

## 고속 연안순시선 선형개발과 저항성능에 관한 연구

정우철\* · 정석호\*\* · 전호환\*\*\*

\* 인하공업전문대학 선박해양시스템과

\*\* STX 조선주식회사 특수사업본부

\*\*\* 부산대학교 선박해양공학과

### A Study on the Hull Form Development and Resistance Performance of a High-Speed Coastal Patrol Boat

UH-CHEUL JEONG\*, SEOK-HO JEONG\*\* AND HO-WHAN CHUN\*\*\*

\* Dept. of Ship and Ocean System, Inha Technical College, Incheon, Korea

\*\* Special and Naval Shipbuilding Division, STX Shipyard, Jinhae, Korea

\*\*\* Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Patrol Boat 순시선, Hull Form Development 선형개발, Resistance Performance 저항성능, Initial Trim 초기트림, Model Test 모형시험, CFD 전산유체역학

**ABSTRACT:** Initial hull form of 10 G/T and 40 knots class coastal patrol boat is newly developed. The resistance performances are experimentally and numerically investigated by model test and CFD technique. The effect of initial trim and a fin attached at hull side are studied together. Wave patterns are observed to make clear the relation between the performance and the wave characteristics. It can be found that the initial trim plays a role in increasing the resistance performance above a certain velocity, and the CFD technique can be used at the initial design stage of a high-speed planning boat.

## 1. 서 론

최근 베타적 경제구역 설정 이후 어획구역 축소와 그동안의 무분별한 어획 남용으로 어민소득이 급격히 감소함에 따라 연안어업 경쟁이 치열해지고 있으며, 이로 인한 불법어로, 밀어업, 양식장 절도, 조업구역 위반 등 각종 해상범죄가 큰 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 불법 선박들은 대부분 소형 선박에 높은 마력의 엔진을 장착하여 30노트 이상의 빠른 속도로 민첩하게 이동하고 있는 관계로 이의 효과적인 단속에는 많은 어려움이 따르고 있다.

해양경찰청 발표에 따르면 해상에서 발생하는 각종 범죄 중 약 70% 정도가 연안에서 발생하고 있으며, 특히 최근 들어 해양레저 인구가 급격히 증가함에 따라 연안에서의 각종 안전사고가 빈번하게 발생하고 있다.

따라서 이러한 문제들에 효과적으로 대처하기 위하여 뛰어난 기동성을 갖춘 소형 고속순시선이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 총톤수 10톤, 40노트급 고속 연안 순시선의 초기선형을 개발하여 그 성능을 서일본유체기술연구소(FEL)의 고속회류수조에서 모형시험을 통하여 분석하였다.

고속 활주선의 경우 초기트림이 저항성능에 큰 영향을 미치고, 소형선의 경우 그 영향은 더욱 크다. 본 연구에서는 개발선의 최적 초기트림 조건을 도출한 후, 구종도(2001), 정우철 등(2004)이 활주선의 성능향상을 위하여 적용한 선측날개(Side-fin)와 유사한 개념의 날개를 부착하여 본 순시선의 성능을 개선시킬 수 있는 방안을 검토하였다.

상용 프로그램인 FLUENT를 이용하여 자유표면 유동특성을 모사(Simulation)하여 모형시험 결과와 비교함으로써 상용 전산유체역학(CFD) 프로그램의 고속 활주선 선형개발에의 적용 가능성을 함께 검토하였다.

## 2. 선형개발

### 2.1 기본계획

#### ○ 최대속력

불법선박들의 속력이 통상 30노트 이상으로 고속화 되고 있는 관계로 적절한 대처를 위하여 최대속력을 40노트급으로 하였다.

#### ○ 선체 규모

속도성능을 만족하기 위하여 필요한 주기관과 각종 장비가 탑재 가능하여야 하고, 승무원들 활동에 충분한 선내 공간이 확보되어야 하나, 주 임무가 연안에서 이루어지는 점을 고려하여 선체의 총 톤수는 10톤 내외의 비교적 소형으로 하였다.

