

KDX-II급 함정 수직발사대 선체 균열발생에 따른 보강방안 연구

최상민[†] · 최준호

국방기술품질원 함정2팀

A Study on the Retrofit measures for KDX-II KVLS Hull Crack

Sang-Min Choi[†] · Jun-Ho Choi

Defense Agency for Technology and Quality, 2nd Naval Sea Systems Team

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to propose retrofit measures for KDX-II KVLS hull crack, also, enhance safety and quality of ship. Also, this study suggest to how to retrofit about hull crack of the ship and how to improve operability of the ship.

Methods: Retrofit measures of KDX-II KVLS hull crack reach a conclusion through global structure analysis and fatigue analysis. Concerned about thermal deformation due to welding around the KVLS, in addition to, verify to safety of KVLS.

Results: Based on result of global structure analysis establish retrofit measures for KDX-II KVLS hull crack. Additionally, through fatigue analysis establish final retrofit measures. The results of retrofit measures are allowed both stress level and fatigue life.

Conclusion: Retrofit measures for ship hull crack based on global structure analysis and fatigue analysis improves operability and quality of the ship. Especially, KDX-II ship is the best battleship in our country. Considering the importance of KDX-II, this study improves both Korea navy's combat power and ability to carry out the mission.

Key Words: KVLS, KDX-II, Hull Crack, Global Structure Analysis, Fatigue Analysis

● Received 7 August 2017, 1st revised 24 August, accepted 1 September 2017

† Corresponding Author(cscsm91@naver.com)

© 2017, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

KDX-II급 함정은 세계 최초로 소형 함정이 다수의 대함 미사일을 요격할 수 있는 엄가의 방공체계를 목표로 개발된 다층 방공망을 적용한 함정인 동시에(Hwang 2015, 66), 레이더 신호 감소를 위한 스텔스 설계를 한국 해군 최초로 적용한 대양작전능력을 보유하고 있는 국산 전투함이다(Hwang 2015, 64). KDX-II급 함정은 현재 국내에서 대부분의 대양작전 및 국외 파병 작전 임무를 수행하는 대표적인 전투함으로, 2001년부터 건조하기 시작하여 현재까지 총 0척을 운용 중에 있다. KDX-II급 함정에는 KDX-I급 함정과 달리 대잠 미사일을 탑재할 수 있는 한국형 수직발사대(Korean Vertical Launching System, 이하 KVLS)가 장착되는데, 건조당시 KDX-II 0~0번함은 연구개발 중인 KVLS를 미래 탑재 장비로 분류하여 탑재공간만 확보하여 함을 건조 및 인도하였고 KVLS 개발이후 추가로 설치하였다. 반면에, KDX-II 0~0번함은 인도 후 KVLS 개발완료에 따라 탑재를 위하여 신규로 KVLS 및 MK41 VLS용 블록을 제작/교체하는 KVLS 개조공사를 진행하였다(Hwang 2015, 65). 국방기술품질원은 KDX-II급 건조과정 및 KVLS 개조공사에 참여하여 품질보증업무를 수행하였다.

함 인도 이후, 2016년 1월경에 ○○함(KDX-II ○번함)과 □□함(KDX-II □번함)에서 KVLS 주변 유사 위치(갑판 용접부/갑판부)에서 선체 균열현상이 발생하였다. 함정에서 선체 균열현상은 함 운용상에 있어 함이 침몰되거나 운용에 심각한 영향을 미칠 수 있는 중대한 결함사항이다. 더욱이, KDX-II급 함정의 전력 중요도를 고려했을 경우 국내 해군의 전투력 손실 및 해외 대양작전 임무 수행에 차질이 발생하여 국외적 한국 해군의 이미지가 실추될 수 있는 상황이었다. 현장 확인 결과, 선체 균열 발생 함정들은 KVLS 개조공사 이후 아덴만 파병 및 순항 훈련 등 원양작전 수행 후 선체 균열이 발생하였다. KVLS 개조공사 이후 응력수준은 KVLS 개조공사 이전에 비하여 약 31%(최대응력 수준인 0-1 갑판 좌현 기준) 증가한 취약한 상태였으며, 원양작전 시 슬래밍으로 인한 휘핑 하중의 반복 작용으로 강도가 취약한 부위에서 피로 균열이 발생한 것으로 추정하였다(Kim 2015, 32-33).

