

해양환경정화용 선박의 중앙개구부 특성에 관한 실험적 연구

김도정* · 박제웅* · 김주남** · 정우철***

*조선대학교 선박해양공학과

**선박검사기술협회

***인하공업전문대학 선박해양시스템과

An Experimental Study on the Moonpool Characteristics of a Cleaning Ship for Ocean Environment Purification

DO-JUNG KIM*, JE-WOONG PARK*, JU-NAM KIM** AND UH-CHUL JEONG***

*Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chosun University, Kwangju, Korea

Korean Society of Ship Inspection & Technology, Incheon, Korea

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

KEY WORDS: Cleaning ship 청소선, Circulating water channel 회류수조, Model test 모형시험, Moonpool 중앙 개구부, Natural period 고유주기, Pitching motion 종운동, Wave breaking 쇄파, Sloshing 슬로싱

ABSTRACT: Moonpool characteristics of a cleaning ship related with the performance of a ship are experimentally investigated. Resistance performances of the ship and flow patterns in the moonpool are observed, in order to determine the effect of different shaped moonpool. The ways to reduce ship pitching motion caused by flows in the moonpool are examined. Experimental results, using a scale model of cleaning ship with moonpool, show that the step arranged in tier under water leads to significant improvements in performance, such as resistance and ship pitching motion. Depending upon the shape of step in the moonpool, the results indicate that the increment of resistance performance may be up to 35%, especially in the case of no step or high step.

1. 서 론

최근 우리나라 연안의 해양환경은 육상으로부터 유입되는 산업폐수와 도시하수 등 오염된 퇴적물과 양식장 자체 오염물질의 장기누적에 따라 해역이 자체적으로 정화할 수 있는 용량을 초과함으로써 퇴적물에 축적된 오염물질의 농도는 갈수록 높아지고 있으며, 심각한 해양 오염문제에 직면하고 있다.

이러한 오염된 퇴적물질은 유독성 적조발생 등의 문제를 야기시키며 퇴적물내 중금속이나 DDT, PCBs와 같은 생물농축성이 큰 유해오염물질은 연안생태계뿐만 아니라 먹이사슬을 통해 사람에게까지 극심한 피해를 주고 있는 실정이다.

해양오염 퇴적물의 처리를 위한 기존 기술로서는 갈고리나 끌개, 경운, 형망(Beam trawl), 그레브(Grab) 및 흡입펌프를 설치한 선박에 의한 처리방식 등이 사용되고 있으나, 연안의 해저면에 장기간 견고하게 응착된 퇴적물의 경우에는 기존 방법에 의한 원만한 처리가 곤란하며 작업 중에 퇴적물내 유해물질의 수중 혼탁 및 인근지역으로의 이동 등과 같은 제2의 오

염문제가 발생하고 있다.

따라서 퇴적물의 분쇄 및 흡입을 동시에 하는 선박시스템 기술과 향후 연안의 해저면 뿐만 아니라 강 및 댐 등에서 오염퇴적물을 효율적으로 수거할 수 있는 선박형태로써 선박의 중앙부에 개구형 작업공간(Moonpool)을 가지는 작업선이 요구되고 있다.

중앙개구부(Moonpool)는 통상 드릴쉽(Drill Ship), FPSO 등에서 시추를 위해 선체 중앙부에 장방형으로 위 아래로 크게 뚫린 형태이며, 장방형의 개구부에서는 시추용 장비의 탑재 및 작업의 편의를 위하여 작업단(Step)이 설치되어 있으나 그 크기와 형상은 선박의 저항성능에 크게 영향을 준다.

유재훈과 최순호(1999)는 장방형 개구부 내부 자유수면의 거동이 개구부의 크기, 홀수 및 작업단의 높이의 변화에 따른 저항값의 변화를 조사하였다.

손혜중 등(2002)은 원형 문풀(Moonpool) 내부의 유동에 대한 모형시험과 수치해석적 방법을 이용하여 설계에의 응용을 검토하였고, Molin(2001)은 개구부의 주요요소(길이, 폭, 홀수)에 따른 고유주기에 대하여 해석적 방법을 제시하였다.

