

# 신뢰도중심정비에 의한 석탄취급설비 정비주기선정

조일용, 문승재\*<sup>†</sup>

한국동서발전 발전처, \*한양대학교 기계공학부

## Selection of Maintenance Interval Based on RCM for a Coal Handling Equipment

Il-Yong Cho, Seung-Jae Moon\*<sup>†</sup>

Korea East West Power Corporation, Power Generation Division, Seoul 135-791, Korea

\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received November 25, 2013; revision received December 5, 2013)

**초록** : 화력발전소와 같은 대규모 플랜트 설비는 복잡하여 고장이 발생할 경우 고장발생 설비, 시기 및 원인을 정확하게 파악하는 것이 쉽지 않기 때문에 무엇보다 고장을 사전에 예방하는 것이 중요하다. 최근 들어 정비업무에 대한 관점과 중요성이 점차 변화해 가고 있고 주기정비 방식에서 벗어나 상태기반 정비방식으로 발전되고 있다. 본 연구에서는 상태정비에 주안점을 두고 신뢰도중심정비 방법을 화력발전소, 특히 석탄취급설비에 적용하여 정비주기를 선정하고자 하였다.

**ABSTRACT** : Power plants have many components and equipment. It is difficult for operators to know the each equipment fails or what equipment fails. It is important to prevent failure in advance. Recently, outlook of maintenance tasks is changing from time based maintenance to condition based maintenance. In this study, we selected RCM-based maintenance intervals for coal handling equipment at coal power plant. For RCM analysis, we have made great progress in a maintenance task and interval. If we apply RCM analysis to the whole plant system, we can expect qualitative improvement and efficient operation of power plant system.

**Key words** : reliability centered maintenance(신뢰도중심정비), preventive maintenance(예방정비), maintenance interval(정비주기)

### 1. 서론

화력발전소와 같은 플랜트설비는 고장으로 인한 정지가 발생할 경우 경제적 손실이 막대하다. 또한 시스템이 복잡하여 고장발생 설비와 시기를 정확하게 파악하는 것도 어렵고 고장원인을 밝혀내는 것도 쉽지 않은 일이기 때문에 고장을 사전에 예방하는 업무가 무엇보다 중요하다. 하지만 대부분 화력발전소에서의 예방정비업무는 정비주기 및

공기에 대한 명확한 기술적 평가기준이 없어 제작사 의견이나 타 회사 운영사례 및 현장 담당자의 의견에 전적으로 의존하고 있다.

최근 들어 정비업무에 대한 관점과 중요성의 인식변화에 따라 일정 주기마다 기기를 완전 분해 점검하는 주기정비 방식에서 벗어나 기기의 성능변화 추이에 주안점을 두는 상태기반 정비를 선호하고 있다. 특히 신뢰도중심정비(RCM: Reliability Centered Maintenance)와 같은 능동적인 정비 방식을 도입하고 있다. RCM 분석은 기기 설계 사양보다 중요계통 기능유지에 초점을 두며, 설비의 신뢰도와 발전소의 안정성을 동시에 고려하는 체계적이고 기술적이면서 타당한 방식을 취하는 예방정비 방법에 대한

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel. +82-2-2220-0450; Fax. +82-2-2220-2299

E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

의사결정 과정이라 할 수 있다.

본 연구에서는 설비고장을 사전에 예측, 예방하고 정비의 핵심분야를 도출하는 RCM 방법을 도입하여 고장메커니즘 분석을 통해 예방정비 주기선정의 기준을 제시하고자 한다. 특히 화력발전소 석탄취급설비는 탄종 다변화 및 혼탄을 증대에 따른 운전부하 가중으로 설비열화 및 고장발생이 증가하고 있어 설비의 상태감시를 통한 정비주기를 재선정하여 고장예방을 통한 설비신뢰도를 제고하고자 한다.

