

## SMART-ITL 1 계열 피동안전계통을 이용한 유동분사기 성능에 대한 실험연구

류성욱\*<sup>†</sup> · 배황\* · 양진화\* · 전병국\* · 윤은구\* · 김재민\* · 방윤곤\* · 김명준\* · 이성재\* · 박현식\*  
\*한국원자력연구원

(2016년 10월 20일 접수, 2016년 12월 8일 수정, 2016년 12월 12일 채택)

### An Experimental Study on Flow Distributor Performance with Single-Train Passive Safety System of SMART-ITL

Sung Uk Ryu\*<sup>†</sup>, Hwang Bae\*, Jin Hwa Yang\*, Byong Guk Jeon\*, Eun Koo Yun\*, Jaemin Kim\*,  
Yoon Gon Bang\*, Myung Joon Kim, Sung-Jae Yi\*, Hyun-Sik Park\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute

(Received 20 October 2016, Revised 8 December 2016, Accepted 12 December 2016)

#### 요 약

노심보충탱크 상부에 설치되는 유동분사기 형상에 따른 냉각수 주입특성 및 탱크 내에서의 열수력 현상 변화를 파악하기 위한 안전주입배관 2인치 파단 소형냉각재상실사고(SBLOCA) 모의시험이 잔열 및 피동잔열제거계통(PRHS) 모의 없이 수행되었다. 두 가지 형상의 유동분사기를 설치하고 수행한 각각의 시험은 거의 유사한 초기 및 경계조건에서 수행되었으며, 이로 인해 반복시험에 대한 재현성이 충족되었다고 판단된다. 시험결과는 유동분사기의 종류(본 시험에서는 구멍의 개수에 해당)에 관계없이 유사한 열수력학적 거동을 보였으며, 초기 주입유량 관점에서는 구멍의 개수가 2배인 B형이 A형에 비해 좀 더 우수한 주입 성능을 보였다. 노심보충탱크 격리 밸브가 개방된 후 압력평형배관을 통해 유입되는 고온의 원자로냉각재는 상부 헤더에서 상대적으로 저온인 50 °C 물과 혼합되면서 증기 응축과 같은 상변화에 의한 압력 변동을 동반하는 다차원 열유동 현상을 일으키게 된다. 이로 인해 초반부 노심보충탱크 주입 유량은 상온운전 조건에서 보다는 작게 되고, 일정시간 경과 후에는 유사한 주입유량 특성을 보였다.

**주요어** : 스마트, 유동분사기, 노심보충탱크, 소형냉각재상실사고, 피동안전주입계통

**Abstract** - In order to estimate the effect of flow distributors connected to an upper nozzle of CMT(Core Makeup Tank) on the thermal-hydraulic characteristics in the tank, a simplified 2 inch Small Break Loss of Coolant Accident(SBLOCA) was simulated by skipping the decay power and Passive Residual Heat Removal System(PRHS) actuation. The CMT is a part of safety injection systems in the SMART (System Integrated Modular Advanced Reactor). Each test was performed with reliable boundary conditions. It means that the pressure distribution is provided with repeatable and reproducible behavior during SBLOCA simulations. The maximum flow rates were achieved at around 350 seconds after the initial opening of the isolation valve installed in CMT. After a short period of decreased flow rate, it attained a steady injection flow rate after about 1,250 seconds. This unstable injection period of the CMT coolant is due to the condensation of steam injected into the upper part of CMT. The steady injection flow rate was about 8.4% higher with B-type distributor than that with A-type distributor. The gravity injection during hot condition tests were in good agreement with that during cold condition tests except for the early stages.

**Key words** : SMART, Flow distributor, CMT, SBLOCA, Passive Safety Injection System

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
Tel : 042-868-4919 E-mail : rsu@kaeri.re.kr

## 1. 서론

한국원자력연구원 주관으로 개발된 SMART 원자로 는 기존 상용 가압경수로와는 달리 원자로 냉각재계통 및 주기가 연결 배관 없이 하나의 압력용기 내에 배치 되는 일체형(Integral type) 가압경수로이다. SMART 원자로계통은 원자로냉각재 유로가 형성되고 압력경 계를 유지하는 원자로 압력용기에 담긴 원자로냉각재 계통, 이차계통, 피동잔열제거계통 및 다양한 보조계 통 등으로 이루어진다.

지난 십여 년간 원자로의 안전성 향상을 위해 능동 시스템에서 탈피하여 피동안전계통을 원자로에 적용 하기 위한 설계 및 관련 연구들이 활발히 진행되어 왔다.<sup>(1-6)</sup> 특히, 2011년에 발생한 일본 후쿠시마 사고 이후, 피동형 잔열제거 및 안전주입을 통한 원자로 냉각성 능 제고의 중요성이 부각되고 있다. 이에 따라 비상 디젤 발전기의 기능 상실을 포함한 외부 전원 상실 및 운 전원 대피 시에도 자체적으로 원자로의 안전성을 유지할 수 있는 완전피동안전계통(Passive Safety System, PSS) 원전에 대한 연구가 수행되고 있다. 미국에서 개발한 AP600/AP1000 및 중국에서 개발한 CR600/CR1000의 설계과정에서 완전피동안전계통의 검증 을 위해 다양한 열수력적 시험이 수행되었으나 공개된 자 료는 극히 제한적이며, 핀란드의 PACTEL 시험장치를 이용하여 수행한 노심보충탱크(CMT) 성능시험<sup>(7,8)</sup>, 중 국 NPIC에서 노심보충탱크(CMT) 개별효과시험장치 를 이용하여 수행한 CMT 성능시험<sup>(9)</sup>, 일본 JAEA에서 수행한 ROSA/AP600 성능시험<sup>(10)</sup>의 일부 결과만이 공개되고 있다. 핀란드 VTT Energy에서는 PACTEL 시험장치를 이용하여 AP600 설계와 관련된 CMT에 대한 다양한 검증시험을 수행하였다.<sup>(7,8)</sup> 그들은 CMT 의 작동모드를 세 종류(recirculation phase, oscillating phase, injection phase)로 구분하고, 각 mode에서 발 생되는 열수력 현상들을 설명하였으며, 15개의 개별 효과시험을 통해 파단크기 및 위치, CMT 위치 등의 인자들이 탱크 내에서의 열수력 현상 및 냉각수 주입 유량에 미치는 영향을 파악하였다. 중국 NPIC와 일본 JAEA에서도 각각 NPIC CMT 개별효과 시험장치<sup>(9)</sup> 와 ROSA/LSTF 시험장치<sup>(10)</sup>를 이용하여 소형냉각재 상실사고(SBLOCA, Small Break Loss-of-Coolant Accident)를 모의하기 위한 CMT의 과도상태에 대한 특성 연구를 수행하였다. 현재까지 수행된 연구들은 공개된 내용이 극히 제한적이며, 공개된 시험결과 역시 원자

