



에너지플랜트의 최적 예방점검을 위한 위험도기반 설비 관리(RBI) 절차 개발

† 최정우 · 윤기봉

중앙대학교 기계공학부

(2011년 1월 25일 접수, 2011년 2월 26일 수정, 2011년 2월 26일 채택)

Development of Risk Based Inspection (RBI) Procedures for Optimized Preventive Maintenance (PM) Planning of Energy Plants

† Jeong Woo Choi · Kee Bong Yoon

Chung Ang University

(Received January 25, 2011; Revised February 26, 2011; Accepted February 26, 2011)

요 약

최근 국내의 많은 에너지 플랜트가 10여년 이상 가동되면서 설비의 장수명화 및 노후설비에 대한 건전성 확보에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 플랜트의 RAM (reliability, availability and maintainability)에 대한 중요도가 높아지고 있다. 플랜트의 RAM을 높이기 위해 RBI (Risk Based Inspection)는 중요한 핵심 기술이다. RBI 기술은 주로 정류 플랜트 설비, 매설배관 설비, 원자력플랜트 설비 등의 에너지 플랜트 분야에서 개발이 진행되어 왔다. 하지만, 기 개발된 RBI 절차는 화력 발전플랜트 등 다른 에너지 플랜트에서의 적용이 어려웠다. 본 연구에서는 에너지 플랜트에서의 최적 예방점검을 위한 일반적인 RBI 표준 절차를 개발하여 보고하였다.

Abstract - Recently, needs for extending remaining life and integrity of the aged energy plants are increased since the most domestic plants have been operated over 10 years. This need makes RAM (reliability, availability and maintainability) of the plant become more significant. RBI (risk based inspection) is main technology to increase RAM in energy plants. So far RBI has been developed mainly in the field of process plants (chemical/refinery), underground buried pipelines or nuclear power plants. However, the existing RBI procedure is limited mainly to process plants, it need to be extended to the other energy plants such as fossil power plants. In this study, a general RBI procedure for optimized PM (preventive maintenance) is proposed for various energy plants.

Key words : Risk, RBI, preventive maintenance, PoF, CoF

1. 서 론

최근 에너지에 대한 관심이 증가하면서 대단위 에너지를 사용하여 제품을 생산하거나 에너지를 직접

생산하는 플랜트(발전, 정유/석유화학, 철강, 제지 플랜트 등)를 통칭하여 에너지 플랜트로 정의하고 있다[1]. 이와 같은 신조어는 에너지 저감과 효율적 생산을 위한 플랜트 고도화에 많은 관심이 집중되고 있음을 반증하고 있다. 플랜트 설비 최적화 및 고도화를 위해 에너지 플랜트에서는 위험도 기반 검사

†주저자: jwchoi@safetia.co.kr

기법(risk based inspection, RBI)[5-7]와 예방점검(preventive maintenance, PM)[2]간의 유기적 연계에 대한 요구가 증가하고 있다.

RBI 기법은 정유/석유화학/발전/제철 등 플랜트의 특성에 따라 적용 배경과 적용 효율성이 다르게 나타나고 있다. 공정플랜트의 RBI 기법에 대한 상세한 절차와 기술은 2000년 API 기준[8,9]에서 제시하였다. 적용 대상은 정유플랜트였지만, 공정 물질 정보와 설비 손상 기구를 일부 수정/보완하여 국내·외 석유화학 플랜트에서도 API에서 제시하고 있는 RBI 기법을 수정하여 적용하고 있다. 하지만, 부식에 의한 감육이 주 손상형태인 공정 플랜트와는 달리 발전 플랜트는 고온에 의한 열화화 및 크리프 손상이 주 손상형태이다. 따라서 정유 플랜트에 최적화된 API의 RBI 코드[8,9]를 발전플랜트에 적용하는 것은 어려움이 따른다[3,4]. API에서 제시하는 RBI 기법은 설비의 고장/파손 발생확률을 결정하기 위해 기본 파손 데이터(generic data)[8,9]와 설비의 부식률에 많은 의존을 하고 있으나, 발전플랜트의 경우 기본 파손 데이터에 해당하는 정보를 확보하기 어려운 때가 많다. 또한, 화력발전 플랜트의 경우 기능적, 물리적 파손 혹은 고장의 주된 원인이 부식보다는 고온, 고압 환경에서 발생

