大 韓 土 木 學 會 論 文 集
第28卷 第6D 號 · 2008年 11月
pp. 759~766

혼합모형을 이용한 도로유형분류에 관한 연구

A Study on the Classification of Road Type by Mixture Model

임성한* · 허태영 · 김현석*****
Lim, Sung Han · Heo, Tae Young · Kim, Hyun Suk

Abstract

Road classification system is the first step for determining the road function and design standards. Currently, roads are classified by various indices such as road location and function. In this study, we classify road using various traffic indices as well as to identify traffic characteristics for each type of road. To accomplish the objectives, mixture model was applied for classifying road and analyzing traffic characteristics using traffic data that observed at permanent traffic count stations. A total of 8 variables were applied: annual average daily traffic(AADT), K_{30} coefficient, heavy vehicle proportion, day volume proportion, peak hour volume proportion, sunday coefficient, vacation coefficient, and coefficient of variation(COV). A total of 350 permanent traffic count points were categorized into three groups : Group I (Urban road), Group II (Rural road), and Group III (Recreational road). AADT were 30,000 for urban, 16,000 for rural, and 5,000 for recreational road. Group III was typical recreational road showing higher average daily traffic volume during Sunday and vacational periods. Group I showed AM peak and PM peak, while group II and group III did not show AM peak and PM peak.

Keywords : *mixture model, road classification, traffic characteristics*

요 지

도로분류체계는 도로의 기능 및 설계기준을 정의하기 위한 기초가 된다. 현재 우리나라에서는 도로의 소재지역, 도로의 기능 등 다양한 기준에 따라 도로를 구분하고 있다. 본 연구에서는 다양한 교통지표를 이용하여 일반국도를 분류하고, 도로유형별 교통 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 상시교통량 조사지점을 대상으로 다양한 교통지표를 이용하여 혼합모형을 통해 일반국도를 유형별로 분류하고 교통특성을 분석하였다.적용된 변수는 총 8개로 AADT(연평균 일교통량), K_{30}(설계시간계수), 중차량 비율, 주간 교통량 비율, 첨두율, 일요일 계수, 휴가철 계수, 그리고 COV(변동계수)이다. 요인분석 결과 2개의 요인 즉, 교통량 변동 특성 요인(COV, K_{30}, 휴가철계수, 주간 교통량 비율, 일요일계수, 첨두율, AADT)과 중차량 및 방향별 특성 요인(중차량 비율, D_{30})이 추출되었다. 306개 상시지점이 3개의 그룹으로 구분되며, 이에 대한 교통특성을 분석한 결과 그룹 I은 도시부도로, 그룹 II는 지방부도로, 그룹 III은 관광부도로로 판단된다. AADT는 도시부도로가 30,000대, 지방부도로가 16,000대, 그리고 관광부도로가 5,000대 수준인 것으로 분석된다. 그룹 III은 일요일과 휴가철의 평균 일교통량이 연평균 일교통량보다 매우 많은 전형적인 관광 · 위락 도로임을 알 수 있다. 시간대별 교통량 분석결과 평일 교통량 패턴은 그룹 I이 비교적 오전 및 오후 첨두현상이 강하게 나타나며, 그룹 II와 그룹 III은 첨두현상이 거의 나타나지 않는 것으로 분석된다.

핵심용어 : 혼합모형, 도로분류, 교통특성

1. 서 론

우리나라의 도로 총 연장은 2006년 12월 기준 약 102,000km 이며, 이 중 고속국도가 약 3,000km(3%), 일반국도가 약 14,200km(14%) 이다. 도로망은 고속국도와 일반국도가 주축을 이루고 있는 가운데, 지역 내의 생활권을 연결하는 지방도, 시군도 등이 상호 연계되어 국토의 골격을 형성하고 있다.

도로는 부여된 역할과 기능을 잘 수행할 수 있도록 설계되어야 한다. 일반적으로 도로의 역할 및 기능은 교통량, 통행길이, 통행속도 등에 따라 결정된다. 따라서 도로망 계획 시 도로의 분류체계 및 위계구조는 매우 중요하다.

도로분류체계는 도로의 기능 및 설계기준을 정의하기 위한 기초가 되며, 다양한 기준에 따라 도로의 구분이 가능하다. 도로는 토지이용을 기초로 하기 때문에 도로의 소재지역에 따라 구분하는 것은 교통특성 파악을 위해 매우 중요하다.

*정회원 · 한국건설기술연구원 첨단도로교통연구실 연구원 (E-mail : atdaya@kict.re.kr)
**교신저자 · 한국해양대학교 데이터정보학과 교수 (E-mail : heoty@hhu.ac.kr)
***정회원 · 한국건설기술연구원 첨단도로교통연구실 선임연구원 (E-mail : hskim3@kict.re.kr)

뿐만 아니라 도로의 계획, 설계 및 유지관리를 위해서도 필요하다. 한편 도로용량편람(건설교통부, 2001)에서 설계시간교통량 산정에 필요한 설계시간계수 및 중방향계수를 도시부와 지방부로 구분하여 제시하고 있기 때문에, 계획도로의 기하구조를 결정짓게 되는 설계시간교통량을 산정하기 위해서도 해당도로의 소재지역에 따른 구분이 결정되어야 한다.

그러나 국내에는 소재지역에 따른 도로분류기준이 미흡한 실정이다. 도로의 구조・시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침(건설교통부, 2000)에서 도시지역과 지방지역에 대한 정의를 내리고 있는데, 이 중 도시지역을 "현재 시가지를 형성하고 있는 지역 또는 그 지역의 발전추세로 보아 도로의 설계목표년도인 20년 후에 시가지로 형성될 가능성이 있는 지역"으로 정의하고 있다. 이러한 기준을 현실적으로 적용하는 데에는 기준이 모호하다는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 통계 기반의 혼합모형 적용을 통해 일반국도를 소재지역에 따라 분류하고, 도로 유형별 교통 특성을 규명함으로써 도로 및 교통관련 연구 시 중요한 기초자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 국내외 도로분류체계

도로분류체계는 국가별로 서로 다른 특징을 지니고 있다. 미국은 도로밀도와 주변 토지이용상황에 따라 도시부와 지방부로 구분하고, 도로의 이동성과 접근성의 성격에 따라 도로를 구분하는 도로의 기능적 위계구조를 설정하고 있다. 일본 건설성(1983)에서는 교통량 상시관측 조사 자료를 활용하여 교통 상황 지표간의 기본적 관계를 파악하고, 이를 바탕으로 도로교통 상황 지표와 도로 기능 지표와의 대응 관계를 제시하여 통행목적과 간선성에 따라 그룹을 분류하였다(김주현 등, 2002). 독일에서는 도로 주변상황 및 도로의 중요도에 따라 순위를 결정하는 분류방법을 사용하고 있다. 이러한 분류체계는 해당 국가의 사회・경제 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다(건설교통부, 1999).

