

## SUR 모형을 이용한 강수량과 대중교통 승객 수간 관계 분석

신강원<sup>1\*</sup> · 최기주<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경성대학교 도시공학과, <sup>2</sup>아주대학교 교통시스템공학과

### Analyzing the Relationship Between Precipitation and Transit Ridership Through a Seemingly Unrelated Regression Model

SHIN, Kangwon<sup>1\*</sup> · CHOI, Keechoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Urban Design and Development Engineering, Kyungsoo University, Busan 608-736, Korea

<sup>2</sup>Department of Transportation System Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

#### Abstract

Weather condition is one of the crucial factors affecting travelers' mode choice. Nevertheless, there are numerous indefinite traffic phenomena under various weather conditions. This study was conducted to verify the hypothesis that transit riderships decrease as precipitation increases. To clarify the relationship between precipitation and transit ridership, a seemingly unrelated regression model was employed with data such as daily precipitation and daily transit riderships of 3 transit modes (bus, metro, and shuttle bus) collected in Busan for recent 24 months. The estimation results show that transit riderships decreased as the daily precipitation increased when the daily precipitation is greater or equal to 10mm/day (0.169%, 0.101%, and 0.172% reduction in bus, metro, and shuttle bus riderships, respectively, when the daily precipitation increased by 1mm). When comparing the impact of precipitation on transit riderships by modes using a cross-equation parameter restriction test, the decrease in metro ridership is relatively insensitive to the change in precipitation. However, the negative coefficient of precipitation in the metro ridership estimation model indicates that the transit users in Busan may alter their mode to taxi or automobile and/or may give up the trip itself in bad weather condition.

기상조건은 통행자의 수단선택 행위에 큰 영향을 미친다. 본 연구는 기상조건에 따른 여러 교통현상에 대한 가설 중 강수 시 대중교통수단의 승객수가 감소한다는 연구 가설을 실증하기 위해 수행되었다. 이를 위해 본 연구는 최근 24개월 동안 관측된 부산의 버스, 도시철도, 마을버스의 일일 승객 수와 일일 강수량의 관계를 외견상 무관해 보이는 회귀모형(SUR 모형)을 이용하여 분석하였다. 분석결과 일일 강수량이 10mm 이상일 때는 강수량이 증가함에 따라 각 대중교통수단의 승객 수는 감소하는 것으로 나타났다(강수량 1mm 증가 시 시내버스, 도시철도, 마을버스 승객 수는 각각 0.169%, 0.101%, 0.172% 감소). 이처럼 부산의 대중교통수단의 승객 수는 일일 강수량이 10mm 이상인 날 감소하나 도시철도 승객 수 감소는 교차방정식 제약검정 결과 강수량 증가에 상대적으로 둔감한 것으로 나타났다. 그러나 도시철도 승객 수 추정식의 강수량 계수부호는 음수로 부산의 대중교통수단 이용객들은 10mm 이상의 강수일에는 접근, 대기, 환승에 불편이 있는 대중교통수단간 수단 전환보다는 좀 더 쾌적한 통행을 할 수 있는 택시나 승용차로 수단을 전환하거나 통행을 포기하는 경향이 두드러진다고 판단된다.

#### Keywords

parameter restriction test, precipitation, seemingly unrelated regression model, transit ridership, weather condition  
교차방정식 제약검정, 강수량, 외견상 무관해 보이는 회귀모형, 대중교통 승객수, 기상조건

\* : Corresponding Author  
kangwon@ks.ac.kr, Phone: +82-51-663-4793, Fax: +82-51-627-3735

Received 4 March 2013, Accepted 17 February 2014

© Korean Society of Transportation  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 연구배경 및 목적

대중교통수요를 증대시키기 위해서는 대중교통수단의 서비스 질을 향상시키거나 자가용 승용차 수요를 억제하여 기존 대중교통 이용자의 이탈을 방지하거나 개인통행수단 이용자를 대중교통수단으로 전환시켜야 한다. 즉 일반적인 대중교통 수요증대 정책은 대중교통 의존 통행자(captive rider)의 편의성 증대정책과 대중교통 선택 통행자(choice rider)의 수단전환정책으로 분류할 수 있으며, 이러한 정책의 일환으로 부산은 그간 버스준공영제, 환승요금할인제, 도시철도 신설, 승용차 요일제 등의 정책들을 펼치고 있으나 대중교통수요는 여전히 정체 상태에 있다.

따라서 부산의 대중교통 수요를 획기적으로 증대시킬 수 있는 세부 정책대안을 발굴하기 위해서는 대중교통 이용 통행자의 개별특성자료(자가용 승용차 보유유무, 소득수준, 통행목적, 개별 통행자의 승차·환승·하차 지점 및 시간, 출발시간, 이용빈도 등)를 활용할 필요가 있으나, 기존 부산광역시의 교통카드 DB는 환승요금 할인정책의 체계상 하차 자료가 결측되는 문제점을 갖고 있어 개별 통행자자료의 활용은 아직까지 어려운 현실이다. 따라서 최근 부산광역시를 대상으로 수행된 관측된 대중교통 수요(교통카드 승차 승객 수) 기반 대중교통 수요특성 분석 및 수요증대 정책 발굴 연구는 집계화된 대중교통 이용 승객 수를 주요 분석변수로 삼아왔다(Jung et al., 2011; Park and Lee, 2012; Kim and Jung, 2012). 특히 전술한 선행연구는 부산광역시의 시내버스 이용 승객수와 강수량 및 강우량<sup>1)</sup>과의 관계 규명에 초점을 맞추어 수행되었으며, 이러한 연구들은 강수 시 부산광역시의 시내버스 이용 승객 수가 감소한다는 시내버스 운영자들의 경험을 실증한 것이라 할 수 있다. 그러나 선행연구들은 여러 부산의 대중교통 수단 중 시내버스의 승차 승객 수와 강수량 및 강우량의 관계 분석에만 치중해 부산의 도시철도와 마을버스의 승차 승객 수 또한 강수량에 유의한 영향을 받고 있는지는 실증된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 부산에서 최근 24개월(2011.01-2012.12) 동안 관측된 3가지 대중교통 수단(시내버스, 도시철도, 마을버스)별 일일 승차 승객 수(교통카드 승차

승객 수)와 강수량의 관계를 실증 분석하였다. 특히 본 연구에서는 전술한 3가지 대중교통 수단별 승차 승객수와 강수량의 관계 분석 시, 3가지 대중교통 수단별 상호 의존성(모형의 오차항간 상관관계)을 반영하기 위해 외견상 무관해 보이는 회귀(SUR: seemingly unrelated regression) 모형을 적용하여, 상호의존적인 대중교통수단별 승차 승객 수 변화에 강수량이 미치는 영향을 상세 비교·분석하였다.