제1저자 정우철 연락처: 인천광역시 남구 용현동 253

032-870-2176 ucjeong@inhatc.ac.kr

○ 최대 탑재인원

필요 시 여러 관계기관과의 효율적인 연계를 고려, 승무원을 참가시켜 업무를 수행할 경우를 고려하여 최대 탑재인원을 12명으로 하였다.

○ 선체 재질

추진성능을 고려하여 가벼우면서 파랑충격에 대한 충분한 강도를 가져야 한다. 또한 유지보수가 쉬워야 할 뿐만 아니라 건조비용이 저렴하여야 한다. 이러한 관점에서 소형 연안어선에 널리 사용되고 있는 FRP를 선체재질로 선정하였다.

2.2 선형설계

30노트 이상의 총톤수 10톤급 선박들의 길이(LOA)와 배수량을 참조하여 초기 LOA은 15m, 배수량은 10톤 내외로 결정하였다. 따라서 본선의 계획 후루두수(Fn)는 약 1.8정도로 Tanaka(1989)의 제안에 따라 활주선 개념을 도입하였고, 고속으로 거친 바다에서도 임무 수행이 가능하여야 하므로 내항성능을 고려하여 하드차인(Hard chine)형을 기본으로 하였다. 본 선박에서는 이 차인을 수면 아래에 위치시켜 정지상태에서도 충분한 복원력이 확보되어 원활한 임무수행에 도움이 되도록 하였다.

본 선박과 같이 특수한 목적을 위하여 운항되는 선박의 경우, 파랑 중 횡요 안정성 확보가 매우 중요하다. 즉, 중심 높이를 낮게 하여 메타센터 높이를 높여주는 것이 좋다. 메타센터 높이는 수선면적의 중중심선에 관한 단면 2차모멘트와 배수량의 비로 나타낼 수 있고, 특히 선폭이 큰 영향을 준다. 따라서 선폭은 동요시의 안전성능, 추진성능, 주기판 배치 등의 관점에서 넓은 편이 바람직하지만, 지나치게 크게 하면 저항 성능이 떨어질 위험이 있는 관계로 적당한 값을 결정해 주어야 한다. Fig. 1은 최근 일본에서 건조한 30노트 이상의 활주선 중 20m 이하의 소형선박에 대한 길이(LOA)와 폭(B)과의 관계이다. 이를 토대로 선폭을 결정하였다.

선체 깊이와 길이와의 관계는 선체 종강도와 중량에 큰 영향을 준다. 종강도를 고려하여 깊이를 지나치게 크게 하면 선체중량이 과도하게 되어 추진성능에 좋지 않은 영향을 주게 되는 반면, 이 값이 너무 작으면 파랑 중 갑판이 물에 잠기게 되므로 이를 방지하기 위한 건현을 고려하여 적절한 값을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 정우철 등(2004)이 연안용 레저보트 설계 시 적용한 Niwa(1971)의 통계식을 사용하여 선체 중앙단면에서의 최대높이를 결정하였다.

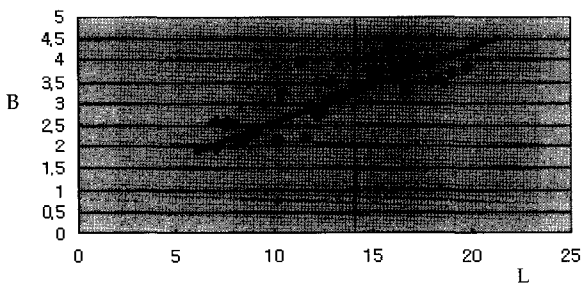


Fig. 1 Relation between LOA and B

내항성능에 큰 영향을 주는 선저 경사각은 파랑 중 선수 상하 가속도와 추진성능에 큰 영향을 주므로 소형 고속선 설계 시 면밀한 주의가 요구된다 (Koelbel, 1978). 본 연구에서는 Kihara and Ishii(1986)의 파랑 중 모형실험 결과를 참고로 20° 내외로 결정하였으며, 활주성능을 향상시키기 위하여 선미로 가면서 경사각을 작게한 비뚤형(warped) 형상을 채택하였다. 그러나 활주면을 비틀어 줌으로써 발생하는 석션(suction)에 따른 저항증가를 억제하기 위하여 선미단에서는 10° 정도로 작게 하였다.

