มอร. 120 – 0001 – 0966

การป้องกันการผุกร่อนของตัวเรือโดยใช้อาโนด

มาตรฐานงานช่าง กรมอู่ทหารเรือ

มอร. 120 – 0001 – 0966
การป้องกันการผุกร่อนของตัวเรือโดยใช้อาโนด

แก้ไขครั้งที่ .... เมื่อ ....
แก้ไขครั้งที่ .... เมื่อ ....
แก้ไขครั้งที่ .... เมื่อ ....

ประกาศกรมอู่ทหารเรือ

เรื่อง กำหนดมาตรฐานงานช่างกรมอู่ทหารเรือ

พ.ศ.๒๕๖๖

อาศัยอำนาจความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๒ แห่งระเบียบกรมอู่ทหารเรือ ว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ.๒๕๕๑ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ จึงกำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอู่ทหารเรือ หมายเลข มอร. ๑๒๐-๐๐๐๑-๐๙๖๖ การป้องกันการผุกร่อนของตัวเรือโดยอาโนด ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๖

พลเรือตรี

(กริช ขันธอุบล)

เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

มอร. 120 – 0001 – 0966

มาตรฐานงานช่างกรมอู่ทหารเรือ
การป้องกันการผุกร่อนของตัวเรือโดยใช้อาโนด

๑. เอกสารอ้างอิงและคำแนะนำทางช่างที่อ้างอิง

๑.๑ ABS Guidance notes on cathodic protection of ship, section๓: Galvanic Anode System December 2017

๑.๒ EN12496 section5 Anode design and acceptance criteria

๑.๓ NF EN 16222 European standard, Cathodic protection of ship hulls, December 2012

๒. การแจกจ่าย

ดูรายการ “การแจกจ่าย” ท้ายเล่ม

๓. ความมุ่งหมาย

ปัจจุบันกรมอู่ทหารเรือได้ทำการต่อเรือใหม่เพื่อใช้ในราชการกองทัพเรือ และมีการดัดแปลงเรือเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของเรืออยู่เสมอ ในการป้องกันการผุกร่อนให้กับโลหะที่เป็นส่วนของตัวเรือและโครงสร้าง เป็นส่วนสำคัญในการรักษาและยืดอายุการใช้งานของเรือและอุปกรณ์ต่างๆ บนเรือ ในการนี้ อร. จำเป็นจะต้องมีมาตรฐานเพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานได้ใช้เป็นเป้าหมายและหลักในการปฏิบัติ จึงได้กำหนดมาตรฐานฉบับนี้ขึ้น เพื่อให้การซ่อม สร้างและดัดแปลงเรือของ อร. มีความถูกต้องตามหลักมาตรฐานสากล เหมาะสมกับการนำไปใช้ในกองทัพเรือต่อไป

๔. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ใช้กับการป้องกันการผุกร่อนของตัวเรือโดยใช้อาโนด มีหัวข้อต่างๆ ในมาตรฐานฉบับนี้ประกอบด้วย

๑. ข้อพิจารณาในการออกแบบระบบการป้องกันการผุกร่อนตัวเรือโดยใช้อาโนด
๒. คุณสมบัติของอาโนด
๓. ความหนาแน่นของกระแสในการปกป้องตัวเรือ
๔. การจัดวางอาโนด
๕. การป้องกันการผุกร่อนภายในถัง

๕. กล่าวโดยทั่วไป

อาโนดหรือกัลวานิกอาโนด คือ โลหะที่มีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบมากกว่าเมื่อเทียบกับโลหะที่ได้รับการปกป้อง อาโนดจะเกิดการผุกร่อนจากการสูญเสียอิเล็กตรอนเพื่อที่จะปกป้องตัวเรือหรือโครงสร้างโลหะของเรือ

การทำงานของอาโนดจะใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี คือการปล่อยกระเสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการผุกร่อนให้กับโลหะที่เป็นส่วนของตัวเรือและโครงสร้าง ในระยะเวลาที่ได้รับการออกแบบไว้

ส่วนประกอบหลักของระบบป้องกันการผุกร่อนตัวเรือโดยใช้อาโนด สามารถแบ่งได้เป็น ๓ ประเภท ดังนี้

๑. อาโนด

๒. การเชื่อมต่อ เช่น การใช้สาย หรือ การใช้นัตและสกรู

๓. โลหะหรือโครงสร้างที่ต้องการการปกป้อง

วัสดุที่ใช้เป็นอาโนดโดยส่วนใหญ่จะใช้วัสดุดังนี้ อะลูมิเนียม สังกะสี หรือ แมกนีเซียม

๖. ข้อพิจารณาในการออกแบบระบบการป้องกันการผุกร่อนตัวเรือโดยใช้อาโนด

การออกแบบระบบการป้องกันการผุกร่อนตัวเรือโดยใช้อาโนดจะต้องระบุรายละเอียดอย่างน้อยตามนี้

๖.๑ เกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ EN124596 section5

๖.๒ แบบหรือรายละเอียดของ คุณลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำอาโนด ขนาด และ ลักษณะการติดตั้ง

๖.๓ รายละเอียดการคำนวณของ ความหนาแน่นของกระแสที่ออกแบบและความต้านทานของอาโนด

๖.๔ แบบหรือรายละเอียดการติดตั้งที่แสดงลักษณะของความต่อเนื่องบริเวณอาโนดและโครงสร้างตัวเรือ

๖.๕ แบบหรือรายละเอียดที่ระบุวิธีการติดตั้ง การทดสอบ และการใช้งานอาโนด

๗. คุณสมบัติของอาโนด

คุณสมบัติของอาโนดสามารถแบ่งได้เป็น ๒ ด้านคือ คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี

คุณสมบัติทางเคมีจะบ่งบอกถึงแร่ธาตุชนิดต่างๆที่อยู่ในอาโนด คุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของวัสดุที่ใช้ทำอาโนด ประกอบไปด้วย ค่าความศักย์ไฟฟ้า(Potential) ค่าความจุกระแสไฟฟ้า(Current Capacity) และ ค่าอัตราการผุกร่อนของอาโนด (Anode Consumption Rate)

นอกเหนือจากปัจจัยด้านเคมี และปัจจัยด้านไฟฟ้าเคมี ประสิทธิภาพของอาโนดยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆอีก ได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนาแน่นของกระแส ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้งาน และรูปร่างของอาโนดอีกด้วย อาโนดชนิดต่างๆมีคุณสมบัติตามตารางดังต่อไปนี้

๗.๑ อาโนดที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์

อาโนดอะลูมิเนียมอัลลอยด์หรืออาโนดอะลูมิเนียม นิยมใช้ในน้ำทะเลเนื่องจากมีอัตราการผุกร่อนต่ำกว่าอาโนดชนิดที่จำจากแมกนีเซียมหรือสังกะสี โดยปกติจะไม่ใช้อาโนดขนิดนี้ในน้ำจืด คุณสมบัติด้านเคมีและคุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดอะลูมิเนียมเป็นไปตามตารางที่ ๑ และ ๒ ตามลำดับ

