

# 초고속 주행환경에서의 진출입 시설간 적정 이격거리 기준 산정 연구

## Determining the Required Minimum Spacing between Freeway Interchange for High-speed Roadway

김흥래	Kim, Heung Rae	정회원 · (주)평화엔지니어링 연구원 부사장 (E-mail : hrkpro@pec.kr)
김경수	Kim, Kyoung Su	정회원 · (주)평화엔지니어링 연구원 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : kyoungsu1205@pec.kr)
이근희	Lee, Geun Hee	정회원 · (주)평화엔지니어링 연구원 선임연구원 (E-mail : ghlee@pec.kr)
신준수	Shin, Joon Soo	한국도로공사 스마트하이웨이사업단 차장 (E-mail : halfwing27@ex.co.kr)
백정길	Baek, Jung Gil	정회원 · 한국도로협회 기술국 책임연구원 (E-mail : dragegil@krta.co.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The objective of this study is to estimate required minimum spacing between Freeway IC for high-speed roadways.

**METHODS :** Since high-speed roadways with over 140 km/h design speed do not exist in Korea, VISSIM Simulation Program was used for analysis. Acceleration noise and conflicts were selected for Evaluation Index. Standard deviation size for acceleration and deceleration was calculated by VISSIM to estimate acceleration noise. Conflicts were produced in areas between Freeway IC with SSAM.

**RESULTS :** As a result, required minimum spacing was 6 km for acceleration noise analysis, while 5 km was deducted for conflict analysis. For Model Evaluation, with SAS, conflicts did not show much difference in 5~6 km area by 90% confidence interval.

**CONCLUSIONS :** For acceleration noise, results showed lacking in its discrimination between index per Minimum Spacing. However, conflicts were valid in difference; required minimum spacing was 5 km by validation result.

### Keywords

VISSIM, Acceleration Noise, Conflicts, SSAM

Corresponding Author : Kim, Kyoung Su, Senior Researcher  
R&D Institute, PyungHwa Engineering Consultants LTD,  
# 401, Doosan Venture Digm, 415, Heungan-daero, Dongan-gu,  
Anyang-si, Gyeonggi-do, 14059, Korea  
Tel : +82.31.420.7327 Fax : +82.31.420.7331  
E-mail : kyoungsu1205@pec.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan, 23, 2017 Revised Jan, 23, 2017 Accepted Feb, 07, 2017

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경 및 목적

국내 고속도로의 연장은 총 4,193km로 1970년 경부 고속도로 개통 이후 급속한 양적 성장을 이루며 국가 경제발전에 중추적 역할을 수행하였다.

최근 도로분야는 자동차-ICT(Information &

Communi-cation Technology) 융합기술의 급속한 발전과 교통 복지, 안전에 대한 이용자의 서비스 요구수준이 높아지면서 이를 충족시킬 수 있는 고규격·고품질의 도로 시스템 개발이 시급한 실정이다.

이러한 시대적 흐름에 맞추어 정부는 2020년까지 전국 고속도로에 차세대 지능형교통체계(C-ITS)를 구축

하고 국가미래성장동력으로 평가되는 자율주행차의 활성화를 위한 기술개발 및 인프라 지원 계획(제1차 국가도로종합계획)을 수립하였다.

도로분야에서는 자율주행 지원과 고성능 차량의 주행 환경에 적합한 서비스를 제공하기 위하여 고속도로 설계속도를 기존 120km/h에서 140km/h로 상향하는 것을 검토하고 있다.

설계속도의 상향은 도로의 기하구조와 도로시설물의 설치 간격 등 차량의 고속주행 특성에 적합하도록 기준 개선을 필요로 한다.

본 연구에서는 설계속도 상향 시 개선이 요구되는 다양한 고속도로 설계제원 중 인터체인지간 적정이격거리를 살펴보았다.

인터체인지 구간은 진·출입 교통량이 많아 차량 간 상충이 빈번히 발생하여 교통사고 발생비율이 높은 위험 지역이다. 2015년 기준으로 고속도로 전체 교통사고 4,495건 중 유입/유출로, 가/감속차로에서 248건이 발생하였으며 사상자는 418명을 기록하였다(Korea National Police Agency, 2016).

도로이용자들이 인터체인지 엇갈림 구간을 이용하여 안전하게 본선에 진입하기 위해서는 차로변경 및 가감속 시 충분한 여유시간을 확보할 필요성이 있다.

국내 인터체인지간 최소이격거리는 국토교통부 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』(이하, 도로구조령)상에 설계속도 120km/h일 때 인터체인지 중심선 사이의 거리로 2km를 제시하고 있으며, 설계속도를 140km/h로 상향 시 주행 안전성을 고려한 적정 이격거리에 대한 재검토가 필요하다.

본 연구를 위하여 VISSIM시뮬레이션과 SSAM을 이용하였으며 적정 이격거리 산정을 위한 평가지표는 진출입시설간 이격거리에 따른 가속소음과 상충수를 활용하였다.

## 1.2. 연구 수행 절차

고속도로 진출입시설 이격거리와 관련한 국내·외 연구를 검토하여 본 연구의 분석 방법론 정립에 활용하였다. 또한 초고속도로에서의 연결로 곡선반경, 변속차로 길이 등과 관련한 설계기준을 인용하여 VISSIM 상에서 가상 네트워크를 구축하였다.

가속소음 및 상충 분석을 이용하여 초고속 주행환경에서 진출입시설간 적정 이격거리 산출을 위한 방법론을 정립하고, VISSIM 분석 시나리오를 작성하였다.

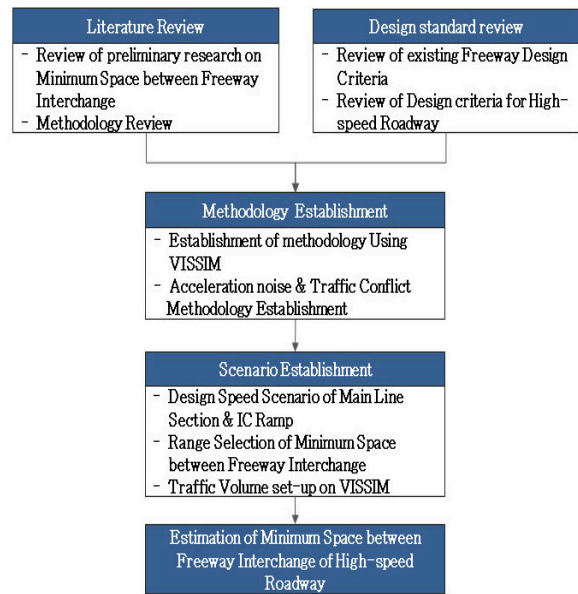


Fig. 1 Research Flow

## 2. 국내외 연구 사례

### 2.1. 국내 선행연구

Lee et al.(2006)은 VISSIM을 이용하여 도시부 간선도로 인터체인지를 대상으로 교통량, 차로수, 좌회전 비율을 변화시켜가며 인터체인지 형태별 상대지체를 분석하였다. 이를 통해 지역별 교통수요에 따라 지체를 최소화할 수 있는 인터체인지 형태를 비교 평가하였다.

