

경기도 대기질 개선 정책의 온실가스 동시 저감 및 그에 따른 공편익 효과 분석

Greenhouse Gas Reduction by Air Quality Management Policy in Gyeonggi-do and Its Co-benefit Analysis

김 동 영 · 최 민 애*

경기연구원

(2017년 8월 2일 접수, 2017년 9월 13일 수정, 2017년 11월 8일 채택)

Dong Young Kim and Min-Ae Choi*

Gyeonggi Research Institute

(Received 2 August 2017, revised 13 September 2017, accepted 8 November 2017)

Abstract

In recent years, national and local government's air quality management and climate change adaptation policy has been significantly strengthened. The measures in the two policies may be in a relationship of trade-off or synergy to each other. Greenhouse gases and air pollutants are mostly emitted from the same sources of using considerable amounts of fossil fuels. Co-benefits, in which either measure has a positive effect on the other, may be maximized by reducing the social costs and by consolidating the objectives of the various policies.

In this study, the co-benefits were examined by empirically analyzing the effects of air pollutants and greenhouse gas emission reduction, social cost, and cost effectiveness between the two policies. Of the total 80 projects, the next 12 projects generated co-benefits. They are 1) extend restriction area of solid fuel use, 2) expand subsidy of low-NO_x burner, 3) supply hybrid-vehicles, 4) supply electric-vehicles, 5) supply hydrogen fuel cell vehicles, 6) engine retrofit, 7) scrappage of old car, 8) low emission zone, 9) transportation demand management, 10) supply land-based electric of ship, 11) switching anthracite to clean fuel in private sector, 12) expand regional combined-energy supply.

The benefits of air pollutants and greenhouse gas-related measures were an annual average of KRW 2,705.4 billion. The social benefits of the transportation demand management were the highest at an annual average of KRW 890.7 billion, and followed by scrappage of old cars and expand regional combined-energy supply. When the social benefits and the annual investment budgets are compared, the cost effectiveness ratio is estimated to be about 3.8.

Overall, the reduction of air pollutants caused by the air quality management policy of Gyeonggi-do resulted in an annual average of KRW 4,790.2 billion. In the point sources management sector, the added value of CO₂ reduction increased by 4.8% to KRW 1,062.8 billion, while the mobile sources management sector increased by 3.6% to KRW 3,414.1 billion. If social benefits from CO₂ reduction are added, the annual average will increase by

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-250-3544, E-mail : minae85@gri.kr

7.2% to KRW 5,135.4 billion. The urban and energy management sectors have shown that social benefits increase more than twice as much as the benefits of CO₂ reduction. This result implies that more intensive promotion of these measures are needed.

This study has significance in that it presents the results of the empirical analysis of the co-benefits generated between the similar policies in the air quality management and the climate change policy which are currently being promoted in Gyeonggi-do. This study suggested that the method of analyzing the policy effect among the main policies in the climate atmospheric policy is established and the effectiveness and priority of the major policies can be evaluated through the policy correlation analysis based on the co-benefits. It is expected that it could be a basis for evaluation the efficiency of the climate change adaptation and air quality management policies implemented by the national and local governments in the future.

Key words : Air quality management policy, Climate change adaptation policy, Co-benefits, Cost-effectiveness

1. 서 론

최근 10여 년간 국가와 지자체의 기후 및 대기환경 분야 정책은 지속적으로 강화되어 왔다. 대기질 개선 대책은 2005년부터 수도권 대기환경관리 특별대책을 추진하면서 지금까지 약 3조 원이 넘는 공공투자로 미세먼지는 전반적으로 개선되었다는 평가를 받고 있다. 기후변화 대응 정책은 2008년 이후부터 녹색성장을 강조하면서 본격화되었고, 온실가스 38% 감축(2030년 BAU 대비)을 목표로 에너지 체계 개편, 배출권거래제 도입 등을 추진해 오고 있다.

온실가스와 대기오염물질은 상당 부분이 화석연료의 사용이라는 동일한 요인에서 발생하고 동시에 배출되는 경우가 많다. 대기오염물질 저감 대책과 온실가스 저감 대책은 서로 보완관계(synergy)에 있는 경우도 있고, 상충관계(trade-off)에 놓이는 경우도 있다. 이때, 어느 한 쪽의 대책이 다른 쪽에도 긍정적인 영향을 미치게 되는 것을 두 대책 간의 공편익(co-benefits) 혹은 부수적인 효과라 한다. 공편익은 기후변화 대응 대책과 대기질 개선 대책 이외에도 수질 개선, 폐기물 처리와 같은 여타 대책들 간에도 발생할 수 있다(Ministry of the Environment, Japan, 2009). 공편익 분석은 환경정책의 긍정적 효과를 평가하는 가장 효과적인 분석 방법으로 여겨지고 있다(Voorhees *et al.*, 2001). 지금까지 이런 분석은 주로 기후변화 대책을 수립하면서 주목을 받았고, 국가 간의 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM) 효과를 분석하는 데 많이 사용되었다(Shrestha and Pradhan, 2010; OECC, 2008).

공편익을 분석하는 목적은 각종 정책들의 다양한 목적을 통합하여 사회적 비용을 줄임으로써 정책이 궁극적으로 의도하는 효과를 최대화할 수 있기 때문이다.

이 연구에서는 대기오염개선 정책과 기후변화 대응 정책 간의 대기오염물질 배출량 저감 효과, 그에 따른 비용효과성 등을 실증적으로 분석하여 공편익을 도출하고, 그에 따른 시사점을 검토하였다. 자료의 한계로 인해 공간적 범위는 경기도에 제한하였다.

2. 대기오염저감 정책 및 기후변화 대응 정책 개요

수도권에서는 대기질 개선을 위해 2003년 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」을 제정하고, 2005년 수도권 대기환경관리 특별대책을 수립하여 시행해 오고 있다. 1차 수도권 대기환경개선 특별대책(2005~2014)을 통해 수도권의 미세먼지는 서울시의 경우 2001년 71 µg/m³에서 2014년 46 µg/m³로 35.2% 감소, 경기도는 2001년 71 µg/m³에서 2014년 54 µg/m³로 23.9% 감소하였다(NIER, 2015). 이와 같이 미세먼지 농도는 다소 개선되어 오고 있으나, 2014년을 기준으로 미국 워싱턴은 16 µg/m³, 프랑스 파리는 28 µg/m³(WHO, 2016)로 여전히 다른 선진국 대도시에 비하면 고농도를 나타내고 있는 형편이다.

1차 특별대책에서는 대기환경개선을 위한 다양하고 획기적인 대책들이 제시되었으나, 일부가 시행되지 않는 등 많은 한계점이 도출되었다. 이러한 내용들을 보

완하여 2013년 말 환경부는 『2차 수도권 대기환경관리 기본계획』을 확정하였고, 서울, 인천, 경기도에서는 2014년 12월 『2차 수도권 대기환경관리 기본계획 추진을 위한 시도 시행계획』을 수립하였다. 경기도 2차 시행계획(Gyeonggi-do, 2014)에서는 “맑은 공기로 건강한 100세 시대 구현”이라는 비전 아래 대기오염 농도 목표를 달성하기 위하여 총 86개의 시책사업이 계획되었다. 사업은 총 5개 전략으로 구성되어 있으며, 그 내용은 (1) 배출시설 관리의 선진화, (2) 친환경 교통 체계의 구축, (3) 생활 주변 배출원 관리 강화, (4) 친환경 도시 및 에너지 체계 구축, (5) 과학적 관리 기반 구축 및 추진 체계 강화이다.

