

선체에 작용하는 비선형 파랑하중

윤 범 상 <울산대학교 교수>

1. 파랑하중의 분류

파랑중을 운동하면서 전진하는 선체에는 외부유체로부터 각종 하중이 작용하는데 이를 통칭하여 파랑하중이라 부른다. 단동선의 경우에 국한하여 파랑하중을 성격별로 분류하면 다음과 같다.

◆ 주선체하중

선체의 어느 횡단면에 작용하는 하중으로서 수직 전단력, 수직굽힘모멘트의 수직 파랑하중과 수평전단력, 수평굽힘모멘트, 비틀림모멘트의 수평파랑하중이 이에 속한다. 선체의 길이 방향으로 작용하는 축력을 포함시키는 수도 있으나 구조설계의 측면에서 중요하지 않으므로 무시하는 것이 보통이다. 일반적으로 수평파랑하중은 수직파랑하중에 비해 크기가 작기 때문에 그 중요도가 낮게 인식되는 반면, 갑판 개구가 큰 목재운반선 또는 컨테이너선등에 있어서는 중요한 외력이 된다. 선체의 종강도해석에 필요한 주요정보인 이들 주선체하중은 개념적으로 고정된 선체에 작용하는 파랑외력과 관성력, 감쇠력, 복원력 등의 선체운동에 기인하는 힘과의 차로서 표현되고 볼 수 있다.

◆ 국부하중

주선체하중 이외에 선체의 어느 한부분에 집중되어 작용하는 국부하중이 있는데 슬래밍 또는 갑판침수 등에 의한 하중이 이에 속한다. 국부하중은 주로 파랑중 선체의 과도운동에 기인하는 것으로서 현상 자체 뿐아니라 하중치와 하중의 시간거동 등에 있어 현저한 비선형적인 성질을 갖고 있다. 국부하중은 주선체하중에도 물론 커다란 영향을 미치지만 오히려 국부적인 파손, 선체진동 등의 문제를 야기하는 점에서 그 중요도가 인식되고 있다.

◆ 외판의 압력분포

종래 파랑하중이라는 용어는 힘의 차원에서 정의된 것이므로 이 부분은 제외되어 온 것이 사실이지만, 주선체하중 또는 국부하중을 유발하는 미시적인 관점에서의 유체의 압력분포를 광의의 파랑하중 범주에 포함시키는 것이 옳을 것이다. 외판에 작용하는 압력분포야말로 선체구조해석을 위해 가장 중요한 구체적 정보이기 때문이다.

2. 비선형 파랑하중

선형 파랑하중, 비선형 파랑하중의 구분은 물리적인 개념에서라기보다는 선형이론으로 추정이 가능한지 또는 불가능한지라는 다분히 이론적인 기준에서 비롯된다. 선형파랑하중은 그 값의 크기가 입사파의 파고에 비례하고 시간거동 역시 배와 파도의 만남주파수로 움직이는 성질을 가지고 있으며 이는 실제로 미소파고, 미소운동의 영역에서 성립한다. 그러나 파도가 높아지고 선체의 운동도 커지게 되면, 파랑하중의 크기와 파고 사이의 1차 비례관계가 깨질 뿐만 아니라 시간거동 역시 만남주파수 이외의 주파수로 움직이는 성분을 포함하기도 하는데 이를 비선형파랑하중이라 칭한다. 이 비선형 파랑하중, 또는 파랑하중의 비선형성은 슬래밍과 같은 과도운동이 일어나는 경우와 그러한 과도운동은 발생하지 않을 정도의 대파고, 대운동상태에 있어 그 성격이 다르다.

◆ 대파고 파랑중 대운동을 하는 경우

대파고 파랑중 대운동을 하되 슬래밍과 같은 충격 현상은 동반하지 않는 경우에는 주선체하중의 비선형성이 주로 논의의 대상이 된다. 그림1에서 볼 수 있듯이 미소파고 규칙파도중에서는 파도와 같은 주파수로 변동하는 규칙적인 하중결과가 얻어지는 반면, 파고가 높아지면 비선형성이 나타나게 된다[1].