우리나라 역시 도로의 소재지역, 기능 등 다양한 방법에 따라 도로를 분류하고 있다. 소재지역에 따른 분류는 도로가 위치하는 지역에 따라 도시지역 및 지방지역 등으로 구분된다. 한편 기능에 따른 분류는 도로의 이동성(mobility) 및 접근성(accessibility)에 따라 구분된다. 도로가 상위위계 기능을 갖는 때에는 이동성을 주 기능으로 하며, 하위위계 기능을 갖는 때에는 접근성을 주 기능으로 한다. 통행의 단계적 특성에 상응한 기능별로 도로를 설계함으로써 도로의 기능과 통행특성이 연계되어 이용자가 기대하는 서비스를 제공토록 하는 원칙이 도로의 기능별 분류이다. 도로의 기능별 분류는 고속・도시고속도로, 주간선도로, 보조간선도로, 국지도로 및 집산도로로 분류된다(건설교통부, 2000).

우리나라의 도로 분류는 도로법, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 도시계획시설 기준에 관한 규칙 등에서 규정하고 있다. 도로법에서는 관리주체에 따라 고속국도, 일반국도, 지방도, 특별시도・광역시도, 시도, 군도, 구도 등 7개 등급으로 구분하고 있으나, 관리주체 중심의 분류체계로써 기능구분이 미흡하다. 한편 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침(건설교통부, 2000)에서는 자동차전용도로와 일반도로로 구분하고 있다. 자동차전용도로는 소재지역에 따라, 일반도로는 소재지역 및 기능에 따라 세분하고 있다. 여기에서 도로 특성을 구분 짓는 주요 정량적 지표로 설계속도와 평균 주행거리를 제시하고 있으나, 장래 도로계획 시 평균 주행거리를 예측하는 데에는 현실적으로 어려움이 크다. 표 1은 우리나라의 도로 분류체계를 요약한 표이다.

표 1. 우리나라의 도로 분류 체계

기준	분류 체계	관련 근거
소재지역	도시부, 지방부 등	도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침
수행기능	고속・도시고속도로, 주간선도로, 보조간선도로, 국지도로, 집산도로	도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침
관리주체	고속국도, 일반국도, 지방도, 특별시도・광역시도, 시도, 군도, 구도	도로법
도로폭원	광로, 대로, 중로, 소로	도시계획시설 기준에 관한 규칙

2.2 관련 문헌 검토

Flaherty(1993)는 FHWA의 Traffic Monitoring Guide (TMG)에서 제시하는 군집분석을 기초로 Arizona 주의 28개 상시조사 지점에 대한 유형 분류를 시도하였다. 그는 수시조사(temporary count) 자료를 이용해 연평균 일교통량(AADT)을 추정하기 위한 목적으로, 상시조사 지점에서 수집된 5년 간의 월 보정계수 자료를 이용해 군집분석을 실시하였다. 따라서 그룹별로 월 교통패턴은 유사한 특성을 지닐 수 있으나, 그 이외의 교통특성을 설명하기에는 부족한 것으로 판단된다.

Albright(1987)는 군집분석을 바탕으로 상시조사지점을 그룹핑 하였으나, 그룹핑 결과에 대한 검증이 없이 기준 도로의 기능 분류와 비교하였다는 한계점을 지니고 있다(김주현 등, 2002).

정헌영 등(1996)은 부산시내 도로를 대상으로 개별도로들의 특성을 파악하기 위해 대표요인 추출 및 군집분석을 통한 기능유형화를 시도하였다. 대상도로에 대해서 도로구조특성인자, 도로이용실태인자, 토지이용특성인자별로 구분해 특징을 분석하였다. 그러나 이들은 하루 교통량이 아닌 주간 15시간 교통량을 적용함으로써 야간 교통량에 대한 고려가 배제되었으며, 속도 또한 통행속도가 아닌 제한속도를 적용하였다는 한계점이 있다.

강원의(2001)는 일반국도의 수행기능을 통계적 방법으로 유형화하고, 유형별 도로교통특성 규명에 의한 일반국도의 적정 설계기준을 검토하고자 하였다. 일요일 계수, 주야율, 대형차혼입률 등 상관성이 적은 3개의 교통지표를 이용한 군집분석을 통해 4개의 유형으로 도로를 분류하였다. 도로유형별 교통시간변동 특성 및 평균통행속도 특성 분석을 통해 일반국도의 적정 설계기준을 제안하고자 하였다.

김주현 등(2002)은 기존의 도로 그룹핑 방법을 개선한 새로운 방법을 제시하고자 하였다. 월・요일 보정계수를 이용

하여 10개의 그룹으로 도로를 분류하고, 기타 교통지표를 이용하여 5개의 그룹으로 도로를 분류하였으며, 이를 조합해 최종적으로 24개의 그룹으로 일반국도를 분류하였다.

임성한 등(2005)은 도로특성에 영향을 미칠 것으로 판단되는 다양한 교통변수를 기준으로 요인분석을 실시한 후 군집분석(cluster analysis)을 이용하여 도로를 분류하였다. 그러나 군집분석은 척도(scale)와 관계없이 거리(distance)를 이용한 측정이 이루어지며, 동시에 최적 군집수를 제공하지 못한다는 문제점이 지적되어 왔으며, 이러한 문제점들을 극복하기 위해 대안적인 방법으로 군집분석 대신 혼합모형(mixture model)을 이용한 최적의 군집결정 방법론이 연구되고 있다(Wedel and Kamakura, 2000). 군집분석의 경우는 사용된 군집분석 알고리즘에 따라 그룹핑의 결과가 달라진다는 단점이 있으며, 군집분석은 통계적으로 가장 적정한 집단의 수를 제시하지 못한다는 결정적인 단점을 갖고 있다(Lehmann et al., 1998).

