

論文

수동형 감요수조의 하부덕트 유동에 관한 기초연구

이철재*·임정선**·정한식***·정효민***

*동명대학교 자동차공학과, **목포해양대학교대학원, ***경상대학교 해양과학대학

A Fundamental Study on Lower Duct Flow of passive anti-rolling tanks System

Cheol-Jae Lee*, Jeong-Sun Lim**, Han-Sic Jung***, Hyo-Min Jung***

*Department of Automobile Engineering, Tong Myong University, Busan, 608-711, Korea

**Graduate School, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

***College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong, 650-160, Korea

요 약 : 파랑에 의한 선박의 횡동요를 방지하는 감요장치는 크게 수동식과 능동식 으로 분류할 수 있으며 수동형 감요수조는 선박에서 가장 널리 사용되고 있다. 이 연구에서는 감요장치의 하부덕트유동에 관한 기초연구로서 덕트의 제어 댐퍼와 유입부의 유동에 대해 입자영상 유속측정장치를 이용하여 속도벡터분포에 관한 정량적인 데이터를 확보하였다. 그 결과 실험관 벽면에서 측정된 압력의 분포는 디스크가 전개 상태인 0도에서 45도까지는 입구 압력은 일정한 상태로 거의 변화하지 않았으나 약 60도 이상에서부터 압력 상승과 점차 급격한 변동현상이 나타났다.

핵심용어 : 제어댐퍼, 입자영상 유속측정장치, 덕트, 감요장치, 압력강하, 정압, 비정상상태

ABSTRACT : Anti-Roll Tanks, also called Sloshing Tanks, is a rather common and sometimes an efficient method of limiting the roll angles. The important parameters, when considering using anti-roll tanks, are positioning, size, duct area, flow control device etc. Measurement by the PIV(Particle Image Velocimetry) was conducted to investigate the flow characteristics around control damper and inlet area of duct for three kind of inclined angle ($\alpha=0^\circ, 10^\circ$ and 20°). Flow behaviors such as instantaneous and time-mean velocity vectors are investigated. Furthermore, to reveal boundaries between flowing and stagnant zones and to extract velocity profiles at any selected sections of the lower duct for passive anti-rolling tanks system

KEY WORDS : Control damper, Particle image velocimetry, duct, ART, Static pressure, Unsteady state

1. 서 론

선박은 파랑이 항상 존재하는 해상에서 운항되며, 파랑 중에서 surge, sway, heave, roll, pitch, yaw의 6자유도 운동을 하게 된다. 이러한 선박의 운동은 여객, 승무원, 화물 및 선박 자체의 안전에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 해상에서의 운항성능 및 각종 조업 활동의 정확도와도 긴밀한 관계를 가지고 있다. 횡동요는 6자유도 운동중 가장 중요한 운동이며, 근본적으로 횡 동요에 대하여 낮은 감쇠 특성을 가지고 있기 때문에 안정성 측면에서 가장 많이 제어되어 왔다. 파랑에 의한 선박의 rolling을 방지하는 감

요장치는 크게 수동식(passive type)과 능동식(active type)으로 분류할 수 있다. 전자에는 bilge keel 및 수동식 탱크가 있고 후자에는 fin stabilizer 및 능동식 탱크가 있는데 이들 가운데 가장 효과적인 방법이 1911년 Frahm에 의하여 개발된 U-tube 식 수동형 감요 수조(passive A.R.T)이며, 이에 대한 이론적 체계는 Chadwick과 Stigter에 의해서 정립되어 선박에서 가장 널리 사용되고 있다.

횡동요는 선박이 선체 구조로 결정되는 주기(이하 선체 고유주기라 한다)로 동요하는 성질을 가지고 있고, 가장 크게 동요하는 것은 선체 고유주기와 같은 주기의 파도를 만난 경우에 동조동요를 일으켜 점점 크게 흔들리게 된다. 이러한 횡동요는 탱크 안 물의 운동에 의한 관성 moment와 탱크 안 수위의 차에 따른 중력 에너지를 선체에 작용하게 된다. 따라서 선체 경사를 서로 번갈아 제어할 수 있어 선체 동요를 빠르게 제어할 수 있다.

