

모바일하버용 횡동요 저감 장치의 개념 설계

A Conceptual Design of an Anti-Rolling Devices for Mobile Harbors

정태영† · 문석준* · 류재문** · 박철훈* · 조한욱* · 김병인* · 윤현규*** · 강주년****

T. Y. Chung, S. J. Moon, J. M. Lew, C. H. Park, H. W. Cho, B. I. Kim, H. K. Yoon
and K.Y. Kang

1. 서 론

모바일하버는 초대형 컨테이너선의 접안 및 하역이 어려운 항만 근처 해상에서 직접 컨테이너 화물을 적재하고 이를 소형 항만에 하역하여 육상 수송시스템에 연결시켜 주는 개념의 새로운 해양시스템이다. 본 연구에서는 현재 설계되고 있는 250 TEU급 모바일하버에 대한 횡동요 저감 장치의 개념설계를 다루고자 한다. 대상 모바일하버의 형상은 카타마란 형태의 쌍동선이며, 횡동요 저감장치로는 수동형 ART와 자기부상방식의 능동 이동질량형 저감장치(이하, Active Mass Driver, AMD)를 병행하여 사용하는 하이브리드 형태의 장치를 고려하고 있다. 수동형 ART는 정상상태(steady state)에서 모바일하버의 횡동요를 상당부분 줄여주고, 고유주파수 근처에서의 큰 운동 성분 및 비정상상태 성분은 AMD를 이용하여 저감하도록 개념을 설정하고 있다. Table 1에는 본 연구에서 고려하고 있는 250 TEU급 모바일하버의 주요 사양을 정리하였다.

2. 모바일하버의 사양

ART 및 자기부상방식 AMD 설계를 위하여 중요한 파라미터인 모바일하버의 횡동요 주기 산정 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{Roll,ship} = 2\pi \sqrt{\frac{J_{xx}}{\Delta \cdot \overline{GM}}} \quad (1)$$

여기에서, Δ 및 \overline{GM} 은 각각 배수량 및 메타센터 높이이며, J_{xx} 는 부가수 효과가 포함된 질량관성모멘트를 나타낸다. 여기서 부가수 질량관성모멘트는 질량관성모멘트의 20

%로 가정하였다. $\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$ 이고 $\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM}$ 이며, K, B, G 및 M 은 각각 선저, 부력중심, 무게중심 및 메타센터를 지칭한다. \overline{KM} 은 수선면 아래에 잠긴 부분의 선체형상만 알면 쉽게 구할 수 있지만 \overline{KG} 는 질량분포와 밀접한 관계가 있다. 트림과 무게중심의 변화는 ballast와 full 하중상태에서의 값을 내삽하여 계산하였다. Fig. 1은 배수량에 따른 \overline{GM} 과 횡동요 주기를 변화를 보여주고 있다.

3. 감요탱크 (ART)

모바일하버의 사양에서 알 수 있듯이 컨테이너의 적재량에 따라 배수량의 변동폭이 큰 특성을 가지고 있고 \overline{GM} 의 크기 또한 배수량에 따라 차이가 크기 때문에 모바일하버는 횡동요 주기가 넓은 범위에 걸쳐 존재한다. 따라서 변화하는 횡동요 주기에 대응할 수 있는 tuned type의 ART를 고려하였다. ART가 횡동요 저감장치로서 작동하기 위해서 ART 탱크 내 물의 동요주기는 모바일하버의 동요주기와 같도록 설계해야 한다. ART의 고유주기는 다음과 같이 근사적으로 표현할 수 있다.

$$T_{Roll} = 2\pi \sqrt{\left(h + R \frac{A \cdot L_T}{a \cdot L_{open}}\right) / g} \quad (2)$$

식 (2)에서 L_T 는 ART의 길이, L_{open} 는 gate가 막혀 있지 않은 ART의 길이로 gate가 모두 열려 있다면 L_T 와 같고, 탱크 길이의 25%씩을 막는 게이트가 2조 있다고 할 때 게이트가 하나 닫히면 L_{open} 는 $0.75L_T$ 가 된다. 또한, h, A 는 각각 ART 윙탱크의 높이와 폭을 나타내며, a 는 덕트의 높이, R 은 선박의 반폭에서 $A/2$ 를 뺀 값, g 는 중력가속도이며, Fig. 2에 나타나어 있다. Fig. 3은 만재상태에서 ART를 설치하였을 때의 RAO특성을 ART를 설치하지 않았을 때와 비교하여 도시하였다.

