

# 제철 사업장 적용을 위한 위험성평가 시스템 개발

홍성만\* · 박범\* · 선수빈\*\*

\*아주대학교 산업공학과 · \*\*한동대학교 상담심리학과

## Development of Risk Assessment System for Steel and Iron Works

Sung-Man Hong\* · Peom Park\* · Su-bin Sun\*\*

\*Dept. of Industrial Engineering, Ajou University

\*\*Dept. of Counsel Psychology, Handong University

### Abstract

Steel and iron works have place many hazard or risk factor as a high temperature material, a high place, and so on. Accordingly, steel and iron works need system for risk assessment. In this paper, we development of risk assessment system for steel and iron works. In case study applied at the steel enterprise. The resultant, we can discovery that an human factor is an important question form risk assessment.

**Keywords :** HAZOP, Accident Prevention, Risk Assessment

### 1. 서 론

위험성평가는 대상물에 대한 위험요소를 발견하고 예상위험의 크기를 정량화하여 사고의 결과를 사전에 예측하는 과정이다. 위험성평가 방법은 어떤 위험요소가 존재하는지를 찾아내는 방법인 정성적 분석방법과 그러한 위험요소를 확률적으로 분석, 평가하는 정량적 분석방법으로 나눌 수 있다. 정성적 분석 중 설계의도에서 벗어나는 이탈현상을 찾아내어 공정의 위험요소와 운전상의 문제점을 도출하는 방법인 HAZOP(Hazard And Operability Review)은 전문가의 경험과 지식을 기초로 브레인스토밍 기법을 적용함으로써 체계적으로 잠재위험을 분석 평가할 수 있는 장점이 있고 비교적 객관화 된 평가결과를 얻을 수 있는 이점이 있어서 그동안 대규모 화학공장을 중심으로 잠재위험의 위험성 분석에 유용하게 사용되어 왔다[9].

그러나, HAZOP 기법은 화학물질을 취급하는 화학공장의 공정을 중심으로 개발되었기 때문에 기계 공장 등에서는 그대로 적용하기가 곤란한 점이 있다.

이러한 점을 보완하기 위하여 최근 4M(Machine, Media, Man, Management)의 4 가지 면에서 위험요인을 도출하고 발생빈도와 피해크기를 그룹화한 위험성평가 기법이 개발되기도 하는 등 타 분야의 적용에도 확산 움직임을 보이고 있다. 철강 산업은 중후 장대한 설비에 의해 원재료가 가공되는 작업과정에서 고온물질을 취급하여 다른 산업과 다른 공정상의 특이성을 지니고 있기 때문에 기존의 일반화된 위험성 분석만으로는 철강 제조 사업장의 잠재위험요인에 대한 재해예방의 사전예측을 위한 기초자료로 활용하기에 부족하다. 철강 제조 사업장에서 HAZOP 을 정성적 위험성 분석도구로 활용하기 위해서는 철강 제조 사업장의 작업표준 분석과 철강 사업장에서 근무하는 직원의 행동특성을 연구하여 철강 제조 사업장 실정에 맞는 방법으로 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 HAZOP 의 기법을 근간으로 철강 제조 사업장의 잘못된 관행을 포함하여 부서별 작업표준서를 기준으로 공정과 검토구간을 설정하고, 변수와 가이드워드를 조합하여 발생빈도와 피해정도를 산정해 관

† 교신저자: 홍성만, 경상북도 포항시 남구 괴동동 1번지 POSCO 안전팀

M · P: 010-5056-7807, E-mail: smhong75@posco.co.kr

2009년 6월 23일 접수; 2009년 9월 4일 수정본 접수; 2009년 9월 9일 게재확정

리등급을 설정함으로써 위험수준을 허용할 수 있는 범위 내로 끌어내릴 수 있는 과학적 시스템적 평가기법을 개발하여 철강 제조 사업장에 적용한 후 성과를 분석하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 위험성평가 기법

정성적 위험성평가 기법으로는 공정의 목적을 이해하고 설계의도를 파악할 수 있는 각 분야의 전문가들 조직에 의해 ‘What-If’로 시작되는 질문을 사용하는 ‘사고예상 질문 분석법(What-if)’, 미리 준비된 체크리스트를 활용하여 최소한의 위험도를 인식하는 ‘체크리스트법’, 공정이나 공장 장치의 고장 Mode 결과 및 고장 Mode에 대한 위험도 순위를 표로 만들어 고장 Mode와 고장 Mode의 영향을 파악하는 기법인 이상 위험도 분석법(FMECA), 공장의 운전자 및 정비반원, 기술자 등 사람들의 작업에 영향을 미칠만한 요소를 평가하는 기법인 작업자 실수 분석법(Human Error Analysis) 등이 있다.

