https://doi.org/10.21289/KSIC.2022.25.6.1063

육상 및 해양 시추용 디개서 시스템의 진공펌프 성능해석

A Study on the Performance Analysis of Degasser System with Vacuum Pump for Onshore and Offshore Drilling

권성용[1], 박성규[2], 신철순[3], 김승찬[4*], 임희연[5]

Seong-Yong Kwon[1], Sung-Gyu Park[2], Chul-Soon Shin[3], Seung-Chan Kim[4*], Hee-Yeon Lim[5]

〈Abstract〉

In modern industry, vacuum has grown into an indispensable industrial field. The performance of the vacuum pump in the degasser system among mud treatment system facilities was verified by a numerical analysis method. The degasser system is an equipment for removing the gas contained in the mud, and it is a work process that requires a vacuum. This study analyzed the vacuum pump performance of the degasser used in drilling for resource development of onshore and offshore plants. The vacuum pump used in the degasser system was designed with a discharge rate of 0.099kg/s. The DM(Design Modeler) program of ansys workbench 17.2 was used to modify the model of the vacuum pump used in the degasser system. And for performance analysis, CFX, which is known to be suitable for rotating system analysis, was used. Finally the performance analysis results of the vacuum pump and the prototype performance test results were compared and analyzed.

Keywords : Vacuum Pump, Rotor Design, Degasser, Performance Test, CFD(Computational Fluid Dynamics)

1 주저자, 한국조선해양기자재연구원, 책임연구원

2 한국조선해양기자재연구원, 선임연구원

3 한국조선해양기자재연구원, 선임연구원

4* 교신저자, 한국조선해양기자재연구원, 책임연구원
E-mail: sckim@komeri.re.kr

5 ㈜한국마린텍

1 Main Author, Korea Marine Equipment Research Institute, Principal Researcher

2 Korea Marine Equipment Research Institute, Senior Researcher

3 Korea Marine Equipment Research Institute, Senior Researcher

4* Corresponding Author, Korea Marine Equipment Research Institute, Principal Researcher

5 Koreamarinetec.Co., Ltd.

1. 서 론

육상 및 해양 플랜트의 자원생산을 위한 시추장비는 일반적으로 이수 또는 머드(Mud)라 불리는 유체를 사용한다. 흔히 이수라 불리는 이 유체는 드릴비트의 냉각 및 윤활, 불순물 제거와 유정(Oil well)의 붕괴 방지에 활용된다. 이수가 순환하면 모래 및 암편, 기름, 가스, 공기 등을 포함하게 된다. 이를 재사용하기 위하여 시추장비는 이수순환 처리장치(Treatment System)를 통하여 불순물을 제거하고 균일한 머드 상태를 만들기 위한 교반장치(Mixing System)가 사용된다. 이러한 이수순환 시스템의 수치해석적 연구는 Kaushal et al.(2005)의 입자 크기에 따른 체적분율 범위 연구를 시작으로, Ekambara et al.(2009)의 상용프로그램을 활용한 고체-액상 2상 유동해석을 통한 수치해석적 연구, Ofei and Ismail(2016)의 k-epsilon 모델을 이용한 실험값 적용한 연구들이 수행되었다. 그리고 이수 순환 시스템과 관련된 장비들이 수치해석적 방법으로 많이 연구되고 있다. 본 연구는 이수순환 처리장치(Mud Treatment System) 설비 중 디개서(Degasser)시스템의 진공펌프를 수치해석 방법으로 성능을 확인하였다. Fig. 1은 이순순환 처리장치 시스템을 나타내고 있다.

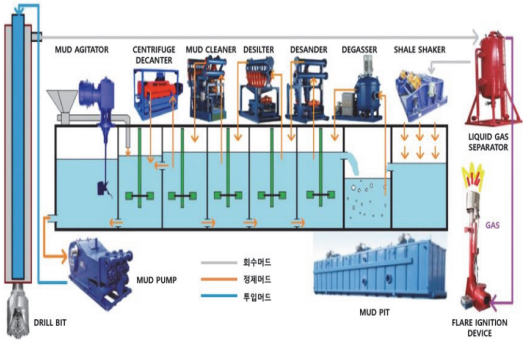


Fig. 1 Mud treatment system

2. 대개서 시스템의 진공펌프 구성

육상 및 해양플랜트에서 사용된 이수를 재사용하기 위하여 구성된 시스템은 가스제거가 필요하다. 이때 사용하는 장비가 디개서(Degasser) 시스템이다. 디개서 시스템의 공정은 1차적으로 불순물이 제거된 이수가 디개서 시스템을 거치면서 내부의 가스 또는 미립자를 외부로 빠져나오도록 하는 시스템이다. Fig. 2는 디개서의 전체적인 시스템 구성을 나타내며, 진공펌프가 설치된 모습을 확인할 수 있다. 본 연구에 사용된 진공펌프의 토출용량은 0.099kg/s로 설계되었다.