*대표저자 : lcj@yongma.tmc.ac.kr, 051)620-3538

**정회원 : jslim@mmu.ac.kr, 061)240-7101

***정회원 : hschung@gnu.ac.kr, 055)640-3185

***정회원 : hmjeong@gnu.ac.kr, 055)640-3184

현재 실용화되고 있는 횡동요 감요장치는 수동형 제어 식으로 탱크 고유주기를 선제 고유주기보다 다소 짧게 설정하고 몇 개의 duct로 탱크를 연결하여, 이 duct의 중앙부에 댐퍼를 삽입하고, 파랑의 상태와 선체의 동요특성을 확인한 후 duct의 댐퍼를 적당히 닫아 탱크 고유주기를 변화시키는 방식이나, 탱크를 연결하는 air duct에 댐퍼를 삽입하여 이것을 개폐하는 방법, duct의 폭을 제어하여 탱크 고유주기를 변화시키는 방법도 제안되고 있다. 이러한 횡동요 감요장치의 설계에 있어서 중요한 요소는 탱크의 위치와 크기, 덕트의 단면적과 유동성, 선박의 예상 횡동요의 범위 등이다. 수동형 감요수조를 이용할 경우 횡동요의 주기가 너무 짧거나 길어져 오히려 횡동요가 증폭되는 문제점이 있다. 따라서 감요수조의 주기에 따른 제어성능은 상부의 공기관과 하부덕트에 설치된 댐퍼에 의해서 이루어지므로 제어에 상응하는 빠른 유동성이 필요하다.

이 연구에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 요소중의 하나인 덕트의 유동성개선을 위하여 기존의 감요수조와 덕트를 연결하는 유입부 및, 유출부의 내부유동특성을 고찰하고 형상의 개선에 따른 효과를 검토 하고자 하였다.

2. 실험

그림 1은 이 연구에서 채택한 실험 장치의 구성도를 보이고 있다. 좌측 상부의 수조에 입자를 주입하여 작동 유체 속에 고루 분포될 수 있도록 하였다. 수조의 물은 약 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 용량을 갖는 순환 펌프를 거쳐 디지털 유량계로 유입된다.

디지털 유량계는 대상 유동장보다 낮게 설치하였고 직경 80mm의 플렉시블 호스를 이용하여 실험용 아크릴 관과 연결하였다. 입구 구간의 영향을 최소화하기 위하여 $x/D = -3.0$ 의 위치에 정류기를 자체 제작하여 유입부측에 부착하였다. 가시화를 위하여 최대 출력 5W의 수냉식 아르곤이온 레이저를 사용하였다. 그리고 광파이버의 출구 측에 원통형 렌즈를 부착하여 퍼짐각 60도 전후의 시트라이트를 만들어 계측 단면에 조사하였으며 이때의 레이저 광원의 출력은 5W전후였다. 가시화된 유동장은 고속카메라(Photron Fastcam, 240pps, 640×240 픽셀)를 이용하여 촬영하고 Hi-8mm 캠코더에 기록하였다.

그림 2는 실험에 사용된 모델을 제작하기 위한 아크릴을 가공용 상세 규격과 계측영역을 나타내고 있다. 덕트 내부 흐름은 좌측에서 우측으로 흐르며 댐퍼의 개도는 전개되었을 때 0도로, 전폐되었을 때에는 90도로 정의하였다. 레이놀즈수는 $Re=2.4 \times 10^4$ 이며 댐퍼의 개도는 0도, 15도, 30도, 45도, 60도 그리고 75도의 여섯 경우이다. 유동장의 가시화를 위하여 덕트 및 댐퍼 모형을 투명 아크릴로 제작하였으며, 정압 계측을 위하여 6개의 정압공을 설치하고 디지털 마노미터로 계측하였다. 계측 영역은 댐퍼의 후류 부분으로 $x/D = 0.5 \sim 1.5$ 의 위치이며 계측 단

면의 크기는 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 의 정방형이다.

