

충남 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 교통정책방안

김형철 · 장준용

발 간 사

최근 대기오염물질에 대한 이슈는 사회적으로 주요한 쟁점사항이 되었습니다. 특히, 교통분야에 있어서 대기오염물질 배출량을 저감하기 위한 정부의 다각적인 노력이 지속적으로 이루어지고 있는 실정입니다. 수도권 대기환경개선에 관한 특별법(약칭: 수도권대기법) 제정이 좋은 예라고 생각됩니다. 도로나 철도와 같은 교통SOC 건설위주의 도로정책에서 친환경 녹색교통으로 정책의 기조가 변해가는 과도기이며, 이러한 시점에서 도로부문의 대기오염물질 저감을 위한 정책방안 연구는 의미가 있다고 생각됩니다.

실질적으로 충남도민의 삶 속에서 여태까지 주목을 받지 못하고 있는 교통환경정책에 관심을 가져야 할 때라고 생각됩니다. 이동성과 접근성 차원의 교통서비스 수준을 향상시킬 수 있는 교통인프라 건설도 중요하지만 교통안전뿐만 아니라 교통환경정책에 대한 관심을 중앙정부와 함께 충청남도는 집중할 필요가 있습니다.

충남의 인구구조는 고령화가 지속되고 있습니다. 노인인구 비율이 14% 이상일 경우 고령사회라고 일컫습니다. 충남은 2015년 기준으로 65세 이상 고령자 비율이 약 16%에 도달하였습니다. 생활속에서 항상 접하는 차량들의 대기오염물질은 노인성 질환을 야기시키는 요인으로 작용하므로 이에 대한 정책방안을 마련할 필요가 있습니다. 특히, 충남의 서북부 지역은 도로부문에 있어서 물동량 유출입이 많은 지역입니다. 시가지를 경유하는 대형 화물차로 인하여 삶의 질이 낙후되는 현실을 개선할 필요가 있습니다.

충남 도로부문의 대기오염물질 배출량 저감정책 방안들은 궁극적으로 도민의 삶의 질 향상과 건강한 삶을 영위하기 위한 밑거름이 될 것으로 기대합니다. 마지막으로, 본 연구를 위해 애써주신 전문가 여러분들과 김형철 박사를 비롯한 연구진들에게 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

2016년 9월 30일

충남연구원장 강 현 수

연구 요약

1. 연구의 배경 및 목적

충남의 교통정책은 다각적인 측면에서 접근이 필요하다. 교통SOC 확충과 같은 교통공급정책뿐만 아니라 도로부문의 대기환경개선을 위한 교통수요관리, 교통운영정책 등도 함께 조화를 이루어야 한다. 특히, 현재까지 소외되었던 도로부문의 교통환경정책은 충남이 지속적으로 관심을 가져야하며 새로운 추진정책들을 개발하여 적용할 필요가 있다. 도민의 삶의 질과 연관된 교통서비스 수준이 과거에는 단순히 이동성과 접근성 측면에서 논의되었다면 이제는 교통환경을 개선하는 측면도 심도있게 논의될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 도로부문의 대기오염물질 배출량 부분에 초점을 두고자 한다.

연구의 목적은 충남의 도로부문에 있어서 대기환경개선을 위해 대기오염물질 저감을 위한 추진전략과 정책과제를 제안하는 데에 있다. 또한, 대기오염물질 배출량 산정 방법론에 있어서 하향식(TDA: Top-Down Approach) 방법이 아닌 교통수요예측기법을 활용한 상향식(BUA: Bottom-UP Approach) 방법을 적용하여 충남의 대기오염물질 배출량 산출을 시도하였다.

2. 주요 연구내용

■ 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 기본방향 및 추진전략

충남은 도로이동오염원의 배출량이 상대적으로 많은 지역을 우선적으로 선정하고 저감정책을 적용할 필요가 있다. 수도권¹⁾의 도로이동오염원이 전체 배출량에서 차지하는 비중¹⁾을 살펴보면, PM₁₀의 경우는 서울 42%, 경기 46%, 인천 19%로 집계되고, NO_x의 경우는 서울 43%, 경기 51%, 인천 27%로 집계된다. 수도권 지역은 기본적으로 총량적 수준이 높을 뿐만 아니라 비율적으로도 도로이동오염원의 비중이 높다. 충남은 총량적 측면에서 PM₁₀, NO_x 배출량이 수도권보다는 작은 수준이나, 각 시·군별로 살펴보면 도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높은 지역이 일부 존재한다. 따라서 도로부문의 대기오염물질 배출량 저감을 위한 전략을 마련할 경우 각 시·군별로 차별성을 둘 필요가 있다.

도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 추진전략을 두 가지로 제안한다. 이는 배출량 저감을 유도하는 전략과 배출오염원 저감 관리 전략으로 구분된다.

첫째는 배출량 저감을 유도하는 전략이다. 직접적으로 배출량을 저감하는 방식이 아니라 통행행태의 변화를 유도하여 지역 내의 대기오염물질 배출량을 저감하는 것이다. 이는 통행자로 하여금 교통수단의 선택행태를 변화시키거나 이동경로의 선택행태를 변화시키는 전략이다. 즉, 특정 지역의 통과차량을 우회시키거나 승용차와 같은 개인교통수단에서 대중교통수단으로 전환을 유도하여 배출량을 저감하는 것이다. 이와 관련된 추진정책은 ①공해차량 운행제한 지역(LEZ, Low Emission Zone), ②화물차 시가지 우회도로 구축, ③교통수요관리 방안 등이 있다.

둘째는 배출오염원 저감 관리 전략이다. 차량에서 배출되는 대기오염물질 배출원의 PM₁₀, NO_x를 근본적으로 저감시키는 전략이다. 이와 관련된 추진정책은 ①배출가스 저감사업 활성화, ②친환경 자동차 활성화 등이 있다.

1) 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

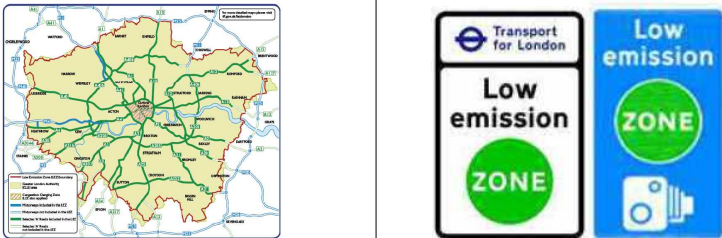
■ 배출량 저감 유도 전략(A)의 정책과제

○ 정책과제 A-1: 공해차량 운행제한지역(LEZ, Low Emission Zone)

충남에서 상대적으로 PM10, NOx 배출량이 높은 시·군에 한하여 공해차량 운행제한지역 도입을 검토해 볼 필요가 있다. LEZ 제도에 따른 배출량 저감효과는 경기개발연구원(2008)²⁾에 따르면, 7년 이상 경과된 화물차를 대상으로 하였을 경우에 NOx 배출량은 약 8%, PM10 배출량은 약 7% 정도의 효과가 있는 것으로 제시하였다. 또한, 한국자동차환경협회(2013)³⁾에 따르면, 대형화물차는 20.5~34.3%, 중대형화물차는 25.0~43.4%의 PM10 저감효과가 있는 것으로 제시하였다. 충남의 일부지역은 대형트럭 교통량이 많은 지역이 존재한다. 대형트럭에서 배출되는 PM10, NOx 비중이 크므로 LEZ 제도의 도입은 이러한 유해물질 저감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

LEZ 운영지역은 천안시, 아산시, 당진시와 같이 PM10, NOx 등의 유해물질이 많은 시·군을 우선적으로 적용할 필요가 있다. 적용지역 선정 시 차량들이 해당 지역으로 유·출입하는 폐쇄선(Cordon Line)을 설정하여 통행자로 하여금 LEZ 운영 지역임을 인지할 수 있도록 표지판 또는 단속시스템으로 공지한다.

<표 1> 공해차량 운행제한지역(LEZ) 적용지역 사례

구분	적용지역 사례	
국내 (서울시)		
국외 (영국-런던)		

2) 경기개발연구원(2008), 「노후경유차량 운행제한지역(환경지역) 시행방안」

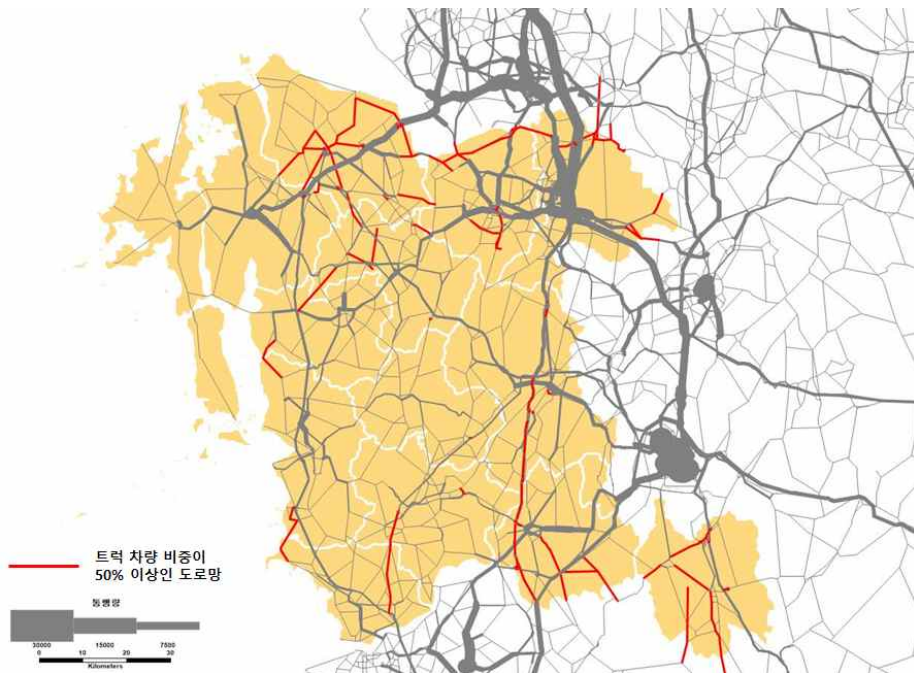
3) 한국자동차환경협회(2013), 「수도권 제2기 대책 중 교통부문 정책 마련 연구」

○ 정책과제 A-2: 화물차 시가지 우회도로 구축

트럭과 같은 대형 화물차가 경유하는 도로망이 주거지역 또는 교통약자(노인, 어린이, 장애인 등)가 밀집해있는 구역을 통과할 경우 주민들은 교통사고의 위험에 노출될 뿐만 아니라 트럭에서 배출되는 PM10, NOx 등의 유해물질들로 인하여 주민 건강에 해를 끼칠 수 있다. 따라서 화물차와 같은 대형차량이 시가지를 우회할 수 있도록 우회도로 인프라 건설이 필요하다.

충청남도 내에서 고속도로를 제외하고 국도, 지방도, 시·군도를 중심으로 트럭(소형, 중형, 대형 포함) 통행량 비중이 50% 이상인 도로망을 우선적으로 선별할 필요가 있다. 따라서 이와 같은 도로망을 대상으로 인근 지역의 교통사고 건수 파악, 현장조사 등을 통하여 실질적으로 주민들의 애로사항과 환경적 측면에서의 피해도를 조사하여 우회도로 건설에 대한 타당성을 검토할 필요가 있다.

<그림 1> 충청남도 내 트럭 통행량 비중이 50% 이상인 도로망



○ 정책과제 A-3: 교통수요관리 방안

충남의 각 시·군에서 기시행하고 있는 교통수요관리 정책을 활성화할 필요가 있다. 이를 통하여 승용차 통행을 관리하고 도로부문의 대기오염물질 배출량을 감소하고자 하는 전략이다. 수도권대기환경청에서는 도로이동오염원 감소를 위한 교통수요관리 방법으로 승용차 요일제, BRT 사업, 환승편의시설(환승주차장) 확충, 버스중앙차로 설치 등을 제시하고 있다.

충남에서 천안시가 PM10, NOx, CO2 등의 배출량이 가장 많은 지역이다. 본 연구에서는 교통수요관리 방안이 제대로 수행되었을 경우를 가정하여 천안시를 대상으로 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오는 천안시의 장래 2033년 시점으로 설정하였고, 교통수요관리로 개인 승용차 수단에서 대중교통 수단으로 통행량이 전이되는 수준(10%, 20%, 30%, 40%)의 변화로 설정하였다. 그리고 대중교통(버스, 철도) 분담률이 향상되면서 PM10, NOx, CO2 등의 감소효과를 분석하였다.

분석결과를 살펴보면, 개인교통수단에서 대중교통수단으로의 전환 정책만 추진될 경우 궁극적으로 PM10, NOx의 배출량은 효과적으로 줄어들지 않을 수 있다. 따라서 버스, 화물차와 같은 대형차량의 오염원을 근본적으로 저감할 수 있는 저감정책이 동시에 수반될 경우 이러한 교통수요관리 정책의 효과가 극대화 될 수 있을 것으로 고려된다.

<표 2> 천안시 승용차 → 대중교통 통행량 전이에 따른 효과(2033년 기준)

시나리오	대기오염물질 배출량 (ton/년)			대기오염물질 사회적비용 (억원/년)		
	PM10	Nox	CO2	PM10	Nox	CO2
2033년 천안시 현황	405	8,724	1,771,247	322	1,118	2,921
시나리오 1 (10% 전환)	406	8,794	1,768,382	322	1,127	2,916
시나리오 2 (20% 전환)	406	8,866	1,764,247	323	1,136	2,909
시나리오 3 (30% 전환)	407	8,944	1,760,927	323	1,146	2,904
시나리오 4 (40% 전환)	408	9,019	1,757,450	324	1,156	2,898

■ 배출량 저감 관리 전략(B)의 정책과제

○ 정책과제 B-1: 배출가스 저감사업 활성화

배출가스 저감사업은 이동 교통수단에서 파생되는 대기오염 배출량을 보다 근본적으로 저감시키는 전략이다. 앞서 설명한 배출가스 저감을 유도하는 것은 통행자의 교통수단선택 행태나 목적지로 이동 시 경로선택 행태에 변화를 주어 대기오염 배출량을 감소시키는 전략이다. 하지만, 배출가스 저감사업은 통행자의 통행행태를 변화시키는 것이 아니라 이동 교통수단의 배출오염원을 저감하는 근본적인 전략이다. 이에 따라 충남에서도 배출가스 저감사업을 보다 활성화할 필요가 있다.

○ 정책과제 B-2: 친환경 자동차 활성화

충남은 대기오염의 주요원인인 자동차 배기가스를 줄이기 위해 전기자동차 보급을 2012년부터 공공기관을 중심으로 보급하였으며, 대도시를 중심으로 대형 경유차량에 천연가스 자동차 보급을 추진하고 있다. 친환경 자동차 보급의 활성화를 통하여 충남의 대기오염 배출량을 획기적으로 줄이는 노력을 지속할 필요가 있다.

본 연구에서는 천안시를 대상으로 전기차 도입이 원활히 수행되었을 경우를 가정하여 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오는 천안시의 장래 2033년 시점으로 설정하였고, 개인 승용차의 전기차 도입 수준(0%, 5%, 10%, 15%, 20%)의 변화에 따라 PM10, NOx, CO2 배출량 저감량을 산정하였다. 시나리오를 분석한 결과, PM10, NOx, CO2의 배출량과 이에 따른 대기오염물질의 사회적 비용이 줄어드는 효과가 있었다.

<표 3> 천안시 개인 승용차 → 전기차 전환 시나리오(2033년 기준)

시나리오	대기오염물질 배출량 (ton/년)			대기오염물질 사회적비용 (억원/년)		
	PM10	Nox	CO2	PM10	Nox	CO2
2033년 천안시 현황	405.41	8,724.48	1,771,246.76	322	1,118	2,921
시나리오 1 (5% 전환)	404.23	8,705.46	1,758,888.91	321	1,116	2,900
시나리오 2 (10% 전환)	403.05	8,686.38	1,746,545.48	320	1,113	2,880
시나리오 3 (15% 전환)	401.88	8,667.44	1,734,214.11	319	1,111	2,860
시나리오 4 (20% 전환)	400.69	8,648.29	1,721,856.11	318	1,109	2,839

2. 결론 및 시사점

충남은 수도권과 달리 도로이동오염원의 배출량이 상대적으로 많은 지역을 우선적으로 선정하고 저감정책을 적용할 필요가 있다. 수도권 지역은 기본적으로 총량적 수준이 높을 뿐만 아니라 비율적으로도 도로이동오염원의 비중이 높다. 충남은 총량적 측면에서 PM10, NOx 배출량이 수도권보다는 작은 수준이나, 각 시·군별로 살펴보면 도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높은 지역이 일부 존재한다. 따라서 도로부문의 대기오염물질 배출량 저감을 위한 전략을 마련할 경우 각 시·군별로 차별성을 둘 필요가 있다.

도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 추진전략을 두 가지로 제안한다. 이는 배출량 저감을 유도하는 전략과 배출오염원 저감 관리 전략으로 구분된다.

첫째는 배출량 저감을 유도하는 전략이다. 직접적으로 배출량을 저감하는 방식이 아니라 통행태의 변화를 유도하여 지역 내의 대기오염물질 배출량을 저감하는 것이다. 이는 통행자로 하여금 교통수단의 선택행태를 변화시키거나 이동경로의 선택행태를 변화시키는 전략이다. 즉, 특정 지역의 통과차량을 우회시키거나 승용차와 같은 개인교통수단에서 대중교통수단으로 전환을 유도하여 배출량을 저감하는 것이다. 이와 관련된 추진정책은 ①공해차량 운행제한지역(LEZ, Low Emission Zone), ②화물차 시가지 우회도로 구축, ③교통수요관리 방안 등이 있다.

둘째는 배출오염원 저감 관리 전략이다. 차량에서 배출되는 대기오염물질 배출원의 PM10, NOx를 근본적으로 저감시키는 전략이다. 이와 관련된 추진정책은 ①배출가스 저감사업 활성화, ②친환경 자동차 활성화 등이 있다.

본 연구에서는 충남지역에 대하여 교통수요예측모형과 네트워크 분석을 통하여 도로부문의 대기오염물질 배출량 산정을 시범적으로 수행하였다. 이러한 시도는 대기오염물질 배출량을 저감하는 정책에 대하여 거시적인 시뮬레이션 결과를 이용하여 정책의 기대효과를 정량적으로 산출하는 데에 기여할 것으로 판단된다.

향후 연구내용으로는 거시적 교통수요예측모형을 적용하는 데에 있어서 한계점을 극복할 수 있는 연구, 거시적 관점이 아닌 미시적 관점에서 도로이동오염원 배출량 분석연구, 정적인 개념이 아닌 동적인 개념에서의 대기확산모형을 활용한 연구 등이 필요하다. 또한, 교통운영정책과 관련하여 CNG버스를 각 시·군에 확대시행하는 CNG버스 전환정책에 대한 연구도 필요하다.

목 차

제1장 연구의 개요	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	2
1) 연구의 범위	2
2) 내용 구성 및 수행 방법	2
3. 연구의 흐름	3
 제2장 관련문헌 및 사례 검토	4
1. 대기오염 및 자동차 온실가스	4
1) 대기오염	4
2) 자동차 온실가스	8
2. 학술연구 검토	13
1) 교통부문 온실가스 및 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구	13
2) 교통부문 온실가스 저감방안 관련 연구	15
3. 온실가스 관리 동향 및 정책사례	16
1) 온실가스 관리 시스템	16
2) 교통부문 온실가스 감축 추진 동향	18
3) 온실가스 국내·외 정책사례	20
4. 관련 법·제도 검토	24
1) 관련 법규 검토	24
2) 국내·외 사례검토	25
5. 시사점	34

제3장 도로부문 대기오염물질 배출량 산출방법 35

1. 도로이동오염원 배출량산정 기법	35
2. 국가 대기오염물질 배출량 산출방법(국립환경과학원)	35
1) 엔진가열(HOT-start) 배출량	35
3. 온실가스 배출량 산출방법	36
1) IPCC 가이드라인	36
2) 교통안전공단	37
4. 교통수요예측 모형을 이용한 산출방법	38
5. 교통수요분석	40
1) 기초자료의 구성	40
2) 분석 교통망(Network) 구축	41
3) 교통존 세분화	42
4) 네트워크 현황정산	42
5) 차종별, 속도별 대기오염물질 배출계수	44
6) 충남지역 통행배정 결과	45

제4장 충남 도로부문 대기오염물질 배출량 현황과 시사점 46

1. 국립환경과학원의 PM10, NOx 배출량 현황	46
1) PM10 배출량	46
2) NOx 배출량	49
2. 교통수요모형을 이용한 도로부문 PM10, NOx, CO2 배출량	51
1) PM10 배출량 현황(2016년 기준)	51
2) NOx 배출량 현황(2016년 기준)	53
3) CO2 배출량 현황(2016년 기준)	55
3. 여건변화에 따른 대기오염물질 배출량 변화	57
1) 장래 교통량 수준 변화	57
2) PM10 배출량 변화	58

3) NOx 배출량 변화	60
4) CO2 배출량 변화	62
4. 시사점	64

제5장 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 정책방안 65

1. 기본방향	65
2. 추진전략	68
3. 전략별 정책과제	69
1) 배출량 저감 유도 전략	69
2) 배출오염원 저감 관리 전략	77

제6장 결론 및 향후 연구과제 82

1. 결론	82
2. 연구의 한계와 향후 연구과제	84

참고문헌 85

표 목 차

<표 1> 이산화질소(NO ₂) 발생 현황(2010~2014)	6
<표 2> 미세먼지(PM ₁₀) 발생 현황(2010~2014)	7
<표 3> 일산화탄소(CO) 발생 현황(2010~2014)	7
<표 4> 도로변대기 측정망 연도별 농도 추이 요약(38개소 측정소 농도 추이)	8
<표 5> 충청남도 시·군별 온실가스 배출량(2013)	11
<표 6> 교통부문 온실가스 배출량 관련 연구	13
<표 7> 교통부문 온실가스 배출량 추정 연구	14
<표 8> 도로교통 환경요소와 배출량 관련 연구	15
<표 9> 온실가스 저감방안 관련 연구	15
<표 10> 국내 온실가스 관리 시스템	16
<표 11> 국외 온실가스 감축 교통정책 사례	21
<표 12> 지·자체 온실가스 감축 추진 실적(2014)	22
<표 13> 저탄소 녹색교통 관련 법령	24
<표 14> 차종별 조기폐차 보조금 상한액	29
<표 15> VEI 구간별 보조금 및 부담금	32
<표 16> 국외 저탄소차 협력금제도 도입국가	33
<표 17> 온실가스 배출량 산출방법	36
<표 18> 타당성조사 지침 상의 대기오염배출량 산정식	39
<표 19> 기초자료의 구성	40
<표 20> 전국 대비 충남 PM ₁₀ 배출량(2013년 기준)	47
<표 21> 전국, 수도권, 충남 PM ₁₀ 배출량(2013년 기준)	48
<표 22> 충남 PM ₁₀ 배출량 비중	48
<표 23> 전국 대비 충남 NO _x 배출량(2013년 기준)	49
<표 24> 전국, 수도권, 충남 NO _x 배출량(2013년 기준)	50

<표 25> 충남 NOx 배출량 비중	50
<표 26> 충남 시·군별, 차종별 PM10 배출량(2016년 기준)	51
<표 27> 시·군별 PM10 배출량(2016년 기준)	52
<표 28> 충남 시·군별, 차종별 NOx 배출량(2016년 기준)	53
<표 29> 시·군별 NOx 배출량(2016년 기준)	54
<표 30> 충남 시·군별, 차종별 CO2 배출량(2016년 기준)	55
<표 31> 시·군별 CO2 배출량(2016년 기준)	56
<표 32> 충남 시·군별 교통량 흐름 및 VKT변화	57
<표 33> 충남 시·군별 장래 PM10 배출량(2016, 2023, 2033년)	58
<표 34> 충남 시·군별, 차종별 장래 PM10 배출량 변화(2016 대비 2033년)	59
<표 35> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)	60
<표 36> 충남 시·군별, 차종별 장래 NOx 배출량 변화(2016 대비 2033년)	61
<표 37> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)	62
<표 38> 충남 시·군별, 차종별 장래 CO2 배출량 변화(2016 대비 2033년)	63
<표 39> 충남 시·군별, 배출원별 PM10배출량(2013년 기준)	66
<표 40> 충남 시·군별, 배출원별 NOx 배출량(2013년 기준)	67
<표 41> 유럽과 우리나라의 LEZ 제도 비교	70
<표 42> 공해차량 제한지역 지정 관련 운영 현황	71
<표 43> 공해차량 운행제한지역(LEZ) 적용지역 국내·외 사례	72
<표 44> 편익, 비용 추정 및 타당성평가 항목과 기준	74
<표 45> 천안시 승용차 → 대중교통 통행량 전이 시나리오(2033년 기준)	75
<표 46> 천안시 승용차 → 대중교통 통행량 전이에 따른 효과(2033년 기준)	76
<표 47> 수도권 배출가스 저감사업 내용	78
<표 48> 수도권 저감장치 부착에 의한 저감률	78
<표 49> 저감장치 부착에 의한 저감률	79
<표 50> 충남 전기 자동차 연차별 보급현황	80
<표 51> 충남 천연가스 자동차 연차별 보급현황	80

<표 52> 천안시 개인 승용차 → 전기차 전환 시나리오(2033년 기준)	81
<표 53> 기존 배출량 산정모형과 교통수요분석모형 특징 비교	83

그림 목 차

<그림 1> 연구의 흐름	3
<그림 2> 대기오염 측정데이터 수집방법	5
<그림 3> 대기오염물질의 연평균 농도 분포	6
<그림 4> 부문별 CO2 배출량(2013)	8
<그림 5> 대기오염물질의 연평균 농도 분포	9
<그림 6> 부문별 에너지 소모량(1990~2013, 누적평균)	9
<그림 7> 온실가스 배출량(1990~2013, 누적평균)	10
<그림 8> 충청남도 시·군별 온실가스 배출량(2013)	10
<그림 9> 차종별/연료별 온실가스 배출량 점유율	11
<그림 10> 충청남도 온실가스 원단위(2013)	12
<그림 11> 국내 온실가스 관리 시스템	17
<그림 12> 국내 온실가스 정보관리 시스템	18
<그림 13> 교통부문 온실가스 감축을 위한 추진 방안	19
<그림 14> 저탄소 도시 교통대책	20
<그림 15> 지자체별 온실가스 감축 적용 계획현황(2014)	23
<그림 16> 도교도 NOX 환경기준 달성현황	27
<그림 17> 베를린 환경지역 표지판 설치모습	27
<그림 18> 환경지역 시행에 따른 대기오염물질 배출량 저감효과	28
<그림 19> 수도권지역 조기폐차 대수	30
<그림 20> 저탄소 차로의 이전효과	31
<그림 21> 엔진 가열(Hot-start) 배출량 산정 흐름도	36

<그림 22> 교통안전공단의 도로부문 Tier3 온실가스 배출량산정 방법론	37
<그림 23> 교통수요예측 모형을 이용한 대기오염물질 산정 방법론 흐름도(예시)	38
<그림 24> KTDB 분석교통망(Network)	41
<그림 25> 충남지역 교통존 세분화	42
<그림 26> 배정교통량과 관측교통량의 R-square 산출결과	43
<그림 27> 차량별, 속도별 대기오염물질 배출계수 그래프	44
<그림 28> 충남지역 통행배정결과(2016년 기준)	45
<그림 29> 충남 시·군별 장래 PM10 배출량(2016, 2023, 2033년)	58
<그림 30> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)	60
<그림 31> 충남 시·군별 장래 CO2 배출량(2016, 2023, 2033년)	62
<그림 32> 충청남도 각 시·군별 도로이동오염원의 PM10 배출량 비중	68
<그림 33> 충청남도 각 시·군별 도로이동오염원의 NOx 배출량 비중	68
<그림 34> 충청남도 내 트럭 통행량 비중이 50% 이상인 도로망	73
<그림 35> 국비가 수반되는 교통SOC 추진절차	74

제1장 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

충남의 교통정책은 다각적인 측면에서 접근이 필요하다. 교통SOC 확충과 같은 교통공급정책뿐만 아니라 도로부문의 대기환경개선을 위한 교통수요관리, 교통운영정책 등도 함께 조화를 이루어야 한다. 특히, 현재까지 소외되었던 도로부문의 교통환경정책은 충남이 지속적으로 관심을 가져야하며 새로운 추진정책들을 개발하여 적용할 필요가 있다. 도민의 삶의 질과 연관된 교통서비스 수준이 과거에는 단순히 이동성과 접근성 측면에서 논의되었다면 이제는 교통환경을 개선하는 측면도 심도있게 논의될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 도로부문의 대기오염물질 배출량 부분에 초점을 두고자 한다.

