Journal of Korean Society of Disaster & Security
Vol. 11, No. 1, June 2018, pp 1~5
https://doi.org/10.21729/ksds.2018.11.1.1

ISSN 2466-1147 (Print)
ISSN 2508-285X (Online)
www.dssms.org

에어버블 차단막을 이용한 발전플랜트 피해 저감 방안 연구

The Damage Reduction Strategy for Power Plant Using Air Bubble Barrier

장형준* · 이호진** · 이효상*** · 황명규****

Hyung Joon Chang*, Lee Ho Jin**, Lee Hyo Sang***, and Myung Gyu Hwang****

요 약 발전소는 선진 산업사회에서의 중요한 사회기반시설이다. 이러한 발전소가 해초, 물고기, 해파리, 새우 등과 같은 해양생물의 유입으로 정지 될 경우, 사회-경제적으로 심각한 문제가 발생하기도 한다. 따라서, 발전소 취수구 유입구 부분의 해양생물 침투로 인한 발전소 가동이 정지되는 것을 방지하기 위하여, 에어버블 차단막 기술이 활용되고 있다. 본 연구에서는 에어버블 차단막 기술의 기초연구인 에어버블의 거동을 분석하기 위하여 수직형 에어버블 실험장치를 개발 및 에어버블 수직 거동 특성을 분석하였다. 에어버블 수직 거동 특성을 분석하기 위하여 수직형 에어버블 실험 장치를 이용하여 에어 분사량에 따른 수심별 에어버블의 상승 속도를 측정하였으며, 실험결과를 바탕으로 수심구간별 에어버블 상승속도 경험식을 을 제시하였다. 제시된 경험식은 향후 에어버블 차단막 설계의 기초자료로 활용될 것이며, 발전시설 운영 부분에서의 안정성을 확보하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어 발전플랜트, 에어버블 차단막, 안전사고, 해양생물, 취수구

ABSTRACT Power plant is the important infrastructure to generate electricity. This plant in normally located next to river and seashore in order to take cooling water through intake. However, the plant is stopped when marine organism blocks the intake, and it caused damages by social and commercial. Therefore, air bubble barrier has been used to block marine organism in order to operate the plant properly. The aim of this study was to test the rates of cut off of floating substance by air bubble barrier to develop the facility for the plant. The test was conducted by current velocity, pressure of air, specific gravity of the substance and the layer of the barrier, and the result showed the blocking rates by the condition. It will be used as basic data to develop the air bubble barrier and to operate power plant properly from the marine organism.

KEYWORDS Power plant, Air bubble barrier, Safety accident, Marine organism, Intake port

1. 서 론

우리나라의 전력 발전 및 소비량은 산업화와 인구증가로 인하여 매년 증가하고 있으며, 2017년에는 총 발전량이 약 560,000 GWh, 인구 1인당 전력소비량이 9,699 Kwh로 기록되었다(에너지경제연구원, 2017). 이러한 전력수요의 증가를 감당하기 위하여 화력, 원자력, 수력발전소 등에 의존하여 전기가 공급되고 있으며, 만약 발전소에서 발전불능 사고가 발생하게 된다면, 그 기간이 단기간이라도 사회 및 경제적으로 심각한 피해가 발생하게 된다.

발전소의 발전불능 사고의 발생 원인으로는 전력수요량이 전력공급량에 비해 많아서 발생하는 경우가 일반적이지만, 발전소의 설비계통에서 문제가 발생하는 경우도 있다. 총 발전량의 약 90%를 담당하는 화력 및 원자력발전소는 발전에 필요한 냉각수의 원활한 확보를 위하여 강이나 바다 연안에 위치하고 있으며, 강물이나 바닷물을 냉각수로 활용하고 있다. 그러나 냉각수 유입 과정에서 물고기, 해파리 등의 해양생물들이 함께 유입되어, 취수구를 막는 경우가 발생한다. 이로 인하여 냉각수의 취수가 불가능하게 되고, 냉각설비가 작동하지 않아 발전소의 발전이 불능상태가 된다. 이와 같은 취수 불능에 의한 발전소의 발전불능 사고는 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 발생하고 있으며, 가장 빈번하게 발생하는 사고 유형이기도 하다.

