

A Study on the Efficiency of Road Cleaning
in Goyang City

고양시 도로 청소 효율화 방안 연구

임 지 열
김 형 성
이 동 현
강 성 구
김 은 경

A Study on the Efficiency of Road Cleaning in Goyang City

고양시 도로 청소 효율화 방안 연구

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시환경연구실, 부연구위원)

공동연구자

김형성(고양시정연구원, 행정사회연구실, 연구위원)

이동현(고양시정연구원, 도시환경연구실, 연구원)

강성구(고양시정연구원, 도시환경연구실, 연구원)

김은경(고양시정연구원, 도시환경연구실, 연구원)

발 행 일 2024년 03월 28일

저 자 임지열, 김형성, 이동현, 강성구, 김은경

발 행 인 김현호

발 행 처 고양시정연구원

주 소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전 화 031-8073-8341

홈페이지 www.goyang.re.kr

S N S <https://www.facebook.com/goyangre/>

I S B N

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.
해당 보고서는 고양시서체를 사용하여 제작되었습니다.

목 차

요약	i
----------	---

제1장 서론	01
--------------	----

제1절 연구의 배경 및 목적	03
-----------------------	----

제2절 연구의 내용 및 방법	07
-----------------------	----

제2장 국내·외 도로 청소 현황 분석	09
----------------------------	----

제1절 도로 비점오염물질의 축적과 유출	11
-----------------------------	----

제2절 도로 청소 관련 문헌 검토	22
--------------------------	----

제3절 국외 도로 청소 현황	31
-----------------------	----

제4절 국내 도로 청소 현황	38
-----------------------	----

제5절 국내 노면 청소 운영 현황	45
--------------------------	----

제3장 도로 비점오염물질 관련 연구 동향	53
------------------------------	----

제1절 도로 비점오염물질의 노면 축적량 분석	55
--------------------------------	----

제2절 도로 비점오염물질의 강우 유출량 분석	72
--------------------------------	----

제4장 고양시 도로 및 청소 현황 분석	79
-----------------------------	----

제1절 대상지 기초조사	81
--------------------	----

제2절 노면 청소 관련 매뉴얼 수립 현황	85
------------------------------	----

제3절 민간위탁의 필요성	100
---------------------	-----

제5장 결론 및 정책제언	107
제1절 연구의 결론 및 정책제언	109

참고문헌	113
Abstract	119

표 목차

[표 1-1] 연구의 내용 및 방법	7
[표 2-1] 도로 표면 오염물질의 입자 크기별 분포(Sartor et al., 1974)	16
[표 2-2] 교통량에 따른 고속도로의 강우유출수 농도 비교(Barrett et al., 1995)	18
[표 2-3] 강우강도에 따른 입자성 물질의 유출부하량(Egodawatta, 2008)	19
[표 2-4] 도로 청소의 비점오염 저감 효과 평가 방법	21
[표 2-5] 도로 청소 방법 구분	24
[표 2-6] 진공청소차의 분류 및 일반적 제원 비교	28
[표 2-7] 입자 크기별 진공 청소에 의한 청소 효율(Sartor and Boyd, 1972)	31
[표 2-8] 입도별 청소 차량 종류별 입자성 물질 제거 효율(%)(Breault et al., 2005)	32
[표 2-9] 청소 차량의 종류별 청소 효율 분석(Geles, 2005)	33
[표 2-10] 진공흡입식 청소차의 여름과 겨울의 청소 효율 비교(Brown et al., 2011)	34
[표 2-11] 진공흡입식 청소차와 일반살수차의 입자성 물질 저감 효율(Brown et al., 2011)	35
[표 2-12] 진공 청소에 의한 입도별 도로 먼지(측구) 제거 효율(%)(정용원 외, 2006)	39
[표 2-13] 서울시 도로 청소 효과 연구 결과(유기영과 나유미, 2006)	40
[표 2-14] 도로 노면과 측구에 대한 진공 청소와 물청소의 dust loading 변화(정용원 외, 2006)	41
[표 2-15] 청소 전후 EMC 비교를 통한 도로 청소의 저감 효율 평가(강희만, 2012)	43
[표 2-16] 서울특별시 가로 청소 1인당 작업 거리	46
[표 2-17] 경기도 상수원 권역 내 노면 청소 대상 지자체	48
[표 2-18] 경기도 가로 청소 1인당 작업 거리	49
[표 2-19] 국내 주요 노면 청소 관련 용역 수행 결과	52
[표 3-1] 도로 비점오염물질 노면 축적량 1~2차 모니터링 강우 자료	61
[표 3-2] 1차 모니터링 기간 중 TS 노면 축적량	64
[표 3-3] 2차 모니터링 시기의 TS 노면 축적량	65

[표 3-4] 3차 모니터링 기간 중 TS 노면 축적량	66
[표 3-5] 3차 모니터링 자료에 대한 TS 축적 함수 적용 결과	67
[표 3-6] 노면에 축적된 TS 중의 TOC, TN, TP 농도	69
[표 3-7] 강우 전후 TS에 결합한 오염물질의 농도 비교	75
[표 4-1] 10년간 고양시 도로 현황(2012~2021)	82
[표 4-2] 최근 5년간 고양시 기상 및 입자상 대기오염물질 농도 개황(2019~2023)	84
[표 4-3] 도로 유형별 주의구간 길이	88
[표 4-4] 단시간 공사 교통관리 기준	89
[표 4-5] 도로 유형 및 제한속도에 따른 도로 공사 구간 전용 주의표지 설치 간격	90
[표 4-6] 교통통제시설 구비 조건	96
[표 4-8] 민간위탁의 배경	101
[표 4-9] 정부조직법 제6조(권한의 위임 또는 위탁)	103
[표 4-10] 지방자치법 제104조 사무의 위임 등	103
[표 4-11] 행정관한의 위임 및 위탁에 관한 규정 제2조(정의) 및 제1조(민간위탁의 기준) ..	104
[표 4-12] 지방자치단체의 행정기구와 정원 기준 등에 관한 규정 제5조(기구의 설치 시 고려 사항) ..	104
[표 4-13] 기타 법률상 민간위탁 근거	105

그림 목차

[그림 2-1] 절에 따른 입자성 물질 축적량 비교	14
[그림 2-2] 기계식 청소차 예시	25
[그림 2-3] 진공청소차의 종류	26
[그림 2-4] 일반살수차	28
[그림 2-5] 고정식 살수장치	29
[그림 2-6] 개념모델을 이용한 도로 청소 효과 분석	36
[그림 2-7] 서울시 노면 청소 현황	45
[그림 2-8] 대구광역시 노면 청소 구역	50
[그림 3-1] 고속도로의 일 평균 교통량	55
[그림 3-2] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 지점	56
[그림 3-3] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 시료 채취 방법	57
[그림 3-4] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 현장 모습	58
[그림 3-5] TS 평균 노면 축적량	61
[그림 3-6] 1-2차 모니터링 시기의 측정 지점별 경과일수에 따른 TS 노면 축적량	62
[그림 3-7] 3차 모니터링 결과 도출된 TS의 축적 함수	66
[그림 3-8] TS의 입도조성비	67
[그림 3-9] 측정 지점별 오염물질의 평균 농도	70
[그림 3-10] 도로 비점오염물질 강우유출량 모니터링 지점	71
[그림 3-11] 도로 비점오염물질 강우유출량 모니터링 현장 모습	72
[그림 3-12] 경과시간에 따른 강우유출수 내 오염물질의 농도 변화	75
[그림 3-13] 오염물질별 강우 유출 누적 비율	76
[그림 4-1] 10년간 고양시 도로 현황(2012~2021)	79
[그림 4-2] 최근 5년간 월별 고양시 강우량 및 입자상 대기오염물질 평균 농도의 변화(2019-2023) ·	82

[그림 4-3] 교통관리 구간	84
[그림 4-4] 도로 주의구간 교통안전표지 설치 예시	85
[그림 4-5] 이동 공사 교통관리 방안	89
[그림 4-6] 단시간 작업 교통관리 기준	91
[그림 4-7] 이동 작업(노면 청소) 교통관리 방안 예시	92
[그림 4-8] 고정 공사 시 교통안전표지 설치 기준	94
[그림 4-9] 노면 청소 관련 매뉴얼 상 주요 내용 종합	96
[그림 4-10] 신공공관리적 정부 행정조직 운영 원리	99
[그림 4-11] 서비스 공급 방식에 따른 민간위탁의 위치	100

요 약

1. 연구의 개요

□ 연구의 배경과 필요성

- 도로, 수도, 전기, 하수 등의 도시 인프라는 도시 형성 과정에서 필수적인 기반 시설로 분류
- 도로는 도시 구성 및 쾌적한 생활환경 조성을 위한 핵심 기반 시설로 명확한 운영 계획수립이 필요
- 일반적으로 도로에는 인근 지역의 토사(비산먼지 등) 유입 및 차량 통행 시 발생할 수 있는 오염물질(부유물질, 중금속 및 오일류 등) 등이 도로 노면에 퇴적
- 도로는 대기, 생태계 오염 원인물질을 배출하는 미세먼지 발생원 및 비점오염원으로 볼 수 있으며, 도시의 건강한 생활환경 및 생태환경 조성을 위해 관리가 필수적
- 환경 오염물질 관리의 접근 방식은 생태계 유출을 기준으로 사전 예방과 사후관리로 분류되며, 도로 청소의 경우 노면 퇴적물 발생 지점에서 이루어지는 관리로 볼 수 있음
- 고양시를 포함한 도시에서 도로 노면 청소는 도시의 기능 유지를 위한 기본적인 공공서비스로 인식됨
- 도로 노면 청소 방식은 인력 기반 방식, 청소 장비 기반 방식, 그리고 혼합 청소 방식으로 분류되며, 각 방식에 따라 서로 다른 특성을 보임
- 효율적인 도로 노면 청소를 위해서는 청소 방식 특성을 고려한 방안이 제안되어야 함
- 따라서, 도로 노면 청소의 효율화 및 안정성을 확보하기 위해 운영 시스템 전반에 걸친 연구가 필요

- 본 연구의 핵심 목적은 고양시 도로 노면 청소 효율화 방안 도출이며, 세부 목적은 다음과 같음
 - 고양시 도로 현황조사
 - 고양시 도로 청소 현황조사
 - 도로 청소 대상 지역 특성 조사(추가 지역 포함)
 - 도로 청소 방식 특성 분석
 - 도로 청소 운영체계 분석
- : 운영 방식, 노면 청소 대행 선정 방식, 안정성 확보 방식 등

□ 연구의 내용 및 방법

- 도로 비점오염물질의 축적과 유출: 문헌 조사
- 도로 청소 관련 문헌 검토: 문헌 조사
- 국내·외 도로 청소 현황조사: 문헌 조사
- 고양시 도로 및 도로 청소 현황조사: 문헌 조사, 현장 조사, 실무자 자문
- 도로 청소 방식 특성 분석: 문헌 조사, 전문가 자문
- 도로 청소 운영체계 분석: 문헌 조사, 전문가 자문
- 도로 청소 안정성 확보 방안: 문헌 조사, 자료 분석

2. 현황 분석 및 문헌 검토

□ 도로 비점오염물질의 축적과 유출·저감 효과

- 도시유역의 도로에서 발생하는 강우유출수는 수계로 유입되는 오염물질의 주요 공급원임
- 교통량 증가 등의 비자연적인 활동을 통한 고농도 오염물질의 축적은 수계에 미치는 영향 증대를 유발

- 불투수지표면 중 대부분을 차지하는 도로의 비점오염물질은 무강우 시 노면에 쌓이다가 강우 시 강우유출수를 통해 수계로 유입되어 수질오염의 원인으로 작용
- 노면에 축적되는 입자성 물질은 도로의 특성(불투수율, 노면의 재질), 환경조건(토지이용, 인구밀도, 교통량, 도로 청소 여부), 기후조건(선행 무강우일수, 온도, 풍속) 등의 요인에 의해 축적량이 결정
- 노면에 축적된 입자성 물질의 입도분포는 대기오염과 수질오염 관리 측면 모두에서 중요한 의미를 지니며, 특히 미세입자는 대기오염 측면에서 잘 가라앉지 않고 대기 중에 떠다니는 부유물질로서 인체에 유입될 시 폐질환의 원인물질로서 작용
- 도로 청소는 도로 비점오염물질을 저감하는 데 있어 적은 비용으로 높은 효과를 거둘 수 있는 최적의 방법
- 도로 청소 오염물질 저감 효과를 정량화하기 위해서는 다방면으로 적절한 평가가 이루어져야 함
- 도로 청소의 오염물질 저감 효과 평가 목적은 크게 대기오염 관리 측면과 수질오염 관리 측면으로 구분됨
- 도로 청소 목적에 따라 저감 대상 물질이 달라질 수 있으며, 평가 방법 및 청소 효과의 평가 규모(point-scale 또는 catchment-scale)에 따라 저감 효율이 달라질 수 있음
- 도로 청소 효율에 영향을 미치는 인자에는 대표적으로 오염물질원 노면 축적량, 노면의 재질, 노면의 습윤 상태, 주차 조건, 청소 장비 운용 방식, 청소 횟수 등이 활용됨

□ 국내·외 도로 청소 연구 현황

- 국내 도로 청소의 오염물질 저감 효과에 관한 연구는 2000년대 이후 주로 수행. 초기에는 주로 대기오염물질 저감 효과에 중점이 맞추어져 있었으나, 최근 비점

오염 저감 대책 중 하나로 도로 비점오염물질에 의한 수질오염에 관한 연구가 수행됨

- 국외 도로 청소의 오염물질 저감 효과에 관한 연구는 주로 미국 등에서 비점오염원(도로 등)에 의한 강우유출수 관리의 관점에서 수계로 유입하는 노면의 퇴적물과 이와 결합하여 있는 오염물질의 저감 효과 등에 초점을 맞추어 수행
- 도로 청소를 통해 제거되는 입자성 물질은 입도 분포에 따라 다른 청소 효과를 나타내며, 일반적으로 입자가 클수록 높은 효율을 보이는 것으로 나타남
- 도로 청소의 오염물질 저감 효과는 계절, 강우 등 기상 조건에 따라 차이가 존재. 입자성 물질의 노면 축적량이 많은 겨울철에는 단위 면적당 저감량이 상대적으로 높게 나타나며, 강수량이 많은 여름철에는 입자성 물질이 강우유출수로 유출됨에 따라 단위 면적당 저감량이 적음에도 불구하고 미세먼지의 저감률은 높은 것으로 나타남
- 초기 노면 축적량이 많은 경우 진공 청소의 효율이 높으며, 초기 노면 축적량이 적을 때 진공 청소를 수행할 경우 미세입자의 재비산 영향으로 대기 중 미세먼지 농도가 증가하는 역효과가 발생할 수 있음
- 따라서 건기에는 진공 청소를 물청소보다 먼저 실시하는 것이 유리하며, 우기에는 물청소만 시행하는 것이 청소 효과가 높음

3. 도로 청소 현황 분석

□ 노면 청소 운영 현황

- 서울특별시시는 도심지역 대기 중 미세먼지 농도에 큰 부분을 차지하는 도로 비산먼지 제거를 위하여 2007년부터 서울시 전 도로(24,252 km)를 대상으로 분진 청소를 시행. 6차로 이상 주요 간선도로는 매일, 2~4차로의 일반도로는 주2회, 이면도로·골목길 등은 주1회 청소 실시
- 경기도는 수도권 상수원영향권 도로 비점오염 저감을 위하여 친환경 노면 청소 차량을 도입, 상수원영향권을 통과하는 6개 시·군 도로 68.7 km를 대상으로 주

2회 이상 노면 청소 실시

- 대구광역시는 미세먼지 발생 주요 요인인 도로 비산먼지 제거를 위해 전국 최초로 CNG 연료 기반 친환경 미세먼지 제거 차량 도입. 관내 16개 노선 2,664.2 km 도로를 대상으로 주 2~3회 청소를 실시.
- 조사 대상 지자체 모두 작업자들의 안전을 보호하고, 작업 시 교통 흐름 원활하게 하기 위해 노면 청소 작업 지침을 마련·운영하고 있음

□ 노면 청소 매뉴얼 수립 현황

- 국토교통부는 「도로법」에 규정된 각종 도로의 전부 또는 일부를 점용하는 모든 공사에 대하여 작업자 안전 규정, 작업 구간 통제 규정, 안전 표지판 설치 규정 등이 포함된 도로작업구간 안전 매뉴얼을 수립·운영
- 한국도로공사·경찰청은 제한속도 100 km/h 이상인 고속도로에 특화된 작업 안전 매뉴얼을 수립·운영하고 있으며, 특히 작업자들의 안전 확보를 위하여 작업보호자동차에 지향성 스피커, 완충장치(TMA)등 안전장비 장착을 필수로 규정하고 있음
- 서울시설공단은 서울시 노면 청소 작업시간인 22시~익일 07시 특성에 맞게 야간작업에 특화된 안전 매뉴얼을 구축·운영하고 있으며, 야간작업 시 근로자들의 복장, 도로 안전 표지판 등의 세부 규정을 마련함
- 3기관의 매뉴얼 모두 이동 작업 시 작업보호자동차 2대 이상 배치를 권고하였으며, 작업 유형에 따른 차량배치 규정, 도로 제한속도에 따른 차량배치 규정이 마련되어 있음
- 노면 청소의 특성상 고정 작업과 이동 작업이 혼합되어 있으므로, 두 작업 특성을 고려하여 고양시 노면 청소 안전 지침 수립을 마련할 필요가 있으며, 특히 자유로와 같은 제한속도 90 km/h 도시고속화도로 작업 시, 작업자들의 안전 보호를 위하여 안전 보호구, 안전 표지판, 작업 구간 통제를 포함한 세부 안전 규정을 마련할 필요가 있음

제 1 장

서론

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 내용 및 방법

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경과 필요성

1) 고양시 도로 인프라 현황

- 도로, 수도, 전기, 하수 등의 도시 인프라는 도시 형성 과정에서 필수적인 기반 시설로 분류
 - 특히, 도로는 도시 내 시민들의 이동을 위한 시설로 도시가 성장함에 따라 지속적인 공급이 필요
- 고양시 도로 인프라는 지속해서 증가
 - 관내 도로는 1990년대 1기 신도시 개발 이후 지속해서 확충되어 2021년 기준 고양시 전체 면적(286.1㎢) 그 중 약 7.2%(20.6 ㎢)에 해당하여 2012년 대비 약 21.2%(3.6 ㎢)가 증가
 - 도로 연장은 2012년 357.7km에서 2021년 861.8km로 약 140.9% 증가

2) 도로 환경 관리의 필요성

- 도로는 도시 구성 및 쾌적한 생활환경 조성을 위한 핵심 기반 시설로 명확한 운영 계획수립이 필요
 - 도로 시설에 대한 운영 계획을 수립할 경우, 운영 주체(공공기관)는 안전성, 편의성, 쾌적성, 환경성 등을 고려하여 운영 계획을 수립해야 함
 - 안전성, 편의성, 쾌적성 등은 도로포장 상태, 안전 시설물, 지반침하 및 도로 시설물(신호기, 표지판 등) 등 시민의 도로 사용과 관련된 사항으로 도로의 목적과 직접적으로 관련된 전통적인 필수 관리 항목으로 볼 수 있음

- 일반적으로 도로는 인근 지역의 토사(비산먼지 등) 유입 및 차량 통행 시 발생할 수 있는 오염물질 (부유물질, 중금속 및 오일류 등) 등이 도로 노면에 퇴적
 - 이러한 노면 퇴적 물질은 차량 통행 시 재부상(비산먼지) 후 인근 지역으로 이동하여 미세먼지 유발 및 대기질 악화를 초래
 - 또한, 강우 시 강우유출수에 의해 수계로 유입(비점오염물질)되어 인근 수생태계의 오염을 유발하며, 이는 생태 건강성을 위협하는 요소로 작용
 - 이에 도로 퇴적 오염물질은 대부분 입자성의 특징을 보이나, 중금속과 같은 이온 형태의 물질이 입자 표면에 흡착되어 있어 환경위해성이 높아 관리의 필요성이 대두
- 도로는 대기, 생태계 오염 원인물질을 배출하는 미세먼지 발생원 및 비점오염원으로 볼 수 있으며, 도시의 건강한 생활환경 및 생태환경 조성을 위해 관리가 필수적
 - 정부는 「물환경보전법」 제53조를 통해 도로 노면 퇴적 물질(비점오염원)에 대한 관리의 법적 근거를 수립
 - 또한, 2013년 동법 제53조의 2를 통해 도로 비점오염원 저감 시설의 설치 대상을 신규 도로에서 기존 도로로 확대하는 내용으로 개정
 - 이러한 법의 내용은 도로 비점오염원 관리의 필요성을 인식하여 적극적인 도로 비점오염원을 관리하고자 하는 의지를 표방함

3) 도로 환경 관리 방식

- 환경 오염물질 관리의 접근 방식은 생태계 유출을 기준으로 사전 예방과 사후관리로 분류
 - 사전 예방은 오염물질이 생태계로 유출되기 이전 오염물질을 처리하는 개념
 - 사후관리는 생태계 유출 이후 오염물질을 관리

- 사전 예방 개념에 근거한 오염물질 관리 방식은 경제성, 효율성, 유지관리성 및 안정성 등에서 유리
 - 해당 개념을 도로 청소에 적용할 경우, 사전 예방 항목은 비구조적 저감방안 및 도로 비점오염저감시설의 설치와 같은 구조적 저감방안 등을 통해 대기 및 생태계로 유입되기 이전 관리하는 것으로 볼 수 있음
- 도로 청소의 경우, 노면 퇴적물 발생 지점에서 이루어지는 관리로 볼 수 있으며, 노면 퇴적물 발생 이후 행해지는 초기 관리 과정으로 분류할 수 있음

4) 도로 청소 효율화

- 고양시를 포함한 도시에서 도로 노면 청소는 도시의 기능 유지를 위한 기본적인 공공 서비스로 인식
- 도로 노면 청소 방식은 인력 기반 방식, 청소 장비 기반 방식, 그리고 혼합 청소 방식으로 분류
 - 이들 중 청소 장비 기반 방식은 사용하는 장비 특성에 따라 건식청소와 습식청소로 분류
- 도로 노면 청소는 청소 방식에 따라 서로 다른 특성을 보이며, 효율적인 도로 노면 청소를 위해서는 청소 방식 특성을 고려한 방안이 제안되어야 함
 - 대부분 지방자치단체에서 청소 장비 보유, 운영비용 및 운영 체계 등의 한계 존재
 - 「중대재해처벌법」 제정에 따라 안전관리 체계 강화 필요
- 따라서, 도로 노면 청소의 효율화 및 안전성을 확보하기 위해 운영 시스템 전반에 걸친 연구가 필요

2. 연구 목적

○ 핵심 연구 목적

- 고양시 도로 노면 청소 효율화 방안 도출

○ 세부 연구 목적

- 고양시 도로 현황조사
- 고양시 도로 청소 현황조사
- 도로 청소 대상 지역 특성 조사(추가 지역 포함)
- 도로 청소 방식 특성 분석
- 도로 청소 운영 체계 분석
- : 운영 방식, 노면 청소 대행 선정 방식, 안정성 확보 방식 등

제2절 연구의 내용 및 방법

- 본 연구의 핵심 목적은 “고양시 도로 노면 청소의 효율적 운영 방안 도출”이며, 이를 위한 연구 내용 및 연구 방법을 정리하면 표 1-1과 같음

