



## CFD에 의한 와류방지장치(AVD)가 설치된 흡수정내 펌프의 성능평가에 관한 연구 Study on Performance Analysis of Pump within Sump Model with AVD installation by CFD

최종웅<sup>1</sup> · 박노석<sup>1</sup> · 김성수<sup>1</sup> · 박상수<sup>1</sup> · 이영호<sup>2\*</sup>

Jong-Woong Choi<sup>1</sup> · No-Suk Park<sup>1</sup> · Seong-Su Kim<sup>1</sup> · Sang-Su Park<sup>1</sup> · Young-Ho Lee<sup>2\*</sup>

1 K-Water 한국수자원공사 · 2 한국해양대학교

(2012년 2월6일 접수; 2011년 6월8일 수정; 2012년 6월11일 채택)

### Abstract

The efficiency of the flow mixed pump installed within the bell-mouth in the sump is reduced by the flow characteristics of around intakes. Strong submerged vortices can be successfully suppressed by installing an AVD(anti-submerged vortex device) on the bottom of pump intake channel just below the bell-mouth. Sump model with AVD device basin is designed and the characteristics of submerged vortex is investigated in the flow field by numerical simulation. In this study, a commercial CFD code is used to predict the efficiency of the pump with the AVD installation in the pump station accurately.

**Key words : submerged AVD (anti vortex device), swirling, vortex, mixed flow pump**

**주제어: 와류방지장치(AVD), 선회류, 와류, 사류펌프**

### 1. 서론

흡수정 흡입관 주위에서 와류의 형성은 펌프의 성능저하와 불량한 운전상태 및 많은 유지 보수비를 필요로 한다. 만약 물속에 이러한 강한 와류가 존재한다면, 이것은 흡입관 주위에서 선회류를 유발시키며 펌프 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 흡입관 주위에서 발생하는 선회류를 억제하기 위한 방법으로 부가장치(AVD, anti vortex device)를 흡입관 주위에 설치한다. 일반적으로 펌프 효율에 대한 평가는 펌프 제조사에 의하여 주로 수행되어져 왔다. 펌프의 정확한 성능평가를 위하여 흡수정내의 유동특성을 고려한 펌프 성능평가가 이루어져야한다.

Rajendran 등(1998)은 흡수정에 대한 수치적 접근방법을 통한 흡입관 주위의 유동특성과 사각채널의 수직흡입관을 포함한 흡입수조 내의 3차원 수치해석하여 실험과 비교하였으며, Takahide 등(2003)은 흡입수조내의 유로방향으로의 불균형 속도에 대한 흡입관 주위의 유동구조를 실험과 수치해석을 비교하였다. Choi 등(2010)은 흡수정 유로방향의 불균형 속도에 대한 다중 흡수정의 흡입관 주위의 유동특성을 수치해석적 방법으로 접근하였다. 이처럼 흡수정내 흡입관 주위의 유동특성에 대한 연구는 활발하나(Constantinescu, 1998; Okamura, 2005; Hazy, 2010), 이러한 유동특성에 의한 펌프 효율변화 연구는 미미한 상태이다. 본 연구

\*Corresponding author : Tel.: 051-410-4293, Fax.: 051-403-0381, E-mail : lyh@hhu.ac.kr(Y. H. Lee)

는 흡입관 주위에서 발생하는 와류저감을 목적으로 한 AVD에 의한 흡수정내 설치되는 펌프의 효율변화에 미치는 영향과 흡수정의 유동특성을 수치해석적 방법을 사용하여 비교 검토하였다.

