

## 정량적 원인분석이 가능한 한국형 위험기반검사 프로그램의 DB 구축

이헌창, 임대식<sup>1</sup>, 조지훈<sup>1</sup>, 권혁면<sup>1</sup>, 함병호<sup>2</sup>, 김태옥<sup>3,\*</sup>  
 한국안전이엔씨, <sup>1</sup>한국산업안전공단, <sup>2</sup>노동부, <sup>3</sup>명지대학교 화학공학과  
 (kimto@mju.ac.kr\*)

### DB Construction for KS-RBI Program Supporting the Quantitative Cause Analysis for Domestic Usages

H. C. Lee, D. S. Lim<sup>1</sup>, J. H. Cho<sup>1</sup>, H. M. Kwon<sup>1</sup>, B. H. Ham<sup>2</sup>, T. O. Kim<sup>3,\*</sup>  
 Korea Safety E&C, <sup>1</sup>Korea Occupational Safety & Healthy Agency,  
<sup>2</sup>Ministry of Labor, <sup>3</sup>Dept. of Chemical Engineering, Myongji University  
 (kimto@mju.ac.kr\*)

#### 1. 서론

위험기반검사(risk-based inspection, RBI)에 관한 기술은 2000년 이후에 와서 미국석유협회(American Petroleum Institute, API)를 중심으로 하여 급격하게 발전하였으며[1,2], 최근 국내에서도 API-581 절차서[1]를 바탕으로 국내 실정에 적합한 프로그램을 개발하고 있다[3]. RBI는 설비의 검사주기, 검사방법, 검사기법 등과 같은 종합적인 검사계획을 수립하기 위해 개발되었으며, 일부 대기업에서 막대한 양의 비용을 들여 외국의 프로그램을 구입하여 컨설팅하고 있는 실정이다[4,5]. 그러나 국내 프로그램의 경우 위험도 산출에 필요한 DB 구축이 미흡하여 정확한 결과를 예측하기 힘든 상태이며, 이를 해결하기 위해서는 체계적으로 위험도 산출에 필요한 DB를 구축하는 것이 우선되어야 한다. 또한 보다 빠른 위험도 산출을 위해 데이터 흐름이 원활하여야 하고, 불필요한 데이터 사용의 낭비를 막아야 한다. 따라서 국내 환경에 적합하고, 정량적 원인분석이 가능하도록 개발된 한국형 위험기반검사(KS-RBI) 프로그램(Ver. 3.0)의 DB 구축사례를 분석하였다.

#### 2. 한국형 위험기반검사 프로그램(KS-RBI Program Ver. 3.0)

##### 2-1. 모듈 구성

API-581 절차[2]에 의해 개발된 한국형 위험기반검사 프로그램(KS-RBI program Ver. 3.0)은 Fig. 1에서와 같이 입력된 데이터를 이용하여 DB에 저장하고, 구축된 DB를 바탕으로 위험도를 산출한다. 또한 향후 관리를 위해 관리할 수 있는 기능을 구현하였으며, 프로그램은 8개의 모듈에 의해 수행된다. 즉, 사용자 등급 관리, DB 입·출력 경로 지정 및 저장, 그리고 환경설정 등의 기능을 위한 관리모듈, 공정흐름 성질의 입력 및 수정, 사용 환경 입력 및 수정, 압력설비 데이터의 입력 및 수정, 파이프 스펙 입력 및 수정을 위한 입력 및 수정 모듈, (비)보온재 내외 부식율, 설비 상태, 검사 신뢰도, 파손기구에 대한 엔지니어링 모듈, 사용물질 DB, 사용재질 DB, Pipe Spec. DB, 파손기구 DB, 데이터 송수신 기능과 관련된 DB 모듈, 정성적 위험도 계산, 정량적 위험도 계산, 위험도 순위 결정을 위한 위험도 산출모듈, 설비의

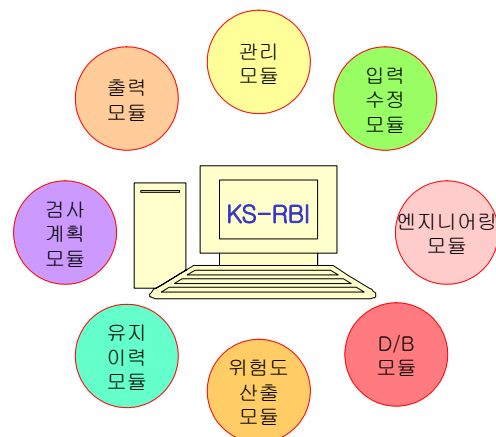


Fig. 1. Module of KS-RBI program Ver. 3.0.

검사이력 반영 및 보수 교체 시 위험도를 재산출하기 위한 유지보수이력 반영 모듈, 전체설비의 위험도를 줄일 수 있는 위험감소 프로그램 설계와 위험감소를 위한 종합적 관리대책 수립을 위한 검사계획 모듈, 그리고 입출력 자료, 결과 등을 보고서 양식에 맞게 화면과 프린터를 통해 출력하여 사용자가 이용할 수 있도록 하는 보고서 출력 모듈로 구성하였다.

