

국외 공무여행 결과 보고서

- 광저우, 스자좡 -

2019. 12.

공간·환경연구실 김원철 연 구 위 원
 김형철 책임연구원

목 차

I . 공무원여행 개요	1
II . 공무원여행 국가 개요	3
III . 공무원여행 조사 결과	5
IV . 시사점 (충남 적용 방안)	13
※ 별첨 (발표자료)	

I. 공무여행 개요

1. 공무여행 개요

- 출장기간 : 2019년 12월 09일(월) - 12월 13일(금) (4박 5일)
- 출장지역 : 중국 광저우市, 스자좡市, 베이징市
- 출 장 자 : 김원철 연구위원, 김형철 책임연구원

2. 공무여행 목적

- 본 출장은 시군협력과제 '공주 BRT 사업타당성 검토 정책연구'를 수행함에 있어, 세계 최고 수준의 BRT 시스템을 구축하여 운영중인 중국 광저우 BRT(Bus Rapid Transit) 현장조사를 통해 공주 BRT의 사업방안을 모색하고, 중국 스자좡(石家莊, 석가장) 철도대학과의 연구교류 방안을 구상하는데 목적이 있음
 - ※ 중국 스자좡 철도대학에서 연구교류 등 MOU 체결을 요청함
- 출장내용은 광저우 BRT의 부정거장체계(Sub-station system), 버스요금선지불시스템(Off-board fare collection, 버스 정류장에서 요금을 미리 지불하고 버스에 승/하차 하는 방식), BRT 연계 교통체계(자전거세어링 또는 전기버스 등)에 대한 현장조사와 스자좡 철도대학 교수팀과의 세미나 개최 등 연구교류 방안 논의임

3. 출장자 및 역할

성명	부서 및 직책	역할
김원철	공간·환경 연구실 연구위원	- 기관방문 및 현장답사 총괄 - 광저우 BRT 버스요금선지불시스템 등 현장조사 - 스자좡 철도대학 세미나 발표 (교통안전 이슈 발표) ※ 주행위험요인에 반복주행학습이 미치는 다이내믹 영향 추정
김형철	공간·환경 연구실 책임연구원	- 광저우 BRT 부정거장체계 등 현장조사 - 스자좡 철도대학 세미나 발표 (교통수단 선택행태 이슈 발표) ※ 교통수단선택 개별행태 모형 구축시 T 분포를 이용한 비선택 교통수단의 속정자료 추정 방법

4. 주요 세부일정

일 자	주 요 내 용
12월9일 (월)	<ul style="list-style-type: none"> ■(오후) 공주 → 인천국제공항(ICN) ■(오후) 인천국제공항(ICN) → 광저우국제공항(CAN) - 14:50~17:50 (4시간), 대한항공
12월10일 (화)	<ul style="list-style-type: none"> ■(오전/오후) 광저우버스회사(Guangzhou bus company) 방문 - 광저우 BRT 운행계획, 운영효과 등 자료 수집 - BRT 현장조사(부정거장체계(Sub-station system, BRT 연계 교통체계 등)
12월11일 (수)	<ul style="list-style-type: none"> ■(오전) BRT 현장조사(BRT 정류장 버스요금 선지불시스템) ■(오후) 광저우국제공항(CAN) → 스자좡국제공항(SJW) - 12:10~15:00 (2시간50분), 허베이항공
12월12일 (목)	<ul style="list-style-type: none"> ■(오전) 세미나 준비 ■(오후) 스자좡 철도대학 세미나(15:00~18:00) 개최 - 주제 : 교통안전 및 모빌리티 이슈
12월13일 (금)	<ul style="list-style-type: none"> ■(오전) 석가장市 → 베이징역 → 베이징국제공항 - 13:00~15:30 (2시간30분), 고속철도 ■(오후) 베이징국제공항(PEK) → 인천국제공항(ICN) - 17:30~20:25 (2시간), 아시아나항공 ■(오후) 인천국제공항 → 공주 (3시간)

Ⅱ. 공무여행 방문기관 개요

1. 광저우버스회사(광저우쾌속공교운영관리유한공사)

- 방문 목적 : 광저우 BRT 계획 및 운행효과 등 자료수집
※통역 : 스자장 철도대학교 Kang Xuejian 교수
- 광저우시는 지속적으로 증가하는 승용차 통행으로 인해 광저우의 주 대중교통 수단인 버스 서비스의 질이 악화되는 것을 해소하고자 광저우 BRT를 계획함.
- 2008년 Zhongshan 거리에서 BRT 시범사업 후 2009년에 광저우 BRT 건설 및 운영 계획, 승용차 처리 계획 등을 수립하였고, 2010년 2월 최초의 광저우 BRT가 개통됨
- 광저우 BRT의 운행구간은 총 22.9km, 26개소의 정류장으로 승강장 길이는 55~280m로 총 사업비 7억 2400만위안(한화 약 1200억원)이 투입되었고, 989대의 버스가 총 31개의 노선을 운행중에 있음



출처: 국제신문 2016-08-16 (<http://www.kookje.co.kr>)

