

# 계층화분석기법(AHP)을 이용한 철도 인적오류 예방 사업의 우선순위 분석 연구

한 기 율\* · 백 유 성\*\*

\*교통안전공단 철도항공본부 철도심사처 · \*\*동양대학교 경영관광학부

## A Study on the Priority Making of Human Error Prevention Business Using AHP

Kee-Youl Han\* · You-Seoung Back\*\*

\*Railroad Safety Audit Office, Korea Transportation Safety Authority

\*\*Department of Business Administration, Dongyang University

### Abstract

In this paper to prevent human errors analyzed the causes of railway accidents and human error in last 5 years(2007~2011). The 2nd Railway Comprehensive Safety Plan currently being implemented in the safety business for prevention of human error. The accidents are often resulted from multiple causes with hardware failure and human errors.

And prevention of human error associated with the implementation details of the priority projects, 14 projects were selected by draw. Then Analytic Hierarchy Process(AHP) methodology was used to select what projects were effective to human error.

**Keywords :** AHP, Priority Making, Human Error

## 1. 서 론

### 1.1 개요

원자력 분야에서의 대표적인 사고는 1979년 Three Mile Island 원전사고와 1986년 체르노빌 원전사고가 있으며, 이 두 사고 모두 인적오류에 기인한 것으로 알려지면서 1980년대부터 본격적인 인적오류 예방 연구가 시행되기 시작하였다. 이러한 사고 원인은 비단 원자력에만 국한된 것이 아니라, 항공, 석유화학, 철도 등 사고의 심각도가 매우 큰 산업 전반에 걸쳐진 것이라 할 수 있다.

해외의 항공분야에서는 인적오류로 인해 발생하는 사고 비율이 70~80%에 이르고 원자력 분야에서도 절반 이상이 인적오류에 의한 것으로 알려지고 있다.

철도는 차량, 전기, 신호, 토목 등이 집약된 종합 시스템으로 철도 자체의 고속성과 대량수송으로 인해 사고 발생 시 심각도는 매우 높다. 철도사고는 크게 기계 신뢰도와 연관된 기계적 요인과 직무자 신뢰도와 연관된 인적 요인에 영향을 받는다. 철도기술의 발전으로 기계 신뢰도는 꾸준히 향상되어 기계적 요인에 의한 철도사고는 지속적으로 감소하였다. 첨단 기술은 철도의 기술적 안전성을 향상시켰으나, 사고 예방을 위해 100% 완벽한 기술에 도달하기에는 아직 해결해야 할 난제들이 많다.

† 교신저자: 한기율, 서울시 강동구 길동 470-1 현대APT 101동 1004호

M · P: 010-9009-6147, E-mail: kee13@hanmail.net

2012년 7월 20일 접수; 2012년 9월 6일 수정본 접수; 2012년 9월 6일 게재확정

특히 시스템 자동화 및 정보화가 이루어지고는 있지만 상대적으로 정보처리, 문제해결을 위한 의사결정 등에 관해서는 인적오류로 귀결되어 대형사고의 가능성이 상존하고 있는 것이다.

이에 철도공사에서도 휴먼에러 연구위원회를 발족하여 오류분석분과(기관사 인적오류 분석과 인적 신뢰도 향상), 심리분석분과(기관사 작업환경과 심리적 오류 유발요인 분석, 공황장애 등), 치유대책분과(집중력 분산 방지를 위한 생활건강 유지증진 방안 등)을 두고 최근에 찾아진 종사원 인적오류 방지 대안을 마련하고 있다. 하지만 정부와 철도운영기관에서 인적오류 예방을 위해 많은 투자와 정책을 추진하고 있지만, 아직까지 인적오류에 의한 철도사고는 크게 감소하지 못하는 실정이다.

