



재해분석을 통한 화학공장의 위험성 평가에 따른 화학설비의 위험도 우선순위

†신운철

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2013년 5월 31일 접수, 2013년 8월 27일 수정, 2013년 8월 27일 채택)

Risk Priority Number of Chemical Facilities by the Risk Assessment of Injury Analysis in the Chemical Plant

†Woonchul Shin

*Dept. of Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
(Received May 31, 2013; Revised August 27, 2013; Accepted August 27, 2013)*

요약

최근 화학공장에서는 대형 폭발사고 등이 주로 유지 보수의 정비 시에 많이 발생되고 있다. 정비 시에 효과적인 재해예방을 하기 위해서는 핵심대상을 찾는 것이 매우 필요하다. 이 논문에서는 재해예방의 핵심요인을 찾기 위해 핵심대상으로 화학설비를 선정하였고, 화학설비별로 위험순위를 정하여 재해예방의 대책을 세우는 우선 순위를 밝히고자 하였다.

연구방법으로 화학설비의 종류는 재해분석을 통하여 찾고, 화학설비별 위험도는 재해분석을 통해 가능성인 재해빈도와 중대성인 재해강도의 근로손실일 수를 기준하여 산정하였다. 또한 화학설비별로 전문가들의 지식과 경험을 바탕으로 한 지식기반 기법에 의한 가능성과 중대성 자료를 활용하여 위험도를 산정하였다.

연구결과, 화학공장의 정비 시에 재해예방을 위해 화학설비별 위험순위는 반응기, 건조기, 탱크로리 등의 순위로 나타났다. 이 결과로부터 화학공장의 정비 시에 재해예방을 위해 위험순위에 따른 각별한 대책과 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

Abstract - There have been large explosions at some chemical plants recently. Accidents in chemical plants have been caused mainly by servicing for maintenance. There is a need to find a key target for effective injury prevention in maintenance. In this paper, facilities were selected as a key target and the risk priority numbers of the facilities were calculated in order to prioritize preventative measures.

The research method was based on the followings; the list of the facilities is found through injury analysis. Then, the risk of each facility was calculated by the frequency of accidents and the working day loss through injuries. In addition, the risk of the facilities was calculated again by the frequency and the severity based on knowledge and experience of experts.

As a result, the facilities in chemical plant maintenance are ranked in order of high to low risk priority number; reactor, dryer, tank lorry, etc. In the future, special measures and attention should be directed according to the risk priority number during the maintenance of chemical plants.

Key words : risk priority number, risk assessment, injury analysis, chemical facility, chemical plant

†Corresponding author:s88119@kosha.net

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

최근에 화학공장에서는 대형 폭발사고 등이 발생되고 있으며, 이러한 사고는 화학공장 내 뿐만 아니라 인근 주민에게도 큰 피해를 발생시키고 있다[1,2]. 화학공장에서의 사고는 주로 유지 보수의 정비 시에 많이 발생되고 있는데, 우리나라의 경우 울산과 여수 등에서는 30년 이상의 설비로 시간에 따라 점점 노후화가 계속되고 있어서 더욱 정비를 해야 하는 대상이 많아지고 있다. 이로 인해 재해가 증가될 소지가 있어서 재해예방에 각별한 대책이 필요하다.

화학공장에서의 재해는 많은 요인이 복합적으로 발생될 수 있는 이유가 정비 시에도 유사한 문제가 된다. 이로 인해 정비 시에 가장 재해가 많이 발생되고 있다. 반면에 정상작업 시에는 고온·고압이나 다량의 물질 등을 취급하는 과정에서 중대산업사고가 발생되면 국가적 차원의 재난이 될 수 있기 때문에 이에 대한 대처 방안으로 각 공정마다 집중적인 안전관리를 하고 있다[3].

정비는 복잡 다양한 실태로 실시되고 있는데, 여수의 OO 화학공장의 예를 보면 정비작업 기간은 연간이나 2년 주기 등의 주기적인 정비를 연간 180건 실시하고 있다. 정비작업은 설비별로 다양한 작업형태가 있으며, 작업시간도 주·야간을 실시하는 등의 불규칙한 작업여건을 갖고 있다.

