

선박유체 동역학의 위험성

특성규명을 구

이 기 표
(서울대학교 교수)

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구사업으로 선정되어 1987년 10월초부터 1989년 9월말까지 3년간에 걸쳐 수행되었다. 선박유체 동역학의 학적 관점에서의 비선형해석은 광범위한 공학 분야를 내포하고 있으나, 본 과제에서는 유체 유체의 자유표면파 문제중

- 대진폭운동에 기인한 비선형 동유체력의 특성 해석
- 쇄파현상과 쇄파중에서의 부유체의 운동 해석
- 비선형 동유체력의 시간영역 해석
- 비선형 조타현상의 수치해법 개발

의 4가지 세부과제에 대해 서울대학교의 황중홍 교수, 배광준 교수, 최항순 교수 그리고 이기표 교수가 총괄 및 각 세부과제의 책임자가 되어 연구를 수행하였으며, 그 연구내용을 간략하게 소개하면 아래와 같다.

연구내용

선박 및 해양구조물은 물과 공기의 접촉면 즉 자유표면 상에서 작동되므로 자유표면의 존재로 인하여 발생된 중력파와의 상호간섭을 받고 있다. 따라서 파중에서 부유체의 운동성능, 파랑하중, 조파저항 등은 중요한 설계인자이며, 파중에서 우수한 성능이 보장되고 또 구조물의 손상에 따른 전복으로부터 안전한 부유체의 설계를 위해서는 사전에 정확한 추정이 필수적이다. 그러나 부유체 주위의 유동은 자유표면파와의 상호작용으로 인하여 매우 복잡하

고 대부분 선형이론을 이용한 정성적인 추정을 실험 데이터를 설계자료로 사용하고 있다.

선박의 경우에는 해상에서의 교통량이 많아지고, 부유체의 크기가 대형화 됨으로서 해양오염방지, 선진호동이 주요 관심사로 대두되었으며, 부유체에서 첨단기술을 접목시켜 지능화 그리고 자동화되는 추세에 있다. 따라서 지금까지의 선형이론에 입각한 정성적인 추정 결과는 정확한 비선형적인 해석결과가 요구되는 현시점에서 설계자료로서 사용하기에 만족스럽지 못한 상태이다.

이와 같이 따라 설계요구조건을 충족시킬 수 있게 할 충분한 정확도를 갖는 이론적 해석결과를 얻기 위하여 부유체 주위의 유체 동력학적 특성을 해석하고 특히 비선형 효과를 규명하기 위한 기초연구를 수행하였다.

- 대진폭운동에 기인한 비선형 동유체력의 특성해석

주로 2차원 및 3차원 부유체의 대진폭 동요에 기인한 동유체력의 시간영역에서의 경계요소법에 의한 비선형 해석, 고차 스펙트럴법에 의한 잠수 주상체 주위 자유표면 유동의 비선형 해석법에 관한 연구가 수행되었다.

2차원 문제로서는 쇄기단면 주상체의 입수문제와 대진폭 강제상하동요 문제에 있어서의 비선형 효과를 Vinje-Brevig의 Cauchy적분 정리에 의한 방법을 응용하여 시간영역에서 조사하였으며, 주상체 표면에 작용하는 동압력은 스펙트럴법에 의한 타 연구 결과와 비교하였

다.

3차원 문제로서는 원뿔과 구가 자유표면상에서 대진폭으로 상하동요할 때 수면의 상하변위와 물체 표면에 작용하는 동유체력이 시간영역에서 계산되었으며 선형결과와 비교 고찰되었다. 또 실제 문제로서 고속 컨테이너 운반선의 선수 플레어 슬래밍으로 기인한 충격력을 운동량 슬래밍 이론에 따라서 계산하고 선급협회의 규칙과 비교 검토하였다.

끝으로 Dommermuth-Yue등의 고차 스펙트럴법에 새로이 물체 포텐셜을 도입하여, 물체의 강제운동에 의한 비선형 자유표면 유동을 다룰 수 있는 새로운 수치해법을 개발하였으며, 수면직하 잠수 주상체에 대한 계산을 예를 다루었다.

