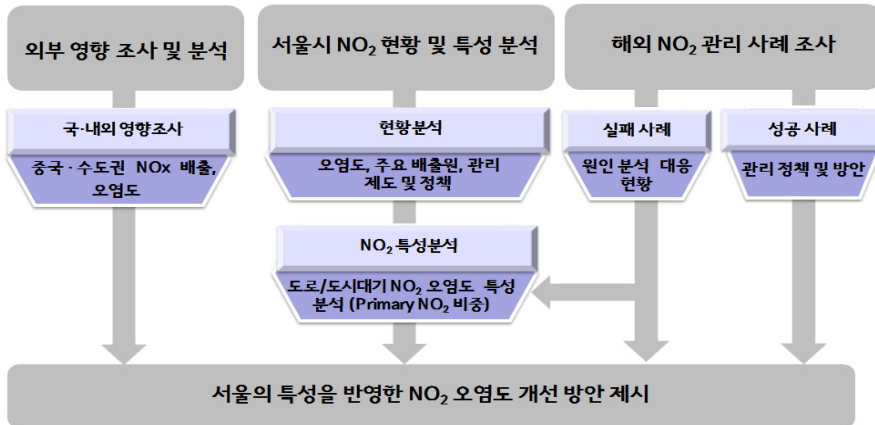


요약 및 정책건의

1. 연구의 개요

- 서울시는 2006년 수립된 ‘수도권 대기환경개선 기본계획 추진을 위한 서울특별시 시행계획’에 기초하여, 2014년까지 미세먼지(PM)와 이산화질소(NO_2)의 농도 개선을 목표로 도로이동오염원, 사업장, 에너지 등 광범위한 분야에 걸친 오염물질 배출량 저감정책을 추진 중임.
- 서울시의 지속적 질소산화물(NO_x) 배출 저감정책의 추진에도 불구하고 가시적인 NO_2 오염도 개선효과가 나타나지 않음.
 - NO_2 농도가 대기환경기준을 상회하고 있으며, 연도별 변화경향도 증·감을 반복하며 뚜렷한 개선 경향이 관찰되지 않음.
- 이 연구에서는 서울의 NO_2 오염도 개선 속도가 더딘 원인을 분석·진단하고 서울의 고유한 NO_2 특성을 파악하여, 효과적인 NO_2 관리를 위한 개선 방안을 모색하고자 함.

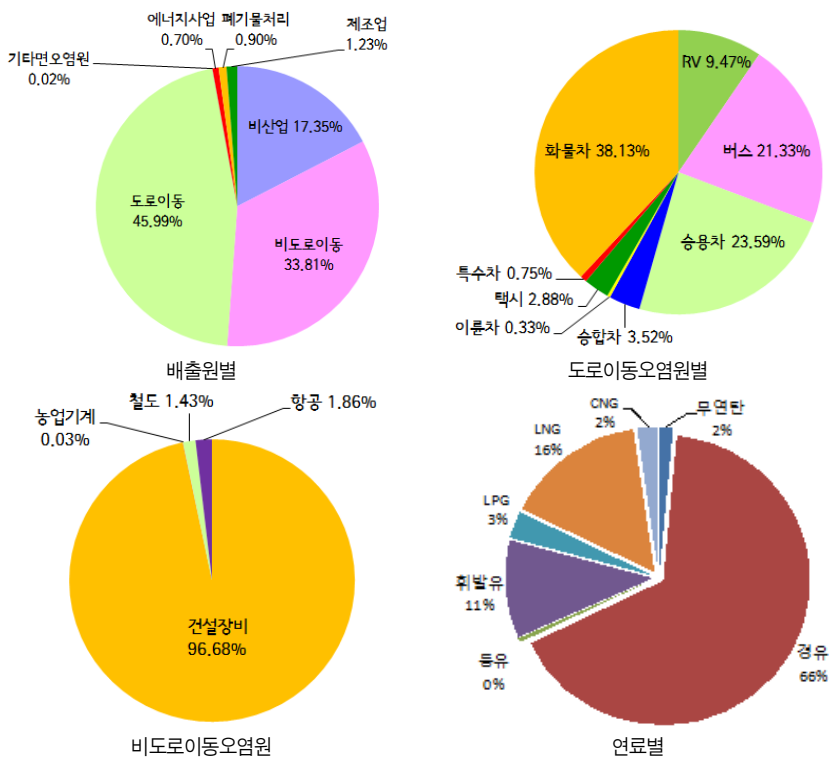


〈그림 1〉 연구내용 및 체계

2. 서울시 이산화질소(NO₂) 현황

1) NO_x 배출량 현황

- 서울시 NO_x는 대부분이 경유, 휘발유, LNG 등 화석연료 연소에 의해 배출되고, 주요 배출원은 자동차, 건설기계 등 이동오염원과 비산업시설임.
- 연료별로는 경유사용이 66%로 가장 크며, 배출원별로는 자동차 등 도로이동오염원의 배출이 46%로 가장 큼.



