

<응용논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.9.1281

ISSN 1226-4873

RCM 기반 설비 고장 예측시스템[§]

송기욱*† · 김범신* · 최우성*

* 한국전력공사 전력연구원

RCM Based Failure-Prediction System for Equipment

Gee Wook Song*†, Bum Shin Kim* and Woo Sung Choi*

* Korea Electric Power Corporation, Research Institute

(Received May 13, 2010 ; Revised July 17, 2010 ; Accepted July 22, 2010)

Key Words: Reliability Centered Maintenance(신뢰도중심정비), Prediction Maintenance(예측정비), Failure Prediction System (고장예측장치), Condition Based Maintenance(상태기반정비)

초록: 발전소를 비롯한 각종 플랜트 설비는 많은 기계설비들로 구성되어 고장이 발생할 경우, 고장이 발생한 설비와 시간을 명확하게 파악하기가 쉽지 않다, 또한 고장발생시 정비비용 증가와 함께 설비의 이용률이 감소하여 막대한 경제적 손실이 발생한다. 발전소는 각종 계측센서를 설치하여 설비를 상시 감시하고 있으며, 경고발생 이전 지시치의 변화를 관찰하여 설비의 이상상태를 자동 감지하는 신호기반 고장 조기경보 시스템도 설치된 발전소도 있다. 그러나 고장경보 시스템은 이상신호 발생을 인지하여 설비의 이상상태 여부는 알려주지만 고장원인과 중요도에 대한 정보는 제공하지 않는다. 본 연구에서는 고장분석 기능을 가지고 있는 RCM(Reliability Centered Maintenance) 분석 시스템과 고장경보시스템을 연계하여 설비의 이상신호로부터 고장원인과 정비방법에 대한 정보를 제공하는 고장예측시스템을 개발하고자 한다.

Abstract: Power plants have many components and equipment. It is difficult for operators to know the time of failure or the equipment that fails. Plants incur heavy economic losses due to unexpected failure. The equipment in power plants is constantly monitored by various sensors and instruments. However, prevention of failure is very difficult. Therefore, engineers are developing many types of failure-alarm systems that can detect the abnormal functioning of equipment. Such failure-alarm systems inform only about the abnormal functioning of equipment and do not indicate the cause of failure or the parts that have failed. In this study, we have developed a failure-prediction system that can provide details on the cause of trouble and the maintenance method.

1. 서론

1.1 개요

발전소, 석유화학 플랜트, 항공기 등 거대하고 복잡한 시스템은 설비 고장이 발생 하였을 경우 그 피해 규모가 막대하고 인명피해가 발생할 가능성이 매우 크다. 또한 시스템이 복잡하여 고장이 발생한 시간과 설비를 즉시 파악하기가 쉽지 않다. 많은 인력과 다양한 감시장치로 설비를 상시 감시하여 고장의 징후를 미리 감지하였더라도

고장발생 원인을 밝혀내는 것은 쉽지 않은 일이다. 예기치 못한 고장으로 해당 시스템의 이용률이 감소하게 되면 경제적 손실로 직결되어 경영 효율에도 심각한 영향을 끼친다.

화력발전소의 고장예방활동은 정기예방정비, 현장 감시, 각종 신호를 통한 온라인 감시 활동을 통해 다양하게 이루어지고 있다. 운영자는 설비의 각종 계측센서에서 수집된 신호를 수동적으로 감시하여 설비 상태의 이상유무를 설비 별로 설정된 경보 설정값을 기준으로 파악하게 된다.⁽¹⁾ 현재까지 온라인 감시활동을 보다 정밀 하게 수행하기 위한 다양한 신호기반 상태감시 기법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 특히 설비의 이상 발생 전에 설비의 변화상태를 감지하여

§ 이 논문은 2010년도 대한기계학회 재료 및 파괴부문 춘계학술대회(2010. 4. 22.-23., 라테나콘도) 발표논문임

† Corresponding Author, gwsong@kepri.re.kr, 042 8655611

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

이상 징후를 알려주는 조기 경보시스템에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.⁽²⁾ 그러나 고장경보 시스템은 설비상태와 관련된 센서로부터 이상 신호가 발생 여부는 알려주지만, 고장발생 원인과 고장의 심각성 및 중요도에 대한 정보는 제공하지 않는다.