본 연구에서는 한국 해군의 주력 전투함인 KDX-II급 함정의 KVLS 개조공사 이후 취약해진 구조강도에 대한 보강 연구방안을 소개할 것이다. 함정의 구조안전성을 평가하는 방법인 전선구조해석(KR 2017, 248)과 선체구조의 피로강도(수명)를 평가하는 방법인 피로해석(KR 2017, 332)을 기준으로 선체 보강에 대한 연구를 진행하였으며, KVLS와 인접한 선체의 용접작업으로 인한 KVLS 수직도에 대한 영향성 연구를 진행하였다. 따라서, 본 논문은 KDX-II급 함정의 선체 균열발생 원인분석과 전선구조해석, 피로해석을 바탕으로 수립된 선체 균열 보강 방안 및 용접 열변형으로 인한 KVLS 수직도 영향에 따른 무장 정렬체크 검증 방안에 대하여 알아볼 것이다.

2. 선체 균열발생 원인분석

2.1 선체 균열발생 현황

2016년 1월 경, ○○함(KDX-II ○번함)으로부터 선체 균열이 발생하였다는 사실을 통보받았으며 현장 확인을 통하여 KDX-II급 전 함정의 선체 균열 여부를 확인하였다. 현장 확인 결과, 함정별로 유사 위치(0-1 갑판 용접부 3개소 및 갑판부 2개소)에서 선체 균열 현상을 확인할 수 있었다.



Figure 1. Status of KDX-II ○○ Ship Hull Crack

2.2 선체 균열발생 원인분석

선체 균열 발생 함정들의 관련 자료 확인 결과, 모두 립팩훈련·아덴만 파병 등 대부분 거친 파랑 하중에 노출된 임무 수행 후 선체 균열이 발생되었다. 선체 균열 발생 원인분석을 위해 설계도면 대비 일치성과 구조강도에 대한 두 가지 측면으로 검토한 결과, 설계도면 대비 부재 누락 및 용접불량 사항은 발견되지 않았으며, KVLS 개조공사로 인해 구조강도가 취약해진 부위에서 반복된 하중으로 인한 피로 균열이 발생한 것으로 추정되었다(Kim 2015, 32-33). KVLS 개조공사 전/후의 구조강도 확인을 위해, 함정의 구조안전성을 평가하는 방법인 전선구조해석(KR 2017, 248)을 한국선급을 통해 실시하였다. 확인 결과, KVLS 개조공사 이후 응력수준 값들은 모두 허용응력 기준(320N/mm^2) 이하로 구조강도에 문제가 없었으나, 개조공사 후 응력수준(0-1 갑판 좌현 기준, 286N/mm^2)은 개조공사 전(0-1 갑판 좌현 기준, 218N/mm^2) 보다 약 31% 증가하여 구조강도가 취약해졌다.