본 연구에서는 기존의 군집분석이 가지고 있는 단점을 극복하고 무료의 상용화된 통계패키지인 R(www.r-project.org)을 이용하여 최적의 군집 수 결정을 통한 모형기반의 도로유형을 분류하였으며, 혼합모형의 모수추정은 EM 알고리즘을 이용하며, 최적군집의 수는 모형의 적합도를 표현하는 방법으로 통계패키지인 R에서 자동으로 결정해주는 BIC (Bayesian Information Criterion) 측도에 의해 결정하였다.

3. 혼합모형에 의한 도로유형분류

3.1 분석방법

도로의 구분은 도로가 제공하는 기능, 이용자가 기대하는 기능, 도로가 소재하고 있는 지역 및 지형의 상황, 계획 교통량 등에 의해 이루어진다. 이렇게 도로가 수행하는 역할은 매우 다양한 요인들에 의해 부여된다. 따라서 도로를 분류하는 방법은 분류기준 및 연구목적에 따라 다양하게 전개될 수 있다. 도로의 기능 분류시 기초가 되는 것은 이동성 및 접근성이며, 이러한 이동성과 접근성을 판단할 수 있는 주요 지표는 평균통행거리, 평균주행속도, 유출입 지점 수, 동일한 기능을 갖는 도로간의 간격 등이다. 한편 토지이용특성과 교통특성은 매우 밀접한 관련이 있기 때문에, 도로가 위치해 있는 지역의 특성과 교통특성은 관련성이 매우 깊다. 따라서 교통량, 교통량 패턴, 차종구성비 등의 교통특성변수를 이용해 도로를 유형별로 분류하는 방법은 도로의 기능별 분류보다는 소재지역에 따른 분류에 보다 적합하다고 판단된다.

모형기반의 군집화(clustering)에서 관측된 자료는 확률분포의 혼합(mixture)에 의해 생성되어지는 것을 가정하며 하나의 혼합모형은 m개의 서로 다른 하위모형에 의하여 표현된다. 혼합모형의 개념은 원래 한 개의 분포는 우리가 인지하지 못하는 몇 개의 잠재적 하위분포로 구성되어 있다는 것이다(McLachlan과 Basford, 1988). 따라서 m개의 하위분포가 잠재적으로 존재한다면 각 하위분포의 크기가 π_1, ..., π_m의 비율로 이루어진 모집단이 존재하게 된다.

먼저 k개의 변수를 가지고 있는 n개의 자료로 구성되어 있는 관측된 확률벡터 Y_{nk}와 같다고 하자. $Y_n=(y_{nk})$이라고 표시하면, Y_n은 군집의 크기가 π_1, ..., π_m의 비율로 이루어진 모집단에서 추정된 관측값이라 할 수 있다. 즉, 관측값 i는 m개의 그룹에서 각 세분그룹별 크기인 π_1, ..., π_m가 반영된 세분그룹별 선택확률인 P_1, ..., P_m의 비율로 이루어진 모집단에서 측정된 관측값이며, 전체 모집단의 크기의 합은 $\sum_{j=1}^{m}\pi_j = 1$ 와 같다. 즉, $P_i = \sum_{j=1}^{m}\pi_j P_j(i)$ 이다.

관측값 i가 특정 세분군집 j에서 나타날 확률은 세분군집 j의 변수들의 조건인 모수값 θ에서 관측값 Y_n이 관측될 가능성으로 아래의 식과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{nj} = \frac{\pi_j f_j(y_n|\theta_j)}{\sum_{j=1}^{m}\pi_j f_j(y_n|\theta_j)}$$

여기서, P_{nj}는 관측값이 특정 세분군집 j에서 나타날 확률을 의미하며, 확률함수인 $f_j(y_n|\theta)$는 모수를 포함한 특정 함수를 나타내며, 정규분포, 포아송, 이항분포 등과 같이 다양한 형태의 분포를 정의할 수 있다. 위 식은 한 관측값이 각 군집에 포함될 확률을 표시하여 주기 때문에 기존의 군집분석과는 차이점을 보여준다.

기존의 군집분석 방법은 한 변수의 분포를 동질적으로 가정하고 단순히 변수의 크기만을 통하여 세분군집으로 분할하는 반면에 혼합모형은 각 세분군집이 평균과 분산을 가진 잠재 하위분포를 통한 군집방법이다. 특히, 혼합모형의 장점은 최적의 군집수를 통계적으로 결정할 수 있다는 점이며, 통계적 결정과정은 다음과 같다. 원래의 분포 아래 그 잠재 하위분포가 몇 개인지는 알 수 없지만 군집수를 증가시킴에 따라 설명력은 높아질 것이라고 가정하고, 군집 수를 늘렸지만 설명력이 통계적으로 유의하지 않게 증가하거나, 군집 수를 늘리는데 사용한 모수에 비해 설명력 증가가 적어서 모형의 압축을 위해 더 이상 세분화 작업을 할 필요가 없을 때 최적의 하위 군집 수를 판단할 수 있게 된다. 따라서 이러한 최적 군집수를 판단하기 위한 측도로서 많이 활용되는 AIC(Akaike Information Criteria), BIC(Bayesian Information Criterion) 등을 사용할 수 있다.

본 연구는 통계패키지인 R을 이용하여 mclust 라이브러리를 이용하여 분석하였다. R 통계패키지의 장점은 BIC의 값을 계산한 후 최적 군집수를 자동으로 결정하여 통계적으로 최적의 군집수를 확인할 수 있도록 해준다. BIC는 다음과 같이 표현된다.

$$BIC = 2\log(L) - k\cdot\log(n)$$

여기서, L은 모형의 최대 우도함수(likelihood)값을 나타내며, n은 표본의 크기, 그리고 k는 모형안에 포함되어 있는 모수의 개수를 나타낸다.

