

# 선박해양구조물의 최종강도 해석용 프로그램 ALPS 적용사례

## ALPS Ultimate limit state assessment of ships and offshore structure

서정관\*  
Seo, Jung-Kwan

백점기\*\*  
Paik, Jeom-Kee

---

### ABSTRACT

It is now well recognized that the ultimate limit state approach is a much better basis for design and strength assessment of ships and offshore structures since it is difficult to determine the realistic margin of safety using the traditional allowable working stress approach on the basis of linear elastic method solutions together with buckling strengthchecks adjusted by a simple plasticity correction. This paper outlines ALPS theory for ultimate limit state assessment of ship structures. ALPS is a computer software which stands for nonlinear Analysis of Large Plated Structures. Application examples of ALPS program to ultimate limit state assessment of plates, stiffened panels and ship hull girders are presented. A benchmark study is made by a comparison with the ALPS solutions with other methods including class rule formulae, nonlinear finite element methods and experimental results. Future trends on ultimate limit state assessment of ship structures are address[1]

---

### 1. 서론

현재의 에너지 및 물동량의 꾸준한 증가로 인해 보다 많은 에너지 및 물류수송이 바다에서 이루어지고 있고, 이에 선박 및 해양구조물은 보다 극한 환경에서의 운항 및 설치가 불가피하게 되어지는게 현실이다. 이에 선박 및 해양구조물에서 안전한 설계를 위해서는 구조적인 안전한 설계가 이루어져야한다. 최근의 설계 방법에는 기존의 허용응력 설계에서 극한상태 설계방법으로 바뀌어지고 있고 실제 각종 선급 및 안전기구에 서는 극한상태설계를 의무화 하고 있다.

본 연구에서는 이러한 극한상태에서 운항하는 선박과 해양구조물의 최종강도설계(ULS)기법[2]을 이용하여 구조물을 설계하는 기본이되는 프로그램인 ALPS/ULSAP[3]과 ALPS.HULL[4]의 적용사례를 소개 할 것이다. ALPS( nonlinear Analysis of Larfe Plated Structures)프로그램이고 ALPS/ULSAP과 ALPS/HULL은 의 프로그램은 비선형 유한요소해석과 선급물 및 실험 결과등을 비교한 검증하고[5]-[13], 최적화설계 및 유한 요소해석이 가능한 Mestro[14]에 모듈화하여 이를 이용하여 실제의 선박 및 해양구조물을 한계상태 설계에 적용 시켜 보았다.

---

\* 부산대학교 생산기술연구소 전임연구원

\*\* 부산대학교 조선해양공학과 교수

## 2. ALPS/ULSAP

최근, 선체구조의 설계 및 강도평가를 과거의 경험을 바탕으로 한 허용응력(Allowable Stress)을 기준하는 것보다 한계상태를 기준으로 하는 것이 보다 합리적이라는 사실이 널리 알려졌다[1]. 한계상태란 구조물이 설계시 계획된 기능을 상실하여 더 이상 기능수행을 할 수 없는 상태를 말하며, 최종강도 해석이란 큰 외력을 받아 구조부재에 좌굴 및 소성붕괴가 발생하여 강성과 강도가 급격하게 감소하여 전체적으로 붕괴하는 최종한계상태를 규명하는 것이다

ALPS/ULSAP(Ultimate Limit State Assessment Program of welded steel of aluminum stiffened panels under combines in-plane and lateral pressure loads at quasi-static or impact action situation)의 약자이고 재료적으로는 알루미늄과 철을 대상으로 해석하고 하중은 각종 종압축력, 횡압축력, 인장력, 전단력 그리고 횡압력에 대해서 복잡한 하중상태를 고려하여 해석할 수 있다 또한 판 및 보강재의 초기결합의 영향에 대한 최종강도에 미치는 영향에 대해서 초기처짐과 잔류응력에 대한 고려 또한 가능하여 실제적으로 실제 대상구조물의 상태를 효과적으로 고려할 수 있다. 또한 노후화된 선박에서 있는 결합에대한 영향으로 고려하여 계산할 수 있다. 또한 정적인 하중이외에도 고려 가능한 충격압력상태의 선박의 구조부재들에 대한 강도를 계산할 수 있다[23].

