

도로유지비용을 고려한 사회적 후생에 관한 연구 : 천안~논산 구간을 중심으로

A Study on Social Welfare Reflecting Road Maintenance Cost: the Case of Cheonan~Nonsan Lines

김 웅 이* 박 상 준** 강 경 우***
(Woong-Yi Kim) (Sang-Zoon Park) (Kyung-Woo Kang)

요 약

본 연구는 외부비용의 한 항목인 유지비용을 내부화하여 이에 따른 사회적 후생의 변화에 대한 연구이다. 연구대상으로는 민자 고속도로, 고속국도, 그리고 일반국도 등, 도로여건과 통행요금에 따른 3가지 노선이 경쟁하고 있는 천안~논산 간 노선을 선정하였다. 유료도로의 수요함수는 회귀분석을 통해 도출하였다. 최선 가격설정법의 현실적용 어려움을 고려하여 유지비용을 통행요금에 재반영하는 방법으로 차선 가격설정법을 적용하였다. 유지비용을 통행요금에 반영함으로써, 노선별 통행량 변화에 따른 사회적 후생뿐만 아니라, 통행수입금의 변화 측면도 함께 연구하였다.

분석결과, 차선 가격설정법을 적용함에 따라 사회적 후생의 변화는 작은 차이를 보였으나, 재정적인 측면에서는 고속국도에 유지비용을 반영하였을 경우 연간 약 130억 원의 재정적인 효과가 있어 국가 재정 지원 감소에 기여할 것으로 분석되었다.

Abstract

The aim of this paper is to research the changes of social welfare by internalizing external cost, especially the maintenance cost. Main target of this paper is the Cheonan~Nonsan Line, where private capital highway, national highway and local road are competing against each other. Considering the realistic difficulties in applying the First Best pricing, this paper applied the Second Best pricing, applying the maintenance cost, in lieu of the already mentioned. The demand functions of the toll roads were built through regression analysis. By reflecting the maintenance cost to the toll fee, It was able to confirm the variation of social welfare deriving from the traffic assign change but also the aspects of toll revenue at the same time.

Result of applying the Second Best pricing shows merely a small change in social welfare. However, in the aspect of finance, it is analyzed that there will be about 13 billion won worth of financial effectiveness which will contribute to the reduction of the national financial support.

Key words: Maintenance cost, social welfare, congestion pricing, external cost, second-best pricing

* 주저자 : 한서대학교 항공교통관리학과 조교수

** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 박사과정

*** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 8월 18일

† 논문심사일 : 2008년 8월 29일(1차), 2008년 9월 26일(2차)

† 게재확정일 : 2008년 9월 29일

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로 시설 및 서비스는 공공재(Public Goods)의 성격을 지니고 있어서 정부규제 및 참여와 저렴한 이용료 수준이 당연시되고 있고, 이에 따라, 국도와 고속도로의 합리적인 통행배분이 이루어지지 못해 도로이용에 있어 사회적 손실을 야기하고 있다. 또한, 고속도로의 노후화와 길이의 연장에 따라 도로의 유지비용이 계속해서 증가하고 있으며 시설 확장과 유지·보수를 위한 지속적인 투자비용이 이용자에게 의한 통행요금만이 아니라 국민의 세금에 의한 정부의 지원으로 충당되어 왔다. 요금산정에 있어서도, 중차량에 대한 요금책정에 미흡한 부분이 있다. 현재 우리나라 고속도로의 차종별 요율분석 결과 1종 대 5종의 비율은 1:1.68로 나타나 외국의 차종별 요율 차이보다 적은 것으로 분석되었고, 현행 차종별 요율비 수준과 비교한 결과, 3종의 경우는 높아지고 2,4,5종의 경우에는 요율이 낮아지는 것으로 분석되었다 [1,2]. 이는 차종별 도로손상율 등을 제대로 반영된 요율로 요금이 책정되어있지 않음을 알 수 있다. 고속도로와 민자도로가 결합인 노선의 경우, 고속국도의 요금이 민자도로에 비해 낮게 산정됨에 따라 고속국도에 교통량이 집중되어 혼잡을 증가시켜 사회적 후생의 손실이 발생되고 있다. 또한, 민자도로의 교통량이 예상량에 미치지 못하여 체결시 보장한 수익금 부족분을 국고로 지원하고 있다.

지금까지의 대부분의 연구는 속도를 기준으로 혼잡비용을 부과, 교통수요를 관리하여 사회적 후생을 최대화하는 것이 대부분이었다. 하지만, 속도는 계속적으로 변화하는 동적인 성격이 있기 때문에 타당한 혼잡비용 산정의 어렵고, 비용추가로 인한 정치적 논란이 많아 혼잡비용 징수가 어려워 시행하기 어려운 점이 많았다. 이에 비해, 사회적 비용의 한 요소인 도로의 유지비용은 구간거리에 의해 비용이 추정됨으로써 산정과 시행이 용이한 장

점이 있다. 또한, 실시협약에 의거 민자도로의 운송적자를 보전하고 있는 상황에서, 요금조정으로 적절한 교통량 분배를 통한 사회적 후생의 변화 및 재정적 변화에 대한 연구가 필요하겠다. 이에 본 연구에서는 도로 환경과 도로 요금이 서로 다른 3개의 도로가 있는 천안~논산 노선들을 대상으로, 버스와 트럭을 중차량으로 간주하여 승용차와 중차량으로 구분하고, 도로 손상율을 기준으로 중차량에 도로 유지비용을 재반영하였다. 이처럼 외부비용의 한 요소인 도로 유지비용을 통행요금으로 내부화했을 때, 사회적 후생의 변화를 확인하고, 수입금 변화에 따른 재정적인 측면의 효용을 확인하고자한다.

