

# Air-Valve에 對한 研究

趙 慶 鎬

## A Study on the Air-Valve

*Cho Kyung-ho\**

### Summary

The characteristics of air-valve have been studied through the numerical fluid transient analysis on the sample pipelines. Several numerical experiments were performed in order to establish the guide lines which might be useful in practical fields of industry.

Followings are the results:

- Although the air-valve is a remarkable device to protect the pipelines against the serious vacuum conditions, it is not a believable one as a maximum surge suppression device.
- The changes of air-valve size have been found to have little effects on the maximum surge pressure. Thus, careful considerations should be made so as not to choose a larger size of air-valve than the necessary one without proper analysis.
- The reliability of air-valve's discharge coefficients is a little important as a technical data concerning about the fluid transient analysis.

### 序 論

유체운송 배관계에서 과도한 저압발생을 방지하기 위해 배관계의 적절한 위치에 air-valve를 설치하는 방법이 많이 이용되어 왔다. 이 방법은 대기

압 이하로 배관압력이 떨어지면 air-valve를 통해 공기가 자동유입되고, 압력이 상승하여 대기압보다 높아지면 유입된 공기는 모두 대기로 자동방출 되도록 하는 것이다.

본고에선 air-valve가 설치된 간단한 배관계에서의 유체과도현상 해석을 통해 다음 사항들에 대

해 air-valve의 특성을 연구하였다.

- air-valve의 설치 有無에 따른 내압변화
- air-valve의 크기에 따른 내압변화
- air-valve의 토출계수(discharge coefficient) 변화가 내압에 미치는 영향

## 理論的 背景 및 數值解法

### 1) Air-Valve를 통한 空氣 流出入量

Air-Valve를 통한 공기 유출입과정을 single phase의 isentropic flow라 가정하여 EL-Wakil (1971), Wylie(1978) 등에 의해 정리된 nozzle flow에 관한 다음 식을 이용한다.

$$\dot{m} = \begin{cases} 0.686 C_d \cdot A \cdot P_0 / \sqrt{RT_0} & : 0 < P < 0.528 P_0 \\ \frac{C_d \cdot A \cdot P_0 / RT_0 \cdot \sqrt{2 C_p \cdot T_0 \cdot [(P/P_0)^{2/\gamma} - (P/P_0)^{\gamma+1/\gamma}]} }{-(P/P_0)^{\gamma+1/\gamma}} & : 0.528 P_0 < P \\ - C_d \cdot A \cdot P / RT \cdot \sqrt{2 C_p \cdot T \cdot [(P_0/P)^{2/\gamma} - (P_0/P)^{\gamma+1/\gamma}]} & : P_0 < P < 1.894 P_0 \\ - 0.686 C_d \cdot A \cdot P / \sqrt{RT} & : 1.894 P_0 < P \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $\dot{m}$  = air mass rate,  $C_d$  = 토출계수,  $A$  = air-valve의 단면적,  $P$  = 배관의 절대압력,  $P_0$  = 대기의 절대압력,  $T$  = 배관內 절대온도,  $T_0$  = 대기의 절대온도,  $R$  = 기체상수,  $C_p$  = 공기의 정압비열,  $\gamma$  = 비열비 (=  $C_p/C_v = 1.402$ )이다.

### 2) 配管 內 流體 流動式

배관내의 비압축성 유체유동에 대한 운동방정식,  $L_1$ 과 연속방정식,  $L_2$ 는 다음과 같다(Wattes, 1979).

$$\begin{aligned} L_1 &= gH_x + V_t + \frac{f}{2D} \cdot V \cdot |V| = 0 \dots\dots\dots (2) \\ L_2 &= H_t + a^2/g \cdot V_x = 0 \end{aligned}$$

여기서,  $H$  = 압력수두,  $V$  = 유속,  $g$  = 중력가속도,  $f$  = 마찰계수,  $D$  = 관경,  $a$  = 충격파 속도이고,

첨자  $x$  및  $t$ 는 각각 배관의 길이방향과 시간에 대한 변화율을 뜻한다.

