

## 지능형 설비보전을 위한 고찰

(전력기기 사례)

박주식\*

Joo-sic, park

임충규\*\*

Chong-gyo, Lim

강경식\*\*\*

Gyung-sic, kang

### 1. 서론

국가산업발전의 가속화는 전력수요의 급증을 유발하며, 이에 따라 전력기기는 대용량화, 다기능화 및 인텔리전트화 되고 있다. 또한 전력수용가는 양질의 전력공급라인 확보와 합리적인 설비운용을 요구하면서, 설비기기의 운전 신뢰성과 안정성을 더욱 요구하게 되었다. 따라서, 설비유지관리 및 진단의 국내 기술 향상이 더욱 필요한 시기이다. 설비 유지관리 및 진단기술은 개략적으로 예방보전(Preventive Maintenance)과 예지보전(Predictive Maintenance)기술로 구분할 수 있으며, 예방보전기술은 설비의 정상상태와 이상상태를 비교 분석하여 설비기기의 이상유무를 진단하는 기술이고, 예지보전기술은 설비기기의 노후정도 및 잔여수명 등을 진단하는 기술이다. 최근, 설비 유지관리 및 진단기술은 설비의 이상징후를 외부에서 감지·분석하여 설비사고가 치명적으로 확산되지 않도록 인공지능이론과 접목된 진단자동화기술이 발전되고 있다. 인공지능이론이 가미된 진단자동화기술은 설비의 실시간 상태감시 정보와 설비이력정보 그리고 유지관리 정보 등을 토대로 하여, 설비 유지관리 및 진단전문가의 지식이 가미된 지능형 유지관리 및 진단시스템이 개발되고 있다.

간단히 인공지능의 역사를 살펴보면, 1956년 McCarthy와 Minsky가 국제회의에서 계산기에 의한 지능실현이라는 연구분야를 인공지능이라 칭함으로써 이 분야의 연구가 시작되었다. 그리고, 1960년대부터 1970년대까지는 일반적인 문제해결기구, 정리증명, 계획작성, 지식표현, 언어해석, 전문가시스템(Expert System) 등이 주요 연구분야로 다루어졌다. 1980년대 이후부터는 지식정보처리에 관한 연구가 진행되었으며, 현재는 인공지능분야가 공학을 지향하는 지식(知識)공학과 과학을 지향하는 인지(認知)과학 분야로 나뉘어져 각 그룹에 의해서 연구활동이 진행되고 있다. 지식공학의 기원은 1977년 인공지능 국제회의에서 스탠포드 대학의 Feigenbaum교수가 "인간의 문제해결을 위한 경험적 지식을 이용한 응용인공지능에 관한 연구분야를 지식공학이라 한다"라고 발표한 데서 유래하였다. 이후 공학으로서의 체계를 갖추기까지는 많은 기간이 필요하였다. 또한, 지식공학을 바탕으로 인간의 전문적 지식을 표현하고 이용하기 위한 공학적 접근분야로서 전문가시스템이 있고, 이 분야는 설비진단기술에 응용되고 있다. 이처럼 인공지능개념이 실제 플랜트에 응용되면서 설비유지관리 및 설비시스템분야의 고부가가치기술로서 발전되고 있다.

\* 명지대학교 산업공학과 박사과정

\*\* 한국과학재단 연구관리실장

\*\*\*명지대학교 산업공학과 교수

## 2. 설비 유지관리 및 진단기술

기존의 설비유지관리기술은 설비부품 또는 설비시스템이 고장·파손되면 수리하거나 교환하는 등의 사후보수(Breakdown Maintenance)개념이 일반적이었다. 그러나 설비의 규모가 대형화 및 고기능화되면서 고장사고의 예방보전개념이 요구되기 시작하였다. 예방보전개념은 1925년 미국에서 시작하여 생산보수(Productive Maintenance), 개량보수(Corrective Maintenance) 등의 상황별 유지관리기술로 발전하였으며, 최근 들어 진단기술은 예지보전과 상태기준 보전(Condition based Maintenance)기술로 발전하고 있다. 설비 유지관리기술은 설비의 보 시점 및 합리적인 보수방법을 결정하기 위해 적용되는 설비진단기술에 관심을 갖고 있다.

