

API-581에 의한 정성적 위험기반검사(RBI) 프로그램 개발

- Development of Program for Qualitative Risk Based Inspection(RBI) using API-581 -

이 헌 창 *

Lee Hern Chang

유 준 *

Ryoo Jun

김 환 주 *

Kim Hwan Joo

김 태 옥 *

Kim Tae Ok

Abstract

Industrial facilities are becoming more complex and various with rapidly developing technologies. A number of installations and equipments are increased to improve productivity, and they are operated under the condition of high temperature and pressure. They are continuously repaired, replaced or abolished because of the deterioration with time, but their repair and replacement are not easy for economical and environmental concerns. If possible, the deteriorating equipments should be inspected and repaired effectively considering the state of maintenance and preservation, economic efficiency, and safety. That's where RBI(Risk Based Inspection) fits in. Even if RBI technology has been known among specialists, there were no tools readily available and it was hard to practice and apply RBI in industrial inspection and safety management. In the development of the qualitative RBI, the overall algorithm adopted API-581 BRD. The qualitative RBI program was developed to search the applying process.

Keyword : Risk Based Inspection, Qualitative, API-581

1. 서 론

석유화학, 정유, 가스, 전력 등 에너지 산업분야의 기술이 급속하게 발전함에 따라 각종 시설들이 복잡·다양화되고 있으며, 더욱이 생산효율을 증가시키기 위해 압력설비와 같은 고온, 고압의 조건 하에서 운전하는 시설과 설비들이 급증하고 있다[1]. 이와 같은 장치시설들은 설치 후 시간이 지남에 따라 점차 노후화 됨으로써 보수, 대체 또는 폐기하고 있으나 경제적 또는 환경적 요인으로 인하여 이들의 보수나 대체가 용이하지 않음을 고려할 때, 이로 인한 대형사고의 발생 가능성은 그 어느 때보다도 더욱 높아지고 있는 실정이다[2-4].

따라서 노후화된 장치들은 유지·보존상태와 경제성 및 안전성에 따라 가장 효과적이고 적절한 시기에 검사하고 보수해야 될 필요성이 있으며, 이를 해결하기 위해서는 국내 실정에 맞는 적절한 안전관리기법의 개발이 시급히 요구되고 있다. 이와 같은 필요성에 적합한 기법이 위험기반검사(Risk Based Inspection, RBI) 기법으로 이 기법은 미국, 유럽 등의 선진국을 중심으로 최근 급속히 발전·보급되고 있다[5-7].

RBI 기법은 수년전 미국기계학회(ASME)에서 비행기의 제트엔진과 원자력의 위험도를 정량적으로 분석하기 위해 처음으로 시도되었으며[4], 이 개념을 석유화학공업 분야로 개선하여 발전시켰을 뿐만 아니라, 가장 활발하게 연구하고 있는 곳이 미국 석유협회(API)이다[5-6]. API는 21개의 업체와 공동으로 컨소시엄을 구성하여 5년 과제로 많은 연구비를 들여 석유화학공업의 설비 안전도 점검에 맞는 이론 개발과 윈도우 기반 컴퓨터 프로그램을 개발·활용하고 있다. 최근 미국기계학회에서는 다시 ASME-Post Construction Committee를 설립하여 석유화학공업 뿐만 아니라 일반설비와 원자력 산업 등에도 적용될 수 있도록 Code를 만드는 작업을 시작하였다[7-8]. 이밖에도 미국에서는 APTEch, Capstone, DNV사[9] 등을 중심으로 활발한 RBI 컨설팅 업무가 이루어지고 있으며, 네덜란드와 영국 등을 중심으로 한 유럽 각 국에서도 RBI 기법의 활용이 적극적으로 이루어지고 있는데, 네덜란드에서는 Shell Global Solutions사가, 그리고 영국에서는 AEA, Tischuk, TWI사 등이 가장 활발한 활동을 보이고 있다.

