

주포 사격시험을 이용한 대형 함정의 모달테스트

박미유^{1*}, 한형석¹, 조흥기¹, 김종길¹, 임동빈¹, 이민재¹
¹국방기술품질원

A Modal Testing of Large Naval Vessel Using Main Gun Firing Test

Mi-You Park^{1*}, Hyung-Suk Han¹, Heung-Gi Cho¹,
Joong-Gil Kim¹, Dong-Been Im¹ and Min-Jae Lee¹

¹Defense Agency of Technology and Quality

요 약 유한요소해석을 통한 대상 구조물의 동특성 해석에 있어서 신뢰성 높은 실제 구조물의 동특성을 정확히 예측하는 해석결과는 얼마나 신뢰성이 높은 유한요소모델을 수립하는가하는 문제와 직결된다고 할 수 있다. 따라서 많은 경험과 노력을 통해 만들어진 모델을 대상으로 모달 테스트를 통해 관심주파수대역에 걸쳐 모델을 검증하고, 이때 얻어진 데이터를 이용, 모델을 개선하는(Model updating) 작업을 거치게 된다.

본 연구에서는 이와 같이 중량과 크기의 제한으로 인하여 충격망치나 가진기로 가진하기 어려운 함정의 고유진동수 등을 얻기 위한 모달 테스트 방법으로써 함정의 시운전 항목 중 하나인 주포 사격시험을 이용하여 그 결과와 가능성, 향후 진행방향에 대하여 고찰해 보았다.

Abstract The accurate results of finite element analysis are directly related to reliability FE model which is exactly describing dynamic characteristics of target structure. So, a model updating is necessary to establish reliable FE(Finite Element) model with a lot of experience and effort using modal testing. A large structure is too difficult to obtain the dynamic characteristics owing to its weight and size. In this work, using main gun firing test, modal testing was performed to obtain dynamic characteristics of large naval vessel, which is difficult to tap the general modal testing method. The result of experiment was considered its possibility and future plans.

Key Words : Naval Vessel, Modal Testing, Natural Frequency, Main Gun Firing Test

1. 서론

최근의 컴퓨터 능력향상과 유한요소 프로그램의 발전을 토대로 대상 구조물의 설계 개선을 목적으로 한 유한요소해석이 실제 산업현장에서 많이 사용되어지고 있는데, 이러한 유한요소해석을 통한 대상 구조물의 동특성 해석에 있어서는 신뢰성 높은 유한요소모델의 수립이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 즉, 실제 구조물의 동특성을 정확히 예측하는 해석결과는 얼마나 신뢰성이 높은 유한요소모델을 수립하는가하는 문제와 직결된다고 할 수 있는 것이다.

따라서 많은 경험과 노력을 통해 만들어진 모델을 대상으로 모달 테스트를 통해 관심주파수대역에 걸쳐 모델을 검증하고, 이때 얻어진 데이터를 이용, 모델을 개선하는(Model updating) 작업을 거치게 된다.

모달 테스트(Modal Testing)이란 충격망치(Impact Hammer)나 가진기(Exciter)를 이용하여 대상 구조물을 가진하고 가속도계 등을 이용하여 응답 신호를 측정, 분석함으로써 구조물의 고유진동수(Natural Frequency)나 모드형상(Mode Shape), 주파수응답함수(FRF : Frequency Response Function)와 같은 대상 구조물의 동특성을 구하는 실험[1-3]으로서 이러한 모달 테스트의 실시에 있어서

*교신저자 : 박미유(lostmu@empas.com)

접수일 10년 09월 06일

수정일 (1차 10년 11월 24일, 2차 10년 12월 15일)

게재확정일 11년 01월 13일

가장 기초적으로 고려해야 할 사항은, 대상으로 하는 구조물의 관심주파수대역(Target Frequency Range)에 걸쳐 구조물 전체를 충분히 가진해 주어야 한다는 점이다.

따라서 충격망치나 가진기를 이용하여 가진 할 수 있는 대상 구조물의 중량과 크기에는 제한이 생길 수밖에 없게 되며, 대상 구조물의 자유단 경계 조건을 구성하는 것도 난점으로 남게 된다.