정비 시에 효율적인 재해예방을 하기 위해서는 핵심 정비대상을 찾는 것이 매우 필요하다. 이때, 핵심대상은 화학공장에서 재해발생 형태상 누출이나 화재 및 폭발 등으로 구분할 수 있고, 공정별에 따른 구분을 할 수도 있으며, 배관이나 저장탱크, 밸브 등의 화학설비별로 구분을 할 수가 있다. 발생형태별로 구분하여 재해발생 요인을 찾고자 하는 경우에는 누출이나 화재 및 폭발에서도 정확한 대상을 다시 찾아야 하므로, 요인을 찾기 위해서는 형태별은 추가 분류가 필요하다. 공정별로 구분하는 경우에는 공장 내에 많은 공정이 있고, 사업장마다 공정이 같은 형태가 아니어서 재해를 분석하여 요인을 찾기가 쉽지 않은 면이 있다. 설비별은 정비 시에 정비형태가 비슷하고, 재해발생 요소가 비슷한 면이 있어서 재해예방의 대책을 찾기 위한 요인으로는 용이한 면이 있다. 기존의 재해와 관련하여 설비별로는 어느 설비에서 어떤 재해가 발생된 자료를 찾을 수가 없었다. 화학공장의 공정에 대한 검사를 기반으로 한 위험성 평가는 있었지만 설비별에 따른 재해분석의 위험성 평가는 찾을 수 없었다[3-5].

본 논문에서는 재해예방의 핵심요인을 찾기 위해 핵심대상으로 설비별을 선정하였고, 설비별로 재해

분석을 통한 위험성 평가에 의한 위험도 순위를 정하여 재해예방대책을 세우는 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

연구방법으로 재해다발 설비별의 종류는 1999년부터 2012년까지의 재해를 대상으로 재해분석을 통하여 찾았고[6], 설비별 위험도는 위험성의 요소인 중대성의 자료가 2001년부터 구축되어 있어서 2001년 이후의 재해자료를 대상으로 하였다. 또한 위험도는 가능성인 재해빈도와 중대성인 재해강도의 근로손실일 수를 기준한 재해분석법으로 산정하였다[7]. 재해분석법에 의한 위험도와 비교하기 위해 설비별로 전문가들의 지식과 경험을 바탕으로 한 지식기반 기법은 국내 화학공장과 관련된 전문가로서 학계 3명, 안전전문기관 3명, 대규모 화학공장 안전 관리자 4명, 전문 안전컨설팅기관 2명 등 총 13명을 대상으로 가능성과 중대성 설문자료를 활용하여 위험도를 산정하였다[5,8]. 지식기반기법의 가능성 측정설문은 5점 척도로 하였으며, 중대성은 4점 척도로 하였다. 설문기간은 2013년 4월 3일부터 5월 30일까지 약 2개월 실시하였다. 대상설비의 위험도는 재해분석법과 지식기반 기법을 통한 위험도 우선순위를 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 사고원인 분석

화학공장에서 발생된 재해에 대하여 업무상 사고의 업종별 구분은 대분류인 제조업에서 중분류인 화학제품제조업의 세부업종별로 구분하면 Fig. 1과 같이 나타났다.

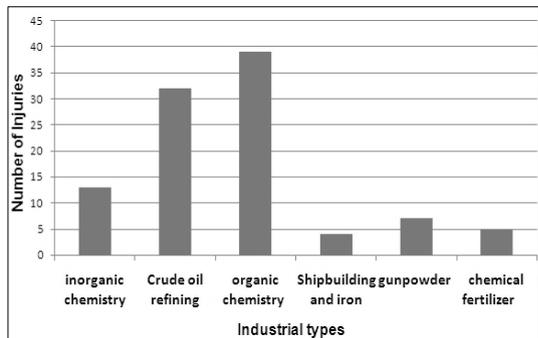


Fig. 1. Number of injuries in the industrial types in the chemical plants.

