수중 강판에 존재하는 결함탐지를 위한 탄성파 유한요소 시뮬레이션

Finite Element Simulation of Elastic Waves for Detecting Damages in Underwater Steel Plates

우 진 호* • 나 원 배**

Woo, Jinho • Na, Won-Bae

요 약

본 연구는 수중 강판에 존재하는 결함탐지를 위한 탄성파 유한요소 시뮬레이션이다. 일반적으로 수중 강판은 외부의 물로 인하여 결함의 탐지가 어렵다. 이러한 수중 강판의 결함탐지에는 잠수부가 수중 강판 표면에 비파괴 검사 장비를 활용하여 결함을 탐지하는 경우가 많으며 잠수부의 경험과 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 본 연구에서는 수중강판의 표면이 아닌 수중에서 탄성파를 발생시켰을 경우 수중 강판의 결함탐지 유한요소 시뮬레이션을 이용하여 손상의 위치와 손상의 크기에 따라 발생하는 응답을 알아보았다. 강판의 상하부에 기계적인 손상이 발생한 경우를 손상 시나리오로 가정하고 해석을 수행하였다. 손상이 없는 경우의 응답을 기준으로 강판의 상부와 하부에 기계적인 손상이 있는 경우에 발생하는 응답을 비교하였다. 동적유한요소 프로그램인 ANSYS/LS-DYNA를 사용하여 결함탐지 해석을 수행하였다. 결과적으로 손상의 종류에 따라 응답신호의 진폭 감소가 나타났으며 손상의 크기가 커질수록 진폭 감소가 커지는 결과를 나타내었다.

keywords : 탄성파, 결함탐지, 수중 강판, 유한요소해석

1. 서 론

강판은 구조물의 제작시 편의성과 가공성의 이점으로 인하여 선박과 수중 저장 구조물 등에 널리 사용되고 있다. 선박과 수중 저장구조물에서 발생하는 가장 일반적인 손상의 경우 강판의 외벽에 발생하는 기계적인 손상과 부식이다. 이러한 손상의 경우 선박의 누수와 저장구조물의 누수현상으로 발전될 수 있으며 산업적 손실이 발생한다. 이러한 결함이 발생하기 이전에 손상정도를 예측하는 기술이 필요하며 정기적인 검사를 통한 결함의 탐지를 통하여 보수 등의 후속조치가 이루어져야한다. 이러한 수중 강판의 경우 수중이라는 환경적 요인에 의하여 결함탐지가 어려운 문제점이 있다.

강판의 결함탐지에 관한 기존 연구로는 압전 세라믹 가진장치를 이용한 얇은 강 구조물의 손상탐지에 관한 연구(Dinkler 등, 2008), PZT센서를 이용한 판형 구조물의 결함탐지 등이 있다(Ostachowicz 등, 2009). 이러한 연구의 대부분은 공기 중의 강판의 결함탐지 초점을 맞추고 있다. 수중 결함탐지의 경우 레이저 초음파를 이용한 수중 이면 결함의 측정에 관한 연구(이승훈 등, 2007)가 있으나 비용 등의 문제점이 있다.

본 연구는 동적 유한요소 시뮬레이션을 이용하여 수중 강판에 존재하는 결함탐지 해석을 수행하였다. 시

* 학생회원 • 부경대학교 해양공학과 박사과정 skybreaker@pknu.ac.kr

** 정회원 • 부경대학교 해양공학과 교수 wna@pknu.ac.kr

뮬레이션 상에서 수중에서 탄성파 신호를 가진 시켰으며 강판의 상하부의 결함의 종류에 따라 수신된 신호를 나타내고 결함이 없는 유한요소 해석결과와 비교하였다.

2. 유한요소 모델링

본 연구에서 가정된 판의 크기는 길이 400mm, 두께 5mm이다. 유한요소해석에 사용된 재료는 구조용 강재와 물을 기반으로 하였으며 재료의 물성치는 표 1에서 나타내었다. 동적 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS/LS-DYNA를 사용하여 2차원 모델링을 수행하였으며 강판과 상하부의 물의 경우 4개의 노드를 가지는 평면 요소로 모델링하였다. 모델링 형상은 그림 1과 같다. 그림 1의 보라색 영역이 강판이며 하늘색으로 표시된 영역의 경우 물을 나타내고 있다. 강판의 하부에 15mm와 상부에 30mm의 물이 있는 경우를 모사하였다. 강판의 양단부에서 발생하는 반사파의 영향을 배제하기 위해 판의 길이를 400mm로 충분히 길게 모델링하였다. 탄성파 전파 모델링을 유한 요소 해석으로 시뮬레이션하기 위해서는 요소의 크기와 시간증분의 선정이 해석결과의 안전성확보에 중요하게 작용한다. 본 연구에서는 우진호 등(2007)이 제시한 세 가지 조건식을 만족하도록 요소의 크기는 1mm 이하와 시간증분의 경우 1.19E-7sec로 결정하였다.