[표 1-1] 연구의 내용 및 방법

구분	내용
도로 비점오염물질의 축적과 유출	- 문헌 조사
도로 청소 관련 문헌 검토	- 문헌 조사
국내외 도로 청소 현황조사	- 문헌 조사
고양시 도로 및 도로 청소 현황조사	- 문헌 조사 - 현장 조사 - 실무자 자문
도로 청소 방식 특성 분석	- 문헌 조사 - 전문가 자문
도로 청소 운영 체계 분석	- 문헌 조사 - 전문가 자문
도로 청소 안전성 확보 방안	- 문헌 조사 - 자료 분석

제 2 장

국내·외 도로 청소 현황 분석

제1절 도로 비점오염물질의 축적과 유출

제2절 도로 청소 관련 문헌 검토

제3절 국외 연구 사례

제4절 국내 연구 사례

제5절 국내 노면 청소 운영 현황

제1절 도로 비점오염물질의 축적과 유출

1. 도로 비점오염물질의 축적과 유출

- 도시구역의 도로에서 발생하는 강우유출수는 수계로 유입되는 오염물질의 주요 공급원임(Bannerman et al., 1993; Ball et al., 1998; Goonetilleke et al., 2005)
 - 이는 불투수지표면에 축적된 오염물질이 빗물과 함께 빠르게 유출되고, 우수관망을 통해 수계로 유입되기 때문
- 교통량 증가 등의 비자연적인 활동을 통한 고농도 오염물질의 축적은 수계에 미치는 영향 증대를 유발

1) 도로 비점오염물질의 축적과 유출 함수

- 구역 내 주차장, 도로 및 교량 등의 불투수지표면은 작은 면적에 비해서 강우 시 다른 토지이용에 비해 강우유출수의 영향을 많이 받게 됨
- 불투수지표면 중 대부분을 차지하는 도로의 비점오염물질은 무강우 시 노면에 쌓이다가 강우 시 강우유출수를 통해 수계로 유입되어 수질오염의 원인으로 작용
- 도로 비점오염물질은 무강우 시 시간이 흐름에 따라 쌓이는 축적(build-up) 과정과 강우 시 유출(wash-off) 과정을 통해 수계로 유입(Vaze and Chiew, 2002)
- 도로 비점오염물질의 축적 과정은 무강우일수에 대한 시간의 함수로 표현
- 비점오염물질은 무강우일수에 따라 선형적으로 증가하지 않으며, 도로 주변 토지이용 등의 영향에 따라 비선형적으로 증가(Vaze and Chiew, 2002; Rossman, 2005)

- 한편, 노면에 축적되는 오염물질의 최대축적량은 기후조건과 도로특성에 따라 결정(Charbeneau and Barrett, 1998)
- 도로 표면의 입자성 물질의 축적 과정은 포화함수(saturation function), 멱함수(power function), 지수함수(exponential function) 등 3가지 함수로 표현할 수 있음
- 포화함수로 표현되는 오염물질의 축적량은 선형적으로 증가하다가 일정 시점이 지나면 최댓값까지 지속해서 감소(Rossman, 2005)

$$B = \frac{C_1 t}{C_{1/2} + t}$$

- 여기서, B = 단위 면적당 축적량(kg/m^2 or $\text{kg}/\text{curb km}$), C_1 = 최대 축적 가능량 (kg/m^2 or $\text{kg}/\text{curb km}$), $C_{1/2}$ = 최대 축적 가능량의 1/2에 도달하기까지 걸리는 소요 시간 (day), t = 무강우일수(day)
- 멱함수로 표현되는 오염물질의 축적량은 최댓값에 도달할 때까지 선형 무강우일수가 증가함에 따라 함께 증가(Ball et al., 1998; Rossman, 2005; Egodawatta, 2007)

$$B = \min(C_1, C_2 t^{C_3})$$

- 여기서, B = 단위 면적당 축적량(kg/m^2 or $\text{kg}/\text{curb km}$), C_1 = 최대 축적 가능량 (kg/m^2 or $\text{kg}/\text{curb km}$), C_2 = 축적 상수, C_3 = 시간 지수, t = 무강우일수 (day)

- 지수함수로 표현되는 오염물질의 노면 축적량은 지수적으로 축적되며, 점진적으로 최댓값에 도달(Grottker, 1987; Rossman, 2005)

$$B = C_1(1 - e^{-C_2 t})$$

- 여기서, B = 단위 면적당 축적량(kg/m² or kg/curb km), C_1 = 최대 축적 가능량 (kg/m² or kg/curb km), C_2 = 축적 속도 상수(1/day), t = 무강우일수(day)
- 무강우 시 노면에 축적된 비점오염물질은 강우 시 강우유출수와 함께 관거로 이동하거나 수계로 유입
- 강우 시 유출되는 오염물질의 양은 강우유출수와 노면에 축적된 오염물질의 양에 의해 결정됨(Egodawatta, 2007). 노면에 축적된 입자성 물질의 유출 과정은 멱함수(power function), 유량곡선함수(rating curve function), 지수함수(exponential function) 등 3가지 함수로 표현할 수 있음
- 멱함수로 표현되는 오염물질의 유출량은 강우유출수와 오염물질 축적량에 비례하여 증가(Rossman, 2005)

$$W = C_1 Q^{C_2} B$$

- 여기서, W = 오염물질의 유출량(kg/km²), C_1 = 유출계수, C_2 = 유출 지수, Q = 단위 면적당 유출량(mm/hr), B = 오염물질의 축적량(kg/km²)
- 유량곡선함수로 표현되는 오염물질의 유출량은 강우유출수에 비례하여 증가하는 것으로 표현됨(Rossman, 2005)

$$W = C_1 Q^{C_2}$$

- 여기서, W = 오염물질의 유출량(kg/km²/sec), C_1 = 유출계수, C_2 = 유출 지수,
 Q = 단위 면적당 유출량(m³/sec)
- 지수함수로 표현되는 오염물질의 유출량은 강우강도와 오염물질 축적량의 비례관계로 표현(Sartor et al., 1974; Egodawatta, 2007)

$$W = (1 - e^{-C_1 I t})$$

- 여기서, W = 시간 t 에서 오염물질의 유출량(kg/km²), C_1 = 유출 지수, I = 강우강도

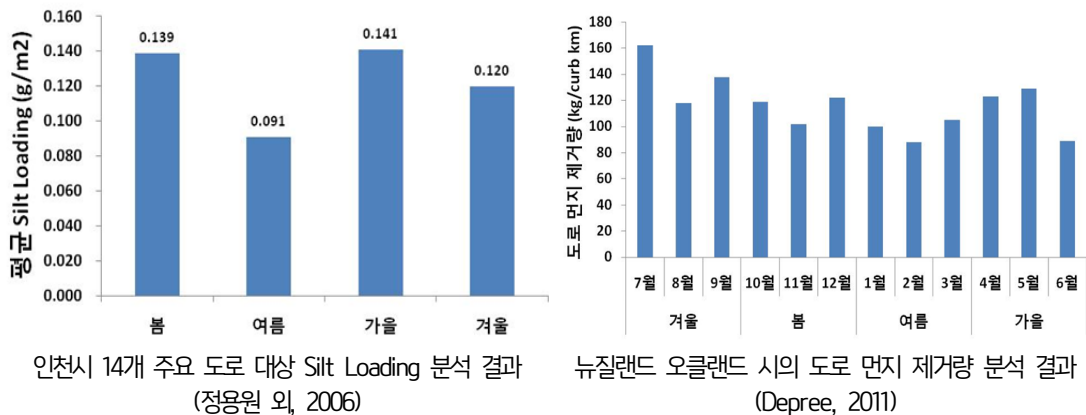
2) 입자성 물질의 축적(build-up) 특성 분석

- 노면에 축적되는 입자성 물질은 도로의 특성(불투수율, 노면의 재질), 환경조건(토지이용, 인구밀도, 교통량, 도로 청소 여부), 기후조건(선행 무강우일수, 온도, 풍속) 등의 요인에 의해 축적량이 결정(Ball et al., 1998; Egodawatta and Goonetilleke, 2006; Zhu et al., 2008; Jartun et al., 2008)
- Egodawatta (2007)은 무강우일수 초기 2일 동안 입자성 물질의 평균 축적량이 약 2.3 g/m²/day로 21일 동안의 총축적량의 66%이며, 초기 2일 이후 축적속도가 급격히 감소하는 것으로 나타남
- 입자성 물질의 노면 축적량은 일정 시간이 지나면 최댓값에 도달하여 평형을 이루게 되고, 평형상태에서는 오염물질의 축적량과 바람이나 차량의 이동으로 발생하는 교란으로 인한 감소량이 균형을 이룸(Ball et al., 2005)
- 불투수지표면에서 오염물질의 축적량은 일반적으로 무강우일수에 대한 감쇄증가함수(decreasing rate increasing function)로 알려져 있으나, 일부 연구 결과에

서는 노면의 오염물질 축적률은 기후조건, 토지이용, 교통량, 노면의 재질 등 지역적 특성의 영향이 크다고 말함(Deletic and Orr, 2005; Herngren et al., 2006; Vaze and Chiew, 2002)

- 계절별 입자성 물질 축적량 비교해 보면, 인천시의 연구 결과에서는 봄, 가을이 가장 높고, 겨울, 여름 순으로 나타났으며, 뉴질랜드 오클랜드 시의 연구 결과에서는 겨울철이 139 kg/curb km로, 여름철 98 kg/curb km보다 43% 더 높게 나타남[그림 2-1]
- 뉴질랜드 오클랜드시에서 여름보다 겨울에 입자성 물질 축적량이 높은 것은 여름에는 집중 강우로 인해 강우유출량이 증가하기 때문이며, 인천시도 비슷한 경향을 보이거나 봄과 가을은 황사 등의 영향으로 증가한 것으로 판단

[그림 2-1] 계절에 따른 입자성 물질 축적량 비교



- 노면에 축적된 입자성 물질의 입도 분포는 대기오염과 수질오염 관리 측면 모두에서 중요한 의미를 지님
- 특히, 입자성 물질 중 미세입자는 대기오염 측면에서는 잘 가라앉지 않고 대기 중에 떠다니는 부유분진이라 불리며 인체에 유입되면 폐질환의 원인물질로 관리

- 수질오염 측면에서는 영양염류, 중금속 등의 오염물질이 결합하기 쉬워 강우유출 시 수계에 고농도 오염물질이 유입되는 원인물질로 관리(유기영, 나유미, 2006)

3) 입자성 물질에 결합한 오염물질의 농도

- COD, 질소, 인, 중금속, 제초제, PCBs 등 입자성 물질과 결합한 형태로 존재하는 오염물질은 입자의 크기가 작을수록 높은 비율을 나타내는 것으로 나타남[표 2-1]
- TetraTech (2001)에서도 COD를 제외한 대부분이 오염물질의 미세입자와 결합하여 있는 것으로 나타남에 따라 오염물질 저감을 위해서는 입자가 작은 오염물질을 중점적으로 제거하기 위한 계획을 수립해야 함을 알 수 있음

[표 2-1] 도로 표면 오염물질의 입자 크기별 분포(Sartor et al., 1974)

구분	입자 크기 (μm)					
	< 43	43~104	104~240	240~840	840~2000	> 2000
TS	5.9	9.7	27.8	24.6	7.6	24.4
Volatile solids	25.6	17.9	16.1	12.0	17.4	11.0
COD	22.7	45.0	12.4	13.0	4.5	2.4
BOD5	24.3	17.3	15.2	15.7	21.1	7.4
Phosphates	56.2	29.6	6.4	6.9	0.9	0
All toxic metals	27.5		23.5	14.9	17.5	16.3
TKN	18.7	19.6	20.2	2.0	11.6	9.9
All pesticides		73.0			27.0	
PCBs		34.0			66.0	

2. 도로 비점오염물질의 유출(wash-off) 특성 분석

- 강우유출수의 수질에 영향을 미치는 인자에는 기상 조건의 경우 우강도, 강우지속시간, 선행 건기일수가 있고, 환경조건으로 유역면적, 토지이용현황, 불투수율, 인구밀도, 교통량, 도로 청소 주기를 활용(방기웅, 이준호, 2004)
- 도로 유형에 따라 비점오염물질의 유출 특성은 변화
 - 윤영삼 외(2010)의 연구 결과에 의하면, 고속도로의 경우 강우강도가 높아 유출 초기에 희석효과에 기인하여 비교적 낮은 유출 농도를 보였으나, 유출이 지속됨에 따라 유출수의 농도가 낮아지지 않고 유사한 농도를 보이고, EMC 값이 일반국도에 비해 다소 높게 산출
 - 도심 간선도로의 경우 많은 통행량, 상업 활동, 공업 활동 등 다양한 인위적인 영향으로 인해 다른 유형의 도로에 비해 비점오염 유출부하량이 높은 것으로 판단
- Barrett et al. (1995)은 교통량 3만 대를 기준으로 도로를 구분하여 비점오염 유출량을 분석한 결과, 구리, 아연 등 중금속과 COD가 교통량에 따른 차이를 가장 많이 보임[표 2-2]
- 교통량, 주변 토지이용 특성 등의 요인들이 비점오염물질의 유출에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이에 대한 보다 구체적인 연구가 필요

[표 2-2] 교통량에 따른 고속도로의 강우유출수 농도 비교(Barrett et al., 1995)

오염물질	High Traffic Site (A) (mg/L)	Low Traffic Site (B) (mg/L)	A/B
TSS	131	118	1.11
VSS	36	20	1.80
COD	126	40	3.15
NO3	1.030	0.730	1.41
구리	0.034	0.007	4.86
납	0.050	0.016	3.13
아연	0.208	0.050	4.16

A : 교통량 30,000 대/일 이상, B : 교통량 30,000 대/일 이하

- 도로 오염물질의 유출 과정에서 강우강도도 중요한 요인으로 작용
 - Egodawatta (2008)에서는 강우강도가 증가함에 따라 강우 초기 10분 안에 유출되는 입자성 물질의 부하량이 꾸준히 증가하고 있음을 보여줌 (표 2-3). 강우강도는 입자성 물질이 노면에서 탈착되는 힘으로 작용하기 때문에 초기 우수로 발생하는 강우유출수의 농도와 부하량과 밀접한 관련이 있음

[표 2-3] 강우강도에 따른 입자성 물질의 유출부하량(Egodawatta, 2008)

경과시간	강우강도에 따른 입자성 물질의 유출부하량(mg)					
	20mm/hr	40mm/hr	65mm/hr	86mm/hr	115mm/hr	133mm/hr
5					3,390.2	5,987.9
9						7,595.8
10	1,267.9	3,484.4	2,806.7	3,735.1	4,006.0	
13						5,908.9
15		1,531.2	1,756.6	1,356.3	3,177.0	
17						5,456.9
20	507.9		2,560.3	1,566.2		4,095.0
22					4,925.5	
25		2,421.1				
27				3,221.5		
30	237.1		4,582.9			
35		2,458.7				
40	255.2					

3. 도로청소의 비점오염물질 저감 효과

- 도로 청소가 도로 비점오염물질을 저감하는 데 있어 적은 비용으로 높은 효과를 나타내는 것으로 알려져 있으나, 이를 정량화하기 위해서는 도로 청소의 비점오염물질 저감 효과에 대한 적절한 평가가 이루어져야 함
- 도로 청소 효과는 도로 청소 방법과 저감 효율의 정의에 따라 다르게 나타남
- 도로 청소의 오염물질 저감 효과 평가 목적은 크게 대기오염 관리 측면과 수질오염 관리 측면으로 구분할 수 있음[표 2-4]
- 대기오염 관리 측면에서는 도로 청소를 통해 노면에서 재비산되는 미세먼지의 저감량 평가에 중점을 두는 반면, 수질오염 관리 측면에서는 수계 또는 우수관거 등으로 유입되는 오염물질 부하량의 저감량 평가에 중점을 둠(정용원 외, 2006)
- 이와 함께 도로 청소의 목적에 따라 저감 대상 물질이 달라질 수 있으며, 평가 방법 및 청소 효과의 평가 규모(point-scale 또는 catchment-scale)에 따라 저감 효율이 달라질 수 있음
- 또한 청소차의 성능, 도로 및 교통 특성, 기상 특성 등에 따라 차이를 보일 수 있으며, 동일 도로에서도 청소 구간 및 청소 시간 등에 따라 다른 평가 결과를 보일 수 있음(국립환경과학원, 2007)
- 도로 청소 효율에 영향을 미치는 인자에는 오염물질원 노면 축적량, 노면의 재질, 노면의 습윤 상태, 주차 조건, 청소 장비 운용 방식, 청소 횟수 등이 활용(Pitt, 1979)

[표 2-4] 도로 청소의 비점오염 저감 효과 평가 방법

청소 목적	평가 대상 물질	평가 방법	평가 규모
대기오염 관리	도로 비산먼지 (미세먼지, silt loading, PM10 등)	진공청소기를 이용한 방법	Point-Scale
		도로 재비산먼지 측정 방법	Point-Scale
		이동식 먼지 측정 장비를 이용	Local-Scale
수질오염 관리	도로 비점오염물질 (TSS, COD, TN, TP, 중금속 등)	진공청소기를 이용한 방법	Point-Scale
		인공강우에 의한 유출수 분석	Point-Scale
		수거퇴적물 분석	Local-Scale
		유역 모델을 이용한 방법	Catchment-Scale

제2절 도로 청소 관련 문헌 검토

1. 도로 청소의 정의

- 도로 청소는 노면에 축적된 오염물질을 제거하고, 강우유출수를 통해 수계로 유입하는 오염물질을 저감하기 위한 방법 중 하나임
- 도로 청소에 대한 활용도가 증가함에 따라 이와 관련된 연구는 꾸준히 지속됨
 - 도로 청소를 통한 오염물질 저감방안은 오랜 역사를 지닌 도시 청결 정책으로 다양한 청소 장비가 개발, 운영됐으며, 도시 특성에 맞는 도로 청소 정책이 수립되어 실시
- 본 장에서는 문헌 검토를 통해 국내·외에서 사용 중인 도로 청소 방법 및 대표적 장비를 파악하고, 국내를 포함한 세계 주요 도시에서 시행 중인 도로 청소 현황을 조사
- 이와 함께 비점오염물질이 노면에 축적 및 강우 시 유출되는 과정을 이해하고, 도로 청소의 청소 효과에 관한 연구 사례를 분석

2. 도로 청소의 종류와 특징

- 도로 청소는 기본 기능인 도로 청결을 유지함과 동시에 대기오염, 수질오염, 토양오염 등을 개선하는 효과가 있어 점차 확대되는 추세
- 초기의 청소 방법은 주로 빗자루와 삽 등을 활용하여 도로 위에 쌓인 쓰레기와 동물의 배설물 등을 제거하는 인력 청소가 대부분이었음
- 이후, 도로 청소에 대한 수요 증가와 청소 효율성 증대를 위해 도로 청소 차량을 이용한 청소 방식이 도입

- 1843년 영국 맨체스터 지역의 Joseph Whitworth가 기계식 청소 차량을 최초 개발한 후 다양한 형태의 청소 차량이 개발되어 현재까지 활용 중
- 현대의 청소 장비는 도로에서 오염물질을 제거하기 위해서 다양한 기능을 가진 장치를 사용

1) 도로 청소 방법 구분

(1) 인력을 통한 청소

- 본 연구에서는 도로 청소 방법을 [표 2-5]에 제시된 바와 같이 구분하였음
- 도로 청소 방법은 크게 인력을 이용한 청소와 청소 장비를 이용한 청소로 구분
 - 인력을 통한 청소는 주로 지하차도, 이면도로, 인도, 광장, 상가 등 청소 차량이 접근하기 어려운 지역이나 주차 차량이 많고 인구밀집도가 높은 지역을 대상으로 수행
 - 청소 장비의 경우 리어카 등 간이 청소 장비를 이용하여 노면의 큰 오염물질을 제거하며, 노면 청소와 함께 쓰레기 수거, 재활용 분리 등 부차적인 기능을 수행
 - 또한 주차 차량이 많아 청소 차량의 접근이 어려운 지역에 인력을 미리 투입하여 주차 차량 밑의 쓰레기를 청소 차량의 접근이 쉬운 지역으로 옮기는 역할을 수행
 - 과거에는 폭 12 m 이상의 도로를 대상으로 환경미화원들이 수하차를 이끌고 빗질하는 인력 청소가 대부분이었으나(유기영, 나유미, 2006), 현재 대부분 지방자치단체에서는 관내 폐기물 및 재활용품 수거, 도로 청소, 공중화장실 청소 및 관리 등을 위해 환경미화원을 고용하여 운영 중(김덕준, 2006)

[표 2-5] 도로 청소 방법 구분

구분	청소 방법			
인력을 이용한 청소	순수 인력에 의한 청소 방법			
청소 장비를 이용한 청소	건식청소	기계식 청소차		
		진공흡입식 청소차 (진공청소차)	공기재생식	
			공기배출식	필터장착 (분진흡입차)
				필터미장착 (노면청소차)
	습식청소	물청소차	고압살수차	
			브러시장착 살수차	
			진공흡입식 살수차	
	고정식 살수장치			

(2) 청소 장비를 이용한 청소

□ 건식 청소법

- 청소 장비를 이용한 청소 방법은 다시 건식청소법과 습식청소법으로 구분함
- 건식청소법은 브러시나 공기분사를 이용하여 노면을 교란한 후 오염물질을 제거하는 방식을 의미
- 노면의 쓰레기를 제거하여 적재하는 방식에 따라 기계식 청소차를 이용한 방법과 진공흡입식 청소차를 이용한 방법으로 구분
- 진공흡입식 청소차는 진공상태에서 흡입한 공기를 처리하는 방식에 따라 공기순환식과 공기배출식으로 나눌 수 있으며, 공기배출식은 필터 장착 여부에 따라 재분류 가능

□ 습식 청소법

- 습식청소법은 물을 분사하여 오염물질을 제거하는 방식으로 물청소차를 이용한 방법과 고정식 살수장치를 이용한 방법으로 구분
- 물청소차를 이용한 방법은 다시 물을 고압으로 분사하는 기능을 가진 고압살수차와 브러시를 장착한 브러시 장착 살수차, 분사한 물을 흡입하는 진공흡입식 살수차로 구분할 수 있음
- 청소 장비를 이용한 청소 방법은 비교적 안전하고, 빠르게 도로 청소를 수행할 수 있으므로 세계적으로 청소 장비를 이용한 도로 청소가 적극적으로 활용 중임
- 도로 청소 장비의 기술이 발달함에 따라 전기배터리를 이용한 소형청소차 등 새로운 방식의 청소 장비들이 증가하는 추세
- 최근 영국과 핀란드에서는 고압물분사장치와 진공흡입장치를 연계장착하는 Captive Hydrology 기술을 이용한 고효율 청소차가 개발되어 이용 중임 (Schilling, 2005; City of San Diego, 2010; Kupiainen et al., 2011)

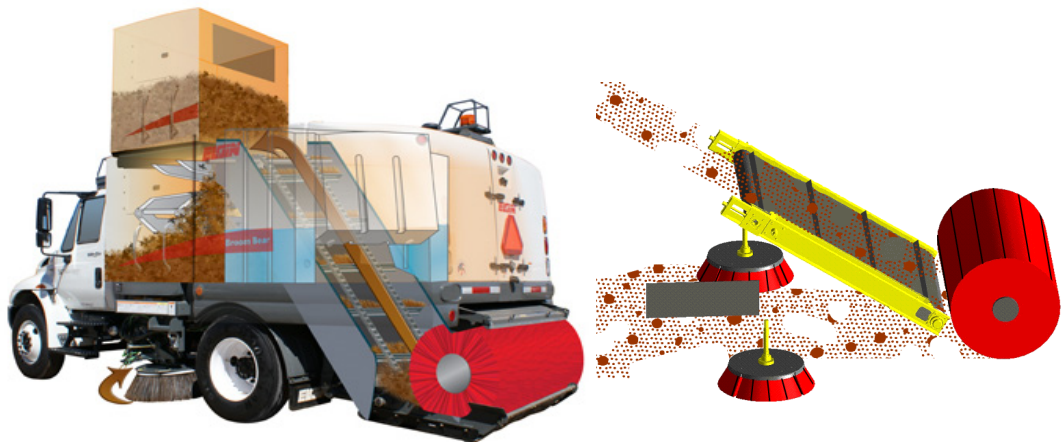
2) 도로 청소차의 종류와 특징

(1) 기계식 청소차

- 기계식 청소차(Mechanical Street Sweeper or Mechanical Broom Sweeper)는 인력을 통한 청소 방법인 빗자루를 이용하여 노면의 오염물질을 쓸어 담는 방식을 기계 장비로 변환한 형태의 장비를 의미하며[그림 2-2], 회전하는 브러시(broom)가 도로 위 오염물질을 컨베이어 시스템으로 밀어 올리고, 이를 호퍼에 저장하여 제거하는 방식임