## 2. 수치해석

### 2.1 수치해석 대상

Fig. 1은 본 연구에서 수치해석을 수행하기 위한 전체 유동장 모델의 2D 형상을 나타내고 있으며, 점선은 수치해석을 적용하기 위한 영역을 나타내고 있다. 펌프장의 모델은 총 3개의 흡수정을 가지고 있으며, 전체 펌프장에서 단일 흡수정에 대한 형상을 모델링하여 수치해석을 수행하였다. 흡수정은 가로 30m, 폭 4m, 높이 7m로 구성되어 있으며, 본 수치해석에서는 자유표면에 대한 영향을 고려하지 않았다. 최저 수위는 4.694m 이다. 흡입관 입구부의 직경은 1.98m이며, 바닥벽으로부터 0.7m, 후벽으로부터 1.8m, 그리고 너비 방향으로는 중심 위치에 설치되어 있는 형상이다. Fig. 2는 수치해석을 수행하기 위한 3D 흡수정 모델이며, 흡입관 내부

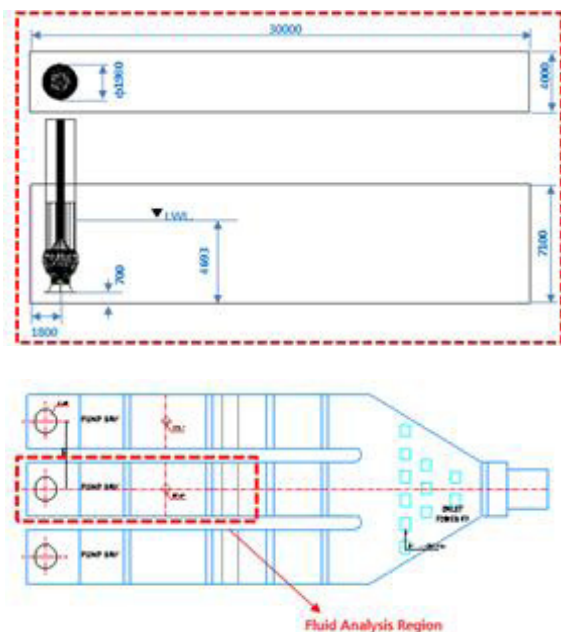


Fig. 1 2D drawing of pump station & sump model for numerical analysis

에는 사류펌프가 위치하고 있다. 사류펌프의 설계사양을 Table 1에 나타내었으며, 유량 21,700m<sup>3</sup>/hr, 임펠러의 회전수는 423rpm, 임펠러와 디퓨저의 블레이드 수는 각각 5개, 9개로 구성된다.

Fig. 3은 흡입관 하부에서 발생하는 와류를 억제하기 위한 AVD의 형상 및 치수를 나타내고 있으며, 흡입관 아래 부분에 설치된다.

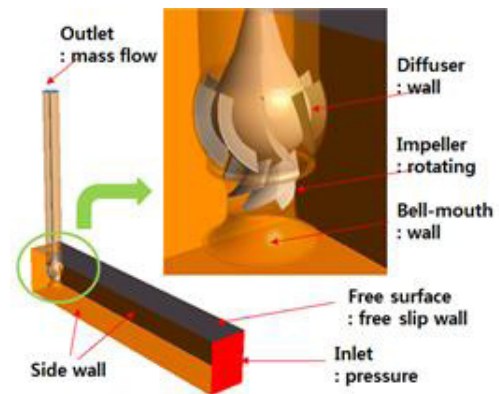


Fig. 2 Sump model and mixed flow pump

Table 1. Design specifications of the mixed flow pump

Volume Flow Rate (m <sup>3</sup> /hr)	21,700
Rotational speed of rotor (rpm)	423
Total head (m)	23
Number of rotor blade (stator vane)	5(9)