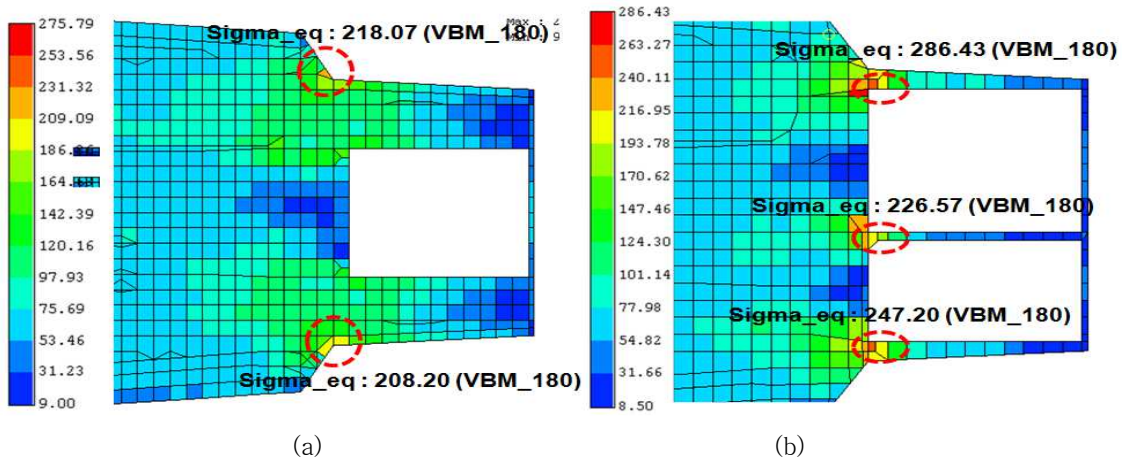


Figure 2. Result on Global Structure Analysis using the KVLS installation structural: (a)before, (b)after

Table 1. Stress level before and after remodeling of KVLS

Location of Crack		Before Hull Retrofit	After Hull Retrofit	Remark
0-1 Deck	Port	218	286	Allowable stress : 320 (N/mm ²)
	Mid.	-	226	
	Stbd.	208	247	

함정 선체 구조해석 시 선수 슬래밍에 대한 충격 하중량에 대한 명확한 적용규격이 없어 선체에 미치는 영향을 고려하는데 한계가 있었으나, KVLS 개조공사 및 원양작전 이후 KDX-II급 전 함정의 유사한 위치에서 선체 균열이 발생한 점을 고려하였을 때, KVLS 개조공사 이후 응력 수준이 취약한 부위에 과도한 선수 슬래밍으로 반복적인 휘핑 하중이 작용하여 피로 균열이 발생한 것으로 추정하였다(Kim 2015, 32-33).