덕트 유입구의 경사각에 따른 유입유동은 입자영상유속계를 이용하여 그림 2(a)의 개략도와 같은 ART의 1/15의 모형을 이용하여 소형회류수조를 이용하여 계측을 하였다.

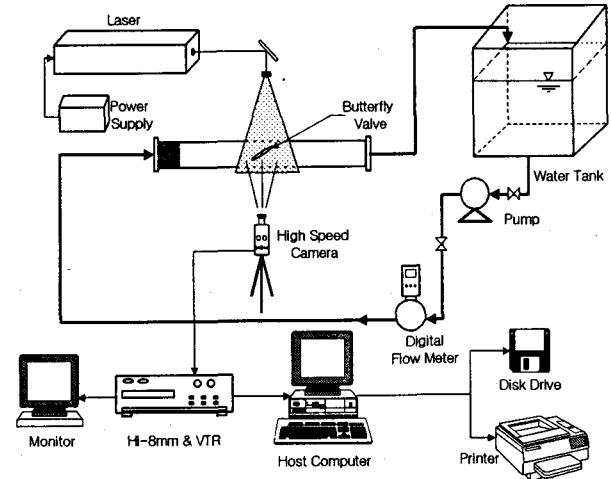


Fig. 1. Schematic arrangement of PIV system.

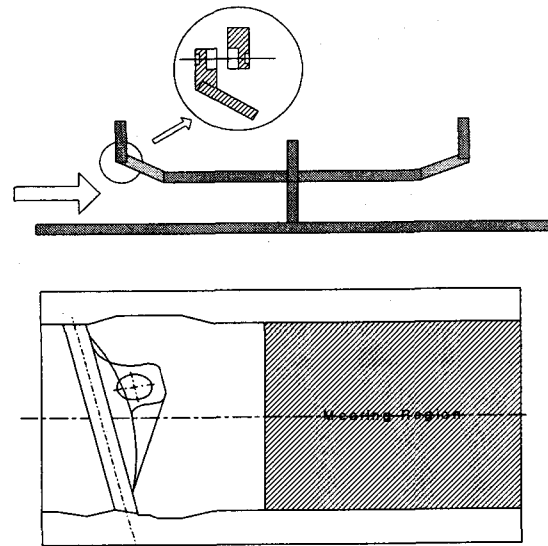


Fig. 2. Definition of measuring region

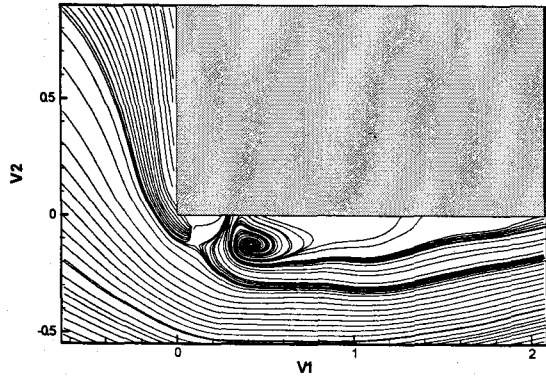
3. 결과 및 고찰

3.1 유입유동

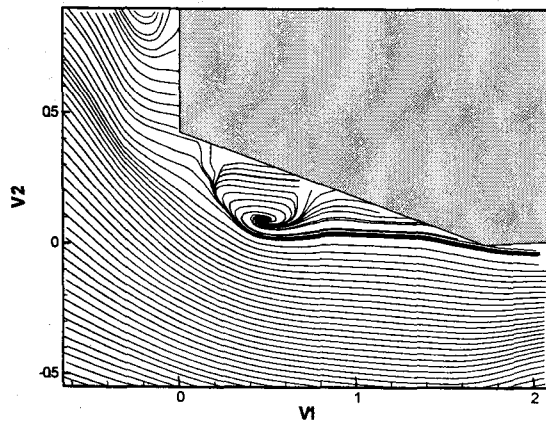
그림 3은 덕트 유입구 주변의 속도장을 계측한 결과를 각도별로 유선으로 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 ART 탱크에서 하부 덕트로 유입하는 입구형상을 1/15로 축소하고 하부덕트의 높이(h)를 대표길이로 무차원화 하여 나타낸 유선도이다. 유동은 전형적인 급속수관의 형태를 보이고 있으며 중심축(0.5h)를 기준으로 하부측은 채널유동형태이다. 재부착영역은 유입각이 10도에서 20도로 증가하면

