

2001 추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

월성 1호기 핵연료교환기 중수공급 압력설정치 결정 방법론에 관한 연구

**A Study on Determination Methods of Fueling Machine Heavy Water Supply Setpressure for Wolsong Nuclear Power Plant Unit 1**

김정만, 정병렬, 백세진, 노태선, 김용훈  
한국전력기술주식회사  
대전광역시 유성구 덕진동 150

박완규  
한국수력원자력주식회사  
경상북도 경주시 양남면 나아리

**요약**

월성 1호기 핵연료교환기 중수공급 압력제어기는 비례적분미분(PID) 기능을 갖은 아날로그 제어기로 디지털 제어기에 비해 정확도가 낮고 교정을 위해 많은 노력이 요구된다. 또한 제어기의 내장 부품의 생산 중단 또는 구입 곤란으로 말미암아 유지보수에 많은 애로가 되어 아날로그 제어기에서 디지털 제어기로의 교체가 필요하나 공정계통에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 월성 1호기 핵연료교환기 중수공급계통의 분석을 통해 최적 압력설정치와 그 결정 방법론을 제시함으로써 제어기 교체설계 가능성을 제시하였다.

**Abstract**

The present Wolsong 1 Fuel Handling (F/H) D<sub>2</sub>O Supply Pressure Control System, based on an analog cascaded Proportional-Integral-Differential (PID) control, is less accurate and requires more labor for test and maintenance in comparison with up-to-date digital controllers. Furthermore, F/H operators and technical staff have recently encountered difficulties in operation and maintenance because of frequent occurrences of system instability and failure, and obsolescence of hardware. However the analysis and design review of F/H D<sub>2</sub>O Supply Pressure Control System have not been performed appropriately. Therefore, the design review of F/H D<sub>2</sub>O Supply Pressure Control System has been thoroughly reviewed and analyzed. Based on the analysis results, the optimum pressure setpoints and its determination methods have been proposed for Wolsong Nuclear Power Plant Unit 1.

## 1. 서론

월성 1호기를 위시한 가압중수로형 발전소는 가압경수로형 발전소와는 달리 정상운전 중 핵연료를 연속적으로 교체하는 특징을 가지고 있으며, 고도로 자동화된 로봇 시스템인 핵연료교환계통에 의하여 핵연료 교체작업이 완전 자동으로 수행되고 있다. 또한 핵연료교환계통은 핵연료 교체 작업동안 일차 냉각재의 압력경계를 유지시키고 사용후 핵연료를 원자로로부터 저장조로 이송하는 동안 사용후 핵연료에서 발생하는 붕괴열을 냉각시키는 등 중요한 기능을 담당하고 있다. 이러한 기능을 수행하기 위해 핵연료교환계통은 운전상황에 따라 여러 중수 압력 조건하에서 운전되어야 하며 여러 외란에 의한 압력변동을 배제하고 설정된 압력 값으로 유지되어야 하는데 이러한 기능은 중수공급 압력제어기에 의하여 구현된다.

월성 1호기 핵연료교환계통 중수공급 압력제어기는 비례적분미분(PID) 기능을 갖은 아날로그 제어기로 디지털 제어기에 비해 정확도가 낮고 교정을 위하여 많은 시간이 소요되는 등의 문제점과 함께, 제어기 기술 발전으로 제어기의 내장 부품의 생산 중단 또는 구입 곤란으로 말미암아 유지보수에 많은 애로가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 월성 1호기 아날로그 제어기에서 디지털 제어기로의 교체를 위한 연구가 요구되어 왔으나 월성 1호기는 캐나다 원자력 공사가 일괄 수주 방식으로 건설되어 핵연료교환계통에 대한 설계 경험이나 연구가 없는 실정이다.

월성 1호기의 압력 제어계통 개념과 동일한 월성 2, 3, 4호기의 중수공급 압력 제어기는 제어기 기술발전에 따라 디지털 제어기로 구성되어 있다. 월성 1호기 제어기 교체 시 가장 중요한 요소는 제어기의 성능과 신뢰성이며, 부수적으로 월성 1호기와 월성 2, 3, 4호기의 기술 호환성 및 유지·보수의 편이성 등이다. 이러한 관점에서 월성 2, 3, 4호기에서 이미 검증된 디지털 제어기를 사용하는 것이 적절할 것으로 평가된다.

핵연료교환기 중수공급계통은 과압보호를 위해 설치된 방출밸브의 압력설정치는 모관(common header) 운전압력으로부터 여유도 매우 작게 설계되었다. 이것은 운전모드 변경에 따른 계통의 천이 압력변화가 크게 발생하는 경우 방출밸브가 열려 중수공급계통 제어가 불안해지고, 경우에 따라 핵연료교환기 압력보호를 위해 설치된 방출밸브가 개방되어 핵연료교환계통의 중수가 누출되게 된다. 이러한 중수 누출 사건을 가능한 배제하기 위해 배관의 압력손실 계산과 공정계통에 대한 특성분석을 수행하여 모관압력 및 중수공급압력에 대한 최적 압력설정치와 그 결정 방법론을 제시하였다.

