

Supply Ship의 시운전중 상부구조물 과도진동 원인 분석 및 저감대책

손성완*, 김강부*, 강현승*

A Countermeasure for Excessive Vibration on Bridge Deck during a Sea-Trial of Supply Ship

Sung-Wan Son, Kang-Bu Kim, Hyung-Sung Kang

ABSTRACT

선박의 진동문제는 고출력 엔진의 채용과 고속화 및 전문화가 되면서 구조의 최적화에 따른 경향화 설계 및 각종 주요 기진원들이 다양화 됨에 따라 새로운 진동문제가 많이 발생하게 되었으며 특히 최근 중소형 조선에서 건조중인 특수한 선박들의 경우 비교적 대용량의 출력을 가진 엔진과 긴 추진 축계 시스템 등으로 인하여 과도진동의 발생가능성이 커지고 있다. 본 연구에서는 Supply Ship의 시운전중에 발생한 상부구조물의 과도진동 현상의 원인을 분석하기 위해 다양한 운항 조건에서의 실선 진동 계측 및 분석을 수행하였으며 이를 바탕으로 효과적인 대책방안을 강구하기 위하여 구조의 진동특성 검토 및 진동해석을 수행하였다. 그리고 제시된 진동저감 대책이 적용된 후에 재시운전시 진동 계측을 수행하여 대책안의 유용성을 확인하였다.

1. 개요

선박진동은 기진원이 주기관 보조기관 프로펠러, 파랑, 유체유동 등 다양하고 또 구조계 및 선내기계장치 등이 복잡 다양하기 때문에 진동이 없는 선박을 건조한다는 것은 경제적으로 거의 불가능하다. 따라서 현재로는 주기관의 저진동화, 프로펠러의 최적 설계 및 선체 구조 설계시 동적 특성을 고려함으로써 항해시에 진동을 최소화하는 노력이 진행되고 있다. 선박에 진동이 발생하게 되면 주요 구조 부재의 피로파괴, 기계·전기·기구류의 성능보전, 예민한 화물의 안전 및 선원들의 생활환경 및 작업환경에 나쁜 영향을 미치게 된다.

특히 중소 조선소에서 최근 건조되고 있는 특수한 선박의 경우, 고출력 엔진의 채용과 고속화 및 전문화가 되면서 구조의 최적화에 따른 구조 경량화 및 긴 축계 시스템 및 두개의 프로펠러의 채용 등으로 일반 상선과는 다소 상이한 추진 시스템을 가지고 있으므로 다양한 기진력 성분과 이에 따른

국부 구조 부재와의 공진등에 의한 과도진동 문제가 발생될 가능성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 Supply Ship의 시운전중에 발생한 상부구조물의 과도진동 현상의 원인을 분석하기 위해 다양한 운항 조건에서의 실선 진동 계측 및 분석을 수행하였으며 이를 바탕으로 과도진동의 효과적인 대책방안을 강구하기 위하여 구조의 진동특성 검토 및 진동해석을 수행하여 현실적인 진동 저감 대책을 제시하였다. 그리고 제시된 진동저감 대책을 실시한 후에 재시운전을 통하여 진동 계측을 수행하여 대책안의 유용성을 확인하였다.

2. 실선 시운전 진동계측

2.1 대상 선박의 특성 및 제원

1) 선박 제원

- Ship Type	: Supply Ship
- L.B.P.	: 60.45 m
- Breadth(mld)	: 15.50 m

*. RMS TECHNOLOGY CO., LTD.

- Depth(mid) : 7.00 m
- Draft (Mean) : 5.00 m
- Trim by the stern : 0.5 m

2) Main Engine

- Engines : 2 sets × BERGEN Make, BPM-9
- Output : 2 sets × 5405 BHP × 750 RPM

3) Propeller

- Number of Propeller : 2 EA
- Number of Blades : 4 each propeller
- Diameter : 2800 mm
- Type : CPP
- Operation RPM : 143 rpm

2.2 실선시운전 계측 결과

실선 시운전 상태에서 발생한 상부구조물의 과도 진동 현상의 원인을 파악하기 위하여 다양한 운항조건에서의 진동계측이 수행되었다. 아래 각 계측조건에서의 대표위치에서의 결과를 표로 정리하였으며 가장 심한 진동이 일어난 Load 80% 직진 조건에서의 Bridge Dk의 주파수 분석 결과를 그림에 나타내었다.

