

■ 論 文 ■

통행시간 신뢰성 가치 산정에 관한 연구

Values of travel time reliability

장 수 은

(한국교통연구원 국가교통물류전략연구본부 책임연구원)

강 지 혜

(한국교통연구원 철도교통연구실 연구원)

목 차

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 II. 방법론 III. 설문조사 <ul style="list-style-type: none"> 1. 조사의 개요 2. 설문지의 구성 및 내용 IV. 통행시간 신뢰성 가치 <ul style="list-style-type: none"> 1. 지역 간 통행 | <ul style="list-style-type: none"> 2. 도시부 통행 V. (예비)타당성조사 적용방안 <ul style="list-style-type: none"> 1. 개요 2. 도로의 통행시간 신뢰성 비용 3. 철도의 통행시간 신뢰성 비용 VI. 결론
참고문헌 |
|--|--|

Key Words : 신뢰성, 정시성, 한계대체율, 잠재선호, 선택실험법, 타당성조사
 Reliability, Punctuality, Marginal rate of substitution, Stated preference, Choice experiment, Transport appraisal

요 약

통행시간 신뢰성은 통행자가 예측하기 힘든 통행시간의 변동을 설명하는 개념이다. 그 동안 이 주제는 교통학의 주요 연구 분야 중 하나였다. 본 연구는 특히 신뢰성의 가치에 관하여 살펴본다. 가치 산정을 위한 방법론으로는 한계대체율법이 제안되며, 기초자료는 선택실험법을 이용하여 통행자의 잠재선호 자료를 구축한다. 조사된 자료를 이용하여 수단선택모형을 추정하며, 앞서 언급한 한계대체율법을 적용하여 신뢰성의 가치를 산정한다. 신뢰성의 가치는 통행권역에 따라 지역 간과 도시부 통행으로 나누고, 통행목적에 따라 업무와 비업무 통행으로 구분하여 제시된다. 본 연구의 결과가 도로 및 철도 투자사업의 신중한 의사결정에 일조할 수 있기를 기대한다.

The term, travel time reliability, refers to variations in journey time that travelers cannot predict. This issue has been one of the main research topics in transport studies. This paper, especially, investigates the value of travel time reliability. The marginal substitution rate method is suggested as the way for the valuation and travelers' stated preference data are collected based on a choice experiment. A mode choice model is estimated using the data surveyed. The parameters of travel costs and travel time reliability from the model are used to calculate the marginal substitution rate that is interpreted as the value of travel time reliability. The value is arranged by travel areas of intercity and urban trips and by journey purposes of working and non-working types. The result of this research is expected to be helpful of conducting more cautious economic feasibility studies of transport schemes.

I. 서론

통행시간 신뢰성(travel time reliability)은 통행자가 예측하기 힘든 통행시간의 변동을 설명하는 개념이다. 이 주제를 논의하기에 앞서 통행시간의 정시성(punctuality)과 신뢰성에 대한 개념정립이 필요하다. 철도 등 대중교통수단의 경우, 정시성은 편성시간표 대비 지연된 정도를, 신뢰성은 운행이 취소된 횟수를 의미한다(UK Strategic Rail Authority, 2003). 승용차 등 개인교통수단의 경우는 편성 시간표가 없고 통행 취소 등을 계량하기 어려우므로, 정시성이란 개념은 성립하기 힘들다. 개인교통수단의 통행시간에 대해서는 신뢰성이란 용어로 통행시간의 불확실성(uncertainty)이나 가변성(variability) 등을 설명(Cambridge Systematics Inc. et al., 2003; Emam and Al-Deek, 2006)할 수 있다. 본 연구에서는 통행시간 신뢰성을 대중교통수단 및 개인교통수단의 통행시간의 정시성과 신뢰성을 모두 포괄하는 개념으로 사용한다.

통행시간 신뢰성을 통행시간의 불확실성이나 가변성과 관련하여 정의하였으므로, 통행시간 절감과 관련된 지체(delay)와 신뢰성과 관련된 지체를 구분할 필요가 있다. 통행시간 절감과 관련된 지체는 혼잡 등에 의한 만성적 지체(recurrent delay)로서 일상생활에서 비교적 안정적으로 나타나므로(day-to-day delay) 통행자가 사전에 인지하고 있는 비용이다. 반면, 신뢰성과 관련된 지체는 돌발 상황(incident) 등의 예기치 못한 상황에 의해 초래되는 교통시설의 용량 감소로 나타나는 우연적 지체(non-recurrent delay)로서 통행자가 사전에 인지하지 못하는 비용이다(Bremmer et al., 2004; Cambridge Systematics Inc. et al., 2003).

그 동안 통행시간 신뢰성에 대하여 다양한 연구가 진행되었으나, 신뢰성을 측정할 수 있는 지표개발에 관한 부분과 신뢰성의 가치를 추정하는 연구가 주된 관심의 대상이었다. 본고는 이중 신뢰성의 가치 산정에 관한 내용을 논의한다. 이를 위하여 먼저 가치 산정을 위한 방법론을 검토한다. 다음으로 본 연구를 위해 수행된 통행자 설문조사를 개관하고, 이어서 통행시간 신뢰성 가치산정 결과를 제시한다. 이를 바탕으로 연구결과의 (예비)타당성조사 적용방안을 논의한다. 마지막 결론에서는 본 연

구의 성과, 한계 및 향후 연구과제를 도출한다. 단, 본 연구는 도로와 철도 등 육상 교통수단의 통행시간 신뢰성만을 연구대상으로 설정한다¹⁾.

