

# RBD 분석 TOOL을 활용한 승강장 스크린 도어(PSD)의 신뢰성(RAM) 목표값 예측

하태길<sup>1,2</sup>, 손국현<sup>1,3</sup>, 김재문<sup>1</sup>, 오염덕<sup>4</sup>, 김철환<sup>5</sup>, 강정원<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국교통대학교 교통대학원, <sup>2</sup>국가철도공단, <sup>3</sup>(주)수서고속철도, <sup>4</sup>한국교통대학교 컴퓨터학부, <sup>5</sup>국토교통부

## RAM Target Prediction of Platform Screen Door Using RBD Analysis Tool

Tae-Gil Ha<sup>1,2</sup>, Guk-Hyun Son<sup>1,3</sup>, Jae-Moon Kim<sup>1</sup>,  
Ryum-Duck Oh<sup>4</sup>, Cheol-Hwan Kim<sup>5</sup>, Jeong-Won Kang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation,  
<sup>2</sup>Korea National Railway, <sup>3</sup>SR, <sup>4</sup>School of Computer, Korea National University of Transportation,  
<sup>5</sup>Ministry of Land, Infrastructure and Transport

**요약** 철도 건설의 주요 목적은 승객에게 안전하고 편리한 철도 서비스를 제공함에 있다. 본 논문에서는 철도건설자가 짧은 설계단계에서 RDB(Reliability Block Diagram)를 모형화하고 소프트웨어 Tool을 활용하여 철도 시스템의 신뢰성을 예측하는 방법에 대하여 논하였다. 이러한 신뢰성(RAM)의 예측은 실질적인 장비 설치 전에 설계가 목표값을 준수하였는지 검증하고 향후 철도운영자는 운영단계에서 KPI(Key Performance Indicator)와 같이 준수하여야 할 시스템의 목표값으로 활용할 수 있다. 철도 건설에 있어서 프로젝트 동안 철도 시스템은 전차선, 전송망 통신, 열차제어 등으로 크게 나눌 수 있는데 본 논문에서는 지하철 등에서 열차 진입 또는 출발 시 자동으로 문이 개폐되는 PSD(Platform Screen Door) 시스템의 신뢰성을 예측하고 국제적 기준에 부합되는지를 그 결과값을 통하여 검증하였다. RDB 모형화 과정은 소프트웨어 Tool을 활용하여 블록별 장비 수량과 고장 값을 입력하고 장비별 구성방식에 따라 직렬, 병렬, 다중 RDB 연결방식을 그래픽 화 된 사용자인터페이스를 통하여 모형화하였다. 이러한 모형화 결과값은 설계된 시스템이 RAM 목표값을 달성하였는지 판단하게 하지만 달성하지 못했을 경우 시스템 내에서 장치의 연결방식 변경, 장비의 우회 경로(Redundancy) 추가 등을 고려할 수 있는데 그럼에도 더 이상의 가용성 향상이 없으면 다른 장치로의 교체까지 검토하여야 한다. 본 논문은 설계단계에서 PSD의 신뢰성 예측 99.932%로 기준을 상회하는 것으로 분석됨에 따라 시공 단계를 진행할 수 있게 되었으며 이를 통하여 불필요한 재시공을 줄이고 공기를 준수하는 데 기여 할 수 있을 것으로 본다.

**Abstract** The purpose of railway construction in a railway project is to provide safe and convenient railway service for passengers. In this study, we predicted the RAM target value using a software tool to operate a railway system without failure and degradation after construction. RAM prediction verifies the RAM target before equipment installation. Later, a railway operator validates the RAM target during the operating stage as a key performance indicator (KPI). A railway system in the project stage which is centenary, transmittal communicator system, and railway control system. This paper, a validated railway platform door (PSD) only RAM prediction and to achieve international criteria, which can call the automatic door on a platform when a train departs or arrives. The process of RDB modelling inputs the device quantity and failure value in a software tool and makes the RDB with serial, parallel, and multiple and used a graphic user interface. These outputs of modeling can be used to judge whether a design achieves the requirements and RAM target. Meanwhile, we change the link between devices and add device redundancy if we cannot achieve the RAM target. In addition, we have to exchange the different device if we still cannot meet the requirement. The RAM target value of PSD was 99.932%, which complies international standards. This prediction of the RAM in the design stage is to reduce the installation and to keep the project period.

