

시간대별 통행시간가치 추정 및 적용: 도심부 도로 확장 사업 사례연구를 중심으로

Estimation and Application of the Value of Travel Time by Time Period:
A Case Study of Downtown Highway Expansion Project

이재영* · 최기주**

Lee, Jae-young · Choi, Keechoo

Abstract

The travel time value is important factor for the evaluation of feasibility the transportation facility investment. The existing method for calculation of the travel time for each mode uses daily average trip purpose. So the value of travel time is constant because it is estimated with only daily average proportion. This daily constant time value can distort the results of future demands of toll roads or economic appraisals for the projects. The proportion of the trip purpose varies by time periods. Accordingly the value of travel time also varies by time periods. In this study, times periods are classified as morning peak, evening peak, business time off-peak, and non-business time off-peak. And trip purpose proportions are sorted by each time period from raw data of Seoul household trip study, then the value of travel time for each time period is estimated with these sorted purpose proportions. A case study of Seoul Jung-gu and Yongsan-gu performed with newly estimated time value by time periods. The result of benefit calculation with the daily constant time value is overestimated approximately annual 2.5 billion Won compared by time values by time periods. The demands of toll roads are also overestimated with the existing daily constant time value by daily 3,500 vehicles and total revenue of toll roads are overestimated by annually 1 billion Won. In conclusion, the value of travel time by each time period enables the more precise economic evaluation of the transportation facility investment projects, mode choice behavior, and route choice behavior especially for toll roads.

Keywords : value of travel time, travel demand forecasting

요 지

통행시간가치는 교통시설 투자사업 시 통행시간 절감효과를 화폐단위로 환산하여 사업의 타당성을 판단하는데 있어 그 중요성이 매우 크다. 또한, 통행시간가치는 도로이용자가 유료도로를 이용할 때의 통행시간단축을 위해 어느 정도의 비용을 지불할 의사가 있는지를 나타내는 지표로서 장래수요예측 시 유료도로의 통행량 예측을 가능하게 한다. 현재 타당성조사 등 수요예측 시에 적용하는 통행시간가치는 기존에 추정된 목적별 시간가치를 이용하여 해당 지역의 전일 통행목적은 업무통행 및 비업무통행으로 구분한 후 이 비율에 따라 수단별 시간가치를 추정하고 있다. 하지만 실제로 시간대에 따라 통행목적의 비율이 상이하기 때문에 시간대별 통행시간가치가 달라짐에도 불구하고 일률적인 통행시간가치를 적용하여 이에 따른 장래 유료도로 이용 패턴 및 편익산정에 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 분석시간대를 오전첨두, 오후첨두, 업무시간 비첨두 및 기타 비첨두시간으로 분류한 후 서울시 가구통행실태조사를 이용하여 화물차를 제외한 승용차, 버스 이용자의 시간대별 통행목적 비율을 분석하여 이를 이용하여 시간대별 통행시간가치를 추정하였다. 추정된 시간대별 통행시간가치를 이용하여 서울 도심부에 대한 사례연구를 실시하였고 그 결과 시간대별 시간가치를 적용하였을 때, 기존 값을 적용했을 때에 비해 유료도로 연간수입이 약 25억원이 적게 산정되었고, 통행시간 절감편익 역시 기존 값을 적용했을 때에 비해 약 10억원이 적게 추정되어, 기존 전일평균 시간가치를 적용하였을 때 유료도로 이용과 편익이 과다추정되는 경향이 있다고 판단된다.

핵심용어 : 통행시간가치, 교통수요예측

*정회원 · 교신저자 · 아주대학교 교통연구센터 전임연구원 · 공학석사 (E-mail : jaeyoung@ajou.ac.kr)

**정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

통행시간가치(通行時間價值: value of travel time)는 통행자가 통행 중에 소비하는 시간의 기회비용으로 정의된다. 이 통행시간가치는 수요예측의 통행배정 과정의 유료도로의 패턴과 교통시설 투자사업의 편익산정 과정에서 큰 비중을 차지하고 있는 통행시간 절감편익을 산출하는데 직접적으로 이용된다. 통행배정 과정에서 유료도로의 이용자에게 부과되는 통행료가 어느 정도의 통행시간으로 체감되는지 시간으로 환산한 가중치가 적용되는데 이는 통행요금을 통행시간가치로 나눈 값이 된다.

통행시간 절감편익을 산정할 때에는 교통시설 투자 사업 전후의 총통행시간(VHT: Vehicle Hours Traveled)을 비교하여 사업이전의 VHT에서 사업이후의 VHT를 뺀 값, 즉 통행시간 절감량(travel time saving)에 각 수단별 통행시간가치를 곱하여 통행시간 절감편익을 산정한다. 통행시간가치는 통행자의 통행목적, 통행수단 등 통행특성에 따라 달라지고 소득, 성별, 연령 등 개인속성에 따라 그 값이 상이하며, 이에 대한 연구도 심도 있게 진행되어 왔다. 하지만 현재 우리나라에서 타당성조사 등 수요예측 시 적용하고 있는 국가 교통DB의 O/D가 1일 평균값으로 제시되어 있고, 통행시간가치는 승용차, 버스 및 화물차의 수단에 대한 하루 동안 일정한 평균 통행시간가치만을 적용하고 있는 실정이다. 따라서 장래에는 보다 정밀한 수요예측과 교통운영을 위하여 시간대별 동적 O/D를 이용하여 동적통행배정을 하는 방향으로 발전되는 바, 이에 맞추어 시간대별로 세분화되어 있는 통행시간가치 산정이 요구될 것으로 보인다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 분석시간대를 시간대별 통행량과 통행목적비율을 고려하여 더욱 세분화하고, 분석시간대에 따른 통행시간가치를 추정하여 일정한 통행시간가치를 적용했을 때 발생하는 장래 수요패턴 및 통행시간 절감 편익의 왜곡을 줄이는데 그 목적이 있다.

1.3 연구의 범위 및 수행과정

한국개발연구원의 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)에서는 수단별로 업무목적의 통행의 시간가치는 임금율법, 비업무목적의 통행시간가치는 한계대체율법으로 산출한 후, 전일의 업무통행과 비업무통행의 비율에 따른 가중평균값으로 수단별 통행시간가치를 제시하고 있다. 본 연구에서는 기존 한국개발연구원의 통행시간가치 산정방법을 수용하되 이를 시간대에 따라 통행목적 비율을 분석하여 시간대별 통행시간가치를 산정하였다. 이를 위해 기존 침두, 비침두로 분류하는 것이 아니라 시간대별 통행특성이 상이한 특성을 가진 시간대별로 더욱 세분화한 오전침두, 오후침두, 업무시간 중 비침두 및 기타 비침두의 4개의 시간대로 분류하였고, 이에 대한 통행시간가치를 산정하는 것을 그 범위로 한다. 단, 화물통행의 경우에는 모두 업무통행으로 가정한다. 즉, 비업무통행이 없다고 가정하기 때문에 시간대별로 통행시간가치의 차이가 나타나지 아

니하므로 화물통행의 시간가치는 전일 동일한 것으로 간주한다.

