

입체형 엘보우, 흡 유동장치를 이용한 고성능 제어밸브 및 성능개선기법 개발

2004. 04. 28

시스템디엔디 (주)

김 영 범*, 박 종 호**, 최 영 환*, 양 승 호*
(042-865-7896, sys-dnd@system-dnd.com)

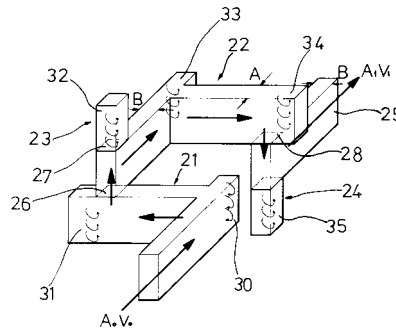
소속: *시스템디엔디㈜, **충남대학교

System D&D

0

목 차

1. 기술개발 필요성 및 현황
2. 기술개발 목표 및 평가기준
3. 연구개발 수행 계획 및 내용
4. 연구개발 추진 현황 및 실적
5. 기대효과 및 활용방안



System D&D

1

1. 기술개발 필요성 및 현황

1-1. 기술개발 필요성

기술집약적 고성능 제어밸브는 해외에서 전량 수입

- 외국업체의 시장독점 및 정비가기술의 의존 불가피
- 국내 업체 기술력 부족으로 기술도입 (핵심부품 수입 및 기술지원 조건)
- 구매비용(개당 약 5,000만원) 절감 및 기술자립을 위해 국산화 시급

고성능 제어밸브의 고질적 누설 및 고장 발생으로 출력손실 초래

- 고온 고차압에 따른 디스크/시트 손상으로 누설 및 고장 문제 발생
 - 국내외 발전소 급수 및 증기계통 제어밸브 누설로 출력 손실
 - + 울진 1,2호기 및 고리 3호기 등 내부누설 ; 출력손실 약 1.5MWe
 - + 외국(대만) 원전 고성능 제어밸브로 교체후 출력 12MWe 상승
 - 국내 고리 3,4호기 및 울진 4호기 주급수제어밸브 고장으로 발전정지
- 고유속에 따른 제어밸브 몸체 및 후단 배관의 침/마모로 인한 외부누설

System D&D

2

1. 기술개발 필요성 및 현황

1-1. 기술개발 필요성

고부가가치 발전기자재의 국산화 개발 및 기술자립 달성

- 고부가가치 제품의 국산화 및 안정적 공급기반 확보
- 기술집약적 고성능 제어밸브의 기술자립기반 구축
 - 설계/해석, 제조 및 성능평가 기술 자립
 - 전문인력 양성 및 생산(공급)능력 확보
 - 시험설비/성능평가 등 관련 기술 개발
- 성능개선(Retrofit) 기법 및 절차 확립으로 기존밸브 성능개선
- 국내 기술력으로 정비 및 유지·보수 추진, 비용절감
- 국내 관련 산업의 기술혁신 및 수출기반 구축
- 개발된 설계 및 제조 기술의 특허획득 추진

System D&D

3

1. 기술개발 필요성 및 현황

1-2. 국내·외 관련기술 현황

외국현황

- 미국 80년대초 침식, 마모 및 소음이 적은 ‘굴곡형 다단감압 트림’ 개발
- 미국의 제조업체(CCI, FISHER사 등)가 동 설계기술을 적용한 고성능 제어밸브 개발하여 특허 및 시장 독점, 동남아 현지 합작공장 설립
- 최근 특허권 소멸로 여타 전문업체가 동 기술을 응용하여 유사제품 출시
- 최적 구조설계를 통한 성능개선 기법 및 제조원가 절감 기술연구 개발중

