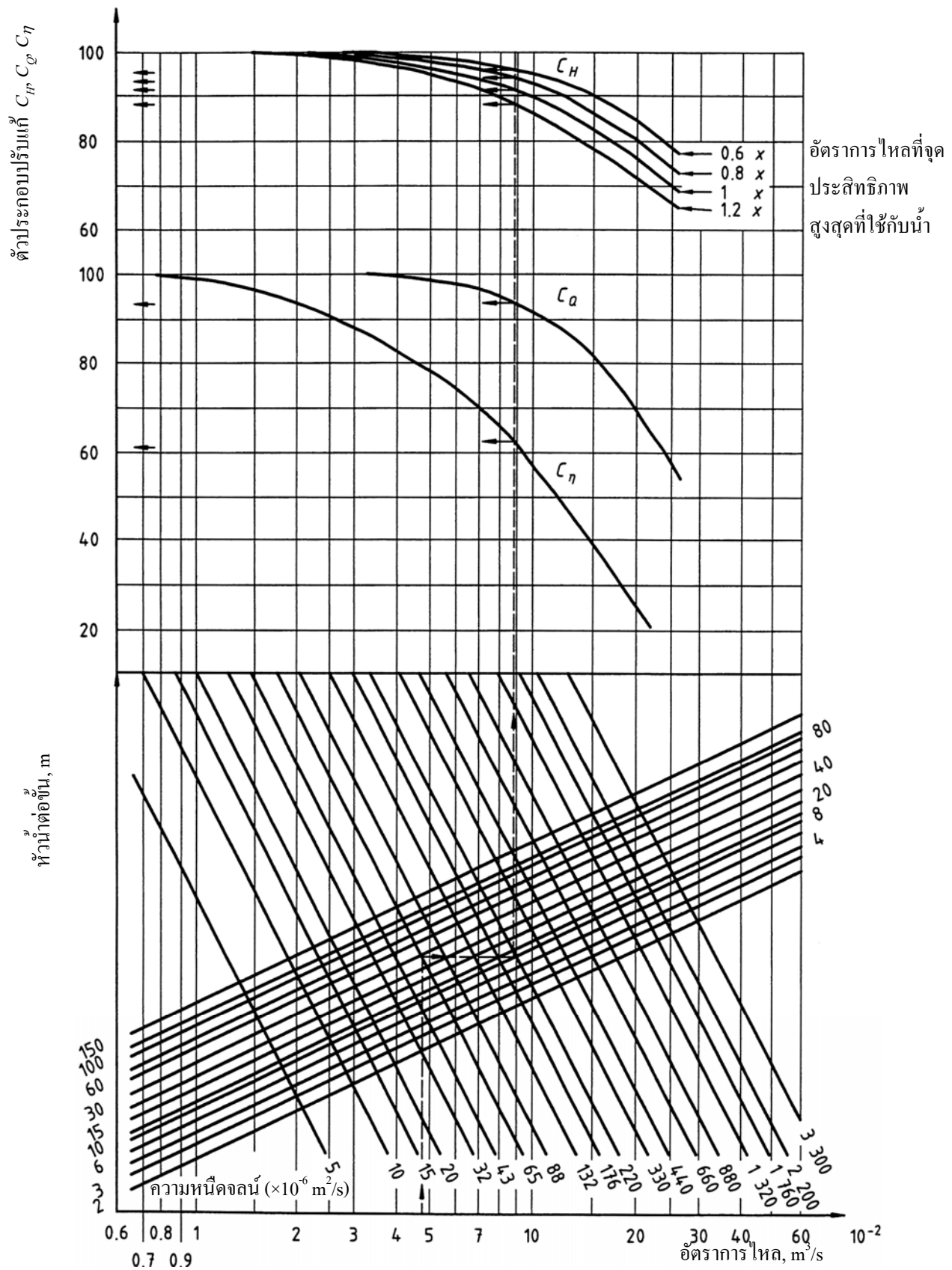
อ่านค่าของ C_η และ C_Q และ C_H สำหรับอัตราการใช้ทั้ง 4 ค่า

คูณหัวน้ำแต่ละค่าด้วยตัวประกอบปรับแก้หัวน้ำที่สมนัยกันเพื่อให้ได้หัวน้ำที่ต้องการ คุณประสิทธิภาพแต่ละค่าด้วย C_η เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพที่ต้องการซึ่งใช้ที่อัตราการใช้ที่ต้องการซึ่งสมนัยกัน

