

교통계획 모형내 도로망 정산시 유료도로의 요금변화 적용방안 연구

Methods of Applying Toll Road-Pricing Changes when Calibrating
Road Networks in a Transportation Planning Model

김도훈

(인천대학교

토목환경시스템공학과

석사과정

dhkim1120@incheon.ac.kr)

김응철

(인천대학교

토목환경시스템공학과

조교수

eckim@incheon.ac.kr)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2. 연구의 범위 및 방법

II. 기존모형의 이론적 고찰

III. 유료도로의 가중치 적용을 통한 모형정립

1. 유료도로의 차종별 시간가치 적용

2. 유료도로의 차로별 교통량 비율 적용

3. 유료도로의 차로별 도로연장 비율 적용

IV. 모형의 적용 및 결과분석

1. 다양한 일반화 비용적용

2. 관측교통량과 배정교통량의 오차율 비교

V. 모형의 검증

VI. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

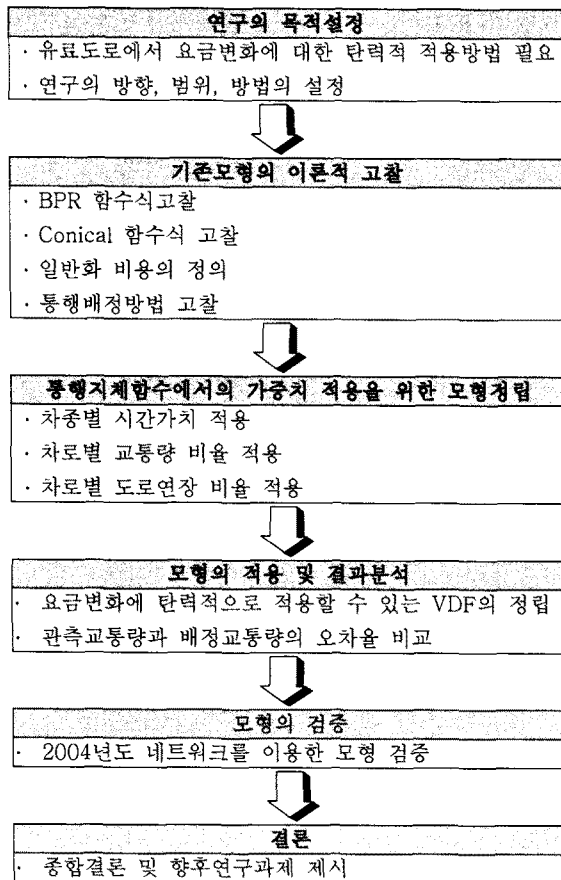
장래의 국토계획, 지역계획 및 도시계획을 수립함에 있어 다양한 교통유발시설이 입지하게 되는데, 교통계획모형에서는 이러한 교통유발시설에 대한 교통수요분석을 통하여 최종적으로 Network Calibration(도로망 정산)을 수행하게 된다. 이때, 요금을 지불하게 되는 유료도로에 대해서는 별도의 방법론(통행저항함수에 가중치를 부여하는 방안 등)을 적용하여 요금을 교통계획 모형 내에서 모델링할 수 있도록 하여야 한다. 본 연구의 내용과 직접적으로 관계있는 연구기관은 국가교통DB를 구축하고 배포하는 건설교통부 산하의 국책연구기관인 한국교통연구원이 있으며, 광역자치단체로서는

서울특별시의 서울시정개발연구원, 경기도의 경기개발연구원, 인천광역시의 인천발전연구원 등이 있다. 한국교통연구원과 각 광역자치체의 연구원에서는 각각 서로 다른 방법으로 유료도로의 요금을 교통계획 모형 내에 적용하는 연구를 수행하고 있으며 그런 연구결과를 교통계획 모형내의 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. 특히, 유료도로의 요금변화를 탄력적, 적시적으로 반영할 수 없는 등의 심각한 단점을 보이고 있으며, 유료도로 요금변화시에는 모든 네트워크를 재 정산해야 하는 모순이 존재한

다. 따라서 본 연구의 목적은 이러한 교통계획 모형 내에서 효율적인 유료도로의 요금 적용 방안을 개발하고자 하며, 특히 유료도로의 요금 변화 시에도 구축된 도로망이 현실에 가까운 정산 결과를 나타낼 수 있도록 방법론을 도출하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 기초자료는 한국교통연구원의 국가교통DB센터에서 배포하고 있는 전국 Network 및 O/D를 이용하였다. 교통분석용 네트워크는 전국 지역간, 대구권, 대전권, 광주권 그리고 부산/울산권으로 구축되어 있으며, 본 연구에서의 공간적 범위는 2006년, 2004년 전국지역간 네트워크를 사용하였다. 다음 <그림1>은 본 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.