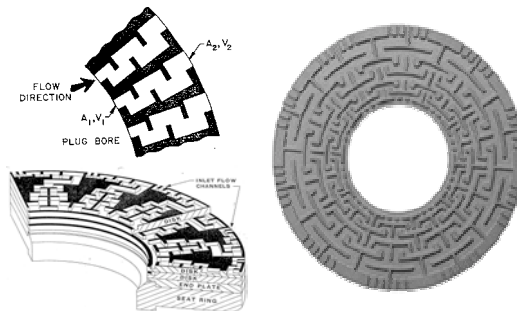
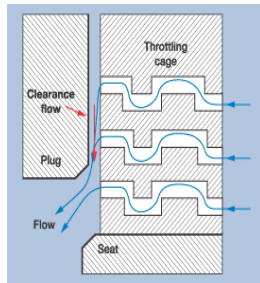
국내현황

- 고성능 제어밸브 자체 설계 및 제조 능력 확보 업체 없음
- 국내 제조업체의 설계기술, 인력, 시험설비 부족 및 품질수준 낮음
- 공급 자격 인증(KEPIC/ASME Stamp)시 인력 및 비용 과다 소요
- 외국 전문업체와 기술제휴(기술지원 및 핵심부품 수입), 조립생산
- 국내업체 기술제휴 조건 문제로 동 기술제품 자체 개발, 공급이 어려움

