

## 차량이용 도로물청소에서 청소용수 근접확보의 효과 검토

유기영\* · 나유미\*\*

### A Study on Proximity Effect of Water Acquisition in Vehicles-Used Street Washing

Kee-Young Yoo\* · Yu-Mee Na\*\*

**요약** : 도로물청소를 하기 위해서는 노면 위의 먼지를 씻어낼 수 있을 정도로 충분한 양의 물이 필요하나 도시에서는 용수원의 확보가 쉽지 않다. 본 연구에서는 차량을 이용하여 도로물청소를 실시할 때 가까운 곳에서의 용수확보가 어느 정도 효과적인지를 평가하였다. 이를 위해 충수거리가 10km일 때는 지하수를, 1km일 때는 소화전을 용수원으로 사용하는 것으로 가정하고, 차량수요, 청소비용, 온실가스배출량의 차이를 비교하였다. 충수거리가 감소하면 필요한 차량의 수가 감소하였고, 작은 차량보다는 큰 차량을 사용할 때도 차량수요가 감소하였다. 충수거리가 감소하면 소형차량도 대형차량과 유사한 청소능력을 발휘하는데, 이는 충수를 위한 이동시간 및 부대시간이 줄어들어 대형차량이든 소형차량이든 살수에 투입하는 시간이 비슷해지기 때문이다. 상수도사용료를 지불하는 데도 장비절감이 커서 짧은 충수거리에서 비용이 적게 소요되었다. 온실가스배출량도 비용과 유사한 경향을 보였으며, 청소용수의 생산방법의 영향이 더 컸다. 전체적으로 용수확보가 제한받는 대도시에서 소화전 같은 근접 용수원의 활용은 경쟁력이 있는 방법으로 판단되었다.

**주제어** : 도로물청소, 근접효과, 소화전, 차량수요, 비용, 온실가스배출

**ABSTRACT** : Generally street washing, a kind of urban street cleaning, demands lots of water to wash out the dust on the road surface, but it is not easy to obtain from designated water stations especially in the urbanized district. This study tried to reveal the proximity effect of water stations when vehicles are used for this public service. Ground water deep well and fire hydrant are recommended as water stations. The former needs artificial installation within distance of 10km and the latter is easily accessible in developed area. The closer a cleaning point is to water station, the more vehicle demand is reduced and differences of cleaning ability between larger and smaller vehicles in their loading capacity are diminished due to the reduction of time consumption concerned with activities, both driving without watering and holding at water stations. Lessening recharging distance also makes overall street washing costs and global warming material discharge lower, which is mainly caused by the reduction of scale of vehicle fleet and energy consumption relating production of cleaning water, respectively.

**Key Words** : street washing, proximity effect, vehicle, cost, global warming material discharge

\* 서울시정개발연구원 연구위원(Research Fellow, Seoul Development Institute), E-mail: keeey@sdi.re.kr, Tel: 02-2149-1157.

\*\* 태영건설 과장(Manager, Taeyoung E&C)

## I. 서론

도시에서 도로는 차량과 사람의 이동통로, 사람들의 교제 장소, 도시와 도시의 연결통로, 수목의 서식 공간 등의 역할을 하며, 그러한 역할은 필연적으로 쓰레기 발생으로 이어진다. 바로 도로청소가 현대 생활에서 도시정부의 기본적인 서비스 중 하나로 자리잡고 있는 이유이며, 목적은 도시지역을 깨끗하고 위생적인 상태로 유지하는 것이다 (Albani and Newman, 2004). 미국 Redwood City(2007)가 도로청소의 목적을 ① 빗물과 함께 유출되어 수로와 인근 연안의 오염원으로 작용하는 도로 위의 오염물질량을 줄이고, ② 낙엽, 암석 부스러기, 찌꺼기 등이 하수배제계를 막는 것을 방지하며, ③ 시내 도로를 깨끗하고 보기 좋은 모습으로 만드는 것이라고 정의하듯이 실제 도시들은 품위유지보다 훨씬 실용적이고 구체적인 목적 하에서 도로청소를 실시하고 있다.

1980년대까지만 하여도 서울의 도로청소는 빗자루와 수하차를 휴대한 환경미화원이 전담하였다. 환경미화원의 역할을 대신할 청소차량이 나타나기 시작한 것은 1990년대 중반부터이며, 기본적으로 브러시와 진공흡입장치를 장착하고 있다. 2000년대에는 또 다른 형태의 청소장비가 등장하였는데 바로 물청소차량이다. 이 차량은 청소용수를 적재하고 이동하면서 차량 전면이나 측면에 설치된 노즐로부터 물을 뿜어 도로위의 토사 및 먼지 등을 빗물받이로 씻어내는 역할을 한다. 근래 들어 도로청소에 대한 기대가 더 커지고 있는데, 진공방식으로 먼지를 흡입하고 물을 뿌려 먼지를 씻어내는 과정에서 대기 중으로 비산할 수 있는 작은 먼지들도 함께 제거되기 때문이다. 비록 도

로물청소와 대기 중 미세먼지의 저감에 대한 인과관계는 정확하게 밝혀진 바 없으나, 도로물청소 유출수에는 미세먼지의 크기에 해당하는 입자들을 포함하여 수질오염성분도 다량 포함되어 있다는 비교적 최근의 연구결과도 있다(Hewitt, 1981; Vaze and Chiew, 2002; Etymezian et al., 2003; Chang et al., 2005; 유기영·나유미, 2006).

