

VISSIM을 활용한 도심 지하도로 연결로 위험도 산정을 위한 기초연구 : 분·합류부 기준 특성 비교

Preliminary Study for Risk Assessment Estimation of Urban Underground Connect Section Using VISSIM : Comparison of Characteristics Based on Diverge/Merge

박 상 현* · 이 진 각** · 양 충 현*** · 김 진 국****

* 주저자 : (주)내일이엔시 도로교통안전연구소 전임연구원
 ** 교신저자 : (주)내일이엔시 도로교통안전연구소 연구소장
 *** 공저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원
 **** 공저자 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 전임연구원

Sang Hyun Park* · Jin Kak Lee** · Choong Heon Yang*** · Jin Guk Kim****

* NAEIL E&C. Highway Traffic Safety Research Institute. Researcher.
 ** NAEIL E&C. Highway Traffic Safety Research Institute. Research Director.
 *** KICT. Dep. of Infrastructure Safety Research. Research Fellow.
 **** KICT. Dep. of Infrastructure Safety Research. Researcher.

† Corresponding author : Jin Kak Lee, leejinkak@naver.com

Vol.20 No.5(2021)

October, 2021
pp.59~74

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.5.59>

Received 6 September 2021
Revised 29 September 2021
Accepted 5 October 2021

© 2021. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

국내 도로공간은 평면적 공간 분배의 한계점에 다다르고 있으며, 점점 지하공간의 개발을 통한 입체적 공간 분배의 중요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 지상도로와 지하도로의 연계에 있어 서로 다른 두 교통흐름을 안전하게 유도할 수 있는 교통제어 방안에 대한 연구를 수행하였다. VISSIM을 통해 지하도로 내 분·합류부가 존재할 경우의 본선 용량대비 적정 유출·입 교통량을 산출하였으며, 상충 수 분석을 통해 지하도로 내 안전을 위한 적정 교통량 제어수준을 분석하였고, 지상도로의 지·정체 시나리오 분석을 통해 지상부 지·정체 수준에 따른 지하도로 내 위험도 수준에 대한 기초연구를 수행하였다.

핵심어 : 도심지하도로, 연결로, VISSIM, ANOVA, 위험도 분석

ABSTRACT

The domestic road space is reaching the limit of planar space distribution, and increasingly, the importance of three-dimensional space distribution through the development of underground space. therefore, In this study, a study was conducted on a traffic control method that can safely induce two different traffic flows in the connection between the ground road and the underground road. Through VISSIM, we calculated the appropriate amount of outflow and inflow traffic compared to the capacity of the main line when there is a Merge/Diverge section in the underground road. and Through the analysis of the number of conflicts, the appropriate traffic control level for safety in the underground, A basic study was conducted on the level of risk in the underpass according to the level of delay in the ground part through the analysis of the delay scenario of the ground road.

Key words : Urban Underground Road, Ramp, VISSIM, ANOVA, Risk Analysis

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 산업개발 이후 경제발달 및 교통체계 구축으로 수도권에 인구가 집중되어 거대 도시화 현상이 나타났고 교통수요가 증가함에 따라 교통혼잡이 더욱 심화되었다. 국내에서는 교통 혼잡을 완화하고자 꾸준한 도로 공간의 개발이 이루어졌으나 현재에는 평면적인 공간 분배의 한계점에 다다르고 있다.(Jeong and Yoon, 2013) 이처럼 무분별한 도로개발에 점차 차량보다 보행자를 위한 공간의 필요성이 대두됨에 따라 도로를 더 이상 평면이 아닌 지상·지하로 이루어진 입체적 공간으로 개발함으로써 도심공간을 보다 효율적이게 활용 하는 등의 새로운 인식변화가 필요한 시점이다.

그러나 도심지를 통과하는 지하도로 인프라를 확대할 경우 도심지 지상 도로와의 연계는 필수 불가결의 관계이며, 이 경우 서로 다른 흐름을 가지고 있는 지상-지하도로가 만나는 접속부와 지하-지하도로에서 분·합류 되어 만나는 지하 연결로 접속부는 서로 다른 교통류간 상충에 의해 전체적인 교통흐름에도 영향을 줌으로, 이러한 접속부 구간에서의 교통흐름 및 연결로 진입차량을 안전하게 유도할 수 있는 교통제어 방안에 대한 연구가 필요한 실정이다.

교통관련 전문가 및 일반인 40인을 대상으로 한 설문조사 결과에서도 도심 지하도로에 대해 대부분의 응답자가 교통사고와 같은 안전문제를 중점적으로 고려해야 한다고 나타났으며, 그 중 특히 접속부 구간의 정체에 따른 우회전락 및 소통 안정화 방안이 강구되어야 하는 것으로 나타나 그 중요성이 대두된다.(Park et al., 2021) 또한, 도심지 지하도로 특성상 약 40m깊이의 대심도 지하도로로 건설 됨에 따라 연결로의 길이가 약 1km 이상으로 건설되어 연결로 내부에서의 지·정체시 대처방안 또한 추가적으로 고려해야 할 사항이다.

일반적으로 지상 고속도로 접속부 구간의 교통처리 및 운영개선을 위한 연구는 연결로 접속부 구간 상류·하류 구간의 검지기(Detector)를 통해 수집된 교통정보를 가공하여 효율적인 운영방안을 제시하고 있다. Yang and Son(2008)은 고속도로 합류부 구간의 지·정체를 최소화하기 위한 램프미터링(Ramp Metering) 운영방안을 연구하였으며, 이 과정에서 접속부 인근 검지기의 적정 위치를 통계분석을 통해 도출하는 등 합류부에서의 적정 검지기의 위치에 따라 해당 구간의 램프미터링을 통해 지·정체를 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 고속도로 분류부 또한 고속에서 저속으로의 급격한 감속, 양호한 기하구조(본선)에서 취약한 기하구조로(연결로)의 급격한 선형변화가 발생하는 구간으로, 고속도로 구성요소 중 사고위험이 매우 높은 구간에 해당되어 원활한 교통흐름이 이루어지도록 세심한 주의가 필요하다.(Park et al., 2007) 특히 지하도로의 경우 분류부 구간의 지·정체 정보를 실시간으로 수집하여 사전에 운전자에게 제공하는 등 지하도로 내에서 돌발상황을 미연에 방지하는 방안이 필요하다. 일반적으로 이러한 분석은 실측 데이터와의 비교를 통해 검증하고 시뮬레이션 분석을 수행하지만 현재 국내에 완공되어 운영중인 지하도로는 신월여의지하도로(2021년 4월 개통)로 관련 데이터의 양이 미흡할 뿐만 아니라, 운영된지 1년이 되지 않아 자료의 적정성을 찾기 어렵다.

본 연구와 같이 실제 현장 데이터가 없는 경우 교통운영측면에서 일반적으로 시행하는 접근방법이 시뮬레이션 분석 연구이다. 시뮬레이션 연구는 기존에 없던 시설에 대한 교통 개선안을 도출하기 위해 다양한 시나리오를 반복적으로 실험하여 문제점 및 개선안을 도출하기 위해 활용되기 때문에 본 연구에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 교통 시뮬레이션 프로그램인 PTV사의 VISSIM 프로그램을 활용하여 지하도로 네트워크를 구축하고 관련 시나리오 분석을 통해 도심 지하도로 연결로 위험도 산정을 위한 기초연구를 수행함으로써, 지하도로에서의 교통 지·정체를 예방하기 위한 기본 교통조건 및 시뮬레이션 분석의 신뢰성 향상을 위해 고려해야 할 요소 등 추가연구를 위한 시사점을 도출하고자 한다.

