

소규모 사이펀 차단기에 대한 실험적 연구

지대윤, 김성훈, 이권영*
한동대학교 기계제어공학부

Experimental investigation on small scale siphon breaker

Dae-Yun Ji, Sung hoon Kim, Kwon-Yeong Lee*

School of Mechanical and Control Engineering, Handong Global University

요약 본 연구는 Siphon Breaker Simulation Program(SBSP)을 이용하여 소규모 사이펀 차단기 실험장치를 설계 및 제작하고, 실험 수행 후 그 결과를 이용하여 다양한 규모의 사이펀 차단기에 대한 SBSP의 적용 가능성을 평가하기 위해 진행되었다. 실험장치 설계를 위하여 C factor와 Chisholm B 계수, Undershooting Height(UH)에 대한 시뮬레이션 결과값을 SBSP로 도출하였다. 실험장치의 주요파트는 upper tank, lower tank, downcomer, Siphon Breaker Line(SBL) 등이며, upper tank는 넓이 0.09-m², 높이 0.65-m의 크기로 제작되었고, downcomer 높이는 1.6-m로 제작되었다. 실험결과 분석을 위하여 압력계, 차압계, 전자저울이 사용되어 압력과 차압, 유량에 대한 정보를 도출하였다. 실험에서 사용된 실험변수는 Loss Of Coolant Accident(LOCA) 크기와 SBL 크기이며, LOCA는 30-mm와 38-mm에 대해서, SBL은 6/16-inch와 8/16-inch에 대해서 실험이 진행되었다. 실험의 결과로 유량과 압력, 그리고 UH를 도출하였으며, 실험결과를 SBSP의 시뮬레이션 결과와 비교, 분석하였다. UH 측면에서 SBSP가 수조의 총 높이 대비 2.5 %의 오차로 실험결과를 잘 예측하는 것을 관찰하였다. 그러므로 SBSP를 이용한 다양한 규모의 사이펀 차단기 설계가 가능한 것을 확인하였다.

Abstract In this study, a small-scale siphon breaker experimental facility was designed to examine the validity of the Siphon Breaker Simulation Program (SBSP). To design the experimental facility, the simulation results of the C factor, Chisholm B coefficient, and Undershooting Height (UH) were obtained by SBSP. The major parts of the experimental facility were the upper tank, lower tank, downcomer, and Siphon Breaker Line (SBL). The area of the Upper tank was 0.09-m² with a height of 0.65-m. The height of the downcomer was 1.6-m. Pressure transmitters and an electronic scale were used to obtain the experimental results. The experimental variables were the sizes of Loss of Coolant Accident (LOCA) and SBL. The experimental results were analyzed by UH. The SBSP well predicted the UH with an error of 2.5%. Overall, it is possible to design siphon breakers with various scales using SBSP.

Keywords : Research reactor, primary cooling system, siphon phenomenon, siphon breaker, two phase flow

1. 서론

최근에는 요르단에 수출된 5-MW급 연구용 원자로 Jordan Research and Training Reactor(JRTR)처럼 관형 핵연료를 사용하는 연구용 원자로가 많이 건설되고 있다. 관형핵연료의 체결하는 방법을 용이하게 하기 위해 서, 원자로는 노심하향유동으로 설계된다. 이러한 연구

용 원자로는 일차냉각계통펌프의 유효흡입수두를 고려해야 하기 때문에, 펌프 등의 장비들이 노심보다 낮은 높이에 위치하여야 한다. 따라서 만약 일차계통배관에 배관 파단이 발생된다면, 원자로 수조 내에 있는 냉각수가 사이펀 현상으로 인해 누수 되고 수조 내 수위는 노심보다 낮아지게 된다. 수조 내의 냉각수는 노심의 핵연료를 냉각하는 역할로 연구용 원자로 안전의 핵심이다. 이러

본 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(no. NRF-2016M2B2A9911771).

*Corresponding Author : Kwon-Yeong Lee(Handong Global Univ.)

Tel: +82-54-260-1176 email: kylee@handong.edu

Received March 7, 2018

Accepted May 4, 2018

Revised (1st March 27, 2018, 2nd April 6, 2018)

Published May 31, 2018

한 냉각수가 누수 되면 핵연료에서 발생하는 잔열을 제거하지 못하게 되고, 그 결과 중대사고로 이어질 위험이 있다. 사이펀 현상으로 인한 냉각재상실사고(Loss Of Coolant Accident, LOCA)를 막기 위해서는 공기 유입을 통해 사이펀 현상을 막는 사이펀 차단기가 효과적인 역할을 할 수 있다고 보고되었다 [1].