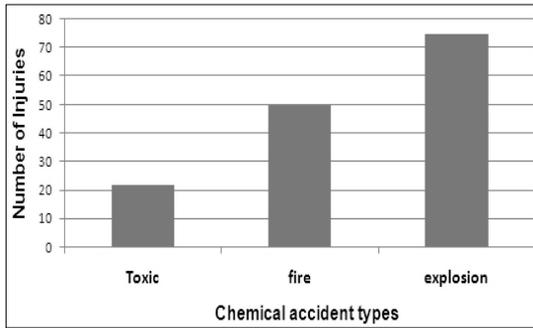


Fig. 2. Number of injuries in the chemical accident types.

이 그림에서 보면 유기화학업종이 39%로 가장 많았고, 다음으로 원유정제업종이 32%였으며, 그 다음은 무기화학업종이 13%로 나타났다. 유기화학업종이 많은 이유는 주로 폭발성 물질 등을 취급하고 있고, 부식성이 강한 공정이 많아서 정비도 많은 것으로 사료된다. 이 결과로 보면 유기화학업종의 정비 시에는 재해예방을 위한 각별한 대책이 있어야 하겠다.

다음은 사고형태에 따른 재해분석으로, Fig. 2와 같이 나타났다.

Fig. 2에서는 폭발이 75%로 가장 많았고, 다음으로 화재가 50%이었으며, 누출은 22%로 나타났다. 일반적으로 화재가 많을 것으로 추측되었으나 재해는 폭발이 많이 나타났다. 화재와 폭발의 형상을 비교해 보면 화재는 연소가 폭발에 비해 느리게 나타나므로 피할 수 있는 여지가 있고, 폭발은 급격한 연소 문제로 근로자가 피할 수 있는 여지가 적은 이유라고 사료된다. 이러한 이유로, 폭발이 예상되는 작업에서는 폭발에 대비한 탈출 통로나 폭발대비 범위를 예측하고, 비상 대피할 수 있도록 작업을 하는 것이 바람직하다. 따라서 안전한 작업을 위해 안전조치를 하고, 비상시의 비상조치를 취한 상태에서 작업이 이루어져야 재해를 예방하는 방법이 될 것이다.

다음은 작업절차에 따른 원인을 분석한 결과, Fig. 3과 같이 나타났다. Fig. 3은 원인의 항목이 잘 보이도록 자료의 크기 순서로 (a)와 (b)로 나누어 나타내었다.

Fig. 3에서 안전작업 허가절차 미준수가 58.5%, 설비의 유지관리 미흡이 16.3%, 그리고 위험성 평가 미흡이 10.8% 등으로 나타났다. 화학공장의 재해예방을 위해 파악된 결과로서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 안전작업허가 절차의 미준수이었다. 일반적인 화학공장에서 안전작업 허가절차를 보면 화학

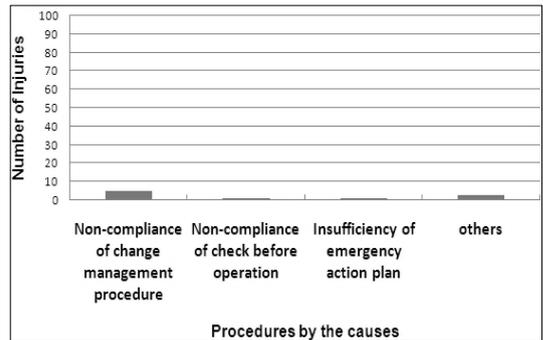
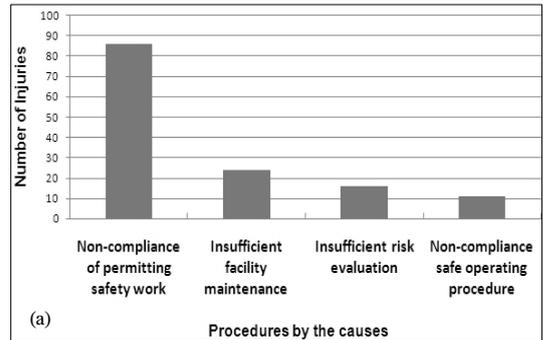


Fig. 3. Number of injuries in the procedures by the causes of accidents.

