대기오염물질 감축수단, 비용효과성 분석결과 교통수요 관리 등 자동차대책이 우선순위 1위

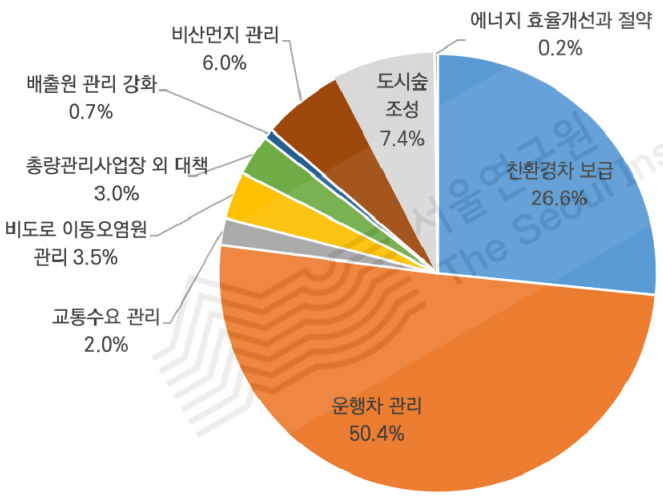
정부, 비용효과성 토대로 대기오염물질 감축사업 우선순위 분석할 필요

대기오염 관리 정책은 시민의 삶의 질과 행복, 사회의 복리후생(well-being)을 높이기 위해 정부와 지자체가 대규모의 예산을 투입해 시행하는 대표적인 공공 정책이다. 정부는 해마다 수조 원의 예산을 투입해 대기오염물질 배출을 관리하고 대기오염으로 인한 부정적인 영향(건강영향 등)을 예방하기 위해 노력하고 있다. 구체적으로 정부는 "제2차 수도권 대기환경관리 기본계획(2015~2024) 수정계획"(환경부 수도권대기환경청, 2020)에서 수도권 대기질을 개선하기 위해 향후 5년간(2020~2024년) 연평균 1조 6,647억원을 투입한다고 밝혔다. 국내외의 연구 결과를 종합할 때 대기관리 정책은 총론에서는 경제적으로 타당하며, 형평성과 지속가능발전에 기여하는 바가 높은 공공 정책이다.

그러나 개별 대기관리 사업이 비용대비 효과적인지, 정부는 비용효과성에 기초해 개별 사업의 우선순위를 정하고 예산을 분배하고 있는지 별도로 검토할 필요가 있다. 관련하여 유럽연합, 영국, 네덜란드, 핀란드, 이탈리아, 일본 등에서는 이러한 문제의식에 기초해 대기오염 감축 수단의 비용효과성을 분석하고 있다. 구체적으로 유럽연합에서는 개별 대기오염물질 감축수단의 비용효과성 DB를 구축하고 이를 활용해 대기오염 관리정책의 비용과 효과를 분석한다. 이러한 결과는 예테보리 의정서(Gothenburg Protocol)를 포함해 대기오염 감축 정책을 수립하는 데 과학적 근거로 활용되고 있다. 이에 이 연구에서는 서울에서 시행 중인 개별 대기오염 감축수단의 비용효과성을 분석하고자 한다. 비용효과성 결과는 사업별 예상 감축량을 산정하고 예산 배분의 우선순위를 정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

감축사업 예산 82%, 운행차 관리·친환경차 보급 등 자동차대책에 투입

대기오염물질 감축사업은 개별 사업의 특성에 따라 예산투입 시점과 감축효과가 나타난 시점이 다를 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 이 연구에서는 개별 사업별로 분석기간(2011~2019년) 동안의 총 비용과 총 감축실적을 각각 합산하여 개별 사업의 비용효과성을 산정했다. 이때 연도별 예산은 실질금리를 반영해 기준연도 가격으로 변환하였다. 한편 버스중앙차로와 같이 단기간에 대규모 예산(자본비)이 투입되고 감축효과는 장기간에 걸쳐 발생하는 사업의 경우 자본회수계수를 사용해 연평균 비용으로 환산한 후 사용했다. 위와 같은 방법으로 산정한 사업별 누적예산 비중은 [그림 1]과 같으며 운행차 관리와 친환경차 보급 등 자동차 관리대책 사업이 서울시 대기오염물질 감축 사업예산의 대부분을 차지하고 있다.



