

## 21세기를 향한 조선공학의 전개방향



조 규 종  
<인하대학교 명예교수>

### 서 언

산업구조가 고도화됨에 따라 산업분야별로 전문화된 기술이 필요하게 되고 이에 따라 공학도 여러 전문분야로 세분화되었다. 과거의 조선공학은 선박이론분야와 선박조건분야로 양분할 수 있으며 요즈음에도 본질적인 면에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 다만 근래에는 해양개발 및 해양기기에 관련된 기술수요가 증대되어 해양공학분야가 크게 각광을 받고 있다.

21세기의 조선공업에서는 소위 '첨단기술'의 도입에 의한 생산성 향상과 선박의 자동화, 지능화 및 고신뢰도화가 이루어지고 새로운 형식의 선박이 출현할 것으로 예상되므로, 이러한 종합적인 기술을 개발하기 위한 국제경쟁은 더욱 심화될 것이다. 따라서 선박은 전체적으로 경제성, 신뢰성이 강조되는 하나의 시스템공학 제품으로서의 성격이 크게 강조될 것이며, 이에 따라 조선공학은 더욱 이론적인 깊이를 더하고 세분화되어야 할 것으로 예상된다.

결론적으로 보면, 최근 산업구조의 급속한 변화와 요소기술의 발전에 따라 조선기술에 큰 변화가 초래되고 있으며 이에 따라 새로운 공학분야의 역할이 점차 증대되어 갈 것이다. 그러나 지구상에 바다가 존재하는 한 대형 화물을 가장 경제적으로 운송할 수 있는 것은 선박일 것이고 이를 다루는 미래의 조선기술 또한 그 근간을 조선공학에 두고 있으리라는 것은 의심의 여지가 없을 것이다. 본고에서는 이러한 조선공학의 각 분야별 연구현황

과 앞으로의 전개방향을 다음과 같이 요약하여 기술하고자 한다.

### 유체분야

**조파저항 :** 조파저항이론은 선박유체역학 분야에서도 가장 오래되고 가장 발전된 분야의 하나로서 이미 선박의 기본설계에 널리 활용되는 단계에 와 있다. 최근에 들어서는 전산기 및 수치해석법의 발달에 따라 이미 사용되어 오던 편이론(Panel Method)뿐만 아니라 경계요소법(BEM)이나 유한차분법(FDM)등도 널리 활용되고 있다.

이미 Neumann-Kelvin문제, Hess & Smith나 Dawson의 XYZ 방법 등과 같은 편이론 또는 Guilloton방법 등에서도 물체 경계조건을 더욱 정밀하게 만족시켜 주기 위한 노력을 하고 있다. 그러나 이 들은 선형화된 자유수면조건을 그대로 사용하고 있으므로 엄밀한 의미에서 고차이론이라고 보기 힘들기 때문에 비선형 자유수면 경계조건을 만족시켜 주기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러한 노력의 일환으로 비선형 자유수면 경계조건을 만족하는 Rankine 쏘오스분포를 반복연산으로 구하거나 비선형 자유수면과 문제를 유한차분법이나 경계요소법 또는 유한요소법 등으로 Euler방정식이나 Navier-Stokes 방정식을 수치적으로 해석함으로써 다루고 있으며 선수 부근에서의 쇄파 현상 등 비선형선수파 문제에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

조파저항 및 자유수면파에 대한 점성의 영향에

관한 연구도 많은 진전을 보이고 있으며 점성효과가 조파저항에 큰 영향을 미치고 있음이 보고되고 있다. 경계층 방정식과 경계층에 의한 배제두께를 고려한 속도포텐시얼을 반복적으로 계산함으로써 조파저항에 대한 점성의 효과를 고려하기도 하며 자유수면파와 반류의 상호작용에 대한 연구도 진행되고 있다. Navier-Stokes방정식의 수치해석에 자유수면을 고려한 연구도 수행되었다. 그러나 점성유동의 해석에 적합한 자유수면 경계조건에 대한 연구가 앞으로 필요할 것이며 실선의 크기에 해당하는 Reynolds 수에서의 계산이 수행되면 조파저항계수의 첫수효과 규명에 도움이 될 것이다.

고속선형의 경우에는 조파저항이 선박이 받는 저항의 대부분을 차지하고 있고 초고속선의 개발이 당면한 과제임을 고려하면 기존의 선형조파저항 이론이나 과형계측결과를 이용한 과형해석법 등이 초기선형설계에 적용될 수 있을 것이다. 특히 전술한 바와 같이 비선형 자유수면경계조건이나 점성효과를 고려한 수치적인 접근방법들이 앞으로 큰 진전을 보일 것으로 기대된다. 조파저항에 관한 이론은 실선이나 모형시험 결과와의 비교, 검증을 통하여 개선, 발전되어 가야 할 것이며 이러한 관점에서 최근 KTTC저항, 추진 분과가 공동으로 주최한 국내의 각 기관이 보유하고 있는 편이론을 이용한 수치계산조직으로 유사한 두선형의 조파저항을 계산하고 그 결과들을 실험치와 비교, 검증하기 위한 Workshop은 큰 의의를 갖는다고 할 수 있으며 국내 조파저항이론의 발전을 위하여 이러한 공동연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

**점성저항 :** 점성저항은 항주하는 선박이 받는 저항의 대부분을 차지하고 있으며 선박의 추진효율 또한 선체주위 점성유동장의 영향을 크게 받기 때문에 성능이 우수한 선박을 설계하려면 점성유동장에 대한 이해가 우선되지 않으면 안된다. 이에 따라 오래 전부터 점성유동장을 해석하기 위한 노력이 계속되어 오고 있으며 최근에는 전산기의 급속한 발달에 힘입어 선체주위의 3차원 난류유동장을 수치적으로 해석하기 위한 연구가 집중적으로 진행되고 있다.

선체 주위의 3차원 점성유동장을 경계층방정식

으로 근사하여 계산하는 방법도 활발히 이용되고 있으며 편미분 방정식인 경계층 방정식을 유한차분법과 같은 수치적 방법으로 직접 푸는 미분법과 방정식을 경계층 두께방향으로 적분하여 얻어진 2차원 방정식을 푸는 적분법 등이 주로 사용되고 있다. 경계층방정식을 수치적으로 해석하기 위한 다양한 방법들은 1980년에 개최된 선박 경계층에 대한 SSPA-ITTC 공동 Workshop에 잘 나타나 있으며 유동장이 매우 복잡한 선미부를 제외하면 선수일부를 제외한 대부분의 영역에서 좋은 결과를 보여주기 때문에 유용하게 적용될 수 있는 경우가 많다.

