

## Moonpool과 Azimuth Thruster를 장치한 Drillship의 저항추진성능

유재훈<sup>†\*</sup>, 최순호<sup>\*\*</sup>

한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>\*</sup>  
삼성중공업 조선해양연구소<sup>\*\*</sup>

Performance of Drillship with Moonpool and Azimuth Thrusters

Jaehoon Yoo<sup>†\*</sup> and Soon-Ho Choi<sup>\*\*</sup>

Korea Ocean Research & Development Institute<sup>\*</sup>  
Samsung Heavy Industries<sup>\*\*</sup>

### Abstract

The performance of a deep water drillship, is investigated with the view of the characteristics of the thrusters and the resistance increasement due to moonpool. The model tests have been performed to obtain the resistance of two drillships with the moonpool open and closed including shape changes of moonpool step. To design the DP system, thrust forces of azimuth thrusters have been measured during azimuthing at zero speed condition. Thrusters, azimuthing under the bottom of ship, have the interactions of the other thrusters due to flow changes made by other thrusters, and the existence of ship hull makes the thrust deduction higher than when the thrust operates by itself. The resistance increasement due to the moonpool is highly dependent on the step height of the moonpool and the draft. It is found that the height of moonpool step can reduce the resistance increasement by moonpool.

※Keywords: Drillship(드릴십, 원유시추선), Azimuth Thruster(아지무스 추진기), Moonpool(문풀), Interaction(간섭), Resistance(저항)

### 1. 서론

근래에 들어 원유를 시추하기 위한 위치 고정식

부유 구조물의 한계를 극복하기 위해 이동이 가능한 선박형태의 시추 장비가 개발되어지고 있으며, 그 중의 하나로서 심해용 Drillship이 개발되어져 이미 상용화되어진 상태이다. 기존의 원유 시추용 부유 구조물들은 가장 큰 특징이 자체 이동성이 크게 떨어지거나, 아예 이동이 불가능한 형태이다. 따라서 이러한 고정식 또는 반고정식 시추 장비는

접수일: 2004년 8월 29일, 승인일: 2004년 10월 12일

† 주저자, E-mail: jhyoo@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7242

시추 장소의 원유 매장량이 어느 정도 이상의 상당한 양이어야 그 설치 및 시추 자체의 채산성이 있다는 단점이 있다. 따라서 이러한 형태의 시추 장비들은 본격적으로 시추 장소에 투입되기 전에 오랜 기간 동안의 조사를 통해 시추 타당성이 검토된 후에 투입되어지게 되며, 이에 따라 경제적, 시간적 투자가 선행되어야 한다는 문제가 있었다. 또한 최근의 유가의 상승은 소규모 유정에 대해서도 시추를 요구하게 되는 상황이므로 이러한 요구 조건들에 따라 독특한 형태의 Drillship이라는 선박이 개발되어졌다. 이러한 Drillship은 저속이긴 하지만 안정적인 항해가 가능하고, 깊은 수역에서도 시추가 가능할 수 있는 시추 장비를 스스로 운반 설치하여 작업할 수 있으며, 일정한 양의 시추 원유에 대해서는 그 운반까지도 가능한 형태로 소규모지만 복합적인 기능의 형태를 가지고 있다.

Drillship은 시추기능, 이동 기능을 겸하게 되는 선박으로서 원유 시추 장비의 운반, 설치를 기본적으로 갖추게 되며, 10노트 정도의 항해, 이동 능력을 보유하고, 시추를 위한 정지 중 Dynamic Positioning이 가능하도록 설계되어져 있다(이동연/하문근 2001). 따라서 기존의 내연기관과 단동 또는 쌍동의 프로펠러를 갖추기 보다는 전기식 추진기를 다수 이용해 항해를 위한 추진과 Dynamic Positioning시의 제어 추진까지를 겸하도록 하고 있다. 또한 시추장비의 설치를 간편하게 할 수 있도록 선체의 중앙부의 비교적 큰 개수부인 소위, Moonpool을 설치하고, 이를 통해 자체 탑재시킨 시추 장비를 깊은 수심까지 설치하는 기능을 갖추고 있다.

