한국도로학회 논문집
第11券1號 2009年 3月
pp. 47 ~ 58

교통계획 모형내 유료도로의 요금적용 방안에 관한 연구

Methods of Computing Toll Road Weights when Calibrating Road Networks in a Transportation Planning Model

김 응 철* 김 도 훈**
Kim, Eung-Cheol Kim, Do-Hoon

Abstract

Calibrating toll roads of highway networks needs additional weights within volume delay functions not like other general highway links. However, current methods assigning additional weights in the volume delay function of toll roads are not sufficiently enough to predict real toll road volumes measured, since it does not consider discounting rates and an extra charges. This study develops methods to improve relevant and reliable volume delay functions. Suggested ideas include a method of weighting volume delay functions considering a value of time of vehicle types, a method of weighting volume delay functions considering lane distributions of vehicles, and a method of weighting volume delay functions considering percentages of link lengths per a number of lanes of toll roads. It is found that the method of weighting volume delay functions considering lane distributions of vehicles show most reliable and appropriate results, while the first method shows overestimation and the third method does underestimation of highway link volumes. In terms of assignment methods, total OD equilibrium assignment shows better results than PCU based assignment.

Keywords : transportation planning, toll Road, toll pricing, weight, calibration

요 지

요금을 지불하게 되는 유료도로에 대해서는 별도의 가중치를 산정하여 교통계획 모형 내에서 모델링할 수 있도록 해야 하나 현존하는 유료도로의 가중치 산정방법에서 발생하는 문제점은 현실과 유사한 통행패턴을 설명하기에 부적당하다. 본 연구는 국가교통DB센터에서 이미 정산된 가중치, 차종별 시간가치를 적용한 가중치 그리고 차로수별 교통량 비율로 수정된 가중치로서 총 세 개의 대안을 선정하여 비교·분석하였다. 그 결과 국가교통DB센터에서 정산되어 차로수의 구분없이 동일한 가중치를 적용하였을 경우에는 허용오차범위 내에 포함된 샘플수가 다른 시나리오에 비해 비교적 다수 포함되었으나 현재 유료도로의 차로수별 할인율과 할증률을 반영하지 않고 정산되었다는 점에서 현실에 맞지 않는 방법론으로 분석되었다. 또한 차종별 시간가치를 이용한 가중치는 현재 적용되는 가중치 중에서 가장 이론적으로 정립되었다고 할 수 있으나 가중치의 비율이 낮게 적용됨으로서 배정교통량이 과다예측 되는 결과로 나타났다. 그러나 차종별 시간가치와 차로수별 교통량 비율을 합산하여 재 산정한 가중치를 적용한 결과는 세 개의 대안 중 가장 현실에 근접한 통행배정 결과로 분석되었다. 또한 통행배정 방법에 있어 총량OD평형배정방법이 PCU통행배정방법보다 현실에 가까운 배정결과가 나타나는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 교통계획, 유료도로, 요금, 가중치, 정산

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 조교수
** 정회원 · 한국교통연구원 도로교통연구실 연구원

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

장래의 국토계획, 지역계획 및 도시계획을 수립함에 있어 다양한 교통유발시설이 입지하게 되는데, 교통계획모형에서는 이러한 교통유발시설에 대한 교통수요분석을 통하여 최종적으로 Network Calibration(도로망 정산)을 수행하게 된다. 이때, 요금을 지불하게 되는 유료도로에 대해서는 별도의 방법론(통행저항함수에 가중치를 부여하는 방안 등)을 적용하여 요금을 교통계획 모형 내에서 모델링할 수 있도록 하여야 한다. 본 연구의 내용과 직접적으로 관계있는 연구기관은 우리나라의 종합정책연구기관인 한국개발연구원 및 국가교통DB를 구축하고 배포하는 국책연구기관인 한국교통연구원이 있으며, 광역자치단체로서는 서울특별시의 서울시정개발연구원, 경기도의 경기개발연구원, 인천광역시의 인천발전연구원 등이 있다. 한국교통연구원과 각 광역지자체의 연구원에서는 서로 다른 방법으로 유료도로의 요금을 교통계획 모형 내에 적용하는 연구를 수행하고 있으며 그런 연구결과를 교통계획 모형 내의 도로망 정산 시에 적용하고 있다. 그러나 각각의 방법은 이론적으로는 적절한 방법을 사용하고는 있으나, 다른 대안의 개발에는 미온적이며 무엇보다도 현실적 혹은 적용가능성 측면에서는 오류가 있는 것으로 지적되고 있다.

현재의 방법은 유료도로의 요금적용 방안으로서 유료도로구간에 적용되는 가중치는 현실을 반영할 수 없는 매우 경직된 구조를 가지고 있으며, 유료도로 요금변화시에는 모든 네트워크를 재 정산해야 하는 모순이 존재한다. 본 연구의 목적은 이러한 교통계획 모형 내에서 효율적인 유료도로의 요금적용 방안을 개발하고자 하며, 특히 유료도로의 요금변화 시에도 구축된 도로망에서의 통행패턴이 현실에 가까운 정산결과를 나타낼 수 있도록 방법론을 도출하는 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 기초자료는 한국교통연구원의 국가교통DB센터에서 배포하고 있는 교통수요분석용 자료를 이용하였다. 이 자료는 전국 지역간, 대구권, 대전권, 광주권 그리고 부산·울산권으로 구축되어 있으며, 본 연구에서의 공간적 범위는 2006년, 2004년 전국 지역간 네트워크 및 OD를 사용하였다. 다음 그림 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.

