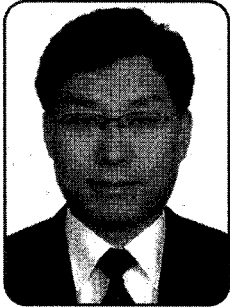


# 에너지 손실과 소음 줄인 발전소용 제어밸브 국산화 -발전소용 헬리컬트림 제어밸브 개발-



시스템엔디(주)  
밸브사업본부  
이사 권갑주  
Tel : (042)930-8881

## 기호설명

Cv : 유량계수 N : 단위환산계수 Gf : 비중 P2 : 후단압력(kPa)  
q : 유량 FP : 파이프 형상계수 P1 : 전단압력(kPa)

## 1. 서론

발전소 급수, 증기 및 냉각수 공급 계통에는 운전 특성상 고온/고압의 유체가 유동하며, 유체의 높은 운동에너지로 인한 밸브 주요 부품인 트림(Trim), Seat-ring 및 Plug 등의 빈번한 손상이 발생된다. 또한 원활한 유체 제어가 어려우며, 에너지 손실과 높은 소음 발생으로 환경오염이 야기되고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 발전소에서는 밸브 트림의 유체 저항을 이용하여 고온/고차압 유체를 조절할 수 있는 고차압 제어밸브의 수요가 증가하고 있다.

고차압 제어밸브는 제어밸브 전후단에 높은 차압으로 인하여 발생하는 높은 유체 운동에너지를 감압 트림을 사용하여 유체 운동에너지를 제어 하는 밸브로, ANSI/ISA-S75 제어밸브 설계 요건인 제어밸브 내부에서 유동하는 단상 유체의 경우 유동 속도를 30m/s 이하로 감속 및 감압하여 제어밸브 주요부품 손상과 에너지 손실방지 및 높은 소음을 감소시킨다.

국외 제어밸브 제작 업체(CCI, Fisher, Dresser 등)에서는 유체의 운동에너지를 낮추고 부품 손상을 방지하기 위하여 고차압 제어밸브 감압 트림(Multi-Stage Multi-Path Trim 등)을 개발하여 사용하고 있지만,

국내 제어밸브 제작업체에서는 고차압 제어밸브 감압 트림(Trim)개발이 거의 전무한 실정이고, 현재 국내 고차압 제어밸브는 전량 수입에 의존하고 있으므로 고차압 제어밸브 및 감압 트림 개발이 절실한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 발전소 및 플랜트 고온/고차압 운전 조건에서 원활한 제어, 부품 손상방지 및 유체 운동에너지 감소를 위하여 고차압 제어밸브 감압 트림을 개발하고, 전산 유체 해석(CFD) 및 유량계수(Cv) 시험을 통하여 개발된 고차압 제어밸브 및 감압 트림 성능을 평가했다.

## 2. 고차압 제어밸브

### 2.1 제어밸브 유체 속도 제한

제어밸브 전후단 차압이 높을 경우 밸브 내부 유동 속도가 빠르기 때문에 높은 유체 운동에너지로 인한 캐비테이션, 플래싱 및 햄머링 등이 발생했다. 이러한 현상들은 밸브 주요부품(Trim, Seat-ring 및 Plug)표면을 손상시키고, 유체누설 발생으로 에너지 손실 및 높은 소음을 발생 시킨다.

ANSI/ISA-S75에서는 유체로 인한 밸브 주요 부품 손상 및 에너지 손실을 방지하기 위하여 단상 유체 일 경우 밸브 내부 유체 에너지를 480 kPa(물 : 30m/s)이하로 제어밸브를 설계하도록 하고 있으며, 어떠한 경우에도 유체 운동에너지가 1,030 kPa을 초과해서는 안 된다고 기술하고 있다.

<Table 1>은 제어밸브 내부 및 출구에서 유체의 상에 따른 유체 속도와 운동에너지 제한 기준을 나타내었다.