그러나 외국의 RBI 프로그램을 구입하여 사용하는 경우에는 국내 실정에 맞는 Database(DB) 구축이 어려울 뿐만 아니라 실질적인 분석효과를 기대하기가 어렵기 때문에 RBI 프로그램의 개발·보급으로 설비에 대한 최적 검사계획을 수립하고 시행함으로써 사고예방은 물론 막대한 양의 외화와 경비를 절감할 수 있다.

본 연구에서는 미국 석유학회에서 제시된 위험기반검사의 절차인 API 581에 의해 대상설비의 위험도에 따라 검사항목, 검사방법, 검사주기 등을 제시할 수 있는 한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 개발하기 위한 기초 작업으로 공정의 위험도적 특성을 이용하여 RBI의 적용 대상공정을 찾기 위한 정성적 RBI 프로그램을 개발하였다.

2. 이 론

정성적 RBI는 분석결과가 정량적 RBI의 결과만큼 상세하지는 않으나 RBI를 수행하

고자 하는 대상공정의 우선순위를 결정하는데 중요한 토대를 제공해 줄 뿐만 아니라 작업시간이 훨씬 적게 소모되는 장점이 있다. 또한 정성적 RBI는 운전설비, 운전설비의 주 영역이나 기능영역, 그리고 시스템에 대해 적용이 가능하며, 수행절차는 다음의 3가지 기능을 갖는다.

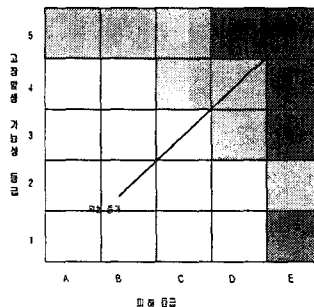
1. 필요한 분석수준을 결정하거나 분석을 추가적으로 진행(정량적 RBI 또는 다른 기술)했을 때 이득이 있는지를 결정하기 위해 현장에서 직접 설비를 검토
2. 설비의 위험도 등급을 정하고, 각각의 위험에 대해 위험도 행렬내의 해당 등급에 배정
3. 더욱 강화된 검사방법이 필요한 공장 내의 잠재적인 검사대상 영역을 확인

정성적 RBI는 먼저 해당영역 내의 고장발생 가능성을 대표하는 계수를 결정한 후 피해크기 계수를 찾는다. 이 두 계수는 위험도 행렬 상에 결합된 설비 또는 공정의 위험도 등급을 결정할 수 있도록 한다.

2.1 고장발생 가능성

정성적 RBI에서는 두 가지 위험요소 즉, 고장발생 가능성과 피해크기의 등급을 정함으로써 설비 또는 공정의 위험 등급을 결정한다. 그리고 관련 화학물질과 대상영역의 물리적 범위는 RBI를 수행하기에 앞서 먼저 규정되어야 한다.

대량 누출이 발생할 가능성에 영향을 미치는 6가지 계수(설비의 양을 나타내는 설비 계수, 손상메카니즘에 의한 손상계수, 검사의 적합성을 나타내는 검사계수, 설비의 상태를 나타내는 상태계수, 공정특성을 나타내는 공정계수, 설계시 안전을 고려한 기계적 설비계수)를 평가함으로써 고장발생 가능성의 등급을 결정할 수 있다. 즉, 각각의 계수들은 가중치가 부여되고, 그 계수들 간의 조합을 통해 고장발생 가능성 계수가 결정된다. 이들 고장발생 가능성 계수는 <그림 1>의 위험도 행렬에서 수직축에 표시된다.



< 그림 1 > 정성적 위험도 행렬

2.2 사고 피해크기

화학물질은 2가지 잠재 위험성, 즉, 가연성 물질에 대한 화재 또는 폭발의 위험과 독성물질에 의한 독성위험을 가지고 있다. 피해크기 예측에서는 화학물질의 성질에 따라 가연성 또는 독성 위험성에 대해 각각 고려하거나 2가지 성질을 모두 가진 경우에는 2가지의 피해크기를 모두 예측한 후 피해크기가 큰 쪽을 결정한다. 또한 독성의 경우는 급성 영향만을 고려한다. 이들 사고 피해크기 계수는 <그림 1>의 위험도 행렬에서 수평축에 표시된다.