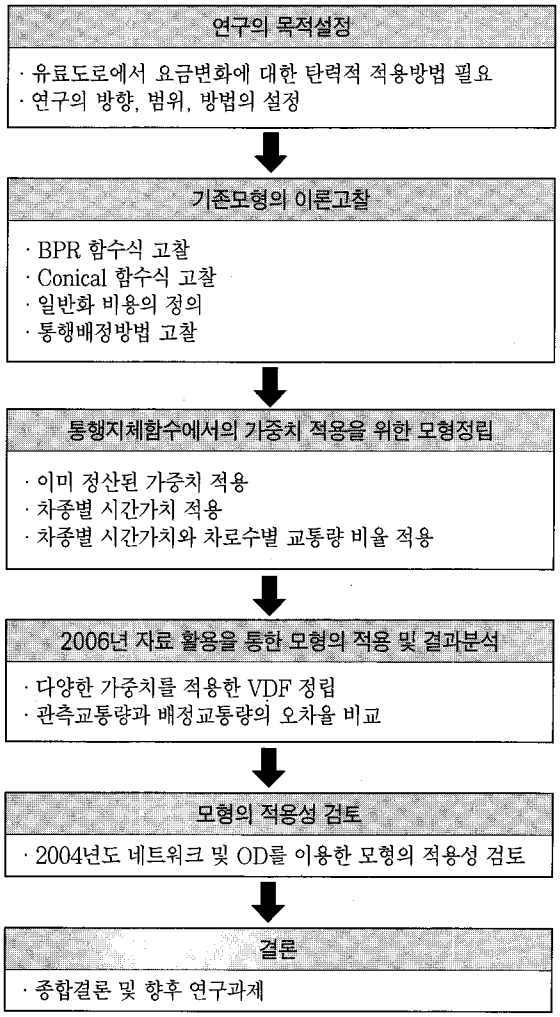

그림 1. 연구 흐름도

본 연구는 유료도로의 요금변화에 따른 이용자의 통행행태 변화를 정량적으로 살펴보기 위해 자유통

행시간, 교통량, 용량, 구간거리 그리고 가중치로 구성되어 있는 일반화 비용(통행시간)을 기존보다 합리적인 가중치를 산정하여 요금변화 시에 유료도로를 이용하는 통행행태 변화양상을 파악하고 이를 반영한 모형을 제시하고자 한다. 추후 교통계획수립 시 정산과정을 단순화 시키고 유료도로의 특성을 반영하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되며 예비타당성조사 시에 주요한 방법론으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 기존모형의 이론 고찰

2.1 BPR 함수식

국내의 경우 지역간(전국 246개 시·군간)통행을 배분하는 경우 1일 기준의 통행량을 대상으로 사용하며 통행지체함수의 구조는 식(1)과 같다. 일반적으로 국내에 적용되는 BPR식에서의 파라미터 β값의 범위가 2.0에서 4.0사이에 분포되어 있으며 α인 경우 0.15에서 0.645의 범위에 해당된다.

$$T = T_o[1 + \alpha(V/C)^{\beta}] \qquad (1)$$

여기서, T_0 : 자유통행시간
V : 교통량
C : 용량
α, β : 파라미터

BPR함수는 구조가 간단하고 사용하기 편리하며, 또한 통행량이 용량과 일치할 때는 자유속도의 1/2과 일치한다는 현상을 반영하기 때문에 널리 활용되고 있지만, 단점도 존재한다(국가교통DB구축사업최종보고서, 한국교통연구원, 2005).

첫째, α값이 클수록 통행시간 산출결과는 급변한다. 가령, V/C의 값이 3이고 β값이 12인 경우 이때 걸린 통행시간은 531,443분(약 369일)으로 비현실적인 값을 갖는다. 이러한 통행시간의 급증으로 말미암아 통행배정에 있어서 수렴시간을 비정상적으로 증가시키거나 과대계산을 발생시키기도 한다.

둘째, V/C가 1 이하에서는 α의 값이 클 경우, 실제 교통량에 상관없이 대부분 자유속도의 값을 갖는다.

셋째, 식의 구조는 간단하지만, 지수함수를 포함한 초월함수의 형태이기 때문에 연산시간이 오래 걸린다.

넷째, BPR함수를 이용하여 타당성 평가를 하는 경우 V/C가 1 이상인 링크에서는 통행시간이 급격히 증가하게 되어 시설물에 대한 투자평가 시 편익이 과대 예측될 수 있다. 따라서 제시되는 BPR함수인 경우 이러한 단점과 파라미터를 고려해야만 한다.

2.2 Conical 함수식

Conical 함수는 BPR함수의 결점을 보완한 새로운 형태의 통행시간 지체함수로 사용될 수 있다. 이 식의 구조는 아래와 같다(국가교통DB구축사업최종보고서, 한국교통연구원, 2005).

$$f(x) = 2 + \sqrt{\alpha^2(1-x)^2 + \beta^2} - \alpha(1-x) - \beta \qquad (2)$$

여기서, $\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}$, $x = \frac{v}{c}$, α는 1보다 큰 상수

$f(x)$: 교통량에 의해서 변화된 통행시간
v : 교통량
c : 용량

Conical 함수가 일반적인 통행지체 함수로서 통행배정에 이용되기 위한 필요한 조건을 충족하며, BPR함수의 급격히 증가하는 곡선형태에 대한 문제점이 보완된다.

