

## 피동적 유체기구의 유동 조절 특성에 관한 실험

서정식\* · 송철화\*\* · 조 석\*\* · 정문기\*\* · 최영돈\*\*\*  
(1999년 2월 6일 접수)

### An Experiment on the Flow Control Characteristics of a Passive Fluidic Device

Jeongsik Seo, Chulhwa Song, Seok Cho, Moonki Chung and Youngdon Choi

**Key Words:** Passive Safety Injection Tank(피동형 안전주입탱크), Vortex Chamber(와류실), Fluidic Device(유체기구), Level Depression(수위 위축), Flow Control(유량 조절)

#### Abstract

A model testing has been performed to investigate the flow characteristics of a vortex chamber, which plays a role of a flow switch and passively controls the discharge flow rate. This method of passive flow control is a matter of concern in the design of advanced nuclear reactor systems as an alternative to the active flow control to provide emergency water to the reactor core in case of postulated accidents like LOCA (Loss-Of-Coolant Accident). By changing the inflow direction in the vortex chamber and varying the flow resistance inside the chamber, the vortex chamber can control passively the injection flowrate. Fundamental characteristics such as discharge flow rate and pressure drop of the vortex chamber are measured, and its parametric effects on the performance of the vortex chamber are also systematically investigated.

#### 기호설명

$D_E$  : 방출유입구(discharge port)의 직경  
 $D_S$  : 주유입구(supply port)의 직경  
 $D_C$  : 제어유입구(control port)의 직경  
 $W_C$  : 제어유입구의 유입유량  
 $W_{CC}$  :  $W_S = 0$ 인 경우의 제어유입 유량  
 $W_E$  :  $W_C = 0$ 인 경우의 최대 유량  
 $W_0$  : 방출유량 (=  $W_S + W_C$ )  
 $W_S$  : 주유입구의 유입유량  
 $P_C$  : 제어유입구의 압력  
 $P_{CC}$  : 제어유입구의 cutoff 압력  
 $\frac{P_{CC}}{P_S}$  : 제어유입구의 cutoff 압력비  
 (=  $P_{CC} / P_S$ )  
 $P_S$  : 주유입구의 압력

$r_e$  : 방출구의 반경  
 $r_0$  : 챔버의 반경  
 $h$  : 챔버의 높이

#### 1. 서 론

원자력 발전소의 열 생성원인 원자로를 포함하는 원자로 냉각계통(RCS: Reactor Coolant System)에서 압력경계면의 파단에 따라 야기되는 냉각수 상실사고(LOCA: Loss-Of-Coolant Accident) 발생시 원자로 노심(reactor core)의 냉각을 위한 안전장치에 관한 연구가 오랫동안 계속되어 왔다.<sup>(1)</sup> 최근에는 기존의 원자로 계통보다 안전성이 강화된 설계개념을 도입하고자 차세대 원자로(KNGR: Korea Next Generation Reactor)의 개발이 착수됨에 따라, 냉각수 상실사고 발생시 초기에는 파단부를 통해 방출된 냉각수를 보충하기 위해 대유량의 냉각수 공급이 필요하고, 일정 기간 이후에는 소유량(대유량의 20% 정도)의 냉각수를 오랜 기간 동안 공급할 수 있는 기능을

\* 회원, 고려대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 한국원자력연구소

\*\*\* 회원, 고려대학교 기계공학과

E-mail : ydchoi@kucenx.ac.kr

TEL : (02)3290-3355 FAX : (02) 926-9290

갖는 피동형 안전주입탱크(passive SIT : Safety Injection Tank)의 도입이 고려되고 있다.<sup>(1-3)</sup>

기존의 안전주입탱크는 이와 같은 두 가지의 유량 공급 기능을 갖추고 있지 않음으로 인하여, 대용량의 냉각수 공급을 필요로 하는 사고 발생 초기에는 소요 유량보다 더 많은 냉각수를 공급하게 되고, 일정 시간 이후에는 안전주입탱크 내의 냉각수가 고갈되어 원자로 계통의 냉각에 전혀 기여하지 못하게 된다.<sup>(2)</sup> 이에 따라 최근에는 냉각수 주입을 위한 유량조절 기능을 위해 인위적 조작 방법을 배제한 피동적인 원리에 따라 자동으로 작동되는 안전주입장치에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 이러한 안전장치로서 유체기구(fluidic device)를 적용하는 개념이 연구되고 있다.<sup>(4-8)</sup> 차세대 원자로에서는 안전주입탱크의 냉각수 이용의 효율성을 증진시키기 위한 새로운 설계개념으로서 유체기구를 이용한 피동적 작동개념을 도입함으로써 안전주입탱크 크기의 최적화 및 발전소 비상발전기 기동시간 요건의 완화 등을 기하고자 하고 있다.<sup>(5,6)</sup>

이와 같이 서로 다른 두 가지의 유량공급 기능을 갖춘 피동 안전주입 개념을 적용하기 위하여 기존의 안전주입탱크 내부에 와류실(vortex chamber)을 설치함으로써, 요구되는 상황에 따라 필요로 하는 만큼의 유량 공급을 조절하는 개념을 도입하고자 노력하고 있다.

