

## 회전기 진단기술 지도

이동근, 김현일, 오봉근, 이광호  
수자원공사 수자원연구원

### Technology Roadmap for Rotating Machine Diagnosis

Lee Dong-Keun, Kim hyeon-Il, Oh Bong-Keun, Lee Kwang-Ho  
Korea Water Resources Corporation

**Abstract** - The rotating machine diagnosis technology is very important techniques to secure reliability of facility operation and life extension of operation to rotating machines that are exposed in danger of the insulation deterioration.

The rotating machine diagnosis technology road map minimizes economic losses according to the unpredictable accidents of the rotating machine diagnosis technology. As technology is secured, it strengthens the competitiveness and the diagnosis technology road maps will be realizing the technique independence and applying industrial sites

#### 1. 서 론

회전기는 산업현장의 주 동력원으로 운용 중에 전기적, 열적, 기계적, 환경적 stress에 상시 노출되어있다. 따라서 이러한 stress가 단독 또는 복합적으로 고장자 권선에 작용하여 절연열화를 가속시키고 절연강도를 저하시켜 결국 전동기의 절연파괴를 야기하게 된다.<sup>[1]</sup>

따라서 일정주기로 절연진단을 실시하여 절연상태평가 및 변화추이를 관리하며, 그 결과에 따라 전동기의 분해점검(Overhaul), 절연세척(Cleaning), 절연보강(Im-pregnation), 재권선(Rewinding)등의 상태기준유지보수(Condition Based Maintenance)를 실시함으로써 적정유지보수에 의한 설비수명연장 그리고 설비상태진단, 평가에 의한 설비운용의 신뢰성 확보로 예기치 않은 사고에 따른 경제적 손실을 최소화하는 것이 설비운영 및 경제적 측면에서 중요한 과제이다.<sup>[2]</sup>

본 회전기 진단기술지도는 이러한 회전기 진단기술의 미래 시장에 대한 예측을 바탕으로 미래 수요 충족을 위해 산업이 개발해야 할 기술과 제품을 예측하여 최선의 기술대안을 선정하는 기술기획으로 기술개발의 전략적 중장기 목표를 달성하기 위한 이정표로서 핵심기술의 파악을 통하여 "선택과 집중"이라는 측면에서 경쟁력 강화를 위한 기업 및 산업계 기술전략 수립의 지침을 제시하여 기술개발투자 결정시 안내지도 역할수행을 도모하고자 회전기 진단기술 및 분석기술에 대한 기술 로드맵을 제시한다.<sup>[3]</sup>

#### 2. 기술의 변천과 현황

##### 2.1 절연체의 변천현황

고장자 주절연 재료가 일반적으로 다른 종류의 전기기계에 사용이 가능한 재료의 발전을 이끌어 왔기 때문에 절연시스템의 개발역사는 대형 발전기에 대한 주절연의 개발을 기점으로 한다.

마이카(Mica)는 고전압 회전기 절연시스템에 있어서

여기에 인장력을 갖게하고 부분방전의 저항력을 갖도록 하는 보강재와 절연 시스템에 마이카를 보강재에 접착시킬 때 사용되는 결합재의 개발과 더불어 적합한 핵심적인 절연재료로 사용되고 있다. 그리고 표 2.1은 고장자 주절연재료의 발전역사를 보여주고 있다.<sup>[4]</sup>

표 2.1 고장자 주절연재료의 발전역사

연 대	절 연 물
1890	유기질 Resin 함침지에 Mica Flake를 결합
1925	천연 Resin 대신에 아스팔트 결합, 표면방전 조절용 도전성 코팅방식 도입
1935	슬롯 단말부 방전 조절용 End grading 재료방식 도입
1945	폴리에스테르와 에폭시 결합 레진 개발
1950	Mica Flake를 합성레진과 결합
1955	Mica paper를 합성레진과 결합
1970	Polyamide Paper와 Mica
1990	Mica paper를 Epoxy Resin과 결합시켜 Glass 나 Dacron Glass로 처리한 절연방식 Silicon Carbide로 End Grading한 권선 슬롯부에 대한 표면 Corona방지를 위해 반도전성 Tape 및 Paint 처리

##### 2.2 국내 발전기 현황

국내 발전설비의 설비대수는 총 385대이며 그림 2.1에서 나타내었다. 그리고 전원별 설비현황은 기력, 원자력, 복합화력, 수력, 내연력 순으로 그림 2.2과 같다.