로의 특성에 따라 차이를 보이므로 결과들을 활용하 기에는 한계점이 많다.

한국원자력연구원에서는 SMART의 피동안전계통 설계 특성 및 소형냉각재상실사고(SBLOCA, Small-Break Loss of Coolant Accident)를 모의할 수 있도록 원자로 압력용기, 증기압기, 증기발생기, 안전주 입계통, 정지냉각계통, 2차계통, 피동잔열제거계통, 파 단모의계통, 피동안전계통 등을 설치한 SMART 열수 력 종합효과 시험장치(Fig. 1, SMART-ITL)를 구축하 였고, 이를 활용하여 다양한 파단 위치에서의 SBLOCA, 원자로냉각재유량완전상실사고(CLOF, Complete Loss of RCS Flowrate) 모의시험 및 피동잔열제거계통(Passive Residual Heat Removal System) 성능 검증 을 포함한 여러 종류의 시험이 수행되었다.<sup>(11,12)</sup> SMART의 피동안전주입계통은 노심보충탱크(Core Makeup Tank,

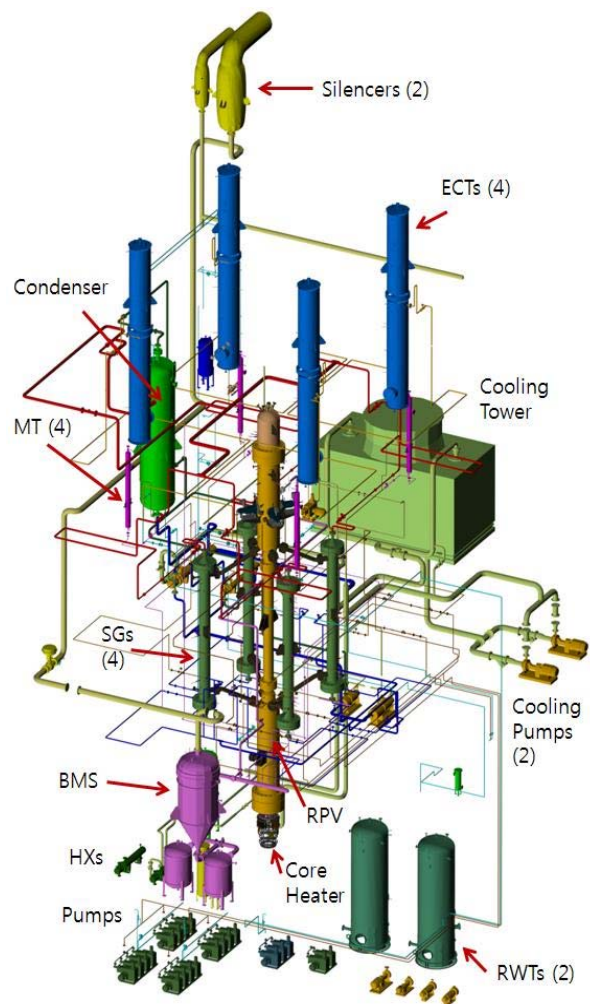


Fig. 1. SMART-ITL Facility

CMT), 안전주입탱크(SafetyInjection Tank, SIT)와 자동감압계통(Auto Depressurization System, ADS)으로 구성되어 있다. 본 연구는 1 계열 피동안전계통이 설치된 SMART-ITL을 이용한 SMART 원자로의 소형파단 냉각재상실사고(SBLOCA) 모의시험을 통해, SMART 원자로 조건에서 발생할 것으로 예상되는 열수력 현상 전반에 대한 분석을 수행하였다. 특히, 노심보충탱크 상부에 설치되는 유동분사기 형상에 따른 냉각수 주입특성 및 탱크 내에서의 열수력 현상 변화를 상세하게 파악하였다.

본 시험결과는 일체형원자로의 정상운전 및 과도상태에서 나타나는 물리적 현상을 예측하는데 활용하는 수치해석 코드인 TASS/SMR-S 및 MARS-KS 등의 예측 능력 검증에도 사용될 수 있으며, 또한 SMART 원자로 설계의 건전성과 성능을 입증하는데 적용될 수 있다.