## 2. 석탄취급설비 예방정비

### 2.1 현행 예방정비 체계

발전소에서 정비를 수행하는 목적은 설비의 설계 기능을 유지하기 위한 것과 기능이 상실된 설비를 원래의 설계운전 능력으로 복구시키는 것이다. 발전소 정비체계는 예방정비(preventive maintenance)와 고장정비(corrective maintenance)로 크게 구성되며, 예방정비는 주기정비와 예측정비로 구분된다. 주기정비는 일정기간, 계획예방정비주기 또는 기기 운전시간을 기준으로 수행되며 이 주기는 제작사 권고사항 및 운전경험을 근거로 정해진다. 예측정비는 설비의 상태에 기반을 둔 정비방법으로 주기적인 감시를 통해 설비의 상태를 감시하고 취득한 주요 설계, 운전 변수의 추이를 분석하여 비정상적이거나 의심스러운 상태가 발견될 경우 적절한 정비를 수행하는 것이다.

지금까지 예방정비업무는 예방정비 대상설비 선정 및 정비주기 결정에 대한 객관적 근거가 미흡하여 체계적 설비 관리가 곤란하고 점검, 검사, 보수, 교체 등 작업이력의 분산관리와 각 결과 및 원인 분석에 대한 표준화와 코드화 미흡으로 실질적 설비상태 평가 및 분석이 불가능하다. 또한 기기별 중요도에 따른 관리 차별화와 미흡으로 인력, 비용, 시간 등 정비재원의 합리적 투입원칙이 미흡하며 설비 상태 평가에 대한 업무의 전문성 및 난이도별 역할정립이 미흡하다.

#### 2.1.1 석탄취급설비 예방정비 주기

석탄취급설비는 발전연료인 석탄을 대형선박에서 하역하여 저탄장 또는 소내 저탄조(silo)에 공급하는 설비로 크게 하역설비, 상하탄설비, 저탄설비로 분류할 수 있으며,

취급물의 특성상 열악한 설비운영환경으로 인해 마모, 오염, 부식 등 고장유발 요인이 상존하므로 안정적인 운영이 무엇보다 중요하다. 이번 연구의 대상인 당진화력발전소 5~8호기 석탄취급설비는 석탄 종류가 다양해지고, 혼탄율이 증가하는 등 발전 환경의 변화로 인한 고장 발생이 증가하고 있다. 또한 당진화력발전소 전체 설비 중 석탄취급설비 고장 점유율이 39%를 차지하므로 고장예방 측면에서도 굉장히 중요하다고 할 수 있다.

지금껏 석탄취급설비의 예방정비업무는 정비지침서 및 타 발전소 정비현황을 기준으로 수행하고 있어 설비의 상태보다 주기에 주안점을 두고 예방정비를 실시하고 있어 정비운영의 효율성이 떨어진다. 따라서 객관적인 근거를 바탕으로 상태기반의 정비업무와 주기선정이 필요하다.

## 3. 신뢰도중심정비에 의한 주기선정

### 3.1 신뢰도중심정비 구성

RCM은 고장이 발생할 경우 발전소 안정성 또는 전력생산에 영향을 미치는 기능상 중요한 설비를 선별하고, 기기의 고장을 예방, 예측 또는 최소화할 수 있는 효과적인 정비방법을 찾기 위한 체계적인 분석 기법이다. 즉, 발전소 각 계통의 기능 유지를 위해 중요한 계통기능과 기능상실을 식별하고, 그 기능상실과 관련된 기기들의 중요도를 분석하여 중요한 기기의 고장원인을 예방하거나 예측하기에 적절하다.

RCM 분석을 위해서는 먼저 분석방법을 수립한다. 전체 발전소를 기능별로 세분화하고 각 고유기능을 수행하는 계통을 분석의 기본단위로 선정하고, 기능수행 목록을 작성하고 기능수행 실패를 유발하는 기능고장을 정의하고 기능고장에 관련된 기기를 할당한다. 또한 계통구성 설비의 종류에 따른 고장모드, 고장원인을 포함하는 새로운 계층으로 분류하고 기능고장 발생 시 고장모드별 영향평가에 의해 예방정비 대상으로 분류한다.

