시정연 2006-R-23

도로청소 효과분석 및 청소방법 정립

유기영

서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

시정연
2006-R-23

도로청소 효과분석 및 청소방법 정립

Effectiveness of Road Cleaning and
Its Implementation Methods in Seoul

2006

서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연 구 진

연구책임	유 기 영 • 도시환경부 연구위원
연 구 원	나 유 미 • 도시환경부 초빙부연구위원
특별지원	서울특별시 보건환경연구원 수질화학팀 지반환경팀
자문위원	김 경 호 • 서울시 맑은서울 추진본부 과장 김 동 환 • 환경국제전략연구소 소장 남 궁 완 • 건국대학교 교수 박 석 순 • 이화여자대학교 교수 방 기 웅 • 한밭대학교 교수 소 병 만 • 종로구청 청소과장 신 동 천 • 연세대학교 환경공해연구소 소장 양 장 일 • 서울환경연합 사무처장 유 명 진 • 서울시립대학교 교수 장 영 기 • 수원대학교 교수 정 권 • 서울보건환경연구원 팀장 정 용 원 • 인하대학교 교수 조 승 국 • 한세대학교 교수 최 용 주 • 서울시의회 의원 한 상 열 • 서울시 청소과 과장

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

Ⅰ. 연구의 개요

1. 연구의 배경

- 근래 들어 서울시의 도로청소가 인력청소에서 기계청소로 바뀌어가고 물청소도 도입됨에 따라 도로청소방법의 진화를 위해 변화를 모색할 시점임.
- 일부에서 도로청소가 미세먼지 저감효과를 가지고 있다고 하여 물청소의 강화를 요구하고 있으나 그러한 효과에 대해 정량적으로 확인된 바가 없음.
- 도시의 청결성 유지가 도로청소의 기본 목적이고 추가로 수질, 대기의 보전에 기여할 수 있다면 바람직하기에 그러한 목적을 동시에 달성하는 청소방법의 정립이 요구됨.

2. 연구의 목적

- 도로의 청결성 확보 이외에 도로청소가 가지는 미세먼지 저감 효과 및 빗물 부하 저감 효과 등의 부차적 효과의 발현여부와 그 정도를 확인함.
- 주 목적과 부차적 효과도 함께 발휘할 수 있는 장비조합, 청소회수, 청소기간 등의 서울시 도로청소방법을 정립하고 이를 이행하기 위한 저변정비사항을 제시함.

3. 연구방법

- 문헌조사 : 외국의 도로청소방법, 도로청소 효과분석 사례 등
- 서울시 도로청소 현황 분석 : 청소장비, 청소인력, 청소회수, 대상도로, 물사용량 등
- 도로청소 효과분석 : 대기질, 수질, 에너지 소비 등
- 청소방법 정립 : 정책방향, 진공청소기준, 물청소기준, 공통기준 등
- 이행 저변 정비 : 필요 장비, 소요 용수량 및 확보 방안, 서울시와 자치구의 역할분담 등
- 미래의 청소사업 구상 : 청소목적, 청소방법, 청소대상 등

Ⅱ. 주요 연구 결과

1. 청소현황

- 자치구의 청소대상구역은 606㎢이며, 서울시 전체 면적의 7.5%를 차지함.
- 모든 자치구가 진공청소와 물청소를 실시함.
- 진공청소의 경우 대부분 자치구가 측구를 1일 1회 이상 청소함.
- 물청소의 경우 대부분 자치구가 측구를 1일 1회 이상 청소하며 전체도로 면적의 50% 이내에서 매일 청소함.
- 물청소시 살수량은 1㎞당 대략 0.5톤에서 최고 1.5톤, 면적으로 보면 1㎢당 120~370톤임.

2. 외국의 사례

- 인력은 인도, 차도는 기계 장비 등 역할분담이 명확하고 도로청소조직이 불법부착물 처리, 녹지관리 등의 업무도 함께 수행하는 경우가 많음.
- 물청소를 진공청소 보조 형태로 활용하는 지역이 많으나 바르셀로나는 진공청소와 물청소를 같은 비중으로 실시하고, 파리는 고정식살수장치를 도입하고 있는 등의 특징이 있음.
- 미국의 일부지역은 소화전의 물을 이용하여 도로청소를 하고 있음.
- 청소시간에 도로위 주정차를 막기 위해 경고판 설치, 주차차량 밑 도로면의 청소용 장비 개발, 청소조직에게 주차단속 권한 부여 등 다양한 방법들이 활용되고 있음.
- 도로청소의 부유분진 저감효과에 관해서는 대부분 연구자들의 결과가 일치하나 미세먼지에 대해서는 의견이 나뉨. 최근에 연구된 타이완의 경우에는 효과가 있으나 지속시간이 3~4시간으로 제한되었다고 함.

3. 도로청소의 효과

- 도로청소는 쓰레기 이외에 미세먼지 저감효과와 강우시 하천에 유입되는 오염물질의 제거효과가 있는 것으로 확인됨.
- 진공청소에 의해 제거된 토사를 분석한 결과, 4.4%의 유기물과 함께 납(6.65㎎/㎏), 아연(639㎎/㎏), 질소(8.9~9.2㎎/㎏), 인(0.3~0.4㎎/g) 등도 다량 함유됨.
- 진공청소에 의해 제거된 토사 중 중량으로 0.5%가 PM10에 해당하는 입자의 분포특성을 보임.
- 물청소 후 측구로 유출되는 청소수(유출수)를 분석한 결과, 원수와 비교하여 COD (55.2~208.7㎎/ℓ), 질소(4.0~15.7㎎/ℓ), 인(0.6~0.7㎎/ℓ),

아연(0.08~0.65㎎/ℓ)의 함량이 크게 증가함.

- 물청소에 의해 유출되는 청소수의 총고형물량은 2g/ℓ 이었으며, 이 중 미세먼지는 1.55%인 31㎎/ℓ 에 해당함.
- 2005년 청소방법인 1일 측구 1회의 물청소와 측구 1.5회인 진공청소에서 제거된 미세먼지의 양은 도로재비산량을 기준으로 0.56%, 차량생성량을 기준으로 1.48%에 이르고 청소를 강화할수록 제거량이 증가하는 것으로 나타남.
- 2005년 청소방법인 1일 측구 1회의 물청소와 측구 1.5회인 진공청소에서 비점오염원으로서의 빗물오염 저감효과는 COD의 경우 중랑하수처리장 우기 추가유입량을 기준으로 49%이며, 청소를 강화하면 제거량 또한 증가하는 것으로 분석됨. 특히 2004년의 경우 연간강우일수가 100일에 이르고, 100㎜이상의 연속 강우도 28일에 이르는 등 자연적 강우에 의해 강우전에 쌓인 미세먼지가 씻겨나간 점 등을 고려하면 그 사이에 이루어지는 도로청소의 미세먼지 저감효과는 훨씬 크다고 판단됨.
- 이상과 같이 도로청소는 미세먼지의 저감과 빗물에 의한 하천오염 부하 저감에 기여하여 왔고 향후 청소를 강화하면 그 효과가 더 확대될 가능성이 있음을 보여줌.

4. 청소제원

- 효과적으로 노면의 퇴적물을 제거할 수 있는 진공청소차량의 청소시 주행속도는 시간당 10㎞라고 함.
- 물청소차량은 살수 중에는 12.5㎞/hr, 물 운반중에는 50㎞/hr로 이동하고, 물의 충수속도는 현재 급수전의 경우 1㎥당 2분임.
- 급수지와 청소현장간의 거리가 1대 차량의 물청소 시간에 결정적으로 영향을 미치는데 반경 10㎞이내의 경우 7.5㎥차량의 1회 청소시간은 80분,

1㎞이내의 경우에는 35.3분이 소요되는 것으로 예측되고 실제 현장에서도 유사한 차이를 확인함.

5. 잠재적인 용수원의 특징

- 지하철 용출수는 펌프와 에너지 비용만 부담하면 되는 저렴한 용수원이나 향후 추가개발의 가능성이 낮음.
- 하수처리장 고도처리수는 수질은 양호하고 저렴하나 청소현장과 거리가 멀어(서울에 4개소) 이용에 한계가 있음.
- 개발지하수는 개발비용과 펌프 교체료, 에너지비용만으로 저렴하게 활용 가능하나 개발여지가 없는 지역이 많고, 지하수를 보전하려는 서울시의 관리방향과도 배치되는 단점이 있음.
- 소화전은 도의적, 비용적인 문제가 있으나 어떤 현장에도 인근에 위치하고 이를 활용할 경우 장비수를 줄이고 관련비용도 줄이는 장점이 있음. 외국에서는 수도관에서의 수질악화를 막기 위해 퇴수를 도로청소에 활용하는 사례가 있으며, 국내에서도 수질악화현상이 보고되고 있음.

Ⅲ. 정책 건의

1. 도로청소의 정책 방향

- 도로청소는 도시미화라는 본연의 임무에 충실하면서 동시에 대기환경 및 수질보전에도 협력함.
- 통일된 청소기준을 마련해서 확대된 도로청소 목적을 효과적으로 달성함.
- 비용 부담이 늘어남으로 서울시와 자치구의 공동협력이 필요함.
- 에너지 절약 등 지구 환경의 보호에도 일조함.

2. 도로청소 방법(공통)

- 12m이상의 차량도로와 그에 부속된 인도는 기계장비와 인력을 이용하여 쓰레기와 입자상 물질을 청소함.
- 도로청소는 진공청소와 물청소를 조합해서 실시함.
- 진공청소와 물청소는 1일 2회 실시함.
- 강우시기에는 브러시 장착장비를 가동하여 노면의 찌든 때를 제거함.
- 고정식 살수장치는 효용성을 검토하고 확인되면 확대함.

3. 도로청소방법(진공청소)

- 야간청소는 전일 23시부터 당일 6시에 중앙선측과 측구측만을 대상으로 함.
- 주간청소는 중심지역의 도로와 야간청소시의 누락지역을 대상으로 당일 9~13시에 측구측에 대해서만 실시함.
- 노즐이 결빙되어 브러시 작동에 의한 먼지발생을 막을 수 없는 경우에도 청소가 필요할 때는 물의 분사 없이 도로청소를 실시함.

4. 도로청소방법(물청소)

- 야간청소는 전일 23시부터 당일 6시에 모든 도로를 대상으로 실시함.
- 중심지역의 도로와 야간청소시 누락구역을 대상으로 당일 9~13시에 측구측에 대해서만 실시함.
- 노면 1㎢당 480㎥이상의 물을 살수하거나 물 1㎥를 600m이내의 차선(폭 3.5m)에 살수함.

5. 소요 장비량

- 진공청소차량의 경우 102대가 필요하나 현재 133대를 보유 중이므로 추가확보는 불필요함.
- 물청소차량의 경우 현장과 급수원의 거리에 따라 차량수요가 크게 변함. 10㎞이내의 경우 16톤 차량 340대, 7.5톤 차량 476대가 필요하고, 1㎞이내의 경우 16톤 차량 192대, 7.5톤 차량 212대가 필요함. 특히 1㎞이내의 경우에는 16톤 차량과 7.5톤 차량의 필요대수가 크게 차이가 나지 않아 적은 수의 7.5톤 차량으로도 물청소가 가능함. 그럼에도 현재 보유량이 126대로 추가 확보는 불가피함.

6. 용수수요 및 확보방안

- 청소기준을 만족시키기 위해서는 2005년보다 7배 많은 1일 약 2만8천톤의 물청소 용수가 필요함.
- 작업현장과 1㎞이내에 있는 기존의 용수원, 즉 지하철 용출수, 개발지하수, 하수처리장 고도처리수 등을 활용하면서 1㎞이내에서 확보할 수 없는 지역은 소화전을 활용함.
- 1㎞이내에서 청소용수를 공급받도록 소화전을 활용하는 경우 현재 확보된 47개소를 사용할 때보다 추가비용 100억원/연(수돗물 사용료), 편익 145.8억원/연으로 약 46억원의 이득이 매년 발생할 전망임.
- 장기적으로 중수도 처리수, 고도처리수 등 소화전을 대체할 수 있는 용수원을 지속적으로 확보함.

7. 서울시와 자치구의 역할 분담

서울시	자치구
◦ 물청소 차량 구입비 ◦ 진공청소차량의 메인브러쉬 교체비 ◦ 물청소차량의 브러쉬 부착 및 교체비 ◦ 지하수 및 지하철 용출수 양수시설 설치비 ◦ 소화용수를 사용하는 자치구의 상수사용료 ◦ 장비 및 청소방법 개발 ◦ 조례준칙 마련	◦ 도로청소 수행 ◦ 청소 장비 형식 선택 ◦ 청소차량 운전원 인건비 ◦ 서울시 지원 부분 외 여타 차량 유지비 ◦ 청소용수 양수시설 전기료 및 유지관리비 ◦ 조례 정비 ◦ 주차금지 표지판 설치 ◦ 주차 및 주민 계도

8. 기존 청소방식과 새로운 방식의 차이점

구분	기존체계(2005년)	제안 방법
청소구역	◦ 길이 : 1,793㎞ ◦ 면적 : 45.3㎢	◦ 길이 : 1,793㎞ ◦ 면적 : 45.3㎢
1일 청소 면적	◦ 진공청소 : 11.6㎢ ◦ 물청소 : 21.3㎢	◦ 진공청소 : 16.5㎢ ◦ 물청소 : 57.9㎢
1일 청소 회수 및 시간	◦ 1회(주간)	◦ 2회(야간, 주간)
살수량	◦ 94톤/㎡	◦ 480톤/㎡
청소차량	◦ 진공청소 : 133대 ◦ 물청소 : 126대	◦ 진공청소 : 102대 ◦ 물청소 : 212대(7.5톤 기준)
오염물 제거효과	◦ 미세먼지: 1.5%(자동차생성량 기준) ◦ COD: 49%(중랑시설 추가분 기준)	◦ 미세먼지: 5.2%(자동차생성량 기준) ◦ COD: 118%(중랑시설 추가분 기준)
급수전	◦ 47개소	◦ 897개소
청소용수원	◦ 지하철역사 지하수, 지하수	◦ 소화용수, 지하철역사 지하수, 개발지 하수, 하수고도 처리수 등 고루 사용
비오는날 청소	◦ 청소중단	◦ 브러쉬를 이용한 묵은 때 청소

9. 미래지향형 도로청소체계 구축

	과거	현재	미래
목적	도로 미화	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감 교통 혼잡 완화 황사 후 도시 전역 대청소 등
청소 방법	인력 청소	진공청소차량 물청소차량 인력청소(낙엽시기 등)	진공청소차량 물청소차량 도로살수시설 인력청소(낙엽시기 등)
청소 대상	차도 인도	차도 인도 골목길	차도 인도 골목길 가로수, 화단 등

목 차

제 Ⅰ 장 서론 ·····1

제1절 연구 배경 ·····3

제2절 연구 목적 ·····5

제3절 연구 방법 ·····5

제 Ⅱ 장 도로청소 현황 ·····7

제1절 도로청소 대상 도로 ·····9

제2절 청소 차량 ·····10

1. 진공청소 차량 ·····11

2. 물청소 차량 ·····12

제3절 도로청소 실적 ·····17

1. 진공청소 차량 ·····17

2. 물청소 차량 ·····19

제 Ⅲ 장 외국의 도로청소 체계 및 국내외 연구 사례 ·····27

제1절 외국의 도로청소 체계 ·····29

제2절 국내외 도로청소 연구 사례 ·····35

1. 도로 오염물질 특성 분석 ·····35

2. 도로 청소 효과 ·····36

1) Taiwan ·····37

2) Philadelphia, Pennsylvania ·····39

3) Bangor, Maine ·····39

4) Allegheny County, Pennsylvania ·····40

5) 인천시 ·····40

6) 기존 연구결과의 종합 ·····42

제 Ⅳ 장 도로청소 효과 분석 ·····45
제1절 미세먼지와 발생 특성 ·····47
1. 미세먼지와 건강 영향 ·····47
2. 서울시 미세먼지 오염도 변화 ·····51
1) 연평균 미세먼지 오염도 변화 ·····51
2) 월평균 미세먼지 오염도 변화 ·····53
3) 시간평균 미세먼지 오염도 변화 ·····56
제2절 도로청소와 수질오염과의 관련성 ·····59
1. 도로에서 발생하는 수질오염 물질 ·····59
1) 유사 ·····60
2) 영양염류 ·····60
3) 중금속류 ·····60
2. 물고기 폐사 사고 ·····61
1) 중랑천 물고기 사고 ·····61
2) 청계천 물고기 사고 ·····61
제3절 도로청소의 오염물질 제거 특성 ·····62
1. 진공청소에 의해 제거된 토사의 성분 ·····62
1) 제거토사의 성분 ·····62
2) 제거된 토사의 입도 분석 ·····63
2. 물청소 유출수의 성분 ·····66
1) 물청소 유출수의 오염물질 ·····66
2) 물청소 유출수의 입도 분석 ·····68
제4절 도로청소의 오염물질 제거 효과 ·····70
1. 미세먼지 제거 효과 ·····70
2. 빗물 오염 저감 효과 ·····74

제 Ⅴ 장 도로청소 방안 ·····77
제1절 정책 방향 ·····79
제2절 서울시 도로청소 방법 ·····82
1. 공통 기준 ·····82

2. 진공청소 기준 ·····83
3. 물청소 기준 ·····84
제3절 장비 소요량 ·····85
1. 진공청소 차량 ·····85
2. 물청소 차량 ·····87
제4절 소요 용수량 및 확보 방안 ·····92
1. 소요 용수량 ·····92
2. 청소용수 확보 방안 ·····94
제5절 기타 저변정비 방안 ·····102
1. 서울시와 자치구의 역할분담 ·····102
2. 미래형 도로 청소로 단계적 전환 ·····105

제 Ⅵ 장 결론 ·····109
제1절 주요 연구 결과 ·····111
제2절 정책 건의 ·····114

참고문헌 ·····121

부록 ·····127

Abstract ·····148

표 목 차

〈표 2-1〉 폭 12m이상 도로의 연장과 면적 ·····9
〈표 2-2〉 각 구에서 보유하고 있는 도로청소 차량(2005년) ·····10
〈표 2-3〉 물청소시 각 자치구에서 사용한 물의 양 ·····25
〈표 3-1〉 영국 England 지역의 청소기준(최고 등급으로의 회복시간) ·····33
〈표 3-2〉 영국 런던 Sutton 지역의 청소기준 ·····33
〈표 3-3〉 도로에 존재하는 오염물질의 평균 농도 ·····36
〈표 3-4〉 입자크기에 따른 오염물질의 농도 ·····36
〈표 3-5〉 입자크기에 따른 청소 효율 ·····37
〈표 3-6〉 진공청소와 물청소 차량의 운행 조건 ·····39
〈표 4-1〉 수도권지역의 PM10으로 인한 피해건수 ·····48
〈표 4-2〉 수도권지역의 대기오염물질별 피해액 산정 ·····48
〈표 4-3〉 미세먼지(일평균) 농도별 시민행동요령 ·····49
〈표 4-4〉 서울시 대기오염 자동측정소 현황 ·····50
〈표 4-5〉 OECD 국가의 연평균 PM10 농도 ·····53
〈표 4-6〉 서울시 미세먼지 배출량(2002년 기준) ·····54
〈표 4-7〉 토지이용별 비점오염원 배출 원단위 ·····59
〈표 4-8〉 진공청소에 의해 제거된 토사의 오염도 ·····63
〈표 4-9〉 진공청소차량에 흡입된 토사의 입도 분포(체분석) ·····64
〈표 4-10〉 물청소에 사용하는 지하수와 유출수의 수질 ·····67
〈표 4-11〉 도로청소에 의해 제거되는 미세먼지량 ·····72
〈표 4-12〉 서울의 연간 강우 특성 ·····73
〈표 4-13〉 도로청소에 의한 빗물오염 저감량 ·····75
〈표 5-1〉 현재 개발되어 있는 청소장비의 특징 ·····81
〈표 5-2〉 본 연구의 청소기준을 이행하기 위한 진공청소차량 소요량 ·····86
〈표 5-3〉 본 연구의 청소기준을 이행하기 위한 물청소차량 소요량 ·····91
〈표 5-4〉 본 연구의 청소기준 이행을 위한 물청소용 용수량 ·····93

〈표 5-5〉 잠재적인 급수원과 특징 ·····95
〈표 5-6〉 급수지의 거리에 따른 청소시간의 시범사업 결과 ·····98
〈표 5-7〉 소화전 사용으로 인한 비용 절감 효과 ·····98
〈표 5-8〉 각종 청소용수의 기준 ·····101
〈표 5-9〉 물청소차량 증가로 인한 추가비용 ·····103
〈표 5-10〉 서울시와 자치구와의 도로청소 역할분담 ·····103
〈표 5-11〉 월별 황사 발생 일수 ·····107
〈표 5-12〉 도로청소의 과거, 현재, 미래 ·····107

그림목차

〈그림 1-1〉 도로에서의 미세먼지 거동 예 ·····4
〈그림 1-2〉 연구 수행 절차 ·····6
〈그림 2-1〉 SJ모델 진공청소차량(성북구) ·····11
〈그림 2-2〉 BC모델 진공청소차량(중구) ·····12
〈그림 2-3〉 8톤 규모 일반 물청소차량(중구) ·····13
〈그림 2-4〉 8톤 규모 진공흡입식 물청소차량(관악구) ·····14
〈그림 2-5〉 진공흡입식 물청소차량이 지나간 도로면 ·····15
〈그림 2-6〉 진공흡입식 물청소차량의 전면 살수 모습 ·····15
〈그림 2-7〉 브러쉬장착 물청소차량(종로) ·····16
〈그림 2-8〉 이면도로용 소형 물청소차량(용산구) ·····16
〈그림 2-9〉 청소대상도로연장 대비 진공청소차량의 일평균작업연장 ·····17
〈그림 2-10〉 청소대상도로면적 대비 진공청소차량의 일평균작업면적 ·····19
〈그림 2-11〉 청소대상도로연장 대비 물청소차량의 일평균작업연장 ·····20
〈그림 2-12〉 청소대상도로면적 대비 물청소차량의 일평균작업면적 ·····21
〈그림 2-13〉 물청소에서 작업연장당 살수하는 물의 양 ·····23
〈그림 2-14〉 물청소에서 작업면적당 살수하는 물의 양 ·····24
〈그림 3-1〉 주차 금지 표지판 예 ·····32
〈그림 3-2〉 대기 시료채취 위치와 장치구성도 ·····38
〈그림 3-3〉 대기오염 측정차량 ·····41
〈그림 3-4〉 진공청소차량의 도로 청소 전·후의 silt loading 변화 ·····42
〈그림 3-5〉 진공청소차량 및 물청소차량에 의한 도로청소 과정 ·····43
〈그림 4-1〉 서울시 대기오염 자동측정소 분포 ·····51
〈그림 4-2〉 서울시 연도별 미세먼지 농도 변화 ·····52
〈그림 4-3〉 서울시 미세먼지 월평균 농도 변화 ·····53
〈그림 4-4〉 서울시 월평균 미세먼지, 강수량, 교통량의 변화(2005년) ·····55
〈그림 4-5〉 도로변 측정소의 시간대별 월평균 PM10 농도 ·····57

〈그림 4-6〉 서울의 시간대별 교통 특성(2005년) ·····58
〈그림 4-7〉 서울의 시간대별 연평균 풍속(2005년) ·····58
〈그림 4-8〉 진공청소차량에 의해 제거된 도로 쓰레기 ·····63
〈그림 4-9〉 300㎛이하 토사의 입도 분포(부피비) ·····65
〈그림 4-10〉 300㎛이하 토사의 입도 분포(갯수비) ·····65
〈그림 4-11〉 물청소 후 빗물받이로 유입되는 유출수 ·····66
〈그림 4-12〉 물청소 후 유출수의 입자 분포(부피비) ·····69
〈그림 4-13〉 물청소 후 유출수의 입자 분포(갯수비) ·····70
〈그림 5-1〉 물청소차량의 충수 과정 ·····88
〈그림 5-2〉 현재 활용중인 물청소용 급수전 위치 ·····92
〈그림 5-3〉 은평구의 급수탑 분포 ·····96
〈그림 5-4〉 소화전에서의 충수 과정 ·····97
〈그림 5-5〉 상수관망내의 잔류염소농도 ·····99
〈그림 5-6〉 은평구 G가압장의 상수관망과 잔류염소농도측정을 위한 시료채취지점 ·····100
〈그림 5-7〉 미국 뉴욕시의 노면청소를 위한 교통부의 협조 푯말 ·····104
〈그림 5-8〉 프랑스 파리시의 측구에 쌓인 먼지저감을 위한 도로변 급수전 106

제Ⅰ장 서 론

제1절 연구 배경

제2절 연구 목적

제3절 연구 방법

제 I 장 서론

제 1 절 연구 배경

서울의 총 도로 길이는 폭 12m미만의 소로까지 포함하여 약 8,000㎞에 이른다. 605.7㎢ 면적의 서울에서 이 도로들이 사람, 자동차, 화물이 이동할 수 있는 동맥 역할을 하고 있다. 이중 폭 12m이상의 도로는 1,793㎞이다. 이 도로들의 청소는 25개 자치구들이 담당하고[1], 폭 12m미만의 도로는 도로인근의 거주자 또는 토지이용자들이 청소하도록 유도하고 있다. 폭 12m이상의 도로를 면적으로 환산하면 45.3㎢이다. 결국 서울시 전체 면적의 7.5%[2]가 공공 청소조직에 의해 청소되고 있다는 의미이다.

과거에 폭 12m이상의 도로는 수하차를 이끌고 비질을 하는 환경미화원들이 주로 청소를 하였다. 근래에는 진공방식으로 도로위의 토사나 오물을 흡입하는 청소차량들이 눈에 많이 띠며 물을 뿌리는 차량들도 나타나고 있다. 이러한 장비들이 도입되면서 12m이상의 차도 위 청소는 기계장비가 담당하고 인도 및 차도의 측구 일부는 환경미화원이 청소하는 형태로 도로청소방식이 바뀌고 있다.

최근에는 도로물청소에 대한 관심이 부쩍 높아지고 있다. 깨끗한 대기를 만들기 위한 노력이 다각도로 경주되는 상황에서 도로물청소가 대기 중의 미세먼지를 줄이는 효과도 발휘할 수 있다는 주장이 일각에서 제기되고 있기 때문이다. 도시 대기 중 미세먼지의 많은 부분을 자동차가 유발하고 도로는 그 자동차들의 이동통로이니 도로에서 물청소와 미세먼지 제거와의 관계는 충분히 유추가 가능하다.

그렇지만 낙엽, 쓰레기 등의 부피가 큰 물질에서부터 토사와 같이 작은 입자에 이르기까지 흡입하여 제거하는 능력을 갖춘 진공청소의 역할을 결코 간과할

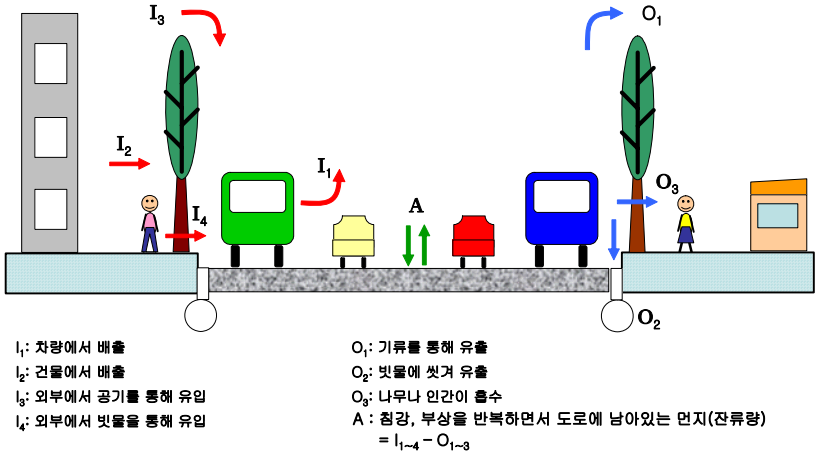
1) 88도로, 내부순환도로 등 도시고속화 도로의 청소는 서울특별시시설관리공단에서 담당함.

2) 서울의 총면적(605.7㎢) 대비 폭 12m이상의 도로의 면적(45.3㎢)의 비

수는 없다. 도시미화라는 기본적인 도로청소의 역할을 수행하면서 동시에 도로 위에 쌓인 오염물질들이 대기 중에 비산하거나 빗물을 따라 일시에 하천으로 흘러가는 현상을 완화시킬 수도 있기 때문이다. 결국 진공청소와 물청소의 장점을 살리는 도로청소방법의 정립이 필요하며, 도로청소가 인력에서 기계장비로 대체되어가는 상황을 고려하면 그 필요성이 더 시급해진다.

〈그림 1-1〉은 도로청소와 미세먼지와의 관계를 그림으로 표현하고 있다. 물청소는 도로에 물을 살수하여 미세먼지 등을 하수도시설(O_2)로 유출시키는 기능을 함으로 빗물에 씻겨 미세먼지가 유출되는 것과 같은 원리라 할 수 있다. 진공청소는 도로위의 쓰레기, 먼지와 함께 미세먼지도 흡입하여 미세먼지를 쓰레기처리계통으로 이전시킨다. 따라서 도로청소의 역할은 자연현상에 의한 미세먼지의 유출량($O_{1\sim2}$)외에 추가로 유출되는 경로를 만들어 잔류량(A)를 줄임으로서 인간 등에게 흡수되는 양(O_3) 등을 인위적으로 낮추는 방안으로 생각할 수 있다.

그렇지만 그러한 효과가 실제로 발생하는지, 그 크기가 얼마인지 아직까지 확인되지 않았고 도로의 청결성 확보라는 본연의 역할을 뛰어넘어 미세먼지 등을 저감하는 부차적인 효과까지 거둘 수 있는 청소방법도 정립되어 있지 않다.



〈그림 1-9〉 도로에서 미세먼지 거동 예

제 2 절 연구 목적

첫째, 도로의 청결성 확보 이외에 도로청소가 부여하는 미세먼지 저감 효과 및 우수 부하 저감 효과 등의 부차적 효과의 발현여부와 그 정도를 확인한다.

둘째, 주 목적과 부차적 효과를 함께 발휘할 수 있는 장비조합, 청소회수, 청소시간 등 도로청소방법을 정립하고 이를 이행하기 위한 소요 장비 및 물자, 자치구와 서울시의 역할분담, 조례정비 등의 저변정비사항을 제시한다.

제 3 절 연구 방법

연구는 〈그림 1-2〉과 같이 문헌조사, 도로청소 현황조사, 도로청소 효과분석, 청소방법 정립, 이행저변정비 등 5단계로 나누어 수행한다.

문헌조사에서는 도로청소의 효과와 관련된 학술논문과 지방자치단체의 보고서를 확보해서 효과의 형태를 파악하고 도로청소의 효과를 분석하는 적합한 방법론이 있는지도 조사한다. 이 단계에서 외국의 청소체계에 대해서도 파악한다.

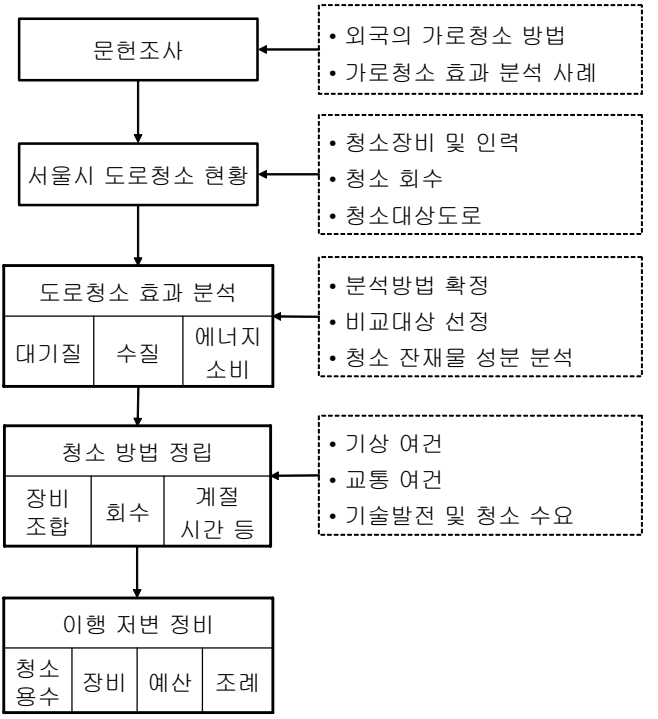
도로청소현황에서는 각 자치구들이 현재 이행하고 있는 대상도로, 도로청소장비, 1일 작업량, 물 사용량, 토사 수거량 등을 분석한다.

