



I S S U E P A P E R

2018

교통부문 탄소배출 감소추세 ‘뚜렷’ 교통수요관리 정책 지속 추진 필요

—
고준호



CONTENTS

01 서울시민 교통부문 탄소배출 특성 파악 필요

- 1_기후변화 대응해 교통부문 온실가스 감축 필수
- 2_2006년, 2016년 가구통행실태조사 원자료 활용

02 서울시 교통수단별 탄소배출 원단위 산정

- 1_통행속도, 차종·연료별 비율 등 교통여건 반영
- 2_외부존·내부존 통행으로 구분해 통행거리 추정

03 1인당 탄소배출량 10년간 35% 이상 감소

- 1_고탄소 배출군 편중화 현상은 10년 동안 심화
- 2_석유소비량·오염물질 배출량도 동반 감소추세

04 서울시, 교통수요관리 정책 지속 추진해야

- 1_교통부문 탄소배출량 10년간 뚜렷한 감소추세
- 2_고탄소 배출군에 고강도 승용차억제정책 시행



요약

서울시민 교통부문 탄소배출 특성 다각도로 파악

온실가스 배출량의 증가는 기후변화를 급속하게 진행시키고 있으며 이러한 현상을 막기 위해 다양한 분야에서 감축 노력이 진행 중이다. 특히, 서울시 전체 온실가스 배출량의 20% 이상을 차지하는 수송부문은 주요 감축 대상으로 인식되고 있다. 이 연구는 교통부문의 온실가스 배출량을 감축하는 효과적인 정책을 도출하기 위해 2006년, 2016년에 수행된 가구통행실태조사 자료를 활용하여 개인별 탄소배출량 특성을 다각적인 측면에서 파악하였다.

20세 이상 개인별 탄소배출량 10년간 46% 감소

20세 이상의 서울시민으로 한정하여 교통부문 탄소배출량 특성을 분석한 결과 탄소배출량은 2006년 2,285g/일에서 2016년 1,232g/일로 46.1% 감소한 것으로 나타났다. 성별, 차량소유 여부, 소득수준에 따른 평균 배출량의 변화율 검토 결과 60대 이상 고령층의 탄소배출량 감소율이 높았으며 남성 중 차를 소유하고 있지 않은 저소득층이 상대적으로 더 높은 감소율을 보이는 것으로 파악되었다. 한편, 탄소배출량 상위 20%의 시민이 전체 탄소배출량의 74.3%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 2006년 67.9%보다 더 높아진 수치로 탄소배출의 편중화 현상이 지난 10년 동안 더 심해졌음을 시사한다.

교통수요관리 정책 지속 추진해 감소추세 유지

대중교통 이용 활성화 등 그동안 추진된 교통수요관리 정책에 따른 탄소배출량의 감소 추세를 확인할 수 있었다. 이러한 추세를 지속하기 위한 교통수요관리 정책의 꾸준한 추진이 필요하다. 또한, 고탄소 배출군을 주요 정책대상으로 한 더욱 강도 높은 정책의 추진이 탄소배출량을 감소시키는 효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

01 / 서울시민 교통부문 탄소배출 특성 파악 필요

1_기후변화 대응해 교통부문 온실가스 감축 필수

지구온난화 주범인 온실가스는 교통부문이 전체 배출량의 14% 차지

IPCC(2014)에 따르면 1950년대 이후 온실가스 배출량이 전 세계적으로 급격하게 증가하고 있다. 온실가스 배출량의 증가는 온난화와 같은 기후변화를 급속하게 진행시키고 있으며 이러한 현상을 막기 위해 세계 각국은 다양한 노력을 기울이고 있다. 전 세계적으로 수송부문은 전체 온실가스 배출량의 14%를 차지하고 있어 지구 온난화에 큰 영향을 미치고 있으며 특히 이 중 72%가 도로에서 발생하는 것으로 파악되고 있다. 이러한 상황에서 수송부문의 온실가스 배출량 감소를 위한 노력은 절실한 상황이다. 이에 따라 서울시는 온실가스 배출량을 줄이기 위해 대중교통 및 보행 활성화, 승용차요일제 및 혼잡통행료 징수와 같은 승용차 이용 억제, 나눔카와 같은 공유교통수단 저변 확대 등 다양한 교통수요관리 정책을 수립하고 시행해왔다.

서울시 온실가스 배출량은 2005년 49,467천 톤 CO_{2eq} 에서 2014년 47,129천 톤 CO_{2eq} 로 약 2,300천 톤 CO_{2eq} 가 감소하였다. 특히, 수송부문 온실가스 배출량은 2005년 10,673천 톤 CO_{2eq} 에서 2016년 9,542천 톤 CO_{2eq} 로 약 1,100천 톤 CO_{2eq} 가 감소하였다. 그러나 수송부문 온실가스 배출량은 전체 배출량의 20.8%, 에너지 부문으로만 한정하면 여전히 21.8%를 차지하고 있어 건물에 이어 가장 많이 배출하는 부문이다. 따라서 서울시 전체 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 수송부문에서의 온실가스 감축이 필요하다.

교통부문의 온실가스 배출량을 감축하는 효과적인 정책을 도출하기 위해서는 서울시민의 통행패턴과 연계된 배출 특성을 면밀히 파악할 필요가 있다. 이러한 이해를 토대로 정책 효과성을 높일 수 있는 정책 시행의 대상을 파악하고 그 효과를 객관적으로 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

2_2006년, 2016년 가구통행실태조사 원자료 활용

서울시 교통여건 반영해 승용차 등 교통수단별 탄소배출 원단위 산출

탄소배출량을 계산하기 위한 원단위는 서울시 교통여건을 반영하여 수단별(승용차, 택시, 버스, 지하철)로 산출한다. 승용차, 택시, 버스의 탄소배출량 원단위는 국립환경과학원의 배출 산정식에 서울시 평균 통행속도를 적용하고, 차종별/연료별로 가중평균을 하여 한 대당 배출량을 산정한다. 이렇게 산출된 배출량에 수단별 재차인원을 적용하여 g/인·km의 개별 원단위를 최종적으로 산정한다. 지하철은 교통안전공단에서 제공하는 지역별 온실가스 배출량을 기준으로 노선별 승차인원, 통행거리를 고려하여 배출 원단위를 산정한다.

가구통행실태조사의 공간적 최소 집계단위는 행정동이다. 따라서 이동거리는 교통수요추정 시뮬레이션 프로그램인 Emme4를 기반으로 행정동 간 네트워크 거리를 산정하여 추정한다.

이 연구는 개인별 탄소배출량 특성 변화를 분석하기 위해 2006년, 2016년에 수행된 가구통행실태조사 원자료를 이용하였다. 이 중 성별, 직업, 소득 등 일부 내용이 누락되어 분석에 사용할 수 없는 자료는 제외하였다. 분석에는 수도권 기준 2006년 약 49만 명, 2016년 약 25만 명의 자료가 사용되었으며 서울시민 기준으로는 2006년 약 22만 명, 2016년 약 8.6만 명의 자료가 사용되었다.