본 연구는 현재 적용하고 있는 통행시간가치에 대한 문제점을 지적하고, 이러한 문제를 극복하기 위한 국내의 연구 및 적용현황을 검토한다. 서울시 가구통행조사(2002) 자료를 통행량에 따른 통행시간대의 세분화 및 세분화된 시간대의 목적별 통행 비율을 분석하기 위해 이용하였다. 서울시 가구통행조사 자료의 통행수단을 승용차, 택시 및 버스의 수단을 이용하는 통행자의 통행시간별, 통행목적별로 정리하여 통행량 및 통행목적의 비율의 특성이 유사한 시간대를 같은 시간대로 분류한다. 통행목적은 업무통행과 비업무통행으로 구분하고, 시간대에 따른 비율을 분석한 후 시간대별 통행시간가치를 추정한다. 사례연구에서는 서울시정개발연구원의 O/D와 네트워크를 이용, 시간대별로 세분화된 통행시간가치를 적용하여 기존에 적용하던 고정된 통행시간가치를 적용한 통행배정 시 유료도로 이용패턴의 변화와 임의의 도로에 확장 사업을 시행한다고 가정하고, 사업전후 통행시간 절감편익을 산정한 값을 비교 및 분석하도록 한다.

2. 기존사례 분석

통행시간가치의 개념을 모형에 처음 도입한 것은 Becker(1965)로서 사람들의 활동에 필요한 변수를 재화와 시간으로 한정하여 시간가치를 화폐단위화하는 식으로 유도하였다. 실증적인 측면에서의 통행시간가치 추정은 Beesley(1965)에 의해 시작되었다고 볼 수 있는데, Beesley는 통행자가 직면하는 통행수단, 통행경로, 주거지 등의 선택상황에 따라 통행시간가치를 산정하는 방식을 이용하였다. 출근 시간대의 교통수단이나 통행경로를 선택할 때 있어 통행요금과 통행시간의 상대적 차이에 대하여 선택적으로 대응하는 교환자 집단을 분석대상으로 삼고, 그들을 소득수준별로 동질적인 집단으로 구분한 후 각 집단별로 통행시간과 통행요금의 차이를 도표화하여 통행시간가치를 산정하였다.

통행시간가치를 연령, 성별 등 개인적 특성이나 통행목적별로 산정하는 연구는 많이 이루어졌으나 통행시간가치가 시간대에 따라 별도로 산정하여 적용한 기존의 연구는 많지 않다. 국내 오성호(2007)의 연구에서는 주말통행의 재차인원이 평일보다 높은 점을 고려하여 주말의 통행시간가치를 재산정하였다. 수도권을 기준으로 평일 재차인원은 약 1.4명/대, 휴일의 재차인원은 2.97인/대로 통행시간가치는 각각 차량당 14,192원/대, 29,298원/대로 산정하였다.

국내의 타당성조사 시에는 한국개발연구원의 지침에 따라 분석을 수행하는 경우가 많다. 이 지침에서는 수단별 하루의 평균적인 통행시간가치를 적용하고 있는데, 이와 같은 평균 통행시간가치를 적용하고 있는 이유는 통행배정 과정에서 O/D를 통행특성 및 개인속성에 따라 세분화해야 하고, 세분화된 O/D에 따라 상이한 통행시간가치를 적용하여 다중배정을 실시해야 하는 현실적인 어려움이 있기 때문이다. 한국개발연구원의 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)에서는 침두통행량과 비침두통행량을 전일(全日) 통행량의 각각 7%, 2.5%에 해당한다고 가정하여 통행배정을 실시하도록 하고 있음에도 통행시간가치는 침두

와 비침두를 구분하지 않은 일정한 값을 제시하고 있다. 이에 따라 장래 유료도로 이용패턴의 왜곡과 편익산정이 과다 또는 과소 추정될 수 있는 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 업무 및 비업무의 통행목적의 비율을 고려하여 시간대별 시간가치를 산정하고 이를 적용하여 보다 신뢰성 있는 장래의 유료도로 이용패턴 및 편익을 예측할 수 있도록 하였다.

3. 시간대별 통행시간 가치 추정

3.1 시간대의 재분류

현재 한국개발연구원의 예비타당성조사에서는 통행배정 시간대별 침두와 비침두로 구분하여 1시간 교통량을 기준으로 분석하는 것을 원칙으로 하고 있다. 국가교통DB에서 제공하는 O/D 자료는 1일 통행량 기준이기 때문에 침두 1시간 및 비침두 1시간 비중을 고려하여 침두 1시간 및 비침두 1시간 통행량으로 환산하고 있다. 침두시간의 지속시간은 10시간, 침두 한 시간의 1일 교통량 대비 비율은 7%이며, 비침두시간의 지속시간은 9시간, 비침두 한 시간의 1일 교통량 대비 비율은 2.5%이다.

예비타당성조사 지침에서는 현재 침두시간과 비침두시간의 구분과 지속시간 및 비중에 대해 명확한 기준을 제시하고 있지 않다. 본 연구에서는 시간대별 통행시간가치를 추정하기 위하여 지침에서 제시하고 있는 시간대 구분, 지속시간 및 비중을 이용하지 않고, 서울시 가구통행조사(2002)의 원 자료를 이용하여 해당 시간대의 통행량과 통행목적 중 업무통행의 비율을 고려하여 시간대를 새로이 구분하였다. 침두 시간대는 출근통행과 등교통행이 주를 이루는 오전침두와 퇴근통행과 하교통행이 주를 이루는 오후침두로 세분화하였고, 비침두시간대는 업무시간(이하 업무중 비침두)과 기타(이하 기타 비침두)로 세분화하였다. 업무중 비침두시간대에는 업무통행이 특히 높기 때문에 침두시간대나 기타 비침두시간대에 비해 통행시간가치가 높게 나타날 것으로 예상된다.

