

**PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ BẤT ĐỊNH
LÊN ĐỘ BỀN TỚI HẠN CỦA TÀU**
METHOD OF ASSESSMENT THE EFFECT OF UNCERTAINTIES ON THE HULL
GIRDER ULTIMATE STRENGTH

VŨ VĂN TUYẾN^{1*}, LÊ VĂN HẠNH¹, ĐỖ QUANG THẮNG²

¹Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Kỹ thuật giao thông, Trường Đại học Nha Trang

*Email liên hệ: tuyenvv.dt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Kết cấu tàu và công trình biển đang khai thác luôn chứa đựng nhiều yếu tố làm ảnh hưởng đến độ bền như ăn mòn, biến dạng, ứng suất dư, vết nứt, vết lõm lồi, ... Việc đánh giá ảnh hưởng của những yếu tố này đến độ bền tới hạn của kết cấu thân tàu là một đòi hỏi mang tính chất thời sự vì nó liên quan đến sinh mạng của đoàn thủy thủ, tổn thất về tàu, về hàng hóa, ô nhiễm môi trường biển. Bài báo này sẽ đề xuất một số giải pháp dựa trên phương pháp xác định mô men chống uốn tới hạn của các tác giả Paik và Mansour (1995) để đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu, ứng suất dư và ăn mòn đến độ bền tới hạn của tàu.

Từ khóa: Độ bền tới hạn, kết cấu thân tàu, ăn mòn, biến dạng ban đầu, ứng suất dư.

Abstract

Ship and offshore structures always consist of several uncertain factors that influence significantly on the hull girder ultimate strength such as corrosion, deformations, residual stresses, fatigue cracks, and dents, etc... The assessment of the above-mentioned factors on the hull girder ultimate strength is an essential demand because of the correlation in life of crews, loss of ship structures, loss of cargo, and ocean environmental pollution. This paper will propose several solutions based on a method of ultimate bending moment determination suggested by Paik and Mansour (1995), to evaluate the effect of initial deformations, residual stresses, and general corrosion on the hull girder ultimate strength.

Keywords: Ultimate strength, hull structure, corrosion, initial deformation, residual stress.

1. Tổng quan

Việc xác định độ bền tới hạn của thân tàu nhằm đánh giá khả năng đi biển của tàu. Việc làm này có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm thiểu những rủi ro như hư hỏng kết cấu hoặc gãy tàu khi độ bền thân tàu không đảm bảo. Độ bền của thân tàu thường bị sụt giảm theo thời gian, đặc biệt là những tàu có tuổi đời khai thác lớn và những tàu khai thác trong điều kiện khắc nghiệt về môi trường biển, về tải trọng, về hàng hóa và các chế độ bảo dưỡng sửa chữa không đảm bảo. Ngoài ra, những yếu tố tồn tại trên kết cấu thân tàu cũng là nguyên nhân suy giảm về độ bền của tàu như các biến dạng ban đầu, ứng suất dư tại các vị trí hàn kết cấu và tôn vò, ăn mòn trên kết cấu thân tàu.

Nhiều nghiên cứu đi sâu vào phân tích, đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu và ứng suất dư đến độ bền dọc và ngang chung của thân tàu. Dow (1981) [1] và các cộng sự đã tiến hành đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu và ứng suất dư lên độ bền dọc tới hạn của tàu chiến trong trường hợp tải trọng tĩnh và tải trọng động (gây ra do hiện tượng slamming hoặc các va chạm). Gannon (2002) [2] và các cộng sự sử dụng phương pháp Smith để phân tích ảnh hưởng của hai yếu tố trên đến độ bền dọc và ngang tới hạn của hình hộp có kết cấu dạng tàu. Trong khi đó, Gao (2013) [3] và các cộng sự đã đề xuất một phương pháp để đánh giá độ bền tới hạn của thân tàu dựa trên phương pháp phân tử hữu hạn phi tuyến. Phương pháp này đã được vận dụng để đánh giá ảnh hưởng của các khuyết tật ban đầu lên năm nhóm tàu khác nhau. Một nghiên cứu khác của nhóm tác giả Lillemae (2014) [4] và các cộng sự tập trung vào ảnh hưởng của biến dạng ban đầu của tôn vùng thượng (tôn dày 3 mm) tới độ bền thân tàu khách du lịch nhiều tầng boong.