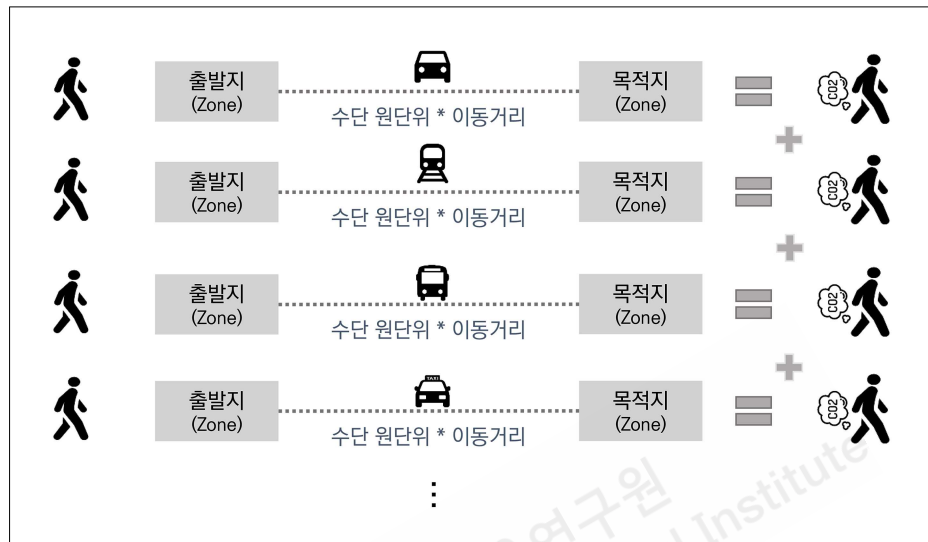
(단위 : 명)

구분	수도권	서울	경기	인천
2006년	492,152	223,780	215,934	52,438
2016년	251,794	86,291	128,760	36,743

[표 1]
연도별 분석
표본 수

탄소배출량은 앞에서 산출한 교통수단별 원단위와 통행거리를 이용하여 산출하였다. 개별통행에서 이용한 교통수단의 원단위와 통행거리를 곱하면 통행에서 발생하는 탄소배출량이 산정된다. 이렇게 산정된 개별통행의 탄소배출량을 합산하여 1일 개인별 총 배출량을 산정한다.

[그림 1]
탄소배출량 산정
방법



성별·연령 등 개인특성, 차량소유 등 가구특성에 따른 배출량 차이 분석

이와 같이 산출된 탄소배출량을 개인별/가구별 특성과 연계하여 분석한다. 즉, 성별, 연령 등 통행자별 개인 특성과 가구소득, 가구 내 자동차 소유 여부 등 가구 특성에 따른 탄소배출량의 차이를 파악한다. 이러한 분석은 2006년과 2016년 자료에 동일하게 시행하며, 그 결과는 그 변화 정도를 비교하는 근거 자료로 활용한다.

02 / 서울시 교통수단별 탄소배출 원단위 산정

1_통행속도, 차종·연료별 비율 등 교통여건 반영

탄소배출계수 산정식 이용해 교통수단별로 탄소배출 원단위 산정

국립환경과학원은 차종별/연료별 CO_2 배출량 산정식¹⁾을 제시하고 있다. 온실가스 배출량은 아래의 식과 같이 속도에 따라 달라지며 지수 또는 2차 함수 형태이다.

$$E = \alpha V^\beta \quad (\text{단, 대형 휘발유 승용차는 } E = \alpha V^2 + \beta V + \gamma \text{ 를 적용})$$

여기서, α , β , γ 는 계수, V 는 속도

이 산정식을 바탕으로 온실가스 배출량 원단위를 산정하며 사용된 계수는 다음의 [표 2]와 [표 3]과 같다. 국립환경과학원이 제시한 2009년 산정식을 기본 공식으로 사용하였고 매년 업데이트되는 산정식의 계수를 추가적으로 반영하여 2016년 온실가스 배출량 산정에 활용하였다.

구분	연료	계수(α)	계수(β)	비고
승용	경형	휘발유	887.1200	-0.5703
	소형	휘발유	1313.7000	-0.6000
		경유	1133.1000	-0.5870
	중형	휘발유	1555.5000	-0.5780
		경유	1818.1000	-0.6643
		LPG	1539.4	-0.5748
	대형	휘발유	1970.1000	-0.6187
		LPG	1849.8	-0.6164
택시	중대형	LPG	1805.7792	-0.6322
버스	경유		4638.6000	-0.5179
			5019.8000	-0.5582
	CNG		6338.0000	-0.6300

[표 2]
2006/2010년
원단위 산정계수

주 : 차종별/연료별 배출계수는 [국립환경과학원, 2009, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(II)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발]의 자료를 기본으로 활용

¹ 국립환경과학원, 2009, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(II)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발

[표 3]
2016년 원단위
산정계수

구분	연료	계수(α)	계수(β)	계수(γ)	비고
승용	경형	휘발유	900.6000	-0.5400	
	소형	휘발유	1149.8500	-0.5625	
		경유	1133.1000	-0.5870	
	중형	휘발유	1564.9300	-0.5936	
		경유	1818.1000	-0.6643	대형에도 적용
		LPG	1539.4	-0.5748	
	대형	휘발유	0.0293	-4.6100	310.26
		LPG	1849.8	-0.6164	
택시	증대형	LPG	1709.4000	-0.6232	
버스		CNG	6338.0000	-0.6300	

주 : 차종별/연료별 배출계수는 [국립환경과학원, 2009, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축 (II)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발]의 자료를 기본으로 활용함. 다만, 2016년 배출량을 산정할 때에는 업데이트된 최신 배출계수를 사용함. 업데이트되어 새로운 배출계수를 사용한 차종은 다음과 같음

- 승용차 소형 경유, 중형 경유 : 국립환경과학원, 2009, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(II)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발
- 승용차 경형 휘발유(이륜차 포함), 시내버스 CNG, 버스 경유 : 국립환경과학원, 2010, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(III)-자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발
- 택시 LPG : 국립환경과학원, 2011, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(IV)-자동차 오염물질 및 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발
- 승용차 소형 휘발유, 중형 휘발유 : 국립환경과학원, 2012, 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(V)-자동차 오염물질 및 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발

탄소배출 원단위 산정 시 서울시 통행속도, 차종·연료별 비율 적용

배출원단위 산정 시 서울시의 교통특성이 반영될 수 있도록 하였다. 첫 번째는 차량 속도를 반영하였다. 승용차 기준 통행속도는 2006년 22.9km/h에서 2016년 25.2km/h로 지난 10년 동안 서울시 통행속도가 약 2km/h 증가한 것으로 나타났다. 택시의 통행속도는 승용차와 같다고 가정하였다. 버스로 17.9km/h에서 19.5km/h로 1.6km/h 증가한 것으로 파악되었다. 이러한 통행속도 증가는 탄소배출원단위의 감소 요인이 될 수 있다.

