

QFD를 활용한 안전기능 전개에 관한 연구

- A Study of Safety Function Deployment for Using QFD -

김건호 *

Kim Geon Ho

김윤성 *

Kim Yoon Sung

권상면 **

Kwon Sang Myun

이강복 **

Lee Gang Bok

박주식 **

Park Joo Sik

강경식 **

Kang Kyong Sik

Abstract

We achieved a quantitative economic growth through rapid developed in 1970' and 1980'. It was confronted after IMF crisis that we needed to improve the past economic policy and the industrial structure.

In line of that, the problem of the industrial structure like huge accidents of 1990' converted the recognition of safety. And to improve the conversion, the research of a safety management was needed.

In this paper, we thought 4M1E(Man, Machine, Method, Material, Environment) as the cause of accident using the principal of process, assuming that output is accident.

Applying 4M1E to the structure of QFD(Quality Function Deployment), we propose the safety function deployment, which has the flow line as followed; demand safety, safety characteristic, direct cause, 4M1E and safety management.

* 안산공과대학 교수

** 명지대학교 산업공학과

1. 서론

산업재해 예방과 작업환경을 개선하고자 하는 정책당국과 기업의 적극적인 노력으로 우리나라의 산업 재해율은 선진국 수준인 1% 이내로 감소되고 있으나, 이러한 노력에도 불구하고 사망 재해 등 중대재해는 감소되지 않고 있는 실정이다. 이는 산업기술의 발달로 인하여 유해·위험한 물질의 사용이 증가되고 생산설비가 대형화·자동화·복잡화 또는 시스템화 됨으로 인하여 재해도 시스템 재해가 많고, 또한 건설재해가 감소되지 않고 있기 때문이다.

전체 산업 재해의 3/4을 차지하는 건설현장의 추락이나 일반 동력기계에 의한 협착사고 같은 단순 반복 재해는 근로자의 안전지식이나 안전실천의지 그리고 안전을 중요하게 생각하는 안전의식의 부족이 주요 원인이고 시스템 재해의 경우에는 시스템 중에 잠재된 위험을 찾아내는 방법과 그 위험을 찾아서 위험의 발생 가능성이 얼마나 되는지에 관한 평가를 실시하여 이를 기본으로 위험을 제거하거나 위험을 관리하고 피해를 극소화하는 대책을 세워야 하나 이러한 구조적인 안전관리의 부족에 기인한 것이 많다.

그래서 단순 반복 재해나 시스템재해를 방지하기 위해서는 사업주나 근로자 모두 안전의 중요성을 인식하고 위험성을 평가하여 본질적으로 안전한 설비로 안전하게 작업하는 방법론과 현자의 기술이 조화를 이루어 근본적이고 구조적이며 기술적인 안전관리가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 공정시스템의 공정의 원리를 이용하여 결과물(Output)을 사고로 했을 때, 투입물인 4MIE(Man, Machine, Method, Material, Environment)를 사고의 기본원인으로 제시하고, 이를 바탕으로 품질관리기법인 QFD(Quality Function Deployment)의 틀을 적용시켜 요구안전, 안전특성, 직접원인(불안전한 상태와 행동), 기본원인(4MIE), 안전관리 활동에 이르기까지 단계별 순차적인 연계를 통하여 안전사고 예방을 위한 안전관리시스템 설계의 기본이 되는 안전기능 전개(SFD: Safety Function Deployment)를 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

서론에서 언급했듯이 산업화가 발전하면서 안전의 중요성과 관리방안에 관련한 많은 연구들이 진행되어왔다.