표 2.1 Engine Load 80% 직진상태의 계측 결과

No	Measuring Position	Dire.	Results	
			Peak Freq. (Hz)	Peak Velo. (mm/s)
1	Plate on Bridge Deck, center	Verti.	14.0	10.4
2	Plate on Bridge Deck, center	Longi.	14.12	1.0
3	Plate on Bridge Deck, center	Trans.	14.12	1.8
4	75A Beam on Bridge Dk,	Verti.	14.0	7.4
5	Internal Wall on Bridge Dk	Verti.	14.0	3.0
6	390A Grider on Bridge Dk, port	Verti.	14.12	7.3
7	390A Grider on Bridge Dk, stb'd	Verti.	14.12	11.1
8	C Deck , stb'd	Verti.	14.0	4.3
10	B Deck , stb'd	Verti.	14.0	3.8
12	A Deck , stb'd	Verti.	14.0	3.4

표 2.2 Engine Load 100% 직진상태 계측결과

No	Measuring Position	Dire.	Results	
			Peak Freq. (Hz)	Peak Velo. (mm/s)
1	Plate on Bridge Deck, center	Verti.	14.25	7.9
2	Plate on Bridge Deck, center	Longi.	14.25	2.1
3	Plate on Bridge Deck, center	Tran.	14.25	0.9
4	75A Beam on Bridge Dk	Verti.	14.25	5.6
5	Internal Wall on Bridge Dk	Verti.	14.25	1.9
6	390A Grider on Bridge Dk, port	Verti.	14.25	6.2
7	390A Grider on Bridge Dk, stb'd	Verti.	14.25	8.0

표 2.3 Engine Load 80% 회전상태 계측 결과

No	Measuring Position	Dire.	Results	
			Peak Freq. (Hz)	Peak Velo. (mm/s)
1	Plate on Bridge Deck, center	Verti.	14.12	2.7
2	75A Beam on Bridge Dk	Verti.	14.12	2.3
3	Internal Wall on Bridge	Verti.	14.12	0.8
4	390A Grider on Bridge Dk,	Verti.	14.12	2.0
5	C Deck , stb'd	Verti.	12.62	0.5
6	C Deck, port	Verti.	12.62	0.9

표 2.4 Engine Load 80% 직진,선수 0.5m 트립 상태 계측 결과

No	Measuring Position	Dire.	Results	
			Peak Freq. (Hz)	Peak Velo. (mm/s)
1	390A Grider on Bridge Dk, port	Verti.	14.0	5.3
2	390A Grider on Bridge Dk, stb'd	Verti.	14.0	7.5

표 2.5 Engine Load 80%, 직진 ,프로펠러 단독작 동시 계측 결과

No	Measuring Position	Dire.	Results	
			Peak Freq. (Hz)	Peak Velo. (mm/s)
1	390A Girder on Bridge Dk, stb'd (port propeller operation)	Verti.	18.7	0.5
2	390A Girder on Bridge Dk, stb'd (stb'd propeller operation)	Verti.	12.5	1.0

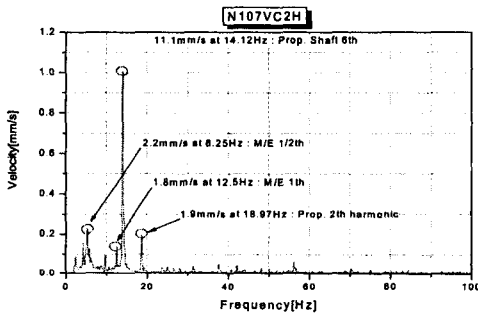


Fig. 2.1 Vibration Response Spectrum of Main Girder on the Bridge Deck, stb'd (90% Load, Straight Course)

2.3 계측 결과의 분석

이상의 계측 결과에서 알 수 있듯이 본선의 시운전시 상부구조물의 Bridge Deck에서 Load 80% 상태에서 상하방향으로 약 11.1 mm/s의 과도진동 현상이 일어나고 있음을 알 수 있었으며 가진성분은 Propeller Shaft의 6차 성분으로 나타났다.