도로청소의 효과분석에서는 물청소의 효과와 진공청소의 효과를 분리하여 조사한다. 물청소의 효과는 원수와 살수된 후 도로면을 따라 빗물받이로 유입되는 유출수를 채취하여 COD, 질소, 중금속의 농도와 부유입자의 입도분포를 파악하고 물 살수량과 결합시켜 분석한다. 진공청소의 효과는 진공방식으로 수집된 토사의 입자분포, 성분 등을 파악하고 단위면적당 또는 1회 청소 당 수집량을 토대로 분석한다.

이상의 분석결과와 미세먼지의 시간별 계절별 농도변화, 교통량 변화, 풍속변화, 유출율 등을 감안하여 서울시 도로청소 방법을 마련한다. 청소방법에는 청

소장비별 청소회수, 청소시간, 살수량 및 수질조건 등을 담게 된다.

마지막으로 이행여건을 검토한다. 소요되는 장비의 양이 먼저 분석된다. 물청소의 경우 청소용수의 양과 확보방안이 분석된다. 물청소 후 물튀김과 같은 민원발생 등을 억제하는 방안도 함께 검토된다. 장기적으로 미래형 가로청소방법도 미리 설정해본다.



〈그림 1-10〉 연구 수행 절차

제Ⅱ장 도로청소

제1절 도로청소 대상 도로
제2절 청소 차량
제3절 도로청소 실적

제Ⅱ장 도로청소 현황

제 1 절 도로청소 대상 도로

현재 서울에 있는 폭 12m이상의 모든 도로는 의무적인 공공청소 대상이다. 각 자치구별로 자신들의 조직으로 직접 청소를 하거나 민간에게 위탁하여 청소하는 등 서비스 제공의 주체에서만 차이가 있다. 〈표 2-1〉은 각 구의 청소 대상 도로를 나타내고 있다.

〈표 2-1〉 폭 12m이상 도로의 연장과 면적

구분	구 면적 (㎢)	폭 12m이상 도로		도로면적/구면적 (%)
		연장(㎞)	면적(㎢)	
종로구	24.0	61.1	1.5	6.2
중 구	10.0	45.7	1.2	12.1
용산구	21.9	82.0	2.2	10.1
성동구	16.8	73.7	1.7	9.8
광진구	17.1	56.5	1.4	8.3
동대문	14.2	69.4	1.7	11.8
중랑구	18.5	66.5	1.4	7.4
성북구	24.5	74.5	1.6	6.4
강북구	23.5	43.5	0.9	4.0
도봉구	21.0	46.4	1.1	5.1
노원구	35.4	101.9	2.4	6.8
은평구	29.9	54.1	1.4	4.6
서대문	17.6	55.0	1.4	7.7
마포구	23.9	89.8	2.3	9.5
양천구	17.5	43.2	1.2	7.0
강서구	41.4	102.4	2.6	6.2
구로구	20.1	61.2	1.7	8.3
금천구	13.0	43.2	1.0	7.9
영등포	24.5	101.1	2.6	10.5
동작구	16.4	59.6	1.5	9.2
관악구	29.6	50.3	1.2	4.1
서초구	46.9	113.6	3.3	7.1
강남구	39.5	120.7	3.5	8.8
송파구	33.9	106.0	2.9	8.5
강동구	24.6	71.6	1.8	7.4
계	605.7	1,793	45.3	7.5

전체적으로 대상도로의 길이는 1,793㎞이며 면적으로는 45.3㎢이다. 서울의 총면적이 605.7㎢이므로 청소대상의 면적은 전체면적의 7.5%에 해당된다. 도로연장에서 노원, 강서, 영등포, 서초, 강남, 송파 등은 100㎞이상이며 면적에서는 용산, 노원, 마포, 강서, 영등포, 서초, 강남, 송파가 2㎢이상이다.

제 2 절 청소 차량

2005년에 각 구에서 보유하고 있는 청소 차량은 〈표 2-2〉와 같다. 물청소 차량은 126대이며, 구별로 적게는 3대(금천구)에서 많게는 12대(용산구)를 보유하고 있다. 용산구에 물청소 차량이 많은 것은 폭 12m이상 도로 이외에 이면도로를 청소하는 소형 청소차량이 8대 운행되고 있기 때문이다. 진공청소차량은 전체적으로 133대이며, 자치구별로 3대(광진구)에서 9대(송파구)를 보유하고 있다.

〈표 2-2〉 각 구에서 보유하고 있는 도로청소 차량(2005년)

자치구	물청소차	진공청소차	자치구	물청소차	진공청소차
종로구	4	4	마포구	6	5
중 구	8	7	양천구	4	4
용산구	12	4	강서구	6	7
성동구	4	5	구로구	5	5
광진구	3	3	금천구	3	3
동대문	5	6	영등포	4	6
중랑구	4	4	동작구	4	5
성북구	5	6	관악구	4	4
강북구	4	5	서초구	7	8
도봉구	4	4	강남구	6	7
노원구	6	5	송파구	5	9
은평구	3	7	강동구	5	6
서대문	5	4	계	126	133

1. 진공청소 차량

진공청소차량은 8톤의 SJ차량과 1톤의 BC차량이 주모델이며, 주로 도로에 쌓인 토사를 제거하기 위해 운행되고 있다. <그림 2-1>의 차량은 성북구에서 사용하는 SJ모델(6㎥)로 차량측면 하부에 설치된 원형 브러쉬와 차량 중앙 하부를 가로지르는 긴 브러쉬를 이용하여 도로면의 토사를 제거한다. <그림 2-2>의 차량은 중구에서 운행하는 BC모델이다. 차량 앞쪽에 설치된 고정형 브러쉬 2개와 움직일 수 있는 원형 브러쉬 1개로 도로위의 토사를 청소한다. 어느 모델이든 물을 소량 살수하여 먼지 발생을 줄이는 기능을 갖추고 있다.

〈그림 2-1〉 SJ모델 진공청소차량(성북구)

〈그림 2-2〉 BC모델 진공청소차량(중구)

2. 물청소 차량

12톤, 8톤, 3톤 규모의 차량이 있다. 12톤과 8톤 차량은 폭 12m이상 도로의 청소에 투입되고 3톤 규모의 차량은 이면도로 청소에 활용되고 있다. 물청소 차량은 기능에 따라 일반살수차, 진공흡입 물청소차, 브러쉬장착 물청소차 등으로로 세분된다. 처음 도입된 물청소 차량은 〈그림 2-3〉과 같이 물을 고압으로 살수하여 도로를 씻어내는 방식이며, 이러한 형태를 일반살수차라 부르고 있다. 그러나 이 형태의 차량에는 두 가지 단점이 있다. 첫째, 살수된 도로위의 물이 다른 차량 바퀴에 의해 튀김으로서 차량 운전자들로부터 빈번하게 불만이 제기된다. 도로 물청소 때문에 추가로 세차를 해야 한다는 것이다. 둘째, 살수된 물의 양이 충분하지 못할 경우 제거되지 못한 먼지가 다시 대기 중으로 비산하여 효과가 반감될 수 있다. 이러한 문제를 해결하고자 진공흡입 물청소차와 브러쉬장착 물청소차가 최근에 개발되었고, 중구, 종로구, 관악구에서 시범적으로 사용되었다.

〈그림 2-3〉 8톤 규모 일반 물청소차량(중구)

〈그림 2-4〉와 같은 진공흡입식 물청소차량의 청소방법은 차량의 전면에서 살수한 도로위의 물을 차량 중단에 설치된 진공흡입구를 통해 회수하는 방식이다. 회수된 물은 차량에 설치된 저장탱크에 저류되며, 그 흡입효과는 〈그림 2-5〉의 차량이 지나간 곳과 지나가지 않는 곳이 보여주듯 확연하다. 일반물청소차와 달리 살수된 물을 빗물받이로 흘러가도록 유도하지 않아도 됨으로 상대적으로 낮은 압력으로 물청소가 가능한 장점도 있다(〈그림 2-6〉). 그러나 살수된 물을 회수하는 면적을 차량의 폭 이상으로 확대할 수 없어 살수한 물의 전량을 회수하지는 못하며, 흡입된 물을 저장하는 저장용기가 필요해서 청소용수를 적재할 수 있는 공간이 축소되는 현상은 단점으로 지적된다. 이를 보완하기 위해 청소 후 흡입된 물을 차체에서 필터를 통해 정수하고 다시 살수할 수 있는 장치를 고안중이며 필터와 노즐 부분에서 발생하는 고장을 줄이는 것이 과제로 남아있다. 또한 물을 흡입하는 탱크용량이 크지 않아서 흡입탱크가 다 차고 나면 더 이상 흡입을 못하는 경우도 발생하고 있다. 이상의 단점들은 지속적으로 개선되어야 할 것이다.

〈그림 2-7〉의 브러쉬장착 물청소차는 일반물청소차의 후단에 브러쉬를 장착

한 차량이다. 브러쉬는 차량의 전면에서 살수된 물을 측구측으로 쓸어내는 역할과 찌든 때를 제거하는 역할을 한다. 특히 비가 올 때는 브러쉬만 작동시켜도 도로면의 묵은 때를 쉽게 제거할 수 있다. 〈그림 2-8〉은 용산구에 활용하고 있는 소형 물청소차량으로 이면도로나 골목길의 물청소에 적합하다.

〈그림 2-4〉 8톤 규모 진공흡입식 물청소차량(관악구)

〈그림 2-5〉 진공흡입식 물청소차량이 지나간 도로면

〈그림 2-6〉 진공흡입식 물청소차량의 전면 살수 모습

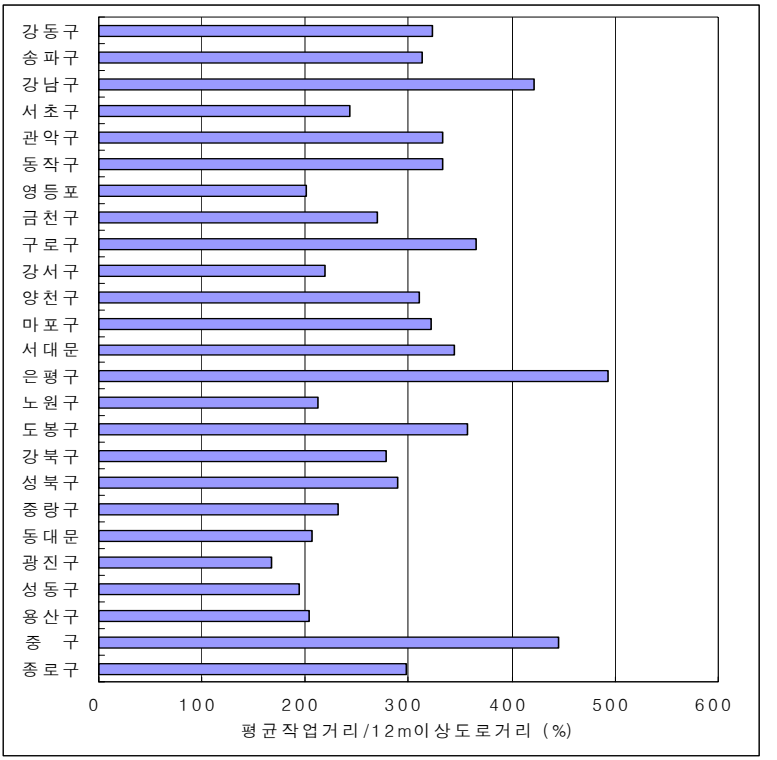
〈그림 2-7〉 브러쉬장착 물청소차량(종로)

〈그림 2-8〉 이면도로용 소형 물청소차량(용산구)

제 3 절 도로청소 실적

1. 진공청소 차량

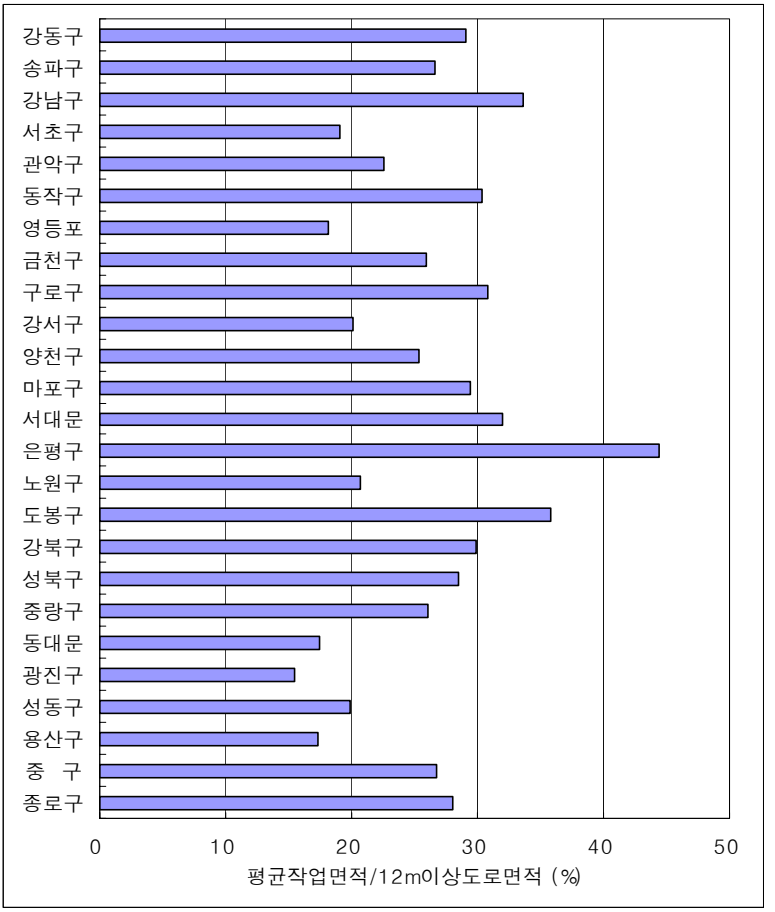
각 구의 2005년도 진공청소차량의 운행 자료를 이용하여 1일 작업연장을 산출하였다. 〈그림 2-9〉는 각 자치구의 총 청소대상도로의 연장을 기준으로 한 1일 작업연장의 비를 보여주고 있다. 서울시 평균 295%이며 광진구를 제외한 다른 구들의 1일 작업연장은 총연장을 기준으로 200%이상을 보이고 있다.



〈그림 2-9〉 청소대상도로연장 대비 진공청소차량의 일평균작업연장

200%라는 작업연장은 중요한 의미를 갖는다. 청소대상의 도로를 1일 2회 청소하였다는 것인데, 이는 도로 양측의 측구 길이와 같이 때문이다. 즉, 토사와 쓰레기가 집적되기 쉬운 측구측은 매일 1회 정도 진공청소차량을 이용하여 청소하고 있다는 사실을 간접적으로 보여주고 있다.

측구측만 청소한다는 사실은 청소대상도로의 면적과 1일 청소 면적에서도 잘 나타난다. 〈그림 2-10〉은 청소대상도로의 총면적으로 기준으로 하루에 청소하는 면적의 비를 정리한 것이다. 차량마다 폭인 다른데, BC모델은 1.5m를, 나머지 모델은 2.3m를 적용하였다. 결과를 보면 서울시 평균 26%를 나타내며 모든 자치구에서 50%미만의 청소 실적을 보여준다. 하루의 청소면적이 전체 도로면적의 절반에도 미치지 못하고 있는 것이다. 그나마 도로면적의 25% 이상을 매일 청소하는 곳은 중구, 성북구, 도봉구, 서대문, 구로구, 강남구, 강동구 등이다.

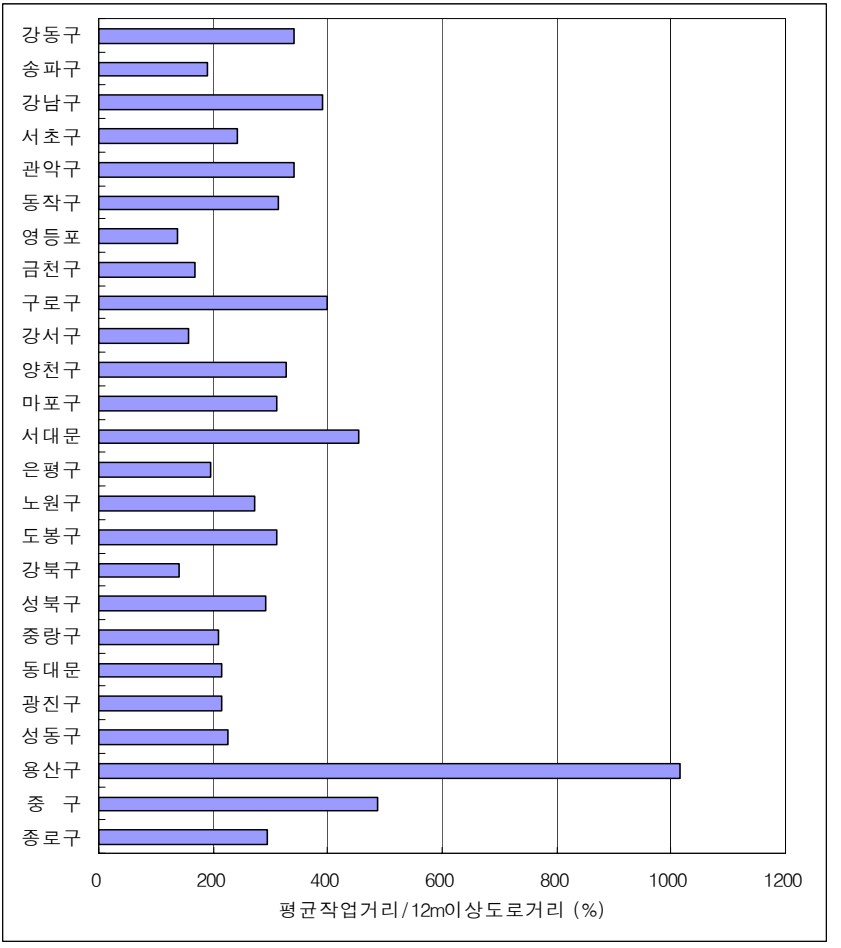


〈그림 2-10〉 청소대상도로면적 대비 진공청소차량의 일평균작업면적

2. 물청소 차량

2005년도 물청소차량의 운행 실적을 이용하여 물청소차량의 1일 작업연장을 각 구별로 산출하였다. 청소대상도로의 총길이 기준 1일 작업연장의 비는 〈그림 2-11〉과 같이 서울시 평균 306%를 나타내고 있으며 200%미만인 곳은 강북구, 은평구, 강서구, 금천구, 영등포구, 송파구 등이 있다. 결국 이들 자치구는 대상

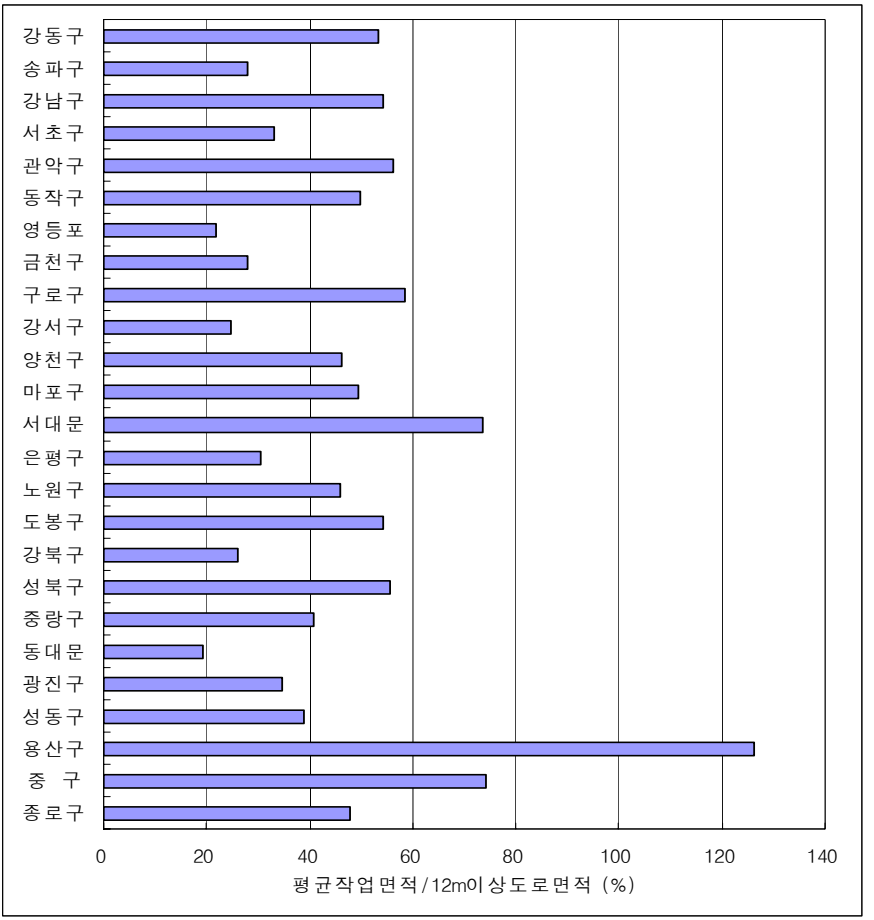
도로의 양쪽 측구를 하루에 한번도 청소하지 못하는 것 같다. 용산구가 1,000%를 초과하는 것은 이면도로의 청소에 소형물청소차량 8대를 투입하고 있기 때문이다.



〈그림 2-11〉 청소대상도로연장 대비 물청소차량의 일평균작업연장

〈그림 2-12〉는 청소대상도로의 총면적 대비 일평균 작업면적의 비를 보여주고 있다. 물청소차량의 살수가능폭은 용산구의 소형 물청소차량의 경우 3m, 이

보다 큰 차량들은 4m를 적용하였다. 총면적을 기준으로 서울시 평균 48%을 나타내며, 1일 50%이상을 청소하는 곳은 중구, 용산구, 성북구, 도봉구, 서대문구, 구로구, 관악구, 강남구, 강동구이다. 이들 자치구는 2일에 1회 이상 모든 도로의 면을 물청소한다고 볼 수 있다. 반면 동대문구는 20%정도의 수준인데, 모든 도로면을 기준으로 볼 때 주 1회 정도의 물청소를 한다는 계산이 가능하다.

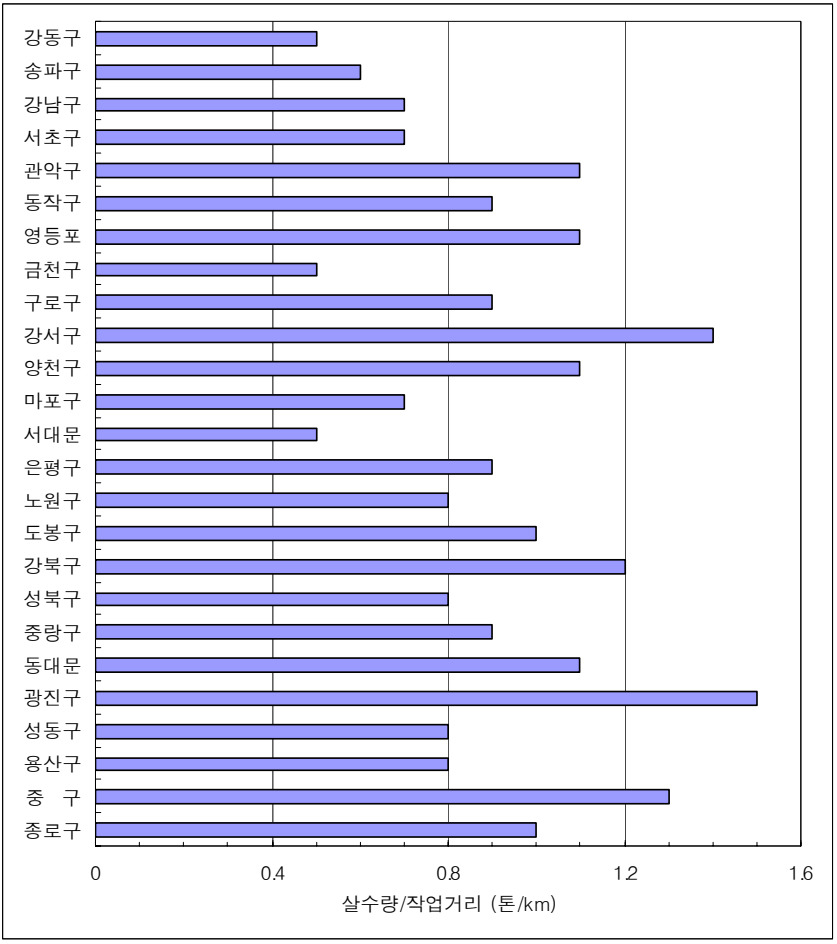


〈그림 2-12〉 청소대상도로면적 대비 물청소차량의 일평균작업면적

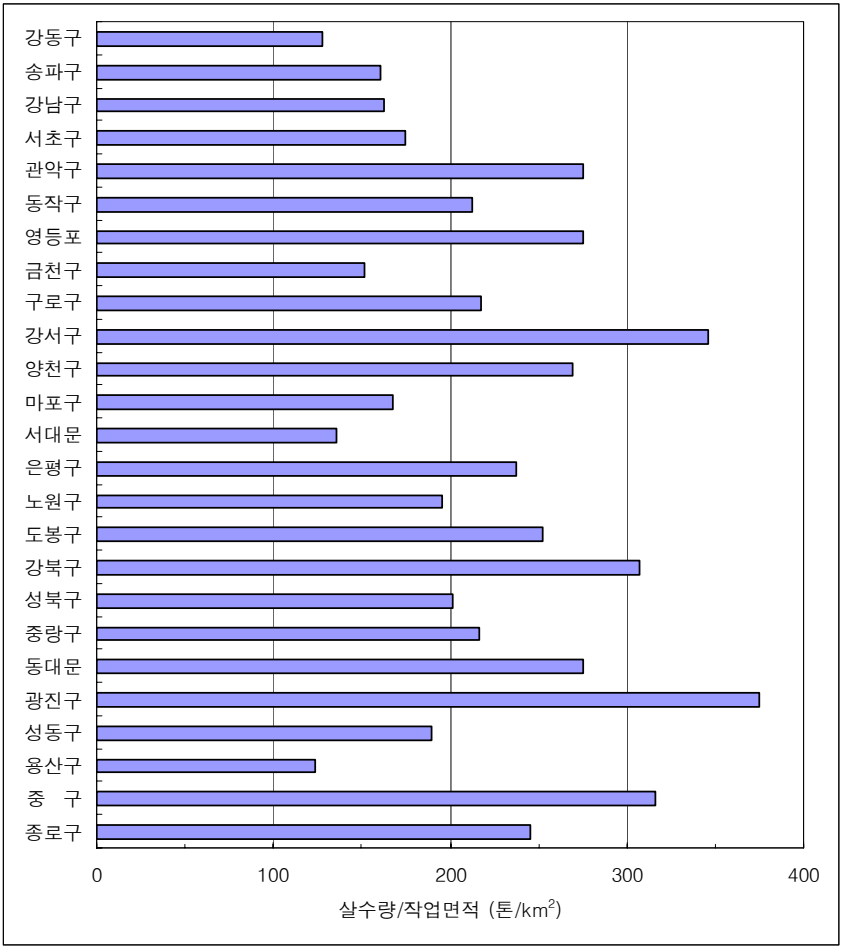
더 많은 면적을 매일 청소하는 것이 중요하지만 물청소의 경우 충분한 양의 물을 뿌려주는 것도 중요하다. 도로에 많은 물을 살수하면 도로면위의 수용성 또는 부유성 입자가 물과 함께 도로측구방향으로 이동하여 빗물받이로 유입됨으로서 도로위에 퇴적된 입자들이 제거될 것이기 때문이다. 이러한 효과는 비가 온 후에 도로면이 깨끗해지고 많은 비가 온 후에는 대기도 맑아지는 것에서 확인할 수 있다. 그러나 많은 물을 살수하려면 충분한 양의 청소용수가 확보되어야 하고, 확보된다 하여도 청소구역으로부터 용수공급원이 멀리 있다면 물의 운반에 많은 시간이 소요되어 차량 당 물청소 면적이 그만큼 감소하게 된다.

〈그림 2-13〉에는 2005년 각 구에서 도로에 살수한 물의 양을 일작업연장당의 양으로 나타내었고, 〈그림 2-14〉에는 일작업면적당 살수량을 표기하였다. 또한 이 두 가지의 분석결과는 〈표 2-3〉에 다시 정리하였다.

물청소차량들은 도로 위를 이동하면서 물을 살수하게 되는데 이동연장 1㎞당 대략 0.5톤에서 최고 1.5톤의 물을 살수하고 있음을 〈그림 2-13〉에서 확인할 수 있다. 한편 작업면적당 살수량에서는 1㎢당 120~370톤의 물을 살수하는 등 최고 3배의 차이를 보이고 있다. 도로에 살수되는 물은 도로의 노면 저류량 이상일 때 도로 구배를 따라 흘러서 하수도로 유입될 것이다. 김석구 등(2006)의 연구에 의하면 120㎥/㎢이상의 살수량 일 때 빗물이 도로에서 하수도로 유출되기 시작하는 것 같다. 따라서 물청소에 의해 도로의 먼지를 제거하기 위해서는 노면 저류량인 120㎥/㎢보다 많은 양의 물이 살수되어야 하며, 〈그림 2-14〉에 따를 경우 광진구와 강서구가 약 3배를 살수하는 것 같으나 이 역시도 도로폭 등을 고려할 때는 충분한 양이라고 보기는 어렵다.



〈그림 2-13〉 물청소에서 작업연장당 살수한 물의 양



〈그림 2-14〉 물청소에서 작업면적당 살수한 물의 양

〈표 2-3〉 물청소시 각 자치구에서 사용한 물의 양

살수량/작업거리 (톤/㎞)		살수량/살수면적 (톤/㎡)	
1 이상	종로구	300 이상	중 구
	중 구		광진구
	광진구		강북구
	동대문		강서구
	강북구	200 이상	종로구
	도봉구		동대문
	양천구		중랑구
	강서구		성북구
	영등포		도봉구
	관악구		은평구
0.8-1	용산구		양천구
	성동구		구로구
	중랑구		영등포
	성북구		동작구
	노원구		관악구
	은평구	100 이상	용산구
	구로구		성동구
	동작구		노원구
0.8 미만	서대문		서대문
	마포구		마포구
	금천구		금천구
	서초구		서초구
	강남구		강남구
	송파구		송파구
	강동구		강동구

제Ⅲ장 외국의 도로청소 체계 및 국내외 연구

제1절 외국의 도로청소 체계

제2절 국내외 도로청소 연구 사례

제Ⅲ장 외국의 도로청소 체계 및 국내외 연구 사례

제 1 절 외국의 도로청소 체계

우리나라와 마찬가지로 외국도시들도 도로청소를 도시기능을 유지하기 위한 기본적인 서비스 중 하나로 인식하고 있다. 차량 통행, 사람 통행, 광역화된 상업활동에 의해 쓰레기가 발생하고, 가로수, 녹지, 도로세굴 등 자연적 현상에 의해서도 쓰레기가 발생하는데, 이들 쓰레기는 특정인에게 처리책임을 부여하기 어려운 특성이 있기 때문이다. 어느 규모의 도로까지 공공부문에서 청소를 담당할 것인가는 전적으로 해당 도시정부의 정책적인 판단에 의해 결정되지만 청소빈도, 투입 장비 등 청소방법은 해당도로의 보행자수, 도로면의 형태, 식재 상태, 상업 활성도, 교통 집중도, 지역의 상징성 등에 의해 영향을 받는다. 차량밀집이나 주차와 같은 도시특성은 청소시간에 영향을 미치기도 한다.(Albani and Newman, 2004)

도로청소는 크게 인력청소와 기계청소로 구분되며, 기계청소는 다시 진공청소와 물청소로 세분된다. 물론 지하보도와 같이 주로 인력청소를 하는 곳에서도 물청소를 하는 경우가 있지만 대부분 특별한 장비가 동원되지는 않는다. 각 도시들은 도시의 여건에 맞추어 인력과 장비를 적절하게 조합하여 해당 도시에 적합한 도로청소방법을 확립시키고 있다. 그러면서도 인력청소는 인도와 광장을 주 청소대상으로 삼으면서, 주차차량이 많아 기계청소를 방해하는 지역에 인력을 미리 투입하여 주차차량 밑의 쓰레기를 청소장비가 접근할 수 있는 곳으로 옮기는 등의 역할을 수행하는 공통점을 보인다. 기계청소차량의 핵심장비는 역시 진공청소차량이며, 도로청소를 실시하는 세계 대부분의 도시에서 공통적으로 나타나는 현상이다. 도로청소는 기본적으로 도로위의 쓰레기와 토사를 제거하여 도시의 미관과 위생상태를 유지하는 데에 목적이 있는데, 아스팔트나 시멘트로 만들어진 매끈한 도로면, 특히 차도에 진공청소와 같은 기계장비를 적극 활용하는 이유는 쓰레기와 토사가 쉽게 제거되는 조건을 갖추고 있고 인력으로 청소하

는 경우보다 빠르고 안전하기 때문이다. 한 때 진공청소는 청소효과와는 별개로 대기 중에 미세먼지를 포함한 분진의 비산을 유발한다는 이유에서 낮은 평가를 받기도 했다. 그러나 물의 분무와 토사저장호퍼의 제진(除塵)기능이 강화된 장비가 꾸준하게 개발됨으로서 오늘날에는 차도의 청소장비로서 확고한 위치를 차지하고 있다.

