

자율주행차량의 도로환경 인식기술 지원을 위한 우선순위 선정 방안

박재홍, 윤덕근*
한국건설기술연구원 도로연구소

The recognition prioritization of road environment for supporting autonomous vehicle

Jaehong Park, Duk Geun Yun*

Highway & Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology

요약 운전자가 차량 조작에 개입하지 않고, 차량 스스로 주행하는 자율주행차량의 시대가 도래하였다. 자율주행차량 시대에서는 자율주행차량이 도로환경을 정확히 인식함으로써, 자율주행 차량의 안전성을 확보 할 수 있다. 그러나, 도로환경을 구성하고 있는 요소는 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성으로 구분 할 수 있으며, 각각을 구성하고 있는 종류, 형태 및 규격은 다양하다. 따라서, 도로환경을 구성하고 있는 시설물 중에서 우선적으로 취득해야 하는 도로시설물에 대한 우선순위 결정이 필요하다. 본 연구에서는 전문가 설문 및 AHP(Analytical Hierarchy Process)기법을 이용하여 도로시설물 인식에 대한 우선순위를 결정하였다. AHP 분석을 위해 항목을 2계층으로 구분했으며, 1계층은 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성, 2계층은 시선유도시설을 포함한 26개의 항목을 구분하였다. 분석 결과, 1계층에서는 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성 중 교통관리시설이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났으며, 2계층에서는 방호울타리(도로안전시설), 교통신호기(교통관리 시설), 중앙분리대(횡단구성)의 우선순위가 높게 나타났다. 또한, AHP 분석 기법을 이용하여 도출된 고경환경을 추출하는 사례를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 도로시설물에 대한 우선순위 선정 결과는 자율주행차량을 위한 인식기술 지원 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract The era of autonomous vehicles, which drive themselves and in whose operation the driver does not intervene, is fast approaching. The safety of autonomous vehicles can be guaranteed only if they recognize the road infrastructure. However, the road infrastructure consists of road safety facilities, traffic operation systems, and cross-sectional concerns, which include a variety of components, such as types, shapes, and sizes. Therefore, it is necessary to prioritize the road information. This study was conducted to select the priority with which the road infrastructure attributes should be acquired using the AHP (Analytical Hierarchy Process) method. The road infrastructure attributes were categorized into 2 levels, levels 1 and 2, which consisted of 3 and 26 types of attributes, respectively. As a result of the AHP analysis, it was found that the highest priorities of the road infrastructure are the road safety facilities, traffic operation systems and cross sectional concerns. Also, in level-2, the priorities of the safety barriers (road safety facilities), traffic signals (traffic operation systems), and the median (cross sectional) are the highest. Also, this study provides application examples of road infrastructure extraction with the Point Cloud. The results are expected to support the recognition of technology for autonomous vehicles.

Keywords : AHP(Analytical Hierarchy Process), Autonomous Vehicle, Cross Sectional, Road Safety Facilities, Traffic Management Facilities

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업의 연구비 지원(No. 10052941)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Duk Geun Yun (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0159 email: dkyun@kict.re.kr

Received January 8, 2018

Revised February 1, 2018

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

교통사고 발생 원인의 90% 이상은 운전자의 인적요인과 관련한 것으로 보고되었다[1]. 인적요인에 의한 대표적인 교통사고 발생 원인은 전방주시태만, 졸음 운전, 조작 미숙 등이며, 이러한 운전자의 과실로 인한 교통사고 발생을 감소시키기 위한 하나의 대안으로써 자율주행 자동차가 대두되고 있다.

자율주행자동차는 운전자의 개입 없이 차량 스스로 주행 환경을 인식하고, 차량의 주행에 필요한 다양한 정보를 판단 및 제어하며, 목적지까지 스스로 주행하는 자동차를 말한다. 자율주행차량의 기능은 도로 및 주변 환경을 인지하는 기술, 인지된 내용을 판단하는 기술, 판단된 정보를 제어하는 기술로 크게 구분 할 수 있다. 특히, 주변 환경을 인지하는 기술은 주행에 필요한 사람의 눈(환경 인지)의 역할을 차량에 부착된 센서가 인식하는 기술을 의미한다. 자율주행차량은 차량에 부착된 센서에 의존하여 주행하므로, 도로표지판과 같은 도로시설물을 인식 하는 것은 매우 중요하다. 또한, 자율주행자동차가 기존의 차량과 조화를 이루면서 주행하기 위해서는 도로 안전표지와 같은 도로안전시설 등을 정확히 인식해야 하며, 인식된 시설물에서 제공하는 정보에 기준하여 도로의 운행 규칙 및 차량 통행권을 위배하지 않고 주행해야 한다. 그러나, 도로에 설치된 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성의 종류가 많고, 동일한 시설물의 경우에도 설치 형태, 규격이 다양하므로, 도로시설물의 모든 종류와 형태를 정확히 인지하는 것은 기술적으로 한계가 존재한다. 따라서, 도로환경을 구성하고 있는 도로시설물을 대상으로, 자율주행차량이 인식해야하는 도로시설물의 우선순위 선정이 필요하다.