가장 단순한 형태의 와류실은 챔버와 세 개의 유로구멍으로 구성된다. 이들은 주유입구(supply port), 제어유입구(control port), 그리고 방출구(exit port)로 구성된다. 주유입구와 제어유입구는 밸브의 반경방향에 대한 각도가 상호 다르게 설치되는데, 한 개는 접선 방향, 다른 하나는 반경방향과 일정한 각도로 설치된다. 일정 각도를 가지는 유입구에 의하여 챔버내에 와류가 형성되게 되며, 형성되는 와류의 강도에 따라 챔버내의 압력장에 큰 변화가 생겨 유량을 제어하게 된다.<sup>(4,5,9)</sup>

Fig. 1은 전형적인 피동형 안전주입탱크의 두 가지 유량공급 기능을 보여주고 있다. Fig. 1(a)은 냉각수 상실사고 발생 초기(blowdown)에 요구되는 대용량의 유량 공급 시에 사용되는 경우로서, 유체기구내의 유로가 반경방향의 주유입구를 통해서 이루어지게 되고, 유체기구 내부 유동에서 발생되는 와류(vortex)의 강도가 매우 작게 됨에

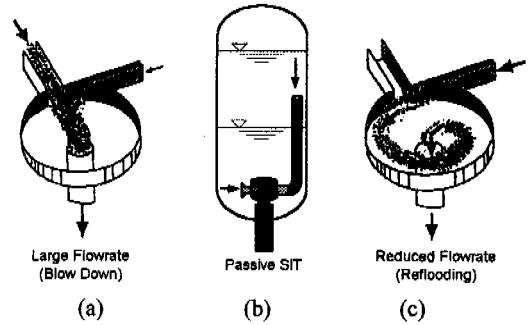


Fig. 1 Principle of flowrate switching in a passive SIT

따라 유동저항(flow resistance)이 작게 된다. Fig. 1(c)는 냉각수 상실사고 진행기간중의 재관수(reflooding)시기에 필요로 하는 소유량 공급시 사용되는 경우로서, 유체기구 내의 유로가 접선 방향의 제어유입구를 통해서 이루어지게 되고, 따라서 유체기구 내부의 유동장은 강도가 큰 와류에 의해 유동저항이 매우 크게 됨에 따라 유량이 감소하게 된다.

피동형 안전주입탱크 내의 유량 조절용 유체기구의 개발과 이의 최적 설계를 위해서는 유체기구의 다양한 기하학적 형상에 따라 달라지는 와류 유동 현상을 체계적으로 연구할 필요가 있다. 이러한 설계개념이 실제 원자로에 채택되기 위해서는 작동성능을 보장할 수 있는 설계방안이 도출되어야 한다. 이를 위해서 유체기구의 설계변수가 내부의 유동 현상에 미치는 영향들이 정량적으로 규명되어야 하며, 추후 대규모 실증 실험을 통하여 종합적인 성능이 검증되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 피동형 안전주입탱크 내부에 설치되는 와류실의 기본적인 유동특성을 실험적으로 규명함으로써, 안전주입탱크내 유체기구의 기하학적인 변수들의 영향을 고찰하고자 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 피동형 안전주입탱크에서 유량조절 기능을 담당하는 와류실 내의 기하학적 변수와 방출유동 특성과의 관계를 실험적으로 고찰하고자 한다.

