



## 정유산업 설비의 손상기구 정보 시스템 개발

†최정우 · 서재민\* · 최송천\*\* · 윤기봉

중앙대학교 기계공학부, \*(주)세이프티아, \*\*한국가스안전공사  
(2006년 1월 10일 접수, 2006년 3월 15일 채택)

## Development of Damage Mechanism Information System for Equipments in Refinery Industry

†J W Choi · J M Seo\* · S C Choi\*\* · K B Yoon

Department of Mechanical Engineering, Chung Ang University  
\*Safetia Inc.

\*\*Korea Gas Safety Corporation

(Received 10 January 2006, Accepted 15 March 2006)

### 요 약

원유정제 플랜트 주요 요소는 운전조건, 사용재료, 내부유체 등에 따라 다양한 열화 손상기구에 노출되므로, 그에 따른 적절한 검사기법 및 진단 방법을 적용하여야 한다. 따라서 원유정제 플랜트 요소에 발생하는 다양한 손상기구에 대한 대처 방안을 제시할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 표준화된 데이터베이스를 확보하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 API 기준에서 제시하는 손상 기구를 모두 포함하는 손상정보 시스템을 개발하였으며, 이를 기본으로 하여 향후 정보시스템을 확장할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 시스템 내의 손상 정보 범위는 API 기준 내의 컨텐츠를 반영할 수 있도록 하였으며, 미국 및 일본에서 사용하는 손상기구 검색표 방식을 도입하여 요소의 가동온도, 내부유체, 응력상태 등의 운전조건과 재질에 따른 손상기구를 파악할 수 있도록 하였다. 이 시스템은 기존의 RBI 프로그램과 연동하여 사용할 수 있다.

**Abstract** – Major components of refinery plants are exposed to various damage mechanisms depending on the operation condition, material selection and kinds of internal fluid. Inspection techniques and damage monitoring methods should be selected considering the damage mechanisms of the components. Hence, it is quite necessary to have an information system with a standardized database on the various damage mechanisms. In this study a damage information system with contents on the damage mechanisms included in API 571 code was developed. Concept of the screening table employed in USA and Japan was also adopted to identify the probable damage mechanisms from the information on operating temperature, internal fluid, metal used for the component and stress condition. This system can be used before the risk based inspection planning to identify key damage mechanisms involved.

**Key words** : Damage mechanism, Risk based inspection, API 571, Information system

### I. 서 론

최근 국내외에서는 정유·석유화학 공정 플랜트의 검사, 진단, 설비관리의 효율적 방법에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 정유·석유화학 설비 및 가스 설비 등은 사고 발생 가능성 및 사고 발생 시의 피해 정도가 크므로 이에 대한 특별한 관리가 요구되고 있다. 이

들 설비는 생산 기술이 고도화됨에 따라 복잡, 다양화되고 있으며, 생산 효율을 증가시키기 위하여 요구되는 고온, 고압 공정조건에서 운전되는 반응기, 저장탱크, 압력용기, 배관 등의 장치류가 증가하고 있다. 따라서 이러한 장치 설비류의 유지보존 상태, 안전성 및 경제적 여건을 고려하여 가장 효과적이고 적절한 시기에 검사하고 보수하여 사용 중 안전성을 확보해야 할 필요성이 대두되었으며, 이에 1990년대 후반부터는 위험도 기반검사(RBI, Risk Based Inspection) 기법이 개발되기

†주저자:kbyoon@cau.ac.kr

시작하여 급속히 발전, 보급되고 있다[1].

미국석유협회(API, American Petroleum Institute)의 기준[2,3]에 따라 적용되고 있는 RBI 진단 절차에는 선택된 설비요소에 대한 각각의 손상 기구별 파손확률(Probability of Failure, PoF)을 평가하게 되어 있으며, 정성적[4], 준정량적[5], 정량적[6] 접근법에 의해 위험도를 평가하도록 해석절차가 상세히 제시되어 있다. 이와 같이 제시된 절차에 따른 RBI 기법으로 정확한 위험도 평가 결과를 얻기 위해서는 요소별 모든 주요 손상기구(damage mechanism)를 고려하여야 하지만, 현재 위험도를 평가하기 위한 대상 요소 및 적용 손상기구의 선정 방법에 대해서는 표준화 되어 있지 않다. 다만 최근에 정유 산업설비에 해당되는 주요 손상기구에 대한 기준[7]이 제시되었으므로 이를 적절히 고려하여야 할 것이다.