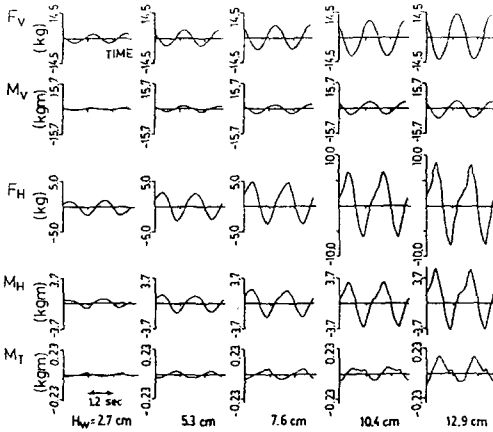


Fig.1 Typical experimental results of wave loads in oblique regular waves, Ref[1]

규칙파의 파고가 높아지면서 계측된 파랑하중의 시간이력이 점차 찌그러지는 현상을 보이고 있다. 일반형상의 선체의 경우 이 비선형성은 수직파랑하중보다는 수평파랑하중에 더욱 현저하게 나타나며, 하중의 최대값도 파고에 선형적으로 비례하지 않게 된다. 선박의 운동을 포함하는 대부분의 내항성 관련 응답에 있어서의 비선형성은 선형결과보다 작은 방향으로 작용하는 것이 보통이지만, 수평파랑하중 특히 비틀모멘트의 경우는 비선형성분이 그 값을 크게하는 쪽으로 작용한다는 점이 주목된다.

◆ 충격현상을 동반하는 경우

파고와 선박의 운동이 더욱 커지게 되면, 경우에 따라서는 슬래밍 또는 갑판침수와 같은 충격현상이 발생하게 됨으로써 파랑하중의 비선형성은 더욱 커진다. 이 경우의 충격력은 대체로 수직방향으로 주된 성분을 갖게 되므로 수평파랑하중보다 수직파랑하중의 비선형성이 더욱 강조된다. 그림2에서 보는 바와 같이 예를 들어 선저충격시의 하중(국부압력에 대한 측정치)의 시간거동은 매우 짧은 주기, 즉 선체의 고유진동 주기로 움직이는 성분을 포함하며, 뾰족한 피크치로 나타나는 최대값 또한 훨씬 커진다.[2]. 매우 짧은 시간동안 충격압이 일정부위에 작용함으로써 주선체하중의 순간적인 증가로 인한 종강도 상의 문제도 문제려니와, 그 충격 압력 때문에 국부적인 파단의 문제가 더욱 심각해진다.

◆ 정수면 상부의판의 동압력분포

선형이론으로서는 정수면 하부의판에 작용하는 유

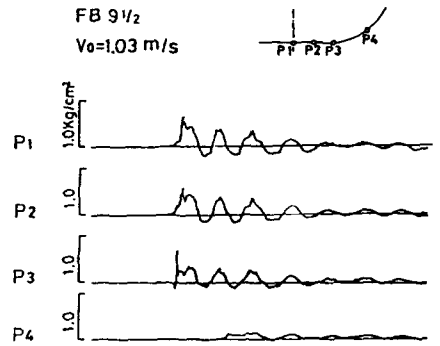
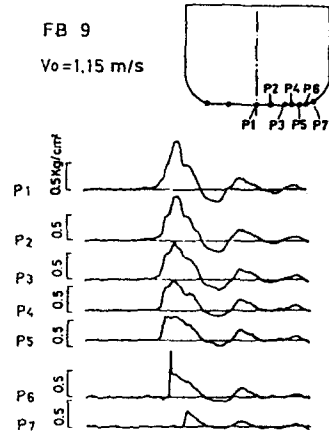


Fig.2 Typical experimental results of slamming impact pressure, Ref[2]

체압력만이 추정될 수 있기 때문에 정수면 상부의판에 작용하는 그것은 정수면으로부터의 수직위치가 커지면서 선형적으로 감소할 것을 가정한 선급률 [3,4,5]이 통상 사용된다. 그러나 파고가 높아지면 이 성질 역시 성립하지 않게되며, 선체의 파괴파괴가 자유표면 근처에서 자주 발생한다는 사실을 놓고볼 때 이의 비선형적 성질 파악은 물론 이의 정량화가 매우 필요할 것으로 보인다.