본 연구에서는 기존의 일반적인 선박들과는 달리 회전식 전기모터 즉, Azimuth Thruster가 설치되어 있는 Drillship의 추진 성능의 특징을 살펴보았으며, 아울러 선체의 중앙에 상당히 크게 뚫려 있는 Moonpool에 의한 저항을 감소시킬 수 있는 방법에 대한 실험적인 조사를 수행하였다. 또한 Dynamic Positioning상태에서는 Azimuth Thruster에 의존하는 추진 성능이 1~2개의 추진기가 선미에만 장치되는 기존의 선박들과는 달리 다수의 Azimuth Thruster들이 선체 하부에 장착되어져,

각각의 추진기의 간섭에 따라 자체 추진력의 변화가 있을 뿐만 아니라, 주위의 선체와의 간섭에 의해서도 추진력의 변화가 큰 것으로 밝혀져 있으므로 (MARIN 1997, 이동연 등 1999, Lee et al. 1999), 이에 대해 실험적인 연구를 수행하였다.

시험 대상 선형은 선체의 길이가 다른 두 가지 선형(Ship A, Ship B)으로서 각각 다른 Moonpool의 크기를 가지고 있으며, Moonpool에 대한 조사에서는 Moonpool의 크기, Moonpool 입구의 형상, 작업단의 높이 등에 따른 저항 값의 변화를 계속 비교하였다. 시험 대상 선형들의 모습과 Moonpool의 제원 및 추진기의 위치는 Fig. 1과 같으며, 각각의 주요 제원을 간단히 Table 1에 정리하였다.

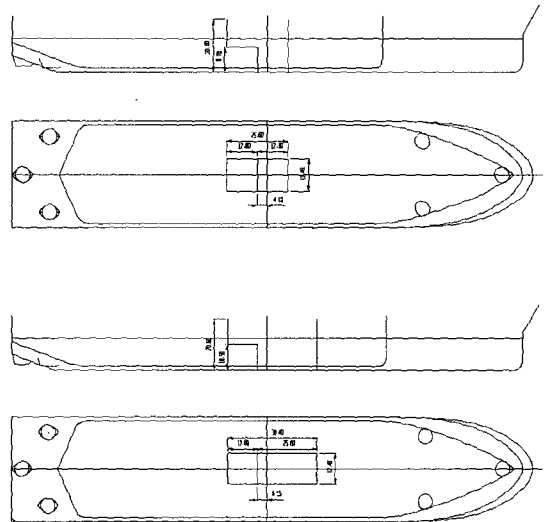


Fig. 1 Schematic View of Drillships  
(upper: Ship A, lower: Ship B)

Table 1 Principal dimensions of drillships

	Ship A	Ship B
LBP[m]	213.0	219.4
B [m]	42.0	42.0
Draft [m] at operating	13.0	12.0
Draft [m] at transit	8.47	8.5
Model Scale	26.8	26.8

2. 추진성능

2.1. 추진기 단독성능

시험된 100,000m<sup>3</sup>급의 Drillship에는 5,500kW 출력의 Azimuth Thruster가 선수부에 3개, 선미부에 3개씩 부착되어진다. 전체 추진기의 개략적인 형상은 Fig. 2와 같으며, 회전 날개의 주요 치수는 Table 2에 정리하였다. 그림에서와 같이 Azimuth Thruster는 본체(Strut, Housing), Duct Nozzle, 프로펠러 날개의 3부분으로 구성되어져 있다.

먼저 Azimuth Thruster에 대한 단독특성을 예인 시험을 통하여 파악하였다. 단독 특성 역시 위의 세 가지 구성에 대해 각각 고려해야 한다. 본체의 경우는 어떠한 작동상태에서도 추진력을 가지지 못하는 저항체이나, Duct Nozzle과 프로펠러는 추진력을 발생하게 된다. 작은 값의 전진비에서는 덕트노즐이 전체 추진력의 많은 부분을 차지하기도 하지만, 최종적으로 선체에 전달되어지는 추진력은 세 가지 구성체가 가지는 추력의 합력이 전달되어지므로, 본 연구에서는 세 가지 구성 요소가 갖는 각각의 항력과 추력의 합을 총 추진력으로 간주하여 프로펠러 단독 성능 시험을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 3의 프로펠러 단독특성 곡선으로 표현하였다.

