



원인분석을 통한 신뢰성 중심의 유지보수 시스템 절차 개발

†이헌창 · 최민홍 · 임동호 · 김태옥*

디엔브이 지엘 코리아 RMA, *명지대학교 화학공학과
(2017년 8월 4일 접수, 2017년 8월 21일 수정, 2017년 8월 23일 채택)

Development of Implementation Procedure for Reliability Centred Maintenance with Causing Analysis

†Hern-Chang Lee, Min-Hong Choi, Dong-Ho Lim · Tae-Ok Kim*

RMA of DNV GL Korea, Seoul 03154, Korea

*Dept. of Chemical Engineering, Myongji University, Kyounggi 17058, Korea

(Received August 4, 2017; Revised August 21, 2017; Accepted August 23, 2017)

요약

현재의 유지보수 시스템은 고정 설비 및 회전기계의 유지 및 보수에 대한 명확한 기준이 제시되지 않고 있으며, 고장이 발생되더라도 근본적인 원인분석 없이 교체 및 수리가 이루어져 더 큰 사고를 초래할 수 있는 환경이다. 따라서 본 연구에서는 예방보전을 통해 사전에 점검하고 유지 보수할 수 있도록 신뢰성 중심의 유지보수 시스템의 절차를 개발하였고, 향후 유지보수에서 설비의 고장형태에 따라 문제 발생 설비를 집중 관리함으로써 중대산업사고의 발생을 사전에 예방하고 관리할 수 있는 절차를 제시하고자 하였다.

Abstract - Current maintenance system are unable to suggest solid basis of maintenance for roating and static equipment. When a filure occurs, replacement or repair without proper process of failure cause analysis would often result in even greater risk. Therefore in this study, a procedure of Reliability Centred Maintenance is developed in order to perform maintenance in preventive mainer (PM), and to effectively manage risk of any equipment based on failure types and respective rates of failure. Ultimately an equipment with higher risk will be monitored which will lead to effectively prevent and manage any major accident.

Key words : risk based maintenance(RBM), reliability centred maintenance (RCM), OREDA, FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), failure mode

1. 서 론

산업안전보건법에 의해 1996년 공정안전관리 (Process Safety Management, PSM)가 시행된 이후 우리나라에서도 안전에 대한 인식이 많이 향상되었으나, 아직도 크고 작은 사고가 끊이지 않고 있다. 최근 불산 누출사고로 인해 공장 근로자의 사상자를 발생할 뿐만 아니라 공장 일대의 주민들, 동/식물까지 피해를 입는 사고가 발생하고 있다.

또한 설비의 유지보수를 위해 작업자들이 가스 제거작업이 제대로 이루어지지 않은 채 작업에 투입되어 가스폭발 사고가 발생하여 인명피해를 일으키는 중대산업사고(Major Industrial Accident)로 이어지는 경우가 빈번하게 발생하고 있다.

이러한 중대산업사고가 발생하는 근본적인 원인으로서는 여러 가지 이유가 있을 수 있지만, 고정설비 및 회전기계에서 유지 및 보수에 대한 명확한 기준이 제시되지 않고, 그리고 고장이 발생되더라도 근본적인 원인분석 없이 교체 및 수리가 이루어져 더 큰 사고를 초래하게 되었다[1]. 또한 예방보전을 통해 사전에 점검하고 유지 보수할 수 있도록 하고

†Corresponding author:hern.chang.lee@dnvgl.com
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

있으나, 유지보수에 대한 우선순위가 없어 비용 효율적인 측면에서 손실이 큰 실정이다.

따라서, 향후 유지보수 기법은 설비의 고장형태를 분석하여 위험등급을 산정하고, 고장 형태별에 영향을 주는 부위를 집중적으로 유지 보수함으로써 중대산업사고의 발생을 사전에 방지할 수 있어야 하며, 본 연구에서는 원인분석이 가능한 신뢰성 중심의 유지보수 시스템의 절차를 개발하고자 한다.

