

ภาคผนวก 2
แนวทางการปฏิบัติที่ดี (Best practice)

ข้อจำกัดความรับผิด (Disclaimer Notice)

ตัวอย่างแนวทางปฏิบัติที่ดี (Best Practices) นี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อส่งเสริมโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้งานสารเคมีอันตรายร้ายแรง (Highly Hazardous Chemical) ตามข้อบังคับของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) เกี่ยวกับการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิต (Process Safety Management) นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงระบบความปลอดภัยของกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันอุบัติเหตุร้ายแรง (Catastrophic Incident) ที่อาจเกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมหรือผู้ที่ต้องการนำแนวปฏิบัตินี้ไปใช้งานจะต้องรับผิดชอบในการพิจารณาความถูกต้อง ความสมบูรณ์ และความเหมาะสมของข้อมูลตามหลักวิชาการก่อนนำไปปฏิบัติ

ทั้งนี้ กนอ. พนักงาน กนอ. ที่ปรึกษา กนอ. ตลอดจนคณะกรรมการและผู้ที่เกี่ยวข้องกับ กนอ. อื่นๆ ไม่มีความรับผิดในความเสียหายใดๆ รวมตลอดถึง (แต่ไม่เป็นการจำกัด) ความเสียหายทางตรง ความเสียหายทางอ้อม ความเสียหายพิเศษ ความเสียหายโดยบังเอิญ หรือความเสียหายเกี่ยวเนื่อง จากการนำข้อมูลที่ปรากฏในเอกสารนี้ไปใช้งาน

แนวทางปฏิบัติที่ดี

เรื่อง การประกอบหน้าแปลน (Tightening of Bolted Flange Connection)

จากข้อมูลการสอบสวนอุบัติเหตุการรั่วไหลของสารไวไฟและสารเคมีอันตราย ซึ่งนำไปสู่อุบัติเหตุร้ายแรง (Catastrophic incident) ที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมในหลายกรณีพบว่าสาเหตุหนึ่งเกิดขึ้นจากการขาดคุณภาพของการบำรุงรักษา (ส่วนหนึ่งของ PSM เรื่อง ความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ หรือ Mechanical Integrity) อาทิ

- การรั่วไหลที่หน้าแปลนท่อ (Pipe Flange) เมื่อเริ่มเดินเครื่องภายหลังจากการหยุดระบบเพื่อซ่อมบำรุงใหญ่ (Plant Turnaround)

- หน้าแปลนมีการประกอบที่ไม่ได้มาตรฐาน บางครั้งขันนัทหลวมเกินไปหรือบางครั้งขันแน่นไป ทำให้หน้าแปลนมีความแน่นที่แต่ละจุดไม่เท่ากัน (Uneven seating pressure) เมื่อได้รับโหลดในขณะที่มีของไหลไหลผ่าน (โดยเฉพาะในสภาพการผลิตที่มีอุณหภูมิและความดันสูง) จึงเกิดความเครียด (Shear Stress) และเกิดการรั่วไหลตามมาในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าความถี่ในการรั่วไหลจากหน้าแปลน (6" Flange = 1.117×10^{-4} ครั้งต่อปี) จะสูงกว่าความถี่ในการรั่วไหลจากท่อ (ท่อ 6" = 7.349×10^{-5} ครั้งต่อปี)

Equipment	No.	Size	Frequency [/equipment year]	Total [Leaks/year]
Process Vessel	0.5	8"	2.155×10^{-3}	1.077×10^{-3}
Centrifugal Compressor	1	6"	1.061×10^{-2}	1.061×10^{-2}
Shell and Tube Heat Exchanger	1	6"	3.446×10^{-3}	3.446×10^{-3}
Flange	11	8"	1.286×10^{-4}	1.414×10^{-3}
Flange	5	6"	1.117×10^{-4}	5.585×10^{-4}
Actuated Valve	2	8"	5.921×10^{-4}	1.184×10^{-3}
Small Bore Fittings	2	½"	5.894×10^{-4}	1.178×10^{-3}
Manual Valve	3	8"	1.437×10^{-4}	4.311×10^{-4}
Process Pipe	10	8"	6.945×10^{-5}	6.945×10^{-4}
Process Pipe	5	6"	7.349×10^{-5}	3.674×10^{-4}
Total				0.021