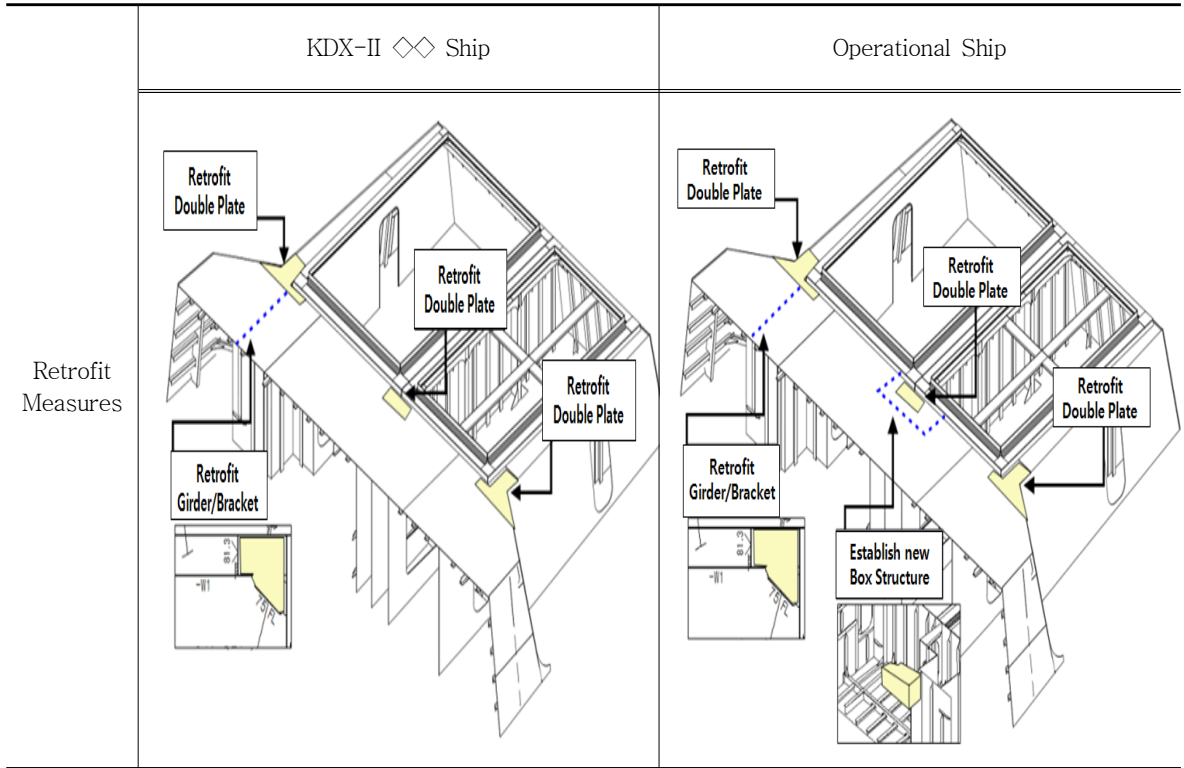
3. 선체 균열 발생 보강 연구방안

3.1 전선구조해석을 통한 선체 균열 보강 연구방안

한국선급을 통해 실시한 전선구조해석 결과를 바탕으로 선체 균열 보강방안에 대한 연구를 진행하였다. 구조강도 보강은 KVLS 개조공사 이전 최대응력 수준(0-1 갑판 좌현 기준, 218N/mm²)이하 유지를 목표로 선정하였다. 선체 균열 보강방안은 KVLS 개조공사를 진행 중에 있어 선체 균열 부위의 전반적인 보강 연구를 진행한 ◇◇함(KDX-II ◇변함)과 해군에서 운용중에 있어 함 임무 및 일정, 공사기간 등을 고려하여 선체 균열 부위의 부분적인 보강 연구를 진행한 운용함정 0척을 구분하여 진행하였다. 보강방안은 다음과 같다.

- ◊◇ 함 : 0-1 갑판 균열부위의 판 두께 7mm~8mm에서 13mm~18mm로 증가, 좌현 브라켓 2개소 추가
- 운용함정 : 0-1 갑판 하부 중앙부위 박스거더를 신설, 0-1 갑판 균열부위 이중판(10mm) 보강, 좌현 거더/브라켓 및 브라켓 2개소 추가

Table 2. Retrofit Measures for KDX-II Ship Hull Crack



◇◇함(KDX-II ◇번함)과 운용함정 0척에 대한 선체 균열 보강공사 전/후 전선구조해석 결과, 보강공사 후 모든 부위에서 구조강도가 보강되었으며 허용응력 내 수준을 만족하였다. 또한, 모든 부위의 응력수준이 연구 목표인 KVLS 개조공사 이전 최대응력 수준(0-1 갑판 좌현 기준, 218N/mm² 이하)을 만족하였다.

Table 3. Result on Global Structure Analysis of KDX-II Ship(KR, Reinforcement Plan)