궁극적으로 본 연구는 강수량이 시내버스 승차 승객수에 유의한 영향을 준다는 선행연구 결과를 바탕으로, 강수량과 부산시 대중교통 수단(시내버스, 도시철도, 마을버스)별 승차 승객 수의 관계를 재규명하고, 이를 통해 부산의 대중교통 수요 증대정책 발굴의 기초자료를 제시하기 위해 수행되었다.

## 선행연구

Jung et al.(2011)은 강우가 부산의 시내버스 수요에 미치는 영향을 분석하기 위해 실제 시내버스 이용자를 대상으로 강우에 따른 시내버스 이용실태와 강우량에 따른 시내버스 이용확률을 순서형 프로빗모형을 이용하여 분석하였다. 주요 분석결과를 살펴보면 일일 강우량이 1mm 미만일 때 시내버스 이용희망 확률은 약 82% 이나, 일일 강우량이 50mm 이상일 때 시내버스 이용희망 확률은 약 28%로 분석되었다. 이 연구는 강우량이 증가함에 따라 시내버스 이용희망 확률은 비선형적으로 감소한다는 것을 밝혔으며, 강우의 수요탄력성도 강우량이 증가할수록 비선형적으로 커짐을 밝혔다. Park and Lee(2012)는 2010년 부산광역시 시내버스 교통카드자료와 기상청 강우량 자료를 이용하여 강수 시 일평균 통행건수가 비강수 시 일평균 통행건수보다 적음을 평균 비교검정을 통해 밝혔다. Kim and Jung(2012)는 2007년 부산시 시내버스 준공영제 시행 이후 지난 3년(2008-2010년) 동안 조사된 경영 및 서비스 평가 설문조사 자료를 이용하여 강수량에 따른 20개 평가항목의 만족도를 비교하였다. 분석결과 강수량이 많은 날 시내버스 서비스 만족도는 낮아지고, 기온이 매우 높거나 매우 낮은 날의 시내버스 서비스 만족도는 낮아진다고 밝혔다.

TCRP(1999)에서는 기상조건을 고려한 버스정류장

1) 강수(降水)란 비, 안개비, 눈, 우박 등과 같이 대기 중의 작은 물방울이나 빙정 등이 구름으로부터 땅에 떨어져 내리는 현상을 가리키는 말로, 강수량은 강수의 양을 말한다. 강수가 비인 경우에는 우량 또는 강우량이라고 하며, 강설량은 쌓인 눈의 깊이로 측정하고 내린 눈을 녹여 강수량으로 나타낸다(기상청 기상백과 : www.kma.go.kr).

설계가 대중교통 의존 통행자의 수요를 증대시킬 수 있는 반면, 대중교통 선택 통행자는 기상조건을 고려한 버스정류장의 형태에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 밝혔다. 그러나 Guo et al.(2008) 및 Nesse(2012)가 밝힌 것과 같이 기상조건과 대중교통 승객수의 관계에 대한 실증적인 연구결과는 대중교통 승객 수에 영향을 미치는 외부조건(온도, 강수량, 계절, 요일변동)의 다양성으로 인해 제한적인 상황이다. 특히 국외에서 수행된 기상조건과 대중교통 승객 수 간 관계규명에 관한 연구는 상호의존적인 대중교통 수단간 승객 수 비교자료의 부재 및 특정 시간대에 편중된 자료 이용으로 상반된 연구결과를 제시하고 있기도 하다.

Khattak(1991)은 기상악화가 도보 및 자전거통행의 대중교통 수요전환을 유도하여 대중교통 승객수를 다소 증가시키거나, 기상악화는 총 대중교통 승객수를 약간 감소시키거나 거의 영향을 주지 않고 있음을 주장하고 있기도 하다. Guo et al.(2008)은 이러한 선행연구의 결과는 과거 데이터 부재와 데이터 수집설계의 치밀성 부족에 기인한 것으로 인지하고 미국 시카고 지역의 34개월(1998년 3월 - 2001년 1월)간의 대용량 대중교통 승객 수 자료와 기상조건 자료를 수집하여 기상조건에 따른 대중교통 승객 수 변화효과를 추정하였다. 이 연구에서는 기상조건(기온, 강수량, 풍향)이 악화될수록 대중교통 승객수가 감소함을 보였으나, 심한 안개나 눈보라 시에는 대중교통 수단간 통행전환으로 인해 대중교통 승객수가 오히려 증가할 수 있음을 보였다. 또한 이 연구에서는 버스의 승객 수는 기상조건에 민감하게 반응하는 반면 기상악화에 따른 철도의 승객 수 변화는 상대적으로 둔감한 것을 밝혔다.

한편 몇몇 선행연구들은 기상조건에 따른 수단선택 모형 개발 연구를 수행하기도 했다. Khattak and De Palma(1997)은 벨기에 브뤼셀의 통행자를 대상으로 기상조건에 따른 통행행태 분석을 수행하였다. 분석결과 기상악화 시 승용차 이용자들은 수단전환, 경로전환, 출발시각 전환 등의 행태를 보이는 것으로 나타났으며, 이 중 기상 악화 시에는 출발시각 전환이 가장 두드러지게 나타난다고 밝혔다. De Palma and Rochat(1999)도 스위스 제네바 통행자들을 대상으로 유사한 연구를 수행하였으며, Khattak and De Palma(1997)의 연구결과와 유사하게 기상악화는 승용차 이용자의 출발시각 전환, 수단전환, 경로전환을 가져온다는 분석결과를 제시하였다. Aaheim and Hauge(2005)는 노르웨이의

베르겐 거주 통행자의 수단선택 행태와 기상조건과의 관계를 분석하였으며, 분석결과 강수량이 증가할 경우 도보나 자전거 통행에 비해 대중교통 이용확률이 증가함을 밝혔다. 그러나 기상조건 악화가 대중교통수단과 개인교통수단간 통행전환에는 직접적인 영향을 주지는 않는다고 밝혔다.

