

LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발

■ 최 송 천 / 한국가스안전공사 가스안전연구원, scohoi@kgs.or.kr

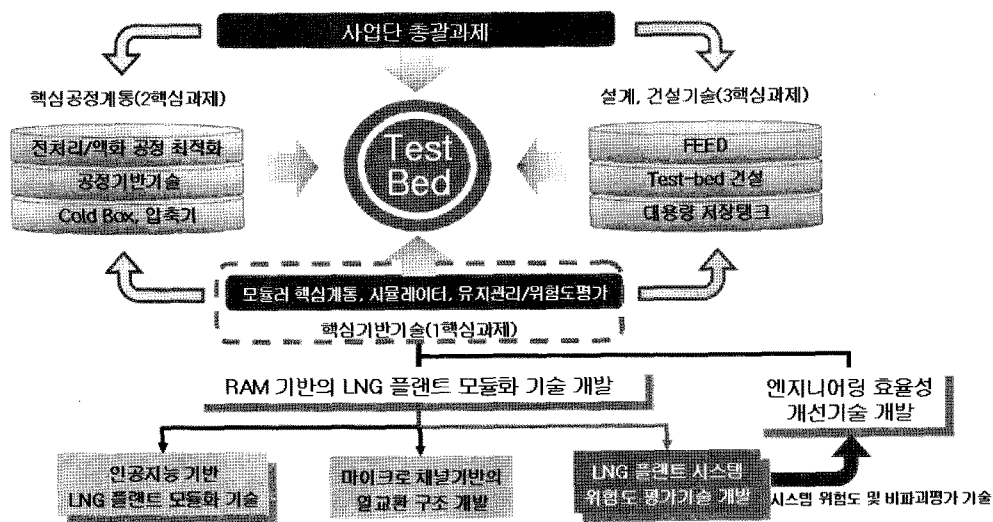
LNG 플랜트 시스템의 각 공정별 위험인자를 선정하고 LNG 설비 및 배관 계통에 인공지능을 내재한 웹기반의 최첨단 위험도평가(Risk Assessment) 프로그램을 개발하는 기술을 소개하고자 한다.

최근 국가적인 에너지 수급을 위한 안보차원의 국가 경쟁이 치열한 가운데 가스플랜트(LNG) 사업은 우리 기업이 해외 플랜트 시장에서 지속적인 성장을 담보할 수 있는 사업모델로서 중소형 가스전을 대상으로 우리 기업의 독자적인 기술 확보가 시급한 실정이다. 우리나라는 가스플랜트 분야의 핵심공정에는 실질적으로 참여한 실적은 없으나, 그동안 정유 및 석유화학 등의 분야에서 수행한 높은 실적과 확보된 기술력을 바탕으로 기술개발 및 상용화에 잠재력은 매우 크다고 할 수 있다. 특히 정유 및 석유화학 플랜트 분야의 위험도 평가기술

(KGS-RBI™)은 아시아에서는 최초로 독자 개발한 기술로서 성장기적 사업 모델이다.

“LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발”은 국토해양부, 한국건설기술평가원이 추진하는 플랜트기술 고도화사업의 일환으로서, 가스플랜트 사업단을 발족하여 수행하고 있다. 가스플랜트 사업단의 최종 목표는 LNG 플랜트 핵심공정 및 기본 설계 패키지 개발 및 이의 실증을 통해 플랜트 기술을 고도화 하여 해외 LNG 플랜트 시장 진입을 위한 EPC[engineering](설계) procurement(구매) construction(시공) 필수 기술을 개발하는 것이다. 따라서 본 연구과제는 가스플랜트사업단에서 추진하는 3개의 핵심과제 중에서 한국건설기술연구원이 주관하는 핵심1과제(핵심기반기술)내의 제1세부 중 제 3연구과제로 수행하게 된다.

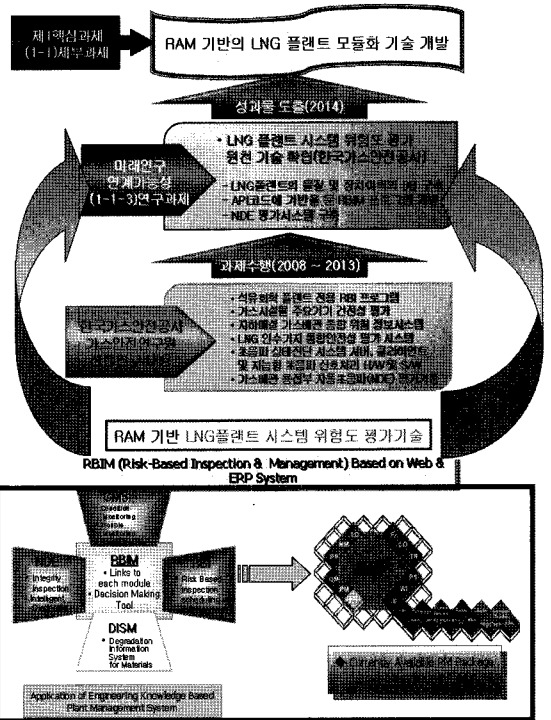
LNG 플랜트 사업단의 제1핵심과제인 핵심기반기술은 개념적으로는 첨단기술 기반의 성능개량