가연성 화학물질에 의한 화재 및 폭발의 위험크기는 7가지 계수(물질의 발화경향을 나타내는 화학물질계수, 누출양을 나타내는 물질량계수, 증발 가능성을 나타내는 상태 계수, 자연발화 가능성을 나타내는 자연발화계수, 고압운전의 영향을 반영하는 압력계수, 방호장치에 의한 신뢰도를 반영하는 신뢰계수, 손상에 대한 노출 정도를 나타내는 손상잠재계수)에 의해 결정되며, 독성물질에 의한 건강피해 등급은 4가지 계수(물질량과 독성의 정도를 나타내는 독성함량계수, 확산경향을 나타내는 확산계수, 검출 및 완화 시스템에 의한 신뢰계수, 누출지역의 인구수를 반영한 인구계수)에 의해 결정된다.

2.3. 위험도 행렬

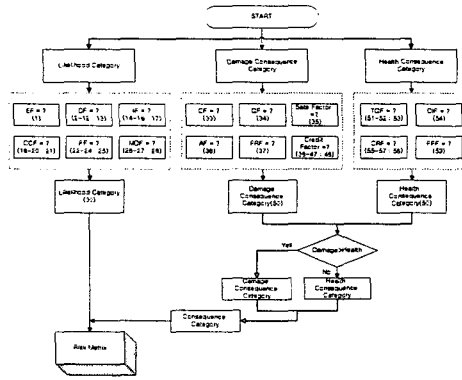
고장발생 가능성 등급과 손상 또는 건강 등급으로부터 결정된 사고 피해크기 등급은 <그림 1>에 있는 5×5의 위험도 행렬 내에 각각의 설비 또는 공정의 위험도를 나타낸다. 결과가 행렬상의 한 곳에 표시됨으로써 평가하는 설비 또는 공정의 위험도 수준을 나타낸다. 정성적 RBI는 몇몇 물질이나 혼합물질을 포함할 때 가장 큰 위험을 받는 설비는 평가의 긴박함 뿐만 아니라 한층 심화된 평가가 필요한지를 결정해준다.

3. 프로그램 개발

3.1 알고리즘

API에서 개발된 정성적 RBI는 사고발생 가능성, 가연성 물질의 누출에 의한 장치의 손상피해, 그리고 독성물질의 누출에 의한 인적피해로부터 각각의 범주(category)를 결정하고, 이를 바탕으로 고장발생 가능성 등급과 피해크기 등급을 이용하여 공정의 위험도에 의해 공장 전반에 대한 유닛 또는 주요 시스템에 대한 검사의 우선순위를 결정할 수 있도록 하였다[5,6].

본 연구에서 API-581에 근거하여 작성한 정성적 RBI의 알고리즘은 <그림 2>와 같다.



< 그림 2 > API 581에 근거한 정성적 RBI 순서도

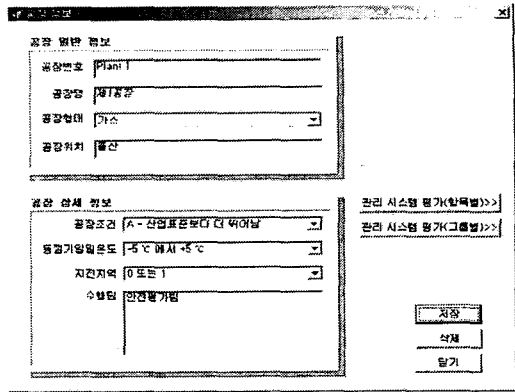
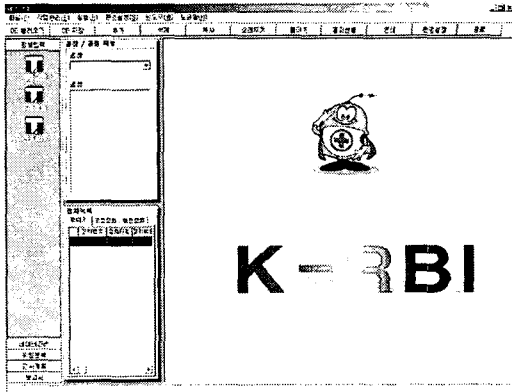
3.2 개발환경 및 프로그램 작성

운영체제는 윈도우즈 98 환경 이상에서 운영될 수 있고, 상위버전과 호환성 유지할 수 있도록 비주얼 언어의 일종인 Delphi 6.0[10]을 사용하여 비전문가도 프로그램을 손쉽게 활용할 수 있도록 하였다.

