Int. J. Highw. Eng. Vol. 16 No. 3 : 21-33 June 2014
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2014.16.3.021

도시계획에 따른 개발밀도에 근거한 도시 대기오염 확산분석

- 네덜란드 Delft시를 사례로 -

Emission Dispersion Analysis based on the Development Density associated with Urban Planning

(a case study of the Delft city on Netherlands)

김 인 수	Kim, In Su	정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 교신저자 (E-mail : mriskim@kict.re.kr)
양 충 헌	Yang, Choong Heon	정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail : chyang@kict.re.kr)
허 혜 정	Hu, Hye Jung	한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail : hhu@kict.re.kr)
성 정 곤	Sung, Jeong Gon	정회원 · 한국건설기술연구원 대외협력실 선임연구위원 (E-mail : jgsung@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study presents a specific methodology for air dispersion analysis of urban areas methodology in accordance with urban planning and transport policy.

METHODS : This study performed three alternatives including development density and public transit applying integrated urban model for the Delft city on Netherlands. Based on this result, the two types of air pollutant emissions(PM_{10}, NOx) were calculated and analyzed the emission dispersion on that City.

RESULTS : As a result, the quality of air near the City is better than that of current conditions showed that approximately from 2.1 to 7.9% according to alternatives.

CONCLUSIONS : Air quality assessment in urban areas can be reasonably performed by applying a methodology when urban development and transport policy are considered.

Keywords
development density, integrated urban model, emission dispersion analysis, DELTA, AERMOD

Corresponding Author : In Su Kim, Researcher
Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0064 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : mriskim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www. ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 5. 2014 Revised Mar. 9. 2014 Accepted Apr. 10. 2014

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

과거 성장 위주의 도시계획 및 교통정책은 각종 오염과 그로 인한 피해에 대하여 간과해온 측면이 있다. 도시의 발달과 더불어 경제 및 생활수준이 향상됨에 따라 건강에 대한 관심도 증가하게 되었는데, 특히 우리 삶에 밀접한 대기질 환경에 대한 관심을 가지기 시작하였다. 대기오염을 줄이기 위해 정부에서 다방면으로 노력을

하고 있지만 여전히 환경부문 예산은 약 6조 3,000억 원으로 전체 예산의 1.8%에 불과하다(2014년 기준). 이는 경제성장 및 복지를 위한 보건·복지·고용예산(105조)과 비교해 볼 때 미비한 수준이다(국회예산정책처, 2013). 한편, 대기오염물질 중 이동오염원에 대한 대기오염물질은 약 140만 톤으로 전체비율의 약 40%를 차지한다(환경부, 2012).

우리나라의 경우 1960년대 이후 산업발전에 따라 도시화가 급격하게 진행되었으며, 약 4천6백만 여명이 도시에 거주하여 전체인구의 약 91%가 도시에 거주하고 있다(국토교통부, 2013). 또한, 자동차 등록대수도 1,887만대로 꾸준히 증가하고 있다(국토교통부, 2013).

이는 도시개발과 경제활동으로 인해 승용차, 트럭 등 도로이동원의 급증 등으로 교통활동에 따른 오염물질이 증가된다고 추정할 수 있다. 이러한 도시개발의 확산과 자동차 보급률 확대에 따른 에너지 소비량과 대기오염물질의 증가는 심각한 환경문제를 발생시키고 있으며, 이와 관련하여 여러 분야에서 연구가 진행되고 있다.

특히 교통분야에서는 교통에 의해 발생되는 오염물질 배출량을 추정하고 예측하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다(조억수, 1993; 권우택, 1997; 박성규, 2001; 임철수, 2004). 최근에는 교통에 의해 배출되는 오염물질 총량뿐만 아니라 주변 기상조건에 따라 확산되는 집중도를 추정하는 연구가 국내외에서 수행되고 있으며(이건우, 2009; 이대균, 2010; 이건우, 2012; 양충헌, 2013), 이는 주로 도로이동 오염원에 초점을 맞추고 있다.

반면, 국내에서 환경문제와 도시 및 교통체계와의 관계를 기초로 환경에 대한 영향을 최소화할 수 있는 지속가능한 도시형태를 제시하는 연구는 부족한 실정이다. 그러나 해외에서는 이를 위해 도시통합모형(Integrated Urban Model)을 개발하여 활용하고 있다(이승일, 2011).

이러한 배경을 바탕으로 본 연구는 도시개발 및 교통정책을 기초로 한 도시발전 시나리오를 가지고 도시통합모형을 통해 도시개발밀도(토지면적)변화를 예측하고, 산정된 개발밀도를 통해 대기오염물질 배출량을 산출하여 산출된 대기오염물질(PM_{10}, NOx)을 확산모형을 통해 분석하고자 한다. 따라서 개발밀도를 기초로 도시개발 및 교통정책들의 대기오염 영향을 예측하는 방법론을 정립하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

1.2. 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 2006년도를 기준으로 2026년까지 20년간 동안의 시간적 범위를 설정하고, 네덜란드의 델프트시를 공간적 범위로 설정하였다. 이를 대상으로 도시정책시나리오에 따른 도시개발밀도 변화를 도시통합모형을 이용하여 산정하고, 산정된 개발밀도(토지면적)로 대기오염물질 배출량을 산출하며, 대기확산모형으로 주변의 연평균 농도변화를 분석하였다.

델프트시를 본 연구대상으로 선정한 이유는 아직까지 국내에서 도시통합모형을 적용하여 운용한 사례가 없고 해당 모형을 이용한 모의실험에 요구되는 읍·면·동 또는 교통존의 세부공간단위의 기초자료(건축물 용도별 연면적, 임대료 등)의 구득이 어렵기 때문이다. 또한 델프트시는 도시통합모형을 실제 적용한 사례도시이기 때문에 본 연구의 목적을 달성하기 위해 적용하여 수행하였다(김규일, 2010).

2. 문헌고찰

2.1. 도시개발과 대기오염

도시개발이란 아직 도시적 형태와 기능을 지니지 않은 토지에 도시적 기능을 부여하기 위해 형태를 바꾸고 용도를 부여하는 행위 및 기존 시가지를 정비하거나 재개발하는 행위를 말한다(한국토지주택공사, 2009). 또한 도시개발에 있어 개발밀도(development density)란 단위토지에 대한 개발의 정도를 의미하는 것으로 수

Table 1. Related Factors of Development Density

Authors	Considered Factors
Newman and Kenworthy(1989)	Population, Employment density, Land density, Travel Distance etc.
Breheny(1995)	Population, Employment, Travel Distance etc.
Shim, G.E.(2000)	Population, Urban density, Road density, Number of cars etc.
Kim L.Y.(2002)	Population, Households, Employment, Business establishment, Employment density, Density urbanization, Number of cars etc.
Oh, K.S.(2005)	City size, Land, Building, Transportation, Topography, Forest etc.
Son, J.W.(2007)	Population, Employment, Land use area, Vehicle registration number etc.
Oh, K.S(2007)	Population, Employment, Land use area, Number of buildings, Traffic volume, Vehicle registration number etc.
Cho, H.S.(2013)	Population, Automobile dependence, Number of workers, Population density, Green ratil etc.

용되는 시설물이나 사람들의 활동이 밀집된 정도를 말한다(안건혁, 1995). 도시의 개발밀도와 관련한 인자는 Table 1과 같이 학자마다 견해의 차이가 있으며 목적에 따라서도 매우 다양하다.

