

고속도로 교통수요모형 구축을 위한 유전자 알고리즘 기반 TCS 차종별 최적 승용차환산계수 산정

Estimation of Optimal Passenger Car Equivalents of TCS Vehicle Types for Expressway Travel Demand Models Using a Genetic Algorithm

김경현	Kim, Kyung Hyun	아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (E-mail : kk6661@ajou.ac.kr)
윤정은	Yoon, Jung Eun	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구원 · 교신저자 (E-mail : yoon22@kict.re.kr)
박재범	Park, Jaebeom	한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 (E-mail : jbpark@ex.co.kr)
남승태	Nam, Seung Tae	한국도로공사 건설처 차장 (E-mail : naset@ex.co.kr)
류종득	Ryu, Jong Deug	한국도로공사 보은지사 지사장 (E-mail : ryujd@ex.co.kr)
윤일수	Yun, Ilsoo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 부교수 (E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The Toll Collection System (TCS) operated by the Korea Expressway Corporation provides accurate traffic counts between tollgates within the expressway network under the closed-type toll collection system. However, although origin-destination (OD) matrices for a travel demand model can be constructed using these traffic counts, these matrices cannot be directly applied because it is technically difficult to determine appropriate passenger car equivalent (PCE) values for the vehicle types used in TCS. Therefore, this study was initiated to systematically determine the appropriate PCE values of TCS vehicle types for the travel demand model.

METHODS : To search for the appropriate PCE values of TCS vehicle types, a traffic demand model based on TCS-based OD matrices and the expressway network was developed. Using the traffic demand model and a genetic algorithm, the appropriate PCE values were optimized through an approach that minimizes errors between actual link counts and estimated link volumes.

RESULTS : As a result of the optimization, the optimal PCE values of TCS vehicle types 1 and 5 were determined to be 1 and 3.7, respectively. Those of TCS vehicle types 2 through 4 are found in the manual for the preliminary feasibility study.

CONCLUSIONS : Based on the given vehicle delay functions and network properties (i.e., speeds and capacities), the travel demand model with the optimized PCE values produced a MAPE value of 37.7%, RMSE value of 17124.14, and correlation coefficient of 0.9506. Conclusively, the optimized PCE values were revealed to produce estimates of expressway link volumes sufficiently close to actual link counts.

Keywords

Passenger Car Equivalent, Toll Collection Systems, Genetic Algorithm, Travel Demand Model, Korea Transportation Database

Corresponding Author : Yoon, Jungeun, Researcher
(Daehwa-Dong) 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si,
Gyeonggi_Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0682 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : yoon22@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 2, 2015 Revised Jan. 2, 2015 Accepted May. 20, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경

교통수요분석은 분석대상년도에 특정 교통시설을 이

용하는 차량의 대수를 예측하는 과정이다. 이러한 교통수요분석은 주로 교통수요모형(travel demand model)을 통해서 이루어지며, 예비타당성조사 등에서

사용되는 4단계모형(four-step model)이 대표적인 교통수요모형의 예라 할 수 있다.

교통수요모형을 구축하기 위해서는 기종점간 교통량 자료(O/D matrix), 교통망 네트워크 자료(network), 교통량지체함수(Volume Delay Function, 이하 VDF), 승용차환산계수(Passenger Car Equivalent, 이하 PCE) 등 많은 기초자료들이 필요하다. 교통수요 모형에 사용된 기초자료에 따라서 수요분석 결과가 달라질 수 있기 때문에 항상 정확하고 공신력 있는 기초자료가 사용되어야 한다. 이와 같은 중요성으로 인하여 교통시설 투자사업에 대한 교통수요분석 과정에서는 수도권교통본부, 국가교통DB센터와 같은 공신력 있는 기관에서 제공하는 기초자료의 사용을 권고하고 있다.

고속도로에 대해서도 교통수요분석을 실시할 필요가 빈번히 발생하고 있으며 고속도로 교통운영과 관련하여 교통운영 정책 변화에 따른 파급효과 분석을 위해서는 교통수요모형을 구축하여야 한다. 예를 들어 고속도로 버스전용차로 확대 또는 갓길차로제 확대 시행 시 고속도로 네트워크에 미치는 파급효과 확인 및 편익산출 등을 위해서도 교통수요모형을 구축할 수 있다.

특히, 고속도로의 경우에는 도시부 도로에 비해 상대적으로 교통수요모형 구축이 용이하다. 첫 번째, 네트워크가 간단하고 기존 국가교통DB자료 등을 이용하면 교통수요 분석에 필요한 네트워크를 쉽게 구축할 수 있다. 두 번째, 교통수요모형 구축에서 가장 많은 시간과 노력이 소요되는 기종점간 교통량자료(O/D matrix)를 통행요금징수시스템(Toll Collection System, 이하 TCS) 자료를 이용하여 쉽게 구축할 수 있다.

현재 폐쇄식으로 운영 중인 고속도로상의 요금소에서 수집되고 있는 TCS 자료에는 고속도로를 이용한 모든 차량에 대한 통행정보(입구영업소 번호, 입구영업소 통과시간, 출구영업소 번호, 출구영업소 통과시간)가 기록되어 있다. 이렇게 수집된 통행정보를 이용하여 영업소별, 시간대별, TCS 차종별 진출입 교통량과 O/D 자료로 활용될 수 있는 영업소간 TCS 차종별 교통량을 산출할 수 있다. 또한 TCS 기반 영업소간 기종점 교통량은 전수조사 자료이며, 통행료와 관련되어 있기 때문에 매우 정확한 것으로 알려져 있다.