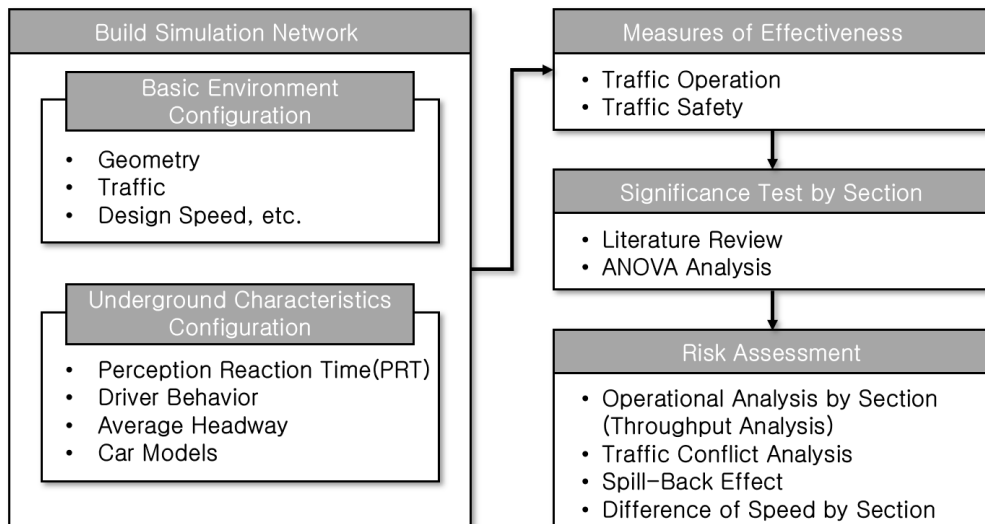
2. 연구수행 방법 및 절차

본 연구에서 분석한 가상 시뮬레이션의 공간적 범위는 약 10km 이상 길이의 도심 지하도로 내의 분류 또는 합류가 이루어지는 연결로 접속부 구간이며, 총 시뮬레이션 시간은 네트워크에 차량이 고르게 분포할때까지의 시간을 고려하여, 총 1시간 30분으로 설정하고, 전반부 30분을 제외한 1시간을 실제 분석에 사용하였다. 또한, 시뮬레이션 상에 서로 다른 차량통행행태를 반영을 위해 Random Seed를 설정하였으며 Central Limit Theorem(CLT)에 의거하여, 30회 시뮬레이션을 수행하고 이들의 평균값을 최종 값으로 활용하였다.

연구는 <Fig. 1>과 같은 절차로 수행하였으며, 우선 기존 고속도로와는 다른 지하도로의 특성을 반영한 기본환경을 구축하고, 지하도로 진입·진출구간, 연결로 접속부, 연결로 등 지하도로 내 구간별 특성 분석시 교통류 상황을 보다 세밀하게 파악하기 위해 시뮬레이션 상 지하도로 전체 구간에 100m 간격으로 검지기를 설치하여 각 검지기에서 수집되는 점유율 데이터를 기반으로 ANOVA 분석을 통해 각 구간별 유의성을 검토함으로써 지하도로 내 각 구간을 통계적으로 분류하였다.

또한 지하도로 연결로 위험도 산정을 위한 첫 번째 분석 시나리오로 분·합류부별 연결로 유출·유입교통량의 비율에 따른 지하도로 적정 처리량(Throughput)을 분석하였으며, 시뮬레이션 결과로 도출된 개별차량의 이동경로(trajectory)를 SSAM 프로그램과 연계하여 지하도로 위험도 분석 중 하나인 상충수(Conflict) 분석을 수행하였다. 이 과정에서 지하도로에서 발생할 수 있는 상충종류인 후방충돌 상충(Rear-end)과 차로변경 상충(Lane Change)을 분석할 수 있었다.

두 번째 분석 시나리오는 첫 번째 분석 시나리오의 분석결과를 토대로 시뮬레이션에 최대 적정 교통량을 투입하고, 지하에서 지상으로 진출하는 차량이 지상부의 지·정체에 따른 속도감속에 따른 운영분석을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과로 도출된 구간별 속도값과 적정 처리량을 비교분석하여 구간별 Spill-Back 분석과 속도차이에 따른 위험도 분석을 수행함으로써 도심 지하도로 내 연결로 접속부가 있는 구간의 최소 위험도 기준을 제시하여 향후 실제 ITS장비에 수집되는 차량 데이터 기반의 위험도 산정 연구의 방향을 제시할 수 있는 기초단계의 연구를 수행하였다.



<Fig. 1> Research Procedure

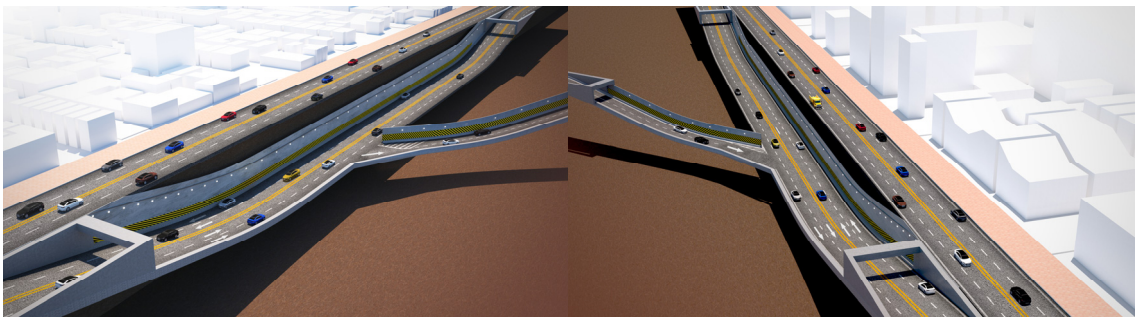
II. 시뮬레이션 기본환경 및 효과측도

1. 시뮬레이션 기본환경 구축

1) 지하도로 기본환경 구성

지하도로 내 연결로 접속부 구간은 분류부와 합류부에 따라 특성이 각기 다르므로, 본 연구에서는 아래 <Fig. 2>와 같이 2가지 형태(지하 내 합류 및 분류)의 네트워크를 구축하여 분석하였으며, 가상 네트워크임에 따라 교통량, 가·감속차로, 종단경사, 평면곡선반경 등 각기 다른 특성을 보일 수 있는 설계요소의 경우 정형화 된 값으로 구축하기 위해 국내 도로용량편람(MOLIT, 2013), 도시지역 지하도로 설계지침(MOLIT, 2016), 도로의 구조·시설에 관한 규칙(MOLIT, 2020)을 참고하였다.

지하도로 기본구간은 도로 기하구조상 직선부와 평지부로 구성되며, 이용차량도 소형차 전용도로로 운영되므로 중차량보정계수(f_{HV})가 1.0이고, 차로 폭 및 측방여유폭 보정계수(f_w)도 이상적인 조건일 가능성이 높으므로 기본용량을 결정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 도시지역 지하도로 설계지침에서 제시하는 도로용량편람상의 ‘다차로도로 유형 I’의 서비스수준 E 상태에서의 교통량을 용량으로 설정하였으며, 본선구간의 최대 처리량이 서비스 수준 상태를 유지하기 위한 시나리오 분석을 수행하였다. 이와 같이 본 연구에서 설정한 지하도로 기본환경은 아래 <Table 1>과 같다.