본 연구에서는 고장분석 기능을 가지고 있는 RCM (Reliability Centered Maintenance) 분석 시스템과 고장 경보시스템을 연계 하여 설비의 이상 신호로부터 고장원인과 진단 방법에 대한 정보를 제공해주는 고장예측시스템을 개발하고자 한다.

1.2 RCM의 기본구성

RCM기법은 고장이 발생할 경우 발전소 안전성 또는 전력생산에 영향을 미치는 기능상 중요한 설비를 선별하고, 기기의 고장을 예방, 예측하여 피해를 최소화할 수 있는 효과적인 정비방법을 찾기 위한 체계적인 분석기법이다. 설비가 본래의 기능을 유지하도록 관리하기 위해 설비의 특성에 적합한 정비방법을 적용하는 것은 설비의 고장감소뿐 아니라 정비비용측면에서도 무척 중요하다.

RCM 분석을 위해서는 먼저 고장영향에 따른 치명도 분석(FMECA: Failure Modes , Effects and Criticality Analysis)을 통해 안전성과 신뢰성 분석을 실시한다. FMECA를 통해 도출된 고장 결과를 근거로 기존 유지정비 업무에 대한 평가를 실시하며, 유지정비 결정로직을 적용하여 효율적인 유지정비 업무를 평가 한다. 설비의 신뢰성을 기준으로 동일한 유지정비 주기에 대한 정비작업을 분류하고 최종적으로 RCM 결과에 따라 정비를 수행한다. 또한 RCM 운영 경험을 기반으로 설비에 대한 재평가가 필요할 경우 FMECA를 재 수행하여 기존의 유지정비 업무를 분석하고 새로운 정비 업무로 갱신한다.⁽³⁾

설비종류 분류기준에 따라 분류된 모든 설비에 대해 고장메커니즘을 분석하고 각 설비에 대한 고장모드, 고장모드별 고장원인, 고장원인별 예방정비 업무를 분석하여 정비 최적화 분석업무에서 기초자료로 사용할 수 있도록 제공한다.

설비종류에 대한 고장모드, 고장원인, 정비 업무는 설비분류체계와 밀접한 관련이 있다. Fig.1은 설비의 기준 속성인 각 분류체계와 RCM 분석방법과의 연관관계를 나타낸 것이다. 하나의 설비는 계통분류체계에 의한 계통분류번호, 설비

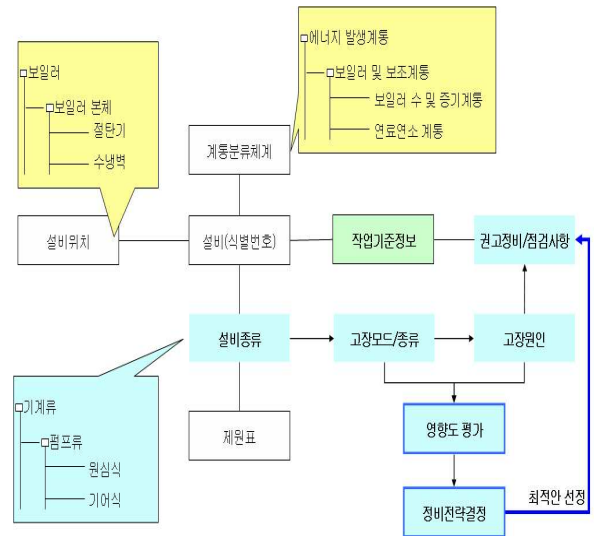


Fig.1 Relationship between equipment classification system and failure mechanism

위치에 따른 위치 분류번호 그리고 설비종류에 따른 설비종류번호로 나타내어지며, 설비종류번호는 각각 고유의 고장종류를 가지고 있다. 예를 들어 기계설비류 중 원심식 펌프인 경우 높은 축진동, 높은 베어링 오일온도, 펌프 임펠러 침식 등 펌프에서 발생할 수 있는 공통적인 고장종류와 원인이 있다. RCM에서는 설비의 종류별로 이러한 공통의 고장종류들과 고장원인들을 정의하고, 설비의 속성정보 데이터베이스를 구축하였다. 설비별로 번호가 정해지면 데이터베이스를 통하여 자동으로 고장정보와 연계된다.