**Keywords** : Railway System, RAM Target, RDB(Reliability Block Diagram), Reliability, Availability

본 연구는 교육부의 재원으로 연구재단의 기초 연구 사업의 지원을 받아 연구된 내용임.(과제번호 : 2021R1I1A303830111)

\*Corresponding Author : Jeong-Won Kang(Korea National University of Transportation)

email: jwkang@ut.ac.kr

Received November 10, 2022

Revised December 6, 2022

Accepted December 7, 2022

Published December 31, 2022

### 1. 서론

철도 시스템에서 승강장 스크린 도어(Platform Screen Door, 이하 PSD)는 철도역사 중 지하철과 광역철도 위주로 승객의 낙상사고와 열차와의 충돌을 방지하기 위하여 열차와의 인터페이스를 통하여 승강장 문을 자동으로 개폐하는 장치이다.

열차로부터 출발·도착 정보를 받아 열차의 문과 동기화하여 자동으로 문을 개폐하며 PSD의 고장 발생 시 열차의 지연을 야기하고 승객의 끼임 사고 등은 심각한 경우 사망 사고까지도 이어질 수 있어서 철도에서는 열차 제어, 전송통신망 등을 포함하여 중요한 철도 안전설비 중의 하나이다.

그러나, 국내 철도에서는 이러한 중요성에도 불구하고 신뢰성(RAM)의 적용은 열차제어 시스템에 한하는 경우가 많으며, 목푫값은 전기 전자프로그램블 제어기의 국제규격인 IEC 61508에서 제공하는 MTBF 100,000 시간을 설정하여 미 국방부 전자부품 고장률 예측 지침

인 MIL-HDBK-217을 기준한 사례가 있다[1]. 또한, 안전성 측면에서 유럽식 기준인 안전 무결성 기준-4(Safety Integrity Level -4, 이하 SIL-4)에 만족하기 위하여는 인증취득을 위한 과정 대부분 초기의 제조단계에서 이루어지므로 장기간 소요가 불가피하다.

이러한 여건을 고려하여 본 논문에서는 6개월에서 12개월의 짧은 PSD 설계 기간을 고려한 RAM 예측 방법에 관한 연구의 필요성과 통상적으로 차량 분야에서 활용하는 신뢰성 방법을 PSD에 처음으로 적용하여 연구를 진행하였다.

PSD의 신뢰성 예측을 위하여 저자는 제품분류체계(Product Breakdown Structure, 이하 PBS) 템플릿 개발 → PSD 하위장치 레벨 정의 → 장치 레벨에 따른 위치별 설계수량 분석 → 평균무고장시간(Mean Time to Fail, 이하 MTBF), 평균 고장복구 시간(Mean Time to Repair, 이하 MTTR) 조사 → RAM 모형화(소프트웨어 Tool) → PSD 총 시스템에 대한 RAM 값을 도출하였다.

Table 1. Product Breakdown Structure

Level	Station								Train	MCBF	MTBF	MTTR	
	1	2	3	A	B	C	D	E					F
Door Driving Mechanism	DC Motor			48	48	48	48	48	48		2,506,350	245,000	1.5
	Tooth Belt			48	48	48	48	48	48		25,063,500	2,450,000	0.9
	Guide Rail			48	48	48	48	48	48		15,345,000	1,500,000	2.5
	Locking block			48	48	48	48	48	48		1,002,540	98,000	0.9
	DCU			24	24	24	24	24	24		1,278,750	125,000	0.9
Wayside Equipment	LCP			2	2	2	2	2	2				
		LCU		2	2	2	2	2	2		1,596,494	156,060	0.5
	DCP			2	2	2	2	2	2		146,142,854	14,285,714	0.5
	CCP			4	2	2	2	2	2		146,142,854	14,285,714	0.5
	Stop position			4	2	2	2	2	2		88,189,659	8,620,690	0.5
	Train detection			4	4	4	4	4	4		88,189,659	8,620,690	0.5
PSD Equipment Room	PDB			2	2	2	2	2	2			5,000,000	0.5
	CCU			1	1	1	1	1	1				
		Server		1	1	1	1	1	1		1,495,288	146,167	0.5
	Monitor			1	1	1	1	1	1		1,023,000	100,000	0.5
	UPS&Battery			1	1	1	1	1	1		437,928	42,808	0.5
PSD Structure	ASD			24	24	24	24	24	24		39,960,938	3,906,250	1
	EED			62	62	62	62	62	62		1,023,000,000	100,000,000	1
	DED			2	2	2	2	2	2		1,023,000,000	100,000,000	1
	PERD			4	4	4	4	4	4		1,023,000,000	100,000,000	1
	FS			8	8	8	8	8	8		1,023,000,000	100,000,000	1
Communication Facility	RF wayside			2	2	2	2	2	2		4,713,200	460,723	0.5
	RFID Reader			4	2	2	2	2	2		4,713,200	460,723	0.5
Onboard										2cab			
	MVB									1 each cab	5,328,125	520,833	0.5
	RF Onboard									2 each cab	5,328,125	520,833	0.5
	RFID Tag									8 per LRV	1,482,613	144,928	0.5