서 입구측에 근접하게 위치하고 크기도 감소하고 있으며 0도의 경우 2h 전후이다.

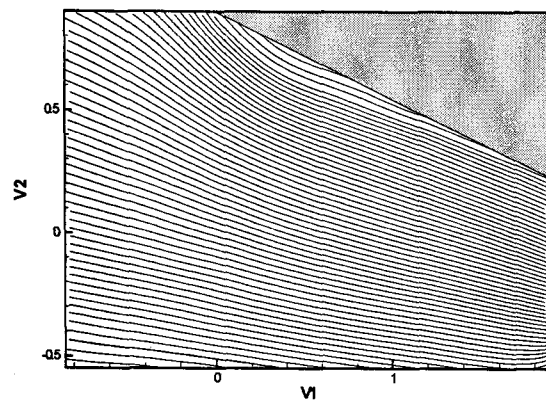
그림 4는 1/3h에서 4/3h까지 1/3h 간격으로 속도를 추출하여 비교한 그림이다. 경사각이 증가하면서 동일위치의 속도값이 증가하고 하류로 진행하면서 입구측의 베나콘트렉터현상으로 인한 영향이 감소하고 있다.



(a) inclined angle = 0°

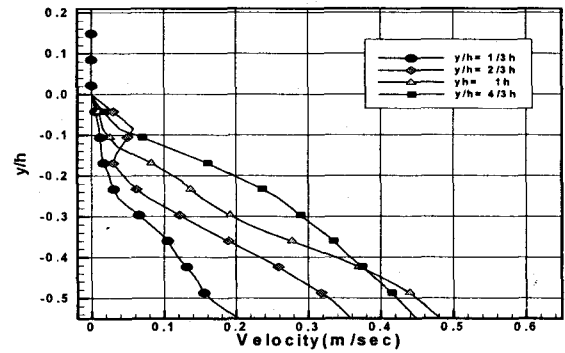


(a) inclined angle = 10°

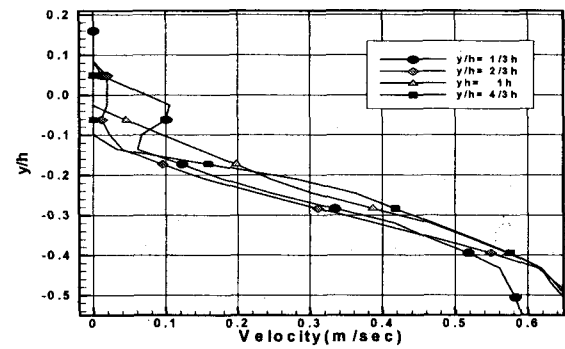


(a) inclined angle = 20°

Fig. 3. Stream lines.



(a) inclined angle = 90°



(b) inclined angle = 10°

Fig. 4. Comparison of velocity distribution.

3.2 댐퍼후류 유동

그림 5과 그림 6은 댐퍼 개도 45도와 60도에서 u성분과 v성분의 속도분포를 도시한 것이다. 개도가 45도보다 60도에서 u/U_0 및 v/U_0 의 절대값을 감소되어 나타난 것은 유량이 줄어들었기 때문이다.