〈그림 2〉 서울시 NO_x 배출원별, 연료별 배출비중(2007년 기준)

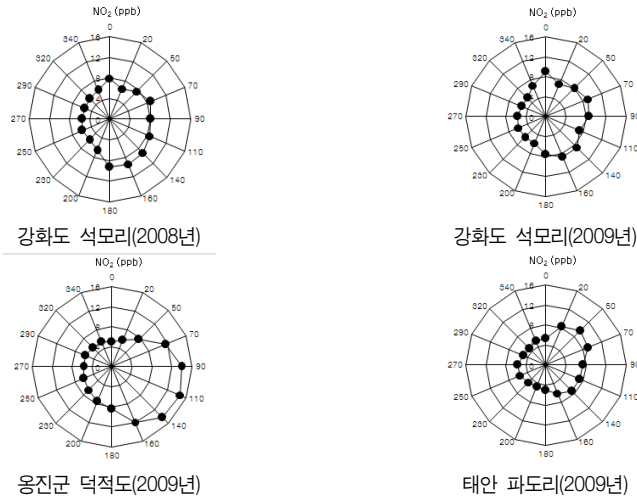
2) NO₂ 관리정책 및 제도

- 서울의 NO_x 주요 배출원이 자동차 등 이동오염원이므로 전반적으로 자동차 관련 NO_x 저감사업의 추진이 활발함.
- 이동오염원 관리 : 국가차원에서 추진하는 제작차 배출허용기준 강화, 자동차 연료품질 개선과 서울시가 주체적으로 추진하는 전기차 등 저공해자동차 보급, 운행경유차 저공해화사업 시행
- 사업장 관리 : 대형사업장에 대한 NO_x 배출총량 관리제 시행, 발전시설 및 대형소각시설의 배출허용기준 강화, 중소사업장과 공동주택에 저 NO_x버너 보급 추진
- 에너지 관리 : 청정연료사용 의무화, 폐기물·지열 등 신재생에너지 보급 확대, 지역난방 보급 확대 사업 진행

3. 외부 영향조사 및 분석

1) 장거리 이동의 영향

- 중국 등 외부에서의 오염물질 장거리이동 현황 파악을 목적으로 설립된 국가배경농도 측정소(강화도 석모리, 웅진군 덕적도, 태안 파도리)의 2000년~2009년 측정자료를 정성적으로 분석함.
- 강화도, 웅진군, 태안의 NO₂ 연평균 농도 분석결과, 2003년 이후 NO₂ 연평균 농도는 서울 연평균 NO₂ 농도의 1/4 수준인 0.008ppm 이하 유지
- 풍향별 NO₂ 농도 분포 분석결과, 서풍에서는 낮은 농도를 유지하는 반면, 동풍에서는 보다 높은 농도 관측
- 따라서, 중국에서 배출되는 오염물질의 장거리이동이 서울의 NO₂ 고농도 현상에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 추정됨. 단, 보다 정확한 분석을 위해서는 심도 있는 정량적 분석 진행 필요



〈그림 3〉 국가배경농도 측정소의 풍향별 NO₂ 농도 분포

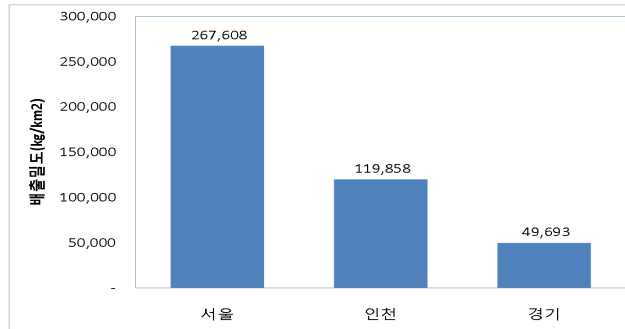
2) 인천 · 경기지역의 영향

○서울과 인접한 인천 및 경기지역의 NO_x 배출은 기상여건에 따라 서울의 NO₂ 농도에 보다 직접적으로 영향을 미칠 수 있어, 경기 · 인천지역 NO_x 배출이 서울의 NO₂ 농도에 미치는 영향을 정성적으로 조사함.

- 경기지역의 NO_x 배출량이 서울 및 인천지역에 비해 크게 높으나, 단위 면적당 NO_x 배출밀도는 서울이 인천시의 2.2배, 경기도의 5.4배 수준임.
- 서울, 인천, 경기 5대 도시(수원, 성남, 부천, 안양, 안산)의 도시대기 측정망에서 측정된 NO₂ 연평균 농도 변화추이를 보면 NO₂ 농도는 서울이 가장 높고 이어 경기, 인천 순으로 나타남.
- 경기 주요도시와 인접한 서울의 도시대기측정소(강서구, 양천구, 구로구, 금천구)에서 측정한 NO₂ 시간별 농도의 풍향별 분포 분석결과, 인천 및 경기 주요도시가 위치한 남서 계열의 풍향보다 북동계열의 풍향에서 NO₂ 농도가 높게 관찰됨. 반면, 서울 도시배경측정소인 북한산의 NO₂

시간별 농도는 남풍계열에서 높게 관찰됨.