기후변화 대응 정책분야에서는 2008년 ‘저탄소 녹색성장’을 국가의 새로운 발전 패러다임으로 선포하면서 본격적으로 시작되었다. 『기후변화 대응 종합기본계획(2008. 9)』과 『녹색성장 국가전략』 및 『녹색성장 5개년 계획(2009~2013)』을 수립하였으며, 2009년 11월에는 2020년 온실가스 배출량 전망치(BAU) 대비 30%를 감축하는 국가 중기 감축 목표를 설정하였다.

경기도에서는 2010년 『경기도 기후변화 대응 종합계획』(Gyeonggi-do, 2010)을 수립하였다. “저탄소 사회 실현을 위한 그린 리더십의 중심, 경기도”를 비전으로 온실가스 감축을 위해 건물, 산업, 수송, 폐기물, 농업, 산림·녹지, 친환경에너지, 시민참여의 8개 부문에서 66개 사업의 저감대책을 수립하였다. 이를 온실가스 배출원 분류에 따라 건물, 산업, 수송, 친환경에너지, 농업 및 토지이용, 폐기물, 흡수원으로 구분한 후 정책 목적에 따라 17개의 정책군으로 분류하여 감축 효과를 도출하였다.

3. 사업별 대기오염물질 및 온실가스 저감 효과 분석

3.1 공편의 분석대상 사업의 분류

대기질 개선 정책과 기후변화 대응 정책 간의 공편의 분석을 위해 두 정책 간의 사업 항목을 서로 비교하였다. 두 분야의 정책에서 대기오염물질과 온실가스의 배출량이 동시에 저감되는 사업을 먼저 선정하고, 각 사업에 대해 대기오염물질 및 온실가스 배출량 삭감 효과를 분석하였다.

그러나 두 정책 간의 사업 범주가 조금씩 다르고 삭감량 산정 방식이 달라 배출량 삭감 효과를 정량적으로 분석하는 데는 상당한 어려움이 있다. 또한 대기질 개선 정책은 연료 사용 규제, 이동오염원과 관련된 저감장치 보급 등 실질적인 정책에 근거하였다면 기후변화 대응 정책은 에너지 효율 개선, 각 정책의 준수율과 친환경에너지 보급 등에 대하여 초점이 맞춰져 있어 정책의 성격이 서로 다른 측면도 있다. 따라서 본 연구에서는 배출량 삭감 효과를 평가하기 위해 대기질 개선 정책에 따른 정량적 배출량 삭감량 평가 항목을 기준으로 우선 선정하고, 그에 따라 온실가스 삭감량 평가가 가능한 부분들을 대응시켜 배출량 삭감 효과를 분석하였다.

2차 경기도 대기질 개선 대책에서 정량적인 배출량 삭감 효과 평가가 이루어지는 항목은 86개 사업 중 35개 사업이다. 이 중 온실가스 배출량 삭감 효과를 평가할 수 있는 사업은 12개 사업으로, 그 결과는 표 1과 같다.

3.2 대책별 온실가스 삭감량 산정 방법

각종 대책에 따른 대기오염물질 삭감량 산정 방법은 2차 경기도 대기질 개선 정책(Gyeonggi-do, 2014)에 근거하였다. 배출량 계산방법은 『2차 수도권 대기환경관리 기본계획』의 삭감량 산정 방법을 적용하였는데, 여기서는 NIER (2007a)의 『대기오염물질 배출량 산정 방법 편람』을 준용하고 있다. 각 배출원에 대해 배출량에 영향을 미치는 사회경제적 지표를 활용하여 전망배출량을 산정하고, 다시 저감 대책별로 삭감율이나 삭감계수를 적용하여 삭감량을 추정하였다. 사업장 부문의 저녹스 버너 설치 확대 사업과 이동오염원 부문의 친환경차 보급, 운행차 저공해화 사업 등은 보급 물량에 따른 삭감 효과를 분석하였다. NIER (2007a)과 Gyeonggi-do(2014)의 보고서에 산정 방법이 자세하게 기술되어 있기 때문에 본 연구에서는 온실가스 삭감량 위주로 해당 사업의 산정 방법을 기술하였다.

대기오염물질 삭감량 산정 방법은 기본적으로 해당 연도 전망 배출량에 기존 연료에서 청정연료로 전환되는 연료 간 배출계수의 비율을 고려하여 삭감량을 산정하고 있다. 이에 근거하여 온실가스 삭감량도 2006 IPCC 자료의 연료별 탄소배출계수를 활용하여 삭감량을 추정하였다(IPCC, 2007). 삭감량 산정의 시간적 범

Table 1. Control measures estimated emission reductions of pollutants in this study.

Control measures				Pollutants estimated emission reduction		
				Air Pollutants	GHGs	
Point sources	Cap and trade program for large point sources			SO _x , NO _x	—	
	Tighten emission standards			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x	—	
	Tighten small incinerator management			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x , VOCs	—	
	Augment low-sulfur fuel use			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x	—	
	Extend restriction area of solid fuel use			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x	CO ₂	
	Expand subsidy of low-NO _x burner			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x	CO ₂	
	Fusitive emission management			VOCs	—	
Mobile sources	Supply low-emission vehicle	Hybrid vehicles		NO _x , VOCs	CO ₂	
		Electric vehicles		PM ₁₀ , NO _x , VOCs	CO ₂	
		Hydrogen fuel-cell vehicles		PM ₁₀ , NO _x , VOCs	CO ₂	
	Tighten vehicles emission standard			PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	—	
	Management of in-use fleet	DPF retrofit		PM ₁₀ , PM _{2.5} , VOCs	—	
		Engine retrofit		PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	CO ₂	
		Scrappage of old car		PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	CO ₂	
		Supply PM-deNO _x device		PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x	—	
		Supply 3-way catalytic converter		NO _x , VOCs	—	
		Low emission zone		PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x	CO ₂	
	Transportation demand management			PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x , VOCs	CO ₂	
	Non-road mobile sources	Tighten emission standard	Construction machines		PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	—
			Agricultural machines		PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x , VOCs	—
		Retrofit construction machines	DPF retrofit		PM ₁₀ , PM _{2.5}	—
Engine retrofit			PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	—		
Mixed fuel engine retrofit			PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x	—		
Scrappage of old machines			PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , VOCs	—		
Emission reduction from Ships		DPF retrofit		PM ₁₀ , PM _{2.5} , VOCs	—	
		Supply land-based electric		PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x , VOCs	CO ₂	
Non-point sources	VOCs, NO _x sources	VOCs emission control in downtown		VOCs	—	
		Set VOC limits in laundry solvents		VOCs	—	
		Recovery of fuel vapors from gas station		VOCs	—	
		Set VOCs limits in consumer products		VOCs	—	
		Set VOC limits in solvents, surface coating		VOCs	—	
		Supply low-NO _x burner for house-heating		NO _x	—	
		Switching anthracite to clean fuel in private sector		PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x , VOCs	CO ₂	
Urban and energy management	Expand regional combined-energy supply	Set sulfur limit in boiler fuel		PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x	—	
				PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO _x , NO _x	CO ₂	

위는 2차 경기도 대기질 개선 시행계획과 동일하게 2015년부터 2024년이다.