Park⁽²⁾은 이 부분의 연장선상에서 수직속도성분이 변화가 최소가 되는 점을 정체점(S3)으로 정의하고 댐퍼디스크에 의해 발생한 유동의 역류가 끝나는 곳으로 설명하고 있다. 그리고 이 부분에서 디스크에 의해 상하로 분리되었던 유동이 서로 만나게 된다. 정체점(S3)의 위치는 가시화 실험의 결과 $x/D=0.9$ 전후였다. 개도 45도의 경우가 $y/D=-0.35$ 부근에서 운동에너지가 가장 크게 나타나는 것은 실질적으로 유량이 조절되기 때문이며, 개도 60도의 경우에 $y/D=-0.25$ 부근이 낮게 나타나는 것은 급확산류의 영향으로 형성된 난류 및 3차원성 흐름의 영향으로 추정된다.

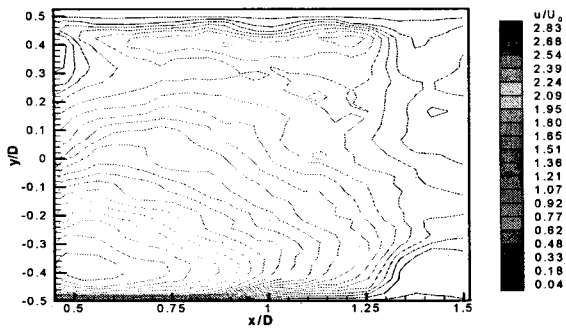
그림 10은 댐퍼 주위 유동장의 압력성분을 고찰하기 위하여 개폐각도만을 0, 15, 30, 45, 60 및 75도의 6가지 경우로 변화시켜 정압을 측정하여 도시한 것이다. 실험관 벽면에서 측정된 압력의 분포는 디스크가 전개 상태인 0도에서 45도까지는 입구 압력은 일정한 상태로 거의 변화하지 않았으나 약 60도 이상에서부터 압력 상승과 점차

급격한 변동현상이 나타났다. 특히, 75도 부근에서는 상류에서 급격한 압력 상승 경향을 보인 반면 하류 측은 압력 변동이 적게 나타났다. 그리고 디스크 후부에서 급확산류의 속도구배는 개도가 증가할수록 급격히 평활화 되고, 최대 속도를 보이는 위치도 개도 60도의 경우가 벽면에 근접해 있다.

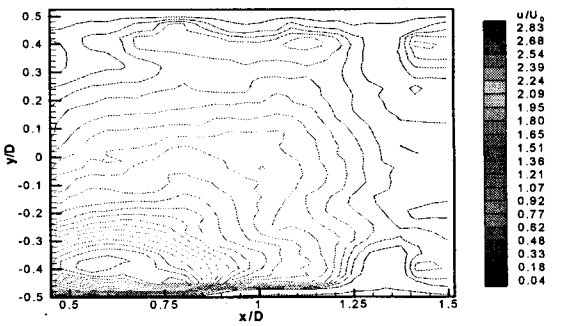
그림 7에서 그림 9까지는 댐퍼의 개도에 따른 수평속도 성분, 수직속도 성분, $x/D=1.0$ 의 운동에너지를 추출하여 비교하여 나타낸 것이다.

개도 $\theta=0$ 도의 경우 $y/D=0$ 의 부분이 낮게 나타나고 있다. 이것은 $x/D=1.0$ 에서는 디스크의 영향을 받기 때문이다. 개도 $\theta=0$ 도와 30도의 경우는 그 경향이 유사하며 개도 $\theta=45$ 도와 개도 $\theta=60$ 도의 경우 비슷한 형태를 유지하고 있다. 이것은 손실계수와 유량조정 특성이 개도 $\theta=45$ 도 이하에서는 작기 때문이다. 그림 9에서 개도 $\theta=0$ 도를 제외하고는 $y/D=0.3$ 주위의 운동에너지가 낮게 나타나고 있다 이것은 댐퍼의 개도가 커지면서 댐퍼 디스크 후부에서 급확산류가 증가하기 때문이며 디스크의 배면에 형성된 박리영역의 영향이다.