충남의 인구구조는 고령화가 가속화되고 있다. 과거 1995년도에 65세 이상의 고령자 인구는 충남 전체 인구에 약 9%에 한하였으나, 2015년 기준으로 약 16%에 도달하였다.⁴⁾ 고령자는 노인성 질환에 취약하며 환경유해인자는 이러한 요인으로 작용한다. 충남의 고령화가 지속되는 가운데 도로부문에서 발생하는 대기오염물질의 감축정책은 필요한 실정이다.

4) 통계청, e-나라지표(시군구/성/연령(5세별) 주민등록인구), 1995년, 2015년 자료 활용

충남의 일부지역은 화물자동차와 같이 경유를 이용하는 대형차량이 많이 운행된다. 충남의 서산시, 당진시, 아산시, 천안시 지역은 도로부문 물동량의 유·출입⁵⁾이 타 시·군보다 상대적으로 많아 간접적으로 이러한 지역은 화물자동차의 이동량이 많음을 가늠할 수 있다. 이러한 화물자동차의 이동경로가 시가지를 경유할 경우에는 교통안전뿐만 아니라 교통환경측면에서도 유해한 성분의 배출량이 많음을 짐작할 수 있다.

연구의 목적은 충남의 도로부문에 있어서 대기환경개선을 위해 대기오염물질 저감을 위한 추진전략과 정책과제를 제안하는 데에 있다. 또한, 대기오염물질 배출량 산정 방법론에 있어서 하향식(TDA: Top-Down Approach) 방법이 아닌 교통수요예측기법을 활용한 상향식(BUA: Bottom-UP Approach) 방법을 적용하여 충남의 대기오염물질 배출량 산출을 시도하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

공간적 범위는 충청남도의 모든 시·군을 대상으로 하며, 시간적 범위는 2016년을 기준으로 한다. 내용적 범위는 국립환경과학원의 배출원 분류체계에서 도로이동오염원에 한정하며, 대기오염물질은 PM₁₀, NO_x를 중점적으로 다룬다. 또한, 온실가스와 밀접한 CO₂도 일부 포함하고자 한다. 교통정책의 범위는 교통환경, 교통공급, 교통운영, 수요관리 정책에 해당된다.

2) 내용 구성 및 수행 방법

본 연구의 내용 구성은 관련문헌 및 사례검토, 도로부문 대기오염물질 배출량 산출 방법론 검토와 교통수요예측 모형을 이용한 산출방법론 정립, 충남 도로부문 대기오염물질 배출량 현황과 시사점, 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 정책방안으로 구성된다.

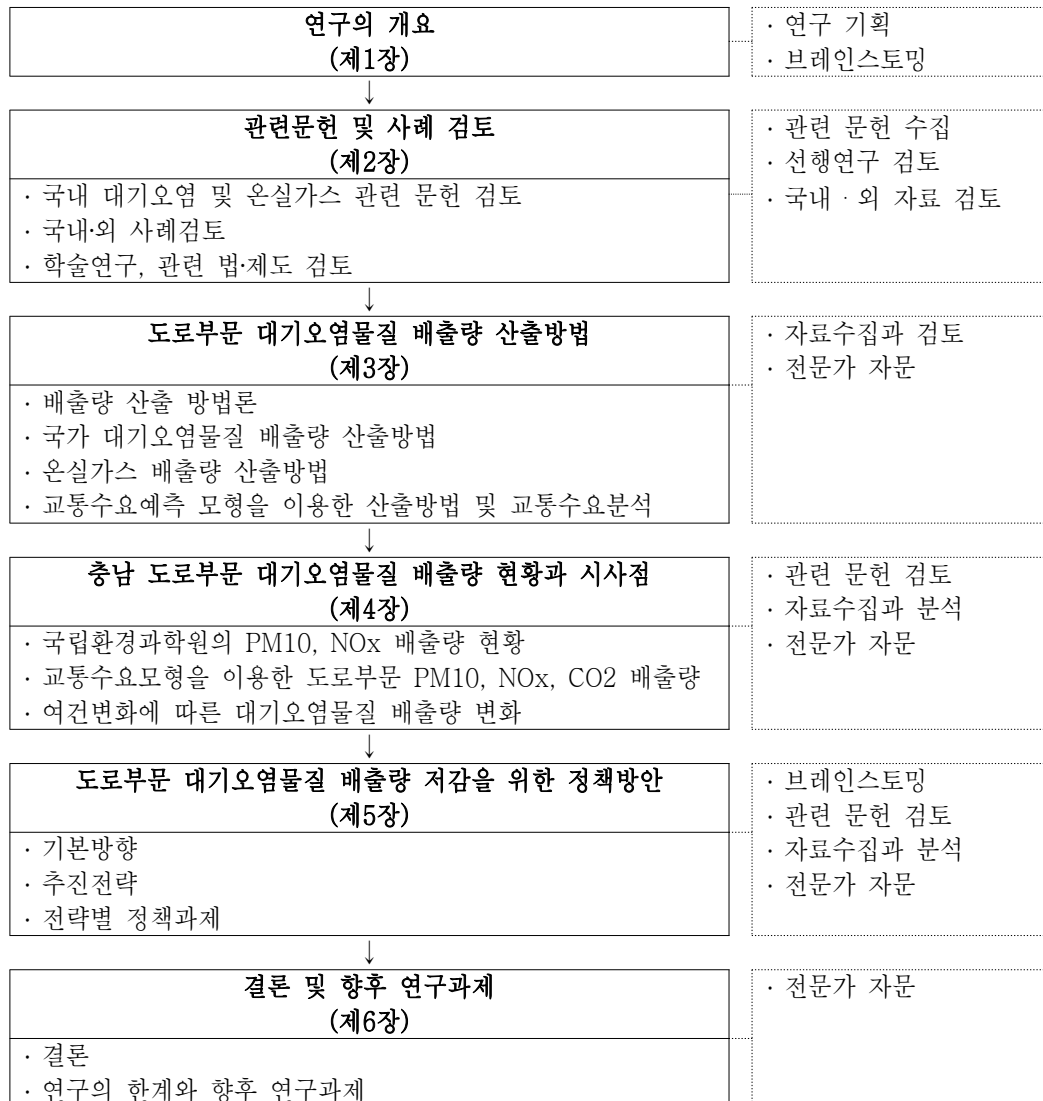
본 연구는 관련문헌 수집과 검토, 대기오염물질 자료수집과 검토, 교통수요예측, 전문가 자문 등을 수행하였다. 첫째, 관련문헌의 수집과 검토는 선행연구, 국가 대기오염물질 배출량 산출방법과 배출량 현황 검토 등에서 수행하였다. 둘째, 대기오염물질 자료수집과 검토는 국립

5) 한국교통연구원, KTDB의 도로부문 물동량 자료, 2014년 기준자료

환경과학원의 PM10, NOx 배출량 분석 등에서 수행하였다. 셋째, 교통수요예측은 충남의 장래 대기오염물질 배출량 산출을 위하여 수행하였다. 마지막으로, 전문가 자문은 대기오염 배출량 산출방법, 교통수요예측, 전략별 정책과제 도출을 위해서 수행하였다.

3. 연구의 흐름

<그림 1> 연구의 흐름



제2장 관련문헌 및 사례 검토

1. 대기오염 및 자동차 온실가스

1) 대기오염

(1) 대기오염 개요

우리나라는 대기오염을 환경오염의 일부로 정의(환경정책기본법 제3조 정의)하고 있으며 대기환경보전법 제2조(정의) 및 제7조(대기오염물질에 대한 심사·평가)에서 “대기오염물질”이란 대기 중에 존재하는 물질 중 독성, 생태계에 미치는 영향, 배출량 환경기준에 대비한 오염도 따른 심사·평가 결과 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상물질로서 환경부령으로 정하는 것으로 명시하고 있다. 주요 물질로는 일산화탄소(CO), 오존(O₃), 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 기타 납(Pb) 및 벤젠 등 61종으로 정하고 있으며 대기오염물질은 배출원에서 직접 배출된 1차 오염물질과 1차오염물질과 오염되지 않은 대기 상에서 일어나는 화학적 반응에 의하여 생성된 2차 오염물질로 구분된다.

(2) 대기오염 배출원

1950년대 이전까지 대기오염의 주요 발생 원인은 화석연료의 연소과정에서 발생하는 SO₂ 가스로, 대기오염으로 인한 피해는 생물에 대한 영향 및 지구환경의 변화, 산림자원의 파괴를 촉진시켜 왔다. 1950년대 이후 자동차의 보급과 운송수단의 발달로 차량에 의한 질소산화물과 탄화수소는 광학스모그를 발생시키고 있으며, 도시를 중심으로 오염의 확대 및 환경파괴의 문제가 지속적으로 대두되고 있는 실정이다.

대기오염 물질의 배출원은 자연적 배출원과 인위적인 배출원으로 구분할 수 있다. 상대적으로 자연적으로 배출되는 오염물질에 비해 인위적으로 배출되는 오염물질이 대기 오염에 미치는 영향이 크다.

배출원은 고정 배출원과 이동 배출원으로 나눌 수 있다. 고정배출원은 주택, 공공건물, 산업체, 화력발전소 등 배출원이 고정된 상태로 점오염, 면오염이라고도 하며 이동배출원은 자동차, 선박, 기차, 항공기 등과 같이 움직이는 물체로부터 배출되는 것으로 선오염이라고도 한다. 배출된 오염물질은 햇빛과의 광화학반응이나 비, 안개와 반응하여 산성비, 산성안개를 만들어 2차오염물질을 발생시킨다. 오염물질로는 아황산가스(SO_2), 부유분진, 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 광화학 산화제(오존) 등이 대표적이다.

(3) 대기오염 배출량

한국환경공단에서 운영하는 에어코리아 홈페이지에서는 대기오염측정망 관련 인프라를 이용하여 대기환경정보를 제공하고 있다. 전국 97개 시,군에 설치된 317개의 측정망에서 도시대기, 도로변대기, 국가배경, 교외대기 오염도를 측정하며 측정 자료를 대기환경기준과 비교, 지역별 비교가 가능하도록 제공하고 있다. 또한 기상청에서 운영하는 황사정보제와 지자체에서 운영하는 오존정보제 등의 자료도 함께 공개하고 있다.

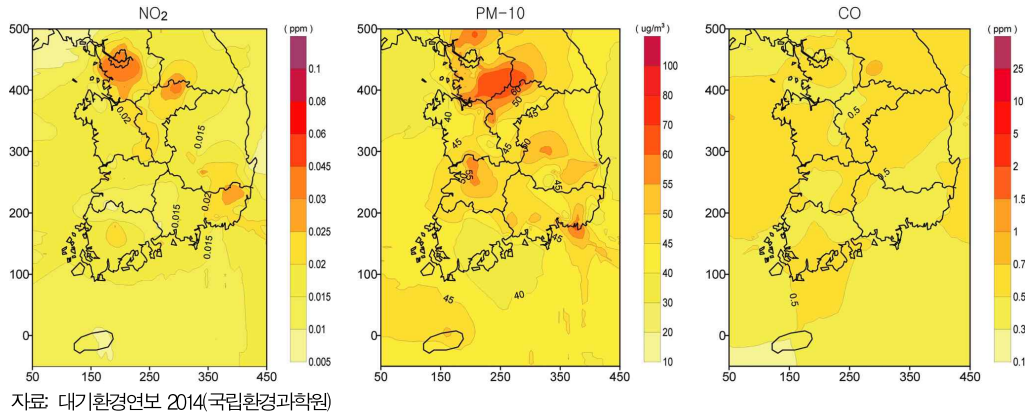
<그림 2> 대기오염 측정데이터 수집방법



자료: 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>)

전국 대기오염도 분포 특성(2014)을 살펴보면 이산화질소(NO_2)는 수도권, 미세먼지(PM_{10})는 경기도 북부 및 남동지역, 강원도 영서지역, 충청북도 북부지역이 다른 지역에 비해 높은 오염농도를 나타내고 있다.

<그림 3> 대기오염물질의 연평균 농도 분포



충남지역의 경우 미세먼지(PM10)는 연평균(2010~2014) $43.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매년 전국 16개 시·도 중 10위권 이하로 나타나고 있으며 이산화질소(NO_2)도 10위권 이하로 나타나고 있다. 반면 일산화탄소(CO)는 연도별 큰 편차를 보이고 있으며 2010년 8위, 2011년 9위, 2012년 5위, 2013년 12위, 2014년 2위로 변동이 심한 것으로 나타났다.

<표 1> 이산화질소(NO_2) 발생 현황(2010~2014)

대기환경기준(연 평균치:0.03ppm)

구 분		'10	'11	'12	'13	'14	연평균 증감률(%)	평균
이 산 화 질 소 (NO_2)	서울	0.034	0.033	0.03	0.033	0.033	-0.7%	0.032
	부산	0.021	0.02	0.02	0.021	0.02	-1.2%	0.020
	대구	0.025	0.024	0.021	0.023	0.024	-1.0%	0.023
	인천	0.03	0.029	0.027	0.028	0.028	-1.7%	0.028
	광주	0.02	0.019	0.019	0.02	0.019	-1.3%	0.019
	대전	0.023	0.021	0.021	0.021	0.02	-3.4%	0.021
	울산	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.0%	0.023
	경기	0.03	0.03	0.028	0.029	0.029	-0.8%	0.029
	강원	0.019	0.019	0.017	0.018	0.019	0.0%	0.018
	충북	0.023	0.023	0.022	0.024	0.024	1.1%	0.023
	충남	0.017	0.016	0.019	0.017	0.018	1.4%	0.017
	전북	0.015	0.015	0.016	0.016	0.015	0.0%	0.015
	전남	0.017	0.017	0.016	0.015	0.016	-1.5%	0.016
	경북	0.016	0.016	0.016	0.017	0.018	3.0%	0.016
	경남	0.019	0.019	0.018	0.02	0.02	1.3%	0.019
	제주	0.009	0.009	0.01	0.01	0.01	2.7%	0.009

자료: 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>), 시도별 측정자료 재가공

<표 2> 미세먼지(PM10) 발생 현황(2010~2014)

대기환경기준(연 평균치:50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구 분		'10	'11	'12	'13	'14	연평균 증감률(%)	평균
미세먼지 (PM10)	서울	49	47	41	45	46	-1.6	45.6
	부산	49	47	43	49	48	-0.5	47.2
	대구	51	47	42	45	45	-3.1	46.0
	인천	55	54	47	49	49	-2.8	50.8
	광주	45	43	38	42	41	-2.3	41.8
	대전	44	44	39	42	41	-1.7	42.0
	울산	48	49	46	47	46	-1.1	47.2
	경기	58	56	49	54	54	-1.8	54.2
	강원	51	50	47	50	51	0.0	49.8
	충북	62	56	51	56	52	-4.3	55.4
	충남	46	44	41	42	42	-2.2	43.0
	전북	53	51	49	51	51	-1.0	51.0
	전남	42	41	36	39	38	-2.5	39.2
	경북	47	48	45	50	49	1.0	47.8
	경남	46	46	42	47	48	1.1	45.8
	제주	48	42	34	40	47	-0.5	42.2

자료: 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>), 시도별 확정자료 재가공

<표 3> 일산화탄소(CO) 발생 현황(2010~2014)

대기환경기준(8시간 평균치:9ppm)

구 분		'10	'11	'12	'13	'14	연평균 증감률(%)	평균
일 산 화 탄 소 (CO)	서울	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.0%	0.52
	부산	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0%	0.4
	대구	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	-5.4%	0.48
	인천	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.0%	0.58
	광주	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0%	0.5
	대전	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.0%	0.48
	울산	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0%	0.5
	경기	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0%	0.6
	강원	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.0%	0.62
	충북	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	-4.5%	0.56
	충남	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0%	0.5
	전북	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.0%	0.48
	전남	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0%	0.5
	경북	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	4.7%	0.54
	경남	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	5.7%	0.44
	제주	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	7.5%	0.38

자료: 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>), 시도별 확정자료 재가공

<표 4> 도로변대기 측정망 연도별 농도 추이 요약(38개소 측정소 농도 추이)

구분	농도 추이
이산화질소(NO ₂)	-이산화질소 농도는 도시대기, 국가배경, 교외대기측정 농도에 비하여 가장 높은 농도분포를 보임. 이러한 농도 분포는 자동차 통행으로 인해 배출되는 배기가스 NO _x 의 직접적 영향에 의한 것으로 판단됨 -최고 농도 측정소는 서울시 양재(0.067ppm)지역으로 나타났으며, 최저 농도 측정소는 전주시(금암동 0.012ppm)으로 서울의 통행량이 다른 지역에 비하여 높기 때문인 것으로 판단됨
미세먼지 (PM10)	-7대 광역시의 도로변 대기 측정망에서 미세먼지 농도는 점차 감소하는 경향을 보임 -반면 충북의 경우 꾸준한 증가 추이를 보이고 있으며 2014년 도시별 미세먼지 농도는 충북 청주가 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높으며, 전북 전주가 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 수준으로 나타남
일산화탄소(CO)	-일산화탄소 농도는 0.4~0.9ppm 범위내로 도시대기측정망과 유사한 농도분포를 보임. 도로변대기측정소가 도로변에 인접하여 자동차에서 배출된 일산화탄소의 직접적인 영향을 받아 생긴 결과로 판단됨 -서울의 신촌이 0.9ppm으로 가장 높은 농도를 보임

자료: 대기환경연보 2014(국립환경과학원), 도로변대기측정망 요약

2) 자동차 온실가스

(1) 국내 온실가스 배출량 추이

국내 온실가스 배출량(CO₂)은 2013년 기준 572백만tonCO₂eq로 집계되었으며 이 중 교통(도로)부분의 배출량은 88백만tonCO₂eq로 집계되었다. 이는 2009년 80백만tonCO₂eq, 2012

<그림 4> 부문별 CO₂ 배출량(2013)

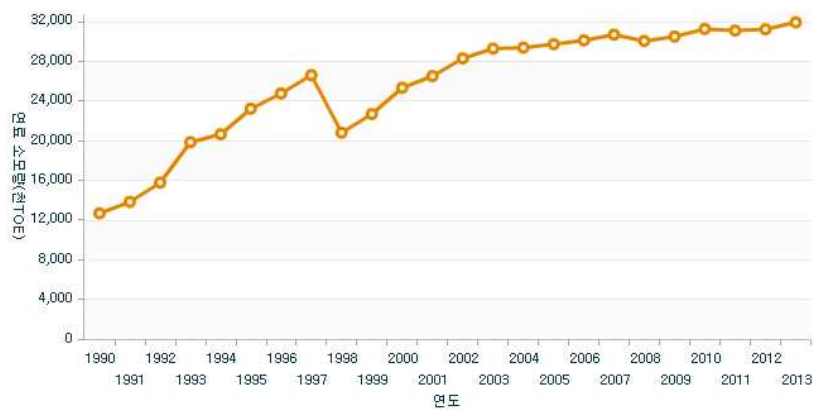


자료: CO₂ Emission from Combustion Highlights, IEA

년 83백만tonCO₂eq으로 지속 증가추이를 보이고 있는 것으로 나타났으며 전력 및 열생산부문에 이어 두 번째로 높은 배출량이다.

세부적으로 교통부문의 연료소모량과 에너지소비량, 온실가스 배출량을 살펴보면 연료소모량은 1990년 12,688천TOE에서 2013년 31,931천TOE으로 연평균 4.3%의 증가추이를 보이며 이중 도로부문이 93.39%로 가장 높다. 사용연료로는 경유 51.85%, 휘발유 28.47%, LPG 13.53% 순으로 높은 것으로 나타났다.

<그림 5> 대기오염물질의 연평균 농도 분포

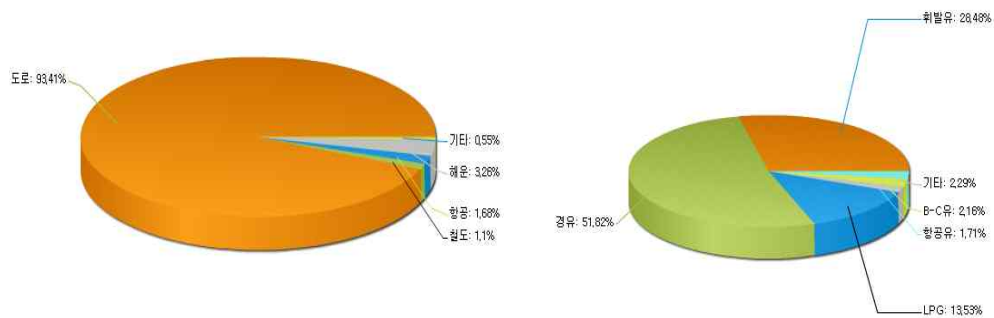


단위:천TOE

연도	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
합계	12,688	23,227	25,343	29,724	31,254	31,092	31,218	31,931

자료: 국가온실가스인벤토리보고서(NRI), 온실가스종합정보센터

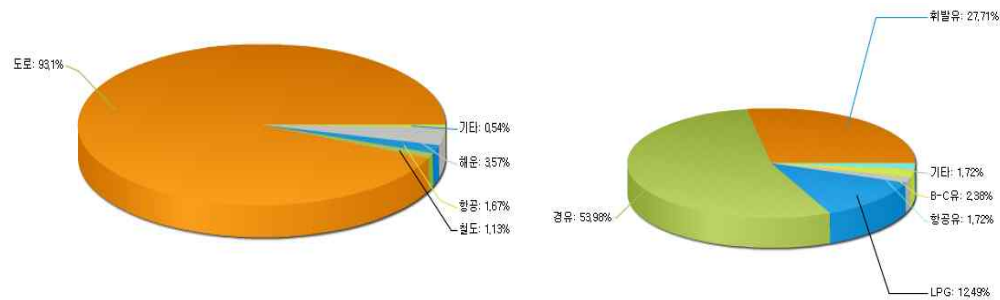
<그림 6> 부문별 에너지 소모량(1990~2013, 누적평균)



자료: 국가온실가스인벤토리보고서(NRI), 온실가스종합정보센터

교통부문 온실가스 배출량은 1990년 34.83백만tonCO₂eq에서 2013년 88.3백만tonCO₂eq으로 연평균 4.3%증가추이를 보이며 IMF(1997~1988) 시기를 제외하고는 지속증가하고 있다. 온실가스 배출량은 도로 93.1%, 해운 3.57%, 항공 1.67% 순으로 높으며 연료별로는 경유 53.98%, 휘발유 27.71%로 배출량이 높다. GDP대비 온실가스 원단위는 2013년 75.77tonCO₂eq/10억원으로 2001년(110.8tonCO₂eq/10억원) 이후 지속적인 감소추이를 보이고 있다.

<그림 7> 온실가스 배출량(1990~2013, 누적평균)

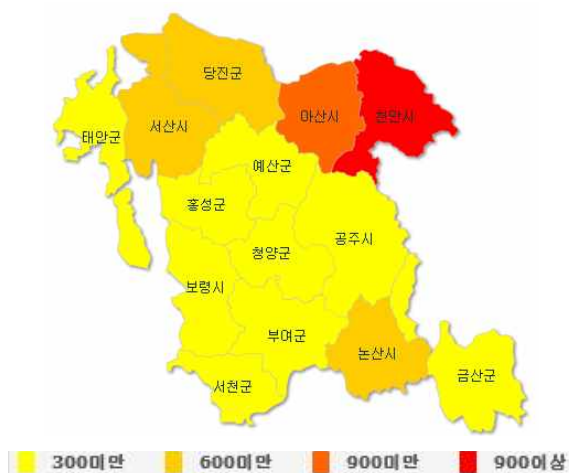


자료: 교통부문온실가스관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)

(2) 충청남도 온실가스 배출량

충청남도 지역별 온실가스 배출량(2013년)을 살펴보면 천안시를 중심으로 충청남도 북부권이 전반적으로 온실가스 배출량이 높게 나타나고 있으며 매년 천안시가 1위, 아산시, 당진시, 서산시 순으로 나타나고 있다.

<그림 8> 충청남도 시·군별 온실가스 배출량(2013)



자료: 교통부문온실가스관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)

<표 5> 충청남도 시·군별 온실가스 배출량(2013)

단위:천tonCO₂eq

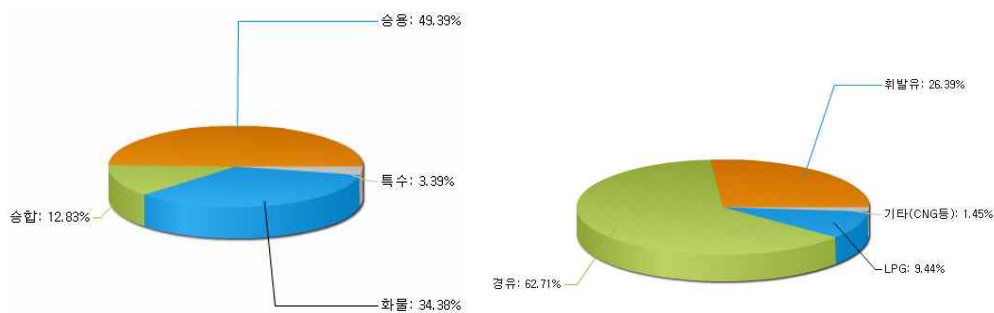
계룡시	공주시	금산군	논산시	당진시	보령시	부여군
76.32	211.37	130.91	240.51	360.31	173.31	139.97
서산시	서천군	아산시	천안시	청양군	홍성군	
319.39	107.13	570.36	1035.05	89.78	158.5	



자료: 교통부문온실가스관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)

차종별 배출량(충청남도 총량)은 승용 49.39%, 화물 34.38%, 승합 12.83%, 특수 3.39% 점유율을 보이며 연료별로는 경유 62.71%, 휘발유 26.39% 순으로 높게 나타나고 있다.

<그림 9> 차종별/연료별 온실가스 배출량 점유율



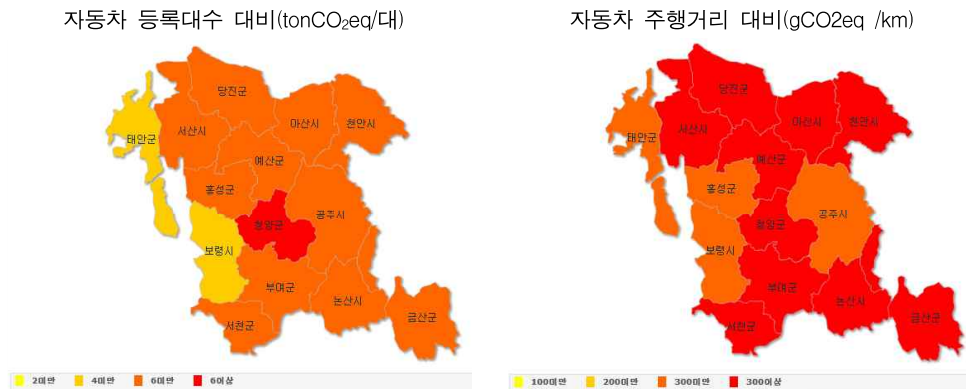
차종별 배출량 점유율(%)

연료별 배출량 점유율(%)

자료: 교통부문온실가스관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)

시군별 온실가스 원단위를 자동차 등록대수 및 자동차 주행거리 대비로 비교해 보면 청양군이 대당 6.32tonCO₂eq으로 가장 높으며 태안군이 3.42tonCO₂eq으로 가장 낮다. 자동차 주행거리 대비로도 청양군이 km당 421.76gCO₂eq으로 가장 높으며 태안군이 265.38gCO₂eq으로 가장 낮은 것으로 나타났다.

<그림 10> 충청남도 온실가스 원단위(2013)



구 분	자동차 등록대수 대비(tonCO ₂ eq/대)	자동차 주행거리 대비(gCO ₂ eq /km)
태안군	3.42	265.38
서산시	4.36	313.58
당진시	4.82	333.57
예산군	4.50	315.16
아산시	4.53	316.40
천안시	4.17	303.95
홍성군	4.06	297.44
보령시	3.95	296.45
청양군	6.32	421.76
공주시	4.23	287.20
부여군	4.57	321.60
서천군	4.36	318.95
논산시	4.51	306.80
금산군	4.97	325.80

자료: 교통부문온실가스관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)

2. 학술연구 검토

1) 교통부문 온실가스 및 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구

자동차 1대당 연간 약 4.6톤의 온실가스가 발생되고 있다. 자동차 통행으로 인한 온실가스(CO₂)배출은 지구온난화와 대기오염물질의 확산 등 여러 문제점을 일으킨다. 이로 인해 에코드라이브(운전방식), 수소·전기자동차 개발 등 온실가스 저감을 위한 기술개발·보급이 이루어지고 있으며 자동차 배출량 규제 등 다양한 사회적 논의가 진행되고 있다.