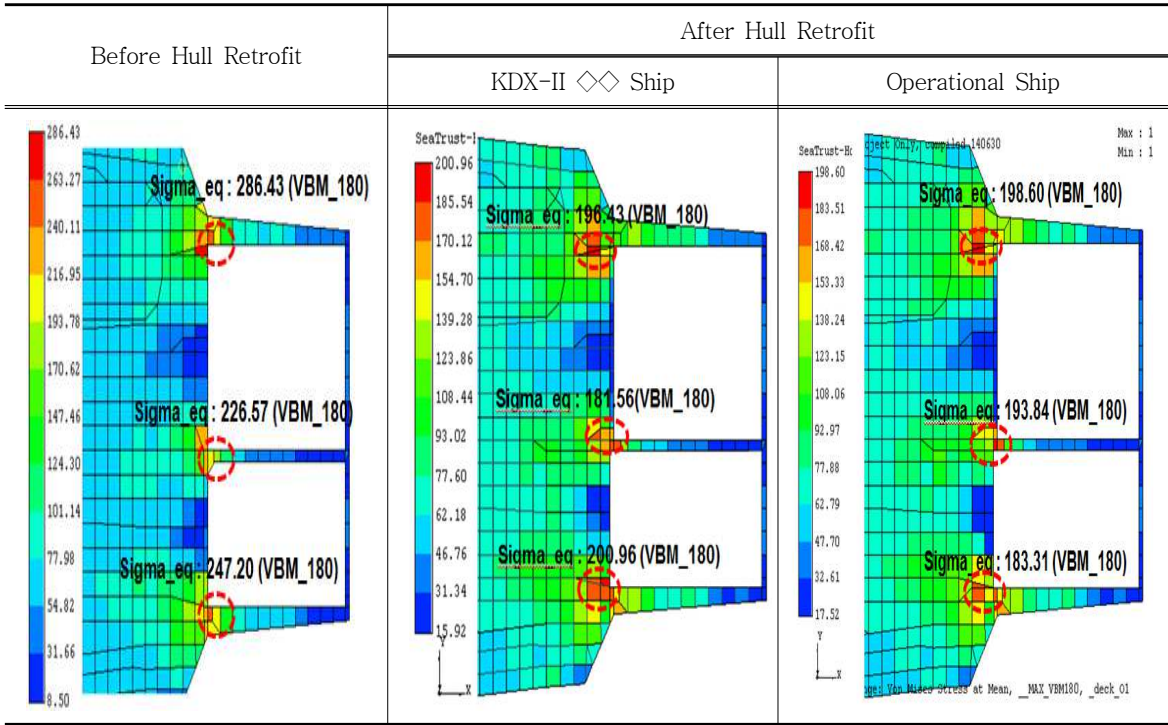


Table 4. Stress level before and after Hull Retrofit of KDX-II Ship

Classification	Lcation of Crack	Before Hull Retrofit	After Hull Retrofit	Result
◇◇ Ship	Port	286	196	Allowable stress : 320 (N/mm ²)
	Mid.	226	181	
	Stbd.	247	200	
Operation Ships	Port	286	198	
	Mid.	226	193	
	Stbd.	247	183	

추가적으로 선체 보강공사 전/후의 통계 데이터 신뢰성 검증을 위하여 등분산 t-검정을 실시한 결과, ◇◇함(KDX-II ◇변함)의 양측검정 p값은 0.031, 운용함정 0척에 대한 양측검정 p값은 0.027로 보강공사 전/후의 강도가 보강된 값은 통계적으로 유효한 것으로 판단하였다.

3.2 피로해석을 고려한 선체 균열 최종 보강 연구방안

전선구조해석 결과를 바탕으로 선체 균열 보강 연구 결과 모든 부위에서 연구 목표 기준을 만족하였지만, 선체 균열 원인을 피로 균열로 추정함에 따라(Kim 2015, 32-33) 한국선급을 통해 추가적으로 피로해석을 실시하였다(KR 2017, 332-335). 해석 결과를 바탕으로 KDX-II급 선체 균열 최종 보강 방안에 대한 연구를 진행하였다. 피로 균열 보강 연구 목표는 함 운용수명인 30년 이상으로 선정하였다. 피로해석을 고려한 선체 균열 최종 보강방안은 두께 및 거더를 신설하는 등 보강재를 추가하여 강도를 보강하였다(Yim et al. 1989, 17-19). ◇◇함(KDX-II ◇번함)과 운용함정 0척에 대한 보강방안은 다음과 같다.

- ◇◇ 함 : 균열 발생부위 이중판(15~20mm) 상/하단 추가, 0-1갑판 하부 중앙 박스거더 신설 및 두께 보강(최대 25mm), 추가 브라켓 설치(6개소), 좌/우현 2개소 추가 판 설치
- 운용함정 : 균열 발생부위 이중판(20~30mm) 상/하단 추가, 0-1갑판 하부 중앙 박스거더 신설 및 두께 보강(최대 25mm), 추가 브라켓 설치(4개소), 좌/우현 2개소 추가 판 설치

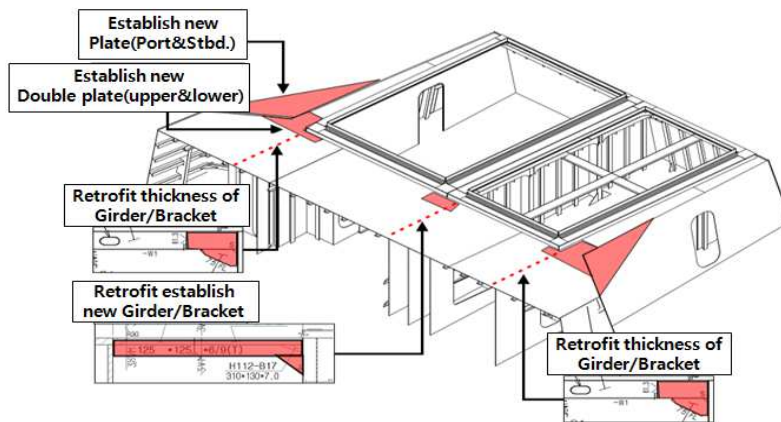


Figure 5. Final Retrofit Measures for KDX-II Ship Hull Crack

KDX-II급 함정의 피로수명 해석 결과, 모든 보강 부위에서 연구 목표 및 허용 수명을 만족하였다.

