

기상요인에 따른 통행시간 분포 분석을 통한 통행시간 변동성 지표의 적정성 연구

A Study on the Application of Measures of Travel Time Variability by Analysis of Travel Time Distribution According to Weather Factor

김 준 원*

(Jun-Won Kim)

(University of Seoul)

김 영 찬**

(Young-Chan Kim)

(University of Seoul)

· Corresponding author : Jun-Won Kim(University of Seoul), E-mail mirageno21@uos.ac.kr

요 약

도로 이용자들은 도로의 불확실성을 고려해 통행계획 시 목적지에 일정한 시간 내에 도착하기 위해 추가 통행시간을 고려한다. 때문에 도로의 서비스 수준을 향상시키기 위해서는 기존의 소동측면 뿐만 아니라 변동성 측면의 정보의 제공을 통해 예측 가능한 도로를 만드는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 도로의 변동성을 계량적으로 나타내고 도로이용자가 쉽게 이용할 수 있는 통행시간 변동성 지표 개발이 필요하다. 최근 미국을 중심으로 교통 선진국에서 통행시간 변동성에 대한 관심이 증가하고 있으며, 현재 변동성을 계량화하기 위한 지표에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 기존 연구에서는 변동성 지표 산출시 95th통행시간을 가장 중요하게 고려하고 있다. 본 연구는 평상시와 기상요인시를 비교분석하여, 기존 통행시간 변동성 지표 산출시 가장 중요하게 고려되는 95th통행시간이 국내 교통 환경에서 통행시간 변동성을 대표할 수 있는 지표인지 검토였다. 교통수준별로 구분하여 분석한 결과 기상요인 발생시 교통 수준이 낮은 LOS A-D 구간에서는 80th통행시간, 90th통행시간, 95th통행시간 모두 증가하는 경향을 나타냈으며, 그중 95th통행시간이 가장 민감하게 변하는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 변동성, 신뢰성, 정시성, 통행시간, 지표

ABSTRACT

Travellers consider extra travel time to be arriving their destination because of uncertainty of travel. So it is important to make predictable highway by providing information of travel time variability to traveller so as to enhance level of service at highway. In order to make predictable highway, it is necessary to develop measures of travel time variability that travellers can easily understand. Recently advanced country including the United States, travel time variability index are actively studied. In earlier study, 95percentile of travel time is considered to be most important calculation index of travel time variability. In this study, is has focused on the propriety analysis of 95percentile of travel time in domestic transportation environment. Result of analysis, All of measures(80percentile of travel time, 90percentile of travel time, 95percentile of travel time) show the tendency to increase when case of weather factor occur compare to normal condition under LOS A~D. Especially 95percentile of travel time increased sensitively.

Key words : Variability, Reliability, Punctuality, Travel time, Measures

† 이 논문은 2014년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

** 공저자 및 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

† Received 18 June 2015; reviewed 23 July 2015; Accepted 24 December 2015

I. 서론

통행에 있어서 기상, 교통사고, 교통량 등의 불확실한 요인이 존재하기 때문에 도로 이용자들이 경험하는 통행시간은 같은 구간·요일·시간대라도 매우 다양하다. 도로 이용자들은 이와 같은 도로의 불확실성을 고려해 통행계획 시 목적지에 일정한 시간 내에 도착하기 위해 추가 통행시간을 고려한다. 특히 통근통행과 같이 일정한 통행경로 및 통행시간대를 반복적으로 경험하는 도로이용자들은 자신이 경험을 토대로 필요한 추가통행시간을 고려해 출발시간을 결정하고 있다. 때문에 도로의 서비스 수준을 향상시키기 위해서는 기존의 소통측면 뿐만 아니라 변동성 측면의 정보의 제공을 통해 예측 가능한 도로를 만드는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 도로의 변동성을 계량적으로 나타내고 도로이용자가 쉽게 이용할 수 있는 통행시간 변동성 지표 개발이 필요하다.

최근 미국을 비롯한 교통 선진국에서 통행시간 변동성에 대한 관심이 증가하고 있으며, 현재 변동성을 계량화하기 위한 지표에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 또한 이와 같은 변동성 지표를 도로의 서비스 수준을 측정하기 위한 지표로써 제시하기 위한 연구가 진행 중이다.

반면 국내 교통학계에서는 통행시간 변동성 개념이 생소한 실정으로 아직 통행시간 변동성에 대한 연구가 부족하다. 이에 국내 실정에 맞는 통행시간 변동성 지표에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 미국을 비롯한 교통선진국에서 연구된 통행시간 변동성 지표를 바탕으로 국내 실정에 맞는 지 고찰하고자 한다. 특히 기존 통행시간 변동성 지표 산출시 가장 중요하게 고려되는 95th 통행시간이 국내 교통환경에서 통행시간 변동성을 대표할 수 있는 지표인지 검토하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

최근 미국을 중심으로 통행시간 변동성과 관련

한 많은 연구가 진행되고 있으며 이를 고속도로 서비스 수준 평가에 적용하기 위한 연구가 진행 중에 있다.

1. 국내연구

한국교통연구원의 『철도사업 (예비)타당성조사 의 편익산정방안 개선연구』 철도 및 도로의 통행시간 신뢰성을 측정할 수 있는 지표를 개발하고, 국내 도로 및 철도 이용 실적자료를 바탕으로 교통수요 분석에 활용할 수 있는 거시적·집합적인 통행시간 신뢰성 지표 원단위를 산정하였다. 도로의 통행시간 신뢰성 지표는 계획통행시간 대비 실제 통행시간의 차이로 정의하였다. 단 도로의 경우 철도와 달리 시각표가 존재하지 않아 계획 통행시간의 정의가 쉽지 않기 때문에, 계획통행시간은 각 실제 통행시간 분포의 평균들의 평균값으로 정의하였다. [1]

$$R^h = t_a - t_p = t_a - \frac{\sum_{a=1}^N t_a}{N} \quad (1)$$

여기서, N : 관측된 실제 통행시간분포의 개수

R^h : 통행시간 신뢰도 지표

t_a : 실제통행시간

t_p : 계획통행시간

2. 국외연구

Texas Transportation Institute의 『Selecting Travel Reliability Measure』(2003)는 통행시간 변동성에 영향을 줄 수 있는 6가지 요인(돌발상황, 공사, 기상, 수요변동, 특수이벤트, 교통제어, 도로용량)을 제시하고 이들의 영향을 측정하기 위한 지표를 개발하고자 한 연구이다. 해당 연구를 통해 Percent variation, Misery index, Buffer Time index를 통행시간 변동성을 측정하기 위한 주요 지표로 제시하고 있다. [2]