Kim et al.(2007)은 VISSIM을 이용하여 인터체인지 분류 유출 연결로에서 인접 교차로까지의 간격을 구하는 회귀모형식을 개발하였다. VISSIM 시뮬레이션 시나리오의 변수는 유출교통류에 영향을 미치는 신호교차로 및 교통량 조건으로 설정하였다.

Oh et al.(2009)는 VISSIM을 이용하여 초고속 주행 환경에 부합하는 고속도로 진출입시설 적정 배치간격 설정을 위한 시뮬레이션 평가방법론을 정립하였다. 진출입 시설 최소 설치간격에 대한 평가를 위하여 교통량, 설계속도, 차중비율, 진출입시설 교통량 등을 고려하였다. 설계속도 160km/h 수준의 초고속 주행환경에서 교통안전을 고려한 진출입시설 최소 설치간격 적정 값은 5km 수준으로 평가되었다.

### 2.2. 국외 선행연구

TRB Special Report 165의 Traffic Flow Theory(1976)에서 가속소음은 가속도의 표준편차로서 가속소음에 영향을 미치는 주요 요소는 운전자, 도로, 교통상태로 정의하고 있다. 공격적 성향의 운전자의 경

우 속도 변화폭이 크게 발생하며, 다차로 고속도로보다 도시부의 단속교통류 상태에서 속도 변화폭이 크게 발생하는 것으로 보고 있다.

Hassan Yasser et al.(2006)은 고속도로 합류부에서 설계속도로 주행 시 적정한 가속차로의 길이를 찾아가 안전성과 편리함에 관해 연구하였다. 가속차로 길이가 375~425m일 때 모든 지형조건과 교통조건에서 적정한 것으로 분석되었다.

Joonho Ko et al.(2006)은 고속도로 교통흐름의 다양성을 나타내기 위하여 가속소음을 이용한 평가방법을 제안하였다. 고속도로 운영 상태에 대한 LOS 평가방법은 개별 운전자의 특성이 반영되지 않아 교통흐름에 다양성이 반영되지 못하고 있는 것으로 보고 있다.

본 연구에서는 VISSIM 프로그램을 활용하여 초고속 주행환경에서의 IC간 이격거리 및 교통량에 따른 가속소음을 분석하였다. 이와 함께 SSAM 프로그램을 이용하여 차량의 상충횟수를 분석함으로써 교통상충을 고려한 진출입시설 최소 설치간격을 제시한 것이 위 연구들과 차이가 있다.

### 2.3. 국내·외 기존 설계 기준

국내외 인터체인지 최소이격거리 관련 설계기준은 다음과 같다.

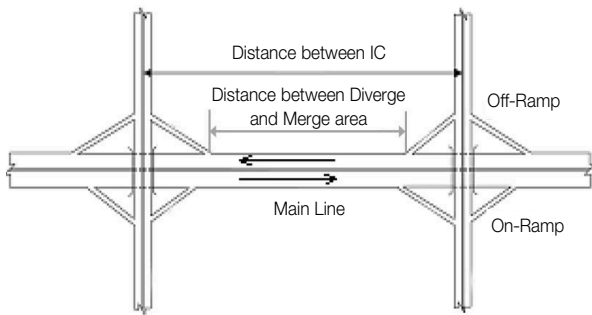


Fig. 2 Spacing between Interchange

Table 1. Interchange Spacing Recommendation

Country	Interchange spacing	From-To
Korea	2km	Distance between IC
USA	1.5km(1mi) - City area 3km(2mi) - Rural area	Distance between IC
Germany	2~3km	Distance between diverge and merge area
Japan	1.5~4km	Distance between diverge and merge area

국내 인터체인지 최소간격은 최소 2km, 최대 30km를 원칙으로 하고 있다. 최소 간격 2km는 계획 교통의 처리, 표지판 설치 등 교통운영에 필요한 거리로 도시부에서 최소 간격이 2km 미만인 경우에는 반드시 두 입체시설을 일체화로 계획하도록 권고하고 있으며 부득이한 경우에는 최소 간격을 1km로 할 수 있다(Ministry of Land, 2013).

미국의 경우 인터체인지간 최소간격은(연결로가 있는 교차로 사이의 거리) 위빙구간의 교통량, 신호 능력, 신호 연동화, 변속차로의 길이에 의해 결정되며, 경험적으로 도시지역 1.5km[1mi], 지방지역 3.0km[2mi]으로 적용하고 있다. 인터체인지 계획 시 설계조건, 병목지점 및 국지혼잡의 해소, 안전성, 지형조건, 도로 이용자 편의, 교통량 조건을 검토하여 인터체인지 설치 타당성을 결정한다(AASHTO, 2001).

일본의 경우 일반적으로 인터체인지 설치 간격은 공업지대 또는 대도시 주변 5~10km, 평지로서 소도시가 점재하는 경우 15~25km, 산지부 20~25km를 적용하고 있다. 최소간격은 인터체인지간 위빙과 도로 표식 설치에 필요한 길이를 고려하여 1.5~4km로 설정하고 있다. 최대간격은 도로의 관리 운영, 효율성을 고려하여 20~30km로 하고 있다(Japan Road Association, 2015).

독일의 경우 교통 안전성 확보를 우선으로 검토한다. 운전자가 방향을 정확히 인지하고 교차로 접근에 필요한 충분한 시간이 부여될 수 있도록 하며 도로특성변화에 적응이 용이하도록 설계한다. 독일의 교차로 설치 간격은 교통망계획(Network plan)과 교통망체계(Network hierarchy)에 따라 결정되며 교통망계획 상의 최소설치간격은 5km(설계등급 : EKA 1 B, EKA 2), 8.0km(설계등급 : EKA 1 A)이다. 실질적인 교차로 설치 간격은 인접한 교차로의 노즈간의 간격으로 방향표지 설치 시 인터체인지 3km 이상, 진입로 2km 이상로 규정하고 있다(Road and Transportation Research Association, 2008).