Table 5. A Result of Fatigue Life about Final Retrofit Measures for Hull Crack

Classification		After Hull Retrofit	Result
Result of Fatigue-Life	◇◇ Ship	Port	44 years
		Mid.	64 years
		Stbd.	49 years
	Operation Ships	Port	57 years
		Mid.	52 years
		Stbd.	53 years
			Contentment (Operation Life of Ship : 30 years)

4. KVLS 영향성 검증

KDX-II급 전 함정들의 선체 균열 보강공사시, KVLS와 인접한 선체 용접작업으로 인해 KVLS 수직도에 영향이 있음을 인지하였다. 선체 균열로 인해 KVLS 구조강도가 취약한 상태에서 대잠 미사일 발사시, 반발력으로 인한 KVLS 및 함 선체의 2차 손상이 우려되는 상황이었다. 따라서, 기품원 주관하에 무장 정렬 영향성에 대한 연구를 실시하였다. 무장 정렬 체크 절차 및 정도 기준은 KDX-II급 함정 건조시와 동일한 방법으로 진행하였으며, 무장정렬에 대한 영향성은 선체 균열 보강공사 전/후 무장 정렬과 선체 정도 체크를 통하여 검증하였다.

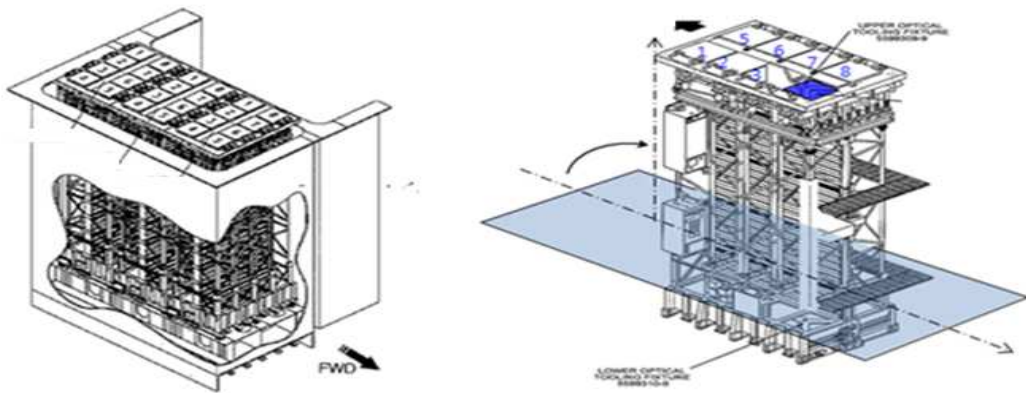


Figure 6. Process of Alignment check

□□함(KDX-II □번함) K-1 모듈에 대한 선체 균열 보강공사 전/후의 정렬체크 결과, 모든 방위값에서 용접 열 변형으로 인한 KVLS 수직도에 미세한 차이는 발생했으나, 모두 허용 범위 내 값을 나타내었다. 추가적으로, ◎◎함(KDX-II ◎번함)의 대잠 미사일 실사격 훈련 결과, 미사일은 아무런 문제없이 발사 및 표적에 명중하여 KDX-II급 선체 균열 보강공사로 인한 KVLS 성능에 영향이 없음을 확인하였다.

