

믹서의 가동 수 및 각도 변화에 따른 유동형 지붕 탱크의 유동특성

김노형*†

Flow Characteristics of Floating Roof Tank with Varying the Number of Operation and Angle

Kim Noh-Hyeong*†

Key Words : Floating Roof Tank(유동형 지붕 탱크), Mixer(믹서), Angle(각도)

ABSTRACT

In this study, there are 6 mixers that are installed in a 600,000 barrel tank. We identified internal flow characteristics of floating roof tank with varying the number of operation from 4 to 6 because mixer is a variable that influence flow characteristics of the tank. And while varying an angle from Right 60°, Right 30°, Left 30° to Left 60°, we identified internal flow characteristics of the tank. As a result, maximum velocity of flow was 0.02m/s stationarily when we changed the number of operation from 4 to 6. Maximum velocity of flow by change of an angle was from 0.42m/s to 0.47m/s. Therefore, we identified that these factors don't have a great influence on internal flow characteristics of a tank by investigating results with varying the number of operation and an angle.

1. 서 론

본 연구에서 해석을 수행할 유동형 지붕 탱크는 기화되기 쉬운 유체를 저장 중인 탱크의 증발을 최대한 억제하기 위해 탱크 내부의 유면과 공기의 접촉을 차단하도록 유면과 맞닿아 유면과 함께 움직이도록 만들어진 부유식 지붕을 말한다. Fig. 1은 유동형 지붕 탱크(Floating Roof Tank)와 믹서(Mixer)를 나타내고 있다.

믹서에 대한 실험적 연구 동향은 크게 세 부류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 기본적인 설계 변수들에 대한 측정결과와 무차원 변수간의 상관 관계식을 도출하는 연구이다. 이러한 연구들 중에는 Pahl and Muschelknautz⁽¹⁾, Boss and Czastkiewicz⁽²⁾, Shah and Kale⁽³⁾, Chandra and Kale⁽⁴⁾의 압력손실과 레이놀드 수, Grace⁽⁵⁾, Morris and Proctor⁽⁷⁾의 열전달과 레이놀드 수 및 프란틀 수, Morris and Proctor⁽⁷⁾, Morris and Misson⁽⁶⁾의 질량유량과 슈미트 수



Fig. 1 Floating Roof Tank & Mixer

등에 대한 연구가 있다. 두 번째는 믹싱효율을 측정하고 상관 관계식을 유도하는 연구이다. 이러한 연구에는 Grace⁽⁵⁾, Morris and Proctor⁽⁷⁾의 믹싱효율과 잔류시간의 상관관계, Pahl and Muschelknautz⁽¹⁾의 믹싱지수 등에 대한 연구결과들이 있다. 세 번째는 믹서의 균질화에 대한 연구이다. 이러한 연구에는 Dakhel and Rahimi⁽¹⁰⁾의 유체의 밀도에 따른 믹서의 균질화 효과에 대한 연구, Parvareh and Rahimi⁽¹¹⁾의 믹서의 각도 변화에 따른 균질화 효과에 대한 연구결과들이 있다.

* GS칼텍스(주)(GS Caltex Corporation, Republic of Korea)

† 교신저자, E-mail : nhkstar@gscaltex.com

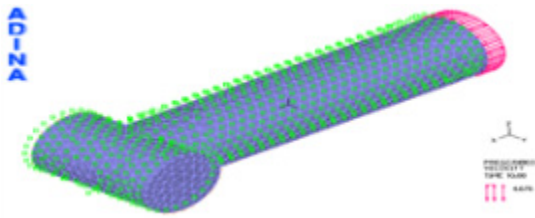


Fig. 2 Modeling of Inlet Line

본 연구에서는 600,000 Barrel의 유동형 지붕 탱크에 설치된 믹서는 유체의 균질화를 목적으로 가동하며, 믹서의 가동에 따른 탱크 내의 유동특성에 영향을 미치는 변수는 믹서의 각도와 믹서의 가동 수이므로 믹서의 각도 변화, 믹서의 가동 수를 가변하면서 특정 해석영역에 대한 정확한 실험 데이터를 얻어 유체유동에 대한 전반적인 내용을 분석하였다. 이 실험을 검증할 만한 자료로서 전산유체역학을 이용하여 실험의 타당성을 점검하여 주어진 문제인 유동형 지붕 탱크의 유동특성을 규명하고자 ADINA 9.0을 사용하여 CFD 해석을 수행하여 해석하고자 한다.