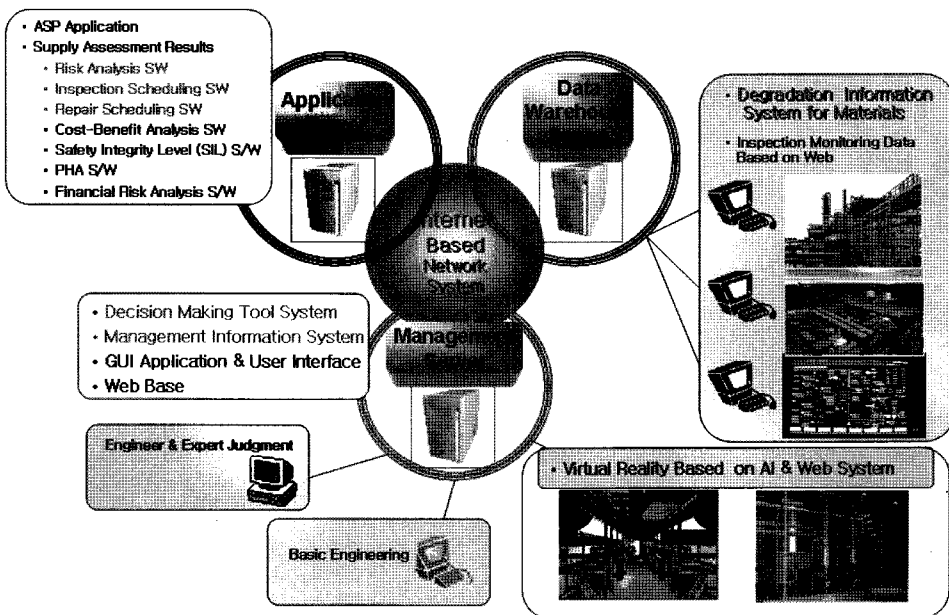
[그림 1] 가스플랜트사업단 중 “LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술” 연계도

과 표준개발 등 인프라 구축 및 경쟁기술을 지원하기 위한 플랫폼 기술로 정의할 수 있다. 기능적으로는 창의적 아이디어와 지식 DB, IT 등 첨단기술의 접목을 통하여 성능을 혁신하고 콤팩트/모듈화 계통 및 이의 건전성(RAM : Reliability(건전성), Availability(가용성), Maintainability(유지관리)), 동적 해석 기반의 설계 및 운영기술, 표준이나 기준, 제도, 위험성 평가 등을 개발하여 중기적인 관점에서 LNG 플랜트 건설사업의 국제 경쟁력에 구동력(driver) 제공을 목적으로 한다.

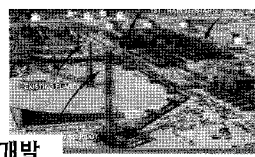
이러한 핵심기반기술은 3 ~ 6년의 사업기간 내에 개발·적용하여 성능과 비용의 개선이 가능한 융합기술(IT, 구조, 마이크로 응용, 핵심기자재 등)을 중점 대상으로 하고 있다. 특히 제 3연구과제인 『LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발』은 LNG 설비 및 배관 계통도에 대하여 인공지능을 내재한 웹기반의 최첨단 위험도평가 모듈을 개발하여 "RAM 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술"에 접목시킴은 물론 "엔지니어링 효율성 개선기술"에도 인터페이스화하여 운전 전/후 및 유지관리를 위한 검사·진단 분야에도 활용할 수 있도록 LNG 플랜



[그림 2] 연구개발 총괄 개요



[그림 3] ERP 및 인공지능형 기반 LNG 플랜트 종합적 안전관리 시스템 구축 내용



트의 핵심기자재 물성 데이터베이스(DB)를 구현하여 LNG 플랜트 핵심 설비에 대한 비파괴 평가시스템을 구축하는 것이다.

그림 1은 본 연구과제를 수행하기 위한 전체 계통도를 보여주는 것으로서, 가스플랜트사업단에서 추진하는 각 연구과제 중에서 본 연구과제가 기여하는 연결 범위를 나타낸다.

그림 2와 그림 3은 최종 연구성과물 도출을 위한 총괄 개요를 도식화하여 보여주는 것으로서, 최근 전 세계적으로 플랜트 산업에 적용하고 있는 전사적 자원관리(ERP : Enterprise Resource Planing) 시스템에 적용이 가능하도록 인공지능을 탑재한 위험인지 및 평가 프로그램을 개발하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

LNG 플랜트 위험도평가 기술 개발 배경

전 세계적으로 플랜트 설비의 수명연장과 함께 대형사고 예방을 위한 안전관리 시스템 구축을 위한 위험도 평가기술 개발이 각광을 받고 있다. 특히 고온·고압 및 극저온 초고압 설비의 경우에는 예기치 않은 한 번의 단순사고가 대형사고로 확대되어 엄청난 재난을 초래하는 경우도 종종 발생한다. 따라서 플랜트 설비의 사고 예방기술 및 예측 정비와 함께 국가 기간 산업설비의 보존을 위한 ERP와 같은 IT 기반의 위험도 평가 시스템 구축이 주목받고 있다. 해외 LNG 플랜트 EPC 사업 수행을 위해서는 위험도 평가 시스템은 필수적으로 요구하는 사항이다.