위의 편미분 방정식(2)는 특성치를 적절히 선택함에 따라 다음과 같은 상미분 방정식으로 변환시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} C^+ & \begin{cases} \frac{g}{a} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f \cdot V \cdot |V|}{2D} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = a \end{cases} \dots\dots\dots (3) \\ C^- & \begin{cases} -\frac{g}{a} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f \cdot V \cdot |V|}{2D} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = -a \end{cases} \end{aligned}$$

전산작업을 위해선 식(3)을 적분하여 다음과 같은 유한차분 방정식으로 변환하여 이용한다.

$$C^+ : HP(i) = HCP - B * QP(i) \dots\dots\dots (4)$$

$$C^- : HP(i) = MCM + B * QP(i) \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $HCP = H(i-1) + B * Q(i-1) - R * Q(i-1) * |Q(i-1)|$   
 $MCM = H(i+1) - B * Q(i+1) + R * Q(i+1) * |Q(i+1)|$

이고,  $B = a/gA$ ,  $R = f \cdot \Delta X / (2gDA^2)$ ,  $HP$ ,  $QP$ 는 각각  $t = t + \Delta t$  시간에서 구하고자 하는 압력수두 및 유량이고,  $H$ 와  $Q$ 는 시간  $t$ 에서의 알고있는 압력수두 및 유량이다. 또한, 첨자  $i$ 는 길이  $\Delta X$ 로 나뉘어진 배관의 node no.이다.

### 3) 配管 內 空氣의 狀態方程式

유입된 공기는 그때의 배관압력 및 온도  $P$ ,  $T$ 에 따라 일반적인 기체의 상태방정식을 따른다고 가정하여

$$PV = mRT \dots\dots\dots (6)$$

를 이용한다. 여기서,  $V$  = 유입공기의 체적,  $m$  = 유입공기의 전체질량이다.

이때, 절대압력  $P$ 와 압력수두  $HP$  사이에는

다음과 같은 관계가 있다.

$$P = \rho g(HP - Z + HB) \dots\dots\dots(7)$$

여기서,  $\rho$  = 유체의 밀도,  $Z$  = 임의의 기준점으로부터 air-valve까지의 높이,  $HB$  = 대기압에 상응하는 압력수두이다.

### 3) 數值解法

Figure 1은 air-valve가 설치된 배관 부위를 개략적으로 나타낸 것이다. 유입공기의 체적  $V$ 가 길이  $\Delta X$ 의 배관內 유체 채적에 비해 매우 작고, 유입된 공기는 유체를 따라 배관內 다른 곳으로 흘러 가지 않는다고 가정하면, 시간증분  $\Delta t$  이후의 공기질량,  $m$ 과 체적,  $V$ 에 대해 다음과 같은 근사식을 적용시킬 수 있다.

$$m = m_0 + \Delta m$$

$$= m_0 + \Delta t \cdot \frac{\dot{m}_o + \dot{m}}{2} \dots\dots\dots(8)$$

$$V = V_0 + \Delta V$$

$$= V_0 + \Delta t \cdot \frac{(QD - QU) + (QPD - QPU)}{2} \dots\dots(9)$$

여기서,  $m_0, \dot{m}_0, V_0$  = 현재 알고있는 공기의 질량, 질량유입률 및 체적이고,  $QD, QU$  = 현재 알고

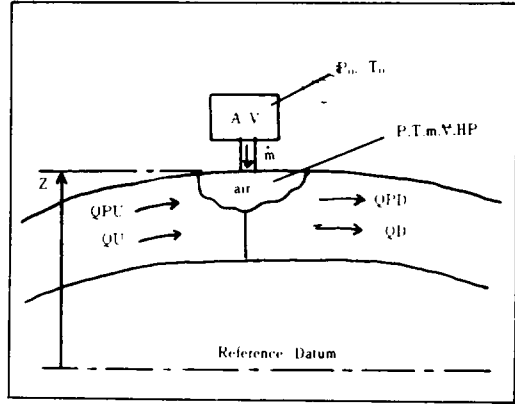


Fig.1. Schematic drawing of the pipeline with air-valve.

