

## 원전 펌프 메카니컬씰 결함평가

### A Study on the Evaluation of Mechanical Seals Failure for Pump in Nuclear Power Plant

이상국†·이도환\*·김대웅\*\*·이선기\*\*\*

Sang-Guk Lee, Do-Hwan Lee, Dae-Woong Kim and Sun-Ki Lee

#### 1. 서 론

펌프 메카니컬씰은 수많은 원자력발전소 회전체 설비에 광범위하게 사용하고 있으며, 특히 다양한 크기와 압력 등급의 펌프에서 핵심 기기로 사용되고 있다. 이들 기기의 안전성 문제는 대단히 중요하게 다루어야 할 핵심적인 요소이다. 또한 이러한 설비들의 안전과 관련하여 사고가 발생할 때는 막대한 경제적 손실과 사회적인 큰 문제로 야기될 수 있다. 최근 발전설비의 대부분은 대형화, 정밀화 및 고성능화되고 있어 설비에 대한 안전적인 관리가 더욱 요구되고 있다.

현재 국내 원전 펌프의 메카니컬씰은 진단하지 않고 주기적으로 교체하거나 고장발생시 교체하고 있다. 메카니컬씰의 마모결함 상태를 정확히 진단하고 교체시기를 판정하는 기술 부재로 교체비용 낭비 및 냉각재 누설 등 발전소 중대사고를 발생시켜 왔다. 이러한 마모결함을 예측진단하기 위해서는 다양하고 정밀한 마모상태를 모사할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 메카니컬씰 결함의 대부분을 차지하고 있는 밀봉 유체누설을 야기시키는 메카니컬씰의 마모결함을 평가하기 위한 연구결과로서, 메카니컬씰에서 발생하는 마모결함을 예측진단하기 위한 결함 모사 시험장치를 개발하여 마모상태의 정밀 모사 기술 및 상태별 데이터 확보로 예측진단의 신뢰도를 향상 시키고자 메카니컬씰의 운전 조건에 따른 마모결함의 변화를 측정하여 향후 운전조건에 따른 마모결함의 크기를 예측하기 위한 방법을 제시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 메카니컬씰 결함

† 이상국; 한전 전력연구원

E-mail : sglee@kepri.re.kr

Tel : (042) 865-5507, Fax : (042) 865-5412

\* 한전 전력연구원, \*\* 한전 전력연구원,

\*\*\* 한전 전력연구원

메카니컬씰(mechanical seal)은 회전장치의 밀봉(sealing)에 있어서 그랜드 패킹(grand packing)을 기계공학적으로 바꾸어 놓은 것으로 회전축(rotating shaft)와 그랜드 패킹의 마찰열을 메카니컬씰의 회전부(rotating part)와 고정부(stationary part)로 나누어서 두 부품의 마찰로써 밀봉을 하는 장치이다. 먼 접촉식 밀봉장치로 회전축(Shaft)에 수직된 2개의 섭동면(고정자, 회전자)으로 구성되어 한 면이 회전축과 함께 회전하며 스프링의 장력 혹은 유체의 압력으로 회전부의 밀봉을 행하는 장치이다. 메카니컬씰은 회전축의 누설방지에 절대적으로 필요한 장치이며 메카니컬씰 면(seal face)의 윤활은 자체적으로 형성되는 유체막(0.025 $\mu$ -0.25 $\mu$ )에 의해 이루어진다.

메카니컬씰의 설계수명은 씰 면(seal face)을 구성하는 재료의 조합에 대한 마모율에 의하여 결정되며 온도, 압력의 한계 내에서 메카니컬씰의 설계 수명을 충족시킨다. 메카니컬씰의 섭동면 마찰열은 어떠한 형태로든 제거되어야 하며 냉매의 방향이 열 전달이 가장 좋은 지점으로 설정되어야 한다. 최적의 냉매방향 설정은 Self flushing (pumping액의 recirculation)에 의하여 행해지는가, Quenching (섭동면에 직접 닿지 않는 독립적인 외부냉매 사용)에 의하여 행해지는가를 결정하게 된다. 메카니컬씰은 섭동면 사이에 윤활막이 형성되도록 설계되기 때문에 미세한 누설 가능성은 항상 존재한다. 모든 메카니컬씰은 누설의 양이 적어 증발(evaporate), 기화(vaporize)하여 유체의 누설로는 명백하지 않으나 눈에 띄는 다량의 누설은 메카니컬씰 표면이 마모되었음을 알려준다.

메카니컬씰의 결함은 대부분 메카니컬씰을 구성하는 시이트 링과 피동 링에서 발생한다. 즉, 가공 불량, 조립 불량, 과대 면압, 미끄럼 운동면의 이물질, 마찰면의 무윤활, 건식 운전 등에 기인한 결함은 바로 시이트 링과 피동 링에서의 크랙발생 및 조기마멸, 밀봉 유체의 누설, 과대 토크, 소음 등과 같은 현상으로 나타난다.

##### 2.2 시험장치 및 방법

Fig.1은 메카니컬씰의 마모결함을 인공으로 모사하기 위한 시험장치의 블록도이다. 시험장치의 구성은 크게 시험변수 제어/입력부, 모사시험부 및 데이터취득/디스플레이 3개

의 부분으로 구성된다. 시험변수 제어/입력부는 모사시험부에 온도 100℃ 미만 및 최대압력 10bar 이상의 고온고압 유체를 공급하고, 모사시험부에 유체 회전력을 공급하기 위해 1800rpm이상의 축 회전속도 범위로 속도 가변 모터를 구동하고 제어한다. 모사시험부는 마모 모사, 누설 확인(마모개시 확인), 누설중량 측정기(로드셀) 장착에 의한 모사시험부 성능저하 확인, 축 토크/쓰러스트, 고정/회전셀 온도 등을 확인할 수 있다. 또한 데이터취득/디스플레이부는 마모 두께 데이터 취득, 모사시험 변수 데이터 취득, 데이터의 저장 및 모니터 출력, 시험변수 및 성능저하 운전상태를 표시하게 되어 있다.