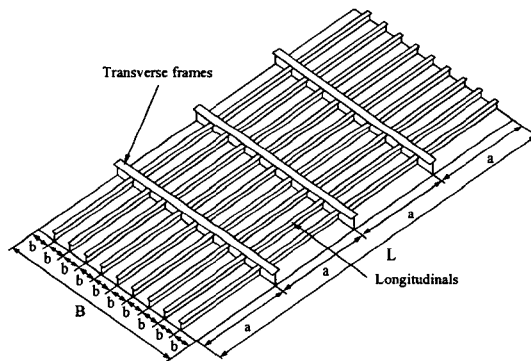


Figure 1 A cross-stiffened panel considered for ULS assessment by ALPS/ULSAP

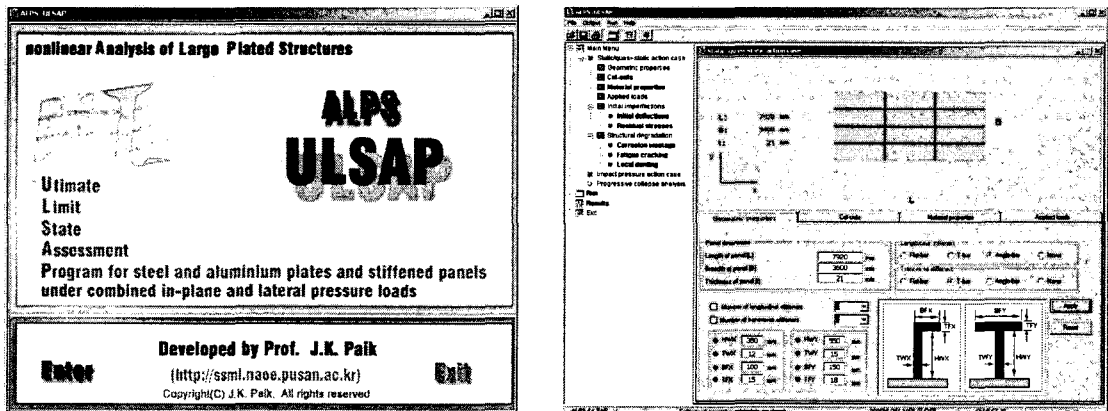


Figure 2 Front and second pages of the GUI-based pre-processor of ALPS/ULSAP (version 2005.5)

그림 1은 선박의 대표적으로 선박의 갑판부, 선측, 선저내판의 일반적인 구조형태를 보여주고 있다. 이러한 판과 보강판 구조를 ULSAP을 이용하여 해석할 수 있다 그림2는 ULSAP의 초기화면 및 대상의 구조를 설계자가 사용하기 쉬운 GUI환경으로 전처리과정이 프로그램화 되어있다.

### 3. ALPS/HULL

점진적 붕괴거동은 일반적인 비선형 유한요소 프로그램을 사용하여 규명할 수가 있으나, 선체구조와 같이 비교적 큰 대상을 해석하기 위해서는 엄청난 해석시간과 비용이 요구되어진다. 이러한 단점을 해결하기 위해 대상구조를 이산화 시킬 때, 크기가 매우 큰 구조요소(이상화구조요소)를 사용함으로써, 자유도수를 줄여 효과적으로 해석하는 방법이 제안되었으며, 여러 가지의 이상화구조요소가 개발되었다. 이들 이상화구조요소를 사용하여 대상구조를 모델링할 때, 해석자가 어떤 모델링 기법을 사용하는가에 따라 생성된 구조해석 모델은 상이할 수 있다. 본 연구에서는 이상화구조요소를 사용하는 ALPS/HULL 프로그램의 3가지 이상화구조요소를 사용하여 선체구조를 모델링하는 기법을 고찰하고 가장 합리적인 모델링 기법을 제안하였다 [15]-[19]. 또한 제안된 모델링 기법의 신뢰성 및 적용성 검증을 위해 실제 선박의 1/3크기의 구조모형 실험 결과와 제안된 모델링 기법으로 해석한 결과를 비교하였다.