Saneinejad et al.(2012)은 캐나다 토론토시의 통행실태조사를 이용하여 다양한 기상조건이 승용차, 대중교통, 자전거, 도보통행 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 이 연구에서는 다항로짓모형을 이용하여 각 수단의 선택확률을 분석하였으며, 주요 결과를 살펴보면 비가 오는 날 남성의 대중교통 선택확률은 증가하는 반면 여성의 대중교통 선택확률은 큰 변화가 없는 것을 밝혔다. 또한 이 연구는 기상조건에 따른 도보 및 자전거 통행의 상호 수단전환 행태에 대해서는 언급하고 있으나, 기상조건 악화에 따른 대중교통 수단과 개인교통수단간 통행 전환효과에 대한 분석은 수행하지 않은 아쉬움이 있다.

이처럼 선행연구의 분석결과는 대부분 기상조건이 악화될수록 대중교통수요 및 서비스 만족도가 감소한다는 비교적 일관된 결론을 제시하고 있다. 그러나 선행연구는 분석대상지의 기후 및 통행 특성에 따라 기상조건이 대중교통수요에 미치는 영향의 정도가 다름을 나타내고 있다. 특히 국내연구의 결과는 강수량과 시내버스 승차 승객 수 간 관계만을 분석했다는 점에서 타 대중교통 수단의 수요 또한 강수량에 의해 영향을 받는지는 실증된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 부산에서 운영되는 3가지 대중교통수단 별 승차승객수와 강수량의 관계 분석을 수행하였다.

## 분석자료

본 장에서는 최근 24개월(2011년 1월 1일 - 2012년 12월 31일) 동안 수집된 부산광역시 교통카드 승차자료(시내버스, 마을버스, 도시철도, 환승포함)를 이용하여 분석된 각 대중교통수단별 일별 승차 승객수의 시계열적 변동특성 및 강수량에 따른 대중교통수단별 승차 승객 수 현황을 제시하였다.

### 1. 요일 및 월별 대중교통 승객 수

최근 2년간 부산의 대중교통수요(교통카드 승차 승객

수)의 수단별 집계결과는 Table 1에 제시하였으며, 현황 자료 집계결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 부산의 총 대중교통 일일 평균 승차 승객수는 '2,096,294인/일'으로 나타났으며 시내버스 '1,381,334인/일(66%)', 도시철도 '527,572인/일(25%)', 마을버스 '187,388인/일(9%)'의 순으로 나타남.
- 각 수단별 주말(공휴일 포함) 대비 주중 승차 승객 수 비율은 시내버스 145%, 도시철도 135%, 마을버스 153%로 나타나 주중 승차 승객수가 주말 승차 승객수에 비해 더 많은 것으로 나타남.

## 2. 강수량에 따른 대중교통 승객 수

본 절에서는 분석 기간 동안 집계된 각 대중교통수단별 일일 교통카드 승차 승객수와 부산지역의 일일 강수량과의 관계에 대한 기초 탐색분석을 수행하였다. 부산지역의 일일 강수량(mm/일) 자료는 기상청(www.kma.go.kr)을 통해 수집하였으며, 부산의 일일 강수량 변수의 요약 통계치는 Table 2와 같다.

- 대중교통수단별 승차 승객 수는 주중·주말 변동

뿐만 아니라 월별변동이 존재하며, 각 대중교통 수단별 승차 승객 수는 초·중·고교 방학 기간(1월, 2월, 7월, 8월, 12월)에 뚜렷한 감소세를 나타냄.

일일 강수량 변수 분석결과 최근 24개월 동안 부산지역의 강수일은 총 205일(약 28%)을 나타냈으며, 8월의 강수일이 29일로 가장 높게 나타났다. 강수일의 일평균 강수량은 '16.89mm/일'로 나타났으며, 7월 강수일의 일평균 강수에 '35.39mm/일'로 가장 높게, 1월의 일일 강수량은 '3.35mm/일'로 가장 낮게 나타났다. 한편 분석기간 동안 부산지역에 눈이 관측된 날은 2011년 2월 14일 하루로 나타났다(Korea Meteorological Administration, 2011; 2012).

Table 2에 제시된 부산지역의 일일 강수량은 부산지방기상청에서 수집된 자료로서 국지적 호우와 같은 강수량 자료가 추가 및 누락될 수 있으나, 일일 대중교통 수단별 승객수와 같은 집계형 자료를 다루는 본 연구의 특성 상 선행연구(Jung et al., 2011; Park and Lee, 2012; Kim and Jung, 2012)와 같이 부산지방기상청에서 수집된 강수량 자료를 부산지역의 일일 강수량 자료의 대표치로 선정하였다.

Table 1. Average daily ridership by transit mode and day of week

(unit : passengers/day)

Month	Bus			Metro			Shuttle Bus		
	Weekday	Weekend	Subtotal	Weekday	Weekend	Subtotal	Weekday	Weekend	Subtotal
1	1,400,863	908,816	1,234,202	525,561	365,279	471,272	186,623	110,150	160,721
2	1,431,059	947,494	1,269,871	557,164	384,969	499,766	185,537	114,787	161,954
3	1,594,102	1,108,620	1,445,325	602,882	426,465	548,819	217,987	144,334	195,416
4	1,587,642	1,142,768	1,446,766	599,811	453,847	553,589	219,696	152,190	198,319
5	1,602,801	1,168,211	1,455,601	608,330	461,178	558,489	223,873	148,613	198,382
6	1,575,051	1,103,094	1,425,598	576,317	431,749	530,537	217,768	147,700	195,580
7	1,505,057	1,034,019	1,360,707	546,009	401,663	501,774	207,026	137,608	185,752
8	1,441,557	1,030,339	1,322,171	526,627	390,048	486,975	198,565	135,226	180,176
9	1,610,526	988,794	1,403,282	587,904	387,914	521,241	227,047	132,229	195,441
10	1,591,886	1,107,109	1,427,687	589,066	465,185	547,106	223,239	148,765	198,014
11	1,569,945	1,095,327	1,443,380	601,396	465,699	565,210	219,674	141,790	198,905
12	1,485,186	1,052,638	1,338,678	585,885	467,495	545,785	203,147	132,418	179,191
Mean	1,533,237	1,056,667	1,381,334	575,517	425,096	527,572	210,961	137,004	187,388