고장모드 영향평가는 단순한 계통기능에 대한 단일기기 고장의 영향을 가장 효과적으로 식별하는 정성적인 평가 방법이다. 따라서 평가자는 특별한 기기 고장유형의 영향에 관한 정성적 판단을 제시할 수 있는 폭넓은 지식을 가져야 한다. 고장확률과 같은 정량적 요소는 고장모드 영향평가 체계에 적절히 조합하여 기기 중요도를 결정하는데 도

## 신뢰도중심정비에 의한 석탄취급설비 정비주기선정

움을 준다. 또한 평가과정은 다중기기의 고장을 분석하는데 있어서 매우 효과적이며 편리한 장점을 가지고 있어 가장 일반적으로 사용되는 평가방법이다. Fig. 1은 고장모드 영향평가 구조를 나타낸다. 고장모드 영향평가는 3가지 수준, 즉 기기수준(local), 계통수준(system) 그리고 발전소 수준(plant)으로 고장모드에 따른 영향을 평가한다. 평가결과 계통이나 발전소에 영향을 미치는 고장모드에 대해서는 중요기기라 하고, 로컬에만 영향을 미치는 고장모드를 비중요기기로 결정한다. 계통이나 발전소에 영향을 미치는 설비는 고장모드 중요도평가를 분석하여 설비 중요도를 결정한다.

고장영향평가결과, 계통이나 발전소에 영향을 미치는 고장모드에 대해서 중요도 등급을 결정한다. Fig. 2는 중요도평가 논리도를 나타내는데 정상상태에서 운전원이 고장 여부를 알 수 있고, 고장모드가 안전과 관련된 문제를 가지고 있으면 A등급으로 분류하고, 발전소 출력에 영향을 미치는 문제를 가지고 있으면 B등급으로 분류한다. 발전소 출력에 영향을 미치지 않고 경제성이 미미하다면 C등급으로 분류한다. 그리고 운전원이 알 수 없는 숨은 고장은 D등급으로 분류하고 A, B등급에 대해서는 정비업무 선정단계로 가고 C, D등급 설비는 RTF 분석단계로 간다.

고장영향평가결과로 식별된 중요기기에 대해서 고장원인을 분석하여 이를 예측, 예방할 수 있는 적절한 정비업

무를 찾아낸다.

좁은 의미에서 정비업무를 선정한다는 것은 계통기기를 유지 보전하는데 가장 적절한 정비방법을 도출하고자 하는 것인데 여기에서의 정비는 상태기준정비와 시간기준정비를 둘 다 포함한다. 넓은 의미에서 정비업무 선정이란 설계 변경 및 고장발견절차 그리고 고장정비까지 모두 포함한다.

RCM 예방업무의 주기는 정량적 주기산정을 통해 적정 주기를 선정하나 정량적 주기산정이 불가능할 경우 정성적 방법을 통해 주기를 산정한다. 평균무고장시간(MTBF: Mean Time Between Failure), 정비작업의 품질 등급과 설비 구분, 그리고 제작사 및 EPRI(Electric Power Research Institute) 권고 업무 등 각 업무의 적절성을 상호 비교하여 권고주기를 결정하고, 권고된 RCM 예방작업 사항이 운전 중 수행이 가능한 경우 RCM 권고주기를 확정하고 운전 중 수행이 불가능한 경우 계획예방정비공사에서 수행함을 원칙으로 한다.

### 3.2 석탄취급설비 정비주기선정

석탄취급설비 정비주기선정은 동서발전 플랜트운전정비시스템의 RCM 분석 메뉴를 활용하였으며 당진화력발전소 5~8호기 석탄취급설비에 대하여 과거 4년(2008~2011