<그림1> 연구 흐름도

본 연구는 유료도로의 요금변화에 따른 이용자의 통행행태 변화를 정량적으로 살펴보기 위해 자유통행시간, 교통량, 용량, 구간거리 그리고 가중치로 구성되어 있는 일반화 비용(통행

시간)에서 기존보다 합리적인 가중치를 산정하여 요금변화시에 유료도로를 이용하는 통행행태 변화 양상을 파악하고 이를 반영한 모형을 제시하고자 한다. 추후 교통계획 수립 시 정산 과정을 단순화 시키고 유료도로의 특성을 반영하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되며 예비타당성조사 시에 주요한 방법론으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 기존모형의 이론적 고찰

1. BPR 함수식

국내의 경우 지역간(전국 246개 시·군간)통행을 배분하는 경우 1일 기준의 통행량을 대상으로 사용하며 통행지체 함수의 구조는 식(1)과 같다. 파라미터 β 값의 범위가 2.0에서 4.0사이에 분포되어 있으며 α 인 경우 0.15에서 0.645의 범위에 해당된다.(국가교통DB구축사업 최종보고서, 한국교통연구원, 2005)

$$T = T_0 [1 + \alpha (V/C)^\beta] \quad (1)$$

여기서, T_0 : 자유통행시간

V : 교통량

C : 용량

α, β : 파라미터

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

첫째, α 값이 클수록 통행시간 산출결과는 급변한다. 가령, V/C 의 값이 3이고 β 값이 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. (국가교통DB구축사업 최종보고서, 한국교통연구원, 2005)

둘째, V/C 가 1 이하에서는 α 의 값이 클 경우, 실제 교통량에 상관없이 대부분 자유속도의 값을 갖는다.

셋째, 식의 구조는 간단하지만, 지수함수를

포함한 초월함수의 형태이기 때문에 연산시간이 오래 걸린다.

넷째, BPR 함수를 이용하여 타당성 평가를 하는 경우 V/C 가 1이상인 링크에서는 통행시간이 급격히 증가하게 되어 시설물에 대한 투자 평가시 편익이 과대 예측될 수 있다. 따라서 제시되는 BPR 함수인 경우 이러한 단점과 파라미터를 고려해야만 한다.

2. Conical 함수식

BPR 함수의 결점을 보완한 새로운 형태의 통행시간 지체함수가 사용될 수 있는데 바로 Conical 함수이다. 이 식의 구조는 아래와 같다.

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

여기서,

$$\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}, \quad x = \frac{v}{c}, \quad \alpha \text{는 } 1 \text{보다 큰 상수}$$

$f(x)$: 교통량에 의해서 변화된 통행시간

v : 교통량

c : 용량

Conical 함수는 일반적으로 통행지체함수가 통행배정에 이용되기 위해서 필요한 조건을 충족하며, BPR 함수의 급격히 증가하는 곡선의 형태에 대한 문제점이 보완된다.

최근 서울특별시에서는 『서울시 장래교통수요예측 및 대응방안 연구. 2004.11』를 통해 수도권권 통행배정을 위한 통행지체함수로서 Conical 함수를 제시하였다. 이 연구는 연속류의 경우 도로를 위계별로 구분하여 BPR 함수식을 사용하였고 단속류의 경우 역시 도로를 위계별로 구분한 후 Conical 함수식을 적용하였다.

3. 일반화 통행비용

일반적으로 통행배정은 Wardrop의 제 1원칙에 따른 결정론적 통행배정기법을 활용한 이용자 균형 통행배정에 따라 Frank-Wolf 알고리즘에 의해 계산된다. 이때 경로선택을 결정하는데 영향을 미치는 요소로 통행시간, 통행거

리, 통행비용 등이 고려된다. 사용자 균형모형은 개별 통행자들이 이러한 통행비용을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정하며, 이때 도로 이용자의 통행비용은 시간비용과 고속도로 통행료로 표현되는 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 할 것이다.