2. RCM에 의한 고장영향 평가

2.1 고장모드 분석방법

모든 설비들은 각 설비 간 인터페이스로 구성되어 있으며, 설비분류체계 및 고장 데이터베이스의 분류방법은 이를 고려하여 만들어졌다. 따라서 분석하고 자 하는 설비가 어떻게 구성되어 있는지를 확인 하고, 설비경계를 명확히 구분하여 분석을 수행해야 한다. 예를 들면, 온도검출소자 설비의 경우 보통 검출기(센서), 보호관, Reference 연결박스 및 관련 케이블, 주변기기(PCB, 변환기 및 지시계 등)로 구성되어 있다. 실제 발전소에서 설비를 어떻게 관리하느냐에 따라 고장메커니즘 분석 결과에 많은 차이가 있을 수 있다. 실제 발전소에서 관리하고자 하는 방향에 맞게 설비 경계를 정의하고, 고장메커니즘 분석업무를 수행하여야 한다.

설비의 고장종류와 원인이 정의되면 설비의 기

능분석과 고장영향평가 및 이력분석을 통해 실제 설비에 직접적인 영향을 미치는 고장종류와 원인을 정의하고, 이를 예방할 권고정비작업에 대한 상세한 내용과 주기를 결정한다. 이렇게 정의된 권고정비작업은 예방정비작업 표준으로 등록되고 작업지시를 통해 현장에서 실제 작업이 가능한 형태로 작성된다. Fig. 2에서 설비분류체계와 계통 기능고장 원인 그리고 설비의 고장과 원인과의 관계를 분석하여 수목구조로 나타내었다.

정비최적화 분석의 첫 번째 단계로 계통기능을 4가지 범주로 구분한다. 즉 발전소 안전운전의 유지, 전력의 효율적인 생산, 설비의 보호 및 발전소 운전원을 위한 상태와 제어능력의 제공들이다. 계통기능식별을 위해서는 계통내의 기기들이 수행하고 있는 계통기능에 주목하여야 한다. 많은 계통들이 같은 기능을 수행하는 다중의 트레인이나 기기들을 포함하고 있기 때문에 계통에 포함되어 있는 각 기기들의 기능을 모두 검토할 필요는 없다. 계통의 기능을 통하여 기기들의 기능을 식별해야 하며, 특정한 기기에 계통기능을 지정하는 것은 피하여서 기능고장을 식별한다.⁽⁴⁾

2.2 고장 영향평가 분석 논리도

계통 기능고장을 일으키는 고장에 대한 영향평가는 보유설비에 대한 중요도를 평가하는 과정으로 평가기법에는 FMEA, FMECA, FTA, 중요도 체크리스트 방법 등이 있다.