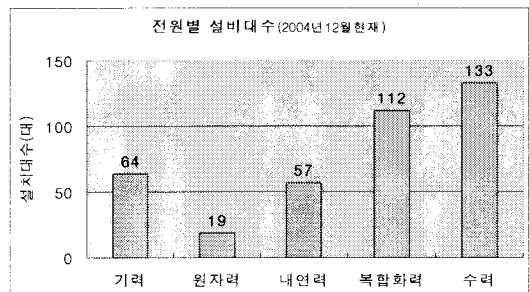


그림 2.1 전원별 설비대수

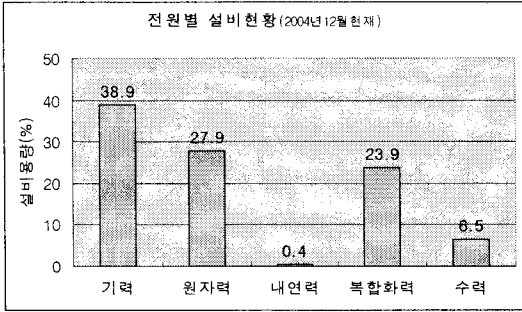


그림 2.2 전원별 설비현황

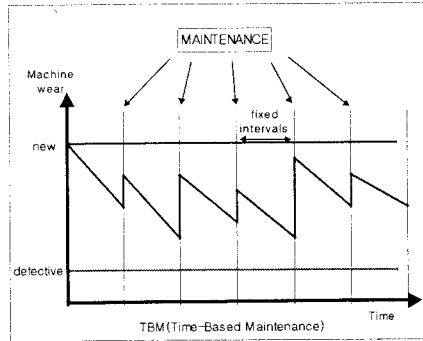


그림 2.3 시간기준 유지보수 흐름도

2.3 회전기 열화 및 고장특성

회전기 절연열화 현상은 각종 스트레스(Stress)에 의하여 절연체 중의 유기성 성분의 분자구조가 변하고 절연층 자체에 기포나 균열이 발생하여 본래의 절연성능을 저하시키는 현상으로 정의되며, 회전기의 절연열화 현상은 다양하지만 열화 요인을 분류하면 표 2.2와 같이 열적, 전기적, 기계적, 그리고 환경적 요인에 의해서 열화 및 고장이 발생하는 것으로 분류할 수 있으며, 또한 열화는 이러한 요인이 복합적으로 작용하여 진행된다.<sup>[4]</sup>

표 2.2 회전기 열화 및 고장특성

열화요인		열화현상
열적	연속	화학적 변질
	주기적	박리, 균열, 마찰
전기적	정격전압	부분방전, 침식, tracking
	이상전압	전기 tree
기계적	굽힘	박리, 균열
	진동	마모
	충격	박리, 균열
환경적	수분 (흡습, 결로침수)	누설전류증대, tracking
	오손 (도전물질, 기름)	누설전류증대, tracking 화학적변질

2.4 회전기 절연진단 기술 동향

유지보수기술은 과거에 많이 사용되었던 일정한 간격의 정기적 유지보수법인 예방보전(Preventive Maintenance)에 의한 시간기준 유지보수(Time Based Maintenance)에서 시간기준 유지보수는 심각한 설비고장의 경우 복구하는데 고비용과 설비정지의 장시간이 요구된다. 그림 2.3은 시간기준 유지보수 흐름도를 나타낸 것이다. 그리고 최근 설비의 과학적 정밀진단에 의한 예측보전(Predictive Maintenance)에 의한 '상태기준 유지보수(Condition Based Maintenance)'를 실시함으로써 유지보수 비용 절감 및 돌발사고 예방에 기여하고 있다. 그림 2.4는 상태기준 유지보수 흐름도를 나타내었다.<sup>[5]</sup>

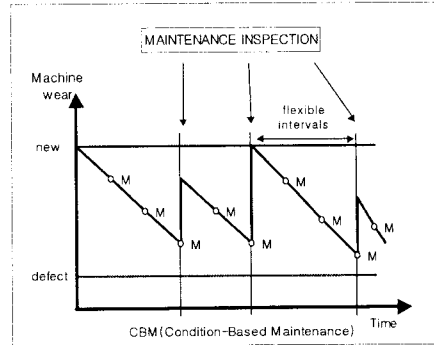


그림 2.4 상태기준 유지보수 흐름도

현재 상태기준 유지보수(Condition Based Maintenance)의 신뢰도 증진을 위하여 전통적인 진단방법인 정지 중(Off-line) 진단시험에서 상시진단시스템인 운전중 진단을 실시함으로써 그 변화량을 분석하는 On-line진단법이 점차 확대되고 있다. 그리고 표 2.3은 회전기 절연진단 기술을 분류하여 나타내었다.<sup>[5][6]</sup>

표 2.3 회전기 절연진단 기술

대기술명	요소핵심기술명	기술의 내용
정지중진단	절연저항시험	누설전류검출
	성극지수시험	누설전류의 비 검출
	교류전류시험	전류의 급증점 검출
	유전정접시험	유전손실량 검출
	부분방전시험	부분방전 검출
운전중진단	PDA	부분방전 검출
	TGA	부분방전 검출
	RF	부분방전 검출

3. 회전기 절연진단 기술 연구현황

3.1 국외 연구현황

대형회전기의 고정자권선 진단은 주기적 정지상태 진단법인 "Off-Line진단"에서 운전중 상시 진단법인 "On-Line

진단"으로 변화 중에 있으며, 부분방전원리를 이용한 진단센서와 시스템을 개발하여 부분적으로 사용중에 있으나, 가격이 고가이며 분석평가기술이 미흡하다.