2. 해석 모델링

본 연구에서 유동형 지붕 탱크의 유동해석 모델링을 위해 우선 탱크의 인입배관 조건을 위한 CFD 모델을 만들어 해석을 수행하였다. Fig. 2는 인입배관의 CFD 모델이며, Fig. 2와 같이 인입배관은 T형 분기관으로 설계되어 있으며, 원유 인입 시 분기됨에 따라 모델을 만들어 유입되는 속도를 산출한 결과 속도는 좌우방향 1.98 m/s, 인입방향 2.36 m/s로 산출되었다. Table 1과 Table 2는 인입배관의 제원과 유입되는 속도를 산출한 결과이다. Table 3은 유동해석 조건을 나타내고 있다. 이를 바탕으로 수치 해를 구하기 위하여 유체 유동해석에 많이 쓰이고 있는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용한 상용 코드 프로그램인 ADINA 9.0을 이용하여 수치해석을 수행하였으며, 주어진 탱크 내의 유동에 대한 Reynolds 수의 기준에 근거하여 난류로 가정하여 계산하였다. 난류모델은 k-ε/High Reynolds Number를 적용하였고, 유체의 점성은 0.02 Pa·s, 밀도는 850 kg/m³, 점성계수는 0.0055 kg/m·s, 격자의 수는 948,625개이다.

믹서의 경우 실제 유동모델을 넣어 해석하는데 어려움이 있으므로 이를 단순모델로 치환하기 위해 식 1과 같이 믹서의 파워를 유동속도로 치환하여 모델링 하였다. 이때 믹서의 효율을 70%로 가정하였다.^{(8),(9)} Table 4는 식 (1)을 이용하여 유속을 산정한 결과이다.

$$p = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (1)$$

유동형 지붕 탱크의 모델은 Fig. 3~Fig. 7과 같이 600,000

Table 1. Analysis Condition of Inlet Line

Input from outside the Tank	Incoming Direction(°/s)	4.68
Output to the Tank	Left and Right Direction(°/s)	1.98
	Incoming Direction(mm)	2.36

Table 2. Velocity of the Inlet Line

Input from outside the Tank	Inlet Diameter(mm)	762
	Incoming Flow(BBL/h)	45940
Output to the Tank	Diameter of the Left-Right Direction(mm)	762
	Diameter of the Incoming Direction(mm)	380

Table 3. Interpreting Conditions

Case	Tank	Mixer No.	Mixer Angle	Re.	Analysis Method
1	20D-7	4	R60	606247	CFD
2		6	R30		
3			0		
4			L30		
5			L60		

Table 4. Flow Rate by Mixer

Types of Mixer	Density (kg/m ³)	Diameter (m)	Cross-Sectional Area (m ²)	Flow (m/s)
33P-STM55	830	0.813	0.52	5.63
33P-TM55		0.838	0.55	5.32

33P-STM55(55 KW): Swivel Angle Type

33P-TM55(55 KW): Fixed Angle Type

Barrel의 탱크를 기반으로 해석하였다. 해석조건 배정은 유동형 지붕 탱크에 설치된 믹서의 각도 변화 및 가동 수의 가변에 따른 탱크 내부의 유동특성을 파악하고자 모델링을 하였다.

3. 해석결과

본 연구에서는 600,000 Barrel의 유동형 지붕 탱크에 설치된 믹서(Mixer)는 유체의 균질화를 목적으로 가동하며, 믹서의 가동에 따른 탱크 내의 유동특성에 영향을 미치는 변수는 믹서의 각도와 믹서의 가동 수이므로 믹서의 각도 변화,

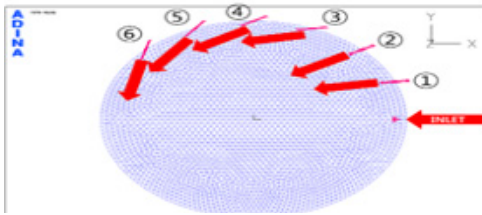


Fig. 3. Modeling of 20D-7 Tank (Case 1)