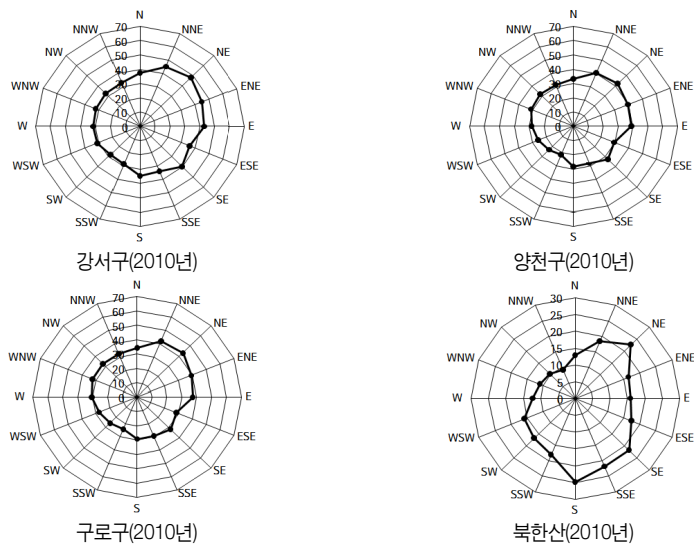
—이는 서울의 NO_2 고농도 현상에 미치는 서울시 내부 배출원의 영향이 외부적 영향보다 클 수 있음을 간접적으로 시사함.



자료 : 국립환경과학원, 대기오염물질배출량 2007, 2009.12

주 : 2007년 배출량 기준, 산림면적 제외

〈그림 4〉 면적당 NO_x 배출밀도 비교



〈그림 5〉 경기·인천과 인접한 서울 대기측정소와 북한산 측정소의 풍향별 이산화질소(NO_2)농도

3) 종합정리

- 서울의 NO₂는 중국으로부터의 장거리 이동 영향보다 국내 배출(특히, 경유사용에 따른 NO_x 배출)의 영향이 보다 크며, 특히, 서울시와 서울시 인접 수도권 도시들의 경유사용 자동차, 건설기계 등 이동오염원과 인천, 경기지역에 분포한 발전시설 등 사업장에서의 연료연소에 의한 NO_x 배출이 서울의 NO₂ 농도에 일정 정도 영향을 미칠 것으로 보임.
- 하지만, 외부 영향보다는 면적당 NO_x 배출밀도가 높은 서울의 내부 NO_x 배출 영향이 서울 NO₂ 고농도에 보다 큰 요소로 작용하고 있을 것으로 추정
- 또한, 인천, 경기 등 서울시 외부의 NO_x 배출원에 대한 관리는 수도권의 상호협력을 통해 개선해야 하므로, 서울시는 주요한 내부 NO_x 배출원(경유 사용 이동오염원, LNG 연료연소설비 등)에 대한 효과적 관리로 NO₂ 농도 개선을 꾀해야 함.

4. 해외 이산화질소 관리 사례조사

1) 일본 도쿄

- 도시대기뿐 아니라 도로변 NO₂ 농도의 꾸준한 개선
- 도쿄 NO_x의 약 50%는 자동차에서 배출되며, 자동차의 NO_x 배출량 중 약 80%는 경유차임. 2005년 NO_x 배출량은 2000년 대비 24% 감소하였으며, 대부분 경유자동차에서 저감
- 주요 NO_x 배출관리 정책 및 제도
 - 자동차 NO_x · PM법 : 2001년부터 자동차의 PM뿐 아니라 NO_x 배출에 대한 규제로 기준 초과 차량의 도쿄도내 등록 제한 실시
 - 도쿄도 환경확보 조례 : 2003년부터 미세먼지 과다배출 경유자동차 운행제한 실시, 도쿄도와 주변 3개현을 포함하는 광역적 운행제한 대상에 외지차량도 포함

- 제작차 배출허용기준 : 미국 다음으로 자동차에 대한 엄격한 배출기준 적용으로 휘발유차보다 NOx 배출이 많은 경유자동차의 보급 차단
- PM·NOx 동시저감장치 상용화 조기 실현
- 연료 황함유량 관리 : 저감장치의 효과성 증대를 위하여 저유황경유 조 기도입