3.2 자료수집

2001년도 일반국도 상시교통량 조사 지점에서 수집된 교통특성자료를 활용하여 도로를 유형별로 분류하고자 한다. 현재 우리나라의 상시교통량 조사는 일반국도 상에서만 실시되고 있으며, 기타 고속국도, 지방도 등에서는 실시되고 있지 않다. 또한 시 구역 내의 도로는 관할주체가 해당 시이기 때문에 상시교통량 조사 대상에서 제외된다. 따라서 상시교통량 조사 지점은 시 구역 밖의 일반국도 상에 위치하게

된다. 그러나 우리나라 교통특성 상 시외곽 지역이라 할지라도 수도권 및 기타 도시지역 부근에서 도시부 교통특성을 보이는 경우가 많다.

전체 대상지점 수는 350개 지점이며, 이 중 2차로 상의 지점이 111개 지점, 4차로 상의 지점이 233개 지점, 그리고 5차로 이상 도로 상의 지점이 6개 지점이다. 도별로는 경기도가 63개 지점(18.0%)으로 가장 많고, 다음으로는 경상북도 56개 지점(16.0%), 충청남도 49개 지점(14.0%) 순이며 제주도가 8개 지점(2.3%)으로 가장 적다. 노선별로는 전체 44개 노선에 분포해 있으며 1호선이 30개 지점(8.6%)으로 가장 많다. 차로별 평균 교통량(AADT)은 2차로 6,311대/일, 4차로 24,346대/일, 그리고 5차로 이상 63,862대/일이다.

표 2. 도별 · 차로수별 상시지점 수

구분	2차로	4차로	5차로 이상	전체
경기	7	52	4	63
강원	25	12	0	37
충북	14	23	0	37
충남	14	34	1	49
전북	10	24	0	34
전남	11	23	0	34
경북	19	37	0	56
경남	10	22	0	32
제주	1	6	1	8
전체	111	233	6	350

표 3. 차로별 평균 교통량(AADT)

구분	2차로	4차로	5차로 이상	전체
평균교통량 (AADT)	6,311	24,346	63,862	19,304

3.3 변수 선정

혼합모형을 통한 도로유형 분류를 위한 변수선정은 도로분류체계에 관한 선행연구를 통해 도로특성에 영향을 미칠 것으로 판단되는 다양한 교통지표를 이용하였다. 이용된 변수는 총 8개 변수로 AADT, K_{30}(%), 중차량 비율(%), 주간 교통량 비율(%), 첨두율(%), 일요일 계수, 휴가철 계수, 그리고 COV(%)이다.

AADT는 연평균 일교통량으로써 연간 수집된 교통량을 365로 나눈 값이며, 해당도로의 양적인 특성을 가장 잘 나타내는 교통지표라 할 수 있다.

K_{30}은 설계시간계수로서 연평균 일교통량에 대한 연 중 30번째 시간순위 교통량의 비를 의미하며, 일반적으로 해당도로의 교통특성 및 지역특성에 따라 시간교통량 변동패턴이 다르기 때문에 K_{30}값도 달리 나타난다.

중차량 비율은 전체교통량 중 중차량 교통량이 차지하는 비율을 의미하며, 화물교통 및 버스교통 특성을 가장 잘 나타내는 교통지표이다.

주간 교통량 비율은 하루교통량 중 주간 교통량이 차지하는 비율이며, 첨두율은 24시간 교통량에 대한 첨두 1시간 교통량의 비를 나타낸다. 이러한 주간 교통량 비율 및 첨두율은 하루 동안의 교통량 변화패턴을 잘 반영해 준다.

일요일 계수는 AADT에 대한 일요일 평균 교통량의 비로서, 이를 통해 요일 교통패턴을 파악할 수 있다. 일반적으로 도시부 도로의 일요일 교통량은 다른 요일보다 적으며, 관광·위락지역의 일요일 교통량은 다른 요일에 비해 훨씬 크다. 또한 토요일과 일요일을 제외한 평일의 교통량은 요일별로 큰 차이를 발견할 수 없는 것이 보통이다(도철웅, 1998).

휴가철 계수는 AADT에 대한 휴가철 평균 일교통량의 비를 나타내며, 일요일 계수와 같이 관광부 도로의 특성을 가장 잘 나타내는 교통지표라 할 수 있다.

COV는 변동계수로서 AADT에 대한 일교통량 표준편차의 비를 나타낸다. 해당도로의 특성에 따라 연간 일교통량 변화가 다르게 나타날 것이라는 점에 착안해 COV 지표를 적용하게 되었다. 해당도로의 교통량, 일상 교통량 비율, 관광부 특성 등 다양한 교통특성을 가장 포괄적으로 나타내 줄 수 있는 지표로 판단된다.

3.4 혼합모형 적용결과

EM 알고리즘을 이용하여 그룹별 평균(mean)과 공분산(covariance)을 계산하고, 그룹별 크기를 찾을 수 있다. 즉, *n*개의 관측값이 주어지고, 이것들이 *k*개 정규분포의 혼합으로 이루어졌을 때, EM 알고리즘을 적용하여 모형을 결정하는 모수들을 추정하는 것이다. 모형 안에 포함되어 있는 모수들은 *k*개의 정규분포를 나타내는 평균(mean)과 공분산행렬(covariance matrix)과 함께 각 세부 잠재모형들의 혼합정도의 비율을 나타내는 *k*개의 모수를 추정하였다. 본 연구에서는 EM 알고리즘 수행 결과 *k*=3개의 잠재 세부모형으로 구분되며, 그룹별 평균은 표 5에 보여주며, 공분산 행렬은 지면상 생략하였다.

