

도로수송부문 온실가스 배출량 산정을 위한 간선 및 지선도로상의 교통량 추정시스템 개발

Development of Traffic Volume Estimation System in Main and Branch Roads to Estimate Greenhouse Gas Emissions in Road Transportation Category

김기동 · 이태정 · 정원석 · 김동술*

경희대학교 환경학 및 환경공학과/환경연구센터

(2011년 10월 25일 접수, 2012년 3월 8일 수정, 2012년 4월 17일 채택)

Ki-Dong Kim, Tae-Jung Lee, Won-Seok Jung and Dong-Sool Kim*

*Department of Environmental Science and Engineering/Institute for
Environmental Studies Kyung Hee University*

(Received 25 October 2011, revised 8 March 2012, accepted 17 April 2012)

Abstract

The national emission from energy sector accounted for 84.7% of all domestic emissions in 2007. Of the energy-use emissions, the emission from mobile source as one of key categories accounted for 19.4% and further the road transport emission occupied the most dominant portion in the category. The road transport emissions can be estimated on the basis of either the fuel consumed (Tier 1) or the distance travelled by the vehicle types and road types (higher Tiers). The latter approach must be suitable for simultaneously estimating CO₂, CH₄, and N₂O emissions in local administrative districts.

The objective of this study was to estimate 31 municipal GHG emissions from road transportation in Gyeonggi Province, Korea. In 2008, the municipalities were consisted of 2,014 towns expressed as Dong and Ri, the smallest administrative district unit. Since mobile sources are moving across other city and province borders, the emission estimated by fuel sold is in fact impossible to ensure consistency between neighbouring cities and provinces. On the other hand, the emission estimated by distance travelled is also impossible to acquire key activity data such as traffic volume, vehicle type and model, and road type in small towns. To solve the problem, we applied a hierarchical cluster analysis to separate town-by-town road patterns (clusters) based on a priori activity information including traffic volume, population, area, and branch road length obtained from small 151 towns. After identifying 10 road patterns, a rule building expert system was developed by visual basic application (VBA) to assort various unknown road patterns into one of 10 known patterns. The expert system was self-verified with original reference information and then objects in each homogeneous pattern were used to regress traffic volume based on the variables of popula-

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-201-2430, E-mail : atmos@khu.ac.kr

tion, area, and branch road length. The program was then applied to assign all the unknown towns into a known pattern and to automatically estimate traffic volumes by regression equations for each town. Further VKT (vehicle kilometer travelled) for each vehicle type in each town was calculated to be mapped by GIS (geological information system) and road transport emission on the corresponding road section was estimated by multiplying emission factors for each vehicle type. Finally all emissions from local branch roads in Gyeonggi Province could be estimated by summing up emissions from 1,902 towns where road information was registered. As a result of the study, the GHG average emission rate by the branch road transport was 6,101 kilotons of CO₂ equivalent per year (kt-CO₂ Eq/yr) and the total emissions from both main and branch roads was 24,152 kt-CO₂ Eq/yr in Gyeonggi Province. The ratio of branch roads emission to the total was 0.28 in 2008.

Key words : Higher tiers, Greenhouse gases emission, Cluster analysis, Expert system, Traffic volume

1. 서 론

산업혁명 이후 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 등 온실가스의 배출량이 급격히 증가하여 지구온난화를 가속시키고 있다. 온실효과로 인하여 지구표면온도는 지난 100년 동안 0.74°C 상승하였으며, 지구평균 해수면은 1961년 이후 매년 1.8mm 씩 상승하였다(IPCC, 2007). CO₂의 증가가 현재 추세라면 2040년~2050년 대기 중 CO₂ 수치는 자연수준의 2배인 550 ppm에 달할 것으로 예상하고 있다. 온실효과는 지구기온을 2100년까지 1.8~4.0°C 상승시킬 것이며, 온도상승은 생물종의 멸종, 해수면 상승, 기상이변 빈발, 사막화, 가뭄, 홍수 등의 문제를 초래할 수 있다고 언급하고 있다. 또한, 한반도가 속한 동아시아 지역의 기온과 강수량 변화가 전 지구평균 변화량보다 높은 것으로 전망하였다(IPCC, 2007).

이러한 온실가스 배출량의 대부분은 에너지의 사용으로 인해 발생되고 있다. 2007년 국내의 분야별 온실가스 비중을 살펴보면 에너지 분야에서 배출되는 온실가스의 양은 국내 전체 배출량의 84.7%를 차지하고 있다(Green Growth Korea, 2011). 경기도의 경우 73.8%가 에너지의 사용으로 발생되고 있다(Gyeonggi-do, 2010). 또한, 국내 및 경기도에서 에너지 사용량 중 수송부문이 차지하는 배출비중은 각각 19.4% 및 25.3%로 높았으며, 특히 도로수송부문이 총수송부문 중에서 차지하는 배출량이 절대적이다. 세계적으로도 수송부문은 전체 에너지부문 배출량의 약 20%를 차지하고 있다(Kim and Lee, 2009).

도로수송부문의 온실가스 배출량 산정법은 크게 활동자료(activity data)를 기준으로 연료소비량을 이용하는 방법과 주행거리를 이용하는 방법으로 구분하고 있다(IPCC, 2006). 일반적으로 IPCC 2006에서는 이동배출원에 대한 배출량을 산정할 때, CO₂ 배출량은 연료판매량을 이용하여 산정하며, CH₄와 N₂O는 차종별, 도로종류별 주행거리를 이용하도록 하고 있다. 하지만 연료판매량을 이용한 산정방법(Tier 1 또는 Tier 2)은 국가나 광역도시 규모에서 배출량을 산정할 때에는 무난하지만, 지역단위 즉, 기초지자체 규모에서 산정할 때에는 연료판매 지역과 실제 차량운행 지역이 다를 수 있어 산정된 배출량에 차이를 보인다. 따라서 연료소비량을 위주로 한 산정법은 기초지자체의 배출량을 산정할 때에는 적합하지 않다. 또한, 이 산정법은 실제 교통정보를 활용하지 않아 이동오염원의 배출특성을 파악할 수 없기 때문에 실질적인 배출량 저감 및 관리차원에서 비효율적인 방법이다.

이와 비교하여, 교통량을 포함한 실제 교통정보에 입각한 산정법(Tier 3)은 기초지자체 배출량을 산정할 때 대체적으로 우수한 방법론이지만, 활동자료를 완벽하게 확보할 수 없다는 문제점이 있다(Cheon, 2010). 현재 국토해양부, 한국도로공사, 한국건설기술연구원 및 해당 지자체에서는 교통량을 측정하고 있지만, 고속국도, 일반국도, 국가지원지방도, 지방도 등 주요 간선도로에 대해 주로 조사를 수행하고 있다. 한편, 시·군도 및 이면도로 등과 같은 소규모 지선도로에서는 극히 일부 기초지자체에서만 제한적으로 조사가 수행되고 있으며 대부분 조사된 바가 없다. 다시 말해, 정확한 도로수송부문의 온실가스 배출량

을 추정하기 위해서는 간선도로를 포함하여 모든 지선도로상에서의 활동자료가 필요하지만 이들 자료를 확보하기는 현실적으로 불가능하다.

따라서, 본 연구에서는 교통량 자료가 확보되지 않은 기초지자체에서 도로수송부문의 실제 온실가스 배출량을 산정하기 위해 응용통계학을 이용한 새로운 방법론을 개발하고자 하였다. 이를 위해 기존 경기도 교통DB센터에서 이미 조사된 읍(邑)·면(面)·동(洞) 규모의 시·군도의 양방향 전일 교통량 자료를 바탕으로 군집분석법(cluster analysis)을 실행하고 기초지자체의 도시유형별 미조사도로의 특성을 일차적으로 분류하고자 하였다. 또한 이들 분류된 군집유형을 기지의 정보로 활용하여 전문가시스템(expert system)을 개발하고자 하였으며, 이를 바탕으로 경기도 내 모든 미조사 지선도로에 확대적용하고 교통량을 추정하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지역의 선정

2007년 전국지역 간 도로교통혼잡비용을 지역별로 비교하면, 수도권지역(서울, 경기도, 인천)이 전국 교통혼잡비용 9조 3,731억 중 55.7%인 5조 2,229억 원을 차지하는 것으로 나타났다(KTI, 2008). 이는 전국 도로 연장의 23.2% 밖에 되지 않는 수도권 지역의 혼잡도가 극심한 상태를 보여주며, 이러한 교통혼잡비용의 집중현상은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 서울과 인천 등 거대도시와 인접하며 통행량이 많은 경기도를 연구대상지역으로 선정하였으며, 온실가스 배출저감 및 관리를 위한 효율적 방안을 제시하기 위해 경기도내 기초지자체별로 배출량을 산정하고자 하였다.