## 3. 연구방법

### 3.1. VISSIM 분석

제한속도 140km/h 이상인 초고속도로는 국내에서 아직까지 적용한 사례가 없기 때문에 인터체인지간 이격거리 검토를 위하여 가상의 네트워크를 구현한 시뮬레이션을 이용하였다. 분석 프로그램은 국내·외에서 가

장 많이 활용되고 있는 대표적인 교통류 미시분석 프로그램인 VISSIM을 선정하였다.

### 3.1.1. VISSIM Driver Behavior 입력

VISSIM의 교통류 Car-following Model은 Wiedemann Model을 따르고 있으며, 일반적으로 단속류 도로에서는 Wiedemann 74 model을 적용하고, 연속류 도로에서는 Wiedemann 99 model을 적용한다. 본 연구는 고속도로를 주행하는 차량을 대상으로 분석하기 때문에 Wiedemann 99 model을 적용하였다.

Table 2는 VISSIM에서 Driver Behavior 속성을 입력한 수치를 나타내었다. 진출입시설은 차로변경이 잦은 구간으로서 차로변경 시 차량의 가감속도 및 Headway가 매우 중요한 의미를 가진다. 본 연구의 VISSIM 속성값은 가장 일반적으로 쓰이는 Driver Behavior 속성값을 입력하였다.

Table 2. VISSIM Driver Behavior Parameter

Classification	Parameter	Input
Driver behavior parameter during lane change	Maximum deceleration	-4 m/s <sup>2</sup>
	Accepted deceleration	-1 m/s <sup>2</sup>
	Minimum headway	0.5 m
Driver behavior related parameter at deceleration area	Deceleration	-2 m/s <sup>2</sup>
Driver behavior parameter at conflict area on diverge and merge area	FrontGapDef (Safety distance of vehicle front-side)	0.5 m
	RearGapDef (Safety distance of vehicle rear-side)	0.5 m
	SafDistFactDef (Safety distance of whole vehicle)	1.5 m
	AvoidBlock (Traffic conflict evasion)	100 %

### 3.1.2. VISSIM 네트워크 구축

본 연구에서 본선 설계속도는 140km/h로 설정하고 그에 적합한 인터체인지 선형제원으로 네트워크를 구축하였다. 네트워크 구축을 위한 고속도로 진출입시설은 본선구간, 변이구간, 변속차로, 연결로로 구성되며 진출입시설간 이격거리는 교차되는 도로의 중심선을 기준으로 하였다.

네트워크 구축에 적용한 설계제원은 Table 3과 같으며, Fig. 3은 연결로 설계속도 80km/h, 진출입시설간

이격거리 3km의 분석시나리오에 대해 VISSIM Network를 구축한 예시이다. 분석대상구간은 엇갈림이 발생하는 고속도로 본선 구간으로 선정하였다.

Table 3. Design Elements of VISSIM Network

Design speed of main line (km/h)	Design speed of IC ramp (km/h)	Minimum radius curvature (m)	Speed-change lane		Horizontal curve transition area(m)
			Deceleration lane(m)	Acceleration lane(m)	
140	80	265	162	438	100
	90	360	144	350	

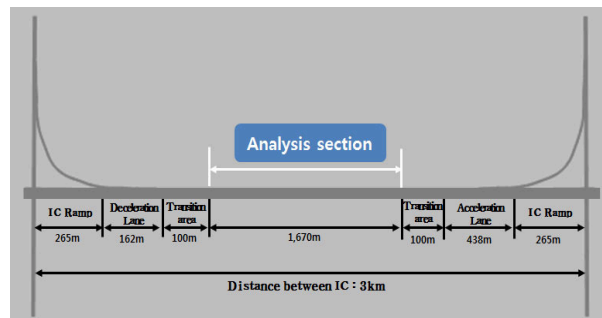


Fig. 3 VISSIM Network by 3km Minimum Space

VISSIM에서 입력하는 속도는 주행차량의 평균속도로 본선 설계속도인 140km/h를 입력하였으며 최소 130km/h, 최대 150km/h의 범위로 주행하도록 설정하였다. 입력한 속도는 자유속도를 의미하며 VISSIM 네트워크 상에 Traffic Jam이 발생할 때에는 선행차량의 속도에 영향을 받아 주행하게 된다.

현재 국내 연결로 설계속도는 본선 설계속도 120km/h 일 때 최대 80km/h까지 적용할 수 있도록 제시하고 있으나 본선 설계속도를 140km/h 상향시킬 경우 연결로 설계속도는 80km/h 이상 요구된다. 따라서 본 연구에서는 연결로 설계속도를 80~90km/h로 가정하여 분석을 수행하였다.

연결로 구간의 곡선반경은 연결로의 설계속도에 따라 도로의 선형 기준에 따르고 있다. Table 4은 도로구령에서 제시하고 있는 연결로 설계속도별 평면곡선반경 기준이다. 본 연구에서는 편경사 7%일 때 연결로 설계

Table 4. Curve Radius by Desing Speed

Design speed of IC ramp (km/h)	Minimum radius curvature(m)		
	Superelevation 6%	Superelevation 7%	Superelevation 8%
100	460	440	420
90	380	360	340
80	280	265	250

속도 80km/h, 90km/h의 최소 곡선반경 265m, 360m를 적용하였다.

변이구간 길이는 Table 5와 같이 국내 도로구조령 상에 본선 설계속도 120km/h에서 90m로 제시하고 있으나 본선 설계속도 140km/h에 대한 변이구간 길이는 전무한 실정이다. 따라서, 기존 국내 기준을 바탕으로 본 연구에서 요구되는 설계속도 140km/h에 대한 변이구간 길이를 100m로 가정하여 적용하였다.

Table 5. Minimum Distance of Horizontal Curve Transition Area by Main Line Design Speed

Design speed of main line (km/h)	120	110	100	90	80	60	50	40
Minimum distance of horizontal curve transition area (m)	90	80	70	70	60	60	60	60

변속차로의 길이는 미국 텍사스 주의 Roadway Design Manual(2014) 연구의 계산식을 따라 산정하였다. 국내 도로구조령에서 제시하고 있는 가감속차로 길이의 계산식이 존재하지만, 이러한 계산식을 통해 산출된 길이가 실제 도로구조령의 최소기준과는 큰 차이가 존재하기 때문에 본 연구에서 이를 인용하는 것은 적절치 않은 것으로 판단하였다.