2. 통행요금 현황

1) 고속국도 통행요금 징수체계

현행 고속국도 통행요금은 유료도로법 제9조에 근거하여 징수하고 있으며, 도로 이용객이 유료도로를 이용함으로써 얻는 시간단축과 비용절감 편익의 범위 내에서 통행요금을 정하고 있다. 한국도로공사에서는 통행요금 체계를 5개 차종으로 분류하고 있으나, 2001년부터는 유료도로법을 개정하여 경차를 50%할인하도록 규정하고 주고 있어 실제로는 6개 차종을 분류하고 있다. 요금체계는 2부요금제로 도로건설, 확장, 개량 등의 도로건설투자비인 고정비용을 보상하는 기본요금과 도로관리비, 일반관리비 등을 의미하는 변동비용을 충당하기 위한 주행요금으로 나누어 산정된다. 통행요금 징수방법은 영업소의 운영방식에 따라 폐쇄식과 개방식의 2가지로 구분할 수 있으며, 폐쇄식은 후불제로서 진입영업소에서 통행카드를 수령한 후 진출영업소에서 요금을 수동으로 지불하는 방식으로 이용거리에 따른 요금징수라는 원칙이 적용되는 방식이다. 개방식은 영업소간 최단거리에 따라 통행요금을 산정하는 방식으로서, 통행거리에 따른 요금징수방식이 아니기 때문에 민원을 유발하는 등의 문제를 발생시키고 있다 [2,3].

2) 민자도로의 통행요금 징수체계

천안-논산고속도로의 경우, 1997년 4월 3일 체결한 실시협약을 사회간접자본에 대한 1998년 제정된 「사회간접자본시설에대한민간투자법」 및 동법 「시행령」, 「'99 민간투자사업기본계획」 등에 의거하여 2000년 12월 14일에 개정 협약을 체결하였다. 사업구간의 총연장은 80.96km이며, 총사업비는 2000년 1월 1일 불변가격 기준으로 14,386억 원이고 총 민간사업비는 국고보조금 4,187억 원을 제외한 10,199억 원이다. 통행요금은 20Km 미만을 이용할 경우 통행거리에 관계없이 기본요금을 징수하며 이후 거리별 통행요금을 부과한다. 장거리 통행의 경우 100km 초과시 2%, 200km 초과시 3%를 할인한다.

대구-부산간 고속도로는 총연장82.05km로, 1999년 10월 1일 불변가격 기준 총사업비는 19,621억 원, 총 민간사업비는 국고보조금 5,837억 원을 제외한 13,784억 원이다. 사업수익률은 세후 실질수익률을 기준으로 9.38%이며, 기본요금에 추가적으로 거리별 통행요금을 부과한다 [3].

3) 통행요금의 문제점

당초 중차량의 통행요금은 도로파손율 및 외국의 차종별 요금계수 등을 고려하여 버스, 화물차 등 대형차량의 통행요금이 승용차 대비 3~5배로 산정되었다. 하지만, 버스와 트럭의 통행요금이 도로구조물 손상을 기준이 차종별 등가 하중 계수에 의한 것이 아닌 해당 차량의 총중량으로 산정하고, 화물 및 여객 수송 기여에 따른 공제를 하여 승용차 대비 1.7~2.2배로 결정하여 도로이용에 따른 도로유지보수 비용반영이 미흡하다. 또한, 고속국도와 민자도로로의 교통량이 적절히 분배되지 않아 효율적인 도로이용이 되지 않고 있다.

민자도로의 경우, 건설당시 예측했던 교통량에 미치지 못함에 따라, 통행요금 수입도 예상보다 적게 되어 운영 수입의 차액을 국가의 재정으로 보충하고 있다. 2002년 말 개통한 천안~논산고속도로의 경우, '최소운영수입보장제도'에 따라 2년간 790억 원을 추가 보조했다.

II. 문헌고찰 및 기본이론

1. 문헌고찰

1) 국내문헌

국내에서는 김광식과 황기연이 경부고속도로 중앙재 I.C.와 서초 I.C.를 대상으로 EMME/2 프로그램을 사용하여 혼잡비용을 비롯한 다양한 도로비용 전략에 따른 속도 변화에 대해 연구하였다 [4].

신기숙은 기존 통행요금 제도의 문제점을 보완, 늘어나는 교통수요를 조절하여 혼잡을 줄이고 효율적인 도로를 운영할 수 있도록 한계사회비용의 가격화 원리를 도입하여 구축한 혼잡통행요금 체계를 구간별,요일별, 시간대별, 차종별로 차별화하여 제시하였다[5].

이명환은 경부고속도로 판교 I.C.를 대상으로 가격정책인 혼잡통행요금 징수 시행으로 교통수요 감소에 대한 분석을 통하여 효과 추정을 하였다 [6].

2) 국외문헌

Small KA와 Verhoef ET 등은 혼잡비용, 환경비용, 사고비용을 주요 사회비용으로 논의 하였고 Tellis와 Khisty는 유지비용을 하나의 사회적 비용의 요소로 정형화하면서 과거자료를 통해 그 비용을 계산하였다 [7-9]. Mohring은 승용차를 기준으로 도로포장을 할 경우 더 얇게 포장해도 되나 중차량을 위해 더 두껍게 포장해야하므로 각 차량별 운전자들은 도로 이용에 따른 차량별 차별요금을 감내해야한다고 주장했다 [10].