2) 미국 캘리포니아주

- 캘리포니아주의 NO₂ 농도는 꾸준히 개선되어 연평균기준 이하로 유지
- 1990년 이래로 NOx 배출량이 지속적으로 감소하였으며, NOx 배출저감은 대부분 이동오염원 분야에서 발생함. 향후에도 지속적으로 이동오염원의 배출저감 정책 강화 계획
- 주요 NOx 배출관리 정책 및 제도
 - 제작차 배출허용기준 : 세계에서 가장 엄격한 자동차 배출기준 적용으로 경유차의 보급률 미미
 - Diesel Risk Reduction Program : 미세먼지 저감을 주목적으로 대형 운행 경유차에 대하여 서울과 유사한 저공해사업 진행 중
 - 미세먼지 저감장치(DPF) 인증기준 : 2009년부터 미세먼지 저감장치 인 증 시 NO₂ 배출증가에 대한 제한기준(20% 이내) 만족여부 검사

3) 영국 런던

- 도로변뿐 아니라 도시대기의 NO₂ 농도가 환경기준을 초과하는 사례가 발 생하고 있으며, 개선의 경향도 미미
- 런던 NOx 배출량은 도로이동오염원이 47%, 가정 및 상업, 산업용 연료연 소는 33% 정도 차지
 - 도로이동오염원 중 화물차가 41%, 승용차 35%, 버스 22% 차지

- 2008년 전체 NO_x 배출량은 2004년 대비 47% 감소하였으며, 이동오염원과 가정 및 상업, 산업용 연료연소에서 배출 저감 발생
- 주요 NO_x 배출관리 정책 및 제도
 - 제작차 배출허용기준 : 미국 및 일본보다 느슨한 배출허용기준 적용으로 경유자동차의 보급률이 높음.
 - 혼잡통행료 징수 : 교통정체 완화를 위해 런던 중심지역을 대상으로 통행료 징수(일정시간을 정하여 시행)
 - LEZ(배출가스 저배출지역) 시행 : 미세먼지 저감을 주목적으로 2008년부터 외지차량을 포함한 대형 경유차의 런던권역내 운행제한
- 자동차의 NO_x 배출량 저감에도 불구하고 도로변 NO₂ 농도의 상승경향에 주목하여 자동차의 Primary NO₂¹⁾ 배출 조사 실시
 - 일반적으로 자동차의 Primary NO₂ 배출비율은 5% 정도이고 NO 배출비율은 95%로 알려져 있으나, 최근 경유자동차 조사에서는 NO₂ 배출비율이 30~80%까지 높게 나타나, 경유차의 보급률이 많은 유럽 중심으로 Primary NO₂ 배출 조사 및 분석이 활발함.
 - 런던의 Primary NO₂ 배출비율이 지속적으로 증가하는 것으로 조사되어 (2009년 22% 수준) Primary NO₂가 NO₂ 개선 부진의 주요한 원인으로 추정
 - 경유차의 Primary NO₂ 배출이 높은 이유는 Euro 3배출기준 도입에 따른 미세먼지 배출허용기준의 대폭 강화로 미세먼지 저감을 위해 DOC, DPF가 장착되기 시작했기 때문임. DOC, DPF는 장치의 특성상 NO₂ 배출 (Primary NO₂) 증가 초래

1) NO₂는 생성과정에 따라 Primary NO₂와 Secondary NO₂로 구분됨. Primary NO₂는 자동차, 보일러 등 연료연소 배출원에서 직접 배출되는 NO₂를 칭하며, Secondary NO₂는 대기 중에서 NO(일산화질소)의 광화학 반응으로 생성되는 NO₂를 칭함.

- 런던은 Primary NO₂ 배출 관리를 위하여, PM · NO_x 동시 저감장치 부착 프로젝트 및 시범사업을 진행 중이며, DPF 인증기준에 NO₂ 증가에 대한 제한치 설정을 고려 중임.