[그림 1] 서울시 대기오염 감축 수단 예산 비중(2011~2019년 누적)

주: 실질금리, 자본회수계수 등을 활용해 사업별 예산을 보정한 후 합산

초미세먼지·질소산화물 감축실적 2/3, 경유차 배출허용기준 강화 효과

이 연구에서 개별사업의 대기오염물질 감축량은 감축사업이 시행되지 않았을 때의 예상 배출량(BAU 배출량)에서 감축사업이 시행된 이후의 실제 배출량을 뺀 값으로 산정했다. 이때 친환경자동차 보급과 같이 한번 보급되면 일정 기간 동안 지속적으로 대기오염물질 배출량을 감소시키는 사업은 내구연한을 고려해 누적 감축량을 산정했다. 이와 같은 방법으로 산정한 사업별 대기오염물질 감축량은 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 질소산화물(NOx)의 경우 자동차관리대책에 의해서 가장 높았으며, 황산화물(SOx)과 휘발성유기화합물(VOCs) 감축량의 경우는 생활오염원 관리대책에 의해 가장 높았다. 자동차관리대책 중에서는 경유차 배출허용기준 대책의 실적이 가장 높았다(PM2.5 직접배출 감축실적의 67.6%, NOx 감축실적의 69.2%). SOx 감축실적은 민수용 무연탄 청정연료 전환(42.1%)과 대기오염물질 총량제 강화(33.5%) 대책에서 높았으며, VOCs 감축실적은 도심 VOCs 관리강화(41.9%)와 도료에 대한 VOCs 함량제한 대책(36.3%)에서 높았다.

비용효과성, 비도로이동오염원관리대책·교통수요관리대책이 가장 높아

대기오염물질 감축수단 중에서 PM2.5 직접배출 감축 효과는 자동차대책이 19.5톤/십억원으로 가장 좋았다. 이는 10억원의 예산이 투입될 때 PM2.5 직접배출 19.5톤을 줄일 수 있다는 의미이다. 생활오염원 대책과 배출시설 관리대책은 비용효과성이 각각 3.5톤/십억원과 0.9톤/십억원으로 낮았다. 대기오염물질 감축수단 중분류 중에서는 비도로이동오염원 관리대책의 비용효과성이 52.4톤/십억원, 교통수요관리대책의 비용효과성이 19.1톤/십억원으로 높았다.

질소산화물 배출 감축 효과는 배출시설 관리대책의 비용효과성이 926.2톤/십억원으로 가장 높았으며, 자동차대책과 생활오염원 대책의 비용효과성은 각각 333.8톤/십억원과 29.9톤/십억원으로 상대적으로 낮았다. 중분류상에서는 교통수요관리대책의 비용효과성이 564.1톤/십억원으로 가장 높았으며, 비도로이동오염원 관리, 총량사업장 외 배출시설관리, 생활오염원 VOCs, NOx 배출원관리, 집단에너지 사용 확대의 비용효과성 역시 300톤/십억원 이상으로 비교적 높았다.

다중의사결정법 적용한 평가에서도 자동차관리대책의 우선순위가 높아

최근 특정 사업을 평가하는 데 있어 해당 사업의 1차적인 목적뿐 아니라 다양한 사회적 가치를 함께 고려해야 한다는 견해가 점점 설득력을 얻고 있다. 특히 형평성과 공정성, 공편익 등은 최근 환경 정책과 관련하여 중요성이 강조되고 있는 가치이다. 이에 이 연구에서는 다양한 사회적 가치를 고려해 사업을 평가하는 다중의사결정기법을 적용해 대기오염 감축수단의 우선순위를 산정하였다. 분석에 활용한 가치 판단 요소에는 비용효과성을 비롯해 사회경제적 편익, 감축잠재량, 시급성, 사회적 수용성 등이 포함된다. 전문가들은 비용효과성을 가장 중요하게 판단하고 있으며, 감축감재량, 시급성, 사회경제적 편익, 사회적 수용성 순으로 중요하게 생각하고 있었다. 평과 결과를 종합하면, 자동차 관리대책 중에서는 운행차관리, 교통수요관리, 비도로이동오염원 관리 대책의 우선순위가 높고, 자동차 관리대책을 제외한 분야 중에서는 생활오염원 관리대책 중 배출원 관리강화 대책의 우선순위가 상대적으로 높았다.