(단위 : km/h)

구분	승용차	택시 ¹⁾	버스
2006년	22.9	22.9	17.9
2010년	24.0	24.0	19.8
2016년	25.2	25.2	19.5

[표 4]
연도별 통행속도

주 1 : 택시 통행속도는 승용차 통행속도와 동일한 것으로 가정

자료 : 서울시 내부자료, 서울시 관련통계, 각 연도

두 번째는 차종별/연료별 비율을 반영하였다. 온실가스 배출량은 차종과 연료에 따라 상이하다. 따라서 이를 대표적인 하나의 값으로 만들기 위해 차종별/연료별 비율에 따라 가중 평균하여 배출 원단위를 산정하였다. 승용차는 차량의 배기량에 따라 경형/소형/중형/대형으로 구분하고 있고, 연료에 따라 휘발유/경유/LPG로 구분되어 있다. 이 연구에서는 서울시 자동차 등록대수 자료를 활용하여 배기량별/연료별 구성 비율을 산출한 후 이를 적용하였다. 관련자료 검토 결과 2010/2016년 통계자료는 배출 산정식 기준에 맞게 구분이 되어 있지만 2006년은 배기량별 승용차 등록대수가 ~1000CC, 1000~1500CC, 1500~2000CC, 2000~2500CC, 2500CC~로 구분되어 있다. 따라서 2010년 자동차 등록대수의 1500~1600CC 비율을 파악한 후 이를 2006년에 적용하여 소형(1000~1600CC) 자동차 대수를 추정하였다.²⁾ 이렇게 구분된 배기량별 차량대수에 연료별 차량대수의 구분도 필요하다. 차량 크기별로 사용하는 연료종류는 경형이 휘발유, 소형은 휘발유, 경유, 중형 이상은 휘발유, 경유, LPG를 사용하는 것으로 나타났다. 따라서 이를 고려하여 차량 크기에 따른 연료별 차량대수를 산정하였다. 차종별/연료별 변화추이 검토 결과 서울시 차량은 점점 대형화되고 있는 것으로 나타났다. 경형승용차의 보급 비율이 증가했지만 소형차량의 비율은 감소하고 중형/대형차량의 비율이 증가하였다. 연료별 검토 결과 휘발유 승용차는 감소한 반면, 경유차가 많이 증가하여 이러한 요소들이 탄소배출량에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

²⁾ 2006년 통계는 1600cc 이하로 되어 있지 않음. 따라서 2010년 자동차 등록대수를 이용하여 1500~1600CC 차량 비율을 추정함. 그 결과 1500~2000CC 차량 중 16.7%가 1500~1600CC의 차량인 것으로 파악되고, 2006년 자동차 통계자료에 이 비율을 적용하면 1500~1600CC 차량 대수 추정이 가능

[표 5]
승용차
차종/연료 구분
및 비율

구분	배기량 ¹	연료	비율		
			2006년 ²	2010년	2016년
경형	1000cc 미만	휘발유	4.3%	5.4%	7.0%
소형	1000cc ~ 1600cc	휘발유	26.0%	17.9%	12.7%
		경유	6.6%	5.4%	6.3%
		하이브리드	0.0%	0.1%	0.4%
중형	1600cc ~ 2000cc	휘발유	24.1%	26.5%	23.8%
		경유	6.1%	7.9%	11.7%
		LPG	7.1%	7.6%	5.7%
		하이브리드	0.0%	0.1%	0.8%
대형	2000cc 이상	휘발유	16.5%	18.2%	17.9%
		경유	4.2%	5.5%	8.8%
		LPG	4.9%	5.2%	4.3%
		하이브리드	0.0%	0.1%	0.6%

주 1 : 차량구분은 배기량별 국립환경과학원에서 제시한 배기량별 분류 기준을 따름

주 2 : 2006년의 소형(1000cc ~ 1600cc), 중형(1600cc ~ 2000cc) 차량 비율은 2010년 비율을 기준으로 추정함

자료 : 국토교통부 통계누리(<http://stat.molit.go.kr>)

버스는 서울시에서 운행하는 시내버스를 기준으로 원단위를 산정하였다. CNG 버스 보급률이 2006년에는 43%에 불과했지만 2016년에는 100%로 차량 연료 구성 비율 변화에 따른 배출원단위 감소가 예상된다.

각 수단의 배기량/연료에 따른 탄소배출량을 산정한 후 이를 비율에 따라 가중 평균하여 원단위를 산출하였다. 수단별 배출량 산정 결과 승용차는 2006년 233.7g/대·km에서 2016년 209.5g/대·km로, 택시는 2006년 249.4g/대·km에서 2016년 228.8g/대·km로, 버스는 2006년 1,024.8g/대·km에서 2016년 975.5g/대·km로 감소하였다.

탄소 배출량 원단위의 감소이유는 차량성능 향상에 따른 배출계수의 변화, 차종 구성비율의 변화, 교통여건 변화에 따른 통행속도 증가 등이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 승용차 부문은 소형승용차 비율이 2006년 약 32%에서 2016년 약 19%로 13%p 감소하는 등 차량의 대형화가 진행되었지만 향상된 차량의 성능이 대형화 추세를 상쇄한 것으로 보인다.

또한 경유차의 비율이 2006년 17%에서 2016년 26.8%로 약 10%p 증가했다. 이러한 현상이 대기오염물질 배출량에는 부정적 영향을 미칠 수 있지만 온실가스 배출량에 한정할 경우 경유차는 휘발유 차량에 비해 온실가스를 더 적게 배출한다. 이와 함께 통행속도 증가도 큰 영향을 미쳤을 것이다. 승용차 통행속도는 지난 10년 동안 2.3km/h가 증가하였다. 배출량 산정식이 통행속도에 적지 않은 영향을 받는 것을 고려할 때 이러한 통행속도의 증가는 탄소 배출량 감소에 일정 부분 기여했을 것으로 판단된다.

택시는 차종별 연료의 변화는 없었지만 지난 10년간 통행속도(승용차 통행속도와 동일한 값 적용)가 증가하고 배출계수 산정식의 업데이트로 1대당 배출량이 줄어든 것으로 판단된다. 버스는 2006년 경유버스 비율이 57%였지만 2015년 모든 시내버스를 CNG 버스로 교체하여 2016년 기준 서울시내에 운행하는 시내버스는 모두 CNG 차량이다. 또한, 교통여건 개선으로 버스 통행속도도 10년 동안 1.6km/h 증가하였다. 이러한 요인들 때문에 2016년 버스 1대당 탄소배출량이 2006년에 비해 줄어든 것으로 판단된다.

(단위 : g/대·km)

구분	승용차	택시	버스
2006년	233.7	249.4	1,024.8
2010년	230.8	242.2	966.5
2016년	209.5	228.8	975.5

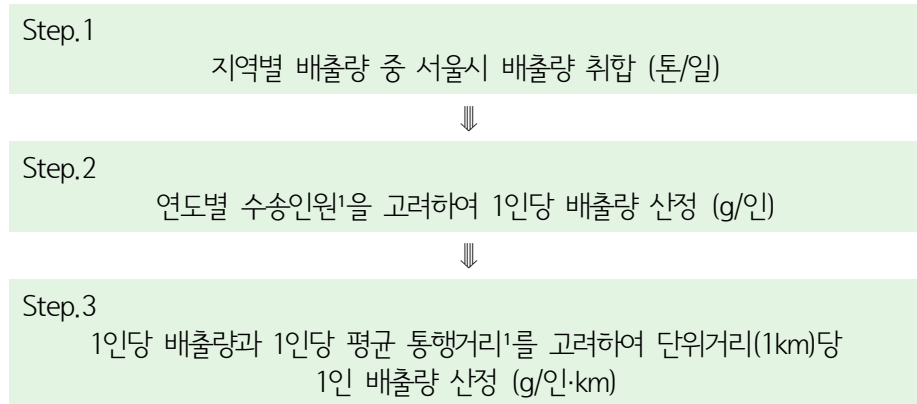
[표 6]
연도별 1대당
탄소 배출량

지하철 탄소배출 원단위는 수송인원·1인당 통행거리 반영해 산출

지하철 원단위는 교통 온실가스 관리시스템³에서 제공하는 지역별 배출량 중 서울시 배출량을 바탕으로 추정하였다. 연간 배출량을 1일 배출량으로 환산한 후 서울메트로와 서울도시철도공사의 수송인원과 1인당 통행거리를 반영하여 승객 1명이 1km 이동하는 데 배출하는 탄소량의 원단위를 산출하였다.