하는 열화, 크리프 등에 의한 것이 많아 이에 적합한 고장/파손 확률 결정 알고리즘을 정유플랜트와는 달리해야 한다[3,5]. 그 외에도 정유플랜트와 설비의 고장/파손으로 인한 손실의 형태가 다른 에너지 플랜트의 경우 기존의 RBI 기법 혹은 절차를 동일하게 적용할 수 없어 이를 대응할 수 있는 절차와 기법의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 발전플랜트를 포함한 에너지 플랜트의 고유한 특성에 맞는 RBI 기술기반이 될 수 있는 에너지 플랜트 준정량적 RBI 절차에 대해 기술하였다.

II. 에너지 플랜트 RBI 절차 개발

RBI는 일반적으로 평가기법에 따라 정성적 기법과 정량적 기법으로 나눌 수 있다. 정성적 RBI 기법을 사용한 위험도 평가결과는 복합적 요인에 의해 변하는 검사 주기를 결정하거나 대정비 공사 계획을 수립할 때에 판단 기준으로 사용하는 데에 한계가 있다. 이와는 달리, 정량적 RBI 기법은 많은 공학적 데이터와 이를 이용한 해석 등에 상당한 노력을 요구하므로 플랜트 적용에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 평가 결과의 신뢰도와 현장 적용성을 최적화한 준정량적 RBI 평가 절차를 Fig. 1과 같이 제안하였다.

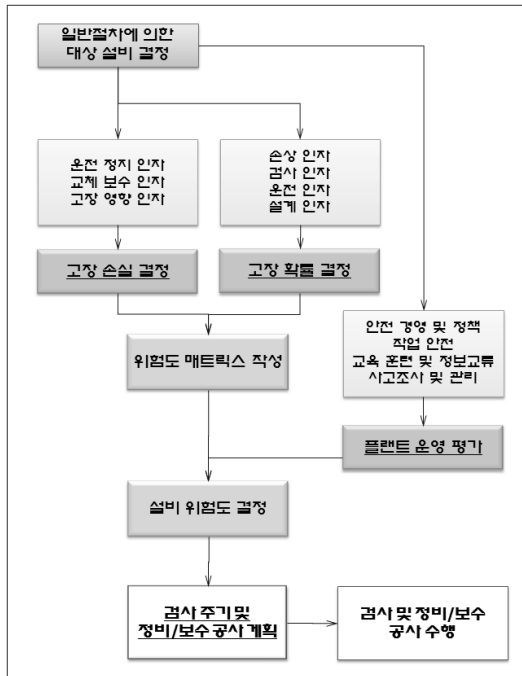


Fig. 1. Detail procedure for risk based maintenance/management for energy plants

2.1. 고장확률 결정 절차

준정량적 RBI 절차에서는 문진에 의해 설비의 상태를 파악하는 정성적 기법과 수치적 데이터를 이용해 설비의 상태를 진단하는 정량적 기법을 모두 사용하였다. 본 연구에서 제안하는 RBI 절차는 Table 1과 같이 4개의 평가인자와 9개의 평가항목으로 구성하였다. 평가항목은 에너지 플랜트의 운전환경, 기술적 수준 및 규제 등을 고려하여 개발하였다.

Table 1. Assessment factor for PoF (probability of failure)

평가 인자(4개)	평가 항목(9개)
손상 인자	- 손상기구평가(DM) - 손상기구 신뢰도평가(DR)
검사 인자	- 검사 유효성 평가(IE) - 검사 데이터 평가(ID) - 최근 검사일 평가(LI) - 검사 활동성 평가(IA)
운전 인자	- 운전정지 평가(SD) - 비정상상태 평가(AS)
설계 인자	- 설계 적절성 평가

2.1.1 손상인자

손상인자(damage factor)는 평가대상 설비에서 어떤 손상기구가 심각한 고장을 유발할 것인지, 그리고 예상 손상기구를 운전자 혹은 관리자가 인지하고 있는지 여부 평가한다. 또한 반복적으로 발생하는 지에 대하여 평가하는 것이 목적이다. 손상인자는 2개의 평가항목으로 구성된다.