사이펀 차단기는 수조 내 냉각수의 수위가 Siphon Breaker Line(SBL)의 끝 단 위치보다 낮아지게 되면 배관에 공기가 유입되어 작동된다. 냉각수의 수위가 더 낮아지면 물의 유량이 줄어들면서 공기가 물의 흐름을 차단시키는 사이펀 차단 현상이 일어난다. 이에 따라 LOCA를 완화하여 중대사고를 예방할 수 있다.

연구용 원자로와 관련하여 사이펀 차단기를 통해 안정성 향상을 도모하는 연구가 진행되어 왔다. Neill and Stephen(1993)은 4-inch 주 배관을 가진 높이 16-m의 실험장치를 설계하였다. 위의 실험장치는 SBL 라인과 upper tank의 수조 배수구 부분에 오리피스를 설치하여 압력과 유량을 조절하였다. 실험의 결과로 air sweep-out mode를 확인하였으며, 유동 형태에 따라 zero, partial, full sweep-out mode로 구분하였다 [2]. Kang et al. (2013)은 실규모의 연구용 원자로와 같은 규모인 주 배관 직경 16-inch와 실험장치의 전체 높이 16-m를 갖는 대형 실험장치를 제작하였고, LOCA 크기, LOCA 높이, SBL 크기를 변경해 가며 사이펀 차단기 실증실험을 진행하였다 [3]. Lee and Kim(2016, 2017)은 사이펀 차단 현상에 대한 이론적 분석을 통해 Chisholm model을 이용한 이론 모델을 개발하였으며, Kang et al. (2013)의 실규모 연구용 원자로 사이펀 차단기 실험 데이터를 이용하여 사이펀 차단기 시뮬레이션 프로그램(Siphon Breaker Simulation Program, SBSP)을 개발했다 [4, 5]. SBSP는 베르누이 방정식으로부터 유속과 유량을 도출하여 수위, Unersooting Height(UH), 압력 등의 결과를 연산하여 사이펀 차단 현상을 예측할 수 있는 소프트웨어이다 [6].

Table 1은 참고문헌들의 주 배관의 직경 대비 실험장치의 높이를 정리한 표이다. SBSP가 JRTR 설계를 바탕으로 한 Kang et al. (2013)의 실험 데이터를 활용하여 개발되었고, 그 실험 결과를 잘 예측할 수 있음을 확인하였다 [4-6]. 그런데 현재 부산 기장군에 건설하기 위해 설계 중인 15-MW급 기장 연구로(KiJang Research Reactor, KJRR)의 경우 주 배관 직경이 20-inch이다. 이

처럼 대형 연구용 원자로에 적용되는 사이펀 차단기를 설계할 시 SBSP를 이용할 수 있을지에 대한 검토는 더 필요한 실정이다. 그러나 실제적으로 대형 연구용 원자로 사이펀 차단기를 고려하여 새로운 실규모 실험장치를 설계 및 제작하고 실험을 수행하는 것은 어렵다. 이에 오히려 소규모 연구용 원자로 사이펀 차단기 연구를 통해 SBSP의 다양한 규모 사이펀 차단기에 대한 일반적인 성능 예측 능력을 평가하고자 하였다. 더불어, 연구용 원자로의 냉각재정화계통이나 고온층계통에서는 2-inch 내외의 배관이 많이 사용되는데, 이러한 소형 배관이 파단되는 사고를 고려한 소규모 사이펀 차단기 설계에 활용하고자 하였다. 그러므로 본 연구는 SBSP를 활용하여 실규모 연구용 원자로를 1/8로 축소한 주 배관 직경 2-inch, 실험장치의 높이 약 2.5-m를 갖는 소규모 사이펀 차단기를 설계 및 제작한 후, 실험을 통해 SBSP가 다양한 규모의 사이펀 차단기 성능을 바르게 예측할 수 있는지를 검토하기 위하여 진행되었다.

Table 1. Research range according to the main pipe diameter and the height of experimental facility

Research	Main pipe diameter	Height of experimental facility
D. T. Neill, A. G. Stephens [2]	4-inch	16-m
Kang et al. [3]	16-inch	16-m
This research	2-inch	2.5-m

2. 본 론

2.1 이론적 분석

Fig. 1은 실험장치의 개념도이고, 그림 내의 숫자는 위치를 의미한다. 지점 #0는 SBL 끝단의 위치이고, 지점 #1은 upper tank 내 수위이며, 지점 #2는 SBL과 주 배관인 일차계통 배관이 연결되는 부분이고, 마지막으로 지점 #3은 LOCA의 위치이다. tank는 총 2개로 upper tank와 lower tank가 있으며 위에 있는 upper tank에서 사이펀 효과로 인하여 배수된 물은 하단의 lower tank에 축적된다.