3.2.1 사업장 부문

사업장 대책 부문에서 온실가스 삭감이 가능한 사업은 고체연료 사용 제한지역 확대, 저녹스 버너 설치 지원 확대가 있다. 고체연료 사용 제한지역 확대는 석탄, 목재 등의 사용을 제한하고 청정연료로 전환하도록 유

도하는 정책으로 온실가스도 삭감이 가능하다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에서는 동일한 발열량이 소비되는 것을 가정하여 연료량을 추정하고 전환되는 연료의 배출계수 차이만큼 오염물질 배출량이 감소되는 것으로 대기오염물질 삭감량을 산정한다.

고체연료 사용 제한지역 확대에 의한 오염물질 삭감량(톤/년)

= 해당 연도 전망 배출량(BAU)(톤/년) × 삭감계수

*삭감계수 = 1 - (청정연료 배출계수/유연탄 배출계수)
Gyeonggi-do (2014)

이러한 방법으로 온실가스 삭감량을 산정하기 위해 국립환경과학원에서 산정한 유연탄 사용량에 따른 공공열병합시설 부문과 제조업 및 건설업 부문 경기도 온실가스 배출량에 Ministry of Environment (2013) 보고서에 제시되어 있는 공공·민간·지역난방시설 부문과 연소시설(무연탄, 유연탄) 부문의 연도별 성장계수를 적용하여 전망 배출량을 추정하였다. 온실가스 삭감계수는 유연탄 탄소배출계수 25.8 kg/GJ, LNG 탄소배출계수 15.3 kg/GJ을 이용하였고, 동일한 발열량이 소비되는 것을 가정하였으므로 발열량 환산계수는 고려하지 않았다.

저녹스 버너 설치 지원 확대 사업은 영세 사업장에 고가의 방지시설이 아닌 저녹스 버너를 설치함으로써 질소산화물을 저감하는 정책이다. 저녹스 버너는 에너지 절감 효과가 있기 때문에 온실가스도 저감된다. 대기오염물질 삭감량 산정 방법은 저녹스 버너 보급대수에 전환 유형별 단위 삭감량을 적용하여 산정한다. 온실가스 삭감량 산정 시 평균용량은 대기질 개선 정책과 동일한 값을 사용하였고, CO₂ 단위 삭감량은 NIER (2007b)의 자료를 참고하였다. 저녹스 버너 보급대수는 2차 경기도 대기질 개선 정책에 따르면 2015년부터 2024년까지 7,635대이다.

3.2.2 이동오염원 부문

교통 부문에서 온실가스 삭감이 가능한 사업은 친환경자동차 보급(하이브리드자동차, 전기자동차, 수소연료전지자동차), 운행차 저공해화(엔진개조, 조기폐차), 공해차량 운행제한지역 운영, 교통수요관리, 선박 육전시설 이용 사업이 있다.

친환경자동차 보급 사업은 하이브리드자동차, 전기자동차, 수소연료전지자동차 등을 보급함으로써 화석연료의 사용을 감소시켜 대기오염물질과 함께 온실가스를 감축하는 사업이다. 친환경자동차 보급에 따른 온실가스 삭감량은 Ministry of Environment (2014)의 1대당 온실가스 삭감량(승용 전기차 2.3톤, 수소차 2.3톤, 하이브리드차 0.7톤)에 2차 경기도 대기질 개선 정

책의 보급대수를 적용하여 산정하였다. 경기도의 2015년부터 2024년까지 친환경자동차 보급대수는 하이브리드자동차 819,088대, 전기자동차 187,855대, 수소연료전지자동차 5,580대이다.

운행차 저공해화 부문에서 온실가스 삭감이 가능한 사업은 LPG 엔진개조와 조기폐차가 있다. 경유차를 LPG 엔진으로 개조하거나 노후차를 조기에 폐차하고 신차를 구입하게 되면 저연비 차량에서 고연비 차량으로 전환되는 것이므로 연비 차이에 따른 온실가스 삭감량 추정이 가능하다. LPG 엔진개조 부문 온실가스 삭감량은 NIER (2006)의 보고서에서 제시하고 있는 LPG 엔진개조 1대당 CO₂ 삭감량 104 kg을 적용하였다. 경기도에서는 2015년부터 2019년까지 총 25,080대에 LPG 엔진개조 사업을 진행할 예정이다. 조기폐차는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제47조에 따른 “자동차 평균 에너지소비효율기준 및 온실가스 배출허용기준”의 연차별 기준에 따른 배출계수의 차이를 도출하여 온실가스 삭감량 계산에 적용하였다. 2015년부터 2019년까지 경기도의 노후차 조기폐차 대상 자동차는 총 125,400대이고, 화물차를 대상으로 시행한다.

운행차 관리 부문의 공해차량 운행제한지역(Low Emission Zone, LEZ) 운영은 대기오염이 심각한 지역에서 공해차량의 운행을 제한하는 것이기 때문에 온실가스 삭감도 가능하다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에서는 런던지역에서 추정된 배출 삭감 효과의 최소치인 미세먼지 4% 저감율을 경기도의 특별대책지역(가평군, 연천군, 양평군 제외) 내 화물차 배출량에 적용하여 산정하였다. 온실가스 삭감량도 국립환경과학원에서 산정한 2013년 온실가스 배출량을 이용하여 동일한 방법으로 산정하였다.

교통수요관리는 통행거리를 줄이거나 승용차 이용률을 줄임으로써 승용차 일일 평균 주행거리 감축을 통해 오염물질 배출을 줄여나가고자 하는 대책이다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에서는 근로자 공동 통근버스 운영, 카셰어링 확대, 교통유발부담금 현실화 및 혼잡통행지역 확대, 기업체 교통수요관리 활성화, 공공자전거 프로그램 활성화, 청정버스정류장 설치, 교통·환경 적합성 평가시스템 도입 추진, 경기도 굿모닝 버스 도입 등과 같은 세부사업을 실시할 계획이다. 교통수요관리가 적절히 이루어진다면 일일 평균 주행거리 30% 감축이 가능할 것이라고 판단하고 있다. 이를 반

영하여 온실가스 삭감량은 2013년 온실가스 배출량을 기준으로 2015년부터 연간 3%씩 10년 동안 총 30%를 감축한다고 가정하였다.