Newman(2003)은 다양한 단면형상을 가지는 개구부의 저주파(Low-frequency) 동조 주파수(Resonant wavenumber)를 추

교신저자 김도정: 광주광역시 동구 서석동 375

062-230-7884 kimdoj@chosun.ac.kr

정하였으며, Tuck과 Newman(2002)은 세장체 이론을 적용하여 길이가 긴 개구부에서의 파동과 개구부의 길이·폭 비에 따른 파수(Wave number)를 조사하였다.

본 연구에서는 연안의 해저면에 누적된 퇴적오염물을 효율적으로 수거할 수 있는 개념의 정화선으로 선체중앙부에 개구부를 갖는 연안 해저퇴적물 처리선박의 개념설계를 수행하였으며, 개구부 내부의 형상변화에 따른 저항성능 및 개구부 내부 유동현상 조사를 위한 모형시험을 수행하였다.

2. 모형 시험

2.1 대상선박

본 연구의 대상 선박의 주요 제원과 형상을 Table 1과 Fig. 1에 각각 나타내었다.

선형 특징으로는, 연안의 퇴적물 처리를 위한 이동시 10 노트 이상의 속도로 빠른 조류를 극복할 수 있는 선속이 요구됨에 따라 고속선의 형상으로 설계되었다.

Table 1 Principal dimensions of cleaning ship

		Full load condition	Trial condition
L_{pp}	(m)	28.000	28.000
L_{wl}	(m)	29.700	29.700
B	(m)	4.8	4.8
d	(m)	2.0	1.5
∇	(m^3)	186.1	135.9
W.S.A.	(m^2)	298.0	285.8
C_b		0.65	0.61

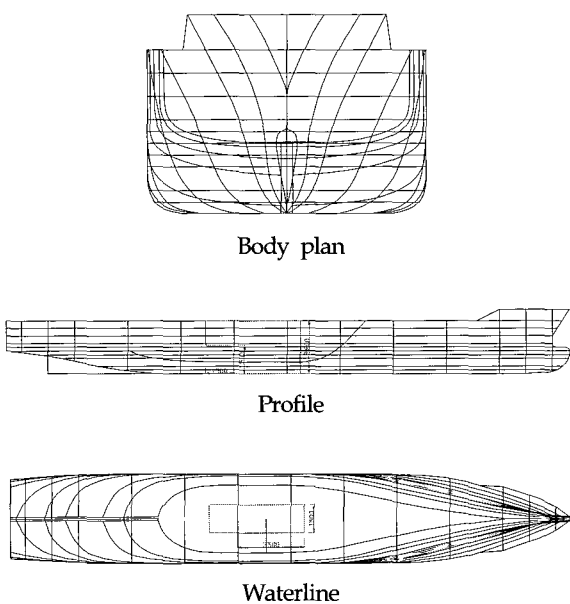


Fig. 1 Lines and moonpool

선체중앙부에 위치한 개구부는 장방형으로 내부에 작업단을 가지고 있다.

개구부 내부의 유동특성과 선박의 성능과의 관계를 조사하기 위하여, 작업단의 형상을 변화시켜 가면서 모형시험을 수행하였으며, 개구부 특징 및 형상은 Fig. 2에 나타내었다.