a. 손상기구평가: 손상기구평가는 설비에서 발생이 예상되거나 혹은 발생된 이력이 있는 손상기구를 통해 해당 설비에 치명적인 손상이 발생할 정도를 평가한다.

b. 손상기구 신뢰도평가: 손상기구평가 항목에서 손상기구 후보와 심각도는 주기적으로 신뢰도를 확인하여 보정해야한다. 보정 활동이 동반되지 않은 경우 손상기구 평가값의 신뢰도는 떨어지게 되므로 이를 반영하는 평가항목이 손상기구 신뢰도 평가항목이다.

손상인자는 평가식(1)에 의해 결정되며 지배 평가항목은 손상기구평가(DM)항목이므로 이를 반영하기 위해 가중치를 각각 반영하였다.

$$\text{손상인자} = \frac{(DM \times 2) + (DR \times 1)}{3} \quad (1)$$

2.1.2 검사인자

검사인자(inspection factor)에는 설비에 적용되는 검사 종류의 적절성, 차기 검사 일정의 적절성, 검사데이터의 관리 상태, 잔여 수명 예측 상태 등을 고려한다. 이를 통해 설비의 고장 발생 확률을 결정하는데 반영한다. 검사인자는 검사유효성평가, 검사데이터평가, 최근 검사일평가 검사활동성 평가로 구성된다.

a. 검사유효성평가: 검사 유효성 평가에서는 해당 설비의 검사를 통해 잠재적 고장 및 손상에 대하여 정확히 파악하고 이를 검사하고 있는가를 평가한다. RBI 대상 설비에 시행한 검사의 유효성은 손상기구 후보로부터 결정되는 검사유효성 A(η_A)와 발생 손상기구로부터 결정되는 검사유효성 B(η_B)의 조합으로 식(2)에 의해 결정된다. 검사유효성은 실제 한번이상 발생이력이 있는 손상기구를 검출할 수 있는 검사 수행여부를 반영하는 것이 중요하다. 따라서 이를 반영하기 위해 실제 수행한 손상기구에 대한 검사유효성에 대한 가중치를 70%로 주었다. 주어진 가중치에 대한 검증은 실제 사례에 대한 민감도 분석을 수행하여 확인하였다.

$$\text{수행한 검사의 유효성} = \frac{(\eta_A \times 3) + (\eta_B \times 7)}{100} \quad (2)$$

b. 검사데이터평가: 검사데이터 평가는 설비의 수명과 가장 직접적인 연관을 가진 평가 항목으로, 실제 검사한 데이터를 통해 설비의 현재 상태를 진단하고 잔여수명을 예측하여 고장 발생 확률에 검사데이터 평가 결과를 반영한다.

c. 최근 검사일평가: 최근검사일 평가는 마지막 검사 수행일로부터 평가 현재까지의 경과된 시간을 통해 검사 이후의 결함의 추가 생성 및 진행에 대한 가능성을 확인하기 위한 목적으로 수행한다.

d. 검사활동성평가: 검사 활동성 평가는 설비에 적용되는 검사활동의 신뢰도 평가를 목적으로 한다. 검사활동의 신뢰도는 검사에 대한 적절한 기준 유무(예:온라인 모니터링 수행 여부)를 통해 판단한다.

이상의 평가 결과로부터 검사인자의 계산은 식(3)을 따라 수행한다. 검사인자 결정에 가장 큰 지배적인 평가 항목은 검사데이터 평가 그리고 검사유효성 평가이다. 따라서 가중치는 식(3)과 같이 구성하여 각 평가 항목이 설비 검사 인자 결정에 미치는 영향을 반영하였다.

$$\text{검사인자} = \frac{(IE \times 4) + (ID \times 7) + (LI \times 2) + (IA \times 1)}{14} \quad (3)$$