2.1 사고이론

1) H.W.Heinrich이론: 'Domino 이론'으로 재해의 발생과정을 5단계로 나누어 정리하였다. 1단계: 사회적 환경 및 유전적 요소, 2단계: 개성, 3단계: 직접원인(불안전 행동과 불안전 상태), 4단계: 사고, 5단계: 재해로 연결되어진다고 하였다. 이 중에서 재해예방

을 위하여 가장 주의 깊게 관리하여야 할 대상은 3단계인 직접원인(불안전 행동과 불안전 상태)이다. 불안전한 행동의 원인은 생리적 원인, 심리적 원인, 교육적 원인, 환경적 원인으로 나누며 물리적 요소로는 환경과 조건으로 대별할 수 있다. [3] [14]

2) Frank Bird's 이론: 사고발생 과정을 5개의 손실 제어 요인이 연쇄반응을 일으키면서 손해가 발생된다는 것으로 손해->손해->손실이 일어나기 전에 “사고, 접촉”이 먼저 일어났고, 그 이전에 직접원인이 되는 “징후”가 나타나며, 직접원인은 기본원인인 “기원”이 있었고, 기본원인은 통제의 부족에 의한 “관리의 부재”가 있었던 탓이라는 것이다. [3] [14]

3) Edward Adams 이론: 도미노 연쇄이론과 같은 이론을 제안하였는데 애덤스의 사고연쇄반응이론은 다음과 같다. 네 번째와 다섯 번째의 도미노인 사고와 손해 또는 손실을 버드와 같은 관점에서 보았지만 직접원인을 불안전한 행동의 특성에 달려 있는 것으로 보고, 전술적 에러(tactical error)와 작전적 에러로 구분하여 설명하였다. [4]

4) D.V.Weaver 이론: 불안전 상태나 불안전 행동, 사고, 손해는 모두 운영 과오의 징후일 뿐이라고 주장하여 ‘어떤 것이 불안전 상태이며 불안전 행동인가’, ‘왜 불안전 행동이나 불안전 상태가 허용 되는가’, ‘관리감독자는 사고방지를 위한 지식을 가지고 있는가’ 여부를 중심으로 문제 해결을 도모해야 한다고 하였다. [14]

5) Michael Zabetakis 이론: 재해의 원인과 결과에 대한 이론을 제안하였다. 직접원인은 과도한 양의 에너지 및 위험한 물질의 예기치 못한 이탈이라는 생각을 도입하여 재해가 에너지의 예기치 않는 이동 또는 이탈에 의해서 생긴다는 생각으로 현재에 이르러서는 많은 인과이론의 일부로 되어있다. [14]

6) Bob Firenze 이론: 사고 발생 모델은 사고의 시스템모델 이론으로서 모든 노동자는 인간-기계시스템(man-machine system)이라 하는 네트워크(network)의 한 부분으로서 일을 하고 있는데 그 시스템은 물리적인 장치와 사람과 환경으로 되어 있고, 제품이나 과업의 성취를 이룩하도록 설계되어 있다고 주장하였다. [14]

7) Hugh Dougless 이론: “층계계단의 원인과 연쇄의 결과(stair cause and effects sequence)”라는 제목의 기사를 그의 책에 게재하였는데, 이것을 계단모델이라고 하며, 사고는 논리적 단계를 따라서 일어난다고 주장하였다. [2]

8) 기델의 안전룰렛게임: “미국의 안전룰렛게임(American Safety Roulette)”이라는 논문을 통하여 작업장에서 왜 사고와 재해가 발생하는지를 설명하였다. [2]

9) 그로스의 다중요인이론: 사고를 야기 시킬 수 있는 4M(Man, Machine, Media, Management)을 주장하였다. 여기서 미디어란 보행표면이나 기후조건과 같은 사고를 둘러싼 환경조건을 고려하는 것이고, 경영은 장비를 선택하고, 근로자를 교육시키고, 비교적 위험이 적은 환경을 만드는 방법에서 다른 3가지의 M요소를 고려하는 것이다.

다중요인이론은 종종 숨어 있거나 내재되어 있는 사고의 원인을 밝힐 수 있는 특정 작업장의 특성을 파악하는데 사용되며 또한 작업시에 존재하는 위험한 상황을 찾아내는 데 이용된다. [2]

2.2 시스템 위험성 평가 [8] [10] [11]

시스템(System)이란 복수개의 요소들로 구성되어 상호 유기적인 관계를 유지하면서 정해진 운용조건하에서 어떤 공통적인 목적을 위해 기능하는 집단을 의미한다.