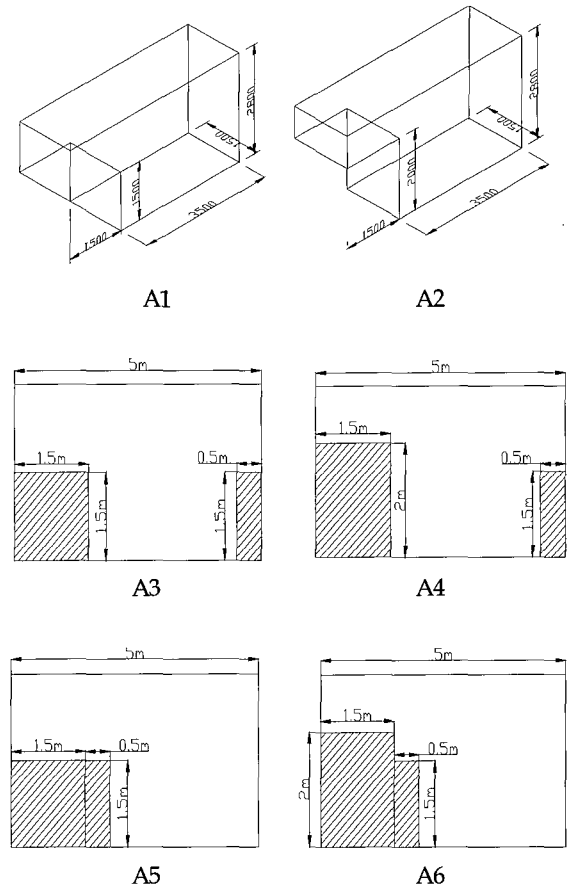


Fig. 2 Moonpool shape for model test

2.2 시험조건

본 시험은 개구부 형상의 특징에 따른 저항성능 변화 및 개구부 내부의 유체유동 변화가 저항성능에 미치는 영향에 대하여 인하공업전문대의 회류수조에서 수행되었으며, 모형은 $L_{pp}=1.2m$ (1/23.33 scale)의 나무로 제작되었다. 시험이 수행된 수조의 주요제원을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Principal dimensions of CWC

	Whole body	Measuring section
L (m)	10.0	3.5
B (m)	1.5	1.2
H (m)	4.0	0.7
Max. velocity	2.5m/sec	

2.3 모형시험 해석

모형시험은 Froude의 비교법칙을 사용하여 해석하였으며, 마찰저항은 IITC 1957 모형선-실선상관곡선을 사용하였다.

개구부의 주기는 Molin(2001)이 제시한 해석적 방법을 사용하여 검토하였다.

3. 모형시험 결과 및 고찰

3.1 개구부 내부 유동과 선박 성능

개구부의 내부에는 홀수와 같은 높이의 자유 수면이 존재하게 되며, 선박이 전진하게 되면 개구부 내부의 물이 일종의 Driven cavity flow와 같은 내부 유동과 더불어 일정한 주기를 갖고 상하 유동이 발생하는 현상이 나타나게 된다. (유재훈과 최순호, 1999).

어느 일정 속도에서는 개구부의 자유 수면이 파랑(Wave)으로 발전하게 되고 쇄파(Wave breaking)까지도 일어나게 되며, 개구부의 내부 벽면을 주기적으로 치게 되는데(유재훈과 최순호 1999), 이러한 현상은 선체 종운동(Pitching)을 일으키는 기진력(Exciting force)으로 작용하여 정수 중 저항을 증가시키는 결과로 나타나게 된다.

Photo. 1에는 10.0 노트에서 홀수변화와 개구부 내부 작업단 변화에 따른 유동현상을 나타내었다.

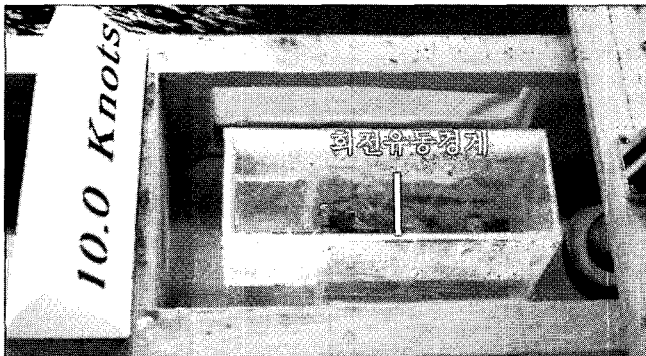
개구부 내부의 유동은 10.0 노트에서 쇄파현상을 보이며, 천 홀수에서 그 현상은 두드러진다.

Photo. 1의 (a)와 (b), (c)와 (d)는 1.5m 및 2.0m의 각각의 홀수에서 작업단의 높이 변화에 의한 개구부 내부의 유동현상을 관찰한 것으로, 작업단이 높아지는 경우 개구부 내부의 상하유동이 작업단의 벽면을 타고 오르면서 회전유동의 크기가 크게 나타나는 것을 보이고 있다.