현재 우리나라의 행정구역은 특별시, 광역시, 도, 시, 군, 구, 읍, 면, 동, 리로 구획되어 있다. 경기도 내에는 2008년도에 27개의 시와 4개의 군이 있으며, 이들 시·군을 구성하는 최소 법정 행정구역단위인 동(洞)과 리(里)가 각각 558개와 1,456개로 총 2,014개가 있다(Gyeonggi-do, 2009b). 한편, 국토해양부에서 규정하고 있는 도로구분법에 의하면 도로는 고속국도, 일반국도, 특별광역시도, 지방도, 시도, 군도 등으로 나누고 있다. 정부 차원에서 교통량을 파악할 수 있는

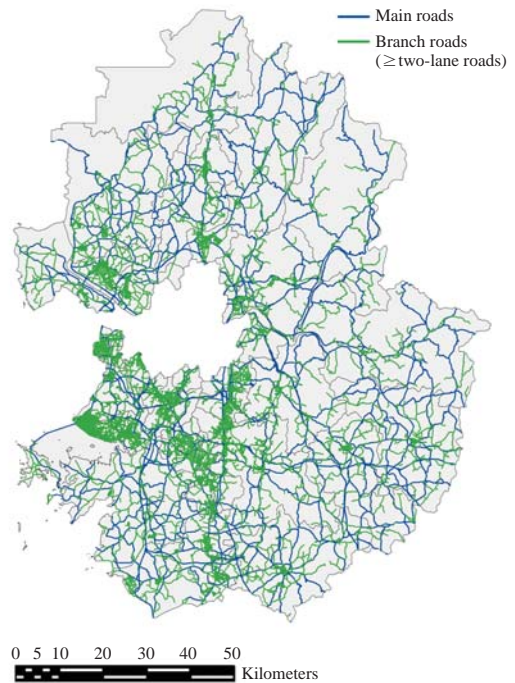


Fig. 1. Road network systems in Gyeonggi Province.

도로는 고속국도, 일반국도, 지방도 등이며, 지자체에서 일부 교통량을 수집하고 있는 도로는 시도, 군도, 특별광역시도 등이다. 경기도의 경우 2008년 기준으로 전체 도로길이(미개통구간 제외) 11,578 km 중 고속도로 493 km, 일반국도 1,592 km, 지방도(국가지원지방도 포함) 2,267 km, 시·군도 7,101 km이다(Gyeonggi-do, 2009a). 따라서 총 도로연장 길이의 약 61%는 시·군도로로서 경기도 “교통DB센터”에서 극히 일부인 교통량 자료를 제공하고 있다. 본 연구에서는 센터에서 제공된 시·군도 지선도로의 자료(1,902개 동·리의 도로길이 정보 및 151개 읍·면·동의 교통량 정보)를 이용하여 경기도내 모든 미조사 도로의 교통량을 추정하고자 하였다.

우선, 교통량이 조사된 주요 간선도로(고속도로, 일반국도, 국지도, 지방도)와 미조사 지선도로(시도, 군도)를 구분하기 위해 그림 1과 같이 경기도 내 도로망을 그림으로 표현하였다. 청색 실선으로 표시된 도로가 교통량이 측정된 주요 간선도로이며, 녹색 실선으로 표현된 도로가 교통량 조사가 이루어지지 않은 미조사 지선도로이다. 그림에서 서울과 인천의 인접

지역 및 인구가 밀집한 지역에서 도로망이 복잡한 것을 알 수 있다.

2.2 도로부문의 배출량 산정법

본 연구에서는 국가수준이 아닌 지자체 수준의 지역 도로수송부문에서의 온실가스 배출량을 산정하기 위해, 실제 활동자료(activity data)인 교통량이 반영된 Tier 3 방법론을 개발하였다. 일반적으로 Tier 3은 크게 두 가지 산정방식으로 나눌 수 있다. 첫째는 실제 조사된 교통량에 입각하여 배출량을 산정하는 방식이다. 이 방식은 자동차의 총주행거리(VKT: vehicle kilometer travelled)를 이용하며, 실제 활동자료에 해당 배출계수를 곱하고 모든 경우를 합산하여 전체 배출량을 산정한다. 실측자료를 반영하기 때문에 시공간적 배출분배에 적합하고 차종별 연비기술을 반영한 가장 합리적 방법론으로 간주된다. 둘째는 일평균 주행거리에 입각하여 배출량을 산정하는 방식이다. 이 방법은 차량의 주행기록계를 바탕으로 광역단체 단위의 차종별 일일평균주행거리를 산정한 후, 해당 지역의 자동차 등록대수를 지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하여 산정하는 방식이다. 참고로, 현재 환경부에서는 두 번째 방식에 입각하여 차량에서 배출되는 각종 대기오염물질의 배출량을 산정하고 있다(Park *et al.*, 2001). 하지만 이 산정방식은 차량별 배출계수가 차종과 연식에 크게 의존하기 때문에 일률적으로 적용할 경우 큰 오차를 유발할 수 있다(Cheon, 2010).

본 연구에서는 경기도 교통DB센터(2010)의 실제 교통량 자료를 바탕으로 GIS 도로맵을 이용하여 총주행거리를 산정한 후, 배출계수를 곱하고 합산하여 배출량을 산정하는 방식을 이용하였다. Tier 3과 관련하여 배출량 산정식은 식(1)과 같다(IPCC, 2006).

$$Emissions = \sum_{a,b,c} [VKT_{a,b,c} \cdot EF_{a,b,c}] + \sum_{a,b,c} C_{a,b,c} \quad (1)$$

여기서 배출량(emissions, kg)은 연간 총주행거리(VKT, km · 대)에 배출계수(EF, kg/km)를 곱한 후 산정한다. 이때 모든 차량종류(a; 승용차, 승합차, 화물차 등), 연료종류(b; 휘발유, 경유, LPG 등), 속도(c; km/h)를 고려하여 VKT와 동일한 조건을 만족하는 배출계수를 선정하여 곱한 후 합산한다. 본 연구에서는 국토해양부가 제공한 차량분류표를 사용하였으며 표 1과 같다. C_{a,b,c}는 엔진이 가열되지 않았을 때인

Table 1. Vehicle types classified by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009).

Vehicle type	Description
1 Cars & Mini truck	Car, 15 ≤ Passenger van, Mini truck
2 Bus	16 ≥ Passenger van or bus
3 Small-duty truck A	Line-hauler truck (2 axle, 1 ~ 2.5 < Loadage, 1 unit)
4 Small-duty truck B	Line-hauler truck (2 axle, 1 ~ 2.5 ≥ Loadage, 1 unit)
5 Medium-duty truck A	Line-hauler truck (3 axle, 1 unit)
6 Medium-duty truck B	Line-hauler truck (4 axle, 1 unit)
7 Medium-duty truck C	Line-hauler truck (5 axle, 1 unit)
8 Heavy-duty truck A	Line-hauler semi-trailer truck (4 axle, 2 unit)
9 Heavy-duty truck B	Line-hauler full-trailer truck (4 axle, 2 unit)
10 Heavy-duty truck C	Line-hauler semi-trailer truck (5 axle, 2 unit)
11 Heavy-duty truck D	Line-hauler full-trailer truck (6 axle, 2 unit)
12 Heavy-duty truck E	Line-hauler semi-trailer truck (6 axle ≥, 2 unit)

예열 중의 배출량으로 차량의 총배출량에 대해 상당한 비중을 차지하는 것으로 보고되고 있다(IPCC, 2006). 예열단계(cold start)의 배출량은 예열단계의 배출계수와 연간 차량 당 시동횟수 자료가 필요하나, 본 연구에서는 자료의 부족으로 총배출량 산정 시 예열단계의 배출량은 고려하지 못했다. 그러나 추후 엔진 미가열 배출량을 엔진가열에 대한 상대적 비율로 계산하는 방법을 적용한다면 예열단계의 온실가스 배출량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다(Lee *et al.*, 2012; NIER, 2010).