개발된 K-RBI 프로그램은 <그림 3>과 같이 메인화면을 크게 다섯 부분으로 구성하였다. 즉, 메뉴를 선택할 수 있는 메뉴항목, 보다 빠른 선택을 위한 도구박스, 메뉴항목을 시각적으로 나타낸 아웃룩 테이블, 공장과 공정, 그리고 장치에 대한 목록을 나타내는 판넬 부분, 그리고 목록이 선택되었을 때 이를 구현하기 위한 실행 창으로 구성하였다.

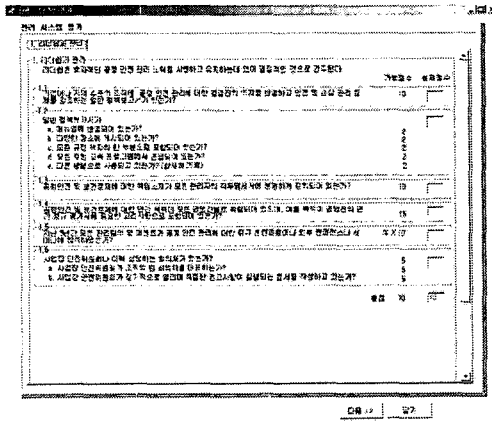
3.3.1 공장정보 입력

공장에 대한 기본적인 정보를 입력하기 위해 <그림 4>와 같이 공장에 대한 기본적인 정보와 상세정보를 선택하여 입력할 수 있도록 하였다. 공장명에는 통상 공장에서 사용되는 표기명을 입력하고, 공장번호는 공장에서 관리를 위해 사용하는 기본코드를 사용하며, 공장형태, 공장조건, 동절기 일일온도, 지진지역 그리고 기타사항을 입력하도록 하였다.



< 그림 3 > K-RBI 프로그램의 메인화면 < 그림 4 > 정성적 K-RBI 프로그램의 공장정보 입력화면

관리시스템 평가는 공장설비의 고장 발생율이 공장의 관리상태에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 공장에 대한 공정안전관리(PSM) 수행을 평가하는 것으로, 공정설비의 기계적 건전성에 직·간접적으로 영향을 미치는 공장 PSM 시스템의 모든 영역을 관장하며, API's Recommended Practice와 Inspection Codes에 기반을 두었다. 평가항목은 '리더쉽과 관리', '공정안전 정보', '공정위험 분석', '변경관리', '운전절차', '안전작업관행', '교육', '기계적 건전성', '운전개시전 안전검토', '비상대응', '사건조사', '계약자', '관리시스템' 등 총 13개 항목(총 1000점)으로 구성되어 있으며, 평가방법은 각 항목별 세부평가 방법과 항목별 그룹평가방법이 있다. 항목별 그룹평가방법은 각 항목전체에 대해 평가하도록 되어 있으며, 이때 사용자는 각 항목의 총 점수를 초과해서 입력할 수 없고, 기준점수 이하로 평가하여야 한다. 그리고 항목별 세부평가방법은 관리시스템에 대한 13개 항목을 세부항목으로 구분하여 평가하는데, 사용자는 두 가지 방법 중 한가지 방법에 대해서만 실행할 수 있도록 되어 있다. 관리시스템 평가화면은 <그림 5>와 같다.



< 그림 5 > 정성적 K-RBI 프로그램의 관리시스템 평가화면

이상과 같이 모든 데이터의 입력이 완료되거나 저장된 정보를 수정하고, 저장버튼을 누르면 데이터가 저장된다. 저장된 공장정보를 삭제할 경우에는 공장목록에 나타난 공장명을 선택하고, 삭제버튼을 누르면 삭제하겠다는 경고 메시지가 뜨고, 확인을 누르면 공장명은 목록에서 삭제된다.