이러한 이상적인 비전(vision)에 근접하는 가장 좋은 방법이 바로 각 설비별 위험도를 순위별로 평가한 후, 이에 따른 진단 및 검사 계획을 수립하는 위험성 기반 진단(RBI : Risk-Based Inspection) 기술이다. 이 기술은 미국이나 유럽에서는 가장 주목받고 있는 신기술중의 하나로서 위험설비가 산재해 있는 플랜트내에서 언제, 어느 부위에, 무엇을, 어떻게 검사해야 이 장치들의 위험도를 최소화할 수 있는가 하는 방향을 제시하고 있다. 이는 위험성 분석(risk analysis)을 이용하여 위험도를 줄이기 위한 의사결정(decision making)이 요구되는 사안이기 때문에 이런 의미에서는 최근의 전사적

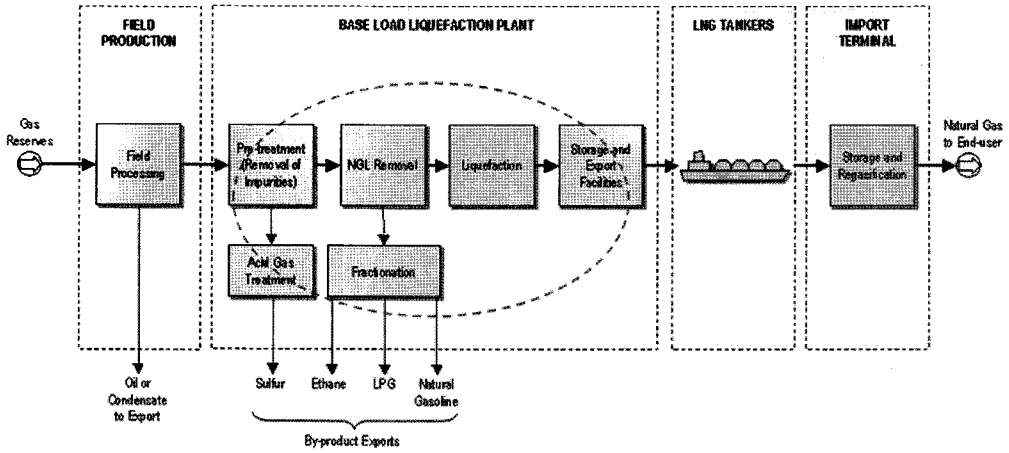
자원관리(ERP : Enterprise Resource Planning) 기술과 접목한다면 사실 위험성기반 관리(RBM : Risk-Based Management) 기술이 보다 더 적절한 표현이라고 할 수 있다. 이제 전 세계가 지식기반 사회로 나아감에 따라 IT를 기반으로 한 지식모드의 평가기술이 각광을 받고 있는 현실이다.

LNG플랜트 사업단의 제1핵심과제 중 제3세부 연구과제인 “LNG 플랜트 시스템 위험도평가 기술”은 제1핵심기반 기술인 “RAM 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술” 개발을 위한 핵심 모듈개발의 하나로써, LNG 플랜트의 전체 설비계통에 대한 정성적·정량적 위험도 지수를 평가하고, 각 설비에 대한 안전지수를 산정하여 저비용 고효율의 안전관리 시스템을 구축하는 기존의 RBI(Risk-Based Inspection) 기술의 차세대 첨단기술인 위험도기반의 진단 및 관리(RBIM : Risk-Based Inspection & Management) 기술로 정의할 수 있다.

즉, LNG 플랜트에서 존재하는 상시 위험성에 대한 정량적인 시스템 위험도 평가 및 비파괴 평가 시스템을 구축하여 인공지능 미들웨어에 탑재하고 ERP(전사적 자원관리 시스템)와 연동이 가능하도록 생산·공무·유지관리 분야에 엔지니어링의 요소기술 및 핵심인자를 제공하여, 대형사고 예방 및 에너지 자원의 안정적 공급을 위한 필수적인 기술이라 할 수 있다.

LNG 플랜트 위험도평가 기술 핵심 모듈

LNG 플랜트 엔지니어링에 관계되는 digital data / knowledge / rule 등을 기반으로 digital plant를 구현하고 이를 기반으로 LNG 플랜트를 구성하는 주요 계통의 통합적 구성을 위한 에너지와 물질흐름의 최적화를 통하여 modular, compact 계통을 개발한다. 이러한 모듈화 계통에 있어서 영향이 큰 LNG 플랜트 시스템의 설비 및 배관망의 요소별 위험인자를 선정하고, 핵심계통별 안전지수를 산정하며 부품소재의 재료 물성 및 재료 열화정보 시스템을 탑재한 비파괴 평가 모듈을 통하여 위험도 평가기술 선진화를 통한 안전기준 통합 클래스를 구축하여 RAM 기반의 LNG 플랜트에 최종 접목시켜, 인공지능형 시스템 최적화 기술을 개발한다.