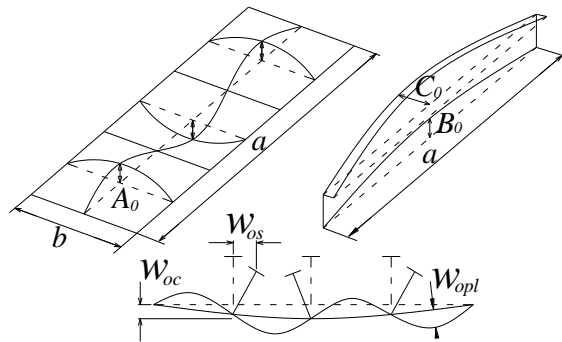
Về ảnh hưởng của ăn mòn đến độ bền kết cấu thân tàu, Ikeda (2001) [5] và các cộng sự đã sử dụng tàu dầu mạn đơn để nghiên cứu vấn đề này. Nhóm tác giả này đã sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn và phương pháp Smith để đánh giá ảnh hưởng của ăn mòn chung lên độ bền dọc tới hạn của tàu. Paik (2002; 2003) và các cộng sự đã vận dụng phương pháp phân tích tiến trình hư hỏng của kết cấu tàu thủy [6] và phương pháp phân tử hữu hạn phi tuyến [7] để phân tích sự tác động của ăn mòn và vết nứt trên kết cấu thân tàu tới độ bền tới hạn, mô men chống uốn của mặt cắt ngang. Trong các nghiên cứu của nhóm tác giả Kim (2012; 2014a; 2014b) và các cộng sự, chương trình ALPS/HULL đã được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của ăn mòn đến độ bền của

tấm có nếp gia cường và độ bền tới hạn của thân tàu cho bốn tàu dầu mạn kép (VLCC, Suezmax, Afamax, Pramax) [8, 9] và kho chứa và lọc dầu thô (FPSO) [10]. Bên cạnh đó, chủng loại tàu container cũng được lựa chọn để đánh giá ảnh hưởng của ăn mòn đến độ bền dọc và độ bền xoắn của thân tàu như trong các nghiên cứu của Cui (2015; 2017) [11, 12] và các cộng sự.

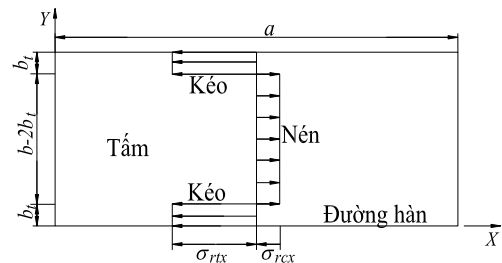
Các nghiên cứu được giới thiệu ở trên chủ yếu vận dụng phương pháp phần tử hữu hạn phi tuyến thông qua các phần mềm trên máy tính. Khi đó yếu tố biến dạng ban đầu và ăn mòn được mô hình hóa trực tiếp trên chi tiết kết cấu của tàu. Ngoài ra, các phương pháp khác chỉ đánh giá độc lập ảnh hưởng của các yếu tố bất định trong bài toán kiểm tra bền kết cấu thân tàu. Vì vậy bài báo này đề xuất một số giải pháp dựa trên phương pháp xác định mô men chống uốn tới hạn của các tác giả Paik và Mansour (1995) [14] có thể đánh giá ảnh hưởng một cách độc lập hoặc kết hợp các yếu tố bất định bao gồm biến dạng ban đầu, ứng suất dư và ăn mòn chung tới độ bền tới hạn của kết cấu thân tàu.

2. Yếu tố bất định

Biến dạng ban đầu trên kết cấu thân tàu vỏ thép là do kết quả của các quá trình gia công, lắp ráp và hàn kết cấu này với nhau hình thành thân tàu, việc bốc xếp vận chuyển cũng như do quá trình nhiệt luyện thép. Các biến dạng được chia thành 3 nhóm bao gồm: biến dạng của tấm tôn nằm giữa các cơ cấu (W_{opl}), biến dạng của các cơ cấu (W_{oc}) và độ lệch của cơ cấu so với vị trí ban đầu (W_{os}) (xem Hình 1). Các nghiên cứu thực tế đã tổng kết và phân mức độ biến dạng thành ba mức là mức nhỏ, mức vừa và mức lớn với các giá trị biến dạng lớn nhất được thể hiện như trong Bảng 1.