일반적으로 Deep-V 선형에서는 선저부 흐름을 개선시켜 양력 발생을 증가시키고, 이를 통한 마찰저항감소, 그리고 복원력 향상을 위하여 선저에 길이방향으로 통상 2-3개의 spray rail을 좌우측에 부착하고 있다 (Komatsu and Yamaguchi, 1989; Larson and Eliasson, 2000). 박충환 등(2004)은 최근 모형시험을 통하여 이러한 스프레이 레일이 고속영역에서 쇄파 저항 감소에도 기여한다고 설명하였다. 본 연구에서는 침수면적을 고려하여 선저 좌우측에 각각 삼각형 형상으로 1개씩의 스프레이 레일을 부착하였다.

본 개발선의 주요제원과 형상을 Table 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다.

Table 1 Principal dimensions

Items	Dimensions
LOA (m)	14.9
LWL (m)	13.1
B (m)	3.4
D (m)	1.3
d (m)	0.6
Disp. (m <sup>3</sup> )	9.452
Cb	0.3458

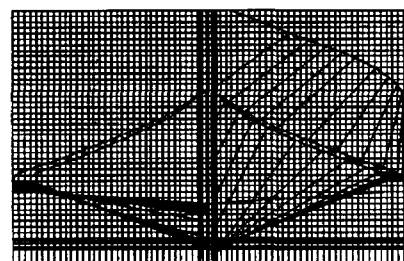


Fig. 2 Body plan

2.3 추진시스템

본 선박 규모로 40노트의 속력을 내기 위해서는 약 1000마력 이상의 주기판이 필요할 것으로 추정된다. 주기판을 1개로 하였을 경우, 프로펠러 직경이 지나치게 커져 활주판 역할을

하는 선저에 나쁜 영향을 주게 될 뿐만 아니라 프로펠러와 타 등 부가물에 의한 저항이 매우 커질 것으로 예상된다. 따라서 이러한 부가물 크기를 작게 하기 위하여 2축 2프로펠러 시스템을 채택하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이는 기관중량, 조종성능, 고장시 안전성 면에서도 유리할 것으로 예상된다.

고속영역에서 프로펠러 추진의 문제는 날개에 발생하는 공동현상(cavitation)으로, 이는 추진효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 진동, 소음 등의 문제를 일으킨다. 이를 해결하기 위하여 완전 케비테이션 프로펠러(Super Cavitating Propeller; SCP)가 개발되어 널리 활용되고 있다. 본 개발선의 경우도 이러한 SCP를 사용하는 것이 추진성능 향상을 위하여 바람직하다고 판단된다.

### 3. 모형시험

#### 3.1 시험조건

고속 활주선의 경우 초기트림이 성능에 큰 영향을 주는 관계로 초기설계 단계에서 면밀한 검토가 필요하다. 즉, 적절한 선내 배치를 통하여 운항 중 최적 트림조건을 만족시키도록 하여야 한다. 특히 본 순시선은 거친 바다에도 고속으로 운항하여야 하므로 초기트림의 역할은 더욱 중요하다.

한편, 구중도 등(2001)은 50노트급 고속 활주선에 대형 날개를 부착하여 저항성능과 파랑 중 운동성능을 개선시킬 수 있다고 설명하였고, 박제웅 등(2002)과 정우철 등(2004)은 각각 고속 연안어선과 레저선 모형시험을 통하여 선측 차인을 따라 부착한 소형날개가 어느 일정속도 이상에서 저항성능 개선에 기여한다고 설명하였다.