1. 기술개발 필요성 및 현황

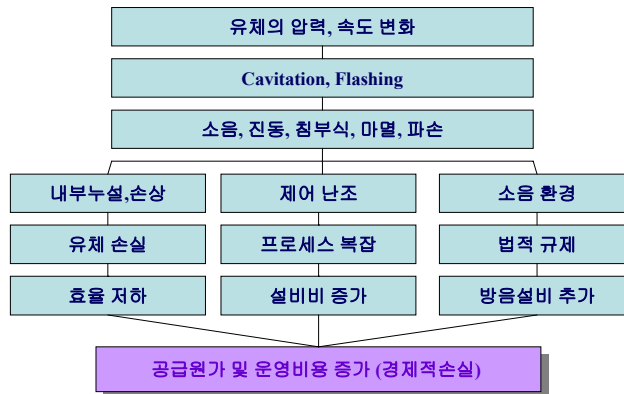
◆ 외국 고성능 제어밸브 트림의 형태

$$\rho V^2/2$$



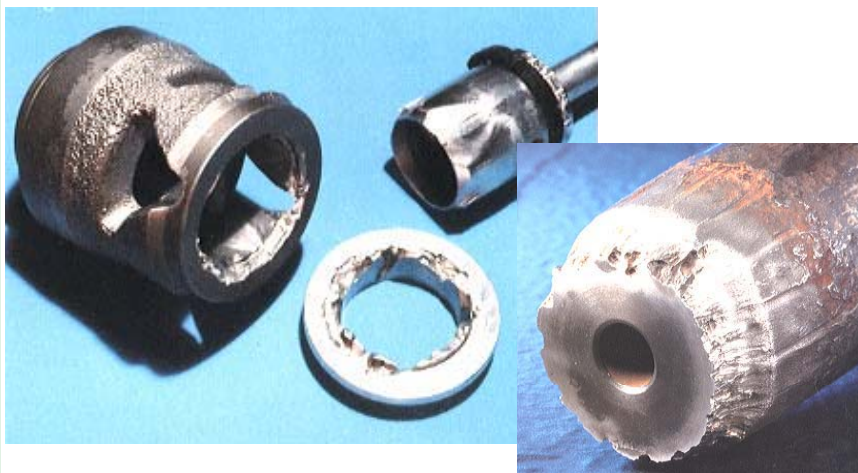
1. 기술개발 필요성 및 현황

1-3. 고온 고차압 조건으로 운전되는 밸브의 특성



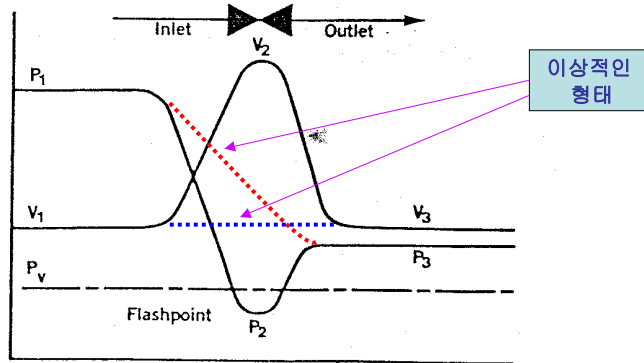
1. 기술개발 필요성 및 현황

◆ 기존밸브의 내장품 손상형태



1. 기술개발 필요성 및 현황

◆ 제어밸브 트림부에서 동특성 및 기술적 문제점(1)



System D&D

8

1. 기술개발 필요성 및 현황

◆ 제어밸브 트림부에서 동특성 및 기술적 문제점(2)

- Valve Trim Outlet Kinetic Energy Criteria
 - Recommendation of ISA
 - 설치대상 계통의 유체 조건 평가
 - Cavitation(Flashing), Resistant Valve 조건

| Service Condition | Kinetic Energy Criteria | Equivalent Water Velocity |
|---|-------------------------|---------------------------|
| | Kpa | m/s |
| Continuous Service, Single-phase Fluids | 480 | 30 |
| Cavitating & Multi-phase Fluid Outlet | 275 | 23 |
| Vibration-sensitive System | 75 | 12 |

System D&D

9

2. 기술개발 목표 및 평가기준

원전용 고성능 제어밸브 및 성능개선기법 개발, 기술자립

- 신기술을 적용한 안전등급용 고성능 제어밸브(100kgf/cm² 급) 개발
- 최적 체적설계(90% 목표)로 성능개선(Retrofit) 기법 및 수행절차 개발
- 누설문제 해결을 위한 고밀봉 구조설계 및 재료 분석
- 구조/열응력 해석 및 유동해석/시험으로 설계 및 성능 검증
- 고성능 제어밸브 설계, 제작, 시험 및 정비 기술자립 달성

기술기준에 근거한 객관적인 연구결과 평가 및 성능 검증

- 전용 S/W로 구조해석, 유체유동해석 및 실험, 열응력/열변형분석
 - 유체유동, 구조역학적 설계 및 재료 적합성, 안정성 입증
 - 트림부의 성능개선 효과 및 절차의 타당성 평가
- 공인기관에 의한 성능시험, 평가 및 내진해석 수행
 - 유량계수, 유체속도, 체적율, 소음 기준 및 가공성 평가 분석
- KEPIC-MN에 의한 제품인증(Stamp) 요건 충족

2. 기술개발 목표 및 평가기준

정량적 성능목표 및 평가 항목

| 평가항목 | 단위 | 비중(%) | 개발목표 성능수준 | 선진국 기술수준 | 평가방법 |
|-----------------|--------------------|-------|-----------|---------------|---------------|
| 유량율(계수) | Cv | 10 | 규격별 가변 | 규격별 가변 | ISA/IEC -시험 |
| 시트누설률 | %Cv | 15 | 0.001 | 0.001 | ANSI/FCI 70-2 |
| 유속(2 ϕ 유체) | m/sec | 20 | 23이하 | 23(275KPa) | ISA/ANSI-시험 |
| 트림체적율 | % | 20 | 90이하 | 100 | 계산 및 설계해석 |
| 트림가공시간 | Min/EA | 15 | 30 | 60 | 제작검사 및 계산 |
| 소음 | dB | 15 | 85 | 85 | ISA/ANSI-시험 |
| 내압력 | kg/cm ² | 5 | 100 | ASME SEC. III | ASME III -시험 |

