

# 인프라센서 데이터기반 이상상태 인식을 통한 열차자율주행 제한속도 산정 알고리즘

김진평\*, 안태기\*, 김진호\*, 윤희택°

## Autonomous Train Speed-Limit Estimation Algorithm by Recognition Abnormal Situation Based on of Infrastructure Sensor Data

Jin-pyung Kim\*, Tae-ki An\*, Jin-ho Kim\*, Hee-taek Yoon°

### 요약

본 논문은 열차자율주행의 제한속도를 산정하기 위한 인프라 및 외부환경의 이상상태 인식을 통한 퍼지추론기반 자율주행열차 제한속도 산정알고리즘을 제안한다. 차량의 정상적인 주행을 위해서는 철도인프라가 정상상태를 유지해야하며 주행경로 상의 지장물, 기상상태에 대한 센서정보를 통한 주행가능상태를 수신하여 판단해야 한다. 이에 본 논문에서는 인프라 센서데이터 수집을 통해 차량의 주행속도에 영향을 줄 수 있는 외부환경(이상기후)에 대한 규칙을 부분적으로 정의하였고 이를 통해 제한속도로 산정하기 위한 퍼지추론 기반 알고리즘을 제시하였다. 시뮬레이션을 통해서 실제 이상기후 발생 시 자율주행열차의 제한속도가 산정됨을 확인하였으며 현행규정과 비교를 통해 안전성을 확인했다. 본 논문에서 제안한 인프라 이상상태 인식을 통한 퍼지추론기반 자율주행열차 제한속도 산정알고리즘은 현행되고 있는 운전자, 관제에 의존하는 제한속도 산정구조를 대체할 수 있을 것으로 판단되며 모델의 확장을 통해 안전성 및 운영효율성을 높일 수 있을 것으로 판단한다.

**Key Words** : Autonomous Train, Speed-Limit, Fuzzy Inference, Infrastructure Abnormal Situation, Context-Awareness

### ABSTRACT

In this paper, we propose a fuzzy inference based autonomous train speed limit algorithm to estimate the speed limit of autonomous trains. In this paper, we propose a fuzzy inference algorithm based on the fuzzy inference algorithm to partially define the rules for the external environment (weather conditions) that can affect the vehicle speed. Through simulations, it was confirmed that the limit speed of autonomous train was calculated in case of actual abnormal weather, and safety was verified by comparing with current regulations. The proposed algorithm is expected to be able to replace the current speed limiter structure which depends on driver and control. It can also increase safety and operational efficiency by extending the model.

※본 연구는 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(열차자율주행제어 핵심기술개발)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-9192-721X)Korea Railroad Research Institute, jpkim@krrri.re.kr, 정회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-5901-009X)Korea Railroad Research Institute, htyoon@krrri.re.kr, 정회원

\* (ORCID:0000-0002-4549-5591, ORCID:0000-0002-6233-866X)Korea Railroad Research Institute, {tkahn, zimimpa}@krrri.re.kr

논문번호 : KICS2017-11-327, Received November 1, 2017; Revised December 7, 2017; Accepted February 13, 2018

## I. 서 론

자율주행(Self-Driving, Autonomous Driving)이란 이동수단 스스로 주변 환경을 인지하고, 위험을 판단하며, 주행경로를 계획하여 스스로 안전한 주행(제어)이 가능하도록 한 것으로, 단계에 따라서 운전자 주행 조작을 최소화하거나 완전히 운전자가 주행조작을 하지 않는 주행을 의미한다. 최근 세계적으로 자동차의 자율주행을 위한 다양한 연구<sup>1,2)</sup>가 활발히 이루어지고 있으며 ICT기술을 통한 자동차의 첨단화 및 지능화가 진행됨에 따라 실현이 가속화되고 있다.