주행속도에 따른 배출계수는 2009년 국립환경과학원에서 발간된 “수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(II)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발”의 배출계수 산출식을 이용하였다(NIER, 2009). 표 2와 3은 CO₂, CH₄, N₂O의 양방향 평균주행속도의 함수로 표현된 배출계수 산출식을 보여주고 있다. 평균주행속도는 경기도청에서 발간한 “경기도 주요 도로별 차량통행속도조사 결과”에서 조사한 도로구간별 속도를 양방향 평균 속도로 계산한 값을 의미한다.

2.3 군집분석과 전문가시스템을 이용한 배출량 산정 알고리즘의 개발 개요

경기도 내 지선도로 수송부문의 정확한 온실가스 인벤토리를 구축하기 위해, 또한 행정구역의 최소 단

Table 2. A reference of CO₂ emission factors for each vehicle type provided by NIER (2009).

	Vehicle type	Fuel type	Emission factor (g/km)	
			V < 65.4 km/h	V ≥ 65.4 km/h
Cars	Light-duty	Gasoline	$887.12V^{-0.5703}$	$0.9303V+30.821$
		Gasoline	$1,313.7V^{-0.6}$	$0.5447V+78.746$
	Middle-duty	Diesel	$1,133.1V^{-0.587}$	$0.6175V+62.478$
		Gasoline	$1,555.5V^{-0.578}$	$0.0797V+144.19$
		Diesel	$1,818.1V^{-0.6643}$	$0.3184V+95.66$
	Heavy-duty	LPG	$1,539.4V^{-0.5748}$	$0.5056V+117.39$
		Gasoline	$1,970.1V^{-0.6187}$	$0.1791V+145.07$
Taxi	LPG	$1,849.8V^{-0.6164}$	$-0.1348V+159.9$	
RV	Small-duty	LPG	$1,805.7792V^{-0.6322}$	$0.3239V+114.0621$
		Diesel	$1,313.2V^{-0.5645}$	$0.9883V+68.771$
	Medium-duty	LPG	$1,525.2V^{-0.5875}$	$0.5876V+98.74$
		Diesel	$1,811.7V^{-0.6092}$	$0.9521V+88.489$
Bus	Light-duty	LPG	$2,121.7V^{-0.6254}$	$1.0509V+95.347$
		Diesel	$791.33V^{-0.5232}$	$1.0255V+33.036$
	Small-duty	Diesel	$1,923.2 \times V^{-0.5941}$	$1.0658V+93.436$
		LPG	$1,862.6V^{-0.6044}$	$0.4717V+125.54$
	Medium-duty	Diesel	$1,828.9V^{-0.4409}$	$0.2162V+309.46$
	Heavy-duty	Except for city bus	Diesel	$2,676.7V^{-0.3344}$
City bus		Diesel	$4,638.6V^{-0.5179}$ (V ≤ 47.7 km/h)	
Truck	Small-duty	CNG	$5,019.8V^{-0.5582}$ (V ≤ 47.7 km/h)	
		Diesel	$1,135.2 \times V^{-0.4668}$	$2.2307V+25.76$
	Medium-duty	Diesel	$0.1029V^2 - 14.937V + 798.9$	
Heavy-duty	Diesel	$6,240.3 \times V^{-0.3829}$		

V=average vehicle speed on two-way road (km/h)

위인 동·리 도로상에서의 교통량을 추정하기 위해 다음과 같은 과정으로 알고리즘을 개발하였다. 우선 모든 동·리 지선도로에서의 교통량을 추정하기 위해, 일부 지선도로에서 기초사된 교통량 자료를 이용하였다. 또한 이들 지역의 인구, 면적, 이면도로의 길이 등을 별도로 조사하고 이들을 변수로 이용하여 군집분석을 수행하였다. 다음으로, 군집분석 결과를 이용하여 읍·면·동·리의 분류특성에 따라 지선도로를 유형별로 분류하여 군집분류표를 개발하였으며, 최종적으로 개발된 군집분류표를 바탕으로 전문가시스템(expert system)을 이용한 교통량 추정 프로그램을 개발하였다.

군집분석이란 특정군집으로의 귀속여부가 결정되지 않은 사례 또는 개체(case or object)들에 대하여, 군집분류에 영향을 줄 수 있는 변수들을 선정하고, 이들 변수로 특성화된 모든 사례 간의 거리(distance)를 유사도(similarity)로 표현한 후 유사도의 수준에 따라 특정군집으로 분류하고 집단화하는 응용통계의 한 기법이다. 즉, 각 사례 간의 상대적 거리를 구하고 거리가 가까운(유사도가 높은) 사례들을 동일한 군집에 소속하게 하며 거리가 먼(유사도가 낮은) 사례들을 다른 군집에 소속하게 한다(Wilks, 1995). 거리의 종류에는 유클리디안 거리(Euclidean distance), 유클리디안 제곱거리(squared Euclidean distance), 도시

Table 3. A reference of CH₄ and N₂O emission factors for each vehicle type provided by NIER (2009).

Vehicle type	Fuel type	Emission factor (g/km)		
		CH ₄	N ₂ O	
Cars	Gasoline	$0.0351 \times V^{-0.7754}$	$0.0307 \times V^{-0.8718}$	
	LPG	$0.0913 \times V^{-0.956}$	$0.1162 \times V^{-1.1582}$	
	Diesel	$0.052 \times V^{-0.8767}$	$0.1479 \times V^{-0.9224}$	
Taxi	LPG	$0.3267 \times V^{-0.7956}$	$0.6240 \times V^{-1.0010}$	
RV	Small-duty	Diesel	$0.0512 \times V^{-0.8062}$	
		LPG	$0.1509 \times V^{-1.2521}$	
	Medium-duty	Diesel	$0.0534 \times V^{-1.0371}$	
		LPG	$0.2307 \times V^{-1.3878}$	
Bus	Light-duty	LPG	$0.0305 \times V^{-0.5298}$	
	Small-duty	Diesel	$0.1581 \times V^{-1.273}$	
		LPG	$0.1794 \times V^{-0.9135}$	
	Medium-duty	Diesel	$14.669 \times V^{-1.9562}$	
	Heavy-duty	Except for city bus	Diesel	$1.34 \times V^{-1.748}$
		City bus	Diesel	$0.1744 \times V^{-1.0596}$
			CNG	$117.64 \times V^{-1.0596}$
Truck	Small-duty	Diesel	$0.0328 \times V^{-0.5697}$	
	Medium-duty	Diesel	$0.4064 \times V^{-0.6487}$	
	Heavy-duty	Diesel	$0.402 \times V^{-0.6197}$	

W=average vehicle speed on two-way road (km/h)

블럭 거리 (city-block distance), Minkowski 거리 등이 있다. 이 중 가장 흔히 사용되는 거리는 유클리디안 거리와 유클리디안 제곱거리이다 (Yoo and Kim, 1997). 일반적으로 거리를 계산할 때 변수들의 단위가 다를 경우 표준화된 값을 사용한다 (Lee and Lim, 2009). 한편, 군집분석을 수행할 때 가장 흔히 사용하는 거리 값은 간격척도 (interval scale) 혹은 비율척도 (ratio scale)를 기준으로 계산되며, 경우에 따라 명목척도 (nominal scale) 혹은 서열척도 (ordinal scale)로 측정된 값들도 사용하고 있다.

본 연구에서는 위계군집분석법 (hierarchical cluster analysis)을 사용하였다. 비위계분석법이 군집의 수를 알고 있거나 추정할 수 있을 때, 사례들을 특정군집에 최적 분해하는 방식이라면, 위계분석법은 군집 간 중복을 허용하지 않고 군집의 수가 미지일 때, 계보형식의 수상도 (dendrogram)을 이용하는 분석법이다. 위계분석법은 비위계분석법과 비교하여 계산시간이 짧고 전체 군집들 간의 구조적인 관계를 수상도라는

2차원 공간에 간단히 표현할 수 있는 장점이 있다 (Massart and Kaufman, 1983).

한편, 전문가시스템은 이미 알고 있는 소수의 사례 정보를 바탕으로 규칙 (rule)을 만들고 이 규칙을 일반적 사례에 적용시키는 인공지능의 응용분야 중 하나이다. 본 연구에서는 군집분석을 통해 n개의 군집으로 분류된 지역유형별 지선도로에 대한 군집분류표 (cluster profiles)를 작성하였다. 군집분류표는 각 군집에 소속한 사례들의 변수정보를 이용하여 군집별로 특성화되었으며 각 군집은 독립적이다. 이 군집분류표를 이용하여 군집별로 규칙을 만들었으며, 이를 모든 사례에 적용하기 위해 일반화시키고 전문가시스템을 개발하였다. 즉, 기초사된 일부 지선도로의 교통량 정보자료를 이용하여 일반화된 규칙을 만들고 이를 모든 미조사된 지선도로에 적용할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였다.