(b)와 (d)는 1.5m 홀수 (a)와 2.0m 홀수 (c)의 작업단을 높인 것으로 낮은 홀수인 (b)의 내부유동이 (d)의 경우보다 강하게 나타나고 있다. 이는 높아진 작업단의 벽면을 타고 오르면서 커지는 회전유동에 의해 선체의 종운동을 일으키는 기진력으로 작용하게 되는 파랑충격이 발생하고 Fig. 5에 나타낸바와 같이 상대적으로 작은 배수량을 갖는 (b)의 선체 종운동이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

Table 3에는 Molin(2001)의 개구부 고유주기(Natural period)에 대한 해석적 방법으로부터 2차원 피스톤 모드(Piston mode)와 슬로싱 모드(Sloshing mode)에 대해 중앙 개구부의 고유주기를 구하고 선박의 중요주기(Harold, 1965)와 비교하였다.

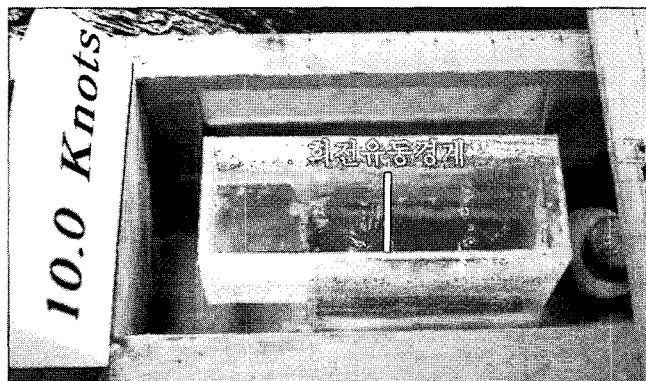
1.5m 홀수에서 개구부 내부의 파랑주기가 선체 중요주기(Pitching period)와 동조되는 것을 보이며, 이 경우에 Photo. 1과 Fig. 5에서와 같이 파랑 및 선체 종운동의 크기가 최대가 되는 것으로 나타나고 있다.



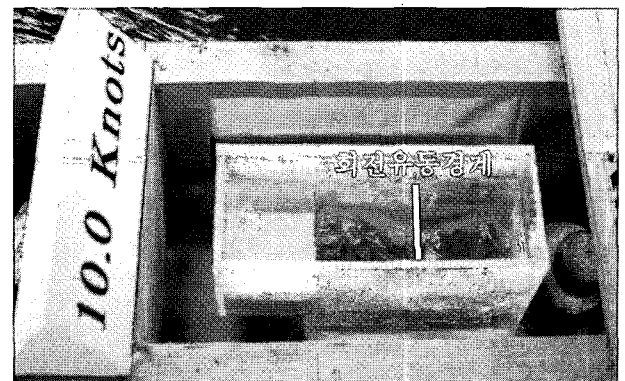
(a) 1.5m dra ft, A1



(b) 1.5m draft, A2



(c) 2.0m draft, A1



(d) 2.0m draft, A2

Photo. 1 Flow patterns at 10.0kts for 2 draft and step conditions in moonpool

Table 3 Natural periods of moonpool and ship

Moonpool ($l=3.5, b=1.5, h=1.5 \text{ \& } 2.0$)					Ship
	$h=1.5\text{m}$		$h=2.0\text{m}$		
Scale	Full	Model	Full	Model	Full
Period	$T(\text{s})$	$T(\text{s})$	$T(\text{s})$	$T(\text{s})$	$T(\text{s})$
2D piston mode	2.76	0.57	3.18	0.66	
2D	1	2.26	0.47	2.18	0.45
Sloshing mode	2	1.50	0.31	1.50	0.31
	3	1.22	0.25	1.22	0.25

