

## 지속가능성을 고려한 도시부 도로의 서비스수준 통합 평가 연구

### Integrated Evaluation of Level of Service for Urban Streets Considering Sustainability

최용석 Choi, Yongseok  
김응철 Kim, Eungcheol

인천광역시청 교통기획과 전임계약직 (E-mail : flow0water@korea.kr)  
정회원 · 인천대학교 건설환경공학과 부교수 (E-mail : eckim@incheon.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This paper aims to improve the evaluation method of the Level of Service(LOS) for urban streets presented by the current Korean Highway Capacity Manual(KHCM) and suggest its utilization plan as a part of the methods to evaluate the sustainability of a transportation policy.

**METHODS :** This paper carried out a research in 3 steps to develop a new evaluation method. First of all, this paper reviewed the previous studies related to the LOS of urban streets and the socially requested items for a sustainable transportation system. Then this paper derived an index and weight through expert questions to select an evaluation index. Lastly, this paper compared the results according to the existing evaluation methods with the new evaluation methods through case studies. This paper used an Analytic Hierarchy Process(AHP) for importance analysis and weight selection between new evaluation items and indices, and applied a Grey System Theory(GST) for a synthetic and integrated evaluation between the selected evaluation indices.

**RESULTS :** As a result of evaluating the LOS according to the existing evaluation methods and the integrated evaluation methods using a GST through case studies, it was analyzed that new methods' results are less than or equal to the existing evaluation methods; and as a result of applying a weight between evaluation indices according to AHP, it was noticed that the total score seems to rise more when the LOS in the existing evaluation is calculated lower. It was analyzed that the LOS calculated by reflecting the newly established evaluation items and the importance between indices in this study has difference from the LOS of the existing urban streets.

**CONCLUSIONS :** It is expected that this evaluation method can diagnose the current conditions when establishing a future sustainable traffic system and can be used for the measurement of the sustainability effects of the improvement plans and so on.

#### Keywords

sustainability, LOS, Grey System Theory(GST), urban streets, AHP

Corresponding Author : Kim, Eungcheol, Professor  
Department of Civil and Environmental Engineering, University of Incheon 119,  
Academy-ro(12-1 Songdo-dong), Yeonsu-gu, Incheon, 406-722, Korea  
Tel : +82.32.835-8469 Fax : +82.32.835.0775  
email : eckim@incheon.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

지속가능한 개발(Sustainable development)이라는

새로운 계획 패러다임의 등장과 정부의 저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)이라는 정책기조를 중심으로 녹색교통 구현을 위한 교통부문의 역할이 중

요시 되고 있다. 특히 교통부문은 국내 전체 온실가스 배출량의 19%, 에너지 사용량의 21%를 차지하고 있어 교통수요 관리정책 강화, 생활밀착형 자전거·보행 활성화, 빠르고 편리한 대중교통 구현, 철도·연안해운 위주 녹색물류체계 구축, 녹색교통기술 개발 및 보급 등 온실가스 배출량 감축을 위한 정책들이 활발히 추진 중이다.

그러나 이러한 변화에도 불구하고 현재까지는 도시부도로의 서비스수준을 평가하는 방법들이 도로용량 및 통행속도, 지체도 등 이동성(Mobility) 지표만을 고려하고 있어 지속가능성 측면에서 현재의 도로교통 상태를 정확히 진단해 줄 수 있는 기준과 평가방법들이 미흡하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 기존 도로 서비스수준 평가방법의 한계를 극복하고 안전성, 지속가능성 등에 관한 지표를 선정하여 이를 종합적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다고 판단하며, 사례분석을 통하여 기존 평가지표에 의한 서비스수준과 새로운 평가지표에 의한 서비스수준을 비교하여 지속가능성을 반영한 서비스수준 평가모형을 개발하고자 한다.

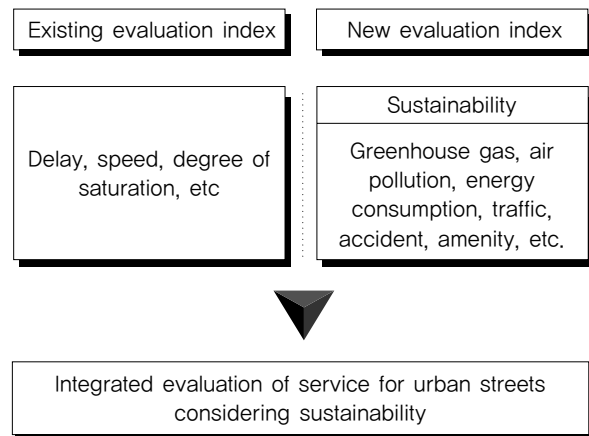


Fig. 1 Background and Purpose of Research

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

기존 평가방법과 새로운 평가방법의 비교를 위한 사례연구는 인천광역시 소재 주요도로 중 지역별 배치, 교통 및 환경적 특성을 고려하여 총 3개 노선을 선정하였다. 본 연구는 크게 다음 세 가지 내용을 중심으로 수행되었다.

첫째, 국내·외 문헌고찰을 수행함으로써 지속가능성을 반영한 도시부도로의 서비스수준 평가를 위한 평가항목 및 지표를 검토하였다. 둘째, 통합 평가방법 개발을 위해 사용한 계층분석법(Analytic Hierarchy

Process, AHP)과 Grey System Theory(GST)의 적용방안을 살펴보았다. 마지막으로 사례연구를 통하여 도로용량편람(Korean Highway Capacity Manual)의 기존 평가방법과 GST를 적용한 통합 평가방법에 의한 서비스수준을 비교·검토하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1. 기존문헌 및 연구 고찰

도로의 평가방법 및 지속가능한 교통에 관한 국내의 연구문헌을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다. 대표적인 도로의 평가방법으로는 도로용량편람에 의한 서비스수준 평가를 들 수 있다. 도로용량편람에서는 도시 및 교외 간선도로의 평가척도(Measure of Effectiveness, MOE)인 평균통행속도를 기준으로 서비스수준을 8단계(A~FFF)로 세분화하여 제시하고 있다(Table 1 참조).