ตารางที่ ๑ คุณสมบัติด้านเคมีของอาโนดอะลูมิเนียมอัลลอยด์โดยเปอเซ็นของน้ำหนัก

Element	*EN 12496*				*ASTM B605*	*MIL-DTL-24779B*	
	Alloy A1 for Marine Applications	*Alloy A2 for Offshore Applications*	*Alloy A3 for Deepwater and Cold Water Applications*	*Alloy A4 for Low Driving Voltage Applications*		*Conventional*	*Low Voltage*
Zn	2-6	3-5.5	4.75-5.75	0.15 max	5- 6	4-6.5	< 0.15
In	0.01-0.03	0.016-0.04	0.016-0.02	0.005 max	---	0.014-0.02	< 0.005
Ga	---	---	---	0.092-0.11	---	---	0.092-0.11
Fe	0.12 max	0.09 max	0.06 max	0.08 max	0.17 max	0.09 max	< 0.08
Cu	0.006 max	0.005 max	0.003 max	0.005 max	0.02 max	0.004 max	< 0.005
Si	0.12 max	0.1 max	0.08-0.12	0.1 max	0.1 max	0.08-0.2	< 0.1
Cd	0.002 max	0.002 max	0.002 max	---	---	---	---
Mercury Hg						0.001 max	< 0.005
Tin Sn						0.001 max	0.001 max
Ni						---	< 0.005
Magnesium Mg						---	< 0.01
Manganese Mn						---	< 0.01
Others Impurities (each)	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max	---	0.020	---
Others Impurities (total)	0.1 max	0.1 max	0.05 max	0.05 max	---	0.10	---
Al	remainder	remainder	remainder	remainder	remainder	remainder	min 99.8

ที่มา EN 12496

ตารางที่ ๒ คุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดอะลูมิเนียมอัลลอยด์ในการใช้งานปกติ

Alloy Type	*Closed Circuit Potential Ag/AgCl/Seawater Reference Electrode, V*	*Practical Current Capacity A-h/kg (A-h/lb)*	*Practical Anode Consumption Rate kg/(A-y) [lb/(A-y)]*
Alloy A 1	−1.09	2,500 (1.134)	3.5 (7.7)
Alloy A 2	−1.09	2,500 (1.134)	3.5 (7.7)
Alloy A 3	−1.09	2,500 (1.134)	3.5 (7.7)
Alloy A 4	−0.83	1500 (680)	5.8 (12.8)
MIL-DTL-24779B conventional	−1.05 to −1.15 long term −1.05 to −1.15 short term	2,535 (1,150) long term 2,535 (1,150) short term	
MIL-DTL-24779B low voltage	−0.80 to −0.90 long term −0.78 to −0.83 short term	1,656 (751) long term 1,800 (816) short term	

ที่มา EN 12496

Alloy A1 คือ การใช้งานในเรือทั่วไป
Alloy A2 คือ การใช้งานในโครงสร้างที่อยู่ในทะเล เช่น แท่นขุดเจาะ โป๊ะเทียบเรือ เป็นต้น
Alloy A3 คือ การใช้งานในที่ที่อยู่ในบริเวณน้ำลึกและมีอุณหภูมิต่ำ
Alloy A4 คือ การใช้งานในที่ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ

๗.๒.อาโนดที่ทำจากแมกนีเซียมอัลลอยด์

อาโนดแมกนีเซียมอัลลอยด์หรืออาโนดแมกนีเซียม มักจะไม่พบการใช้งานในน้ำทะเลเนื่องจากมีศักย์ไฟฟ้าที่เกินค่าที่ต้องการในการปกป้องจึงทำอาโนดชนิดนี้ประสิทธิภาพต่ำในน้ำทะเล อย่างไรก็ตามอาโนดชนิดนี้มีการใช้งานในน้ำจืด อาโนดแมกนีเซียมจะไม่มีการใช้งานร่วมกับตัวเรืออะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่สามารถรับและสูญเสียอิเล็กตรอนได้ทำให้ทำหน้าที่เป็นทั้งกรดและเบสได้ในปฏิกิริยาเคมี(amphoteric material) คุณสมบัติด้านเคมีและคุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดแมกนีเซียมเป็นไปตามตารางที่ ๓ และ ๔ ตามลำดับ

ตารางที่ ๓ คุณสมบัติด้านเคมีของอาโนดแมกนีเซียมอัลลอยด์โดยเปอเซ็นของน้ำหนัก

Element	*EN 12496*		*MIL-A-21412*
	Alloy M1 (ASTM B843-93)	*Alloy M2*	
Mn	0.15-0.7	0.5-1.5	0.15 min
Al	5-7	0.05 max	5-7
Zn	2-4	0.03 max	2-4
Fe	0.005 max	0.03 max	0.003 max
Cu	0.08 max	0.02 max	0.1 max
Si	0.3 max	0.05 max	0.3 max
Pb	0.03 max	0.01 max	NA
Ni	0.003 max	0.002 max	0.003 max
Others	Total 0.3 max	Each 0.05 max	Total 0.3 max
Mg	remainder	remainder	remainder

ที่มา EN 12496

ตารางที่ ๔ คุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดแมกนีเซียมอัลลอยด์ในการใช้งานที่อุณหภูมิ ๕-๒๕ องศาเซลเซียส

Alloy Type	*Environment*	*Closed Circuit Potential to Ag/AgCl/Seawater Reference Electrode, V*	*Practical Current Capacity A-h/kg (A-h/lb)*	*Practical Anode Consumption Rate kg/(A-y) [lb/(A-y)]*
Alloy M1 or ASTM B843	Seawater	–1.50	1,200 (544)	7.3 (16.1)
Alloy M2	Seawater	–1.70	1,200 (544)	7.3 (16.1)

ที่มา EN 12496

Alloy M1 คืออาโนดแมกนีเซียมอัลลอยด์ที่ผลิตตามมาตราฐาน ASTM B843-93
Alloy M2 คืออาโนดแมกนีเซียมอัลลอยด์ที่ผลิตตามมาตราฐานอื่นๆ ที่ไม่ใช่ ASTM B843-93

๗.๓ .อาโนดที่ทำจากสังกะสี

อาโนดสังกะสีจะมีแร่สังกะสีที่มีคุณภาพสูงและแร่เหล็กในอัตราส่วนสูงสุดที่สามารถยอมรับได้เป็นส่วนประกอบหลัก การเพิ่มแร่อะลูมิเนียมและแคดเมียมเข้าไปจะเป็นการเพิ่มอัตราส่วนสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ของแร่เหล็ก โดยปกติอาโนดสังกะสีจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าในน้ำทะเลเมื่ออ้างอิงกับ ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คอลไรน์อิดเล็กโทดอยู่ที่ประมาณ -๑๐๓๐ มิลลิโวลต์ อุณหภูมิสูงสุดในพื้นที่ใช้งานคือ ๖๐ องศาเซลเซียส และมีค่า pH อยู่ระหว่าง ๕-๑๐ คุณสมบัติด้านเคมีและคุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดสังกะสีเป็นไปตามตารางที่ ๕ และ ๖ ตามลำดับ

ตารางที่ ๕ คุณสมบัติด้านเคมีของอาโนดสังกะสีโดยเปอเซ็นของน้ำหนัก

Element	EN 12496				ASTM B418		MIL-A-18001K
	Alloy Z1 (MIL-A-18001K or ASTM B418 Type I)	Alloy Z2 (ASTM B418 Type II)	Alloy Z3, Limited to 50°C (122°F)	Alloy Z4, up to 60-80°C (140-176°F)	Type I Limited to 50°C (122°F)	Type II	Limited to 50°C (122°F)
Al	0.1-0.5	0.005 max	0.1-0.2	0.1-0.25	0.1-0.4	0.005 max	0.1-0.5
Cd	0.025-0.07	0.003 max	0.04-0.06	0.001 max	0.03-0.1	0.003 max	0.025-0.07
Fe	0.005 max	0.0014 max	0.0014 max	0.002 max	0.005 max	0.0014 max	0.005 max
Cu	0.005 max	0.002 max	0.005 max	0.001 max	---	---	0.005 max
Pb	0.006 max	0.003 max	0.006 max	0.006 max	0.03 max	0.003 max	0.006 max
Mg	---	---	0.5 max	0.05-0.15	---	---	---
Sn	---	---	0.01 max	---	0.001 max	0.001 max	---
Others	0.1 max	0.005 max	0.1 max	0.1 max	---	---	---
Zn	remainder	99.99 min	remainder	remainder	remainder	99.99 min	remainder