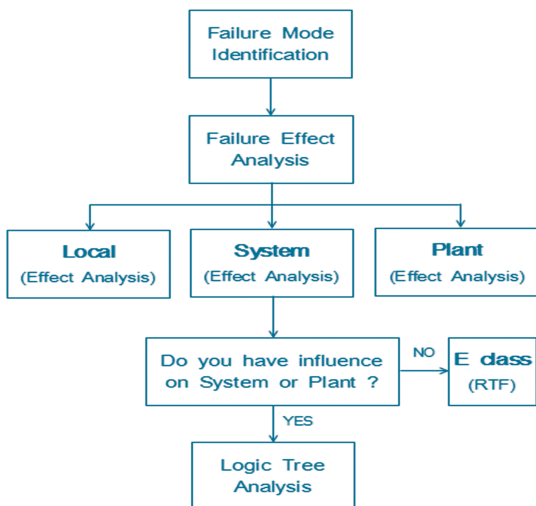


Fig. 1 Failure effect analysis structure

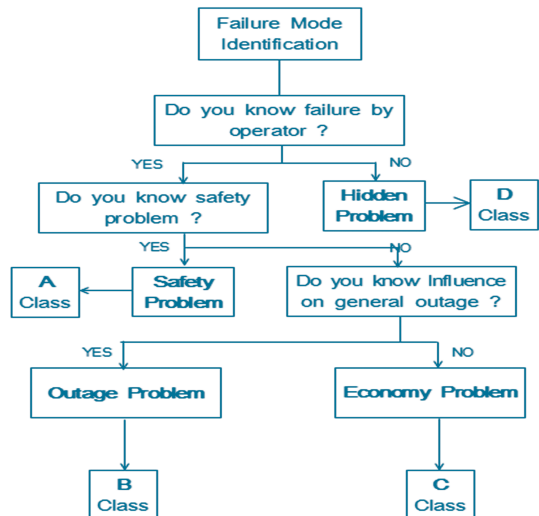


Fig. 2 Logic tree analysis structure

넌)동안 발생된 정비이력을 기준으로 분석하였다. 분석은 기능 고장정의, 고장모드 영향평가, 중요도평가, 정비업무 및 주기선정 단계로 진행하였다.

RCM 분석을 위해서는 먼저 설비의 계통을 분류하고 그 기능에 대한 고장을 정의해야 한다. 분석을 위해 석탄취급 설비를 석탄하역계통, 저탄계통, 소내 석탄처리계통, 분진 제거계통의 4개의 대계통으로 나누고 석탄하역기 및 보조 기기 등 9개의 소계통으로 분류하였다. 그리고 소계통의 분류에 따라 기능수행 실패를 유발하는 고장을 하역기능 실패 등 9개 항목으로 분류하였다. 대상기기는 총 181개로 설비운전에 직접적인 영향을 주는 기기만 선정하였다. 선정된 기기는 고장모드 영향평가 단계로 넘어가 분석을 수행하였다.

고장모드 영향평가 단계는 고장모드별 영향정도를 결정하는 과정으로 로컬, 시스템, 플랜트 3가지의 항목으로 구분하여 고장모드에 따른 영향을 평가하였다. 기능 고장정의 단계를 거쳐 선정된 기기를 대상으로 고장모드 영향평가방법에 따라 정비전문가의 검토의견 반영, 고장모드별 고장률, 정비이력 및 필수기기 선정기준절차 등이 고려되었다.

Table 1은 고장모드 영향평가결과를 나타낸 것이다. 분석 결과 시스템이 154개 설비, 252개의 고장항목으로 전체의 약 76%를 차지하였고, 플랜트는 2개의 고장항목만

나왔는데 석탄취급설비 전원 공급용 차단기로서 단협유지 기능 실패 시 상하역 중단으로 발전 정지를 초래하는 기기이다. 분진제거계통은 환경과는 밀접한 관련이 있으나 상하역 운전에는 직접적인 영향을 미치지 않으므로 로컬 수준으로 평가되었으며, 분진제거계통을 제외한 모든 석탄취급계통은 고장 발생 시 연료공급계통에 영향을 미치는 시스템 수준 이상으로 평가되어 다음 고장모드 중요도평가 분석을 수행하였다.

중요도평가는 고장영향평가결과 계통이나 발전소에 영향을 미치는 고장모드에 대해서 중요도 등급을 결정하는 과정이며, 고장모드 영향평가 분석결과 시스템 수준 이상으로 분류된 155개 항목을 대상으로 고장모드 중요도평가를 시행하였고 로컬로 분류된 분진제거계통은 설비운전에 직접적인 영향을 미치지 않으므로 중요도평가 분석 대상에서 제외하였다. 중요도평가는 중요도에 따라 A, B, C등급으로 분류하는데, A는 안전에 영향을 미치는 등급, B는 발전소 출력에 영향을 미치는 등급이고 C는 경제적 영향이 미미한 등급이다.

Table 2는 중요도평가결과를 나타낸다. 하역 및 저탄계통은 유압시스템의 중요도에 따라 A와 B등급이 결정된 반면, 소내 석탄처리계통은 모두 C등급으로 평가되었다. 전체로 보면 C등급이 139개로 전체의 약 87%를 차지하였고 A, B등급으로 평가된 기기는 16개로 약 13%를 차지하였다. 이 설비들을 대상으로 다음 정비업무 및 주기선정 단계를 진행하였다.

