

침몰 방지형 단정 개발에 관한 연구

박종범^{†*}, 이동훈*, 김덕은*, 김수영*

부산대학교 조선해양공학과*

The Study on the Development of Boats Applied to Skill to Prevent Sinking

Jong-Beom Park^{†*}, Dong-Hun Lee*, Deok-Eun Kim* and Soo-Young Kim*

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

Abstract

This study is focused on the skill to prevent RIB (Rigid Inflatable Boat) from sinking. For better ability to prevent sinking, single hypalon tube is replaced by double TPU (Thermoplastic Polyurethane) tube that is excellent at frictional wear strength and oil-resisting qualities. High buoyant materials are arranged in empty spaces of ship so that ship's spare buoyancy is increased. And for restoration of stable position of ship, the self-righting system is installed. Aluminium alloy is used for increasing hull strength.

※Keywords: Sinking(침몰), Rigid inflatable boat(RIB), Aluminium alloy(알루미늄 합금), Double tube(이중튜브), High buoyant material(고 부력재)

1. 서론

연안에서의 레저 및 특수 목적을 수행하는 소형 단정에 대한 수요가 날로 증가하고 있다(반석호와 김상현 2002). 하지만 소형 단정은 해상 악천후, 좌초 위험지역 운항 등 자연적 상황과 운전자의 운전 미숙, 중량물 이동과다 등 인위적 위험 상황으로 선박 자체는 물론 승조원의 인명 안전에도 큰 위협요소를 안고 있다. 그러나 대부분의 국내 소형 단정은 유리섬유합성플라스틱(이하, FRP) 선체와

선체 고정형 단일 고무 튜브로 건조되어 이러한 위험에 쉽게 노출되어 있다.

한편, 미주, 유럽지역에서는 소형 고속단정을 1990년대 초반부터 본격적으로 FRP 재질에서 알루미늄 선체로 건조, 운영하고 있다. 또한 FRP 재질의 해양자원에 대한 유해성 및 폐선 시 소재 재활용의 어려움으로 최근에는 알루미늄 합금으로 대체하고 있다(강세란 등 2003).

그러므로 본 연구에서는 고정 팽창 튜브식 보트(이하 RIB, Rigid Inflatable Boat)에 대해 알루미늄합금 재질과 특수 고 부력소재를 복합적으로 사용하여 외부 전 구획의 손상 시에도 소형단정의 침몰을 방지하는 기술 개발을 시도하고 있다.

접수일 : 2005년 9월 16일, 승인일 : 2005년 11월 24일

†주저자, E-mail: dopba14@pusan.ac.kr

Tel: 051-510-3277

2. 침몰 방지를 위한 방안

침몰을 방지할 수 있는 방안을 크게 이중 튜브, 선내의 고 부력재 배치 및 알루미늄 합금 선체 도입 등 3가지로 분류하여 연구하였다.

2.1 침몰 방지형 이중 튜브

연구를 위해 선택된 RIB는 선체 양 현측에 튜브를 설치한 선형으로 기존의 단일 튜브 대신 Fig. 1과 같은 구조로 이중 튜브를 제작, 도입한다.

내부 튜브는 마모강도 및 내유성(耐油性)이 뛰어난 열가소성 폴리우레탄(이하 TPU, Thermo-plastic Polyurethane Elastomer)을 피복제로 구성한다. TPU는 기존의 하이파론 재질보다 2~3 배 이상의 강도를 가지고 있으며 내유성 등에서도 우수하다. 또한 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 우레탄 공기방은 튜브 안쪽으로 실을 연결하여 높은 충격에도 고른 에너지를 흡수하는 구조를 가진다. 외부 튜브는 고 부력 재료를 이용해서 감싸는 구조로 제작한다. 고 부력 재료로는 부력성, 내수성, 발포특성 등에서 뛰어난 P.E foam(Poly Ethylenefoam)을 사용한다(金延鎭 1988).

