

고속선의 동적응답

김 사 수 <부산대학교>

1. 서 언

고속선에 대한 연구는 군관계의 연구를 제외하게 되면 그 연구의 역사가 비교적 얕다. 여기에서는 고속선개발에 관하여 중요하다고 보는 요점들을 들어 보기로 한다.

고속선의 고속화는 선체의 경량화가 불가피하게 되었다. 이와 같은 선체의 경량화는 강도상의 여유가 줄어드는 반면 선체자체의 고유진동수가 저하하게 된다.

또 고속화는 파랑하중, 특히 파랑충격하중이 증대되고 파랑과 만나게 되는 조우주파수가 증가되는 반면 상대적으로 선체고유진동수의 저하를 가져오게 되기 때문에 주기적인 파랑외력과의 동조가 될 기회가 많아지게 된다.

한편 고속화는 새로운 구조방식, 새로운 운항 pattern, 신재료의 적용등으로 인하여 종래 방식에 의하여 축적된 지식이나 경험이 반드시 유효하다고는 볼 수 없게 된다.

또, 고속선의 형식과 용도가 다양화되어 감에 따라 서로가 다른 특징을 가지기 때문에 다음과 같은 유형 별로 그 문제점과 연구동향을 들어보기로 한다.

2. 유형별 문제점과 연구동향

2.1 활주정

대형활주정모형에 대한 시험을 통하여 slamming 충격압력의 계측을 하고, 그 계측결과로부터 얻은 Stavovy등의 반실험적 추정해석, Wagner의 이론식과 DNV의 HSLC rule과 비교연구가 되고 있다. 이들의 비교, 연구결과에 의하면 추정해석은 아직까지 정량적으로 평가할 수 있는 수준에 이르지 못하고 있

다.

선체구조의 global한 응답에 관하여는 배길이가 짧은 경우는 문제가 없지만 60m급 이상이 되면 반복되는 slamming하중과의 동조가 될 위험성이 증가하게 된다. 또, 배수량형고속선의 선체 종응답으로는 탄성모형실험과 그 계산프로그램에 의한 수치해석결과 서로가 상당한 접근을 보이고 있다. 이와 같은 탄성응답은 고속시의 파랑 종굽힘모우멘트가 저속시인 것보다 2배정도 크게 증가하게 된다. 또, 파와의 2차동조에 의한 springing이 관측할수 있게 되는데 이와 같은 진동은 피로강도의 관점에서는 중요한 자료가 되고 있다. 한편 유한요소법을 적용, 소형 알미늄정의 진동 mode를 구하고 JONSWAP의 파 spectrum을 활용, 발생시킨 인공불규칙파에서 30분간의 실험을 통하여 slamming과 whipping에 대한 시계열 수치simulation결과는 피로강도에 대한 중요한 검토자료가 되고 있다.

2.2 수중익 고속선

수중익을 가진 고속선의 파랑중 종응답을 검토하기 위해서는 수중익에서 발생하게 되는 동적 양력에 대한 평가가 필요하게 된다. 이와 같은 평가를 위하여 수중익의 양력을 고려한 hydro-foil catamaran의 파랑중 종운동과 종굽힘응답에 의한 계산평가와 수중익 slamming에 의한 충격하중을 수중익의 부가질량변화에 의한 운동량변화로부터 파랑중 과도진동응답에 대한 수치 simulation에 의한 평가를 하고 있다.

또, 수중익을 가진 배의 고유한 문제로서, 수중익과 그의 지지구조 결합부에 대한 강도문제가 대두되고 있다. 이때 수중익과 그의 지지구조에 작용하는 하중으로는 조종운동에 의한 완만한 변동을 하는 양

력, 파와 만나는 주파수로서 변동하는 파랑하중, 고주파수로서 변동하는 flutter하중등을 들 수 있다. 또 예상되는 손상 mode로서는, strut의 붕괴 또는 좌굴, 수중익의 붕괴 또는 좌굴, 수중익과 지지구조의 결합부에 대한 피로파괴를 들 수 있다.