이러한 도시개발밀도와 관련하여, 대기오염과 어떠한 관계가 있는지에 대하여 수많은 연구가 수행되어 왔다(조희선, 2013; 손지완, 2007; 오규식, 2005; 오규식, 2007). 이는 실측값과 도시개발밀도 인자에 관한 관련성에 대하여 연구하였으며, 규명한 도시개발밀도 인자들이 대기오염과 관계가 있음을 밝히고 있다. 그러나 수집 데이터의 한계와 대기의 분산 특성으로 인해 오염농도가 달라져 지역별로 인자들의 관계가 달라 질 수 있는 한계가 있다.

2.2. 도시통합모형의 이해

최근 정부에서는 화석연료를 대체하여 온실가스를 줄이고자 하는 노력을 기울이고 있다. 이를 위해서는 온실가스 감축과 에너지 효율화를 위해 건설, 교통, 산업, 가정 등 여러 분야에서 실효성 있는 목표를 설정해야 한다. 특히 도시정비사업에 있어 도시의 장기적인 변화추세를 고려해 부문별 세부목표를 설정할 수 있는 분석 및 예측 수단이 현재 부재하므로, 이를 위해서는 개별 분석이 아닌 토지이용과 교통의 상호연계를 통해 장기적으로 예측할 수 있는 수단이 필요하다(이승일, 2011).

도시통합모형은 도시시스템의 미래패턴을 예측하거나 토지이용정책 또는 교통정책, 계획의 영향력을 평가하기 위한 모델로서, 1960년대에 북미와 유럽학자들에 의해 주장되어 왔다(Harris, 1985; 이승일, 2011). Wegener는 이러한 토지이용체계와 교통체계의 상호간 영향을 다음 Fig. 1과 같이 도식적으로 표출하기도 하였으며(Wegener, 2004), 국외에서는 토지이용과 교통, 경제, 환경, 사회적 요소들 간의 상호작용을 분석하고 예측하기 위한 시스템 구축을 위해 SPARTACUS, PROPOLIS 프로젝트가 수행되기도 하였다(Kari Lautso, 1998, 2004). 국내에서도 도시개발의 급격한 여건변화에 따른 저탄소 에너지 감축의 시대적 요구로 인해 도시통합모형의 소개 및 적용, 이론적 개발에 이르기까지 많은 연구가 수행되어 왔다(이승일, 2011). 특히 환경과 도시통합모형을 이용하여 연구한 것을 살펴보면, 양희진(2011)은 압축도시를 대상으로 탄소증감 효과에 관한 건물·교통·녹지의 변화를 통합적으로 연계하여 통합모형을 단순하게 표현하였으나, 대중교통의 영향을 포함시키진 못하였다. 김규일(2010)의 연구에서는 토지이용과 교통정책을 기초로 여러 가지 도시발전 시나리오를 설정하고, 도시통합모형을 통하여 도출된 결과를 기반으로 교통과 탄소배출량 변화를 예측하는 연구를 수행하였으나, 이 역시 도로이동 오염원을 기준으로 하고 있다. 또한, 유선철(2013)은 서울시의 온실가스 배출량 산정을 위해 도시통합모형을 활용하였으며, 사용변수에 있어 토지 및 교통에 활용된 변수가 한정되었다.

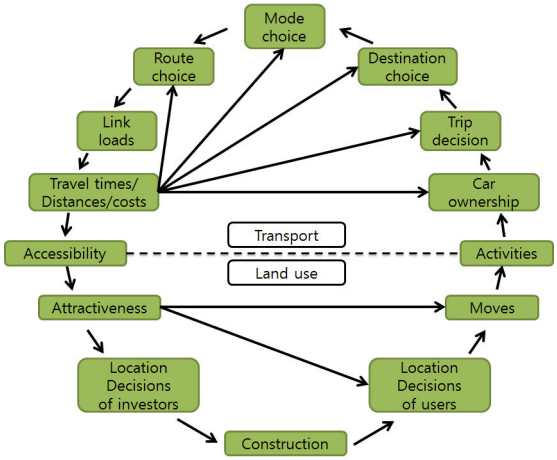


Fig. 1 Land-use Transport Feedback Cycle (Wegener, 2004)

3. 방법론 정립 및 모형 개요

3.1. 방법론 정립

현재까지 국내외에 도시통합모형을 이용하여 산출된 개발밀도를 통한 대기오염물질의 배출량 산정 및 확산정도를 분석하는 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 네덜란드의 델프트시를 대상으로 도시개발 시나리오를 설정하여 도시통합모형을 통해 도시개발밀도(토지면적)변화를 예측하고, 산정된 개발밀도를 통해 대기오염물질 배출량을 산출하였다. 산

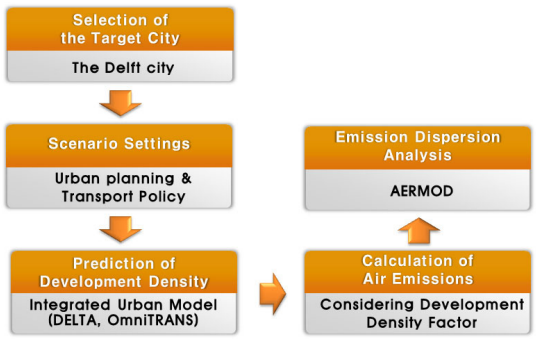


Fig. 2 Established Methodology

출된 대기오염물질(PM_{10}, NOx)의 대기확산을 확산모형을 통해 분석하였다.

3.2. 도시통합모형(DELTA 및 OmniTRANS)

DELTA는 1995년 영국 캠브리지의 David Simmonds Consultancy Ltd.에서 개발된 도시통합모형으로, 실시간 도시 관련 정보의 변화과정, 교통모형과의 연계, 토지이용과 교통의 상호관계에 따른 접근성의 변화 및 결과도출 등을 목적으로 한다. DELTA는 많은 도시에서 다양한 목적으로 활용되고 있는 대표적 도시통합모형 중의 하나이다(공간정보솔루션랩, 2009). 또한 DELTA는 교통모형과의 연계가 가능하며, 토지이용모델과 연계하기 위해서는 외부모델을 활용하여 연계해야 하는데, 본 연구에서는 OmniTRANS란 다중교통수단(Multi-modal) 모델링이 가능한 모델을 사용하였다. 이는 교통 네트워크의 변화에 따른 시계열적 모의실험이 가능할 뿐만 아니라, 자료의 관리나 사용자 인터페이스(user interface)를 구현하는데 편리하도록 개발되어 있다. 따라서 DELTA 모형의 전반적인 모델링과정은 OmniTRANS를 기반으로 하여 상호 연계과정을 구현하였다(김규일, 2010).

3.3. 대기확산모형(AERMOD)

본 연구에서 대기확산모형은 AERMOD(AMS/EPA Regulatory MODel)를 이용하였다. AERMOD모형은 정상상태 가우시안 플룸모형(Gaussian plume model)으로 실외 대기오염물질의 농도를 예측하는 모형이다. 또한 '환경영향예측모델 활용지침 마련을 위한 연구(III)(환경부, 2009)' 에서 미국 EPA의 모형을 바탕으로 하여 국내 현황에 맞추어 선정된 모형 중에 하나이며, 미국 EPA에서 50km 이하의 영역에 추천하는 모형이므로 델프트시(면적 24.08km^2)에 적합하다. AERMOD의 기본식은 다음 Eq. (1), (2)와 같으며, Fig. 3과 같이 기상전처리용 프로그램인 AERMET, 지형입력자료 작성을 위한 AERMAP, 확산계수를 위한 AERMOD로 구성된다.