## 2. 실험 장치

### 2.1 장치 개요

본 연구에서는 피동형 안전주입계통을 모사하

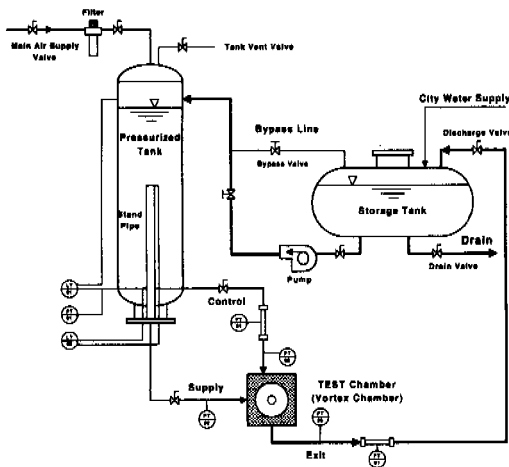


Fig. 2 Schematic diagram of the test loop facility

기 위해 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 가압수조 (pressurized tank), 와류실(vortex chamber), 방출 배관, 저장수조(storage tank), 물 공급배관, 가압용 압축공기 공급배관 등으로 구성된 실험장치를 제작하였다. 가압수조는 안전주입탱크를 모의하는 원통형 탱크로서, 스테인리스 재질로 제작되었다. 압력수조의 상부에는 압축공기 공급배관이 연결되어 지속적으로 압축공기를 제공함으로써 관련 계통의 초기압력을 설정하거나 또는 가압수조 내부의 압력을 일정한 값으로 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한, 가압수조 내부에는 일정 높이로 고정되어 있는 주입수관(standpipe)이 설치되어 있다. 원자력 발전소의 피동형 안전주입탱크의 경우는 방출유량을 조절하는 유체기구가 안전주입 탱크 내부에 설치되나, 본 실험에서는 유체기구 내부의 유동장을 측정하기 위하여 유량조절용 유체 기구로서의 와류실 가압수조 외부에 설치하였다.

와류실에 연결되는 유입구 및 방출구는 다양한 직경을 모의할 수 있도록 교체가 가능한 구조로 되어 있다. 주유입구는 최대 24mm의 내경을 가지며, 유입구가 24, 20, 14, 11mm의 내경을 갖도록 변경시킬 수 있는 구조로 설계되었다. 제어유입구는 최대 24mm의 내경을 가지며, 24, 20, 14, 11, 8mm의 내경을 갖도록 모의할 수 있다. 또한, 방출구는 최대 38mm의 내경을 가지며, 38, 32, 24, 14, 11, 8mm의 내경을 갖도록 용이하게 변경될 수 있는 구조를 갖는다. 와류실의 방출구(exit port)는 방출배관을 통하여 저장수조로 연결되며, 이는 38mm의 구리관으로 제작되었다. 유량계는

방출배관과 제어유입 배관에 장착되어 유량을 측정한다. 저장수조는 내경 750 mm, 길이 1200mm의 스테인리스 재질로 제작된 수평형 원통으로서, 실험실에서 공급되는 순환수(demineralized water)를 저장하며, 가압수조와 연결된 귀환유로에 설치된 순환펌프에 의해 가압수조에 연속적으로 순환수를 공급할 수 있는 수조로서의 역할을 수행한다. 귀환유로에는 재순환(bypass) 배관이 설치되어 가압수조에 재순환되는 유량을 조절하여 가압수조에 공급되는 유량을 조절할 수 있도록 하였다.

## 2.2 시험부

시험부(test section)는 본 연구목적을 달성하기 위해 피동형 안전주입탱크 내의 와류실물 모의한 것으로서, 시험부 내부의 유동장을 관찰하기 용이하도록 투명한 아크릴로 제작하였으며, 내부는 직경이 150mm, 높이가 60 mm인 원통형 구조이며, 외부는 사각형으로 되어 있다.

시험부에는 2개의 유입구와 1개의 방출구가 장착되어 있는데, 2개의 유입구는 반경 방향의 주유입구와 접선 방향의 제어유입구로 구성되며, 방출구는 원통형 시험부의 바닥면 중앙에 위치하고 있다.

Wormley<sup>(9,10)</sup>는 복잡한 와류실 내부의 유동 성질, 마찰 등 국소적인 변수는 무시하고, 챔버 내의 압력 조건과 그 기하학적 조건에 대한 함수로서 유량함수를 정의하였다.

본 연구에서는 챔버 설계조건을 고려하여 시험부를 설계하였다. 이 조건은 내부의 유동 성질 등 국소적인 변수는 무시하고, 챔버 내의 압력 조건과 그 기하학적인 형상에 대한 함수로서 유동함수를 정의하였다. 제어유입구의 제어유입유량( $W_C$ )이 증가하면 주유입유량( $W_S$ )이 감소하게 되어, 전체 방출유량( $W_E$ )은 감소하게 된다. 주유입유량( $W_S$ )이 0이 되면, 전체 유량은  $W_{CC}$ 와 같게 된다. 와류실의 특성은 유입유량과 방출유량의 관계로 나타낼 수 있으며, 전체 방출유량과 제어유입유량 또는 주유입구와 방출구의 압력에 대한 제어유입구의 압력으로 나타낼 수 있다.<sup>(11~14)</sup>

유량함수는 계통압력이 일정할 경우 기하학적인 변수들에 의해 아래의 식 (1), 식 (2)으로 표현될 수 있다.