³ <https://www.kotems.or.kr>

[그림 2]
지하철 원단위
산정 방법



¹ : 연도별 승차인원과 평균통행거리는 서울메트로, 서울시 도시철도공사 수송계획의 각 연도 자료를 활용하여 산정

관련자료 검토 결과 2006년과 2016년의 지하철 부문 지역별 온실가스 배출량 자료가 없는 것으로 파악되었다. 따라서 2016년 값은 관련 자료를 구득할 수 있는 2014년 기준으로 원단위를 산정하였고, 이때 총 배출량은 2014년 이후 변화가 없는 것으로 가정하였다. 또한, 2006년 서울시 지하철 온실가스 배출량 자료는 산출되어 있지 않아 지하철 연장에 비례한다고 가정하고 2006년 이후 가장 가까운 시기에 배출량 자료가 산출된 2010년 자료를 기준으로 총배출량을 보정하였다. 서울시 도시철도 연장은 2006년 286.9km, 2010년 289.9km로 2006년 연장이 2010년 대비 99% 수준인 것으로 나타났다. 따라서 2006년 지하철 온실가스 배출량은 2010년의 99% 수준인 것으로 가정하였다. 지하철 승차인원은 각 연도의 서울메트로, 서울도시철도공사, 9호선의 수송계획과 서울시 관련통계자료를 활용하였고 통행거리는 운영사별 평균 통행거리를 승차인원에 따라 가중 평균하여 산출하였다.

[표 7]
지하철 원단위

구분		2006년	2010년	2014년
배출량	1년(kg)	756,882,053	764,796,470	757,755,550
	1일(kg)	2,073,649	2,095,333	2,076,043
승차인원(인/일)		4,532,636	4,836,628	5,140,770
통행거리((km/인))		12.16	11.94	12.02

자료 : 교통 온실가스 관리시스템(<https://www.kotems.or.kr/>)

서울메트로, 서울도시철도공사, 지하철 수송계획, 각 연도

수단별 1대당 배출 원단위에 재차인원 반영해 1인 배출 원단위 산정

연구진은 위에서 산출된 수단별 1대당 온실가스 배출량에 각 수단의 재차인원을 반영하여 1인당 온실가스 배출량 원단위를 산정하였다. 재차인원은 2006년, 2010년 수도권 가구통행실태조사의 수단별 재차인원을 적용하였다.

(단위 : 인/대)

구분	승용차	택시	버스
2006년	1.29	1.55	14.22
2010년	1.42	1.47	19.27
2016년	1.42	1.47	19.27

[표 8]
차종별 재차인원

주 : 2016년 가구통행실태조사는 완료되었지만 차종별 재차인원 관련 자료는 아직 산출되지 않았으므로 2010년 재차인원 적용

자료 : 수도권교통본부, 2007, 2006 수도권 가구통행실태조사

수도권교통본부, 2012, 여객 기종점통행량(O/D) 전수화 및 장래수요예측 공동조사

최종 산출된 수단별 1인당 탄소배출 원단위는 2006년 기준 승용차 181.2g/인·km, 택시 160.9g/인·km, 버스 72.1g/인·km, 지하철 37.6g/인·km, 2016년 기준 승용차 147.5g/인·km, 택시 155.7g/인·km, 버스 50.6g/인·km, 지하철 33.6g/인·km로 산정되었다. 2006년과 2016년 비교 결과 모든 수단의 온실가스 배출량 원단위가 감소한 것으로 나타났다. 특히, 버스 원단위의 감소폭이 컸는데 이는 앞서 언급했듯이 차량의 연료 변화에 따른 1대당 배출량 감소와 더불어 버스 재차인원 증가에 기인한 것으로 판단된다.

(단위 : g/인·km)

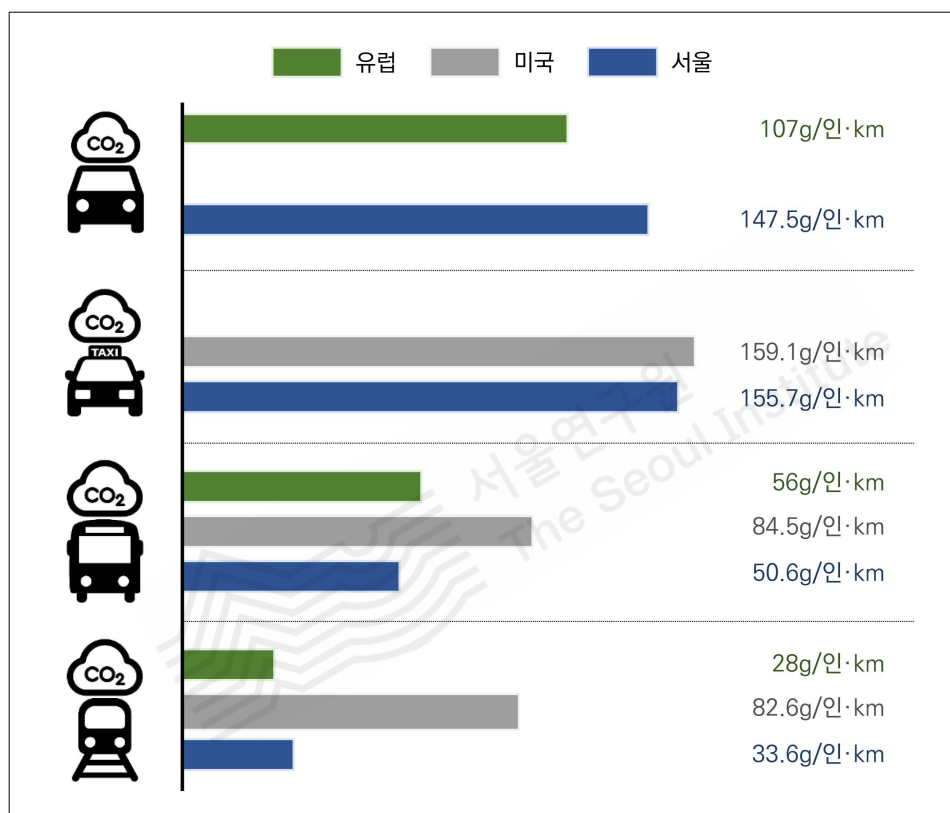
구분	승용차	택시	버스	지하철
2006년	181.2	160.9	72.1	37.6
2010년	162.5	164.7	50.2	36.3
2016년	147.5	155.7	50.6	33.6

[표 9]
1인당 온실가스
배출량 원단위

이 연구에서 산출한 배출계수의 적정성을 검토하기 위해 해외도시에서 산출된 배출계수와 비교하였다. EEA(2016)에서 산출한 유럽의 수단별 1인당 온실가스 배출량은 승용차 107g/인·km, 버스 56g/인·km, 지하철 28g/인·km로 서울시 원단위와 비교했을 때 승용차 원단위만 조금 높을 뿐 버스와 지하철은 비슷한 것으로 나타났다.

Song et al.(2016)에서 제시한 미국의 수단별 1인당 온실가스 배출량은 택시 159.1g/인·km, 버스 84.5g/인·km, 지하철 82.6g/인·km로 나타났다. 미국의 버스와 지하철의 배출 원단위가 상대적으로 높았는데, 이는 미국의 대중교통 수단분담률이 높지 않아 재차인원이 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 비교를 종합해 볼 때 이 연구에서 산출된 탄소배출 원단위는 합리적 수준인 것으로 판단된다.