본 연구에서는 자율주행차량이 인식해야 하는 도로시설물의 우선순위 선정을 위하여, 자동차, 교통, 컴퓨터, 영상 분야의 산-학-연 전문가 30명을 대상으로 의견을 수렴하였다. 전문가의 의견을 AHP(Analytical Hierarchy Process) 분석기법을 이용하여 분석하였으며, 자율주행차량이 인식해야하는 도로시설물의 우선순위를 결과로써 제시하였다.

기존의 연구에서는 교통사고 발생 예상 구간에서 경고정보 메시지 설계[2]또는 HUD(Head Up Display)에 표시되는 콘텐츠의 우선순위 선정[3]에 AHP 기법을 사용하였다. 또한, 교통약자를 위한 보행환경 개선 및 교통

안전성을 향상시키기 위한 목적의 우선순위 선정[4], 도로 이용자 및 작업자에게 발생 할 수 있는 다양한 형태의 안전사고를 예방하고, 작업의 효율성을 증대 시킬 수 있는 기술별 우선순위 선정[5] 및 대상체의 평가항목에 가중치를 산정하였다[6]. 따라서, AHP 분석기법은 의사 결정에 있어서 필요한 우선순위를 선정하기 위해 주로 사용되는 적합한 방법이다. 이러한 AHP 분석기법을 자율주행차량이 인식해야하는 도로시설물의 우선순위를 선정하는데 적용하였다. 또한, 우선순위로 선정된 도로시설물의 추출 사례 및 활용 방안도 함께 제시하였다.

본 연구에서 제시한 도로시설물의 우선순위 선정 결과는 자율주행차량을 위한 인식기술 지원 관련 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

2. 분석 방법론

2.1 도로환경 정의

본 연구에서 정의하는 자율주행차량이 우선적으로 인식해야하는 도로시설물은 지침[1]에서 구분하고 있는 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성을 의미한다. 도로안전시설은 도로 교통의 안전하고 원활한 소통을 확보하며, 도로의 미비한 구조 상태를 보완하고, 도로이용자의 안전을 도모하기 위해 설치되어야 하는 시설물이다. 교통관리시설은 교통의 원활한 소통과 안전을 도모하고 교통사고를 방지하기 위하여 설치하는 시설물이다. 횡단구성은 도로에서 필요한 통행기능과 공간기능에 따라 구성되어 있는 차도, 중앙분리대 등을 의미한다. 또한, 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성은 지침[1]에 분류되어 있는 12개, 6개, 8개의 세부 항목으로 구성되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 AHP 분석 항목 설정을 위하여 1계층과 2계층으로 구분하였다. 1계층은 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성, 2계층은 시선유도시설을 포함한 26개의 항목이며, Table 1에 각 항목을 제시하였다.

Table 1. The composition for AHP analysis

Class 1		Class 2	
[A]	Road safety facilities	[1]	Delineator
		[2]	Safety barrier
		[3]	Crash cushion
		[4]	Lighting
		[5]	Speed hump

	[6]	Convex mirror
	[7]	Skid resistance
	[8]	Rumble strip
	[9]	Emergency braking facility
	[10]	Fog facility
	[11]	Footbridge
	[12]	Vulnerable user facility
[B]	[1]	Traffic signal
	[2]	Traffic sign
	[3]	Marking
	[4]	Lane
	[5]	Guide sign
	[6]	Emergency call
[C]	[1]	Number, width of lane
	[2]	Median
	[3]	Shoulder
	[4]	Parking zone
	[5]	Bike road
	[6]	Sidewalk(Curb)
	[7]	Roadside green-belt
	[8]	Frontage road

2.2 AHP 분석기법

AHP 분석기법은 전문가들의 집단 의사결정을 체계화하고, 다수의 속성들을 계층적으로 분류하며, 각 속성들의 중요도를 쌍대 비교를 통해 측정하는 방법이다. AHP의 평가항목인 A_i 와 A_j 를 비교하여 ij 의 평가 값을 갖는 경우, 식(1)과 같은 형태로 비교행렬 A 가 도출된다 [6,8].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{식 (1)}$$