## 2. 시험장치 및 시험방법

### 2-1. 시험장치

SMART-ITL 시험장치의 구성은 설정된 압력 및 온도 조건에서 열을 발생하는 일차계통, 운전조건에

따라 일차측의 열을 적절하게 제거하는 이차계통, 원자로 정지 시 피동적인 자연순환을 이용하여 일차계통의 잔열을 제거하는 피동잔열제거계통(보충탱크 및 관련 배관 포함), 능동/피동안전주입계통, 파단 모의를 위한 파단모의계통 및 파단유량측정계통, 계통의 전반적인 운전 변수를 감시하고 자료를 수집하는 자료처리 및 보호 계통 및 그 밖에 계통에 공급되는 전기, 공기, 냉각수 등을 공급하는 보조계통으로 구성되어 있다. SMART-ITL 시험장치는 모의원전(SMART-330) 대비 길이비는 1/1이고, 면적비와 부피비는 1/49이며, 체적 척도법(Volume Scaling Methodology)에 따라 축소되었다. SMART-ITL 장치에 구축된 1 계열의 피동안전주입계통은 각 1 대의 CMT 와 SIT가 상부는 압력평형배관으로, 하부는 주입배관으로 서로 연결되어 있으며 압력평형배관의 끝단은 가압기와 원자로압력용기의 프랜지 하부에 주입배관의 끝단은 상부 강수부(UDC, Upper Downcomer)의 원자로냉각재펌프 높이와 동일한 안전주입 노즐에 연결되어 있다. CMT 원형에 대해 수직 길이는 동일하고 부피 축소비 1/49로 설계/제작되었다. CMT에 설치한 유동분사기의 형상 및 열전대 위치는 Fig. 2와 3에 나타내었다.