FMEA나 FMECA는 계통기능에 대한 단일기기

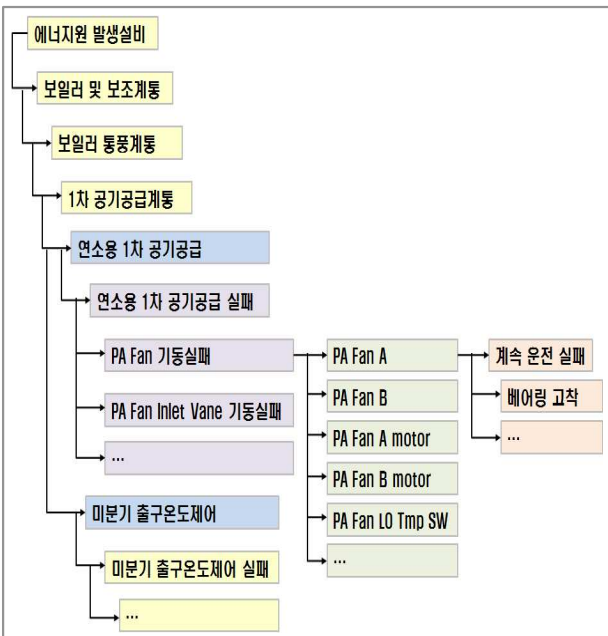


Fig. 2 Tree structure of failure mode

의 고장영향을 가장 효과적으로 구별하는 정성적인 평가방법이다. RCM 평가자는 기기별로 사전에 정의된 계통 기능상실 가능성을 평가한다. 고장확률과 같은 정량적 요소는 FMEA의 정성적 평가체계와 적절히 조합하면 기기 중요도를 결정하는 데 많은 도움이 된다. FMEA 평가과정은 다중기기의 고장을 분석하는데 있어서 매우 효과적이며 편리한 장점 가지고 있어 가장 일반적으로 사용되는 평가방법이다.⁽⁵⁾

신뢰성 모델을 이용한 정량적 분석방법은 RCM 평가시 분석된 계통의 기능상실과 관련된 평가에 사용할 수 있는 계통분석 방법이다. 신뢰성 모델과 FMEA 간의 주요한 차이점은 신뢰성 모델은 직렬 및 병렬로 이루어진 복수기기 고장을 다루는 동시에 정량적인 고장률을 고려한다는 것이다.⁽⁶⁾

고장영향평가는 고장모드의 중요도를 결정하는 과정으로 Fig. 3과 같이 3가지 수준, 즉 기기수준, 계통수준 그리고 발전소 수준으로 고장모드에 따른 영향을 평가한다. 평가 결과 계통이나 발전소에 영향을 미치는 고장모드에 대해서는 중요기기 (Critical)라 하고, Local에만 영향을 미치는 고장모드를 비 중요기기(Non-critical)로 결정한다. 여기서 비 중요기기로 결정된 설비에 대해서는 정비업무 분석단계에서 다시 평가하여 RTF(Run to Failure)를 결정한다. 반면에 계통이나 발전소에 영향을 미치는 설비는 LTA(Logic Tree Analysis)를 분석하여 설비 중요도를 결정한다.

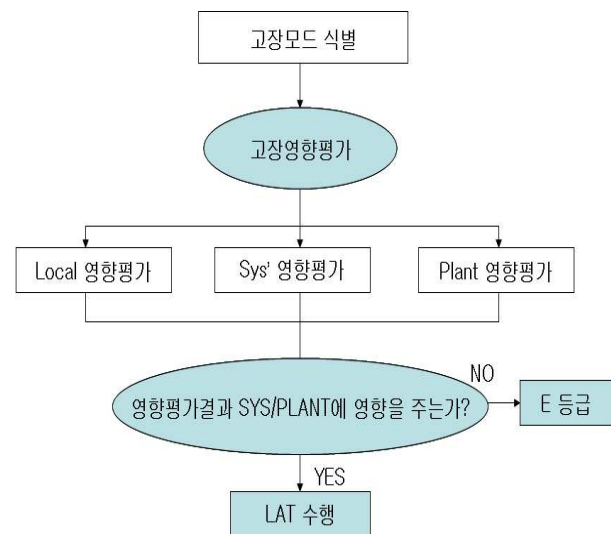


Fig. 3 Logic diagram of failure effect analysis

3. 고장예측 시스템

3.1 RCM과 설비 경보신호와의 연계방안

RCM과 고장조기경보시스템을 통합한 고장예측 시스템은 고장 조기경보시스템인 고장경보 시스템의 Alarm 정보와 RCM 시스템의 고장 모드 및 원인에 대한 데이터베이스를 연결하여 실시간 고장원인 분석 및 Alarm 인식, 고장분석 작업을 수행하는 시스템이다. Fig. 4는 고장 조기 경보시스템과 고장 데이터베이스의 관계를 나타낸다.