$$\overline{W_E}(\overline{W_C})|_{P_s} = f_1\left(R_w, \frac{A_C}{A_E}, \frac{A_S}{A_E}, \frac{r_e}{r_0}, \frac{h}{r_0}\right) \quad (1)$$

$$\overline{W_E}(P_C)|_{P_s} = f_2\left(R_w, \frac{A_C}{A_E}, \frac{A_S}{A_E}, \frac{r_e}{r_0}, \frac{h}{r_0}\right) \quad (2)$$

이 경우 최대 유량( $W_M$ ) 조건에서 레이놀즈수 ( $R_w$ )는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$R_w = \frac{W_M}{2\pi r_0 \mu} \quad (3)$$

또한 챔버의 설계조건은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{CC} > 0, \quad \frac{A_s}{A_e} > 3 \\ 0.144 < \frac{h}{r_0} < 0.64, \\ \frac{h}{r_e} > 2 \end{aligned} \quad (4)$$

본 실험의 시험부 설계를 위해서 먼저 실험압력을 예상하여  $P_{CC}$ 와  $W_{CC}$ 를 구하고, 작동유체의 물성치로부터 최대, 최소 작동유량을 설정하였다.

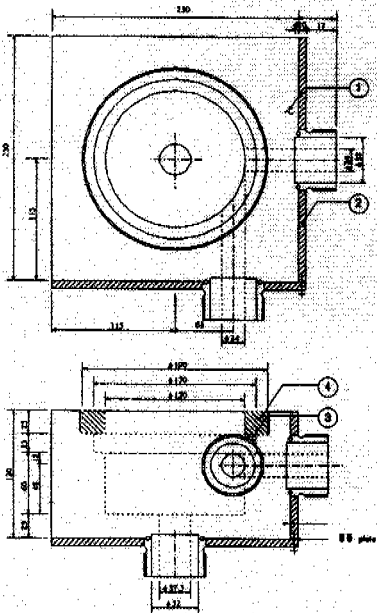


Fig. 3 Test Section of vortex chamber (Unit: mm)  
① Body ② Frame ③ Glass ④ Cover

최대 실험압력을 300kPa로 하였으며, 작동유량의 범위를 최대 주유입 유량과 제어유입유량의 비가 3:1이 되도록 정하였다.

$$P_{CC} = P_C/P_s \approx 1.0,$$

$$W_{CC} = W_C/W_s = 0.333$$

최대 작동 유량 : 50.0kg/min ( $8.30 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ )

최소 작동 유량 : 16.7kg/min ( $2.77 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ )

본 실험에서는 주유입구의 최대 직경이 24mm 이므로, 위의 설계조건으로 부터 유입구와 방출구 직경을 구해 설계하였다. 이와 같은 과정을 이용하여 설계된 와류실을 Fig. 3에 나타내었다. 챔버의 규격에 맞추어 전체 실험장치의 제작에 필요한 각 밸브 및 배관을 결정하였다.

### 2.3 측정 계통

본 실험장치에서의 측정변수로는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 챔버 입구에 연결된 주유입구, 제어유입구, 방출구에서의 압력(PT-01,02-03), 제어유입구 유량(FT-01)과 방출유량(FT-02), 가압수조 내의 압력(PT-04)과 수위(LT-01), 그리고 가압수조 내부의 주입수관의 수위(LT-02) 거동을 선정하였다.

자료취득장치(Data Acquisition System)는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 IBM 호환기종의 컴퓨터(Intel 486-66), A/D 변환기, 그리고 자료처리용 프로그램으로 구성되는데, 각종 측정기기에서 발생된 신호는 4~20mA의 전류로 신호변환기(signal

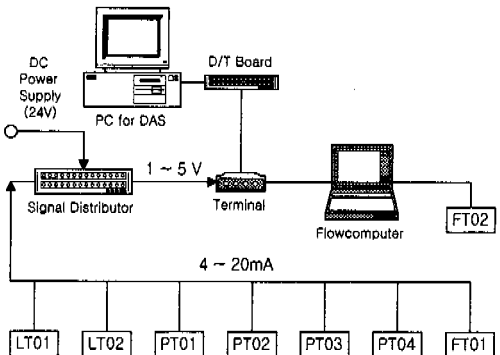


Fig. 4 Schematic diagram of data acquisition system on test loop

distributor)로 전달되어, 1~5Volt로 변환된다.이 신호는 다시 A/D변환기에 입력되어 디지털 신호로 바뀌게 된다. 제어유입 유량 측정용 유량계 경우는 1~5볼트 신호를 A/D변환기로 보내게 된다.