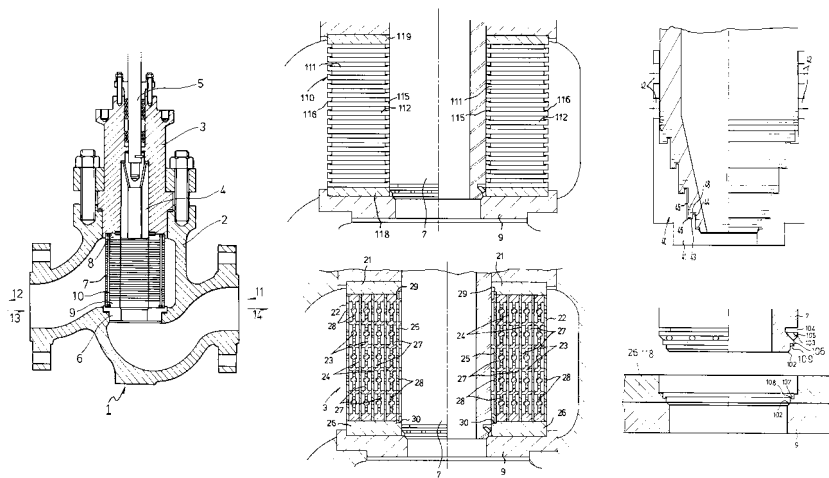
3. 연구 수행 계획 및 내용

3-1. 기술개발의 개요

- 연구목표 : 원전용 고성능제어밸브 및 성능개선기법 개발, 기술자립
- 연구기간 : 2003. 5 ~ 2005. 10(30개월)
- 총사업비 : 803,909천원
 - 기금출연금 : 601,633천원
 - 기업부담금 : 202,276천원(현금 120,596천원, 현물 81,680천원)
- 수행기관 : 중소벤처기업 주관 공동개발
 - 주관기관/참여기업 : 시스템디엔디(주)
 - 위탁기관 : 충남대학교(산업공학연구소)
- 적용기술 : '입체형 열보우 및 홀 유동장치' 설계기술
- 지원기관 : 산업자원부(전력산업기반조성사업)

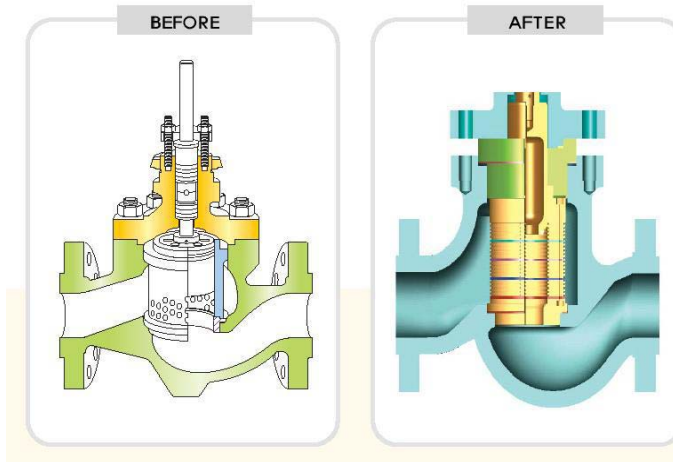
3. 연구 수행 계획 및 내용

◆ 고성능 제어밸브 트림부 설계 기본 모형(3종)



3. 연구 수행 계획 및 내용

◆ 성능개선(Retrofit and Up-Grade)의 범례



System D&D

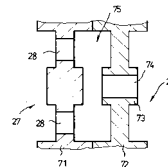
14

3. 연구 수행 계획 및 내용

3-2. 연구개발 적용기술

최신 기술을 적용한 트림부의 설계, 해석, 제작 및 성능검증

- 고온, 고압 및 고차압 조건에서의 압력, 속도, 에너지 등의 수치해석 기술
- 열, 유체 및 재료역학적 바탕의 내부코어(Core)의 Path 및 Stage 설계 기술
- 밸브와 배관의 Energy Dispatch, 최적 제어를 위한 설계 및 엔지니어링
- Group Theory를 이용한 응력분산, 공간최적화 및 컴팩트화 설계 기술
- Seat 누설방지를 위한 Block Leakage 압축강도 설계 기술
- Damage Intensity 및 Life Prediction 기술
- Path 및 Stage에서의 Kinetic Energy 제어 기술