고장예측 시스템을 사용하기 위해서 고장예측 마스터를 미리 구축하여야 한다. 경보가 발생하면 고장예측 시스템의 경보 분석을 통하여 구축된 고장 예측마스터에서 경보가 발생한 설비에 대한 고장모드, 고장원인 그리고, 점검 우선도를 확인한다.⁽⁷⁾

발생된 경보에 대해 조치사항을 내야 하는 경우 통지를 발행한다. 발행한 통지에 대해서는 작업상태를 확인할 수 있고, 작업완료 후 해소되지 않을 경우 분석을 다시 할 필요가 있다. 해결된 경우에는 작업결과를 참조하여 고장예측 마스터를 업데이트 한다. Fig. 5는 고장예측 마스터의 흐름도를 나타내었다.

고장예측시스템의 주요기능은 고장예측마스터를 구축하고, 경보 발생 시 고장예측마스터에 신속하게 접근하여, 이상이 있다고 판단될 때 설비관리 시스템에 조치사항을 지시하는 것이다.

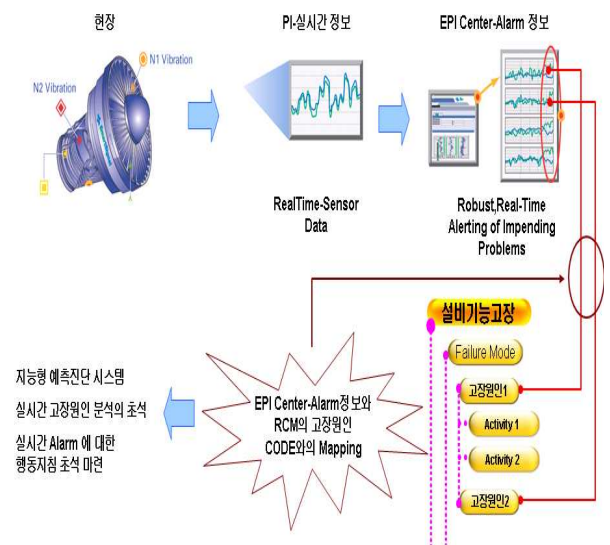


Fig. 4 Relationship of failure alarm system and RCM

고장예측 마스터 DB 구축을 위한 요소로 정비관리 시스템, 고장경보 시스템 설비데이터 Mapping, 경보Tag 코드가 기본적으로 정의 되어 있어야 한다. 정비관리 시스템과 고장경보 시스템간 설비데이터 Mapping은 고장예측시스템과 고장 경보 시스템간의 인터페이스를 위해 필요하며, 경보 Tag 코드는 고장예측마스터 구축을 위한 기본코드이다.

고장예측 마스터 구축 시 필요한 데이터는 설비마스터, RCM의 고장코드 마스터, 경보 Tag 코드이다. Fig. 6은 고장예측 마스터 구축 시 고장예측 대상설비에 대한 경보 Tag 코드를 선정하여, 경보 Tag에 대한 고장코드 즉, 고장모드, 고장원인 코드를 연결한 모습을 나타낸 것이다. 고장 우선순위를 알기위하여, 고장모드 별로 가중치를 부여하고, 고장원인에 대한 발생가능성, 관련성, 진전속도에 대한 가중치와 점수를 부여하여 점검 우선도를 추출한다.

3.2 고장경보 시스템

고장경보 시스템에서 경보 발생시 고장예측 시스템이 이를 인지하기 위하여 고장경보 시스템과 고장예측시스템간의 인터페이스가 필요 하다. 고장예측 시스템에서 주기적으로 고장경보 시스템의 DB를 감시하는 응용 프로그램이 존재하며, 고장경보시스템에서 경보가 발생 했는지를 감시 하고, 경보발생 시 관련 경보데이터를 복사하여 고장예측시스템 DB에 기록한다.