최근에는 선미주위의 점성유동장은 주로 Navier-Stokes 방정식을 사용하여 해석하고 있는데 이 때 수치적으로 상당한 어려움이 따른다. 우선 여러개의 비선형 방정식이 연성되어 있으므로 이를 효율적으로 처리할 수 있는 수치해석법이 필요하며 사용된 수치해석법의 안정성, 방정식의 이산화에 따른 오차 그리고 사용가능한 전산기의 기억용량 및 계산속도등에 의한 여러가지 제약을 받는다. 특히 난류유동을 수치적으로 직접 해석하는 것은 비현실적이므로 적절한 근사법을 이용하여야 한다.

선미주위의 난류유동을 수치적으로 해석하기 위한 다양한 방법들은 1989년 일본 Hiroshima에서 개최된 제5회 국제 수치선박유체역학회의 (5th ICNSH)와 1990년 스웨덴 Gothenburg에서 개최된 선박점성유동에 관한 SSPA-CTH-IIHR의 공동 Workshop에서 찾아볼 수 있다. 대개 Navier-Stokes 방정식을 평균유동의 개념으로 모형화한 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식을 주로 유한차분법과 유한체적법을 이용하여 계산하며 좌표계로는 일부 등각사상법을 제외하면 타원형편미분방정식에 의한 비직교 좌선좌표계를 사용하고 있다. 난류모형으로는 2·방정식 모형인  $k-\epsilon$  모형이 주로 이용되나 단순한 형태인 Baldwin-Lomax 등의 0·방정식 모형을 사용하여도 큰 차이는 없는 것으로 보인다.

현재, 수치계산 결과들은 실험결과와 정성적으로는 잘 일치하고 있으나 최적선미형상을 설계할 때 사용할 수 있는 단계에는 미치지 못하고 있는

것으로 보인다. 그러나 모형시험결과를 실선으로 확장하기 위한 모형선-실선 상관관계를 정립하고 선수에서의 쇄파현상, 충류-천이-난류 경계 층의 영향, 빌지 보오텍스의 영향, 선미부의 점성 유동 및 후류와 과형간의 상호작용, 선체부가물의 영향, 표면거칠기의 영향 및 제한수로의 영향 등 다양한 유체역학적 현상들에 대한 보다 정확한 이해를 위하여 궁극적으로 이들을 정량적으로 추정할 수 있는 정도를 갖는 수치해석법이 개발되어야 한다. 또한 선미의 난류유동장에서 작동하고 있는 추진기 타 및 그 밖의 추진효율을 향상시키기 위한 선체부가물들의 성능을 정확히 추정하고 설계하기 위하여 선체주위 점성유동장에 대한 이해가 필요하다.

보다 정확하고 신뢰할 수 있는 수치계산 결과를 얻기 위하여 수치해석법의 안정성, 일관성, 수렴성 및 계산된 수치해의 좌표계와의 독립성 등이 검증되어야 함은 물론 속도, 압력장 및 난류특성 등에 대한 정밀한 실험을 수행하고 그 결과와의 철저한 검증이 선행되어야 하며, 이를 위하여는 실험이나 수치해석결과들을 그래프 기법을 활용하여 가시화하는 노력도 필요할 것이다. 나아가서는 실험 결과의 불확실성에 대한 해석은 물론, 새로운 실험기법의 개발과 표면 전단력 등을 직접 계측하려는 노력도 수치적 방법을 개발하고 검증하기 위하여 반드시 필요한 작업으로 생각된다.

최근들어 수치유체역학분야의 급격한 발전에 따라 선체주의의 점성유동해석에 수치계산법을 응용하고자 하는 노력이 활발히 이루어지고 있고 실제로 상당한 성과를 얻고 있다. 이에 따라 수치 예인수조라는 개념이 도입되어 선박의 유체역학적 제성능을 수치적인 실험을 통하여 예측하려는 시도도 이루어지고 있으나 현재로서는 정량적인 추정은 어려운 상태이다. 그러나 선박의 개념설계 단계에서 선형, 특히 선미선형의 변화에 따른 효과를 정성적으로 예측함으로써 모형시험에 소요되는 시간과 경비를 절감하거나 모형선에 대한 시험결과를 실선에 확장하는데 이용될 수 있는 시기는 과히 멀지 않은 것으로 보인다. 이를 성취하기 위하여는 선박유체역학을 지탱하고 있는 세 기둥인 이론, 실험 그리고 수치해석 방법들이 상호보

완하며 조화롭게 발전되어야 할 것이다.

**추진성능** : 과거 우리나라의 선박 추진성능분야에 대한 연구 및 기술개발은 각 대학의 선형시험 수조에서 교육적인 차원으로 수행되어 왔으며 실제의 선박에 적용하기 위한 노력은 국내 조선공업이 발전하기 시작한 1970년대 초 이후에야 본격적으로 이루어졌다. 그 후 추진성능이 우수한 선형을 개발하고 기본도면을 지급하려는 지속적인 노력과 해사기술연구소 및 현대선박해양연구소의 대형 선형수조가 효율적으로 가동됨으로써 이제는 국내조선업계가 세계적인 선형개발능력을 갖추게 되었다. 실선 속력시운전의 수행 및 해석에 관한 기법도 오래전부터 조선업계가 중심이 되어 발전되어 왔으나 대형선의 프로펠러 축에서의 추력계측, 파랑이나 조류의 영향에 의한 선속감소 등에 대한 연구가 필요한 것으로 보인다.