압력계의 교정작업은 먼저 일정한 압력의 압축공기를 압력계에 공급한 후 압력계에서 출력되는 전류신호를 신호변환기를 거쳐 1~5Volt의 전기신호로 변환시킨 후, 자료취득장치(DAS)에서 측정하였다. 압력계에 공급되는 압축공기의 압력을 변화시켜 가는 과정을 통하여 1차 선형식 형태의 교정 곡선을 구하였다. 유량계의 교정작업은 가압수조를 개방한 후 50~150초 사이 동안 얻어진 유량계로부터의 유량 측정값과 탱크내의 수위 변화량을 측정하여 비교하는 방법을 채택하였다. 즉, 측정시간 동안의 가압수조 내의 수위 변화량을 측정하고, 수조의 단면적을 이용하여 구한 적분 유량값과 각 유량계에 의해 측정된 값의 적분값을 비교하였다.

2.4 실험 조건 및 방법

본 실험에서는 가압수조 내부의 초기 압력을 300kPa로 고정시키고, 수조 내부의 초기 수위를 1000mm에 고정시킨 후 실험을 수행하였다. 실험은 각 실험 경우별로 약간의 차이가 있으나, 대략 300~400초 동안 수행하였다. 각 실험 경우는 와류실의 유입구 및 방출구의 지름을 변화시키면서 방출유량 및 수조 내부압력 변화와 주입수관 내부의 수위 변화 등을 측정하였다.

Table 1에는 본 실험의 실험조건을 나타내고 있다. 이들은 앞서 기술한 각 주입구 및 방출구 직경에 대한 예비실험을 수행한 후에 얻어진 실험 조건이다.

Table 1 Test matrix

No.	D <sub>E</sub>	D <sub>S</sub>	D <sub>C</sub>	No.	D <sub>E</sub>	D <sub>S</sub>	D <sub>C</sub>
case 1	32	14	24	case 8	11	14	14
case 2	14	24	14	case 9	8	14	11
case 3	14	20	14	case10	14	24	24
case 4	14	14	14	case11	8	14	14
case 5	24	14	24	case12	11	24	24
case 6	24	24	24	case13	8	24	24
case 7	11	24	14	case14	8	14	24

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 방출유량 특성곡선

전체 실험구간 동안 방출유량은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 크게 3가지의 변화를 가지는데, 주유입유량과 제어유입유량이 동시에 형성되는 구간(I), 주입수관 이하로 수위가 내려가는 순간으로서 주유입유량이 더 이상 공급되지 않고 제어유입유량으로 바뀌는 구간(II), 그리고 제어유입유량만 형성되는 구간(III)으로 나뉘어 진다.

3.1.1 주유입구 직경의 영향

Fig. 5에는 제어유입구 및 방출구의 직경이 14mm로 동일한 경우(case (2), case (4)), 주유입구/방출구의 직경 변화를 준 경우이며, 주유입구 직경과 방출구의 직경비(D<sub>s</sub>/D<sub>e</sub>)가 1이상으로 큰 경우의 방출유량 특성곡선을 보여주고 있다.

주유입구 직경이 방출구 직경에 비해 큰 경우에는 주 유입 유량이 직경비에 따라 크게 나타나고 있으나, 유로가 제어유입구로 전환된 후에는 제어 유입 유량이 동일하게 나타나고 있는 것을 보여주고 있다. 초기의 대유량 방출시에는 주유입구와 방출구의 비의 영향이 크게 나타나고 있다.

Fig. 6에서 나타난 바와 같이 주유입구와 방출구의 직경비(D<sub>s</sub>/D<sub>e</sub>)가 1보다 작은 경우는 주유입구를 통한 유입유량이 작아서 유량전환시점 이전의 초기 방출유량에 영향을 거의 미치지 않는

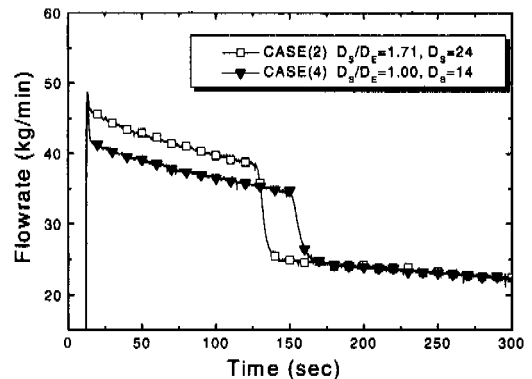


Fig. 5 Effect of supply port on the discharge flowrate (D<sub>s</sub>/D<sub>e</sub>>1, D<sub>E</sub>=D<sub>C</sub>=14 mm)