ลงจุดหัวน้ำที่ต้องการและประสิทธิภาพที่ต้องการเทียบกับอัตราการใช้ที่ต้องการ วาดเส้นโค้งราบเรียบผ่านจุดเหล่านี้ หัวน้ำที่ชัตออฟ (shut-off) สามารถใช้เป็นค่าเดียวกับที่ใช้สำหรับน้ำได้โดยประมาณ

คำนวณกำลังด้านเข้าหนืด (P_{vis}) จากสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น

ลงจุดเหล่านี้และวาดเส้นโค้งราบเรียบผ่านจุดเหล่านี้ซึ่งควรเป็นแบบเดียวกันและโดยประมาณขนานกับเส้นโค้งกำลังด้านเข้าสำหรับน้ำ



หมายเหตุ ค่าที่แสดงในรูปนี้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบบแบบหมุนเหวี่ยงขึ้นเดียวทั่วไปที่ใช้กับน้ำมันปิโตรเลียม DN 50 ถึง DN 200 ข้อมูลเหล่านี้อยู่บนพื้นฐานของมาตรฐานสถาบันไฮดรอลิก (HIS) ค.ศ. 1985

รูปที่ ข.1 แผนภูมิแก้ไขสมรรถนะสำหรับของเหลวหนืด

ภาคผนวก ข.

(ข้อแนะนำ)

การลด NPSHR สำหรับเครื่องสูบน้ำที่ใช้ของเหลวไฮโดรคาร์บอนและน้ำอุณหภูมิสูง

รูปที่ ข.1 เป็นแผนภูมิองค์ประกอบของการลด NPSHR ซึ่งอาจคาดหมายสำหรับของเหลวไฮโดรคาร์บอนและน้ำอุณหภูมิสูง บนพื้นฐานของข้อมูลทางห้องปฏิบัติการที่หาได้จากการทดสอบกับของเหลวที่แสดง ลงจุดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิของเหลวและความดันไอที่อุณหภูมินั้น

ควรสังเกตขีดจำกัดและข้อควรระวังต่อไปนี้ ในการใช้รูปที่ ข.1

จนกว่าจะมีประสบการณ์จำเพาะกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำภายใต้ภาวะซึ่งใช้กับแผนภูมินี้ การลด NPSHR ควรจำกัดอยู่ที่ร้อยละ 50 ของ NPSHR ที่ต้องการสำหรับเครื่องสูบน้ำใช้น้ำเย็น

แผนภูมินี้อยู่บนพื้นฐานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้กับของเหลวอย่างเดียวก่อน ในกรณีที่ไม่มีอากาศหรือก๊าซไม่ควบแน่นอื่นเกิดขึ้นในของเหลว สมรรถนะเครื่องสูบน้ำอาจมีผลกระทบในทางลบแม้แต่กับค่า NPSHA ตามปกติ และจะลดลงอีกถ้ามีการลดค่า NPSHA ในกรณีที่ไม่มีอากาศที่ละลายหรือก๊าซไม่ควบแน่นอื่นเกิดขึ้น และในกรณีที่ความดันสัมบูรณ์ที่ทางเข้าเครื่องสูบน้ำต่ำเพียงพอที่จะปลดปล่อยก๊าซไม่ควบแน่นนั้นออกจากสารละลาย ค่า NPSHA อาจต้องเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าที่ต้องการสำหรับน้ำเย็นเพื่อหลีกเลี่ยงการลดลงของสมรรถนะเครื่องสูบน้ำเนื่องจากการปลดปล่อยนั้น

สำหรับสารผสมไฮโดรคาร์บอน ความดันไออาจแปรผันอย่างมีนัยสำคัญตามอุณหภูมิ และควรหาความดันไอจำเพาะสำหรับอุณหภูมิการสูบน้ำจริง

ในการใช้แผนภูมิสำหรับของเหลวอุณหภูมิสูง และโดยเฉพาะกับน้ำ ควรให้การพิจารณาถึงสภาพรับไว้ได้ของระบบการดูดกับการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวของอุณหภูมิและความดันสัมบูรณ์ ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีข้อกำหนดของเกณฑ์ความปลอดภัยของ NPSHR เพิ่มขึ้นมากกว่าการลดที่มีสำหรับการทำงานในภาวะคงตัว

เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่ใช้ได้แสดงการลด NPSHR มากกว่า 3 เมตร แผนภูมิจึงถูกจำกัดและไม่แนะนำให้ประมาณค่านอกช่วงเกินขีดจำกัดนั้น

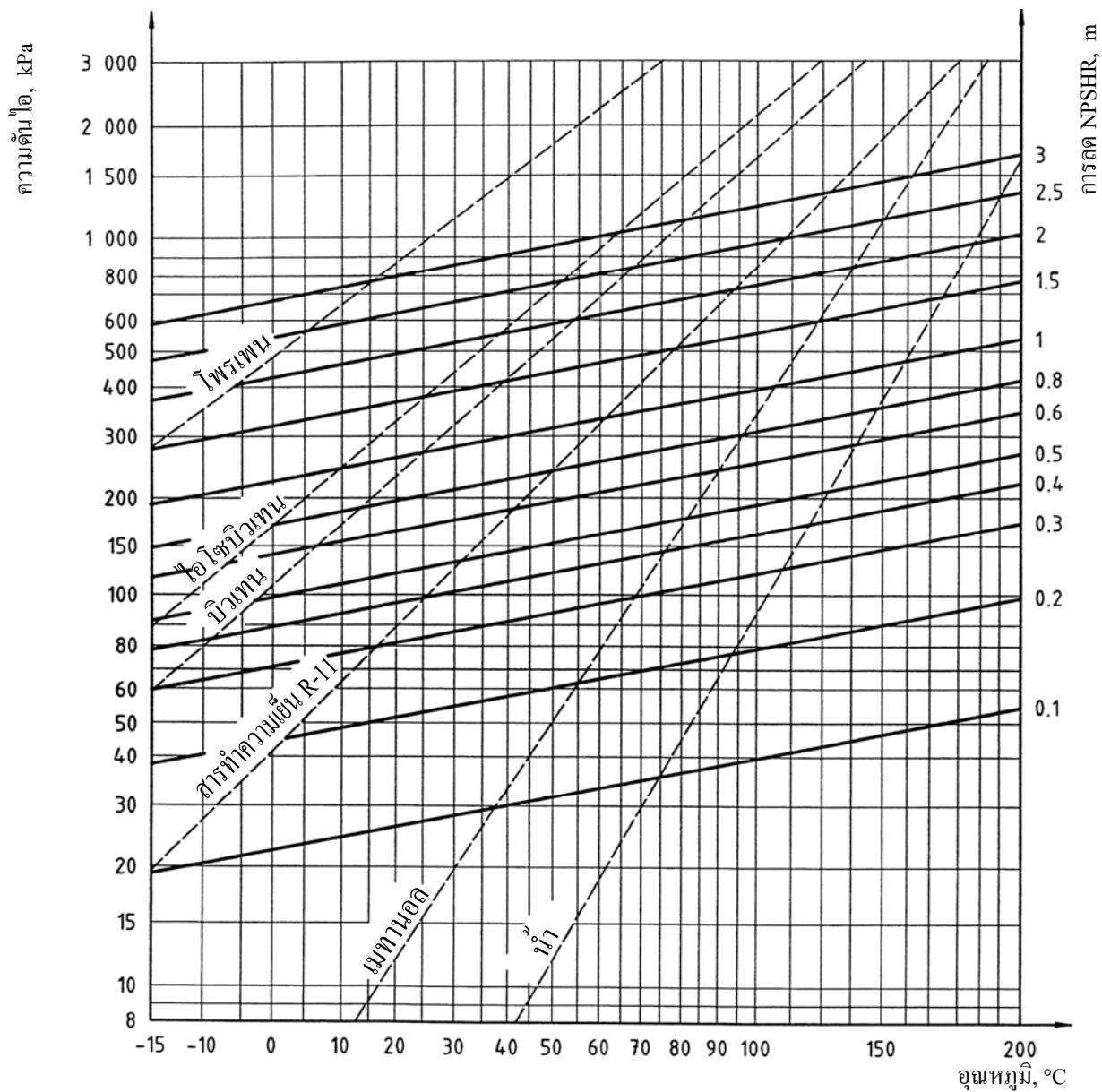
เริ่มรูปที่ ข.1 ที่ด้านล่างแผนภูมิด้วยอุณหภูมิการสูบน้ำหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ขึ้นข้างบนในแนวดิ่งไปที่ความดันไอจากจุดนี้ไปตามหรือขนานกับเส้นลาดทางด้านขวาของแผนภูมิ ซึ่งอาจอ่านค่าการลด NPSHR บนมาตราส่วนที่จัดให้ ถ้าค่านี้มากกว่าครึ่งหนึ่งของค่า NPSHR สำหรับน้ำเย็น ให้ลดค่า NPSHR สำหรับน้ำเย็นลงครึ่งหนึ่งเพื่อให้ได้ NPSHR ที่ถูกต้อง ถ้าค่าบนแผนภูมิน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่า NPSHR สำหรับน้ำเย็น ให้ลบค่าจากแผนภูมินี้ออกจากค่า NPSHR สำหรับน้ำเย็นเพื่อให้ได้ NPSHR ที่ถูกต้อง