한편 진공청소를 주축으로 하면서 물청소를 보조청소방식으로 도입하는 지역들이 많이 있다. 이 경우 진공청소는 매일 실시되지만 물청소는 주 1회 정도 실시된다. 어떤 지역에서는 물청소를 진공청소와 동일한 비중으로 실시하기도 한다. 이때는 진공청소차량이 쓰레기를 청소하면서 지나가면 물청소차량이 뒤따르면서 물을 분사하여 노면을 씻는 형태로 청소가 이루어진다.

지역별로는 다음과 같이 물청소를 활용하고 있다. 스페인의 바르셀로나는 모든 도로청소구역을 대상으로 진공청소와 물청소를 같은 회수로 실시한다. 진공청소 또는 인력청소는 주로 새벽과 오전에 이루어지고 물청소는 오전 및 야간에 고르게 실시한다(Vazquez, 2003). 주요 간선도로만을 대상으로 물청소를 실시하는 경우도 있다. 청소는 야간에 이루어지며 진공청소와 물청소가 함께 실시된다. 이탈리아 Padua, 런던의 City of London, 독일 프랑크푸르트 등이 이러한 유형에 해당된다.(Albani and Newman, 2004 ; Rumler, 2003 ; City of London, w1) 미국 샌프란시스코는 심야에 소화전의 물을 이용하여 인도, 차도 심지어 가로휴지통도 청소한다. 미국 일부지역에서는 심야에 수돗물의 수질 악화를 막고 간헐적으로 관내의 퇴적물을 방출시키려는 의도에서 소화전을 개방하여 도로청소에 활용한다고 한다. 이탈리아 Milan은 자주 물청소를 실시하지 않고 월 1회 실시하면서 도시 전체를 물로 씻는 대규모 청소 방식을 채택하고 있다.(Albani and Newman, 2004) 경사진 일부 도로에 물을 공급하여 하루 종일 물청소를 실시하는 도시도 있다. 바로 프랑스 파리이다. 자연유하를 이용하기 때문에 물은 측구의 청소용으로 제한적으로 공급되고 측구 이외의 지역은 차량을 이용하여 물청소를 한다. 여기에 공급되는 물은 세느강으로부터 끌어 온다고 한다.(김운수, 2004) 물청소를 단순하게 토사나 먼지 제거에만 활용하지 않고 기름, 악취

등의 제거에 활용하는 경우도 있다. 이탈리아 Milan과 Perugia, 벨기에 브뤼셀 등이 그러한데 개방시장, 광장, 인도 등에 고압살수차량을 투입하여 물청소를 한다.(Albani and Newman, 2004 ; Vazquez, 2003)

이상과 같이 물청소를 활용하는 지역과는 다르게 미국 캘리포니아 주정부는 소속 지방정부들로 하여금 물청소를 하지 말도록 권장하고 있다. 물청소를 실시하면 도로위에 퇴적된 토사와 자동차에 기인한 유류찌꺼기, 중금속 등이 도로 밖으로 이동해 있다가 비가 오면 단번에 하천 또는 수원으로 유출된다고 보기 때문이다. 그렇다고 도로청소 자체를 제한하는 것은 아니고 물청소보다는 진공청소를 권장하고 있다.(California Stormwater Quality Association, 2003.1)

물청소이든 진공청소이든 기계청소를 할 때에 가장 큰 골칫거리는 도로에 주차된 차량인 것 같다. 주차차량은 기계청소장비의 접근을 방해해서 주차차량이 차지하는 면적만큼의 노면에 대해 청소를 할 수 없게 한다. 이 문제를 해결하는 가장 고전적인 방법은 인력을 사전에 투입하여 주차차량의 하부에 쌓인 쓰레기를 청소차량이 접근할 수 있는 곳으로 옮겨 놓는 것이고, 여전히 많은 도시에서 이러한 방법을 채택하고 있다. 다른 해결방안을 채택하고 있는 도시들도 있다. 이탈리아 Milan은 차량이 주차된 상태에서도 주차차량의 하부 도로위에 쌓인 쓰레기를 청소할 수 있는 장비를 개발하여 활용하고 있다고 한다. 이탈리아 Padua에서는 도로청소를 담당하는 민간회사에게 주차차량에 대한 단속권한을 부여하여 청소를 하는 시간에 주차된 차량들을 규제하고 있다(Albani and Newman, 2004). 청소시간에 노상주차를 없애기 위해서는 무엇보다 주민들이 청소시간을 인지하고 있어야 한다. 대부분의 도시들은 인터넷 홈페이지에 청소시간을 공지하는 방법으로 해당시간에 노상주차의 자제를 당부하고 있다. 노상주차가 빈번한 지점에는 주차금지 표지판을 설치하여 정보제공과 함께 단속할 것이라는 경고 메시지를 전달하는 도시들도 있는데, 주로 미국 도시들이 이 방법을 활용하고 있다.(The City of Albany, 2005 ; The City of Medicine Hat, w2)

[The City of Albany] [The City of Medicine Hat]

〈그림 3-1〉 주차 금지 표지판 예

대부분의 도시들이 일정지역이나 도로마다 청소회수, 청소시간, 투입인력과 투입장비 등을 정해 두지만 청결기준을 마련하는 경우는 드물다. 그런데 영국 England 지역은 광역정부에서 도로가 위치하는 지역의 중요도에 따라 최고의 청결등급(Grade A)이 훼손 받았을 때(Grade B, C 또는 D) 최고 등급으로 회복되어야 하는 시간을 〈표 1〉과 같이 정해 두고 있다. 〈표 2〉는 런던 Sutton 구가 광역정부의 조례규정을 준수하면서 자체적으로 정한 청소기준을 보여주고 있다.

〈표 3-1〉 영국 England 지역의 청소기준(최고 등급으로의 회복시간)

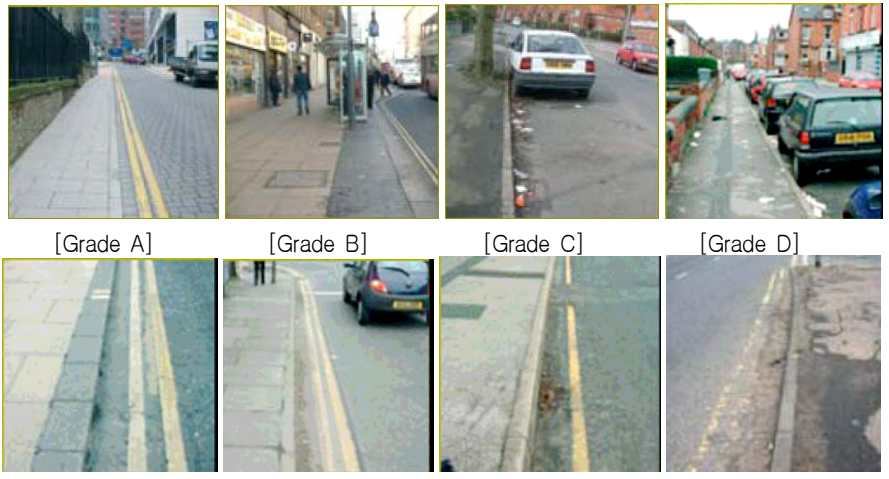
구역	Grade B	Grade C	Grade D
Z1 : 중심 상업지역	6 작업시간	3 작업시간	1 작업시간
Z2 : 고밀도 주거지역	12 작업시간	6작업시간	3 작업시간
Z3 : 저밀도 주거지역	2주	12 작업시간	6 작업시간

Grade A : 쓰레기가 없어야 함.

Grade B : 부분적으로 산발하는 것 말고는 쓰레기가 없어야 함.

Grade C : 쓰레기가 넓게 산재하고 있고 일부 국소지역은 작게나마 쌓이는 수준

Grade D : 쓰레기가 많고 쌓이는 상태



자료: Department for Environment, Food and Rural Affairs(2006.4)

〈표 3-2〉 영국 런던 Sutton 지역의 청소기준

서비스 종류	목표	서비스 역할	서비스 제외 사항	시민 협조 사항
도로 청소	·모든 도로에서 쓰레기, 개변 등 제거 ·조례상의 기준 충족	·모든 주택도로 2주1회이상 청소 ·간선도로 주당 청소 ·중심지역은 오전 6~오후8시 사이 계속 청소 ·등급C이하 도로 민원 24시간 이내에 해결	·등급C이하가 아닐 경우 정규청소이외의 추가청소 ·사유지, 정규도로이외의 쓰레기청소 ·잡초 제거	·쓰레기 안버리기-규정된 쓰레기통 이용 ·전화 또는 화면문서 통해 자기지역 다음 청소일정 확인
가로 휴지통 및 개변통	·통이 넘치기 전에 청소	·정기 청소 및 넘치는 신고 있으면 당일에 청소		·파손통 및 넘치는 통 신고 ·가정 및 사업쓰레기 사용 금지 ·자신 개변의 청소
투기물	·공유지를 불법투기물 없이 깨끗하게 유지	·신고물에 대해 1작업일 이내 제거	·사유토지 신고물은 수수료 부과	·투기자, 차량, 시간, 장소 신고 ·직접 제지 및 제거 금지. 투기자 증거자료 제공만으로 충분
낙서 및 벽보	·낙서 벽보를 제거 또는 칠하여 공공시설물 깨끗이 유지하고 사유재산은 소유자 지원	·공개공간에서 보이는 곳은 무료제거나 색칠 ·사유재산은 통지하고 5작업일 이내에 응답 ·불쾌물은 최대한 빨리(2시간이내) 제거	·3m이상의 것의 제거 등 ·공개공간에서 보이지 않은 것의 제거	·가능하면 개인재산의 벽보는 소유자가 신속하게 제거 ·개인이 원하면 공공서비스 제공을 요구(위임서 작성) ·낙서 벽보는 범죄행위로 간주됨으로 행위를 보면 경찰에 신고
빗물 받이	·빗물받이의 퇴적물 제거 및 자유흐름 유지	·연 1회 청소, 주요도로는 연2회	·개인토지내 관로 및 받이 청소	·막힌 받이 신고 및 청소시 차량 이동
낙엽 및 꽃	·위험한 젖은 낙엽 및 꽃 제거	·특정도로별 서비스 제공 ·지정도로의 잎 제거	·사유지의 낙엽 제거	·특별 관리가 요구되는 지역 신고 ·낙엽을 고속도로로 밀지 말 것
제초	·무성한 잡초 성장 방지	·제초제 사용 않고 손으로 제거 ·잡초관련 보고서 작성	·사유지에서 잡초 제거 ·작은 양의 잡초 제거 요구	·공공용지와 사유지 경계의 잡초 제거
돌멩이 기름 동물사체 등	·교통사고, 동물사체, 약품제거에 관여	·이신 2시간 2내에 제거 ·사체동물 기록 및 소유자 통보	·사유지 애완동물 사체 처리	·오일, 모래, 유리조각, 도로위 동물사체 신고

자료: London Borough of Sutton(2005.8)

한편 외국의 도시들은 도로청소조직을 운영함에 있어 단순하게 쓰레기를 모으고 치우는 업무 이외에도 제초, 낙서제거 등 도로시설물의 유지관리업무까지 담당하는 경우가 많다. 이는 조직의 효율성을 중시하기 때문인데, GIS와 GPS를 결합시켜 청소인력 및 차량을 관리하는 기법의 활용에서도 효율성을 높이려는 노력들이 잘 드러난다. 도로청소이외에 빗물받이 청소, 낙서 및 부착물 제거, 잡초 제거, 낙엽 수거, 지하철역사·지하보도 등 각종 공공시설 청소, 애완동물 배설물 수거, 동물사체 수거 등이 외국도시의 청소조직에서 공통적으로 수행하는 업무에 해당된다.

부록에는 스페인의 바르셀로나(인구 약 140만), 벨기에 브뤼셀(인구 약 90만), 독일 프랑크푸르트(인구 약 60만), 체코슬로바키아 프라하(인구 약 120만), 오스트리아 비엔나(인구 약 140만) 등의 도로청소방법을 수록하였다.

제 2 절 국내외 도로청소 연구 사례

1. 도로 오염물질 특성

도로의 오염물질은 주로 무기질이며, 모래와 진흙형태로 존재한다. 구체적 성분은 〈표 3-3〉과 같다. 영양물질은 식물이나 토양에 뿌린 비료에서, 중금속은 교통흐름에 따라 자동차나 도로에서, 미생물은 배설물에서 기인한다고 한다 (Sartor and Gaboury, 1984).

도로의 입자상 물질의 크기는 75㎛이하에서 3,000㎛이상까지 다양하게 존재한다. 많은 연구에 의하면 오염물질은 입자의 크기에 따라 다르게 존재한다고 한다. 〈표 3-4〉은 입자의 크기에 따른 오염물질의 양을 나타내는데 입자의 크기가 가장 작은 75㎛이하에서 오염물질의 농도가 가장 높다. 노면청소시 작은 입자를 제거해야 오염물질 제거 효율도 높아지는 것을 알 수 있다.

〈표 3-3〉 도로에 존재하는 오염물질의 평균 농도

[단위:㎎/㎏]

오염 성분	평균농도	오염 성분	평균농도
Volatile solids	75,000	Copper	100
COD	80,000	Iron	22,000
BOD5	10,000	Lead	1,000
T-P	500	Manganese	500
PO4P	100	Mercury	0.08
TKN	1,600	Nickel	20
Surfur	1,100	Strontium	15
Arsenic	15	Zick	300
Cadmium	3	Total colif. bact.	400×100^{6}org/㎏
Chromium	200	Fecal colif. bact.	3×100^{6}org/㎏

자료: Pitt and Shawley(1981)

〈표 3-4〉 입자크기에 따른 오염물질의 농도

입자크기 (㎛)	건조중량 (%)	Volatile Solids (㎎/㎏)	BOD (㎎/㎏)	COD (㎎/㎏)	Pb (㎎/㎏)	Zn (㎎/㎏)
3,380-850	15	76,000	3,600	68,000	800	200
850-420	19	43,000	3,000	56,000	3,200	1,000
420-250	24	34,000	3,100	51,000	3,400	1,600
250-75	32	59,000	3,800	106,000	5,900	1,800
<75	10	126,000	6,900	211,000	3,400	1,600

자료: Bannerman(1983)

2. 도로 청소 효과

우리나라 뿐 아니라 각국에서는 도시 청결 및 미세먼지 제거를 위하여 진공청소와 물청소를 시행하고 있으며 그 효과를 정량적으로 분석하기 위해 많은 연구들이 수행되었다. 비록 오래된 분석 결과이지만 〈표 3-5〉에 따르면 청소효율은 입자크기에 따라 달라지고 있으며, 입자크기가 작을수록 진공청소로에 의한 제거효율이 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 이 연구를 수행할 당시에는 살수, 분진제거 등의 장치가 부실할 때였다.

〈표 3-5〉 입자크기에 따른 청소 효율

입자크기	청소효율 (%)
> 2,000	79
840-2,000	66
246-840	60
104-246	48
43-104	20
<43	15
평균	50

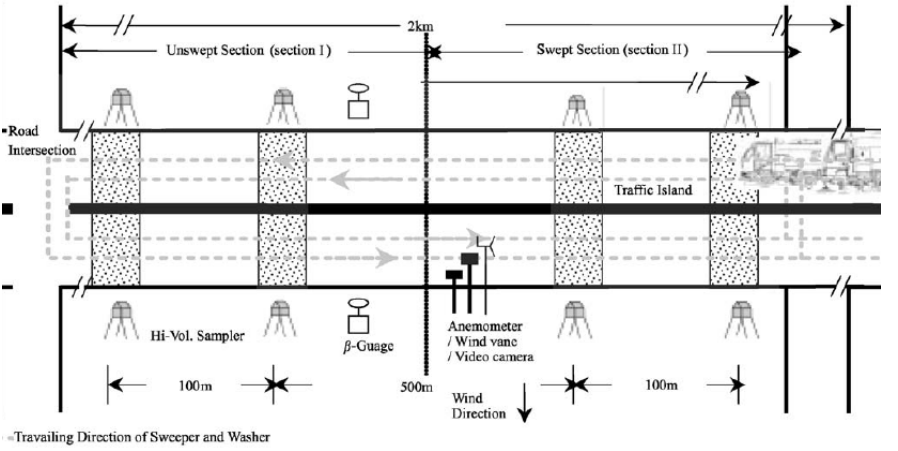
자료: Sartor and Boyd(1972)

포장도로위에 쌓여 있는 먼지는 자동차의 노면 대기 교란으로 비산되어 대기 중 PM10 농도를 증가시킬 수 있다. 도로에서 발생하는 비산먼지를 저감하기 위한 대책으로 각 국에서는 주로 진공흡입차량 및 살수차량 등을 이용하여 도로변(주로 도로 갓길)에 쌓여있는 먼지(또는 토사)를 제거하고 있다.

Cowherd(1988)에 의하면 강력한 도로청소프로그램을 실시하면 포장도로의 PM10의 배출량을 약 33~37%까지 저감할 수 있다고 하였다. 그러나 다른 연구들에 따르면 도로청소는 큰 입자들을 제거하는데 효과적일 수는 있으나 미세먼지(PM10)의 저감효과는 크지 않다고 지적하고 있다(Vaze et al, 2002; Etyemezian et al, 2003). 이러한 연구사례들을 구체적으로 살펴보고자 한다.

1) Taiwan

타이완 정부에서는 대기질을 개선하고자 도로청소를 통해 비산먼지를 줄이려고 노력하고 있다. 관련하여 풍속, 교통량, 노면먼지량에 따른 도로청소효율에 대해 연구가 수행되었다. 〈그림 3-2〉는 도로청소 순서와 실험에 사용한 대기시료채취장치의 위치를 나타내고 있다. 미세먼지의 농도변화를 파악하고자 8대의 hi-vol sampler를 사용한 것이다.



〈그림 3-2〉 대기 시료채취 위치와 장치구성도

이 연구에 따르면 도로청소는 분명히 효과가 있으나 3~4시간 이상 지속되지는 않는다고 한다. 진공청소와 물청소를 연달아 시행하였을 경우 청소효과는 교통량과 풍속과는 상관성이 낮았으나 노면 먼지량과는 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 노면의 먼지량이 많이 제거될수록 비산되는 먼지의 양이 적다는 것을 보여준다.

〈표 3-6〉 진공청소와 물청소 차량의 운행 조건

진공청소차량		물청소차량	
항목	사양	항목	사양
길이(㎜)	4,230	길이(㎜)	5,350
폭(㎜)	1,650	폭(㎜)	1,650
높이(㎜)	2,320	높이(㎜)	2,400
비어있는 무게(㎏)	3,500	비어있는 무게(㎏)	7,500
최대출력(kw rpm^{-1})	55	최대출력(kw rpm^{-1})	99
용적(L)	420	용적(㎥)	15
작업조건		작업조건	
살수속도(L/h)	75	살수 압력(psig)	10
살수운행속도(㎞/h)	5-8	살수 각도 (degree)	60
살수 압력(psig)	50	살수속도(L/min)	80-120
브러쉬 속도(rpm)	40	살수운행속도(㎞/h)	5-8
최대청소능력(m^2/h)	25,000	최대청소능력(m^2/h)	10,000

2) Philadelphia, Pennsylvania

Record와 Bradway(1978)는 1977년에 물청소가 TSP제거에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구를 하였다. 10블럭의 모든 도로를 대상으로 오전 07:00부터 오후 6:30까지 3일 연속 강력하게 물청소를 실시하였다. 이때 대기중의 TSP농도를 청소 전과 청소 동안 청소후로 나누어 hi-vol sampler를 이용하여 측정하였다. 3일간의 실험으로는 통계적으로 의미있는 결과를 도출하기에는 부족하지만 물청소 직후의 대기 중의 TSP농도는 증가하였는데, TSP농도는 그 당시의 교통량과 직접적인 연관이 있는 것으로 나타났다. 또한 물청소 후 배수되지 않고 남아 있는 물이 증발되면 먼지는 그대로 남아 다시 교통흐름에 의해 비산되었다고 한다.

3) Bangor, Maine

이 연구는 Hewitt(1981)에 의해 Bangor시의 진공청소가 TSP제거에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1980년부터 1983년까지 실시되었다. 1980~1981년은

진공청소를 실시하지 않고 1982~1983년에는 진공청소를 실시하여 2년 동안 hi-vol sampler로 매일 측정한 TSP 자료로 진공청소 효과를 계산하였다. 그 결과 진공청소는 대기중의 TSP의 20%정도를 저감시키는 것으로 나타났다. 그러나 TSP농도에 많은 영향을 미치는 4년간의 기후적 차이나 건설활동의 영향이 청소효과 분석에 고려되지 않았다고 한다.

4) Allegheny County, Pennsylvania

이 연구는 Roffman(1981)에 의해 U.S. Steel's Allegheny County 제철소에서 비산먼지 저감효과를 알아보기 위한 목적으로 실시되었다. 앞서 hi-vol을 사용한 실험이 아니라 노면의 먼지량과 노출 프로파일을 통해 효과를 분석하였다. 노출 프로파일은 먼지가 흘러가는 여러 지점에서 등속성 채취를 하는 기법이다. 포장도로에서는 진공청소를 매일 실시할 경우 80~85%, 먼지가 많지 않을 경우 일주일에 두 번 진공청소를 하면 60~70%, 먼지가 매우 많을 경우 하루에 두 번 진공청소를 실시하면 40~50%의 먼지가 제거되는 것으로 나타났다.

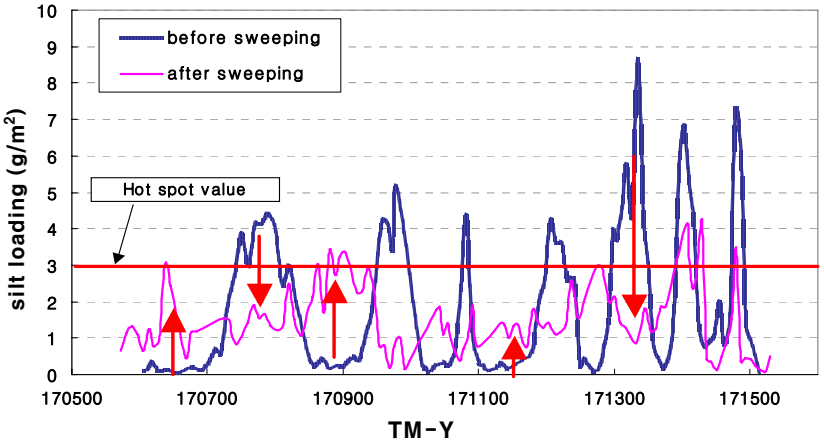
5) 인천시

인하대에서는 직접 개발한 이동측정차량을 이용하여 진공청소차량의 도로청소 전·후의 silt loading 변화를 평가하였다(환경부, 2005). 측정은 인천 남구에 위치한 왕복 8차선도로인 인주로의 4차선에서 하였으며, 인천 남구청 청소행정팀의 협조를 받아 시험 측정을 진행하였다. 측정은 2005년 4월 23일 오전에 진행되었다(〈그림 3-3〉).

〈그림 3-3〉 대기오염 측정차량

이동측정차량을 이용하여 진공흡입차량으로 도로변 청소를 진행한 후에 측정한 silt loading 값이 평균 1.79g/㎡에서 1.49g/㎡으로 낮아졌는데, 이는 청소차량의 운행에 의해 도로의 silt loading 값이 16.9 % 정도 저감되었음을 의미한다.

〈그림 3-4〉는 도로청소 전·후의 silt loading 값의 변화를 구체적으로 살펴보기 위해, 측정된 TM-좌표를 이용하여 위치에 따른 silt loading 값의 변화를 도시한 것이다. 청소전에는 도로 위치별로 silt loading 값의 차이가 크게 나타났는데, 청소 후에는 이러한 차이가 완화되어 먼지가 많았던 지점은 감소하고 적었던 지역은 증가하면서 전반적으로 먼지 분포가 균일화되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 한번의 시험 측정으로는 정확한 결론을 내리기는 힘들겠지만, 이동측정차량을 이용하여 청소전·후의 먼지저감효과의 측정에 대한 가능성을 확인하였으며, 보다 효율적인 청소대책은 향후 보다 많은 실험과 면밀한 분석을 통해 도출되어야 할 것으로 결론을 내리고 있다.



〈그림 3-4〉 진공청소차량의 도로 청소 전·후의 silt loading 변화

6) 기존 연구결과의 종합

1980년대 초반 및 그 이전에 수행된 도로청소의 효과에 관한 연구는 주로 청소방법을 진공청소에 한정하였으며, 공통된 평가는 총부유분진(TSP)의 제거에 분명하게 효과가 있다는 것이다. 그러나 PM10에 해당하는 미세먼지에 대해서는 효과가 있다, 없다 등 상반된 결과들이 제시되고 있다. PM10 입자는 사실상 청소차량이 접근하면 흩어지고 진공의 힘에 의해 흡입되었다가도 제진장치가 부실하면 다시 공기 중에 방출되기 쉬운 크기에 해당된다. 실제로 PM10 크기의 입자가 제거되었다고 하여도 도로청소에서 제거되는 입자는 노면에 부착되어 있거나 노면과 흡입관 사이 또는 노면과 노즐 사이에 위치하는 미세입자만 제거되기 때문에 hi-vol sampler나 자동측정기에 의해 측정하지 못할 수도 있다. 또한 청소 종료후 짧은 시간 내에 좌우 또는 상하에서 미세먼지가 유입되어 청소된 공간을 빠르게 채울 수도 있다. 진공청소와 물청소를 조합했을 때 비산먼지의 제거효과가 분명히 있으나 3시간 정도만 지속된다는 Taiwan의 연구는 바로 미세먼지의 이러한 특성을 잘 반영한 결과로 보인다. 결국 도로청소는 큰 입자의 제거에는 확실하게 효과가 있고 미세먼지의 제거에도 효과가 있을 수 있으나, 그

효과를 정확하고 바르게 측정하는 것은 쉽지 않은 것 같다. 〈그림 3-5〉는 도로 측구의 청소 전후 모습을 보여주고 있다. 진공청소이든 물청소이든 청소 후에는 오물들이 말끔하게 제거된 모습을 육안으로 확인할 수 있다.

(a) 도로청소 전

(b) 진공청소 중

(c) 진공청소 후

(d) 살수 후

〈그림 3-5〉 진공청소차량 및 물청소차량에 의한 도로청소 과정

제Ⅳ장 도로청소 효과 분석

제1절 미세먼지와 발생 특성

제2절 도로청소와 수질오염과의 관련성

제3절 도로청소의 오염물질 제거 특성

제4절 도로청소의 오염물질 제거 효과

제Ⅳ장 도로청소 효과 분석

제 1 절 미세먼지 발생 특성

1. 미세먼지와 건강 영향

일반적으로 대기 중의 먼지는 0.1~500㎛의 입경범위를 가지며, 입자의 크기가 미세하고 가벼워서 좀처럼 가라앉지 않고 장기간 대기중에 떠다니는 것을 부유분진이라 한다. 우리나라는 이러한 부유분진(TSP) 중에서 인체에 흡입되어 폐포에 침착될 가능성이 높은 입자 영역을 가진 미세한 먼지를 관리하기 위해 직경이 10㎛이하인 먼지(PM10)를 대기환경기준항목으로 설정하고 있다.

입자가 큰 먼지는 공사장에서의 먼지나 화산재 등과 같이 자연적으로 발생한 경우가 많지만 미세먼지는 주로 산업, 운송, 주거활동 등에 의한 연소나 기타 공정으로부터 직접 배출 또는 1차 배출된 가스상 오염물질이 변환되어 생성된다. 전자는 호흡과정에서 섬모나 기도 등에서 걸러져 인체에 큰 영향을 끼치지 않으나 미세먼지는 폐 깊숙이 침투하여 미세먼지 자체로도 인체에 해를 주고 미세먼지에 부착된 금속·유기물·산 등이 폐기능을 저하시켜 폐암 등 호흡기 계통의 질병을 유발시키기도 한다.

경기개발연구원(2003)에 따르면 미세먼지의 증가로 수도권에서만 연간 11,127명이 조기사망하고 있으며, 건강에 미치는 경제적 피해가 수도권 전체에서 2조5,786억~9조5,850억원에 이른다고 추산하고 있다(〈표 4-1, 2〉). 미세먼지로 인한 피해를 줄이기 위해 〈표 4-3〉과 같은 미세먼지 오염수준에 따른 시민행동요령이 제정되었을 정도로 미세먼지는 국가적 관심대상이 되었다.

〈표 4-1〉 수도권지역의 PM10으로 인한 피해건수

구분	조기사망 (건/년)	호흡기질환 (병원질료건/년)	만성기관지염 (건/년)	급성기관지염 (건/년)
경기	4,854	2,332~5,664	3,373	599,078
서울	5,426	2,627~6,379	3,800	519,793
인천	847	444~1,078	635	104,525
계	11,127	5,403~13,121	7,808	1,223,396

자료: 경기개발연구원(2003)

〈표 4-2〉 수도권지역의 대기오염물질별 피해액 산정

[단위:백만원]

	PM10		CO	O_3	NO_2
	최소피해액	최대피해액			
경기	1,218,550	4,526,754	44	8	10
서울	1,360,077	5,058,303	45.55	7.69	13
인천	217,112	794,560	7.12	2.22	3
계	2,578,627	9,585,057	96.67	17.91	26

자료: 경기개발연구원(2003)

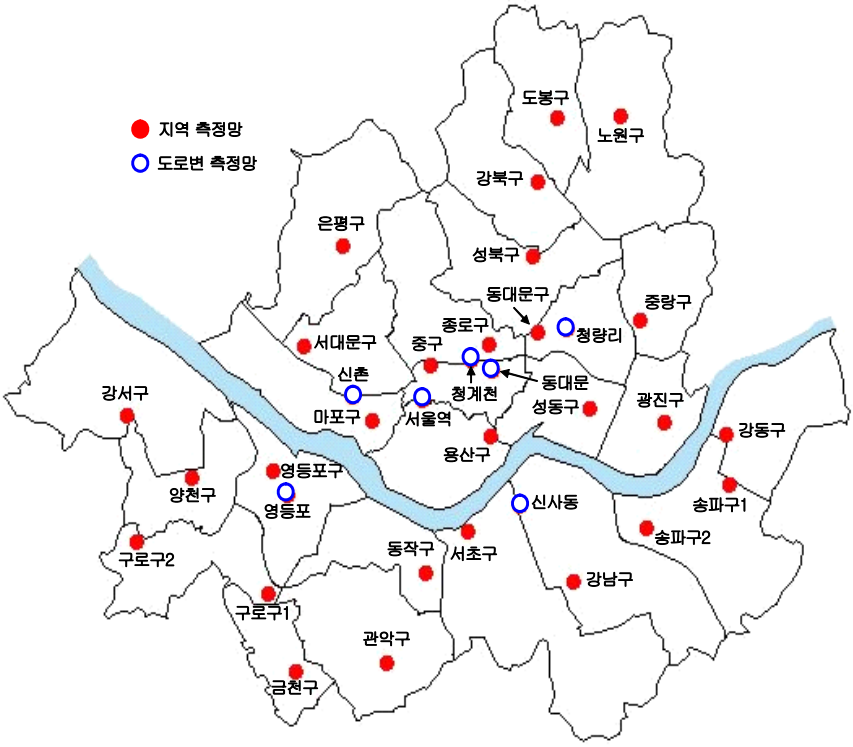
〈표 4-3〉 미세먼지(일평균) 농도별 시민행동요령

구분	PM10(㎍/㎥)	시민행동요령
좋음	0~50	외출 등 실외 활동
보통	51~100	
민감한 사람에게 나쁜 영향	101~150	호흡기질환자·심혈관질환자 등 심한 옥외 활동 자제
약간 나쁨	151~200	•호흡기질환자·심혈관질환자 등 옥외 활동 자제 •노인·어린이 심한 옥외 활동 자제 •유치원·초등학교 실외 수업 자제 •차량운행 자제, 미세먼지 배출업소 조업시간 조정
나쁨	201~300	•호흡기질환자·심혈관질환자 등 옥외 활동 금지 •노인·어린이 심한 옥외 활동 금지 •유치원·초등학교 실외 수업 금지 •중·고등학교 실외 수업 자제 •일반인 심한 옥외 활동 자제
매우 나쁨	301 이상	•호흡기질환자·심혈관질환자 등 옥외 활동 금지 •노인·어린이 옥외 활동 금지 •유치원·초등학교 수업 단축 또는 휴교 •중·고등학교 실외 수업 금지 •일반인 심한 옥외 활동 금지 •차량운행 금지, 미세먼지 배출업소 조업중지

서울시도 2006년 현재 총 34개소의 대기오염 자동측정소(지역측정소 27개, 도로변 측정소 7개)에서 미세먼지를 비롯한 여러 항목의 오염도를 매시간 측정하고 있다. 자동측정소의 분포현황 및 위치는 〈표 4-4〉 및 〈그림 4-1〉와 같다.