Small과 Winston은 중차량의 도로 피해정도에 관한 연구를 하면서 고속도로 기반시설에 대해, 어떻게 효율적으로 자원을 배분할 것인가에 대한 연구와 어떻게 자원을 이용하는 것이 국가 고속도로 수요에 합당할 것인가에 대한 연구를 국가의 가격과 투자 정책을 통해 분석하였다 [11].

Chih-peng Chu와 Jyh-fa Tsai는 유지비용을 고려한 도로가격 모형에 대한 연구를 하였다. 전체 차량을 2종류로 나누어 통행요금을 부과하였고 이러한 가정을 예제를 통해 사회적 후생과 비용 보상율을

이론적으로 검증하였다 [12].

기존 국내외 연구에서는 대부분 통행속도에 따른 혼잡비용을 부과하거나, 교통수요를 감소시키기에 따른 변화를 연구하였다. 하지만, 통행속도는 지속적으로 변화하는 것으로 요금책정이나 운영에 어려움이 발생한다. 또한, 통행요금 산정시 통행에 따른 유지비용의 반영이 미흡하여 통행요금의 기본 취지인 ‘이용자 부담원칙’이 좀 더 반영될 필요가 있다. 본 연구에서는 외부비용의 한 요소이나 노선연장에 따라 산정되는 도로의 유지관리비용(유지비용)을 반영하여 이에 따른 변화를 연구하였다. Chih-peng Chu와 Jyh-fa Tsai의 연구에서는 유지비용을 이론적으로만 확인하였으나 본 연구에서는 기중점은 같으나 요금 및 도로여건이 상이한 실제 3개 노선을 대상으로 유지비용을 반영하여 이에 따른 사회적 후생 및 재정적 변화를 연구하였다.

2. 기본이론

본 단원에서는 논문과 관련된 기본이론 함께 적용된 모형을 설명하였다.

1) 사회적 후생의 극대화

사회적 후생의 극대화를 위해서는 근대 경제학에 입각하여 수요와 공급이 균형을 이뤘을 때 이루어진다. 하지만, 운전자가 인지하는 비용은 사적 한계비용(Private marginal cost)으로, 자신의 운행으로 인한 한계외부비용(Marginal external cost)을 인지하지 못함으로 인해 사회적 한계비용(Social marginal cost)과의 격차가 발생한다. 후생극대화의 달성은 한계비용 가격설정법(Marginal Cost Pricing)에 의해 도로에 차량 1대가 증가함에 따라 발생하는 비용의 증가분과 편익의 증가분이 일치하는 점에서 균형통행량이 결정될 때 이루어진다. 따라서, 운영자는 이러한 한계 외부비용을 이용자에게 부담시켜 사회적 한계비용과 일치시킬 때 사회적 후생의 극대화를 이룰 수 있게 된다.

2) 혼잡비용

도로시설에서는 교통량이 일정 수준을 초과하여

계속 증가되는 경우 통행시간이 과도하게 증대되는 혼잡현상이 나타난다. 이러한 혼잡은 경제적 관점에서 추가분의 통행자가 여타 기존 이용자의 통행비용을 증가시키는 시장실패의 한 가지 유형으로 해석되고 있다. 이에 대한 보완조치는 개별 통행자에게 다른 이용자들의 통행비용 증가분에 상응하는 혼잡통행요금을 부과시키는 것이며, 이러한 혼잡통행요금은 교통체계 전체의 효율성을 높이는 유용한 대안으로서 교통경제학계에서 널리 받아들여지고 있다.

3) 외부 비용

사회적 후생에 대한 연구가 활발해지면서 혼잡통행요금 외에 사고유발 가능성, 공해유발, 유지비용 등 다양한 외부비용에 대한 연구도 이루어지고 있다 [7-10].

사회적 후생의 최적화는 이러한 외부 비용이 모두 반영된 최선 가격설정법(First best pricing)이 적용되었을 때 달성되는 것이라고 말할 수 있지만, 이러한 한계외부비용의 측정 및 현실 적용은 어려운 측면이 있다. 이에 주차세, 휘발유세, 차량 등록세, 운전자 면허취득비용, 대중교통세, 차량-중량료(트럭) 등, 외부비용의 일부분을 차량이용자에게 부과하여 외부비용을 내부화시키는 차선 가격설정법(Second best pricing)이 현실에 적용하고 있다.

본 연구에서도 네트워크의 일부 도로에 중량에 따라 유지비용을 요금에 부과하여 사회적 후생의 변화를 확인하는 방법을 사용하였다.