(a) Diverge in the Underground Road

(b) Merge in the Underground Road

<Fig. 2> Two type of Underground Road Network

<Table 1> Simulation Environment Setting

| Categorize | Contents | |
|-------------------------------------|-----------------|------------|
| | Basic Section | Ramp |
| Number of lanes | One-way 2-lane | 1-lane |
| Vehicle type | Small cars Only | All Models |
| Capacity | 4,000pcph | 1,800pcph |
| Total length | 10km | 1km |
| Design speed | 80km/h | 60km/h |
| Ground↔Underground transition grade | ± 8% | ± 10% |
| Lane width | 3.5m | 3.5m |
| Deceleration/Acceleration lane | 205m | 180m |
| Depth of Underground | 40m | |

2) 지하도로 특성 반영

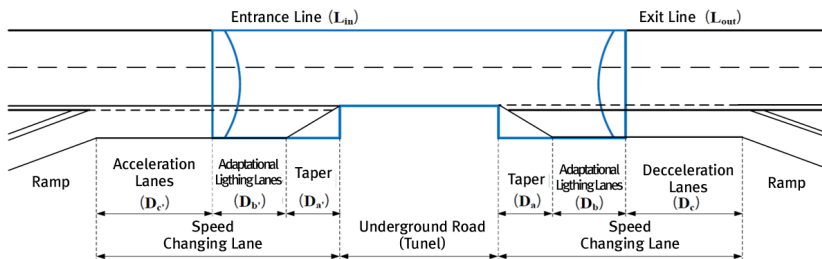
터널, 지하도로의 경우 측벽 및 천장으로 인한 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안정한 상태가 되는 등 일반도로와는 다른 교통특성이 나타난다. 특히 분·합류부와 같이 차량 진출입에 따른 차로변경이 잦은 곳에는 차량의 감가속도 및 차두시간이 다양한 형태로 나타나 분석에 매우 중요한 요소가 된다. Park et al.(2021)은 지하도로 연결로 접속부의 주요 특성을 파악하기 위해 도심 지하도로 와 관련된 설계에 참여하거나 관련 연구를 수행한 전문가 6인과 운전자의 인간공학적 측면에서의 운행행태에 대한 연구를 수행한 전문가, 그리고 시뮬레이션 분석 분야의 전문가 4인에 대한 전문가 초점집단면접(Focus Group Interview, FGI)을 통해 지하도로 연결로 접속부의 주요 특성을 도출하고 관련 설계요소를 검토한 결과를 아래 <Table 2>와 같이 정리하였으며, 관련 사항을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ① 지하도로 진입차량의 본선차량 인지반응시간을 고려한 감속차로의 거리 가중치 필요
- ② 지하도로 내 연결로 설계속도는 경사도 및 중차량을 고려한 가중치 필요
- ③ 진출하는 운전자의 사전 행태변화를 위한 인지반응시간 고려 및 관련 시설물 설계 필요
- ④ 지하도로 내 진출입부 횡단경사(커브)에 따른 시거제약에 대한 가중치 필요

<Table 2> Main design elements of the underground road connection

| Category | Major design elements | Operation situation | Other |
|--------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Ground | Inflow Section | • Minimum Separation Distance | • Light Adaption |
| | | • Number of Lane | • Driver Reaction Time |
| | | • Design speed / longitudinal slope | • Location of Inflow Section |
| | Outflow Section | • Minimum Separation Distance | • Light Adaption |
| | | • Number of Lane | • Driver Reaction Time |
| | | • Design speed / longitudinal slope | • Location of Outflow Section |
| Under Ground | Merge Section | • Acceleration road length | • Driver Reaction Time |
| | | • longitudinal slope | • Vehicle waiting space |
| | Diverge Section | • Deceleration road length | • Driver Reaction Time |
| | | • Shoulder Width/Separation Distance | • Information providing facilities |

이에 본 연구에서는 해당 연구내용을 참고하되 국내 정형화된 기준에 맞추어 지하도로 특성을 반영하였다. 예를 들어 지하도로 내 진출·입 차량의 인지반응시간을 고려해야 하는 감·가속차로의 경우 도시지역 지하도로 설계지침에 따라 암순응 및 명순응에 따른 조도순응시간 3초를 고려하여 65m(80km/h×3s)를 추가반영하였으며, 설계속도(80km/h)에 따른 감·가속차로의 최소길이와 최소변이구간 길이를 각각 설정하였다.



<Fig. 3> Design Elements for Speed Change Lanes on Underground Roads

VISSIM은 Wiedemann(1974)이 개발한 운전자 행태모형을 사용한다. Wiedemann 모형은 자유흐름(Free Driving), 접근(Approaching), 추종(Following), 브레이크(Braking)의 4가지 운전행태에 기초하는데 이 중 운전자의 반응시간에 따라 접근(Approaching), 추종(Following)시의 차두간격이 달라지며, 브레이크(Braking)시의 급감속 비율이 달라지는 등 운전자의 심리적 측면과 지각에 따른 물리적 제약의 결합이 이루어진 모형이다.(Kim, 2018) Wiedemann 모형은 안전이격거리의 설정에 따라 Wiedemann 74 모형과 Wiedemann 99 모형으로 이루어지는데, 두 모형의 차이점은 80km/h 미만에서의 안전이격거리가 74 모형이 99 모형보다 크다는 것이다. 결과적으로 단속류 구간에서는 74 모형이 적합하고, 연속류 구간에서는 99 모형이 적합하다. 본 연구에서는 Wiedemann 99 모형을 적용하였다.

<Table 3> Characteristic of VISSIM Wiedemann Model

| Categorize | Contents |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Wiedemann 74 Model | • The safety clearance is increased by the square root of the speed |
| Wiedemann 99 Model | • The safety clearance is increased by the linearly with the speed |

적용된 Wiedemann 99 모형에 지하와 지상에서 운전자의 운전행태 차이를 고려하기 위한 변수로 터널부의 선행·후행 차종별 평균차두시간을 검토하였다. Korea Expressway Corporation Research Institute(2017)에서는 터널부의 교통특성과 일반부의 교통특성을 비교하기 위하여 편도 2차로 구간에서의 차량의 속도 및 차두시간을 분석하였으며, 아래 <Table 4>와 같이 선행·후행 차종별 평균차두시간을 분석하였다. 분석결과 선행·후행 차종이 승용차일 경우 지하도로와 비슷한 특성을 보이는 터널부에서의 평균차두시간이 일반부보다 약 101.78% 길게 나타나는 것으로 분석되었으며, 이에 본 연구에서는 위에서 제시한 Wiedemann 99 모형에 터널 및 지하도로의 차두시간 특성을 반영하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

<Table 4> Characteristic of VISSIM Wiedemann Model

| Categorize | | 1 lane | | 2 lane | | Average | | |
|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------|
| Preceding Vehicle | Following Vehicle | Tunnel Section | General Section | Tunnel Section | General Section | Tunnel Section | General Section | Percent(%) |
| Car | Car | 2.99 | 2.98 | 5.29 | 5.21 | 3.43 | 3.37 | 101.78% |
| | Truck | 4.08 | 4.02 | 7.85 | 7.06 | 6.86 | 6.27 | 109.41% |
| | Bus | 4.00 | 4.08 | 8.43 | 8.37 | 5.88 | 5.93 | 99.16% |

<Table 5> Vehicle composition of the VISSIM

| Categorize | Car Type | Length | Width |
|------------|-------------------|--------|-------|
| Existing | Volkswagen Golf | 4.211 | 2.004 |
| | Audi A4 | 4.610 | 1.949 |
| | Mercedes CLK | 4.644 | 1.999 |
| | Peugeot 607 | 4.760 | 2.069 |
| | Volkswagen Beetle | 4.012 | 1.852 |
| | Porsche Cayman | 4.359 | 1.970 |
| | Toyota Yaris | 3.749 | 1.987 |
| Modify | Kia Morning | 3.613 | 1.914 |
| | Kia Sportage | 4.488 | 2.098 |
| | Hyundai Sonata | 4.394 | 1.895 |

또한 현재 VISSIM은 해외에서 개발된 상용모형이기 때문에 차종은 독일, 일본, 미국 등 해외 차량으로 구성되어 있어 국내 차종과 제원에 차이가 있다. 따라서 분석의 신뢰성을 높이기 위해 국내 소형차 (소형차, 소형 SUV, 중형차) 제원으로 수정·반영하였다.