발전소의 발전불능 사고를 예방하기 위하여, 계속적인 냉

*충북대학교 토목공학부 선임연구원(Senior researcher, School of Civil Engineering, Chungbuk Univ.)
**교신저자, 충북대학교 토목공학부 부교수(Associate professor, School of Civil Engineering, Chungbuk Univ. E-mail: hojinlee@chungbuk.ac.kr)
***충북대학교 토목공학부 부교수(Associate professor, School of Civil Engineering, Chungbuk Univ.)
****충북대학교 토목공학부 석사과정(Master's Course, School of Civil Engineering, Chungbuk Univ.)

각수의 취수를 위한 해양생물의 유입이 방지되어야 하며, 이에 관련된 다양한 선행연구가 수행되어져왔다. 발전소 취수구를 통한 해양생물의 유입을 방지하기 위한 연구는 크게 해양생물체의 특성을 이용하는 생물학적인 연구와 기계설비 등을 이용하는 물리적인 연구로 구분할 수 있다. 그러나 생물학적인 연구는 적용되는 해양생물에 따라 서로 다른 특성을 연구해야 하는 어려움이 있고, 물리적인 연구는 연구 지역의 환경과 설치 지역의 환경이 서로 상이하여 충분한 성능을 보이지 못하는 경우가 많다. 이에, 해양생물의 종류에 구애받지 않고, 설치 지역의 수심 등 환경조건의 영향을 크게 받지 않는 에어버블이 해양생물 차단 기술의 대안으로 관심을 받고 있으며, 이를 통하여 발전소의 안정적인 가동성능을 확보하는데 적합하다.

해양생물을 방어하기 위한 에어버블 차단막 연구는 초기단계이며, 국내외의 연구 사례를 보면 해양생물에 대한 연구보다는 원유유출에 관련된 연구가 주를 이루고 있다. Lu, et al.(2015)은 에어버블을 이용하여 유출된 원유의 거동을 제어하기 위한 실험적 연구와 이론적 연구를 병행하여 에어버블 기법의 신뢰성을 검증하였다. 에어버블 분사 구멍의 크기 및 분사 시간간격과 에어파이프의 위치 및 개수 등을 조절하여 에어버블 차단막의 유류 거동 제어 능력을 분석하였다. 분석 결과 구멍의 크기가 크고, 간격이 좁을수록 에어버블 차단막의 능력이 향상되며, 파이프의 개수가 많고, 낮은 수심에 위치할수록 차단 능력이 향상됨을 확인하였다. Seo, et al.(2016)은 해양생물이 발전소 취수구에 접근하지 못하도록 고압유체의 압력에너지를 이용하여 흡입유체를 이송하는 장치인 이젝터의 유무와 위치에 따른 공기방울 장벽 형상에 관한 연구를 수행하였다. 공기방울의 유동특성을 가시화 처리하여 이를 MATLAB image processing tool을 활용하여 공기 방울의 상승속도와 직경을 계산한 결과, 이젝터를 사용한 경우 작은 공기방울을 형성할 수 있으나, 공기방울의 상승속도는 이젝터를 사용하지 않았을 경우가 더 높다는 것을 확인 하였다. Dawson, et al.(2006)은 Ruffe라고 불리는 농어류의 민물고기의 거동을 제한하기 위해서 버블차단막과 전기차단막을 적용하는 연구를 수행하였다. 적용결과 Ruffe의 거동을 정확히 제한할 수 는 없지만, 이동통로를 제어하는데 어는 정도 효과가 있는 것으로 나타났다. Lo(1991)는 원유 유출 시 에어버블 차단막에 의한 유막의 거동 특성을 분석하기 위해 바람, 파랑, 유속 및 원유의 종류를 달리하면서 실험을 수행하였으며, 그 결과를 분석하여 경험식을 제시하였다. 특히 Lo(1991)는 에어버블의 상승속도가 수심 0.6~0.75 m 까지는 증가하나, 그 이상의 수심에서는 일정함을 제시하였다. 이효상 등(2017)은 에어버블의 거동을 분석하기 위하여 에어분사량에 따른 수심별 에어버블의 상승속도를 측정하여 경험식을 제시하였다. 또한 에어버블 주입구에서 0.5 m~0.8 m 떨어진 구간에서 에어버블 상승속도가 최댓값을 나타내고 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 에어버블 차단막을 활용한 부유물질 차단율 실험은 에어버블 차단막 설계의 기초자료로 활용된다면, 발전플랜트시설의 안정적인 운영 확보에 큰 도움이 될 것이다.