표 4. 요인 추출을 위한 변수 선정

변 수	정 의	비 고
AADT(대/일)	연평균 일교통량 : 1년 동안 수집된 교통량/365	교통수요
K_{30}(%)	설계시간계수 : 연 중 30번째 시간순위 교통량/AADT	연간 시간교통량 변동
중차량 비율(%)	중차량 교통량 / 전체교통량 × 100	이용차량특성
주간 교통량 비율(%)	주간 12시간(07:00~19:00) 교통량 / 24시간 교통량	일변동, 주야간특성
첨두율(%)	첨두 1시간 교통량 / 24시간 교통량	일변동, 첨두시특성
일요일 계수	AADT / 일요일 평균 교통량	요일변동, 주말특성
휴가철 계수	AADT / 휴가철 평균 일교통량	계절변동, 관광특성
COV(%)	변동계수 : (일교통량의 표준편차 / AADT) × 100	연간 일교통량 변동

표 5. 그룹별 변수들의 평균

변수	그룹1	그룹2	그룹3
AADT	5,235	17,258	30,024
K30	0.154	0.123	0.009
HV	0.134	0.139	0.108
DAY	0.775	0.743	0.726
PEAK	0.076	0.073	0.070
SUN	0.933	0.907	1.073
VACATION	0.764	0.821	0.952
COV	27.23	20.53	11.77

그림 1은 한 개의 원래 분포가 세 개의 하위 잠재분포(latent distribution)로 나타나는 혼합모형을 보여주는 그림이다. 아래 그림에서와 같이 전체 도로는 변수의 평균과 공분산행렬에 따라 각각 잠재적인 하위분포가 결정되며, 군집분석과 마찬가지로 각 세부 모형에 포함되는 자료를 특성에 따라 유형별로 분류할 수 있어 도로를 구분하는데 유용하게 활용될 수 있다.

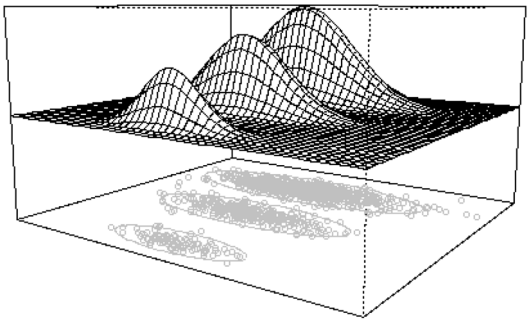

그림 1. 혼합분포모형을 통한 하위분포 도식화

각 세부모형의 혼합 정도를 나타내는 혼합 비율은 표 6과 같다. 그룹 1은 전체의 24.4%, 그룹 2는 36.5%, 그룹 3은 39.2%로 나타난다. 따라서 전체 350개의 상시조사 지점은 아래 표의 비율과 같이 3개의 유형으로 구분된다.

표 6. EM 알고리즘 통한 세부모형의 혼합 비율

그룹	그룹1	그룹2	그룹3
비율	0.244	0.365	0.391

일반적인 군집분석의 가장 큰 단점은 최적 군집수 결정 문제인데, 혼합모형은 최적의 세분군집의 수를 통계적으로 밝힐 수 있다는 장점을 가지고 있다. 즉, 원래의 분포 아래 그 하위 분포는 몇 개인지는 모르지만 세분군집의 수를 늘릴 때마다 설명력은 높아질 것이라 가정하고, 세분군집의 수를 늘렸지만 설명력이 유의적으로 증가하지 않거나, 세분군집의 수를 늘리는데 사용한 모수에 비해 설명력 증가가 적어서 모형 절약의 원칙(principle of parsimony)에 의해 더 이상 세분화 작업을 할 필요가 없을 때 최적 하위시장 수를 판단할 수 있게 된다. 최적의 세분 군집수를 측정하기 위한 모형 적합도(goodness-of-fit)는 AIC, BIC 등 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 R에서 자동으로 제공하는 BIC측도를 이용하였으며, 그 결과 세 개의 세분 군집으로 구분되었다.

결과적으로, 본 통계분석 결과 도로구분체계에 있어서 하나의 모형은 우리가 인지하지 못하는 세 개의 하위 세부모형으로 구분되며 이러한 결과는 일반적인 군집분석의 방법의 대용으로 활용될 수 있다. 또한 본 연구는 일반적인 군집분석 방법이 ward법 등과 같은 일부 알고리즘을 제외하고는 통계적으로 적정한 세분집단의 수를 제시하지 못한다는 결정적인 단점을 갖고 있어 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 활용될 수 있다. BIC값을 기준으로 최적의 세분집단을 구분하기 위하여 적용된 혼합모형을 통한 그룹별 상시조사 지점 수는 표 7과 같다. 3개의 그룹으로 구분되며, 그룹별 해당 지점 수는 그룹 I이 83개 지점, 그룹 II가 128개 지점, 그리고 그룹 III이 139개 지점이며, BIC값은 158.89로 나타난다.

표 7. 혼합모형에 의한 그룹별 지점 수

구분	그룹 I	그룹 II	그룹 III	전체
지점 수	83	128	139	350

표 7에서 나타낸 그룹별 지점의 수는 세 개의 하위 모형에 평균과 공분산행렬을 따르는 모형 안에 포함되는 지점의 수를 나타낸다. 따라서 본 결과를 통하여 얻어진 세 개의 세부 군집에 대한 변수별 특성을 확인하여 다음 장에서는 각 그룹의 특성들이 나타내는 도로의 유형을 분류하였다.

4. 일반국도 유형별 교통 특성

4.1 주요 교통지표 특성

그룹 I은 평균 AADT가 약 30,000대로 매우 높아 대용량의 교통수요를 처리하는 도로로 분석된다. K_{30}, COV, 일요일 계수 및 휴가철 계수가 낮아 교통량 변동이 적고 일상교통이 대부분을 차지하는 도로이다. 타 그룹에 비해 야간 교통량 비율이 높고, 중차량 비율은 가장 낮다.

그룹 II는 AADT가 16,000대 수준이며, K_{30}과 COV값이 12.5% 및 20.8%로써 다소 높은 편이다. 그룹 I에 비해 일요일 계수와 휴가철 계수는 낮게 나타나, 평일 일상 교통보다는 일요일과 휴가철의 교통량이 많은 도로로 분석된다. 중차량 비율은 13.8%로써 그룹 I보다는 크고 그룹 II와 유사한 수준을 나타내고 있다.