-점오염원 계산식

$$C(x,y)=\frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z}\exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (1)$$

-면오염원 계산식

$$C(x,y)=\frac{Q_A K}{2\pi u_s}\int_x \frac{VD}{\delta_y \delta_z}\left[\int_y \exp\left(-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)\right]d_x \quad (2)$$

C : 농도
Q :오염물질 발생량
y : 풍향방향 거리
K : 단위환산계수
V : 수직방향 확산항
D : 오염물질감쇄를 고려항
u : 풍속
δ_y : y 방향 농도표준편차
δ_z : z 방향 농도표준편차

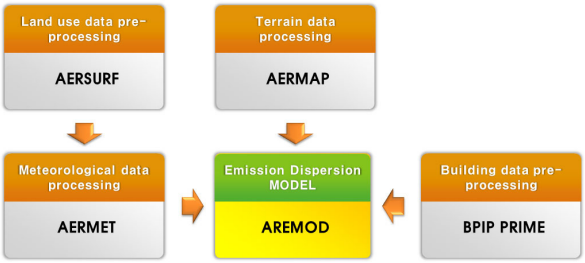


Fig. 3 The Structure of the Model (AERMOD)

3.4. 개발밀도에 따른 대기오염물질 배출량 산정방법

교통분야에서는 주로 도로이동원에 의해 발생되는 오염물질 배출량을 추정하고 예측하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 도로이동원이 아닌 개발밀도(토지이용 면적)에 따른 대기오염물질 배출량 추정방법을 국내의 배출계수를 이용하여 산정하였다. 산정식은 Eq. (3)과 같다.

$$\mathrm{Emission}_{\text{Development Density}}(\mathrm{g/s}) = \frac{A(\mathrm{m^2})\times L(kcal/\mathrm{m^2}\cdot s)\times EF(\mathrm{g/m^3})}{HV(kcal/\mathrm{m^3})} \quad (3)$$

여기서,

$\mathrm{Emission}_{\text{Development Density}}$: 개발밀도에 따른 대기오염물질 배출량
A : 면적
L : 시설에 따른 단위 부하량
EF : 대기오염물질 별 배출계수
HV : 연료의 발열량

대기오염물질 배출량을 산출하기 위해 위 식에서 '시설에 따른 단위부하량' 은 난방 및 급탕, 취사용에 따라 부하량을 산정하도록 되어 있다(지식경제부, 2009). 또

한 '대기오염물질 별 배출계수'는 도시개발에 따른 배출계수를 산정해야 하므로 '비 산업연소부문 기타 보일러 배출계수'를 따른다(국립환경과학원, 2010). 위의 계수들을 적용하여 토지이용종류에 따른 대기오염물질 배출량 계산인자를 종합하면 Table 2와 같다. 국내에서는 도시개발평가 시 오염물질이 비교적 적게 발생하는 LNG를 대상으로 평가하므로, 델프트시 전체에서 LNG를 사용한다고 가정하여 연료발열량을 선정하였으며, LNG의 발열량은 10,560kcal/Nm³으로 알려져 있다. 또한 PM_{10}, NOx가 국내 대기환경기준 물질 중 연평균 기준을 초과하고 있어 도시계획에 따른 도시개발 시 검토가 필요하므로 이 두 가지 물질에 국한하여 분석하였다.

Table 2. Calculated Factors of Air Emissions

Contents	Unit Load Application	Heating Unit Load (kcal/㎡·hr)	Hot Water Unit Load (kcal/㎡·hr)	Cooking Unit Load (Mcal/㎡·hr)	Fuel Heating Value LNG (kcal/㎥)	PM_{10} Emission factor (kg/thou㎥)	NO_x Emission factor (kg/thou)
Housing	House	56.5	15.0	13.1	10,560	0.03	3.7
Office	Business Facilities	115.0	7.0	2.8			
Retail	Retail facilities	120.0	5.0	17.7			
Service	Public Facilities	110.0	7.0	4.2			
Medical &Welfare	Medical Facilities	125.0	25.0	19.6			
Education &Research	Education &Research Facilities	115.0	5.0	24.2			
Industry	Business Facilities	115.0	7.0	2.8			
Etc.	Business Facilities	115.0	7.0	2.8			

4. 분석 및 결과 도출

4.1. 자료수집

대상도시인 네덜란드의 델프트시는 2006년 기준으로 인구는 94,360명, 면적 24.08㎢ 규모의 도시이며 네덜란드 Zuid-Holland주의 자치시다. 도시통합모형의 적용을 위해 델프트시 전역을 25개 존으로 구분하고, 7개의 외부 존(1~7번 존)과 세부모듈이 적용될 대상으로 18개 내부 존(8~25번 존)을 설정하였다. 18개 내부 존은 지역특성에 따라 도시중심부지역(10~13번 존), 교외지역(8~9, 14~20번 존), 교외동부지역(21~25번 존)으로 구분하였다. 중심부지역은 소매시설과 서비스시설이 집중적으로 분포되어 있으며 거주인구 및 주거비율도 상당히 높은 지역이다. 교외지역은 주거와 사무시설의 비율이 높고 거주인구가 많으며 다양한 토지이용시설들이 혼재되어 있고 교외동부지역은 대학교와 산업시설이 집중해 있어 거주인구가 거의 없는 특징이 있다. Fig. 4와 Table 3을 통해 델프트시의 공간구성과 토지이용분포를 확인할 수 있다.

Fig. 4 Traffic Analysis Zones (the Delft city)

Table 3. Spatial Configuration (the Delft city)

No.	Name	Area	No.	Name	Area
1	Den Haag	External	14	Wippolder	Suburbs
2	N473	External	15	Buitenhof	Suburbs
3	A13/Rotterdam	External	16	Voorhof	Suburbs
4	A4 Zuid	External	17	Haven	Suburbs
5	N223/N468	External	18	Universiteit	Suburbs
6	N211	External	19	Tanthof West	area of suburbs
7	Rijswijk	External	20	Tanthof Oost	area of suburbs
8	Bomenwijk	Suburbs	21	Schieweg	East area of suburbs
9	Bomenwijk	Suburbs	22	Technopolis	East area of suburbs
10	Centrum Noord	Urban Center	23	Nootdorp	East area of suburbs
11	Centrum Zuid	Urban Center	24	Delfgauw	East area of suburbs
12	Hof van Delft	Urban Center	25	Ruyven	East area of suburbs
13	Den Hoorn	Urban Center			

4.2. 정책 시나리오 수립

2006년부터 2026년까지 Table 4와 같이 도시개발 시나리오에 따라 도시통합모형을 수행하여 정책에 따른 도시밀도 변화를 분석하였다. 시나리오 1은 현재 상황을 그대로 반영하여 미래 변화를 보는 대조군이다. 토지이용정책은 도시집중개발정책 및 분산개발정책으로 나누어 반영하였다.

따라서 시나리오 2, 3은 도시집중개발정책을 반영하여 델프트시의 중심지역(10~13지역)을 개발하는 것이고, 시나리오 4, 5는 분산개발정책을 반영하여 델프트시의 교외지역(9, 15, 16, 19지역)을 개발하는 것으로 적용하였다. 한편, 시나리오 2와 4의 교통정책은 개인차량의 주차요금(2배 증가), 버스배차시간(시간당 1회 추가), 버스노선(1개 추가), 버스요금(최저요금)을 대중교통 중심의 정책으로 적용하였다. 반대로 시나리오 3과 5의 교통정책은 개인차량의 주차요금(1/2배 감소), 대중교통은 시나리오 1과 동일하게 현황을 유지하는 개인교통 중심의 정책으로 적용하였다.