서울시 가구통행실태조사(2002)의 원자료에 따른 1일 통행량 패턴은 그림 1과 같다. 그림에서 나타난 것처럼 오전침두 시간대인 8~9시에는 1시간 통행량이 1일 통행량 대비 12~15%를 차지할 정도로 매우 뚜렷한 침두 특성을 보이고 있다. 오후침두 시간대인 18~20시에도 1일 통행량 대비 8~9%를 차지하여 비교적 침두 특성이 잘 나타나고 있으나 오전침두와 오후침두의 통행량 패턴이 다소 차이가 나기 때

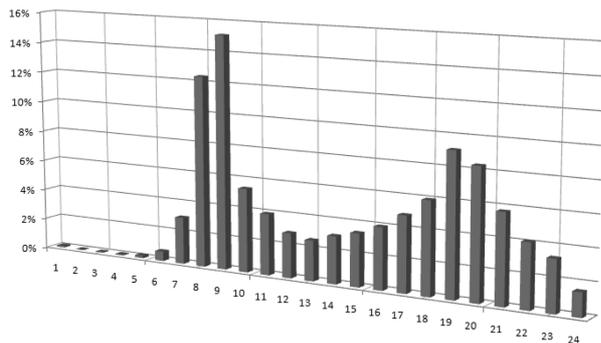


그림 1. 서울시 가구통행실태조사(2002) 시간대별 통행량 패턴

문에 두 시간대를 분리하는 것이 보다 합리적이라고 판단하였다.

비침두 시간대의 경우에는 오전침두 이전인 6~8시와 오후침두 이후인 20~24시의 경우에는 업무시간대인 9~18시에 비해 다소 통행량이 적은 편이다.

그림 2와 그림 3은 시간대에 따른 업무통행의 비율을 시간대별로 나타낸 그래프이다. 수단에 관련 없이 일반적인 업무통행의 비율은 일반적인 업무시간인 9~18시에 가장 높게 나타난다. 따라서 업무중 비침두 시간대의 통행시간가치가 다른 비침두 시간대에 비해 현저하게 높게 나타날 것으로 예상되기 때문에 이를 별도의 시간대로 구분하였다.

승용차의 경우 업무시간대의 업무통행 비율이 30~40%로 매우 높게 나타나고 있다. 버스의 경우 업무시간대의 업무통행이 다른 시간대에 비해 다소 많이 나타나고 있으나 대부분 10% 내외의 업무통행 비율을 보이고 있다.

시간대별 통행량 비율 및 통행목적(업무 및 비업무)을 기준으로 하여 설정한 시간대의 분류, 지속시간 및 비중을 다음과 같이 분류하였다. 오전침두와 오후침두는 각각 2시간 지속되며, 오전침두의 1일 통행량 중 1시간 통행량 비중은 약 14%, 오후침두는 9% 정도를 차지한다. 업무중 비침두의 지속시간은 일반적인 업무시간대인 9~18시로 9시간 지속되며 1일 통행량 중 1시간 통행량의 비중은 약 4%이다. 기타 비침두 시간은 비침두 시간 중 업무시간이 아닌 시간을 의미하며 지속시간은 6시간, 비중은 약 3%를 차지한다.

이를 그래프로 정리하면 그림 4, 그림 5와 같다. 그림 4는 기존에 분류하던 침두와 비침두의 시간대이고, 그림 5는 보다 시간대를 세분화하여 오전침두, 오후침두, 업무중 비침두 및 기타 비침두 시간대로 구분하였다. 그림 5에서 재분류한 시간대는 기존에 비해 보다 1일 통행량 패턴에 따라

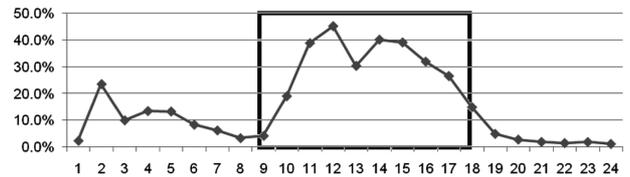


그림 2. 시간대별 승용차의 업무통행 비율

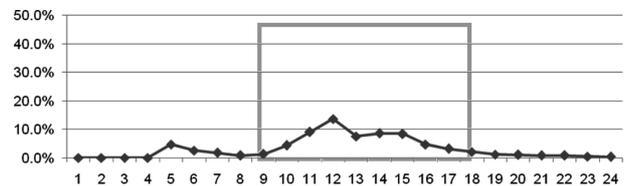


그림 3. 시간대별 버스의 업무통행 비율

표 1. 재분류한 시간대의 지속시간 및 비중

구분	지속시간	비중	1일 교통량 대비 비율
오전침두	2	13.77%	27.5%
오후침두	2	8.76%	17.5%
업무중 비침두	9	4.02%	36.2%
기타 비침두	6	3.07%	18.4%
심야	5	0.07%	0.4%
계	24	-	100.0%

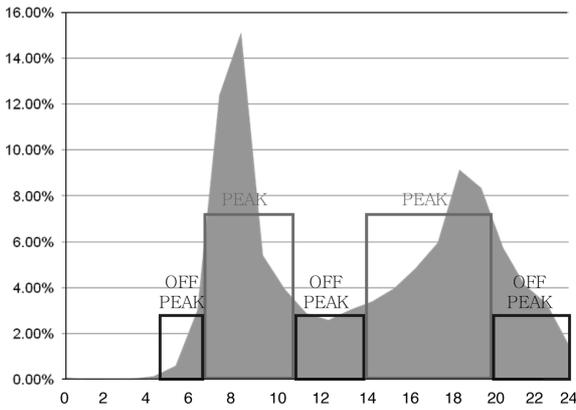


그림 4. 기존 분류 시간대

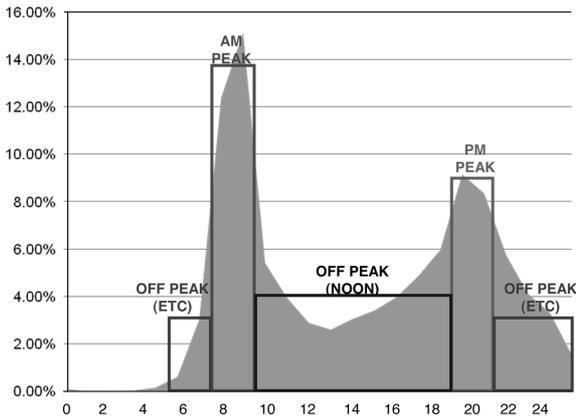


그림 5. 재분류 시간대

보다 현실적으로 구분하고 있다.