[그림 4] LNG 플랜트 사업 및 공정 흐름도

LNG 플랜트 생산 프로세스별 위험도 평가 기술

일반적인 LNG 생산 프로세스는 그림 4와 같이 전처리, 액화, 저장 등의 순서로 진행된다. 천연가스는 다량의 탄산가스, 황화수소, 수분 등의 불순물을 함유하고 있어 이들 중 탄산가스, 황화수소는 장치에 부식을 일으키고, 수분은 공정 중에 가스유화물을 발생하여 운전 중의 배관망의 막힘 등과 같은 장애 요인이 되므로 액화공정 이전단계에서 제거한다. 이러한 경우, 각 배관망에서 발생할 수 있는 소재의 열화도에 따른 위험도를 파괴공학 및 재료공학적인 관점에서 고찰하고 API 및 ASME Code에서 제시하는 위험지수를 산정할 필요가 있다.

특히 전처리 과정에서 발생하는 황화수소와 같은 부식성 분위기는 LNG 플랜트 설비 전체에 영향을 미치며, 배관과 배관부품은 pipe mill에서 결정되며, 제작사양은 재질, 검사요구사항, 최소인장강도, 용접과정 등이 기술되어 있다. 설계사항으로는 설계압력 및 온도, 허용응력, 품질계수, 요구두께, 유체, 유연성, 압력방어 등이다.

LNG는 주성분이 메탄인 천연가스를 초저온(약 -162℃) 액화공정을 통하여 부피가 가스 상태의 약 1/600로 감소하여 보관 및 운송이 용이해진다. 따라서 이러한 LNG 플랜트는 액화공정의 Cold Box 뿐만 아니라 대부분 복잡한 기술과 기기 및 자재로

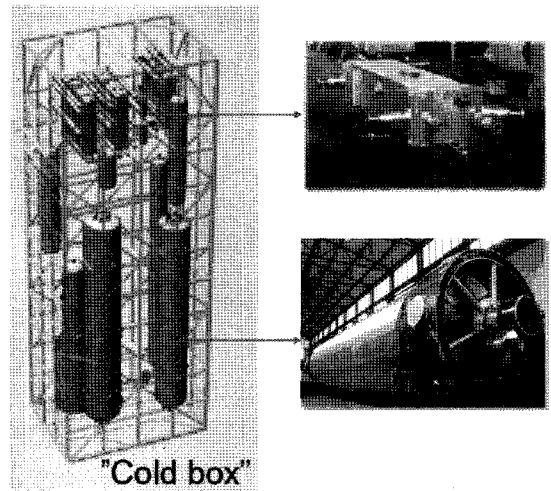


Figure 4: Location of plate-fin and spiral-wound heat exchangers in a cold box

[그림 5] Compact cold box 실현을 위한 고성능 열교환기

구성되며, 또한 초저온 상태의 운전을 수행하기 때문에 시스템의 신뢰성과 안전성이 매우 중요한 설계인자이다. 특히 그림 5에서 보여지는 바와 같이 Cold Box의 경우에는 초저온 재료의 용접부 및 모재부에서의 초저온 취성과파괴를 유발하는 인자들로 이루어져 있기 때문에 설계 및 안전운전을 위한 위험도 산정기술은 특히 중요하다. 초저온 재료에 대한 재료의 일반적 과손확률 값과 재료물성에 따른 위험인자 및 안전지수 선정이 특히 중요하다.



LNG 프로세스 핵심기술인 액화공정에 대한 정량적 위험도 평가와 함께 재료 및 공정의 안전관리를 위한 통합 클래스 코드를 개발하여야 한다.

본 연구에서 요구되는 LNG 플랜트 시스템의 위험도 평가기술의 접근 방법은 다음과 같다.

- 가동 중인 LNG 플랜트 시스템의 위험도 정보 확인 절차 제공
- 설비의 파손확률 및 파손 시 미치는 영향 등을 평가 후 그림과 같은 5 × 5 행렬에 평가결과를 도시
- 표 1에는 정성적 위험도 평가시 고려해야 할 사항을 3개의 범주로 제시

위험성기반 진단(RBI : Risk-Based Inspection) 기술의 정의

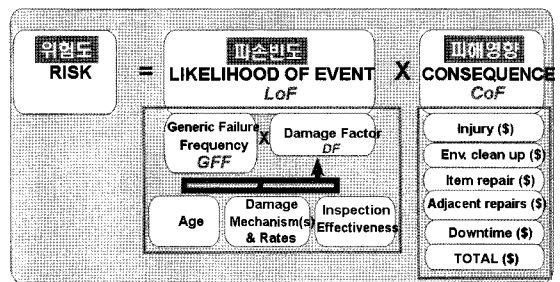
위험성기반 진단(RBI) 기술은 기존의 시간(time)에 기초한 검사와는 달리 개개의 설비와 관련된 위험도(risk)를 사고 확률(likelihood of failure: LOF)과 피해결과(consequence of failure: COF)에 의한 측정 가능한 손실비용(Risk = LOF × COF)으로 계량화하여, 잠재적으로 위험도(risk)가 높은 설비에 초점을 집중하여 검사 및 보수에 우선순위를 결정하는 기술이다. 즉, RBI 2080 rule에 의하면 전체 단위설비의 20%가 전체 위험의 80%를 차지하고 있다는 것으로, 100개의 배관이 있을 경우 약 20개 정도의 배관이 매우 위험하고 나머지는 덜 위험하다는 것이다. 따라서, 위험도가 적은 장치류들은 검사주기를 연장하여 검사경비를 줄이고, 위험도가 큰 장치류에는 더 많은 예산을 투입하여 검사주

기를 줄이거나 적절한 검사 프로그램을 설계한다. 따라서 각 기기들의 파손위험도를 체계적으로 관리하여 진단/감시 시스템의 수준을 높임으로써, 사고발생 확률을 줄여 경비절감 및 생산성 향상의 3가지 효과를 얻을 수 있다.