<Table 1> Kinetic Energy and Velocity of Design Condition (ANSI/ISA-S75)

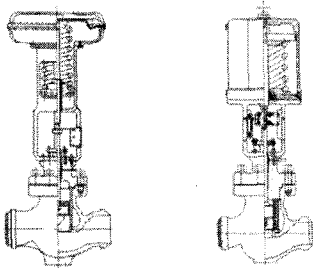
적용조건	운동에너지 기준		물의 등가 속도	
	psi	kPa	ft/s	m/s
단상 유체	70	480	100	30
캐비테이션과 이상유체	40	275	75	23
진동 민감 계통	11	75	40	12

## 2.2 개발대상 고차압 제어밸브

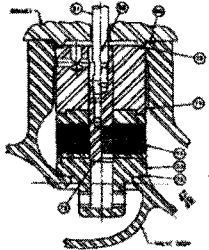
본 연구에서 개발된 고차압 제어밸브는 발전소에서 높은 유체운동 에너지로 빈번한 부품손상을 초래하고 있는 3inch 600# 제어밸브를 대상으로 개발되었다.

〈Fig 1〉은 현재 발전소에 설치된 제어밸브의 형상을 나타낸 것으로 비상시 수동 개방이 되며 다이어프램 구동기가 설치되어 있다.

〈Fig 2〉는 개발 대상 제어밸브의 트림 형상을 상세히 나타낸 것으로 여러 사각 홈이 가공된 디스크를 쌓아올린 감압트림 구조이며, 〈Table 2〉는 개발 대상 제어밸브 운전 요건을 나타낸 것으로 약 4300 kPa인 고차압 압력 운전 조건에서 유체를 제어해야 한다.



〈Fig 1〉 3inch 600# Control Valve Power Plants



〈Fig 2〉 Trim Part of 3inch 600# Control Valve

〈Table 2〉

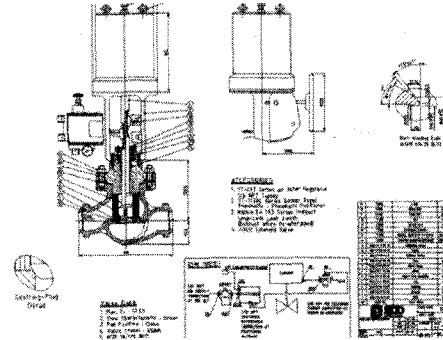
3inch 600# Control Valve Operating Condition

Fluid Type	Steam/Water
Inlet Pressure	4,833.5kPa
Outlet Pressure	455.1kPa
Temperature	500℃
Mass Flow Rate(Q)	2,100kg/hr
Cv	9,785

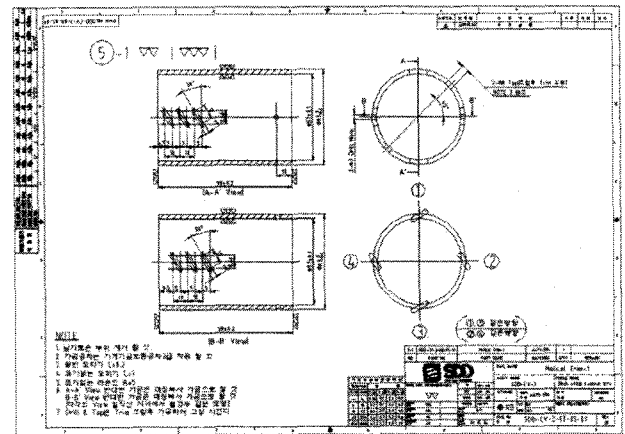
## 2.3 Helical Trim™ 을 적용한 고차압 제어밸브 제작

〈Fig 3〉은 3inch 600# 고차압 제어밸브 제작도를 나타낸 것으로 실린더 타입 구동기와 포지셔너, 수동 핸들 등으로 비상시 수동 개방 및 유체 제어가 가능하도록 설계되었다.

〈Fig 4〉는 고차압 제어밸브 주요 부품의 트림을 나타낸 것으로 기존 제어밸브의 디스크 적층식이 아닌 여러장의 원형 통에 나선형 형태를 가진 홈을 4면으로 가공한 후 총 6장 원형통을 조합하여 트림 내부에 굴곡형상을 만들고, 굴곡 유동장치를 유체가 지날 때 유체 저항으로 감압, 유체 속도와 운동 에너지를 낮추는 Helical Trim™을 세계 최초로 개발하였다.