Table 4. Scenario Details

Contents	Land Use Policy	Transportation Policy			
	Development Area(Zones)	Parking Fee	Public Transport		
			Allocation Time	Bus Routes	Bus Fare
Scenario 1	–	–	–	–	–
Scenario 2 (Urban Development & Public Transport Policy)	10, 11, 12, 13	double (2 times)	add 1 time/hr	add 1 route	lowest fee
Scenario 3 (Urban Development & Personal Transportation Policy)	10, 11, 12, 13	Cuts (1/2 times)	Status		
Scenario 4 (Distributed Development & Public Transport Policy)	9, 15, 16, 19	double (2 times)	add 1 time/hr	add 1 route	lowest fee
Scenario 5 (Distributed Development & Personal Transportation Policy)	9, 15, 16, 19	Cuts (1/2 times)	Status		

4.3. 도시통합모형 수행 결과

도시통합모형 수행 결과 중 Table 5와 같이 대기오염물질 배출량 산정에 필요한 토지이용면적 자료를 이용한다. 초기조건인 2006년에는 시나리오 별로 면적의 차이는 없었으며, 현재의 변화를 그대로 반영한 시나리오 1의 경우 토지이용면적 변화량이 적은 것으로 나타났다. 한편 최종 변화년도인 2026년에는 도심집중개발인 시나리오 2와 3의 토지이용면적이 시나리오 4, 5에 비해 증가량이 높은 것으로 나타났다.

Table 5. Land Use Area

(Unit : km^2)

Contents	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
2006	4.558	4.558	4.558	4.558	4.558
2011	5.195	5.326	5.326	5.324	5.324
2016	5.925	6.185	6.185	6.181	6.181
2021	6.764	7.024	7.024	7.018	7.018
2026	7.728	7.988	7.989	7.981	7.981

도시중심(10~13지역), 교외지역(8,9,14~20지역), 교외동부(21~25지역)로 나누어 시나리오 별 면적의 변화를 Table 6으로 나타내었다. 도시중심지역의 면적은 도심집중개발 정책을 적용하는 시나리오 2와 3의 경우에 높게 나타나고, 교외지역은 분산개발정책을 적용하는 시나리오 4와 5가 높게 나타났다. 교외동부는 개발대상이 아니기 때문에 시나리오 별 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 시나리오 2와 3 사이와 4와 5 사이에 면적의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 이는 델프트시 도시성격상 교통정책에 민감도가 낮은 도시유형이기 때문에 교통정책의 영향이 미미하게 미친 것으로 판단된다.

Table 6. Results of Regional Land Use Area

(Unit : km^2)

Area	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Urban Center	2006	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607
	2011	1.830	1.970	1.970	1.824	1.824
	2016	2.084	2.362	2.362	2.073	2.073
	2021	2.375	2.654	2.654	2.365	2.365
	2026	2.711	2.989	2.989	2.702	2.702
suburbs	2006	2.818	2.818	2.818	2.818	2.818
	2011	3.213	3.204	3.204	3.348	3.348
	2016	3.666	3.650	3.650	3.935	3.935
	2021	4.185	4.170	4.170	4.453	4.453
	2026	4.780	4.767	4.767	5.047	5.047
East area of suburbs	2006	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133
	2011	0.153	0.152	0.152	0.152	0.152
	2016	0.176	0.173	0.173	0.173	0.173
	2021	0.203	0.200	0.200	0.200	0.200
	2026	0.236	0.232	0.232	0.232	0.232

대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 토지이용종류에 따른 면적을 Table 7과 같이 나타냈다. 주거, 도소

매, 서비스 부문은 시나리오 2, 3을 적용했을 때 시나리오 4, 5에 비해 면적이 넓고 오피스 부문은 시나리오 4, 5일 때 면적이 넓었으며 의료복지, 교육연구, 산업, 기타 부문의 경우 시나리오에 따른 차이가 없었다. 이와 같이 정책적용에 따른 토지이용면적 변화가 다르게 나타난 것을 확인할 수 있다.

Table 7. Area of Land Use Types

(Unit : km²)

Contents	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Housing	2006	3.515	3.515	3.515	3.515	3.515
	2011	3.995	4.085	4.085	4.084	4.084
	2016	4.537	4.720	4.720	4.716	4.716
	2021	5.155	5.342	5.342	5.336	5.336
	2026	5.858	6.049	6.049	6.042	6.042
Office	2006	0.182	0.182	0.182	0.182	0.182
	2011	0.208	0.211	0.211	0.213	0.213
	2016	0.241	0.246	0.246	0.250	0.250
	2021	0.279	0.283	0.283	0.287	0.287
	2026	0.321	0.326	0.326	0.329	0.329
Retail	2006	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
	2011	0.236	0.243	0.243	0.241	0.241
	2016	0.268	0.281	0.281	0.278	0.278
	2021	0.309	0.321	0.321	0.318	0.318
	2026	0.362	0.372	0.372	0.370	0.370
Service	2006	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
	2011	0.186	0.191	0.191	0.190	0.190
	2016	0.218	0.228	0.228	0.226	0.226
	2021	0.254	0.264	0.264	0.262	0.262
	2026	0.295	0.304	0.304	0.303	0.303
Medical & Welfare	2006	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
	2011	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	2016	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118
	2021	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
	2026	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Education & Research	2006	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
	2011	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
	2016	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183
	2021	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213
	2026	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248
Industry	2006	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231
	2011	0.264	0.290	0.290	0.290	0.290
	2016	0.303	0.353	0.353	0.353	0.353
	2021	0.350	0.398	0.398	0.397	0.397
	2026	0.407	0.452	0.452	0.452	0.452
Etc.	2006	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
	2011	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
	2016	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
	2021	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
	2026	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077

4.4. 대기오염물질 배출량 산정결과

시나리오와 동일하게 도시중심(10~13지역), 교외지역(8, 9, 14~20지역), 교외동부(21~25지역)로 나누어 시나리오에 따른 대기오염물질 배출량 산정결과를 Table 8과 같이 나타내었다. PM_{10}과 NO_x의 경향은 동일하나 농도의 차이만 있음을 알 수 있다. 이는 동일한 오염원에 오염물질 배출계수만 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 토지이용면적과 동일하게 도시중심지역의 면적은 도심집중개발정책을 적용하는 시나리오 2와 3의 경우에 높게 나타나고, 교외지역은 분산개발정책을 적용하는 시나리오 4, 5가 높게 나타났다. 토지면적 변화 정도와 마찬가지로 교외동부는 시나리오별 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

한편, 토지이용종류에 따른 PM_{10}과 NO_x 배출량을 Table 9, Table 10에 각각 나타내었다. PM_{10} 배출량은 주거, 도소매, 서비스 부문에서 시나리오 2, 3이 시나리오 4, 5에 비해 높게 나타났고 오피스 부문은 시나리오 4, 5가 시나리오 2, 3에 비해 배출량이 높게 나타났다. 이 밖에 의료복지, 교육연구, 기타 부문에서는 시나리오에 따른 배출량의 차이가 없었다. NO_x 배출량은 주거, 도소매, 서비스 부문에서 시나리오 2, 3이 시나리오 4, 5에 비해 높게 나타났고 오피스 부문은 시나리오 4, 5가 시나리오 2, 3에 배출량이 높게 나타났다. 이 밖에 다른 부문들은 시나리오에 따른 배출량의 차이가 거의 없으며, 교통정책의 영향이 미미하였던 시나리오 2와 3 사이와 4와 5 사이 또한 배출량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 시나리오 별 토지이용면적 변화에 따른 시나리오 간 차이와 동일한 것으로 나타났으며, 토지이용면적의 변화와 동일하게 배출량의 변화가 나타나는 것으로 판단된다.