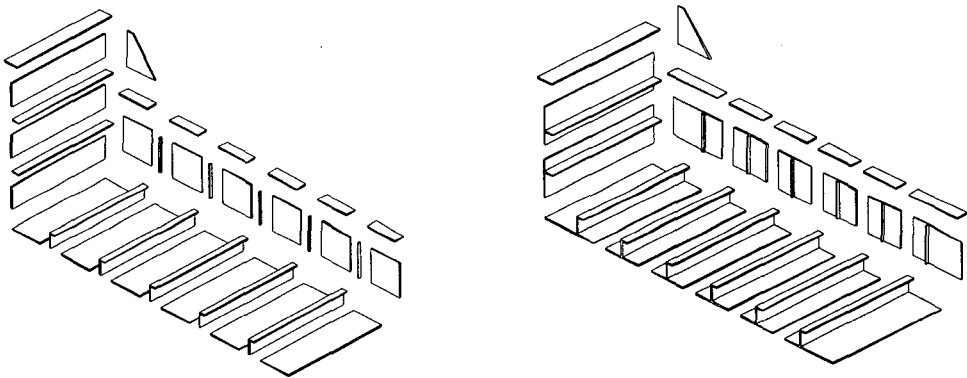


Figure 3: ALPS/HULL sample modeling for a stiffened plate structure as an assembly of plate-stiffener separation units (left) or plate-stiffener combination units (right) [2]

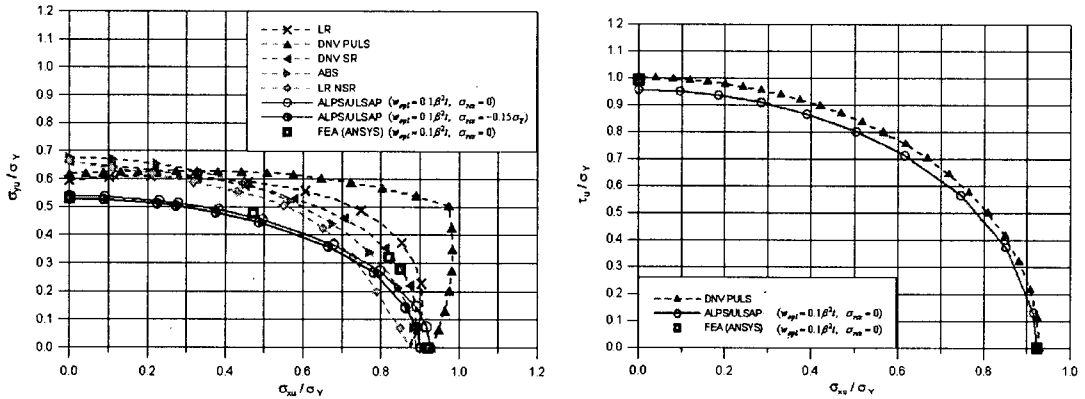
그림 3은 일반적인 강판구조를 이상화구조요소를 사용하여 모델링한 대표적인 모습을 보여주고 있다. 보강판요소와 보-기둥요소를 사용하여 아주 간단하게 모델링할 수 있다. Figure 3오른쪽의 경우는 판-보강재의 조합으로 이상화된 보-기둥요소만으로 모델링하는 비교적 잘 알려진 기법으로 보강재가 상대적으로 약하거나 또는 너무 튼튼할 경우에는 적절하지 못한 방법으로 알려져 있다. 이러한 경우 Fig.3의 왼쪽과 같이 판부분과 보강재부분을 분리하여 모델링하는 것이 바람직할 것이다.

ALPS/HULL 프로그램에서는, 상기와 같이 다양한 모델링이 가능하도록 총 3가지의 이상화요소(판요소, 보강판요소, 보-기둥요소)를 사용하고 있다. 그러나 모델링기법이 최종 종강도에 미치는 영향을 고려하지 않은 다양한 모델링은 합리적인 강도평가의 기준으로 활용되어질 수 없을 것이다. ALPS/HULL은 이러한 검증과를 거쳐 판과 보강판을 분리하는 합리적인 모델링 기법을 이용하여 이상화구조모델을 적용하였다.