2.3 일반화 비용

일반적으로 통행배정은 Wardrop의 제 1원칙에 따른 결정론적 통행배정기법을 활용한 이용자 균형 통행배정에 따라 Frank-Wolf 알고리즘에 의해 계산된

다. 이때 경로선택을 결정하는데 영향을 미치는 요소로 통행시간, 통행거리, 통행비용 등이 고려된다. 이러한 사용자 균형모형은 개별 통행자들이 통행비용을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정한다. 이때 도로 이용자의 통행비용은 시간비용과 유료도로의 통행료로 구성되는 금전적 비용의 합인 '일반화 비용'으로 표현된다. 이처럼 통행시간 이외에 다양한 통행저항 요소를 고려하는 일반화 비용은 현실적인 통행배정결과의 도출을 가능케 하므로 비용함수 구축시 이러한 부분에 대한 적절성이 검토되어야 한다. 일반화 통행비용의 예는 식(3)과 같다.

$$Cost_{Total} = Cost_{Distance} + Cost_{LinkTime} \quad (3)$$

여기서, $Cost_{Total}$: 전체 링크의 저항
$Cost_{Distance}$: 링크의 길이로 인한 통행저항
$Cost_{LinkTime}$: 링크의 통행시간

이때 통상적으로 통행시간에 대한 비용은 미국 공로국에서 개발한 BPR함수식을 사용하며, 거리에 대한 비용은 유료도로를 통행할 때의 금전적 비용을 시간가치로 환산한 값을 사용한다. 이는 도로 이용자의 경로선택이 통행료에 의하여 영향을 받는 행태를 반영하기 위한 것이다. 국내의 경우 『도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』에서 제시된 일반화 비용은 식(4)와 같다.

$$T = T_0[1+\alpha(V/C)^{\beta}] + \text{구간거리} \times \text{가중치} \quad (4)$$

여기서, T : 링크 통행시간(일반화 비용, 분)
T_0 : 링크 자유통행시간(시간비용, 분)
V : 링크 교통량(pcu/시)
C : 링크 용량(pcu)
α, β : 파라메터
가중치 : (통행요금/km)/(차종별 시간가치)

사용자 균형모형은 개별 통행자들의 일반화 비용을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정하고 링크의 교통량을 산출하기 때문에 기초입력자료인 일반화 비용에 대한 검토는 중요하며 시간가치, 통행요금 등을 고려하여 합리적인 기준에서 이를 검증해야 한다.

2.4 통행배정

통행배정은 OD와 네트워크를 이용하여 차량의 통행경로를 추정하는 단계로서 통상적으로 다음의 5가지 방법이 주로 사용된다(국가교통DB구축사업최종보고서, 한국교통연구원, 2005).

가. 총량 OD(승용차+버스+트럭) 평형배정법
나. 내부통행량을 고려한 통행배정
다. 각 차종의 가중치를 다르게 적용한 다차종 통행배정
라. 사전배정(Pre-loading) 통행배정
마. PCU통행배정방법

본 연구에서는 유료도로의 요금 반영시 할인율 및 할증률을 적용하였으며, 통행배정결과의 정산과정의 간편화를 위해 총량OD평행배정법과 PCU통행배정법을 사용하였다.

3. 유료도로의 가중치 적용을 위한 모형정립

3.1 차종별 시간가치 적용

차종별 통행시간가치를 이용한 가중치 산정방법은 현재 실무에서 예비타당성 조사 및 타당성 조사의 수요분석시 가장 보편적으로 활용되고 있는 방법이다. 본 연구에서는 차종별 시간가치를 산정하기 위해 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보안 연구(제4판), 한국개발연구원, 2004』에 따라 통행목적을 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 분석하였으며, 통행시간 비용에 대해서도 승용차, 버스 그리고 트럭의 대당 평균통행시간 가치를 적용하였다.

표 1. 업무 통행시간 가치(2003년)

구 분	승용차운전자	버스운전자	트럭운전자
1인당 월평균 급여액(원/월)	2,036,946	1,577,994	1,982,537
근로시간(시간/월)	201.8	225.5	220.8
시간당 임금(원/인·시간)	10,094	6,998	8,979
임금에 대한 오버헤드 비율(%)	31.3	33.3	30.0
시간가치(원/인·시간)	13,257	9,325	11,670

주: 1) 승용차 운전자는 비농전산업, 버스 운전자는 육상여객운송업, 트럭 운전자는 도로화물운송업의 평균급여와 근로시간을 이용한다.
2) 임금은 정액급여(기본급+통상적 수당+기타 수당)와 연간 특별급여의 1/12을 포함한 값이며, 근로시간은 정상근로시간과 초과근로시간의 합이다.
3) 임금에 대한 오버헤드 비율은 한국은행(2003), '기업경영분석'의(제조업+도소매업), 육상여객운송업, 도로화물운송업의 손익계산서에서 산출하였다.