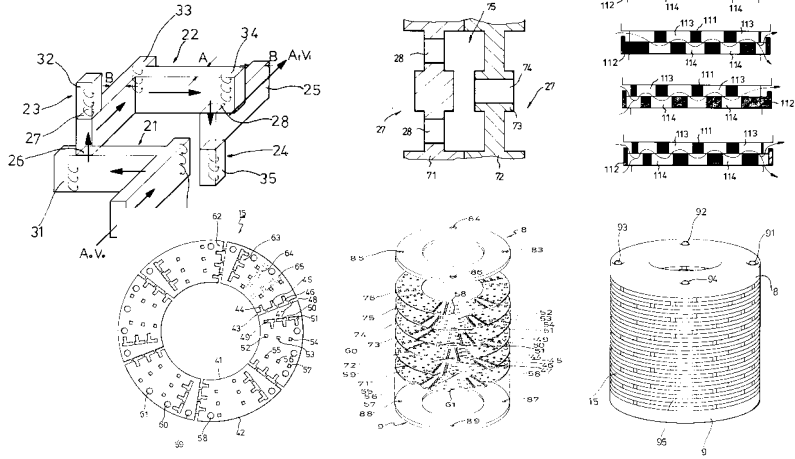


System D&D

15

3. 연구 수행 계획 및 내용

◆ 입체형 엘보우 및 흡 유동장치의 설계기술



System D&D

16

3. 연구 수행 계획 및 내용

◆ 밸브의 압력강하

$$K = \frac{2\Delta P}{\rho V^2}$$

$$\Delta P = (K_L N + K) \left(\frac{q^2 G_F}{890 d^4} \right)$$

$$C_V = q \sqrt{\frac{G_F}{\Delta P}}$$

$$q = AV$$

- 여기서, K : 압력손실계수
 ΔP : 입출구 차압
 ρ : 유체 밀도
 V : 유체 속도
 K_L : 굴곡당 압력손실계수
 N : 굴곡수
 q : 유체의 유량률
 G_F : 유체의 비중
 d : 밸브 입구 직경,
 A : 밸브 입구 단면적

◆ 밸브트림의 압력강하

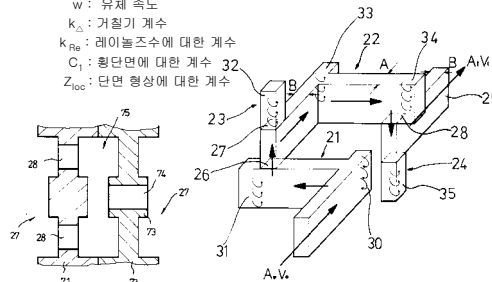
$$\Delta P = \zeta (\rho w^2) / 2$$

$$\zeta_1 = f(\text{Geometry})$$

$$\zeta_1 = \Delta P / (\rho w^2 / 2) = k_{\Delta} k_{Re} C_1$$

$$\zeta_{loc}$$

- 여기서, ΔP : 압력강하(차압)
 ζ : 저항손실계수
 ρ : 유체 밀도
 w : 유체 속도
 k_Δ : 거칠기 계수
 k_{Re} : 레이놀즈수에 대한 계수
 C₁ : 횡단면에 대한 계수
 ζ_{loc} : 단면 형상에 대한 계수