3.2 시간대별 통행시간 가치 추정

시간대별 통행시간가치 추정단계는 그림 6과 같이 기존 예비타당성조사에서 제시하고 있는 추정방법을 준용하여 산정한다.

이와 같은 과정을 통해 산정한 승용차와 버스의 시간가치는 표 2와 같다. 단, 화물차의 경우 모든 통행을 업무통행으로 가정하기 때문에 별도의 시간대별 통행시간가치 산정을 하지 아니하였다. 승용차와 버스 모두 통행시간가치가 가장 높은 시간대는 업무중 비침투 시간대이고, 통행시간가치가 가장 낮은 시간대는 승용차의 경우에는 오전침투 시간대, 버스의 경우에는 기타 비침투 시간대로 나타났다.

승용차의 경우 통행시간가치가 가장 낮은 오전침투와 시간가치가 가장 높은 업무중 비침투의 시간가치는 약 4,000원

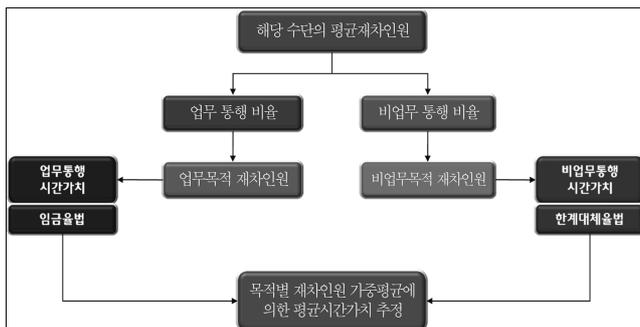


그림 6. 수단별 차량당 통행시간가치 추정 과정

표 2. 시간대별 통행시간가치 비교(2006년 기준)

시간대	통행량 비율	지속 시간	승용차 VOT	버스 VOT
오전침투	13.77%	2	6,873	44,980
오후침투	8.76%	2	6,882	45,001
업무중 비침투	4.02%	9	10,376	53,376
기타 비침투	3.07%	6	7,164	44,639
야간	0.07%	5	-	-
전일평균			8,604	49,617

가까이 나타나 유료도로의 이용패턴 및 편익산정에 다소 변화가 나타날 것으로 예상된다. 버스의 경우 통행시간가치의 편차가 가장 크게 나타난 기타 비침투 시간대와 업무중 비침투 간 차이는 약 9,000원으로 나타났으나 버스의 시간가치가 워낙 상대적으로 크기 때문에 단거리 유료도로에 있어서는 시간가치에 따른 이용패턴이 크게 달라지지 않을 것으로 예상되며, 오히려 해당 도로의 교통상황에 따른 영향을 더 크게 받을 것으로 판단된다.

3.3 시간대별 통행시간 가치 적용방법

통행시간 가치에 변화가 있을 경우 장래수요예측 및 경제성 분석에 영향을 받는 중요한 요소는 2가지이다. 첫째는 유료도로의 이용 수요의 변화이고, 둘째는 해당 사업에 대한 경제성 분석 결과의 변화이다.

통행배정 단계에서 유료도로의 통행요금은 시간으로 환산되어 합산된 일반화비용에 반영된다. 따라서 기존의 타당성 조사의 비용함수식을 적용할 경우 시간대별 시간가치의 변화가 반영되지 않으므로 아래와 같이 수단별로만 구분되어 있는 비용함수를 적용하여 통행배정을 실시하였다.

기존 통행시간가치 적용 비용함수

$$gc^m = \sum_{a \in A^m} VOT^m \cdot (t_0 \cdot (1 + \alpha(v/c)^\beta)) + FT_a^m$$

단, gc^m = 수단 m 에 대한 일반화비용(원)

VOT^m = 수단 m 에 대한 통행시간가치(원)

m = 수단 (승용차, 버스 및 화물차)

FT_a^m = 링크 a 에서의 수단 m 에 대한 통행요금

본 연구에서 산정한 세분화된 시간가치를 이용하여 통행배정을 실시하기 위해서 기존에 적용하던 지체함수의 일반화비용에도 이를 반영해야 하므로, 아래와 같이 시간대를 반영한 비용함수식을 적용하여 통행배정을 실시한다. 아래와 같은 비용함수를 적용하여 통행배정을 통해 시간대별·수단별 통행시간가치가 유료도로의 이용행태에 반영될 수 있다.

$$gc_{TP}^m = \sum_{a \in A^m} VOT_{TP}^m \cdot (t_0 \cdot (1 + \alpha(v/c)^\beta)) + FT_a^m$$

단, gc_{TP}^m = TP시간대의 수단 m 에 대한 일반화비용(원)

VOT_{TP}^m = TP시간대의 수단 m 에 대한 통행시간가치(원)

m = 수단(승용차, 버스 및 화물차)

FT_a^m = 링크 a 에서의 수단 m 에 대한 통행요금

TP = 시간대(오전첨두, 오후첨두, 업무중 비첨두, 기타 비첨두)

경제성 분석시 통행시간 절감편익은 편익산정에서 높은 비율을 차지하는 항목이다. 기존의 연간 통행시간 절감편익(VOTS)은 사업미시행시의 연간 총통행시간을 사업시행시 연간 총통행시간의 차로 산정한다. 연간 총통행시간(VOT)은 각 링크의 차종별통행시간에 차종별시간가치와 해당링크의 차종별 통행량을 곱한 후 365일을 다시 곱하여 산정한다. 이를 식으로 정리하면 다음과 같다.

연간 통행시간절감 편익 산정식

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$$

$$VOT = \left\{ \sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^3 (T_{ml} \times P_m \times Q_{ml}) \right\} \times 365$$

단, TK_l = 링크 l 의 차종별 통행시간

P_k = 차종별 통행시간가치

Q_{kl} = 링크 l 의 차종별 통행량

m = 수단(승용차, 버스 및 화물차)

하지만 기존의 연간 통행시간절감 편익 산정식으로는 시간대별 통행시간가치를 적용한 편익산정이 불가능하므로 아래와 식을 이용하여 차종별 통행시간가치가 적용한 통행시간절감 편익을 산정하도록 한다.