2. 스자좡 철도대학교(Shijiazhuang Tiedao University, 石家庄铁道大学)

- 방문 목적 : 스자좡 철도대학 세미나 개최
- 세미나 주제: 교통안전 및 모빌리티 이슈
- 참석자: Liu Bohang 교수, Kang Xuejian 교수 연구팀, 출장자
- 주제발표:
 - ① Analysis of driver's safety characteristics under the condition of spiral tunnel (Kang Xuejian 교수)
 - ② 주행위험요인에 반복주행학습이 미치는 다이내믹 영향 추정 (김원철 박사)
 - ③ 교통수단선택 개별행태 모형 구축 시 T 분포를 이용한 비선택 교통수단의 속정자료 추정 방법 (김형철 박사)
- 참고: 스자좡 철도대학교 Liu Bohang 교수는 교통공학실험센터 책임자로 교통계획과 교통시뮬레이션(Microscopic Traffic Simulation)에 대한 다양한 교통 연구를 진행하고 있음. 중국 중앙정부 및 지자체의 다양한 프로젝트를 수행 중이며, 10편의 국제저명학술지(SCI) 실적을 보유한 세계적인 석학임



출처: 스자좡 철도대학교 홈페이지 (<http://www.at0086.com/SJZTDU/index.aspx>)

Ⅲ. 공무여행 조사 결과

1. 광저우 BRT 건설과정

- 2005년부터 광저우시 건설부문에서는 승객 이동량 분석과 복도(화랑) 비교 선정사업을 실시하였다.
- 쾌속대중교통의 발전을 궤도교통의 보조 및 연장선으로 정의하고, 대중교통의 핵심이라고 하였다.
- “전용통로 + 탄력적 선로”의 표준화된 시스템 모델을 적용하여 다각적인 비교를 통해 “텐허로 중산대로”를 선정해 시험노선을 건설하였다.
- 2006년에는 보다 심도 있는 교통, 운영, 설계에 대한 계획과 승객 이동분석을 실시하였다. 2007년 1월에는 완성된 개념설계방안을 제1차 공시하였다.
- 2007-2008년, 최종적으로 플랫폼 구축 및 운영방안을 확정해 세부적인 공정 설계 사업을 실시하였다.
- 본 단계에서는 시험노선 계획과 설계부분에 대해 반복적이고, 구체적인 수정을 거쳐 최종본을 확정하였다. 2008년 6월 10일 시정부상무회의의 심의를 통과하였다.
- 2009년에 BRT 건설에 착공하였다. 착공과 동시에 운영관리조직 설치, 운영 계획 세분화, BRT 사업 홍보 및 BRT 전용 차량 구매 등 준비를 하였다.
- 2010년 2월, BRT시스템을 개통하고 광저우시교통위원회가 일상적인 운영에 대한 책임을 맡았다.
- 광저우 BRT 행인통행시스템은 육교, 지하차도와 횡단보도 3가지 방식으로 구현되었다. 육교, 지하차도, 횡단보도 등을 통해 BRT시스템과 도보통행시스템의 양호한 환승을 구현했다.
- 뿐만 아니라 인구이동이 비교적 많은 정류소에는 에스컬레이터나 엘리베이터를 설치하여 노인과 장애인들의 이동에 편의를 제공하였다.

2. 광저우시 중산대로 BRT 시험라인

(1) 광저우시 대중교통 발전 현황

- 2018년, 대중교통 하루 평균 운송량은 1455만 명이고, 그 중 궤도교통(APM선과 궤도차) 운행 선로는 15개, 운행거리는 485.7km, 하루 평균 승객 운송량은 824만 명, 수상버스 선로 14개, 하루 평균 운송량은 4.35만 명이다.
- 대중교통 체계는 나날이 발전해 "궤도교통이 골간이 되고, 일반 대중교통이 주체가 되며, 수상버스, 예약버스 등 다원화 교통방식이 보완"이 되는 입체적 대중교통체계를 형성하고 있다.

(2) 광저우 BRT체계 하드웨어 현황

- 광저우 BRT시험라인은 텐허(天河)체육센터에서 황푸구(黃埔區) 샤위안(夏園)에 이르며, 전체 거리는 22.9km, 정류장은 26쌍이 있다.
- 대중교통 노선이 31개로 "30개는 원활한 노선+1개는 셔틀노선"이다.
- 차량은 모두 989량이고 하루 평균 운송거리는 21만km, 2018년 하루 평균 승객 운송량은 약 58만 명이다.

가. 도로체계

- 광저우BRT는 노중식(路中式) 전용도의 형식을 취하고 있을 뿐만 아니라 버스 정류장에는 추월도로를 설치해 BRT차량과 사회차량의 분리를 실현하고 BRT 차량의 빠른 통행을 보장한다.
- 그중 플랫폼이 아닌 구역은 two-way 방식 2차로이고 플랫폼구역은 two-way 방식의 4차로이다.(두 개의 정류차로 포함)

나. 플랫폼체계

- 광저우BRT에는 모두 26곳의 정류장이 있으며, 각 정류장은 남북 양쪽으로 나뉘었으며 모두 52개 플랫폼이 있다.
- 각 플랫폼은 1-4개의 작은 정류소로 구성되어 있으며, 1~3개의 출입문이 있다. 전체 노선에 모두 119개의 작은 정류소가 있고 83개의 출입문이 있다.
- BRT 플랫폼은 "카드 결제 후 플랫폼에 들어가 탑승"하는 방식에 따라 운행되어

지하철역과 유사하며, 플랫폼은 상대적으로 폐쇄 및 독립적이다.