4.5. 대기확산모형 수행결과

대기오염물질 배출량을 대기확산모형으로 수행하기 위해 다음 Fig. 5와 같이 모델링 영역을 15km×15km인 면오염원으로 구성하였으며, 도로부분은 제외하였다.

기상자료는 다음 Fig. 6과 같이 미국 NOAA에서 제공하는 모델링 영역과 가장 가까운 기상대의 자료를 이용하였다. 고층기상대는 De Bilt(EHDB)로 모델링 중심으로부터 58km 이격되어 있고, 지표기상대는 8.5km 거리에 있는 Rotterdam the Hague지점 자료를 이용하였다. Fig. 7은 지표기상대의 바람장미(2006년)를 나

Table 8. Results of Regional Air Emissions

(Unit : g/hr)

Area	Year	PM_{10}					NO_x				
		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Urban Center	2006	373.5	373.5	373.5	373.5	373.5	46,061	46,061	46,061	46,061	46,061
	2011	425.7	460.7	460.7	424.5	424.5	52,504	56,821	56,821	52,355	52,355
	2016	485.3	555.0	555.0	482.8	482.9	59,856	68,446	68,445	59,550	59,552
	2021	554.3	623.6	623.6	551.8	551.9	68,360	76,910	76,910	68,060	68,063
	2026	634.0	703.0	703.0	631.7	631.8	78,195	86,700	86,699	77,914	77,917
suburbs	2006	679.8	679.8	679.8	679.8	679.8	83,848	83,848	83,848	83,848	83,848
	2011	776.0	774.1	774.1	809.8	809.8	95,710	95,469	95,468	99,878	99,877
	2016	887.5	883.5	883.5	954.7	954.7	109,463	108,971	108,971	117,741	117,741
	2021	1,015.6	1,011.7	1,011.7	1,082.2	1,082.2	125,258	124,777	124,777	133,469	133,469
	2026	1,162.8	1,159.1	1,159.1	1,228.8	1,228.8	143,414	142,956	142,958	151,551	151,551
East area of suburbs	2006	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	5,723	5,723	5,723	5,723	5,723
	2011	53.2	52.9	52.9	52.9	52.9	6,562	6,524	6,524	6,524	6,524
	2016	61.2	60.5	60.5	60.4	60.4	7,553	7,456	7,456	7,453	7,453
	2021	70.9	69.8	69.8	69.7	69.7	8,739	8,604	8,605	8,599	8,599
	2026	82.4	81.0	81.0	80.9	80.9	10,160	9,991	9,991	9,983	9,984

Table 9. Air Emissions(PM_{10}) of Land Use Types

(Unit : g/hr)

Contents	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Contents	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Housing	2006	729.0	729.0	729.0	729.0	729.0	Medica & Welfare	2006	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
	2011	828.5	847.2	847.2	846.9	846.9		2011	43.5	43.5	43.5	43.5	43.5
	2016	941.0	978.8	978.8	978.0	978.0		2016	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
	2021	1,069.1	1,107.8	1,107.8	1,106.7	1,106.7		2021	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3
	2026	1,214.9	1,254.6	1,254.6	1,253.1	1,253.1		2026	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9
Office	2006	63.3	63.3	63.3	63.3	63.3	Education & Research	2006	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1
	2011	72.3	73.3	73.3	74.0	74.0		2011	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
	2016	83.8	85.6	85.6	87.0	87.0		2016	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9
	2021	96.8	98.5	98.5	99.8	99.8		2021	74.4	74.4	74.4	74.4	74.4
	2026	111.6	113.2	113.2	114.4	114.4		2026	86.5	86.5	86.5	86.5	86.5
Retail	2006	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	Industry	2006	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3
	2011	85.1	87.6	87.6	87.1	87.1		2011	91.8	100.6	100.6	100.7	100.7
	2016	96.7	101.3	101.3	100.3	100.3		2016	105.4	122.6	122.6	122.6	122.6
	2021	111.6	115.8	115.8	114.9	114.9		2021	121.8	138.1	138.1	138.1	138.1
	2026	130.7	134.4	134.4	133.6	133.6		2026	141.5	157.1	157.1	157.0	157.0
Service	2006	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	Etc.	2006	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
	2011	62.1	63.9	63.9	63.5	63.5		2011	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
	2016	72.7	76.0	76.0	75.5	75.5		2016	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
	2021	84.6	88.0	88.0	87.4	87.4		2021	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
	2026	98.3	101.6	101.6	101.1	101.1		2026	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9

Table 10. Air Emissions(NO_x) of Land Use Types

(Unit : g/hr)

Contents	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Contents	Year	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Housing	2006	89,908	89,908	89,908	89,908	89,908	Medica & Welfare	2006	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668
	2011	102,188	104,491	104,491	104,450	104,450		2011	5,359	5,359	5,359	5,359	5,359
	2016	116,060	120,723	120,723	120,620	120,621		2016	6,270	6,270	6,270	6,270	6,270
	2021	131,851	136,630	136,631	136,489	136,491		2021	7,308	7,308	7,308	7,308	7,308
	2026	149,838	154,731	154,733	154,551	154,554		2026	8,492	8,492	8,492	8,492	8,492
Office	2006	7,811	7,811	7,811	7,811	7,811	Education & Research	2006	5,807	5,807	5,807	5,807	5,807
	2011	8,917	9,040	9,040	9,132	9,132		2011	6,736	6,736	6,736	6,736	6,736
	2016	10,335	10,560	10,560	10,730	10,730		2016	7,880	7,880	7,880	7,880	7,880
	2021	11,939	12,150	12,150	12,311	12,311		2021	9,182	9,182	9,182	9,182	9,182
	2026	13,764	13,963	13,963	14,114	14,114		2026	10,666	10,666	10,666	10,666	10,666
Retail	2006	9,213	9,213	9,213	9,213	9,213	Industry	2006	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901
	2011	10,498	10,806	10,806	10,739	10,739		2011	11,323	12,413	12,413	12,414	12,414
	2016	11,921	12,496	12,496	12,367	12,367		2016	13,000	15,127	15,127	15,125	15,125
	2021	13,768	14,282	14,282	14,168	14,168		2021	15,019	17,038	17,038	17,036	17,036
	2026	16,116	16,578	16,578	16,475	16,476		2026	17,457	19,370	19,371	19,368	19,368
Service	2006	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504	Etc.	2006	1,822	1,822	1,822	1,822	1,822
	2011	7,664	7,877	7,877	7,836	7,836		2011	2,091	2,091	2,091	2,091	2,091
	2016	8,961	9,371	9,371	9,306	9,306		2016	2,446	2,446	2,446	2,446	2,446
	2021	10,439	10,849	10,849	10,784	10,784		2021	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851
	2026	12,123	12,533	12,533	12,469	12,469		2026	3,313	3,313	3,313	3,313	3,313

타내었으며, 이는 주로 2m/s 이하의 낮은 풍속과 서남풍의 풍향을 의미한다. 기상은 변화 없이 동일하다고 가정하여 2006년 1월 1일 01시~2006년 12월 31일의 자료를 이용하여 시간 별 모델링을 수행하였다.