신언교 등(1999)은 1996년 기준 TCS 자료 기반 교통수요모형을 이용하여 고속도로 폐쇄식 구간에 대한 예측오차를 산정하였다. 이때 산출된 전 구간 교통량에 대한 예측오차는 17.9%로 나타나 비교적 정확한 결과를 보여주는 것으로 나타났다. 이처럼 TCS 자료 이용 시

예측의 정확도를 보다 높일 수 있고, 활용성이 높음에도 불구하고 기존에 교통수요모형에서 사용하는 차종 분류 기준과 통행료 징수를 위한 TCS 차종 분류기준이 일치하지 않아서 사용 시 제약이 따른다. 예를 들어 국가교통DB에서는 승용차, 버스, 화물자동차(소형, 중형, 대형)를 기준¹⁾으로 기종점간 교통량 자료를 제공하고 있으나, TCS에서는 1~6종으로 구분하고 있다.

교통수요분석 과정에서 사용되는 통행배정(traffic assignment) S/W들은 개별 차종별 O/D가 있음에도 불구하고 일반적으로 개별차종단위별 통행배정을 시행하지 않는 것이 일반적이다. 그 이유는 통행배정 시 사용되는 VDF의 일반화비용은 승용차를 기준으로 산정되어 있기 때문이다. 따라서 VDF상의 자유속도, 1차로당 용량, 파라미터(α , β) 모두 승용차 기준으로 구축된 값들이다. 이러한 한계로 인해 교통수요분석은 대단위의 O/D 자료에 차종별 PCE를 적용하여 승용차단위(passenger car unit)로 수행되고 있는 경우가 많다(한국개발연구원, 2008; 국토해양부, 2011). 교통시설 투자사업의 타당성 분석 시 준용하는 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구」(한국개발연구원, 2008), 「교통시설 투자평가지침」(국토해양부, 2011)에서는 버스와 화물자동차에 대해서 PCE값을 제공하고 있다. 따라서 TCS 차종 기준에 대해서도 합리적인 PCE값이 제공된다면 이러한 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

국가교통DB센터에서 제공하는 교통수요분석 기초자료 중 수단별 O/D자료는 승용차, 버스, 화물자동차(소형, 중형, 대형)에 대한 기종점간 교통량 자료이므로 PCE값을 적용하여 교통수요분석을 수행하는데 어려움이 없다. 반면 TCS 자료는 단순히 통행요금 산정을 위해 축거(軸距)와 윤거(輪距), 윤폭(輪幅)에 의해 차종을 분류하고 있기 때문에 다양한 차종이 혼재되어 있다. 예를 들어 TCS 1종의 경우 승용차, 16인승 이하 승합차, 2.5톤 미만 화물차가 혼재되어 있기 때문에 한국개발연구원(2008)에서 제공하는 차종별 PCE값을 그대로 적용하기에는 어려움이 따른다. 따라서 TCS 기반 O/D 자료를 이용하여 교통수요모형을 구축하기 위해서는 TCS 차종 분류 기준에 적합한 차종별 PCE값을 산출할 필요가 있다.

1.2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 고속도로 TCS 자료가 폐쇄식 고속도로 구간의 전체 차량에 대한 완벽한 영업소간 기종점

1) 승용차와 버스는 통행/일 단위로 제공되며, 화물자동차는 소형, 중형, 대형으로 구분되고 대/일 단위로 제공됨.

교통량 자료(O/D)임에도 불구하고 적절한 PCE값을 결정하지 못하여 교통수요분석 시 원활하게 이용되지 못하고 있는 TCS 자료의 활용성을 높이는 것이다. 이에 따른 연구의 목표는 여러 차종이 혼재되어 있는 TCS 차종에 대해서 최적 PCE를 산정하는데 있다. 이러한 TCS 자료에 대해서 각 차종별 최적 PCE값을 산정하게 되면 영업소간 기종점 교통량 자료 구축 등 교통수요분석 측면에서 TCS 자료의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 객관성 있고 신뢰도 높은 TCS 자료 기반 O/D자료를 활용하게 되면 고속도로망의 교통수요분석 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 예측오차를 최소화 할 수 있는 TCS 각 차종에 대한 최적 PCE값을 산정하고자 한다.

1.3. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 공간적 범위는 전국 민자고속도로 및 한국도로공사 관리 구간 중 폐쇄식 구간으로 설정하였다. 폐쇄식 구간을 분석대상으로 선정할 이유는 입구에서 통행권을 발급받고 출구에서 정산하는 특성을 갖는 고속도로의 폐쇄식 구간에서 기종점 교통량 자료를 수집할 수 있기 때문이다. 네트워크 및 O/D 구축에 적용된 시간적 범위는 2011년으로 선정하였다. 본 연구의 절차는 Fig. 1과 같은 절차에 따라 수행되었다.