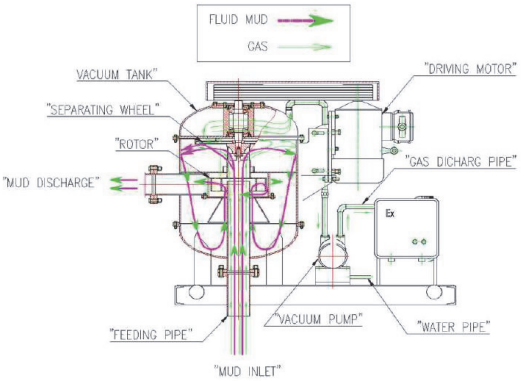
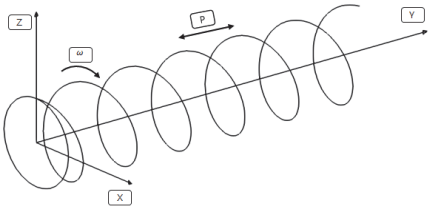


Fig. 2 Composition of degasser system

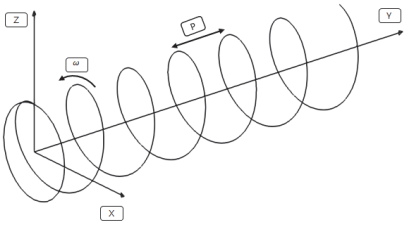
3. 디개서 시스템의 진공펌프 기본 구조

디개서 시스템의 진공펌프 로터의 프로파일은 Fig. 3과 같으며, Fig. 4와 같이 유동, 구조영역으로 모델을 구성하기 위하여 사용한 프로그램은 Ansys DM(Design Modeler)를 이용하였다.

피치가 일정한 진공펌프 로터의 프로파일을 구성하는 나선(Helix)은 직각 좌표계에서 수식은 식(1)과 같다.

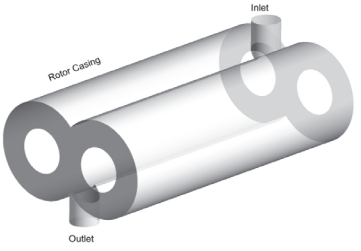


(a) The right handed helix

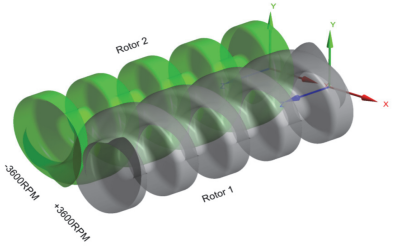


(b) The left-handed helix

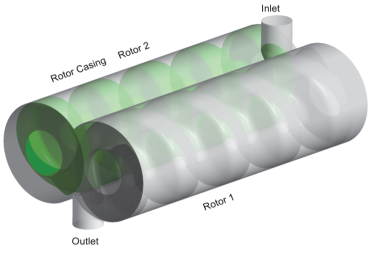
Fig. 3 The constant pitch helix of screw pump rotor



(a) The fluid area of vacuum pump



(b) The Structure area of vacuum pump



(c) The Configuration of vacuum pump

Fig. 4 The analysis screw pump rotor

Table 1. The dimension of vacuum pump rotor

Notation	Name	Length(m)
ID_L	Inlet diameter	0.05
OD_L	Outlet diameter	0.05
CR	Casing Radius	0.085

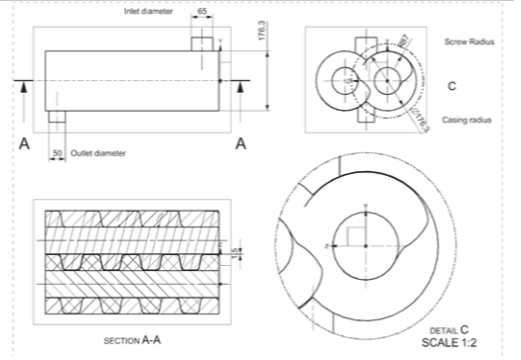


Fig. 5 The rotor of dimension

$$
\begin{aligned}
x_{(\tau)} &= \pm R_1 \sin(\tau), \quad 0 \le \tau \le 2n\pi \\
y_{(\tau)} &= \frac{h\tau}{2\pi} \\
z_{(\tau)} &= R_1 \cos(\tau)
\end{aligned} \tag{1}
$$

τ : 나선의 각도, R_1 : 로터 반지름, n : 나선의 회전수, P : 나선의 피치를 의미한다.