## 2. 핵연료교환계통 구성

월성 발전소의 핵연료 교체작업은 2대의 핵연료교환기에 의해 수행된다. 각 핵연료교환기에 중수를 공급하기 위한 공정계통은 핵연료교환기 중수공급계통과 핵연료교환기 중수계통으로 구성된다. 핵연료교환기 중수공급계통은 핵연료교환기내의 사용후 핵연료 냉각과 핵연료교환기의 수력학적 제어기능에 필요한 중수를 각 핵연료교환기에 공급하기 위해 유량 및 압력을 조절한다. 핵연료교환기의 작업환경에 따라 핵연료교환기 중수공급계통은 미리 설정된 3가지 압력 설정치(HIGH, MEDIUM, 그리고 LOW)로 운전되며, 핵연료교환기 중수계통은 4가지 압력 설정치(HIGH, INTERMEDIATE, PARK, 그리고 LOW)로 운전된다. 핵연료교환기가 연료교환을 위해 일차계통 압력 경계인 연료관(fuel channel)에 연결되기 전이나 연결된 동안, 핵연료교환기가 레일을 타고 이동 동안, 그리고 신연료 장전이나 사용후 핵

연료 방출 동안의 압력설정치는 각각 HIGH(중수계통의 HIGH, INTERMEDIATE), MEDIUM(중수계통의 PARK), 그리고 LOW(중수계통의 LOW )으로 설정된다.

중수공급을 위한 왕복형 펌프는 2대로 구성된다. 정상운전 시 1대 펌프가 운전되고 나머지 1대는 계통의 운전 신뢰성 향상을 위해 대기상태에 있다. 각 펌프는 토출유량이 72 gpm이고 압력이 2700 psig까지 운전 가능하도록 설계되었다. 계통의 과압보호를 위해 압력 설정치가 2700 psig로 설정된 방출밸브가 펌프후단에 설치되어 있다. 그림 1과 같이 2대의 핵연료교환기에 중수공급을 위한 중수공급계통은 1개의 모관 압력제어밸브, 2개의 Series 압력제어밸브 그리고 2 개의 Shunt 압력제어밸브로 구성되어 있으며, 모관 압력제어를 위한 1대의 모관 압력제어기와 중수공급 압력제어를 위한 2대의 중수공급 압력제어기로 구성되어 있다.

모관 압력제어기는 모관 압력제어밸브를 제어하여 모관압력을 일정하게 유지함으로써 한쪽의 핵연료교환기에서 발생한 과도현상이 다른 핵연료교환기에 영향을 미치지 않게 한다. 중수공급 압력제어기는 Series 및 Shunt 압력제어밸브를 제어하여 미리 설정된 압력으로 유지하게 한다. Series 압력제어밸브는 중수공급 유량을 조절하며, 이 밸브를 통해 흐르는 유량은 핵연료교환기에서 필요한 유량보다 조금 많다. 이런 초과 유량은 Shunt 압력제어밸브에 의해 열교환기를 거쳐 펌프 흡입측으로 우회된다. 또한 Shunt 압력제어밸브는 핵연료교환 운전동안 핵연료교환기에서 발생하는 유량변동을 흡수함으로써 계통에 부과되는 압력변동을 줄일 수 있다.

핵연료교환기 중수공급계통으로부터 공급된 중수는 각 valve station에서 핵연료교환기 매가진(magazine) 공급 배관과 작동유체 배관으로 나누어진다. 핵연료교환기 매가진에 공급된 중수는 매가진내의 사용후 핵연료의 잔열제거를 위한 냉각기능을 담당하며, 이러한 냉각 기능을 위해 최소 9.5 gpm이 요구된다. 중수 작동유체에 의해 운전되는 핵연료교환기내의 기구는 신연료의 장착 및 연료관으로부터 사용후 핵연료 제거에 필요한 C-Ram과 2다발의 연료가 각 매가진에 저장되고 제거되도록 통제하는 분리기(separator)가 있다. 또한 작동유체 배관을 통해 공급된 중수의 일부는 ram의 밀봉 기능을 담당한다. 이러한 핵연료교환기내의 기구 작동을 위한 압력제어는 매가진 압력이 그 기준이 된다. 미리 설정된 매가진 압력을 유지하기 위해 매가진 압력제어기는 매가진 압력을 입력신호로 받아 매가진 후단에 설치된 압력제어밸브(PCV-1)를 제어한다.