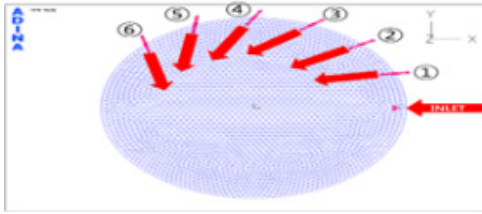


Fig. 4. Modeling of 20D-7 Tank (Case 2)

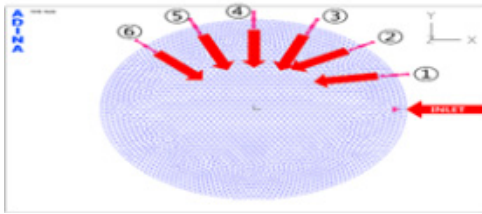


Fig. 5. Modeling of 20D-7 Tank (Case 3)

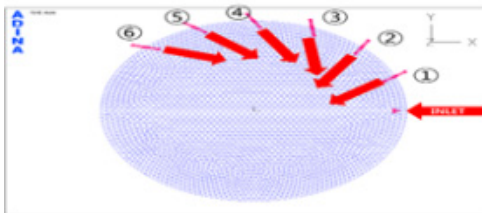


Fig. 6. Modeling of 20D-7 Tank (Case 4)

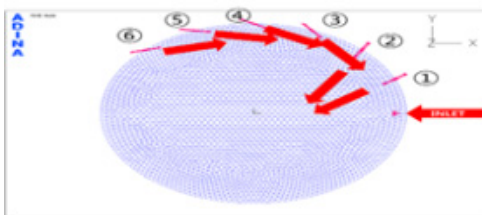


Fig. 7. Modeling of 20D-7 Tank (Case 5)

믹서의 가동 수를 가변하면서 해석영역의 유동특성을 분석하고자 ADINA 9.0을 사용하여 CFD 해석을 수행하였다.

3.1 믹서의 각도 변화에 따른 유동해석

600,000 Barrel의 유동형 지붕 탱크에는 Swivel Angle Type과 Fixed Angle Type의 믹서가 설치되어 있으며, 믹서

Table 5. Angle of Tank Mixer

Tank	Mixer Type	Vertical Angle	Horizontal Angle
20D-7	Fixed	10°	0°
		10°	0°
		0°	0°
	Swivel	0°	0°
		0°	0°

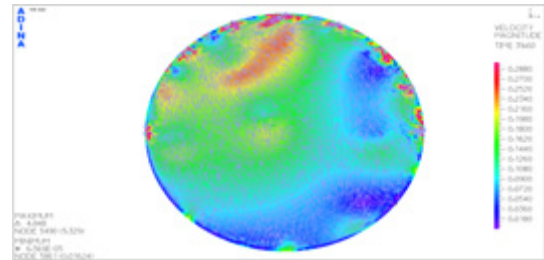


Fig. 9. Flow Distribution according to the Angle Changes of Mixers (Right 60° Direction)

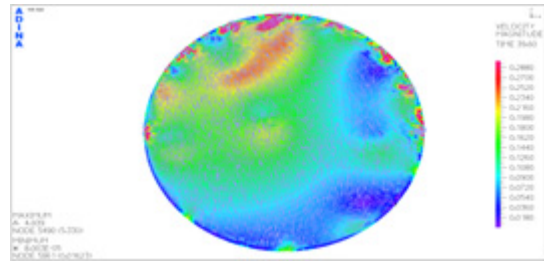


Fig. 10. Flow Distribution according to the Angle Changes of Mixers (Right 30° Direction)

의 설치 각도는 Table 5와 같다. 믹서의 유동이 탱크의 내부에 미치는 영향을 분석하기 위하여 믹서의 각도 조건을 Right 60°, Right 30°, 0°, Left 30°, Left 60°로 하여 믹서 각도의 변화에 따른 유동특성을 해석하였다.

Fig. 9 ~ Fig. 13은 믹서의 각도를 변화시키면서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과이다. Table 6은 믹서의 각도 변화에 따른 해석결과를 수치적으로 나타내었다.