- 주로 도로 위의 입자가 큰 오염물질(쓰레기, 젖은 식물, 자갈, 큰 모래, 도로 먼지 등)을 제거하는 데 효과적이기 때문에 미국 등 여러 나라에서 여전히 중요한 도로 청소 장비로 이용 중임
- 상대적으로 미세먼지 제거에 있어서는 취약하므로 수질, 대기 관리 등 환경적인 측면에서는 한계가 있으며, 다른 방식에 비해 운영비용이 많이 소요
- 최근 먼지 발생을 억제하기 위해 소량의 물 분사를 동시에 수행하는 습식장비도 이용되고 있으나, 고효율의 청소 장비가 지속 개발됨에 따라 비중이 점차 감소하는 추세

[그림 2-2] 기계식 청소차 예시



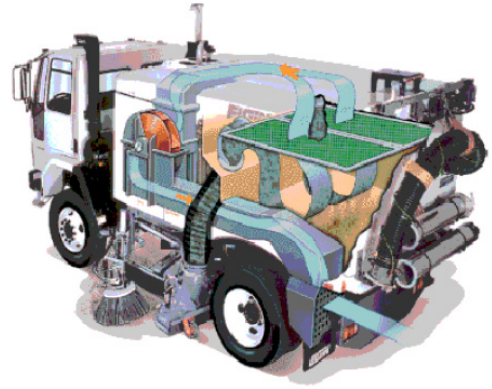
(2) 진공흡입식 청소차

- 진공흡입식 청소차(Vacuum-assisted Sweeper, 이후 진공청소차로 약칭)는 탑재된 보조엔진의 모터 장치가 만들어 내는 진공상태를 이용하여 노면의 오염물질을 제거하는 방식을 의미
- 진공청소차는 다시 공기순환식과 공기배출식으로 구분[그림 2-3]

[그림 2-3] 진공청소차의 종류



공기순환식



공기배출식

- 공기순환식은 차량 내부가 폐쇄형 공기순환 시스템으로 이루어져 있으며, 청소차에 장착된 측구 브러시(gutter broom)가 노면의 오염물질을 흡입구(pick-up head)로 이동시킨 뒤 강력한 공기를 분사하여 오염물질을 진공장치로 이동시켜 제거한 후 오염물질을 호퍼에 적재
 - 즉, 연속 여과 시스템을 가진 고압 진공이 오염물질을 제거하고 공기를 재순환하는 방식임
- 공기배출식은 차량의 측면에 있는 흡입구를 통해 오염물질을 흡입하여 적재하고, 흡입한 공기는 다시 밖으로 배출
- 공기배출식은 필터 장착 여부에 따라 다시 구분할 수 있음
 - 필터를 장착하는 경우 미세입자 제거에 유리하지만, 흡입압력을 증대시키기 위해 많은 에너지가 소모되는 단점이 있음[표 2-6]
- 따라서 미세입자를 제거하기 위해서는 필터를 장착한 진공청소차가 유리하며, 많은 양의 조대입자를 제거하기 위해서는 필터를 장착하지 않은 진공청소차가 유리

- 필터 장착 진공청소차는 미세입자의 비산을 막기 위해 브러시를 사용하지 않기도 하며, 국내에서는 필터 미장착 진공청소차를 노면청소차, 필터 장착 진공청소차를 분진흡입차라고 지칭

[표 2-6] 진공청소차의 분류 및 일반적 제원 비교

구분	공기순환식	공기배출식	
		필터 장착	필터 미장착
운영 방식	건식/습식	건식/습식	습식
제거 대상 물질	조대입자/미세입자	조대입자/미세입자	조대입자
필터 유무	X	O	X
필터 공극(μm)	-	2.5 ~ 10	-
진공 흡입압력(hp)	115 ~ 125	115 ~ 125	53 ~ 196
흡입 풍량(m^3/min)	567 ~ 843	422 ~ 562	270 ~ 324
흡입구 직경(mm)	ϕ 305 ~ 324	ϕ 280 또는 50 × 2300	ϕ 240 ~ ϕ 280
적재 용량(m^3)	6.0 ~ 12.0	4.97 ~ 6.0	0.87 ~ 10

NB: a) 미국 Elgin사와 Schwarze사의 제원 분석 및 국내 제조 업체(5곳) 설문조사 결과

(3) 일반살수차

- 일반살수차[그림 2-4]는 물 분사 장치(노즐)를 통해 고압으로 도로의 토사 및 먼지 등을 빗물받이로 유출해 오염물질을 제거하는 방식으로 입경 60 μm 이하의 실트 또는 점토질 입자를 제거하는 데 효과적임
- 전면에 여러 개의 물 분사 장치가 있는 봉(bar)이 있으며, 측면의 한쪽 또는 양쪽에 타원형의 고압 물 분사 장치가 장착

- 살수를 통해 제거된 오염물질은 도로면에서 사라질 뿐 관거를 통해 수계로 유출되기 때문에 비점오염 관리 측면에서는 비효율적임
- 이러한 일반살수차의 단점을 보완하기 위해 개발된 진공흡입식 살수차는 차량 전면의 물 분사 장치에서 도로 표면에 살수한 물을 차량 중간에 설치한 진공흡입구를 통해 회수하는 방식임
- 진공흡입식 살수차는 서울시 중구, 종로구, 관악구에서 시범적으로 운영되었으나 진공흡입구를 차량의 폭 이상으로 확대할 수 없어 살수한 물을 전량 회수하는 것이 불가능하고, 수거된 폐기물 적재 공간으로 인해 청소용수 공간이 부족해지는 등의 문제점으로 인해 현재는 운행되지 않음

[그림 2-4] 일반살수차(유기영과 나유미, 2006)



(4) 고정식 살수장치

- 고정식 살수장치[그림 2-5]는 도로의 분진 제거와 도심 열섬현상을 완화하기 위한 목적으로 도로 중앙의 표지병과 연계된 노즐을 통해 물을 분사하여 도로 측면의 배수구로 오염물질을 유출하는 방식임(이희관 외, 2008)
- 현재 국내에서는 서울시, 대구시, 포항시 등에서 <클린로드시스템>이라는 이름으로 시범운영 중임

[그림 2-5] 고정식 살수장치(이희관 외, 2008)



제3절 국외 도로 청소 현황

1. 국외 연구 사례

- 도로 청소의 오염물질 저감 효과에 관한 연구는 주로 미국 등에서 비점오염원(도로 등)에 의한 강우유출수 관리(Stormwater management)의 관점에서 수계로 유입하는 노면의 퇴적물과 이와 결합하여 있는 오염물질의 저감 효과 등에 초점을 맞추어 수행(정용원 외, 2006)
- 국외의 주요 국가에서는 주로 건식 청소 장비를 이용하고 있으며, 이에 관한 연구가 큰 비중을 차지
- 노면에 축적된 입자성 물질은 다양한 입도 분포를 나타냄
- 도로 청소를 통해 제거되는 입자성 물질은 입도 분포에 따라 다른 청소 효과를 나타내는데, 일반적으로 도로 청소의 제거 효과는 입자가 클수록 높은 효율을 보이는 것으로 알려짐
- Sartor and Boyd(1972)는 진공 청소 시 입자 크기에 따라 청소 효율이 다르게 나타나는데, 43 μm 이하의 미세입자보다 2,000 μm 이상의 조대입자를 제거할 때 약 5배 정도 청소 효율이 높은 것으로 나타남[표 2-7]

[표 2-7] 입자 크기별 진공 청소에 의한 청소 효율(Sartor and Boyd, 1972)

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

- Vase and Chiew (2003)는 청소 전보다 청소 후에 입자성 물질의 미세입자 비율이 오히려 증가하는 것으로 나타남
- 이는 도로 청소 중 브러시 작용으로 인해 재비산된 미세입자를 청소 차량이 충분히 흡입하지 못하기 때문이며, 이에 따라 미세입자와 결합한 오염물질이 더 증가할 수 있음
- 국외에서 주로 사용하는 청소 차량의 종류에는 기계식 청소차, 공기재생식 청소차, 진공흡입식 청소차가 있으며, 청소 차량에 따른 저감 효과에 관한 연구도 활발히 진행
- 일반적으로 진공흡입식 청소차가 기계식 청소차보다 효율이 높은 것으로 나타남
- Duncan (1985)은 기계식 청소차는 입자성 물질의 20%를 제거하고, 진공흡입식 청소차는 70%를 제거한다고 보고하였으며, Breault (2005)에 따르면, 진공흡입식 청소차가 기계식 청소차에 비해 최소 1.6배에서 최대 10배까지 높은 청소 효율을 보이는 것으로 나타남[표 2-8]

[표 2-8] 입도별 청소 차량 종류별 입자성 물질 제거 효율(%) (Breault et al., 2005)

입자 크기 (단위 : μm)		<63	63~125	125~250	250~2000	>2000	total
기계식 청소차	실험a1	13	9	9	40	38	31
	실험a2	13	10	11	18	31	20
진공흡입식 청소차	실험b1	39	31	38	62	86	60
	실험b2	81	93	75	93	94	92

- Geles (2005)는 미국 Elgin사의 청소 차량을 대상으로 청소 효율을 평가. 63 μm 이하의 미세입자 제거 효율이 진공흡입식 청소차가 93%로 가장 높게 나타났으며, 공기재생식 청소차 90%, 기계식 청소차 81% 순으로 나타남[표 2-9]. 그리고 Bris (1999)은 파리시에서 실시하는 고정식 살수장치(water jet street cleaning procedure)를 이용한 청소는 입자성 물질에 대한 청소 효과가 20~80%로 변동이 크며, 입자의 크기가 클수록 효과가 높아지는 결과 도출

[표 2-9] 청소 차량의 종류별 청소 효율 분석(Geles, 2005)

청소차량의 모델명	청소차량의 종류	청소 전(g)	청소 후(g)	총 제거 효율(%)	미세입자 (<63 μm) 제거효율(%)
Waterless Eagle (FW)	기계식	3405	288.3	91.5	78.1
Waterless Eagle (FW) with water	기계식	3405	646.0	81.0	68.2
Crosswind (NX)	공기재생식	3405	85.6	97.5	90.8
Crosswind	공기재생식	3405	121.1	96.4	89.4
Whirlwind (MV)	진공흡입식	3405	221.1	93.5	93.5
평균		3405	272.4	92.0	84.0

- 도로 청소의 오염물질 저감 효과는 계절, 강우 등 기상 조건에 따라 차이가 발생
- 겨울철에는 노면에 축적된 입자성 물질의 양이 많으므로 단위 면적당 저감량이 상대적으로 높게 나타나며, 여름철에는 잦은 강우로 인해 미세입자를 포함한 입자성 물질이 강우유출수로 유출됨에 따라 단위 면적당 저감량이 적음에 불구하고 미세먼지의 저감률은 높게 나타남[표 2-10]

[표 2-10] 진공흡입식 청소차의 여름과 겨울의 청소 효율 비교(Brown et al., 2011)

계절	저감율 (%)		단위면적당 저감량(g/m ²)		총 저감량 (kg)	
	Total	<16 um	Total	<16 um	Total	<16 um
겨울	77	45	61	3.10	3735	192
여름	52	62	19	0.78	139	5.9

- 그리고 건기에는 진공 청소를 물청소보다 먼저 실시하는 것이 유리하지만, 우기에는 물청소만 시행하는 것이 오히려 효과가 높은 것으로 도출[표 2-11]
- 이는 초기 노면 축적량이 많은 경우 진공 청소의 효율이 높지만, 초기 노면 축적량이 적으면 미세입자의 입자성 물질을 대상으로 진공 청소를 시행할 때 재비산 등의 영향으로 미세먼지가 증가하는 역효과가 발생할 수 있기 때문임
- 따라서 초기 노면 축적량이 적은 경우, 미세먼지를 집중적으로 제거할 수 있는 도로 청소 방법이 더 효과적인 것으로 판단

[표 2-11] 진공흡입식 청소차와 일반살수차의 입자성 물질 저감 효율(Brown et al., 2011)

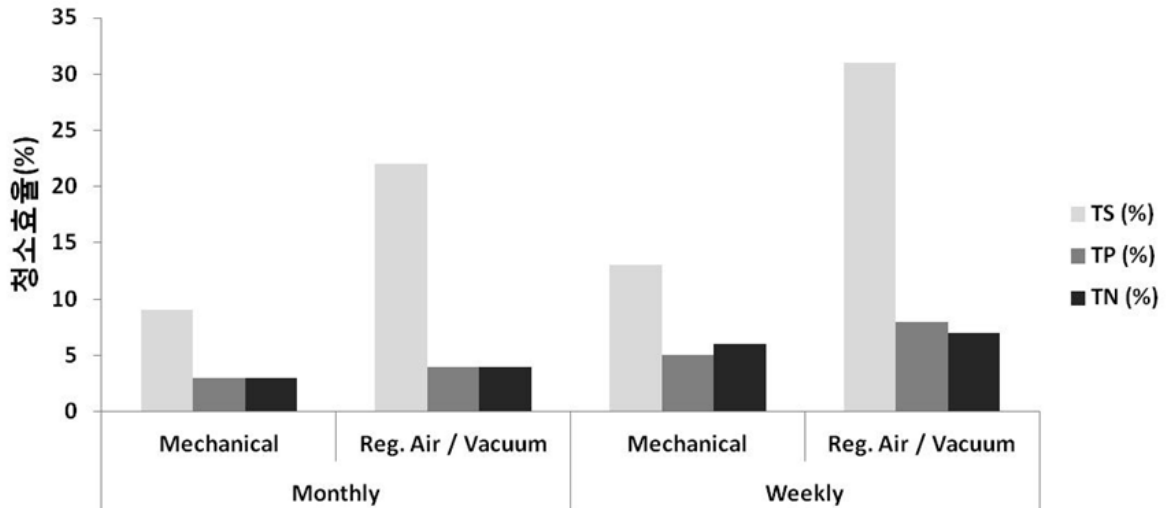
측정시기	측정지점	조건	노면 축적량(g/m ²)		저감효율(%)	
			total	<16 μ m	total	<16 μ m
3월 22일 (건기)	지점 1	초기조건	288	17		
		진공청소 후	23	5.8	92.0	65.9
		물청소 후	8.7	0.96	97.0	94.4
	지점 2	초기조건	186	11		
		물청소 후	106	5.7	43.0	48.2
		진공청소 후	25	2.9	86.6	73.6
6월 1일 (우기)	지점 1	초기조건	75	5.8		
		물청소 후	22	1.1	70.7	81.0
		진공청소 후	-	-	-	-
	지점 2	초기조건	18	2.1		
		진공청소 후	14	2.2	22.2	-4.8
		물청소 후	7	0.63	61.1	70.0

- 도로 청소의 오염물질 저감 효과를 평가하는 방법 중 유역 규모에서 저감량을 산정하기 위해서는 모델링 기법을 이용해야 함
- Stack et al. (2008)은 개념모델(Conceptual Model)을 이용하여 청소 방법 (Mechanical and Reg. Air/Vacuum), 청소 주기(weekly and monthly) 등의 조건에 따른 청소 효과를 평가[그림 2-6]
- 여기서 청소 횟수가 많을수록 그리고 기계식보다 공기재생식이나 진공흡입식이 청소 효과가 높은 것으로 나타났으며, 공기재생식과 진공흡입식은 큰 차이를 보이지 않음
- Sutherland and Jelen (1997)은 SIMPTM 모델을 이용하여 입도별 도로 청소 효과를 평가하였는데, 모델에 포함된 도로 청소 평가식은 다음과 같음

$$P_{Rem} = SS_{Eff} \times (P_0 - SS_{min}), \text{ for } P_0 > SS_{min}$$

- 여기서, P_{Rem} = 제거된 입자성 물질의 양(g./curb m or g/paved m²),
 P_0 = 축적된 입자성 물질의 초깃값(g./curb m or g/paved m²), SS_{Eff} = 도로 청소 효율(-), SS_{min} = 제거되지 않는 노면 흡착물의 양(g./curb m or g/paved m²)

[그림 2-6] 개념모델을 이용한 도로 청소 효과 분석(Stack et al., 2008)



- P_0 는 모의값 또는 실측값을 사용할 수 있으며, 변수 중 SS_{Eff} 와 SS_{min} 을 대상으로 보검정을 시행해야 함
- 해당 값을 이용하여 도로 청소를 통해 제거된 입자성 물질(P_{Rem})을 산정할 수 있으며, 도시구역 비점오염 모델인 SWMM도 모델 내 도로 청소 모듈을 이용하여 도로 청소 효과 평가 및 적정 청소 횟수를 산정할 수 있음(Zarriello et al., 2002)

제4절 국내 도로 청소 현황

1. 국내 연구 사례

- 국내 도로 청소의 오염물질 저감 효과에 관한 연구는 2000년대 이후 주로 수행
- 초기에는 주로 대기오염 저감 효과에 중점이 맞춰져 있었으나, 최근에는 비점오염 저감 대책 중 하나로 도로 청소의 중요성이 증대되면서, 수질오염 저감 효과에 관한 연구 또한 실시
- 정용원 외(2006)는 인천시 주요 도로를 대상으로 진공 청소에 의한 입도별 도로 먼지 제거 효율을 평가하였는데, 연구 결과 진공 청소의 입자성 물질 제거 효율은 입자의 크기가 클수록 증가하는 것으로 나타남[표 2-12]
- 그리고 측정 도로 별 제거 효율의 차이가 다소 큰 편이며, 입자의 크기가 작을수록 제거 효율의 차이가 증가
- 이는 입자의 크기가 작을수록 도로 특성(교통량, 노면 상태 등), 입자성 물질의 특성(입경분포, 수분함량 등), 기상 특성 및 청소 차량의 운영 등의 조건에 의해 영향을 많이 받는 것으로 판단

[표 2-12] 진공 청소에 의한 입도별 도로 먼지(측구) 제거 효율(%)(정용원 외, 2006)

입자 크기 (단위 : μm)	<75	75~125	125~250	250~850	>850	total
남동공단 아암로	29.7	43.4	54.9	66.1	75.7	59.3
중구 중봉로	52.2	58.1	71.4	64.1	87.8	75.0
서구 중봉로	16.0	26.1	45.6	63.1	69.6	56.0
남구 인주로	68.4	76.5	80.6	88.5	94.3	84.1
평균	41.6	51.0	63.1	70.5	81.9	68.6

- 유기영과 나유미(2006)는 서울시를 대상으로 진공 청소와 물청소를 통해 미세먼지, COD, TN, TP 등의 오염물질 제거량을 산정하고, 문헌자료를 통해 도로 표면의 오염물질을 가정하여 연간 제거율을 예측[표 2-13]
- 진공 청소는 1일 측구 1.5회, 물청소는 1일 측구 1회를 기준으로 청소 효과를 평가
- 미세먼지는 진공 청소를 통해 연간 66.3톤, 물청소를 통해 39.7톤이 제거되어, 진공 청소를 통해 제거되는 양이 약 1.7배 많으나, 총 제거율은 도로 재비산량 기준 0.56%, 차량 생성량 기준 1.48%로 상대적으로 낮게 평가
- COD, TP는 각각 진공 청소를 통해 연간 422.7톤, 4.64톤, 물청소를 통해 연간 70.7톤, 0.8톤이 제거되어, 진공 청소를 통해 제거되는 양이 약 6배 많은 것으로 산출
- 그러나 TN은 COD, TP와 달리 진공 청소를 통해 연간 0.12톤, 물청소를 통해 연간 8.1톤이 제거되어, 물청소가 진공 청소에 비해 약 80배 많은 것으로 나타남
- 제거율에 있어서는 COD가 49%로 가장 높았으며, TP 10.44%, TN 2% 순으로 평가

[표 2-13] 서울시 도로 청소 효과 연구 결과(유기영과 나유미, 2006)

청소방법	도로청소에 의한 제거량(ton/yr)				제거율(%)				
	미세먼지	COD	TN	TP	미세먼지		COD (3)	TN (3)	TP (3)
					(1)	(2)			
진공청소 (1일측구1.5회)	66.3	422.7	0.12	4.64	0.35	0.93	41.9	0.03	8.91
물청소 (1일측구1회)	39.7	70.7	8.1	0.8	0.21	0.55	7	1.97	1.54
합계	106	493.4	8.22	5.44	0.56	1.48	49	2	10.44

(1) 도로 재비산량 기준 (= 18,836 ton/yr)

(2) 차량생성량 기준 (= 7,154 ton/yr)

(3) 중량물재생센터 추가유입량 기준 (COD = 1,008 ton/yr, TN = 411 ton/yr, TP = 52 ton/yr)

- 이희관 외(2008)는 1회 청소를 할 때 진공 청소만 시행하면 16%, 물청소만 시행하면 44%의 저감 효과가 있고, 진공 청소 후 이어서 물청소를 시행하면 60%의 저감 효과가 있는 것으로 분석
- 정용원 외(2006)는 도로 노면에서는 진공 청소만 시행하면 8.6%, 진공 청소와 물청소를 모두 시행하면 48.6% 저감되고, 도로측구에서는 진공 청소만 시행하면 39.0%, 진공 청소와 물청소를 모두 시행하면 56.1% 저감되는 것으로 나타남 [표 2-14]
- 이는 진공 청소만 시행할 경우 입자가 작을수록 청소 효과가 낮으며, 특히, 도로 먼지의 재비산을 방지하기 위해서는 물청소가 병행되는 것이 효과적인 것을 보여줌

[표 2-14] 도로 노면과 측구에 대한 진공 청소와 물청소의 dust loading 변화(정용원 외, 2006)

Composite			입경별							합계
			<36	36-53	53-75	75-125	125-250	250-850	>850	
도로 노 면	저감량	청소전	0.03	0.05	0.09	0.18	0.34	0.84	0.67	0.35
		진공청소후	0.04	0.06	0.06	0.16	0.34	1.09	0.84	0.32
		물청소후	0.02	0.03	0.03	0.1	0.22	0.67	0.49	0.18
	청소효율	진공(%)	-33.3	-20.0	33.3	11.1	0.0	-29.8	-25.4	8.6
		진공+물(%)	33.3	40.0	66.7	44.4	35.3	20.2	26.9	48.6
도로 측 구	저감량	청소전	2.14	1.34	1.34	6.15	13.27	33.68	18.59	10.97
		진공청소후	2.24	0.96	0.96	2.53	4.56	7.76	1.77	6.69
		물청소후	0.85	0.8	0.8	2.37	4.98	11.9	6.05	4.82
	청소효율	진공	-4.7	28.4	28.4	58.9	65.6	77.0	90.5	39.0
		진공+물	60.3	40.3	40.3	61.5	62.5	64.7	67.5	56.1