자료: 임금구조조사(OWS) 2003년 원자료 샘플 자료에서 추정

표 2. 비업무 통행시간 가치(2003년 기준)

수단 구분	승용차	버스	열차
비업무 통행시간 가치(원/인·시간)	4,335	2,160	2,682
업무 통행시간가치대비비율	32.70%	-	-

주: '도로부문사업의 예비타당성 조사 표준지침연구(제4판), KDI, 2004년 자료.

표 3. 차종별 차량 1대당 평균 통행시간 가치(2003년 기준)

구 분	승용차		버스(대당)		트럭
	업 무	비업무	업무	비업무	업무
재차인원(인)	0.39	1.61	3.60	18.40	1.00
시간가치(원)	13,257	4,335	9,325(1인) 13,257(2.6인)	2,160	11,670
시간가치(원/대·시)	5,170	6,979	35,839	39,744	11,670
평균시간가치(원/대)	12,150		75,583		11,670

주: 1) '도로부문사업의 예비타당성 조사 표준지침연구(제4판), KDI, 2004' 자료.
2) 승용차 재차인원 업무:비업무 = 19.5 : 80.5
3) 버스 재차인원 업무:비업무 = 16.4 : 83.6

본 연구에서 재차인원이 적용된 차종별 통행시간 가치 원단위를 산정해 보면, 표 3과 같이 승용차 1대당 평균 시간가치는 12,150원/대·시이며, 버스의 경우는 평균 시간가치는 75,583원/대·시, 트럭은 11,670원/대·시로 산정되었으며, 최종적으로 소비자 물가지수를 적용하여 2006년 차종별 시간가치의 원단위를 산정하였다.

표 4. 교통부문 사업의 소비자물가 보정지수

연 도	소비자물가 지수	
2003	92.014	100
2004	95.227	103.49
2005	100	108.68
2006	104.6	113.68

주: 교통부문사업의 소비자물가지수는 2006년도 단가로 환산을 위한 상대지수임
자료 : 통계청 홈페이지(www.nso.go.kr)

표 5. 고속도로 통행요금

구 분	과 거	현 행	인상률(%)
기본요금(원)			7.75
-폐쇄식	800	862	
-개방식	640	689	
※ 2차로: 50%할인			
주행요금(원/km)			3.58
-1종(소형차)	39.1	40.5	
-2종(중형차)	39.9	41.3	
-3종(대형차)	41.4	42.9	
-4종(대형화물차)	55.5	57.5	
-5종(특수화물차)	65.7	68.0	
※ 2차로 : 50%할인 6차로 이상 : 20%할증			

자료 : 한국도로공사 홈페이지(www.freeway.co.kr)

4차로 고속도로의 일반화비용 산정식은 아래와 같다.

$$\text{일반화비용} = T_0[1+\alpha(V/C)^{\beta}] + \text{구간거리} \times \text{가중치}$$

여기서,

차종별 가중치 = (통행요금/km)/(차종별 시간가치/시간)
승용차(1종적용) = (40.5원/km)/(13,812원/시간) = 0.176(분/km)
버스(3종적용) = (42.9원/km)/(85,922원/시간) = 0.030(분/km)
트럭(2종적용) = (41.3원/km)/(13,266원/시간) = 0.187(분/km)

표 6. 고속도로의 차종비율(2006년 기준)

구 분	승용차	버스	트럭
차종비율(%)	66.92	3.84	29.36

자료 : 건교부, 『도로교통량통계연보』, 2006

앞에서 제시한 차종별 가중치에 표 6의 차종비율을 적용하여 가중평균하면 유료도로의 가중치는 다음과 같다.

$$(0.176\times 66.92\%)+(0.027\times 3.84\%)+(0.187\times 29.36\%)=0.174 \quad (5)$$

현재의 유료도로 요금체계를 반영하기 위해 왕복 2차로는 50% 할인하며, 왕복 6차로 이상의 도로는 20% 할증된 값을 적용하였다.

3.2 유료도로의 차로수별 교통량 비율 적용

유료도로의 요금적용방안에 있어 기존의 방법보다 합리적으로 접근하기 위해서는 현실을 그대로 반영하기 위한 방법론이 정립되어야 한다. 현재 가중치 적용시 각각의 차로수에 대한 구분없이 산정된 가중치를 그대로 반영하고 있어 정산시 오류가 발생한다. 우리나라의 유료도로의 차로수는 왕복 2차로부터 10차로까지 다양하게 나타나므로 본 연구에서는 차로수별 교통량의 분포를 파악하고 이에 대한 교통량 비율을 가중치 산정에 반영하였다.

표 7. 유료도로의 차로수별 교통량 비율

구 분	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	합계
차량대수(천대)	86	7,572	4,372	7,517	1,147	20,696
비율(%)	0.4	36.6	21.1	36.3	5.5	100.0

$$\text{일반화비용} = T_0[1+\alpha(V/C)^{\beta}] + \text{구간거리}\times(\text{가중치}+\text{가중치}\times\text{차로수별 교통량 비율})$$

4. 모형의 적용 및 결과분석

4.1 분석의 전제

본 연구는 앞서 구축된 차종별 시간가치를 적용한 모형과 차종별 시간가치에 차로수별 교통량 비율 적용에 따른 통행패턴 변화를 정량적으로 비교·분석하고자 한다. 본 연구의 공간적 범위는 전국 지역간 유료도로 중 각각의 차로수별로 총 30개의 구간을 무작위로 추출하였으며, 시간적 범위는 2006년으로 선정하고 유료도로의 요금변화에 따른 모형의 적합도 검증을 위해 2004년 네트워크와 기종점 자료를 이용하였다. 다음 표 8은 유료도로에서 무작위로 선정된 30개 구간을 나타낸 것이다.