교통부문 학술연구의 주이는 연료소비량 및 교통량, 속도 등의 데이터분석을 통한 배출량 산정에 초점을 두고 진행되어 왔으며 최근에는 혼잡정보, 우회정보 등을 통한 배출량 저감 방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

우승국(2013)의 연구에서는 연료소비량에 근거하여 배출량을 산정하는 Tier1방식의 한계점을 지적하고 ITS 검지기 정보를 활용하여 온실가스(이산화탄소 및 질소산화물) 배출량을 산정하는 방식을 제안하였다. 반면 김기동(2012)의 연구에서는 배출량 산정을 위한 활동자료(교통량) 확보가 현실적으로 어렵기 때문에 활동자료가 미구축되는 지방부의 도로구간을 대상으로 배출량 산정을 통해 교통량을 추정하는 시스템의 개발을 제시하였다.

온실가스와 대기오염 통합 배출량 산정 및 도시공간구조와의 상관관계를 분석한 정재형(2015)의 연구에서는 서울시를 대상으로 도시의 공간구조 특성에 따른 온실가스 배출영향을 구조방정식 모델을 통해 분석하였다. 서울시 각 지역별 인구수, 자동차등록대수 등의 사회경제변수 차이가 지역내 비산먼지 및 온실가스 발생의 차이에 영향을 미치는 것으로 제시하였다.

<표 6> 교통부문 온실가스 배출량 관련 연구

연구자	연구 방법론	주요 내용
우승국(2013)	- Tier 3 산정방식을 이용하여 도로 구간길이, 교통량, 속도 등 ITS 자료와 접목하여 배출량 산정	- 속도, 교통량, 배출량과의 관계 규명(시간대별 차종별 배출량 산출) - 배출량과 혼잡도와의 관계, 교통운영 및 수요관리에 의한 배출량 저감의 중요성 제시
김기동(2012)	- 교통정보센터의 교통DB의 자동차 총주행거리, Tier3 산정방식을 융합	- 기초지자체에서 개별적으로 온실가스 배출량을 산출할 수 있는 방식 제시 - 지선도로의 교통량 추정과 온실가스배출량의 관계 규명
정재형(2015)	- 지역특성변수와 자동차 온실가스, 대기환경물질 배출량과의 경로분석	- 온실가스와 대기오염 배출량 통합 관리 방안 필요성 제시 - 온실가스 배출량과 관련된 사회경제요인 영향계수 분석

기타 교통부문 온실가스 배출량 추정 연구는 아래와 같다.

<표 7> 교통부문 온실가스 배출량 추정 연구

연구자	주요 내용
한국교통연구원 (2011)	- 차종별 등록대수, 차종별 주행거리, 차종별 평균 연비 자료를 활용하여 Tier3방법으로 온실가스 배출량 추정
국토교통부 (2011)	- Tier1방법을 적용하여 온실가스 배출량 추정, 추가적으로 도로교통량, 도로별 주행거리, 배출계수를 활용하여 Tier3방법으로 온실가스 배출량 추정
한시원 (2013)	- 읍면동 단위의 지자체별 이산화탄소 배출량 추정을 위해 내부존의 통행속도, 평균통행시간, 평균통행거리를 반영하여 Tier3기준으로 배출량 추정
백바름 (2014)	- Tier3 통행배정법을 활용하여 이산화탄소 배출량 추정, 기종점 통행량과 통과통행량을 구분하여 이산화탄소 배출량을 추정
박지훈 (2014)	- 서울시 가구통행실태조사 자료와 지역별 온실가스 배출량 및 연료판매량, 차량등록대수를 기준으로 온실가스 추정

자료: 박지훈(2014), 교통부문 온실가스 배출량의 지역별 할당 방법 비교분석, 기존연구 고찰 인용

그 외 도로망 및 네트워크의 특성에 따른 배출량 산정에 관한 연구도 다수 진행되었다. 조혜진(2009)의 연구에서는 도로환경요인이 도로변 대기오염에 미치는 영향을 분석하였다. 도로 환경요인으로 교통량 및 속도, 기상상태조건과 도로의 기하구조를 선정하고 대기오염물질 배출량과의 회귀분석을 통해 영향관계를 규명하였다.

이수철(2002)은 배출원 밀집지역의 특성과 대기오염물질 배출량 산출에 관한 연구를 수행하였다. 배출원은 지역의 활동도인 산업활동, 교통, 연료소비량등 배출량과 직접적 관련이 있는 요인을 조사하였으며 안산·시흥시(시화공단)를 대상으로 활동도의 변화에 따른 배출량의 변화를 연구하였다. 미세먼지의 경우 도로이동오염원에 의해 90%이상 배출되며 활동도의 시간적 변화에 따라 오염원의 배출량이 변하고 있음을 확인하였다.

이와 유사하게 교통량 밀집지역에서의 도로이동오염원 배출량을 산정하는 연구로 강병근(2013)은 도로 이격거리에 따른 오염물질을 평가하는 연구를 수행하였다. 대기확산 모델을 이용하여 교통밀집지역의 오염물질 확산패턴이 도로망 구조에 따른 오염 확산 패턴에 영향을 미치는 것으로 제시하였다.

<표 8> 도로교통 환경요소와 배출량 관련 연구

연구자	연구 방법론	주요 내용
조혜진 (2009)	- 대기오염물질(5종), 기상상태, 교통량, 속도, 차로수 데이터를 이용한 회귀 분석	- 교통량이 증가할수록 오염물질의 측정량이 증가하며 속도가 증가할수록 오염물질은 감소 - 대기오염 배출계수를 사용하지 않고 측정된 대기오염 데이터와 실시간교통량 자료를 이용한 모델 제시
이수철 (2002)	- 활동도와 배출계수를 이용한 배출량 산정	- 주거지역과 공단지역특성이 가지는 대기오염의 구성요소 차이 규명 - 배출원의 시간적/계절적 변화 특성 규명
강병근 (2013)	- 교통량 및 대기오염농도 자료 분석, 도로변 측정소의 농도 변화와 교통량 변화 관계 규명	- 도로간 이격거리가 증가할수록 대기오염물질의 확산현상 감소 - 도로이동오염원 배출량의 기여도 평가

2) 교통부문 온실가스 저감방안 관련 연구

도로교통부문의 온실가스 저감을 위한 방안강구 연구로는 도시의 공간구조에 관련한 연구가 진행되고 있으며 온실가스 저감 방안 관련 연구는 다음과 같다.

<표 9> 온실가스 저감방안 관련 연구

연구자	연구 방법론	주요 내용
박민관 (2012)	- 지구단위 계획 시나리오 작성 및 시나리오별 교통수요분석을 통한 온실가스 배출량 분석	- 외곽지 고밀도에서 지구단위 내의 중심지 가깝게 밀도를 설정할수록 온실가스의 발생량 증가 - 주차장의 위치 설정이 온실가스 저감에 효과를 보임
정도영 (2011)	- 설문조사 및 수도권 가구통행 실태조사 O/D 네트워크 분석	- 교통수요관리 방안별 온실가스 감축 효과제시 - 유류세, 혼잡세, 부세, 주차상한제 및 자전거 이용 활성화를 통한 교통수요관리 전략 모색
한상진 (2013)	- 여객 및 화물 수단분담률과 에너지 집중도, 교통수단별 에너지 수요 자료를 바탕으로 온실가스 배출량 산정	- 압축도시, 대중교통중심도시개발 등 토지이용 정책을 통해 온실가스를 줄이는 새로운 정책 필요성 제시

3. 온실가스 관리 동향 및 정책사례

1) 온실가스 관리 시스템

우리나라는 2014년 4월부터 2015년 6월까지 「정부합동 기후변화TF 및 공동작업반」을 구성하여 국가 배출량 전망 및 감축 잠량을 예상·분석하였다.

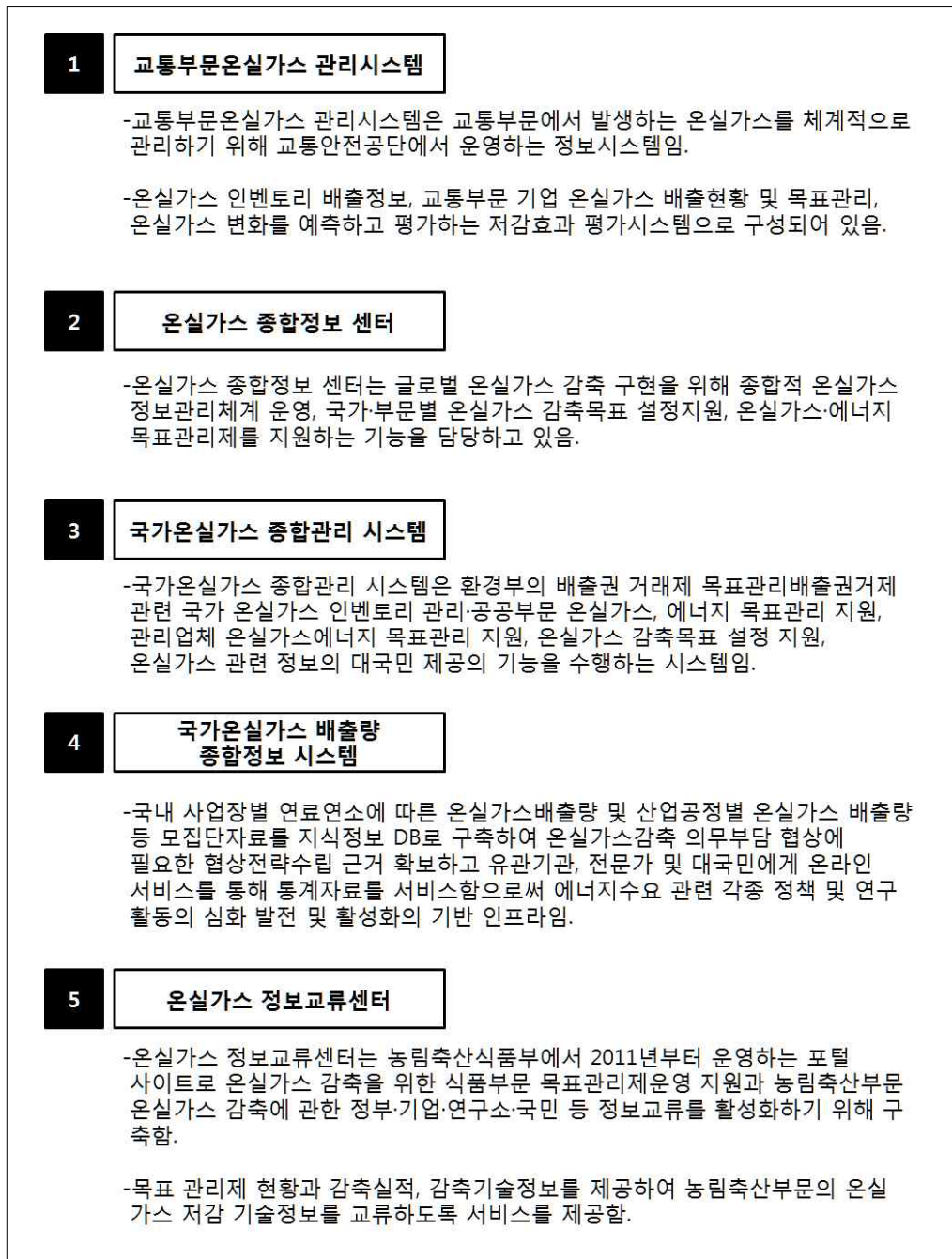
배출전망치(BAU)는 2030년까지 37% 감축을 목표로 제시하였으며 2009년 「녹색교통 추진전략」, 2011년 「제1차 지속가능한 국가 교통물류발전 기본계획」을 수립하여 온실가스 감축정책을 추진하고 있다. 또한 온실가스 및 대기오염을 모니터링하고 DB를 지속적으로 관리하는 시스템을 개발·운영하고 있다.

<표 10> 국내 온실가스 관리 시스템

연구자	주요 정보	운영 기관	홈페이지
교통부문온실가스 관리시스템	-자동차 배출가스 -지자체 온실가스	교통안전공단	https://www.kotems.or.kr
온실가스 종합정보 센터	-온실가스 통계 -분야별 배출량 및 흡수량	국가온실가스 종합정보 센터	http://www.gir.go.kr
국가온실가스 종합관리 시스템	-배출권 등록 -법령 및 지침	국가온실가스 종합정보 센터	http://master.gir.go.kr
국가온실가스 배출량 종합정보 시스템	-온실가스DB구축 -산업체 조사	한국에너지공단	http://netis.kemco.or.kr
온실가스 정보교류센터	-감축기술정보 -목표관리제안내	농업기술실용화 센터	http://agri-gegm.efact.or.kr

수도권대기환경청(<http://www.me.go.kr>), 경기도 대기환경 정보서비스(<http://air.gg.go.kr>), 서울시 대기환경정보(<http://cleanair.seoul.go.kr>), 대전광역시 대기정보(air.daejeon.go.kr) 등 지방자치단체에서 운영하는 대기오염·기후대기통계 사이트는 환경부, 기상청 등과 연계하여 지역별 오염도, 대기오염예보 및 대기질 상태에 대해 모니터링 결과를 공표하고 있다.

<그림 11> 국내 온실가스 관리 시스템



자료: 각 홈페이지 안내(소개)문 인용

<그림 12> 국내 온실가스 정보관리 시스템



2) 교통부문 온실가스 감축 추진 동향

정부는 교통체계를 그린카·자전거·보행·대중교통과 같은 에너지 절감형, 친환경 교통체계 중심으로 개편하여 2020년까지 교통부문의 온실가스를 34.3% 감축할 계획이다. 현재 교통부문의 온실가스 감축 동향은 크게 5가지 전략으로 추진되고 있으며 교통수요관리 강화 및 교통시설운영 효율화, 저탄소 녹색물류체계 구축, 생활밀착형 자전거·보행 활성화, 친환경 교통물류기술 개발, 대중교통 인프라 확충 및 서비스 개선으로 구분된다.

<그림 13> 교통부문 온실가스 감축을 위한 추진 방안

교통수요관리 강화 및 교통운영 효율화	-교통수요 관리체계를 국민이 적극 참여하는 수요관리 체계로 전환하고, 주행 거리비례보험제 시행, 자동차 공동이용제도(카셰어링) 활성화 등을 위한 정부 지원 -교통 인프라의 신규투자 보다는 기존 인프라의 운영 효율화를 도모하고, 이를 위해 국도 및 도시부도로의 ITS 확대 구축 및 광역BIS 구축등을 중심으로 전국 도로에 스마트 교통운영시스템을 구축
생활밀착형 자전거·보행 활성화	- 자전거 및 보행의 활성화를 위해 도로환경을 사람 중심으로 조성하고, 보도 신설·보차도 분리 등을 통해 안전한 보행환경을 조성 - 철도와 자전거 이용의 연계 강화를 위해, 기존 철도역사의 자전거 주차장의 시설을 개선*하고, 자전거도로도 지속 확충
대중교통 인프라 확충 및 서비스 개선	- 광역급행버스: 간선급행버스(BRT)에 대한 투자 및 대중교통전용지구 사업 확대 등을 통해 버스의 경쟁력을 확보 - 대중교통수단간 연계 환승체계 강화 및 도시 광역철도망을 지속 확충하는 등 대중교통 서비스를 질적으로 개선
저탄소 녹색물류체계 구축	- 탄소배출 저감형 물류체계 구축을 목표로 인천·광주 등에 물류 단지 신축, 이를 통해 광역 물류 거점간 네트워크를 확대하여 물류체계 효율화 및 물류비 절감을 도모. - 물류사각지대 해소 및 중소기업의 물류 경쟁력 강화를 위해 기업 간 공동물류를 적극 활성화하며 제3자 물류활성화 컨설팅 지원
친환경 교통물류 기술 개발	- 지속가능 교통물류 발전을 견인할 친환경 교통기술개발을 위해, 무선 충전형(OLEV) 전기버스, CNG버스, CNG 하이브리드버스 등 친환경 그린카를 적극 개발·보급 - 차세대형 첨단 고속철도 개발을 위해 차세대 고속열차(HEMU-430X) 본선 시운전을 10만km 이상 실시하여 안전성을 증대하는 한편 친환경 핵심부품 개선 및 국산화 개발

자료: 국토교통부(2014), 대중교통 자전거 보행, 온실가스 감축(보도자료)

3) 온실가스 국내·외 정책사례

(1) 국외 사례

국제적으로 온실가스 배출량 감축을 위한 저탄소 교통정책은 개선(Improve), 억제(Avoid)와 전환(Shift)으로 요약되는 세 가지(ASI) 전략으로 구분되고 있다. 세부 정책들은 계획의 내용에 따라 계획, 정보, 기술, 규제, 세제, 등의 정책유형으로 구분할 수 있다.

<그림 14> 저탄소 도시 교통대책

저탄소 도시 교통대책 분류와 사례			
구 분	회 피	전 환	개 선
기술	대중교통중심 도시개발(TOD)	대중교통 인프라 정비: 도시철도, LRT, BRT 보도, 자전거 도로 정비	저연비 차량 대체연료 도로네트워크 개량
규제	토지이용 규제	대중교통 우선시스템: BRT, 교통정온화, 주차규제	
정보	텔레워크	카셰어링 의식 캠페인 대중교통 운행정보시스템	에코 드라이브
경제	Road Pricing	Road Pricing 가솔린세	저연비 차량 세제감면 및 보조 가솔린세

자료: 이원규(2012), 저탄소 녹색도시 구현을 위한 녹색교통 정책 추진방안 연구보고서

이 중 온실가스 배출을 줄이기 위해 EU는 자동차 배출량에 따라 세금을 차등 부과하는 방안, 일본은 자동차 화물수송을 철도수송으로 전환하여 배출량을 줄이고 부담률을 조절하는 방안, 미국은 전기차량 및 하이브리드 차량 구입시 보조금을 지급하여 친환경 자동차의 점유율을 높이는 방안 등 다양한 정책 사례가 나타나고 있다. 교통수요 관리측면에서는 토지이용규제 등 인구밀도가 높은 콤팩트 도시를 형성하여 대중교통으로의 전환전략이 국제적인 추세로 나타나고 있다.

<표 11> 국외 온실가스 감축 교통정책 사례

구분	내 용
미국	- 탄소세 부과, Feebate, 주행거리 시반 요금제, 주행거리 기반 보험, 혼잡통행료 - CO₂ 배출 기반으로 자동차 등록세 부과, CO₂ 배출 기반으로 통행료 부과, 저 배출 - 차량 구입시 세제혜택, 도심 진입통행료 부과, 가변적 요금부여(HOT) - 주차관리 - 업무통행, 효율화 프로그램 - 승차공유 - 원격근무, 압축근무, 탄력근무제 - 통근용 자전거 구입시 인센티브 제공 - 대중교통 확대, 이용촉진, 서비스 개선 - 비동력 교통수단 도입 - 하이브리드 차량의 충전소 설치(휴게소와 주유소) - 신호연동화, ITS, VMS 등 첨단교통계획 확충 - 공회전 저감 캠페인 - 신규차량의 연비 향상 - 저배출 차량 기술에 관한 R&D 육성 - 하이브리드 디젤 전기버스 운행
EU	- 차량의 온실가스 배출에 따른 세금 부과, 탄소세 부과 - 혼잡통행료, Green Zone, Limited Traffic Zone - Toll Ring, 승용차 공동이용 - 전환교통 프로그램(마르코폴로) - 항공·해운부문 배출량 감축을 위한 무역시스템 사용 - 자발적 협약을 통한 연비개선(신차의 배출량을 140gCO₂/km규제) - 바이오연료 사용의 의무화 - 대체 연료 및 대체 차량 개발
영국	- 국가자전거 계획수립, 기차역 자전거 보관대 설치 - 물류부문의 전환교통 - 지속가능교통 시범도시 운영 - 하이브리드 버스 운영 - 철도 용량 증대 - 전기충전소 설치 - 신재생 교통연료 규제(RTPO), 신차의 CO₂ 배출량 기준 강화 - Act on CO₂라는 캠페인 통해 에코드라이빙 장려, 에코드라이빙 운전교육 실시 - 저탄소 차량 개발
일본	- 재택근무의 추진 - 다양하고 탄력적인 고속도로 요금 시책 - 자동차 교통수요의 조정 - 환경세 부과 - MM(Mobility Management) - 철도, 해운으로의 Modal Shift 등 물류 효율화 - 대중교통 이용 촉진 - ITS 추진 - 자동차 연비개선 - 에코드라이브의 보급 추진 - 바이오매스 연료 - 저공해 차량의 보급 추진 - 철도·항공의 에너지 소비효율의 향상
독일	- 도시계획과 교통의 연계, 압축도시 개발 - 태형트럭 통행료 부과 - 에너지세 부과, CO₂ 배출 기반으로 자동차 등록세 부과 - 신규도로 건설 제한 - 승용차 공동이용 - 철도로의 전환교통 - 보행, 자전거 이용 활성화 - 승용차, 상용차 탄소 배출량 규제 - 바이오 연료 - 에코드라이브 - 철도 에너지 효율 향상 - 고속도로 속도제한

자료: 이원규(2012), 저탄소 녹색도시 구현을 위한 녹색교통 정책 추진방안 연구보고서

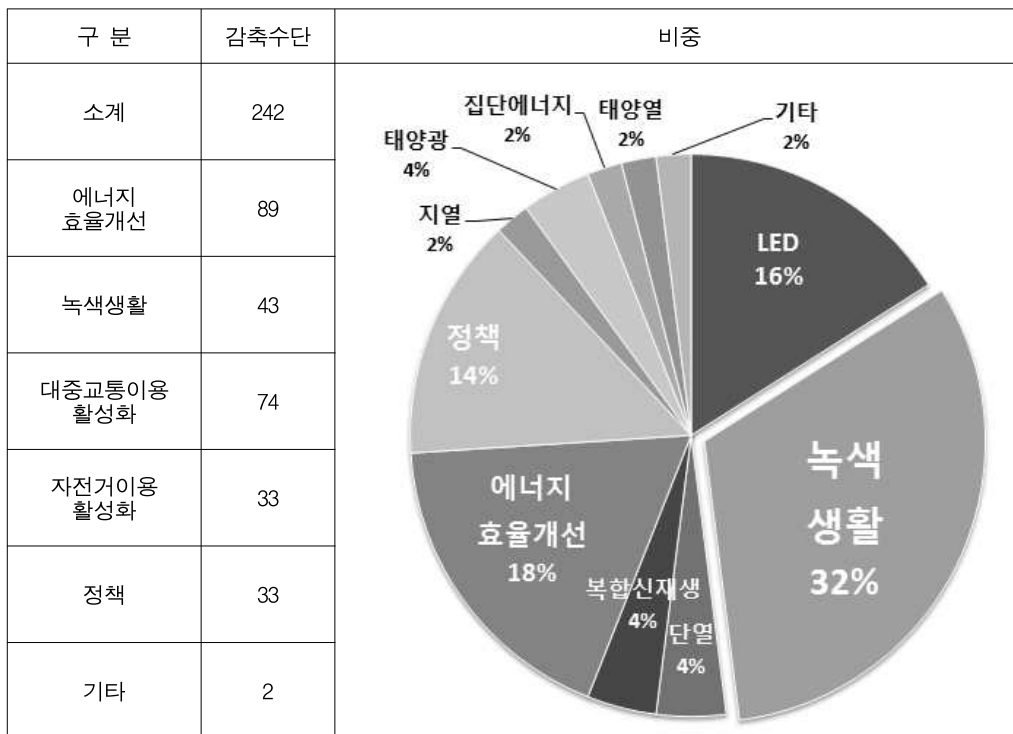
(2) 국내 지방자치단체 도로부문 온실가스 감축 사례

한국환경공단(2014)에서 조사한 지자체별 온실가스 감축정책 동향을 살펴보면 27개 지자체의 기후변화대응 감축수단은 총 1,311개였으며 이 중 교통부문(도로수송)의 감축수단은 242개(29%)인 것으로 나타났다.

도로수송부문의 감축수단은 천연가스버스 보급, 경차 보급확대 등의 에너지효율개선, 그린카 보급(전기차, 하이브리드카 등)이 37%, 버스전용차로 확대와 승용차 요일제 추진 등의 대중교통이용 활성화 방안이 30%로 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이외에도 자동차 연비 향상을 위한 녹색생활이 18%(에코드라이빙), 출퇴근시 자전거 이용 방법 등 자전거 이용 활성화 방안이 14%를 보였다.

각 지자체별 감축수단 적용계획 현황을 조사한 결과, 자전거이용 활성화 및 친환경자동차/버스 보급과 대중교통체계 구축이 공통적인 추진 계획으로 나타났다. 특히, 충청남도의 경우 타 지자체의 모든 사항을 포괄적으로 수용하고 있는 것으로 나타났다.

<표 12> 지·자체 온실가스 감축 추진 실적(2014)



자료: 한국환경공단(2014). 지자체 온실가스 감축 사례집

<그림 15> 지자체별 온실가스 감축 적용 계획현황(2014)

1	서울특별시	중양버스차로 확대, 복합환승센터 건립, 자전거 전용도로 확충 등 자전거 이용 활성화, 승용차 요일제 확산 및 정착, 청소차 및 마을버스 CNG 차량 보급, 공회전제한장치부착 및 제한지역관리강화, 전기차 도입확대, 수소기반 친환경 교통체계 구축
2	인천광역시	경차 및 하이브리드 자동차 보급 활성화, 신재생에너지 보급지원, 버스전용차로 확대 설치, BRT(Bus Rapid Transit)사업, 영업용 택시 하이브리드로 교체, 자동차 공회전 제한, 공공부문 소유차량 차계부 운영, 푸드마일 절감 캠페인, 바이오디젤 보급, 친환경자동차 보급 확대, 대중교통 이용율 증대, 자전거 활성화
3	대구광역시	자전거 이용 활성화, 하이브리드차 보급, 전기자동차 및 충전소 보급, 교통수요관리 및 대중교통 활성화, 로컬푸드 보급 사업, 에코 드라이브 활성화, 승용차 선택요일제 참여 활성화
4	대전광역시	그린카 보급 확대, 바이오디젤 사용, 대중교통이용활성화 사업, 승용차 요일제 확산 및 정착, 자전거 이용 확대, 에코드라이빙 활성화, 전기버스 보급
5	충청북도	그린카 보급 확대, 바이오디젤 사용, 대중교통이용활성화 사업, 승용차 요일제 확산 및 정착, 자전거 이용 확대, 에코드라이빙 활성화, 전기버스 보급
6	충청남도	자전거 전국 도시 건설, 그린카 보급 확대, CNG 차량 보급 확대, 자동차 공회전 규제, 녹색기간교통망 철도시설 확충, 수동변속기 차량 장려, 경차 보급 이용 및 확대, 바이오디젤 에너지 보급 확대, 배출 허용기준 강화, 지능형 교통체계(ITS) 구축, 교통카드 지역 호환체계 구축, 버스전용차로제 확대, 자동차·공동이행제도 활성화, 원격근무(telework) 도입 고려, 승용차 선택요일제 확대, 기업체 교통수요 관리, 친환경 도로정비 및 관리, 자전거 이용 활성화 기반 구축, 맞춤형 파발마 공공자전거 운영, 에코드라이빙 활성화, BMW 건강법 실천운동 추진, 녹색성장형 복합운송시스템, 에너지 절약형 농어촌 맞춤형 버스교체 지원
7	경기도	철도 중심의 녹색기간 교통망 확충, 경기도 도시철도사업의 활성화, 간선 급행버스 체계(BRT)구축, 첨단 정보를 이용한 녹색교통환경 구축, 생활형 자전거도로 확충, 친환경자동차 보급 확대, 회전식 교차로 확대, 대중교통우선지구 보행우선지구 확대, 교통혼잡지역 소통개선 사업, 교통수요관리지구 지정 및 운영, Car Sharing 시범 운영
8	전라북도	대중교통 이용 활성화, 자전거 이용확대, 에코드라이빙 활성화, 녹색교통 체계구축, 녹색물류 체계구축, 하이브리드카 보급
9	경상남도	경차 보급 확대, 경상남도 버스정보시스템(BIS) 구축, CNG버스 보급, 자전거 이용 활성화, 지능형교통체계(ITS) 구축, 경량전철 도입 및 기존 철도망의 전철화, 자동차 공회전 제한장치(Idle Stop&Go) 부착, 권역별 지역물류단지 조성, 그린카 보급

자료: 한국환경공단(2014), 지자체 온실가스 감축 사례집

4. 관련 법·제도 검토

1) 관련 법규 검토

2009년 11월에 우리나라는 국가 온실가스 감축목표를 설정하고 대외적으로 공표하였다. 이에 따라 정부는 국가 온실가스 감축목표를 산업, 건물·교통, 농·축산 등 부문 및 부문내 세부 업종별로 구체화한 감축목표(안)를 마련하였으며 2011년 6월, 환경부는 국내 온실가스 배출량 중 16.2%를 차지하는 수송부문의 온실가스 감축을 위해 2012년부터 자동차 온실가스 배출규제를 실시한다고 고시하였다.

이와 함께 교통부문에서는 지속가능 교통물류 발전법이 2009년 12월부터 시행되었으며 저탄소 녹색성장 기본법이 2010년 4월부터 실시되었다. 대기환경보전법에서도 교통부문을 담고 있으며 4장 자동차·선박 등의 배출가스 규제 제50조(제작차배출허용기준 검사), 제58조(저공해자동차의 운행 등)에서 배출가스 차량의 제작과 검사, 운행제한 등을 기술하고 있다.