이런 이유로 대형 구조물인 버스 차체의 모달 테스트를 실시한 경우 구조물의 자유단 경계조건을 구현하기 위하여 특수 스프링을 제작하고 가진기 2대를 사용하여 가진을 하였다[4].

한편 대형 토목구조물과 같은 경우 가진과 그 가진력을 측정하는 것이 여의치 않기 때문에 가진신호 없이 응답신호만을 이용하여 동적특성을 구하는 연구가 많이 진행되었는데[5-9], 대부분 가진력이 불균일하거나 많은 양의 계산이 요구되고, 관심 주파수대역의 선정 시 데이터 해석자의 주관적인 판단이 개입할 여지를 남기게 되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이와 같이 중량과 크기의 제한으로 인하여 충격망치나 가진기로 가진하기 어려운 함정의 고유진동수 등을 얻기 위한 모달 테스트 방법으로써 함정의 시운전 항목 중 하나인 주포 사격시험을 이용하여 그 결과와 가능성, 향후 진행방향에 대하여 고찰해 보았다.

2. 함정의 모달 테스트

2.1 개요

모달 테스트이란 앞서 언급한 바와 같이 충격망치나 가진기를 이용하여 대상 구조물을 가진하고 응답신호를 측정/분석함으로써 대상 구조물의 동특성을 얻는 실험으로, 대상 구조물이 대형화, 복잡화하게 되면 가진에 있어서 구조물의 중량과 크기에 큰 제한이 따르게 된다.

즉, 대상구조물이 복잡화되고 대형화하게 되면 그에 따라 구조물의 중량이 크게 증가하게 되고 관심주파수영역에 대해 구조물 전체를 충분히 가진해 주기 어렵게 되며, 구조물 전체를 가진하고자 가진력을 증가시키게 되면 가진점 부근에서는 비선형성(Non-linearity)이 크게 발생하게 되며 구조물이 손상을 입을 가능성 또한 높아지게 된다.

따라서, 이와 같은 어려움 때문에 그동안 대형구조물을 대상으로 하는 모달 테스트는 상당히 제한적으로 실시 될 수밖에 없었으며[10], 모달 테스트가 여의치 않을 경우 대상 구조물이 가동하는 동안 발생하는 신호를 받아서 구조물의 동특성을 추측하는 연구가 진행되어 왔거

나 이 방법도 여의치 않을 경우에는 유한요소모델을 만들어서 동특성을 추측하는 방향으로의 연구가 진행되어져 왔다. 하지만 이는 필연적으로 오차를 수반하게 되어 [11] 동특성의 정확한 값은 얻을 수가 없게 되며 함정과 같이 복잡한 구조물일 경우 오차는 더욱 커지게 된다.

본 논문에서는 이와 같이 일반적인 방법으로는 가진하기 어려운 대형 함정을 대상으로 모달 테스트를 실시하는 방법을 연구하였다. 대상 함정은 그림 1에서와 같은 KDX-III 구축함이다.



[그림 1] 대상 함정(KDX-III)

2.2 가진 및 경계조건

함정의 경우 배가 해군에 정식으로 인도되기에 앞서 실시하는 각종 시운전 항목 중 주포의 성능 및 선체의 안전성을 확인해 보는 주포 사격시험 항목이 포함되어있다.

주포의 사격은 그림 2, 3 및 표 1에서와 같이 다양한 각도와 고각으로 실시하게 되며 동일한 탄과 장약을 사용하게 됨으로써 동일한 가진력을 가지고 다양한 각도로 가진을 하게 되는 효과를 낼 수 있게 되어 사격 Case 각각의 경우는 일반적인 모달 테스트에서 나타나는 어려움 중의 하나인 ‘같은 가진력으로 같은 방향으로 같은 지점을 가진’하는 문제가 자동으로 해결되는 장점을 갖게 된다.