본 연구에서는 개발된 순시선의 초기트림 영향을 조사하여 최적트림 조건을 도출한 후, 여기에 선측날개를 부착하여 개발선의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 함께 검토하였다. 선측 날개는 정우철 등(2004)이 레저선에 적용한 형태로 선체중앙부에서 선미 끝단까지 부착되었으나, 구중도 등(2001)이 도입한 개념을 참고로 선미로 가면서 그 폭을 점차 넓게 하여 선미단에서 최대 폭을 20cm로 하였다.

모형시험은 고속회류수조(L×B×D=24.5m×3.5m×6.5m)에서 Table 2와 같이 네 경우에 대하여 30~45노트 속도범위에서 수행되었으며, 트림(trim)과 침하(sinkage)가 함께 계측되었다. 모형은 Lpp=0.7m 크기로 축계, 타 등 부가물을 부착하여 하드 우레탄으로 제작하였다. 시험에 사용된 모형을 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2 Test conditions

Hull Type	Remarks
Case-1	Even trim
Case-2	Initial trim 1°
Case-3	Initial trim 2°
Case-4	Initial trim 1° + Side-fin

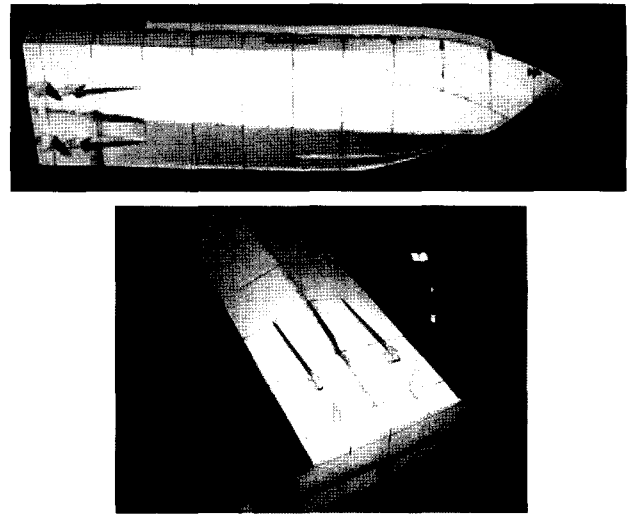


Fig. 3 Test models

#### 3.2 시험결과

##### 3.2.1 초기트림의 영향

초기트림과 저항성능과의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 여기에서 W는 배수량을 의미한다. 초기트림이 클수록 전 속도 영역에서 저항성능이 우수한 경향을 보인다. 이는 Figs. 5-6에서 보는 바와 같이 초기트림이 커질수록 선체가 잘 부상하는 관계로 이에 따른 마찰저항 감소, 그리고 선수에서 발생하는 스프레이 현상이 현저히 줄어들기 때문이라고 보인다 (Figs. 7-9). 따라서 본 개발선과 같은 고속 활주선에서 선수파가 저항성능에 미치는 영향은 매우 크다는 사실을 확인할 수 있다.

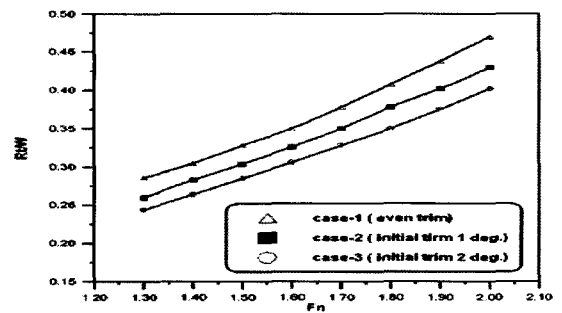


Fig. 4 Measured resistance (Rt/W)

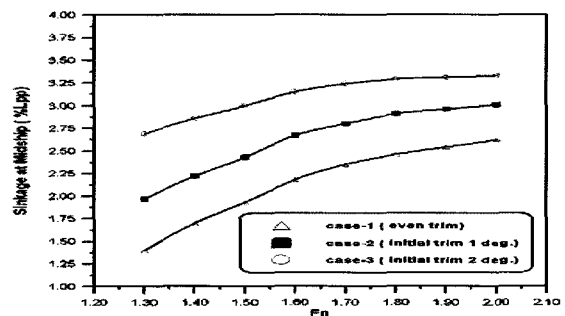


Fig. 5 Measured sinkage at midship (% of Lpp)