2.2. 조류의 영향에 대한 조사

Drillship의 주요한 역할은 시추이므로 시추봉을 설치하고 시추하는 과정에서 Dynamic Positioning 기능이 필요하게 된다.(이동연/하문근 2001) 특히, 조류가 있는 상태에서 배의 위치를 고정시키기 위해서는 조류 중에 작동하는 추진기의 추력 변화를 살펴보아야 하며, 본 연구에서는 추진기와 일정한 방향을 가지고 입사하게 되는 조류가 만나는 경우에 대한 특성을 파악하였다. 먼저 조류가 전혀 없는 상태에서의 추진기 성능을 얻어낸 후에 이를 기준으로 Fig. 4 와 Fig. 5와 같이 조류가 2 m/sec, 4m/sec 인 경우에 추진기를 15도씩 회전 시켜가며, 이에 대한 추진력과 토크의 변화를 살펴보았다. 그 결과, 추진기가 최대 부하를 갖게 되는 경우는 조류의 입사각이 약 130도 부근에서임을 알 수 있으며, 최대 추력 역시 토크가 최

대가 되는 각도에서 발생하고 있음을 알 수 있었다. 다시 말해서 프로펠러의 후방, 즉 프로펠러에 의해 발생하는 유동과 조류가 반대방향으로 만나게 되는 방향이 180도이므로, 약 50도 정도 프로펠러의 회전방향으로 치우쳐진 조류의 경우에 최대 토크와 추력이 얻어짐을 뜻하게 된다.

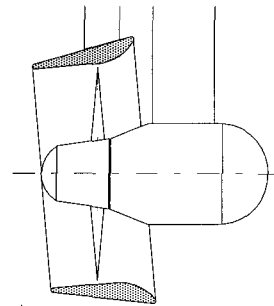


Fig. 2 Azimuth thruster

Table 2 Dimensions of azimuth thruster

Diameter [m]	3.8
P/D at 0.7 R	0.950
Ae/Ao	0.695
No. of Blades	4
Blade Section Type	NACA66