이러한 목적을 수행하기 위해, 본 연구에서는 마이크로소프트사에서 개발한 VBA (visual basic applica-

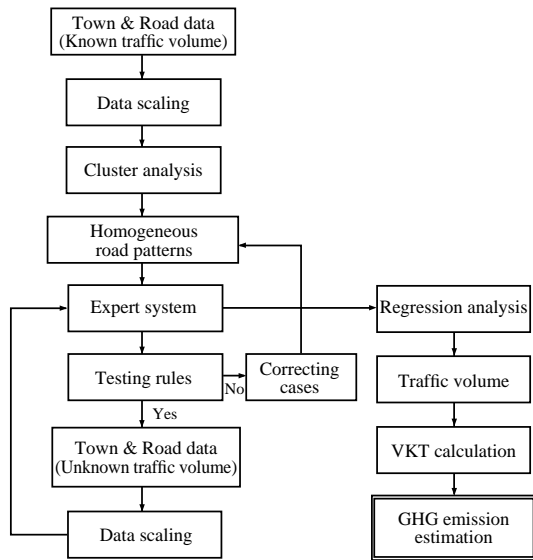


Fig. 2. A flowchart for developing an expert system in this study.

tion)을 이용하였다. 개발된 프로그램은 엑셀(Excel) 환경에서 다중의 사례를 동시에 처리할 수 있거나 개별 사례를 입력하여 처리가 가능하도록 두 가지 실행조건을 제시하였다. 또한 다중의 사례를 분류 및 실행한 후 개별 사례를 입력할 때 특정군집으로의 소속여부를 확인할 수 있도록 하였다. 그림 2는 미조사 지선도로 상에서 교통량 추정을 위한 전문가시스템의 흐름도이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주요 간선도로에 대한 교통량 및 주행거리의 산정

경기도 내 주요 간선도로의 교통량은 유관기관(한국도로공사, 한국건설기술연구원, 경기도청, 시·군청)에서 조사하고 수집한 “경기도 교통DB센터”의 자료를 이용하여 산정하였다. 주요도로의 교통량은 각 구간별 도로종류(고속국도, 일반국도, 국가지원지방도, 지방도)에 따라 차종별로 1종~12종으로 나누어 수집되고 있다(표 1 참조). 차종분류체계는 2006년 이전 도로 교통량 조사에서는 11종(일반국도)과 8종

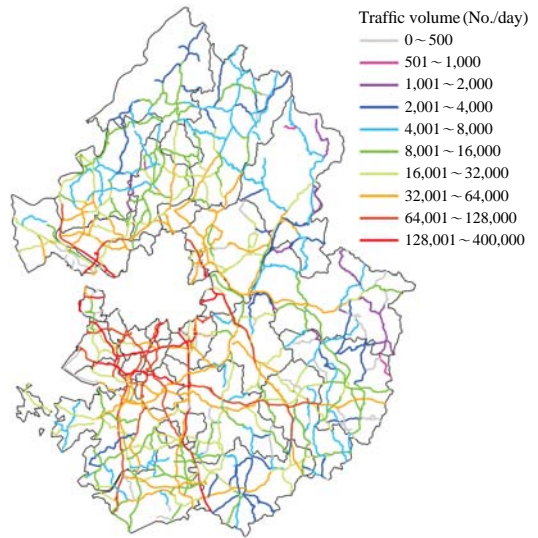


Fig. 3. Traffic volumes calculated on main roads only in Gyeonggi Province which were constructed by GIS road mapping.

(고속국도, 국가지원지방도, 지방도)으로 조사되었지만, 2006년 7월부터는 도로용량편람 등에서 제시된 차종분류 기준에 입각하여 현재처럼 12종 분류체제로 통합되었다(Traffic Monitoring System, 2011).

2008년도 양방향 전일 교통량에 대해 GIS를 이용하여 도로별로 맵핑하면 그림 3과 같다. 경기통계연보(Gyeonggi-do, 2009b)에 의하면, 경기도는 교통특성에 따라 남부지역(수원시, 성남시, 안양시, 부천시 등)과 북부지역(의정부시, 동두천시, 고양시, 구리시 등)으로 구분할 수 있는데, 남부지역이 북부지역보다 교통량이 더 높은 것으로 조사되었다. 이 중 북부지역에서는 서울외곽순환고속국도가 통과하는 고양시(1,916,375 대/일)의 교통량이 높게 조사되었으며, 남부지역에서는 경부고속국도와 영동고속국도가 통과하는 용인시(1,898,848 대/일) 및 경부고속국도와 서해안고속국도가 통과하는 화성시(1,677,423 대/일)가 높게 조사되었다. 반면, 면적이 좁고 도로 연장이 짧으며, 인구가 적은 동두천시(62,893 대/일)와 연천군(94,626 대/일)은 낮게 조사되었다.

한편, 도로부분의 온실가스 배출량은 식(1)에서와 같이 주행거리에 배출계수를 곱하여 산출된다. 본 연구에서는 앞서 기술한 것처럼, 주행거리와 관련한 활

동자료로서 12차종으로 분류된 국토해양부의 자료(표 1)를 이용하였다. 또한 차종별 배출계수 자료는 국립환경과학원의 자료(표 2, 3)를 이용하였다. 두 기관의 차종별 분류체계가 상이하기 때문에, 식(1)을 이용하여 배출량을 산정하기 위해서 적용할 주행거리 및 배출계수의 차종체계를 통일하였다. 예를 들어, 국토해양부의 1종은 승용차, 택시 및 15인승 이하의 승합차가 포함되어 있고, 2종의 경우에는 16인승 이상 승합차와 시내버스, 시외버스, 전세버스 등이 포함되어 있다. 따라서 국립환경과학원의 배출계수 분류항목과 각각 대응시켜, 1종과 2종은 각 지자체의 차량등록대수 자료의 차종비율을 이용하여 배분하였다. 그 외 국토해양부의 3종~12종은 국립환경과학원의 배출계수 항목에 맞추어, 3종~4종은 소형트럭, 5종~7종은 중형트럭, 8종~12종은 대형트럭으로 분류하였다. 교통량에 따라 차종별 비율을 산출한 결과 승용차가 63.0%로 가장 비율이 높았고 시내버스가 0.3%로 가장 낮았다.

GIS를 이용하여 양방향 전일 2008년도 교통량 자료를 그림 3과 같이 도식하였으며, 도로별로 맵핑하여 총주행거리를 그림 4와 같이 도식하였다. 주행거리를 산정하기 위해 필요한 평균주행속도 자료는 경기도청에서 발간한 “경기도 주요 도로별 차량통행속도 조사결과”에 의거하여 도로구간별 속도를 양방향 평균속도로 계산하여 구하였다. 총주행거리는 화성시의 경우, 743,706 천km·대/yr로 가장 높았고, 용인시 691,626 천km·대/yr, 안성시 585,382 천km·대/yr, 평택시 564,550 천km·대/yr 순으로 높게 조사되었다. 표 4는 경기도 31개 시·군별로 VKT를 차종별로 계산한 것이다.

3.2 동(洞)·리(里) 지선도로에 대한 교통량 및 주행거리 산정

3.2.1 지선도로의 분류과정

지선도로에 대한 온실가스 배출량 산정과 관련된 연구는 활동자료의 부실 및 높은 불확실도(uncertainty) 때문에 국내·외적으로 연구가 미진한 상태이다. 사실상 경기도 내 도로정보가 등록된 1,902개 동·리의 모든 지선도로에 대하여 교통량을 조사하는 것이 불가능하기 때문이다. 이에 본 연구에서는 경기도 교통DB센터에서 이미 조사되었던 151개 읍·면·

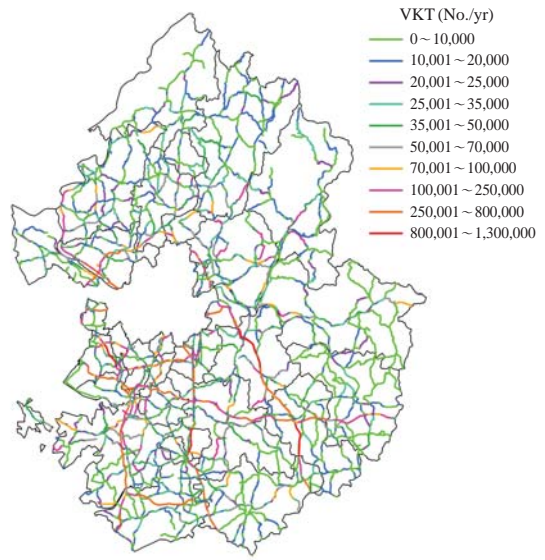


Fig. 4. VKT calculated on main roads only in Gyeonggi Province which were constructed by GIS road mapping.