II. 유지보수 전략

2.1. 유지보수 전략의 변천

가동시간을 늘이고 생산성을 증가시키기 위해 과거에서부터 현재까지 유지보수 전략(Maintenance Strategy)은 체계적으로 변화가 이루어 졌다. 즉, 고장이 발생(Reactive)하고 나서 대응하는 시기, 정기적(Periodic)으로 점검하던 시기, 설비 상태(Condition Monitoring)에 근거하여 예측 유지 보수하는 시기, 그리고 사전예방 유지보수 전략(Proactive Maintenance Strategy)의 시기로 변천하고 있다.

국내의 수준은 설비의 상태에 근거하여 예측하는 유지 보수 전략을 수립하는 단계에 머물고 있으며, 향후 사전 예방적인 유지보수 전략의 수립이 시급한 실정이다.

사전예방 유지보수 전략은 근본원인분석(Root Cause Failure Analysis)로부터 얻은 선행적 적용과 경험에 근거하여 유지보수 전략을 수립하게 된다. 또한 사전예방 유지보수 전략은 고장 원인에 대한 체계적인 지식을 확보하여 근본 원인의 제거가 가능하도록 하며, 반복적인 문제의 발생을 방지하고, 유지보수 중단 시간의 최소화하며, 그리고 설비의 수명을 연장할 수 있도록 해주는 장점을 가지고 있다.

2.2. 위험기반 유지보수

설비에 대한 최적의 신뢰성을 달성할 수 있도록 최적화된 유지보수 패키지를 제공하는 기법이 위험기반 유지보수 (Risk Based Maintenance, RBM) 기법이다.

위험기반 유지보수 기법은 일반적으로 신뢰성 중심의 유지보수(Reliability Centred Maintenance, RCM)로 잘 알려져 있다.

그리고 위험기반 유지보수는 현존하는 유지보수 전략 중 사전예방 유지보수 전략에 최적화된 기법이다.

위험기반 유지보수 기법은 고장의 원인을 제거 또는 최소화하기 위해 유지보수 전략을 개발하고, 최적화된 작업(Task Package) 계획을 제시함으로써 다음과 같은 목표를 달성할 수 있다.

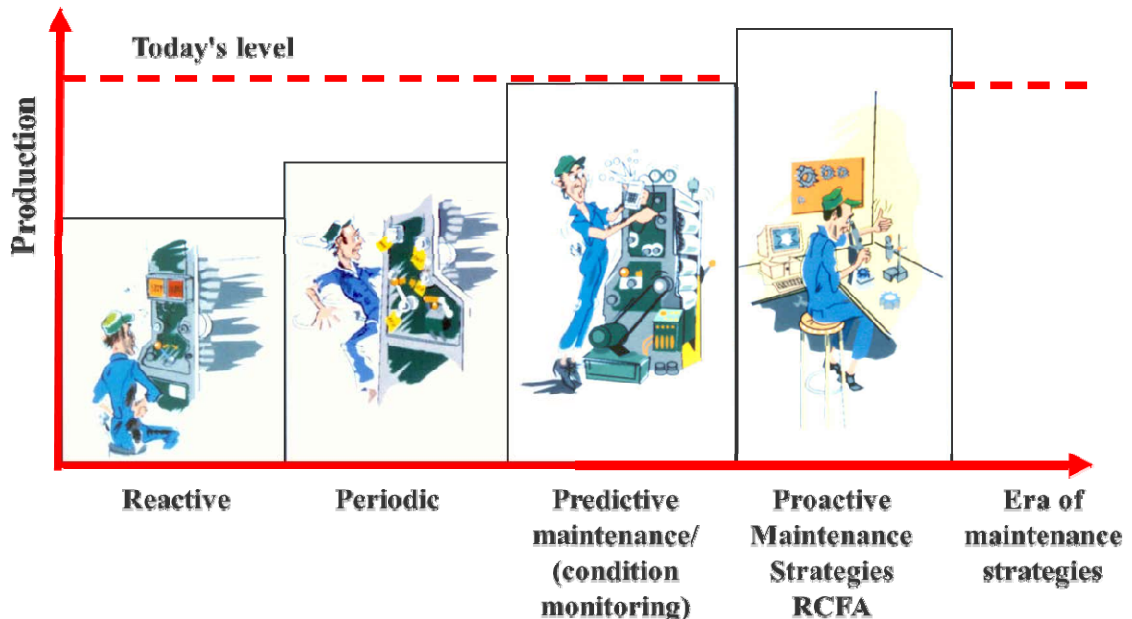


Fig. 1. Era of maintenance strategies.