미국 연방도로청(FHWA)에서는 도로안전 증대, 노후 교통기반시설 개선, 교통혼잡 완화를 목표로 Strategic Highway Research Program 2 (SHRP2) 연구를 2005년부터 진행해오고 있다. 이 중 통행시간 변

동성과 관련된 프로젝트는 26개의 프로젝트가 2007-2015년에 걸쳐 진행되고 있다. [3]

SHRP2 L03(2013)은 신뢰도 개선 전략과 통행시간 변동성 간의 상관관계를 이해하고 개선전략의 효과 크기 측정 방법론을 개발하기 위한 연구이다. 통행시간 변동성 측정 지표로서 Planning Time, Buffer index 등을 <표 1>과 같이 제시하였으며, 개선전략의 효과평가를 위해서는 교통혼잡 개선 시 일관되게 지표값이 개선되는 Planning Time이 가장 유용한 지표인 것으로 제시하였다. [4]

SHRP2 L05(2013)는 통행시간 신뢰도 성능의 측정 방법을 제시하고 이를 교통 계획·운영 기관이 계획 및 전략 수립 단계에서 반영할 수 있도록 하는 절차를 고안하고자 한 연구이다. 다른 SHRP2 연구와 마찬가지로 통행시간 신뢰도 측정 지표로서 Planning Time, Buffer index 등을 제시하였으며, 계획 및 전략수립 단계에서는 Buffer Time을 가장 유용한 지표로 제시하였다. [5]

3. 주요 시사점

현재 미국을 중심으로 통행시간 변동성과 관련한 많은 연구가 진행되고 있다. 국내의 경우 미국의 연구를 참조하여 통행시간 변동성 관련된 연구를 최근 시작하고 있는 실정이다.

많은 연구에서 통행시간 변동성을 측정하기 위한 지표로 Buffer Index와 Planning Time Index를 제시하고 있다. 이들 지표는 95th통행시간을 이용해 산출하는 지표이다. 여기서 95th통행시간은 한 달 중 하루(20근무일 중 1일)는 늦는 것을 감안 할 수 있는 통행시간을 의미하며, 95th통행시간을 변동성 지표 산정 시 활용하는 명확한 근거는 없는 실정이다. 본 연구를 통해 국내 교통환경에서 변동성 지표 산출시 95th통행시간을 활용하는 것이 적정한지 평가하고자 한다.

III. 분석 방법론 및 내용

통행시간 변동성 지표의 적정성을 검토하기 위

<표 1> SHRP2 L03(2013)에서 제시된 통행시간 변동성 지표

<Table 1> Recommended Reliability Metrics at SHRP2 L03(2013)

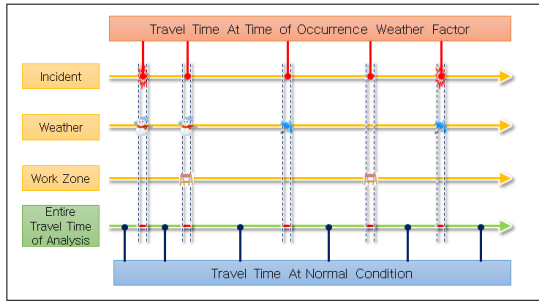
Metrics	Definition	Unit
Buffer Index	Difference between 95th percentile TTI and average travel time, normalized by average travel time. Difference between 95th percentile TTI and median travel time (MTT), normalized by MTT.	%
Failure and on-time measures	Percentage of trips with travel times <1.1 MTT and <1.25 MTT. Percentage of trips with space mean speed less than 50, 45, and 30 mph.	%
Planning Time Index (PTI)	95th percentile TTI.	-
80th Percentile TTI	Self-explanatory.	-
Skew statistic	(90th percentile TTI - median)/(median - 10th percentile TTI).	-
Misery Index (modified)	Average of highest 5% of travel times divided by free flow travel time.	-

해서 통행시간 변동성에 영향을 미치는 요인에 지표가 민감하게 변하는지 살펴보고자 한다. 이를 위해 통행시간 변동성에 영향을 미치는 요인을 선정하고 해당 요인이 변동성 지표에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

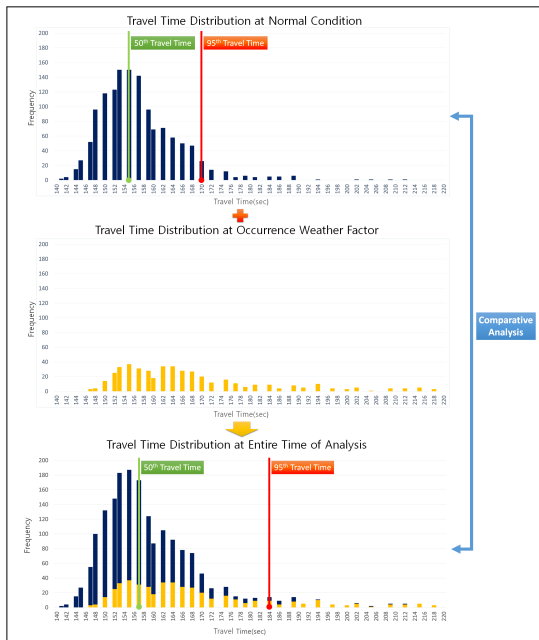
1. 변동요인의 변동성지표 영향력 분석 과정

변동성 지표에 미치는 영향 평가는 정상상태의 변동성과 변동요인이 발생한 시간대 및 영향권(기상요인 발생 종료 후 1시간)을 포함한 전체 통행시간의 변동성의 비교 분석을 통해 분석을 수행하였다. 여기서 정상상태란 전체 분석 시간대에서 변동요인 발생 시간대 및 영향권 시간대를 제외한 교통상태를 의미한다. 본 연구에서는 유고 및 공사를 제외하고 활용 가능한 기상자료만을 이용하여 정상상태의 통행시간을 가공하였다.