현재 정부에서는 철도사고를 예방하기 위해 제2차 철도안전종합계획(2011~2015) 5개년 계획을 시행 중에 있다. 제2차 계획에서는 총 5개 중점추진 분야를 선정하고 그 세부 추진 과제로 36개를 선정하여 총 5조 9,390억 원을 투입하고 있다. 분야별로는 철도시설 및 차량분야에 92%를 투입하고 있어 하드웨어적인 사업을 중점적으로 추진하고 있음을 알 수 있다. 제2차 계획에 따라 각 철도운영기관에서는 1년 단위의 시행계획을 작성하여 안전사업을 시행중에 있는데, 한정된 예산과 자원을 통해 효율적인 중점 추진사업이 필요하다.

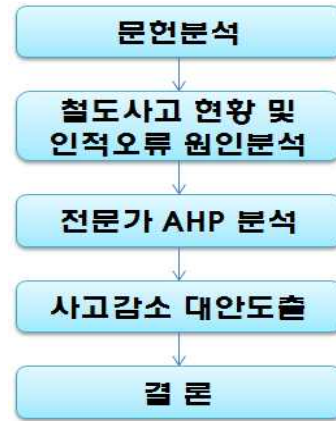
따라서 본 연구에서는 사고발생 시 심각도가 높아 중대사고로 발전 가능성이 큰 열차충돌, 열차탈선, 열차화재, 건널목사고를 대상으로 인적오류 발생 원인을 분석한다. 그리고 철도안전 전문가들을 대상으로 철도안전 연구 및 업무 담당자를 대상으로 인적오류 예방 사업의 우선순위를 선정하기 위한 계층분석기법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 시행한 후 최적의 인적오류 예방 사업이 무엇인지를 도출하도록 하였다.

### 1.2 연구범위

본 연구에서 수행하고자 하는 시간적 범위는 2007년부터 2011년까지 발생한 철도사고(사고 발생 시 심각도가 높아 비교적 대형사고의 위험이 높은 열차충돌, 열차탈선, 열차화재, 건널목 사고를 대상으로 함)로 한정하고, 공간적 범위로는 도시철도, 일반철도, 고속철도로 한다. 그리고 연구 내용적 범위로는 철도사고의 원인 분석 중 인적오류에 의한 철도사고를 정밀 분석한다.

### 1.3 연구절차

연구의 수행절차는 다음과 같다.



<Figure 1> Study Procedure

## 2. 문헌연구

국내에서는 원자력과 항공 분야에서 선도적으로 인적오류 연구를 수행하였고, 이후 산업, 교통 및 철도 분야로 확대되었다. 이러한 특성으로 산업분야별 차별화된 특성에도 불구하고 인적오류 분석기법이나 대책 등은 원자력의 대책과 크게 차이가 없고, 그 기법들을 더욱 고도화하여 발전되었다. 그리고 본 장에서는 인간에게 오류를 일으키는 요인이 무엇인지와 철도분야의 인적오류 저감에 관한 연구 등을 살펴보기로 한다.

### 2.1 철도 인적오류분석 수행도 영향인자 분류

백동현의 논문에서는 철도분야에서 발생하는 사고원인 중 인적오류에 초점을 맞추어 수행도 영향인자(Performance Shaping Factor; PSF)를 이용한 원인요소를 체계적으로 분류하고 해당 항목을 제시하였다[4].

사고분석의 일반적 순서는 자료수집, 사건재구성, 원인요소 파악, 개선사항 및 이행 등의 절차이며, 이중 원인요소 파악 단계에서 종사자간의 협동업무가 열차 운행에 영향을 주는 철도운영 환경 하에 이루지고 이들이 속한 조직으로부터 영향을 받는다고 하였다. 이러한 절차를 기반으로 영국의 RSSB가 제안한 분류체계를 적용하여 최종적으로 인적, 직무, 환경, 조직 요인의 4가지 대분류와 신체적 상태, 심리적 상태 등의 14가지 중분류로 나눈 후 131가지의 세부 항목을 인적오류 분석의 주 항목으로 도출하였다.