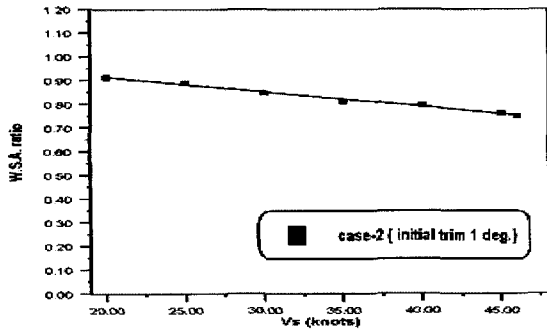


Fig. 6 Change of wetted surface area for Case-2

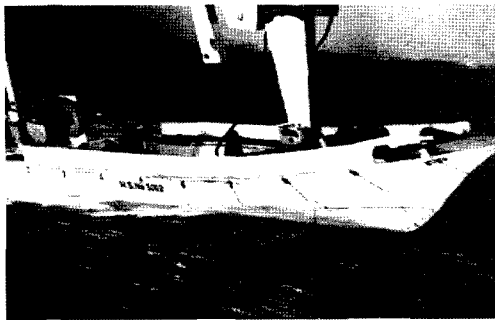


Fig. 7 Wave patterns (40 knots) for Case-1

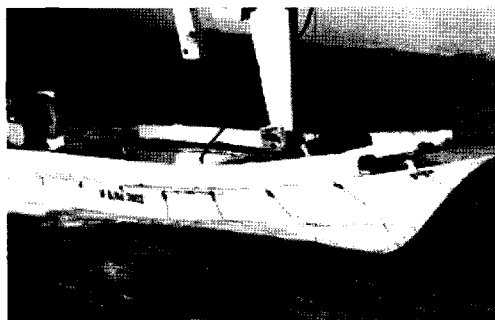


Fig. 8 Wave patterns (40 knots) for Case-2



Fig. 9 Wave patterns (40 knots) for Case-3

초기트림에 관계없이 40노트(Fn=1.8) 이상에서는 세 경우 모두 트림 변화는 크게 나타나지 않고 있다 (Fig. 10). 이는 본 개발선의 경우 40노트 이상에서는 선체가 잘 부상하여 안정된 자세를 갖게 된다는 것을 설명한다. 그러나 초기트림이 2°인 경우(Case-3), 비록 저항성능은 가장 우수하지만, 설계속도인 40노트(Fn=1.8) 부근에서 항주트림이 약 6.5° 정도로 다소 큰 관계로 파랑 중 안전성능에 크게 문제가 될 것으로 판단된다.

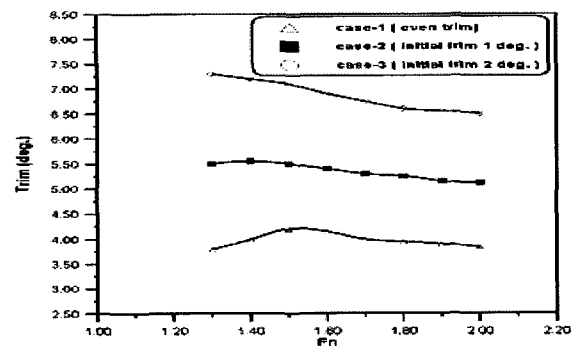


Fig. 10 Measured trim angle (degree)

### 3.2.2 선측날개(side-fin)의 영향

초기트림 1°인 경우(Case-2)를 대상으로 선측날개의 영향을 조사하여 Figs. 11-13에 나타내었다.