동 내(內) 시·군도의 양방향 전일 교통량 자료를 바탕으로 응용통계학을 이용하여 교통량을 추정하고자 하였다. 이때 일부자료는 최소 행정구역 단위인 리(里)에서의 교통량 자료는 부재하여 면(面) 단위의 자료를 활용하였다.

151개 읍·면·동을 가로지르는 시·군도 지선도로 교통량에 대한 사례를 바탕으로 군집분석을 수행하였다. 이들 사례들은 각각 교통량 자료와 더불어 해당 읍·면·동의 인구, 면적, 도로길이 등 3개의 변수로 구성되어 있다. 각 변수는 각기 다른 단위와 크기로 표현된 간격척도이기 때문에 변수 간의 영향력을 동등하게 부여하기 위해 각 변수별 최대값으로 나누어 스케일링(scaling)하였다. 또한, 이들 변수들을 이용하여 유사도 추정을 위해 유클리디안 제곱거리를 구하였다. 각 사례들의 군집화를 2차원 수상도로 표현하기 위해 구성가능한 모든 군집들의 유사도 분산을 기준으로 사용한 Ward법을 적용하였다. 그림 5는 151개의 사례에 대해 군집분석을 수행한 결과물인 수상도의 일부이다. 군집분석에서 유의할 사항은 수상도에서 유사도의 수준을 결정하는 과정이 주관적이기 때문에, 이 과정을 객관화시키는 과정이 중요하다. Yoo and Kim (1997) 등은 객관화 과정을 수행하기 위

Table 4. The VKT calculated on main roads of each local city and county in Gyeonggi Province.

(unit: 1,000 km · vehicle number/yr)

City	Passenger cars	Taxi	Mini bus	Medium bus	City bus	Heavy bus	Small truck	Medium truck	Heavy truck	Total
Gapyeong	142,942	1,640	16,232	1,388	2,821	174	56,426	12,011	729	234,361
Goyang	334,208	7,246	25,277	5,981	180	10,265	84,397	16,129	2,747	486,430
Gimpo	123,843	1,463	10,833	1,668	31	3,895	41,072	8,152	1,739	192,697
Gwacheon	57,177	1,060	3,378	1,247	0	112	5,640	1,419	11,213	81,245
Gwangmyeong	21,431	0	1,835	169	0	226	4,415	927	162	29,165
Gwangju	200,050	1,542	17,768	690	1	5,101	73,858	15,043	2,595	316,648
Guri	105,627	1,430	9,162	5,060	0	4,553	34,698	4,117	969	165,615
Gunpo	89,317	892	5,734	2,866	0	592	15,728	2,765	2,931	120,826
Namyangju	267,385	3,160	25,664	8,369	32	8,901	94,959	22,969	4,995	436,433
Dongducheon	41,607	1,455	4,470	1,274	487	24	14,966	3,192	229	67,704
Bucheon	82,268	911	7,515	1,583	667	3,110	26,377	5,829	899	129,159
Seongnam	329,958	5,243	22,513	4,530	81	9,612	68,924	7,414	656	448,932
Suwon	231,872	5,647	16,888	4,102	6	8,456	63,199	15,077	3,691	348,938
Siheung	196,768	1,424	17,453	3,704	355	3,147	69,121	11,713	3,590	307,274
Ansan	203,462	2,597	17,221	3,349	23	2,643	58,649	11,716	4,488	304,149
Anseong	327,597	6,433	27,418	10,558	5,811	5,817	145,766	44,990	10,992	585,382
Anyang	172,954	2,662	12,863	2,406	7	2,878	42,901	7,840	1,308	245,819
Yangju	169,664	2,739	18,037	3,268	224	6,321	73,106	16,809	1,482	291,649
Yangpyeong	192,882	2,025	17,137	3,321	63	5,892	62,794	19,072	2,005	305,190
Yeosu	225,283	1,859	20,396	3,507	76	10,833	88,602	20,945	7,645	379,144
Yeoncheon	88,022	3,608	9,626	3,001	515	1,344	43,096	8,348	764	158,324
Osan	67,300	1,259	5,414	1,292	1,349	1,199	17,102	4,331	750	99,994
Yongin	447,552	6,627	29,094	9,285	363	16,010	141,520	34,153	7,023	691,626
Uiwang	137,189	1,874	8,943	3,480	3	1,382	23,784	4,834	1,834	183,323
Uijeongbu	66,085	948	6,228	831	1	949	28,614	4,562	1,150	109,369
Icheon	268,803	4,514	21,154	4,467	9	7,969	113,693	25,632	7,900	454,140
Paju	302,570	8,621	26,022	4,807	8,520	4,743	105,914	33,284	5,489	499,971
Pyeongtaek	340,374	8,007	27,317	4,462	1,408	8,985	130,709	34,881	8,408	564,550
Pocheon	211,363	7,205	22,861	4,708	225	6,669	109,474	21,823	3,148	387,477
Hanam	92,792	515	8,313	932	0	2,149	26,573	4,905	1,313	137,492
Hwaseong	446,706	7,566	35,073	6,002	555	12,067	186,213	42,706	6,817	743,706

한 한 방법론으로 분산주인자분석 등 확률적 연구를 수행한 바 있다. 본 연구에서는 군집유형을 세분화하기 위해 가능한 최대수의 군집을 얻고자 했다. 또한 그림 5에서와 같이 사례의 집단화(grouping)가 뚜렷한 수준에서 유사도를 결정하여 총 10개의 지선도로별 군집유형(class or type)을 얻었다.

3. 2. 2 전문가시스템에 의한 지선도로의 일반화 과정

군집분석을 수행하여 얻은 10가지 지선도로별 유형에 대한 군집분류표(profile)를 작성하고, 군집별로 각 군집에 소속한 사례를 정밀분석하였다. 우선 군집 내 각 해당사례의 지역을 문헌조사, 위성사진분석, 현장조사 등을 통하여 그 지역의 주거환경 및 생활환경의 특성들을 조사하였다. 조사한 군집별 특성을 바탕

으로 군집명칭을 부여하였다. 그림 6은 각 군집의 일부 유형을 사진으로 제시한 것이다. 다음은 10개 군집의 특성을 설명한 것이다.

군집-1에 대한 사례를 조사한 결과 총 3개의 읍·면이 이 군집에 소속되어 있었으며 모두 경기도 북부에 위치한 가평군에 위치하고 있었다. 전체적으로 인구밀도가 낮고, 교통량이 적으며 주위에 산이 많아 자연휴양림 조성되기도 하여 ‘산림형’으로 명명하였다. 군집-2에는 총 10개의 동이 소속했으며 다른 군집에 비해 교통량 높게 조사되었다. 이는 산업도로, 고속국도, 일반국도 등 통행량이 많은 도로가 해당지역을 통과하기 때문으로 ‘교통혼잡형’으로 명명하였다. 군집-3에는 총 22개의 면이 소속하였다. 이들 행정구역은 교통량이 적고 인구밀도가 낮았으며, 전체