4) 적용 모형

① 사회적 후생

사회적 후생에 대한 측정은 교통 체계 순 편익(System Net Benefit)으로 측정한다. 교통 체계 순 편익은 역 수요함수에서 교통량에 따라 발생한 소비자 잉여(Consumer Surplus)에서 총 비용(Total Cost)을 뺀 값으로 정의되며 수식으로 나타내면 식(1) 과 같다

$$\begin{aligned}
 SNB &= CS - TC \\
 &= \int_0^V P(X)dX - V \cdot AC(V)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 P(X)는 역 수요함수이고 TC는 총 비용을 나타낸다. V는 교통량을 의미하며 AC는 평균비용을 나타낸다. 사회적 후생 측정을 위해 소비자 잉여, 시간 비용, 유지비용의 정의를 구분하였다

② 소비자 잉여

소비자 잉여 추정을 위한 역 수요함수는 각 도로의 역 수요함수를 구분하여 소비자 잉여를 추정하였다. 식 (2)는 그것을 수식으로 나타낸 것이다.

$$CS = \int_0^{V^N} P^N(X^N) dX^N + \int_0^{V^S} P^S(X^S) dX^S + \int_0^{V^L} P^L(X^L) dX^L \quad (2)$$

- P^N = 고속국도의 역 수요함수
- V^N = 고속국도의 교통량
- P^S = 민자도로의 역 수요함수
- V^S = 민자도로의 교통량
- P^L = 국도의 역 수요함수
- V^L = 국도의 교통량

③ 역 수요함수

사회적 후생의 변화를 산출하기 위해서는 소비자 잉여를 산출하기 위해 각 노선의 도로가격에 따른 역 수요함수의 산정이 선행되어야한다.

본 연구에서는 도로 유지비용을 통행요금에 반영하여 이에 따른 교통량의 변화를 통해 역 수요함수를 추정하였다. 시간비용을 포함한 도로가격과 교통량과의 관계를 1차 함수형태의 역수요함수로 가정하였다.

$$V = Q - bP \quad (3)$$

$$P = \frac{Q}{b} - \frac{V}{b}$$

- V ; 교통량
- Q ; 잠재 교통수요량
- P ; 도로 가격(시간비용 + 통행요금)
- b ; Parameter

④ 총비용

통행 비용의 종류는 정의하기에 따라 다양하게

정의될 수있으나, 본 연구에서는 총 통행비용을 시간비용, 유지비용 그리고 고정비용으로 구성하였다.

고정비용은 교통량에 관계없이 소요되는 비용으로, 도로 유지비용 반영에 따른 변화와 무관한 고정값으로 총비용 산출 시에는 반영하지 않았다.

$$TC(V_1, V_2) = V_1 \cdot Ct_1(V_1, V_2) + V_2 \cdot Ct_2(V_1, V_2) + Cm_1(V_1) + Cm_2(V_2) + \overline{Cm} \quad (4)$$

- TC : 총비용
- V_1, V_2 : 승용차 중차량의 교통량
- Ct_1, Ct_2 : 승용차 중차량의 시간비용
- Cm_1, Cm_2 : 승용차 중차량의 유지비용
- \overline{Cm} : 고정비용

⑤ 시간비용

시간의 가치는 업무, 비업무에 따라 다르며 수단에 따라 다르다. 또한, 고속도로 이용자의 시간가치와 국도 이용자의 시간가치가 다르다. 본 연구에서는 『예비타당성 편익 보정, 건설교통부, 2004』에서 제공된 시간가치를 업무, 비업무의 시간가치와 비율을 가중평균하여 2004년 기준으로, 차량 1대당 평균 통행시간 가치로 보정하였다. 버스와 트럭을 중차량으로 간주하였으며, 승용차와 중차량으로 구분한 통행시간 가치에 대한 보정은 「예비타당성 편익 보정, 건설교통부, 2004」에서 제시한 버스와 트럭의 시간가치를 건설교통부에서 제공하는 버스와 트럭의 구성비를 가중 평균하여 산정하였다 [13].

고속도로 이용자와 국도 이용자의 상이한 통행 시간가치는 다음과 같이 반영하였다. 유료도로의 시간가치는 무료도로의 시간가치에 비해 12%~

<표 1> 도로 등급별·차종별 시간가치
<Table1> Time value of loads & vehicles class

(단위 : 원/시간)		
구분	승용차	중차량
고속도로	12,833	15,547
국도	10,908	9,461

주 : 2004년 기준

18% 높은 것으로 분석되었다 [14]. 본 연구에서는 유료도로의 시간가치를 국도보다 15% 높게 산정하였다.

본 연구에서의 시간비용 함수는 일반적인 시간비용 함수를 가정하였다. 일반적인 시간비용함수는 Urban Transportation Planning Package(UTPP)에서 사용되고 Kraus, Amott, McDonald, 그리고 Small들의 연구에도 사용되었다. 시간비용 함수를 두 차종으로 나누어 구분하였다.

$$C_n = r_1 C_t, C_e = r_2 C_t \quad (5)$$

$$C_t = C_t(V_1, V_2)$$

C_t 는 각 노선의 시간이고 r_1, r_2 는 두 차종의 시간비용이다. V_1, V_2 는 두 차종의 교통량이다. 또한, 시간가치를 각 도로별로 구별하기위해 고속국도의 시간비용은 C_n^N, C_e^N 로, 민자도로의 시간비용은 C_n^S, C_e^S 로 국도의 시간비용은 C_n^L, C_e^L 로 구분하였다.

