

전로사고 예방을 위한 인적오류 분석

신운철* · 권준혁* · 박재희**

*한국산업안전보건공단, 산업안전보건연구원

**한경대학교 안전공학과

A Case Study on the Human Error Analysis for the Prevention of Converter Furnace Accidents

Woonchul Shin* · Jun Hyuk Kwon* · Jae Hee Park**

*Department of Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

**Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Abstract

Occupational fatal injury rate per 10,000 population of Korea is still higher among the OECD member countries. To prevent fatal injuries, the causes of accidents including human error should be analyzed and then appropriate countermeasures should be established. There was an severe converter furnace accident resulting in five people death by choking in 2013. Although the accident type of the furnace accident was suffocation, many safety problems were included before reaching the death of suffocation. If the safety problems are reviewed throughly, the alternative measures based on the review would be very useful in preventing similar accidents. In this study, we investigated the converter furnace accident by using human error analysis and accident scenario analysis. As a result, it was found that the accident was caused by some human errors, inappropriate task sequence and lack of control in coordinating work by several subordinating companies. From the review of this case, the followings are suggested: First, systematic human error analysis should be included in the investigation of fatal injury accidents. Second, multi man-machine accident scenario analysis is useful in most of coordinating work. Third, the more provision of information on system state will lessen human errors. Fourth, the coordinating control in safety should be performed in the work conducting by several different companies.

KeyWords: Human Error, Converter Furnace, Error Classification, Serious Accident, Industrial Accident

1. 서론

우리나라의 산업재해 현황을 나타내는 방법으로 여러 가지 지표가 있다. 그 중에 사망만인율은 세계 OECD국가 중에서 하위를 나타내고 있다.[1] 2012년 사망사고 중에서 업무상사고의 사망만인율은 0.73으로 나타났다. 업종별로 보았을 때 제조업은 336명이었으며, 건설업은 461명으로 나타났다[2]. 고용노동부를 위시하여 국내의

재해예방기관에서는 사망사고 예방에 총력을 쏟고 있다.

그러므로 사망사고 예방을 위해 사망사고의 재해원인을 분석하고 그 대안을 찾는 것은 매우 필요하다. 2013년 박재희[3] 등은 인적오류를 포함한 불안전 행동을 산업재해의 주요원인으로 지적하고, 사고에서의 인적오류를 분석하는 체계를 제안한 바 있다. 이에 사고에서의 인적오류를 기준으로 사고의 원인을 찾고 대안을 제시하여 재해예방을 위한 정책에 반영하는 것이 필요하다.

† Corresponding Author : Woonchul Shin, Dept. of Occupational Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, 400, Jongga-ro Jung-gu, Ulsan, 403-711, Republic of Korea
Tel : 82.52.7030.850, E-mail : s88119@kosha.net

Received July 16, 2014; Revision Received September 17, 2014; Accepted September 20, 2014.

사망사고예방의 중점에서는 중대재해를 대상으로 인적오류를 찾고 예방대책을 강구함이 매우 필요한 것이다.

국내에서는 인적오류와 관련된 연구는 화학, 철도, 원자력 분야가 주를 이루어 왔다. 반면에, 제조업 분야 또는 일반산업 분야의 인적오류에 대한 연구는 미미한 편이다. 2006년 서은홍 등[4]은 크레인과 관련된 수명주기에 따른 재해원인을 찾고자 했으나, 작업절차에 대해서는 상세한 작업의 난이성으로 인해 구체적인 내용은 거론하지 않았다. 2003년 정병용[5]은 사고에 따른 인적오류를 수치화 하기위해 분석 프로그램을 제시하고 보고서 형식을 제안하였다. 오류를 수치화하여 의미가 있으나 정형화된 자료입력의 한계로 재해예방 개선을 나타내는 구체적인 원인을 찾는 데는 한계가 있었다. 2008년 함동한[6]은 설계요건에 따라 인간과 시스템 사이에서의 인터페이스를 어떻게 정보화 할 것인지에 대해 전산을 이용한 프로그램을 개발하였다. 그러나 재해예방을 위한 전로설계와 같은 내용은 담지 않고 있다.

2013년에 질식 사망 5명이 발생한 전로 사고가 있었다[7]. 이 사고는 건설업의 재해로 분류 되어있으나 설비는 제조업으로 정비 중에 재해가 발생되었다. 이 전로 사고는 그 원인이 재해 발생형태 상 질식이지만 질식으로 사망하기까지에는 여러 안전상의 문제가 포함되어 있다. 이러한 여러 가지 안전상의 문제를 재검토하여 대안을 찾는다면 재해예방에 매우 유용하다.