<표 13> 저탄소 녹색교통 관련 법령

구 분	목 적
저탄소 녹색성장 기본법	경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민경제 발전을 도모하며, 저탄소 사회를 구현하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는 데 이바지함
지속가능 교통물류 발전법	기후 변화, 에너지 위기 및 환경보호 요구 등 교통물류 여건 변화에 대응하는 지속가능 교통물류정책의 기본방향과 그 수립 및 추진 등에 관한 사항을 규정함으로써 현재 세대와 미래 세대를 위한 교통물류의 지속가능 발전기반을 조성하고 국민경제의 발전과 국민의 복리향상에 이바지함
대기환경보전법	대기오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함을 목적으로 함

자료 :법제처, 각 법령

2) 국내·외 사례검토

(1) 국내 공해차량제한지역(LEZ: Low Emission Zone) 검토

가. 도입배경

서울·인천·경기도는 대기환경의 개선효과를 높이고, 대기오염의 광역적 특성을 감안하여 저공해화 미이행 차량의 운행제한 조치를 취할 수 있는 제도적 장치로서 관계전문가, 시민 등 광범위한 의견 수렴을 거쳐 경기도를 시작으로 수도권에서 이 제도가 시행되고 있다.

나. 법적근거

「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」 제28조의 2에 근거하여 공해차량 제한지역을 지정하여 배출가스저감장치 미부착 차량의 운행을 제한하고 있고, 운행제한 자동차의 범위와 지역, 시행시기, 과태료 부과사항 등 사항에 필요한 사항들은 조례에 위임되어 서울/경기/인천에서 “공해차량제한지역”(LEZ)이 지정·운영되고 있다.

다. 운행제한 대상

운행제한 대상차량은 배출가스 보증기간이 경과하여 정밀검사를 받은 결과를 토대로 운행제한 대상이 된다.

- 배출허용기준을 초과
- 총중량 2.5톤 이상, 7년이 경과된 차량으로서 배출가스 저감장치 부착, LPG 자동차 개조 등의 저공해 조치 명령을 받은 후 이를 이행하지 않은 특정 경유자동차.⁶⁾

지자체별로 LEZ의 관리방법에는 차이가 있으나, 공통적으로 처음 위반한 차량은 행정지도 계도가 이루어지고, 두 번째 운행제한 위반부터 20만원씩 과태료가 부과되고, 최대 누적 과태료는 200만원이다.

라. 운영 현황

공해차량제한지역(LEZ)은 저공해화(DPF 등 부착, LPG 엔진교체 등)조치를 미 이행한 노후 경유자동차의 운행을 제한하는 지역으로 정의된다. 현재 공해차량제한지역은 서울/경기/인천 각각의 조례에 위임되어 지정·운영되고 있다.

6) 저공해 조치 제외대상 : 집게차, 구급차, 사다리차, 크레인, 학원버스, 마을버스, 살수차, 청소차, 전경차, 사료운반차, 시행주행만 하는 택배차

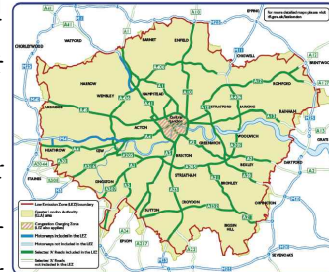
(2) 국외 공해차량제한지역(LEZ: Low Emission Zone) 검토

가. 런던

■ 운영현황

저배출 지역(Low Emission Zone : LEZ)은 런던 권역 내에 지정된 특정 환경관리 지역이다. 저배출 지역에서 오염물질을 다량 배출하는 경유자동차는 특정 배출허용 기준을 충족시켜야 한다.

저배출 지역에는 런던 경계 대부분이 포함되며, 몇몇 장소는 적절한 우회로와 선회지점을 배려하기 위해 제외하고 있다. 모든 혼잡통행료 지역이 저배출 지역에 포함되어 있어 통행 부과금 면제 또는 100% 할인 대상이 아닌 차량이 런던 중심지역 혼잡통행료 지역을 운행할 경우 혼잡통행료 이외에 1일 요금을 지급하도록 하고 있다.⁷⁾



런던의 저배출 지역(LEZ)

나. 도쿄

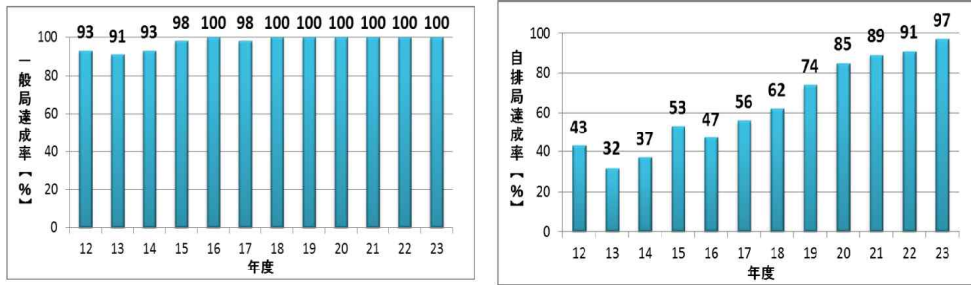
■ 운영현황

경유자동차 배출가스에 포함되는 미세먼지는 입자상 물질이 건강에 미치는 영향은 화학적 조성 및 입자의 크기에 따라 다르며, 입자의 크기가 작을수록 폐에 대한 악영향이 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한 미세입자는 상대적으로 넓은 흡착 표면적을 제공함으로써 중금속, 잔류성 유기오염물질, 내분비계 장애물질의 이동수단 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 도쿄도는 도민의 건강과 안전한 생활환경을 확보하기 위해 환경확보조례를 제정하기에 이르렀다. 특히 도쿄 조례에서 정하는 PM 배출기준을 만족시키지 못하는 경유자동차의 운행을 도내 전역에서 제한하는 독자적인 운행자동차 규제(주행규제)를 국가에 앞서 실시하기로 방침을 정하였다.

도쿄시에서 제안한 경유자동차 차량운행 속도규제는 수도권의 사이타마현(2001년 7월), 치바현(2002년 3월), 가나가와현(2002년 9월)에 파급되어, 대기환경 개선을 목표로 하고 있던 각 현은 도와 거의 동일한 규제를 조례에서 규정하게 되었다.

7) 혼잡통행료는 월요일~금요일, 7:00AM~6:00PM만 적용됨

<그림 16> 도쿄도 NOx 환경기준 달성현황



[NOx(일반 도시대기측정소)]

[NOx(도로변 측정소)]

자료 : 도쿄도 홈페이지, 2013, 도쿄도 자동차배출가스 질소산화물 및 입자상물질 총량 삭감계획

다. 베를린

■ 운영현황

베를린은 밀집형 도시구조로 자동차 운행의 절반 수준인 50%가 5km이내에서 이루어지고 있다. 베를린의 도로교통수단에서 배출되고 있는 PM10 및 이산화질소 배출량은 총 배출량의 각각 40%, 80%수준이다.

따라서 베를린 시정부는 도로교통관련 배출량을 감소시키기 위해 철도망으로 둘러쳐진 베를린 시내(88km² 면적에 백만명의 주민이 거주하는 밀집된 지역)를 환경지역으로 지정·운영하고 있다.

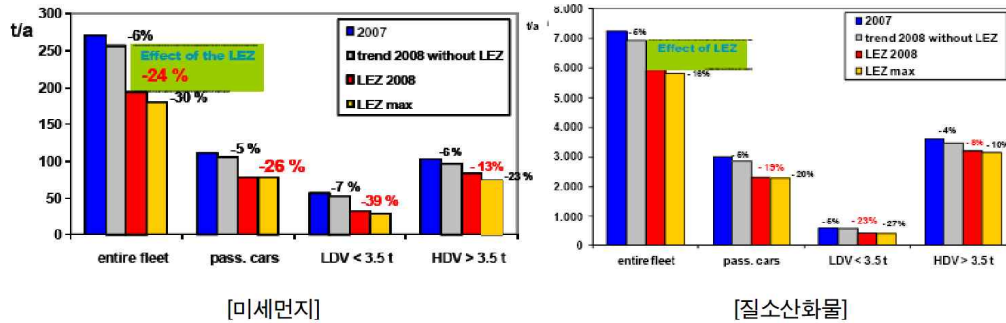


베를린 환경지역

<그림 17> 베를린 환경지역 표지판 설치모습



<그림 18> 환경지역 시행에 따른 대기오염물질 배출량 저감효과



(3) 국내 조기폐차 제도

가. 제도의 개요

노후경유자동차 조기폐차 제도는 수도권 대기환경개선 대책의 일환으로 노후된 차량일수록 더 많은 대기오염 물질을 배출하는 노후 경유 차량에 대해 조기폐차 보조금 지급을 통해 노후 차량을 조기폐차 하도록 유도하여 수도권의 대기질을 개선하는데 목적이 있다. 조기폐차 보조금 지원 대상 차량이 되기 위해서는 다음과 같이 6가지 기준을 모두만족 해야 한다.

- i) 대기관리권역에 2년 이상 연속하여 등록된 경유자동차
- ii) 검사결과가 「대기환경보전법」 제63조 규정에 의한 운행차 정밀검사의 배출허용기준 이내인 자동차
- iii) 서울특별시장등 또는 절차대행자가 발급한 '조기폐차 대상차량 확인서'상 정상가동판정이 있는 자동차
- iv) 정부지원(일부지원 포함)을 통해 배출가스 저감장치를 부착하거나 저공해 엔진으로 개조한 사실이 없는 자동차
- v) 최종 소유자의 소유기간이 6개월 이상인 경유자동차
- vi) 차량 7년 이상인 자동차

조기폐차 보조금의 현행 지원율은 차량가액의 80%로 차량가액은 보험개발원에서 6개의 기준으로 차량별 차량가액을 산정한다. 6개의 차량 가액산정 기준은 다음과 같다.

- i) 차종 분류는 자동차등록증에 기재된 출고 당시의 차종 형식중 기본형으로 한다.

- ii) 당해 연도 분기별 차량 기준가액표에 적시된 금액을 차량기준가액으로 하고, 당해 연도기준가액표에 표기되지 않은 연식의 차량가액은 당해 연식이 기재된 최근 연도 기준가액에 매년 20%의 감가상각률을 적용하여 산정한다.
- iii) 산정된 기준가액의 최소지급 단위는 만원으로 하고, 만원 이하단위는 절삭 한다.
- iv) 차량기준가액표에 표기되지 아니한 차량의 경우에는 제작사, 차명, 형식(외형), 차량 용도, 차령을 기준으로 가장 유사한 차량의 기준 가액을 적용한다.
- v) 차량용도 구분은 자동차등록증에 기재된 것을 기준으로 하되, 영업용으로 사용된 이력이 있는 차량은 이를 영업용으로 본다.
- vi) 차령 7년부터 9년까지의 자동차에 지급하는 보조금은 같은 종류의 차령 10년 자동차와 같다.

한편, 조기폐차 보조금이 차량가액의 80%를 지원한다 하여도 차량가액 80% 전부를 지급하는 것은 아니다. 차종별 상한액이 있어 차량가액 80%가 상한액을 초과하게 되면 최대 금액으로 상한액만큼만 지원하게 된다. 조기폐차 보조금 차종별 상한액은 다음의 표와 같다.

<표 14> 차종별 조기폐차 보조금 상한액

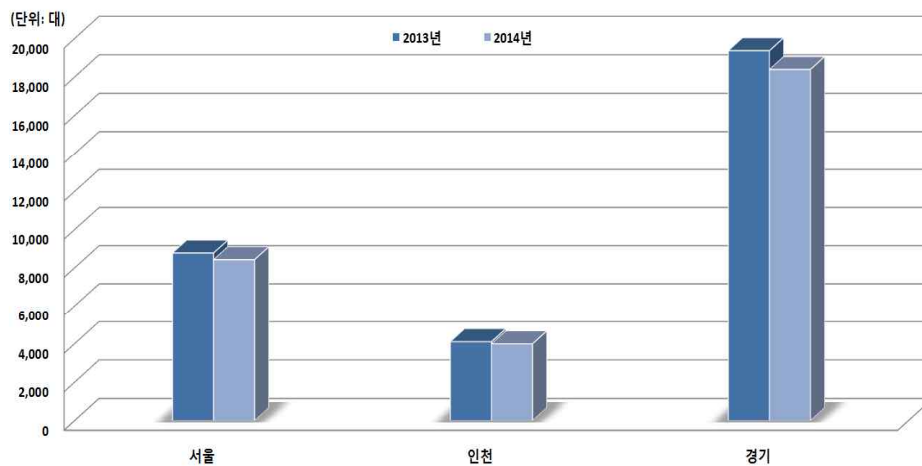
차종별	차종 예시	조기폐차보조금 상한액
RV 차량	카니발, 무쏘, 코란도, 겔로퍼, 록스타, 스포티지	150만원
소형승합	그레이스, 프레지오, 이스타나, 스타렉스, 베스타 등	150만원
중소형화물 (총중량 3.5톤 미만)	봉고, 포터, 프런티어 등	150만원
대형화물/버스 (총중량 3.5톤 이상)	배기량 6천CC 이하	400만원
	배기량 6천CC 초과	700만우너

자료: 한국자동차환경협회

나. 조기폐차 현황

조기폐차 보조금 지원 제도는 수도권 지역(서울시, 경기도, 인천시)에서 시행중에 있으며 최근 2년간 조기폐차 통계를 보면 2013~2014년 서울시의 경우 8,778대, 8,433대이며 인천시의 경우 4,103대, 3,991대이고 경기도는 19,366대, 18,398대가 각각 조기폐차 되었다. 각 지역에 대하여 차종에 따라서 연식별로 조기폐차 대수를 살펴보면 다음과 같다.

<그림 19> 수도권지역 조기폐차 대수

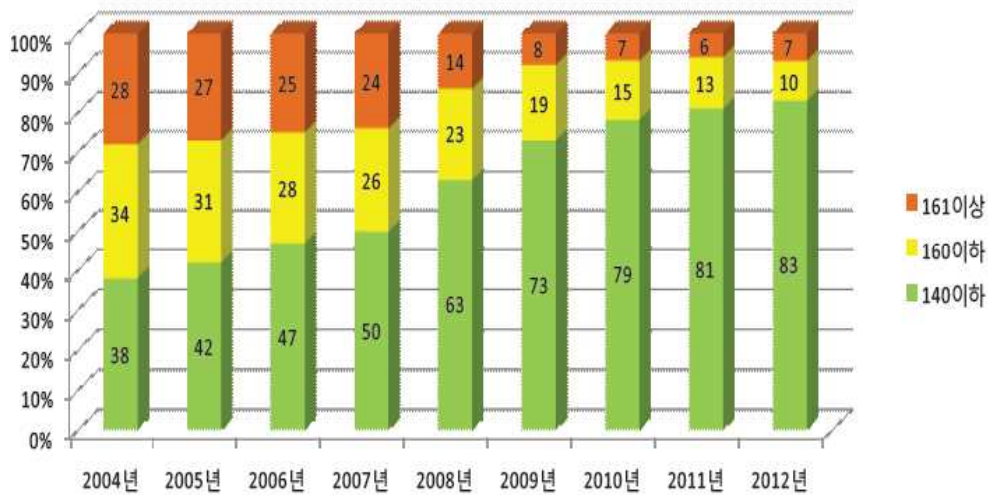


(4) 국외 조기폐차 제도

가. 프랑스

프랑스의 저탄소차 보급 촉진제도는 크게 노후차량 폐차 인센티브 (Scrap Incentive Scheme, SIS)제도와 보조금-부담금(Bonus-Malus) 제도가 있다. 먼저 노후차량 폐차 인센티브 제도는 노후차량을 폐차하고 기준 이하의CO2를 배출하는 신차를 구매하는 경우 일 금액의 보조금을 지급하는 제도이다. 이는 2007년 12월부터 경기부양과 소형 및 친환경 차량구매 지원방안의 일환으로 시행되었다.

<그림 20> 저탄소 차량의 이전효과



자료: Changeons L'automobile, RENAULT(르노자동차, 2013)

제도 시행 결과, CO₂ 배출량 감소량이 제도 시행 이전 2001~2007년 기간에는 연평균 1.8g/km 수준 이었으나 시행 이후 연평균 4.8g/km 수준으로 낮아졌다. 특히, 제도 시행 첫해인 2008년에는 연평균 배출량이 약 8g/km 정도 감축하였다.

나. 캐나다

캐나다는 2007년 3월에 고효율 차량에 대한 소비자의 구매를 유도하고자 차량효율인센티브제(Vehicle Efficiency Incentive, VEI)를 도입하였다(DFC, 2007). 이는 2011년부터 시행예정인 연비규제에 앞서 기술 효율화를 견인함과 동시에 소비자의 고효율 차량 구매를 독려하고자 2년 동안의 시범사업으로 도입되었다(DFC, 2007). 차량효율인센티브 제도는 보조금 지원제도(ecoA UTO)와 세금 부과제도(Green Levy)로 구분된다. 보조금 지원제도는 캐나다 교통부에 의해 운영되며 승용차의 경우 6.5L/100km, 소형트럭 8.3L/100km보다 높은 연료 효율 차량에 대해서 최대 \$2,000(CAD)의 보조금을 지원하였다.

<표 15> VEI 구간별 보조금 및 부담금

(단위: 천\$)

연료효율 (L/100km)	보조금(CAD)		부담금(CAD)
	승용차	미니밴, SUV, 소형트럭	
5.5 이하	\$2	\$2	-
5.6 ~ 6.0	\$1,5	\$2	-
6.1 ~ 6.5	\$1	\$2	-
6.6 ~ 7.3	-	\$2	-
7.4 ~ 7.8	-	\$1,5	-
7.9 ~ 8.3	-	\$1	-
8.4 ~ 12.9	-	-	-
13.0 ~ 13.9	-	-	\$1
14.0 ~ 14.9	-	-	\$2
15.0 ~ 15.9	-	-	\$3
16 이상	-	-	\$4

자료: DFC(2007)

유럽 여러 나라에서 저탄소차 협력금제도와 유사한 제도를 도입하여 시행 중에 있다. 프랑스의 보조금-부담금(Bonus-Malus) 제도가 저탄소차 협력금제도로써 CO2 배출량에 따라서 보조금 및 부담금을 지급 및 부담하는 전형적이고 대표적인 제도이다. 반면, 본 절에서 소개하는 유럽 나라들의 제도는 기본적으로 차량에 대한 높은 과세를 적용하거나 세금을 면제해 주는 형태이다.

<표 16> 국외 저탄소차 협력금제도 도입국가

국가	도입시기	주요내용
네델란드	2006.7	2001 년부터 CO2 배출에 따라 차량을 A~G까지 7단계로 구분하여 차량에 라벨을 부착하게 하고 2006년 부터는 A~B 단계 차량에 대해 자동차 등록세의 일부(최대 \$2,058)를 감면 D~G 단계 차량에 등록세에 추가로 부담금(최초대 \$2,352)을 부과
노르웨이	2009.1	2007 년부터 CO2 배출량에 따라 차량 등록세를 차등화해서 부과하고 있는 가운데 2009년부터는 120g/km를 기준으로 그 이상 차량에 대해서는 g/km당 최대 \$83을 감면, 반대로 120g/km 이하의 효율을 가진 차량에 대해서는 부담금을 부과, 특히 250g/km 이상 차량에 대해서는 g/km당 최대 \$415 의 부담금을 부과
덴마크	2007.7	1997 년부터 CO2 배출량에 따라 자동차세를 부과한 가운데 2007년부터는 연비에 따른 차량등록세를 추가로 부과 가솔린 차량은 연비 16km/L, 디젤 차량은 18km/L을 기준으로 배출량이 이보다 낮은 차량에 대해서는 km/L당 최대 4,000DKK의 장려금 부여, 반대로 기준보다 높은 연비 차량에 대해서는 km/L당 최대 1,000DKK의 페널티 부과
벨기엘 alloon 지역	2008.1	CO2 배출량에 따라 2012년 기준 중립구간을 81~145g/km로 설정하여 보조금과 부담금을 부과 81g/km 이하 차량에 대해 구입비용의 최대 15 %(최대 €3,500) 이내에서 보조금 지급 145g/km 이상인 차량에 대해 최대 €2,500의 부담금 부과
오스트리아	2008.7	차량 등록시 CO2 배출량에 따라 세금을 감면 또는 추가 부과 150g/km 이상 배출 차량에 대해 g/km당 €25 부담금 부과 210g/km 이하 차량에 대해 최대 €300 보너스 지급

자료: Bunch et al.(2010); ACEA(2014)

5. 시사점

우리나라가 국제적으로 발표한 BAU 대비 30% 온실가스 감축을 달성하기 위해서는 교통부문을 포함한 전 부문에서 실질적인 감축이 이루어져야 한다. 온실가스 배출량이 전력 및 열생산 부문에 이어 두 번째로 높은 교통부문은 친환경 하이브리드, 전기자동차의 도입 등 기술적인 개선을 통해 상대적으로 감축 잠재량이 많다고 예상된다. 그러나 현재 교통부문의 배출가스 감축을 위한 구체적인 지자체 시행 사례나 보편화된 사례는 매우 부족한 실정이며 장기간 계획단계에 머물고 있다.

관련 연구 검토 결과, 교통부문의 기존 연구들은 온실가스 및 대기오염 물질의 배출량 산출 방법론에 국한되어 있었으며, 실제 감축방안과 기술개발에 대한 연구는 미비했다. 반면, 자동차 및 기계, 환경분야에서는 온실가스 감축에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 최근에는 도시의 토지이용과 교통데이터 분석을 통해 도시 대기오염을 저감시키며 온실가스 배출량을 줄이는 학술연구가 진행되고 있어 도로 운영과 체계에 대한 접근이 부각되고 있음을 확인할 수 있다.

국외에서도 선진국들을 중심으로 온실가스 감축을 위해 다양한 정책들이 시도되고 있다. 미국의 탄소세 부과 정책, EU의 전환교통 프로그램(마로코플로), 독일의 도시계획과 교통의 연계(압축도시 개발) 등 과 같이 국내에서도 온실가스 감축을 위한 보다 구체적이고 다양한 실행방안들이 마련되어야 할 것이다.

국내의 교통부문 온실가스 감축을 위한 녹색교통 정책은 대중교통이용 활성화, 자전거이용 활성화, 천연가스차량 보급, 교통수요관리로 압축되며 정부 주도의 기술개발이 진행되고 있는 것으로 나타났다. 지자체에서 대기망 측정자료를 활용하여 정책 방안을 강구하거나 배출량 감소 대책을 수립하는 경우는 전무한 실정으로 주로 환경부 주도의 배출가스 할당에 대응하고 있는 것으로 볼 수 있다. 환경부와 국립환경과학원은 지자체 감축계획의 합리적 수립을 지원하기 위하여 「지자체 온실가스 감축계획 수립 가이드라인」을 2010년 7월 작성·보급 한 바 있으며 국내 7대 대도시가 선도적으로 온실가스 감축의지와 이행방안을 촉구하였다. 지자체의 온실가스 감축행동이 본격화 되고 보다 체계적으로 추진될 것으로 전망된다.

제3장 도로부문 대기오염물질 배출량 산출방법

1. 도로이동오염원 배출량산정 기법

교통부문의 배출량 산정연구는 두 가지로 분류되고 이는 하향식(Top-Down Approach, TDA) 기법과 상향식(Bottom-Up Approach, BUA) 기법으로 구분된다.⁸⁾

- TDA 기법 : 평균화된 일일주행거리와 속도 등을 이용하여 전체적인 배출량을 추정하고 지역 현황(면적 등)에 따라 배분하는 방법이다.
- BUA 기법 : 교통수요예측 모형을 통해 각 도로구간의 교통량을 예측하고 도로연장과 배출계수를 적용하여 도로별 배출량을 상향식으로 합산하는 방식(거시적 BUA)과 도로에 설치된 검지기와 미시적 시뮬레이션을 통한 미시적 교통량 및 통행속도 자료를 활용하여 도로상황 및 개별차량의 주행행태에 따른 배출량을 산정하는 방식(미시적 BUA)이다.

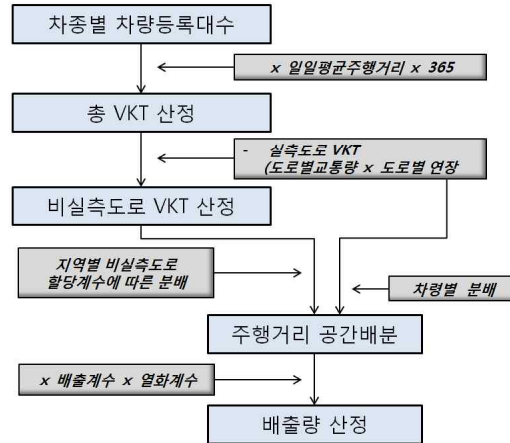
2. 국가 대기오염물질 배출량 산출방법(국립환경과학원)

1) 엔진가열(HOT-start) 배출량

도로별 교통량은 모든 도로에 대하여 관측되지 않기 때문에 차종별 차량 등록대수와 평균 주행거리를 이용하여 차량 총 주행거리(Total VKT)를 산정한다. 이를 교통량이 관측되는 도로의 차량주행거리(VKT)와 교통량 비실측도로로 나누어 공간 배분을 한다. 이 결과를 배출계수에 적용하여 도로별 배출량을 산정한다.

8) 최기주 외(2009), “도로이동오염원 배출량 산정을 위한 Bottom-Up Approach 기법의 개선에 관한 연구”, 「대한교통학회지」, 27(4), pp.183-193.

<그림 21> 엔진 가열(Hot-start) 배출량 산정 흐름도



자료: 국립환경과학원(2013)

3. 온실가스 배출량 산출방법

1) IPCC 가이드라인

IPCC 가이드라인 상의 온실가스 배출량 산출 방법은 다음과 같다.

<표 17> 온실가스 배출량 산출방법

방법	계산방법	활동도 자료
Tier1	$= (\ell \times \text{tonC/TOE} \times \text{산화율}) \times 44/12$ - ℓ: 연료소비량(TOE로 환산) - tonC/TOE: 탄소배출계수 - 산화율: 석유제품(0.99), 가스(0.995) * 차종별, 연식별, 구분시 등록대수 이용	- 연료소비량 - 차종별 등록대수
Tier2	$= \text{차속별 교통량(km/yr)/연비(km/\ell)}$ $\rightarrow \text{연료소비량}$ $= (\ell \times \text{tonC/TOE} \times \text{산화율}) \times 44/12$ - 연비: 차속별 연식별 연비계산	- 차종별 속도별 교통량 - 차종별 등록대수
Tier3	$= \text{배출계수(g/km)} \times \text{주행거리(km/yr)}$ - 배출계수: 차속별 배출계수 활용 - 주행거리: 차속별 주행거리 활용	- 차종별 속도별 교통량

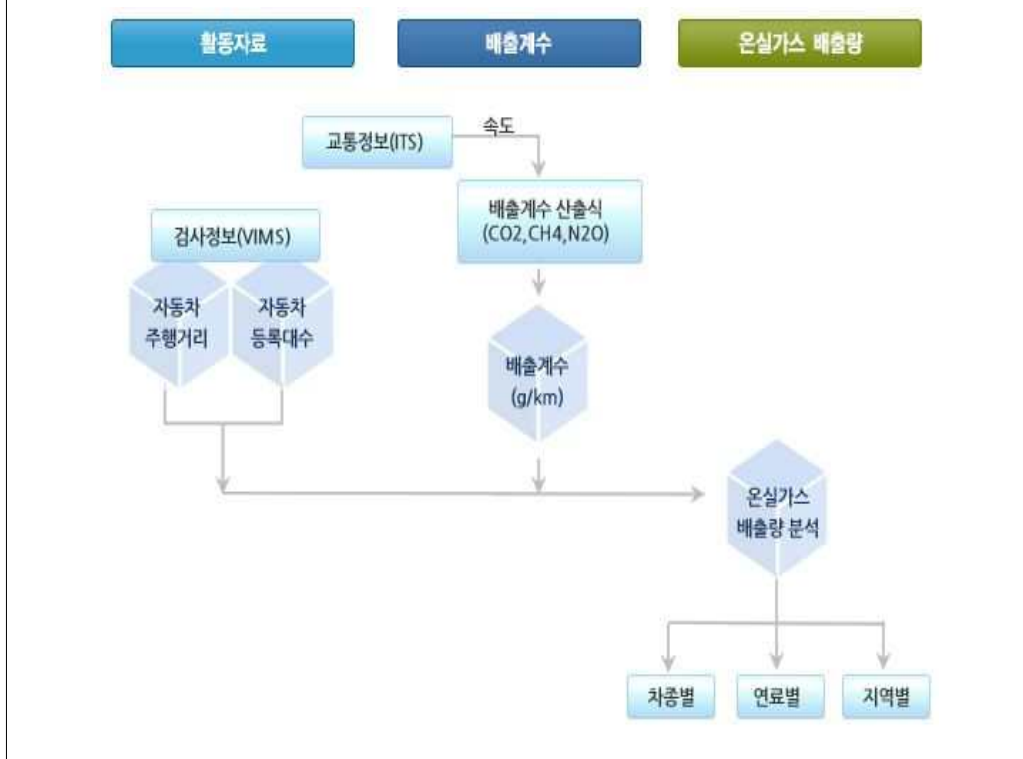
2) 교통안전공단

교통안전공단의 도로부문 온실가스 배출량 산정은 자동차 주행거리, 등록대수 자료와 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정한다.