⑥ 유지비용

현재 유료도로의 통행요금은 기본요금과 주행거리에 따른 주행요금으로 구성되어있다. 주행요금은 차종별로 다르게 영향을 받는 수선유지비·재포장비에 대한 비용과 차종에 관계없이 동등하게 영향을 받는 기타비용으로 구성된다. 본 연구에서는 주행요금차 차종에 따라 영향을 받는 수선유지비·재포장비에 대한 비용을 유지비용이라 정의하였다. 차종별 유지비용 산정을 The Highway Research Board에서 제안한 AASHTO 설계법으로 등가 단축하중계수(ESALF, Equivalent Single Axle Load Factor)에 따른 차량의 피해정도의 측정하는 방법으로 산정하였다. 또한, IBRD 5차(인천-수원 조사)에서 산정된 중차량의 ESALF 산정결과 값을 적용하였다 [15]. 이 결과를 토대로 버스와 트럭의 교통량 비율로 가중 평균하여 ESALF는 1.4로 적용하였다. 1958년에서 1960년에 AASHTO에서 실험결과 계산된 값은 '4승 법칙'이었으나, 1989년에 Small et. al. 이 같은 AASHTO에서 실험한 것과 자료로 'state-of-the-art economic techniques'로 다시 계산한 결과 '3

승 법칙'이 더 잘 맞는 것으로 증명되었다. 따라서 본 연구에서도 '3승 법칙'으로 유지비용을 산출하였다. 승용차와 중차량에 의한 유지비용에 대한 내용을 식으로 나타내면 다음과 같다[13, 14].

$$C_{m1}(V_1) = A \cdot K \cdot \rho^3 \cdot V_1 \quad (6)$$

$$C_{m2}(V_2) = A \cdot K \cdot \rho^3 \cdot V_2$$

V_1, V_2 ; 승용차 및 중차량의 교통량

$C_{m1}(V_1), C_{m2}(V_2)$; V_1, V_2 의 유지비용

A ; 단위 유지비용

K ; 거리

ρ ; ESALF

III. 분석자료

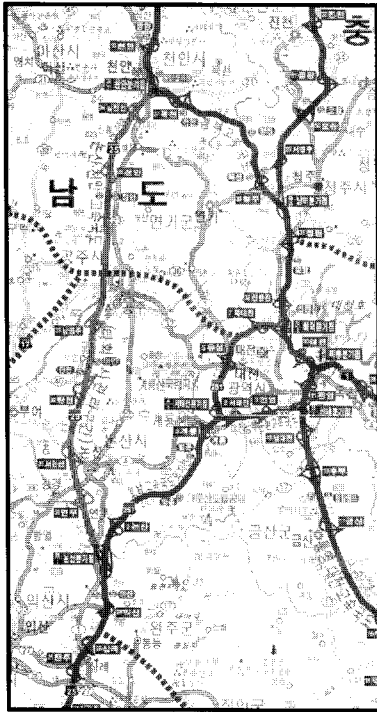
1. 대상지역

본 연구에서는 출발지와 목적지는 같으나 통행요금과 도로환경이 각각 다른 3개 노선이 있는 지역을 대상으로 하였다. 즉, 요금이 다른 민자도로와 고속국도 그리고, 무료도로인 국도를 선택할 수 있는 노선을 대상으로 하였다. 천안~논산을 잇는 노선이 이러한 특성을 가진 노선으로, 천안논산고속도로 주식회사가 운영하는 민자도로, 한국도로공사에서 운영하는 고속국도 그리고 천안~논산을 잇는 국도 23번 노선을 대상으로 분석하였다. 분석을 위한 네트워크는 한국교통연구원에서 제공하는 네트워크 자료를 사용하였으며, 한국도로공사에서 제공하는 교통량을 기준으로 OD 교통량을 산정하여 분석하였다.

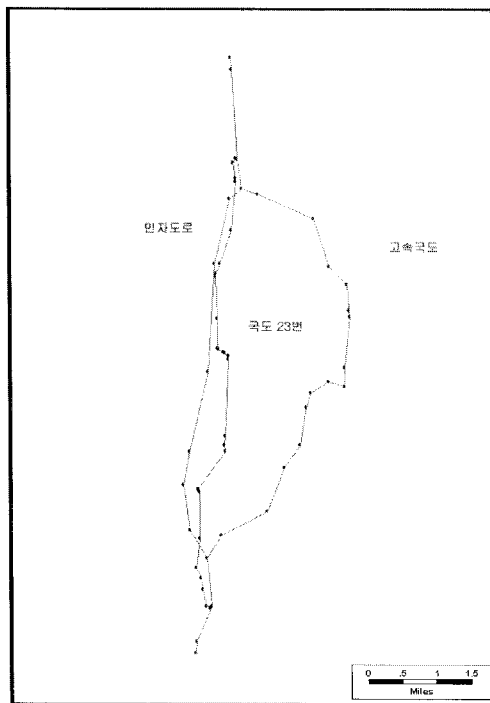
<그림 1>는 대상지역의 실제 지도이고 <그림 2>은 TransCAD 4.7 Version에서의 네트워크이다.

2. 역수요함수

II장에서 서술한 사회적 후생을 추정하기위해 고속국도와 민자도로의 도로가격의 변화에 따른 교통량의 변화를 추정하고 각 노선의 역 수요함수를 추정하였다. 해당 지역에서 통행 요금 변화에 대한



<그림 1> 실제 지도
<Fig. 1> Real map



<그림 2> 네트워크 지도
<Fig. 2> Network map

자료를 이용하여 수요함수를 추정하는 것이 가장 좋은 방법이나, 현실적으로 불가능하여 시뮬레이션으로 통행요금에 따른 수요함수를 추정하였다. 한 개 노선의 요금변화에 따른 도로가격과 세 개 도로의 교통량 변화를 추정하였고, 그 교통량과 도로가격과의 관계를 회귀분석을 통해 역 수요함수를 추정하였다. 도로가격에는 통행요금뿐만 아니라 출발지에서 목적지까지의 통행시간을 시간가치로 환산하여 포함시켰다.