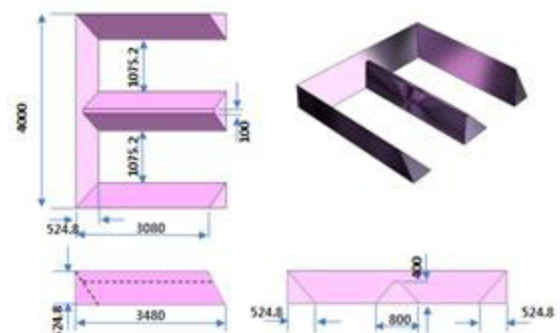


Fig. 3 Trident type AVD

### 2.2 수치해석 방법

사류펌프의 성능평가는 AVD 설치 유무에 따라 수행하였으며, 계산격자는 유체기계 격자 생

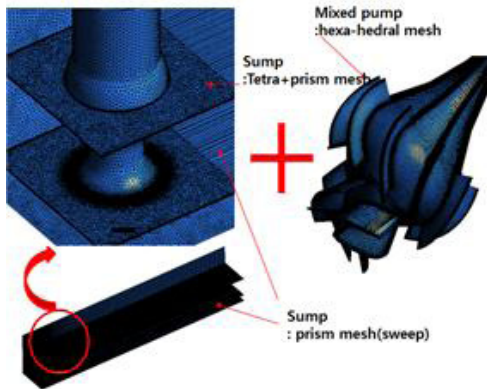


Fig. 4 Computational hybrid mesh

성 프로그램인 Turbo-Grid와 ANSYS meshing tool을 사용하였다. Fig. 4와 같이 사류펌프 영역에 대해서는 hexa grid, 흡수정에 대해서는 tetra+prim grid로 구성하였으며, 각각에 대한 격자수는 임펠러 부분은 317만 노드, 흡수정 부분은 193만 노드가 사용되었다. 전체 격자수는 510만 노드가 사용되었다. 흡입관 입구부 영역에서의 높은 해상도를 위하여 조밀한 격자를 적용하였다. 수치계산은 상용프로그램인 ANSYS CFX 13.0을 사용하였으며, 입구에는 압력조건, 출구에는 유량조건, 자유표면에는 free slip wall 조건, 임펠러는 회전조건을 적용하였다. 작동유체로는 25℃의 물을 사용하였으며, 난류모델은 상업적으로 널리 사용하는 standard  $k-\epsilon$  난류모델을 적용하여 계산하였다. 그리고 임펠러, 디퓨저의 블레이드와 슈라우드 사이의 tip clearance는 적용하지 않았다.

### 2.3 TSJ 벤치마크 테스트

본 연구의 CFD 결과의 신뢰성과 이후 계산의 격자크기에 대한 합리성을 확보하기 위하여 Fig. 5와 같이 일본터보기계협회(TSJ S 002:2005)에서 각종 code에 대하여 수행한 전산모델과 동일한 형상에 대하여 3차원으로 모델링, 격자 생성, 수치계산을 수행하였다. 본 형상은 자유표면의 와류의 발생을 유도하기 위하여 흡입관 중심으로부터 약간 치우친 위치에 설치되어 있는 형상이다. 해석 조건은 Table 2와 같이 유량 1.1 m<sup>3</sup>/min, 수위 240 mm이다.

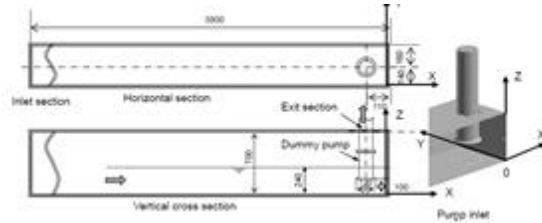


Fig. 5 Sump model of TSJ for CFD analysis

Table 2 Flow conditions for computation(TSJ)

Vortex types to be observed	Flow rate (m <sup>3</sup> /min)	Submergence (mm)
Steady air entrained vortex	1.1	240

Fig. 6은 벤치마크 테스트 결과로서 Y 방향에 따른 y, z 속도성분이 일본터보기계협회의 계산 결과와 유사하게 나타났다. y속도 성분에서는 흡입관의 편심에 의한 선회성분이 나타나는 것을 알 수 있으며, z속도 성분에서는 흡입관의 주