도로물청소가 이미 언급한 효과를 발휘하기 위해서는 도로표면으로부터 유출이 일어날 수 있도록 충분한 양의 물을 뿌려주어야 한다. 그 효과는 자연적인 강우현상으로부터도 유추가 가능하다. 유기영·나유미(2006)가 도로청소기준 중 하나로 1km<sup>2</sup>의 도로면당 480m<sup>3</sup>(이상<sup>1)</sup>을 노면의 청소수로 뿌려주어야 한다고 제안한 것도 일정 수준 이상의 물이 필요하기 때문이다. 결국 도로물청소를 위해서는 충분한 양의 물을 확보할 수 있어야 하는데, 서울과 같이 고밀도로 개발된 지역에서 양질의 용수원을 찾기는 쉽지 않다. 충분한 물이 있더라도 청소를 하는 지점으로부터 먼 곳에 있다면 청소지점까지 물을 운반하기 위한 차량, 차량 운전원, 연료비 등이 많이 소요될 것이고, 가까운 곳에서 확보하게 되면 차량, 차량 운전원, 연료비 등이 줄어들 수 있으나 용수원의 개발에 그만큼 많은 비용이 소요될 것이다.

프랑스 파리를 비롯한 유럽의 일부 도시와 마찬가지로 우리나라에서도 물청소는 도로청소의 일부로서 자리매김할 가능성이 높고, 서울, 부산에서는 이미 청소체계를 갖추기 시작했다(서울특별시, 2007; 뉴시스, 2007). 이에 본 연구에서는 차량을 이용하여 도로물청소를 실시할 때 청소지점과 청소용수 충수지점과의 거리단축의 효과를 검토하였다. 효과검토를 위한 비교지표로는 물청소

1) 강우시 노면저류량 1km<sup>2</sup>당 120m<sup>3</sup>, 서울의 평균 도로폭, 빗물받이 유출량 등을 감안하여 산정하였다.

차량 수요, 연간 물청소 비용, 온실가스배출량을 선택하였다. 온실가스는 청소를 담당하는 조직과 직접적으로 관련이 있지는 않지만 이를 저감하려는 지구적 차원의 노력이 경주되는 상황이기에 그러한 흐름에 부합하는지를 판단하고자 선택하였다. 이 연구는 도로물청소를 추진하고자 하는 도시정부에게 청소용수원과 차량 중 어디에 역점을 두는 것이 비용과 환경적인 측면에서 더 유리한가, 도시에서 생각할 수 있는 잠재적인 용수원으로 무엇이 있는가, 어떻게 비교우위를 평가할 수 있는가 등에 대해 보여 줄 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 서울의 도로물청소 실태

#### 1) 물청소장비 및 청소수준

우리나라에서 일반적으로 사용되는 물청소장비는 16톤, 7.5톤, 3톤 규모의 차량이 있다. 16톤과 7.5톤 차량은 폭 12m이상 도로의 청소에 투입되고 3톤 규모의 차량은 이면도로 청소에 활용된다. <그림 1>은 주요도로에 주로 사용되는 7.5톤 및 16톤 차량의 모습이다. 물청소 차량은 기능에 따라

일반살수차량, 진공흡입차량, 브러시장착차량 등으로 세분된다. 처음 도입된 물청소 차량은 물을 고압으로 분사하여 도로를 씻어내는 방식이며, 일반살수차량이라 부르고 있다. 그러나 청소구역을 지나는 차량에 물이 튀고 많은 물의 살포를 요구하는 등이 일반살수차량의 단점으로 지적되어 진공흡입차량과 브러시장착차량이 개발되었다. 진공흡입차량은 살포된 물의 일부를 차량의 후단에서 진공장치를 이용하여 회수하고, 브러시장착차량은 전면에서 물을 살포하고 후면에서 기계적으로 걸레질을 하여 노면에 부착된 때를 제거하는 기능을 갖추고 있다.

2005년도 물청소차량의 운행 실적을 청소대상 도로의 총연장 대비 1일 작업연장의 비를 통해 보면 서울시 평균 306%이고, 200%미만인 곳도 다수 있다. 200%미만이라는 숫자는 해당자치구들이 청소대상도로의 양 측구를 매일 청소하지 못함을 의미한다. 1,000%를 초과하는 자치구는 이면도로의 청소 소형물청소차량 8대를 투입하고 있기 때문이다. 총면적을 기준으로 한 평균 물청소면적은 48%이고, 1일 50%이상을 청소하는 곳은 중구, 용산구, 강남구, 서대문구, 구로구, 성북구, 구로구, 관악구, 강동구 등 9개 자치구였다. 이들 자치구는