다. 차량체계

- 최근 광저우BRT 배차 차량은 모두 989대이고, 그중 18m 대용량 BRT 대로 전용 대중교통 차량은 36대, 그 나머지는 모두 BRT 대로 기술 수요에 맞는 대중교통 차량이다.

라. 지능체계(스마트시스템)

- 광저우BRT 지능화체계는 주로 지능적으로 배치하는 체계, 자동판매 및 검표 업무체계, 안전문체계 등 3대 정보화체계로 구성된다.
- 구체적으로 지능적으로 밝기를 통제하는 시스템, 네트워크통신시스템, 운영 관리시스템, 승객정보표시시스템, 주파수제어시스템, DGPS 정밀주행위치 시스템, UPS 전원시스템, 시계시스템, 대외 이음시스템 등이다.
- BRT차량에는 무선주파수카드가 있고 안전문에는 감응수신기장치가 있어 운전사가 통제함으로써 차량과 안전문의 연동을 실현한다.

마. 지하철과의 환승

- 대중교통의 운송효율을 제고하고자 현 상황과 계획 중인 지하철노선을 바탕으로 BRT시험노선과 지하철노선을 조정하였다.
- BRT 시험노선과 석비교, 강딩, 처베이 등 지하철역의 조정을 거쳐 두 가지 교통수단의 밀착 연결을 실현하였다.
- 동시에 현재의 강딩, 시창, 취장, 타오진, 동물원, 주강신청체육(서) 등 17개 지하철역을 BRT노선과 연결하였다.
- 따라서 BRT노선안내표지가 늘어나면서 승객들이 편리하게 BRT를 환승할 수 있게 되었고, 간접적으로 BRT 효과가 모든 대중교통노선으로 확장되었다.

< 광저우 BRT 운행관리를 담당하는 중국교통공사 및 회의 장면 >



< 광저우 BRT 플랫폼에 접근하는 지하도로 입구 및 출입 게이트 >



< 광저우 BRT 플랫폼 및 대기열자 >



< 광저우 BRT 운행정보시스템 및 스크린도어 >



< 광저우 BRT 부정거장 체계 >



3. 광저우 BRT 운영관리

(1) 관리구조

- BRT가 개통되기 전에도 광저우시 대중교통분야는 기본적으로 보유자원 조정이 되어있었는데 주로 3대 회사에 의해 대중교통이 운영되었다.
- 이에 광저우시는 국내외 다른 도시와 달리 현 상황에 기초하여 재조정하는 방식을 택했고, 기존 대중교통 운영 기업들이 공동으로 참여해 BRT 시스템을 운영하였다.
- 원활한 BRT시스템의 운영관리를 위해, 광저우시는 BRT운영관리회사(광저우 쾌속대중교통운영관리유한회사)를 설립했으며, 주로 BRT 플랫폼 관리, 스마트

조정, 탑승권처리 업무를 수행하였다.

- 기존 대중교통기업들은 노선운영서비스를 수행했다.

(2) 노선운영조직

가. '복도 봉쇄, 탄력적 노선(靈活路線 : 일반 버스 노선 외에도 일부 구간에서 BRT 노선 통과)'의 모형 채택

- 해당 모형의 본질은 "고표준의 대중교통전용도로를 발전시키는 것"이고, 목표는 "일상적인 대중교통량 확대 및 쾌속화"이다.
- 즉, 고표준의 대중교통전용도로 시스템 구현을 통해 일반 대중교통도 조정을 거친 후 전용도로를 운행하며, BRT 노선구간을 벗어나서는 여전히 일반도로로 운행함으로써 전용도로의 효율을 높이고, 서비스 적용범위를 넓혀간다.
- 또한, 대중교통 운송량 확대 및 쾌속화와 대중교통 질서 개선, 대중교통차량과 일반차량의 혼란 감소, 과학적이며 합리적으로 제한된 도로자원의 배분을 통해 도로통행의 효율을 제고시켰다.

