20CTAP
-C143622
-03

도로시설물의염화칼슘및미세먼지제거를위한 4HP 80L/min급차량탑재형미세기포세척장치개발

최종보고서

2021

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

일반 과제(○) / 비공개(○)발간등록번호( )
국토교통기술촉진연구사업 사업 제3차 연도 최종 보고서

R&D / 20CTAP-C143622-03

도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발 최종보고서

2021. 2. 10.

주관연구기관 / ㈜평화엔지니어링

공동연구기관 / ㈜지티앤

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발’(연구개발 기간 : 2018. 04. 17. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2021. 02. 10.

주관연구기관명 : ㈜평화엔지니어링 (대표자) 권 선 준 (인)

공동연구기관명 : ㈜지티앤 (대표자) 조 일 형 (인)

주관연구기관책임자: 박 일 건

공동연구기관책임자: 조 일 형

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C143622-03	해당 단계 연구 기간	2020.01 01 ~ 2020. 12. 31	단계구분	(해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발			
	세부과제명				
연구책임자	박 일 건	해당단계 참여연구원 수	총: 5명 내부: 5명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:225,000 천원 민간:63,750 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:288,750 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 5명 내부: 5명 외부: 명	총 연구비	정부:600,000 천원 민간:188,750 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:788,750 천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜평화엔지니어링 / 기술연구원			참여기업명	㈜평화엔지니어링, ㈜지티앤
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	◦ 도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 80L/min 규모의 차량 탑재 가능한 20㎛ 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 상용화  **<연구개발 최종목표>** ◦ 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계 ◦ 1.5HP(1.1kW) 및 4HP(3kW)r,q 80L/min 미세기포 세척장비 정밀설계/제작 및 성능평가 ◦ 종래 고압 세척장비 대비 세척효율, 세척시간 및 용수사용량 비교 평가 ◦ 도로시설물(방음벽, 도로 노면/가드레일, 터널벽면, 교량 노면/측면/기둥/철근 구조물)에 현장 적용 평가
연구개발성과	◦ 도로, 교각, 터널 등에 사용하는 염화칼슘 및 미세먼지를 효과적으로 제거하여 구조물의 부식 방지 및 내구성을 향상 ◦ 논문 : 3건 (다항식 회귀분석을 이용한 마이크로 버블의 종말상승속도 모델실 구출 및 운전조건 최적화/미세기포 세척장비를 이용한 도로시설물 염화칼슘의 제거/초미세기포 water jet을 이용한 도로 시설물 분진 제거 효율 평가) ◦ 특허 출원 : 6건 ◦ 특허 등록 : 3건 ◦ 국내외 학술회의 발표 : 1건 ◦ 연구개발 관련 홍보 : 9건 ◦ 시제품 제작 : 4건
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	◦ 일본 기술 대비 우수한 100㎚~20㎛ 이하의 차량 탑재형 세척장비 기술 확보 ◦ 눈이 많이 내리는 국가(러시아, 미국, 캐나다, 동유럽 등)에 장비 수출 가능 ◦ 개발 세척장비를 통한 유지관리비 절감 (동력비, 인력비, 용수사용량 등) ◦ 구조물에 부착된 염화칼슘 관리를 위한 규제 기준을 마련

국문핵심어 (5개 이내)	염화칼슘	미세먼지	미세기포	세척장비	도로시설물
영문핵심어 (5개 이내)	calcium chloride	particulate matter	fine bubble	cleaning equipment	street furniture

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발의 필요성 ····· 01

가. 연구개발의 개요 ····· 01

나. 연구개발 대상의 국내외 현황 ····· 04

다. 연구개발의 중요성 ····· 10

라. 선행 연구 내용 및 결과 ····· 14

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 18

가. 도로구조물 염분 및 미세먼지 관련 현황 ····· 18

나. 미세기포의 발생원리 및 특징 ····· 22

다. 1.5HP급 30L/min 규모의 미세기포 발생장치 개발 및 평가 ····· 31

라. 4HP급 80L/min 규모의 미세기포 발생장치 개발 및 평가 ····· 60

마. 차량탑재형 4HP급 80L/min급 미세기포 발생장치 현장평가 ····· 90

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 126

가. 연구 목표 ····· 126

나. 연구 목표 달성도 ····· 136

다. 연구 성과 목표 ····· 140

라. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) ····· 143

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 144

가. 연구 개발 성과의 활용 방안 ····· 144

나. 기대효과 ····· 144

참고 문헌 ····· 145

붙임 ····· 147

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 개요

❍ 도로시설물(도로, 교량, 방음벽, 터널 등)은 많은 차량 이동에 의한 입자성 물질(미세먼지), 유기물질(영양염류), 타이어 마모물질, 기름, 윤활유, 방향족탄화수소 화합물(PAHs), 중금속, 병원성 미생물 및 염화칼슘 등 다양한 오염물질이 존재하며 도로공사를 포함한 지자체는 주기적인 세척을 하고있다.

❍ 이런 오염물질 세척 효율에 따라 용수사용량, 작업시간, 인력 등의 유지관리비용에 영향을 미치고 또한 염분 제거 수준에 따라 도로나 교각 관련 구조물의 손상, 노후화 및 복구 비용이 결정된다.



<도로시설물(도로, 교량, 방음벽, 터널 등)의 오염물질 세척 현황>

❍ 특히 교량 구조물에서 측정된 제설목적의 염화칼슘의 염분농도를 보면 5~25g/㎡의 분포하고 교각 측면에서는 30~70㎎/L의 염분농도가 측정되고 있음. 염화칼슘에 의한 심각한 피해는 도로의 스폴링/포트홀이며 도로를 복구하는 비용이 연간 사용한 제설용 염화칼슘 살포 비용보다 비싸며 교각/자동차 부식은 매우 심각한 안전상의 문제를 발생하고 있다.



<염화칼슘에 의한 스폴링/포트홀(좌) 및 교각/자동차 부식(우)>

❍ 최근 미국에서는 고속도로에 놓여 있는 다리의 40%가 결함이 있다는 조사 결과가 발표되어 충격을 주고 있음. 아이오와 주립대학 토목공학과 교수인 둔커와 라뱃은 1988년부터 지금까지 미국 전역의 교량을 조사해 그 결과를 '사이언티픽 아메리칸' 최근호에 발표했다.

❍ 이들은 미국 교량 통계를 중심으로 분석했는데, 현재 고속도로 교량 중 20만 개(총 교량 수는 50만 개)가 결함을 나타내고 있고 이를 모두 보수하려면 9백억 달러라는 엄청난 재원이 필요하다는 결론을 내렸다.

❍ 겨울철이 되면 고여 있는 물이 얼어 구조재에 금을 내기 시작함. 이를 녹이기 위해 염화칼슘 등 동결 방지제를 쓰게 되면 염분이 부식을 급속도로 진행하게 함. 염분농도가 한계점에 달하면 콘크리트 부분은 심각하게 훼손됨. 이외에도 밑에서 흐르는 강물은 교각과 교각의 토대를 조금씩 갉아먹어 교각의 붕괴를 야기하기도 한다.

❍ 이러한 상황을 그대로 방치하면 교량은 서서히 붕괴해 결국은 대형 참사를 일으키게 된다. 그만큼 교량의 유지보수는 절대적으로 필요하며, 설계기준만 지켜 다리를 세웠다고 안심하면 안 된다는 것이 전문가들의 한결같은 지적이다.



<국내 서해안고속도로 서해대교 하부(좌) 및 미국 염분에 의한 붕괴(우)>

❍ 도로, 교각, 터널 구조물의 부식과 노후화에 가장 영향을 미치는 염화칼슘은 2013년 소방방재청 자료에 따르면, 전국 지자체, 국토관리청이나 한국도로공사가 사용한 제설제량은 50만 6,509t이며 15t 덤프트럭 3만 3,767대 분량임. 민간 사용량을 고려하면 더 많은 양의 제설제가 사용된 것으로 보인다.

❍ 2017년 한국도로공사 자료에 따르면, 염화칼슘을 제거하기 위하여 교량 난간 방호벽, 배수구, 고량 이음매 등 전국 고속도로 주요 구조물에 대한 살수작업을 수행하였으며, 3주간 투입된 세척장비는 3,712대, 인력 14,850여명이 동원되었다.



<연간 전국 지자체 염화칼슘 사용량 및 세척을 위한 유지관리 동원현황>

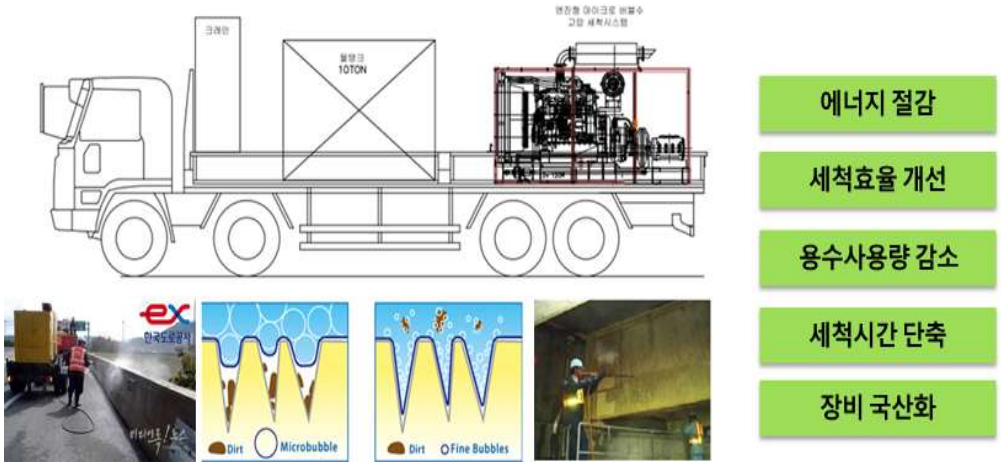
❍ 현재 분진 제거를 위한 주기적인 도로청소 및 제설용 염화칼슘을 제거하는 방법으로는 순수 인력에 의한 청소방법, 고정식 살수장치를 이용한 습식청소방법, 물청소차를 이용한 습식청소방법이 있으며, 물청소차를 이용한 방법은 물을 고압으로 분사하는 기능을 가진 고압살수차와 브러시를 장착한 브러시 장착 살수차, 분사한 물을 흡입하는 진공흡입식 살수차로 구분할 수 있다.

<염화칼슘 및 미세먼지를 제거하기 위한 청소 방법>

구분	청소 방법		
인력을 이용한 청소	순수 인력에 의한 청소 방법		
청소 장비를 이용한 청소	습식청소	고정식 살수장치	
		물 청소차	고압 살수차
			브러시장착 살수차
			진공 흡입식 살수차

❍ 제설에 사용하는 염화칼슘의 ㄹpH는 약 11로 일반 염화칼슘의 pH 7~8에 비하여 상대적으로 높은 강염기성을 띄고 있어서 구조물의 부식에 지대한 영향을 끼치고 있어 눈 제거를 위하여 사용하고 잔존하는 염화칼슘을 효과적으로 제거하기 위한 방법이 절실히 필요한 실정이다.

❍ 도로, 교각, 터널 등에 사용하는 염화칼슘을 효과적으로 제거하여 구조물의 부식 방지 및 내구성을 향상시키고 대기오염 유발물질인 미세먼지(PM10)를 효과적으로 제거하기 위해 고압 Water Jet 세척장비는 사용되고 있으나 많은 동력비, 운영비 등의 문제가 있어 세척효율이 우수한 차량 탑재형 미세기포 기반의 세척시스템을 상용화하고자 한다.



<도로시설물 미세기포 세척장비 기술의 개요>

나. 연구개발 대상의 국내외 현황

(1) 국내 현황

❍ 현재 도로시설물에 대한 미세기포 세척장비 연구는 전무하다.

❍ 그 외 일부 아래 표와 같이 산업용(부품세척, 반도체 웨이퍼, 채소류) 세척장비에 대한 연구개발을 수행하였다.

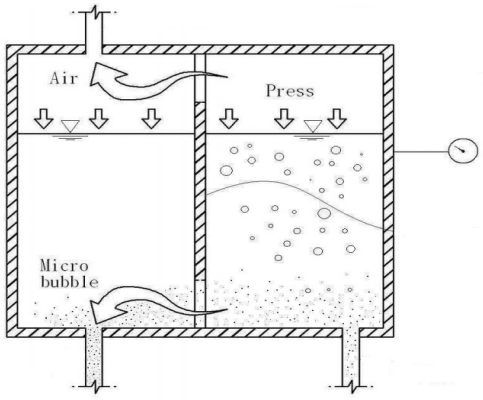
<국내 미세기포 세척장비 관련 연구현황>

구분	과제명	비고
연구개발	초미세(마이크로버블)기포 발생기술을 이용한 부품세척기 개발	중기청 (2013)
	오존 마이크로 기포를 이용한 OLED 공정용 습식세정장비 개발	미래부 (2014)
특허	가압탱크를 이용한 세척장치 및 이를 이용한 세척방법	등록 10-1194723
	친환경 마이크로 버블 세척기	등록 10-1441017
	마이크로 버블 세척기	등록 10-1697174
	오존 마이크로 버블을 이용한 세척방법	등록 10-1271917
제품	배관 세척용 버블젯(Bubble jet) 세척장비	-

❍ (주)백산하이텍에서 석유계·염소계의 인체 유해한 세척액을 사용하는 생산 환경에서 초미세 마이크로 버블을 이용한 부품 세척의 친환경 세척 기술의 새로운 세척기술 적용한 연구개발을 수행하였다.

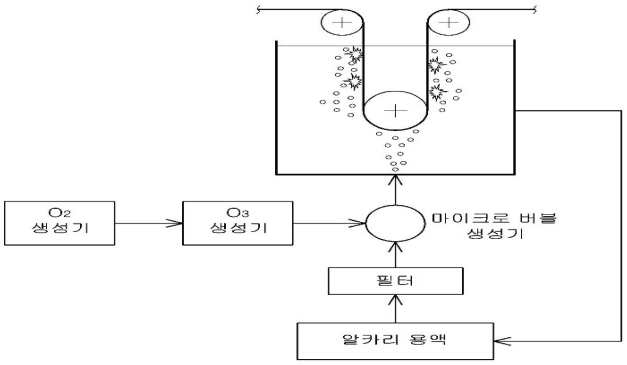
❍ 또한 한국기계연구원에서 오존 미세기포를 이용하여 OLED 승화 정제공정에서 발생되는 오염된 반응기 내부에 부착되어 있는 유기성오염물질을 세정하는 장치를 개발하여 상용화 하였다.

❍ 특허 현황으로는 마이크로버블이 함유된 물을 이용하여 세척할 수 있도록 하는 세척대를 포함하여 이루어지는 가압탱크를 이용한 세척장치 및 이를 이용한 세척방법이 있다.



<가압탱크를 이용한 세척장치>

❍ 또한 세척대상물을 보다 효과적으로 세척하기 위해 세척조에 마이크로 버블이 분출되도록 하는 버블 공급부와, 세척조의 상부, 측벽부, 바닥부 중 어느 한 곳 이상에 설치되어 물 또는 공기를 토출하는 세척수 토출수단을 포함하여 이루어지는 마이크로 버블 세척기, 오존 마이크로 버블에 의해 생성된 OH라디칼에 의해 세척되는 것을 특징으로 하는 오존 마이크로 버블을 이용한 세척방법에 관한 특허 등이 등록되었다.



<오존 마이크로 버블을 이용한 세척장치>

❍ 또한 압축공기를 배관 내부에 공급하여 주는 버블젯트(Bubble jet) 세척장비가 개발 및 상용화되어 녹 및 스케일, 물 때 등의 침적된 이물질 등이 박리되고, 배관 내부의 압력차이로 분리 토출시켜 제거할 수 있어 기존 약품 배관세척 장비 대비 물 사용량 및 유지비 절감이 가능하다.



<배관 세척용 버블젯(Bubble ject) 세척장비>

(2) 국외 현황

<국외 미세기포 세척자이 관련 연구현황>

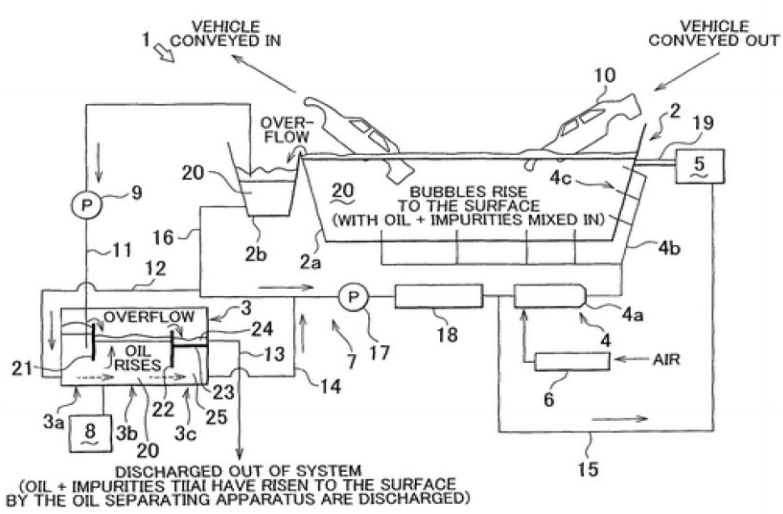
구분	과제명	비고
연구개발	Optimum design of a new micro-bubble generator and its applications to industries	J-stage (2006)
	An advanced micro bubble generator and its application to a newly developed bubble-jet-type air-lift pump	MultScienTechn.(2007)
특허	Micro bubble cleaning system for a large product such as a vehicle	EP 2539085 B1
	Micro bubble generating device and silicon wafer cleaning apparatus	US 8408221 B2
	Microbubble washing composition, microbubble wa-shing method, and microbubble washing apparatus	US 07635671 B2

❍ 연구개발 현황으로는 2003년 사다 토미(Sadatomi)는 유동 수관에 구형체를 가진 첨단 마이크로 버블 발생기를 개발했다.

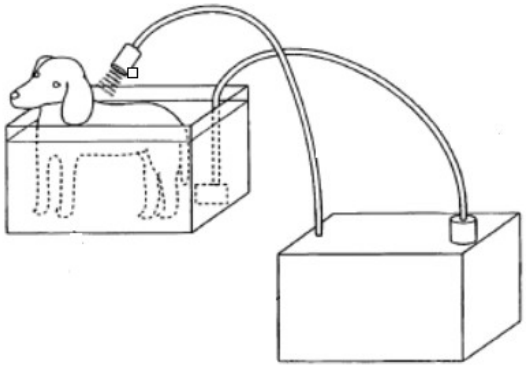
❍ 2006년 수심에 따라 필요한 펌프 동력 및 수리학적 성능을 예측하기 위해 Sadatomi의 미세 기포 발생 장치가 연구되었고, 2007년에는 다른 원수에서 발전기에 다른 속도로 원수를 공급할 때 생성기 입구에서의 버블 생성 속도(공기 흡입 속도)와 수압을 예측하기 위한 간단한 모델이 제시되었다.

❍ 특허 현황으로는 차량과 같은 큰 제품을 위한 마이크로 기포 세정 시스템, 세정 효과가 높은 작은 버블 사이즈의 마이크로 버블을 외부에 공급할 수 있으며 장치를 소형화할 수 있고, 장치 배치의 자유도를 향상시킬 수 있는 마이크로 버블 생성 장치 및 실리콘 웨이퍼 세정 장치 등이 있다.

❍ 또한 사람 또는 동물을 세정처리하기 위한 마이크로 기포 세척 방법을 포함한 마이크로 기포 세척용 조성물을 제공하여 피부 표면에 부착한 피지와 오래된 각질들을 제거할 수 있는 특허가 등록되었다.



<차량과 같은 큰 제품을 위한 마이크로 기포 세정 시스템>



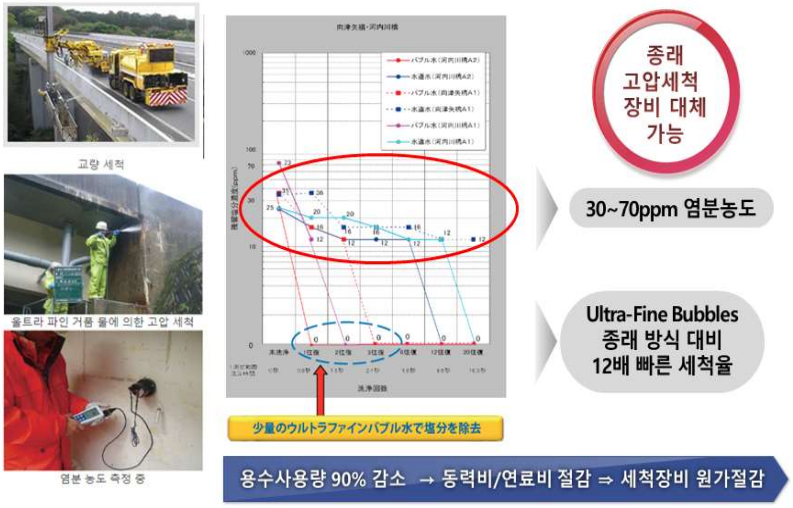
<사람 몸 또는 동물을 세정처리하기 위한 마이크로 기포 세정 시스템>

❍ 또한 파이프, 열교환기 배관세척, 반도체 세정용 세척, 부품세척 등이 이미 상용화되었다.



<국외 상용화된 세척용 미세기포 장치>

❍ 일본 고속도로 회사인 NEXCO-West사 Utra-Fine Bubbles 세척장비 개발완료 및 상용화하였다.



<일본 고속도로 회사인 NEXCO-West사 Utra-Fine Bubbles 세척장비 개발완료 및 상용화>

(3) 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	□	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	□	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	□	■	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

다. 연구개발의 중요성

○ 아래 표의 국내 조사자료를 통해 본 오염물질 및 염화칼슘에 대한 도로구조물 특성별 농도분포를 보면 미세먼지는 비산되는 과정에서 도로 가드레일, 표지판, 방음벽과 터널의 벽 및 교각의 난간에서 높은 농도로 누적되거나 고착된다.

○ 염화칼슘은 주로 겨울철에 집중적으로 투입되는데 도로 가드레일에 집중적으로 염분 농도가 누적되거나 고착되고 터널의 경우는 입구와 출구 쪽에 집중되고 교각의 경우는 난간, 교각의 측면과 기둥은 매우 높은 농도로 축적되고 있다.

<오염물질 및 염화칼슘(염분)에 대한 도로구조물 특성별 농도분포>

항목		오염물질(PM10)	염화칼슘(염분)	분석
도로	바닥	낮음~높음	낮음~높음	도로특성별 차이발생
	가드레일	**높음**	**높음**	누적량이 높아 고착됨
	표지판(안내판)	**높음**	낮음	비산된 오염물질 누적량 및 고착도 높음
	방음벽	**높음**	낮음	
터널	입구/출구	보통	**높음**	염화칼슘 집중분사로 높음
	벽	**높음**	보통	미세먼지 다량 축적
교각	바닥	낮음~높음	낮음~높음	도로 특성별 차이발생
	난간	**높음**	**높음**	누적량이 높아 고착됨
	측면	낮음	**매우 높음**	염분농도 고농도로 고착됨
	기둥	낮음	**매우 높음**	

자료 : 도로청소를 통한 비점오염물질의 타당성 조사 연구 (2012), 환경부
도시환경에서 제설용 염분의 토양 축적, 코네틱리포트 토양지하수오염정화기술분야
제빙화학제의 비산 영향 범위 검토 (2016)
한국콘크리트 학회, 수도권 도로 청소현황 (2016) 서울시

❍ 오염물질과 염화칼슘(염분)을 세척하는 장비로는 50~200bar에서 (초)고압 펌프를 이용하여 노즐을 통해 물을 분사시켜 빠른 속도 에너지를 이용한 물리적 힘과 마찰력을 이용하는 고압 water jet 분사방식이 채택되고 있다.



<고압 Water jet 세척원리>

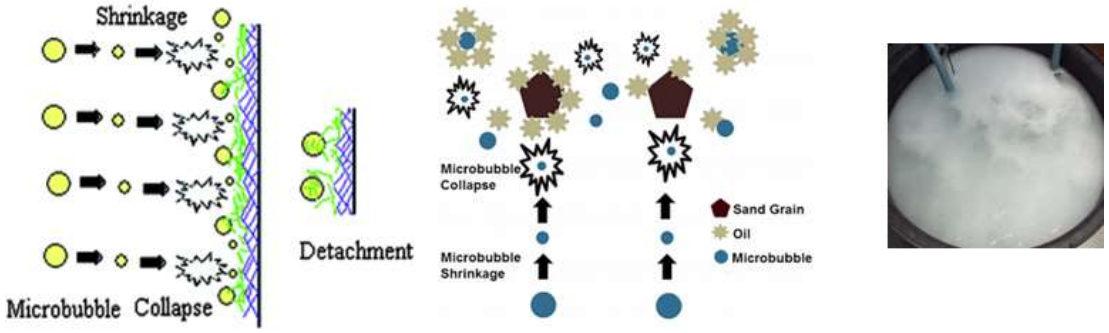
❍ 고압 Water jet 세척방식은 대상 오염물질의 특성별로 온도, 압력, 용수량 및 세척시간 등 4가지 중요한 운전조건에 따라 적용되고 있다.

<오염물질 농도별 고압 Water Jet 세척장비의 운전조건>

항목	저농도	중농도	고농도
온도	상온	40~60℃	>60℃
압력	50~100bar	50~150bar	>150bar
용수량	많음	보통	적음
세척시간	많음	보통	보통
에너지비용	낮음, 시간당 높음	높음	높음
대상물질	미세분진		**염화칼슘 (염분)**
적용분야	도로구조물 (노면)	가드레일, 난간, 방음벽, 터널 벽	

❍ 미세기포란 공기(Air) 중의 산소를 물에 용해시켜 마이너스(-) 전위를 띠고 있는 기포를 말하며, 그 크기에 따라 미세기포(Fine bubbles)은 정상기포의 크기의 1/200인 50㎛ 이하 일명 마이크로버블(Microbubbles)와 초미세기포(Ultra Fine bubbles)은 정상기포의 크기의 1/1000인 1㎛ 이하 일명 나노버블(Nano bubbles)로 분류된다.

❍ 미세기포는 접촉면적이 증가되고 전기적 특성을 이용한 소수성 물질 및 반대 이온의 미세입자물질에 대한 높은 흡착력을 가지며, 현재 관(Pipe), 관로, 금속부품, 열교환기 배관, 반도체 웨이퍼 등에 세척(세정) 장비로 상용화하였고, 대기 중 오염가스 처리를 위한 습식세정 스크러버에 적용되고 있다.



<(초)미세기포의 오염물질 흡착 및 분리 세척원리>



<(초)미세기포의 표면 부착된 오염물질 세척원리>

○ 최근 서일본 고속도로 회사인 NEXCO-West사는 미세기포 세척원리를 이용하여 교량 구조물 측면에 높은 농도로 부착된 염화칼슘을 제거하기 위하여 미세기포 세척장비를 상용화하였음. 이 기술은 종래 고압세척(Water Jet) 방식보다 용수사용량 90% 절감, 청소시간 30% 단축 및 염분제거 20% 개선되었다.

<일본 도로 구조물 및 휴게실 화장실 변기에 사용된 미세기포 세척기술의 효과 분석>

구분		고압 Water Jet 세척	미세기포 세척(일본)	효과
도로 구조물	**용수사용량**	**100%**	**10%**	**90% 절감**
	청소시간	100%	70%	30% 단축
	미세먼지 제거	60~70%	100%	PM2.5 100% 제거
	염분제거	**80~90% (10분 이상)**	**100% (1분 이내)**	**10~20% 개선**
휴게실 변기	요석제거	99% (10분 이상)	99% (1분 이내)	화학약품 Free
	세균제거	50~60%	99%	
대표사진				

출처: International Organization for Standardization, The fine bubble breakthrough, 2014 NEXCO-West (West Nippon Expressway Company Limited) 홈페이지

○ 국내에서 염화칼슘을 제거하기 위한 방법으로는 표 5와 같은 조건에서 고압(200bar) 호스로 구조물에 붙은 염화칼슘을 제거하는 방법을 이용하고 있으며, 육안으로 보았을 때까지만 작동하기 때문에 완전히 제거되지 않은 염화칼슘으로 인해 구조물의 부식을 막을 수 없는 실정이다.

○ 또한 2012년 환경부 자료에 따르면, 교통량이 가장 많은 서울을 기준으로 미세먼지(PM10)는 도로에서 가장 높은 비율(약 46%)로 배출되고 있고, 염화칼슘과 함께 구조물에 부착된 미세먼지(PM10)가 재비산되어 대기오염을 악화시키는데 일조하고 있으며, 기관지를 통해 폐에 흡착되어 각종 폐질환을 유발하고 있다.

<서울의 부문별 PM10 배출비중>

구분	PM10	구분	PM10
비산업연소	13.5%	유기용제 사용	0.0%
제조업연소	0.1%	폐기물처리	1.0%
에너지산업연소	0.7%	**도로이동오염원**	**45.9%**
생산공정	0.0%	비도로이동오염원	36.7%
에너지수송 및 저장	0.0%	기타면오염원	2.0%
합계			100%

○ 따라서 본 제안 연구개발은 서일본 고속도로 NEXCO-West사의 20㎛이하(평균 1㎛) 미세기포(Ultra fine Bubble) 발생 세척장비 보다 우수한 100㎚~20㎛ 이하의 차량 탑재형 세척장비를 상용화하여 연간 수천대 고압 water jet 세척장비를 대체한 장비를 국산화하고 유지관리비를 절감 가능한 장비를 개발하고자 한다.