자항요소의 특성에 관한 연구도 많은 진전을 보이고 있다. 선미반류가 프로펠러와 상호작용함으로써 얻어지는 유효반류에 관한 연구에서는 프로펠러가 작동하고 있을 때의 전체 유속을 유효속도와 프로펠러에 의한 포텐시얼 유기속도의 선형적인 합으로 정의하고 프로펠러와 선미점성유동장의 상호작용을 고려한 유효반류분포에 대한 이론계산을 행한다. 그러나 이론적으로는 선미의 3차원 점성유동장에 대한 추정이 어렵기 때문에 주로 간단한 기하학적 형상을 갖는 물체의 유효반류추정을 위한 연구에 국한되어 왔다. 현재 실선에 대한 유효반류는 선미유동장을 비압축성 비점성 유동으로 단순화하고 간단한 축대칭모형, 공칭반류 보오텍스(Ring Vortex Tube)모형 등을 이용하거나 선형화된 Euler방정식을 직접 해석하여 계산한다. 유효반류를 실험적으로 해석하려면 프로펠러에 매우 가까운 곳에서의 유동특성을 교란을 최소화하면서 계측할 수 있어야 하기 때문에 레이저 유속계(LDV)가 주로 이용되고 있으며 앞으로 프로펠러 평면에서의 불균일 속도분포가 프로펠러의 특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구가 필요할 것이다.

프로펠러를 설계하고 개발하기 위한 이론적인 연구도 활발하게 진행되고 있으며 정밀한 계산을 위한 다양한 이론해석법들이 개발되어 비정상 프

로펠러의 성능해석에까지 적용되고 있다. 고속 전산기의 발전에 따라 양력면이론에서는 보오텍스 및 쏘오스를 분포하는 경계치 문제의 수치적 해석 방법이 널리 사용되고 있으며 프로펠러 후류 보오텍스를 해석하기 위한 비선형후연 보오텍스 모형에 대한 실험 및 이론적인 연구도 진행되고 있다. 또한 양력판 이론(Panel Method)이 보급되어 프로펠러 형상을 정도 높게 고려함으로써 프로펠러 앞날 및 뒷날 근처에서의 계산정도가 향상되었으며 비정상프로펠러 성능해석에도 적용되고 있다. 이러한 이론방법들은 각종 프로펠러의 설계에 적용되어 날개단면의 개발 뿐만 아니라 고출력 덕트 프로펠러로부터 에너지절약을 위한 저회전 대직경 프로펠러 그리고 저진동 HSP(High Skewed Propeller)의 개발에 공헌하였다. 캐비테이션의 초기발생 억제 및 이에 따른 소음의 감소와 추진 효율의 향상을 위하여 새로운 날개단면을 개발하려는 노력도 계속되고 있어 현재 독자적인 설계법을 정립하고 실선 프로펠러 설계에 성공적으로 적용하는 단계에 이르렀다.

추진효율이 높은 선형, 특히 선미형상을 도출하기 위한 기초적인 연구로서 선형요소와 추진요소와의 상관관계를 규명하기 위한 연구가 수행되었다. 이 연구에서는 추진요소에 영향을 미치는 선형요소들을 실험적으로 파악하고 수치적으로 해석함으로써 유효반류, 추력감소계수 및 상대회전 효율 등을 이론적으로 추정하고 이에 적합한 추진 성능을 개선하기 위한 편, 덕트 등의 다양한 선체 부가물의 설계법을 정립하기 위한 기초적인 연구도 진행되고 있으며 앞으로도 이러한 분야에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 추진성능을 추정하기 위한 선형시험에 있어서는 자항요소에 미치는 칫수효과를 규명하고 천수등의 제한 수로에서의 추진성능을 추정하기 위한 노력이 있어야 한다. 특히 초고속선, 쌍동선, 표면효과선, 반잠수선 등과 같은 새로운 선형이나 특수한 선형의 추진성능을 해석할 수 있는 능력이 확보되어야 할 것이며 이를 위하여 MHD나 물분사추진과 같은 새로운 추진방식도 연구되어야 한다. 성능이 우수한 프로펠러의 설계를 위하여는 프로펠러의 형상 특히 앞날의 형상을 정도 높게 고려할 수 있

고 점성의 영향을 포함한 3차원적인 날개 설계 기법이 정립되어야 할 것이다.

**내항성능 :** 최근들어 선박이 고급화, 고속화되고, 또한 다양한 목적의 선형이 개발되면서 내항성능에 대한 선박설계자의 관심이 점증하고 있다. 선박을 설계할 때 고려하여야 할 파랑중에서의 선박의 내항성능은 선체의 안전과 관련된 성능(선체운동, 과대운동), 운항안락성에 관련된 성능(국부 가속도, 승선감), 경제적인 운항을 위한 성능(부가저항 및 선속감소) 등으로 대별할 수 있다.

내항성능을 해석하기 위하여는 우선 파랑중에 선체 운동을 추정할 수 있는 기법을 확보하여야 하며, 내항성능에 대한 기준을 설정하고 내항성능을 개선하기 위한 각종 운동제어 시스템을 평가할 수 있는 기법도 확보되어야 한다.

현재, 국내의 내항성능에 관련된 연구인력은 산·학·연을 모두 포함하여 20여명 정도에 불과한 실정이나 지난 20여년간 선체운동의 이론해석 분야에서 괄목할 만한 성과를 이룩하여, 70년대의 스트립이론에 의한 선체운동해석 프로그램의 개발을 시발로 하여, 80년대 중반에는 비선형 시간 영역 해석기법이 개발되었으며, 최근에는 저속 3차원 해석기법의 개발이 이루어졌다. 또한, 특수 선의 운동특성을 해석하기 위한 기법이 개발되어 SWATM선과 소형 활주선에 적용되었으며 최근에는 공기부양선(ACV 및 SES)의 운동특성에 대한 기초적인 연구가 진행되고 있다.

선체 운동제어 장치에 대한 이론적인 연구로서는 ART(Anti-Rolling Tank)를 이용한 선체 횡운동의 감쇄에 대한 연구가 수행된 바 있으며 최근에는 능동제어형 공기부양선의 운동성능, 그리고 지느러미 안정장치에 의한 횡운동 감쇄 등에 대한 연구가 수행되고 있다.

파랑중의 저항 증가에 대한 이론적인 연구는 80년대 초부터 여러 연구 결과가 제시된 바 있으나 선형이론에 근거하기 때문에 과대한 운동이 예측되는 경우에는 적용하기 어렵다는 한계를 가지고 있다.

선체운동에 기인하는 여러가지 유동현상중에서 특히 파랑하중, 슬래밍에 의한 충격하중, 그리고 선내 유동화물에 의한 슬로싱 현상등에 대한 연구

가 80년대 후반부터 현재까지 활발히 수행되고 있으며 앞으로 설계에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

이론적인 연구 결과를 뒷받침하며 이론으로 규명할 수 없는 현상을 추정하기 위한 실험적인 연구들도 80년대 초부터 본격적으로 수행되어 왔다. 그러나 국내의 실험시설들은 대부분 긴 파장의 불규칙파 만을 생성할 수 있기 때문에 선체운동시험은 선수파 및 선미파 중에서 또는 정지하고 있는 선체의 횡파에 의한 횡운동 시험 등 만이 가능한 실정이다.