ที่มา EN 12496

ตารางที่ ๖ คุณสมบัติด้านไฟฟ้าเคมีของอาโนดสังกะสีในน้ำทะเล

Alloy Type	Operation Temperature °C (°F)	Closed Circuit Potential to Ag/AgCl/Seawater Reference Electrode, V	Practical Current Capacity A-h/kg (A-h/lb)	Practical Anode Consumption Rate kg/A-y (lb/A-y)
Alloy Z 1 or MIL-A-18001K or ASTM B418 Type I	5-25 (41-77)	–1.03	780 (354)	11.2 (24.7)
Alloy Z 2 or ASTM B418 Type II	5-25 (41-77)	–1.00	760 (345)	11.5 (25.4)
Alloy Z 3	5-25 (41-77)	–1.03	780 (354)	11.2 (24.7)
Alloy Z 4	5-25 (41-77)	–1.03	780 (354)	11.2 (24.7)
	60-80 (140-176)	–0.97	690 (313)	12.7 (28.0)

ที่มา EN 12496

๘. ความหนาแน่นของกระแสในการปกป้องตัวเรือ

ความหนาแน่นของกระแสในการปกป้องตัวเรือที่ทำจากเหล็กหรือโลหะใดๆขึ้นอยู่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของโลหะนั้นๆ และตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ ชนิดของโลหะ ศักย์ไฟฟ้า สภาพพื้นผิวของโลหะ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในกรณีที่ตัวเรือทำจากเหล็กอาจสามารถอ้างอิงค่าความหนาแน่นของกระแสที่ต้องการในการปกป้องตัวเรือได้ ๒ ลักษณะคือ ตามความเร็วเรือและตามวงรอบการเข้าซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ ๗ และ ๘ ตามลำดับ

ตารางที่ ๗ ความหนาแน่นของกระแสในการปกป้องตัวเรือเหล็กตามความเร็วปฏิบัติการ

Situation m/s (knots)	*Design Current Densities for Bare Steel mA/m² (mA/ft²)*	*Design Current Densities for Coated Steel mA/m² (mA/ft²)*
$V \leq 1$ (2 knots)	100-200 (9.3-18.6) without tidal influence 150-250 (13.9-23.2) with tidal influence	5-15 (0.5-1.4) 7-20 (0.7-1.9)
$1 < V < 10$ (20 knots)	220-350 (20.4-32.5)	11-28 (1.0-2.6)
$V \geq 10$ (20 knots)	350-500 (32.5-46.5)	18-40 (1.7-3.7)
Vessels in ice	500-750 (46.5-69.7)	35-90 (3.3-8.4)
Propeller surface	≥ 500 (46.5)	

ที่มา ABS: CATHODIC PROTECTION OF SHIPS

การหาความหนาแน่นของกระแสในการปกป้องบริเวณ bow thruster, water-jet drives หรือช่องทางเข้า-ออกของน้ำ และการคำนวณพื้นที่ใต้แนวน้ำ จะพิจารณาเป็นกรณีไป

ตารางที่ ๘ ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกระแสในการป้องกันตัวเรือเหล็กที่ทำสี ตามวงรอบการเข้าซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำ

Docking Periods months	*Current Densities mA/m² (mA/ft²)*
Up to 18	15-25 (1.4-2.3)
19-36	26-45 (2.4-4.2)
37-60	46-75 (4.3-7.0)

ที่มา ABS: CATHODIC PROTECTION OF SHIPS

<u>๙. การจัดวางอาโนด</u>

๙.๑ การเชื่อมต่อของอาโนด

กัลวานิกอาโนด แกนอาโนดและฐานรองรับ ควรได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงความต้องการเฉพาะของงานนั้นๆทั้งในด้านประสิทธิภาพ การผลิต การขนส่ง การติดตั้งรวมถึงการใช้งาน การออกแบบคุณลักษณะด้านมิติและรูปร่างของอาโนด แกนและอุปกรณ์ยึด ควรออกแบบโดยให้สามารถต้านทานแรงทางกลได้ โดยปกติอาโนดที่ผลิตโดยการหล่อจะมีการติดตั้งวัสดุสอดแทรกที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีต่ำ เช่น เหล็ก(steel) ไว้บริเวณด้านหลังเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและความแข็งแรงในการยึดของอาโนด

แกนของอาโนดควรเป็นวัสดุที่สามารถเชื่อมได้กับวัสดุตัวเรือได้

การยึดอาโนดกับโครงสร้างตัวเรือสามารถกระทำได้ ๒ ทางคือ ติดตั้งโดยตรงโดยการเชื่อมหรือการใช้สลักเกลียว หรือการติดตั้งผ่านสายโดยการเชื่อมต่อระหว่างอาโนดและโครงสร้างตัวเรือ

ความต้านทานกระแสไฟฟ้าระหว่างอาโนดและตัวเรือจะต้องคงไว้ให้ต่ำตลอดอายุการใช้งานของอาโนด

หากใช้วิธีการเชื่อมเพื่อยึดเหล็กสอดแทรกของอาโนดเข้ากับตัวเรือ ควรมีการจำกัดความเครียดที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยที่สุด หรืออาจใช้สลักเกลียวในการยึดก็สามารถทำได้ แต่การยึดด้วยสลักเกลียวจะต้องยึดเข้าที่ฐานรองรับซึ่งเชื่อมติดกับโครงสร้างตัวเรือ การใช้ stud กับโครงสร้างตัวเรือโดยตรงไม่สามารถกระทำได้ แต่อาจใช้ stud

welding กับฐานรองรับได้ โดยการเชื่อมฐานรองรับกับโครงสร้างตัวเรือจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของสมาคมจัดชั้นเรือ

หากใช้สายไฟในการเชื่อมต่อระหว่างอาโนดและตัวเรือ การกระทำดังกล่าวจะต้องดำเนินการโดยผู้ผลิตอาโนด โดยจะต้องใช้สายไฟหลายเส้นในการต่อเพื่อป้องกันในกรณีที่สายไฟได้รับความเสียหาย สายไฟที่ใช้จะต้องเป็นชนิด multi-strand โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดอย่างน้อย ๑๐ ตารางมิลลิเมตร การต่อหางปลาที่บริเวณปลายสายไฟจะต่อเข้ากับแกนของอาโนด โดยลักษณะการต่อสามารถกระทำได้ ๒ รูปแบบ คือ การต่อทางกล (เช่น การใช้สลัก) และการเชื่อม บริเวณจุดเชื่อมต่อของหางปลาและแกนอาโนดจะต้องมีการทำสีโดยใช้สีที่เป็นอีพ็อกซี่หรือเทียบเท่า สายไฟที่เดินผ่านโครงสร้างตัวเรือจะต้องมีการยึดไว้โดยทางกลและจะต้องมีความต้านทานที่ต่ำ การยึดสายไฟโดยการบัดกรี การเชื่อมแบบเทอไมซ์ การใช้นัตที่มีแหวนรองแยกตามความเหมาะสมก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน สายไฟจะต้องถูกหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า และบริเวณปลายของสายไฟจะต้องการห่อหุ้มด้วยฉนวนเช่นเดียวกัน

การใช้อาโนดบริเวณเพลา จะต้องไม่มีผลต่อความสมดุลของเพลา หรือจำกัดการไหลของน้ำหล่อแบริ่งรองรับเพลา โดยทั่วไปการใช้ปลอกคอเพลา(Shaft Collar)ที่บริเวณเพลามักจะเพียงพอต่อการป้องกันการกร่อนของใบจักรและเพลาที่ทำจากทองสัมฤทธิ์(Bronze)และเหล็กกล้าไร้สนิม(stainless steel)

ในกรณีที่ต้องการติดตั้งอาโนดบริเวณเปลือกเรือที่มีความเปราะบาง สามารถใช้การซ้อนแผ่น(doubler plate) โดยแผ่นที่นำมาซ้อนจะต้องมีความหนาที่เพียงพอ และจะต้องมีขอบออกไปอีกอย่างน้อย ๒๐ มม.จากแนวรอยเชื่อมทุกด้าน