이 연구에서는 전로 사망사고에 대해 정황을 정밀하게 조사하고 그 대책으로 재발방지의 대안을 제시하여 재해예방에 기여코자한다.

2. 연구방법

2013년에 전로와 관련된 중대재해가 발생되어 재발방지를 위해 사고현장에 대하여 정밀조사를 실시하였다. 그리고 재해원인에 대해 대책을 강구코자 재해요인이 인간의 인지 오류에 기인한 내용이 상당수 있어 대안으로 인간공학적 접근방법을 활용하였다. 우선, 현장 조사와 중대재해원인분석보고서의 내용을 바탕으로, 작업주체와 설비에 대한 시간대별 사고발생 시나리오를 작성, 분석하였다. 이후 사고 시나리오 상 인적오류가 관련된 작업 단계를 사용해 인적오류를 분류, 분석하고 그 원인을 분석하였다.

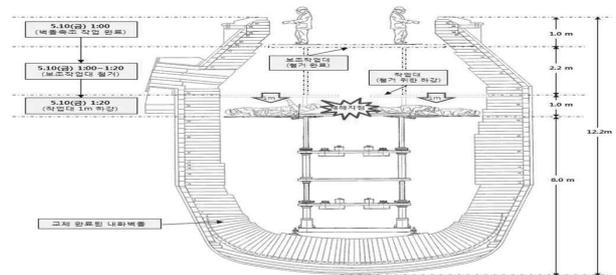
단, 이 연구에서는 질식의 예방대책을 제외한 안전상의 문제를 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 중대재해 기인

사고결과로 재해발생형태는 최종 질식 사망이었다. 질식사망의 기인물을 [Figure 1]과 같이 나타내었다. [Figure 1]은 직경 8.1m, 높이 12.5m로 원통형에 가까운 형태로 출입구는 상부뿐이며, 하부에는 공정에 필요한 배관이 있다. 이러한 형태는 전형적인 밀폐용기에 의한 밀폐공간이 형성될 수 있다.

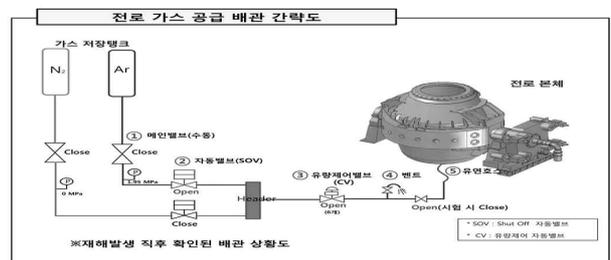
[Figure 1]과 같이 밀폐된 공간에서의 작업은 질식재해가 발생될 여지가 매우 크기 때문에 질식재해예방이 반드시 필요하다.



[Figure 1] Shape of convert furnace

이 사고의 경우는 그 원인이 [Figure 1]에서 제시한 밀폐공간뿐만 아니라 전로 밖에서부터도 기인 된 것이었다. 이는 단지 밀폐공간만의 문제라기보다 작업과 관련된 것으로부터 안전상의 문제로 발생되어 최종 밀폐공간에서 근로자가 재해를 입은 것이었다. 궁극적으로 밀폐공간에서만이라도 재해예방이 되었다면 결과론적으로는 재해는 발생되지 않았을 것이다. 하지만 이 사고의 경우는 국내의 밀폐 공간 작업에서 밀폐공간의 사고뿐만 아니라 밀폐 공간 밖에서의 원인의 예방이 더욱 필요하다. 이는 밀폐공간내 뿐만 아니라 전로 외부 요인이 많기 때문이다.

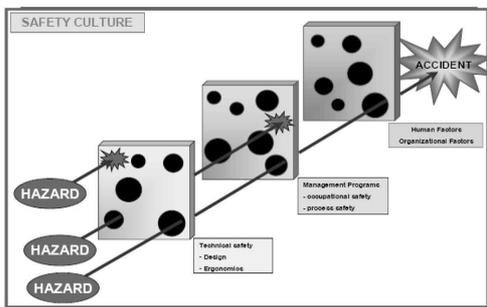
[Figure 2]는 이 사고의 밀폐 공간 내에 공정상 취급 가스가 인입되는 것을 표현한 배관도이다.