비도로 이동오염원 중 선박 부문에서는 부두에 정박 중인 선박이 보조기관을 가동하여 전기를 발생하는 과정에서 생기는 대기오염물질의 배출 방식을 위해 선박이 항만에 접안하는 동안 필요한 동력을 육상에서 공급하는 육전시설을 이용하면 연료 절감과 함께 온실가스도 삭감이 가능하다. 육상전기를 사용하기 위해서는 선박에 육상전원을 공급받을 수 있는 장치와 항만접안 시설에서도 전원을 공급해주는 시설이 설치되어야 한다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에서는 입출항 대수에 시·군·구 할당비, 정박시 연료소비량, 배출계수에 육전시설 이용률 20%를 적용하여 대기오염물질 삭감량을 계산하였다. 온실가스 삭감량을 산정하기 위해 활동도는 대기질 개선 정책과 동일한 자료를 사용하였고, 2006 IPCC의 탄소 배출계수를 적용하였다.

$$\begin{aligned} & \text{선박 육전시설 이용에 의한 오염물질 삭감량(톤/년)} \\ &= \text{입출항대수(대)} \times \text{시·군·구 할당비} \times \text{정박연료} \\ & \quad \text{소비(kL)} \times \text{배출계수(kg/kL)} \times 10^{-3} \times 0.2 \end{aligned}$$

Gyeonggi-do(2014)

3.2.3 생활오염원 부문

생활오염원 부문에서 온실가스 배출량 삭감이 가능한 대책은 민수용 무연탄 청정연료 전환 대책이 있다. 이는 채소 및 화훼 재배시설 등에서 연료로 사용하는 무연탄을 도시가스로 전환해나가는 것이 주된 내용이다. 청정연료로 전환하도록 보일러 교체비를 지원하는 것으로 사업 이후에는 LNG를 사용하기 때문에 온실가스 배출도 줄어든다. 삭감량은 무연탄에서 LNG로 전환되는 연료의 배출계수 차이만큼 오염물질 배출량이 감소되는 것으로 산정하였다.

$$\text{민수용 무연탄 청정연료 전환에 의한 오염물질 삭감량(톤/년)}$$

$$= \text{해당 연도 전망 배출량(BAU)}(\text{톤/년}) \times (1 - \text{청정연료 배출계수/민수용 무연탄 배출계수}) \times \text{전환률}(\%)$$

Gyeonggi-do(2014)

이에 근거하여 온실가스 삭감량을 산정하기 위해 2013년 국립환경과학원에서 산정한 민수용 무연탄 사용량에 따른 경기도 온실가스 배출량에 Ministry of

Environment(2013) 보고서에 제시되어 있는 주거용 시설의 민수용 무연탄 부문 연도별 성장계수를 적용하여 전망 배출량을 추정하였다. 온실가스 삭감계수는 무연탄 탄소배출계수 26.8 kg/GJ, LNG 탄소배출계수 15.3 kg/GJ을 이용하였고, 동일한 발열량이 소비됨을 가정하였으므로 발열량 환산계수는 고려하지 않았다.

3.2.4 도시 및 에너지 관리 부문

도시 및 에너지 관리 부문에서는 집단에너지 보급에 따른 온실가스 삭감이 가능하다. 집단에너지란 1개소 이상의 집중된 에너지 생산시설(열병합 발전소, 열전용 보일러, 자원회수시설 등)에서 생산된 에너지(열 또는 열과 전기)를 주거, 상업지역 또는 산업단지 내의 다수 사용자에게 일괄적으로 공급·판매하는 사업으로 에너지 절감 및 온실가스 감축, 대기오염물질 감소, 미이용 에너지 활용 등의 효과를 가지고 있다.

2차 경기도 대기질 개선 정책에서는 집단에너지 공급 계획에 따른 단위 삭감량을 적용하여 오염물질 삭감량을 산정하고 있다. 온실가스 삭감량도 동일한 방법으로 계산하였다. CO₂ 단위 삭감량은 Ministry of Trade, Industry and Energy(2009)의 지역 냉·난방 및 산업단지의 집단에너지 공급 계획과 CO₂ 삭감량을 활용하여 추정하였다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에 따르면 2015년부터 2024년까지 집단에너지 공급 계획은 지역 냉·난방 1,280천 호, 산업단지 5개소에 적용할 계획이다.

3.3 배출삭감량 산정 결과

2차 경기도 대기질 개선 정책(Gyeonggi-do, 2014)에 의한 대기오염물질 삭감량은 2015년 PM₁₀ 1,110톤, PM_{2.5} 654톤, SO_x 4,402톤, NO_x 18,354톤, VOCs 52,109톤이고, CO₂는 2,090천 톤이다. 2024년에는 각각 3,179톤, 2,355톤, 11,165톤, 102,580톤, 103,983톤, 12,261천 톤으로 증가하였다. 대기오염물질과 온실가스 삭감량은 표 2와 같다.

사업별로는 2024년을 기준으로 PM₁₀과 PM_{2.5}는 고체연료 사용 제한지역 확대와 건설기계 배출허용기준 강화 부문의 삭감량이 높은 것으로 나타났다. SO_x 삭감량은 저녹스 버너 설치 지원 확대 부문이 3,913톤(35.0%)이고, 다음으로 고체연료 사용 제한지역 확대, 집단에너지 보급, 대기오염물질 총량관리제 강화 등의 순

Table 2. Estimated emission reductions of Air Pollutants and CO₂ from Air Quality Management Measures.(unit: air pollutants - ton/yr, CO₂ - thousand ton/yr)

Pollutants	Year									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PM ₁₀	1,110	1,637	2,084	2,455	2,904	3,018	3,077	3,132	3,112	3,179
PM _{2.5}	654	1,119	1,511	1,833	2,203	2,267	2,305	2,340	2,309	2,355
SO _x	4,402	4,965	5,897	6,500	7,474	8,013	8,851	9,390	10,432	11,165
NO _x	18,354	36,437	54,003	72,285	89,065	89,944	91,778	92,863	94,660	102,580
VOCs	52,109	55,945	62,825	74,278	88,789	99,089	100,310	101,554	102,661	103,983
CO ₂	2,090	3,302	4,530	5,514	6,770	7,733	8,981	9,969	11,235	12,261

으로 뒤를 이었다. NO_x는 교통수요관리와 대기오염물질 총량관리제 강화 부문의 삭감량이 높았고, VOCs는 도로 VOCs 함량 제한 및 수성도로 이용 확대 부문이 가장 많은 삭감량을 나타냈다.

CO₂ 삭감량은 2024년 집단에너지 보급, 교통수요관리 부문의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 2024년 기준 오염물질별 삭감 효과가 큰 상위 10개 사업에 따른 삭감량은 그림 1과 같다.

4. 공편익 분석결과

4.1 환경비용 분석

공편익을 산출하고 사업 간의 효과 크기를 비교하기 위해 앞서 산출한 대기오염물질 및 CO₂ 삭감량을 먼저 환경비용으로 환산하였다. 대기오염물질의 환경비용은 국내 여건을 반영하여 작성된 Ministry of Environment (2015a)의 연구결과를 사용하였다.