나. 버스 노선을 "30개 탄력적 노선과 1개 셔틀 노선"¹⁾의 과학적인 방법으로 설정

- ① (운송객 조사) 연구기관에 위탁하여 중산대로 모든 대중교통 노선 운행 차량에 대해 승객운행조사를 실시하여 BRT 노선 계획에 상세하고 정확한 데이터를 제공했다.
- ② 승객 이동 특징에 따라 다수의 대중교통편성 팀으로 나눈 후 각 팀별로 승객 이동특징을 분석하고, 계획을 수립한 후 다시 전체를 검산하도록 한다. '분할-취합-검산-분할-취합-검산'의 순환방식으로 노선시스템을 업그레이드하여 최종적으로 보다 안정적인 "30개 탄력적 노선과 1개 셔틀 노선"을 초기의 BRT 노선으로 확정했다.
- ③ 전문가 의견 수렴회의를 통해 대중교통노선 업그레이드 방안을 전 사회에 공시하는 방식으로 시민의 의견을 수렴하였다.
- ④ 교통복제시스템을 BRT 전체노선에 탑재하여 BRT노선이 기능적으로 발생 가능한 교통효과에 대해 복제분석, 예측 및 평가를 실시하였다. 이를 통해 운영관리 중 교통운영상태에 대해 세밀하고, 정량적인 미시적인 교통복제분석을 실시하였다.

1) 탄력적 노선(靈活路線) : 일반 버스 노선 외에도 일부 구간에서 BRT 노선 운행 및 정차
셔틀 노선 (擺渡路線) : BRT 노선만 운행

- ⑤ 노선 네트워크의 구현을 통해 최대 60개 BRT 노선이 성공적으로 이동토록 하였다.

다. 환승시스템

- BRT정류소에서는 '같은 방향, 동일 정류소' 무료환승제를 실시해 같은 방향의 정류소끼리 연결토록 해 같은 방향에서는 보다 자유로운 이동 및 선택을 가능하게 하였다.

라. 승차가격

- BRT 승차티켓 금액을 일반 대중교통(2위안/인)과 동일하게 설정하였다. BRT 탑승구에서 승객은 현금이나 IC카드로 승차권을 결제 후 정류소로 진입한다. IC카드로 결제하면 16회차 탑승부터는 40%를 할인해준다.

마. 재정지원

- ① BRT운영회사에 매년 약 6,000만 위안의 보조금을 지원한다.
- ② BRT 노선 무료환승에 대한 보조금으로 매년 약 1.1억 위안 지원한다.

(3) 관리제도

- 광저우시로 놓고 보면 BRT는 일종의 신생사물이다. 국내외 다른 도시의 BRT와 비교했을 때 시스템이 복잡하고 승객량이 큰 특징이 있다. BRT 운행 전에는 87개 대중교통노선이 이 구간에서 운행되었다.
- 여러개의 회사가 공동으로 운영되다 보니 책임과 분배문제 외에도 여러 가지 고민들이 있었다. 1000대가 넘는 BRT 차량을 시스템과 어떻게 연동시킬지? 참여 회사들의 적극성을 어떻게 불러일으킬지? BRT 전용도로에서 차량이 고장 났을 때 어떻게 대응할지? 등 문제를 해결하고자 몇 가지 제도를 신설하였다.
- 《광저우 중산大쾌속교통시스템 관리 및 시험운행방법》, 《BRT 운영과 조정 규범》, 《중산大쾌속교통 시험노선의 승차권 배분을 위한 규칙》, 《중산大쾌속교통 시험노선 운영과 심사 규칙》, BRT 운영관리 연합회의제도 및 여러 가지 응급조치와 대안을 위한 관리 제도를 신설하였다.
- 현재까지 광저우시는 BRT시스템 운영관리, 승차권배분 심사, 정류소 관리 등

분야에 대한 효율적인 관리방법과 경험을 두루 마련하였다.

- 일련의 사회보장제도와 시스템 운영에 대해서도 대외적으로 인정을 받은 셈이다.

4. 광저우 BRT 도입 효과

(1) BRT노선과 기존 노선의 운행속도 제고 목표 달성

- 도로에서 차량들이 평균적으로 24km/h 이상의 속도로 운행하게 되었다.
- BRT 개통 전과 비교하면 약 84% 제고한 셈이다. 중산대로 일대의 일반차량의 평균속도도 13.9km/h 에서 17.8km/h로 제고되어 28% 개선된 셈으로 결과적으로 BRT 대중교통과 일반차량의 속도를 모두 제고시켜 목표를 달성하였다고 할 수 있다.

(2) 시민 교통비 절감

- BRT를 통해 동부지역 17개 노선의 기존 승차권 가격(3위안)을 2위안으로 낮추는 효과를 가져왔다.
- 동시에 승객들은 동일 BRT 정류소에서 같은 방향의 다른 차량 탑승시 무료로 환승 할 수 있으며, 16회차 탑승부터 40%의 할인 혜택을 받을 수 있어 시민들이 대중교통비용을 절감 할 수 있게 되었다.