시간대별 통행시간 가치 적용 연간 통행시간절감 편익 산정식

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$$

$$VOT = \left\{ \sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^3 (T_{TP}^m \times P_{TP}^m \times Q_{TP}^m) \right\} \times 365$$

단, T_{TP}^m = 링크 l 의 차종별 시간대별 통행시간

P_{TP}^m = 차종별 시간대별 통행시간가치

Q_{TP}^m = 링크 l 의 차종별 시간대별 통행량

m = 수단(승용차, 버스 및 화물차)

TP = 시간대(오전첨두, 오후첨두, 업무중 비첨두, 기타 비첨두)

각각의 시간대별로 산정한 편익을 1일 편익으로 환산하기 위해 오전첨두, 오후첨두, 업무중 비첨두 및 기타 비첨두 시간대의 편익을 각각의 지속시간을 곱하여 모두 합산하도록 한다(표 1 참조). 단, 야간 시간대의 전체 통행량의 비율은 1일 통행량의 0.07%에 불과하여 사업시행시의 편익 역시 미미할 것으로 보이므로 생략하는 것을 원칙으로 한다.

시간대별 O/D는 각각의 시간대별로 통행발생, 분포, 수단 분담 단계를 거쳐 작성하는 것이 원칙이지만, 현재 국가교통 DB 등 공신력을 가진 기관에서 1일 통행량 기준 O/D만을 제공하는 현실을 고려하였을 때, 현재 예비타당성조사시침에서 제시하는 방법을 준용하여 시간대별 O/D를 구축하도록 한다. 상기 지침에서는 오전첨두, 오후첨두 및 야간의 세 개의 시간대로 분류가 되어 있고 각각의 지속시간 및 집중률을 다음과 같이 정리하고 있다.

표 3. 수도권 1시간 통행량의 지속시간과 시간대별 집중률

구분	지속시간	집중률
첨두시간	4	8.78%
비첨두시간	16	3.84%
심야시간	4	-

4. 사례연구

4.1 사례연구의 개요

본 사례연구의 목적은 앞의 장에서 산정한 시간대별 통행시간가치를 현재 수요분석에 이용되고 있는 O/D와 네트워크를 이용하여 통행배정 과정에 적용하여 기존에 이용하던 전일 평균 시간가치를 적용한 결과를 비교 분석하는데 그 목적이 있다.

본 사례연구의 공간적 범위는 서울특별시 용산구 및 중구로 설정하였다. 본 연구에서 산정한 시간대별 통행시간가치는 서울시 가구통행실태조사의 원자료를 근거로 하였기 때문에 서울특별시로 공간적인 범위를 한정하였고, 유료로 운영되고 있는 남산 1호 및 3호 터널이 관통하고 있는 용산구 및 중구가 적절하다고 판단하였다. 기준연도는 2006년으로 설정하여 정산을 실시하였고, 2013년에 영향권 내에서 혼잡이 극심한 을지로3가의 확장사업이 완료되어 개통된다고 가정하였다. 내용적 범위는 첫째, 기존 전일 평균 통행시간가치를 적용한 통행배정과 시간대별 개별적인 통행시간가치를 적용한 통행배정 간의 유료도로 이용패턴이 어떻게 달라지는지를 분석한다. 둘째, 혼잡구간(을지로3가)의 도로확장 사업시행을 가정하고, 전일평균 통행시간가치를 이용한 통행시간 절감편익과 시간대별 통행시간가치를 적용한 통행시간 절감편익의 값을 비교한다.

4.2 기초자료 및 기본가정

본 사례연구에 이용한 O/D 및 네트워크는 서울시정개발

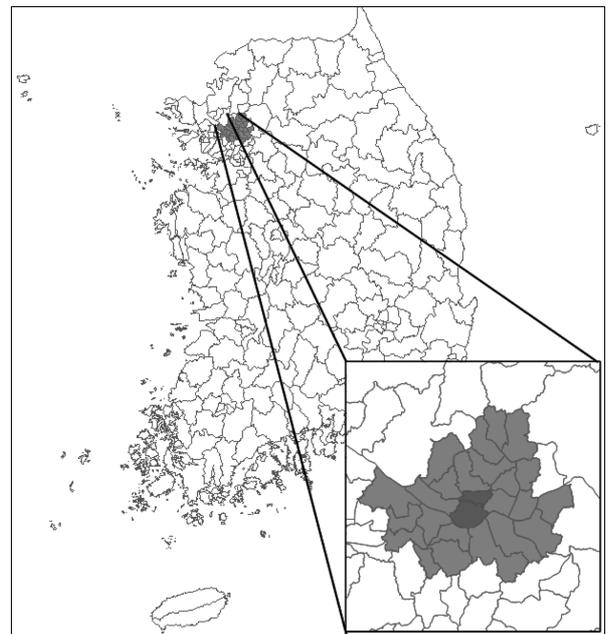


그림 7. 사례연구의 영향권 설정

연구원의 기초자료로 하였으며 재차인원 및 승용차환산계수(PCE)는 수도권 지역의 기존연구 결과를 적용하였다. 수도권 승용차의 평균재차인원은 1.351명, PCE는 1.00이고, 버스의 평균재차인원은 14.99명, PCE는 2.00이다. 그리고 화물차의 재차인원은 1.00명, PCE는 1.56이다. 현재 남산 1호 터널과 3호 터널을 통행하는 차량에는 2,000원의 혼잡통행료를 부과하고 있으므로, 사례연구의 통행배정 시에는 2,000원을 시간가치를 이용하여 시간(분)으로 환산하여 적용하였다.

통행배정 단계에서는 모든 수단의 O/D를 PCU로 환산하여 배정하되 각 수단의 통행시간가치에 따라 유료도로의 통행요금이 수단별로 통행시간으로 일반화되어 적용되는 multi-class assignment 기법을 이용하였으며, 통행배정의 기본규칙은 모든 도로이용자가 본인의 통행시간을 최소로 하여 평형상태를 이루는 이용자평형(user equilibrium)에 따라 배정되도록 하였다. 장래연도의 통행배정을 실시하여 장래의 통행패턴을 분석하기 이전에 서울시정개발연구원에서 제공하는 O/D 및 네트워크가 기준연도의 교통현황을 제대로 반영할 수 있도록 정산과정을 실시하였다. 영향권으로 설정한 중구 및 용산구의 주요 도로의 관측교통량과 배정교통량을 비교하여 오차율이 30% 미만인 되도록 하되 주요 분석대상인 남산1호터널과 3호터널에 대해서는 5% 미만이 되도록 정산을 실시하였다. 정산과정에 앞서 영향권 내 링크의 자유속도와 용량이 정확히 입력이 되어 있는지 확인하였으며, 관측교통량과 배정교통량의 차이가 크고 속도가 비현실적인 일부 링크에 대해서는 해당 링크의 센트로이드 커넥터의 위치 조정과 BPR식의 파라미터를 조정하여 도로상황을 현실적으로 재현할 수 있도록 하였다.