〈표 1〉 해외 도시의 주요 NO₂(NO_x) 저감정책 비교

분류		미국 캘리포니아주	일본 도쿄	영국 런던
이동 오염원	제작차 배출허용기준 (경유차 NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> - 세계에서 가장 엄격한 배출기준 설정 및 휘발유보다 높은 경유가격정책으로 경유자동차의 보급률이 낮음(2008년 3% 이내) - 승용차 : 1994년 0.12g/km, 2004년 0.03g/km - 중량차 : 1994년 6.7g/kwh, 2004년 2.7g/kwh, 2007년 0.27g/kwh 	<ul style="list-style-type: none"> - 엄격한 배출기준 설정으로 경유자동차의 보급률이 낮음 (2005년 4% 이내) - 승용차 : 1997년 0.4g/km, 2002년 0.3g/km, 2004년 0.15g/km, 2009년 0.08g/km - 중량차 : 1998년 4.5g/kwh, 2003년 3.4g/kwh, 2005년 2.0g/kwh, 2009년 0.7g/kwh 	<ul style="list-style-type: none"> - 경유자동차의 보급률 지속적 증가 (2008년 약 26%), 유럽국가의 평균적 경유자동차 보급률은 50%이상 - 승용차 : 2000년 Euro 3 0.5g/km, 2005년 Euro 4 0.25g/km, 2009년 Euro 5 0.18g/km, 2014년 Euro 6 0.08g/km - 중량차 : 2000년 Euro 3 5.0g/kwh, 2005년 Euro 4 3.5g/kwh, 2008년 Euro 5 2.0g/kwh, 2013년 Euro 6 0.4g/kwh
	경유 품질 개선(황함유량)	<ul style="list-style-type: none"> - 1993년 500ppm - 2006년 15ppm 	<ul style="list-style-type: none"> - 2002년까지 500ppm - 2003년 50ppm - 2005년 10ppm 	<ul style="list-style-type: none"> - 1999년 350ppm - 2004년 50ppm - 2008~2009년 10ppm
	운행차관리	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 저감을 주요 목적으로 경유차량의 저공해화 유도(DPF 장착, CNG, 연료전지 등 저공해차로 엔진개조 및 대체, 노후차 폐차 유도) - OBD III(배출가스 자기진단장치)부착 의무화 : 1997년부터 14,000lb 이하의 모든 제작차량에 부착, 2010년 14,000lb 이상 차량도 부착 시작 	<ul style="list-style-type: none"> - 자동차 NO_x-PM법(2001년부터) : 휘발유 승용차를 제외한 모든 차량 중 PM과 NO_x 배출기준 만족차량만 도쿄도내 등록 및 수속 가능(수도권 포함 대도시권에 적용) - PM-NO_x 동시저감장치 상용화 - 자동차 공해감시원(G맨)을 배치하여 정기적 검사 및 단속으로 공해차량 관리 - 저공해차로 대체 유도 : 도내 200대 이상 자동차 사용 사업자에 저공해차의 일정 비율 도입의무제 시행 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 저감을 주요 목적으로 중,대형 경유차의 저공해화 유도(DPF 장착, 환경기준이 강화된 차량으로 교체 등) - 경유버스에 PM-NO_x 동시저감장치 부착 시범사업 진행 - 저공해차(전기차, 하이브리드차, Euro 5 이상)로 대체 유도 - OBD : Euro 3(2000년) 제작차부터 도입

〈표 계속〉 해외 도시의 주요 NO₂(NO_x) 저감정책 비교

분류		미국 캘리포니아주	일본 도쿄	영국 런던
이동 오염 원	운행 제한 제도	-	- 도쿄환경확보조례(2003년부터) : 승용차제 외 모든 경유차 대상으로 미세먼지 기준 부적합 차량의 도쿄도 운행제한(DPF 장착, 저공해차로 교체 및 폐차 유도), 외지차량도 포함 및 수도권 공동시행	- 혼잡통행료 (2003년부터) 실시로 교통량 저감 - 배기가스 저배출지역(LEZ) 운영(2008년부터) : 화물차, 버스 등 중대형 경유차가 미세먼지 기준(Euro 3 수준 이상) 부적합 시 일일요금 지불, 외지 차량 포함
	DPF 인증 기준	- 다른 대기오염물질의 배출이 저감장치 장착으로 인하여 증가해서는 안됨. - DPF 인증 시 미세먼지 배출저감장치 부착으로 인한 NO ₂ 배출 증가량 20% 이내 설정	- 다른 대기오염물질들이 저감장치 장착전보다 10% 측정오차 범위에서 증가해서는 안됨.	- 미세먼지 외의 다른 대기오염물질에 대해서는 대상차량에 해당하는 Euro 기준 만족 요구 - 미세먼지 저감장치 부착 전·후에 측정한 NO ₂ /NO _x 의 비율을 기록하도록 하고 있으나 특별한 기준은 미설정 - 향후, DPF 인증 시 NO ₂ 증가율에 대한 제한치 설정여부 고려 중
	Primary NO ₂ 문제	- 경유차의 보급률이 낮아, 큰 문제로 대두되지 않음. - 하지만, DPF 인증 시 NO ₂ 배출 증가량 제한치를 설정하여 관리	- 경유차의 보급률이 낮아, 큰 문제로 대두되지 않음.	- 경유차의 보급률이 높고, Primary NO ₂ 배출 비율이 높은 Euro 3 & Euro 4 운행이 많아 주요 이슈로 대두되고 있음.
그 외		-	- 법률의 규제대상보다 작은 업무용 소규모 연소기기에 대하여 NO _x 기준을 설정하고 '저NO _x 연소기기' 인증제 시행 : 배출관리의 사각지역인 소규모연소시설에 대한 관리 시행	-