IV. 시사점 (충남 적용 방안)

1. 광저우 BRT 플랫폼 체계

- (광저우 BRT 플랫폼 현황) 광저우 BRT는 56개의 플랫폼(총 26개 정류소에 남북 양쪽으로 나뉘는 구조)이 있으며, 각 플랫폼에는 소규모 정류소가 약 4개 정도로 구성됨. 각 소규모 정류소에 약 4개의 출입문이 있어 버스 이용객들이 승하차하는데에 용이한 구조이며, 환승 시 해당 플랫폼에서 지하로 연결되는 계단을 통하여 지하철과 같은 타 대중교통수단으로 접근성이 우수한 특징이 있음
- (세종시 BRT와 공주종합터미널 환승체계) 충남 공주시는 세종시와 인접해 있으며, 광역교통개선대책 상에 세종시와 공주시를 연계하는 BRT 계획이 수립중임. 공주시 신관동에 위치한 공주종합터미널은 세종시-공주시 BRT 1차 계획 상에 시·종점 역할을 수행할 계획임. 공주종합버스터미널의 시외버스와 세종시 BRT 노선의 환승 체계 검토 시 이와 같은 광저우 BRT의 플랫폼 형식도 검토할 대안으로 판단됨

2. 대중교통 시설과 복합문화·관광시설 연계 체계

- (광저우 사례) 광저우 BRT는 지하철과 환승이 용이하며, 대규모 복합 문화시설과 지하로 연계되어 있음. 또한, 시내 중심지와 관광지를 관통하는 BRT 노선체계는 광저우 시민뿐만 아니라 관광객의 이동편의를 도모하고 있음. 특히, 하루 평균 54만 명을 수송하는 BRT 차량은 989대이며, 이 중 18m 규모의 BRT 차량은 총 36대로 출퇴근 시 대중교통 통행자의 이동성 확보에 큰 역할을 수행하고 있음
- (세종시-공주시 BRT의 노선체계, 복합문화시설 연계체계) 세종시와 공주시를 연계하는 BRT는 오전, 오후 첨두시에 출·퇴근 통행을 담당하고, 비첨두시에는 지역내 일상적인 수요와 관광수요를 담당할 것으로 기대됨. BRT노선 체계는 이와 같이 시간대별 교통수요의 주요 거점들을 연계할 필요가 있으며, 광저우 BRT 사례를 검토해보면 공주시의 주요 복합문화시설과 환승체계를 이를 필요가 있음. 교통수요를 유발하는 시설과 연계는 수요 충족과 파생수요 창출, 경제적 타당성 당위성 확보 등의 이유로 노선체계 설계시 면밀히 검토되어야 할 사항임

3. 지능형 스마트 안전 시스템

- (광저우 사례) 광저우 BRT의 3대 정보화 체계는 지능적으로 배치하는 체계, 자동판매와 검표 업무체계, 안전문 체계로 구분됨. 특히, BRT 출입문에는 감응수신기 장치가 있어 승객의 승·하차 시 교통사고를 미연에 예방할 수 있는 첨단 스마트 시스템이 적용되고 있음
- (자율주행 BRT 시스템) 최근 자율주행자동차의 기술개발이 빠르게 진행되고 있는 바, 세종시와 공주시를 연계하는 BRT에 자율주행차량의 시범도입도 검토해볼 필요가 있음

Exploring Dynamics in Driving Risk Factors for Repeated Driving Behavior

2019. 12. 12

Wonchul Kim
Chungnam Institute

1

CONTENTS

1. Introduction
2. Backgrounds
3. Data
4. Results
5. Conclusions

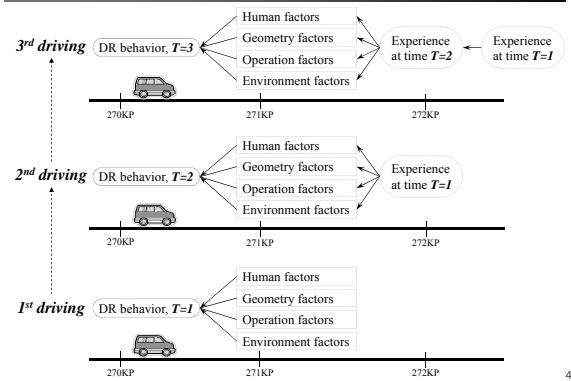
2

INTRODUCTION

- An instrument vehicle is frequently used to collect data related to the effects of traffic countermeasures via on/off-site driving experiments
- In such experiments, it is common to have drivers drive the vehicle repeatedly on the same roadway
- This enables gathering many observations, which might be helpful to enhance the reliability of analysis results
- However, during repeated driving, driver's behavior may be changing over time because *the driver could learn through repetitions*
- Thus, this time variant should be taken into account in analysis to properly assess the effects of traffic countermeasures

3

INTRODUCTION



4

INTRODUCTION

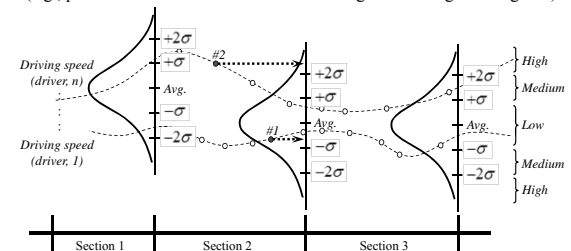
- The purpose of this study is *to examine temporal (or dynamic) changes of driving risk factors* and to select the most important variables affecting traffic safety
- For this, a Driving Risk model with Temporally-Changing Parameters (DRTCP) is developed. The model is built based on the concept of general dynamic model proposed by Heckman (1981)