표 8. 그룹별 교통지표 평균값

구분	AADT (대/일)	K_{30} (%)	중차량 비율(%)	주간 교통량 비율(%)
그룹 I	30,067	9.1	10.8	72.6
그룹 II	16,815	12.5	13.8	74.4
그룹 III	5,118	15.5	13.5	77.5
전체	17,333	12.3	12.7	74.8
그룹 I	첨두율 (%)	일요일 계수	휴가철 계수	COV (%)
그룹 II	7.0	1.07	0.95	11.7
그룹 III	7.3	0.90	0.82	20.8
전체	7.6	0.94	0.76	27.3

표 9. 월 보정계수

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
그룹 I	0.84	0.90	0.98	1.04	1.04	1.01	1.01	1.05	1.06	1.04	1.04	0.98
그룹 II	0.83	0.83	0.93	1.04	1.05	1.00	1.05	1.19	1.06	1.08	1.02	0.92
그룹 III	0.78	0.77	0.89	1.04	1.06	1.01	1.09	1.29	1.09	1.10	1.02	0.85
전체	0.82	0.84	0.94	1.04	1.05	1.01	1.04	1.16	1.07	1.07	1.03	0.93

주 : 월 보정계수는 월평균 일교통량(MADT)/연평균 일교통량(AADT)

그룹 III은 AADT가 약 5,000대로 타 그룹에 비해 매우 낮게 나타나는 반면, K_{30}은 15.5%로 매우 높은 값을 보이고 있다. 일요일 계수와 휴가철 계수가 매우 낮아 일요일과 휴가철의 평균 일교통량이 연평균 일교통량보다 크게 많은 도로임을 알 수 있다. 이러한 사실은 COV의 평균값이 27.3%로 나타나 연간 교통량 변동이 매우 큰 도로라는 점에서도 확인할 수 있다.

4.2 교통량의 월변동 특성

지역의 특성에 따라 교통량의 시간적 변화는 다른 특성을 갖는다. 월별 교통량 변화를 파악하기 위해 그룹별 월 보정계수를 분석하였다.

월 보정계수는 12개월의 각 월평균 일교통량(Monthly Average Daily Traffic: MADT)을 연평균 일교통량(AADT)으로 나누어 구한 값이다. 따라서 상대적으로 많은 교통량을 나타내는 월은 1보다 큰 값을 갖게 되고, 상대적으로 작은 교통량을 나타내는 월은 1보다 작은 값을 갖게 된다. 이러한 월 보정계수는 해당 도로의 월별, 계절별 교통패턴을 파악하는데 유용하게 활용될 수 있다. 그룹별 교통량의 월변동 특성을 알아보기 위해 본 연구에서는 지점별로 12개월의 각 월 보정계수를 구한 후 그룹별 평균값을 분석하였다.

$$MF_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{1}\frac{MADT_{kj}}{AADT_k} \quad (1)$$

여기서, MF_{ij} : i그룹 j월의 월 보정계수
$MADT_{kj}$: k지점 j월의 월평균 일교통량
$AADT_k$: k지점의 연평균 일교통량
N : 그룹별 상시조사 지점 수

그룹별 교통량 변동패턴을 알아보기 위한 그룹별 월 보정계수 분석결과는 표 9와 같다. 그림 2에서도 나타나듯이 3개 그룹의 월 교통량 변화패턴이 뚜렷하게 구분되는 것으로 나타난다. 특히 그룹 III은 타 그룹에 비해 휴가철 교통량이 매우 많으며, 휴가철이 아닌 시기의 교통량은 상대적으로 적은 전형적인 관광·위락 도로의 특성을 나타내는 것으로 분석된다.

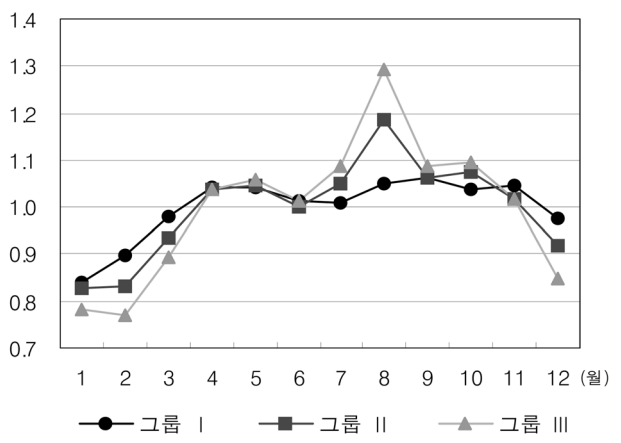

그림 2. 월별 교통량 패턴

4.3 교통량의 요일변동 특성

요일 보정계수는 7개 요일의 요일평균 일교통량을 연평균 일교통량으로 나누어 구한 값이다. 따라서 월 보정계수와 마찬가지로 상대적으로 많은 교통량을 나타내는 요일이 1보다 큰 값을 갖게 된다. 이러한 요일 보정계수는 요일별 교통패턴, 특히 주말 교통량 특성을 파악하는데 매우 유용하다. 교통량의 요일변동 특성을 알아보기 위해 지점별로 7개 요일의 각 요일 보정계수를 구한 후 그룹별 평균값을 분석하였다.

$$DF_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{1}\frac{WADT_{kj}}{AADT_k} \quad (2)$$

여기서, DF_{ij} : i그룹 j요일의 요일 보정계수
$WADT_{kj}$: k지점 j요일의 요일평균 일교통량
$AADT_k$: k지점의 연평균 일교통량

그룹별 교통량 변동패턴을 알아보기 위한 그룹별 요일 보정계수 분석결과는 표 10과 같다. 그림 3에서 나타나듯이 그룹 I은 평일(월~금) 교통량을 기준으로 토요일 교통량은 평일 교통량 보다 많고, 일요일 교통량은 평일 교통량보다 크게 낮은 도로로써 일상교통이 대부분을 차지하는 도로로 분석된다. 그룹 II와 III은 그룹 I과는 반대로 평일 교통량이 적고 일요일 교통량이 평일 교통량보다 매우 많게 나타나는 도로로 분석된다. 특히 일요일 교통량 패턴에서 그룹 I이 타 그룹과 확연히 구분되는 것으로 분석된다. 그룹 II와 III은 주말(토, 일) 교통량이 큰 도로로 분석된다.

교통량의 요일변동 특성은 휴가철과 비휴가철에 따라 크게 달라질 수 있다. 휴가철과 비휴가철로 구분하여 지점별 요일 보정계수를 구한 후 그룹별 평균값을 분석하였다.