본 연구에서는 기 개발된 RBI 해석프로그램[8,9]을 적용하기 전에 해석 대상 설비 요소가 겪는 주요 손상기구에 대해 정보를 얻을 수 있도록 정보제공시스템을 개발하였다. 기존의 RBI 프로그램과 연동하여 사용할 정보지원 시스템을 개발함에 있어서 손상기구 정보의 기준이 되는 API RP 571 코드에서 제시하는 손상기구와 주요 공정에서 예상되는 손상이 충실히 연계되도록 하였다. 이를 기본으로 하여 향후 타 자료에서 얻을 수 있는 손상 정보 내용을 추가하는 방향으로 정보시스템을 확장할 수 있도록 구축하였다.

## II. 정유산업 설비의 손상기구

설비의 위험도 평가 혹은 수명 예측을 수행하는데 있어 중요한 것은 설비 구성 요소의 파손발생빈도(PoF)를 결정하는 것이다. 이러한 파손 발생 빈도를 결정하기 위해서는 각 설비 요소의 예상되는 모든 손상 기구에 대해 파악한 후 각 손상 종류별로 예상되는 파손 확률을 결정할 수 있어야 한다. 이러한 주요 손상기구는 공정설계에 이미 고려되어 각 요소의 치수나 재질을 선정하게 된다. 하지만, 손상 및 파손은 잘못된 재료의 선택 혹은 설계 시의 부적절한 설계 요건 때문에 발생할 수도 있고 설비가 가동/정지 시 천이 구간을 지나는 동안에(공정 설계 시에는 정상상태 가동만을 주로 고려한다) 가혹한 환경/조건에 노출되어 발생할 수도 있기 때문에 위험도 평가 시에는 이러한 손상 가능성도 고려하여야 한다.

이상을 고려하여 예상되는 손상기구를 종합하여 제시한 것이 API RP 571이므로 이를 본 절에서 설명하였다. 그 이외에 요소의 재질, 내부유체, 운전조건 등에

다른 손상기구를 예측해 볼 수 있는 손상기구 검색표에 근거한 손상기구 예측법에 대해서도 설명하였다.

### 2.1. API 코드의 손상기구

API RP 571에서는 손상기구를 Fig. 1에 보인 바와 같이 분류, 정의하고 있다.

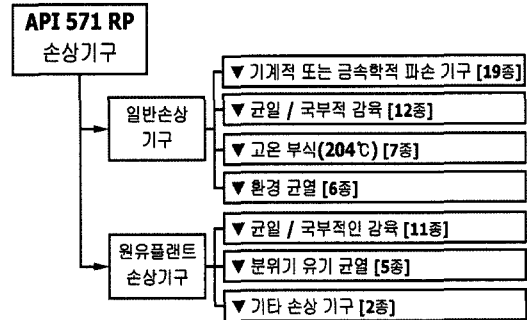


Fig. 1. Damage mechanisms defined in the API code.

Table 1. General damage mechanisms (44) in the API code.

기계적 또는 금속학적 파손 기구	균일/국부적 감육
1) 흑연화	1) 갈바닉 부식
2) 연화(구상화)	2) 대기중 부식
3) 템퍼 취화	3) 차폐 내 부식
4) 변형 시효	4) 냉각수 부식
5) 475°C 취화	5) 보일러 용수 응축 부식
6) 시그마상 취화	6) 이산화탄소 부식
7) 취성 파괴	7) 배연 가스 노점 부식
8) 크리프/응력 파단	8) 미생물 유기 부식
9) 열 피로	9) 토양 부식
10) 단기 과열-응력 파단	10) 가성 부식
11) 증기 피복	11) 탈 합금화손상
12) 이종 금속융접 균열	12) 흑연 부식
13) 열 충격	
14) 침식/침부식	
15) 공동화	
16) 기계적 피로	
17) 진동 유기피로	
18) 내화제 열화	
19) 재열 균열	
고온 부식(204°C)	환경 균열
1) 산화	1) 염화물 응력 부식 균열
2) 황화	2) 부식 피로
3) 침탄	3) 가성 응력 부식 균열
4) 탈탄	4) 암모니아 응력 부식균열
5) 메탈더스팅	5) 액상 금속 취성
6) 연료 분진 부식	6) 수소 취성
7) 질화	