Table 2. Summary statistics for daily precipitation by month during the two years

(unit : mm/day, days)

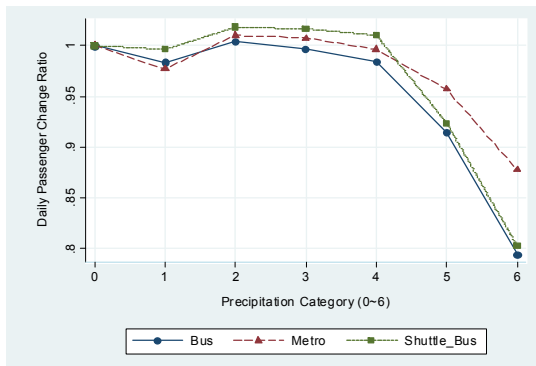
Statistics	Month												All
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Mean	3.25	6.20	15.78	16.52	10.85	14.83	35.39	9.63	29.49	32.11	11.79	12.14	16.89
St.Dev	3.24	9.03	26.90	24.37	15.96	21.18	65.43	13.30	28.08	41.95	14.42	27.90	31.63
Max.	7.5	36.5	101	105.5	61	87.5	245	51.5	74.5	130	48	106	245
n*	6	15	13	19	19	23	26	29	14	9	18	14	205

\* The number of days per month with measurable daily precipitation(0.1mm/day or greater)

**Table 3.** Daily ridership by precipitation category

Precipitation Category*	Average Daily Passengers			n (days)
	Bus	Metro	Shuttle Bus	
0	1,394,282	529,785	188,323	526
1	1,371,294	517,641	187,644	48
2	1,399,339	535,165	191,761	50
3	1,390,055	533,692	191,430	30
4	1,372,277	527,781	190,248	37
5	1,275,897	507,020	173,941	23
6	1,107,721	465,123	151,220	16

\* Daily Precipitation(P, mm/day) Class  
 0: 'P=0', 1: '0<P<1', 2: '1≤P<5', 3: '5≤P<10', 4: '10≤P<25',  
 5: '25≤P<50', 6: 'P≥50'



**Figure 1.** Change in ridership by precipitation category

일일 강수량과 대중교통 수단별 일일 승차 승객수의 관계를 보다 상세히 탐색하기 위해 본 연구에서는 기상청 강수량 예보급간(1-6)별 강수일과 비강수일(0)에 따른 각 대중교통 수단별 일일 승차 승객수의 평균값을 비교하였다(Table 3). 한편 강수가 눈일 경우 대중교통 이용 수요의 변동 특성이 달라질 수 있어 별도 분석이 요구되나 부산지역에서 신적설량이 관측된 일자는 분석기간 동안 하루에 불과해 이를 제외한 후 분석을 수행하였다.

Figure 1은 비강수일일 때의 각 대중교통수단별 일평균 승차 승객 수 대비 각 강수량 카테고리별 일평균 승차 승객수의 변동(ratio)을 나타낸다. 강수량에 따른 각 수단별 일평균 승차 승객수의 변동을 살펴보면 일일 강수량이 10mm 미만인 경우(Class 0, 1, 2, 3)에는 각 대중교통수단별 승차승객수의 감소가 두드러지지 않으나(랜덤변동), 일일 강수량이 10mm 이상일 경우(Class 4, 5, 6)부터는 각 대중교통 수단의 승차 승객 수는 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 강수량에 따른 승차 승객 수 감소폭은 시내버스와 마을버스에서는 두드러지게 나타났으나, 도시철도의 승차 승객수는 일일 강수량이 25mm 이상일 경우(Class 5, 6) 일일 평균 승차수요는

일일 강수량이 1mm 미만일 때의 일일평균 승차수요의 95-87% 수준으로 감소하는 것으로 나타나 도시철도의 승차 승객 수는 강수량 변화에 상대적으로 둔감하게 변화하는 것으로 나타났다.

### 강수량에 따른 대중교통 승객 수 변화

전술한 기초자료의 탐색결과, 부산의 각 대중교통 수단별 일일 승차 승객수는 요일별, 월별 변동(주중 증가 추세, 방학기간 감소추세)을 가지며, 강수량이 증가할 경우 감소추세를 갖는다는 것을 확인했다. 따라서 요일별, 월별 변동 및 강수량 조건에 따른 각 대중교통 수단별 승차 승객수의 변화를 분석할 필요가 있으며, 이 때는 연속형 변수인 일일 강수량 변수가 승차 승객 수에 주는 영향을 적절하게 고려해야 할 것이며 상호의존적인 특성을 갖는 각 대중교통 수단별 추정식을 동시에 추정하여 보다 효율적인 추정치를 얻어야 할 것이다. 따라서 본 장에서는 요일별, 월별 변동 및 강수량 변화가 부산의 대중교통 수단별 승차 승객 수에 주는 영향을 보다 효율적으로 추정하기 위한 모형에 대한 이론과 추정결과를 제시하였다.

### 1. SUR 모형

강수량, 요일, 월별 변동에 따른 각 대중교통 수단별 승객 수 분석을 위해 본 연구에서는 전술한 독립변수에 따른 3개의 대중교통 수단(버스, 도시철도, 마을버스)의 일일승객 수를 동시에 추정하는 Zellner의 SUR모형을 적용하였다. 이 방법은 각 대중교통수단별 추정 모형의 오차항이 동일시점에서 서로 상관성이 있다는 가정을 고려한 것으로, SUR 모형 적용은 각 대중교통수단별 추정식을 독립적으로 추정하는 것보다는 효율적인 추정량을 제공한다(Baum, 2006; Min and Choi, 2012). 예를 들어 SUR모형을 적용하면 여러 상품의 수요모형이나 여러 과목의 시험성적 모형별 오차항의 상관성을 고려하여 각 모형이 동시에 추정된다. 즉 어떤 개인이 다양한 상품을 소비할 때 특정 상품의 수요는 다른 상품의 수요와 상관관계가 있다고 볼 수 있으며, 이러한 동시적 상관관계의 가정 하에서 상품별 수요방정식을 추정하는 경우 SUR 모형을 적용하는 것이 타당하다(Min and Choi, 2012).