## 2. 본론

### 2.1 PBS 템플릿 개발 및 분석

서론에서 언급했듯이 철도 설계단계에서 장치별 MTBF 값은 운영 기간 대비 짧은 설계 기간으로 실제적인 테스트나 실험을 통하여 얻는 데는 무리가 있다. 따라서, 시뮬레이션의 입력파라미터의 정확성을 높이는 것이 결괏값의 신뢰성을 높이는 데 중요한 요소이므로 PBS 항목의 어느 하위 레벨 단계 장치까지 조사할 것인지 또는 부속품, 소재까지 MTBF 값을 조사할지를 결정하기 위하여 Table 1에서 보는 바와 같이 PBS 서식을 개발하였으며 주요 항목은 아래와 같다.

- 유지보수시 장치 교체의 최소단위인 LRU(Line Replacement Unit)를 기본으로 PBS 값의 신뢰성을 높이기 위하여 장비를 직접 제조하는 벤더(Vendor) 공동 조사를 통하여 장치의 하위수준 결정하였다.
- 장치의 설치 역사에 따른 수량 및 총 수량은 각 역별 설계의 수량 산출서를 확인하였다.
- 평균 무고장 주기(Mean Cycle between Fail, 이하 MCBF), MTBF, MTTR
- 항목별 Data에 대한 출처(Source) 등

특히, PBS 항목 중 장치의 MTBF 값은 시뮬레이션 입력력 파라미터 중 시뮬레이션 결괏값의 신뢰성에 가장 크게 작용하는 요소로서 유사한 기능, 환경, 아키텍처 및 유사한 시스템에서 실제 운영 중이거나 물품을 제조하는 공급업체로부터 값을 얻었으며, 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 일반화된 장치(모니터, 서버 등)에 대한 MTBF 값은 NPRD 2011 (Non- electronic Parts Reliability Data, www. quanterion. com)에서 제공하는 값을 참조하였다.

또한, MTTR 값은 고장 수리 시간, 장치 수리, 교체 또는 조정 시간, 장치를 복구하기 위한 시간 및 필요한 기능 테스트 수행 시간을 포함하여 장치특성에 맞게 0.5 시간을 기준으로 물품 제조사의 의견을 반영하고 유지보수의 난이도를 고려하여 1.5시간 또는 1시간 등으로 적용하였다.

하지만, 장치 수리를 위한 자재구매의 행정관리, 자재 운송 및 유지보수를 위한 현장 이동시간은 MTTR 값에서 제외하였다.

### 2.2 RDB 모형화

RDB 모형화는 수학적 모델을 근거로 시스템이 신뢰

성의 목표를 달성하는지 증명하기 위한 분석과정에서 RDB(Reliability Block Diagram)의 상호 작용을 그래픽 화한 것으로, 시스템 차원의 기능과 구성부품별 기능이 분류·정의된 대상으로 시스템 신뢰성을 모델화하기 위하여 구성부품별 신뢰도 데이터를 적용한 것이다[2].

RBD에서 시스템의 각 부분을 나타내는 블록은 선으로 연결 및 결합하고, 시스템/서브 시스템 장애는 RBD의 양 끝 사이에 더 경로가 없을 정도로 많은 블록에 고장 발생했을 때 일어난다.