또한, 설계의도에서 벗어나는 이탈현상을 찾아내어 공정의 위험요소와 운전상의 문제점을 도출하는 방법인 위험과 운전성 분석법(HAZOP-Hazard And Operability Review)은 화학공장에서 발생하는 산업재해의 여러 원인에 대하여 공정 또는 설비 상에 잠재하고 있는 위험을 체계적으로 제거하고 예방하기 위하여 개발되어 국내에서도 대형 화학공장을 중심으로 잠재 위험의 분석 도구로 널리 활용되고 있다[6].

정성적 위험성평가 기법은 비교적 쉽고 빠른 결과도출이 가능하고 비전문가도 약간의 훈련으로 접근이 용이하며 시간과 경비 절감할 수 있는 장점이 있지만 평가자의 수준에 따라 주관적인 평가로 치우치기 쉬우므로 정량적 평가와 병행하여야 보다 신뢰성 있는 평가가 가능하다.

위험성평가의 정량적 분석 기법으로는 하나의 특정한 사고에 대해 원인을 파악하는 연역적 기법인 결함나무 분석(FTA-Fault Tree Analysis), 초기사건으로 알려진 특정한 장치의 이상이나 운전자 실수로부터 발생하는 잠재적인 사고결과를 평가하는 귀납적 기법인 사건나무 분석(ETA-Event Tree Analysis), 가능한 사고를 평가하기 위해 결함나무 분석법과 사건나무 분석법을 혼합한 기법인 원인결과 분석(CCA-Cause Consequence Analysis)이 대표적이며 객관적이고 정량화된 결과도출이 가능하다는 장점이 있으나 시간과 경비가 과다 소

요되고 전문가의 도움이 필요하며 통계 데이터가 필요한 단점을 가지고 있다. 따라서, 위험성평가를 수행하기 위해서는 정성적, 정량적 위험성평가 기법의 상호 보완점을 고려해 평가 기법을 선정할 필요가 있다.

### 2.2 제철공정 위험의 일반적인 특성

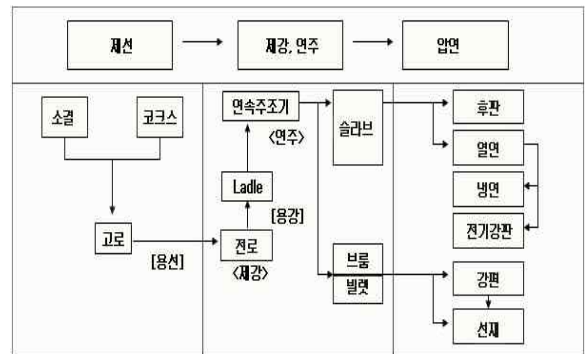
철강 제조사업장의 위험분석을 위해서는 제철공정 특성 파악이 선행되어야 한다. <그림 1>은 일관제철소 제철 공정의 전체 흐름도를 나타낸 것이다. 일관제철소의 제철생산 공정은 크게 제선공정, 제강 및 연주공정, 압연공정으로 나뉜다.

제선공정은 소결공장에서 철광석과 분광석을 사전 처리하여 만든 소결광과 코크스공장에서 건류한 코크스를 고로(용광로)에 장입한 다음 열을 가하여 철광석을 녹여서 용선을 만드는 공정으로 주요 설비로는 고로본체와 원료장입 설비가 있으며 열풍로, 가스청정설비 등의 부속 설비가 있다.

제선 공정은 1,650°C 이상의 고온의 용융물을 취급하고 있고 제선 공정의 핵심설비인 고로의 본체 높이는 보통 50m 이상으로 공정 특성상 고소작업을 수반한다.

제강공정은 크게 제강공정과 연주공정으로 나눌 수 있다. 제강공정은 고로에서 생산된 용선과 고철 및 부원료를 전로에 장입한 후 산소를 불어넣어 용선 중의 불순물을 제거시키고 필요한 성분을 첨가시켜 목표성분과 적정온도의 용강을 만드는 공정이다. 주 설비로는 용선 예비처리설비, 전로, 노외정련 설비 등이 있다. 연주공정은 제강공정에서 생산된 용강을 주형(Mold)에 주입하고 연속적으로 인발하면서 냉각시켜 반제품 슬래브(Slab), 블룸(Bloom), 빌레트(Billet)를 제조하는 공정이다.

제강공정은 철의 성질을 결정하는 첨가물로 인해 인체에 유해한 가스가 발생하고 취급설비 또한 제선공정과 마찬가지로 중후장대하여 고소 작업을 수행하게 된다.



<그림 1> 일관제철소 제철 공정 흐름도

마지막으로 압연공정은 연주공정에서 생산된 반제품을 열연, 후판, 선재공장으로 이송시켜 재가열한 후 열간 압연기에서 소정의 형상 및 치수를 갖는 제품을 생산하는 공정으로 제강공정에서 만들어진 슬라브, 브룸, 빌렛 등의 반제품을 얇게 펴거나 길게 늘이는데 사용하는 롤에 의한 협착 위험을 수반하고 취급설비 또한 고소, 고온의 설비가 많다.