### 3. 핵연료교환기 중수공급계통 분석

#### 3.1 배관 압력손실 계산

핵연료교환계통의 배관압력 계산은 실제 설치된 배관 길이 및 기기 자료를 입력으로 관로 압력손실계산에 널리 이용되는 Applied Flow Technology사의 Fathom<sup>TM</sup> 상용 code로 수행하였으며, 유량 변화에 따른 배관 압력손실 계산결과는 그림 2와 같다[2]. 정상운전 시 핵연료교환기가 필요한 최소유량은 22 gpm이며, 최대유량은 27 gpm이다. Superflow 배관을 통해 중수가 공급되는 비 정상운전인 경우의 유량은 약 31 gpm이다. 정상운전 조건에서 핵연료교환계통은 자동으로 운전되지만 비 정상운전에서는 수동으로 운전하게 된다.

그림 2는 22 ~ 31 gpm 범위에서 유량변화에 따른 중수공급계통의 Series 밸브 후단에서 valve station 입구까지의 압력손실과 Series 밸브 후단에서 C-ram 압력제어밸브(PCV-4) 전단까지의 압력손실은 각각 84 ~ 163 psid와 97 ~ 214 psid를 나타내고 있다. 핵연료교환기에 공급되는 유량이 모두 valve station을 통해 흐르므로 중수공급계통의 Series

밸브 후단에서 valve station 입구까지의 압력손실은 유량이 증가함에 따라 압력손실이 매우 선형적으로 증가한다. 핵연료교환기 작동유체 공급을 위한 각 배관에서의 유량이 작업조건에 따라 다르게 되므로 이를 고려하여 유량을 증가시키는 경우에도 중수공급계통의 Series 밸브 후단에서 C-ram 압력제어밸브 전단까지의 압력손실은 유량이 증가함에 따라 배관 압력손실이 선형적으로 증가함을 나타내고 있다. 이는 Series 밸브 후단에서 valve station 입구까지의 압력손실이 valve station 입구에서 C-ram 압력제어밸브 전단까지의 압력손실보다 상대적으로 크기 때문이다. 따라서 보수성을 고려하여 Series 밸브 후단에서 C-ram 압력제어밸브 전단까지의 정상운전 상태에서 압력손실은 170 psid로 결정할 수 있다.

### 3.2 중수공급 압력 설정치 결정

HIGH, INTERMEDIATE, PARK 그리고 LOW 중수계통 운전모드에서 매가진 압력은 각각 1650 psig, 1520 psig, 450 psig, 그리고 0 psig다. 핵연료 교체는 연료관 양단에 연결된 2대의 핵연료교환기에 의해 수행되며, 이때 연료관에 신연료 공급기능을 담당하는 핵연료교환기는 HIGH 압력설정치로 운전되며, 연료관으로부터 사용후 연료를 받는 기능을 담당하는 핵연료교환기는 INTERMEDIATE 압력설정치로 운전된다. HIGH 운전모드에서 매가진 압력 1650 psig는 연료관 상류 압력 1600 psig에 50 psig 여유도를 더하여 결정되었으며, INTERMEDIATE 운전모드에서 매가진 압력 1520 psig는 연료관 하류 압력 1500 psig에 20 psig 여유도를 더하여 결정되었다. 중수공급압력은 매가진 압력을 기준으로 핵연료교환기의 기기 작동에 필요한 압력 500 psi와 3.1절에서 결정된 Series 밸브후단에서 C-ram 압력제어밸브 전단까지의 배관 압력손실을 더함으로써 결정된다. 따라서 핵연료교환기 중수공급 압력설정치는 HIGH 그리고 MEDIUM 운전모드에 따라 각각 2320 psig 그리고 1120 psig으로 결정된다.

LOW 운전모드에서 중수공급계통으로부터 매가진에 공급된 중수는 다른 운전모드와 다르게 매가진 회수관을 통해 흐르지 않고 임시 저장 탱크에 저장된다. 이 때문에 가능한 최소유량을 공급하는 것이 중수처리에 유리하다. 이러한 관점에서 LOW 운전모드 시에 최소 중수공급 유량인 22 gpm을 고려하면 배관 압력손실은 그림 2로부터 100 psid가 되므로 핵연료교환기 중수공급 압력은 600 psig로 결정된다.

### 3.3 모관 압력 설정치 결정

운전모드 변경 시 계통의 천이 압력변화가 크게 발생하므로 방출밸브의 열림을 방지하기 위해 모관 압력설정치는 방출밸브 압력설정치보다 가능한 낮게 설정되어야 한다. 특히 HIGH 모드 동안 Series 압력제어밸브 운전 개도 범위는 모관 압력설정치 결정에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 매우 중요한 요소이다. 그림 3에서 6은 압력제어밸브의 특성곡선을 근거로 밸브 유량계수(flow coefficient), 압력 그리고 유량에 대한 관계식을 이용한 계산 결과이다[3].