현재 철도분야에서는 열차제어를 위해 무선통신기반 열차제어 CBTC(Communication Based Train Control)<sup>3)</sup>, ETCS(European Train Control System)<sup>4)</sup>, CTCS(Chinese Train Control System)<sup>5)</sup> 등의 방식과 같이 지상제어를 통한 열차제어를 수행하고 있으나 이는 자동주행(Automatic Driving)을 위한 열차제어이며, 관제 및 운전자에 의존한 열차의 속도제어를 수행하고 있다. 이는 관제의 운영자가 지속적으로 모니터링하며 운영의 지장을 초래할만한 사고 및 고장 상황이 발생하는 경우 운영자의 수동취급에 의해서 열차운행을 제어하여 제한속도를 지정하는 형태이다<sup>6)</sup>. 하지만 원격의 관제운영자가 선로변의 상황을 정확하게 인지하는 데에는 한계가 있으며 신속한 대응이 불가능하며 인적오류로 인한 2차 사고의 위험성을 가진다.

이와같은 이유로 철도환경에서도 인프라 이상상태를 인식하여 자율적으로 열차를 제어하기 위한 시스템이 필요하지만 철도환경이 고려된 자율주행 연구는 도로환경을 고려한 자율주행 연구에 비해서 많이 미흡한 상태이다. 또한 철도차량은 주행 예상경로 상의 인프라 및 환경상태(지장물, 침수, 풍향, 풍속 등)에 따라 우회경로가 제한적이기 때문에 열차자율주행의

경우 주행속도의 제어가 도로자율주행에 비해서 중요한 역할을 차지한다. 따라서 주행상황에서 발생하는 이례상황을 인프라의 센서데이터를 통해 수집하여 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행속도와 경로를 재설정하여 정시성을 보장하며 스케줄을 준수하기 위한 제어를 수행하는 열차자율주행시스템(ATDCS: Autonomous Train Driving Control System)의 인지 및 판단알고리즘 기술개발이 필요하다. Table 1은 자율주행 자동차와 열차자율주행의 차이를 나타냈다. 이에 본 논문에서는 열차자율주행시스템의 인지 및 판단알고리즘 중 외부 환경에 따른 열차제한속도를 산정하는 Fuzzy추론 기반 열차제한속도 산정시스템 (FITSLC: Fuzzy Inference based Train Speed Limit Computation)을 철도환경에서 새롭게 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템의 개발을 위해서 인프라 이상에 따른 철도 사고 및 운행장애 현황을 분석하였으며 철도차량 운전 취급규정을 참고하였다. 또한 철도차량 운전 취급규정을 기반으로 속도제한 Fuzzy규칙을 생성하였고, Fuzzy 추론을 통해서 외부환경의 변화에 따른 차량의 제한속도를 산정하는 방법을 제안하였다.

## II. Fuzzy추론 기반 열차제한속도 산정시스템

### 2.1 시스템 구성

일반적인 퍼지 추론시스템은 패턴인식, 시계열 예측, 고장 진단 등에 널리 응용되고 있다<sup>7)</sup>. 또한 최근 자율주행자동차의 중, 횡적인 제어를 위해서 사용<sup>8)</sup>되어지고 있으며 차량의 전차식 스포틀 제어시스템을 사용하여 차량의 속도를 제어하는 제어방식을 적용하고 있다<sup>9)</sup>. 철도차량의 제어의 경우 운전세칙과 같은 정형화 되어있는 규칙에 의해 제어되어야 하는 경

표 1. 자율주행 열차와 자율주행 자동차의 차이[6]  
Table 1. Differences between autonomous train and autonomous car[6]

	Autonomous Train	Autonomous Car
Object	Public Transportation (Timeliness, High Level stability)	Personal transportation
Operation by naked eye	Impossible (Braking distance 300m ~ 7km)	Possible (Braking distance within 100m)
Cognitive Technology	Inter-communication base between trains	Sensing(Image, Laser) base (100m-200m)
Development Objective	Economics feasibility/Transport capability /Safety/convenience Improvement	Improved driver convenience(Increase in vehicle prices)
Safety Goal	10-9 (Large-scale casualties in accident)	Present:10-3 → Future:10-6 (Large-scale casualties in accident)

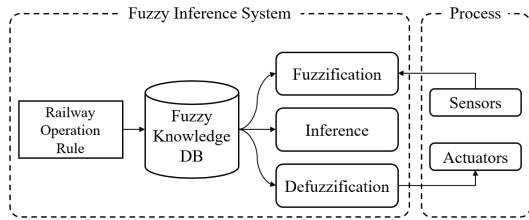


그림 1. 퍼지추론 기반 열차제한속도 산정시스템 구조  
Fig. 1. Fuzzy inference based train speed-limit computation system architecture.