있는 유체의 단위시간당 유입 및 유출량이다. 또한,  $QPU, QPD$  = 시간 증분  $\Delta t$  이후 구하려는 유체의 유출입량이다.

따라서, 식(1) 및 식(4)~(9)에서 나타난 총 7개 ( $m, \dot{m}, V, P, HP, QPU, QPD$ )의 미지수는 모두 7개의 주어진 식들을 연립하여 계산할 수 있다(Wylie, et al, 1978).

### 解 析 例

Figure 2는 유체과도현상 해석을 위해 선택된 배관계의 개략도이다.

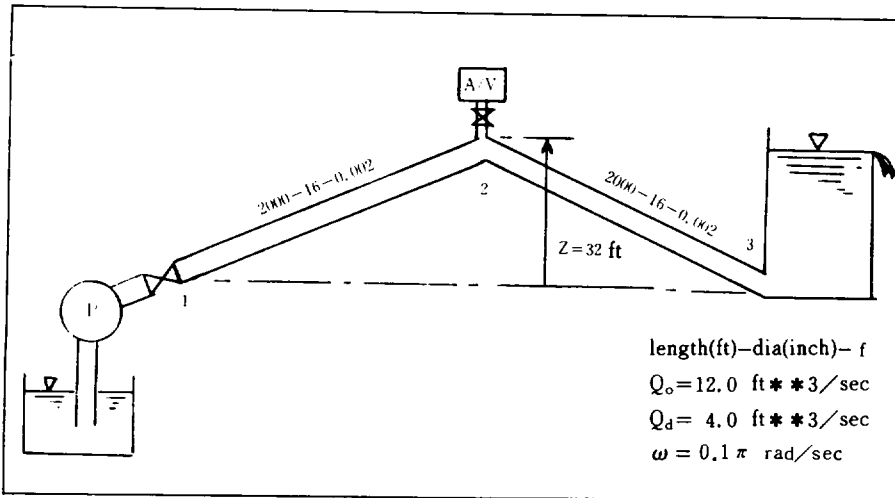


Fig.2. Schematic pipelines for sample problems.

본고에선 위의 배관계에 대해 운전조건 변화는 펌프의 토출유량  $Q_1(t)$ 를

$$Q_1(t) = \begin{cases} Q_0 - Q_d \cdot \sin(\omega t) & ; 0 < t < 10 \text{ sec} \\ Q_0 & ; t \geq 10 \text{ sec} \end{cases}$$

로 가정하여 다음 사항들이 유체과도현상에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

- air-valve 설치유무에 따른 영향
- air-valve의 size 변화에 따른 영향
- air-valve의 토출계수 변화에 따른 영향

## 解析結果 및 考察

### 1) Air-Valve 設置有無

Figure 3-a,b 및 Figure 4는 dia. 1"의 air-valve를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 배관계의 node no.1 및 node no.2에서의 pressure history이다.

이들 압력변화 곡선은 air-valve의 채택여부가 최대압력에는 큰 영향을 못 주는 반면, 과도현상 중 압력의 흔들림(pressure fluctuation)에는 커다란 영향을 주고 있음을 보여준다. 이러한 영향은 air-valve의 설치위치인 node no.2에서 더더욱 두드러짐을 알 수 있다(Figure 4 참조). 특히, node no.2에서의 압력은 air-valve를 채택함으로써 거의 대기압 이하로 떨어지지 않도록 유지될 수 있음을 보인다.