연구용 원자로의 설계 조건에 따라 사이펀 차단 현상

을 예측할 수 있도록 개발된 SBSP는 참고문헌 [7]의 실험 규모의 실험장치에서 획득된 실험 데이터를 바탕으로 만들어졌다 [4]. SBSP가 다양한 규모에서 사이펀 차단기 성능을 예측할 수 있는지 검토하기 위해 참고문헌 [7]에서 도출된 Chisholm B 계수와 C factor의 결과범위를 중심으로 소규모 실험 장치를 설계하여 그 결과를 검토해 볼 필요가 있다.

사이펀 차단 현상에서 가장 중요하게 고려되어야 할 영역은 지점 #2와 #3 사이의 이상유동 구간이다. Lee and Kim(2016)은 이 부분을 해석하기 위해 Eq.(1)의 Chisholm model을 활용하였으며, Eq.(2)의 Chisholm B 계수와 C factor와의 상관관계를 제안하였다 [4]. 따라서 실험장치를 설계하는데 있어서 가장 고려되는 변수는 C factor와 Chisholm B 계수이고, 그 결과물은 UH이다. Eq.(1)에서 사용된 ρ_{water} 와 ρ_{air} 는 각각 물과 공기의 밀도이며, X는 공기의 void quality이다. Eq.(3)의 C factor는 공기의 유동과 물의 질량유동특성을 반영하여 Chisholm B 계수를 추론하기 위해 고안된 값이며, 물의 질량 유량은 공기의 유량에 1/2 승의 관계가 있음을 나타낸다. Chisholm B 계수 관계식은 C factor를 통하여 이상유동을 해석하기 위한 관계식으로 SBSP를 검증하기 위한 변수이다 [4]. UH는 Eq.(4)로 나타낼 수 있으며, Fig. 1에서 지점 #0과 지점 #1의 사이의 높이 차로 사이펀 차단 이후로 얼마나 수위가 낮아졌는지 평가하는 지표이다. 그러므로 UH는 사이펀 차단기의 성능을 직접적으로 나타내는 변수로 본 연구에서는 UH를 중심으로 실험결과를 도출한다.

$$\phi^2 \equiv 1 + \left(\frac{\rho_{water}}{\rho_{air}} - 1 \right) (B \times X(1 - X) + X^2) \quad \text{Eq.(1)}$$

$$B = 1.4618 \times 10^{-10} C^2 - 2.7856 \times 10^{-5} C + 1.8316 \quad \text{Eq.(2)}$$

$$C \text{ factor} = \frac{\text{Watermass flux}}{\sqrt{\text{Air flow rate}} \sqrt{\rho_{air}}} \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\text{Undershooting Height (UH)} = \text{waterlevel} - Z_0 \quad \text{Eq.(4)}$$

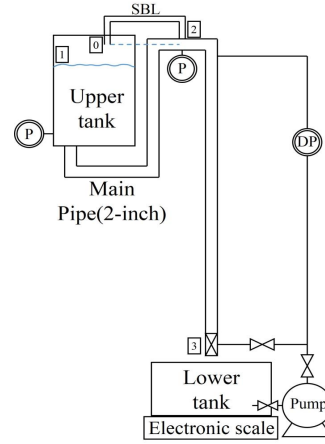


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental facility

2.2 SBSP 시뮬레이션 결과

실험 장치의 소형화를 위해 실험 결과에 영향을 미치는 주 배관 크기, SBL 크기, 수조 면적, LOCA 크기, LOCA 위치 등 5개의 주요 변수들에 대해 SBSP 개발에 사용된 참고문헌[7]의 실험장치를 1/8 비율로 축소하여 기준값으로 설정하였다. 그 기준값을 중심으로 소규모 사이펀 차단기 설계를 위하여 평가한 여러 시뮬레이션 값들이 Table 2에 정리되어 있다. 여러 시뮬레이션 조건에 따른 C factor, Chisholm B 계수와 UH의 변화를 중점적으로 관찰하였다.

우선 주 배관의 크기는 1-inch, 1.5-inch와 2-inch에 대해, SBL의 크기는 3/16-inch, 4/16-inch, 6/16-inch, 8/16-inch에 대하여 C factor와 Chisholm B 계수, UH 측면에서 시뮬레이션 결과를 확인하였다.