디개서 시스템의 진공펌프 로터의 유동해석을 위한 모델 정보는 Table 1에 나타내었다. 상세한 모습은 Fig. 5와 같다.

4. 지배방정식 및 수치모델 구성

디개서 시스템의 진공펌프 성능해석을 위하여 Ansys CFX 17.2 상용프로그램을 이용하여 유동해석을 수행하였다. Ansys CFX에서 사용되는 수식은 연속 방정식(식(2))과 Navier -Stokes(식(3)) 방정식이 사용된다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + S_M \quad (3)$$

$$\tau = \mu_{eff}(\nabla U + (\nabla U)^T - \frac{2}{3}\delta \nabla \cdot U) \quad (4)$$

$$S_M = -\alpha\beta C(U - U^F) \quad (5)$$

식(3)에 사용된 stress tensor(τ)는 strain rate를 통하여 정의된다. (식(4)). 그리고 내부에서 발생하는 생성항은 식(5)와 같다. 식(5)는 Immersed solid 기법을 사용하기 위한 생성항을 정의하며 계수 α, β, C 는 Momentum force scaling factor, Forcing function of immersed solid, Momentum source coefficient를 나타낸다.

난류모델은 내부유동 해석에 있어 난류 성분예측이 잘되는 것으로 알려져 있는 표준 $k-\epsilon$모델을 사용하였다. 표준 $k-\epsilon$모델은 난류점성(Eddy viscosity)과 난류 운동에너지(Turbulent kinetic energy, k), 난류 소산율(Turbulent Dissipation rate, ϵ)에 의해 정의되며, 각 정의된 식은 식(6), 식(7), 식(8)에 나타내었다.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t$$
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho k U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + P_k - \rho\epsilon + P_{kb} \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}\right)\frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}\right] + \frac{\epsilon}{k}(C_{\epsilon 1}P_k - C_{\epsilon 2}\rho\epsilon + C_{\epsilon 1}P_{\epsilon 1b}) \quad (8)$$

$$P_k = \mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3}\frac{\partial U_k}{\partial x_k}\left(3\mu_t\frac{\partial U_k}{\partial x_k} + \rho k\right) \quad (9)$$

$$P_{kb} = \left(-\frac{\mu_t}{\rho\sigma_\rho}g_i\frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right) \quad (10)$$

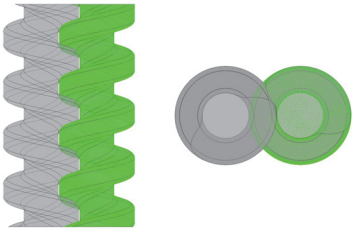
식(7)의 P_k와P_{kb} 는 부력(Buoyancy forces)에 의한 영향을 나타내며, 상용프로그램인 Ansys CFX는 아래와 같이 상수값을 사용한다.

$$C_\mu = 0.09 \quad C_{\epsilon 1} = 1.44 \quad C_{\epsilon 2} = 1.92 \quad \sigma_k = 1 \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

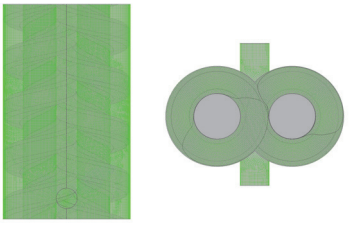
5. 진공펌프 격자 및 경계조건

수치해석에서 사용한 격자를 Fig. 6에 나타내었다. 격자는 구조영역과 유동영역으로 구분할 수 있다. 구조영역은 로터를 의미하며 로터 한 개의 격자는 요소(Elements) 약 93만개, 노드(node) 약 97만개로 구성되었다. 유동영역은 로터케이싱을 의미하며 요소 (Elements) 약 127만개, 노드(node) 약 118만개로 구성되었다.

디개서 시스템의 진공펌프의 성능해석을 위하여 Fig. 7과 같이 모델을 구성하였으며, 상세 경계조건은 Table 2와 같이 나타내었다.