7.5톤 차량



16톤 차량

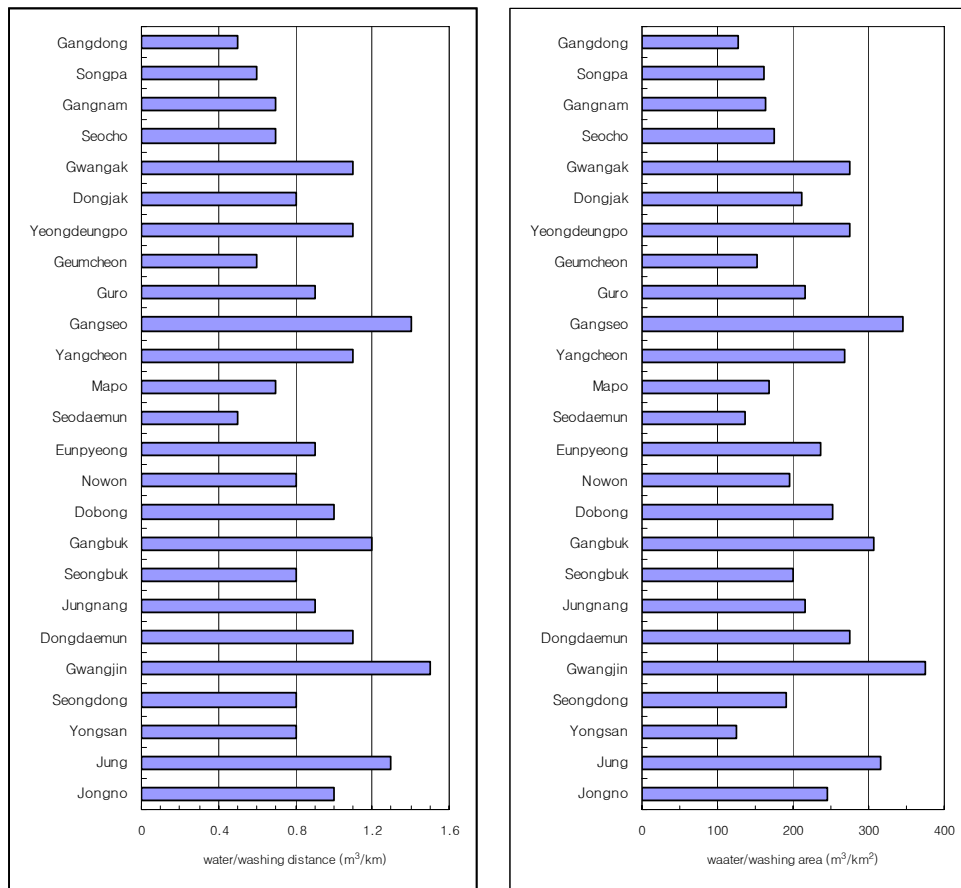
<그림 1> 서울의 주요 도로 물청소차량 유형

2일에 1회 이상 모든 도로면을 물청소하거나 청소 대상도로의 절반 정도를 매일 물청소한다고 볼 수 있다. 20%수준의 자치구는 청소대상도로를 주 1회 정도의 회수로 물청소를 한다는 의미이다. 많은 면적을 매일 청소하는 것도 중요하지만 충분한 양의 물을 뿌려주는 것 또한 중요하다. 도로에 많은 물을 살수하면 도로위의 수용성 또는 부유성 입자가 물과 함께 도로측구방향으로 이동하여 빗물받이로 유입됨으로서 도로위에 퇴적된 입자들이 제거될 것이기 때문이다. <그림 2>의 좌단은 단위작업거리당 청소용수 살포량, 우단은 작업면적당 살포량을 보여주고 있다. 물청소차량들은 도로

위를 이동하면서 물을 살수하게 되는데 1km의 청소에 대략 0.5톤, 최고 1.5톤의 물을 살수하고 있었다. 작업면적당 살수량에서는 1km당 120~370톤의 물을 살수하는 등 최고 3배의 차이를 보였다. 도로에 살수되는 물은 도로의 노면 저류량 이상일 때 도로의 경사를 따라 흘러서 빗물받이로 유입되며 그러한 조건에서 청소효과가 발휘되기 때문에 충분한 양의 살포가 강조되고 있다.

## 2) 물청소 용수원

2006년에 서울시 25개 자치구가 확보하고 있는 물청소 용수원은 47개소이었고, 주로 지하철 용출



〈그림 2〉 각 자치구별 도로물청소 용수량

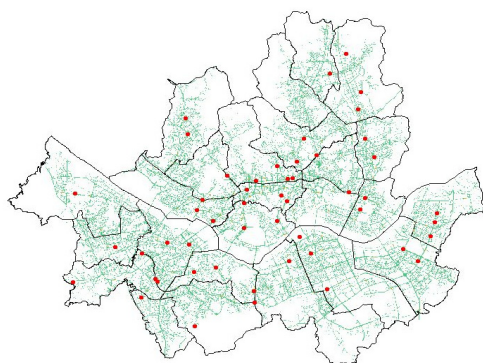
수이고, 개발 지하수, 하수처리장 고도처리수 등도 활용하고 있었다. 지하철 용출수는 지하수의 압력에 의해 지하철역사로 자연스럽게 흘러나오는 부분을 저장한 것으로 취수정, 펌프 등을 설치하여 도로청소용수로 활용하였다. 비교적 얇은 지하에서 모아지기 때문에 일부 지하철역사의 지하수는 수질오염성분이 높고 특히 부유고형물이 많아 물청소차량의 살수노즐이 폐색되는 등 문제를 유발한 사례도 있다고 한다. 그나마 지하철 용출수를 확보할 수 없거나 그것만으로 부족한 경우에는 차선택으로 지하수를 개발하고 있었다. 대부분 심정수를 개발하기 때문에 수질은 양호하나 취수량에 제한을 받는 경우가 많았다. 하수처리장 고도처리수는 2차 처리한 하수를 모래여과와 소독을 거쳐 생산하고 있다. 수질은 하수처리장 방류수보다 양호하고 실제로 하수처리장에서 장내 청소용수로만 주로 사용되어 왔는데, 이 청소용수를 서울의 4개 하수처리장에 인접한 일부 자치구에서 도로청소용수로 사용하고 있다는 것이다. <그림 3>은 2006년 기준 도로물청소 용수원의 분포와 개발지하수 수전으로부터 물을 받고 있는 모습이