공장의 생산팀에서는 정비대상에 대해 정비작업의 필요성을 판단하고, 공무팀에 작업요구서를 발송한다. 공무팀은 작업요구서 내용이 자체공사를 할 것은 자체적으로 처리하고, 외주공사를 줄 것은 구매팀에 요청한다. 구매팀은 해당 작업분야에 따라 협력업체를 대상으로 입찰 공지한다. 화학공장 산업단지 특성상 정비는 연속적으로 있는 것이 아니어서 일반적으로 고정적인 일부 상주 협력업체를 제외하고는 대부분 공고가 있을 때마다 정비 기술자를 모집하고 응찰하기 때문에 공모 당시 전문기술자가 타 지역에 가서 일을 하는 경우에는 합류를 하지를 못해서 전문기술자가 입찰공지 시점에 부족이 되는 현상이 발생되기도 한다. 이는 정비작업 시에 재해예방을 잘 아는 전문기술자의 부족으로도 볼 수 있어서 재해예방에 취약점으로 나타난다. 입찰 시에는 예가에 비해 최저가제를 실시하는 관계로, 저임금 근로자를 채용하여 정비작업이 이루어질 수밖에 없는 실정이다. 또한 응찰된 협력업체도 고정적 정비가 아닌 다양한 정비를 실시하는 관계로 매번 정비작업자에게 제대로 안전교육이 이루어지지 않는 문제점도 있다. 이어서 낙찰된 협력업체는 안전 팀에서 정비

Table 1. Number of cases in the maintenance
(unit : case)

Type \ Year	2010	2011	2012
Total	144	217	163
General maintenance / repair	74	167	64
Construction maintenance / repair (Including changing management)	70	50	99

관련 일반적인 안전교육을 받고 있으며, 해당 작업의 특수적인 부분에 대한 교육은 실시치 못하고 있다. 작업특성상 특수적인 특성교육은 작업내용을 잘 알고 있는 공무원에서 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, 협력업체는 화기작업 유무 및 위험물 취급 여부 등에 관한 작업상의 안전작업 허가서를 생산 팀에서 발급 받아 작업을 실시하며, 이때, 공무원에서 작업 확인을 하면서 작업이 이루어지고 있다. 국내에는 공무팀을 많은 부분이 아웃소싱(outsourcing)하여 업무를 수행하는 실정이라서 정비작업 시 안전 확인은 한정된 공무원원으로 업무가 과중되는 어려운 상태이다. 이에 대한 대안으로 안전 확인을 하기 위해서는 화학공장 별로 관리감독자 역할을 하고 있는 필수적인 공무원의 조직과 인원이 필요하다.

Fig. 3에서 안전작업허가 절차 미준수가 가장 많은 것은 확인을 하는 관리감독자가 부족하기 때문에 확인에 관련된 안전조치를 하지 않는 것으로 판단된다. 이와 같은 이유는 재해예방의 사각지대를 만들어 화학공장의 재해예방에서 안전작업 허가절차의 준수가 매우 중요함을 알 수 있는 것으로써 이것을 법제화할 필요성이 있다. 화학공장에서 정비 시에 안전작업 허가건수는 상당히 많고, 전문적인 작업내용이 많아서 이러한 것을 준수하기 위해서는 관리감독자가 필요하다고 사료된다. 안전 관리자는 안전교육을 해야 하는 대상이 많고, 작업특성에 따른 전문적 특성교육을 하여야 하기 때문에 한정된 안전관리자로서는 실질적으로 안전관리가 어려운 상태이다. 국내 OO지역의 일반적인 화학공장의 예를 보면 정비건수는 Table 1과 같이 나타났다.

정비건수가 연 175건 정도로 한 개의 공장에서는 많은 관계로 재해가 발생할 소지가 많음에도 이에 대한 직접적인 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 체제에서는 구체적인 내용이 없는 실정이다[9]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 공정별에 따른 업무와 연계하여 관리감독자를 두고 업무를 처리하면 효과적인 재해예방 체제가 가능할 것으로 본다. 안전작

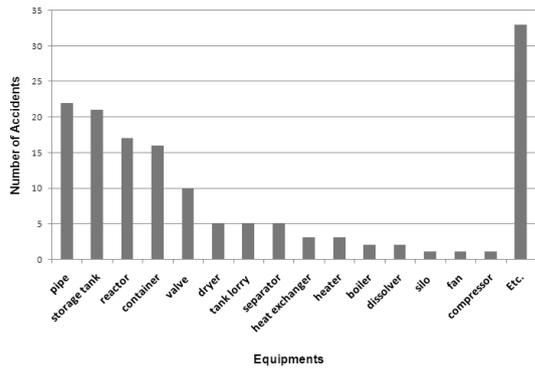


Fig. 4. Number of accidents by the facilities between 1999 and 2012.