또한, 이용자의 만족도나 쾌적성, 미관성 등을 포함한 정성적인 요인들을 도로 서비스수준 평가에 반영(정현영(1998), 손방훈(2006), 김태호(2009), Aimee Flannery(2004) 등)하여 현실화하고자 하는 노력들이 있었다.

Table 1. Urban Streets LOS by Class

Urban streets class	I	II	III
Range of Free-Flow-Speeds(FFS) (km/h)	≤ 85	≤ 75	≤ 65
Typical FFS(km/h)	80	70	60
서비스수준	Average travel speed (km/h)		
A	≥ 67	≥ 60	≥ 49
B	≥ 51	≥ 46	≥ 39
C	≥ 37	≥ 33	≥ 29
D	≥ 28	≥ 25	≥ 20
E	≥ 21	≥ 18	≥ 12
F	≥ 10	≥ 10	≥ 8
FF	≥ 6	≥ 6	≥ 5
FFF	< 6	< 6	< 5

note : Urban street classes are divided into three types according to the function, design level, and conditions

지속가능한 교통부문은 1972년 지속가능한 개발에 대한 개념의 등장 이후 2000년대에는 지속가능성 지표에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 지속가능성 평가항목별 지표의 개수 차이는 있으나 대부분은 지속가능성의 세 가지 속성인 경제성, 사회성, 환경성을 중심으로 각 속성별 지표를 선정하여 교통부문의 평가지표를 제

시하고 평가를 수행하였다. 홍갑선(2002)은 지속가능한 교통체계의 기본방향 및 목표와 부문별로 50여개의 지속가능성 지표를 제시하며 사전평가 제도도입을 제안하였다. 김도환(2007)은 평가항목을 대중교통, 녹색교통, 환경, 에너지, 교통안전, 정보화로 구분하였고 이신해(2009)는 경제성, 사회성, 환경성을 24개 항목 163개 지표로 세분화하였다. 또한 지속가능성 평가를 위한 항목별 지표 선정에는 AHP에 의한 산정방법이 많이 사용되었다. Table 2는 도로의 서비스수준 평가 및 지속가능성 지표에 관한 국내·외 연구를 요약 기술한 것이다.

## 2.2. 결과요약

국내외 연구문헌을 종합적으로 살펴보면 도로서비스수준 평가 시 정량적인 지표이외에 정성적인 요인을 반영한 평가가 필요한 것으로 제시하고 있으나 교통의 지속가능성에 관해서는 평가항목이나 지표의 선정에서 그치고 있어 실제 도로에 적용하는 연구는 과제로 남아있다.

이에 본 연구에서는 지속가능성을 도시 및 교외간선 도로에 대한 설계 및 운영상태 분석 시 고려할 수 있는 방법론과 평가지표 등을 검토하고자 한다.

## 3. 분석방법론 및 사례연구

### 3.1. 분석방법론 및 평가지표 선정

분석방법론과 관련하여 본 연구에서는 기존지표와 새

로운 지표의 통합평가를 위한 방법론으로 1982년 중국의 Julong Deng에 의해 제안된 Grey System Theory(GST)를 사용하였다. GST는 불규칙한 시계열 Data와 과거, 현재의 상태에 따른 진단 및 경향예측을 수행하는데 사용되는 방법이다. 실제 도로교통의 상태를 나타내는 데이터는 불규칙한 시계열 데이터가 많고 기존의 방법을 적용할 경우 대량의 데이터 또는 최소 표본수 이상의 데이터가 필요하며 계산량이 많아지는 단점이 있는데 GST의 경우에는 이러한 단점을 보완할 수 있도록 개발되었다. 기본적으로 전체적인 개념은 퍼지(Fuzzy) 이론과 같다고 할 수 있으나, 데이터형태 및 처리방법 등의 접근방법에서 차이가 있다. GST는 모든 정보를 Black, White, Grey 등 3개의 시스템 형태로 구분할 수 있다. Black 시스템은 정보 또는 데이터에 대해 아무것도 알려져 있지 않음을 의미하고 White 시스템은 정보나 데이터를 완벽하게 알고 있는 경우이다. 또한 불분명하고 불완전한 정보를 갖는 시스템은 Grey 시스템이라 한다. GST는 우선 최소값과 최대값의 범위 안에서 존재하는 Grey값( $\otimes X$ )을 가지고 있는데, 이를 수식으로 표현하면 다음 Eq. (1)과 같다.

$$\otimes X \in [\otimes X, \overline{\otimes X}] \quad (1)$$

여기서,  $\otimes X$ 는 최소값,  $\overline{\otimes X}$ 는 최대값

또한, 관측값(결정된 값, whitening Number)을 'X

Table 2. Summary of Research on Road Evaluation and Sustainability Index

Subject	Author(year)	Research
Road evaluation	Jung, Hyeonyoung (1998)	Analysis on correlation through amenity, aesthetics, safety, and convenience index
	Son, Banghoon (2006)	Road service evaluation considering qualitative factors such as aesthetics, maintenance, user behavior, information, and other conditions
	Kim, Taeho (2009)	Service quality evaluation through network analysis considering qualitative factors such as sidewalk usage pattern, walk view, sidewalk maintenance, level of walk
	Aimee Flannery (2004)	LOS reevaluation based on individual drivers' satisfaction while they are watching a video showing actual road driving situation
Sustainability index	Hong, Gapseon (2002)	Evaluation based on 50 indexes including air pollution, noise, water pollution, waste, energy consumption, land usage, price structure, taxation, transport share rate, transportation facilities, number of vehicles, traffic safety
	Kim, Dohwan (2007)	Evaluation of urban sustainability of 34 cities based on 18 indexes of 6 categories including public transportation, green transportation, environment, energy, traffic safety, and informatization
	Lee, Shinhae (2009)	Establishment and functionalization of economic, social, environmental feasibility indexes, Time series and cross-sectional evaluation and understanding improvements
	Lee, Jingak (2010)	Introduction of link & place to pedestrian areas. Integrated evaluation as sustainability indexes considering road function and used land characteristics