이러한 안전을 확보하려면, 항상 시간이라든가 비용, 자원, 그리고 기술적 제약 등의 한계에 부딪히게 되므로, 이러한 요인들이 제한된 상황 하에서 소기의 목적을 달성하려면, 가지고 있는 투자비용이나 시간, 자원, 그리고 기술력을 중요한 부분에 집중시켜야 한다.

시스템의 위험성을 평가하는 데는 재해가 갖는 양면성, 즉 피해와 강도를 종합적으로 고려하여, 일반적으로는 피해규모의 기대값, 즉, 재해빈도와 재해강도를 곱한 기대 피해액(expect cost)을 리스크(risk)의 지표로 이용한다. 피해강도는 화폐액으로 표현되는 재해손실비용이고, 재해빈도란 통상 재해발생 확률을 이용하는 것이 보통이다. 발생빈도가 낮더라도 일단 발생하면 피해규모가 큰 사건, 더욱이 발생빈도까지 큰 사건이라면 문제는 더욱 심각하다.

시스템 안전의 우선순위는 최소 위험성을 위한 설계이며 이후 안전장치 채용, 경보장치의 채용 및 특수한 절차(교육, 훈련)의 순으로 진행된다. 따라서, 교육과 훈련만을 강조해 오던 재해예방 노력은 그 방향을 잘못잡고 있었던 것이다.

시스템 안전 프로그램의 내용은 조직구성과 안전 관계자의 책임, 시스템 개발과정에서의 중요한 안전업무, 분석이나 활동의 심도, 다른 생산부서 및 관리부서들과의 상관관계 등에 대하여 대체적인 윤곽을 제시한다. 그러므로 업무 계획에는 안전기준의 설정, 위험성 분석, 안전 수준의 측정과 평가, 산업안전의 추진업무, 검사절차, 시스템 운용절차 및 지침의 개발, 재해사고의 조사, 그리고 구매 및 판매 연구까지가 총 망라되는 것이 보통이다. 이 중에서 위험성분석은 시스템 안전에 대한 활동 중 핵심부분으로, 시스템의 전 수명 주기를 통해서 위험상태를 파악하고, 그것의 위험성이 정해진 수준 이하에 있는가의 여부를 확인하고 대책을 마련하기위하여 필요하다.

위험성분석 기법을 선정하는데 영향을 주는 요인은 많이 있다. 따라서 이 기법을 사용하기 전에 분석시에 크게 영향을 주는 문제점 등을 먼저 검토할 필요가 있다. 적절한 위험성 분석 기법을 선정하기는 쉽지 않을 뿐 아니라 어떤 상황에 따라 최상의 방법이 없을 수도 있다. 그러나 적절한 분석기법의 선정은 위험성분석의 성패를 좌우하는 중요한 단계이므로 분석기법 선정에 영향을 주는 위험요인을 감안하여 적절히 선정하여야 한다.

위험성평가 기법으로 체크리스트기법 안전성 검토기법, 상대위험 순위결정 기법, 예비 위험 분석기법, 사고 예상 질문 분석기법, 위험과 운전분석기법, 결합수 기법, 사건수 분석기법, 원인-결과 분석기법, 작업자 실수기법, 고장형태와 영향분석기법 등을 들 수 있다.

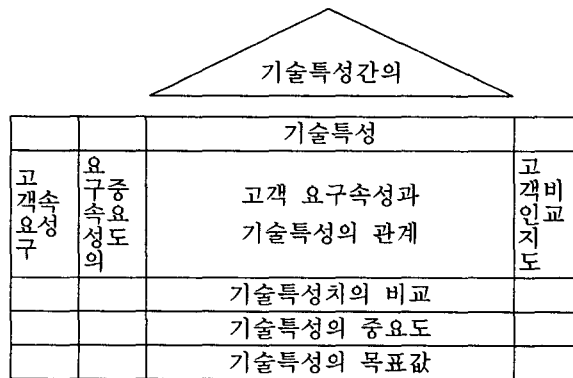
2.3 품질기능전개(Quality Function Deployment) [6]

신제품 개념정립, 설계, 부품계획, 공정계획 그리고 생산계획과 판매까지 모든 단계를 통해 고객의 요구가 최종 제품과 서비스에 충실히 반영되도록 하여 고객의 만족도를

극대화하는데 초점을 맞추고 있는 품질경영 방법론이다. QFD의 기본개념은 <그림2>와 같이 고객의 요구사항을 제품의 기술특성으로 변환하고, 이를 다시 부품특성과 공정특성, 그리고 생산에서의 구체적인 사양과 활동으로까지 변환하는 것이다.