실험적인 연구들은 주로 이론적으로는 추정하기 어려운 갑판침수, 슬래밍, 파랑표류력, 부가저항 및 추력증가 등의 비선형 현상을 추정할 수 있는 기법의 개발에 역점을 두어 추진되었고 이론적인 방법에 비하여 신뢰성이 높기 때문에 설계시 선박의 내항성능평가에 많이 활용되고 있다.

특수선의 내항성능에 대한 실험적인 연구는 초보적인 단계로 현재 진행되고 있는 초고속선 개발사업과 관련하여 새로운 기법의 개발을 시도하고 있는 단계이다.

앞으로도 계속 더 빠르고 더 새로운 개념의 선박이 개발될 전망이므로 이론 분야에서는 고속선에 적용할 수 있는 3차원 선체운동해석 기법을 개발하고 공기부양선, 수중익선 등의 특수선에 대한 선체운동해석 기법도 개발하여야 하며, 특히 운동제어 장치에 대한 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

실험분야에서는 다 방향파 중에서의 선체운동해석 기법과 특수선의 모형시험 기법 그리고 국부적인 파랑 하중의 추정기법 등에 대한 개발이 이루어질 것으로 예상되며, 파랑 중 자세제어 시스템에 대한 성능 평가 기법의 개발도 이루어 질 것으로 예상된다. 또한 선박의 내항성능에 대한 설계기준을 마련하기 위한 연구도 꾸준히 진행되어 몇몇 특수선을 제외한 대부분의 선형에 대한 체계적인 기준치가 설정될 수 있을 것이다.

그러나, 이러한 예상이 현실화되기 위하여는 대학, 연구기관 그리고 관련기업들의 과감한 투자와 각고의 노력이 요구되며 이를 충족치 못하였을 때는 새로운 조선시장의 개척이 어려워지고 조선

기술의 해외의존도가 심화될 것이다.

**조종성능 :** 최근에 건조되고 있는 선박들은 저항추진성능을 향상시킴으로써 연료를 절감하기 위하여 설계된 특수한 선미형상을 갖고 있는 경우가 많으며 이에 따라 조종성능이 불량한 선박들도 많이 나타나게 되었다. 그 결과 항만이나 수로에서의 조선(操船)이 어렵게 되었고 수심이 얕거나 해상교통량이 많은 해역에서의 선박충돌사고가 빈발하게 되었다.

이에 따라 UN 산하기구인 IMO(국제해사기구)에서는 장기간에 걸친 관련자료수집과 산하회원국들의 의견을 토대로 ‘선박조종성능에 관한 기준’(Maneuvering Standard of Ship)의 제정을 서두르고 있어 늦어도 1996년부터는 새로 건조되는 길이 100m 이상인 선박과 LNG등 위험화물을 수송하는 모든 선박들이 이 규정의 적용을 받을 것으로 예상된다.

이러한 움직임은 선박의 조종성능(선회성능, Zig-Zag 조종 성능 등)에 대한 구체적인 기준을 설정하고 이를 만족하지 못하는 신조선의 운항을 직접적으로 규제하기 위한 것이다. 이러한 국제적인 분위기에도 불구하고 선박조종성능에 대한 우리나라의 연구활동은 매우 미미한 실정이다.

일본 MMG형을 이용한 시뮬레이션 프로그램이 보급되어 초기설계시 선박의 기본제원에 대한 조종성능을 추정하고 있으나 선미형상이 특수한 경우에도 적용할 수 있도록 개선할 필요가 있다.

전가동타에 대한 이론적 연구도 수행되어 실험결과와 잘 일치하고 있음이 보고된 바 있으나 플랩 및 호온타에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

선박조종성능의 시험법으로는 PMM시험과 자유항주시험법을 들 수 있는데 PMM 시험법에서의 많은 진전에도 불구하고 자유항주시험법은 극히 저조한 수준에 머물러 있다.

선박조종시뮬레이터 분야에서는 괄복할만한 진전이 있어 소형 선박조종시뮬레이터는 이미 상업화단계에 도달하였고 현재에는 중형 선박조종시뮬레이터에 대한 연구가 진행중이다.

결론적으로 IMO에서는 1993년까지 선박조종성에 대한 기준제정을 완료할 예정으로 있으므로 이

에 대처하기 위한 적극적인 노력이 요구되며 그러한 노력의 일환으로서 선박조종성분야에서는 다음과 같은 연구가 필요할 것이다. 즉, 선박의 기본 및 상세제원에 의한 조종성능해석법, 특수타를 포함한 최적 타의 설계법, 그리고 실선시운전 해석법 등에 대한 연구가 수행되어야 하며 선체-추진기-타의 상호작용과 실선-모형선 상관관계에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

## 구조분야

선체 및 해양구조물에 대한 앞으로의 기술개발 목표는 경제성과 구조적 신뢰성이 향상된 최적구조를 설계하기 위한 기법의 확립으로써, 이는 구조를 경량화하고 고도의 신뢰성을 갖는 구조시스템을 개발하기 위한 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위하여는 변모하는 선박의 기능과 운항여건을 바탕으로 새로운 구조재료를 활용하고, 최소 중량, 최소 건조비, 최소 운항 관리비 및 향상된 품질관리 기준을 적용하여야 하며 구조의 신뢰성이 확보되고 무진동, 무소음을 추구하는 체계화된 구조설계 기술이 요구된다.

최적설계를 수행하려면 구조시스템 전체를 직접 해석하여야 하고, 선박 기본설계와 생산자동화 기술 등과도 직결되기 때문에 구조경량화를 위한 기술이 매우 중요하며, 전산기를 이용한 고정밀도의 구조해석 뿐만 아니라 실험계측을 통한 신뢰성 확보와 구조강도 응답 평가기법의 정립이 요구된다.