System D&D

17

3. 연구 수행 계획 및 내용

3-3. 기술개발 추진체계



4. 연구개발 추진 현황 및 실적

4-1. 연구개발 추진현황

- **국내외 제어밸브 설계자료 조사 및 검토, 분석**
 - 해외 전문업체/ 연구소 등의 연구자료 입수 및 분석
 - 사용(발주)자 기기 사양 검토 분석 및 안전요건 검토
 - 운전중 제어밸브의 자료조사 및 문제점 분석
- **표준형 핵심부품(Trim/Core) 설계개발 및 제작**
 - 다층 오리피스 실린더형, 단단계 입체유동 디스크형, 단단 고밀봉 기능분리형 트림 설계개발 및 제작
 - Group 이론에 의한 응력분산, 공간최적화 및 컴팩트화 설계
- **표준형 핵심부의 설계해석(유체유동, 구조 및 열응력) 실시**
 - 고차압 조건에서의 유체압력, 속도 및 운동에너지 수치 해석
 - 핵심부품의 구조적 안전한계치 계산 및 구조/열응력 해석

4. 연구개발 추진 현황 및 실적

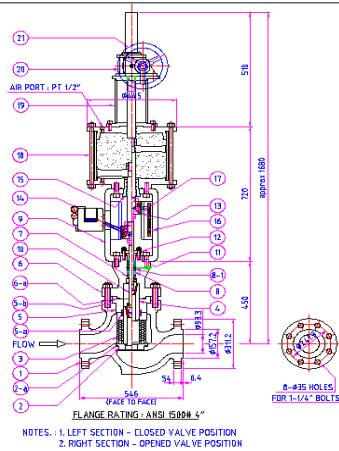
4-1. 연구개발 추진현황

- **기술개발 시작품의 기본설계 및 주요소재 검토, 분석**
 - 시작품 규격 설정(1,500#), 설계입력 자료 작성
 - 조립체 기본설계, 밸브 Sizing, 구동기 규격 및 형식 설정
 - 주요부품 소재에 대한 부식, 마모, 열팽창 특성 등 설계검토
- **시작품 상세설계 해석 준비 및 입력 자료 작성**
 - 밸브 내부 유체유동 해석을 위한 전산해석 모델 구축
 - 구조 해석 (강도, 열팽창 등)을 위한 전산해석 모델 구축
- **시작품 성능시험 장치 설계 및 성능개선 기준 수립**
 - 표준형 핵심부 유동시험장치 제작 및 시험수행
 - 제어밸브 성능진단평가 시험장치 설계
 - 제어밸브 성능개선 평가 기준 수립

4. 연구개발 추진 현황 및 실적

4-2. 시작품 기본설계

- 전체 설계도 및 재료선정 (4인치, 100K기준)



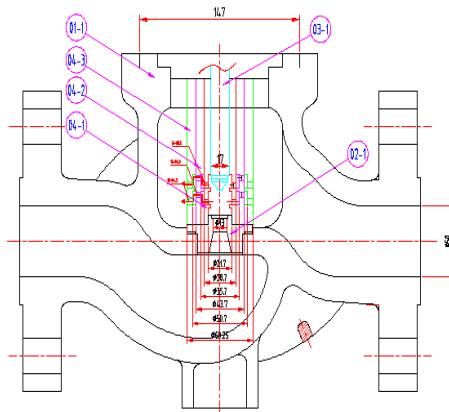
| | | | | | |
|----|---------------------|---|---------------|--|---------------|
| 21 | HAND WHEEL | 1 | PURCH. | | |
| 20 | SCREW JACK | 1 | PURCH. | | |
| 19 | SUPPORT | 1 | | | |
| 18 | AIR CYL. ASSEMBLY | 1 | SET | | |
| 17 | INDICAT.-ARROW | 1 | SUS316 | | |
| 16 | INDICATOR-SCALE | 1 | PURCH. | | |
| 15 | UPPER STEM GLIDE | 1 | SUS316 | | |
| 14 | POSITIONER | 1 | PURCH. | | |
| 13 | CLAMP | 1 | SS41 | | |
| 12 | PACKING FLANGE | 1 | SUS316 | | |
| 11 | PACKING FOLLOWER | 1 | SUS316 | | |
| 10 | STEM | 1 | SUS316 | | ION-NITRIDING |
| 9 | YOKE | 1 | SS42 OR 61045 | | |
| 8 | PACKING ASS'Y | 1 | PURCH. | | SAM-SUNG IND. |
| 7 | SPACE RING | 1 | SUS316 | | |
| 6 | BONNET | 1 | WCB | | |
| 5 | PLUG GUIDE | 1 | SUS420 J2 | | HRC 56-60 |
| 4 | PLUG | 1 | SUS316-316L | | |
| 3 | DISK STACK ASSEMBLY | 1 | SET | | |
| 2 | SEAT RING | 1 | SUS316-316L | | |
| 1 | BODY | 1 | WCB | | |