일반화 통행비용의 예는 식(3)과 같다. 링크의 일반화 비용은 링크의 통행시간뿐만 아니라 링크의 거리로 인한 비용을 고려할 수도 있다.

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

여기서, $Cost_{Total}$: 전체 링크의 저항

$Cost_{Distance}$: 링크의 길이로 인한 통행저항

$Cost_{Link Time}$: 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. 한편, 국내의 경우 『도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』에서 제시된 일반화 비용은 다음과 같이 이루어진다.

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

여기서, T : 링크 통행시간(일반화비용, 분)

T_0 : 링크 자유통행시간(시간비용, 분)

V : 링크 교통량(pcu/시)

C : 링크 용량(pcu)

α, β : 파라미터

가중치 : (통행요금/km)/(차종별 시간 가치)

사용자 균형모형은 개별 통행자들의 일반화

비용을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정하고 링크의 교통량을 산출하기 때문에 중요한 기초 입력 자료인 일반화 비용에 대한 검토는 중요하며 시간가치, 통행요금 등을 고려하여 합리적인 기준에서 이를 검증해야 한다.

4. 통행배정

통행배정은 O/D와 네트워크를 가지고 차량의 통행 경로를 추정하는 단계로서 통상적으로 다음의 5가지 방법이 주로 사용된다.

- 가. 총량 O/D(승용차+버스+트럭) 평형배정법
- 나. 내부통행량 반영을 위한 배경교통량의 반영(30%)을 고려한 통행배정
- 다. 각 차종의 가중치를 다르게 적용한 다차종 통행배정
- 라. 사전배정(Pre-loading) 통행배정
- 마. PCU통행배정방법

본 연구에서는 유료도로의 요금 반영시 할인 및 할증율을 적용하고 통행배정결과의 정산과정을 간편화를 위해 총량OD 평행배정법과 PCU통행배정법을 사용하였다.

III. 유료도로의 가중치 적용을 통한 모형정립

1. 차종별 시간가치 적용

차종별 통행시간가치를 이용한 가중치 산정 방법은 현재 실무에서 예비타당성조사 및 타당성 조사의 수요분석시 가장 보편적으로 활용되고 있는 방법이다. 이 방법은 유료도로의 요금 적용방법에 있어 이론적으로 가장 합리적인 방법이다.

본 연구에서는 차종별 시간가치를 산정하기 위해 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보안 연구(제4판), 2004』에 따라 통행목적은 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 분석하였으며, 통행시간 비용에 대해서도 지침의 승용차, 버스 그리고 트럭의 대당 평균 통행시간 가치를 적용하였다.

<표1> 업무통행 시간가치(2003년 기준)

구분	승용차이용자	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) '도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침연구(제4판), KDI, 2004'자료

<표2> 비업무통행 시간가치(2003년 기준)

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

주: 1) '도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침연구(제4판), KDI, 2004'자료

<표3> 차종별 차량 1대당 평균 통행시간 가치

구분	승용차		버스(대당)		트럭
	업무	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 예비타당성조사 표준지침연구(제4판), KDI, 2004'자료(2003년기준).

2) 승용차 재차인원 업무:비업무 = 19.5 : 80.5

3) 버스 재차인원 업무:비업무 = 16.4 : 83.6

본 연구에서 활용된 재차인원이 적용된 차종별 통행시간가치 원단위를 산정해 보면, <표3>과 같이 승용차가 1대당 평균 시간가치는 12,150원/대·시이며, 버스의 경우는 평균 시간가치는 75,583원/대·시, 트럭은 11,670원/대·시로 산정되었으며, 소비자 물가지수를 적용하여 2006년 차종별 시간가치의 원단위를 산정하였다.