선측에 날개를 부착해 줌으로써(Case-4) 오히려 저항이 증가하는 경향을 보인다. 날개를 부착한 경우, 속도가 증가할수록 선수 침하에 비하여 선미 부상이 급격히 나타나고 있다. 이는 날개에 작용하는 양력이 중심위치보다 후방에서 작용하기 때문이라고 판단된다. 따라서 날개를 부착하지 않은 경우, 속도가 증가하여도 전체적인 트림변화는 크게 나타나지 않고 있

나, 날개를 부착한 경우는 지속적으로 트림이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

두 경우의 선측과형을 Fig. 14에 비교하여 나타내었다. 선측에 날개를 부착함에 따라 선수부에서 스프레이가 다소 강하게 나타나고 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 상대적으로 큰 선수 침하 때문이고, 이러한 선수침하가 저항성능에 미치는 영향이 크다는 사실을 확인할 수 있다.

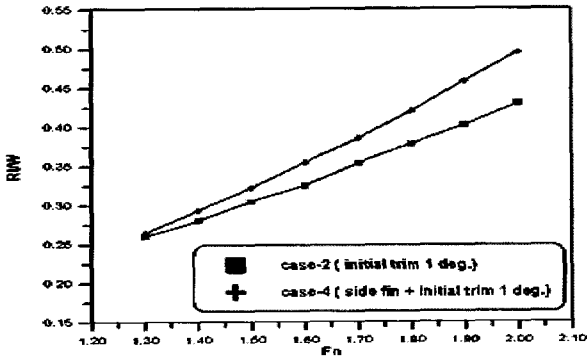


Fig. 11 Measured resistance ( $R_t/W$ )

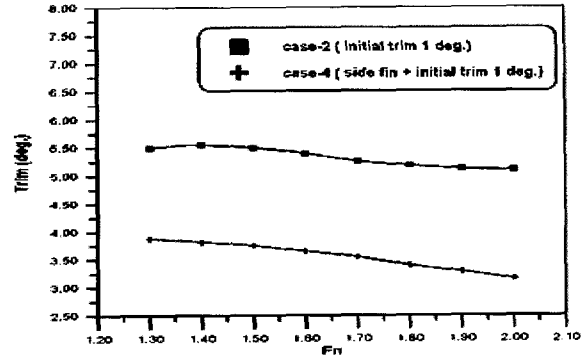


Fig. 13 Measured trim angle (degree)

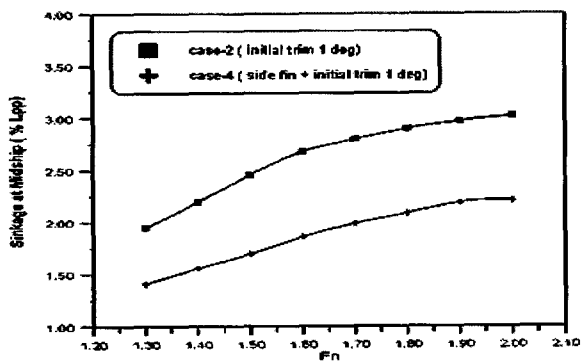
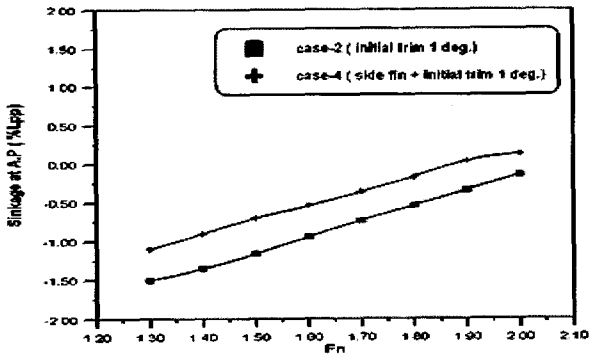
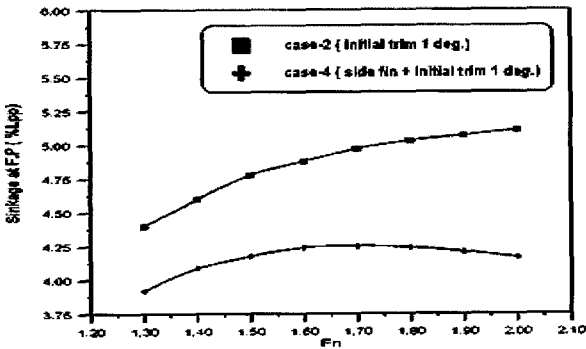