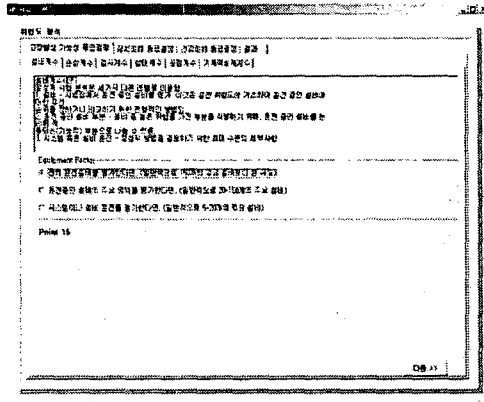
3.3.2 공정관리 입력

공장에 대한 정보를 입력 후 공장별 공정에 대한 정보를 <그림 6>의 화면에 입력한다.

< 그림 6 > 정성적 K-RBI 프로그램의 공정관리 입력화면

이때, 공정관리에서는 공장명, 정상 운전정지 횟수, 비정상 운전정지 횟수, 안전성 순위, 그리고 완화시스템, 감지시스템 및 차단시스템의 순위와 제작코드를 입력하고, 공정에 대한 위험분석을 수행함으로써 공정에 대한 정보를 저장할 수 있다. 공정명에는 실제 공정을 잘 나타낼 수 있는 대표이름 또는 공장에서 사용되는 공정명을 입력한다.

공정의 위험을 분석하기 위한 위험분석은 공정별로 수행되며, 위험은 '고장발생 가능성', '장치피해', '건강피해', '결과' 등 4개의 항목으로 구성되었고, 고장발생 가능성 등급을 결정하기 위한 계수는 설비계수, 손상계수, 검사계수, 상태계수, 공정계수, 기계적 설계계수로 구성되며, 각 계수들을 결정하기 위한 화면은 <그림 7>과 같다.



< 그림 7 > 공정 위험분석을 위한 고장발생 가능성 등급결정 화면

설비계수는 사업장에서 운전중인 전체설비, 운전중인 설비부분, 그리고 시스템 또는 설비운전의 3가지로 구분하여 결정하는데, 주어진 질문중 하나를 체크하면 아래의 포인트 란에 해당 가중치가 표시되고, 다음 버튼을 누르면 손상계수로 이동한다.

손상계수는 평가되는 운전조건에서 진행되고 있거나 또는 잠재적으로 진행될 것으로 알려진 손상메카니즘의 산출을 위한 것으로, 총 11개의 질문으로 구성되었으며, 모두를 체크했을 경우 아래쪽에 해당 가중치가 나타나고, 다음 버튼을 누르면 검사계수로 이동한다.

검사계수는 설비에서 실제 발생하거나 발생하리라 예측되는 손상메카니즘을 식별하기 위한 검사프로그램의 유효성 산출을 위해 사용되는데, 검사계수는 용기검사, 배관검사, 총괄 검사의 3단계로 구성되어 있다. 각 단계에 대해 체크하였을 경우 가중치가 아래에 표시되고, 다음 버튼을 누르면 상태계수로 이동한다.

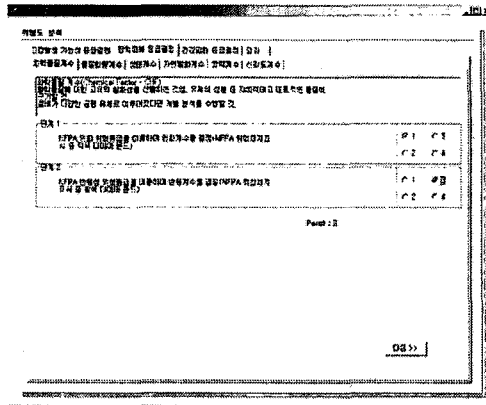
상태계수는 공장의 유지보수 및 사전준비를 위한 노력의 유효성을 산출하기 위한 것으로, 공장의 유지보수 수준, 설계와 시공품질 및 제작 프로그램의 적합성을 평가한다. 각 항목에 대해 체크하였을 경우 가중치가 아래에 나타나고, 다음 버튼을 누르면 공정계수로 이동한다.