또한, 가중치가 신뢰 할 수 있는지 확인하기 위하여 일관성 지수(CI : Consistency Index)를 계산하며, CI를 RI(Random Index)로 나누어 CR(Consistency Ratio)를 계산한다. 일반적으로 CR이 0.1보다 작은 경우, 일관성이 있는 것으로 판단하고, 0.2보다 작으면 허용 가능하다고 판단한다[2,6,9]. 일관성 지수와 일관성 비율을 산출하는 식을 식(2), 식(3)에 제시하였다.

$$\text{일관성 지수}(CI) = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{식 (2)}$$

$$\text{일관성 비율}(CR) = (CI / RI) \times 100 \quad \text{식 (3)}$$

2.3 도로환경 추출

자율주행차량이 주행 안전성을 확보하면서, 도로를 주행하기 위해서는 도로에 설치된 시설물의 종류, 형태 등을 정확히 인식하는 것이 중요하다. 도로환경을 인식하고 추출한 기존의 연구에서는 SVM(Support Vector Machine)을 이용하여 도로표지판을 추출했으며[10], 영상에서의 특징점 추출방법을 적용하여 차선, 정지선, 과속방지턱을 실시간으로 인지하는 방법을 사용하였다 [11]. 또한, SOM(Self-Organizing Maps)을 이용하여 도로표지판을 인식하고 찾으며[12], 자율주행차량을 위해 3D LiDAR의 Point Cloud와 SVM를 이용하여 보행자 인식과 연석을 구분하는 알고리즘을 제안하였다[13]. 또한, Remote Sensing Image를 이용하여 도로 특징을 추출하며[14], 정밀지도, 영상 및 위치 시스템을 이용하여 신호동화를 인지하였다[15]. 본 연구에서는 도로환경을 추출하고자 하는 대상구간을 Point Cloud로 매칭하고, Point Cloud로 구축된 지도에서 도로환경을 취득하는 방법을 사용하였다.

3. AHP 분석 결과

3.1 분석 결과

본 연구에서는 자율주행자동차가 인식해야하는 도로 시설물의 우선순위를 선정하기 위하여 AHP 분석기법을 이용하였다. 1계층에 대한 선호도에 대한 분석결과, 교통관리시설 66.7%, 횡단구성 53.3% 으로 도출되었다. 2 계층에 대한 선호도 분석 결과, 교통관리시설의 교통신호기 86.7%, 횡단구성의 중앙분리대 76.7%, 차로 수(폭) 70% 순으로 나타났다. 또한, 도로안전시설에서는 시선 유도시설, 방호울타리 36.7%으로 도로안전시설 항목에서 인식기술에 중요한 요소인 것으로 도출되었다. 기타 의견으로는 톨게이트, 공사표지 및 사고표지(삼각대), 과속카메라, 차선정보(직진차로, 직진금지 등), 이상기후 대비한 센서를 통한 인식 등 제시된 도로환경 외에 추가적으로 인식하여야 할 도로시설물 및 기타 환경에 대해 제안한 것으로 분석되었다.

3.2 가중치(Weight) 산출 결과

가중치 산정 결과 교통관리시설이 가중치가 0.424로 가장 높게 산출되었으며, 횡단구성 0.342, 도로안전시설

0.235순으로 가중치가 산정되었다. 각 계층내 항목에서는 도로안전시설의 시선유도시설 0.112, 방호울타리 0.113, 교통관리시설에서는 교통신호기 0.295, 차선 0.230, 교통안전표지 0.169, 횡단구성의 차로 수(폭) 0.216, 중앙분리대 0.227로 자율주행차량의 인식에서 중요한 요소인 것으로 도출되었다. 전체적인 측면에서는 교통신호기 0.295, 차선 0.230, 중앙분리대 0.227 순으로 가장 우선적으로 인식을 해야 하는 것으로 도출되었으며, Table 2에는 가중치 산출 결과를 제시하였다.