－ 쇄파현상과 쇄파중에서의 부유체의 운동 해석

입사파의 비선형성과 부유체에 미치는 효과에 대한 연구를 수행하였으며, 그 결과를 (1)쇄파, (2)천수역 고립파 그리고 (3)마하반사로 나누어 기술하였다.

(1) 2차원 프런저형 쇄파의 진행과정을 경계적분법으로 수치해석하였다. 대칭파에 대한 비선형 파 이론과는 달리 쇄파전면에서 물입자의 속도와 가속도가 각각 전파속도의 1.8배와 증력가속도의 6배보다 더 큰 값을 얻었다. 이러한 쇄파에 놓인 잠수체에 작용하는 하중에서는 수면변화에 의한 정압이 지배적이며, 수면의 비대칭으로 인하여 수평력이 음이 될 수 있음을 규명하였다. 그러나 부유체에는 동압의 영향이 중요하며 부유체의 횡동요는 시간에 따라 증가하여 전복에 까지 이를 수 있음을 보였다.

(2) 선박이 제한수소에서 임계속도로 항진할 때 발생하여 선수 앞으로 전파하는 비선형 고립파를 Kadomtsev-Petviashvili 방정식으로 기술하였다. 선박을 세장체로 가정하여 조파저항, 침하 및 종경사를 계산하여 실험치에 근사한 결과를 얻었다. 또한 파정선이 수로벽에 반사하여 일직선을 이루는 현상에는 스템(stem)파의 발생이 중요한 역학적 구조임을 밝혔다.

(3) 비선형파에 대한 궁극적인 연구는 안정성

에 귀착한다. 이 질문에 대한 답을 구하기 위하여 쇄파에 입사하는 반사파, 특히 입사각 20° 근처에서 발생하는 마하스텝반사에 초점을 맞춘 기초연구를 수행하였다. 마하반사파의 일반적인 경우에는 Zakharov 방정식을, 안정된 정현변조의 경우에는 선형항을 포함한 3차 Schrödinger 방정식을 유도하여 계산을 수행하였다. 수치결과는 실험에서 확인된 현상을 잘 반영하고 있으며, 분산성보다는 비선형성이 지배적인 자임을 확인하였다.

－ 비선형 동유체력의 시간영역해석

시간영역에서의 직접적인 해석법을 사용하여 비선형 동유체력을 해석하였으며, 그 내용을 아래와 같이 5개의 소과제로 나누어 기술하였다.

(1) 선형 동유체력을 시간영역에서 해석하기 위한 초기치 문제를 형성하였으며, 임의의 형상을 갖는 단면에 대해서도 수치해석이 가능하게끔 적분방정식법을 사용하였다. 또 기억효과(memory effect)를 고려하기 위하여 시간변수인 그린 함수를 이용하였다. 본 방법에 의한 해석결과는 Chapman의 해석방법에 의한 타 연구결과와 비교함으로써, 본 방법의 타당성을 보였다.

(2) 비선형 동유체력을 해석하기 위한 초기치 및 경계치 문제를 형성하였으며, 섭동법을 사용하여 2차 차수까지만 고려하였다. 수치해석을 위하여 시간영역에서의 2차 차수 문제가 물체의 운동에 의한 항, 자유표면상의 입력분포에 의한 항, 물체와 자유표면에 분포된 압력의 상호작용에 의한 항으로 분리될 수 있음을 보였다. 특히 물체와 자유표면과의 교점 부근에서의 유체 거동에 대한 해석은 비선형 동유체력의 수치해석을 위한 선결문제이므로 이 문제에 대한 해석방법을 정립하였다.

(3) 계산기에서의 많은 기억용량을 필요로 하고 또 계산에 많은 시간이 소요되고 있는 섭동법을 사용한 해석방법의 단점을 극복하기 위하여 직접적인 수치해석방법을 도입하였다. 이 방법에서는 계산영역을 내부와 외부영역으로 나눈 후, 내부영역은 Semi-Lagrangian Time

Stopping Method, 이기형씨는 Zolcharev방정식을 사용하였으며, 각각의 해를 경계면에서 정합하였다. 본 방법을 사용하여 비선형 동유체력을 수치해석한 결과, 계산소요시간을 대폭 줄일 수 있었으며, 만족스러운 결과를 얻었다.