### 2) Air-Valve 크기의 影響

Figure 5는 air-valve의 diameter를 1"에서 2", 2.75" 등으로 변화시켜 얻은 node no.1에서의 압력변화 곡선들이다. air-valve의 크기에 관계없이 세 경우 모두 전체적인 과도현상의 성향은 비슷하나, valve의 크기가 증가함에 따라 최대압력의 발생 시점이 점점 늦어짐을 알 수 있다. 이는 air-valve의 크기가 커짐에 따라 공기 유입량도 증가하여, 이의 재 방출시간이 자연히 길어졌기 때문이라 사료된다.

최대압력의 크기는 valve 크기에 따라 다소 증가

되는 경향을 보이나, 그 변화는 예상외로 매우 작게 나타났다.

### 3) Air-Valve 吐出係數 變化에 따른 影響

Figure 6는 토출계수  $C_{in}$ ,  $C_{out}$ 의 변화에 따른 배관계의 최대압력의 변화를 보여준다.

대체적으로 유입계수  $C_{in}$ 이 클수록, 유출계수  $C_{out}$ 이 작을수록 최대압력은 작게 보이는 데, 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉,  $C_{in}$ 이 클수록 유입공기량은 증가하고, 이는 pressure fluctuation 현상을 완화시키는 완충역할(air-cution)의 증대를 의미하여 결국 최대압력의 크기를 감소시키는 결과에 이르게 된다. 또한,  $C_{out}$ 이 작아지면 공기유출 속도가 떨어져서 급격한 압력상승 요인을 억제시키는 효과로 작용했기 때문이라 사료된다.

## 摘 要

간단한 배관계에서 운전조건 변화를 가정하여 air-valve의 유무, size 변화, 토출계수 변화 등에 따른 유동특성을 해석해 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

-air-valve의 도입은 심각한 저압발생과 이에 따른 배관계 압력의 불안정한 흔들림을 방지 하는 데는 매우 유용하나, 과도압력의 최대값을 낮추려는 목적(pressure suppression device)에는 별 도움이 안된다.

-air-valve의 size 변화는 압력변화의 성향 및 그 최대값에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어, air-valve 선정時 근거없이 무조건적으로 큰 용량을 선호하는 경향은 재고되어야 하겠다.

-air-valve 선정시 종종 야기되는 토출계수의 '설계기술 자료'로서의 신뢰도는 배관계 과도현상 해석과 관련하여 큰 비중을 차지하지 않는다.