การติดตั้งอาโนดในตำแหน่งเปลือกเรือที่เป็นพื้นที่ของถังน้ำมัน จะต้องมีการซ้อนแผ่น(doubler plate) และแนวรอยเชื่อมของแผ่นซ้อนกับตัวเรือจะต้องมีความต่อเนื่อง

อาโนดไม่ควรถูกติดตั้งในตำแหน่งท้องเรือที่ไม่มีโครงสร้างของเรือรองรับ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรถูกติดตั้งบนแผ่นเปลือกเรือที่เป็นส่วนหลักของความแข็งแรงตามยาว เช่น บริเวณแผ่นกระดูกงูและโครงสร้างหลักตามยาว(Longitudinal Major Girder)

๙.๒ การกระจายอาโนดรอบตัวเรือ

อาโนดควรถูกติดตั้งในตำแหน่งไม่มีการรบกวนของฟองอากาศ และจะต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนการไหลของน้ำบริเวณ ทางดูด ทางปล่อย ทางพ่นน้ำ และเส้นทางการไหลเข้าของน้ำสู่ใบจักร รูปร่างอาโนดควรมีลักษณะแบนราบไปกับตัวเรือให้มากที่สุดเพื่อลดผลกระทบในการต้านทานการไหลของน้ำ

การกระจายตัวของอาโนดบริเวณใต้แนวน้ำควรเป็นไปในลักษณะที่สม่ำเสมอ เพื่อก่อให้เกิดการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ดีทำให้ตัวเรือได้รับการปกป้องอย่างทั่วถึง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในด้านของไฟไนต์อิลิเมนต์ช่วยในการออกแบบและคำนวณจุดติดตั้งอาโนดสามารถกระทำได้และเป็นข้อแนะนำอย่างยิ่ง

อาโนดไม่ควรที่จะติดตั้งในจุดที่มีความเสี่ยงในการที่จะได้รับความเสียหาย เช่น จุดทิ้งเสมอ ท้องเรือบริเวณที่เกยหาด ข้างเรือบริเวณที่เสี่ยงต่อการสัมผัสท่าเรือในกรณีที่เทียบเรือ เป็นต้น หากพื้นที่บนครีบกระดูกงู(bilge keel)เพียงพอ อาโนดควรได้รับการติดตั้งบนหรือล่างของครีบกระดูกงูอย่างใดอย่างหนึ่ง หากพื้นที่ดังกล่าว

ไม่เพียงพอ อาโนดควรได้รับการติดตั้งบนตัวเรือใกล้กับครีบกระดูกงูเรือที่ด้านบนหรือล่างอย่างใดอย่างหนึ่ง ระยะห่างของอาโนดบนครีบกระดูกงูในช่วงกลางลำควรมีระยะห่างไม่เกิน ๖ ถึง ๘ เมตร เพื่อช่วยในการปกป้องพื้นที่ตัวเรือที่ทับซ้อนกัน

การแบ่งพื้นที่ตัวเรือใต้แนวน้ำสำหรับการติดตั้งอาโนดสามารถแบ่งได้เป็น ๒ ประเภท คือ พื้นที่ที่ได้รับการปกป้องอย่างสมบูรณ์ และพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องบางส่วน โดยพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องอย่างสมบูรณ์คือพื้นที่ที่มักได้รับความเสียหายทางกลและได้รับการทำสีอยู่บ่อยครั้ง พื้นที่ส่วนนี้คือ บริเวณหัวเรือและกลางลำ ส่วนพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องบางส่วนคือพื้นที่ที่มีอัตราการไหลของน้ำสูง มีการสอดแทรกของอากาศเข้าไปในน้ำ พื้นที่ที่มีส่วนเพิ่มเติมตัวเรือหรือเครื่องประกอบเรือ เช่น บริเวณท้ายเรือที่ประกอบไปด้วย หางเสือ เพลา ใบจักร เป็นต้น หรือในบางกรณีพื้นที่หัวเรือที่มีอัตราการไหลของน้ำสูงอาจถูกจัดเป็นพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องบางส่วน

การติดตั้งอาโนดที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการผุกร่อนมากที่สุดคือ การใช้อาโนดขนาดเล็กจำนวนมากๆกระจายติดตั้งให้เต็มพื้นที่ตัวเรือใต้แนวน้ำ

สำหรับเรือที่ต้องการการปกป้องเฉพาะท้ายเรือ(พื้นที่ที่ได้รับการปกป้องบางส่วน) การคิดน้ำหนักของอาโนดในการปกป้องท้ายเรือคือ ๒๕% ถึง ๓๐% จากน้ำหนักของอาโนดที่คิดได้จากพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องอย่างสมบูรณ์ของพื้นที่ท้ายเรือ

สำหรับพื้นที่ที่ไม่ใช่ท้ายเรือแต่คิดเป็นพื้นที่ที่ได้รับการปกป้องบางส่วน(อาจเป็นหัวเรือที่มีการติดตั้ง Bow Thruster หรือมีการไกลของน้ำสูง) ควรมีการติดตั้งอาโนดชนิดเดียวกันเพิ่มเติมไว้ทางหัวเรืออีกอย่างน้อย ๒ ตัว หรือ ๑๐% ของน้ำหนักอาโนดที่ติดตั้งจริงบริเวณท้ายเรือ โดยมีระยะห่าง ๓-๘ เมตร ส่วนอาโนดที่เหลือควรกระจายการติดตั้งในจำนวนที่เท่าๆกันทั้งบริเวณหัวเรือและกลางลำ โดยลักณะการติดตั้งควรเป็นไปตามความยาวของเรือเพื่อลดแรงต้านทานเรือ

สำหรับเรือที่มี ไฮโดรฟอยด์ เครื่องพ่นน้ำ และเป็นตัวเรือหลายท้อง การจัดวางอาโนดควรมีความสอดคล้องกับโครงสร้างตัวเรือและการไหลของน้ำใต้ตัวเรือ

หากไม่มีระบบในการป้องกันการผุกร่อนส่วนกลาง ให้ใช้อาโนดในการปกป้องหางเสือ ส่วนเพลาและใบจักรให้ใช้ อาโนดชนิดวงแหวนที่ทำจากสังกะสี(Zinc ring) โดยติดตั้งที่เพลาหรือดุมใบจักร

๙.๓ อาโนดบริเวณหัวเรือ

ตำแหน่งติดตั้งอาโนดบริเวณหัวเรือควรติดตั้งในทิศทางที่ลู่ไปกับการไหลของน้ำ และจะต้องไม่เกิดความเสียหายจากการทิ้งโซ่และสมอเรือ หัวเรือคือบริเวณที่ได้รับภาระหนัก ฉะนั้นการติดตั้งอาโนดไม่เพียงติดตั้งบนครีบกระดูกงู แต่ควรติดตั้งบริเวณพื้นที่ว่างของแผ่นกระดูงูเรือ