2. 에어버블 차단막 실험장치 및 실험방법

2.1 에어버블 차단막

에어버블 차단막 실험장치는 수중에서 고압으로 방출되는 에어버블을 이용하여 차단막을 형성한 후, 해양생물의 이동을 차단하는 장치이다. 해저지형에 상관없이 에어버블을 이용하여 해수표면까지 차단막을 형성하기에 해양생물의 유영특성에 관계없이 전 수심에 대하여 해양생물의 유입을 차단할 수 있다. Fig. 1은 에어버블 차단막의 개념도를 나타내고 있다.

2.2 에어버블 차단막 실험장치

에어버블 차단막을 활용한 해양생물의 유입차단을 위한 실험장치를 개발하기 위해 필수적인 요소는 에어버블 분사압에 따른 해양생물 유입 차단율이다. 본 연구에서는 에어버블 분사압에 따른 해양생물 유입 차단율을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 개수로 실험장치 및 폭기장치를 구성하였다. 개수로 실험 장치는 흐름 유속을 0.1 m/sec에서 0.5 m/sec까지 발생시킬 수 있으며, 폭기장치는 에어버블 압력을 1 bar에서 6 bar까지 일정하게 발생시킬 수 있다. 또한 부유물질은 밀도를 0.07, 1.01, 1.07로 제작하여 수면에 떠다니는 부유물질 F(Float), 수중 중간에 떠다니는 부유물질 W(Weight), 수중 아랫부분에 떠다니는 부유물질 S(Sink)로 구성하였다.