따라서 특정 검사활동의 수행에 대한 가치를 설명하는 수단(tool)과 검사계획 수립을 위한 의사결정 경영수단(decision making management tool)으로서의 역할을 수행한다.

위험도(RISK)는 파손확률과 그에 따른 피해 영향의 결과로 정량화할 수 있다. 이때 파손빈도는 설비의 고유 결함빈도와 손상인자로 이루어져 있으며, 피해영향은 사고에 따른 인명 및 생산과 환경에 미치는 영향을 피해면적 또는 손실 비용으로 계산되어 진다(그림 6).

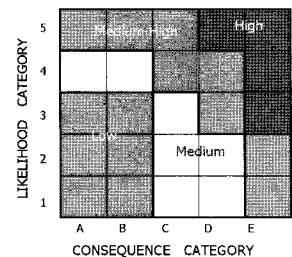
운전 중인 기기에 대한 위험도(RBI) 프로그램의 전반적인 프로세스는 전체 시스템에 대한 주기적인 시스템 감사(Audit)와도 연계하여 LNG 플랜트 시스템의 품질개선공정(QIP)에 맞추어 지게 되며 지속적인 개선도 가능하며, 향후에는 회전기기를



[그림 6] 위험도(RISK)의 계량화 정의

<표 1> 정성적 위험도 평가시 고려해야할 사항

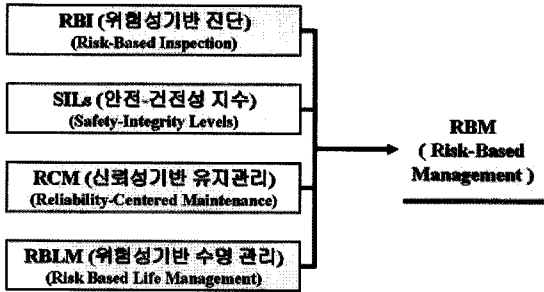
파손 확률 범주	파손 확률 범주, 손상 영향 범주, 건강 영향 범주	건강 영향 범주
<ul style="list-style-type: none"> · 설비 개수 · 손상 기구 · 검사의 타당성 · 운전중인 설비의 상태 · 공정의 특성 · 설비 디자인 	<ul style="list-style-type: none"> · 발화 성향 · 누출 가능량 · 증발 정도 · 자연발화 가능성 · 고압 운전 효과 · 안전 지침 · 손상의 누출 정도 	<ul style="list-style-type: none"> · 누출량 및 독성 · 정상공정 상대시 소산 능력 · 검출 및 감소 시스템 · 누출 지역의 주변 인구



포함한 안전성 및 위험성과 관련한 종합적 관리 시스템 구축이 요구되고 있다. 특히 LNG 플랜트 설계·시공 및 운전/유지관리 측면에서도 최우선으로 위험도 평가 기술이 필수적으로 요구되고 있다(그림 7, 8).

RBI 기술의 개발배경 및 기존 검사 코드와의 연관성

위험도기반 진단(RBI) 기술의 시작은 수년 전 미국 기계학회(ASME)에서 비행기의 제트 엔진과 원자력의 안전도를 정량적으로 분석하기 위해 처음