이처럼 제철 생산공정은 다른 산업의 생산 공정과 달리 고온의 용융물을 취급하고 고소작업이 많으며 세부 공정 또한 매우 복잡하다. 따라서, 생산 공정상에서 잠재하는 위험성의 종류도 매우 복잡, 다양하고 사고 발생 시 중대재해를 일으킬 가능성이 큰 잠재위험 요인들이 많다.

이러한 공정상의 특이성 때문에 작업자에게 수반되는 행동이 다른 산업과는 다른 특징을 지니고 있고 여타 산업에서 찾기 어려운 작업내용도 많아서 작업표준의 내용도 일반적인 산업의 작업표준과는 차이가 있다.

따라서, 철강 제조 사업장 잠재위험을 찾아내기 위해서는 제철 공정의 이와 같은 특이성을 충분히 고려하여야 한다.

### 3. 위험성평가 시스템 개발

#### 3.1 목적

사업장의 잠재위험을 도출하기 위한 정성적 위험성평가 도구로 HAZOP 이 널리 사용되고 있다.

철강 제조 사업장에서 HAZOP을 이용하여 정성적 위험성평가를 하기 위해서는 철강제조 사업장의 작업표준 분석과 철강 사업장에서 근무하는 직원의 행동특성을 연구하여 철강 제조 사업장 실정에 맞는 방법으로 적용하여야 한다. 정성적 위험분석 도구인 HAZOP을 제철 사업장에 사용하기에는 철강제조 사업장 특성상 변수와 가이드워드에서 부터 차이가 나고 이탈원인도 동일하게 적용하기가 어렵다. 또한, 사고 발생 가능성과 위험등급 선정도 타 산업에서 적용하는 HAZOP 방법을 그대로

적용하기에는 철강 제조 공정의 특이성 때문에 적지 않은 한계가 발생한다. 더구나, 최근 지속적으로 고령화 추세에 접어들고 있는 국내 제철 산업에서는 근속연수가 높은 근로자들의 잘못된 관행에서 기인한 잠재위험요인도 추출할 필요가 있지만 기존의 HAZOP 기법에서는 이러한 문제점을 고려한 방법론을 구체적으로 제시하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 철강 제조 사업장에 적합한 위험성평가 시스템을 개발하여 국내 일관 제철소를 대상으로 적용한 사례를 제시하고 그 실효성을 검토하고자 한다.

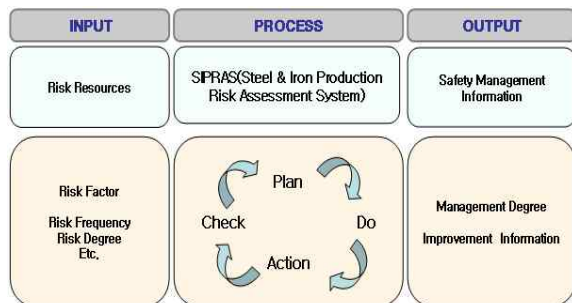
#### 3.2 연구방법 및 내용

철강 제조 사업장에 적합한 위험성평가 시스템 개발을 위하여 다음과 같은 과정을 거쳤다.

- 1) HAZOP 기초 자료수집
- 2) 철강 제조 공정의 위험 특성 조사
- 3) 전문가 집단 브레인스토밍을 통한 개선안 도출
- 4) 철강 제조 사업장 적용 위험성평가 시스템 구축
- 5) 적용 및 평가

철강 제조 사업장에 적합한 위험성평가 시스템을 구축하기 위하여 우선 HAZOP의 기초자료를 수집하였다.

자료 수집은 일반적인 위험성평가 기법을 정성적 기법과 정량적 기법으로 분류한 후 HAZOP의 최근 동향 조사를 수행하여 주요내용을 정리하였다. 주요한 내용은 본 고의 2.1 에 정리하였다. 다음으로 철강 제조 공정의 위험 특성에 대하여 조사하였다. 조사 방법은 국내 일관제철소인 P사의 안전관계 업무 담당자 11명을 대상으로 개별 인터뷰를 실시하여 철강 공정에서 발생하는 일반 위험요인을 정리하였다. 인터뷰 대상자는 철강 산업 근무경력 10.4년이고 전원이 산업안전기사 및 건설안전기사 등의 안전기술 자격을 보유한 전문가 집단이다. 수집된 정보를 토대로 제철 산업의 위험요인에 대한 일반적인 특성에 대하여 토론한 결과를 정리하였다. 이 때 도출된 주요한 내용은 본 고의 2.2에 정리하였다. 이 후 인터뷰 대상자와 동일한 집단을 대상으로 철강 제조공정에 적용할 수 있는 정성적 위험성평가 방법에 대한 아이디어 도출 회의를 회당 3시간 내외로 총 4회에 걸쳐 실시하였다. 이 때 도출된 위험성평가 시스템 개발의 개념도는 <그림 2>와 같다. 아이디어 도출 회의를 통한 개선방안 중 철강 제조 사업장에서 위험성평가를 제대로 수행하기 위해서는 HAZOP의 기



<그림 2> 철강 제조 사업장 위험성평가 시스템 개념도

법을 근간으로 잘못된 관행을 포함하여 부서별 작업표준서를 기준으로 공정과 검토구간을 설정하고 변수와 가이드워드를 조합하여 발생빈도와 피해 정도로 관리 등급을 설정하여야 한다는 의견이 제시되었다.