〈표 4-4〉 서울시 대기오염 자동측정소 현황

측정소	위 치	용도
중구	중구 정동 28 (창덕여자중학교 부지내)	
종로구	종로구 효제동 173-2 (종로 5, 6가 동사무소)	
중랑구	중랑구 면목 5동 168-1 (면목빗물펌프장)	
동대문구	동대문구 용두2동 237-1 (용두초등학교)	
은평구	은평구 불광동 613-2	
마포구	마포구 염리동 150 (동도중학교 5층옥상)	주거
영등포구	영등포구 당산1동 3가 250 (당산 1동 사무소)	
동작구	동작구 사당4동 300-8 (사당4동사무소 옥상)	주거
관악구	관악구 신림5동 1439-3 (신림 5동 사무소 옥상)	
강남구	강남구 도곡2동 429 (도곡 2동 사무소)	
송파구2	송파구 잠실본동 230-1 (본동사무소 2층 옥상)	주거
금천구	금천구 시흥5동 832-14 (시흥5동사무소 옥상)	주거
강동구	강동구 천호1동 76-25 (천호1동사무소 옥상)	주거
강북구	강북구 번1동 417-11 (번1동사무소 옥상)	주거
성북구	성북구 길음3동 1064-1 (길음 3동사무소 옥상)	주거
용산구	용산구 한남동 726-78 (한강관리사업소내)	주거
광진구	광진구 구의동 산 38 (구의 정수사업소내)	
성동구	성동구 성수동 성수2가 299-240 (성수3동사무소 옥상)	준공업
도봉구	도봉구 방학1동 687-27 (방학1동사무소 4층 옥상)	주거
서대문구	서대문구 남가좌동 250-6 (남가좌1동사무소 3층)	주거
구로구1	구로구 구로동 222-16 (한국수출사업공단 정수장내)	준공업
서초구	서초구 반포동 355 (반포2동사무소 4층 옥상)	주거
강서구	강서구 화곡동 1019-1 (화곡3동사무소 3층 옥상)	주거
송파구1	송파구 방이동 88 (올림픽공원내)	녹지
양천구	양천구 신정4동 957-9 (신정4동사무소 옥상)	주거
노원구	노원구 상계2동 289-483 (상계2동사무소 옥상)	준공업
구로구2	구로구 궁동 157 (궁동 청소년독서실 옥상)	주거
동대문	중구 을지로7가 135-5 (동대문 운동장 지하철역 4거리)	도로변
서울역	용산구 동지동 43 (서울역전 식당 앞)	도로변
청계천	중구 주교동 125-1 (청계천 4가 로타리 남강빌딩 앞)	도로변
청량리	동대문구 청량리동 746 (청량리 로타리 중소기업은행 앞)	도로변
신촌	마포구 노고산동 31-6 (신촌로타리 한일은행 앞)	도로변
영등포	영등포구 영등포동 4가 66 (영등포 로타리 대동은행 앞)	도로변
신사동	강남구 논현동 1 (신사로타리 동화은행 앞)	도로변



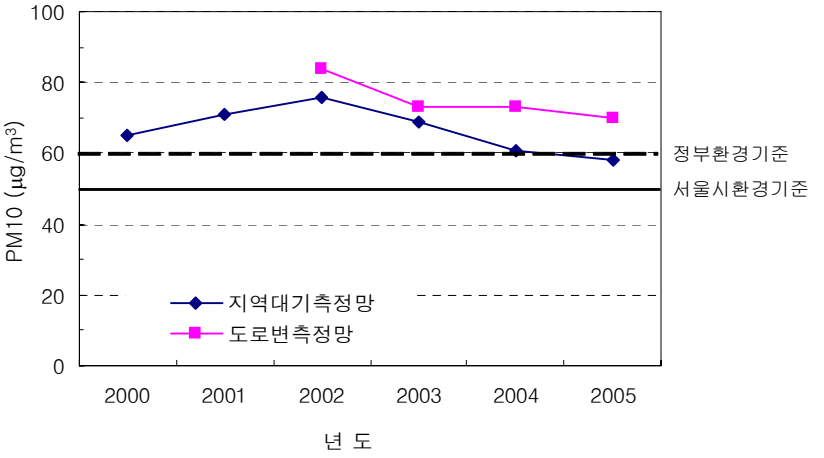
〈그림 4-1〉 서울시 대기오염 자동측정소 분포

2. 서울시 미세먼지 오염도 변화

1) 연평균 미세먼지 오염도 변화

서울시 27개 지역측정망과 7개소의 도로변측정망의 연평균 PM10 농도를 〈그림 4-2〉에 나타내었다. 도로변 측정망의 경우 2002년부터 연속적인 측정이 가능하여 그 이후 자료만을 사용하였다. 지역측정망에 나타난 미세먼지 농도는 2002년까지 증가하였고 그 이후로는 계속해서 감소하는 추세이다. 2001년과 2002년에는 정부가 정한 연간 국가환경기준 70㎍/㎥을 초과하였고 2003년과

2004년에도 서울시 환경기준인 60㎍/㎥을 초과하였다. 도로변 측정소의 경우 지역측정망의 결과와 유사하게 2002년 이후로 꾸준히 감소하는 추세이나 지금까지는 국가환경기준에 이르지 못하고 있다.



〈그림 4-2〉 서울시 연도별 미세먼지 농도 변화

이러한 감소추세에도 불구하고 OECD 국가와 비교해 보면 〈표 4-5〉와 같이 미세먼지 농도가 가장 높은 그룹에 속한다. 서울의 대기질 악화에는 지형적인 요인도 작용하고 있는데 서울의 지형은 역 ㄷ 자형의 분지 형태이여서 대기오염물질의 확산이 어렵고 기상학적으로도 주풍향이 편서풍이라 중국과 인천 등 주변 공업도시의 영향을 많이 받고 있다. 반면에 항상 서울과 비교대상이 되고 있는 일본 동경지역은 지형적으로 바다에 접한 임해지역일 뿐 아니라 계단식 지형이기 때문에 통풍성이 좋아 오염물질의 대기확산이 서울보다 훨씬 용이하다고 한다(한국환경사회정책연구소, 2003).

〈표 4-5〉 OECD 국가의 연평균 PM10 농도

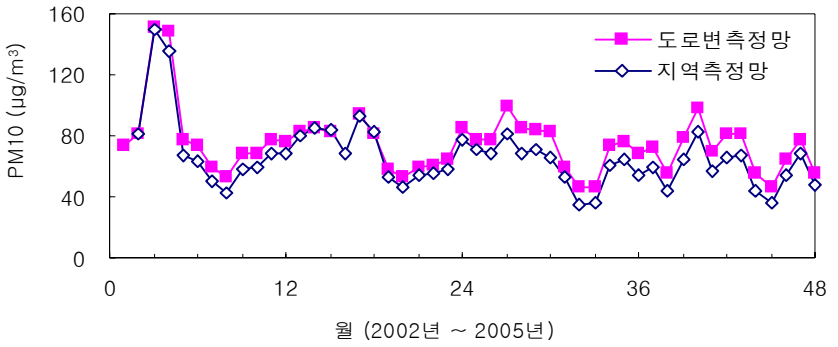
[단위:㎍/㎥]

이탈리아	104.5	체코	42.4	덴마크	32.2	아일랜드	24.8
그리스	58.8	폴란드	40.9	독일	32.0	노르웨이	24.4
스웨덴	54.7	헝가리	40.7	오스트리아	31.6	프랑스	24.0
멕시코	52.6	일본	40.0	아이슬란드	29.2	영국	19.5
슬러바키아	49.2	네델란드	38.7	스위스	27.8	핀란드	18.9
호주	43.2	포루투갈	38.6	미국	27.5	캐나다	11.4
벨기에	42.6	스페인	33.5	뉴질랜드	25.0	터키	11.4

자료: 세계경제포럼(2005)

2) 월평균 미세먼지 오염도 변화

최근 4년간의 PM10 농도변화를 살펴보기 위하여 2002년 1월부터 2005년 12월까지의 자료를 분석하였다. 〈그림 4-3〉에서 서울 27개 지역측정망과 7개 도로변 측정망의 월평균 PM10농도를 보여주고 있다. 대체적으로 봄철과 겨울철에 높으며 여름과 가을에 낮은 것으로 나타났다. 2002년 봄철에 특히 높게 나타난 것은 중국으로부터 황사 유입이 많았기 때문이다.



〈그림 4-3〉 서울시 미세먼지 월평균 농도 변화

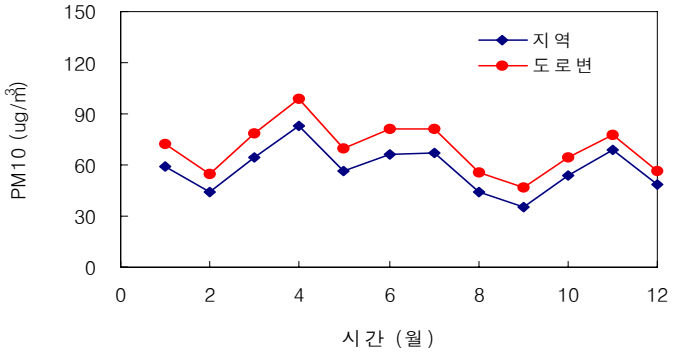
PM10의 월평균 농도변화는 지역측정망과 도로변측정망 모두에서 비슷하게 나타났다. 〈표 4-4〉에서 알 수 있듯이 지역측정망은 주로 건물의 옥상에 설치되어 있고 도로변측정망은 차선이 넓은 도로변에 위치하고 있어, 지역측정망은 그 지역의 평균적 특성을 나타내고 도로변측정망은 교통량에 따라 영향을 받을 가능성이 높다. 측정결과는 지역측정망에서보다 도로변측정망에서 평균 9㎍/㎥정도 높게 나타났다. 결국 서울시 미세먼지 농도는 도로변에서 발생되는 미세먼지에 의해 영향을 받는 것으로 추정된다. 이와 같은 결과는 서울시에서 발생하는 미세먼지의 77.4%가 차량운행에 따른 먼지 재비산, 자동차 연료연소, 타이어 마모 등 도로에서 발생하고 있다는 김운수(2004)의 연구결과와도 대략 일치한다.

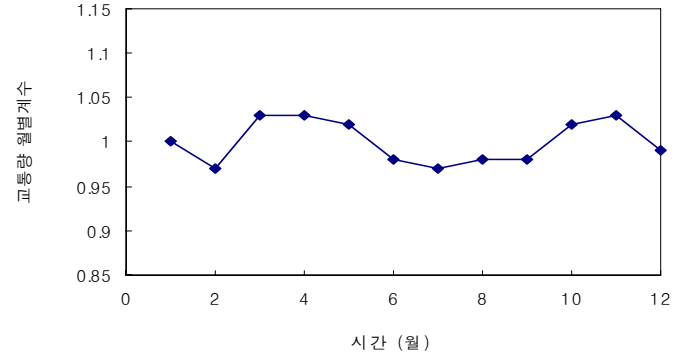
〈표 4-6〉 서울시 미세먼지 배출량(2002년 기준)

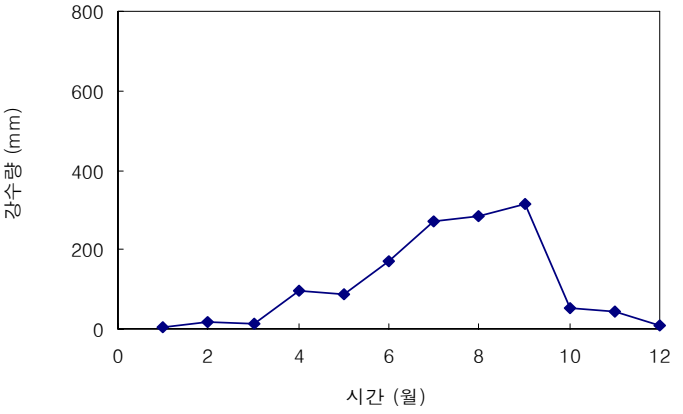
구분	계	도로				철도 항공기	먼지 다량 배출 업소	공사장	생활 주변 (나대지, 운동장 등)	고정 오염 (사업장 등)
		소계	도로 차량운행	타이어 마모	자동차 연료연소					
배출량 (톤)	33,577	25,991	18,837	3,304	3,850	20	1,101	5,515	18	932
비율 (%)	100	77.4	56.1	9.8	11.5	0.06	3.28	16.4	0.05	2.8

자료: 김운수(2004)

미세먼지 오염도의 월별 변화 원인을 알아보기 위하여 영향요인으로 판단되는 강우량과 교통량의 자료를 미세먼지 농도와 함께 〈그림 4-4〉에 나타내었다. 교통량의 월별계수는 (월별평일교통량)/(연평균평일교통량)로 계산된 값이며 3, 4, 5월에 높고 6, 7, 8, 9월에 낮은 것으로 나타났다. 그리고 강수량은 7, 8, 9월에 집중되어 있다. 미세먼지의 농도변화는 5, 6, 7월의 변화를 제외하고는 교통량의 변화 동향과 대체로 일치한다. 8, 9월은 낮은 교통량에 높은 강수량이 중첩되어 가장 낮은 미세먼지의 농도를 보인다고 판단된다. 만약 인위적으로 미세먼지를 줄여야 한다면 그 시기는 3, 4, 5, 6, 7월과 10, 11월이라는 점을 이 비교는 보여준다고 할 수 있다. 참고로 풍속 등과 미세먼지 농도와는 특별한 경향을 찾기 어려웠다.







〈그림 4-4〉 서울시 월평균 미세먼지, 강수량, 교통량의 변화(2005년)

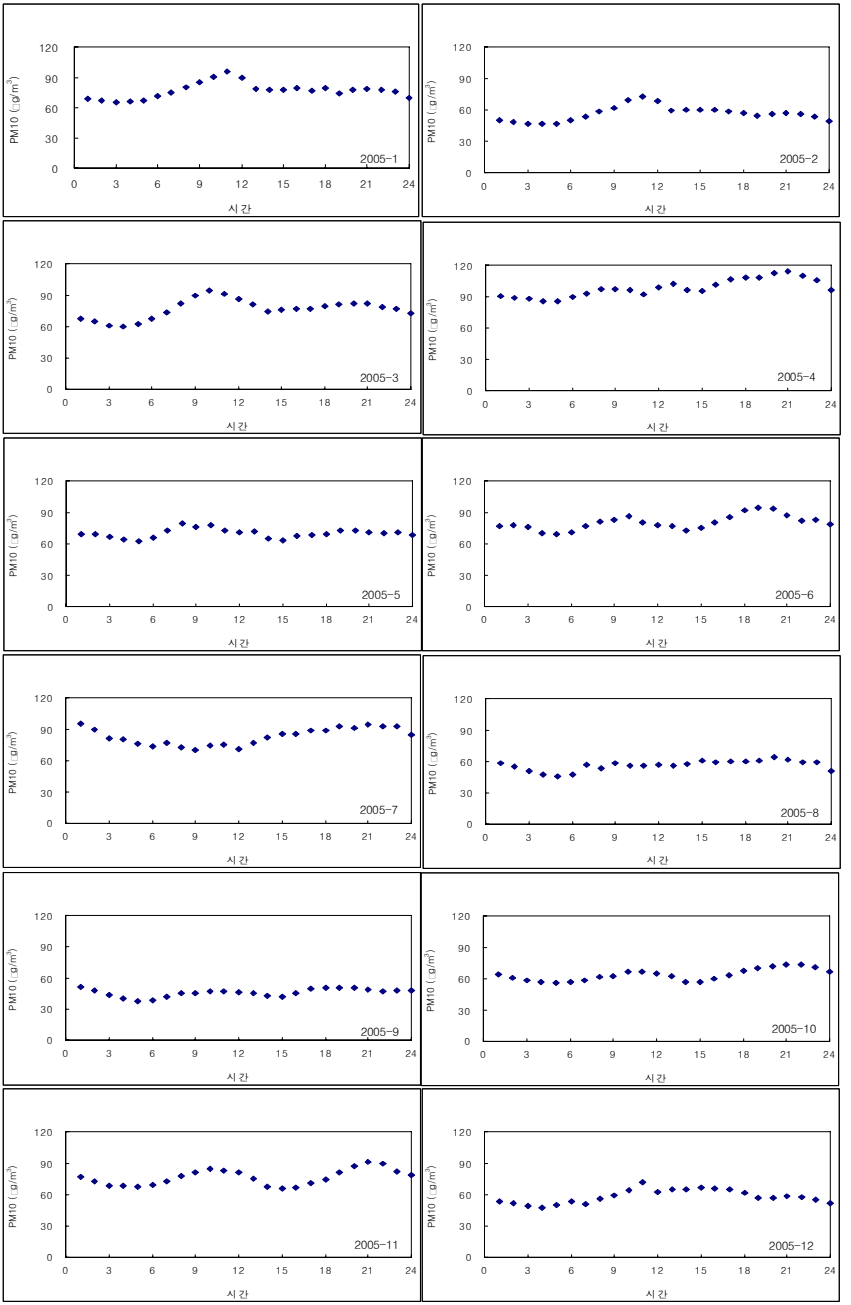
3) 시간평균 미세먼지 오염도 변화

〈그림 4-5〉에 일간 미세먼지 오염도를 도로변 측정망의 7개 자료를 이용하여 24시간을 기준으로 나타내었다. 대부분의 계절에서 오전 6시를 전후로 PM10의 농도가 증가하고 13시를 기점으로 감소하며 18시부터 다시 증가하는 경향이 반복된다. 이러한 변화는 두 가지의 현상과 연계할 수 있다. 먼저 계절별 변화가 교통량에 영향을 받듯이 시간별 변화도 교통량에 영향을 받는다는 것이다. 〈그림 4-6〉은 시간대별 교통량의 변화로서 6시부터 증가해서 9시에 정점에 이르고 이후 일정수준을 유지하다가 19시부터 감소함을 보여준다. 시간계수는 (시간평균교통량)/(연간시간평균교통량)을 의미한다. 아침의 가파른 상승은 높은 상대습도와 〈그림 4-7〉과 같은 안정한 대기 상태에서 더욱 커질 수 있다(박과 김, 2001). 반대로 오후에 높은 미세먼지 농도를 유지하거나 더 증가하는 경향을 나타낼 때도 있다. 이는 수분을 흡수하여 성장한 입자가 기온이 상승하여 상대습도가 낮아져도 수분을 쉽게 방출하지 않아(Seinfeld and Pandis, 1998), 빛 소산에 유효한 크기[3]를 유지함으로써 오후에도 PM10 값이 낮아지지 않는 이유가 될 수 있다. 또한 잘 알려진 바와 같이 여름철 오후에는 광화학 반응에 의해 생성된 미세입자가 PM10농도를 증가시킬 수 있다.

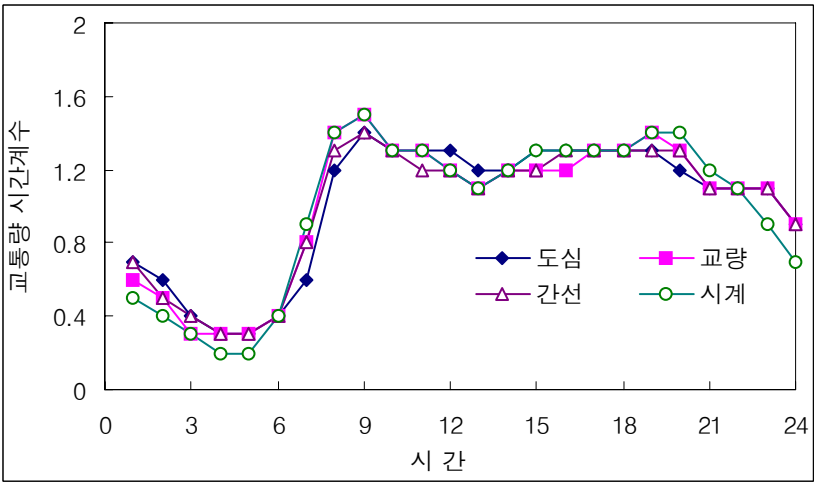
이상의 분석결과로부터 도로청소와 같은 인위적인 방법으로 미세먼지의 제거를 고려한다면 바람에 의한 확산이 적고 교통량도 적은 오전 6시 이전이 청소작업에 수월하고 지표면에 집적된 미세먼지를 효과적으로 제거할 수 있다고 판단된다.

---

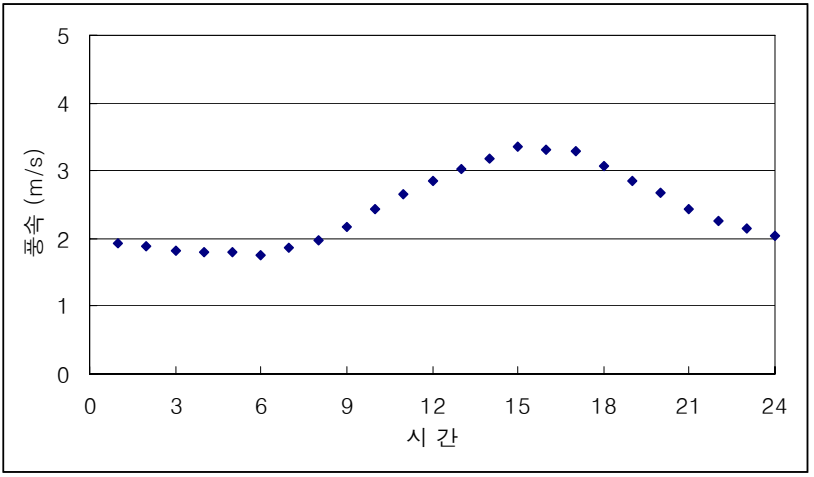
3) 낮에 소멸되는 안개와 다른 입자임.



〈그림 4-5〉 도로변 측정소의 시간대별 월평균 PM10 농도



〈그림 4-6〉 서울의 시간대별 교통 특성(2005년)



〈그림 4-7〉 서울의 시간대별 연평균 풍속(2005년)

제 2 절 도로청소와 수질오염과의 관련성

1. 도로에서 발생하는 수질오염물질

도로에 퇴적된 토사에는 순수 토사, 연소 불연물, 타이어 마모물, 낙엽, 인위적 투기물 등이 혼재한다. 서울과 같은 대도시의 경우 도로가 거의 불투수층으로 되어 있기 때문에 강우시 대부분의 노면 퇴적물이 하수도를 통해 하수처리장으로 유입된다. 그러나 강우에 의한 유입량이 하수처리장 처리용량을 초과하는 경우에는 노면 퇴적물은 처리과정 없이 일시에 공공수역으로 유입됨으로서 소위 비점오염원으로 작용하게 된다. 〈표 4-7〉에 나타난 비점오염원의 배출원단위를 보면 도시지역은 단위면적당 오염부하가 가장 크며 전통적인 오염물질 뿐만 아니라 각종 유독성 물질을 함유하고 있어 수질에 끼치는 영향이 매우 크다는 것을 보여준다.

〈표 4-7〉 토지이용별 비점오염원 배출 원단위

[단위:㎏/ha/yr]

구분	SS	BOD	COD	T-P	T-N
도시	929.0	313.6	388.7	7.66	49.98
논	71.8	8.4	22.6	2.22	23.93
밭	293.4	5.8	16.5	0.87	34.45
목장용지	933.8	128.0	264.1	6.29	19.61
산지	38.5	3.4	9.3	0.52	8.02

자료: 국립환경연구원(1993)

도로 토사는 많은 유기물을 함유하고 있기 때문에 하천으로 유입될 경우 하천의 용존산소를 저하시켜 물고기 폐사 등 하천 수질사고를 유발시키기도 한다. 따라서 도로 토사는 진공청소차량을 이용하여 오염물 자체를 폐기물 처리 경로로 이동시키거나 평상시에 하수도로 유출을 유도하여 단번에 하천으로 유입되는 것을 최소화할 필요가 있다. 이러한 방법에 의해서 도시 비점오염원의 15~25%를 줄일 수 있다는 보고도 있다(최룡, 2003). 특히 불투수층이 많아 초기우수처

리기능이 미약한 서울의 하수도체계에서는 가로청소의 역할이 매우 중요하다고 한다. 다음은 도로에 기인하는 대표적인 수질오염물질들이다.

1) 유사(流砂)

강우시 지표면의 먼지나 유실된 토양은 하천에 유입되어 유사라고 하는 오염물질을 형성한다. 이러한 유사는 물에 부유된 형태로 수질에 직접 영향을 주는 부유사(wash load)가 되었다가 바닥에 가라앉으면 하천 바닥의 생물서식 공간을 부적합하게 만드는 소유사(bed laod)가 되기도 한다.

이러한 유사는 부유되면 하천과 호수의 탁도를 증가시켜 빛의 투과성을 감소시킴으로써 조류 등 수중생물의 1차 생산을 저해하고, 바닥에 침적되면 그곳에 서식하는 패류의 서식처를 오염시킨다. 또한 유사는 각종 오염물질의 이송매개체로써 박테리아 등 수중 미생물은 물론이고 영양물질이나 독성물질을 흡착해서 이동시키는 매체로 작용하기도 한다.

2) 영양염류

도시지역의 지표면에 쌓인 먼지에는 다량의 질소와 인이 함유되어 있다. 일반적으로 하천에 유입된 영양염류는 낮은 농도일 경우에는 수중 식물과 조류의 생장에 필요한 영양물질이 되지만 다량 유입되면 조류의 과다번식을 유도하여 야간에 물의 용존산소를 고갈시키는 원인이 되기도 한다.

3) 중금속류

도로에 축적된 분진은 구리, 납, 아연, 니켈, 크롬 등 유해한 중금속류를 함유하고 있다. 강우시 유출되는 초기 우수에는 도로 먼지가 다량 포함되어 위와 같은 중금속류들의 농도가 높게 나타나며 이들 중금속류 이외에도 세균, 바이러스와 같은 병원미생물과 벤조피렌 등과 같은 유해화학물질 등도 포함되어 있다. 이들은 수중 생물체내에 축적되고 먹이사슬을 통해 인체로 이동하여 중독을 일으키기도 한다.

2. 물고기 폐사 사고

서울 도심의 중랑천과 청계천의 생태계가 회복되면서 물고기 서식이 많아지고 하천변을 산책하거나 운동하는 시민들도 늘고 있다. 그러나 수질오염으로 인한 물고기의 대량 폐사사고가 발생하여 시민들에게 충격을 주기도 한다. 2000년 4월부터 6월까지 3차례에 걸친 중랑천 물고기 폐사사고와 2006년에 발생한 청계천 수질사고는 그 원인이 비점오염원이라고 밝혀졌기에 그 내용을 아래에 정리하였다.

1) 중랑천 물고기 사고

중랑하수처리장 방류구 하류 살곶이 다리(한양대학교 앞)에서 2000년 4월 21일에 물고기 10만여 마리가 떠오르는 사고가 발생하였다. 이때 초기강우는 9㎜였으며 중랑하수처리장에 유입된 14만톤(시설용량 7만톤) 중 7만톤은 1차 침전지만 거친 후 중랑천에 방류되었다. 물고기가 폐사한 원인은 갈수기에 도로, 하수관거 등에 많이 퇴적되어 있던 오염물질들이 소나기성 강우에 의해 중랑천으로 다량 유입되어 하천의 용존산소를 고갈시켰기 때문으로 밝혀졌다.

중랑천 군자교 하류(낙차공 상류)에서는 2000년 6월 9일과 10일에 연이어 낙차공을 거슬러 올라온 산란기 잉어류가 다량 폐사하는 사고가 발생하였다. 이때의 중랑천 유역의 초기강우는 각각 20㎜, 12㎜였으며 위의 살곶이 다리 사고와 마찬가지로 도로, 하수관거 등의 비점오염원과 중랑하수처리장 미처리수로 인해 수질이 급격히 저하되어 물고기 폐사가 발생했다고 한다.

2) 청계천 물고기 사고

청계천이 복원된 후 첫 번째 갈수기인 2006년 6월 8일에 물고기 폐사사고가 발생하였다. 이날 오전 11시 30분경에 10분 동안 4.5㎜의 집중호우가 발생하여 하수도로 유입되는 빗물이 급격히 증가하였다. 11시 40분경부터 삼각동에 위치한 하수박스의 수문을 시작으로 하수박스로부터 청계천으로 오수가 포함된 우수

가 유입되기 시작하였다. 이로부터 약 2시간 후인 오후 1시 50분경에 오수간교-비우당교구간에서 어류가 폐사하는 사고가 처음 발생하였으며, 그 이후 오후 5시 30분경에 영도교-무학교 구간에서도 어류의 집단 폐사현상이 재현되었다. 삼각동과 마천동 부근에서 배출되는 하수와 수온이 높은 초기 강우가 물고기에게 쇼크로 작용하고 아가미에 부유물질이 협착됨에 의해 물고기 폐사 현상이 발생했다고 한다.

제 3 절 도로청소의 오염물질 제거 특성

1. 진공청소에 의해 제거된 토사의 성분

1) 제거토사의 성분

〈그림 4-8〉은 강남구 진공청소차량이 흡입한 쓰레기와 토사로 매립지로 가기 전 적환장에 투하되어 있는 모습이다. 페트병과 나뭇가지와 같은 큰 쓰레기에서부터 매우 미세한 입자에 이르기까지 다양한 크기의 도로 퇴적물들이 진공청소차량에 의해 제거되었음을 보여준다. 진공청소 차량이 도로에서 작업을 할 때는 브러시와 노면이 마찰하면서 발생하는 먼지를 줄이고자 브러시 바로 위에서 물을 뿌리기 때문에 제거된 쓰레기에는 수분을 많이 포함하고 있다.

청소 쓰레기 중 포장재와 같이 인위적으로 버려진 쓰레기를 제외하고 중량으로 대부분을 차지하는 주로 토사로 이루어진 성분을 채취하여 성분분석에 사용하였다. 큰 쓰레기를 제외시킨 것은 수질오염이든, 대기오염이든 주로 작은 입자의 쓰레기에 의해 유발된다고 선행 연구들이 밝혔기 때문이다. 분석결과는 〈표 4-8〉와 같이 유기물 함량 4.4%, 아연 639㎎/㎏등 이었고 용출시험에서는 질소 8.9~9.2㎎/㎏, 인 0.3~0.4㎎/g의 농도를 보였다.[4)]

---

4) 서울특별시 보건환경연구원에 의뢰하여 분석한 것임.