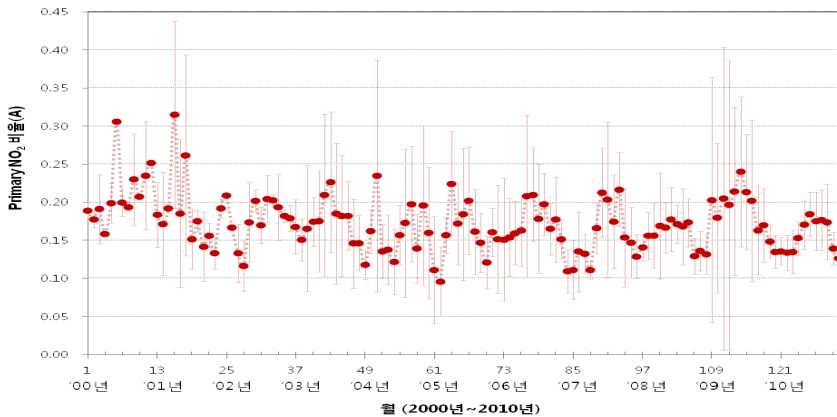
5. 서울의 이산화질소 특성분석

1) 특성분석방법

- 서울시의 경유차 등록비율이 전체 자동차의 30%(승용차와 승합차만 고려 시 21%)에 육박하고, 유럽도시에서 Primary NO₂ 배출로 문제시되고 있는 Euro 3, 4 경유차의 운행이 많을 것으로 추정되는바, Primary NO₂ 배출에 대한 분석 조사 필요
- Abbott이 제시한 방법을 적용하여 서울시의 차량 운행조건(차종구성 및 운행 특성 등)에서 Primary NO₂ 배출비중을 추정함.
- 서울의 도로변 측정소 12개 지점과 이와 인접한 도시대기측정지점을 배경 지점으로 선정하여 차량운행이 많은 07~19시의 시간별 NO, NO₂, O₃ 측정 자료를 이용하여 분석함(2000년~2010년 대상).

2) 특성분석 결과

- 산출된 연평균 Primary NO₂ 배출비율은 동대문 0.14~0.38, 서울역 0.11~0.24, 신사 0.11~0.20, 신촌 0.12~0.22, 영등포 0.12~0.24, 청계4가 0.14~0.35, 청량리 0.15~0.21이며, 2008년 이후 신설되어 운영되고 있는 측정소의 경우 길동 0.14~0.16, 종로 0.12~0.15, 강변로 0.16, 양재 0.13~0.14, 태릉 0.12~0.15임.
- 전체 도로변 측정소의 평균 Primary NO₂ 배출 비율은 월평균 0.11~0.32로 나타나며, 특히 2009년에 측정소별 편차가 크게 조사되었고, 연평균으로는 0.15~0.21로 산출됨.

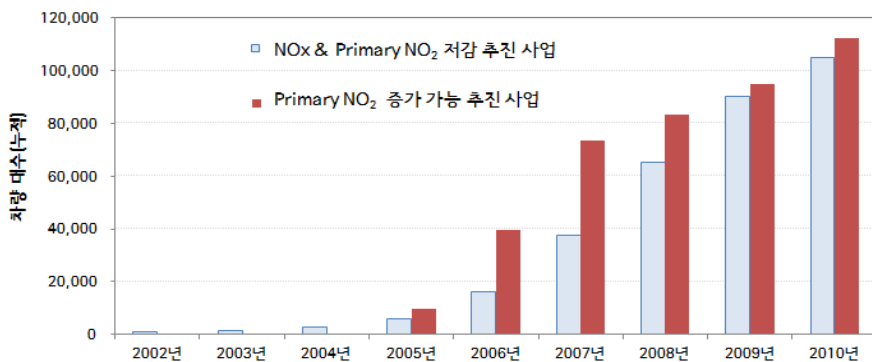


주 : 평균±표준편차(1S,D), 서울역, 청계4가, 길동 측정소 제외

〈그림 6〉 전체 도로변 측정소의 월별 평균 Primary NO₂비율의 변화

○서울시의 경우 런던처럼 증가 또는 감소하는 경향이 뚜렷이 보이지 않는 이유는 서울의 경유차 비율이 런던보다 낮으며, 서울에서 시행 중인 운행 경유차에 대한 다양한 저공해 사업으로 Primary NO₂ 배출 문제가 일부 상쇄되었기 때문으로 보임.