2.2 고 부력재의 배치

선체 내부의 공간을 활용하여 고 부력재를 배치 함으로 해서 빈 공간으로 방치했을 때보다 높은 부력을 유지할 수 있다. 또한 선체 손상 시 고 부력재로 인해 침수 공간이 축소됨에 따라 부력 손실을 방지할 수도 있다. Fig. 3은 부력재의 배치 개념을 보여준다. 내부 공간에 배치될 부력재로는 P.E foam을 사용한다. P.E foam은 발포 가공이 가능하기 때문에 선체 내부의 협소한 공간에 시공 하기도 좋으며 충격에너지 흡수가 뛰어나서 반복 충격에도 초기 상태에 가까운 완충성을 보전할 수 있다. 실제로 흡수율 0.03mg/cm², 밀도 0.025g/cm³ 인 P.E foam을 용적이 0.35m³인 선체 내부 공간에 배치하였을 경우, 그렇지 않은 경우보다 침수 시 350kg의 부력 차이를 보인다.

2.3 알루미늄 합금 선체

알루미늄 합금은 강성이 작아 힘과 변형이 발생

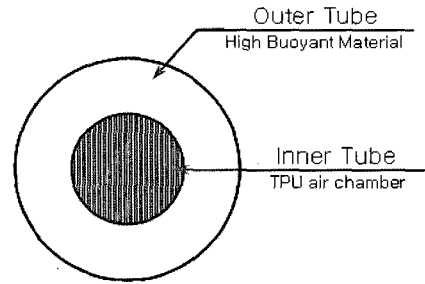


Fig. 1 Composition of double TPU tube

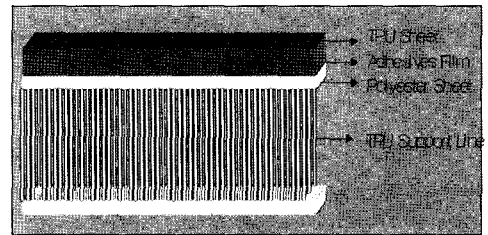


Fig. 2 Section of urethane air chamber

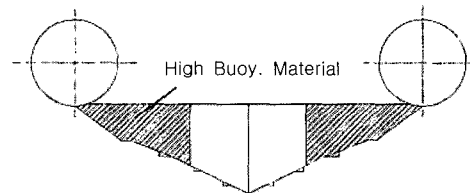


Fig. 3 Arrangement of buoyant materials in ship's void space

하기 쉽다(김진덕 등 2000). 그렇기 때문에 10m 이하의 소형 단정이지만 중형 늑골식 구조를 채택 한다.

알루미늄 합금 선체의 도입은 기존의 소형 단정에서는 보기 힘든 구획 배치를 가능하게 한다. 기존의 FRP 소형 단정은 적층 건조공법 등에 의한 작업상의 문제로 선내 공간이 하나로 되어 있어서 선저나 선측에 충격으로 인한 Crack이 발생하거나 파공이 되었을 때 침수로 인한 선박의 침몰을 막을 수 없다. 하지만 알루미늄 선체 내부에는 수밀 격벽(Watertight Bulkhead)을 용이하게 설치하여 구획을 나눔으로써 선내 공간의 전몰을 막을

수 있기 때문에 단정 자체의 침몰을 방지할 수 있다. Fig. 4는 본 연구에서 개발하고자 하는 소형 단정의 선내 구획 배치를 보여준다.

3. 침몰 방지 기술의 적용

3.1 적용 선박 제원

우선 개발단정의 기본계획을 다음과 같이 설정하였다.

- 기본 계획 -

- 선형 형식 : RIB
- 임무 해역 : 연안해역
- 항해 속력 : 약 30 knots
- 최대 속력 : 약 45 knots
- 승 조 원 : 15 명
- 튜브 형식 : 이중튜브
- 선체 재질 : Al-Mg 합금
- 사용 연료 : 무연가솔린

위와 같은 기본 계획에 따라 국내외 유사 실적 선의 자료 분석을 토대로 주요 요목을 Table 1과 같이 결정하였다. 또한 개발 단정의 개략 일반 배치를 Fig. 5와 같이 결정하였다.