〈그림 4-8〉 진공청소차량에 의해 제거된 도로 쓰레기

〈표 4-8〉 진공청소에 의해 제거된 토사의 오염도

항목		농도
토양 분석	수분 함량	13.0%
	유기물 함량(강열감량)	4.4%
	Pb	6.65㎎/㎏
	Zn	639.4㎎/㎏
용출분석	질소	8.9-9.2㎎/㎏
	인	0.3-0.4㎎/g

2) 제거토사의 입도 분석

진공청소차량에 흡입된 토사에 존재하는 미세먼지를 확인하고자 채취시료에 대해 체분석을 실시하였다. 〈표 4-9〉는 그 결과이며, 1㎜이상(중량기준 35.7%)과 600㎛이하(중량기준 49.1%)의 입자가 대부분을 차지하고 있다. 이 중 미세먼

지의 부분을 파악하고자 300㎛미만의 체분석물을 대상으로 기계적 방식으로 입자를 측정하였다. 측정에는 Mastersizer Micro(0.3-300㎛ 측정범위)가 사용되었고, 측정결과는 부피비와 개수비로 표현되었다.

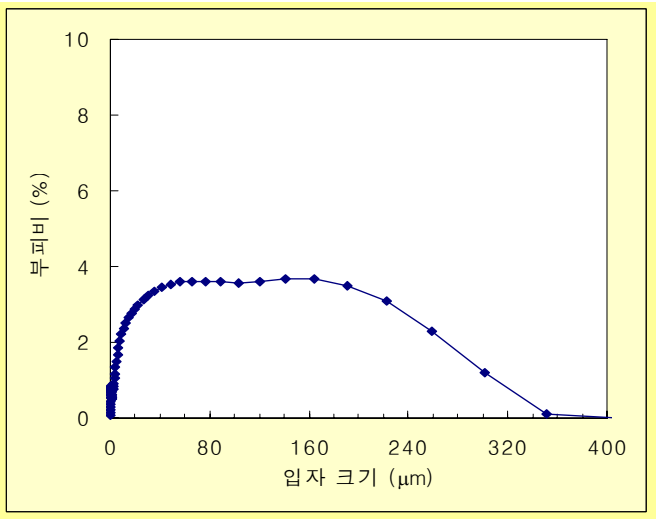
〈표 4-9〉 진공청소차량에 흡입된 토사의 입도 분포(체분석)

구분	1㎜ 이상	850㎛-1㎜	600㎛-500㎛	300㎛-600㎛	300㎛미만
중량비	35.7	5.5	9.7	25.4	23.7

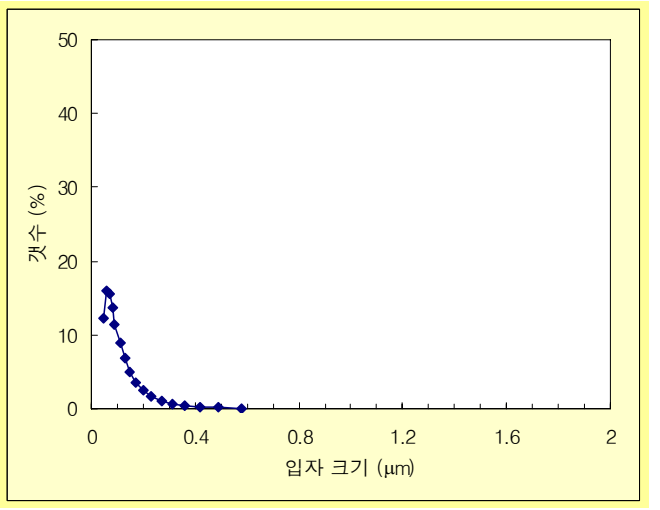
〈그림 4-9〉는 300㎛미만 입자들의 입경별 부피비이다. 그림에 따를 경우 40~200㎛ 범위의 입자들이 대부분을 차지하고 있다. 한편 곡선의 하단을 적분하면 미세먼지에 해당하는 10㎛ 이하 입자들의 부피비를 산출할 수 있는데, 300㎛미만의 입자 중 2.1%가 직경 10㎛미만인 것으로 계산되었다. 입자크기에 따라 오염물질의 성분이 다르다고 이미 언급하였듯이 도로에 퇴적된 토사들은 입자의 크기에 따라 비중이 다를 수 있으나 그러한 가능성을 무시하면 부피비가 곧 무게비가 됨으로 전체 토사 중 직경 10㎛의 무게를 쉽게 산정할 수 있다. 즉, 〈표 4-8〉에서 300㎛미만 입자들의 무게가 23.7%라 하였으므로 전체 토사 중 직경 10㎛이하 입자들이 차지하는 무게비는 0.5%[5]이다.

〈그림 4-10〉은 300㎛미만 입자들을 개수비로 나타낸 것인데, 거의 대부분이 직경 10㎛미만의 미세먼지임을 알 수 있다. 직경 100㎛인 입자가 동일한 무게를 유지하면서 직경 10㎛인 입자로 분쇄되면 1,000개, 1㎛인 입자로 분쇄되면 1백만개의 입자가 만들어지게 된다. 이러한 의미에서 무게비 0.5%는 결코 무시할 수준이 아님을 알 수 있다.

5) 23.7% × 2.1% = 0.5%



〈그림 4-9〉 300㎛이하 토사의 입도 분포(부피비)



〈그림 4-10〉 300㎛이하 토사의 입도 분포(갯수비)

2. 물청소 유출수의 성분

1) 물청소 유출수의 오염물질

보통 진공청소는 큰 입자를 제거하고 물청소는 작은 먼지를 제거하기 위해 실시한다. 〈그림 4-11〉은 물청소에 의해 도로위의 먼지들이 물에 씻겨 물과 함께 빗물받이로 흘러가는 모습을 보여주고 있다.

[시청앞 광장]

[압구정로]

〈그림 4-11〉 물청소 후 빗물받이로 유입되는 유출수

〈그림 4-11〉의 상단 그림은 시청앞 광장에서 2006년 3월 3일에 청소하는 모습을 촬영한 것으로 많은 양의 먼지가 물과 함께 빗물받이로 흘러들고 있다. 촬영 전후로 전날인 2일에는 서울에 1.0㎜의 강우가 있었고 전전날인 1일에는 3.8㎜의 강우가 있었다. 양이 적은 강우지만 청소전에 2일 연속 비가 왔음에도 불구라고 직후의 물청소시 많은 먼지가 씻겨나가는 것을 보면 강수량이 적은 강우는 도로 세척 기능이 매우 약하거나 많은 양의 매일 먼지가 매일 도로에 쌓이기 때문으로 판단된다.

〈그림 4-11〉의 하단 사진은 새벽 1시와 오후 3시, 하루 두 번 물청소를 하는 강남구 압구정로에서 오후 3시에 물청소를 할 때의 유출수 모습이다. 빗물받이로 흘러드는 물이 시청앞 광장에서의 유출수보다 깨끗한 상태를 보이고 있는데, 상대적으로 잦은 물청소에 의해 도로면이 깨끗이 유지되고 있기 때문일 것이다.

물청소과정에서 도로에 살수된 물은 일반살수차량의 경우 빗물받이로 바로 흘러들고, 살수회수차량의 경우 차량으로 흡입된 후에 빗물받이로 투입된다. 이때 발생하는 물을 채취하여 수질을 분석한 결과를 〈표 4-10〉에 정리했다. 일반살수차량의 시료는 강남구 압구정로의 빗물받이 유출수이고 살수회수차량의 시료는 종로구 세종로의 살수회수차량 흡입탱크의 물을 빗물받이에 버릴 때 채취했다.

〈표 4-10〉 물청소에 사용하는 지하수와 유출수의 수질

[단위:㎎/ℓ]

구분	일반물청소차량		살수회수차량	
	지하수(신사공원)	유출수	지하수(지하철역사)	유출수
COD	0.5	55.2	2.5	208.7
총질소	0.97	3.968	4.214	15.696
총인	불검출	0.662	0.062	0.749
아연	0.036	0.081	0.007	0.645
납	불검출	불검출	불검출	불검출

살수회수차량의 시료가 일반물청소차량의 시료보다 심한 오염을 보였는데 두 가지 이유에 기인하는 것 같다. 첫째, 살수회수차량은 일반물청소차량보다 적은 양의 물을 살포하기 때문에 희석이 덜 된다. 일반물청소차량은 물을 빗물받이로 많이 유출시켜야 청소효과가 발휘되지만 살수회수차량은 다시 흡입하기 때문에 물 양이 상대적으로 적게 소요된다. 둘째, 일반물청소차량의 시료채취지역은 1일 2회 물청소를 실시하고 살수회수차량지역은 1일 1회 물청소를 하고 있어서 일반물청소지역의 노면이 상대적으로 깨끗하게 유지될 가능성이 높다.

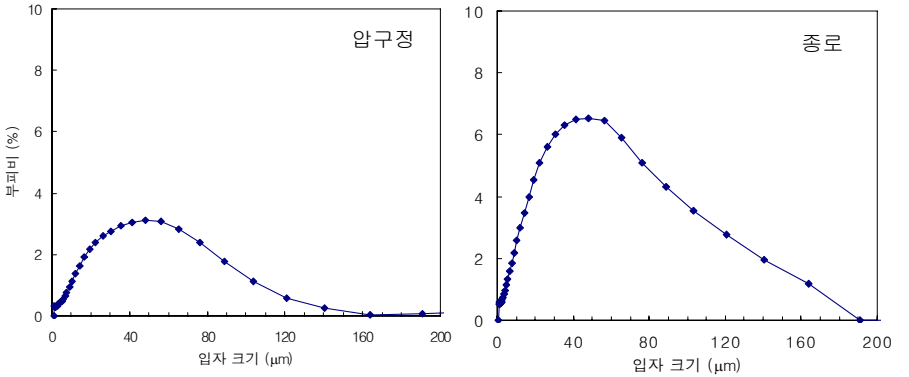
〈표 4-10〉의 수질에서 또 다른 특징은 유출수에서 아연함량이 급증한다는 점이다. 구본상 등(1998)의 연구에서도 타이어 마모, 브레이크 라이닝 마로, 윤활유 등의 사용에 의해 고속도로 주변 토양의 아연농도가 높았다고 한다. 이러한 결과는 자동차에서 배출된 오염물질들이 물청소에 의해 제거된다는 것을 분명하게 보여준다고 할 수 있다.

도로물청소에 사용되는 지하수의 수질을 보면 유기물과 인의 경우 상수원수 2급 정도의 수질에 해당되나 질소는 강남구의 경우 공업용수 1급, 종로구의 경우 공업용수 3급에도 미치지 못하는 것으로 나타났다. 도로의 물청소에 사용되는 물은 직접 시민이 접할 가능성이 있으므로 용수의 수질기준 마련도 중요하다고 판단된다.

2) 물청소 유출수의 입도 분포

도로물청소에 의해 제거되는 입자의 크기는 어떤 방법으로도 정확히 측정하기 어렵다. 특히 미세먼지의 경우 용존성 입자가 전체의 30%정도 차지한다고 하니 물속에 있는 입자를 측정할 때는 그 만큼의 입자수가 측정되지 않을 수도 있다. 또한 미세먼지가 물을 흡수하여 크기가 커지는 현상(일명 swelling 현상)이 발생할 때는 실제 크기보다 과대평가될 수도 있다. 이러한 제한 요건이 있으나 물청소로 미세먼지가 제거되는지를 확인하기 위하여 살수된 물이 빗물받이로 유출될 때의 물속의 입자 상태를 분석하였다. 우선 물청소에 사용되는 원수의

입자분포를 분석하였는데 입도분석기의 측정범위 내에 해당하는 입자는 거의 없는 것으로 나타났다.

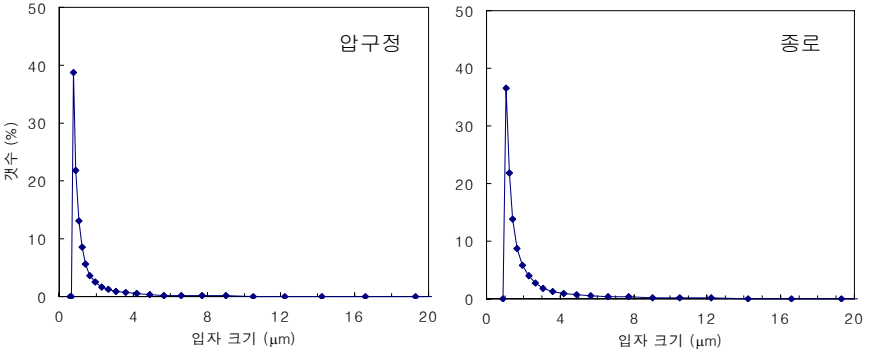


〈그림 4-12〉 물청소 후 유출수의 입도 분포(부피비)

<그림 4-12>는 도로물청소에 의해 빗물받이로 유출되는 미세입자들의 직경별 분포를 부피비로 보여주고 있다. 압구정에서 채취한 시료이든 종로에서 채취한 시료이든 물청소에 의해 제거되는 입자의 크기는 직경 200㎛이하이며, 부피비에서 직경 40~60㎛ 입자들이 가장 많이 차지하는 것으로 나타났다. 이는 40~200㎛라는 넓은 범위의 입자들이 대부분을 차지하던 300㎛미만의 진공청소 물질의 입도분포와는 다른 특성이다.

<그림 4-13>은 물청소에 의해 제거되는 입자들의 갯수비를 보여주고 있는데, 유효하게 인정받는 크기는 직경 20㎛이하이고 가장 많은 입자의 크기는 1~2㎛이다. 한편 <그림 4-12>에서 10㎛이하 입자의 부피비를 산출한 결과, 전체 입자 중 1.55%이고, 살수 후에 빗물받이로 유입되는 유출수의 총고형물(TS)양을 별도로 측정하였더니 2g/ℓ였다. 이를 바탕으로 빗물받이로 유입되는 청소수의 직경 10㎛이하의 입자량을 산출하면 31㎎/ℓ가 된다[6]. 이 결과는 도로물청소의 미세먼지 제거효과 산정에 활용할 수 있다.

6) 2g/ℓ × 1.55% = 31㎎/ℓ



〈그림 4-13〉 물청소 후 유출수의 입자 분포(갯수비)

지금까지의 분석을 통하여 다음과 같은 중요한 결과들을 도출할 수 있다. 첫째, 진공청소는 눈으로 식별되는 토사는 물론이고 미세먼지와 같은 작은 입자도 함께 제거하고 특히 청소과정에서의 먼지 비산을 막기 위한 적당량의 물 살포에 의해 그 효과가 더 크게 나타나는 것 같다. 둘째, 충분한 양의 물을 살수할 때 발생하는 유출수는 미세입자의 세류효과가 있으며 부피면에서는 200㎛이하, 크기면에서는 20㎛이하의 입자를 주로 제거된다. 셋째, 도로물청소는 세류가능한 미세입자들의 제거에 활용하고 진공청소는 모든 크기의 쓰레기제거에 사용하는 등 두 가지 방법을 조합하여 사용함으로서 청소효과를 높일 가능성이 크다.

제 4 절 도로청소의 오염물질 제거 효과

1. 미세먼지 제거 효과

진공청소와 물청소 모두 직경 10㎛미만의 입자, 즉 미세먼지에 해당하는 먼지들의 제거효과가 있음을 이미 확인하였고, 도로청소의 방법에 따라 서울에서 어느 정도의 미세먼지가 제거되는가를 정량적으로 평가할 수 있도록 산출기초자료도 확보하였다. 우선 2005년의 도로청소에서 제거량을 평가하였다. 2005년에 각 자치구는 1일 1회 정도의 빈도로 도로물청소를 하였으며, 여기에 1,280,665

톤의 물을 사용하였다. 이 물량에 빗물받이로의 유출수의 10㎛이하 고형물농도 31㎎/ℓ 를 곱하면 연간 39.7톤이 제거된 것으로 계산된다.[7] 한편 각 자치구들은 1일 1.5회 정도의 빈도로 측구를 진공청소하였고, 여기에서 수거된 토사량은 13,268톤이었다. 토사의 0.5%에 해당하는 양이 직경 10㎛이하라는 분석결과는 이미 제시했다. 결국 진공청소에 의해 2005년에 제거된 미세먼지량은 66.3톤이라는 결과가 쉽게 산출된다.[8]

김운수(2004)는 2002년을 기준으로 한 서울의 대기 중 미세먼지의 출처분석에서 도로에 침적되어 있다가 재비산되는 양(이하 도로재비산량)이 연간 18,836톤, 차량의 연료연소와 타이어의 마모에 의해 생성되는 양(이하 차량생성량)이 연간 7,154톤이라고 하였다. 결국 2005년에 진공청소와 물청소라는 두 가지의 도로청소를 통하여 제거되는 미세먼지량은 106톤이며, 이는 도로재비산량의 0.56%, 차량생성량의 1.48%에 해당된다. 그리고 2005년의 청소방식에서는 진공청소에 의한 미세먼저 제거량이 물청소에 의한 제거량보다 많다는 점도 특기할 만하다.

다음으로는 청소를 강화할 때의 효과를 분석하였다. 물청소의 경우 2005년의 1일 측구 1회에서 도로전면 2회로 강화하였다. 이 경우 2005년보다 10배 이상 늘어난 406톤이 제거되는 것으로 나타났다. 진공청소도 2005년 1일 측구 1.5회에서 1일 측구 3회 또는 1주 전면 3회로 강화하면 2005년 진공청소보다 2배 늘어난 130톤이 제거될 것으로 예측되었다. 결국 청소를 강화하면 미세먼지의 제거량도 늘어남을 그리고 이렇게 청소가 강화되면 도로재비산량 기준 2.85%, 차량생성량 기준 7.5% 제거효과가 있음을 보였다.

이상의 분석결과는 〈표 4-11〉에 정리하였다.

---

7) 물속의 고체량은 채취된 물을 건조시켜 용존성인 부분까지 모두 고체화하여 측정한 것으로 평균 2g/ℓ이었으며, 입자분석을 통해 그 중 1.55%가 10㎛이하로 나타나 미세먼지농도는 31㎎/ℓ임. 2005년에 서울시에서 사용한 물의 양은 1,280,665톤이며, 따라서 이 물에 의해 제거되는 미세먼지량은 39.7톤/년으로 계산됨.

8) 2005년 진공청소에 의해 제거되는 토사의 량이 13,268톤이고 입자분석을 통해 이 중 0.5%가 10㎛이하로 나타나 미세먼지농도량은 66.3톤/년임.

〈표 4-11〉 도로청소에 의해 제거되는 미세먼지량

구분	청소 방법	미세먼지 제거량 (톤/년)	제거량 비교(%)	
			도로 재비산량 기준 (18,836톤/년)[9]	차량생성량 기준 (7,154톤/년)[4]
2005년	물청소 (1일 측구 1회)	39.7	0.21	0.55
	진공청소 (1일 측구 1.5회)	66.3	0.35	0.93
	합계	106.0	0.56	1.48
청소 강화	물청소 (1일 전면2회)	405.9	2.15	5.67
	진공청소 (1주 전면3회)	130.3	0.69	1.82
	합계	536.2	2.85	7.5

〈표 4-11〉의 물청소에 의한 미세먼지 제거량은 빗물받이로 흘러드는 물을 채취하여 물속의 미세먼지양을 분석하고 2005년에 서울시에서 물청소에 사용한 물의 양과 결합시켜 계산된 값이다.

그러나 강우에 의한 자연적인 제거효과를 감안하면 도로청소의 실제 미세먼지 제거효과는 〈표 4-11〉의 제거량 비교(%)보다 더 크다고 할 수 있다. 강우는 물청소보다 더 광범위하고 강력한 먼지제거 효과를 가지는데 2004년의 경우 연간 강우일수가 100일에 달하고 10㎜이상의 많은 비가 내린 강우일수도 28일에 이른다. 10㎜이상의 강우는 그동안 누적된 도로위의 먼지를 대부분 씻어냈을 것이다. 이렇게 자연 강우에 의해 주기적으로 먼지가 제거되면 물청소는 강우시기와 강우시기 사이에 쌓이거나 배출된 먼지를 제거하는 역할을 할 수 밖에 없고, 청소대상량은 〈표 4-11〉의 도로재비산량이나 자동차생성량보다 훨씬 적어 진다. 결국 줄어든 도로재비산량이나 차량생성량을 기준으로 도로청소에 의해 제거된 미세먼지량을 비교하면 〈표 4-11〉의 결과보다 훨씬 높은 비율로 제거되었다고 계산될 것이다.

9) 김운수(2004)의 연구결과, 2002년 기준 산출량임

〈표 4-12〉 서울의 연간 강우 특성

연도	연 강우량	강우일수	10㎜이상 연속강우일수
1991	1,158	99	22
1992	1,455	115	28
1993	1,293	109	27
1994	1,056	98	19
1995	1,599	111	21
1996	1,257	102	23
1997	1,210	102	25
1998	2,349	119	27
1999	1,733	97	25
2000	1,157	94	18
2001	1,386	91	16
2002	1,388	107	21
2003	2,012	128	34
2004	1,499	100	28
평균			23.9

각 자치구에서 운행하고 있는 청소차량은 대부분 5톤이 넘는 대형 경유 차량이다. 진공청소와 물청소가 모두 미세먼지 제거효과가 있다고 하였지만 반대로 청소장비들이 청소를 통해 제거하는 양보다 더 많은 미세먼지를 발생시킬 수도 있다. 만약 이러한 상황이 발생한다면 도로청소의 미세먼지 제거효과는 전혀 무의미해지기 때문에 이를 확인하기 위해 청소차량이 만들어내는 미세먼지량을 산출해보았다.

국립환경과학원(2005)에서 이동오염원 대기오염물질 배출량을 산정하기 위하여 각 배출원별로 배출계수 산정식을 제시한 것에 의하면 경유를 연료로 하는 대형화물차의 경우(1998~2001년식) 다음과 같은 식을 적용하게 된다.

$$Y = 2.282 \times V^{-0.4494}$$

여기서 Y는 배출계수로 단위는 g/㎞이고, V는 속도(㎞/h)이다.

청소차량은 운행하면서 노면을 청소하기 때문에 적정 운행속도가 있으며 그 속도를 10㎞/h[10]로 본다면 Y는 0.811g에 해당한다. 하루에 30㎞를 운행한다고

하면 24g의 미세먼지를 배출한다고 할 수 있다. 중구의 경우 2005년 3월에 진공청소차량 한대가 하루에 수거하는 노면 토사량은 253kg이었다. 이 토사의 0.5%를 미세먼지라고 하면 1,265g의 미세먼지를 제거하게 된다. 결국 진공청소차량은 1.9개의 미세먼지를 생성하면서 100개의 미세먼지를 제거함으로 또 다른 오염원으로 작용하지는 않음을 알 수 있다.

2. 빗물 오염 저감 효과

도로청소 중 진공청소는 노면의 퇴적물을 제거함으로서 강우시 퇴적물이 수계로 유출되는 것을 원천적으로 막고, 물청소는 퇴적물을 평소에 하수도로 유출시켜 공공하수도시설에서 처리되게 함에 의해 강우시 집중 유출을 억제한다고 이미 기술하였다. 그리고 진공청소에 의해 제거된 토사의 성분과 빗물받이로 유입되는 유출수의 수질도 이미 제시하였다. 이러한 자료와 2005년 각 자치구들의 청소실적을 토대로 COD, T-N, T-P의 제거량을 평가하였다. COD의 경우 물청소에 의해서는 연간 71톤, 진공청소에 의해서는 423톤이 제거되는 것으로 나타났다. 한편 2005년 중랑하수처리장[11]에 청천시[12]보다 강우시[13]에 추가 유입되는 에 유입되는 양(이하 중랑추가유입량[14])은 COD 1,008톤, T-N 411톤, T-P 52톤이라고 한다. 이 양과 2005년의 도로청소에 의해 제거된 빗물오염저감량을

---

10) 물청소, 진공청소 모두 10㎞/h의 주행속도가 적정함.

11) 현재는 중랑물재생센터로 불리고 있음.

12) 비가 오지 않은 날(강우시를 제외한 날)

13) 비가 온 날과 그 다음날

14) 서울시의 하수관거는 대부분 합류식 관거로 강우시 도로에 내린 빗물과 함께 도로에 있던 오염물질이 하수관거로 유입되어 청천시보다 높은 오염농도의 하수가 하수처리장으로 유입됨. 따라서 강우시 하수처리장의 추가유입부하량은 강우시 유입부하량에서 청천시 유입부하량을 제외하여 계산됨. 2005년 추가부하량은 강우가 있었던 100일에 대해 계산하였음. COD의 경우 강우시 유입부하량 11,081톤에서 청천시 유입부하량 10,073톤(청천시 일평균 유입부하량은 100.73톤/일 × 100일)을 제외하면 1,007톤이었음. 같은 방법으로 T-N 추가부하량은 411톤(강우시 5,407톤-청천시 4,996톤), T-P 추가부하량은 52톤(강우시 551톤-499톤)으로 산정됨.

비교하면 COD의 경우 물청소에 의해 7%, 진공청소에 의해 49%인 것으로 나타났다. 그리고 물청소를 1일에 도로전면에 대해 2회로, 진공청소를 1일에 측구 3회 또는 1주 도로전면 3회로 강화하면 COD의 제거량이 각각 10배, 2배 증가하고, 중랑추가유입량과 비교하면 각각 72%, 82%, 두 가지 청소방법이 병행되면 153%에 이르는 것으로 나타났다. 이상의 결과와 함께 T-N, T-P에 대한 분석결과를 〈표 4-12〉에 정리하였다.[15]

도로청소에 의해 도시 비점오염원의 15~30%를 줄일 수 있다는 주장(최롱, 2003)이 있었지만 본 연구에서도 빗물부하저감 또는 비점오염원에 의한 수질부하의 저감에 기여함을 확인할 수 있었고, 도로청소가 강화되면 오염물질의 제거량이 더 많아진다는 점도 계산을 통해 유추할 수 있었다.

〈표 4-13〉 도로청소에 의한 빗물오염 저감량

구분	청소방법	제거량 (톤/연)			중랑물재생센터 추가유입량 기준 (%)		
		COD	T-N	T-P	COD (1,008톤)	T-N (411톤)	T-P (52톤)
2005	물청소 (1일 측구 1회)	70.7	8.1	0.8	7.0	1.97	1.54
	진공청소 제거 (1일 측구 1.5회)	422.7	0.12	4.64	41.9	0.03	8.91
	합계	493.4	8.22	5.44	49.0	2.00	10.44
청소 강화	물청소 (1일 전면 2회)	722.8	66.5	11.1	71.7	16.16	21.31
	진공청소 (1주 전면 3회)	823.7	0.24	9.12	81.7	0.06	17.50
	합계	1,546.5	66.74	20.22	153.4	16.22	38.81

15) 물청소와 진공청소에 의해 제거되는 오염물질의 양은 COD 493.4톤, T-N 8.22톤, T-P 5.44톤임. 2005년 강우시 중랑물재생센터로 유입된 추가부하량이 COD 1,007.9톤, T-N 411.4톤, T-P 52.1톤이므로 도로청소 제거량은 추가유입량의 각각 49.0%, 2%, 10.44%를 차지함. 도로청소를 강화하여 물청소를 하루에 전면2회, 진공청소를 일주일에 전면 3회를 실시하면 이때 제거되는 연간 오염물질은 COD 1,546.5톤, T-N 66.7톤, T-P 20.22톤으로 강우시 중랑물재생센터로 유입되는 추가부하량의 각각 153.4%, 16.2%, 38.8%에 해당됨.

제Ⅴ장 도로청소 방안

제1절 정책 방향
제2절 서울시 도로청소 방법
제3절 장비 소요량
제4절 소요 용수량 및 확보 방안
제5절 기타 저변정비 방안

제V장 도로 청소 방안

제 1 절 정책 방향

서울은 오래전부터 도로청소를 실시해 왔다. 초기에는 인력에만 의존하다가 점차 차도청소의 장비가 진공청소차량으로 교체되기 시작했다. 최근에는 물청소 차량도 등장하여 도로 곳곳에 물을 뿌리고 있다. 물청소는 쓰레기와 토사만 치우던 도로청소에서 청량감을 주는 도로청소로 한발 더 나아가기 위한 시도에서 비롯되었다. 그런데 도로청소의 효과를 미세먼지 저감 및 수질부하 저감 측면에서 살펴본 결과, 진공청소이든 물청소이든 기존의 청소방법에서도 이미 효과를 발휘하고 있었고 도로청소를 강화하면 그 효과도 더 커지는 것으로 분석되었다. 사실 타이완을 비롯한 몇몇 외국에서도 도로의 청소의 이러한 효과, 특히 대기중의 먼지와 관련된 부분에 대해서는 규명이 된 바 있었다.

장비의 발달이 자연스럽게 도로청소방법의 발전으로 이어지고 시민들의 환경에 대한 관심이 도로청소영역의 확대를 가져오는 등 도로청소분야는 이미 서서히 변화하고 있었다. 기본기능인 도시 청결을 보장하면서 대기, 수질 모두에 유익한 도로청소분야에 대해 앞으로 더 많은 기대와 변화 요구가 있을 전망이다. 그러나 변화는 장비, 인력, 재원 소비를 수반하고 경우에 따라서는 새로운 장비를 개발하면서 시민의 불편도 감수해야 하는 상황이 있을 수 있다. 때문에 다음과 같이 도로청소에 대해 보다 명확하면서 장기적인 방향설정이 필요하다고 본다.

첫째, 도로청소는 도시미화라는 본연의 임무에 충실하면서 동시에 대기환경 및 수질보전에도 협력하여 시민들이 쾌적한 공간에서 생활하고 건강한 생태계가 유지되도록 한다.

수도권에서 미세먼지는 많은 사람들의 조기사망의 원인으로 지목되고 있다. 이에 수도권대기개선특별법이 만들어지는 등 종합적인 대책이 마련되고 있다. 도시의 하천들은 복원과 정화를 통해 시민들이 찾고 즐기는 하천으로 변모하고

있다. 시민들은 깨끗한 물이 흐르는 공간을 원한다. 그럼에도 가끔 물고기들이 떼죽음 당해 시민들에게 충격을 주는 일들이 발생하고 있다. 도로청소의 미세먼지 및 수질오염물질의 제거효과와 청소가 강화될 때 효과도 확대되는 것을 이미 확인했다. 현재의 청소구역에 대해서는 강화된 청소와 함께 인력청소, 진공청소, 물청소 등의 합리적인 조합이 필요하고, 현재 청소구역이 아닌 12m이하의 도로와 골목길에 대해서도 공공청소를 확대해 갈 필요가 있다.

둘째, 통일된 청소방법이 필요하다.

도시미화를 염두에 둔 시기에 도로청소는 가로휴지통을 비우고 측구의 쓰레기를 치우는 수준에서, 자치단체의 재정여건이 허락하면 더 많은 인력과 장비를 투입하는 등 자치단체별로 나름대로의 기준에 의해 움직였다. 그러나 대기환경과 수질보전에도 기여하기 위해서는 분명한 효과를 발휘할 수 있는 청소방법을 모든 자치단체들이 이행해 주어야 한다. 장비마다 적합한 사용 장소와 바른 사용법이 있고, 시간에 따라서도 효과가 다를 수 있기 때문이다. 통일된 청소방법을 마련하기 위해서는 〈표 5-1〉과 같은 현재 개발되어 있는 장비와 그 특성을 정확히 파악해야 한다.

셋째, 서울시와 자치구의 공동협력이 필요하다.

지금까지 도로청소는 자치단체장의 책무로 여겼고, 인력과 장비를 자치단체에서 확보하고 활용하였다. 도로청소는 청소사업의 일환이었고 청소사업은 자치단체장의 고유 책무이니 어쩌면 당연한 현상이었다. 그러나 이제는 광역정부인 서울시도 일정부분의 역할을 담당해야 한다. 도로청소의 목적을 폐기물관리에서 대기환경 및 수질환경의 보전으로 확장할 충분한 이유와 효과를 가지고 있기 때문이다. 예산 지원은 물론이고 효과적인 장비개발과 같은 기술지원, 필요한 사항을 조례로 정하기 위한 준칙마련 등의 업무를 담당해 주어야 한다.

넷째, 지구 환경의 보호에도 일조해야 한다.