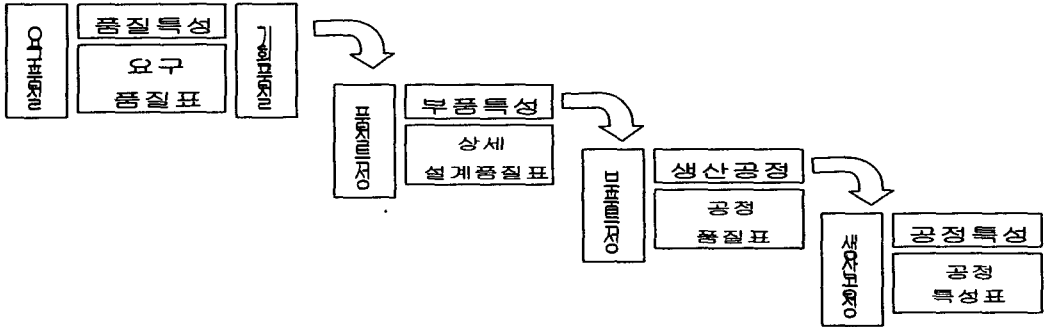
QFD는 1960년대 후반 일본의 아카오요지에 의해 연구되기 시작하여, 1972년 미쓰비시 중공업의 고베 조선소에서 원양어선 제작에 처음 개발되어 사용되었다. 행렬형태의 도표가 QFD의 시초가 되었으며, 이 도표를 <그림 1>과 같이 품질주택(HOQ: House of Quality)이라 부르기도 한다. 1970년대 중반부터 도요타와 그 부품업체들에 의해 QFD는 더욱 발전되었다. 이 외에도 일본에서는 1970년대 이후 가전, 집적회로, 건설장비, 합성수지, 섬유, 금속제품 및 소프트웨어의 개발에 이르기까지 QFD가 폭넓게 사용되고 있다. 미국에서도 1983년 FUJI-XEROX 성공에서의 성공을 계기로 1983년대 중반부터 QFD를 사용해오고 있다.

지금까지 언급한 QFD의 사례는 주로 제조업에서 수행되었던 것이나, 1980년대 후반부터는 QFD가 서비스업과 같은 비제조업 분야에서도 활발히 사용되어 오고 있다. 서비스 산업은 제공과정 자체가 최종상품이고 특히 다양한 고객 계층을 상대로 하고 있다는 면에서 제조업과는 다르다고 볼 수 있다. 그러나 고객의 요구가 신제품 개발에 최우선적으로 반영되어야 한다는 기본적인 측면은 기존 제조업의 경우와 동일하므로, QFD는 비제조업 분야에서도 효과적으로 사용되어질 수 있다. 여기에서 QFD가 그 유용성을 발휘하게 된다.



< 그림 1 > 품질표(HOQ)

고객 요구사항을 기술특성의 목표치, 즉 실현가능한 정량적인 특성치로 변환하는 것을 설명하였다. 그러나 이것만으로 고객이 원하는 제품이 만들어지는 것은 아니다. 제품이 만들어지기 위해서는 적절한 부품이 필요하며, 그 부품의 제조를 위한 적절한 공정계획과 생산계획, 나아가 각 공정에서의 적절한 작업방법이 필요하다. 이를 위해 HOQ의 연속적인 확장이 필요하다. 이와 같은 일련의 HOQ에 의해 고객의 요구속성을 기술 및 생산요구사항과 연결시킴으로써 신상품이 효율적이고 체계적으로 만들어질 수 있다.