2.3 실험방법

에어버블 차단막을 활용한 해양생물 유입 차단 실험은 0.1~0.3 m/sec의 유속에서 에어버블 폭기장치의 압력을

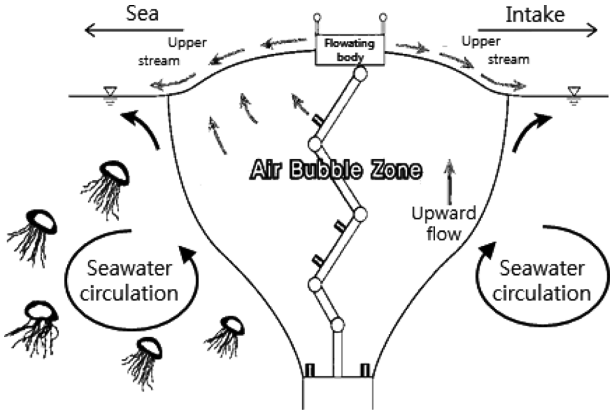


Fig. 1. Concept of air bubble barrier

a) Open channel test facility　　b) Air bubble barrier aerator

Fig. 2. The test facility

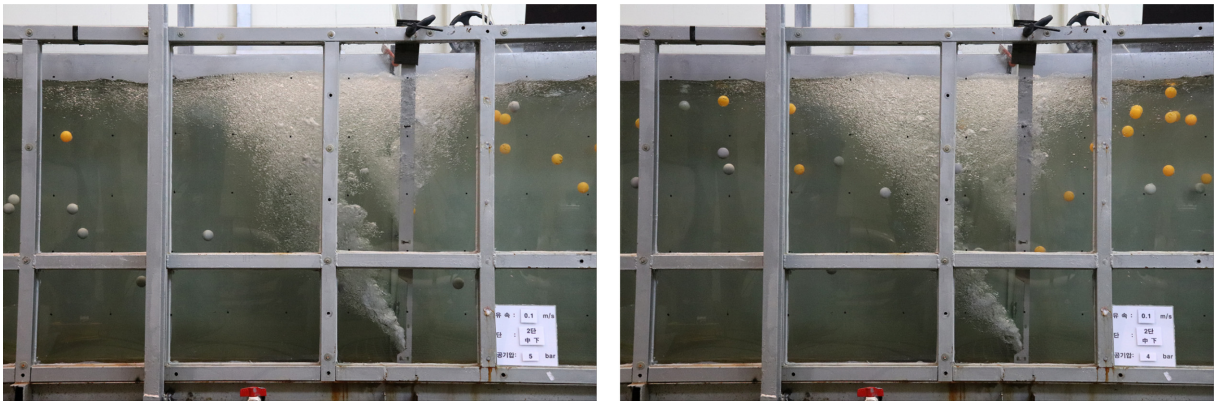


Fig. 3. An Example of the test

Table 1. The range of test by condition

	Range						
Current velocity (m/sec)	0.1		0.2		0.3		
Pressure (bar)	1	2	3	4	5	6	
Layer	T, M, B	T, M	T, B	M, B	T	M	B

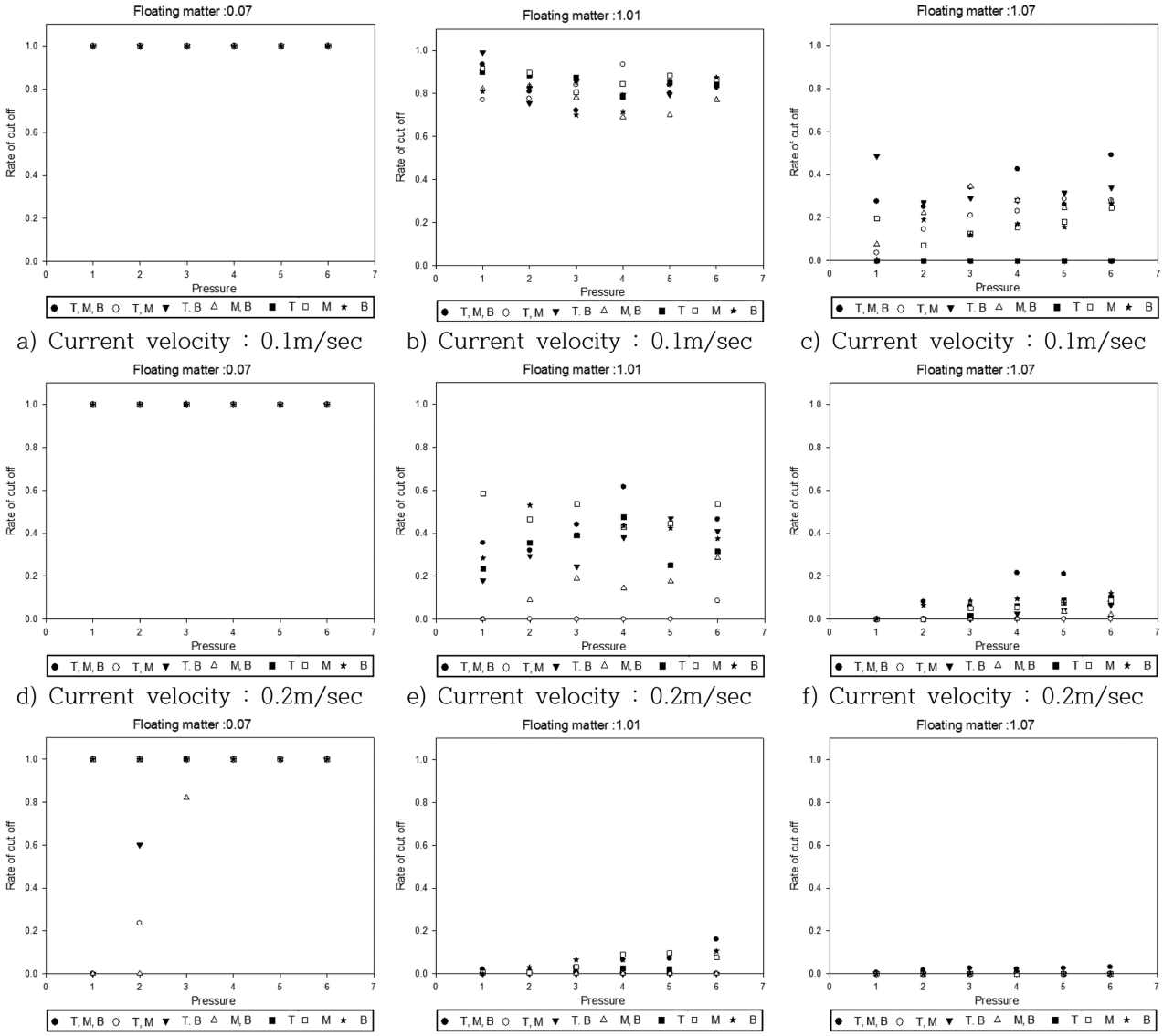
(T : Top, M : Middle, B : Bottom)