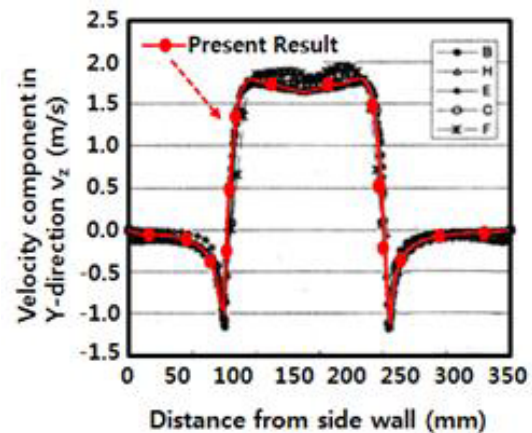
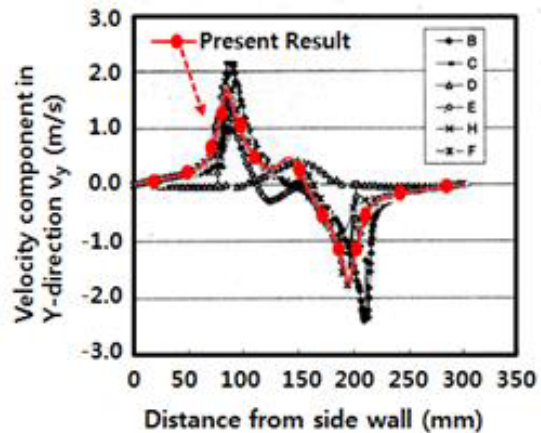


Fig. 6 Comparison of calculation results by CFD analysis



변 흐름이 저면 방향으로 향한 다음 흡입관으로 유입되면서 유동은 크게 가속된 후 흡입관으로 유입되는 것을 알 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 흡입관으로의 균일한 접근유동

Fig. 7은 사류펌프 설계유량기준 조건에 대한 흡입관 끝단(z=0m)으로부터 바닥벽 방향으로 0.1m, 0.01m 떨어진 위치에서의 side wall 방향, back wall 방향에 따른 와도를 나타낸 것이다. 와도는 속도에 대한 길이의 미분치 차이로 정의되는 식(1)과 같이 표현된다.

$$(1) w_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

Side wall 방향에 대한 흡입관 끝단에 대한 와도 분포는 AVD 유무에 따라 유사한 값을 가지며, 흡입관 중심부 근처에서 AVD가 설치된 경우가 와도 값이 낮게 나타났다. AVD가 설치되지 않은 경우 최대 와도 4.3(1/s)의 값이 나타나며 AVD가 설치된 경우 최대 와도 2.5(1/s)의 값을 가진다. AVD가 설치되지 않은 경우의 와도 값이 약 1.7배 높게 나타났다. Back wall 방향에 대한 와도 분포는 흡입관 중심부에서는 AVD가 설치된 경우 높게 나타났으나, 중심부 전단부에서는 AVD가 설치되지 않은 경우가 높게 나타났다. 그러나 back wall 방향에 대한 와도 분포는 side wall 방향의 와도 분포보다 약 10배 스케일이 작은 값을 갖는다. 와도 값이 높을수록 흡입관 주위에서 선회류가 발생하기 쉬우며, 이 선회류로 인하여 흡입관 아래 또는 펌프 블레이드에서 캐비테이션의 발생 빈도가 높게 된다. Fig 8은 와도분포를 표시한 위치에서의 난류운동에너지를 나타낸 것이다. 흡입관 중심부에서 AVD가 설치되지 않은 경우 난류 운동에너지가 높게 나타났다. 일반적으로 난류 운동에너지, 난류강도가 높을수록 사류펌프 흡입관으로 유입되는 유동의 교란이 크게 발생하여 펌프의 효율을 저하

시키는 원인이 된다. 이 난류운동에너지는 식(2)와 같이 난류강도 식으로 표현될 수 있다.

$$(2) k_t = \frac{3}{2} (u_{avg} I)^2$$

(여기서,  $k_t$ 는 난류운동에너지,  $u_{avg}$ 는 평균유속,  $I$ 는 난류강도)

식(2)로부터 난류 운동에너지가 높은 곳에서 난류강도가 높다는 것을 알 수 있다. 결국 AVD가 흡수정에 설치되는 경우 상대적으로 난류강도가 줄어 흡입관으로 유입되는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 AVD 유무에 따른 사류펌프의 설계유량 대비 80%에서 120%의 유량 변화 10% 간격으로 유량 조건을 적용한 효율변화를 나타낸 것이며, Table 3은 유량 변화에 따른 사류펌프의 토크와 효율변화를 정량적으로 나타낸 것이다. 흡입관으로 균일한 접근유동의 유동 환경에서는 AVD가 설치된 경우 설계유량에서 펌프 효율이 약 0.4%로 낮게 나타났다. 저유량 조건으로 갈수록 차이는 낮게 나타났다. 이러한 현상은 흡수정에 AVD가 설치 됨으로서 AVD 형상에 대한 손실이 일부 발생하는 것으로 사료된다.