N개의 표본 중 i번째 개체가 가지고 있는 여러 변수

중 G개를 종속변수로 설정하면, G개의 회귀모형을 구축할 수 있고 각 모형의 회귀계수는 OLS(통상최소제곱, ordinary least square) 방법을 통해 독립적으로 추정할 수 있다(equation-by-equation OLS). 그러나 만약 G개의 회귀모형의 오차항이 상호 연관성이 있다면 GLS(일반최소제곱, generalized least square) 기법에 기반한 SUR모형 추정량은 OLS 추정량에 비해 보다 효율적(efficient)이며, SUR 모형의 적용은 G개의 모형에 포함된 동일한 독립변수의 회귀계수에 대한 교차방정식 제약(cross-equation parameter restriction)을 검증할 수 있다는 장점을 갖고 있다(Zellner, 1962; Greene, 2001; Cameron and Trivedi, 2005; Min and Choi, 2012).

즉 SUR 모형은 GLS 추정기법 적용을 G개의 종속변수를 가진 방정식체계로 확장한 개념인데, G개의 종속변수를 가진 i번째 개체의 방정식 체계는 식(1)과 같이 표현할 수 있다(Cameron and Trivedi, 2004).

$$\begin{bmatrix} y_{i1} \\ \vdots \\ y_{ig} \\ \vdots \\ y_{iG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{x}'_{ig} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{x}'_{iG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_g \\ \vdots \\ \beta_G \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{i1} \\ \vdots \\ \varepsilon_{ig} \\ \vdots \\ \varepsilon_{iG} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $y_{ig}$ 는 i번째 개체에 대한 g번째 모형의 종속변수의 값을,  $\mathbf{x}_{ig}$ 는 i번째 개체에 대한 g번째 모형의 외생변수(exogenous variables) 벡터를,  $\beta_g$ 는 g번째 모형에 포함된  $K_g$ 개의 외생변수에 대한  $K_g \times 1$  회귀계수 벡터를,  $\varepsilon_{ig}$ 은  $y_{ig}$ 에 대한 오차항을 의미한다. 식(1)에서 i번째 개체에 대한 G개의 방정식체계에 포함된 오차항이 상호 연관성이 있다면,  $E[\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij}|\mathbf{X}] = \sigma_{ij}$ 이고  $j \neq j'$  일 때  $\sigma_{ij} \neq 0$ 이다. 이 때 각 모형에 대한  $N \times 1$  오차항 벡터를  $\varepsilon_j$ 라고 정의( $j=1,2,\dots,G$ )하면  $E[\varepsilon_j|\mathbf{X}] = 0$ ,  $E[\varepsilon_j\varepsilon_j|\mathbf{X}] = \sigma_{ij}\mathbf{I}_N$ ,  $E[\varepsilon_j\varepsilon_{j'}|\mathbf{X}] = \sigma_{ij}\mathbf{I}_N$ ( $j \neq j'$ )이다.

따라서 전체 외생변수  $\mathbf{X}$ 에 대한 오차항의 조건부 공분산 행렬  $\Omega$ 는 식(2)와 같이 표현된다.

$$\Omega = E[\varepsilon\varepsilon'|\mathbf{X}] = \Sigma \otimes \mathbf{I}_N \quad (2)$$

여기서  $\Sigma$ 는 공분산  $\sigma_{ij}$ 를 요소로 갖는  $G \times G$  행렬을,  $\mathbf{I}_N$ 은  $N \times N$  항등행렬을,  $\otimes$ 는 두 행렬간의 크로네커 곱

(Kronecker product)을 의미한다.

전술한 상호연관성을 갖는 오차항으로 구성된 방정식 체계에 OLS 기법을 적용하면 회귀계수의 값은 일관성(consistency)은 가지나, 오차항간 상관관계의 존재로 인해 GLS 기법에 기반한 SUR 추정량이 보다 효율적(efficient)이며, 회귀계수의 SUR 추정량은 식(3)과 같이 표현된다.

$$\hat{\beta} = \{\mathbf{X}'(\Sigma^{-1} \otimes \mathbf{I}_N)\mathbf{X}\}^{-1} \{\mathbf{X}'(\Sigma^{-1} \otimes \mathbf{I}_N)\mathbf{y}\} \quad (3)$$

식(3)에서  $\Sigma$ ,  $\mathbf{I}_N$ ,  $\mathbf{X}$ 는 전술한 것과 같으며,  $\mathbf{y}$ 는 G개의 모형별 N개의 개체수를 가진 종속변수 벡터( $GN \times 1$ )을 의미하는데, SUR 추정량  $\hat{\beta}$ 은 먼저 공분산 행렬  $\Omega$ 을 오차항 간 상관관계를 가정하지 않는 OLS 추정을 통해 얻어진 잔차(residuals)를 이용하여 추정된 후 순차적으로 추정된다.

전술한 것과 같이 효율적인 추정량을 제공하는 SUR 모형의 또 다른 장점은 교차방정식 제약에 대해 가설검정이 가능하다는 것이다. 즉 G개의 방정식을 별도로 추정했을 경우에는 동일 외생변수 p에 대한 모수의 동일성 검정( $H_0: \beta_{1p} = \beta_{2p}$ , 모형 1, 2에서 추정된 외생변수 p의 회귀계수의 비교)을 수행하는 것은 어렵지만 SUR 모형을 적용하면 두 회귀계수의 제약조건을 식(4)에 제시한 t 검정통계량을 이용해 쉽게 검증할 수 있다.

$$t = \frac{\hat{\beta}_{1p} - \hat{\beta}_{2p}}{\sqrt{V(\hat{\beta}_{1p}) + V(\hat{\beta}_{2p}) - 2COV(\hat{\beta}_{1p}, \hat{\beta}_{2p})}} \quad (4)$$

한편 각 모형의 오차항간 상관관계에 대한 검정은 식(5)에 제시된 Breusch-Pagan 검정통계량  $\lambda$ 를 이용하여 수행할 수 있다. 오차항간 상관관계가 없다는 영가설은 자유도 'G(G-1)/2'를 갖는 카이제곱분포를 따르는 검정통계량  $\lambda$ 를 이용해 검정되며, 검정통계량  $\lambda$ 의 구성요소인  $r_{ij}$ 는 잔차를 이용한 상관계수  $\hat{\sigma}_{ij}/(\hat{\sigma}_{ii}\hat{\sigma}_{jj})^{1/2}$ 로 정의된다.

$$\lambda = N \sum_{i=1}^{G-1} \sum_{j=2}^G r_{ij}^2 \quad (5)$$

## 2. SUR 모형 추정결과

본 절에서는 강수량, 요일 및 월별 변동에 따른 3가지

대중교통수단별 승객 수에 대한 SUR 모형 추정결과 및 교차방정식 검정 결과를 제시하였다.