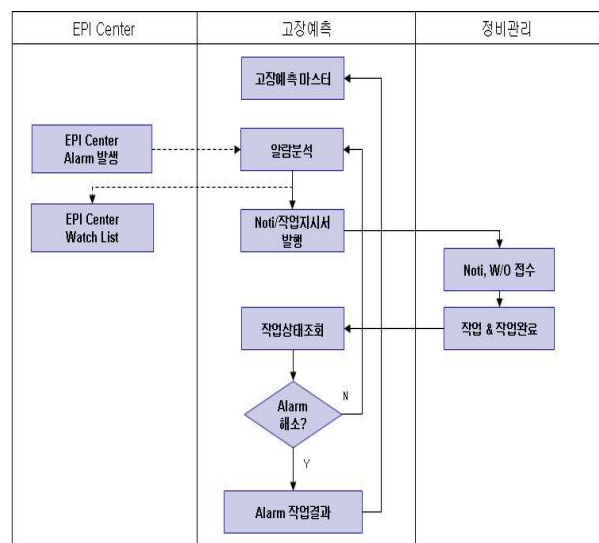


Fig. 5 Flow diagram of Failure Prediction system

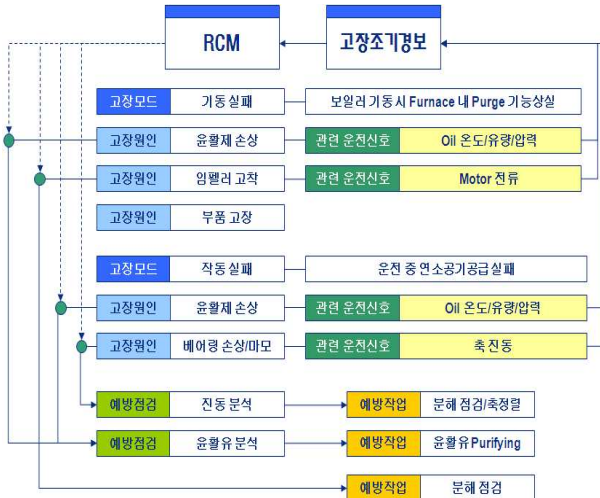


Fig. 6 Link diagram between failure signal and database of RCM

고장예측 마스터에서 설비에 대한 고장예측 데이터를 정의한다. 고장예측 데이터를 정의하기 위해서는 고장정보시스템의 경고Tag, 설비에 대한 고장모드, 원인코드가 정의되어 있어야 한다. Fig. 7은 고장예측 마스터 설정화면이다.

마스터 데이터 작성순서는 고장예측 관리대상 설비를 선택하고, 경고 Tag를 선택한다. 경고 Tag를 선택한 후 설비에 대한 고장모드 가져오기 버튼을 누르면 설비종류별 고장모드, 고장원인이 화면에 전시된다. 경고 Tag의 기능 및 운전로직을 고려하여 고장모드 중 고장예측에 필요한 고장모드만 선택하고 관련이 없는 고장모드는 삭제한다. 고장모드에 대한 선정이 완료되면 고장모드에 대한 원인코드 가져오기 버튼을 눌러 해당하는 고장모드에 대한 고장원인을 전시한다. 설비별 고장모드와 고장원인은 RCM 고장 데이터 베이스로 구축되어 있다. 고장모드와 동일하게 해당 경고 Tag와 관련이 있는 고장원인 외의 고장은 모두 삭제한다.

경보에 대한 고장모드 및 고장원인의 설정이 완료되면, 고장모드에 대한 가중치 및 중요도에 대해 점수를 부여하고, 각 고장원인의 발생가능성, 관련성, 진전속도에 대한 가중치, 점수와 점검 우선도를 부여한다. 이와 같이 경보에 대한 고장모드와 원인 및 각각에 대한 점수가 지정되면 경보가 발생하였을 경우 자동적으로 경보와 관련된 고장모드 및 고장원인이 지시되며 지정된 점수에 의해 예방점검 우선순위가 나타난다.

고장예측에서는 고장정보 시스템에서 발생한



Fig. 7 Setup screen of mater for failure prediction



Fig. 8 Screen for failure monitoring and prediction

경보Tag가 자동으로 전시되며, Fig. 8과 같이 화면 상부의 날짜 검색을 통해 특정기간 동안에 발생한 경보를 검색할 수 있다. 경보가 발생하면 화면 상단의 정보목록 창에 경보가 전시되고 화면 하단의 고장원인 목록창에 고장예측 마스터에서 정의한 경고Tag에 대한 고장모드, 원인이 전시된다. 이 때 고장원인은 지정된 가중치와 점수에 의거 예방점검의 권고우선순위가 지정된다.