그림 3과 4는 HIGH 모드 동안 Series 압력제어밸브를 통해 흐르는 유량 변화에 따른 밸브개도 위치와 압력강하를 각각 나타내고 있다. 정상운전 시 Series 압력제어밸브를 통해 흐르는 유량이 30 gpm이므로 밸브개도 위치를 90%이내로 설정하기 위해서는 Series 압력제어밸브 양단의 압력강하는 100 psid 이상이 되어야 함을 그림 3으로부터 알 수 있다. 그림 4로부터 Series 압력제어밸브의 개도가 87.5%와 90%로 설정되는 것이 적절하다. 그러나 Series 압력제어밸브의 90% 개도 위치는 87.5% 개도 위치보다 모관 설정압력을 낮게

설정할 수 있으므로 더 적절한 것으로 평가된다. 그림 3과 4를 통해 HIGH 모드 운전 시 Series 압력제어밸브의 90% 개도 위치에서 밸브 양단의 압력강하는 130 psid이다. 따라서 모든 운전모드에 적용되는 모관 압력설정치는 HIGH 모드 운전의 중수공급 압력설정치에 130 psi를 더하여 2450 psig로 결정된다.

MEDIUM 운전모드 시 Series 압력제어밸브 개도 위치는 정상운전 시 밸브를 통해 흐르는 유량과 밸브 양단의 압력강하를 고려하여 결정한다. 3.2 절에서 중수공급 압력이 1120 psig로 결정되었으므로 밸브 양단의 압력강하는 중수공급 압력과 모관 압력설정치 간의 차압인 1320 psid가 된다. 그림 6으로부터 33 gpm에서 밸브개도 위치는 56%가 된다.

같은 방법으로 LOW 운전모드 시 Series 압력제어밸브 개도 위치는 정상운전 시 밸브를 통해 흐르는 유량과 밸브 양단의 압력강하를 고려하여 결정한다. 3.2 절에서 중수공급 압력이 600 psig로 결정되었으므로 밸브 양단의 압력강하는 중수공급 압력과 모관 압력설정치 간의 차압인 1850 psid가 된다. 그림 6으로부터 30 gpm에서 밸브개도 위치는 52.5%가 된다. 월성 발전소의 호기별 압력 설정치는 표 1과 같이 정리하였다.

표 1 월성 발전소의 호기별 압력 설정치

		모관 압력 (psig)	중수공급 압력 (psig)	매가진 압력 (psig)
W1	HIGH	2550	2350	1650
	MEDIUM	2550	1150	450
	LOW	2550	500	Atmosphere
W2,3,4	HIGH	2550	2335	1650
	MEDIUM	2550	1230	450
	LOW	2550	550	Atmosphere
본연구 결과	HIGH	2450	2320	1650
	MEDIUM	2450	1130	450
	LOW	2450	600	Atmosphere

### 3.4 모관 압력설정치 이중화

모관압력이 일정하게 유지되는 경우 HIGH에서 MEDIUM 운전모드로 전환 시 중수공급 압력을 낮추기 위해 Shunt 압력제어밸브는 개방되고 모관압력이 감소함에 따라 모관 압력제어밸브는 모관압력을 일정하게 유지하기 위해 닫게 된다. 이때 Series 압력제어밸브는 MEDIUM모드의 미리 설정된 개도로 감소하여 밸브 양단의 압력강하를 증가시킨다. Series 압력제어밸브의 높은 개도 위치에서 밸브개도 변화가 밸브 양단간의 압력강하에 미치는 영향은 작으나 밸브개도가 낮아짐에 따라 같은 밸브개도 변화에도 밸브 양단간의 압력강하에 미치는 영향이 점점 증가한다. 이는 그림 4와 그림 6을 통해서도 확인이 된다. HIGH에서 MEDIUM모드로 전환 후 초기에 모관압력이 감소하는 것은 Series 압력제어밸브를 통한 유량증가에 기인하며, 이 때 Series 압력제어밸브를 통한 유량증가는 Series 압력제어밸브보다 Shunt 압력제어밸브가 중수공급 압력변화에 미치는 영향이 더 크기 때문이다. 즉, HIGH에서 MEDIUM으로 운전모드 변경 시, Shunt 밸브를 열고 Series 밸브를 닫는 과정에서 Shunt 밸브를 여는 순간 Series 밸브의 하단 압력이 낮아지므로 과도상태에서 일시적으로 Series 밸브를 통한 유량은 증가한다. 중수공급 압력제어기는 중수공급 압력이 MEDIUM모드에 이르면 Shunt 압력제어밸브 개도를 감소시키게 되고, 이로 인하여 모관압력은 급격히

증가하여 모관 설정압력보다 높게되는 침투압력이 발생한다. 침투압력을 방지하는 하나의 방안으로 선행 연구에서 모관 압력 이중화가 검토되었다.