교통량의 변화패턴을 추정하기 위해 유료도로의 현재(2004년 12월 기준) 승용차 통행요금을 기준으로 50%~150%의 범위를 두고 요금변화에 따른 교통량 변화를 추정하였다. 도로가격과 교통량의 변화를 분석하기 위해 네트워크 분석은 TransCAD 4.7 Version을 이용하였으며, 이것에 따른 도로가격과 교통량의 관계를 Limdep 7.0 Version을 이용하여 회귀 분석하여 역수요함수를 추정하였다.

1) 민자도로의 역 수요함수

민자도로의 역 수요함수는 통행요금이 승용차 기준 4,600원부터 132,000원까지 요금의 변화를 주어 총 67번의 분석을 통한 자료를 이용하여 산출하였다. 교통량의 변화는 도로가격 증가에 따라 비교적 균일한 기울기를 나타내며 감소하였다. 이러한 67개의 분석 값으로 Limdep을 이용한 회귀 분석한 결과는 <표 2>와 같다.

회귀 분석한 결과 Adjusted R-Squared값은 0.97438로, 추정된 식은 설명력이 높은 것으로 나타났다.

식 (7)는 이러한 결과로 민자도로의 도로가격과 교통량에 대한 역 수요함수를 식으로 나타낸 것이다.

<표 2> 민자도로의 역 수요함수 회귀분석 값
<Table 2> Regression analysis results of private capital highway demand function

R-squared= 0.974773,		Adjusted R-squared = 0.97438		
	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
Constant	25758.7000	79.7873	322.8430	0.0000
V	-0.1356	0.0027	-50.1157	0.0000

$$P^S = 25759 - 0.13565V \quad (7)$$

회귀 분석시 가격 P를 종속변수로, 교통량을 독립 변수로 설정하여 역수요함수를 추정하였기에 상수 값은 식(3)에서의 $\frac{Q}{b}$ 와 같고, V의 계수는 $\frac{1}{b}$ 와 같다.

2) 고속국도의 역 수요함수

고속국도의 역 수요함수는 통행요금이 승용차 기준 2,800원부터 8,400원까지 총 43번의 분석을 통한 자료를 이용하여 산출하였다. 고속국도의 경우에서도, 교통량의 변화는 도로가격 증가에 따라 비교적 균일한 기울기를 나타내며 감소하였다. 이러한 43개의 분석 값으로 Limdep을 이용한 회귀 분석한 결과는 <표 3>와 같다.

회귀분석한 결과 Adjusted R-Squared 값이 0.98018로, 추정된 식은 설명력이 높은 것으로 나타났다.

식 (8)는 이러한 결과로 고속국도의 도로가격과 교통량에 대한 역 수요함수를 식으로 나타낸 것이다.

<표 3> 고속국도의 역 수요함수 회귀분석 값
<Table 3> Regression analysis results of national highway demand function

R-squared = 0.980651, Adjusted R-squared = 0.98018				
	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
Constant	27710.9	110.052	251.798	0
V	-0.17621	0.003866	-45.5848	0

$$P^N = 27710 - 0.1762V \quad (8)$$

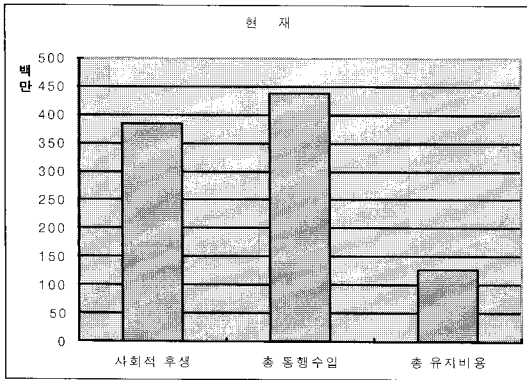
IV. 분석결과

통행요금 중 주행요금에는 승용차를 기준으로 유지비용이 반영되어있어 승용차에 대한 추가적인 부가는 하지 않았다. 또한, 도로 손상 주된 원인은 중차량에 의한 것이나 이에 대한 요금반영은 미흡한 상황이다. 본 연구에서는 승용차를 기준으로 중차량에 대해 유지비용을 재산정하여 요금에 부과하였다. 따라서, 중차량에 대해서 유지비용을 요금에 재반영하고 중차량의 교통량 변화에 따른 시간비용

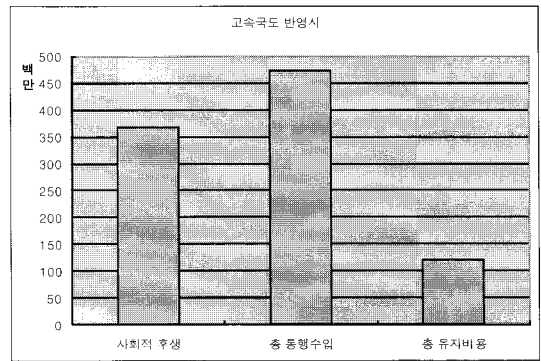
<표 4> 유지비용 반영결과(일일 기준)
<Table 4> Results of reflecting maintenance cost

(단위: 원)