## 4. ALPS 사례적용

### 4.1 Ultimate strength of unstiffened plates

비보강판의 경우에선 보강판은  $L = 2400\text{mm}$ ,  $b = 800\text{mm}$ ,  $t = 20\text{mm}$ ,  $\sigma_y = 235\text{ N/mm}^2$ ,  $E = 205.8\text{ N/mm}^2$ ,  $\nu = 0.3$ 의 재료의 기하적인 형상과 재료의 물성치를이용하여 기존의 일반적으로 선급률식, 비선해석프로그램(ANSYS), DNV PULS, 그리고 ALPS/ULSAP을 이용하여 비교해보았다.



(a) Under biaxial compression  $\sigma_x$  and  $\sigma_y$     b) Under longitudinal axial compression  $\sigma_x$  and edge shear  $\tau$

Figure 4: ULS interaction curves for a simply supported steel plate under combined biaxial compression or under combined longitudinal compression and edge shear, as those obtained by class design formulae, DNV PULS (ver .2.0-5), ALPS/ULSAP (ver. 2005.5) and nonlinear FEA

### 4.2 Ultimate strength of stiffened panels under quasi-static action case

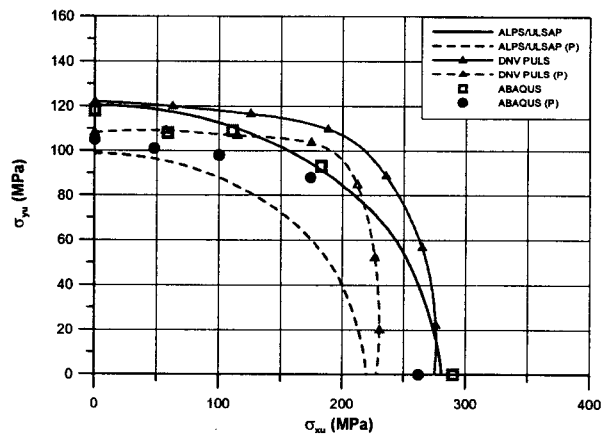


Figure 5: ULS interaction curves for a longitudinally stiffened panel under biaxial compression and lateral pressure loads (p donotes with lateral pressure loads)

보강판의 경우에는 ALPS/ULSAP, FEA 그리고 DNV PULS [19]를 이용하여 종방향 보강재가 있는 보강판에 단순지지조건에 종방향 및 횡방향 압축응력 상태에서의 횡압이 작용시에 최종강도를 그림 5에서 보여주고 있다. 보강판은  $a = 5120\text{mm}$ ,  $B = 9100\text{mm}$ , and  $t = 20\text{mm}$ 이고, 총 보강재의 개수는 9개이다. 보강재의 종류는 T-bar로  $598.5\text{mm} \times 12\text{mm} + 200\text{mm} \times 20\text{mm}$ . 보강판의 항복응력은  $315\text{MPa}$ 이다. 횡압은  $0.2531\text{N/mm}^2$ 로 적용하여 해석하였다.

### 4.3 Progressive collapse analysis of ship hull

실제의 실험결과와의 비교로써 두개의 모델을 사용하여서 먼저 그림 6-7에서는 영국해군(frigate ship hull model)에서 실험한 결과를 [21] ALPS/HULL과 비교해보았다. 그림8-9는 미해군에서 실험한 선박과 Adamchack [22]에 의해서 개발된 ULSTR 그리고 ALPS/HULL과 동일 조건에서 비교해보았다. 그림 10은 현재 상용중인 미해군의 쌍동선 선박을 ALPS/HULL을 이용하여 계산한 예를 보여주고 있다.