‘잘못된 관행’이라 함은 오랜 경험에 의해 습관적으로 이뤄지는 불안정한 행동을 말하며 조직 구성원 전원의 적극적인 참여가 없이는 개선하기 어려운 특징이 있다. 토의 내용에 기반하여 철강제조 사업장의 위험성평가 시스템 개발을 위한 기초 자료로 활용할 수 있도록 잘못된 관행을 포함하여 철강 산업에서 발생할 수 있는 변수와 가이드 워드를 선정하여 <표 1>과 같이 정리하였다.

<표 1> 철강 제조 사업장 HAZOP 적용을 위한 변수와 가이드 워드

변수	가이드 워드
가스누출 / 체류	가연성가스 / 독성가스(CO) / 독성가스(기타) / 질식성가스(질소등) / 기타
감진	감진발생
잘못된 관행	잘못된 관행
조작	조작지연 / 조기조작 / 조작생략 / 역행조작 / 부분조작 / 다른조작 / 기타 오조작
추락, 개구부	추락 발생
과열	과열 발생
협착, 협착점	협착 발생
유량	HIGH FLOW / LOW FLOW / NO FLOW / BACK FLOW / WRONG AMOUNT / ADDED COMPONENT / WRONG COMPONENT
압력-공정 분야	HIGH PRESS / LOW PRESS / VACUUM
힘, 무게-전기, 기계 분야	붕괴, 도괴 / 힘 증가 / 힘 감소
온도-공정 분야	HIGH TEMP / LOW TEMP
온도, 열(기계, 전기 분야)	고온, 고열 / 온도증가 / 냉동
교반	TOO MUCH / TOO LITTLE
레벨	HIGH LEVEL / LOW LEVEL / NO LEVEL
반응	HIGH RATE / LOW RATE / NO REACTION / DECOMPOSE / INCOMPLETE / SIDE REACTION / WRONG REACTION
시간	지연 / 단축 / 생략
성분, 구성	HIGH COMPOSITION / LOW COMPOSITION / NONE / EXTRA COMPOSITION / WRONG COMPOSITION
상태	TOO MANY / TOO FEW / SINGLE /

	INVERSION / EMULSION
추가	TOO MUCH / TOO LITTLE
혼합	TOO MUCH / TOO LITTLE / NONE
끼임점	끼임 발생
물림, 물림점	물림 발생
미끄럼	미끄럼 발생
부식	부식 증가
분진	분진 증가
불균형	전도 / 불균형 증가
소음	소음 증가
유해 광선	유해 광선 발생
유해 냄새	유해 냄새 증가
이송/회전속도	속도 증가 / 속도 감소 / 속도 없음 / 반대이송·회전
자체절단	낙하, 비래
작업자세	무리한 동작 / 나쁜 자세
절단점, 절단	절단 발생
정전	정전 발생
정전기	정전기 발생
진동	진동 증가
충돌	충돌 발생
회전 말림점	말림 발생
회전반경	큰 반경 / 적은 반경

이러한 과정을 거쳐 개발한 위험성평가 시스템 운용의 개념도는 <그림 3>과 같고 위험성평가 결과에 대한 등록 화면은 <그림 4>와 같다.

### 3.3 위험성평가 시스템 운용

<그림 5>는 개발된 철강 제조 사업장 위험성평가 시스템의 운용 절차이다. 개발된 위험성평가 시스템을 사용하여 위험성평가를 수행하기 위해서는 우선 평가 대상 작업표준을 선정하여야 한다. 작업표준이 설정되어 변경관리를 주기적으로 수행하고 있는 사업장에서 작업표준을 사용하여 위험성평가를 실시하면 전문가의 도면검토 없이도 검토구간과 위험요인을 수월하게 선정할 수 있다. 이때 반 단위 해당 작업표준 분류하고 과·공장 전체의 작업표준을 반 단위로 해당되는 표준으로 나눈 다음 작업 표준별 공정 및 검토구간을 결정하고 작업표준서를 기준하여 공정 및 검토구간을 정한다. 이후 장치, 설비, 작업명을 선정하는데 조업부서에서는 공정별 검토구간 내 현재 설치되어 운용되는 모든 설비와 장치를 포함하고 정비부서에서는 작업표준서 상의 요소작업 내 작업명을 포함 시킨다. 다음으로 변수 및 가이드워드의 조합하는데 이때 장치, 설비, 작업명에 대해 잠재된 물리량인 변수 및 변수의 질이나