라고 가정하면 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\oplus X \in 'X, 'X \in [\oplus X, \overline{\oplus X}] \quad (2)$$

Wen(2004)의 구분에 의하면 GST는 Generating(생성), Relational Analysis and Evaluation(관계 분석 및 평가), Model(모형), Prediction(예측), Decision Making(의사결정), Control(제어) 등 여섯 가지로 나누고 있는데 본 연구에서는 관측 데이터를 활용(결측 데이터 포함)하여 통합 평가가 가능한 Grey Relational Analysis and Evaluation(관계 분석 및 평가)에 대하

여 적용하도록 한다.

GST를 이용하여 통합평가를 수행하기 위하여 다음과 같은 절차에 따라 평가지표를 선정하였다. 첫째 선행연구 고찰을 통해 수집한 지속가능성 지표들을 종합화하였다. 둘째, 본 연구에서 설정한 지속가능성 평가항목과 크게 관련이 없거나 개념이 모호한 지표는 정리하고 측정가능성, 객관성, 이해용이성, 명확성, 대표성 등을 기준으로 1차 평가지표를 선정하였다(Table 3 참조). 1차 선정 시에는 정량화가 가능한 지표로써 관측값의 범위 설정이 용이하고 비교적 시간자료 형태로 구득이 가능한 지표를 중점적으로 검토하였다. 셋째, 선정된 지표에

Table 3. Evaluation Indexes Primarily Chosen

Classification	Evaluation index	Unit	Evaluation items
Economic	Average travel speed	km/h	Car travel speed
	Traffic Congestion Price	KRW/km	Traffic Congestion Price
Environmental	Greenhouse gas emission	ton	Greenhouse gas(CO <sub>2</sub> ) emission
	Air pollution emission	ppm	CO, SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>
	Energy consumption	1000L/person	Energy consumption based on 'gu' and 'gun'
	Car composition ratio	percentage(%)	Car dependence
Social	No. of traffic accidents	cases/year	car-car, car-person
	No. of illegally parked cars	percentage(%)	No. of illegally parked cars
	Satisfaction level for green traffic	scale of 8	Walk, bike-related facilities and environment

Note : After a survey with experts, traffic congestion costs were excluded. Environment section was recomposed with air pollution costs (KRW/km) based on CO<sub>2</sub> and traffic noise. 'Equivalent property damage only' was applied to the number of traffic accidents to reflect the severity of the accidents.

Table 4. Final Selection Evaluation Index and Grey Category composition

Classification	Evaluation index	Grey Category								Standard
		A	B	C	D	E	F	FF	FFF	
Economic	Average Travel speed I	≥67.0	≥51.0	≥37.0	≥28.0	≥21.0	≥10.0	≥6.0	<6.0	Note 1
	Average Travel speed II	≥60.0	≥46.0	≥33.0	≥25.0	≥18.0	≥10.0	≥6.0	<6.0	Note 1
	Average Travel speed III	≥49.0	≥39.0	≥29.0	≥20.0	≥12.0	≥8.0	≥5.0	<5.0	Note 1
Environmental	Air pollution costs	<5.23	≤5.23	≤5.64	≤6.15	≤6.82	≤7.74	≤9.10	≤11.42	Note 2
	Traffic noise	<50.0	≤50.0	≤54.2	≤58.3	≤62.5	≤66.7	≤70.8	≤75.0	Note 3
	Energy consumption per capita	<0.10	≤0.10	≤0.25	≤0.40	≤0.55	≤0.70	≤0.85	≤1.00	Note 4
	Car composition ratio	<10.0	≤10.0	≤20.0	≤30.0	≤40.0	≤50.0	≤60.0	≤70.0	Note 5
Social	Traffic accident severity	<0.1	≤0.1	≤0.4	≤0.6	≤0.9	≤1.2	≤1.4	≤1.7	Note 6
	Illegally parked cars ratio	<3.0	≤3.0	≤8.0	≤12.0	≤17.0	≤21.0	≤26.0	≤30.0	Note 5
	Green traffic satisfaction	≥8.0	≥7.0	≥6.0	≥5.0	≥4.0	≥3.0	≥2.0	<2.0	Note 5

Note 1 : Service level standard for urban and suburb main roads from Highway Capacity Manual applied. Average travel speed was classified into three types depending on the function, design level, and conditions of the roads

Note 2 : Based on the revised and supplementary study on pre-feasibility of road and railway projects (the 5th edition)

Note 3 : Roadside standards from Environmental Policy Act (annexed list 1) applied

Note 4 : Based on energy consumption statistics of 74 gun and gu roads in the 7 major cities

Note 5 : Categories made based on field research and literature

Note 6 : Improvement plans and effect analysis standards for 2010 traffic accident-prone areas

대해 전문가 설문을 통하여 최종 평가지표를 결정하였다. 총 31명의 전문가 답변 중 28명(90.3%)이 선정된 평가지표 및 항목별 분류체계가 적절하다고 응답하여 평가지표를 최종 확정하였다. 선정된 평가지표는 Table 4와 같이 Grey Category에 따라 총 8개로 A~FFF까지 구성하였다.