우 안전성이 보장되는 제어를 수행해야하기 때문에 기계학습 알고리즘들이 사용되어지기에 제한적이다. 퍼지추론을 통한 제어는 기존에 정의된 제어 규칙을 퍼지모델로 퍼지화 하여 적용하기 때문에 정형화된 운전세칙의 내용을 퍼지규칙으로 변환하여 추론이 가능하기 때문에 기존의 운전세칙을 최대한 유지하는 형태의 제어를 위해서 Fuzzy 추론모델이 적합하다. 이에 본 논문에서는 인프라 이상상태 인식을 통한 열차제한속도 산정시스템을 제안하였다. 인프라 이상상태 정보를 기반으로 열차의 제한속도 산정하기 위한 방법으로는 Fuzzy추론을 활용하였으며 제안된 퍼지추론 시스템의 검증을 위해서 이상기후 정보에 대해서 제안방법을 적용하였다. Fuzzy추론 기반 열차제한속도 산정시스템의 구성은 Fig. 1과 같다. 제안된 퍼지추론 시스템은 퍼지화(Fuzzification), 추론(Inference), 비퍼지화(Defuzzification), 퍼지지식 DB(Fuzzy Knowledge DB)로 이루어져 있다. 퍼지추론 시스템은 복잡한 문제를 해결할 때 불확실성을 줄이기 위한 방법으로 주로 사용되며, 퍼지추론 시스템의 장점은 다음과 같다<sup>[10,11]</sup>.

- (a) 퍼지 “If-Then”규칙을 통해 시스템 지식에 대한 명시적 표현을 허용한다.
- (b) 전문가가 문제에 접근하는 방식에 내재하는 주관적인 불확실성(모호함, 애매모호함, 부정확성)을 다룬다.

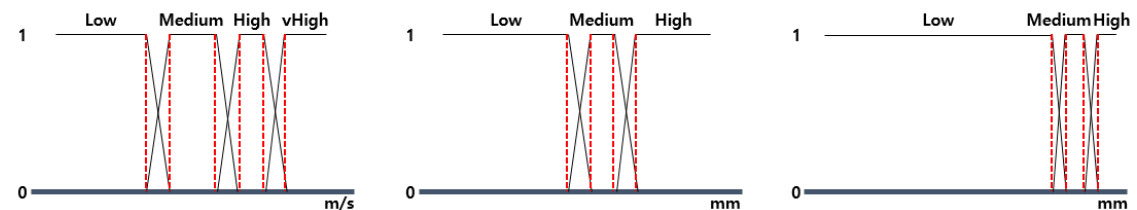


그림 2. 퍼지 소속함수  
Fig. 2. Fuzzy membership function

- (c) 수치적 및 범주적 데이터를 결합 할 수 있다
- (d) 퍼지추론시스템은 견고한 수학적 근거를 제공한다.

철도사고 및 운행장애 현황분석을 통하여 판단 대상을 선정하였으며 철도차량 운전관련 취급규정 및 취급세칙<sup>[12]</sup>을 기반으로 퍼지규칙(Fuzzy Rule)<sup>[13]</sup>을 생성하였다. 생성된 퍼지규칙은 퍼지지식DB에 저장되고 이에 대해서 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화를 수행하여 열차의 제한속도를 산정한다. 센서로부터 외부환경 데이터가 수집되면 열차제한속도 산정시스템에 입력되고 이에 대해서 실시간으로 제한속도를 산정하여 RM(Resource Manager)<sup>[14]</sup>에 전송한다. 주행 중인 열차는 RM에서 주행예상 경로의 제한속도를 통해서 제한속도 구간에 진입 시 속도 프로파일에 의해서 감속한다.