한편 본 사례연구의 영향권에 포함되는 남산터널 1·3호선의 혼잡통행료는 평일 오전 7시부터 오후 9시까지 2,000원을 징수하고 있다. 경차나 승용차요일제에 참여하는 차량, 그리고 3종 저공해자동차의 경우에는 50%를 감면한 1,000원을 징수하고 있으며, 3인 이상 승용차, 버스, 택시 및 1, 2종 저공해자동차 등은 감면 대상이다. 본 사례연구에서는 이러한 감면이나 면제에 대해서는 고려하지 않고 일괄적으로 2,000원을 징수하는 것으로 가정하였다. 그 이유는 본 연구에 유료도로를 포함시킨 이유가 시간대별로 차종별 시간가치를 차별화하여 적용하였을 때의 차종별 유료도로 이용 패턴의 변화에 초점을 맞추었기 때문이다. 또한 재차인원별 승용차, 저공해 차량 등 감면·면제 대상인 차량의 O/D를 구득하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 모든 차량에 대해 동일한 요금을 징수하는 것으로 가정하여 통행배정을 실시하였다.

4.3 유료도로 이용패턴 및 수입 분석

통행시간가치를 시간대별로 세분화하여 적용함에 따라 기존 전일 평균 시간가치를 적용했을 때와는 유료도로의 이용패턴이 다르게 나타날 것으로 예상할 수 있다. 통행배정 단계에서 해당 유료도로의 통행요금 2,000원은 이를 수단별로 각각의 차량이 체감하는 통행시간으로 환산되어 적용된다. 통행요금을 수단별 시간대별 통행시간으로 환산한 값은 다음과 같다.

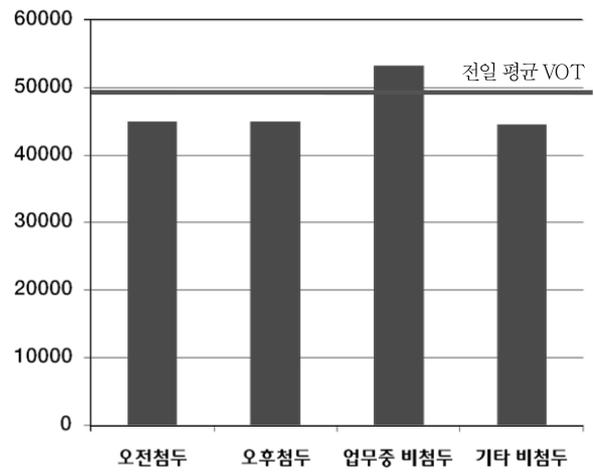


그림 8. 시간대별 버스의 시간가치 비교

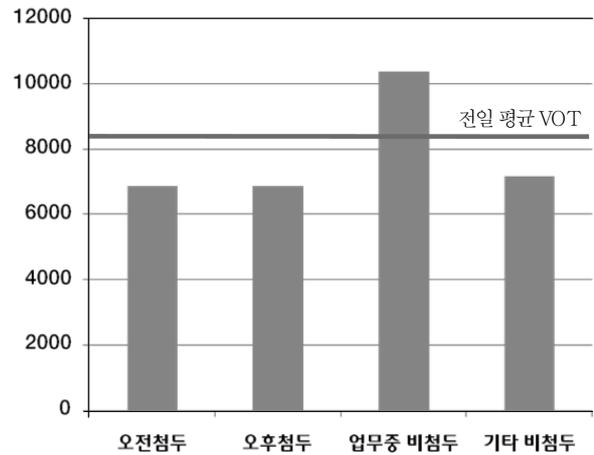


그림 9. 시간대별 승용차의 시간가치 비교

표 4. 재분류한 시간대의 지속시간 및 비중

수단	승용차	버스	화물차
통행요금	2,000원	2,000원	2,000원
전일평균 시간환산치	13.9분	2.4분	9.2분
오전첨두 시간환산치	17.5분	2.7분	9.2분
오후첨두 시간환산치	17.4분	2.7분	9.2분
업무중 비첨두 시간환산치	11.6분	2.2분	9.2분
기타 비첨두 시간환산치	16.7분	2.7분	9.2분

승용차의 경우에는 통행시간가치가 10,000원 내외로 그 값이 크지 않기 때문에 이를 시간으로 환산한 경우에 다소 큰 값이 된다. 전일 평균 시간환산치는 약 14분이며, 시간대에 따라 약 6분 정도의 큰 편차를 보이기 때문에 시간대별로 경로선택에 있어 결정적인 기여를 할 것으로 판단된다.

버스는 승용차의 시간대별 통행시간가치와 같은 패턴을 보임에도 불구하고 시간 환산 시 그 값이 약 2분 정도로 적고, 시간대별 편차도 거의 나타나지 않는데 이는 통행시간가치가 약 50,000원으로 매우 크기 때문이다. 따라서 버스의 경우 승용차에 비해 통행시간가치와 유료도로의 통행요금에 크게 영향을 받지 않을 것으로 예상된다.

화물차는 전일 모두 업무통행으로 가정하여 통행시간가치를 산정하였기 때문에 본 연구에서는 시간대에 따른 시간가

치의 변화가 나타나지 않는다. 화물차의 경우 통행요금을 시간으로 환산할 경우 약 9분이 된다.

상기한 시간가치 적용에 따른 유료도로 이용패턴의 비교 분석은 을지로3가 일부구간의 확장사업 시행시를 기준으로 하였다. 기존 전일 평균 통행시간가치를 적용하여 통행배정을 실시한 유료도로의 시간대별 통행량과 전일 통행량을 표 5와 같이 정리하였다. 괄호 안의 %는 전일 대비 해당 시간대의 교통량 이 차지하는 비율을 나타낸다.

시간대별 시간가치를 적용하여 통행배정을 실시한 유료도로의 교통량은 표 6과 같다.

시간대별 시간가치를 적용하여 통행배정을 실시한 결과 유료도로의 교통량이 기존의 전일 평균 시간가치를 적용했을 때보다 약 3,500대가 적게 나타났다. 승용차는 통행시간가치가 전일 평균치보다 낮은 오전첨두, 오후첨두 및 기타 비첨두 시에는 유료도로의 이용패턴이 현저하게 감소하였고, 시간가치가 높은 업무중 비첨두 시에는 교통량이 기존보다 약 12% 높게 추정되었다. 버스는 시간대별 시간가치의 변화에 따른 통행패턴의 차이가 거의 나타나지 않고 있는데 이는 버스의 높은 통행시간가치에 비해 시간가치의 변화 비율이 크지 않기 때문이다.