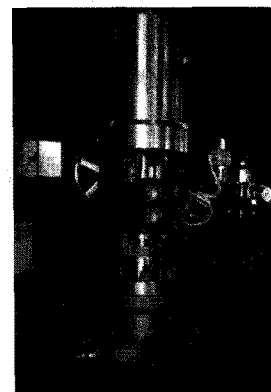
〈Fig 3〉Assembly Drawing of Higher Pressure Drop Control Valve



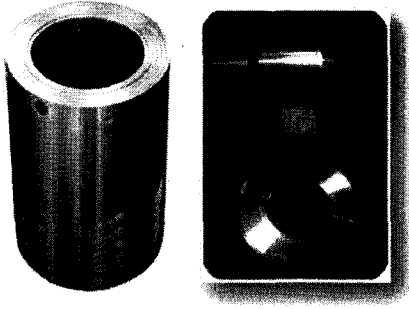
〈Fig 4〉

Helical Trim of Higher Pressure Drop Control Valve

〈Fig 5〉는 제작이 완성된 3inch 600# 고차압 제어밸브를 나타내었고, 〈Fig 6〉은 제어밸브 주요 부품 표면에 TiN Coating 표면 경화로 기계적 특성을 한층 높였다.



〈Fig 5〉 Higher Pressure Drop Control Valve(3inch 600#)



<Fig 6> TiN Coating of Control Valve Trim Part

### 3. 전산유체해석 및 성능 시험

#### 3.1 전산유체해석(CFD)

##### 가. 전산유체 해석 조건

Helical Trim™ 내부 유동 분석은 전산유체해석 프로그램인 ANSYS CFX로 제어밸브 내부 유체 속도, 압력 및 유동 패턴을 분석하였다.

<Table 3>은 전산유체해석시 사용된 경계 Input 조건을 나타낸 것으로 개발 대상 제어밸브의 운전 조건을 바탕으로 설정하였다.

<Fig 7>은 전산유체해석에 사용된 Helical Trim™ 유동장 모델링과 볼륨 메쉬를 나타 내었고, <Table 4>는 전산유체해석 볼륨 메쉬를 나타낸 것으로 약 28만 개 Tetra 요소를 사용하여 Helical Trim™ 유동장 볼륨 메쉬가 작성 되었다.

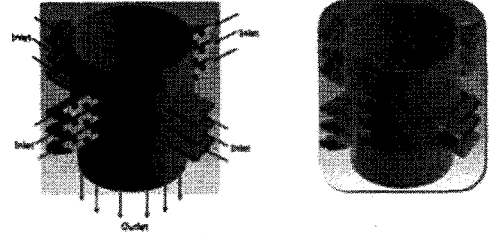
Inlet과 Outlet는 각각 Helical Trim™ 출 유동장 단면에 각각 운전조건의 압력을 입력하여 전산유체해석을 수행하였다.

<Table 3> CFX Analysis Condition

Inlet Pressure(kPa)		4,833
Outlet Pressure(kPa)		455
Material Properties	Fluid	Water
	Density(kg/m <sup>3</sup> )	783.8
	Temperature(°C)	260

<Table 4> Volume Mesh of Helical Trim™

Mesh Method	CFX Mesh
Element Size	0.25mm
Node	57,359
Elements	272,609



<Fig 7> 3D Modeling and Volume Mesh of Helical Trim™

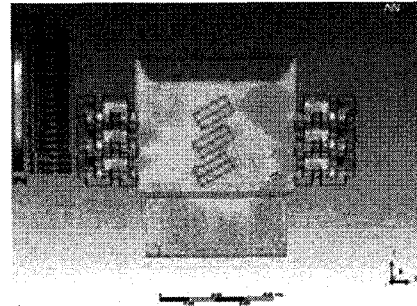
##### 나. 전산유체해석 결과

###### • 유체 압력

<Fig 8>은 제어밸브 완전 개방인 100% 개방 시 트림 내부 유체 압력 분포를 Y-Z평면으로 나타내었다.

Seat-ring에서 형성되는 압력은 435 kPa로 설계 조건 차압 4,394 kPa과 제어밸브 운전조건 압력이 형성 되었다.