Fig. 5 Analysis Area

Fig. 6 Analysis Area (Meteorology)

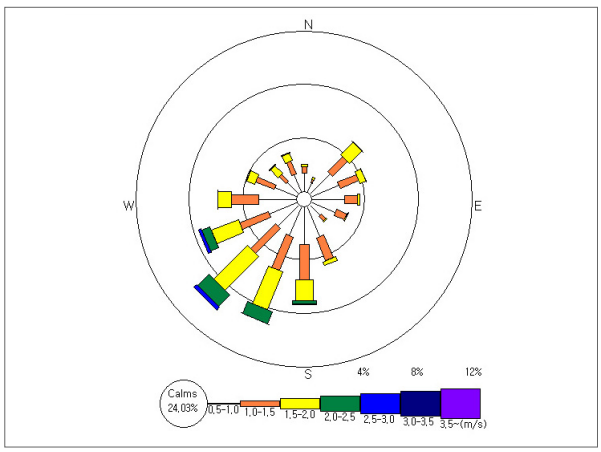


Fig. 7 Wind Rose

2006년부터 2026년까지 5년 간격으로 연평균 대기질 농도변화를 분석하였으며, Table 11에 지면상 2006년과 2026년의 시나리오에 따른 연도 별 등농도 그래프를 나타내었다. 오염물질은 PM_{10}과 NO_x이다. 등농도 그래프를 보면 오염물질의 확산은 주풍에 따라 북동쪽으로 주로 확산이 되는 것으로 나타났으며 해가 갈수록 대기오염농도는 증가하는 것으로 나타났다. 기상의 변화는 없다고 가정하고 동일한 기상자료를 적용하였기 때문에 확산형태는 연도별 변화가 없다. 도심집중개발에 대해 분석한 시나리오 2, 3에서는 앞의 표의 수치대로 도심에 해당하는 10~13 지역의 농도가 높아졌으며 등농도 그래프 상에서 지점 12의 농도가 눈에 띄게 짙게 나타난 것을 확인할 수 있다. 시나리오 4, 5는 분산개발로 시나리오 2, 3에 비해 교외지역 15, 16, 19, 20 지역의 등농도가 높아진 것을 확인할 수 있다.

농도변화에 대해서 좀 더 자세히 살펴보기 위해서 오염원이 아닌 Fig. 8과 같이 외곽지역 6곳을 선정하여 Table 12와 같이 연평균농도를 검토하였다. 그 결과 PM_{10}과 NO_x는 대기오염물질 배출계수의 차이만 있을 뿐 동일한 배출원에서 발생한 것이기 때문에 농도값의 차이는 있으나 변화정도는 동일하게 나타났으며, 전체적으로 기존 시나리오 1과 대비하여 대기질 농도가 2.1~7.9% 높아지는 것으로 나타났다. 다시 말해 개발정책의 추가 없이 현재의 정책으로 도시를 발전시켰을 경우(시나리오 1)에 비해 도심집중개발이나 분산개발정책을 사용했을 경우에 대기오염물질의 농도가 높아지는

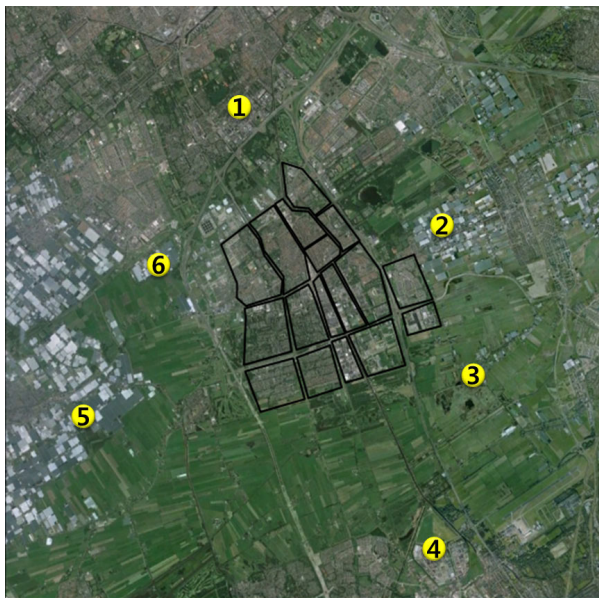


Fig. 8 Point of Interest

Table 11. Results of Emission Dispersion Analysis (PM_{10}, NO_x)

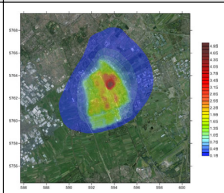
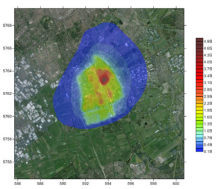
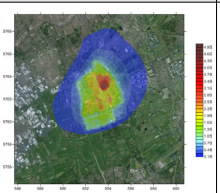
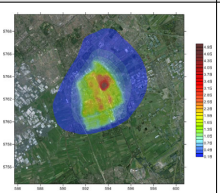
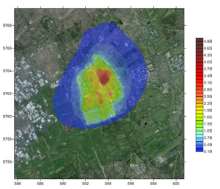
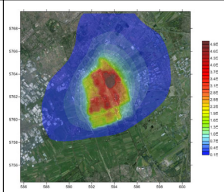
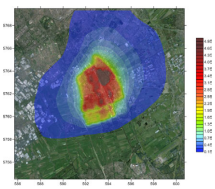
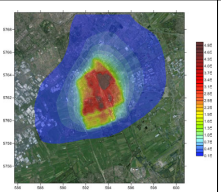
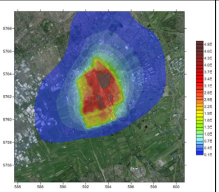
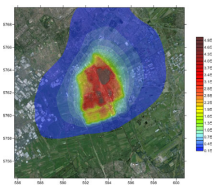
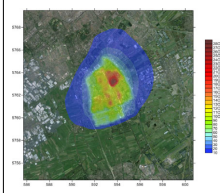
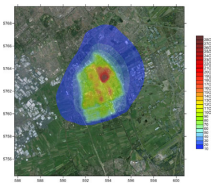
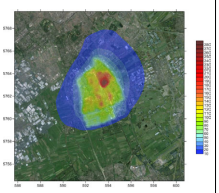
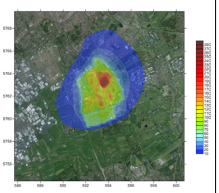
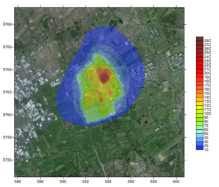
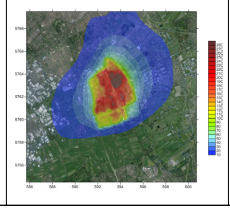
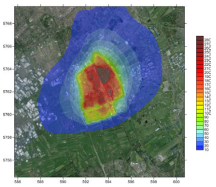
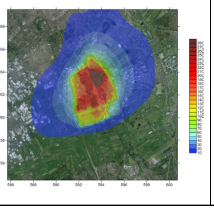
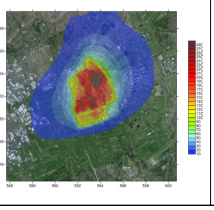
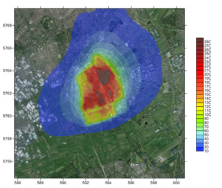
Contents		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
PM_{10}	2006					
	2026					
NO_x	2006					
	2026					