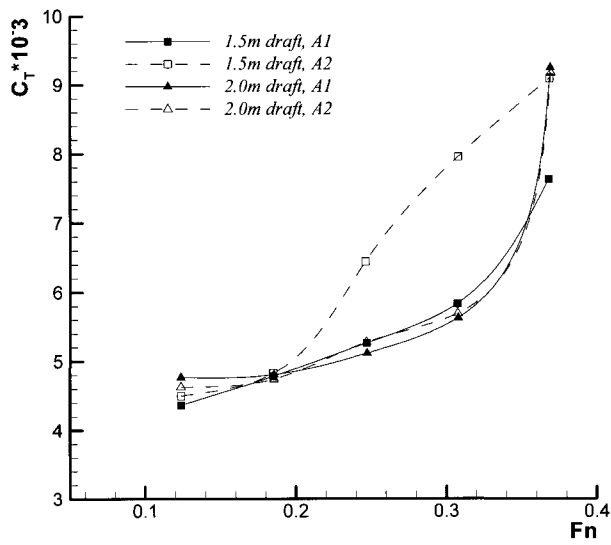


Fig. 3 Comparison of resistance performance

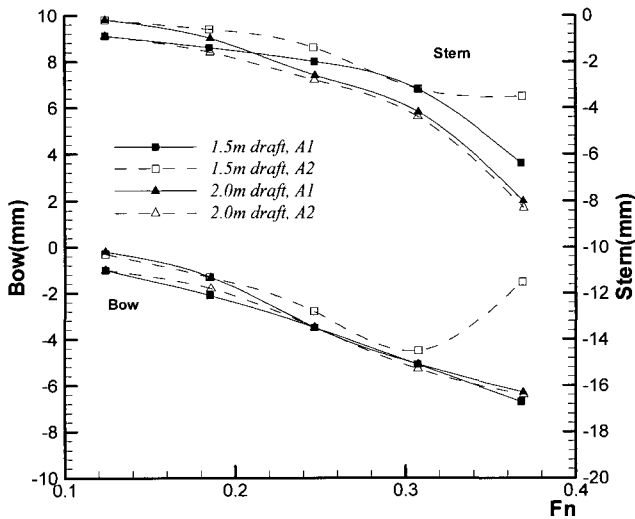


Fig. 4 Comparison of trim angles

Fig. 3 과 4 는 Photo. 1에서 관찰한 내부유동 현상에 따른 저항성능과 트림 변화에 대한 계측 결과를 나타낸 것이다.

1.5m 흘수인 A1과 A2의 저항증가 비교에서 설계속도 10.0 노트 ($F_n=0.307$)부근에서 A2의 저항 증가율이 가장 크게 나타나고 있다. 이는 Photo. 1에서 관찰한 바와 같이 개구부 내부의 유동현상이 커지면서 생기는 선체 종운동에 의한 부가저항에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 선수 및 선미에서의 트림 변화를 나타낸 것으로 1.5m 흘수 A2인 경우 10.0 노트에서 트림 변화량이 가장 크게 나타나고 있으며, 이후의 속도에서는 급격히 줄어들고 있는 것을 보이고 있다. 이는 10.0 노트 부근에서 선체 종운동이 극심하게 일어나고 있음을 의미하며, Fig. 3의 10.0 노트에서 저항 증가의 결과로 나타나게 된다.

Fig. 5는 개구부 내부의 유동에 기인한 선체 종운동의 계측 결과를 비교한 것으로 각 속도에서 종운동의 평균진폭을 나타낸 것이다.

