

실험실의 사고분석을 통한 발생빈도 및 강도의 정량적 위험성 평가 기법에 관한 연구

김종인* · 이동호** · 최순영***

*대한산업안전협회 인천지회 · **인천대학교 안전공학과

***한국환경보건안전과학연구소

A Study on the Quantitative Risk Assessment Technique about Frequency and Severity of Occurrences through Accident Analysis in Laboratories

Jongin Kim* · Dongho Rie** · Soonyoung Choi***

*Incheon Division of Korea Industrial Safety Association

**Department of Safety Engineering, Incheon University

***Korea Institute of Environmental Health & Safety Science

Abstract

In this study, with the objects of 173 institutions of university and research institutions, investigation was carried out through visit investigation and questionnaire investigation. Frequency and severity of occurrences was acquired mainly through universities and research institutions which have reported occurrences of accidents to the Ministry of Education, Science, and Technology. Quantitative danger evaluation was conducted through frequency and strength of occurrences. Case study was carried out by selecting bio science laboratory of university and as the result of this study, degree of danger among the inspection objects of bio science laboratories, laboratory work place was evaluated as the most dangerous with the scores of 155.00 and as the result of average danger level, compression gas cylinder was evaluated as the most dangerous with the scores of 6.4000.

Keywords : Danger factor, degree of danger, evaluation of danger

1. 서론

일반 산업 현장과는 달리 획일적인 규격화된 일련의 공정을 갖고 있지 않으며, 새로운 물질의 합성 및 최초의 공정개선 등 연구 종사자에게 주어진 연구과제에 따라 수시로 연구 환경이 변화하고 다양한 화학물질을

사용하는 등으로 인하여 잠재적인 위험에 노출 될 수 있다.1) 실험실 위험요소는 기계·물리적, 화학적 및 생물학적 위험이 있으며, 주로 화재·폭발, 중독 등 실험실 사고에 따른 인명손실이 발생되고 있어 실험실 사고예방을 위한 자율적인 실험실 안전관리를 위한 노력이 필요하다.13)

† 교신저자: 김종인, 인천시 부평구 청천동 440-4번지 남광센트렉스 817호

M · P: 010-3438-2750, E-mail: kji773477@hanmail.net

2008년 10월 접수; 2008년 11월 수정본 접수; 2008년 11월 게재확정

국내 실험실의 사고는 대부분 언론에 보도되지 않았으나, 1999년9월28일 서울대 원자력 핵공학과와 실험 중 폭발사고 인한 3명의 사망과 2006년에도 사회적 물의가 된 아주대학교 실험실 화재 폭발(2006.1.10), 서울대 폐기물취급 폭발사고(2006.6.14), 한양대 실험실 약품반응 폭발 중독(2006.9.9), KIST 환경연구 등 재료 실험화재(2006.9.19)사고 등으로 사회적 이슈로 관심이 집중되었고, 연구실 안전관리에 대한 중요성이 강조되었다. 연구실 안전관리제도는 기업부설연구소나 대학 또는 실험실습을 하는 연구원, 연구 활동종사자가 연구 또는 실험도중에 있을 수 있는 사고를 예방하고 쾌적한 연구 활동으로 실습환경을 조성하여 연구원과 연구 활동종사자의 생명과 신체의 안전을 도모하고 질병을 방지하여 건강을 유지 증진시키기 위한 활동 종사자를 보호하는 제도로 연구실 안전 환경조성에 관한 법이 법제화 되었다.2) 본 연구에서는 사고가 발생한 대학 및 연구기관을 대상으로 발생빈도와 강도를 계산하여 정량적인 위험성평가 기법을 적용하였다. 또한 I대학에 생명과학 실험실 5곳을 대상으로 사례연구를 통하여 실험실별로 위험수준을 확인하여 인명과 재산 손실을 줄이는 동시에 실험실에 사고예방에 기여하고자 한다.