통행시간에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 교통량으로, 요인의 영향력 분석 시 이를 고려하지 않을 경우 요인이 변동성 지표에 미치는 영향을 분석하



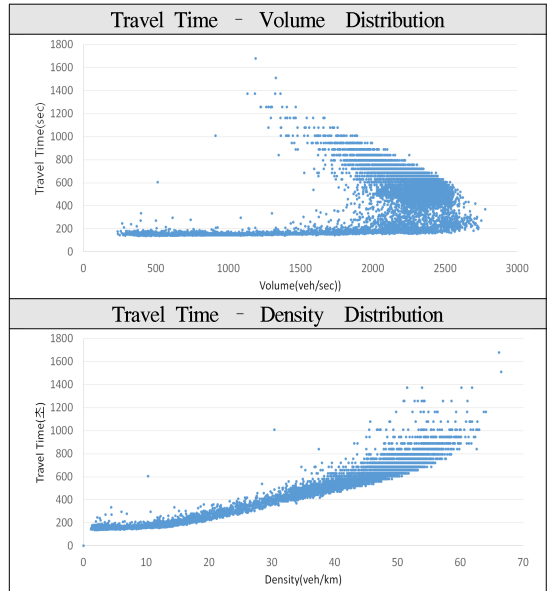
〈그림 1〉 변동성지표 영향력 분석 시 정상상태의 정의
 〈Fig. 1〉 Definition of Normal Condition



〈그림 2〉 정상상태와 전체 통행시간과 비교 분석
 〈Fig. 2〉 Analysis Between Normal Condition and Entire Time of Analysis

는 것은 어렵다. 때문에 교통 수준이 변동성에 미치는 영향력을 최소화하기 위해 교통 수준별로 통행시간을 구분하여 변동요인이 변동성 지표에 미치는 영향력을 분석하고자 한다.

교통 수준 분류 기준은 『도로용량편람, 국토해양부, 2013』에서 고속도로 기본구간(설계속도 120kph 이상)의 서비스수준 척도를 준용하였다. [6] 교통수준을 구분하는 척도로 밀도와 교통량이 있다. 교통량의 경우 소통이 원활한 구간과 교통류가



〈그림 3〉 금천IC-일직JC(서울방향) 통행시간-교통량 분포 및 통행시간-밀도 분포
 〈Fig. 3〉 Travel Time-Volume and Travel Time-Density Distribution at Geumcheon IC - Iljik JC (Seoul Bound)

와해되어 지체가 발행하는 구간을 명확히 구분 어려워, 본 연구에서는 밀도를 기준으로 교통 수준을 분류하였다.

밀도는 교통량 및 속도 자료를 이용하여 간단하게 교통량-속도-밀도 관계식인 $q = v \times k$ 를 이용하여 산출하였다.

본 과업에서는 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털에서 제공하는 2013년 1년간 전국고속도로 1시간단위 VDS자료(교통량, 통행속도)를 이용하여 분석을 수행하였다. [7]

〈표 2〉 교통량 수준별 분류 기준
 〈Table 2〉 Criteria for Level of Volume

Criteria	Density(phpkmpl)
LOS A	≤6
LOS B	≤10
LOS C	≤14
LOS D	≤19
LOS E	≤28
LOS F	>28

2. 분석대상 변동요인

변동요인은 예기치 못한 상황을 유발하여 교통 시설의 용량 감소로 나타나는 비반복적 지체를 발생시키는 요인을 의미한다. 미국 FHWA(2005) 『Traffic congestion and reliability: Trends and advanced strategies for congestion mitigation』에서 교통제어, 수요변동, 특별행사, 병목구간, 기상, 유고, 공사의 7가지 유고요인을 제시하고 있다. 본 연구에서는 FHWA에서 제시한 변동요인 중 비반복 변동요인인 기상, 유고, 공사요인을 대상으로 분석을 검토하였다. [8]

기상요인의 경우 변동성 지표에 미치는 영향력을 분석하기 위한 샘플이 유고요인에 비해 충분한 것으로 판단된다. 2013년 서울TC-신갈JC(양방향)의 경우 전체 8,760건의 분석시간대 중 1,654건의 분석시간대에서 기상요인이 발생한 것으로 나타났다.

유고요인의 경우 샘플수가 매우 적어 해당 요인이 변동성 지표에 미치는 영향을 분석하는데 많은 어려움이 있다. 2013년 1년간 경부선의 각 구간별 본선 발생 사고건수를 살펴보면, 서울산IC-안양JC(서울방향) 구간으로 51건으로 가장 많은 것으로 나타났으나, 평균적으로 구간 당 10건 정도만 발생한 것으로 나타났다.

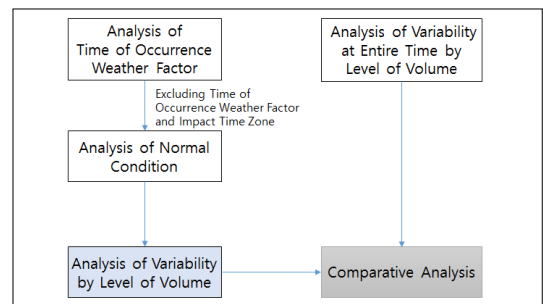
공사요인의 경우 현재 구축된 자료의 한계로 정확한 발생시간과 발생지점을 파악하기 어렵다. 공사 시간 및 지점이 실제 공사를 수행한 시점이 아닌 계획 범위를 기록하여 공사요인이 정확히 언제 어디서 발생했는지 알기 어려운 정확한 분석이 불가능한 상황이다.

본 연구에서는 변동요인이 변동성 지표에 미치는 영향력을 분석하기 위해 기상요인을 대상으로 분석을 수행하였다. 기상요인은 『도로용량편람, 국토해양부, 2013』에서 기상악화요인으로 제시하고 있는 강우시/강설시로 선정하여 분석을 진행하였다. [5] 기상자료는 기상청 국가기후데이터 센터에서 제공하고 있는 1시간 단위 AWS (Automatic Weather System)데이터의 강수량 자료를 활용하였다. [9]

3. 분석대상 변동성 지표

본 연구는 미국 및 주요 교통선진국에서 주요 변동성 지표 산출에서 사용되는 95th통행시간이 국내에서도 변동성을 대표할 수 있는 값인가에 대한 연구이다. 때문에 95th통행시간과 다른 Percentile-통행시간과 비교를 통해 국내 실정에 맞는 변동성 지표를 검토하고자 한다.