หมายเหตุ 1 ข้อมูลที่ใช้ได้จำกัดอยู่ที่ของเหลวซึ่งความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความดันไอแสดงอยู่ในรูป การใช้แผนภูมินี้กับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนและน้ำไม่แนะนำให้ทำโดยไม่มีพื้นฐานจากการทดลอง

หมายเหตุ 2 การลด NPSHR ใช้จริงกับค่า NPSHR สำหรับน้ำเย็นคือ

- ค่าที่อ่านได้จากมาตราส่วนด้านขวาของแผนภูมิ

- หรือครึ่งหนึ่งของ NPSHR สำหรับน้ำเย็น
แล้วแต่ค่าใดน้อยกว่า



หมายเหตุ ข้อมูลเหล่านี้อยู่บนพื้นฐานของมาตรฐานสถาบันไฮดรอลิก (HIS) ค.ศ.1985

รูปที่ ข.1 การลด NPSHR สำหรับเครื่องสูบน้ำที่ใช้กับของเหลวไฮโดรคาร์บอนและน้ำอุณหภูมิสูง

ภาคผนวก ณ.

(ข้อแนะนำ)

การประเมินทางสถิติของผลการวัด

ณ.1 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์เพิ่มเติมที่ใช้ในภาคผนวกนี้แสดงในตารางที่ ณ.1

ตารางที่ ณ.1 สัญลักษณ์เพิ่มเติม

สัญลักษณ์	บทนิยาม
a, r	พารามิเตอร์ทางสถิติ
a', r'	พารามิเตอร์ทางสถิติ
h	อัตราส่วนจุดทดสอบห้วนน้ำรวม $h = \frac{H}{H_G}$
$\bar{h}$	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนห้วนน้ำรวม $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum h$
N	จำนวนจุดทดสอบในพิสัย $0.95 Q_G$ จนถึง $1.05 Q_G$
p	อัตราส่วนจุดทดสอบกำลังด้านเข้าเครื่องสูบ $p = \frac{P}{P_G}$
$\bar{p}$	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังด้านเข้าเครื่องสูบ $\bar{p} = \frac{1}{N} \sum p$
q	อัตราส่วนจุดทดสอบอัตราไหล $q = \frac{Q}{Q_G}$
$\bar{q}$	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังด้านเข้าเครื่องสูบ $\bar{q} = \frac{1}{N} \sum q$
S_q	$S_q = \sum (q - \bar{q})^2$
S_h	$S_h = \sum (h - \bar{h})^2$
S_p	$S_p = \sum (p - \bar{p})^2$
S_{qh}	$S_{qh} = \sum (q - \bar{q})(h - \bar{h})$
S_{qp}	$S_{qp} = \sum (q - \bar{q})(p - \bar{p})$
หมายเหตุ ผลรวมข้างต้นสำหรับการวัดจุดทดสอบในพิสัย $0.95 Q_G$ จนถึง $1.05 Q_G$	

ณ.2 การใช้และการมีผลใช้ได้ของภาคผนวกนี้

อาจใช้การวิเคราะห์ทางสถิติของตัวแปร 2 ตัว เพื่อประเมินค่าเฉลี่ยของค่าหนึ่งที่ค่าที่กำหนดของค่าอื่น อาจใช้วิธีทางสถิติเฉพาะที่แสดงในภาคผนวกนี้ถ้าการกระจายของจุดทดสอบรอบๆ ค่าที่ระบุเป็นไปตามข้อกำหนดที่แน่นอน