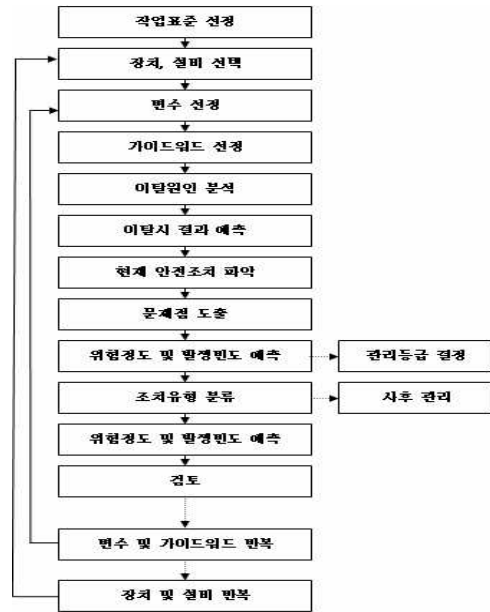
양에 대한 가이드워드를 결정하여 선택한다.

이 과정은 기존 HAZOP 에서 검토구간을 선정하기 위해서는 일반적으로 사용하는 P&ID(계장 도면) 검토를 대체할 수 있는 절차이다.

다음으로 해당 반에서 평가한 결과를 다른 조 및 정비관련자에게 검토 요청하는 단계이다. 이 단계에서는 검토구간별 장치, 설비에 대한 잠재위험요인을 빠짐없이 분석하고 위험성평가 대상자 전원이 참가하여 위험요인을 도출한다.

이 때 도출해야 하는 잠재위험요인은 장치, 설비별 변수와 가이드워드를 조합한 위험요인 및 근로자의 불안정한 행동으로 인한 위험요인, 작업방법에 의한 위험요인, 잘못된 관행에 대한 위험요인 등이다.

위험요인 도출은 위험성평가 대상자로 선정된 전원이 참가하여야 하며 재해사례, Near Miss, 경험 등을 토대로 ‘재해로 발전할 작업상 위험은 어떤 것이 있는가?’, ‘재해를 당할 가능성이 있는 대상은 누구인가?’, ‘재해는 어떤 원인과 경로로 발생하는가?’ 등을 도출한다. 도출한 위험성평가 결과는 상세하게 다음의 내용을 기록한다.

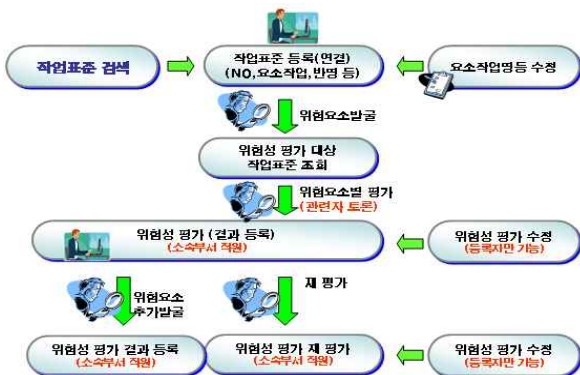


<그림 5> 제철 사업장 위험성평가 시스템 운용 절차

- 1) 이탈(Deviations)원인: 공정변수와 가이드 워드를 조합하여 정상운전에서 벗어난 상태가 되는 원인
- 2) 이탈시 결과: 이탈로 인하여 발생할 수 있는 안전, 품질, 생산, 환경 등에 대한 이상 현상
- 3) 현재 안전조치: 해당 설비, 장치, 작업방법 등에 대한 현재 안전조치 상태
- 4) 문제점: 해당 설비, 장치, 작업방법 등에 대한 안전상의 문제점
- 5) 개선조치(계획) 내용: 문제점에 대한 최상의 조치계획
- 6) 개선조치 유형: 개선조치(계획)에 따른 유형
  - 현장조치: 안전교육, 훈련, 순찰, 점검
  - 사후조치: 작업표준 제·개정, 안전시설물, 장비, 표지보완, 작업환경개선, 비상대비계획수립, 기타
- 7) 기타: 위험정도, 발생빈도를 고려한 관리등급
- 8) 분임토의 회의록

<표 2> 시스템 평가자의 일반적인 특성

구분	빈도	평균	표준 편차
소속(직위)	안전주관부서 직원		
	안전주임		
	Line 주임		
	Line 반장		
나이		42.23세	4.06
근무기간		24.07년	4.23
과거 위험성평가 수행 횟수		7.32회	7.16
PC 활용능력 (자가진단-10점 만점)		5.87	1.12



<그림 3> 제철 사업장 위험성평가 시스템 운용개념도

<그림 4> 제철 사업장 위험성평가 결과 등록 화면

<표 3> 시스템 사용자 만족도

사용자인터페이스 만족도 분류	평균	표준 편차	최대 값	최소 값
시스템 전반적인 느낌	6.73	1.12	9.0	3.0
시스템 화면	6.48	1.24	8.5	2.0
사용 용어와 정보	5.10	2.81	8.5	2.5
사용법 배우기	5.26	.98	9.0	1.5
시스템 성능	7.34	.87	9.0	3.0
Total	6.18	1.40	8.8	2.4

\* 9점척도 사용(최대 값: 9점, 최소 값: 1점)

개선대책을 수립할 때 위험은 근원적으로 제거하거나 대체될 수 있는 것으로 수립하고 위험도가 높은 순으로 개선대책을 수립하며 합리적이고 실행 가능한 대책으로 계획을 수립한다.

