

발전소 터빈 비상정지 계통 Mechanical Trip Valve 건전성 확보 방안 Security Plan of Turbine Emergency Trip System Mechanical Trip Valve for Power Plant

이 승 훈
S. H. Lee

1. 서 론

터빈 비상정지에 사용되는 MTV(Mechanical Trip Valve)는 터빈 운전 중 비정상적인 과속 또는 터빈 베어링 Lube Oil 압력 상실이 발생할 경우 동작하여 터빈 부하 조정용 증기 밸브 구동용 유압 액추에이터에 공급되는 유압을 차단하여 터빈을 급속 정지시키는 터빈 보호 설비이다.

주요 터빈 보호 설비인 MTV의 장기 운전 시 발생하는 고착에 따른 동작 불량 현상은 대용량 원자력, 화력 발전소에 빈번하게 발생하고 있으며, 고착의 원인은 장기 미 동작에 의한 접촉 동작 윤활면의 경계 윤활 상태 발생에 따른 기계적 고착현상과 유압유 내 이물질에 의한 더티록(Dirty Lock) 현상으로 조사되고 있으며, 대용량 원자력, 화력 발전소의 장기 운전에 따른 MTV의 고착 현상을 해결하기 위한 방안에 대한 관심이 집중되고 있다. 본 해설에서는 터빈의 보호용 발전소 유압시스템에 있어 중요한 설비인 MTV의 고착을 예방하기 위해 MTV의 동작 특성과 고착 발생이 개선된 유압밸브의 Spool 및 Bushing 개발에 대해 기술하였으며, MTV의 문제점을 해소하여 설비의 건전성 확보에 기여하고자 한다.

2. Mechanical Trip Valve 고장 분석

2.1 MTV 동작 특성

MTV는 Sliding Type Spool Valve로 그림 1과 그림 2를 참조하면 2위치 동작에 따른 Trip 및 Reset 동작으로 동작되어 진다. MTV는 자체의 동작 전원이 없으며, Link와 연결되어 외부 동작이 입력될 경우 동작이 된다. 입구의 압력 분포는 그림 3과 같으며, 출구의 면적은 423mm²이며, 입구 가압 압력과 출구 압력은 각각 1.3 Mpa 로 형성된다. 이때 출구 유량은 107 Liter/Min으로 형성된다. 상기의 특성을 감안할 경우 유압유의 출입구 및 동작 입구로의 지속적인 유체가 공급되게 되며 Tank측 격리부는 장기 간 유압유가 공급되지 않는 상태로 운전되게 되며

동작부의 경계 윤활이 발생하는 것으로 분석된다.

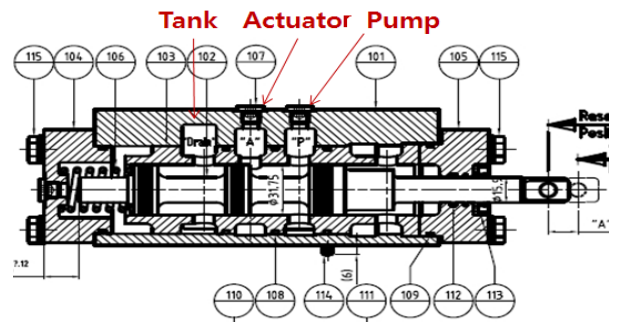


그림 1 MTV 구조

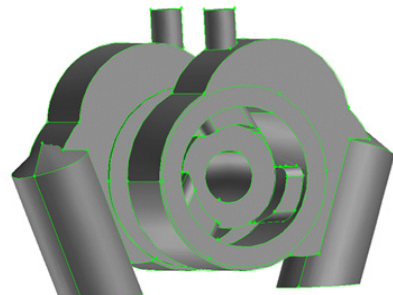


그림 2 MTV 유동공간

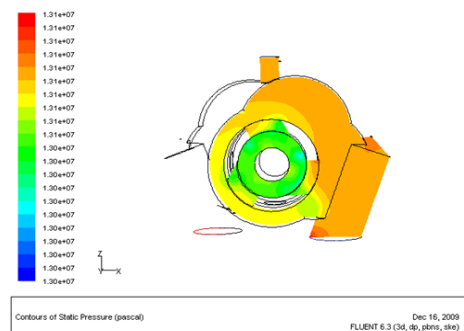


그림 3 MTV 입구 압력 분포

또한 그림 4와 같이 장기 미동작시 발생하는 유압 유내의 경질의 이물질은 Spool & Bushing간 간극에 췌기 형태로 잔류하게 되며 압력의 가압 상태에서 더더욱 높은 동작 저항의 형태로 발생되게 되고, 이

물질이 높은 경도를 보유하고 있을 경우 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같이 동작에 의한 손상을 유발하게 된다.