4.2 전국 네트워크 및 기종점 자료

본 연구에 사용된 전국 지역간 네트워크는 국가교통DB센터에서 장래수요분석을 위해 2005년에 공표한 자료로서 11,715개의 노드와 31,029개의 링크가 도로망을 구성하고 있다. 유료도로의 경우 경부고속도로, 서해안고속도로, 중부고속도로 등 총 26개의 노선이 구축되어 있으며, 자유통행시간, 링크 교통량, 링크 용량, 통행요금 등의 속성 값을 포함하고 있다.

국가교통DB센터에서 공표한 전국 지역간 기종점

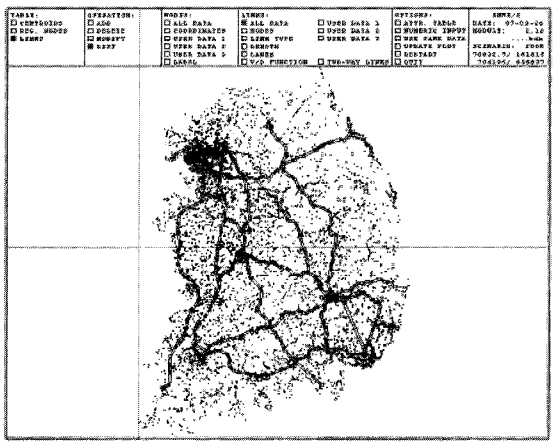

그림 2. 2006년 전국 유료도로의 네트워크

표 8. 유료도로 구간 선정

No	노선번호	구 간	연장(km)	차로수	교통량(대)
1	1호선 경부고속도로	양산IC - 통도사IC	15.7	6	64,414
2		언양JCT - 경주IC	28.2	4	48,087
3		경산IC - 동대구IC	9.2	8	91,125
4		영동IC - 금강IC	16.2	4	38,708
5		신탄진IC - 청원IC	11.1	8	118,232
6		수원IC - 신갈JCT	2.6	10	209,013
7	12호선 88올림픽고속도로	담양IC - 순창IC	18.7	2	6,226
8		순창IC - 남원IC	25.8	2	5,668
9		남원IC - 남장수RC	15.2	2	6,924
10		지리산IC - 함양IC	18.5	2	5,669
11		함양JCT - 거창IC	23.7	2	7,363
12		거창IC - 가조RC	11.1	2	8,454
13		가조RC - 해인사IC	17.0	2	7,855
14		고령IC - 성산IC	13.0	2	12,276
15	15호선 서해안고속도로	함평IC - 영광IC	24.3	4	8,571
16		대천IC - 광천IC	19.7	4	24,973
17		송악IC - 서평택IC	12.3	6	55,346
18	20호선 대구포항고속도로	도동JCT - 청통와촌IC	18.0	4	24,794
19	25호선 호남고속도로	장성IC - 백양사IC	16.8	4	32,080
20	25호선 논산천안고속도로	남공주IC - 정안IC	23.2	4	23,446
21	35호선 통영대전.중부고속도로	무주IC - 금산IC	19.2	4	22,082
22	37호선 제2중부고속도로	마장JCT - 산곡JCT	31.0	4	54,179
23	40호선 평택충주고속도로	청북IC - 송탄IC	18.1	6	46,410
24	50호선 영동고속도로	안산JCT - 군포IC	6.4	6	115,691
25		둔내IC - 면온IC	17.0	4	26,941
26	55호선 중앙고속도로	옥계IC - 강릉IC	26.1	2	12,450
27		강릉JCT - 북강릉IC	10.3	2	11,855
28	100호선 서울외곽순환고속도로	송파IC - 서하남IC	5.0	8	151,241
29		상일IC - 강일IC	3.0	10	165,356
30	451호선 구마고속도로	성서IC - 서대구IC	3.3	10	175,489

자료는 행정구역상의 시·군단위를 기준으로 세분화하여 총 247개 존으로 구성되어 있으며, 여객OD 및 화물OD를 제공하고 있다.

4.3 통행배정

본 연구에서는 각각의 시나리오에 서로 다른 가중치가 적용된 VDF를 제시한다. 또한 편도 3차로 이상 도로에서의 가중치는 평균값을 적용하였으며, 시나리

표 9. 시나리오 설정

시나리오	적용방법	분석방법
scenario1_1	기본 가중치 적용	PCU통행배정법
scenario1_2		총량OD평형배정법
scenario2_1	차종별 시간가치를 적용	PCU통행배정법
scenario2_2		총량OD평형배정법
sceanrio3_1	차종별 시간가치와 차로수별 교통량 비율 적용	PCU통행배정법
sceanrio3_2		총량OD평형배정법

오별 분석을 위해 통행배정 방법으로 "PCU통행배정법"과 "총량OD평형배정법"을 각각 Scenario n_1, Scenario n_2로 구분하여 통행배정을 수행하였다.