구조의 직접해석에 의한 설계목표는 구조의 경량화와 신구조양식의 개발로 크게 구분할 수 있는데, 신 구조양식의 개발은 경량화의 목표를 달성함과 동시에 선박의 고유 기능도 획기적으로 향상 시킬 수 있으므로 이를 개발하기 위한 노력을 앞으로도 계속하여야 한다. 그러나, 이에 대한 연구는 비용이나 기간 등이 훨씬 많이 소요되므로 당분간은 구조설계면에서 경량화를 주된 목표로 하여 이루어질 것이다. 앞으로 개발될 신 구조양식의 예로서는 원유 유출사고에 대한 해양오염 규제의 강화에 따른 2중 선각구조 유조선의 등장과, 무개갑판 콘테이너선박 및 대형 고속여객선, LNG

선 등 새로운 전용선의 개발을 들 수 있다. 이중에서, 2중선가 선박의 경우는 강제적인 법제화를 통한 의무사항이나 무개갑판 콘테이너 선박의 경우는 IMO규정의 개정에 따라 경제성 향상을 위하여 콘테이너 탑재 효율을 증대시키기 위한 자율적인 형식이다.

직접해석에 의한 구조설계의 궁극적인 목표는 새로운 형식의 선체에 대응한 설계를 규정에 얹매이지 않고 직접 설계하고, 새로운 구조재료를 활용하여 구조물이 최소중량을 갖도록 최적설계이론을 적용하며, Robot를 이용한 CIM 건조기술을 활용하여 생산성을 높이고, 관리비를 최소로 하는 선체구조를 설계하고 생산하는데 있다.

다음은 구조기술 중에서 직접해석법에 의하여 설계를 수행하기 위한 요소기술의 현황에 대해서 살펴보고 앞으로 나아가야 할 방향을 제시하기로 한다. 우선, 최적구조설계를 위한 요소기술은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 파랑 하중의 정밀 해석기술
- 선체 강도의 해석 및 평가기술
- 좌굴, 최종강도의 정밀 해석기술
- 피로 강도의 해석 및 설계기술
- 새로운 구조재료의 응용기술
- 용접기술과 자동화된 종합 건조기술
- 무진동, 무소음 구조설계기술
- 신뢰성 해석 기술
- 최적 설계기술

현재 외국 조선 선진국에서는 위와 같은 요소기술들을 종합화한 구조 설계 시스템들을 개발중에 있으며 일부에서는 실용화 단계에 이르고 있다. 우리의 궁극적인 목표도 위와 같은 시스템의 개발이 될 것이다.

**파랑하중 산정 기술분야 :** 아직도 기존의 선급 규칙이나, ISSC 스펙트럼을 기준으로 한 통계처리법에 의한 하중 산정 결과들을 이용하고 있는 실정이나, 불규칙한 실제 해양상태에 대한 적용에서 문제점이 많이 내포되어 있기 때문에 최근에는 실제해양파의 파랑자료를 수집, 분석하여 등가설계규칙과를 설정하여 좌굴이나 최종강도를 해석하는 극한 설계에 응용하거나, 확률론에 의하여 파랑하중의 장단기 예측을 통한 피로강도 설계에

이용하는 기술을 개발하여 직접구조설계를 수행하는 단계에 이르고 있다.

이러한 기술에 있어서 가장 핵심적인 문제는 실제영역에서의 장기적인 해양파에 대한 자료의 수집이다. 이러한 문제는 선박의 특성상 한 국가의 단독적인 노력보다는 IMO, ITTC 및 ISSC와 같은 국제적인 공동협력이 요구되므로, 체계적인 계획하에 장기적인 연구가 수행되리라 전망한다. 그리고, 선체 및 해양구조물의 운동해석의 정밀화와 Slamming, Green Water 및 고속선에서의 Hydroelasticity 문제와 같은 비선형 하중에 대한 연구는 계속될 것이다.

**선형 강도 해석 기술** : 국내외를 막론하고 상업화 되거나 자체 개발된 유한 요소법 프로그램을 이용하여 3차원 선체구조의 해석 및 설계과정에서 구조 성능의 평가 방법으로 광범위하게 응용되고 있다. 그러나, 유한 요소법의 응용에서 가장 문제 가 되고 있는 입·출력시간의 단축과 아울러 계산 시간의 단축에 대해서는 더욱 많은 노력이 요망되는 분야이다. 특히, 계산시간 단축을 위한 노력의 일환으로 전체 구조해석기법과 새로운 요소의 개발이 계속될 전망이고, Matrix별계산 방식에 대한 연구는 현재 실용화 단계에 이르러서, 이에 대한 국내 연구도 시도되므로, 앞으로는 선체와 같은 대형 구조물 해석에서 크게 이용될 것으로 전망된다. 그리고 선종별 선체해석 전용 프로그램을 계속 개발함으로서 상기의 계산시간과 입·출력시간의 단축도 동시에 이를 수 있음은 물론이고, 계산결과에 대한 평가 방법도 정립하기가 쉬울 것으로 판단되므로, 이에 대한 연구가 앞으로도 계속 수행될 것이다.

**좌굴 해석강도 분야** : 대표적인 비선형 강도 해석 기술로서 선체 및 해양 구조물의 경량화에 따라 이들 구조의 설계시에는 매우 중요한 요소 기술이다. 현재 이 분야에 대한 연구와 노력이 경주 되고 있어 앞으로는 신뢰성이 있고 정도 높은 해석 결과가 기대된다. 구조물의 제작이나 건조시에 발생하는 초기처짐이나 용접 잔류응력등에 의한 초기변형을 포함한 기하학적, 재료적 비선형 문제 까지를 고려한 최종 강도의 해석기법의 개발이 진행되고 있다. 일본의 경우 이러한 문제를 해결하

기 위한 시도로서 제작, 건조에 따른 초기 조건의 불확실성을 고려하여 허용응력을 설정하고 좌굴 강도 계산시간을 대폭 감축하기 위한 방법으로 이상화 구조 해석법을 개발하여 최종 강도의 해석에 응용을 시도하고 있는 바 이는 좋은 한 예가 될 것이다.

**피로 강도 분야** : 각종 재료와 형상 및 초기 부정량 등의 특성에 따른 실적자료와 실험자료의 축적이 계속 요구된다. 또한, 선체등의 국부구조에 대한 응력 집중계수를 정도있게 계산할 수 있는 방법의 개발이 요구되며, 이는 특히 최근에 국내에서도 건조가 시작된 LNG선등과 같은 고부가 가치선의 구조 설계 기술 확립을 위해서는 필수적인 내용으로서 앞으로도 계속 연구되어야 할 분야이다.