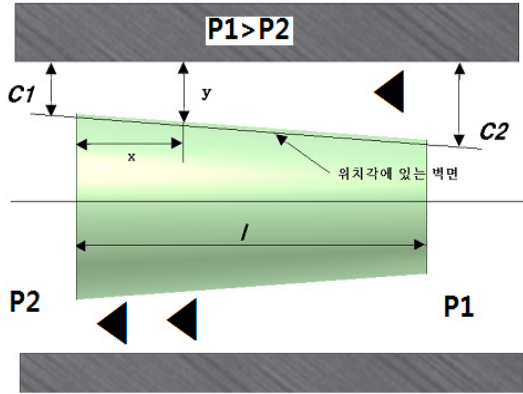


그림 4 이물질 유입 경로

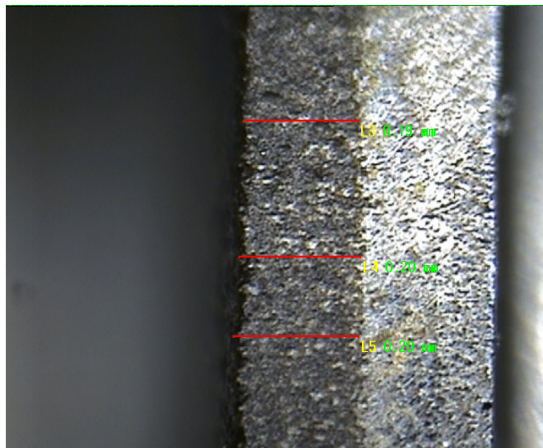


그림 5 제트류에 손상된 스푼

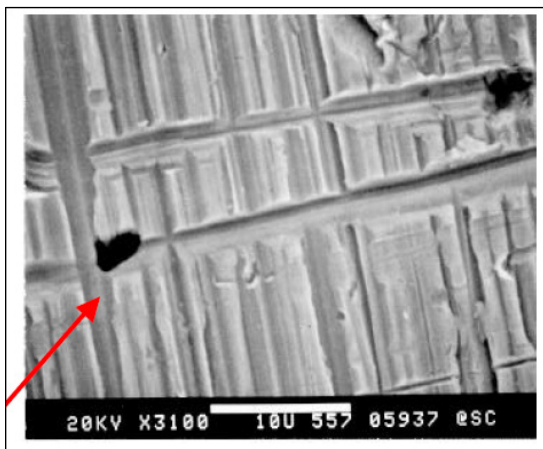


그림 6 외부 유입 이물질에 의한 스푼 손상

2.2 기계적 손상에 의한 고장 및 문제점 해결
MTV 주요 손상의 원인은 장기 미동작에 따른 윤

활층 파괴에 따른 경계 윤활 및 이물질이 유압유내 유동중 접촉 동작면에 췌기 형태로 잔류하여 동작시의 손상으로 유발되는 것으로 분석되었다. 이와 같은 손상을 막기 위한 방법으로 Spool & Bushing의 경도차 부여 및 고경도를 유지하므로 접촉 동작부 이물질이 잔류하여도 본재질의 손상이 없도록 하는 방법을 채택하였다. 구성재질의 선정을 위해 구성 재질 분석 결과(KS B 0802:2003) 표 1과 같은 조성으로 구성이 되어 있었다.

표 1 수입품 유압밸브 Spool & Bushing 재질

조성	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
소재 (%)	0.13	0.33	0.40	0.01	0.002		12.95		0.99

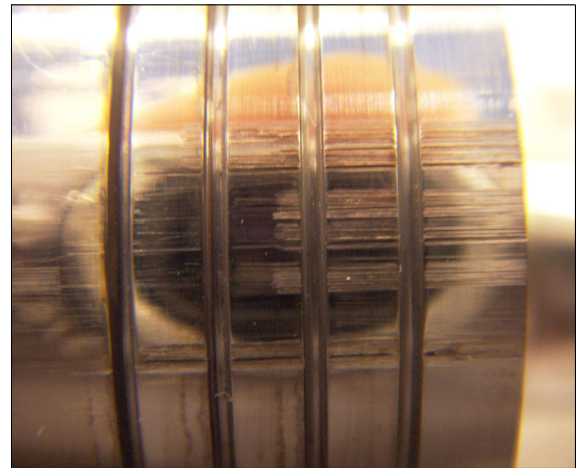


그림 7 MTV Spool 외경부 손상

조사된 재질의 화학적 조성을 바탕으로 접촉동작 부품간의 경도차를 높게 형성할 수 있도록 Spool 재질을 STS 420J로 선정하였다. STS 420J로 Spool을 제작할 경우 열처리에 따른 경도가 높아 Bushing & Spool에 강도차가 부여되어 이물질 유입에 의한 구성 부품의 조직 손상 현상을 방지 할 수 있으며, 가공성이 우수하여 내부 간극의 정밀 가공이 필요한 유압 밸브의 정밀 가공에 적합한 소재로 검토 되었다.