Fig. 9는 믹서의 각도를 Right 60°로 변화시켜서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 0.45 m/s의 유속이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이때의 유동특성은 믹서의 주위에 와류가 형성되면서 탱크 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하며, 1차 유동에 의해서 2차 유동이 탱크 중심부에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 믹서의 각도를 Right 30°로 변화시켜서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 0.42 m/s의 유속이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이때의 유동특성은 믹서의 주위에 와

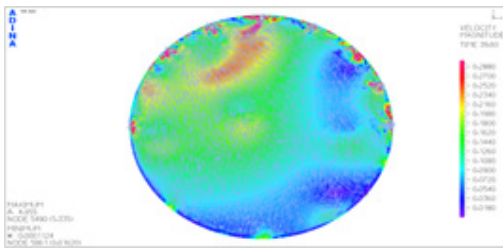


Fig. 11. Flow Distribution according to the Angle Changes of Mixers (0° Direction)

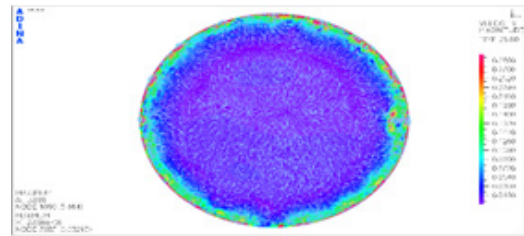


Fig. 14. Flow Distribution according to the Changes of Mixers in Operation (4 Mixers)

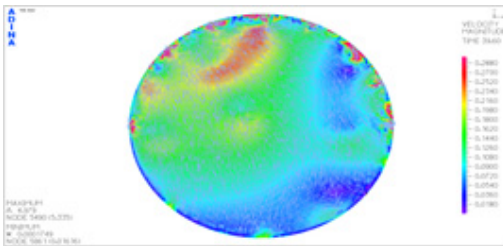


Fig. 12. Flow Distribution according to the Angle Changes of Mixers (Left 30° Direction)

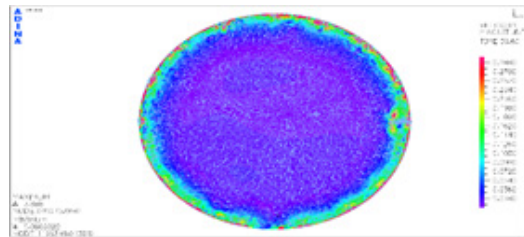


Fig. 15. Flow Distribution according to the Changes of Mixers in Operation (6 Mixers)

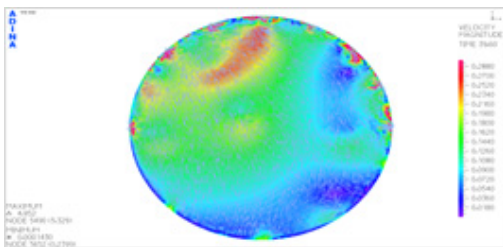


Fig. 13. Flow Distribution according to the Angle Changes of Mixers (Left 60° Direction)

Fig. 12는 믹서의 각도를 Left 30°로 변화시켜서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 0.43 m/s의 유속이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이때의 유동특성은 믹서의 주위에 와류가 형성되면서 탱크 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하며, 1차 유동에 의해서 2차 유동이 탱크 중심부에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13은 믹서의 각도를 Left 60°로 변화시켜서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 0.44 m/s의 유속이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이때의 유동특성은 믹서의 주위에 와류가 형성되면서 탱크 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하며, 1차 유동에 의해서 2차 유동이 탱크 중심부에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

해석결과 믹서의 각도 변화에 따른 탱크 내부의 유속은 0.42 m/s~0.47 m/s이므로 믹서의 각도 변화에 따른 유동특성에 미치는 영향은 미미함을 알 수 있었다. 믹서의 각도가 Right 60°, Right 30°, Left 30°, Left 60°일 때 탱크 중심부의 유동은 믹서에 의한 유동이 탱크의 벽면에 부딪힌 유동이 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하여 탱크 내부의 2차 유동으로 발생하므로 직접적인 영향이 낮기 때문이다.