1) 구조물 진동 특성

본선의 상부구조물의 각 Deck는 390*8+120*10(T)가 deck의 굽힘 강성을 담당하는 주부재로써 Girder와 Web 부재로 사용되고 있으며 그위에 6t의 plate와 plate를 보강하기 위한 75*75*6 사이즈의 deck beam이 사용되고 있다. 계측결과에서 알 수 있듯이 Deck House의 상하방향의 주강성 부재인 main girder가 propeller shaft RPM의 6차 성분에 의해 가진되어 과도진동 현상을 일으키고 있음을 알 수 있다. 그리고 진동 거

동 양상은 deck plate와 보강 beam의 진동치가 girder의 진동치와 비교해서 크게 증폭되고 있지 않은 것으로 볼 때 girder의 굽힘 진동 모드가 주진동 모드로 계측되었다.

2) 기진력 진동 특성

본선의 경우 일반선박과 기진력 특성에서 매우 상이한 특성을 보이고 있으며 이를 정리하면 아래와 같다.

① 주요 진동 기진력

일반적으로 상선에 있어서의 주된 선체 진동 기진원은 Main Engine에서 발생하는 불평형력 및 내부,외부 모멘트 성분 그리고 Propeller 및 Shaft에서 발생하는 조화성분들이다. 본선의 경우 선체 기진력이 Engine에서 전력 발전을 위해 750 rpm의 높은 회전수로 회전하며 이 축의 회전수는 중간의 reduction 기어를 통해 감속되어 약 145 rpm 정도로 Propeller Shaft를 가진시키는 방식이며 두개의 Propeller를 가지며 가변 피치 Propeller를 이용하여 Load를 조절하고 있다.

따라서, 선체 구조 진동 특성을 고려하면 상부구조물의 고유진동수와 가까운 M/E 1차 성분인 12.5 Hz 성분과 Propeller 2차 하모닉 성분인 19.3Hz 성분이 가장 유력한 진동 기진성분으로 판단된다. 아래 Fig. 2.2에 과도진동 현상이 발생하지 않았던 본선과 동형선의 Bridge deck에서의 시운전 진동 계측 결과를 나타내었다.

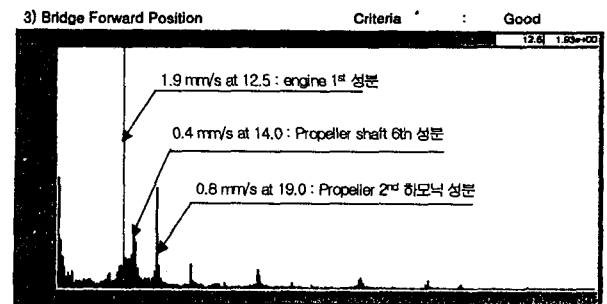


Fig. 2.2 Vibration Measurement Result on Bridge Deck of Parent Ship

Fig. 2.2과 유사위치의 본선 시운전 결과인 Fig. 2.1을 비교하여 보면 알 수 있는 것 같이 기인된 동형선의 경우 bridge deck에서 Engine 1차 기

진력 성분인 12.5 Hz에서 peak치를 보이고 있으며 그 값은 1.5 mm/s의 양호한 진동치를 보이고 있다. 반면 본선의 경우 이전 호선에서 아주 적은 값을 보이던 14.0 Hz 성분이 두드러진 증가를 보여 11.1 mm/s라는 과도 진동 현상을 나타내고 있다. 이것은 상부구조의 구조특성이 동일하다고 가정하면 14.0 Hz의 기진력이 크게 증가하여 상부구조의 Girder 모드를 가진시키고 있다고 판단된다

② 선회상대에서의 진동응답 감소

통상적으로 선박의 경우 타를 사용하여 회전을 하게 되면 유체의 흐름이 불균일하게 되어 선체진동이 증가하는 양상을 보이게 되나 본선의 경우 선회를 할때 진동이 급격하게 감소하는 현상을 보인다.

③ 홀수 변화에 의한 진동 응답 특성

선수트림을 0.5 증가 시킨 상태에서 진동 계측을 수행한 결과 동일조건에서 약 30% 정도의 진동이 감소 되었다.