버스는 승용차와 마찬가지로 통행시간가치가 오전첨두, 오후첨두 및 기타 비첨두시에 낮고, 업무중 비첨두 시간에 높은 패턴을 보이고 있음에도 불구하고 유료도로 이용패턴은 반대로 나타나고 있다. 첨두시에는 약 2% 교통량이 증가하고 있으며 기타 비첨두시는 거의 차이가 없다. 통행시간가치가 다소 높은 업무중 비첨두 시간 교통량 역시 거의 차이가 없으나 약 0.8%가 적게 나타나고 있다. 시간대에 따라 시간

표 5. 전일 평균 통행시간가치 적용 유료도로 이용패턴

(단위: 대)

수단	승용차	버스	화물차
오전첨두	12,515 (19.3%)	2,062 (18.4%)	1,631 (24.1%)
오후첨두	6,516 (10.0%)	1,071 (9.6%)	737 (10.9%)
업무중 비첨두	2,096 (3.2%)	369 (3.3%)	163 (2.4%)
기타 비첨두	1,345 (2.1%)	272 (2.4%)	93 (1.4%)
전일	64,994 (100.0%)	11,214 (100.0%)	6,759 (100.0%)

표 6. 시간대별 통행시간가치 적용 유료도로 이용패턴

(단위: 대)

수단	승용차	버스	화물차
오전첨두	11,452 (18.8%)	2,105 (18.6%)	1,820 (25.8%)
오후첨두	6,114 (10.0%)	1,092 (9.6%)	769 (10.9%)
업무중 비첨두	2,349 (3.8%)	366 (3.2%)	144 (2.0%)
기타 비첨두	800 (1.3%)	273 (2.4%)	97 (1.4%)
전일	61,074 (100.0%)	11,329 (100.0%)	7,054 (100.0%)

가치의 변화가 없는 화물차의 유료도로 이용패턴도 버스와 같이 첨두시와 기타 비첨두시에 크게 나타나고, 업무중 비첨두시에 보다 낮게 나타났다.

이는 버스와 화물차의 유료도로 이용패턴에 각 수단의 통행시간가치가 미치는 영향은 미미한데 반하여 승용차의 유료도로 이용패턴에 따른 통행시간의 편차, 즉 혼잡의 차이에 따른 영향을 크게 받기 때문인 것으로 판단된다.

즉 버스와 화물차의 유료도로 교통량은 승용차의 시간대별 해당 유료도로의 이용 교통량이 클수록 감소하는 패턴을 보이며 승용차의 이용 교통량이 적을수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

전일기준으로 보았을 때 승용차의 경우 약 6.0%의 교통량이 감소하는 편차를 보이고, 버스와 화물차는 각각 1.0%와 4.4% 증가하는 편차를 나타낸다. 기존 전일 동일한 평균 통행시간가치를 적용하여 통행배정을 실시한 결과와 시간대별로 세분화한 시간가치를 적용하여 통행배정을 실시하였을 경우를 비교하면 유료도로의 통행패턴의 차이가 약 3,500대로 나타난다.

결론적으로 전일 평균 시간가치를 적용하였을 경우에는 상대적으로 통행시간가치가 낮은 첨두시와 기타 비첨두시에는 유료도로 이용 교통량이 과다 추정될 수 있으며, 상대적으로 통행시간가치가 높은 업무중 비첨두시에는 과소 추정될 가능성이 있다고 판단된다.

또한, 보다 현실적인 시간대별 통행시간가치를 적용함으로써 시간대에 따른 유료도로의 이용패턴을 개략적으로 추정하여 효율적인 유료도로 운영계획을 수립할 수 있다.

4.4 통행시간 절감편의 분석

본 사례연구의 통행시간 절감편의 분석을 위해 다음과 같은 도로 확장사업을 가정하였다. 도심부에서 혼잡이 큰 을지로3가를 확장하되 사업의 현실성과 사업비까지 고려하지 않았다.

확장도로는 을지로3가의 을지로2가 사거리에서~대림상가 앞까지 약 700m 구간이다. 현재 양방향 6차로 도로이지만, 사업시행시 이를 방향별로 각 1차로씩 확장하여 양방향 8차로로 확장하고, 이 확장공사는 2012년까지 진행되어 2013년에 공용개시되는 것으로 하였다. 해당 도로의 차로당 용량은 800pcph이기 때문에 확장사업의 시행에 따라 기존 6차로 일 경우의 용량은 4,800pcph에서 확장 이후 8차로가 될 경우의 용량은 6,400pcph로 증가되어 영향권 내 도로의 교통 혼잡 완화가 나타날 것으로 예상된다.

기존 예비타당성조사에서는 도로시설투자사업을 실시할 경

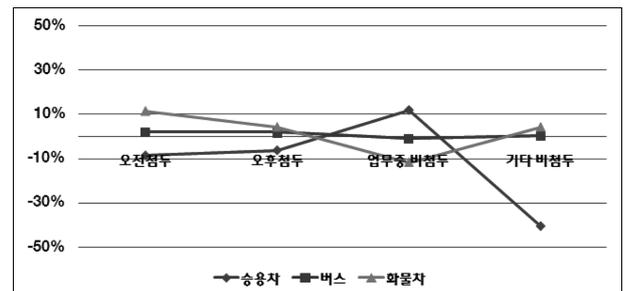


그림 10. 수단별 시간대별 유료도로 이용패턴의 편차 비교

표 7. 통행시간 절감편익 비교 (단위: 천 원)

수단	기존 산정식	개선 산정식	편차 (개선-기존)
오전첨두(1시간)	8,481	7,294	-1,187
오후첨두(1시간)	4,058	3,492	-566
업무중 비첨두(1시간)	786	891	+105
기타 비첨두(1시간)	358	318	-40
전일(19시간)	34,303	31,495	-2,808
연간(365일)	12,520,205	11,495,417	-1,024,788

우 연간 통행시간 절감편익(VOTS)을 추정하기 위해 차중별 전일 평균 통행시간가치를 적용하고 있고, 시간대 역시 첨두와 비첨두로만 단순하게 나누어 분석을 실시하고 있다. 하지만, 본 연구에서는 통행특성에 따라 오전첨두, 업무중 비첨두, 오후첨두 및 기타 비첨두의 4개 시간대로 구분하고, 각 시간대에 대한 통행시간가치를 적용하여 분석을 실시하였기 때문에 통행시간가치의 세분화에 따른 영향만을 비교분석하기 위하여 기존 전일 평균시간가치를 이용하여 편익을 분석할 경우에도 시간대는 4개로 구분하여 분석을 실시하였다. 기존 산정식과 개선 산정식으로 추정한 각각의 시간대별 통행시간 절감편익, 1일 편익 및 연간 편익은 다음과 같다.