요일별 교통량변동을 휴가철과 비휴가철로 구분하여 분석

표 10. 요일 보정계수

구분	일	월	화	수	목	금	토
그룹 I	0.94	1.01	0.99	0.99	0.99	1.00	1.08
그룹 II	1.12	0.98	0.95	0.95	0.94	0.95	1.12
그룹 III	1.09	0.98	0.97	0.96	0.95	0.96	1.09
전체	1.04	0.99	0.97	0.97	0.96	0.97	1.09

주 : 요일 보정계수는 요일평균 일교통량(WADT)/연평균 일교통량(AADT)

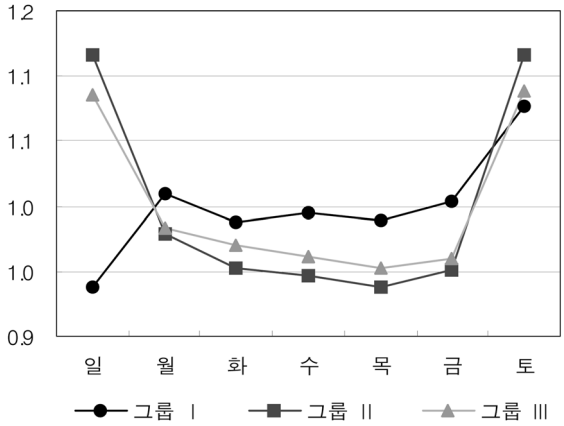

그림 3. 요일별 교통량 패턴

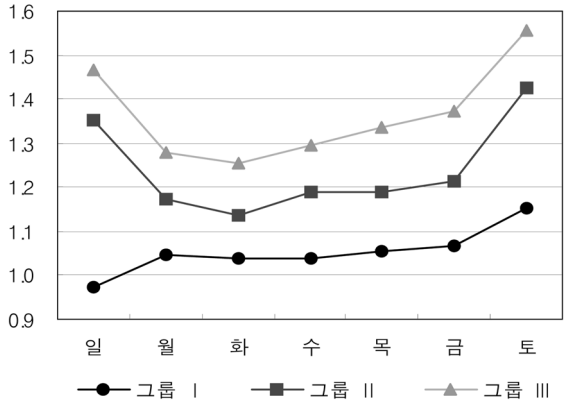

그림 4. 요일별 교통량 패턴(휴가철)

해보면 그룹 III의 관광교통 특성이 더욱 두드러지게 나타나는 것으로 분석된다.

표 11. 요일 보정계수(휴가철)

구분	일	월	화	수	목	금	토
그룹 I	0.97	1.04	1.04	1.04	1.06	1.07	1.15
그룹 II	1.35	1.17	1.13	1.19	1.19	1.21	1.43
그룹 III	1.47	1.28	1.26	1.29	1.34	1.37	1.56
전체	1.23	1.15	1.12	1.15	1.17	1.19	1.35

표 12. 요일 보정계수(비휴가철)

구분	일	월	화	수	목	금	토
그룹 I	0.93	1.01	0.98	0.99	0.98	1.00	1.07
그룹 II	1.10	0.96	0.94	0.93	0.92	0.93	1.09
그룹 III	1.05	0.96	0.95	0.93	0.92	0.93	1.05
전체	1.02	0.98	0.96	0.95	0.94	0.96	1.07

4.4 교통량의 시간변동 특성

하루 24시간에 대한 시간대별 교통량은 오전 및 오후 첨

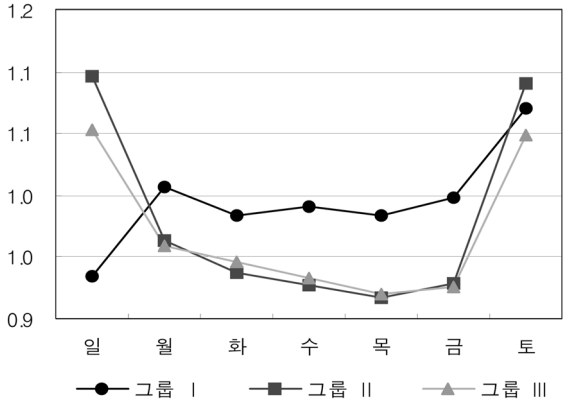

그림 5. 요일별 교통량 패턴(비휴가철)

두현상 및 주간 교통량 비율 등의 파악을 위한 기초자료로 활용된다. 교통량의 시간변동 특성을 알아보기 위해 시간대별 평균 교통량을 분석하였다. 시간대별 평균 교통량은 시간대별 365일의 교통량 합을 365로 나눈 값이다.

평일의 교통량 시간변동 특성과 휴일의 교통량 시간변동 특성은 달리 나타나는 것이 일반적이다. 따라서 시간대별 교

표 13. 시간대별 교통량 변동(평일)

시간대	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
그룹 I	427	282	209	179	209	383	924	1,798	1,962	1,643	1,710	1,688
그룹 II	210	145	111	102	123	212	435	756	918	857	968	1,001
그룹 III	54	37	29	28	35	59	128	226	289	275	310	319
시간대	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
그룹 I	1,589	1,689	1,785	1,808	1,826	2,005	2,034	1,709	1,378	1,179	920	656
그룹 II	949	996	1,055	1,076	1,081	1,124	1,075	857	671	551	423	306
그룹 III	305	328	348	353	350	355	332	250	187	151	114	81

표 14. 시간대별 교통량 변동(휴일)

시간대	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
그룹 I	539	376	281	228	227	338	636	891	1,150	1,344	1,598	1,676
그룹 II	302	209	153	126	132	202	377	549	739	922	1,116	1,201
그룹 III	75	51	39	33	34	54	109	165	222	280	339	361
시간대	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
그룹 I	1,677	1,727	1,823	1,890	1,952	1,985	1,876	1,617	1,413	1,236	908	640
그룹 II	1,178	1,219	1,327	1,401	1,432	1,393	1,255	1,050	868	702	500	351
그룹 III	363	385	419	439	443	422	369	289	219	168	114	79

통량 패턴차이를 알아보기 위해 평일(월~금요일)과 휴일(일요일)로 구분하여 시간대별 평균 교통량을 분석하였다.

$$AHT_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} AHT_{kj} \quad (3)$$

여기서, AHT_{ij} : i그룹 j시간대의 교통량

AHT_{kj} : k지점 j시간대의 평균 시간교통량

평일의 경우 그룹 I이 비교적 오전 및 오후 첨두현상이 강하게 나타나며, 그룹 II와 그룹 III은 첨두현상이 거의 나타나지 않는 것으로 분석된다. 반면 휴일 교통량 패턴은 3개 그룹 모두 첨두현상이 나타나지 않으며, 교통량 차이 외에는 유사한 형태를 보이고 있다.