이산화탄소 등 온실가스의 축적에 의해 지구의 온도가 매해 상승하고 있다고 한다. 미국을 제외한 선진국들은 이미 감축사업에 착수하였고 우리나라도

2013년부터는 감축대상국에 포함될 가능성이 높다. 한편 세계는 에너지 확보에 비상이 걸렸다. 화석연료의 부존량이 한계를 보이는 것도 이유지만 중국, 인도 등 신흥경제대국이 향후 엄청난 양의 에너지를 소비할 것이라는 전망 때문이다. 한편에서는 줄이는 방법을 찾고, 다른 한편에서는 대체에너지 또는 새로운 에너지를 찾고 있다. 청소차량은 대부분의 에너지를 화석연료인 경유에 의존한다. 〈표 5-1〉에 나타낸 바와 같이 일반살수차량은 1㎞의 도로청소에 0.564리터, 살수회수차량은 0.753리터를 소비한다. 동일한 효과를 가지고 있는 경우에는 보다 에너지 소비 또는 온실가스의 발생이 적은 방법을 선택해야 할 것이다.

〈표 5-1〉 현재 개발되어 있는 청소장비의 특징

장비	역할	비고
진공청소차량	•쓰레기에서 먼지까지 다양한 이물질 제거 •모든 도로에 적용	•수거물을 폐기물처리경로에서 처리 •폭이 제한되고 속도 느림(시간당 10㎞이하) •주차 도로 청소 불가
일반살수차량	•직경 60㎛이하 입자 주로 제거 •구배형성 도로에 유리	•미세입자를 하수처리장으로 분산 유입 •상대적으로 많은 물 사용 •시간당 15㎞이하의 작업 속도 •주차 도로 부분 청소 가능 •1㎞ 청소에 0.564리터 경유 소비
살수회수차량	•직경 60㎛이상의 입자도 제거 가능 •광로, 구배불량 도로에 유리	•용수 절약 가능 •회수 용수의 적절한 처리 문제 상존 •시간당 15㎞이하의 작업 속도 •주차 도로 부분 청소 가능 •1㎞ 청소에 0.753리터 경유 소비
고정식 살수장치	•직경 60㎛이하 입자 주로 제거 •교통혼잡도로, 구배형성 도로에 유리	•미세입자를 하수처리장으로 분산 유입 •교통 방해 최소화 •시설 파손 등에 대한 철저한 대책 필요 •주차 무관
브러시 장착	•도로 찌든 때 제거 •강우시에 효과적	•살수차량 등에 부착 가능

제 2 절 서울시 도로청소 방법

현재 각 구의 도로청소방법을 보면 자치구의 인력과 장비를 최대한 활용하고 있으나 2장의 청소현황에서 나타나듯 자치구마다 많은 차이를 보이고 있다. 이는 도로청소에 대한 의지, 재정여건, 도로여건 등이 모두 다르고 서울에 공통적으로 적용할 도로청소기준이 설정되어 있지 않기 때문이다. 따라서 지금까지의 분석결과 등을 바탕으로 서울특별시 도로청소기준을 제안하고자 한다.

1. 공통 기준

1) 12m이상의 차량도로와 그에 부속된 인도는 기계장비와 인력을 이용하여 쓰레기와 입자상 물질을 청소한다. 차도는 주로 기계장비를 이용하여 청소하고, 인력은 측구의 눈에 띠는 쓰레기 제거 및 인도 청소를 담당한다. 기타 사고잔재물이나 불법투기물의 수거와 같은 경우에만 인력의 차도진입을 허용해서 안전사고를 미연에 방지한다.

2) 차도청소는 진공청소와 물청소를 조합해서 실시한다. 진공청소는 쓰레기로부터 먼지의 제거, 물청소는 주로 먼지제거를 담당한다. 쓰레기와 토사는 측구와 중앙선 측의 화단경계에, 먼지는 도로 전면에 누적되는 특성을 반영하여 진공청소장비와 물청소장비의 담당노면을 정한다.

3) 진공청소와 물청소는 1일 2회 실시[16]하며 구체적인 청소방법은 개별 기준에 따른다. 많은 비가 내린 다음날, 살수장치가 결빙될 수 있는 기온, 노면 결빙이나 제설시, 일요일 및 법정 휴식일 등에는 물청소의 중지 등

16) 야간과 새벽에는 차량통행이 원활하여 빠른 속도로 청소가 가능하고 기층이 안정되어 미세먼지의 제거 및 먼지발생 억제에 효과적임. 따라서 도로청소는 야간 및 새벽에 주로 실시해야 함. 그렇지만 야간에 주정차 차량에 의해 청소하지 못하는 구역이 있고 교통 및 상업 중심지역은 도로가 쉽게 오염되기 때문에 주간에도 또 한번 청소를 할 필요가 있음. 결국 야간에 전면청소(1회), 주간에 보완청소(2회)가 이루어지는 형태임.

청소방법의 변경이 가능하다.

4) 장마철과 같이 장기간 많은 강우가 있는 시기에는 브러시 장착장비를 가동하여 노면의 찌든 때를 제거한다. 강우시에는 물의 살포가 불필요하다.

5) 고정식 살수장치는 시범시설을 설치 운영하여 효용성을 검토하고 확인되면 확대한다[17].

6) 장기적으로 인도와 부속 시설물 그리고 이면도로에 대해서도 물청소의 도입을 추진한다.

2. 진공청소 기준

1) 야간청소(1회 청소)는 차량통행이 원활하고 기층이 안정된 시기인 전일 23시부터 당일 6시에 중앙선측과 측구만의 노면을 대상으로 실시한다.

2) 주간청소(2회 청소)는 상가 및 오피스 밀집지역, 전철역사 주위 등 중심지역의 도로와 야간청소시 불법 주정차 차량에 의해 청소하지 못한 도로나 면을 대상으로 당일 9~13시에 측구측의 노면을 대상으로 실시한다.

3) 물청소와 공조작업을 할 때는 진공청소차량이 선행하고 물청소차량이 뒤따르는 대형을 유지하여 각 장비의 성능이 충분하게 발휘되도록 한다.

4) 진공청소를 할 때 작업속도는 차량 제작사의 권장 사양을 따르되 시간당 10㎞이하 등 충분한 시간을 보장하여 청소효과가 충분히 발휘되도록 한다[18].

---

17) 고정식 살수장치는 교통체증을 유발하지 않고 수시로 청소가 가능하기 때문에 교통량이 많은 대로 또는 광로에 적합한 도로 물청소 장치임. 그러나 도로면이 굴곡져 있거나 노면의 경사가 자연유하에 부적합하면 물의 흐름이 원활하지 않아 청소효과가 반감되거나 물 튀김에 대한 불만이 제기될 수 있음. 관료 폐색이나 살수기 부분의 부품 망실에 의해 물이 살포되지 않으면 공공사업에 대한 불신을 초래할 수 있다는 점도 불안요소 중 하나임.

18) 시간당 15㎞의 속도로 청소하는 사례들도 있으나 대체로 시간당 10㎞의 속도가 진공청소작업에 적합하다고 함.

5) 진공청소를 할 때도 적절한 양의 물을 분무하여 청소과정에서 먼지의 비산을 줄이고 다시 대기 중으로 방출되는 미세먼지의 양을 최소화한다.

6) 많은 비가 내린 다음날, 노면 결빙이나 제설시, 일요일 및 법정 휴식일 등에는 물청소의 중지 등 청소방법의 변경이 가능하다. 단, 노즐이 결빙되어 먼지발생을 막을 수 없는 경우에도 청소가 필요할 때는 물의 분사 없이 도로청소를 실시한다.

3. 물청소 기준

1) 야간청소(1회 청소)는 차량통행이 원활하고 기층이 안정된 전일 23시부터 당일 6시에 모든 노면을 대상으로 실시하며, 측면 물분사장치를 적극 활용하여 주정차 차량이 있는 구역도 청소누락이 최소화되도록 한다.

2) 주간청소(2회 청소)는 상가 및 오피스 밀집지역, 전철역사 주위 등 중심지역의 도로와 야간청소에서 주정차 차량에 의해 청소하지 못한 노면을 대상으로 당일 9~13시에 측구에 대해서만 실시한다.

3) 미세먼지 제거를 위해 충분한 양의 물을 살수한다. 단순살수차량의 경우에는 적어도 노면 1㎢당 480㎥이상의 물을 살수하거나 물 1㎥으로 600m 이내의 차선(폭 3.5m)을 청소한다.[19] 살수회수차량의 경우에는 이 보다 적은 양의 살수도 가능하다.

4) 여러 대의 차량이 공동으로 물청소를 할 때는 중앙선 측의 차량이 선두, 측구 측 차량이 후미 대형을 유지하여 도로구배를 따라 물이 잘 흐르도록 하고, 차량 간에 충분한 공간을 두어 교통흐름의 방해를 최소화한다.

5) 깨끗한 물을 청소용수로 확보하여 시민들의 불안감을 줄이고 살수장치의

19) 강우시에 노면 저류량은 1㎢당 120㎥이고 이 이상의 강우량이 되어야 빗물이 밖으로 유출된다고 함. 서울의 도로는 편도 3~4차선의 도로도 많기 때문에 적어도 노면 저류량의 4배 이상이 되어야 노면의 먼지를 하수도로 유출시킬 수 있음.

폐색과 같은 부작용도 최소화한다.[20]

6) 많은 비가 내린 다음날, 영상 5℃미만의 기온[21], 노면 결빙이나 제설시, 일요일 및 법정 휴식일 등에는 물청소의 중지 또는 청소시간의 제한이나 변경 등 청소방법의 변경이 가능하다.

제 3 절 장비 소요량

1. 진공청소 차량

진공청소의 대상은 폭 12m 이상의 도로 1,793㎞의 중앙선 측과 측구측 노면이며, 본 연구에서 야간과 주간에 청소할 것을 제안하였다. 야간에 전체 청소구역을 대상으로 청소하고 주간에는 보완청소를 실시함으로 야간청소에 필요한 장비량만 확보하면 된다.

청소인력이 하루에 일하는 시간은 7시간(8시간 근무시간중 매시간 마다 10분의 휴식시간 인정)으로 하였으며, 진공청소를 하면서 이동하는 최적의 속도는 청소기준에서 적시한 바와 같이 시간당 10㎞을 적용하였다. 다음은 강남구를 대상으로 하여 필요한 진공청소차량의 대수를 산정하는 예를 보여주고 있다.

[진공청소차량 산정예(강남구)] ·····

- 1대당 1일 작업연장 : 70㎞

---

20) 물청소에서 사용된 물 중 유출수 이외의 물은 결국 도로위에서 마르게 됨. 만약 청소용수에 유해한 성분이 있다면 그것이 자체 휘발 또는 먼지와 함께 비산되어 나쁜 영향을 미칠 수 있음. 청소과정에서 물튀김 때문에 민원을 제기하는 시민들도 있음. 또 나쁜 물은 진공청소이든 물청소이든 고형입자나 스케일형성에 의해 분사장치를 막아 장비의 고장을 유발하는 경우도 빈번함. 깨끗한 용수가 필요함.

21) 일반적으로 결빙은 영하의 날씨에서 나타나지만 청소차량의 노즐부분이 외기에 노출된 채 주행하면 3~4℃의 기온에서도 결빙현상이 나타난다고 함. 또한 평균 기온이 낮은 영상일 때는 건물에 의해 응달이 지는 곳에 결빙이 일어날 수 있기 때문에 사고예방차원에서 겨울철의 물청소는 주의해서 시행할 필요가 있음. 이러한 기간은 차량의 정비 또는 수리 등에 활용해야 함.

10㎞/hr × 7hr = 70㎞

- 소요 대수 : 7대

121㎞ × 4 ÷ 70㎞ = 6.9 (7대)

……

같은 방식으로 서울시 25개 자치구를 대상으로 소요량을 산출한 결과, 〈표 5-2〉와 같이 102대의 차량이 필요하다. 현재 각 자치구의 전체적인 보유량이 133대라고 하니 본 연구의 청소기준을 이행하기 위해 추가적으로 진공청소장비를 구입할 필요는 없는 것 같다. 대부분의 자치구가 필수 수요를 초과하여 장비를 갖추고 있기 때문에 문제가 없는 듯 하나 용산구와 같이 소량 부족한 자치구도 눈에 띈다.

〈표 5-2〉 본 연구의 청소기준을 이행하기 위한 진공청소차량 소요량

구분	청소대상(12m이상 도로)		소요대수	
	연장(㎞)	면적(㎢)	현재 보유량 (2005)	본 연구 방법 (측구, 중앙 1회)
종로구	61.1	1.5	4	4
중 구	45.7	1.2	7	3
용산구	82.0	2.2	4	5
성동구	73.7	1.7	5	4
광진구	56.5	1.4	3	3
동대문	69.4	1.7	6	4
중랑구	66.5	1.4	4	4
성북구	74.5	1.6	6	4
강북구	43.5	0.9	5	2
도봉구	46.4	1.1	4	3
노원구	101.9	2.4	5	6
은평구	54.1	1.4	7	3
서대문	55.0	1.4	4	3
마포구	89.8	2.3	5	5
양천구	43.2	1.2	4	2
강서구	102.4	2.6	7	6
구로구	61.2	1.7	5	4
금천구	43.2	1.0	3	2

영등포	101.1	2.6	6	6
동작구	59.6	1.5	5	3
관악구	50.3	1.2	4	3
서초구	113.6	3.3	8	6
강남구	120.7	3.5	7	7
송파구	106.0	2.9	9	6
강동구	71.6	1.8	6	4
계	1,793	45.5	133	102

2. 물청소 차량

물청소차량은 진공청소차량과는 달리 청소용수의 급수원이 어느 정도 많이 확보되어 있느냐, 충분하게 큰 청소차량을 확보하느냐 등 물을 뿌리는 여건보다 오히려 외부적인 여건에 의해 장비 소요량이 크게 영향을 받는다. 물청소차량의 모든 작업 단계의 시간을 측정한 결과, 아래와 같은 청소제원이 산출되었다. 〈그림 5-1〉은 급수원에서 물청소차량에 물을 공급하는 일명 충수과정을 보여주고 있다.

〈그림 5-1〉 물청소차량의 충수 과정

[현장조사에서 나타난 물청소 제원] ·····

- 살수 폭 : 3.5m
- 살수 중 이동속도 : 12.5㎞/hr
- 물 운반 중 이동속도 : 50㎞/hr
- 살수속도 : 20.8㎥/hr
- 물 충진 속도 : 2분/㎥
- 현 급수지 : 47개
- 서울시 12m 이상 도로 연장 : 1,793㎞

·····

위의 물청소제원을 이용하여 물청소차량의 소요량을 산정한 예를 강남구를 대상으로 아래에 정리하였다. 강남구의 경우 16톤 차량을 이용하면 26대, 7.5톤 차량을 이용하면 36대의 차량이 필요하다는 것을 계산결과는 보여주고 있다. 결국 차량수는 운전인력의 수요와도 직결됨으로 대형차량을 이용하는 편이 유리하겠지만 도로여건이 대형차량의 이용에 불편할 수도 있기 때문에 지역의 도로여건을 감안하여 적정규모의 차량을 선정해야 할 것이다. 한편 아래의 계산예는 급수원까지의 거리가 평균 10㎞일 때의 결과이다. 만약 1㎞이내에 급수원이 있다면 이동시간이 3분 이내, 충분한 급수원에 의한 대기시간의 단축(현재는 20분에서 5분이내)에 의해 청소차량의 수요가 급감하여 강남구의 경우 16톤 차량은 15대, 7.5톤 차량은 16대가 필요하게 된다. 또다른 중요한 사실은 충수를 위한 이동시간이 줄기 때문에 어느 도로여건에서도 쉽게 활용할 수 있는 16톤 차량과 거의 같은 수량의 7.5톤 차량으로 물청소를 할 수 있다는 점이다. 강남구의 경우 현재 6대의 물청소 차량을 확보하고 있는데, 이러한 수준의 장비에 의해서는 도로전면의 1회 청소가 아니라 측구의 1회 청소에도 벅차다.

[물청소차량 소요량 계산예(강남구)] ·····

〈예1. 16톤 차량〉

- 차량 1대당 1회 작업 소요 시간

  급수지까지 이동하는 평균 거리 : 1,793㎞ ÷ 47개 ÷ 2 = 19㎞

  물 충진 이동시간 : 19㎞ ÷ 50㎞/hr = 23min

  대기 시간 : 20min

  물 충진 시간 : 2분/㎥ × 16㎥ = 32min

  살수 시간 : 16㎥ ÷ 20.8㎥/hr = 46min

  전체 : 23 + 20 + 32 + 46 = 121min

- 1일 작업량

  8hr ÷ 121min = 4회/일

  3.5m × 12.5㎞/hr × 46min × 4회/일 = 0.133㎢/일

- 소요대수

  3.5㎢ ÷ 0.133㎢/일 = 26대

〈예2. 7.5톤 차량〉

- 차량 1대당 1회 작업 소요 시간

  물 충진 이동시간 : 1,793㎞ ÷ 50㎞/hr ÷ 47개 ÷ 2 = 23min

  대기 시간 : 20min

  물 충진 시간 : 2분/㎥ × 7.5㎥ = 15min

  살수 시간 : 7.5㎥ ÷ 20.8㎥/hr = 22min

  전체 : 23 + 20 + 15 + 22 = 80min

- 1일 작업량

  8hr ÷ 80min = 6회/일

  3.5m × 12.5㎞/hr × 22min × 6회/일 = 0.096㎢/일

- 소요대수

  3.5㎢ ÷ 0.096㎢/일 = 36대

……

이상과 동일한 방식에 의해 모든 자치구를 대상으로 산정한 물청소차량 소요량을 〈표 5-3〉에 정리하였다. 현재와 같이 10㎞이내에 급수전이 있을 경우(총 47개소)에 본 연구에서 제안한 방법으로 청소하기 위해서는 16톤 차량 340대 또

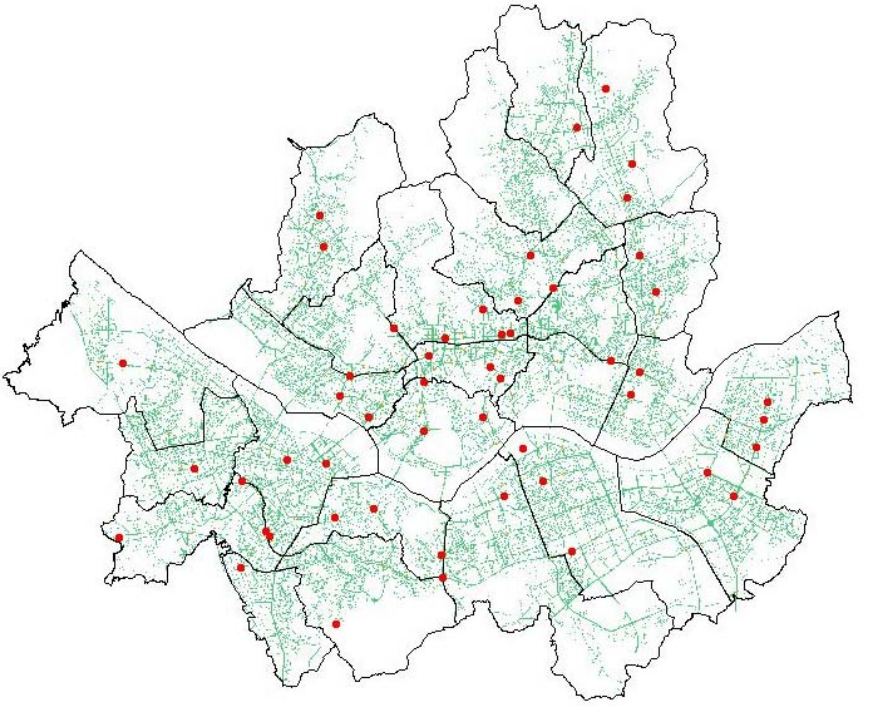
는 7.5톤 차량 476대가 필요한 것으로 나타났다. 그리고 급수전을 다량 확보하여 어느 작업지점에서든 1㎞이내에서 물을 충수할 수 있다면 16톤 차량의 경우 192대, 7.5톤의 경우 212대가 필요하다고 산출되었다.

〈표 5-3〉 본 연구의 청소기준을 이행하기 위한 물청소차량 소요량

구분	청소대상		소요대수				
	연장(㎞)	면적(㎢)	현재 (2005)	10㎞ 이내 급수전		1㎞이내 급수전	
				16톤 기준	7.5톤 기준	16톤 기준	7.5톤 기준
종로구	61.1	1.5	4	11	16	6	7
중 구	45.7	1.2	8	9	13	5	6
용산구	82.0	2.2	12	17	23	9	10
성동구	73.7	1.7	4	12	17	7	8
광진구	56.5	1.4	3	11	15	6	7
동대문	69.4	1.7	5	13	18	7	8
중랑구	66.5	1.4	4	10	14	6	6
성북구	74.5	1.6	5	12	16	7	7
강북구	43.5	0.9	4	7	10	4	4
도봉구	46.4	1.1	4	8	11	5	5
노원구	101.9	2.4	6	18	25	10	11
은평구	54.1	1.4	3	10	15	6	6
서대문	55.0	1.4	5	10	14	6	6
마포구	89.8	2.3	6	17	24	10	11
양천구	43.2	1.2	4	9	13	5	6
강서구	102.4	2.6	6	19	27	11	12
구로구	61.2	1.7	5	13	17	7	8
금천구	43.2	1.0	3	8	11	4	5
영등포	101.1	2.6	4	19	27	11	12
동작구	59.6	1.5	4	11	16	6	7
관악구	50.3	1.2	4	9	13	5	6
서초구	113.6	3.3	7	25	35	14	16
강남구	120.7	3.5	6	26	37	15	16
송파구	106.0	2.9	5	22	30	12	13
강동구	71.6	1.8	5	14	19	8	9
계	1,793	45.5	126	340	476	192	212

급수전을 어떻게 확보하든 현재의 장비로는 충분한 물청소를 하기 어렵기 때문에 물청소장비의 추가 확보가 필요한데, 급수전의 확보여부에 따라 추가량

은 크게 영향을 받으며, 급수전이 충분할 경우 어느 도로에도 활용이 용이한 7.5톤으로도 16톤 차량과 유사한 청소를 할 수 있음을 분석결과는 보여준다. 〈그림 5-2〉은 현재 각 자치구들이 확보하고 있는 47개소의 급수전의 위치이다.



〈그림 5-2〉 현재 활용중인 물청소용 급수전 위치

제 4 절 소요 용수량 및 확보 방안

1. 소요 용수량

청소기준에서 도로물청소에 필요한 물의 양은 도로 1㎢당 480㎥이상이라고 하였다. 그리고 야간에 폭 12m이상 도로의 전면을 물청소하고, 주간에는 측구만

물청소한다고 하였다. 이 조건에서 필요한 물의 양을 강남구를 예로 산정해보면 다음과 같이 1일 2,078㎥이 필요하다.

[물청소용수 소요량 계산예(강남구)] ·····

$$3.5㎢ \times 480㎥/㎢ + 121㎞ \times 480㎥/㎢ \times 0.0035㎞ \times 2 = 2,078\ ㎥$$

·····

동일한 방식으로 각 자치구에서 필요한 청소용수량을 산정하여 〈표 5-4〉에 정리했다. 2005년에는 1일 4,255㎥을 소비하였는데, 새로운 청소기준을 이행하기 위해서는 1일 27,775㎥, 청소일수를 300일로 가정하면 연간 833만톤이 필요하다. 각 구별로 보면 현재 사용량보다 3배에서 15배까지 더 필요하며, 서울시 전체적으로는 7배의 용수가 추가로 필요하다.

〈표 5-4〉 본 연구의 청소기준 이행을 위한 물청소용 용수량

	2005사용량(㎥/일)	소요용수량(㎥/일)	소요용수량/2005사용량
종로구	175	925	5
중 구	280	731	3
용산구	372	1,343	4
성동구	126	1,042	8
광진구	182	867	5
동대문	161	1,041	6
중랑구	119	876	7
성북구	175	1,003	6
강북구	74	595	8
도봉구	145	666	5
노원구	217	1,497	7
은평구	99	844	9
서대문	136	837	6
마포구	171	1,388	8
양천구	152	729	5

강서구	175	1,577	9
구로구	211	1,005	5
금천구	43	641	15
영등포	154	1,575	10
동작구	155	921	6
관악구	188	755	4
서초구	189	1,982	10
강남구	303	2,078	7
송파구	128	1,736	14
강동구	125	1,119	9
계	4,255	27,775	7

2. 청소용수 확보방안

〈표 5-3〉의 물청소차량 소요량에서 나타나듯 물청소에 필요한 물을 얼마나 근접한 곳에서 확보하느냐는 청소차량의 소요량에 직접적으로 영향을 미치고, 가까운 곳에서 확보할수록 7.5톤 차량과 같이 모든 도로에서 원활하게 청소작업을 할 수 있는 규모의 차량으로도 16톤 차량과 유사한 양의 청소를 할 수 있다고 이미 기술하였다. 또한 청소차량의 수는 운전원의 수를 의미함으로 청소차량이 줄면 인건비도 동시에 줄어들게 된다. 차량의 유지관리비 및 에너지 소비가 줄어드는 다른 측면의 편익도 분명 발생하게 된다.

현재 각 자치구들이 확보해서 활용하고 있는 급수전은 주로 지하철에서 흘러나오는 용출수와 자체적으로 개발한 지하수이며, 일부 지역에서는 정수장에서 발생하는 배출수도 활용한다고 한다. 그러나 이미 언급했듯이 관건은 최대한 가까운 곳에서 급수원을 확보하는 것이고, 가장 강력하게 고려할 수 있는 방안이 상수도에 연결된 소화전 또는 배수탑으로부터 공급받는 방안이다. 소화전을 포함하여 활용가능성이 있다고 판단되는 급수원의 특징은 〈표 5-5〉에 정리했다.

〈표 5-5〉 잠재적인 급수원과 특징

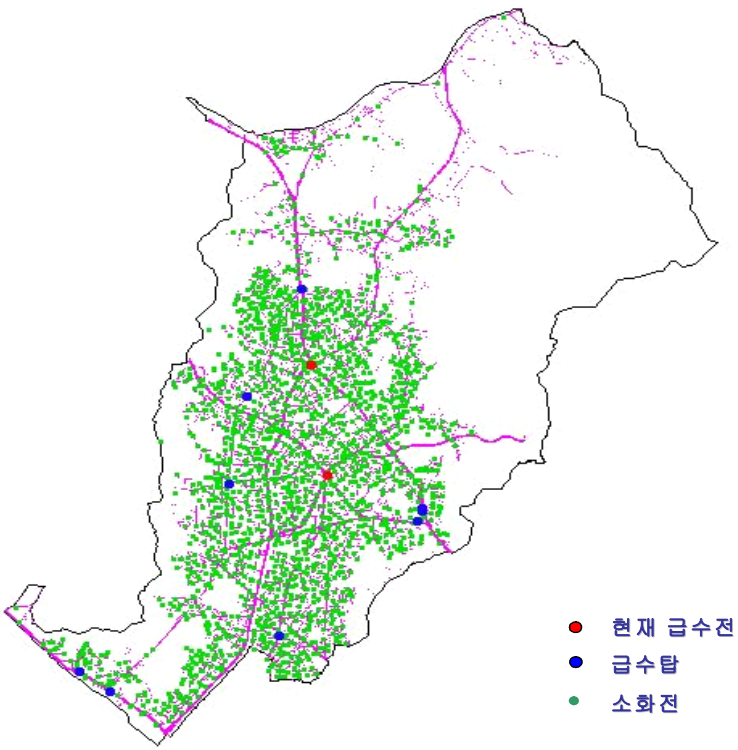
용수원	특징
지하철 용출수	•버려야 할 지하수를 효과적으로 활용 가능 •취수시설의 설치에 4천만원, 펌프교체(매4년) 5백만원, 1톤당 57원의 전기요금 및 0.4kw의 에너지 소비 •수질 불량, 특히 부유물이 많거나 경도가 높아 노즐의 폐색을 유발하는 경우도 있음.
하수처리장 고도처리수	•하수처리장 경내 청소를 위해 상시 생산 •수질 양호 •비용징수 여부는 별도 협의 필요 •서울에 4개소로 제한
개발 지하수	•1개 공의 개발에 6천만원, 펌프교체(매4년) 5백만원, 1톤당 57원의 전기요금 및 0.4kw의 에너지 소비 •개발의 여지가 없거나 수질이 좋지 못한 곳도 많음.
소화용수	•50,170개소의 소화전, 288개소 급수탑 산재 •동력이 불필요하고 충수속도 빠름(1분/톤, 지하철 지하수 등은 2분/톤) •외국에서는 상수도 수질유지차원에서 활용하고 국내에서도 야간 수질 악화 확인 •소방기본법 28조에 의거 정당한 사유가 있으면 사용 가능 •상수 1톤 생산에 0.3kw 전기 소비 •1톤당 1,200원 정도 용수비용 지불 필요

먼저 지하철 용출수의 경우는 어차피 버릴 물을 활용한다는 측면에서 긍정적인 반응을 얻었으며, 앞으로도 인근에서는 계속 활용되어야 할 것이다. 그러나 지하철 선로 및 역사 물청소의 필요성이 높아져 가면서 자체용수 수요가 늘고 있고 취수가 불편하여 앞으로 도로청소용으로서 추가 확보는 어려울 전망이다.

하수처리장 고도처리수는 시설내의 청소를 위해 하수처리수의 일부를 별도로 생산하여 활용하고 있는데, 수질이 만족되는 경우 시설 인근도로의 청소시에는 충분하게 활용할 수 있을 것이다.

개발지하수는 각 자치구들이 물청소를 위해 개발해 활용하는 상황이며, 초기 개발비만 부담하면 다음부터는 전기료와 펌프교체 등의 비교적 저렴한 비용으로 확보할 수 있는 급수원이다. 그러나 관정을 개발하지 못하는 지역도 많고 장기간 활용하면 수량이 고갈되며 수질이 나빠지는 지역도 많아 현재 개발된 것 이외의 개발은 활발하지 못할 전망이다. 그리고 지하수개발을 억제하는 것이 서울시의 지하수 환경 보전 방향임으로 공공기관이 스스로 이러한 원칙을 고수할 필요가 있다.

서울에는 약 5만개소의 소화전과 약 300개소의 급수탑이 그물망처럼 얽혀있다. 〈그림 5-3〉는 은평구에 설치된 급수탑과 소화전의 분포를 보여주고 있다. 소화전은 사실상 서울 어느 곳에서도 100m이내에서 찾을 수 있을 정도로 많다.



〈그림 5-3〉 은평구의 급수탑 분포

최근에 서울시는 소화전을 물청소용수로 사용하는 경우 어느 정도 물청소 시간을 단축할 수 있는지 확인하기 위해 〈그림 5-4〉과 같이 종로구와 중구를 대상으로 2006년 10월 10일부터 10월 23일까지 7.5톤 물청소차량으로 시범사업을 벌였다.

〈그림 5-4〉 소화전에서의 충수 과정

그 결과는 〈표 5-6〉에 정리했다. 급수지 1개소를 이용하는 경우와 소화전 18개소를 이용하는 경우의 물청소하는 시간을 비교한 결과, 표에서와 같이 이동시간과 대기시간이 각각 6.5배와 13.7배 감소되었다. 또한 충수시간도 지하수를 양수하는 현재의 급수원보다 상수 수압으로 물이 공급되는 소화전에서 2배가량 단축되어 전체적으로 10㎞이내에 있는 기존 급수정을 이용하는 경우 7.5톤 차량 1대의 물청소에 66분, 1㎞이내에 있는 소화전들을 활용하는 경우 21분 등 1/3의 시간만 소요되었다. 〈표 5-3〉에서 급수원의 거리가 줄면 7.5톤 차량이 2.3배 정도 감소(10㎞이내 476대, 1㎞이내 212대)한다고 하였는데 그 분석과도 대략 일치한다. 결론적으로 양질의 물을 가까운 곳에서 확보하기 어려운 서울에서 소화전은 도로물청소 용수를 확보하기 위한 잠재력이 매우 높은 급수원이다. 현장의

청소인력들의 반응도 매우 좋은데, 수질이 양호해서 노즐의 막힘 현상 등이 발생하지 않기 때문이라고 한다.