**Table 2.** Refining industry damage mechanisms (18) in the API code.

균일/국부적인 감육	분위기 유기 균열
1) 아민 부식	1) 다중 티온산 응력부식 균열
2) NH <sub>4</sub> HS 부식(알칼리성 황화 용수)	2) 아민 응력 부식 균열
3) 염화 암모늄 부식	3) 습성 황화 수소 손상
4) 염산 부식	4) 수소 응력 균열
5) 고온 수소/황화 수소 부식	5) 탄산염 응력 부식 균열
6) 불산 부식	기타 손상기구
7) 나프타 산 부식	1) 고온 수소 침식
8) 페놀(카르볼릭 산) 부식	2) 티타늄 수화물 손상
9) 인산 부식	
10) 산성 용수 부식	
11) 황산 부식	

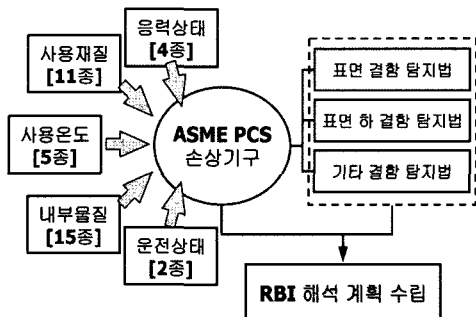
전체 손상 기구 중에 정유 및 석유 화학, 펄프 및 제지, 화력발전설비에 발생하는 공통적인 손상 기구를 Table 1에 보인 바와 같이 기계적/금속학적 파손 기구 19가지, 균일/국부적인 균열 12가지, 고온 부식 7가지, 환경 균열 6가지의 총 44가지 종류로 분류하였다.

특히 원유정제 플랜트에서 특징적으로 발생하는 손상 기구는 따로 분류하여 균일/국부적인 감육 손상 11가지, 환경 균열 손상 5가지, 기타 손상기구 2가지로 총 18가지 종류로 분류하였다.

### 2.2. 손상기구 검색표

미국기계학회[10](ASME) 및 일본[11] 등에서는 산업계 경험과 연구를 토대로 설비 요소의 손상기구를 Fig. 2에 보인 바와 같은 손상 기구 검색표에 의한 방법으로 파악하도록 권고하고 있다.

즉, 분야별, 특성별로 손상기구를 분류, 정의하고 있는 API 기준과는 달리 RBI 대상 설비의 요소가 겪는 운전조건하에서 발생 가능한 손상기구를 검색하기 편하도록 “손상기구 검색표”(screening table)를 제시하고



**Fig. 2.** Structure of the damage mechanism screening table.

있다. 여기에서는 각 요소가 겪는 조건을 재질, 사용 온도, 내부물질, 운전상태, 응력상태로 분류하고 그에 따라 발생할 있는 손상기구를 표시하여 사용자의 필요에 따라 손상기구의 발생 조건을 검색할 수 있도록 하고 있다. 이와 함께 해당 손상기구에 적용할 수 있는 검사 방법 역시 검색표를 사용하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하고 있다.

### III. 손상기구 정보 시스템의 개발

II절에 설명한 API 손상기구 정보를 주요 콘텐츠로 하여 정유 석유화학 특정설비 등 기간산업설비에 일반적으로 발생하는 손상기구 및 그 대책방안에 관련된 자료를 정리하여 손상기구 및 진단에 관련된 정보를 PC 기반의 웹 버전으로 구성하였다. 설비 관리자의 편의성과 함께 사용자의 지식정보 능력 향상을 목적으로 개발하였으며, 현장에서 발생하는 손상 종류에 따라 그 종류별 대응방안을 제시할 수 있도록 손상기구에 따른 재료 손상의 정보 및 진단 정보 시스템을 개발하였다. 재료 손상의 정보에는 손상의 형태, 취약한 재료의 종류, 손상 발생 요인, 손상에 취약한 설비 종류, 손상의 형상, 완화 및 방지 대책, 모니터링 방법, 검사 기법 등을 포함하고 있다.