2.1.1 퍼지화(Fuzzification)

퍼지화란 제어시스템에서 측정되어지는 정확한(Crisp) 데이터를 퍼지규칙에 의해서 퍼지집합으로 변환하는 것을 의미한다. 퍼지화는 싱글톤(Singleton fuzzifier)법, 가우스(Gaussian fuzzifier)법, 삼각형(Triangular fuzzifier)법 등의 방법이 있다. 전체집합 X에서 퍼지집합은 A는 식(1)과 같이 정의된다.  $\mu_A(x)$ 를 퍼지집합 A의 소속 함수(Membership Function)이라고 하며 소속 함수는 전체집합 X의 원소들을 각각 소속 함수 값으로 사상시킨다<sup>[8]</sup>.

$$A = \mu_A(x)/x | \mu_A(x) = \frac{1}{1+x^2} \quad (1)$$

Crisp 데이터를 통해서 생성된 규칙은 철도차량 운전관련 취급규정 및 취급세칙 내에 명시된 임계값에 의해서 속도가 산정된다. 예를 들면, 풍속이 30m/s 이 하인 경우는 265km/h이며 30m/s상인 경우는 170km/h로 주행해야한다. 임계값 풍속 30m/s에 의해

서 운행속도의 차이가 크게 변화된다. 센서의 오작동 또는 풍속이 좁은 지역에서 가변적인 경우 열차의 제한속도는 170km/h - 265km/h로 짧은 시간에 빈번하게 변화할 것이다. 빈번한 변화에 대응하기 위해서 풍속에 따라 속도제한 규칙을 추가하려면 규칙의 수가 증가할 것이다. 따라서 판단해야하는 요소가 늘어난다면 규칙의 수가 기하급수적으로 증가하여 복잡한 규칙들을 구성해야한다. 퍼지화를 수행하게 되면 Fig. 2와 같이 사다리꼴 모양의 형태로 근사화하여 풍속 변화량에 대응하여 제한속도를 계산할 수 있다. Fig. 2는 철도차량 운전관련 취급규정 및 취급세칙의 내용을 기반으로 crisp규칙을 생성하였고 퍼지화를 수행한 퍼지집합(Fuzzy set)이다.

2.1.2 퍼지규칙(Fuzzy Rule)

본 논문에서는 Fuzzy Rule을 생성하기 위해서 일반철도운전관련규정 및 고속철도운전취급세칙<sup>8)</sup>의 6절 이상기후에 따른 운행을 참고하였다. 도시철도의 경우 운영기관에 따라 운전관련규정 및 운전취급세칙이 약간의 차이가 있으나 대부분 유사한 형태로 구성되어있으며 내용 또한 유사하다. 본 논문에서는 풍속(Wind\_velocity)와 연속강우량(C\_Rainfall), 시간당강우량(Rainfall/h)으로 퍼지규칙을 생성했다. 풍속은 45m/s 이상인 경우 운행정지 상태이며 30m/s이하인 경우 정상운행 265km/h 속도로 주행이 가능하다. 풍속 30m/s ~ 45m/s 사이에서 단계별로 90km/h, 170km/h 로 제한되어 운행된다. 따라서 다음과 같이 풍속에 대한 규칙을 생성하였다.

- **Rule1:** IF Wind\_velocity < 30m/s THEN Train\_velocity == Normal operation
- **Rule2:** IF 30m/s ≤ Wind\_velocity AND Wind\_velocity < 40m/s THEN Train\_velocity ≥ 170km/h
- **Rule3:** IF 40m/s ≤ Wind\_velocity AND Wind\_velocity < 45m/s THEN Train\_velocity ≥ 90km/h
- **Rule4:** IF 45m/s ≤ Wind\_velocity THEN Operation stop

강우량의 경우는 일반철도운전관련규정 및 고속철도운전취급세칙에 연속강우량과 시간당강우량에 대해서 논리합(or) 조건으로 구성되어있다. 연속강우량이 150mm이상이거나 시간당강우량이 35mm이상인 경우 90km/h로 운행하며, 연속강우량이 140mm이상

고 시간당강우량이 30ms 이상인 경우는 170km/h로 제한되어 운행된다. 따라서 다음과 같이 강우량에 대한 규칙을 생성하였다.