<표4> 교통부문 사업의 소비자물가지수

연 도	소비자물가지수	
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)

<표5> 고속도로 통행요금

(단위: 원)

구 분	과거	현 행	인상율(%)
기본요금			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: 한국도로공사홈페이지(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,

$$\text{차종별 가중치} = (\text{통행요금}/\text{km}) / (\text{차종별 시간가치}/\text{시간})$$

$$\text{승용차(1종 적용)} = (40.5\text{원}/\text{km}) / (13,812\text{원}/\text{시간}) = 0.176(\text{분}/\text{km})$$

$$\text{버스(3종 적용)} = (42.9\text{원}/\text{km}) / (85,922\text{원}/\text{시간}) = 0.030(\text{분}/\text{km})$$

$$\text{트럭(2종 적용)} = (41.3\text{원}/\text{km}) / (13,266\text{원}/\text{시간}) = 0.187(\text{분}/\text{km})$$

<표6> 고속도로의 차종비율(2006년 기준)

(단위: %)

구분	승용차	버스	트럭
차종비율	66.92	3.84	29.36

자료: 건교부, 『도로교통량통계연보』, 2006

앞에서 제시한 차종별 가중치에 <표6>의 차종비율을 적용하여 가중 평균하면 고속도로의 가중치는 다음과 같다.

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

유료도로의 요금체계를 그대로 반영하기 위해 왕복2차로는 50%할인하며, 왕복6차로 이상의 도로는 20%할증된 값을 적용하였다. 또한 통행배정은 시간단위로 분석하는 것이 더욱 현실성이 있지만, 정산 시 시간단위의 교통량자료의 부재나 VDF함수가 단조증가함수로 되어 있어 지체발생 시 현실에 부합되는 통행시간과 교통량이 나타나지 않을 수 있다. 따라서 통행배정은 전일 O/D로 수행하며 이에 맞게 시간당 용량에 파라미터를 적용하여 전일 통행배정이 가능하였다.

2. 유료도로의 차로별 교통량 비율 적용

유료도로의 요금 적용방안에 있어 기존의 방법보다 보다 합리적으로 접근하기 위해서는 현실을 그대로 반영하기 위한 방법론이 정립되어야 하나 현재 가중치 적용시 각각의 차로구분 없이 산정된 가중치를 그대로 반영하고 있어 정산시 심각한 오류가 발생한다. 우리나라의 유료도로의 차로수는 편도 2차로부터 10차로까지 다양하게 나타난다. 또한 각각의 차로에 분포되어 있는 교통량 또한 다양하게 나타나기 때문에 차로별 교통량의 분포를 파악하고 이에 따른 교통량 비율은 가중치 산정에 반영되어야 한다. 따라서 기존의 유료도로의 통행료와 차종별 시간가치를 적용하여 산정된 가중치에 교통량 비율을 합하여 교통량을 반영한 가중치를 재산정하였다.

<표7> 유료도로의 차로별 교통량 비율

(단위: 천대, %)

구분	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	합계
차량대수	86	7,572	4,372	7,517	1,147	20,696
비율	0.4	36.6	21.1	36.3	5.5	100.0

자료: 건교부, 『도로교통량통계연보』, 2006

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

3. 유료도로의 차로별 도로연장비율적용

기존의 VDF는 “편도 1차로”, “2차로” 그리고 “3차로 이상”으로 구별되어 있음에도 불구하고 단일화된 VDF를 사용함으로써 나타나는 문제점을 보완하기 위해 차로별 도로연장 비율을 반영하여 가중치를 재산정하였다.

<표8> 유료도로의 차로별 도로연장 비율

(단위 : km, %)

구분	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	합계
노선연장	164.0	2,188.9	333.7	346.8	17.7	3,051.1
비율	5.4	71.7	10.9	11.4	0.6	100.0

자료 : 건교부, 『도로교통량통계연보』, 2006

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

IV. 모형의 적용 및 결과분석

1. 적용개요

본 연구는 앞서 구축한 차종별 시간가치 적용, 차로별 교통량 비율 그리고 차로별 도로연장비율 적용에 따른 통행패턴 변화를 정량적으로 분석하고자 하며, 비교대상 모형은 기존의 정립되어 있는 기본 가중치와 위에서 제시한 3가지 방법을 모두 비교·분석하였다.

2. 분석의 전제

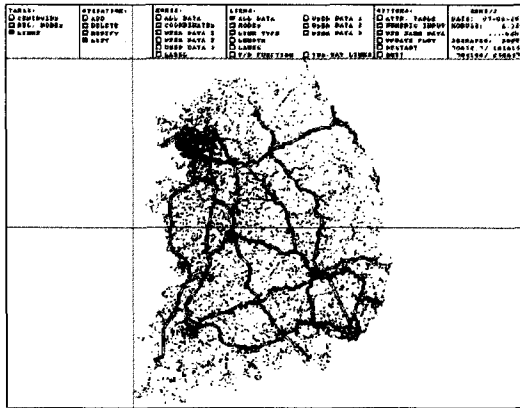
본 연구의 공간적 범위는 전국 지역간 유료도로 중 각각의 차로별로 총 30개의 구간을 무작위로 추출하였으며, 시간적 범위는 2006년으로 선정하고, 유료도로의 요금변화에 따른 모형의 검증에 위해 2004년 네트워크와 기준점자료를 이용하여 유료도로의 요금변화 시 결정된 모형이 적절하게 반영될 수 있는가를 검토하였다. 다음 <표9>은 무작위로 선정된 30개 유료도로의 노선구간을 나타낸 것이다.