업 허가내용을 확인하기 위한 제도적으로 법 제14조(관리감독자)와 관련하여 산업안전보건법시행령(이하 “시행령”이라 한다) 제10조(관리감독자의 업무내용)에서 제1항 제1호 내용을 보면, “...또는 설비의 안전, 보건 점검 및 이상유무의 확인”라고 되어 있다. 이 조문과 관련하여 구체적이고 실효성 있는 조문 내용을 하기 위해 이 조문은 “...또는 설비의 안전, 보건 점검 및 안전작업 허가 준수 확인과 이상유무의 확인”으로 명시하여 화학공장의 재해를 예방하는 구체적 법령제도를 마련하는 것이 필요하다. 또한 시행령 제10조의 별표 2(위험방지가 특히 필요한 작업) 7호(화학설비의 탱크 내 작업)에 부가하여 동호를 “화학설비의 탱크 내 작업 및 화학설비의 정비, 보수 작업”을 넣어 구체화함으로 재해예방을 강화토록 하여야 할 것으로 사료된다[10].

3.2. 위험성 평가

업무상 사고에서 설비별 위험성 평가의 대상을 찾기 위해 재해분석을 실시한 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다.

Fig. 4에서와 같이 배관이 가장 많았고, 다음으로 저장탱크, 반응기의 순서이었다. 화학공장에서 공정상의 연결은 배관으로 되어 있고, 배관은 밸브 등과 연결되어 있어서 연결부위마다 열에 의한 응력 및 유체의 압력, 부식에 대한 내식성 등을 받는 곳으로, 신축성과 응력을 가져야 하는 특성을 갖고 있다. 이러한 특성 때문에 배관 연결 부위는 가스킷 등이 필요하다. 가스킷은 배관본체 재료보다 열화 등이 심하여 일정기간에는 교체를 해주어야 하는 경우가 발생된다. 이와 같이 배관은 교체가 가장 많은 설비요소 중의 하나이며, 정비 시에는 배관에 잔류 가스 등이 남아 있는 요소가 많고, 배관의 가스킷은 교체 빈

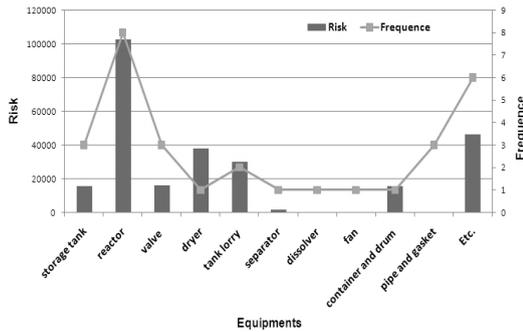


Fig. 5. Risk by the working day loss and number of accidents by the facilities in the injury analysis method.

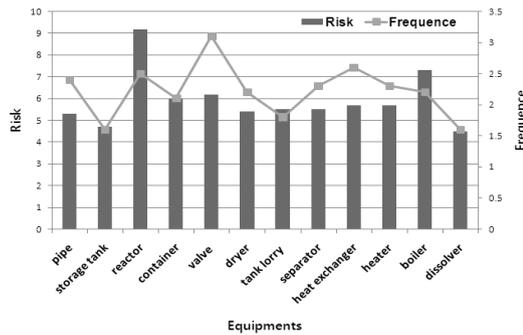


Fig. 6. Risk by the working day loss and number of accidents by the facilities in knowledge-based experts.

도가 높기 때문에 정비 시에 배관 설비에 의한 재해가 많이 발생하는 이유도 있다.