미국의 SHRP2 L03의 『Analytical Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies』(2013)는 80th통행시간과 90th통행시간, 95th통행시간을 비교분석하여 주요 변동성 지표로써 80th통행시간과 95th통행시간을 제시하고 있다. 본 연구에서도 80th통행시간과 90th통행시간, 95th통행시간을 비교분석하여 국내 교통 환경에 적합한 변동성 지표를 제시하고자 한다. [10]



〈그림 4〉 변동성 지표 적정성 분석 과정
 〈Fig. 4〉 Process for Analysis of Index of Travel Time Variability

IV. 통행시간 변동성 지표 적정성 검토

1. 분석 대상구간

분석대상구간은 수도권 고속도로 주요 고속도로인 경부선, 영동선, 서해안선의 각 한 구간씩 선정하여 분석을 수행하였다. 구간 선정은 해당 구간에 기상관측소가 인접하여 보다 정확한 기상 정보를 얻을 수 있는 구간을 선정하였다. 분석 대상구간으로 경부선 동탄JC-오산IC(양방향), 영동선 이천IC-여주JC(양방향), 서해안선 금천IC-일직JC(양방향)을

선정하였다.

기상자료는 동탄JC-오산IC 구간은 오산관측소, 이천IC-여주JC 구간은 여주관측소, 금천IC-일직JC 구간은 금천관측소의 1시간단위 AWS(Automatic Weather System)자료를 활용하였다.

분석대상 구간별 연간 소통 및 통행시간 변동성 수준을 각각 TTI(Travel Time Index)와 PTI(Planning Time Index)을 이용하여 분석을 수행하였다.

TTI는 분석대상구간의 소통수준을 분석하기 위한 지표로서 자유통행시간 대비 50th통행시간의 비율을 의미하며 다음과 같다.

$$TTI(\text{Travel Time Index}) = \frac{50^{\text{th}}\text{통행시간}}{\text{자유통행시간}} \quad (2)$$

PTI는 미국의 SHRP2 연구에서 제시하고 있는 통행시간 변동성의 주요 지표로써 자유통행시간 대비 95th통행시간의 비율을 의미하며 다음과 같다.

$$PTI(\text{Planning Time Index}) = \frac{95^{\text{th}}\text{통행시간}}{\text{자유통행시간}} \quad (3)$$

분석결과 서해안선 금천IC-일직JC구간의 경우 TTI가 1.85, PTI가 5.28로 나타나 소통수준과 변동성 수준 모두 나쁜 것으로 나타났으며, 영동선 이천IC-여주JC 구간은 소통수준에 비해 변동성이 다소 큰 것으로 나타났다.

<표 3> 대상구간 소통 및 통행시간 변동성 분석 결과
<Table 3> Result of Analysis of TTI and PTI

Line	Section	Bound	TTI	PTI
Gyeongbu expressway	Dongtan JC - Osan IC	Seoul	1.25	3.33
		Busan	1.26	2.08
Yeongdong Expressway	Icheon IC - Yeosu JC	Gangneung	1.04	1.16
		Incheon	1.01	2.27
Seohaean Expressway	Geumcheon IC - Iljik JC	Seoul	1.85	5.26
		Mokpo	1.22	2.08

2. 구간별 분석결과

1) 동탄JC-오산IC 구간

동탄JC-오산IC 구간의 경우 중앙버스 전용차로 (운영시간 : 07:00시-21:00시)를 운영하고 있어, 분석 시 중앙버스 전용차로는 제외하고 일반차로를 대상으로 분석을 수행하였다.

동탄JC-오산IC 구간은 4차로 구간으로 구간길이는 3,890m이며, 제한속도는 110km/h이다. 자유통행 속도는 제한속도를 이용하여 127초로 산출되었다. 2013년 전체 통행시간자료를 이용해 50th통행시간을 분석한 결과 서울방향 159초, 부산방향 161초 수준으로 비슷한 것으로 분석되었다.

기상요인은 2013년 전체 분석시간대인 8,760시간 중 1,652시간에서 발생하여 전체 분석시간대에서 18.9%를 차지하고 있다.

① 서울방향

동탄JC-오산IC 서울방향의 변동성 지표 적정성 검토 결과 모든 구간에서 95th통행시간이 기상요인의 영향으로 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났다.

<표 4> 동탄JC-오산IC(서울방향) 기상요인 발생 시간
<Table 4> Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Dongtan JC - Osan IC(Seoul Bound)

(unit : time frame)

Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	2,593	354(13.7%)
LOS B	1,167	290(24.9%)
LOS C	1,823	462(25.3%)
LOS D	1,908	306(16.0%)
LOS E	512	108(21.1%)
LOS F	757	132(17.4%)
Sum	8,760	1,652(18.9%)

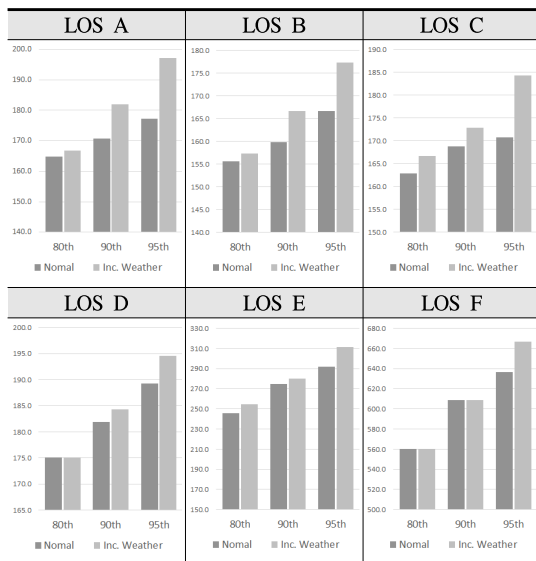
〈표 5〉 동탄JC-오산IC(서울방향) 변동성 지표 검토
 〈Table 5〉 Analysis of Travel Time Variability at Dongtan JC - Osan IC(Seoul Bound)

(unit : second)

Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor ¹⁾	Entire ²⁾	Diff ³⁾	Nor	Entire	Diff	정상	전체	차이
80th	164.8	166.7	2.0	155.6	157.3	1.7	162.8	166.7	3.9
90th	170.8	181.9	11.1	159.9	166.7	6.8	168.7	172.9	4.2
95th	177.3	197.2	20.0	166.7	177.3	10.6	170.8	184.3	13.5

Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	175.1	175.1	0.0	245.7	254.6	8.9	560.2	560.2	0.0
90th	181.9	184.3	2.4	274.6	280.1	5.5	608.9	608.9	0.0
95th	189.2	194.5	5.3	291.8	311.2	19.5	636.5	666.9	30.3

- 1) Normal Condition
- 2) Entire Time of Analysis
- 3) Entire - Nor



〈그림 5〉 동탄JC-오산IC(서울방향) 변동성 지표 검토
 〈Fig. 5〉 Analysis of Travel Time Variability at Dongtan JC - Osan IC(Seoul Bound)

② 부산방향

동탄JC-오산IC 부산방향의 변동성 지표 적정성 검토 결과 LOS F 구간을 제외한 모든 구간이 95th 통행시간이 기상요인의 영향으로 가장 민감하게 변

하는 것으로 나타났다. LOS F 구간에서는 80th통행 시간이 민감하게 변화였으며, 90th통행시간 및 95th 통행시간은 변화가 없는 것으로 나타났다.