Table 6. Interpretation result according to the Angle Changes of Mixers

Mixer No.	Interpretation Result
Right 60°	0.45 m/s
Right 30°	0.42 m/s
0°	0.47 m/s
Left 30°	0.43 m/s
Left 60°	0.44 m/s

류가 형성되면서 탱크 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하며, 1차 유동에 의해서 2차 유동이 탱크 중심부에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 11은 믹서의 각도를 0°로 변화시켜서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 0.47 m/s의 유속이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이때의 유동특성은 믹서의 각도가 0°인 관계로 믹서의 유동이 탱크의 중심부로 향하고 있어서 최대유속이 발생한 것으로 판단되었다.

3.2 믹서의 가동 수 가변에 따른 유동해석

본 연구에서는 600,000 Barrel의 유동형 지붕 탱크에 대해 믹서의 가동 수를 4기, 6기로 변화시키면서 유동해석을 수행하였으며, Fig. 14 ~ Fig. 15는 믹서의 가동 수에 따른 유동해석 결과를 나타내고 있다. 또한 탱크 내의 유체에 대한 균질화를 확인하기 위한 방법으로 믹서의 가동 수에 따라

Table 7. Interpretation result according to the Changes of Mixers in Operation

Mixer No.	Interpretation Result
4	0.020 m/s
6	0.020 m/s

Table 8. Result of Sample Measurement

Sampling (Mixer 4)		Sampling (Mixer 6)	
Sample Point	Result	Sample Point	Result
Upper	41.3	Upper	41.6
Middle	41.5	Middle	41.5
Lower	41.5	Lower	41.5
Average	41.4	Average	41.5
d	0.2	d	0.1

탱크의 세 곳(Upper, Middle, Lower)에서 두 차례에 걸쳐 시료를 채취하여 API를 분석하여 API의 편차를 확인하여 탱크 내의 유체에 대한 균질화를 확인하였다. 이때 API 편차는 0.5이하이면 균질화된 것으로 판단하였다. Table 7은 믹서의 가동 수 가변에 따른 해석결과를 수치적으로 나타내었다. Table 8은 믹서 가동 수의 가변에 따른 균질화를 확인하기 위하여 API를 분석한 결과를 나타내고 있다.

Fig. 14는 믹서의 가동 수가 4개일 때 탱크 내부의 유동특성을 나타내고 있다. 유동특성을 해석한 결과 최대유속은 0.020 m/s 이다. 이때의 유동은 탱크의 중심부에서 유체가 상부로 상승하는 것을 알 수 있었으며, 탱크의 벽면을 따라 유체가 와류를 형성하면서 흐르는 것을 알 수 있었다. 그리고 탱크의 Upper, Middle, Lower의 세 곳에서 시료를 채취하여 API를 측정된 결과 Upper 는 41.3°API, Middle 은 41.5°API, Lower는 41.5°API 로 API의 편차가 0.5 이하로 나타나 유체의 균질화가 되었다고 판단되었다.

Fig. 15는 믹서의 가동 수가 6개일 때 탱크 내부의 유동특성을 나타내고 있다. 유동특성을 해석한 결과 최대유속은 0.020 m/s 이다. 이때의 유동은 믹서의 가동 수를 4기로 가동할 때와 동일한 유동특성을 나타내었다. 따라서 믹서의 가동 수는 탱크 내부의 유동에 대한 영향은 미미함을 알 수 있었다. 그리고 탱크의 Upper, Middle, Lower의 세 곳에서 시료를 채취하여 API를 측정된 결과 Upper 는 41.6°API, Middle 은 41.5°API, Lower는 41.5°API 로 API의 편차가 0.5 이하로 나타나 유체의 균질화가 되었다고 판단되었다.

믹서의 가동 수를 변화시키면서 탱크 내의 유동특성을 해석한 결과 믹서 가동 수에 따른 탱크 내의 유동은 미미함을 알 수 있었다. 이는 믹서에 의한 유동이 벽면을 따라 유동이 발생하므로 탱크 중심부에 미치는 유동이 직접적인 영향이

낮기 때문이다. 또한 믹서에 의한 2차 유동이 탱크의 중심부에서 지붕으로 상승하는 것을 파악할 수 있었다. 그리고 믹서의 가동 수를 4기, 6기로 가변해서 시료를 채취하여 API를 측정된 결과 API의 편차가 0.5 이하로 탱크 내의 유체가 균질화된 것으로 파악되었으며, 믹서의 가동 수를 증가한다고 해서 탱크의 내의 균질화에 대한 영향은 미미함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 600,000 Barrel의 유동형 지붕 탱크에 설치된 믹서(Mixer)는 유체의 균질화를 목적으로 가동하며, 믹서의 가동에 따른 탱크 내의 유동특성에 영향을 미치는 변수는 믹서의 각도와 믹서의 가동 수이므로 믹서의 각도 변화, 믹서의 가동 수를 가변하면서 해석영역의 유동특성을 해석하고자 ADINA 9.0을 이용하여 CFD 해석을 수행한 결과 다음과 같았다.