### 3.2. 연구대상 및 자료수집

연구대상은 인천광역시 내 주요도로 중 지역 배치, 교통 및 환경적 특성을 고려하여 경인로, 경원로, 인중로 3개 노선(Fig. 2 참조)을 선정하였다. 평가지표별로 현장 관측 조사와 문헌조사를 실시한 결과는 다음 Table 5와 같다.

- ① 경인로 : 싹터공원4~석바위4~주안국민은행4~주원초교4, 2.19km
- ② 경원로 : 부평공원4~부평역5~굴다리5, 1.17km
- ③ 인중로 : 화수4~송현4~황금고개4, 1.53km



Fig. 2 Case Study

Table 5. Collection and Observation Data Based on Evaluation Item of Subject Sections

Classification	Evaluation index	Gyeongin Road		Gyeongwon Road		Injeong Road	
		EB	WB	EB	WB	EB	WB
Economic	Average travel speed***	30.70	18.60	18.50	21.40	29.50	13.20
Environmental	Air pollution costs**	9.00	12.19	12.24	11.10	9.22	15.14
	Traffic noise**	69.50	69.50	64.75	64.75	70.75	70.75
	Energy consumption per capita**	0.37	0.37	0.33	0.33	0.49	0.49
	Car composition ratio*	69.00	65.00	57.00	59.00	54.00	42.00
Social	Traffic accident severity**	1.49	1.49	1.58	1.58	1.31	1.31
	Illegally parked cars ratio*	5.02	4.34	5.98	3.85	0.33	0.33
	Green traffic satisfaction*	3.92	3.92	4.00	4.00	3.44	3.44

Note 1 : \* Selected based on field observation, survey, data  
 \*\* literature and statistics, \*\*\* observation data

Note 2 : Average travel speed =  $\frac{3,600 \times \text{interval length}}{\text{travel time per km} \times \text{interval length} + \text{approach delay}}$

### 3.3. 기존방법에 의한 평가

수집 및 관측된 자료로 현행 도로용량편람의 도시 및 교외간선도로 분석방법에 따라 오전첨두 시(08:00~09:00)의 서비스수준을 분석한 결과 경인로는 D~E, 경원로는 E, 인중로는 D~F 수준으로 나타났다. Table 6부터 Table 8까지는 연구대상 노선의 세부구간별 분석결과를 요약한 것이다.

Table 6. Analysis Result of Gyeongin Road

Section	Length (km)	Time (sec)	Travel speed (kph)	Section LOS	Total LOS
Swimteo Park4 → Seokbawi4	0.83	104.07	28.7	D	30.7 D
Seokbawi4 → Juan KB-bank5	0.80	101.60	28.3	D	
Juan KB-bank5 → Juwonchogyo4	0.56	51.48	39.2	C	
Juwonchogyo4 → Juan KB-bank5	0.56	78.33	25.7	D	18.6 E
Juan KB-bank5 → Seokbawi4	0.80	122.26	23.6	E	
Seokbawi4 → Swimteo Park4	0.83	224.38	13.3	F	

Table 7. Analysis Result of Gyeongwon Road

Section	Length (km)	Time (sec)	Travel speed (kph)	Section LOS	Total LOS
Bupyeong Park4 → Bupyeong Stn.5	0.60	124.72	17.3	F	18.5 E
Bupyeong Stn.5 → Guldari5	0.57	102.46	20.0	E	
Guldari5 → Bupyeong Stn.5	0.57	77.75	26.4	D	21.4 E
Bupyeong Stn.5 → Bupyeong Park4	0.6	119.33	18.1	E	

Table 8. Analysis Result of Injeong Road

Section	Length (km)	Time (sec)	Travel speed (kph)	Section LOS	Total LOS
Hwasu4 → Songhyeon4	1.00	87.51	41.1	C	29.5 D
Songhyeon4 → Hwanggeum gogye4	0.53	99.51	19.2	E	
Hwanggeum gogye4 → Songhyeon4	0.53	357.38	5.3	FFF	13.2 F
Songhyeon4 → Hwasu4	1.00	59.19	60.8	A	

### 3.4. 새로운 방법에 의한 평가 및 결과 비교

#### 3.4.1. GST 단계별 분석 및 평가

GST 분석은 다음과 같이 총 5단계로 구분하여 수행한다.

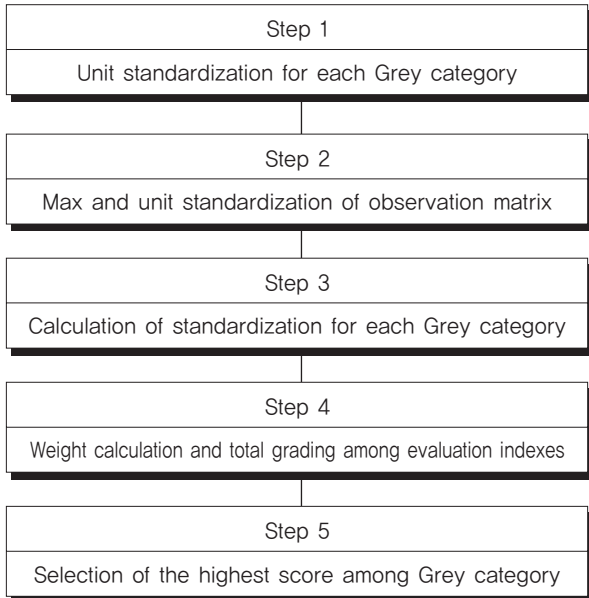


Fig. 3 GST Evaluation Steps

##### 3.4.1.1. 1단계 : Grey Category 단위표준화

최종 선정된 평가지표(Table 4 참조)로 구성된 8개의 Grey Category에 대하여 항목별 최대값을 가진 변수를 기준으로 각 항목을 나누어 단위 표준화를 수행한다. 표준화된 최대값은 1이 되며 각 카테고리별 변수들은 그에 대응하는 가중치 값으로 변환된다. 1단계를 수식과 행렬로 표현하면 다음 Eq. (3) 및 Eq. (4)와 같다.