〈표 6〉 동탄JC-오산IC(부산방향) 기상요인 발생 시간
 〈Table 6〉 Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Dongtan JC - Osan IC(Busan Bound)

(unit : time frame)

Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	2,870	460(16.0%)
LOS B	1,535	374(24.4%)
LOS C	1,811	434(24.0%)
LOS D	1,534	220(14.3%)
LOS E	633	99(15.6%)
LOS F	377	65(17.2%)
Sum	8,760	1,652(18.9%)

〈표 7〉 동탄JC-오산IC(부산방향) 변동성 지표 검토
 〈Table 7〉 Analysis of Travel Time Variability at Dongtan JC - Osan IC(Busan Bound)

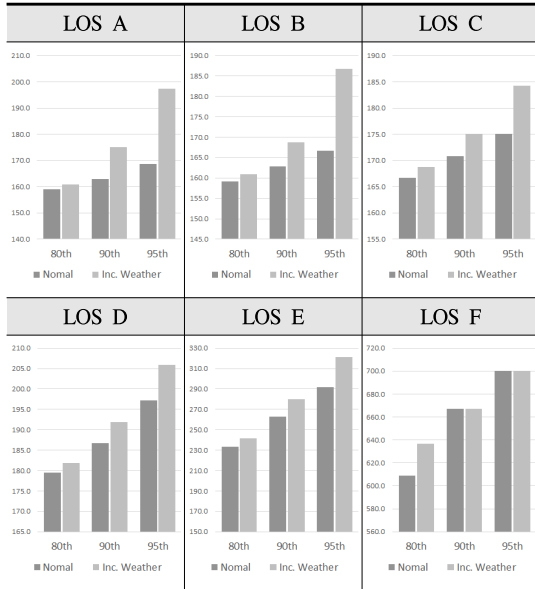
(unit : second)

Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	159.1	161.0	1.8	159.1	161.0	1.8	166.7	168.7	2.0
90th	162.8	175.1	12.2	162.8	168.7	5.9	170.8	175.1	4.3
95th	168.7	197.2	28.5	166.7	186.7	20.0	175.1	184.3	9.2

Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	179.5	181.9	2.3	233.4	241.4	8.0	608.9	636.5	27.7
90th	186.7	191.8	5.1	262.8	280.1	17.3	666.9	666.9	0.0
95th	197.2	205.9	8.7	291.8	321.2	29.5	700.2	700.2	0.0

2) 이천IC-여주JC 구간

이천IC-여주JC 구간은 4차로 구간으로 구간길이는 8,660m이며, 구간 내에 여주휴게소가 위치하고 있다. 제한속도는 100km/h로 이를 이용해 산출한 자유통행속도는 312초로 나타났다. 2013년 전체 통행시간자료를 이용해 50th통행시간을 분석한 결과 강릉방향 325초, 인천방향 315초로 소통수준은 양



〈그림 6〉 동탄JC-오산IC(부산방향) 변동성 지표 검토
 〈Fig. 6〉 Analysis of Travel Time Variability at Dongtan JC - Osan IC(Busan Bound)

호한 것으로 분석되었다.

기상요인은 2013년 전체 분석시간대인 8,760시간 중 1,628시간에서 발행하여 전체 분석시간대에서 18.6%를 차지하고 있다.

① 강릉방향

이천IC-여주JC 강릉방향의 변동성 지표 적정성 검토 결과 모든 구간에서 95th통행시간이 기상요인의 영향으로 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났다.

〈표 8〉 이천IC-여주JC(강릉방향) 기상요인 발생 시간
 〈Table 8〉 Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Icheon IC-Yeju JC(Gangneung Bound)

(unit : time frame)

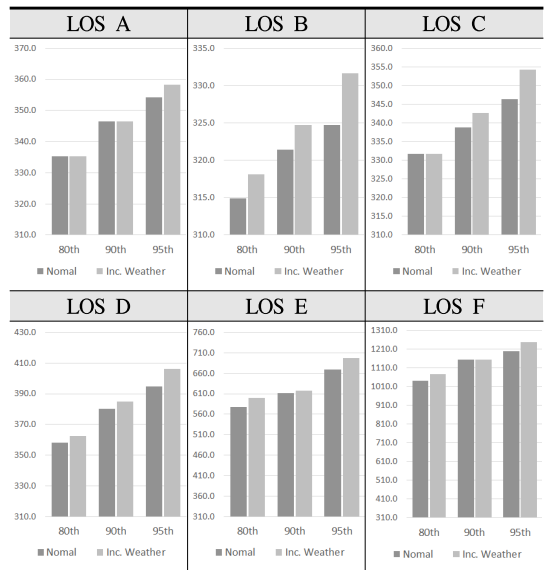
Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	2,593	354(13.7%)
LOS B	1,167	290(24.9%)
LOS C	1,823	462(25.3%)
LOS D	1,908	306(16.0%)
LOS E	512	108(21.1%)
LOS F	757	132(17.4%)
Sum	8,760	1,652(18.9%)

〈표 9〉 이천IC-여주JC(강릉방향) 변동성 지표 검토
 〈Table 9〉 Analysis of Travel Time Variability at Icheon IC-Yeju JC(Gangneung Bound)

(unit : second)

Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	342.6	342.6	0.0	321.4	321.4	0.0	335.2	335.2	0.0
90th	346.4	350.3	3.9	324.8	328.2	3.4	342.6	344.1	1.5
95th	354.3	358.3	4.1	328.2	335.2	7.1	350.3	358.3	8.1

Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	358.3	362.5	4.2	577.3	599.5	22.2	1075.0	1075.0	0.0
90th	380.2	384.9	4.7	611.3	617.4	6.1	1172.4	1199.1	26.6
95th	394.6	405.9	11.3	668.3	696.7	28.4	1199.1	1247.0	48.0



〈그림 7〉 이천IC-여주JC(강릉방향) 변동성 지표 검토
 〈Fig. 7〉 Analysis of Travel Time Variability at Icheon IC-Yeju JC(Gangneung Bound)

② 인천방향

이천IC-여주JC 인천방향 변동성 지표 적정성 검토 결과 LOS A·B·C·F 구간은 95th통행시간이, LOS D·E 구간의 경우 80th통행시간이 가장 민감하게 변한 것으로 나타났다.