(4) 자유표면상에 떠 있는 부유체의 운동응답을 시간영역에서 직접적으로 유추하기 위하여 운동방정식을 convolution형태로 나타내었으며, 부유체가 자유동요할 때의 운동응답 결과를 타 연구결과와 비교함으로써 해석방법의 타당성을 입증하였다. 또 과도상태의 파가 입사하는 경우에 부유체의 과도운동응답에 대한 수치해석 결과도 보여주고 있다.

(5) 서울대학교 선형시험수조에서 강제동요시험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 선형시험수조의 전차에는 강제동요장치(PMM)를 탑재할 수가 없었기 때문에 보조전차를 자체 제작하여 사용하였으며, 사향실험과 수평동요, 선수동요에 대한 강제동요시험을 수행하여 이론해석 결과와 비교하였다.

— 비선형 조파현상의 수치해법 개발

비선형 초기 및 경제치 문제로 정식화된 원래의 문제를 하밀톤 원리에 근거한 고전적인 변분법의 적용으로 치환하고, 이를 유한요소법으로 수치해법을 구하였다. 정상문제를 위한 수치해법에서는 하류 방사조건을 선형해와 수치적 정합을 위하여 비선형-선형 천이 구간을 도입하였다. 비선형 문제를 위해서는 압원딩과 랫핑 방법을 도입하여 수치안정을 개선하였다. 이리하여 얻은 최종식을 비선형 1차 미분방정식으로서 시간에 대한 적분에는 4차 룬지 쿿타

방법을 이용하였다.

본 수치해법의 응용으로서 여러가지 물리적 문제를 다루었다. 2차원 정상 및 비정상 유동문제, 3차원 축대칭 원주의 비선형 상하운동문제, 선형수조에서의 비선형 천수파 문제 및 수치선형수조실험을 모사하는 일반적인 3차원 선박 조파저항 문제 등이다. 구체적인 계산 모델로서는 2차원 및 3차원 각 수조에서의 슬로싱 문제를 정상 및 비정상 해석을 통하여 수치결과를 비교 검토하였다. 3차원 수직 축대칭 용기내의 유체가 충격을 받을 때의 자유 표면 거동을 계산하여 기존의 실험치와 비교 검토하였다. 3차원 축대칭 부유체의 상하운동 문제를 초기 문제로 하여 시간 영역에서의 수치 그린함수를 도입하여 적절한 정합을 통한 수치해법을 구하였다. 수조시험을 모사하기 위한 수치수조 실험 모델로서 천수역에서의 임계속도에서 고립파의 생성에 대한 수치계산을 수행하고 특히 수조의 넓이의 변화에 따른 고립파의 생성에 대한 체계적인 계산을 수행하였다. 끝으로 수치 시험수조를 모사하기 위하여 일반 선형 및 Froude수에 대한 선박 조파저항 계산법을 연구 개발하였다.

본 수치해법의 여러가지 응용으로부터 이 방법이 비선형 조파현상을 규명하는데 보다 일반적이며, 장차 수조시험을 대체할 수 있는 가능성을 보여준다.

끝으로 본 연구의 성공적인 수행을 위하여 여러모로 도와주신 과학재단의 관련 여러분들과, 본 연구에 관련된 연구원, 연구조원 여러분들께 심심한 감사를 표합니다.

최근 발간된 국외저명 학술지의 목차입니다.
연구활동에 참고하시기 바랍니다.

Marine Technology
Volume 28, Number 1. MAY 1991

113 The Application of Critical Path Methodology to the Management of Ship Design Programs

- by James P. Guppelt
120 Preliminary Design of a High-Speed SWATH Propulsion Gear Train
- by A. Papadokolaou, G. Zaraphonitis, and M. Andronakos
112 Designing the Future U.S. Naval Surface Fleet for Efficiency and Productivity
- by Clark Graham and Michael Desworth
133 Floating Body Equilibrium by Potential Energy Minimization
- by Antonio Campanile
163 Ship Maneuverability Analysis Using Non-By State Techniques
- by Yolf, Vsnovsky, Kang-Ning Zhu and M. S. Gales