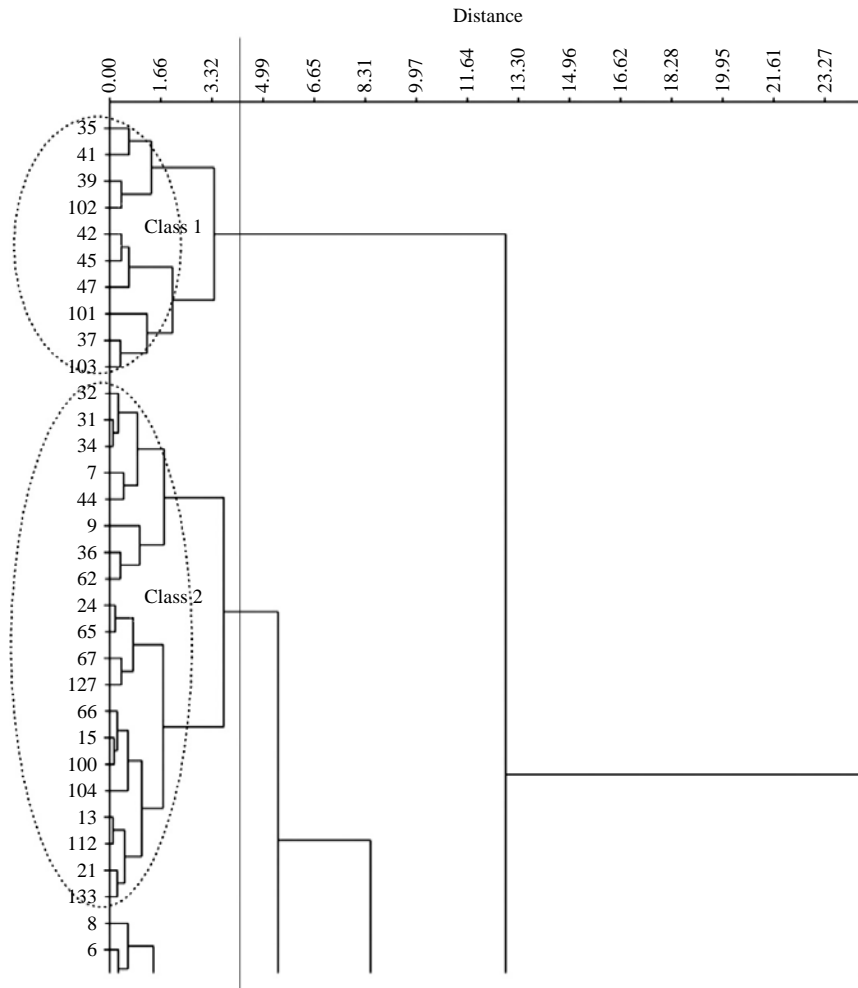


Fig. 5. A part of dendrogram for classifying branch road types. A hierarchical cluster analysis was performed by the Ward method and the squared Euclidean distance.

적으로 농업 및 축산업 등으로 지역경제를 유지하고 있었고, 주변 산과 저수지 등 자연적인 휴식공간이 발달 되어있어 전형적 ‘농촌형’으로 명명하였다. 군집-4는 총 20개의 읍이 소속해 있었으며, 대체적으로 군집-1과 군집-3보다는 교통량이 많고 인구밀도가 높게 조사되었다. 특히 아파트가 밀집되어 있었으며, 밀집된 아파트를 중심으로 위생업소 및 오피스텔, 백화점, 대형마트 등이 위치하여 전형적인 도시의 특색을 갖추고 있어 상권이 발달한 ‘주거상업형’으로 명명하였다. 군집-5에는 총 12개의 읍·면·동이 소속되어 있었으며, 일부 군집-4와 비슷한 경향을 보이는

것으로 조사되었다. 특히 도시화된 마을과 농촌형 마을이 복합적으로 위치하고 있었다. 예전에는 행정구역 단위가 ‘리’이었지만, 최근 ‘동’으로 승격된 곳이 많이 포함되어 있었다. 서울외곽순환고속국도 등 통행량이 많은 도로가 통과하므로 도시와 농촌의 특색을 모두 갖추고 있어 ‘도농복합형’으로 명명하였다.

군집-6에는 총 7개의 읍이 소속해 있었다. ‘군’의 행정 및 상업 중심지역인 읍에 위치하였기 때문에 인구가 비교적 많게 분석되었다. 특히 주변 신도시의 영향으로 인구가 급증하고 있었고, 전원형 주택 및 아파트가 확산되고 있어 ‘농촌주거형’으로 명명하였다.



Fig. 6. Photo samples of road cluster types; clusters 1, 3, 4, and 8.

군집-7에는 총 28개의 읍·면이 소속해 있었다. 다른 군집에 비해 인구밀도는 높지 않았으며 교통량도 많지 않았다. 특히 일부 상수도 개발제한 구역이 포함되어 있었고, 문화유적 및 저수지, 수목원, 레저시설 등 관광자원이 발달해 있었으며 산업체도 입주하여 지역경제 활성화에 이바지 하고 있었다. 관광지의 특색과 산업이 동시에 발달되어 있어 ‘레저·산업 복합형’으로 명명하였다.

군집-8에는 총 4개의 읍·동이 소속하였다. 다른 군집에 비해 인구와 교통량이 많았다. 특히 고속국도

및 일반국도 등 주요 간선도로가 도심부를 통과하여 교통량이 많았고, 대규모 택지개발로 현대적인 주거 중심 지역이었기 때문에 ‘교통혼잡주거형’으로 명명하였다. 군집-9에는 총 39개의 읍·면·동이 소속해 있었고, 군집-7과 유사한 경향을 보였으며, 인구와 교통량이 낮게 분석되었다. 특히 서울 및 신도시 인접 지역으로서 중소 제조업체가 다수 입주해 있었으며 향후 산업발전가능성이 높은 지역이므로 ‘농촌산업형’으로 명명하였다. 군집-10에는 총 5개의 읍·면이 소속해 있었고, 군집-9와 유사하였으나 다른 군집에

Table 5. A statistical summary of each branch road type after homogeneously assigned by cluster analysis.

Road type			Traffic volume (number/day)	Population (person)	Area (km ²)	Non- measurement road distance (m)
1	Forest	Max.	4,372	19,369	231.0	40,440
		Min.	1,487	3,594	141.5	11,886
		Ave.	2,806	10,139	172.5	29,649
2	Heavy traffic	Max.	133,202	58,708	15.2	21,865
		Min.	68,022	9,235	1.5	7,796
		Ave.	96,392	27,807	7.3	13,583
3	Agriculture	Max.	32,541	13,682	113.0	17,612
		Min.	307	662	48.5	3,212
		Ave.	6,453	6,516	73.0	12,062
4	Residence & Commerce	Max.	58,308	31,784	23.9	20,405
		Min.	641	1,966	0.8	2,411
		Ave.	25,871	16,609	10.8	9,810
5	Urbanized rural	Max.	54,158	45,452	52.2	34,569
		Min.	27,543	9,257	1.0	3,045
		Ave.	42,183	32,398	19.5	18,861
6	Rural residence	Max.	41,666	81,986	71.5	76,717
		Min.	6,162	49,614	42.7	19,470
		Ave.	18,256	63,727	54.4	36,350
7	Leisure & Industry	Max.	18,758	25,125	102.2	42,426
		Min.	214	3,747	51.4	15,982
		Ave.	4,548	11,504	68.5	27,219
8	Heavy traffic & Residence	Max.	52,730	175,026	46.7	151,553
		Min.	34,108	57,985	21.2	82,336
		Ave.	42,315	131,294	33.0	108,693
9	Rural industry	Max.	22,436	35,379	50.9	34,509
		Min.	487	2,201	27.1	5,273
		Ave.	8,779	11,508	37.5	18,500
10	New town	Max.	23,912	52,013	73.2	63,651
		Min.	1,973	14,156	41.7	41,295
		Ave.	8,869	29,180	54.1	52,453

비해 신도시 개발지구가 포함된 특징이 있었다. 주요 간선도로의 요충지이고, 많은 중소기업체가 산재해 있으며 계속해서 개발이 진행되고 있기에 ‘신도시형’으로 명명하였다.

위와 같은 10개의 군집별 특성을 바탕으로 최소단위의 행정구역에 대한 군집분류표를 작성하였다. 표 5은 각 군집에 대한 인구, 면적, 도로의 길이 등의 최대, 최소, 평균값 등을 보여주고 있다. 이 군집분류표를 기지의 정보로 활용하여 VBA(visual basic application)를 이용하여 전문가시스템 프로그램을 개발하였다. 전문가시스템은 2단계로 수행되었다. 우선 군집별로 인구, 면적, 도로길이 등 각 변수의 최대 및 최소값의 범위로 설정하여 규칙 1(rule 1)을 만들고 사례

들이 군집별로 올바르게 분류되었는지를 검증하였으며, 분류가 제대로 되지 않은 사례들은 미분류군집(unknown class)로 처리하고 규칙 2를 만들어 재분류하였다. 규칙 2는 인구밀도의 최대 및 최소값의 범위를 변수로 사용하여 만들었다. 개발된 전문가시스템에 대한 자가검증(self-verification)을 수행한 결과, 규칙을 만들 때 기본이 된 151개 사례가 모두 10개 군집 내에 올바르게 소속되고 분류된 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 군집분석에 의해 분류되고 소속이 확인된 순수군집(homogeneous class)에 대해 군집별로 교통량에 대한 다중회귀분석을 수행하여 선형회귀식을 만들었으며, 결과는 표 6과 같다.