$$\lambda^0 = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^0, \lambda_{12}^0 \cdots \lambda_{1p}^0 \\ \lambda_{21}^0, \lambda_{22}^0 \cdots \lambda_{2p}^0 \\ \vdots \\ \lambda_{n1}^0, \lambda_{n2}^0 \cdots \lambda_{np}^0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서,

$$\lambda_{ij}^0 = \frac{\lambda_{ij}^0}{\max_{1 \leq j \leq p} \{\lambda_{ij}^0\}} \quad (4)$$

각 지표별로 최대값을 기준으로 Table 4의 평가지표 항목을 변환하면 다음과 같다.

$$\lambda = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.767 & 0.550 & 0.417 & 0.300 & 0.167 & 0.100 & 0.100 \\ 0.458 & 0.458 & 0.494 & 0.539 & 0.597 & 0.678 & 0.797 & 1.000 \\ 0.667 & 0.667 & 0.723 & 0.777 & 0.833 & 0.889 & 0.944 & 1.000 \\ 0.100 & 0.100 & 0.250 & 0.400 & 0.550 & 0.700 & 0.850 & 1.000 \\ 0.143 & 0.143 & 0.286 & 0.429 & 0.571 & 0.714 & 0.867 & 1.000 \\ 0.059 & 0.059 & 0.218 & 0.371 & 0.529 & 0.688 & 0.841 & 1.000 \\ 0.100 & 0.100 & 0.267 & 0.400 & 0.567 & 0.700 & 0.867 & 1.000 \\ 1.000 & 0.875 & 0.750 & 0.625 & 0.500 & 0.375 & 0.250 & 0.250 \end{bmatrix}$$

##### 3.4.1.2. 2단계 : 관측데이터 단위표준화

분석대상구간의 관측데이터에 대해서도 1단계와 동일하게 단위표준화를 수행하며 수식과 Matrix로 나타내면 다음 Eq. (5)와 같이 표현된다.

$$D^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 & d_{12}^0 & \cdots & d_{1p}^0 \\ d_{21}^0 & d_{22}^0 & \cdots & d_{2p}^0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1}^0 & d_{n2}^0 & \cdots & d_{np}^0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,

$$d_{ki}^0 = \frac{d_{ki}^0}{\max_{1 \leq j \leq p} \{\lambda_{ij}^0\}} \quad (6)$$

분석대상구간의 관측데이터도 최대값을 기준으로 Table 5의 평가지표 항목을 변환하면 다음 Table 9와 같다.

Table 9. Unit Standardization of Observation Data

Classification	Economic	Environmental			Social			
	Average Travel speed II	Air pollution costs	Traffic noise	Energy consumption per capita	Car composition ratio	Traffic accident severity	Illegally parked cars ratio	Green traffic satisfaction
Gyeongin Road	0.51	0.79	0.93	0.37	0.99	0.87	0.17	0.49
	0.31	1.07	0.93	0.37	0.93	0.87	0.14	0.49
Gyeongwon Road	0.31	1.07	0.86	0.33	0.81	0.93	0.20	0.50
	0.36	0.97	0.86	0.33	0.84	0.93	0.13	0.50
Injung Road	0.49	0.81	0.94	0.49	0.77	0.77	0.01	0.43
	0.22	1.33	0.94	0.49	0.60	0.77	0.01	0.43

##### 3.4.1.3. 3단계 : Grey Category별 계산

1, 2단계를 거쳐 표준화된 값들을 Grey Category별로 계산한다. 이때 관측된 값들이 카테고리 범위에 따라

함수식에 의해 정리가 되는데, 관측값이 최소값보다 작은 경우, 각 Category 범위안에 있는 경우, 최대값보다 클 경우 등으로 구분되며 Table 10과 같이 Category 별로 3개의 기본 함수식을 갖는다.

본 연구에서는 192개의 함수식이 존재(8개항목, 8개 Category, 3개 기본함수)하게 되는데 다음 Fig. 4는 평가항목 중 평균통행속도(II)의 Grey Category별 범위를 그래프로 표현한 것이다.

Table 10. Functional Formula of Different Grey Categories

	<p>When smaller than the minimum value</p> $f_{ij}(d_{ki}) = \begin{cases} 1 & d_{ki} \in [0, \lambda_{ij}] \\ \frac{\oplus \lambda_{ij} - d_{ki}}{\oplus \lambda_{ij} - \lambda_{ij}} & d_{ki} \in [\lambda_{ij}, \oplus \lambda_{ij}] \\ 0 & d_{ki} \notin [0, \oplus \lambda_{ij}] \end{cases}$
	<p>When within each category range</p> $f_{ij}(d_{ki}) = \begin{cases} \frac{d_{ki} - \oplus \lambda_{ij}}{\lambda_{ij} - \oplus \lambda_{ij}} & d_{ki} \in [\oplus \lambda_{ij}, \lambda_{ij}] \\ \frac{\oplus \lambda_{ij} - d_{ki}}{\oplus \lambda_{ij} - \lambda_{ij}} & d_{ki} \in [\lambda_{ij}, \oplus \lambda_{ij}] \\ 0 & d_{ki} \notin [\oplus \lambda_{ij}, \oplus \lambda_{ij}] \end{cases}$
	<p>When larger than the maximum value</p> $f_{ij}(d_{ki}) = \begin{cases} 1 & d_{ki} \in [\lambda_{ij}, \infty] \\ \frac{d_{ki} - \oplus \lambda_{ij}}{\lambda_{ij} - \oplus \lambda_{ij}} & d_{ki} \in [\oplus \lambda_{ij}, \lambda_{ij}] \\ 0 & d_{ki} \notin [\oplus \lambda_{ij}, \infty] \end{cases}$