2.3 설비의 구조적 결함에 의한 고장 및 문제점 해결

Turbine Front Standard System의 보호 밸브의 동작은 그림 8과 같이 유압의 작용에 따른 유압밸브 동작시 Link의 이동으로 동작된다. Link동작 기구의 동작 상태를 조사한 결과 사점(Dead Point)은 발견

되지 않았으나 Link 구조의 Misarrange에 의한 Side Load 발생 및 유격 발생로 지속적인 손상유발 및 동작 불량상의 구조적인 문제가 조사되었다. 이 같은 현상은 Turbine Front Standard System 초기 설치 불량에 기인한 것으로 국내 발전소에서도 동일하게 관찰되었으며, 이에 Clevis를 신규 제작하여 설비에 적용함으로써 Link의 Side Load를 방지 할 수 있다.

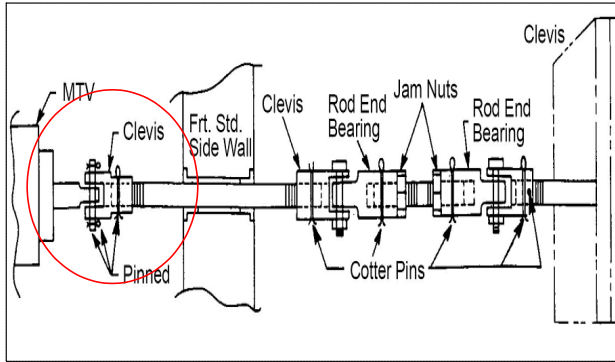


그림 8 MTV Link Arrangement

3. 시험 조건

시험편으로 제작된 MTV 시작품의 성능과 고도의 신뢰도 보유 확인 및 수명 예측을 통한 발전 설비 적용 가능여부를 확인하기 위한 다양한 시험을 수행하였으며, 수행된 주 시험은 내구성 및 내환경 시험을 수행하였다.

3.1 연속 내구수명 시험

신뢰성 평가기준 RS B 0280에 준하여 성능실험과 시료 2개를 1.8×10^5 사이클까지 연속 내구 수명시험하였으며, 시험 조건은 실온 26°C에서 온도 50°C로 유지하고, 시험 장치는 그림 10과 같다.

3.2 압력 손실 시험

유량 변화에 따른 입구 압력과 출구 압력을 획득하여 압력 손실 여부 시험. 시험 조건은 실온 26°C에서 온도 50°C로 유지.

3.3 내부 누유 시험

입구 압력 공급 상태에서 동작측 유압관로를 차단하고 출구측에서 누설량을 계측 시험 조건은 실온 26°C에서 온도 50°C로 유지.

3.4 외부 누유 시험

입구 압력을 허용 최대압 공급 상태에서 동작측

유압관로 및 출구측 유압관로를 차단하고 압력 및 출구측 유압 5분간 공급하여 외부누설 확인 시험 조건은 실온 26°C에서 온도 50°C로 유지.

3.4 내환경 시험

3.4.1 운용가진 시험 (1~150) Hz의 주파수 범위로 정현파 스위프 시험 (진동 가속도는 2 m/s² 이하, 진폭은 0.75 mm)

3.4.2 고온시험 그림 11과 같이 항온조 온도를 (60±2) °C까지 상승후 (50±2) °C까지 하강.

3.4.3 습도시험 습도를 50, 85, 95±5 °C로 유지한 후 시험.

3.4.4 안전성 시험 최대 압력의 1.5qoff 인가한후 3분간 유지 시험.

4. 시험 결과

한국 표준형 터빈 Front Standard 부품 국산화 과정을 통하여 개발된 시작품에 대한 시험을 수행하였으며, 시험 결과 내구수명, 압력손실 시험, 내부누유 시험, 외부누유 시험, 및 내환경 시험에 있어 우수한 성능을 유지하였다. 그중 내구 수명 시험의 경우 30년 수명 시험 결과에도 Spool 접촉 동작면의 박리 또는 손상은 발생하지 않았다. 최종적으로 현장 적용 시험을 위한 시뮬레이션 시험에 있어 1: 1 비율로 제작된 터빈 프론트 스탠다드 시스템을 구축하고 0~2100 RPM 대의 유사 동작 시험을 실시하고 터빈의 과속 조건을 부여하여 실제적인 Trip 시험을 실시하였으며 [그림 9]에서 보는바와 같이 동작 시험결과 동작 상태는 양호 하였다.