<Table 1> Classification of PSFs in Railway Human Error

대분류	중분류	주 항목
인적 요인	신체적상태	낮은 민첩성, 노화 등
	심리적상태	개인근심, 부주의 등
	지식경험 및 능력	기억력부족, 경험부족, 낮은 실수, 선입관 등
직무 요인	정보전달	과다정보, 불완전정보 등
	직무특성	근무요청, 복잡한 직무 등
	규정/절차서	규정/절차 부재, 비개정절차 등
환경 요인	기반시설	경고표시물 미비, 선로결함 등
	내부환경	진동, 환기, 조명, 온도, 소음 등
	장비/MMI	보호장비, 부적절 장비사용 등
	외부환경	고온/저온, 외부침입, 안개 등
조직 요인	교육	내용부재, 부적절 교육 및 지도 등
	제도/분위기	개인주의, 비도덕성, 규제 등
	감독/운영	관리감독 소홀, 불공정 등
	복리후생	공개 능력평가 낮은 승진기회 등

## 2.2 철도 인적요인 관리를 위한 검토 모델

곽상록의 연구에서는 철도 종사자의 인적요인 관리를 위해 인적오류의 문제점을 분석하고 원자력 인적오류 관리 프로그램과 시스템엔지니어링 기법을 응용한 철도산업에 적용 가능한 인적오류 관리 검토모델을 제시하였다. 제시한 모델은 운영경험 검토, 직무분석, 직원 충원 및 자격, 인간 신뢰도 분석, 인간-시스템 인터페이스, 절차개발, 교육훈련 프로그램 개발, 인적요인 검증 및 확인 등에 대해 검토하였다. 이 모델은 원자력 산업의 인간공학 프로그램 검토모델과 시스템 엔지니어링 기법에 기초하고 있으며, 철도의 경우 원자력에 비해 충분한 사고 및 장애 자료가 있어 사고사례 분석이 상당수의 운영경험검토를 대체할 수 있다. 다만 현재까지의 인간공학관리를 위한 문서화 수준이 낮고 관련연구가 부족하고 소규모 철도운영기관의 경우 인간공학 검토에 필요한 자원의 확보가 용이하지 않음을 지적할 수 있다.

## 2.3 철도 안전성 제고를 위한 인적오류 연구

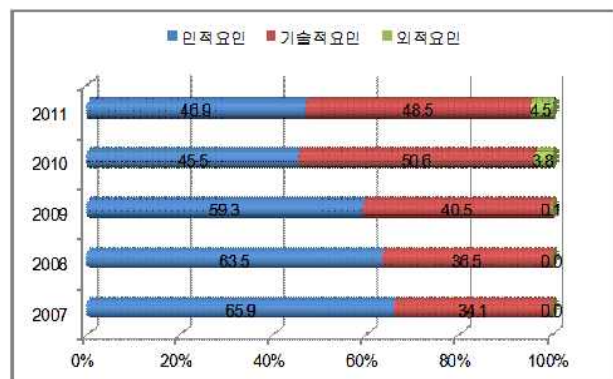
허은미는 철도와 같은 고신뢰도 시스템은 기존 시스템에 부가적으로 새로운 기능을 추가하거나 시스템이 변경될 경우에 안전운행의 요건인 안전성 및 신뢰도의 만족이 확인되어야 하며, 이를 위해 인간공학 측면에서 당위성 검토 및 검증의 필요성과 각 설계 요소 등과 전체 시스템 측면에서 인적요소를 고려해야 한다고 하였다. 결국 인간과 작업 대상인 시스템 사이의 상호작용에서 생길 수 있는 불안전으로 인해 인적오류 발생을 사전에 예측할 수 있고 이러한 활동은 시스템 안전 확보 활동으로 전환될 수 있다고 주장하였다.