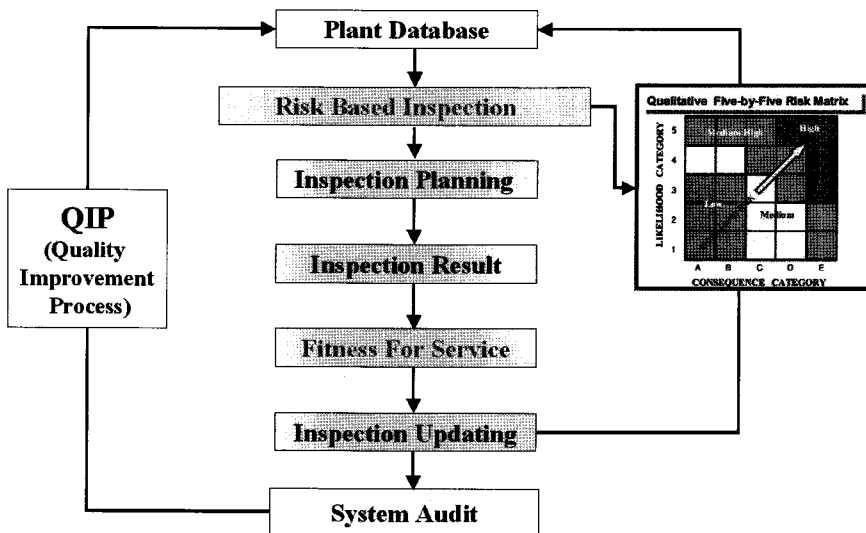


[그림 7] 위험도 및 안전관련 용어

으로 시도한 것이다. 이러한 개념을 미국석유협회(API : American Petroleum Institute)를 중심으로 1993년부터 정유·석유화학 산업에 도입 개선 발전시킨 것이다. API를 중심으로 21개의 대형 관련 업체들이 각 5만 달러 씩 투자하여 총 10억여 원의 연구비를 들여 5년 과제로 개발을 진행하여 1999년도에 Phase 3(정량적 평가)이 완료됨으로써 API 581(2000년 5월 초판 인쇄)과 API 580(2002년 5월 초판 인쇄)의 규정집을 발간하게 되었다. 이러한 Code를 바탕으로 개발한 API-RBI 프로그램을 이용하여 각 업체내의 플랜트 평가를 수행한 결과, 안전성과 신뢰성에 극적인 향상을 보였으며 대부분의 기업에서는 매년 수백 억 원의 경비절감과 함께 생산성 향상 효과를 보이고 있다.

미국의 API-RBI는 크게 다음과 같은 3단계로 구분하여 연구가 진행되었다.

1. 시작품 개발(Pilot Study) : RBI 기술이 현장에 적용 가능한지를 판정하기 위해 1994년부터 계속해서 10개 이상의 공장에서 수십 개의 공정 분야별로 RBI를 시도한 결과와 경험을 축적하는 과정(OREDA : Offshore Reliability Database)
2. 위험도기반 진단(RBI) 프로그램 및 손상



[그림 8] 운전 중인 기기에 대한 RBI 프로그램

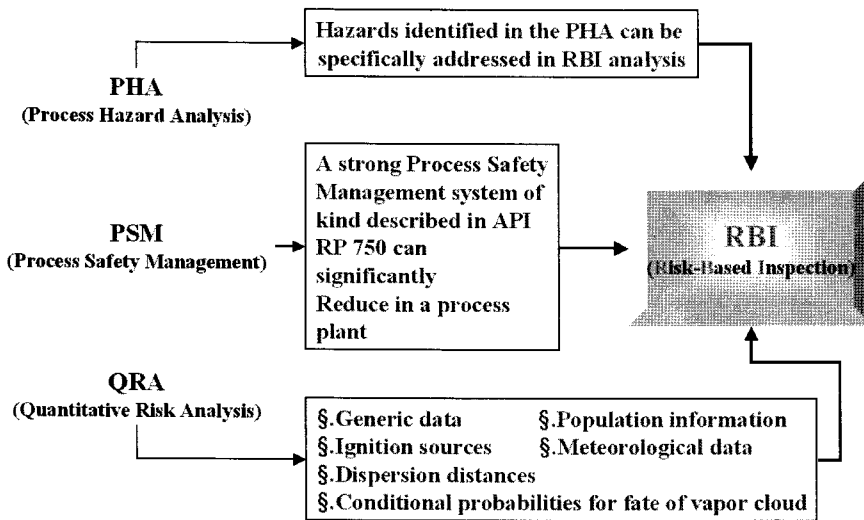


(damage) 모듈 개발 : 현장 검사요원들도 적절하게 사용할 수 있는 손쉬운 소프트웨어를 개발함에 있어서, 손상 모듈은 부식 모듈과 각 부식 형태에 따른 위험성 정도, 부식균열 모듈과 이에 따른 적절한 대응방안의 활용으로 위험도를 줄이는 옵션 개발과정

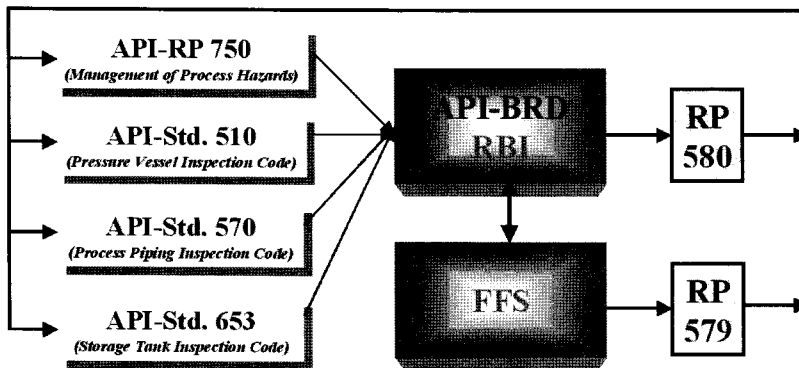
3. 위험성 분석, 재정적 위험성 모델 및 걱정 검사계획의 향상

위험도기반 진단(RBI) 기술은 기존의 PHA(공정 위험성 분석), PSM(공정안전관리) 및 QRA(정량적

위험성평가)를 바탕으로 하여 도출되었으며, 쉽게 설명하자면 정량적 위험성평가(QRA)기법이 피해 범위의 평가에 중점을 두는 반면 위험도기반 진단(RBI)은 파손확률에 보다 더 많은 비중을 두고 평가한다고 할 수 있다. 따라서 각 설비에 대한 정량적 위험성평가(QRA)가 준비되어 있다면 위험도기반 진단(RBI) 프로그램은 이로부터 많은 부분을 이용할 수 있다. QRA와 RBI 평가에 공통으로 적용되는 정보는 ① 일반적인 데이터, ② 인구밀도, ③ 발화원, ④ 기상정보, ⑤ 확산거리, ⑥ 증기운의 상태



[그림 9] 기존의 안전관련 평가기법과 RBI와의 관계



[그림 10] 기존의 API 검사 코드들과의 관계

적인 확률이다.