2. 위험성평가 방법 및 기준

2.1 위험성 평가 절차방법

실험실에서는 위험요인이 잠재되어 있어 실험 전에 반드시 실험 계획서를 작성하고 현장 확인 후 예비실험을 실시토록 한다. 또한 실험실에서 기계적(Machine), 물질 및 환경적(Media), 인적(Man), 관리적(Management) 등

4개 항목으로 구분하여 위험요인을 도출하여 위험도를 구한다. 위험도를 수치로 계산하고 허용범위를 벗어난 위험에 대한 안전대책을 세우는 정량적 평가 방법으로 구분하고 있다. 위험성평가 절차서는 (그림 1)로 나타났다.

2.2 위험성평가 기준

2.2.1 발생빈도 결정

연구기관 173개소 대상으로 조사한 결과 최근 5년간(2003년~2007년) 재해 건수가 64건으로 조사되었다. 빈도결정은 재해발생건수/기관수 값으로 0.37건으로 정수치인 1을 발생빈도 “3”으로 설정하였다<표 1>.

2.2.2 강도 결정

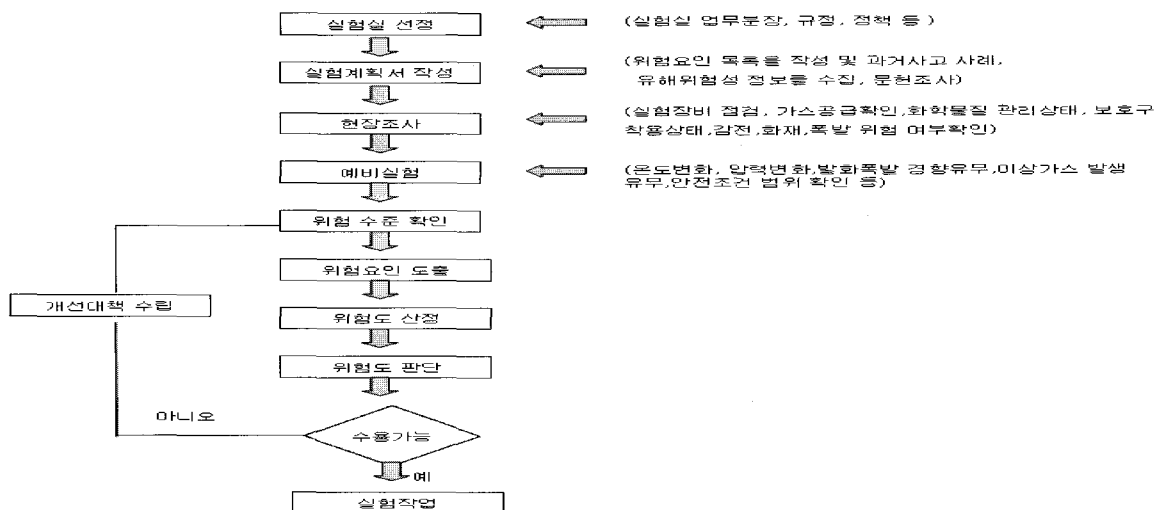
사고가 발생한 정부기관, 대학을 대상으로 조사한 결과 재해발생 건당 평균손실일수가 256일이므로 250일 이상을 노동력 상실 등 치명적인 재해로 간주하여 위험강도 “4” 설정하였다<표 2>.

2.2.3 위험도 결정

위험도는 과거의 재해 또는 향후 예상되는 위험의 빈도를 고려하여 빈도와 과거의 재해발생과 예상되는 위험의 강도를 수준을 조합하여 위험크기 수준 결정하여 나타내었다<표 3>.

2.2.4 위험도 결정에 따른 기준

위험도 값에 따라 위험성을 수용할 수 있는가의 여부를 결정하여야 한다. 위험도 값 “8” 이상의 경우에는 위험도 관리기준에 따라 안전대책을 세워 수용할 수 있는 위험으로 관리하여야 한다<표 4>.