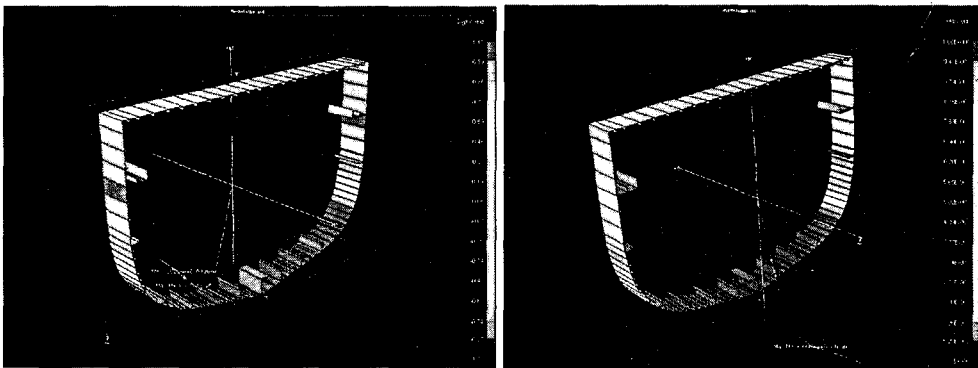


Figure 6: ALPS/HULL model together with axial stress distribution (left) and von Mises stress distribution (right) at ULS of the frigate test hull under sagging moment

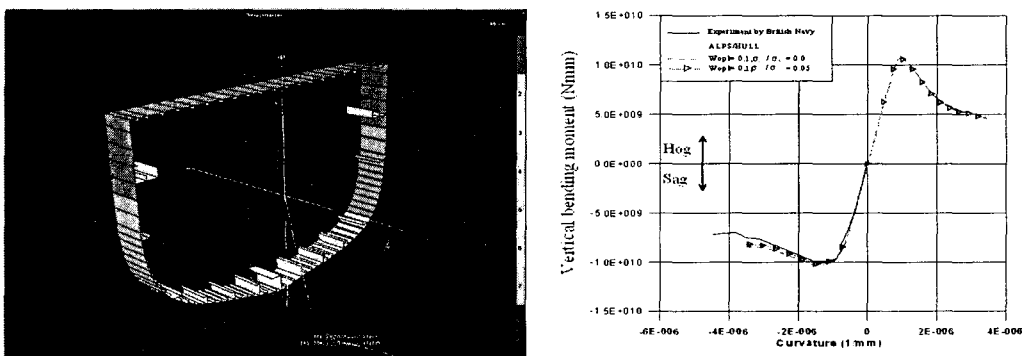


Figure 7: Collapse mode distribution of individual components at ULS (left) and vertical bending versus curvature curves (right) for the frigate ship hull test model, as those obtained by ALPS/HULL and the experiment

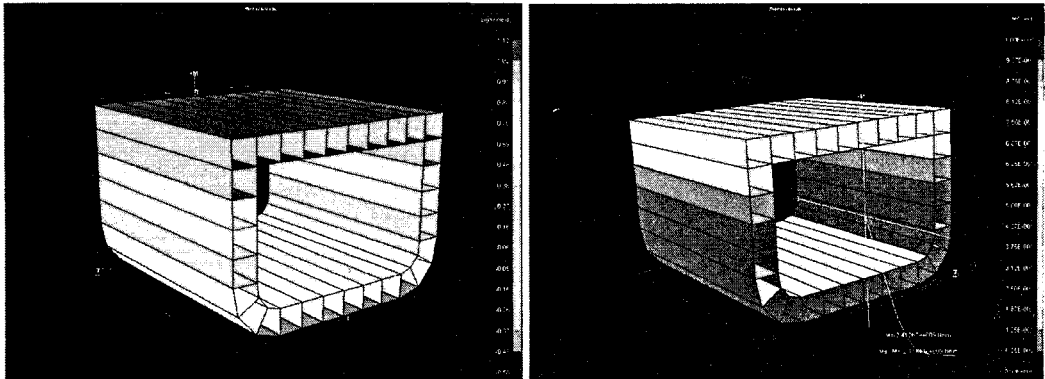


Figure 8: ALPS/HULL model together with axial stress distribution (left) and von Mises stress distribution (right) at ULS for the double-skin tanker test hull under sagging moment