[그림 2] 127mm 주포(방향:90°, 고각:44°)



[그림 3] 127mm 주포(방향:228°, 고각:17°)

[표 1] 주포사격시험의 방향 및 고각

Case	선회방향(Degree)	고각(Degree)
1	90	0
2	228	17
3	270	44
4	90	44
5	132	17

모달 테스트에 있어서 또 한가지 중요하게 고려해야할 사항은 자유단 경계조건과 같은 경계조건의 구현이다. 일반적으로 이번과 같이 대상 구조물 자체의 고유진동수와 모드형상 등을 구하고자 할 경우 자유단 경계조건은 반드시 구현해 줘야할 필요조건이 되는데, 함정은 바닷물 위에 떠 있게 되므로 빠른 속력으로 함이 기동하거나, 파고가 높아서 파도가 선체를 가진하지 않는 환경을 만들어 주면 자유단 경계조건을 만족한다고 할 수 있다.

이번 실험에서는 그림 2,3에서도 볼 수 있듯이 백파(白波)가 발생하지 않은 잔잔한 해상조건이었으며, 사격 시험 역시 배의 안전을 위해 2~3노트 정도로 서행했기에 함의 경계조건이 자유단과 유사한 조건을 갖게 된다.

3. 실험 및 결과

3.1 측정위치 및 가진력

측정은 선미 하부에서 그림 4-5에서와 같이 선체의 주된 골격에서 선체좌우, 상하방향의 응답을 측정하기 위하여 3점에 가속도계를 설치하고 실시하였다. 주된 모드가 굽힘 및 비틀림 모드일 것이기에 함 길이방향으로의 측정은 제외하였다.

대상주파수 범위는 100Hz까지로, 주파수 간격은 1Hz로 설정하였으며 측정은 표 2에서와 같이 5개 방향으로

의 사격이 실시되는 동안 진행되었다. 각각의 발사 간격은 충분해서 앞선 발사에서 잔류진동은 충분히 감쇄되었다.

함의 주포는 ‘127mm 고폭탄’을 사출탄으로 ‘127mm 완장약’의 장약 조건으로 발사를 하게 되며, 포에서 측정된 약실압력을 환산하여 계산해 보면 포의 사격을 통해 함에 전달되는 힘은 4.5MN이 된다.

그림 6은 응답신호 중 하나를 예시한 것으로 입력신호를 트리거 신호로 설정해 놓음으로써 사격함과 거의 동시에 계측을 시작하게 된다.

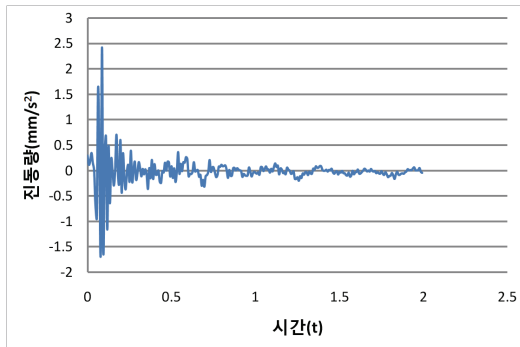
그림에서와 같이 발사 후 약 0.3초 후엔 진동량이 급격하게 줄어든 상태였고 약 1초 후엔 평상시 수준의 진동임을 알 수 있다. 이를 통해 본 실험에서 충격(Impact)가 진 조건이 제대로 구현됐음을 알 수 있었다.



[그림 4] 측정 위치(왼쪽)



[그림 5] 측정 위치(중앙)



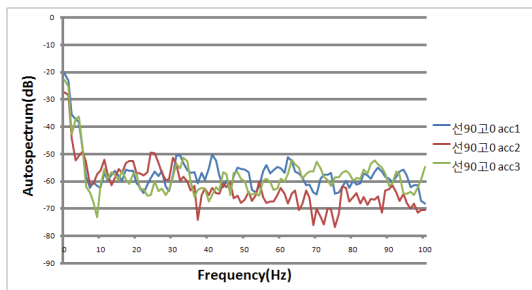
[그림 6] 응답신호(시간영역)