다음 단계로 교통량 정보가 없는 경기도 지역내

Table 6. Linear regression equations for each road type to estimate traffic volumes.

Road type	Linear regression equation
1 Forest	$Y=0.146X_1+0.021X_2+719.1$
2 Heavy traffic	$Y=-0.677X_1-2,108.4X_2+0.757X_3+120,367.2$
3 Agriculture	$Y=0.692X_1-80.3X_2-0.060X_3+7,357.9$
4 Residence & Commerce	$Y=-0.048X_1+169.5X_2+1.572X_3+2,776.9$
5 Urbanized rural	$Y=-0.009X_1+55.6X_2-0.681X_3+54,227.1$
6 Rural residence	$Y=-0.272X_1-610.1X_2-0.012X_3+69,233.2$
7 Leisure & Industry	$Y=0.141X_1+27.3X_2+0.022X_3+457.6$
8 Heavy traffic & Residence	$Y=0.188X_1+0.131X_3+3,846.5$
9 Rural industry	$Y=0.145X_1+42.9X_2+0.194X_3+1,916.1$
10 New town	$Y=0.013X_1-500.5X_2+0.317X_3+18,966.3$

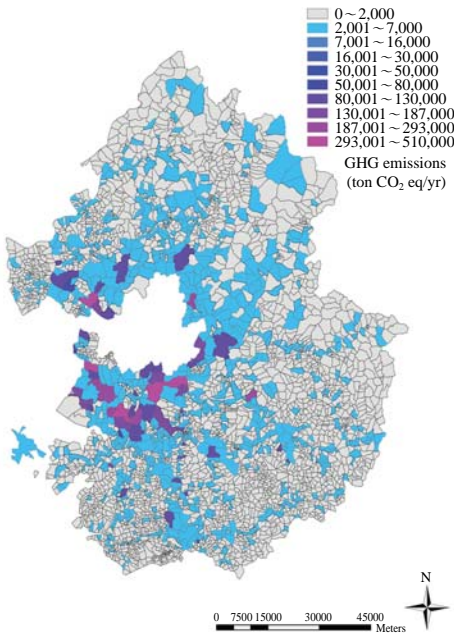
Y: traffic volume, X₁: population, X₂: area, X₃: non-measurement road distance

1,902개 동·리 지역(151개 기초사 지역 포함)에 대하여 전문가시스템을 적용하였다. 우선 모든 동·리 지역에 대한 인구, 면적, 도로길이 등의 정보를 확보하고(Gyeonggi-do, 2009b), 이를 입력자료로 사용하여 모든 지역을 10개 군집 중 하나로 분류하였다. 경기도 내 1,902개 지역을 도로유형에 따라 분류한 결과, 군집-1에 해당하는 지역은 566개, 군집-2 38개, 군집-3 344개, 군집-4 306개, 군집-5 60개, 군집-6 71개, 군집-7 104개, 군집-8 175개, 군집-9 56개, 군집-10 182개 지역으로 각각 분류되었다.

3. 3 간선도로 및 지선도로에서의 온실가스 배출량 비교

앞서 실제 조사된 활동자료를 바탕으로 주요 간선 도로 상에서의 교통량을 산정하였다. 또한 이들 간선 도로의 교통량을 바탕으로 GIS 도로지도 상에서 도로 연장을 이용하여 VKT를 산정하였으며(표 4 및 그림 4), 해당 배출계수를 이용하여 간선도로에 대한 온실가스 배출량을 산정하였다. 한편, 지선도로에 대해서는 교통량을 추정하는 프로그램을 개발하여 배출량

(a) GHG emissions from main roads



(b) GHG emissions from main and branch roads

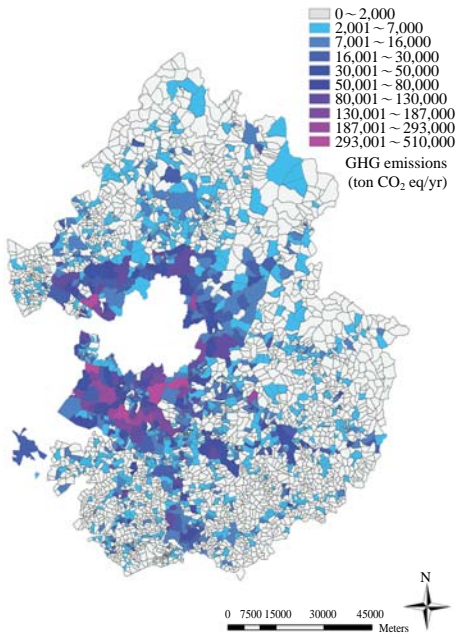


Fig. 7. Estimate GHG emissions from each small town in Gyeonggi Province on (a) main roads only and (b) main and branch roads together.

Table 7. GHG emissions in the year of 2008 estimated on all the main and branch roads in local cities and counties of Gyeonggi Province. Emissions on branch roads were estimated by new methodology developed.

(unit: kt-CO₂ Eq/yr)

City & County	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		Total		B/M
	Main roads	Branch roads	Main roads	Branch roads	Main roads	Branch roads	Main roads (M)	Branch roads (B)	
Gapyeong	145,805	56,305	1,453	552	1,459	566	148,716	57,423	0.39
Goyang	1,400,730	251,284	12,017	2,166	12,752	2,200	1,425,499	255,650	0.18
Gimpo	253,509	94,988	1,959	702	2,334	864	257,802	96,554	0.37
Gwacheon	477,480	48,257	2,323	352	2,717	388	482,521	48,997	0.10
Gwangmyeong	72,468	220,533	508	1,690	555	2,551	73,530	224,774	3.06
Gwangju	701,855	275,208	4,019	1,663	6,174	2,498	712,049	279,369	0.39
Guri	289,706	48,741	2,550	258	3,877	252	296,134	49,252	0.17
Gunpo	513,212	82,164	5,198	651	5,007	970	523,417	83,785	0.16
Namyangju	638,743	236,244	6,059	2,135	6,234	2,110	651,036	240,488	0.37
Dongducheon	37,347	41,015	415	395	416	401	38,178	41,811	1.10
Bucheon	328,737	235,705	2,892	1,682	3,175	2,032	334,804	239,420	0.72
Seongnam	904,660	738,330	8,004	5,582	9,127	5,962	921,790	749,874	0.81
Suwon	832,423	364,871	6,530	2,219	8,324	2,613	847,277	369,702	0.44
Siheung	1,120,942	251,521	9,004	1,177	11,408	1,432	1,141,355	254,129	0.22
Ansan	700,888	352,432	5,348	2,984	6,470	3,820	712,705	359,236	0.50
Anseong	738,882	81,135	5,313	536	6,042	731	750,236	82,402	0.11
Anyang	392,409	452,792	3,007	3,597	3,829	4,932	399,244	461,322	1.16
Yangju	461,955	66,416	2,959	501	4,736	687	469,649	67,603	0.14
Yangpyeong	252,503	91,019	1,888	781	1,971	882	256,361	92,682	0.36
Yeosu	403,588	102,566	3,393	878	3,181	993	410,162	104,438	0.25
Yeoncheon	105,572	62,054	774	558	882	657	107,228	63,269	0.59
Osan	200,127	17,564	1,574	127	1,823	186	203,525	17,877	0.09
Yongin	1,712,676	594,144	18,157	4,476	17,715	5,061	1,748,548	603,680	0.35
Uiwang	767,943	39,598	6,451	287	7,185	435	781,579	40,320	0.05
Uijeongbu	238,094	172,303	1,809	1,339	2,404	1,729	242,307	175,371	0.72
Icheon	761,960	159,330	5,613	1,160	6,897	1,372	774,471	161,862	0.21
Paju	521,450	110,401	4,110	923	4,628	1,053	530,187	112,378	0.21
Pyeongtaek	789,946	398,454	5,454	3,559	6,850	4,043	802,251	406,056	0.51
Pocheon	298,118	75,747	2,679	614	3,402	748	304,199	77,109	0.25
Hanam	349,216	49,900	3,124	382	3,314	481	355,654	50,764	0.14
Hwaseong	1,324,278	229,815	10,553	1,733	13,774	2,175	1,348,605	233,723	0.17
Total	17,737,219	6,000,838	145,138	45,658	168,660	54,824	18,051,018	6,101,319	0.34

을 산정하였다. 그림 7은 각 동·리를 통과하는 주요 간선도로 및 지선도로 상에서 배출되는 온실가스의 배출량을 도식한 것이다. 또한, 표 7은 이들 도로에서의 배출량을 31개 시·군별로 각각 합산한 결과를 보여주고 있다.