<그림 22> 교통안전공단의 도로부문 Tier3 온실가스 배출량산정 방법론

도로부문 Tier3 온실가스 배출량⁹⁾

⇒ 자동차 1대당 주행거리(km/대) × 자동차 등록대수(대) × 온실가스 배출계수(g/km)

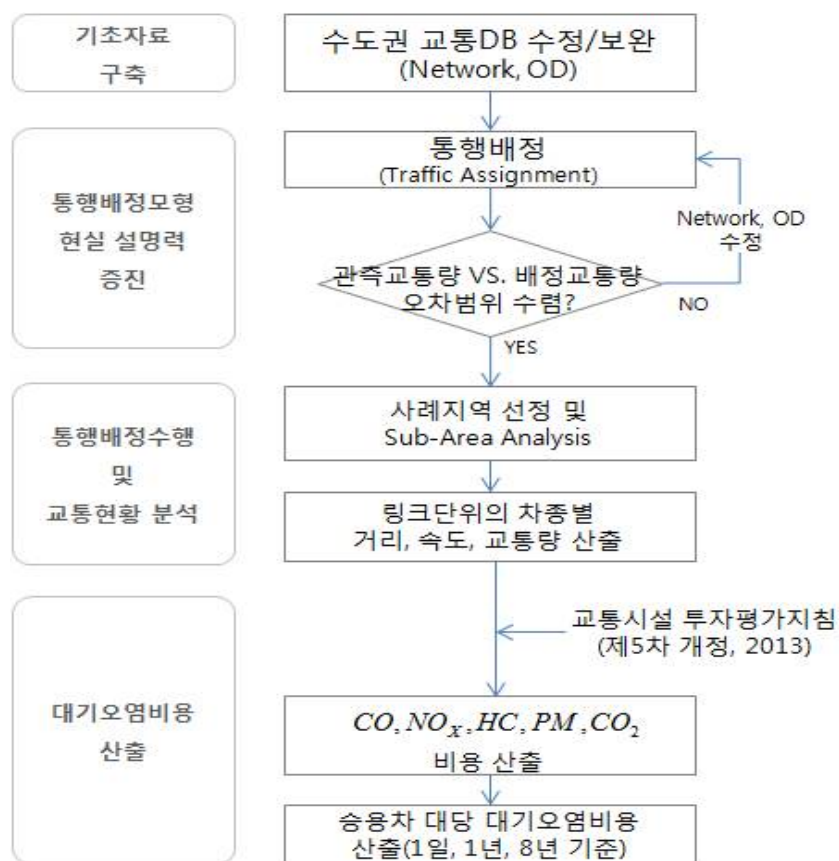


9) 교통부문 온실가스 관리시스템(<https://www.kotems.or.kr>)의 지자체 온실가스 산정방법론

4. 교통수요예측 모형을 이용한 산출방법

교통수요예측 모형을 이용한 산출방법의 절차는 다음과 같다. 첫째, 공신력 있는 교통수요 분석 기초자료(O/D, Network)를 이용하여 기초자료를 구축하다. 둘째, 통행배정모형의 현실 설명력 증진을 위하여 네트워크 현황정산을 수행한다. 셋째, 사례지역에 링크단위의 속도, 교통량, 거리 등의 속성자료를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산출한다. 여기서 교통시설 투자평가지침 등을 활용하여 속도별, 차종별 대기오염물질 배출량 원단위를 적용한다.

<그림 23> 교통수요예측 모형을 이용한 대기오염물질 산정 방법론 흐름도(예시)



자료: 한국환경정책평가연구원, 친환경차 보조금 지원 정책의 온실가스 감축효과 연구, 2015.

예비타당성조사 지침(한국개발연구원)과 교통시설 투자평가편람(국토교통부)에서 사용되는 방법론을 요약하면 다음과 같다.

<표 18> 타당성조사 지침 상의 대기오염배출량 산정식

$\text{대기오염배출량} = \sum_l \sum_{k=1}^3 (VKT_{lk} \times EQ_k)$	
여기서,	VKT_{lk} : 링크별(l), 차종별(k) 대-km EQ_k : 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당 대기오염배출량(g/km) (Emission Quantity) k : 차종 (1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

5. 교통수요분석

1) 기초자료의 구성

정부에서 마련한 투자평가 지침과 예비타당성 지침의 교통수요예측 부문을 살펴보면 국가교통DB에서 제공하는 자료를 사용할 것을 명시하고 있다.

- 국가통합교통체계효율화법 제18조 및 동법시행령에 근거한 「교통시설 투자평가지침 개정안, 국토교통부, 2013.11」에 따르면, 장래 교통수요 예측시 “국가교통DB구축사업에서 제공하는 최신자료를 사용” 하여 교통사업의 타당성을 평가하도록 함 (교통시설 투자평가지침 개정안, 국토교통부, 2013.11, p.19)
- 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구[제5판], 한국개발연구원, 2008.12」에서도 예비타당성 조사의 교통수요 추정을 위한 기본 자료로 교통개발연구원 국가교통DB에서 구축한 국가교통DB의 O/D 및 Network 자료를 사용하는 것을 원칙으로 한다” 라고 명시하고 있음

본 연구에서는 2013년 기준년도의 KTDB 자료를 이용하여 교통수요분석을 수행하였다. 전국기반의 O/D와 네트워크를 활용하였으며 교통존은 251개로 구성되어 있다. 장래년도는 2015년부터 2040년까지 5년 단위의 O/D와 네트워크가 배포되고 있으며 장래 여건변화에 따른 교통수요예측 분석에 활용된다.

<표 19> 기초자료의 구성

구분		기준년도	내 용
O/D	여객	2013년	- 교통존 : 251개(기준년도), 251개(장래년도) - 장래년도 : 2015년 ~ 2040년 (5년 단위)
	화물	2013년	- 교통존 : 251개 - 장래년도 : 2015년 ~ 2040년 (5년 단위)
네트워크		2013년	- 교통존 : 251개(기준년도), 251개(장래년도)

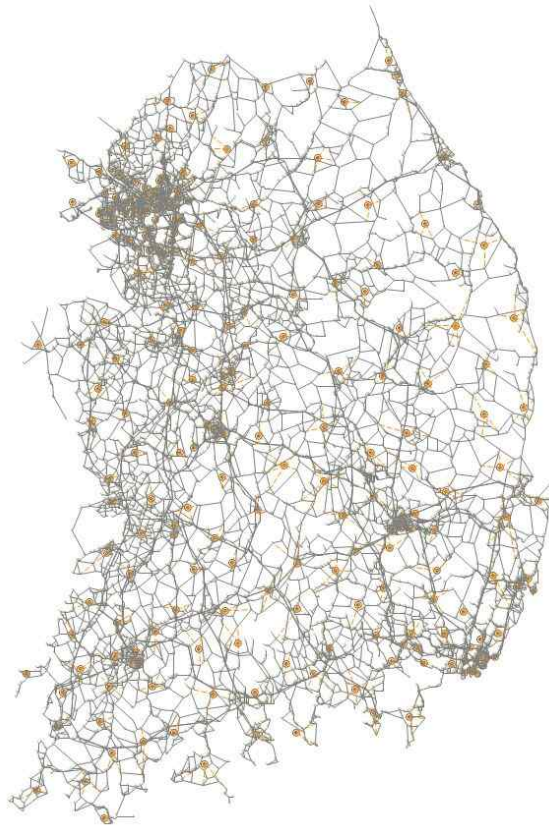
자료: 한국교통연구원, 교통수요분석 기초자료 설명내역

2) 분석 교통망(Network) 구축

KTDB¹⁰⁾에서 배포하는 251개의 교통존 체계의 Network를 기준으로 한다.

- 현황 Network : Network의 입력자료인 도로기능, 연장, 차로수, 설계속도 등을 현실에 부합되도록 현황 Network를 구축하였다.
- 장래 Network : 「2013년도 전국 교통수요 분석 기초자료, 한국교통연구원, 2015.03」에서 수정·배포된 Network를 기본으로 하였으며, 수정 되었거나 반영되지 않은 계획을 추가적으로 반영하였다.

<그림 24> KTDB 분석교통망(Network)

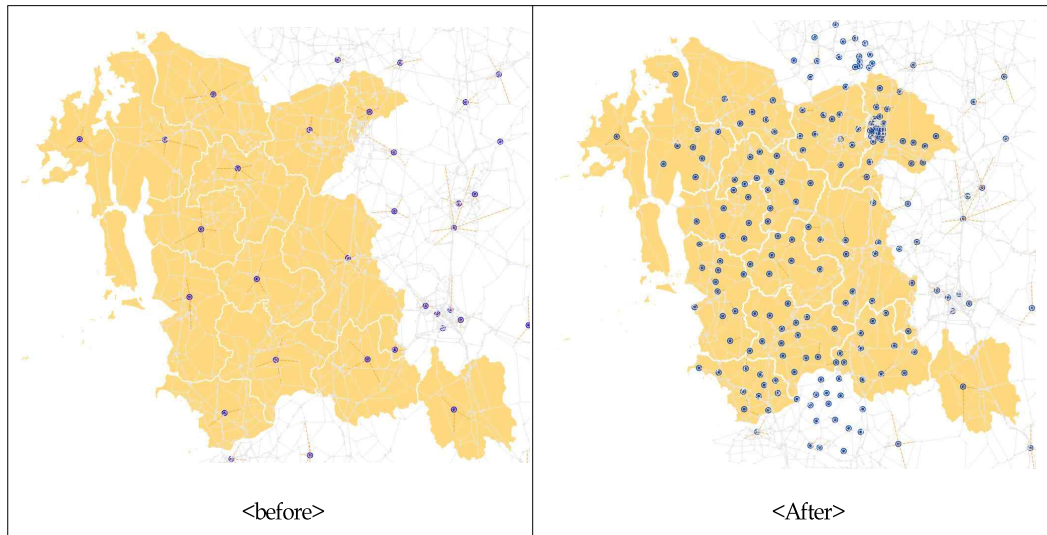


10) 한국교통연구원, 2013년도 전국 교통수요 분석 기초자료, 2015.03

3) 교통존 세분화

교통존은 교통수요분석의 기본단위가 되는 공간적 범위를 의미한다. 기존의 교통존 체계로 네트워크와 상세성이 일치하지 않을 경우 교통존을 세분화하는 절차를 수행한다. 본 연구에서도 충남지역의 교통존을 다음과 같이 세분화하였다.

<그림 25> 충남지역 교통존 세분화



4) 네트워크 현황정산

네트워크 현황정산은 장래 교통수요예측의 신뢰성을 향상시키는 방법이다. 통행배정모형을 통하여 도출된 기준연도의 배정교통량과 실측교통량과의 비교검증하는 단계이다. 네트워크 현황정산 시 오차율 산정방법은 다음과 같다.

$$\varepsilon(\%) = \frac{f_l^{est} - f_l^{obs}}{f_l^{obs}} \times 100$$

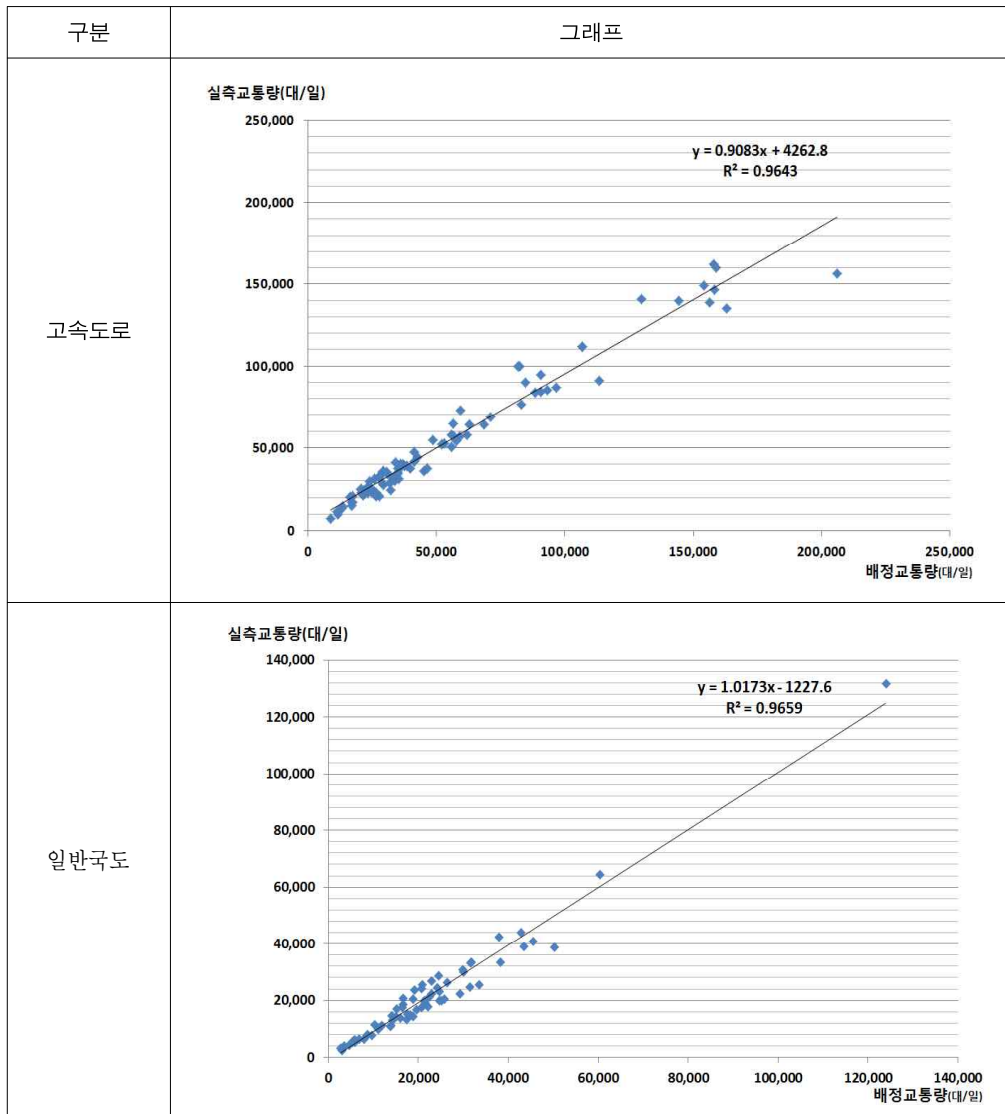
여기서, ε : 오차율(%)

f_l^{est} : 사용자균형 통행배정 교통량

f_l^{obs} : 링크의 관측교통량

관측교통량과 배정교통량의 적합도를 R-square 값을 통하여 검토하였다. 검토결과, 고속도로와 일반국도의 R-square 값이 모두 0.9를 상회하는 결과가 도출되어 통행배정모형의 현실성명령이 존재하는 것으로 판단된다.

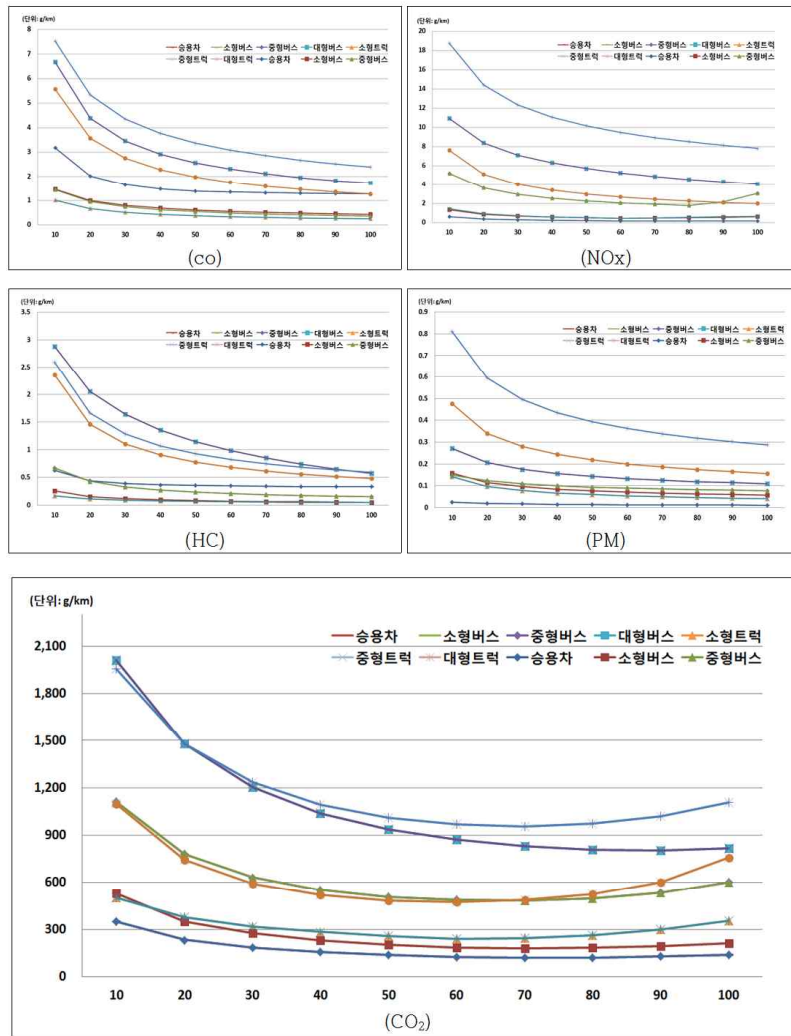
<그림 26> 배정교통량과 관측교통량의 R-square 산출결과



5) 차종별, 속도별 대기오염물질 배출계수

예비타당성조사지침에 제시된 차종별, 속도별 대기오염물질 배출계수를 이용하여 도로부문의 대기오염물질 배출량을 산출하였다.

<그림 27> 차량별, 속도별 대기오염물질 배출계수 그래프

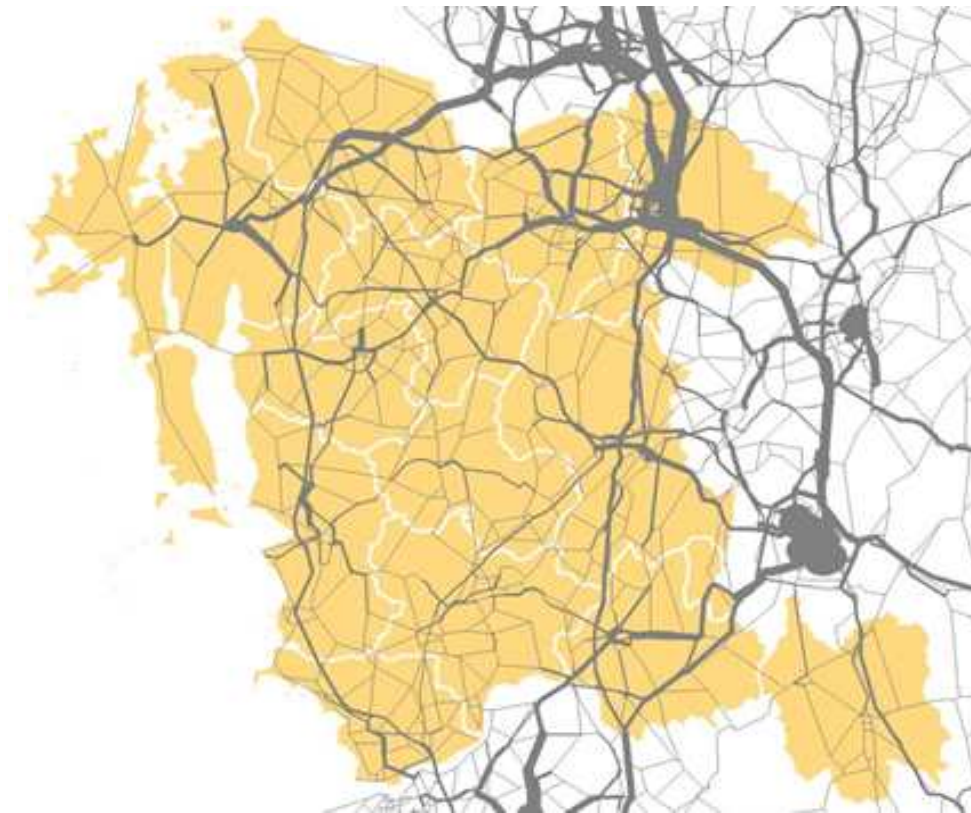


자료: 한국개발연구원(2008), 예비타당성조사지침 상의 차종별, 속도별 대기오염물질 배출계수 참조

6) 충남지역 통행배정 결과

교통수요모형을 이용하여 2016년의 PM10, NO_x, CO₂ 배출량을 산출한다. 국립환경과학원의 도로이동오염원 산출방법은 일부 관측교통량 자료를 이용하여 실측도로의 VKT를 산출하고 나머지 비실측도로의 VKT를 산출하여 적용한다. 이와 다르게 교통수요모형을 이용할 경우 관측교통량 자료와 거시적 교통수요모형 시뮬레이션 결과(통행배정 결과)가 유사하다는 검증(네트워크 현황 정산) 하에 모든 도로망의 교통량 자료를 추정할 수 있다. 이를 통하여 추정된 모든 도로망의 교통량과 속도는 도로부문의 이동오염원에 대한 대기오염물질별 배출량을 산출하는 데에 활용된다.

<그림 28> 충남지역 통행배정결과(2016년 기준)



제4장 충남 도로부문 대기오염물질 배출량 현황과 시사점

1. 국립환경과학원의 PM10, NOx 배출량 현황

1) PM10 배출량

전국에서 배출되는 PM10 중에서 충남의 배출량은 25.48%로 집계된다. 국립환경과학원의 대기오염물질 배출량 대분류 체계를 기준으로 PM10을 살펴볼 경우, 에너지산업연소 부문에서 배출되는 PM10은 전국을 기준으로 수도권 16.57%, 충남 41.86%, 그 외 지역¹¹⁾ 41.58%로 집계된다. 제조업연소 부문은 전국을 기준으로 수도권 0.91%, 충남 31.66%, 그 외 지역 67.43%로 집계된다. 또한, 도로이동오염원은 수도권 33.85%, 충남 7.64%, 그 외 지역 58.52%로 집계되어, 충남에서 배출되는 도로이동오염원 부문의 PM10은 전국을 기준으로 약 8%의 비중을 차지한다.

11) 그 외 지역은 총 13개 지역임. 세부적으로 부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 세종, 강원, 충북, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주를 의미함

<표 20> 전국 대비 충남 PM10 배출량(2013년 기준)

(단위: kg/년)

구분	수도권	충남	그 외 지역	전국
에너지산업연소	749,444 (16.57%)	1,893,560 (41.86%)	1,880,810 (41.58%)	4,523,814 (100.00%)
비산업연소	545,902 (27.93%)	116,954 (5.98%)	1,291,985 (66.09%)	1,954,841 (100.00%)
제조업연소	740,245 (0.91%)	25,648,025 (31.66%)	54,625,861 (67.43%)	81,014,131 (100.00%)
생산공정	281,341 (4.50%)	1,189,478 (19.04%)	4,777,698 (76.46%)	6,248,517 (100.00%)
에너지수송및저장	- -	- -	- -	- -
유기용제사용	- -	- -	- -	- -
도로이동오염원	4,096,272 (33.85%)	924,070 (7.64%)	7,082,439 (58.52%)	12,102,781 (100.00%)
비도로이동오염원	3,617,931 (23.85%)	1,173,167 (7.74%)	10,375,596 (68.41%)	15,166,694 (100.00%)
폐기물처리	74,968 (30.90%)	12,803 (5.28%)	154,840 (63.82%)	242,611 (100.00%)
농업	- -	- -	- -	- -
기타면오염원	99,525 (32.12%)	18,008 (5.81%)	192,296 (62.07%)	309,829 (100.00%)
합계	10,205,628 (8.40%)	30,976,065 (25.48%)	80,381,525 (66.12%)	121,563,218 (100.00%)

자료: 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

전국을 기준으로 PM10의 대기오염물질 배출량 대분류 체계별 비중을 살펴보면, 제조업연소 부분, 비도로이동오염원, 도로이동오염원 등의 순으로 높은 비중을 차지한다. 특히, 제조업연소 부분이 66.64%로 가장 높은 비중을 차지하고 도로이동오염원은 9.96%로 집계된다.

충남은 총 PM10 배출량 중 제조업연소 부분이 82.80%로 가장 높은 비중을 차지하며 도로이동오염원은 2.98%의 비중으로 나타난다.

<표 21> 전국, 수도권, 충남 PM10 배출량(2013년 기준)

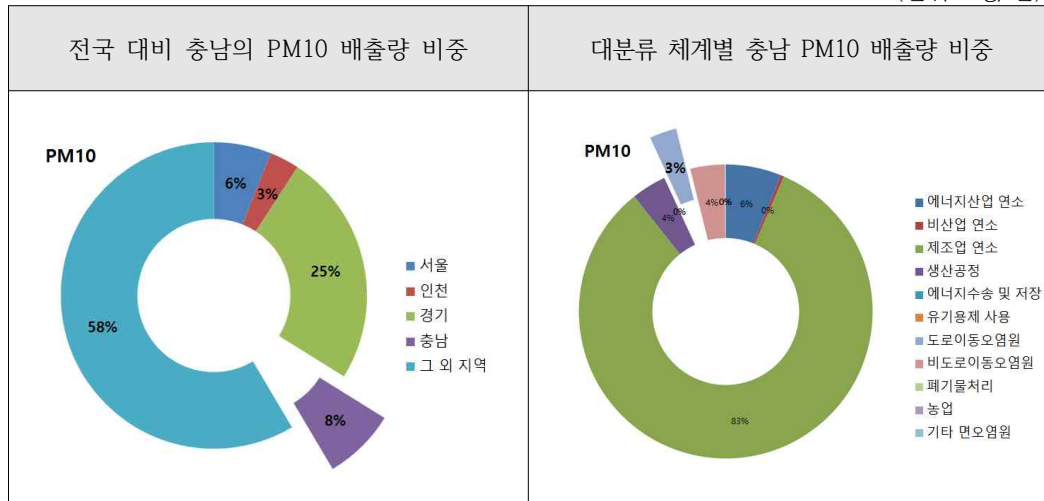
(단위: kg/년)

구분	전국		수도권 배출량	충남		기타지역 배출량
	배출량	비중(%)		배출량	비중(%)	
에너지산업연소	4,523,814	3.72	749,444	1,893,560	6.11	1,880,810
비산업연소	1,954,841	1.61	545,902	116,954	0.38	1,291,985
제조업연소	81,014,131	66.64	740,245	25,648,025	82.80	54,625,861
생산공정	6,248,517	5.14	281,341	1,189,478	3.84	4,777,698
에너지수송및저장	-	-	-	-	-	0
유기용제사용	-	-	-	-	-	0
도로이동오염원	12,102,781	9.96	4,096,272	924,070	2.98	7,082,439
비도로이동오염원	15,166,694	12.48	3,617,931	1,173,167	3.79	10,375,596
폐기물처리	242,611	0.20	74,968	12,803	0.04	154,840
농업	-	-	-	-	-	-
기타면오염원	309,829	0.25	99,525	18,008	0.06	192,296
합계	121,563,218	100	10,205,628	30,976,065	100	80,381,525

자료: 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

<표 22> 충남 PM10 배출량 비중

(단위: kg/년)



2) NOx 배출량

전국에서 배출되는 NOx 중에서 충남의 배출량은 13.16%로 집계된다. 국립환경과학원의 대기오염물질 배출량 대분류 체계를 기준으로 NOx를 살펴볼 경우, 에너지산업연소 부문에서 배출되는 NOx는 전국을 기준으로 수도권 13.77%, 충남 38.43%, 그 외 지역 47.80%로 집계된다. 또한, 도로이동오염원은 수도권 38.68%, 충남 7.08%, 그 외 지역 54.23%로 집계되어, 충남에서 배출되는 도로이동오염원 부문의 NOx는 전국을 기준으로 약 7%의 비중을 차지하는 것으로 집계된다.