또한, 개선대책은 현재의 안전조치를 고려하여 구체적으로 수립하고 개선대책 조치 후 관리등급은 허용할 수 있는 범위로 개선하며 개선(조치) 유형별 사후관리 연계 추적관리가 가능토록 한다. 마지막으로 위험성평가에서 검토 요청한 평가결과에 대해 검토자의 의견이 있는 경우에는 처음 평가에 참여한 모두가 모여 의견에 대한 충분한 토론 후에 평가내용을 수정하여 다시 검토요청을 한다.

### 3.4 위험성평가 시스템 만족도 조사

개발된 제철 사업장 위험성평가 시스템에 대한 사용자 만족도를 조사하였다. 조사 대상은 P사에 근무하는 직원 188명이고 과거 위험성평가를 수행한 경험이 있는 직원만을 선별하였다. 시스템 평가자의 일반적인 특성은 <표 2>와 같다. 조사방법은 9점 척도를 사용하여 사용자 인터페이스에 대한 만족도를 크게 5개 문항으로 나누어 질문하였다.

시스템 만족도 조사 결과는 <표 3>과 같다. 시스템 전반적인 느낌, 시스템 화면, 사용 용어와 정보, 사용법 배우기, 시스템 성능에 대한 설문 결과 평균 6.18±1.40으로 비교적 높게 나왔다.

### 3.5 적용 및 토론

개발된 제철 사업장 위험성평가 시스템을 운용 절차대로 국내 일관제철소인 P사 제선공정의 고로설비 중 고로 본체와 원료 이송설비에 적용하였다. P사는 '07년 12월 현재 3,280만톤의 조강생산량을 기록한 바 있는 일관 제철소로 국내 제철 산업을 대표하는 최대 조강

생산 능력을 보유하고 있는 업체이다.

적용 대상 공정인 제선공정은 가연성 가스 및 유독성 물질을 저장 및 취급하는 공정으로써 조업상의 잠재 위험요인에 대한 상당한 주의가 필요하다. 평가자에게는 사전에 위험성 분석에 대한 주안점을 다음과 같이 선정하였다.

- 1) 위험성 및 조업성에 문제를 일으킬 수 있는 설비적 측면, 관리적 측면, 인적 측면의 잠재요인 발견
- 2) 안전성 및 조업성 향상을 위한 개선사항의 수립
- 3) 공장의 설계원리와 운전관련 교육 프로그램 개선
- 4) 운전지침 및 절차상의 개선
- 5) 비상대응조치계획에 반영

시스템 운용 절차대로 위험성평가를 수행한 후 분석된 시나리오의 중요도 및 시급성을 표시하기 위하여 위험등급을 5등급으로 나누었다. 이는 국내의 안전관련 규제기관은 물론 여러 선진기업에서 제시하는 방법이다. 제선 공정의 고로설비에 대한 위험성평가 결과 위험등급 1,2는 발견되지 않았고 안전성, 조업성의 개선을 위한 제언이 87건 도출 되었다. 이 중 대표적인 잘못된 관행은 <표 4>에서 보여지는 바와 같다.

<표 4> 잘못된 관행 도출 결과

순번	잘못된 관행 발굴 내용	대책 선정 결과
1	상승관 보수 작업시 근거리 이동 중 안전벨트 착용을 생략하여 추락 위험	상승관 보수 작업 중 근거리 이동시에도 반드시 안전벨트 착용
2	지하 Pump실 점검 작업시 어두운 상태에서 작업하여 충돌 위험	지하 Pump실 작업시 충분한 조명 확보 후 작업 실시
3	가스 분배실 출입시 1인 출입으로 인한 질식 사고 위험	가스 분배실 작업은 반드시 2인 1조로 실시하고 가스검지기를 휴대하여 가스농도 측정 후 출입
4	벨트 콘베이어 교체 작업시 적정공구 미사용으로 협착 위험	벨트 콘베이어 교체 작업시 적정 공구를 사용
5	COAL HOPPER 막힘 청소 작업시 TBM 생략 후 작업으로 전도, 추락 등 위험	간단한 청소나 주유 작업시에도 반드시 TBM을 실시하여 위험요소 제거 후 작업 실시



개발된 위험성평가 시스템의 실효성에 대해 위험성 분석 토론회를 실시하였다. 토론 대상자는 HAZOP 기법을 사용해 본 경험이 있는 P사 안전관련 업무 관계자 11명이다.