혼합모형 적용결과, 그룹 I은 도시부도로, 그룹 II는 지방부도로, 그리고 그룹 III은 관광부도로로 판단된다.

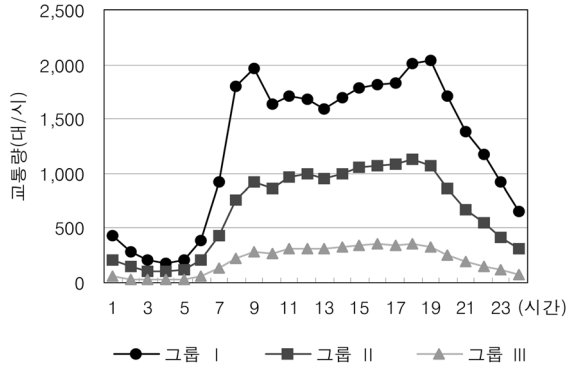

그림 6. 시간대별 교통량 패턴(평일)

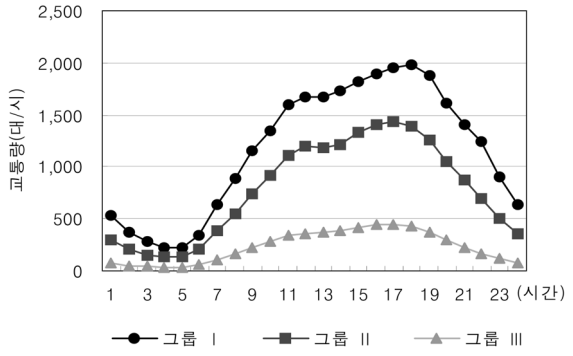

그림 7. 시간대별 교통량 패턴(휴일)

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 교통지표를 이용하여 일반국도를 분류하고, 도로 유형별 교통 특성을 규명하고자 하였으며, 연구방법으로는 도로유형의 분류를 위하여 가장 적정한 군집의 수를 통계적으로 확인해줄 수 있고, 변수의 척도에 제한받지 않는 방법론을 사용하여 도로를 유형화하였다. 이러한 기준을 충족시킬 수 있는 유형화 방법으로는 혼합모형을 사용하여 도로를 유형화하고 그에 따른 교통특성을 파악하고자 하였다.

이를 위해 상시교통량 조사지점을 대상으로 혼합모형을 적용하여 도로를 유형화하고, 그에 따른 교통특성을 분석하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

혼합모형을 적용하여 상시조사 지점을 3개의 유형으로 구분하였다. 해당 지점 수는 그룹 I이 83개 지점, 그룹 II가 128개 지점, 그리고 그룹 III이 139개 지점이다. 이에 대한 교통특성을 분석한 결과 그룹 I은 도시부도로, 그룹 II는 지방부도로, 그리고 그룹 III은 관광부도로의 특성으로 판단된다.

AADT는 그룹 I이 30,000대, 그룹 II가 16,000대, 그리고 그룹 III이 5,000대 수준인 것으로 분석된다. 그룹 I은 일상교통이 대부분을 차지하면서, 대용량의 교통수요를 처리하는 도시부 도로로 판단된다. 그룹 II는 K_{30}과 COV값이 다소 높고, 평일 일상 교통보다는 일요일과 휴가철의 교통량이 많은 지방부 도로로 판단된다. 그룹 III은 AADT가 타 그룹에 비해 매우 낮지만, 일요일과 휴가철의 평균 일교통량이 연평균 일교통량보다 크게 많은 관광부 도로의 특성이 뚜렷하게 나타난다.

도로분야를 포함한 다양한 분야에서 유형분류를 위한 방법론으로 요인분석을 통한 군집분석이 활용되고 있다. 따라서 요인분석을 통한 군집분석 방법과 혼합모형을 통한 군집분석의 결과에 대한 비교를 통계적으로 시도하는 연구를 향후 과제로 남겨두고자 한다.

참고문헌

강원의(2001) 일반국도의 수행 기능 분석에 의한 적정 설계기준 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제19권 제1호, pp. 53~61.

건설교통부(1992, 2001) **도로용량편람**.

건설교통부(1999) **국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구**.

건설교통부(2000) **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침**.

김주현, 도명식, 정재은(2002) 국도 기능 분류를 위한 그룹핑 방법론에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권 제5호, pp. 131~144.

도철웅(1998) **교통공학원론(상)**, 청문각.

일본 건설성 토목연구소(1983 **도로 기능 분류와 교통 특성에 관한 연구**.

임성한(2005) 일반국도 유형분류 및 유형별 교통특성에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권 제4D호, pp. 555~563.

정헌영, 권정철(1996) 도로의 구조 및 이용실태분석에 의한 기능 유형화에 관한 연구, **대한국토·도시계획학회지**, 대한국토·도시계획학회지, 제31권 제3호, pp. 111~123.

Albright, D.(1987) A quick cluster control method : permanent control station cluster analysis in average daily traffic calculations, *Transportation Research Record 1134*, pp. 57~64.

Dempster, A. P., Laird, N. M. and Rubin. D. B. (1997) Maximum Likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)* , Vol. 39, No. 1, pp. 1-38.

Flaherty, J.(1993) Cluster analysis of arizona automatic traffic recorder data, *Transportation Research Record 1410*, pp. 93~99.

Lehmann, D. R. Gupta, S. and Steckel, J. (1998) Marketing Research, Boston : Addison-Wesley.

Wedel, M. and Kamakura, A. (2000) *Market Segmentation : Conceptual and Methodological Foundations*, (2nd Editions), Dordrecht: Kluwer.

(접수일: 2008.5.2/심사일: 2008.6.13/심사완료일: 2008.7.28)