발생한 경보에 대해 ERP의 정비작업관리에 작업 통보가 필요할 경우 통지요청화면에서 통지를 발행할 수 있으며, 발행한 통지에 대해서는 이력 화면에서 내역을 조회할 수 있다.

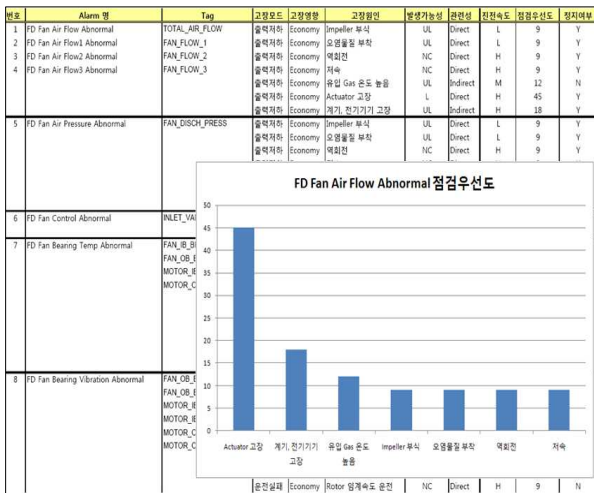


Fig. 9 Screen for condition based maintenance

Fig. 9는 강제송풍기에 고장발생시, 각 고장원인의 발생가능성, 관련성, 진전속도에 대한 가중치와 점수를 부여하여 점검 우선순위를 나타낸 화면이다. 이와 같은 정보를 통하여 정비원은 고장원인에 대해 신속히 인지하고 정비작업을 수행하여 설비의 고장을 예방할 수 있다.

4. 결론

발전소와 같은 플랜트 설비는 설비 고장으로 인해 불시 정지가 발생 할 경우 경제적 피해규모가 막대하다. 많은 기계설비 중 고장발생 설비와 시기를 정확하게 파악하기는 매우 어려우며, 고장의 발생원인을 밝혀내는 것도 쉽지 않다.

본 연구에서는 고장분석 기능을 가지고 있는 RCM (Reliability Centered Maintenance) 분석 시스템의 고장 데이터베이스와 고장 경보시스템을 연계 하여 설비의 이상신호로부터 고장원인과 진단방법에 대한 정보를 제공해주는 고장예측시스템을 개발하였다. 이 시스템을 사용하면 설비고장에 의한 불시정지를 크게 줄일 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 2007년도 지식경제부의 재원으로 한

국내너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 2007MCC23P0700002009)

참고문헌

- (1) Hines, J.W., Garvey, D., Seibert, R. and Usynin, A., 2005, "Technical Review of On-line Monitoring Techniques for Performance Assessment," *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, pp. 13~54.
- (2) Sturm, F.A., 2003, "Efficient Operations Intelligent Diagnosis and Maintenance," *VGB Power Tech Service GmbH*, pp. 125~166.
- (3) Gabbar, H. A., Yamashita, H., Suzuki, K. and Shimada, Y., 2003, "Computer-Aided Rcm-Based Plant Maintenance Management System," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 19, Issue 5, pp. 449~458.
- (4) Gabbar, H. A., Suzuki, K. and Shimada, Y., 2001, "Design Considerations of Computer-aided RCM-Based Plant Maintenance Management System," *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 9, pp. 859~864.
- (5) Smith, A. M., Vasudevan, R. V., Matteson, T. D. and Gaertner, J. P., 1987, "Enhancing Plant Preventive Maintenance via RCM," *Proc. a. Reliab. Maintainab. Symp., Microelectronics Reliability*, Volume 27, Issue 4, p. 785.
- (6) Herder, P.M., van Luijk, J.A. and Bruijnooge, J., 2008, "Industrial Application of RAM Modeling: Development and Implementation of a RAM Simulation Model for the Lexan@plantatGEIndustrial, Plastics," *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 93, Issue 4, pp. 501~508.
- (7) Martorell, S., Muñoz, A. and Serradell, V., 1995, "An Approach to Integrating Surveillance and Maintenance Tasks to Prevent the Dominant Failure Causes of Critical Components," *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 50, Issue 2, pp. 179~187.