모관압력 이중화를 위한 하한 압력설정치는 펌프 후단에 설치된 압력 감쇠기의 운전압력을 보수적으로 고려하여 1885 psig로 결정하였다. 특정한 Series 압력제어밸브의 개도 위치에서 핵연료교환기 중수계통에 충분한 유량을 공급할 수 있는지를 확인하기 위해 모관 하한 압력설정치를 1885 psig, 2103 psig, 그리고 2175 psig의 경우에 대해 각각 표 2, 3, 그리고 4와 같이 분석하였다.

표 2는 모관압력 하한 설정치가 1885 psig (13.0 MPa)인 경우 운전모드에 따라 어느 하나의 Series 압력제어밸브의 개도 위치에 고정되면 중수계통에서 요구하는 최대 유량 27 gpm을 충분히 만족시킬 수 없음을 나타내고 있다. 이 때문에 Shunt 압력제어밸브는 완전히 닫히게 된다. 표 3은 모관압력 하한 설정치가 2103 psig (14.5 MPa)인 경우 운전모드에 따라 어느 하나의 Series 압력제어밸브의 개도 위치에 고정되어도 중수계통에 적절한 유량을 공급할 수 있음을 나타내고 있다. 표 4는 모관압력 하한 설정치가 2175 psig (15.0 MPa)인 경우 운전모드에 따라 어느 하나의 Series 압력제어밸브의 개도 위치에 고정되어도 중수계통에 적절한 유량을 공급할 수 있음을 나타내고 있다. 운전관점에서 모관압력이 낮을수록 운전범위가 넓기 때문에 모관압력 이중화를 위한 하한 설정치는 2103 psig (14.5 MPa)가 적절하며, 모관압력 이중화에 의해 계통에 미치는 과도 영향은 추가적인 연구가 요구된다.

표 2 모관압력 하한 설정치가 1885 psig인 경우 중수공급 유량 적정성 평가

MODE		Common Pressure	Supply Pressure	DP	Series V/V Position @ 33gpm		Flowrate (gpm)
Supply	Common				Cv	(%)	
HIGH	HIGHER	2450	2320	130	3.036	90.0	
MEDIUM	HIGHER	2450	1120	1330	0.949	56.0	25.03*
	LOWER	1885	1120	765	1.251	60.0	
LOW	HIGHER	2450	600	1850	0.805	53.0	27.50*
	LOWER	1885	600	1285	0.966	56.0	

NOTE : 모관압력 상한 설정치에 의해 결정된 Series 압력제어밸브의 개도 위치에서 하한 설정치를 적용하는 경우 밸브를 통해 흐르는 유량.

표 3 모관압력 하한 압력설정치가 2103 psig인 경우 중수공급 유량 적정성 평가

MODE		Common Pressure	Supply Pressure	DP	Series V/V Position @ 33gpm		Flowrate (gpm)
Supply	Common				Cv	(%)	
HIGH	HIGHER	2450	2320	130	3.036	90.0	
MEDIUM	HIGHER	2450	1120	1330	0.949	56.0	28.37*
	LOWER	2103	1120	983	1.104	58.0	
LOW	HIGHER	2450	600	1850	0.805	53.0	29.74*
	LOWER	2103	600	1503	0.893	55.0	

NOTE : 모관압력 상한 설정치에 의해 결정된 Series 압력제어밸브의 개도 위치에서 하한 설정치를 적용하는 경우 밸브를 통해 흐르는 유량.

표 4 모관압력 하한 설정치가 2175 psig인 경우 중수공급 유량 적정성 평가

MODE		Common Pressure	Supply Pressure	DP	Series V/V Position @ 33gpm		Flowrate (gpm)
Supply	Common				Cv	(%)	
HIGH	HIGHER	2450	2320	130	3.036	90.0	
MEDIUM	HIGHER	2450	1120	1330	0.949	56.0	29.39*
	LOWER	2175	1120	1055	1.066	57.0	
LOW	HIGHER	2450	600	1850	0.805	53.0	30.45*
	LOWER	2175	600	1575	0.872	54.0	

NOTE : 모관압력 상한 설정치에 의해 결정된 Series 압력제어밸브의 개도 위치에서 하한 설정치를 적용하는 경우 밸브를 통해 흐르는 유량.

#### 4. 결론

월성 1호기 핵연료교환기 중수공급계통에 대한 설계 검토와 분석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 핵연료교환계통의 배관압력손실은 중수공급 유량이 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, 압력손실은 170 psid이다.
- (2) Series 압력제어밸브의 개도 위치는 중수공급 유량에 지배적인 영향을 미치며, 모관압력 설정에도 영향을 미친다.
- (3) 중수공급 압력과 매가진 압력과의 차압이 운전모드에 관계없이 일정하게 유지되면 중수공급 유량은 일정하게 흐른다. 그러나 LOW 운전모드 동안 이 차압을 낮게 유지하는 것이 중수처리 관점에서 유리하다.
- (4) 기존의 모관 압력설정치는 과압보호를 위한 방출밸브 압력설정치보다 불과 150 psi 낮게 설정되어 있다. 이 조건은 모드 전환운전 시 계통의 과도현상에 의해 방출밸브를 개방시킬 수 있어 공급계통의 압력제어 불안요소가 되므로 방출밸브 개방을 방지하기 위해 모관 압력설정치를 가능한 낮게 유지해야 한다.
- (5) 모관압력 설정치 이중화를 위한 하한 설정치는 펌프 후단에 설치된 압력감쇠기의 운전압력과 중수공급 유량을 고려하여 2103 psig(14.5 MPa)로 평가되었다.
- (6) 월성 1호기 핵연료교환기 중수공급계통의 최적 압력설정치는 표 1과 같다.