5

BACKGROUNDS

Concept of Driving Risk

→ The driving risk reduces when a driving speed falls within a range of one standard deviation at a road section; otherwise the risk increases (e.g., point #1 and #2 can be evaluated as being low and high driving risk)



6

BACKGROUNDS

Formulation of Driving Risk (DR) Model

$$y_n = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta V_n \leq \sigma \rightarrow \text{Low driving risk} \\ 2, & \text{if } \sigma < \Delta V_n \leq 2\sigma \rightarrow \text{Medium driving risk} \\ 3, & \text{if } \Delta V_n > 2\sigma \rightarrow \text{High driving risk} \end{cases}$$

$$\Delta V_n = |\bar{V} - V_n|$$

$$y_n^* = \beta_n^* + \varepsilon_n$$

\bar{V} : level of driving risk of a sample n
 V_n : observed driving speed
 \bar{V} : average speed of a road segment
 ΔV_n : speed deviation between \bar{V} and V_n
 σ : standard deviation of driving speed V_n
 β_n^* : latent variable capturing the driving risk of \bar{V}
 β : vector of parameters to be estimated
 x_n : vector of explanatory variables
 ε_n : error term following an i.i.d. normal distribution

7

BACKGROUNDS

Structure of DR Model with Temporally-Changing Parameters

$$y_{nt}^* = \beta_t^* x_{nt} + \varepsilon_{nt} = (\beta_{t-1}^* + \Delta \beta_t^*) x_{nt} + \varepsilon_{nt}$$

β_t : vector of parameters at time t to be estimated

β_{t-1} : vector of parameters at time $t-1$ to be estimated

$\Delta \beta_t$: temporal changes between β_t and β_{t-1} to be estimated

$$Pr_{nt}^k = \prod_{i=1}^T [\Phi(\mu_{t,i,k} - \beta_{t,i}^* x_{nt}) - \Phi(\mu_{t,i,k-1} - \beta_{t,i}^* x_{nt})]$$

$$L = \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^3 \delta_{nt}^k \ln(P_{nt}(y_{nt} = k))$$

8

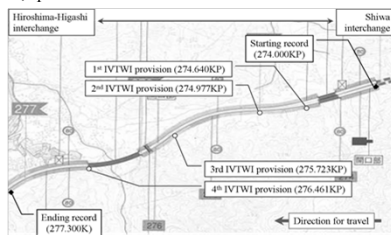
DATA

Area & Time

→ Sanyo expressway, March 28 (Sat.) – April 2 (Wed.), 2009.

Characteristics of the study area

→ Continuous downgrade curves, limited visibility
→ 3.3km, speed limit 80km/h



9

DATA

Experiment Design

→ 10 young drivers (Male: 8, Female: 2)

→ Two drivers were allowed to driving a day

(10:00~12:30 and 13:00~15:30)

→ Each driver traversed the study area three times

→ Each time of driving is called “wave” (hereafter)

→ Wave 1, drivers received no warning information (without IVTWI)

→ Wave 2, voice-based IVTWI

→ Wave 3, voice & image-based IVTWI

→ In-vehicle traffic warning information (IVTWI)

– “Please reduce your speed!” via the on-board navigation unit

– IVTWI was exposed for 5 seconds and provided four times in waves 2 and 3 before entering the curve sections

10

DATA

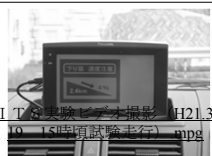
Apparatus

→ DSRC-based navigation system

→ Vehicle movements were measured over time and space per 0.1s (speed, acceleration, deceleration)



(i) Test vehicle



(ii) Voice & image-based IVTWI

11

DATA

Variables	Wave 1	Wave 2	Wave 3
<u>Dependent variable</u>			
Driving risk (1=low, 2=medium, 3=high)	1.323 (0.647)	1.286 (0.522)	1.333 (0.546)
<u>Independent variables</u>			
Gender (0: female; 1: male)		0.800 (0.400)	
Age		22.200 (1.250)	
Duration of driving license ownership (month)		32.300 (19.292)	
Accident Experience (number of accidents experienced)		0.500 (0.671)	
Driving Period (0: AM; 1: PM)		0.500 (0.500)	
Road Surface (0: Wet; 1: Dry)		0.900 (0.300)	
Traffic volume (vehicle/min/lane)	13.320 (3.721)	13.710 (13.345)	14.160 (4.245)
Vertical Grades (%)		-2.603 (2.001)	
Degree of Curvature (°/100m)		4.653 (2.352)	
Voice-based IVTWI (0:no, 1:provision)	0.000 (0.000)	0.171 (0.377)	0.000 (0.000)
Voice & image-based IVTWI (0:no, 1:provision)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.145 (0.352)