(그림 1) 위험성평가 절차서

<표 1> 발생빈도 결정

발생빈도	빈도 수준	내 용
희박	1	○ 거의 발생 가능성이 희박하다
낮음	2	○ 재해 발생 가능성이 낮다
보통	3	○ 재해가 최근 5년 이내 1건 발생
높음	4	○ 재해가 최근 5년 이내 2건 발생
아주 높음	5	○ 재해가 최근 5년간 사망 1건 이상 발생 또는 재해가 3건 이상 발생

<표 2> 강도 결정

강도 구분	강도 수준	내 용
사소	1	손실일수가 없는 경우
보통	2	손실일수 99일 이하
중대	3	손실일수 100일 ~ 249일
매우 중대	4	사망 또는 손실일수 250일 이상

<표 3> 위험도 결정

빈도 \ 강도	강도			
	사소	보통	중대	매우중대
희박	1	2	3	4
낮음	2	4	6	8
보통	3	6	9	12
높음	4	8	12	16
아주 높음	5	10	15	20

<표 4> 위험도 기준

위험도 수준		관리 기준	비 고
1~3	무시할 수 있는 위험	현재의 안전대책 허용 가능	수용 할 수 있는 위험작업
4~6	경미한 위험	실험실에 대한 안전정보, 안전교육, 안전표지, 실험절차서 표시등 인적, 관리적 대책이 필요한 위험	
8~10	상당한 위험	실험실에서 화학물질 취급, 실험장비, 설비 등 기술적, 물질·환경적 분야에 안전대책을 세워야 하는 위험	조건부 위험 작업 수용
12~15	중대한 위험	실험실에서 화학물질 취급, 실험장비, 설비 등 현재 진행 중인 작업이 있다면 긴급 임시 안전대책을 세워야 하는 위험	
16~20	허용불가 위험	현재 상황에서 즉시 작업 중단	수용할 수 없는 위험작업

3. 사례연구

3.1 연구대상

본 연구에서는 I대학의 생명과학실험실 5곳을 선정된 동기는 실험실에서 인명사고는 발생하지 않았지만 약차사고와 위험요인이 잠재되어 있어 실험실의 위험수준을 평가하기 위해 실험실에 직접 방문하여 촬영하고 분석하였다. 실험실 화학약품관리, 압축가스실린더 및 실험실 안전설비 등 13개 항목으로 이루어져 있다. 실험실 분야별로 Machine(기계적), Media(물질·환경적), Man(인적), Management(관리적) 위험성 평가를 실시하였다.

3.2 분석방법

생명과학실험실 5곳을 실험실별로 점검대상을 항목별로 값을 구한 후, 전체 실험실 대상으로 통계분석을 활용해서 위험 작업수용, 개선대상, 위험도, 평균위험도 데이터 값이다. 실험실별 위험성 평가를 위하여 사용된 통계 방법은 4M 평가 결과에 따른 생명과학실험실 평균 위험도 및 점검대상 결과와 4M 항목과 점검대상은 One-way ANOVA(일원변량 분석)를 통하여 비교하였다.

생명과학 실험실에 대하여 4M 항목별 비교를 위하여 평균 위험도를 중심으로 상관분석을 실시하였으며, 본 연구의 수집된 자료는 통계 Package는 SPSS 12.0을 사용하였다.

3.3 연구결과

3.3.1 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과 분석

생명과학 실험실의 점검대상에 위험도는 실험실 작업장이 155.00점으로 가장 위험한 것으로 평가 되었고, 다음으로 전기안전 149.20점, 생물학적 안전 133.20점으로 나타났다. 평균위험도 결과 압축가스실린더 6.400점으로 가장 높은 결과를 보여 위험도가 높게 평가되었으며, 다음으로 생물학적 안전이 6.343점, 표시와 표지 6.347점으로 평가되었으며, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다<표 5><표 6>.