Hình 1. Biến dạng ban đầu



Hình 2. Ứng suất dư trên kết cấu thân tàu

Ứng suất dư tồn tại xung quanh đường hàn nối các chi tiết kết cấu là do nhiệt lượng sinh ra trong quá trình hàn, do sự không đồng chất của vật liệu cũng như các yếu tố tác động khi làm nguội. Trên thực tế, ứng suất dư bao gồm: ứng suất dư trên tấm tôn nằm giữa các cơ cấu, ứng suất dư trên bản thành của cơ cấu, và sự mềm hóa trong vùng ảnh hưởng nhiệt (xem Hình 2). Các ứng suất dư này cũng được phân thành ba mức độ khác nhau như trong Bảng 2.

Bảng 1. Giá trị lớn nhất của các biến dạng ban đầu

Mức độ	A_0 / mm	B_0 / mm	C_0 / mm
Nhỏ	$0,025\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$
Vừa	$0,100\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$
Lớn	$0,300\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$

Bảng 2. Ứng suất dư trên kết cấu thân tàu

Mức độ	σ_{rcx} / MPa	σ_{rtx} / MPa
Nhỏ	$-0,05\sigma_y$	σ_y
Vừa	$-0,15\sigma_y$	σ_y
Lớn	$-0,30\sigma_y$	σ_y

- Trong đó:
- a là chiều dài tấm;
 - b là chiều rộng tấm tôn;
 - t là chiều dày tấm tôn;
 - β là tỉ lệ độ mảnh của tấm;
 - A_0, B_0, C_0 lần lượt là các giá trị lớn nhất của các biến dạng kể trên;
 - b_1 là chiều rộng vùng ứng suất dư chịu kéo; σ_{rcx} là ứng suất dư của vùng chịu nén;
 - σ_{rtx} là ứng suất dư của vùng chịu kéo;
 - σ_y là ứng suất chảy dẻo của vật liệu.

Ăn mòn xuất hiện trên các kết cấu tàu là do nhiều yếu tố có thể kể đến như hệ thống bảo vệ chống ăn mòn, loại hàng hóa chuyên chở, nhiệt độ, độ ẩm, độ pH hoặc các thành phần hóa học,...

Tùy theo môi trường làm việc cụ thể của từng vùng kết cấu của tàu, các dạng ăn mòn xuất hiện cũng khác nhau như ăn mòn đều (general corrosion), ăn mòn điểm (pitting corrosion), ăn mòn rãnh (grooving corrosion), ăn mòn khe hở (crevice corrosion), ăn mòn điện hóa (galvanic corrosion), ăn mòn do mài mòn (erosion corrosion), ăn mòn do xâm thực (cavitation), ăn mòn do ứng suất (stress corrosion) và ăn mòn do mỏi (fatigue corrosion),... Trong các dạng ăn mòn kể trên thì ăn mòn chung là phổ biến nhất. Ăn mòn chung được thể hiện thông qua các mô hình ăn mòn do các nhóm tác giả và các nhà nghiên cứu công bố. Trong nghiên cứu này, tác giả áp dụng mô hình ăn mòn của tác giả Paik và các cộng sự do mô hình này được thiết lập dựa trên dữ liệu thống kê về ăn mòn của nhóm tàu hàng và tàu dầu. Các thông số tỉ lệ ăn mòn, $r(t)$, và chiều dày ăn mòn, $d(t)$, được xác định qua các công thức sau:

$$r(t) = C_1 \quad (1)$$

$$d(t) = C_1(t - T_0)C_2 \quad (2)$$

Trong đó: t là số năm khai thác của tàu (tuổi của tàu);
 T_0 là thời gian lớp sơn chống gỉ vẫn còn tác dụng;
 C_1 là tỉ lệ ăn mòn hàng năm; C_2 là hệ số ($C_2=1$).

3. Phương pháp Paik và Mansour (1995)

3.1. Phương pháp xác định mô men chống uốn tới hạn của thân tàu

Trong nghiên cứu trước của tác giả [13], phương pháp Paik và Mansour (1995) [14] được giới thiệu và vận dụng để xác định mô men chống uốn tới hạn của thân tàu. Bài báo sẽ vận dụng phương pháp này và đề xuất một số điều chỉnh để có thể đưa yếu tố khuyết tật ban đầu và ăn mòn vào.

3.2 Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố bất định lên độ bền dọc chung tới hạn

Đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu và ứng suất dư:

Chiều rộng hữu dụng của mép kèm (b_e) của các phần tử kết cấu có mép kèm trên mặt cắt ngang được sử dụng thay thế cho chiều rộng mép kèm (b) ban đầu thông qua công thức sau:

$$\frac{b_e}{b} = \frac{\sigma_{xav} + \sigma_{rx}}{\sigma_{max}} \quad (3)$$

Trong đó: σ_{xav} giá trị trung bình của ứng suất nén dọc trục;
 σ_{rx} là ứng suất dư trên tấm tôn.