Fig. 2는 주 배관의 크기와 SBL의 크기에 따른 UH의 변화를 보여준다. 그래프를 보면 주 배관이 넓어질수록, SBL이 좁아질수록 UH가 커지는 것을 알 수 있다. 또한 SBL이 4/16-inch일 때 각각 주 배관에서의 UH는 140-mm, 54-mm, 13-mm인데 반해, 8/16-inch일 때는 26-mm, 7.4-mm, 1.3-mm의 결과를 보여 주 배관이 클수록 UH의 차이가 더욱 뚜렷해지는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 주 배관은 실제 실험을 진행하였을 때 UH의 변화를 뚜렷하게 측정할 수 있는 2-inch로 확정하였다.

Fig. 3은 주 배관의 크기가 2-inch일 때 SBL의 크기에 따른 C factor와 Chisholm B 계수의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 3에 검은색 사각형으로 표시된 영역은 SBSP의 기반이 된 참고문헌[7]에서 진행된 실험의 C

factor와 Chisholm B 계수 영역이다. 4개의 SBL의 크기 중 8/16-inch와 6/16-inch는 참고문헌[7]과 인접한 범위를 갖는다. 반면에, SBL 4/16-inch, 3/16-inch에 대한 실험은 참고문헌[7]의 실험범위를 넘어선 결과를 보인다. 그러므로 SBL의 크기는 참고문헌[7]의 설계 범위와 인접하여 있는 8/16-inch와 6/16-inch를 실험 변수로 설정하였다.

Fig. 4는 수조 면적에 대한 UH의 변화를 보여준다. 수조 면적의 크기가 0.09-m² 보다 작아지게 되면 UH 값이 급격하게 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 UH의 변화의 폭이 작으면서 불필요하게 큰 면적을 갖지 않는 0.09-m²을 수조 면적으로 설정하였다. 수조 면적에 대해서는 C factor와 Chisholm B 계수에 대한 평가를 진행하지 않았는데 그 이유는 C factor와 Chisholm B 계수는 물의 유동과 관련된 변수이기에 수조 면적이 영향을 미치지 않기 때문이다.

Fig. 5는 SBL 8/16-inch일 때 LOCA의 크기에 따른 C factor와 Chisholm B 계수의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 LOCA 크기에 따른 C factor와 Chisholm B 계수의 변화를 살펴보면, LOCA 크기가 증가함에 따라 C factor와 Chisholm B 계수가 작아지는 것을 확인할 수 있다. SBL 크기와 마찬가지로 참고문헌[7]의 설계 범위와 인접하여 있는 38-mm와 30-mm를 실험 변수로 설정하였다.

LOCA 위치에 대해서는 1-m, 1.3-m, 1.6-m일 때 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과로 UH는 각각 140-mm, 144-mm, 147-mm로 차이가 높지 않게 되었기 때문에 1.6-m만을 실험 변수로 설정하였다.

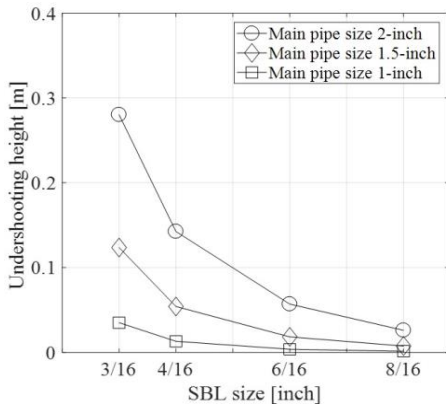


Fig. 2. UH results according to SBL sizes and main pipe sizes

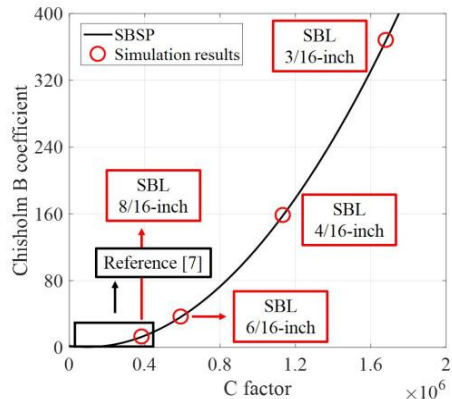


Fig. 3. Simulation results of C factor-Chisholm B coefficient according to SBL sizes