## 3. 철도 인적오류 사고 발생특성

### 3.1 철도사고 발생원인 분석

'07년부터 '11년까지 국내에서 발생한 철도사고발생건수는 총 3,449건이 발생하였고, 이 중 인적요인이 1,781건으로 51.6%를 차지하고 있어 최근 5년간 철도사고의 절반 이상이 인적오류에 의한 것임을 알 수 있다. 이는 우리가 일반적으로 원자력이나 산업분야의 인적오류 원인이 80% 이상이라는 일반적인 상식에 비해서는 비율이 크게 높지 않지만 철도의 고속화와 대량수송을 감안하면 아직도 그 심각도가 매우 높음을 알 수 있다. <Figure 2>에서와 같이 년도 별로 인적요인에 의한 철도사고의 비율이 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다. 한편 기술적요인의 사고원인 비중이 점차 늘어나고 있음을 알 수 있는데 이는 KTX-산천과 무인경전철 등 새로운 철도차량 및 노선이 개발·투입됨으로 인해 초기 시스템 안정화 단계에서 발생하는 기술적 결함이 증가되는 것으로 의심되며, 향후 사고원인 정밀 분석 등의 추가 연구가 필요할 것이다.

<Figure 2> The ratio of railway accident causes



<Table 2> Causes of Railway Accidents

구분	근본원인	'07	'08	'09	'10	'11	합계(%)	
인적요인	공중	149	149	134	30	117	579	1,781 (51.6)
	관제사	3	2	1	2	1	9	
	기관사	53	29	21	12	14	129	
	승무원	7	5	2	5	5	24	
	여객	170	158	161	39	82	610	
	역무원	8	9	4	0	4	25	
	운전취급자	0	3	2	0	4	9	
	작업자	127	92	94	19	64	396	
기술적 요인	기타설비	67	40	21	1	0	129	1,230 (35.7)
	선로및구조물	9	6	8	6	5	34	
	신호제어설비	16	20	35	12	63	146	
	안전방재설비	1	0	3	1	0	5	
	열차차량설비	166	179	203	90	224	862	
	전철전력설비	8	11	16	9	6	50	
	정보통신설비	0	1	0	0	2	3	
	차량/신호 I/F	0	0	0	0	1	1	
외적요인	환경요인	0	0	1	9	28	38	38 (1.1)
	소계							
기타		0	0	0	397	3	400	400 (11.6)
총합계		784	704	706	632	623	3,449	3,449 (100)

※ 출처 : 교통안전공단 철도안전정보포털

### 3.2 중대사고의 인적오류 발생원인 분석

'07년부터 '11년까지 국내에서 발생한 중대철도사고 중 열차충돌, 열차탈선, 열차화재, 건널목사고 등 4개 유형의 인적오류 특성을 분석하였다. 열차충돌사고의 인적오류 주체는 기관사가 3건, 작업자 1건으로 분석되었고, 열차탈선사고는 관제사의 부주의/오류로 2건, 기관사의 규정위반으로 1건, 부주의/오류 2건, 현장 작업자의 규정위반 1건, 부주의/오류가 11건 발생하였다. 열차화재사고는 작업자의 부주의/오류로 '07년에 1건, '10년에 1건이 발생하였고, 건널목 사고는 '07년에 작업자의 부주의/오류로 인해 2건이 발생하였으나, 이 후 인적오류에 의한 사고는 없는 것으로 분석되었다.

지난 5년과 비교했을 때 인적오류는 점차 감소추세에 있지만 최근에 철도사고의 인적오류 분야가 다시 관심 대상이 되는 것은 국민들의 철도안전 요구수준이 높아진 상황에서 새로운 철도시스템에 대한 안전사고의 우려가 높아졌음을 반영하는 것으로 짐작할 수 있다.