II. 방법론

통행시간 신뢰성의 가치는 통행자의 지불용의액으로 추정할 수 있다. 여기서 지불용의액은 통행자가 통행시간 비신뢰성 1단위를 줄이기 위해 지불하고자 하는 금전적 가치로 정의할 수 있다.

지불용의액은 여러 가지 방법으로 측정할 수 있으나 가장 보편적인 접근법은 한계대체율법을 활용하는 것이다. 한계대체율법에서는 통상적으로 개별행태모형이 고려되며, 이를 위하여 통행자의 효용함수를 설정해야 한다.

$$U_i^m = V_i^m(C_i^m, R_i^m, T_i^m, \dots) + \epsilon_i^m \quad (1)$$

여기서, U_i^m , V_i^m , ϵ_i^m , C_i^m , R_i^m , T_i^m 은 각각 수단 m 을 이용하는 통행자 i 의 효용함수, 결정적 효용, 확률적 효용, 통행비용, 통행시간 신뢰성, 통행시간이다.

확률적 효용이 IID(independently and identically distributed) Gumbel 분포를 따른다고 가정할 경우 통행자 i 가 수단 m 을 선택할 확률 P_i^m 은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i^m = \frac{\exp(V_i^m)}{\sum_m \exp(V_i^m)} \quad (2)$$

식(2)의 효용함수를 선형으로 가정할 경우 한계대체율법에 의한 통행시간 가치 VOT와 통행시간 신뢰성 가치 VOR은 식(3)과 같이 산정할 수 있다.

$$VOT_i = \frac{\partial U_i / \partial T_i}{\partial U_i / \partial C_i}, \quad VOR_i = \frac{\partial U_i / \partial R_i}{\partial U_i / \partial C_i} \quad (3)$$

통행시간 신뢰성 가치를 추정한 국내 연구는 미미하며, 해외에서도 소수의 연구결과만이 발표되었다. 그러나 외국의 연구결과를 국내에 직접 적용하기는 곤란하

1) 도시부 통행과 달리 지역 간 통행에서는 육상교통수단 외에 항공과 해운을 고려할 수 있다. 그러나 두 수단의 여객 수송분담율은 전체 수위의 약 0.14%, 0.10% 수준으로 미미하므로(한국교통연구원, 2008a) 제외하였다.

〈표 1〉 통행시간 신뢰성 가치 산정의 해외 연구 사례

연구자	모형 ⁵	자료 형태	연구 지역	조사 기간	VOR/VOT
Small et al.(2005) ¹	ML	SP+RP	L.A.(US)	'99-'00	0.89-1.04
Lam and Small(2001) ²	MNL, JL,NL	RP	Orange(US)	'98	0.95-1.39
Bhat and Sardesai(2006) ³	MNL, ML	SP+RP	Austin(US)	'03-'04	0.38-0.95
Black and Towriss(1993) ⁴	-	-	-	-	0.55-0.70
Bates et al.(2001)	-	SP	London(UK)	'99	0.90
평균 값	-	-	-	-	0.83

주: 1. RP 표본 중앙값(median)(SP 자료는 신뢰성 단위가 USD/incident 이므로 비교 곤란)
 2. 남녀 평균값
 3. Flexible worker와 inflexible worker의 평균값
 4. Noland and Polak (2002)에서 인용
 5. ML=Mixed Logit; MNL=Multinomial Logit; JL=Joint Logit; NL=Nested Logit

다. 이는 연구 대상지역, 변수 구성, 적용 방법론이 상이하기 때문이다. 다만 해외 연구에서 VOR과 VOT의 비율을 비교적 일관되게 제시(〈표 1〉 참조)하고 있어, 국내 원단위를 산정할 경우 검증의 기준으로 활용할 수 있을 것이다.

III. 설문조사

1. 조사의 개요

통행시간 신뢰성 가치를 추정하기 위하여 2008년 3월 4일~2008년 3월 24에 걸쳐 주중/주말 통행자 설문 조사를 실시하였다. 조사의 주된 목적은 통행시간 신뢰성에 대한 통행자의 잠재선호(stated preference) 자료를 구축하기 위함이며, 1대1 개별면접조사를 원칙으로 하였다(〈표 2〉 참조).

지역 간 조사는 승용차, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도 등 4개 교통수단 통행자 중 서울을 기·종점으로 경부축은 천안, 대전, 대구, 부산 구간의 이용자를, 호남축은 익산, 광주, 목포 구간의 이용자를, 동서축은 원주, 강릉(정동진) 구간의 이용자를 대상으로 실시하였다. 도시부 조사는 강남을 기·종점으로 신촌 및 종로 구간의 승용차, 택시, 버스, 전철/지하철 이용자를 대상으로 실시하였다.