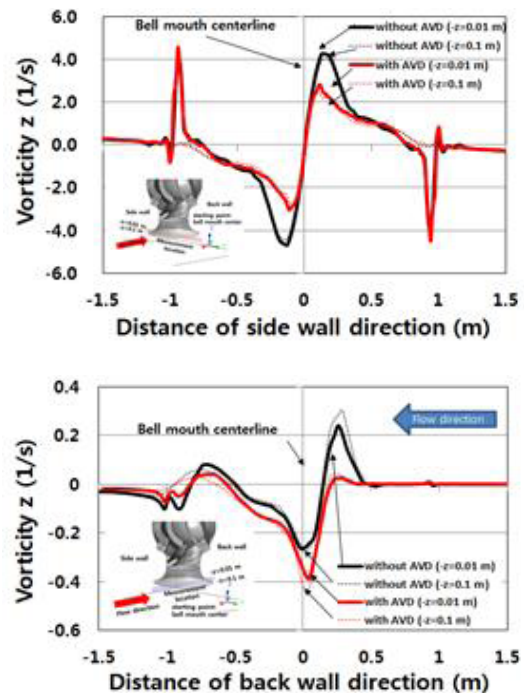


Fig. 7 Vorticity distribution with and without the AVD

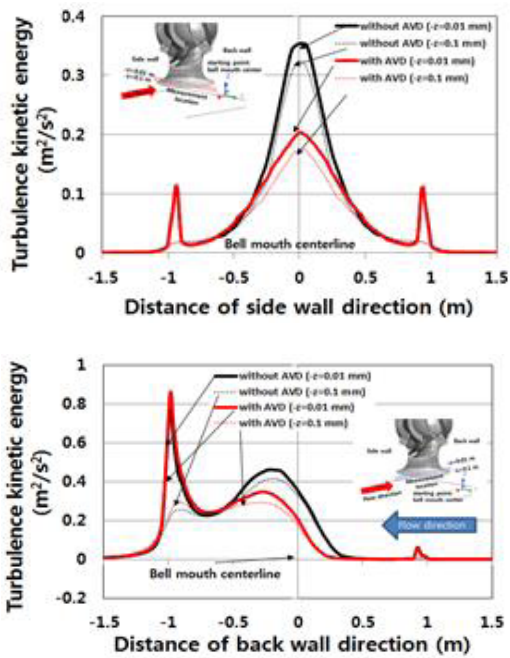


Fig. 8 Turbulence kinetic energy distribution with and without the AVD

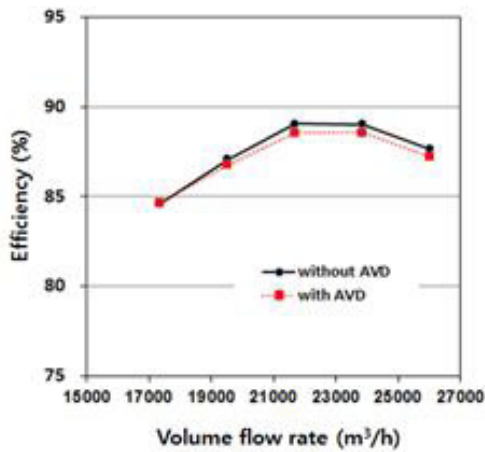


Fig. 9 Efficiency of the mixed flow pump with and without the AVD

Table 3 Torque and efficiency of the mixed flow pump with and without the AVD

Flow Rate (%)	Without the AVD		With the AVD	
	Torque (N m)	Efficiency (%)	Torque (N m)	Efficiency (%)
80	34.234	84.6	34.227	84.7
90	34.732	87.1	34.662	86.8
100	34.625	89.0	34.574	88.6
110	33.722	89.0	33.810	88.5
120	33.221	87.6	32.371	87.2