| P/N | PART NAME | QTY | MATL | DESCRIPTION | REMARK |
|-------------|------------|---|------|-------------|-----------------------|
| APPLICATION | | TITLE ANSI 15004-4" CONTROL VALVE FOR PRESSURE REDUCING VALVE | | | |
| SCALE | UNIT | MM [INCH] | | DWG. NO. | SDD - L3000 - 1000000 |
| BRAWN BY | CHECKED BY | APPROVED BY | | SYSTEM D&D | |

4. 연구개발 추진 현황 및 실적

4-3. 트림부 상세설계

- 다층 실린더(오리피스)형 트림



| O4-3 | CYLINDER 3 | 1 | 420JSS | SEE DWG. | HRC 40-45 |
|------|------------|-----|-----------|-------------|-----------|
| O4-2 | CYLINDER 2 | 1 | 420JSS | SEE DWG. | HRC 40-45 |
| O4-1 | CYLINDER 1 | 1 | 420JSS | SEE DWG. | HRC 40-45 |
| O3-1 | STEM | 1 | 420JSS | Ø17 | HRC 40-45 |
| O2-1 | SEAT | 1 | 316S-S-ST | SEE DWG. | |
| O1-1 | BODY | 1 | A216-WCB | 1500H-2" | |
| P/N | PART NAME | QTY | MATL | DESCRIPTION | REMARK |

TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

| | PLATES | INCH | MM |
|-------------------|--------|-------------|---------|
| FRACTIONAL | 0 | — | ± 0.5 |
| | 1 | — | ± 0.19 |
| | 2 | ± 0.095 | ± 0.03 |
| | 3 | ± 0.091 | ± 0.033 |
| | 4 | ± 0.091 | ± 0.036 |
| | 5 | ± 0.0925 | — |
| WHOLE DEGREES | | ± 2° | |
| DEGREES & MIN. | | ± 0'-30" | |
| DEG., MIN. & SEC. | | ± 0'-00"-5" | |