〈표 2〉 통행시간 신뢰성 가치 조사 개요

구분	지역 간 조사	도시부 조사
조사기간	· 2008년 3월 4일 ~ 2008년 3월 24일	
조사목적	· 통행시간 신뢰성에 대한 잠재선호자료 구축	
조사대상	· 승용차, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도 이용자	· 승용차, 택시, 버스, 전철/지하철 이용자
조사방법	· 1대 1 개별 면접조사	
조사지점	· 승용차 : 고속도로 휴게소 · 고속/시외버스 : 터미널 · 고속/일반철도 : 역	· 강남, 종로 및 신촌 역 부근

2. 설문지의 구성 및 내용

설문지는 크게 두 부분으로 구성하였다. 첫째, 성별, 연령, 소득, 자가용 보유대수 등 통행자의 사회·경제적 특성을 조사한 기초자료조사 부분과 둘째, 예상치 못한 지체시간에 관한 잠재선호조사 부분으로 구성하였다(〈표 3〉 참조). 서론에서 언급한 바와 같이 예상치 못한 추가 지체, 즉 우연적 지체는 통행시간의 신뢰성과 관련된다.

잠재선호조사는 선택실험법을 바탕으로 수행되었다. 잠재선호조사 방법은 다양하게 분류될 수 있으나, 많은 연구에서 조건부가치추정법(CVM: Contingent Valuation Method)와 선택실험법(CE: Choice Experiment)으로 구분하고 있다. 조건부가치추정법은 가상적·실험적 시장상황에 대한 응답자의 지불용의액을 질문하거나 제시된 가격에 대한 용인의사액(willingness-to-accept)을 조사하는 방법이다. 반면, 선택실험법은 통계적 실험 계획법을 통한 가상의 시나리오를 제시하고, 이를 통해 개인의 선호를 간접적으로 찾는 방법이다(Fowkes and Wardman, 1988).

일반적으로 평가하고자 하는 항목이 응답자에게 특정 대상을 설명하는 속성변수 중 하나로 인지될 경우 선택실험법이 보다 유용할 수 있으며, 특정 대상 전체를 고려할 경우 조건부가치추정법이 보다 적절한 접근법일 수 있다. 이는 선택실험법이 속성변수의 수준변화에 따른 소비자 지불용의액의 민감도를 평가하기에 효율적인 반면 조건부가치추정법은 평가 대상 전체에 대한 지불용의액 또는 용인의사액을 직접 조사하는 방법이기 때문이다.

〈표 3〉 설문지 구성 및 내용

구분	내용
기초자료조사	· 성별, 연령, 자가용 보유대수, 소득 등
잠재선호조사	· 예상치 못한 지체시간에 대한 잠재선호

〈표 4〉 선택실험법 예시(도시부 조사)

구분	승용차	택시	버스	전철/지하철
차내시간	37분	37분	55분	40분
통행비용	7,500원	13,500원	900원	1,100원
배차간격	-	-	8분	4분
접근 및 대기시간	-	5분	11분	12분
예상치 못한 추가 지체	5분	5분	5분	1분
귀하의 선택은?				

본 연구의 연구대상인 통행시간 신뢰성은 통행시간이나 통행비용처럼 응답자에게 특정 교통수단의 속성을 설명하는 한 요소로 인식된다. 따라서 본고는 선택실험법을 바탕으로 교통수단별 통행시간, 통행비용, 배차간격, 접근 및 대기시간, 우연적 지체시간 등에 대한 시나리오를 제시하고, 응답자가 자신의 선호를 표현하도록 하였다(〈표 4〉 참조).

선택실험법을 적용할 경우 중요한 고려요소 중 하나는 속성변수의 수준설정이다. 본 연구의 지역 간/도시부 조사는 모두 4개 수단을 고려하므로, 모든 속성변수의 수준에 변화를 줄 경우 설문조합이 방대해짐은 물론 응답후손을 초래해 조사결과의 신뢰도 저하로 이어질 수 있다. 따라서 본 조사에서는 연구대상 변수인 '예상치 못한 추가 지체'에만 수준변화를 고려하고(〈표 5〉, 〈표 6〉 참조), 나머지 변수는 한국교통연구원(2008b, 2008c)의 조사결과를 기·중점별로 적용하였다.

우연적 지체에 대한 수준은 장수는 외(2008)의 모형을 바탕으로 4단계로 설정하였다. 비록 본 조사에서 우연적 지체에만 수준변화를 적용하였지만, 4개 수단을 고려하므로 전체 설문조합수(완전배치 요인설계, full factorial design)는 4⁴개에 이르는 방대한 수준이다.

〈표 5〉 추가 지체시간 수준(도시부 조사)

기중점	교통수단	추가 지체시간 수준(분)			
		1수준	2수준	3수준	4수준
신촌-강남	승용차	3	5	10	15
	택시	3	5	10	15
	버스	5	10	15	20
	전철/지하철	0	1	3	5
종로-강남	승용차	3	5	10	15
	택시	3	5	10	15
	버스	3	5	10	15
	전철/지하철	0	1	3	5

〈표 6〉 추가 지체시간 수준(지역 간 조사)