Table 12. PM_{10}, NO_x Mean Concentrations

Spot	Year	PM_{10} Scenario (Unit : μg/㎥)								NO_x Scenario (Unit : ppb)							
		1	2		3		4		5		1	2		3		4		5	
				Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)			Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)		Ratio (Compared 1)
1	2006	0.157	0.157	0.0%	0.157	0.0%	0.157	0.0%	0.157	0.0%	9.431	9.431	0.0%	9.431	0.0%	9.431	0.0%	9.431	0.0%
	2011	0.179	0.187	4.5%	0.187	4.5%	0.183	2.2%	0.183	2.2%	10.759	11.228	4.4%	11.228	4.4%	10.966	1.9%	10.966	1.9%
	2016	0.205	0.22	7.3%	0.22	7.3%	0.211	2.9%	0.211	2.9%	12.288	13.22	7.6%	13.22	7.6%	12.697	3.3%	12.697	3.3%
	2021	0.234	0.249	6.4%	0.249	6.4%	0.241	3.0%	0.241	3.0%	14.053	14.978	6.6%	14.978	6.6%	14.456	2.9%	14.456	2.9%
	2026	0.268	0.283	5.6%	0.283	5.6%	0.275	2.6%	0.275	2.6%	16.088	17.01	5.7%	17.01	5.7%	16.487	2.5%	16.487	2.5%
2	2006	0.208	0.208	0.0%	0.208	0.0%	0.208	0.0%	0.208	0.0%	12.47	12.47	0.0%	12.47	0.0%	12.47	0.0%	12.47	0.0%
	2011	0.237	0.242	2.1%	0.242	2.1%	0.242	2.1%	0.242	2.1%	14.236	14.525	2.0%	14.525	2.0%	14.531	2.1%	14.531	2.1%
	2016	0.271	0.28	3.3%	0.28	3.3%	0.281	3.7%	0.281	3.7%	16.276	16.846	3.5%	16.846	3.5%	16.858	3.6%	16.858	3.6%
	2021	0.31	0.32	3.2%	0.32	3.2%	0.32	3.2%	0.32	3.2%	18.631	19.191	3.0%	19.191	3.0%	19.203	3.1%	19.203	3.1%
	2026	0.355	0.365	2.8%	0.365	2.8%	0.365	2.8%	0.365	2.8%	21.348	21.905	2.6%	21.905	2.6%	21.913	2.6%	21.913	2.6%
3	2006	0.071	0.071	0.0%	0.071	0.0%	0.071	0.0%	0.071	0.0%	4.282	4.282	0.0%	4.282	0.0%	4.282	0.0%	4.282	0.0%
	2011	0.081	0.082	1.2%	0.082	1.2%	0.084	3.7%	0.084	3.7%	4.89	4.936	0.9%	4.936	0.9%	5.038	3.0%	5.038	3.0%
	2016	0.093	0.095	2.2%	0.095	2.2%	0.098	5.4%	0.098	5.4%	5.592	5.683	1.6%	5.682	1.6%	5.884	5.2%	5.884	5.2%
	2021	0.107	0.108	0.9%	0.108	0.9%	0.111	3.7%	0.111	3.7%	6.404	6.491	1.4%	6.491	1.4%	6.691	4.5%	6.691	4.5%
	2026	0.122	0.124	1.6%	0.124	1.6%	0.127	4.1%	0.127	4.1%	7.345	7.429	1.1%	7.429	1.1%	7.626	3.8%	7.626	3.8%
4	2006	0.024	0.024	0.0%	0.024	0.0%	0.024	0.0%	0.024	0.0%	1.418	1.418	0.0%	1.418	0.0%	1.418	0.0%	1.418	0.0%
	2011	0.027	0.027	0.0%	0.027	0.0%	0.028	3.7%	0.028	3.7%	1.619	1.649	1.9%	1.649	1.9%	1.657	2.3%	1.657	2.3%
	2016	0.031	0.032	3.2%	0.032	3.2%	0.032	3.2%	0.032	3.2%	1.851	1.91	3.2%	1.91	3.2%	1.926	4.1%	1.926	4.1%
	2021	0.035	0.036	2.9%	0.036	2.9%	0.037	5.7%	0.037	5.7%	2.119	2.178	2.8%	2.177	2.7%	2.193	3.5%	2.193	3.5%
	2026	0.04	0.041	2.5%	0.041	2.5%	0.042	5.0%	0.042	5.0%	2.429	2.487	2.4%	2.487	2.4%	2.502	3.0%	2.502	3.0%
5	2006	0.084	0.084	0.0%	0.084	0.0%	0.084	0.0%	0.084	0.0%	5.061	5.061	0.0%	5.061	0.0%	5.061	0.0%	5.061	0.0%
	2011	0.096	0.099	3.1%	0.099	3.1%	0.099	3.1%	0.099	3.1%	5.774	5.939	2.9%	5.939	2.9%	5.952	3.1%	5.952	3.1%
	2016	0.11	0.115	4.5%	0.115	4.5%	0.116	5.5%	0.116	5.5%	6.596	6.923	5.0%	6.923	5.0%	6.95	5.4%	6.95	5.4%
	2021	0.126	0.131	4.0%	0.131	4.0%	0.131	4.0%	0.131	4.0%	7.543	7.868	4.3%	7.868	4.3%	7.894	4.7%	7.894	4.7%
	2026	0.144	0.149	3.5%	0.149	3.5%	0.15	4.2%	0.15	4.2%	8.635	8.96	3.8%	8.96	3.8%	8.983	4.0%	8.983	4.0%
6	2006	0.142	0.142	0.0%	0.142	0.0%	0.142	0.0%	0.142	0.0%	8.508	8.508	0.0%	8.508	0.0%	8.508	0.0%	8.508	0.0%
	2011	0.162	0.169	4.3%	0.169	4.3%	0.165	1.9%	0.165	1.9%	9.706	10.148	4.6%	10.148	4.6%	9.896	2.0%	9.896	2.0%
	2016	0.185	0.199	7.6%	0.199	7.6%	0.191	3.2%	0.191	3.2%	11.085	11.965	7.9%	11.965	7.9%	11.462	3.4%	11.462	3.4%
	2021	0.211	0.226	7.1%	0.226	7.1%	0.217	2.8%	0.217	2.8%	12.678	13.551	6.9%	13.551	6.9%	13.05	2.9%	13.05	2.9%
	2026	0.242	0.256	5.8%	0.256	5.8%	0.248	2.5%	0.248	2.5%	14.513	15.385	6.0%	15.385	6.0%	14.882	2.5%	14.882	2.5%

것을 알 수 있다. 한편 북쪽의 도심중심에 가까운 지점 1과 6에서 시나리오 2, 3이 시나리오 4, 5보다 대기질 농도가 2.2~4.5% 높아지는 것으로 나타났다. 분산개발 정책으로 영향을 받는 지점 3의 경우 시나리오 4, 5의 농도가 2, 3에 비해 2.1~3.6% 가장 높게 나타났다. 또한 교통정책의 영향이 거의 없었기 때문에 시나리오 2와 3 사이와 4와 5 사이에 농도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 2016년에 농도변화가 가장 크게 나타나는데, 이는 토지이용-교통모델은 인구/가구 측면의 변화를 시작으로 이에 수반되는 토지이용 수요와 공급의 변화, 주거/고용입지선택, 그리고 이에 따른 통행패턴에 이르는 과정 전체를 모델링하는 특징에 따라 산출되는 개발밀도의 결과 값에 따른 것이다. 이러한 개발밀도의 변화에 따라 배출량과 농도값이 동일한 패턴으로 변화하게 되며, 2016년이 가장 큰 이유는 앞의 요소들의 상호작용을 토대로 토지이용의 수요와 공급의 관계와 시나리오의 추진 현황이 2016년에 극대화됨에 따른 것으로 판단된다.

5. 결론 및 시사점

본 연구에서는 도시계획 및 교통정책에 따른 대기확산분석을 수행하는 전체적인 방법론을 제시하고 네덜란드의 델프트시를 대상으로 하여 분석을 수행하였다.

이러한 연구가 필요한 이유를 요약하면 다음과 같다.