- **Rule5:** IF C\_rainfall ≥ 140mm OR rainfall/h ≥ 30mm THEN train\_velocity ≤ 170km/h
- **Rule6:** IF C\_rainfall ≥ 150mm OR rainfall/h ≥ 35mm THEN train\_velocity ≤ 90km/h

다. 퍼지 추론(Fuzzy Inference)

본 논문에서는 기존의 선형적인 열차제한속도 산정 규칙을 비선형적인 형태로 변환하기 위해 Mamdani의 퍼지추론을 수행한다<sup>9)</sup>. Fig.3는 조건부가 3가지인 퍼지 집합의 최소 연산으로 구성되고 결론부 퍼지 집합이 구성되는 퍼지 규칙의 예를 보여주고 있다. 입력 값들이 각각 소속 함수에 의해 퍼지화되면 그 결과가 최소 연산에 의해 결합된다. 그리고 이 결과를 결론부 퍼지 집합의 소속 함수와 논리곱으로 결합하여 하나의 퍼지규칙에 대한 부분적인 결론을 얻게 된다. Mamdani 추론의 결과는 식(2)와 같이 Max-Min Composition에 의해서 얻을 수 있다.

$$y_B(y) = Max[Min\{\mu_1(x_1) \wedge \mu_1(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_1(x_m)\}] \quad (2)$$

위의 과정과 같이 각각의 퍼지규칙에 대해 부분적인 결론이 결론부 퍼지집합의 Max-Min Composition에 의해서 계산이 되면, 이들을 모두 결합하고 비퍼지화를 수행하기 위해 무게중심법을 사용한다<sup>12)</sup>. 비퍼지화 값을 구하기 위해서는, 식(3)과 같이 최종적인 출력 소속 함수의 CoA(Center of Area)를 구한다.

$$y_{CoA} = \frac{\int_y \mu_B(y) dy}{\int_y \mu_B(y) dy} \quad (3)$$

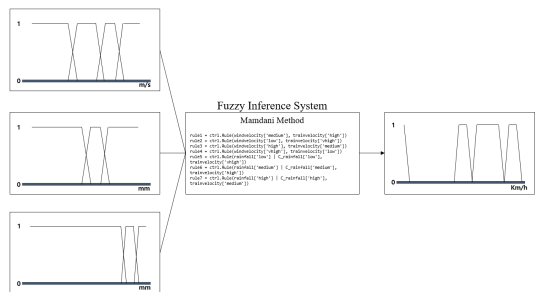


그림 3. 제안된 퍼지추론 시스템  
Fig. 3. Proposed fuzzy inference system

Fig. 4는 풍속에 대해 제안방법을 적용하여 생성된 제한속도이다. 파란선으로 표현된 것은 본 논문에서 제안하는 FITSLC를 통해 생성 제한속도이고 붉은선으로 표현된 것을 운전세칙을 통해서 생성된 운전규칙에 따라 생성된 제한속도이며 운전세칙에 의해 생성된 제한속도보다 좌측으로 그래프가 편향되어있다. 본 논문에서 정의된 Rule1에 의하면 풍속 30m/s인 경우 열차의 속도를 Fig. 4의 붉은선과 같이 265km/h에서 170km/h로 감속해야 한다. 그러나 FITSLC의 결과는 풍속 30m/s보다 이전 28m/s부터 감속을 시작한다. 이는 운전세칙에 의해 생성된 제한속도의 임계치보다 낮게 설정하여 운전세칙의 임계치에 도달하기 전에 제한속도를 현재 유지되는 속도보다 낮게 설정하여 열차운행의 안전을 고려하였다.