- 강희만 외(2012)는 고속도로의 도로 청소 차량의 수거퇴적물을 분석하여 비점오염원 단위 발생량 대비 오염물질 저감 효과를 평가[표 2-15]
- 평가 결과 TSS의 저감 효율은 기흥지사 31.4%, 군포지사 7.7%로 나타났으며, 이와 결합한 오염물질의 저감 효율은 대부분 1% 내외인 것으로 나타남
- 이러한 결과의 원인에는 청소용수에 의한 용존성 물질의 유출 가능성, 수거 퇴적물에서 낮은 미세입자의 분포 비율 등의 가능성이 있음

- 따라서 도로 청소의 비점오염물질 저감량 산정 시 제한요소에는 청소 차량 오염물질 흡입 능력과 미세 입경 시료의 제거 효율, 청소 차량의 운전속도와 운전자의 숙련도, 청소 차량의 유효 청소 범위 및 청소 방법 등이 포함되어야 함
- 그리고 모의 강우 실험을 통해 청소 전후 EMC를 비교한 결과 청소차의 효율은 TSS의 경우 높게 나타나지만, BOD와 COD 그리고 TN, TP의 경우 낮게 나타남
- 이는 미세입자들이 소량의 강우와 건조 조건이 반복됨에 따라 도로 표면과 강하게 결합하여 진공 청소의 제거 방식으로는 효과적으로 제거되지 않기 때문이며, 진공 방식의 청소차의 한계를 극복하기 위해 물청소 기능과 도로에 있는 물을 재수거하는 기능이 추가된 청소 방식의 차량이 개발될 필요가 있음(강희만 외, 2012)
- 또한 진공 청소 차량의 한계를 극복하기 위해서는 강우 전 청소를 수행하여 미세입자가 도로 표면과 강하게 흡착되기 전에 제거하는 등의 운영 규정 마련 등 청소 효율을 증대 방안이 마련이 선행되어야 함(강희만 외, 2012)

[표 2-15] 청소 전후 EMC 비교를 통한 도로 청소의 저감 효율 평가(강희만, 2012)

항목	청소전EMC	청소후EMC	저감효율(%)
TSS	53.1	11.8	77.8
BOD	16.8	11.4	32.1
COD	37.7	19.2	49.1
TN	0.8	0.6	25.0
TP	0.5	0.32	36.0
Cr	0.034	0.014	58.8
Fe	8.114	1.858	77.1
As	0.011	0.003	72.7
Cu	0.152	0.105	30.9
Zn	0.727	0.688	5.4

- 국토해양부(2010)는 유역 모델링 기법을 이용하여 유역 규모에서 도로 청소 효과를 평가하고, 시나리오 분석을 통해 청소 방법과 청소 주기에 따른 비점오염물질 저감 효과를 평가
- 반월공단 유역을 대상으로 시행한 연구에서는 진공 청소와 물청소를 1일 1회 실시할 때 유역 말단에서 TS 72%, COD 78% 저감되는 것으로 산출
- 그리고 총 부유물질의 경우 진공 청소와 함께 물청소를 병행하여 실시하는 것이 유달부하량의 저감량에 큰 영향이 없는 것으로 나타났으나 입자성 탄소, 질소, 인의 경우에는 진공 청소와 물청소를 병행하여 시행 시 유달부하량 저감 효과가 증가하는 것으로 분석

제5절 국내 노면 청소 운영 현황

1. 서울특별시

- 서울특별시는 도심지역 대기 중 미세먼지 농도에 큰 부분을 차지하는 도로 비산먼지 제거를 위하여 2007년부터 도로 분진 청소를 시행
- 작업 대상
 - 주요 도로는 물론 이면도로, 골목길과 보도를 포함한 서울시 전 도로(24,252 km)
- 작업장비
 - 도로 물청소차, 노면청소차, 도로분진흡입차 19대, 물청소 장비 400대
- 작업주기
 - 6차로 이상 주요 간선도로는 매일, 2~4차로의 일반도로는 주 2회, 이면도로·골목길 등은 주 1회
 - 작업시간: 작업 효율 향상과 시민 불편 최소화를 위해 23:00부터 익일 07:00까지 시행
- 도로 분진 청소 실시간 현장 관리 및 작업 능률과 효율 증대를 위해 다음과 같은 기준을 마련
 - 불법 주·정차 차량이 없도록 사전에 홍보, 계도를 철저히 함
 - 도로 청소 차량은 대상 노선 및 작업시간, 차량 속도, 작업방침, 차량 투입 수량 등 사전 계획을 철저히 준수
 - 주변의 차량, 사람, 시설물 등에 유의하여 안전 수칙을 철저히 준수 등

[그림 2-7] 서울시 노면 청소 현황



[표 2-16] 서울특별시 가로 청소 1인당 작업 거리

구분	지자체	운영방식	가로청소 인원 (명)	거리 (Km)	1인당 작업거리 (Km)	인력편성 기준 여부
서울특별시	종로구	직영	132	154.0	1.2	
	중구	직영	81	110.0	1.4	
	용산구	민간위탁	69	93.2	1.4	
	성동구	직영	16	80.2	5.0	
	광진구	직영	38	76.0	2.0	○
	성북구	직영	64	129.0	2.0	○
	강북구	직영	45	70.5	1.6	○
	은평구	직영	78	90.3	1.2	
	양천구	직영	62	164.3	2.7	
	강서구	직영	68	141.0	2.1	

구분	자차제	운영방식	가로청소 인원 (명)	거리 (Km)	1인당 작업거리 (Km)	인력편성 기준 여부
	구로구	직영	89	160.0	1.8	○
	영등포구	민간위탁	-	-	-	○
	동작구	직영	51	460.0	9.0	
	서초구	직영	164	2.5	-	
	강남구	민간위탁	99	134.8	1.4	○
	송파구	직영	94	128.0	1.4	
	강동구	직영	63	132.8	2.1	○
자차구 평균 1인당 작업 거리(km)		2.4				

2. 경기도

- 수도권 상수원영향권 도로 비점오염 저감을 위해 친환경 노면 청소 차량 도입
- 작업 대상
 - 상수원영향권을 통과하는 광주시, 용인특례시 등 6개 시, 군 도로 68.7 km
- 작업장비
 - CNG 노면 청소 차량 8대
- 작업주기

- 노선당 주 2회 이상(4차선 이상 2일 1회, 3차선 이하 주 2회 이상)

○ 작업시간

- 06:00~12:00(미세먼지 집중관리 기간인 10월~3월 운행 빈도 증대)

○ 안전 준수사항

- 청소 차량은 상시 정비하며 운행 전 차량 이상 유무를 반드시 확인
- 근로자 대상 매월 1회 이상 안전교육 실시
- 용역수행업체는 안전 보건 관리 계획서를 상시 작성해야 하며, 산업안전보건법 및 산업 안전기준 규칙상 안전관리 책임을 짐

[표 2-17] 경기도 상수원 권역 내 노면 청소 대상 지자체

지역	길이(km)
광주시	34.0
용인특례시	4.8
이천시	1.0
여주시	6.8
양평군	15.5
남양주시	6.6
총계	68.7

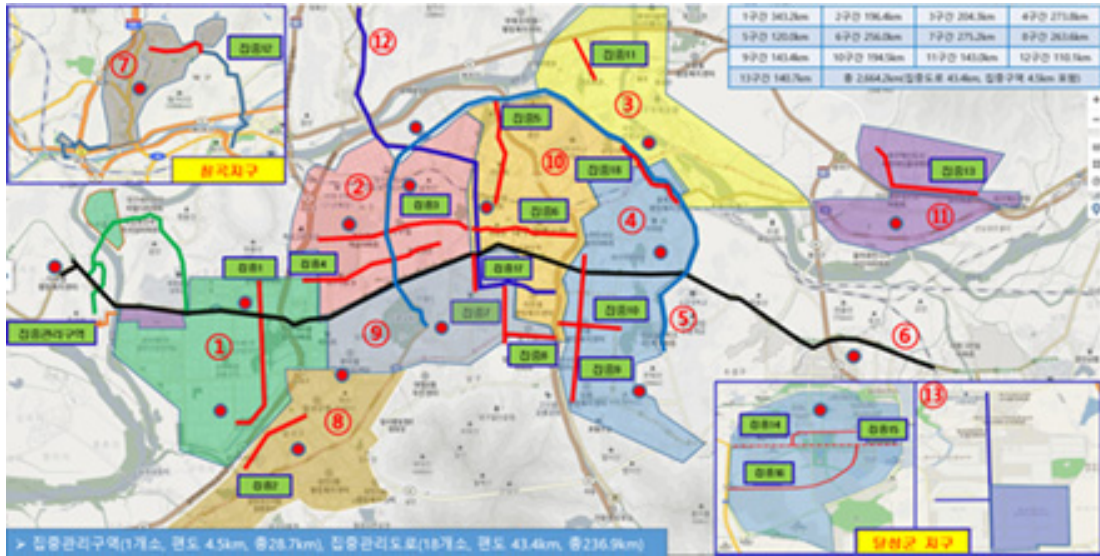
[표 2-18] 경기도 가로 청소 1인당 작업 거리

구분	자치체	운영 방식	가로 청소 인원 (명)	거리 (Km)	1인당 작업 거리 (km)	인력편성 기준 여부
경기도	고양시	직영	92	319.0	3.5	○
		민간위탁	145	316.0	2.2	
	군포시	직영	85	371.4	4.4	
	동두천시	직영	29	45.0	1.6	○
	성남시	직영	41	97.3	2.4	
		민간위탁	94	219.1	2.3	
	수원시	직영	292	1,571.0	5.4	
	안산시	직영	154	6.0 km/1인	6.0	
		민간위탁	12	4.9 km/1인	4.9	○
	용인시	민간위탁	82	344.4	4.2	
	용인시 수지구	직영	5	16.6	3.3	
	용인시 기흥구	직영	25	140.4	5.6	○
	의왕시	직영	30	141.0	4.7	
	평택시	민간위탁	28	-	4.9	○
경기도 평균 1인당 작업 거리(km)		4.1				

3. 대구광역시

- 대구광역시 미세먼지 발생 주요 요인인 도로 비산먼지 제거를 위해 전국 최초로 CNG 연료 기반의 친환경 미세먼지 제거 차량(도로분진흡입차) 도입
- 작업 대상
 - 13개 구간 40개 노선, 총연장 2,664.2 km
- 작업장비
 - 도로분진흡입차(7.5 ton CNG 차량, 5 ton 전기구동 차량) 18대
- 작업주기
 - 노선당 2~3일 간격
- 작업시간
 - 09:00~18:00(월~금 주 5일 운행, 미세먼지 저감 조치발령 시 비상 운행)
- 노면 청소 대상
 - 대구 전 지역 4차선 도로 및 산업 단지 도로(2,614.1 km)
 - 집중관리 도로(21개소, 편도 45.6 km)
 - 집중관리 구역(1개소, 4.5 km)
 - 노면 청소 안전 수칙은 국토교통부와 지자체 조례(대구광역시 주요 시설물 안전 및 유지관리)를 따름

[그림 2-8] 대구광역시 노면 청소 구역



4. 국내 주요 노면 청소 관련 용역 수행 결과

- 국내 주요 도시의 노면 청소 관련 용역 수행 결과를 [표 2-19]에 정리하였음

[표 2-19] 국내 주요 노면 청소 관련 용역 수행 결과

자치체명	용역명	주요내용	계약유형	도로청소 효율화 방안	비고
김포시	2019 청소행정 운영체계 개선방안 연구용역	- 폐기물 수집, 가로청소 현황 분석 인원 및 장비 선정 - 업체수, 청소구역 개편안, 인력 진단 - 계약 관리 / 서비스 평가 방안	- 경쟁입찰 적용 제한 - 비용계약, 총액계약, 톤당 (단가)계약 중 선택 제한 - 계약기간 - 단년도 계약	- 근무지 이탈 등 한계 극복을 위한 가로청소 실행제 도입 - 지역 수요를 고려하여 가로청소 인원 재배치	
용인시	2021 2021년 생활폐기물 수집운반비용 산정 등 청소행정에 관한 연구용역	- 현황/시례조사 - 원가, 적정규모, 비용, 산정	- 공기입찰을 통한 신규업체 선정 - 공개경쟁 불가 상황일 경우 지율경쟁제에 도입	- 토탈대행제에 운영 제한 - 가로청소 현대화(장비 도입 등)	
성남시	2020 2020년 청소대행업체 평가 연구용역	- 일반현황 분석 (종사자, 담당구역, 발생량 등) - 사례 / 벤치마킹 - 적정인력, 증원계획, 업무범위 등	-	-	
청주시	2019 청주시 공공부문 청소행정 진단 연구 용역	- 일반현황 및 기초분석 - 폐기물 수거체계 및 유사 사례조사 - 현장조사 및 인력 산정 후 활용방안 제시	- 민간위탁 전환	- 노면청소 전담인력 충원 제한 - 효율적 예산 활용을 위한 운영체계 전환	
양산시	2020 가로변 청소 효율적 관리방안 용역	- 지역 내 청소 현황 검토 - 청소 적정인력 산정 - 사례조사, 벤치마킹 후 효율화 방안 제안	-	- 적정인력 산정 - 기계장비 도입을 통한 업무 효율화 - 구조적 업무여건 개선(종량제봉투 등 소형화)	

제 3 장

도로 비점오염물질 관련 연구 동향

제1절 도로 비점오염물질의 노면 축적량
분석

제2절 도로 비점오염물질의 강우 유출량
분석

제1절 도로 비점오염물질의 노면 축적량 분석

- 도로 비점오염물질의 축적과 유출 과정은 도로 폭, 도로의 재질, 교통량 등의 도로 특성과 기온, 풍속, 강우량 등 기후 특성에 따라 달라짐
- 도로 청소에 따른 비점오염 저감 효과를 정량적으로 평가하기 위해서는 비점오염물질의 축적과 유출 과정에 대한 이해가 필요
- 이를 위해 본 연구에서는 도로의 유형과 계절적 특성에 따른 도로 비점오염물질의 축적과 유출 과정에 대한 정량적 평가 수행 사례를 종합하였음(환경부, 2012)

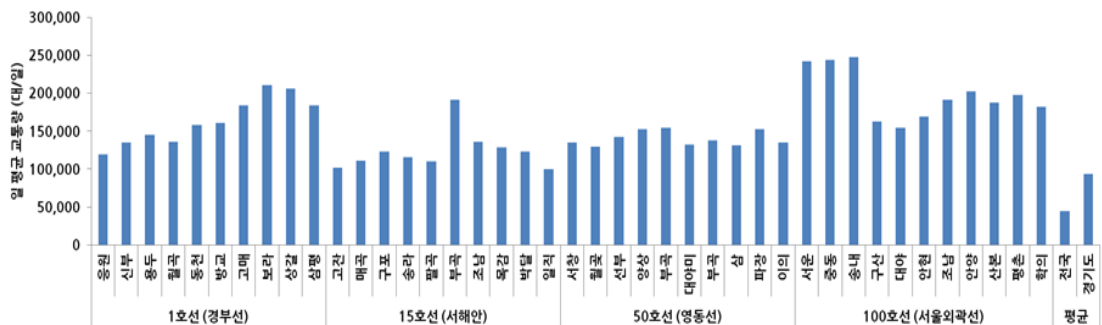
1. 도로 비점오염물질의 노면 축적량 분석

1) 연구 과정

- 도로 비점오염물질의 노면 축적량 분석에서 도로의 특성을 반영하기 위해 도로 유형을 구분
 - 「도로법」 제8조 <도로의 종류와 등급>에 따라 도로 유형을 고속국도, 일반국도, 지방도, 기타 도로(특별광역시도, 시·군·구도 포함)로 구분
- 도로 유형별 모니터링 지점을 선정하기 위한 기준으로 평균 교통량, 평이한 기상 조건, 접근성, 안전성 등을 고려
- 먼저, 접근성을 고려하여 서울 경기 지역의 도로를 대상으로 후보 지점을 선정하였으며, 도로 유형별 평균 교통량을 고려하여 1차 후보 지점 선정 후 현장답사를 통해 최종 지점을 선정
- 도로 유형별 평균 교통량은 2011년 교통량 통계 연보 자료를 이용하였으며, 각 도로 유형마다 대표성이 있는 지점을 선정하기 위해 경기도의 평균 교통량 값과 비교하여 평가

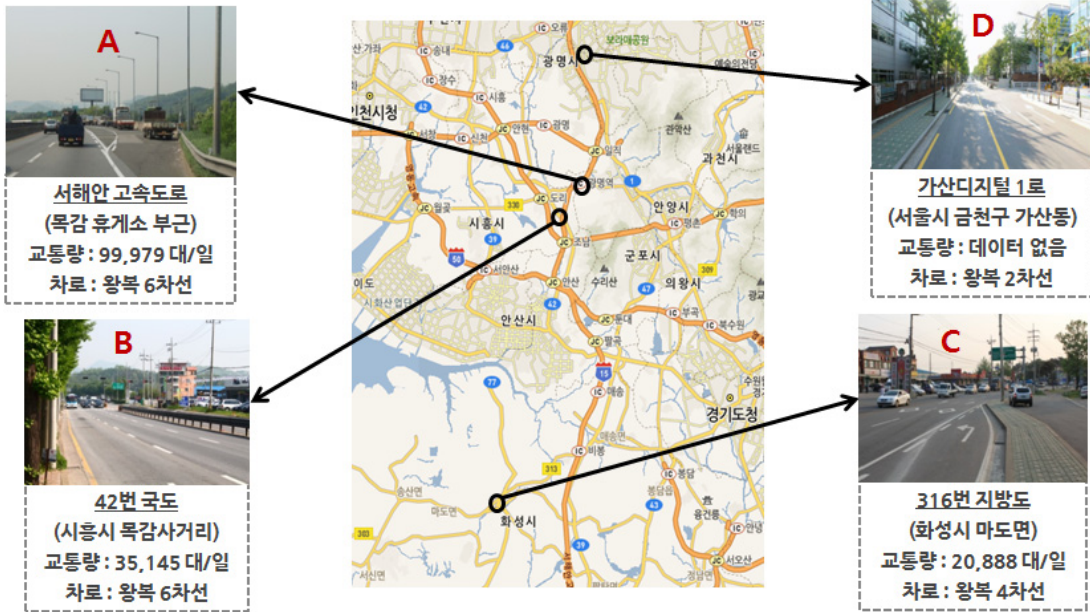
- 모니터링 후보 지점은 고속도로에서 4개 노선 9개 구간 41개 지점, 일반국도에서 4개 노선 14개 구간 29개 지점, 지방도에서 8개 노선 29개 구간 31개 지점을 선정하여 교통량 정보를 평가하였으며, 기타도로는 교통량 정보가 없어 현장 조사를 통해 평가

[그림 3-1] 고속도로의 일 평균 교통량(출처: 2011년 교통량 통계 연보)

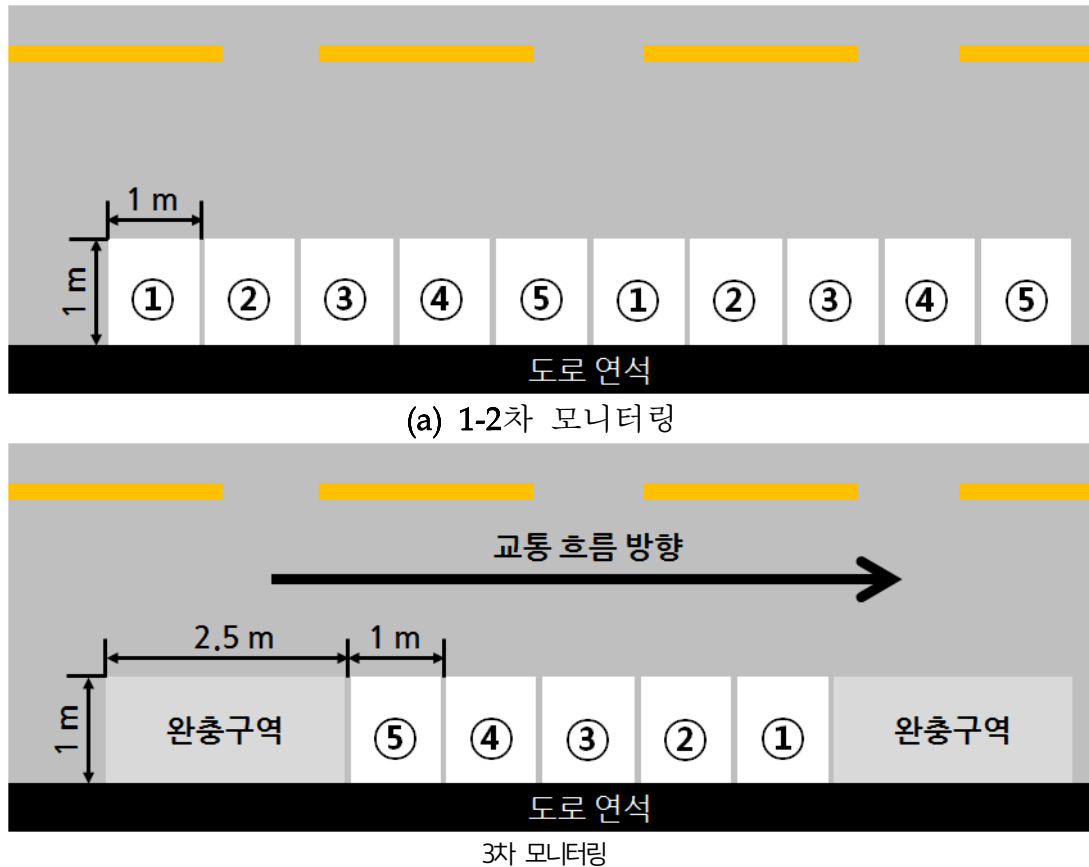


- 교통량 분석 및 현장답사 결과를 바탕으로 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 지점을 선정 결과, 고속국도는 서해안 고속도로 목감 휴게소 인근 1km 지점(A 지점), 일반국도는 42번 국도 경기도 시흥시 목감동(B 지점), 지방도는 316번 지방도 경기도 화성시 마도면(C 지점), 기타도로는 가산디지털1로 서울시 금천구(D 지점)를 선정[그림 3-2]

[그림 3-2] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 지점



[그림 3-3] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 시료 채취 방법



- 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링은 계절적 영향을 고려하기 위해 봄(1차), 여름(2차) 및 가을(3차)에 걸쳐 수행
- 1차 모니터링은 2012년 5월 23일부터 5월 31일, 2차 모니터링은 2012년 7월 24일부터 8월 1일까지 각각 이틀 간격으로 5회씩 4개의 도로를 대상으로 시행하였으며, 3차 모니터링은 2012년 9월 19일부터 9월 27일까지 기타 도로를 대상으로 시행

- 총 3차에 걸친 모니터링 중 1차와 2차에서는 노면에 축적되는 오염물질의 양이 공간적으로 균질하게 분포한다고 가정
- 노면을 초기화하면 오염물질의 축적에 영향을 미칠 것으로 판단하여 샘플링 구역을 초기화하지 않음
- 3차 모니터링에서는 1~2차 모니터링 결과 분석을 통해 노면 초기화의 필요성을 인정하여 샘플링 구역(5 m x 1 m)과 완충구역(2.5 m x 1 m)을 모두 초기화한 후 시료를 채취
- 시료 채취는 도로 연석에서 인접한 1 m²의 면적에서 휴대용 발전기와 진공청소기를 이용하여 실시
- 1~2차 모니터링에서는 각 지점마다 2개 구역의 시료를 혼합하였으며, 3차 모니터링에서는 교통의 흐름에 의한 오차를 최소화하기 위해 차량흐름 방향과 반대 방향으로 순차적으로 시료를 채취
- 1~2차 모니터링은 4개 도로 유형을 대상으로 수행하였으며, 3차 모니터링은 국내 도로 유형 중 총 도로 연장 길이의 비율이 69.8%로 가장 높은 기타 도로만을 대상으로 수행