(a) The structure area of vacuum pump rotor casing



(b) The fluid area of vacuum pump rotor casing

Fig. 6 The mesh of structure and fluid area

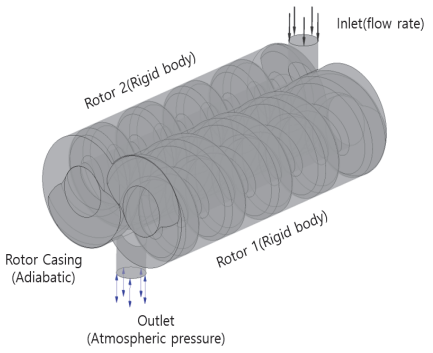


Fig. 7 The boundary condition of vacuum pump

Table 2. The boundary condition

Position	Bodundary condition	Note
Inlet	Massflow rate	0.099kg/s
Outlet	Atmospheric	-
Rotor speed	3600	RPM

6. 진공펌프 해석결과

본 연구는 진공펌프 설계 토출량으로 입구압력이 얼마나 형성되는지 확인하기 위하여 입구조건은 유량, 출구조건은 압력을 경계조건으로 설정하여 입구압력을 확인하였다. 디개서 시스템의 진공펌프의 토출유량은 0.099kg/s로 설계 되었으며, 이에 따른 압력값은 Table 3과 같다.

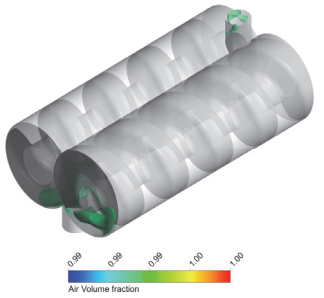
Fig. 8은 0.001초 시간간격으로 8초까지 과도(Transient)해석을 수행한 결과 일부를 나타내었다.

7. 진공펌프 시험수행 및 결과

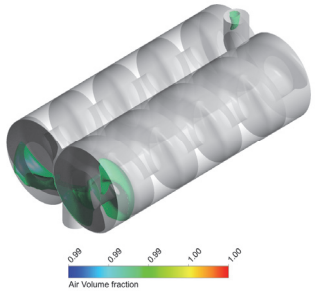
디개서 시스템의 진공펌프 성능시험은 Table 4와 같은 조건에서 시험하였고, 아래와 같은 절차로 진행되었다. 상세시험방법은 저진공 펌프 성능시험방법 KS B 6930:2003을 참조하였다.

Table 3. The analysis result of vacuum pump

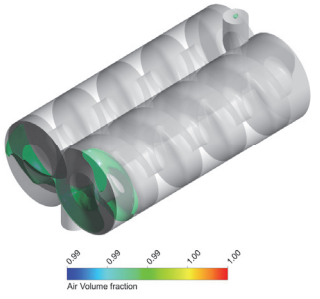
No.	Inlet flow rate[kg/s]	Inlet pressure[Pa]	RPM
1	0.099	149.65	3,600



(a) The air volume fraction at 0.004s



(b) The air volume fraction at 0.008s



(c) The air volume fraction at 0.01s

Fig. 8 The air volume fraction

Table 4. Test condition

Contents	Number of rotation	Temperature	Test Vessel
Pressure test	3600RPM	25℃	85L

7.1 용적형 펌프의 특성상 예비가동(30분)을 시키고, 30분 정지 후 시험시작.
7.2 가동 이후 15분 간격으로 진공도를 측정함.
7.3 진공도는 진공 게이지(Gauge) 값이 감소가 없는 지점에서 5분간 유지한 값으로 정의함.

성능시험결과 Table 5와 같으며, 성능시험결과의 P_2 값을 이용하여 토출용량을 계산하였다. 토출용량은 이상기체 방정식 식 (11)을 이용하여 V_2를 계산하였다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$
$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (11)$$

V_1 : 입구 용량(m^3/h)
V_2 : 토출 용량(m^3/h)
$T_1 = T_2$: 25℃ 공기(K)
P_1 : 표준 대기압(Pa)
P_2 : 입구 압력(Pa)

Table 5. Performance test result

NO.	Discharge rate(V_2)	P_1[Pa]	P_2[Pa]
1	0.126kg/s	101,325	136.122

8. 결 론

육상 및 해양 플랜트의 이수순환시스템에 사용되는 디개서 시스템의 진공펌프에 관한 성능해석을 수행하였다. 그리고 진공펌프 성능시험을 수행한 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 디개서 시스템의 진공펌프의 설계유량인 0.099kg/s의 입구조건과 로터의 회전속도 3600RPM으로 해석을 수행한 결과 진공펌프 내부의 압력은 149.65Pa로 예상된다.