통행구간	교통수단	추가 지체시간 수준(분)				
		1수준	2수준	3수준	4수준	
경부축	서울-천안	승용차	3	5	10	15
		고속/시외버스	3	5	10	15
		고속철도	0	1	3	5
		일반철도	0	1	3	5
	서울-대전	승용차	5	10	15	20
		고속/시외버스	5	10	15	20
		고속철도	0	1	3	5
		일반철도	0	1	3	5
	서울-대구	승용차	10	20	30	40
		고속/시외버스	10	20	30	40
		고속철도	0	3	5	10
		일반철도	0	3	5	10
서울-부산	승용차	15	30	40	50	
	고속/시외버스	15	30	40	50	
	고속철도	0	3	5	10	
	일반철도	0	3	5	10	
호남축	서울-대전	승용차	5	10	15	20
		고속/시외버스	5	10	15	20
		고속철도	0	1	3	5
		일반철도	0	1	3	5
	서울-익산	승용차	10	15	20	25
		고속/시외버스	10	15	20	25
		고속철도	0	3	5	10
		일반철도	0	3	5	10
	서울-광주	승용차	10	20	30	40
		고속/시외버스	10	20	30	40
		고속철도	0	3	5	10
		일반철도	0	3	5	10
서울-목포	승용차	15	30	40	50	
	고속/시외버스	15	30	40	50	
	고속철도	0	3	5	10	
	일반철도	0	3	5	10	
동서축	서울-원주	승용차	5	10	15	20
		고속/시외버스	5	10	15	20
		일반철도	3	5	7	10
	서울-강릉	승용차	10	20	30	40
고속/시외버스	10	20	30	40		
일반철도	10	20	30	40		

이를 모두 설문할 경우 응답자의 피로를 유발하고 응답 오차가 발생하여 설문 효율이 저하될 수 있다. 본 연구에서는 부분배치 요인설계(fractional factorial design)를 이용하여 질문의 수는 줄이되 속성변수 간 효과는 최대한 고려할 수 있는 방법을 채택하였다. 이를 위하여 SPSS의 'Orthogonal Design' 모듈이 활용되었다. 부분배치 요인설계를 이용하여 추출된 시나리오를 무작위로 4개씩 묶어 4가지 유형의 설문지를 구성하고, 각 유형은 응답자에게 무작위로 제공되었다.

IV. 통행시간 신뢰성 가치

본 장에서는 제III장에서 언급한 선택실험법으로 구축한 자료를 바탕으로 수단선택모형을 추정하고, 제II장에서 논의한 한계대체율법을 적용하여 통행시간 신뢰성 가치를 산정한다. 수단선택모형은 통행권역에 따라 지역간과 도시부 모형으로 구분하고, 통행목적에 따라 업무와 비업무통행으로 분류한다. 단, 도시부 통행의 경우 모형의 통계적 유의성을 확보하기 위하여 업무/비업무통행을 통합한 모형을 제시한다.

1. 지역 간 통행

1) 변수 및 자료

지역 간 업무통행의 변수로는 수단특성상수(Alternative Specific Constants), 일반변수(Generic Variables), 수단특성변수(Alternative Specific Variables)을 고려하였다. 먼저, 수단특성상수는 승용차, 고속/시외버스, 고속철도에 적용하고, 다음으로 일반변수는 통행비용, 통행시

간, 통행시간 신뢰성을 고려하고, 마지막으로 수단특성변수는 승용차 보유대수, 소득 더미를 포함하였다(〈표 7〉 참조).

통행비용의 경우 승용차는 통행료와 유류비의 합을, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도는 운임과 출발 및 접근비용의 합을 반영하였다. 통행시간의 경우 승용차는 차내시간을, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도는 차내시간과 출발 및 도착 접근시간의 합을 적용하였다. 통행시간 신뢰성은 제III장에서 기술한 바와 같이 수단별 예상치 못한 지체시간을 적용하였다. 승용차 보유대수는 승용차에 대해서 응답자의 차량보유대수를 적용하였다. 소득 더미는 고속철도에 대해서 500만원 이상의 고소득은 1, 나머지는 0을 적용하였다(〈표 7〉 참조).

지역 간 비업무통행의 변수 및 입력자료는 업무통행과 수단특성상수 및 일반변수의 구성은 동일하다. 그러나 수단특성변수의 경우, 승용차 보유대수는 고려하지 않았고, 고소득 더미는 승용차와 고속철도에 함께 적용하였다(〈표 8〉 참조). 이러한 차이는 최적모형 구축을 위한 경험적 시행착오(rial-and-error), 즉 모형정산(calibration) 과정에서 기인한 것이다.

〈표 7〉 지역 간 업무통행의 수단선택모형 추정을 위한 변수 및 입력자료

구분	변수명	입력자료			
		승용차	고속/시외버스	고속철도	일반철도
β_1	Auto specific constant	1	0	0	0
β_2	Bus specific constant	0	1	0	0
β_3	KTX specific constant	0	0	1	0
β_4	Total travel time	차내시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간
β_5	Total travel costs	통행료 + 유류비	운임 + 출발/도착 접근비용	운임 + 출발/도착 접근비용	운임 + 출발/도착 접근비용
β_6	Travel time reliability	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간
β_7	Number of cars	승용차 보유대수	0	0	0
β_8	Income dummy	0	0	1 (500만원/월 이상)	0

〈표 8〉 지역 간 비업무통행의 수단선택모형 추정을 위한 변수 및 입력자료

구분	변수명	입력자료			
		승용차	고속/시외버스	고속철도	일반철도
β_1	Auto specific constant	1	0	0	0
β_2	Bus specific constant	0	1	0	0
β_3	KTX specific constant	0	0	1	0
β_4	Total travel time	차내시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간	차내시간 + 출발/도착 접근시간
β_5	Total travel costs	통행료 + 유류비	운임 + 출발/도착 접근비용	운임 + 출발/도착 접근비용	운임 + 출발/도착 접근비용
β_6	Travel time reliability	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간
β_7	Number of cars	-	-	-	-
β_8	Income dummy	1 (500만원/월 이상)	0	1 (500만원/월 이상)	0

2) 통행시간 신뢰성 가치

통행시간 신뢰성 변수를 고려한 지역 간 업무통행의 수단선택모형 추정결과는 <표 9>와 같다. 모형추정에는 지역 간 통행자 유효표본 325명의 4개 교통수단(승용차, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도)에 대한 잠재번호 조사 자료가 이용되었다. 이 자료의 관찰점 수는 총 1,300개이며(1인당 4개의 SP 설문조사), 이때 동서측 통행자의 경우 선택대안을 세 가지(승용차, 고속/시외버스, 일반철도)로 제시하였다.