공정계수는 내용물의 손실을 일으킬 수 있는 유발사고의 원인인 비정상적인 운전이나 비정상 조건에 대한 잠재성을 산출하기 위한 것으로, 계획되거나 계획되지 않은 공정 중단은 최근 3년 간의 횟수를 평균하여 적용한다. 그리고 주요 공정변수에 대한 잠재력을 평가하며, 공정유체의 막힘현상이나 오염현상을 고려한다. 각 항목에 대하여 체크할 경우 가중치가 아래에 표시되고, 다음 버튼을 누르면 기계적 설계계수로 이동한다.

기계적 설계계수는 운전설비에 대한 설계의 일정한 양상을 산출하기 위한 것으로, 질문 중 적당한 값을 체크하면 가중치가 아래에 표시되고, 다음 버튼을 누름으로 피해크기 등급결정으로 이동한다.

기계적 설계계수에 대한 입력이 종료되면, 각 계수를 합하여 고장 발생가능성 계수를 결정하는데, 고장발생 가능성 계수가 0~15는 1등급, 16~25는 2등급, 26~35는 3등급, 36~50은 4등급, 51~70은 5등급으로 위험도 행렬에서 세로축에 나타난다.

장치피해 크기는 화학물질계수, 물질함량계수, 상태계수, 자연발화계수, 압력계수, 신뢰도계수에 의해 결정되며, 이들을 결정하기 위한 화면은 <그림 8>과 같다.



< 그림 8 > 공정 위험분석을 위한 피해크기 등급결정 화면

화학물질계수는 화학물질에 대한 고유의 발화성을 산출하기 위한 것으로, 화학물질은 유체의 성분 중 지배적이고 대표적인 재료에 근거하여 적용한다. 설비가 다양한 공정 유체로 이루어져 있는 경우에는 개별분석을 수행하여야 하며, 대표적인 물질의 인화 위험등급과 반응성 위험등급[11]을 모를 경우에는 프로그램의 화학물질 DB에서 찾아서 입력할 수 있다. 각 단계를 입력하면 가중치가 아래에 나타나고, 다음 버튼을 누르면 물질함량계수로 이동한다.

물질함량계수는 단일 시나리오 내의 설비로부터 누출되어 손실될 수 있는 인화 누출량으로부터 산출되며, 최대 누출가능한 물질량을 선택한 경우 가중치가 아래에 나타나고, 다음 버튼을 누르면 상태계수로 이동한다.

상태계수는 유체의 표준 끓는점과 대기로 누출될 때 유체의 확산 경향과 증기화 경향을 나타내는 것으로, 적당한 값을 입력하면 가중치가 나타나고, 다음 버튼을 누르면 자연발화계수로 이동한다.

자연발화계수는 자연발화점보다 높은 온도에서 진행되는 유체에 대한 페널티를 적용하기 위한 것으로, 유체가 자연발화온도 이상에서 진행될 때 유체의 끓는점에 근거하여 적당한 값을 입력한다. 그리고 다음 버튼을 누르면 압력계수로 이동한다.

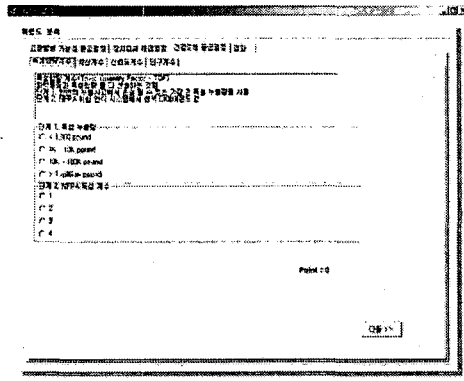
압력계수는 유체가 빨리 누출되는 경향을 나타내며, 순간적인 효과를 미칠 가능성이 높다. 유체의 상, 장치 내부존재 여부 및 유체압력에 기인하며, 해당 값을 입력하면 가중치가 나타나고, 다음 버튼을 누르면 신뢰도계수로 이동한다.