2. 관련 이론 및 문헌 고찰

2.1. 관련 이론 고찰

PCE란 버스, 화물자동차와 같은 중차량을 승용차 1

대 단위로 환산할 때 사용되는 계수이다. PCE는 도로용량 분석 시에도 사용되는데, 주어진 도로 및 교통조건에서 교통량, 운행속도, 지체시간 등에 중차량이 미치는 영향을 파악하고 이를 승용차 단위로 변환할 때 사용되는 환산계수이다(국토해양부, 2013). 중차량이 교통류에 포함될 경우 승용차에 비해 운동능력이 떨어지기 때문에 교통류의 속도를 감소시키게 된다. 또한 승용차보다 더 넓은 공간을 차지하므로 도로의 용량을 감소시킨다. 이러한 이유로 도로용량 산정 시 해당 도로의 교통조건(예, 2차로 도로의 경우 진행방향 교통량) 및 도로조건(예, 경사)을 고려하여 중차량에 대한 승용차환산계수인 PCE를 산정한다.

교통수요분석에서도 통행배정모형 정산 시 배정교통량을 대단위의 관측교통량과 비교하기 위해서 PCE값을 사용한다. 현재 교통시설 투자사업에 대한 타당성 조사에서는 통행배정모형을 이용하여 해당 도로구간의 교통량을 추정한다. 통행배정을 위해서는 링크별 통행시간을 기반으로 하는 일반화비용이 필요하고 이때 통행시간은 VDF에 승용차 단위 교통량을 입력하여 산출한다. 그러나 통행배정을 위한 VDF가 승용차 단일 차종에 대해서만 제공되며, 통행요금 가중치 또한 승용차의 요금을 기준으로 산정되기 때문에 버스와 화물자동차는 PCE값을 적용하여 승용차 단위 교통량으로 변환하여야 한다.

「도로용량편람」(국토해양부, 2013)에서 제시된 차종별 PCE값과 통행량 조사자료를 이용하여 전국 평균 각 차종별 PCE값을 제공하고 있으며, 대상 사업의 특성을 감안하여 적정 PCE값을 적용할 수 있다(한국

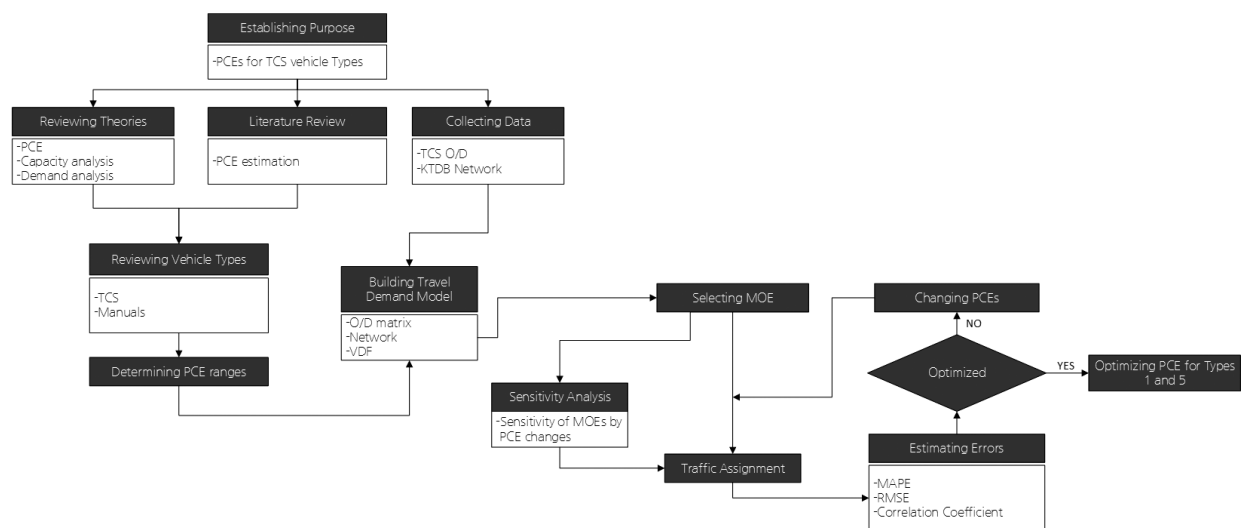


Fig. 1 Research Process

개발연구원, 2008).

2.2. PCE 관련 연구 고찰

주어진 도로 및 교통조건 하에서 PCE값을 산정하는 연구는 오랜 기간 지속되어 왔지만, 교통시설투자사업에 대한 타당성조사 분석을 위해 산정된 연구는 한국개발연구원(2008)이 유일하다. Table 1과 같이 전국권, 광역권(수도권 포함)에 대해서 버스의 PCE값을 각각 제공하고 있으며, 화물자동차의 경우 전국권과 광역권이 모두 동일한 값을 가지고 있다.

전국권의 PCE값은 한국교통연구원(2003)에서 산정된 차종별 승용차환산계수와 통행량을 이용하여 평지 20%, 구릉지 30%, 산지 50%를 적용하여 산정한 값이다. 버스와 트럭의 평균값은 국가교통DB자료와 도로교통량 통계연보 상에 나타난 각 차종별 교통량(화물자동차의 경우)과 평균 주행거리(버스의 경우)를 기준으로 가장 평균한 수치이다(한국개발연구원, 2008).

2.3. TCS 차종별 PCE 적용 사례 검토

계명대학교(2013)에서는 중부내륙선 김천JCT~선산 IC 구간의 공사 중 전환교통량 예측을 위하여 고속도로 교통수요모형을 구축하였다. TCS 자료를 이용하여 분석대상구간 내 고속도로 전체 영업소간 O/D를 구축하였고, 국가교통DB센터에서 배포한 네트워크 중 고속도로 네트워크와 공사 중 우회구간에 해당하는 국도 네트워크를 분리하여 교통수요분석용 네트워크를 구축하였다. 교통수요분석을 위한 TCS O/D의 각 차종별 PCE 값은 1종의 경우 1.0을 적용하였고, 2~5종은 모두 3.7을 적용하여 분석을 수행하였다. 하지만 이에 대한 근거는 제시하지 않고 있다.