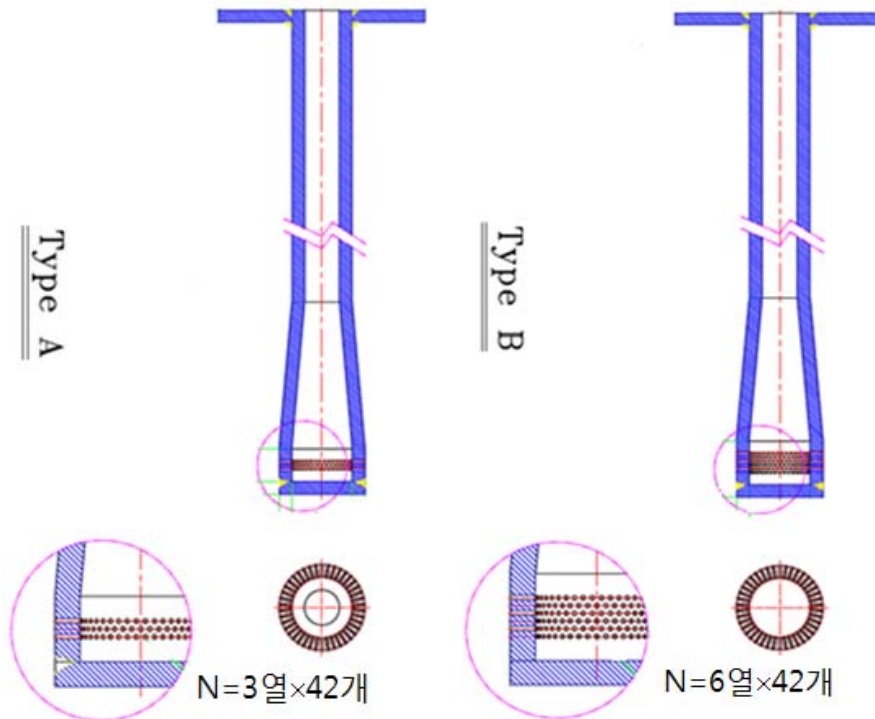


Fig. 2. Two Types of Flow Distributor

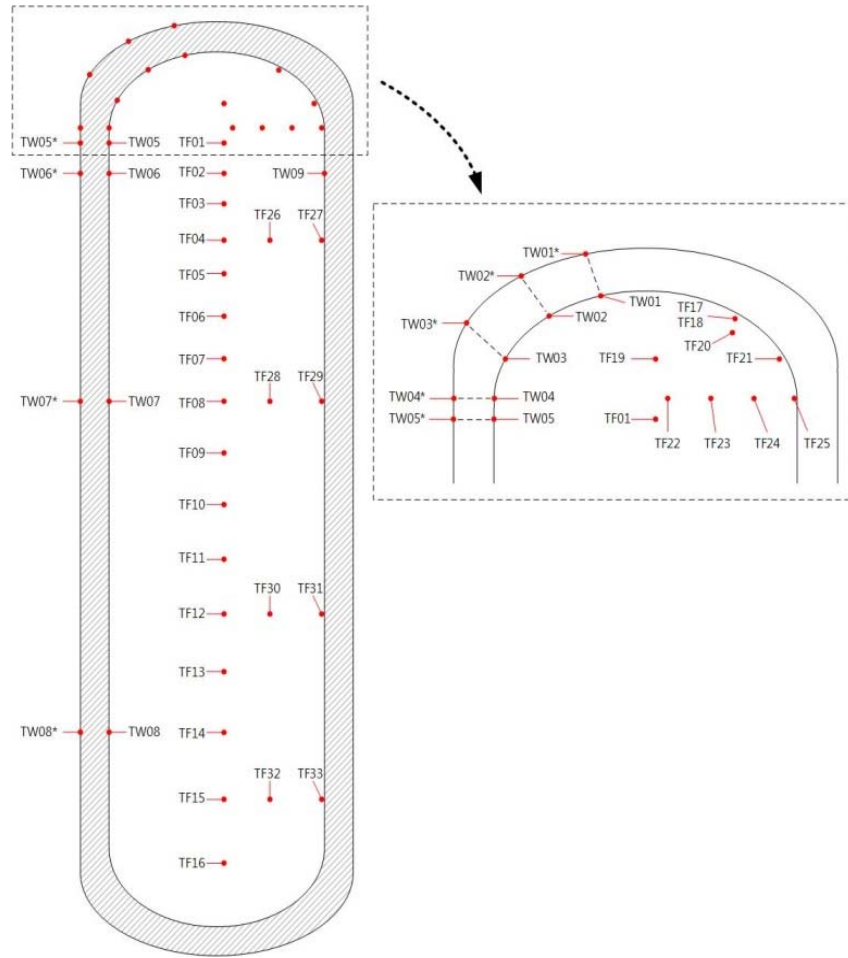


Fig. 3. Vertical Position of Thermocouple in the CMT

2-2. 유동분사기 성능 시험을 위한 소형파단냉각재상 실사고의 전개

유동분사기 성능시험을 위한 소형냉각재상실사고 모의실험의 사건경위(SOE)를 Table 1에 정리하였다. 정상상태 운전조건에서 안전주입계통 배관, 정지냉각계통 배관 및 가압기 안전밸브 배관 등에서 파단이 발생하면, 파단부를 통해 냉각재가 방출되면서 일차계통이 감압된다. 일차계통의 압력이 가압기 저압력(LPP, Low Pressurizer Pressure) 설정치에 도달하면 1.1 초 지연시간(이하 SMART 기준) 후에 원자로 정지신호(Trip Signal)가 발생된다. 원자로 정지신호에 의하여 터빈 정지 및 소외전원 상실이 일어난다고 가정하므로, 원자로 정지신호와 동시에 소외전원 상실이 발생되고, 원자로냉각재펌프는 관성서행을 시작하고, 노심보충탱크 작동신호(CMTAS)가 발생한다. 추가적인 0.5 초 지연시간 후에는 제어봉 삽입이 시작된다. LPP 설정치는 가혹조건인 10.26 MPa이다. 원자로정지설

정신호 발생 1.1 초(LPP + 2.2 초) 후에 1 계열의 노심보충탱크(CMT) 주입배관 격리밸브가 개방되어 CMT 주입을 시작한다. LPP가 발생한 이후 5.2 초 후에 급수 저유량에 의한 피동잔열제거계통작동신호가 발생하면, 증기발생기는 주증기 격리밸브 및 급수 격리밸브의 차단에 의해 터빈과 격리된다. 액체환산수위가 최저점에 도달하여 노심 노출이 일어날 수 있는 가능성이 존재하거나 혹은 안정적 주입단계에 도달했다고 판단되면 시험을 종료한다. 본 시험에서 사고의 전개는 CMT에 설치할 유동분사기 성능 시험의 경계조건으로써 부분적으로 활용하였기 때문에 참조원전인 SMART의 소형냉각재상실사고 전개와는 유사하지만 정확하게 일치하지는 않으며, 노심 잔열을 모의하지 않는 것과 피동 잔열제거계통이 작동하지 않는 것이 이에 해당한다. 시험에서는 1 대의 CMT만 주입되기 때문에 원자로냉각재 재고량은 전체 4 대의 CMT가 주입되는 양의 1/4이 된다. 이 때 잔열을 모의하게 되면

원자로냉각재계의 압력과 온도가 높게 유지될 가능성이 크다. 이로 인해 파단 유량은 커지게 되고 원자로냉각재계의 수위는 단 시간에 낮아져 노심 노출이 일어날 가능성이 크기 때문에 노심 잔열을 모의하지 않고 노심 히터의 출력을 차단하였다. 노심 잔열을 모의하지 않은 상황에서 피동잔열제거계를 작동하는 것은 원자로냉각재계의 열을 과도하게 제거할 원인을 제공할 것으로 판단하였기 때문에 피동잔열제거계의 작동을 모의하지 않았다.

**2-3. 시험조건 및 정상상태 운전**

유동분사기 성능시험을 위한 소형냉각재상실사고 모의실험은 각각의 조건(유동분사기 형태 A, B, 형에 대한 시험 2회)에 대해 총 2회 이루어졌으며, 본 시험에 앞서 CMT의 주입배관에서 중력 수두에 의해 형성

되는 차압과 유량을 설계값과 일치시키는 시험이 대기압, 상온에서 수행되었다. 주입배관에 오리피스를 설치하여 차압과 유량을 설계값에 유사하도록 하였으며, 이 실험을 Cold Test라 명명하였다.

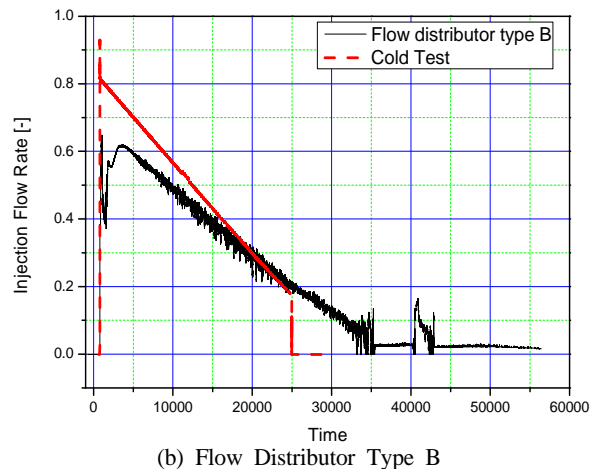
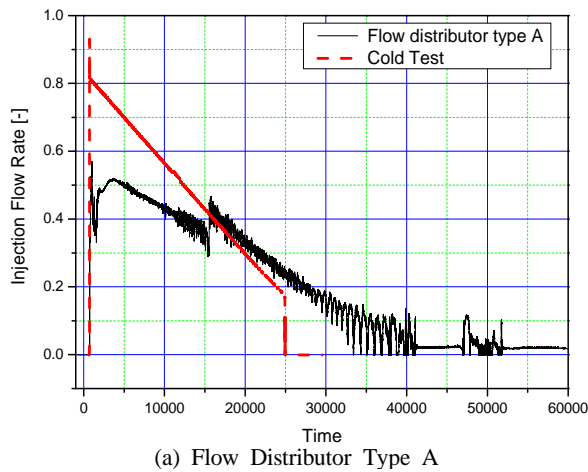
**3. 시험결과**