ฉ.3 จำนวนและการกระจายของชุดการสังเกต

ต้องใช้การสังเกตอย่างน้อย 9 ชุด จุดทดสอบที่ได้ต้องกระจายในลักษณะที่เมื่อปรับแก้ไปที่ความเร็วรอบที่ระบุหรือความถี่ที่ระบุโดยใช้ข้อ 6.1.2 การวัดอัตราการไหลต้องกว้างร้อยละ ± 5 ของอัตราการไหลที่ระบุ จุดทดสอบเหล่านี้อย่างน้อย 3 จุด ต้องอยู่ในช่วงอัตราการไหลร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 5 และอย่างน้อย 3 จุด ต้องอยู่ในช่วงอัตราการไหลร้อยละ - 3 ถึงร้อยละ - 5

สำหรับการใช้วิธีทางสถิติได้ง่าย เป็นประโยชน์ที่จะใช้จำนวนจุดทดสอบมากกว่าจำนวนต่ำสุดในช่วง ร้อยละ ± 5 ของช่วงอัตราการไหลที่ระบุ แนะนำให้ใช้ 20 จุด ในกรณีที่สามารถทำได้

ฉ.4 การประเมินค่าเฉลี่ย

ฉ.4.1 ค่าเฉลี่ยของหัวน้ำรวมของเครื่องสูบ

ค่าเฉลี่ยของหัวน้ำรวมของเครื่องสูบกำนวนโดยใช้สมการ:

$$H_m = [\bar{h} + a(1 - \bar{q})]H_G$$

ฉ.4.2 ค่าเฉลี่ยของกำลังด้านเข้าเครื่องสูบ

ค่าเฉลี่ยของกำลังด้านเข้าเครื่องสูบกำนวนโดยใช้สมการ:

$$P_m = [\bar{p} + a'(1 - \bar{q})]P_G$$

ฉ.4.3 การประเมินผลการทดสอบ

ค่าของพารามิเตอร์ทางสถิติหาได้จากสมการต่อไปนี้:

$$a = r + \left[\frac{r^2 + 1}{S_{qp}^2} \right]^{1/2} \cdot S_{qp}$$

$$a' = r' + \left[\frac{r'^2 + 1}{S_{qp}^2} \right]^{1/2} \cdot S_{qp}$$

$$r = \frac{S_h - S_q}{2 \cdot S_{qh}}$$

$$r' = \frac{S_p - S_q}{2 \cdot S_{qp}}$$

หมายเหตุ สมการสำหรับ a และ a' ประกอบด้วย S_{qh} และ S_{qp} ตามลำดับเพื่อให้แน่ใจว่ามีค่าบวกหรือค่าลบที่เหมาะสมกับความชันของเส้นโค้งสมรรถนะ

ควรสังเกตว่าการวิเคราะห์ทางสถิติอาจใช้เพื่อประเมินจากชุดการสังเกตที่หาได้ตามข้อ ฉ.3 ด้วย ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของหัวน้ำรวมและกำลังเข้าที่อัตราการไหลที่ระบุ การอธิบายในรายละเอียดเพิ่มเติมอยู่ในเอกสารอ้างอิง [17] ในกรณีที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณ

ภาคผนวก ณ.

(ข้อแนะนำ)

ใบบันทึกการทดสอบเครื่องสูบล

ใบบันทึกการทดสอบเครื่องสูบลที่แสดงในภาคผนวกนี้ให้ไว้เป็นคำแนะนำสำหรับการแสดงผลการทดสอบเครื่องสูบล และเพื่อช่วยในการตีความ ไม่ได้เจตนารวมข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นจากการทดสอบเครื่องสูบลและอาจจำเป็นต้องดัดแปลงโดยขึ้นอยู่กับแบบของเครื่องสูบล การใช้งาน และโหมดการคำนวณ