### ◎ 기능별 세부기능 특성

상태감시 지원 상태표시 설비기기의 운전상태를 원격으로 확인할 수 있도록 설비기기 상태를 표시(운전상태:가스압력, 유면레벨, 온도, 압력 등의 데이터가 실시간으로 전달) 경향그래프 축적된 감시데이터의 시간적 변화를 그래프로 표시하고 정밀점검 및 보수계획을 작성

◎ 이상판정을 상시적으로 감시하여 고장징후를 예지하여 이상검출결과를 출력(상시데이터:가스압력저하, 코로나, 유정, 가스농도, 기기동작 감시) 고장대응방법지원 고장진단 누적된 데이터로부터 이상원인을 추정하여 운전여부에 대한 의사결정을 지원(변압기, 차단기, 개폐기, 부하시 탭 절환기, 피뢰기 고장진단시스템) 고장점표시 내부고장발생시의 고장위치를 표시 보수업무지원 보수기록작성 점검 및 개보수이력의 작성 조직순서지원 충전계통도, 가스계밸브 조작순서, 기기 개폐조작순서 지원 설비의 열화정도 및 고장유무를 관측하여 그 결과에 따라서 설비의 유지관리가 실시되는 방식이 바람직하며 미국, 유럽 및 일본 등에서는 1970년대 초부터 이 분야 대해서 많은 투자와 연구가 진행중이다.

이처럼 개발된 단위설비별 감시진단시스템은 상호 유기적이어야 하며, 향후 기술개발의 전개 방향은 종합적인 설비보전관리시스템으로 발전하여야 할 것이다. 외국의 통합형 설비보전관리시스템의 개발기술은 기술력에 있어서 성숙단계에 있으나, 국내의 설비보전관리시스템기술은 선진기술에 비해 경쟁력이 열악한 수준이다. 현재 국내에 보급되어 있는 시스템은 대부분 외국의 기술이 그대로 수입된 경우가 대부분이며, 최근 연구소와 학계 및 기업에서 관심을 가지고 요소기술별로 연구가 진행중에 있다.

## 3. 인공지능을 응용한 설비 유지관리 및 진단시스템

유지관리지원시스템은 시설물내에서 설치·운용되는 설비기기는 기기마다 고유한 특성이 있고, 설비성능이 각각 다르므로, 이러한 설비의 상세한 사양을 파악할 수 있도록 하며, 또한 비정상적인 증상이 발생한 경우, 관리자에게 증상발생원인과 대처방법을 신속하게 제공함으로써 적절한 보수 및 교체로부터 고장사고를 예방할 수 있도록 지원하는 시스템이다.

### 3.1 계층 구조적 유지관리 지원시스템 구조

설비기기가 복잡하고 다양하게 설치되어 운영되고 있는 시설물일수록 더욱더 이력관리의 체계화가 절실하다. 따라서 유지관리시스템의 체계는 계층 구조적으로 하여 다양하고 복잡한 설비기기의 관리업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 한다. 우선 유지관리시스템의 구성체계는

간단히 구분하면 입력모드, 점검모드, 결과모드로 나눌 수 있다.

입력모드에서는 설비기기의 이력을 입력 및 관리할 수 있어서, 여러종류의 설비기기에 대해서 설비기기의 정보를 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다. 점검모드에서는 일상점검, 월별, 연차별 등 점검시기에 따른 점검항목을 제공하며 특히 일상점검시 기기별 점검사항을 구체적으로 표시하여 준다. 따라서, 관리자는 점검사항의 누락 또는 중복점검 등의 불합리한 업무를 줄임으로써 업무의 효율성을 증대시키는 효과가 있다. 대부분 시설물은 많은 설비기기를 포함하고 있으므로, 효율적인 유지관리를 위해서는 계층적 구조를 갖는 유지관리시스템으로 구성되는 것이 바람직하다. 또한 유지관리시의 발생데이터는 상위의 컴퓨터에 전달되도록 네트워크로 구성하는 것이 바람직하다.

### 3.2 전문가지식을 이용한 유지관리 지원시스템 구조

인공지능을 응용한 설비유지관리 지원용 전문가시스템에 대해서 검토한다. 전기시설의 유지관리는 관리자의 오감에 의해 시설상태를 파악하고 있다. 즉, 설비의 고장내용, 계통, 장소 및 고장정도를 규명하여 정상상태로 복귀하도록 조치하는 시스템이다. 특히 고장을 해결하는 초기 단계에서는 "때때로 이상한 소리가 난다.", "이상한 냄새가 난다." 등의 감각적인 지식 정보와 "온도계가 약간 높은 눈금을 나타낸다." 등의 애매한 정보밖에 얻을 수 없는 경우가 일반적이다. 또한, 설비 유지관리의 지식정보가 비정상인지 정상상태인지를 구분하는 경계가 애매하고 부정확하므로 이상정보의 판단에 있어서 전문가의 주관적 판단에 의존하는 경우가 대부분이다. 따라서 관리자의 역량과 고장상황의 대처능력에 상당부분을 의존하고 있는 실정이다. 만일 시설물이 비정상상태에 있다면, 경험이 적은 관리자 또는 관리자의 진단실수는 엄청난 피해가 우려될 수 있다.