3.2 실험결과

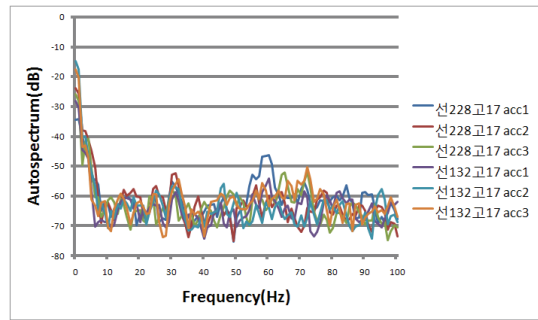
측정 결과는 그림 7~10에서와 같았다. 그림에서와 같이 3점에서 측정한 데이터에서 공진점이 측정됨을 알 수 있으며 주파수 대역이 증가함에 따라 약 40Hz 이상의 영역에서는 광대역 모드(Global Mode)가 아닌 부분 모드(Local Mode)가 나타남을 알 수 있다.

그림 7은 포의 선회방향이 90도, 고각이 0도인 경우를 나타낸 것으로, 그림 2에서 포를 위로 향하지 않고 바로 옆으로 해수면과 수평인 상태에서 발사하게 되는 경우이다. 따라서 함의 좌우방향 굽힘모드가 잘 나타나게 되는 방향으로 가진이 되었는데, 이런 이유로 다른 그림에서와는 달리 그림 7에는 광역 고유진동수가 잘 나타나지 않음을 알 수 있다.

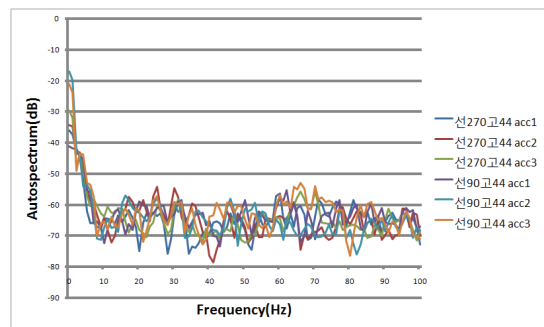
그림 8, 9는 각각 Case 2,5와 Case 3,4인 경우의 측정 데이터를 나타낸 것으로 약 40Hz 이하 영역에서 광역 고유진동수 모드가 나타남을 알 수 있고, 함의 좌우 방향으로 사격을 실시한 Case 3,4보다 함의 대각선 후미 방향으로 사격을 실시한 Case 2,5가 조금 더 뚜렷하게 광역 고유진동수 모드가 나타남을 알 수 있다. 이는 Case 2,5가 함의 좌우 방향 굽힘 모드 외에 비틀림 모드, 상하 방향 굽힘 모드를 가진하는데 더 유리함을 의미한다.



[그림 7] 측정 결과(Case 1)

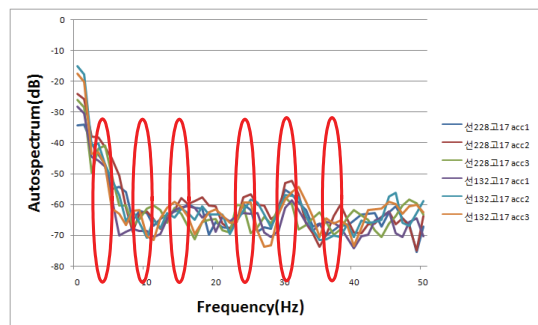


[그림 8] 측정 결과(Case 2 & 5)



[그림 9] 측정 결과(Case 3 & 4)

그림 10은 그림 8의 Case 2,5를 50Hz 이하영역만을 나타낸 것이다. 군사 보안 문제로 이 논문상에서 해당주파수를 정확히 기술하지는 못하지만 붉은 원 안이 고유진동수 영역임을 알 수 있다.



[그림 10] 측정 결과(Case 2 & 5)(~50Hz)

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 함정의 주포 사격시험을 통해 대형 구조물인 함정

의 공진주파수를 찾는 모달 테스트를 수행할 수 있었다.

- (2) 모달 테스트의 결과 여러 지점에서 측정된 데이터를 통해 저주파수 대역에서 광대역모드가 나타남을 확인할 수 있었다.
- (3) 포의 선회각도 및 고각은 합의 대각선 후미 방향으로 해수면과 수평방향이 아닌 위를 향하게 하는 것이 상하/좌우방향 굽힘 모드 및 비틀림 모드를 모두 가진하게 된다.

