시추선 문풀의 내부 유동제어에 의한 부가저항 저감

최시영¹·이영길^{2,†}·정광열¹·하윤진¹
인하대학교 대학원 조선해양공학과¹
인하대학교 기계공학부 조선해양공학전공²

Reduction of Added Resistance by Internal Flow Control in the Moonpool of a Drillship

Si-Young Choi¹·Young-Gill Lee^{2,†}·Kwang-Leol Jeong¹·Yoon-Jin Ha¹
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University¹
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University²

Abstract

The internal flows of moonpool usually causes huge added resistance on drillships, and those are very complex to analyze. Therefore, not only experimental approaches but also numerical simulations are required for better investigations when dealing with the hydrodynamic problems of moonpool. In the present research, numerical simulations are used to find out why the resistance increases by moonpool on a running drillship. That is, the three-dimensional numerical simulations and model tests are carried out to examine the characteristics of internal flow and added resistance by changing the section of the moonpool in both longitudinal and transverse directions. Finally, based on the present studies, an optimized shape of the moonpool is suggested, which effectively reduces added resistance, and that is confirmed with three-dimensional numerical simulations and model tests.

Keywords : Moonpool(문풀), Added resistance(부가저항), Internal flow control(내부유동제어), Drillship(시추선), Numerical simulation(수치시물레이션), Model test(모형시험)

1. 서 론

최근 유가 상승에 따라 심해저 및 매장량이 적은 유전의 채산성이 증가하여 이동이 가능하고 비교적 수심에 제약이 적은 선박 형태의 해양플랜트에 대한 수요가 증가하고 있다. 문풀이 있는 형태의 해양플랜트 및 해양 지원선의 경우 이 문풀로 인하여 큰 부가저항이 발생하게 된다. 하지만 시추선 설계 시 초기 문풀의 형상은 저항성능에 주안점을 가지기 보다는 시추장비의 규격과 용량에 따른 장비 업체의 요구사항 및 시추선이 작업하게 될 해양환경에 맞추어 설계를 하기 때문에, 초기 설계 시에 저항성능을 고려한 형상을 결정하지 못하여 초기 설계가 완료된 이후에 형상을 변경하는 일이 발생하기도 한다. 이러한 경우 구조도의 변경 뿐만 아니라, 적재 용량 및 구획 등을 재설계하게 되어 추가적인 시간적, 비용적 손실이 발생하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 과거에서부터 경험적, 해석적 연구가 이루어지고 있으나, 문풀 내부의 유동은 강한 와의 발생과 이동뿐만 아니라 복잡한 자유수면 유동을 동반하기 때문에 경험적, 해석적 연구로 설계에 필요한 정보를 충분히 얻는데에는 한계가 있다.

B, Molin (2001)은 문풀 내부의 자유수면 유동을 슬로싱 모드와 피스톤 모드로 구분하였으며, 문풀의 폭, 깊이 등을 변화시키

며 각 모드의 주파수 변화를 확인하였다. Song & Park (2003)는 VOF법을 이용하여 전진하는 2차원 문풀의 유동을 수치시물레이션 하였으며, 문풀 내부의 자유수면 유무에 따라 저항성능에 차이가 있음을 보여 주었다. Yoo & Choi (2004)는 문풀 형상 변화에 따른 저항성능 변화에 대하여 실험적 연구를 수행하였으며, 문풀로 인하여 전진 중에 전저항 대비 약 20% 내외의 부가저항이 발생함을 예측하였다. Gailarde & Coteleer(2004)는 문풀 내부 유동의 발생 원인을 항주와 선체 움직임 두 가지로 나누었으며, 정수 중에서 항주하는 선박의 문풀 내부 유동이 문풀의 앞쪽 벽면의 아래에서 발생하는 와 흐름 현상에 기인함을 실험을 통하여 증명하였다. 또한, 초기설계 단계에서 수치시물레이션을 적용할 것을 제안하였으며, 3차원 수치시물레이션을 적용할 필요성에 대하여도 언급하였다. Kim, et al. (2006)은 모형선 시험을 통한 환경 정확용 선박의 문풀 형상 변화에 따른 저항성능 및 문풀 내부 유동 현상 조사를 위한 연구를 통하여 문풀로 인한 부가저항이 전저항의 35% 정도까지도 차지할 수 있음을 보여 주었다. Veer & Tholen (2008)은 실적선에 대한 실험적 연구를 통하여 문풀로 인한 부가저항 예측 모델을 제시하고, 문풀로 인한 부가저항이 항주 속도에 따라 30~100%까지 증가할 수 있음을 보이기도 하였다.