2.1.3 운전 인자

설비의 과거 운전 이력은 많은 정보를 제공한다. 운전인자(operating factor)는 이러한 과거 운전 이력 중 고장정보를 통해 설비의 고장 주기, 원인, 운전상의 문제점 등을 분석하여 이를 고장 확률에 반영하도록 하였다. 운전인자에서는 고장 혹은 손상의 여부 / 플랜트 혹은 설비 정지 여부 / 플랜트 출력 변동(갑발) 여부 / 공정 변수 변화 여부 / 운전 이력과 수명과의 관계 등을 고려해야 한다. 이상의 요인을 고려한 운전인자의 평가항목은 운전정지 평가와 비정상상태 평가로 구성되어 있다(Fig. 2).

a. 운전정지 평가: 에너지플랜트 설비는 기계 또는 금속학적으로 매우 가혹한 조건에서 운전되고 있다. 이러한 가혹한 조건에서 운전되는 설비는 기동정지와 같은 갑작스런 온도 변화에 취화, 결함의 성장과 같은 손상이 유발되어 수명에 큰 영향을 받는다. 운전 정지 평가는 기동정지 횟수를 고장확률로 환산하여 설비 건전성을 평가하였다.

b. 비정상상태 평가: 운전 중 정지까지는 아니지만 기계적 결함, 운전원 실수 등으로 인해 운전을 저하, 긴급 보수와 같은 비정상상태를 설비 고장의 사전 징후로 정의하고 이를 고장 발생 확률을 결정하는데 반영하였다

운전인자는 운전정지평가와 비정상상태 평가 결과에 따라 수식(4)에 의해 결정된다. 플랜트 운영에

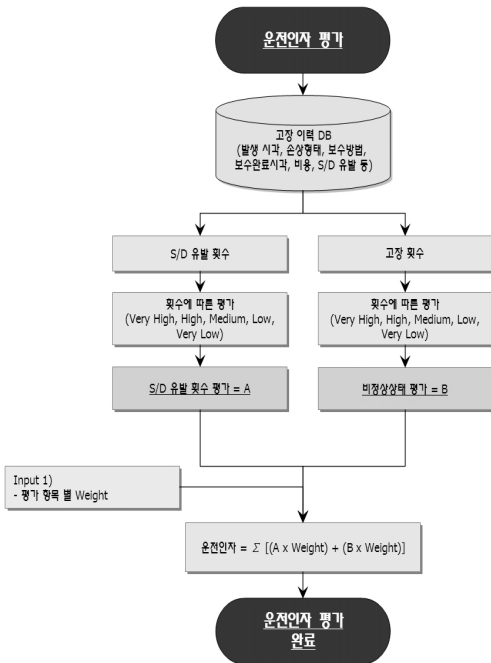


Fig. 2. Procedure of assessment for operating factor

있어 운전 정지는 설비 수명 감소에 가장 큰 영향을 미치므로 가중치를 비정상상태 보다 두 배 크게 두어 운전 인자 결정에 지배적인 역할을 하도록 하였다.

$$\text{운전인자} = \frac{(SD \times 2) + (AS \times 1)}{3} \quad (4)$$

2.1.4 설계 인자

설비를 어떤 회사가, 언제, 어떠한 기준에 따라 설계하였는가는 매우 중요한 사항이다. 설계 인자(design factor)는 이러한 설계 당시에 사용되었던 설비의 기계적 설계 코드, 운전 기준에 대하여 평가하였다.

a. 설계 적절성 평가: 설비의 기계적 설계 기준을 파악하면, 그동안의 누적된 고장데이터에 근거하여 알려진 고장 발생 패턴을 예측할 수 있다. ASME, ASTM 등과 같은 공인된 설계 기준은 많은 실험과 노하우를 바탕으로 잠재 위험을 최소화하여 작성된 것이다. 설비의 설계 단계에 적용되는 설계 기준의 정확성에 따라 플랜트의 잠재 위험성의 수준이 달라진다. 따라서 설계적절성 평가는 설계 기준에 따른 설비의 잠재 위험을 평가한다.