갑판 상부 배치는 선미부에 마스트를 설치하고자 복원 장치가 상단에 탑재되도록 하였다. 또한 우레탄 이중 튜브를 Deck Side Line을 따라 부착시켰다. 갑판 하부 배치는 선수부 충돌 위험 때문에 Void 구역을 두며 적절한 간격으로 구획을 설정하여 손상 시 갑판하부가 전부 침수되지 않도록 하였으며 중앙부에 연료탱크와 부력 유지를 위한 Void Tank구역을 설정하였다. 중앙부의 Void Tank 구역에 P.E foam을 시공토록 하였다.

3.2 선체 및 튜브 손상 시 부력 계산

적용 선박의 침몰 방지 성능을 알아보기 위해 손상 시 복원성을 계산하였다. 손상 복원성 계산을 위해서 가장 위험한 상태인 만재상태의 경우에서 손상복원성을 계산하였으며 평가기준은 손상

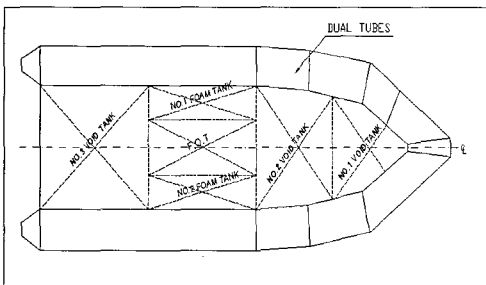


Fig. 4 Arrangement of division in boat

Table 1 Main dimension

항 목	제 원
전체 길이 (L _{OA})	8.00
수선간 길이 (L _{BP})	6.68
전체 폭 (B _{max})	3.00
형 폭 (B _{mid})	2.35
깊 이 (D)	0.61
선수 선저각 (Deg)	37
중앙부 선저각 (Deg)	23
선미 선저각 (Deg)	22

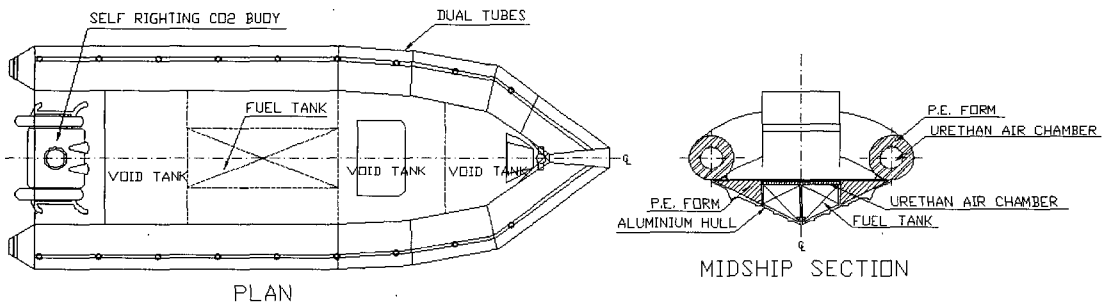


Fig. 5 General arrangement outline

후의 횡 메타센터 높이가 0m 이상, 튜브상단에서 최종 흘수선이 3 in. (7.62cm) 이상이 되면 안정하다고 설정하였다.

3.2.1 Damage Case 1

Case 1은 Fig. 6과 같이 No.1,2 Void Tank가 손상된 경우이며 판정결과를 Table 2에 나타내었다.

3.2.2 Damage Case 2

Case 2는 Fig. 7과 같이 No.2 Void Tank, F.O Tank, No.1,2 Foam Tank가 손상된 경우이며 판정결과를 Table 3에 나타내었다.

3.2.3 Damage Case 3

Case 3은 Fig. 8과 같이 F.O Tank, No.1,2 Foam Tank, No.3 Void Tank가 손상된 경우이며 판정결과를 Table 4에 나타내었다.