그림 14는 개도별 무차원손실계수($K_v=2(P_1-p_2)/\rho u_2$)이다. K_v 는 유량에 의해 환산된 단면 평균유입속도와 정압공에서 측정된 압력성분을 이용하여 계산하였으며 Lee⁽³⁾의 결과와 비교하여 나타내었다.

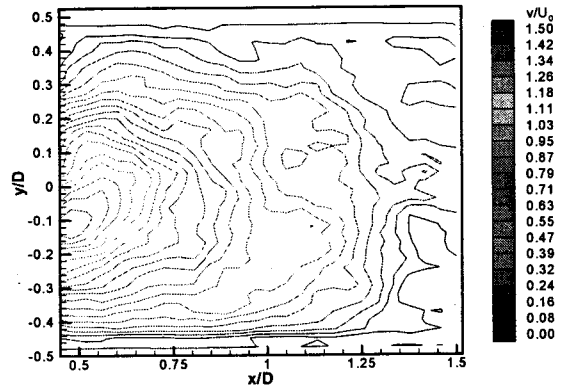


(a) $\theta = 45^\circ$

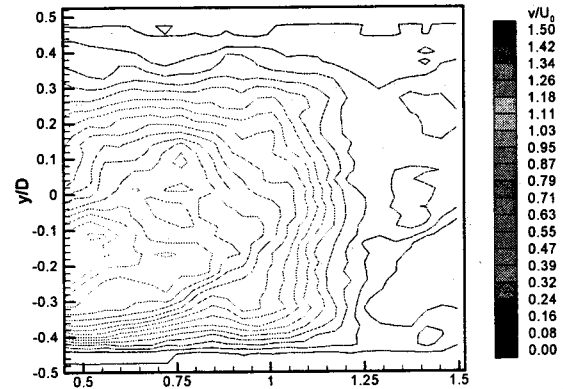


(b) $\theta = 60^\circ$

Fig. 5. Contours of x-directional velocity.



(a) $\theta = 45^\circ$



(b) $\theta = 60^\circ$

Fig. 6. Contours of y-directional velocity.

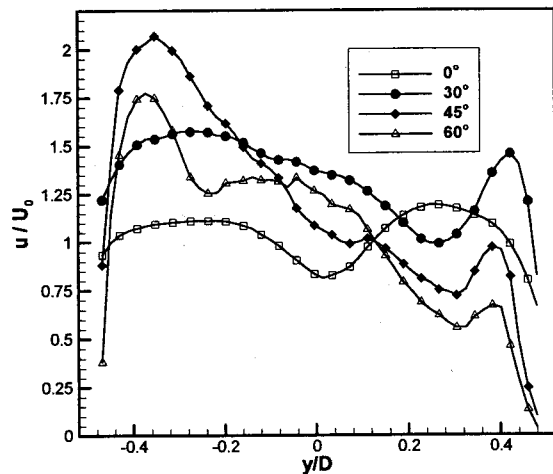


Fig. 7. Comparison of u-velocity distribution.

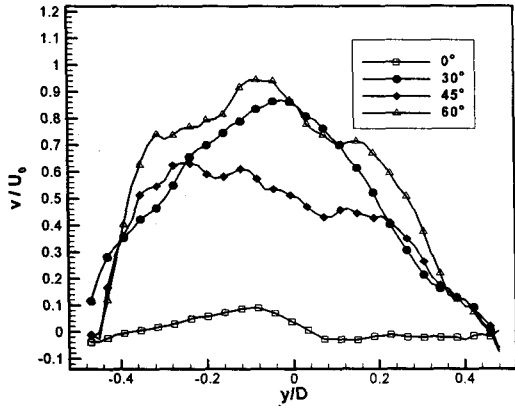


Fig. 8. Comparison of v-velocity distribution.