**재료·용접분야** : 최근의 조선 재료분야에 있어서의 괄목할만한 발전은 TMCP강의 출현과 선체 재료로서 복합재료의 이용의 증가이다. 그리고, 용접분야에서는 생산비의 절감과 생산시간의 단축을 도모하기 위한 용접과정의 기계화 또는 자동화 설비의 채용을 들 수 있다.

구조용 강재로 사용되고 있는 연강과 일반 고장력강은 용접시에 용접입열에 의한 열 영향부의 인성이 모재에 비해서 대폭 저하되고, 특히 고장력강인 경우는 용접성도 저하되는 경향이 있다. 그래서 최근에는 일본을 중심으로 개발되어 조선용 고장력 강재로서 TMCP강이 등장하였다. TMCP강은 일종의 가공 열처리 강으로서 탄소당량이 적어서 대 용접입열에 대해서도 용접부의 인성이 크게 손상되지 않으며 또한 용접성도 우수하고 용접변형도 종래의 고장력강에 비해서 훨씬 우수하다. 그러나 이에 대한 국내의 조선공업에의 응용은 포항제철에서 TMCP강이 생산되고 있음에도 불구하고 용융에 대한 기술부족으로 활발하지 못하다. 따라서 이 분야에 대한 재료강도에 대한 연구는 물론이고 용접기법들에 대한 연구가 수행되어야 하겠다.

그리고 근래 복합재료의 선체구조 재료로서의 응용이 더욱 활발해지고 있다. 특히 고속 여객선인 경우에는 Sandwich Panel의 형식으로 응용되며 어선이나 방위용 특수선박에서는 경제성과 아

울러 특수목적을 위한 복합재료의 이용이 절대적인 위치에 놓이게 되었다. 일반 화물선에서도 근래에는 갑판 구조물이나 프로펠러의 Bracket 등 국부 구조물에의 응용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 다른 구조 재료에 비하여 비강도가 우수할 뿐만 아니라 충격이나 부식 등에 대한 저항력도 우수하기 때문에 잠수정 구조재료로서의 응용 가능성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

용접분야에서의 최근의 기술개발 방향은, 계속 상승되는 인건비의 절감과 아울러 생산시간의 단축을 위해서 용접의 기계화 또는 자동화가 계속 추진되고 있다. 이 분야의 국내 기술 수준은 선형적인 용접이나 가공에는 단순한 Robot가 응용되는 정도인데 비하여, 외국 선진 조선국에서는 2차원 용접 뿐만 아니라 3차원 구조물의 용접에도 응용이 가능한 Robot가 개발되어 실용화 단계에 있다.

그리고, 앞으로는 해양개발을 위한 심해 잠수정, LNG선박 등에 사용되는 특수강의 특수 용접 기술과 아울러 Laser용접 기술 등에 대해서도 활발한 연구가 요망된다.

**신뢰성 해석분야** : 전체 구조물의 최종 안전성을 종합적으로 평가하는 주요한 기술임에도 불구하고, 선박과 같이 매우 복잡한 환경과 구조양식의 경우에는 수많은 불확정 요인들로 인하여 그 해석적 기법이 극히 제한적으로 개발되어 왔다. 그러므로, 선진 조선국에서는 여러가지 신뢰성 해석기법 중에서, 현재로서는 간이한 방법을 택하여 실제 설계에 응용이 되고 있다.

이 분야에서도 장래의 연구분야의 관건은 해석적인 방법의 개발뿐만 아니라, 각종 불확정 요소들 즉, 파랑하중등 외부 하중뿐만 아니라 각종 구조요소에 대한 구조강도와 파손형태에 대해서도 통계적인 실측자료나 실험자료의 축적이 절실히 요구되며, 이러한 통계자료의 축적만이 신뢰성 설계법의 확립에 절대적인 요소가 되므로, 앞으로 산·학·연의 공동연구와 같은 형태로 종합적이고, 체계적인 신뢰성 해석 연구가 계속될 전망이다.

**최적 설계 기술 분야** : 구조설계의 종합적인 개념으로서 선박의 전체 수명동안의 총 비용을 절감

시키는 방향으로 바뀌고 있다. 따라서, 상기에서 언급한 각종의 요소기술의 개발과 발전은 물론이거니와 위와 같은 총 비용을 절감 시키기 위한 최적설계이론등을 개발하여야 한다. 이 분야에서 특히 중점을 두고 연구 개발되어야 할 과제로서는 최소 건조비를 고려한 종합 설계를 수행하기 위하여 구조설계 변수로 표시될 수 있는 건조비 계산방법의 확립과 아울러 건조비 계산을 위한 각 조선소에서의 건조비 계산용 자료의 축적이다. 또한, 최적구조 설계를 위한 구조해석기법으로는 단순하고, 효율적인 해석법이 계속 개발되어야 한다.

최근에는 최적구조설계를 위한 목적함수로서 구조중량, 생산비, 신뢰성등의 다양한 목적을 동시에 다룰 수 있는 다목적 함수 최적설계 기법이 개발되어 응용단계에 있다. 따라서 앞으로는 이 분야의 국내 연구도 활발할 것이며, 구조의 최적설계를 위한 요소기술의 개발이 계속될 전망이다.

**진동 소음 분야** : 선박의 고속화, 고출력화, 경구조화 및 대형화에 따라 진동 및 소음문제는 더욱 심각해졌고, 이에 노르웨이의 DNV, 불란서의 BV 및 일본의 NK 등 선진 조선국의 선급들은 무진동 및 무소음의 고품질 선박개발을 위한 연구를 활발히 진행하여 진동 및 소음에 대한 제어지침서를 발간하였으며, 국내에서도 KR과 대한조선학회가 공동으로 선박진동소음지침을 발간하였다.

선박진동을 야기하는 기진원은 주기관, 보조기관, 프로펠러, 파랑, 유체유동 등 다양하며, 선박의 구조와 기계장치 등이 복잡하기 때문에 그 영향을 파악하기가 어렵다. 저차 진동해석법에서는 Timoshenko보 이론에 기초한 Schlick형 경험식이 활용되며 초기설계단계에 활용될 수 있다. 그러나 선체의 고차진동, 즉 프로펠러 날개진동수법위의 진동에서는 그 거동이 보거동으로부터 벗어나므로 유한요소법 등에 의하여 해석하여야 하나 방대한 노력과 시간이 소요되기 때문에 선체 후부만을 3차원으로 모형화하고 선체 전부는 1차원 보요소로 모형화하는 방법이 추구되고 있다. 앞으로 주기관 및 축계를 정도 높게 해석하기 위한 모형화 기법을 정립하고 고차진동을 적절히 평가할 수 있는 응답해석방법이 정립되어야 할 것이다.