다. 서울의 도로청소구역의 연장이 1,793km이기 때문에 47개소 용수원이 바둑판 모양의 도로망 위에 교차점을 이룬다고 보면 용수원 사이의 평균 거리는 23km, 이 조건에서 물을 확보할 수 있는 평균 반경은 11km 정도이다. 즉 물청소차량의 적재용수가 고갈되었을 때 평균 11km 정도를 이동해야 청소용수를 다시 채워 바로 전에 청소가 중단되었던 곳으로 갈 수 있다는 것이다.

## 2. 효과분석 방법

### 1) 물청소차량 수요

폭 12m이상 서울시 모든 도로(길이 1,793km, 면적 45.3km<sup>2</sup>)를 1일 1회(측구측 도로는 1일 2회), 도로면 1km<sup>2</sup>당 480톤의 물을 살포한다는 조건(유기영·나유미, 2006)에서 청소지역과 청소수를 확보할 수 있는 용수원까지의 거리 즉, 충수거리에 따른 차량수요를 분석하였다. 충수거리는 용수원이 47개소인 현 상황에서 이론적인 반경이 11km<sup>2</sup>)라는 점을 감안하여 최대반경을 10km로 보고 여러 반경에 대해 분석하였다. 본 연구에서는 용수



<그림 3> 도로물청소 용수원 분포(좌) 및 수전으로부터 청소용수 충수 모습(우)

2) 경험적으로 선분의 수는 “1.8 x 교차점의 수 - 3.6”으로 산출할 수 있고, 47개소의 용수원을 교차점으로 보면 77개소의 선분이 필요하다. 따라서 청소대상도로 1,793km의 평균거리는 약 23km, 반경은 11.5km이다

원의 근접효과를 확연하게 확인할 수 있도록 주로 10km, 5km, 1km, 0.1km의 경우를 대상으로 소개하였다. 물청소차량의 1회 작업은 다음과 같이 도로에 물 살포(살수), 물을 다시 적재하기 위해 용수원으로의 이동 및 충수 후 살수지점으로의 이동(충수이동), 청소차량에 청소용수의 적재(충수), 용수원에서 수전에 충수호스를 펼치고 연결하고 회수하고 때에 따라 여러 대의 물청소차량에 동일 시간에 밀집되어 차를 기다리는 과정(부대과정) 등으로 구성된다고 보았다.

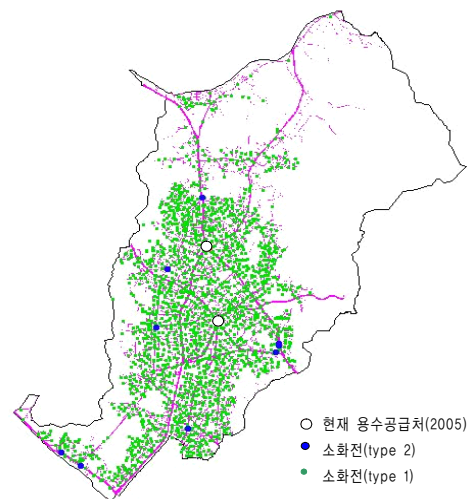
$$\begin{aligned} \text{1회 물청소작업} = & \text{살수} + \text{충수 이동} + \\ & \text{충수} + \text{부대과정} \quad (1) \end{aligned}$$

차량의 수요는 각 급수거리에서 해당도로를 물청소할 때의 총시간을 자치구별로 구하고 운전원의 1일 표준 근로시간 8시간을 감안하여 물청소차량의 수요를 계산하였다. 청소차량은 가장 많이 사용되는 7.5톤과 16톤을 대상으로 하였다. 1회 물청소작업시간을 산출하기 위해 필요한 살수작업 및 충수 이동 때의 차량 이동 속도(km/시간), 충수 속도(분/㎡), 부대과정 소요시간(분/회) 등은 종로구, 중구, 강남구를 대상으로 한 현장조사를 통해 파악하였다.

## 2) 물청소 비용

물청소비용은 도로에 인접하고 있는 소화전을 용수원으로 사용할 경우를 토대로 분석하였다. 소화전은 상수도관망에 직결되어 비상시 관망의 수압에 의해 상수를 토출한다. 소화전의 상수를 청소용수원으로 선택한 이유는 다음과 같다. 첫째, 소화전은 모든 도로(이면도로 포함)에 50~100m(반경 25~50m) 간격으로 설치되어 있어 도로를

물청소하는 청소차량이 쉽게 접근할 수 있고, <그림 4>의 은평구 사례와 같이 물청소차량 수요분석 조건인 급수거리 0.1km, 즉 100m라는 조건을 만족시킬 수 있는 유일한 용수원에 해당된다. 둘째, 서울은 유수율의 향상과 상수사용량의 감소에 의해 상수도시설능력에 여유가 있으며, 청소용수로 사용할 경우 1톤당 1,200원 정도의 수수료를 상수도분야에 지급해야 함으로 명확하게 비용을 비교할 수 있다. 셋째, 물청소차량의 살수노즐 폐색과 같은 문제가 발생하지 않아 물청소장비를 운영하는 인력들이 선호한다.