<Table 3> the Cause Analysis of human error in critical accidents

사고	주체	상세원인	07	08	09	10	11	합계
열차충돌	기관사	부주의/오류	2	1				3
	작업자	불법행위		1				1
열차탈선	관제사	부주의/오류		1		1		2
	기관사	규정위반		1				1
		부주의/오류	1	1				2
	작업자	규정위반			1			1
부주의/오류						1	1	
열차화재	작업자	부주의/오류	1			1		2
건널목사고	작업자	부주의/오류	2					2
총합계			27	26	21	8	15	97

※ 출처 : 교통안전공단 철도안전정보포털

### 4. 계층화분석기법(AHP) 적용

#### 4.1 개요

계층화분석기법은 한 명 혹은 여러 명의 의사결정자가 참여하는 다기준(Multiple-criteria) 의사결정 문제가 발생했을 때 평가 기준과 대안을 계층적(Hierarchy)인 구조로 파악하여 최적 대안을 선택하는 기법이다. 자료가 완비되지 않은 여건 하에서의 계획수립, 시간적으로 촉박한 상황 하에서의 의사결정지원, 부서간 의견이 대립된 상황 하에서 대응방안수립 등에 활용될 수 있으며, 1970년대에 Thomas L.Satty 교수가 고안한 모델이다. 정량적인 정보뿐만 아니라 정성적인 정보도 동시에 종합적으로 평가할 수 있는 것이 큰 장점이다.

#### 4.2 계층 및 표본설정

##### 4.2.1 인적오류 예방사업의 계층설정

AHP 분석을 위해 「인적오류 예방사업 우선순위 선정을 위한 평가지표의 가중치 결정」 설문지를 개발하였다. 이 설문지는 현재 ‘제2차 철도안전종합계획’에서 시행 중인 국내 철도안전사업 모두를 망라하고 이 중 인적오류 예방과 관련된 사업만을 선별하여 계층화 과정을 거쳤다. 먼저 1계층은 인적오류 예방을 위해 인적오류 관련 법·제도의 개선과 철도종사자의 지식과 능력 향상을 위한 일련의 교육 및 훈련 과정과 관련된 사업을 하나로 도출하였다. 그 다음은 종사자의 작업 중 안전에 관한 홍보와 더불어 안전기술을 위한 R&D 사업의 확대를 도출하였다. 각 계층별 구조는 다음과 같다.



<Figure 3> the 1st Hierarchy



<Figure 4> the 2nd Hierarchy



<Figure 5> the 3rd Hierarchy

##### 4.2.2 표본선정 및 신뢰도 확보

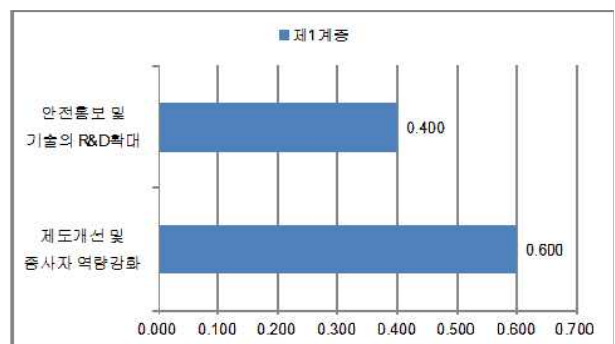
설문지는 철도 현업 종사자에게 총 30부를 배포하여 24부(80%)가 회수되었다. 이 중 일관성지수(CI : Consistence Index)가 0.15를 초과하거나 항목 미응답자를 제외하여 총 14명의 설문을 분석하였다.

최종 설문대상자들의 구성은 안전담당자 4명, 철도관련대학 교수 4명, 관제사 3명, 기관사 3명으로 구성되어 있다. 이들은 철도 현업 종사 기간이 10년 이상의 경력자로 철도안전과 관련한 많은 경험과 노하우를 보유하고 있어 인적오류에 의한 철도사고 저감에 대해 가장 의미 있는 응답을 해 줄 수 있다.