2. 지하도로 운영분석 및 안전분석의 효과척도

본 연구의 목표는 도심 지하도로 내 접속부의 형태(분류·합류)별 교통운영적 측면에서의 분석과 안전측면에서의 분석을 수행하여 도심 지하도로의 안전하고 효율적인 운영을 위한 기초연구를 수행하는 것이다. 도심 지하도로 교통운영 측면에서의 분석은 시뮬레이션을 통해 본선 용량 대비 분류 혹은 합류 되는 교통량을 시나리오 분석하여 각 시나리오별 평균속도, 점유율, 처리량, V/C, 서비스수준(Level of Service; 이하 LOS)를 산출하였으며, 안전측면에서의 분석은 차량 잠재상충 분석 방법으로 미국 연방정부가 개발한 교통안전 분석 모형인 Surrogate Safety Assessment Model(이하 SSAM)을 적용하여 지하도로 내 후방충돌 상충 수(Rear-end)와 차로변경 상충 수(Lane Change)를 분석하는데 활용하여 지하도로 내 차량 간 상충에 따른 위험도 분석을 수행하였다.

또한, 지하도로 내 지·정체 상황에 대한 위험도 분석 기초연구를 위해 지상부의 지·정체를 가정하여 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오 분석은 지하도로 진출 후 지상부의 속도를 50km/h, 30km/h 그리고 이후부터 5km/h 단위로 줄이며 분석을 수행하였다. 이를 통해 지상으로 지·정체에 따른 Spill-Back 영향을 분석하여 지하도로에 지상부의 지·정체가 끼치는 영향을 분석하였으며, 이동객체의 속도감속에 따른 구간별 속도차이를 통해 사고의 심각도를 파악하였다. 그리고 마지막으로 충격과 이론에 따른 지·정체의 확산 속도를 분석하여 향후 ITS장비 도입시 운영방안에 대한 모색을 수행하였다. 충격과 모형은 차량군 사이에 발생하는 압축 및 분산을 충격과의 속도를 이용하여 교통상황 묘사가 가능하고, 접근로별 도로용량 조정이 가능하며 분석이 용이하다는 장점을 가지고 있다.(Lee et al., 2008)본 연구에서 수행하는 분석의 효과척도를 정리하면 아래 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Simulation Measure of Effectiveness

| Categorize | Measure of Effectiveness (Unit) | Time interval |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Traffic Operation | Average travel speed (km/h) | 1-5 min Aggregation |
| | Occupancy (%) | |
| | Throughput (pcph) | |
| | V/C ratio | |
| | LOS | |
| Traffic Safety | Rear-end Conflicts | Individual vehicle data |
| | Lane Change Conflicts | |
| | Spill-Back (%) | |
| | Speed Difference by Section (km/h) | |

III. ANOVA 분석을 통한 지하도로 분석구간 설정

도로 구간 내 합류부와 분류부가 존재하는 경우 각 구간별로 차량의 통행패턴 특성이 다르기 때문에 구간

별 분석이 수행되어야 한다. 구간별 분석을 수행하기 위해서는 지하도로 기본구간 및 연결로 접속부 구간 등을 명확히 정의하여야 하나 현재 도로용량편람에서 정의된 고속도로 구간별 영향권의 범위는 산정근거가 명확하지 않으며, 지하도로의 특성을 반영하지 못해 구간별 분석을 수행하기에 적합하지 않다고 판단됨에 따라 본 연구에서는 ANOVA 분석을 통해 구간별 유의성을 검토하였으며, 검토 결과에 따라 지하도로 내 분석 구간을 분류하였다.

1. 구간별 유의성 검토 관련 문헌고찰

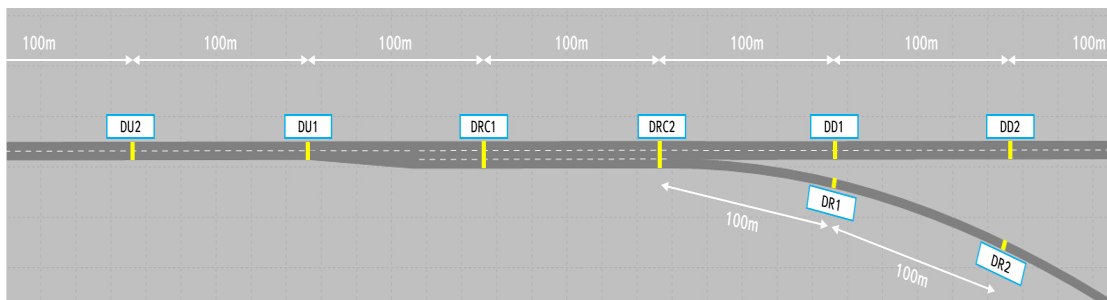
Kim and Kim(2006)은 고속도로 연결로 합류부를 합류 전, 합류, 합류 후 구간으로 구분하여 50ft 간격으로 검지기를 설치하고, 30초 단위로 교통량, 속도, 밀도 자료를 추출함으로써 진입교통량에 따른 교통류의 정체 과정을 분석하였으며 전방에 교통와해(Breakdown)가 발생하는 위치를 찾아내어 교통류 전과과정을 분석하는 등 진입 교통량에 따른 합류부의 구간별 영향권을 분석하였다.

Yang and Son(2008)은 고속도로 합류구간의 최적 검지기 설치 위치를 산정하기 위해 가상 검지기를 합류부 구간 전후 150m 간격으로 설치하고 각 검지기의 점유율 데이터에 대한 유무가설(Hypothesis test)을 통해 고속도로 기본구간과 합류구간의 경계를 결정하였다.

Kim(2009)는 합류의 영향으로 교통류가 변화하는 형태를 실증적이고, 구체적으로 분석한다는 목적에 따라 NC-97검지기를 실제 도로상에 설치하여 획득한 데이터를 분석한 결과를 제시하였다. 분석방법으로는 교통량, 속도, 밀도등 교통특성을 합류부를 기준으로 상류 및 하류부 각각 500m범위를 대상으로 시공간적 분석을 통한 적합한 교통모형을 도출하였다. 적용한 교통모형으로는 Greenshields모형과 Underwood모형이 있으며, 상류 100m에서 하류 100m 구간을 감속구간, 합류 100m에서 하류 400m 구간을 감속속도 유지 및 가속구간으로 규정하였다.