〈표 5-6〉 급수지의 거리에 따른 청소시간의 시범사업 결과

구분	이동시간	충수시간	대기시간	작업시간	전체(분)
10㎞이내	17	13.8	17.8	17	65.6
1㎞이내	2.6	6.5	1.3	10.9	21.3

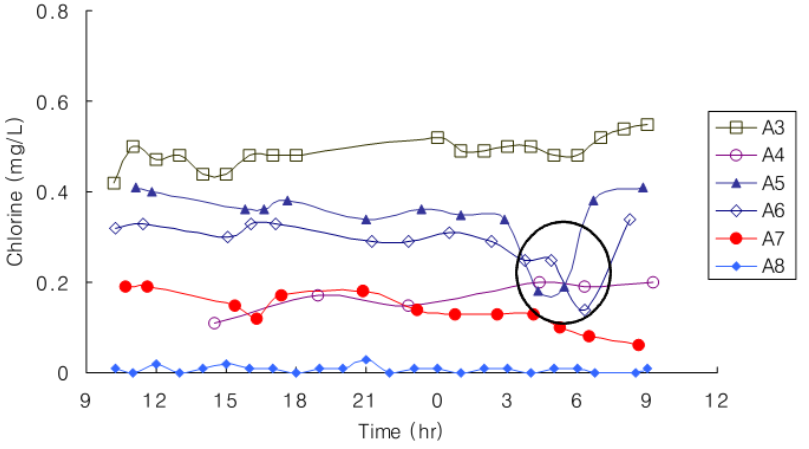
문제는 공공부분에서 상수를 도로청소에 사용한다는 도의적인 부담, 상수 1톤당 1,200원을 부담해야하는 재정적인 부담 등에서 발생한다. 물청소 용수를 모두 소화전에서 확보하면 수돗물 값이 연간 100억원 정도 소요될 전망이다. 그러나 소화전을 활용하면 〈표 5-7〉에서 보듯이 차량 감소로 인한 차량 구매비용과 인건비 절감 등의 편익이 145.8억원으로 나타나 물 값 100억원 지출해도 연간 45.8억원이 절감될 수 있다.

〈표 5-7〉 소화전 사용으로 인한 비용 절감 효과

비용증가요인	내용
추가 비용 100억원	• 수돗물 사용 비용 1,200원/톤 x 8,360,382 톤/년 = 100억원
편익 145.8억원	• 차량 감소량 : 264대 • 구매비용 절감: 264대 x 1억원 ÷ 6년(감가삼각) = 44억원 • 연인건비 절감: 264인 x 0.35억원 = 92.4억원 • 이동거리 단축에 의한 유류비 절감: = (19.1㎞x6회 - 1㎞x13.6회) × 300일 x 1.15리터 x 1,100원 = 0.4억원 • 차량 유지비 절감: 264대 x 1.5억원 x 9% = 9억원
편차	• 비용 - 편익 = 100억원 - 145.8억원 = -45.8억원

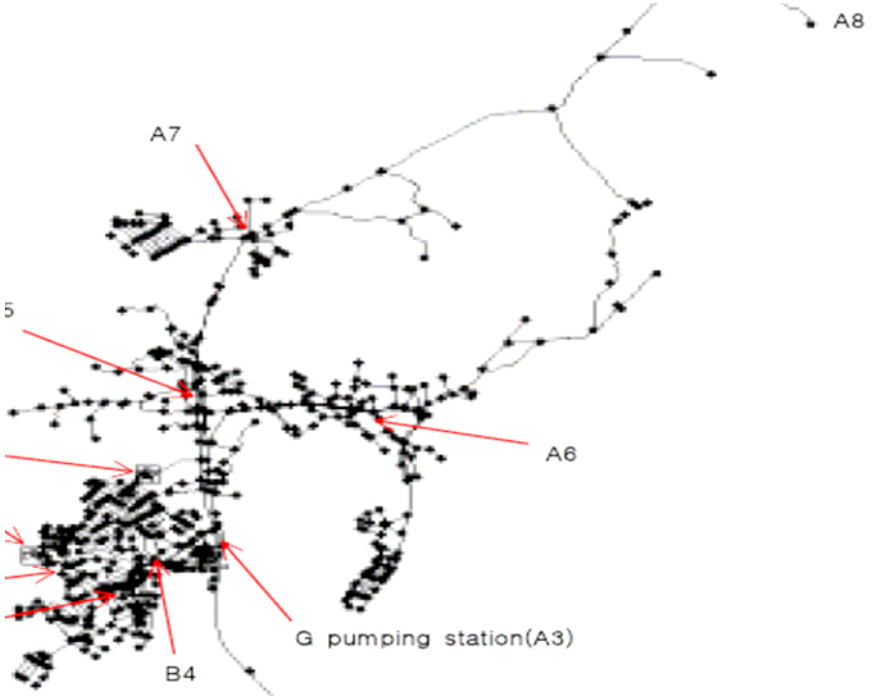
한편 수돗물의 사용을 전혀 다른 시각에서 바라볼 수 있는데 바로 수돗물의 수질을 유지하기 위해 정기적으로 물을 빼주는 외국의 사례가 있기 때문이다.

국외 연구에 의하면 상수의 안전한 이용을 위해 소화전에서 어느 정도의 물을 뽑아서 버리는 것이 유리하다고 한다. 관로에서 일정 시간이 지나면 수도관내에 잔류염소량이 부족하여 세균이나 바이러스 등이 서식할 수 있는 조건이 되기 때문에 상수관에서 오래 정체된 상수를 소화전을 통해 배출한다(flushing)는 것이다. 이미 설명하였듯이 미국 샌프란시스코는 소화전을 도로청소에 직접 활용하고 있다. 노스 캐롤라이나 지역도 소화전의 퇴수(water withdrawal)를 거리청소, 먼지저감, 하수관 청소 등에 사용하고 있다고 한다(w3). 안재찬(2005)의 연구에 따르면 국내에서도 〈그림 5-5〉의 A5와 A6에서 수돗물 이용이 적은 새벽에 잔류염소농도가 갑자기 낮아진다고 한다. 이 결과는 〈그림 5-6〉에서 보여지는 은평구 G정수장 수계 관말지역인 G가압장 배수지역에서 7월에 24시간 현장조사에서 나타났다.



〈그림 5-5〉 상수관망내의 잔류염소농도

자료 : 안재찬(2005)



〈그림 5-6〉 은평구 G가압장의 상수관망과 잔류염소농도측정을 위한 시료채취지점
자료 : 안재찬(2005)

한편 물청소용수는 마를 경우 청소용수에 함유된 물질이 비산해서 시민의 호흡기를 통해 섭취될 수 있는 가능성이 있기 때문에 질 좋은 물의 활용이 중요함을 이미 논했다. 〈표 5-8〉은 각종 처리수를 이용할 때 권고되는 수질기준을 정리하였다.

〈표 5-8〉 각종 청소용수의 기준

	하수처리수 용도별 재이용 수질 권고기준(안) [청소용수]	중수도 수질기준 [세차·청소용수]	일본 하수처리수 재이용 수질기준 [살수용수]
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.6
SS(㎎/ℓ)			
BOD(㎎/ℓ)	10 이하	10 이하	
COD(㎎/ℓ)	20 이하	20 이하	
DO(㎎/ℓ)			
탁도(NTU)	2 이하	2 이하	2 이하
잔류염소	0.2 이상	0.2 이상	유리잔류염소 0.1㎎/ℓ 또는 결합잔류염소 0.4㎎/ℓ이상
냄새	미불쾌	미불쾌	미불쾌
대장균 (개/100㎖)	불검출	불검출	불검출
외관		미불쾌	미불쾌
색도		20도 이하	이용자의 의향에 등에 따라 필요에 의해 기준치 설정
설치기준			모래여과시설 또는 동등이상의 기능을 가지는 시설을 설치할 것

이들 기준은 해당물을 처리하는 시설이나 처리자가 직접 사용하는 경우에 대하여 적용하도록 하고 있다. 따라서 수질기준이 그다지 엄격하지 않다. 그럼에도 대장균에 대해서는 매우 엄격한 기준이 적용되고 있다. 이러한 기준들을 모두 만족시키면서 공공부분에서 매일 도로에 살포하는 물로 사용하기 위해서는 적어도 하천수질환경기준상의 상수원수 2급[22]에 해당하는 물의 수질은 유지해

22) 상수원수 2급 : 침전여과등에 의한 일반적 정수처리 수 사용, COD 3㎎/ℓ이하, 총인 0.03㎎/ℓ, 총질소 0.4㎎/ℓ이하

야 할 것이다. 이러한 수질만 만족시킨다면 소화전에 우선하여 지하철 용출수, 개발지하수, 더 나아가 중수도 처리수도 활용할 수 있을 것이다.

제 5 절 기타 저변정비 방안

1. 서울시와 자치구의 역할분담

도로청소는 각 자치구의 고유역할이나 서울시 전체의 미세먼지 저감과 하천의 초기우수 오염량 저감은 서울시가 주도적으로 추진하는 사업이므로 자치구의 능력에 한계가 있다면 서울시가 역할을 분담해야 한다.

가장 시급한 것이 부족한 장비를 확보하는 것이다. 물청소 차량의 경우 16톤 차량 한 대당 1억5,000만원 정도가 소요되어 각 자치구의 입장에서 필요한 장비의 구입은 재정적으로 큰 부담일 수 있다. 장비뿐만이 아니고 인건비와 장비관리비도 결코 적지 않으며 이 비용이 장비구입비보다 더 클 수도 있다. 따라서 서울시가 장비를 구입하고 운영은 자치구에서 담당할 필요가 있다.

진공청소차량은 현재의 수준으로 청소가 가능하기 때문에 추가 비용이 발생하지 않으나 물청소차량은 현재 126대로 앞으로 소화전에서 물을 공급받고 16톤급으로 차량을 운행한다고 가정하여도 현재보다 66대의 차량이 더 소요된다. 이 때 발생하는 비용은 〈표 5-9〉과 같이 차량구매에 100억원, 인건비 연간 23억원, 차량유지비 연간 60억원, 기타 용수비 등 막대한 비용이 소요된다. 따라서 장비 확보 및 유지비, 용수확보비용은 서울시가 지원하고 인건비 등 나머지 비용은 자치구가 부담하는 등 〈표 5-10〉와 같이 서울시와 자치구의 역할분담이 필요하다.

〈표 5-9〉 물청소차량 증가로 인한 추가비용

비용증가요인	내용
물청소 차량 구매	• 추가 소요량 : 66대 • 구매비용 : 66대 x 1.5억원 = 99억원
운전원 인건비	• 추가 인력 : 66인 • 인건비 : 66인 x 0.35억원 = 23.1억원/연
차량 유지비	• 유류비 : 11,026㎞ x 300일 x 1.15리터 x 1,100원 = 42억원/연 • 유지비 : 66대 x 1.5억원 x 9% = 9억원/연
기타	• 용수확보비 - 지하수 : 1톤당 57원의 전기료 - 소화용수 : 1톤당 1,200원의 사용료

〈표 5-10〉 서울시와 자치구와의 도로청소 역할분담

서울시	자치구
-물청소 차량 구입비	-도로청소 수행
-진공청소차량의 메인브러쉬 교체비	-청소 장비 형식 선택
-물청소차량의 브러쉬 부착 및 교체비	-청소차량 운전원 인건비
-지하수 및 지하철 용출수 양수시설 설치비	-서울시 지원 부분외 여타 차량 유지비
-소화용수를 사용하는 자치구의 상수사용료	-청소용수 양수시설 전기료 및 유지관리비
-장비 및 청소방법 개발	-조례 정비
-조례준칙 마련	-주차금지 표지판 설치
	-주차 및 주민 계도

용수확보가 문제이나 용수비용의 지불도 문제이다. 기본적으로 이 비용도 서울시가 지불하는 것이 타당하다. 교통환경부담금이 도입된다면 재원으로 활용할 수 있을 수도 있다.

또 다른 문제인 물튀김에 의한 민원발생은 현재와 같이 접수된 민원에 대해 답을 하는 사후성 조치로는 계속해서 같은 민원들이 쏟아질 것으로 예상된다.

따라서 조례에 도로청소를 자치구 의무 사항으로 명시하고 〈그림 5-7〉와 같이 사전에 도로에 살수 시간 및 주차 금지 표시하여 시민들에게 공고하면 시민 피해를 최소화하고 시민들의 협조도 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 한편 출·퇴근 시간 등 교통 혼잡 시간대를 피하여 청소하는 등 탄력 있는 운영으로 주민 불편을 최소화할 수도 있다.

〈그림 5-7〉 미국 뉴욕시의 노면청소를 위한 교통부의 협조 푯말

진공청소와 물청소차량의 경우 차량의 속도와 살수하는 방법에 따라 청소효과가 다르게 나타나므로 청소 인력의 전문화가 요구된다. 따라서 민간위탁을 활용하여 전문성을 높이는 방안도 고려해야한다.

청소능력을 향상시키기 위해 청소효과의 정량적 분석이 우선시 되고 그 중 효과적인 방법을 활용해야 할 것이다. 그러나 청소효과 분석을 위해 실시하였던 국외나 국내의 여러 차례의 시도에서도 효과 해석이 정량적으로 이루어지지 못했었다. 다만 2002년 이후로 도로청소를 계속 강화해 왔고 그에 따라 미세먼지

농도도 같이 감소해왔기 때문에 도로청소가 미세먼지 농도 저감에 많은 영향을 미칠 것으로 판단하고 있는 것이다. 현재 서울시에서 청소능력 향상을 위해 청소차량 개량 및 새로운 형태의 청소차량을 일부 도입하여 시범 운행하고 있다. 아직 그 효과가 충분히 드러나지는 않았으나 많은 공무원들이 효과가 있을 것으로 기대하고 있어 새로운 물청소 방법의 조속한 도입도 검토해 볼 수 있을 것이다. 그러나 진공흡입 등 도로의 물을 회수할 경우 도로의 전체 물을 다 흡입할 수 없다는 점과 폐기할 폐수가 발생하며 이 폐수의 재활용을 위한 기술은 아직 미흡하다는 현실적인 문제점도 가지고 있기에 함께 해결하려는 노력이 요구된다.

2. 미래형 도로 청소로 단계적 전환

현장에서 나타나고 있는 물청소차량의 문제점은 물 확보시간이 실제 물청소 시간보다 많이 소요된다는 것과 물청소 차량의 이동속도가 12.5㎞/hr로 다른 차량의 운행을 방해한다는 것이다. 이러한 문제를 일부 해결하고자 거점살수장치(도로변 자동살수장치)의 도입이 검토중이다. 거점살수는 노면살수의 과정을 단순화하여 노면세정에 소요되는 인력과 장비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 대기오염 정도에 따라 세정의 회수와 강도를 자유롭게 조절할 수 있는 새로운 노면세정방식으로 고려될 수 있다.

자동살수장치를 설치하는 경우 추가비용이 소요되지만 여타 노면세정 방법과 상호 보완적으로 활용함으로써 도로물청소의 효율을 극대화 할 수 있다. 교통량이 적은 이른 새벽 시간대에 추가 인력의 투입 없이 노면세정을 실시하여 출근시간대의 시민들에게 청결한 상태의 도로를 보여줄 수 있으며 교통량이 늘어난 이후에도 〈그림 5-8〉의 예와 같이 필요에 따라 소량의 물을 노변에 흘려보냄으로써 먼지의 축적을 근본적으로 줄일 수 있다.

〈그림 5-8〉 프랑스 파리시의 측구에 쌓인 먼지저감을 위한 도로변 급수전

자동살수장치는 교차로에서 많이 활용할 수 있을 것이다. 교차로는 많은 차량의 정지, 출발이 일어나는 곳으로 타이어 마모로 인해 먼지가 많이 축적되는 곳이다. 따라서 자동살수장치가 물청소차량을 대신하면 교차로 신호등 순서에 맞춰 차량이 운행하지 않는 도로에 살수하여 미세먼지를 저감할 수 있을 것으로 기대된다. 그렇지만 원료야적장 등에서 사용되던 자동살수장치 이외에 도로에 자동살수장치를 설치하였다는 사례는 찾아볼 수 없다. 그만큼 설치와 운영에 대한 다각도의 연구가 선행되어야 한다는 것이다.

미래에는 도로청소의 범위도 더욱 확대되어야 할 것이다. 일부 자치구에서 시행하는 뒷골목도 공공청소의 대상이 될 수 있으며, 차도에 한정된 물청소를 인도나 뒷골목으로 확대하는 방안도 검도할 수 있다. 특히 황사가 지나간 이후에는 노면, 수목 등 도시 전체를 물청소하는 체계를 구상할 수도 있다고 본다.

〈표 5-11〉과 같이 우리나라는 매해 3~4월에 황사현상이 발생하고 있다. 일본 동경도는 여름철 열섬현상을 줄이고자 자기집 앞에 물 뿌리는 운동을 전개하고 있다고 한다. 비록 열섬현상을 막기 위한 수단은 아니더라도 황사현상으로 인해 쌓인 흙먼지를 대대적으로 제거하는 것은 시민의 건강을 위해서 바람직할 것이다. 미래의 도로청소를 과거, 현재와 연결하여 〈표 5-12〉에 정리하였다.

〈표 5-11〉 월별 황사 발생 일수

연도	3월	4월	5월	기타
2006	3	7	1	0
2005	1	9	0	2
2004	4	1	0	1
2003	1	2	0	0
2002	6	6	0	4

〈표 5-12〉 도로청소의 과거, 현재, 미래

	과거	현재	미래
목적	도로 미화	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감 교통 혼잡 완화 황사 후 도시 전역 대청소 등
청소 방법	인력 청소	진공청소차량 물청소차량 인력청소(낙엽시기 등)	진공청소차량 물청소차량 도로살수시설 인력청소(낙엽시기 등)
청소 대상	차도 인도	차도 인도 골목길	차도 인도 골목길 가로수, 화단 등

제Ⅵ장 결 론

제1절 주요 연구 결과

제2절 정책 건의

제Ⅵ장 결론

본 연구는 도로청소의 효과를 분석하고, 서울의 도로특성과 관리목표에 부합한 서울형 도로청소방법을 정립하며, 그에 필요한 장비와 용수 등의 저변정비방안을 마련하기 위해 수행되었다. 연구과정에서는 각 자치구의 청소형태, 청소 후 결과물의 성분, 현재까지 개발된 장비들의 특성, 현장에서 이루어지는 도로청소의 청소제원, 잠재적인 청소용수원의 특성 등을 분석하였다.

본 연구에서 나타난 주요연구결과 및 정책건의 사항은 다음과 같다.

1. 주요 연구 결과

1) 청소현황

- 자치구의 청소대상구역은 606㎢이며, 서울시 전체 면적의 7.5%를 차지함.
- 모든 자치구가 진공청소와 물청소를 실시함.
- 진공청소의 경우 대부분 자치구가 측구를 1일 1회 이상 청소함.
- 물청소의 경우 대부분 자치구가 측구를 1일 1회 이상 청소하며 전체도로 면적의 50% 이내에서 매일 청소함.
- 물청소시 살수량은 1㎞당 대략 0.5톤에서 최고 1.5톤, 면적으로 보면 1㎢당 120~370톤임.

2) 외국의 사례

- 인력은 인도, 차도는 기계 장비 등 역할분담이 명확하고 도로청소조직이 불법부착물 처리, 녹지관리 등의 업무도 함께 수행하는 경우가 많음.
- 물청소를 진공청소 보조형태로 활용하는 지역이 많으나 바르셀로나는 진

공청소와 물청소를 같은 비중으로 실시하고, 파리는 고정식살수장치를 도입하고 있는 등의 특징이 있음.

- 미국의 일부지역은 소화전의 물을 이용하여 도로청소를 하고 있음.
- 청소시간에 도로위주정차를 막기 위해 경고판 설치, 주차차량 밑 도로면의 청소용 장비 개발, 청소조직에게 주차단속 권한 부여 등 다양한 방법들이 활용되고 있음.
- 도로청소의 부유분진 저감효과에 관해서는 대부분 연구자들의 결과가 일치하나 미세먼지에 대해서는 의견이 나뉨. 최근에 연구된 타이완의 경우에는 효과가 있으나 지속시간이 3~4시간으로 제한되었다고 함.

3) 도로청소의 효과

- 도로청소는 쓰레기 이외에 미세먼지와 수질오염물질의 제거효과가 있는 것으로 확인됨.
- 진공청소에 의해 제거된 토사를 분석한 결과, 4.4%의 유기물과 함께 납(6.65㎎/㎏), 아연(639㎎/㎏), 질소(8.9~9.2㎎/㎏), 인(0.3~0.4㎎/g) 등도 다량 함유됨.
- 진공청소에 의해 제거된 토사 중 중량으로 0.5%가 PM10에 해당하는 입자의 분포특성을 보임.
- 물청소 후 측구로 유출되는 청소수(유출수)를 분석한 결과, 원수와 비교하여 COD (55.2~208.7㎎/ℓ), 질소(4.0~15.7㎎/ℓ), 인(0.6~0.7㎎/ℓ), 아연(0.08~0.65㎎/ℓ)의 함량이 크게 증가함.
- 물청소에 의해 유출되는 청소수의 총고형물량은 2g/ℓ 이었으며, 이 중 미세먼지는 1.55%인 31㎎/ℓ 에 해당함.
- 2005년 청소방법인 1일 측구 1회의 물청소와 측구 1.5회인 진공청소에서

제거된 미세먼지의 양은 도로재비산량을 기준으로 0.56%, 차량생성량을 기준으로 1.48%에 이르고 청소를 강화할수록 제거량이 증가하는 것으로 나타남.

- 2005년 청소방법인 1일 측구 1회의 물청소와 측구 1.5회인 진공청소에서 비점오염원으로서의 수질부하 저감효과는 COD의 경우 중랑하수처리장 우기 추가유입량을 기준으로 49%이며, 청소를 강화하면 제거량 또한 증가하는 것으로 분석됨. 특히 2004년의 경우 연간강우일수가 100일에 이르고, 100㎜이상의 연속 강우도 28일에 이르는 등 자연적 강우에 의해 강우전에 쌓인 미세먼지가 씻겨나간 점 등을 고려하면 그 사이에 이루어지는 도로청소의 미세먼지 저감효과는 훨씬 크다고 판단됨.
- 이상과 같이 도로청소는 미세먼지의 저감과 초기우수의 수질부하 저감에 기여하여 왔고 향후 청소를 강화하면 그 효과가 더 확대될 가능성이 있음을 보여줌.

4) 청소제원

- 효과적으로 노면의 퇴적물을 제거할 수 있는 진공청소차량의 청소시 주행속도는 시간당 10㎞라고 함.
- 물청소차량은 살수 중에는 12.5㎞/hr, 물 운반중에는 50㎞/hr로 이동하고, 물의 충수속도는 1㎥당 2분임.
- 급수지와 청소현장간의 거리가 1대 차량의 물청소 시간에 결정적으로 영향을 미치는데 반경 10㎞이내의 경우 7.5㎥차량의 1회 청소시간은 80분, 1㎞이내의 경우에는 35.3분이 소요되는 것으로 예측되고 실제 현장에서도 유사한 차이를 확인함.

5) 잠재적인 용수원의 특징

- 지하철 용출수는 펌프와 에너지 비용만 부담하면 되는 저렴한 용수원이나 향후 추가개발의 가능성이 낮음.
- 하수처리장 고도처리수는 수질은 양호하고 저렴하나 청소현장과 거리가 멀어(서울에 4개소) 이용에 한계가 있음.
- 개발지하수는 개발비용과 펌프 교체료, 에너지비용만으로 저렴하게 활용 가능하나 개발여지가 없는 지역이 많고, 지하수를 보전하려는 서울시의 관리방향과도 배치되는 단점이 있음.
- 소화전은 도의적, 비용적인 문제가 있으나 어떤 현장에도 인근에 위치하고 이를 활용할 경우 장비수를 줄이고 관련비용도 줄이는 장점이 있음. 외국에서는 수도관에서의 수질악화를 막기 위해 퇴수를 도로청소에 활용하는 사례가 있으며, 국내에서도 수질악화현상이 보고되고 있음.

2. 정책 건의

1) 도로청소의 정책 방향

- 도로청소는 도시미화라는 본연의 임무에 충실하면서 동시에 대기환경 및 수질보전에도 협력함.
- 통일된 청소기준을 마련해서 확대된 도로청소 목적을 효과적으로 달성함.
- 비용 부담이 늘어남으로 서울시와 자치구의 공동협력이 필요함.
- 에너지 절약 등 지구 환경의 보호에도 일조함.

2) 도로청소방법(공통)

- 12m이상의 차량도로와 그에 부속된 인도는 기계장비와 인력을 이용하여 쓰레기와 입자상 물질을 청소함.
- 차도청소는 진공청소와 물청소를 조합해서 실시함.
- 진공청소와 물청소는 1일 2회 실시함.
- 강우시기에는 브러시 장착장비를 가동하여 노면의 찌든 때를 제거함.
- 고정식 살수장치는 효용성을 검토하고 확인되면 확대함.

3) 도로청소방법(진공청소)

- 야간청소는 전일 23시부터 당일 6시에 중앙선측과 측구만을 대상으로 함.
- 주간청소는 중심지역의 도로와 야간청소시의 누락지역을 대상으로 당일 9~13시에 측구에 대해서만 실시함.
- 노즐이 결빙되어 먼지발생을 막을 수 없는 경우에도 청소가 필요할 때는 물의 분사 없이 도로청소를 실시함.

4) 도로청소방법(물청소)

- 야간청소는 전일 23시부터 당일 6시에 모든 노면을 대상으로 실시함.
- 중심지역의 도로와 야간청소시 누락구역을 대상으로 당일 9~13시에 측구에 대해서만 실시함.
- 노면 1㎢당 480㎥이상의 물을 살수하거나 물 1㎥당 600m이내의 차선(폭 3.5m)에 살수함.

5) 소요 장비량

- 진공청소차량의 경우 102대가 필요하나 현재 133대를 보유 중이므로 추가확보는 불필요함.
- 물청소차량의 경우 현장과 급수원의 거리에 따라 차량수요가 크게 변함. 10㎞이내의 경우 16톤 차량 340대, 7.5톤 차량 476대가 필요하고, 1㎞이내의 경우 16톤 차량 192대, 7.5톤 차량 212대가 필요함. 특히 1㎞이내의 경우에는 16톤 차량과 7.5톤 차량의 필요대수가 크게 차이가 나지 않아 적은 수의 7.5톤 차량으로도 물청소가 가능함. 그럼에도 현재 보유량이 126대로 추가 확보는 불가피함.

6) 용수수요 및 확보방안

- 청소기준을 만족시키기 위해서는 2005년보다 7배 많은 1일 약 2만8천톤의 물청소 용수가 필요함.
- 작업현장과 1㎞이내에 있는 기존의 용수원, 즉 지하철 용출수, 개발지하수, 하수처리장 고도처리수 등을 활용하면서 1㎞이내에서 확보할 수 없는 지역은 소화전을 활용함.
- 1㎞이내에서 청소용수를 공급받도록 소화전을 활용하는 경우 현재 확보된 47개서를 사용할 때보다 비용 100억원/연(수돗물 사용료), 편익 145.8억원/연 등 약 46억원의 이득이 매해 발생할 전망임.
- 장기적으로 중수도 처리수, 고도처리수 등 소화전을 대체할 수 있는 용수원을 지속적으로 확보함.

7) 서울시와 자치구의 역할 분담

서울시	자치구
-물청소 차량 구입비	-도로청소 수행
-진공청소차량의 메인브러쉬 교체비	-청소 장비 형식 선택
-물청소차량의 브러쉬 부착 및 교체비	-청소차량 운전원 인건비
-지하수 및 지하철 용출수 양수시설 설치비	-서울시 지원 부분 외 여타 차량 유지비
-소화용수를 사용하는 자치구의 상수사용료	-청소용수 양수시설 전기료 및 유지관리비
-장비 및 청소방법 개발	-조례 정비
-조례준칙 마련	-주차금지 표지판 설치
	-주차 및 주민 계도

8) 기존 청소방식과 새로운 방식의 차이점

구분	기존체계(2005년)	제안 방법
청소구역	◦ 길이 : 1,793㎞ ◦ 면적 : 45.3㎢	◦ 길이 : 1,793㎞ ◦ 면적 : 45.3㎢
1일 청소 면적	◦ 진공청소 : 11.6㎢ ◦ 물청소 : 21.3㎢	◦ 진공청소 : 16.5㎢ ◦ 물청소 : 57.9㎢
1일 청소 회수 및 시간	◦ 1회(주간)	◦ 2회(야간, 주간)
살수량	◦ 94톤/㎡	◦ 480톤/㎡
청소차량	◦ 진공청소 : 133대 ◦ 물청소 : 126대	◦ 진공청소 : 102대 ◦ 물청소 : 212대(7.5톤 기준)
오염물 제거효과	◦ 미세먼지 : 1.5%(자동차생성량 기준) ◦ COD: 49%(중랑시설 추가분 기준)	◦ 미세먼지 : 5.2%(자동차생성량 기준) ◦ COD :118%(중랑시설 추가분 기준)
급수전	◦ 47개소	◦ 897개소
청소용수원	◦ 지하철역사 지하수, 지하수	◦ 소화용수, 지하철역사 지하수, 개발지 하수, 하수고도처리수 등 고루 사용
비오는날 청소	◦ 청소중단	◦ 브러쉬를 이용한 묵은 때 청소

9) 미래지향형 도로청소체계 구축

	과거	현재	미래
목적	도로 미화	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감	도로미화 강화 대기, 수질오염 저감 교통 혼잡 완화 황사 후 도시 전역 대청소 등
청소 방법	인력 청소	진공청소차량 물청소차량 인력청소(낙엽시기 등)	진공청소차량 물청소차량 도로살수시설 인력청소(낙엽시기 등)
청소 대상	차도 인도	차도 인도 골목길	차도 인도 골목길 가로수, 화단 등

참 고 문 헌

참고문헌

구본상, 정익재, 천재현, 이의상, 조욱상, 1998, 고속도로 주변토양의 중금속 오염도 분석에 관한 연구, 응용화학, 제2권, 제2호, 765-769

국립환경과학원 대기총량과, 2005, 이동오염원 대기오염물질 배출량 산정방법 편람,

김석구, 김영임, 강성원, 윤상린, 김소정, 2006, 강우에 의한 도로 비점오염원 유출 특성, 대한환경공학회지, 제28권, 제1호, 104-110

김운수, 2004, 서울시 미세먼지 배출량 조사·분석 및 관리방안 연구, 서울시정개발연구원

경기개발연구원, 2003, 경기도지역 대기오염의 사회적 비용 추정 및 적정 수준 달성방안

박석순, 김용표, 2001, 도시대기질 및 수문개선 대책, 이화여자대학교 공과대학

세계경제포럼(WEF), 2005, 2005 환경지속지수

안재찬, 2005, 상수도 송배수시스템에서의 최적수질관리 방안에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문

최롱, 2003, 우리나라 비점오염원의 발생현황과 관리방안, 한국과학기술정보연구원

한국환경사회정책연구소, 2003, 지하철내 공기질에 대한 문제점과 개선방안

환경부, 2005, 대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염 배출량 산정 연구

Abdellatif Benzidi, 2003, Pro-Active City Cleaning : Practice and

Experiences from Brussels, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA

Albani L. and Newman, D, 2004, STREET CLEANING HANDBOOK, ISWA(ITALIA)

Bannerman, R., 1983, Nationawide Urban Runoff Project, Milwaukee, Wisconsin

California Stormwater Quality Association(CSQA), 2003, California Stormwater BMP Handbook

Cowherd, C. Jr., Kinsey, J. S., 1986, Identification, assessment, and control of fugitive particulate emissions, EPA/600/8-86/023, U.S. EPA

Department for Environment, 2006, Food and Rural Affairs, Code of Practice on Litter and Refuse

Etymezian, V., Kuhn, H., Gillies, J., Green, M., Pitchford, M., Watson, C., 2003, Vehicle-based road dust emission measurement - Part I : Methods and calibration, Atmospheric Environment, 37, 4559-4571

Etymezian, V., Kuhn, H., Gillies, J., Chow, J., Hendrickson, K., McGown, M., Pitchford, M., 2003, Vehicle-based road dust emission measurement - Part III : Effect of speed, traffic volume, location, and seanson on PM10 road dust emissions in the Treasure Vally, ID, Atmospheric Environment, this issue, doi:10.1016/S1352-2310(03)00530-2

Gerhard Vogel, 2003, A Comparison of Key Figures : The City-Cleaning Performance of European Cities, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA

Gilbert R. O., 1987, Statistical methods for environmental pollution

monitoring, Van Nostrand Reinhold, New York

Hewitt, T. R. 1981, The Effectiveness of street sweeping for reducing particulate matter background concentrations, Sirrine Environmental Consultants, Inc., Research Triangle Park, NC

London Borough of Sutton, 2005, Street Cleaning Service Standards

ng. Franz Bischof, 2003, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experiences from Vienna, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA

Pitt, R. and Shawley, 1981, San Francisco Bay Area national Urban runoff project - A demonstration of non-point source pollution management on Castro Vally Creek, U.S. Environmental Protection Agency

Record, F. A and Bradway, R. M., 1978, Philadelphia Paeticulate study, Contract No. 68-02-2345, For U.S. Environmental Protection Agency, Region III, Air Program Branch, Philadelphia, PA.