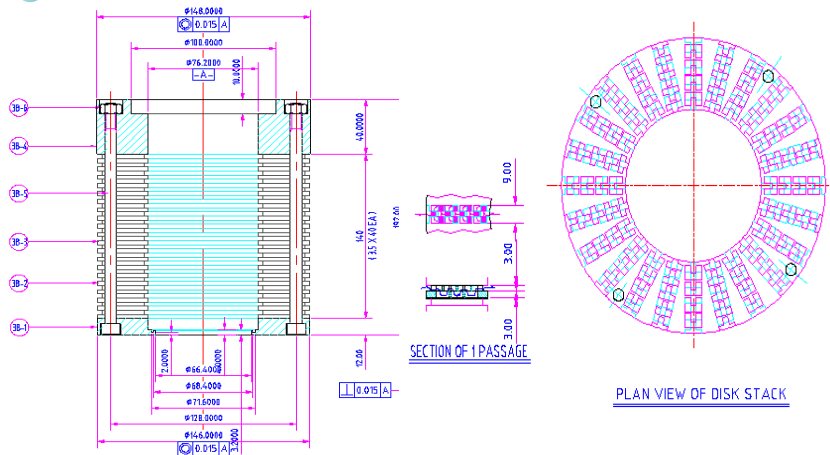
System D&D

22

4. 연구개발 추진 현황 및 실적

4-3. 트림부 상세설계

- 멀티스택(다단 굴곡)형 트림



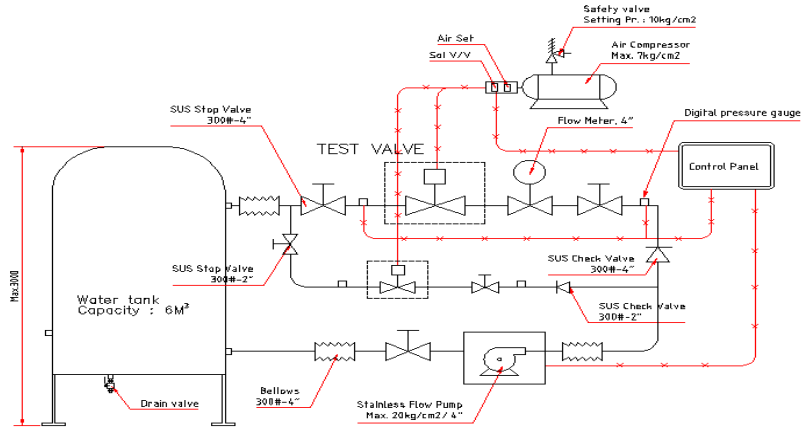
System D&D

23

4. 연구개발 추진 현황 및 실적

4-4. 성능 시험설비 설계

● 동특성 시험 설비 기본설계



System D&D

24

5. 기대효과 및 활용방안

5-1. 기대효과

- 원전 안전등급용 고성능 제어밸브의 국산화 및 기술자립 달성
- 기존 제어밸브 성능개선 기법 개발 및 절차 확립
- 모델링 및 표준모형 제작, 성능실험으로 설계검증 능력 확보
- 제어밸브의 성능시험 및 진단장치 개발 및 관련 기술 확보
- 고부가 가치재 국내 조달로 연간 약 500억 이상 수입대체, 외화절감
- 발전설비 등의 열효율(출력) 증대로 에너지 절감 기대(600억/년)
- 제어밸브 성능개선을 통한 발전소 운영 및 유지보수 비용 절감(약20억/년)
- 국산화에 따른 안정적 공급 및 구매 비용 약 30% 절감
- 고성능 제어밸브의 수출을 통한 외화획득 기반 구축
- 관련 산업계 기술수준 혁신 및 기술개발 의욕 고취, 고용 창출
- 전력산업 발전 및 국가 산업경쟁력 제고에 기여

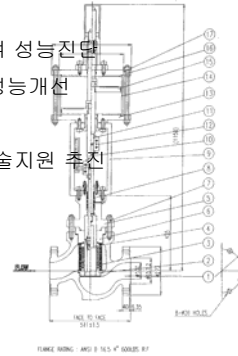
System D&D

25

5. 기대효과 및 활용방안

5-2. 활용방안

- 원자력 및 화력발전소 고성능 제어밸브 국산화 공급
- 국내 기술력으로 분해점검, 정비 및 유지보수 수행
- 제어밸브의 성능시험 및 진단 기술, 절차를 활용하여 성능진단
- 성능개선 기법을 활용하여 기존 제어밸브 정비 및 성능개선
- 동력구동 안전밸브(PORSV)의 설계 기초자료 확보
- 정유화학 등 관련산업 기기의 개발 및 성능개선, 기술지원 추진
- 제어밸브 설계 및 제조 기술의 특허취득 확보
- 고부가가치 제어밸브 및 관련기술의 수출 시장 개척



< 대단히 감사합니다 >