또한 실험실의 문제점으로는 실험실 작업장은 선반에 고정구나 와이어 고정, 연구 활동종사자의 복장 불량, 음식 및 음료의 반입 및 섭취하고 있었으며 유해화학물질에 대한 물질안전보건자료를 비치하지 않고 실험이 이루어져 연구원들의 안전보건의식이 떨어져 사

고 위험성이 내포되어 있었다.

보호 장구 착용상태 미흡하고 사용 후 실험대, 책상에 방치하는 등 관리상태가 미흡한 것으로 나타났다. 또한 방독마스크 사용방법에 대해서는 숙달되지 않아 평상시에도 보호구 착용을 하지 않은 것으로 나타났다.

실험실 안전설비에서는 세안장치, 샤워설비가 설치되어 있지 않거나 관리상태 소홀로 화학물질이 신체에 묻었을 경우에는 대처방안이 없어 매우 위험한 것으로 나타났다. 또한 흡 후드 안에 시약, 전기콘센트, 작업공구 등 방치하여 전기 화재 위험성이 있는 것으로 나타났다.

화공약품 관리에서는 용기의 라벨에 수령일자와 개봉일자를 기록하지 않거나 연구 활동종사자가 화공약품을 용기에서 따를 때 안전작업을 준수하지 않고 부자연스러운 자세운반으로 화공약품 관리에 대한 안전의식이 미흡 및 화공약품 위험성 분류에 따라 종류별로 보관하지 않고 혼합하여 관리하는 것으로 나타났다.

비상시 대피에서는 실험실내에서 화재발생, 가스 누출 또는 시약병이 떨어져 깨질 경우에 연구 활동 종사자들의 대처방법에 대한 행동요령과 응급 처치 법에 대해서는 어떻게 해야 할 지 못하고 있는 것으로 나타났다.

폐기물 관리에서는 폐 화공약품 수집용기는 별도로 수집 관리가 되지 않았으며 주사기와 다른 날카로운 것들은 밀봉하지 않고 처리하고 있었다.

실험기구에서는 실험대 주변에 방치하고 작업공간을 확보하지 않은 상태로 실험이 이루어지고 있었으며 깨진 유리 기구는 지정된 장소에 버려지도록 관리하여야 하나 일반 쓰레기와 혼합하여 버리는 등 연구 활동 종사자의 안전의식이 부족한 것으로 나타났다.

전기안전에서는 실험실내의 전기콘센트 비접지형을 사용하며 문어발식 콘센트 사용으로 과부하로 인한 화재 사고 위험성이 있었으며 흡 후드 내에 콘센트를 사용하고 있어 전기 화재 위험성이 있는 것으로 나타났다. 또한 전기의 특성, 위험성에 대한 의식이 떨어져 실험기구를 닫고 난 후에 손에 물기가 남아 있는 상태에서 전기코드를 만지는 등 전기에 대한 안전의식이 떨어져 감전사고 위험성이 있는 것으로 나타났다.

인간공학에서는 실험실내에 장시간 서서 작업 시 발걸이 미설치, 피로 예방 안전매트가 설치되어 있지 않았으며 의자 높낮이 조절이 안 되는 의자를 사용하고 있어 연구 활동종사자들의 육체적인 피로가 많은 것으로 나타났다. 또한 연구 활동종사자들의 장시간 연구로 인한 휴식 부족, 스트레칭 체조에 대한 의식 부족 및 불안정한 자세(허리를 비트는 자세, 손목을 꺾는 자세 등)로 실험실에서 활동하고 있어 연구원들의 신체적인 부담으로 육체적인 피로가 많은 것으로 나타났다.

표시와 표지에서는 실험장비에 대한 경고표지, 가스

용기 경고 라벨 표시, 오염된 기구, 장비에 대한 경고 표지 부착상태 지워지거나 그에 따른 교육실시가 제대로 이루어지지 않은 것으로 나타났다.