Roffman and Amiram, 1981, A study of controling fugitive dust emissions from non-traditional source of the United States Steel Corporation Facilities in Allegheny County, Pensylvania, Prepared for United States Steel Corporation

Sartor, J. D. and Boyd, G. B., 1972, Water pollution Aspect of street surface contaminants, U.S. Environment Protection Agency

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 1998, Atmospheric Chemistry and Physics:From Air Pollution Climate Change, Wiley-Interscience, New York, NY, USA

Rumler, S., 2003, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experience from

Frankfurt, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA

The City of Albany, 2005, Cleaner Streets for Albany

Vaze, J., Chiew, S., 2002, Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface, Urban Water, 4, 379-389

Vazquez, C., 2003, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experience from Barcelona, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA

w1〉 The City of London, Street Cleansing, www.cityoflondon.gov.uk/Corporation/our_service

w2〉 The City of Medicine Hat, Help Us Make a Clean Sweep of Medicine Hat, www.medicinehat.ca

w3〉 www.high-point.net/pubsrv/hydrant.cfm

w4〉 www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2005/07/20f7j400.htm

w5〉 www.planetizen.com/news/item.php?id=13836

부 록

[부록1] 자동측정망의 월별 미세먼지 오염도 변화

[부록2] 유럽 주요도시의 도로청소방법 비교

[부록3] 각국의 도로청소 방법

[부록4] 열섬효과 극복을 위한 물청소 실시

[부록1] 자동측정망의 월별 미세먼지 오염도 변화

㎍ ㎥

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시청앞	중구	101	108	103	82	103	87	55	50	59	61	64	78
이화동	종로구	-	-	-	-	91	79	55	44	53	56	58	67
면목동	중랑구	76	79	71	59	79	74	47	53	52	47	51	67
신설목	동대문구	87	85	-	50	76	67	42	36	47	50	70	88
불광동	은평구	73	84	97	81	102	80	57	54	65	61	51	73
마포	마포구	84	88	86	77	102	94	55	42	56	46	-	-
문래동	영등포구	-	-	-	-	103	93	61	54	44	43	49	52
사당동	동작구	61	61	61	49	79	78	45	38	48	54	56	81
신림동	관악구	79	84	79	64	87	80	54	51	56	55	60	74
대치동	강남구	-	-	-	-	99	90	39	35	37	45	50	62
잠실동	송파구2	-	-	-	-	90	86	68	48	52	48	52	71
시흥동	금천구	71	79	78	61	84	75	49	47	56	54	53	59
천호동	강동구	67	83	85	67	80	70	49	43	47	48	52	80
번동	강북구	91	95	91	77	98	87	64	59	67	65	66	88
길음동	성북구	-	-	-	79	105	95	65	52	60	61	68	88
한남동	용산구	82	86	84	68	86	68	42	39	48	52	54	84
구의동	광진구	101	103	106	79	111	97	63	54	52	59	62	99
성수동	성동구	86	85	87	74	109	97	57	51	67	64	68	79
방학동	도봉구	89	89	86	72	87	66	41	36	48	55	61	83
남가좌동	서대문구	75	78	73	57	94	95	57	50	53	46	51	57
구로동	구로구1	68	72	71	57	81	77	55	53	51	47	51	64
반포동	서초구	66	72	72	60	78	74	50	45	56	58	60	88
화곡동	강서구	79	84	83	71	89	77	50	40	49	57	60	73
방이동	송파구1	72	84	77	62	78	73	55	53	66	68	60	80
신정동	양천구	80	87	85	69	96	81	56	51	50	51	52	67
상계동	노원구	81	82	80	65	84	76	52	41	56	55	67	91
궁동	구로구2	98	116	116	90	123	104	63	56	60	68	68	95
도로변	동대문	-	-	-	103	97	84	58	52	61	65	65	89
도로변	서울역	72	79	76	61	89	86	65	56	62	48	56	68
도로변	청계천	86	91	91	74	93	80	56	60	63	66	66	98
도로변	청량리	80	77	77	116	106	87	62	55	61	62	63	86
도로변	신촌	92	97	97	82	101	82	57	53	62	67	64	90
도로변	영등포	69	72	69	58	68	55	43	40	42	49	61	75
도로변	신사동	91	91	89	126	109	95	66	56	68	66	70	88

측정소별 월별 미세먼지 오염도 변화(2004년) [단위:㎍/㎥]

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시청앞	중구	72	83	98	86	93	85	55	51	61	85	83	72
이화동	종로구	68	67	86	73	77	69	66	40	38	66	71	63
면목동	중랑구	66	61	71	61	70	65	71	38	39	53	57	36
신설목	동대문구	78	79	90	73	78	73	52	33	34	58	62	47
불광동	은평구	65	70	87	74	80	72	64	47	46	69	70	63
마포	마포구	-	-	-	-	-	56	49	26	26	47	50	30
문래동	영등포구	56	53	61	52	65	84	72	50	51	85	84	43
사당동	동작구	71	68	74	60	69	60	42	33	35	60	59	51
신림동	관악구	74	68	82	70	77	81	68	42	42	69	73	39
대치동	강남구	54	57	66	55	59	60	49	36	35	57	73	41
잠실동	송파구2	67	65	76	69	76	70	54	37	35	52	60	53
시흥동	금천구	54	52	69	58	60	61	45	32	29	50	51	48
천호동	강동구	62	56	74	64	59	52	40	26	28	49	57	54
번동	강북구	81	74	91	70	79	82	68	36	32	57	62	58
길음동	성북구	84	83	90	76	83	63	53	28	53	53	58	55
한남동	용산구	75	72	89	71	67	61	42	33	36	64	69	65
구의동	광진구	91	88	93	71	64	50	37	29	29	54		58
성수동	성동구	73	71	91	78	76	53	39	34	39	68	72	66
방학동	도봉구	72	66	87	69	66	59	38	33	40	74	83	74
남가좌동	서대문구	61	58	67	57	68	72	62	35	31	58	60	47
구로동	구로구1	65	62	72	65	70	69	64	32	31	57	59	50
반포동	서초구	79	76	87	69	67	61	40	34	38	68	71	64
화곡동	강서구	73	68	76	70	72	65	52	31	30	61	68	65
방이동	송파구1	69	69	70	59	56	51	44	38	42	60	52	50
신정동	양천구	69	61	74	66	71	65	57	34	33	61	61	56
상계동	노원구	74	65	91	77	83	80	75	26	24	49	49	47
궁동	구로구2	88	83	84	73	64	59	38	34	37	61	64	63
도로변	동대문	78	79	95	85	88	89	58	41	43	71	80	77
도로변	서울역	65	63	72	-	-	-	-	41	48	76	81	71
도로변	청계천	76	90	121	99	80	81	48	49	53	85	80	79
도로변	청량리	88	80	96	85	89	88	75	49	48	67	68	62
도로변	신촌	83	79	100	81	80	76	55	45	47	77	76	69
도로변	영등포	74	72	98	84	81	83	64	50	51	82	83	73
도로변	신사동	83	81	96	71	82	83	60	44	42	60	67	56

측정소별 월별 미세먼지 오염도 변화(2005년) [단위:㎍/㎥]

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시청앞	중구	81	63	99	122	70	69	81	-	48	63	70	52
이화동	종로구	62	-	60	74	50	57	56	-	32	48	59	42
면목동	중랑구	48	56	79	93	63	65	64	-	23	55	80	43
신설목	동대문구	48	34	51	58	40	49	51	-	27	44	73	56
불광동	은평구	76	56	88	110	72	76	77	-	46	62	71	52
마포	마포구	45	32	47	69	45	48	53	-	26	41	50	31
문래동	영등포구	47	36	50	89	63	74	69	-	32	45	53	36
사당동	동작구	48	-	55	69	52	64	68	-	38	58	67	50
신림동	관악구	41	30	45	83	59	67	61	-	34	61	68	48
대치동	강남구	35	27	39	53	41	56	58	-	31	51	71	46
잠실동	송파구2	58	43	56	76	56	66	65	-	38	55	66	49
시흥동	금천구	46	-	66	73	55	69	61	-	33	43	65	48
천호동	강동구	55	-	65	84	56	66	68	-	34	53	71	49
번동	강북구	53	-	64	72	51	63	65	-	35	51	68	41
길음동	성북구	59	41	59	80	48	55	55	-	33	46	59	44
한남동	용산구	74	49	74	92	60	69	70	-	38	60	75	53
구의동	광진구	72	52	88	108	65	69	69	-	39	61	84	62
성수동	성동구	71	48	69	93	57	61	64	-	39	60	80	64
방학동	도봉구	78	54	81	110	73	80	79	-	47	65	89	58
남가좌동	서대문구	57	43	55	73	52	76	90	-	37	49	59	42
구로동	구로구1	57	41	58	70	58	81	72	-	40	54	65	42
반포동	서초구	73	51	69	87	58	63	68	-	35	59	75	53
화곡동	강서구	68	50	69	83	60	78	78	-	38	58	69	50
방이동	송파구1	60	36	52	86	58	63	62	-	32	55	73	53
신정동	양천구	54	-	61	75	58	66	72	-	40	52	55	40
상계동	노원구	44	-	52	74	51	63	65	-	33	46	58	44
궁동	구로구2	68	52	70	86	64	65	66	-	41	62	78	61
도로변	동대문	67	51	85	95	68	78	80	-	49	68	83	64
도로변	서울역	80	61	88	108	75	93	98	-	56	78	85	57
도로변	청계천	74	56	81	105	78	84	103	-	44	60	76	49
도로변	청량리	64	52	74	91	68	83	72	-	39	57	71	57
도로변	신촌	76	57	74	94	64	72	59	-	47	63	77	53
도로변	영등포	81	55	70	94	65	69	67	-	39	61	75	57
도로변	신사동	67	54	77	101	70	87	87	-	49	66	78	55

자료 : 서울시 보건환경연구원 제공.

[부록2] 유럽 주요도시의 도로청소방법 비교

1. 비교대상 도시

: 바르셀로나(스페인, 약 140만), 브뤼셀(벨기에, 약 90만), 프랑크푸르트(독일, 약 60만), 프라하(체코슬로바키아, 약 120만), 비엔나(오스트리아, 약 140만)

2. 가로청소 대상

구분	담당	비담당	때때로 청소
공공 도로	바르셀로나 프랑크푸르트 비엔나		브뤼셀 프라하
도시지역 고속도로	브뤼셀 프라하	바르셀로나 프랑크푸르트 비엔나	
도로변 녹지	프라하	바르셀로나 프랑크푸르트 비엔나	브뤼셀
인도	바르셀로나 프랑크푸르트		브뤼셀 프라하 비엔나
횡단보도	바르셀로나 프랑크푸르트 프라하 비엔나		브뤼셀
기차역		바르셀로나 브뤼셀 프랑크푸르트 프라하 비엔나	
지하철역		바르셀로나 프라하 비엔나	브뤼셀 프랑크푸르트
공공 공원	프라하	바르셀로나 프랑크푸르트 비엔나	브뤼셀
재활용품수집소 주위	바르셀로나 프라하 비엔나		브뤼셀 프랑크푸르트

3. 가로청소서비스 제공방법

- 도시청소가 도시국의 업무로 통합됨 : 비엔나
- 과거에는 정부에서 담당하고 현재는 민영화 : 프랑크푸르트
- 공개입찰에 의해 민간업체 선정 : 바르셀로나
- 시정부와 자치구정부가 책임 분담 : 프라하
- 주정부와 시정부 역할 분담 : 브뤼셀

구분	도로청소 책임조직	도로청소 이행조직
비엔나	MD48(도시국)	MD48
프랑크푸르트	FES(개인회사)	FES
바르셀로나		개인회사(공개입찰로 선정)
프라하	주요장소, 고속도로, 관광지는 도시국에서 담당	2개 민간회사(공개입찰) 및 1개 공사
	기타지역은 자치구 담당	자치구 또는 개인회사
브뤼셀	주요장소, 고속도로, 관광지는 광역정부에서 담당	광역정부
	기타지역은 도시정부 담당	도시정부

4. 청소인력

- 브뤼셀(벨기에, 약 90만) : 약 450명
- 프랑크푸르트(독일, 약 60만) : 약 150명
- 프라하(체코슬로바키아, 약 120만) : 1,200명
- 비엔나(오스트리아, 약 140만) : 약 870명

5. 가로휴지통수

- 바르셀로나(스페인, 약 140만) : 약 1만9천개, 1㎢당 197개
- 브뤼셀(벨기에, 약 90만) : 약 1만2천개, 1㎢당 75개

- 프랑크푸르트(독일, 약 60만) : 약 6천개, 1㎢당 28개
- 프라하(체코슬로바키아, 약 120만) : 약 3천개, 1㎢당 6개
- 비엔나(오스트리아, 약 140만) : 약 1만2천개, 1㎢당 30개

6. 쓰레기 수거량(1994년, 톤)

구분	노면청소	휴지통
비엔나	34,363	
프랑크푸르트	8,805	5,919
바르셀로나	23,000	6,410
프라하	11,113	1,338

자료: Gerhard Vogel, A Comparison of Key Figures : The City-Cleaning Performance of European Cities, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA, 2003

[부록3] 각국의 도로청소 방법

벨기에 브뤼셀의 도로청소방법

1. 브뤼셀만의 특징

- 도로청소를 위한 3교대 모델 - 1주 7일, 1년 52주
- 도시정부는 도시도로의 청소책임이 있다.
- 브뤼셀수도정부는 지역단체인 Bruxelles-Proprete와 계약을 통해 도로와 인도를 청소한다.
- 청결계획에 입각하여 지방도시들이 청소해야할 일부 도로와 인도도 청소 대상에 해당된다.
- Bruxelles-Proprete은 브뤼셀수도권의 가정쓰레기도 수거한다.

2. 일반 현황

- 12 자치체
- 공공도로의 연장 : 1,875,677㎞
- 거주자 : 964,405
- 통근자 : 400,000
- 도로는 19자치체에 의해 관리하는 도로 : 1,352㎞
- 광역정부가 관리하는 도로 : 396㎞

3. 청소조직

- 인력 : 1,907
- 차량 : 548대
- 기반시설 : 7시설 및 본부
- Bruxelles-Proprete : 가정쓰레기 수거, 쓰레기 처리, 도로 및 인도 청소
- 19 지자체
- IBGE : 녹지 및 공원 관리
- AED : 터널청소 및 휴지통 청소

4. Bruxelles-Proprete의 청소업무

- 측구홈통과 인도의 인력청소
- 측구홈통과 인도의 기계청소 : 인력 + 장비, 장비만(고속도로 등)
- 하수구 관리 : 연 4회가 기본이고 침수발생하면 더 자주 청소, 1일 관리 하수구 수는 80-120
- 공공쓰레기통 청소 : 관할 수 4,460, 청소회수는 1일 2회, 1회 또는 격일
- 낙서 및 불법부착물 제거 : 숨바꼭질 근절
- 흩날리는 쓰레기 수거 : 중심 교차로 및 중요 공공장소를 매일 점검. 인력이 병행하는 7대 차량으로 하루 3번 순회 가능
- 낙엽수거(계절별) : 전용 장비 이용
- 특수 임무 : 인도 도로 광장의 고압살수청소, 악취나 기름의 제거, 껌 제거
- 기타 임무 : 전차역, 개 광장, 지하철 입구 청소 / 20㎞ 마라톤 및 국경일 후 청소 / 주말에 시장 청소 / 분수대 청소 및 캠페인

5. 교통량에 따른 도로유형과 청소회수

5.1 주거지역 등

- A : 주택단지와 유명가게가 혼재하는 혼잡 도로. A1: 13회/주, 12회/주
- B : 주택단지와 작은 가게가 있는 혼잡도로. B1:6회주, B2:5회/주
- C : 주택단지의 주거도로. 주 3회
- D : 단독주택이 있는 주거도로. 주2회
- E : 독립된 단독주택이 있는 외곽도로. 주 1회
- F : 공업지역의 사람이 많은 도로. 주 2회
- G : 인적이 없는 공업지역 도로. 주 2회
- H : 인적이 드문 고속도로. 주 3회

5.2 Showcase area

- 높은 청결품질이 요구되는 지역

5.3 문제 지역

- 문제 반복 지역
- 잦은 순찰, 벌칙부과와 같은 관리수요 발생 지역
- 청소회수를 늘려야 하는 지역

5.4 청결수준의 분석과 이행목표의 설정

- Hello Cleanness라는 Hotline을 통하여 접수된 불만의 파악
- 현장점검 보고서
- 19개 지자체의 평가위원회

6. 인력

- 본부 인력 : 38
- 지역 감독 : 8
- 장비 운전자 : 118
- 풀타임 인력청소자 : 311
- 계 : 475

7. 목표 : 청소지역에 가깝게 있고, 효율 향상

8. 작업일정

- 월~금 : 오전 5~11:30, 오전 6:30~오후 1:00(이상 오전), 오후 1:30~오후 8:00(오후), 오후 6:30~자정(밤)
- 토, 일요일 : 오전 6:30~11:15, 오후 1:30~6
- 휴일 : 정상근무
- 오전작업 : 오전 5~11:30, 50인, 기계청소, 측구 청소, 고압살수, 휴지통 소독 등, 오전 6:30~오후 1:00, 279인, 인력 및 기계청소, 휴지통 비우기, 부려진 쓰레기 수거, 낙석제거
- 오후작업 : 오후 1:30~8:00, 118인, 인력 및 기계 청소, 측구 청소, 휴지통 비우기, 부려진 쓰레기 치우기
- 야간작업 : 오후 6:30~자정, 36인, 기계청소

* 기계청소 : 고속도로를 제외하고 3-4인의 인력과 청소장비가 함께 이동, 인력이 먼저 청소

9. 도로청소에서 마주치는 문제점

- 인도를 따라 주차 : 인력청소 또는 진공흡입호스 사용, 강제적 주차금지 표시 부착
- 별도의 쓰레기 수거팀을 운영할 것인가?
- 불법투기(외곽 저소득층 지역의 대형폐기물, 수거일을 지키지 않는 쓰레기 배출, 넘칠 정도로 봉투에 쓰레기 담기 등) : 캠페인, 홍보, 정보버스 운행, 상시 순찰

자료: Abdellatif Benzidi, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experiences from Brussels, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA, 2003

독일 프랑크푸르트의 도로청소방법

1. 지역특성

- 상주인구 : 464,204
- 도로연장 : 1,240㎞
- 도로면적 : 43.53㎢

2. 청소조직

- 개인회사인 FES에서 수행
- 16자치지역이 있음.
- 6개소의 지역사업소 : 각 사업소당 관리자 1, 행정 1, 50~80 작업자
- 인력 : 총 394, 본부 15, 지역사무소 행정 감독 12(+2), 기계청소 작업자 183, 인력청소자 166, 계절작업자 16, 연간 man-hour 264,923
- 차량 장비

형식	기능	수량
Schmidt SK 151 Classic	소형 기계청소 차량	57
평면적재함에 가드가 붙은 구형 7.49톤 트럭	청소물 수거, 인력 수송, 쓰레기 수거	65
Schorling 등	대형 기계청소 차량	9
holder	기계 제초	8
물탱크 및 분사장이 부착 MB	대형 살수차량	9
물탱크 부착 Trenkle	소형 살수차량	7
가아드 부착 차량	휴지통 수거	11

3. 불법 투기물에 대한 과태료 부과

- 캔 : 20마르크
- 1회용 도시락 : 35
- 개 배설물 : 75
- TV : 150
- 담배공초 및 팩 : 20

4. FES의 부가서비스

- 가로휴지통의 확충
- 가료휴지통의 기능 및 가시성 확보
- 중심상가지역 청소 및 껌 제거
- 혼잡공공장소에 청소인력 고정 배치
- 대형폐기물, 불법투기물을 치울 수 있는 기동반 운영
- 일반주민들과의 관계 개선

자료: Steffen Rumler, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experiences from Frankfurt, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA, 2003

오스트리아 비엔나의 도로청소방법

1. 지역특성

- 상주인구 : 1,550,123
- 도로연장 : 2,731,360
- 인도 : 314,067
- 횡단보도구역 : 307,723㎡

2. 청소조직

- 도시국48 산하 운영과 5.0에서 가로청소 담당
- 12 청소구역에 67세부구역
- 13번째 청소구역의 3개 세부구역에는 야간청소 운영
- 인력 : 행정 관리 19, 청소구역별 책임자 13, 감독자 71, 지역행정 18, 상근 청소자 836 등 총 957, 계절 고용자 181, Man-hour 64,072
- 장비 : 349대의 다기능 차량
- 12,317 가로휴지통 하루 3회 비우기

3. 품질보증 방법

3.1 원칙

- 서비스 질은 고객요구, 조직의 관심, 최적의 기술, 법적 기준, 안전기준 등에 의해 결정됨.

- 서비스질은 체계적으로 관리
- 서비스질의 보장은 모든 종사자의 임무
- 감독자는 작업자에게 품질에 대한 경각심을 높인다.
- 품질은 약점, 반복 실수업무에서 유의하여 높인다.
- 품질과 비용은 동일시 한다.
- 품질에 심대한 하자가 생기면 바로 상부에 보고한다.

3.2 평가

- 2002년 7월부터 실시
- 모든 지역을 대상으로 두개의 지점에 대해 매주 평가 실시
- 대상 : 인도, 도로, 녹지, 수목, 재활용수집함 주위 청결성, 재활용수집함 이용 수준, 휴지통
- 등급 : 좋다(1), 미세한 결점(2), 개선 필요(3), 부적절(4), 평가 불가(0)

자료: Ing. Franz Bischof, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experiences from Vienna, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA, 2003

스페인 바르셀로나의 도로청소방법

1. 지역특성

- 상주인구 : 1,505,325
- 도로연장 : 1,309,000m
- 도로면적 : 10.8㎢
- 인도면적 : 5.6㎢

2. 청소조직

- 4개의 민간회사 : 3개 쓰레기 수거 및 도로청소, 1개 가로휴지통 비우기
- 청소방법

임무		1일 Team	작업조	효율
일상	인력청소	152	오전	2.4~3.5 ㎞/일
	Van을 휴대 청소팀	40	오전	8~12 ㎞/일
	기계 청소	7	오전 3, 야간 4	25~35 ㎞/일
	횡단보도	10	오전	9~10.5 ㎞/일
	보강 청소	65	오전 59, 야간 6	8~11 ㎞/일
	기계+인력 물청소	42	오전 35, 야간 7	12~14 ㎞/일
	인력 물청소	12	오전 5, 야간 7	2.6~3.3 ㎞/일
	기계 물청소	5	야간	25 ㎞/일
	기계+인력 고압물청소	45	오전 25,야간 20	3~4 ㎞/일
특별	애완동물 배설물 수거	4	오전	
	해변 청소	9	오전, 야간	
	동물사체 수거	1	오전	
	영업팀	14	오전, 오후	

3. 바르셀로나 청소의 주안점

- 지역별 책임제 : 3개 회사가 쓰레기 수거 및 가로청소 전담
- 더 나은 청소품질을 위해 다양한 청소방법을 조합
- 낙서와 불법벽보 제거
- 도시청결은 공동체협의사항 : 2000년부터 시의회와 시당국의 공동책임으로 명시
- 품질통제

  방법1) 시민전화010을 분석하여 주 결과 확보

  방법2) 외부회사가 매일 청소장비 및 청소상태를 평가

  방법3) 국제적인 조사

  - •청소 : 쓰레기. 낙엽, 퇴적물
  - •청소관련 : 잡초 크기, 얼룩, 부착물, 장소 벗어난 쓰레기통
  - •가로휴지통 : 상태, 채워진 양
  - •쓰레기통 : 상태, 채워진 양
  - •도로시설물 : 경계기둥 및 가로등, 공공게시판, 사설간판, 건물 및 경계 구조물

자료 : Carlos Vazquez, Pro-Active City Cleaning : Practice and Experiences from Barcelona, Proceedings of International Conference on Waste Management, ISWA, 2003

[부록4] 도시열섬효과 극복을 위한 물청소

도시 열기를 식히는 물뿌리기 사업 시행 (동경)

일본 東京都는 열섬 대책 추진을 2005년도 중점 사업으로 설정하고 여러 시책을 실시하고 있다. 이러한 시책의 일환으로 東京都는 치요다구(千代田區)와 협력하여 마루노우치 지역과 주변지역 도로의 온도 상승을 억제하기 위해 2005년 7월 21일부터 9월 30일까지 살수를 실시하기로 했다. 살수는 보수성 포장을 시공한 구간과 그 이외 일반 포장 구간으로 나누어 실시되는데, 東京都 토목기술연구소가 살수 효과를 검증한다. 살수용 물은, 하수를 고도처리한 재생수와 치요다구가 열섬 대책의 일환으로 제공하는 구립 시미즈다니(清水谷) 공원 내 우물물을 이용한다. 보수성 포장은 그 내부에 빗물 등 수분을 많이 저장할 수 있는 포장으로, 비가 그친 후 수분 증발시 기화열로 노면 온도를 떨어뜨리는데, 그 효과는 3일 정도 지속된다. 일반 포장 구간에서는 2005년 7월 21일~8월 31일, 보수성 포장 구간에서는 7월 21일~9월 3일에 걸쳐 살수가 실시된다.

자료 : www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2005/07/20f7j400.htm

도시열섬현상 극복을 위한 물뿌리기 캠페인 시행 (일본)

도시열섬현상(Urban Heat Island Effect)을 극복하기 위한 물뿌리기 캠페인이 7월부터 일본 전역에서 시작되었다.「우치미주(Uchimizu)」라는 이름의 이 행사는 올해로 2번째 시행되는 것인데, 2003년에는 약 30만명이 이 행사에 참여하여 도시 전역에 물을 뿌린 결과 온도가 1도 내려간 것으로 보고되었다. 이 행사를 주관하는 비영리단체들과 일본정부는 올해 약 1백만명이 이 캠페인에 참여할 것으로 예상하고 있다. Daily Yomiuri, 2004. 7. 21

자료 : www.planetizen.com/news/item.php?id=13836

The Effectiveness of Street Cleaning and Its Implementation Methods in Seoul

Project Number	SDI 2006-R-23
Research Staff	Kee-Young Yoo (in Charge) Yu-Mee Na

Street cleaning is a fundamental service required in modern urban life, which contributes to the general decorum of urban area. This study was conducted to evaluate the effectiveness of street cleaning, to determine street cleaning method that suits Seoul, and finally to recommend essential factors, such as vehicles, washing water and other surroundings. This research began with gathering data on area to be served, type of service, equipments in use, the source of cleaning water, traffic condition, meteorological observation, etc. Field study was done to measure appropriate running speed of vehicles, water volume enough to wash out dusts from road surface and time consumed by one time service. Runoff after washing and soil collected by mechanical vacuum sweeper were taken to analyze the contents of pollutants such as particulate matter less than diameter of 10㎛ (PM10), organic substance, and several heavy metals.

The area to be served is same as 7.5% of 606 ㎢, total area of Seoul. All of 25 local governments are adapting their respective types of street cleaning. Analysis of street debris revealed that they contain various pollutants, and 0.5% of total solids could be classified into PM10. Runoff from washing also showed higher contents of pollutants than fresh water, and concentration of PM10 was 31㎎ a litter of runoff.

Typical street cleaning service in 2005 consisted of washing once a day and vacuum-sweeping 1.5 times a day, which is estimated to remove PM10 by 0.56% of total amounts accumulated on road surface or 1.48% of total amounts of PM10 generated from all kind of vehicles in Seoul. There is another aspect of effectiveness that street cleaning leads to even discharge of pollutants which would, if not, result in storm water pollution to water streams or wastewater treatment facilities when raining. Amounts of pollutants reduced by street cleaning were estimated 49 percent of pollution loading, which takes place in JUNGRANG sewer plant in rainy weather, in terms of chemical oxygen demand

(COD). Moreover such positive effects are anticipated to be greater by intensifying street cleaning service.

About 10㎞ per hour was a recommendable working speed for vacuum sweeper and washer, and 120㎥ of water a square ㎞ was minimum quantity to induce overflow from street surface. Whether water resources are closer to working place or not was critical to determine how much area a water sprinkler can serve a day. That was because it took 66 minutes for where water resources are available within 10 ㎞, while it took 21 minutes for where within 1㎞. Ground water was main water resources used currently that are pumped out from subway stations or deep wells. In 2005, there were 47 places of water resources used for street washing in Seoul.

Key policy recommendations are as follows:

Street cleaning in the future should aim both to contribute to the general decorum of urban and to conserve ambient air or water environment. Wastes on streets wider than 12m and its sidewalks are cleaned by several tools, like mechanical equipments, labors, and combination of the previous. Cleaning of driveways is served in two shifts a day using vacuum sweepers and water sprinkler. Whenever it rains, vehicles equipped with mechanical brush practice cleaning to remove old stains without watering.

Vacuum sweepers take dusts away on lanes near both curb and median stripe two times a day. Washing was also done two times a day; all lanes were washed during night, and lanes closer to curb were watered during daytime again. It is necessary to sprinkle the lane of 600m in width with water of 1㎥, which could make sufficient overflow from road surface to gutter, bringing dusts along with. These cleaning methods will be anticipated to remove dusts by 5.2 percent of total amounts suspended from road surface and 118 percent of additional pollution loading compared to COD taking place in JUNGRANG sewer plant when it rains. 133 units of vacuum sweepers in use were estimated to be sufficient for implementing new type of street cleaning. Although it is possible to supply the water within 1㎞ of distance, about 100 units of water sprinklers require additionally an extended washing program. To secure water within 1㎞ from all every work places, the use of fire hydrant is a practical alternative, which would benefit 4,600 million won a year by reducing the number of water sprinklers, related operation cost and vehicle drivers. The intensified street cleaning system would demand more financial resources than existing system, which would put a

fiscal burden on each local government. It would, therefore, be reasonable for Seoul Metropolitan Government to share roles with 25 local governments. For example, Seoul Metropolitan Government does financial support needed to purchase equipments, to change mechanical brushes, to pay fee of tap water drawn from fire hydrant, etc, and local governments take roles in operation and maintenance of equipments, revision of ordinance, and public information, and so on. Toward the future street cleaning system, it is recommendable that Seoul should work hard to widen the service area gradually, even to back street and alley, and to equip new type of sprinklers which could remove dusts from roads, with spouting out water and without obstructing traffic at the same time.

Table of Contents

Summary and Policy Recommendations

Chapter Ⅰ Introduction

1. Background
2. Purpose
3. Procedure

Chapter Ⅱ Status of Street Cleaning in Seoul

1. Streets to be served
2. Equipments for Street Cleaning
3. Degree of Street Cleaning

Chapter Ⅲ Case Study

1. Urban Street Cleaning in Foreign Countries
2. Previous Studies on the Effectiveness

Chapter Ⅳ The Effectiveness of Street Cleaning

1. Particulate matters and their Characteristics
2. Street Cleaning and Storm Water Pollution
3. Concentration of Pollutants in Street Wastes
4. Removal of Pollutants by Street Cleaning

Chapter Ⅴ Strategy to implement Street Cleaning in Seoul

1. General rule of Street Cleaning
2. Street Cleaning Method in Seoul
3. Essential Equipments
4. The Quantity and Quality of Washing Water
5. Arrangement of Surroundings

Chater Ⅵ Major Results and Policy Recommendation

1. Major Results
2. Policy Recommendation

References

Appendices

시정연 2006-R-23

도로청소 효과분석 및 청소방법 정립

발 행 인 강 만 수

발 행 일 2006년 12월 31일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화 (02)2149-1157 팩스 (02)2149-1199

값 0000원 ISBN 00-0000-000-0-00000

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.