<그림 4> 은평구의 소화전 분포

비용요소로 차량구입비, 운전원 인건비, 차량유류비, 유지관리비, 청소용수 확보비용을 선정하였으며, 분석에 요구되는 단위비용들은 서울시 종로구의 물청소차량 유지관리내역을 토대로 산출하였다. 차량, 펌프 등의 내구연수는 차량과 같게 6년으로 보았다. 물청소비용은 급수원이 47개인 경우와 근사한 충수거리인 10km 그리고 그 1/10 수준인 충수거리 1km일 때에 대해 산출하고 비교하



〈표 1〉 도로물청소에 관련된 CO<sub>2</sub>배출 특성화계수

항 목	지구온난화 특성화 계수	참고문헌
전력 1kw 생산	$1.36 \times 10^{-1}$ kg CO <sub>2</sub> eg.	지식경제부(2000)
서울 상수 1톤 생산	$2.00 \times 10^{-4}$ kg CO <sub>2</sub> eg.	환경부(2003a)
5.1~8톤 차량의 1ton·km 운송	$1.00 \times 10^{-4}$ kg CO <sub>2</sub> eg.	환경부(2003b)

였다.

2000; 환경부, 2003a; 환경부, 2003b). 이상에서 취득한 특성화계수 등은 〈표 1〉에 정리하였다.

### 3) 온실가스 배출량

물청소비용과 동일하게 급수거리 10km와 1km에 대하여 분석하고 비교하였다. 지표물질은 이산화탄소이며, 이산화탄소가 배출되는 부분은 지하수 양수, 상수 생산 공정, 물청소차량의 운영에 한정하여 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{이산화탄소 배출량(kg CO}_2\text{ eq.)} = \text{상수생산공정 (또는 지하수양수)} + \text{물청소차량 운영} \quad (2)$$

각 부분에서 배출되는 이산화탄소의 양은 국가 LCI DB의 지구온난화 영향 규모인 kg CO<sub>2</sub> eq.을 이용하였으며, 각각 “에너지-전기”, “상수-한강수계”, “5.1-8ton 트럭”을 준용한다(산업자원부,

## III. 결과 및 고찰

### 1. 충수거리와 물청소차량 수요

〈표 2〉에는 충수거리에 따른 물청소차량의 수요를 평가하는 데에 필요한 기초자료를 정리하였다. 물을 살수하는 과정에서 차량 이동속도는 시간당 12.5km이고, 용수원으로의 이동 또는 충수 후에 청소현장으로 이동하는 차량의 속도는 대략 시간당 50km 수준이었다. 물을 차량에 채우는 속도는 수압에 따라 차이가 있었으나 대략 1m<sup>2</sup>당 2분 정도가 소요되었다. 충수거리에 따라 차이를 보이는 인자는 용수원에서의 부대과정에 소요되

〈표 2〉 충수거리에 따른 물청소차량 수요예측을 위한 기초자료

항 목	기초자료
물청소시 차량 주행 속도	12.5km/hr *3개 구 평균값
수전이동시 차량 주행 속도	50.0km/hr *3개 구 평균값
차량 충수율	2분/m <sup>2</sup> *중구
수전에서 충수시 대기시간	18분 (충수거리 10km) 9분 (충수거리 5km) 5분 (충수거리 1km) 5분 (충수거리 0.1km) *종로구

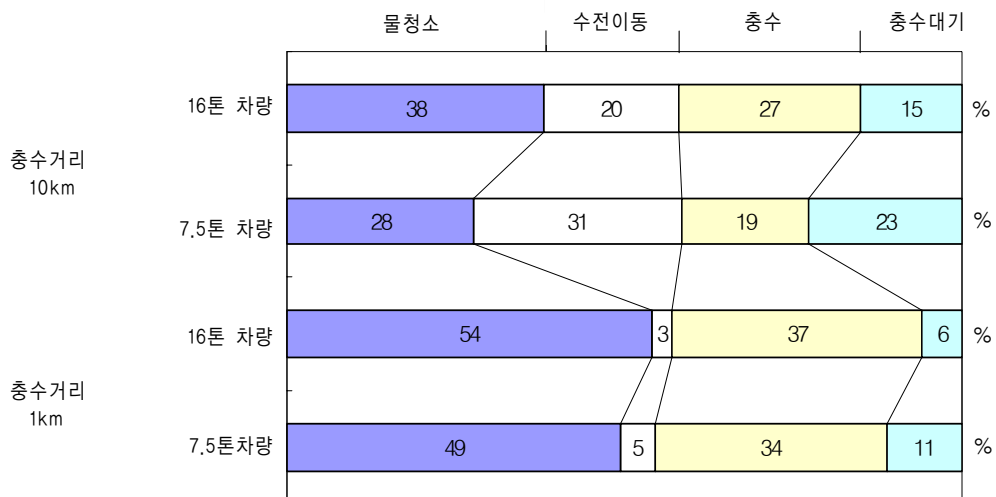
〈표 3〉 충수거리에 따른 물청소차량 소요대수

항 목		충수거리			
		10km	5km	1km	0.1km
7.5톤 차량	대수[A]	471	359	264	251
	%	100	76	56	53
16톤 차량	대수[B]	337	285	240	234
	%	72	61	51	50
A/B		1.40	1.25	1.10	1.06

는 시간이었다. 충수에 필요한 호스 등의 설치와 회수에 1회당 5분정도의 시간은 기본적으로 소요되었다. 그러나 충수거리가 큰 경우, 즉, 여러 차량이 소수의 용수원을 사용함에 의해 대기해야 하는 상황이 발생하기 쉬운 경우에는 부대과정의 시간이 급증하게 되는데, 충수거리가 10km인 경우 18분, 5km인 경우 9분 등이었다.