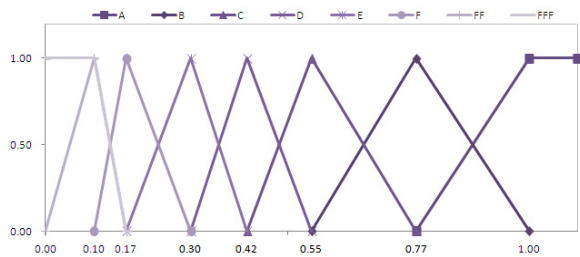


Fig. 4 Grey Range of Average Travel Speed

#### 3.4.1.4. 4단계 : 지표간 가중치계산 및 종합점수화

종합적이고 표준화된 평가를 수행하기 위해 평가지표 간 가중치를 계산하고 3단계의 Grey 함수식에 따라 계산된 값을 곱하여 종합점수화를 수행한다(Table 11참조).

$$\eta_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{i=1}^m \lambda_{ij}} = \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_{ij} + \lambda_{ij} + \dots + \lambda_{ij}} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \eta_{ij} = 1 \quad (8)$$

$$\sigma_{kj} = \sum_{i=1}^m f_{ij}(d_{ki}) \eta_{ij} \quad (9)$$

#### 3.4.1.5. 5단계 : 최대값 선정

분석대상별, 평가지표별, Grey Category별 종합점수를 계산하고 그 중 최대값을 종합평가지표로 활용한다. 분석구간 평가결과 경인로는 FF, 경원로는 E, 인준로는 방향별로 FF와 E의 Category에서 최대값이 선정되었다.

Table 11. Weight Calculation among Evaluation Indexes (example)

Evaluation index	Grey Category							
	A	B	C	D	E	F	FF	FFF
Average Travel speed II	0.284	0.242	0.156	0.105	0.067	0.034	0.018	0.016
Air pollution costs	0.130	0.145	0.140	0.136	0.134	0.138	0.145	0.157
Traffic noise	0.189	0.210	0.204	0.196	0.187	0.181	0.171	0.157
Energy consumption per capita	0.028	0.032	0.071	0.101	0.124	0.143	0.154	0.157
Car composition ratio	0.041	0.045	0.081	0.108	0.128	0.145	0.156	0.157
Traffic accident severity	0.017	0.019	0.062	0.094	0.119	0.140	0.153	0.157
Illegally parked cars ratio	0.028	0.032	0.075	0.101	0.127	0.143	0.157	0.157
Green traffic satisfaction	0.284	0.276	0.212	0.158	0.112	0.076	0.045	0.039
Total	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 12. Total Evaluation of Grey Category

Classification	A	B	C	D	E	F	FF	FFF
Gyeongin Road	0.0162	0.0181	0.1492	0.1067	0.0993	0.0703	<b>0.3728</b>	0.1674
	0.0211	0.0235	0.0350	0.0916	0.1682	0.0647	<b>0.3219</b>	0.2739
Gyeongwon Road	0.0116	0.0129	0.0789	0.0622	<b>0.2652</b>	0.1423	0.1779	0.2491
	0.0236	0.0263	0.0459	0.1053	<b>0.2347</b>	0.1118	0.2277	0.2247
Injung Road	0.0288	0.0035	0.0887	0.0878	0.1254	0.1981	<b>0.4597</b>	0.0080
	0.0317	0.0039	0.0000	0.0452	<b>0.2834</b>	0.1761	0.2834	0.1761

#### 3.4.2. 지속가능성 지표의 상대적 가중치 반영한 평가

본 연구에서는 기존 평가방법에 지속가능성을 고려하고자 새로운 지표를 선정하였으며, 분석가나 정책입안

자들이 중요하게 생각하는 지표가 달라 의사결정에 영향을 줄 수 있기 때문에 최종평가 시에는 지표간 가중치를 고려할 필요가 있다. 전문가 설문결과 AHP 가중치는 Fig. 5와 같이 조사·분석되었으며, Consistency Index(CI)와 Consistency Ratio(CR) 검증결과 일관성이 있는 것으로 나타났다.

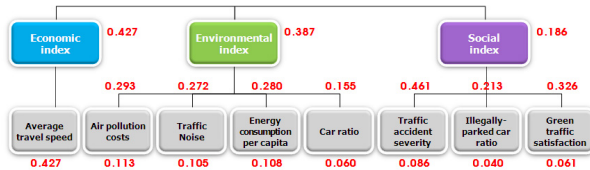


Fig. 5 Relative Weighting Between Evaluation Items and Index

지속가능성을 고려한 가중치 적용 전·후의 평가결과 분석구간별로 비교하면 Table 13과 같고 Fig. 6부터 Fig. 8까지는 이를 그래프로 표현한 것이다.

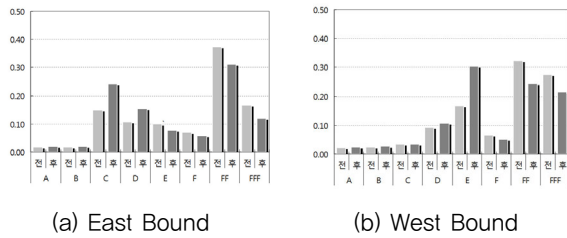


Fig. 6 Comparison of Before and After Applying Sustainability Weight to Injung Road

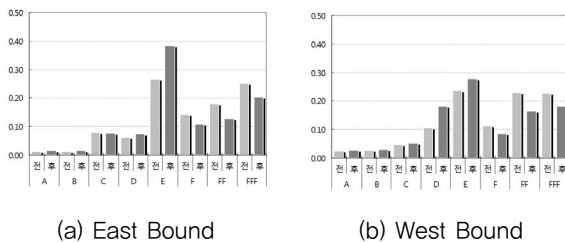


Fig. 7 Comparison of Before and After Applying Sustainability Weight to Gyeongin Road