๙.๔ อาโนดบริเวณท้ายเรือ

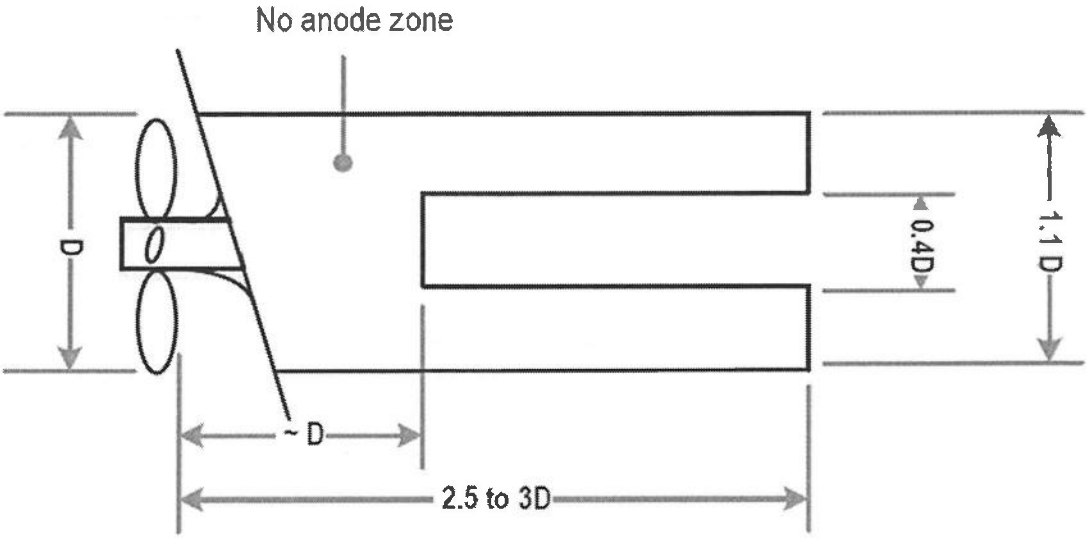
การติดตั้งอาโนดบริเวณท้ายเรือควรจะเน้นบริเวณ ช่องเพลา(stern tube) จุดต่ำสุดของกงท้ายเรือ (sole piece) ช่องใบจักร (propeller well) กระแสน้ำวน(eddies)ที่เกิดจากอาโนดจะต้องไปกระทบกับใบจักร ด้วยสาเหตุนี้จึงมีการกำหนดพื้นที่ที่ไม่ควรมีการติดตั้งอาโนดไว้ที่ ๐.๔D ถึง ๑.๑D (D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร)

นอกจากนั้นยังมีข้อกำนดในการติดตั้งอาโนดบนช่องเพลา(stern tube)ในตำแหน่งที่ห่างออกมาจากใบจักรเป็นระยะทาง D ดังแสดงในภาพที่ ๑

การปกป้องโยงโย่รับเพลา(shaft brackets)สามารถติดตั้งอาโนดไว้บริเวณตัวเรือใกล้จุดที่ฐานของโยงโย่ยึดอยู่โดยจะต้องติดอาโนดทั้งสองด้าน ขนาดและวัสดุของโยงโย่จะใช้ในการคำนวณหาจำนวนของอาโนด

ในเรือที่มีหลายใบจักร การปกป้องโยงโย่รับใบจักร(propeller brackets)เป็นสิ่งที่กระทำโดยทั่วไป หากเป็นเรือขนาดเล็กอาโนดจะต้องถูกติดตั้งทั้งสองด้านบริเวณฐานของโยงโย่ แต่หากเป็นเรือที่มีขนาดใหญ่อาโนดจะต้องถูกเชื่อมติดกับตัวโยงโย่

ภาพที่ ๑ พื้นที่ในการติดตั้งอาโนดบริเวณท้ายเรือ



๙.๕ การปกป้องบริเวณใบจักรและเพลา

ตามกฎแล้ว ใบจักร เพลา และโยงโย่ คือส่วนที่อยู่นอกตัวเรือและจะต้องได้รับการป้องกันการผุกร่อน อุปกรณ์เหล่านี้มีเชื่อมต่อทางไฟฟ้าไปสู่ตัวเรือผ่านแหวนสลิปไฟฟ้า (slip ring)

การป้องกันการผุกร่อนของ เพลาและใบจักรสามารถกระทำได้โดยการติดตั้งอาโนดชนิด Zinc ring ที่บริเวณดุมใบจักรหรือบนเพลา

สำหรับการใช้ระบบขับเคลื่อนชนิดพิเศษอื่นๆ จะต้องการการคำนวณกระแสที่ต้องการ การกระจายตัวของอาโนด เช่น การใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ Kort Nozzles จะมีความต้องการกระแสเบื้องต้นที่ ๒๕ mA/m๒ สำหรับพื้นที่สัมผัสน้ำทั้งหมด และจะต้องมีการติดตั้งอาโนดที่บริเวณภายนอกเปลือกหุ้มใบจักรส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด โดยมีระยะห่างของอาโนดอยู่ที่ ๐.๑ - ๐.๒๕เท่าของรัศมีใบจักร ส่วนการปกป้องภายในจะมีการติดตั้งอาโนดบริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างของโยงโย่ ส่วนการใช้ใบจักรแบบ Voith-Schneider จะมีการติดตั้งอาโนดอยู่รอบๆขอบของฐานใบจักร เป็นต้น

๙.๖ อาโนดบริเวณหางเสือ

ควรติดตั้งอาโนดบริเวณทั้งสองของของหางเสือ โดยตำแหน่งติดตั้งจะต้องอยู่ในแนวระดับเดียวกันกับดุมเพลา หรือให้ห่างใบหางเสือ(rudder blade)ไปทางด้านบนหรือด้านล่างให้มากที่สุด อาโนดที่จะทำการติดตั้งบนหางเสือจะต้องเป็นชนิดที่ใช้ติดตั้งบนหางเสือเท่านั้น และจะต้องมีการเชื่อมเข้ากับหางเสือบริเวณขอบด้านหน้าเป็นอย่างน้อย

บริเวณสันด้านล่างของหางเสือ(rudder heel) จะต้องมีการติดตั้งอาโนดด้านใดด้านหนึ่ง โดยขนาดของอาโนดจะต้องไม่ใหญ่กว่าส่วนสูงของสันด้านล่างของหางเสือ

สำหรับหางเสือของเรือที่มีความเร็วมากกว่า ๓๐ น็อต จะต้องใช้กฎเฉพาะในการออกแบบการปกป้องหางเสือโดยใช้อาโนด ถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างหางเสือและตัวเรือโดยใช้สายไฟหรือทองแดง

๙.๗ อาโนดบริเวณช่องทางเข้า-ออกของน้ำ

การติดตั้งอาโนดจะต้องไม่จำกัดอัตราการเข้า-ออกของน้ำ

การป้องการการผุกร่อนโดยใช้อาโนดของบริเวณช่องทางเข้า-ออกของน้ำ ช่องใบจักรข้างเรือ จะต้องครอบคลุมพื้นที่ลึกลงไป ๑-๒ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง

หากเป็นการติดตั้งบริเวณช่องของ Bow thruster อาโนดจะต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำและจะต้องติดตั้งใกล้กับพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการผุกร่อนมากที่สุด

การติดตั้งอาโนดบริเวณ Sea chest จะต้องคำนึงถึงกระแสที่อาจรั่วไหลจากอาโนดและไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ภายในตัวเรือ

<u>๑๐. การป้องกันการผุกร่อนภายในถัง</u>

๑๐.๑ กล่าวโดยทั่วไป

การติดตั้งอาโนดในพื้นที่ปิดและไม่มีการระบายอากาศ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมของแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สผสมในการเกิดระเบิดได้ การใช้อาโนดชนิดอะลูมิเนียมหรือสังกะสีมีความเสี่ยงปานกลางที่ก่อให้เกิดการสะสมของแก๊สเหล่านี้ ควรติดตั้งกัลวานิกอาโนดสำหรับการป้องกันการผุกร่อนในถังอับเฉาหรือถังอื่นๆที่บรรจุน้ำทะเลเท่านั้น การใช้ระบบ impressed current ในถังก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซึ่งเป็นอันตราย การป้องกันการผุกร่อนโดยใช้อาโนดเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำในพื้นที่ที่มีการสัมผัสกับน้ำและอากาศ แต่หากเป็นพื้นที่ปิดมีเฉพาะน้ำหรืออากาศเท่านั้น การป้องกันการผุกร่อนก็ไม่มีความจำเป็น