감속차로 길이 산정식은 다음과 같다.

$$D = 0.278V_h t_n - 0.5d_n(t_n)^2 + \frac{(0.278V_r)^2 - (0.278V_a)^2}{2d_{wb}} \quad (1)$$

$V_h$  = Highway speed, km/h

$V_a$  = Speed after  $t_n$  seconds of deceleration without brakes, km/h

$V_r$  = Entering speed for controlling exit ramp curve, km/h

$t_n$  = Deceleration time without brakes(assumed to be 3s)

$d_n$  = Deceleration rate without brakes, m/s<sup>2</sup>

$d_{wb}$  = Deceleration rate with brakes, m/s<sup>2</sup>

가속차로의 산정식은 다음과 같다.

$$A = \frac{(0.278V_h)^2 - (0.278V_r)^2}{2a} \quad (2)$$

$A$  = Acceleration length, m

$V_h$  = Highway speed, km/h

$V_r$  = Speed on controlling curve for ramp, km/h

$a$  = Acceleration rate, m/s<sup>2</sup>

위 산정식을 통해 본선 설계속도 140km/h일 때, 산출된 변속차로의 길이는 Table 6와 같다.

Table 6. Speed-change Lane by 140km/h Design Speed of Main Line

Classification	IC ramp 80km/h	IC ramp 90km/h
Deceleration lane (m)	162	144
Acceleration lane (m)	438	350

### 3.2. 평가지표 선정

본 연구에서는 가속소음도와 상충 수를 적정 이격거리 산출을 위한 평가지표로 선정하였다. 가속소음은 VISSIM을 통해 개별차량의 감속도 표준편차로 산출할 수 있고, 상충수는 VISSIM 상에서 주행하는 차량을 인식하여 차량간 상충수를 카운트할 수 있는 프로그램인 SSAM을 통해 산출하였다.

#### 3.2.1. 가속소음

Herman et al.(1959)과 Drew et al.(1965) 등은 가속도의 평균값에 대한 가속도의 표준편차로 변화의 크기를 측정하고자 했으며, 이를 가속소음으로 정의하였다. 이들 연구에서는 분석대상 거동이 측정된 가속도의 평균으로부터의 편차가 작을수록 안정적인 거동으로 보았으며, 클수록 불안정한 거동으로 보았다. 이를 통해 운행 중인 차량의 속도 변화의 크기와 빈도수가 개별차량의 움직임에서의 안정성과 관련되어 있다고 판단하고 이를 표현하기 위한 지표로서 가속소음을 제시하였다.

본 연구에서는 진출입시설간 이격거리가 짧을수록 VISSIM 내 개별차량의 가속소음이 증가할 것이라는 가정 하에 이격거리별 가속소음의 변화를 평가하였다.

#### 3.2.2. 상충

차량간 상충은 FHWA에서 개발한 대리안전평가모형(Surrogate Safety Assessment Model : 이하 SSAM)을 이용하여 VISSIM에서 구현한 각 시나리오별 차량 상충횟수를 분석하였다. SSAM은 미시교통시물레이션모형과 자동화된 상충분석기법이 결합된 모형으로서 교통사고 분석과 관련된 다양한 사고관련 변수



를 고려하여 자동적으로 상충분석할 수 있는 프로그램이다. SSAM은 VISSIM, AIMSUM, TEXAS, Paramics 등의 미시 교통시물레이션모형으로부터 생산된 개별차량의 경로정보(시물레이션 시각, 차량 ID, 위치, 속도, 가속도 등)를 이용하여 교통류 흐름 속에서 차량과 차량이 상충이라고 표현할 수 있는 위험 범위 내에 접근하는 경우의 수를 분석하여 결과치로 나타낼 수 있다. 여기서 상충(Collision)은 2개 이상의 교통류가 동일한 도로 공간을 사용하려고 할 때 발생하는 교통류의 교차, 합류 및 분류되는 현상으로 정의할 수 있다.

본 연구에서는 이격거리가 짧을수록 분석구간 내 상충수가 증가할 것이라는 가정 하에 평가지표로 선정하였다. 가속소음과 같이 진출입시설간 이격거리별 상충수의 변화를 검토하여 적정 이격거리를 검토하였다.

### 3.3. 분석 시나리오

#### 3.3.1. 시나리오 설정

앞서 연결로 설계속도에 따른 평면곡선반경, 본선-연결로 설계속도에 따른 변속차로 길이, 변이구간 길이를 결정하였다. VISSIM 네트워크를 기본으로 적정 이격거리를 산정하기 위한 시나리오는 평가지표인 가속소음과 상충수에 영향을 미치는 차로수, 교통량, 이격거리를 고려하여 설계하였다.

차로수는 편도 2차로와 3차로로 구분하여 VISSIM 분석을 수행하였다. 진출입시설간 이격거리는 국내 고속도로 최소 이격거리 기준인 2km부터 1km 단위로 9km까지 증가시켜 각각의 이격거리별 가속소음과 상충수를 산출하였다.

교통량은 서비스수준(Level of Service, 이하 LOS) C~D로 적용하였다. 도로의 용량수준인 LOS E의 교통량은 교통류가 불안정한 상태로 가속소음 및 상충 분석 결과가 일정하지 않게 산출되기 때문에 제외하였다. 편도 2차로, 3차로의 교통용량상태는 각각 3,000대/시, 4,000대/시로 분석되었다. 교통량 조건은 Table 7과 같이 편도 2차로 교통량 2,600~3,000대/시와 편도 3차로 교통량 3,500~4,000대/시에 대해 100대/시 단위

Table 7. Traffic Volume Input Scenario

Classification		Traffic volume input scenario				
Two-lane	Main line	2600	2700	2800	2900	3000
	IC ramp	260	270	280	290	300
Three-lane	Main line	3600	3700	3800	3900	4000
	IC ramp	360	370	380	390	400

로 분석하도록 설정하였다. 연결로와 본선에서 분·합류하는 교통량은 본선 교통량의 10%를 적용하였다.

#### 3.3.2. 분석 방법

이격거리별(2~9km)로 산출된 가속소음 및 단위거리당 상충수는 비선형 회귀분석을 통해 모형을 추정하여 이격거리 증가에 따른 변화를 검토하였다. 진출입시설간 적정 이격거리를 산정하기 위해 추정된 모형의 점선 기울기를 산출하였으며, 해당 이격거리별 가속소음과 단위거리당 상충수의 변화량이 작아지는 지점을 적정 이격거리로 제시하고자 한다.