본 연구에서는 시추선 문풀의 종단면 및 횡단면 형상 변화에 의한 정수 중 운항하는 시추선 문풀 내부유동과 부가저항의 변화를 수조실험과 수치시뮬레이션을 통하여 연구하였으며, 부가저항의 원인을 규명하였다. 또한, 내부 유동을 제어하여 부가저항을 줄일 수 있는 새로운 문풀의 형상 한 가지를 제안하였다.

2. 연구의 대상

본 연구에서는 시추장비 업체 및 조선소의 브로슈어(STX 2008)와 웹(www.rigzone.com)상에 공개된 실적선의 주요 제원을 기초로 하여 설계한 가상의 시추선을 대상선박으로 설정하였다. 그리고 문풀의 크기는 시추장비 업체에서 주로 요구하는 크기로 결정하였으며, 길이와 폭은 27.5m x 12m로 하였다. 또한, 계산과 실험에 사용된 모형선의 축척은 문풀의 크기와 모형선의 크기, 실험을 수행한 선형시험수조의 크기를 고려하여 1/100로 결정하였고, 대상 선형의 주요요목은 Table 1에 정리하였다.

문풀의 각 모서리 형상의 변화에 따른 문풀 내부 유동의 변화를 확인하고, 저항성능에 유리한 문풀 형상을 도출하기 위하여 문풀의 형상을 다음과 같이 결정하였다.

첫째, 문풀이 없는 모형을 CASE 1로 하였다.

둘째, Fig. 1 (b)와 같은 직사각형 문풀을 CASE 2로 하였고, 그 길이와 폭은 각각 27.5m, 12.0m 로 하였다.

셋째, CASE 3은 뒤쪽 벽면의 흐름을 원활하게 하기 위한 형상으로 하였다. Fig. 1 (c)와 같이 뒤쪽 하단 모서리를 길이 4.0m, 높이 4.0m로 경사지게 잘라 내었고, CASE 2와 비교하여 그에 따라 유동에 주는 영향을 확인하고자 하였다.

넷째, 문풀 내부에 발생하는 와의 강도를 줄이기 위한 형상으로서, 앞쪽 모서리를 경사지게 잘라낸 형상을 CASE 4로 하였다. CASE 3과의 비교를 위하여 Fig. 1 (d)와 같이 CASE 3의 형상에서 앞쪽 아래의 모서리를 길이 1.6m 높이 2.2m로 경사지게 잘라 내었다. CASE4는 CASE 1~3 과 CASE5사이에서 중간 단계의 성격이지만 모형선 제작 단계에서 고려하지 못하여 계산만 수행하였다.

다섯째, CASE 5는 대상 선형을 선정할 때 참고한 브로슈어에 있는 형태와 같은 형태로서 Fig. 1 (e)와 같다. 이는 문풀의 측면 벽 하부의 불연속적인 형상에 기인하는 부수적인 3차원 효과를 줄이기 위한 형상이며, CASE 4의 측면 하단 모서리를 폭 0.8m, 높이 2.2m로 경사지게 잘라 내었다. 이 경우는 CASE 4와 비교하여 횡단면 형상 변화에 따른 저항성능 변화를 확인하고자 하였다.

마지막으로, 문풀의 부가저항을 좀 더 효과적으로 줄이기 위하여 CASE 2~5까지의 수치시뮬레이션과 실험의 결과를 분석하여 문풀 뒤쪽 벽과 와의 간섭으로 인한 수면 상승을 줄일 수 있도록 Fig. 1 (f)와 같이 CASE 6을 설계하였다. 도출된 사각형 부가물은 참고 문헌(Park, et al., 2007)에서 작업 시 문풀 내부의 물이 갑판 위로 넘치는 것을 제어하는 장치의 모양을 참고하였고, 그 크기는 가로 세로 각각 1.5m 로 정하였다.