정비업무 및 주기선정은 고장영향평가결과로 식별된 중

Table 1 The results of failure mode & effect analysis

Section	Local		System		Plant	
	Equip-ment	Fail-ure	Equip-ment	Fail-ure	Equip-ment	Fail-ure
Coal unloading system	0	0	64	106	1	2
Coal stack system	3	6	45	74	0	0
House coal handling system	5	5	45	72	0	0
Dust removing system	22	66	0	0	0	0
Total	30	77	154	252	1	2

Table 2 The results of logic tree analysis

Section	A(Safety)		B(Outage)		C(Economy)	
	Equip-ment	Fail-ure	Equip-ment	Fail-ure	Equip-ment	Fail-ure
Coal unloading system	4	8	9	18	52	82
Coal stack system	0	0	3	6	42	68
House coal handling system	0	0	0	0	45	72
Total	4	8	12	24	139	222

## 신뢰도중심정비에 의한 석탄취급설비 정비주기선정

Table 3 The results of final maintenance intervals

Maintenance tasks		Present intervals	MTBF	Result of RCM
Coal unloading system	Visual inspection	1W	-	1W
	Component overhaul	2Y	1.4Y	1Y
	Oil analysis	3M	-	1M
	Component replacement	2Y	3.8Y	3Y
	Resistance measuring	1M	-	1M
	Performance test	-	-	1M
Coal stack system	Visual inspection	1W	-	1W
	Component overhaul	2Y	3.1Y	3Y
	Oil analysis	3M	-	1M
	Component replacement	2Y	3.2M	3Y
	Resistance measuring	1M	-	3M

\* MTBF: Mean Time Between Failure  
 \* D: Day, W: Week, M: Month, Y: Year

요기기에 대해서 고장원인을 분석하여 이를 예방할 수 있는 주기를 선정하는 과정이다. 먼저 고장모드 중요도평가 분석결과 A, B등급으로 평가 된 16개의 설비를 대상으로 고장항목별 업무를 분석하였다.

고장항목별 업무선정 결과를 보면 석탄하역 유압시스템은 계속운전실패, 작동실패의 고장모드로 구분되고 계속운전실패 고장모드의 원인은 구동장치의 손상으로 보고 내부부품의 건전성을 확인하기 위해 분해점검과 초기 고장감지를 위해 육안점검을 정비업무로 선정하였다. 또한 작동실패 고장모드의 원인은 윤활제 손상, 노화 등으로 보고 유압작동유의 상태를 확인하기 위해 주기적인 윤활유 분석업무와 육안점검, 분해점검을 정비업무로 선정하였다.

석탄하역 비상용 유압펌프는 유압시스템 비상용으로 사용되는 기기로 기동실패, 저출력의 고장모드로 구분되고 비상용으로 사용되기 때문에 기동, 정지로 인해 부품고장이나 기어고착 등으로 기동실패가 발생한다. 따라서 고장

예방을 위해 주기적인 분해점검 정비업무로 선정하였고, 기어고착에 대비한 정비업무가 없어 기어고착을 사전에 예방할 수 있는 방법을 검토한 결과 주기적인 기능시험 항목을 RCM 권고 업무에 신규로 추가하였다.

차단기는 단협유지 실패의 고장모드로 분류하였는데 고장원인을 크게 부품고장이나 절연손상으로 보고 주기적인 분해점검과 정기적인 절연점검이 필요한 것으로 판단하였다.

저탄계통의 상하단기 유압시스템은 계속운전실패, 작동실패의 고장모드로 구분하였으며, 손상 예방을 위한 육안점검, 분해점검을 주요 정비업무로 선정하였고, 유압시스템의 특성상 윤활유 분석을 통해 유압유 상태확인이 중요하다고 판단하였다.