- 수익 극대화 : 높은 신뢰성, 높은 가용성, 생산성 증가
- 비용 최적화 : 적극적인 유지보수 증가, 사후 유지보수 감소, 검사 연장
- 비즈니스 유지 : 계획 기능 향상, 예산 예측 가능성 향상, 안정적 운영
- 위험 관리 : 손실 위험 감소, 사고율 감소, 규정 준수 유지

III. 원인분석 기반 유지보수 절차 개발

3.1. 수행 팀 구성

신뢰성 중심의 유지보수를 수행하기 위해서는 일반적으로 공정안전 담당자(process and safety engineer), 신뢰성 담당자(reliability engineer), 기계 담당자(mechanics engineer), 전기/계기 담당자(electrical & instrumentation engineer), 유지보수 담당자 (maintenance engineer), 공정운전 담당자(operation engineer)와 같이 여러 담당자로 구성된 팀에 의해 수행되어야 한다. 수행팀(RCM Team)은 토론(brain storming)을 통해 가능한 시나리오를 예

측하고, 이를 예방할 수 있는 최적의 유지보수 전략을 수립하여야 한다.

공정안전담당자는 고장 형태(Failure Mode)에 따른 사고피해결과(consequence)를 예측할 수 있도록 정보를 제공하여야 하며, 신뢰성 담당자는 개별 설비의 신뢰성과 관련된 과학적인 값을 제공할 수 있어야 하며, 기계담당자는 펌프 및 컴프레서와 같은 회전기계의 유지보수 방법을 제시하고, 전기/계기 담당자는 전기설비 및 계기의 유지보수 방법을 제시하고, 유지보수 담당자는 수립된 유지보수 전략이 최적의 방법에 의해 수행될 수 있는지 확인하여야 한다. 또한 공정운전 담당자는 고장 형태로 인해 피해가 발생할 수 있을 경우 이를 해결하고 보다 안전하고 효율적인 측면에서 가능한 공정운전 조건이 있는지에 대한 정보를 제공하여야 한다.

3.2. 수행 절차

수행팀이 구성되면, 위험기반 유지보수 기법(RBM)은 Fig. 2에서와 같이 스크린 분석(Screening Analysis), 상세 분석(Detailed Analysis), 그리고 작업 선택 및 최적화(Task selection and Optimization)와