Table. 1 Principal dimensions of the vessel

	Ship	Model
Scale	100 : 1	
Hull dimensions		
L.O.A (m)	210.0	2.100
B (m)	36.0	0.360
TTRANSIT (m)	8.5	0.085
Service Speed	12.0 Knots	0.617 m/s
Fn	0.14	
Moonpool dimensions		
L (m)	27.5	0.275
B (m)	12.0	0.120

Fig. 1 Series model Shapes of moonpool
(left : longitudinal section / right : transverse section)

3. 수치 계산 및 실험 방법

3.1 수치 계산 기법

수치계산은 문물내부의 유체의 거동 및 저항성능 변화를 효과적으로 계산하기 위한 목적으로 밀도함수법(Lee, et al., 2009, Yu, et al., 2010, Jeong, et al., 2010)을 이용하여 자유수면을 정의하는 INHAWAVE II를 이용하였다. 유체를 비압축성 점성 유체로 가정하여 Navier-Stokes 방정식(식(1))과 연속방정식(식(2))을 지배방정식으로 사용하였고, 계산 수행 시 격자계는 직사각형 교차격자계를 사용하였다.

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nu\nabla^2\vec{V} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2)$$

지배방정식의 대류항을 제외한 나머지 항은, 시간에 대하여는 전진차분법을 공간에 대하여는 중심차분법을 이용하여 이산화 하였다. 대류항의 경우 공간에 대하여는 삼차상류차분법을 이용하였으며, 물체주위의 격자에서는 일차 또는 이차 상류차분법을 이용하여 이산화하였으며, 대류항의 시간에 대한 차분근사에는 Adams-Bashforth법을 이용하였다. 압력장에 대하여는 압력의 포아송방정식(Poisson equation)을 SOR(Successive Over Relaxation)법의 적용으로 그 해를 구하였다.

자유수면의 위치는 밀도함수의 수송방정식(식(3))을 풀어 물과 공기 밀도의 산술 평균을 갖는 위치로 정의하였다. 단, 밀도함수값은 자유수면의 위치와 형상을 정의할 경우에만 사용되고 지배방정식의 해를 구할 때에는 물과 공기의 실제 밀도의 물리 값이 각각 사용되었다.

$$\frac{D(M_\rho)}{Dt} = 0 \quad (3)$$

$$P_{water} = P_{air} \quad \text{on free-surface} \quad (4)$$

$$\frac{D(z - \eta)}{Dt} = 0 \quad \text{on free-surface} \quad (5)$$

자유수면의 동역학적 경계조건으로는 식(4)와 같이 자유수면상의 물과 공기의 압력은 같다고 하고, 표면장력은 무시하였으며, 식(5)와 같이 자유수면의 운동학적 경계조건은 자유수면의 속도와 유체입자의 속도가 같다고 하였다. 그리고 Irregular leg lengths and star 기법이 자유수면 주위 격자의 압력 포아송방정식의 해를 구하는 과정에 사용되어 동역학적 경계조건을 만족시켰다.

물체경계조건으로는 점착(No-slip)조건과 물체경계를 포함하는 물체경계격자들에서 '0'발산조건을 만족시켰다. 물체경계격자

는 물체경계에 의하여 격자가 잘려 있어 완전 유체격자와 같은 방법으로 속도와 압력을 계산할 수 없으므로, 즉, 속도에 대한 몇 가지 내삽기법의 적용과 운동량방정식과 연속방정식을 연계하여 해를 구함에 있어서 속도-압력 동시반복기법을 이용하여 속도와 압력을 계산하였다. 물체에 인접한 주위의 각 방향 위치에 따른 속도변화는 2차방정식의 형태를 따른다고 가정하였으며, 2차방정식 형태의 속도분포 계산시 점착조건을 만족시키기 위하여 물체 표면에서의 속도를 '0'으로 정의하였다.

3.2 수치 계산 조건

수치 계산은 문물로 인한 선박의 저항 증가를 확인하기 위하여 전체 선박에 대하여 수행되었으며, 문물에 의한 부가저항을 확인하기 위하여 문물이 있는 경우와 문물이 없는 경우에 대하여 각각 계산되었다.

Fig. 2 는 CASE 2의 격자계를 보여주고 있으며, 다양한 CASE에 동일한 격자계를 적용하여 격자계의 영향을 최소화 하였다. 문물의 벽면과 선체의 바닥, 자유수면 주위에 격자가 집중되어 있으며 문물에서 멀어질수록 격자의 크기가 커지도록 격자계가 작성되었다.

$$C = \frac{V\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (6)$$

계산의 안정성과 계산 시간의 단축을 위하여 시간 간격은 1/1000초를 넘지 않고, 식(6)과 같이 표현되는 계산의 안정성에 대한 지표로 사용될 수 있는 Courant Number를 0.22 이하가 되도록 시간 간격을 조정하였다. 주요 계산 조건은 Table 2에 정리하였다.