## 4. 분석 결과

### 4.1. 가속소음 분석 결과

본선 설계속도 140km/h에서의 진출입시설간 적정 이격거리를 산정하기 위하여 VISSIM을 활용하여 각 시나리오별로 가속소음을 산출하였다. 2~9km 이격거리별로 차로수 및 연결로 설계속도별 산출된 가속소음은 다음 Table 8~11와 같다.

Table 8. Acceleration Noise of IC Ramp Two-Lane (80km/h) Scenario

Required minimum space	Acceleration noise				
	Main line traffic volume (vph)				
	2600	2700	2800	2900	3000
2km	1.61	1.67	1.7	1.67	1.84
3km	1.45	1.48	1.52	1.61	1.69
4km	1.37	1.44	1.49	1.6	1.66
5km	1.19	1.27	1.36	1.46	1.57
6km	1.02	1.16	1.24	1.29	1.37
7km	1.01	1.06	1.13	1.17	1.2
8km	0.99	1.05	1.06	1.14	1.2
9km	0.98	1.05	1.03	1.16	1.29

Table 9. Acceleration Noise of IC Ramp Three-Lane (80km/h) Scenario

Required minimum space	Acceleration noise				
	Main line traffic volume (vph)				
	3600	3700	3800	3900	4000
2km	1.49	1.56	1.59	1.67	1.73
3km	1.40	1.46	1.52	1.55	1.60
4km	1.10	1.20	1.24	1.26	1.30
5km	1.03	1.07	1.09	1.17	1.21
6km	1.00	1.06	0.95	1.09	1.12
7km	0.90	0.97	1.00	1.03	1.08
8km	0.89	0.90	0.93	0.98	1.00
9km	0.85	0.88	0.91	0.94	0.86

Table 10. Acceleration Noise of IC Ramp Two-Lane (90km/h) Scenario

Required minimum space	Acceleration noise				
	Main line traffic volume (vph)				
	2600	2700	2800	2900	3000
2km	1.52	1.64	1.68	1.74	1.86
3km	1.29	1.38	1.56	1.68	1.7
4km	1.25	1.4	1.51	1.51	1.54
5km	1.18	1.32	1.36	1.42	1.48
6km	1.03	1.22	1.28	1.28	1.3
7km	0.95	1.18	1.24	1.25	1.28
8km	1.02	1.14	1.18	1.25	1.28
9km	0.97	1.03	1.09	1.13	1.19

Table 11. Acceleration Noise of IC Ramp Three-Lane (90km/h) Scenario

Required minimum space	Acceleration noise				
	Main line traffic volume (vph)				
	3600	3700	3800	3900	4000
2km	1.22	1.34	1.40	1.51	1.56
3km	0.96	1.02	1.05	1.24	1.27
4km	1.08	1.06	1.08	1.22	1.22
5km	0.93	1.00	1.05	1.16	1.19
6km	0.88	0.92	0.91	1.02	1.04
7km	0.95	0.96	0.98	1.03	1.05
8km	0.86	0.91	0.95	0.94	0.98
9km	0.80	0.84	0.87	0.86	0.90

본선 2차로 교통량 2,600~3,000대/시, 본선 3차로 교통량 3,600~4,000대/시를 VISSIM에 입력하여 각각의 가속소음을 산출하였다. 각 시나리오별로 교통량별 가속소음을 평균한 결과는 다음 Table 12, Fig. 4와 같다.

Table 12. Average Acceleration Noise by Scenario

Required minimum space	Acceleration noise			
	80km/h Two-lane	80km/h Three-lane	90km/h Two-lane	90km/h Three-lane
2km	1.70	1.61	1.69	1.41
3km	1.55	1.51	1.52	1.11
4km	1.51	1.22	1.44	1.13
5km	1.37	1.11	1.35	1.07
6km	1.22	1.04	1.22	0.95
7km	1.11	1.00	1.18	0.99
8km	1.09	0.94	1.17	0.93
9km	1.10	0.89	1.08	0.85

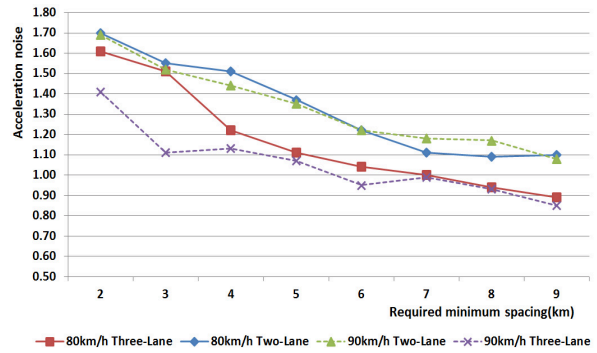


Fig. 4 Average Acceleration Noise per Traffic Volume Scenario

분석 결과, 고속도로 본선 차로수가 2차로일 때가 3차로일 때보다 가속소음이 높은 것으로 나타났다. 이는 차로수가 적을수록 차량의 차로 선택 경우가 줄어들어 진출입하는 차량으로 인한 감가속이 더욱 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

또한, 각 시나리오별 가속소음은 IC간 이격거리가 약 6km부터 감소량이 미미해지는 것으로 나타났다. 연결로 80km/h, 2차로 시나리오에서는 IC간 이격거리 7km에서 가속소음 1.11로, 6km 1.22에서 0.11 감소한 반면 8km 1.09로 0.02 감소한 것으로 볼 때, 7km가 적절한 것으로 추정된다. 연결로 80km/h, 3차로 시나리오에서는 IC간 이격거리 6km에서 가속소음 1.04로, 5km 1.11에서 0.07 감소한 반면 7km 1.00으로 0.04 감소한 것으로 볼 때, 6km가 적절한 것으로 추정된다. 이와 같은 추세로 볼 때, 연결로 90km/h, 2차로와 90km/h, 3차로 시나리오는 이격거리 6km가 적절한 것으로 추정된다.

#### 4.2. 상충수 분석 결과

가속소음 분석과 같이 진출입시설간 적정 이격거리를 산정하기 위하여 SSAM을 활용하여 각 시나리오별로 상충수를 산출하였다. 이격거리별로 고속도로 차로수 및 연결로 설계속도별 산출된 상충수는 다음 Table 13~16과 같다.