시스템의 복잡성에 따라, RBD는 다이어그램 왼쪽에 있는 입력 노드에서 다이어그램 오른쪽에 있는 출력 노드까지 시스템의 성공적인 작동을 위한 다양한 경로를 설정하기 위한 직렬 및 병렬 구성의 조합으로 이루어진다.

이를 위하여 시스템이 성공적으로 작동하려면 시스템 입력과 출력 노드 사이에 적어도 하나의 경로가 유지되어야 하는데, 실행 가능한 경우 RBD는 최소 교체 단위 (Line Replace Unit, 이하 LRU) 레벨까지 형상화하려고 노력하였다.

본 논문에서는 설계단계에서의 철도 시스템의 RAM 목표값 검증을 위하여 유럽이나 싱가포르 등에서 국제적으로 인지도가 높은 상용소프트웨어 패키지인 Isograph Reliability Workbench© 를 활용하여 시뮬레이션을 시행하였다. Fig. 1은 소프트웨어 Tool을 활용한 시뮬레이션 결괏값의 예시를 보여주고 있다.

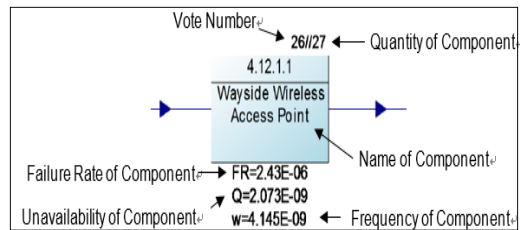


Fig. 1. Example of Reliability Block Diagram

Fig. 1에서 “Vote Number”는 시스템/하위 시스템이 성공적으로 작동하는 데 필요한 최소한의 LRU의 수를 나타내며, 파라미터를 모두 입력하면 시스템의 이용 불가능(Unavailability) 결과를 얻는다. 즉, “가용성 = 1 - 사용 불가능(Q)”에 따라 가용성을 예측할 수 있다.

서론에서 언급하였듯이 본 논문에서는 RAM값을 예측하여 검증할 대상으로는 철도 여객의 안전에 중요한 시스템의 하나인 PSD(Platform Screen Door)를 선정하였다. 소프트웨어 Tool에 입력할 파라미터 요소가 위의 PBS를 통하여 조사되었으므로 다음 단계인 소프트웨어

Tool을 활용하여 모형화하였다.

여기서 모형화라 하면 PBS에서 정의된 각 장치를 하나의 RDB와 동일한 레벨로 연결 형태를 먼저 정의하고 각 RDB마다 요구되는 파라미터 값을 PBS를 참조하여 입력하였다.

모형화 과정에서 RDB는 연결방식에 따라 직렬, 병렬, 다중형태로 모형화된다[3].

아래의 Fig. 2는 직렬로 구성되는 장치를 모형화한 것으로  $\lambda$ 는 각 장치 고장률의 합을 나타낸다.

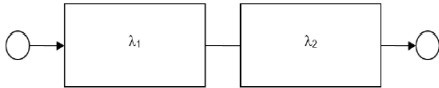


Fig. 2. Series Reliability Block Diagram

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 (\lambda_1 \text{ and } \lambda_2 \text{는 각 장치의 고장률})$$

아래 Fig. 3은 병렬로 구성되는 장치를 모형화한 것으로 장치의 고장률( $\lambda$ )은 아래 공식과 같다.

$$\lambda_{\text{parallel}} = \lambda_1 * \lambda_2 (\lambda_1 \text{ and } \lambda_2 \text{는 각 장치의 고장률})$$

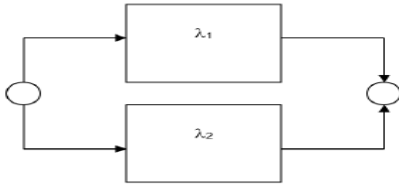


Fig. 3. Parallel Reliability Block Diagram

아래 Fig. 4의 다중 장치 모델은 직렬/병렬을 포함한 여러 개의 장치의 시스템 구성의 모형화 방식으로 그림에서 n은 동일/유사 기기의 장치 총 개수를 의미하며 r은 시스템이 n개 중 만족스러운 작동을 위해 작동해야 하는 최소한의 기기의 개수이다.