Fig. 2 Total mesh system for the numerical flow simulations

Table 2 Computational conditions for the numerical flow simulations

Scale	1/100
Number of cells	285 x 104 x 183
Number of cells in the moonpool	35 x 16 x 52
Minimum cell size	0.005 x 0.003 x 0.003
Speed	0.617 m/s (Fn=0.14) (12knots in full scale)
Max. time step	1/1000 sec
Acceleration time	3.0 sec

3.3 모형선 시험 조건

실험은 문풀의 형상 변화에 따른 부가저항의 증가를 확인하기 위하여 수행되었으며, 수치시뮬레이션에서 사용한 형상을 그대로 사용함으로써 계산과 실험을 비교할 수 있게 하였다. 부가 저항과 문풀 내부 수면 변위의 관계를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 문풀의 앞/뒤쪽 벽면에 파고계를 설치하였다. 그림에서, WP2 위치의 수면 변위는 파고계와 유동의 간섭으로 인하여 계산에서만 측정하였다.

Fig. 3 Photo and the sketch of a moonpool model and wave height measuring points for the model test

4. 문풀 내부 평균수면 높이와 부가저항

문풀의 유무에 따른 압력저항을 비교하여 문풀에 의한 부가저항을 계산하였다. Fig. 4는 CASE 1과 CASE 2의 수치시뮬레이션 결과 중 설계속력에서 시간에 따른 압력저항기록을 비교한 그림이다. 직사각형 문풀로 인하여 전체 압력저항이 설계 속력에서 약 55% 정도 증가하고 주기적으로 진동하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 진동은 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 문풀 내부의 수면 높이가 변함에 따라 발생하는데 이러한 문풀 내부의 유체 이동에 의하여 일시적으로 CASE2의 저항이 CASE1보다 작아지기도 한다. 이 결과는 문풀이 전체 시추선의 압력저항에 큰 영향이 있음을 보여주며, 같은 조건에서 수행한 실험 결과를 통하여도 문풀에 의하여 전저항이 약 54% 증가함을 확인하였다. 또한, 각 CASE에서의 수치시뮬레이션과 모형선 시험의 결과는 Fig.5와 Table 3, Table 4에 정리하였다.

Fig. 4 Comparison of the time history of pressure resistance coefficients between CASE1 and CASE2 in the numerical simulations

Fig. 5 Added resistance coefficients from the numerical simulation compared with the experimental results among the moonpools (CASE 2~CASE 5)

Fig.5는 각 CASE 2~CASE 5에 대하여 설계속력에서 수행한 수치시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교한 그림이다. Fig.5를

보면, 문풀 형상에 따른 부가저항계수가 실험과 계산 모두 같은 경향을 보임을 알 수 있고, 그 값 또한 근접함을 볼 수 있다. 또한, CASE 3에서 부가저항이 가장 작은 것을 확인 할 수 있으며, CASE 4와 CASE 5는 CASE 3에 비하여 부가저항이 모두 증가하였다.

Fig. 6 Comparison of added resistance coefficients and mean water levels for the simulation and model test between CASE 2 and CASE 3

Fig. 6에 CASE 2와 CASE 3의 부가저항 및 평균수면변위에 대한 시뮬레이션 결과와 모형시험 결과를 비교하여 나타내었다. 실험과 계산결과 모두 CASE 3에서 부가저항의 개선이 있는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 문풀 내부에 포함된 유량으로 생각할 수 있는 평균수면높이가 CASE 2보다는 CASE 3에서 더 작은 것을 확인할 수 있다. 평균수면높이가 상승함에 따라 부가저항이 증가하는 경향은 이번 연구에서 수행한 여러 CASE의 결과에서 모두 나타났으며, 이로써 문풀 내부의 평균 수면높이와 부가저항이 관련되어 있음을 알 수 있다. 계산 결과와 실험결과를 종합하여 보면, 문풀 형상에 따른 부가저항계수는, CASE 2에 비하여 CASE 3은 약 15% 가 감소하였으며, 평균 수면 높이도 21% 감소하였다.