—DPF, DOC 부착사업(Primary NO₂ 배출 증가를 초래하는 사업)과 경유 버스의 CNG 버스 교체, 조기폐차, LPG 개조 사업(NO_x 배출과 Primary NO₂ 배출 문제를 동시에 완화할 수 있는 사업)의 누적 추진실적이 유사



〈그림 7〉 서울시 대기질 개선 사업 추진실적 비교(Primary NO₂ 증감에 따른 구분)

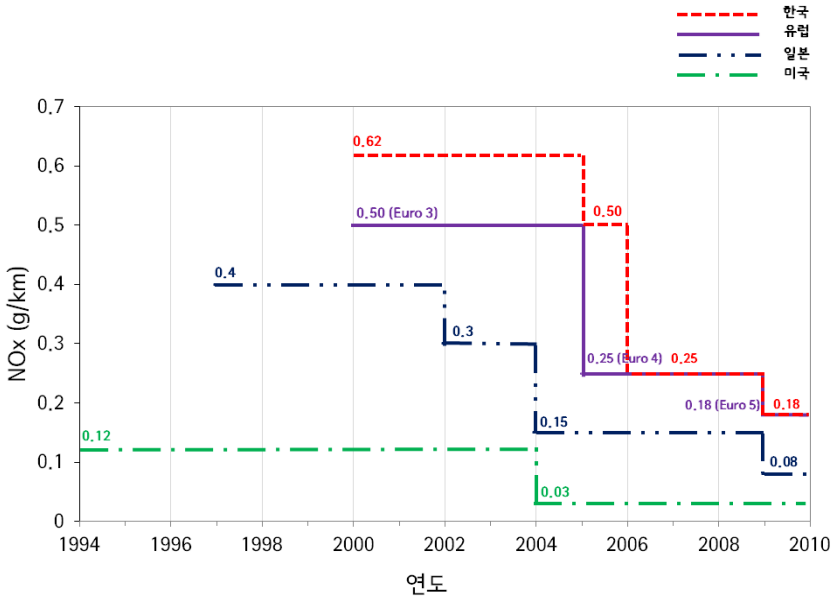
6. 이산화질소 저감둔화 원인 및 방안

1) 이산화질소 저감둔화 원인

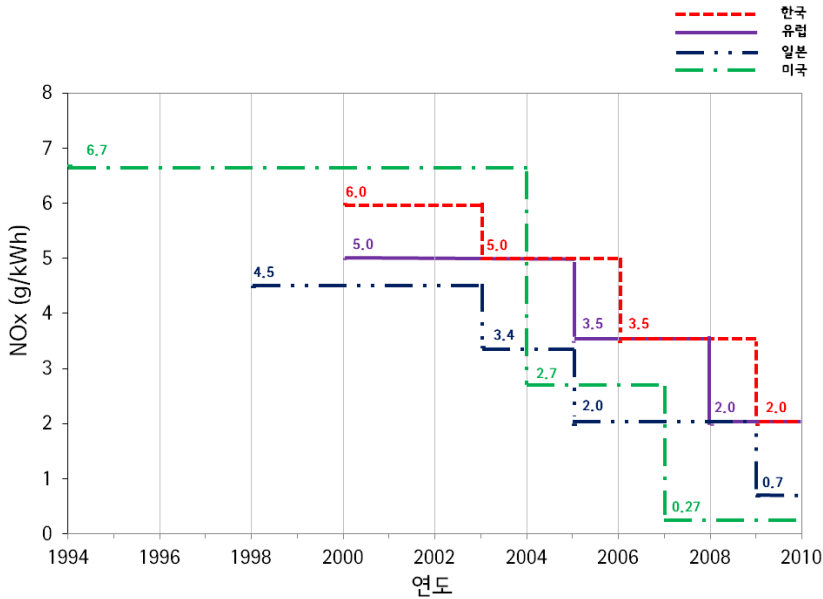
○서울의 NO₂ 오염도 개선이 가시화되지 않는 가장 근원적 원인은 상대적으로 완화된 경유 제작차의 NO_x 배출허용기준으로 휘발유차보다 NO_x 배출이 많은 경유차의 보급이 증가한 데 있음.

—경유차의 배출허용기준이 상대적으로 느슨한 유럽의 기준을 따라가고 있으며, 도입시기도 유럽에 비하여 1~5년 뒤쳐짐.