<연구개발의 중요성>

항목	내용
환경적, 사회적 측면	미세먼지, 염분 농도분포 파악 및 맞춤형 세척장비 투입
기술적 측면	고동력 고에너지 대체 가능한 미세기포 세척장비 국산화
세척효율 측면	세척시간 단축, 용수량 감소, 세척효율 개선
산업적 측면	관련 기술 개발 후 산업분야 사업화 확대 가능
유지관리 절감측면	연간 수천대 세척장비/인력동원에 대한 유지비 절감

라. 선행 연구 내용 및 결과

○ 선행연구 과제

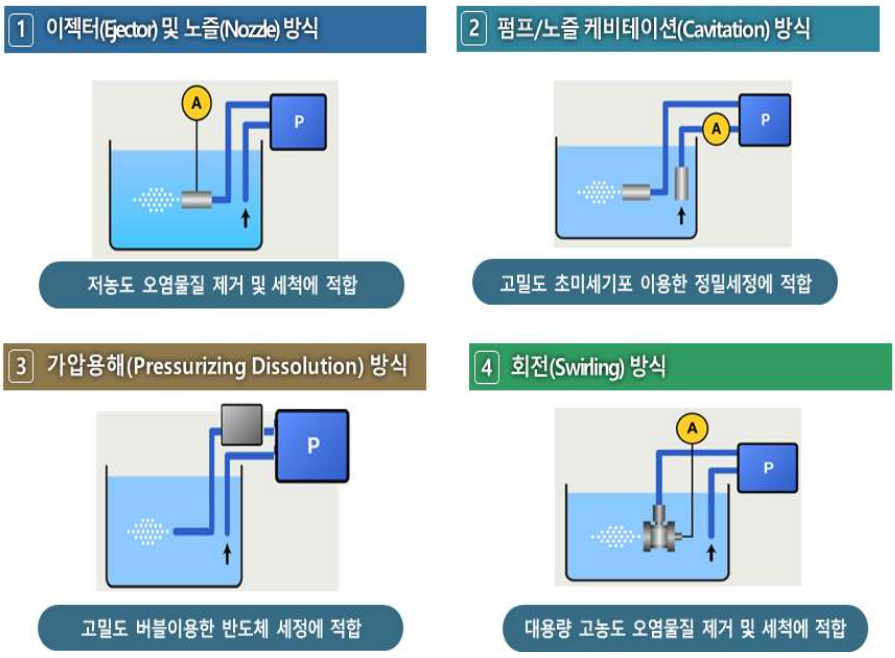
"해당사항 없음."

부처명	사업명	과제명	예산	비 고

유사과제 검색결과					
검색일시	2018.02.01 14:49				
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제				
기준유사도	60				
검색결과 요약	등록과제 수	유사과제여부			
	1 건	0 건			
세 부 검 색 결 과					
순번	과 제 명	연구 책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거용 차량 탑재가능한 미세기포 세척장치 개발	박일건	X	X	X

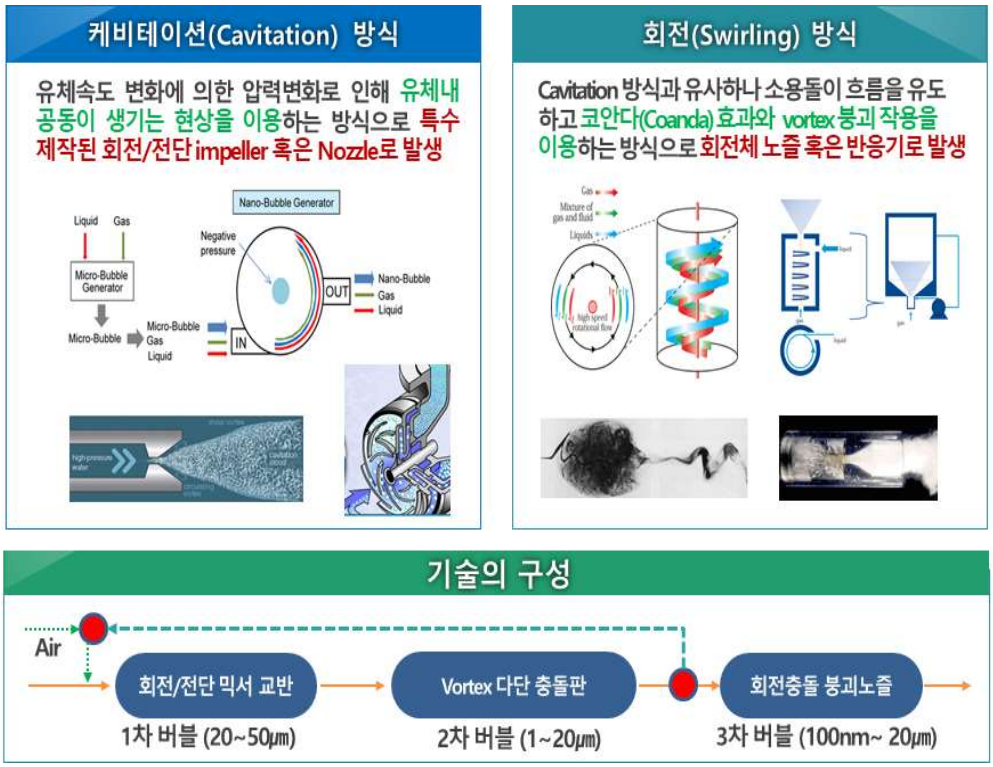
❍ 연구개발과제의 차별화 방안

- 세척 방식은 아래와 같이 4가지 타입으로 구분할 수 있다.
- 저농도 오염물질 제거 및 세척에 적합한 이젝터 및 노즐 방식
- 고밀도의 초미세기포를 생산에 적합한 선회류 전단 케비테이션 방식
- 고밀도 버블을 이용한 반도체 세정에 적합한 가압용해 방식
- 대용량 고농도 오염물질 제거 및 세척에 적합한 회전 방식



<4가지 타입의 미세기포 발생원리>

• 본 연구개발은 고밀도/고농도의 미세기포가 다량으로 생산하고 높은 세정력 유지를 위한 하이브리드 타입으로 개발하기 위해 종래 기액혼합 전단방식에 의한 미세기포 생성기술의 한계에서 벗어난 케비테이션(Cavitation) 방식과 회전(Swirling) 방식을 연계한 세척시스템으로 개발하고자 한다.



<제안기술의 미세기포 세척장비 원리>

❍ 또한 2가지 타입(차량 탑재 노즐설치 이동간 세척, 특정구간 작업자 직접세척)을 개발하여 작업의 특성에 따라 선택적으로 사용할 수 있다.

<개발 세척장비를 이용한 도로, 교각 등 구조물의 미세분진 및 염분 제거효율 현장적용 평가>

구분	내용	비고
차량탑재	• 이동식 도로구간별 노즐 분사 기술 확보 ✓ 넓은 도로 구간 적용 (고속도로, 국도 및 터널 등) ✓ 염분 적체장소 집중분사, 그 외 지역은 순산 분사	
고정식	• 작업자 직접분사 기술 확보 ✓ 일반 도로 구간 적용 (교차로, 톨 게이트, 교각 등) ✓ 차량 이동이 어려운 지역 및 교각 구조물에 적용	
현지연계	• 현지 용수공급 연결방식 분사 기술 확보 ✓ 지역 도로 구간 및 교각 구조물에 적용 ✓ 용수 및 지하수 공급 가능 지역, 분사범위가 적은 지역	

❍ 개발 기술의 우수성

- 개발기술은 기존 고압세척기술 대비 세척용수의 버블크기가 20㎛로 미세기포를 발생시켜 이온화된 기포에 의한 흡착 및 탈착 고압세척 연계가 가능하여 효율성이 우수하다.
- 또한, 기존기술의 경우 고압운전으로 인한 에너지 소모가 높은 반면, 개발기술의 경우 저압운전이 가능하여 저에너지의 효율적인 운전이 가능하다.

<기존 기술대비 개발 기술의 우수성>

항목	기존 기술 (고압 Water Jet 세척장비)	개발 기술 (미세기포 세척장비)
용수	물	미세기포수
세척 메커니즘	운동에너지에 의한 마찰력	이온화된 기포에 의한 흡착 및 탈착 고압 세척기 연계 가능
버블 크기	조대기포 (>10㎜)	20㎛
성능 (동일 조건)	염분 90% 이내 PM10 80% 이내	염분 90% 이상 PM10 80% 이상
단독 운전	**고압 운전** 30LPM (50~200bar)(4~16Hp) 80LPM (50~200bar) (11~43Hp)	**저압 운전** 30LPM (1.5Hp) 80LPM (4Hp)
병합 운전 (고압 세척기)	-	30LPM (<4Hp) (50bar 이하) 80LPM (<11Hp) (50bar 이하)
운전특징	압력, 온수, 분사각도 조절	기포 크기 및 압력제어

2. 연구수행내용 및 성과

가. 도로구조물 염분 및 미세먼지 관련 현황

(1) 도로구조물에 존재하는 염분에 농도 및 분석

❍ 교량 구조물에서 측정된 제설목적의 염화칼슘의 고농도로 오염된 염분농도를 보면 5~25g/㎡이 분포하고 교각 측면에서는 30~70㎎/L의 염분농도가 측정되고 있다. 또한 제설차량 후 도로에 남아있는 농도는 10~1,000㎎/L으로 나타났다. 염화칼슘에 의한 심각한 피해는 도로의 스폴링/포트홀이며 도로를 복구하는 비용이 연간 사용한 제설용 염화칼슘 살포비용 보다 많이 들며 교각/자동차 부식은 매우 심각한 안전상의 문제를 발생하고 있다.

<도로구조물 교각 상부 및 측면에 존재하는 염분농도>

도로 구조물		염분 농도
교각	상부	5~25g/㎡
	측면	30~70㎎/L
도로	표면	10~1,000㎎/L
	염분 비산분진	2.8~40μg/㎥

❍ 최근 미국에서는 고속도로에 놓여 있는 다리의 40%가 결함이 있다는 조사결과가 발표되어 충격을 주고 있음. 아이오와 주립대학 토목공학과 교수인 둔커와 라뱃은 1988년부터 지금까지 미국 전역의 교량을 조사해 그 결과를 '사이언티픽 아메리칸' 최근호에 발표했다. 이들은 미국 교량통계를 중심으로 분석했는데, 현재 고속도로 교량 중 20만 개(총 교량 수는 50만 개)가 결함을 나타내고 있고 이를 모두 보수하려면 9백억 달러라는 엄청난 재원이 필요하다는 결론을 내렸다.

❍ 겨울철이 되면 고여 있는 물이 얼어 구조재에 금을 내기 시작함. 이를 녹이기 위해 염화칼슘 등 동결 방지제를 쓰게 되면 염분이 부식을 급속도로 진행시킨다. 염분농도가 한계점에 달하면 콘크리트 부분은 심각하게 훼손됨. 이외에도 밑에서 흐르는 강물은 교각과 교각의 토대를 조금씩 갉아먹어 교각의 붕괴를 일으키기도 한다.



<염화칼슘에 의한 스폴링/포트홀 및 교각/차량 부식 등>

(2) 도로구조물에 존재하는 미세먼지에 대한 문헌조사

❍ 인천광역시 도로의 미세먼지가 가장 많은 것으로 나타났다. 경기도와 서울에서도 미세먼지 기준치를 초과한 도로가 많았다. 환경부는 15일 수도권 주요 도로의 '다시날림(재비산)먼지' 오염도를 측정한 결과를 공개했다.

❍ 한국환경공단은 지난해 3월부터 12월까지 수도권 4차선 이상 도로 929곳을 대상으로 특수 개조한 이동측정장비로 7,293회 먼지를 측정해 도로먼지지도를 만들었다. 지도는 도로 재비산먼지 오염도를 '매우 좋음(0~50㎍/㎥)'에서 '매우 나쁨(201㎍/㎥ 이상)'까지 5개 등급으로 나누고 이를 색상별로 보여준다.

❍ 조사 결과 수도권 도로 가운데 미세먼지 농도가 '매우 나쁨' 수준인 200㎍/㎥ 초과한 회수는 289회로 전체의 약 4%로 나타났다. 이 가운데 인천이 117회, 경기도 107회, 서울 65회 순으로 많았다.

❍ 기준초과 상위 10개 도로를 분석한 결과 가장 미세먼지가 극심한 도로는 인천 중구 서해대로와 경기하남시 조정대로, 서울 강서구 마곡중앙로, 인천 중구 충항대로 290번 길 등이다. 인천의 도로가 매우나쁨 수준으로 미세먼지가 많이 검출된 이유는 공단과 항만 지역을 중심으로 대형화물차량이 다른 지역보다 많기 때문으로 환경공단은 분석했다. 경기도는 도로변의 토사가 유입되는 경우가 많았고 서울은 지하철과 아파트 공사 등에서 미세먼지가 발생한 것으로 나왔다.

❍ 환경부는 미세먼지 농도가 매우 나쁨 수준을 초과한 도로는 해당 지자체 도로청소 부서에 관련 사실을 문자와 이메일로 통보해 청소차 운영 등 적절한 조치를 취하도록 요청하고 있다.

<우리나라 지역별 미세먼지 기준초과(200㎍/㎥) 도로 현황 분석>

지역	측정내역			초과내역	
	측정대상도로(A)	측정횟수(B)	평균측정횟수(B/A)	초과회수(D)	비율(D/B*100)
전체	929개	7,293개	8회	289개	4%
서울	369개	3,298개	9회	66개	2%
인천	149개	1,324개	9회	117개	9%
경기	411개	2,671개	6회	107개	4%

출처: 2017년 도로먼지지도 제작결과 분석, 환경공단

<우리나라 미세먼지 기준초과(200㎍/㎥) 상위 10개 도로 현황 분석>

순위	지자체	도로명	평균농도 (㎍/㎥)	측정거리 (㎞)	사유
1	인천시 중구	서해대로	1091.4	4.7	고가도로 공사
2	경기도 하남시	조정대로	1082.3	2.1	아파트 신축공사 인접
3	서울시 강서구	마곡중앙로	650.3	2.1	아파트 신축공사 인접
4	인천시 중구	축항대로	577.3	1.9	항만지역으로 대형
5	서울시 은평구	백련산로	500.1	0.9	아파트 신축공사 인접
6	경기도 이천시	증신로	464.4	5.1	도로변 토사유입(농경지)
7	경기도 안성시	공단로	455	1.2	도로공사
8	경기도 하남시	창우로	451	1.4	택지개발지역
9	경기도 하남시	미사강변동로	426	2.3	아파트 신축공사 인접
10	경기도 양주시	고릉말로	394	1.6	도로변 토사유입

출처: 2017년 도로먼지지도 제작결과 분석, 환경공단

(3) 국내 도로살포 염화칼슘 사용량 및 도로구조물 세척장비 동원 현황

❍ 도로, 교각, 터널 구조물의 부식과 노후화에 가장 영향을 미치는 염화칼슘은 2013년 소방방재청 자료에 따르면, 전국 지자체, 국토관리청과 한국도로공사가 사용한 제설제량은 50만 6,509톤이며 15톤 덤프트럭 3만 3767대 분량임. 민간 사용량을 고려하면 더 많은 양의 제설제가 사용된 것으로 보인다.

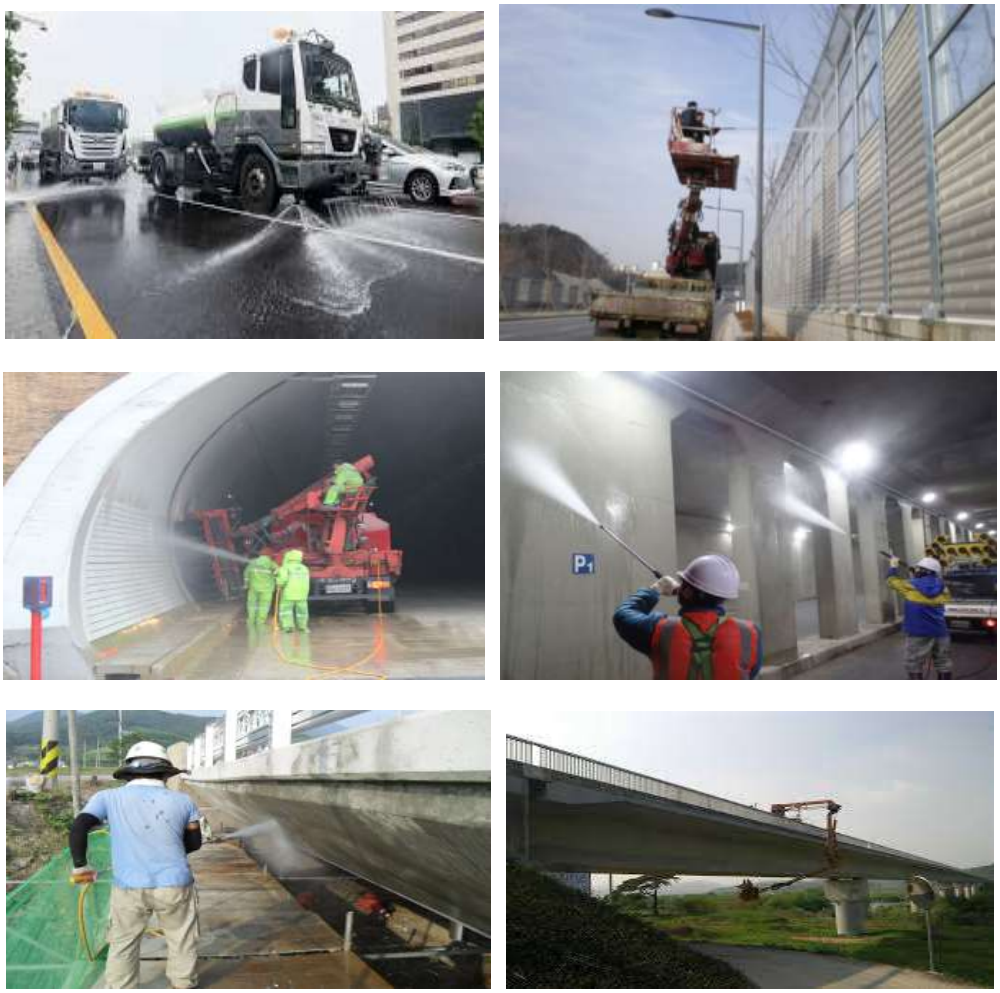
❍ 2017년 한국도로공사 자료에 따르면, 염화칼슘을 제거하기 위하여 교량 난간 방호벽, 배수구, 고량 이음매 등 전국 고속도로 주요 구조물에 대한 살수작업을 그림 2와 같이 수행하였으며, 3주간 투입된 세척장비는 3,712대, 인력 14,850여명이 동원되었다.

<연간 전국 지자체 염화칼슘 사용량 및 동원현황>

염화칼슘 제설제량	동원규모	출처
50만 6,509톤	15톤 덤프트럭 3만 3,767대	2013년 소방방재청 자료

<도로공사 봄철 도로구조물 세척을 위한 살수작업 세척장비 규모 및 동원현황>

도로구조물 살수작업	동원규모	출처
3주간 세척장비 3,712대	인력 14,850명	2017년 한국도로공사 자료



<도로구조물 세척 전경>

❍ 현재 분진 제거를 위한 주기적인 도로청소 및 제설용 염화칼슘을 제거하는 방법으로는 순수 인력에 의한 청소방법, 고정식 살수장치를 이용한 습식청소방법, 물청소차를 이용한 습식청소방법이 있으며, 물청소차를 이용한 방법은 물을 고압으로 분사하는 기능을 가진 고압살수차와 브러시를 장착한 브러시 장착 살수차, 분사한 물을 흡입하는 진공흡입식 살수차로 구분할 수 있다.

<염화칼슘 및 미세먼지를 제거하기 위한 청소방법>

<table>
<tr><td>인력을 이용한 청소</td><td colspan="3">순수 인력에 의한 청소방법</td></tr>
<tr><td rowspan="4">청소장비를 이용한 청소</td><td rowspan="4">습식청소</td><td colspan="2">고정식 살수장치</td></tr>
<tr><td rowspan="3">물청소차</td><td>고압살수차</td></tr>
<tr><td>브러시장착 살수차</td></tr>
<tr><td>진공흡입식 살수차</td></tr>
</table>

나. 미세기포의 발생원리 및 특징

(1) 고압 세척원리 및 특징

❍ 일반적으로 고압으로 세척하는 원리는 50~200bar에서 (초)고압 펌프를 이용하여 노즐을 통해 물을 분사시켜 빠른 속도 에너지를 이용한 물리적 힘과 마찰력을 이용하는 고압 water jet 분사방식이 채택되고 있다.



<Water jet 방식의 고압 세척원리>

❍ 도로시설물(도로, 교량, 방음벽, 터널 등)은 많은 차량이동에 의한 입자성 물질(미세먼지), 유기물질(영양염류), 타이어 마모물질, 기름, 윤활유, 방향족 탄화 수소화합물(PAHs), 중금속, 병원성 미생물 및 염화칼슘 등 다양한 오염물질이 존재한다. 이런 오염물질 세척효율에 따라 용수 사용량, 작업시간, 인력 등의 유지관리비용에 영향을 미치고 또한 염분제거 수준에 따라 도로와 교각 관련 구조물의 손상, 노후화 및 복구비용이 결정된다.



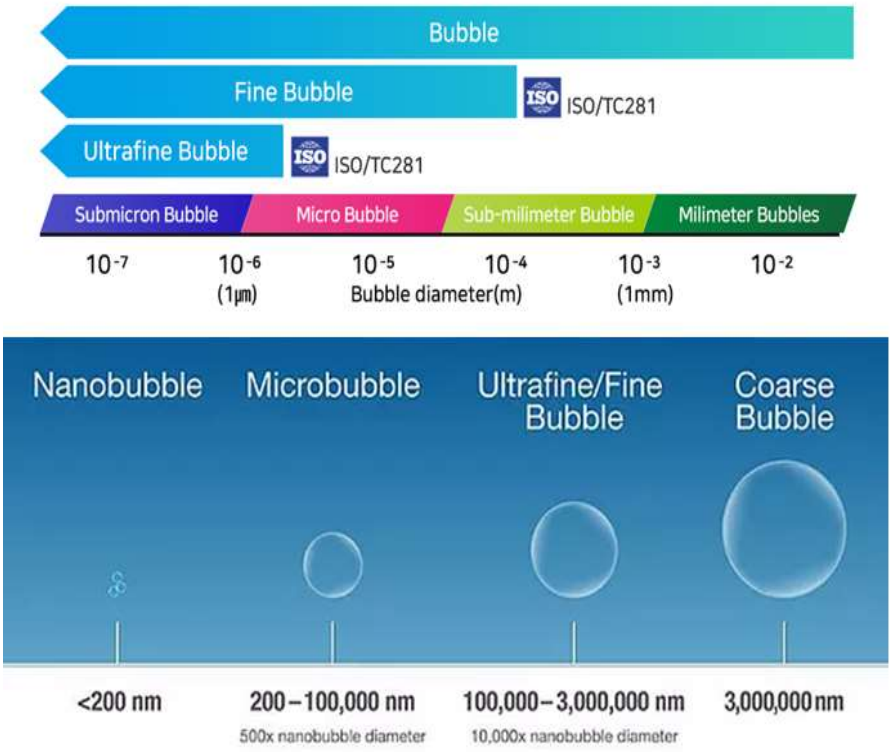
<도로시설물(도로, 교량, 방음벽, 터널 등)의 오염물질 세척현황>

❍ 이런 방법은 오염물질이 벽면에 부착될 경우 주로 마찰력으로 세척하기 때문에 높은 압력은 물론 많은 양의 물이 필요하고 높은 농도의 염분을 세척하는데 상당한 시간이 소요되고 세척 표면에 손상을 많이 준다.

(2) 미세기포 발생원리 및 특징

(가) 미세기포 크기와 생성방법의 분류와 특징

❍ 일명 미세기포, 혹은 " 파인 버블 (Fine Bubble) "이라함은 단순히 작은 단지의 거품(미세 기포)과는 달리 국제 표준화기구 (ISO)에서 정의된 특정 이름입니다. 그림 22와 같이 "ISO 20480-1 : 2017". "파인버블"은 기포의 직경에 따라 마이크로 크기의 ' 마이크로 버블 (Micro Bubble : MB) "와 나노 크기의" 울트라 파인 버블 ※ 1 (Ultrafine Bubble : UFB)」의 2가지 종류로 분류되어 있다. " 마이크로 버블'과' 울트라 파인 버블(일명 나노버블)'도 국제 표준화기구 (ISO)에서 정의된다.



<ISO 기준에 따른 미세기포의 직경별 분류 및 정의>

❍ 울트라 파인버블(일명 나노버블(Nano Bubble))의 직경은 약 1μm (마이크로 미터 1㎜의 1/1000) 이하의 작은 기포이다. 1㎛ 이하의 기포는 기액 계면의 이온의 힘으로 수축합니다. 수축하여 기액 계면의 이온 농도는 증가되고 또한 내부의 압력과 온도는 상승하고 다양한 현상을 일으킨다. 일반적으로 거품은 불안정하고 즉시 수면까지 부상하고 붕괴하지만 나노버블 (초미세기포)는 수중에 머물 시간이 길다. 또한, 액체 미네랄 (양이온)과 균형을 나노 수준 안정된다.

❍ 미세기포의 주요 7가지 특징 중에 세척관련 내용을 그림과 같이 살펴보면 표면전하를 띄고 있어 미세 기포 붕괴로 자유 라디칼을 생성할 수 있다. 오염물질이 표면에 부착되어 있으면 반대이온과 흡착하여 분리할 수 있다.

❍ 미세 기포를 갖는 물에서 측정된 제타 전위는 -45 ㎷ 내지 -34 ㎷ 였고, 공기 미세기포는 -20 ㎷ 내지 -17 ㎷인 약간 더 낮았다. 큰 비 표면적 및 하전 된 표면은 작은 기포가 반대 하전 된 분자 및/또는 작은 입자를 효과적으로 흡수할 수 있게 한다.

1 중성 부력 (Neutral Buoyancy)

- 충분한 부력이 없고 대신 브라운 운동
- 충돌하거나 폭기시키지 않는 이상 수 개월간 물속에 부유 상태로 존재
- 수면 위의 DO 농도와 비슷하게 수중 깊은 곳 까지 매우 높은 산소공급 분포

2 표면전하 (Surface Charge)

- 모든 기포는 자연적으로 표면 전하를 가지며 버블이 작을수록 표면 전하가 강함
- 나노 버블은 높은 제타 전위 (zeta potential)를 가지며, 이는 콜로이드 분산특성을 가짐
- 이런 특성은 기포끼리 서로 뭉치지 않고 오랫동안 수중에 머무는 역할

3 가스농축 (Gas Reserve)

- 중성 부력과 표면에 음전하 충전(클러스터)된 나노버블은 몇 달 이상 정지상태로 존재
- 따라서 용액에 산소가 포화상태에 도달 후에도 지속적인 농축상태로 존재
- 이런 특성으로 CO_2, O_2, N_2 등 산업용 다양한 기체를 200%까지 농축될 수 있음

4 표면적 (Surface Area)

- 나노버블은 직경이 20㎛인 전형적인 마이크로버블의 표면적의 200배 이상을 차지
- 표면적이 넓어지면 질양 이동이 증가하여 사실상 기체가 효과적으로 물에 전달

5 기체전달 효율 (Gas Transfer Efficiency)

- 모든 폭기의 응용은 물에 산소를 효율적으로 전달하는 것임
- 기존 폭기 시스템은 크기가 크고 그에 상응하는 급격한 상승률로 인하여 30cm 당 산소 1~3%만 전달 (종래의 폭기 시스템은 매우 비효율적임)
- 이로 인해 나노버블은 에어레이션 방법에 있어 운영비용이 크게 절감 할 수 있음

6 산화 (Oxidation)

- 제타전위가 높은 나노버블은 과잉 이온이 표면에 클러스터를 형성하여 자유 라디칼이 생성
- 자유 라디칼은 산소가 특정 분자와 상호 작용할 때 형성 될 수 있는 홀수의 전자를 가진 원자
- 자유 라디칼은 연소, 대기 화학, 중합, 플라즈마 화학, 생화학 및 기타 화학 반응과 같은 공정에서 중요

7 버블크기 (Bubble Size)

- 나노버블은 마이크로 버블보다 500배 작은 것으로 알려진 가장 작은 버블 크기이며 약 바이러스 크기와 같음
- 이 규모에서 훨씬 더 많은 나노 버블이 다른 버블과 비교하여 같은 양의 물에 들어 갈 수 있음

<대표적인 미세기포의 7가지 주요 특징>

○ 기포의 직경이 작으면 작을수록 표면적 확대를 통해 반응성이 향상된다. 같은 양의 물에서 작은 기포로 채워진 물에서 기포 사이의 접촉 면적은 큰 거품으로 채워진 물보다 훨씬 크다. 접촉 면적의 증가는 산소 기포를 사용함으로써 액체의 호기성 박테리아 활동을 향상하거나 질소 기포 이동기를 생성함으로써 혐기성 활동을 제공한다. 공급된 가스와 액체 성분 사이에서 화학 반응의 효율이 향상합니다.

(나) 미세기포 생성방법

○ 기포를 만들 때 기체를 액체에 넣을 때 기포는 기체의 액체인 이온이 집적한 클러스터이다. 기포, 유체 역학적, 음향, 광학 및 입자 캐비테이션을 만드는 몇 가지 방법이 있다.

❍ 미세 기포를 만드는 가장 비용 효율적인 방법과 가장 효율적인 방법은 유체 역학적 입니다. 유체 역학은 유체의 움직임과 유체에 잠긴 유체와 유체에 대해 움직임에 작용하는 힘을 다루는 물리학의 한 가지입니다. 거품을 만드는 것이 간단하다고 말하면 움직이는 액체가 필요하고 가스를 추가하고 가스와 액체에 힘을 가하면 기포가 생성된다.

❍ 다음과 같은 미세 기포의 생산 방법을 구별할 수 있는데, 1) 가압 용해 2) 회전 흐름 3) 정적 믹서 4) 초음파 (초음파 진동) 5) 노즐 (이젝터) 6) 발진기 7) 벤투리 8) 혼합 증기 직접 접촉 응축 등 방법이 있다.