Lee et al.(2009)은 고속도로 합류부를 대상으로 기존의 영향권을 난류현상 발생원인을 기준으로 합류의 직접영향권 및 차로변경에 의한 간접영향권을 세분화하기 위해 Root Mean Square Error(RMSE)를 기준으로 합류지점의 데이터와 각 구간 데이터의 차이를 분석한 결과, 합류지점으로부터 300m지점까지의 전차로가 모두 합류의 직접영향권으로 도출되었으며, 300m에서 500m 구간은 1, 2, 3차로가 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 연결로 접속부의 교통류 상황을 보다 세밀하게 분석하기 위해 검지기를 100m간격으로 설치하여 데이터를 수집하였으며, 수집한 점유율의 분산 분석(ANOVA: Analysis of Variance)을 통해 구간별 유의성을 검토하였다. 시뮬레이션 상 가상검지기의 설치위치의 예시는 <Fig. 4>과 같다.



<Fig. 4> Example of Detector Installation (in Diverge Section)

2. 구간별 통계적 유의성 검토

각 구간별 점유율데이터는 지하도로 본선의 용량에 따라 달라질 수 있으므로, 본 연구에서는 시나리오 분석을 위한 본선의 용량대비 진입·진출 비율별로 점유율을 산출하였다. 아래 <Table 7>은 각 검지기에서 올라온 평균 점유율을 보여준다. 조사된 바와 같이 연결로 접속부의 각 검지기 데이터는 100m 간격임에도 불구하고 제각기 다른 형태의 점유율을 보이고 있으나, 동일 구간에서는 어느 정도 유사한 값을 가지고 있는 것으로 나타났다.

<Table 7> Detector Result of Diverge/Merge Section

| Categorize | Ratio to Capacity on Main Line | DU3 | DU2 | DU1 | DRC1 | DRC2 | DD1 | DD2 | DD3 | DR1 | DR2 | DR3 |
|------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (a) Diverge Section | 25%(1,000pcph) | 19.33% | 19.35% | 19.53% | 18.45% | 19.19% | 14.24% | 14.16% | 14.19% | 6.84% | 6.72% | 6.75% |
| | 30%(1,200pcph) | 19.46% | 19.55% | 19.79% | 18.43% | 19.62% | 13.29% | 13.18% | 13.20% | 8.36% | 8.15% | 8.17% |
| | 35%(1,400pcph) | 19.49% | 19.67% | 20.18% | 18.54% | 20.84% | 12.42% | 12.24% | 12.26% | 9.87% | 9.56% | 9.56% |
| | 40%(1,600pcph) | 19.99% | 20.19% | 21.03% | 18.77% | 23.22% | 11.58% | 11.31% | 11.31% | 11.49% | 11.10% | 10.99% |
| | 45%(1,800pcph) | 20.56% | 20.94% | 22.18% | 19.06% | 26.55% | 10.76% | 10.40% | 10.37% | 13.47% | 12.73% | 12.43% |
| (b) Merge Section | 25%(1,000pcph) | 10.98% | 11.00% | 11.01% | 16.50% | 15.72% | 16.29% | 15.56% | 15.49% | 5.93% | 6.58% | 6.59% |
| | 30%(1,200pcph) | 10.98% | 11.01% | 11.04% | 18.33% | 17.30% | 17.51% | 16.42% | 16.37% | 7.32% | 7.97% | 7.98% |
| | 35%(1,400pcph) | 10.98% | 11.01% | 11.25% | 23.53% | 18.96% | 18.78% | 17.38% | 17.29% | 8.72% | 9.39% | 9.40% |
| | 40%(1,600pcph) | 10.98% | 11.06% | 12.59% | 42.92% | 21.26% | 20.06% | 18.20% | 18.16% | 10.99% | 11.51% | 11.60% |
| | 45%(1,800pcph) | 10.98% | 11.19% | 15.62% | 74.00% | 22.50% | 20.45% | 18.50% | 18.54% | 31.18% | 25.00% | 25.55% |

위 데이터를 기반으로 각 검지기별 데이터의 구간별 통계적 유의성을 검토하기 위해 ANOVA 분석을 수행하였다. ANOVA 분석은 다수의 집단을 비교할 때 사용하는 가설검정방법으로 집단 간 분산(Variance Between Group), 집단 내 분산(Variance Within Group) 기반의 F분포를 이용한다는 점에서 본 연구에 적합하

<Table 8> ANOVA Result of Diverge/Merge Section

| Categorize | Ratio to Capacity on Main Line | Average Occupancy Analysis Result by Section | | | | | Significance Test by Section (ANOVA Analysis) | | |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------------------|------------|--------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | F ratio | F rejected | Result |
| (a) Diverge Section | 25% | 19.1% | 16.9% | 18.8% | 14.5% | 6.8% | 47.36 | 2.45 | reject |
| | 30% | 19.1% | 16.4% | 19.0% | 13.5% | 8.2% | 22.83 | 2.45 | reject |
| | 35% | 19.1% | 16.0% | 19.7% | 12.5% | 9.6% | 11.74 | 2.45 | reject |
| | 40% | 19.1% | 15.6% | 21.0% | 11.5% | 11.1% | 6.53 | 2.45 | reject |
| | 45% | 19.1% | 15.1% | 22.8% | 10.5% | 12.6% | 4.55 | 2.45 | reject |
| (b) Merge Section | 25% | 10.88% | 13.36% | 16.11% | 15.79% | 6.56% | 27.30 | 2.45 | reject |
| | 30% | 10.88% | 13.84% | 17.82% | 16.80% | 7.96% | 16.24 | 2.45 | reject |
| | 35% | 10.88% | 14.33% | 21.25% | 17.80% | 9.44% | 11.42 | 2.45 | reject |
| | 40% | 10.88% | 14.80% | 32.09% | 18.70% | 12.75% | 13.15 | 2.45 | reject |
| | 45% | 10.88% | 15.05% | 48.25% | 19.13% | 27.70% | 36.70 | 2.45 | reject |

※ The confidence interval for hypothesis testing is set at 95% (significance level of 0.05)

다고 판단하였다. 본 연구에서는 위 분석값을 토대로 검지기를 각 구간별로 분류하였으며, 분류된 각 구간별

평균 점유율에 대한 ANOVA분석을 수행하여 구간별 유의성을 검토하였다. 분석을 위한 가설은 ‘각 구간별 평균점유율이 같다’를 H_0 로, ‘각 구간별 평균점유율이 같지 않다’를 H_1 로 설정하고 귀무가설 검정을 수행하였다. 분석결과 전체 시나리오에서 각 분류된 구간별 점유율은 유의한 차이가 있는 것으로(H_0 기각) 나타났으며, 이에 본 연구에서는 지하도로 내 구간을 ①지상→지하 접속부, ②지하본선, ③분류 또는 합류부 ④지하→지상 접속부, ⑤연결램프로 구분하였다.

IV. 운영분석 및 위험도 분석

1. 구간별 운영분석

본 연구의 목표는 지하도로 내 분류 혹은 합류부가 있을 경우 유출되는 교통량에 따른 지하도로 전체구간의 서비스 수준이 D~E 상태를 유지하기 위한 적정 처리량을 확인하기 위한 것으로 분류부가 존재하는 네트워크에는 본선 진입 교통량을 서비스 수준 E 수준의 4,000pcph로 설정하였으며, 이후 연결로 유출교통량을 본선 용량대비 5%(200pcph) 단위로 증가시키며 분석을 수행하였다. 또한, 합류부가 존재하는 네트워크에서는 본선 진입 교통량을 서비스 수준 D 수준의 2,300pcph로 설정하였으며, 이후 연결로 유입교통량을 분류부 네트워크와 동일하게 5%단위로 증가시키며 분석을 수행하였다. 다만, 연결로의 용량은 1차로 연결로 기준 1,800pcph로 본선용량(4,000pcph) 대비 45%에 해당된다. 이에 본 연구에서는 진입·진출 연결로 구간의 최대 교통량 비율을 40%로 한정지어 분석을 수행하였다.