또한 폭발이나 화재를 발생시킬 수 있는 가스가 잔존되는 곳에는 저장탱크가 있다. 저장탱크는 폭발을 일으킬 수 있는 가연성 가스를 퍼지(purge)할 수 있는 시스템이 갖추어진 경우에는 퍼지를 하지만, 현장의 바쁜 일정이나 공정 가동시간 관계상 등의 현장 여건상 완벽하게 퍼지를 실시하지 못하고 있는 현실이다. 반면에 퍼지 시스템이 없는 용기는 재해 발생 가능성이 더욱 높다고 할 수 있다. 재해예방을 위해 자주 재해를 발생시킨 배관이나 용기 등에 대한 재해분석을 통해 퍼지를 실시해야 할 대상을 이 연구에는 포함하지 못하였다.

정량적 위험성 평가[11]에 따라 재해분석법에 의한 위험성 평가를 실시한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 위험도는 반응기가 가장 컸으며, 다음

으로 건조기, 탱크로리의 순서이었다. 사고발생 가능성이 가장 많았던 반응기는 위험도도 가장 높았다. 반면에 저장탱크, 밸브 및 배관은 사고발생 가능성은 많았으나 위험도는 낮은 것으로 나타났다. 사고발생 가능성이 많은 것은 해당 작업이 많았던 요인이 있기도 하였으며, 작업 시에 재해예방을 위해 폭발 가능성의 가스 등을 퍼지하는 방법 등의 과정이 없었던 것으로 보인다. 위험성 평가결과, 가능성에 비해 위험도가 높은 것으로는 건조기와 탱크로리인 것으로 나타났다. 이것은 우선순위에서도 2, 3위를 나타낼 만큼 높은 순위이었다. 따라서 정비작업 시에는 이러한 결과를 토대로 대책을 강구함이 바람직하다. 위험기반검사(risk based inspection, RBI)에서 80/20의 룰(rule)은 상위 20%의 대책을 세우면 80%가 개선된다는 법칙으로[12] 이번 연구결과에 꼭 맞게 적용되지는 않더라도 위험성 평가결과에 대한 내용을 이 룰에 적용해 본다면 우선순위 상위의 20%로는 반응기와 건조기이었으며, 이것의 위험성은 전체의 52.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 이 결과는 RBI 80/20의 룰과 약 27%P의 차이를 나타내고 있다[13]. 여기서 80% 개선을 기준 한다면 위험성 평가의 상위 30%까지 하면 RBI 80/20의 룰에 비슷해진다. RBI 80/20과 유사한 형태의 재해분석법으로 IAM(injury analysis method) 80/30을 적용하여 실제의 재해예방을 위한 대책을 수립하는 방법도 한 가지가 될 것이다.

다음으로 지식기반기법에 의한 위험성 평가결과를 Fig. 6과 같이 나타냈다.

Fig. 6에서 위험도는 반응기가 가장 컸으며, 다음으로 보일러, 밸브의 순서이었다. 전문가 그룹에서는 재해분석법에 비해 보일러를 더 우선순위의 위험도로 평가한 것으로 나타났다. 이것은 전문가 입장에서 사업장의 재해예방을 위한 것으로 고려되었겠지만 공장 내에서의 화재 및 폭발 시의 위험성을 알고 있어서 평가한 것으로 사료된다. 따라서 Fig. 6의 결과는 전문가의 직관적 판단으로 나타난 것으로, 각종 재해예방에 있어서 컨설팅을 하더라도 전문가 의견이 반영되는데, 이때에는 Fig. 5에서 나타난 결과들을 반영하면 좀 더 효과적인 재해예방이 될 것으로 사료된다. RBI에 의한 화학설비의 안전성 평가에서 제시된 위험도의 우선순위 결과를 보면 탱크, 필터, 용기, 열교환기, 배관의 순서로 나타내고 있었다[5]. 이 결과는 정비 시와는 다른 조건인 운전 중인 설비를 대상으로 한 것으로, 정비 시의 결과와 비교한다면 차이가 크게 나타났다. 재해예방에 직접적인 관련은 차 볼 때에는 정비 시의 결과는 직접적인 재해발생을 대상으로 하였으므로 이번 논문이 더 정확한 결과를

나타내었다고 할 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 화학공장의 정비작업에서 발생하는 재해를 예방하기 위해 원인을 찾기 위한 재해분석을 실시하였고, 재해예방의 핵심대상 설비를 찾기 위해 위험성 평가를 실시하였다. 재해분석 결과와 재해분석법 및 전문가 지식기반기법을 통한 화학설비별 위험성 평가 결과, 위험도 우선순위는 다음과 같이 나타났다.