Table 13. Comparison of Before and After Applying Sustainability Weight

Classification		A		B		C		D		E		F		FF		FFF	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Gyeon gin Road	EB	0.0162	0.0196	0.0181	0.0205	0.1492	0.2408	0.1067	0.1552	0.0993	0.0771	0.0703	0.0578	<b>0.3728</b>	<b>0.3097</b>	0.1674	0.1192
	WB	0.0211	0.0247	0.0235	0.0259	0.0350	0.0331	0.0916	0.1060	0.1682	<b>0.3040</b>	0.0647	0.0506	<b>0.3219</b>	0.2416	0.2739	0.2139
Gyeon gwon Road	EB	0.0116	0.0137	0.0129	0.0143	0.0789	0.0759	0.0622	0.0747	<b>0.2652</b>	<b>0.3832</b>	0.1423	0.1073	0.1779	0.1273	0.2491	0.2035
	WB	0.0236	0.0278	0.0263	0.0291	0.0459	0.0508	0.1053	0.1824	<b>0.2347</b>	<b>0.2774</b>	0.1118	0.0857	0.2277	0.1647	0.2247	0.1822
Injung Road	EB	0.0288	0.0342	0.0035	0.0039	0.0887	0.1646	0.0878	0.1591	0.1254	0.1082	0.1981	0.1533	<b>0.4597</b>	<b>0.3698</b>	0.0080	0.0068
	WB	0.0317	0.0358	0.0039	0.0041	0.0000	0.0000	0.0452	0.0441	<b>0.2834</b>	<b>0.2970</b>	0.1761	0.2631	0.2834	0.2131	0.1761	0.1427

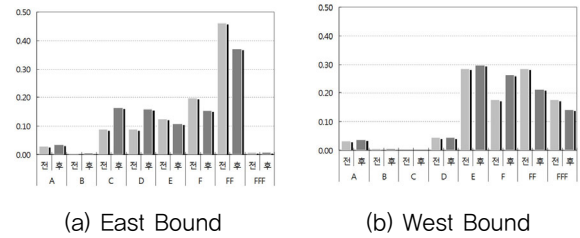


Fig. 8 Comparison of Before and After Applying Sustainability Weight to Injung Road

### 3.4.3. 평가결과 비교

Grey Category를 8개로 분류하여 분석한 결과 경인로 EB와 인종로 EB의 서비스수준을 보면 기존 도로용량편람에 의한 LOS는 D수준이었으나 지속가능성을 고려한 평가에서는 FF의 범주로 평가되었다.

또한, 지속가능성 가중치의 적용 시 전반적으로 양호한 범주로 이동되고 있으나, 경원로의 경우 같은 범주내에서도 종합점수가 높아졌고 방향별로 보면 EB는 0.2652에서 0.3832로 44.5%, WB는 18.2% 증가하였다(Table 14 참조).

Table 14. Overall Comparison of LOS of Each Evaluation Index

Classification	LOS based on the existing evaluation method	LOS based on new evaluation method		
		Before applying weight	After applying weight	
Measure of Effectiveness	Average travel speed(km/h)	Total score of each category (points)		
Gyeon gin Road	EB	D (30.7)	FF (0.3728)	FF (0.3097)
	WB	E (18.6)	FF (0.3219)	E (0.3040)
Gyeon gwon Road	EB	E (18.5)	E (0.2652)	E (0.3832)
	WB	E (21.4)	E (0.2347)	E (0.2774)
Injung Road	EB	D (29.5)	FF (0.4597)	FF (0.3698)
	WB	F (13.2)	E (0.2834)	E (0.2970)



#### 4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 기존의 도로 서비스수준 평가방법의 한계를 극복하고 안전성, 지속가능성 등에 관한 지표를 선정하여 이를 종합적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다고 판단하여 지속가능성을 반영한 서비스수준 평가 모형을 개발하고자 하였다.

현행 도로용량편람에 의한 평가결과와 지속가능성 지표를 고려한 평가결과를 비교해보면 지속가능성 지표를 고려함으로써 전반적으로 서비스수준이 나빠진 것으로 나타났다.

특히 경인로와 인종로 EB의 경우 평균통행속도에 의한 기존 평가 시 LOS D~E 수준이었으나 지속가능성 지표를 반영한 새로운 평가방법 적용 시 FF의 범주에서 최대점수를 보이는 것으로 나타났으며, 경원로 2개 구간은 E 범주에서 최대점수가 산정되었다. 경인로의 경우 승용차구성비와 교통소음이, 인종로 EB의 경우는 교통소음과 녹색교통여건만족도가 다른 노선에 비해 낮게 나타남에 따른 부정적 영향으로 볼 수 있겠다. 또한 경인로와 인종로 WB, 경원로 EB 등 3개 구간은 F 이하의 범주에서도 20% 이상을 차지하고 있어 향후 평가 지표의 관측값에 따라 큰 폭으로 변화될 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 경제성지표로 평균차량속도 하나만을 고려함에 따라 다른 지표보다 가중치가 상대적으로 높게 산정되어 결과에 영향을 준 것으로 판단된다. 아울러 지속가능성 지표의 가중치를 추가로 고려할 경우 서비스수준이 좋음(A)에서 나쁨(FFF)의 범주로 최대점수들이 이동한 구간은 지속가능성 측면의 개선이 필요한 곳으로 판단할 수 있으며, 대상노선의 기하구조나 통행여건 변화 등 개선 전후에 대한 변화요인을 파악하는데 쓰일 수 있다.