가속소음은 개별차량의 감가속도 표준편차 변화의 크기를 나타낸 것이고, 상충수는 단순히 분석대상구간 내에서 발생한 상충횟수를 산정한 결과이다. 따라서 본 연구의 평가지표인 가속소음과 상충수는 산정하는 방식을 달리 적용하였다. 가속소음 지표는 그 자체가 차량의 감가속도 표준편차이기 때문에 분석대상구간을 고려할 필요가 없다. 반면에 상충수는 분석대상구간 길이에 따라 지표값이 차이가 크므로 분석대상구간 길이를 고려하여 단위거리당 상충수(상충수/km)로 가공하여 산출하였다.

Table 13. Conflicts of IC Ramp Two-Lane(80km/h) Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance				
	Main line traffic volume (vph)				
	2600	2700	2800	2900	3000
2km	626.7	713.3	755.0	1096.7	1538.3
3km	185.6	243.1	304.4	434.4	479.4
4km	144.6	222.7	257.3	324.6	519.2
5km	65.0	96.9	156.7	152.2	323.6
6km	52.2	88.9	113.5	89.6	191.3
7km	58.0	70.4	86.1	103.6	132.9
8km	48.0	52.9	56.5	70.2	96.1
9km	44.7	55.7	52.9	80.7	122.5

Table 14. Conflicts of IC Ramp Three-Lane(80km/h) Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance				
	Main line traffic volume (vph)				
	3600	3700	3800	3900	4000
2km	530.0	630.0	691.7	711.7	828.3
3km	308.8	241.3	356.3	364.4	518.8
4km	120.4	172.7	157.7	208.5	191.5
5km	88.3	101.7	134.7	106.9	131.7
6km	67.0	71.7	76.1	87.0	96.7
7km	55.9	61.8	64.5	64.5	75.9
8km	46.8	44.7	60.2	57.4	72.7
9km	34.5	43.7	48.2	42.1	63.4

Table 15. Conflicts of IC Ramp Two-Lane(90km/h) Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance				
	Main line traffic volume (vph)				
	2600	2700	2800	2900	3000
2km	361.7	438.3	506.7	540.0	535.0
3km	135.6	143.8	183.1	238.1	266.9
4km	106.9	91.9	103.8	123.5	191.9
5km	60.6	95.6	97.2	117.8	156.1
6km	50.4	60.4	60.0	73.5	107.8
7km	41.4	42.9	59.6	61.4	62.3
8km	36.1	30.0	48.8	49.8	66.8
9km	28.2	35.4	38.0	51.7	50.0

Table 16. Conflicts of IC Ramp Three-Lane(90km/h) Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance				
	Main line traffic volume (vph)				
	3600	3700	3800	3900	4000
2km	325.0	500.0	436.7	493.3	600.0
3km	133.8	238.1	188.8	253.8	266.9
4km	103.1	124.6	146.5	177.7	214.2
5km	65.3	78.9	101.4	113.9	128.6
6km	58.0	65.0	80.0	104.6	95.7
7km	55.9	53.2	54.8	66.6	73.2
8km	36.5	38.5	57.3	61.8	73.0
9km	44.6	39.3	41.3	50.3	44.6

각 시나리오별로 교통량별 단위거리당 상충수를 평균한 결과는 다음 Table 17, Fig. 5와 같다.

Table 17. Average Conflicts by Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance			
	80km/h	80km/h	90km/h	90km/h
	Two-lane	Three-lane	Two-lane	Three-lane
2km	946.0	678.3	476.3	471.0
3km	329.4	357.9	193.5	216.3
4km	293.7	170.2	123.6	153.2
5km	158.9	112.7	105.4	97.6
6km	107.1	79.7	70.4	80.7
7km	90.2	64.5	53.5	60.8
8km	64.7	56.4	46.3	53.4
9km	71.3	46.4	40.7	44.0

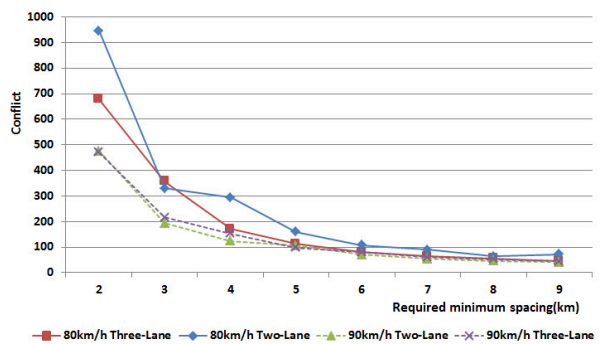


Fig. 5 Average Conflicts per Traffic Volume Scenario

분석 결과, 단위거리당 상충수는 가속소음과 달리 차로수의 영향보다 연결로 설계속도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 연결로 설계속도가 90km/h일 때 보다 80km/h일 때 상충이 더 많이 발생한 것으로 나타나는데, 이는 본선과 연결로의 속도 차이로 인하여 상충이 보다 많이 발생하는 것으로 사료된다.

각 시나리오별 상충수는 Fig. 7과 같이 IC간 이격거리가 약 5km부터 감소량이 미미해지는 것으로 나타났다. 연결로 80km/h, 2차로 시나리오에서는 IC간 이격거리 5km에서 상충수가 158.9로, 4km 293.7에서 134.8 감소한 반면 6km 107.1로 51.8 감소한 것으로 볼 때, 5km가 적절한 것으로 추정된다. 이와 같은 추세로 볼 때, 이 외 3개 시나리오에서도 이격거리 5km가 적절한 것으로 추정된다.

### 4.3. 모형식을 통한 검증 결과

진출입시설간 이격거리 산정을 위하여 분석한 가속소



음 및 상충수 분석은 정성적인 판단으로 적정 이격거리를 5~6km로 추정하였다. 따라서 정량적으로 IC간 적정 이격거리를 산출하기 위하여 각 교통량별 평가지표를 모형화하고, 모형식을 통해 추정된 이격거리별 지표값의 신뢰구간 비교를 통해 적정 이격거리를 산출하고자 하였다. 모형식은 SAS(Statistical Analysis System)를 통해 잔차를 최소화하는 최적의 모형을 구축하였다.

SAS를 통해 모형화한 결과, 가속소음은 이격거리별 지표값이 큰 차이를 보이지 않아 비선형이 아닌 선형식을 보이고 있어 검증이 적정치 않은 것으로 판단하여 제외하였다.

상충수는 exp함수 형태로 비선형 회귀식으로 모형을 구축하였다. 다음 Table 18은 시나리오별 추정된 모형식과 이 모형식을 통해 이격거리별 상충수 추정치를 나타내었다. Fig. 6~9는 각 시나리오별 추정치를 비교한 결과이다.