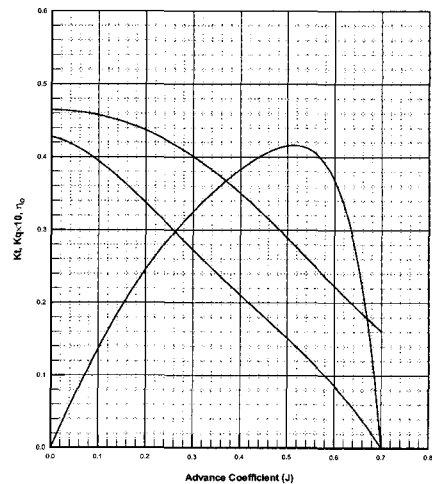


Fig. 3 Open water characteristics

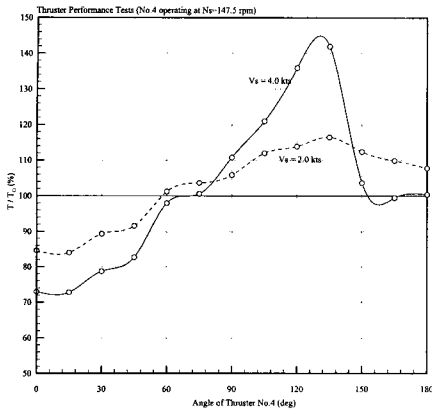


Fig. 4 Thrust in current

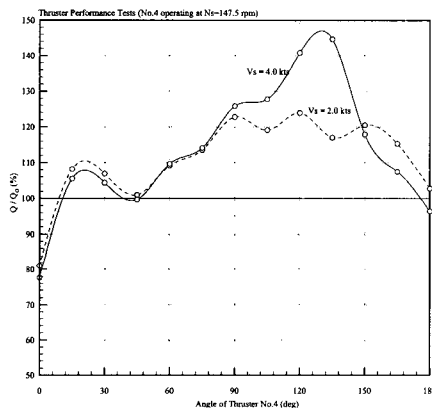


Fig. 5 Torque in current

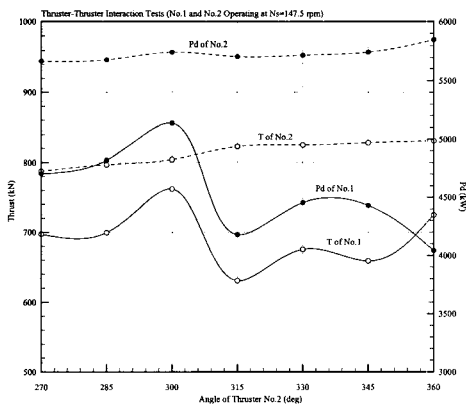


Fig. 6 Thruster-thruster interaction (stern)

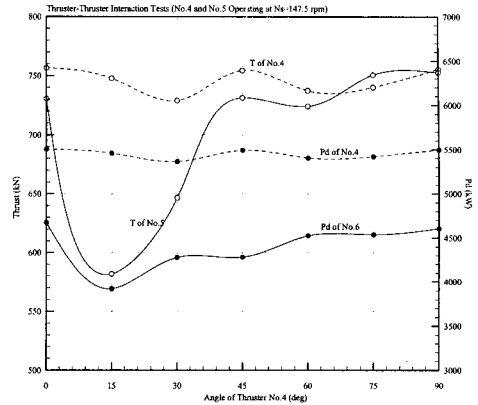


Fig. 7 Thruster-thruster interaction (bow)

### 2.3. 추진기 상호간의 영향

서로 가까운 위치에 놓여지는 추진기들은 서로 간의 간섭과 영향을 미치게 된다. 즉, 추진기들이 함께 작동하게 되면 전방에 놓여진 추진기는 후류에 놓여진 추진기의 입사류를 교란하게 되며, 이에 따라 두 추진기 사이에서는 단독 상태에서와 다른 추진력과 소요 마력이 발생하게 된다. 본 연구에서는 전진 속도가 없는 상태에 대해서 전방에 위치한 추진기가 회전각을 가지고 작동하는 경우에 후류의 영향을 받게 되는 추진기의 추진력과 소요 마력의 변화를 살펴보았으며, 결과를 Fig. 6 과 Fig. 7에 정리하였다.

### 2.4. 추진기와 선체간의 간섭

각각의 추진기는 추진기가 바라보는 각도, 즉 회전각에 따라 선체로 전달되어지는 힘에 차이가 발생하게 된다. 이 이유는 추진기와 선체와의 간섭 때문이며, 효율적인 DPS의 설계를 위해서는 이 특성을 미리 파악해 놓아야 한다. Fig. 8에는 각각 선수와 선미에 위치한 추진기에 대해 회전각에 따른 선체 전달력의 손실에 대한 시험 결과를 정리하였다. 시험 결과, 추진기의 후류가 선체의 Buttocks를 향해 작동하게 되는 회전각에서 추진력 손실이 커지는 것을 알 수 있다.

### 2.5. 자항상태에서의 추진효율

상기한 여러 가지 현상들은 자항상태에서도 비

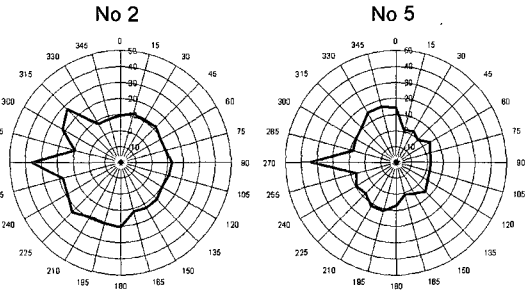


Fig. 8 Thruster-hull interaction (thrust loss)

Table 3 Self-Propulsion Efficiencies(Vs=12.0kts)

$w_{TM}$	$t$	$\eta_H$	$\eta_R$	$\eta_O$	$\eta_D$
0.01	0.258	0.749	1.002	0.425	0.319

슷하게 작용하게 된다. 6대의 추진기를 정격 출력으로 작동시키게 되는 경우에 대한 저항시험 결과를 Table 3의 추진계수 및 효율들을 통해 살펴볼 수 있다. 반류계수와 상대회전효율은 기대하는 바와 같이 거의 0과 1의 값을 가지고 있지만 추진력 감소의 경우 약 26%에 이르는 것을 알 수 있다.