〈표 10〉 이천IC-여주JC(인천방향) 기상요인 발생 시간
 〈Table 10〉 Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Icheon IC-Yeju JC(Incheon Bound)

(unit : time frame)		
Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	4,294	689(16.0%)
LOS B	2,278	533(23.4%)
LOS C	1,165	220(18.9%)
LOS D	350	53(15.1%)
LOS E	182	39(21.4%)
LOS F	491	94(19.1)
Sum	8,760	1,628(18.6%)

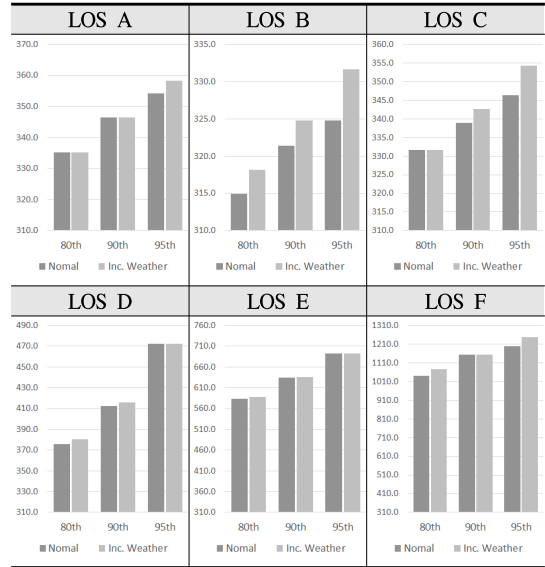
〈표 11〉 이천IC-여주JC(인천방향) 변동성 지표 검토
 〈Table 11〉 Analysis of Travel Time Variability at Icheon IC-Yeju JC(Incheon Bound)

(unit : second)									
Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	335.2	335.2	0.0	314.9	318.1	3.2	331.7	331.7	0.0
90th	346.4	346.4	0.0	321.4	324.8	3.3	338.9	342.6	3.7
95th	354.3	358.3	4.1	324.8	331.7	6.9	346.4	354.3	7.9
Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	375.6	380.2	4.6	583.9	588.2	4.4	1039.2	1075.0	35.8
90th	412.4	415.7	3.3	633.7	636.2	2.5	1154.7	1154.7	0.0
95th	472.4	472.4	0.0	692.8	692.8	0.0	1199.1	1247.0	48.0

3) 금천IC-일직JC 구간

금천IC-일직JC 구간은 4차로 구간으로 구간길이는 4,200m이며, 제한속도는 100km/h이다. 자유통행속도는 제한속도를 이용하여 151초로 산출되었다. 2013년 전체 통행시간자료를 이용해 50th통행시간을 분석한 결과 서울방향 280초, 목포방향 184초로 나타나 서울방향의 경우 소통수준이 좋지 않은 것으로 분석되었다.

기상요인은 2013년 전체 분석시간대인 8,760시간 중 1,588시간에서 발행하여 전체 분석시간대에서 18.1%를 차지하여 분석대상구간 중 기상요인 발생 시간대가 가장 적은 것으로 나타났다.



〈그림 8〉 이천IC-여주JC(강릉방향) 변동성 지표 검토
 〈Fig. 8〉 Analysis of Travel Time Variability at Icheon IC-Yeju JC(Incheon Bound)

① 서울방향

금천IC-일직JC 서울방향의 변동성 지표 적정성 검토 결과 LOS A·B·C 구간의 경우 95th통행시간이 기상요인의 영향으로 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났다. 반면 LOS D 구간은 80th통행시간이 가장 민감하게 변화했으며, LOS E·F의 경우는 모든 통행시간이 변하지 않는 것으로 나타났다. 이는 금천IC-일직JC 서울방향의 경우 소통수준이 크게 악화된 상태에서 기상요인이 발생하는 경우가 많아 실질적

〈표 12〉 금천IC-일직JC(서울방향) 기상요인 발생 시간
 〈Table 12〉 Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Geumcheon IC - Iljik JC(Seoul Bound)

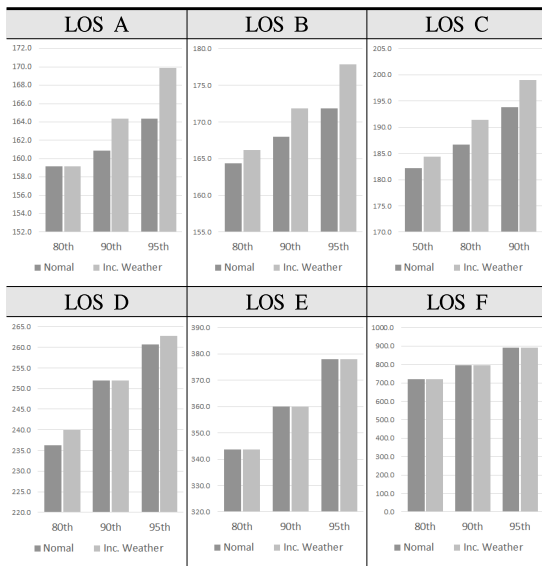
(unit : time frame)		
Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	2,178	239(11.0%)
LOS B	712	162(22.8%)
LOS C	861	187(21.7%)
LOS D	472	94(19.9%)
LOS E	454	82(18.1%)
LOS F	4,083	824(20.2%)
Sum	8,760	1,588(18.1%)

으로 소통수준에 크게 영향을 미치지 못하기 때문으로 판단된다.

〈표 13〉 금천IC-일직JC(서울방향) 변동성 지표 검토
 (Table 13) Analysis of Travel Time Variability at Geumcheon IC - Iljik JC(Seoul Bound)

(unit : second)

Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	159.2	159.2	0.0	164.3	166.2	1.8	182.2	184.4	2.2
90th	160.9	164.3	3.5	168.0	171.8	3.8	186.7	191.4	4.7
95th	164.3	169.9	5.5	171.8	177.9	6.1	193.8	198.9	5.1
Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	236.3	240.0	3.8	343.6	343.6	0.0	720.0	720.0	0.0
90th	252.0	252.0	0.0	360.0	360.0	0.0	795.8	795.8	0.0
95th	260.7	262.7	2.1	378.0	378.0	0.0	889.4	889.4	0.0



〈그림 9〉 금천IC-일직JC(서울방향) 변동성 지표 검토
 (Fig. 9) Analysis of Travel Time Variability at Geumcheon IC - Iljik JC(Seoul Bound)

② 목포방향

금천IC-일직JC 목포방향의 변동성 지표 적정성 검토 결과 모든 구간에서 95th통행시간이 기상요인의 영향으로 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났다.