12

■ Results (DRTCP)						
Explanatory Variables	Wave 1		Wave 2		Wave 3	
	Estimate	t-statistic	Estimate	t-statistic	Estimate	t-statistic
Constant	6.623	2.772**	1.019	0.403	-1.720	-0.962
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-5.604	-1.524		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-2.739	-1.364
Gender (0: female, 1: male)	-3.962	-10.762**	-2.197	-6.166**	-0.477	-1.638†
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			1.765	3.102**		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					1.720	4.272**
Age	0.080	0.861	0.204	1.984*	0.075	0.762
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			0.124	0.876		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.129	-2.215*
Duration driving license ownership	-0.051	-6.403**	-0.044	-5.024**	-0.049	-6.203**
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			0.007	0.583		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.004	-0.810
Accident experience	2.228	14.793**	0.849	6.197**	0.676	4.895**
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-1.378	-7.294**		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.173	-3.269**
Driving period(0: AM, 1: PM)	3.368	21.546*	1.166	6.454**	1.239	4.416**
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-2.201	-9.438**		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					0.073	0.456
** Significant at 1% confidence level. * Significant at 5% confidence level. † Significant at 10% confidence level.						

13

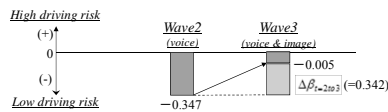
Road surface	-0.905	-3.614**	0.533	2.580**	-0.070	-0.367
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			1.438	4.404**		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.603	-2.787**
Traffic volume	-0.026	-3.745**	-0.055	-4.926**	-0.065	-6.238**
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-0.029	-2.187*		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.010	-0.779
Vertical grades	0.025	1.038	-0.043	-1.828†	-0.056	-2.252*
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-0.068	-2.112*		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.012	-0.590
Degree of curvature	-0.022	-1.004	0.022	1.101	0.002	0.122
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			0.044	1.473		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					-0.020	-1.250
IVTWI provision	0.000	0.000	-0.347	-2.248*	-0.005	-0.030
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 1 to wave 2			-0.347	-2.118*		
$\Delta\beta_{\text{DRTCP}}$ change wave 2 to wave 3					0.342	2.437†
β_0	1.414	17.165**	1.543	19.845**	1.290	16.875**
Sample size	1030					
Log-likelihood with zero coefficients	-2593.147					
Log-likelihood for estimated model	-1571.577					
Adjusted Rho-squared	0.379					
** Significant at 1% confidence level. * Significant at 5% confidence level. † Significant at 10% confidence level. LL(0) stands for the Log-likelihood with zero coefficients. LL(β) stands for the Log-likelihood for estimated model.						

14

14

Results

- Safety impacts of IVTWI provision over one-day driving repetitions
 - IVTWI provision reduces level of driving risk
 - Safety impacts may fade due to the increase of driving repetitions



15

CONCLUSIONS

- Temporal changes in driving risk factors with repeated driving experiment have explored in this study
 - Safety effects of some variables are changing over driving repetitions, however, *sex*, *duration driving license ownership*, and *traffic volume* decrease the DR, and *accident experience and driving period* increase the DR, showing signs are not changing over time
 - weights of driving risk factors decrease by increase of *driving repetitions*
 - Provision of IVTWI could reduce the DR, but its effects may fade due to the increase of driving repetitions. This might be due to that driving skill and familiarity with road environment are improved by the repeated driving

16

CONCLUSIONS

- Limitations of the study
 - Insufficient data (e.g. participants, driving repetition)
 - Confounding variable (e.g. driven distance)
 - IVTWI provision (different contents each wave)

Thank You !

17

Estimating Unobserved Attributes of Unchosen Alternative Transportation Modes Using the t-Distribution Density Function

2019. 12. 12

Dept. Spatial & Environmental Planning,
Chungnam Institute

Ph.D. Hyoung-Chul Kim

Co-author is prof. Ikki Kim, Hanyang University

Background

- The mode choice model must reflect traveler's behavior
- Calibration with disaggregate data is theoretically more desirable than with zone-based aggregate data
- This study shows the limitation of calibrating mode choice model with household survey data and suggests the method to overcome shortcoming of application model with disaggregate data

- 1 -

Household Survey Data

There are three categories

- Household characteristics
- Personal characteristics
- Individual travel information
 - trip purpose, **used transportation mode**
 - travel time and cost

- 2 -

The Problem

- There is no data of any attribute(travel time and cost) related to the unchosen alternative transportation mode in household survey data
- No question was asked on attributes of unchosen transportation mode
- Aggregate data are commonly used

- 3 -

Object

This study aims to suggest a method of estimating unobserved attributes of unchosen alternative transportation mode using the probability distribution such as t-distribution and uniform distribution

- 4 -

Aggregate approach of estimating the unobserved attributes

There are two methods

- Using the average values
- Using the results of network analysis

- 5 -

Method of aggregate approach

Method 1 : Averaging the observed values to derive unobserved value of unchosen alternative modes

$$\bar{S}_{k/ijm} = \left(\sum_{n=1}^N S_{k/ijm}^n \right) / N$$

N : the number of individual travelers
 $S_{k/ijm}^n$: the value of attribute(k) of mode (m) used by an individual traveler(n)
 $\bar{S}_{k/ijm}$: the value of average of $S_{k/ijm}^n$ between i and j

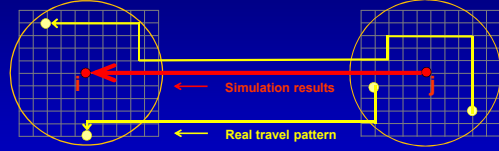
Possible Drawback !