이 연구는 주요 대기오염물질에 대한 건강 위해, 수명 단축, 농작물 손실, 건물 피해 등의 항목을 고려하여 유럽 28개국에 대해 사회적 환경비용 값을 추정한 Ricardo-AEA (2014) 자료를 바탕으로 국내 여건을 고려하여 우리 실정에 맞는 비용을 추정한 것이다. Ricardo-AEA (2014) 자료는 대기오염물질 배출에 따른 전체 피해비용의 90% 이상을 차지하는 건강영향에 대한 비용의 경우 지불의사액 평가방식으로 추정하였고, 건물 등에 대해서는 대기오염물질로 인한 피해에 따른 수리비용, 농작물에 대해서는 농작물 손실에 대한 비용을 같이 고려하고 있다. Ricardo-AEA 자료는 유럽에서 현재 가장 널리 사용되고 있다. Ministry of Environment (2015a)의 연구에서는 Ricardo-AEA (2014) 자료에서

의 사회적 환경비용을 종속변수로 두고 자동차수, 인구수, GDP를 독립변수로 하여 회귀분석의 한 형태인 선형함수와 비선형함수인 로그함수, 지수함수 형태를 같이 고려하여 연관성 분석을 하였다. 5% 유의수준 이내의 통계적 추정계수를 도출하고, 이렇게 추정된 식에 국내의 자동차수, 인구수, GDP 항목을 적용하여 우리나라의 사회적 비용을 추정하였다.

이와 같이 국내 여건을 반영한 대기오염물질의 건강영향, 농작물 손실, 건물 피해에 따른 사회적 환경비용은 표 3과 같다. PM_{2.5}는 1 kg 저감에 따른 환경비용이 451,284원으로 다른 오염물질에 비해 가장 크다. 이는 PM_{2.5} 1톤을 저감하면 환경개선에 따른 사회경제적인 효과가 크다는 것을 의미한다. PM₁₀의 경우 사회적 비용 값이 제시되지 않아 본 연구에서도 산정하지 않았다.

CO₂는 미국에서 가장 널리 사용되고 있는 Whibey (2015)의 연구 결과 값을 적용하였다. 2014년 말을 기준으로 CO₂ 1톤 저감에 따른 환경비용은 37달러이다. 산출 과정 중 달러를 원화로 변환하기 위해 달러당 1,053.12원(2014년 평균 환율)의 환율을 적용하였고, 연도별 발생하는 이자율을 고려하기 위해 2015년의 평균 회사채 수익률 2.983%를 기준으로 복리식 이율을 적용하여 편익을 산출하였다.

그 결과, 2015년부터 2024년까지 2차 경기도 대기질 개선 정책으로 인한 대기오염물질 삭감 시 연평균 4조 7,902억 원의 편익이 발생하는 것으로 분석되었다. CO₂ 배출 삭감량에 따른 연평균 사회적 편익은 3,452억 원이다. 대기오염물질과 CO₂의 연평균 사회적 편익을 합하면 총 5조 1,354억 원으로 추정되고, 표 4와 같다.

오염물질 중 NO_x의 사회적 편익이 3조 4,109억 원(66.4%)으로 가장 높았고, 다음으로 PM_{2.5}가 8,528억

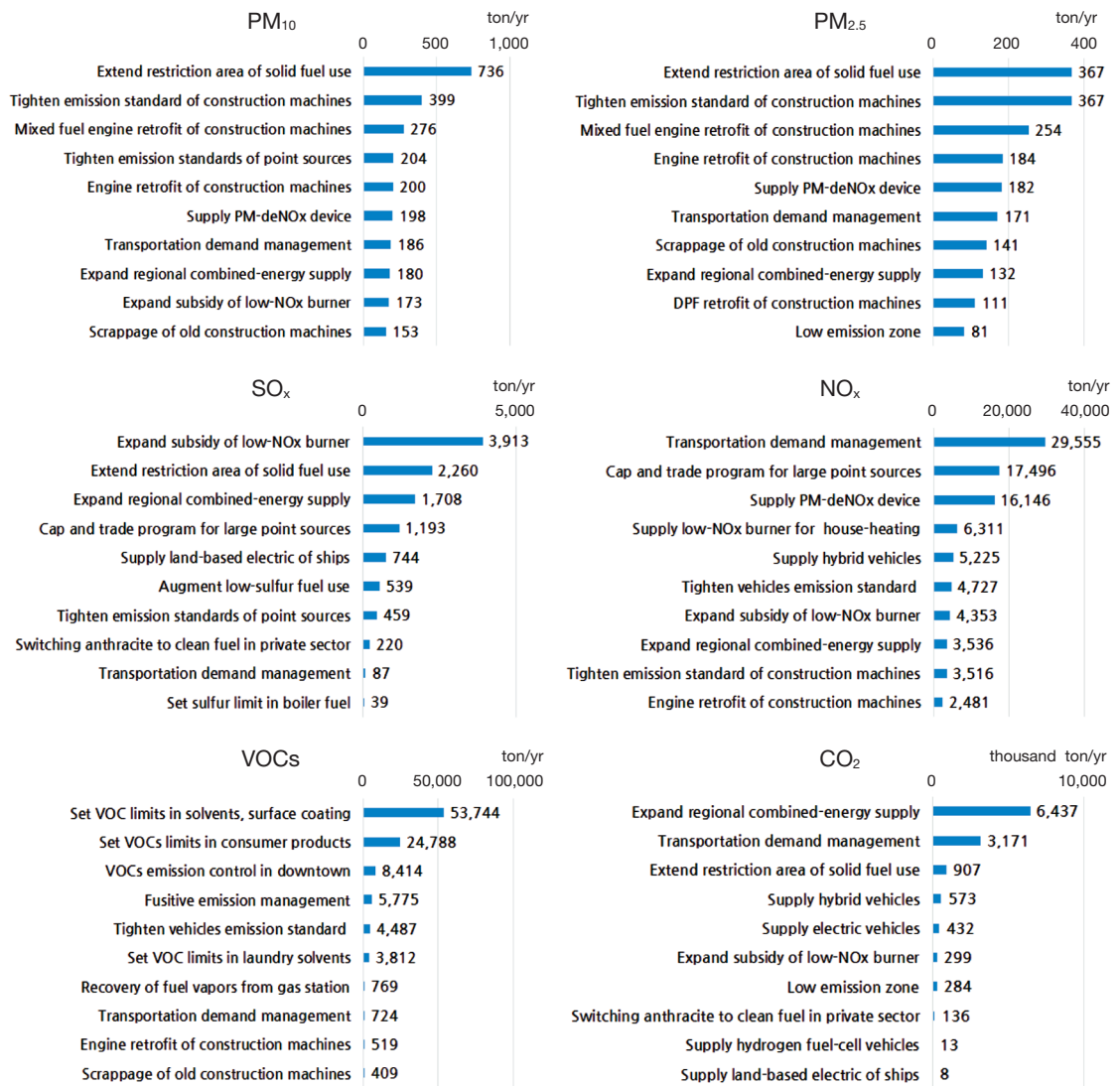


Fig. 1. The 10 most effective measures in reduction of air pollutants and CO₂ emissions estimated in year 2024.

Table 3. The marginal social cost of air pollutants emission reduction. (unit: won/kg)

Category	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	VOCs
Marginal social cost	451,284	37,459	45,971	2,825

Ministry of Environment (2015a)

원(16.6%), CO₂가 3,452억 원(6.7%), SO_x가 2,888억 원(5.6%), VOCs가 2,377억 원(4.6%) 순이었다. 부문 별로는 이동오염원 관리 부문이 3조 4,141억 원(66.5

%), 사업장 관리 부문이 1조 628억 원(20.7%), 도시 및 에너지 관리 부문이 3,368억 원(6.6%), 생활오염원 관리 부문이 3,217억 원(6.3%)이었다.