표 10. 시나리오별 가중치

구 분	VDF	도로유형	가중치 (분/km)
scenario1	1	1차로 고속도로	0.215
	2	2차로 고속도로	0.215
	3	3차로 이상 고속도로	0.215
scenario2	1	1차로 고속도로	0.087
	2	2차로 고속도로	0.174
	3	3차로 이상 고속도로	0.209
scenario3	1	1차로 고속도로	0.119
	2	2차로 고속도로	0.238
	3	3차로 이상 고속도로	0.286

4.4 결과분석

본 연구에서는 『도로교통량통계연보, 건교부, 2006』에서의 유료도로의 관측교통량 자료와 기종점 자료를 이용하여 정산하였다. 이때 사용된 방법은 관측된 구간교통량(f_{obs})과 배정된 구간교통량(f_{est})의 오차율을 이용하여 평가하였으며, 적정범위 오차율은 『도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), KDI, 2004』에서 제시되어 있는 허용오차 ±30%를 적용하여 분석하였다.

$$\epsilon(\%) = 100 \times \frac{f_{est} - f_{obs}}{f_{obs}} \qquad (6)$$

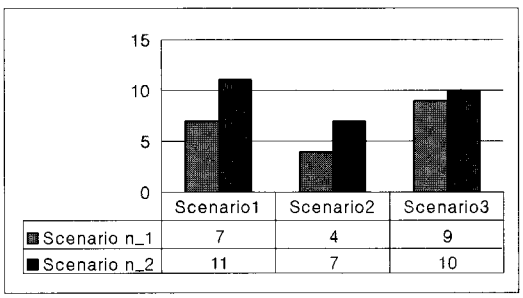

그림 3. 2006년 시나리오별 허용오차 범위내 샘플수

"총량OD평형배정법"을 적용하였을 경우 시나리오 1이 허용오차 범위내 샘플수가 가장 많게 나타났으나, 초기 네트워크 정산시 유료도로의 요금에 대한 할증 및 할인을 고려하지 않은 상태로 정산되어 실무에서 유료도로의 요금 반영시 네트워크를 재정산해야 하는 문제점을 내포하고 있다. 또한 시나리오 2의 방법은 현재 실무에서 가장 많이 사용하고 있으며, 『도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), KDI, 2004』에서 제시하고 있는 가장 합리적인 방법이라고 할 수 있으나 가중치가 다른 시나리오에 비해서 낮게 산정되어 유료도로에서 배정교통량의 과다예측 결과를 나타내는 오류를 범하고 있다. 그러나 차종별 가중치에 차로수별 교통량을 적용하여 가중치를 재산정한 시나리오 3은 다른 방법에 비해 비교적 좋은 결과로 나타났다. 또한 PCU통행배정방법을 적용하여 분석한 결과 허용오차 범위내에 포함된 샘플수는 시나리오 3, 시나리오 1 그리고 시나리오 2의 순위로 나타났다.

통행배정 방법에 따라 차로수별 오차율을 비교·분석한 결과 PCU통행배정시 시나리오 3의 차로수별 평균오차율이 54.6%로서 가장 낮았으며, 차종별 시

표 11. PCU통행배정시 차로수별 오차율 비교

(단위 : %)

구 분	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
2차로	87.9	139.9	72.4
4차로	98.1	104.9	45.1
6,8,10차로	49.4	49.8	46.3
평 균	78.5	98.2	54.6

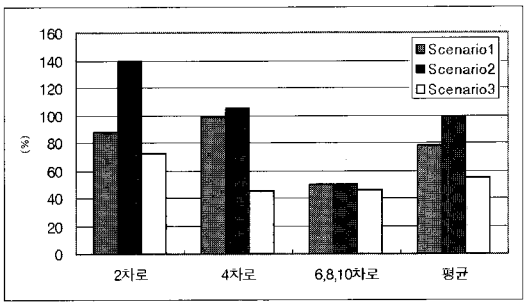

그림 4. PCU통행배정시 차로수별 평균오차율 비교

간가치를 이용하여 가중치를 산정한 시나리오 2의 경우 98.2%로써 가장 높은 오차율이 나타났다.

총량OD배정방법을 적용하여 통행배정시 시나리오 3의 차로수별 평균오차율 44.8%로서 가장 낮았으며, 시나리오 2의 경우에는 90.0%로서 가장 높은 오차율의 결과가 나타났다. 이는 차종별 시간가치의 가중치만을 적용한 시나리오 2의 경우에는 상대적으로 차로수별 가중치가 낮아 배정교통량이 유료도로에 과다 배정되어 나타난 결과로 분석되었다.

표 12. 총량OD통행배정시 차로수별 오차율 비교

(단위 : %)

구 분	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
2차로	64.6	127.4	44.1
4차로	92.4	100.4	47.9
6,8,10차로	42.5	42.3	42.4
평 균	66.5	90.0	44.8

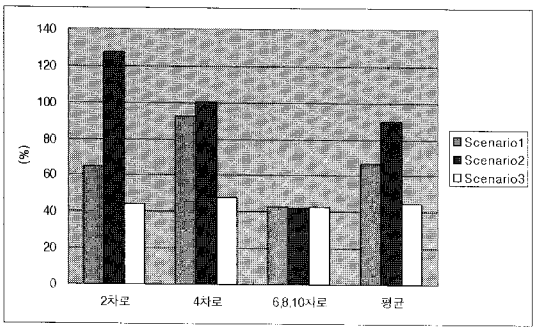

그림 5. 총량OD통행배정시 차로수별 평균오차율 비교

5. 모형의 적용성 검토

본 연구에서는 2006년 네트워크 및 기종점 자료를 이용하여 분석하였기 때문에 유료도로의 요금변화에도 산정된 가중치가 합리적으로 반영될 수 있는지의 검토가 반드시 필요하다. 따라서 2005년 유료도로의 요금을 적용하기에 앞서 산정된 가중치를 2005년도의 요금체계에 맞도록 재산정하였으며, 2004년도와 2005년도에 유료도로가 건설되지 않은 것으로 검토되어 국가교통DB센터에서 정산된 2004년 네트워크를 이용하였다. 또한 2005년 소비자 물가지수를 적용하여 산정된 유료도로의 차종별 평균 가중치는 0.163으로 산정되었으며, 다음 표 13은 시나리오별 가중치를 나타낸 것이다.