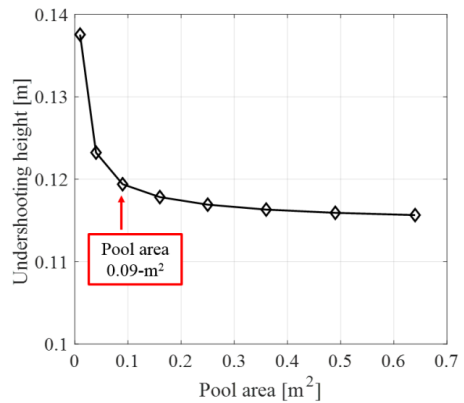


Fig. 4. Simulation results of UH according to the pool area

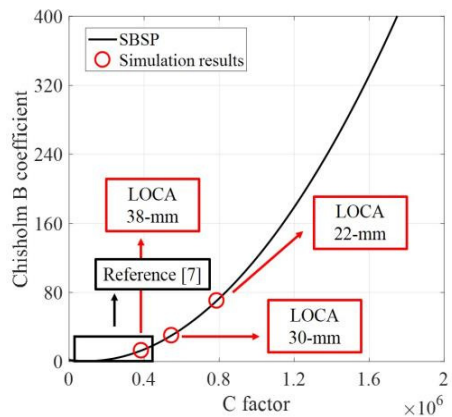


Fig. 5. Simulation results of C factor-Chisholm B coefficient according to LOCA sizes

Table 2. Standard and simulation values of variables

Variables	Reference values	Simulation values
Main pipe size [inch]	2	1, 1.5, 2
SBL size [inch]	4/16	3/16, 4/16, 6/16, 8/16
Pool Area [m ²]	0.25	0.01, 0.04, 0.09, 0.16, 0.25, 0.36, 0.49, 0.64
LOCA size [mm]	38	22, 30, 38
LOCA position [m]	1.6	1, 1.3, 1.6

2.3 실험장치 제작 및 실험방법

2.3.1 실험장치 제작

Fig. 6은 설정된 설계값을 토대로 3D 모델링 한 결과를 보여준다. 실험장치의 지지대를 포함한 최대 높이는 약 2.5-m이며, lower tank를 제외한 높이는 1.8-m이다. 실험 시에 배수되는 물을 축적하기 위해 사용되는 lower tank의 높이는 0.7-m이다. 설계도에 P로 표기되어 있는 것은 압력계이며 DP는 차압계를 나타낸다.

Fig. 7은 제작이 완료된 실험 장치의 모습이다. upper tank와 주 배관, SBL 등의 유체 통로는 스테인리스 스틸로 제작하였으며 lower tank는 아크릴로 제작하였다. 압력계와 차압계, 그리고 전자저울로부터 신호를 실시간으로 Data Aquisition System(DAS)를 통하여 전달받아 데이터를 저장하고 분석할 수 있으며, upper tank 내면에는 부작형 출자를 설치하여 UH를 측정할 수 있다.

전자저울은 lower tank 아래에 설치되어 있으며 0.5 초의 간격으로 데이터를 수집하고, 최소단위 2-g의 정확도를 가지고 있다. 유량계가 아닌 전자 저울을 사용한 이유는 소형화된 실험 장치에서는 유량을 측정하기 위해 터빈 유량계 등을 설치할 경우 터빈 유량계에 대한 압력강하 계수를 정확히 구해야하는 등의 실험상 한계가 있기 때문이다. 따라서 전자저울을 설치하고 실험 시간과 무게 변화를 kg/s의 단위로 환산하여 유량을 측정한다.

압력계는 ± 0.25 %의 오차 범위를 가지며, 0 ~ 2-bar 까지 측정할 수 있는 절대 압력계로 upper tank 밑바닥의 압력과 주 배관과 SBL이 연결되는 지점 #2의 압력을 측정한다. 차압계는 ± 0.3 %의 오차를 가지며, 0 ~ 0.2-bar의 범위를 측정할 수 있다. 차압계는 지점 #2와 지점 #3 사이의 이상유동 구간의 차압을 측정할 수 있도록 설치되었다.