위험도기반 진단(RBI)과 기존의 검사 코드와의 관계는 API 510(압력용기 검사), API 653(저장탱크 검사) 및 API 570(배관 검사) 등의 코드 외에도 미국 기계학회(ASME)의 각종 검사 절차들이 참고되었다. 또한 최근 API 581의 제정으로 이와 관련된 기존의 ASME 및 API 코드에도 위험성 평가의 내용이 개정 반영되었다. API RP750(공정 위험관리)에서는 효과적인 공정안전관리 시스템의 포괄적인 정의를 설명하고 있다. 여기엔 공정위험분석, 기계/운전 기록 및 절차의 수집, 효과적인 기기 검사 프로그램의 수행 등이 필요하다. 위험도기반 진단(RBI)을 수행하기 위해서는 필수적으로 사용적정성 평가(FFS : Fitness-for-Service)기법이 연계되어 진다. 사용적정성 평가(FFS) 절차에서는 열화속도가 보수적으로 계산된다. 그리고, 기기가 견딜 수 있는 손상의 정도가 계산되며 예상되는 파손이 발생하기 전에 차기 검사일을 계획하게 된다. 차기 검사 시마다 실제 열화속도를 좀 더 명확하게 정의하고 열화속도에 맞추어 검사주기를 조정할 수 있다. 즉, 위험도기반 진단(RBI) 평가는 기계적 파손과 관련된 비파괴 전공자, 재료(부식)공학 전공자 및 플랜트 공정전반에 대한 오랜 경험과 해박한

지식을 소유한 전공자가 하나의 그룹으로 이루어진 첨단 진단·평가 기술이다.

유럽에서의 위험도기반 진단(RBI)과 유사한 절차서 개발에 관한 진행도를 나타내고 있다. 일명 위험도기반진단 및 유지관리 절차(RIMAP : Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry) 프로젝트는 2001년 3월에 시작되어 2005년 9월에 완료된 총 54개월에 걸쳐 이루어지는 유럽연합 공동연구 과제로서 "위험성 기반의 의사결정 기술개발을 위해 유럽공동체 및 다른 국가들의 현장 작업개선을 위한 요구조건을 수용하여 보다 진일보된 진단 및 유지관리 절차서와 프로그램개발"에 그 목적을 두고 있다.

특히 1핵심과제에서 주관하고 있는 RAM 기반 기술개발에 안전성을 연계한 안전기준 코드를 통합할 경우, 그림 11과 같이 RAMS로 재구성되어 진다.

단계별 기본 추진전략

본 세부연구과제(1-1-3)에서는 앞서 설정한 비전과 목표를 달성하기 위하여 총 6년의 연구기간을 아래와 같이 3단계로 구분하여 단계별 목표에 적

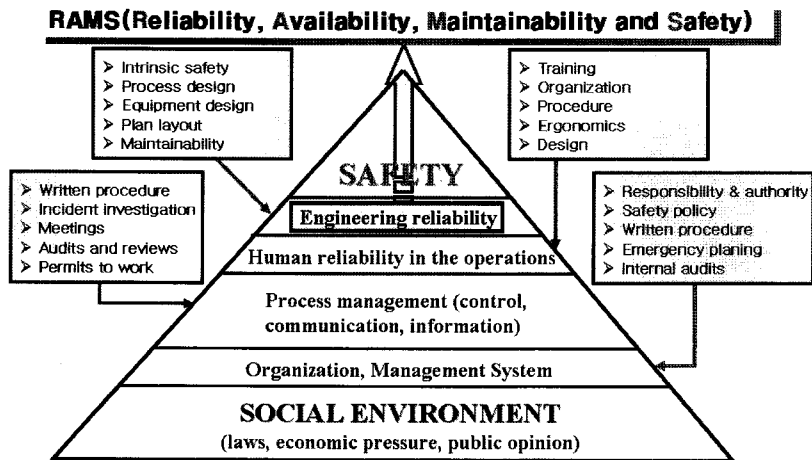


Figure. Pyramid showing how different aspects of a management system affect the achievement of a safety operation(based on "Jessen, T. K. "Systems for good management practices in quantified risk analysis." Process Safety Prog., 12(3), 137)

[그림 11] 안전운전을 위한 위험도 관리 시스템의 구조(RAMS)



합한 추진전략을 수립하였다. 특히 핵심 주관과제와 연계하여, LNG 플랜트 시스템의 위험요소 분류체계 구축을 통한 위험도 평가기법 및 평가 시스템을 개발하여 플랜트 안전 기준 통합 클래스 코드 구축을 목표로 추진할 것이다.