Fig. 5는 본 논문에서 제안하는 방법의 검증을 위해서 Fuzzy추론 기반 열차제한속도 산정시스템을 시뮬레이션 한 결과이다. Fig. 5는 풍속 43m/s, 시간당 강우량 29mm, 연속강우량 135mm를 입력한 결과이

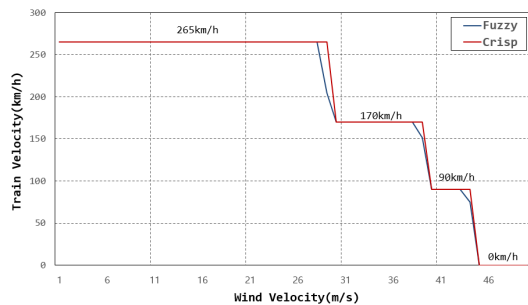


그림 4. 풍속에 의한 속도제한 산정  
Fig. 4. Estimated speed-limit for wind velocity

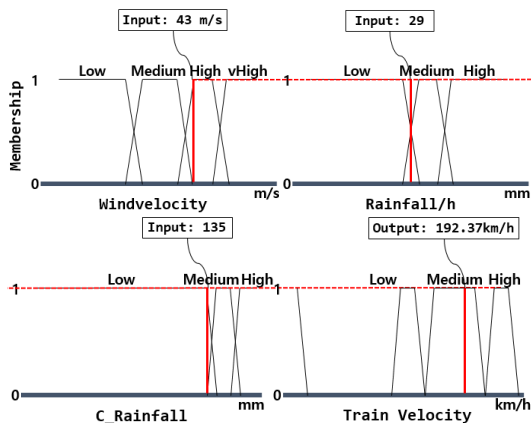


그림 5. 다변수에 의한 제한속도 산정(풍속, 시간당 강우량, 연속강우량)  
Fig. 5. Estimated speed-limit for multivariate(wind velocity, rainfall/h, c\_rainfall)

다. 열차의 속도는 192.37km/h로 산정되었다. 이는 실제 환경에서와 같이 다양한 환경이 복합적으로 이루어졌을 경우와 마찬가지로 여러 기상이상상태 변수에 대해 fuzzy규칙을 반영하여 안전을 위한 속도를 계산하였다.

### III. 결론

본 논문은 인프라(기상) 이상상태를 기반으로 자율주행열차의 제한속도를 산정하는 방법을 제안하였다. 인프라 이상상태 중 기후의 변화에 따른 제한속도를 산정하였다. 인프라 이상에 따른 철도사고 및 운행장애 현황을 분석하여 열차자율주행에서의 인지대상과 판단대상을 선정하였으며 철도차량 운전 취급규정을 참고하여 현재 시행중인 운전세칙으로 제안방법의 판단 규칙을 생성하였다. 제안한 방법은 계단형태로 임계치에 따라 크게 변화하는 제한속도 판단기준에 대해서 퍼지화를 수행하여 비선형적인 판단기준을 제안하였다. 이는 주행예상구간의 상태를 인지하여 열차운행을 안전하고 효율적으로 계획할 수 있으며 실시간으로 발생하는 이상상태에 기민하게 대처할 수 있으므로 향후 열차자율주행의 제한속도 설정 시 필수적으로 반영되어야 할 것으로 기대한다. 본 논문에서는 현재 운영 중인 기관사가 탑승하는 차량과 관제실에서 다루는 인지대상과 운전세칙의 판단대상을 대상으로 시스템을 구성하였으나 도시철도 운행세칙에 따르면 운전자의 목적 또는 판단에 따라서 운행하도록 명시되어있다. 향후 연구를 통해 이에 대응되는 더욱 광범위한 인지대상 및 인프라 대상에 대한 확장이 필요하며 이에 따른 판단알고리즘도 확장되어야 할 것이다. 또한 인프라 및 외부환경 상태의 변화에 대한 시뮬레이션을 통해 탈선계수측정 등 검증이 이루어져야 하나 현재 시뮬레이션을 위한 모델링이 이루어지지 않아 실제 시뮬레이션을 통한 검증은 미흡한 상태이며 향후 연구를 통해 실제 시뮬레이션을 통한 검증이 이루어져야한다. 추가적으로 인프라의 기상이상상태만으로 제한속도를 산정하였으나 하구배, 곡선, 시설, 전력, 통신 등의 넓은 범위의 인프라 이상상태를 고려한 판단알고리즘으로의 확장 또한 이루어져야 한다.