전진우(2013)의 연구에서는 TCS 자료를 이용하여 고속도로 폐쇄식 구간에 대한 교통량을 예측하였다. 2010년 기준 TCS 기반 교통수요모형을 구축하고, 2011년 개통 노선에 대하여 %RMSE와 MAPE를 이용하여 예측오차를 검증하였다. 검증결과 국가교통DB센터에서 배포한 자료를 이용한 교통수요모형에 비해 TCS 기반 교통수요모형의 예측오차가 작은 것으로 나타났다. 기준년도의 예측오차는 국가교통DB센터 배포자료에 비해 %RMSE는 12.51%p, MAPE는 13.55%p 감소한 결과를 보였고, 장래년도의 경우 각각 6.68%p, 10.84%p 감소한 것으로 분석되었다. TCS 자료의 차종은 1종을 승용차로, 2종을 버스로, 3~5종을 화물자동차(소형, 중형, 대형)로 구분하였고, 예비타당성조사 표준지침의 PCE값을 적용하였다. 적용된 PCE값은 1~5종이 각각 1.0, 2.13, 1.3, 3.7, 3.8이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 TCS 자료를 기반으로 교통수요분석을 위한 O/D를 구축한 사례는 다수 있으나 교통수요분석에서 매우 중요한 역할을 수행하는 PCE값에 대한 산정 근거는 충분히 제시하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장에서 수집된 TCS 및 구간교통량 자료를 기반으로 실증적 연구를 수행하고자 한다.

3. 고속도로 교통수요모형 구축 및 분석

3.1. 분석 방법론

본격적인 분석에 앞서 본 연구에서는 다음과 같은 분석 방법론을 설정하였다. 첫째, TCS 차종분류 기준과 예비타당성조사지침의 차종분류 기준을 검토하여 적절한 PCE 탐색범위를 결정하였다. Table 2에서 보인 바와 같이 TCS 2종~4종은 예비타당성조사지침의 보통버

Table 1. Passenger Car Equivalent (PCE) Values in Use

Target Area	Buses			Trucks			
	Average	Small-sized Bus(less than 16-seater)	Bus (16-seater or more)	Average	Small-sized Trucks(less than 2.5 ton)	Medium-sized Trucks(2.5 ton or heavier)	Large-sized Truck (Semi-trailer)
Entire country	2.13	1.30	3.70	1.56	1.30	3.70	3.80
Seoul metropolitan	2.00						
Busan-Ulsan area	2.00						
Daegu area	2.00						
Gwangju area	2.00						
Daejeon area	2.00						
Jeonju area	2.00						

Table 2. Comparison of Vehicle Types between TCS and the Manual for Preliminary Feasibility Study

Criteria for TCS Vehicle Types		Criteria in the Manual of Preliminary Feasibility Study	PCE Range	
Small car (Type 1)	<ul style="list-style-type: none"> - Passenger car - Bus(less than 16-seater) - Truck(less than 2.5 ton) 	<ul style="list-style-type: none"> - Passenger car - Small-sized bus(less than 16-seater) - Bus(16-seater and more) - Small-sized truck(less than 2.5 ton) 	1.0~3.7	
Medium-sized car (Type 2)	<ul style="list-style-type: none"> - Bus(17-seater ~ 32-seater) - Truck(2.5 ton or heavier) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bus(16-seater and more) - Medium-sized truck(2.5 ton or heavier) 	3.7	
Large-sized car	(Type 3)	<ul style="list-style-type: none"> - Bus(33-seater) - Truck(heavier than 5.5 ton) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bus(16-seater and more) - Medium-sized truck(2.5 ton or heavier) 	3.7
	(Type 4)	<ul style="list-style-type: none"> - Truck(10 ton or heavier) 	<ul style="list-style-type: none"> - Medium-sized truck(2.5 ton or heavier) 	3.7
	(Type 5)	<ul style="list-style-type: none"> - Truck(20 ton or heavier) 	<ul style="list-style-type: none"> - Medium-sized truck(2.5 ton or heavier) - Large-sized truck(Semi-trailer) 	3.7~3.8

스, 중형트럭에 해당하는 차종으로 PCE값은 3.7로 나타났다. 그러나 TCS 1종의 경우 승용차, 16인승 이하 승합차, 2.5톤 미만 화물차로 구성되어 1.0~3.7에 해당하는 PCE값을 보였고, TCS 5종의 경우에도 3.7~3.8의 PCE값을 갖는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 사용된 분석방법은 TCS 1종과 5종에 적합한 PCE값을 찾는 것을 목적으로 한다. 차종에 적합한 최적 PCE값을 찾기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 절차를 수행하였다. 먼저 TCS기반 교통수요모형에 대한 통행배정 수행 후 모형의 예측오차를 산정하였다. 다음으로 유전자 알고리즘을 이용하여 PCE값을 변화시키고 다시 통행배정 수행 후 예측오차를 산정하였다. 이러한 과정은 PCE값의 변화에 따라 교통수요모형의 예측오차를 설명하는 성과지표(Measure of Effectiveness, 이하 MOE)가 최소화될 때까지 반복하여 수행하였다.