며 국제표준기구의 ISO6954등의 기준에 적합한 방진설계능력을 확보하여야 한다.

선박의 소음해석분야에서는 주로 통계적 에너지해석법(SEA) 등의 해석적 방법이 이용되고 있으며, 최근에는 연속체 구조물에 대한 Power Flow Method도 이용되고 있다. 유한요소법에 의한 해석법은 파장의 길이가 매우 짧은 고차주파수 영역에서는 매우 비효율적이므로 구조물의 정확한 고체전달소음해석이 가능하려면 이러한 제약을 벗어 날 수 있는 새로운 해석기법이 개발되어야 할 것이다.

## 박용 기관

선박기관 분야는 과거 2회의 석유파동 이후, 열효율이 높은 디이젤 기관이 상선의 주기로 자리잡았고, 중기 터어빈의 사용은 대형 군함에 한정되어 왔으며, 개스 터어빈은 낮은 열효율에도 불구하고 중량/마력 비가 낮다는 장점으로 일부 소형 고속함정에 탑재되고 있다.

그간, 대형 디이젤기관은 고과급으로 평균유효압력을 향상시키고, 장행정(Long Stroke)으로 기관회전수를 낮춤으로써 연료 소비율을 대폭 개선시켜 최근에는 회전수 56 RPM, 연료소비율 117g / Hp.hr의 수준에 도달하였다. 중속기관은 저연비화의 대응이 늦었으나 최근에는 초에너지 절감형 저속기관에 버금가는 저연비를 갖는 기관이 속속 개발되고 있다.

박용 보일러는 자동연료장치의 발달로 재생, 재열 싸이클이 가능해져서 열효율이 향상되었고, 보일러 압력을 높여 줌으로써 장치를 경량화 시키고 있다.

조선소에서는 배열(排熱)이용율을 높혀 전장치 차원에서 에너지 절감화를 추진하기 위하여 각종 배열회수 기술을 개발하고 있다. 그 중에 배기발전기와 축구동 발전기의 이중 기능을 갖추거나, 또는 회수동력을 추진축에 환원시켜기 위한 복합싸이클 기관의 성능을 갖춘 각종 시스템이 개발되고 있다. 따라서, 저온 배열의 회수가 가능해져서 에너지의 종합이용율이 높아지고, 에너지 절감에 크게 기여하였다. 또한 이 시스템은 다단증발 배

기개스 Economizer, 혼압 터어빈 등 많은 관련기술의 개발을 초래할 것이다.

선박연료유는 초저질유(700cst /50°C)가 사용됨에 따라 Al, Silica 등에 의하여 연료유가 조악하고 점도화되는데 따른 사고가 자주 발생하였다. 따라서 선내의 연료유 처리설비로서 Sludge 분쇄장치와 고비중의 연료유에 사용 가능한 청정기를 개발하는 등 단일연료유(Mono Fuel)화 경향이 지속될 것이다.

전산기 기술이 선박에 보급되어 소형전산기를 이용한 각종 자동화 기기를 도입하여 입력절감을 도모하고 있다. 예를 들면 과거 약 24명으로 운항하던 선박을 11~14명의 인원으로 운항할 수 있게 되었다. 앞으로는 무인자동운항시스템의 개발에 더욱 박차가 가해질 것이다.

기관의장에서는 배관이나 각종 보기류에 대한 육상에서의 선행의장이 공수절감, 효율화, 납기단축 등을 위한 유력한 방법으로 더욱 활발히 적용될 것이다.

전기의장에 관한 하나의 커다란 변혁은 비상 전기설비나 방화기준등에 관한 '81 SOLAS 규정에의 적용이다. 새로운 전선연소방지제나 내화성 Cable, 방화 Compound, 배선공법의 개량등 의장전반에 걸쳐 새로운 기법이 도입되고 있으며 설계, 공작, 의장, 시험, 검사 등 조선공작 분야에 전산기를 이용하여 비용과 인력을 절감하기 위한 연구개발이 계속될 전망이다.

따라서 일반 상선의 주기관 분야에 있어서 금후의 기술개발 방향은 에너지 절감, 높은 신뢰성 및 가격 경쟁력 확보라는 3대 목표를 계속 추구하여 나갈 것이며, 또 신소재, 인공지능 등의 첨단기법을 이용하여 새로운 기술을 개발해 나갈 전망이다.

석유 가격은 현재로는 안정되어 있으나, 장래의 석유공급사정은 불투명하며 석유자원의 고갈을 고려하면 차세대의 선박의 에너지로서 태양열, 푸, 조류 등의 자연 에너지의 이용도 고려하여야 할 것이다. 이를 위하여 새로운 개발전략을 확립하고 자연 에너지를 활용할 수 있는 추진장치에 대한 연구를 계속하여 21세기에는 이것이 실현될 수 있도록 노력하여야 할 것이다.

## 시스템 기술

우리나라의 조선공업은 1970년대에 들어서면서 비로서 본격적인 출발을 하였다. 미처 거름마도 익히기 전에 밀어 닦친 몇 차례의 오일쇼크를 맞이하면서도 고비마다 슬기롭게 견디어 내었고, 마침내 선도 조선국으로 까지 성장해 왔다. 그간, 많은 어려움 속에서도 국내 조선공업계는 일찍이 시스템 기술의 중요성을 인식하고 대형조선소의 건설, 선형별 조선소의 분업화 및 전문화를 시도하였다. 또한 건조공정의 지상화, 거대 불록화, 선행의장의 확대등을 실현하였으며, 라인화된 공장에 전산기와 전용자동기계를 도입함으로써 수치제어(NC)에 의한 가공 및 절단, 생산 및 자재관리 시스템 등의 개발을 위한 기술 확보와 정착에 힘을 기울여 왔다.