3.3 민감도 분석 결과

설문 응답자들의 주관적인 판단이 도출된 가중치 값에 영향을 미치는 가능성 여부를 확인하기 위해 쌍대비교행렬의 고유 값에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석을 위해 역제곱 법칙(Inverse Square Law)을 사용하여 각 계층별로 추정된 가중치에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 분석결과, 최종 값과 가중치간의 편차가 큰 차이가 없는 것으로 분석되었고, 각 편차의 중간

값(Median Value)은 모두 0.1 이하인 것으로 분석되었다. 따라서 설문응답을 한 전문가 30명의 주관적인 견해를 바탕으로 산정한 가중치의 민감도는 적다고 판단할 수 있다. 최종적으로 도출된 우선순위 결과를 살펴보면, 1계층에서는 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성 중 교통관리시설이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났으며, 2계층에서는 방호울타리(도로안전시설), 교통신호기(교통관리시설), 중앙분리대(횡단구성)의 우선순위가 높게 나타났으며, Table 3에 제시하였다.

3.4 도로시설물 추출 결과

본 연구에서는 자율주행자동차가 우선적으로 인식해야 하는 도로시설물로 선정된 신호기, 차선, 연석, 방호울타리를 추출한 사례를 Fig. 1.에 제시하였다. 차세대융합기술연구원과 자동차부품연구원에 존재하는 도로환경을 대상으로 하였으며, 자율주행차가 인식해야 하는 관점에서 추출 결과를 제시하였다. Fig. 1-(a)에서는 교통운영시설의 신호등화를 추출했으며, 이는 자율주행차량이 최

Table 2. The result of weight analysis

Class 1	Weight (a)	Class 2	Weight (b)	Final weight (a) x (b)	Rank (Each group)	Rank (All group)
A	0.235	A-1	0.112	0.026	2	13
		A-2	0.113	0.027	1	12
		A-3	0.086	0.020	5	19
		A-4	0.073	0.017	8	22
		A-5	0.107	0.025	3	15
		A-6	0.066	0.015	11	25
		A-7	0.062	0.015	12	26
		A-8	0.072	0.017	9	23
		A-9	0.086	0.020	4	18
		A-10	0.074	0.017	7	21
		A-11	0.066	0.016	10	24
		A-12	0.083	0.020	6	20
B	0.424	B-1	0.295	0.125	1	1
		B-2	0.169	0.071	3	5
		B-3	0.135	0.057	4	6
		B-4	0.230	0.097	2	2
		B-5	0.090	0.038	5	8
		B-6	0.081	0.034	6	9
C	0.342	C-1	0.216	0.074	2	4
		C-2	0.227	0.078	1	3
		C-3	0.089	0.030	4	10
		C-4	0.071	0.024	7	16
		C-5	0.087	0.030	5	11
		C-6	0.166	0.057	3	7
		C-7	0.074	0.025	6	14
		C-8	0.070	0.024	8	17

Table 3. The result of sensitivity analysis

Level	Class	Number of responses	Normalizati on	Square of normalizati on	Reciprocal of previous column	Normalized reciprocal	Final values	Estimated weights	Order priority	Deviation	Median of deviation vector
1	A	10	0.217	0.047	21.160	0.610	0.195	0.235	3	-0.040	0.000
	B	20	0.435	0.189	5.290	0.152	0.424	0.424	1	0.000	
	C	16	0.348	0.121	8.266	0.238	0.381	0.342	2	0.039	
A	A-1	11	0.183	0.034	29.752	0.006	0.090	0.112	2	-0.022	0.004
	A-2	11	0.183	0.034	29.752	0.006	0.090	0.113	1	-0.023	
	A-3	6	0.100	0.010	100.000	0.020	0.089	0.086	5	0.003	
	A-4	4	0.067	0.004	225.000	0.044	0.087	0.073	8	0.013	
	A-5	10	0.167	0.028	36.000	0.007	0.090	0.107	3	-0.016	
	A-6	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.066	11	0.025	
	A-7	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.062	12	0.029	
	A-8	3	0.050	0.003	400.000	0.079	0.084	0.072	9	0.012	
	A-9	6	0.100	0.010	100.000	0.020	0.089	0.086	4	0.003	
	A-10	3	0.050	0.003	400.000	0.079	0.084	0.074	7	0.010	
	A-11	1	0.017	0.000	3600.000	0.711	0.026	0.066	10	-0.040	
	A-12	5	0.083	0.007	144.000	0.028	0.088	0.083	6	0.005	
2	B-1	26	0.329	0.108	9.232	0.001	0.200	0.295	1	-0.095	0.000
	B-2	15	0.190	0.036	27.738	0.004	0.199	0.169	3	0.031	
	B-3	11	0.139	0.019	51.579	0.007	0.199	0.135	4	0.063	
	B-4	23	0.291	0.085	11.798	0.002	0.200	0.230	2	-0.030	
	B-5	3	0.038	0.001	693.444	0.099	0.180	0.090	5	0.090	
	B-6	1	0.013	0.000	6241.000	0.887	0.023	0.081	6	-0.058	
C	C-1	21	0.304	0.093	10.796	0.001	0.143	0.216	2	-0.073	0.005
	C-2	23	0.333	0.111	9.000	0.001	0.143	0.227	1	-0.084	
	C-3	4	0.058	0.003	297.563	0.029	0.139	0.089	4	0.050	
	C-4	1	0.014	0.000	4761.000	0.458	0.077	0.071	7	0.006	
	C-5	3	0.043	0.002	529.000	0.051	0.136	0.087	5	0.048	
	C-6	16	0.232	0.054	18.598	0.002	0.143	0.166	3	-0.023	
	C-7	1	0.014	0.000	4761.000	0.458	0.077	0.074	6	0.003	
	C-8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.070	8	0.073	