[Figure 2] Pipe line of gases

[Figure 2]에서 보면 공정상 Ar배관과 N₂ 배관이 되어있고 가스의 이송경로는 각각 가스통의 밸브를 거쳐고 수동 메인밸브를 거쳐 자동 밸브에서 제어되고 있다. 여기에 사용된 가스는 헤더를 거쳐 유량 제어밸브에 의해 유량이 조정된 다음에 마지막 전로로 들어가기 전에 게이트 밸브를 거쳐 전로로 들어가도록 되어 있다. 또한 게이트 밸브와 전로 사이에는 유연성이 있는 가요배관으로 연결되어 있다.

밀폐공간의 가능성이 있는 전로에 밀폐공간으로서 잠재원인이 되려면 [Figure 2]에서 보여준 각종 기기가 문제가 되어야 하는 것이다. 이는 가스통의 밸브, 메인밸브, 자동밸브, 유량 제어밸브 및 게이트 밸브가 문제가 되어야만 전로는 밀폐공간의 문제로 야기된다. 이뿐만 아니라 공장의 제어실에는 가스유량을 감지하는 유량계가 있다. 아울러 가요배관이 연결되는 문제도 있다. 그런 관계로 전로에 사고가 날 정도의 밀폐공간이 형성되기까지에는 최소한으로 7가지 이상의



[Figure 3] Model of prevention accidents

기기문제가 있어야 재해발생으로 이어진다. 7가지 중에서 한가지만이라도 완전한 안전성이 확보되었다면 사고는 발생되지 않는다.

[Figure 3]은 James Reason에 의한 스위스 치즈 사고 예방 모델이다. 사고가 발생하기까지 사전에 일어나는 단계별의 그림으로 사고예방모델에서 보면 이 중 어느 것 한가지만이라도 안전성이 확보되면 재해는 예방된다. 전로사고 전 단계에서 7가지 사고예방의 요인이 있다고 가정한다면 단순히 확률적으로 1/2⁷의 확률로 재해가 발생된 것이다. 이 사고에서는 7가지로 최소로 압축하였으나 최종 전로의 질식이라는 것보다는 재해예방을 위한 재해의 기인은 기기에 중점을 두어야 한다. 비록 이 사고는 단 한건의 사고였지만 이와 같이 최종 질식이라는 재해발생형태로 재해예방의 실마리를 찾는 것보다는 확률적으로 보면 최종 발생형태로 가기 전 단계에서의 재해요인의 분석이 필요한 것으로 나타났다.

3.2 재해발생의 상황 추정

재해를 예방하기 위해서는 또는 재발 방지를 위해서는 발생한 재해 상황을 정확히 추정 파악하는 것이 무엇보다도 필요하다.

[Figure 4]는 전로사고에서 상황파악을 하기 위해 제시된 시간별 작업내용이다.

※ 아래 사항은 재해발생과 직·간접으로 관련있는 공정을 중심으로 조사 기술함

- 2013. 0. 0 (목) 17:35 ~ 20:00경 : 전로의 화재 및 냉각
 - 전로 호기 정지 및 (강제)냉각 실시
- 2013. 0. 0 (금) 01:00 ~ 01:20경 : MHP의 절단 및 분리
 - 전로 Ar/N₂ 가스 공급용 유연호스(Flexible Hose)와 전로를 연결하는 MHP의 절단 및 철거(○ ○ 사)
 - ※ MHP(Multi Hole Plug) : 전로의 바닥에 설치되는 저비용 노즐
 - 전로 내부의 내화벽돌을 축조하기 위한 작업대 설치
- 2013. 0. 0 (토) 01:00 ~ 05. 09(목) 19:00 : 전로내의 내화 벽돌 축조
 - ○ ○ (주) 작업자 15명 내외(작업 상황에 따라 작업인원이 변동됨)가 방진마스크를 착용하고 전로 내부 내화벽돌 축조작업(1일 2조 교대작업, 1일 1.5-2.0 m(1 조당 벽돌 약 5-6 단)의 높이)을 실시함
- 2013. 0. 0 (목) 10:00 ~ 15:30 : Ar/N₂ 가스공급용 유연호스의 MHP 접속
 - ○ ○ 사 작업자 5명(○○○등)이 전로 하부의 가스 공급용 유연호스를 접속한 후 배관의 누설시험을 실시함(일부 유연 호스에서 가스가 누출되는 불량이 있어 호스를 교체하였음)