(1) 화학공장의 정비 시의 재해에 대해 재해 분석을 통한 주된 원인은 안전작업 허가절차 미준수(58.5%), 설비 유지관리 미흡(16.3%), 위험성 평가 미흡(10.8%)으로 나타났다.

(2) 재해분석을 통한 설비별 다발 재해 우선순위는 배관, 저장탱크, 반응기, 용기 등의 순서로 나타났다.

(3) 재해분석법을 통한 위험성 평가에 따른 위험도 우선순위는 반응기, 건조기, 탱크로리, 용기, 밸브의 순서로 나타났다.

(4) 지식기반 기법을 통한 위험성 평가에 따른 위험도 우선순위는 반응기, 보일러, 밸브, 컨테이너, 열교환기의 순서로 나타났다.

참고문헌

- [1] Oh, H. G. and Baek, D. S., "A Study on Actual Conditions of Industrial Safety Regulations - Based on Petrochemical Plant -", *Korean Society of Hazard Mitigation*, **11**(2), 81-86, (2011)
- [2] Kim, H. R., *Policy Decision-Making Theories*, p.401, (1997)
- [3] Noh, Y. H., Yoo, J. H., Seo, J. M., Im, C. S., and Ko, J. W., "A Study on the Safety Enhancement of Chemical Plants Using Risk Based Inspection Method", *KIIS*, **17**(3), 73-80, (2002)
- [4] Im, C. S., Seo, J. M., Um, S. I., Baek, J. B., and Ko, J. W., "Development of Emergency Response Plan System using Quantitative Risk Assessment in Chemical Plants", *KIIS*, **16**(2), 69-74, (2001)
- [5] Kim, T. O., Lee, H. C., Shin, P. S., Choi, B. N., Jo, J. H., Choi, B. Y., Park, S. H., and Kim, H. K., "Analysis of Safety of the Chemical Facilities by Korea Risk Based-Inspection in the Petrochemical Plant", *KOSOS*, **22**(6), 35-40, (2007)
- [6] Occupational Safety and Health Research Institut, *Industrial Accident Examination in 2012(1999~2012)*, <http://www.kosha.or.kr>
- [7] Kim, G. H., Kwon, S. M., Lee, K. B., Kim, Y. S., Lee, J. W., and Kang, K. S., "The Method of Risk Assessment by AMEA", *Journal of the Korea Safety Management and Science*, **9**(2), 97-111, (2007)
- [8] Kim, J. I., Rie, D. H., and Choi, S. Y., "A Study on the Quantitative Risk Assessment Technique about Frequency and Severity of Occurrences through Accident Analysis in Laboratories", *Journal of the Korea Safety Management and Science*, **10**(4), 39-46, (2008)
- [9] Ministry of Employment and Labor, *Occupational Safety and Health Act*, (2012)
- [10] Ministry of Employment and Labor, *Enforcement Decree of the Industrial Safety and Health Act*, (2012)
- [11] Kim, M. J., Ha, J. H., and Kang, G. S., "The Study of Quantitative Evaluation Method Utilizing Grade of the Severity Categories and Frequency of Qualitative Risk Assessment", *Korea Safety Management and Science, Spring Joint Conference of Korea Information Assurance Society*, 391-396, (2006).
- [12] Reynolds, J. T., *The Application of Risk-Based Inspection Methodology in the Petroleum and Petrochemical Industry*, ASME, PVP-Vol.336, P.125, (1996)
- [13] Shim, K. H. and Rie, D. H., "A Quantitative Risk Analysis of Related to Tower Crane using the FMEA", *Journal of the Korean Society of Safety*, **25**(6), 34-39, (2010)