<Table 5>는 3inch 600#의 설계 조건과 전산유체 해석 결과 값을 비교하여 나타내었고, 전산유체해석 결과는 Helical Trim™ 설계 조건을 만족하는 것으로 분석 되었다.



<Fig 8>

Pressure Result of Inside Helical Trim™ (100% Open)

<Table 5> Pressure Result of CFX Analysis

Pressure(kPa)	Design	CFX Analysis
Inlet Pressure	4,833	4,829
Outlet	455	435
Pressure Drop(kPa)	4,378	4,394

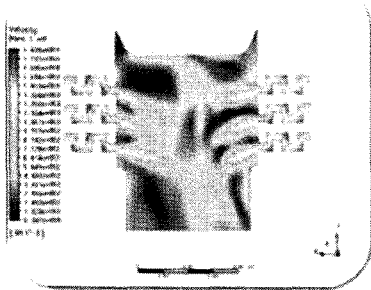
###### • 유체 속도

<Fig 9>는 제어밸브 완전 개방인 100% 개방 시 트림 내부 유체속도를 나타내었다.

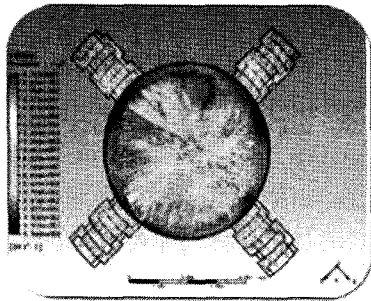
분석한 결과 유체속도는 Helical Trim™ 내부 굴곡 형상을 유동장을 지나면서 감소되어 Seat-ring에서 약 8m/s로 형성되었다.

이것은 ANSI/ISA-S75에서 제시한 단상 유체속도 제한 값인 30m/s 이하로 유체속도가 형성 되어 Helical Trim™ 내부는 케비테이션, 플래싱 및 햄머 링 등이 존재하지 않을 것으로 분석되어 주요 부품(트림, Seat-ring 및 Plug) 손상은 발생하지 않을 것으로 분석되었다.

• 유동 패턴



<Fig 9> Velocity Result of Inside Helical Trim (100% Open)



<Fig 10> Flow Pattern of Inside Helical Trim (100% Open)

<Fig 10>은 Seat-ring 부분 유동 패턴을 Plug 하 단에서 X-Z평면으로 나타내었다.

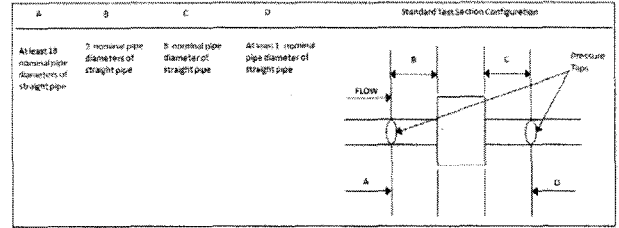
유동패턴은 하나의 회오리를 형성하면서 유동하고, 유체가 정체되는 병목 구간과 외류 현상이 발생하지 않아 국부적인 케비테이션과 햄머링 등은 발생하지 않을 것으로 분석 되었다.

<Table 7>

Open	Inlet Pressure (kPa)	Outlet Pressure (kPa)	Temperature (°C)	Density (kg/m³)	Mass Flow Rate (m³/hr)
10%	15.1	15	40.2	992	1.5
25%	15.1	15	39.5	992	2.6
50%	15.1	15	38.3	992	2.9
75%	15.1	15	37.6	992	3.3
100%	15.1	15	36	992	3.6

3.2 유량계수(Cv) 시험

<Fig 11>은 ANSI/ISA-S75에서 제시한 제어밸브 유량계수 시험 설비의 계측기 위치를 나타낸 것으로서 Helical Trim™을 이용하여 개발된 3inch 600# 고차압 제어밸브 유량계수 시험은 본사의 동특성 시험설비를 사용하여 수행되었다.