압축가스 실린더에서는 가스용기를 실험대 및 벽에 꺾쇠로 고정하지 않고 세워서 방치하고 안전뚜껑을 씌우지 않은 상태로 관리하여 용기가 넘어질 경우에는 가스 누출로 인한 폭발 사고 위험성도 있는 것으로 나타났다. 또한 연구 활동 종사자들의 가스의 특성, 위험

성에 대한 지식 부족으로 나타났다.

실험실 안전대책으로는 화학물질 관리 지침, 시약 및 폐액 관리 지침, 실험실 안전설비 (세안장치, 샤워설비, 흡 후드) 설치 및 관리, 보호 장구 착용, 압축가스실린더 관리 및 점검, 전기 감전 예방, 실험실 작업장 정리 정돈 등 안전작업매뉴얼을 준수토록 교육 및 실험실 환경 설비 개선이 시급한 실정이다.

<표 5> 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과분석 1

총 결과	점검대상	N	Mean	SD	p-value ¹⁾
위험 작업 수용	실험실 작업장	5	16.40	4.827	0.006**
	보호 장구	5	9.20	3.899	
	실험실 안전설비	5	9.40	4.336	
	화공약품관리	5	16.20	4.868	
	비상시 대피	5	10.60	3.912	
	폐기물 관리	5	9.00	3.317	
	화공약품(인화성 등)	5	10.40	4.506	
	실험기구	5	9.40	3.647	
	전기안전	5	15.20	5.119	
	인간공학	5	10.00	3.391	
	표시와 표지	5	7.60	3.782	
	압축가스실린더	5	8.80	2.387	
	생물학적안전	5	13.00	3.937	
개선대상	실험실 작업장	5	9.60	4.827	0.413
	보호 장구	5	4.80	3.899	
	실험실 안전설비	5	4.60	4.336	
	화공약품관리	5	6.80	4.868	
	비상시 대피	5	6.40	3.912	
	폐기물 관리	5	4.00	3.317	
	화공약품(인화성 등)	5	6.60	4.506	
	실험기구	5	3.60	3.647	
	전기안전	5	9.00	5.339	
	인간공학	5	7.00	3.391	
	표시와 표지	5	4.40	3.782	
	압축가스실린더	5	6.20	2.387	
	생물학적안전	5	7.80	4.087	

1) ** p<0.01

<표 6> 생명과학 실험실의 점검대상에 따른 총 결과분석 2

총 결과	점검대상	N	Mean	SD	p-value ¹⁾
위험도	실험실 작업장	5	155.00	31.480	0.000***
	보호 장구	5	87.20	22.298	
	실험실 안전설비	5	86.40	26.782	
	화공약품관리	5	132.00	30.224	
	비상시 대피	5	105.40	20.586	
	폐기물 관리	5	77.60	15.900	
	화공약품(인화성 등)	5	106.20	24.056	
	실험기구	5	77.00	22.136	
	전기안전	5	149.20	32.568	
	인간공학	5	107.00	21.083	
	표시와 표지	5	75.80	18.417	
	압축가스실린더	5	96.00	13.248	
	생물학적안전	5	133.20	26.518	
	평균 위험도	실험실 작업장	5	5.962	
보호장구		5	6.229	1.5931	
실험실 안전설비		5	6.171	1.913	
화공약품관리		5	5.739	1.314	
비상시 대피		5	6.200	1.211	
폐기물 관리		5	5.969	1.223	
화공약품(인화성 등)		5	6.247	1.415	
실험기구		5	5.923	1.703	
전기안전		5	6.217	1.357	
인간공학		5	6.294	1.240	
표시와 표지		5	6.317	1.535	
압축가스실린더		5	6.400	.883	
생물학적안전		5	6.343	1.263	

1)*** p≤0.001

3.3.2 생명과학 실험실의 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

생명과학 실험실의 4M의 기계적, 물질·환경적, 인적, 관리적 항목에 대한 상관관계분석 결과 각 항목별

로 평균 위험도가 증가 할 경우 다른 항목의 평균 위험도도 함께 증가하는 양(+)의 상관관계가 나타났고, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다<표 7>.