Fig. 12 Measured sinkage (% of Lpp)

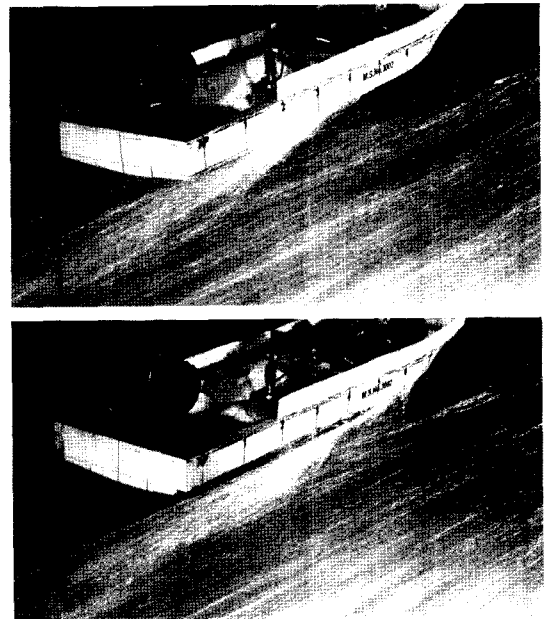


Fig. 14 Wave patterns (40 knots), Case-2 and Case-4

## 4. 수치계산

### 4.1 계산조건

Case-1과 Case-2에 대하여 선체주위의 자유표면 유동특성을 수치계산을 통하여 분석하여 그 결과를 모형시험 결과와 비교하였다. 수치계산은 상용 프로그램인 FLUENT를 이용하였으며, 자유수면 해석을 위하여 VOF 모델을 사용하였다. 유동은 비압축성 유동으로 전 영역에 대하여 난류 흐름으로 계산하였으며, 난류모델은 리얼라이저블 (realizable)  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다. 설계속도인 40노트에서 계산이 수행되었고, 계산격자수는 총 약 300,000개가 사용되었다.

4.2 계산결과

설계속도인 40노트에서 두 선형의 파형을 Fig. 15에 나타내었다. 초기트림 1°의 경우(Case-2), 전반적인 파형이 초기트림이 없는 경우(Case-1)에 비하여 작게 나타나고 있다. 특히 선측파는 현저히 작게 나타나고 있고, 이는 모형시험 결과와 유사한 경향이다.

선체표면에 작용하는 압력분포의 차이를 Fig. 16에 나타내었다. 초기트림이 있는 경우, 선수미에서의 최대/최소 압력분포의 차이가 크게 줄어들고 있다. 따라서 선체표면에 작용하는 압력의 적분 값 즉 압력저항이 현저히 줄어들 것이라고 판단된다. 본 수치계산에 의한 모형선의 저항은 설계속도(40노트)에서 Case-1과 Case-2가 각각 4.18N과 3.55N으로 실제 계측결과와는 다소 차이가 있으나, 모형시험결과와 정성적으로는 동일한 경향을 주고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 상용 프로그램인 FLUENT는 고속 활주선의 초기선형 개발 시 개발선형의 상대적인 비교평가에 유용하게 활용될 수 있음을 알 수 있다.