Table 3 Comparison of the numerical computation results

	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
Average of wave heights (Water level)				
TP(s)	0.794	0.799	0.801	0.828
Mean(m)	0.0014	0.0011	0.0018	0.0020
Wave elevation at WP1				
TP(s)	0.794	0.571	0.801	0.828
Mean(m)	0.0003	0.0002	0.0012	0.0008
Wave elevation at WP3				
TP(s)	0.834	0.571	0.801	0.828
Mean(m)	0.0034	0.0030	0.0038	0.0046
Added resistance (Pressure resistance)				
TP(s)	0.834	0.571	0.801	0.828
Mean(N)	0.416	0.351	0.386	0.457
Max(N)	1.410	0.942	1.070	1.548
Min(N)	-0.486	-0.222	-0.296	-0.690
Adev(N)	0.328	0.210	0.271	0.372
Added resistance coefficient				
CAdd x 1000	2.746	2.343	2.518	3.035

Table 4 Comparison of the experimental measurement results

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 5
Wave elevation at WP1				
TP(s)	-	0.665	0.466	0.701
Mean(m)	-	0.0015	-0.0020	0.0024
Wave elevation at WP3				
TP(s)	-	0.665	0.466	0.701
Mean(m)	-	0.0064	0.0035	0.0108
Total resistance				
Mean(N)	0.882	1.343	1.318	1.413
Added resistance				
Mean(N)	-	0.461	0.436	0.531
Total resistance coefficient				
CT x 1000	5.384	8.329	8.148	8.755
Added resistance coefficient				
CAdd x 1000	-	2.936	2.757	3.363

Fig. 7 Comparison of frequencies between added resistance coefficient and mean water levels (CASE 3)

Table 3, 4는 CASE1~5에 대한 수치시뮬레이션 결과와 모형 시험결과를 정리한 것이다. 각 결과의 주기는 Fig. 7과 같이 부가저항과 파고의 시계열(time history)을 푸리에 변환(Fourier Transform)을 수행하여 TP(Peak Period)로 나타내었다. 먼저, 수치시뮬레이션 결과인 Table 3 및 Fig. 7을 보면, 문풀 내부의 수면변위주기와 저항의 주기가 일치함을 볼 수 있고, 문풀 내부의 저항이 문풀 내부의 수면변위와 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있다. 그리고 수면변위의 평균값을 피스톤 모드라고 하고, 전체 수면변위의 평균이 변하지 않으면서 파가 발생하는 현상을 슬로싱 모드라고 하였을 때, Fig.7에서 보이는 것과 같이 두 개의 부가저항 피크 중에 하나는 피스톤모드와 일치하고 하나는 슬로싱 모드와 일치하는 것을 볼 수 있다. Fig.8을 통해 CASE 3과, CASE 4를 비교하여 보면 문풀의 앞쪽 벽면을 잘라냄으로써 와도의 크기가 비교적 작지만, 문풀 내부 유동이 문풀의 상부를 향하

게 되면서 평균 수면을 상승(63%)시키는 결과가 나타난다. 이에 따라 부가저항은 약 7% 증가하였다. CASE 5는 CASE 4에 비하여, 부가저항이 약 20% 증가하였다. 측면 하단을 잘라낸 경우 문풀 내부의 평균 수면 높이의 시간 평균이 증가하고 평균 수면 높이의 시간에 따른 변화량 또한 커진 것을 볼 수 있다. 이러한 결과들로부터, 수면 변위량의 제어를 통하여 문풀의 저항 증가를 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 실험을 통하여 얻은 전저항 계수를 비교하여 보면 CASE 1에 비하여 문풀의 형상에 따라 약 51~63%의 전저항 증가가 발생함을 확인 할 수 있었고 문풀의 형상에 따라 10% 이상의 전저항 차이가 있음을 확인하였다.

Fig.8 Simulated flow patterns near the fore edge of the moonpool at each case (XZ plan, $Y=0.0$, velocity vectors and vorticity magnitude contour)

5. 내부 유동을 고려한 문풀설계

앞장에서 언급한 내용을 토대로 문풀의 부가저항은 문풀 내부의 자유수면 높이에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 이와 함께 이번에는 문풀내부의 유동이 부가저항에 미치는 영향에 대하여도 고찰해 보도록 한다.