이러한 과도한 양의 추진력 감소가 발생하는 이유는 선저에 비교적 가깝게 놓여진 추진기들의 후류가 선저부에 부딪혀 비교적 많은 양의 마찰 저항 증가를 발생시켜 나타나는 것으로 판단된다.

### 3. Moonpool에 의한 저항증가

Moonpool이란 시추를 위한 장치로서 선체 중앙부에 위아래로 크게 뚫린 형태이며 시추용 장비의 탑재 및 작업의 편의를 위하여 작업단이 설치되어 있다. Moonpool이 내부에는 흘수와 같은 높이의 자유 수면이 존재하게 되며, 선박이 전진하게 되면 Moonpool 내부의 물이 일종의 Driven Cavity Flow와 같은 내부 유동과 더불어 일정한 주기를 갖고 상하 유동이 발생하는 현상이 나타나게 된다. 또한 일정한 속도 이상에서는 Moonpool의 자유 수면이 파랑(wave)으로 발전하게 되고, 쇄파(wave breaking)까지도 일어나게 된다. 이렇게 발생되어진 내부의 파랑은 Moonpool의 후면

벽면을 치게 되기도 하는데 이러한 두 가지 현상은 일종의 부가저항으로서 선체 자체에 걸리는 정수 중 저항을 증가시키는 결과로 나타나게 된다.

Moonpool 내부 자유 수면의 거동은 Moonpool 내에 장치되어 있는 계단식 작업단의 높이와 흘수에 따라 많은 차이를 가지게 된다. 본 연구에서는 이러한 Moonpool의 존재 여부 및 그 크기, 흘수 및 작업단의 높이의 변화가 시험 중에 변화될 수 있도록 하여 저항 값을 조사하였다. 또한 Moonpool로 유입되어지는 유동의 조절을 통한 저항 절감 효과를 얻기 위하여 Moonpool의 입구에 제어판을 설치하거나 Moonpool의 각 모서리를 깎아내는 방법을 시도하여 보았다.

#### 3.1. Moonpool의 개폐에 따른 저항의 변화

Moonpool의 존재에 의한 저항 증가량은 흘수에 따라 다른 경향을 보였다. 본 연구에서는 제원이 조금 다른 두 가지 선형에 대해 각각 만재 또는 작업 상태(Scantling, Operating)와 이동 상태(Transit)에서의 흘수에 대해서 Moonpool을 닫은 상태에서와 열려있는 상태에 대해서 저항 시험을 수행하였으며, 선속 12노트에 대한 결과를 Table 4에 정리하였다. Moonpool을 개폐하여 나타나는 저항 값의 차이는 작업단이 물 속에 잠기게 되는 Scantling Draft (13.0m) 나 Operating Draft (12.0m)에서는 Moonpool의 존재가 약 2~5% 미만의 저항 증가를 가지고 있으나, Transit Draft(8.5m)에서는 11~22% 정도의 매우 큰 증가를 보이고 있다. 이러한 이유는 Fig. 9에 나타난 것과 같이 Moonpool의 내부에서 일어나는 자유수면 유동에 차이가 있는 것에 의한 것으로 보여진다. Moonpool 내에 존재하는 물은 배의 속도와 같이 움직이게 되나, 선저에서 만나게 되는 정지 유동과의 마찰로 인해 Moonpool 내부의 유동은 일종의 Driven Cavity Flow와 같이 여러 개의 회전 유동이 나타나고, 배의 전진 속도가 빨라짐에 따라 자유수면이 상하 방향으로 오르락내리락 하는 유동으로 발전하게 된다. 이러한 문풀 내부 유동은 손해종 등(2002)에 의해 단순화 되어 수치 해석되어진 바 있다. 그런데 이러한 유동은 Fig. 9 (b)와 같이 흘수가 작은 경우일수록 회전이 강하