### 3.2 국내 연구현황

발전기 고정자권선 진단은 주기적(5년)의 정지중 절연진단(Off-Line진단)에 의한 절연상태평가를 실시함으로 실제 발전기 운전중의 절연상태 진단이 어려우며, 특히 노후설비의 돌발사고예방 및 적정보수계획 수립에 차질이 예상되어, 운전중 진단시스템 수입 또는 연구가 부분적으로 개발하여 시험적용 중에 있으며, 최근 수력발전기 및 고압전동기에 대한 On-Line 진단시스템 개발연구가 진행 중에 있다.

## 4. 회전기 진단 로드맵

### 4.1 로드맵 기본구상

회전기진단 로드맵은 진단기술과 분석기술로 크게 대별되며, 진단기술은 절연진단기술, 진동진단기술, Drivng Unit진단기술 그리고 분석기술은 분석알고리즘개발, 평가기술, Net-Work기술로 나눌 수 있다.

### 4.2 연구방향

진단기술의 연구방향은 노이즈 제거기술, 부분방전 패턴 인식기술, 부분방전검출신호처리 분석기법, 그리고 부분방전신호에 의한 방전위치 추적기술이 있다.

### 4.3 기술개발전략

진단기술의 기술개발전략은 산학연 공동연구를 이용한 효율적인 업무분담, 측정센서 및 분석알고리즘의 국산화로 기술자립, 현장적용 및 확대를 통한 측정값의 데이터베이스화로 통계적인 상태진단기술이 있으며 표 4.4는 회전기 진단 로드맵을 나타내었다.

표 4.4 회전기 진단 로드맵

구분	핵심기술			기술고도화			기술자립화		
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014
진단기술	절연진단 기술확립			절연진단+Driving Unit					
	Driving Unit 진단기술 확립			진단기술+진동진단 기술 상관관계 분석 및 합성					
	진동 진단기술			on-off line 시험 특성 비교					
on-line	센서 및 진단프로그램 성능 향상		진동센서개발 및 D/U 센서개발			on-line 진단기술 확립			
분석기술	분석 알고리즘 개발	진단프로그램의 현장데이터 취득분석		데이터 베이스화		데이터 분석을 통한 알고리즘 개발			
	평가기법	평가기준 확립		전압 및 적용별 평가기준 제시		기준 적용 및 평가			
	net work 기술	기본 기술 연구	센서설치 및 진단프로그램을 이용한 분석평가			광역연계 진단 및 기술자립			

## 5. 결 론

회전기 진단기술은 산업현장의 주 동력원의 설비수명 연장 그리고 운용의 신뢰성 확보에 중요한 기술임으로, 본 회전기 진단기술 로드맵은 이러한 회전기 진단기술을 통하여 예기치 않은 사고에 따른 경제적 손실을 최소화하는 진단기술을 확보함으로써 국내의 경쟁력 강화 및 기술자립도 실현을 위하여 회전기 진단기술의 미래시장에 대한 예측을 바탕으로 미래 수요 충족을 위해 산업계 기술 전략 수립의 지침을 제시하여 기술개발의 안내지도 역할 수행하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 60505 "Evaluation and qualification of electrical insulation systems. 1999
- [2] IEEE Std 56-1977, "IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating Current Rotating Machinery" p7~p23, 1997
- [3] 池田 易行, 金神 雄樹, "水車發電機 Coil의 劣化豫知와 壽命豫測의 調査研究", 電力中央研究所報告, W95517, 1996. 4.
- [4] Y. Ikeda and H. Fukagawa, "A Method for Diagnosing the Insulation Deterioration in Mica-Resin Insulated Stator Windings of Generator", 電力中央研究所報告, W88046, 1988. 6.
- [5] IEEE Std 432-1992, "IEEE Recommended for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery(5 hp to less than 10000 hp)", IEEE Power Engineering Society, 1992
- [6] 이광호, 외, "대용량 수차발전기의 절연진단에 의한 절연상태평가" 대한전기학회 하계학술대회는논문집, pp. 1810~1812, 2002. 7.