<Table 9> Operation Analysis Results of Diverge/Merge Section

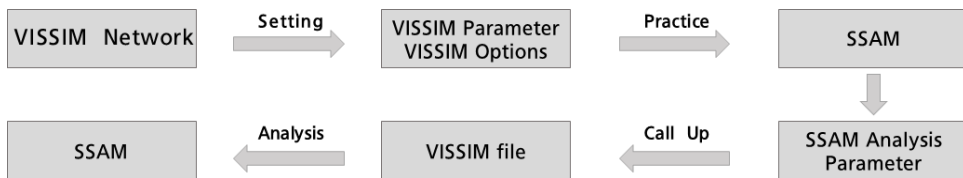
| Categorize | Inflow or outflow Percentage | Analysis Section | Throughput (pcph) | Average traffic speed (kmph) | Occupancy | V/C ratio | LOS |
|------------------------|------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----|
| (a) Diverge Section | 30% (1,200pcph) | ① | 4,000 | 81.36 | 19.1% | 1.00 | E |
| | | ② | 3,437 | 81.11 | 16.4% | 0.86 | E |
| | | ③ | 4,000 | 79.50 | 19.0% | 1.00 | E |
| | | ④ | 1,214 | 60.56 | 8.2% | 0.68 | D |
| | | ⑤ | 2,813 | 81.37 | 13.5% | 0.71 | D |
| | 40% (1,600pcph) | ① | 4,000 | 81.36 | 19.10% | 1.00 | E |
| | | ② | 3,244 | 81.26 | 15.60% | 0.82 | E |
| | | ③ | 4,000 | 73.37 | 21.00% | 0.67 | D |
| | | ④ | 2,415 | 82.09 | 11.50% | 0.61 | D |
| | | ⑤ | 1,613 | 59.7 | 11.10% | 0.90 | E |
| (b) Merge Section | 30% (1,200pcph) | ① | 2,300 | 83.70 | 10.88% | 0.59 | D |
| | | ② | 2,911 | 82.04 | 13.84% | 0.73 | D |
| | | ③ | 3,214 | 68.71 | 17.82% | 0.81 | E |
| | | ④ | 3,497 | 80.39 | 16.80% | 0.88 | E |
| | | ⑤ | 1,200 | 61.51 | 7.96% | 0.67 | D |
| | 40% (1,600pcph) | ① | 2,300 | 83.70 | 10.88% | 0.59 | D |
| | | ② | 3,110 | 81.87 | 14.80% | 0.78 | E |
| | | ③ | 3,476 | 43.85 | 32.09% | 0.87 | E |
| | | ④ | 3,892 | 80.13 | 18.70% | 0.98 | E |
| | | ⑤ | 1,600 | 54.73 | 12.75% | 0.89 | E |

본 연구에서의 서비스수준 산출은 도로용량편람에서 제시하고 있는 V/C 기준과 밀도를 기준으로 하여 산정하였다. 분석결과 지하도로 분류부와 합류부가 존재하는 네트워크 전체 구간의 서비스 수준이 D~E 수준으로 유지되는 연결로 유출·입 교통량은, 본선 용량대비 30%(1,200pcph) 수준부터 나타났으며, 이후 40%까지 전체적으로 적정 서비스 수준을 유지하고 있어, 지하도로 내 분·합류부가 있는 경우 적정 유입·유출 교통량은 본선용량대비 30%~40%수준으로 제어되어야 할 것으로 추정된다.

2. 상충분석

본 연구에서는 앞서 언급한 SSAM 프로그램을 통해 지하도로 내 후방충돌 상충 수(Rear-end)와 차로변경 상충 수(Lane Change)를 분석하였다. SSAM은 차량의 위치 좌표, 속도, 가속도 자료 등을 통해 이동객체의 궤적을 추적하고 잠재상충 상황을 판단할 수 있으며, 이러한 잠재상충 지표는 ‘교통사고 발생 수’를 대리 설명하는 위험도 분석의 대리척도(surrogate measures)로 널리 활용된다(Kim et al., 2020).

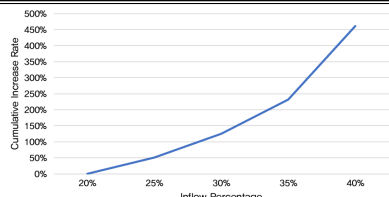
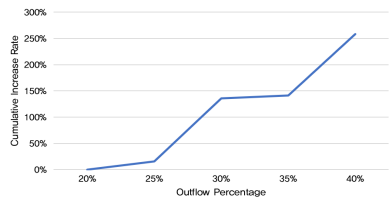
SSAM 프로그램 실행을 위한 입력자료는 차량 경로(trajecory)자료로 해당 자료는 VISSIM에서의 설정을 통해 *.trj 파일 형태로 생산할 수 있다. 또한 Vissim 네트워크 파일인 *.inp을 SSAM에 삽입하면 상충지점의 위치를 시각화 할 수 있다. VISSIM과 SSAM 프로그램 간의 호환 관계에 대한 순서도는 <Fig. 5>와 같다.



<Fig. 5> VISSIM & SSAM Process Flow Chart

<Table 10> Traffic Conflict Analysis Result of Diverge/Merge Section

| Categorize | Outflow or Inflow Percentage | Rear-end Conflict | Lane Changing Conflict | Total Conflict | Increase Rate |
|------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|----------------|---------------|
| (a) Diverge Section | 20% | 7 | 6 | 13 | 0 |
| | 25% | 8 | 7 | 15 | 15.38% |
| | 30% | 20 | 13 | 33 | 120.00% |
| | 35% | 22 | 13 | 35 | 6.06% |
| | 40% | 52 | 24 | 76 | 117.14% |
| (b) Merge Section | 20% | 78 | 10 | 88 | 0 |
| | 25% | 119 | 14 | 133 | 51.14% |
| | 30% | 203 | 28 | 231 | 73.68% |
| | 35% | 418 | 62 | 480 | 107.79% |
| | 40% | 1404 | 171 | 1575 | 228.13% |



지하도로 내 분류부 혹은 합류부에서의 유출·입 교통량 비율별 평균 상충 발생횟수에 대한 분석결과 분류부 네트워크에서는 유출교통량 30%~35%의 전·후로 상충 수가 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

합류부 네트워크에서는 유입교통량이 증가할 때 마다 점점 가파르게 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 35%부터 2배 이상씩 상충수가 급격히 증가하는 것으로 나타나 지하도로 내에서의 위험성이 더욱 높아졌다. 즉, 구간별 운영분석 결과와 동일하게 지하도로 내부에서 유입, 유출되는 교통량은 차량간 상충에 따른 사고발생을 최소화하기 위해서라도 본선 용량대비 30%~35% 수준에서의 제어가 필요할 것으로 분석된다.