Fig. 9는 CASE 2, CASE 3, CASE 5의 경우 뒤쪽 벽면의 수면

상승이 이루어지기 직전의 유동을 보여주고 있다. 그림을 보면, 문풀의 뒤쪽 벽면에 앞쪽 하단부에 의하여 특정지워진 유동이 부딪치고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 유동은 앞쪽 하단부의 형상 및 뒤쪽벽의 형상에 따라 각기 다른 양상을 보이게 된다. 이러한 유동이 그림에서와 같이 뒤쪽 벽에 닿으면서 뒤쪽 벽면 주위의 물을 문풀 안쪽으로 끌어 올리게 되고 이에 따라 수면이 상승함을 알 수 있다. 따라서, 뒤쪽 벽면과 문풀 내 유동의 간섭에 의한 수면상승을 억제하기 위하여 CASE 6과 같은 형상의 문풀을 설계하였다. CASE 6은 문풀 뒤쪽벽의 하부를 잘라 유동의 일부가 뒤쪽 벽면 하부로 빠져나가게 유도함과 동시에, 자유수면에 미치는 영향을 줄이기 위하여 돌출된 사각형 구조물이 설치된 형태이다.

Fig.9 Simulated flow patterns and induced wave elevation in the moonpool at each case (XZ plan, $Y=0.0$, velocity vectors and vorticity magnitude contour)

Fig. 10 Simulated flow patterns in the moonpool (CASE6, XZ plan, Y=0.0, vorticity magnitude contour)

Fig. 10은 CASE 6의 문풀 내부 유동을 나타내고 있다. 이 형상에 의하여, 문풀 뒤쪽의 수면 상승이 효과적으로 억제되고 있음을 볼 수 있고, 유동이 돌출된 곳에 부딪히며 벽에 닿기 전에 그 운동량이 급격히 줄어들게 되어 수면 상승을 유도하는 힘이 약해지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11을 보면, 수치시뮬레이션에 따른 CASE 6의 문풀에 의한 저항 증가량은 0.241N으로서 CASE 3의 문풀로 인한 압력저항 증가량인 0.351N에 비하여 약 31%의 저항감소 효과가 있음을 알 수 있다. 또한, CASE 6의 수치시뮬레이션 및 모형선시험 결과를 Table 5에 정리하였다. 이 결과를 보면, CASE 6은 CASE 2에 비하여 설계 속도에서 40% 이상의 부가저항의 감소 효과가 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 이 값은 전저항의 측면에서 약 17% 저항 감소가 이루어짐을 확인 할 수 있다.

Fig. 11 Comparison of the time histories of pressure resistance coefficients between CASE3 and CASE6 in the numerical simulations

Table 5 Computational and experimental results in CASE 6

	CAL.	EXP.
Average of wave heights		
$T_p(s)$	0.597	—
Mean(m)	0.0009	—
Wave elevation at WP1		
$T_p(s)$	0.597	0.584
Mean(m)	0.0003	0.0019
Wave elevation at WP1		
$T_p(s)$	0.597	0.584
Mean(m)	0.0025	0.0017
Added resistance		
$T_p(s)$	0.597	—
Mean(N)	0.241	0.238
Max. (N)	1.000	—
Min. (N)	-0.319	—
Adev. (N)	0.222	—
Added resistance coefficient		
$C_{Add} \times 1000$	1.632	1.606

6. 고찰

수치시뮬레이션 및 모형 시험을 이용하여, 문풀의 형상에 따른 문풀 내부 유동의 특징을 파악하였다. 먼저, 문풀의 부가저항은 문풀 내부의 수면변위와 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 뒤쪽 모서리를 잘라내어 문풀 안에 생성된 유동을 쉽게 빠져 나가게 한 경우(CASE 3)에는 평균 수면 높이가 낮아지고 부가저항 또한 약 15% 감소하였다. 하지만, 앞쪽 모서리를 잘라내어 와의 강도를 줄이고자 한 경우(CASE 4)에는 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 와의 강도는 줄어들었지만, 유동의 흐름방향이 문풀 내부로 향하기 때문에(Fig. 8) 평균 수면 높이가 높아지고, 부가저항이 CASE 3에

비하여 약 7% 증가하였다. 그리고, 측면 모서리를 잘라낸 경우 (CASE 5)에는, 문풀 내부의 평균 수면 높이 높아지고 그 변화의 폭이 큰 것을 확인하였으며, CASE 4에 비하여 약 20%의 저항 증가가 발생하였다. 이 결과를 바탕으로 하여, CASE 3의 형상을 수정하여, 문풀 내부유동에 의한 수면 상승을 억제하고자 박스 형태의 부가물을 설치하였다(CASE 6). 이 경우, 유동이 문풀의 뒤쪽 벽면 조금 앞에서 분리 되거나 방향이 변화 되는 효과가 있으며, 직사각형 문풀에 비하여 문풀의 평균수면높이를 약 43% 줄이는 것을 알 수 있고, 문풀의 부가저항이 약 40% 감소됨을 보인다. 결과적으로 CASE 6의 경우, CASE 2의 경우에 비하여 전 저항 대비 약 17%의 저항 감소 효과가 있게 됨을 알 수 있다.