우도비(ρ^2)가 0.2158 수준으로 산정되어 모형의 전반적 검정력은 양호한 수준이다. 설명변수의 부호는 통행 비효율 변수(통행시간, 통행비용, 통행시간 신뢰성)는 음(-)의 부호로, 자동차 보유대수 및 고소득 더미는

양(+)의 부호로 추정되어 직관적 상식과 일치하였다. 또한 모든 변수가 참값(true value)이 '0'이라는 귀무가설을 10% 이하의 유의수준에서 기각하여 설명변수의 t-통계량은 통계적 유의성을 확보하고 있다.

지역 간 비업무통행의 수단선택모형 추정결과는 <표 10>과 같다. 모형추정에는 유효표본 727명의 4개 교통수단(승용차, 고속/시외버스, 고속철도, 일반철도)에 대한 잠재번호 조사자료가 이용되었다. 1인당 4개의 SP 설문이 조사되어 총 관찰점 수는 2,908개이며, 동서측 통행자의 경우 선택대안을 세 가지(승용차, 고속/시외버스, 일반철도)로 제시하였다.

우도비(ρ^2)가 0.2864로 모형의 전반적 검정력은 양호한 수준이며 업무통행 대비 약 33%(0.0706) 가량

<표 9> 지역 간 업무통행의 수단선택모형 추정결과

Variable	Variable name	Coefficient estimate	Standard error	t-statistic
β_1	Auto specific constant	-0.9607	0.2549	-3.7689***
β_2	Bus specific constant	-1.1768	0.1098	-10.7149***
β_3	KTX specific constant	0.2482	0.1155	2.1486**
β_4	Total travel time	-0.0040	0.0022	-1.8111*
β_5	Total travel costs	-0.0023	0.0004	-5.7331***
β_6	Travel time reliability	-0.0031	0.0023	-1.7289*
β_7	Number of cars	0.2687	0.1287	2.0874**
β_8	Income dummy	0.7674	0.1467	5.2330***
Summary Statistics				
Number of observations = 1,300				
$L(0) = -1.802.1827$				
$L(\hat{\beta}) = -1.413.2141$				
$\rho^2 = 0.2158$				
$\bar{\rho}^2 = 0.2142$				

* 10% 유의수준: ** 5% 유의수준: *** 1% 유의수준

<표 10> 지역 간 비업무통행의 수단선택모형 추정결과

Variable	Variable name	Coefficient estimate	Standard error	t-statistic
β_1	Auto specific constant	-1.7960	0.1625	-11.0512***
β_2	Bus specific constant	-1.4852	0.0672	-22.0990***
β_3	KTX specific constant	0.2608	0.0837	3.1171**
β_4	Total travel time	-0.0041	0.0018	-2.2497**
β_5	Total travel cost	-0.0074	0.0004	-18.1176***
β_6	Travel time reliability	-0.0034	0.0018	-1.8654*
β_7	Number of cars	-	-	-
β_8	Income dummy	0.3372	0.0821	4.1084***
Summary Statistics				
Number of observations = 2,908				
$L(0) = -4.031.3440$				
$L(\hat{\beta}) = -2.876.7035$				
$\rho^2 = 0.2864$				
$\bar{\rho}^2 = 0.2858$				

* 10% 유의수준: ** 5% 유의수준: *** 1% 유의수준

높게 산정되었다. 설명변수의 부호는 통행 비효용 변수(통행시간, 통행비용, 통행시간 신뢰성)은 음(-)의 부호로, 고소득 더미는 양(+)의 부호로 추정되어 직관적 상식과 일치하였다. 또한 모든 변수가 참값(true value)이 '0'이라는 귀무가설을 10% 이하의 유의수준에서 기각하여 설명변수의 t-통계량은 통계적 유의성을 확보하는 것으로 나타났다.

〈표 11〉은 지역 간 통행의 통행시간 신뢰성 가치를 정리한 것이다. 산출된 값의 적정성을 검토하기 위하여 제Ⅲ장에서 논의한 바와 같이 VOR/VOT 비를 계산하였다. VOR/VOT 비는 업무통행은 0.77, 비업무통행은 0.82로 나타나, 〈표 1〉에서 제시한 해외사례 평균(0.83)과 유사한 수준이다.