< 그림 2 > 품질기능전개도

3. 안전기능전개의 적용사례

3.1 기업 활동에 따른 사고

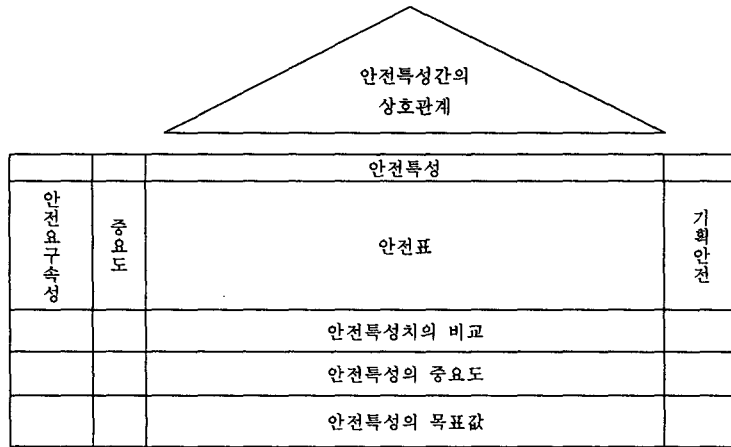
본 연구에서는 공정시스템의 공정의 원리를 이용하여 결과물(Output)을 사고로 보고, 사고의 결과 재해발생 대상을 공정에서의 투입물(Input)과 같이 보았다. 사고는 기업 활동에 의해서 발생하고 있고, 이러한 사고로 인하여 피해가 나타나는 것은 공정에서의 투입물(Input)인 4M1E이라고 볼 수 있다. 즉, 공정에서의 투입물인 4M1E는 기업 활동을 통해서 사고로 나타나고 있으며, 곧 재해발생 대상이 된다.

그리고 사고의 기본원인으로 그로스의 재해발생의 기본원인인 4M을 바탕으로 공정에서의 투입물과 재해발생대상으로 4M1E를 적용하여 사고의 피해로 나타날 수 있는 부분을 재료와 환경을 포함하여 4M1E로 본다.

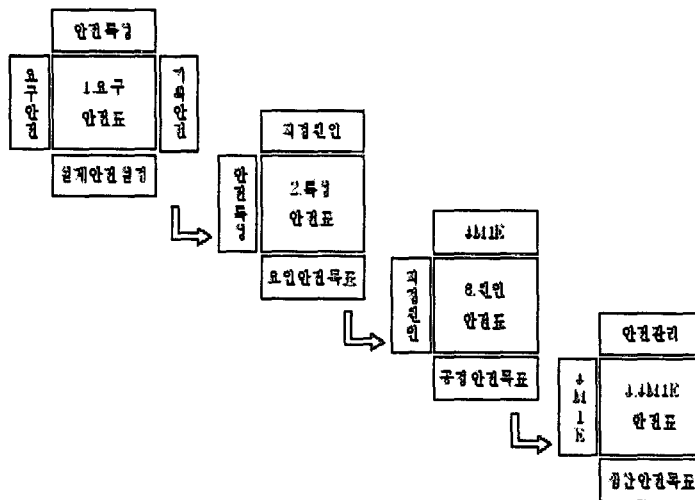
사고는 대부분 대형사고로 자연환경에 영향을 미쳐 생태계의 변화 및 불특정 다수의 대중에게 피해를 일으키고 있어 현대사회에서는 그 중요성이 강조되고 있다. 작업, 생산 활동 안에서의 사고 및 작업, 생산 활동 밖에서의 사고에 대해서 지역주민과 연관하여 사고 예방에 관한 프로그램이 개발되어 시행되고 있다. 이렇듯 현대사회에서의 사고는 더욱 다양해지며, 다양한 유해물질 등의 사용으로 인한 사고의 범위가 확대되어 질 수 있다. 그러므로 사고에 따른 재해발생대상으로 재료, 환경을 포함한 4M1E를 사용하고자 한다.