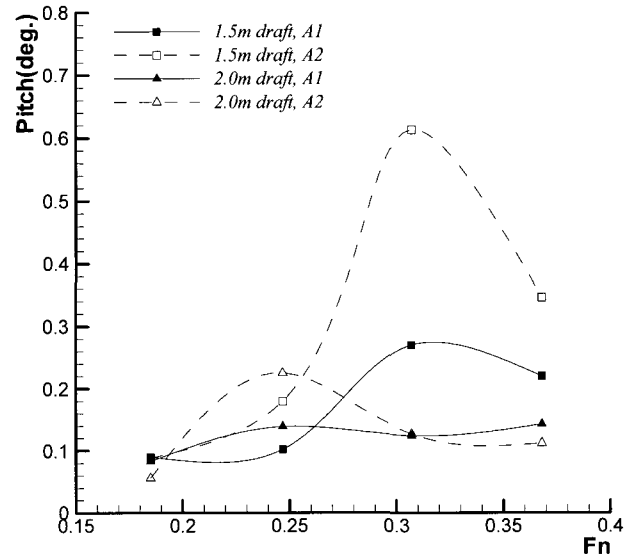


Fig. 5 Comparison of pitching motions caused by flows in the moonpool

Fig. 5의 1.5m 흘수 A2는 10.0 노트($F_n=0.307$)에서 선체 종운동이 최대가 되는 것을 나타내고 있으며 Fig. 3의 저항증가로 나타남을 알 수 있다. 2.0m 흘수에서는 종운동의 크기가 줄어들고 있으며, 종운동의 최대 발생위치도 낮은 선속($F_n=0.247$)으로 이동되고 있다.

3.2 작업단 형상에 따른 개구부 내부 유동과 선박 성능

개구부 내부의 유동현상을 제어하기 위해 내부 작업단의 형상을 변화시켰으며, 이에 따른 저항성능과 트림 변화를 조사하여 Fig. 6과 7에 비교하여 나타내었다.

Photo. 2는 내부 작업단의 형상 변화에 따른 유동특성을 나타내는 것으로 흘수 1.5m에서 작업단의 높이 및 위치변화에 의한 내부 유동현상을 관찰한 것이다.