[그림 3]
1인당 온실가스
배출 원단위
비교



자료 : EEA, 2016, Transitions towards a more sustainable mobility system, Song. et, al., 2016, Individual transport emissions and the built environment: A structural equation modeling approach, Transportation Research Part A 92, 206-219

2_외부존·내부존 통행으로 구분해 통행거리 추정

스메드의 면적 이용한 간편 산출식 활용해 내부존 통행거리 측정

이 연구에서 활용한 가구통행실태조사는 출발지와 목적지의 행정동 정보만 있기 때문에 개별 통행거리를 추정해야 한다. 통행거리는 외부존 통행과 내부존 통행으로 구분하여 추정하였다. 행정동 단위를 기준으로 Emme4를 이용하여 출발지에서 도착지까지의 네트워크 거리를 추정하면 외부존 통행거리는 추정할 수 있지만 행정동 내부에서 이루어지는 내부존 통행의 거리는 산정할 수 없다. 거시적 교통수요분석을 수행할 때 내부존 거리가 필요하지 않는 경우가 있지만 이 연구처럼 모든 통행을 대상으로 탄소배출량을 산출해야 하는 분석 특성상 내부존 통행거리를 고려하는 것은 매우 중요하다.

내부존 통행거리를 추정하는 방법은 여러 가지가 있다. 미국 상무부⁴는 센트로이드(Centroid) 간 거리를 이용한 추정방법을 개발하였다. 이 방법은 추정하고자 하는 존에서 인접한 존을 찾은 후 이 존 간 센트로이드 거리의 절반으로 가정하였다. Venigalla(1999)도 유사하게 존에서 가장 가까운 존까지 거리의 절반을 내부존 통행거리로 가정하였다. Smeed(1967)는 내부통행거리가 존면적의 영향을 받는다고 보고, 면적을 이용한 통행거리 추정방법을 제안하였다. Batty(1976)와 Fotheringham(1988)은 존의 면적을 반지름과 인접존 센트로이드까지의 거리로 대체한 산정방식을 제안하였다.

이 연구에서는 내부존 거리를 산정하는 여러 방식 중 간편하게 계산할 수 있는 Smeed(1967)의 면적을 이용한 산정방식을 활용하였다. 그 산정식은 아래와 같다.

$$D = 0.81 * A^{0.5}$$

여기서, D : 내부통행 거리
 A : 존 면적

⁴ U. S. Department of Commerce

⁵ 자료 : Smeed, R. J., 1967, The Road Capacity of City Centers, Highway Research Record, Vol. 169, pp. 22-29

03 / 1인당 탄소배출량 10년간 35% 이상 감소

1_고탄소 배출군 편중화 현상은 10년 동안 심화

수도권 통행자 탄소배출량, 2016년 1,427g/인/일로 10년새 35% 줄어

1인당 하루 탄소배출량은 수도권 기준 2006년 2,206g/인/일에서 2016년 1,427g/인/일로 약 35.3% 감소한 것으로 분석되었다. 시·도별로 살펴보면 서울시는 2006년 1,761g/인/일에서 2016년 1,088g/인/일로 38.2% 감소하였고, 경기도는 2006년 2,697g/인/일에서 2016년 1,553g/인/일로 42.4% 감소하여 수도권 내 3개 시·도 중에서는 가장 많이 감소한 것으로 나타났다. 인천시는 2006년 2,086g/인/일에서 2016년 1,777g/인/일로 14.8% 감소한 것으로 나타나 2006년과 달리 2016년에는 인천시의 1인당 탄소배출량이 경기도보다 더 많은 것으로 분석되었다.

(단위 : g/인/일)

구분	수도권	서울	경기	인천
2006년	2,206	1,761	2,697	2,086
2010년	1,918	1,577	2,297	1,825
2016년	1,427	1,088	1,553	1,777
증감률 (‘06~’16년)	-35.3%	-38.2%	-42.4%	-14.8%

[표 10]
연도별 1인당
탄소 배출량

개인별 특성 검토 결과 가구소득이 높을수록, 자동차를 보유하고 있는 사람이 더 많은 탄소를 배출하는 것으로 나타났고, 연령별 검토 결과 40대가 다른 연령대에 비해 탄소배출량이 많은 것으로 분석되었다. 10년 전이나 지금 모두 남자는 여자에 비해 두 배 이상 배출하는 것으로 파악되었다.

(단위 : g/인/일)

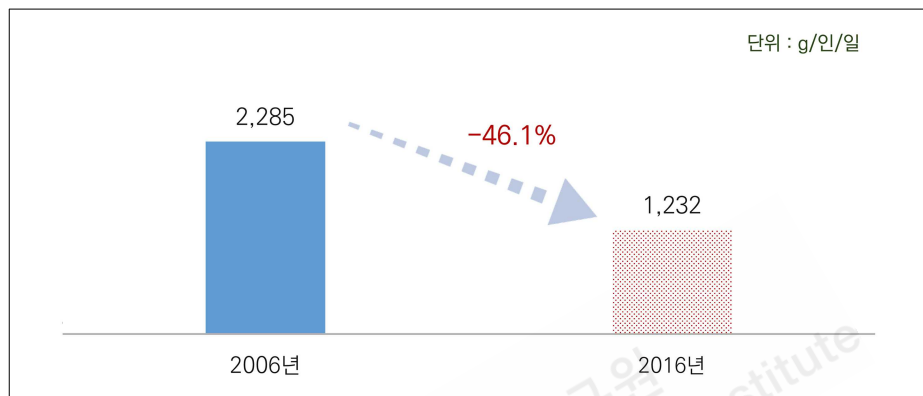
구분		2006년	2016년
평균배출량		2,206.12	1,426.71
지역	서울	1,760.85	1,088.18
	인천	2,085.85	1,776.57
	경기	2,696.76	1,553.28
수입	~100만 원	1,572.40	555.42
	~200만 원	1,986.60	943.45
	~300만 원	2,178.41	1,348.84
	~500만 원	2,375.41	1,540.16
	~1000만 원	2,814.46	1,725.19
	1000만 원~	3,063.77	2,008.16
자동차 소유	소유	2,375.81	1,684.10
	미소유	1,309.43	550.06
연령	0~9	256.27	149.65
	10대	552.79	326.77
	20대	2,346.19	1,613.56
	30대	3,114.73	1,902.39
	40대	3,447.82	2,106.30
	50대	3,052.29	1,810.85
	60대	2,170.32	1,107.04
	70대 이상	1,402.56	515.19
성별	남자	2,899.51	1,976.69
	여자	1,388.16	871.33

[표 11]
개인별
탄소배출량
비교(수도권)

여성, 저소득층, 고령층일수록 탄소배출량 감소율이 높은 경향 '확연'

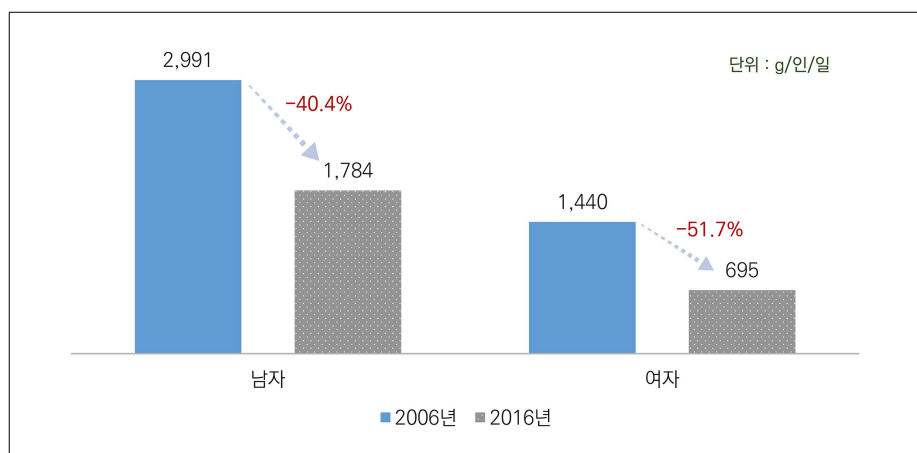
연구진은 서울시민의 탄소배출량 특성을 알아보기 위해 20세 이상의 서울시민으로 한정하여 개인별 탄소배출량 특성을 분석하였다. 1인당 배출량은 2006년 2,285g/인/일에서 2016년 1,232g/인/일로 46.1% 감소한 것으로 나타났다. 이는 위에서 분석한 서울시 모든 연령대를 대상으로 분석한 결과값보다 더 높은 수준의 감소율이다.