신뢰도계수는 사고로부터 손상을 줄일 수 있도록 설계된 시스템의 적용을 위한 종속계수로, 이때 차단시스템과 검출시스템에 대한 자세한 정보를 알지 못한다면 전문가의 자문을 구하여야 한다. 적당한 값을 입력하면 가중치가 아래에 나타나고, 다음 버

튼을 누르면 건강피해 등급결정으로 이동한다.

이상과 같이 각 계수들에 대한 입력이 끝나면 피해크기계수에 대한 값을 합하여 피해크기 등급을 산출한다. 피해크기계수가 0~19인 경우는 A, 20~34인 경우는 B, 35~49인 경우는 C, 50~70인 경우는 D, 그리고 80이상의 경우는 E 등급을 각각 부여한다.

건강피해 등급은 독성함량계수, 확산계수, 신뢰도계수 및 인구계수에 의해 결정되며, 이들을 결정하기 위한 화면은 <그림 9>와 같다.



< 그림 9 > 공정 위험분석을 위한 건강크기 등급결정 화면

독성함량계수는 화학물질과 독성함량을 모두 산출하는데, 화학물질 양의 경우 한번의 누출사고에서 손실될 수 있는 가장 큰 독성 누출량을 사용한다. 그리고 화학물질의 NFPA 위험인식 시스템에서 청색 다이아몬드에 근거하여 독성등급을 결정한다. 자세한 등급을 모를 경우 프로그램의 화학물질 DB에 포함된 독성등급을 참조한다. 값을 입력하면 가중치가 아래에 나타나고 다음 버튼을 누르면 확산계수로 이동한다.

확산계수는 주어진 일반적인 공정상태에서 재료가 확산되는 능력을 산출하기 위한 것으로, 물질의 끓는점을 기준으로 산출된다. 값이 입력되면 가중치가 아래에 나타나고, 다음 버튼을 누르면 신뢰도계수로 이동한다.

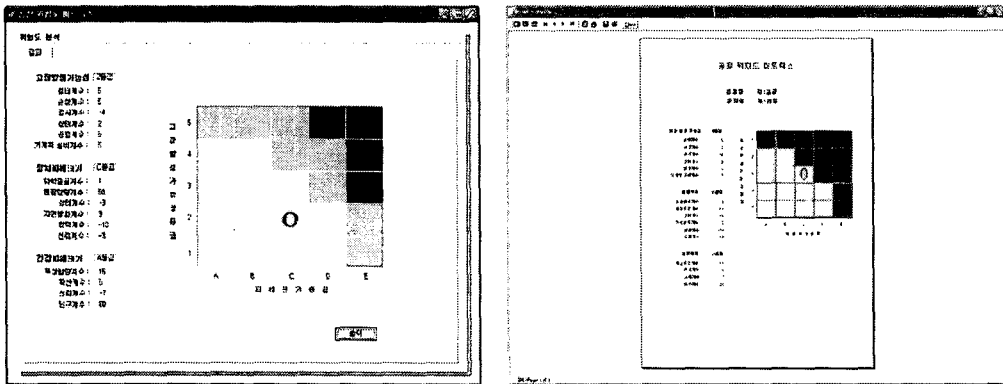
신뢰도계수는 독성누출의 피해크기를 검출, 차단 및 완화에 의해 감소시켜 안전상황을 나타내기 위한 것으로, 적당한 값을 입력하면 아래에 가중치가 나타나고, 다음 버튼을 누르면 인구계수로 이동한다.

인구계수는 독성사건에 의해 영향을 받을 수 있는 잠재적인 인구수를 산출하는 것으로, 누출지점에서 1/4마일 내에 있는 평균적인 인구수에 근거하며, 사업장 내와 사업장 외의 인구수를 고려하여 공간경계 내에 주간 인구수를 사용한다. 적당한 값을 입력하면 아래에 가중치가 나타나고, 다음 버튼을 누르면 위험도 분석을 위한 모든 평가가 끝남과 동시에 위험도 분석에 대한 결과를 볼 수 있다.