### References

[1] R. Bishop, *Intelligent vehicle technology and trends*, Artech House, Norwood, 2005.  
[2] M. Buehler, et al., *The 2005 DARPA Grand*

*Challenge : The Great Robot Race*, Springer, 2007.

[3] IEEE Std. 1474.1, *IEEE Standard for Communication-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements*, 2004.

[4] A. Janhsen, K. Lemmer, B. Ptok, and E. Schnieder, "Formal specification of the european train control system. In M. Papageorgiou and A. Pouliezios, editors," in *Proc. 8th IFAC Symp. Transp. Syst.*, pp. 1215-1220, China, 1997.

[5] H. Dong, B. Ning, B. Cai, and Z. Hou, "Automatic train control system development and simulation for high-speed railways," *IEEE Cir. and Syst. Mag.*, vol. 10, no. 2, pp. 6-18, 2010.

[6] S. C. Oh, et al., "Detail plan for development of train autonomous-driving control core technology," *Korea Railroad Res. Inst.*, Aug. 2016.

[7] S. Guillaume, "Designing fuzzy inference systems from data: An interpretability-oriented review," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 426-443, 2001.

[8] G. D. Lee and S. W. Kim, "A longitudinal control system for a platoon of vehicles using a fuzzy-sliding mode algorithm," *Mechatronics*, vol. 12, no. 1, pp. 97-118, 2002.

[9] İ. Eski and Y. Şahin "Neural network-based fuzzy inference system for speed control of heavy duty vehicles with electronic throttle control system," *Neural Computing and Appl.*, vol. 28, no. 1, pp. 907-916, 2017.

[10] M. Alvarez Grima, "Neuro-fuzzy modeling in engineering geology," A. A. Balkema, Rotterdam 244, 2000.

[11] K. M. Passino, S. Yurkovich, and M. Reinfrank, *Fuzzy control*, vol. 20, MA: Addison-wesley, 1998.

[12] Korea Rail Network Authority, *High-Speed Railway Operation Detail Regulations*, 2013, from: <https://kr.or.kr>

[13] H. Takagi and I. Hayashi, "NN-driven fuzzy reasoning," *Int. J. Approximate Reasoning*,

vol. 5, no. 3, pp. 191-212, 1991.

[14] S. C. Oh, K. H. Kim, and H. Y. Choi, "Train interval control and train-centric distributed interlocking algorithm for autonomous train driving control system," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 17, no. 11, pp. 1-9, 2016.

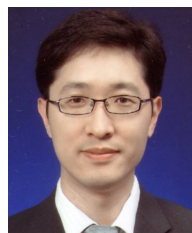
**김진평 (Jin-pyung Kim)**



2006년 2월 : 성균관대학교 전  
자전기컴퓨터 공학과 석사  
2014년 8월 : 성균관대학교 전  
자전기컴퓨터 공학과 석사  
2016년 5월~현재 : 한국철도기  
술연구원 선임연구원

<관심분야> 인공지능, 영상처리, 열차자율주행 인지  
및 제어

**안태기 (Tae-ki An)**



1993년 2월 : 경북대학교 전자  
공학과 졸업  
1996년 2월 : 경북대학교 전자  
공학과 석사  
2011년 2월 : 성균관대학교 전  
자전기컴퓨터 박사  
1995년 12월~현재 : 한국철도기  
술연구원 책임연구원

<관심분야> 정보통신, 인공지능, ICT, IoT

**김 진 호 (Jin-ho Kim)**



1991년 2월 : 서울시립대학교 건  
축공학과 졸업

1993년 2월 : 서울시립대학교 건  
축공학과 석사

2003년 2월 : Univ. of  
California, Davis 박사

2003년 9월~현재 : 한국철도기  
술연구원 수석연구원

<관심분야> 도시철도 안전, 환경, 편의성향상 기술

**윤 희 택 (Hee-taek Yoon)**



2002년 8월 : 성균관대학교 토목  
환경공학과 박사

2000년 7월~현재 : 한국철도기  
술연구원 책임연구원

<관심분야> 토목공학, 교통공학,  
통신공학