<표9> 유료도로 구간 선정

No	노선번호	구간	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		신탄전IC - 청원IC	11.1	8	118,232
6		수원IC - 신갈JCT	2.6	10	209,013
7		담양IC - 순창IC	18.7	2	6,226
8	12호선 88올림픽고속도로	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

3. 전국 네트워크 및 기종점자료

본 분석에 사용하는 전국 지역간 네트워크는 한국교통연구원에서 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.



<그림 2> 2006년 전국 유료도로의 네트워크

한국교통연구원에서 공표한 전국 지역간 기종점 자료는 행정구역상의 시·군단위를 기준으로 세분화하여 총 247개 존으로 구성되어 있으며, 여객O/D 및 화물O/D를 제공하고 있다.

4. 통행배정

본 연구는 각각의 시나리오에 해당하는 다른 가중치를 포함하고 있는 VDF를 제시한다. 또한 3차로 이상 도로에서의 가중치는 평균치를 적용하였으며, 시나리오별 분석을 위해 통행배정시 “PCU통행배정법”과 “총량OD 평형배정법”을 각각 Scenario n_1, Scenario n_2로 구분하여 통행배정을 수행하였다.

<표10> 시나리오 설정

시나리오	적용방법	분석방법
scenario1_1	기본 가중치 적용	PCU통행배정법
scenario1_2		총량OD 평형배정법
scenario2_1	시간가치를 적용	PCU통행배정법
scenario2_2		총량OD 평형배정법
scenario3_1	차로별 교통량 비율 적용	PCU통행배정법
scenario3_2		총량OD 평형배정법
scenario4_1	차로별 노선연장 비율 적용	PCU통행배정법
scenario4_2		총량OD 평형배정법

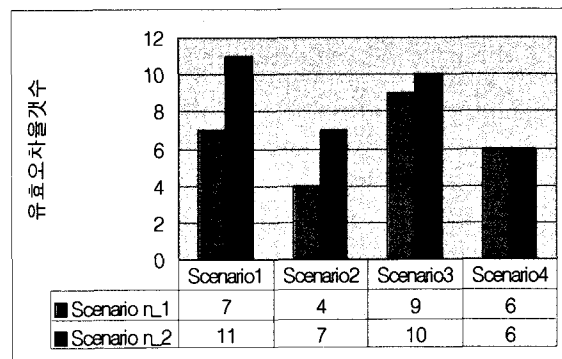
<표11> 시나리오별 가중치

구분	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	0.270
	2	2차로 고속도로	0.540
	3	3차로 이상 고속도로	0.648
scenario4	1	1차로 고속도로	0.446
	2	2차로 고속도로	0.891
	3	3차로 이상 고속도로	1.069

5. 결과분석

본 연구에서는 『도로교통량통계연보, 건교부, 2006』의 기종점자료와 전일 교통량자료를 이용하여 정산하였다. 이때 사용된 방법은 관측된 구간교통량(f_{obs})과 배정된 구간교통량(f_{est})의 오차율을 이용하여 평가하였으며, 적정범위 오차율은 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), KDI, 2004』에서 제시되어 있는 $\pm 30\%$ 를 적용하여 분석하였다.