2.3 표면효과선

On cushion 상태의 표면효과선에는, 선체의 pitch운동이 크게 되면, 선체 단부에 설치된 seal로부터의 air가 누설되기 때문에, 급격한 가속도 변동이 일어날 가능성이 있게 된다. 그 결과 거주성이나 구조계의 동적거동에 크게 영향을 미치게 된다. 이와 같은 on cushion상태에서의 표면효과선에 작용하게 되는 굽힘 moment에 대한 계산과 실험결과가 비교검토되고 있다. 이로부터 표면효과선에는 선수의 flexible bag이 파랑충격의 shock를 흡수하기 때문에 선수부근의 slamming은 그리 크지 않다고도 밝혀지고 있다. 그러나, on cushion상태에서의 표면효과선의 응답에서 문제가 되는 것은 모형실험결과 실선사이에서의 대응관계를 이루는 상사성이 성립되지 않기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다.

2.4 쌍동고속선

쌍동선의 유체력계산법에 관한 선체운동계산과 global한 파랑하중계산은 상당한 수준에 접근되고 있다.

국부적 구조응답의 문제로는 쌍동고속선에서는 cross deck하면에서의 slamming이다. 이와 같은 slamming으로 인하여 swath의 cross deck하면에서 유발하게 되는 충격압력에 대하여는 각종 추정식에 의한 압력추정치와 실험결과가 비교검토되고 있지만 그 추정결과는 크게 차이가 나타나기 때문에 대응이 잘 이루어지고 있지 않다. 따라서 구조응답해석에 필요한 정보를 재정리하여 신뢰할 수 있는 새로운 추정해석이 요망되고 있다.

3. 공통된 과제

3.1 Water jet 주변의 국부진동

고속선에 유력한 추진장치로서 water jet방식이 있다. 이 경우에 해당되는 연구로는 수중익선의 선미외판에 작용하는 압력, 가속도 및 strain의 계측치로부터 water jet로부터 분출되는 유체력에 의한 국부진동응답을 구하는 연구, 유체의 수중분출에 의한 높은 주파수를 가진 변동수압과 이로 인한 선미외판진

동응답으로 유발되는 응력이 피로강도상에 미치는 연구 등을 들 수 있다.

3.2 구조용 재료

경량화를 지향한 고강도 내구재료인 섬유강화 플라스틱(fiber reinforced plastics, GFRP) sandwich 구조를 채용한 고속선에 대한 손상해석을 하기 위한 실험연구, 요소부재에 slamming pulse하중을 가한 4점굽힘시험연구, 손상mode로서 심재의 전단균열과 적층판의 박리발생규명에 대한 연구, 심재의 접합용 접착제의 영향규명에 대한 연구, 2차원 선체모형의 수면 낙하실험에 의한 압력, 동적strain의 계측치와 DnV의 High Speed Light Craft 규정과 비교하여 규정의 계산식개선에 대한 제안연구, 충격에너지를 잘 흡수하는 GFRP재료특성을 이용한 유연성구조선체 설계의 가능성에 대한 제안연구, 파랑중의 알루미늄고속선의 slamming과 whipping에 대한 수치simulation에 의하여 구한 strain의 시계열의 입력자료를 이용한 피로강도에 대한 연구등을 들 수 있다.

3.3 응답해석

선체를 보요소로 model화 하여 파랑중에서의 비선형 과도진동 응답을 수치simulation하는 기술에 관하여는 이미 많은 연구가 되어, 이를 단동선(single hull ship)진동응답 simulation해석기법에 적용되고 있다. 그 대표적인 계산실례로 배수량형 고속선이나 수중익을 가진 고속선의 중응답 검토에 이용되고 있다. 그러나 종강도와 횡강도를 분리하여 해석하기가 어려운 쌍동선이나 복잡한 선체형상을 가진 신형고속선 등에도 해석이 가능한 해석기법 개발이 필요하다. 한편 비선형 과도진동 응답 계산법일 경우에는 계산이론에 그 한계가 있기 때문에 실용성 있는 기법에 대한 검토가 필요하다. 그 실례로 인공적으로 발생시킨 단기불규칙해면에서의 simulation을 통한 통계해석방법이다.