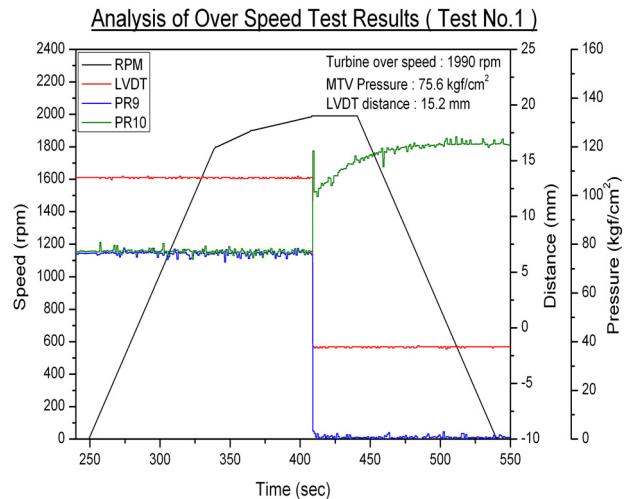


그림 9 Simulation Test Result

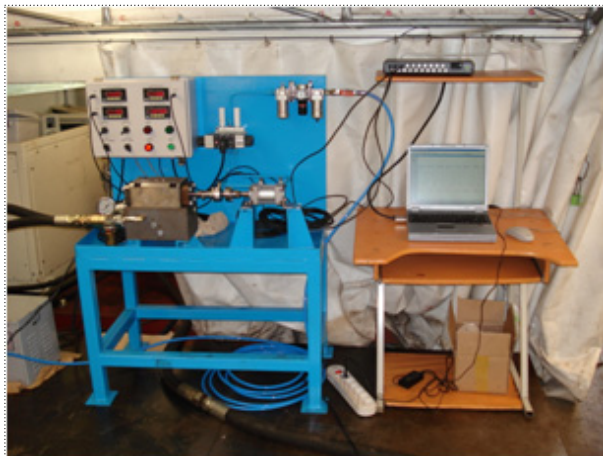


그림 10 수명시험



그림 11 고온시험

5. 결 론

본 연구를 통하여 개발된 MTV(Mechanical Trip Valve)는 대용량 원자력 화력 발전소의 MTV의 장기 미동작에 의해 발생하는 경계 윤활 및 접촉동작 부로 유입된 고경도의 이물질에 의한 손상에 의한 MTV의 고착을 예방하기 위한 연구이며, 접촉동작 부재간의 경도차 및 강도 부여에 따른 MTV의 손상 저감을 위한 연구이다. 연구 개발된 제품에 대한 성능평가 결과 성능이 양호하게 입증되었으며, 향후 국내 대용량 원자력 및 화력 발전소에 적용시 접촉동

작 부품의 고착에 따른 동작 불량 현상을 개선할 수 있는 것으로 평가된다.

참고 문헌

- 1) James A. McLinn, 2005, "Assuring hydraulic component reliability", NCFP 105-3.1, pp. 67-73.
- 2) Vincent R. Lalli, Henry A.1992. Malec, "Reliability training", NASA Reference Publication 1253, pp. 105-126,
- 3) Komatsuzaki S., Uematsu T. ,1994. "Estimation of service life of grease in large size roller bearings", Lubrication Engineering, Vol. 50, pp. 25-29,
- 4) MIL-STD 721C, "Definitions of terms for reliability and maintainability", pp. 2-13, 1966.
- 5) H. D. Berns and R. J. Lobmeyer, "Cumulative damage analysis for hydraulic hose", SAE Technical Paper Series, pp. 47-69, 1986.
- 6) C. W. Evans, "Testing and application of wire-reinforced hydraulic hose", Polymer Testing, Vol. 7, pp. 309-315, 1987
- 7) Park Jungwon, Yum BongJin, "Optimal design of accelerated life tests with two stresses", Naval research Logistics, Vol. 43, Issue 6, pp. 863-884, 1996.

[저자 소개]

이 승 훈

E-mail : sh.lee@enesco.co.kr

Tel : 042-671-3141

1978년 12월 19일생.

2008년 군산대학원 기계공학 전공. 현재

(주) 에네스코 R&D 선임 연구원 재직중.

유압설비 성능진단 및 시스템 설계연구.

유공압시스템학회 회원