1~6 bar로 발생시켜 부유물질의 차단 능력을 평가하였다. 에어버블 폭기장치는 상, 중 하단으로 구성되어 있으며, 각각 단에 상중하, 상중, 상하, 중하, 상, 중, 하 총 7가지 조건으로 공기압을 적용하여 실험을 수행하였다. 부유물질의 밀도는 F(0.07 g/cm^3), W(1.01 g/cm^3), S(1.07 g/cm^3)로 나누어 수면, 수중, 저면을 떠다니는 부유물질을 각각 20개씩 구성하였다. Table 1은 각각 실험의 Case를 나타내고 있으며, 각 Case를 조합하여 실험을 수행하였다. 또한 실험시 발생할 수 있는 오차를 줄이기위하여 실험 1Case에 10회씩 반복 수행하여 총 4,200회의 실험을 수행하였다. Fig. 3은 에어버블 차단막을 활용한 부유물질 유입 차단 실험의 예시를 나타내고 있다.

3. 실험결과

에어버블 차단막을 활용한 부유물질 유입 차단 실험은 유속, 에어버블 분사압, 에어버블 분사층을 고려하여 각각 Case 별로 10회의 실험 후 얻은 부유물질 차단율 데이터를 평균으로 낸 값을 이용해 도출해냈다.

부유물질 차단율 실험결과 부유물질 밀도 0.07에 대해서는 0.1, 0.2, 0.3 m/sec의 유속에 대하여 거의 대부분의 부유물질을 에어버블 차단막이 차단하는 결과를 나타냈다. 흐름 유속이 0.3 m/sec로 증가될 경우에는 에어버블 분사압이 1~3 bar, 에어노즐 분사층이 상·중, 상·하, 중·하인 경우 부유물질을 차단하지 못하는 경우가 발생 하지만 분사압을 4 bar로 증가시킨 이후부터는 모든 부유물질을 차단하고 있다. 이는 해수표면층을 따라 흘러들어오는 부유물질의 유입을 대부분 차단할 수 있다고 판단된다. 그러나 Fig. 4(c), (f), (h), (i)는 부유물질의 밀도가 물의 밀도보다 높고 유속이 증가할수록 에어버블 차단막의 효율이 줄어드는 결과를 나



a) Current velocity : 0.1m/sec b) Current velocity : 0.1m/sec c) Current velocity : 0.1m/sec

d) Current velocity : 0.2m/sec e) Current velocity : 0.2m/sec f) Current velocity : 0.2m/sec

g) Current velocity : 0.3m/sec h) Current velocity : 0.3m/sec i) Current velocity : 0.3m/sec

Fig. 4. The Results of rate of cut off

타내고 있다. 부유물질의 밀도가 1.01은 물에 떠다니는 부유물질로서 모든 분사층 조건에서 유속이 0.1 m/sec에서 82.3%, 0.2 m/sec는 31%, 0.3 m/sec는 3%의 평균차단율을 나타내고 있다. 이는 유속이 증가할수록 에어버블 차단막이 차단할 수 있는 능력이 낮아지고 있음을 의미하고 있으며, 고 유속일 때 에어버블 차단막의 효과를 증대 시킬 수 있는 보조적인 장치가 필요하다고 판단된다. 또한, 에어버블 분사층 중 중간에서의 분사압력에 따라 차단율이 상승하는 결과를 나타내고 있다. 이는 에어버블 분사층 중 중간층인 M이 부유물질 차단율에 가장 많은 영향을 미치고 있음을 나타내고 있다.