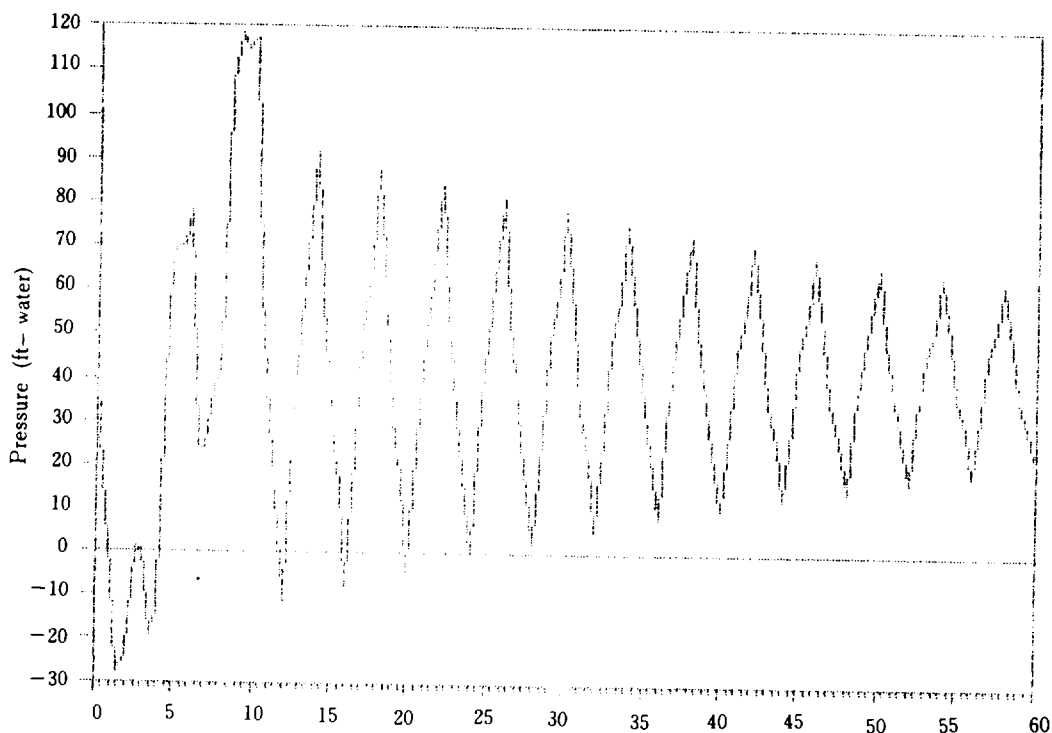


Fig.3-a. Pressure history of node no.1 (without air-valve) Time(sec)