구체적으로 본 연구에서는 각 대중교통수단의 승차객 수의 감소가 강수량이 적을 때(일일 강수량 10mm 미만)는 미미하다는 기초자료 분석결과를 수용하여 각 분석일자를 강수량이 10mm 미만 일 때와 이상 일 때의 강수상태로 분류하여 강수량에 따른 각 대중교통수단별 승객수의 변화를 살펴보았다. 또한 주말(공휴일 포함) 및 초·중·고교 방학 기간(1월, 2월, 7월, 8월, 12월)에는 각 대중교통 승객수가 감소한다는 기초자료 분석결과를 반영하였다. 한편 강수가 눈일 경우 강수량이 대중교통 수요에 주는 영향은 별도 분석이 필요하나 전술한 것과 같이 부산지역은 눈이 내리는 날이 매우 드문 곳으로 신적설량이 관측된 일자(2011/02/14)의 자료는 본 분석에서 제외하였다.

먼저 SUR 모형 적용의 타당성을 살펴보기 위해 각

대중교통수단별 승객 수 추정모형의 오차항의 독립성을 Breusch-Pagan 검정을 통해 분석하였으며, 분석결과 두 모형 모두 오차항간 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다(잔차의 상관계수가 0이 아님). 따라서 전술한 동시적 상관관계를 고려하기 위해서는 각 대중교통수단별 승객 수를 동시에 추정하는 SUR 모형의 적용이 타당한 것으로 나타났으며, 강수량 급간에 따른 일종의 구간 SUR(piecewise SUR) 모형 추정결과는 Table 4와 같다.

일일 강수량이 10mm 미만일 때는 강수량에 따른 각 대중교통수단의 승객 수 변화는 유의하지 않은 것으로 분석되었다( $\alpha=0.1$ ). 이는 약간의 강수 시 부산의 버스, 도시철도, 마을버스 승객 수는 큰 변화가 없음을 나타낸다. 주중의 각 대중교통 수단의 승객 수는 주말(공휴일 포함) 및 방학기간에 비해 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 분석결과는 III장에서 제시한 기초자료 분석결과

Table 4. SUR modeling results

Mode/Variable	Daily Precipitation <10mm			GOF Statistics(P-value)
	Coefficient	Standard Error	P-value	
Ln(Daily Bus Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	0.0037	0.0042	0.381	$\chi^2 = 342.84$ (<0.001)
Day of Week Dummy*	0.2743	0.0148	<0.001	
Constant	14.0130	0.0097	<0.001	
Ln(Daily Metro Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	0.0032	0.0038	0.396	$\chi^2 = 301.82$ (<0.001)
Day of Week Dummy	0.2339	0.0135	<0.001	
Constant	13.0666	0.0088	<0.001	
Ln(Daily Shuttle Bus Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	0.0074	0.0052	0.160	$\chi^2 = 318.13$ (<0.001)
Day of Week Dummy	0.3314	0.0186	<0.001	
Constant	11.9783	0.0122	<0.001	
Breusch-Pagan Test of Independence : $\chi^2 = 1590.93$ (d.f. = 3, P-value<0.001)				
Mode/Variable	Daily Precipitation ≥10mm			GOF Statistics(P-value)
	Coefficient	Standard Error	P-value	
Ln(Daily Bus Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	-0.0017	0.0005	0.001	$\chi^2 = 47.55$ (<0.001)
Day of Week Dummy*	0.2324	0.0443	<0.001	
Constant	14.0234	0.0361	<0.001	
Ln(Daily Metro Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	-0.0010	0.0005	0.053	$\chi^2 = 35.44$ (<0.001)
Day of Week Dummy	0.2306	0.0450	<0.001	
Constant	13.0685	0.0367	<0.001	
Ln(Daily Shuttle Bus Passengers)				
Daily Precipitation(mm/day)	-0.0017	0.0006	0.005	$\chi^2 = 49.76$ (<0.001)
Day of Week Dummy	0.3054	0.0530	<0.001	
Constant	12.0021	0.0432	<0.001	

Breusch-Pagan Test of Independence :  $\chi^2 = 186.91$ (d.f. = 3, P-value<0.001)

\* 1: Weekdays; 0: Weekends, Holidays

를 입증한다.

한편 일일 강수량이 10mm 이상일 경우 부산의 모든 대중교통수단의 승객 수는 주중에 더 많고 강수량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다( $\alpha=0.1$ ). 이러한 분석결과는 10mm 이상의 강수 시 부산의 버스, 도시철도, 마을버스의 승객 수는 감소한다는 것이며, 이러한 일일 강수량 증가가 각 대중교통수단별 승객 수 감소에 미치는 영향은 강수량에 대한 회귀계수 값을 이용한 백분율비교( $\exp(\text{회귀계수})-1 \times 100$ )를 통해 설명할 수 있다. 구체적으로 일일 강수량이 10mm 이상일 때, 강수량 1mm 증가에 따른 각 대중교통 수단별 승객 수 변화율은 시내버스 -0.169%, 도시철도 -0.101%, 마을버스 -0.172%로 나타났다.

즉 이는 10mm 이상의 강수 시 부산의 모든 대중교통수단의 승객 수는 감소하나, 강수량 증가에 따른 도시철도 승객 수 변화는 상대적으로 둔감하다는 것을 의미한다. 이러한 분석결과를 통계적으로 검증하기 위해 일일 강수량이 10mm 이상일 때 강수량이 각 대중교통 수단별 승객 수에 미치는 영향의 동일성을 교차방정식 제약 검정을 통해 분석하였다. 교차방정식 제약검정은 전술한 것과 같이 SUR 모형 적용의 장점 중에 하나이며, 이를 통해 버스, 도시철도, 마을버스 승객 수 추정식에서 각각 추정된 강수량에 대한 회귀계수의 동일성을 검증하였다.