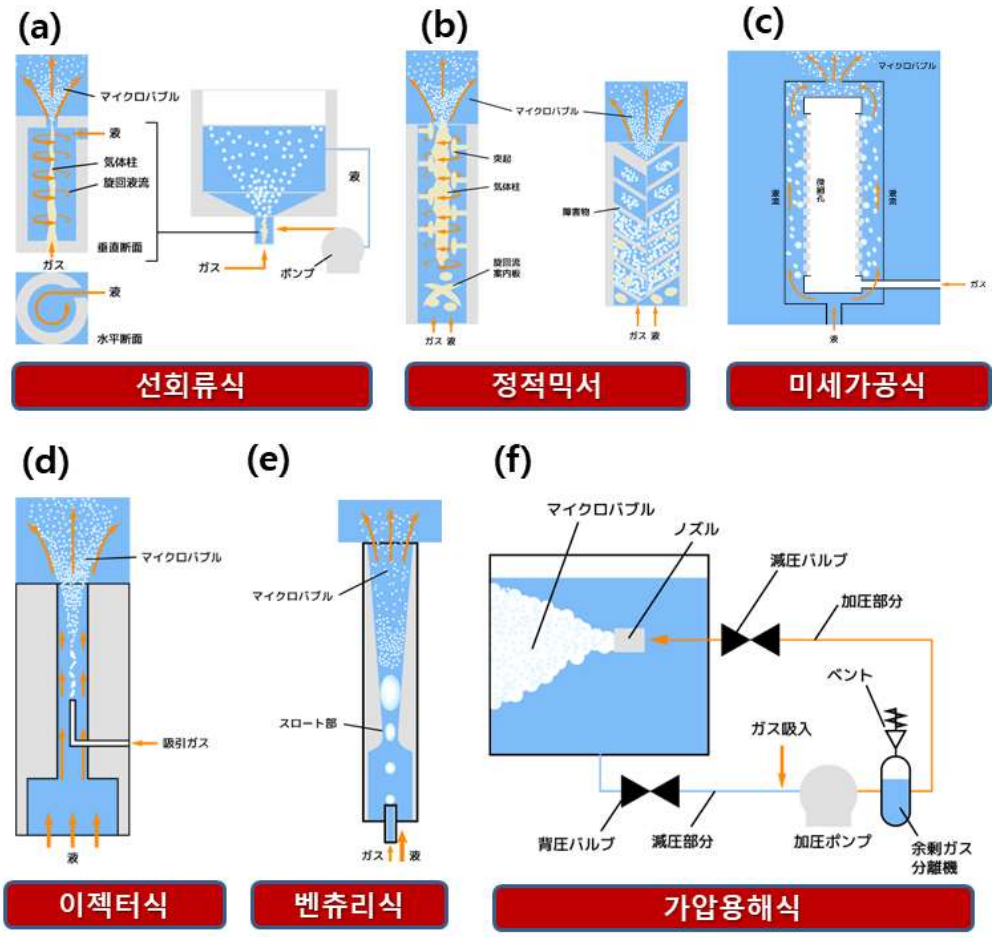
<마이크로 버블크기의 미세기포 생성 방법 분류>

주요 원리	방식	원리
액체류 전단에 의한 기상 분산	선회 전단방식	고속 액체 선회 류에 의한 기상 분쇄
	정적 믹서 방식	관로의 돌출부에 의한 기체의 분쇄
	미세 공식	미세한 구멍에서 액체 흐름 중에 가스 분산
캐비테이션	이젝터식 벤츄리식	관로의 급격한 수축과 확대에 따른 기상 분쇄
액체 가스 용해도 변화	가압 壓溶 해 식	과포화 기체 용액의 감압에 의한 가스 석출
	냉각 용해 식	과포화 기체 용액의 가열에 의한 가스 석출
분산상의 상 변화	혼합 증기 응축 식	증기 공존 가스의 응축에 의한 가스 잔존

❍ 마이크로버블 크기의 미세기포 생성방식 중 선회류식이 가장 일반적인 방법으로 나선형 소용돌이 충돌 제트 형태로 실린더이 벽면으로 회전 후 폭발하는 형태로 구성되고 그다음으로는 이젝터 방식과 벤츄리식 방식 그리고 가압 용해식이 일반적이 많이 활용되고 있다.

❍ 특히 이젝터 방식은 원통형 발생기의 액체 유동 채널은 수축 및 단계적으로 확대되도록 설계된다. 가스는 가장 감압 된 지점에서 자체 흡인되어 캐비테이션에 의해 다수의 미세 기포로 감소 된다. 특히 하류 영역에서 물체 주변의 수위가 입구 속도보다 높아져 압력이 낮아집니다. 압력이 대기압보다 낮아지면 공기는 저압 영역의 파이프 벽에 뚫린 여러 개의 작은 구멍을 통해 자동으로 물 흐름으로 빨려 들어간다.

❍ 가압용해식 방법은 물흐름은 매우 격렬하므로 전단 흐름의 결과로 흡입된 공기는 많은 수의 미세 기포로 분해된다. 기체는 기체 – 액체 혼합물을 가압함으로써 탱크 내의 액체에 용해된다. 이 과포화 액체가 감압 밸브를 사용하여 플래시 되면 마이크로 버블이 생성된다. 미세 기포의 크기와 개수는 압력과 감압 과정에 달려 있다.

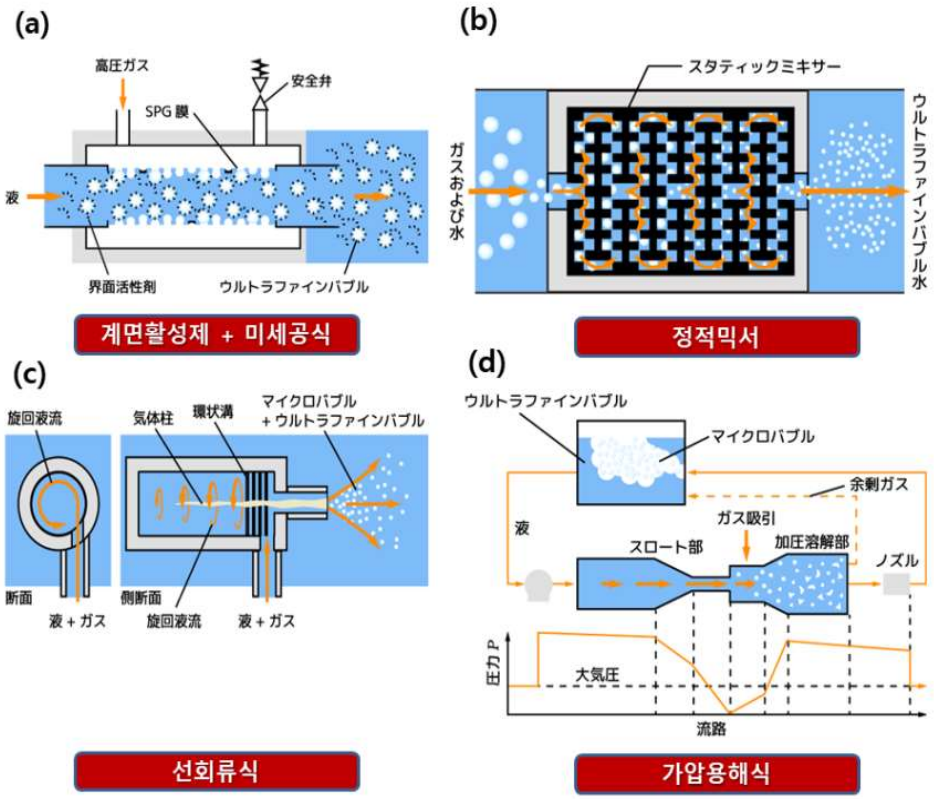


<미세기포 중 마이크로 버블 크기의 생성방식>

○ 나노크기의 초미세기포를 생성하는 방법은 마이크로버블 생성방법과 유사하나 기포를 생성하는 기계 구조물의 전단력, 회전력 등의 구조적 차이가 발생한다. 특히 눈여겨볼 방법 중 정적믹서 방식은 내부의 전단 할 수 있도록 겹겹이 구조 격막을 정밀하게 설계하여 나노버블을 만드는 기술이다.

<나노버블의 미세기포 생성 방법 분류>

주요 원리	방식	원리
계면 장력 저하	계면 활성제 첨가 + 미세공식	미세한 구멍에서 액체 흐름 중에 가스 분산
전단 류에 의한 기상 분산과 혼합	정적 믹서 식	관로의 돌출부에 의한 기체의 분쇄
	선회류식	고속 액체 선회 류에 의한 기상 분쇄
액체 가스 용해도 변화	가압용해식	과포화 기체 용액의 감압에 의한 가스 석출



<미세기포 중 나노버블 크기의 생성방식>

❍ 위 그림은 다양한 방법에 의해 발생되는 미세기포이며 아래 표에서 마이크로버블 및 나노버블 발생 방식에 따른 장단점 분석하였다. 일반적으로 세척장비에 맞는 방식 가압 용해식과 연계된 선회전단이 증가시킬 수 있는 구조가 가장 합리적인 방법이다. 왜냐 하며 미세기포 밀도와 양이 순간적으로 생산하고 또한 기포의 직경이 작아야 오랫동안 체류하여 장거리 이송시간에 견디는 방법으로 선택하여 개발할 필요가 있다.



<다양한 방법에 의한 미세기포 생성과정>

<마이크로버블 및 나노버블 발생 방식에 따른 장·단점 분석>

발생 방식		가스 공급	가스 이용	출력	대형화	막힘
마이크로버블 장치	선회류식	○	○	중	×	△
	정적믹서식	가압	○	중	△	△
	미세공식	가압	○	대	×	×
	이젝터식	○	○	중	×	△
	벤츄리식	○	○	중	×	△
	가압용해식	○	○	대	△	△
	냉각 용해식	×	×	중	△	○
	혼합 증기 응축 식	가압	×	대	○	○
나노버블 장치	미세공식	가압	○	대	×	×
	정적믹서식	가압	○	대	△	×
	선회류식	가압	○	중	×	△
	가압용해식	○	○	대	△	△

(다) 미세기포를 이용한 세척적용 사례

❍ 일본에서는 미세기포(마이크로버블) 및 초기세기포(나노버블)를 이용하여 도로구조물, 도로 콘크리트, 기계정밀 부품, 반도체 및 태양광 판넬 등의 오염물질을 세척하기 위한 기술들이 상용화되었다. 앞서 설명했듯이 미세기포는 일반적인 기포보다 직경이 작으므로 비표면적이 증가되고 이온화된 전하에 의한 오염물질의 탈리 현상이 매우 좋기 때문이다.



<일본의 100~200㎚ 나노크기의 초미세기포를 이용한 세척 상용화>

❍ 나노버블 발생장치를 상용화시킨 기업은 대부분 일본과 미국으로 일본이 경우 DEC 주식회사, Ligaric사 그리고 미국의 Moleaer사 그리고 NanoMax사 등이 예를 들 수 있다. 이런 기업들은 이미 산업현장에서 세척장비를 활용하여 사업이 진행되고 있다.



<일본의 100~200㎚ 나노크기의 초미세기포 발생장치 상용화>

다. 1.5HP급 30L/min 규모의 미세기포 발생장치 개발 및 평가

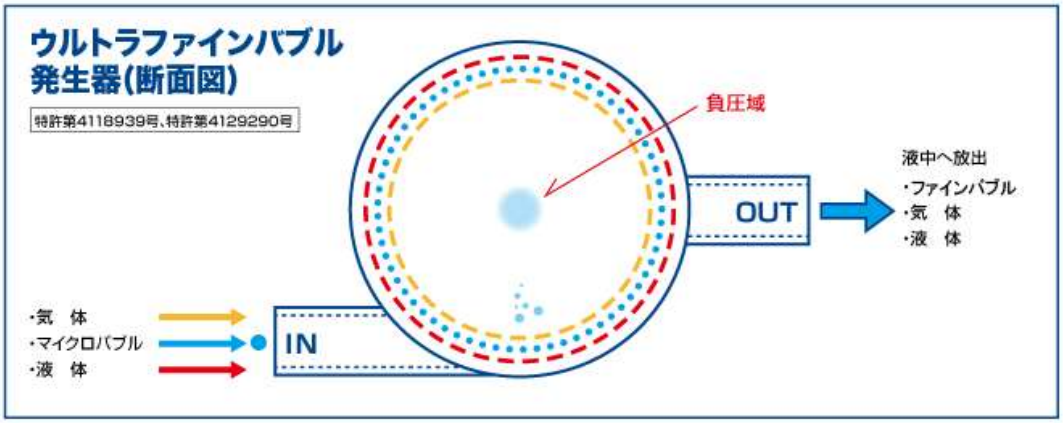
(1) 세척용 미세기포 발생장치의 외국기술

❍ 일본의 고속도로 회사인 NEXCO-West (West Nippon Expressway Company)인 Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 모델과 BUVITT 모델을 사용하여 세척장비로 사용하고 있다.



<Ligaric사(일본)의 미세기포 세척장비>

❍ Ligaric사의 미세기포 발생원리는 IN 측에서 사용하는 기체 이전 공정에서 발생시킨 마이크로 버블 사용하는 액체를 규정의 유속으로 최고급 거품 발생기에 보내는 것으로, 원심력의 작용에서 비중의 차이에 의해 세 층으로 나뉘도록 하였다. 이 현상이 발생하여 마이크로 버블이 전단된 나노 버블이 생성된다.



<Ligaric사(일본)의 미세기포 발생원리>

❍ Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 모델과 BUVITT 모델을 사용하여 세척장비는 차량 탑재식으로 입경이 200㎚ 이하의 나노 버블을 다수 포함한 미세 기포를 포함한 나노 버블 물을 저장한 탱크를 포함하고, 상기 탱크 내의 나노 버블 물을 펌프에 의해 가압하여 노즐에서 염분을 세척하도록 하는 특허를 등록하였다.



(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2010-281124
(P2010-281124A)
(43)公開日　平成22年12月16日(2010.12.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
E01H 1/00	(2006.01)	E01H	1/00	Z	2D026
E01D 1/00	(2006.01)	E01D	1/00	Z	2D059
E04G 23/02	(2006.01)	E04G	23/02	Z	2E176

審査請求 有　請求項の数 7　OL　（全 7 頁）

(21)出願番号　特願2009-135968 (P2009-135968)
(22)出願日　平成21年6月5日 (2009.6.5)

(71)出願人　507297400
西日本高速道路メンテナンス中国株式会社
広島県広島市東区光町１丁目７番１１号
(71)出願人　507175843
株式会社協和機設
広島県福山市新涯町６丁目１０番５号
(74)代理人　100083895
弁理士　伊藤　茂
(72)発明者　山崎　秀重
広島県広島市東区光町１－７－１１　西日本高速道路メンテナンス中国株式会社内
(72)発明者　辻　秀泰
広島県福山市新涯町６丁目１０－５　株式会社協和機設内
Fターム(参考)　2D026 AA00
最終頁に続く

(54)【発明の名称】橋梁・鉄骨・コンクリート構造物に付着した塩分を除去する方法及び装置

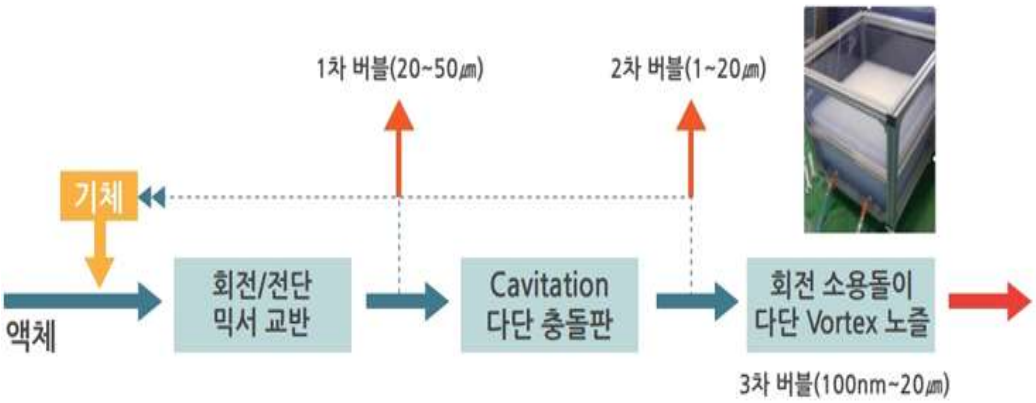
(57)【要約】　（修正有）
【課題】橋梁に付着した塩分を確実に除去する。
【解決手段】粒径が２００ｎｍ以下のナノバブルを多数含む微細気泡を含むナノバブル水を貯留したタンク１４を用意し、該タンク内のナノバブル水をポンプ１６によって加圧してノズル１８から、塩分が付着した橋梁の表面に吹きつけるようにする。
【選択図】図１

<Ligaric사(일본)의 도로 구조물에 부착된 염분을 제거하는 방법 및 장치 특허>

(2) 제안 미세기포 발생장치의 개념과 설계

(가) 미세기포 발생장치의 원리

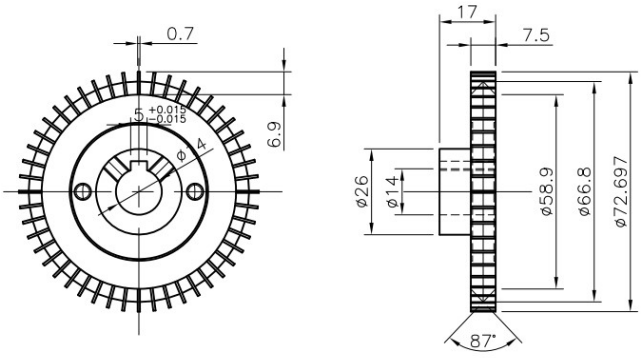
❍ 본 연구개발에서 사용되는 미세기포 발생방식은 소용돌이 충돌제트형 + 이젝터 방식 + 가압-감암 용해 방식이 혼용된 하이브리드형 방식으로 구성된다. 즉 미세기포 크기가 작고 고밀도를 형성하도록 설계 및 제작되도록 하였다. 미세기포 세척장비의 핵심구성은 1) 기체 액체 혼합 교반장치, 2) Cavitation 다단 충돌판 및 3) Vortex 붕괴노즐로 구성되어 있다.



<제안기술의 미세기포 발생방법 및 구성>

(나) 미세기포 발생장치의 설계

❍ 특수 제작된 톱니바퀴 형태의 Mixing Impeller는 회전수 3,500rpm이 형성되어 펌프에서 흡입시 -0.2~-0.3bar 음압이 형성을 유도하도록 설계하였다. 이 방식은 우선 가압-감압 방식의 기체를 믹서 교반장치인 펌프 임펠러에 순간적으로 주입하도록 하였다.

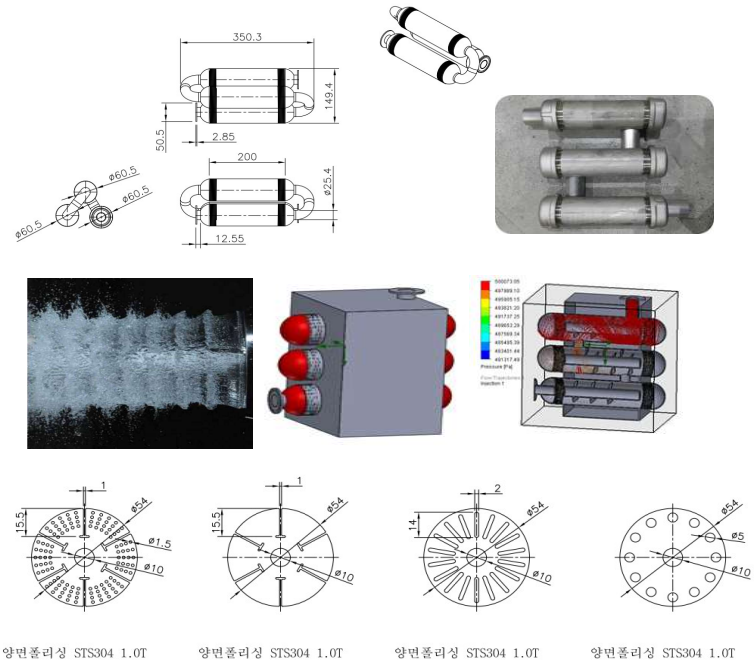


<회전/전단 믹서교반을 위한 Mixing Impeller>

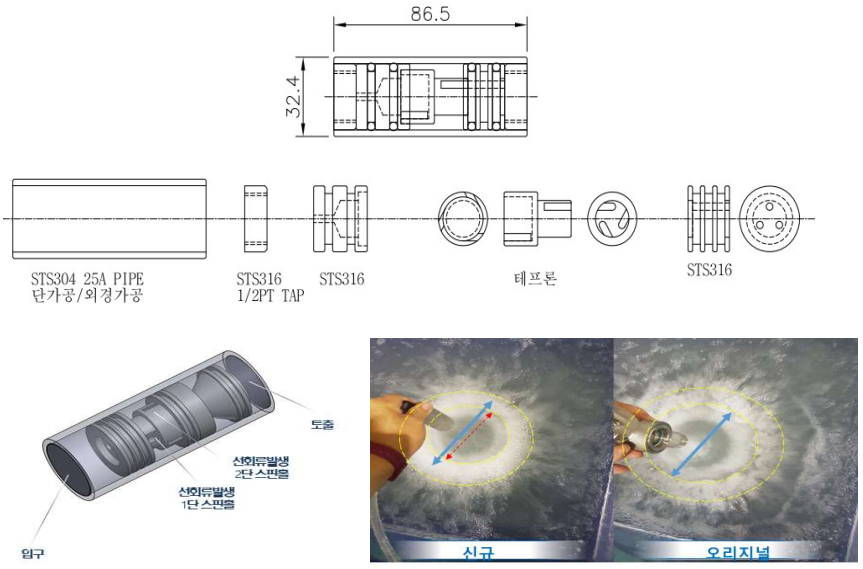
❍ 미세기포의 충돌횟수를 통한 기체의 용해율와 기포의 밀도를 증가시키기 위하여 3단 충돌판을 설계하였다. 충돌판 선회류를 통해 버블이 쪼개지도록 구성하였고 특히 단수에 따라 선회 및 충돌전단이 연속적으로 이루어지도록 조합 배치하여 설계하였다.

❍ 기체가 액체에 용해된 기포가 순간적으로 노즐 끝단에서 폭발 붕괴하면서 다량의 미세기포가 발생하기 위하여 다단 Vortex 노즐을 설계하였다. 2단 선회류 발생이 가능한 형태를 가지도록 각각의 유입과 유출 부분에 3개의 홀로 구성시켰다. 입구를 통해

유체가 유입된 후 중간부의 선회류 발생용 스핀홀을 통해 나선형 흐름으로 변환되어 토출측을 통해 배출되는 구조로 되도록 설계하였다.



<Cavitation 다단 충돌판 조립도(위) 및 내부구조 설계(아래)>



<다단 Vortex 노즐 설계(위) 및 3차원 구조설계(아래)>

○ 일본 기술과 금번 제안기술의 큰 차이는 미세기포 생성하는데 걸리는 농축시간이 금번 제안기술은 5분 이내이고 일본의 Ligaric사는 30분이 소요됨에 따라 현장 운전 적용 측면에서 매우 효율적이다. 또한 금번 미세기포 세척장비는 마이크로버블 비중보다는 나노버블 비중에 근간하여 개발되어 미세기포에 의한 세척효율이 향상할 것으로 판단된다.

<도로구조물 미세기포 세척장비 비교>

No	Ligaric사(일본)	제안기술
방식	회전/전단 믹서교반 + 선회류 원심력 이젝터 노즐	회전/전단 믹서교반 + 다단 충돌판 + 회전 소용돌이 다단 Vortex 노즐
버블크기	100㎚~20㎛	20㎛ 이하 (최대 200㎚급)
소요동력	2.6kwh	3kwh 이내 (4HP 이내)
토출유량	60LPM	80LPM 이상
농축시간	30분	5분 이내
분사방식	고압세척기 연동	고압세척기 연동 및 단독사용
특징	차량 탑재방식	차량 탑재방식
비고	상용화하여 2017년도 고속도로에 보급중	핵심기술 완료 (상용화 전단계)

(3) 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 미세기포(세척장비) 제작

○ 그림 36과 같이 제작되었고 번째 톱니바퀴 형태의 임펠러를 선정하였다. 그림 37은 Vortex 다단충돌판을 3단으로 구성하여 싱글형 충돌판 및 모듈형 충돌판으로 구성하도록 제작되었다. 그림 38은 Vortex 회전충돌 붕괴노즐로 노즐바디, 다단선회노즐로 구성되도록 제작되었다.



<1차 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치(임펠러) 제작>

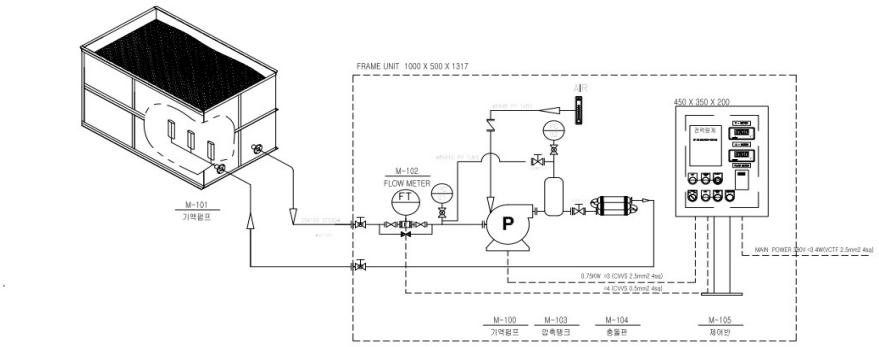


<다단충돌판 제작>



<Vortex 회전충돌 붕괴노즐 제작>

❍ 미세기포 발생장치는 1차 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치(펌프), 2차 다단충돌판 및 3차 Vortex 회전충돌 붕괴노즐을 통합화시킨 미세기포 세척장비의 전체 공정도 P&ID은 아래 그림에 제시하였다. 또한 전체 장치의 크기는 1,000㎜(L)*500㎜(W)*1,317㎜(H)의 크기의 미세기포 세척장비의 도면을 제시하였다.



M-100 : 기액 MB펌프
용량 : 30L/min X 4bar
사양 : 380v X 0.75kw X 1EA
재질 : SUS304

M-101 : NMB 발생 노즐
용량 : 10L/min
사양 : 4bar X 4EA
재질 : SUS304

M-102 : FLOW METER
용량 : 3-60L/min
사양 : DC24V
재질 : SUS304

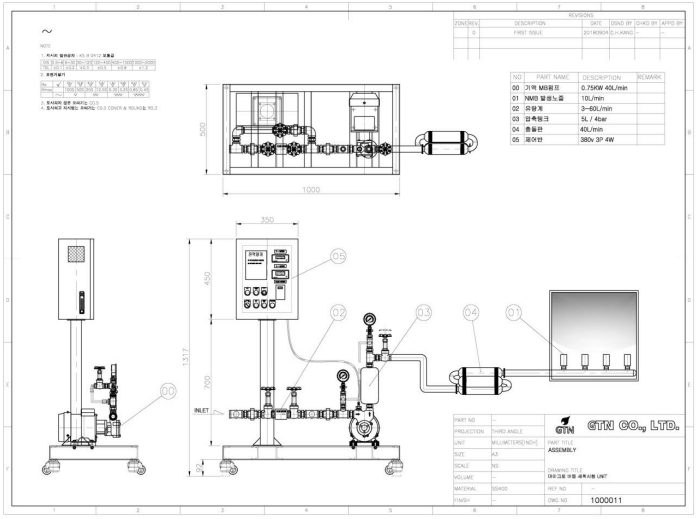
M-103 : 압축탱크
용량 : 5L
사양 : 4bar
재질 : STS304

M-104 : 충돌판
용량 : 30L/min
사양 : 50A
재질 : STS304

M-105 : 제어반
용량 : 380V ϕ3 0.75KW
사양 : 400x300x200
재질 : STS304

<1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot의 전체 공정도 P&ID>

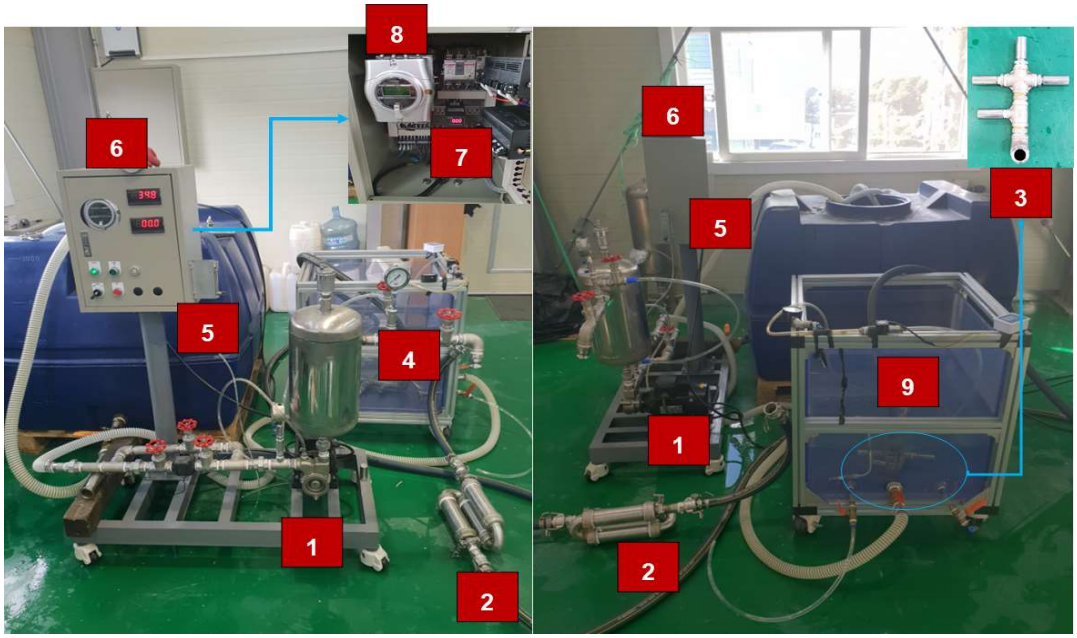
❍ 미세기포 세척장비를 이용한 도로구조물의 세척효율을 평가하기 위하여 1.5HP(1.1kw)급 이내 30LPM(L/min) 이상 규모의 세척장비를 제작하였고 세부적인 사양은 아래 표에 제시하였다. 아래 그림과 표에서 제시한 것처럼 1차 믹서 교반장치, 2차 다단충돌판와 3차 Vortex 회전충돌 붕괴노즐로 구성되어 있고 유입/유출 압력계, Air 유량계, 제어반 내 전자식 유량계/전력량계 등으로 구성되도록 하였다.