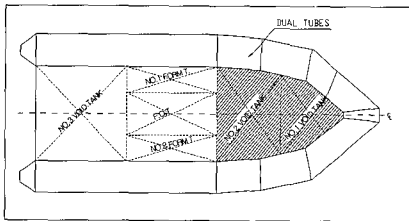


Fig. 6 Leaked area of damage case 1

Table 2 Damaged stability of case 1

판정 기준	GM (>0 m)	1.268
	Dist. to tube side edge (>0.076 m)	0.539
최종 흘수	선수	0.807
	선미	0.547
판정 결과		만족

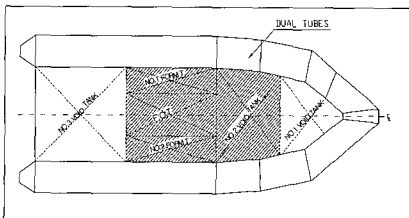


Fig. 7 Leaked area of damage case 2

Table 3 Damaged stability of case 2

판정 기준	GM (>0 m)	1.231
	Dist. to tube side edge (>0.076 m)	0.573
최종 흘수	선수	0.729
	선미	0.590
판정 결과		만족

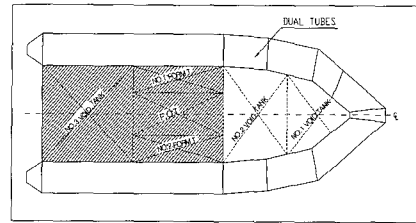


Fig. 8 Leaked area of damage case 3

Table 4 Damaged stability of case 3

판정 기준	GM (>0 m)	1.783
	Dist. to tube side edge (>0.076 m)	0.278
최종 흘수	선수	0.398
	선미	0.918
판정 결과		만족

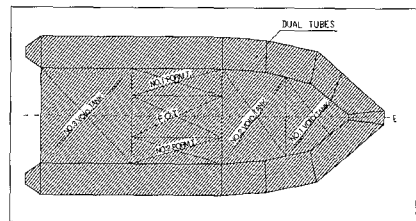


Fig. 9 Leaked area of damage case 4

Table 5 Damaged stability of case 4

판정 기준	GM (>0 m)	1.194
	Dist. to tube side edge (>0.076 m)	0.285
최종 흘수	선수	0.655
	선미	0.911
판정 결과		만족

3.2.4. Damage Case 4

만재상태에서 Case 4는 Fig. 9와 같이 갑판하의 전 구획과 전 튜브가 모두 손상된 경우이며 손상 시 복원성 판정결과를 Table 5에 나타내었다.

3.3. 선체 구조 강도 해석

소형 단정의 구조설계식도 통상의 선박과 마찬가지로 국부 하중(Local load)과 전체 하중(Global load)으로 나뉜다. 국부 하중의 경우 판이나 보강재 등의 요소 구조부재의 설계에 사용되며, 전체 하중은 주로 Hull girder 강도검도에 적용된다. 적용 선박의 경우 규모가 매우 작기 때문에 국부하중에 견딜 수 있도록 부재 설계를 행하면 전체하중에 대한 강도는 만족시킬 수 있다(김남길 등 1991).- 또한 적용 선박의 최대 설계 속력이 45 Knots로서 고속의 성능을 지니고 있어 설계 하중의 추정에 있어서는 선저 슬래밍 압력(Slamming Pressure)이나 선측 충격수압(Sea Pressure)과 같은 동적하중의 중요성이 특히 강조된다. 이에 DNV (1993) Rule을 적용하여 선체 구조설계를 실시하고 설계하중에서의 국부강도를 평가하였다.

우선 선박의 주요 구조부재의 치수를 DNV Rule에 의거, Table 6과 같이 선정하였다.

구조 설계는 RIB의 선형적 특징인 Chine과 Dead-rise Angle을 고려하여 너클부에 보강재를 부분적으로 배치하며 선체 중심선에는 T형의 bar를 사용하여 양쪽의 부재가 원활히 용접되며 국부 강도 및 종강도를 확보할 수 있도록 하였다. 또한, 횡강도를 확보하기 위하여 일정 길이(600mm)마다 특설늑골(Web frame)을 배치하였고 Chine 부분에서 충분한 보강을 하여 부재를 배치하였다. 갑판하의 증늑골은 중심에서 250mm간격으로 배치하여 15명 승조원 및 재화중량의 국부하중 탑재에도 충

Table 6 Thickness of plate

구분	하중(KN/m ²)	판재 (mm)	요구두께 (mm)	적용두께 (mm)
Bottom Shell Plate	33.6 (Slamming Pressure)	300	3.54	4.0
Deck Plate	5.167	300	1.46	4.0
Bulkhead Plate	6.0	300	1.57	4.0

분한 강도를 유지하도록 하였고 선체외판의 증늑골은 300mm로 배치하여 Hogging 및 Sagging 상태에서 종강도를 만족하고 고속정의 주요 운동특성인 Heaving과 Slamming 등의 운동에서도 충분한 안전율을 가지도록 설계하였다.