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



<그림3> 2006년 시나리오별 유효오차율 개수

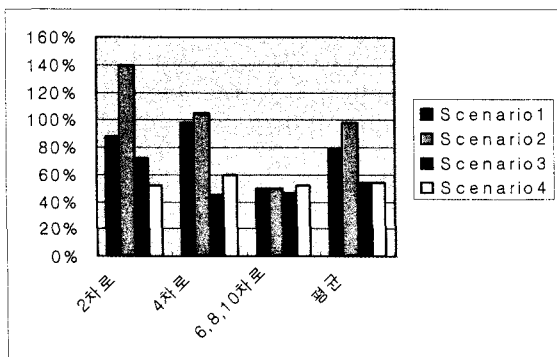
“총량OD평형배정법”을 적용하였을 경우 시나리오1의 유효오차율 개수가 가장 높게 나타났으나, 초기 네트워크 정산시 유료도로의 요금에 대한 할증 및 할인을 고려하지 않은 상태로 정산되어 이는 실무에서 유료도로의 요금 반영시 네트워크를 재정산해야 하는 심각한 문제점을 내포하고 있다. 또한 시나리오 2의 방법은 현재 실무에서 가장 많이 사용하고 있으며, 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), KDI, 2004』에서 제안하고 있는 가장 합리적인 방법이나 가중치가 낮아 유료도로에서 배정교통량의 과다예측 결과를 나타내는 매우 심각한 오류를 범하고 있다. 차로별 교통량을 적용하여 VDF의 가중치를 재산정한 시나리오3은 다른 방법에 비해 비교적 좋은 결과를 나타내고 있으며, 시나리오4는 유효오차율 개수가 가장 낮게 나타났다. 또한 PCU통행배정을 적용하여 분석한 결과 시나리오3, 시나리오1, 시나리오4 그리고 시나리오2의 순위로 유효한 오차율 개수가 나타났다.

통행배정 방법에 따라 차로별 오차율을 비교·분석한 결과 PCU통행배정시 시나리오3과 시나리오4의 차로별 평균오차율이 54%로서 가장 낮았으며, 차로별 시간가치를 이용하여 가중치를 산정한 시나리오2의 경우 98%로서 가장 높은 오차율을 나타냈다.

<표12> PCU통행배정시 차로별 오차율 비교

(단위 : %)

구분	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
2차로	87.9	139.9	72.4	52.1
4차로	98.1	104.9	45.1	59.6
6,8,10차로	49.4	49.8	46.3	51.7
평균	78.5	98.2	54.6	54.5



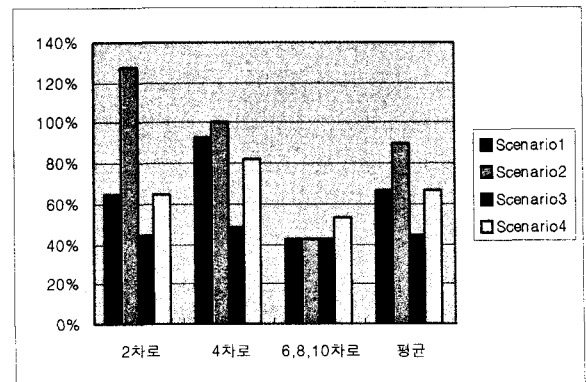
<그림 4> PCU통행배정시 차로별 오차율비교

총량OD배정법을 적용하여 통행배정을 하였을 경우의 차로별 평균오차율 44.8%로서 시나리오3이 가장 낮았으며, 시나리오2의 경우 90.0%로서 가장 높은 오차율의 결과가 나타났다. 이는 통행시간가치를 이용한 가중치를 적용한 시나리오2의 경우에는 상대적으로 차로별 가중치의 비중이 낮아 교통량의 배정 결과가 유료도로에 과다 배정되어 나타난 결과라고 분석되며, 차로별 연장의 비율을 적용한 시나리오4의 경우에는 가중치가 상대적으로 높게 적용되어 일부 유료도로의 배정교통량이 0으로 나타나 과소예측 되는 결과로 분석되었다. 그러나 시나리오3의 경우에는 대체로 유효오차율의 범위에 근접하여 차로별 평균오차율이 작게 나타났다.

<표13> 총량OD통행배정시 차로별 오차율 비교

(단위 : %)

구분	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
2차로	64.6	127.4	44.1	64.2
4차로	92.4	100.4	47.9	81.6
6,8,10차로	42.5	42.3	42.4	53.2
평균	66.5	90.0	44.8	66.4



<그림 5> 총량 OD통행배정시 차로별 오차율비교

V. 모형의 검증

연구에서는 2006년 네트워크 및 기종점 자료를 이용하여 분석하였기 때문에 유료도로의 요금 변화에도 산정된 가중치가 합리적으로 반영될 수 있는지의 검토가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 2005년 유료도로의 요금을 적용하기에 앞서 산정된 가중치를 2005년도의 요금체계에 맞도록 재산정하였으며, 2004년도와 2005년도에 유료도로가 건설되지 않은 것으