5. 향후 계획

이번 실험에서는 합이 크고 포의 사격이 한정적이라 많은 지점에서의 측정은 수행하지 못하였다. 향후에는 더 건조되고 있는 같은 설계를 갖는 시리즈의 합에서 추가 측정을 통해 합 전체의 모드형상도 추출할 예정이다. 합 정에서 사용되는 탄의 종류와 그 탄의 장약량은 정해져 있고 탄이 발사될 때의 폭발력 또한 이미 측정되어져 있기 때문에, 이러한 탄이 발사될 때의 가진력을 합의 중량과 연계하고 고정되어져 있는 가진 방향을 고려한다면 모드형상은 충분히 추출될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Ewins, D. J., "Modal Testing : Theory and Practice", Research Studies Press Ltd., 1984.
- [2] McConnell, K. G., "Vibration Testing : Theory and Practice", John Viley & Sons., 1995.
- [3] Maia, N. M. M. and Silva, J. M. M., "Theoretical and Experimental Modal Analysis:", Research Studies Press Ltd. 1997.
- [4] 이준호, 김경호, 박미유, 김경원, 송경호, 박윤식, "버스차체 동특성 파악을 위한 실험 모드해석", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 68-73, Nov. 01, 2002.
- [5] 박종철, 박찬민, 김병화, 이일근, 조병완, "장기계측에 의한 서해대교 사장교의 동특성 평가", 한국지진공학회논문집, 제10권, 제6호, pp. 115-123, 2006.
- [6] 정대성, 김철영, 김만식, 윤자걸, "상시진동실험을 이용한 남해대교의 동특성 평가", 대한토목학회 논문집, 제22권, 제6호, pp. 1501-1514, 2002.
- [7] B. H. Kim, Norris Stubbs, Taehyo Park., "A new method to extract modal parameters using output-only responses", Journal of Sound and Vibration, v.282 no.

1/2, pp. 215-230, 2005.

- [8] 김병화, 박민석, 이일근, "서해대교 사장교의 동특성 추출 : I. 모드형상", 대한토목학회 논문집, 제28권, 제5A호, pp. 631-639, 2008.
- [9] 김병화, 박민석, 이일근, "서해대교 사장교의 동특성 추출 : II. 고유진동수와 감쇠비", 대한토목학회 논문집, 제28권, 제5A호, pp. 641-647, 2008.
- [10] 최종필, 김문수, 이기문, 권중현, "멤브레인형 LNG선의 진동에 관한 고찰", 한국소음진동공학회 창립10주년기념 소음진동학술대회논문집, pp. 868-875, 2000.
- [11] Friswell, M. J. and Mottershead, J. E. "Model updating in structural dynamics: a survey", Journal of Sound and Vibration, Vol. 167, No. 2, pp. 347-375, 1993.

박 미 유(Mi-Yoo Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2007년 6월 : 삼성SDI(주) 책임연구원
- 2007년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

소음, 진동, 조선, 기계공학

한 형 석(Hyung-Suk Han)

[정회원]



- 1998년 2월 : 부산대학교 일반대학원 생산기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 부산대학교 일반대학원 기계설계공학과 (공학박사)
- 2003년 6월 ~ 2007년 6월 : 삼성전자(주) 책임연구원
- 2007년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

소음, 진동, 조선, 기계공학

조 흥 기(Heung-Gi Cho)

[정회원]



- 1990년 8월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1990년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

소음, 전기, 전투체계, 조선

이 민 재(Min-Jae Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 7월 ~ 1990년 9월 : 기아기공 연구소 연구원
- 1990년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

조선, 전기공학

김 중 길(Joong-Gil Kim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 울산대학교 기계공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 경남대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1978년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

기계공학, 조선

임 동 빈(Dong-Been Im)

[정회원]



- 1985년 2월 : 한양대학교 금속공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 산업대학원 금속공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 금속공학과 (공학박사)
- 1985년 5월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

기계공학, 금속공학