교차방정식 제약검정 결과 도시철도와 버스 및 마을버스 추정식의 강수량 회귀계수는 유의수준 0.05에서 서로 같다는 영가설을 기각하는 것으로 나타났으나, 버스와 마을버스 추정식의 강수량 회귀계수는 유의수준 0.1에서 서로 같다는 영가설을 기각하지 않는 것으로 나타났다(Table 5).

이러한 교차방정식 제약검정 분석결과는 일일 강수량이 10mm 이상일 때 강수량 증가에 따른 버스와 마을버스의 승객 수 감소효과는 통계적으로 동일하나, 강수량 증가에 따른 도시철도 승객 수의 감소는 상대적으로 둔감함을 입증한다. 즉 강수량이 많은 날 버스와 마을버스 승객이 느끼는 접근·대기·환승시간 동안 수반되는 불

편함은 도시철도 승객이 느끼는 불편함에 비해 커지고 이로 인해 강수량이 많은 날에는 버스와 마을버스 승객 수의 감소는 도시철도 승객 수 감소에 비해 커짐을 나타낸다.

한편 강수량에 따른 도시철도 승객 수 감소의 상대적 둔감도는 강수량이 많은 날 시내버스나 마을버스 승객의 도시철도로의 수단 전환효과로도 해석될 수 있다. 만약 10mm 이상의 강수가 내린 날 기존의 시내버스와 마을버스의 승객 모두가 도시철도로 수단을 전환했을 경우 강수량 변수의 회귀계수 값은 양의 값을 가져야 할 것이다. 그러나 본 분석결과 일일 강수량이 10mm 이상일 때 도시철도 승객 추정식의 강수량 변수의 값은 유의한 음의 값을 가져 부산의 대중교통 통행자는 10mm 이상의 강수가 내리면 접근, 대기, 환승에 불편이 있는 대중교통수단간 수단 전환보다는 좀 더 쾌적한 통행을 할 수 있는 승용차나 택시를 대체수단으로 선택하거나 통행을 포기하는 행태를 보인다고 판단된다.

## 결론 및 향후과제

부산 도심은 강수 시 극심한 혼잡을 겪으며, 이러한 현상은 비단 부산뿐 아니라 우리나라의 많은 대도시에서 빈번하게 관측된다. 강수 시 극심한 혼잡이 발생하는 이유는 기상조건의 악화로 인해 정지시거가 길어지고 이로 인한 차량의 감속행태에 기인한다고도 할 수 있다. 또 다른 측면의 해석은 비가 오거나 눈이 오면 대중교통수단 통행자가 좀 더 쾌적한 통행을 위해 승용차나 택시로 수단을 전환해 비대중교통수단 통행량 자체도 증가하기 때문이라고도 할 수 있다. 혹은 비가 오거나 눈이 오면 통행자채를 포기하는 경우도 있을 수 있다. 이처럼 비가 오거나 눈이 올 때 나타나는 도로상의 혼잡도 변화 현상은 여러 교통수단을 사용하는 사람들의 다양한 통행행태에 기인한다.

강수 시 발생하는 여러 교통현상에 대한 가설 중 본 연구는 강수 시 대중교통수단의 승객수가 감소한다는 연구 가설을 실증하기 위해 수행되었다. 이를 위해 본 연구는 최근 24개월(2011.01-2012.12) 동안 관측된 부산의 버스, 도시철도, 마을버스의 일일 승객 수와 일일 강수량의 관계를 SUR 모형을 적용하여 분석하였다. 본 연구에서 적용한 SUR 모형은 부산에서 운영 중인 세 가지 대중교통수단별 승객 수 추정모형이 상호연관성을 갖고 있을 때 보다 효율적인 추정치를 제공하며, 각 추정식에 포함된 회귀계수에 대한 교차방정식 제약검정을 수행할 수

**Table 5.** Parameter restriction test results

$H_0$	t-statistics	p-value
[Bus] $P^* =$ [Metro] P	9.41	0.0022
[Bus] P = [Shuttle] P	0.02	0.8838
[Metro] P = [Shuttle] P	4.91	0.0267

\* Coefficient Estimate of Daily Precipitation of each Mode



있게 하는 장점을 갖는다. 본 연구를 통해 도출한 결론은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 부산에서 운영 중인 대중교통 수단의 일일 평균 승객 수는 총 '2,096,294인/일'로, 시내버스 '1,381,334인/일(66%)', 도시철도 '527,572인/일(25%)', 마을버스 '187,388인/일(9%)'의 순으로 나타남.
- 각 대중교통 수단별 일일 평균 승객수는 주중에 더 많았으며, 초·중·고교 방학 기간(1월, 2월, 7월, 8월, 12월)에는 감소하는 것으로 나타남.
- 분석 기간 동안 부산지역의 강수일은 총 205일(약 28%)로 강수일의 일평균 강수량은 '16.89mm/일'로 나타났으며, 탐색적 자료분석 결과 일일 강수량이 10mm 미만일 때 각 대중교통 수단의 승객 수는 랜덤하게 변동하나, 일일 강수량이 10mm 이상일 때는 각 대중교통 수단의 승객 수는 감소하는 추세를 보임.
- 전술한 탐색적 자료분석 결과를 반영하여 각 분석 일자를 일일 강수량이 10mm 미만 일 때와 이상일 때로 분류하여 강수량과 주말 및 방학기간 더미 변수에 따른 각 대중교통수단별 승차객수의 변화를 SUR 모형을 적용하여 살펴보았음.
- SUR 모형 분석결과, 약간의 강수 시(일일 강수량 < 10mm)에는 부산의 버스, 도시철도, 마을버스 승객수에는 유의한 변화가 없는 것으로 나타났음.
- 그러나 일일 강수량이 10mm 이상일 때, 부산의 버스, 도시철도, 마을버스 승객 수는 강수량이 증가함에 따라 유의한 감소추세를 갖는 것으로 분석되었음(강수량 1mm 증가에 따른 각 대중교통 수단별 승객수 변화율: 시내버스 = -0.169%, 도시철도 = -0.101%, 마을버스 = -0.172%).
- 일일 강수량이 10mm 이상일 때 도시철도 승객 수 추정식의 강수량 계수는 버스나 마을버스 승객 수 추정식의 강수량 계수와 유의한 차이를 보였으며, 이는 강수량에 따른 도시철도 승객 수 감소가 버스와 마을버스의 승객 수 감소에 비해 둔감함을 나타냄.
- 이러한 분석결과는 10mm 이상의 강수 시 실외 접근 및 대기가 잦은 버스와 마을버스 이용객이 느끼는 불편함이 실내 대기 및 환승을 하는 도시철도 이용객에 비해 큼을 의미함(버스와 마을버스 이용객은 도시철도 이용객에 비해 강수량에 보다 민감하게 반응함).