Table 2. Assessment factor of CoF (consequence of failure)

평가 인자(3개)	평가 항목(4개)
운전 정지 인자	- 운전 정지 평가
교체 및 보수 인자	- 보수 비용 평가
고장 영향 인자	- 생산 품질 평가 - 환경 및 안전 영향 평가

2.2. 고장손실 결정 절차

고장손실은 설비의 손상 및 고장으로 인해 발생하는 모든 손실을 의미하며, 본 연구에서는 설비 고장시 플랜트정지시간/플랜트 정지 시 손해 비용/고장 모드/보수 방법/교체 및 보수 비용/고장 시 내부유체 유출로 인한 잠재 위험/고장의 파급 영향/인명 손실 및 환경 영향 등을 종합적으로 고려할 수 있는 평가 절차를 개발하였다. 고장손실 평가는 Table 2와 같이 3개의 평가인자와 4개의 평가항목으로 구성된다.

2.2.1 운전정지 인자

가동 중인 플랜트에서 설비의 고장으로 인한 가장 큰 피해는 정지 및 생산 감소로 인한 생산 손실이다. 설비가 가지는 위험도 측면에서 이러한 생산 손실은 중요한 부분이며, 운전정지 인자(shutdown factor)는 설비에 부여되는 위험도에 신뢰도를 더 하게 된다. 운전 손실에 대한 평가는 시간과 비용으로 평가가 가능하다. 운전 정지 시간은 설비 고장시 정상 상태로 회복되기까지 소요되는 시간이며, 운전 정지 비용은 운전 정지에 따른 생산 손실 및 복구 비용이 된다. 발전 플랜트의 경우 플랜트 정지 시 발전 형태(계획발전, 제약발전 등)에 따른 손실 비용이 되며, 석유화학 플랜트의 경우는 정지시간 동안의 생산 손실, 폐기 생산물, 클리닝 비용 등을 의미한다.

a. 운전정지 평가: 평가는 플랜트의 종류에 따라 비용범위가 다르게 나타나며 발전 플랜트 경우 Table 3에서와 같이 운전 정지에 따른 비용을 평가할 수 있다. 다만, 플랜트의 종류가 다르거나 운전정지로 인한 손실 비용을 명확히 결정할 수 없는 경우는 Table 4를 사용하여 운전 정지 평가를 수행할 수 있다.

2.2.2 교체 및 보수 인자

교체 및 보수 인자(repair factor)는 설비의 고장을 발생 형태와 비용으로 나누어 고려하여, 고장 모드 평가와 비용 평가 항목으로 구성하였다. 평가는 보수비용 평가를 기본으로 하지만, 설비별 교체 및 보수비용의 산정에 어려움이 있을 경우 고장 모드의

Table 3. Assessment criteria of Shutdown - for power plant (Cost)

최근 검사일	평가 값
50억 이상	10
20억 이하	8
10억 이하	6
3억 이하	4
1,000만원 이하	2

Table 4. Assessment criteria of shutdown - for general energy plnt (Time)

최근 검사일	평가 값
한달 이상	10
일주일 미만	8
3 ~5일	6
1일	4
감발	2

Table 5. Assessment criteria of shutdown (by failure mode)

설비 구분에 따른 고장모드		평가 값
고정설비	회전설비	
파손	파손	10
복합 손상	기능 상실	8
누설, 변형	기능 저하	5
균열 및 감육	효율 저하	2

종류에 따라 그 피해 정도를 평가하여 고장 피해 평가에 반영할 수 있다.

a. 보수 비용 평가: 보수비용 평가는 고장에 의해 발생하는 보수 비용과 주기적 보수비용 모두를 합하여 평가한다.

b. 고장모드 평가: 고장모드 평가는 보수비용 산정이 어려운 경우 해당 설비에서 최종적으로 발생하는 고장모드를 예측하여 그로 인한 손실을 평가 대상으로 한다(Table 5).

2.2.3 고장영향 인자

고장영향 인자(effect factor)는 설비의 고장 발생 시 비용적인 손실 이외에도 환경이나 생산 품질에 대한 미치는 영향을 평가하도록 하였다.

a. 생산품질 평가: 생산품질 평가는 설비의 고장으로 인한 2차 영향을 평가한다. 고려 사항은 2차 영향, 보조 설비 지원에 의한 지속 생산 가능성 등이다.

b. 환경 및 안전영향 평가: 환경 및 안전영향 평가는 최근에 이르러 사회적으로 많은 관심을 가지는 사항으로 플랜트 사고로 인한 환경 및 안전사고에 대한 평가를 목적으로 하였다.