Photo. 2의 A3와 A4 경우는 Photo. 1의 (a) 및 (b)에 선수쪽으로 1.5m 높이의 작업단을 설치한 것으로, 개구부 내부의 자

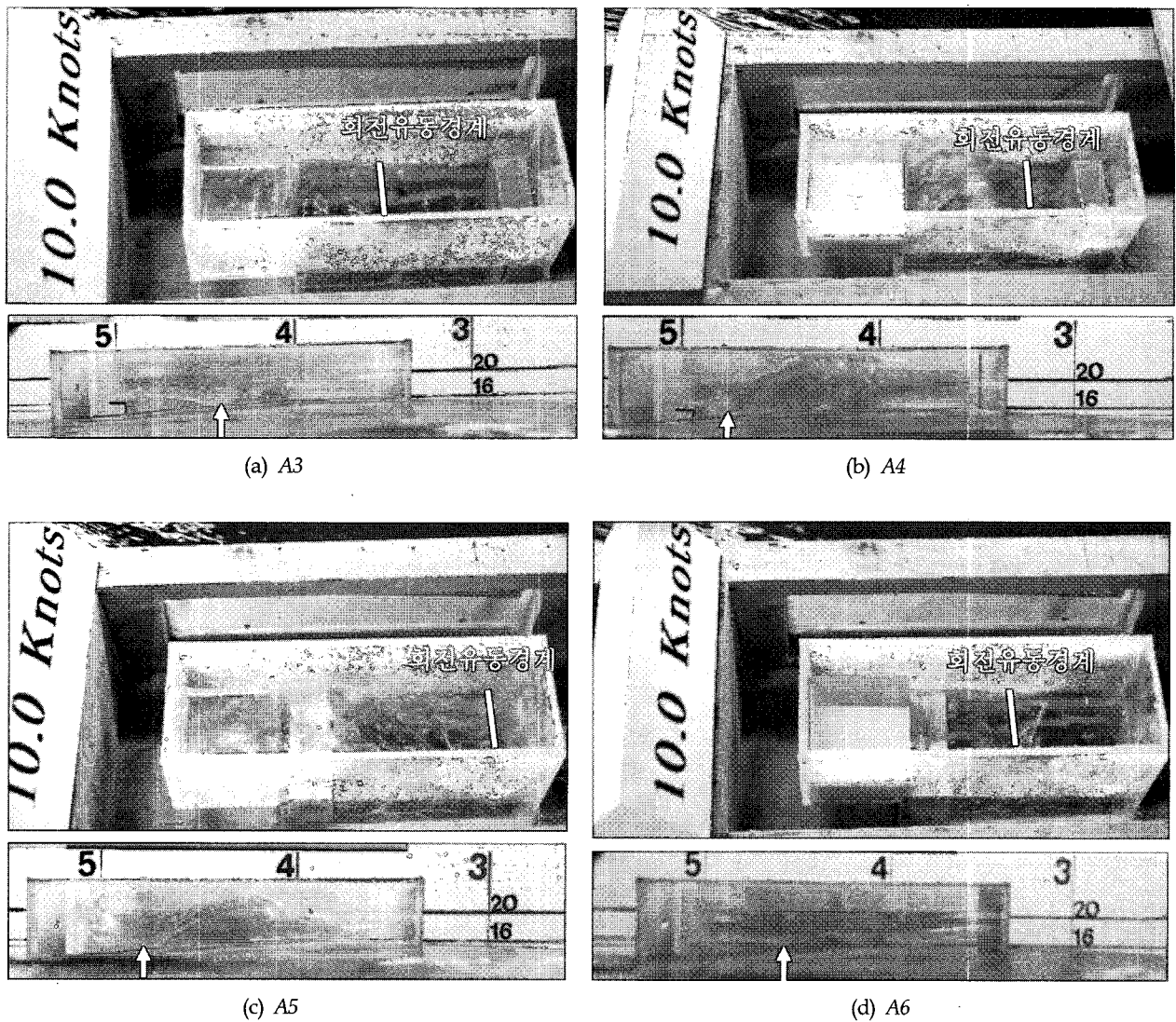


Photo. 2 Flow patterns at 10.0 kts due to variation of step in moonpool

유표면이 줄어드는 효과로 인하여, 유동현상은 Photo. 1의 (a) 및 (b)와 유사하나 파랑충격의 강도가 줄어들었으므로 Fig. 6에서와 같이 A4의 경우 1.5m 흡수 A2와 비교하여 10.0 노트에서의 저항은 30% 정도 줄어들고 있다.

A5와 A6는 Photo. 1의 (a) 및 (b)에 선미쪽으로 1.5m 높이의 작업단을 설치한 것으로 A3와 A4의 경우와는 반대되는 유동현상을 보이고 있다.

같은 크기의 자유표면을 갖는 개구부에서 A3와 A5의 유동현상의 차이는 A5의 경우 작업단의 상부면적이 증가함에 따라 작업단 위로 오르내리는 유동이 개구부의 회전유동과 합쳐지면서 상하유동을 증가시키는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Photo. 2의 각 경우에 대한 트림 변화를 나타낸 것으로 Fig. 6에서와 같이 트림 변화량이 작은 A6의 저항이 가장 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 Photo. 2의 각 경우에 대해 선수수선(F.P.)에서 선체 중운동의 예측 결과를 나타낸 것으로, A3와 A6의 선체 중운동