둘째, Table 6과 같이 토출용량과, 진공도를 비교하였을 때 각각 5.83%, 9.94%의 오차값을 가졌다.

(a) The test equipment configuration

(c) The measuring result(P_2)

(b) The measuring equipment setting

Fig. 9 The performance test

Table 6. Comparison of experimental and CFD results

Item	CFD	TEST	Error[%]
Discharge rate [kg/s]	0.099	0.126	5.42
Degree of Vacuum [Pa]	149.65	136.122	9.94

본 연구를 통하여 디개서 시스템의 진공펌프의 설계유량에 따른 내부압력(진공도)을 CFD를 통하여 예상하였다. 그리고 시제품 성능시험을 통하여 확인한 내부압력(진공도)도 CFD와 유사하게 나타난 것을 확인하였다.

사 사

이 논문은 2022년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(22IFIP-C139526-06, 육상 특화형 이수 혼합·처리시스템 개발, 시운전 지원).

참고문헌

[1] M.K. Noh, T.K. Hwang, J. W. Park, “Screw-type Dry Vacuum Pump Technology and Application in Semiconductor Process,” Applied Science and Convergence Technology, 17(4), 292-301, (2008).

[2] S.C. KIM and J.H.Chun, “Evaluation of Flow Characteristics of Mud Treatment System for Onshore Drilling,” Journal of Korean Society of Industry Convergence, vol.24.no. 6, pp. 763-772, (2021).

[3] Schiwei Zhang, “Virtual Design and Structural Optimization of Dry Twin Screw Vacuum Pump with a New Rotor Profile,” Applied Mechanics and Materials vols. 16-19, pp.1392-1396, (2009).

[4] Y LU, “Study on Design of Rotor Profile for the Twin Screw Vacuum Pump with Single Thread Tooth,” IOP conference series. Materials science and engineering v.90, pp.1757-8981, (2015).

[5] S. Y. Kwon, J. K. Cha, G.H. Kim, “Virtual Design of Dry Twin Screw Vacuum Pump with a Rotor Profile,” Proceedings of the KFMA Annual Meeting, pp.26-28, (2020).

[6] J.K.Hwang and H.K.Ku “Numerical Study of Agitation Performance in the Mud tank of on-shore drilling,” Journal of the Korean Society of Industry Convergence, vol. 22, no. 4, pp. 617-626, (2020).

[7] J.M. Sur, H.N. Im, I.S. Lee, H.S. Lee and J.W. Choi “Study on Design Optimization of Degasser Baffles using CFD,” Journal of Ocean Engineering and Technology, vol. 29, no. 5, pp. 331-341, (2015).

[8] Y. S. Choi, T. W. Lim, S. S. You, H. S. Choi and H. S. Kim, “Experimental and Numerical Analysis for Single-Phase Flow Pressure Drop in Parallel Micro-Channels”, Journal of Fishries and Marine Sciences Education, Vol. 26, No. 5, pp. 1090-1095, (2014).

[9] Ekambara, K., R. S. Sanders, K. Nandakumar and J. H.Masliyah, “Hydrodynamic Simulation of Horizontal Slurry Pipeline Flow Using ANSYS-CFX”, Industrial&Engineering Chemistry Research, Vol. 48, No. 17, pp.8159-8171, (2009).

[10] Kaushal, D. R., K. Sato, T. Toyota, K. Funatsu and Y. Tomita, “Effect of Particle Size Distribution on Pressure Drop and Concentration Profile in Pipeline Flow of Highly Concentrated Slurry”, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 31, No. 7, pp. 809-823, (2005).

[11] Saeid, N. H. and B. S. Busahmin, “Numerical Investigations of Drilling Mud Flow Characteristics in Vertical Well”, IRACST-Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), Vol. 6, No. 4, pp. 16-22, (2016).

[12] Ofei, T. N. and A. Y. Ismail, “Eulerian-Eulearian Simulation of Particle -Liquid Slurry Flow in Horizontal Pipe”, Journal of Petroleum Engineering, Vol. 2016, Article ID 5743471, pp. 1-10, (2016).

[13] ASME Shale Shaker Committee, 2005. Drilling Fluids Processing Handbook. 1st

(접수: 2022.10.17. 수정: 2022.11.16. 게재확정: 2022.11.22.)