4. 결 론

우리나라는 전력생산의 대부분은 원자력 및 화력 발전에 의존하고 있으므로 발전플랜트 가동 시 안정성의 확보가 중요하다. 이러한 발전플랜트 발전설비의 원활한 가동을 위해서는 냉각수를 안정적으로 취수하여야 하나 해파리 등과 같은 해양생물들의 유입으로 냉각수를 안정적으로 취수할 수 있어 많은 어려움이 발생하고 있다.

본 연구에서는 해양생물의 특성에 상관없이 안정적으로 발전플랜트 취수구로부터 해양생물의 유입을 방지할 수 있는 에어버블 차단막 개발을 위하여 에어버블 차단막을 활용한 부유물질 차단 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 수면을 떠다니는 부유물질은 0.2 m/sec의 유속까지는 에어버블 분사압이 0.1bar이상일 경우 대부분 차단할 수 있으나, 유속이 0.3 m/sec이상이 될 경우에는 4 bar 이상의 에어버블 분사압이 발생되어야 부유물질을 대부분 차단할 수 있음을 확인하였다. 따라서 수면을 떠다니는 해양생물을

차단하기 위해서는 에어버블 분사압 값인 4 bar 이상을 기준으로 그 변화를 파악하고 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 부유물질의 밀도가 높아 질수록 에어버블 차단막의 효율이 낮아졌으며, 이는 에어버블을 이용한 해양생물을 차단하기 위한 실제 장치 개발을 위해서는 분사압력에 따른 부유물질의 이동경로를 분석 한 후, 부유물질 이동경로에 추가적으로 장비를 설치한다면 에어버블 차단막을 활용한 해양생물을 유입차단 효율을 대폭 증가 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시된 실험조건에 따른 부유물질 차단율은 에어버블 차단막 설계의 기초자료로 활용하여, 발전플랜트 시설의 안정적은 운영을 확보하는데 기여할 것으로 기대된다.

Acknowledgments

This work was supported by the New & Renewable Energy Core Technology Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20151120100140).

References

Dawson, H. A., U. A. Reinhardt, and J. F. Savino (2006). Use of Electric or Bubble Barriers to Limit the Movement of Eurasian Ruffe (Gymnocephalus Cernuus). Journal of Great Lakes Research. 32(1): 40-29.

Korea energy economics institute (2017). Yearbook Of Energy Statistics.

Chang, Hyung Joon, Lee, Hyo Sang, Lee, Ho Jin, and Byung Kyu Kim (2017). A Basic Experimental analysis of Air Bubble Barrier. Journal of Crisisonomy. 13(8): 61-68.

Lo, Jen Men (1991). Air-Bubble Barrier Effects on Neutrally Buoyant Objects. Journal of Hydraulic Research. 29(4): 437-455.

Lu, Jinshu, Zhenfeng Xu, Song Xu, Sensen Xie, Haoxiao Wu, Zhenbo Yang, and Xueqiang Liu (2015). Experimental and Numerical Investigations on Reliability of Air Barrier on Oil Containment in Flowing Water. Marine Pollution Bulletin. 95(1): 200-206.

Seo, Hyeon Deok, Aliyu M. Aliyu, and Kyung Chun Kim (2016). Generating Efficient Bubble Barrier by Using Ejector. Proceedings of the KSME 2016 Annual Meeting. 2016(12): 1060-1065.

Korean References Translated from the English

서현덕, Aliyu M. Aliyu, 김경천 (2016). 이젝터를 이용한 효율적인 공기방울 장벽 형성에 관한 연구. 2016 대한기계학회 학술대회 논문집. 2016(12): 1060-1065.

에너지경제연구원 (2017). 2017 에너지통계연보.

장형준, 이효상, 이호진, 김병규 (2017). 에어버블차단막의 거동특성 분석을 위한 기초실험연구. Crisisonomy. 13(8): 61-68.

Received	June 14, 2018
Revised	June 19, 2018
Accepted	June 29, 2018