Table 6. Result on KDX-II □□ Ship Module Alignment check

Classification	Measurement direction	Before Hull Retrofit	After Hull Retrofit	Result
KVLS 1st Module	0°	00' 20"	00' 40"	Contentment (Allowable degree : 3')
	180°	00' 30"	00' 40"	
	90°	00' 10"	00' 20"	
	270°	00' 00"	00' 20"	

5. 결 론

본 연구에서는 KDX-II급 함정의 선체 균열 발생에 따른 보강방안 및 품질개선 성과에 대하여 서술하였다. 선체 균열이 발생한 KDX-II급 함정들은 KVLS 개조공사 이후 림팩훈련·아텐만 파병 등 대부분 거친 과량 하중에 노출된 상태에서 휘핑 하중의 반복된 작용으로 피로균열이 발생한 것으로 추정함에 따라(Kim 2015, 32-33), 구조강도 보강에 관한 연구를 진행하였다. 한국선급을 통해 전선구조해석(KR 2017, 248-252)과 피로해석(KR 2017, 332-335)을 실시한 결과를 바탕으로, 연구 목표 설정 및 KDX-II급 선체 균열 보강방안을 수립하였다. 선체 균열 보강방안은 KVLS 개조공사를 진행 중에 있어 전반적인 보강이 가능한 ◇◇함(KDX-II ◇번함)과 해군에서 운용중에 있어 부분적인 보강이 가능한 운용함정 0척을 구분하여 연구 진행 및 보강을 실시하였다. 또한, 선체 균열 보강공사시 KVLS와 인접한 선체 용접작업으로 KVLS 수직도 영향성에 대한 연구를 진행하였다.

선체 균열 보강 공사 후 ◇◇함(KDX-II ◇번함)과 운용함정 0척 모두 연구 목표 기준을 만족하였으며, 강도적으로 보강되었음을 확인하였다. 또한, 피로 균열 보강에 대한 목표를 만족하였다. KVLS 무장 정렬체크 연구 결과 미세한 방위값 변화는 있었지만 모두 허용수준내 값을 나타냈다. 또한, 대잠 미사일 실험 타격 훈련 결과 KVLS 성능에 이상 없음을 확인하였으며, 현재까지 운용상 추가적인 문제점은 식별되지 않았다. 본 연구를 통하여 한국 해군의 주력 전투함인 해군의 주력 전투함인 KDX-II급 함정의 선체구조 안전성 강화 및 전투력 향상의 계기가 되었다. 또한, KDX-II급 함정의 품질 개선에 대한 연구를 국방기술품질원 주관하에 수행함에 따라, 약 00.0억원의 국방 예산을 절감하는 실무적인 성과를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통하여 KDX-II급 함정의 선체 균열 발생으로 인한 해군의 전투력 손실 및 안전사고를 미연에 방지할 수 있었다. 함정의 선체 균열이라는 중대한 결함 사항에 대한 근본적인 원인분석, 보강방안을 수립함에 따라 함정의 운용성 및 국방품질을 향상하는 계기가 되었다. 본 연구 결과는 향후 각종 함정들의 운용 중에 발생할 수 있는 선체 균열 발생 사례에 대하여 원인분석, 보강방안을 수립하는데 있어 유용한 자료로 활용될 것이다. 또한, 함정을 운용하고 실질적인 전투 업무를 수행하는 해군들에게 함 운용성 및 안전성을 확보하고, 사고를 미연에 방지할 수 있는 참고 자료가 될 것이다. 하지만, 선체 균열이 발생한 함정 및 부위에 대해서만 국부적인 보강 및 검증은 수행한 연구로서 타 함정 및 타 위치의 균열 발생과 안전성에 대한 한계점이 있다. 선체 균열이라는 중대한 결함사항에 대한 함 승조원들의 안전사고 및 전투력 손실을 방지하기 위하여는 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- Hwang Jae Yeon. 2015. "Present and Future of the KDX." Defense and Technology(438): 56-71.
- Korea Navy. 2009. "Criteria for Global Structure Analysis." Criteria for Ship's Design and Building.
- Kim Chung-Youb. 2015. "Fatigue Analysis." Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers 55(2): 30-34.
- KR. 2017. "3rd Hull Structure." Korean Register-RULES.
- S.J. Yim, Y.S. Yang, K.T. Chung, C.W. Kim, and Y.S. Suh. 1989. "Reliability Analysis of Ship Deck Structure." Journal of the Society of Naval Architects of Korea:9-20.
- Seo, Sun-Keun, and Cho, You-Hee. 2003. "Statistical Analysis and Comparison of Fatigue Curve Models." Journal of the Korean Society for Quality Management 31(2):165-182.