추진단계: 3단계, 6년 (2008-2014)

- 1단계 (2008-2009) : 기반, 핵심기술, 주요요소 LNG 플랜트 시스템의 위험요소 분류체계를 구축하여 정성적, 정량적 평가 방법에 따른 설비별/모듈별 위험요소 및 인자 결정하는 단계
- 2단계 (2010-2011) : 중점기술 통합성능 확보 주요 부품소재 열화 및 강도 DB 구축을 통한 파괴특성 및 소재물성 DB를 구축하고 위험도 평가를 위한 온라인 관리기법과 위험도 평가 플랫폼 개발하는 단계
- 3단계 (2012-2013) : LNG 특화/경쟁기술 확보 LNG 플랜트의 핵심 계통에 대한 비파괴 평가 시스템 구축하고, LNG 플랜트 안전기준 통합 클래스 코드 개발 완료하는 단계

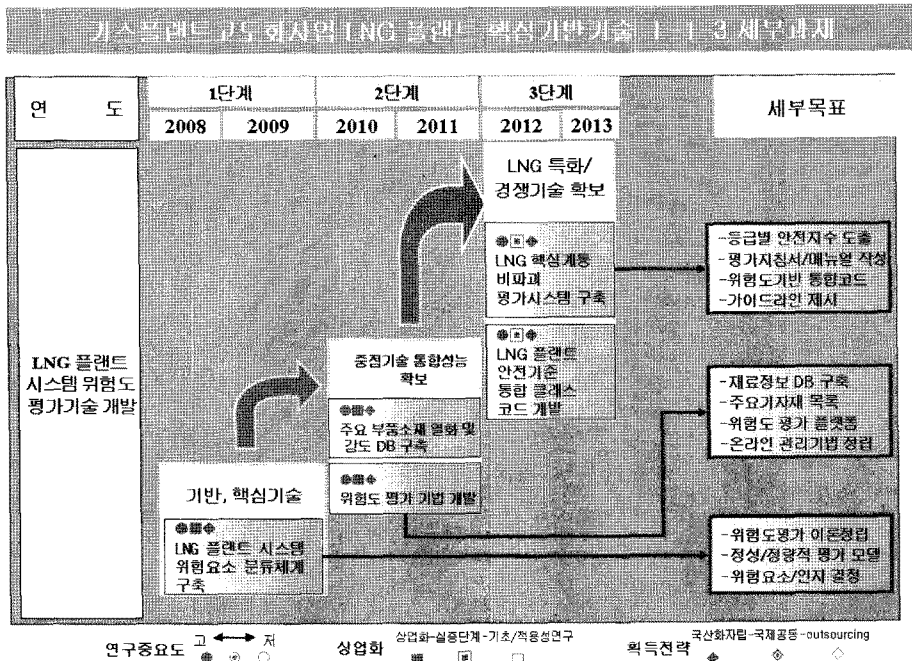
추진로드맵

제1핵심과제의 기술개발로드맵을 그림 12에 도시하였으며, 각 분야별로 기술개발 단계 및 세부요소기술간 연관성을 고려하여 추진시기에 따른 세부 목표를 설정하였다.

1단계에서는 연구기반 확립을 위한 벤치마킹, 환경 분석, 목표 달성 가능성을 높이기 위한 해외 LNG 플랜트 타당성 분석 등에 초점을 맞추었으며, 선진기술 및 사례 분석을 통한 벤치마킹과 LNG 플랜트의 위험도 평가 이론정립 등 요소기술에 중점을 두었다.

특히, 전 세계의 모델로 적용하고 있는 ASME, API Code 및 유럽의 각 기준을 조사하여 위험분류 체계에 따른 정성적/정량적 평가 모델을 제시하고자 하였다.

2단계에서는 중점기술의 통합성능을 확보하는데 주안점을 두었으며, RAM, 시뮬레이터, 최적화 등 첨단 IT기술의 접목과 관련된 기술개발에 중점을 두었다. 또한 LNG 시스템에 따른 주요 기자재 및 재료 물성 DB를 구축하고, 위험도 평가 플랫폼



[그림 12] 제1-1-3세부 연구과제 거시 로드맵

을 구축하는데 중점을 두고 추진할 계획이다.

그리고 3단계에서는 LNG 특화/경쟁기술력을 확보하기 위한 실질적인 성과 확보에 중점을 두어 LNG 플랜트 위험도 평가 플랫폼에 비파괴 평가 시스템을 구축하고, 안전기준 통합 클래스 코드를 개발하여 제1핵심과제와의 연동성을 위한 인터페이스 개발에 박차를 가하여 주요 단계별로 도출되는 성과를 토대로 합리적인 관리에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. API 581, "Risk-Based Inspection Base Resource Document First Edition", API, (2000)

2. API 580, "Risk-Based Inspection", API, (2000)
3. Risk-Based Inservice Testing-Development of Guidelines, Vol. 1, ASME, (2000)
4. E 1739, "Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites", ASTM, (1996)
5. API 1628B, "Risk-Based Decision Making First Edition", API, (1996)

후 기

본 연구는 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. (★)