Fig. 4는 유동분사기 A, B type에 대한 CMT 주입 유량을 각각 표현한 것이다. A type에 대한 결과를 살펴보면, 713 초에 CMT 격리 밸브가 개방되어 1,000 초경에 최대 주입 유량이 형성되었다. 이 시점을 전후하여 주입 초기의 압력평형배관을 통해 유입되는 고온의 원자로냉각재는 CMT 상부 헤더에서 상대적으로 저온인 50 °C 물과 혼합되면서 증기 응축과 같은 상변화에 의한 압력 변동을 동반하는 다차원 열유동 현상을 일으키게 되고 이것은 주입 유량을 다소 불안정하게 만드는 원인을 제공한다. 3,750 초 이후부터 안정적 주입이 시작되고 있으며, 5,000 초 이후의 주입유량은 비교적 안정적이면서 Cold Test의 주입유량 곡선과 거의 일치하는 거동을 보여주고 있다. 초반부 주입 유량이 Cold Test보다 작았기 때문에 총 주입 시간은 Cold Test 보다 길어져 40,000 초 까지 주입이 이루어지고 있다. B type의 경우, 3,500 초를 기점으로 안정적 주입이 시작되고 있으며 초반부 주입 유량이 A type에 비해 많아, 총 주입은 A type보다 짧은 35,000 초 까지 이루어지고 있다.

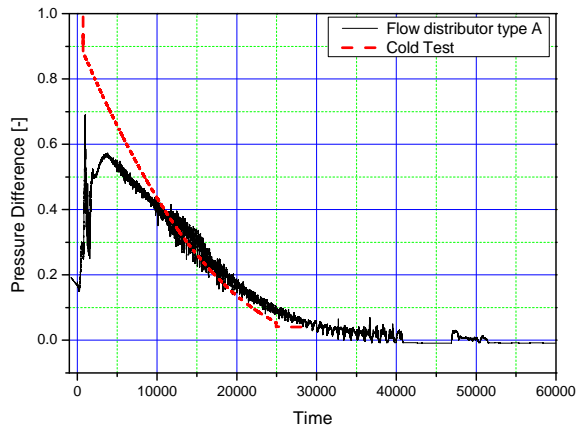
**Table 1.** Major sequence of SBLOCA simulation test

| No. | Event   | Trip Signal / Time Delay |
|-----|---|--------------------------|
| 1   | Break   | -                        |
| 2   | LPP set-point   | PZR Press = PLPP         |
| 3   | LPP reactor trip signal<br>- FW stop<br>- Pump coastdown<br>-CMT injection signal | LPP+1.1 s                |
| 4   | Control rod insert  | LPP+1.6 s                |
| 5   | CMT injection start   | LPP+2.2 s                |
| 6   | FIV close   | PRHRAS+5.0 s             |
| 7   | MSIV close  | PRHRAS+15.0 s            |

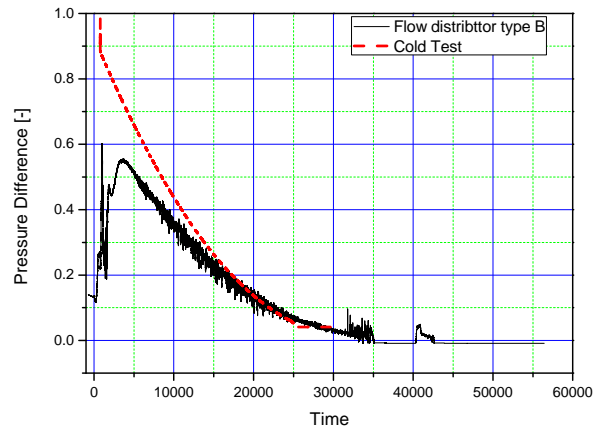
Fig. 5는 주입배관의 차압 분포로 이것은 주입유량과 유사한 정성적 거동을 보이고 있다. 물리적 관점에서 주입배관에서 형성되는 차압은 중력 수두에 의한