[그림 4]
1인당 온실가스
배출량
(20세 이상
서울시민 기준)

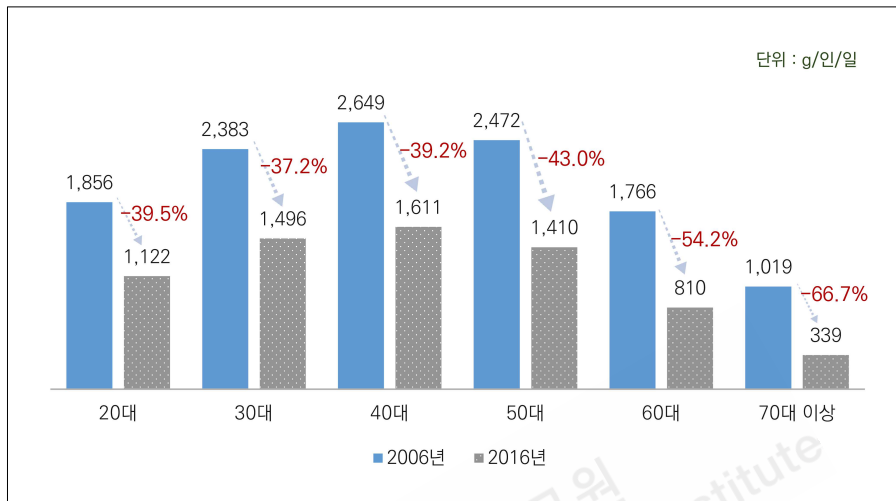


성별 특성 검토 결과 남성이 여성에 비해 더 많은 탄소를 배출하지만 2006년 대비 감소 비율은 여성이 남성보다 더 높은 것으로 나타났다. 이는 남성들이 여성에 비해 상대적으로 통행 빈도와 통행거리가 길고, 자동차 이용을 더 많이 하기 때문에 탄소배출량이 더 많은 것으로 판단된다. 다만 여성의 탄소배출량 감소 비율이 더 높은 것으로 비춰볼 때 남성과 여성의 통행빈도, 통행거리 및 자동차 이용 비율의 격차가 2016년에 더 심화됐을 것으로 판단된다.

[그림 5]
성별 1인당
온실가스 배출량
(20세 이상
서울시민 기준)

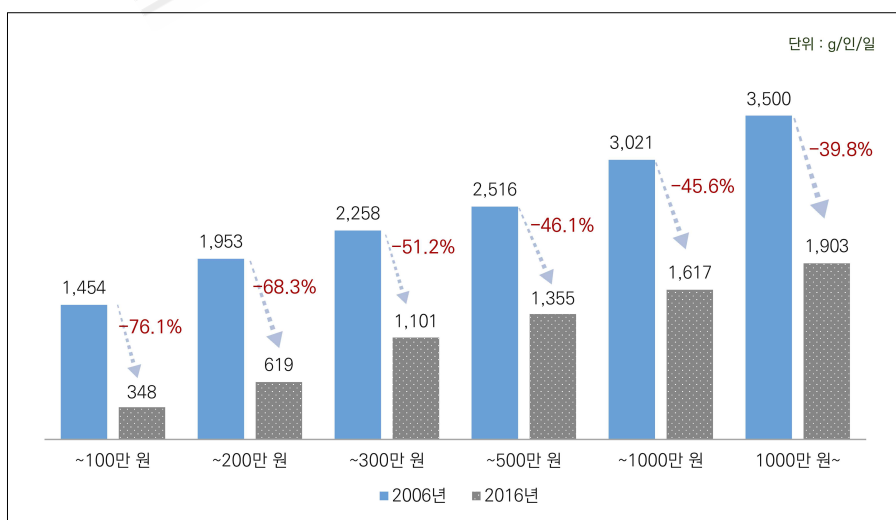


연령별 1인당 배출량 특성분석 결과 60대 이상이 다른 연령대에 비해 탄소배출량 감소비율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 60대 이상의 고령층이 되면 통행빈도가 낮아지고 승용차를 이용한 장거리 통행보다 도보 및 대중교통을 이용하는 근거리 통행을 더 많이 하는 경향이 강해졌기 때문으로 판단된다.



[그림 6]
나이별 1인당
온실가스 배출량
(20세 이상
서울시민 기준)

소득별 1인당 배출량 특성분석 결과 소득이 높아질수록 탄소배출량 감소비율이 더 낮은 것으로 분석되었다. 이는 소득이 높을수록 개인 승용차를 이용할 경향이 짙은 반면, 저소득층은 개인 승용차를 보유하기보다 대중교통을 이용할 가능성이 높기 때문으로 추측된다.



[그림 7]
가구소득별
1인당 온실가스
배출량
(20세 이상
서울시민 기준)

연구진은 20세 이상의 서울시민들을 대상으로 성별, 차량소유 유무, 소득수준에 따른 1인당 탄소배출량 변화 비율을 비교하였다. 탄소배출량 변화율 비교 결과 앞서 정리한 바와 같이 60대 이상의 고령층의 탄소배출량 감소율이 높은 것으로 나타났다. 또한, 남성 중 차를 소유하고 있지 않은 저소득층이 상대적으로 더 높은 감소율을 기록하고 있음을 볼 수 있었다.

[그림 8]
계층별 온실가스
배출량 비교
(20세 이상
서울시민 기준)