Slamming충격하중을 받았을 때의 국부적인 부재에 대한 동적응답문제로서 일반적으로 이용되고 있는 방법으로는 파(파장, 파고등)로 인하여 발생하게 되는 slamming인 경우인데, 이때 수면과 선체와의 관계(충격속도, 충격각도등)로부터 얻게 되는 반경험적인 설계하중을 구하게 되는 방법인데, 이와같은 방법인 경우에는 선체근방의 국부적인 파변형이나 구조계의 동적응답등의 영향을 고려하게 되는 실적자료가 feedback 되어 하중추정식에 반영되게 된다.

그러나 이와같은 접근방법으로는 유사한 구조물을 설계하는 목적에는 실용성이 가능할지는 모르겠으나 범용성을 가진 방법이라 할 수는 없다. 따라서 선형과 선속 등은 물론 하중의 공간적 분포와 시간적 변화에 대한 정보를 모두 고려한 추정법을 개발하는 것이 중요하다고 본다. 또 수치유체역학을 응용하는 등의 접근 방법도 고려되고 있다.

끝으로 종강도의 통계해석과 관련시킨, model화(계산이론, 계산 program 등을 의미) 그자체가 가진 고유의 불확실성과 물리현상자체가 가진 고유의 random성에 기인되는 불확실성이 내재하기 때문에 이를 명확하게 분리하여 해석정도를 향상시켜 정량적으로 파악해줄 필요성이 요구되고 있다. 이를 동적 구조응답의 관점에서 검토하여 보면 우선 파랑의 추정정도(비선형성, 방향성, 단파정성, 목시관측오차 등), 항법의 추정정도(황천피항 등), 파랑하중의 추정정도(추정식, 계산program 등), 구조응답해석의 정도(계산program, 경계조건 등) 등 각 해석단계별로 현상의 random성과 해석방법의 정도와를 비교 검토가 요구되고 있다. 이와같은 검토를 통하여 불합리한 요소를 중점적으로 개선하여 나가는 것이 전체적으로 해석정도를 향상시키고 평형을 잘 이룬 동적 응답해석기술의 개발방법으로 제안되고 있다.

4. 결 언

이상에서 언급한 바와 같이 선박의 고속화, 경량화, 전문화 및 대형화의 촉진과 더불어 신형식 선박

의 출현으로 기존의 해석방법과 같은 개념으로는 새로운 문제점에 대한 해결이 불가능하다. 따라서 이와같은 새로운 외력환경에 대한 신형식 선박에 구애받지 않고 범용으로 이용이 가능할 수 있게 하기 위해서는 하중의 공간적 분포와 시간적 변화에 대한 정보를 정도높게 추정할 수 있는 방법이 바람직하다고 본다. 이를 해결할 수 있는 유일한 방법은 우리가 지금까지 소홀하여 왔던 반복적 실험이 뒷받침되어, 수치이론의 모델화 과정에서나 물리현상 설정과정에서 내재하게 되는 random한 불확실성을 정량적으로 파악해 두어야 신형식 선박 개발에 신뢰할 수 있는 동적 응답해석이 가능해질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 조규중, "21세기를 향한 조선공학의 전개방향", 대한조선학회지, 제29권 제4호, 1992.
- [2] 배광준등, "최근 10년간의 학회활동", 대한조선학회지, 제29권 제4호, 1982.
- [3] 황종홍, "조선공학분야의 학술연구 및 기술전망", 대한조선학회지, 제9권 제2호, 1972.
- [4] 한국선급, "선박진동·소음제어지침", 문원문화사, 서울, 1991.
- [5] 大高勝夫, "船體振動の研究動向", 日本造船學會誌, 第764號, 1992.
- [6] 荒井 誠, "構造の研究動向-動的應答", 日本造船學會誌, 第762號, 1992.



대한조선학회 영문논문집 제 2권 제 3호가 곧 발간.