본 연구에서는 유전자 알고리즘과 Emme3를 결합하

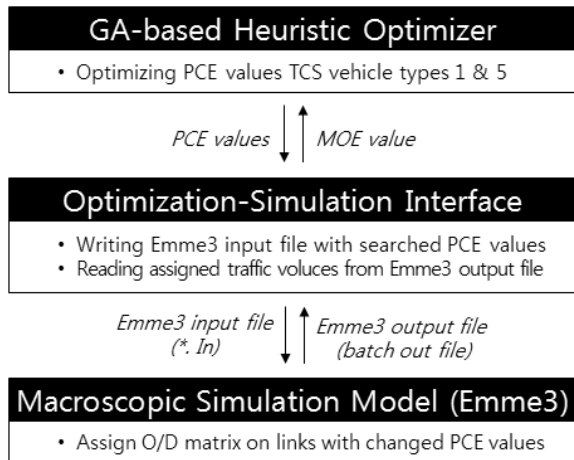


Fig. 2 Concept of Stochastic Optimization

는 확률적 최적화 방법(stochastic optimization method)을 사용하였다. 즉, 유전자 알고리즘은 최적 PCE값을 탐색하고 그 값을 Emme3에 전달한다. Emme3는 전달받은 PCE값들을 이용하여 통행배정을 수행하고 그 결과를 유전자 알고리즘에 전달한다. 유전자 알고리즘과 Emme3를 연계시키기 위해서 Fig. 2와 같은 인터페이스를 구축하였다.

3.2. 고속도로 O/D 및 네트워크 구축

본 연구에서 사용하는 유전자 알고리즘은 고속도로 구간별 배정교통량과 관측교통량의 차이를 최소화시키는 PCE값을 찾는다. 이를 위해서 교통수요모형을 구축하고, 관측교통량을 확보하여야 한다. 이에 본 연구에서도 관측교통량인 도로교통량 통계연보상의 고속도로 수시조사 교통량 자료를 확보하였고, 도로교통량 통계연보의 고속도로 수시조사 기간인 10월 셋째 주 목요일(2011년 10월 20일 07:00~21일 07:00)에 해당하는 TCS 차종별(5종) 영업소간 기종점 교통량 자료를 이용하여 TCS 차종별 O/D를 구축하였다. 민자고속도로 이용 시 중간에 정산하는 통행특성을 반영하기 위하여 민자고속도로 중간정산 톨게이트별 O/D를 별도로 구축하였다. 예를 들어 경부선과 천안논산선을 이용하여 서울 TG에서 광주TG로 가는 경우 풍세TG, 남논산TG, 광주TG에서 각각 통행요금을 지불하게 된다. 이러한 통행특성을 반영하기 위하여 서울TG ↔ 풍세TG, 풍세TG ↔ 남논산TG, 남논산TG ↔ 광주TG간 O/D를 각각 구분하여 교통수요모형을 구축하였다.

분석에 사용된 기초 네트워크는 국가교통DB센터에서 제공하는 도로 네트워크(2011년 기준)이며, 도로 네트워크 중 폐쇄식 고속도로 구간을 제외한 도시고속도로,

개방형 고속도로, 국도, 국지도, 지방도, 광역시도, 시도 및 군도는 네트워크에서 삭제하였다. 또한 기존 전국 지역간 네트워크의 존 센트로이드(249개) 및 센트로이드 커넥터를 제거하고, 민자고속도로를 포함한 폐쇄식

Table 3. Vehicle-Delay Functions

VDF No.	Expressways	No. of Lanes	Weight for Tolls
1	Expressways in charge of KEC	Less than 3 lanes	0.0795
2		3 lanes or more	0.1590
3	Cheonan-Nonsan Expressway	Less than 3 lanes	0.2024
4	Daegu-Busan Expressway	Less than 3 lanes	0.2220
5	Busan-Ulsan Expressway	3 lanes or more	0.2912
6	Seoul-Chuncheon Expressway	Less than 3 lanes	0.2014
7		3 lanes or more	0.4027
8	Other Expressway	Less than 3 lanes	0.2190
9		3 lanes or more	0.4380