〈표 11〉 통행시간 신뢰성 가치(지역 간, 2008년 기준가격)
(단위 : 원/인·시)

구분	업무통행	비업무통행
VOT(A)	10,435	3,320
VOR(B)	8,087	2,714
B/A	0.77	0.82

〈표 12〉 도시부 통행의 수단선택모형 추정을 위한 변수 및 입력자료

구분	변수명	입력자료		
		승용차	버스	전철/지하철
β_1	Auto specific constant	1	0	0
β_2	Bus specific constant	0	1	0
β_3	Total travel time	차내시간	차내시간+ 접근 및 대기시간	차내시간+ 접근 및 대기시간
β_4	Total travel costs	유류비+운영비+보험료+ 제세공과금	운임	운임
β_5	Travel time reliability	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간	예상치 못한 지체시간

〈표 13〉 도시부 통행의 수단선택모형 추정결과

Variable	Variable name	Coefficient estimate	Standard error	t-statistic
β_1	Auto specific constant	4.6170	0.8657	5.3332***
β_2	Bus specific constant	1.6355	0.7971	2.0517**
β_3	Total travel time	-0.2217	0.0555	-3.9906***
β_4	Total travel costs	-0.1498	0.0221	-6.7683***
β_5	Travel time reliability	-0.2080	0.0151	-13.7368***

Summary Statistics

Number of observations = 2,376

$L(0) = -2,608.1056$

$L(\hat{\beta}) = -1,067.2548$

$\rho^2 = 0.5908$

$\hat{\rho}^2 = 0.5904$

* 10% 유의수준; ** 5% 유의수준; *** 1% 유의수준

2. 도시부 통행

1) 변수 및 자료

도시부 통행의 통행시간 신뢰성 가치 산정을 위한 조사는 4개 수단(승용차, 택시, 버스, 지하철/전철) 이용자를 대상으로 업무/비업무 통행을 구분하여 시행하였다. 그러나 변수와 모형의 통계적 유의성을 확보하는 과정에서 택시를 제외한 3개 수단의 업무/비업무 통행을 통합한 수단선택모형을 추정하였다.

수단특성상수는 승용차와 버스에 반영하고, 일반변수로 통행비용, 통행시간, 통행시간 신뢰성을 고려하였다. 특히 승용차의 통행비용으로는 유류비, 운영비, 보험료, 제세공과금 등을 포함하였다(〈표 12〉 참조).

2) 통행시간 신뢰성 가치

도시부 통행자 유효표본 297명의 3개 교통수단(승용차, 버스, 지하철/전철)에 대한 통행시간 신뢰성을 고려한 수단선택모형 추정결과는 〈표 13〉과 같다. 1인당 업무 4개, 비업무 4개의 SP 설문조사되어 총 관찰집수는 2,376개이다.

〈표 14〉 통행시간 신뢰성 가치(도시부, 2008년 기준가격)
(단위 : 원/인·시)

구분	신뢰성 가치
VOT(A)	8,878
VOR(B)	8,328
B/A	0.94

〈표 15〉 도로의 통행시간 신뢰성 지표 원단위
(단위 : 초/km)

구분	신뢰성 지표 함수
지역 간 통행	$R = -3E - 06Q^2 + 0.008Q + 1.2392$
도시부 통행	연속류 $R = -9E - 06Q^2 + 0.0241Q + 0.0095$
	단속류 $R = -6E - 05Q^2 + 0.08Q + 8.8117$

주 : R=초/km, Q=대/시·차로
자료 : 장수은·강지혜·이승준(2008)

우도비(ρ^2)가 0.5908 수준으로 모형의 전반적 검정력은 매우 양호한 수준이다. 설명변수의 부호 또한 통행비용 변수(통행시간, 통행비용, 통행시간 신뢰성)이 음(-)의 부호로 추정되어 직관적 상식과 일치하였다. 또한 모든 변수가 참값이 '0'이라는 귀무가설을 5% 이하의 유의수준에서 기각하여 설명변수의 t-통계량은 통계적 유의성을 확보하고 있다.

〈표 14〉는 도시부 통행의 통행시간 신뢰성 가치를 산정한 결과이다. 도시부 통행자의 통행시간 신뢰성 원단위는 8,328원/인·시로 추정되었다. VOR/VOT 비는 0.94로 나타나 지역 간 통행에 비해 높은 수준이다. 이는 도시부 통행이 지역 간 통행에 비해 절대 통행시간이 짧고, 당일 통행이 대부분이어서 통행시간 신뢰성에 대한 지불용의액이 상대적으로 높기 때문인 것으로 추론된다.

V. (예비)타당성조사 적용방안

1. 개요

본 장에서는 선행연구(장수은 외, 2008)와 연계하여 본 연구의 결과를 (예비)타당성조사에 적용하기 위한 방

〈표 16〉 도로의 차종별 통행시간 신뢰성 가치 원단위(지역 간 통행, 2008년 기준가격)

구분	승용차		버스			화물차
	업무	비업무	운전자	업무	비업무	업무
통행목적비율(%) ¹⁾	28.6	71.4	100.0	15.0	85.0	100.0
재차인원(인) ¹⁾	0.445	1.112	1.000	1.497	8.483	1.000
신뢰성 가치(원/인·시)	8,087	2,714	8,087	8,087	2,714	8,087
차량 당 목적별 신뢰성 가치(원/대·시)	3,599	3,018	8,087	12,106	23,023	8,087
차량 당 신뢰성 가치(원/대·시)	6,617		43,216			8,087

1) 한국교통연구원(2008c)

안을 논의한다. 통행시간 신뢰성 편익은 사업시행시와 미시행시의 도로와 철도 이용자의 통행시간 신뢰성 비용을 각각 계산하고, 총신뢰성 비용의 절감분을 편익으로 계상한다.

$$TRCS = TRC_{\text{미시행}} - TRC_{\text{시행}} \quad (4)$$

$$s.t. TRC = (R_h \times P_h \times Q_h) + (R_r \times P_r \times Q_r)$$

여기서, TRCS는 통행시간 신뢰성 편익(travel time reliability cost savings), TRC는 통행시간 신뢰성 비용(travel time reliability costs), R은 신뢰성 지표, P는 신뢰성 가치, Q는 교통수요, h와 r은 각각 도로와 철도를 나타내는 지시변수이다.