설비기기의 이상징후는 관리자의 감각에 의해 발견되는 경우가 대부분이지만, 그러한 현상이 어떤 원인에 의해 발생되는지 판단하기란 매우 어려운 과정이다. 따라서, 관리자에게 이상징후에 대한 진단 지식을 지원하는 것이 필요하다. 본 연구의 유지관리 지원시스템은 관리자에게 유지관리업무를 수행하는데 지원할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 전문가지식을 이용한 유지관리 지원시스템을 연구하였다. 또한 설비의 유지관리 정보가 애매하고 부정확한 경우, 설비정보가 비정상상태인지 또는 정상상태인지를 구분하는 데 전문가의 주관적 지식이 필요하다. 여기서 전문가의 지식은 설비상태로부터 고장현상과 발생원인 및 대처방법 등과 같은 설비상태의 판단정보이다. 판단에 의존하는 설비기기의 고장현상(증상)들의 모임(Y)과 원인 항목들의 모임(X)을 다음과 같이 집합으로 표현할 수 있다.

$$Y = \{ y^3, y^4, y^n, \dots, y, y \} \quad (1)$$

$$X = \{ x^3, x^4, x^n, \dots, x, x \} \quad (2)$$

여기서, 고장현상(증상) 집합 Y는 n차원의 벡터공간이고, X는 고장원인들의 집합으로 m차원의 벡터공간이다. 증상집합 Y의 원소에는 "온도가 비교적 높다(증상1)", "진동 및 음향이 크게 들린다(증상2)", "이상한 냄새가 심하게 난다(증상3)" 등과 같은 감각적인 정보로서 애매하고 불확실성을 포함하고 있다. 또한 원인집합 X의 원소로는 "과부하", "연결 조임 부위 풀림", "오일량 부족" 등과 같은 유지관리분야의 지식이 포함되어 있다. 이외에도 많은 증상요소 및 원인요소가 있다. 이처럼 증상집합과 원인집합은 애매하고 불확실한 정보를 가지는 것이 특징이며, 이를 토

대로 유지관리 지원시스템을 구성하였다. 그리고, 설비 유지관리의 상태들은 증상집합과 원인집합사이의 관계로서 표현할 수 있으며, 실제 설비에서 이상발생의 경우, 증상(Y)과 원인(X)의 관계는 상호간의 영향을 주는 형태로 분석되며, 상호영향을 주는 관계도의 해석방법이 검토되어야 한다.

#### 4. 설비 유지관리 · 진단시스템의 발전방안 및 기대효과

설비 유지관리시스템은 신뢰성과 안정성이 중요시되는 산업설비 · 기기는 사전에 고장을 예방하고, 사고 발생시 피해정도를 최소화하는 것이 과제이다. 따라서, 컴퓨터, 분산제어시스템, 원격감지기, 원격제어기, 범용컴퓨터, 무정전 전원장치(UPS) 등의 정보기기를 적극채용하여 종합적으로 시스템을 구축하는 통합보전관리시스템이 요구되며 구축방안은 다음과 같다.

- 일상의 보수점검업무에서부터 고장시의 긴급대응보수, 시스템의 유지 · 운전관리까지 사용자의 요구에 따른 보전시스템을 구축
- 설비보전에 관한 컨설팅을 실시하고 사용자를 고려한 보전계획을 제안
- 설비보전업무와 보전에 필요한 부품 · 재료기술의 일원화 관리에 의해 보수체제확립
- 설비의 Life cycle에 있어서 최소비용으로 최대의 장점을 얻도록 보전계획