3.2 안전기능 전개 도입

안전관리시스템의 기틀을 제시하기 위한 안전관리 기능전개의 절차는 <그림 3>, <그림 4>와 같이 팀별 또는 공정별 요구안전, 재해 분류에 의한 안전특성, 사고의 직접원인에 따른 불안정한 상태와 불안정한 행동, 재해의 대상이자 사고의 기본원인인 4M1E, 안전관리 활동에 이르기까지 단계별 순차적인 연계를 통하여 안전사고 예방을 위한 안전관리시스템 설계의 기본이 되는 안전기능 전개를 제시하고자 한다.



< 그림 3 > 안전표(HOS)



< 그림 4 > 안전기능전개도

3.2.1 요구 안전표

요구안전과 안전특성의 관계는 < 표 1 >과 같이 나타낼 수 있다. 요구안전은 부서, 공정에서의 안전상태 유지를 요구하며, 안전특성은 재해 형태 분류를 근거로 하고 있다. 이와 같이 요구 안전표는 요구안전과 안전특성간의 연관성을 제시하는 표이다.

3.2.3 원인 안전표

기본원인은 공정에서의 투입물(Input)인 4M1E로 설명하였다. < 표 3 >의 원인 안전표는 직접원인과 기본원인과의 연관성을 나타내는 표이다.

< 표 3 > 원인 안전표

직접원인		기본원인		기본원인												
				Man			Machine			Method		Material			Environment	
				정	부	개인	공용	연속	단속	기존	신규	물리적	화학적	심물적	내부	외부
직접원인	불안전한 상태	설비자체의결함			△		△	⊙			⊙	○				
		안전방호장치결함			⊙	○	△	△	⊙	○						
		복장보호구결함														
		설비배치 및 작업장소불량														
		작업환경불량			△		△		△	○		⊙		⊙		
		생산공정결함			○	△	⊙	△	○	⊙	○	○		○		
	불안전한 행동	경계표시설비결함	⊙		△	○			⊙	○	△	△	○			
		위험장소접근		⊙	△	△	○		○	△	△	○	⊙			
		안전장치제거		⊙	○	○	⊙	△	○		○					
		복장보호구오사용	△	⊙							△	○			⊙	
		운전중기계장치손질		⊙	△	△		○	△	○	△					
		불안전한 속도조작		△	○	△		⊙	○					△		
유해위험물취급부주의		⊙		○		△	△	○		⊙	△	△				
불안전한 상태방치																
불안전한 자세동작																
감독 및 연락불충분	⊙	△		○		○	△		△		○			○		

3.2.4 4M1E 안전표

안전관리는 재해원인 분류 중 간접원인에 해당되는 기술적, 관리적, 교육적 원인을 나타낸다. 이를 근거로 < 표 4 >는 안전관리와 기본원인의 연관성을 제시한 표가 4M1E 안전표이다.

기본원인		안전관리		안전관리																								
				기술적						교육적						관리적												
				구동장치비량	조립부합	생명의적합	정정보불	적비문량	안전의측	안주의해	전착오	경련의측	협연의측	작업의측	업법교불문	해연교불문	위작의측	안전조결	전단작합	업칙제정	작수미	작준불	업비충	인배부당	원치적당	작지부당	업시적당	
기본원인	Man	정부	○				○	△		○	○	⊙	○	○	⊙	△		○	○		○	⊙						
		개인	△	○		△								⊙		△										△		
	Machine	공용			○				⊙	△								⊙										
		연속	○			⊙					○			△				○				○						
		단속		○							○	⊙						⊙										
	Method	기존	△		○		○	○																⊙				
		신규			○		⊙	○	○			⊙				○	△		○									
	Material	물리적	○		⊙	○			△																	△		
		화학적		⊙	○	○	○			△	△							△				○	○				○	
		심물적	△		○					⊙	△			⊙					○	○							○	
	Environment	내부		○	⊙	⊙	○				○	△										○	⊙					
		외부									○				△				○	○				⊙				

< 표 4 > 4M1E 안전표

품질기능전개의 분석과 같이 안전기능전개의 결과에서 안전관리와 기본원인과의 상관관계를 분석하면 4M1E의 개선안을 도출할 수 있고, 사고의 빈도와 정도를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