<표 23> 전국 대비 충남 NOx 배출량(2013년 기준)

(단위: kg/년)

구분	수도권	충남	그외지역	전국
에너지산업연소	24,406,357 (13.77%)	68,102,771 (38.43%)	84,709,791 (47.80%)	177,218,919 (100.00%)
비산업연소	42,723,875 (48.13%)	3,891,253 (4.38%)	42,154,006 (47.49%)	88,769,134 (100.00%)
제조업연소	11,506,732 (6.46%)	19,118,418 (10.74%)	147,408,354 (82.80%)	178,033,504 (100.00%)
생산공정	4,056,066 (7.35%)	10,089,531 (18.29%)	41,005,365 (74.35%)	55,150,962 (100.00%)
에너지수송및저장	-	-	-	-
유기용제사용	-	-	-	-
도로이동오염원	129,861,331 (38.68%)	23,781,590 (7.08%)	182,077,880 (54.23%)	335,720,801 (100.00%)
비도로이동오염원	68,355,012 (27.78%)	18,267,609 (7.43%)	159,404,044 (64.79%)	246,026,665 (100.00%)
폐기물처리	2,944,909 (30.91%)	303,551 (3.19%)	6,280,056 (65.91%)	9,528,516 (100.00%)
농업	-	-	-	-
기타면오염원	57,047 (34.50%)	9,960 (6.02%)	98,326 (59.47%)	165,333 (100.00%)
합계	283,911,329 (26.03%)	143,564,683 (13.16%)	663,137,822 (60.80%)	1,090,613,834 (100.00%)

자료: 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

<표 24> 전국, 수도권, 충남 NOx 배출량(2013년 기준)

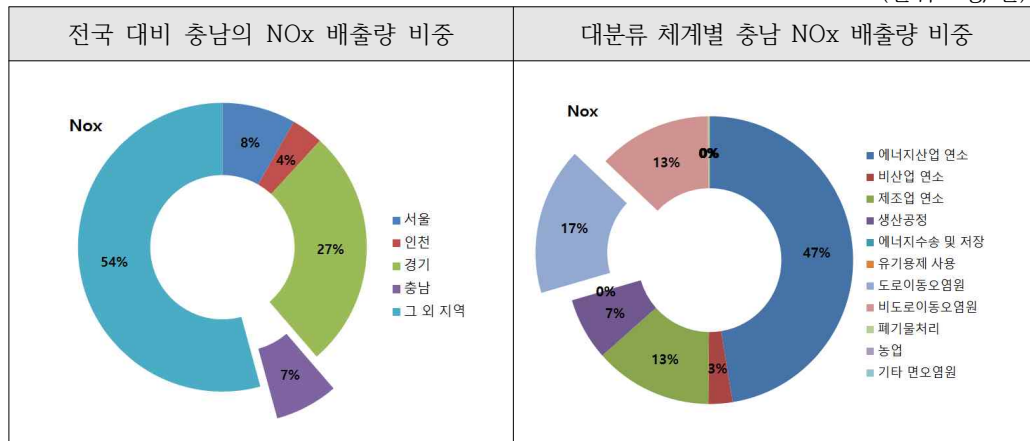
(단위: kg/년)

구분	전국		수도권 배출량	충남		기타지역 배출량
	배출량	비중(%)		배출량	비중(%)	
에너지산업연소	177,218,919	16.25	24,406,357	68,102,771	47.44	84,709,791
비산업연소	88,769,134	8.14	42,723,875	3,891,253	2.71	42,154,006
제조업연소	178,033,504	16.32	11,506,732	19,118,418	13.32	147,408,354
생산공정	55,150,962	5.06	4,056,066	10,089,531	7.03	41,005,365
에너지수송및저장	-	-	-	-	-	-
유기용제사용	-	-	-	-	-	-
도로이동오염원	335,720,801	30.78	129,861,331	23,781,590	16.57	182,077,880
비도로이동오염원	246,026,665	22.56	68,355,012	18,267,609	12.72	159,404,044
폐기물처리	9,528,516	0.87	2,944,909	303,551	0.21	6,280,056
농업	-	-	-	-	-	-
기타면오염원	165,333	0.02	57,047	9,960	0.01	98,326
합계	1,090,613,834	100	283,911,329	143,564,683	100	663,137,822

자료: 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

<표 25> 충남 NOx 배출량 비중

(단위: kg/년)



2. 교통수요모형을 이용한 도로부문 PM10, NOx, CO2 배출량

1) PM10 배출량 현황(2016년 기준)

교통수요모형을 이용하여 2016년의 충남 시·군별, 차종별 PM10 배출량을 분석하였다. 충남 전체의 차종별 PM10 배출량은 승용차 157(ton/년), 버스 90(ton/년), 소형트럭 131(ton/년), 중형트럭 220(ton/년), 대형트럭 577(ton/년)로 분석된다.

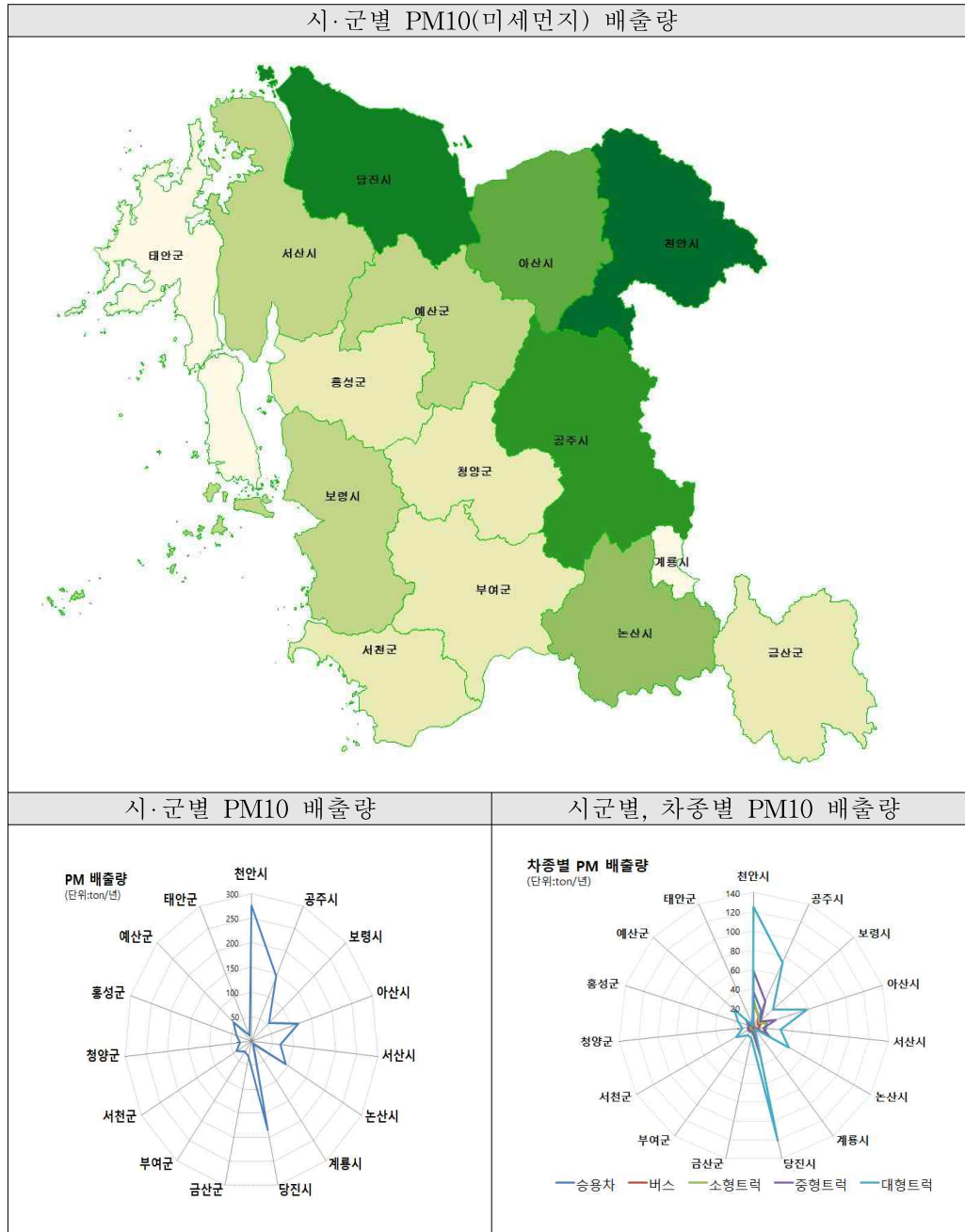
충남 시·군에서 PM10 배출량이 높은 지역은 천안시, 당진시, 공주시, 아산시 등으로 타 시·군보다 PM10 배출량이 우세하다. 이러한 지역의 차종별 PM10 배출량을 살펴보면, 대부분 트럭에서 많은 배출량이 발생되고 있다. 그 중에서도 대형트럭이 발생시키는 PM10 배출량이 많다.

<표 26> 충남 시·군별, 차종별 PM10 배출량(2016년 기준)

(단위: ton/년)

지역	승용차	버스	트럭				총계
			소형트럭	중형트럭	대형트럭	소계	
천안시	37	26	29	58	125	212	275
공주시	18	12	12	29	73	114	144
보령시	8	5	7	9	27	43	56
아산시	14	7	13	24	58	95	116
서산시	13	5	11	10	28	49	67
논산시	13	8	11	19	42	72	93
계룡시	2	1	1	1	2	4	7
당진시	12	8	15	29	121	165	185
금산군	6	3	4	6	12	22	31
부여군	6	3	4	5	10	19	28
서천군	5	3	4	7	21	32	40
청양군	4	2	3	6	12	21	27
홍성군	7	3	6	5	17	28	38
예산군	8	2	9	11	27	47	57
태안군	4	2	2	1	2	5	11
충청남도	157	90	131	220	577	928	1,175

<표 27> 시·군별 PM10 배출량(2016년 기준)



2) NOx 배출량 현황(2016년 기준)

교통수요모형을 이용하여 2016년의 충남 시·군별, 차종별 NOx 배출량을 분석하였다. 충남 전체의 차종별 NOx 배출량은 승용차 2,383(ton/년), 버스 3,529(ton/년), 소형트럭 1,409(ton/년), 중형트럭 2,925(ton/년), 대형트럭 15,329(ton/년)로 분석된다.

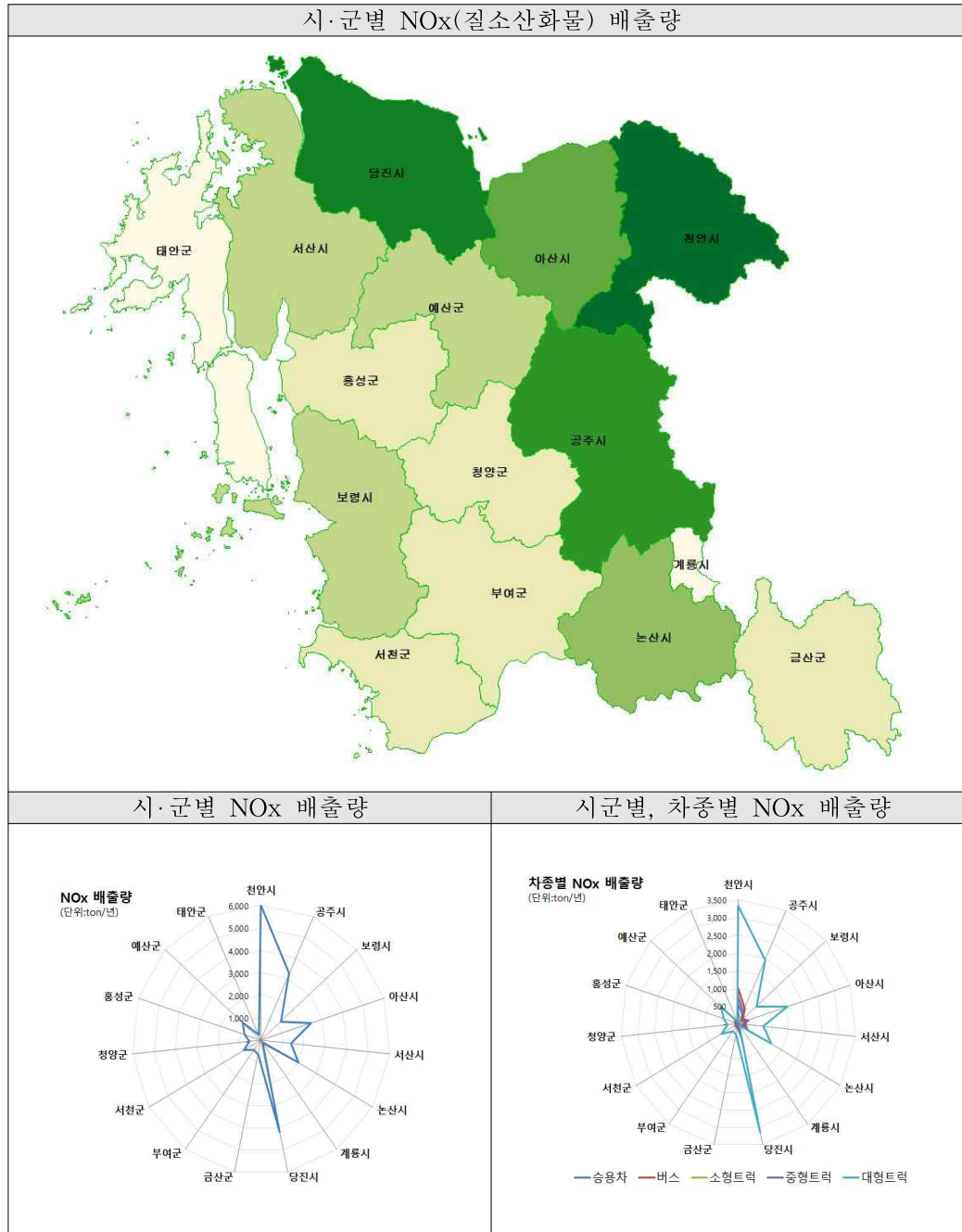
충남 시·군에서 2,000 ton 이상으로 NOx를 배출하는 지역은 천안시, 당진시, 공주시, 아산시, 논산시 등으로 분석된다. 이러한 지역의 차종별 NOx 배출량을 살펴보면, 대부분 대형트럭에서 많은 배출량이 발생하는 것으로 나타난다.

<표 28> 충남 시·군별, 차종별 NOx 배출량(2016년 기준)

(단위: ton/년)

지역	승용차	버스	트럭				총계
			소형트럭	중형트럭	대형트럭	소계	
천안시	573	1,008	317	772	3,329	4,418	5,999
공주시	276	472	158	374	1,959	2,491	3,239
보령시	125	192	79	110	724	913	1,230
아산시	195	287	121	322	1,523	1,966	2,448
서산시	194	211	111	133	752	996	1,401
논산시	203	308	129	248	1,128	1,505	2,016
계룡시	25	27	6	17	60	83	135
당진시	191	316	151	393	3,146	3,690	4,197
금산군	95	127	42	81	334	457	679
부여군	81	106	39	70	264	373	560
서천군	82	118	49	94	575	718	918
청양군	58	65	31	80	317	428	551
홍성군	105	114	64	70	447	581	800
예산군	120	93	94	143	711	948	1,161
태안군	60	85	18	18	60	96	241
충청남도	2,383	3,529	1,409	2,925	15,329	19,663	25,575

<표 29> 시·군별 NOx 배출량(2016년 기준)



3) CO2 배출량 현황(2016년 기준)

교통수요모형을 이용하여 2016년의 충남 시·군별, 차종별 CO2 배출량을 분석하였다. 충남 전체의 차종별 CO2 배출량은 승용차 1,623,871(ton/년), 버스 629,340(ton/년), 소형트럭 713,668(ton/년), 중형트럭 733,960(ton/년), 대형트럭 1,837,347(ton/년)로 분석된다.

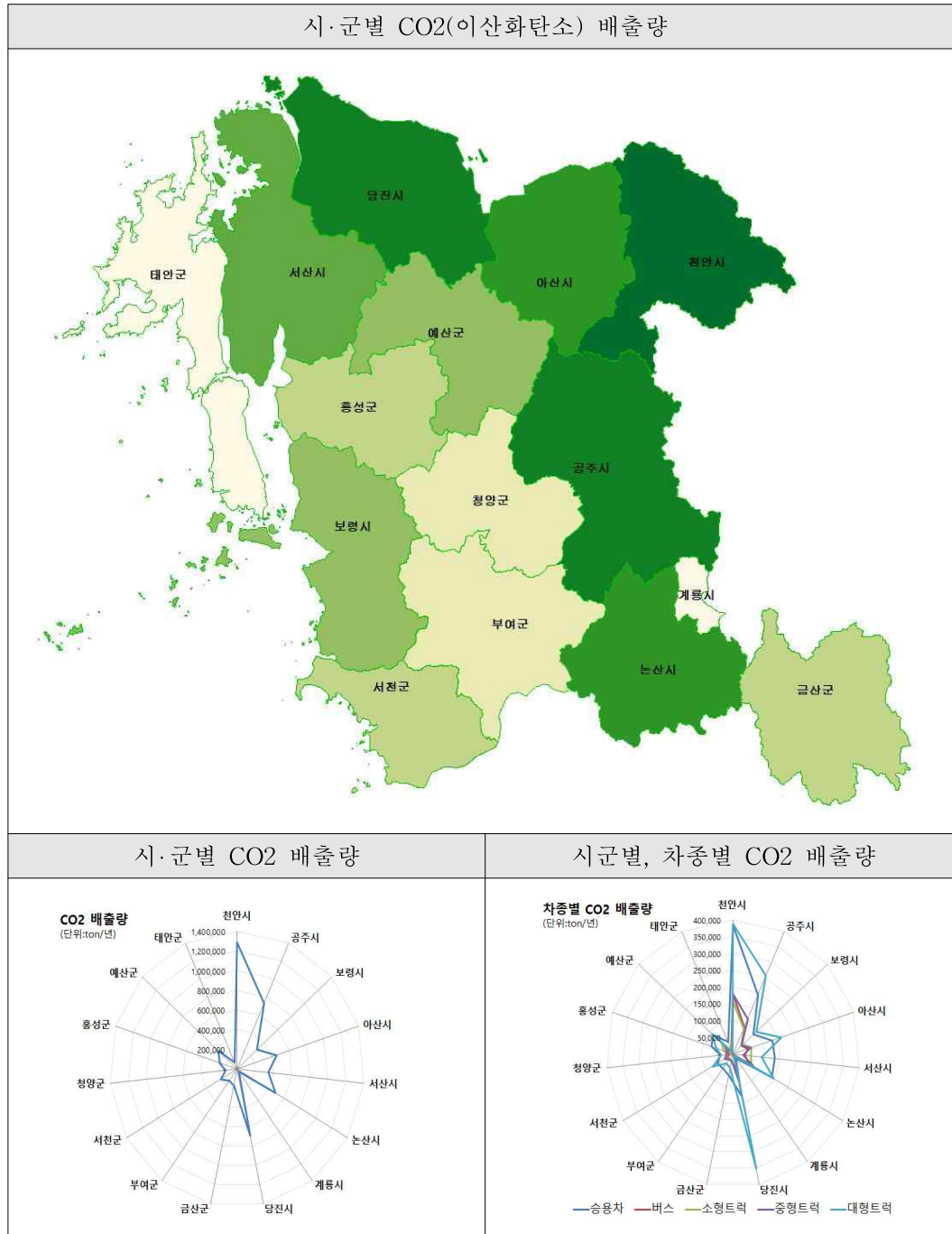
충남 시·군에서 CO2 배출량이 높은 지역은 천안시, 공주시, 당진시 등으로 타 시·군보다 CO2 배출량이 우세하다. 이러한 지역의 차종별 CO2 배출량을 살펴보면, 대부분 승용차, 대형트럭에서 배출량이 많이 발생하는 특징이 있다.

<표 30> 충남 시·군별, 차종별 CO2 배출량(2016년 기준)

(단위: ton/년)

지역	승용차	버스	트럭				총계
			소형트럭	중형트럭	대형트럭	소계	
천안시	384,127	179,080	155,308	179,473	388,276	723,057	1,286,264
공주시	192,440	86,487	82,383	113,013	254,526	449,922	728,849
보령시	87,197	35,357	41,136	34,891	97,609	173,636	296,190
아산시	129,627	48,377	60,324	59,887	159,783	279,994	457,998
서산시	131,583	37,193	55,811	32,395	89,898	178,104	346,880
논산시	141,105	57,090	67,287	73,972	147,110	288,369	486,564
계룡시	16,874	4,770	3,274	4,080	7,168	14,522	36,166
당진시	128,132	54,878	73,404	85,426	351,034	509,864	692,874
금산군	66,194	23,049	22,342	21,896	42,183	86,421	175,664
부여군	54,757	18,715	20,415	20,272	34,516	75,203	148,675
서천군	57,099	21,964	25,592	29,770	75,288	130,650	209,713
청양군	39,702	11,553	16,468	20,654	38,312	75,434	126,689
홍성군	72,271	20,447	32,562	19,170	55,617	107,349	200,067
예산군	83,224	16,267	48,050	35,746	89,740	173,536	273,027
태안군	39,539	14,113	9,312	3,315	6,287	18,914	72,566
충청남도	1,623,871	629,340	713,668	733,960	1,837,347	3,284,975	5,538,186

<표 31> 시·군별 CO2 배출량(2016년 기준)



3. 여건변화에 따른 대기오염물질 배출량 변화

1) 장래 교통량 수준 변화

장래 충남의 총 차량주행거리(VKT, Vehicle Kilometer Traveled)는 2016년 5,285,675(대·km), 2023년 6,298,088(대·km), 2033년 6,784,713(대·km)로 증가하는 것으로 분석된다. 이에 따라 충남의 장래 도로부문의 대기오염물질 배출량은 증가할 것으로 예상된다.

<표 32> 충남 시·군별 교통량 흐름 및 VKT변화

구분	교통량 흐름	VKT (단위: 대·km)			
		시·군	VKT	시·군	VKT
2016년		천안시	1,193,029	금산군	140,409
		공주시	681,252	부여군	176,115
		보령시	295,291	서천군	194,385
		아산시	476,031	청양군	135,111
		서산시	417,168	홍성군	234,233
		논산시	490,302	예산군	291,471
		계룡시	29,045	태안군	35,958
		당진시	495,877	합계	5,285,675
2023년		시·군	VKT	시·군	VKT
		천안시	1,334,219	금산군	164,859
		공주시	688,942	부여군	268,139
		보령시	281,106	서천군	269,746
		아산시	790,530	청양군	237,538
		서산시	429,808	홍성군	299,233
		논산시	514,921	예산군	402,408
		계룡시	31,935	태안군	41,508
		당진시	543,193	합계	6,298,088
2033년		시·군	VKT	시·군	VKT
		천안시	1,455,647	금산군	169,671
		공주시	740,715	부여군	317,201
		보령시	294,418	서천군	284,055
		아산시	851,994	청양군	274,143
		서산시	458,425	홍성군	316,615
		논산시	526,825	예산군	423,032
		계룡시	32,918	태안군	44,583
		당진시	594,471	합계	6,784,713

2) PM10 배출량 변화

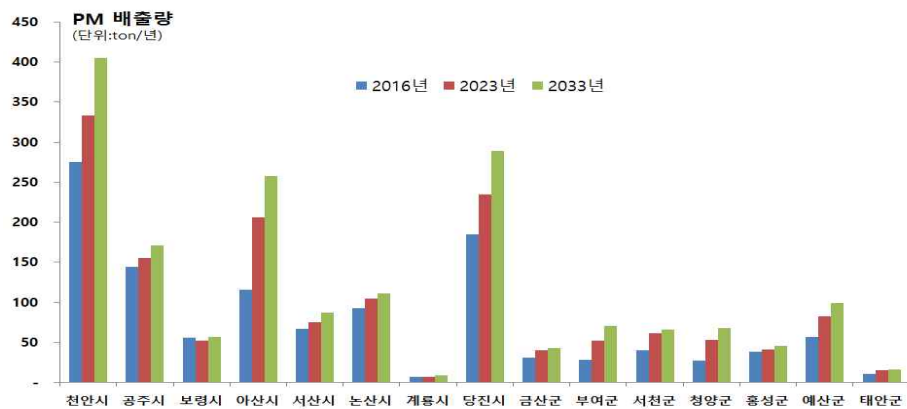
PM10 배출량은 아산시, 천안시, 당진시가 양적으로 두드러지게 증가하는 것으로 분석된다. 이는 장래 해당 시·군의 총 차량주행거리가 증가하는 추세와 비례적인 특징을 갖는다.

<표 33> 충남 시·군별 장래 PM10 배출량(2016, 2023, 2033년)

(단위: ton/년)

구분	2016 (A)	2023 (B)	2033 (C)	2023-2016		2033-2016	
				차이 (B-A)	증가율 (%)	차이 (C-A)	증가율 (%)
천안시	275	333	405	58	21%	130	47%
공주시	144	155	171	11	8%	27	19%
보령시	56	52	57	-4	-7%	1	2%
아산시	116	206	258	90	78%	142	122%
서산시	67	75	87	8	12%	20	30%
논산시	93	105	111	12	13%	18	19%
계룡시	7	7	9	-	0%	2	29%
당진시	185	235	289	50	27%	104	56%
금산군	31	40	43	9	29%	12	39%
부여군	28	52	71	24	86%	43	154%
서천군	40	61	66	21	53%	26	65%
청양군	27	53	68	26	96%	41	152%
홍성군	38	41	46	3	8%	8	21%
예산군	57	83	99	26	46%	42	74%
태안군	11	15	16	4	36%	5	45%
충청남도	1,175	1,513	1,796	338		621	

<그림 29> 충남 시·군별 장래 PM10 배출량(2016, 2023, 2033년)



<표 34> 충남 시·군별, 차종별 장래 PM10 배출량 변화(2016 대비 2033년)

(단위: ton/년)

No.	구분	2016 (A)				2033 (B)				2033-2016 (B-A)			
		승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계
1	천안시	37	26	212	275	40	29	336	405	3	3	124	130
2	공주시	18	12	114	144	19	13	139	171	1	1	25	27
3	보령시	8	5	43	56	8	3	46	57	-	-2	3	1
4	아산시	14	7	95	116	21	13	224	258	7	6	129	142
5	서산시	13	5	49	67	13	4	70	87	-	-1	21	20
6	논산시	13	8	72	93	14	10	87	111	1	2	15	18
7	계룡시	2	1	4	7	2	1	6	9	-	-	2	2
8	당진시	12	8	165	185	12	8	269	289	-	-	104	104
9	금산군	6	3	22	31	7	3	33	43	1	-	11	12
10	부여군	6	3	19	28	8	5	58	71	2	2	39	43
11	서천군	5	3	32	40	7	3	56	66	2	-	24	26
12	청양군	4	2	21	27	7	4	57	68	3	2	36	41
13	홍성군	7	3	28	38	11	4	31	46	4	1	3	8
14	예산군	8	2	47	57	11	4	84	99	3	2	37	42
15	태안군	4	2	5	11	5	2	9	16	1	-	4	5
충청남도		157	90	928	1,175	185	106	1,505	1,796	28	16	577	621

3) NOx 배출량 변화

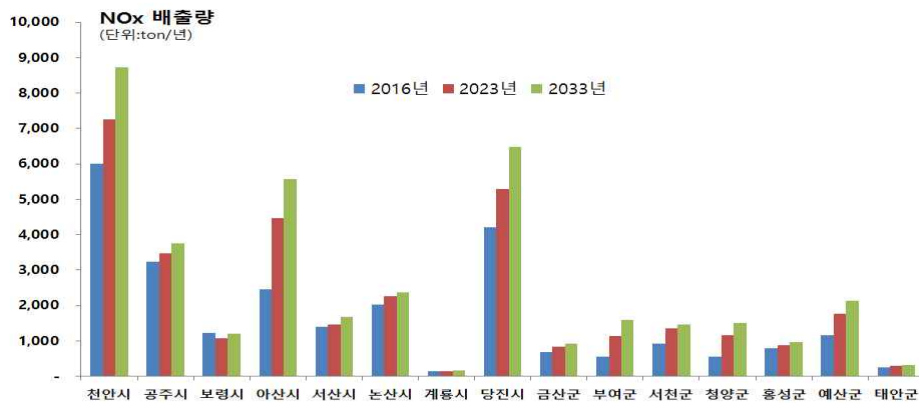
NOx 배출량은 PM10과 마찬가지로 아산시, 천안시, 당진시가 두드러지게 증가하는 것으로 분석된다. 이는 장래 해당 시·군의 총 차량주행거리가 증가하는 추세와 비례적인 특징이 있다.