[Figure 4] Process of occurring an accident

시간	기계설비 전로	OO 사 피재해자 (5인)	OO사	OO사 조립부	OO사 재장부 제어팀
13:05:02 17:35:00	정지, 냉각				정지조작
13:05:03 01:00:00			MHP 절단		
13:05:04 01:00:00			벽돌축조시작		
13:05:09 10:00:00			MHP누설시험실시		
13:05:09 15:30:00			MHP누설시험완료		
13:05:09 15:30:00			Main VV 잠금 확인	① Main VV 잠금	Main VV 잠금확인
13:05:09 15:30:00			② MHP 연결	MHP 연결확인	MHP 연결확인
13:05:09 19:00:00	③ Ar 가스 유입시작	축조 종료			
13:05:09 19:00:00			마무리축조시작		
13:05:10 01:00:00			마무리축조종료		
13:05:10 01:00:00			벽돌축조기 철거 시작		
13:05:10 01:40:00	Ar 가스 충전 산소부족상태		④ 산소부족시방		
13:05:11 16:00:00					전로가동해당

[Figure 5] Multiple scenario analysis of an accident

[Figure 4]은 시간대별로 재해 현상을 파악하기 위한 자료이며 [Figure 5]는 동일사건에 대하여 시간대별 관련 업체별로 재해 현상을 파악하기위한 자료이다. [Figure 4]는 대체로 사용되는 현상파악 자료 작성방법이며 [Figure 5]는 이 사고에 활용키 위해 제시한 자료 작성 방법이다.

[Figure 4]와 [Figure 5]는 같은 내용을 포함하고 있으나 [Figure 5]는 [Figure 4]에 비하여 기계설비와 해당 업체별로 나누어 파악하고 있어 해당업체간의 작업

이 교차되는 현상을 상세히 파악된다.

[Figure 5]에는 해당업체별로 공기를 단축하기 위해 안전한 작업순서를 지키지 않은 작업 행위들을 명료하게 보여주고 있다.

또한 안전보건총괄책임자가 보더라도 전체를 한 눈에 볼 수 있어 병목 또는 교차부분에서의 안전관리가 쉬워진다. 이러한 관점으로 보면 [Figure 5]는 [Figure 4]의 시간대별만의 1차원 사고조사에 비해 해당 사업장의 작업 내용이 별도로 구분된 다차원적의 조사방법이 더 효용성이 있다. 동 사고와 같이 복잡하고 여러 업체에서 작업이 동시에 진행되는 곳에서의 안전관리 및 사고조사에 좋은 방안이 된다. 국내의 화학공장의 정비 작업이나 건설시 여러 작업이 동시에 진행될 때는 동 안전관리 기법 혹은 사고조사방법이 더 유용하다.

3.3 인지 오류 방지를 위한 정보표시

조사대상 사고에서 질식 사고에 직접적으로 관련된 것 중의 하나는 배관의 밸브가 있다. 배관 라인에서 어느 밸브를 하나라도 제 기능을 하였다면 사고는 발생되지 않는다. [Figure 2]에서 나타낸 밸브들 중에서 가스통의 밸브나 메인밸브 및 게이트 밸브는 인위적으로 개폐가 이루어진다. 이러한 밸브는 다음 [Figure 6]와 같이 되어있었다.



[Figure 6] Main valve in the site

[Figure 6]에서는 밸브의 개폐를 인력으로 하는 만큼 개폐하는 사람마다 개폐하는 힘이 다른 것은 당연하다. 이렇게 각자의 다른 힘에 의해 밸브의 개폐 상태로 다르게 나타나므로 실제로 완전히 개폐 여부를 알지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 완전히 개폐를 알 수 있도록 밸브 개폐 위치 표시나 리미트스위치 등을 설치하여 밸브의 개폐정보를 알 수 있도록 해야 한다. 작업공정상 안전하게 하기 위해 누구나 식별이 가능하도록 예시로 [Figure 7]과 같이 정보 표시가 필요하다.



[Figure 7] Valve indicated opening and closing

[Figure 7]은 인지오류 개선방안으로 Wickens³⁾ 정보처리단계별분류상에 의한 반응과 피드백의 개선원리에 입각한 것이다.