**Fig. 4.** Injection Flow Rate of the CMT

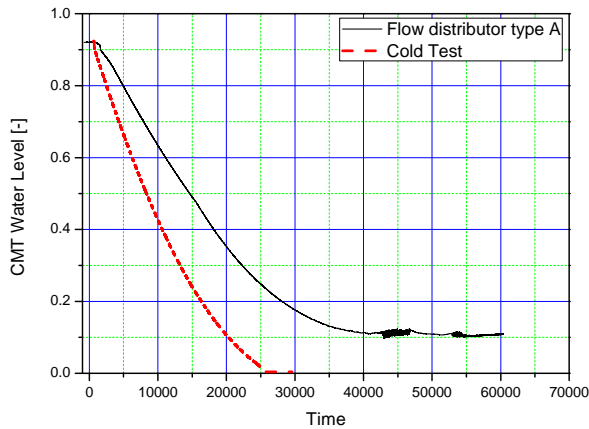


(a) Flow Distributor Type A

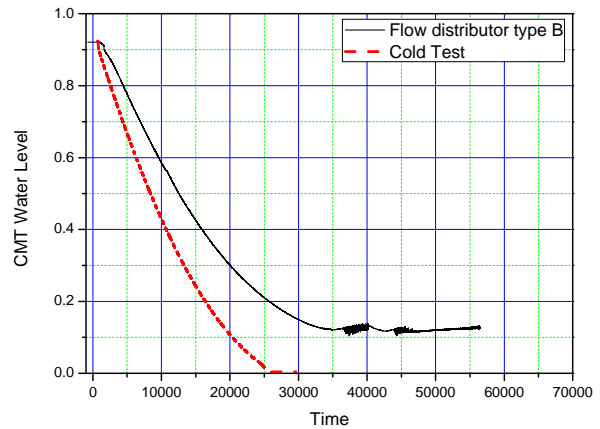


(b) Flow Distributor Type B

Fig. 5. Pressure Difference in the Injection Line

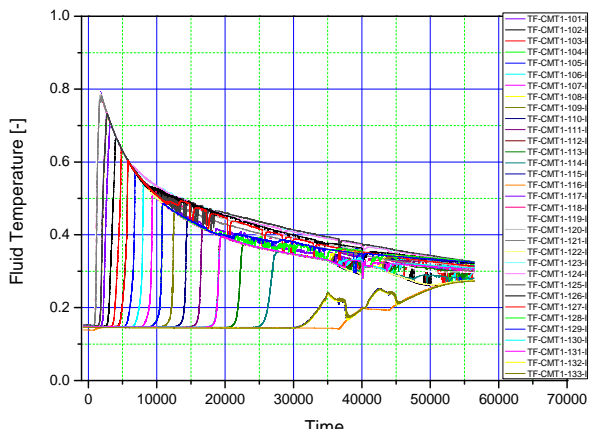


(a) Flow Distributor Type A

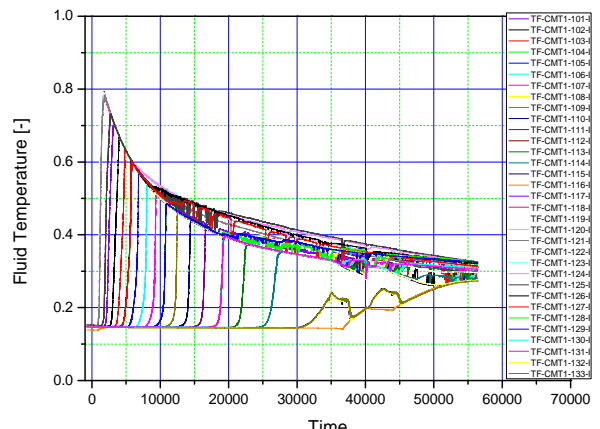


(b) Flow Distributor Type B

Fig. 6. Water Level of the CMT



(a) Flow Distributor Type A



(b) Flow Distributor Type B

Fig. 7. Fluid Temperature Distribution in the CMT

주입유량의 종속변수로 주입유량의 제공에 비례하므로 주입배관의 차압 분포는 정성적으로도 정량적으로

도 합당한 분포를 보이고 있다.