<1.5HP급 30L/min 규모의 미세기포 발생장치(세척장비) 도면>

<1.5HP급 30L/min 미세기포 세척장비 사양 및 규격>

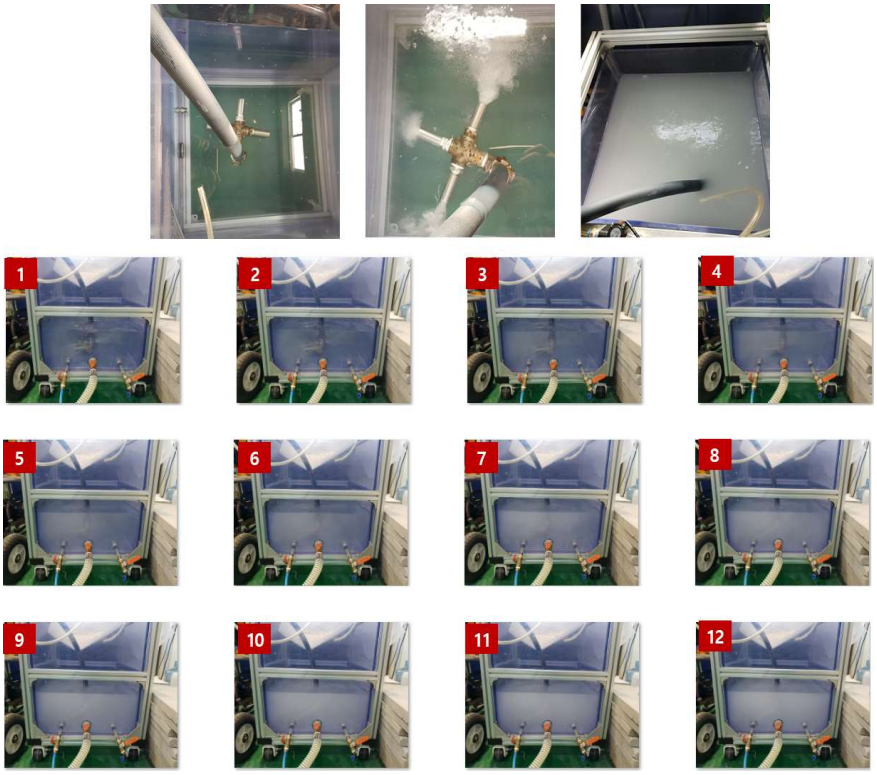
No	Part	규격
1	1차 믹서 교반장치(임펠러)	30L/min×4bar, 380V×0.75kw, SUS 304
2	2차 Vortex 다단충돌판	3단 충돌판 슬릿 구조, SUS 304
3	3차 회전충돌 붕괴노즐	2단 스핀홀 선회전단 구조, SUS 304
4	압력계(유입/토출)	0~10bar(A Type), Huadong사
5	Air 유량계	1-5LPM(L/min), NICELL사
6	제어반	380V, 4선식, 수동운전
7	전자식 유량계	0~60LPM(L/min), WP7000사
8	전자식 전력량계	0~40A, 380V, Tascon사
9	수조	전체 용량: 100L



<Pilot 미세기포 세척장비 통합제작 및 제어반 제작>

❍ 미세기포 발생원리는 기체를 회전력/전단력, 소용돌이 Vortex 및 압력차에 의해 액체에 용해시켜 발생된다. 원수탱크로부터 유체를 기액펌프에 의해 유인하고 기액펌프 내 믹서존에서 공기유량계를 통해 공기를 액체 대비 5~10% : 90~95% 비율로 주입하여 미세기포를 생성하도록 하였다. 아래 그림의 시간이 경과됨에 따라 30초 이내에 밀크 타입 형태로 미세기포가 생성되는 것을 확인할 수 있다.

❍ 시운전을 통해 미세기포 생성을 위한 시운전 시간은 0.5분에서 3분 사이 조건에서 수행하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다. 3분 이상에서는 미세기포의 생성과 소멸이 순환되는 과정이 큰 차이가 없기 때문이다.



<1.5HP급 30L/min 규모의 미세기포 발생장치 시운전>

(4) 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 미세기포(세척장비)의 성능평가

❍ 1.5HP급 30L/min 규모의 미세기포 발생장치 미세기포의 실험을 위해 아래 그림과 같이 압력계, 공기유량계, 전자식 전력량계 및 유량계, 타이머 등을 준비하여 실험을 수행하였다.

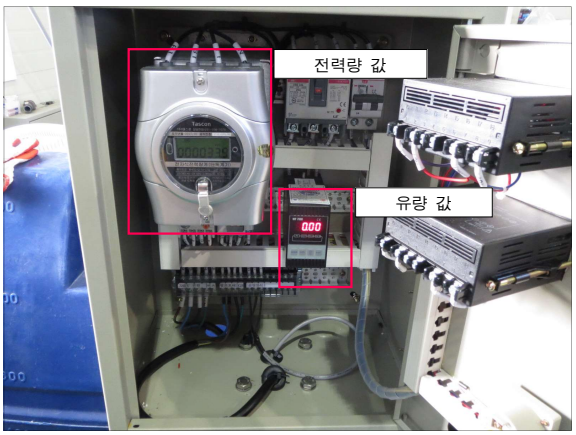


압력계 공기유량계 전자식 전력량계 전자식 유량계

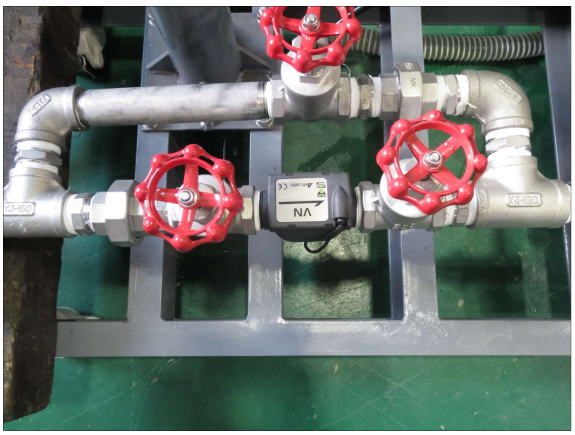
<Pilot 미세기포 발생장치의 실험을 위한 측정기>

❍ 대상 장치의 가동시의 토출 유량 및 전력 소모량을 측정하고자 하였으며, 대상 장치에 부착된 유량계 및 전력량계는 아래 두 그림에서 확인하였다. 이때, 측정시 사용되어지는 계측기인 유량계와 전력량계는 교정이 확인된 장치를 사용하였다.

❍ 제시된 유량계에 대한 측정값은 확인된 장치에서 모니터링 되어지는 것으로 나타났다. 가동시 저장된 물은 기액펌프와 다단충돌판을 거쳐서 노즐에서 미세기포로 발생되어지는 것을 확인하였으며, 기액펌프에서 토출시 압력은 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.



<전력량 및 유량 값 모니터링>



<유량계 설치 확인>

❍ 미세기포 세척장치를 3.5~4bar 압력 조건에서 운전 할 결과 전력 소모량 측정을 위하여 대상 장치는 1시간 동안 가동하였으며, 초기 34.0 kwh에서 1시간 후에 35.0 kwh로 1.0 kwh의 전력이 소모되어 지는 것으로 나타났다. 이에 대한 확인은 아래 그림에서 제시하였다.



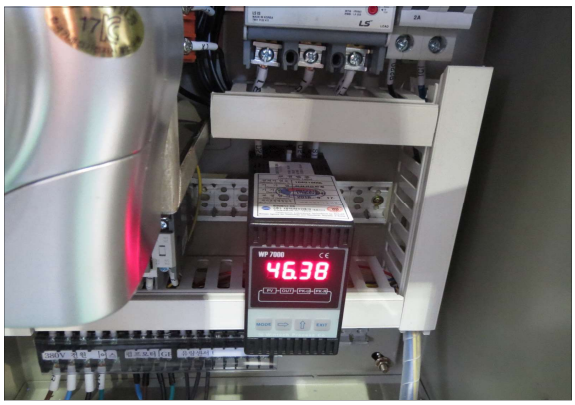
<가동 전 전력량>



<가동 1시간 후 전력량 확인>

❍ 유량 측정을 위하여 대상 장치는 1시간 동안 가동하였으며, 아래 그림에서 제시되는 바와 같이 계속적으로 모니터링 되는 값을 확인하였다. 모니터링 동안 유량값은 장치의 특성 상 안정된 값을 나타내지는 않는 것으로 나타났으며, 다만, 가동 1시간 동안 30 LPM 이상의 값은 유지하는 것을 연구원이 직접 육안으로 확인하였다.

❍ 미세기포 세척장치의 전력 소모량 측정을 위하여 대상 장치는 1시간 동안 가동하였으며, 초기 34.0 kwh에서 1시간 후에 35.0 kwh로 1.0 kwh의 전력이 소모되어 지는 것으로 나타났다.

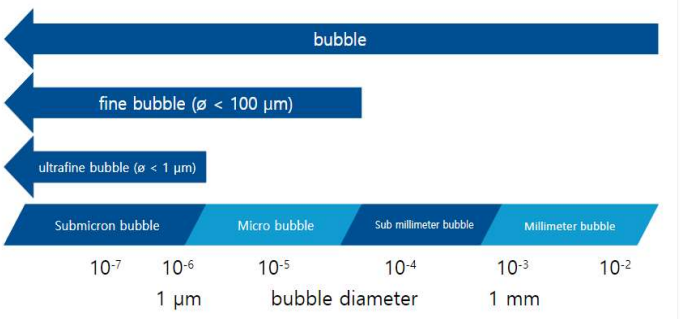


<유량 값 모니터링 확인>

❍ 미세기포 세척장치의 유량 측정을 위하여 대상 장치를 1시간 동안 가동하면서 계속적으로 모니터링 되는 값을 확인하였으며, 모니터링 동안 유량 값은 30 LPM 이상의 값을 유지하는 것으로 나타났다.

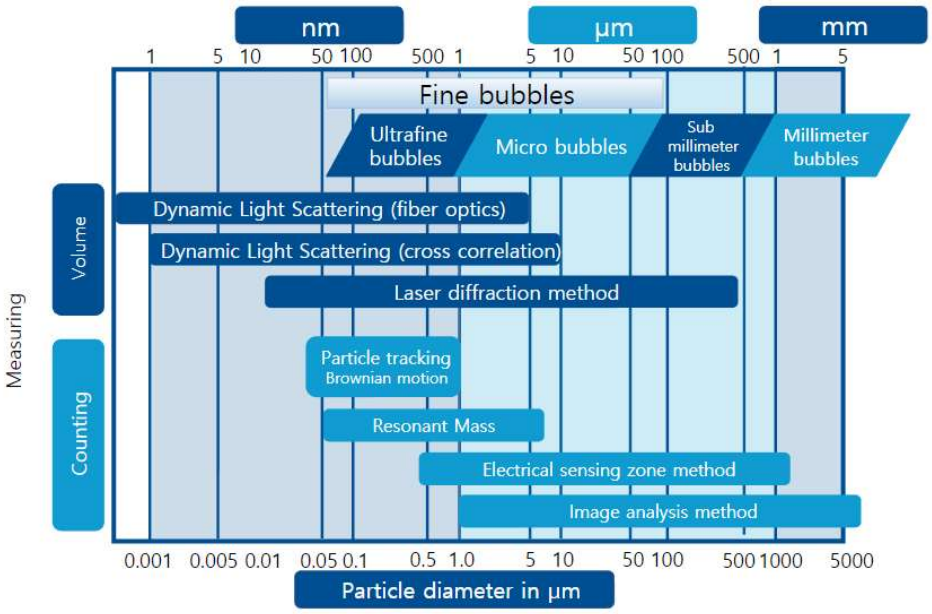
❍ Fine Bubbles는 일본에서 발명된 혁신적인 기술이지만, 산업 발전을 위한 적절한 표준 작성이 없으면 산업 발전 및 향후 기술 발전에 대한 장애와 우려가 있었다. 일본은 프로젝트를 통해 ISO에 접근하여 미세 기포 표준화를 위한 ISO 기술위원회 281를 설치했었다. 회의는 2013년 12월에 교토에서 개최된 ISO 미세 거품의 첫 번째 회의였다.

❍ 회의에서는 일반적인 거품과 비교하여 미세한 거품을 직경이 100 마이크론 미터 이하인 것으로 정의하고, 초미세 거품을 회의 결의안에 명시된 바와 같이 지름이 1미크론 미터 이하인 것들. 이것은 미세한 거품에 대한 공통된 국제 개념을 갖는 첫 번째 단계였다(직경 ISO 20480-1의 거품 분류 아래 그림 참조).



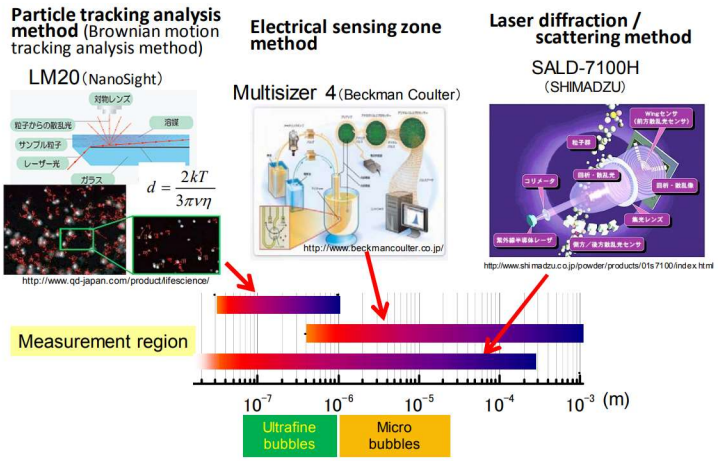
<ISO 나노 및 마이크로버블의 직격 크기 규정>

❍ 크기별로 기포를 측정할 때 광학 현미경을 사용하여 초미세 기포를 측정하는 것은 불가능하다. 액체 상태로 존재하기 때문에 전자 현미경으로 측정하는 것도 불가하다. 그러나 최근의 새로운 측정 기술로 이를 추적할 수 있다. 측정 기술의 개발은 영국, 독일, 미국 및 일본의 민간 기업 및 대학교에서 수행하여 성공하였다. 서로 다른 측정 방법을 사용하는데, 각각 다른 원리를 사용한다(아래 그림 참조).



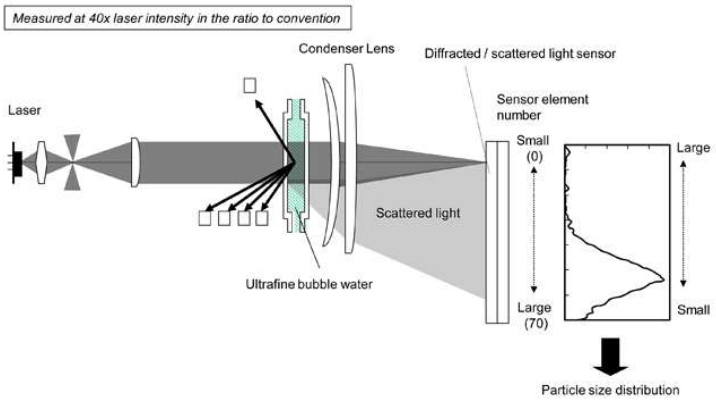
<나노 및 마이크로버블의 직경크기 다양한 측정방법>

❍ 초미세기포 직경사이즈를 측정하는 입자 추적 분석 방법 (Brownian motion tracking analysis method), 나노크기와 마이크로버블의 중간지점을 측정하는 전기 감지 구역 방법(Electrical sensing zone method)와 마이크로 버블 직경 크기를 측정하는 레이저 회절/산란법(Laser diffraction/scattering method)으로 구분될 수 있다.



<대표적인 나노 및 마이크로버블 직경크기 측정방법>

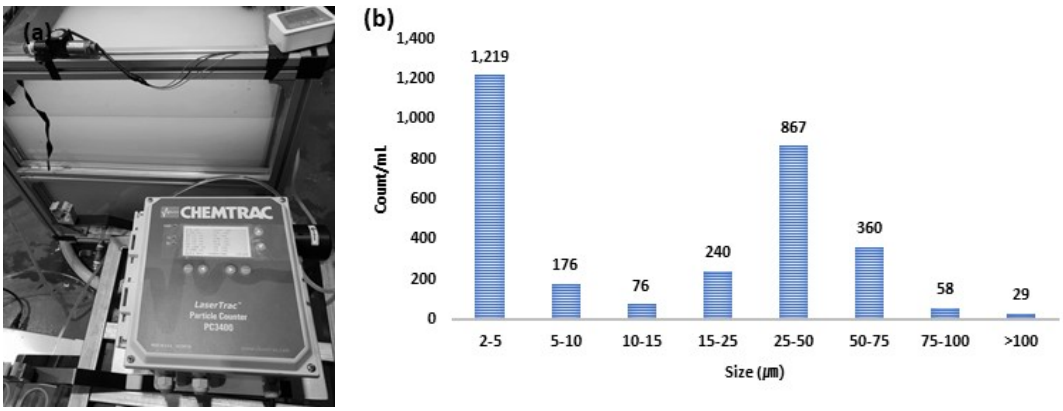
❍ 마이크로 버블 직경 크기를 측정하는 레이저 회절/산란법(Laser diffraction/scattering method)은빛이 입자에 부딪힐 때 빛은 회절 되거나 산란하며 회절/산란의 강도 패턴은 입자 크기에 따라 달라진다. 회절/산란 각도에 따라 달라지는 강도 패턴(세기분포)이 관찰될 수 있다.



<레이저 회절/산란법(Laser diffraction/scattering method) 측정원리>

❍ 본 연구에서는 미세기포층의 깊이를 측정하기 위해 particle counter인 Laser Trac PC2400D(Chemtrac社, USA)를 사용하였다. 이 방법은 기포층과 물의 경계면에서 기포의 수가 급격히 줄어든다는 점에 착안하여 고안된 방법으로 육안으로 관찰되는 기포층의 경계면을 중심으로 particle counter를 상하로 이동하며 기포수를 측정하였다.

❍ 기포 크기와 농도를 연구를 보면 20~30㎛의 범위에서 마이크로 버블을 가장 효율적으로 생성할 수 있는 작동 조건은 운전압력이 5bar으로 제시하였다. 직경 2.5㎛의 기포(약 0.2㎜/min)는 직경 25㎛의 기포 (약 2.3㎝/min)보다 100배 더 느리게 상승한다고 보고하였다. 최적화된 마이크로버블의 종단속도 값을 Stokes 방정식에 단순 대입하여 계산하면 약 40㎛ 정도로 된다. 하지만 전부 40㎛ 크기를 대표하는 것이 아니다.



<Particle counter를 이용한 미세기포 측정>

❍ 그 이유는 기포 직경 크기가 <25~50㎛인 경우 버블은 부력 효과에 더하여 경쟁하기도 하고 작은 거품은 축소되기 때문에 복잡한 마이크로 기포를 전체를 스캔하는 것이 어렵다. 이런 복잡한 마이크로버블의 영역에서 분포가 높은 대표적인 기포 직경을 측정하는 것이 중요하다. 미세기포층의 깊이를 측정하기 위해 particle counter인 Laser Trac PC2400D(Chemtrac社, USA)를 사용하였다.

❍ 이 방법은 기포층과 물의 경계면에서 기포의 수가 급격히 줄어든다는 점에 착안하여 고안된 방법으로 육안으로 관찰되는 기포층의 경계면을 중심으로 particle counter를 상하로 이동하며 기포수를 측정하였다. 위 그림의 결과로부터 마이크로 버블의 직경 분포도를 보면 2~5㎛은 40%, 5-10㎛은 5.8%, 10~15㎛은 2.5%, 15~25㎛은 7.9%, 25~50㎛은 28.7%, 50~75㎛은 11.9%, 75~100㎛ 1.9%으로 나타났다. 마이크로 버블 영역대에서는 2~5㎛을 제외한 25~50㎛ 분포가 가장 높았다.

❍ 마이크로 버블은 밀크(Milk) 형태로 눈으로 확인할 수 있으나 나노버블(Nano bubbles)은 눈으로 확인이 불가능하다. 하지만 아래 그림과 같이 광 산란 원리에 의해 측정되는 레이저 포인터를 활용하여 벌크 상태의 브라운 운동을 하는 나노버블을 쉽게 감지할 수 있다.

❍ 위 그림의 Particle counter을 통해 1㎛ 나노버블에 근접한 2-5㎛ 기포 크기를 확인할 수 있었다. 나노크기의 측정은 입자추적 방법(Brownian motion tracking analysis method)과 나노와 마이크로 중간지점을 측정하는 전기적 감지측정(Electrical sensing zone method)을 이용할 수 있다. 따라서 간접측정 방법에 의해 확인된 나노버블은 향후 고성능 버블크기 측정장비를 이용하여 크기 분포와 거동 특성을 분석할 필요가 있다.



<브라운 운동하는 나노버블의 Laser point를 이용한 간접측정 방법>

(5) 현장조사

(가) 평가기준

○ 굳지 않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3㎏/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6㎏/㎥까지 허용할 수 있다.

<염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007)>

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl^-) 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

<염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12))>

기 준	전염화물 이온량(kg/m^3)	철근부식의 가능성
a	· 염화물 < 0.3kg/m^3	· 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	· 0.3kg/m^3< 염화물 ≤ 1.2kg/m^3	· 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	· 1.2kg/m^3< 염화물 ≤ 2.5kg/m^3	· 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	· 염화물 ≥ 2.5kg/m^3	· 철근 부식발생
e	-	-

(나) 측정기기

❍ 염분 측정을 위해 영국 elcometer에서 만든 최신형 디지털 표면 염분 측정기 E130-SP 모델을 사용하였다. 이 기기를 통해 도장이나 기타 작업 전에 표면에 남아있는 염분을 간단하고 빠르게 측정할 수 있다.





<염분 측정기기>

(다) 현장조사 및 결과

❍ 현장조사는 부산광역시 강서구 대저동에 위치한 강서낙동강교(신-부산)의 상·하부에서 이루어졌다. 조사는 총 4개소(상부구조 3개소, 하부구조 1개소)에서 실시하였다. 조사결과 하부구조 표면에서 최대 0.801㎏/㎥로 조사되었으며 콘크리트 내부로 깊어질수록 염화물 함유량은 감소하는 경향으로 조사되었다.

<전경사진>

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">현장 위치 설명도</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>  </td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">상부전경(부산방향)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">하부전경(부산방향)</td></tr>
</table>

<측정결과>

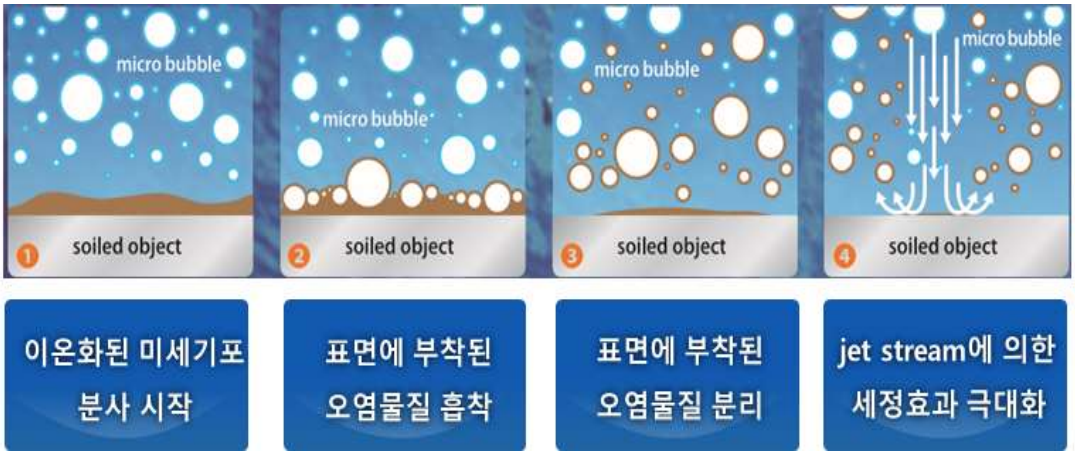
측정위치			실측 피복두께 (㎜)	염화물 함유량	
				Cl^- (%)	Cl^- (kg/㎥)
상부 구조	#1	0~15.0㎜	30.5	0.0115	0.260
		15.0~30.5㎜		0.0084	0.189
	#2	0~15.0㎜	30.5	0.0162	0.367
		15.0~30.5㎜		0.0121	0.274
	#3	0~15.0㎜	30.5	0.0128	0.289
		15.0~30.5㎜		0.0126	0.286
하부 구조	#1	0~20.0㎜	70.0	0.0354	0.801
		20.0~40.0㎜		0.0283	0.640
		50.0~70.0㎜		0.0097	0.219

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(㎏/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량 (2,263㎏/㎥)

(6) Pilot test

(가) 도로구조물의 미세기포의 세척원리

○ 미세기포는 접촉면적이 증가되고 전기적 특성을 이용한 소수성 물질 및 반대 이온의 미세입자물질에 대한 높은 흡착력을 가짐에 따라 세척효율이 증가한다. 아래 그림은 미세기포가 자기압괴 과정을 거치면서 수축되었다가 순간 붕괴시 세척대상물에 흡착된 후 탈착되면서 오염물질을 분리하는 원리를 설명하고 있다.

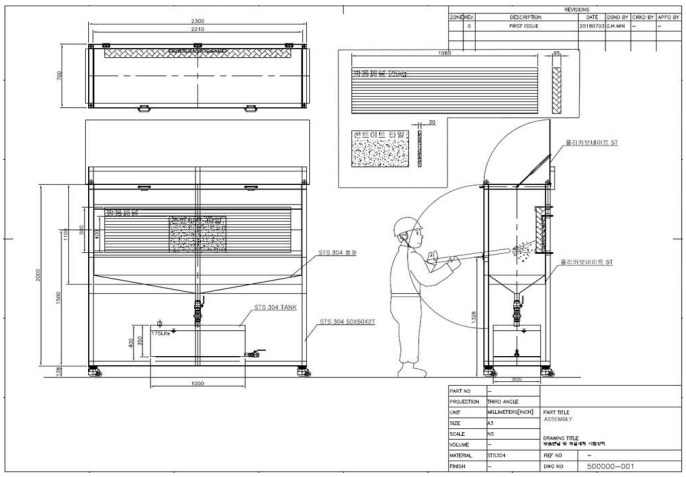


<(초)미세기포의 표면 부착된 오염물질 세척원리>

❍ 또한 고압세척기와 같은 워터젝트 원리와 함께 이온화된 미세기포가 분사되고 표면에 부착된 오염물질에 흡착되는 순간 표면에 부착된 오염물질을 분리하는 과정을 설명하고 있다. 특히 jet stream에 의한 세정효과는 극대화한다고 보고하고 있다.

(나) 미세기포 세척 장비의 Pilot 테스트 베드 구축

❍ 아래 그림은 도로시설물의 염화칼슘 및 미세입자의 세척효율을 평가하기 위해서 미세기포 세척장비의 Pilot 테스트 베드를 구축하였다.



<시편 오염물질 세척을 위한 미세기포 세척장비의 Pilot Test bed 설계>



<시편 오염물질 세척을 위한 미세기포 세척장비의 Pilot Test bed 제작
(a) 미세기포 발생장치, (b) 고압세척기, (c) 시편(콘크리트, 타일 등)이 장착된 Pilot 테스테 베드)>



<미세기포 세척장치 구축 전경>

(다) 도로구조물 콘크리트에 대한 염분의 미세기포 세척장비의 성능평가

○ 도로시설물 콘크리트에 대한 염분의 세척효율을 평가하기 위해 제작된 콘크리트 시편을 염화칼슘을 녹인 물에 24시간 동안 담가 염분이 시편에 충분히 흡수되도록 준비하였다.



<콘크리트 시편에 염화칼슘을 흡수시키는 과정>

❍ 염화칼슘이 흡수된 시편의 농도를 E130-SP (elcometer사의 염분측정기)를 사용하여 세척 전, 후의 염분 농도를 측정하여 세척효율을 평가하였다.