- 1) 유동형 지붕 탱크의 내부 최대유속은 4기, 6기의 믹서를 가동 했을 때 0.02 m/s의 최대유속을 동일하게 나타내었다. 따라서 믹서의 가동 수는 탱크 내부의 유동에 대한 영향은 미미하므로 탱크 내부의 균질화에 대한 영향은 미미함을 알 수 있었다.
- 2) 믹서의 각도 변화에 따른 탱크 내부의 유속은 0.42 m/s~0.47 m/s이므로 유동특성은 미미함을 알 수 있었다. 이는 탱크 중심부의 유동은 믹서에 의한 유동이 탱크의 벽면에 부딪힌 유동이 벽면을 따라서 1차 유동이 발생하여 탱크 내부의 2차 유동으로 발생하므로 직접적인 영향이 낮기 때문이다. 따라서 믹서의 각도를 가변하는 Swivel Type은 설치할 필요가 없음을 알 수 있었다.
- 3) 믹서의 가동 수를 변화시키면서 탱크 내부의 유동특성을 해석한 결과 믹서 가동 수에 따른 탱크 내부의 유동은 미미함을 알 수 있었다. 이는 믹서에 의한 유동이 벽면을 따라 유동이 발생하므로 탱크 중심부에 미치는 유동이 직접적인 영향이 낮기 때문이다. 따라서 믹서의 가동 수를 증가한다고 해서 탱크 내부의 균질화에 대한 영향은 미미함을 알 수 있었다.

References

- (1) Pahl, M. H. and Muschelknautz, E., 1982, "Static Mixers and Their Application", Int. Chem. Eng., Vol. 22, pp. 197~203.
- (2) Boss, J. and Czastkiewicz, W., 1982, "Principles of Scale-Up for Laminar Mixing Processes of Newtonian

- Fluids in Static Mixers”, *Int. Chem. Eng.*, Vol. 22, pp. 362~373.
- (3) Shah, N. F. and Kale, D. D., 1991, “Pressure drop for laminar flow of non-Newtonian fluids in static mixers”, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 46, No. 8, pp. 2159~2161.
- (4) Chandra, K. G. and Kale, D. D., 1992, “Pressure drop for laminar flow of viscoelastic fluids in static mixers”, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 47, No. 8, pp. 2097~2100.
- (5) Grace, C. D., 1971, “Static Mixing and Heat Transfer”, *Chem. Proc. Eng.*, pp. 57.
- (6) Morris, W. D. and Misson, P., 1974, “An Experimental Investigation of Mass Transfer and Flow Resistance in the Kenics Static Mixer”, *Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop.*, Vol. 13, pp. 78.
- (7) Morris, W. D. and Proctor, R., 1977, “The Effect of Twist Ratio on Forced Convection in the Kenics Static Mixer”, *Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev.*, Vol. 16, pp. 406.
- (8) Byeon, S., S., Kim, T., Y., Han, S., M., Kim, J., H. and Kim, Y., J., 2012, “Performance Characteristics of an Axial Propeller Small-hydro Turbine with Various Cambers of Runner Blade”, *New & Renewable Energy*, Vol. 8, No. 2.
- (9) Hwang, Y., H., Lee, Y., H. and Choi, Y., D., 2011, “Field Test for Performance Evaluation of a Tubular Turbine in Marine Small Hydro Power Plant”, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 35, No. 8, pp. 1070~1077.
- (10) Dakhel, A. A. and Rahimi, M., 2004, “CFD simulation of homogenization in large-scale crude oil storage tanks”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 43, pp. 151~161.
- (11) Parvareh, A. and Rahimi, M. 2007, “CFD study on mixing by coupled jet-impeller mixers in a large crude oil storage tank”, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 31, pp. 737~744.