การป้องการการผุกร่อนโดยใช้อาโนดในถังควรจะครอบคลุมระยะเวลา ๕ ปี (๔๓,๘๐๐ ชม.) หรือเป็นไปตามข้อตกลงของเจ้าของเรือ เนื้อหาในส่วนนี้ครอบคลุมเฉพาะถังที่อยู่ในตัวเรือที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลน์ที่มีการนำไฟฟ้า เช่น น้ำทะเล และมีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย ๕๐% ประสิทธิภาพของอาโนดในน้ำจืดและน้ำในแม่น้ำอาจแตกต่างออกไปจากเนื้อหาในส่วนนี้

เหล็กกล้าไร้สนิมที่ไม่ได้ทำสีจะไม่ได้รับการปกป้องโดยอาโนดถ้าหากบริเวณนั้นเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดการผุกร่อน ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมควรได้รับการทำสีควบคู่ไปกับการติดตั้งอาโนด

๑๐.๒ ความหนาแน่นของกระแสสำหรับป้องกันการผุกร่อน

สำหรับ ถังถ่วงทริมเรือ ถังอับเฉา หลุมเก็บน้ำ พื้นที่ด้านบนภายในถัง ถังเก็บน้ำสกปรก หรือถังอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกันโดยถังเหล่านี้มีวัสดุเป็นเหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับการปกป้องคือ:

- พื้นที่ที่ได้รับการทำสี: ๑๐ mA/m๒
- พื้นที่ที่ไม่ได้รับการทำสี: ๑๒๐ mA/m๒

กระแสไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับการป้องกันการผุกร่อนควรมีค่าอยู่ระหว่าง ๑๐-๑๒๐ mA/m๒ ขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ การทำสี การเข้าถึงและการสัมผัสกับความชื้นและออกซิเจน

สำหรับพื้นที่ที่น้ำท่วมถึง พื้นที่ปิดและมีการระบายอากาศ กระแสไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับการปกป้องสามารถอ้างอิงได้จากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ๙ กระแสไฟฟ้าที่ต้องการในการป้องกันการผุกร่อนของเหล็กที่ไม่ได้รับการทำสี

Surface Water Temperature, °C (°F)	*Initial mA/m² (mA/ft²)*	*Final mA/m² (mA/ft²)*	*Mean mA/m² (mA/ft²)*
> 20 (68)	120 (11.1)	80 (7.4)	60 (5.6)
12-20 (54-68)	140 (13.0)	90 (8.4)	70 (6.5)
7-11 (44-52)	170 (15.8)	110 (10.2)	80 (7.5)
< 7 (44)	200 (18.6)	130 (12.1)	100 (9.3)

ที่มา EN 12496

๑๐.๓ การเลือกชนิดและน้ำหนักของอาโนด

การจะเลือกว่าจะใช้อาโนดที่ทำจากวัสดุชนิดใด ให้พิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของวัสดุนั้นๆตามข้อ ๗

อาโนดชนิดที่ทำจากแมกนีเซียมอัลลอยด์ไม่สามารถใช้ในถังได้ นอกจากใช้ในถังน้ำจืดที่ไม่ติดกับพื้นที่เก็บวัสดุไวไฟ

อาโนดชนิดที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์สามารถใช้ในถังที่เก็บของเหลวที่มีจุดวาบไฟ(Flash point)ต่ำกว่า ๖๐ องศาเซียลเซียสได้ และในกรณีที่อาโนดเกิดการหลุดออกจากฐานและเกิดการตกจะต้องไม่ก่อให้เกิดพลังงานจลน์เกิน ๒๗๕ จูล(อาจคำนวณได้โดยกฎการอนุรักษ์พลังงาน) โดยเกณฑ์นี้ไม่สามารถใช้ได้กับถังน้ำถ่วงเรือที่ไม่ติดกับพื้นที่เก็บวัตถุไวไฟ โดยสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Part 5B, Pt 2, Ch 2, Sec 2, [1] “Corrosion Protection” of the ABS *Rules for Building and Classing Steel Vessels*.

ส่วนสูงในการติดตั้งอาโนดชนิดที่ทำจากสังกะสีไม่ได้ถูกกำหนดไว้

น้ำหนักของอาโนดต่อพื้นที่ที่ต้องการการปกป้องสามารถคำนวณได้ตามสมการนี้:

M_{zone}	=	$I_{zone} \times t_s \times f_B/Q_g$	หน่วย kg
โดย:			
I_{zone}	=	กระแสรวมทั้งหมดที่ต้องการในการปกป้อง $I_{zone} = A_{zone} \times i_{zone}$	หน่วย A
A_{zone}	=	พื้นที่ที่ต้องการการปกป้องซึ่งเป็นพื้นที่ที่สารละลายอิเล็กโทรไลน์(เช่น น้ำทะเล)ปกคลุมอยู่	หน่วย m^2
i_{zone}	=	กระแสไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับการปกป้องต่อพื้นที่	หน่วย A/m^2
t_s	=	ระยะเวลาในการปกป้อง โดยปกติจะคิดที่ ๕ ปี หรือ ๔๓,๘๐๐ ชม. หรือตามความต้องการของเจ้าของเรือ	
f_B	=	ตัวคูณโหลด ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่พื้นที่ได้สัมผัสกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดการผุกร่อน ถ้าพื้นที่ได้สัมผัสกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดการผุกร่อนอย่างต่อเนื่อง ตัวคูณโหลดมีค่าเท่ากับ ๑ (สำหรับตัวเรือเหล็กอยู่ที่ระหว่าง ๐.๗ – ๐.๙๕)	
Q_g	=	ค่าความจุกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำอาโนด	หน่วย A-h/kg

๑๐.๔ รูปแบบการวางอาโนด

การวางอาโนดจะต้องวางให้ครอบคลุมพื้นที่และจะต้องไม่มีพื้นที่ที่ไม่ได้รับการปกป้องจากอาโนดแม้แต่ในพื้นที่ที่มีโครงสร้างซับซ้อน การวางจะต้องคำนึงถึงการเกิดไฟไหม้และการเกิดระเบิดเป็นสำคัญ

ด้วยการที่ระดับน้ำในถังมีความไม่คงที่ การวางอาโนดในถังน้ำ มักจะวางบริเวณส่วนล่างของถังซึ่งสัมผัสน้ำ ในกรณีที่อาโนดมีน้ำหนักเท่ากัน อาโนดขนาดเล็กหลายๆชิ้นมีการกระจายกระแสไฟฟ้าที่ดีกว่าอาโนดอันใหญ่ชิ้นเพียงเดียว การแบ่งอาโนดออกเป็นชิ้นเล็กๆหลายๆชิ้นสำหรับพื้นที่ภายในเรืออาจมีความจำเป็นทั้งนี้ให้พิจารณาเหตุผลเหล่านี้ประกอบ

- พื้นที่ที่ต้องการการปกป้องอาจเป็นพื้นที่แคบและอยู่ส่วนล่าง ทำให้อาโนดขนาดใหญ่เข้าไม่ถึง
- ความกังวลในการเกิดความไม่ต่อเนื่องของการปกป้องในพื้นที่ที่มีโครงสร้างซับซ้อน
- พื้นที่มีมีอุปกรณ์ที่ทำจากโลหะมีสกุล(โลหะที่ไม่เกิดการผุกร่อนหรือผุกร่อนได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับโลหะข้างเคียง) สามารถเกิดการผุกร่อนได้ง่าย การติดตั้งอาโนดบริเวณพื้นที่ดังกล่าวเป็นการเพิ่มการป้องกันการผุกร่อน

การเพิ่มขนาดน้ำหนักของอาโนดที่ได้จากการคำนวณสามารถกระทำได้ เนื่องจากเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ต้องการในการปกป้อง

อาโนดชนิดที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์ ไม่ควรติดตั้งในตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อการมีวัตถุตกใส่ ถ้าจะจำเป็นต้องในตำแหน่งดังกล่าวจะต้องมีการทำโครงสร้างป้องกันเอาไว้