<콘크리트에 흡수된 염분의 세척 처리효율 평가과정>

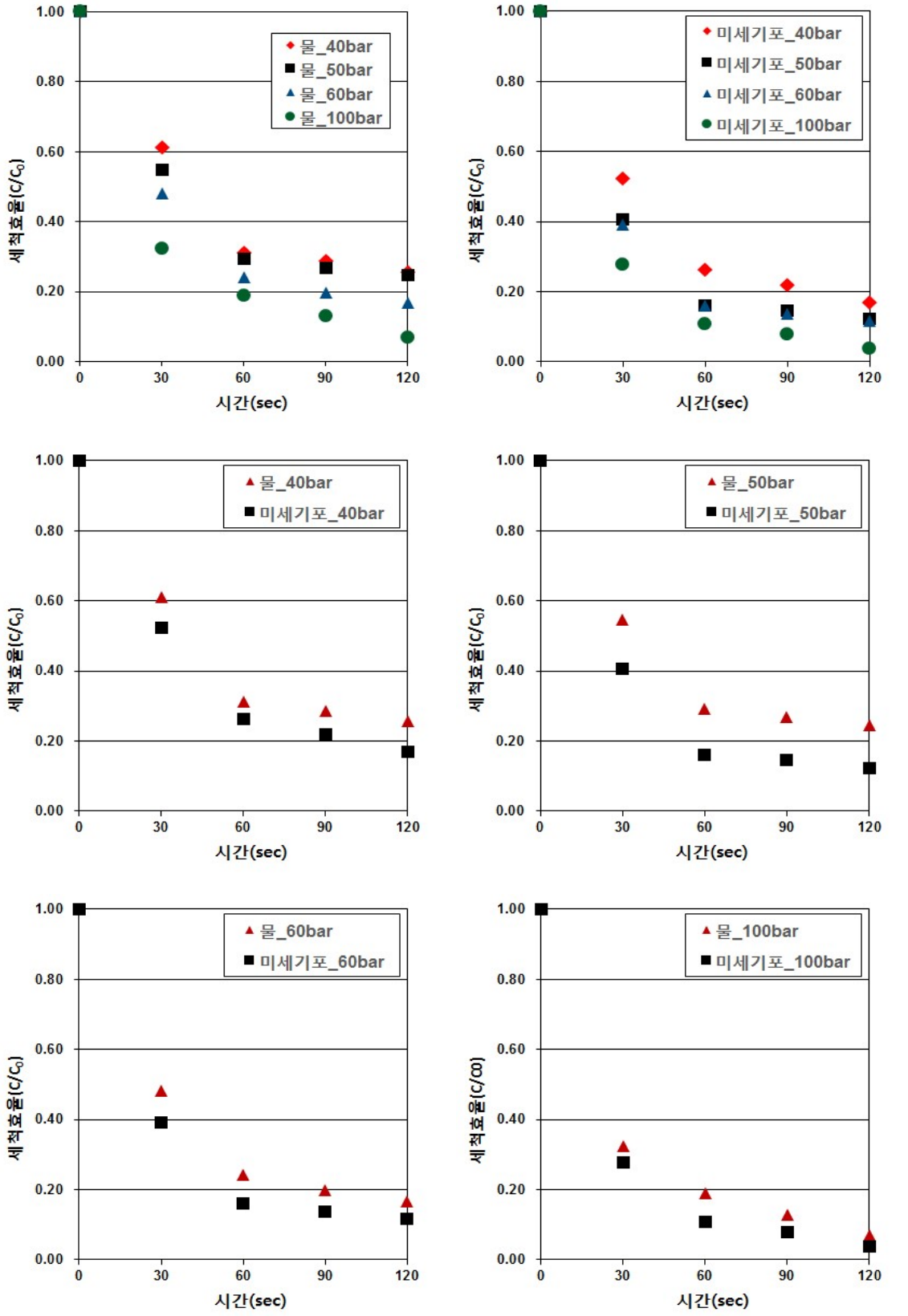
❍ 콘크리트 시편에 흡수된 염분을 세척하기 위해 세척장비의 압력을 각각 40, 50, 60, 100bar 조건에서 평가를 진행하였다. 평가 결과 압력이 증가함에 따라 물과 미세기포를 처리수로 사용하는 경우 모두 세척효율이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 50 bar에서 동력 대비 세척효율이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다. 또한 미세기포를 사용할 경우 세척효율이 5~10% 이상 증가하는 것으로 확인되었다.

❍ 50bar의 압력에서 세척거리(30, 100, 150㎝)에 따른 세척효율 평가를 실시하였다. 세척거리가 짧아질수록 세척효율은 증가하나 세척거리가 30㎝인 경우 압력으로 인해 콘크리트 시편이 떨어져나가는 현상이 발생하였다. 미세기포를 사용하게 되면 세척효율이 약 10~15% 증가하는 것으로 확인되었다.

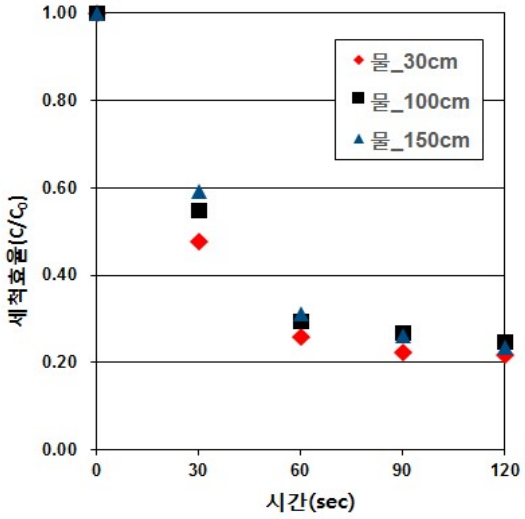
❍ 염분이 흡수된 콘크리트 시편을 연속적으로 세척을 할 경우, 미세기포를 이용하여 세척할 경우 잔류하는 염분의 양이 5% 이내로 줄어드는 반면 물을 이용하여 세척하게 되면 10% 정도의 염분이 잔류하는 것을 확인할 수 있었다.

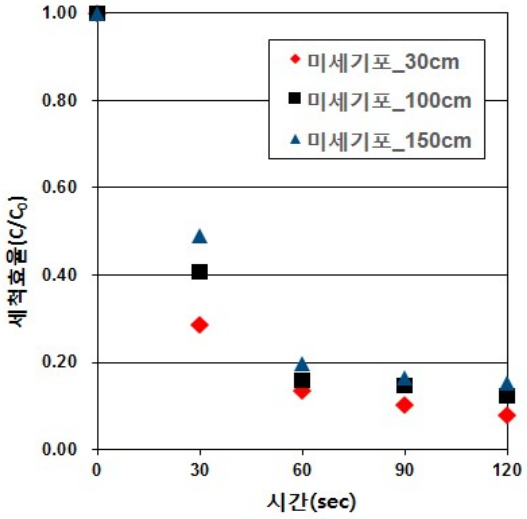
❍ 고농도의 염분이 콘크리트 시편에 흡수된 경우, 물에 의한 세척보다는 미세기포에 의한 세척효율이 약 2배 높은 것으로 확인되었다.

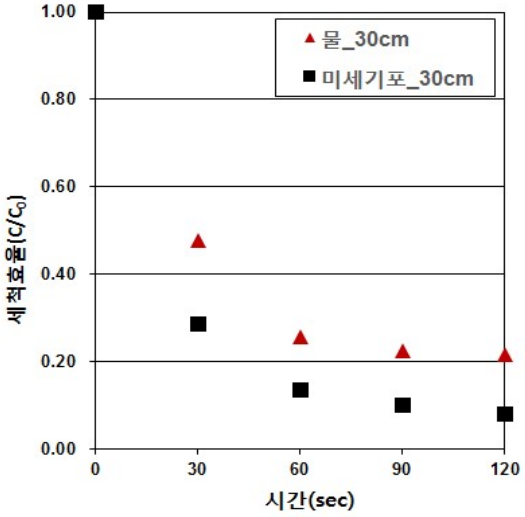
<압력별 콘크리트 시편에 흡수된 염분의 세척효율>

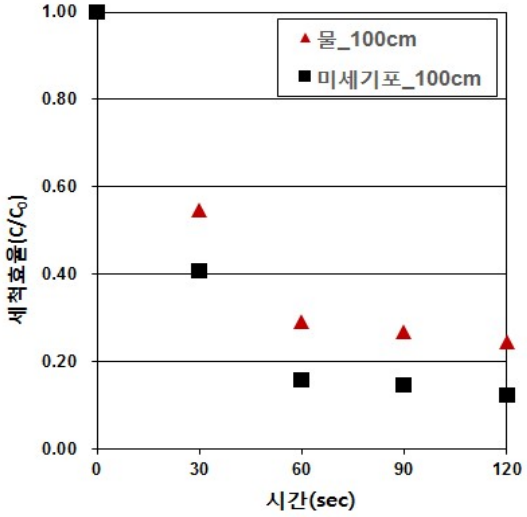


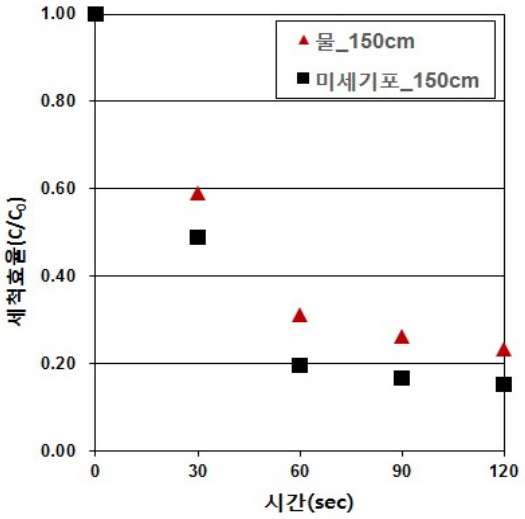
<거리별 콘크리트 시편에 흡수된 염분의 세척효율>



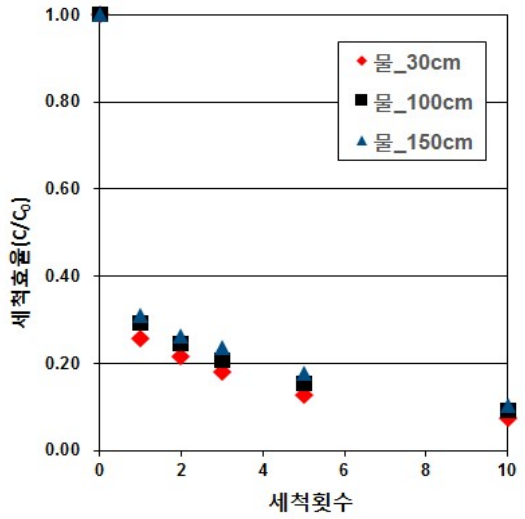


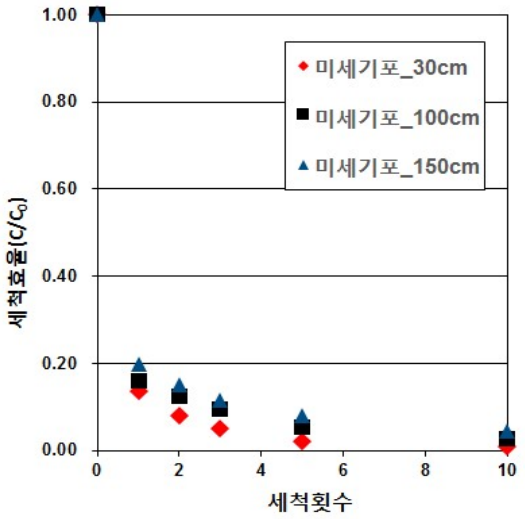


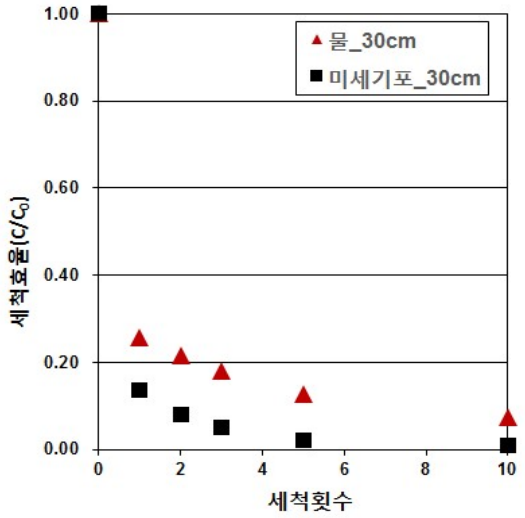


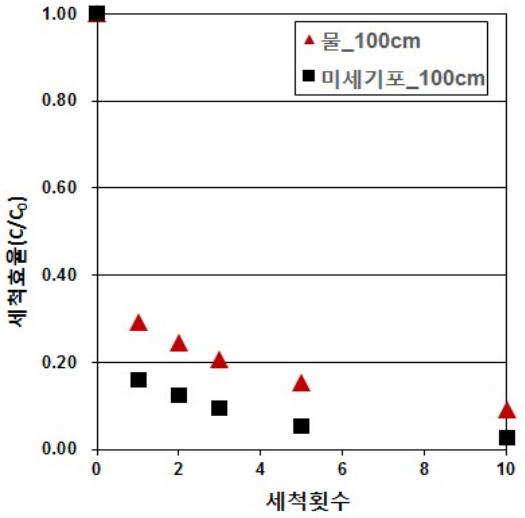


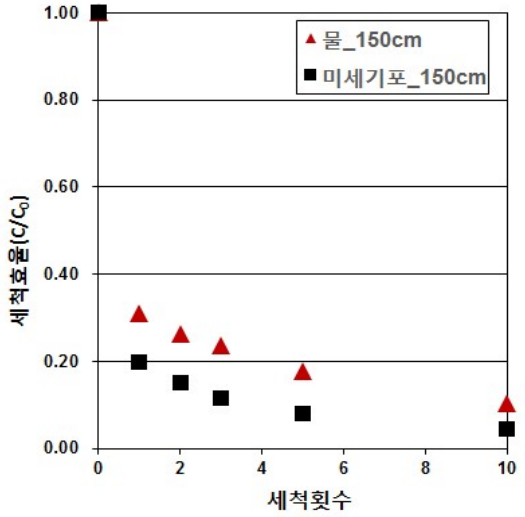
<세척횟수별 콘크리트 시편에 흡수된 염분의 세척효율>



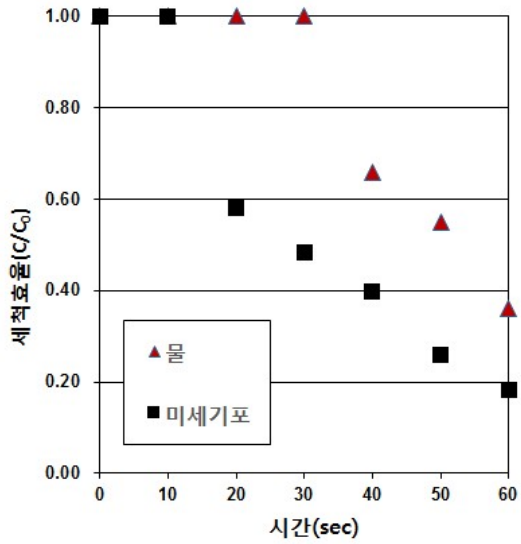






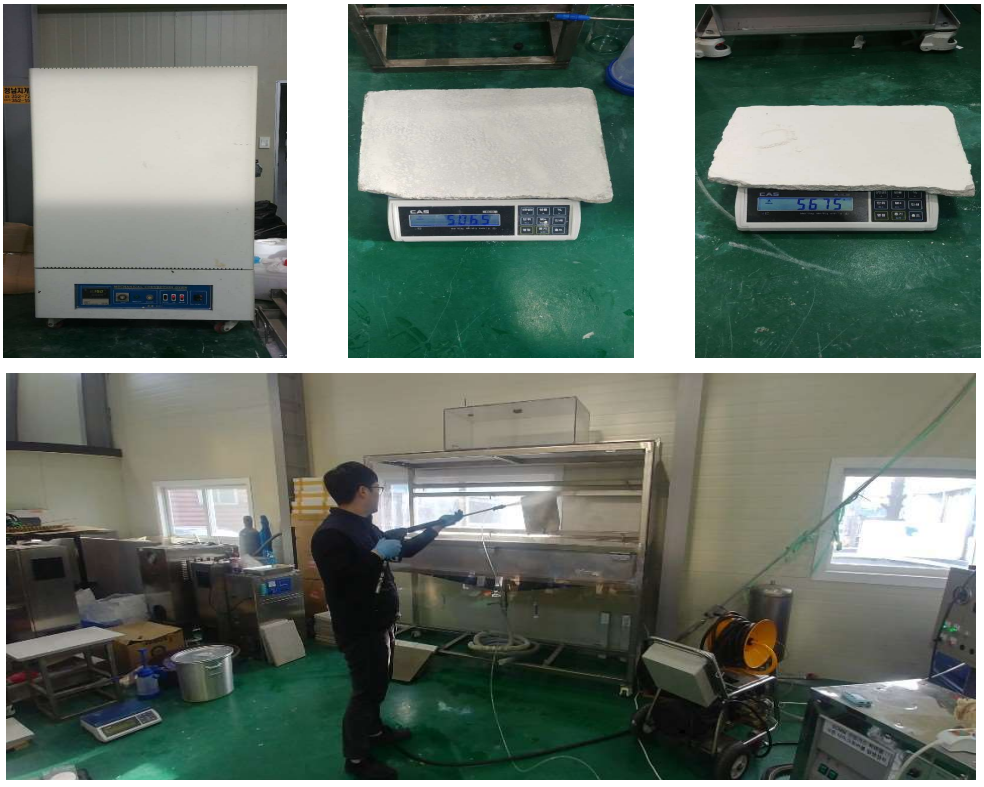


<콘크리트 시편에 흡수된 고농도의 염분 세척효율>



(라) 도로시설물 콘크리트에 대한 미세입자의 미세기포 세척장비의 성능평가

❍ 도로시설물 콘크리트에 대한 미세먼지를 평가하기 위해 제작된 콘크리트 시편에 미세입자를 도포한 뒤 미세기포 세척장비를 이용하여 세척한 후 150℃ 오븐에서 2시간 건조시켜 시편의 무게차를 이용하여 미세입자의 세척효율을 평가하였다.



<콘크리트에 도포된 미세입자의 세척효율 평가과정>

❍ 콘크리트에 도포된 미세입자의 세척효율 성능평가 결과, 물로 세척할 경우 세척 거리 100, 150㎝의 경우 각각 79.63%, 73.33% 의 세척효율을 보였다. 반면에 미세기포로 세척할 경우 약 83%의 세척효율을 나타내어 물보다는 미세기포로 세척할 경우 세척효율이 더 우수한 것을 확인할 수 있었다.

<콘크리트 시편에 도포된 미세입자의 세척효율>

시편종류	세척 방법	세척 거리 (㎝)	시편 무게 (g)	미세입자 도포 후 무게 (g)	세척 후 무게 (g)	세척 효율 (%)
콘크리트 1차	물	100	6,947	6,966	6,951	78.95
		150	5,043	5,076	5,052	72.73
	미세기포	100	6,947	6,962	6,949	86.67
		150	5,043	5,148	5,059	84.76
콘크리트 2차	물	100	7,148	7,256	7,170	79.63
		150	6,943	7,123	6,991	73.33
	미세기포	100	7,380	7,411	7,385	83.37
		150	6,957	6,975	6,960	83.33

※평가조건: 압력 50bar, 세척 거리 100㎝, 건조 온도 150℃, 건조 시간 2시간

(마) 도로시설물 타일에 대한 염분의 미세기포 세척장비의 성능평가

❍ 타일 시편 제작 후 콘크리트 시편과 동일한 방법으로 염화칼슘을 이용하여 타일에 염분을 흡수시킨 후 E130 기기를 사용하여 염분 농도를 측정하였다.

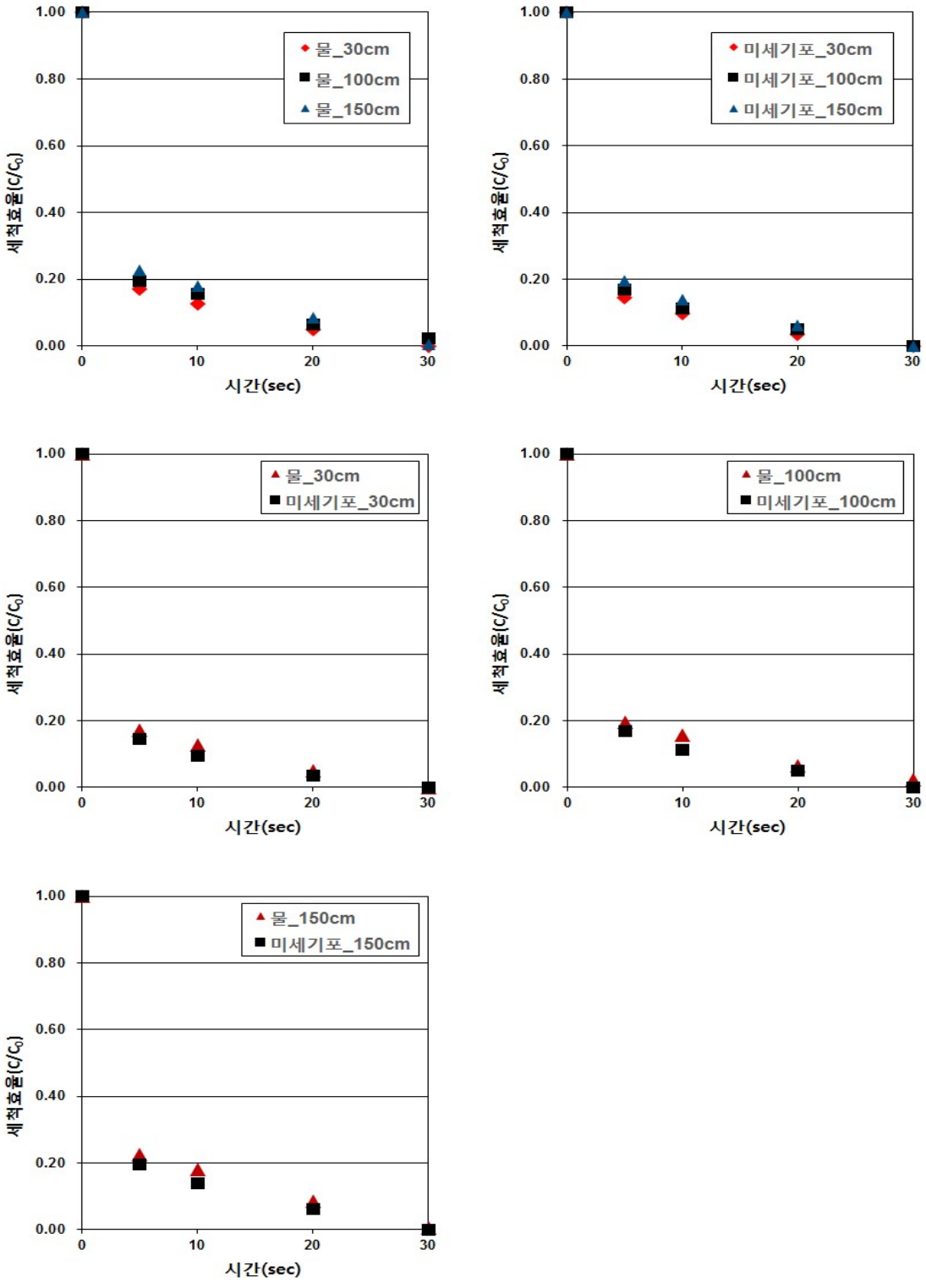


<타일에 흡수된 염분의 세척효율 평가과정>

❍ 세척압력을 50bar로 고정한 뒤 세척거리(30, 100, 150㎝) 별로 염분 세척효율을 평가하였다. 평가 결과, 타일 시편은 콘크리트 시편에 비해 염분 세척효율이 높은 것으

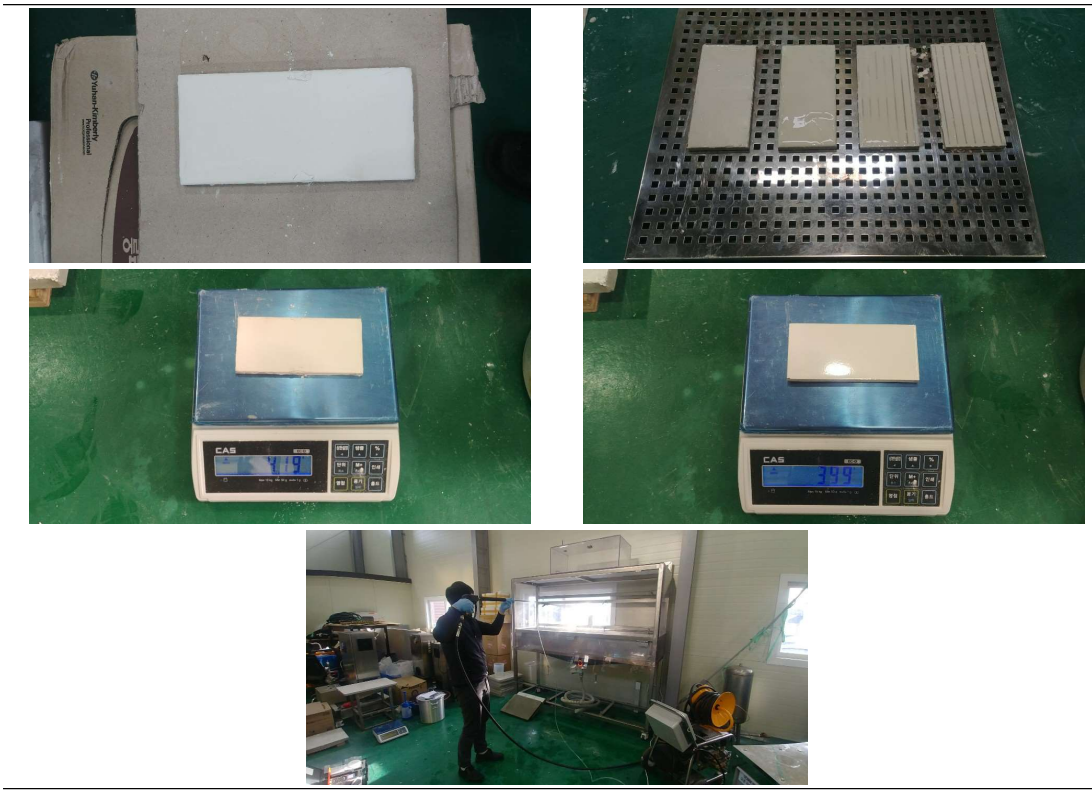
로 확인되었다. 미세기포를 이용하여 처리할 경우 30초 후 염분이 모두 제거되었고, 물을 이용하여 처리한 경우에는 5% 이내의 염분이 잔류하는 것을 관측할 수 있었다.

<거리별 타일 시편에 흡수된 염분의 세척효율>



(사) 도로시설물 타일에 대한 미세먼지의 미세기포 세척장비의 성능평가

❍ 도로시설물 타일에 대한 미세먼지를 평가하기 위해 제작된 타일 시편에 미세입자를 도포한 뒤 세척장비를 이용하여 세척한 후 150℃ 오븐에서 2시간 건조시켜 시편의 무게차를 이용하여 미세입자의 세척효율을 평가하였다.



<타일에 도포된 미세입자의 세척효율 평가과정>

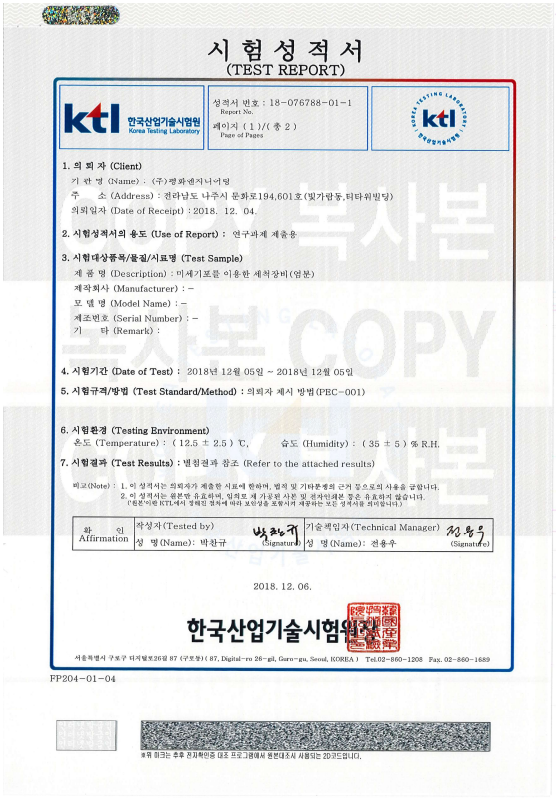
❍ 타일 시편에 도포된 미세입자의 제거효율 성능평가 결과, 콘크리트 시편에 비해 타일 시편에 도포된 미세입자의 세척효율이 높았으며, 물보다는 미세기포로 세척한 경우 약 5~7% 정도 세척효율이 높게 평가되었다.

<타일 시편에 도포된 미세입자의 세척효율>

시편종류	세척방법	세척거리 (㎝)	시편 무게 (g)	미세입자 도포 후 무게(g)	세척 후 무게 (g)	처리효율 (%)
타일 1차	물	100	395	428	401	81.82
		150	390	423	397	78.79
	미세기포	100	400	439	405	87.18
		150	396	425	400	86.21
타일 2차	물	100	396	438	403	83.33
		150	397	436	405	79.49
	미세기포	100	405	429	408	87.50
		150	395	431	400	86.11

※평가조건: 압력 50bar, 세척 거리 100㎝, 건조 온도 150℃, 건조 시간 2시간

<세척효율 공인인증 시험성적서>



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 18-076788-01-1 Report No.
페이지 (1)/(총 2) Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : (주)평화엔지니어링
주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,601호(빛가람동,티타워빌딩)
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2018. 12. 04.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 연구과제 제출용

3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 미세기포를 이용한 세척장비(염분)
제작회사 (Manufacturer) : -
모 델 명 (Model Name) : -
제조번호 (Serial Number) : -
기 타 (Remark) :

4. 시험기간 (Date of Test) : 2018년 12월 05일 ~ 2018년 12월 05일

5. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 의뢰자 제시 방법(PEC-001)

6. 시험환경 (Testing Environment)
온도 (Temperature) : (12.5 ± 2.5) ℃, 습도 (Humidity) : (35 ± 5) % R.H.

7. 시험결과 (Test Results) : 별첨결과 참조 (Refer to the attached results)

비고(Note) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 법적 및 기타분쟁의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 임의로 재 가공된 사본 및 전자인쇄본 등은 유효하지 않습니다.
(원본이후 KTL에서 정해진 절차에 따라 보안상을 포함시켜 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)

확 인 Affirmation	작성자(Tested by)	기술책임자(Technical Manager)
	성 명(Name): 박찬규 (Signature)	성 명(Name): 전용우 (Signature)

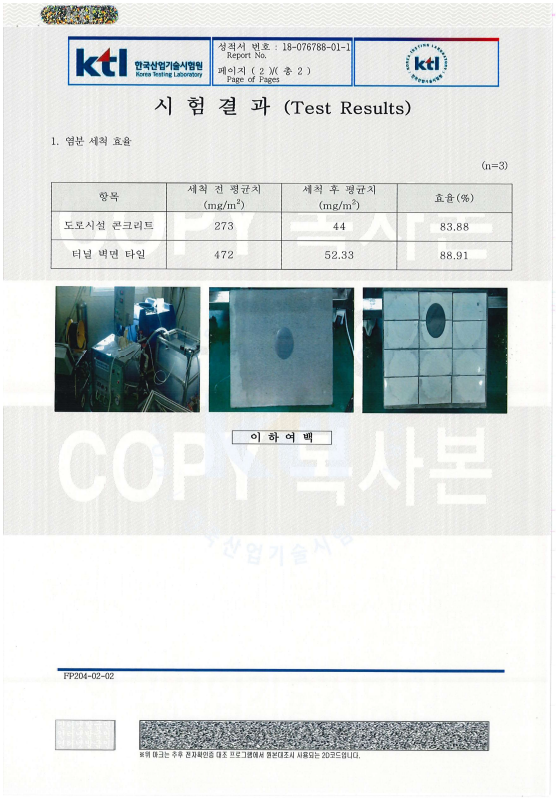
2018. 12. 06.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동) (87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, KOREA) Tel.02-860-1208 Fax. 02-860-1689

FP204-01-04

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.



ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 18-076788-01-1 Report No.
페이지 (2)/(총 2) Page of Pages

시 험 결 과 (Test Results)

1. 염분 세척 효율

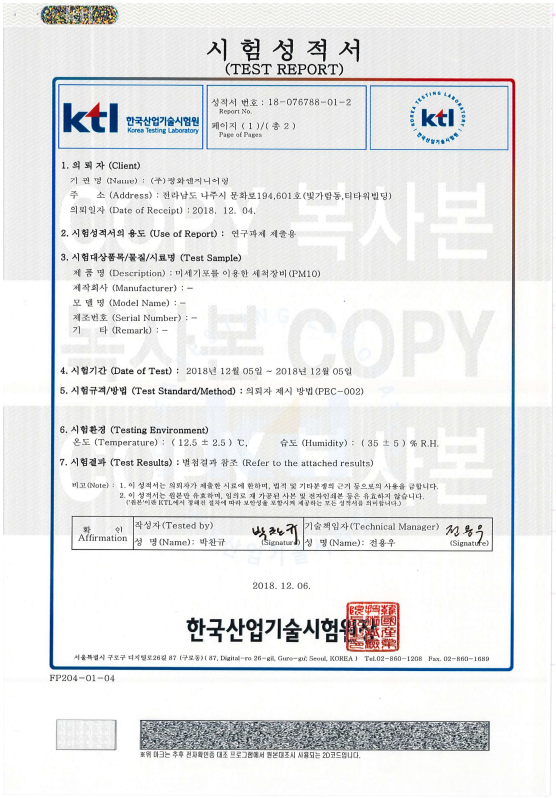
(n=3)

항목	세척 전 평균치 (mg/m^2)	세척 후 평균치 (mg/m^2)	효율(%)
도로시설 콘크리트	273	44	83.88
터널 벽면 타일	472	52.33	88.91

이 하 여 백

FP204-02-02

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 18-076788-01-2 Report No.
페이지 (1)/(총 2) Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : (주)평화엔지니어링
주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,601호(빛가람동,티타워빌딩)
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2018. 12. 04.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 연구과제 제출용

3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 미세기포를 이용한 세척장비(PM10)
제작회사 (Manufacturer) : -
모 델 명 (Model Name) : -
제조번호 (Serial Number) : -
기 타 (Remark) : -

4. 시험기간 (Date of Test) : 2018년 12월 05일 ~ 2018년 12월 05일

5. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 의뢰자 제시 방법(PEC-002)

6. 시험환경 (Testing Environment)
온도 (Temperature) : (12.5 ± 2.5) ℃, 습도 (Humidity) : (35 ± 5) % R.H.

7. 시험결과 (Test Results) : 별첨결과 참조 (Refer to the attached results)

비고(Note) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 법적 및 기타분쟁의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 임의로 재 가공된 사본 및 전자인쇄본 등은 유효하지 않습니다.
(원본이후 KTL에서 정해진 절차에 따라 보안상을 포함시켜 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)

확 인 Affirmation	작성자(Tested by)	기술책임자(Technical Manager)
	성 명(Name): 박찬규 (Signature)	성 명(Name): 전용우 (Signature)

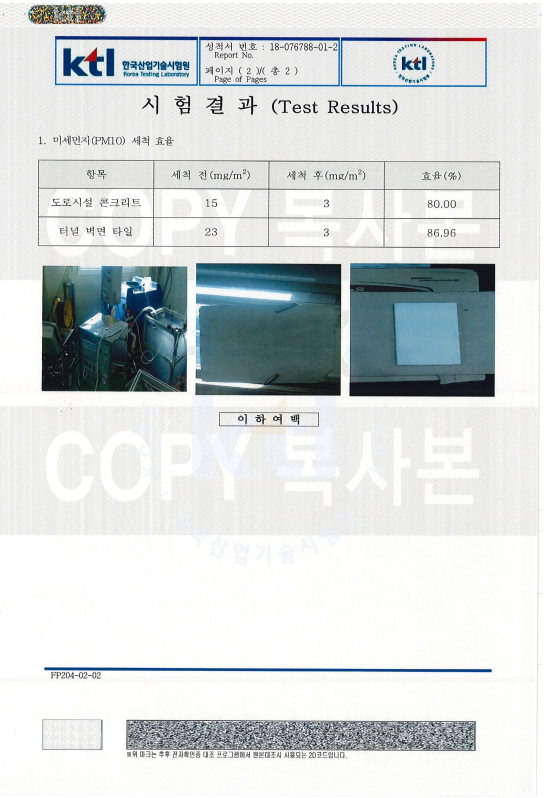
2018. 12. 06.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동) (87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, KOREA) Tel.02-860-1208 Fax. 02-860-1689

FP204-01-04

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.



ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 18-076788-01-2 Report No.
페이지 (2)/(총 2) Page of Pages

시 험 결 과 (Test Results)

1. 미세먼지(PM10) 세척 효율

항목	세척 전 (mg/m^2)	세척 후 (mg/m^2)	효율(%)
도로시설 콘크리트	15	3	80.00
터널 벽면 타일	23	3	86.96

이 하 여 백

FP204-02-02

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

라. 4HP급 80L/min 규모의 미세기포 발생장치 개발 및 평가

(1) 미세기포를 이용한 도로구조물 세척 상용화 사례 분석

❍ 서일본 고속도로 주식회사는 설빙 대책 작업 요령은 15g/㎡로 동결 방지제를 살포하는 것으로 되고 있다. 겨울의 약 120일 동안 거의 매일 살포됨으로써 8,000t 이상의 살포량이 염분이 축적되고 있다고 보고하였다. 고속도로에서 겨울 동안 노면의 동결을 방지하기 위해 염화나트륨을 살포하고 있다. 하지만 염분이 구조물의 표면에 남아 버리면 사용하는 강재의 부식과 노후화의 원인이 되기 때문에 노면이 동결 할 시기가 지난 초봄에 우리나라와 같이 잔류 염분을 제거하고 있다.

❍ 일본의 서일본 고속도로 주식회사는 초(미)세기포 발생장치를 개발하여 미세기포의 "계면 활성 작용"이라고 얼룩을 부상 · 분리하거나 점성을 완화 물건을 혼합 등의 성질을 가지고 있다는 연구를 수행하여 2016년에 미세기포 세척장비를 상용화하였다. 도로 구조물에 부착되어 있능 오염물질은 일반적인 수돗물을 사용하여 고압 세척을 걸어도 염분이 쉽게 제거할 수 없다는 것을 확인하고 수돗물 대신 초(미세)기포를 적용해 효과적으로 염분을 제거하는 데 성공하였다.



❼ウルトラファインバブルによる高速道路の橋脚外壁の洗浄（写真提供：NEXCO西日本）

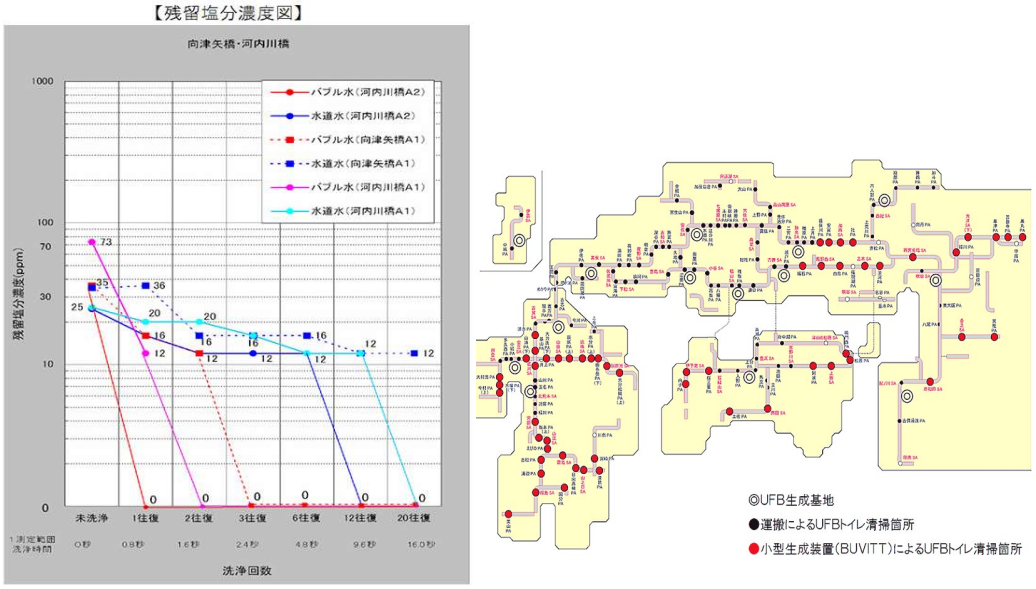
<교각 측부 시멘트 미세기포 세척>


橋梁端部(橋桁部)の洗浄　　橋梁端部(橋台部)の洗浄

<교각 측부 철근 및 하부 시멘트 미세기포 세척>



<재설차량 미세기포 세척>



<초(미세)기포 세척장비 중장기 테스트 완료 및 전국도로 보급화 진행중(일본)>

(2) 개선된 4HP(3kwh)급 이하 80LPM 이상 규모의 미세기포(세척장비) 발생노즐 유동해석

❍ 기존의 1차년도 미세기포 노즐은 복잡한 구조로 인해 제작 및 조립이 쉽지 않고 이물질 등에 의해 쉽게 폐색이 발생할 수 있는 등 청수조건에서만 사용 가능한 한계점을 가지고 있는바, 이에 대한 구조적 개선을 통해 활용성 증대 및 한계점을 개선하고자 한다.

❍ 특히, 기존의 노즐이 ABS재질의 내부구조체로 구성되어 있어, 오존산화공정에 적용시 경화가 쉽게 발생하고 해수 등 고염도의 폐수에서는 적용에 한계가 있어 이를 금속재질로 변경한 후 내부구조에 대한 설계 변경 시 유속, 압력변화 등에 대한 검토를 진행한다.



<기존 노즐의 내부 유동 변화>

❍ 버블생성을 위해 제작된 마이크로버블용 노즐을 대상으로 내부구조만을 변경한 후 운전조건에 따른 압력(P), 유속(V), 온도(T)의 변화를 살펴보고자 한다. 우선, 입구압력을 5.5bar, 유량을 10L/min로 고정한 상태에서 개선 노즐의 구조에 따른 내부의 압력, 유속, 온도 등과 선회부에서의 회전 정도를 살펴본 후 적정 구조를 선정한다.

❍ 선정된 구조를 대상으로 운전압력에 따른 내부압력의 변화와 적정 토출압력 유지를 위한 출구직경의 검토를 실시한 후, 이를 대상으로 유입·유량 변화에 따른 유속의 변화와 노즐 통과에 따른 유체온도의 변화에 대한 검토를 실시하여 적정 운전조건에 대한 검토를 실시한다.

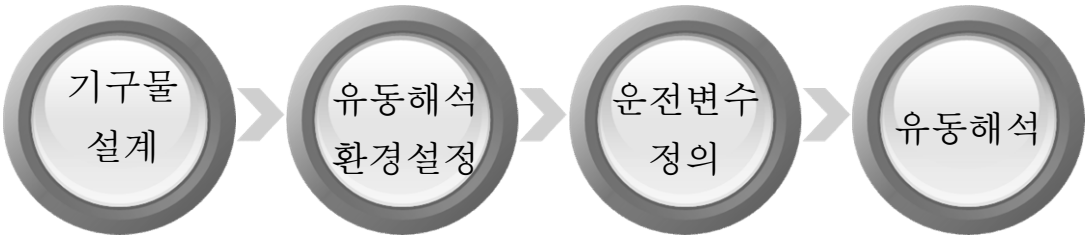


<기존 노즐의 내부 유동 변화>



<금회 검토대상 노즐의 선회류부 형태>

❍ 유동해석 Flow은 그림 71과 같고 이와 관련된 유동해석은 아래와 같다.



<유동해석 Flow>

❍ 기존 노즐과 제작편의성 감안 신규노즐(중간 홀 有, 無)의 구조 비교 및 구조형태 비교

❍ 신규노즐의 최적구조선정을 위한 유동해석 조건(유량 및 압력 등 고정상태에서 노즐 구조별 유동해석) 신규노즐(2가지)과 기존 노즐의 유동해석 비교 신규노즐간 비교

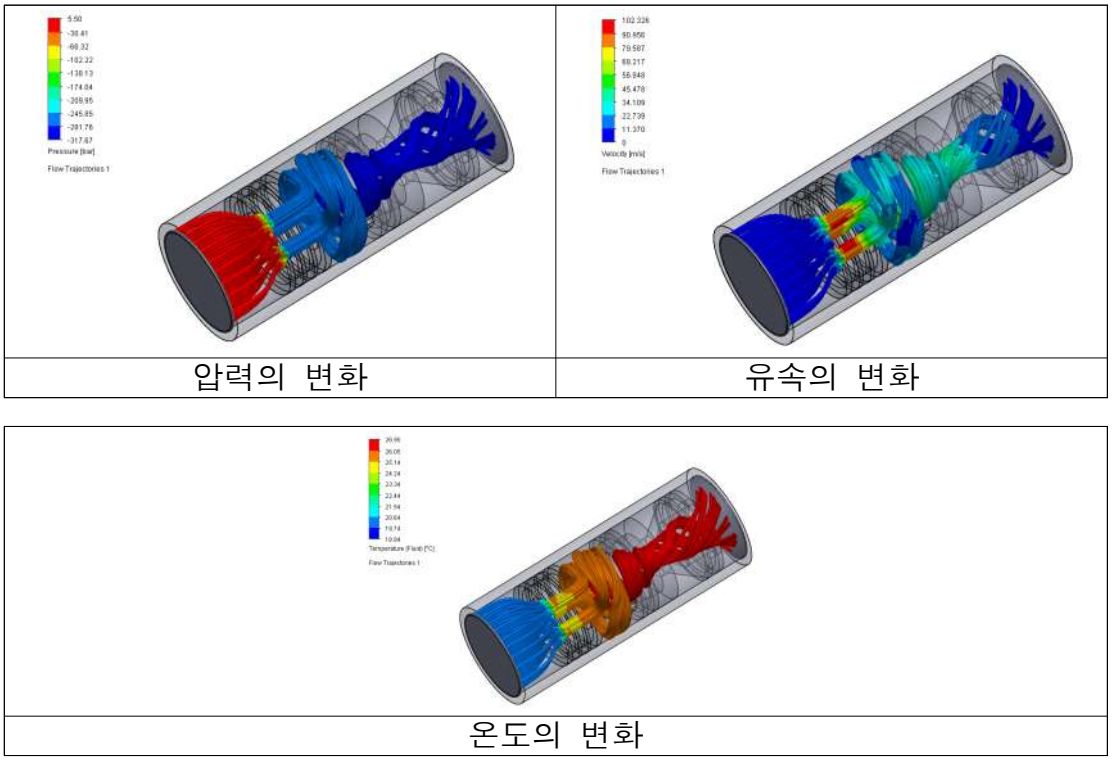
❍ 최적 노즐을 대상으로 한 유동해석 신규노즐 토출 홀 사이즈에 따른 압력 등 변화입구 유량에 따른 내부 유속의 변화

❍ 선정된 구조를 대상으로 운전압력에 따른 내부압력의 변화와 적정 토출압력 유지를 위한 출구직경의 검토를 실시한 후, 이를 대상으로 유입유량변화에 따른 유속의 변화와 노즐 통과에 따른 유체온도의 변화에 대한 검토를 실시하여 적정 운전조건에 대한 검토를 실시하였다.

❍ Swirl 노즐은 유체공급용 기액펌프에서 Air가 공급되면 노즐내부에서 강력한 회전력에 의한 충돌과 혼합에 의한 Air가 용해되며, 이후 토출부에서 압력강하에 따라 용존된 공기가 미세화되어 마이크로버블을 형성하는 원리를 가지고 있다.

❍ 제작 및 조립의 편리성을 확보하기 위해 노즐 내부 Swirl 회전부를 구조 변경함에 있어 4.5bar, 10L/min의 조건에서 운전시 기존 노즐의 내부 유동 변화를 우선 살펴보고자 하였음. 제작 및 조립의 편리성을 확보하기 위해 노즐 내부 Swirl 회전부를 구조 변경함에 있어 5.5bar, 10L/min의 조건에서 운전시 기존 노즐의 내부 유동 변화를 우선 살펴보고자 하였다.

❍ 유동해석을 실시한 결과, 내부압력의 경우 아래의 그림과 같이 입구에서만 크게 압력이 증가하고 이후 선회류 발생부, 토출부 등에서는 음압이 발생하는 것으로 나타남, 또한, 유속의 경우에는 3개의 유입홀 통과부분과 선회류 부분에서 유속이 빠른 것으로 나타났으며, 온도의 경우에는 빠른 선회류에 의한 충돌 등으로 인해 말단으로 갈수록 수온이 점차 상승하는 것으로 나타났다.



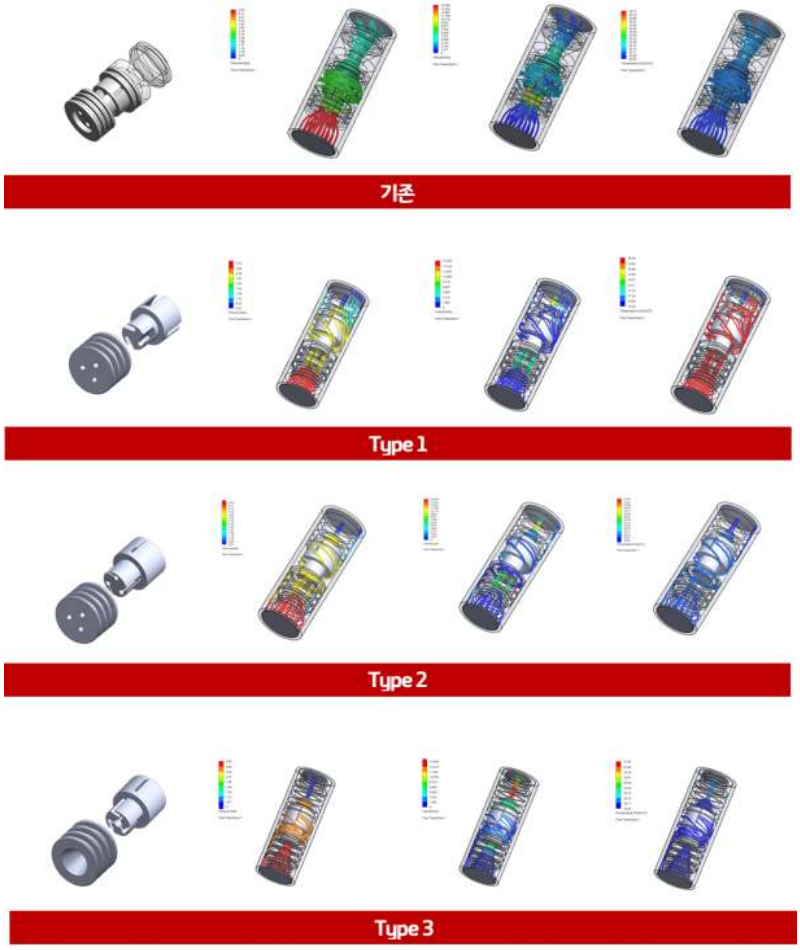
압력의 변화	유속의 변화

온도의 변화

<기존 노즐의 내부 유동 변화>

❍ Swirl노즐의 구조개선은 동일몸체로 되어 있어 제작이 어려운 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스핀홀을 가진 노즐을 대상으로 진행되었으며, 기존과 동일하게 3개의 입구홀을 갖는 구조와 1개의 입구홀을 갖는 경우 등 총 3가지 형태에 대한 검토를 진행하였다.

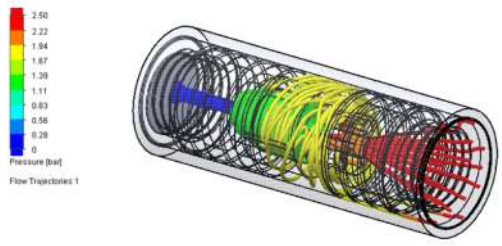
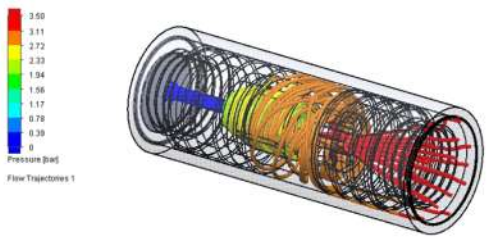
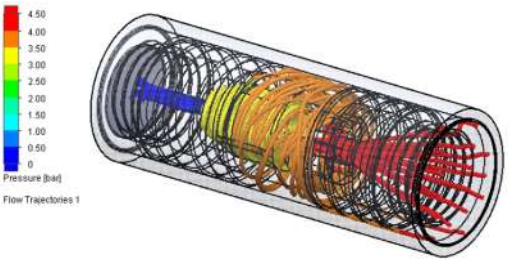
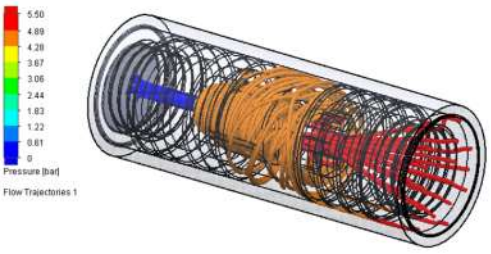
❍ 구조개선 후의 노즐 내부 유동변화는 5.5bar의 압력과 10L/min의 유량조건으로 설정한 후 각 노즐의 형태에 따른 유동변화(압력변화)를 살펴보고자 하였다. 검토결과, 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스핀홀을 갖춘 Type1과 Type2보다 1개의 입구홀을 가진 Type3의 경우에는 선회부의 회전이 보다 활발한 것으로 나타나 이를 대상으로 유량 및 압력의 변화에 따른 개선 검토를 진행하였다.



<선회류 발생부 형태에 따른 노즐 내 압력의 변화>

❍ 입구 압력을 2.5, 3.5, 4.5, 5.5bar로 하고, 토출유량은 10L/mim로 고정하여 설정한 상태에서 유동해석을 실시한 결과, 아래의 그림과 같이 입구의 압력이 증가될수록 노즐내 압력의 분포가 달라지는 것으로 나타났으며, 2.5bar로 운전한 경우에는 노즐 중간부를 거치면서 손실이 발생하여 선회류 2단 슬릿부에서는 1bar정도의 압력을 유지하는 것으로 나타났다.

❍ 입구압력을 3.5bar, 4.5bar, 5.5bar로 증가시킴에 따라 노즐내에서의 압력손실이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 검토된 모든 경우에서 출구의 압력은 1bar이하로 나타나 토출압력을 1bar이상으로 유지하기 위해서는 입구압력을 증가시켜야 하는 것으로 확인되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>2.5bar</td><td>3.5bar</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>4.5bar</td><td>5.5bar</td></tr>
</table>

<선회류 발생부 형태에 따른 노즐 내 압력의 변화>

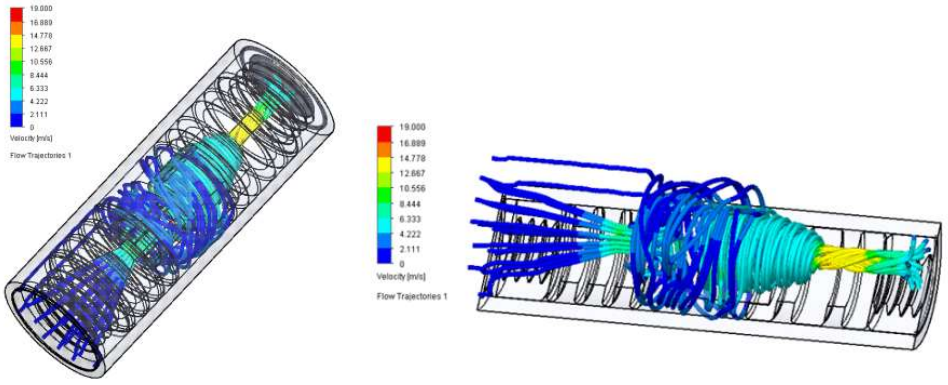
❍ Swirl노즐의 구조개선은 동일몸체로 되어 있어 제작이 어려운 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스핀홀을 가진 노즐을 대상으로 진행되었으며, 기존과 동일하게 3개의 입구홀을 갖는 구조와 1개의 입구홀을 갖는 경우 등 총 3가지 형태에 대한 검토를 진행하였다.

❍ 또한, 출구압력을 1bar로 유지하고자 할 때 필요한 유입부의 압력을 산정한 결과, 아래의 그림과 같이 현재의 구조에서는 9bar정도가 필요한 것으로 나타나 과도한 압력손실을 줄이고 적정 유량을 확보하기 위해서는 토출부 직경을 증대시킬 필요가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라, 토출부의 직경을 4㎜로 확대한 후 출구압력을 1bar로 유지하고자 할 때 필요한 유입압력을 재검토한 결과, 4bar정도의 압력이 적절한 것으로 나타났다.

❍ 앞선 검토결과를 토대로 토출직경을 4㎜, 입구압력을 4.0bar로 하고, 토출유량은 10 L/mim로하여 내부유속의 변화를 살펴보면 아래 그림과 같다. 내부에서 최고의 유속은 2단 선회류 슬릿홀을 통과한 토출부에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이때의 유속은 19m/sec정도로 나타났다. 선회부에서의 유속은 5m/sec정도로 나타났으며, 입구에서의 유속은 2m/sec이하인 것으로 나타났다.

❍ 앞선 검토결과를 토대로 토출직경을 4㎜, 입구압력을 4.0bar로 하고, 토출유량은 10 L/min으로하여 내부온도의 변화를 살펴보면 다음과 같음. 설정된 운전조건에서 노즐을 통과하면서 마찰과 충돌 등으로 인해 유체의 온도는 0.1℃정도 상승하는 것으로 나타났다.

❍ 이와 같은 온도의 상승은 수조에서 버블발생장치를 지속적으로 순환시킬 경우에는 시간경과에 따라 수온이 상승할 수 있음을 의미하며, 수온상승시 버블의 발생에 영향을 미칠 수 있으므로 버블발생상태 등을 함께 측정하면서 적정 순환량의 결정 등이 필요할 것으로 사료된다.



<토출직경 4㎜ 입구압력 4.0bar, 유량 10L/min 유지 시 유속변화>

(3) 개선된 4HP(3kwh)급 이하 80LPM 이상 규모의 미세기포(세척장비) 설계 및 제작

❍ 1.5Hp급 30LPM 미세기포 발생장치는 마이크로버블 중심으로 설계 및 제작되니 세척효율이 떨어져 1차년도 세부 단위장치를 개선하기 위해 다단충돌판 구조를 슬릿형 구조에서 상하-좌우 다단 충돌판인 직진형으로 설계 및 제작되어 압축팽장 및 버블밀도를 증가시켰다. 또한 미세기포 노즐은 3단 Vortex 노즐에서 12단 Vortex 노즐로 증가시켜 기포 발생량을 증가시켰다.

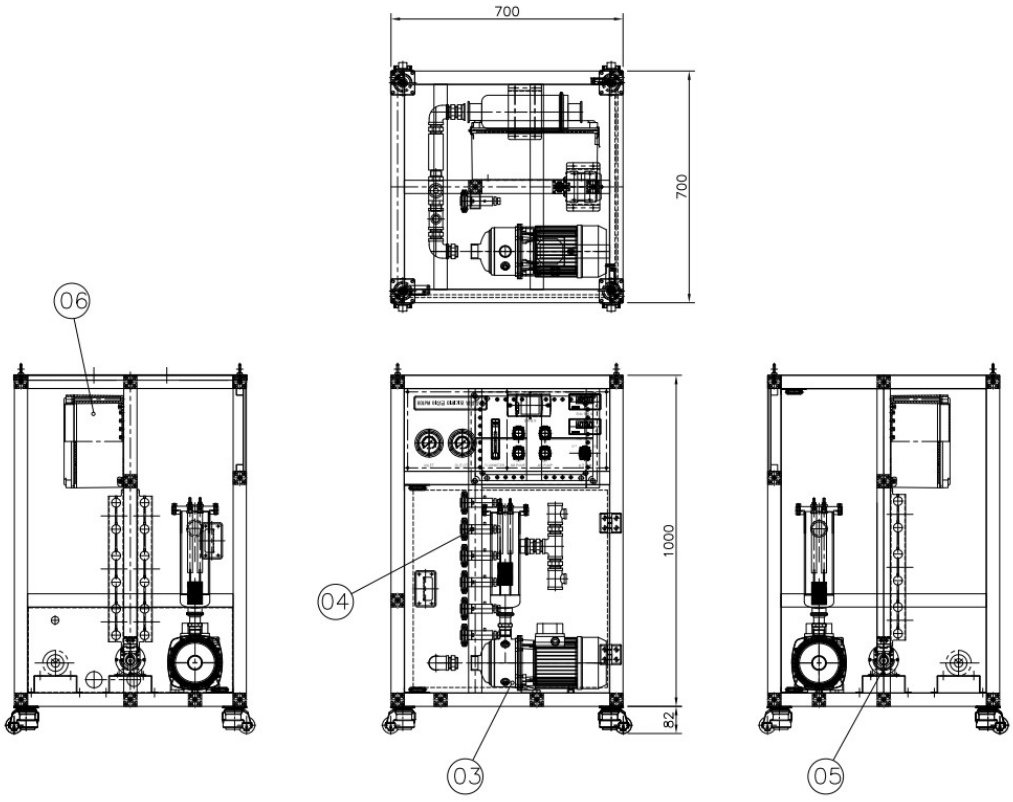
<미세기포 개선한 4HP급 이하 80L/min 미세기포 발생장치>

No	1차년도 (1.5Hp 30LPM)	2차년도	변경 개선
1	마이크로버블 중심 (~20㎛)	나노버블 중심 (100~200㎚)	세척효율은 나노버블 더 효과적
2	3단 다단 충돌판 (슬릿형)	상하-좌우 다단 충돌판 (직진형)	압축팽창 및 버블밀도 증가
3	3단 Vortex 노즐	12단 Vortex 노즐	기포 발생량 증가

❍ 4HP급 이하 80L/min 미세기포 발생장치는 기본적으로 1차년도 생성방식과 동일하나 용량이 확대되고 기포크기를 좀더 나노크기로 만들기 위해 노즐 개수를 증가시켜 원하는 용량을 만족하도록 하였다. 아래 그림에 4HP급 이하 80L/min 미세기포 발생장치의 설계도로 중심축에 12개 노즐이 상하로 좌우로 각각 6개씩 설치되도록 설계되고 최종적으로 한곳에서 모아서 토출되도록 설계되었다.