#### 4.3 분석결과

##### 4.3.1 1계층의 우선순위

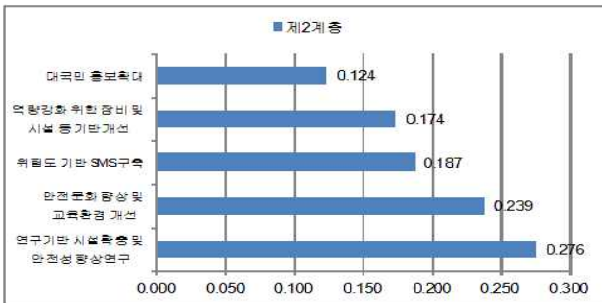
인적오류 저감을 위한 철도안전사업의 제 1계층의 구조는 제도개선 및 종사자 역량강화와 안전홍보 및 기술의 R&D 확대이다. 이에 철도안전 전문가들은 제도개선 사업이 60.0%로 안전홍보 및 기술의 R&D 확대 사업 40.0%에 비해 더 중요도가 높은 것으로 나타났다.



<Figure 6> the Importance of 1st Hierarchy

4.3.2 2계층의 우선순위

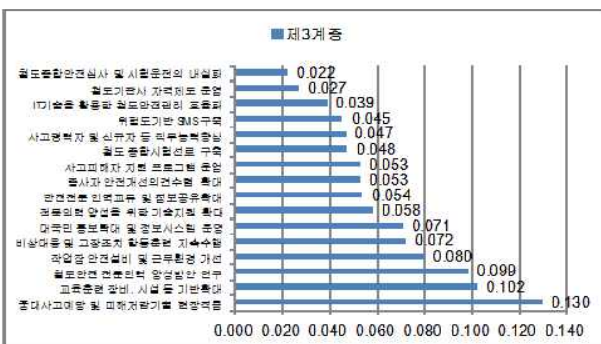
인적오류 저감을 위한 철도안전사업의 제 2계층은 총 5개 사업으로 구분하였으며, ① 위험도 기반의 SMS 구축, ② 안전문화 향상 및 교육환경 개선, ③ 역량강화를 위한 장비 및 시설 등 기반개선, ④ 대국민 홍보 확대, ⑤ 연구기반시설확충 및 안전성 향상 연구 등이다. 이에 대한 분석결과 인적오류 예방을 위해 가장 우선순위가 높은 사업은 연구기반 시설확충 및 안전성 향상연구로 27.6%로 나타났고, 그 다음이 안전문화 향상 및 교육환경 개선이 23.9%, 위험도 기반 SMS 구축 사업은 18.7%, 역량강화를 위한 장비 및 시설 등 기반개선 사업이 17.4%, 대국민홍보확대사업은 12.4%로 가장 낮게 나타났다.



<Figure 7> the Importance of 2nd Hierarchy

4.3.3 3계층의 우선순위

인적오류 저감을 위한 철도안전사업의 제 3계층의 14개 사업 중 가장 우선순위가 높은 것은 중대사고 예방 및 피해저감기술의 현장적용으로 13.0%를 차지하였다. 그 다음으로 교육훈련 장비 및 시설 등의 기반확대가 10.2%를 차지하여 H/W적 개선사업이 상위를 차지하였다. 그 다음으로 철도안전전문인력 양성방안 연구가 9.9%, 작업장 안전설비 및 근무환경개선이 8.0%, 비상대응 및 고장조치 합동훈련의 지속수행이 7.2%를 차지하여 타 사업에 비해 상대적으로 사업의 중요도가 높은 것으로 분석되었다.



<Figure 8> the Importance of 3rd Hierarchy

5. 결론

본 논문은 인적오류에 의한 철도사고를 예방하기 위해 최근 5년간(2007~2011) 발생한 철도사고 발생원인 분석과 인적오류 발생 원인을 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 현재 제2차 철도안전종합계획에서 시행되고 있는 안전사업 중 인적오류 예방과 관련된 세부 시행 사업 14개를 도출하여 사업의 우선순위를 선정하였고 다음과 같이 요약될 수 있다.