본 연구에서 탄성파의 가진은 그림 1의 유한 요소모델링형상에서 가진 영역이라 표시된 부분에서 가진되었다. 이는 실제 가진 센서를 모사하기 위하여 가진 영역을 선정하여 탄성파를 가진하였다. 또한 강판의 표면이 아니라 수중에서 탄성파를 가진하였으며 가진 각도는 20°로 가정하였다. 가진 시그널의 경우 그림 2와 같다. 가진 신호는 6 cycle의 Tone-burst Gaussian 신호이며 지속시간은 1.2E-4 sec이고 가진 주파수는 50kHz이다. 수신점은 그림 1에 표시된 강판의 상부 표면의 2개의 점에서 응답을 받았다. 수신점 1의 위치는 손상위치를 기준으로 37mm 떨어져있으며 수신점 2의 경우 63mm에 위치하고 있다.

수중 강판의 손상은 상부와 하부의 각각 두 가지 경우를 고려하였다. 이는 결함의 위치에 따른 수신신호의 차이를 알아보기 위함이다. 손상의 모식도는 그림 3에 나타내었다. 여기서 d는 결함의 깊이이다. 상부와 하부에 강판의 두께의 40%와 60%에 해당하는 결함을 만들었다. 결함의 위치는 그림 1의 손상위치와 동일하다. 40% 결함의 경우 d는 2mm이고, 60% 결함의 경우 d는 3mm이다. 결함에 따라 표 2와 같이 손상의 유무, 위치와 손상깊이에 따라 손상시나리오를 나타내었다.

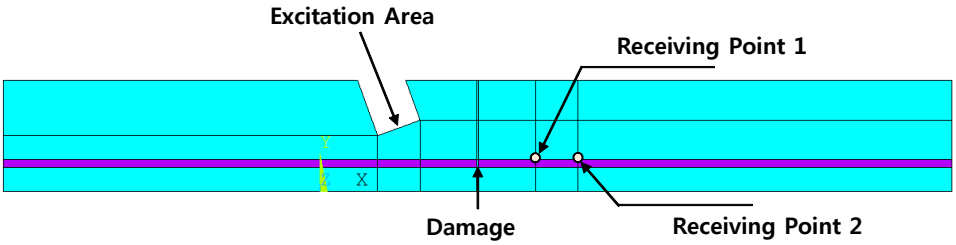


그림 1 유한요소 모델링 형상

표 1 구조용 강재와 물의 물성치

Steel		Water	
Young's modulus (GPa)	200	Bulk modulus (GPa)	2.2
Tensile yield strength (MPa)	250	Damping ratio	0.25
Poisson ratio	0.3		

표 2 손상 시나리오

	Damage location	Damage depth(d)
Case 1	No damage	0
Case 2	Upper part	2mm
Case 3	Upper part	3mm
Case 4	Lower part	2mm
Case 5	Lower part	3mm

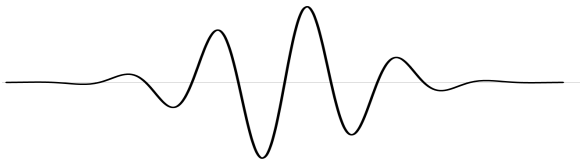


그림 2 가진 신호

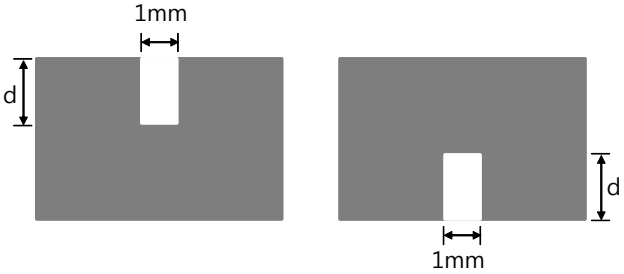
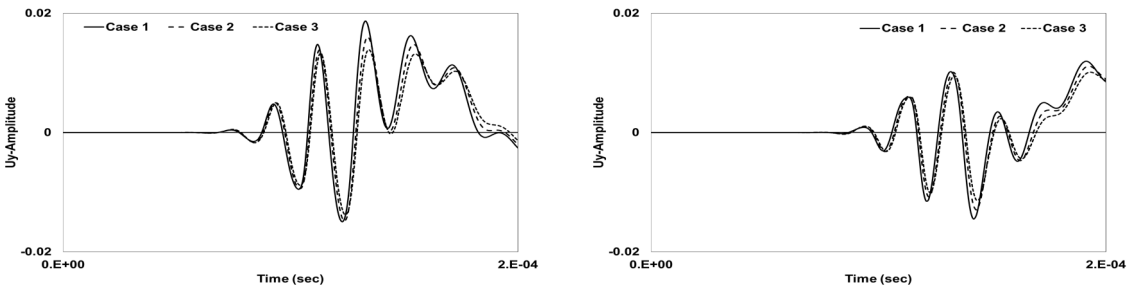