정비업무의 선정과 함께 평균무고장시간, 제작사 권고주기, EPRI, INI(Industrial Normal Interval) 등의 비교자료와 현장실무자 의견을 반영하여 주기선정 흐름도에 따라 RCM 권고 주기를 Table 3과 같이 도출하였다. 석탄하역계통 유압시스템 분해점검 업무의 경우 고장이력 데이터를 통해 평균무고장시간을 산출하였는데 평균무고장시간이 1.4년으로 주기선정 흐름에 따라 이것보다 짧은 주기를 선정하였고, 운전 중 수행이 가능한 업무로 판단하여 1년으로 정비주기를 도출하였다.

석탄하역계통 부품교체의 경우 평균무고장시간이 3.8년으로 설비 개선에 의한 마모율 감소로 고장발생이 줄었고 평균무고장시간을 고려하여 주기를 선정하고 부품 교체는 운전 중에 불가능하므로 계획예방정비업무로 3년마다 정비를 하는 것으로 결정하였다.

윤활유 분석 업무의 경우는 과거 고장이력 데이터가 거의 없어 평균무고장시간을 도출하기가 힘들었기 때문에 설비의 중요도와 INI 자료를 고려해 주기를 선정하였다. 또한 운전 중 정비업무가 가능하여 정상예방 업무로 구분하고 유압계통 특성상 작동유의 정확한 상태를 확인할 필요가 있어 월간 업무로써 분석 주기를 최종 1개월로 도출하였다.

석탄하역 비상용 유압펌프의 경우 비상 시 기동정지 실패의 원인을 부품고장 및 기어고착으로 판단하였는데 기어고착 고장모드에 관한 정비업무를 수행하고 있지 않고 정비주기 자료도 없어 이번 RCM 분석 연구를 하는 과정에서 현장 실무 엔지니어와 기술전문가의 의견을 바탕으로 비상대비 기능 유지를 위해서는 1개월 주기로 기능시험

을 추가하였다.

차단기의 경우 고장이력 데이터가 없어 평균무고장시간 산출이 어렵고 EPRI 및 INI에서는 필요 시 점검하는 것으로 권고하고 있으나 제작사 및 타 발전소에서는 1개월마다 정기점검을 권고하고 있어 계통별 육안업무와 함께 현행대로 정비주기를 1개월로 도출하였다.

상하단기 유압시스템의 분해점검 및 부품교체의 경우 평균무고장시간이 각각 3.1년과 3.2년이었는데 설비 개선에 의한 고장률이 감소했고 이를 근거로 보다 짧은 주기를 선정하였으며 운전 중 수행이 불가능한 업무로 판단하여 계획예방정비업무로 선정, 3년마다 정비하는 것으로 주기를 선정하였다.

### 3. 결론

본 연구는 석탄화력발전소 석탄취급설비의 RCM 기법 분석으로 정비주기를 선정하여 신뢰도를 확보하고자 수행하였다. 동서발전 플랜트운전정비시스템을 활용하여 RCM 기법을 적용한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 석탄하역계통 유압시스템 분해점검 업무는 평균무고장시간과 운전 중 정비가능 여부를 고려여 정비주기를 1년으로 선정하는 것이 적절하다고 판단하였다. 또한 부품 교체 업무는 계획예방정비업무로 주기를 3년으로 선정하는 것을 제시하였다.

둘째, 석탄하역 및 저탄계통 유압시스템의 윤활유 분석 업무는 적절한 점도 유지를 확보하기 위해서는 1개월 주기로 분석을 하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

셋째, 석탄하역 비상용 유압펌프의 경우 비상대비 기능 유지를 위한 기능시험을 1개월 주기로 추가 실시하는 것을 제안하였다.

### 참고문헌

1. Anthony M. Smith, Glenn R. Hinchcliffe, 2009, Dae Ga Publishing Co., RCM - Gateway to World Class Maintenance pp.115-126, pp.183-189.
2. Chan Woong Lee, 2005, Improvement of the Preventive Maintenance Task in a Fossil Power Plant by RCM Method, Hanyang University.
3. Gee Wook Song, Bum Shin KIm, Woo Sung Choi, 2010, RCM Based Failure-Prediction System for Equipment, The Korean Society of Mechanical Engineer.
4. EPRI, 2006, Coal Handling System Maintenance Guide, Technical Report.
5. Il Yong Cho, 2012, Selection of Maintenance Interval Based on RCM Method for a Coal Handling Equipment, Hanyang University.