<표 7> 생명과학 실험실의 4M 항목의 평균 위험도에 대한 상관분석

4M	기계적 평균위험도	물질·환경적 평균위험도	인적 평균위험도	관리적 평균위험도
기계적 평균위험도	1	.757(**)	.749(**)	.733(**)
물질·환경적평균위험도	.757(**)	1	.776(**)	.759(**)
인적 평균위험도	.749(**)	.776(**)	1	.858(**)
관리적 평균위험도	.733(**)	.759(**)	.858(**)	1

** p≤0.01

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 대학 및 연구기관 173곳을 대상으로 사고분석을 통한 정량적인 실험실 위험성 평가 기법을 모델을 제시하고 결론은 다음과 같다.

1) 최근 5년간 대학 및 연구기관 64건으로 조사 되었 으면 발생빈도 0.37값으로 정치수인 1을 발생빈도 “3” 을 기준으로 정하고, 강도기준은 재해발생건당 평균 손 실일수가 256일이므로 250일 이상 “4”로 설정하였다.

2) 생명과학 실험실의 점검대상에 위험도는 실험실 작업장이 가장 위험한 것으로 평가되었고, 평균 위험도 는 압축가스실린더가 가장 높은 것으로 평가되었다.

3) 생명과학 실험실의 4M 항목의 기계적, 물질· 환 경적, 인적, 관리적 항목에 대한 상관관계분석 결과 각 항목별로 평균 위험도가 증가 할 경우 다른 항목의 평 균 위험도도 함께 증가하는 양의 상관관계가 나타났다.

4) 생명과학 실험실에서 안전대책으로는 화학물질 관 리 지침, 시약 및 폐액 관리 지침, 실험실 안전설비 (세 안장치, 샤워설비, 흡 후드) 설치 및 관리, 보호 장구 착용, 압축가스실린더 관리 및 점검, 전기 감전 예방, 실험실 작업장 정리정돈 등 안전작업매뉴얼을 준수토 록 교육을 통해 안전의식을 고취 및 실험실 환경 설비 개선이 필요한 것으로 판단된다.

따라서 향후 연구에서는 대학, 정부연구기관, 기업부 설연구소 사고 분석을 분류하여 연구결과의 타당성 확 보를 위한 노력이 기울어져야 할 것이다.

5. 참고 문헌

[1] 김두환, 이동경, 이근원, 윤석준, “대학 및 연구소의 실험실 안전관리 실태 및 대책” 한국산업안전학회 2000년 추계 학술대회논문집, pp.216-222.

[2] 과학기술부, “국내 실험실 안전관리개선법제와 방 안”, 2003.

[3] 과학기술부, “연구실 표준안전관리 기준개발에 관한 연구”, 2007.

[4] 교육과학기술부, “2007년도 연구실 안전 환경 관리 · 개선”, 2008.

[5] 노동부, “위험성 평가제도 도입 방안에 대한 연구”, 2004.

[6] 노동부, “사업장 유해· 위험성 평가 기법 개발 및 적 용방안 연구”, 2005.

[7] 박동욱, 박덕목, 정광수, 윤충식, 김태형, 노영만, 이정 남, 이송권, 김현욱. “위험성 평가에 의한 업종별 위 험의 구분”. 한국산업위생학회지, 2003; 13(2) 26-134.

[8] 박재희, 김두환(2005). “연구실 안전환경법 관련 연

구실 안전관리 실태 설문조사”, 한국산업안전학회, 추계 학술발표회논문집 pp357-360.

[9] 서울대학교 환경안전원 “서울대학교 실험실 안전 백서” 2006.

[10] 한국산업안전공단, “실험실 안전 지침” 1999.

[11] 한국학술재단, “연구실험실 환경의 안전성 확보를 위한 정책연구”, 2000.