- 도시통합모형을 이용하여 도시와 교통정책을 동시에 고려하고, 이에 대한 대기오염물질의 기상변화에 따른 확산정도를 확인할 수 있음
- 이동오염원에 의한 대기오염물질 배출량을 산출하였던 기존 연구와 더불어 개발밀도를 고려한 대기오염물질의 배출량을 산출할 수 있음

분석결과 도시 및 교통개발정책에 따라 개발밀도 및 대기오염물질의 배출량, 확산결과가 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 도시개발정책에 따라 대기질농도가 현 상태보다 약 2.1~7.9% 높아지는 것으로 나타났으며, 교통정책에 따라서는 변화가 없었는데, 이는 도시 성격에 기인한 것으로 판단된다.

결과적으로 본 연구의 방법론을 통해 교통의 이동오염원 뿐만 아니라 도시계획에 따른 도심개발밀도를 포함하여 도시 대기질을 평가하는 것이 차량의 배기가스 배출량만을 고려하는 것 보다 더 중요할 수 있다는 것을 보여주었다. 또한, 본 연구에서 제시한 방법론을 보다 정교하게 발전시키기 위해서는 국내 도시를 대상으로 본 방법론을 이용하여 실제로 적용해보는 것과 오염원의 실측치와 모형치의 비교를 통해 개발모형의 신뢰도를 향상시켜 본 방법론의 완성도를 높여야 한다. 이를 위해서는 국내 도시를 대상으로 본 분석에 필요한 자료들(도시통합모형 및 배출량, 대기확산분석)이 뒷받침되어야 하며, 정책적으로 연구목적의 개인정보제공, 관공서의 자료협조 등 이들을 통합 지원할 수 있는 방안이 필요하다. 최근 이를 위한 연구가 수행되고 있어, 연구가 성공적으로 수행될 시 국내 도시를 대상으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 도시개발 형태와 교통행태를 모두 고려한 도시 대기의 질 평가가 합리적으로 수행될 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제70회 학술발표회(2014.02.26.)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(11첨단도시G06)에 의해 수행되었습니다.

References

Ahn, K.H., Sakong, H.S. and Lee, Y.A., 1995. A Study on the Development Density and Land Use in New Town Development, Korea Research Institute for Human Settlements.

Cho, E.S., 1993. A study on the estimation of air pollutants emissions by line source, Master's thesis, Seoul National University.

Cho, H.S., 2013. The effects of compact urban development on air pollution, Ph. D. Thesis, Seoul National University.

David Simmonds Consultancy, 2009. DELTA and OmniTRANS Manual(Compiled by SiS-Lab).

Harris, B., 1985. Urban simulation Models in Regional Science, Journal of Regional Science, vol. 25, No. 4, pp. 545-567.

Kari Lautso, Angelo Martino, Lynn Devereux, Michael Wegener and Francisco Gmez, 1998. System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability, Commission of the European Communities, DG XII, Contract No. ENV4 CT96 0201 (CEC), Brussels, Belgium.

Kari Lautso, Klaus Spiekermann, Michael Wegener, Ian Sheppard, Philip Steadman, Angelo Martino, Roberto Domingo and Sylvie Gayda, 2004. PROPOLIS, Energy, Environment and Sustainable Development(European Commission), Brussels, Belgium.

Kim, K.I., Yi, C.H. and Lee, S.I., 2010. A Scenario Analysis on Transport Energy Consumption and Carbon Emission Using DELTA, Journal of Korea Planners Association, vol. 45, No 6, pp. 117-135.

Kim, L.Y., 2002. A study on the Impact of Land-use Densities on the Environment in the Seoul Metropolitan Area, Master's thesis, CHUNG-ANG University.

Kwon, W.T. and Kim, H.C., 1997. Distribution of NOx and CO among the Ambient air by traffic volume characteristics and distance from roadside, KOREAN J. SANITATION, vol. 12, No. 3, pp. 41-49.

Korea Land & Housing Corporation, 2009. City Development Project Services Manual.

Lee, D.G., Lee, Y.M., Yoo, C., Lee, M.H., Han, S.S. and Hong J.H., 2010. Development of air quality assessment methods for evaluating air pollution level in the Seoul metropolitan area(Ⅰ), National Institute of Environmental Research.

Lee, G.W., You, S., Stephen G.R., Jean-Daniel S., Mana S. and R. Jayakrishnan, 2009. Environmental Impacts of a Major Freight Corridor: A Study of I-710 in California, Transportation Research Record, No. 2123, pp. 119-128.

Lee, G.W., You, S., Stephen G.R., Jean-Daniel S., R. Jayakrishnan and Oladele O, 2012. Assessing air quality and health benefits of the Clean Truck Program in the Alameda corridor, CA, Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol 46, pp. 1177-1193.

Lee, S.I., Lee, J.I., Go, J.Y. and Yi, C.H., 2011. Development and

Operation of the Land-use Transport Interaction Model, Urban Information Service, vol. 356, pp 3-17.

Lim, C.S., Eom, M.D., Ryu, J.H., Han, J.S., Yoo, Y.S., Kim, G.H. and Kim, Y.E., 2004. A Study on the Calculation Method of Pollutant Emission Factors for Vehicles, Proceeding of the 37th Meeting of KOSAE(2004), pp. 117-118.

Ministry of Environment, 2009. Guidelines for the Utilization of Environmental Impact Forecasts Model.

Ministry of Environment, 2012. Air Pollution Emissions Statistics(2010).

Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2013. Status of Urban Planning(2012).

Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2013. Status of Vehicle Registration.

Ministry of Trade Industry & Energy, 2009. Energy use planning regulations.

National Assembly Budget Office, 2013. Budget Analysis(2014).

National Institute of Environmental Research, 2010. National Air Pollutant Emisson Calculation Method Manual(II).

Newman, P. and Kenworthy, J., 1989. Cities and Automobile dependence: an International Sourcebook, Avebury technical, Great London.

Oh, K.S. and Chung, H.B., 2007. The Influence of Urban Development Density on Air Pollution, Journal of Korea Planners Association, vol. 42, No. 5, pp. 197-210.

Oh, K.S., Koo, J.H. and Cho, C.J., 2005. The Effects of urban Spatial Elements on Local Air Pollution, Journal of Korea Planners Association, vol. 40, No. 3, pp. 159-170.

Park, S.K., Kim, S.D. and Lee, Y. I., 2001. Comparative Study on the Methodology of Motor Vehicle Emission Calculation, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 19, No. 4, pp. 35-47.

Shim, G.E., 2000. A Study on the effect of city size, density and the central place distribution pattern on the transportation energy consumption : the cases of madium and small-sized cities in Korea, Ph. D. Thesis, Seoul National University.

Son, J.W., Kim, H.S. and Nam, K.C., 2007. The study on the Correlation of Air Quality and Urban Development Density, Proceeding of the Meeting of KPA(2007), pp. 469-477.

Wegener, M., 2004, Overview of Land-use Transport Models, Transport Geography and Spatial Systems, Handbook 5 of the Handbook in Transport, Pergamon/Elsevier Science, pp. 127-146.

Yang, C.H., Koo, Y.S., Kim, I.S. and Sung, J.G., 2013. Studies on the Methodology of a Hybrid Model for Emission Dispersion Analysis, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 31, No. 2, pp. 73-84.

Yang, H.J. and Choi, M.J., 2011. Compact City and Carbon Emissions: An Integrated Approach of Building, Transport, and Greenfield, vol. 46, No. 3, pp. 281-292.

Yu, S.C., Wang, K.I., Min, K.J., Noh, K.S. and Kim, S.Y., 2013. A Study on Estimation of Green House Gas Emissions for Urban Planning with Integrated Urban Model: Focused on Seoul City, Journal of the Korean Association of Professional Geographers, vol. 47, No. 2, pp. 217-228.