[그림 3-4] 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링 현장 모습



현장 시료채취 모습

시료채취용 방형구 (1 m x 1 m)

- 채취한 시료의 분석 항목은 총고형물(TS, TS)의 중량과 입도분석, TS의 입도별 TOC, TN, TP 농도분석을 시행
- TS의 입도는 총 4개로 구분하였으며, 입경을 기준으로 0.004 mm 이하는 점토(clay), 0.004 mm - 0.063 mm는 미사(silt), 0.063 mm - 2.000 mm는 모래(sand), 2.000 mm 이상은 자갈(gravel)로 구분

2) 연구 결과

- 도로 비점오염물질의 노면 축적량은 선행 무강우일수에 따라 영향을 받기 때문에 모니터링 기간 중의 강우 조건이 매우 중요
- 도로 비점오염물질의 노면 축적량 모니터링 기간 중의 강우 조건은 [표 3-1]과 같음. 1차 모니터링 시기에는 선행 무강우일수가 A 지점과 B 지점은 9일, C 지점은 8일, D 지점은 4일이며, 조사 중 지방도를 제외한 3곳에서 강우가 발생
- 2차 모니터링 시기에는 모든 도로에서 선행 무강우일수가 1일이며, 기타 도로를 제외한 3개 도로에서는 조사 중 강우가 발생하지 않음
- 3차 모니터링의 경우 시료 채취 전 초기화를 하였기 때문에 모니터링 전 강우 조건의 영향을 받지 않으며, 모니터링 기간 중 강우는 발생하지 않음

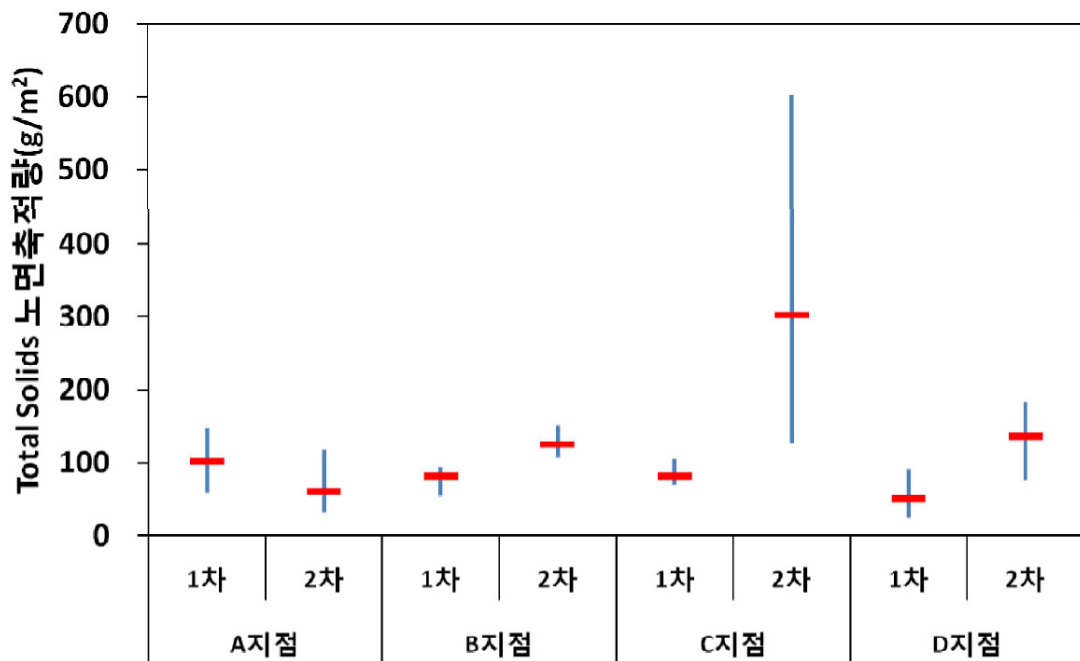
[표 3-1] 도로 비점오염물질 노면 축적량 1-2차 모니터링 강우 자료

구분	관측 지점	강우 관측소	선행무강우 일수(일)	선행강우		조사 기간 중 강우	
				강우일	강우량 (mm)	강우일	강우량 (mm)
1차 모니터링 (2012-05-23 ~ 2012-05-30)	A	시흥 AWS	9	2012-05-13	9	2012-05-29	1.5
	B						
	C	화성 AWS	7	2012-05-15	8.5	-	-
	D	금천 AWS	4	2012-05-18	4.5	2012-05-28	17.5
2차 모니터링 (2012-07-24 ~ 2012-08-01)	A	시흥 AWS	1	2012-07-22	5.5	-	-
	B						
	C	화성 AWS	1	2012-07-22	0.5	-	-
	D	금천 AWS	1	2012-07-22	7.5	2012-07-30	10.5

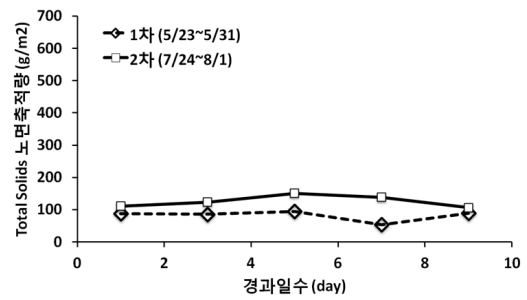
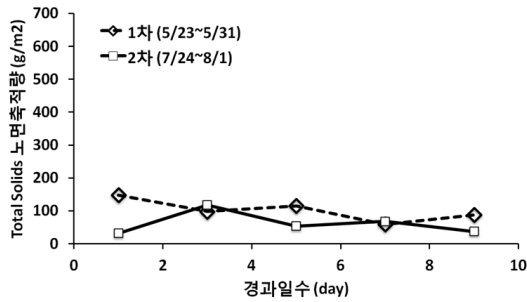
- 1~2차 모니터링의 4개의 측정 지점에서 분석한 TS 평균 노면 축적량은 118.2 g/m²로 나타남
- 1차 모니터링에서 측정 지점별 TS의 평균 노면 축적량은 A 지점 101.8 g/m², B 지점 82.2 g/m², C 지점 81.9 g/m², D 지점 51.8 g/m²로 분석
- 2차 모니터링에서 측정 지점별 TS의 평균 노면 축적량은 A 지점 61.8 g/m², B 지점 126.0 g/m², C 지점 303.4 g/m², D 지점 136.9 g/m²로 분석
- 1차 모니터링(5/23 ~ 5/31)과 2차 모니터링(7/24 ~ 8/1)의 결과를 비교해 보면, A 지점을 제외한 B, C, D 지점의 TS는 모두 증가하는 경향을 보였으나, 지점별 특징이 반영되는 의미 있는 결과가 나오지는 않음

- 1~2차 모니터링의 측정 지점별 경과일수에 따른 TS의 노면 축적량 변화에서도 뚜렷한 경향성을 보이지 않음
- 이러한 결과의 일차적 원인은 실험계획에서 노면에 오염물질이 균질하게 분포한다는 가정 아래 노면을 초기화하지 않은 것이 무리였던 것으로 판단
- 그리고 이 외에도 모니터링 기간 중 발생한 강우, 외부에서 유입된 퇴적물, 비정기적인 도로 청소 등 모니터링 현장의 외부적 조건을 통제하지 못한 것도 원인으로 작용했을 것으로 사료
- 따라서 경과일수에 따른 TS의 노면 축적량 모니터링 시에는 노면을 초기화하고, 외부에서 유입되는 퇴적물이나 비정기적 도로 청소를 통제할 방법을 강구할 필요가 있음

[그림 3-5] TS 평균 노면 축적량

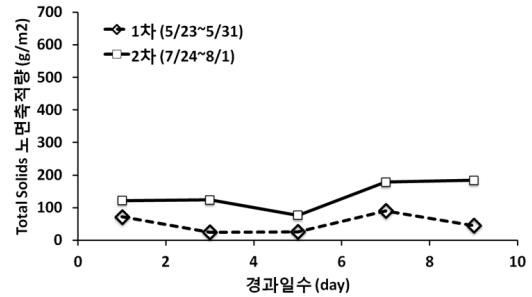
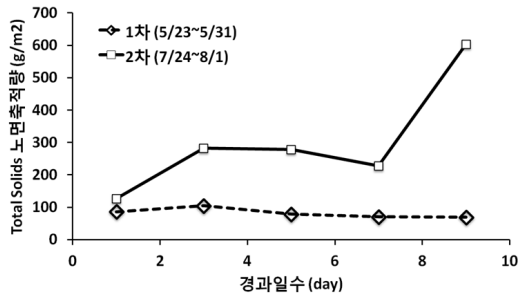


[그림 3-6] 1~2차 모니터링 시기의 측정 지점별 경과일수에 따른 TS 노면 축적량



A 지점

B 지점



C 지점

D 지점

[표 3-2] 1차 모니터링 기간 중 TS 노면 축적량

측정 지점	조사 차수	입도별 축적량(g/m ²)				
		계	점토	미사	모래	자갈
A 지점	1	148,250	1.053	7.516	127.880	11.786
	2	98,190	0.619	5.724	88.636	3,211
	3	115,500	1.744	12.462	100.520	0.774
	4	59,050	1.010	7.068	49.956	1.016
	5	88,180	0.573	5.538	74.785	7.292
B 지점	1	87,765	0.527	4.248	72.345	10.646
	2	85,920	1.650	12.046	71.786	0.447
	3	94,610	1.381	11.230	80.787	1.211
	4	53,630	0.981	5.953	45.081	1.614
	5	88,870	0.622	5.608	76.606	6.025
C 지점	1	86,065	0.826	5.973	73.112	6.154
	2	104,870	2.213	20.953	79.324	2.381
	3	78,975	1.240	8.521	67.050	2.164
	4	70,350	1.062	6.838	61.380	1.062
	5	69,405	0.916	9.946	56.766	1.784
D 지점	1	71,610	0.344	2.864	65.022	3.380
	2	25,095	0.512	4.234	20.071	0.279
	3	26,390	0.530	3.433	21.466	0.961
	4	90,575	1.205	12.101	77.270	0.000
	5	45,305	0.693	6.297	37.417	0.902
지점별 평균	A 지점	101,834	1.000	7.662	88,356	4.816
	B 지점	82,159	1.032	7.817	69,321	3.989
	C 지점	81,933	1.251	10.446	67,526	2.709
	D 지점	51,795	0.657	5.786	44,249	1.104
전체 평균		79,430	0.985	7.928	67,363	3.154
평균입도조성비(%)		100.0	1.2	10.0	84.8	4.0

[표 3-3] 2차 모니터링 시기의 TS 노면 축적량

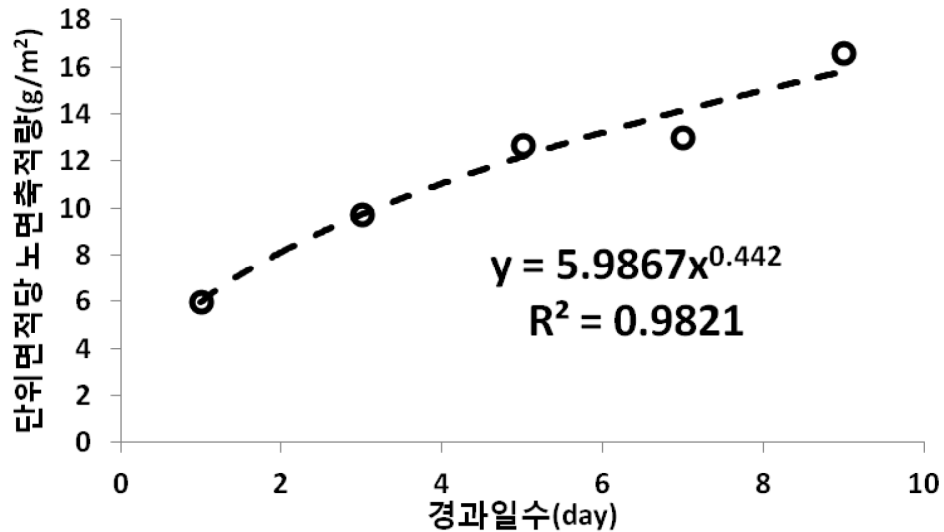
측정 지점	조사 차수	입도별 축적량(g/m ²)				
		계	점토	미사	모래	자갈
A 지점	1	31,500	0.107	1,660	28,252	1,481
	2	118,095	0.697	8,066	94,523	14,809
	3	53,235	0.293	3,657	47,400	1,879
	4	67,860	0.441	4,201	60,009	3,210
	5	37,215	0.127	1,422	33,534	2,129
B 지점	1	110,730	0.498	3,643	100,166	6,433
	2	123,145	0.591	4,187	109,328	9,039
	3	150,985	0.981	7,549	137,562	4,892
	4	138,650	0.804	5,934	122,608	9,303
	5	106,435	0.468	3,566	93,578	8,834
C 지점	1	126,800	0.647	6,911	106,411	12,819
	2	281,950	3.891	35,075	238,022	4,962
	3	278,285	2.894	21,651	238,574	15,194
	4	227,105	2.339	17,101	204,894	2,793
	5	603,025	7.417	60,483	523,305	11,759
D 지점	1	121,600	0.973	11,102	105,014	4,499
	2	123,665	0.655	8,001	102,085	12,923
	3	76,950	0.662	6,056	64,569	5,664
	4	178,350	0.749	8,365	165,152	4,066
	5	183,710	1.231	15,266	156,852	10,361
지점별 평균	A 지점	61,581	0.333	3,801	52,744	4,701
	B 지점	125,989	0.669	4,976	112,649	7,700
	C 지점	303,433	3.438	28,244	262,241	9,506
	D 지점	136,855	0.854	9,758	118,734	7,503
전체 평균		156,965	1.323	11,695	136,592	7,353
평균입도조성비(%)		100.0	0.8	7.5	87.0	4.7

[표 3-4] 3차 모니터링 기간 중 TS 노면 축적량

측정 지점	조사 차수	입도별 축적량(g/m ²)				
		계	점토	미사	모래	자갈
D 지점	1	5.980	0.000	0.567	5.413	0.000
	2	9.740	0.101	1.125	7.877	0.636
	3	12.670	0.196	3.231	9.243	0.000
	4	13.000	0.117	1.476	11.408	0.000
	5	16.562	0.141	1.401	15.020	0.000
전체 평균		11.590	0.111	1.560	9.792	0.127
평균입도조성비(%)		100.0	1.0	13.5	84.5	1.1

- 3차 모니터링(9/19~9/27)에서는 D 지점에서 발생하는 TS의 노면 축적량을 분석
- 분석 결과 TS의 평균 노면 축적량은 11.590 g/m²로 나타남
- TS의 노면 축적량은 경과일수에 따라 비선형적으로 증가하는데, 3차 모니터링 분석 결과는 일반적인 축적 함수의 경향성을 잘 나타냄

[그림 3-7] 3차 모니터링 결과 도출된 TS의 축적 함수



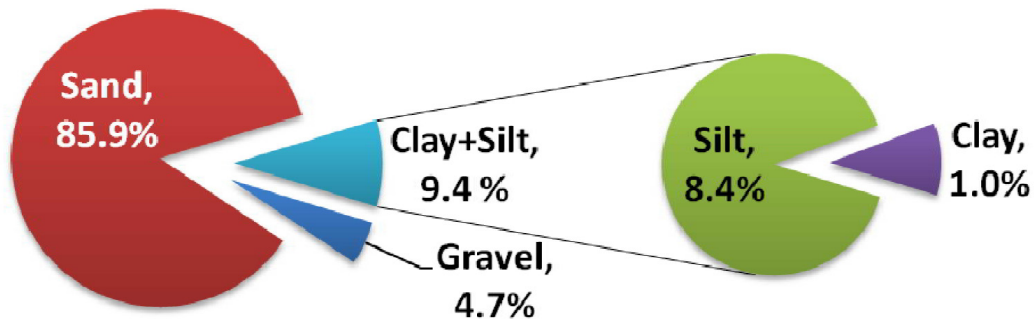
- 3차 모니터링 결과에서 노면 축적량의 축적 함수를 적용하여 비교해 보면, 멱함수 (Power Function)의 R^2 값이 0.9821로 D 지점에서의 TS 축적 과정을 가장 잘 표현하는 것으로 나타남
- 이 축적 함수는 유역 규모에서 도로 청소의 비점오염 저감 효과 평가 시 유역 모델의 입력 자료로 활용

[표 3-5] 3차 모니터링 자료에 대한 TS 축적 함수 적용 결과

Power Function	Exponential Function	Saturation Function
$B = \min(20.0, 5.9867 \times t^{0.442})$	$B = 1.1842 \times \exp(0.1597 \times t)$	$B = \frac{17.513 \times t}{1.965 + t}$
$R^2 = 0.9821$	$R^2 = 0.9282$	$R^2 = 0.9758$

- 1~3차 모니터링에서 TS 입도분포 분석 결과, 모래(sand)가 85.9%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, 63 μm 이하의 미세입자에 해당하는 점토(clay)와 미사(silt)는 9.4%로 나타남
- 도로 유형별 TS 입도분포 분석 결과를 보면, C 지점(지방도)에서 점토와 미사의 비율이 1차에서 14.3%, 2차에서 10.4%로 가장 높게 나타났으나, 다른 도로 유형과 뚜렷한 차이를 보이지 않음
- 또한, 측정 시기별 입도분석 결과를 보면, 점토와 미사의 비율이 1차 모니터링에서 11.2%, 2차 모니터링에서 8.3%로 나타났으나, 의미 있는 차이로 보이지 않음
- 이에 대한 명확한 분석을 위해서는 입도 구분을 할 때 대부분을 차지하는 모래 성분을 더 세분화할 필요가 있으며, 교통량, 기상 조건 등의 환경조건을 세밀하게 구분하여야 할 것으로 판단

[그림 3-8] TS의 입도조성비

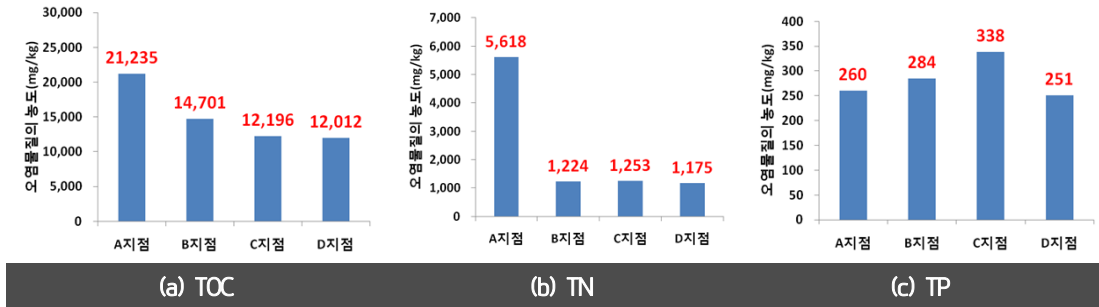


[표 3-6] 노면에 축적된 TS 중의 TOC, TN, TP 농도

모니터링	측정 지점	TOC(mg/kg)		TN(mg/kg)		TP(mg/kg)	
		점토/미사	모래/자갈	점토/미사	모래/자갈	점토/미사	모래/자갈
1차	A 지점	73,700	19,400	12,454	7,759	569	196
	B 지점	39,900	21,100	6,424	967	561	312
	C 지점	21,800	12,600	2,532	2,518	575	246
	D 지점	39,500	10,700	3,543	1,694	487	183
2차	A 지점	39,300	15,000	2,765	1,321	527	297
	B 지점	17,900	8,800	1,275	996	468	238
	C 지점	28,300	9,800	2,035	780	516	331
	D 지점	43,900	8,400	2,089	790	318	257
3차	D 지점	75,100	36,800	7,935	2,415	303	183
지점별 평균	A 지점	56,500	17,200	7,610	4,540	548	246
	B 지점	28,900	14,950	3,849	981	514	275
	C 지점	25,050	11,200	2,284	1,649	545	289
	D 지점	52,833	18,633	4,522	1,633	369	208
전체 평균		38,038	13,225	4,140	2,103	503	258

- 1~3차 모니터링에서 TS의 입도를 점토와 미사로 이루어진 미세입자와 모래와 자갈로 이루어진 조대입자로 구분하고, 미세입자 또는 조대입자와 결합한 형태로 존재하는 오염물질(TOC, TN, TP)의 농도를 분석
- TOC 농도분석 결과, 점토/미사에서는 38,038 mg/kg, 모래/자갈에서는 13,225 mg/kg으로, 점토/미사에서 2.9배 높은 농도가 산출
- TN 농도분석 결과, 점토/미사에서는 4,140 mg/kg, 모래/자갈에서는 2,103 mg/kg으로, 점토/미사에서 2배 높은 농도가 산출
- TP 농도분석 결과, 점토/미사에서는 503 mg/kg, 모래/자갈에서는 258 mg/kg으로, 점토/미사에서 2배 높은 농도가 산출
- TOC, TN, TP 모두 TS의 미세입자에 결합한 오염물질의 농도가 조대입자보다 2.0~2.9배 높게 나타났는데, 이는 도로 비점오염물질을 저감하기 위해서는 상대적으로 비율은 낮지만, 높은 오염물질 농도를 보이는 미세입자를 집중적으로 관리해야 한다는 의미를 보여준 선행연구(Sartor et al., 1974)와 동일한 결과임
- 측정 지점별 오염물질의 농도분석 결과를 보면, 지점별 뚜렷한 경향성을 보이지는 않으나, A 지점(서해안 고속도로)에서 오염물질 중 TOC, TN의 평균 농도가 다른 지점에 비해 상대적으로 높게 나타남
- 이는 다른 측정 지점에 비해 교통량이 상대적으로 많은 특징이 반영된 것으로 판단되나, 보다 명확한 결론을 위해서는 다수의 측정 지점을 대상으로 모니터링을 수행할 필요가 있음

[그림 3-9] 측정 지점별 오염물질의 평균 농도



- 시간이 경과함에 따라 증가하는 추세를 보인 3차 모니터링 결과를 이용하여 오염물질별 발생원단위를 산정
- 5회 측정한 결과를 평균한 결과, TOC 129.548 kg/km²/day, TN 9.741 kg/km²/day, TP 0.615 kg/km²/day로 나타남
- 이는 오염총량기술지침에서 제시하고 있는 지목별 발생원단위 중 대지 발생원단위 BOD 85.9 kg/km²/day, TN 2.20 kg/km²/day, TP 2.10 kg/km²/day보다 TOC와 TN은 높고, TP는 낮은 값을 보여주나, 1개 지점에서 도출한 모니터링 결과이기 때문에 일반화할 수는 없음
- 도로의 비점오염 발생원단위를 생성하기 위해서는 다수의 지점에 대한 모니터링이 선행되어야 할 것으로 판단

제2절 도로 비점오염물질의 강우 유출량 분석

2. 도로 비점오염물질의 노면 축적량 분석

1) 연구 과정

- 도로 비점오염물질의 강우 유출량을 분석하기 위해 강우 전·후의 노면 축적량과 강우 시 강우유출수 모니터링을 수행
- 모니터링 지점은 강우유출수 시료 채취가 용이하고 우수배관이 잘 정비된 교량 중 하나인 철산대교(경기도 광명시 철산동)로 선정
- 철산대교는 집수구역의 면적을 산정하기에 용이하고, 접근성이 좋은 곳에 있으므로 모니터링뿐만 아니라 결과해석에서도 유리함