특히, DB 모듈에서는 위험도 산출에 필요한 NACE 부식률 DB[6], ASME B31.3[7]의 재질 DB, NFPA의 화학물질 DB[8], 국가별 재질 호환 DB 등으로 구성되어 있다.

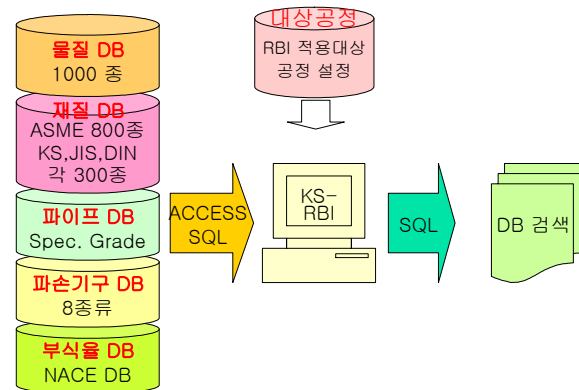


Fig. 2. DB glow of KS-RBI Ver. 3.0 program.

## 2-2. 부식률 DB 구축

부식률은 설비에서의 잔여수명을 예측하기 위하여 필수적인 인자이며, 미국부식협회(National Association of Corrosion Engineers, NACE)[6]에서는 수년간의 데이터를 통해 화학물질에 따른 금속 및 비금속에 대하여 부식률을 데이터로 축적하여 보급하고 있다. NACE 부식률은 금속에 대하여 iron base, copper base, nickel base, other metals 및 alloys에 대하여 상세하게 분류(25종류의 코드)하고, 또 공정온도 및 화학물질 농도에 대하여 부식률을 나타내고 있다.

KS-RBI에서는 DB로 구축하기 위하여 화학물질별로 온도 및 농도를 고려하여 각각의 필드를 지정하고, 재질별 분류코드를 입력하여 DB화 하였다. NACE 부식률에서 화학물질과의 연동을 위해 기준이 되는 것은 화학물질 명을 사용하고 있다. 또한 재질과의 연동을 위해서는 재질별 부식률 코드를 부여하여 DB를 호출하여 사용할 수 있도록 하였다.

## 2-3. 재질 DB 구축

미국기계학회(American Society Mechanical Engineers, ASME)에서는 재질에 대한 특성을 데이터화하여 B31.3[7]의 압력 배관에 대한 코드를 제정하여 보급하고 있다. ASME B31.3에서는 재질(material), 스펙(spec. no. & grade), 최소온도(min. temp.), 허용응력(basic allowable stress), 계수(quality factor), 상수(coefficient) 등에 대하여 정보를 제공하고 있다. 따라서 KS-RBI에서는 이들의 데이터를 DB로 구축하고 화학성분을 기준으로 NACE에서 제공된 부식률에 대한 재질분류 코드를 추가로 부여하였다.

또한 국가별로 재질코드가 다르나 일반적으로 많이 사용되는 재질에 대해서는 비슷한 물질을 많이 사용하고 있다. KS-RBI에서는 기본적으로 ASME의 재질을 기준으로 위험도 산출에 사용되고 있으며, KS, JIS, DIN의 재질에 대하여 ASME의 재질과 호환되도록 각각 300여종의 호환 DB를 구축하였다. 예로, 프로그램에서 재질을 선택시 KS 코드를 선택하였다면 DB에서는 KS와 호환되는 ASME 재질을 찾아 DB로 저장하도록 하였다.

## 2-4. 배관스펙 생성

고정설비의 최소두께와 사용두께는 설계시 제조자가 사업장에 제공하기 때문에 잘 관리가 되고 있었으나, 배관의 최소두께는 일반적으로 관리되고 있지 않는 곳이 많으며, 대부분이 배관스펙으로 관리를 하고 있었다.

압력 배관의 두께는 ASME B31.3[7]에서와 같이 아래의 식(1)과 같이 산출된다.

$$t = \frac{P \times D}{2 \times (S \times E + P \times Y)} \quad (1)$$

여기서  $t$ 는 산출두께(in),  $P$ 는 내부 설계 압력(psi),  $D$ 는 호칭경(in),  $S$ 는 ASME B31.3의 허용응력(ksi),  $E$ 는 계수(quality factor, -), 그리고  $Y$ 는 상수(-)를 나타낸다. 따라서 설계압력, 설계온도, 재질이 결정되면 배관의 두께는 식 (1)을 이용하여 산출이 가능하다. 또한 산출 두께에 부식허용 여유를 더하여 최소두께를 산출할 수 있다. 뿐만 아니라 사용하는 스펙에 대한 스케줄 번호가 지정되면 호칭경에 대한 공칭두께는 상용화 되어 있으므로 쉽게 알 수 있다.