รูปที่ 1 ข้อมูลสถิติความถี่ในการรั่วไหล (Leak Frequency) จะสังเกตว่าความถี่ของการรั่วไหลที่หน้าแปลน (Flange) มากกว่าการรั่วไหลจากท่อ (Process Pipe)

ที่มา DNV Failure Frequency Guidance – Process Equipment Leak Data for use in QRA, ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Hydrocarbon Release Database (HCRD) the UK, Health and Safety Executive (HSE) ในช่วงระยะเวลา 20 ปี ??เขียนหนังสืออ้างอิงตามหลักสากล

หลักการปฏิบัติที่ดี

1. วัสดุของโบทท์และนัทควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับเครื่องจักรอุปกรณ์ (ถัง ท่อ อุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน) เพื่อให้มีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนได้เท่าเทียมกัน ช่วยป้องกันการกัดกร่อน เนื่องจากความแตกต่างของวัสดุ (Galvanic corrosion) และหากเป็นงานที่มีสภาพแวดล้อมที่มีความกัดกร่อน มาก เช่น งานเดินท่อใต้ดิน (Underground piping) หรือในสภาพแวดล้อมที่มีไอระเหยของกรด ด่าง เกลือ หรือมีความชื้นสูง ควรทำการเคลือบโบทท์และนัทด้วยวัสดุต้านทานการกัดกร่อน

2. ควรจัดทำเอกสารระบุชนิดของท่อและอุปกรณ์ประกอบพร้อมต่างๆ ที่เหมาะสม (Pipe Material Classification) ไว้ใช้ในการอ้างอิง

3. ควรจัดทำโปรแกรมการตรวจสอบความแน่นของการประกอบหน้าแปลน (Flange Tightening Program) และคู่มือปฏิบัติงานสำหรับวิธีการประกอบหน้าแปลน (Assembly/Tightening Procedure)

4. คู่มือปฏิบัติงานสำหรับวิธีการประกอบหน้าแปลน (Assembly/Tightening Procedure) ควรระบุวิธีการประกอบหน้าแปลน โดยวิธีที่แนะนำคือ เทคนิคการขันทอร์กที่มีการควบคุม (Controlled Tightening Technique เช่น Torque-tension) หลีกเลี่ยงการใช้ประแจทอร์ก (Torque Multiplier) หรือทอร์กที่ขับเคลื่อนด้วยลม (Pneumatic Torque Wrenches) เนื่องจากปัญหาเรื่องแรงเสียดทานที่โบลต์เพราะผิวของเกลียวโบลต์ที่ขรุขระอาจทำให้โบลต์เสียรูปได้ และโดยทั่วไปเมื่อทำการทดสอบการรั่วไหล (Leak test) แล้วพบรอยรั่วที่บริเวณใด โดยทั่วไปก็จะขันอัดที่บริเวณนั้นซึ่งแท้จริงแล้วอาจส่งผลให้หน้าแปลนเสียหาย ประเด็นวางตัวไม่สม่ำเสมอ (uneven gasket seating pressure) สิ่งเหล่านี้เพิ่มความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรั่วไหลบริเวณหน้าแปลนในอนาคต แนะนำให้ใช้อุปกรณ์ประเภท Hydraulic Bolt-tensioning Equipment เนื่องจากเทคนิคนี้ จะมีการควบคุมแรง (Axial force) ที่ใส่เข้าไปในการขันนัทอย่างสม่ำเสมอในช่วง Elastic range (region) รวมทั้งยังช่วยลดความจำเป็นในการทำ Periodic retightening และการทำ Hot-bolting หลังจากการ start-up หรือ pre-loosening ก่อนการ shutdown plant ด้วย



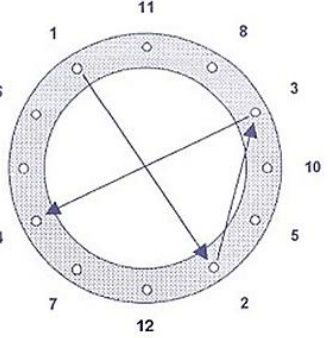
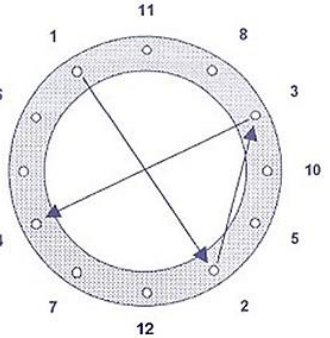
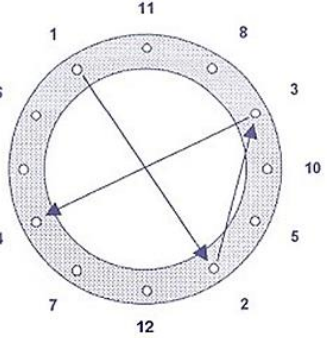
รูปที่ 2 ตัวอย่างของการใช้ Hydraulic Bolt-tensioner