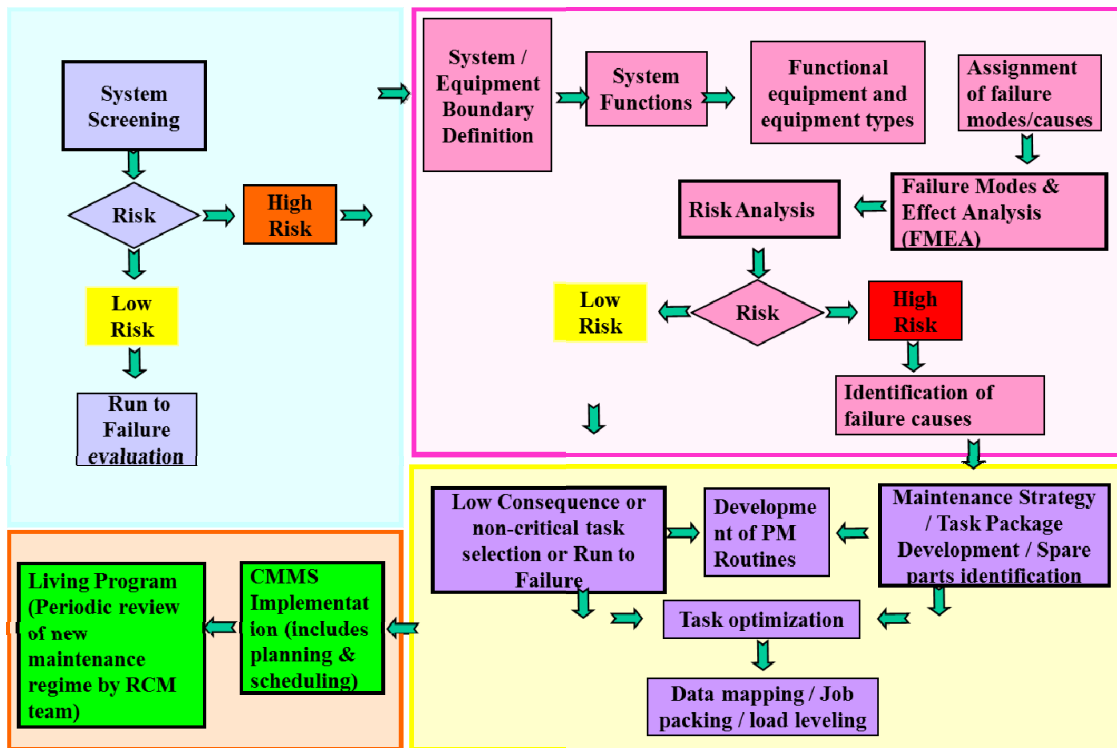


Fig. 2. Procedure of Risk Based Maintenance Development.

같이 크게 3가지의 단계로 이루어진다[2,3].

스크린 분석의 목적은 위험도가 낮은 설비는 공정 운전에 크게 영향을 미치지 않기 때문에 유지보수에 필요한 노력을 최소화하고, 그리고 위험도가 높은 설비는 상세 분석을 통해 안전 확보와 함께 최적화된 유지보수가 가능하도록 해주기 위함이다. 스크린 분석에서 가장 일반적으로 활용되는 기법은 설비등급평가 (Equipment Criticality Assessment, ECA)에 의한 방법으로 설비의 고장가능성(Likelihood of Failure)과 피해크기(Consequence of Failure)를 정성적인 평가방법으로 분석하여 위험행렬에 나타내어 등급을 부여하게 된다. 이때 위험등급은 사업장에서 관리하고자 하는 위험수준을 적용하여 상세분석의 대상을 선정하게 된다.

상세분석에서는 시스템/설비 경계정의(System / Equipment Boundary Definition), 시스템 기능(System Function) 정의, 기능 설비와 고장형태/고장원인(Functional Equipment and Assignment of Failure Modes/Causes) 개발, FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) 분석, 위험분석(Risk Analysis)의 단계로 이루어진다[4,5].

시스템/설비의 경계정의에서는 시스템의 구성 및 체계에 대한 정의를 하게 되며, 즉, 시스템 > 서브 시스템 > 설비 (Equipment) > 태그(Tag)와 같이 ISO 14224[6]에서 제시된 분류(Taxonomy) 기준에 따라 정의를 하게 된다.

3.3. 원인분석 방법

시스템 기능정의에서는 설비(Equipment) 또는 태그(Tag)가 가지는 기본적인 기능을 정의한다. 즉, 설비(Equipment) 또는 태그(Tag)가 정상적인 기능을 할 수 없을 경우, 이는 설비(Equipment) 또는 태그(Tag)에서 고장(Failure)을 의미하게 된다. 또한 시스템의 기능은 FMEA에서 고장(Failure)으로 인한 영향(Effect)를 분석 시에 평가의 근거자료로 사용되게 된다. 일반적으로 널리 사용되는 고장 형태는 Table 1과 같다.

설비별 고장형태 및 고장원인 개발에서는 설비를 형태별로 분류하고, 설비 형태별로 발생 가능한 고장 형태를 개발하게 된다. 또한 고장 형태를 유발하게 하는 고장원인(Failure Cause)에 대한 분석이 이루어져야 한다. 고장원인은 유지보수 전략에서 유지보수 작업 부위선정의 기준을 제공하게 된다. 고장형태 및 고장원인에 대한 분류는 OREDA[7] 및 CCPS[8]에서 자세한 자료를 제공하고 있다.