또한 별도로, 재질 열화 손상기구를 운전조건, 재질, 내부유체 등의 상이함에 따른 열화기구를 파악함과 동시에 그에 따른 진단방법을 제시하는 손상기구 검색 모듈도 포함되어 있다.

#### 3.1. 손상기구 정보 시스템 기술 현황

미국에서는 플랜트의 부식을 이해하고, 특정 손상이 발생하는 위치를 결정하며, 적절하고 효율적인 검사 기법을 선택하기 위한 목적으로 MCI-Infobase라는 웹기반 프로그램이 개발되어 사용 중이며 이에 원유정제 플랜트와 손상기구, 검사 지침 등의 메뉴가 포함되어 있다. 또한 일부 대표 공정에서 이루어지는 반응 및 운전 조건을 설명하는 모듈도 포함되어 있다. 일본에서 개발된 손상기구 정보 관련 데이터베이스에서는 원유정제 플랜트 및 석유화학 플랜트용 열화 및 손상기구에 대한 일본어판 데이터베이스를 웹기반으로 제작하여 손상기구 정보를 공급중이다[12]. 이 시스템에는 13 종류의 PFD와 62종류의 손상기구를 포함하고 있으며, 이 DB에는 손상기구 정보 및 수명평가 기법, 모니터링 및 검사 기법, 보수 기법 등이 포함되어 있다. 이러한 국외 시스템의 기술 개발 내용을 참고하여 본 연구의 시스템을 개발하였다.

## 정유산업 설비의 손상기구 정보 시스템 개발

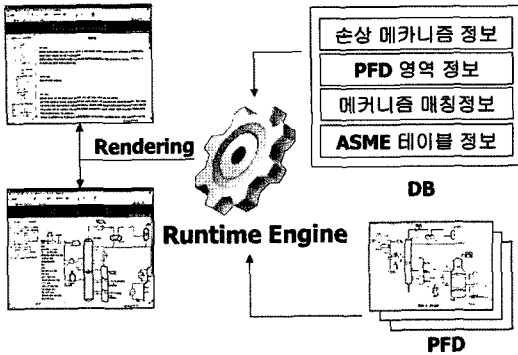


Fig. 3. Construction of the developed damage mechanism information system.

### 3.2. 정보 시스템 구성

본 연구에서 개발한 손상기구 정보 시스템은 웹기반의 시스템으로 인터넷을 통해 어디에서든지 접근이 가능하도록 설계하였다[13].

손상기구 정보 시스템은 크게 3가지 요소로 구성되어 있다. 첫 번째는 손상 기구, PFD(Process Flow Diagram) 영역 정보, 손상 기구와 PFD 영역 정보의 상호 매칭 정보, 손상기구 검색표 정보를 담고 있는 데이터베이스이고, 두 번째는 원유 정제 플랜트에 대한 표준적인 PFD 도면 14장, 세 번째는 데이터베이스와 PFD를 실시간으로 조합시켜 사용자가 원하는 정보를 렌더링하여 보여 주는 웹서버 런타임 엔진이다. 시스템의 세 가지 구성 요소간의 구성 체계를 Fig. 3에 나타내었다.

### 3.3. 정보 시스템 내용

본 연구에서 개발한 손상기구 정보 시스템의 주요 내

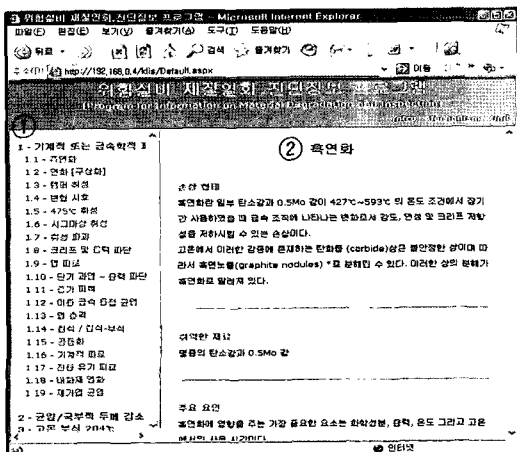


Fig. 4. Screen of damage mechanism.