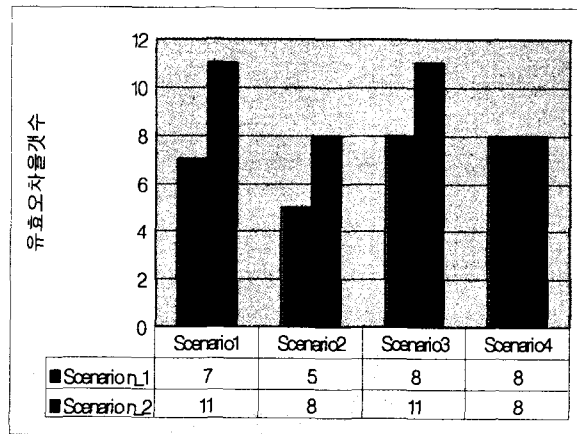
로 검토되어 이미 한국교통연구원에서 정산된 2004년 네트워크를 이용하였다. 또한 차종별 가중치는 2005년 소비자 물가지수를 적용하여 산정된 유료도로의 차종별 평균 가중치는 0.163으로 산정되었으며, 다음 <표14>은 시나리오별 가중치를 나타낸 것이다.

<표14> 2005년 시나리오별 가중치

(단위 : 편도)

구분	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
1차로	0.215	0.082	0.262	0.427
2차로	0.215	0.164	0.524	0.854
3차로이상	0.215	0.197	0.629	0.197

2005년 유료도로의 요금을 적용한 결과 시나리오2의 경우에는 배정교통량이 과다예측 되었으며, 시나리오3의 경우에는 2006년 유료도로 요금 적용결과와 비슷한 유효오차율 개수가 나타났다.



<그림6> 2005년 시나리오별 유효오차율 개수

2005년도의 차로별 PCU통행배정의 결과는 시나리오3과 시나리오4의 경우가 비슷한 평균 오차율이 나타났으며, 시나리오2의 경우에는 106.9%의 평균오차율로 나타났다. 이는 현재 실무에서 반영되고 있는 시간가치를 이용하여 산정된 가중치가 비록 합리적인 이론이 반영되어 있지만 결과론적으로 장래 교통수요예측에 사용될 경우 매우 위험한 통행배정의 결과가 초래될 것으로 판단된다.

<표15> 2005년 PCU통행배정시 차로별 오차율 비교

(단위 : %)

구분	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
2차로	69.7	115.6	72.4	63.4
4차로	144.0	159.2	45.1	48.0
6,8,10차로	44.3	45.8	46.3	49.5
평균	86.0	106.9	54.6	53.6

총량OD통행배정시 시나리오3의 평균오차율이 45.5%로서 가장 낮은 결과로 나타났으며, 시나리오2의 경우에는 82.9%로써 가장 높은 평균오차율로 분석되었다.

<표16> 2005년 총량 OD통행배정시 차로별 오차율 비교

(단위 : %)

구분	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
2차로	43.5	79.1	42.0	49.9
4차로	120.0	135.3	50.9	69.1
6,8,10차로	32.8	34.2	43.6	39.4
평균	65.4	82.9	45.5	52.8

VI. 결론 및 향후연구과제

고속도로와 민간투자사업 등 유료도로 사업이 활발하게 추진되는 상황에서 Network상에서의 합리적인 요금체계 적용방법은 장래 유료도로의 교통수요예측을 위한 가장 중요한 요소이다. 그러나 현존하는 유료도로의 요금적용방법에서 발생하는 문제점은 현실과 유사한 통행패턴을 나타낼 수 없다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 한국교통연구원에서 정산된 가중치, 한국개발연구원의 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), 2004』에서 제시하는 가중치, 차로별 교통량 비율로 수정된 가중치 그리고 차로별 도로연장 비율로 수정된 가중치에 대해서 비교·분석함으로써 현재의 교통수요 추정방법의 문제점을 파악하고 수정된 가중치를 적용함으로써 보다 합리적인 결과를 도출하였다.