각 계수들을 합함으로써 건강피해계수를 산출하고, 건강피해계수가 0~9인 경우는 A, 10~19인 경우는 B, 20~29인 경우는 C, 30~39인 경우는 D, 40이상인 경우는 E 등급을 각각 부여한다.

3.3.3 공정 위험도 분석

결과에서는 위험도 분석에 사용된 고려 항목을 나타내고, 각 계수의 가중치를 나타낸다. <그림 10>과 같이 앞에서 산출된 고장발생 가능성 등급은 위험도 행렬표에서 세로축에 나타나고, 피해등급 크기와 건강피해 크기는 두 항목 중 높은 등급을 나타내는 값을 선택하여 가로축에 나타나며, 위험도 행렬에서는 매우 높음, 다소 높음, 중간, 낮음으로 구분하여 4등급으로 위험도를 나타내는데, 위험도가 높을수록 공정에 대한 위험기반검사가 선행되어야 함을 의미한다.



< 그림 10 > 공정 위험분석을 위한 위험분석 결과화면

4. 결론

본 연구에서는 석유화학, 정유, 가스, 화학설비 등의 압력설비를 안전하고 효율적으로 사용하기 위하여 설비 또는 공정의 위험도를 정성적으로 산출하고 위험도 순위에 따라 설비 및 공정의 검사, 유지 및 보수의 우선순위를 결정하기 위한 한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 개발하기 위한 정성적 위험기반검사 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 비주얼 툴의 하나인 Delphi 6.0을 이용하여 개발하였으며, 98이상의 환경에서 호환성을 갖도록 하였다. 또한 개발된 프로그램은 공장과 공정에 대한 정보를 입력하여 각 공정에 대한 사고발생 가능성 등급과 사고결과 크기등급을 결정하고 공정의 위험도를 산출할 수 있도록 하였다.

개발된 정성적 K-RBI 프로그램을 바탕으로 앞으로는 정량적 RBI 프로그램의 개발이 필요하며, 이를 수정·보완한 한국형 위험기반검사 프로그램의 개발·보급을 통하여 설비의 최적 검사계획을 수립·시행함으로써 사고예방은 물론 막대한 양의 외화외경비를 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 한국가스안전공사, “’99 국제가스안전세미나”, 1999.
- [2] API, “Fitness For Service : API 579”, American Petroleum Institute, 1999.
- [3] API, “Piping Inspection Code : Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping System : API 570”, American Petroleum Institute, 2000.
- [4] API, “Pressure Vessel Inspection Code : Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration : API 510”, American Petroleum Institute, 1998.
- [5] API, “Based Resource Document of Risk Based Inspection : API 580”, American Petroleum Institute, 2001.
- [6] API, “RBI Basic Resource Document : API 581”, American Petroleum Institute, 2000.
- [7] ASME, “Risk-Based Inspection”, Development of Guidelines, CTRD, 20(1), American Society of Mechanical Engineers, 1994.
- [8] ASME, “Risk-Based Testing: Development of Guidelines”, CRTD, 40(1), American Society of Mechanical Engineers, 2000.
- [9] DNV, “User Manual for Process Hazard Analysis Software Tools(PHAST)”, Ver 4.1, DNV Technica, 1993.
- [10] 김세한, “Delphi 6”, 삼각형, 서울, 2001.
- [11] AIChE, “Dow’s Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide”, 7th edition, AIChE Technical Manual, American Institute of Chemical Engineers, 1994.

저 자 소 개

이 현 창 : 명지대학교 화학공학과(박사과정), 관심분야는 위험기반검사, 공정 위험성 평가 및 전문가 시스템 개발

유 준 : 명지대학교 화학공학과(석사과정), 관심분야는 공정 위험성 평가, 전문가 시스템 개발

김 환 주 : 명지대학교 화학공학과(석사과정), 관심분야는 위험기반검사, 공정 위험성 평가 및 전문가 시스템 개발

김 태 욱 : 명지대학교 화학공학과 교수(공학박사)/명지대학교 공과대학장/가스안전센터 소장, 관심분야는 가스안전 및 공정 위험성 평가