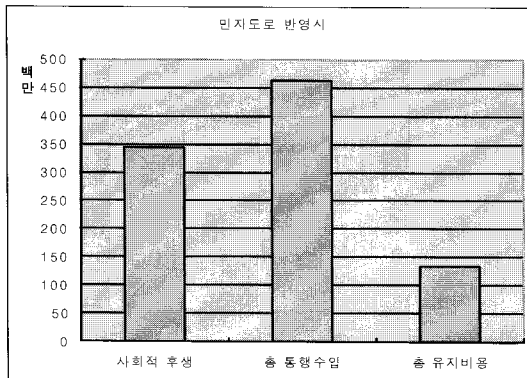
구 분	부분 반영시(현재)			민자도로 반영시			고속국도 반영시				
	민자도로	고속국도	국도	민자도로	고속국도	국도	민자도로	고속국도	국도		
승용차	교통량	15,627	15,511	6,342	15,627	15,511	6,342	15,627	15,511	6,342	
	가격	21,762	22,741	19,317	20,884	23,650	20,335	23,245	22,002	21,734	
	통행시간비용	12,862	17,141	19,317	11,984	18,050	20,335	14,345	16,402	21,734	
	통행료	총액	8,900	5,600	-	8,900	5,600	-	8,900	5,600	-
		유지비용	981	1,422	-	981	1,422	-	981	1,422	-
기타비용	7,919	4,178	-	7,919	4,178	-	7,919	4,178	-		
중차량	교통량	12,179	12,088	3,253	7,168	16,831	3,521	17,840	5,854	3,825	
	가격	26,344	27,457	23,409	27,981	28,557	24,643	28,141	30,460	26,338	
	통행시간 비용	15,582	20,767	24,309	14,519	21,867	24,643	17,379	19,870	26,338	
	통행료	총액	10,762	6,690	-	13,462	6,690	-	10,762	10,590	-
		유지비용	-	-	-	2,700	-	-	-	3,900	-
기타비용	-	-	-	10,762	-	-	-	6,690	-		
전체	총 비용	1,234,021,998			1,288,294,326			1,263,218,527			
	사회적 후생	384,982,756			344,633,128			367,127,270			
	총 통행수입	437,879,382			462,977,203			473,549,623			
	총 유지비용	127,699,091			133,215,781			119,682,726			



〈그림 3〉 현재의 사회적 후생 및 재정상황
 〈Fig. 3〉 The present social welfare & financial state



〈그림 5〉 고속국도에 유지비용 반영시 결과
 〈Fig. 5〉 Results of reflecting the maintenance cost at national highway



〈그림 4〉 민자도로에 유지비용 반영시 결과
 〈Fig. 4〉 Results of reflecting the maintenance cost at private capital highway

및 유지비용의 변화에 따른 결과를 분석하였다.

1. 민자도로에 유지비용 반영시

민자도로 반영시를 살펴보면, 시스템 전체의 교통량 변화로 보면 민자도로의 교통량은 8% 감소한 반면 고속국도의 교통량은 8% 증가했고 국도의 교통량의 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 세부적으로 교통량의 변화를 보면, 민자도로의 중차량의 교통량은 43% 감소하였다. 감소한 교통량 중 95%는 고속국도로 이동하였고 5%는 국도로 전환되었다. 교통량 변화에 따라 사회적 후생은 10%의 감소를 나타냈으며 총 유지비용의 증가 등으로 총비용

은 4%의 증가를 나타냈다. 통행수입의 경우는 통행료 인상으로 인해 5%의 증가를 나타냈다.

2. 고속국도에 유지비용 반영시

고속국도 반영시를 보면, 고속국도에 유지비용을 반영한 결과 고속국도의 중차량의 교통량은 52% 감소하였다. 감소한 교통량 중 91%는 민자도로로, 9%는 국도로 전환되었다. 고속도로의 경우 민자도로에 비해 통행거리가 길기 때문에 더 많은 유지비용이 부가되어 더 많은 교통량이 전환되었다. 시스템 전체적인 교통량의 변화는 고속국도의 교통량은 9% 감소하였고 민자도로의 교통량은 8% 증가, 국도의 교통량은 1% 증가하였다.

교통량 변화에 따라 사회적 후생은 4% 감소하는 것으로 나타났으나 총 통행수입은 통행요금이 높은 민자도로로 교통량이 전환됨에 따라 8%의 증가를 보였다. 유지비용 또한 거리가 짧은 민자도로로 많은 교통량이 전환됨에 따라 6%의 감소를 나타냈다.

민자도로에 유지비용을 반영하였을 시에는 통행거리가 긴 고속국도로 교통량이 전환됨으로 인해 유지비용이 증가하였고 고속국도의 통행시간이 증가함으로 인해 10%의 사회적 후생의 손실이 발생하였다.

고속국도에 유지비용을 반영하였을 시에는 약간의 사회적 후생의 감소에도 불구하고 통행수입의

증가와 유지비용의 감소로 재정적인 효과는 큰 것으로 나타났다.

V. 결 론

외부비용의 내부화를 위한 요금정책은 경제적인 수단으로 사회적 후생을 증진시키는 수단으로 받아들여지고 있고 여러 가지 방법들이 시도되고 있다. 유지비용은 도로의 지속적인 운영뿐만 아니라 외부비용의 중요한 요소임에도 불구하고 그것에 대한 연구 및 반영은 미흡하였다. 속도에 의한 혼잡비용은 지속적인 변화로 인해, 산정의 어려움뿐만 아니라 거부감이 큰 반면, 유지비용의 반영은 거리에 의해 결정되기에 때문에 속도에 의한 혼잡비용 징수보다는 이용객의 거부감이 낮다. 또한, 도로 피해의 정도가 다른 차량별로 그 비용만큼 요금을 부가하는 것이기 때문에 유료도로의 기본개념인 ‘사용자 부담원칙’에도 부합된다.