우선, 한국교통연구원에서 정산되어 차로별 구분 없이 적용되어 있는 일률적인 가중치를 이용한 통행배정을 수행한 결과, 유효 오차율의 개수가 다른 시나리오에 비해 비교적 다수 포함되었으나 현재 유료도로의 차로별 할인율과 할증률을 반영하지 않고 정산되었다는 점에서 현실에 맞지 않는 방법론으로 분석되었으

며, 한국개발원의 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판), 2004』에 제시되어 있는 차종별 시간가치를 이용한 가중치는 가장 이론적으로 정립되었다고 판단할 수 있으나 이미 네트워크에 정산되어 있는 VDF의 가중치를 수단별 시간가치를 적용하여 기존 VDF에서 제시한 가중치보다 낮은 비율의 가중치를 적용함으로써 통행배정 후 배정교통량이 과다예측되는 결과가 나타났다. 그러나 이미 정산된 네트워크에 차종별 시간가치와 차로별 교통량 비율을 합산하여 재산정한 가중치를 이용한 결과 네 개의 시나리오 중 가장 현실에 근접한 통행배정 결과가 나타났으며, 차로별 도로연장 비율로 산정된 시나리오4의 높은 가중치를 이용하여 통행배정을 수행한 결과 배정교통량이 0인 일부 유료도로가 도출되었으며, 전반적으로 과소예측되는 결과가 나타났다. 또한 통행배정시 『도로교통량 통계연보, 건교부, 2006』상에 제시된 승용차, 버스, 트럭을 PCU단위로 환산하여 통행배정을 수행한 경우와 각각의 수단을 현실에 맞게 총량OD평형배정법으로 수행한 경우를 비교한 결과 후자의 평균오차율이 다소 낮은 결과가 나타났다. 본 연구에서는 향후 국토계획, 지역계획 및 도시계획을 수립함에 있어 다양한 교통유발시설에 대한 교통수요분석 분석시 유료도로의 가중치 산정은 각 수단별 통행시간가치와 차로별 교통량 비율을 적용하여 산정하고, 총량OD평형배정법을 이용하여 분석하는 것이 현실에 가장 가까운 배정결과를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 유료도로의 요금체계를 보다 체계적으로 발전시키기 위해 몇 가지 보완사항이 있다.

첫째, VDF함수식에서의 유료도로의 차로별/지역별로 구분된 파라미터 정산이다. 현재 한국교통연구원에서 정산되는 유료도로의 차로별 VDF의 파라미터는 같은 값이 적용되어 있어 현실에 맞는 요금체계를 반영할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 차로별 파라미터에 대한 정산이 이루어져야 한다.

둘째, 전국단위의 존재분화이다. 본 연구에서는 존재분화를 수행하지 않아 가중치의 정확성이 다소 결여될 여지가 있다. 따라서 전국단위 또는 지역별로 존재분화가 이루어진 상태에서

분석되어야 할 것이다.

셋째, VDF의 파라미터 Update의 필요성이다. 일반적으로 국도, 지방도의 신설 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 파라미터정산에 대한 검토가 필요하다.

넷째, 통행시간가치의 적절성 검토가 이루어져야 한다. 본 연구는 가중치 산정시 차로별 교통량 비율 및 노선연장 비율만을 고려하였으나, 향후에는 통행시간가치의 적절성도 함께 연구되어야 보다 체계적이고 합리적인 가중치를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김익기(2006) O/D 및 P/A 통행량 전수화와 신뢰성 확보 방안, 교통 기술과 정책, 제 3권 3호, pp. 163-178.
2. 김강수 등(2005) 교통수요 검증을 위한 기초 연구 : 도로부문의 여객 통행을 중심으로. 연구보고서, 연구총서 2005-15, 한국교통연구원.
3. 이기영 등(2005) 고속도로에서의 경로선정모형 개발과 활용에 관한 연구 : 천안논산고속도로를 포함한 경로를 중심으로. 도로교통, 제 102호, pp 20-32.
4. 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』, 한국개발연구원, 2004
5. 김태희 등(2003) 유료도로의 통행시간가치 산정에 관한 연구 : 수도권 지역을 중심으로. 연구보고서, 국토연 2003-45, 국토연구원.
6. 이선혜(2003) TCS O/D를 이용한 배정교통량 정산기법에 관한 연구 : 연구보고서, 한국해외기술공사 교통부.
7. Michael Florian. (2004) Network Models for Analyzing Toll Highways.
8. Heinz Spiess. (1990) Conical Volume-Delay Functions. Trans. Sci.