기존 산정식을 이용하여 산정한 통행시간 절감편익이 시간대별로 세분화된 통행시간가치를 적용한 개선 산정식으로 산정한 값보다 연간 약 10억원 이상 과다추정되는 것으로 분석되었다. 특히 오전첨두 시에는 시간당 1백만원 이상의 편차가 나고, 오후첨두 시에도 60만원에 가까운 편차가 발생하고 있다. 이는 첨두시의 1시간 교통량이 1일 교통량에서 차지하는 비중이 매우 높고, 첨두시의 통행시간가치가 다른 시간대에 비해 현저히 낮아도 불구하고 동일한 전일 평균 통행시간가치를 적용함에 따른 오차로 보인다.

업무중 비첨두 시간대에는 업무통행량의 비중이 상대적으로 높기 때문에 통행시간가치가 높은 편이다. 이에 따라 개선 산정식에 따른 편익값이 기존보다 크게 나타나지만, 교통량이 크지 않기 때문에 편차는 작은 편이다.

결론적으로 기존 산정식에서 전일 평균 통행시간가치를 이용하여 통행시간 절감편익을 산정함에 따라 연간 편익이 크게 과다 산정될 수 있다고 판단된다. 특히, 본 사례연구에서 가정한 사업은 연장 0.7km의 짧은 구간임에도 불구하고 연간 발생편익의 편차가 10억원 넘게 발생하였다. 이러한 편차에 따라 사업에 대한 경제적 타당성의 판단에 영향을 줄 수 있다.

통행시간 절감편익은 도로투자 사업에 있어 높은 비중을 차지하는 편익항목이기 때문에 도로투자 사업의 평가 시 세분화된 통행시간가치를 적용하여 편익을 산정함에 따라 사업에 대한 보다 합리적인 평가가 가능할 것이다.

5. 결론 및 향후연구

5.1 결론

통행시간가치의 추정은 교통시설 투자사업의 경제성 평가에 있어 높은 비중을 차지하고 있는 통행시간 절감편익의

산정에 직접적인 요소로 작용한다. 현재 타당성조사에서 이용되고 있는 수단별 시간가치는 전일 평균 통행목적 비율을 이용하기 때문에 1일 중에는 시간대에 관계없이 동일한 시간가치만을 적용하기 때문에 통행시간 절감편익과 수단선택, 유료도로를 포함한 경로선택의 행태가 왜곡될 수 있다.

본 연구에서는 시간대를 통행량과 통행목적 비율에 따라 오전첨두, 오후첨두, 업무중 비첨두 및 기타 비첨두를 구분하여 각 시간대별로 수단별 시간가치를 산정하였고, 서울시 중구와 용산구를 대상으로 사례연구를 실시하였다. 그 결과, 기존 전일 평균 통행시간가치를 적용했을 경우의 편익 및 통행요금 수입이 과다추정되는 것으로 분석되었다. 즉 시간대별로 세분화된 통행시간가치가 이러한 편익과 유료도로 이용패턴 예측에 있어 왜곡을 줄일 수 있어 한정된 자원의 합리적인 배분을 가능하게 할 것으로 보인다.

또한 시간대에 따른 통행량의 세밀한 예측이 가능하여 합리적인 유료도로의 운영계획 수립을 할 수 있도록 한다. 시간대별 통행시간가치는 기존 정적 통행배정 뿐만 아니라 최근의 동적 통행배정(dynamic trip assignment)에 적용하기 위한 시간대별 시간가치의 필요성이 더욱 부각될 것이므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5.2 향후 연구과제

본 연구에서는 서울시 가구통행실태조사(2002)에서 수집된 자료에서 시간대에 따른 수단별 통행목적 비율을 이용하여 시간대별 통행시간가치를 산정하였다. 하지만 가구통행실태조사에서 수집된 자료가 실제 공로상에서 통행으로 나타나지는지에 대한 검토할 필요성이 있음에도 본 연구에서는 이에 대한 검토가 결여되어 있는 한계를 갖는다. 또한 통행목적은 단순히 업무통행과 비업무통행으로만 구분하고, 그 비율에 따라 통행시간가치를 산정하는 기존의 방법에서 크게 벗어나지 못한 점이 그 한계점이라고 하겠다.

차후에는 비업무통행 중 출근통행과 여가통행 등에 대한 보다 세분화되고 대표성을 가질 수 있는 통행시간가치 산정에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것이다. 또한, 현재 수단선택이나 경로선택 시에 통행자의 지불의사에 따른 통행시간가치와 교통시설 투자사업 시의 통행시간 절감편익 산정을 위한 통행시간가치와 같은 값을 적용하여 분석을 실시하고 있으나, 개별 통행자가 수단이나 경로를 선택에 따라 산정된 통행시간가치와 교통시설 투자사업 평가를 위한 통행시간가치를 별도로 적용하는 것이 더 합리적인지에 대한 검토하는 향후 연구가 요구된다.

참고문헌

- 건설교통부(2002) 공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침.
- 국토연구원(2003) 유료도로의 통행시간가치 산정에 관한 연구.
- 국토연구원(2003) 지역특성과 통행특성을 고려한 통행시간가치 원 단위 적용, 국토정책 Brief.
- 김현 외(1999) 통행목적별 수단별 통행시간가치도출 및 유의성 검증, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제17권 제1호, pp. 113~128.
- 서울특별시(2003) 서울시 가구통행실태조사.
- 오성호 외(2007) 주말 여가통행의 시간가치를 고려한 교통시설 투자평가, 국토정책 Brief.

윤대식(2001) **교통수요분석 - 이론과 모형** -, 전영사.
최창호(2002) 도로사업의 투자분석을 위한 화물운송시간가치 산정, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권 제3호, pp. 41~52.
최창호 외(2007) 화물자동차 통행시간가치에 관한 국가간 비교연구, **서울도시연구**, 제8권 제4호, pp. 89~105.

한국개발연구원(2008) **도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 보완연구(제5판)**.
Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R. (1985) *Discrete Choice Analysis*, The MIT Press.

(접수일: 2010.7.8/심사일: 2010.9.7/심사완료일: 2010.10.25)