7. 결 론

문풀을 장비한 시추선이 정수 중에서 항주할 때, 문풀에 의한 부가 저항을 줄이기 위한 방법을 연구하였다. 이를 위하여, 다양한 형상의 문풀 내부 유동을 수치시뮬레이션과 실험적 방법을 통하여 고찰하였다.

문풀이 없는 모형선과 직사각형 문풀이 있는 모형선에 대한 계산 및 실험결과를 비교하여, 설계속도에서 전저항 대비 약 50~60%의 부가저항이 발생함을 확인하였다. 그리고 3차원 문풀의 부가저항의 시계열과 수면의 상하 운동(피스톤 모드, 문풀 내부의 유량)의 시계열을 푸리에 변환하여 비교하여 수면의 상하운동이 저항에 지배적인 영향을 주는 것을 확인하였다. 슬로싱 모드와 피스톤 모드의 진폭 증가는 시간에 따른 저항의 변화량에 큰 영향을 주지만 저항의 시간평균값에는 영향을 주지 못한다.

마지막으로, 각 면에서의 문풀 하단 모서리의 특성을 조합하고, 문풀의 뒤쪽 하단 모서리 형상의 변화를 통하여 문풀 내부 유동을 제어하고 그 결과로서 부가저항을 감소시킬 수 있는 문풀 형상을 설계하였다. 최종 설계된 문풀은 직사각형 문풀에 비하여 평균 수면 높이의 증가를 약 46% 줄였고, 문풀의 부가저항을 약 40%, 전저항을 약 17% 감소시켰다. 문풀 내부에서 발생하는 유동 제어를 통하여 문풀 내부의 평균 수면 높이를 감소시켰으며, 결과적으로 문풀에 의한 부가저항을 줄일 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구 되었습니다.

참 고 문 헌

- B. Molin, 2001, On the piston and sloshing modes in moonpools. *The Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 430, pp.27-50.
- Gaillard G. & Cotteleer A., 2004, Water motion in moonpools - Empirical and numerical approach.

Association Technique Maritime et Aeronautique, Paris, France .

- Jeong K.L., Lee Y.G. & Kim N.C., 2010, A Fundamental Study for the Numerical Simulation Method of Green Water Occurrence on Bow Deck. *Journal of the society of naval architects of Korea*, Vol. 47, No. 2, pp. 188-195.
- Kim D.J., Park J.W., Kim J.N. & Jeong U.C., 2006, An experimental study on the moonpool characteristics of a cleaning ship for ocean environment purification. *Journal of ocean engineering and Technology*, Vol. 20, No.2, pp. 46-51.
- Lee Y.G., Jeong K.L. & Lee S.H., 2009, Numerical Simulation of Two-dimensional Sloshing Phenomena Using Marker-density Method. *Journal of the society of naval architects of Korea*, Vol. 46, No. 6, pp. 650-658.
- Park, J.J., et al., 2007, Development of design technologies for optimum moonpool shapes of drill ship. *The 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, OMAE2007 - 29182.
- Song C.S. & Park S.O., 2003, Flow analysis of a two-dimensional moonpool in a moving vessel. *Annual autumn meeting of the Korean society of ocean engineers*, pp. 225-230.
- STX-Huisman, 2008, Globe Trotter-10000 Design Drillship
- Yoo J.H. & Choi S.H., 2004, Performance of drillship with moonpool and azimuth thrusters. *Journal of the society of naval architects of Korea*, Vol. 41, No. 6, pp. 33-39.
- Yu J.W., Lee Y.G. & Jeong K.L., 2010, A Study on the Resistance Performance of the Goose Neck Bulbous Bow by Numerical Simulation Method. *Journal of the society of naval architects of Korea*, Vol. 47, No. 5, pp. 689-696.
- Veer, V. & Tholen, H.J., 2008, Added resistance of moonpools in calm water. *The 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, OMAE2008 - 57246.

최 시 영

이 영 길

정 광 열

하 윤 진