[그림 3-10] 도로 비점오염물질 강우유출량 모니터링 지점



철산대교 위치

우수배관 입구

- 도로 비점오염물질의 강우 유출량은 1회의 강우사상에 대하여 10회의 강우유출수 모니터링을 통해 분석하였으며, 강우 전과 후의 노면 축적량에 대한 모니터링도 병행
- 강우 전과 후의 노면 축적량 모니터링은 전술한 도로 비점오염물질 노면 축적량 모니터링과 동일한 방법으로 실시하였으며, 강우유출수는 노면에서 발생하는 강우 유출수를 배제하기 위해 교량 하단에 설치한 배관에서 직접 채수하여 분석
- 강우유출수 시료는 초기유출 특성을 고려하여 강우 초기에는 5분 간격으로 채수하였고, 차츰 시간 간격을 넓혀 최대 2시간 간격으로 채수
- 모니터링 기간은 2012년 6월 29일 21시부터 6월 30일 09시까지 총 12시간이며, 강우유출수 분석 항목은 탁도, SS, BOD, TOC, TN, TP임

[그림 3-11] 도로 비점오염물질 강우유출량 모니터링 현장 모습



2) 연구 결과

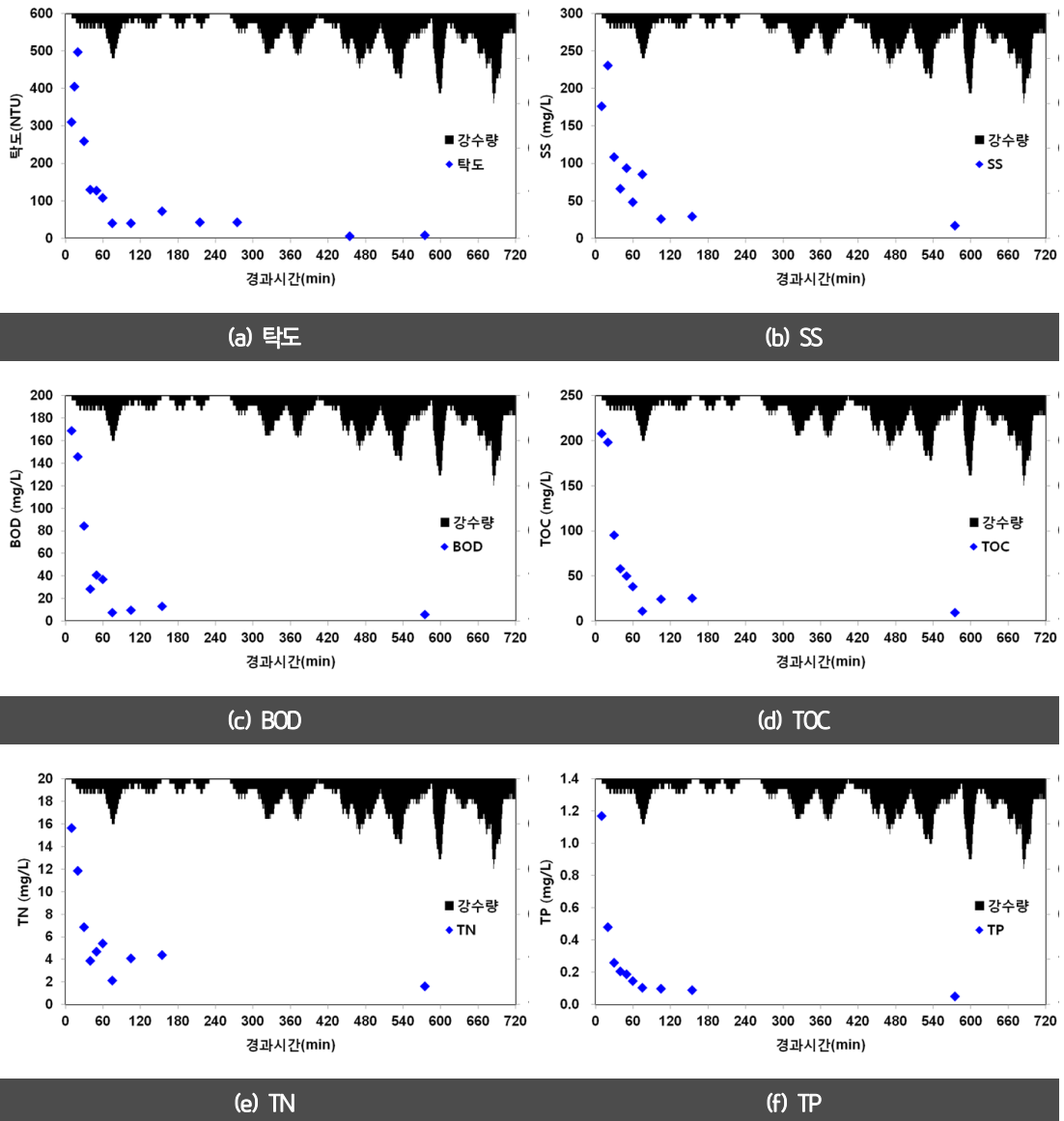
- 강우 시 도로에서 유출되는 비점오염 부하량을 평가하기 위해 강우 전·후 노면에 축적된 TS와 그에 결합한 오염물질의 변화와 강우 시간에 따른 강우유출수의 오염물질 농도 변화를 분석
- 도로 비점오염물질의 강우 유출량 모니터링은 2012년 6월 29일 21시 00분부터 6월 30일 09시 00분까지 총 12시간 동안 이루어졌으며, 해당 기간 총 강우량은 103.0 mm이고, 시간당 평균 강우량은 8.6 mm/hr이었음. 강우 초기 4시간 동안 17.5 mm로 적은 양의 강우가 발생하였으며, 이후 점진적으로 증가
- 강우 전·후 TS에 결합한 오염물질의 농도를 분석한 결과, 점토/미사에 결합한 TP를 제외한 TOC, TN, TP 모두 감소하는 것으로 분석
- 오염물질 중 미세입자와 조대입자에 결합한 TN은 각각 82.4%, 92.1% 감소하여 가장 높은 비율로 감소하였으며, TOC, TP 역시 14.4%~67.1%의 비율로 감소하는 경향을 보임
- 노면에 축적된 TS에 결합하여 있는 오염물질의 농도가 감소하는 것은 결합한 오염물질이 강우유출수에 용해(dissolution)되어 이동하기 때문임(Vaze and Chiew, 2002)
- 그리고 미세입자보다 조대입자와 결합한 오염물질이 더 많이 용해되는 것은 조대입자의 결합력이 미세입자보다 상대적으로 낮은 영향으로 판단
- 따라서 노면에 축적된 오염물질 관리에서 미세입자뿐만 아니라 조대입자 역시 중요할 것으로 판단

[표 3-7] 강우 전후 TS에 결합한 오염물질의 농도 비교

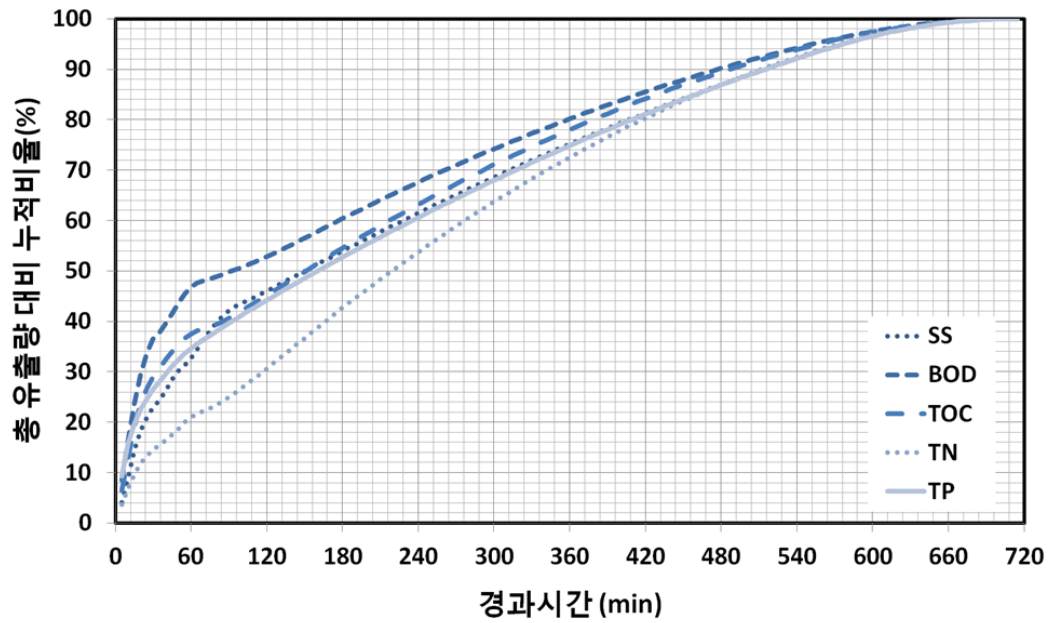
구분	TOC (mg/kg)		TN (mg/kg)		TP (mg/kg)	
	점토/미사	모래/자갈	점토/미사	모래/자갈	점토/미사	모래/자갈
강우 전	50,300	28,000	9,624	6,654	558	333
강우 후	36,200	9,200	1,694	527	566	285
증감률	-28.0%	-67.1%	-82.4%	-92.1%	+1.5%	-14.4%

- 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염물질의 농도를 분석한 결과, 탁도는 강우가 시작된 6월 29일 21시 10분 이후 약 10분 동안 증가하다가 급격하게 감소하기 시작하여, 강우 시작 후 1시간이 지난 22시 15분경에는 초기 탁도값의 10% 수준까지 감소
- 이는 불투수 지표면의 초기유출 효과를 잘 보여주는 결과로 강우에 의한 오염물질의 유출은 약 2시간 이내에 대부분이 이루어지는 것으로 나타남
- TN을 제외한 BOD, SS, TOC, TP도 역시 탁도와 동일하게 강우 시작 후 1시간 이내에 대부분이 유출되는 것으로 나타남
- TN은 1시간 이후로도 꾸준히 농도를 유지하는 것으로 나타남

[그림 3-12] 경과시간에 따른 강우유출수 내 오염물질의 농도 변화



[그림 3-13] 오염물질별 강우 유출 누적 비율



제 4 장

고양시 도로 및 청소 현황 분석

제1절 대상지 기초조사

제2절 노면청소 관련 매뉴얼 수립 현황

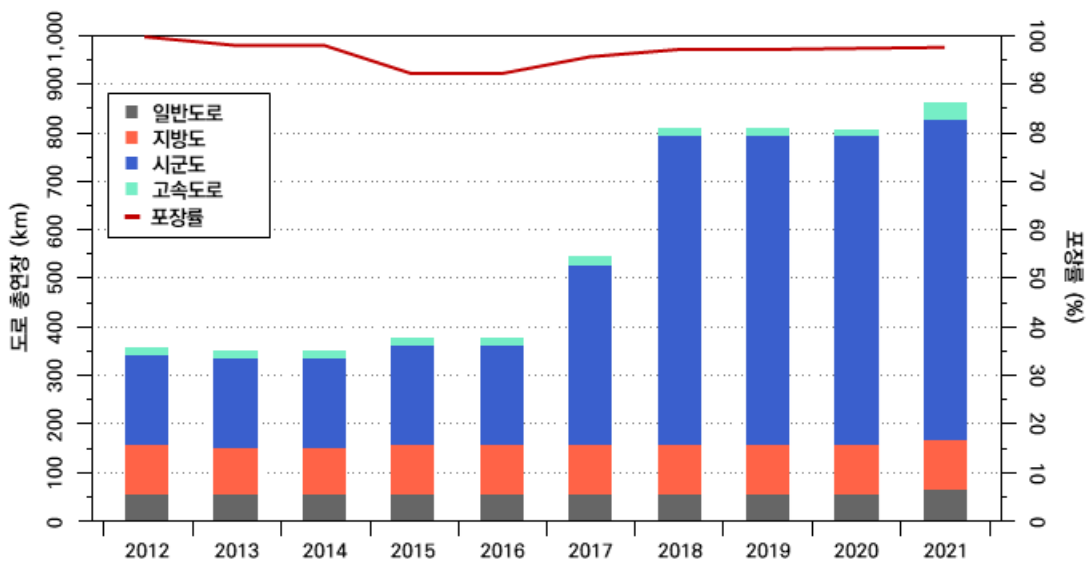
제3절 민간위탁의 필요성

제절 대상지 기초조사

1) 고양시 도로 현황

- 2012년부터 2021년까지의 10년간 고양시 도로 인프라는 지속해서 증가[그림 4-1][표 4-1]
 - 고양시 도로 연장은 2021년 861.8 km로 2012년(357.7 km) 대비 140.9% 증가
 - 2012년 대비 도로 유형별 증가 폭은 시도가 253.8%(185.6 km → 656.6 km)로 가장 높았으며, 고속국도 134.8%(16.1 km → 37.8 km), 일반국도 17.9%(54.3 km → 63.9 km), 지방도 1.7%(101.8 km → 103.5 km) 순으로 나타남
- 2017~2018년을 기점으로 고양시 관리 담당 도로는 급속도로 증가하였음
 - 고속도로 제외한 관리 담당 도로 총연장은 824.0 km이며, 보다 효율적이고 안정적인 도로 서비스 제공을 위해 자체 노면 청소 매뉴얼 구축의 필요성 증대됨

[그림 4-1] 10년간 고양시 도로 현황(2012~2021)



[표 4-1] 10년간 고양시 도로 현황(2012~2021)

연도	합계 (km)				일반국도 (km)				지방도 (km)				시도 (km)				고속 도로 (km)
	계 ¹⁾	연장	미개통	포장률 ²⁾	계	연장	미개통	포장률	계	연장	미개통	포장률	계	연장	미개통	포장률	
2012	357.7	357.6	0.1	100.0%	54.3	54.3	-	100.0%	101.8		-	100.0%	185.6	185.5	0.1	99.9%	16.1
2013	351.0	345.9	5.2	98.5%	54.3	54.3	-	100.0%	95.1	90.0	5.1	94.6%	185.6	185.5	0.1	99.9%	16.1
2014	351.0	345.9	5.2	98.5%	54.3	54.3	-	100.0%	95.1	90.0	5.1	94.6%	185.6	185.5	0.1	99.9%	16.1
2015	375.1	349.5	25.6	93.2%	54.3	54.3	-	100.0%	102.7	89.9	12.8	87.5%	202.2	189.2	12.8	93.6%	16.1
2016	376.3	350.7	25.6	93.2%	54.3	54.3	-	100.0%	102.7	89.9	12.8	87.5%	203.2	190.4	12.8	93.7%	16.1
2017	562.9	541.3	21.6	96.2%	54.3	54.3	-	100.0%	103.5	90.7	12.8	87.6%	368.6	359.8	8.8	97.6%	16.1
2018	808.8	787.3	21.6	97.3%	54.3	54.3	-	100.0%	103.5	90.7	12.8	87.6%	635.0	626.2	8.8	98.6%	16.1
2019	808.0	786.4	21.6	97.3%	54.3	54.3	-	100.0%	103.5	90.7	12.8	87.6%	634.1	625.4	8.8	98.6%	16.1
2020	806.2	786.0	20.2	97.5%	54.3	54.3	-	100.0%	103.5	90.7	12.8	87.6%	632.3	624.9	7.4	98.8%	16.1
2021	861.8	841.6	20.2	97.7%	63.9	63.9	-	100.0%	103.5	90.7	12.8	87.6%	656.6	649.1	7.4	98.9%	37.8

1) 계: 연장 + 미개통

2) 포장률: (연장-미개통) × 100 / 연장

〈자료출처〉 고양시청 도로정책과(2022)

2) 고양시 기상 및 입자상 대기오염물질 농도 개황

- 최근 5년간(2019~2023)의 측정자료를 바탕으로 월별 고양시 기상 및 입자상 대기오염물질 농도 개황을 [표 4-2], [그림 4-2]에 정리하였음. 분석에는 기상청 기상자료개방포털 방재기상관측(AWS) 일평균 자료¹⁾와, 에어코리아 도시대기측정망 일평균 자료²⁾를 활용하였음
- 고양시 기후 및 입자상 대기오염물질 농도 개황을 요약하면 다음과 같음:
 - 고양시 일평균 기온은 8월에 25.5℃로 최고, 1월에 -2.0℃로 최저
 - 고양시 평균 강수량은 8월에 382.7 mm로 최고, 2월에 14.0 mm로 최저
 - 고양시 평균 강수일은 8월에 15.9일로 최대, 1월에 1.9일로 최소
 - 고양시 PM_{2.5} 농도는 3월에 31.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대, 9월에 14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최소
 - 고양시 PM_{2.5} 고농도 발생일(일 평균값이 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날)은 3월에 4.0일로 최대, 6~9월에 0.0일로 최소
 - 고양시 PM₁₀ 농도는 3월에 60.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대, 9월에 23.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최소
 - 고양시 PM₁₀ 고농도 발생일(일 평균값이 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날)은 3월에 10.2일로 최대, 8~9월에 0.8일로 최소
- 고양시 기후 및 입자상 물질 농도 현황을 고려하였을 때, 여름철(7~9월) 100 mm 이상의 높은 강수량과 상대적으로 낮은 입자상 대기오염물질 농도가 나타남에 따라 비점오염물질의 노면 축적량은 적을 것으로 예측됨
- 반면, 입자상 대기오염물질의 고농도 발생일이 높은 겨울과 봄(1~3월) 상대적으로 강수량이 낮음에 따라 비점오염물질의 노면 축적량은 많을 것으로 예측됨

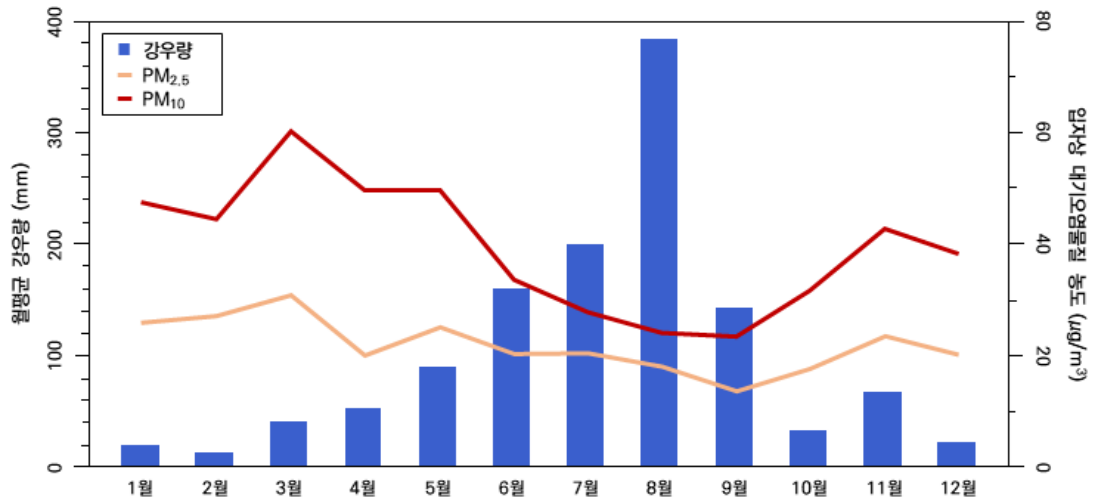
¹⁾측정지점: 경기도 고양시 덕양구 동산동 300-1 제60보병사단(위도: 37.6373, 경도: 126.892)

²⁾측정지점: 경기도 고양시 일산서구 주엽로 104 주엽어린이도서관(위도: 37.6684, 경도: 126.756)

[표 4-2] 최근 5년간 고양시 기상 및 입자상 대기오염물질 농도 개황(2019~2023)

월별	기상					입자상 물질			
	평균 기온 (°C)	평균 최고 (°C)	평균 최저 (°C)	평균 강수량 (mm)	평균 강수일 (일)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} 고농도 발생일	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ 고농도 발생일
1	-2.0	7.4	-15.2	19.9	1.9	26.5	1.6	47.3	8.8
2	0.7	11.4	-8.4	14.0	3.5	27.6	0.2	45.4	8.4
3	7.3	16.6	0.4	40.6	5.2	31.3	4.0	60.6	10.2
4	12.4	21.7	4.7	52.7	6.8	21.2	1.4	50.3	2.6
5	17.8	23.3	10.3	90.1	8.1	25.3	1.2	50.3	5.4
6	22.2	27.6	17.1	159.8	8.9	21.5	0.0	34.0	2.6
7	25.5	30.0	18.8	200.6	13.5	21.6	0.0	28.6	3.0
8	25.5	30.3	18.8	382.7	15.9	18.3	0.0	24.6	0.8
9	21.2	26.1	16.7	142.5	7.6	14.7	0.0	23.3	0.8
10	13.8	23.1	4.8	32.6	4.4	17.9	0.4	33.5	2.2
11	6.9	20.7	-5.5	67.1	6.2	23.5	0.8	43.0	6.0
12	-0.9	13.0	-12.4	22.2	4.6	20.7	0.4	38.7	5.0

[그림 4-2] 최근 5년간 월별 고양시 강수량 및 입자상 대기오염물질 평균 농도의 변화(2019~2023)



제2절 노면 청소 관련 매뉴얼 수립 현황

1. 국토교통부

1) 목적

- 도로에서 공사 시행 시 도로 이용자와 작업자의 안전 확보, 도로 서비스 수준 저하 최소화, 시공성을 확보하는 것을 목적으로 지침 수립
- 도로 유지보수·개축·개선 사업 시 또한 전기·통신·가스관 등 도로 점용공사 시 도로의 전부 또는 일부를 점용하는 경우 운전자, 보행자 또는 작업자의 안전 확보, 차량 소통 원활, 시공성을 확보하여 도로 공사 구간 관리 효율성 증대와 도로 서비스 유지를 목적으로 함

2) 적용 범위 및 관련 법규

- 「도로법」에 규정된 각종 도로(고속국도, 일반국도, 특별시도, 광역시도, 지방도, 시·군도)의 전부 또는 일부를 점용하는 공사에 적용
- 도로에서 시행되는 공사에 따른 허가, 안전조치 등에 관한 법규는 「도로법」 및 동법 시행령, 시행규칙, 「도로교통법」의 적용을 받음
- 안전 지침의 적용 대상은 「도로법」 제8조에 의한 도로에서 시행되는 모든 공사에 적용하며, 관련 법령은 아래와 같음:
 - 「도로법」 제34조(관리청 아니나 자의 공사 시행), 제38조(도로의 점용), 제39조(공익 사업을 위한 도로의 점용), 제43조(원상회복), 제58조(통행의 금지나 제한)
 - 「도로법」 시행령 제28조(점용의 허가신청), 제30조(점용에 관한 사업계획서 등), 제34조(도로 관리 심의위원회 설치 등)
 - 「도로법」 시행규칙 제17조(점용허가 신청 등)

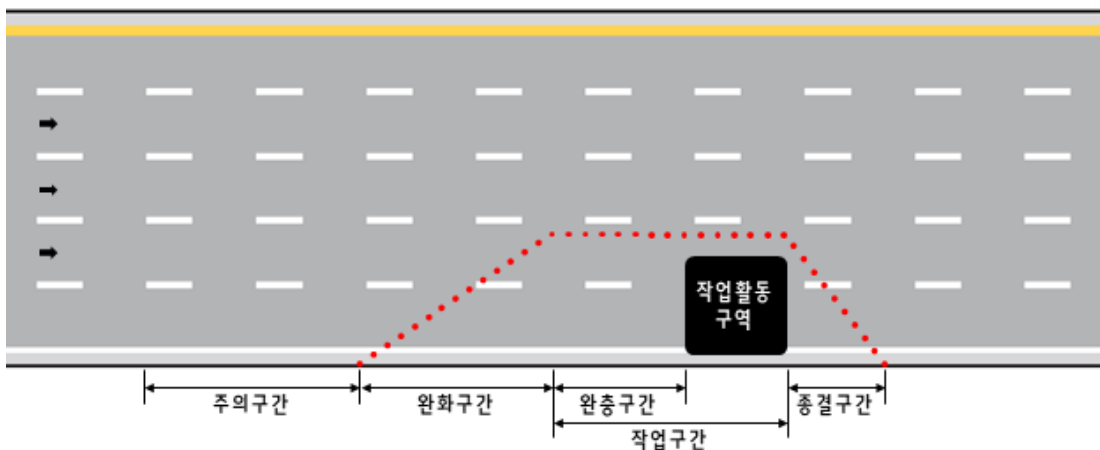
- 「도로교통법」 제69조(도로 공사의 신고 및 안전조치 등), 제70조(도로의 점용허가 등에 관한 통보 등)