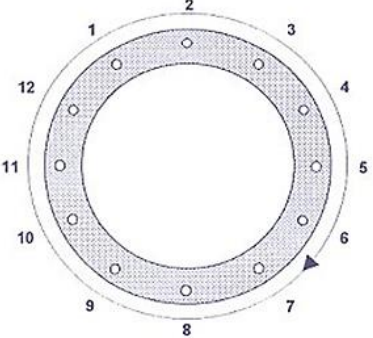
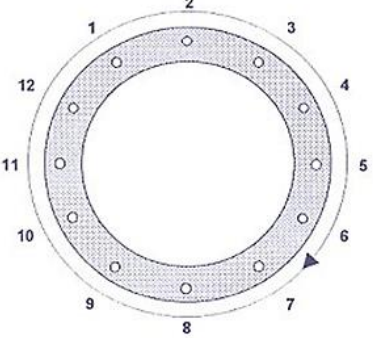
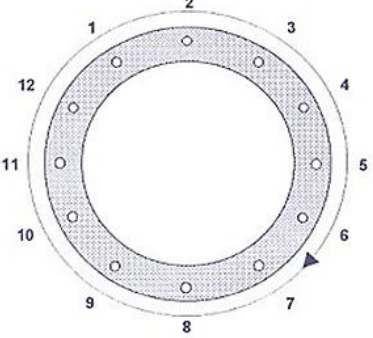
ที่มา <https://www.htlgroup.com> ??เขียนหนังสืออ้างอิงตามหลักสากล

5. การขันนัทให้ขันด้วยค่าแรงบิด (Bolt Torque) ตามที่ระบุหรือออกมาของโบลต์และนัทที่เลือกใช้ โดยส่วนใหญ่จะปรากฏที่หัวนัท

6. สำหรับการประกอบหน้าแปลนของสารที่ไม่ใช่สารไวไฟหรือสารเคมีอันตรายร้ายแรงหรือไออน้ำที่แรงดันสูง อาจใช้ประแจทอร์กและใช้วิธีการประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 ได้

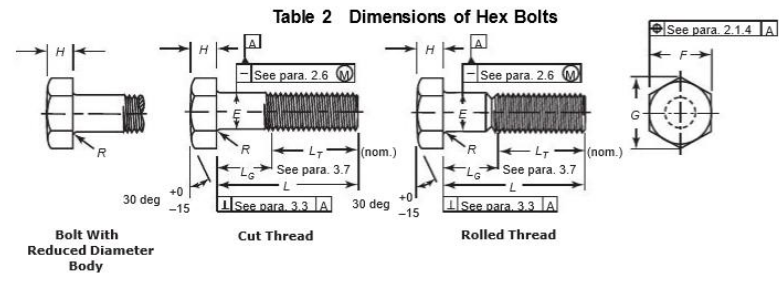
ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างวิธีปฏิบัติในการขันนัทหน้าแปลน

No.	รูปภาพ	คำอธิบาย
1		<ul style="list-style-type: none"> • ทาสารหล่อลื่นนัทและโบลต์ • ติดตั้งโบลต์ นัท และประเก็นที่หน้าแปลน โดยประเก็นต้องอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง • ขันนัทด้วยมือตามลำดับตัวเลขดังภาพซ้ายมือ โดยให้ขันให้แน่นประมาณ 30% ของ torque ที่ต้องการ (Final Torque)
2		<ul style="list-style-type: none"> • เริ่มขันนัทตามหมายเลขอีกครั้ง แต่ครั้งนี้ขันให้มีความแน่นประมาณ 60% ของ torque ที่ต้องการ
3		<ul style="list-style-type: none"> • เริ่มขันนัทตามหมายเลขอีกครั้ง แต่ครั้งนี้ขันให้มีความแน่นประมาณ 100% ของ torque ที่ต้องการ