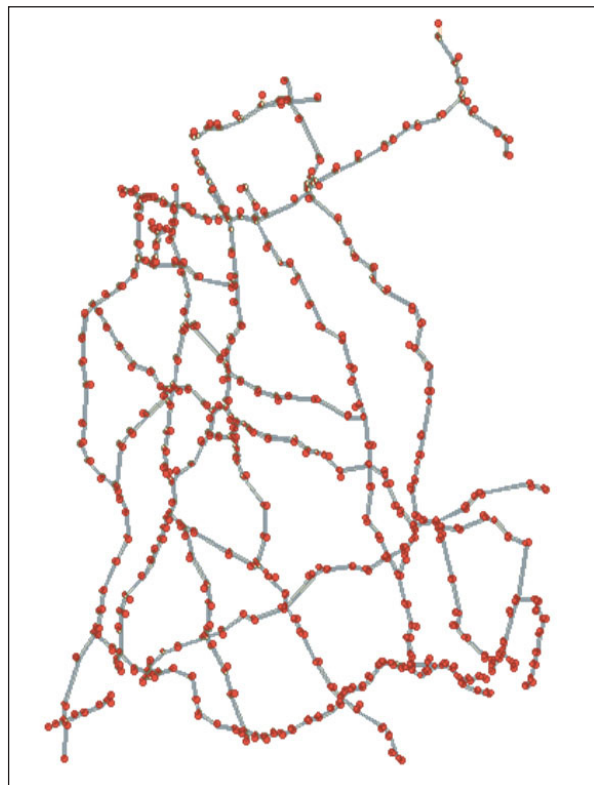


Fig. 3 Expressway Network for Transportation Demand Analysis

요금소 센트로이드(326개)와 센트로이드 커넥터를 추가하여 폐쇄식 고속도로 네트워크를 구축하였다. 민자 고속도로의 경우 한국도로공사 관리구간과 기본요금이 다르기 때문에 별도의 통행요금가중치 산정을 통해 별도의 VDF를 적용할 필요가 있다. 국가교통DB 배포 네트워크의 경우 민자고속도로 구간에 대한 VDF가 입력되어 있지 않기 때문에 이를 네트워크의 속성 값에 입력하고, VDF에 통행요금 가중치를 Table 3과 같이 추가하였다. 또한 고속도로 통행요금 산정 기준에 의거하여 2차로 구간의 요금가중치는 50% 할인하여 적용하였다. 전체적으로 완성된 네트워크는 Fig. 3과 같다.

3.3. 최적화를 위한 MOE 선정

관측값과 예측값의 차이를 나타내는 예측오차를 유전자 알고리즘 기반 최적화를 위한 MOE로 선정하였다. 예측오차는 평균절대백분율오차(Mean Absolute Percentage Error, 이하 MAPE), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, 이하 RMSE), 상관계수(Correlation Coefficient)의 세 가지 방법에 의하여 산정하였고, 각 산정 방법의 특징은 다음과 같다(윤용운, 1995).

3.3.1. MAPE

MAPE는 상대적인 오차의 크기를 나타내는 방법으로 오차율이 0에 가까울수록 예측의 정확도가 높은 모형을 의미한다.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \quad (1)$$

여기서,

X_i : 배정교통량

Y_i : 관측교통량

3.3.2. RMSE

RMSE는 값이 작을수록 예측의 정확도가 높은 모형을 의미한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (2)$$

여기서,

X_i : 배정교통량

Y_i : 관측교통량

3.3.3. 상관계수

일반적으로 피어슨 상관계수는 두 변수 간 상관관계의 크기를 나타낸다. 상관계수 값은 -1~1의 범위를 갖는다. (-)에 가까울수록 음의 상관관계를 갖고 있으며, (+)에 가까울수록 양의 상관관계를 갖는 것을 의미한다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

여기서,

X_i : 배정교통량

Y_i : 관측교통량

\bar{X} : 배정교통량의 평균

\bar{Y} : 관측교통량의 평균

3.3.4. MOE별 특징 비교

유전자 알고리즘에 필요한 MOE를 선정하기 위해 앞서 MAPE, RMSE 그리고 상관계수 세 가지를 살펴본다. 이 세 가지 MOE는 각각 고유한 특성을 가지고 있다.

MAPE는 계산식에서 분모에 관측교통량이 있어서 관측교통량이 적은 경우에 상대적으로 더 큰 가중치를 부여한다. 예를 들어 관측교통량이 각각 '10'과 '100'이라고 가정하고 배정교통량이 관측교통량보다 '1'씩 작다고 하면 배정교통량은 각각 '9'와 '99'가 된다. 이 경우 MAPE를 계산하면 '0.1'과 '0.01'이 된다. 즉 관측교통량의 규모가 작을 경우 배정교통량이 조금만 차이가 나도 예측오차가 상대적으로 커지게 된다.

이에 반해 잔차의 제곱합을 사용하는 RMSE는 관측교통량이 클 때 상대적으로 더 큰 가중치를 부여한다. 예를 들어 관측교통량이 MAPE 사례와 동일하게 '10'과 '100'이라고 하고 배정교통량의 관측교통량의 90% 수준이라고 하면 배정교통량은 각각 '9'와 '90'이 된다. 이 경우 RMSE를 계산하면 각각 '1'과 '10'이 된다. MAPE와 반대로 관측교통량의 규모가 클 경우 배

정교통량이 조금만 차이가 나도 예측오차가 상대적으로 커지게 된다.

그런 측면에서 상관계수가 적절한 MOE가 될 수 있으나 상관계수는 배정교통량과 관측교통량이 비선형 관계를 보이는 경우 상관계수 값은 낮게 제시되는 단점이 있다.

Fig. 4는 관측교통량과 기존연구(계명대학교, 2013)에서 사용한 PCE값을 이용하여 본 연구에서 구축한 교통수요 모델을 배정한 후 관측교통량과 배정교통량을 X-Y 그래프로 표시한 것이다. 보이는 바와 같이 교통량의 규모가 작은 쪽에 자료가 집중되어 있다는 측면에서는 RMSE가 적절하나 교통량의 규모가 매우 큰 자료가 존재한다는 측면에서는 MAPE가 적절하다. 따라서 정확한 선택을 위한 판단이 곤란한 관계로 본 연구에서는 세 가지 MOE를 모두 적용하였다.