3) 주요 내용

- 도로 공사 구간 유형은 공사장 이동 여부에 따라 고정 공사와 이동 공사로 구분하고, 고정 공사는 기간에 따라 장기, 중기, 단기, 단시간 공사로 구분
 - 고정(장기): 동일 지점에서 3일을 초과하여 수행하는 작업
 - 고정(중기): 동일 지점에서 1~3일 기간 수행하는 작업
 - 고정(단기): 1일 주간의 1시간 초과 동일 지점 또는 야간작업
 - 고정(단시간): 1일 주간의 1시간 이내 동일 지점에서 수행하는 작업
 - 이동: 일정한 속도로 이동 또는 일시적 정지와 이동을 반복하는 작업

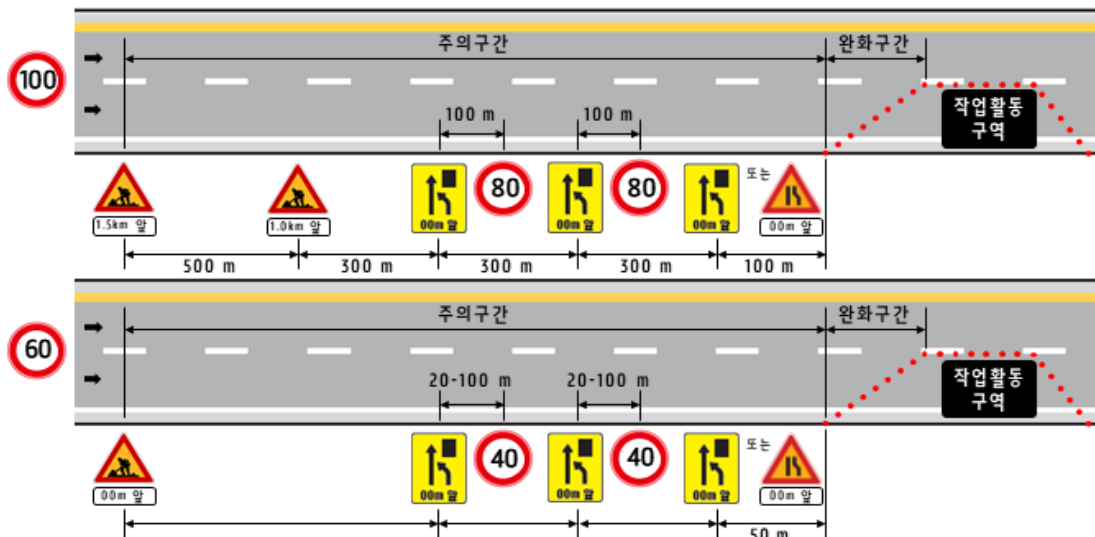
□ 고정 공사의 교통관리

[그림 4-3] 교통관리 구간



- 고정 공사(단기 이상) 교통관리는 주의구간, 완화구간, 작업구간(완충구간 포함), 종결구간으로 구분하여 관리[그림 4-1]
- 각 구간의 세부 의미는 다음과 같음:
 - 주의구간: 운전자들이 전방의 교통상황 변화를 사전에 인지할 수 있도록 확보하는 구간
 - 완화구간: 진행 중인 차로를 변화시키는 구간으로 공사 중인 해당 차로 전방에 일정 거리를 두어 주행차로를 차단하고 차로를 변경하게 하는 구간(차로나 길어깨를 차단하지 않을 시 완화구간을 생략할 수 있음)
 - 작업구간: 작업구간은 완충구간과 실제 공사를 수행하는 작업활동구역으로 구성. 여기서 완충구간은 운전자들이 차로 변경을 하지 못한 경우를 대비하여 운전자와 작업자를 보호하기 위한 구간
 - 종결구간: 작업구간을 통과하여 공사 이전의 정상적인 차량 흐름으로 복귀하는 구간
- 고정 공사 시 각 구간 길이와 표지 설치 위치는 다음과 같음[그림 4-2, 표 4-1]:

[그림 4-4] 도로 주의구간 교통안전표지 설치 예시



[표 4-3] 도로 유형별 주의구간 길이

도로 유형			주의구간 길이 (완화구간 시점 전방)
고속도로	자동차 전용도로 및 고속국도(제한속도 100 km/h)		1.50 km
	도시 고속도로	제한속도 80 km/h	1.00 km
		제한속도 70 km/h	0.70 km
일반도로	지방지역	제한속도 80 km/h	1.00 km
		제한속도 70 km/h	0.70 km
		제한속도 60 km/h	0.50 km
	도시지역	제한속도 70 km/h	0.50 km
		제한속도 50~60 km/h	0.35 km
		제한속도 40 km/h 이하	0.20 km

- 자동차 전용도로 및 고속국도(제한속도 100 km/h)의 경우 <공사 중> 표지판을 전방 1.5 km, 1.0 km 지점에 설치하며, <도로 공사 구간 전용 주의표지>를 전방 0.7 km, 0.4 km 지점에 설치. 또한 전방 0.1 km 지점에는 <도로 공사 구간 전용 주의표지> 또는 <차로 없어짐> 표지판 중 택일하여 설치
- 일반도로(제한속도 60 km/h)의 경우 전방 50 m 지점에 <도로 공사 구간 전용 주의표지> 또는 <차로 없어짐> 표지판 중 택일하여 설치
- 규제표지(제한속도 표지)는 자동차 전용도로 및 고속국도의 경우 <도로 공사 구간 전용 주의표지>가 설치된 지점으로부터 후방으로 100 m 이격하여 설치하며, 일반도로의 경우 후방으로 20~100 m 이격하여 설치. 주의구간 제한속도는 공사 대상 제한속도보다 20 km/h 낮게 설정

□ 단시간 및 이동 공사의 교통관리

○ 도로 유형별 단시간 공사 교통관리 기준은 다음과 같음[표 4-2]:

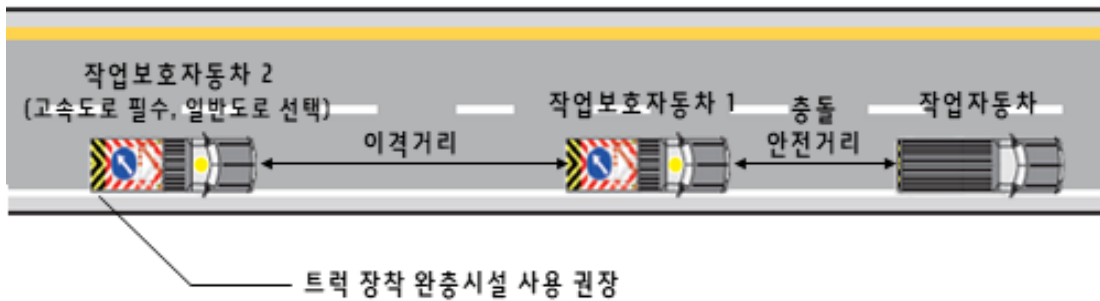
[표 4-4] 단시간 공사 교통관리 기준

도로 유형	임시 교통통제시설 설치 기준
고속도로	
지방 지역 및 도시 지역 일반 도로	<p>제한속도 80 km/h 이상</p>
제한속도 80 km/h 미만 ~ 60 km/h 이상	
제한속도 60 km/h 미만	

- 고속도로와 제한속도 80 km/h 이상인 일반도로의 경우, 작업보호자동차를 2대 이상 배치하며, 주의구간 시점에서는 <공사 중> 또는 <도로 공사 구간 전용 주의표지>를

- 이동 공사는 특성상 고정 공사와 비교하여 절차가 간소하며, 임시 교통통제 시설은 노면 고정식보다는 작업보호자동차에 장착하여 이동성이 용이하도록 함. 따라서 이동 공사 시交通安全표지(점멸 차단판)과 안전시설(경고등, 트럭 장착 완충시설 등)을 작업보호자동차에 장착하며, 작업자동차에도 안전시설을 장착함[그림 4-3]

[그림 4-5] 이동 공사 교통관리 방안



- 고속도로의 경우 작업보호자동차를 2대, 일반도로의 경우 작업보호자동차를 1대 배치하여 작업자동차를 보호하여야 함
- 작업보호자동차와 작업자동차 간 충돌 안전거리는 제한속도 90 km/h 이상일 때 85 m 이상, 제한속도 70~90 km/h일 때 60 m 이상, 제한속도 70 km/h 미만일 때 45 m 이상으로 함. 작업보호자동차 간 이격거리는 [표 4-3]과 같이 도로 유형별 제한속도에 따라 유동적으로 설정함

2. 한국도로공사, 경찰청

1) 목적

- 고속도로상 각종 유지보수 작업, 도로 개량공사 및 확장공사 등에 따른 교통처리 및 안전시설 설치 기준 등 수립을 통해 작업으로 인한 교통혼잡 최소화과 더불어 이용자 및 작업장의 안정성 확보를 목적으로 함

2) 적용 범위 및 관련 법규

- 「도로법」 제36조(도로관리청이 아닌 자의 도로 공사 등), 제61조(도로의 점용허가), 제64조(공익사업을 위한 도로의 점용), 제65조(도로 점용공사의 대행), 제73조(원상회복), 제76조(통행의 금지·제한 등)
- 「도로법」 시행령 제54조(도로의 점용 허가신청 등), 제56조(도로 굴착을 수반하는 점용에 관한 사업계획 등), 제58조(도로의 점용허가에 따른 안전사고 방지대책 등), 제62조(도로 관리 심의회의 설치 등)
- 「도로법」 시행규칙 제26조(점용허가 신청 등)
- 「도로교통법」 제69조(도로 공사의 신고 및 안전조치 등), 제70조(도로의 점용허가 등에 관한 통보 등)
- 「도로교통법」 시행규칙 제42조(도로 공사의 신고), 제42조의 2(도로 공사장의 교통안전 조치), 제43조(교통안전시설의 원상회복), 별표15의 2(도로 공사장의 교통안전시설 설치 및 안전요원·안전유도 장비의 배치에 관한 기준)

3) 주요 내용

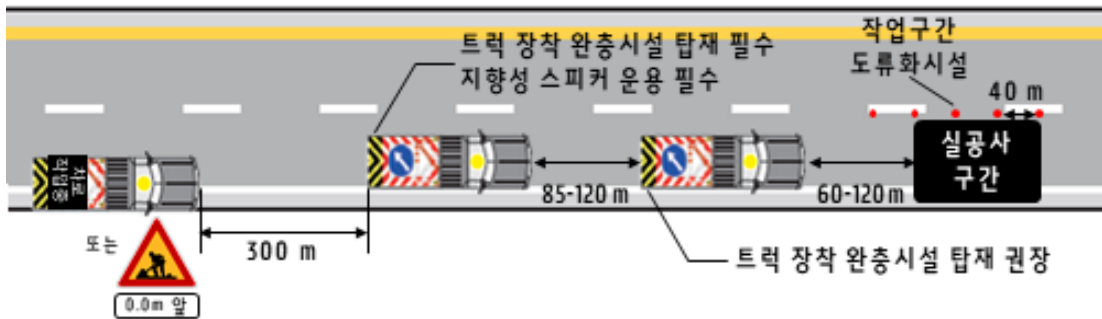
- 국토교통부 「도로 공사장 교통관리지침」과 마찬가지로 한국도로공사·경찰청 「고속도로 작업장 교통관리기준」 역시 도로 공사 유형을 고정 공사와 이동 공사로

구분하며, 고정 공사의 세부 유형: 장기, 중기, 단기, 단시간을 나누는 기준 역시 동일함

- 국토교통부 작업 안전 지침과 차별되는 사항을 중심으로 주요 내용을 기술

□ 단시간 및 이동 공사의 교통관리

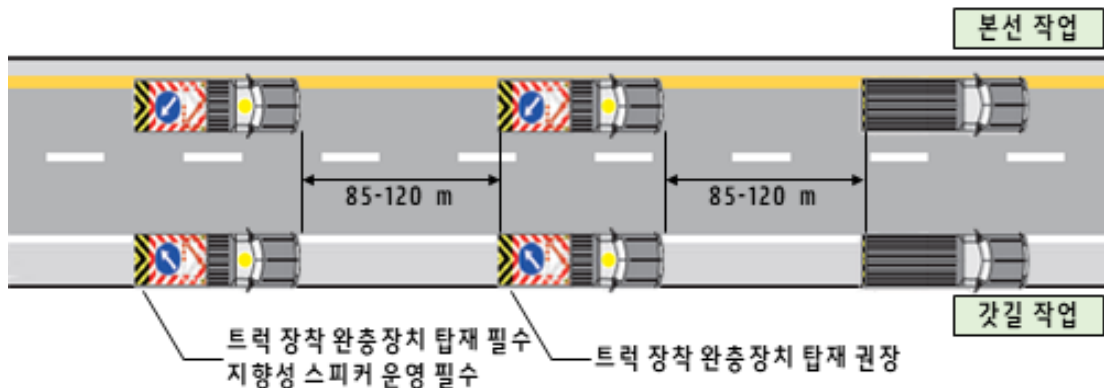
[그림 4-6] 단시간 작업 교통관리 기준



- 단시간 작업에서는 [그림 4-4]와 같이 작업보호자동차를 배치하며, 작업보호자동차와 실공사 구간 간 이격거리는 충돌 안전거리 기준인 60~120 m가 되도록 함
 - 작업보호자동차는 1대 이상 배치해야 하며, 주의구간 시점에서는 〈공사 중〉 표지판 또는 〈도로 작업구간 전용 주의표지〉를 설치하거나 도로전광표지판을 탑재한 차량을 배치하여 작업 상황을 운전자들에게 알려줌
 - 작업보호자동차 간 이격거리는 현장 여건에 맞추어 조정하되 가급적 85~120 m 간격을 유지하도록 함
 - 작업보호자동차를 배치하지 않는 경우 고정 작업의 교통관리 원칙을 준용하며, 교통안전표지는 〈공사 중〉 안내표지를 300 m 이격하여 1회 설치

- 최전방 작업보호자동차에는 트럭 장착 완충시설(TMA, truck mount attenuator) 탑재는 물론 지향성 스피커 운용이 필수

[그림 4-7] 이동 작업(노면 청소) 교통관리 방안 예시



- 이동 작업은 고정 작업에 비해 간소화된 절차로 운용하며, 임시 교통통제시설은 노면 고정식보다는 작업보호자동차에 장착하여 이동성이 용이하도록 함. 따라서 이동 작업 시 교통안전표지(점멸 차단판)과 안전시설(트럭 장착 완충시설, 지향성 스피커) 등을 작업보호자동차에 장착하며, 작업자동차에도 안전 시설을 장착함
- 작업보호자동차와 작업자동차 간 이격거리는 충돌 안전거리 기준인 85 m 이상이 되도록 하되 끼어들기 방지를 위해 120 m 이하를 유지하도록 하며, 작업보호자동차 간 거리도 85~120 m를 유지하되 현장 여건에 맞추어 조정하도록 함
- 최전방 작업보호자동차에는 트럭 장착 완충시설(TMA) 탑재는 물론 지향성 스피커 운용이 필수

3. 서울시설공단

1) 목적

- 도로에서 공사 시행 시 도로 이용자와 작업자의 안전 확보, 도로 수준 저하 최소화, 시공성을 확보
- 도로의 전부 또는 일부를 점용하는 경우 운전자, 보행자 및 작업자의 안전 확보, 차량 소통 원활, 시공성을 확보하여 도로 공사 구간 관리 효율성 증대와 도로 서비스 유지

2) 주요 내용

- 국토교통부 「도로 공사장 교통관리지침」, 한국도로공사·경찰청 「고속도로 작업장 교통관리기준」과 내용 유사
- 야간작업 및 시내 도로 작업에 특화된 작업 안전 지침을 수립
- 앞서 국토교통부, 한국도로공사·경찰청 작업 안전 지침과 차별되는 사항을 중심으로 주요 내용을 기술

□ 공사 유형별 교통관리

- 도로 공사 구간 유형별 교통통제시설 구비 조건은 [표 4-4]와 같음
- 고정 공사 중 주위구간과 원화구간, 이동 공사에서 시인성, 정보 내용 전달, 위험경고는 필수적. 강성은 구비하면 좋으나 의무 부여는 하지 않음
- 야간 공사 시행 시 모든 교통통제시설을 구비해야 함

[표 4-6] 교통통제시설 구비 조건

도로 공사 구간 유형			시인성	정보 내용 전달	위험경고	강성
고정 공사	주의구간		◎	◎	◎	-
	완화구간		◎	◎	◎	-
	작업구간	완충구간	◎	△	◎	△
		작업활동구역	◎	-	△	◎
	종결구간		◎	◎	-	-
이동 공사			◎	◎	◎	△
야간 공사			◎	◎	◎	◎

범례) ◎ 구비해야 할 조건, △ 구비하면 좋은 조건

[그림 4-8] 고정 공사 시 교통안전표지 설치 기준



○ 고정 공사 시 교통안전표지 설치 기준은 [그림 4-6]과 같음

- 제한속도 40~60 km/h 도로에서 주의구간의 길이는 500 m, 주의표지 설치 간격은 100~200 m로 설정
- 제한속도 40 km/h 이하 도로에서 주의구간의 길이는 200 m, 주의표지 설치 간격은 50 m로 설정

- 야간 도로 공사 현장에는 <초지향성 스마트 경보시스템>과 공사 구간 사전 인지가 가능한 <공사 예고·안내 간판> 등을 추가로 설치하여야 함[표 4-5]
- 초지향성 스마트 경보시스템: 도로 공사장을 과속으로 통행하는 차량의 속도를 시청각적으로 운전자에게 알려 사고를 미연에 방지
- 공사 예고 안내간판: 교통안전 시설물의 시인성을 개선하여 공사 구간 사전인지로 사고를 예방하고 사전 통행 경로변경(차선 변경)을 통해 원활한 차량 통행 유도

[표 4-7] 야간 도로 공사 현장 추가시설물







- 시인성이 저하되는 야간작업 시, 작업에 투입된 근로자들은 LED가 부착된 개인 안전 보호구를 필수로 착용하여야 함

4. 종합

[그림 4-9] 노면 청소 관련 매뉴얼 상 주요 내용 종합

	국토교통부	한국도로공사·경찰청	서울시설공단
작업 유형에 따른 차량배치 규정의 유무	✓	✓	✓
이동 작업시 작업보호 자동차 2대 이상 배치	✓	✓	✓
도로 제한속도에 따른 차량배치 규정의 유무	✓	✓	✓
이동 작업시 완충장치 부착 의무	✗	✓	✗
이동 작업시 지향성 스피커 적용 의무	✗	✓	✗

제한속도 90 km/h 자유로 특성에 맞는 안전대책 적용 필요!

안전표지판 규정	차량배치 규정	완충장치 부착	지향성 스피커
 <ul style="list-style-type: none"> • (고정작업) 작업현장 일정거리 뒤에 점멸식 안전표지판 설치 • (이동작업) 작업차량 뒤편에 점멸식 안전표지판 부착 	 <ul style="list-style-type: none"> • 적용대상 도로 제한속도에 맞는 작업차량간 안전거리 설정 필요(최소 60m 이상) 	 <ul style="list-style-type: none"> • 자유로와 같이 사속 90 km/h 이상 고속화 도로 이동 작업시 작업차량에 트럭완충장치(TMA) 부착 의무화 	 <ul style="list-style-type: none"> • 자유로와 같이 사속 90 km/h 이상 고속화 도로 이동 작업시 작업차량에 지향성 스피커 적용 의무화

- 국토교통부, 한국도로공사·경찰청, 서울시설공단의 노면 청소 관련 매뉴얼 상 주요 내용을 [그림 4-7]과 같이 종합하였음
- 조사 대상 3기관의 매뉴얼 모두 이동 작업 시 작업보호자동차 2대 이상 배치를 권고하였으며, 작업 유형에 따른 차량배치 규정, 도로 제한속도에 따른 차량 배치 규정이 마련되어 있음

- 이동 작업 시 트럭 장착 완충장치 탑재와 지향성 스피커 적용은 한국도로공사 경찰청 매뉴얼에서만 의무로 규정

○ 고양시 도로 특성에 맞는 노면 청소 작업 안전 지침 마련이 필요

- 노면 청소의 특성상 고정 작업과 이동 작업이 혼합되어 있으므로, 두 작업 방식을 고려하여 안전 지침을 마련할 필요가 있음
- 관내 자유로와 같은 제한속도 90 km/h 도시고속화도로 이동 작업 시, 작업보호자동차는 1대 이상 투입을 의무화하여야 하며, 작업 차량과 작업보호자동차에 트럭 장착 완충장치 탑재와 지향성 스피커 적용 역시 의무화하여야 함
- 관내 도시고속화도로 고정 작업 시 작업자들의 안전 확보는 물론 차량 흐름 원활을 위하여 작업활동구역 전방에 <공사 중> 표지나 <도로 작업구간 전용 주의표지>를 반드시 설치하여야 하며, 운전자들이 사전에 차선을 변경할 수 있도록 <차로 없어짐> 표지 역시 반드시 설치하여야 함.
- 또한, 시야 확보가 어려운 야간작업 또는 악천후(질은 안개, 폭우, 폭설 등)에 대비하여 모든 개인 안전 보호구와 작업 표지에는 초고휘도 반사지(또는 LED)를 적용하여야 함

제3절 민간위탁의 필요성

1. 민간위탁의 개념(Contracting-Out, Outsourcing)

- 민간위탁의 사전적 정의는 정부가 생산·공급하는 공공 서비스를 정부 대신 민간기관이 위탁받아 생산·공급하는 행위를 의미
- 서비스의 공급 결정과 대가 지불의 역할은 정부가 담당 서비스의 생산만을 민간 부문이 담당-아웃소싱(Outsourcing): 능률성과 전문성, 서비스 수준의 향상이 요구되는 행정업무에 대하여 이를 전문민간에게 맡겨 수행하는 행정방식
- 조직의 경량화를 통해 저렴한 행정비용(Cost-Less)으로 행정서비스를 효율적으로 공급하고, 경영적 시각에서 행정업무를 관리하며 공공부문에서 직접 서비스를 공급하지 않고 민간을 통해 서비스를 제공하는 것임

2. 민간위탁의 발생 배경-신공공관리론적패러다임

- 행정업무의 아웃소싱은 1980년대 초에 미국, 영국, 캐나다 등에서 지방정부의 부담을 경감하고 주민에게 양질의 서비스 제공을 목적으로 최초 시행
- 구조조정을 통해 인력을 감축하고 행정기능을 축소함으로써 작은 정부를 실현할 목적으로 행정조직과는 다른 별도의 독립된 공익법인을 설립하여 서비스를 제공
- 주민들에 대한 대응성이 향상되고 공공서비스 생산의 효율성을 증대할 수 있다는 기대에서 출발
- 공공 서비스의 생산을 민간에 위탁해도 서비스 공급의 책임은 정부에 귀속되어 있는 만큼 공익의 관점에서 일정한 개입이 필요