그러나 이와 같은 미래지향적인 대응도 조선공업은 저임노동력을 바탕으로 한 노동집약형 산업이라는 개념에 입각한 것이었다. 곧 이어 밀어닥친 자유화의 물결에 따른 국내외 정세와 사회구조의 급변에 따른 노임상승, 노동력 수급부족과 더불어 세계 조선시장의 불황 등의 악재가 겹치고 최근 산업구조가 노동집약형으로 부터 지식집약형으로 급속히 변천됨에 따라 선진조선국의 기술보호 장벽과, 후발 조선국의 추격과 같은 난관에 직면하게 되었다.

이러한 사태에 대응하여 우리 조선계는 공수절감, 공기단축을 목적으로 전산기 이용기술 개발에 한층 더 힘을 쏟았고, 설계 및 생산기술에 있어서도 CAD/CAM, 용접 로봇 그리고 메카트로닉스 기술 등을 융용한 각종 자동기계의 개발, 작업용 발판틀 및 도장의 기계화 등과 같은 조선공업의 자동화에 주력하여 왔다.

설계로부터 생산기술에 이르는 과정에서 CAD/CAM 시스템이 노리는 바는 단지 설계 및 현도 작업의 공수절감, 공기단축 뿐만이 아니라, 멀지 않은 장래에 조선현장에 필연적으로 도입될 메카트로닉스화, 공장자동화(FMS)를 대비하여 고정도의 데이터를 공급하고, 일관 시스템과 메카트로닉스화를 접목하며, 로봇 등을 포함한 수치제어 장치류의 제어언어에 대한 조사연구 등을 수행하

기 위한 것으로써 조속히 달성되어야 할 일들이다.

이러한 21세기 조선공업의 기술고도화에 대비하여, 일본에서는 이미 CIMS(CIM for Shipbuilding)라는 이름으로 거국적인 개발사업을 추진하고 있고, 스웨덴에서도 USS(Ultimate Shipbuilding System)라는 이름으로 개발 사업을 추진하고 있다. 우리나라에서도 최근 이러한 사업에 깊은 관심을 가지고 1988년부터 CSDP(Computerized ship design and production system) 개발사업을 산·학·연 등 범조선계의 협동으로 추진하고 있다. CSDP사업은 이제 4차년도에 이르고 있으며, 성공적인 결실이 맺어지길 기대하는 마음 간절하다.

그러나, 21세기의 고도기술화 시대에 출현할 선박의 설계와 생산을 재래기술의 연장만으로 감당하기는 어려울 것이다. 과거, 용접기술이 리벨 접합 시대를 변혁시킨 것과 마찬가지로 현재의 조선환경에도 변혁이 초래될 것이며 그 주인공은 바로 전자공학과 전산기를 주축으로 한 시스템기술의 고도화라고 예상되므로, 이에 대비하여 조선공업계도 다음과 같은 전산기 이용 시스템 기술을 갖추어야 할 것으로 여겨진다.

노동집약적인 조선공업을 재활성화시키고, 국제경쟁력을 제고하기 위하여는, 종래와는 다른 새로운 발상과 기술개발이 필요하다. 이미 다른 산업분야에 적용되어 그 효용성이 입증된 전산기를 이용한 시스템 기술을 조선산업에서도 조속히 구축하여야 한다.

또한 21세기에는 통합 디지털 통신망 및 제5세대 전산기 등이 실용화 될 것이므로 이를 활용하기 위한 적절한 대비가 있어야 한다. 따라서 전산기를 이용한 시스템기술은 현재의 CAD/CAM 시스템 기술의 연장선 상에서가 아니라 차세대 기술 즉, 3차원 형상의 모형화, 전문가 시스템, 인공지능 로봇, 통합 디지털 통신 등의 새로운 첨단기술을 기반으로 구축되어야 할 것이다. 필요한 첨단기술은 해당분야에서 개발되기를 기다려야 하겠지만, 그 동안 조선계가 독자적으로 준비하여야 할 일도 많다. 그 중에서도 3차원형상의 모형화 기술(Solid Modeling), 인공지능 등은 조선공업에

새로운 시스템 기술을 구축하기 위한 기반기술이고, 조선공업과 정보공학을 접목하는 과제라고도 할 수 있어, 조선공학의 새로운 분야를 개척할 원동력이 될 것으로 생각된다.

결론적으로 21세기에 대비한 조선공업의 발전을 위하여 이러한 시스템 기술을 조속히 확보하여야 할 것이며 이를 위한 국가적인 차원의 산·학·연·관 공동의 범조선적인 연구 개발 체재가 조속히 확립되어야 할 것이다.

## 결    언

조선기술의 최근 개발동향을 보면 자동운항시스템, 특수추진장치, 에너지절감장치, 신구조방식의 선박, 대형 초고속선 등을 개발하고 생산시스템을 자동화하는 등 선박의 고신뢰도, 고지능, 고성능 및 고부가가치화를 추구하고 있다.

이러한 추세는 더욱 가속화되어 21세기의 조선산업은 고도의 기술이 종합적으로 집약된 시스템 공학제품을 생산하는 산업으로서의 위상을 확보할 것이며 기술개발을 위한 더욱 치열한 경쟁이 예상된다. 이에 대응한 조선공학의 전개방향은 설계기술의 체계적, 종합적 성격이 강조됨과 동시에 요소기술의 전문화, 세분화가 심화되어 가는 양면

성을 띠게 될 것이며 전산기와 전자공학을 기저로 한 수치체어, 3차원 형상인식, 인공지능, 로봇, 전문가 시스템등의 첨단기술의 개발 또는 도입이 증대될 것으로 예견된다. 또한 초고속 전산기의 급속한 발달에 힘입어 선형 및 구조설계분야에서 수치해석법의 역할이 확대되고 CAD/CAM 및 통합 디지털 통신망의 연결로 설계와 생산이 직결될 것이다.

결론적으로 보면, 21세기에 출현하게 될 선박의 설계 및 생산은 재래기술의 연장으로 성취하기는 어려우며, 새로운 개념과 기술의 개발 및 활용이 필요할 것이다. 이를 소홀히 하면 선진조선국의 기술력과 후발조선국의 가격경쟁력 사이에서 우리 조선공업의 입지를 찾기 어려울 것이기에 범조선계적인 연구개발 체계의 구성이 시급히 추진되어야 할 것이다.

## 章    기

본고 작성에 적극 노력하여 주신 인하대학교 선박해양공학과 교수 재위께 감사하며 협조하여 주신 외부 전문가 여러분께도 심심한 사의를 표한다.