๑๐.๕ การยึดอาโนด

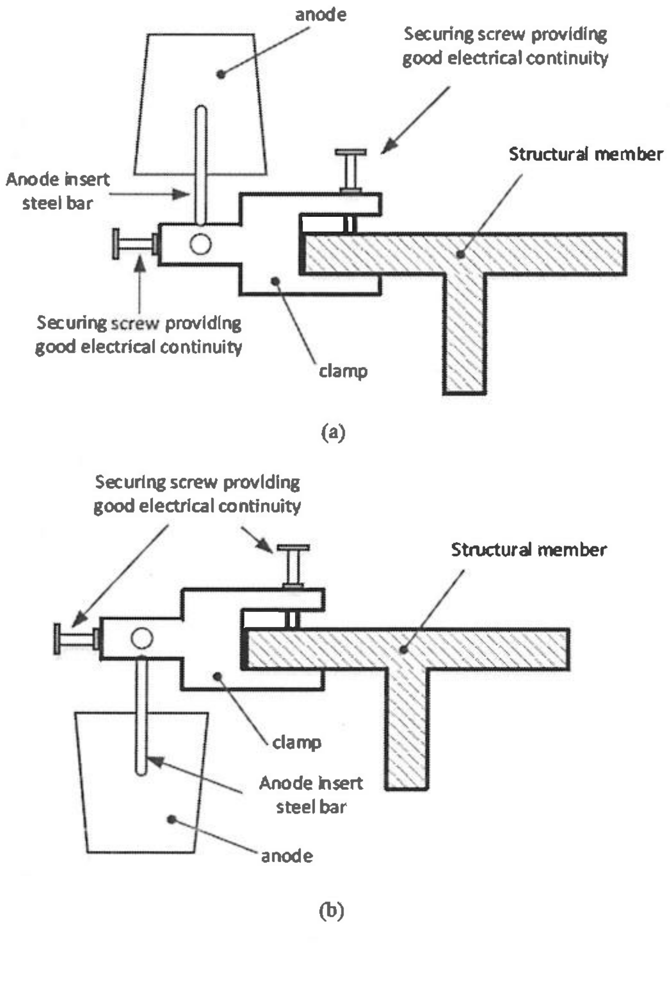
อาโนดควรยึดอยู่บนโครงสร้างของเรือ หรือตำแหน่งที่ตรงกับโครงสร้างในกรณีที่ต้องติดตั้งบนผนังกั้นน้ำ ไม่ควรยึดอยู่บนแผ่นเปลือกเรือโดยตรง เนื่องจากเหตุผลในการเคลื่อนตัวของอาโนด บริเวณปลายทั้งสองข้างของอาโนดไม่ควรยึดกับโครงสร้างที่แยกกัน และควรจะยึดอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน

ในกรณีที่แกนอาโนดหรือฐานรองรับ มีการเชื่อมเข้ากับโครงสร้างของเรือ จะต้องมีการปรับ บริเวณรอยเชื่อม หรือจุดที่มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเค้น ในกรณีที่มีการเชื่อมเข้ากับโครงสร้างที่ไม่สมมาตร แนวรอยเชื่อมจะต้องห่างจากขอบของเว็บ(web)อย่างน้อย ๒๕ มม.หรือ๑นิ้ว ในกรณีที่มีการเชื่อมเข้ากับโครงสร้างที่สมมาตร การเชื่อมสามารถทำบนเว็บ หรือจุดกึ่งกลางของหน้าแปลน(Flange) และจะต้องมีการตกแต่งแนวรอยเชื่อมให้เรียบร้อย แต่โดยปกติแล้วจะไม่เชื่อมอาโนดเข้ากับหน้าแปลนของเหล็กที่มีความแข็งแรงมากกว่า

เหล็กสอดแทรกสามารถร้อยสลักเข้ากับฐานสองฝั่งที่แยกจากกันได้ โดยฐานดังกล่าวจะต้องมีการเชื่อมแบบต่อเนื่องกับโครงสร้างของเรือ อาโนดสามารถยึดเข้ากับหน้าแปลนของโครงสร้างได้โดยการใช้สลักซึ่งมีลักษณะตามภาพที่ ๒ โดยจะต้องมีการตรวจวัดความต่อเนื่องของกระแสและศักย์ไฟฟ้า ณ จุดใดๆ ของส่วนยึดต่อ (clamp)ซึ่งจะต้องไม่ตกลงไปเกิน ๑๐% ของศักย์ระหว่างอาโนดและโครงสร้างตัวเรือตามที่ออกแบบไว้ โดยความต้านทานของส่วนยึดต่อไม่ควรเกิน ๐.๑ โอห์ม

ถังที่มีการติดตั้งอาโนดควรจะมีช่องระบายอากาศเพียงพอที่จะทำให้ไม่เกิดหลุมอากาศภายในถัง

ภาพที่ ๒ ลักษณะการติดตั้งอาโนดบนหน้าแปลนของโครงสร้าง



(a)

(b)

๑๐.๖ การทำสี

การทำสีในถังจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานหรือคำแนะนำของผู้ผลิตสี และ/หรือ กฎหรือข้อกำหนดของสมาคมจัดชั้นเรือ โดยการทำสีจะต้องไม่ส่งผลให้ระบบป้องกันการผุกร่อนเกิดความเสื่อมสภาพและจะต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบ (ถ้ามี)

๑๐.๗ ในช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานถัง

ถังน้ำถ่วงเรือควรมีการเติมน้ำเข้าไปให้เต็มหรือปล่อยให้ว่างในช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้งาน และจะต้องได้รับการป้องกันการผุกร่อนด้วยอาโนด

อาจมีการติดตั้งอาโนดในถังเพิ่มเติมจากที่ได้มีการออกแบบไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ เจ้าของเรือ แผนการซ่อมทำและบำรุงรักษา

<u>๑๑. การติดตั้งอาโนด</u>

ก่อนการติดตั้ง ควรมีการตรวจสอบน้ำหนัก มิติ ของอาโนด ให้ตรงตามข้อกำหนด และถ้าหากมีความเสียหายเกิดขึ้นกับตัวอาโนดจะต้องพิสูจน์ได้ว่าจะไม่กระทบกับการใช้งาน

ในกรณีที่เป็นอาโนดชนิดเชื่อมกับตัวเรือ แกนอาโนดที่ทำจากเหล็กควรได้รับการตรวจสอบว่าเป็นไปตามข้อมูลจำเพาะหรือไม่ ถ้าแกนอาโนดมีส่วนที่ต้องเชื่อมติดกับโครงสร้างตัวเรือ จะต้องตรวจสอบว่าวัสดุแกนอาโนดและวัสดุโครงสร้างตัวเรือสามารถเชื่อมกันได้หรือไม่

อาโนดที่เป็นชนิดแขวนควรจะติดตั้งหลังจากที่มีการปล่อยเรือลงน้ำไปแล้ว สายอาโนดควาามได้รับการตรวจสอบ ความแข็งแรง การตกของแรงคลื่นไฟฟ้าและการเชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับโครงสร้างตัวเรือ ถ้าหากใช้สายอาโนดที่เป็นชนิดแยกได้จากตัวอาโนด บริเวณปลายสายที่ต่อกับตัวอาโนดจะต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นจุดที่มักจะเกิดความเสียหายจากแรงดึง

การติดตั้งฐานอาโนดโดยใช้เทคนิคการแผ่นซ้อน(doubler plate) หรือแผ่นประกับจุดต่อ (gusset plate) ลงบนโครงสร้างรับเพลา เช่น โยงโย่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโครงสร้างนั้นมีน้ำหนักมากกว่า ๒๓๐ กิโลกรัม จะต้องมีการติดตั้งอาโนดและฐานลงบนโครงสร้างนั้นในคราวเดียวกัน ถ้าหากมีการติดอาโนดลงบนฐานที่มีการเชื่อมลงบนโครงสร้างแล้วในภายหลัง แผ่นฐานอาจเกิดความเสียหาย และอาจแก้ไขได้ยาก