표 13. 2005년 시나리오별 가중치

(단위 : 편도)

구 분	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1차로	0.215	0.082	0.112
2차로	0.215	0.164	0.224
3차로 이상	0.215	0.197	0.269

2005년 유료도로의 요금을 적용한 결과 시나리오 2는 배정교통량이 과다예측 되었으며, 시나리오 3은 2006년 유료도로 요금 적용 결과와 비슷한 허용오차 범위내 샘플수가 나타났다.

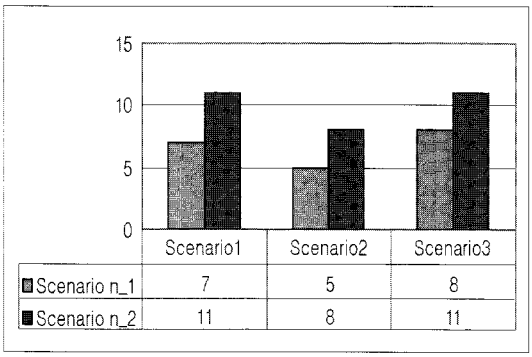

그림 6. 2005년 시나리오별 허용오차 범위내 샘플수

2005년도의 차로수별 PCU통행배정의 결과는 시나리오 3의 차로수별 평균오차율이 54.6%, 시나리오 2의 경우에는 106.9%로 나타났다. 이는 시간가치를 이용하여 산정된 가중치가 비록 합리적인 이론이 반영되어 있지만 결과적으로 장래 교통수요 예측에 사용될 경우에는 왜곡된 통행배정 결과를 초래한다.

표 14. 2005년 PCU통행배정시 차로수별 오차율 비교

(단위 : %)

구 분	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
2차로	69.7	115.6	72.4
4차로	144.0	159.2	45.1
6,8,10차로	44.3	45.8	46.3
평 균	86.0	106.9	54.6

총량OD통행배정시 시나리오 3의 평균오차율이 45.5%로서 가장 낮은 결과로 나타났으며, 시나리오 2의 경우에는 82.9%로써 가장 높은 평균오차율로 분석되었다.

표 15. 2005년 총량OD통행배정시 차로수별 오차율 비교

(단위 : %)

구 분	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
2차로	43.5	79.1	42.0
4차로	120.0	135.3	50.9
6,8,10차로	32.8	34.2	43.6
평 균	65.4	82.9	45.5

6. 결론 및 향후 연구과제

고속도로와 민간투자사업 등 유료도로사업이 활발하게 추진되는 상황에서 네트워크상에서의 합리적인 요금체계 적용방법은 장래 유료도로의 교통수요예측을 위한 매우 중요한 요소이다. 그러나 현존하는 유료도로의 가중치 적용방법에서 발생하는 문제점은 현실과 유사한 통행패턴을 나타낼 수 없다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 국가교통DB센터에서 정산된 가중치, 한국개발연구원의『도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), 2004』에서 제시하는 차종별 시간가치를 적용한 가중치 그리고 차로수별 교통량 비율로 수정된 가중치에 대해서 비교·분석한 결과를 토대로 현재의 교통수요 추정방법의 문제점을 파악하고 수정된 가중치를 적용함으로써 보다 합리적인 결과를 도출하였다. 우선, 국가교통DB센터에서 정산되어 차로수별 구분없이 적용되어 있는 동일한 가중치를 적용하여 통행배정을 수행한 결과, 허용오차 범위내 샘플수가 다른 시나리오에 비해서 다수 포함되었으나 현재 유료도로의 차로수별 할인율과 할증률을 반영하지 않고 정산되었다는 점에서 현실에 맞지 않는 방법론으로 분석되었다. 또한 한국개발연구원의『도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), 2004』에 제시되어 있는 차종별 시간가치를 이용한 가중치는 다른 대안에 비해 가장 이론적으로 정립되었다고 판단할 수 있으나 국가교통DB센터에서 정산된 기존 가중치 보다 낮은 비율의 가중치를 적용함으로서 배정교통량이 과다예측되는 결과가 나타났다. 그러나 차종별 시간가치와 차로수별 교통량 비율을 이용하여 재산정한 가중치를 적용한 결과 세 개의 대안 중 가장 현실에 근접한 통행배정 결과로 나타났다. 통행배정시 『도로교통량통계연보, 건교부, 2006』상에 제시된 승용차, 버스, 트럭을 PCU단위로 환산하여 통행배정을 수행한 경우와 각각의 수단을 현실에 맞게 총량OD평형배정법으로 수행한 경우를 비교한 결과 후자의 차로수별 평균오차율이 낮게 나타났다. 향후 국토계획, 지역계획 및 도시계획을 수립함에 있어 다양한 교통유발시설에 대한 교통수요분석 시 본 연구결과를 이용하여 분석하는 것이 현실에 가까운 배정결과를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 유료도로의 가중치 적용방안을 보다 체계적으로 발전시키기 위해 몇 가지 보완사항이 있다.