—경유자동차 보급률도 영국과 유사



〈그림 8〉 경유승용차 NO_x 배출허용기준 비교



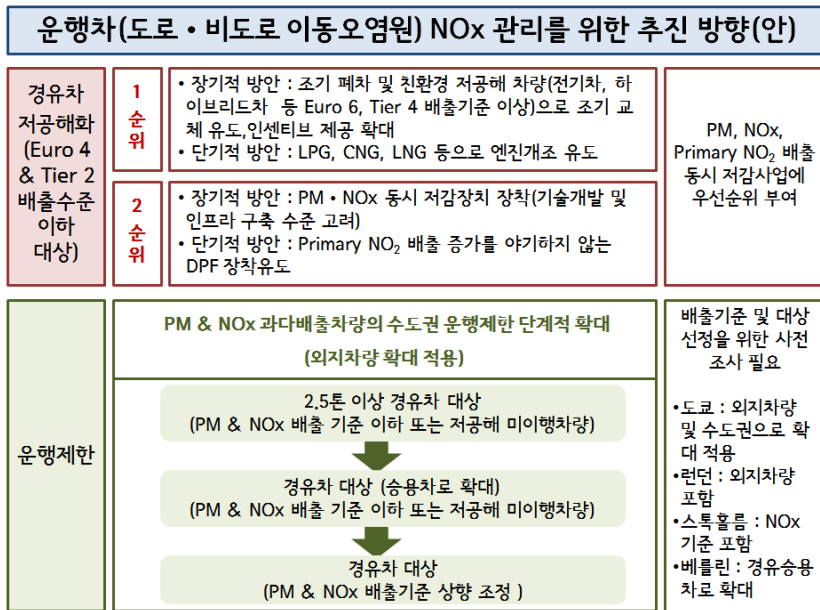
〈그림 9〉 경유중량차 NOx 배출허용기준 비교

- Primary NO₂ 배출 문제를 안고 있는 Euro 3, Euro 4 경유차 보급으로 인한 Primary NO₂ 배출 증가도 서울의 NO₂ 개선 부진의 한 원인으로 추정
 - 경유차 Euro 3기준 2005년 도입, Euro 4기준 2006년 도입으로 Primary NO₂ 배출비중이 높은 Euro 3과 Euro 4의 경유차 보급 및 운행이 많을 것으로 추정
 - 서울의 Primary NO₂ 배출비율 추정결과, 2010년의 비율이 평균 15%로 런던(22%)보다는 낮으나 여전히 기존의 5%보다 3~4배 높으며 월별로는 30% 이상인 경우도 나타남.

2) 이산화질소의 효과적 관리를 위한 정책제언

- 경유차의 운행이 적지 않은 서울의 이산화질소 문제는 NOx의 배출량뿐 아니라 Primary NO₂의 배출 저감노력 병행 필요

- NOx 배출저감을 위한 주요 관리대상이 미세먼지 관리대상과 일치하므로, NOx, Primary NO₂, 미세먼지 동시 저감방안 및 사업에 우선순위 부여
- 도로·비도로 이동오염원에 대한 향후 관리 방향
 - － 제작차 관리 : 국가가 국내 자동차 제작사의 기술수준을 반영하여 배출 허용기준 도입 및 규제시기를 결정하므로, 서울시는 엄격한 배출기준의 제작차 조기 도입을 위한 지원방안을 마련하여 오염물질 과다배출 차량이 친환경 저공해차량으로 교체되는 시기를 앞당기는 적극적 노력 필요
 - － 운행차 관리 : 미세먼지에 집중되어 있는 운행차 저공해 사업에 NOx, Primary NO₂를 추가적으로 고려하여 우선순위 재조정 필요
- 그 외 배출원 관리 방향 : 사업장, 주택 등에 대한 기존의 NOx 배출저감방안들의 지속적 확대·추진



〈그림 10〉 운행차 NOx 관리를 위한 추진방향

기존 NOx 관리 대책의 지속적 추진	
면·점(주택, 사업장 등) 오염원	선(이동) 오염원
<ul style="list-style-type: none"> • 대형사업장 NOx 총량관리제 • 중·소사업장 청정연료 전환사업 확대 • 저NOx버너 보급사업 확대 • 지역 냉·난방 보급 확대 • 신·재생에너지 보급 확대 • 친환경 건축물 인증대상 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 제작차 배출허용기준의 강화 및 사후관리 강화 • 대중교통 이용 활성화 • 기업체 교통수요 관리

〈그림 11〉 기존 NOx 관리 정책의 지속적 확대 추진

○법 및 제도의 개선 방향

- 제작차 배출허용기준제도 보완 : NO₂ 기준 추가 검토
- 운행차 정밀검사제도 보완 : 매연뿐 아니라 NOx 및 NO₂ 검사도 추가
- DPF 인증제도 보완 : 인증기준에 NO₂배출 증가에 대한 제한치의 추가 고려가 필요함. 이를 위해서는 기존 인증 DPF에 대한 NO₂ 배출수준을 조사하여 장치 설치로 인한 NO₂ 배출 증가에 대한 적절한 제한치 설정 필요
- 저공해 미조치 경유차의 운행제한 제도 보완
 - 미세먼지 외에 NOx에 대한 기준 미달차량도 운행제한 대상에 포함되도록 확대
 - 수도권 등록차 외에 외지차도 운행제한 대상에 포함되도록 확대
 - 종합적인 운행차량 배출가스 관리 및 단속 시스템 구축 : 규제대상차량, 저감장치 부착 등 차량정보에 대한 DB 구축, 차량정보가 포함된 전자태그(RFID) 시스템 도입, 차량번호 인식시스템 등과 연계하여 위반여부 확인으로 단속 가능한 선진화된 통합체계 구축 또는 배출가스 원격 자동측정장치(Remote Sensing Device) 도입 검토