우선적으로 인식해야 하는 시설물로 나타났다. 신호등화에서는 신호등의 위치, 등화 수에 대한 정보가 추가적으로 요구된다. Fig. 1-(b)에서는 차선 정보를 수집했으며, 횡단구성의 하위계층에서 우선순위가 높게 나타났다. 차선은 자동차를 안전하게 주행시키기 위하여 설치한 때 모양의 도로부분으로써, 차량의 통행권을 확보하고, 차로와 차로를 구분하기 위하여 설치된다. 자율주행차량의 안전성을 확보하기 위해서는 차량이 통행해야 하는 구간을 인식하는 것이 중요하며, 이는 자율주행차량의 안전성 확보와도 연결되는 부분이다. 교통류의 원활한 흐름과 안전을 위해 기본적으로 교차로 등에 설치되는 교통신호와 차선을 우선적으로 인식할 수 있는 비전시스템 및 기타 센서 등을 통하여 인식할 수 있는 기술을 개발이 필요하다. Fig. 1-(c), (d)에서는 연석과 과속방지턱을 추출했으며, 횡단구성과 도로안전시설에서 우선순위 3번째로 인식해야 하는 것으로 나타났다. 연석은 도로와 보도 또는 인접지역의 외곽 부분을 구분하는

경계이며, 과속방지턱은 특정 구간에서 차량의 과속을 방지하기 위해 설치하는 시설이다. 연석 및 과속방지턱의 인식을 통해 안전성을 확보 할 수 있는 것으로 나타났다.

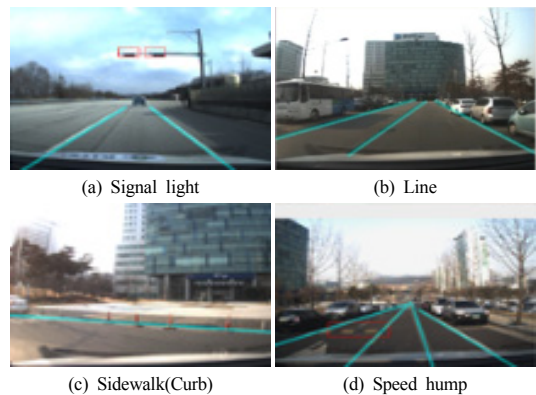


Fig. 1. Application of AHP analysis result

4. 결론

본 연구에서는 도로환경을 구성하고 있는 도로시설물을 대상으로 자율주행차량이 인식해야 하는 도로환경 시설물의 우선순위 선정 연구를 수행하였다. 우선순위 선정은 전문가 설문 및 AHP분석을 사용했으며, 자동차, 교통, 컴퓨터, 영상 분야의 전문가로 구성된 30명을 대상으로 설문을 진행했으며, 1계층은 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성, 2계층은 시선유도시설을 포함한 26개의 항목으로 구분하였다.

자율주행차량이 인식해야하는 도로시설물의 우선순위 결과를 분석하면, 1계에서는 도로안전시설, 교통관리시설, 횡단구성 등의 도로환경 중 교통관리시설 인식이 가장 우선적으로 수행되어야 하는 것으로 결론되었다. 또한, 2계층에 도로안전시설의 시선유도시설, 방호울타리, 교통관리시설에서는 교통신호기, 차선, 교통안전표지, 횡단구성의 차로 수(폭), 중앙분리대로 나타났다.