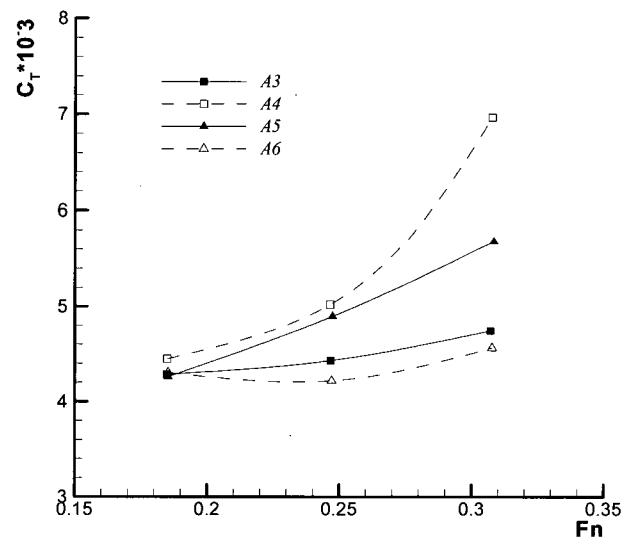


Fig. 6 Comparison of resistance performance

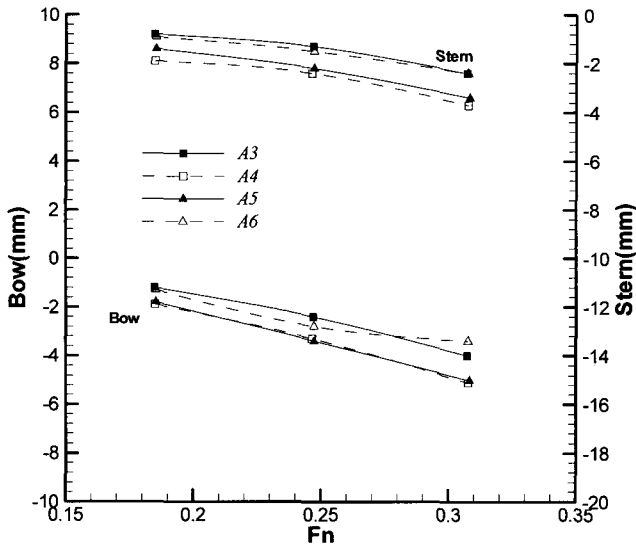


Fig. 7 Comparison of trim angles

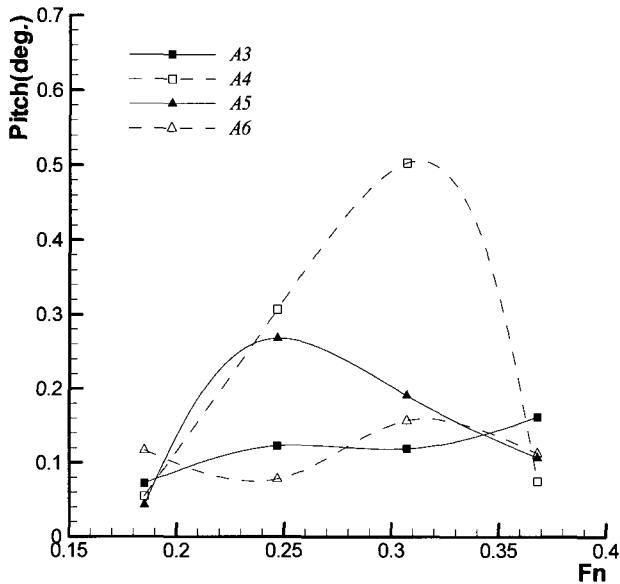


Fig. 8 Comparison of pitching motions caused by flows in the moonpool

이 가장 작게 나타나는 것을 보여주고 있으며, Fig. 6의 저항결과와도 같은 경향을 보여주고 있다.

개구부의 자유표면이 줄어들면서, 작업단 상부의 면적이 커지는 A3 및 A5의 선체 종운동의 최대치는 낮은 속도 범위로 이동되고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 연안해저퇴적물 처리선박의 개구부 형상변화에 따른 저항성능과 개구부 내부의 유체유동을 회류수조에서 모형시험을 통하여 조사하였다.

개구부 내부의 유동은 선속과 내부형상에 의존하며, 본 개발 선박의 내부에 작업단이 없거나 높은 경우에 10.0 노트에서 가장 큰 내부유동을 가지며, 저항증가는 크게 35% 정도 증가되었다.

선체 종운동으로 인한 부가저항을 유발시키는 내부의 유동을 억제하기 위해서는 작업단을 설치하고 형상은 계단형태로 하며 수면하부에 위치하도록 하여야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지원을 받아 수행된 “해양퇴적물의 환경친화적 처리용 시추발톱(Tooth bit)형 선박시스템 개발”에 관한 연구내용의 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

손혜중, 송지수, 안성목, 박승오 (2002). “원형 문풀 내부의 유동 해석”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp 63-66.
 유재훈, 최순호 (1999). “Moonpool과 Azimuth Thruster를 장치한 Drillship의 저항추진성능”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp 424-427.
 Harold, E.S. (1965). "Hydrodynamics in Ship Design", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, pp 349-353.
 Molin, B. (2001). "On the Piston and Sloshing Modes in Moonpools", J. Fluid Mech., Vol 430, pp 27-50.
 Newman, J.N. (2003). "Low-Frequency Resonance of Moonpools", 18th Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Le Croisic, France. (downloadable from <http://www.amit.com/wkshop03.pdf>)
 Tuck, E.O. and Newman, J.N. (2002). "Longitudinal Waves in Slender Moonpools", 17th Int. Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Cambridge, pp 14-17.

2005년 11월 29일 원고 접수

2006년 2월 27일 최종 수정본 채택