<표 35> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)

(단위: ton/년)

구분	2016 (A)	2023 (B)	2033 (C)	2023-2016		2033-2016	
				차이 (B-A)	증가율 (%)	차이 (C-A)	증가율 (%)
천안시	5,999	7,246	8,724	1,247	21%	2,725	45%
공주시	3,239	3,463	3,757	224	7%	518	16%
보령시	1,230	1,078	1,204	-152	-12%	-26	-2%
아산시	2,448	4,470	5,568	2,022	83%	3,120	127%
서산시	1,401	1,451	1,684	50	4%	283	20%
논산시	2,016	2,268	2,369	252	13%	353	18%
계룡시	135	151	158	16	12%	23	17%
당진시	4,197	5,296	6,483	1,099	26%	2,286	54%
금산군	679	842	917	163	24%	238	35%
부여군	560	1,142	1,579	582	104%	1,019	182%
서천군	918	1,349	1,463	431	47%	545	59%
청양군	551	1,150	1,499	599	109%	948	172%
홍성군	800	869	970	69	9%	170	21%
예산군	1,161	1,772	2,126	611	53%	965	83%
태안군	241	291	314	50	21%	73	30%
충청남도	25,575	32,838	38,815	7,263		13,240	

<그림 30> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)



<표 36> 충남 시·군별, 차종별 장래 NOx 배출량 변화(2016 대비 2033년)

(단위: ton/년)

No.	구분	2016 (A)				2033 (B)				2033-2016 (B-A)			
		승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계
1	천안시	573	1,008	4,418	5,999	638	1,117	6,969	8,724	65	109	2,551	2,725
2	공주시	276	472	2,491	3,239	284	486	2,987	3,757	8	14	496	518
3	보령시	125	192	913	1,230	117	126	961	1,204	-8	-66	48	-26
4	아산시	195	287	1,966	2,448	310	489	4,769	5,568	115	202	2,803	3,120
5	서산시	194	211	996	1,401	184	168	1,332	1,684	-10	-43	336	283
6	논산시	203	308	1,505	2,016	207	363	1,799	2,369	4	55	294	353
7	계룡시	25	27	83	135	27	32	99	158	2	5	16	23
8	당진시	191	316	3,690	4,197	203	305	5,975	6,483	12	-11	2,285	2,286
9	금산군	95	127	457	679	102	134	681	917	7	7	224	238
10	부여군	81	106	373	560	126	176	1,277	1,579	45	70	904	1,019
11	서천군	82	118	718	918	108	133	1,222	1,463	26	15	504	545
12	청양군	58	65	428	551	104	134	1,261	1,499	46	69	833	948
13	홍성군	105	114	581	800	174	164	632	970	69	50	51	170
14	예산군	120	93	948	1,161	162	169	1,795	2,126	42	76	847	965
15	태안군	60	85	96	241	68	95	151	314	8	10	55	73
충청남도		2,383	3,529	19,663	25,575	2,814	4,091	31,910	38,815	431	562	12,247	13,240

4) CO2 배출량 변화

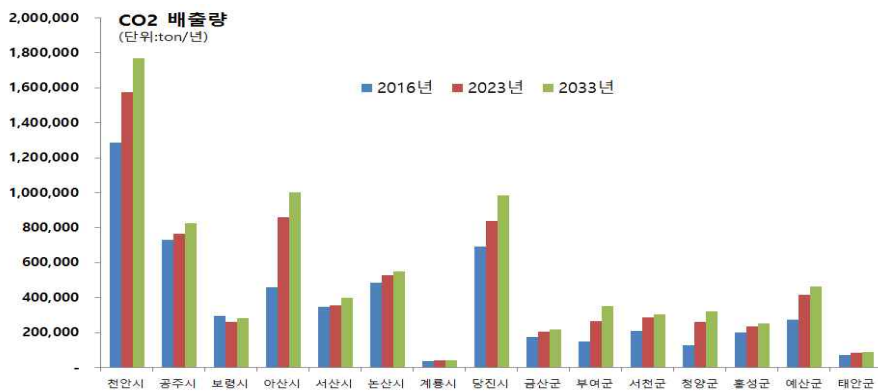
CO2 배출량도 PM10, NOx와 마찬가지로 아산시, 천안시, 당진시가 두드러지게 증가하고 부여군, 청양군, 예산군도 증가하는 것으로 분석된다.

<표 37> 충남 시·군별 장래 NOx 배출량(2016, 2023, 2033년)

(단위: ton/년)

구분	2016 (A)	2023 (B)	2033 (C)	2023-2016		2033-2016	
				차이 (B-A)	증가율 (%)	차이 (C-A)	증가율 (%)
천안시	1,286,264	1,574,696	1,771,247	288,432	22%	484,983	38%
공주시	728,849	767,006	825,303	38,157	5%	96,454	13%
보령시	296,190	261,217	284,534	-34,973	-12%	-11,656	-4%
아산시	457,998	861,196	1,003,559	403,198	88%	545,561	119%
서산시	346,880	357,699	399,720	10,819	3%	52,840	15%
논산시	486,564	529,176	547,770	42,612	9%	61,206	13%
계룡시	36,166	39,878	40,326	3,712	10%	4,160	12%
당진시	692,874	836,995	983,230	144,121	21%	290,356	42%
금산군	175,664	207,147	218,504	31,483	18%	42,840	24%
부여군	148,675	266,693	349,891	118,018	79%	201,216	135%
서천군	209,713	285,854	304,054	76,141	36%	94,341	45%
청양군	126,689	260,774	323,076	134,085	106%	196,387	155%
홍성군	200,067	234,432	253,239	34,365	17%	53,172	27%
예산군	273,027	416,544	462,155	143,517	53%	189,128	69%
태안군	72,566	84,767	89,254	12,201	17%	16,688	23%
충청남도	5,538,186	6,984,074	7,855,862	1,445,888		2,317,676	

<그림 31> 충남 시·군별 장래 CO2 배출량(2016, 2023, 2033년)



<표 38> 충남 시·군별, 차종별 장래 CO2 배출량 변화(2016 대비 2033년)

(단위: ton/년)

No.	구분	2016 (A)				2033 (B)				2033-2016 (B-A)			
		승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계	승용차	버스	트럭	계
1	천안시	384,127	179,080	723,057	1,286,264	428,872	200,656	1,141,719	1,771,247	44,745	21,576	418,662	484,983
2	공주시	192,440	86,487	449,922	728,849	197,143	88,215	539,945	825,303	4,703	1,728	90,023	96,454
3	보령시	87,197	35,357	173,636	296,190	81,129	21,786	181,619	284,534	-6,068	-13,571	7,983	-11,656
4	아산시	129,627	48,377	279,994	457,998	208,408	84,499	710,652	1,003,559	78,781	36,122	430,658	545,561
5	서산시	131,583	37,193	178,104	346,880	123,817	28,798	247,105	399,720	-7,766	-8,395	69,001	52,840
6	논산시	141,105	57,090	288,369	486,564	142,757	67,223	337,790	547,770	1,652	10,133	49,421	61,206
7	계룡시	16,874	4,770	14,522	36,166	17,960	5,634	16,732	40,326	1,086	864	2,210	4,160
8	당진시	128,132	54,878	509,864	692,874	132,980	52,571	797,679	983,230	4,848	-2,307	287,815	290,356
9	금산군	66,194	23,049	86,421	175,664	71,112	24,399	122,993	218,504	4,918	1,350	36,572	42,840
10	부여군	54,757	18,715	75,203	148,675	87,583	32,196	230,112	349,891	32,826	13,481	154,909	201,216
11	서천군	57,099	21,964	130,650	209,713	74,940	23,832	205,282	304,054	17,841	1,868	74,632	94,341
12	청양군	39,702	11,553	75,434	126,689	73,185	25,109	224,782	323,076	33,483	13,556	149,348	196,387
13	홍성군	72,271	20,447	107,349	200,067	114,565	28,241	110,433	253,239	42,294	7,794	3,084	53,172
14	예산군	83,224	16,267	173,536	273,027	112,320	30,503	319,332	462,155	29,096	14,236	145,796	189,128
15	태안군	39,539	14,113	18,914	72,566	45,033	15,840	28,381	89,254	5,494	1,727	9,467	16,688
충청남도		1,623,871	629,340	3,284,975	5,538,186	1,911,804	729,502	5,214,556	7,855,862	287,933	100,162	1,929,581	2,317,676

4. 시사점

PM10과 NOx를 기준으로 충남의 도로이동오염원 배출량을 살펴보면, 충남에서 배출되는 PM10은 924,070 kg으로 전국에서 배출되는 총량 12,102,781 kg 중 약 8% 비중을 차지하고, NOx는 23,781,590 kg으로 전국에서 배출되는 총량 335,720,801 kg의 약 7% 비중을 차지한다.

본 연구에서는 교통수요모형을 이용하여 충남의 각 시·군의 PM10, NOx, CO2 배출량을 분석하였다. 충남 PM10은 2016년을 기준으로 총 1,175 ton으로 추정되고, PM10이 대표적으로 높은 지역은 천안시, 당진시, 공주시, 아산시로 분석된다. 충남 NOx는 2016년을 기준으로 총 25,575 ton으로 추정되고 PM10이 높은 대표적인 지역과 함께 논산시도 포함된다. 충남 CO2는 2016년을 기준으로 총 5,538,186 ton으로 추정되며 천안시, 공주시, 당진시 등이 충남의 타 시·군보다 CO2 배출량이 우세한 것으로 분석된다.

충남의 여건변화를 반영하여 장래 2023, 2033년의 PM10, NOx, CO2를 추정하였다. PM10과 NOx는 아산시, 천안시, 당진시 등이 양적인 측면에서 지속적인 증가추세로 예측된다. 또한, CO2의 경우는 PM10과 NOx가 증가하는 지역 이 외에도 부여군, 청양군, 예산군에서도 꾸준히 증가하는 것으로 예측된다. 이는 장래에 제2서해안고속도로(서부내륙고속도로) 개통으로 인하여 해당 지역에 통행량이 증가하고 이에 따른 대기오염 배출량도 동시에 증가한 것으로 고려된다.

충남의 도로부문 대기오염물질 PM10, NOx, CO2는 전국을 기준으로 높은 수준으로 볼 수 없으나, 향후 충남의 여건변화를 고려할 경우 양적인 측면에서 지속적인 증가가 예상된다. 특히, PM10과 NOx는 인체에 해로운 물질이므로 충남은 향후 이러한 유해물질의 증가가 예상되는 지역에 우선적으로 저감정책을 마련할 필요가 있다.

제5장 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 정책방안

1. 기본방향

PM10과 NOx를 기준으로 충남의 각 시·군별 도로이동오염원이 차지하고 있는 비중을 검토한 결과, 평균적 비중이 PM10 34.6%, NOx 37.8%로 분석된다. 도로이동오염원 중 PM10과 NOx의 비중이 50%가 넘는 지역은 공주시, 금산군, 논산시, 천안시 등으로 집계된다. 총량적 수준에서는 당진시가 가장 많으나 이는 대부분 에너지산업연소 부문의 배출량이다. 따라서, 총량적 수준과 도로이동오염원의 비중을 고려할 경우 천안시가 가장 도로이동오염원에서 배출되는 유해물질이 많은 것으로 검토된다.

충남은 수도권과 달리 도로이동오염원의 배출량이 상대적으로 많은 지역을 우선적으로 선정하고 저감정책을 적용할 필요가 있다. 수도권의 도로이동오염원이 전체 배출량에서 차지하는 비중¹²⁾을 살펴보면, PM10의 경우는 서울 42%, 경기 46%, 인천 19%로 집계되고, NOx의 경우는 서울 43%, 경기 51%, 인천 27%로 집계된다. 수도권 지역은 기본적으로 총량적 수준이 높을 뿐만 아니라 비율적으로도 도로이동오염원의 비중이 높다. 충남은 총량적 측면에서 PM10, NOx 배출량이 수도권보다는 작은 수준이나, 각 시·군별로 살펴보면 도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높은 지역이 일부 존재한다. 따라서 도로부문의 대기오염물질 배출량 저감을 위한 전략을 마련할 경우 각 시·군별로 차별성을 둘 필요가 있다.

12) 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

<표 39> 충남 시·군별, 배출원별 PM10배출량(2013년 기준)

(단위: kg/년)

구분	도로이동 오염원	비도로 이동오염원	에너지산업 연소	제조업 연소	기타	총합계
계룡시	8,413.57 (31.46%)	16,526.00 (61.79%)	-	21.18 (0.08%)	1,783.62 (6.67%)	26,744.38 (100.00%)
공주시	98,323.36 (74.43%)	25,910.63 (19.61%)	-	551.14 (0.42%)	7,319.14 (5.54%)	132,104.28 (100.00%)
금산군	31,584.13 (51.08%)	22,950.71 (37.12%)	-	723.02 (1.17%)	6,568.97 (10.62%)	61,826.83 (100.00%)
논산시	83,919.13 (59.63%)	36,053.23 (25.62%)	-	386.40 (0.27%)	20,371.71 (14.48%)	140,730.47 (100.00%)
당진시	93,062.50 (0.34%)	216,226.57 (0.79%)	369,291.98 (1.35%)	25,618,398.84 (93.46%)	1,114,756.91 (4.07%)	27,411,736.81 (100.00%)
보령시	43,673.33 (6.15%)	58,408.73 (8.23%)	599,843.10 (84.48%)	293.76 (0.04%)	7,838.12 (1.10%)	710,057.03 (100.00%)
부여군	29,240.08 (41.67%)	22,551.47 (32.14%)	-	362.41 (0.52%)	18,014.85 (25.67%)	70,168.81 (100.00%)
서산시	64,151.68 (14.96%)	278,743.42 (64.99%)	26,423.16 (6.16%)	13,272.80 (3.09%)	46,293.80 (10.79%)	428,884.86 (100.00%)
서천군	26,404.63 (12.92%)	71,507.77 (35.00%)	60,568.97 (29.65%)	3,462.47 (1.69%)	42,359.70 (20.73%)	204,303.53 (100.00%)
아산시	98,970.55 (41.86%)	107,961.39 (45.66%)	569.49 (0.24%)	6,848.83 (2.90%)	22,090.36 (9.34%)	236,440.63 (100.00%)
예산군	34,236.03 (46.21%)	31,503.48 (42.52%)	-	185.93 (0.25%)	8,165.66 (11.02%)	74,091.10 (100.00%)
천안시	225,119.09 (56.78%)	140,829.41 (35.52%)	1,728.90 (0.44%)	2,917.83 (0.74%)	25,896.79 (6.53%)	396,492.01 (100.00%)
청양군	19,341.15 (49.48%)	13,830.10 (35.38%)	-	82.28 (0.21%)	5,837.95 (14.93%)	39,091.48 (100.00%)
태안군	32,712.14 (3.55%)	48,079.47 (5.22%)	835,134.07 (90.76%)	108.53 (0.01%)	4,153.86 (0.45%)	920,188.06 (100.00%)
홍성군	34,919.09 (28.34%)	82,084.90 (66.62%)	-	409.45 (0.33%)	5,791.68 (4.70%)	123,205.12 (100.00%)
충청남도	924,070.45 (2.98%)	1,173,167.26 (3.79%)	1,893,559.67 (6.11%)	25,648,024.89 (82.80%)	1,337,243.13 (4.32%)	30,976,065.40 (100.00%)

자료: 국립환경과학원 국가대기오염물질 배출량 서비스(대기오염물질 배출량-2013년 배출량 통계),
<http://airemiss.nier.go.kr/mbs/home/mbs/airemiss/index.do>

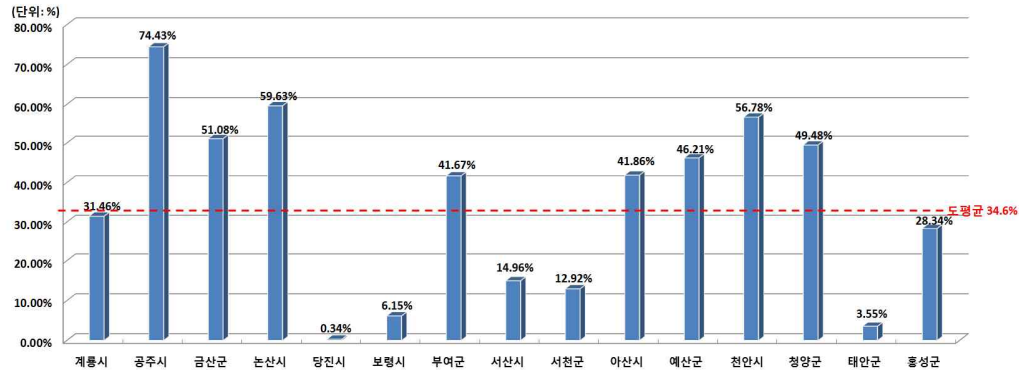
<표 40> 충남 시·군별, 배출원별 NOx 배출량(2013년 기준)

(단위: kg/년)

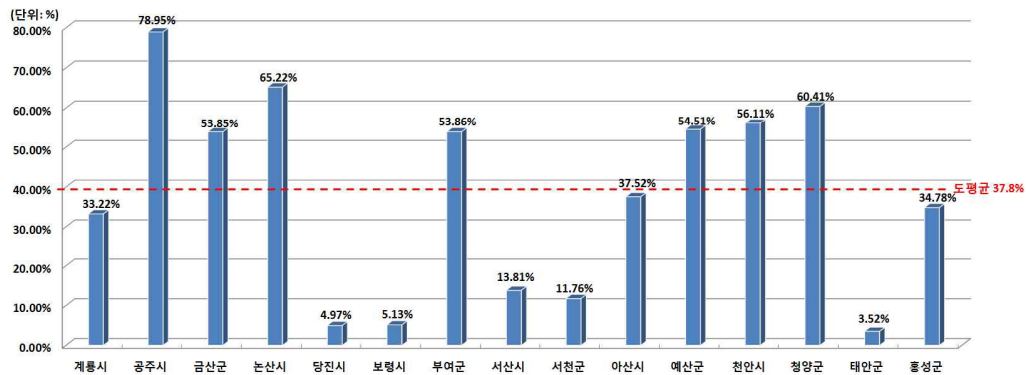
구분	도로이동 오염원	비도로 이동오염원	에너지산업 연소	제조업 연소	기타	총합계
계룡시	203,652.20 (33.22%)	320,647.28 (52.30%)	-	4,271.42 (0.70%)	84,544.64 (13.79%)	613,115.54 (100.00%)
공주시	2,569,426.54 (78.95%)	427,097.29 (13.12%)	-	49,749.45 (1.53%)	208,108.57 (6.39%)	3,254,381.85 (100.00%)
금산군	797,987.92 (53.85%)	387,438.17 (26.15%)	-	170,084.43 (11.48%)	126,360.53 (8.53%)	1,481,871.05 (100.00%)
논산시	2,167,200.27 (65.22%)	592,098.79 (17.82%)	-	105,495.84 (3.17%)	458,345.73 (13.79%)	3,323,140.62 (100.00%)
당진시	2,385,472.00 (4.97%)	2,973,397.92 (6.19%)	19,534,737.94 (40.66%)	14,301,784.04 (29.77%)	8,847,381.16 (18.42%)	48,042,773.06 (100.00%)
보령시	1,126,656.50 (5.13%)	903,016.36 (4.11%)	19,692,733.46 (89.73%)	23,097.66 (0.11%)	201,898.60 (0.92%)	21,947,402.58 (100.00%)
부여군	745,009.10 (53.86%)	343,388.08 (24.82%)	-	24,022.28 (1.74%)	270,900.32 (19.58%)	1,383,319.79 (100.00%)
서산시	1,633,281.83 (13.81%)	3,745,900.40 (31.68%)	3,025,753.81 (25.59%)	2,434,674.56 (20.59%)	984,962.52 (8.33%)	11,824,573.13 (100.00%)
서천군	675,649.49 (11.76%)	991,441.9 (17.25%)	3,613,686.71 (62.87%)	237,507.21 (4.13%)	229,442.59 (3.99%)	5,747,727.90 (100.00%)
아산시	2,471,988.95 (37.52%)	2,029,539.28 (30.80%)	47,018.76 (0.71%)	1,001,946.15 (15.21%)	1,038,737.47 (15.76%)	6,589,230.62 (100.00%)
예산군	879,774.09 (54.51%)	505,258.04 (31.31%)	-	43,473.40 (2.69%)	185,380.00 (11.49%)	1,613,885.53 (100.00%)
천안시	5,912,878.94 (56.11%)	2,605,246.25 (24.72%)	20,805.66 (0.20%)	661,788.64 (6.28%)	1,337,996.12 (12.70%)	10,538,715.61 (100.00%)
청양군	486,062.66 (60.41%)	209,957.79 (26.10%)	-	17,904.73 (2.23%)	90,655.13 (11.27%)	804,580.31 (100.00%)
태안군	838,283.56 (3.52%)	731,793.63 (3.07%)	22,168,034.78 (92.96%)	10,300.98 (0.04%)	97,264.72 (0.41%)	23,845,677.66 (100.00%)
홍성군	888,265.64 (34.78%)	1,501,387.49 (58.78%)	-	32,316.71 (1.27%)	132,316.91 (5.18%)	2,554,286.75 (100.00%)
충청남도	23,781,589.69 (16.57%)	18,267,608.67 (12.72%)	68,102,771.13 (47.44%)	19,118,417.50 (13.32%)	14,294,295.00 (9.96%)	143,564,682.00 (100.00%)

자료: 국립환경과학원 국가대기오염물질 배출량 서비스(대기오염물질 배출량-2013년 배출량 통계),
<http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>

<그림 32> 충청남도 각 시·군별 도로이동오염원의 PM10 배출량 비중



<그림 33> 충청남도 각 시·군별 도로이동오염원의 NOx 배출량 비중



2. 추진전략

추진전략은 두 가지로 배출량 저감을 유도하는 전략, 배출오염원 저감 관리 전략으로 제안한다. 첫째, 배출량 저감을 유도하는 전략은 충남의 통행자로 하여금 교통수단의 선택행태를 변화시키거나, 경로선택의 행태를 변화시키는 전략이다. 이는 세부적으로 공해차량 운행제한 지역, 화물차 시가지 우회도로 구축, 교통수요관리 방안이 있다. 둘째, 배출오염원 저감 관리 전략은 대기오염물질 배출원의 PM10, NOx를 근본적으로 저감시키는 전략이다. 이는 배출가스 저감사업 활성화, 친환경 자동차 활성화 등이 있다.

3. 전략별 정책과제

1) 배출량 저감 유도 전략

(1) 공해차량 운행제한지역(LEZ, Low Emission Zone)

■ 필요성

충남에서 상대적으로 PM10, NOx 배출량이 높은 시·군에 한하여 공해차량 운행제한지역 도입을 검토해 볼 필요가 있다. LEZ 제도에 따른 배출량 저감효과는 경기개발연구원(2008)¹³⁾에 따르면, 7년 이상 경과된 화물차를 대상으로 하였을 경우에 NOx 배출량은 약 8%, PM10 배출량은 약 7% 정도의 효과가 있는 것으로 제시하였다. 또한, 한국자동차환경협회(2013)¹⁴⁾에 따르면, 대형화물차는 20.5~34.3%, 중대형화물차는 25.0~43.4%의 PM10 저감효과가 있는 것으로 제시하였다. 충남의 일부지역은 대형트럭 교통량이 많은 지역이 존재한다. 대형트럭에서 배출되는 PM10, NOx 비중이 크므로 LEZ 제도의 도입은 이러한 유해물질 저감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

■ LEZ 소개

LEZ 제도는 미세먼지 등으로 인한 도심지 인체피해(호흡기, 심장질환 등) 문제로 1996년 스웨덴의 스톡홀름에서 'Environmental Zone'이란 용어로 최초로 시행되었다. 이 후, 아시아에서는 일본이 처음으로 2000년에 조례를 제정하여 2003년부터 본격적으로 시행하였다. 또한, 스웨덴의 시행 이후 2001년에 영국 런던시장의 「교통전략(Mayer's Transport Strategy)」 공표되어 Euro-3 이전 차량을 대상으로 하는 LEZ 제도가 2008년에 영국에서 처음 시행되었다. 이 후, 대상차량과 기준 등을 단계별로 강화하면서 런던 LEZ 제도는 탄력을 받았으며, 2013년에는 새로운 런던시장의 「신 교통전략」이 발표되었다. 이는 Euro-6 수준의 차량만 운행하도록 하는 강력한 제도로서 'Ultra-LEZ'라고 불리고 있다.

우리나라에서는 환경부에서 수도권 대기환경 개선을 위한 법적 근거로 「수도권 대기환경

13) 경기개발연구원(2008), 「노후경유차량 운행제한지역(환경지역) 시행방안」

14) 한국자동차환경협회(2013), 「수도권 제2기 대책 중 교통부문 정책 마련 연구」

경 개선에 관한 특별법」(2003. 12)을 제정하여 수도권 대기환경 개선을 추진하였다. 우리나라의 LEZ 도입은 제1차 수도권 대기환경관리 기본계획(2005~2014)에 따라 수도권 3개 지자체별로 조례를 제정하고 2010년부터 시행 중이다. 운행제한 자동차의 범위와 지역, 시행시기, 과태료 부과사항 등 시행에 필요한 사항들은 시·도 조례에 위임되어 서울·경기·인천의 3개 광역자치단체에서 공해차량 운행제한지역(LEZ)으로 운영되고 있다.

<표 41> 유럽과 우리나라의 LEZ 제도 비교

구분	유럽	우리나라
도입배경	환경문제로 시작, 대기환경기준 강화('05) 계기로 확산	공해차량의 저공해 조치를 유도하기 위해 도입
운영방식	연식별 배출허용기준에 해당하는 차량에 대한 전체 운행 제한 (일괄 규제)	배출가스 보증기간이 경과하여 정밀검사를 받은 결과를 토대로 제한 대상 결정 -배출허용기준 초과 -총중량 2.5톤 이상, 7년이 경과된 차량으로서 배출가스 저감장치 부착이나 LPG 자동차 개조 등의 저공해 조치 명령을 받은 후 이를 이행하지 않은 특정 경유차 (선택 규제)
대상차량	권역 내 차량 + 권역 외 차량(외국차량 포함)	수도권 내 차량
지원방안	시행초기 일부 지원하다 중단	영세차주를 고려하여 지원 위주의 저감사업
사회적 수용성	매우 높음	낮음

자료: 한국자동차환경협회, 공해차량 운행제한지역(LEZ) 제도 개선방안 마련 연구, p. 8, 2015.

■ LEZ 운영방법

충청남도에 적용하기 위해서는 법적 근거를 마련할 필요가 있다. 이에 따라 조례 제정이 수반되어야 한다. 단속 방법은 무인단속 시스템, 비디오카메라를 활용한 인력단속, 기존의 주정차단속용 CCTV 활용방안 등이 있으며 단속차량에 대해서는 과태료 부과 등의 법적 조치를 병행한다.

<표 42> 공해차량 제한지역 지정 관련 운영 현황

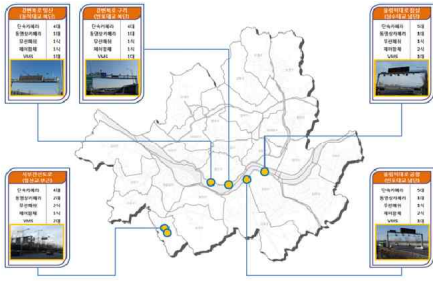
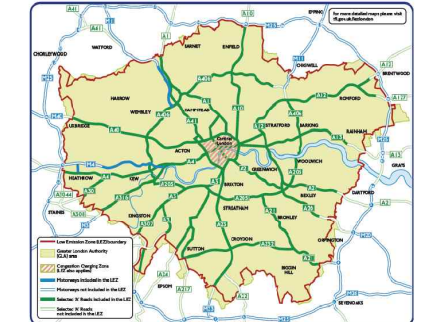
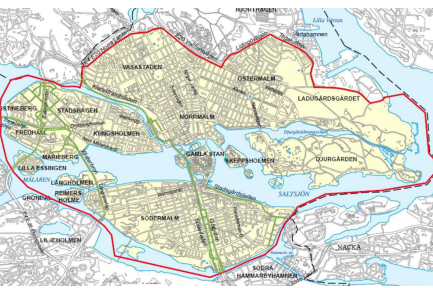
구분	서울	인천	경기
법적 근거	서울특별시 공해차량제한지역 지정 및 운행제한에 관한 조례	인천광역시 공해차량제한지역 지정 및 운행제한에 관한 조례	경기도 공해차량제한지역 지정 및 운행제한에 관한 조례
제정일자 (시행일자)	2010.09.30. (2010.11.01.)	2010.12.31. (2010.07.01.)	2010.12.31. (2010.04.01.)
담당부서	친환경교통과	대기보전과	기후대기과
대상지역	전 지역	옹진군 영흥면 제외	24개 시 (광주, 안성, 포천, 여주, 양평, 가평, 연천, 제외)
적용대상	대기관리권역 등록, 저공해 조치 미이행 차량 (배출가스 보증기간이 지난 특정경유차, 총 중량 2.5톤 이상, 차령 7년 경과차량)		
단속방법	무인 전용 CCTV & ANPR (6개 지점, 22대 카메라)	비디오카메라를 활용한 인력단속(8개 지점)	기존 CCTV 활용 -2013년 기준 CCTV 1,507대 -주정차단속용 CCTV에서 과태료 부과된 자동차 리스트를 저공해화 미조치 차량과 비교
단속현황	1,670대(2012.3.~2012.11.), 375대(2013), 679대(2014) (서울 92, 경기인천 1,578)	23대(2010.7~2012.6) (서울 3, 인천 16, 경기 4)	109대(2010.4~2012.6) -
과태료 부과	위반자실 통지(행정조치) →과태료 부과 35대(2013), 67대(2014)	위반자실 통지(행정조치) →과태료 부과 없음	위반자실 통지(행정조치) →과태료 부과 1대(2012)

자료: 한국자동차환경협회, 공해차량 운행제한지역(LEZ) 제도 개선방안 마련 연구, p. 32, 2015.