철도 인적오류로 인한 사고발생 비율은 점차 감소추세에 있으나 여전히 절반 이상의 높은 비율을 차지하고 있어 지속적으로 관리가 이루어져야 한다. 인적오류를 발생시키는 영향인자로는 인적요인, 직무요인, 환경요인, 조직요인 등으로 분류할 수 있다.

제2차 철도안전종합계획 상에서 시행되고 있는 철도 안전사업 중 인적오류 예방 관련 사업을 도출하여 계층화하였다. 그 결과 제 1계층에서는 ‘제도개선 및 종사자 역량강화’가 60.0%로 가중치가 높게 나타났고, 제 2계층에서는 인적오류 등의 ‘연구기반 시설확충 및 안전성향상 연구’가 27.6%로 나타났다. 제 3계층에서는 ‘중대사고 예방 및 피해저감기술 현장적용’이 13.0%로 가장 의미 있는 사업으로 선정되었고, 그 다음으로는 ‘교육훈련 장비 및 시설 등의 기반확대’ 사업이 10.2%로 나타났다.

제한된 예산과 인력 자원을 사고예방을 위해 효율성을 극대화하기 위해서는 선택과 집중이 필요하다. 따라서 철도사고발생 원인이 높은 인적오류에 대해 상기의 AHP 분석 결과에 따른 가중치가 높게 도출된 사업에 우선적으로 사업을 추진해야 할 것이다.

6. 참고 문헌

[1] Dong-San Kim, Dong-Hyun Baek, Wan-Chul Yoon(2006), "Analysis of human errors in safety-critical systems: A framework for analysis and its application to a railway accident case", Ergonomics society of Korea, 451~452, 454~455

[2] Dong-Hyun Baek, Lock-Jo Koo, Kyung-Sun Lee, Dong-San Kim, Min-Ju Shin, Wan-Chul Yoon, Myung-Chul Jung(2008), "Taxonomy of Performance Shaping Factors for Human Error Analysis of Railway Accidents", Korea Industrial and System Engineering, Vol 31:1, 41~42

[3] Eun-Mee Heo, Seong-Nam Byun(2010), "A Study on Human Error for safety improvement in

railway industry", Korea Railway society for railway", 2040~2041, 2043~2044

- [4] Sang-Log Kwak, Jong-Bae Wang, Chan-woo Park, Don-Bum Choi(2008), "A Study on Program Review Model for Human Error factors in Railway Industiry", Korea Railway society for railway, 2040~2044.
- [5] Wiegman, D.A. & Shappel, S.A(2001)., "A human error analysis of commercial aviation accidents using the Human Factors Anlysis and Classification System(HFACS)", DOT/FAA/AM-01/03.
- [6] Reason, J(1990)., "Human Error", Cambride University Press: New York

## 저 자 소 개

### 한 기 율



경일대학교 건축공학과를 졸업하고, 성균관대학교 행정대학원에서 교통물류를 전공하여 석사학위를 취득하였다. 현재 동양대학교 박사과정 중이며, 교통안전공단에서 철도안전심사 수행을 통한 인적오류로 인한 철도사고 유형을 조사 분석하여 철도안전체계를 확립하는 업무를 수행하고 있다.

주소: 서울시 강동구 길동 470-1 현대APT 101동 1004호

### 백 유 성



부산대학교에서 경영학박사를 취득하였다. 현재는 동양대학교 경영대학 교수로 재직 중이며 국제 교류원장, 교학처장, 대학원장 역임하였고, 서울대학교 경영대학 객원교수, 세종연구소 객원연구위원, 경북포럼 공동대표로 활동하면서 기업경영과 조직관리 접목을 위한 연구를 수행하고 있다.

주소: 경북 영주시 풍기읍 동부2리 305-14 으뜸마을 301호