Khi ứng suất nén dọc trục lớn nhất (σ_{max}) bằng với ứng suất chảy dẻo của vật liệu (σ_{yp}) tại vị trí $y = b_t$ hoặc $y = b - b_t$ (xem Hình 2) thì ứng suất nén (σ_{xav}) sẽ đạt ứng suất tới hạn (σ_{xu}).

$$\sigma_{max} = \sigma_{xav} + \sigma_{rx} - \frac{m^2 \pi^2 E}{8a^2} (w_{pl}^2 - w_{opl}^2) \cos\left(\frac{2\pi b_t}{b}\right) \quad (4)$$

$$\frac{2b_t}{b} = \frac{\sigma_{rcx}}{\sigma_{rcx} - \sigma_{rtx}} \quad (5)$$

Trong đó: m là số trạng thái của sóng biến dạng của tấm;
 E là mô đun đàn hồi của vật liệu; w_{pl} là biến dạng của tấm.

Đánh giá ảnh hưởng của ăn mòn:

Để đánh giá được ảnh hưởng của ăn mòn lên độ bền kết cấu thân tàu thông qua mô men uốn tới hạn thì chiều dày ăn mòn, $d(t)$, được đưa vào các thông số về chiều dày của tấm mép kèm (t_p), tấm bản thành cơ cấu (t_w), và tấm bản cánh cơ cấu (t_f) theo các công thức sau:

$$t_p = t_{p0} - C_1(t - T_0)C_2 \quad (6)$$

$$t_w = t_{w0} - C_1(t - T_0)C_2 \quad (7)$$

$$t_f = t_{f0} - C_1(t - T_0)C_2 \quad (8)$$

Trong đó: t_{p0} là chiều dày ban đầu của tấm mép kèm;
 t_{w0} là chiều dày ban đầu của tấm bản thành;
 t_{f0} là chiều dày ban đầu của tấm bản cánh.

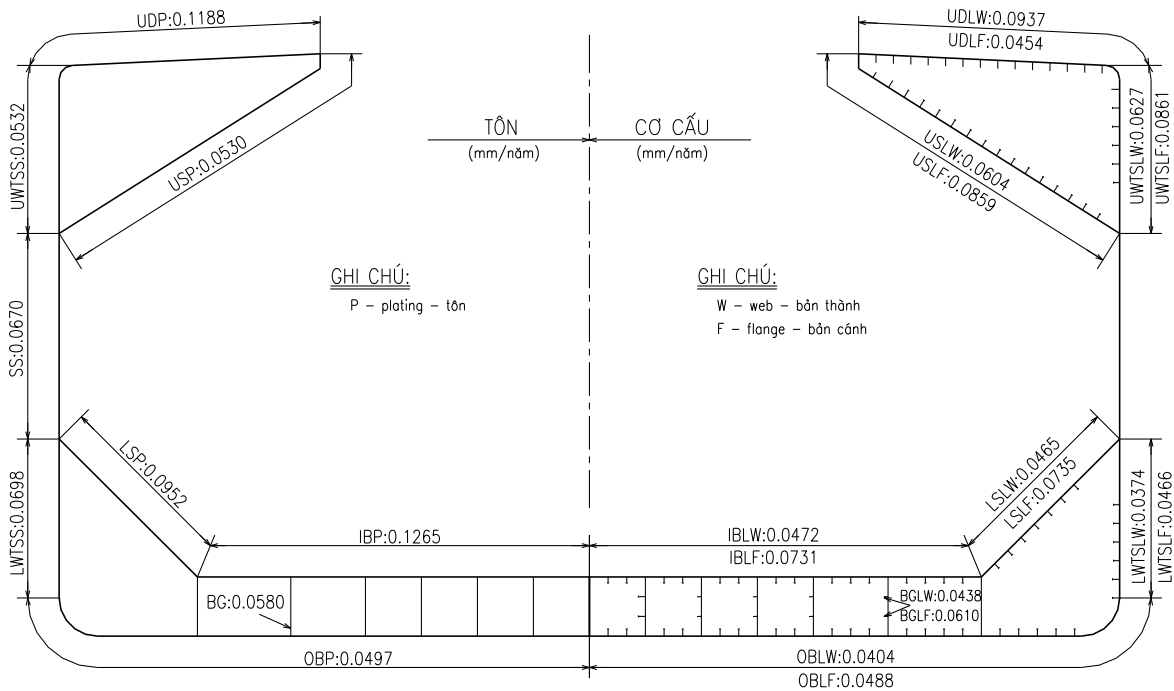
4. Áp dụng

4.1. Lựa chọn tàu

Bài báo lựa chọn tàu chở hàng rời như đã giới thiệu trong nghiên cứu trước của tác giả [13]. Hình 3 thể hiện tỉ lệ ăn mòn hàng năm của các nhóm chi tiết kết cấu trong mặt cắt ngang thân tàu.