〈표 3〉은 〈표 2〉의 기초자료와 각 자치구의 청소구역, 1일 법정 작업시간 등을 반영하여 산정된 물청소차량의 대수를 충수거리 및 차량의 크기로 구분하여 보여주고 있다. 그 결과는 다음과 같이

집약된다. 첫째, 충수거리의 감소는 물청소차량의 수요에 크게 영향을 미친다. 7.5톤의 차량을 예로 들면 충수거리 10km에서는 471대의 차량이 필요하지만 충수거리가 1km로 줄어들 때는 56%수준인 264대로 차량 수요도 줄어들었다. 〈그림 5〉와 같이 충수를 위한 이동 및 부대시간이 줄어들어 충수거리 10km에서의 살수시간 28%가 충수거리 1km에서는 49%로 늘어나기 때문이다. 둘째, 10km 정도로 먼 충수거리에서는 물청소차량을 큰 용량으로 교체하는 것만으로도 차량수요를 줄일 수 있었다. 즉, 7.5톤 차량을 16톤 차량으로 교



〈그림 5〉 충수거리와 차량크기에 따른 1일 활동시간



체하면 72% 수준인 337대만으로 청소가 가능하였다. 7.5톤일 때 28%에 불과하던 살수시간이 16톤으로 늘리면 38%로 늘어남을 <그림 5>를 통해 확인할 수 있다. 셋째, 충수거리가 1km 정도의 수준으로 줄어들면 작은 차량도 큰 차량과 유사한 성능을 발휘한다. <표 3>을 보면 충수거리 1km에서 필요한 물청소차량의 수요는 7.5톤 차량 264대, 16톤차량 240대로 약 10%의 차이를 보인다. 충수거리 10km에서의 양자의 수요 차이 40%와 비교하면 대폭 줄어든 결과이다. 근본원인은 <그림 5>와 같이 살수시간이 7.5톤 차량, 16톤 차량 모두 49%, 54%로 늘었고 반면에 양자의 차이는 5%수준으로 줄었기 때문이다. 서울과 같이 차량이 혼잡하고, 차선평이 좁고, 급회전을 많이 요구하는 도로에서는 소형차량이 활동과 이동에 유리하기 때문에 긍정적인 현상이라 볼 수 있었다.

## 2. 용수원으로써 소화전의 사용과 비용

도로물청소에 소요되는 비용을 산출하는 데에 필요한 기초자료는 <표 4>에 정리하였다. 45.3km의 대상도로를 매일 청소하고 측구측 도로(도로 폭 약 3.4m x 2)는 1회 추가 청소를 하며 연간 300일(강우 등 기상은 고려하지 않음)을 1km당 480㎡ 이상의 물을 살포하기 위해서는 연간 836만톤 이상의 청소용수가 필요한 것으로 계산되었다. 지하수나 지하철용출수를 활용할 경우에 굴착 및 펌프 등의 설치비용은 용수 1톤당 46원, 양수비용(전기요금만 고려)은 65원, 전체 103원 정도였다. 서울시 상수도를 사용할 경우에는 1톤당 1,200원을 지불해야 한다. 도로물청소에 소요되는 장비는 구매가격이 대당 1억원, 연간 유지비용(연료비 제외)은 구입비의 9% 정도, 7.5톤 차량의 디젤 1리터당

주행가능거리는 2.2km였다.

<표 4> 도로 물청소 비용산출을 위한 기초자료

항 목	값
서울시 도로 물청소 소요 수량	8,360,382㎡/년
지하수이요	103원/㎡
- 지하수개발비	-46원
- 전력소모비	-57원
상수비용	1,200원/㎡
7.5톤 차량 구입 및 운전	
- 구매가격	-100억원
- 연료 효율	-2.2km/L-diesel
- 연료비	-1,100원/L-diesel
- 구입비 대비 유지비용	-9%/년
- 연간 인건비	-3.5백만원
- 운전일	-300일

<표 4>의 기초자료 및 <표 5>의 주요 인자들을 토대로 충수거리가 10km와 1km일 때의 청소비용을 산출하였다. 충수거리가 10km일 때 서울시의 도로물청소비용은 연간 약 400억원이었다. 이에 비해 물을 1km이내에서 확보할 때는 약 290억원으로 10km이내에서 확보할 때의 72%수준이었다. 충수거리 1km일 때의 비용저감은 전적으로 물청소차량 및 차량과 관련된 운전원의 인건비, 유지비, 연료비 등에서 발생했다. 10km일 때는 약 390억원이 차량과 관련하여 지출되나 1km일 때는 그러한 비용이 188억원, 즉 50%수준으로 줄었다. 차량관련비용이 절반수준으로 줄었는데도 1km에서 72%수준까지만 절감되는 것은 용수의 확보비용이 10km일 때 9억원에서 1km일 때는 100억원으로 증가하였기 때문이다. 지하수나 지하철용출수 채취지점의 제한 때문에 물청소 용수를 1km이내에서 확보하려 할 때는 소화전을 통한 상수의 사용이 불가피하다. 그러나 물청소차량의 수요를 줄이고 관련비용도 절감하는 효과에 기인하여 서울