경기도 대기질 개선 정책에 대한 대기오염물질 및 온실가스 연계 사업의 연평균 사회적 편익은 총 2조 7,054억 원으로 나타났다. 이 중 64%가 NO_x에 의한 것으로 1조 7,316억 원이고, 다음으로 PM_{2.5} 3,928억 원(14.5%), CO₂ 3,452억 원(12.8%)이다.

세부 대책별로는 교통수요관리 부문의 사회적 편익

Table 4. Annual average social benefits of pollutants emission reduction in Gyeonggi-do.

(unit: million won)

Control measures	Total	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOCs	CO ₂
Point sources	1,062,764	202,091	211,929	584,510	15,667	48,567
Mobile sources	3,414,088	610,460	29,745	2,641,145	14,766	117,972
Non-point sources	321,740	7,514	9,060	92,008	207,302	5,857
Urban and energy management	336,846	32,724	38,038	93,238	0	172,846
Total	5,135,438	852,788	288,772	3,410,901	237,735	345,241

Table 5. Estimated annual average social benefits of emission reduction with air quality management measures in Gyeonggi-do.

(unit: million won)

Control measures	Total	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOCs	CO ₂
Transportation demand management	890,718	65,279	1,745	738,495	1,496	83,703
Scrapage of old car	507,891	35,528	0	470,454	988	921
Expand regional combined-energy supply	336,846	32,724	38,038	93,238	0	172,846
Extend restriction area of solid fuel use	297,917	156,847	80,079	20,373	0	40,619
Expand subsidy of low-NO _x burner	215,938	17,512	77,455	113,023	0	7,948
Supply hybrid vehicles	133,390	0	0	119,823	27	13,541
Low emission zone	121,068	33,097	0	76,055	0	11,916
Supply land-based electric of ships	106,825	32,159	27,958	46,238	78	391
Engine retrofit	60,367	12,281	0	47,884	155	48
Switching anthracite to clean fuel in private sector	21,391	7,365	7,694	473	3	5,857
Supply electric vehicles	12,652	0	0	5,254	114	7,285
Supply hydrogen fuel-cell vehicles	414	0	0	245	2	168
Total	2,705,419	392,791	232,970	1,731,555	2,862	345,241

이 연평균 8,907억 원(32.9%)으로 가장 많았고, 노후차 조기폐차 부문이 5,079억 원(18.8%), 집단에너지 보급이 3,368억 원(12.5%), 고체연료 사용 제한지역 확대 부문이 2,979억 원(11.0%)으로 뒤를 이었다. 대기오염물질 및 온실가스 연계 사업의 연평균 사회적 편익과 비율은 표 5, 그림 2와 같다.

4.2 경제성 분석

대기오염물질 및 온실가스의 동시 저감에 따라 발생하는 공편익의 경제성을 살펴보기 위해 2차 경기도 대기질 개선 정책(Gyeonggi-do, 2014)의 투자 예산과 비교하였다. 2차 경기도 대기질 개선 정책에 따른 투자 예산은 정부와 지자체가 투자하는 공공부문의 예산만을 고려한 것으로 민간부분은 고려되지 않았다. 이로 인해 실제 투자되는 전체 비용에 따른 경제성을 분석하기에는 한계가 있다. 하지만 두 가지 정책의 저감 효과를 함께 고려하여 얼마만큼의 경제성을 나타내는 지 보여주는 것만으로도 의미가 있다 하겠다.

2차 경기도 대기질 개선 정책에서 투자 예산이 명확

하게 제시된 대책은 저녹스 버너 설치 지원 확대, 노후차 엔진개조, 노후차 조기폐차, 공해차량 운행제한지역 운영, 교통수요관리 부문이다. 계획기간 10년 동안(2015~2024년)의 투자 예산을 연평균으로 계산하여 비교하였다.

그러나 친환경자동차 보급과 선박 육전시설 이용, 집단에너지 보급 부문은 투자 예산이 책정되어 있지 않다. 친환경자동차 보급 부문은 Ministry of Environment(2015b) 자료의 승용 전기차 1,200만 원/대, 하이브리드차 100만 원/대, 수소차 2,750만 원/대를 적용하여 연평균 투자 예산을 산출하였다. 선박 육전시설 이용 부문은 Headline Jeju(2014)에 제시된 선박 육전시설의 예산을 적용하였다. 집단에너지 보급 부문은 Ministry of Trade, Industry and Energy(2009)의 지역난방과 산업단지 집단에너지의 공급 계획에 따른 투자비 소요액으로 단가를 산출하여 적용하였다. 그 결과 지역난방은 1호당 2백만 원, 산업단지 집단에너지는 1개소당 543억 원이 소요된다. 고체연료 사용 제한지역 확대와 민수용 무연탄 청정연료 전환 부문은 비예산