토론결과 개발된 제철 사업장 위험성평가 시스템을 적용하였을 때 기존의 HAZOP에서 잘못된 관행 도출할 수 있어서 보다 세밀한 위험요인을 도출할 수 있었다라는 의견으로 모아졌다.

특히, 국내 철강 과 같이 근속 연수가 높은 에서 근무하는 근로자들에게는 일시적인 불안정한 행동보다 기존의 잘못된 관행으로 굳어진 행동에 기인한 잠재위험요인이 많아서 제철에 적용할 수 있는 실효성에 대해 높이 평가하였다.

#### 4. 고찰

Rasmussen[11]은 사람의 행동은 인지적 3단계에 지배를 받고 있는 가정에서 출발하여 시그널, 심볼, 사인 등 세 가지 개념에 근거하여 설명하였다. 즉, 기능베이스, 규칙베이스, 지식베이스를 기반으로 행위를 수행한다고 하였는데 이 중 기능베이스 행위는 한번 그 행위를 작동시키는 시그널이 있으면 의식적인 컨트롤 없이도 자동적으로 최종 목표까지 진행하는 특징이 있다(Signal-driven).

이것은 대부분 숙련자의 행위 특징이거나 습관화된 행위의 특성이다.

이러한 행위는 감각계를 통한 초기 자극에 대해 특징(Sign)을 추출하여 지식으로 저장하는 과정이 선행되어야 한다. 이러한 습관화, 숙련화가 잘못된 것이라면 초기 자극을 수정할 필요가 있다.

규칙기반 행위는 특정 목표를 지향하는 행위(Goal-driven)로 어떤 목적을 달성하기 위해 필요한 규칙을 만들고 최종적인 행위에 도달하는 것이다. 규칙베이스 행위는 감각이 입력되면 이전 경험의 검색을 통해 동일한 것임을 재인식하고, 요구되는 과제와 연합을 형성한다. 이후 과제 해결을 위해 장기기억에서 필요한 규칙들을 검색하고 행위를 실행하게 된다. 규칙베이스 행위는 의식적인 조절이 가능하고 반복을 통해 기능베이스로 변할 수 있는 특징을 갖고 있다.

지식베이스 행위는 눈앞의 사태에 대해 적극적인 모델을 형성해가며 대응하는 행위이다 (Model-driven).

이러한 경우 감각입력 시에 반드시 사태에 대한 해석을 하게 된다. 대부분 낯설거나, 주어진 과제가 풀기 힘든 경우에 이러한 과정을 거치게 된다.

이와 같은 인간행위 중 기능기반 행위에 대한 에러는 대부분 숙련자의 습관화된 특성에 기인하므로 잘못된 관행으로 기인한 에러와 상통한다.

Rasmussen[12]에 의하면 기능기반 행위를 수정하기 위해서는 초기 자극에 대한 정보를 수정하여 지식으로 저장하게 하여야 한다고 하였다. 본 연구의 정성적 평가에 의해 도출된 잘못된 관행에 대해서는 주기적인 전과교육을 하거나 잘못된 관행 고치기 결과에 대한 자발적인 윤독회 통해 잘못된 초기 정보에 대한 지식을 수정할 필요가 있다.

A.D. Swain과 H.E. Guttman[1]은 휴먼에러를 심리학적으로 생략에러, 시간적 에러, 수행에러, 순서에러, 불필요한 수행에러로 분류하였다. 이 들에 의하면 인적 오류는 하나의 요인만이 작용하는 것으로 보이지만 보통 여러 종류의 요인들이 상호 작용하여 발생하게 된다.

잘못된 관행 또한 여러 종류의 요인이 상호 작용하여 발생하므로 하나의 작업표준에 대해 가급적 도출할 수 있는 인적 요인뿐만 아니라 상황적 요인까지 모두 도출하여 잘못된 관행을 고칠 수 있는 최적 안을 토론을 통해 도출할 필요가 있다.

본 연구에서 제시한 제철 사업장 적용 위험성 평가 시스템 적용결과 HAZOP 기법 수행과정에서 잘못된 관행을 포함하여 정성적 위험을 도출하는 과정을 수행하게 되면 동일 공정이라 할지라도 작업표준이 다른 공정에서 서로 다른 공정의 잘못된 관행을 공유할 수 있어서 보다 안전한 작업방법으로의 개선이 가능해진다는 점을 발견할 수 있었다.

#### 5. 결론

HAZOP의 기법을 근간으로 철강 제조 사업장의 잘못된 관행을 포함하여 부서별 작업표준서를 기준으로 공정과 검토구간을 설정하고 변수와 가이드워드를 조합하여 발생빈도와 피해 정도로 관리등급을 설정하고 개선함으로써 위험수준을 허용할 수 있는 범위 내로 끌어내리는 과학적 시스템적 평가기법을 개발하고 철강 제조 사업장에 적용한 후 성과를 분석하였다.