④ Propeller 단독항해시의 진동 응답 특성

본선의 경우, 가변 피치 프로펠러가 2개 설치된 선박이므로 프로펠러 두개의 상호 작용에 의한 기진력 변화 및 진동 응답을 조사하기 위하여 engine load 80% 상태에서 port 및 stb'd side의 각각의 propeller를 단독으로 작동시킨 상태에서 진동 계측을 수행하였으며 계측 결과, 단독으로 propeller를 항해한 경우에 양쪽 모두 기진력의 변화와 함께 진동 응답이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

3. 상부 구조물 진동 저감 대책

본선과 같은 과도진동의 경우 유체력과 관련되는 진동 발생력의 급격한 증가가 주원인 이지만 실제 그것을 해결하기 위한 노력 및 기술적인 어려움과 불확실성 등의 이유로 현실적으로는 구조 보강을 통해 선체 진동 특성을 강화 시키는 방법이 널리 사용되고 있다.

3.1 상부 구조물 진동 특성

본선의 경우 가장 과도진동이 심한 곳은 Bridge Deck의 상하방향 진동으로 Bridge Deck의 진동 특성을 파악하기 위하여 실선에서의 충격시험 및 유한요소해석을 통하여 구조의 진동특성을 조사하

였으며 그 결과를 아래에 나타내었다.

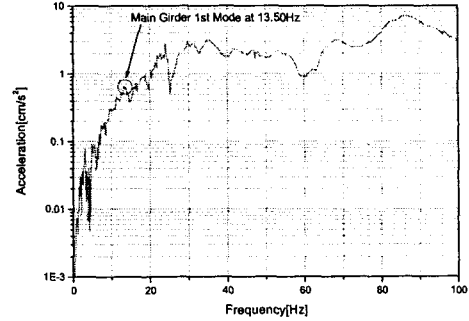


Fig. 3.1 Vibration Response Spectrum excited by Impact Force on Girder Position

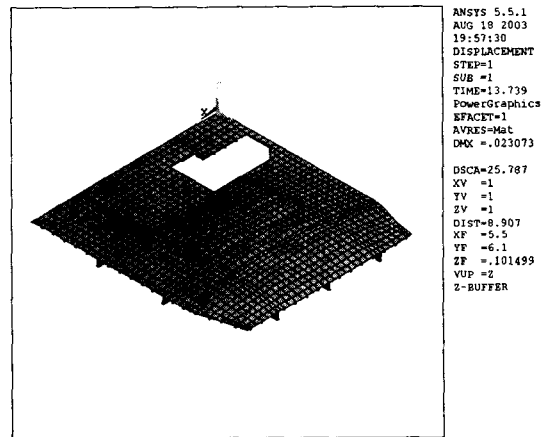


Fig. 3.2 Calculated Vibration Mode of Bridge Deck

이상의 실선 실험 및 해석 결과를 통하여 본선의 brige deck의 1차 굽힘 모드가 약 13.5 Hz에 존재하고 있음을 알 수 있었다.

3.2 진동 저감 대책

구조보강을 통하여 현재의 가진되고 있는 진동 모드를 회피하기 위하여 선체 구조의 검토가 이루어졌으며 보강의 효과를 높이기 위해 하부 구조와 연계성을 고려하여 하부에 필러를 설치하는 방안이 강구 되었으며 수치해석을 통해 보강효과를 확인하고 구조 보강안이 수립되었다. 아래 그림 3.3 과 3.4에 진동 저감 대책의 개념 및 보강후의 고유

진동해석 결과를 나타내었으며, 해석 결과 13.7 Hz에서 나타났던 1차 고유 진동 모드가 22.5 Hz로 상승되었음을 확인할 수 있었다.