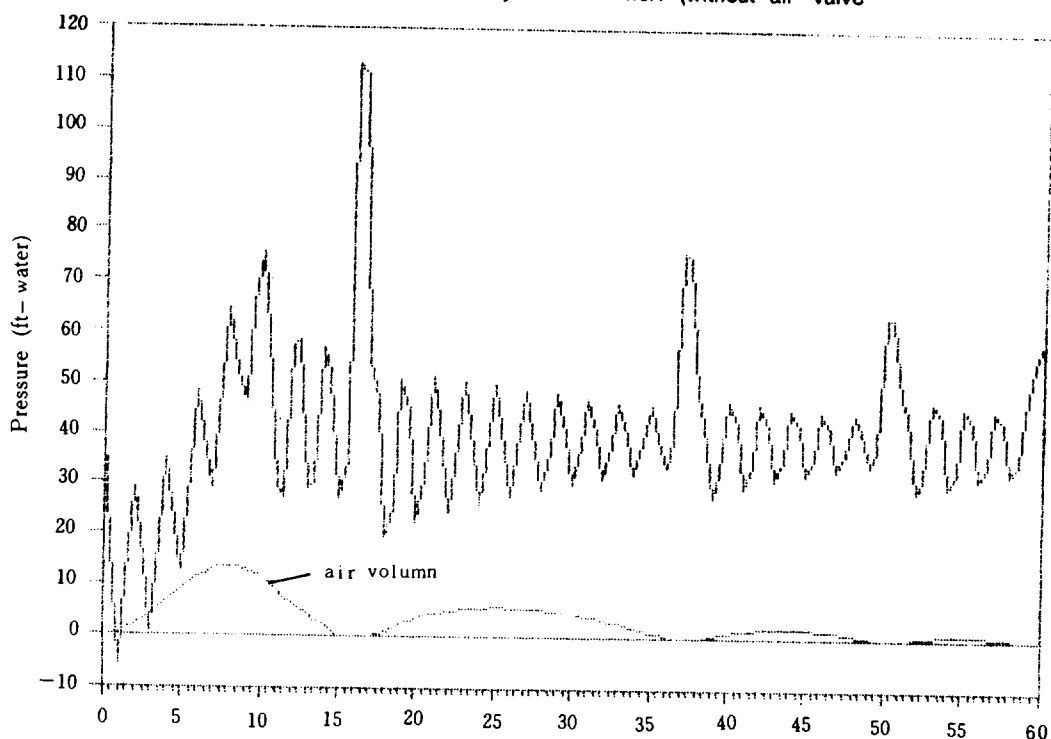
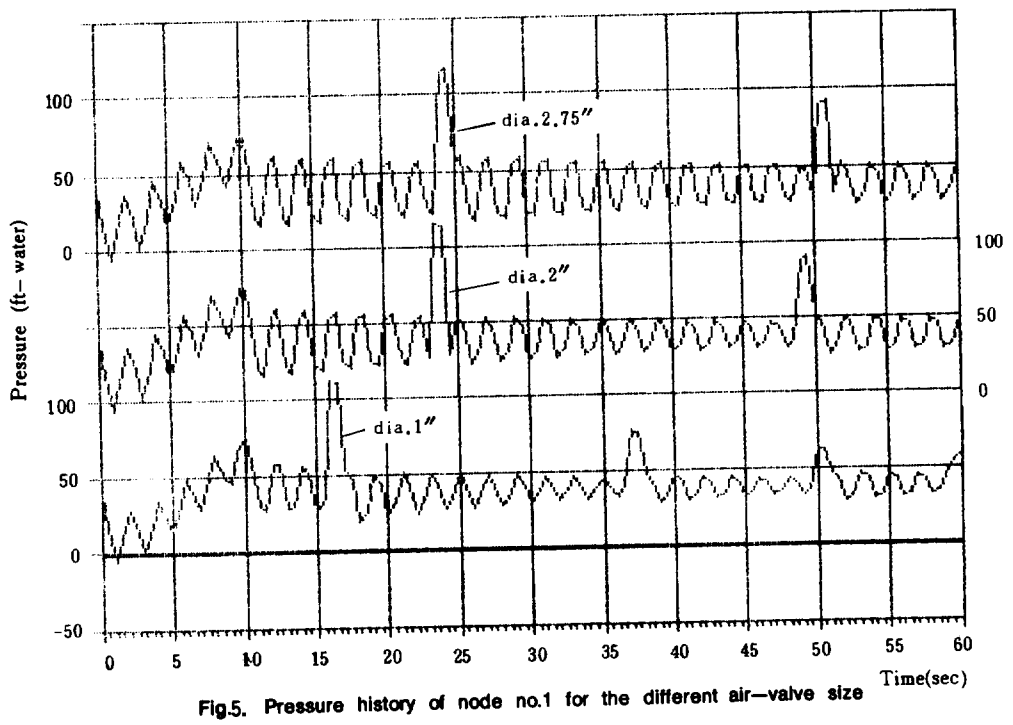
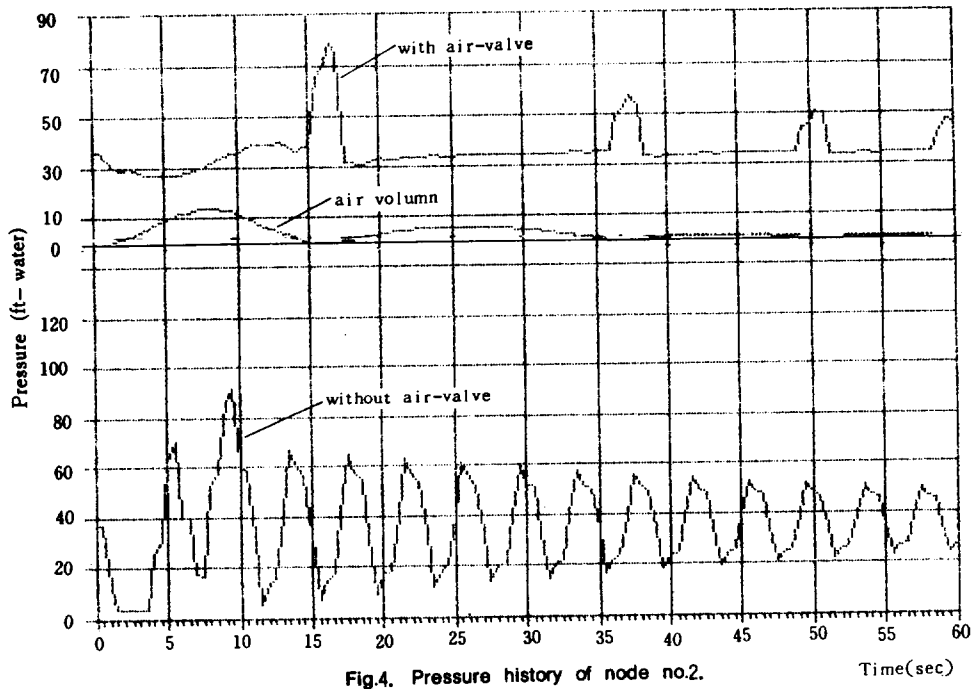