개발된 제철 사업장 위험성평가 시스템을 적용하였을 때 기존의 HAZOP 기법에서 극복하기 어려운 점인 다수의 전문가 참여가 요구 되는 점을 보완하여 일반 작업자들도 작업표준서 검토만으로도 쉽게 위험성평가를 수행할 수 있는 장점이 있었으나 작업표준이 설정되어 있지 않거나 변경관리가 주기적으로 수행되지 않은 사업장에서는 적용하기 어려운 한계가 있었다. 작업표준이 설정되어 변경관리가 주기적으로 수행되고 있는 사업장에 사업장 실정에 맞도록 수정하여 사용하면 활용범위가 크리라 생각된다.

또한, 위험성평가 과정에서 잘못된 관행을 도출하여 개선

기회를 마련할 수 있어서 보다 효과적인 잠재위험요인의 분석이 가능했다. 개발된 제철 사업장 위험성평가 시스템은 철강 제조 사업장뿐 아니라 한 공정에서 장기간 근무하는 작업자가 많아서 잘못된 관행의 유발 가능성이 큰 사업장에서 적용하였을 경우 유용성이 매우 크리라 기대된다.

## 6. 참고 문헌

- [1] A.D. Swain, & H.E. Guttman, "HandBook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application (NUREG/CR-1278)", 1983.
- [2] Atkinson D., "Hazard Identification and Risk Analysis for Oil and Gas Production Facilities", PSLM 1995 Conference Pre-Print-Toronto, Institute for Research, Waterloo Canada, 1995.
- [3] Bird, F.E. and Germain., "G.L. Damage Control", New York: Am. Mbmt Ass, 1966.
- [4] Curtis S., "Safety & Total Quality Management", Professional Safety, Vol. 40, No. 1, American Society of Safety Engineer. 1995.
- [5] Frank P. LEES., "Loss Prevention in Process Industries", Butterworth & Co(Publishers) Ltd, 1980.
- [6] Frank P. Lees., "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworth & Co. Ltd, 1980.
- [7] HW. Heinrich, "Industrial Accident Prevent", Macgraw-Hill, New York, 1981.
- [8] Harry H. Harman., "Morden Factor Analysis", The University of Chicago Press, chap. 4, 1976.
- [9] HSE., "Successful Health & Safety Management", Health & Safety Executive, HMSO, London. 1991.
- [10] ICRP., "Risks Associated with Ionizing Radiations", Annals of the International Commission of Radio logical Protections 22, 1991.
- [11] Rasmussen, J., "Risk Management in a Dynamic Society: A Modeling Problem", Safety Science, Vol27, PP183~213, 1997.
- [12] Rasmussen, J., Klein, G., Orasanu, R., "Decision Making in Action: Models and Methods", Norwood, pp.158~171, 1993.
- [13] Reason, J., "Human Error", Cambridge, U.K: Cambridge University, 1990.
- [14] Reason, J., "Errors, Outcoms and Circumvention: a Reply to Dougherty", Reliability Engineering and System Safety Vol.46, pp297~298, 1994.
- [15] Reason, J.T., "Lapses of attention", In R. Parasuraman

& R. Davis (eds.), Varieties of attention, New York: Academic Press, 1984.

- [16] 김민준, "생산성 향상을 위한 작업 위험성평가 기법 개발", 명지대학교 공학과 석사학위 논문, pp.12~48, 2007.
- [17] 백승현, "석유화학 공장에 적합한 준-정량적 위험성평가(S-HAZOP) 기법 개발" 서울대학교 산업대학원 석사학위 논문, pp.22~36, 2007.
- [18] 성호경, "제조업에 대한 안전성평가시스템 모델 구축에 관한 연구", 안전경영과학회지 제5권 제2호, pp.11~26, 2003.6.

## 저 자 소개

### 홍성만



이주대학교 산업공학과에서 박사 과정을 수료하였고, 현재 POSCO 포항제철소 안전팀에 재직 중 이다. 주요 관심분야는 산업안전, 인간공학 등이다.

주소: 경북 포항시 남구 괴동동 1번지 POSCO 안전팀

### 박범



이주대학교 산업공학과를 졸업하고 OHIO Univ.에서 Industrial & Systems Eng. 석사학위를 취득하였다. IOWA STATE Univ.에서 공학박사 학위를 취득하였고, 현재 이주대학교 산업공학과에서 정교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 HCI, Human Factors 등이다.

주소: 경기도 수원시 팔달구 원천동 이주대학교 산업공학과

### 선수빈



현재 한동대학교 상담심리학과 석사과정에 재학 중이고, 주요 관심 분야는 산업심리, 인간공학 등이다.

주소: 경북 포항시 남구 지곡동 그린아파트 112동 501호