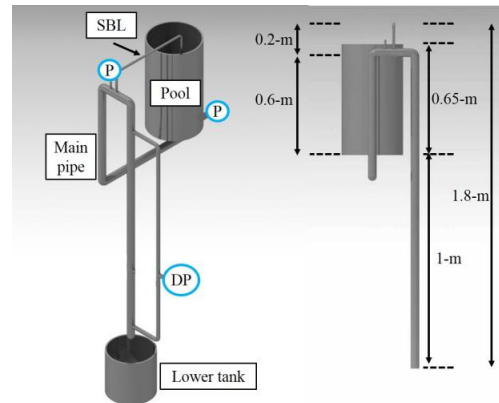


Fig. 6. 3D diagram of the experimental facility

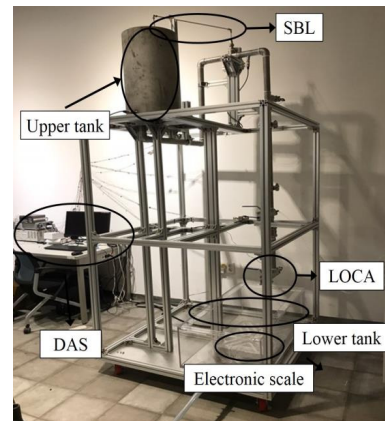


Fig. 7. Siphon breaker experimental facility

2.3.2 실험방법

본 실험에서 주요 변수는 SBL과 LOCA의 크기이다. SBL은 6/16, 8/16-inch 크기를 변수로 하였으며, LOCA는 30, 38-mm를 변수로 지정하여 총 4개의 실험 case로 실험이 진행되었다. test matrix에 대한 표와 그 실험값에 대한 명명법이 Table 3에 나타나 있다. Table 3의 명명법에서 L은 LOCA를 의미하고, S는 SBL을 의미한다.

실험순서는 먼저 센서가 정상적으로 작동하는지 DAS를 통하여 확인한다. 다음으로, 실험 변수인 SBL 크기와 LOCA 크기를 설정한다. 그 후에, lower tank에 급수를 시작하여 주 배관과 SBL 내부에 있는 공기를 제거하면서 물을 채운다. 마지막으로, upper tank에 물이 가득 채운 뒤 지점 #3의 밸브를 열어 실험을 진행한다. 물의 유동이 멈출 시 데이터를 저장하고 upper tank의 UH를 측정한다.

Table 3. Test matrix and notation of test variables

	SBL size	
	6/16-inch	8/16-inch
LOCA size 30-mm	L30S6/16	L30S8/16
LOCA size 38-mm	L38S6/16	L38S8/16

2.4 실험 결과 및 토의

2.4.1 압력손실 계수 도출

사이편 차단기 실험을 진행하기 전, 사이편 실험을 먼저 진행하여 압력손실계수 K_{12} , K_{23} 값을 확인하였다. 위의 두 압력손실 계수는 시뮬레이션 및 실험을 진행을 하는 데에 있어서, C factor와 Chisholm B 계수의 값을 도출하는데 사용된다. 압력손실 계수는 베르누이 방정식을 변형하여 구할 수 있다. K_{12} 을 구하는 식은 Eq.(5)가 사용된다. P는 압력을 뜻하며, V는 물의 유량을 의미한다. 하첨자 atm은 대기압을 의미하며, 2는 Fig. 1의 지점 #2를 의미한다. K_{23} 을 구하는 관계식은 Eq.(6)이며 ρ 는 밀도를 의미하고, g는 중력가속도, Z는 위치를 의미한다.

$$K_{12} = \frac{2(P_{atm} - P_2)}{\rho V^2} - 1 \quad \text{Eq.(5)}$$

$$K_{23} = \frac{2}{V^2} \left[\frac{P_2 - P_{atm}}{\rho} + g(Z_2 - Z_3) \right] - 1 \quad \text{Eq.(6)}$$

압력손실 계수 구하기 위한 실험과정은 다음과 같다. 공기가 유입되어 사이편 차단 현상이 일어나지 못하도록 하기 위해 SBL을 제거한 뒤 주 배관에서 SBL을 설치하는 부분에 캡을 씌운다. 이후 LOCA로부터 물을 주입하여 upper tank의 수위를 0.65-m까지 채운다. 그리고 LOCA 밸브를 개방하여 물을 배출시키는데, 이 과정에서 DAS에 기록된 압력을 통해 압력, 유량 데이터를 저장하여 압력계수를 도출한다. 도출된 압력계수는 Table 4와 같다.

Table 4. Results of the pressure loss coefficient

	K12	K23
LOCA size 30-mm	10.61	4.645
LOCA size 38-mm		3.251

2.4.2 실험결과

Fig. 8과 9는 전체 실험 케이스에 대해 각각 유량과 지점 #2에서의 압력값을 보여준다. 사이편 차단 완료까지의 시간은 SBL 6/16-inch에서는 약 12초, SBL 8/16-inch에서는 약 9초 정도로 SBL 8/16-inch일 때의 실험이 약 3초 짧았는데, 그 이유는 SBL 8/16-inch일 때 SBL을 통하여 유입되는 공기량이 더 많아 사이편 현상이 빠르게 차단되기 때문이다. 더불어, 실험 초기에 LOCA 38-mm에서 측정되는 유량값이 더 큰 것을 Fig. 8을 통해 관찰할 수 있다.