그러므로 시스템 또는 하위 시스템 내에서 n과 r의 차이만큼 장치가 고장이 있더라도 전체 시스템의 작동에 영향을 미치지 않는다.

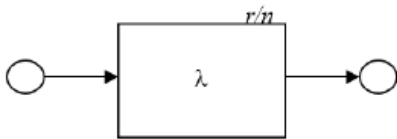


Fig. 4. Multiple Reliability Block Diagram

n = Total number of identical units

r = No. of units are required to operate out of

n configuration

$\lambda_r$  = Failure rate of equipment

### 2.3 PSD 모형화 결괏값

철도 PSD 시스템에 대하여 Isograph Reliability Workbench® 소프트웨어에서 제공하는 결괏값은 총 32개의 RDB 연결 분석값이 도출되었으며, 본 논문은 지면의 한계로 분석 결과 중 철도역사별 결괏값인 Fig. 5와 하위 시스템 단위인 Fig. 6의 RDB 분석값을 예시하였다.

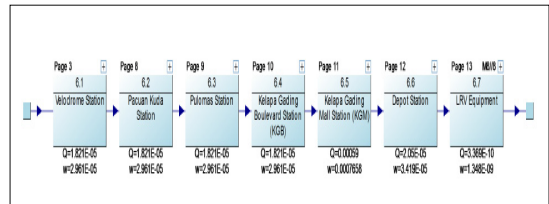


Fig. 5. Example of PSD Station subsystem

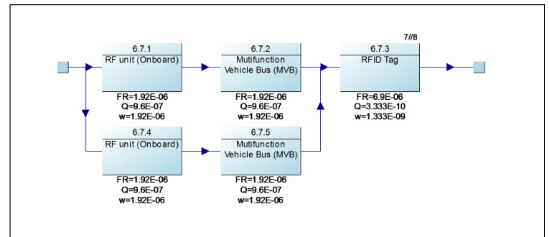


Fig. 6. Example of RFID Subsystem

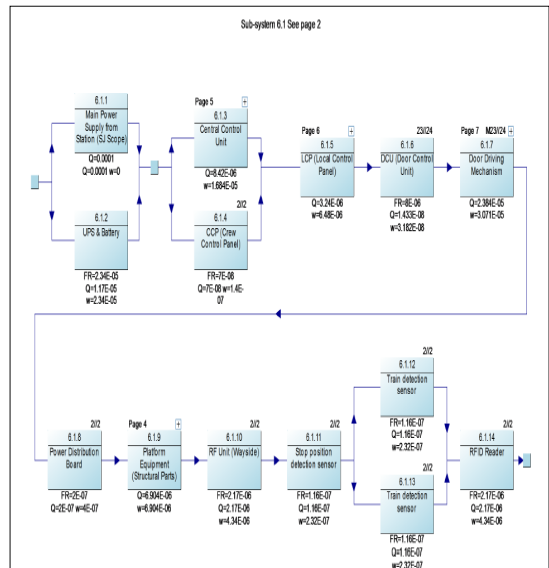


Fig. 7. Example of PSD Subsystem

32개의 역사 및 하위 시스템의 RBD 모형화 과정을 거쳐 최종적으로 PSD 전체 시스템에 대한 이용 불능 시간은 아래 Fig. 7과 같이 0.0006833의 결괏값을 얻을 수 있었다.

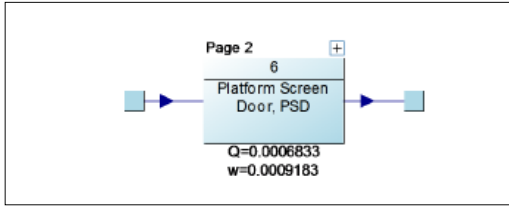


Fig. 8. Availability of PSD System

### 3. 결론

본문 2.3에 따라 총 PSD 시스템의 불 가용성(Un-availability) 값이 6.833E-04시간으로 도출되었다. 즉, 설계 단계에서 예측할 수 있는 가용성 값은 (1-불 가용성)×100=99.932%로 100,000시간당 68시간의 고장이 허용될 수 있음을 나타낸다.