4.2. Kết quả mô men chống uốn dọc chung tới hạn của tàu

Mô men chống uốn tới hạn cho tàu hàng rời đã được tính toán cho trường hợp tàu trên đỉnh sóng (M_{uh}) và tàu trên đáy sóng (M_{us}) như các bảng dưới đây. Bảng 3 thể hiện mô men cho trường hợp kết cấu của tàu là nguyên vẹn (không chứa khuyết tật ban đầu và ăn mòn). Bảng 4 diễn tả các giá trị mô men khi kết cấu thân tàu tồn tại các khuyết tật ban đầu (bao gồm biến dạng ban đầu và ứng suất dư) với các mức độ khác nhau như nhỏ, vừa và lớn. Trong khi đó, Bảng 5 minh họa kết quả tính toán mô men cho trường hợp kết cấu thân tàu chỉ chịu tác động của ăn mòn và trường hợp kết cấu thân tàu vừa chịu tác động của ăn mòn vừa chịu tác động của khuyết tật ban đầu. Kết quả tính toán dưới đây phù hợp với giả thuyết kết cấu thân tàu sẽ bắt đầu ăn mòn từ năm thứ 6 tính từ lúc bắt đầu đưa vào khai thác.



Hình 3. Tỷ lệ ăn mòn của các nhóm chi tiết kết cấu tàu chở hàng rời (mức độ: vừa)

Bảng 3. Mô men chống uốn tới hạn Trường hợp kết cấu nguyên vẹn

Mô men	Nguyên vẹn
$M_{uh}, MN.m$	19266
$M_{us}, MN.m$	17984

Bảng 4. Mô men chống uốn tới hạn Trường hợp kết cấu có khuyết tật ban đầu

Mô men	Khuyết tật ban đầu		
	Nhẹ	Vừa	Lớn
$M_{uh}, MN.m$	19213	19217	19226
$M_{us}, MN.m$	17941	17944	17951

Bảng 5. Mô men chống uốn tới hạn Trường hợp kết cấu chứa ăn mòn hoặc ăn mòn kết hợp khuyết tật ban đầu

Mô men	Yếu tố	Tuổi của tàu (năm)										
		1÷5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M_{uh} ($MN.m$)	Ăn mòn	19266	19203	19188	19141	19063	18985	18907	18828	18750	18672	18594
	Ăn mòn + Khuyết tật (nhẹ)	19213	19198	19183	19136	19057	18978	18900	18821	18742	18664	18585
	Ăn mòn + Khuyết tật (vừa)	19217	18671	18656	18608	18527	18447	18366	18286	18205	18125	18044
	Ăn mòn + Khuyết tật (lớn)	19226	16798	16779	16726	16639	16552	16464	16377	16290	16203	16116
M_{us} ($MN.m$)	Ăn mòn	17984	17905	17895	17853	17779	17705	17631	17558	17484	17410	17336
	Ăn mòn + Khuyết tật (nhẹ)	17941	17929	17919	17876	17802	17727	17653	17579	17504	17430	17356
	Ăn mòn + Khuyết tật (vừa)	17944	17436	17425	17381	17305	17229	17153	17077	17001	16925	16849
	Ăn mòn + Khuyết tật (lớn)	17951	15770	15756	15708	15627	15546	15466	15385	15304	15223	15142

5. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu và đề xuất một số giải pháp để đánh giá ảnh hưởng của khuyết tật ban đầu và ăn mòn tới độ bền tới hạn của tàu thông qua mô men chống uốn tới hạn. Các yếu tố này có thể được đánh giá một cách độc lập hoặc kết hợp các yếu tố. Phương pháp xác định mô men chống uốn tới hạn có gắn với các yếu tố bất định đã được áp dụng vào tàu hàng rời với kết quả mô men chống uốn tới hạn như trong các Bảng 3 ÷ 5.