추가적으로, LOCA 30-mm일 때 실험결과를 시뮬레이션으로 도출한 유량과 지점 #2의 압력 결과와 비교한 각각 그래프가 Fig. 10과 Fig. 11에 나타나 있다. Fig. 10을 살펴보면, 사이편 차단이 이루어지는 시간이 SBL 8/16-inch에 대해서는 정확하게 이루어졌고, SBL 6/16-inch에서는 약 2초 정도의 오차가 있는 것으로 관찰되었다. 사이편 차단이 10초 내외의 짧은 시간 안에 이루어지는 것을 감안하면 SBSP가 사이편 차단에 대해 비교적 잘 예측하는 것으로 볼 수 있다. 또한, Fig. 11의 지점 #2 압력값을 비교해보면 그 경향이 유사하게 일치하는 것을 볼 수 있다.

사이편 차단기의 성능 지표인 UH 결과를 시뮬레이션과 실험결과 간에 비교한 표가 Table 5에 나타나 있다. Table 5에서 Sim.은 시뮬레이션을 뜻한다. UH에 대한 실험결과는 출자와 압력센서로 측정할 수 있으며, 그 두 결과간의 차이는 평균 약 4%의 오차를 갖는 것으로 확인되었다. 그러므로 실험값으로 측정된 UH의 결과는 타당하다고 볼 수 있다. 실험 UH값과 시뮬레이션 UH값 간에는 평균적으로 16-mm의 오차가 있는 것을 관찰하였으며, 이는 수조의 총 높이가 650-mm인 것을 감안하면 약 2.5%의 오차를 가지므로 UH를 잘 예측한다고 볼 수 있다. 그러므로 실규모 사이편 차단기의 실험 결과를 잘 예측하였던 SBSP가 소규모 사이편 차단기의 실험 결과 또한 잘 예측하므로, SBSP는 다양한 규모의 사이편 차단기에 대한 성능을 잘 예측하는 것으로 판단할 수 있다.

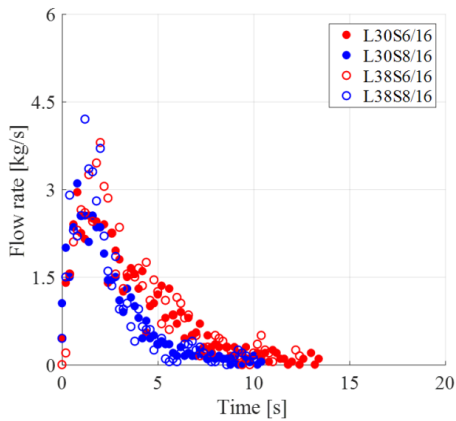


Fig. 8. The experimental results of the flow rate

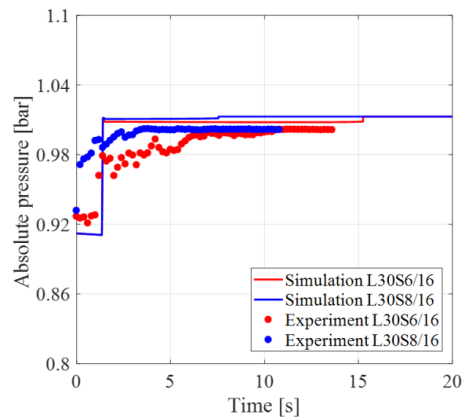


Fig. 11. Simulation and experimental results of the absolute pressure in position #2

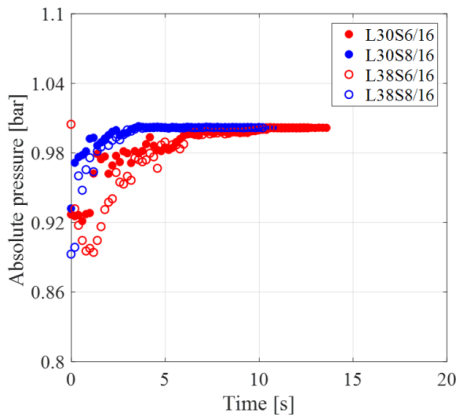


Fig. 9. The experimental results of the absolute pressure in position #2

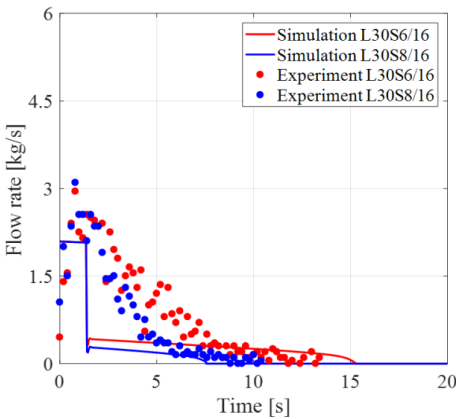


Fig. 10. Simulation and experimental results of the flow rate

Table 5. Simulation and experimental results of UH

		Sim. [m]	Experiment (ruler) [m]	Experiment (pressure transmitter) [m]
LOCA 30-mm	SBL 6/16-inch	0.0466	0.0650	0.0728
	SBL 8/16-inch	0.0168	0.0360	0.0351
LOCA 38-mm	SBL 6/16-inch	0.1083	0.0850	0.0900
	SBL 8/16-inch	0.0416	0.0450	0.0490