〈표 14〉 금천IC-일직JC(목포방향) 기상요인 발생 시간
 (Table 14) Analysis of Time frame of Occurrence Weather Factor at Geumcheon IC - Iljik JC(Mokpo Bound)

(unit : time frame)

Criteria	Entire Time frame of Analysis	Time frame of Occurrence Weather Factor
LOS A	1,783	207(11.6%)
LOS B	756	184(24.3%)
LOS C	1,959	400(20.4%)
LOS D	2,078	352(16.9%)
LOS E	1,619	345(21.3%)
LOS F	565	100(17.7%)
Sum	8,760	1,588(18.1%)

〈표 15〉 금천IC-일직JC(목포방향) 변동성 지표 검토
 (Table 15) Analysis of Travel Time Variability at Geumcheon IC - Iljik JC(Mokpo Bound)

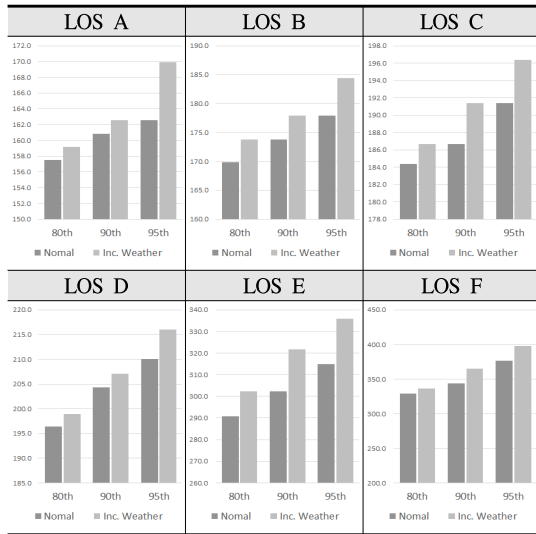
(unit : second)

Index	LOS A			LOS B			LOS C		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	157.5	159.2	1.7	169.9	173.8	3.9	184.4	186.7	2.3
90th	160.9	162.6	1.7	173.8	177.9	4.1	186.7	191.4	4.7
95th	162.6	169.9	7.3	177.9	184.4	6.5	191.4	196.4	5.0
Index	LOS D			LOS E			LOS F		
	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff	Nor	Entire	Diff
80th	196.4	198.9	2.6	290.8	302.4	11.6	328.7	336.0	7.3
90th	204.3	207.1	2.8	302.4	321.7	19.3	343.6	365.3	21.6
95th	210.0	216.0	6.0	315.0	336.0	21.0	376.2	397.9	21.7

3. 통행시간 분포 분석

구간별 분석결과 교통수준이 낮은 LOS A~D 구간에서는 요인 발생시 모든 변동성 지표들이 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 95th 통행시간이 가장 민감하게 변하는 것으로 분석되었다. 반면 용량 상태에 근접하거나 교통류가 붕괴된 LOS E~F 수준에서 요인발생시 변동성 지표가 변함이 없는 경우가 많이 나타났다.

때문에 통행시간 분포 분석을 통해 교통수준이 낮은 상황과 교통 수준이 높은 상황에서 기상요인이 어떻게 영향을 미치는지 분석을 수행하였다. 금천IC-일직JC(서울방향)을 대상으로 LOS A구간과 LOS F구간에 대하여 통행시간 분포를 수행하였다.



〈그림 10〉 금천C-일직JC(목포방향) 변동성 지표 검토
 〈Fig. 10〉 Analysis of Travel Time Variability at Geumcheon IC - Iljik JC(Mokpo Bound)

LOS A 구간 분석결과 기상요인발생시 평상시와 비교해 통행시간 분포가 왼쪽으로 이동하여 통행시간이 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 즉 기상요인이 발생하였을 때 이로 인해 전체적인 소통상태가 악화되어 통행시간이 증가하였으며, 통행시간 변동성을 악화시키는 역할을 하였다.

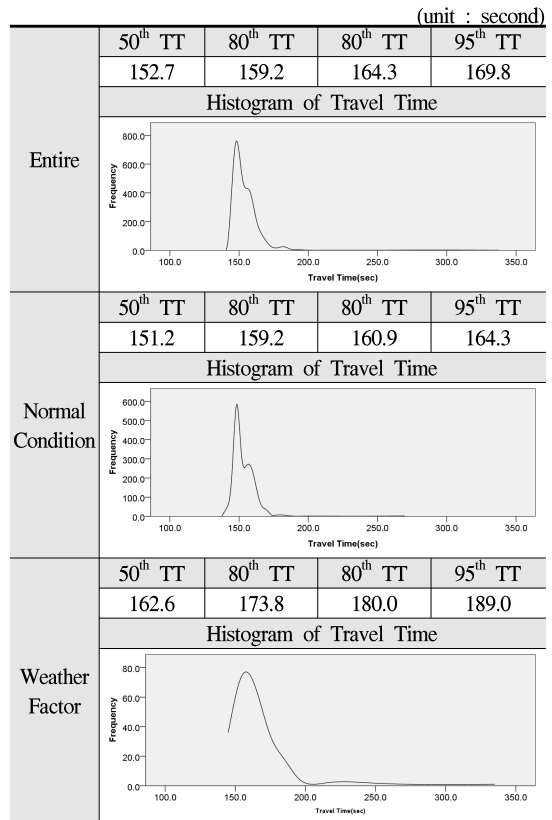
LOS F 구간 분석결과 기상요인발생시 평상시와 비교해 중위값은 증가하였지만 전체적인 통행시간 분포가 유사한 것으로 나타났다. 즉 기상요인이 소통상태에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

최근 도로의 서비스 수준을 향상시키기 위해서는 기존의 소통측면 뿐만 아니라 변동성 측면의 정보의 제공을 통해 예측 가능한 도로를 만드는 것이 매우 중요한 이슈로 대두되고 있다. 때문에 교통학계에서는 도로의 변동성을 계량적으로 나타내고 도로이용자가 쉽게 이용할 수 있는 통행시간 변동성 지표 개발에 대한 연구가 미국을 중심으로 많이 이루어지고 있다.