Table 4 Resistance change due to Moonpool ( $V_s=12kts$ , Model Scale)

	Draft (m)	Moonpool Volume (m <sup>3</sup> )	Resistance (Model, N)
Ship A	13.0	closed	97.69
	8.47	closed	67.57
Ship B		closed	89.91
	12.0	4,074	94.30
	8.5	closed	66.38
		2,716	80.67

고 자유 수면의 주기적인 상하 이동도 심하게 나타나다가, 파랑으로 발전하게 된다. 일정한 선속 이상이 되면, 이렇게 발생되어진 파랑은 쇠파되어지면서, Moonpool의 후면벽과 주기적으로 부딪히는 현상이 나타나게 되며, 결국 저항 증가를 유발하게 된다. 반면에 출수가 커져 작업단 상부에 물이 잠기게 되면, Fig. 9 (a),(c)와 같이 작업단 상부에는 배와 함께 전진하는 물이 존재하게 되고, 앞에서 나타났던 강한 회전 유동과 파랑의 발생과 쇠파를 제어하는 역할을 하게 된다. 또한 발생된 파랑이 후면벽을 치게 되는 경우에도 그 충격력을 완화시켜주는 작용을 하는 것으로 관찰된다. 이렇게 완화된 유동 현상은 앞서의 경우와는 달리 비교적 작은 저항 증가를 가지게 된다.

3.2. Moonpool작업단 높이에 따른 저항 변화

3.1.절에서 살펴본 바와 같이 Moonpool에 의한 저항 증가가 출수에 따라 다르다는 것에 착안하여 기존의 작업단의 높이를 Transit Draft 때보다 작게 낮추어 시험하여 보았다. 이러한 시도는 Fig. 9 (a)와 같은 깊은 출수 상태에서의 유동과 같은 현상을 유도하기 위한 것이었으며, 시험 결과, Fig. 9 (c)와 같이 비교적 발생 파랑의 크기가 줄어든 내부 유동이 나타났으며, 약 4% 정도의 저항이 줄어드는 것을 확인하였다.