Fig. 6은 CMT의 수위 거동을 보여준다. 초기 주입

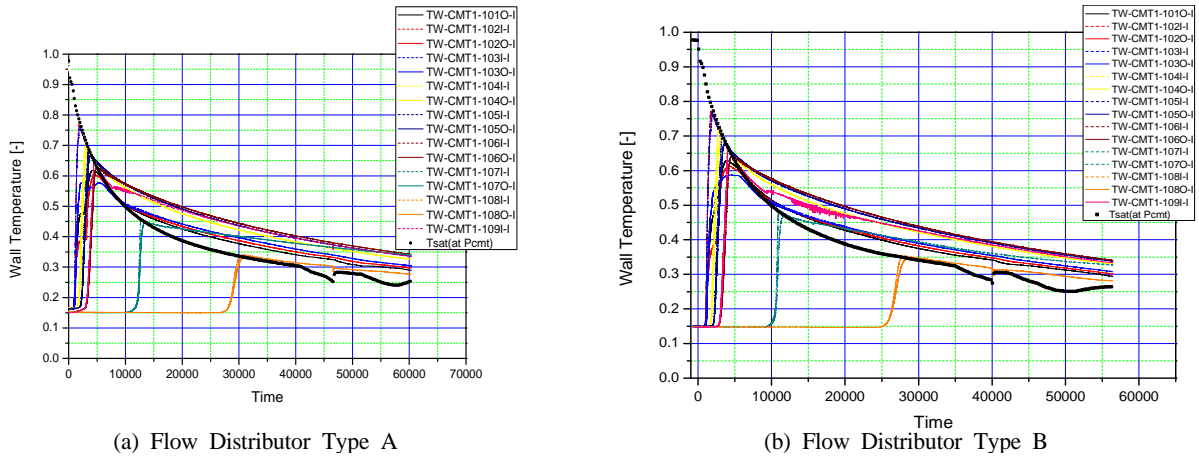


Fig. 8. Wall Temperature Distribution in the CMT

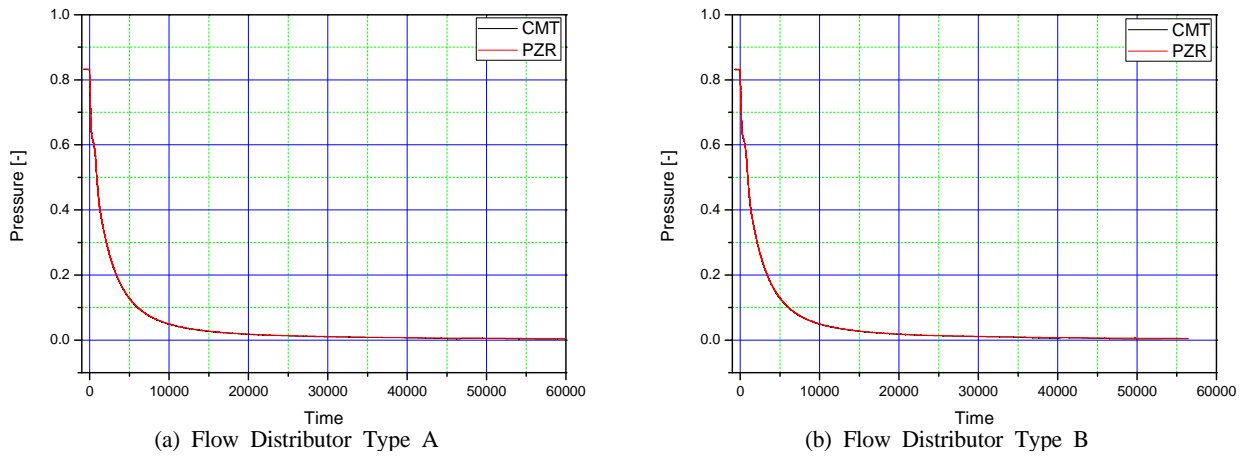


Fig. 9. Pressure of the PZR and CMT

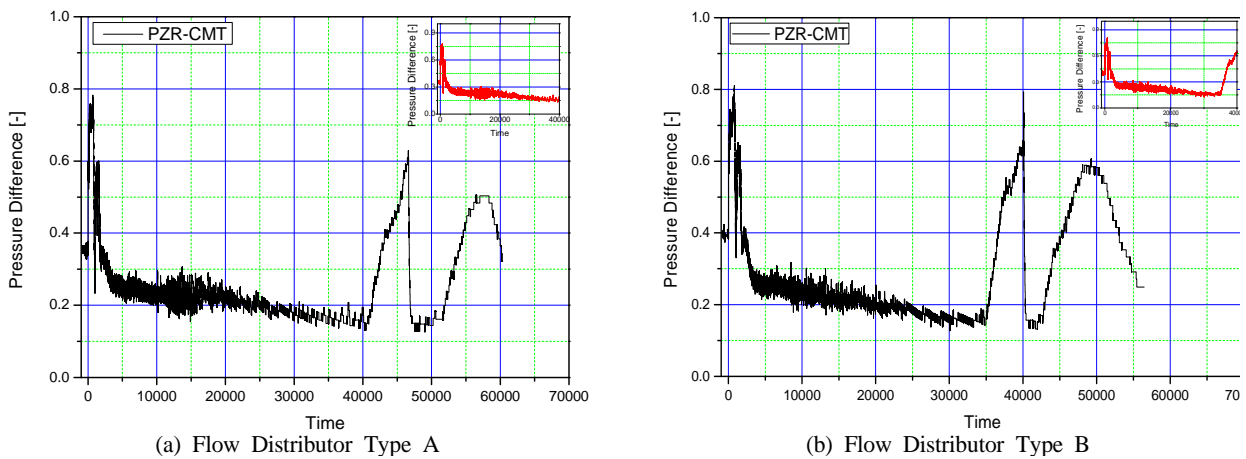


Fig. 10. Pressure Difference between the PZR and CMR

유량이 형성되는 과정에서 Cold Test에 비해 작은 유량을 보인 것이 원인이 되어 초기의 수위하강 거동은

Cold Test에 비해 더디게 진행되고 있으며 이 영향은 주입 후반부까지 지속되고 있다. 주입유량 차이로 인

해 B type의 수위감소 속도가 A type에 비해 빠른 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 CMT 내부의 온도분포이다. 주입초기의 유동 불안정구간을 거치면서 탱크 내부의 수위 표면에서 온도가 확연히 분리되는 열 성층화가 이루어지고 수위가 하강하는 정도에 따라 온도가 상승하고 있는 것을 확인할 수 있다. 수위가 낮아지면서 온도는 상승하고 있으며 이것은 달리 말하면, 탱크의 수위 표면이 열전대가 설치된 위치에 다다른 시간에 온도가 단계별로 상승하고 있음을 보여준다. 동일 열전대의 온도가 상승하는 시간은 B type 유동분사기를 사용한 시험조건에서 더 빠르며, 이는 수위하강 속도차이 때문에 나타난 결과이다. 수위표면의 온도는 거의 CMT 압력의 포화온도분포를 보이고 있으며, 이후에 수면이 열전대 위치를 지나면서 증기가 채워지게 되고 이때부터 온도는 과열증기 분포를 보이고 있다.

Fig. 8은 CMT 벽면 온도 분포를 나타낸 것이다. 벽면온도는 탱크 내 유체 온도 분포와 유사하게 진행되고 있다. 벽면 온도분포 역시 온도상승 구간을 지나 포화온도분포를 보이다가 이후에는 과열 온도분포로 변하는 것을 확인할 수 있다. TW 101~105(탱크 상부 dome부분에 위치, 자세한 위치는 Fig. 3 참조)는 5,000초 이내에 온도가 모두 상승하나, TW 108~109는 탱크 하부에 위치한 관계로 온도가 상승하는데 25,000초 이상의 시간이 소요된다.

Fig. 9는 원자로냉각재계통과 CMT의 압력분포이다. 전 구간에서 동일한 압력분포를 보이고 있다.