기존 미국을 중심으로 연구된 통행시간 변동성

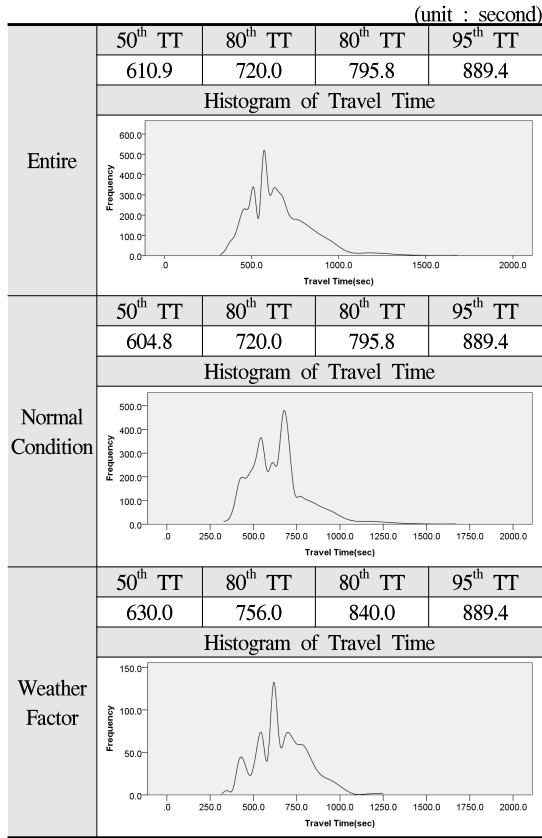
〈표 16〉 금천C-일직JC(서울방향) 통행시간분포 분석(LOS A)
 〈Table 16〉 Analysis of Travel Time Distribution at Geumcheon IC - Iljik JC(Seoul Bound)(LOS A)



지표 산출시 95th통행시간이 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 95th통행시간은 한 달 중 하루(20근무일 중 1일)는 늦는 것을 감안 할 수 있는 통행시간을 의미하며, 95th통행시간을 변동성 지표 산정 시 활용하는 명확한 근거는 없는 실정이다. 때문에 본 연구를 통해 95th통행시간이 국내 교통 환경에서 통행시간 변동성을 대표할 수 있는 지표인지 검토하고자 하였다.

통행시간 변동성 지표 적정성 검토는 주요 변동요인 중 하나인 기상요인을 대상으로 분석을 수행하였다. 변동요인이 발생하지 않은 정상상태의 통행분포 기상요인이 발생한 시간대를 포함한 통행분포를 비교분석하여, 80th통행시간·90th통행시간·95th 통행시간 중 어떤 분포의 통행시간이 민감하게 변

〈표 17〉 금천C-일직JC(서울방향) 통행시간분포 분석(LOS F)
 (Table 17) Analysis of Travel Time Distribution at Geumcheon IC - Iljik JC(Seoul Bound)(LOS F)



하는지 분석을 수행하였다.

분석대상구간을 경부선 동탄JC-오산IC(양방향), 영동선 이천IC-여주JC(양방향), 서해안선 금천IC-일직JC(양방향)의 3개구간을 선정하여 분석을 진행한 결과 대부분의 구간에서 95th통행시간 통행시간이 가장 민감하게 변하는 것으로 분석되었다. 금천IC-일직JC(서울방향)에서는 LOS E·F 구간의 경우 모든 통행시간의 변화가 없었는데 이는 이미 소통수준이 심각하게 악화된 상태에서 기상요인이 발생하였기 때문에 소통수준에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 기상요인에 의해 가장 민감하게 영향을 받는 분포 통행시간은 95th통행시간으로 나타나, 국내 교통 환경에서도 95th통행시간을 이용하

여 변동성 지표를 활용하는 것이 적정한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 주요 변동요인 중 기상요인에 대한 변동성 지표 적정성 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 현재 도로공사의 경우도 별도의 기상정보 수집체계가 구축되어 있지 않아 기상청의 지역별 AWS 자료를 이용하였다. 이는 실제 도로 구간에 발생한 기상요인이 아닌 도로 구간이 위치한 넓은 지역에 대한 기상자료로 기상요인의 영향력을 명확히 분석하기 어려운 문제점이 있었다. 향후 보다 세밀한 도로구간별 기상정보 수집체계가 구축될 경우 보다 명확한 기상요인 영향력 분석이 가능할 것이라 판단된다. 또한 기상요인 이외에 돌발상황 및 공사 등의 타 주요 변동요인에 대한 변동성 지표 적정성 분석이 필요하며, 15분 및 5분 소통자료를 이용하여 보다 세밀한 영향력 분석이 필요한 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Korea Transport Institute, "Study on A Methodology for the Reliability Benefit Measurement in feasibility Investigation of Railroad Project," 2008.
- [2] Texas Transportation Institute, "Selecting Travel Reliability Measure," 2003.
- [3] SHRP2 Reliability Archive System, <http://shrp2archive.org>.
- [4] SHRP2 L03, "Analytical Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies," 2013.
- [5] SHRP2 L05, "Incorporating Reliability Performance Measures into the Transportation Planning and Programming Processes," 2013.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Highway Capacity Manual," 2013.
- [7] Korea Expressway Corporation, Open-OASIS, <http://data.ex.co.kr>.
- [8] FWWA, "Traffic congestion and reliability : Trends and advanced strategies for congestion mitigation", 2005.

- [9] Korea Meteorological Administration, National Climate Data Service System, <http://sts.kma.go.kr>. Journeys on the Highways Agency's Motorway and A Road: The on Time Reliability Measure Methodology," 2013.
- [10] Department of Transportation, "Reliability of

저자소개



김 준 원 (Kim, Jun-Won)

2011년 2월 : 서울시립대학교 공학석사(교통공학 전공)
2014년 2월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정
e-mail : mirageno2uos.ac.kr



김 영 찬 (Kim, Young-Chan)

1996년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
1993년 3월 ~ 1996년 2월 : 명지대학교 교통공학과 조교수
1987년 1월 ~ 1990년 12월 : 미국 Texas A&M University 공학박사(교통전공)
1983년 3월 ~ 1985년 2월 : 서울대학교 공학석사(도시전공)
1979년 3월 ~ 1983년 2월 : 서울대학교 공학사(도시전공)