즉 100,000시간은 약 11.4년으로 이 기간에 68시간의 고장이 일어날 수가 있도록 허용한다는 의미이다. 해외철도나 유럽 측 사례를 보면 PSD 시스템의 가용성의 목표값은 대략 99.90%를 지향하므로 금번 논문에서의 결괏값은 해외철도 사례를 상회하므로 적절한 설계가 이루어졌다고 예측할 수 있다.

만약, 이러한 RBD 모형화를 통해 나온 결괏값이 목표값을 충족할 수 없다면, 장비의 MTBF, MTTR을 다시 검증하거나 가용성이 우수한 장비로의 교체 및 장비별 연결 방법을 재설계 후 재검증이 필요하다.

지금까지 본 논문에서는 PSD 시스템에 대한 설계 단계의 신뢰성 예측 방법 및 그 결괏값에 대하여 살펴보았다. 신뢰성 공학은 철도에서의 하부 시스템(토목, 건축 등)보다는 상부 시스템(전차선, 열차제어, 전송망 통신, PSD 등) 분야에 적합하다. 현실적으로도 유럽 및 영국의 영향으로 동남아의 필리핀 및 말레이시아 등에서는 철도 상부 시스템에 대하여 설계 단계에서 신뢰성 검증의 관심이 높아지고 있다.

최근 4차산업의 하나로 철도 시스템 분야에도 AI와 IOT의 연구개발이 활발히 진행되고 있고, 설비는 점점 고도화 및 복잡화되고 있다. 유지보수 편리성과 철도 안정성 향상을 위한 이러한 신뢰성 공학에 관한 지속적 연구가 필요하다고 하겠다.

### References

- [1] Shin Duk Ho, Lee Jae Ho, Lee Jun Ho, Lee Kang Mee, "A Study on the Failure Rate Prediction and Demonstration for the Train Control System", Available From: : <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NPAP08110064&dbt=NPAP>
- [2] Mock Jin Yong, "A Study on the Reliability Prediction for Truck System of Urban Rail Transit, Available From: <http://www.riss.kr/link?id=T9017049&outLink=k>
- [3] Faiz UI Muram, Barbara Gallina, Samina Kanwal, "The Tool-supported Model-Based Method for Facilitating the EN50129-Compliant Safety Approval Process" Book Chapter published 2019 in Reliability, Safety, and Security of Railway Systems. Modeling, Analysis, Verification, and Certification. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18744-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18744-6_8)

하 태 길(Tae-Gil Ha)

[정회원]



- 1993년 2월 : 철도대학교 전기신호과
- 2016년 8월 : 우송대 철도대학원 철도전기정보통신공학(석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통대학원 박사과정
- 1993년 3월 ~ 현재 : 국가철도공단 부장

<관심분야>  
신뢰성 공학, 정보통신

손 국 현(Guk-Hyun Son)

[정회원]



- 2012년 2월 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 전기신호공학과 석사
- 2022년 現 : 한국교통대학교 교통대학원 스마트철도시스템공학과 박사과정
- 2010년 8월 ~ 2014년 12월 : (주) 포스코건설 근무
- 2015년 1월 ~ 현재 : (주)에스알 고속철도 운영사 근무

<관심분야>  
전기공학, 전기철도

김 재 문(Jae-Moon Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
- 2000년 2월 : 성균관대학교 일반대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2004년 2월 : 현대모비스 기술연구소 선임연구원
- 2004년 3월 ~ 2012년 2월 : 한국철도대학 차량전기와 부교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수

<관심분야>

전기철도, 전력전자

강 정 원(Jeong-Won Kang)

[정회원]



- 1997년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 2005년 8월 : 중앙대학교 초빙교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수

<관심분야>

전기전자, 반도체, 센서, 나노기술, 철도교통

오 염 덕(Ryum-Duck Oh)

[정회원]



- 1988년 8월 : 홍익대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 홍익대학교 대학원 전자계산학과 (이학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국컴퓨터정보학회 부회장
- 1990년 5월 ~ 현재 : 한국교통대학교 컴퓨터학부(소프트웨어 전공) 교수

<관심분야>

빅데이터처리, 데이터베이스

김 철 환(Cheol-Hwan Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학
- 2002년 2월 : 서울시립대 산업대학원 전자전기공학과 (석사)
- 2018년 2월 : 우송대학교 대학원 철도전기시스템학과 (공학박사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 국토교통부 근무

<관심분야>

전기철도, 전자공학