4. 결론

산업재해의 원인이 되는 사고를 예방하기 위해서는 사고의 기본원인 파악을 필요로 한다. 본 연구에서는 공정시스템의 공정의 원리를 이용하여 시스템의 결과물(Out-put)을 사고로 했을 때, 투입물(In-put)인 4M1E를 사고의 기본원인으로 설정한 시스템의 모형을 제시하였고, 이를 바탕으로 품질관리기법인 QFD의 틀을 적용시켜 요구안전, 안전특성, 직접원인(불안전한 상태와 행동), 기본원인(4M1E), 안전관리 활동에 이르기까지 단계별 순차적인 연계를 통하여 안전사고 예방을 위한 안전관리시스템 설계의 기본이 되는 안전기능 전개를 제시 하였다.

향후 정량적인 안전관리 시스템의 구축 및 단계별 안전관리 전개를 도입할 경우에는 안전기능전개의 기본 틀을 활용하여 안전관리시스템의 설계 시간을 단축할 수 있으며, 각종 업종별·공정별 보다 세부적인 분류 항목에 있어서도 적용이 가능할 것으로 사료된다.

5. 참고 문헌

- [1] 권호영외, 「(신편)산업안전관리론」 선학출판사, 2000
- [2] 김병석, 「신산업재해방지론」 형설출판사, 2001
- [3] 김병석 나승훈, 「시스템안전공학」 형설출판사, 2002
- [4] 대한산업안전협회, 「산업안전보건법」 노문사, 2002
- [5] 박성현 박영현 이명주 「통계적공정관리」 민영사, 1998
- [6] 박영택, 품질기능전개의 확장에 관한 연구, 한국품질경영학회, 1997
- [7] 박필수, 「산업안전관리론」 중앙경제사, 1999
- [8] 성호경, 「제조업에 대한 안전성평가 시스템 모델 구축에 관한연구」, 명지대학교대학원 박사학위청구논문, 2002
- [9] 윤석범, 「도금공정의 안전성평가」 호서대학교대학원 석사학위청구논문, 2001
- [10] 이내우, 이진우, 「안전성평가」 동화기연, 1997
- [11] 정국삼, 이병곤, 박재학, 신창섭, 임현교, 김두현, 한상훈, 「최신안전 공학개론」 동화기술, 2002
- [12] 한국산업안전공단(1999), 안전보건교육기법
- [13] 한국산업안전공단(1999), 안전보건경영시스템 추진실무
- [14] 허성관, 「안전관리론」 진성각, 1995

저 자 소 개

김 건 호: 현재 안산공과대학 산업경영과 부교수로 재직중이며, 성균관대 수학과에서 이학사, 이학박사 학위를 취득하고, 명지대학교 산업공학과 공학박사 학위를 취득했다. 주요관심분야는 품질경영, 신뢰성공학, 재난관리 등이다

김 윤 성: 현재 안산공과대학 토목과 부교수로 재직중이며, 중앙대 토목공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득했고. 주요관심분야는 CM, 재난관리 등이다.

이 강 복: 현재 명지대학교 산업공학과 박사과정 중이며, 서울산업대 안전공학과에서 공학사, 명지대학교 산업시스템경영학과 공학석사 학위를 취득했고. 주요 관심분야는 안전/보건 관리 등이다.

권 상 면: 현재 두원정공(주) 관리팀에 재직 중이며, 순천향대 환경보건학과에서 공학사, 명지대학교 산업시스템경영학과 공학석사 학위를 취득했고. 주요관심분야는 안전/보건 관리 등이다.

박 주 식: 인천대학교 산업공학과 공학사, 공학석사, 명지대학교 산업공학과 공학박사 학위를 취득했다. 주요관심분야는 신뢰성공학, 설비관리 등이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사.
명지대학교 안전경영연구소 소장, 산학연 컨소시엄 센터장 및
안전경영과학회 회장. 관심분야 생산운영시스템, 시스템 안전.