ใบบันทึกการทดสอบเครื่องสูบล				เลขที่ใบบันทึก				สภาพของการทดสอบ											
ผู้ซื้อ																			
		แบบ		เลขที่คำสั่งซื้อของผู้ทำ				เลขที่คำสั่งซื้อ				เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า							
เครื่องสูบล												เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก							
												เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด							
ค่าที่รับประกัน		อัตราการใช้ (Q ₀)		ความเร็วรอบ (n ₀)				กำลังดันเข้า (P ₀)											
		หัวน้ำรวม (H ₀)		ประสิทธิภาพ (η ₀)				หัวน้ำดันดูดทางบวกสุทธิ (NPSH)											
ของเหลวที่สูบล		อุณหภูมิ (t)		ความดันไอ (p _v)				ความหนืดจลน์ (ν)											
		ความหนาแน่น (ρ)						ระดับความเป็นกรด (pH)											
มอเตอร์		ผู้ทำ		ใบรับรองการทดสอบ				จำนวนเฟส				แรงดันไฟฟ้า							
		แบบ		กำลัง				ความเร็วรอบ				กระแสไฟฟ้า							
		อัตราการใช้		หัวน้ำทางเข้า		หัวน้ำทางออก		(NPSH)		ทอร์ค		กำลัง		ความเร็วรอบ		เฟือง			
วิธีวัด		วิธีที่ใช้																	
		ค่าคงที่																	
ภาวะการทดสอบ		อุณหภูมิโดยรอบ		ความดันบรรยากาศ				การแก้ไขหัวน้ำไปที่ระนาบอ้างอิง				ทางเข้า							
		อุณหภูมิของของเหลวที่ทดสอบ										ทางออก							
ผลการวัด				หน่วย		1		2		3		4		5		6			
		ความเร็วรอบ																	
		ช่วงเวลา																	
อัตราการใช้		การอ่านค่า																	
		การไหลที่วัดได้																	
		การอ่านค่าหัวน้ำทางออก																	
		การอ่านค่าหัวน้ำทางเข้า																	
		หัวน้ำทางออก																	
		หัวน้ำทางเข้า																	
หัวน้ำ		ΔU ² /2g																	
		ความแตกต่างของตำแหน่งการวัด																	
		หัวน้ำรวมของเครื่องสูบล																	
		U _i ² /2g																	
		(NPSH)																	
		กำลังดันออกเครื่องสูบล P ₀																	
		แรงดันไฟฟ้า																	
		กระแสไฟฟ้า																	
		การอ่านค่าวัดคีมเตอร์ 1																	
		การอ่านค่าวัดคีมเตอร์ 2																	
		ผลรวมของการอ่านค่าวัดคีมเตอร์																	
กำลัง (ทอร์ค)		กำลังดันเข้ามอเตอร์																	
		ประสิทธิภาพมอเตอร์																	
		การอ่านค่าทอร์ค																	
		ประสิทธิภาพเฟือง																	
		กำลังดันออกมอเตอร์																	
		กำลังดันเข้าเครื่องสูบล																	
		ประสิทธิภาพโดยรวม																	
		ประสิทธิภาพเครื่องสูบล																	
ค่าต่างๆ อ้างอิงกับความเร็วรอบที่ระบุ		อัตราการใช้ไหลเชิงปริมาตร																	
		หัวน้ำรวม																	
		กำลัง																	
		NPSH																	
หมายเหตุ				วันที่		หัวหน้างานทดสอบ				ตัวแทน									
										ของผู้ซื้อ				ของผู้ส่งมอบ					

ภาคผนวก ก.

(ข้อแนะนำ)

แผ่นรายการตรวจสอบ

แผ่นรายการตรวจสอบต่อไปนี้จะแนะนำให้ตกลงกันระหว่าง ผู้ทำ/ผู้ส่งมอบ กับผู้ซื้อก่อนการทดสอบ ควรสังเกตว่า ไม่จำเป็นต้องตกลงกันทุกรายการในระหว่างการทำสัญญาเสมอไป