2. 도로의 통행시간 신뢰성 비용

도로의 통행시간 신뢰성 지표는 지역 간 통행과 도시부 통행을 분리하되, 도시부 통행은 다시 연속류와 단속류로 나뉜다. 신뢰성 지표는 현행 (예비)타당성조사의 교통수요분석과의 연계를 위하여 '대·km' 단위의 원단위로 고려한다(〈표 15〉 참조).

도로의 통행시간 신뢰성 가치 또한 현행 (예비)타당성조사의 교통수요분석과의 연계를 위하여 차량 1대당 가치로 환산되어야 한다. 이를 위하여 통행목적비율 및 평균 재차인원 자료를 이용한다(〈표 16〉, 〈표 17〉 참조).

시간당 도로의 통행시간 신뢰성 비용은 도로의 통행시간 신뢰성 지표/가치 원단위를 바탕으로 식(5)와 같이 산정한다. 이를 바탕으로 침투/비침투의 지속시간 및 비

〈표 17〉 도로의 차종별 통행시간 신뢰성 가치 원단위(도시부 통행, 2008년 기준가격)

구분	승용차	버스	화물차
재차인원(인) ¹⁾	1.37	15.4	1.0
신뢰성 가치(원/인·시)	8,328	8,328	8,328
차량 당 신뢰성 가치(원/대·시)	11,409	128,251	8,328

1) 한국교통연구원(2008c)

중을 고려하여 1일 편익을 산출하고, 여기에 365를 곱하여 연간 통행시간 신뢰성 비용을 산정할 수 있다.

$$TRC_h = \sum_l \sum_{k=1}^3 \left\{ \left(\frac{1}{3,600} \times R_l^k \right) \times P^k \times D_l \cdot Q_l^k \right\} \quad (5)$$

여기서 R_l 은 링크 l 의 통행시간 신뢰성 지표(초/km), P^k 는 차종 k 의 통행시간 신뢰성 가치(원/대·시), D_l 은 링크 l 의 길이(km), Q_l^k 은 링크 l 의 차종 k 의 교통량(대/시), k 는 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)이다.

3. 철도의 통행시간 신뢰성 비용

철도의 통행시간 신뢰성 지표는 지역 간과 도시부 통행을 구분하되, 지역 간은 다시 고속철도와 일반철도(새마을호 및 무궁화호)로 나뉜다(〈표 18〉 참조).

철도의 통행시간 신뢰성 가치는 현행 (예비)타당성조사의 교통수요분석과의 연계를 위하여 ‘인·km’ 단위의 원단위로 제시한다. 이를 위하여 지역 간 통행의 경우 업무/비업무 가치의 통행목적비율에 따른 가중평균값을 산정하여야 한다(〈표 19〉 참조).

시간당 철도의 통행시간 신뢰성 비용은 식(6)과 같이 산정한다. 이를 바탕으로 침두/비침두의 지속시간 및 비중을 고려하여 1일 편익을 산출하고, 여기에 365를 곱하여 연간 통행시간 신뢰성 편익을 산정할 수 있다.

$$VOR_r = \sum_l \sum_{k=1}^3 \left\{ \left(\frac{1}{3,600} \times R_l^k \right) \times P^k \times D_l \cdot Q_l^k \right\} \quad (6)$$

여기서, R_l^k 은 링크 l 의 열차등급 k 의 통행시간 신뢰성 지표(초/km), P^k 은 열차등급 k 의 통행시간 신뢰성 가치(원/인·시), Q_l^k 은 링크 l 의 열차등급 k 의 교통량

〈표 18〉 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위

구분		원단위(초/km)
지역 간 통행	고속철도	0.268
	일반철도	0.384
도시부 통행	광역 및 도시철도	2.303

자료 : 장수은·강지혜·이승준(2008)

〈표 19〉 철도의 통행시간 신뢰성 가치 원단위(2008년 기준가격)

구분	고속철도		일반철도		광역/도시철도
	업무	비업무	업무	비업무	
통행목적비율(%) ¹⁾	38.4	61.6	17.5	82.5	100.0
신뢰성 가치(원/인·시)	8,087	2,714	8,087	2,714	8,328
가중평균 신뢰성 가치(원/인·시)	4,777		3,654		8,328

1) 한국교통연구원(2008b)

(인/시), D_l 은 링크 l 의 길이(km), k 는 차종(1: 고속철도, 2: 일반철도, 3: 광역/도시철도)이다.