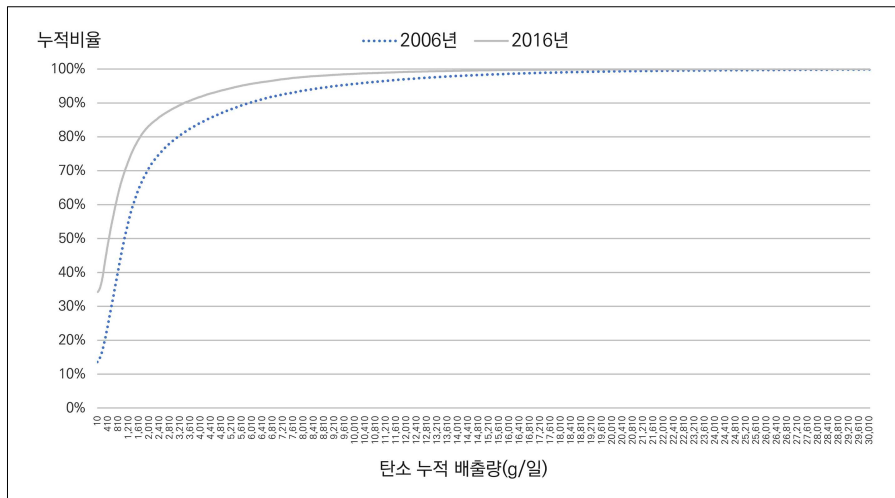
구분	20대	30대	40대	50대	60대	70대	합계
남자-차소유-소득 100 이하	69.5%	44.5%	75.3%	77.5%	50.4%	49.0%	47.3%
남자-차소유-소득 100~200	77.7%	74.2%	72.0%	66.0%	51.2%	44.6%	52.5%
남자-차소유-소득 200~300	75.3%	64.5%	65.2%	68.5%	64.3%	63.2%	64.1%
남자-차소유-소득 300~500	65.8%	65.9%	62.8%	63.2%	56.7%	38.3%	62.5%
남자-차소유-소득 500~1000	55.0%	64.2%	61.6%	59.9%	58.9%	41.9%	59.0%
남자-차소유-소득 1000 이상	66.0%	46.6%	51.9%	66.9%	48.6%	49.6%	55.5%
남자-차미소유-소득 100 이하	30.7%	14.2%	21.4%	22.7%	30.6%	35.4%	23.1%
남자-차미소유-소득 100~200	40.0%	40.3%	52.6%	42.4%	30.8%	38.6%	29.0%
남자-차미소유-소득 200~300	46.4%	46.9%	49.0%	55.3%	43.8%	35.9%	43.5%
남자-차미소유-소득 300~500	55.5%	52.7%	55.6%	51.2%	46.3%	59.5%	51.5%
남자-차미소유-소득 500~1000	76.3%	65.2%	52.2%	109.6%	40.1%	14.0%	63.0%
남자-차미소유-소득 1000 이상	23.0%	66.3%	54.5%	244.8%	248.9%	224.6%	83.4%
여자-차소유-소득 100 이하	92.0%	79.6%	59.1%	95.1%	87.5%	60.3%	68.0%
여자-차소유-소득 100~200	100.4%	82.8%	99.1%	47.3%	44.8%	66.2%	54.8%
여자-차소유-소득 200~300	59.2%	57.4%	81.2%	53.2%	32.5%	56.1%	53.8%
여자-차소유-소득 300~500	58.6%	50.6%	45.7%	41.4%	39.9%	18.1%	45.8%
여자-차소유-소득 500~1000	67.0%	55.8%	43.8%	37.0%	38.7%	29.9%	47.1%
여자-차소유-소득 1000 이상	60.7%	68.1%	48.3%	63.3%	35.0%	33.0%	54.2%
여자-차미소유-소득 100 이하	38.8%	51.7%	50.4%	40.6%	36.5%	29.5%	30.0%
여자-차미소유-소득 100~200	48.9%	65.5%	70.1%	38.9%	34.0%	42.7%	37.2%
여자-차미소유-소득 200~300	54.4%	54.9%	59.0%	33.2%	26.7%	37.2%	42.0%
여자-차미소유-소득 300~500	51.2%	58.6%	48.7%	34.2%	32.8%	59.1%	43.6%
여자-차미소유-소득 500~1000	68.8%	70.6%	60.1%	60.8%	46.6%	54.2%	58.0%
여자-차미소유-소득 1000 이상	52.3%	104.8%	0.0%	186.6%	126.8%	100.0%	80.9%
합계	60.5%	62.8%	60.8%	57.0%	45.8%	34.9%	53.9%

주 : 비율은 2006년 대비 2016년의 탄소소비량

상위 20%가 전체 탄소배출량의 74%에 달해 '10년 동안 7%p 증가'

또한 서울시 탄소 배출량 누적분포를 통해 전체 탄소배출량 중 상위 배출군이 차지하는 비율을 살펴보았다.⁶ 2016년 기준 상위 20%의 탄소 배출군이 전체 탄소배출량의 74.3%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 2006년 67.9%와 비교할 때 더 높아진 수치로 탄소배출의 편중 현상이 지난 10년 동안 더 심해졌음을 시사한다.

⁶ 두 모집단이 서로 동일한 분포를 가졌는지 확인하기 위해 KS(Kolmogorov-Smirnov) Test를 수행한 결과 귀무가설을 기각($p < 0.000$)하여 동일한 분포를 가지지 않는 것으로 나타남



[그림 9]
탄소배출량
누적분포

구분	탄소배출량 비율	
	2006년	2016년
상위 20%	67.9%	74.3%
상위 10%	49.6%	55.8%
상위 5%	34.2%	39.0%

[표 12]
상위 배출군의
탄소배출량 비율
비교

2_석유소비량·오염물질 배출량도 동반 감소추세

통행 적은 고령층 늘고 친환경자동차 등장 등 교통여건 변화도 한몫

수도권 및 서울시 탄소배출량 특성 분석 결과 1인당 탄소 배출량이 2006년과 비교할 때 14~42% 감소한 것으로 분석되었다. 20세 이상 서울시민을 대상으로 비교할 경우에는 약 46.1%가 감소하여 1인당 탄소배출량이 10년 전에 비해 거의 절반 수준인 것으로 나타났다.

탄소배출량 감소에는 다양한 요인이 반영되었을 것으로 추측된다. 기본적으로 서울시 인구 및 교통상황이 영향을 미쳤을 것이다. 지난 10년간 고령화 사회로 접어들면서 인구구조는 크게 변하였는데, 2006년 20대 이상 인구 중 60대 이상은 14.8%에 불과했지만 2016년 23.4%를 기록하여 약 10%p 증가하였다.

이에 반해 30대 이하는 2006년 48.1%에서 2016년 37.5%로 약 10%p 감소하였다. 즉, 고령층 인구는 증가한 반면, 젊은 층의 인구비율은 줄어들었다. 일반적으로 고령자가 통행을 적게 하거나 장거리 통행을 줄이는 경향이 있기 때문에 이러한 부분이 1인당 탄소배출량 감소 추세에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

(단위 : 인)

[표 13]
서울시 연령별
인구 분포
(20세 이상)

구분	20~29세	30~39세	40~49세	50~59세	60~69세	70세~	합계
2006년	1,835,235	1,783,293	1,633,559	1,163,035	701,502	411,113	7,527,737
	24.4%	23.7%	21.7%	15.4%	9.3%	5.5%	100.0%
2016년	1,442,701	1,620,974	1,678,172	1,570,037	1,076,270	846,943	8,235,097
	17.5%	19.7%	20.4%	19.1%	13.1%	10.3%	100.0%

(단위 : 인)

[표 14]
가구통행실태조사
조사자 연령별
분포
(20세 이상)

구분	20~29세	30~39세	40~49세	50~59세	60~69세	70세~	합계
2006년	45,090	53,289	62,993	45,537	22,829	8,944	238,682
	18.89%	22.33%	26.39%	19.08%	9.56%	3.75%	100.00%
2016년	11,781	18,340	16,783	17,226	13,996	11,738	89,864
	13.11%	20.41%	18.68%	19.17%	15.57%	13.06%	100.00%

주 : 실제 조사인원은 2006년 326,796명, 2016년 102,950명임

교통여건도 탄소배출량에 영향을 주는 요인 중 하나일 것이다. 차량 기술발전에 따른 온실가스 배출량 감소, 전기자동차와 같은 친환경자동차 등장 등 자동차 산업에서도 많은 부분이 바뀌고 있다.