그림 3 강판의 손상 모식도

4. 해석결과의 분석

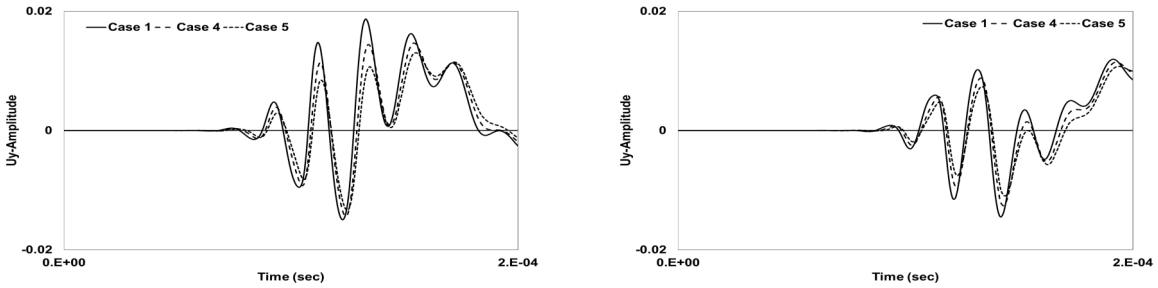
수중 강판의 결함 탐지 유한 요소 해석을 수행하였다. 탄성파의 전파에 따라 강판 표면의 수신점의 Y축 방향 변위를 취득하여 이를 그림 4과 5에 도시하였다.

그림 4의 경우 상부손상이 있는 경우 수신점 1과 2에서 얻어진 수신신호이다. 수신점 1에서 진폭은 case 2의 경우 최대 12%, case 3의 경우 최대 32%의 감쇠가 발생하였다. 수신점 2에서 최대 진폭의 감쇠는 case 2의 경우 4%, case 3의 경우 13%가 발생하였다.



(a) 수신점 1 (b) 수신점 2

그림 4 손상이 없는 경우와 상부 손상이 있는 경우의 수신신호



(a) 수신점 1 (b) 수신점 2

그림 5 손상이 없는 경우와 하부 손상이 있는 경우의 수신신호

그림 5의 경우 하부손상이 있는 경우의 수신신호이다. 수신점 1에서 진폭은 case 4의 경우 최대 28%, case 5의 경우 최대 51%의 감쇠가 발생하였다. 수신점 2에서 최대 진폭의 감쇠는 case 4의 경우 18%, case 5의 경우 35%가 발생하였다.

결과적으로 손상에 의해 수신신호의 감쇠가 발생하며 특히 수신점 1에서 수신신호의 진폭 감쇠가 수신점 2의 감쇠보다 크게 발생한다. 또한 결함의 깊이가 증가할수록 진폭의 감쇠가 크게 발생한다. 그림 4와 5의 비교에서 하부손상의 경우 상부손상보다 진폭의 감소가 크다.

5. 결론

본 연구는 수중 강판의 결함 탐지 유한 요소 해석으로 유한요소 시뮬레이션을 통해 수중강판에 결함의 종류에 따른 응력해석을 수행하였다. 이상의 해석으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 수신신호의 진폭은 손상의 종류에 따라 달라진다. 즉 결함의 크기가 커질수록 진폭의 감쇠가 크게 발생한다.

(2) 수신점이 멀어질수록 결함에 따른 수신신호의 진폭의 감쇠가 작게 발생한다. 즉 가진점에 대한 수신점의 거리가 멀어질수록 진폭의 감쇠효과가 줄어든다.

(3) 하부손상의 경우 상부손상에 비해 수신 신호의 진폭감쇠가 크게 발생한다.

참고문헌

우진호, 나원배, 김정태, 조현만 (2007) Finite element simulation of elastic wave propagation in a concrete plate - modeling and damage detection, 한국해양공학회지, 21(6), pp.26~33.

이승훈, 박승규, 백성훈, 강영준, 이정식, 김운일 (2007) 레이저 초음파를 이용한 수중 이면 결함 측정에 관한 연구, 한국광학회 동계학술대회 논문집, pp.155~156.

Dinkler, D., Kowalsky, U., Schuster, K. (2008) Damage detection with piezoceramic actuators in thin steel structures, *Mechanics of Advanced Materials and Structures,* 15(3-4), pp.269~275.

Ostachowicz, W., Kudela, P., Malinowski, P., Wandowski, T. (2009) Damage localisation in plate-like structures based on PZT sensors, *Mechanical Systems and Signal Processing,* 23(6), pp.1805~1829.