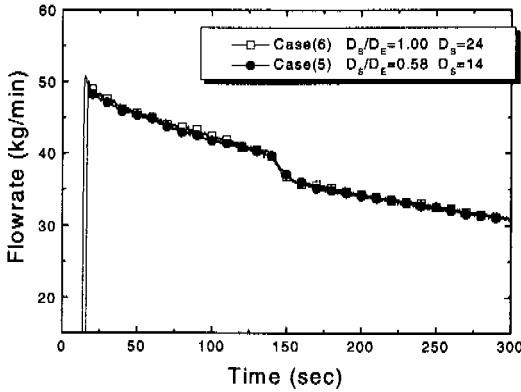


Fig. 6 Effect of supply port on the discharge flowrate ( $D_s/D_E < 1$ ,  $D_E = D_C = 24$  mm)

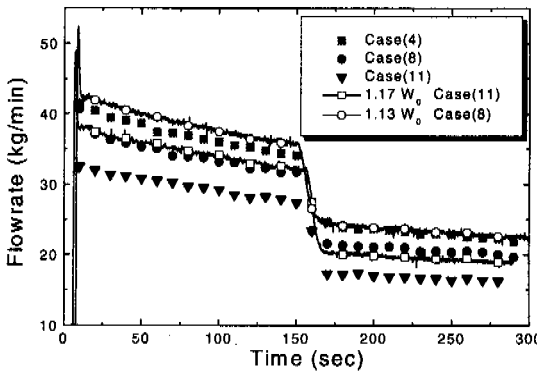


Fig. 7 Effect of exit port size on the discharge flowrate ( $D_s/D_C = 1$ ,  $D_s = D_C = 14$  mm)

것을 볼 수 있다. 따라서 Fig. 5, 6으로부터 알 수 있는 바와 같이 주유입구와 방출구의 비가 유로 전환 이전과정에서 방출유량의 크기에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

### 3.1.2 방출구 직경의 영향

Fig. 7에는 주유입구 직경과 제어유입구의 직경비 및 직경이 동일한 조건( $D_s/D_C = 1$ ,  $D_s = 14$  mm)에서 방출구의 직경 변화( $D_E = 11, 14, 24$  mm)에 따른 유량방출 특성곡선을 보여주고 있다. 동일한 주유입구와 제어유입구를 가지는 경우 ( $D_s/D_C = 1$ )에는 방출구의 직경이 작을수록 유량 특성곡선이 일정한 비율로 변화하는 것을 보여주고 있다.

Fig. 7의 두 실선은 주유입구와 제어유입구의 직경비 및 직경이 동일한 조건에서 방출구의 직경이 서로 다른 경우에는 아래의 식 (4)로 표현되

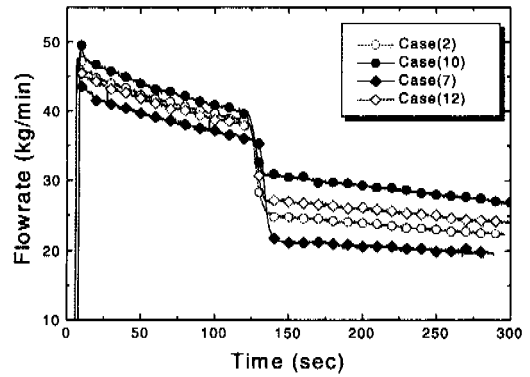


Fig. 8 Effect of control port size on the discharge flowrate ( $D_s/D_E = 1$ )

는 바와 같이 방출구 직경비의 제공근에 비례하는 유량방출 특성을 가지는 것을 보여주고 있다.

$$C = \sqrt{\frac{D_{Ei}}{D_{Ej}}} \sim \frac{W_{0i}}{W_{0j}} \quad (5)$$

### 3.1.3 제어유입구 직경의 영향

Fig. 8은 주유입구와 방출구의 직경비가 동일한 조건에서 제어유입구의 직경 변화에 따른 유량방출 특성곡선을 보여주고 있다. 유량 전환시기 이전에서는 제어유입구의 직경이 방출유량에 미치는 영향이 크지는 않으나, 가압수조 내부에서 주유입구 및 제어유입구에 가해지는 압력 수두가 동일하므로 제어유입구의 직경이 큰 경우가 방출유량이 약간 크게 나타난다. 즉 제어유입량이 커지므로 와류실 내부로 유입시 제어유입 유체가 주 유입 유체의 유동을 방해하는 영향이 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나, 유량 전환시기 이후에서는 가압수조 내부의 유체가 제어유입구만을 통하여 와류실 내부로 유입되므로 제어유입구의 직경이 방출유량에 미치는 영향이 매우 크게 된다.