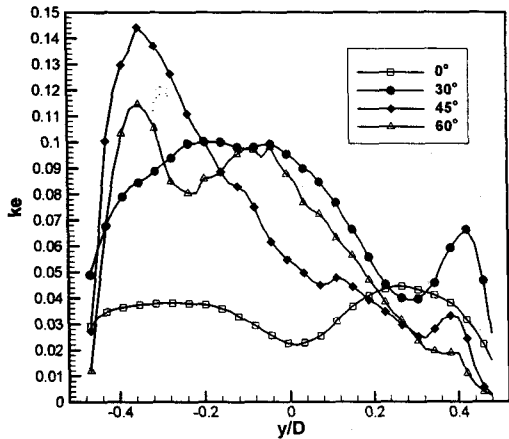


Fig. 9. Comparison of kinetic energy distribution.

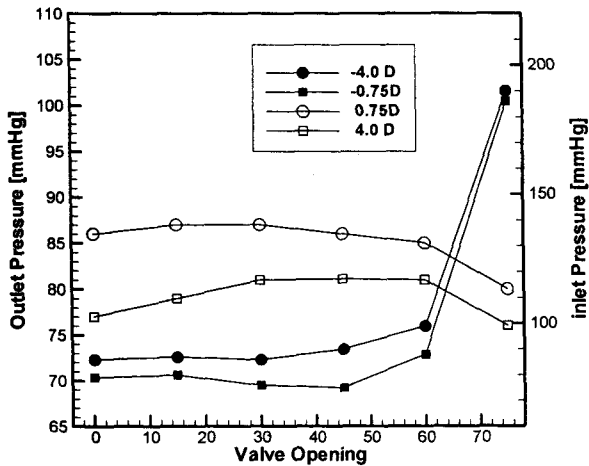


Fig. 10. Pressure distribution.

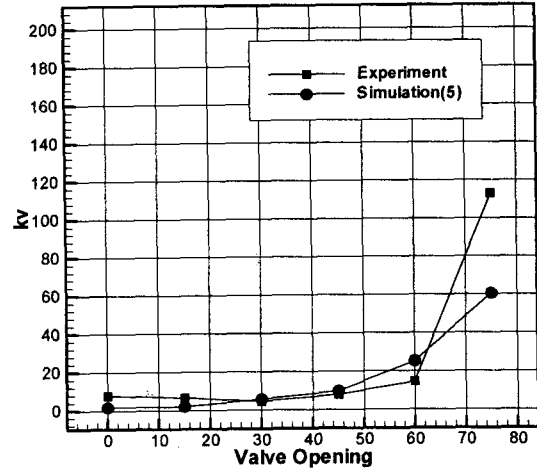


Fig. 11. Kv versus valve opening.

75도에서 수치해석결과가 실험값에 비해 낮게 나타나는 것은 빠른 속도구배의 3차원성의 흐름을 평가하지 못하였기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 횡동요감쇠장치의 하부덕트유동에 관한 기초연구로서 내부 흐름에 가장 영향이 큰 유입부와 내부 댐퍼주위의 유동장에 대해 입자유상유속계를 이용하여 속도분포를 계측하였다. 그 결과 유입 경사각에 따른 유입부와 덕트 내부에 설치된 제어댐퍼 개도(0도, 15도, 30도, 45도, 60도 및 75도)에 따른 속도장의 데이터를 정량적으로 확보하였다. 또한 댐퍼 전후의 정압을 측정하여 손실계수를 구하였다. 그러나 실제 ART의 성능개선을 위해 적용하기 위해서는 실선의 탱크의 구조를 고려한 실험이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 유재문, 김효철, 이현엽, 2003, 감요수조의 주기조절 장치 효과에 관한 연구, 대한조선학회지, Vol 40, No 1, pp.1-7
- [2] Park, S. W. and Lee, S. W., 2000, An Experimental Study on the Flow Stabilization in Downstream Region of a Butterfly-Type Valve, KSME, Vol. 24, No. 11, pp. 1417-1427
- [3] Lee, D. H., Lee, J. U. and Choi, Y. H., 2002, Numerical Analysis of Incompressible and Compressible Flow Around a Butterfly Valve, Energy Eng., Vol. 11, No. 1, pp. 26-33