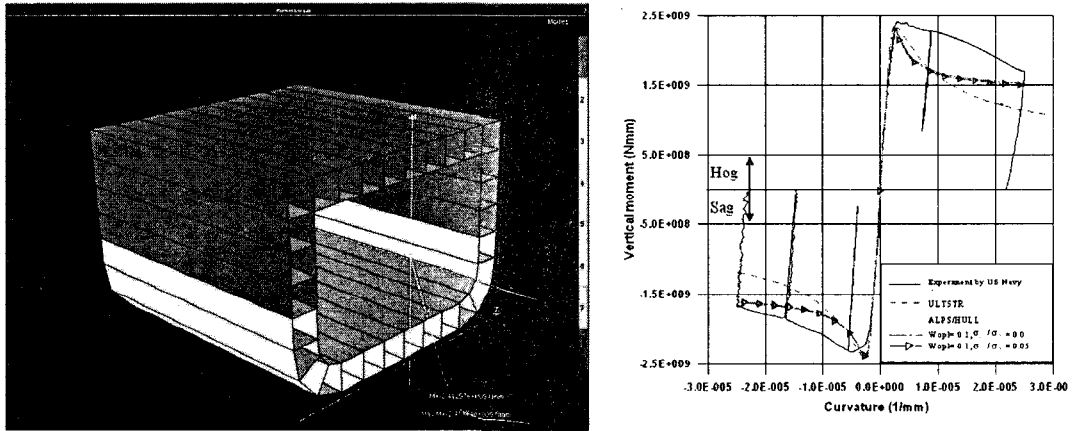


Figure 9 Collapse mode distribution of individual components at ULS (left) and vertical bending versus curvature curves (right) of the uni-directional double-skin tanker hull test model, as those obtained by ALPS/HULL, ULTSTR and the experiment

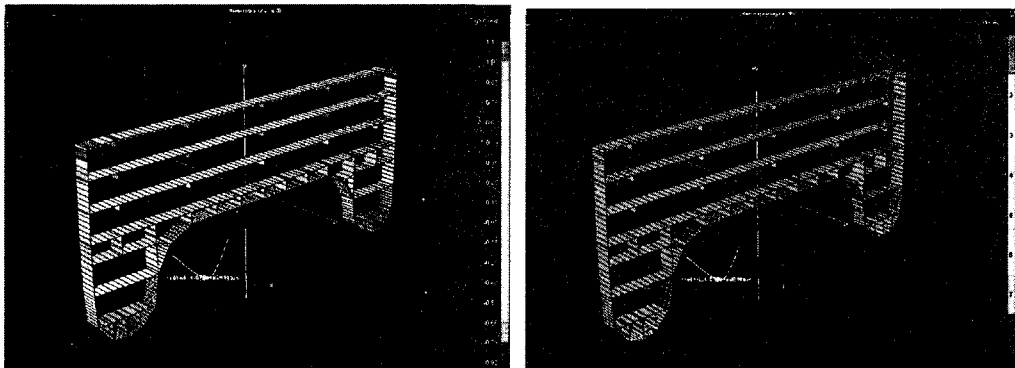


Figure 10: Collapse mode distribution of individual components at ULS (left) and vertical bending versus curvature curves (right) of the uni-directional LCS catamaran(US NAVY) model

## 5. 결론

선체의 최종강도 해석을 위해 개발된 ALPS/ULSAP, ALPS/ HULL 프로그램의 모델링 기법이 최종 강도에 미치는 영향을 규명하고, 이를 바탕으로 가장 합리적인 모델링 기법을 제안하였다. 제안된 모델링 기법의 적용성은 구조모형 실험결과와의 비교를 통해 확인하였다. 현재의 조선소에서는 최종강도 해석을 바탕으로 한 한계상태 설계가 의무화 되고있는 상황에서 ALPS프로그램을 이용한 설계는 사용자를 위해서 좋은 정보 및 지침이 되리라고 확신한다.