### 3.2 압력 손실 특성곡선

가압수조로부터 유량 방출이 진행됨에 따른 와류실에 의한 압력손실 특성 변화를 살펴보기 위하여 주유입구 및 제어유입구 직경비가 동일한 경우에 대하여 가압수조 내부압력, 주유입구 및 제어유입구의 출구 직전 압력, 그리고 방출구 출구 직후의 압력에 대한 변화를 Fig. 9에 나타내

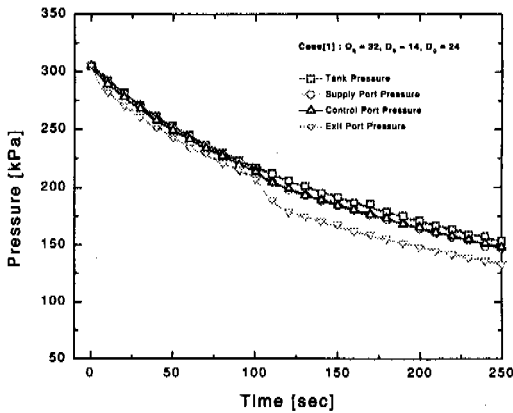


Fig. 9(a) Pressure characteristic curve  
(Case[1] :  $D_E=32\text{mm}$ ,  $D_S=14\text{mm}$ ,  $D_C=24\text{mm}$ )

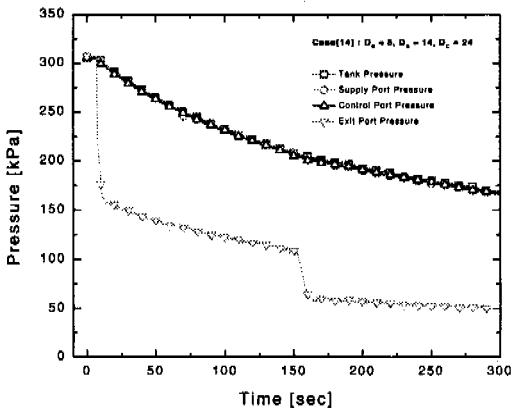


Fig. 9(b) Pressure characteristic curve  
(Case[14] :  $D_E=8\text{mm}$ ,  $D_S=14\text{mm}$ ,  $D_C=24\text{mm}$ )

었다.

Fig. 9는 유량 전환시기 전후 시점에 대한 탱크와 유입구 및 방출배관에서의 압력변화를 보여주고 있다. 유입구와 방출배관에서의 압력차이는 와류실내에서의 압력강하를 나타내는 것으로서, 유량전환 이후 시점에서의 압력강하량이 이전 시점의 압력강하량 보다 크음을 알 수 있다. 유량 전환시기 전후의 압력강하특성 차이는 방출구 직경이 작아짐에 따라 더욱 크게 관찰되었는데(Fig. 9 (a), (b) 참조), 이것은 주입수의 흐름이 반경방향의 주유입구로부터 접선방향의 제어유입구로 바뀔 때 따라 와류실내의 회전 유속이 증가하여 방출구로의 유동저항이 상대적으로 증가하였기 때문이다.<sup>(11)</sup>

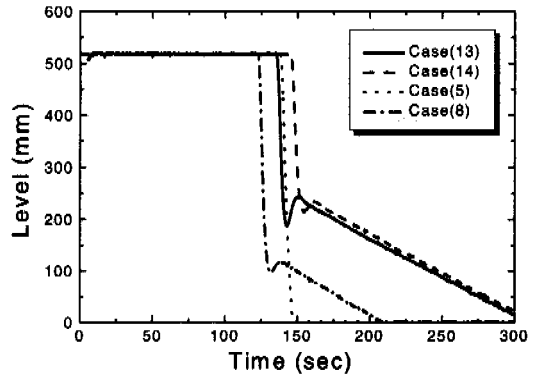


Fig. 10 Effect of supply port size on the level depression in the standpipe (Case (5), (8), (13), (14))

### 3.3 주입수관(Stand Pipe) 내부의 수위변화

가압수조로부터 유량 방출이 진행됨에 따라 유량전환 시점에서 와류실의 주유입구에 연결되어 있는 가압수조내 주입수관 내부의 수위 변화를 살펴보고자 한다. 본 실험장치의 설계 특성상 가압수조 내부의 수위가 주입수관의 최상단부 이하가 될 경우 와류실 내로 유입되는 유체가 제어유입구만을 통하게 되므로, 유량전환 시점에서 주입수관 내부의 수위는 유동전환에 따른 와류실 내부 유동특성 변화에 따른 유동저항의 변화로 인하여 일시적인 변화가 발생하게 된다.