3. 결론

본 연구는 SBSP가 다양한 규모에서 적용이 가능한지 확인하기 위하여 SBSP로 소규모 사이펀 차단기 실험장치를 설계하고 실험장치를 활용하여 SBSP의 타당성을 검토하는 연구로 진행되었다. 실험에서 사용된 실험변수는 LOCA 크기와 SBL 크기이며, 실험의 결과로 압력, 유량, UH를 도출하였다. 최종적으로 사이펀 차단기의 성능지표인 UH를 통하여 SBSP와 실험결과를 비교분석하였다.

실험 결과로 SBL의 크기가 작아질수록 사이펀 차단기에 걸리는 시간이 늘어나며, UH는 더 높다는 결과를 관찰하였다. 또한, UH를 측정된 결과 SBSP로 예측한 UH

와 평균 16-mm의 오차가 있는 것을 관찰하였다. 이는 수조의 총 높이가 650-mm인 것을 감안하면 약 2.5 %의 오차이므로, SBSP는 소규모로 제작된 사이펀 차단기의 UH를 잘 예측하는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 실규모의 사이펀 차단기에서 성능을 잘 예측하였던 SBSP가 소규모 사이펀 차단기의 성능을 잘 예측할 수 있으므로 SBSP는 다양한 규모의 사이펀 차단기를 설계할 때 이용할 수 있을 것으로 보인다.

References

- [1] J. McDONALD, W. MARTEN, "A SIPHON BREAK AS A BLOCKING VALVE", *Atomics International, REACTORS-GENERAL* NAA-SR-4050, pp. 1-25, October, 1959.
DOI: <https://doi.org/10.2172/4240708>
- [2] D.T. NEIL, A.G. STEPHENS, "SIPHON BREAKER DESIGN REQUIREMENTS FINAL REPORT", DOE/ER/12820-T1, pp. 1-222, March, 1993.
DOI: <https://doi.org/10.2172/10140472>
- [3] Soon Ho Kang, Ho Seon Ahn, Ji Min Kim, Hyeong Min Joo, Kwon-Yeong Lee, Kyoung woo Seo, Dae Young Chi, Ju hyeon Yoon, Gyoo Dong Jeun, Moo Hwan Kim, "Experimental study of siphon breaking phenomenon in the real-scaled research reactor pool", *Nuclear Engineering and Design*, vol. 255, pp. 28-37, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2012.09.032>
- [4] Kwon-Yeong Lee, Wan-Soo Kim, "Theoretical study on loss of coolant accident of a research reactor", *Nuclear Engineering and Design*, vol. 309, pp. 151-160, 2016.
- [5] Kwon-Yeong Lee, Wan-Soo Kim, "Development of siphon breaker simulation program for investing loss of coolant accident of a research reactor", *Annals of Nuclear Energy*, vol. 101, pp. 49-57, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.041>
- [6] Kwon-Yeong Lee, Wan-Soo Kim, "Development and Application of Siphon Breaker Simulation Program", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 17, no. 5, pp. 346-353, May, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.346>
- [7] Kang Soon Ho, Kim Moo Hwan, Seo Kyoung Woo, Lee Kwon Yeong, Chi Dae Young, "Final report of experimental studies on siphon breaker", *Korea Atomic Energy Research Institute*, December, 20

지 대 윤(Dae-Yun Ji)

[준회원]



- 2010년 3월 ~ 2017년 2월 : 한동대학교 기계제어공학부(공학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 한동대학교 일반대학원 기계제어공학과

<관심분야>

기계공학, 열유체

김 성 훈(Sung hoon Kim)

[준회원]



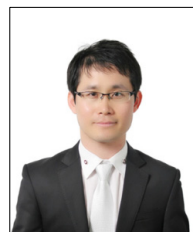
- 2011년 2월 ~ 2018년 8월 : 한동대학교 기계제어공학부(공학사)

<관심분야>

기계공학, 열유체

이 권 영(Kwon-Yeong Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 포항공과대학교 기계공학(공학사)
- 2008년 2월 : 포항공과대학원 기계공학(공학박사)
- 2008년 8월 ~ 2010년 6월 : 삼성엔지니어링 과장
- 2010년 7월 ~ 2015년 2월 : 한국원자력연구원 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한동대학교 교수

<관심분야>

기계공학, 원자력공학, 열유체