[그림 4-10] 신공공관리적 정부 행정조직 운영 원리



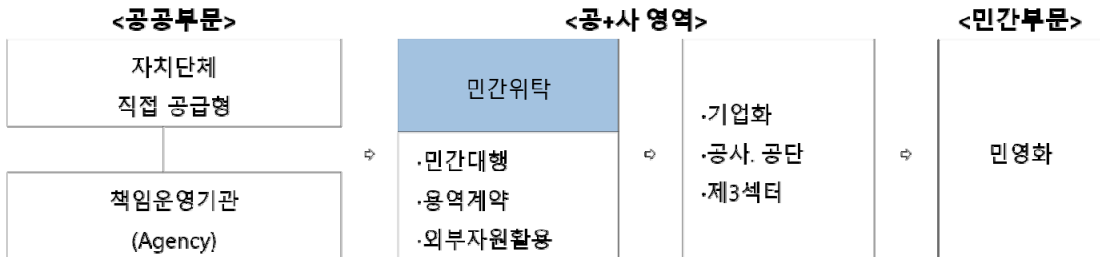
[표 4-8] 민간위탁의 배경

구 분	요 인	방법수단
민영화의 시대적 조류	<ul style="list-style-type: none"> 국가 및 지방자치단체 역할 증대 규제/지도 중심에서 → 조정/보완으로 	<ul style="list-style-type: none"> 시장경제원리 적용 민간경영기법 도입
행정기능의 비대화와 자성적 비판	<ul style="list-style-type: none"> 행정 범위 확대, 조직확장, 공무원 증가 역기능 심화, 관료제 병폐 등 	<ul style="list-style-type: none"> 작은 정부의 구현 행정의 생산성·효율성 제고 민간 자원의 활용·활성화
지방자치단체의 재정적 취약	<ul style="list-style-type: none"> 재정압박 심화 행정수요 급증 	<ul style="list-style-type: none"> 서비스 기능의 제고 단순 기능 위탁 → 운영 전반 위탁

3. 민간위탁의 방식

- 계약 방식
- 면허 방식
- 보조금 방식
- 구입증서 방식(vouchers)
- 자원봉사자 방식
- 자조활동 방식(self-help)
- 조세 유인 방식 등

[그림 4-11] 서비스 공급 방식에 따른 민간위탁의 위치



4. 민간위탁의 필요성

- 이전에는 행정관청이 직접 수행하기 곤란한 업무의 경우에만 민간위탁을 시행
- 현대행정의 복잡·다양성으로 인하여 지방자치단체가 직접 업무를 수행하기 보다는 전문기술이 풍부한 민간에 맡겨 이를 수행하도록 하는 경향이 증대
- 민간위탁의 필요성
 - 첫째, 행정조직의 비대화를 억제

- 둘째, 민간의 특수한 전문기술을 활용함으로써 행정사무의 능률성을 높이고 비용을 절감
- 셋째, 국민 생활과 직결되는 단순 행정업무를 신속하게 처리

○ 특히, 민간위탁의 추진은 1998년 「국민의 정부」 출범 후 작은 정부를 지향하는 정부 방침상 행정조직관리에 있어서 매우 중요한 과제의 하나로 정부가 지향하는 규제개혁 측면 뿐만 아니라 행정의 고비용·저효율 시스템을 개선하기 위해 적극적으로 추진

5. 민간위탁의 법적 근거

[표 4-9] 정부조직법 제6조(권한의 위임 또는 위탁)

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 행정기관은 법령으로 정하는 바에 따라 그 소관 사무의 일부를 보조기관 또는 하급행정기관에 위임하거나 다른 행정기관·지방자치단체 또는 그 기관에 위탁 또는 위임할 수 있다. 이 경우 위임 또는 위탁을 받은 기관은 특히 필요한 경우에는 법령으로 정하는 바에 따라 위임 또는 위탁을 받은 사무의 일부를 보조기관 또는 하급행정기관에 재위임할 수 있다. ② 보조기관은 제항에 따라 위임받은 사항에 대하여는 그 범위에서 행정기관으로서 그 사무를 수행한다. ③ 행정기관은 법령으로 정하는 바에 따라 그 소관 사무 중 조사·검사·검정·관리 업무 등 국민의 권리·의무와 직접 관계되지 아니하는 사무를 지방자치단체가 아닌 법인·단체 또는 그 기관이나 개인에게 위탁할 수 있다. |
|--|

[표 4-10] 지방자치법 제104조 사무의 위임 등

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 지방자치단체의 장은 조례나 규칙으로 정하는 바에 따라 그 권한에 속하는 사무의 일부를 보조기관, 소속 행정기관 또는 하부행정기관에 위임할 수 있다. ② 지방자치단체의 장은 조례나 규칙으로 정하는 바에 따라 그 권한에 속하는 사무의 일부를 관할 지방자치단체나 공공단체 또는 그 기관(사업소·출장소를 포함한다)에 위임하거나 위탁할 수 있다. ③ 지방자치단체의 장은 조례나 규칙으로 정하는 바에 따라 그 권한에 속하는 사무 중 조사·검사·검정·관리업무 등 주민의 권리·의무와 직접 관련되지 아니하는 사무를 법인·단체 또는 그 기관이나 개인에게 위탁할 수 있다. ④ 지방자치단체의 장이 위임받거나 위탁받은 사무의 일부를 제3항부터 제3항까지의 규정에 따라 다시 위임하거나 위탁하려면 미리 그 사무를 위임하거나 위탁한 기관의 장의 승인을 받아야 한다. |
|--|

[표 4-11] 행정권한의 위임 및 위탁에 관한 규정 제2조(정의) 및 제11조(민간위탁의 기준)

- ① 제2조 제2·3호 “위탁”이라 함은 각종 법률에 규정된 행정기관의 장이 권한 중 일부를 다른 행정기관의 장에게 맡겨 그의 권한과 책임하에 행사하도록 하는 것을 말하며, “민간위탁”이라 함은 각종 법률에 규정된 행정기관의 사무 중 일부를 지방자치단체가 아닌 법인단체 또는 그 기관이나 개인에게 맡겨 그의 명의로 책임하에 행사하도록 하는 것을 말함.
- 제11조 제1항: 행정기관은 법령이 정하는 바에 따라 그 소관 사무 중 조사검사검정관리 사무 등 주민의 권리의무와 직접 관계되지 아니하는 다음 각호의 사무를 민간위탁할 수 있음
1. 단순 사실행위인 행정작용
 2. 공익성보다 능률성이 현저히 요청되는 사무
 3. 특수 전문지식 및 기술을 요하는 사무
 4. 기타 국민 생활과 직결된 단순 행정사무

[표 4-12] 지방자치단체의 행정기구와 정원 기준 등에 관한 규정 제5조(기구의 설치 시 고려 사항)

- ① 지방자치단체의 장이 기구를 설치하거나 개편하려는 때에는 다음 각호의 사항을 고려하여야 한다.
1. 기구의 목적과 기능의 명확성·독자성·계속성
 2. 기구가 수행하여야 할 사무 또는 사업의 성질과 양에 따른 규모의 적정성
 3. 규모와 기능이 유사한 다른 기관과의 균형성
 4. 주민편의, 행정능률 등을 고려한 효율성
 5. 통솔범위, 기능의 중복 유무 등 기구의 능률성
 6. 사무의 위탁 가능성
- ② 지방자치단체는 위탁이 가능한 사무나 지방공사·지방공단·지방자치단체 조합이나 행정 협의회의 설립을 통하여 보다 효율적으로 추진할 수 있는 사무에 대하여는 기구를 설치하여서는 아니 된다.
- ③ 「지방자치법 시행령」 제80조에 따라 설치되는 자문기관에는 상설의 사무처나 사무국과 담당관을 둘 수 없다.

[표 4-13] 기타 법률상 민간위탁 근거

- **사회기반시설에 대한 민간투자법 제4조(민간투자사업의 추진 방식)**
 - 민간투자사업의 추진 방식 등을 규정

- **하수도법 제19조(공공하수도 관리대행업 등)**
 - 공공하수도관리청은 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 자(이하 “관리대행업자”라 한다)에게 공공하수도의 운영·관리업무를 대행하게 할 수 있다.

- **물환경보전법 제48조(공공폐수처리시설의 설치)**
 - 국가 및 지방자치단체는 공공폐수처리시설을 설치·운영하거나 다음 각호의 1에 해당하는 자에게 공공폐수처리시설을 설치 또는 운영하게 할 수 있음. 국가 또는 지방자치단체의 장은 이 법에 의하여 설치한 폐기물처리시설 등의 효율적인 관리·운영을 위하여 필요하다고 인정할 때에는 환경부령(지방자치단체의 장의 경우에는 당해 지방자치단체의 조례)이 정하는 바에 따라 그 관리·운영을 할 능력이 있는 자에게 위탁할 수 있음

- **폐기물관리법 제62조(권한이나 업무의 위임과 위탁)**

- **가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제47조(권한이나 업무의 위임·위탁)**
 - 환경부 장관은 제37조의 2에 따른 가축분뇨 등에 관한 전자인계관리시스템의 구축·운영 업무의 일부를 대통령령으로 정하는 관계 전문기관에 위탁할 수 있음

제 5 장

결론 및 정책제언

제철 연구의 결론 및 정책제언

제1절 연구의 결론 및 정책제언

1. 연구의 결론

- 도로는 도시의 구성물이며 생활환경을 조성하는 핵심 요소. 관내 도로는 1990년대 1기 신도시 개발 이후 지속해서 확충되어 2021년 기준 고양시 전체 면적의 7.2% (20.6 km²)에 해당. 이에 따라 쾌적한 생활환경 조성·운영을 위해서 도로 관리 및 청소는 필수 불가결함
- 차량 통행 시 배기구에서 배출되는 오염물질(부유물질, 중금속 및 오일류), 타이어 마모로부터 발생하는 비산먼지 등이 도로 노면에 퇴적. 이러한 노면 퇴적 물질은 차량 통행 시 재부상(비산) 후 인근 지역으로 이동하여 대기질 악화를 초래. 또한, 강우 시 강우유출수에 의해 노면 퇴적 물질들이 수계로 유입되어 인근 수생태계에 오염을 유발. 이는 생태 건강성을 위협하는 요소로 작용
- 도로 청소는 노면에 축적된 오염물질을 제거하고, 강우 유출로 인해 수계로 유입되는 오염물질을 감소시키는 중요한 방법의 하나로, 도로 청소의 효과를 평가할 때는 대기오염 관리와 수질오염 관리 측면 2-track으로 평가를 진행하여야 함
- 도로 청소의 목적에 따라 저감 대상 물질이 달라질 수 있으며, 평가 방법 및 청소 효과의 평가 규모(point-scale)에 따라 저감 효율이 달라질 수 있음
 - 청소 차량의 성능, 도로 및 교통 특성, 기상 특성, 입자 크기 등 다양한 요인들에 의해 청소 효율이 달라질 수 있으며, 동일 도로도 청소 구간 및 청소 시간 등에 따라 다른 평가 결과를 보일 수 있음
 - (사례 1) 도로 노면에 진공 청소만 시행할 시 비산먼지의 8.6%, 진공 청소와 물청소를 병행할 시 48.6% 저감

- (사례 2) 도로측구에서 진공 청소만 시행할 시 비산먼지의 39.0%, 진공 청소와 물청소를 병행할 시 56.1% 저감
- (사례 3) 입자성 탄소(TOC), 질소(TN), 인(TP)의 경우 진공 청소와 물청소를 병행하여 시행할 경우, 유달부하량 저감 효과가 증가하는 것으로 분석
- 진공흡입식 청소차는 기계식 청소차보다 청소 효율이 높으며, Duncan et al. (1985)은 기계식 청소차는 입자성 물질의 20%를 제거하고, 진공흡입식 청소차는 70%를 제거한다고 보고하였으며, Breault et al. (2005)에 따르면, 진공흡입식 청소차가 기계식 청소차에 비해 최소 1.6배에서 최대 10배까지 높은 청소 효율을 보이는 것으로 나타남
- 도로 및 교통 특성, 기상 특성, 입자 크기, 청소 구간, 청소 시간 등 다양한 요인들을 고려한 상세 도로 청소 지침을 갖출 필요가 있음
- 2021년 현재 고속도로를 제외한 고양시 관리 담당 도로 총연장은 824.0 km. 관리 구역에 자유로와 같은 제한속도 90 km/h의 고속화도로가 포함된 만큼 노면 청소 근로자들의 안전과 작업 시 차량흐름 저해의 방지를 위해 안전 지침까지 함께 고려하여야 함

2. 정책제언

- 효율적인 노면 청소를 위해 진공흡입식 청소차와 물청소차를 도입, 병행 운영할 필요가 있음
- 도로 및 교통 특성, 기상 특성, 입자 크기, 청소 구간, 청소 시간 등 다양한 요인들을 고려한 상세 도로 청소 지침을 갖추어야 함
 - 상대적으로 강수량이 적고 미세먼지 고농도 빈도가 증가하는 봄철과 가을철에는 비점오염물질의 노면 축적량이 많으므로, 오염물질 재비산 최소화 및 청소 효율성 증대를 위해 진공흡입식 청소차 우선 운행

- 상대적으로 강수량이 많고 미세먼지 고농도 빈도가 감소하는 여름철과 겨울철에는 비점오염물질 노면 축적량이 적으므로, 청소 효율성 증대를 위해 진공흡입식 차량과 물청소 차량을 병행 운행
- 미세입자들은 소량의 강우와 건조 조건이 반복됨에 따라 도로 표면과 강하게 결합, 진공 청소 방식으로 제거에 한계가 있음. 이를 위해 항시 고압수 배출 기능이 있는 물청소 차량 투입이 필수적
- 또한, 도로 물청소 이후 처리수에 의한 재오염을 방지하기 위해, 유역 근처에서 노면 청소 작업 시 처리수를 수거하는 기능을 갖춘 차량의 병행 운행 필요
- 노면 청소의 특성상 고정 작업과 이동 작업이 혼합되어 있으므로, 두 작업 방식을 고려하여 청소 근로자들의 안전을 위한 지침을 마련하여야 함
 - 제한속도 90 km/h 도시고속화도로 이동 작업 시, 작업보호자동차는 1대 이상 투입을 의무화하여야 하며, 작업 차량과 작업보호자동차에 트럭 장착 완충장치 탑재와 지향성 스피커 적용 역시 의무화하여야 함
 - 관내 도시고속화도로 고정 작업 시 작업자들의 안전 확보는 물론 차량 흐름 원활을 위하여 작업활동구역 전방에 <공사 중> 표지나 <도로 작업구간 전용 주의표지>를 반드시 설치하여야 하며, 운전자들이 사전에 차선을 변경할 수 있도록 <차로 없어짐> 표지 역시 반드시 설치하여야 함
 - 시도, 일반도로의 경우 시민들의 불편을 최소화하기 위해 부득이 야간작업의 비중이 높을 수밖에 없음. 시야 확보가 어려운 야간작업 또는 악천후(짙은 안개, 폭우, 폭설 등)에 대비하여 모든 개인 안전 보호구와 작업 표지에는 초고휘도 반사지(또는 LED)를 적용하여야 함

참고문헌

[국내문헌]

- 강희만, 이두진. 고속도로 노면 청소에 따른 강우시 유출오염부하 저감 효과 분석.
상하수도학회지. 26(6), 851-860(2012)
- 김덕준. 용인시 가로청소 효율화 방안. 용인발전연구센터(2006)
- 방기웅, 이준호. 대전시 유등천의 합류식하수관 월류수의 유출특성 분석.
한국도시환경학회지. 4(2), 63-71(2004)
- 유기영·나유미. 도로청소 효과분석 및 청소방법 정립. 시정개발연구원(2006)
- 윤영삼, 권헌각, 이윤정, 유재정, 이춘식, 이재관. 도로 유형별 비점오염원 유출특성 분석.
한국환경과학회지. 19(11), 1375-1384(2010)
- 이희관, 봉춘근, 황인조, 송지환, Pokhrel, R., 정지원, 송두현. 도로 재비산 먼지 저감
시범사업 타당성 조사 연구. 환경부(2008)
- 정용원, 한세현, 원경호, 장기원, 홍지형. 포장도로 재비산먼지 배출량산정법의 현황.
한국환경공학회지. 28(11), 1126-1132(2006)

[국외문헌]

- Ball, J. E., Jenks, R., and Aubourg, D. An assessment of the availability of
pollutant constituents on road surfaces. Science of the Total
Environment. 209(2-3), 243-254(1998)
- Bannerman, R. T., Owens, D. W., Dodds, R. B. and Hornewer, N. J. Hornewer.
Source of Pollutants in Wisconsin Stormwater. Water Science &
Technology 1. 28(3-5), 241-259(1993).
- Barrett, M. E. A review and evaluation of literature pertaining to the quantity
and control of pollution from highway runoff and construction. The

- University of Texas at Austin (1995)
- Breault, R. F., Smith, K. P., and Sorenson, J. R. Residential street-dirt accumulation rates and chemical composition, and removal efficiencies by mechanical-and vacuum-type sweepers, New Bedford, Massachusetts, 2003-04(Vol. 4, No. 4). US Department of the Interior, US Geological Survey (2005)
- Bris, F. J., Garnaud, S., Apperry, N., Gonzalez, A., Mouchel, J. M., Chebbo, G., and Thevenot, D. R. A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment. *Science of the Total Environment*. 235(1-3), 211-220(1999)
- Brown, S., Susfalk, R., Fellers, D., and Fitzgerald, B. Effectiveness of street sweeping in incline village, NV. Nevada Tahoe Conservation District
- Charbeneau, R. J., and Barrett, M. E. Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *Water Environment Research*. 70(7), 1295-1302(1998)
- Deletic, A., and Orr, D. W. Pollution buildup on road surfaces. *Journal of Environmental Engineering*. 131(1), 49-59(2005)
- Duncan, M. W., Jain, R. C., Yung, S. C., and Patterson, R. G. Performance evaluation of an improved street sweeper. Air Pollution Technology, Inc., San Diego, CA (USA) (1985)
- Egodawatta, P. Translation of small-plot scale pollution build-up and wash-off measurement to urban catchment scale, Queensland University of Technology (2008)
- Egodawatta, P., and Goonetilleke, A. Characteristics of pollutants built-up on residential road surfaces. In *Proceedings of the 7th International Conference on Hydrosience and Engineering: ICHE 2006*, Drexel University. 1-10(2006)

- Egodawatta, P., Thomas, E., and Goonetilleke, A. Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall. *Water Research*. 41(13), 3025-3031(2007)
- Geles, B. Reducing storm-water pollution through effective street sweeping: street sweeper pickup performance test results for Elgin Sweeper, ELGIN (2005)
- Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S., and Gilbert, D. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. *Journal of Environmental Management*. 74(1), 31-42(2005)
- Grottke, M. Runoff quality from a street with medium traffic loading. *Science of the Total Environment*. 59, 457-466(1987)
- Herngren, L., Goonetilleke, A., and Ayoko, G. A. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica chimica acta*. 571(2), 270-278(2006)
- Jartun, M., Ottesen, R. T., Steinnes, E., and Volden, T. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of the Total Environment*. 396(2-3), 147-163(2008)
- Kupiainen, K. J., and Pirjola, L. Vehicle non-exhaust emissions from the type-road interface-effect of stud properties, traction sanding and resuspension. *Atmospheric Environment*. 45(25), 4141-4146(2011)
- Pitt, R. Demonstration of non-point pollution abatement through improved street cleaning practices. Environmental Protection Agency(EPA), Office of Research and Development, Municipal Environmental Research Laboratory. 1(1979)
- Rossman, L. A. Stormwater management model - Users manual, Version. 5. EPA/600/R-05/040, Water Supply and Water Resources Division,

- National Risk Management Research Laboratory, EPA, Cincinnati (2005)
- Sartor, J. D., and Boyd, G. B. Water pollution aspects of street surface contaminants (Vol. 2). US EPA (1972)
- Sartor, J., Boyd, G. B., and Agardy, F. J. Water pollution aspects of street surface contaminants, Journal of Water Pollution Control Federation. 46(3), 458-467(1974)
- Schilling, J. G. Street sweeping - report no. 1, state of the practice. Prepared for Ramsey-Washington Metro Watershed District (<http://www.rwmwd.org>). North St. Paul, Minnesota (2005)
- Sutherland, R. C., and Jelen, S. L. Contrary to conventional wisdom, street sweeping can be an effective BMP, in James, William, ed., Advances in Modeling the Management of Stormwater Impacts-Volume 5: Guelph, Canada, CHI, 179-190(1997)
- TetraTech. Quantifying the impact of Catch Basin and street sweeping on storm water quality for a great lakes tributary: A pilot study, Grand River Inter-County Drainage Board(2001)
- Vaze, J., and Chiew, F. H. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. Urban Water. 4(4), 379-389(2002)
- Zarriello, P. J., and Barlow, L. K. Measured and simulated runoff to the lower Charles River, Massachusetts, October 1999 - September 2000(No. 2). US Department of the Interior, US Geological Survey (2002)
- Zhu, W., Bian, B., and Li, L. Heavy metal contamination of road deposited sediments in a medium size city of China. Environmental Monitoring and Assessment. 147, 171-181(2008)

- 경기도. 상수원영향권 지방도 비점오염저감 노면청소차량 운행용역 과업지시서. 2022
- 국토해양부. 2009년 시화호 해양환경개선사업 연구용역, 시화호관리위원회. 2010
- 국토해양부. 도로 공사장 교통관리지침. 2012
- 국토교통부, 한국건설기술연구원. 작업구간 교통관리 방안. 2019
- 서울시설공단, 야간 도로공사현장 안전관리 매뉴얼. 2020
- 한국도로공사, 경찰청. 고속도로 작업장 교통관리기준. 2021
- 한국도로공사, 도로교통연구원. 비점오염저감시설 관리 및 개보수 방안 연구. 2021
- 환경부. 도로청소를 통한 비점오염물질관리 타당성 조사 연구. 2012

Abstract

A Study on the Efficiency of Road Cleaning in Goyang City

Ji Yeol Im*, Hyoung Sung Kim**, Dong Hyun Lee***,
Sunggu Kang***, Eun Kyeong Kim***

Roads are classified as key infrastructure components for urban composition and the creation of a comfortable living environment. Generally, roads accumulate dust from nearby areas (airborne dust etc.), and pollutants (particulate matter, heavy metal, oils etc.) that can arise from vehicle traffic on the road surface. Therefore, roads can be considered significant non-point sources of pollution, discharging substances that contaminated ecosystems, and their management is essential for the creation of healthy urban living and ecological environments.

This study aimed to explore efficient road cleaning strategies suitable for Goyang Special City with the goal of creating a pleasant urban environment. Through a review of related literature, the efficiency of removing non-point source pollutants based on variables such as type of sweeper, sweeping time, and weather conditions, etc. was examined. During winter and spring, when precipitation is low and concentrations of particulate matters ($PM_{2.5}$, and PM_{10}) are high, the accumulation of non-point pollutants on the road surface is significant,

* Associate Research Fellow, Goyang Research Institute, Korea

** Research Fellow, Goyang Research Institute, Korea

*** Assistant Researcher, Goyang Research Institute, Korea

thus prioritizing vacuum cleaning method is necessary. Conversely, in summer, when precipitation is high and concentrations of particulate matters are low, prioritizing vacuum cleaning can lead to the problem of re-dispersing pollutants due to the lower accumulation of non-point pollutants on the road surface; therefore, water jet cleaning method should be considered first. When performing water jet cleaning near watersheds, the introduction of vehicles capable of recollecting the cleaning water is necessary to prevent water pollution caused by runoff. Finally, when conducting operations on highways like the Jayu-ro, where the speed limit is around 90 km/h, it is necessary to establish a manual that ensures the safety of the workers while facilitating smooth vehicle flow. Hence, this study also considered the development of safety manual tailored to the characteristics of Goyang Special City.