Fig. 10 은 원자로냉각재계통의 가압기 압력과 CMT 압력의 차이이다. 정상상태에서부터 가압기의 압력은 CMT 압력보다 다소 높게 분포한다. 파단이 일어나면서부터 압력 차이는 커졌다가 CMT가 작동을 개시하는 시점에서 차이가 확연히 줄어들게 되고 CMT 주입 유량이 최대치에 도달하는 1,000 초 정도에서 최소점에 도달한다. 이후 다시 커졌다가 2,000 초 경에 그 차이가 다시 줄어들기 시작한다. 1,000~2,000 초 사이에는 CMT 상부에서 발생하는 증기 응축으로 압력 감소가 예상되고 이로 인해 원자로냉각재 계통과 CMT의 압력 차이는 다소 커졌을 것으로 예상된다. 이후에 이러한 현상이 완화되면서 주입도 안정화 되어가는 것으로 판단된다. 이론적으로 식 (1)과 같이 가압기와 CMT 압력차이가  $\rho_{CMT} gH_{CMT}$ (=0.06 MPa)보다 작다면, 냉각수의 주입유량은 생성된다. 모든 시간영역에서 이론적인 주입유량 발생조건이 잘 형성됨을 확인

할 수 있다.

$$0 \leq V_{inj,CMT} \rightarrow P_{PZR} - P_{CMT} \leq \rho_{CMT} g H_{CMT} \quad (1)$$

## 4. 결론

노심보충탱크 상부에 설치되는 유동분사기 형상에 따른 냉각수 주입특성 및 탱크 내에서의 열수력 현상 변화를 파악하기 위한 안전주입배관 2인치 파단 소형 냉각재상실사고(SBLOCA) 모의시험이 수행되었다. 두 가지 형상의 유동분사기를 설치하고 수행한 각각의 시험은 거의 유사한 초기 및 경계조건에서 수행되었으며, 이로 인해 반복시험에 대한 재현성이 충족되었다고 판단된다.

시험결과는 유동분사기의 종류(본 시험에서는 구멍의 개수에 해당)에 관계없이 유사한 열수력학적 거동을 보였으며, 초기 주입유량 관점에서는 구멍의 개수가 2배인 B형이 A형에 비해 좀 더 우수한 주입 성능을 보였다. CMT와 가압기의 압력차이는 전 시험영역에서 냉각수 주입이 이루어지기 위한 이론적인 범위 내로 잘 유지되었다. CMT 격리 밸브가 개방된 후 압력평형배관을 통해 유입되는 고온의 원자로냉각재는 CMT 상부 헤더에서 상대적으로 저온인 50 °C 물과 혼합되면서 증기 응축과 같은 상변화에 의한 압력 변동을 동반하는 다차원 열유동 현상을 일으키게 된다. 이로 인해 초반부 CMT 주입 유량은 Cold Test 조건에서 보다는 작게 되고, 일정시간 경과 후에는 유사한 주입유량 특성을 보였다.

## 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP). (No. 2016M2C6A1004894)

## References

1. Zee, S. K., Design Report for SMART Reactor System Development, KAERI/TR-2846/2007, KAERI, Taejon, 2007.
2. Kim, S. H., Kim, K. K., Yeo, J. W., Chang, M.



- H., Zee, S. Q., 2002, "Design Development and Verification of a System Integrated Modular PWR," in: Proceedings of 4th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, Croatia, June.
3. Kim, K. K., Lee, W. J., Choi, S., Kim, H. R., Ha, J. J., 2014, "The First Licensed Advanced Integral Reactor," *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 8, pp. 94~102.
  4. Vikas, A. K., Nayak, M., DHIMAN, P. P., KULKARNI, P. K., VIJAYAN, K. K., 2013, "Role of Passive Safety Features in Prevention and Mitigation of Severe Plant Conditions in Indian Advanced Heavy Water Reactor," *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 45, pp. 625~636.
  5. Yi, S. J., Park, H. S., Song, C. H., 2016, "PX - An Innovative Safety Concept for an Unmanned Reactor," *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 48, pp. 268~273.
  6. Subhash C. C., 2015, "Safety aspects of intermediate heat transport and decay heat removal systems of sodium-cooled fast reactors," Vol. 47, pp. 260~266.
  7. Tuunanen, J., Vihavainen, J., D'Auria, F., Kimber, G., 1999, Assessment of Passive Safety Injection Systems of ALWRs, Final report of the European Commission 4 th Framework Programme.
  8. Tuunanen, J., Riikonen, V., Kouhia, J., Vihavainen, J., 1998, "Analyses of PACTEL Passive Safety Injection Experiments GDE-21 through GDE-25," *Nucl. Eng. Des.*, Vol. 180, pp. 67~91.
  9. Zejun, X., Wenbin, Z., Hua, Z., Bingde, C., Guifang, Z., Dounan, J., 2003, "Experimental Research Progress on Passive Safety Systems of Chinese Advanced PWR," *Nucl. Eng. Des.*, Vol. 225, pp. 305~313.
  10. Sibamoto, Y., 2006, Summary on Natural Circulation Phenomena Observed in ROSA-AP600 Test, IAEA-TECDOC-1677, pp. 286~298.
  11. Bae, H., Kim, D. E., Ryu, S. U., Shin, Y. C., Ko, Y. J., Yi, S. J., Park, H. S., Cho, Y. S., Suh, J. S., 2014, "An SBLOCA Test of Safety Injection Line Break with the SMART-ITL Facility and its MARS-KS Code Simulation," ICAPP 2014 Charlotte, USA, April 6-9.
  12. Park, H. S., Yi, S. J., Song, C. H., 2013, "SMR Accident Simulation in Experimental Test Loop," *Nuclear Engineering International*, pp. 12~15.