- 1) การเลือกเกรดการทดสอบ (ดูข้อ 5.1)
- 2) ขอบเขตของการรับประกัน
 - ก) เครื่องสูบลูกสูบที่ไม่มีมอเตอร์ หรือชุดเครื่องสูบลูกสูบและมอเตอร์รวมกัน (ดูข้อ 10.4.3)
 - ข) เครื่องสูบลูกสูบที่มีหรือไม่มีข้อต่อ (ดูข้อ 5.3.4)
 - ค) ค่าที่รับประกัน (เช่น อัตราการไหล หัวน้ำรวม กำลังด้านเข้า ประสิทธิภาพ NPSHR ฯลฯ) สำหรับจุดทำงาน 1 จุดหรือหลายจุด
- 3) ข้อปัญหาในสัญญา เช่น จำนวนเครื่องสูบลูกสูบที่ทดสอบในชุดของเครื่องสูบลูกสูบที่เป็นแบบเดียวกัน (ดูข้อ 5.1.2)
- 4) เรื่องอื่นๆ เกี่ยวกับพฤติกรรมของเครื่องสูบลูกสูบที่จะตรวจสอบในระหว่างการทดสอบ (ดูข้อ 5.2.6)
- 5) สถานที่ทดสอบ (ดูข้อ 5.2.2)
- 6) วันที่ทดสอบ (ดูข้อ 5.2.3)
- 7) ผู้ควบคุมการทดสอบ เมื่อการทดสอบไม่ได้ทำที่โรงงานของผู้ทำ (ดูข้อ 5.2.4)
- 8) การเลือกวิธีวัด (ดูข้อ 7. ถึงข้อ 10.)
- 9) บริภัณฑ์ทดสอบ (ดูข้อ 5.2.7)
- 10) การจัดเตรียมการทดสอบสำหรับการทดสอบสมรรถนะ (ดูข้อ 5.3.2 ข้อ 5.3.3 และข้อ 8.2.1) และสำหรับการทดสอบการเกิดคาวิเทชัน (ดูข้อ 11.2.3)
- 11) การจัดเตรียมเพื่อให้สามารถเตรียมพร้อมได้ของเครื่องสูบลูกสูบแบบเซลล์ไฟโพรมิ่ง (ดูข้อ 5.3.7)
- 12) วิธีคาดคะเนสมรรถนะเครื่องสูบลูกสูบจากการทดสอบโดยใช้น้ำเย็นสะอาด (ดูข้อ 5.4.5)
- 13) การเบี่ยงเบนของความเร็วรอบนอกนอกพิสัยที่ยอมให้ (ดูข้อ 5.4.3 และข้อ 6.1.2)
- 14) เลขชี้กำลังของสูตรการแปลงสำหรับ NPSHR (ดูข้อ 6.1.2)
- 15) การเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าและความถี่นอกความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (ดูข้อ 6.1.2)
- 16) ค่าความคลาดเคลื่อนที่จุดใช้งานและจุดทำงานอื่น (ดูข้อ 4.1 ข้อ 6.3 และข้อ 11.3.3)
- 17) ความสูญเสียทางเข้าและความสูญเสียการส่งผ่านในเครื่องสูบลูกสูบแบบบ่อแนวตั้ง (ดูข้อ 8.2.3 และข้อ 10.4.2)
- 18) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานและความสูญเสียความดันเฉพาะที่ทางเข้าและทางออก (ดูข้อ 8.2.4 และภาคผนวก ก.)
- 19) ความสูญเสียในสายไฟฟ้า (ดูข้อ 10.4.1)
- 20) ความสูญเสียในเฟือง (ดูข้อ 10.4.4)
- 21) วิธีทวนสอบการรับประกันที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคาวิเทชัน (ดูข้อ 11.1.2)

- 22) ของเหลวที่ใช้สำหรับการทดสอบสมรรถนะ (คู่มือ 4.2) และสำหรับการทดสอบการเกิดคาวิเทชัน (คู่มือ 11.2.3)
- 23) ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ (ดูภาคผนวก จ.)

บรรณานุกรม

- [1] ISO 31 (all parts), Quantities, units and symbols.
- [2] ISO 2372, Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying evaluation standards.
- [3] ISO 2975-1, Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods – Part 1: General.
- [4] ISO 2975-2, Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods – Part 2: Constant rate injection method using non-radioactive tracers.
- [5] ISO 2975-3, Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods – Part 3: Constant rate injection method using radioactive tracers.
- [6] ISO 2975-6, Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods – Part 6: Transit time method using non-radioactive tracers.
- [7] ISO 2975-7, Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods – Part 7: Transit time method using radioactive tracers.
- [8] ISO 3740, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Guidelines for the use of basic standards.
- [9] ISO 3744, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.
- [10] ISO 3745, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.
- [11] ISO 3746, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.
- [12] ISO 3945, Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 r/s – Measurement and evaluation of vibration severity in situ.
- [13] ISO 4185, Measurement of liquid flow in closed conduits – Weighing method.
- [14] ISO 6018, Acoustics – Noise emitted by machinery and equipment – Guidelines for the preparation of test codes of engineering grade requiring noise measurements at the operator's or bystander's position.
- [15] IEC 60041:–²⁾, International code for the field acceptance tests of hydraulic turbines.
- [16] IEC 60497, International code for model acceptance tests of storage pumps.
- [17] E. Grist and R. P. Hentschke, The Verification of Centrifugal Pump Performance Guarantees by Acceptance Tests – An Alternative Method. I.Mech.Eng. London, March 1989.

²⁾ กำลังจัดพิมพ์ (ฉบับแก้ไขของ IEC 60041:1992)