#### 후기

본 연구는 한국수력원자력(주)의 연구자금으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] J. Vennard and R. Street, *Elementary Fluid Mechanics*, Jhon Wiley and Sons, Inc., 1975.
- [2] AFT Fathom User's Manual, Version 4.0.
- [3] FAX transmittal, CV Curves for KEPCO, Wolsong NPP #1, March 2001.

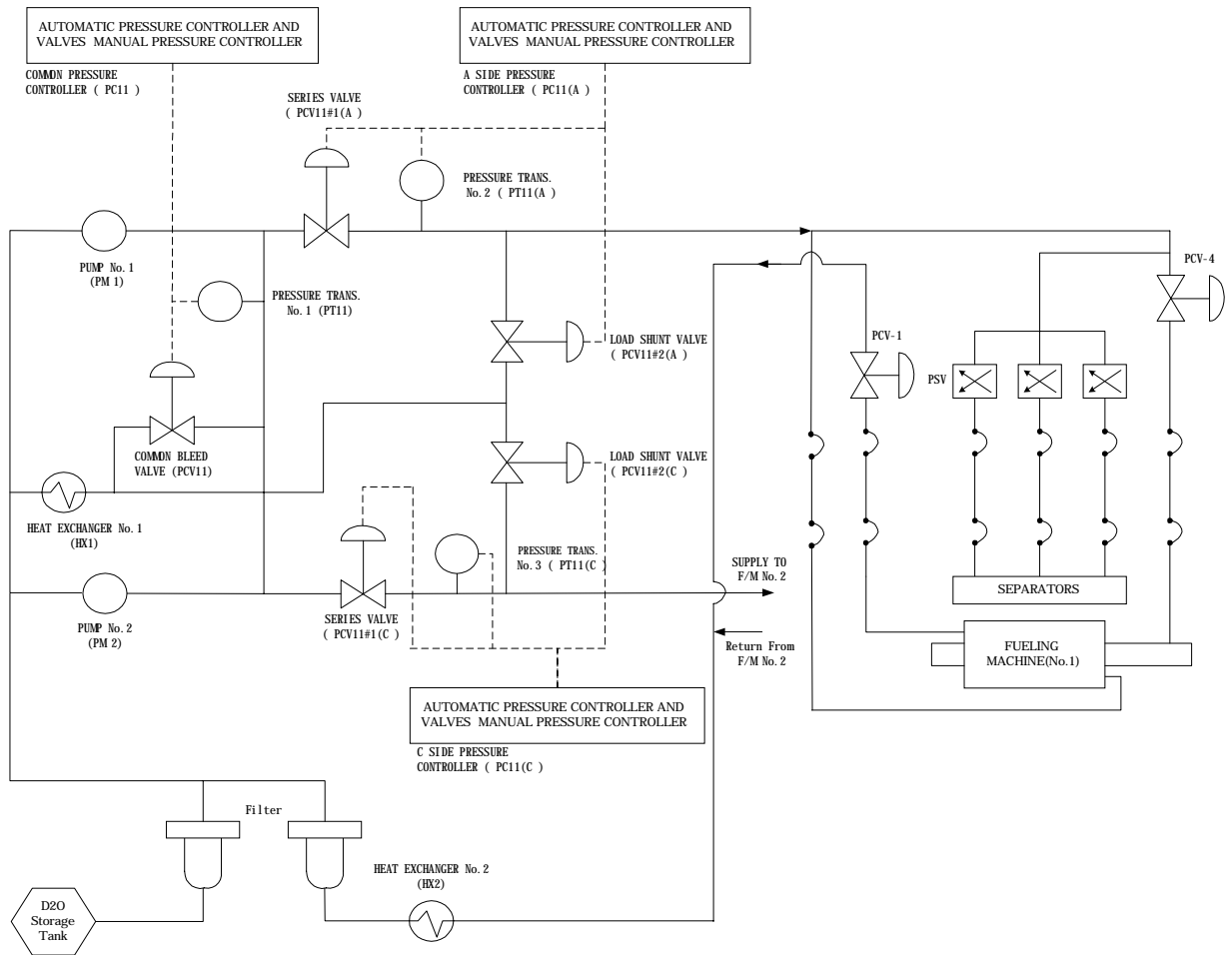


그림 1 핵연료교환계통의 구성도

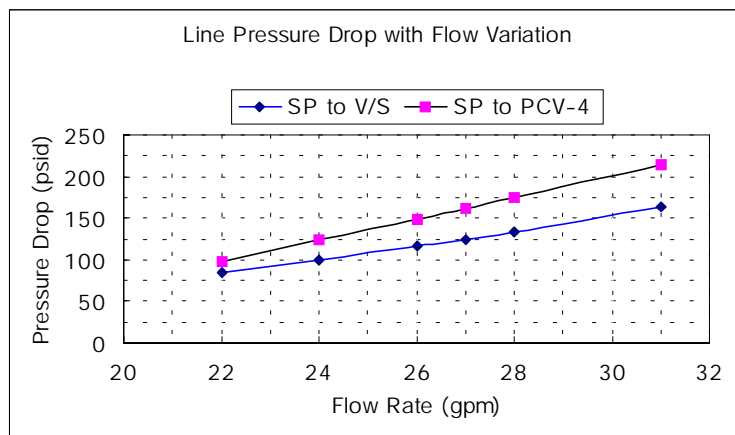


그림 2 유량변화에 따른 핵연료교환계통의 배관 압력손실



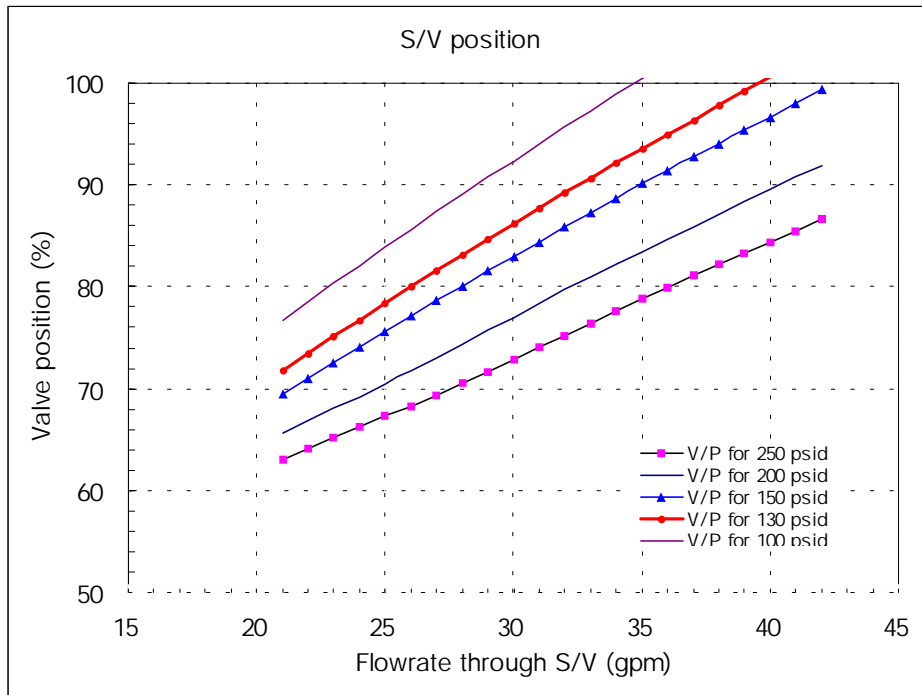


그림 3 HIGH 모드동안 유량변화에 따른 밸브개도 위치