첫째, VDF함수식에서의 유료도로의 차로수별 가중치 정산이다. 현재 국가교통DB센터에서 정산되는 유료도로의 차로수별 VDF의 파라미터는 차로수 구분없이 모두 같은 가중치가 적용되어 있어 현실에 맞는 요금체계를 반영할 수 없는 문제점이 있다.

둘째, 소단위의 존 세분화이다. 본 연구에서는 존 세분화를 수행하지 않아 가중치의 정확성이 다소 결여될 여지가 있다. 따라서 지역별 또는 시군구 단위

로 좀 세분화가 이루어진 상태에서 분석되어져야 할 것이다.

셋째, VDF 파라미터의 정기적 갱신의 필요성이다. 일반적으로 국도·지방도 등의 신설 및 확장 그리고 교통유발시설물 설치로 인한 통행패턴은 변화된다. 그러나 2004년도와 2006년도의 VDF의 파라미터가 동일하게 적용되고 있어 통행배정 수행시 현실에 맞지 않는 통행패턴이 발생될 여지가 있다. 따라서 최소 1년 단위의 VDF 파라미터 정산에 대한 검토가 필요하다.

넷째, 통행시간 가치의 적절성 검토가 이루어져야 한다. 본 연구는 가중치 산정시 차로수별 교통량 비율을 고려하였으나, 향후에는 통행시간 가치의 적절성도 함께 연구되어야 보다 체계적이고 합리적인 가중치를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

다섯째, 유료도로의 적용성 검증시 속도변화에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 대안별 가중치 적용시의 교통량에 대한 오차율만을 고려하였으나, 네트워크 정산 전과 후의 속도변화에 대한 검토가 이루어져야 한다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2007년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

건설교통부, "도로교통량 통계연보 2006", 2007

통계청 홈페이지(www.nso.go.kr)

한국도로공사홈페이지(www.freeway.co.kr)

한국개발연구원, "예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판)", 2004

한국개발연구원, "도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보안 연구(제4판)", 2004

강호익(1996), "도로유형별 지체함수정립과 교통배정에 미치는 영향분석",박사학위 논문, 서울대학교

김강수 외(2005), "교통수요 검증을 위한 기초연구 : 도로부문의 여객 통행을 중심으로", 연구보고서, 연구총서 2005-15, 한국교통연구원

김강수 외(2005), "도로사업 예비타당성 조사에서의 통행시간을 이용한 영향권 설정기법의 연구", 대한교통학회지 제23권 제8호

김익기(1997), "교통수요분석에서 통행목적별 O-D 접근방법과 P-A 접근방법의 이론적 비교연구", 대한교통학회지, 제 15권 1호, pp. 45-62.

김익기(2006), "O/D 및 P/A 통행량 전수화와 신뢰성 확보 방안", 교통 기술과 정책, 제 3권 3호, pp. 163-178.

김태희 외(2003), "유료도로의 통행시간가치 산정에 관한 연구 : 수도권 지역을 중심으로", 연구보고서, 국토연 2003-45, 국토연구원

이기영 외(2005), "고속도로에서의 경로선정모형 개발과 활용에 관한 연구 : 천안논산고속도로를 포함한 경로를 중심으로", 도로교통, 제 102호, pp 20-32.

이선혜 외(2003), "TCS O/D를 이용한 배정교통량 정산기법에 관한 연구", 연구보고서, 한국해외기술공사 교통부

이훈기(2006), "지역간 여가통행수요 조사 및 모형개발을 위한 기초연구", 한국교통연구원, 연구총서 2006-16

황부연 외(2003), "고속도로 교통수요예측 정밀도 제고 방안 연구 : 국가교통DB 구축에 따른 고속도로 교통수요분석시스템 구축", 연구보고서, 한구도로공사

INRO Conslutants Inc, EMME/2 Package, 1998

INRO Consultants Inc, EMME/2 User's Manual, Montreal, Canada, 1991

Hai Yang and Michael G. H. Bell.(1997), "Traffic Restraint, Road pricing and network equilibrium", *Transportation Research B 31*, 303-314.

Hai Yang and Xiaoning Zhang(2002), "Multiclass Network Toll Design Problem with Social and Spatial Equity Constraints", *Transp. Engrg.*, Volume 128, Issue 5, pp. 420-428.

Hearn, D.W. and Yildirim, M.B(2002), "A Toll Pricing Framework for Traffic Assignment

Problems with Elastic Demand (Edited by M. Gendreau and P. Marcotte)", *Transportation and Network Analysis:* Current Trends, Kluwer Academic Publishers, pp. 135-145.

21. Heinz Spiess(1990), "Conical Volume-Delay Functions", *Transportation Science.* vol 24., No. 2, SCI.

22. Michael Florian(2004), "*Network Models for Analyzing Toll Highways*", inro. ca

접 수 일 : 2008. 8. 7
심 사 일 : 2008. 8. 27
심사완료일 : 2009. 1. 29