### 참고 문헌

- [1] Jeom Kee Paik and Jung Kwan Seo International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, MARINE 2005, P. Bergan, J. García, E. Oñate, and T. Kvamsdal, (Eds) CIMNE, Barcelona, 2005
- [2] J.K. Paik and A.K. Thayamballi, Ultimate limit state design of steel-plated structures, John Wiley & Sons, Chichester, UK (2003).
- [3] ALPS/ULSAP (version 2005.5), A computer program for ultimate limit state assessment for stiffened panels, Proteus Engineering (<http://www.proteusengineering.com>), Stevensville, MD 21666, USA (2005).
- [4] ALPS/HULL (version 2005.5), A computer program for progressive collapse analysis of ship hulls, Proteus Engineering (<http://www.proteusengineering.com>), Stevensville, MD 21666, USA (2005).
- [5] J.K. Paik, A.K. Thayamballi, S.K. Lee and S.J. Kang, "A semi-analytical method for the elastic-plastic large deflection analysis of welded steel or aluminum plating under combined in-plane and lateral pressure loads", Thin-Walled Structures, 39, 125-152 (2001).
- [6] J.K. Paik and M.S. Lee, "A semi-analytical method for the elastic-plastic large deflection analysis of stiffened panels under combined biaxial compression/tension, biaxial in-plane bending, edge shear and lateral pressure loads", Thin-Walled Structures, 43, 375-410 (2005).
- [7] J.K. Paik and A. Duran, "Ultimate strength of aluminum plates and stiffened panels for marine applications", Marine Technology and SNAME News, 41(3), 108-121, (2004).
- [8] J.K. Paik, J.M. Lee and M.J. Ko, "Ultimate compressive strength of plate elements with pit corrosion wastage", Journal of Engineering for the Maritime Environment, 217(M4), 185-200 (2003).
- [9] J.K. Paik, J.M. Lee and M.J. Ko, "Ultimate shear strength of plate elements with pit corrosion wastage", Thin-Walled Structures, 42, 1161-1176 (2004).
- [10] Y.V. Satish Kumar and J.K. Paik, "Buckling analysis of cracked plates using hierarchical trigonometric functions", Thin-Walled Structures, 42, 687-700 (2004).
- [11] J.K. Paik, Y.V. Satish Kumar and J.M. Lee, "Ultimate strength of cracked plate elements under axial compression or tension", Thin-Walled Structures, 43, 237-272 (2005).
- [12] J.K. Paik, J.M. Lee and D.H. Lee, "Ultimate strength of dented steel plates under axial compressive loads", International Journal of Mechanical Sciences, 45, 433-448 (2003).
- [13] J.K. Paik, J.M. Lee, Y.S. Shin and G. Wang, "Design principles and criteria for ship structures under impact pressure loads arising from sloshing, slamming and green waters", Trans. SNAME, 112

(2004).

- [14] MAESTRO (version 8.7.0), Proteus Engineering (<http://www.proteusengineering.com>), Stevensville, MD 21666, USA (2005).
- [15] Joint Tanker Project (JTP), "Common structural rules for double hull oil tankers (draft for comment)", Prepared by ABS, DNV and LR, June (2004).
- [16] J.K. Paik, "A guide for the ultimate longitudinal strength assessment of ships", *Marine Technology*, 41(3), 122–139 (2004).
- [17] J.K. Paik, "Principles and criteria for ultimate limit state design and strength assessment of ship hulls", *International Journal of Maritime Engineering*, 146(A3), 1–11 (2004).
- [18] J.K. Paik and A.K. Thayamballi, "A concise introduction to the idealized structural unit method for nonlinear analysis of large plated structures and its application", *Thin-Walled Structures*, 41, 329–355 (2003).
- [19] J.K. Paik, van der Veen, S., Duran, A. and Collette, M., "Considering aluminum welded panel structures for aerospace, marine and land-based applications: a comparison for ultimate compressive strength design methods", *Proceedings of the 9th International Symposium on Practical Design of Ships and Floating Structures*, 2, 727–735 (2004).
- [20] E. Steen, E. Byklum, K.G. Vilming and T.K. Ostvold, "Computerized buckling models for ultimate strength assessment of stiffened ship hull panels", *Proceedings of the 9th International Symposium on Practical Design of Ships and Floating Structures*, 1, 235–242 (2004).
- [21] R.S. Dow, "Testing and analysis of 1/3-scale welded steel frigate model", *Proceedings of the International Conference on Advances in Marine Structures*, Dunfermline, Scotland, 749–773 (1991).
- [22] D.D. Bruchman, D.P. Kihl and J.C. Adamchak, "Evaluation of the effect of construction tolerances on vessel strength", *Ship Structure Committee Report, SSC-411*, Washington, D.C. (2000).
- [23] J.K. Paik, G. Wang, A.K. Thayamballi, J.M. Lee and Y.I. Park, "Time-dependent risk assessment of aging ships accounting for general/pit corrosion, fatigue cracking and local denting damage", *Trans. SNAME*, 111, 159–195 (2003).