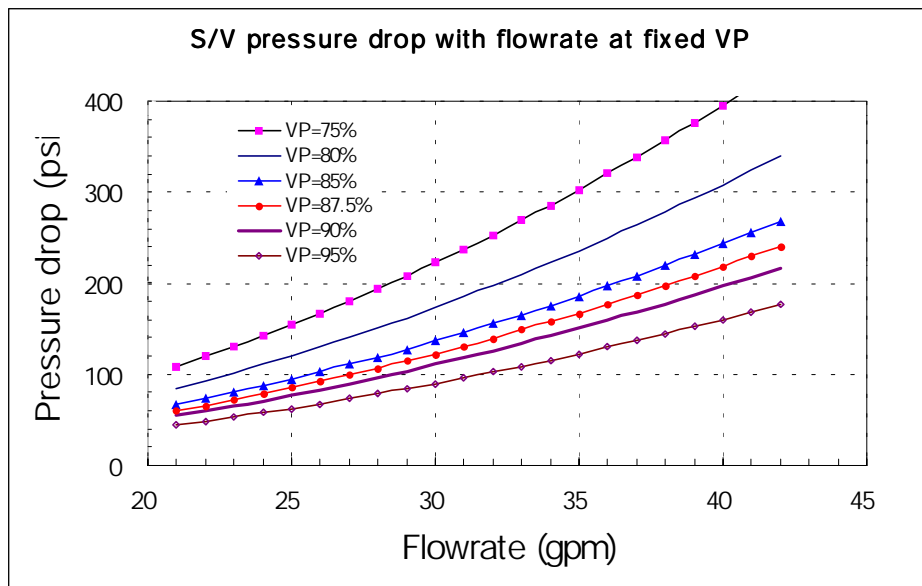


그림 4 HIGH 모드동안 유량변화에 따른 밸브 압력강하

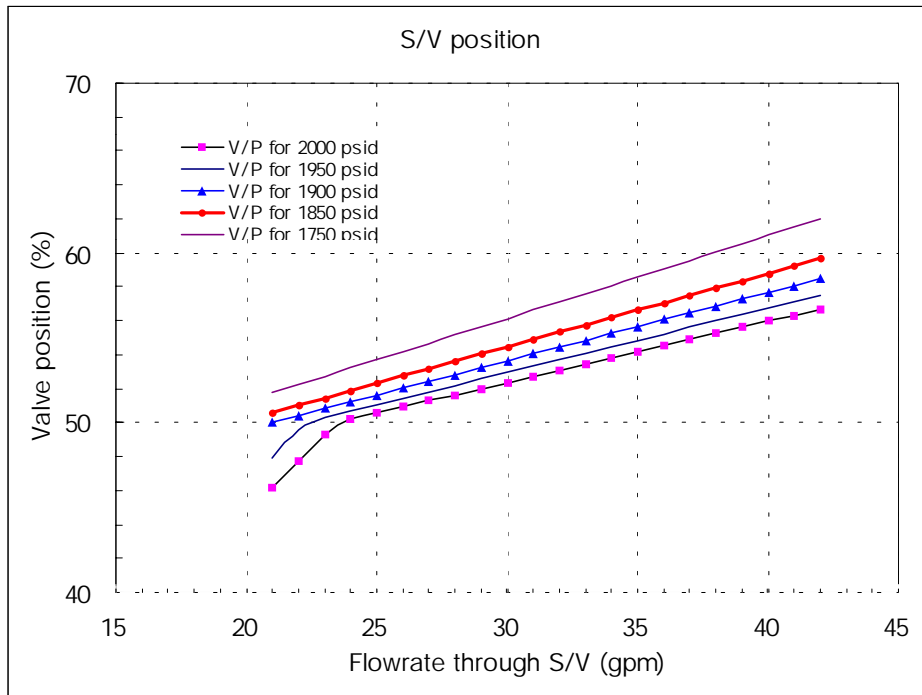


그림 5 MEDIUM 및 LOW 모드동안 유량변화에 따른 밸브개도 위치

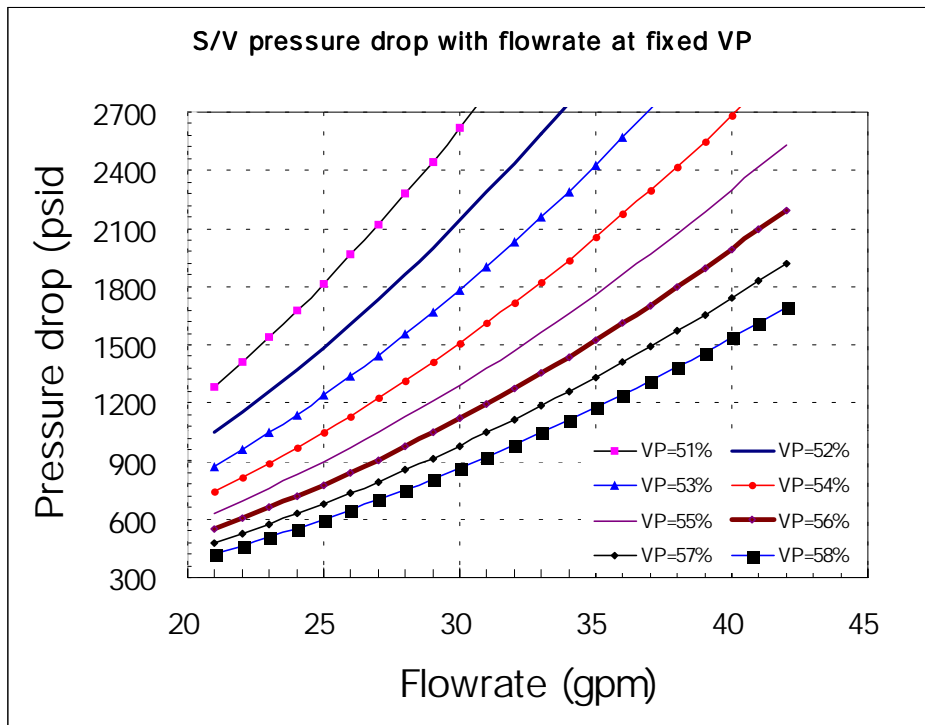


그림 6 MEDIUM 및 LOW 모드동안 유량변화에 따른 밸브 압력강하