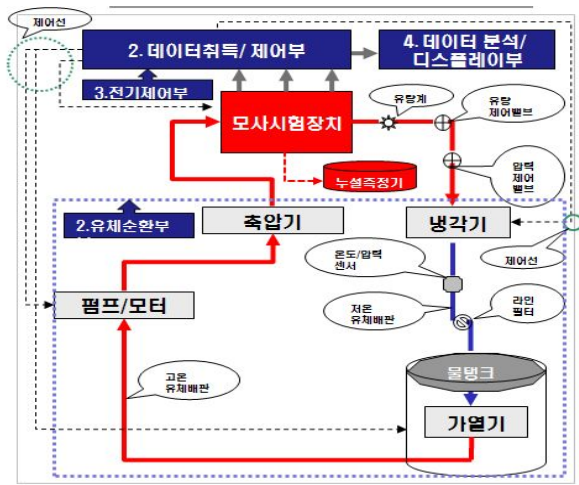


Fig. 1 Block diagram of mechanical seal test system

### 2.3 실험결과 및 고찰

메카니컬셀의 마모결함에 영향을 줄 것으로 예상되는 운전조건인 유체압력, 펌프축 회전속도(토크), 유체온도 및 시험시간 변화에 따른 메카니컬셀의 마모결함 두께 변화를 측정 한 결과를 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Fig. 2는 펌프 순환유체의 압력변화에 따른 펌프축 회전 속도 및 시험시간별 메카니컬셀의 마모결함 두께 변화를 나타낸 것으로, 압력의 증가에 따라 마모결함 두께는 비례적으로 증가함을 알 수 있다. Fig. 3은 펌프축 회전속도(토크)의 변화에 따른 유체압력 및 시험시간별 메카니컬셀의 마모결함 두께 변화를 나타낸 것으로, 압력변화에 따른 마모결함 두께 변화와 같이 회전속도의 증가에 따라 마모결함 두께도 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

Fig. 4는 유체온도의 변화에 따른 펌프축 회전속도(토크) 및 시험시간별 메카니컬셀의 마모결함 두께 변화를 나타낸 것으로, 압력 및 회전속도(토크) 변화에 따른 마모결함 두께 결과와는 달리 유체온도의 증가에 따라 마모결함 두께가 미소한 증가 현상을 보이지만, 유체압력 및 회전속도 증가에 따른 마모결함 두께 증가 경향만큼 크지 않음을 알 수 있다.

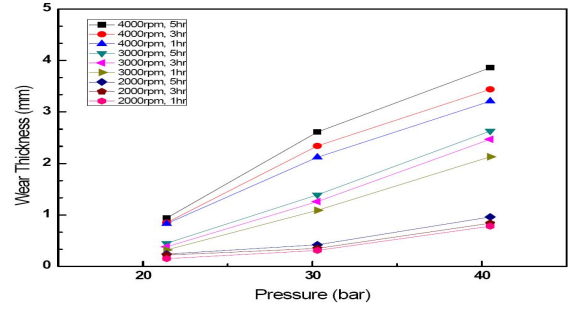


Fig. 2 Variation of mechanical seal wear thickness versus pressure

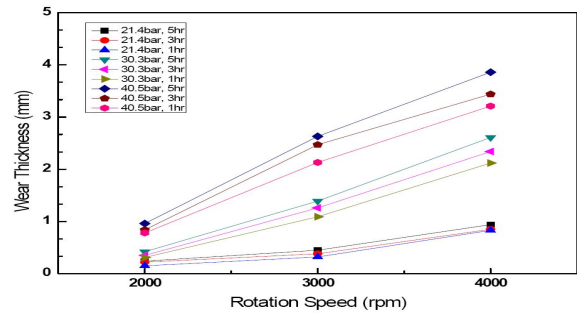


Fig. 3 Variation of mechanical seal wear thickness versus rotation speed

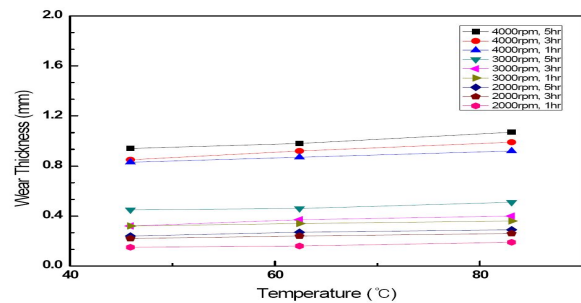


Fig. 4 Variation of mechanical seal wear thickness versus temperature

## 4. 결 론

1. 유체의 압력, 회전속도 및 온도변수는 메카니컬셀 마모에 직접적으로 영향을 주는 시험변수이다.
2. 메카니컬셀의 마모율은 먼접축 압력과 축 회전속도에 비례하며, 특히 원전 펌프 순환수의 끓는 점(boiling point) 이상에서는 메카니컬셀의 기능이 상실되므로 유체온도 설정은 100 ℃ 이내로 설정할 필요가 있다.
- 3 향후 본 논문은 메카니컬셀에서 발생하는 마모결함에 따른 누설발생을 예방하고 예측하는 기초 데이터로 활용가능하다.
4. 펌프 운전제한을 위한 메카니컬셀 작용 압력, 회전속도(토크) 및 온도 운전변수를 평가할 수 있다.