- 강수량에 따라 상대적으로 둔감한 도시철도 승객 수 감소는 10mm 이상의 강수 시 버스와 마을버스 일부 이용객들이 도시철도로 수단을 전환한 결과로도 해석할 수 있으나, 도시철도 승객 수 추정식의 강수량 변수의 계수부호는 음수로 부산의 대중교통 수단 이용객들은 10mm 이상의 강수일에는 보다 편리한 승용차나 택시로 수단을 전환하거나 통행을 포기하는 경향이 있다고 판단됨.

본 연구는 강수조건이 부산의 세 가지 대중교통수단의 승객 수에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행되었으나, 본 분석은 현재 가용한 집계자료(일일 승객 수 및 일일 강수량)를 사용하여 강수조건에 따른 개인별 통행행태의 변화를 면밀히 고려하지 못한 한계가 있다. 따라서 향후에는 통합 대중교통 DB 구축을 통해 획득할 수 있는 교통카드 개별 자료를 이용한 통행행태의 분석에 대한 심층적인 연구가 필요할 것으로 판단된다(특히 다양한 강수 조건에 따른 통행자들의 출발시각 변경과 같은 통행행태에 대한 분석과 상수항으로만 처리된 일자별 특성을 세분화가 필요함). 한편 눈이 오는 날이 매우 드문 부산지역의 특성 상 본 연구에서는 강설량에 따른 대중교통수요의 변화를 제외한 후 분석을 수행하여 타 지역을 대상으로 유사 연구를 수행할 경우에는 강수조건을 보다 세분화할 필요가 있다. 또한 각 대중교통수단의 승객 수는 내생성(endogeneity)을 가지고 있어 연립방정식(simultaneous equation) 모형을 이용하여 강수량과 각 대중교통수단별 승객 수의 관계를 규명하는 것이 보다 합리적일 수 있다. 그러나 본 연구에서는 전술한 것과 같이 집계자료 의존에 따른 모형 식별(identification) 제약으로 인해 연립방정식 모형을 구축하지 못한 아쉬움이 있다. 따라서 향후에는 교통카드 개별통행 자료를 이용하여 강수량에 따른 개별통행의 변화 뿐 아니라 내생성으로 인한 문제도 극복할 수 있는 모형개발이 필요하며, 결과분석을 통한 실질적인 부산의 대중교통 수요 증대 방안의 도출이 요구된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP)(NRF-2010-0029446).

## REFERENCES

- Aaheim H. A., Hauge E. K. (2005), Impacts of Climate Changes on Travel Habits, A National Assessment Based on Individual Choices, Center for International Climate and Environmental Research, Blindern, Oslo.
- Baum C. F. (2006), An Introduction to Modern Econometrics Using Stata, Stata Press.
- Cameron A. C., Trivedi P. K. (2005), Microeconometrics: Methods and Applications, Cambridge University Press.
- De Palma A., Rochat D. (1999), Understanding Individual Travel Decision: Results From Commuters Survey in Geneva, Transportation, 26, 263-281.
- Greene W. H. (2001), Econometric Analysis, 5th edition, Prentice Hall.
- Guo Z., Wilson N. H., Rahbee A. (2008), Impact of Weather on Transit Ridership in Chicago, Illinois, Journal of the Transportation Research Board, 3-10.
- Jung H. Y., Song K. Y., Kim G. W. (2011), Analysis of Intra-city Bus Demand during Rainfall Using Ordered Probit Model, J. Korean Soc. Transp., 29(5), Korean Society of Transportation, 43-54.
- Khattak A. J. (1991), Driver Response to Unexpected Travel Conditions: Effect of Traffic Information and Other Factors. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois.
- Khattak A. J., De Palma A. (1997), The Impact of Adverse Weather Conditions on the Propensity To Change Travel Decisions: A Survey Of Brussels Commuters, Transportation Research A, 3, 181-203.
- Kim G. W., Jung H. Y. (2012), A Study on the Factors Affecting to Service Satisfaction of Intra-city Bus Users, J. Korean Soc. Civil Eng., 32(3D), Korean Society of Civil Engineers, 213-222.
- Korea Meteorological Administration (2011), 2011 Annual Climatological Report.
- Korea Meteorological Administration (2012), 2012 Annual Climatological Report.
- Min I. S., Choi P. S. (2012), Advanced Panel Data Analysis, The Korean Association of STATA, Jiphil Press.
- Nesse K. (2012), Impacts of Inclement Weather on Transit Ridership: A Minneapolis, MN Case Study, Unpublished Paper.
- Park K. Y., Lee S. B. (2012), A Study on the Effect of Adverse Weather Conditions on Public Transportation Mode Choice, J. Korean Soc. Civil Eng., 32(1D), Korean Society of Civil Engineers, 23-31.
- Saneinejad S., Roorda M. J., Kennedy C. (2012), Modelling the Impact of Weather Conditions on Active Transportation Travel Behaviour, Transportation Research Part D, 17, 129-137.
- Transit Cooperative Research Program Report 46 (1999), The Role of Transit Amenities and Vehicle Characteristics in Building Transit Ridership: Amenities for Transit Handbook and The Transit Design Game Workbook, Transportation Research Board.
- Zellner A. (1962), An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias, Journal of the American Statistical Association, 57(298), 348-368.

- ☞ 주 작 성 자 : 신강원
- ☞ 교 신 저 자 : 신강원
- ☞ 논문투고일 : 2013. 3. 4
- ☞ 논문심사일 : 2013. 6. 13 (1차)  
2014. 1. 13 (2차)  
2014. 2. 17 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 2. 17
- ☞ 반론접수기한 : 2014. 8. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필