■ LEZ 적용지역

LEZ 운영지역은 천안시, 아산시, 당진시와 같이 PM10, NOx 등의 유해물질이 많은 시·군을 우선적으로 적용할 필요가 있다. 적용지역 선정 시 차량들이 해당 지역으로 유·출입하는 폐쇄선(Cordon Line)을 설정하여 통행자로 하여금 LEZ 운영지역임을 인지할 수 있도록 표지판 또는 단속시스템으로 공지한다.

<표 43> 공해차량 운행제한지역(LEZ) 적용지역 국내·외 사례

구분	적용지역 사례	
국내 (서울시)		
국외 (영국·런던)		
국외 (스웨덴-스톡홀름)		
국외 (독일)		

자료: 한국자동차환경협회, 공해차량 운행제한지역(LEZ) 제도 개선방안 마련 연구, pp. 28-55, 2015.

(2) 화물차 시가지 우회도로 구축

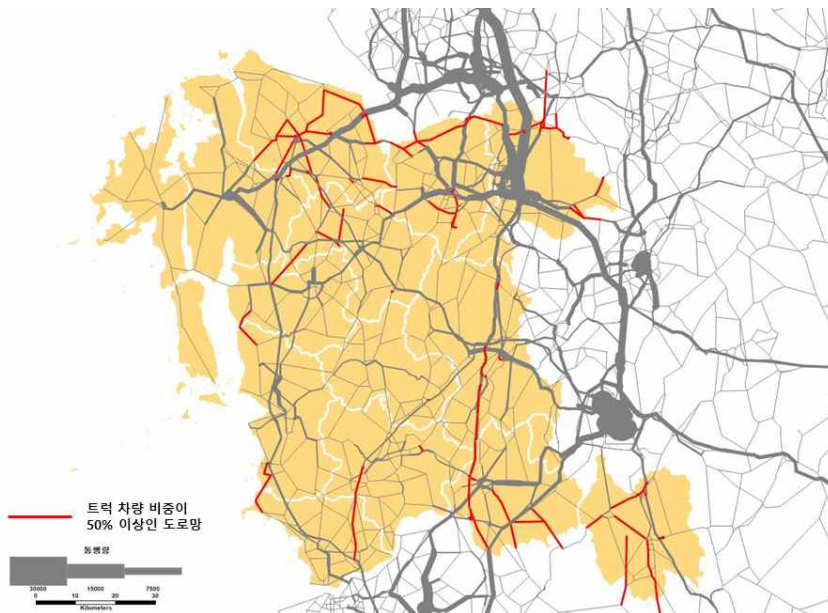
■ 필요성

트럭과 같은 대형 화물차가 경유하는 도로망이 주거지역 또는 교통약자(노인, 어린이, 장애인 등)가 밀집해있는 구역을 통과할 경우 주민들은 교통사고의 위험에 노출될 뿐만 아니라 트럭에서 배출되는 PM10, NOx 등의 유해물질들로 인하여 주민 건강에 해를 끼칠 수 있다. 따라서 화물차와 같은 대형차량이 시가지를 우회할 수 있도록 우회도로 인프라 건설이 필요하다.

■ 추진방안

충청남도 내에서 고속도로를 제외하고 국도, 지방도, 시·군도를 중심으로 트럭(소형, 중형, 대형 포함) 통행량 비중이 50%이상인 도로망을 우선적으로 선별할 필요가 있다. 따라서 이와 같은 도로망을 대상으로 인근 지역의 교통사고 건수 파악, 현장조사 등을 통하여 실질적으로 주민들의 애로사항과 환경적 측면에서의 피해도를 조사하여 우회도로 건설에 대한 타당성을 검토할 필요가 있다.

<그림 34> 충청남도 내 트럭 통행량 비중이 50% 이상인 도로망

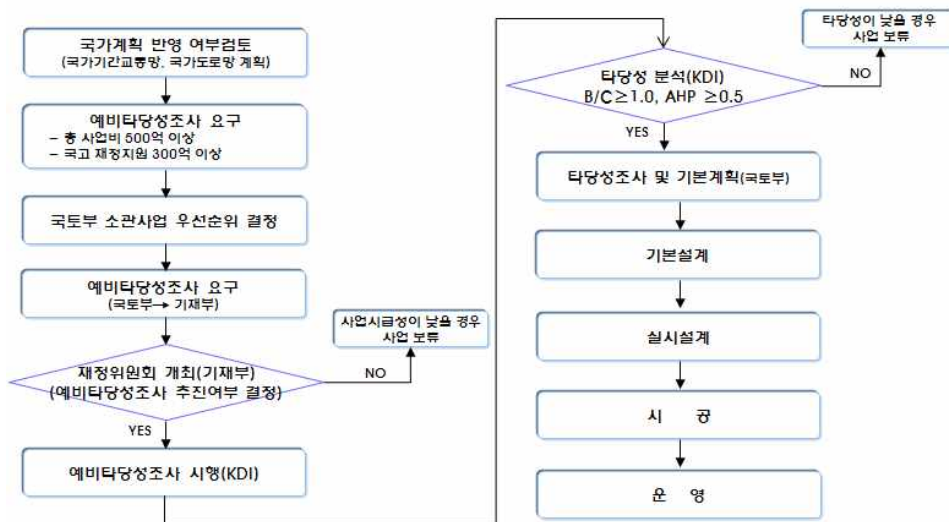


■ 국비 확보를 위한 예비타당성조사

화물차 시가지 우회도로는 대규모 비용이 수반되는 경우가 대부분이다. 총사업비가 500억 원 이상이고 이 중 국비가 300억원 이상인 사업은 국비로 사업을 진행해야 하며 예비타당성조사의 단계를 거치게 된다.

예비타당성조사는 대규모 재정사업에 대한 객관적이고 중립적인 타당성조사를 수행함. 이를 통하여 재정사업의 예산낭비를 방지하고, 재정운영의 효율성 제고를 목적으로 한다.

<그림 35> 국비가 수반되는 교통SOC 추진절차



<표 44> 편익, 비용 추정 및 타당성평가 항목과 기준

편익, 비용 추정		타당성평가 항목 및 기준		
비용 추정	- 공사비 종류 - 공사비(토공 및 구조물공, 부대공, 포장공사비, 교량설치비 등) - 용지보상비 (사업지역의 토지매입 및 보상비)	B/C (편익·비용비)	$\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} / \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$ → 1 이상	$B/C > 1.0$
		NPV (순현재가치)	$\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	$NPV > 0$
편익 추정	- 편익종류 - 차량운행비용 절감편익 - 통행시간 절감편익 - 교통사고 절감편익 - 환경비용(대기, 소음) 절감편익	IRR (내부수익율)	$\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	$IRR > 5.5$

주: B_i : 편익의 현재가치, C_i : 비용의 현재가치, r : 사회적 할인율(5.5), n : 교통사업 내구년도

(3) 교통수요관리 방안

■ 필요성

충남의 각 시·군에서 기시행하고 있는 교통수요관리 정책을 활성화할 필요가 있다. 이를 통하여 승용차 통행을 관리하고 도로부문의 대기오염물질 배출량을 감소하고자 하는 전략이다. 수도권대기환경청에서는 도로이동오염원 감소를 위한 교통수요관리 방법으로 승용차 요일제, BRT 사업, 환승편의시설(환승주차장) 확충, 버스중앙차로 설치 등을 제시하고 있다.

■ 천안시 사례분석

충남에서 천안시가 PM10, NOx, CO2 등의 배출량이 가장 많은 지역이다. 본 연구에서는 교통수요관리 방안이 제대로 수행되었을 경우를 가정하여 천안시를 대상으로 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오는 천안시의 장래 2033년 시점으로 설정하였고, 교통수요관리로 개인 승용차 수단에서 대중교통 수단으로 통행량이 전이되는 수준(10%, 20%, 30%, 40%)의 변화로 설정하였다. 그리고 대중교통(버스, 철도) 분담률이 향상되면서 PM10, NOx, CO2 등의 감소효과를 분석하였다.

<표 45> 천안시 승용차 → 대중교통 통행량 전이 시나리오(2033년 기준)

(단위: 통행/일)

시나리오	구분	승용차	버스	철도	합계	승용차 → 대중교통 전환통행량
2033년 천안시 현황	통행	670,817	306,478	68,638	1,045,933	-
	분담률	64%	29%	7%	100%	
시나리오 1 (10% 전환)	통행	603,735	361,285	80,912	1,045,933	67,082 (10% 전환)
	분담률	58%	35%	8%	100%	
시나리오 2 (20%)	통행	536,653	416,093	93,187	1,045,933	134,163 (20% 전환)
	분담률	51%	40%	9%	100%	
시나리오 3 (30%)	통행	469,572	470,900	105,461	1,045,933	201,245 (30% 전환)
	분담률	45%	45%	10%	100%	
시나리오 4 (40%)	통행	402,490	525,707	117,735	1,045,933	268,327 (40% 전환)
	분담률	38%	50%	11%	100%	

시나리오를 분석한 결과, CO2의 배출량 감소와 이에 따른 사회적비용이 줄어드는 효과가 있었으나 PM10, NOx의 경우는 오히려 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 사유는 승용차에서 대중교통(버스, 철도)으로 전환된 통행량이 기존의 버스(81.7%)와 철도(18.3%) 부담률을 그대로 따른다는 가정 하에 분석된 것에 기인한다. 따라서 승용차에서 대중교통수단으로 전환된 통행량의 81.7%가 버스로 전환된 것이다. 버스는 경유차로 가정하였으며 승용차보다 PM10, NOx의 배출계수가 더 높은 점을 감안할 경우 분석결과는 합리적 수준으로 도출된 것으로 판단된다.

분석결과를 살펴보면, 개인교통수단에서 대중교통수단으로의 전환 정책만 추진될 경우 궁극적으로 PM10, NOx의 배출량은 효과적으로 줄어들지 않을 수 있다. 따라서 버스, 화물차와 같은 대형차량의 오염원을 근본적으로 저감할 수 있는 저감정책이 동시에 수반될 경우 이러한 교통수요관리 정책의 효과가 극대화 될 수 있을 것으로 고려된다.

<표 46> 천안시 승용차 → 대중교통 통행량 전이에 따른 효과(2033년 기준)

시나리오	대기오염물질 배출량 (ton/년)			대기오염물질 사회적비용 (억원/년)		
	PM10	Nox	CO2	PM10	Nox	CO2
2033년 천안시 현황	405	8,724	1,771,247	322	1,118	2,921
시나리오 1 (10% 전환)	406	8,794	1,768,382	322	1,127	2,916
시나리오 2 (20% 전환)	406	8,866	1,764,247	323	1,136	2,909
시나리오 3 (30% 전환)	407	8,944	1,760,927	323	1,146	2,904
시나리오 4 (40% 전환)	408	9,019	1,757,450	324	1,156	2,898

2) 배출오염원 저감 관리 전략

(1) 배출가스 저감사업 활성화

■ 필요성

배출가스 저감사업은 이동 교통수단에서 파생되는 대기오염 배출량을 보다 근본적으로 저감시키는 전략이다. 앞서 설명한 배출가스 저감을 유도하는 것은 통행자의 교통수단선택 행태나 목적지로 이동 시 경로선택 행태에 변화를 주어 대기오염 배출량을 감소시키는 전략이다. 하지만, 배출가스 저감사업은 통행자의 통행행태를 변화시키는 것이 아니라 이동 교통수단의 배출오염원을 저감하는 근본적인 전략이다. 이에 따라 충남에서도 배출가스 저감사업을 보다 활성화할 필요가 있다.

■ 수도권 배출가스 저감사업 소개

기존에 시행되고 있는 「수도권대기환경개선에 관한 특별법」에 따라 2006년부터 대기관리권역에 등록되어 있는 특정경유자동차¹⁵⁾(배출가스 보증기간이 지난 경유자동차)에 대해서는 대기환경보전법의 운행자동차 배출허용기준보다 강화된 특정경유자동차 배출허용기준에 따라 관리된다. 따라서 특정경유자동차 소유자는 특정경유자동차 배출허용기준에 적합하게 유지할 수 있도록 조치해야하며 이때 소요되는 경비의 일부를 정부에서보조해 주는 사업을 의미한다.

특정경유자동차검사 배출허용기준을 초과한 자동차소유자는 배출허용기준을 만족하도록 재검사 기간내에 재검사를 받거나, 특정경유자동차 검사기간 만료일로부터 1개월 이내에 배출가스저감장치¹⁶⁾(DPF,pDPF,DOC) 부착 또는 저공해엔진(LPG)으로 개조하거나, 노후차량을 조기폐차하는 조치를 해야한다.

15) 특정경유자동차의 정의: 수도권대기관리권역(수도권 대기환경개선에 관한 특별법 제25조)에 등록된 경유자동차 중 배출가스 보증기간(대기환경보전법 제31조 및 시행규칙 별표 18)이 지난 자동차를 의미함

16) 배출가스저감장치, DPF: Diesel Particulate Filter

사업목적

- 수도권지역의 운행 경유자동차에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 줄여 미세먼지와 이산화질소를 선진국 주요도시 수준으로 개선하는 데에 기여

사업규모

- 1조 876억원(국고)를 투자하여 운행 경유차 77만대 저공해화('05-'13)

사업대상

- 특정경유자동차 배출허용기준 초과 차량
- 시·도 조례에 따른 저공해조치 의무 대상차량

예산지원

- 국가(50%)와 지자체(50%)가 저공해 조치에 소요되는 비용 일부 지원

사업내용

<표 47> 수도권 배출가스 저감사업 내용

구분	내용
배출가스 저감장치 부착	경유자동차에서 발생하는 대기오염물질을 최소화 할 수 있는 저감장치(DPF,pDPF,DOC)를 부착
저공해엔진 개조	기존 자동차 엔진을 저공해 LPG엔진으로 개조
조기폐차	차령 7년 이상의 노후경유자동차 등 정해진 조건에 모두 해당될 경우, 폐차시 비용지원

■ 저감장치 부착(DPF,pDPF,DOC)에 따른 저감률

저감장치 부착에 따른 저감률을 살펴보면, PM10은 약 37%~85%, NOx는 약 1.8%~2.6% 정도 저감이 되는 것으로 나타난다.

<표 48> 수도권 저감장치 부착에 의한 저감률

구 분	PM10	CO	HC	NOx
DPF	0.8522	0.897	0.884	0.0188
pDPF	0.5605	0.947	0.893	0.0255
DOC	0.3744	0.831	0.722	0.0184

자료: 수도권대기환경청, 수도권 대기환경개선 시행계획 추진실적 작성 지침, 2014.04.

■ PM10-NOx 동시저감장치 부착에 따른 저감률

PM10-NOx 동시저감장치 부착에 따른 저감률을 살펴보면, PM10은 85%, NOx는 70% 저감이 되는 것으로 나타난다.

<표 49> 저감장치 부착에 의한 저감률

구 분	PM10	NOx	VOCs
저감율	85%	70%	70%

자료: 수도권대기환경청, 수도권 대기환경개선 시행계획 추진실적 작성 지침, 2014.04.

(2) 친환경 자동차 활성화

■ 필요성

충남은 대기오염의 주요원인인 자동차 배기가스를 줄이기 위해 전기자동차 보급을 2012년부터 공공기관을 중심으로 보급하였으며, 대도시를 중심으로 대형 경유차량에 천연가스 자동차 보급을 추진하고 있다. 친환경 자동차 보급의 활성화를 통하여 충남의 대기오염 배출량을 획기적으로 줄이는 노력을 지속할 필요가 있다.

■ 충남의 전기 자동차 활성화 정책 현황

추진방침

- 환경, 교통 등 지역특성, 필요성과 기대효과가 큰 지역 우선 보급
- 도시형, 관광생태형, 구내형, 견학차량 등 다양한 운행모델 적용
- 세제지원, 공영주차장 요금, 고속도로 통행료 감면 등 추진
- 지원금액
 - 전기자동차 : 고속 1,200만원/대, 버스 1억원/대 정액 국비 지원
 - 전기자동차 충전기 : 400만원 정액 국비 지원

EV선도도시 1개지자체 지정 확정에 따른 전기자동차 대대적 보급

- 당진시에 '12년~'14년 까지 전기차 100대, 충전기 100기 보급

- EV (electric vehicle) 선도 도시 : 전기차의 신속한 보급 확산을 위하여 주변도시로 파급이 용이한 1개 시·군을 거점으로 지정 집중보급

<표 50> 충남 전기 자동차 연차별 보급현황

(단위: 대)

구분	계	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년
전기차	123	3	4	57	31	20	8
충전기	135	0	3	73	31	20	8

활용분야: 순회보건진료, 상수도 검침, 관광지관리, 노인·장애인 복지사업, 산업단지 구내운영 등

자료: 충남도청 홈페이지

■ 충남의 천연가스 자동차 정책 현황

경유사용 시내버스를 저공해 차량인 천연가스 (CNG) 버스로 대체 보급하여 대기질 개선

- 지원대상 : 시내버스, 청소차, 통근·통학용 버스, 통근·통학용 전세버스 등

- 지원조건 : 천연가스 자동차로 교체시 교체비용의 일부 지원

대형버스 (배기량 11,000cc이상) : 1,200만원/대 (국비50%, 지방비50%)

중형버스 (배기량 11,000cc미만) : 700만원/대 (국비50%, 지방비50%)

CNG 하이브리드버스 : 6,000만원/대(국비50%, 지방비50%)

청소차 (11톤급) : 4,200만원/대 (국비50%, 지방비50%)

청소차 (5톤급) : 2,700만원/대 (국비50%, 지방비50%)

<표 51> 충남 천연가스 자동차 연차별 보급현황

(단위: 대)

구분	계	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15
천안시	510	69	72	52	36	22	18	52	22	25	13	77	38	14
계룡시	21											21		
계	531	69	72	52	36	22	18	52	22	25	13	98	38	14

자료: 충남도청 홈페이지

■ 천안시 사례분석

본 연구에서는 천안시를 대상으로 전기차 도입이 원활히 수행되었을 경우를 가정하여 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오는 천안시의 장래 2033년 시점으로 설정하였고, 개인 승용차의 전기차 도입 수준(0%, 5%, 10%, 15%, 20%)의 변화에 따라 PM10, NOx, CO2 배출량 저감량을 산정하였다.

시나리오를 분석한 결과, PM10, NOx, CO2의 배출량과 이에 따른 대기오염물질의 사회적 비용이 줄어드는 효과가 있었다.

<표 52> 천안시 개인 승용차 → 전기차 전환 시나리오(2033년 기준)

시나리오	대기오염물질 배출량 (ton/년)			대기오염물질 사회적비용 (억원/년)		
	PM10	Nox	CO2	PM10	Nox	CO2
2033년 천안시 현황	405.41	8,724.48	1,771,246.76	322	1,118	2,921
시나리오 1 (5% 전환)	404.23	8,705.46	1,758,888.91	321	1,116	2,900
시나리오 2 (10% 전환)	403.05	8,686.38	1,746,545.48	320	1,113	2,880
시나리오 3 (15% 전환)	401.88	8,667.44	1,734,214.11	319	1,111	2,860
시나리오 4 (20% 전환)	400.69	8,648.29	1,721,856.11	318	1,109	2,839

제6장 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

충남은 수도권과 달리 도로이동오염원의 배출량이 상대적으로 많은 지역을 우선적으로 선정하고 저감정책을 적용할 필요가 있다. 수도권의 도로이동오염원이 전체 배출량에서 차지하는 비중¹⁷⁾을 살펴보면, PM10의 경우는 서울 42%, 경기 46%, 인천 19%로 집계되고, NOx의 경우는 서울 43%, 경기 51%, 인천 27%로 집계된다. 수도권 지역은 기본적으로 총량적 수준이 높을 뿐만 아니라 비율적으로도 도로이동오염원의 비중이 높다. 충남은 총량적 측면에서 PM10, NOx 배출량이 수도권보다는 작은 수준이나, 각 시·군별로 살펴보면 도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높은 지역이 일부 존재한다. 따라서 도로부문의 대기오염물질 배출량 저감을 위한 전략을 마련할 경우 각 시·군별로 차별성을 둘 필요가 있다.

PM10과 NOx를 기준으로 충남의 각 시·군별 도로이동오염원이 차지하고 있는 비중을 검토한 결과, 평균적 비중이 PM10 34.6%, NOx 37.8%로 분석된다. 도로이동오염원 중 PM10과 NOx의 비중이 50%가 넘는 지역은 공주시, 금산군, 논산시, 천안시 등으로 집계된다. 총량적 수준에서는 당진시가 가장 많으나 이는 대부분 에너지산업연소 부문의 배출량이다. 따라서, 총량적 수준과 도로이동오염원의 비중을 고려할 경우 충남지역에서는 천안시가 도로이동오염원에서 배출되는 유해물질이 가장 많은 것으로 검토된다.

도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 추진전략을 두 가지로 제안한다. 이는 배출량

17) 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, pp. 105-122, 2015.12.

저감을 유도하는 전략과 배출오염원 저감 관리 전략으로 구분된다.

첫째는 배출량 저감을 유도하는 전략이다. 직접적으로 배출량을 저감하는 방식이 아니라 통행행태의 변화를 유도하여 지역 내의 대기오염물질 배출량을 저감하는 것이다. 이는 통행자로 하여금 교통수단의 선택행태를 변화시키거나 이동경로의 선택행태를 변화시키는 전략이다. 즉, 특정 지역의 통과차량을 우회시키거나 승용차와 같은 개인교통수단에서 대중교통수단으로 전환을 유도하여 배출량을 저감하는 것이다. 이와 관련된 추진정책은 ①공해차량 운행제한 지역(LEZ, Low Emission Zone), ②화물차 시가지 우회도로 구축, ③교통수요관리 방안 등이 있다.

둘째는 배출오염원 저감 관리 전략이다. 차량에서 배출되는 대기오염물질 배출원의 PM10, NOx를 근본적으로 저감시키는 전략이다. 이와 관련된 추진정책은 ①배출가스 저감사업 활성화, ②친환경 자동차 활성화 등이 있다.

도로이동오염원 배출량 산출과 관련하여 공인된 기관에서 적용한 기존의 배출량 산정 모형과 교통수요분석모형의 특징을 살펴보면, 국가적 차원에서 총량적 개념의 신뢰성 수준은 기존 배출량 산정모형이 우수하고, 교통부문의 장래여건변화를 반영한 정책시나리오별 배출량 산출에 있어서는 교통수요분석모형이 적합한 것으로 고려된다.

<표 53> 기존 배출량 산정모형과 교통수요분석모형 특징 비교

구분	기존 배출량 산정모형	교통수요분석모형
관련지침	- 국립환경과학원 방법론 - 교통안전공단 방법론	- 예비타당성조사지침 방법론 - 교통시설투자평가편람 방법론
장래예측 분석 가능성	불가능(과거 자료의 집계 수준임)	가능(KTDB 예측치 사용 가능)
여건변화 분석 가능성	불가능(과거 자료의 집계 수준임)	가능 (교통수요예측분석 가능)
국가적 차원의 총량적 배출량 수준의 신뢰성 (모수에 가까운 수치 정도)	상 (자동차 주행거리, 자동차 등록대수는 모수에 가까운 수치임)	중 (네트워크의 상세성, 속도 정산, 내부통행량 미배정, 총량적 자동차 주행거리(대.km)의 현실성 문제 등)
도로부문의 실질적인 지역별 배출량 산정	불가능 (통과교통량 특성반영 미흡.)	가능 (도로네트워크에 배정된 통행량과 배출량을 지역별로 집계 가능)

2. 연구의 한계와 향후 연구과제

본 연구에서는 충남지역에 대하여 교통수요예측모형과 네트워크 분석을 통하여 도로부문의 대기오염물질 배출량 산정을 시범적으로 수행하였다. 이러한 시도는 대기오염물질 배출량을 저감하는 정책에 대하여 거시적인 시뮬레이션 결과를 이용하여 정책의 기대효과를 정량적으로 산출하는 데에 기여할 것으로 판단된다.

대기오염물질 배출량 산정에 있어서 거시적인 교통수요예측모형을 활용하는 데에는 네 가지 쟁점사항이 있다. 첫째는 교통존과 네트워크 상세성에 대한 불일치 문제, 둘째는 통행배정 모형의 현실 설명력 향상을 위한 네트워크 현황정산 단계에서 속도(km/h) 정산 문제, 셋째는 네트워크 분석에서 통행량 배정(traffic assignment)이 안되는 내부통행량(intra-zonal trip) 집계 문제, 넷째는 네트워크 분석에서 도출된 총량적 자동차 주행거리(대·km)가 실측치와 어느 정도 일치하는가에 대한 문제이다.

이러한 쟁점사항은 대기오염물질 배출량 산정의 신뢰성과 밀접한 관련이 있으나 본 연구에서 면밀하게 다루지 못한 한계가 존재한다. 장래 여건변화를 고려한 정책의 효과를 예측하기 위해서는 모형에 의한 분석이 수반된다. 거시적인 교통수요예측 기법에 있어서 이와 같은 한계점을 극복할 수 있는 추가적인 실증연구가 필요하다.

향후 연구과제는 도로부문의 대기오염물질 배출량 분석모형 연구와 정책 연구로 구분할 수 있다. 첫째, 분석모형과 관련된 연구로는 거시적 교통수요예측모형을 적용하는 데에 있어서 한계점을 극복할 수 있는 연구, 거시적 관점이 아닌 미시적 관점에서의 도로이동오염원 배출량 분석 연구, 정적인 개념이 아닌 동적인 개념에서의 대기확산모형을 활용한 연구 등이 필요하다. 둘째, 교통운영정책과 관련된 연구로는 현재 천안시와 계룡시에서만 운행되고 있는 CNG버스를 각 시·군에 확대시행하는 CNG버스 전환정책에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 노후경유차량 운행제한지역(환경지역) 시행방안, 2008.
- 국립환경과학원, 대기환경연보, 2014.
- 국립환경과학원, 2013 국가 대기오염물질 배출량, 2015.
- 서울연구원, 교통부문 온실가스배출량의 지역별 할당방법 비교분석, 2014.
- 수도권대기환경청, 수도권 대기환경개선 시행계획 추진실적 작성지침, 2014.
- 온실가스종합정보센터, 2013 국가온실가스 인벤토리보고서, 2014.
- 이원규, 저탄소 녹색도시 구현을 위한 녹색교통정책 추진방안 연구보고서, 2012.
- 최기주 외, “도로이동오염원배출량산정을위한Bottom-UpApproach기법의개선에관한연구”, 대한교통학회지, 27(4), pp.183-193, 2009.
- 한국개발연구원, 도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판), 2008.
- 한국자동차환경협회, 수도권 제2기 대책중교통부문 정책마련 연구, 2013.
- 한국자동차환경협회, 공해차량 운행제한지역(LEZ) 제도개선방안 마련연구, 2015.
- 한국환경공단, 지자체 온실가스 감축사례집, 2014.
- 한국환경정책평가연구원, 친환경차 보조금지원정책의 온실가스 감축효과 연구, 2015.
- 환경부, 수도권 대기환경 개선대책 그 성과와 미래, 2014.
- 환경부, 친환경 자동차 시대 보급 성과와 전략, 2014.

- 웹사이트 -

- 교통량정보제공시스템 : <http://www.road.re.kr>
- 교통부문온실가스관리시스템 : <https://www.kotems.or.kr>
- 교통안전공단교통안전정보관리시스템 : <https://tmacs.ts2020.kr>
- 국가온실가스배출량종합정보시스템 : <http://netis.kemco.or.kr>
- 국립환경과학원 국가대기오염물질배출량서비스 : <http://airemiss.nier.go.kr>
- 법제처 : <http://www.moleg.go.kr>
- 에어코리아 : <http://www.airkorea.or.kr/index>
- 온실가스 종합정보센터 : <http://www.gir.go.kr>
- 충청남도 홈페이지 : <http://www.chungnam.go.kr>
- 한국 자동차 환경협회 : <http://www.aea.or.kr>

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 김형철 충남연구원 책임연구원

공동연구 · 장준용 충남연구원 연구원

전략연구 2016-50 · 충남 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 교통정책방안

글쓴이 · 김형철, 장준용

발행자 · 강현수 / 발행처 · 충남연구원

인쇄 · 2016년 9월 30일 / 발행 · 2016년 9월 30일

주소 · 충청남도 공주시 연수원길 73-26 (32589)

전화 · 041-840-1145(지역도시연구부) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1159

ISBN · 978-89-6124-395-7 03350

<http://www.cni.re.kr>

© 2016. 충남연구원

■ 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.

무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.

■ 연구보고서의 내용은 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.