용을 요약하면 다음과 같다.

- 원유정제 플랜트 공정 D/B 구축(P&ID, PFD 포함)
- 재료열화 및 진단정보 시스템 모듈 구성
- PC 기반의 웹 버전

Fig. 4는 상위의 메뉴 가운데 손상기구(Damage Mechanism)에 해당하는 화면이다. ①은 API 코드에 해당하는 메인 타이틀과 세부 타이틀을 정리하여 놓은 창이며, 원하는 내용에 대하여 클릭하게 되면 ②의 바탕 화면에 관련 세부 내용들이 나오게 된다.

선택된 PFD 상에서 발생 가능한 손상 기구를 확인하기 위해서 ①의 선택창에서 사용자가 원하는 손상 기구를 Fig. 5에 보인 바와 같이 마우스를 올려놓으면 장소에 노란색으로 표기되어 있던 부분이, 선택된 “황화”라는 손상이 발생하는 지점은 빨간색으로 변하여 쉽게 찾아볼 수 있도록 되어 있다. 또한, ①의 “황화”를 마우스로 클릭하게 되면 Fig. 6과 같이 황화에 대한 손상 기구 내용 설명이 뜨게 되어 사용자가 원하는 내용을 파악할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 7은 재질 및 물질을 선택하여 발생 가능한 손상 기구를 알아보고 그에 따른 검사방법을 알아보고자 하는 손상기구 검색 창이다. 따라서, 사용자가 10개의 재질 가운데 한 가지를 선택하고, 16개의 물질 가운데 한 가지를 선택하여 확인을 클릭하면 손상 기구와 손상 기구에 해당하는 검사방법에 대한 내용을 확인할 수 있도록 하였다.

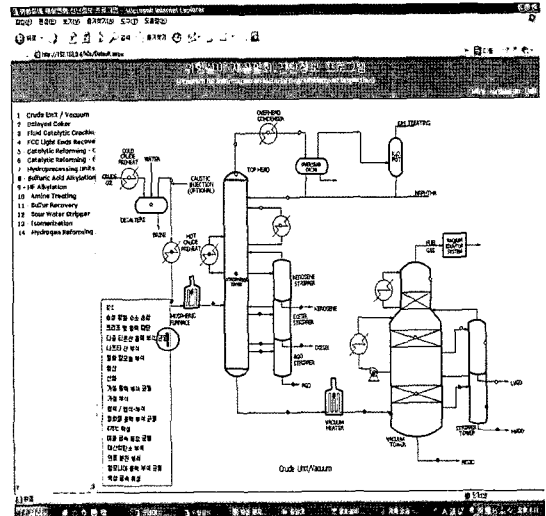


Fig. 5. Screen selecting a damage mechanism in PFD.

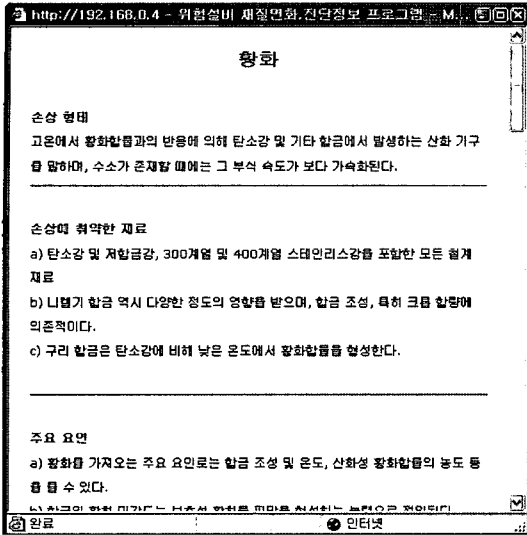


Fig. 6. Screen showing contents of a amage mechanism.