VI. 결론

지금까지 통행시간 신뢰성 가치 산정에 관한 내용은 논의하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 통행시간의 신뢰성은 통행자가 예측하기 힘든 통행시간의 변동성이나 불확실성을 설명하기 위한 개념이다. 그 동안 통행시간 신뢰성은 교통학의 주요 연구 주제 중 하나로 간주되어 왔으나, 관련 연구성과는 여전히 미흡하다는 것이 일반적인 인식일 것이다. 본 연구는 특히 통행시간 신뢰성의 가치산정과 관련하여 이 주제를 심도있게 검토하였다. 우선 신뢰성의 가치 산정을 위한 방법론으로 한계대체율법을 제시하였다. 한계대체율법은 통행자의 지불용의액을 추정하기 위한 가장 보편적인 방법론의 하나로서 통행비용과 통행시간 신뢰성의 대체관계로 지불용의액을 추정하는 접근법이다. 다음으로 통행시간 신뢰성에 대한 통행자의 잠재선호 자료를 조사·구축하였다. 조사는 지역 간과 도시부 통행에 대해서 주중/주말 통행자를 대상으로 실시되었으며, 선택실험법을 바탕으로 1대1 면접 조사로 이뤄졌다. 이어서 구축된 자료를 이용하여 통행자 수단선택모형을 추정하고, 앞서 언급한 한계대체율법을 활용하여 통행시간 신뢰성 가치를 산정하였다. 추정된 신뢰성 가치의 통행시간가치 대비 비율은 해외 관련 연구와 일관성을 확보하고 있다.

그러나 신뢰성의 가치를 수단별로 제시하고 않고 일반변수로 처리한 것은 아쉬운 부분이며, 이와 관련한 향후 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 도시부 통행의 신뢰성 가치를 업무/비업무로 구분하여 산정하는 후속 연구도 수행되어야 할 것이다. 사실 업무/비업무 통행의 구분은 교통학계의 보편적 시장분할 기준이다. 제IV장의 모형설정 과정에서도 이러한 인식을 바탕으로 본 연구의 시장분할 기준을 제시하였다. 그러나 본 논문이 통행시간 신뢰성 가치 산정과 관련한 사실상의 첫 번째 국내연구임을 고려할 때 Cox-검정(1962) 등을 활용한 시장분

할의 적정성 검토 작업도 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 (예비)타당성조사에 통행시간 신뢰성 편익을 반영하기 위하여, 신뢰성 지표 개발 연구(장수은·이승준·강지혜, 2008)에 이은 후속연구로 추진되었다. 제 V장에서 살펴본 바와 같이, 본 연구와 선행연구의 결과를 결합할 경우 신뢰성 편익을 계량화할 수 있을 것이다. 다만, 국내 관련 연구가 풍부하지 않으므로, 제안된 모형의 합리성과 추정된 원단위의 적절성이 심도있게 검토되어야 할 것이다. 학계의 활발한 논의를 기대해 본다.

참고문헌

1. 장수은·강지혜·이승준(2008), "통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제26권 제5호, 대한교통학회, pp.217~226.
2. 한국교통연구원(2008a), 국가교통DB 동향정보, 통권 제11호.
3. 한국교통연구원(2008b), "철도사업 (예비)타당성 조사의 편익 산정방안 개선연구", 국토해양부.
4. 한국교통연구원(2008c), "2007년도 국가교통DB 구축사업", 국토해양부.
5. Bates, J., Polak, J., Jones, P. and Cook, A. (2001), "The valuation of reliability for personal travel", Transportation Research Part E, 37, pp.191~229.
6. Bhat, C., and Sardesai, R.(2006), "The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice", Transportation Research Part B, 40, pp.709~730.
7. Black, J. and Towriss, J.(1993), "Demand Effects of Travel Time Reliability", Centre for Logistics and Transportation, Cranfield Institute of Technology.
8. Bremmer, D., Cotton, K., Cotey, D., Prestrud, C., and Westby G. (2004), "Measuring congestion: learning from operational data", Transportation Research Record, 1895, pp.188~196.
9. Cambridge Systematics, Inc., Texas Transportation Institute, University of Washington, and Dowling Associates(2003), "Providing a Highway System with Reliable Travel Times Study 3-Reliability", National Cooperative Highway Research Program(NCHRP) Project 20-58(3), Transportation Research Board.
10. Cox, D. (1962), "Further results on tests of separate families of hypotheses", Journal of the Royal Society 24B, pp.406~424.
11. Emam, E. and Al-Deek, H. (2006), "Using real-life dual-loop detector data to develop new methodology for estimating freeway travel time reliability", Transportation Research Record, 1959, pp.140~150.
12. Fowkes, T. and Wardman, M.(1998), "The design of stated preference travel choice experiments, with special reference to inter-personal taste variations", Journal of Transport Economics and Policy, 22, pp.27~44.
13. Lam, T. and Small, K. (2001), "The value of time reliability: measurement from a value pricing experiment". Transportation Research Part E, 37E, pp.231~251.
14. Noland, R., and Polak, J.(2002), "Travel Time variability: a review of theoretical and empirical issues", Transport Reviews, 22, pp.39~54.
15. Small, K., and Winston, C., and Yan, J. (2005), "Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability", Econometrica, 73, pp.1367~1382.
16. UK Strategic Rail Authority (2003), "Appraisal Criteria".

✉ 주 작성자 : 장수은

✉ 교신저자 : 장수은

✉ 논문투고일 : 2008. 9. 4

✉ 논문심사일 : 2008. 11. 13 (1차)

2008. 12. 4 (2차)

2008. 12. 8 (3차)

✉ 심사판정일 : 2008. 12. 8

✉ 반론접수기한 : 2009. 4. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필