Fig.3-b. Pressure history of node no.1 (with air-valve) Time(sec)



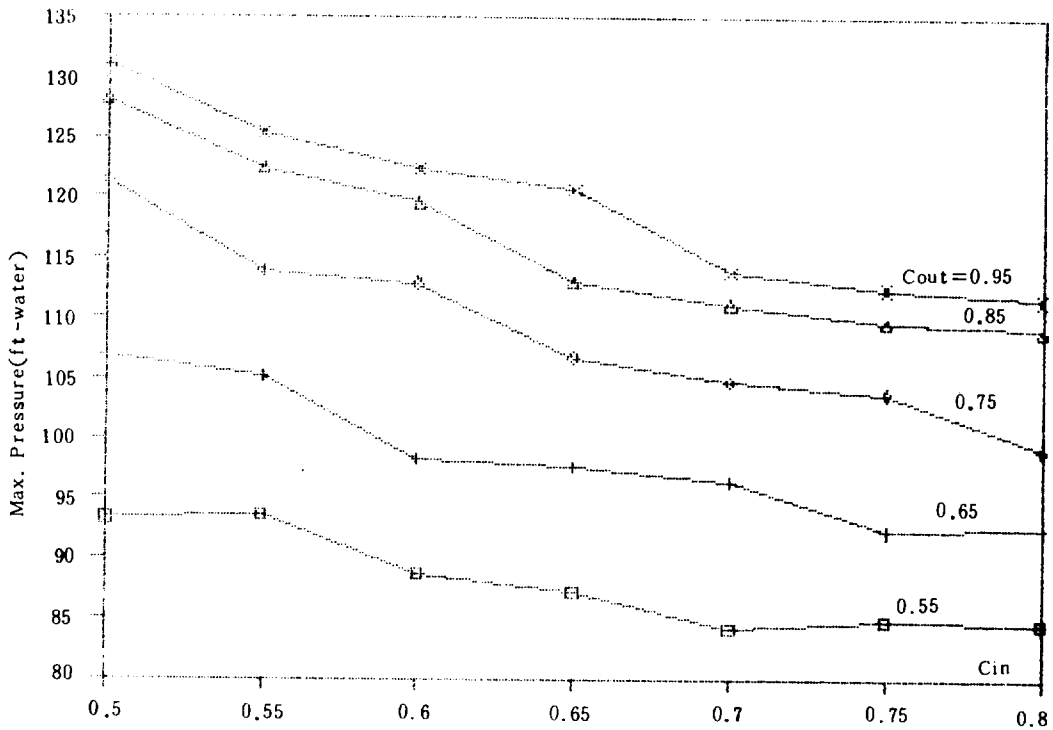


Fig.6. Changes of the maximum pressure depending on Cin, Cout.

### 引用 文 獻

- EL-Wakil, M. M., 1971. Nuclear Heat Transfer. p. 354~358. Intext Publisher, London.
- James, M. L. et al, 1985. Applied Numerical Methods for Digital Computation. p. 178~195, 3rd ed. Harper & Row Publisher. N. Y.
- Rohsenow, W. M. et al, 1973. Handbook of Heat Transfer. p.14-11~14-21. McGraw-Hill, USA.
- Thompson, P. A., 1972. Compressible-Fluid Dynamics. p. 251~253. McGraw-Hill, USA.
- Watters, G. Z., 1979. Modern Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines. p. 43~105. Ann Arbor, USA.
- Wylie, E. B. & V. L. Streeter, 1978. Fluid Transfer. p. 94~100. McGraw-Hill, USA.