Table 18. Comparison between Estimated and Surveyed Conflicts by Scenario

Required minimum space	Conflicts per unit distance			
	80km/h Two-lane	80km/h Three-lane	90km/h Two-lane	90km/h Three-lane
2km	897.7	667.9	449.6	444.1
3km	468.9	367.9	251.0	267.9
4km	244.9	202.6	140.1	161.6
5km	127.9	111.6	78.2	97.5
6km	66.8	61.4	43.7	58.8
7km	34.9	33.8	24.4	35.5
8km	18.2	18.6	13.6	21.4
9km	9.5	10.3	7.6	12.9
Estimation model	$y=e^{(8.0986-0.6494x)}$	$y=e^{(7.6972-0.5965x)}$	$y=e^{(7.2742-0.5829x)}$	$y=e^{(7.1068-0.5054x)}$

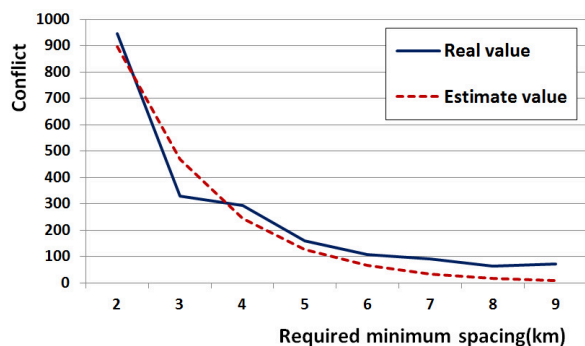


Fig. 6 Comparison between Estimated and Surveyed Conflicts (80km/h Two-Lane)

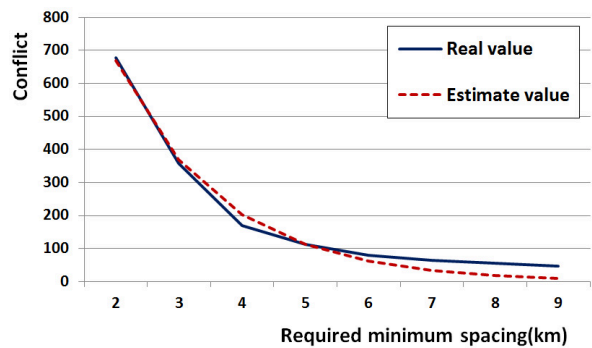


Fig. 7 Comparison between Estimated and Surveyed Conflicts (80km/h Three-Lane)

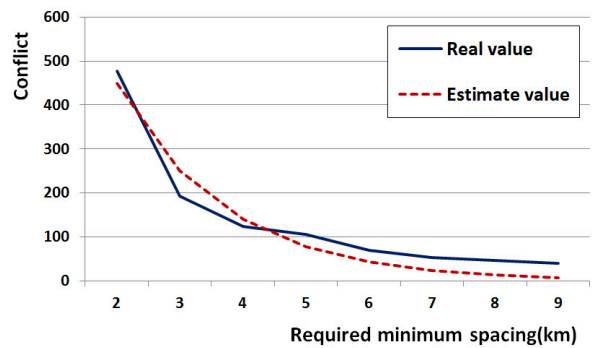


Fig. 8 Comparison between Estimated and Surveyed Conflicts (90km/h Two-Lane)

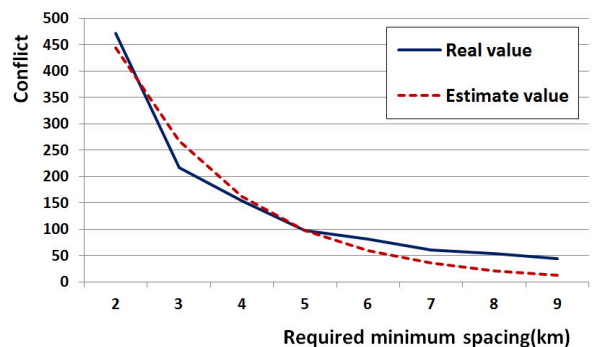


Fig. 9 Comparison between Estimated and Surveyed Conflicts (90km/h Three-Lane)

SAS를 통해 구축한 비선형 회귀식을 통해 산출된 추정치를 기준으로 각 이격거리별 상충수의 90% 신뢰구간을 검토하고 90% 신뢰구간 내에서 단위거리당 상충수의 변화가 이루어지는 거리를 적정 이격거리로 제시하고자 한다. 다음 Table 19~20은 단위거리당 상충수를 이격거리별 90% 신뢰구간의 범위로 나타내었다.

80km/h, 2차로 시나리오에서는 이격거리 2~4km의 하한치가 3~5km의 평균 상충수를 포함하지 못하지만, 이격거리 5km의 90% 신뢰구간 하한치 53.8은 이격거

리 6km의 평균값 66.8을 포함하고 있다. 이는 이격거리 6km에서의 단위거리당 상충수는 이격거리 5km 상충수의 오차범위를 포함하고 있다는 의미이므로, 이격거리 5km부터는 단위거리당 상충수의 차이가 미미해진다고 해석할 수 있다.

Table 19. 90% Confidence Interval (80km/h)

Required minimum space	Conflicts per unit distance					
	80km/h two-lane			80km/h three-lane		
	Lower	Mean	Upper	Lower	Mean	Upper
2km	815.3	897.7	980.1	605.6	667.9	730.2
3km	389.3	468.9	548.5	309.7	367.9	426.1
4km	167.4	244.9	322.4	149.9	202.6	255.3
5km	53.8	127.9	202.0	63.3	111.6	159.9
6km	-4.9	66.8	138.5	17.4	61.4	105.4
7km	-33.7	34.9	103.5	-7.5	33.8	75.1
8km	-47.3	18.2	83.7	-20.9	18.6	58.1
9km	-	9.5	-	-	10.3	-

Table 20. 90% Confidence Interval (90km/h)

Required minimum space	Conflicts per unit distance					
	90km/h two-lane			90km/h three-lane		
	Lower	Mean	Upper	Lower	Mean	Upper
2km	397.3	449.6	501.9	392.8	444.1	495.4
3km	201.2	251.0	300.8	218.3	267.9	317.5
4km	92.5	140.1	187.7	114.5	161.6	208.7
5km	33.3	78.2	123.1	53.2	97.5	141.8
6km	1.5	43.7	85.9	17.0	58.8	100.6
7km	-15.8	24.4	64.6	-3.7	35.5	74.7
8km	-24.6	13.6	51.8	-16.4	21.4	59.2
9km	-	7.6	-	-	12.9	-