หากมีการทำสีที่ฐานอาโนดหรือที่สายของอาโนดชนิดแขวน จะต้องการตรวจสอบการทำสีด้วยสายตาเป็นอย่างน้อย และซ่อมทำหากเกิดความเสียหาย

ตัวอย่างการคำนวณ

ต้องการติดตั้งอาโนดในเรือเหล็กที่มีพื้นที่ใต้แนวน้ำเท่ากับ ๖๐ ตารางเมตร ใบจักรมีพื้นที่ผิว ๑๐ ตารางเมตร ความเร็วปฏิบัติการ ๒๐ น็อต มีการเข้าซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำทุก ๓๖ สัปดาห์ เรือมีการทำสีตัวเรือใต้แนวน้ำและไม่มีระบบ Impress current cathodic protection(ICCP)

การพิจารณา

๑. พื้นที่ปฏิบัติงานคือ **น้ำทะเล** ดังนั้นควรใช้อาโนดประเภทที่จำจาก**สังกะสีหรืออะลูมิเนียม** อาโนดที่ทำจากแมกนีเซียมจะเหมาะสำหรับน้ำจืด

๒. แบ่งพื้นที่ตัวเรือออกเป็นส่วนๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาความต้องการกระแสในการปกป้อง ในกรณีนี้อาจแบ่งพื้นที่ตัวเรือใต้แนวน้ำได้ดังนี้

๒.๑ หัวเรือ ๕ ตารางเมตร

๒.๒ กลางลำ ๔๕ ตารางเมตร

๒.๓ ท้ายเรือ ๑๐ ตารางเมตร

๒.๔ ใบจักร ๑๐ ตารางเมตร

๓. ในกรณีที่ไม่มีระบบICCP การป้องกันการผุกร่อนตัวเรือจะใช้เพียงแค่กัลวานิกอาโนดควบคู่กับการทำสีเท่านั้น การไม่มีระบบICCPส่งผลให้ต้องติดตั้งกัลวานิกอาโนดมากขึ้นเพื่อชดเชยกระแสที่ต้องการในการปกป้อง

๔. คำนวณกระแสที่ต้องการในการปกป้องพื้นที่แต่ละส่วน สามารถกระทำได้ ๒ วิธี คือพิจารณาจากความเร็วปฏิบัติการของเรือ(ตารางที่ ๗) หรือ วงรอบในการเข้าซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำ(ตารางที่ ๘)

ลำดับ	รายการ	พื้นที่(m^2)	กระแสที่ต้องการต่อพื้นที่(mA/m^2)		กระแสที่ต้องการรวม(mA)	
			ตามความเร็ว	ตามวงรอบการซ่อมทำ	ตามความเร็ว	ตามวงรอบการซ่อมทำ
๑	หัวเรือ	๕	๒๘	๔๕	๑๔๐	**๒๒๕**
๒	กลางลำ	๔๕	๒๘	๔๕	๑,๒๖๐	**๒,๐๒๕**
๓	ท้ายเรือ	๑๐	๒๘	๔๕	๓๖๔	***๔๕๐**
๔	ใบจักร	๑๐	๕๐๐	-	**๕,๐๐๐**	-

การพิจารณาเลือกค่ากระแสที่ต้องการรวมในแต่ละพื้นที่อาจพิจารณาจากค่าที่มากที่สุด ในกรณีนี้จึงใช้ค่าตามวงรอบในการเข้าซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำ

*บริเวณท้ายเรือเป็นจุดที่มีส่วนประกอบของโลหะหลายชนิด ตามข้อ ๙.๒ ควรมีการเผื่อค่าความหนาแน่นของกระแสที่ต้องการอีก ๓๐% ส่งผลให้กระแสที่ต้องการรวมจริงมีค่าเท่ากับ **๕๘๕ mA**

๕.พิจารณาชนิดและขนาดของอาโนด

ลำดับ	รายการ	กระแสที่ต้องการ (mA)	วงรอบซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำ (ปี)	ค่าความจุกระแสไฟฟ้า (A-h/kg)		**น้ำหนักรวมน้อยสุดของอาโนด (kg)**	
				อะลูมิเนียม	สังกะสี	**อะลูมิเนียม**	สังกะสี
๑	หัวเรือ	๒๒๕	๓	๒๕๐๐	๗๘๐	**๒.๖๓**	**๘.๔๒**
๒	กลางลำ	๒๐๒๕	๓	๒๕๐๐	๗๘๐	**๒๓.๖๕**	**๗๕.๘๑**
๓	ท้ายเรือ	๕๘๕	๓	๒๕๐๐	๗๘๐	**๖.๘๓**	**๒๑.๙๐**
๔	ใบจักร	๕๐๐๐	๓	๒๕๐๐	๗๘๐	**๕๘.๔๐**	**๑๘๗.๑๘**

การคำนวณน้ำหนักรวมน้อยสุดของอาโนดที่ต้องการในการติดตั้งในพื้นที่ที่แบ่งไว้ สามารถใช้สมการในข้อ ๑๐.๓ ในการคำนวณได้ โดยหากมีการติดตั้งอาโนดตามน้ำหนักที่คำนวณได้ในพื้นที่ที่แบ่งไว้ พื้นที่ดังกล่าวจะได้รับการป้องกันการผุกร่อนจากกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาจากอาโนดเท่ากับค่ากระแสที่ต้องการ

การพิจารณาชนิดและขนาดของอาโนด ควรคำนึงถึงการกระจายตัวของอาโนด การกระจายตัวที่มากส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปกป้องที่ดียิ่งขึ้น น้ำหนักรวมของอาโนดในบริเวณที่ติดตั้งจำเป็นต้องเหมาะสมกับพื้นที่และต้องไม่ก่อให้เกิดความเค้นในโครงสร้างของเรือมากเกินไป

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณนี้ อาจใช้การติดตั้ง**อาโนดชนิดสังกะสีที่บริเวณ หัวเรือ กลางลำและท้ายเรือ** เนื่องจากการติดตั้งอาโนดสังกะสีตามขนาดน้ำหนักรวมที่คำนวณได้อาจมีการกระจายตัวที่มากกว่าการติดตั้งอาโนดชนิดอะลูมิเนียม ในทางตรงกันข้าม **การติดตั้งอาโนดสำหรับปกป้องใบจักรเรืออาจเลือกใช้อาโนดชนิดอะลูมิเนียม**ซึ่งมีน้ำหนักรวมเบากว่าอาโนดชนิดสังกะสี ซึ่งส่งผลให้เกิดความเค้นในโครงสร้างเรือน้อยกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและลักษณะพื้นที่ในการติดตั้ง

<u>การแจกจ่าย</u>

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
กพช.อร.		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	5	
กคภ.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอจ.กผช.อร.	1	
กอฟ.กผช.อร.	1	
อธบ.อร.		
กผป.อธบ.อร.	1	
กงน.อธบ.อร.	1	
อจปร.อร.		
ห้องสมุด อจปร.อร.	3	
กพ.อจปร.อร.		
คป.อจปร.อร.		
กผป.อจปร.อร.	1	
กพห.อจปร.อร.		
กอบ.อจปร.อร.	1	
กพด.อจปร.อร.	1	
กคภ.อจปร.อร.	1	
กซส.อจปร.อร.		
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.	1	
กบก.อจปร.อร.		

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
อรม.อร.		
กจก.อรม.อร.	1	
กพ.อรม.อร.	1	
กบ.อรม.อร.	1	
กผป.อรม.อร.	1	
กคภ.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กฟฟ.อรม.อร.	1	
กสน.อรม.อร.		
กพด.อรม.อร.		
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สข.		
กงน.ฐท.สข.	1	
ฐท.พง.		
กงน.ฐท.พง.	1	