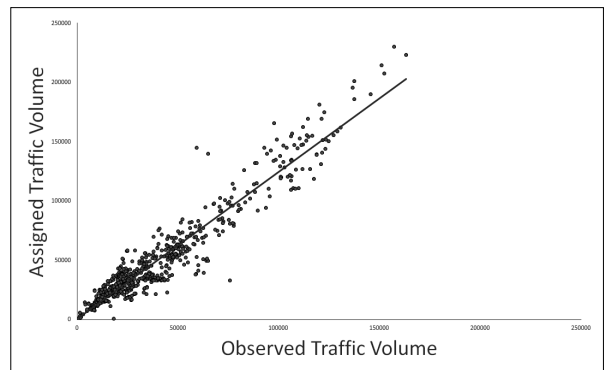
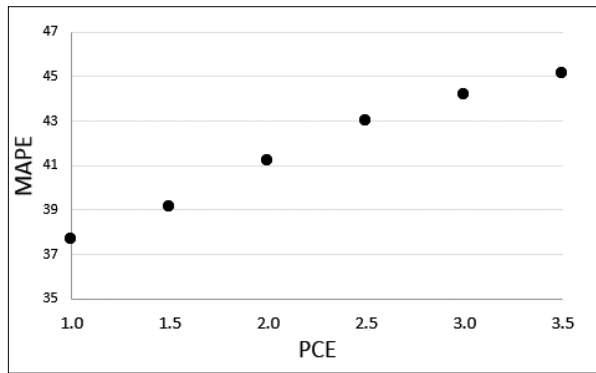


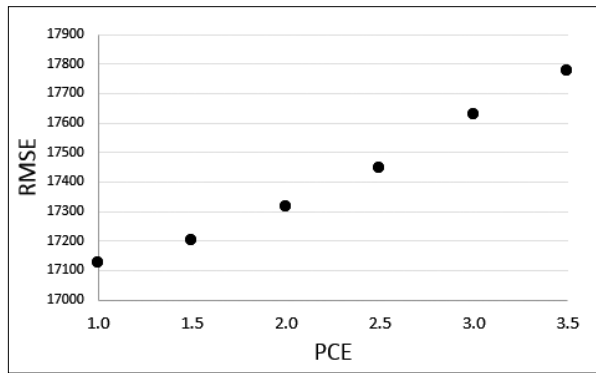
Fig. 4 Comparison between Assigned and Observed Traffic Volumes

3.4. PCE 변화에 따른 MOE 변화 분석

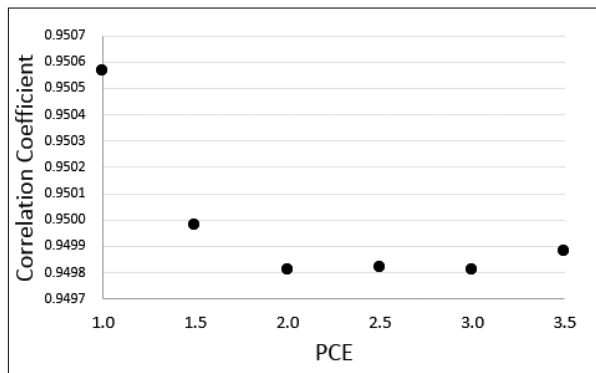
PCE 변화에 따른 MOE 민감도 분석은 TCS 1종에 대해서만 수행하였다. TCS 5종의 경우 PCE값의 범위 (3.7~3.8)가 작고, 전체 TCS O/D의 4.9%에 해당하는 낮은 비율을 차지하고 있으므로 MOE에 대한 민감도 분석은 별도로 수행하지 않았다. TCS 1종의 PCE값을 1.0부터 3.5까지 0.5씩 증가시켜 교통수요모델의 예측오차를 산정하였다. 그 결과 예측오차는 PCE값의 변화에 따라 달라지며, 민감하게 변화하는 것으로 분석되었다. 이를 통해 PCE값에 따른 예측오차의 변화는 최적화를 위한 MOE로 사용하기에 무리가 없을 것으로 판단하였다. MOE에 대한 민감도 분석결과 TCS 1종의 값은 1에 가까울수록 예측오차가 작아지는 것으로 분석되었다.



(a) MAPE



(b) RMSE



(c) Correlation Coefficient

Fig. 5 Changes of MOEs by Different PCE Values for TCS Type 1

Fig. 5에서 보인 바와 같이 TCS 1종의 PCE값으로서 '1.0'을 사용할 때 세 가지 MOE에서 모두 가장 우수한 예측오차를 보였다. 즉 배정교통량과 관측교통량의 차이가 작았다. 하지만 TCS 5종의 PCE값 변화를 함께 고려하여야 하고, 또한 국지 최적값(local minimum)의 영향을 고려하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 PCE 최적화를 수행하였다.

3.5. 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)은 다윈

(Darwin)의 진화론을 바탕으로 하고 있는 최적화 알고리즘이다. 일정한 환경에 무리를 지어 살고 있는 생명체들은 그 환경에 적합한 형질을 가진 개체가 보다 높은 생존확률을 가지며, 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation) 등의 과정을 통해 보다 좋은 방향으로 진화해 나가고 부적합한 형질의 개체들은 진화의 과정을 통해 점차 도태되어가는 생물학적 진화론을 바탕으로 하고 있다(Goldberg, 1989).

이러한 유전자 알고리즘은 최적화 문제를 해결하거나 모의실험에 이용하는 진화연산(evolutionary computation)의 대표적인 분야이다(문병로, 2008).

이후 교통 분야에서도 다양한 최적화 문제 해결에 적용되어 왔으며, 우수한 최적화 성능을 보이는 것으로 밝혀졌다(윤일수 등, 2011).