3. 지·정체 위험도 분석

본 연구에서는 앞서 분석했던 구간별 운영분석 결과를 통해 산출된 적정 처리량을 바탕으로 지하도로 진출 후 지상부의 지·정체 상황에 따른 지하도로 내부의 위험도 산정 방법론을 정립하고자 시나리오 분석을 수행하였다. 지상부의 지·정체 상황에 따른 위험도 분석으로는 진출입부의 Spill-Back에 의한 영향과, 구간별 속도차이를 분석하였으며, 시나리오 분석을 위해 지하도로 진출 후 지상도로의 상황을 연속류에서의 지·정체 상황으로 가정하여 전방 지·정체 수준에 따라 진출 후 지상부의 속도를 50km/h, 30km/h 이후 5km/h 단위로 분석하였다. 여기서, 지상에서 지하로 진입 전 지상부의 지·정체상황은 지하의 교통 흐름에 영향을 크게 주지 않는 것으로 판단하여 본 연구에서는 고려하지 않았다.

1) 분류부 네트워크 지·정체 위험도 분석

분류부 네트워크의 지·정체 분석을 위해 진입부, 램프, 진출부 구간에서의 구간별 속도차이와 Spill-Back 영향을 분석한 결과는 아래 <Table 11>과 같다. 분석결과 구간별 속도차이와 Spill-Back 영향 모두 램프→진

<Table 11> Analysis Result of Spill-Back Effect and Speed Difference of Diverge Section

| Categorize | | | | 50kph | 30kph | 25kph | 20kph | 15kph | 10kph | 5kph |
|---------------------------|--------------------------------------------|----------------------|----------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| (a) Diverge Section | Speed Difference by Section (kph) | Entry (①-②) | Analysis Value | 0.16 | 0.17 | 3.18 | 23.61 | 16.59 | 11.25 | 9.49 |
| | | | | - | ▲0.01 | ▲3.00 | ▲20.43 | ▼7.02 | ▼5.34 | ▼1.76 |
| | | Ramp (60kph-⑥) | Analysis Value | 0.40 | 11.64 | 32.11 | 42.68 | 48.37 | 52.87 | 56.23 |
| | | | | - | ▲11.23 | ▲20.47 | ▲10.57 | ▲5.68 | ▲4.50 | ▲3.37 |
| | | Exit (④-⑤) | Analysis Value | 0.71 | 1.26 | 1.69 | 3.51 | 42.72 | 68.39 | 69.98 |
| | | | | - | ▲0.56 | ▲0.42 | ▲1.82 | ▲39.21 | ▲25.68 | ▲1.59 |
| (a) Diverge Section | Spill-Back Effect | Entry (②÷①) | Analysis Value | 100.05% | 100.05% | 99.72% | 95.04% | 89.83% | 84.78% | 77.89% |
| | | | | - | 0.00% | ▼0.33% | ▼4.68% | ▼5.21% | ▼5.05% | ▼6.89% |
| | | Ramp (⑥÷1600pcph) | Analysis Value | 99.19% | 98.89% | 94.71% | 82.82% | 67.03% | 35.54% | 31.05% |
| | | | | - | ▼0.29% | ▼4.18% | ▼11.89% | ▼15.79% | ▼31.49% | ▼4.49% |
| | | Exit (⑤÷④) | Analysis Value | 96.75% | 96.75% | 96.86% | 96.95% | 97.47% | 97.05% | 87.24% |
| | | | | - | ▲0.01% | ▲0.11% | ▲0.09% | ▲0.52% | ▼0.42% | ▼9.82% |

Speed Difference by Section

Spill-Back Effect

입부→진출부 순으로 나타났으며, 속도차이의 증감량이 크게 나타나는 구간은 15kph~30kph 시나리오 구간으로 나타났으며 지·정체에 따른 Spill-Back의 영향이 크게 나타나는 시점은 램프구간의 15kph 시나리오부터 나타나는 것으로 분석되었다.

2) 합류부 네트워크 지·정체 위험도 분석

합류부 네트워크의 지·정체 위험도 분석결과와 구간별 속도차이는 진출부→램프→진입부 순으로 높게 나타났으며, 이는 합류부 특성상 진출부에서의 용량이 가장 높으며, 진출부 상류 지상부에서 지·정체가 발생되어 점차 램프, 진입부 순으로 영향을 주는 것으로 나타난다. 하지만 지·정체에 따른 Spill-Back의 영향이 크게 나타나는 시점은 램프구간의 15kph 시나리오부터 공통적으로 나타나는 것으로 분석됨에 따라 지상부의 지·정체가 15kph이하일 때 지하도로 위험도가 전체적으로 높아지는 것으로 볼 수 있다.

<Table 12> Analysis Result of Spill-Back Effect and Speed Difference of Merge Section

| Categorize | | | | 50kph | 30kph | 25kph | 20kph | 15kph | 10kph | 5kph |
|-------------------------|------------------------------|----------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| (a) Merge Section | Speed Difference (kph) | Entry (①-②) | Analysis Value | 0.92 | 0.93 | 0.93 | 1.98 | 7.99 | 24.82 | 27.03 |
| | | | | - | ▲0.01 | ▲0.00 | ▲1.05 | ▲6.01 | ▲16.83 | ▲2.21 |
| | | Ramp (60kph-⑥) | Analysis Value | 3.33 | 2.78 | 2.78 | 17.63 | 34.55 | 43.78 | 44.38 |
| | | | | - | ▼0.55 | ▲0.00 | ▲14.85 | ▲16.92 | ▲9.22 | ▲0.61 |
| | | Exit (④-⑤) | Analysis Value | 3.20 | 40.51 | 26.74 | 12.24 | 7.39 | 6.01 | 5.83 |
| | | | | - | ▲37.32 | ▼13.77 | ▼14.50 | ▼4.85 | ▼1.39 | ▼0.17 |
| | Spill-Back Effect | Entry (②÷①) | Analysis Value | 100.04% | 100.04% | 100.04% | 100.00% | 99.38% | 93.54% | 92.49% |
| | | | | - | 0.00% | 0.00% | ▼0.03% | ▼0.62% | ▼5.84% | ▼1.05% |
| | | Ramp (⑥÷1600pcph) | Analysis Value | 99.51% | 99.49% | 99.49% | 94.18% | 83.46% | 68.16% | 66.76% |
| | | | | - | ▼0.03% | 0.00% | ▼5.30% | ▼10.72% | ▼15.30% | ▼1.40% |
| | | Exit (⑤÷④) | Analysis Value | 97.29% | 95.28% | 90.80% | 88.24% | 84.28% | 62.56% | 58.08% |
| | | | | - | 0.00% | ▼4.48% | ▼2.56% | ▼3.96% | ▼21.72% | ▼4.48% |

Speed Difference by Section

Spill-Back Effect

각 분·합류부 별 지하도로 상류 지상부의 지·정체 시나리오 분석결과 전체적으로 30kph 수준에서 구간별 속도차이가 발생하기 시작하였으나 15kph가 되는 시점부터 전체적으로 Spill-Back 영향이 끼치는 것으로 나타났다. 국토교통부 교통소통정보 표출기준에 따르면 도시고속도로의 경우 본선은 50kph 이상일 경우 ‘원활’, 30kph~50kph일 경우 ‘서행’, 30kph 미만일 경우 ‘정체’로 판단하고 있으며, 연결로는 30kph 이상일 경우 ‘원활’, 15kph~25kph일 경우 ‘서행’, 15kph 미만일 경우 ‘정체’로 판단하고 있다.