[12] 한국과학재단, “연구실 안전기술지침 개발을 위한 정책 연구”, 2005.

[13] 한국산업안전공단, “실험실 위험성평가 기법 개발”, 2000.

[14] 한국산업안전공단, “의약품제조업 위험성평가 모델”, 2007.

[15] 한국산업안전공단, “플라스틱제조업 위험성 평가 모델”, 2007.

[16] Adrian R. Triple bottonline Risk man Magement. John wiley & sons Inc, 2001

[17] A.M. Donoghue. The design of hazard risk assessment matrices for ranking occupational health risks and their application in mining and minerals processing. Occup. Med 2001; 51(2):118-123.

[18] Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, U.S. Department of Health and Human Services, 5th, U.S. Government Printing Office, Was hington, 2007.

[19] Health, Safety, Environment, Syngent a Crop Protection AG, 2006.

[20] HSE. Successful health and safety management. HSE, 1992.

[21] Laboratory Safety Manual and Chemical Hygiene Plan, Cornell University, 2006.

[22] OSHA’s Safety and Health Program, 1999.

[23] Ramadan PA, Ferreira M Jr. Risk factors associated with the reporting of musculoskeletal symptoms in workers at a laboratory of clinical pathology. Ann Occup Hyg. 2006;50(3):297-303.

[24] Rachet B, Partanen T, Kauppinen T, Sasco JA. Cancer risk in laboratory workers: An Emphasis on Biological Research. Am J of Ind med. 2000;38:651-665.

[25] Kaukiainen A, Vehmas T, Rantala K, Numminen M, Martikainen R, Taskinen H. Results of common laboratory tests in solvent-exposed workers. Int Arch Occup Environ Health. 2004;77(1):39-46. Epub 2003 Nov 5.

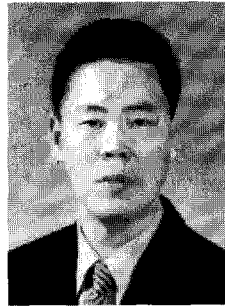
[26] Kauppinen T, Pukkala E, Saalo A, Sasco AJ. Exposure to chemical carcinogens and isk of cancer among Finnish laboratory workers. Am J Ind Med. 2003;44(4):343-350.

[27] van Barneveld TA, Sasco AJ, van Leeuwen FE. A cohort study of cancer mortality among Biology Research Laboratory workers in The Netherlands. *Cancer Causes Control*. 2004;15(1):55-66.

[28] Weigler BJ, Di Giacomo RF, Alexander S. A national survey of Laboratory animal workers concerning occupational risks for zoonotic diseases. *Comp Med*. 2005;55(2):183-191.

저자 소개

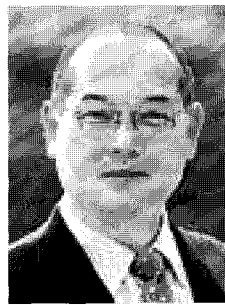
김종인



인하대학교 산업공학과 석사 졸업, 인천대학교 안전공학과 박사 과정 수료. 현재는 대한산업안전협회 인천지회 과장 재직 중. 관심분야는 산업안전 분야, 인간공학 분야

주소: 인천광역시 서구 가좌3동 122-2번지 현대3차 301동 712호

이동호



인하대학교 기계공학 석사졸업, 일본 동경농공대학 기계시스템 공학박사. 현재는 인천대학교 안전공학과 교수. 소방방재연구센터장 관심분야는 기계시스템 및 소방 분야

주소: 경기도 고양시 일산동구 마두2동 강촌 한신 205-1602

최순영



고려대학교 대학원 보건학 석사, 인하대학교 산업공학과 박사 취득. 현재 한국환경보건안전과학연구소 수석연구원으로 재직 중. 관심분야: 산업보건, 인간공학

주소: 인천광역시 남구 용현동 4동 인하대학교 2북 668A