2.3. 플랜트운영 평가 결정 절차

설비의 위험도 평가에 가장 직접적인 영향을 미치는 것은 고장확률과 발생에 따른 피해, 손실 등이다. 하지만, 이들은 설비에 종속되어 있어, 설비가 설치된 조건, 운전 환경 등에 관계없이 종류와 제작사만 같다면 유사한 평가 결과를 보인다. 하지만 동일한 설계의 설비라 하더라도 운전 환경에 따라 그 수명과 특성은 많은 차이를 보일 수 있다.

설비가 가지는 이러한 특성을 고려하기 위해 필요한 것이 플랜트 운영 평가(management of plant, MoP)이며, 이는 각 플랜트의 경영 정책, 설비 관리 상태 등을 그 대상으로 하였다. 평가인자는 안전 경영 및 전략 인자, 변경 및 정비작업 인자, 교육 및 정보 교류 인자, 사고 조사 및 관리 인자로 구성하였으며, 각 평가 기준은 한국석유화학공업협회에서 서울대 화학공정신기술 연구소에 의뢰해 개발한 석유화학플랜트 점검표를 수정 적용하였다(Table 6).

Table 6. Sample check list of MoP (management of plant)

문진	평가		
	1	5	10
경영자의 설비관리에 대한 추진방향이 명문화되어 있는가?	추진방향이 명문화는 물론 사훈이나 경영 요소에 반영	추진방향이 명문화 됨	추진방향이 명문화 되지 않아 소극적임
최고경영자는 설비 위험도 저감에 관한 활동에 적극적인 관심을 가지고 노력하고 있는가?	월1회 이상 저감 활동 실태보고 받고, 개선·시정 지시 함	분기1회 이상 보고받음	년1회 또는 보고 받고 있지 않음
고급간부들의 임무에 설비관리에 대한 역할과 책임이 명확히 규정되어 있는가?	명문화된 책임과 역할부여	관례 또는 구두로 책임과 역할 강조	규정화되어 있지 않고, 관례에 따르고 있음

Table 7. Criteria of risk compensation (by MoP)

평가 값	평가 값
250 이상	고장확률은 0.4점, 고장손실은 0.7점 상향 보정
100 ~ 250	고장확률 값을 0.4점 상향 보정
100 미만	위험도 유지

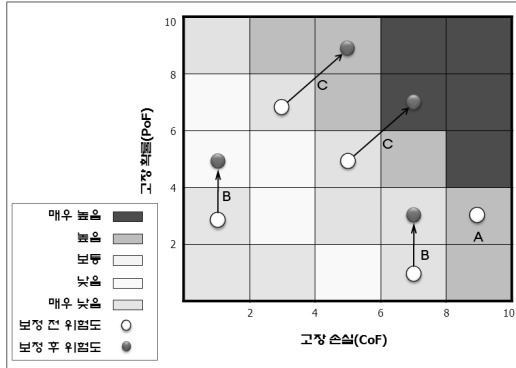


Fig. 3. Compensated 'Risk-Matrix' by MoP

4개 평가인자의 총 36개 문진을 통해 얻은 결과를 합산하여, Table 7에 따라 고장확률과 손실을 보정한다. 플랜트 운영 평가 결과에 따라 위험도를 보정하는 목적은 위험도 등급의 경계에 위치하는 설비의 경우 미세한 외부요인에도 위험도 등급이 변화할 수 있으므로 이를 반영하기 위한 것이다. 각 평가항목의 결과에 따라 고장확률은 평균 0.4점, 고장손실은 평균 0.7점이 결과에 반영되므로 이를 기준으로 하여 결과를 보정하도록 하였다.

2.4. 위험도 산출 및 적용

고장확률과 고장손실의 인자에 대한 평가가 완료되면, 위험도 산출을 위한 고장확률과 손실을 계산한다. 각 평가인자가 고장확률과 손실에 미치는 영향도를 고려한 가중치를 곱한 후 합하여 식(5) 및 식(6)과 같이 결정하였다.

$$\text{고장확률} = \frac{[(DAF \times 3) + (INF \times 4) + (OPF \times 2) + (DEF \times 1)]}{10} \quad (5)$$

$$\text{고장손실} = \frac{[(SDF \times 5) + (REF \times 2) + (EFF \times 3)]}{10} \quad (6)$$

여기서, DAF는 손상인자, INF는 검사인자, OPF는 운전인자, DEF는 설계인자이며, SDF는 운전정지인자, REF는 교체 및 보수인자, EFF는 고장영향 인자이다.