또한, 전로 사고와 같은 중대재해예방 차원에서 인지오류에 의한 재해예방이 매우 중요한 바, 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 산업안전보건에 관한 규칙 제258조는 밸브 등의 개폐 방향의 표시를 하도록 되어있으나 방향 표시와 더불어, 밸브의 개폐 지점이 중요하여 현행 “방향을 색채 등으로 표시”를 “열고 닫는 지점과 방향을 색채 등으로 표시”하는 것으로 개정되어야 한다. 아울러, 점점 사고가 인간과 기계의 접점에서 발생하는 바, 향후에는 법에 인적오류 관점의 재해예방 규정이 전면적으로 개정되어야 된다.

3.4 여러 작업이 같은 장소에서 동시에 이루어질 때의 총괄안전관리 매뉴얼

법 제18조에 의하면 같은 장소에서 사업은 행하는 경우에는 안전보건 총괄 책임자를 지정하도록 되어있다. 법 제18조의 대상은 법 시행령 제23조에서 50인 이상으로 국한하여 적용하는 것으로 되어있다. 실제로 전로 및 화학공장 등과 같은 사고는 정비 시에 주로 발생하는 것으로 나타났다[8]. 전로 사고와 같이 정비 작업에서는 50인 미만의 수급업체가 많으므로 재해예방을 위하여 50인 이하라 하더라도 대상에 포함시켜야 재해예방이 가능하다. 정비 작업은 점점 수급업체에게 위험 작업 등을 주는 추세이므로 법에 고려가 되어야 한다. 법 제29조에 의하면 같은 장소에서 수급 근로자와 작업이 행하는 경우에는 도급사업주는 산재예방조치를 하도록 되어있다. 법 제29조에 의하면 같은 장소에서 여러 업체가 동시에 작업이 이루어지는 곳의 도급업체에서는 안전보건 총괄 책임자를 두게 되어있다. 또한, 동시에 작업을 하는 경우에는 사고 발생을 방지하기 위해 작업에 따른 매뉴얼을 작성하고 잘 지킬 수 있도록 관리감독자가 필요하다. 법 제29조에서의 조치

는 전로 사고와 관련하여서는 작업장의 순회점검 등의 안전보건관리에 해당된다. 전로 사고와 같이 정비과정에서 안전상으로는 순회점검을 수시로 실시하는 방법도 한가지이지만 전체적인 작업절차에 대한 안전이 고려될 수 있는 시스템이 필요하다. 그러므로 법 제29조 제2항 제2호에 의한 현행 “작업장의 순회점검 관리”는 “작업 시 총괄 절차에 따른 안전성 검토와 작업장의 순회점검 관리”로 개정하여 정비시의 안전성이 확보되어야 한다.

안전관리와 연계하여 [Figure 2]에서 나타낸 가요배관에 대해서는 작업 공정상 매뉴얼에 안전이 확보될 수 있도록 작성되어야 하고, 절차대로 준수하면 이 사고는 예방되었을 것이다. 총괄 관리감독자에 의해 전체적인 안전 관리가 이루어져야 한다.

3.5 인적오류와 사고

연구 대상의 사고조사에서 인적오류의 세부 내용을 파악하기 위해서는 인적오류의 분류 모델이 검토되어야 한다.

인적오류 분류의 대표적인 모델로는 Wickens의 정보처리단계별, Swain의 행위 차원별, Reason의 원인 차원별, 모형이 있다. 이 모델들과 이 연구 대상과의 연계성을 놓고 볼 때 이 사고는 사고 원인이 여러 가지여서 단독으로 어느 하나에 귀결시킬 수가 없었다.

다만, 이번 사고에 비추어 어느 모델이 가장 잘 원인을 나타낼 수 있는지는 검토가 필요하다.

전로 사고는 다양한 원인이 있어 모델별로의 분석이나 비교는 여러 면이 있어 이번 연구에서는 제외하였다. Wickens 모델은 인간의 정보처리단계를 크게 3단계로 나누어 입력과 정보처리 및 출력으로 구분하였고, 각 단계별로 세밀하게 정보의 흐름을 나타내었다. Swain의 행위 차원별 분류는 누락이나 작위오류 및 순서상의 오류 등을 나타낼 수 있는데 전로 사고의 전체적 관점으로는 원인의 접근이 가능하나 구체적인 원인의 도출이 어렵다. 행위는 Wickens 모델의 정보흐름의 각 절점 별로 무수히 많이 적용될 수 있어 구체적인 원인 찾기에는 어려움이 있다. Reason의원인차원의 분류는 Rasmussen의 인간행동 3단계 모델에 근거하고 있다. 이는 Wickens모델을 대표적인 형태로 간략히 나타내면서 인간 에러의 인지 부분과 행동 측면으로 연계하게 되어있다. 이 모델은 전로 사고와 같이 다인에 의한 사고의 원인을 찾기에는 간편성 때문에 다른 모델보다는 쉽게 적용될 수 있다.