### 3.2 흡입관으로의 불균일한 접근유동

AVD의 설치는 흡수정 흡입관으로 불안정한 유동환경 즉 와류의 저감을 목적으로 하고 있다. 이러한 와류는 흡입관으로 유입되는 유동의 불균일한 접근 유동에 의하여 발생하기 쉽다. Fig. 10은 흡수정 흡입관으로 불균일한 접근 유동을 발생시키기 위한 목적으로 후벽으로 8.6m 떨어진 위치에서 한쪽 측벽에 Baffle를 설치한 형상이다.

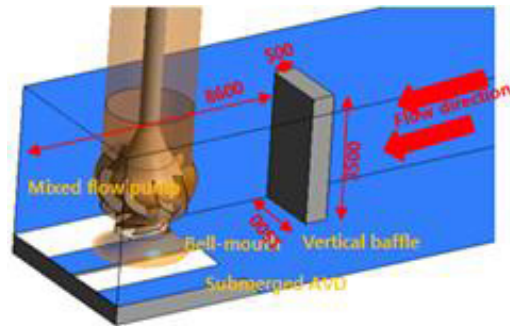


Fig. 10 Geometry for non-uniform approach flow at bell-mouth

흡입관으로 접근유동의 불균일성을 높이기 위하여 설계유량 100%, 125%, 150%의 유량에 대하여 수행되었다. Fig. 11과 12는 설계유량 150% 조건의 흡입관 끝단에서 상부 2m 위치한 면에서의 속도벡터와 스트림라인을 결과와 흡입관 끝단에서 하부 0.2m에 위치한 면에서의 스트림라인을 나타낸 것이다. 흡입관으로 유입되는 유동환경은 AVD 유무에 관계없이 유사한 속도프로파일을 가진다. 그러나 흡입관 주위에서는 AVD가 적용되지 않은 경우 비대칭적인 유동환경이 발생한다. 이러한 환경으로 흡입관 아래에서는 회전력이 강한 선회류가 발생한다. AVD가 적용된 경우는 흡입관을 기준으로 거의 대칭적인 유동분포가 발생한다. Fig. 13은 흡입관 상류측의 불균일한 접근 유동분포와 같은 유동환경에서의 유량조건 100%, 125%, 150% 일 때의 사류펌프의 효율을 그래프로 나타낸 것이다. 흡입관으로 불균일한 접근유동으로 인하여 사류펌프의 효율은 균일한 접근유동 조건에 비하여 다소 내려가며, AVD가 설치된 경우가 AVD가 설치되지

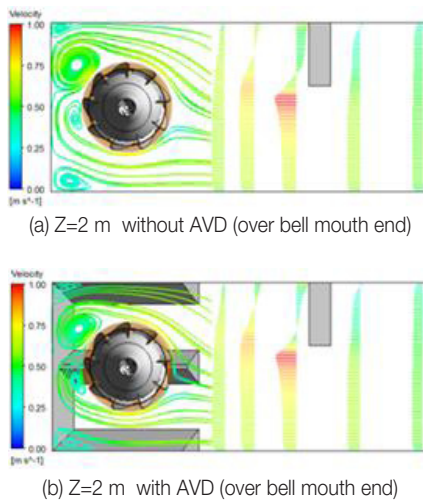


Fig. 11 Velocity vector and streamline with and without AVD over the bell-mouth in the flow rate 150% condition

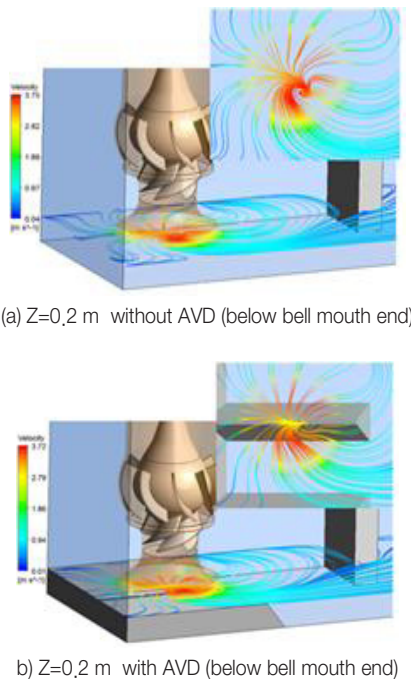


Fig. 12 Streamline with and without the AVD under the bell-mouth in the flow rate 150% condition