주유입구와 제어유입구의 직경비가 동일한 경우( $D_S/D_C=1$ , case (8) - case (13))에 대해 방출구 직경의 변화에 따른 일시적인 수위위축(level depression) 결과를 Fig. 10에 보여주고 있다. 여기서 수위위축이란 유동전환 전후 시점에서 와류실내의 유동특성 변화에 기인하여 와류실내의 압력이 일시적으로 감소하게 되는데, 이에 따라 주입수관 내부의 수위가 순간적으로 오르내리는 현상이다. Case (8)과 (13)은 유입구와 방출구의 크기에 따라 유량전환 시점과 수위위축량의 차이를 보여주고 있다. Fig 10의 Case (13), (14)는 방출구 및 제어유입구의 직경비가 동일한 경우( $D_C/D_E=3$ ;  $D_E=8\text{mm}$ ,  $D_C=24\text{mm}$ )에 대해 주유입구의 직경 변화에 따른 결과를 보여주고 있다. 주유입구의 직경이 큰 경우가 작은 경우에 비하여 유동 전환시점에서 주입수관 내부의 일시적인 수위위축 변화가 크게 나타나며, Fig. 10의 Case (13) 경우에는 약 60mm 정도의 수위위축 변화를 보여주고 있다.

또한 방출구 직경이 유입구 직경보다 큰 Case (5)의 경우에는 유량전환에 따른 수위위축 현상이 관찰 되지 않았다.

#### 4. 결 론

파동형 유량조절장치로서의 유체기구에 대한 기하학적인 변수가 방출유량 특성 및 압력변화 특성에 미치는 영향에 대한 실험으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제어유입구와 방출구의 직경비가 유량 곡선의 특성에 영향을 미치며, 그 비가 클수록 유체기구내의 와류가 증가해서 유량곡선의 특성이 분명하게 나타난다.
- (2) 주유입구와 방출구의 직경비는 초기의 최대 유량에 영향을 주며, 직경비가 1이하가 되면 주유입 유량의 영향이 거의 나타나지 않는다.
- (3) 동일한 주유입구, 제어유입구를 가지는 경우의 유량 곡선은 각 방출구의 직경비의 제곱근에 비례하는 것을 알 수 있다.
- (4) 유체기구에 의한 압력강하특성은 유입구와 방출구의 상대적 크기와 관계 있다. 즉, 유입구 (특히, 제어유입구) / 방출구의 비가 작아질수록 압력강하량은 작아진다.
- (5) 방출구의 직경이 감소할수록 주입수관에서 수위위축 현상이 더 커짐을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) Etherington C., 1984, "Power Fluidics Technology and its Application in the Nuclear Industry," *Nucl. Energy*, Vol. 24, No. 4, pp. 227~235.
- (2) 한국원자력학회, 1997, "차세대원자로 Workshop."
- (3) 김영인 외 4인, 1996, "축압기 유량조절용 Vortex 밸브의 유동 특성," 한국원자력학회 96년도 춘계학술발표회 논문집, pp. 17~22.
- (4) 심윤섭 외 4인, 1995, "Vortex Valve 개념 검토 및 작동 특성 분석," KAERI/TR-611/95, 한국원자력 연구소.
- (5) Shiraishi T. et al., 1994, "Characteristics of the Flow Controlled Accumulator," *Nuclear Technology*, Vol. 108, pp. 181~190.
- (6) Shiraishi T., Watakabe H., Nakamori N., Tabuchi Y., Takayama Y. and Sugizaki T., 1993, "Development of the Flow Controlled Accumulator," *Mitsubishi Heavy Industry & Mitsubishi Atomic Power Industries*.
- (7) Forsberg C. W., 1986, "A Process Inherent Ultimate Safety Boiling Water Reactor," *Nuclear Technology*, Vol. 72, pp. 121~134.
- (8) Forsberg C. W., 1987, "Passive Emergency Cooling Systems for Boiling Water Reactors (PECOS-BWR)," *Nuclear Technology*, Vol. 76, pp. 185~192.
- (9) Wormley D. N., 1970, "A Design Basis for Vortex Type Fluid Amplifiers Operating in the Incompressible Flow Regime," *J. of Basic Engineering*, Vol. 92, pp. 369~376.
- (10) Wormley D. N., 1969, "An Analytical Model for the Incompressible Flow in Short Vortex Chambers," *J. of Basic Engineering*, Vol. 91, pp. 264~276.
- (11) Lawley T. J., 1970, "Vortex Fluid Amplifier: An Experimental Study of Flow Characteristics and Internal Flow Field," Ph. D thesis, Southern Methodist University.
- (12) Moyer, 1967, "Large Single Vortex Valve Analysis," *proc. of the 1967 Fluidics Symp.*, Chicago, May 9~11, pp. 233~250.
- (13) Bichara R.T., Orner P.A., 1969, "Analysis and Modeling of the Vortex Amplifier," *J. of Basic Eng.*, Vol. 91, pp. 755~250
- (14) Idelchik I. E., 1986, *Handbook of Hydraulic Resistance*, 2nd Ed. Hemisphere Publishing Co..