3. 비선형 파랑하중의 추정

◆ 이론추정

선박과 같은 세장체가 미소파고 파랑중을 항행할 때의 선체운동 나아가 선체에 작용하는 파랑하중을 추정하는 방법으로서 선형스트립법[6,7,8]이 흔히 사용되며, 추파영역에서의 약간의 문제가 있는 점을 제외하면 실용적으로는 충분한 방법으로 인정되고 있

다. 그러나 파도가 높아지면 선체의 운동도 커지게 되어 자유표면조건의 비선형성 뿐만 아니라 물체표면조건의 비선형성이 현저하게 나타나게 되어 이를 무시할 수 없게 된다. 일반적으로 선체운동, 파랑하중을 논하는 주파수영역에서는 자유표면의 비선형성보다 물수형상의 시간변화에 따른 비선형성이 더욱 지배적인 이유인 것으로 알려져 있다[9].

대파고 파랑중 충격현상을 동반하지 않는 경우의 운동응답 그리고 그때의 비선형 파랑하중을 추정하는 한 방법으로서, 기본적으로는 스트립이론을 적용하되 시간변화하는 선체의 수면하 순간형상을 추적해가며 시간영역에서 해를 구해 나가는 방법이 있다 [10]. 그림3은 이 방법으로 구한 파랑하중의 시간이력을 보여주는 한 예이다.

충격현상 특히 슬래밍이 발생하는 경우의 하중추

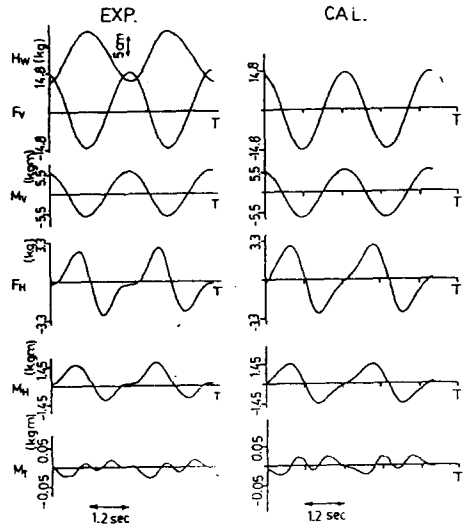


Fig.3 Calculated results compared with measurements. Ref[10]

정법에는 2단계해석법[11,12]과 시뮬레이션 기법 [13,14]의 두가지가 있다. 전자의 경우는 선형 스트립이론으로 구한 선체의 운동응답으로부터 선체와 파도와의 상대변위를 따로 계산해 슬래밍의 발생여부와 발생부위를 우선 판단한다. 만약 슬래밍이 발생한다면 충격압 또는 충격외력을 선체의 형상 및 충돌 속도의 함수로 표현되는 기존의 경험식 [15,16]에 의해 추정하는 매우 실용적인 방법이다. 이 방법은 충격하중의 크기는 예측할 수 있으나 이의 시간거동은 추정이 불가능한 것이 단점이다.