Fig. 10은 개발 단정의 중앙 횡단면도를 나타내고 있다.

4. 결과 분석

손상 복원성 평가에서는 4가지 Case 모두 횡 메타센터 높이가 0 이상이고, 튜브상단에서 최종 흡수선이 7.62cm 이상의 계산 결과를 보였다. 특히 Table 7의 계산 결과 전몰 시에도 779 kgf의 예비부력을 가졌다.

단면계수를 통한 안전율 평가는 Table. 8에서처럼 모든 구조부재가 안전율 1.03 이상의 결과를 나타내었다.

이는 충격에 강하여 침수에 안전하고 설계하중에 구조부재가 충분히 견딜 수 있음을 의미한다.

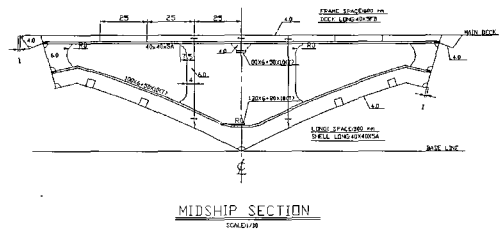


Fig. 10 Midship section

Table 7 Spare buoyancy calculation

구분	위치	항목	용적 (m ³)	해수 비중	중량 (kgf)
부력	갑판하부	U.A.C.	0.432	1.025	443
		P.E. Foam	0.350		359
		SEAT	0.135		139
	갑상판부	BOLSTER	0.100		103
		CONSOLE	0.350		359
		이중 튜브	P.E. Foam		3.391
합계				4,879	
만재중량					4,100
예비부력					779

Table 8 Section modulus

구분	하중 (KN/m ²)	Z _{req} (cm ³)	적용부재		안전율
			부재치수	Z _(cm³)	
Bottom Web Frame	33.6 (Slamming Pressure)	33.65	100x6 +50x10FC(T)	62.11	1.85
Center Vertical Keelson	33.6 (Slamming Pressure)	114.8	130x6 +80x10(T)	118.7	1.03
Deck Web Frame	5.167	4.59	40x40x5A	8.9	1.94
Bottom Longi	33.6 (Slamming Pressure)	3.57	40x40x5A	8.9	2.5
Deck Longi	5.167	0.62	40x4FB	2.13	3.4
Bulkhead Stiffener	6	0.54	40x4FB	2.13	3.9

5. 결론

지금까지의 연구 내용으로 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, TPU 재질의 이중 튜브 및 P.E foam 고부력재의 사용은 예비 부력을 증가시켜 선체 손상 시에도 충분한 복원성을 가지도록 한다.

둘째, 알루미늄 합금 선체의 도입은 선체 구조 강도를 강화시키고 구획 배치를 통해 침몰을 방지할 수 있도록 한다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유 과제 학술 연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

• 강세란, 김영우, 황덕기, 김시영, 이민규, 주창식,

2003, “선박용 폐 FRP 수지의 재활용 공정 개발,” 한국 환경과학회지, 제 12권, 제 6호, pp. 635-641.

- 김남길, 강병운, 김성환, 1991, “고성능 고속선의 선체 설계에 관한 연구,” 선박해양기술.
- 金延鎭, 1988, 플라스틱 材料 總攬, 弘益濟.
- 김진덕, 김후진, 박정식, 2000, 이론과 실제 特殊 鎔接, 원창출판사.
- 반석호, 김상현, 2002, “국내 해양레저와 레저선박 산업의 현황 및 전망,” 대한조선학회지, 제 39권, 제 1호, pp. 36-44.
- DNV, 1993, Rules for Classification of High Speed Light Craft.



< 박종범 >



< 이동훈 >



< 김덕은 >



< 김수영 >