2008년도 Tier 3에 방법론에 의한 경기도 도로수송부문의 주요 간선도로 상에서 배출되는 온실가스 배출량은 18,051 kt-CO₂ Eq/yr이었으며, 간선도로 상에서의 배출량은 6,101 kt-CO₂ Eq/yr으로서 총 24,152 kt-CO₂ Eq/yr이었다. 지선도로에서의 배출량 비율은 총배출량의 25.3%이었으며, 주요 간선도로만을 고려

할 때보다 지선도로를 포함할 경우 33.8% 배출량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 일부 도시에서는 간선도로에서보다 지선도로에서의 배출비중에 매우 높은 것을 확인할 수 있었다. 즉, 광명시는 간선도로 74 kt-CO₂ Eq/yr와 지선도로 225 kt-CO₂ Eq/yr로서 지선도로의 배출량이 3.06배 높았으며, 안양시와 동두천시가 각각 1.16배, 1.10배 높았다. 결과적으로 도로수송부문의 배출비중은 매우 크며 이 중 지선도로에서의 배출량은 간선도로와 비교해도 매우 많은 것을 알 수 있었다.

경기도 도로수송부문의 온실가스 총배출량을 2006

IPCC 가이드라인의 배출계수를 적용한 Tier 1, 국가고유배출계수를 적용한 Tier 2 (KEC, 2010)와 본 연구에서 제안한 방법을 고려한 Tier 3를 비교하였다. Tier 1의 경우 20,022 kt-CO₂ Eq/yr, Tier 2는 18,540 kt-CO₂ Eq/yr으로 간선도로만 고려한 Tier 3는 18,051 kt-CO₂ Eq/yr로 Tier 2와 유사한 값을 보였으나 지선도로를 고려시 24,152 kt-CO₂ Eq/yr으로 현재 지자체 온실가스 배출량산정 가이드라인에서 사용되고 있는 Tier 2보다 큰 값을 보여주었다. 따라서 차량등록대수와 연료 소비량으로 산정되는 Tier 2의 경우 실제 교통량이 반영되는 Tier 3보다 과소평가됨을 알 수 있다.

4. 결 론

현재 도로수송부문의 CO₂ 온실가스 배출량은 IPCC 2006 가이드라인에 의거하여, 연료소비량을 활동자료로 이용하여 배출량을 산정하고 있다. 이 방법론은 국가단위의 배출량을 산정할 때에는 무난하지만, 행정구역 간 교통량이 중첩되는 광역 및 기초지자체의 경우에는 완벽한 교통량 추정이 어려워 배출량을 산정하는 것이 불가능하다. 즉, 현재 우리나라에서 확보할 수 있는 도로수송부문의 활동자료는 주요 간선도로(고속국도, 일반국도, 특별광역시도, 지방도)의 차량에 따른 교통량에 국한되어 있기 때문에, 소규모 지선도로(시도 및 군도)로 거의 연결된 기초지자체에서 개별적으로 온실가스 배출량을 산출할 수는 없었다. 이에 본 연구에서는 일부 기초지자체에서 조사된 차종별 교통량 자료를 바탕으로, 군집분석법과 전문가시스템을 이용하여 모든 기초지자체에서 교통량의 추정이 가능한 프로그램을 개발하고 각 기초지자체 별로 도로수송부문의 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O) 배출량을 산정하고자 하였다.

본 연구에서는 경기도 내 151개 읍·면·동에서 조사된 지선도로 상의 차종별 교통량 자료 및 해당 지역의 인구, 면적, 도로의 길이 등을 변수로 사용하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석 결과 10개의 지선도로에 대한 군집유형을 분리하고 군집분류표를 개발하였으며, 이를 바탕으로 경기도내 모든 지선도로에 적용할 수 있는 전문가시스템 프로그램을 개발하였다. 최종적으로 경기도의 1,902개 동·리에 대한 교통량을 추정하고 온실가스 배출량을 산정할 수 있

었다. 연구결과 경기도의 도로수송부문의 온실가스 배출량은 주요 간선도로만을 계산할 때보다 33.2% 증가하였으며, 지선도로가 차지하는 배출량은 총도로수송 배출량의 25.3%이었다.

광역 및 기초지자체 입장에서 연료소비량을 위주로 한 온실가스 배출량 산정은 한계가 있으며, 실제 교통량이 반영된 산정법이 개발되어야 한다. 본 연구에서 개발한 교통량 추정프로그램을 확대 적용할 경우 대부분 지자체에서는 교통량 정보 없이도 배출량 산정이 가능하며, 이를 광역 및 기초지자체의 배출관리에 적극적으로 활용할 수 있다. 하지만 본 교통량 추정프로그램의 신뢰도를 높이고 불확도를 낮추기 위해서는 지선도로 상에서 더 많은 활동자료가 확보되어야 한다. 또한, 본 연구에서는 가열엔진(hot-start engine)과 관련된 배출량만을 산정하였으나, 보다 완성된 Tier 3 방법론을 개발하기 위해서는 예열(cold-start engine)과 관련된 배출량이 포함되어야 한다. 예열단계의 배출량 산정을 위해서는 예열단계의 배출계수와 연간 차량당 시동횟수 등 국가차원에서 관련된 활동자료가 확보되어야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 2010년 한국환경공단의 지자체 온실가스 배출량 산정사업과 경기지역 환경기술개발센터의 기후변화대응 종합계획수립 연구(용인시, 수원시)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 본 연구 결과는 한국환경공단의 정책방향과 다를 수 있습니다.

참 고 문 헌

Cheon, S.M. (2010) A Study on the Generated Carbon Dioxide Amount Estimation from Road Transportation Part in Seoul, Department of Environmental Engineering, Graduate School, The University of Seoul.
 Green Growth Korea (2011) <http://www.greengrowth.go.kr>.
 Gyeonggi-do (2009a) Traffic Speed Investigation Result Each Main Road of Gyeonggi-do.
 Gyeonggi-do (2009b) 2009 Statistical Yearbook of Gyeonggi-do.
 Gyeonggi-do (2010) Master Plan for Confrontation of Global

- Climate Change in Gyeonggi-do.
Gyeonggi-do Transportation DB Center (2010) <http://gtdb.gg.go.kr>.
- IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC (2007) Climate Change 2007 Synthesis Report.
- KEC, Korea Environment Corporation (2010) Guidelines for Local Government Greenhouse Gas Inventories.
- Kim, J.G. and D.K. Lee (2009) Estimate Greenhouse Gas Emissions Emitted from Road Transportation by Statistical Yearbook of Traffic Volume, Eco Frontier Carbon Business Team.
- KTI, Korea Transport Institute (2008) 2007 Traffic Congestion Costs: Estimation and Trend Analysis.
- Lee, H.S. and J.H. Lim (2009) SPSS 16.0 Manual, Bupmoonsa, 430-462.
- Lee, K.J., K.C. Choi, S.G. Ryoo, and S.K. Baek (2012) Development of O/D based mobile emission estimation model, Korean Society of Civil Engineers, 32(2D), 1-8.
- Massart, D.L. and L. Kaufman (1983) The Interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis, John Wiley & Sons, New York.
- NIER, National Institute of Environment Research (2009) Establishment of Climate Change Responding System for Transport Sector (II), 64-69.
- NIER, National Institute of Environment Research (2010) Assessment Manual of National Air Pollutant Emission Inventory (II), 124-125.
- Park, S.K., S.D. Kim, and Y.I. Lee (2001) Comparative study on the methodology of motor vehicle emission calculation, Journal of Korean Society of Transportation, 19(4), 35-47.
- Traffic Monitoring System (2011) http://www.road.re.kr/intro/intro_01_2.asp?main_no=1&sub_no=3.
- Wilks, D.S. (1995) Statistical Methods in the Atmospheric Science, Academic Press, 419-427.
- Yoo, S.J. and D.S. Kim (1997) Classification of ambient particulate samples using cluster analysis and disjoint principal component analysis, Journal of Korea Air Pollution Research Association, 13(1), 51-63.