'머신러닝' 기법 활용해 자동차관리대책의 질소산화물 감소 효과 확인

앞서 살펴본 것처럼 대기오염물질 감축수단 우선순위 산정결과 자동차관리대책의 우선순위가 가장 높았다. 이에 자동차관리대책이 실제 대기오염 농도 감소에는 얼마나 기여하는 지를 추가로 살펴보았다. 서울시에서는 2015년 이후 도시대기, 도로, 배경지역 등 모든 지역에서 대기 중 질소산화물 농도가 통계적으로 유의미하게 감소했다. 구체적으로 2010년~2014년 기간 동안 도로변 농도는 매년 1.8ppb씩 감소했으며 도시대기는 통계적으로 유의한 변화가 없었고 배경지역 북한산의 경우 오히려 매년 증가하였다. 그러나 2015년~2019년 사이에는 도로변 농도는 연평균 8.8ppb씩 감소하였고, 도시대기는 매년 2.2ppb, 북한산은 2.7pbb씩 감소했다. 서울시 전체 질소산화물 배출량의 약 48%가 도로이동오염원인 것을 고려하면 자동차대책이 질소산화물의 감소에 영향을 준 것으로 추정된다. 이러한 변화의 원인을 통계적으로 확인하기 위해 이번 연구에서는 서울 도심 내 도로측정소(2개 도로변, 1개 중앙차로) 관측자료(2015년~2019년)를 머신러닝 기법을 활용해 분석하였다. 분석결과 교통수요관리를 위하여 도입된 중앙버스차로(BRT)는 교통상태를 개선하고 교통밀도를 감소하여 질소산화물을 저감시키는 것으로 나타났다. 한편 유로6 차량의 비율이 1% 증가함에 따라

종로도로변 측정소는 1.2ppb, 화랑로 도로변 측정소는 1.5ppb, 동작대로 중앙차로는 3.2ppb씩 질소산화물이 감소하는 것으로 나타났다.

[표 1] BRT 도입에 따른 질소산화물 농도 감소 부분 추정

구분	종로 도심방향		종로 외곽방향	
	교통밀도(대/ km)	질소산화물 감소	교통밀도(대/ km)	질소산화물 감소
BRT 도입전	54	2ppb	71	4ppb
BRT 도입후	40		44	

※ 종로도심방향 선형회귀식: 0.1243 × 교통밀도 + 80.052 (R2:0.919)
※ 종로외곽방향 선형회귀식: 0.1502 × 교통밀도 + 76.951 (R2:0.960)

[표 2] 유로6 차량 증가에 따른 질소산화물의 평균 변화

비고	종로도로변	화랑로	동작대로 (중앙차선)
기울기 (ppm / %유로6)	-0.0012	-0.0015	-0.0032
기울기 (%NOx / %유로6)	1.43	1.27	1.95

서울연구원 The Seoul Institute

감축사업 우선순위, 교통수요·운행차·비도로이동오염원 관리 등의 순서

비용효과성 분석결과와 다중의사결정기법 분석결과를 종합하면 [표 3]과 같다. 두 가지 분석결과의 비용효과성 우선순위는 대체로 유사하다. 구체적으로 오염물질별 우선순위 상위권에 속하는 사업의 리스트는 두 분석에서 모두 유사하였다. 두 가지 분석기법에서 대체로 자동차 관리대책의 우선순위가 높았다. 자동차 관리대책의 세부사업 중에서는 교통수요 관리, 운행차 관리, 비도로 이동오염원 관리 등의 우선순위가 상대적으로 높았다. 자동차 대책을 제외하면 생활오염원 관리 대책의 배출원 관리 강화의 우선순위가 상대적으로 높았다.

[표 3] 대기오염물질 감축 사업 우선순위 비교

감축사업		비용효과성 우선순위				MCA 우선 순위
분류	세부 사업	PM2.5	NOx	VOCs	순위 평균	
자동차 관리대책	친환경차 보급	⑧	⑦	⑥	⑦	⑥
	운행차 관리	②	③	③	②	①
	교통수요 관리	③	②	②	①	④
	비도로 이동오염원 관리	①	④	④	③	②
배출시설 관리대책		⑦	①	⑤	⑤	⑤
생활오염원 관리대책	배출원 관리 강화	④	⑤	①	④	③
	비산먼지 관리	⑤	⑨	⑦	⑦	⑦
	도시 숲 조성	⑨	⑧	⑦	⑨	⑨
	에너지 효율개선과 절약	⑥	⑥	⑦	⑥	⑧

주: 순위 평균은 제시한 대기오염물질별 사업의 우선순위를 단순 평균한 값임. 대기오염물질별로 가중치를 다르게 부여할 수도 있지만 여기서는 오염물질별 가중치가 같다고 가정하였음. 비용효과성 산정값이 동일한 경우 동일한 우선순위를 부여함. MCA 우선순위는 개별 오염물질별이 아닌 일반적 의미에서의 '대기오염물질'에 대해 평가한 것임

서울연구원 The Seoul Institute