한편 시뮬레이션기법은 선체운동 계산시, 순간 물

수형상의 변화에 기인하는 충격력을 고려하는 소위 모멘텀 슬래밍이론을 도입해 시간영역에서 구해 나가는 방법이다. 이 방법은 선체운동과 충격력을 포함하는 외력사이의 상호작용이 모두 고려되는 점에서 더욱 정확한 결과를 기대할 수 있고 또한 선체를 탄성체로 모델링함으로써 충격력의 시간거동과 선체의 탄성응답 등을 동시에 구할 수 있는 장점이 있는 반면(유체탄성학의 중심과제), 충격력 평가에 있어 선저형상의 한계가 있고 무엇보다도 충격압력분포를 구할 수 없다는 단점이 있다. 그 이외에도 실선의 강성, 구조감쇠 등에 대한 입력자료를 확보하기가 매우 어렵다는 점도 들 수 있으나, 현존하는 어떠한 방법보다도 가장 이론적으로 타당한 배경을 갖고 있다는 점에서 확립된 방법으로 굳어질 전망이다.

이상은 어디까지나 2차원 스트립법이라는 내항성 해석법의 연장선상에서 이루어진 노력의 일환인 반면, 유체 및 구조의 영역을 동시에 포함하는 개척분야로서, 선체와 이를 둘러싼 유체에 대해 유한요소법 또는 유한요소와 경계요소의 혼합법 등으로 미시적인 압력분포와 선체의 국부구조 응답을 동시에 추정하는 연구도 최근 시도되고 있다. 그러나 구조해석을 위한 정보로서의 파랑하중이라는 유체역학적 용어에 충실하기 위해 이 부분의 세부적인 설명은 생략하기로 한다.

기타 정수면 상부 선체외판에 작용하는 비선형 국부압력을 이론 추정하려는 노력은 거의 눈에 띄지 않으나, 추가적으로 물에 닿는 부위에 대한 고려로서 보조 속도포텐셜을 도입하는 방법[17], 주파수 영역에서 구한 선형운동응답을 이용해 정수면 상부 부위에 작용하는 1주기동안 시간영역에서 추정하는 실용적인 방법[18] 등이 있다.

◆ 실험추정

모든 공학문제가 그렇듯이 이 분야에서도 실험연구가 매우 중요하나, 국내에서는 실험 수행예를 거의 찾을 수 없고, 오직 외국의 예가 주를 이루고 있다. 사각수조 또는 2차원 조파수조에서 예인실험 또는 자항실험을 통해 파랑하중을 계측하는 일은 일차적으로 이론추정법을 검증할 목적이고 나아가 계측결과를 선체구조 강도 해석을 위한 입력자료로서 직접 활용할 수도 있다.

충격현상을 동반하지 않는 경우의 실험은 선체의 탄성응답과 파랑하중과의 상관관계가 대체로 무시되므로 분할모형(그림 4-1)을 이용하여 수행한다. 충격현상을 동반하는 경우에는 등골모형(그림 4-2) 또

는 탄성모형(그림 4-3)을 이용할 수 있다. 실선과 같은 강성과 구조감쇠계수를 갖는 모형을 제작하는 일이 난제로 남아 있어 이는 주로 이론추정법의 검증에 국한하고 있는 실정이다.

4. 맺음말



Fig.4.1 Divided model

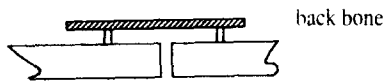


Fig.4.2 Back bone model

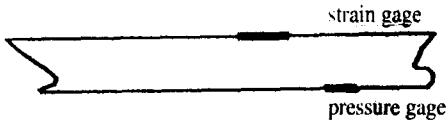


Fig.4.3 Elastic mode

과랑하중은 선체의 구조해석을 위해 필수적인 입력자료로서 이의 정확한 추정이 매우 중요하다는 사실은 누구도 인정하지만, 이는 기본적으로 구조역학의 문제가 아니며 또한 내항성 분야의 기본관심 항목도 아니기 때문에 적어도 국내에서는 양분야로부터 경원시되어 온 것이 사실이다. 최근 ITTC와 ISSC가 이의 중요성을 새삼스레 인식하고 이에 관한 산하기구를 두어 공동으로 운영하고자 하는 노력은 매우 고무적인 일이라 할 수 있다. 이 분야에 많은 사람의 관심과 연구가 있기를 기대해 본다.