1계층 및 2계층의 종합적인 선호도를 고려한 결과 자율주행차량의 인식기술 개발시 우선적으로 인식하여야 할 항목으로 교통신호기, 차선, 중앙분리대, 차로 수(폭), 교통안전표지 순서로 인식해야 하는 것으로 도출되었다. 따라서, 자율주행차량이 도로를 안전하게 주행하기 위해서는 자율주행차량이 주행하는 공간에 대한 인식(차선, 중앙분리대, 연석), 주행경로 정보(교통신호)와 관련된 정보를 사전에 인지해야한다는 결론의 도출이 가능하다.

본 연구의 결과를 발전시키기 위해서는 향후 연구에 다음의 사항이 고려되어야한다. 본 연구에서는 자율주행차량이 인식해야하는 도로시설물의 우선순위를 선정하기 위해 30명을 대상으로 AHP 분석을 수행하였다. 모집단의 수가 30개 이상 확보되면 통계적으로 분석 자료로써 활용 할 수 있지만, 향후 연구에서는 다양한 분야, 다수의 전문가 의견을 수렴하여 분석하는 것이 필요하며, 도로시설물의 세부 추출되는 항목과 관련하여 세부적이고 정확한 내용 등을 포함해야 한다. 또한, 본 연구에서 자율주행차량이 인식해야하는 대상물은 도로환경을 구성하고 있는 도로시설물에 한정하였다. 그러나, 향후 연구에서는 도로를 주행하고 있는 차량, 보행자 등으로 범위를 확장시켜 연구를 수행하여야 한다.

본 연구의 결과는 자율주행차량의 인식 기술 개발 지원 및 자율주행차량의 안전성을 확보하는 연구에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] ASSHTO, "Highway Safety Manual", 2010.
- [2] T. J. Kim, C. Oh, and J. T. Oh, "Methodology for Selecting Traffic Safety Warning Messages Using Analytical Hierarchical Process(AHP)-based Multi-Criteria Value Function", *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 2 pp. 1-11, 2010.
- [3] B. Park, W. Kang, and T. Kim, "The Decision of Order Priority of HUD Contents for Public Transit", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 15, no. 1 pp. 135-141, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.1.135>
- [4] M. J. Kim, and Y. W. Lee, "A Study on the Road Facilities Use Characteristics of the Transportation Vulnerable by AHP Analysis", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 33, no. 3 pp. 276-283, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.7470/jkst.2015.33.3.276>
- [5] J. G. Kim, C. H. Yang and D. G. Yun, "Prioritization of Potential Technology for Establishing a Safe Work Zone Environment", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 17, no. 6 pp. 117-126, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.6.117>
- [6] J. Seong, and Y. Byun, "A Study on the Weights of the Condition Evaluation of Rock Slope used in Entropy and AHP Method", *Journal of the Korean Society of Safety*, vol. 31, no. 5 pp. 61-66, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.5.61>
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Regulation on Geometric design/Facilities Standards of roads, 2013.
- [8] T. L. Saaty, "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure", *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15 pp. 234-281, 1977.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- [9] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.
- [10] J. S. Lee, and D. G. Yun, "The Road Traffic Sign Recognition and Automatic Positioning for Road Facility Management", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 15, no. 1 pp. 155-161, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.1.155>
- [11] Y. S. Ahn, S. W. Kwak, and J. M. Yang, "Recognition of Lanes, Stop Lines and Speed Bumps using Top-view Images", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 11 pp. 1879-1886, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.11.1879>
- [12] M. S. Prieto, and A. R. Allen, "Using self-organizing maps in the detection and recognition of road signs", *Image and Vision Computing* 27, pp. 673-683, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2008.07.006>
- [13] H. Wang, B. Wang, B. Liu, X. Meng, and G. Yang, "Pedestrian Recognition and Tracking using 3D LiDAR for Autonomous Vehicle", *Robotics and Autonomous Systems* 88, pp. 71-78, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.11.014>

- [14] W. Wang, N. Yang, Y. Zhang, F. Wang, and T. Cao, "A Review of Road Extraction from Remote Sensing Images", *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 3, no. 3 pp. 271-282, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.05.005>
- [15] C. Jang, S. Cho, S. Jeong, J. K. Suhr, and H. G. Jung, "Traffic Light Recognition Exploiting Map and Localization at Every Stage", *Expert Systems With Applications* 88, pp. 290-304, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.003>

박 재 흥(Jaehong Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한양대학교 교통공학과 (교통공학석사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

교통 안전, 자율 주행

윤 덕 근(Duk Geun Yun)

[정회원]



- 2009년 2월 : 명지대학교 교통공학과 (교통공학박사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

교통 안전, 도로 관리, 도로 설계, 자율 주행