〈표 5〉 충수거리에 따른 도로 물청소 비용

항 목		충수 거리	
		10km	1km
주요인자	수전수	53	512
	7.5톤 차량수	471 대	264 대
	운전수	471 인	264 인
	일주행거리	150km/차량	71km/차량
연간비용(억원)	인건비	16.5	9.2
	차량구입비	7.9	4.4
	차량유지비용	4.2	2.4
	연료비	10.5	2.8
	용수비용	0.86	10
	계	39.96	28.80

에서는 물청소용수를 가까운 곳에서 확보하는 것이 전체 비용의 측면에서 유리한 것으로 나타나고 있다.

### 3. 용수원으로써 소화전의 사용과 온실가스 배출

도로물청소에 투입되는 장비의 생산, 청소과정에서의 연료 사용은 물론이고 청소용수로 상수를 사용하는 경우에는 생산과정에서, 지하철용출수를 사용하거나 새로운 우물을 굴착하여 지하수를 사용할 때는 굴착 및 양수과정에서 에너지 등을 사용함에 의해 온실가스를 배출하게 되며, 배출원인이 매우 광범위하고 복잡하다. 본 연구에서는 2장 연구방법에서 언급하였듯이 지하수를 사용할 경우의 양수(전기사용)에 따른 CO<sub>2</sub>배출, 상수를 사용할 경우의 상수생산과 관련하여 발생하는 CO<sub>2</sub>, 도로물청소장비의 가동에 소요되는 유류와 관련된 CO<sub>2</sub>배출에 한정하여 분석하였다. 지하수를 양수할 때는 1m<sup>3</sup>당 0.4kw, 상수를 생산할 때는 서울시 상수도사업본부의 경우 생산과 공급 모두

에 1m<sup>3</sup>당 0.39kw의 전력을 소비하는 것으로 조사되었다. 청소용수 소요량, 물청소차량의 소요량, 연료소비, 이동거리 등은 〈표 4〉~〈표 6〉에서 정리되어 있다.

충수거리 1km, 즉 소화전을 통하여 상수를 사용할 경우의 CO<sub>2</sub>배출에 대해서는 두 유형으로 계산을 하였다. 하나는 〈표 1〉에 정리한 국가 LCI DB의 음용수 생산공정의 CO<sub>2</sub>배출 특성화계수를 바로 이용하여 청소용수의 생산과정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>양을 산정하였고, 다른 하나는 서울시상수도사업본부의 연간 전기사용량을 조사하고 여기에 국가 LCI DB의 에너지 생산공정의 CO<sub>2</sub>배출 특성화계수를 곱하여 산정하였다. 양자의 결과는 큰 차이가 있었기 때문에 별도의 고려가 불가피했다. 전체적으로 볼 때 물청소용수를 10km이내에서 확보하는 경우보다 1km이내에서 확보하는 경우가 지구온난화 물질을 적게 배출하는 것으로 나타났다. 10km이내에서 지하수를 통해 확보하는 경우에는 연간 온실가스배출량은 CO<sub>2</sub>를 기준으로 470,701kg으로 추정되었고, 국가 LCI DB의 음용수 생산 특성화계수를 직접 이용하여 1km 이내

〈표 6〉 충수거리에 따른 도로물청소의 온실가스배출량

항 목		충수거리	
		10km	1km
주요인자	지구온난화계수	표 1	표 1
	7.5톤 차량수요	471 대	264 대
	일주행거리	150km/차량	71km/차량
	전력비	0.4kw/m <sup>3</sup> 펌핑(surveyed)	0.39kw/m <sup>3</sup> 상수 생산 및 분배(surveyed)
CO <sub>2</sub> 연간 배출량 (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	용수비[1]	$8,360,382\text{m}^3 \times 0.4\text{kw} \times (1.36 \times 10^{-1} \text{ kg CO}_2) = 454,805$	$8,360,382\text{m}^3 \times (2.0 \times 10^{-4} \text{ kg CO}_2) = 1,672 (\text{LCI DB 기준})$  $8,360,382\text{m}^3 \times 0.39\text{kw} \times (1.36 \times 10^{-1} \text{ kg CO}_2) = 443,435 (\text{Survey + LCI DB 기준})$
	연료비[2]	$7.5\text{톤} \times 471\text{대} \times 150\text{km} \times 300\text{일} \times (1.00 \times 10^{-4} \text{ kg CO}_2) = 15,896$	$7.5\text{톤} \times 264\text{대} \times 71\text{km} \times 300\text{일} \times (1.00 \times 10^{-4} \text{ kg CO}_2) = 4,217$
	[1] + [2]	470,701	5,889 (LCI DB 기준) 447,652 (Survey 기준)

즉 소화전을 사용할 경우의 CO<sub>2</sub>양을 산정하니 5,889kg으로 약 13% 수준에 불과하였다. 전력사용량과 국가 LCI DB의 전력생산 특성화계수를 결합하여 소화전을 사용할 경우의 CO<sub>2</sub>균등량을 산정하니 연간 447,652kg이었으나 10km일 때의 CO<sub>2</sub>양보다는 여전히 5%정도 낮았다. 결국 온실가스의 배출저감 측면에서도 청소용수를 청소구역으로부터 근접해서 확보하는 것이 유리하다는 분석결과인 것이다. 청소비용의 경우 청소용수확보의 근접성은 물청소장비와 관련비용에 크게 영향을 미치지만 온실가스 배출량의 경우에는 확보 가능한 청소용수의 종류에 의해 영향을 받는 특성도 보여주고 있다.