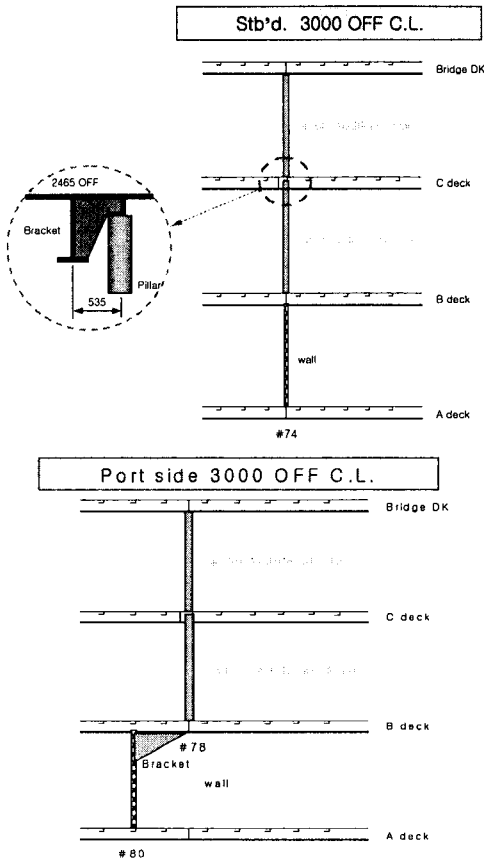


Fig. 3.3 Countermeasure of Bridge Deck

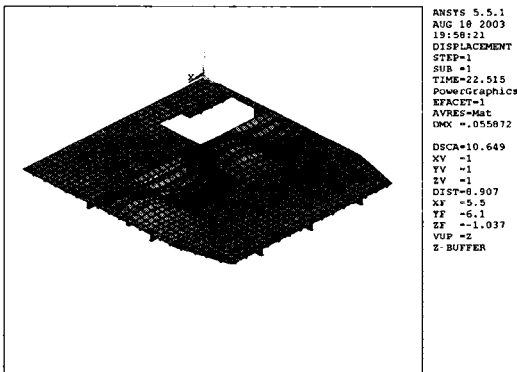


Fig. 3.4 Vibration Analysis Result after reinforcement work for Bridge Deck

4. 대책후 실선 진동 계측 결과

대책이 수행된 후 실선 시운전에서 저감 효과를 알아 보기 위하여 재시운전 상태에서의 진동 계측이 이루어졌으며 그 결과 bridge deck에서 최대 11.1 mm/s를 보였던 과도 진동이 약 2.7 mm/s로 약 1/4 수준으로 감소하였음을 알 수 있었다.

Table 4.1 Vibration Measurement Results during confirmation sea trial after reinforcement works

Condition	RCL 100% filling		RCL empty	
	80% Load	100% Load	80% Load	100% Load
1. Bridge Dk (Fwd, stb'd)	2.54 mm/s (13.9 Hz)	2.63 mm/s (14.3 Hz)	2.72 mm/s (13.9 Hz)	1.01 mm/s (14.3 Hz)
2. Bridge Dk (Fwd, port)	1.78 mm/s (13.9 Hz)	1.32 mm/s (14.3 Hz)	2.20 mm/s (13.9 Hz)	0.8 mm/s (14.3 Hz)
3. B-Deck (1M Cabin)	1.14 mm/s (13.9 Hz)		0.6 mm/s (13.9 Hz)	
4. Main Deck	1.05 mm/s (31.5 Hz)		1.12 mm/s (31.8 Hz)	

5. 결론

특수한 목적을 가진 선박인 Supply Ship의 시운전 진동계측 및 분석과 진동실험 및 해석의 과정을 통하여 시운전중 발생되었던 상부구조물의 과도 진동 현상의 원인 분석 및 저감대책을 수립하였으며 제시된 진동 저감 대책을 적용한 후에 재시운전시의 진동 계측을 통하여 제시된 진동 저감 대책의 유용성을 확인 하였다.

본 선박의 경우 여러 가지 조건의 운항상태에 따른 진동특성 및 동형선과의 진동응답의 비교를 통해 과도진동의 근본적인 원인은 load 80% 상태의 직진 운항시 동형선과 비교하여 급격하게 증가된 이상 유체력에 의한 기진력의 증가가 공진영역에서 상부구조물 굽힘모드를 가진하기 때문으로 추정되며 진동 저감 대책으로는 현실적인 제약등으로 인하여 상부구조물의 강성 보강을 통한 구조물 보강 대책이 이루어졌다.

본 선박의 과도진동의 직접적인 원인은 두개의 프로펠러가 작동시 후류 유체력과 러더사이의 상호 작용에 기인하는 기진력의 증가에 있으므로 이러한 직접적인 원인을 근본적으로 제거하기 위해서는 유체전문가의 체계적인 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.