따라서 본 연구결과에서도 상류 지상부의 지·정체 수준이 30kph 일 경우 지하도로 연결로 내 위험도는 ‘경고’ 수준이 될 수 있으며, 15kph 이하의 지·정체가 발생될 경우 지하도로 연결로 내 위험도는 ‘위험’ 수준으로 높아 질 수 있다.

V. 결론 및 시사점

1. 결론

본 연구는 현재 기준이 마련되지 않은 도심 지하차도 내의 위험도 산정을 위한 기초연구로, 분류 또는 합류가 이루어지는 지하도로 연결로 접속부 구간의 교통 지·정체를 예방하고 차량 간 상충을 최소화하기 위한 기본 교통조건과 지하도로 내 구간별 검지기 데이터를 활용한 사고 위험도 분석 기준을 제시함으로써 향후 실제 지하도로 내 ITS 장비를 통해 수집되는 데이터 기반의 위험도 분석 수행 시 연구의 방향성을 제시할 수 있는 기초단계의 연구를 수행하였다.

PTV사의 VISSIM 프로그램을 활용하여 지하도로의 특성을 반영한 지하도로 연결로 접속부 구간 기본환경을 구축하고, ANOVA분석을 통해 구간별 유의성을 검토함으로써 각 구간을 통계적으로 분류함으로써 분석의 적정성을 확보하는 방안을 제시하였으며, 지하도로 내 분·합류부의 유출·유입 교통량의 비율에 따른 적정 처리량을 분석하였다. 분석결과 분·합류부 모두 본선 용량 대비 30%(1,200pcph)~40%(1,600pcph) 수준의 교통량이 유·출입될 수 있도록 제어해야 지하도로 내 전체 구간의 서비스 수준이 D수준으로 적정한 상태가 나타나는 것으로 나타났다. 또한, 시뮬레이션의 개별 차량 경로 데이터와 SSAM프로그램을 활용하여 교통사고 발생 수의 대리 척도인 상충 수를 분석하였다. 분석결과 분류부의 경우 유출교통량이 30%~35% 구간에서, 합류부의 경우 35% 구간에서 상충 수가 급격히 증가되는 것으로 나타나 지하도로 내 적정 유출입 교통량은 본선 용량 대비 30%(1,200pcph)~35%(1,400pcph) 수준으로 제어되어 하는 것으로 나타났다.

지상부 지·정체 수준에 따른 지하도로 내 위험도 수준을 분석한 결과 분류부와 합류부 모두 지상부 지·정체 속도가 30kph 일 때 지하도로 내부에서 구간별 속도차이가 발생하였으며, 15kph가 되는 시점부터 전체적으로 Spill-Back 영향이 끼치는 것으로 나타나 지상부의 지·정체가 30kph 일 때 지하도로 내 위험도 수준은 ‘경고’ 수준으로, 15kph 이하 일 때는 ‘위험’ 수준으로 나타났다.

본 연구는 향후 다양한 형태로 건설될 수 있는 지하도로 네트워크에서 발생하는 문제의 선형연구로써 도심 지하도로 내 연결로 접속부가 있는 구간의 최소 위험도 기준 분석방법을 제시함에 따라 향후 실제 지하도로의 위험도 연구를 수행하는데 있어 방향성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 시사점

지상도로의 과포화로 인한 도심도 지하도로의 개발은 그 필요성이 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 일반도로와 터널의 교통특성, 운전자 특성, 사고의 특성이 다르듯이 지하도로 또한 그럴 수 있으며 특히 분류부·합류부와 같이 상습적으로 지·정체가 발생할 수 있는 구간의 경우 지·정체가 실시간 유동적으로 변화되어 상황에 대한 정보를 신속히 인지하고 대응할 수 있는 방안이 필요하다. 특히 향후에는 분류부, 합류부 형태뿐만 아니라 지하도로와 지하도로가 만나는 다양한 형태의 IC가 만들어질 수 있으므로 향후 유출입 교통량에 따른 연결로 접속부 영향권 산정에 대한 연구의 필요성이 나타난다.

기본적으로 지하도로 내 분류부는 차로변경 및 속도감속에 따라 교통의 흐름이 유동적이고 복잡하므로 사전에 차량의 차로변경을 유도할 수 있는 방안이 필요하며 유출 후 단속류 구간과의 연계시 지·정체의 지하도로 확산에 따른 대응대책이 필요하다. 또한, 합류부는 지하도로 내부 용량에 따라 지·정체의 위험도가 증가할 수 있으므로 램프미터링을 통한 교통흐름의 안정화와 지체 최소화 방안이 필요하다. 특히 지하도로의 경우 운전자의 시거 제약과 졸음운전 등 다양한 특성이 덧붙여질 수 있는 만큼 지하도로 내 정보수집 및 제공시설은 필수적이며 이에 따른 관련 시설의 적정 설치간격 및 관련 지침 등에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 2021년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다. (21UUTI- B157825-02, 교통운영 시뮬레이션을 통한 검증 기술 개발)

REFERENCES

- Jeong S. H. and Yoon S. P.(2013), “Recent domestic and overseas cases and prospects of deep underground space development,” *Construction Technology Ssangyong*, vol. 69, pp.28-44.
- Kim H. S.(2009), *A Study on Time and Space Variation of Traffic Flow Characteristics on a Merge Influence Section in Uninterrupted Facility*, Ph.D. Dissertation, Hanyang University.
- Kim S. K. and Kim Y. C.(2006), “Analysis of Transition Flow Characteristics by Lane at Merging Area with a View of Time and Space,” *Proceedings of the KOR-KST Conference*, vol. 53, pp.421-430.
- Kim S. M., Lee Y. R., Kim J. T. and Cho Y. B.(2020), “Study of the Design Distance between the Median Entrance of Underground Highway and Adjacent Major Access Points in Metropolitan Areas,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 22, no. 3, pp.93-102.
- Kim W. C.(2018), “A Case Study of Traffic Research using VISSIM,” *Chung Nam Open Journal of Chung Nam Institute*, vol. 82, pp.29-39.
- Korea Expressway Corporation Research Institute(2017), *A study on Line Marking at Tunnel and Bridge of Expressway*, p.46.
- Lee H. S., Jung Y. J., Kim Y. C. and Kim D. H.(2008), “A Development of Macroscopic Simulation Model for Interrupted Flow using Shockwave,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 1, pp.191-201.
- Lee K. Y., Roh C. G., Son B. S. and Chung J. H.(2009), “Analysis on Propagation of Highway Traffic Flow Turbulence at Entrance-Ramp Junctions,” *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 29, no. 2D, pp.167-173.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2013), *Highway Capacity Manual*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2016), *Urban Underground Design Guideline*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2020), *Explanation of Rules about the Road*

Structure & Facilities Standards.

- Park J. B., Lee S. J., Kang J. K. and Kim I. H.(2007), “A Study on Improvement of Design Method for Freeway Diverging Areas,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 25, no. 94, pp.23-35.
- Park S. H., Lee J. K., Yang C. H., Lee J. and Kang Y. K.(2021), “A Case Study on the Design Element of Urban Underground Connect Section Based on Traffic Simulation,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 23, no. 2, pp.129-136.
- Wiedemann R.(1974), *Simulation des Strassenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe*, Band 8, Karlsruhe, Germany.
- Yang C. H. and Son Y. T.(2008), “Studies on Determining Optimal Downstream Loop Detector Location on Freeway Merging Section,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 10, no. 1, pp.221-227.