사례검토를 통하여 새로운 평가지표를 적용해 본 결과 기존 평가지표에 의한 서비스수준과는 다른 결과도 도출되었으며, 이러한 결과는 지속가능한 교통체계를 위해 교통정책이나 사업추진 시 지속가능성에 대한 고려가 필요하다는 것을 방증하고 있으며, 보완을 통해 지속가능성에 근거한 교통관리체계 등의 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 시대적 패러다임을 반영하여 지속가능성 지표를 서비스수준 판정에 고려해야 한다는 필요성을 강조하였다. 그러나 연구기간과 목적의 한계성, 평가지표별 자료 구득의 어려움 등 종합적으로 연구되지 못한 부분과 사례검토가 일부지역에 국한되어 지역별 특성, 토지이용, 도로위계 등의 다양한 영향요인에 대한

고려가 미흡한 부분은 향후 연구과제로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

향후에는 평가지표간의 상대적 가중치를 산정함에 있어 전문가나 의사결정자를 대상으로 하는 AHP기법의 주관적 관점에 의한 판단은 지속가능성의 수준이나 정책방향이 달라질 여지가 많이 있어 이러한 점을 극복하고 보다 현실적이며 합리적으로 측정할 수 있는 새로운 대안의 개발을 통하여 보다 현실적인 서비스 수준 판정이 필요하다고 사료되며, 정성적 지표들을 포함하여 각 평가지표별 관측 값들이 서비스수준에 미치는 영향을 종합적으로 판단할 수 있는 모형 개발 등이 이루어져야 할 것으로 보여 진다.

#### 감사의 글

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0005216)

#### References

- Ministry of Construction and Transportation, 2001. *Korean Highway Capacity Manual*, Korean Society of Transportation (건설교통부, 2001. 도로용량편람, 대한교통학회)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009. *Evaluation Guidance of Transport Investment*, The third edition (국토해양부, 2009. 교통시설투자평가지침, 제3차 개정)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009. 「Korea Transport Survey and Database 2010」- Traffic costs and Greenhouse gas emission DB, The Korea Transport Institute (국토해양부, 2011. 「2010년 국가교통수요조사 및 DB구축사업」- 교통비용 및 온실가스 배출량 DB 구축, 한국교통연구원)
- Kim, Dohwan, 2007. *A Study on the Sustainability Evaluation Indicators and Method on Urban Traffic*, Masters thesis, Graduate school of Kyunwon University (김도환, 2007. 도시 교통의 지속가능성 평가지표 및 방법에 관한 연구, 석사학위논문, 경원대학교)
- Kim, Tae-ho, Jeong, K., Koo, J., Won, J., 2009. A Development and Application of Evaluation Criteria for Pedestrian Quality of Service Using Analytic Network Process, *Journal of Korea planners association*, Vol 44, No 1 (김태호, 정광섭, 구자훈, 원제무, 2009. 네트워크분석기법을 이용한 보행자 서비스 질 평가지표 개발 및 적용, 대한국토·도시계획학회지, 제44권, 제1호)
- Road Traffic Authority, 2010. *Improvement Plans and Effect Analysis Standards for 2010 Traffic Accident-prone Areas* (도로교통공단, 2010. 2010 교통사고 잦은 곳 기본개선계획 및

효과분석)

- Son, Banghoon, 2006. *A Study on the Recognition of the Quality of Services in Urban Roadways*, Masters thesis, Graduate school of Hanyang University  
(손방훈, 2006. 도시부 도로 서비스 질 인식에 관한 연구, 석사 학위논문, 한양대학교)
- Lee, Shinhae, 2009. *A Study on Sustainability Evaluation of Transportation Policy, Seoul studies*, Vol 10, No 1, 209-221  
(이신해, 2009. 교통정책의 지속가능성 평가에 관한 연구, 서울 도시연구 제10권, 제1호, pp.209~221)
- Lee, Jinkak, Son, Y., Han, S., Park, J., Lee, S., 2010. Evaluation of Vehicle and Pedestrian Environments using Grey System Theory, *The Journal of Korean society of Transportation*, Vol 28, No 4, 141-156  
(이진각, 손영태, 한상진, 박진영, 이상화, 2010. Grey System Theory를 이용한 차량 및 보행환경 통합평가, 대한교통학회지, 제28권, 제4호, pp.141~156)
- Jung, Hyeonyoung, Jung, J., Kim, S., 1998. *A Study on The Local Resident's Evaluation in the traffic environment of Road, Urban Studies Report*, Vol 6, No 1, 57-62  
(정현영, 정준영, 김승룡, 1998. 도로교통환경에 따른 지역주민들의 도로평가에 관한 연구, 도시연구보, Vol.6, No.1, 57-62)
- Korea Development Institute, 2008. *Based on The Revised and Supplementary Study on Pre-Feasibility of Road and Railway Projects, The 5th edition*  
(한국개발연구원, 2008. 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구, 제5판)
- The Korea Transport Institute, 2011. *Sustainability Survey of Transportation Logistics Systems and A Study on Selection of Special Area, Part 1*  
(한국교통연구원, 2011. 교통물류체계의 지속가능성 조사 및 특별대책지역 지정방안 연구, 제1권)
- Hong, Gapseon, 2002. *A study on Strategy Establishment for Sustainable Transportation Systems*, The Korea Transport Institute  
(홍갑선, 2002. 지속가능한 교통체계전략수립 연구, 한국교통연구원)
- Flannery, A, Wochinger, K., Pecheux, K. K., and Rephlo, J., 2004. *Research Approaches to Assess Automobile Drivers' Perception of Quality of Service*
- Wen, K.-L., 2004. *Grey System : modeling and prediction*, Yang's Scientific Press  
(접수일 : 2012. 2. 10 / 심사일 : 2012. 2. 21 / 심사완료일 : 2012. 11. 16)