최근에 환경부(2008.9)가 발간한 「저탄소형 녹색행사 가이드라인」에는 수돗물 1톤당 0.66kg CO<sub>2</sub>라는 배출계수가 수록되어 있다(그러나 산출 근거는 밝히지 않고 있다). 이는 본 연구에서 활용한 환경부(2003a) 자료와는 확연히 다르고 오히

려 상수도시설의 전력사용량을 이용하여 본 연구에서 평가한 CO<sub>2</sub> 배출계수와 오히려 근접하는 수치이다. 이러한 자료를 활용할 경우에 온실가스 발생량은 분석결과에 많은 차이가 있을 것으로 예상되는 바, 향후 보다 정확한 자료에 입각한 재평가가 필요한 것 같다.

#### IV. 결 론

본 연구는 차량을 이용하여 도로물청소를 실시할 때 물청소용수를 가까운 곳에서 확보하는 것이 어느 정도 긍정적인 면이 있는가를 평가하는 것이 목적이고, 물을 채우기 위해 차량이 이동해야하는 거리, 즉 충수거리에 따라 차량수요, 청소비용, 온실가스배출량을 산정하였다. 용수원의 실제 확보 가능성을 고려하여 충수거리가 10km일 경우 지하수를, 충수거리가 1km일 때는 소화전을 용수원으로 가정하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 충수거리가 10km에서 1km로 감소하면 차량의 수요가 56%감소하고, 동일 충수거리에서도 큰 적재용량의 차량으로 교체하면 차량수요가 감소하였다.
- 2) 충수거리가 감소하면 소형차량도 대형차량과 유사한 청소능력을 발휘하는데, 이는 충수를 위한 이동시간 및 부대시간이 줄어들어 대형차량과 소형차량이 살수에 투입하는 시간이 유사해지기 때문이다.
- 3) 충수거리 10km에서 지하수를 사용하는 경우와 비교하여 충수거리 1km에서 상수를 사용할 때 72%수준의 청소비용이 소요되는데, 이는 상수사용료로 인한 비용상승보다 물청소차량의 구입비, 유지비, 인건비 등에서 비용감소가 훨씬 크기 때문이다.
- 4) CO<sub>2</sub>양을 이용한 온실가스배출량 비교에서도 충수거리가 짧은 경우가 유리한 것으로 나타났고, 물청소장비보다는 용수의 종류에 크게 영향을 받았다. 그러나 배출계수에 따라 크게 영향을 받으므로 향후 객관적 자료에 의한 재평가가 필요한 것 같다.
- 5) 도로물청소용 용수확보가 제한받는 서울과 같은 대도시에서는 소화전같은 근접 용수원의 사용도 충분한 가치가 있음을 장비, 비용, 온실가스배출량 분석결과를 보여주었다.

## 참고문헌

뉴시스, 2007, 『부산시 추경예산안 편성』, 5월 3일자 기사.  
산업자원부, 2000, 『국가 LCI DB:전기』

서울특별시, 2007, 『서울시! 봄맞이 새단장 대청소, 보도자료』, 클린도시추진단, 3월 27일 보도자료.  
유기영·나유미, 2006, 『도로물청소 효과분석 및 청소방법 정립』, 서울시정개발연구원.  
환경부, 2003a, 『국가 LCI DB : 상수-한강수계』.  
환경부, 2003b, 『국가 LCI DB : 5.1-8ton 트럭』.  
환경부, 2008.9, 『저탄소형 녹색행사 가이드라인』.  
Albani, L. and Newman, D., 2004, *STREET CLEANING HANDBOOK*, IWSA.  
Chang, Y. M., Chou, C. M., Su, K. T., and Tseng, C. H., 2005, "Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP", *Atmospheric Environment*, 39:1891~1902.  
Etymezian, V., Kuhn, H., Gillies, J., Chow, J., Hendrickson, K., McGown, M., and Pitchford, M., 2003, *Vehicle-based road dust emission measurement - Part III : Effect of speed, traffic volume, location, and season on PM10 road dust emissions in the Treasure Vally, ID*, *Atmospheric Environment*, this issue, doi:10.1016/S1352-2310(03)00530-2.  
Hewitt, T. R., 1981, *The Effectiveness of street sweeping for reducing particulate matter background concentrations*, *Sirrine Environmental Consultants, Inc.*, Research Triangle Park, NC.  
Redwood City, 2007, *Street Cleaning Services Home Page*, <http://www.redwoodcity.org/publicworks>, September.  
Vaze, J. and Chiew, S., 2002, "Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface", *Urban Water*, 4: 379~389.

원 고 접 수 일 : 2009년 2월 17일  
1차심사완료일 : 2009년 3월 10일  
최종원고채택일 : 2009년 5월 8일