전로 사고의 가장 핵심 중의 하나로 총괄 안전 관리

가 부재하여 매뉴얼에 따른 절차상의 문제라고 보았을 때 전로 사고는 지식 기반 사고로 볼 수 있다. 그러므로 사고 원인이 간략하면서도 인적오류를 나타낼 수 있는 Reason의 인적오류 분류 방법이 가장 적합한 것으로 사료된다. 이 모델은 안전사고의 중대재해에서 원인 분석의 사고요인이 적을수록 더욱 명확히 원인을 찾을 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 중대재해의 재발 방지를 위해 중대재해를 조사하고, 그 원인을 찾고자 하였으며, 그 대안으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재해 분석에서 최종 사고 결과와 더불어 재해 기인의 분석이 필요하다. 특히 별도의 인적오류에 대한 사고분석이 필요하다. 인적오류 분석방법으로는 Reason의 분류방법이 추천된다.
- 2) 재해 현황과약에서 사고 시간에 따른 기계설비, 재해자, 다른 작업주체 들을 포함한 다차원적 분석이 더욱 효과적이다.
- 3) 인지 오류를 방지하기 위한 기계설비의 상태에 대한 정보 표시화가 필요하다.
- 4) 작업체계와 관련하여 작업자들이 순서에 맞춘 협력 작업이 이루어지도록 총괄 안전 관리가 이루어져야 한다.

5. References

- [1] Shin, W.C., Kim, J.H. and Hong, Y.S.(2013), "Case studies on the Practical Ways of Preventing Injuries in Small Manufacturing Industries.", the Korean Safety Management Science, 15(2): 39-45
- [2] Ministry of Employment and Labor.(2013), "Analysis of Industrial Accidents in 2012", Report of Ministry of Employment and Labor. pp8-403
- [3] Park, J.H., Hong, Y.S., Kim, E.H., Kim, S.H. and Jo, S.P.(2013), "Application Case Study of Human Error Prevention in Industrial Safety.", Report of OSHRI, pp1-73
- [4] Seo, E.H., Bae, G.S., Lim, H.K., Chang, S.R. and Park, J.H.(2006) "Research for the Improvement of Ergonomics of Man-Machine Work Systems.", Report of OSHRI, pp14-75
- [5] Jeong, B.Y., Lee, J.D. and Yang, S.T.(2003), "Development of Accident Analysis System for

Human Error Prevention.", Journal of the Korean Safety Management Science, 5(3): 1-10

- [6] Ham, D.H.(2008), "Design Requirements-Driven Process for Developing Human-System Interfaces.", Journal of the Korean Safety Management Science, 10(1): 83-90
- [7] Smart safety(2013), "[Issues] The cause analysis and measures to prevent on the major accidents",
- [8] "<http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=kosha-media&logNo=120198677128>.
- [9] Shin, W.C.(2013), "Risk Priority Number of Chemical Facilities by the Risk Assessment in the Chemical Plant", Journal of KIGAS, 17(4):39-44

저 자 소 개

신 운 철



현재 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전연구실에서 실장으로 근무. 공단 근무 경력 26년. 단국대학교 대학원 기계공학과 박사(열유체전공) 취득
관심분야 : 열유체 전공 분야 및 산업안전 재해예방 연구 등.

주소 : 울산광역시 중구 함월6길41~9, 202호(강산과관들)

권 준 혁



현재 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전연구실에서 근무.
공단 근무 경력 13년.
영남대학교 건축공학과 석사
미시간대학교 토목공학과 석사
관심분야: 건설안전 및 인간공학 분야 등

주소 : 울산광역시 중구 중가로 400, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

박 재 희



서울대 산업공학과에서 공학사(1986) 취득 후, KAIST 산업공학과에서 석사(1988)와 박사(1998)를 취득하였다. 한국생산성본부와 한국표준과학연구원에서 근무했으며, 현재 환경대학교 안전공학과 교수로 인간공학, 시스템안전공학 등을 가르치고 있다.

주요 연구분야로는 휴먼에러, 근골격계질환, 의자와 시트 평가 등이 있다.

주소 : 경기 안성시 중앙로 327 환경대학교 안전공학과