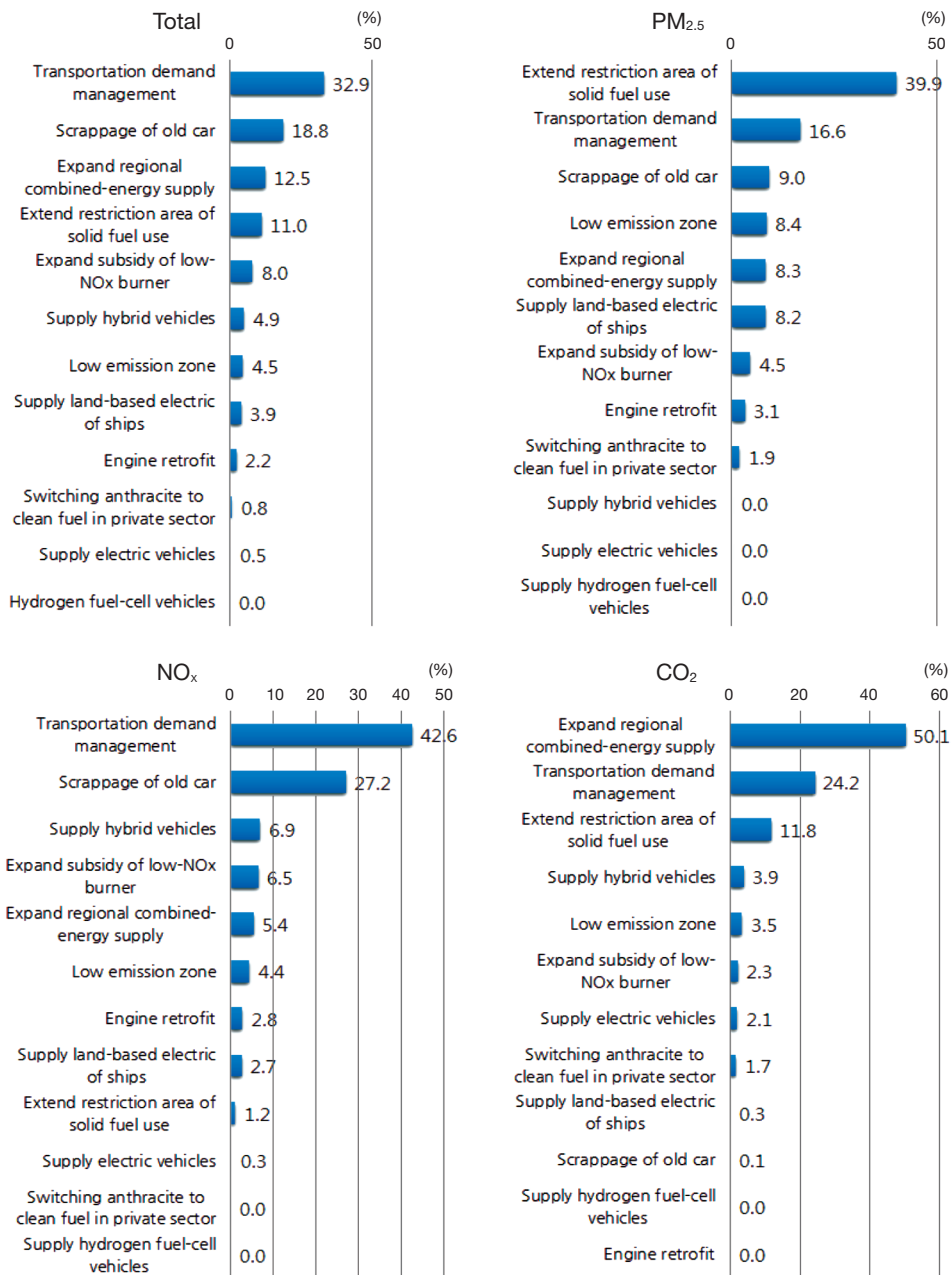


Fig. 2. Social benefit/cost ratios of control measures and pollutants.

사업으로 이를 제외하고 공편익에 따른 경제성을 분석하였다. 대기오염물질 및 온실가스 공편익에 따른 경제성 분석 결과는 표 6과 같다.

대기오염물질 및 온실가스 저감사업의 투자비 대 공

편익 비율은 3.8로 분석되었다. 특히 선박 육전시설 이용 부분의 투자비 대 편익 비율이 821.7로 가장 높았고, 공해차량 운행제한지역 운영과 교통수요관리 부문도 각각 119.6, 82.1로 비용효과가 매우 컸다. 순편익은

Table 6. Annual average cost effectiveness analysis based on control measures.

(unit: million won)

	Control measures	Social benefit	Investment budget	B/C ratio	Net-benefit
Point sources	Extend restriction area of solid fuel use	297,917	—	—	—
	Expand subsidy of low-NO _x burner	215,938	7,874	27.4	208,064
Mobile sources	Supply hybrid vehicles	133,390	81,909	1.6	51,482
	Supply electric vehicles	12,652	225,426	0.1	-212,774
	Supply hydrogen fuel-cell vehicles	414	15,345	0.0	-14,931
	Engine retrofit	60,367	9,113	6.6	51,254
	Scrappage of old car	507,891	26,983	18.8	480,908
	Low emission zone	121,068	1,012	119.6	120,056
	Transportation demand management	890,718	10,846	82.1	879,872
	Supply land-based electric of ships	106,825	130	821.7	106,695
Non-point sources	Switching anthracite to clean fuel in private sector	21,391	—	—	—
Urban and energy management	Expand regional combined-energy supply	336,846	244,191	1.4	92,655
Total		2,386,111	622,830	3.8	1,763,281

총 1조 7,633억 원으로 나타났다.

4.3 시사점

2차 경기도 대기질 개선 정책의 시행에 따라 대기오염물질 배출량이 삭감되면 전체적으로 연평균 4조 7,902억 원의 편익이 발생한다. 여기에 부수되는 CO₂ 삭감량에 따른 사회적 편익을 추가하면 연평균 5조 1,354억 원으로 7.2%가 증가하게 된다. 사업장 관리 부문은 대기오염물질 삭감에 따라 1조 142억 원의 편익이 발생하였는데, CO₂ 삭감에 따른 편익 추가 시 1조 628억 원으로 4.8% 증가하였다. 이동오염원 관리 부문은 3조 2,961억 원에서 CO₂ 편익을 추가하여 3조 4,141억 원으로 3.6% 증가, 생활오염원 관리 부문은 3,159억 원에서 CO₂ 편익을 추가하여 3,217억 원으로 1.9% 증가율을 보였다. 도시 및 에너지 관리 부문은 CO₂ 삭감에 따른 편익을 추가하면 2배 이상 사회적 편익이 증가하는 것으로 나타났다. CO₂ 공편익 발생에 따른 부문별 연평균 사회적 편익 변화는 그림 3과 같다.

세부 사업별로는 전기자동차 보급 부문이 CO₂ 삭감에 따른 사회적 편익 추가로 2.4배 증가하였고, 다음으로 집단에너지 보급이 2.1배, 수소연료전지자동차 보급이 1.7배, 민수용 무연탄 청정연료 전환 부문이 1.4배 순으로 증가하였다. 반면 저녹스 버너 설치 지원 확대 사업, 노후차 엔진개조와 조기폐차, 선박 육전시설 이용 부문은 CO₂ 삭감에 따른 사회적 편익을 추가하여

도 값이 크게 변하지 않았다.

2차 경기도 대기질 개선 정책에 따른 투자 예산은 Gyeonggi-do(2014) 보고서에 따르면 2015년부터 2024년까지 총 2조 8,725억 원이 소요될 전망이다. 전체 대기오염물질 및 온실가스 배출 삭감에 따른 연평균 사회적 편익 5조 1,354억 원과 투자 예산에 따른 투자비대 편익 비율은 17.9, 순편익은 4조 8,482억 원으로 분석되었다. 2차 경기도 대기질 개선 정책이 순조롭게 시행된다면 대기오염물질과 함께 온실가스 삭감 효과로 경제성은 더욱 커질 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 경기도에서 추진하고 있는 대기질 개선 정책과 기후변화 대응 정책에서 동시에 대기오염물질과 온실가스 저감이 일어나는 정책에 대하여 배출 삭감량을 분석하고, 그에 따른 사회적 비용을 분석하여 비교하였다.

2차 경기도 대기질 개선 정책에 의한 대기오염물질 삭감량은 2024년을 기준으로 PM₁₀ 3,179톤, PM_{2.5} 2,355톤, SO_x 11,165톤, NO_x 102,580톤, VOCs 103,983톤이다. 이와 함께 CO₂ 삭감량은 12,261천 톤으로 추정되었다.