## 2-5. 잔여수명 예측

설비의 잔여수명은 손실허용 여유분을 부식률로 나눈 값으로 정의할 수 있다. 잔여수명 예측을 위해 측정부식률을 사용하는 것이 가장 바람직하지만, 사업장의 경우 법적으로 주기적인 검사를 수행하고 있음에도 불구하고, 매년 측정한 결과가 달라 측정 부식률의 사용에서 신뢰성이 떨어진다는 문제점이 있다. 따라서 일반적인 잔여수명을 예측하기 위해서는 NACE의 부식률을 사용하는 것이 가장 보편적인 방법으로 사용된다.

식 (2)는 고정설비에서의 잔여수명을 예측하는 방법이다. 또한 배관의 경우 사용두께 대신 공칭두께를 입력함으로써 배관에서 잔여수명을 예측할 수 있다.

$$\text{잔여수명} = \frac{\text{사용두께} - (\text{최소두께} - \text{부식허용여유})}{\text{부식률}} - \text{사용년수} \quad (2)$$

KS-RBI 프로그램에서 잔여수명은 측정 부식률에 의해 예측하는 방법과 측정 부식률이 없을 경우 NACE 부식률을 기준으로 예측한다. 또한 부식이 큰 물질에 대해서는 API-581에서 제시된 부식률을 사용하고 있으나 이는 부식률 DB가 부족하여 광범위한 사용이 불가능하다.

## 2-6. 화학물질 DB 구축

공정유체는 순수유체를 사용하는 곳을 제외하고 대부분 혼합유체를 사용하고 있다. API-581에서는 이러한 혼합유체를 모델링하기 위하여 대표유체를 적용하고 있는데, KS-RBI에서는 대표유체 선정을 위해 화학물질을 NFPA의 화학물질 자료[8]를 이용하여 DB로 구축하였다. DB에 구축된 내용은 화학 물질명, NFPA 등급, 분자량, 일반 끓는점(NBP), 밀도, 자연발화온도(AIT), 허용농도(TWI 기준), 열용량계수(Cp), 상(phase), 원가계수 등 물리화학적 특성으로 구성하였다.

또한 KS-RBI 프로그램에서는 화학물질 데이터와 NACE 부식률을 연동하기 위해 화학물질명을 기준으로 하였다. 화학물질 데이터는 API-581에서 제시된 물리화학적 성질을 사용하는 방법과 KS-RBI에서 자체적으로 구축한 물리화학적 성질을 사용하는 두 가지 방법을 선택적으로 사용이 가능하도록 하였다.

## 2-7. 검사이력 DB

유체 및 설비에 대한 데이터는 프로그램에 입력하여 DB로 저장되고, 위험도를 산출하여 동일한 DB에 결과 값을 추가하도록 구성하였다. 그러나 설비에 대한 검사가 수행된 후 이력을 반영하기 위해서는 검사이력에 대하여 관리할 수 있는 DB 영역을 별도로 관리하도록 하였다. 이것은 검사이력을 수행하고, 검사이력에 대한 결과를 계속적으로 관리하면서 위험도의 변화 경향을 고려하기 위함이다. 즉, 시간 경과에 따른 두께의 변화량을 계속적으로 나타내고, 검사에 따른 측정 부식률을 반영함으로써 설비에서의 부식경향을

정확하게 파악하기 위함이다. 또한 검사이력이 반영되면 검사이력을 기준으로 설비에 대한 위험도는 재평가되어 다음 검사에 대한 종합계획을 수립할 수 있도록 DB를 구성하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 한국안전이엔씨(KS E&C)에서 개발한 정량적 원인분석이 가능한 KS-RBI 프로그램(Ver. 3.0)의 DB를 구축하고, 이를 분석하였다. 즉, NACE 부식률, ASME B31.3의 재질 DB, 국가별 호환코드 DB, NFPA의 화학물질 DB 등을 구축함으로써 사업장에서 RBI 구축시 가장 적합한 방법으로 수행할 수 있도록 하였다. 또한 실제 사업장에서 적용한 결과, 이들 DB 구축으로 설비의 정확한 위험도를 산출할 수 있었으며, 설비의 잔여수명 예측과 검사이력 관리 등 향후 관리시스템에도 크게 기여할 수 있을 것으로 평가되었다.

### Reference

1. API, "Based Resource Document of Risk Based Inspection : API-580", American Petroleum Institute(API)(2001).
2. API, "RBI Basic Resource Document : API-581", American Petroleum Institute(2000).
3. KOSHA, "Development of K-RBI Program II", Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA), Technical Manual(2004).
4. KUMHO, "BD Plant Risk-Based Inspection Case Study", KUMHO Co. Ltd., 2001.
5. SK, "Risk Based Inspection", SK Co.(2000).
6. NACE, "Corrosion Data Survey-Metals Section", National Association of Corrosion Engineers International, 6th Ed., Houston, TX(1999).
7. ASME, "Process Piping : ASME Code for Pressure Piping, B31.3", American Society of Mechanical Engineers(ASME), New York(1999).
8. NFPA, "Fire Protection Guide to Hazardous Materials", National Fire Protection Association(NEFA), 13th ed.(2002).