본 연구에서는 통행요금과 도로의 상황이 다른 3개 노선이 있는 지역을 대상으로 혼잡비용의 한 요소인 유지비용을 반영함으로써 인한 사회적 후생의 변화를 확인하였다. 본 연구에서도 다른 차선 가격 설정법을 적용한 결과와 같이 사회적 후생의 변화는 약간의 감소를 나타냈다. 따라서, 최선 가격설정법이 아닌 차선 가격설정법으로 사회적 후생의 증진을 이루려는 노력은 조심스럽게 시도되어야겠다. 하지만, 고속국도 이용에 비해 적은 민자유치 도로에 대한 국가 재정의 지원이 지속되고 있는 현실에서 유지비용 반영은 국가 재정 지원의 감소를 이룰 수 있는 방안으로 고려된다.

본 연구에서 도로의 유지비용 산출을 위한 등가 단축 하중계수(ESALF)는 국내의 도로를 대상으로 연구된 계수값을 사용하였다. 앞으로 유지비용에 대한 보다 정확한 분석을 위해서는 대상 노선의 ESALF에 대한 연구가 선행되어야겠다. 또한, 수요함수 추정시 고정된 수요로 민자도로 또는 고속국도 중 한 대안노선은 고정하고 다른 대안노선의 요금변화에 따른 수요함수를 각각 추정하였다. 두 개 노선의 요금 변화를 함께 고려한 수요함수를 추정

하는 것이 더 바람직하나, 두 개 노선의 요금변화를 동시에 시행하였을 때 교통량의 패턴을 추정할 수 없게 나타나기 때문에 수요함수 추정이 곤란하였다. 본 연구는 향후, ITS의 투자가 확대될 경우 고속도로, 국도 등에 설치될 ITS 투자비용과 유지보수 비용은 도로이용 요금에 반영시킬 경우 요금반영에 따른 교통량 변화 및 통행시간에 대한 연구시 적용될 수 있어 제한적이지만 논문에 의의를 두고 있다. 또한 ITS와 관련된 유지비용을 함께 고려한 각 차종별, 노선별 수요함수를 추정, 사회적 후생을 극대화 할 수 있는 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 교통개발연구원, *통행요금 원가분석 및 차등요금 부과방안 연구 보고서*, 최종 보고서, 2004. 12.
- [2] 교통개발연구원, *민자고속도로 적정 통행료 산출 분석 연구*, 최종 보고서, 2002. 5.
- [3] 교통개발연구원, *천안-논산고속도로 적정 통행료 체계*, 최종 보고서, 2002. 10.
- [4] 김광식, 황기연, “An application of road pricing schemes to urban expressways in Seoul”, *Cities*, vol. 22, no. 1, pp. 43-53, Feb. 2005.
- [5] 신기숙, *고속도로 혼잡통행료 산출*, 한양대학교 석사학위논문, 1996. 2.
- [6] 이명환, *혼잡통행료 징수를 통한 교통난 해소방안에 관한 연구*, 동국대학교 석사학위논문, 1997. 2.
- [7] K. A. Small, “The incidence of congestion tolls on urban highways”, *J. Urban Economics*, vol. 13, pp. 90 - 111, Jan. 1983.
- [8] E. T. Verhoef, P. Nijkamp, and P. Rietveld, “Second-best regulation of road transport externalities,” *J. Transport Economics and Policy*, vol. 29, pp. 147 - 167, May 1995.
- [9] R. Tellis and C. J. Khisty, “Social cost component of an efficient toll,” *Transportation Research Record*, vol. 1576, pp.140 - 146, Jan. 1997.
- [10] H. Mohring, *Transportation Economics*, Cambridge, MA, Ballinger Publishing, 1976.

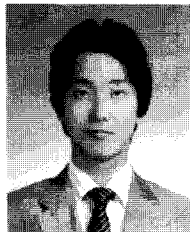
- [11] K. A. Small, C. Winston, and C. A. Evans, *Road Work - A New Highway Pricing and Investment Policy*, The Brookings Institution, 1989.
- [12] C. P. Chu and J. F. Tsai, "Road pricing models with maintenance cost," *Transportation*, vol. 31, pp. 457-477, Nov. 2004.
- [13] 건설교통부, *예비타당성 편익 보정*, 최종보고서, 2004. 12.
- [14] 국토연구원, *유료도로의 통행시간가치 선정에 관한 연구*, 보고서, 2003. 12.
- [15] 한국건설기술연구원, *고속도로 트럭 하중 분포 및 포장설계를 위한 차량 등가 하중 계수의 산정*, 보고서, 1998. 12.

저작소개



김 응 이 (Kim, Woong-Yi)

2003년 3월~현재 : 한서대학교 항공교통관리학과 조교수
 2002년 : 한양대학교 교통시스템공학과 박사과정 수료
 1998년 2월~한국항공대학교 이학석사 (교통물류전공)
 2000년 2월~2003년 2월 : 한국항공진흥협회 항공연구실 공항팀 연구원



박 상 준 (Park, Sang-Zoon)

2008년 2월~현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 박사과정
 2007년 3월~현재 : 서울특별시 버스정책 담당관실 교통전문직
 2005월 12월~2007년 2월 : 국토연구원 연구원
 2006년 2월 한양대학교 교통시스템공학과 석사 졸업



강 경 우 (Kang, Kyung-Woo)

1992년~현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수
 1985년~1991년 : 미국 뉴욕-뉴저지 항만 교통청 연구원 및 수석 연구원
 1985년 7월 : 미국 펜실바니아 대학 박사 졸업