기후변화 대응 정책과 대기질 개선 정책 중에서 온

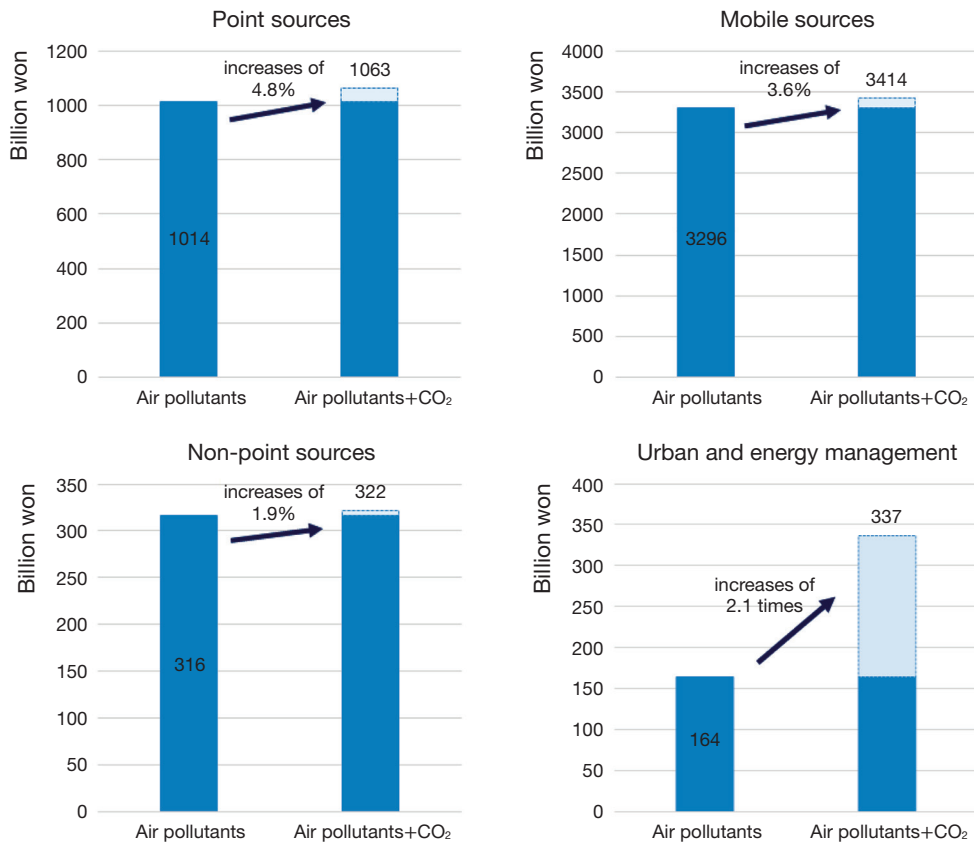


Fig. 3. Change of social benefit with additional CO₂ reduction.

실가스와 대기오염물질에 대한 배출량 저감이 동시에 일어나는 정책은 전체 80여개 사업 중 12개 사업이었다. 온실가스와 대기오염물질 배출량 저감에 따라 발생하는 공편익은 연평균 2조 7,054억 원 규모로 추정되었다. 교통수요관리 부문의 사회적 편익이 연평균 8,907억 원으로 가장 많았고, 노후차 조기폐차, 집단에너지 보급 부문이 뒤를 이었다. 수소연료전지자동차 보급과 전기자동차 보급, 민수용 무연탄 청정연료 전환 부문은 각각 4억 원, 127억 원, 214억 원으로 사회적 편익이 가장 낮은 사업으로 나타났다.

전체적으로 경기도 대기질 개선 정책에서 2조 8,725억 원의 공공투자에 따라 대기오염물질 삭감 시 연평균 4조 7,902억 원의 편익이 발생하였다. CO₂ 삭감에 따른 사회적 편익을 추가하면 연평균 5조 1,354억 원으로 7.2% 증가하게 된다.

대기오염물질 및 온실가스 공편익에 따른 사회적 편

익을 연평균 투자 예산과 비교해 보았을 때, 투자비 대 편익 비율은 3.8 정도인 것으로 분석되었다. 선박 육전 시설 이용 부문의 투자비 대 편익 비율이 821.7로 경제성이 가장 높았고, 공해차량 운행제한지역 운영과 교통수요관리 부문도 각각 119.6, 82.1로 비용효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 수소연료전지자동차 보급과 전기자동차 보급은 각각 0.0, 0.1로 비용효과가 낮게 평가되었다.

이 연구는 현재 경기도에서 추진되고 있는 대기질 개선 정책과 기후변화 대응 정책에서 서로 유사 정책들 간에 발생하는 공편익을 실증적으로 분석하고 결과를 제시하였다는 데 의의가 있다. 이를 통해 기후 분야 정책의 정책효과 분석 방법을 정립하고, 공편익에 기초한 정책 상관성 분석을 통해 주요 정책 간의 효과, 우선순위 등의 평가가 가능하다는 것을 보여주었다고 판단된다. 향후 국가 및 지자체 단위에서 추진되는 기

후 대기분야 정책에서 각 사업들 간의 효율성을 판단할 수 있는 근거가 될 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 연구 과정에서 분야별로 배출 삭감량, 사회적 비용, 투자 예산 등 분석방법이 정립되지 않은 부분이 있었고, 그에 필요한 각종 자료나 지표 등이 미비한 부분도 매우 많았다. 이는 분석 결과의 불확실성을 높이는 요인이 되므로 향후 이와 관련된 추가적인 연구가 필요하다. 또 연구 범위를 수도권 단위나 전국 단위로 확장하여 보다 보편적인 결론에 이르도록 확장할 필요가 있다.

References

- Gyeonggi-do (2010) A master plan for climate change adaptation in Gyeonggi-do.
- Gyeonggi-do (2014) Implementation plan of Gyeonggi-do for 2nd air quality management policy in Seoul metropolitan area.
- Headline Jeju (2014) <http://www.headlinejeju.co.kr/news/articleView.html?idxno=206527>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Ministry of Environment (2013) The 2nd basic plan for improvement of air quality in Seoul metropolitan area.
- Ministry of Environment (2014) "Supply of eco-friendly vehicles for environment and economic growth".
- Ministry of Environment (2015a) A study on the re-evaluation of social cost by air pollutants reduction.
- Ministry of Environment (2015b) "Eco-friendly vehicles".
- Ministry of the Environment, Japan (2009) The Co-benefits Approach of GHG Emission Reduction Projects.
- Ministry of Trade, Industry and Energy (2009) The 3rd master plan for regional energy supply.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2006) Evaluation of CO₂ reductions by air quality management policy in Seoul metropolitan area.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2007a) Guidelines for air pollutants emission estimation for CAPSS (Clean Air Policy Support System).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2007b) Performance evaluation of low-NO_x burner supply.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015) Annual Report of Air Quality in Korea, 2014.
- Overseas Environmental Cooperation Center (OECC) (2008) Co-benefits Approach to Climate Change and CDM in Developing Countries, Ministry of Environment, Japan.
- Ricardo-AEA (2014) Update of the handbook on external costs of transport.
- Shrestha, R.M., Pradhan, S. (2010) Co-benefits of CO₂ emission reduction in a developing country, Energy Policy, 38(5), 2586-2597.
- Voorhees, A.S., Sakai, R., Araki, S., Sato, H., Otsu, A. (2001) Cost-benefit analysis methods for assessing air pollution control programs in urban environment - a review, Environmental Health and Preventive Medicine, 6, 63-73.
- Whibey, J. (2015) Understanding the Social Cost of Carbon - and Connecting It to Our Lives.
- World Health Organization (WHO) (2016) Ambient Air Pollution Database.