No.	รูปภาพ	คำอธิบาย
4		<ul style="list-style-type: none"> • ชั้นนี้ทตามหมายเลข โดยวนตามเข็มนาฬิกาให้มีความแน่น 100% ของ torque ที่ต้องการ
5		<ul style="list-style-type: none"> • ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่งมั่นใจว่าหน้าแปลนแน่นสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าแปลน
6		<ul style="list-style-type: none"> • ชั้นนี้ทหน้าแปลนอีกครั้งหลังจากผ่านไปแล้ว 24-72 ชั่วโมงของการใช้งาน โดยมีรูปแบบเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 4

7. โบทต์และนัทที่สัมผัสกับของเหลวหรือสารเคมีเนื่องจากการรั่วไหลควรทำการเปลี่ยนทันที
8. นัทควรเป็นชนิดหกเหลี่ยม (Hexagonal Type) ติดตั้งพร้อมกับแหวน (Washer) เพื่อป้องกันการคลายตัว
9. การติดตั้งนัทที่ถูกต้อง Marking (ที่ระบุขนาด แรงที่ใช้ขัน ฯลฯ) ของนัทต้องอยู่ด้านบน
10. การเลือกโบทต์และนัทตลอดจนการติดตั้งควรเป็นไปตามมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องจักรชนิดนั้นๆ เช่น
 - a. ถังเก็บสารไวไฟควรใช้ API STD 650 ระบุว่าโบทต์สำหรับหน้าแปลนควรมีลักษณะตาม ASTM A 193 B7 (Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for High Temperature or High Pressure Service and Other Special

Purpose Applications) และมีมีลักษณะตาม ASME B18.2.1 นัทควรมีลักษณะตาม ASTM B18.2.2 เป็นต้น