계산된 고장확률과 고장손실은 일반절차에서 제시한 Fig. 3의 위험도 매트릭스 상에 표현하여 위험도를 산출한다. 플랜트 운영평가 결과를 적용하게 되면 Fig. 3에서와 같이 위험도가 보정되어 위험도 매트릭스 상에 위치가 이동되어 표현되게 된다. Fig. 3에서 A, B, C 위험도 평가 후 플랜트 운영평가에 의해 보정된 위험도 결과의 사례이다. A는 위험도 보정이 없는 경우, B는 플랜트 운영평가에 의해 고장확률만 보정된 사례, C는 플랜트 운영 조건이 좋지 못하여 고장 확률과 손실 모두 보정된 사례이다.

III. 결론

본 논문에서는 에너지 플랜트의 최적 예방점검에 적절한 준정량적 위험도 평가 절차를 연구하여 보고하였다. API 등 기준에 제시된 절차가 정유 플랜트 등을 주 적용대상으로 하였으므로, 다양한 에너지 플랜트 전체를 대상으로 하는 위험도 평가 절차가 필요하였다. 본 논문에서는 다양한 에너지 플랜트에 적용 가능한 고장 확률 및 손실의 준정량적 평가 절차를 제시하였고 다음의 결론을 얻었다.

1. 국내 제도, 운전 환경 등에 최적화된 에너지 플랜트 준 정량적 위험도 위험도 절차 제시하였다.
2. 위험도 평가를 위해 필요한 고장 확률, 고장 손실 평가 항목을 구성하고 각각의 항목이 플랜트 설비 건전성에 미치는 영향을 고려하여 가중치를 부여하였다.
3. 경영 정책 및 환경이 플랜트 건전성에 미치는 영향을 고려하여 이를 지수하여 MoP (management of plant)로 정의하고 이를 위험도 평가 절차에 반영하였다.
4. 본 연구를 통해 제시된 평가 절차는 에너지 플랜트 종류에 따라 특화된 상세 평가 절차 정립의 기반으로 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 중앙대학교 2009년도 박사후 연수과정 및 지식경제부 에너지기술혁신 2단계 사업 ‘차세대 에너지 플랜트 첨단 설비 관리 기술 개발 및 실증화’ 과제(2010201010095B)의 연구비 지원 사업에 의한 것입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] 최정우, “화력발전 플랜트의 위험도기반 설비 관리

- 절차연구”, 중앙대학교 박사학위 논문, 2009
- [2] 윤기봉, “에너지 안전 정보 시스템 구축-ETI사업 1단계 보고서”, 중앙대학교, 2010
- [3] 윤기봉, “화력발전설비 위험도 기반 진단 절차 개발 - 전력산업연구개발 사업 최종보고서”, 중앙대학교, 2007
- [4] 윤기봉, “차세대 에너지 안전 첨단 관리 시스템 구축 - 기획보고서”, 중앙대학교, 2007
- [5] “Risk-based Inspection - Development of Guidelines: Volume 1-General Document”, ASME, CRTD-Vol.20-1, 1991
- [6] “Risk-based Inspection - Development of Guidelines : Volume 2/Part 1 - Light Water Reactor (LWR Nuclear Power Plant Components”, ASME, CRTD-Vol.20-2, 1992
- [7] “Risk-based Methods for Equipment Life Management : An Application Handbook”, ASME, CRTD-Vol. 41, 2003
- [8] C. Becht IV, J. R. Sims, C. C. Neely, “Developments in Post-construction Codes and Standards in the United States”, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 81, pp.569-574, 2004
- [9] “Risk-Based Inspection Base Resource Document”, API Publication 581, 2000
- [10] “Risk-Based Inspection : Recommended Practice”, API RP 580, 2002