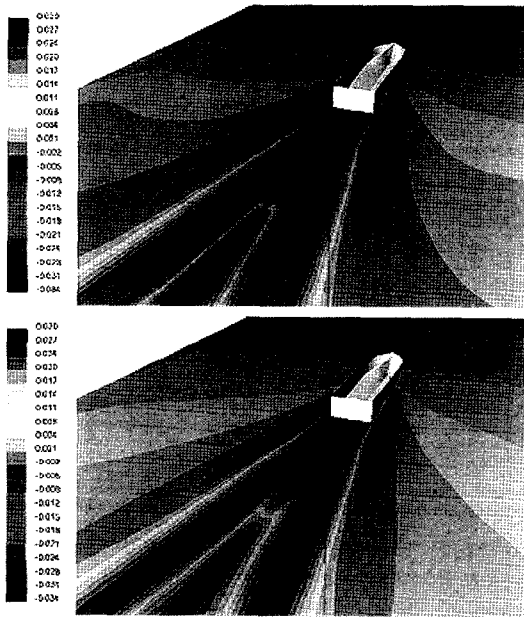


Fig. 15 Simulated wave patterns for Case-1 and Case-2

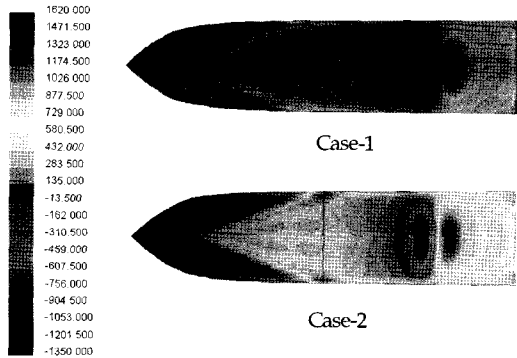


Fig. 16 Simulated pressure distributions on hull surface for Case-1 and Case-2

5. 결 론

총톤수 10톤, 40노트급 활주형 순시선의 초기선형을 개발하여 그 성능을 모형시험과 수치계산을 통하여 분석하였다.

- 1) 본 개발선은 초기트림이 클수록 저항성능이 양호한 경향을 보인다. 그러나 초기트림이 큰 경우, 항주 시 트림이 과도하여 파랑 중 안정성능에 심각한 문제가 발생할 수 있다.
- 2) 본 개발선의 경우, 선측에 부착한 날개(side fin)에 작용하는 양력이 부심보다 후방에서 작용하기 때문에 과도한 선수침하를 유발하여 저항성능에 나쁜 영향을 준다.
- 3) 상용 프로그램인 FLUENT를 이용한 자유표면 수치모사는 정성적으로 모형시험과 유사한 경향을 제공하므로 고속 활주선의 초기선형 개발에 유용하게 활용될 수 있다.

후 기

본 연구의 일부는 2002년 산업자원부 공동핵심기술개발사업 “초고속 소형선박 개발”의 연구비 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

구중도 (2001). “초고속 선형들 중 60B2형의 설계 특성에 관한 연구”, 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, pp 93-102.

박제웅, 정우철, 박찬원, 김도정 (2002). “저중속 영역에서 6.67G/T급 연안어선의 저항특성에 관한 고찰”, 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp 89-93.

박충환, 심상목, 진송한 (2004). “활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항특성 연구”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp 60-64.

정우철, 박제웅, 정석호 (2004). “연안용 소형 고속 레저선 선형 개발”, 한국해양공학회지, 제18권, 1호, pp 80-84.

Kihara, K. and Ishii, T. (1986). “A New Method of Initial Design for High Speed Craft(2)”, Trans. of WJSNA, Vol 72, pp 293-300.

Koelbel, J.G. (1978). “Performance Prediction”, Small Craft Engineering Resistance, Propulsion and Sea keeping, SNAK, pp 101-178.

Komatsu, M. and Yamaguchi, M. (1989). “Resistance and Propulsion of High Speed Craft”, High Speed craft and Performance, JSPC Symposium, SNAJ, pp 75-118.

Larson, L. and Elisson, R.E. (2000). Principles of Yacht Design(Second Edition), McGraw-Hill Co.

Niwa, S. (1971). 고속정공학, 단정협회출판부.

Tanaka, H. (1989). “Methodology of Research and Development of High-Speed Marine Craft”, High Speed Craft and Performance, JSPC Symposium, SNAJ, pp 1-15.

2004년 5월 7일 원고 접수

2004년 6월 10일 최종 수정본 채택