FMEA 분석과 위험분석은 함께 진행된다. 개별 설비에 대해 여러 개의 고장형태를 고려하여 각 고

장형태에 대한 영향(Effect)를 분석하여야 한다. 그리고 개별설비의 각 고장형태에 대하여 위험분석을 하게 된다. FMEA 분석과 함께 진행되는 위험분석과 스크린분석에서 적용되는 설비등급평가의 차이점은, FMEA 분석과 함께 진행되는 위험분석은 설비 개별 고장 형태별로 위험등급을 반영하게 되는 반면, 설비등급평가는 설비 자체에 대한 위험등급을 부여하게 된다. 즉, FMEA 분석과 함께 진행되는 위험분석의 목적은 개별 고장 형태와 위험등급을 조합하여 유지보수 주기를 결정하기 위해 사용된다. 특히 위험분석에서는 사람/안전(Safety Impact), 환경(Environment Impact), 생산(Production Loss), 유지보수(Following Cost) 등을 고려하여야 한다.

상세분석이 완료되면, 최종단계인 유지보수 작업 (Maintenance Task) 선택 및 최적화, 유지보수 전략을 수립하게 된다. 유지보수 전략은 설비로부터 고장 발생으로 인한 영향, 설비 수명, 기능적 고장

Table 1. Typical Failure Mode

Failure Mode	
Unable to Unintentional	Start
	Stop
	Open
	Close
	Engage
	Disengage
	Operate/Operation
Internal	Leakage
External	
Loss of	Output
	Flow
	Pressure
	Signal
	Feedback
	Indication
	Amplification
	Filtration
Ignition	

등을 고려하여 전략이 수립된다. 즉, 고장원인은 고장형태를 발생시키고, 고장 형태는 공정의 위험에 영향을 주기 때문에, 최적의 유지보수 전략은 고장형태별 유지보수 작업을 생성하고, 유지보수 작업에는 고장형태에 영향을 주는 고장원인이 포함될 수 있어야 한다. 또한 유지보수 주기는 고장형태에 따른 위험분석 결과에 근거하여 설정하여야 한다.

최근 유지보수 전략을 체계적으로 구축하고 CMMS (Computerized Maintenance Management System) 을 이용하고 있다. CMMS는 사업장에서 구축된 ERP 시스템과 연동되어 관리할 수 있으며, 최적화된 유지보수 전략은 체계적으로 관리해 줄 수 있는 장점을 제공한다.

VI. 석유화학 플랜트의 유지보수 전략

중대산업사고를 예방하기 위해 도입되는 많은 기법들이 있지만, 대부분은 사고가 발생 후 영향을 최소화하기 위한 방법에 집중되고 있다. 위험기반 유지보수 전략을 도입할 경우 최적화된 유지보수를 제공할 뿐만 아니라, 고장원인을 관리할 수 있으므로 사고를 근본적으로 사전에 예방할 수 있는 도움을 줄 수 있다. 또한 고장원인/고장모드 분석은 운전 중 시스템에서 사고가 발생될 경우 근본원인분석(Root Cause Analysis)의 핵심을 제공할 수 있어 동종의 사고를 예방하는데 핵심을 제공할 수 있다. 본 연구에서는 신뢰성 중심의 유지보수 시스템 절차를 개발하여 제공하고자 하였으며, 본 절차에 따라 유지보수 업무를 수행 시 보다 효율적이고 과학

적으로 관리함으로써 사고 예방에 도움을 줄 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 김태옥 교수님 정년을 기념하기 위하여 작성되었으며, 교수님의 정년을 축하드립니다.

참고문헌

- [1] H. C. Lee, et. al., "Risk-Based Inspection (RBI) Technology for Safety Management of the Pressurized Facilities", KIGAS 15(4), 1-6 (2011).
- [2] DNV RP D102A, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Redundant System, January 2012.
- [3] AIAG FMEA-4, Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), 4th, GMCorporation, 2008.
- [4] SAE JA 1011, Evaluation Criteria for Reliability Centred Maintenance (RCM) Processes, 2009.
- [5] SAE JA 1012, A Guide to the Reliability Centred Maintenance Standard
- [6] NS-EN ISO 14224 : Petroleum, petrochemical and natural gas industries Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2016.
- [7] SINTEF, OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data), 5th Ed., 2009
- [8] CCPS, Reliability Data