본 연구에서는 TCS 1종과 5종의 PCE값을 유전자 알고리즘을 통해서 최적화하는 것을 목적으로 한다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위해서는 최적화되는 대상의 탐색범위를 사전에 결정하여야 한다. TCS 1종과 5종은 여러 차종이 혼재되어 있으므로 앞서 언급한 바와 같이 한국개발연구원(2008)의 차종분류를 기준으로 TCS 차종의 PCE 파라미터 정산 값의 범위를 설정하였다.

- TCS 1종 PCE : 1.0~3.7
- TCS 5종 PCE : 3.7~3.8

수학계산용 소프트웨어인 MATLAB R2010a를 이용하여 유전자 알고리즘을 실행하였고, 사용된 변수 값은 다음과 같다.

- Population Size : 10
- Max Generation : 10
- Probability of Crossover : 0.5
- Probability of Mutation : 0.03

종료조건은 세 번째 Generation 이후부터 최적값의 변화가 두 번 이상 없을 경우 최적화를 종료하도록 하였다.

3.6. 분석결과

도로교통량 통계연보의 고속도로 조사지점 관측 교통량을 기준으로 고속도로 교통수요 분석모형에서 배정된

교통량의 예측오차를 최소화하는 TCS 차종별 PCE 산정을 위하여 유전자 알고리즘을 통해서 각각의 MOE에 대한 최적화를 수행하였다. 최적화 수행결과 예측오차를 최소화하는 TCS 1종과 5종의 PCE값은 세 가지 MOE를 적용한 모든 경우에서 1.0과 3.7로 동일하게 나타났으며 예측오차 산정결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Optimized PCE Values for TCS Types 1 and 5 Using GA

MOE used for optimization	PCE		Result		
	TCS Type1	TCS Type5	MAPE	Corelation Coefficient	RMSE
MAPE	1.0	3.7	37.6942	0.9506	17124.14
Corelation Coefficient	1.0	3.7	37.6942	0.9506	17124.14
RMSE	1.0	3.7	37.6942	0.9506	17124.14

앞서 MOE 민감도 분석에서 나타난 바와 같이 TCS 1종의 최적 PCE값은 '1.0' 그리고 TCS 5종의 PCE값은 '3.7'로 나타났다. 그리고 최적 PCE를 적용하였을 때 예측오차는 상관계수를 기준으로 보았을 때 0.9506으로 나타나 배정 교통량이 충분히 관측교통량에 근접하는 것으로 나타났다. 실제 자료를 바탕으로 하는 실증적 연구결과 TCS 1종과 5종의 최적 PCE값은 각각 '1.0'과 '3.7'로 제안하는 바이다.

4. 결론 및 향후 연구내용

본 연구에서는 여러 종류의 차종이 혼재되어 있어 TCS 자료에 대해서 각 차종별 PCE값을 산정하였다. 도로교통량 통계연보의 관측 교통량을 기준으로 TCS 기반 O/D 자료를 포함한 고속도로 교통수요분석 모형의 배정 교통량간 예측오차를 최소화하는 TCS 1종과 5종의 PCE값은 각각 1.0과 3.7로 나타났다. 교통수요모형의 통행비용함수를 비롯한 분석 네트워크의 속성 값을 수정하지 않고, TCS 차종별 최적 PCE를 적용하였을 때 예측오차는 MAPE가 37.6942, RMSE는 17124.14, 그리고 상관계수는 0.9506로 나타났다.

본 연구에서는 TCS 자료를 기반으로 고속도로 교통수요모형을 구축하였고, 유전자 알고리즘의 최적화 기법을 이용하여 각 차종별 PCE에 대한 정산과정을 수행

하였다. 본 연구에서 산정된 PCE값은 고속도로에 국한되어 있으므로 활용성에 제한이 따른다는 한계점을 가지고 있다. 그리고 향후 TCS 자료를 이용하여 교통수요모형 구축 시 PCE 뿐만 아니라 VDF와 관련된 다양한 변수들(α , β , 자유속도, 차로당 용량)에 대한 정산과정을 통하여 모형의 예측오차를 줄여나갈 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2014학년도 아주대학교 일반연구비 지원과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012R1A1A1A1044620, NRF-2010-0029451).

BIBLIOGRAPHY

- Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Jeon, J. W., 2013. Forecasting Method of Traffic Volume in Closed-Freeway by Using TCS. Hanyang University, Master's degree thesis.
- Keimyung University, 2003. Analysis of Traffic Operation Conditions and Traffic Flow Changes by Long-Term Traffic Restrictions.
- Korea Development Institute, 2008. Study on Modification and Supplementation of Standard Guideline for Preliminary Feasibility Studies for Roadway and Railway Projects, Fifth ed.
- Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2011. Transportation Facility Investment Assessment Manual, Fourth Ed.
- Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2013. Highway Capacity Manual.
- Moon, B. R., 2008. Easily Learning Genetic Algorithm. Hanbit Media.
- Shin, E. K., Hwang B. Y., Shin, S. W., 1999. An Approach for Estimating Traffic-Zonal Origin-Destination Matrices(O-D) from Toll Collection System's Ones. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 17, No. 1, pp.7-17.
- The Korea Transport Institute, 2003. Inter-regional Passenger Trip Analysis
- Yoon, Y. W., 1995. Uderstanding Forecasting Methods, Jayoo Academy.
- Yun, I. S., Lee, C. K., Choi, J. H., Ko, S. J., 2011. Safety Assessment of Signalized Intersection Using SSAM : A Case of Actuated Signal Control. The Journal of Korea Intelligent Transport Systems, Vol. 10, No. 6, pp.1-14.