참 고 문 헌

[1] M. Fujino and B.S. Yoon : A study on wave loads acting on a ship in large amplitude waves(1,2,3 report), *Journal of SANJ*, Vol.156, 157, 158 (1984-1985)

[2] T. Miyamoto and K. Tanizawa : A study of the impact load on ship bow, *Journal of SNAJ*, Vol.156(1984)

[3] ABS : Rules for building and classing s-

teel vessels

[4] DNV : Rules for calssification of steel ships

[5] NKK : Rules and regulations for the construction and classification of ships

[6] Wahab, R. and Vink, J.H. : Wave induced motion and loads on ship in oblique waves, *ISP*, Vol.22, No.249 (1975)

[7] F. Tasai : Theory and calculation method for ship responses in regular waves, Proc. of the 1st symposium on seakeeping(1969)

[8] Salvesen, N., E.O. Tuck, and Faltinsen, O. : Ship motions and sea load, *T-SNAME*, Vol.78(1970)

[9] Y. Kyozyuka : Nonlinear hydrodynamic forces acting on two dimestional bodies, *Journal of SANJ*, Vol.148,149,150,152 (1980-1983)

[10] M. Fujino and B.S. Yoon : A practical method of estimating ship motions and wave loads in large amplitude waves, *ISP*, Vol.33, No.385(1986)

[11] R.E.D. Bishop, R.E. Taylor and K.L. Jackson : On the structural dynamics of ship hulls in waves, *Trans. RINA*, Vol.115(1973)

[12] A. Mansour and J.M. d' Oliveira : Hull bending moment due to ship bottom slamming in regular waves, *JSR*, Vol.19, No.2(1975)

[13] Y. Yamamoto, M. Fujino, T.Fukasawa and H.Ohtsubo : Slamming and whipping of ships among rough seas, Numerical Analysis of the Dynamics of Ship Structures, EUROMECH 122, Paris(1979)

[14] G.G. Parissis : The effects of hull shape nonlinearities on the calculation of heave and pitch of a ship, MIT, Department of naval architecture and marine engineering report No.64-6(1964)

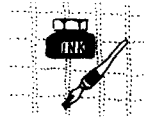
[15] M.K. Ochi and L.E. Motter : Prediction of slamming characteristics and hull responses for ship design, *T-SNAME*,

Vol.81(1973)

- [16] S.L. Chuang : Slamming tests of three dimensional models in calm water and waves, Dept. of Navy, NSRDC, report 4095(1973)
- [17] T. Fukasawa and Y. Hattori : On the wave load for transverse strength of

bulk carrier, Proceeding of 7th TEAM, Ulsan(1993)

- [18] B.S. Yoon and P.D.C. Yang : A simple prediction algorithm of local pressure acting on near free surface plating of a ship, Proceeding of 9th TEAM, Hiroshima(1995)



원 고 모 집

본 학회에서는 회원 여러분의 보다 폭넓은 참여를 원하고 있습니다.
 주저하지 마시고 투고하여 주십시오.
 (많은 분이 참여하실 수 있도록 원고 분량의 기준을 지켜주시기 바랍니다)

◆ 원 고 내 용

권 두 언	회 원 제 안	전 망
연구 / 개 발	해 외 체 재 기	강 좌
기 술 보 고	논 문	특집기사용 원고
수 해 회	논 단	조선해양관련소식
원 동 정	신조선/신기술	국제회의 참가기
	조 사 보 고	

◆◆◆

최대원고분량은 A4 용지로
4~8매이며
디스켓과 함께 제출하여
주십시오

◆◆

원고는
수시로 접수합니다

◆◆◆◆

원고제출은
서울시 강남구 역삼동 635-4, 과학기술회관 508호
대한조선학회 편집담당자앞(135-703)
TEL : (02) 568-7533, 539-2380
FAX : (02) 554-1006
Hitel, 천리안 ID : snak