않은 경우보다 효율이 높게 나타났다. 설계유량 조건 100%에서는 AVD가 설치된 경우 사류펌프의 효율이 0.9%, 유량 조건 125%에서는 1.5% 그리고 유량조건 150%에서는 2.1%로 각각 사류펌프의 효율이 상승하였다. 유량이 증가할수록 baffle을 지난 유동의 와류 영역은 커지며 흡입

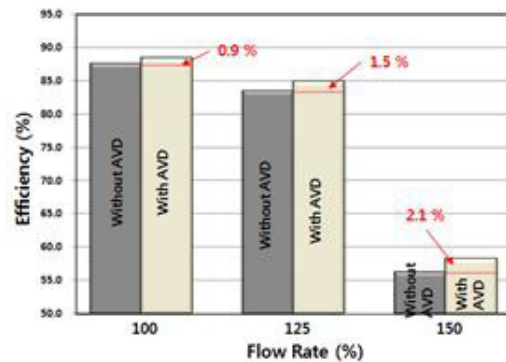


Fig. 13 Efficiency for the mixed flow pump with and without the AVD in the non-uniform approach flow

관으로 접근하는 유동은 더욱 불균일한 유동환경을 가진다. 이러한 환경 조건에서 AVD 형상에 의하여 효율 차이는 더욱 크게 나타났다. 이와 같이 흡입관으로 접근하는 유동이 불균일할수록 AVD에 의한 영향은 크게 작용하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 흡수정내에서 발생하는 와류형태인 수중 와류의 저감을 위한 장치인 AVD의 영향에 대하여 열유체 상용프로그램인 AN-SYS CFX를 사용하여 유동특성을 규명하였으며, AVD 유무에 따른 사류펌프 효율변화에 대하여 흡입관으로 유입되는 균일한 속도분포에서는 AVD 적용으로 설계유량조건 100%에서 사류펌프 효율이 0.4% 감소하였으나, 흡입관으로 유입되는 불균일한 속도분포에서는 설계유량조건 100%에서 효율이 0.9% 상승하였다. 그리고 흡입관으로 불균일한 속도분포가 커질수록 AVD 적용으로 인한 사류펌프의 효율 상승폭은 증가하였다.

#### 5. 사사

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 : 10기술혁신 C-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Choi J. W., Choi Y. D., Kim C. G. and Lee Y. H., (2010) Flow Uniformity in a Multi-intake Pump Sump Model, *JSME Vol. 24(7)*, pp. 1389~1400.
- Constantinescu G., and Patel V.C., (1998) A Numerical Model for Simulation of Pump-intake Flow and Vortices, *J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 124(2)*, pp.123-134.
- Hazy A. Shabayek, (2010) Improving Approach Flow Hydraulics at Pump Intakes, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, Vol. 10(06)*, pp. 23~31.
- Okamura T., Kamemoto K., (2005) CFD Simulation of Flow in Model Pump Sumps for Detection of Vortices, *8th Asian International Fluid Machinery Conference October 12-15*.
- Rajendran V. P., Constantinescu G. S. and Patel V. C., (1998) Experiments on Flow in a Model Water-pump Intake Sump to Validate a Numerical Model, *ASME FEDSM98-5098*.
- Takahide, N., Toshiyuki, S., Tomoyoshi, O., (2003) Measurement of the Flow around the Submerged Vortex Cavitation in a Pump Intake by Means of PIV, *Fifth International Symposium on Cavitation, Cav03-OS-6-011*.
- TSJ S 002 : 2005, (2005) Standard Method for Model Testing the Performance of a Pump Sump, *The Turbomachinery Society of Japan*.