Fig. 10은 80km, 2차로 시나리오의 이격거리 5km 신뢰구간이 6km의 평균값을 포함하고 있는 예시를 나타

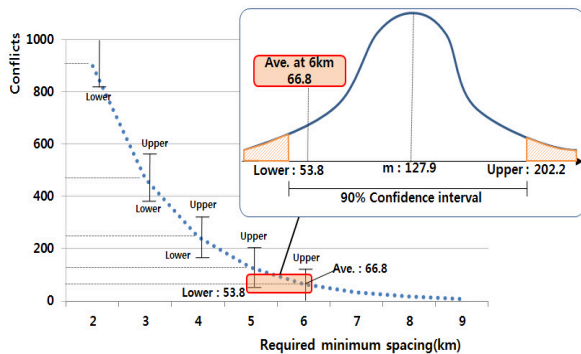


Fig. 10 Example of 80km/h 2-Lane Scenario

내었다. 이 외 시나리오의 경우에서도 Fig. 12 예시와 같이 이격거리 5km의 상충수 추정치의 90% 신뢰수준 내에 이격거리 6km 평균 상충수가 포함된다. 따라서 상충수 평가지표를 통해서 본선 설계속도 140km/h 주행 환경에서의 진출입시설간 이격거리는 5km가 적절하다고 판단된다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

### 5.1. 결론

본 연구는 140km/h 이상의 고속주행환경에서 안전성 측면을 고려한 진출입시설간 적정 이격거리를 VISSIM 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 적정 이격거리를 산출하기 위한 평가지표로는 개별차량의 감가속도의 표준편차의 크기를 나타내는 가속소음과 IC간 내 엇갈림구간에서 발생하는 상충수를 선정하였다.

도로 기하구조와 연결로 설계속도, 교통량을 고려하여 시나리오를 설정하고 분석한 결과, 이격거리는 가속소음 기준으로 6km, 상충수 기준으로 5km가 적정한 것으로 추정하였다.

비선형 회귀식으로 모형화하여 추정치를 이격거리별 90% 신뢰구간으로 검증한 결과, 안전에 직접적으로 영향을 미치는 상충수는 이격거리 5km부터 감소량이 미미해지는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 Oh et al.(2009)에서 VISSIM을 이용하여 가속소음 지표를 통해 설계속도 160km/h인 고속도로의 IC간 적정 이격거리는 5km라고 제언한 결과와 유사하다. 본 연구에서는 고속도로의 설계속도를 140km/h로 가정하여 가속소음을 분석한 결과는 6km였지만, 이격거리간 가속소음의 변화가 크지 않아 변별력이 없는 단점이 있었다. 따라서 이를 보완하고자 상충수 지표를 이용하였다.

SSAM을 통해 이격거리별 상충수 추정치의 90% 신뢰구간을 산출하고, 각 이격거리별로 분석한 결과 IC간 이격거리는 5km라고 제시하였다.

### 5.2. 향후 연구과제

본 연구는 현재 국내에서 운영하지 않는 초고속도로에서의 IC간 이격거리를 시뮬레이션을 통해 제시하는데 의미가 있지만, 이는 어디까지나 가정된 상황에서의 시뮬레이션 결과인 것에 한계가 있다. 초고속 주행환경에서 IC간 이격거리를 안전성 측면에서 보다 정확하게 분석하기 위해서는 국외에서 운영하고 있는 초고속도로에

서 차량의 주행행태를 분석하여 국내 적용성을 검토하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업(16TLRP-B101406-02)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

American Association of State Highway and Transportation Officials (2001), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets.

Baek, D.H.(2003), A Study on The Improvement of Diverge and Merge Areas through The Analyses of Traffic Characteristics, Kyunghee university.

Daniel, L. Gerlough and Huber, Matthew J. (1975), Traffic Flow Theory, Transportation Research Board, Special Report 165.

Drew D. R., Dudek C. L., Keese C. J. (1967), Freeway Level of Service as Described by an Energy-Acceleration Noise Model, TRR, 162, 30-85.

Hassan Yasser, Sayed Tarek A and Ahammed Alauddin M (2006), Effect of Geometry of Entrance Terminals on Freeway Merging Behavior, TRB Annual Meeting, pp.1~14.

Herman R., Montroll E. W., Potts R. B., Rothery R. W.(1959), Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car-following, Opns Res, 7(1), 86-106.

Japan Road Association (2015), 道路構造令の解説と運用.

Kim, S.G., Sim, D.Y. and Huh, D.W. (2007), Determination of Minimum Spacing between Off-ramp Terminus and Intersection Considering the Influence of Adjacent Signalized Intersections, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.25, No.4

Ko, Joonho, Guensler Randall and Hunter Michael (2006), Variability in Traffic Flow Quality Experienced by Drivers: Evidence from Instrumented Vehicles, TRB 2006 Annual Meeting, pp.1~9.

Korea Expressway Corporation Research Insitute (2005), A Study on Design Criteria of Freeway in Diverging and Merging Area, 2015 Research report.

Korea National Police Agency (2016), Traffic Accident Statistics 2016.

Lee, E.E., Lee, J.Y. (2006), A Performance Assessment of Urban Arterial Highway Interchanges, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.24, No.3.

Lee, S.K., Lee, K.Y. and Jang, J.H.(2011), Determining Ideal Distance between Consecutive Exit Ramps, Journal of KSCE, Vol.31, No.1D, pp.65~72.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), Road structures and facilities Commentary Guidelines.

Oh, D.W., Oh, Ch. and Chang, M.S. (2009), Methodology for Evaluating Freeway Interchange Spacing for High Design Speed based on Traffic Safety: Focused on Analysis of Acceleration Noise using Microscopic Traffic Simulations, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.27, No.5.

Park, S.Y, Lee, C.W, Kho, S.Y. and Lee, Y.G. (2015), Methodology for Calculating Surrogate Safety Measure by Using Vehicular Trajectory and Its Application, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.33, No.4, pp.323-336 .

Road and Transportation Research Association (2011), Guidelines for the Design of Motorways.

Texas Department of Transportation (2014), Roadway Design Manual.

Texas Department of Transportation (2007), Criteria for High Design Speed Facilities, Report No. FHWA/TX-07/05544-1.

Transportation Research Board (2012), Design Guidance for Freeway Mainline Ramp Terminals, NCHRP Report 730.

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (2007), Safety Assessment of Interchange Spacing on Urban Freeways, TECHBRIEF Publication No. FHWA-HRT-07-031.