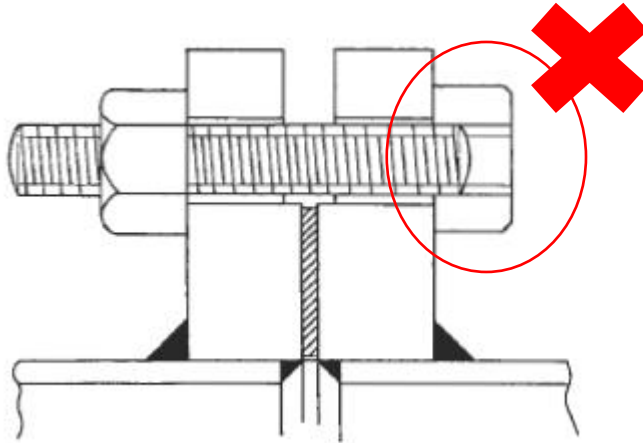


Nominal Size or Basic Product Diameter	Full-Size Body Diameter, E (See Paras. 3.4 and 3.5)		Width Across Flats, (See Para. 2.1.2)		Width Across Corners,		Head Height, H		Radius of Fillet, R		Thread Length for Bolt Lengths, (See Para. 3.7)				
	Max.	Min.	Basic	Max.	Min.	Basic	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	6 in. and Over	Shorter	Over 6 in.	
												Min.	Nom.	Nom.	
1/4	0.2500	0.260	0.237	7/16	0.438	0.425	0.505	0.484	11/64	0.188	0.150	0.03	0.01	0.750	1.000
5/16	0.3125	0.324	0.298	1/2	0.500	0.484	0.577	0.552	1/32	0.235	0.195	0.03	0.01	0.875	1.125
3/8	0.3750	0.388	0.360	9/16	0.562	0.544	0.650	0.620	1/4	0.268	0.226	0.03	0.01	1.000	1.250
7/16	0.4375	0.452	0.421	5/8	0.625	0.603	0.722	0.687	19/64	0.316	0.272	0.03	0.01	1.125	1.375
1/2	0.5000	0.515	0.482	3/4	0.750	0.725	0.866	0.826	11/32	0.364	0.302	0.03	0.01	1.250	1.500
5/8	0.6250	0.642	0.605	13/16	0.938	0.906	1.083	1.033	27/64	0.444	0.378	0.06	0.02	1.500	1.750
3/4	0.7500	0.768	0.729	1 1/16	1.125	1.088	1.299	1.240	1/2	0.524	0.455	0.06	0.02	1.750	2.000
7/8	0.8750	0.895	0.852	1 1/8	1.312	1.269	1.516	1.447	37/64	0.604	0.531	0.06	0.02	2.000	2.250
1	1.0000	1.022	0.976	1 1/2	1.500	1.450	1.732	1.653	43/64	0.700	0.591	0.09	0.03	2.250	2.500
1 1/8	1.1250	1.149	1.098	1 5/8	1.688	1.631	1.949	1.859	3/4	0.780	0.658	0.09	0.03	2.500	2.750
1 1/4	1.2500	1.277	1.223	1 7/8	1.875	1.812	2.165	2.066	27/32	0.876	0.749	0.09	0.03	2.750	3.000
1 3/8	1.3750	1.404	1.345	2 1/16	2.062	1.994	2.382	2.273	29/32	0.940	0.810	0.09	0.03	3.000	3.250
1 1/2	1.5000	1.531	1.470	2 1/4	2.250	2.175	2.598	2.480	1	1.036	0.902	0.09	0.03	3.250	3.500
1 5/8	1.6250	1.658	1.591	2 3/8	2.438	2.356	2.815	2.616	1 1/32	1.116	0.978	0.09	0.03	3.500	3.750
1 3/4	1.7500	1.785	1.716	2 5/8	2.625	2.538	3.031	2.893	1 1/16	1.196	1.054	0.12	0.04	3.750	4.000
1 7/8	1.8750	1.912	1.839	2 7/8	2.812	2.719	3.248	3.099	1 1/4	1.276	1.130	0.12	0.04	4.000	4.250
2	2.0000	2.039	1.964	3	3.000	2.900	3.464	3.306	1 1/8	1.388	1.175	0.12	0.04	4.250	4.500
2 1/4	2.2500	2.305	2.214	3 1/8	3.375	3.262	3.897	3.719	1 1/2	1.548	1.327	0.19	0.06	4.750	5.000
2 1/2	2.5000	2.559	2.461	3 3/8	3.750	3.625	4.330	4.133	1 5/8	1.708	1.479	0.19	0.06	5.250	5.500
2 3/4	2.7500	2.827	2.711	4	4.125	3.988	4.763	4.546	1 3/4	1.869	1.632	0.19	0.06	5.750	6.000
3	3.0000	3.081	2.961	4 1/2	4.500	4.350	5.196	4.959	2	2.060	1.815	0.19	0.06	6.250	6.500
3 1/4	3.2500	3.335	3.210	4 3/4	4.875	4.712	5.629	5.372	2 1/16	2.251	1.936	0.19	0.06	6.750	7.000
3 1/2	3.5000	3.589	3.461	5 1/4	5.250	5.075	6.062	5.786	2 1/8	2.380	2.057	0.19	0.06	7.250	7.500
3 3/4	3.7500	3.858	3.726	5 3/4	5.625	5.437	6.495	6.198	2 1/4	2.572	2.241	0.19	0.06	7.750	8.000
4	4.0000	4.111	3.975	6	6.000	5.800	6.928	6.612	2 3/8	2.764	2.424	0.19	0.06	8.250	8.500

รูปที่ 3 ตัวอย่างขนาดของโบทท์หกเหลี่ยมตาม ASME B18.2.1

ที่มา ASME B18.2.1 ??เขียนหนังสืออ้างอิงตามหลักสากล

- b. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Shell & Tube ควรอ้างอิงตาม TEMA, Section 5, Paragraph RCB-11 ซึ่งระบุว่าวัสดุของโบทท์และนัทควรมีชนิดเดียวกันหรือมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนได้ไม่น้อยกว่าวัสดุที่ใช้ทำ shell ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4 ตัวอย่างของการประกอบ Stud bolt และ Nut ที่ไม่ถูกต้อง จากรูปจะสังเกตว่าอีกด้านของโบทส์ตัดล็อกไว้ด้วยนัทเพียงสองถึงสามเกลียวเท่านั้น

ที่มา *What When Wrong, 4th Edition by Trevor A. Kletz* ??เขียนหนังสืออ้างอิงตามหลักสากล

เอกสารอ้างอิง ??เขียนหนังสืออ้างอิงตามหลักสากล

-	What When Wrong, 4 th Edition by Trevor A. Kletz
API STD 650	Welded Tanks for Oil Storage
API STD 660	Shell-and-Tube Heat Exchangers
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association
API RP 686	Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design
ASME Boiler and Pressure Vessel Code	Section II - Material Specifications Section III, Division 1 - Rules for Construction of Pressure Vessels
ASME B31.3	Process Piping
ASME B16.5	Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard
ASME B16.47	Large Diameter Steel Flanges NPS 26 Through NPS 60 Metric/Inch Standard