이와 함께 서울시에서 시행한 다양한 교통정책의 효과로 인한 통행속도 증가, 시민들의 의식변화 및 대중교통 편의성 증진 등이 대중교통과 보행/자전거 이용 활성화에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 실제로 서울시 승용차 등록대수는 2016년 기준 약 260만 대로 2006년보다 약 15% 증가하였다. 그러나 승용차 1일 평균 주행거리는 2006년 44.0km/일에서 2016년 30.7km/일로 약 30% 감소하였다.⁷ 승용차 등록대수와 1일 평균 주행거리를 고려하여 승용차의

⁷ 자료 : 교통안전공단, 각 연도, 자동차주행거리통계

1일 총 주행거리를 산출한 결과 2016년에는 2006년 대비 약 20%가 감소한 것으로 나타났다. 서울시의 승용차 등록대수는 증가하였지만 한 대당 1일 평균 주행거리는 감소하여 승용차의 1일 총 주행거리는 오히려 감소하였다. 이와 더불어 서울시 대중교통 수단분담률은 2006년 62.3%에서 2014년 66%로 3.7%p 증가하였다. 이러한 지표를 살펴봤을 때 지난 10년간 서울시민들의 승용차 이용은 줄어들고 대중교통 이용은 증가한 것을 알 수 있다. 이러한 통행행태 변화가 교통부문 탄소배출량을 감소시키는 방향으로 유도한 것으로 판단된다.

구분		2006년	2016년	비고
인구(인)		9,762,546	9,930,616	
승용차 등록대수(대)		2,266,106	2,598,394	
			(14.7%)	
평균 주행거리(km/일)		44.0	30.7 (-30.2%)	2006년, 2010년 자가용, 2016년 비사업용 기준
총 주행거리(km/일)		99,618,020	79,770,696	
			-19.9%	
대중교통 승객 (천인/일)	대중교통	10,195	10,252	
	지하철	4,533	5,210	
	시내버스	4,655	4,280	
	마을버스	1,007	1,212	
수단분담률 (%)	대중교통	62.3	66.0	2014년 기준
	(버스)	27.6	27.0	
	(지하철)	34.7	39.0	
	승용차	26.3	22.8	
	택시	6.3	6.8	
	기타	5.1	4.4	

[표 15]
서울시 인구와
주요 교통지표
변화

또한, 탄소배출량 감소와 직접적 상관성이 높을 것으로 예상되는 지표들을 검토하였다. 첫 번째 지표는 석유소비량이다. 서울시 석유소비량은 2006년 49,364천 배럴에서 2016년 49,390천 배럴로 다소 증가하였다. 그러나 도로 부문으로 한정할 경우 2006년 28,131천 배럴에서 2016년 23,203천 배럴로

약 17.5% 감소하였다. 즉, 서울시민들의 차량 이용이 2006년에 비해 줄어들었다는 간접적 증거로 볼 수 있고 이는 서울시 승용차 총 주행거리가 감소한 것과 일치한다.

[표 16]
도로부문 석유
소비량 비교

구분	합계	휘발유	경유	액화가스
2006년	28,131	10,393	8,935	8,768
2015년	23,203	9,607	7,522	6,046
증감률('06~'15년)	-17.5%	-7.6%	-15.8%	-31.0%

자료 : 산업통상자원부-에너지경제연구원, 2016, 2016 지역에너지 통계연보(2015년 기준)

두 번째 지표는 오염물질 배출량이다. 서울시 오염물질 배출량 검토 결과 2014년 배출량은 2006년 대비 39.4%가 감소하였고, 도로이동오염원으로 한정할 경우 61.7%가 감소하였다. 이러한 추세는 서울시 탄소 배출량 추이와 비슷한 양상을 보이는 것으로 판단되며, 이는 대중교통 수단분담률 증가, 차량기술 발전에 따른 오염물질 배출량 감소, 교통여건 개선에 따른 속도 향상 등에 기인하는 것으로 보인다. 과거 10년간의 지표변화 검토 결과는 교통부문 탄소배출량이 대폭 감소하는 방향으로 진행해왔음을 시사하고 있다.

(단위 : kg)

[표 17]
서울시 오염물질
배출량 비교
(2006~2014년)

구분	2006년	2014년	비고
비산업 연소	42,742,705	33,516,104	
제조업 연소	1,474,847	460,035	
에너지수송 및 저장	3,346,763	392,334	
유기용제 사용	39,260,600	54,297,071	
도로이동오염원	228,316,915	87,398,812	-61.7%
비도로이동오염원	14,042,757	20,541,506	
폐기물처리	2,051,166	1,477,467	
농업	2,544,517	638,093	
기타 면오염원	493,395	3,607,687	
생산과정	976,557	27,285	
에너지산업 연소	7,497	891,752	
합계	335,257,720	203,248,147	-39.4%

자료 : 국립환경과학원, 2016, 2014 국가 대기오염물질 배출량

04 / 서울시, 교통수요관리 정책 지속 추진해야

1_교통부문 탄소배출량 10년간 뚜렷한 감소추세

서울시 1인당 탄소배출량은 2006년 1,761g/일 → 2016년 1,088g/일

이 연구에서는 가구통행실태조사 원자료를 바탕으로 지난 10년간 서울시 탄소배출량의 변화 추이를 분석하였다.

1인당 탄소배출량 산출 결과 서울시 기준 2006년 1,761g/인/일에서 2016년 1,088g/인/일로 38.2% 감소하였다. 가구통행실태조사가 서울시 전체 통행특성을 완벽하게 대표할 수 없는 샘플자료임을 감안하더라도 상당한 양의 탄소배출량 감소 현상은 실재하고 있는 것으로 추정된다.

20세 이상의 서울시민 대상으로 개인별 탄소배출량 특성을 살펴보면 가구 소득이 높을수록 배출량 감소율이 낮아지는 것으로 분석되었다. 여성이 남성에 비해 감소율이 더 높았고 40대가 가장 많은 탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 특히 고소득 40~50대의 남성 승용차 이용자가 다량의 탄소를 배출하며, 이러한 경향은 과거 10년 전에 비해 더욱 뚜렷해졌다. 반면 고령자(60,70대) 그룹과 차량을 소유하고 있지 않은 저소득 계층 남성들은 탄소배출량이 매우 크게 감소하였다. 탄소배출량 상위 20% 통행자의 배출량 기여도가 2006년 67.9%에서 2016년 74.3%로 나타나 고배출자의 탄소배출량 기여도는 더욱 높아지고 있는 것으로 파악되었다.

2_고탄소 배출군에 고강도 승용차억제정책 시행

대중교통·보행통행 질 개선으로 통행자의 저배출 경향성 유지해야

서울시민의 개인별 탄소배출량 특성 분석 결과 대중교통 편의성 개선, 보행 활성화, 승용차 이용억제 등 교통수요관리 정책의 꾸준한 추진으로 인한 탄소배출량의 감소 추세를 확인할 수 있었다. 따라서, 앞으로도 교통부문 탄소배출량을 줄이기 위해서는 서울시가 추진해왔던 다양한 교통수요관리 정책을 지속적으로 추진할 필요가 있다. 특히, 대중교통 및 보행 통행의 질 개선을 통해 탄소 저배출 통행자의 저배출 경향성을 유지해야 할 것이다. 그리고, 탄소 고배출군에 대해서는 더욱 강도 높은 승용차 이용억제 정책을 추진하여 효과적으로 탄소배출을 줄이는 방안을 모색할 필요가 있다.

서울연 2017-BR-11

교통부문 탄소배출 감소추세 ‘뚜렷’
교통수요관리 정책 지속 추진 필요

발행인 _ 서왕진

발행일 _ 2017년 10월 31일

발행처 _ 서울연구원

ISBN 979-11-5700-286-3 93530 비매품

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57