4. 자기부상 방식의 AMD

AMD의 이동 질량은 설계 배수량(7,500톤)의 0.5% 수준으로 결정하였으며, 이동 변위는 모바일하버의 폭(33m)의 1/2, 이동 속도는 횡동요 주기를 고려하였다. 자

† 교신저자 : 한국기계연구원
E-mail : tychung@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7420, Fax : (042) 868-7418

* 한국기계연구원

** 충남대학교

*** 창원대학교

**** Strathclyde Univ., UK

기부상 방식은 전자석이 적용된 EMS(Electro-Magnetic Suspension) 방식을 선정하고 설계를 수행하였다. Fig. 4는 250 TEU급 모바일하버의 중앙단면부 갑판아래 설치된 자기부상방식 AMD의 모습을 3D로 표현한 것이다. 대차에는 차량을 부상시키는 부상/안내용 전자석, 추진용 선형유도전동기, 공기 체동용 장치, 안내휠 및 착지휠, 집전장치 및 각종 센서 등으로 구성되어 있다. 모바일하버에 설치된 자기부상식 AMD 대차는 자기부상열차의 대차구조를 적용하여 전자석에 지지되어 레일을 감싸는 구조이다. 자기부상식의 대차는 궤도와 비접촉 운행특성으로 인해 우수한 주행특성과 저소음, 높은 유지보수성을 가질 수 있다. 등판능력도 우수하여 7% (약 4°) 구배의 등판이 가능할 것으로 예상된다. 대차는 프레임과 외판, 취부용 브라켓 등, 각종 장치들로 구성되어 있으며, 상대적으로 짧은 선체 폭(33m)에서 30m의 레일로 구성되므로 1 대차 시스템으로 적용하였다. 프레임에는 Main Frame, Rib, Tie beam 등의 요소가 있으며, 좌우 1조를 이룬다.

5. 결 론

본 연구에서는 250TEU급 쌍동선형 모바일하버의 횡동요 저감을 위하여 운동방정식의 정립과 저감장치로서 tuned type ART와 자기부상방식 AMD의 개념설계를 통해 적용성을 검토하였다. 먼저 과량 중에서 모바일하버와 탑재될 횡동요 저감장치의 연성운동을 해석하는 방법의 정식화와 더불어 수치 시뮬레이션을 통하여 탑재될 가상의 횡동요 저감장치의 저감효과를 분석하였다. 현재 설계되고 있는 모바일하버는 선형이 단동선형이 아닌 쌍동형으로서 단동선형에 비하여 짧은 횡동요 주기를 가지며, 또한 컨테이너의 적재량에 따라 배수량의 차이가 큰 특성을 가지고 있으므로 횡동요 주기가 넓은 범위에 존재한다. 따라서 변화하는 횡동요 주기에 대응할 수 있는 tuned type의 ART를 고려하고, 소형모델을 제작하여 성능의 검증과 더불어 실선용의 ART를 시 설계하였다. 이와 더불어 모바일하버의 횡동요를 능동적으로 저감해 줄 수 있는 자기부상방식 AMD의 모형을 설계제작하고, 성능을 확인하였다. 이를 기반으로 실선용에 대한 시 설계를 수행하였다.

후 기

본 논문은 교육과학부에서 지원하는 ‘모바일하버 개발’사업의 ‘Smart Carrier의 횡동요 저감장치 개발’에 관한 연구에 의해 수행된 논문입니다.

Table 1 Principal dimension of the mobile harbor

Item	Designed value
LOA	76.75 m
LBP	70.00 m
Breadth	33.00 m
Breadth of side hull	12.00 m
Depth	11.00 m
Draft	5.30 m
Displacement	7469.30 ton
GMt	15.61 m
Speed	8 knots

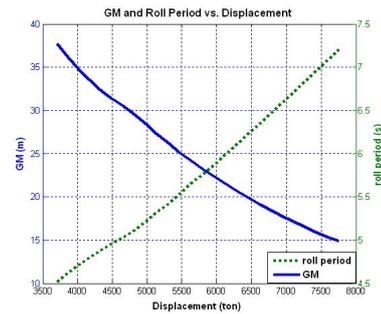


Fig. 1 \overline{GM} and roll period of the Mobile Harbor

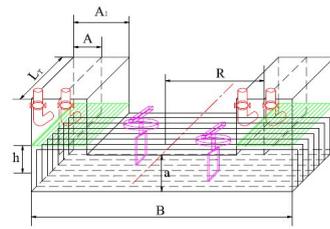


Fig. 2 Schematic configuration of tuned ART

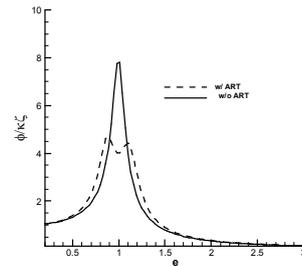


Fig. 3 Effect of the finally designed ART

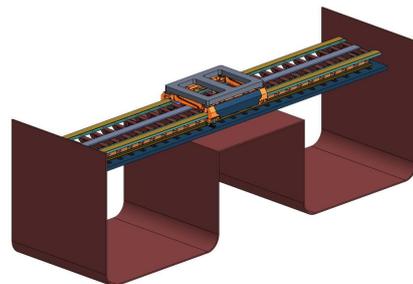


Fig. 4 3D CAD drawings for AMD