3.3. Moonpool 입구의 형태에 따른 저항변화  
Moonpool 입구의 형태 변화는 후단의 모서리

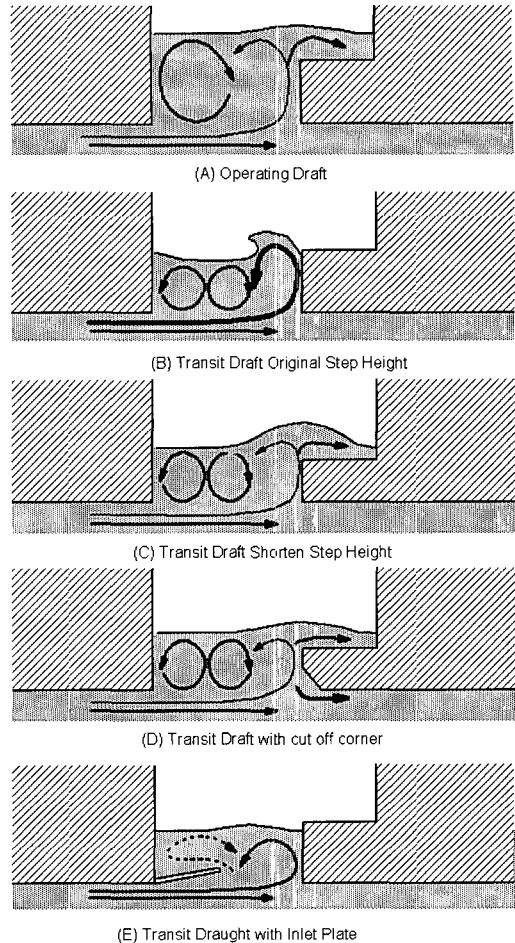


Fig. 9 Schematic View of Flow in Moonpool

에 각도를 주는 방법(Fig. 9 (d))과 입구 전단에 제어판을 설치하는 경우(Fig. 9 (e))의 두 가지를 시험하였다. 제어판의 설치는 Moonpool의 입구 면적의 10%를 차지하는 평판을 각도 15도로 경사시킨 후 입구 주위를 막는 형태로 모형을 구성하였다. 이 경우 약 10% 정도의 저항 감소를 유도할 수 있었으며, 입구 모서리를 깎아내는 방법은 1~3%의 저항 감소가 나타나는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 Moonpool과 Azimuth Thruster가 설치되어 있는 심해용 Drillship의 추진 특성을

파악하고 저항 성능을 개선할 수 있는 방법에 대한 실험적인 조사를 수행하였다.

(1) 여러 대의 추진기를 동시에 사용하는 Dynamic Positioning System 구성에는 추진기의 단독 특성 외에도 조류 또는 선체의 미소 이동에 의한 추진기 부하의 변화, 추진기와 추진기 사이의 간섭, 추진기와 선체와의 간섭이 비교적 큰 영향을 미치게 되므로 이에 대한 정량적인 파악이 필요하다.

(2) 6대의 추진기가 정격 출력으로 선체를 전진시키는 경우에 추진력 손실이 비교적 크므로 추진기 공급사에서 제공하는 단독 상태의 추력만으로 선속을 추정하는 것은 바람직하지 못하다.

(3) Moonpool의 존재는 그 크기나 흘수 등에 따라서는 20% 이상 저항이 증가할 수 있다. Moonpool에 의한 저항 증가는 Moonpool 내부의 자유 수면의 유동 현상 및 벽면에 대한 파랑 충격이 주요 원인으로 판단된다.

(4) Moonpool에 의한 저항을 줄이기 위해서는 Moonpool 내부에 위치하는 작업단의 높이를 낮추는 방법, 그리고 Moonpool 입구 전방에 제어판을 설치하는 방법 등으로 Moonpool 내부 유동, 특히 자유 수면의 슬러싱 현상을 줄여주는 등의 방법으로 Moonpool에 의한 저항 증가를 감소시킬 수 있다.

앞으로 Moonpool내의 유동을 제어할 수 있는 방법으로서 Moonpool 내부 유동에 대한 수치 해석을 통한 유동 관찰에 의해 재원 변경이나 제어벽(Baffle)등의 설치를 통해 부가되는 저항 증가를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

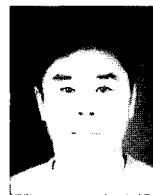
## 후 기

본 연구 논문은 주저자가 삼성중공업 조선해양 연구소 재직 중에 수행하였던 "Model Tests for 98,000m<sup>3</sup> Displacement Deepwater Drillship,

Yoo, J(1998)" 의 연구 내용 중 일부를 발췌하여 수록한 것임을 밝혀둡니다.

## 참 고 문 헌

- 손혜중, 송지수, 안성목, 박승오, 2002, "원형 문풀 내부의 유동해석," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 63-66.
- 이동연, 김진기, 정성욱, 유우준, 박재우, 하문근, 1999, "드릴쉽에 대한 DP시스템 개발과 실험", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 436-439.
- 이동연, 하문근, 2001, "드릴쉽에 대한 DPS 모형시험 기법개발," 대한조선학회 논문집, 제 38권, 제 2호, pp. 33-44.
- Lee, D.Y., Ha, M.K. and Kim H.J., 1999, "Development of Dynamic Positioning Simulation Program," 일본관서조선학회지, Vol. 231, pp. 65-73.
- MARIN, 1997, Model Tests for a Deep Water Drillship, Report No. 13816-1-1-GT.
- Yoo, J., 1998, Model Tests for 98,000m<sup>3</sup> Displacement Deepwater Drillship, Report of SSMB No. SSMB-T-1998-9039-T1.



< 유 재 훈 >



< 최 순 호 >