통합 설비보전관리시스템의 구성 및 기능은 국부적으로 설비를 원격으로 유지관리하면서 중앙시스템과 연동되어 고장장해의 해석, 보수정보 관리, 실시간 보수지원을 수행한다. 통합형 설비보전관리시스템의 기능에는 보수정보관리, 실시간 보수지원, 전문가시스템에 의한 장해 해석 지원 등을 보유하도록 한다. 여기서, 보수정보관리기능은 설비내의 관련 부분이 필요로 하는 필수정보를 예방보전관리시스템의 데이터뱅크에 일원적으로 관리하여 고장이력, 고장상황, 원인, 대처방법 등을 포함한다. 실시간 보수지원기능은 통신회선을 연결하여 현장과 동등한 고장정보의 수집이 가능하게 하며, 그 정보에 의해 관련기술자가 고장에 대한 복수의 지원을 실시하도록 한다. 전문가시스템에 의한 장해해석 지원기능은 고장진단 전문가시스템에 의한 고장원인분석을 수행한다.

전반적인 설비시스템의 합리적인 운영을 위하여, 고도의 설비유지관리시스템을 도입하여 설비시스템이나 기기의 이상 진단시스템을 계획하고, 보수작업의 용이화 또는 무보수화, 로봇 도입 등을 추진하고 있다. 이와 같은 시스템의 도입으로부터 생산성 향상 및 에너지절감을 적극적으로 수행할 수 있고, 이에 따른 에너지절약효과는 기존건물에 비해 약 15% 이상의 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 설비유지관리시스템기술은 건축물 및 사회간접자본시설의 설비운영 서비스에 있어서 고부가 가치화할 수 있는 전략적인 기술로 판단된다. 그러나, 현재 대부분의 경우 초기투자비와 에너지소비를 절약하는 차원에서 설비유지관리시스템의 도입을 보류하고 있다는 점을 감안하여, 저가이면서 확실한 에너지 절감 및 유지관리비용의 절감효과를 보장하는 시스템이면 유지관리시장에 있어서 막대한 수요가 있을 것으로 예상되며, 아울러 세계시장으로의 진출기회도 있을 것이다. 설비 유지관리에 소요되는 비용은 연간 전체 설비규모의 약 10% 정도인 점을 감안하면 국내 전체 설비규모에 있어서 유지관리분야의 시장 규모를 예상할 수 있을 것이다. 따라서, 설비관리시스템은 전력소비형 부하에 대해서 합리적이고 고신뢰의 운전계획을 제공하므로써 에너지절약 및 유지관리비의 절감효과를 기대할 수 있다.

## 5. 결론

지능형 유지관리 진단기술은 에너지의 효율적 이용으로 에너지절약을 촉진할 뿐만 아니라, 설비유지관리비용의 절감과 최소인력으로 설비관리의 업무수행을 가능하게 한다. 아울러, 설비 예방보전기술의 핵심기술개발은 관련산업의 기술력을 향상시켜, 첨단정보화사회의 기반조성에 이바지할 것으로 기대된다. 또한, 세계적으로 설비예방보전기술로서의 유지관리분야는 고부가가치산업으로 부각되면서 선진외국의 경우, 이 분야의 연구개발이 다방면으로 수행되고 있다는 점을 감안할 때, 국내의 연구개발에 대한 투자가 보다 체계적이고 지속적으로 지원되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국건설기술연구원, 전기설비 고장사고 예방 및 진단기법에 관한 연구, 1996.
- [2] 한국건설기술연구원, 전기설비 보수지원용 진단프로그램 개발, 1997.
- [3] 류승기 외 2, "전기수용설비 예방보전을 위한 보수지원용 프로그램 개발", '96하계학술대회, 대한전기학회, 1996. 7.
- [4] 류승기 외 2, "건축 전기설비의 보수유지 업무지원용 점검프로그램 개발", '96추계학술대회, 한국조명 전기설비학회, 1996. 11.
- [5] 대한전기협회, 전기설비의 진단기술, 1994.
- [6] -, 設備診斷, 1990.
- [7] 久保田 勉 外 1, "豫防保全技術 現狀 展望", 富社時報 Vol. 69, pp.95-98, 1996.
- [8] 松葉 義行 外 2, "受變電所 監視 支援 ", 富社時報 Vol. 69, pp.105-109, 1996.
- [9] S.K. Ryu. "A study on the Multi hierarchical Maintenance System of Electrical Facilities in Building Intelligent", '97Proc. of 36th SICE Annual Conf., 1997. 7.
- [10] A.M. Tjoa and R. Wagner, "Database and Expert System Applications", Proceedings of the International Conference in Vienna, Austria, Springer Verlag, 1990.