Average values cause distorted parameter for reflecting traveler's behavior

- 6 -

Method of aggregate approach

Method 2 : Using the results of network analysis

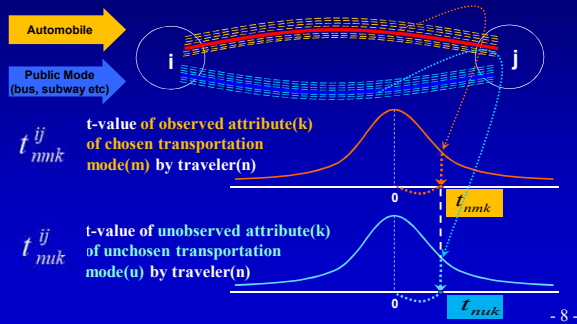


Possible Drawback !

Results of simulation cannot fully reflect the mode choice behavior of individual traveler

- 7 -

Concept of disaggregate approach using t-distribution



- 8 -

Methodology

Calculating mean, standard deviation of available alternative modes' attributes using enough sample data for each zone-pair

$$sd(S_{k/ijm}) = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (S_{k/ijm}^n - \bar{S}_{k/ijm})^2}{N-1}}$$

- 9 -

Methodology

Calculating t-value of attribute(k) of the chosen mode(m) for individual traveler(n) between zone i and zone j

$$t_{nm}^{ij} = \frac{S_{k/ijm}^n - \bar{S}_{k/ijm}}{sd(S_{k/ijm})}$$

- 10 -

Methodology

Calculating the value of unobserved attribute(k) of unchosen mode(u) for individual traveler(n) by using the assumption $t_{nm}^{ij} = t_{nu}^{ij}$

$$\begin{aligned}
 t_{nm}^{ij} &= t_{nu}^{ij} \\
 t_{nm}^{ij} &= \frac{S_{k/ijm}^n - \bar{S}_{k/ijm}}{sd(S_{k/ijm})} \\
 S_{k/iju}^n &= \bar{S}_{k/iju} + sd(S_{k/iju}) \cdot t_{nm}^{ij}
 \end{aligned}$$

- 11 -

Methodology

Adjusting the value of attributes derived from the proposed method using uniform distribution

In case of taxi, the error term for the travel time is the waiting time for taxi

$$S_{k/iju}^{*n} = S_{k/iju}^n + \varepsilon_k \quad (-M_k \leq \varepsilon_k \leq M_k)$$

- 12 -

Case Study

Used Data

- Household travel survey data from SDI
(SDI : Seoul Development Institute)

Survey Overview

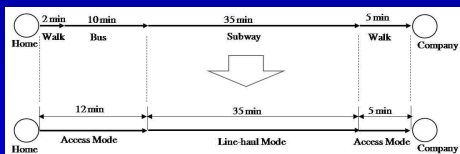
- year : 2002
- area : Sudokwon Metropolitan
(including Seoul City, Incheon City and Gyeonggi-do Province)

- 13 -

Case Study

Redefined Transportation mode :

The transportation mode was redefined using the concept of the line-haul mode



< Concept of the Line-haul Mode >

- 14 -

Case Study

Result of MNL model calibrated for home-based work trips(HBW) using the suggested method

Variables	Coefficient	Std. Error	T-statistics
Total travel time(public mode)	-832.2	101	-8.4
Total travel time(auto)	-1216	114	-10.7
Total travel time(taxi)	-902.4	384	-2.5
Total cost	-4.87	0.5	-9.8
Constant(auto)	-2.88	0.14	-21.0
Constant(bus)	-0.38	0.11	-3.6
Constant(taxi)	-3.49	0.22	-15.7
Area1(auto)	151.3	10.3	14.7
Area2(auto)	94.18	16.8	5.6
Gender(auto)	108.2	3.97	27.2
Age1(auto)	-58.47	9.94	-5.9
Age2(auto)	63.69	9.11	7.0
Area3(auto)	77.03	4.11	18.7
Gender(taxi)	28.25	12.8	2.2
Age1(taxi)	1.08	18.1	0.06
Area4(taxi)	-28.12	13	-2.2
Number of observations	32,188		
Initial log-likelihood (L(0))	-44022.04		
Final log-likelihood (L(B))	-14843.73		
	ρ^2		0.6673
	$\bar{\rho}^2$		0.6670

Number of Observation :
- 32,188

Sign :
- time and cost is minus

Absolute t-value of variable:
- all of them is over 2

The rho-square : 0.6673

- 15 -

Conclusion

- This study suggested a method of estimation the unobserved attributes using the probability distribution (t-distribution and uniform distribution)
- Also, suggested method can assist in the calibration of a choice model based on a disaggregated approach using household survey data
- And we can reduce cost of extra survey to obtain complete components of attributes of alternative transportation mode

- 16 -

Thank you
for your attention !