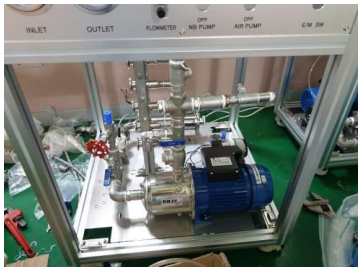
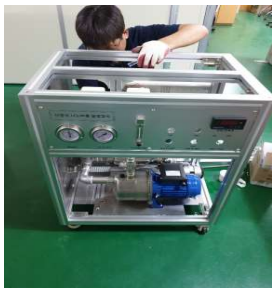
❍ 특히 일본 기술보다 성능 우위를 위해서 버블 생성속도가 매우 느리게 하는 내부순환하는 방식에서 탈피하여 인라인 토출 방식으로 만들기 위해 노즐을 병렬식으로 배치 후 한곳에서 모이기를 함으로써 버블의 밀도와 개수를 증가시키는 원리를 채택하였다.

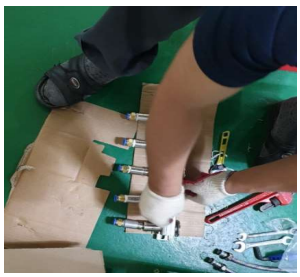
❍ 만들어진 4HP 이하 80L/min 이상급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 P&ID 중 ③ 미세기포(나노버블수) 구동장치, ④ 미세기포 충돌판과 노즐, ⑤ 에어펌프, ⑥ 제어반를 포함한 핵심 나노버블(미세기포) 세착장치는 아래 그림에 제시되었다.



<4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포(나노버블) 발생장치 도면>

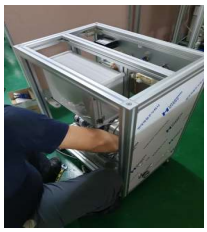
❍ 아래 그림의 세척장비에 장착된 전력량계와 유량계를 포함한 전체 시스템 구성도 중 미세기포(나노버블수) 생성(발생)장치이다. 이 미세기포 발생장치는 고압세척분사기(⑧ 엔진형 세척기)의 오른쪽에 위치하고 있다. 80L/min 이상급 미세기포 세척장치를 차량에 탑재하기 위한 내장형 케이스를 설계하여 설치하였다.







<세척장비 장착된 전력량계 및 유량계>



<4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포(나노버블) 발생장치>

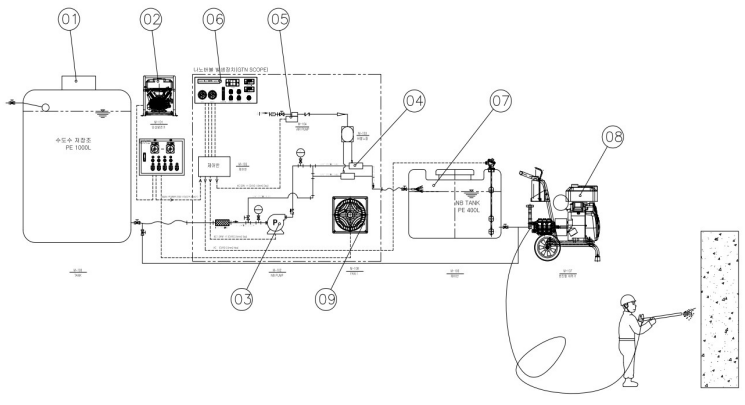
❍ 아래 표는 3HP급 80L/min 규모의 미세기포(세척장비)의 사양과 규격이며 1차 믹서 교반장치(80L/min×4bar, 1.2kw, SUS 304), 2차 Vortex 다단충돌판(직선형 상하 충돌판 슬릿 구조, SUS 304), 3차 회전충돌 붕괴노즐(2단 스핀홀 선회전단 구조, SUS 304)의 핵심장치의 구조로 구성되었다.

❍ 미세기포 생성을 위한 유체의 유입 압력과 토출압력은 Huadong사(0~10bar(A Type) 압력계를 이용했고 공기유량은 NICELL사(1-10LPM(L/min))를 이용하였다. 장치에 대한 제어반은 380V, 4선식, 수동운전식이며 미세기포의 발생량을 측정하기 위하여 전자식 유량계(0~100LPM(L/min), WP7000사)와 전자식 전력량계(LS 산전 교류 단상2선식/220V/40(10)A)를 설치하였다.

<80LPM급 이상 3HP 이하급 미세기포 세척장비 사양 및 규격>

No	Part	규격
1	1차 믹서 교반장치(임펠러)	80L/min×4bar, 1.2kw, SUS 304
2	2차 Vortex 다단충돌판	직선형 상하 충돌판 슬릿 구조, SUS 304
3	3차 회전충돌 붕괴노즐	2단 스핀홀 선회전단 구조, SUS 304
4	압력계(유입/토출)	0~10bar(A Type), Huadong사
5	Air 유량계	1-10LPM(L/min), NICELL사
6	제어반	380V, 4선식, 수동운전
7	전자식 유량계	0~100LPM(L/min), WP7000사
8	전자식 전력량계	LS 산전 교류 단상2선식/220V/40(10)A

❍ 그림 78은 4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포 세척장치 P&ID 도면으로 크게 8가지 항목으로 구성되었다. 항목은 구성에 대하여 자세하게 살펴보면 ① 원수탱크, ② 단상발전기, ③ 미세기포(나노버블수) 구동장치, ④ 미세기포 충돌판과 노즐, ⑤ 에어펌프, ⑥ 제어반, ⑦ 미세기포(나노버블수) 생산수 탱크와 세척을 위한 ⑧ 엔진형 세척기 시스템으로 구성되었다.

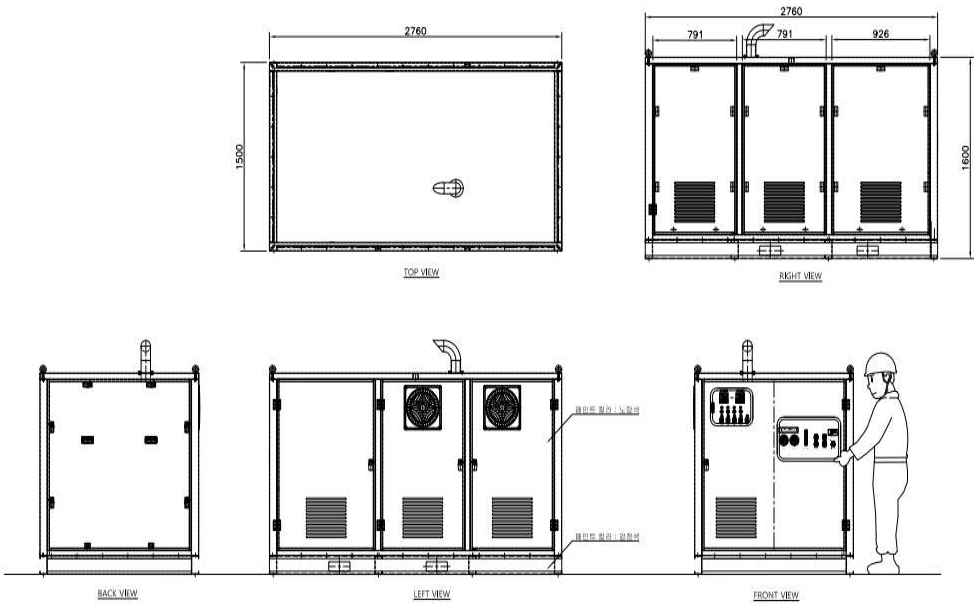


<4HP이하 80L/min 이상급 미세기포 세척장치 P&ID도면>

❍ 그림 78은 4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포 세척장치 P&ID 도면을 토대로 구현한 전체 시스템은 아래 그림과 같다. 4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포 세척장치를 차량에 탑재하기 위한 내장형 케이스를 설계하여 설치하였다.

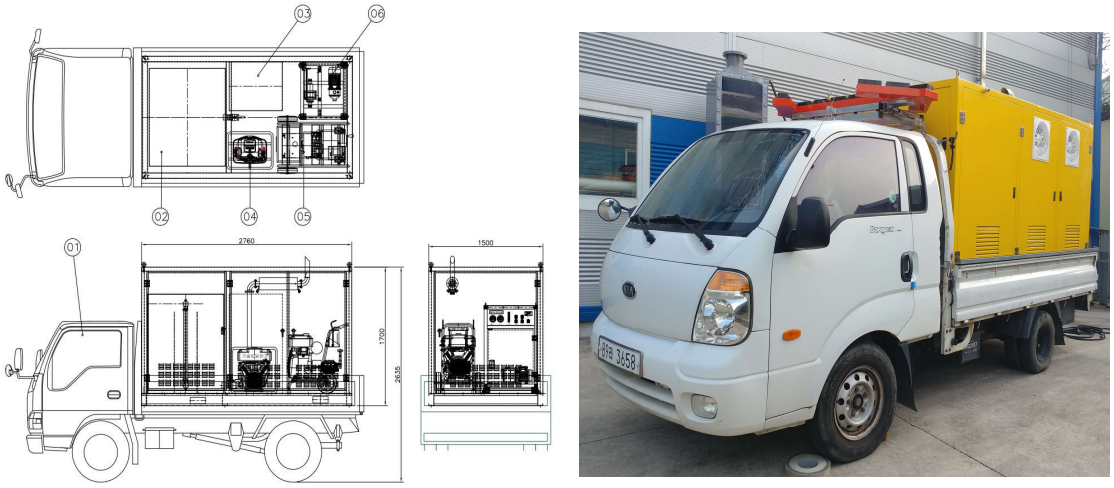


<4HP 이하 80L/min 이상급 미세기포 세척장치>



<차량 탑재형 미세기포 세척장치의 케이스 탑재 도면>

❍ 아래 그림은 차량 탑재형 미세기포 세척장비의 케이스를 탑재하여 운용하기 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장치의 탑재 도면이다. 차량 탑재시스템의 구성은 ① 1톤 화물차 ② 물탱크 ③ 미세기포 저장탱크 ④ 가솔린 발전기 ⑤ 엔진형 세척기 ⑥ 미세기포 발생장치로 구성되었다.

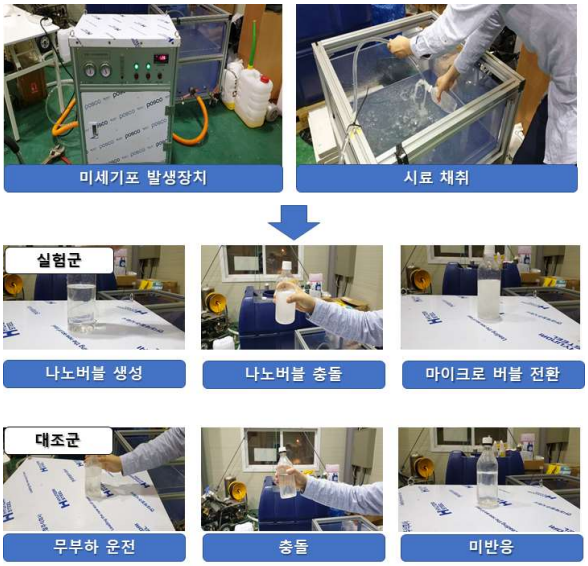


<차량 탑재형 미세기포 세척장치의 도면 및 실물 사진>

(4) 개선된 4HP(3kwh)급 이하 80LPM 이상 규모의 미세기포(세척장비) 성능평가

(가) 나노버블 미세기포 생성확인

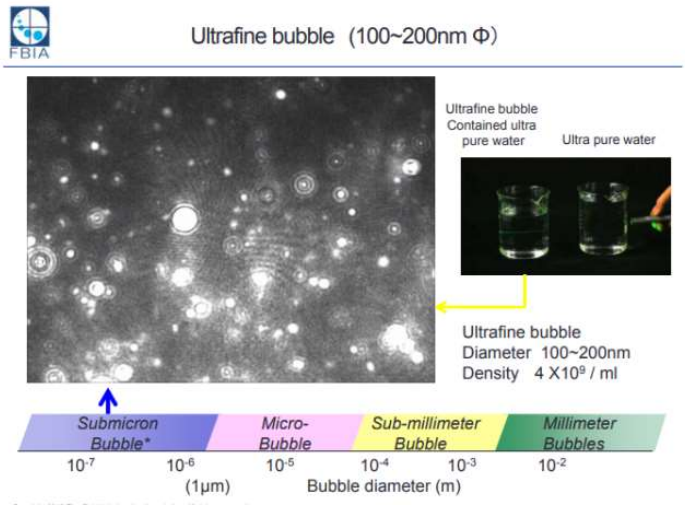
❍ 아래 그림은 4HP급 이하 80L/min 이상 규모의 미세기포(세척장비) 발생장치에 대한 시운전을 수행하였다. 운전압력 4Bar 조건에서 액기비 비율을 95~95% 대 3~4% 조건내에서 운전하였다. 우선 무부하 조건에서 공기량을 주입하지 않고 운전할 경우 아무런 반응이 일어나지 않았다. 하지만 미세기포 장치에 공기를 주입한 결과 흰색의 기포에서 무색의 나노버블이 생성되는 것을 확인하였다.



<미세기포 발생장치의 운전을 통한 미세기포 간접확인>

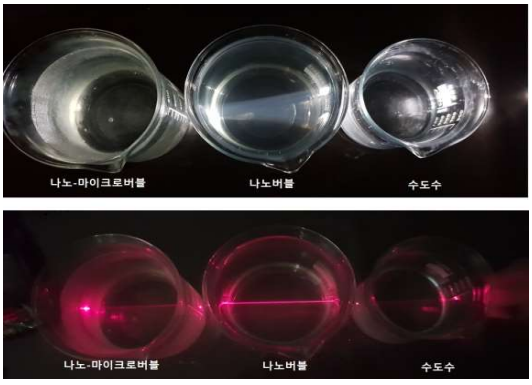
❍ 이 나노버블 미세기포는 매우 안정적으로 물에 용해되어 있다가 충돌을 할 경우 밀크색의 마이크로버블로 전환되는 것을 눈으로 확인하였다. 이런 현상은 브라운 운동을 하는 매우 안정적인 나노버블이 일시적인 충격을 가하여 표면장력을 파괴하면 마이크로 버블 전환되는 것으로 판단된다.

❍ 국제파인버블협회인 FBIA에서 쉽게 초미세기포인 나노버블을 확인하기 위해 아래 그림과 같이 레이저 포인트를 이용하여 비이커 수조에 조사하게 되면 일반 수도수는 아무런 선이 보이지 않지만 나노버블은 레이저 조사시 하나의 일직선이 보이게 된다. 그 이유는 나노기포들이 액체 브라운 운동을 하면서 이동하기 때문에 레이저를 조사시 산란하여 눈으로 확인할 수 있다.



<레이저 포인트를 이용한 산란하는 나노버블 확인 간접측정 방법>

❍ 아래 그림은 대조군과 실험군 샘플을 이용하여 간접적으로 기포에 대한 확인하기 위해 레이저를 이용하였다. 레이저 포인트를 통해 레이저를 조사할 경우 브라운 운동을 하면서 산란된 나노버블이 레이저에 산란으로 눈으로 확인되었지만 수도수는 전혀 산란 되지 않은 것을 확인하였다.



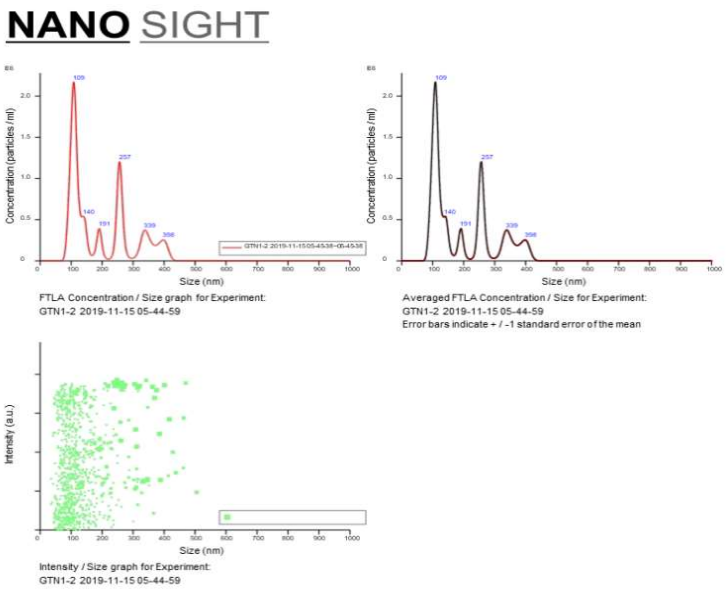
<레이저 포인트를 이용한 나노버블수 간접확인>

❍ 가장 일반적으로 나노기포의 직경을 측정하는 장비는 아래 그림과 같이 NANOSIGHT 이다. NANOSIGHT 방법을 사용하면 액체에서 나노 입자의 브라운 운동을 실시간으로 관찰할 수 있다. 입자의 속도는 직경에 의존하기 때문에, 브라운 운동 패턴을 측정함으로써 직경 및 입자 수의 입자 크기 분포 그래프를 얻을 수 있다.

❍ 아래 그림은 멜번사(영국)의 나노사이트(Nanosight) 장비를 임대하여 미세기포 발생장치로부터 시료를 채취 후 나노버블 직경 및 밀도를 측정하였다. 측정결과 196.6±100.6㎚ (약 0,.2㎛ 이하) 나노직경에 1.36×108개/ml의 농도를 나타났다. 본 미세기포 발생장치는 초기 마이크로버블이 순간적으로 발생하고 추후에 잔류성 나노버블이 발생되는 것을 나노사이트 분석장비를 통해 확인하였다.



<나노사이트(Nanosight)를 이용한 나노버블 직경 측정>



<나노입자측정법을 이용한 나노버블 직경크기 측정 및 결과>

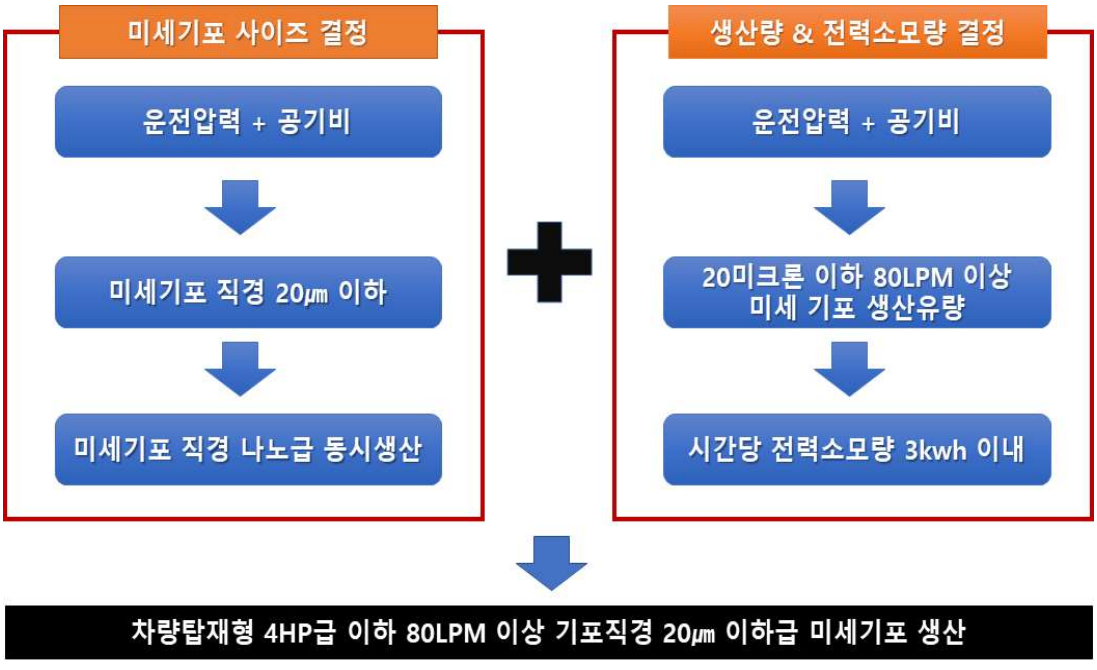
(나) 미세기포 세척장비에 대한 전력소모량 및 토출유량 평가

❍ 차량 탑재형 4HP급(3kwh 이내) 이하 80L/min 이상 규모의 미세기포 발생장치에 대한 소모전력량과 미세기포 발생유량에 대한 성능목표치(아래 표)에 대한 제시하였다. 일본의 제품의 경우 2.6kwh에 60LPM 토출유량을 가지고 있어 일본 제품보다 우수한 성능을 평가하기 위해 검증 및 교정된 전력량계와 유량계를 사용하여 측정하였다.

<세척장비에 토출유량 및 전력소모량 목표치>

항목	성능목표치	측정제원 (검교정된)
토출유량	>80LPM	0~100LPM(L/min), WP7000사
전력소모량	<4HP(3kwh 이내)	LS 산전 교류단상2선식/220V/40(10)A

❍ 도로구조물에 부착되어 있는 염분을 제거하기 위해 개발된 미세기포 세척장비는 아래 그림과 같이 이 다양한 운전조건과 성능 목표치를 만족해야 한다. 크게 미세기포 사이즈와 미세기포 생산량과 전력소모량을 동시에 만족하기는 쉽지가 않다.



<차량탑재형 미세기포 생산을 위한 2가지 핵심목표 달성 개념도>

❍ 미세기포 사이즈는 미세기포 발생장치의 운전압력으로 주로 기체와 액체가 순간적으로 혼합하기에 필요한 전단압력과 적정한 공기비를 공급하여 미세기포 사이즈를 20미크론과 나노급을 동시에 생산해야 한다. 이와 동시에 운전압력과 공기비를 최적화된 조건에서 80LPM 이상급의 토출유량과 시간당 전력소모량을 3kwh 이내를 만족해야 한다.

❍ 즉 미세기포 사이즈와 미세기포 생산량과 전력소모량을 동시에 만족해서 도로구조물에 부착되어 있는 염분제거율을 90% 이상 제거해야 한다. 또한 차량으로 이동하면서 현장에 상기 목표운전값과 성능값을 만족하는 것은 쉽지 않아 보인다.

❍ 차량 탑재된 미세기포 발생장치 전면에 검교정된 전략량계와 유량계를 통해 시간당 운전시 성능목표치에 만족하는 확인하기 위해 총 4시간 연속운전을 수행하였다. 아래 그림은 20분 간격으로 전력량과 유량을 측정하여 성능목표치에 만족하는지 확인하였다.



시 험 결 과 (Test Results)

○ 시험 개요
- 시험 일자 : 2019. 12. 3
- 시험 장소 : ㈜지티엔 연구소(경기도 화성시 장남면 채랑3길 34)
- 시험 항목 : 전력소모량 및 토출유량

○ 시험 방법
- 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험
- 계측기 사양

구분	제품명
전력량계	LD1210DRM - 040LS (LS 산전)
유량계	Promass80F15 (EnDRESS+Hauser)

- 시험조건 및 방법

구분	방법
전력소모량 및 토출유량	- 전력량계 초기 값 : 11.8kwh - 4 bar, 공기비 0.5 LPM 조건에서 미세기포 발생 후, 세척장비 운전 시 발생되는 전력소모량과 토출유량 확인

○ 시험 결과
- 전력소모량

시간	전력소모량(kwh)
20분	12.5
30분	12.8
40분	13.2
60분	13.8
합계	2.0

- 토출유량

시간	토출유량(L/min)
20분	86.4
30분	86.5
40분	86.9
60분	87.1
평균	86.7

FP204-02-02

현장 시험사진

미세기포발생장치 전력량계 유량적산계

20분 30분 40분 60분

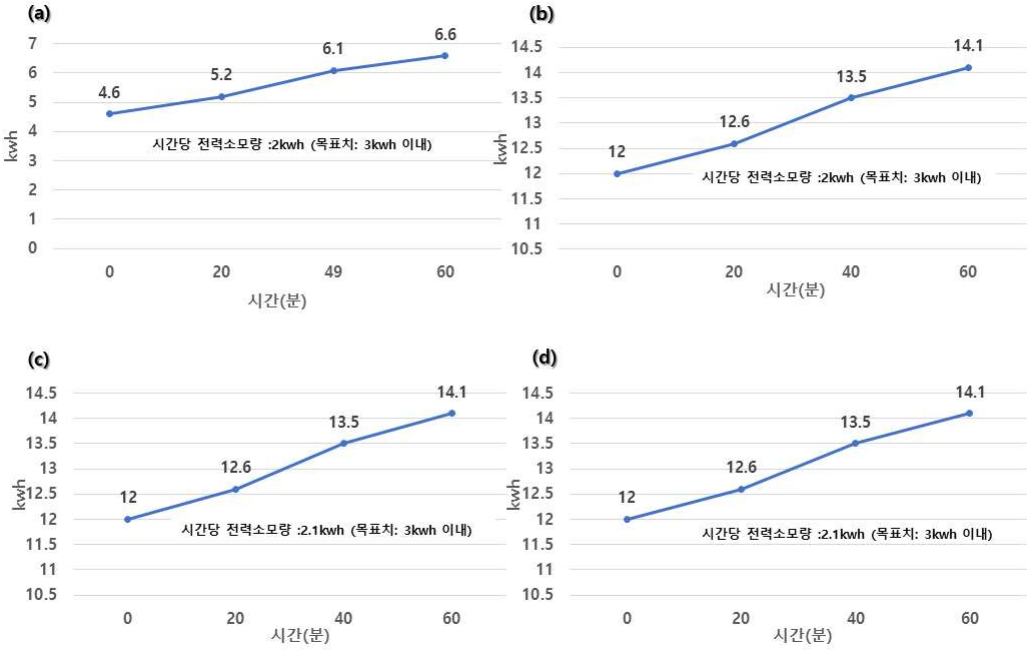
이 상 끝.

FP204-02-02

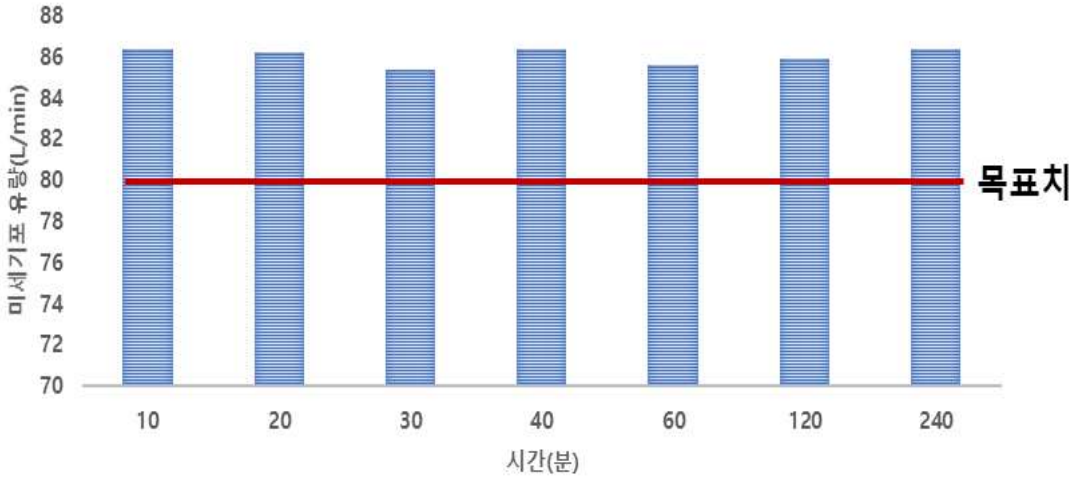
<미세기포 발생장치로부터 소모전력량과 유량적산계 측정>

❍ 아래 그림은 차량탑재형 미세기포 발생장치로부터 시간당 전력소모량을 4시간 연속적으로 운전하였다. 그 결과 목표치 전력소모량 3kwh 이내 모두 만족하였다. 초기 운전 1시간 동안 2kwh, 두 번째 운전 역시 2kwh, 3번째 운전시 2.1kwh 그리고 4번째 운전시에도 2.1kwh으로 운전성능 목표치는 모두 만족하였다.

❍ 아래 그림과 같이 적산 유량계를 이용하여 목표치 80L/min 이상에 대한 미세기포 토출량에 대한 테스트를 연속적으로 4시간 동안 검교정된 전자유량계를 통해 측정하였다. 4시간 동안 운전하는 동안 평균 86L/min 이상의 미세기포 토출유량을 나타났고 이는 80LPM 이상을 만족하였다.



<미세기포 발생장치로부터 시간당 전력소모량 연속측정>



<차량탑재형 미세기포 발생장치로부터 분당 토출유량 연속측정>

(5) 개선된 4HP(3kwh)급 이하 80LPM 이상 규모의 미세기포 세척장비의 효율평가

(가) 미세기포 세척장비 염분제거율 평가

❍ 규모 80 LPM의 미세기포 세척장비 실증화 시스템의 염분제거 효율 및 최적조건을 도출하기 위해 콘크리트, 타일에 염분을 코팅하여 실험을 진행하였다. 세척장비의 현장평가에서 중요한 운전인자는 분사압력, 분사거리이다.

❍ 분사압력은 압력세기에 따라 효율이 다르고 일정 압력 이상을 가하면 구조물을 파괴할 수 있다. 또한 분사거리에 따라서도 효율이 다르므로 분사압력, 분사거리에 대해 최적조건을 설정할 필요가 있다. 따라서 두 가지의 세척조건을 변경하며 실험하였으며 자세한 실험조건으로 아래 표와 같다.