Fig. 7. Screen showing the damage mechanism screening table.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 API 및 ASME 기준을 참고로 정유 산업 설비의 손상기구에 대한 정보를 제공하는 시스템을 구축하였으며 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 국내 원유정제 플랜트 설비 요소에서 발생 가능한 손상 기구의 예측 및 그 대책 방안을 수립할 수 있는 새로운 방향을 제시하였다.

(2) 정유설비의 손상기구 데이터베이스를 구축함으로

써 장치의 안전성 확보, 산업계 인력의 손상기구 지식 능력 향상, 손상기구 지식정보 제공을 통한 진단 기술의 산업계 이전등에 기여할 수 있는 시스템을 구축하였다.

(3) API RP 571에서 제시하는 원유정제 플랜트의 대표적인 PFD의 각 요소에 대한 손상기구정보를 시각화하여 실무자의 편의성과 지식정보 능력을 향상시키고 설비에 대한 이해를 높일 수 있는 방안을 제시하였다.

결론적으로 본 연구에서 구축한 손상정보 시스템을 국내 원유정제 플랜트에서 활용한다면 대상 요소의 손상기구를 정확히 파악함으로써 RBI 해석 결과의 객관적인 신뢰성을 확보할 수 있고 분산되어 있는 정보를 한곳에 집적함으로써 안전성을 향상시키고 진단 기술력을 강화할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국가스안전공사의 2005년도 위탁연구 개발과제인 “위험설비 재질열화 · 진단정보 알고리즘 및 프로그램 제작”의 연구결과입니다. 지원에 감사드리며, 연구에 참여하여 주신 한상인, 임동연님께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 송정수, 심상훈, 김지윤, 윤기봉, “RBI 절차의 석유 화학 플랜트 적용에 관한 연구”, *대한기계학회논문집 A권*, 27(3), 416-423, (2003)
- [2] “Risk-Based Inspection”, API 580, (2002)
- [3] “Risk-Based Inspection Base Resource Document”, API 581, (2000)
- [4] 심상훈, 송정수, 김지윤, 윤기봉, “API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(I) - 정성적 접근법”, *산업안전학회지*, 17(3), 66-72, (2002)
- [5] 송정수, 심상훈, 권정락, 윤기봉, “API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(II) - 준정량적 접근법”, *산업안전학회지*, 17(4), 110-118, (2002)
- [6] 송정수, 심상훈, 최송천, 윤기봉, “API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(III) - 정량적 접근법”, *산업안전학회지*, 18(1), 56-63, (2003)
- [7] “Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry”, API RP 571, (2003)
- [8] 윤기봉, 이진상, 심상훈, 송정수, 마영화, 김창희, “중대산업설비의 위험등급에 따른 진단평가 기술 개발 I”, 중양대학교 위탁연구보고서, KGS 2001-100, (2001)

- [9] 윤기봉, 이진상, 심상훈, 이경용, “중대산업설비의 위험등급에 따른 진단평가 기술 개발 II”, 중앙대학교 위탁연구보고서, KGS 2002-137, (2002)
- [10] “Inspection Planning Using Risk Based Method”, *ASME PCS - Subcommittee on Inspection Planning*, (2005)
- [11] Terabe, M., J. Kobe, T. Tsuji, T. Maruki and K. Yagi, “Material Risk Information Platform Main System”, *API/PVRC Int. Conference on Decision Making for Risk Management of Process and Power Plants*, October 18-20, 2005, Houston TX. USA
- [12] Kato, K., T. Takehana and T. Sano, “Web-based Database for Maintenance Engineering of Oil Refinery and Petrochemical Plants - KHK Database for Maintenance Engineering”, *2nd International Workshop on Risk-based Engineering*, Nagoya, (2005)
- [13] Yoon, K. B. , K. I. Shin, J. S. Ha, Y. J. Kim, S. C. Choi, S. I. Han, S. H. Nahm and U. B. Baek, “Development Status of RBI Methodology for Process and Power Plants in Korea”, *2nd International Workshop on Risk-based Engineering*, Nagoya, (2005)