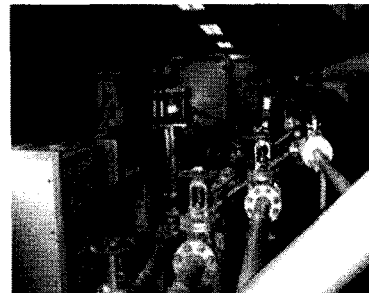


<Fig 11> Piping Requirements, Standard Test Section

<Fig 12>는 동특성 시험 설비에 개발된 고차압 제어밸브를 설치한 모습을 나타내었고,

<Table 6>에 동특성 시험 설비 사양을 나타내었다.

시험은 제어밸브 개방이 10% ~ 100% 까지 수행되었고, 측정 데이터는 유체 온도(°C), 유량(m³/hr), 고차압 제어밸브 전후단 압력(kPa)을 측정하여 전산처리 하였고, <Table 7>에 측정 데이터를 나타내었다.



<Fig 12> Valve Flow Factor Test

<Table 6>

Pressure(kPa)	5,000
Mass Flow Rate(m³/hr)	25
Fluid Type	Water

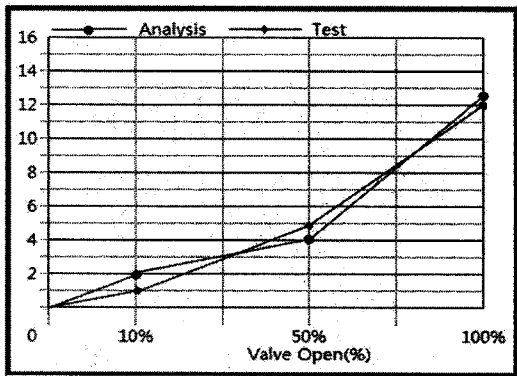
### 3.3 제어밸브 유량계수(Cv)

유량계수 시험 및 전산유체해석을 통하여 측정된 데이터를 ANSI/ISA-S75.02에서 밸브 사이즈 결정에 사용되는 식1) 계산 인자로 사용하여 제어밸브 개발율(%)에 따른 유량계수를 산출하였고, <Table 8> 전산유체해석과 시험결과를 비교하여 나타내었다.

시험 유량계수와 전산유체해석으로 산출된 유량계수는 약 13으로 <Fig 13>의 그래프에 나타나듯이 트림 개방에 따라 유량계수 곡선이 유사하면서 선형적인 유량계수 곡선이 작성 되었다.

선형적인 유량계수 곡선을 보인 Helical Trim™은 국외 고차압 제어밸브에서 국부적으로 유량이 형성되지 않는 Dead Area가 없이 전 개방에서 유량이 형성되어 고정밀 유량제어가 가능한 것으로 분석되었다.

$$\text{식 1) } C_v = \frac{q}{N_1 F_P} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - P_2}}$$



<Fig 13> Valve Flow Factor Test of Helical Trim™ Higher Pressure Drop Control Valve

<Table 8> Helical Trim™ Higher Pressure Drop Control Valve Flow Factor

Parameter	CFX Analysis		Test	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Pressure(kPa)	48.33	4.55	15.1	15
Temperature(°C)	260		36	
Pressure Drop(kPa)	42.41		0.1	
Trim Outlet Velocity(m/s)	5.4		-	
Cv	13.5		13.1	

### 4. 결론

본 연구에서 개발한 Helical Trim™을 적용한 발전소용 고차압 제어밸브 개발을 통하여 다음과 같은 결론으로 요약할 수 있다.

- 1) 전산유체해석을 통하여 트림 내부 유체 유동의 압력, 속도 및 유동 패턴을 분석한 결과 제어밸브 주요 부품 손상을 발생 시키는 조건은 발생하지 않았다.
- 2) Helical Trim™의 압력 및 속도 감속은 굴곡 현상 유동장을 지나면서 제어밸브 설계 조건을 만족하였다.
- 3) 개발된 고차압 제어밸브의 유량계수 곡선은 선형적으로 고정밀 유량제어가 가능하다.

### 참고문헌

1. Control Valves, "Recommended & Technical-ISA", Std,s. ISA
2. Yochanan Dvir, 1997, "Flow Control Devices",
3. Philip L. skousen, "Valve Handbook", Valtek international
4. "Guide for the Application & Use of Valves inch Power Plant", NP-6516(PN2233-5), EPRI
5. J. Paul Tullies, "Hydraulics of Pipelines, Valve, Cavitation, Transients", 1989