Với các đề xuất trong bài báo, việc đánh giá ảnh hưởng các yếu tố bất định (biến dạng ban đầu, ứng suất dư và ăn mòn) tới độ bền tới hạn của tàu là khả thi. Đây cũng là hướng phát triển tiếp theo của nghiên cứu nhằm đánh giá một cách cụ thể các tác động của các yếu tố này lên độ bền tới hạn của nhiều chủng loại tàu khác nhau.

Kết quả nghiên cứu của bài báo đóng vai trò quan trọng trong việc xác định độ bền tới hạn của các tàu đang khai thác khi kết cấu thân tàu tồn tại các yếu tố gây ảnh hưởng xấu tới độ bền. Trên cơ sở đánh giá độ bền tới hạn, chủ tàu sẽ có những điều chỉnh trong kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa hoặc có những can thiệp trong kế hoạch khai thác để đảm bảo an toàn cho tàu, cho hàng hóa, cho đoàn thủy thủ và cho môi trường biển. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu còn làm căn cứ cho các bài toán khác liên quan đến kết cấu thân tàu như bài toán rủi ro, bài toán độ tin cậy của kết cấu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dow R.S., Hugill R.C., Clark J.D., and Smith C.S., *Evaluation of ultimate ship hull strength*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), pp. 133-148, 1981.
- [2] Gannon L., Liu Y., Pegg N., and Smith M.J., *Effect of welding-induced residual stress and distortion on ship hull girder ultimate strength*. Marine Structures. Vol. 28 (1): pp. 25-49, 2012.
- [3] Gao B.G., Deng Y.C., and Yang S.Q., *A Method Based on Non-Linear FEM for ultimate limit state assessment of ship hull girders*. International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE), Chengdu, Sichuan, China, pp. 524-528, 2013.
- [4] Lillemae I., Remes H., and Romanoff J., *Influence of initial distortion of 3 mm thin superstructure decks on hull girder response for fatigue assessment*. Marine Structures. Vol. 37: pp. 203-218, 2014.
- [5] Ikeda A., Yao T., Kitamura O., Yamamoto N., Yoneda M., and Ohtsubo H., *Assessment of ultimate longitudinal strength of aged tankers*. Proceedings of the 18th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Vol. 2: pp. 997-1003, 2001.
- [6] Paik J.K. and Thayamballi A.K., *Ultimate strength of aging ships*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. Vol. 216 (1): pp. 57-77, 2002.
- [7] Paik J.K., Lee J.M., Park Y.I., Hwang J.S., and Kim C.W., *Time-variant ultimate longitudinal strength of corroded bulk carriers*. Marine Structures, Vol.16 (8): pp. 567-600, 2003.
- [8] Kim D.K., Park D.K., Park D.H., Kim H.B., Kim B.J., Seo J.K., and Paik J.K., *Effect of corrosion on the ultimate strength of double hull oil tankers - Part II: hull girders*. Structural Engineering and Mechanics. Vol. 42(4): pp. 531-549, 2012.
- [9] Kim D.K., Kim H.B., Zhang X.M., Li C.G., and Paik J.K., *Ultimate strength performance of tankers associated with industry corrosion addition practices*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 6 (3): pp. 507-528, 2014.
- [10] Kim D.K., Liew M.S., Youssef S.A.M., Mohd M.H., Kim H.B., and Paik J.K., *Time-dependent ultimate strength performance of corroded FPSOs*. Arabian Journal for Science and Engineering. Vol. 39(11): pp. 7673-7690, 2014.
- [11] Cui J., D. Wang and Ma N., *Container ship ultimate strength subject to combined bending and torsional moments considering corrosion effects*. International Ocean and Polar Engineering Conference, Vol. 4: pp. 1129-1134, 2015.
- [12] Cui J.J., Wang D.Y., and Ma N., *A study of container ship structures' ultimate strength under corrosion effects*. Ocean Engineering, Vol. 130: pp. 454-470, 2017.
- [13] Vũ Văn Tuyển and Nguyễn Thị Thu Quỳnh, *Tính toán mô men chống uốn dọc tới hạn của kết cấu thân tàu bằng phương pháp phân bố ứng suất*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 57(01/2019): tr. 59-62, 2019.
- [14] Paik J.K. and Mansour A.E., *A simple formulation for predicting the ultimate strength of ships*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 1 (1): pp. 52-62, 1995.

Ngày nhận bài: 12/11/2019
 Ngày nhận bản sửa: 18/12/2019
 Ngày duyệt đăng: 07/01/2020