<염분제거율 평가 세척조건>

시료	분사압력 (bar)	분사거리 (㎝)
콘크리트	50	50, 100, 150
	100	50, 100, 150
	150	50, 100, 150
타일	50	50, 100, 150
	100	50, 100, 150

❍ 실험 준비과정으로 $CaCl_2$ 약품을 농도 3.5 %로 염분용액을 준비하였다. 이 용액을 40℃의 온도로 중탕하며 콘크리트, 타일 시편을 약 24시간 침지시켜 염분이 콘크리트 및 타일에 스며들게 하였다. 염분 코팅 후 약 24시간 건조하여 실험을 진행하였다.



<$CaCl_2$ 염분용액 제조>



<콘크리트, 타일 시편 준비>



<$CaCl_2$ 시편 흡수>



<건조작업>

<콘크리트, 타일 염분코팅 작업>

❍ 염분코팅작업 후 콘크리트, 타일시편의 표면을 염분측정기기(SSM-21P)로 측정하여 평균을 구하였다. 염분측정기기는 단위면적당 염분의 함유량을 측정하며, 주로 선박, 교량. 철제구조물 등 염분에 의한 부식을 판단하는 목적으로 사용하고 있다. 따라서 미세기포 세척장비의 세척 전/후의 염분농도를 측정하여 운전조건에 따른 제거효율을 평가하였다.



<SSM-21P 염분측정기기 및 미세기포 세척장비 염분제거율 평가 실험사진>

❍ 운전조건을 설정하기 위해 분사거리를 측정 후 50, 100, 150㎝ 조건에서 실험하였으며, 분사압력을 조절하여 50, 100, 150 bar에서 실험을 진행하였다.

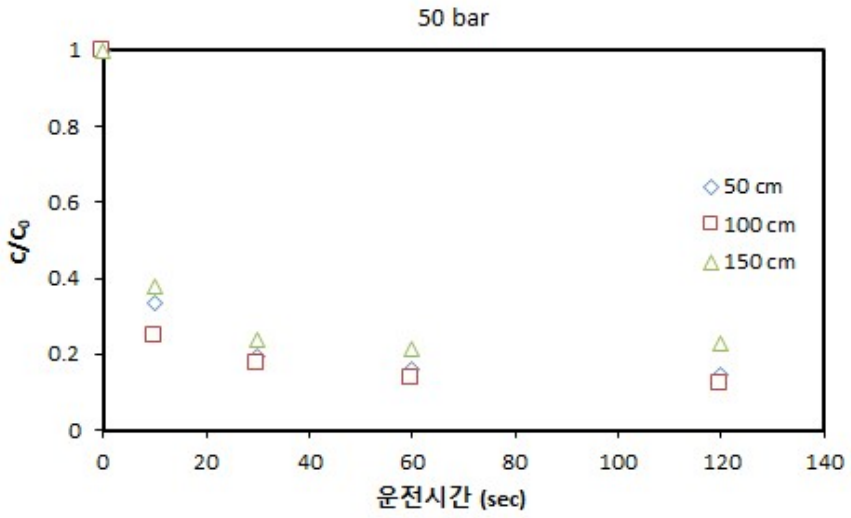


<미세기포 세척장비 거리, 압력별 염분제거율 평가 실험사진>

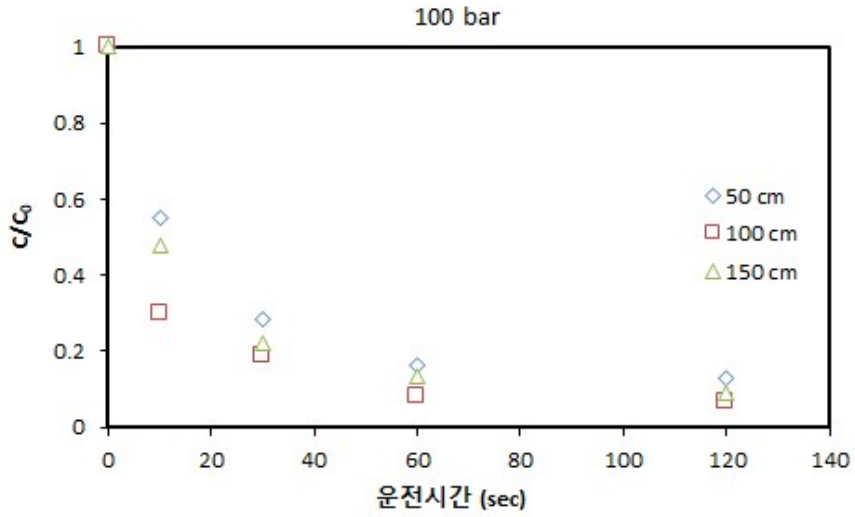
❍ 아래 그림은 50, 100, 150 bar의 압력에서 분사거리에 따른 염분제거율을 나타낸 그래프이다. (a) 그래프 50 bar의 압력에서는 분사거리 100 ㎝에서 87%의 제거효율로 가장 높게 나타났으며 150 ㎝에서 77%의 제거효율로 가장 낮게 나타났다. (b) 100 bar의 조건에서도 분사거리 100 ㎝에서 93.4%의 제거효율로 염분세척효과가 가장 높은 것을 확인하였다. 그러나 (c) 150 bar에서는 오히려 150 ㎝에서 89%로 가장 높은 효율을 나타내었다.

❍ 전체적인 결과로 나노버블 수의 콘크리트 안에 침투해있는 염분을 제거하는 기작에는 물리적 세정, 화학적 흡착 제거가 동시에 작용하므로 적정 분사압력, 거리에서 제거되는 것으로 판단되며 최적 운전조건은 분사압력: 100 bar, 분사거리: 100 ㎝로 설정할 수 있다.

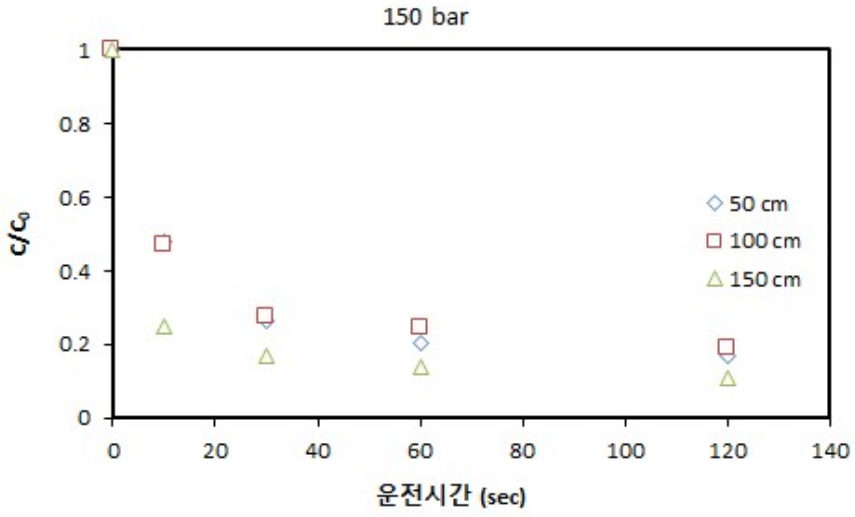
(a)



(b)



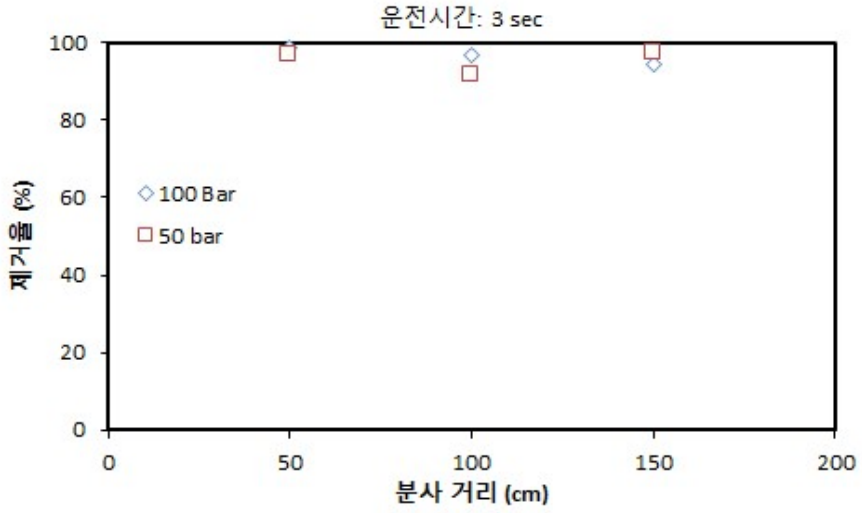
(c)



<콘크리트 시편 분사거리 따른 염분제거율 그래프>

❍ 전체적인 결과로 나노버블 수의 콘크리트 안에 침투해있는 염분을 제거하는 기작에는 물리적 세정, 화학적 흡착 제거가 동시에 작용하므로 적정 분사압력, 거리에서 제거되는 것으로 판단되며 최적 운전조건은 분사압력: 100 bar, 분사거리: 100 ㎝로 설정할 수 있다.

❍ 아래 그림은 타일 시편의 운전조건에 따라 세척 전/후의 염분농도를 측정하여 제거율을 나타낸 그래프이다. 타일의 경우 분사압력, 분사거리에 따라 모두 90 %이상의 제거율을 나타내었으며 운전시간 3초로 짧은 시간 안에 제거되는 것을 확인하였다. 따라서 50 Bar에서도 충분한 효율을 나타내므로 실제현장 터널의 타일세척에 적용하면 최적조건: 50 Bar, 50 ㎝에서 세척을 진행할 수 있다. 다음 실험단계인 실제현장 세척에 본 실험의 최적조건을 적용하여 진행할 예정이다.



<타일 시편 분사거리, 압력에 따른 염분제거율 그래프.>

(나) 미세기포 발생 조건에 따른 염분제거율 평가

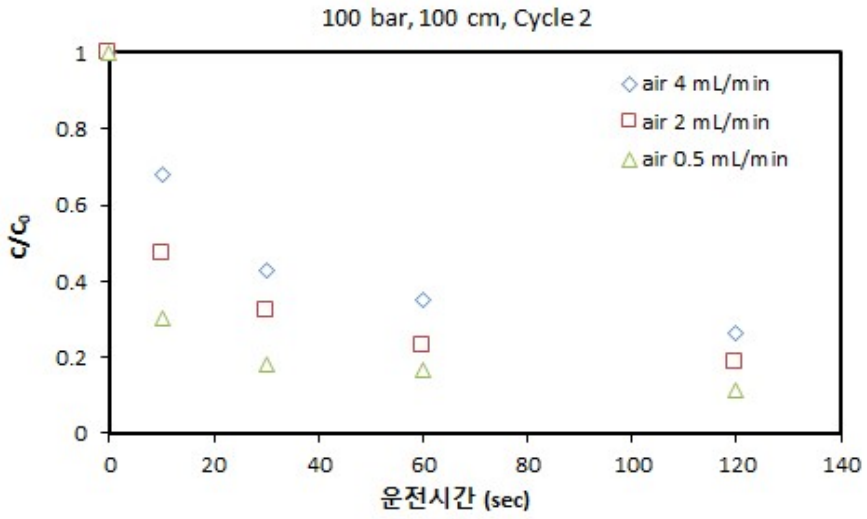
❍ 미세기포 세척장비는 기액펌프 -> 다단충돌판 -> 노즐구성으로 나노버블이 발생되며 기액펌프에 유입되는 공기 유량에 따라 나노버블의 특성 및 크기가 변화한다. 또한 농축횟수에 따라 나노버블의 농도가 높아지므로 두 조건을 변경하며 염분 제거효율을 평가하였다. 자세한 실험조건은 아래 표와 같다.

<염분 제거율 평가 미세기포 발생 운전조건 >

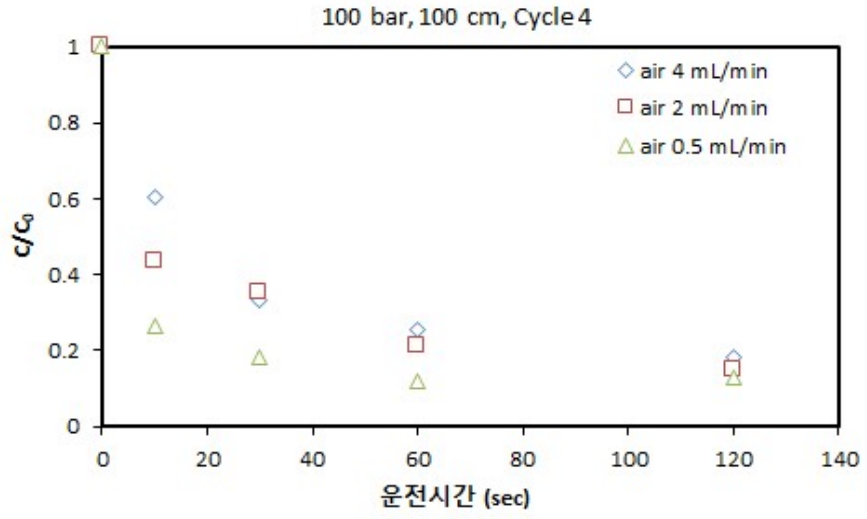
시료	분사압력 (bar)	분사거리 (㎝)	공기 유입유량 (L/min)	미세기포 농축횟수 (회)
콘크리트	100	100	4	2, 4, 6
			2	2, 4, 6
			0.5	2, 4, 6

❍ 아래 그림은 공기유입유량 4, 2, 0.5 mL/min의 조건으로 나노버블 수를 발생시켜 세척을 진행한 그래프이다. (a), (b), (c)모두 공기유입유량 0.5 mL/min에서 세척효율이 가장 높은 것으로 나타났으므로 나노버블을 발생시키는 조건 중 공기유입유량이 적을수록 세척효율이 높은 것을 알 수 있다. 공기유입유량이 낮을 때 나노버블의 크기가 작아지기 때문에 염분을 흡착제거하는 효율이 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

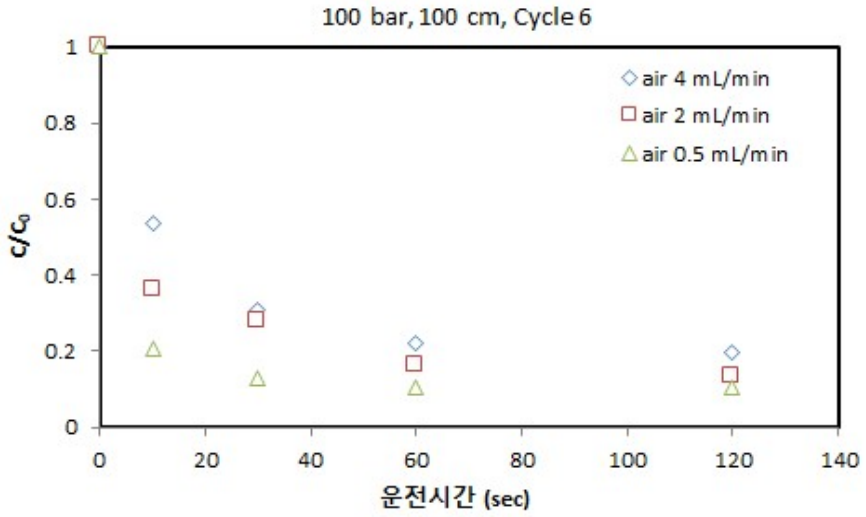
(a)



(b)



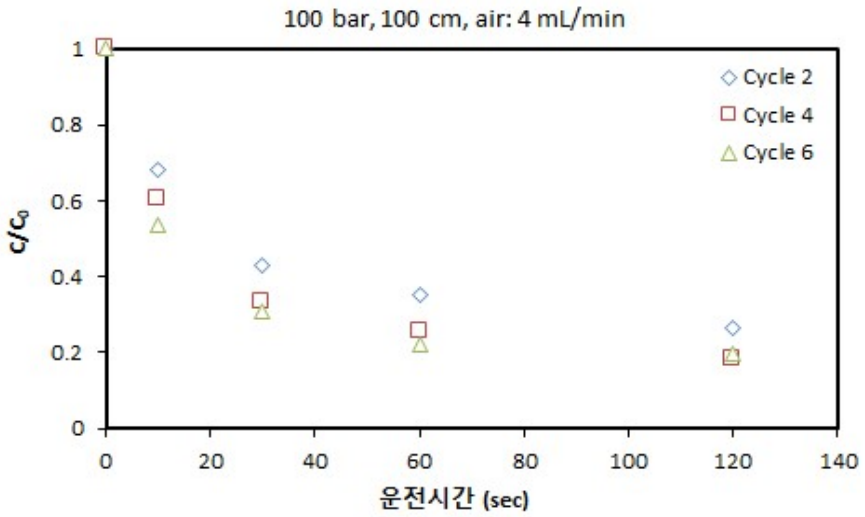
(c)



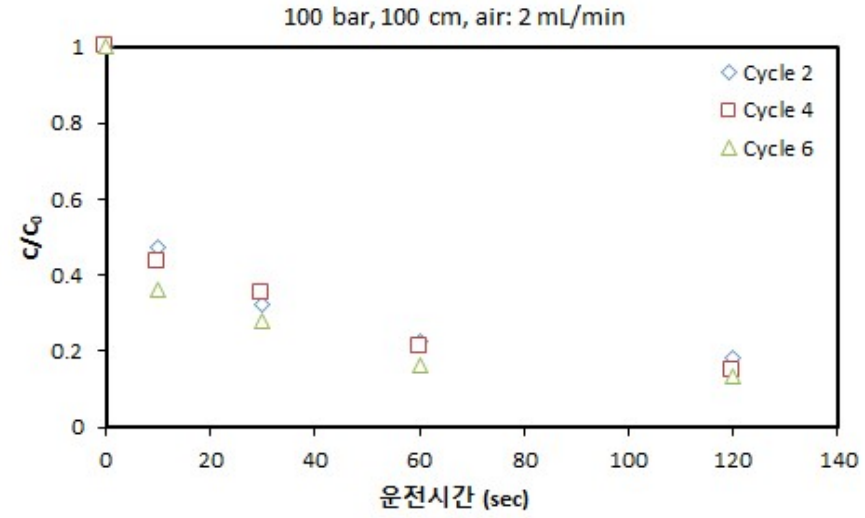
<미세기포 발생조건 중 공기유량에 따른 염분제거율 그래프>

❍ 아래 그림들은 나노버블의 농축횟수에 따라 나타낸 세척효율 그래프로 (a), (b), (c) 모두 농축횟수가 많을수록 제거효율이 높은 것으로 나타났다. 그러나 농축횟수 4회, 6회의 제거율은 5%이하의 차이로 농축을 4회 진행하여도 충분한 것을 의미한다. 따라서 나노버블 수 최적 발생조건은 공기유입유량: 0.5 mL/min, 농축횟수: 4회로 결정할 수 있다.

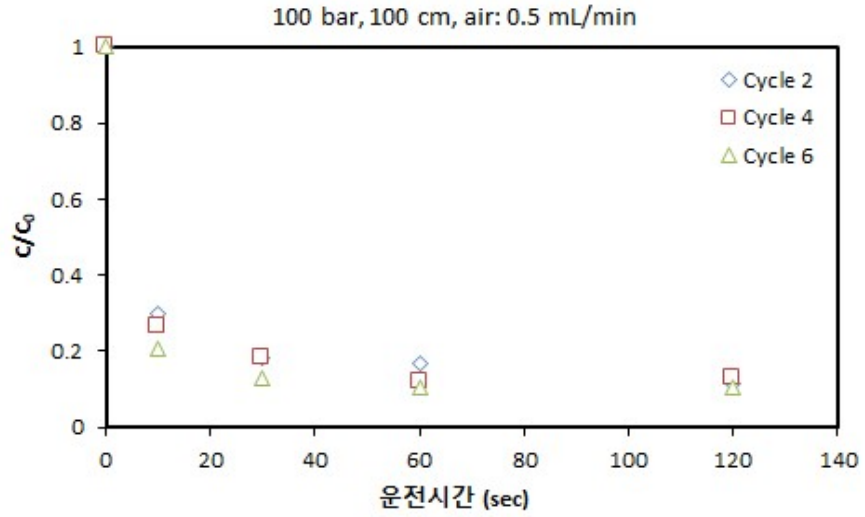
(a)



(b)



(c)

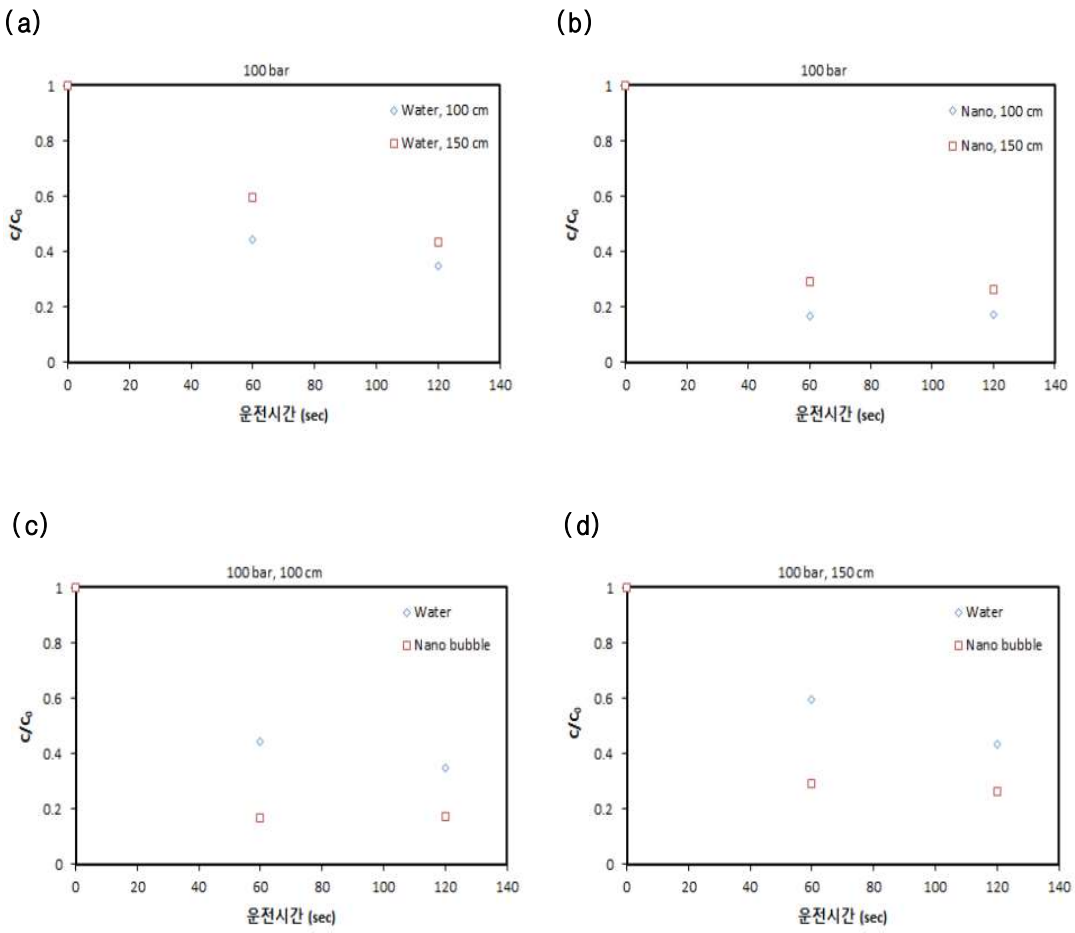


<미세기포 발생조건 중 농축횟수에 따른 염분제거율 그래프>

(다) 나노버블 수, 일반 상수도 염분제거효율 비교평가

❍ 나노버블 수의 정확한 효율을 확인하기 위해 일반상수도와 나노버블 수의 염분제거 효율 비교평가를 진행하였다. 운전조건은 앞서 실험을 진행한 분사압력의 최적조건인 100 bar로 적용하였으며 분사거리는 100 ㎝, 150 ㎝ 두 가지로 실험하였다.

❍ 아래 그림은 제거율 비교평가 그래프로 (a), (b)의 일반 상수도, 나노버블 수 모두 거리 100 ㎝에서 효율이 가장 높게 나타났다. (c), (d)를 확인하면 같은 조건에서 운전시간에 따라 평균적으로 30 ~ 40%의 효율로 나노버블수가 높은 것을 알 수 있다. 따라서 음이온을 띄는 나노버블 수에 의해 염분의 흡착 제거되는 성능이 높은 것을 알 수 있으며 나아가 운전시간 단축, 분사량 감소 등 경제적인 성능도 뛰어난 것을 확인할 수 있다.



<나노버블수, 일반 상수도 염분제거율 비교평가 그래프>

(라) 미세기포 세척장비 미세먼지 제거율 평가

(1) 콘크리트 미세먼지 제거효율 평가

❍ 도로시설의 콘크리트, 타일에 쌓인 미세먼지에 대해 세척장치의 효율을 알아보기 위한 실험을 진행하였다. 실험준비과정으로 미세먼지 도포 전 콘크리트의 무게를 측정하고, PM10 크기의 미세먼지 도포 후 120도 2시간 건조를 진행하여 무게를 측정하였다. 마지막으로 미세기포 세척장치 세척 후의 콘크리트 무게를 측정하여 무게차이로 제거효율을 평가하였다. 운전조건으로는 나노버블과 일반 상수도의 효율을 비교평가 하였으며, 분사위치에 따라 제거율을 파악하였다.



<건조기>



<미세먼지 도포 시편제작>



<미세먼지 시편 무게>



<미세먼지 세척평가 실험>

<미세기포 세척장비 미세먼지 제거율 평가 실험사진>

❍ 아래 표는 콘크리트 시편에 미세먼지를 코팅하여 미세먼지세척 효율을 나타내었다. 나노버블 수, 일반 상수도 모두 분사거리가 가까울수록 제거되는 경향이 높게 나타났으며 나노버블 수, 일반상수도의 제거율은 약 4~6%의 차이가 있는 것으로 확인되었다.

<콘크리트 미세먼지 세척효율 평가 >

항목	운전 시간 (sec)	압력 (bar)	거리 (㎝)	도포 전 무게 (g)	도포 후 무게 (g)	세척 후 무게 (g)	도포량 (g)	제거량 (g)	잔여량 (g)	제거율 (%)
나노 버블수	20	50	50	7771	7859	7782	88	77	11	87.5
	20	50	100	7351	7422	7364	71	58	13	81.7
	20	50	150	5293	5391	5312	98	79	19	80.6
일반 상수도	20	50	50	7315	7398	7330	83	68	15	81.9
	20	50	100	7725	7815	7742	90	73	17	81.1
	20	50	150	5277	5369	5299	92	70	22	76.1

❍ 아래 그림은 미세먼지 도포 콘크리트 세척 전/후 사진이다. 위 표의 실험결과는 운전 조건에 따라 무게차이 제거율의 큰 변화가 없지만 아래 사진에서 보이는 것과 같이 분사거리 150 ㎝에서는 잔여 미세먼지가 많은 것을 확인할 수 있다.

❍ 따라서 150㎝의 거리에서는 적합하지 않으며 최적조건 :50bar, 50㎝로 결정 할 수 있다. 즉 다음 실험단계인 현장평가를 진행할 때 최적조건을 적용하여 실험을 진행할 예정이다.



<세척전> <세척후>

<미세먼지 도포 콘크리트 세척 전/후 사진>

2) 타일 미세먼지 제거효율 평가

❍ 실험준비과정은 콘크리트의 과정과 동일하며 나노버블 수, 일반 상수도, 분사거리에 따라 실험을 진행하였다.



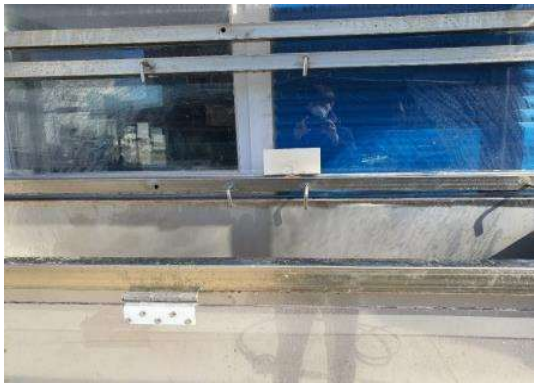
<도포 전 타일>



<타일 건조>



<도포 후 타일>



<미세먼지 타일 세척 실험>

<타일 미세기포 세척장비 미세먼지 평가 실험>

❍ 아래 표는 타일 미세먼지 제거효율을 나타낸 표이다. 나노버블 수는 거리에 따라 모두 제거율 95% 이상을 나타내었으며 운전시간 5초로 짧은 시간에 높은 효율을 나타내었다. 일반 상수도 역시 제거율 90% 이상으로 제거율이 높은 것을 확인할 수 있다.

<타일 미세먼지 세척효율 평가>

항목	운전 시간 (sec)	압력 (bar)	거리 (㎝)	도포 전 무게 (g)	도포 후 무게 (g)	세척 후 무게 (g)	도포량 (g)	제거량 (g)	잔여량 (g)	제거율 (%)
나노 버블수	5	50	50	391	418	391	27	27	0	100
	5	50	100	391	416	392	25	24	1	96
	5	50	150	392	423	392	31	31	0	100
일반 상수도	5	50	50	400	429	401	29	28	1	96.55
	5	50	100	393	423	393	30	30	0	100
	5	50	150	397	429	400	32	29	3	90.62

❍ 위 표의 미세먼지 제거율은 일반 상수도와 나노버블의 차이가 미미하다. 그러나 아래 그림과 같이 일반 상수도로 세척할 경우 잔여 미세먼지가 흡착되어있는 것을 볼 수 있는데, 무게측정법으로는 흡착된 잔여 미세먼지 측정에 한계가 있음을 의미한다.



<미세기포 세척후>



<일반 상수도 세척후>

<나노버블과 일반 상수도를 사용한 세척 후 잔여 미세먼지 사진>

마. 차량탑재형 4HP급 80L/min급 미세기포 발생장치 현장평가

(1) 외국의 미세기포 현장 적용사례 분석

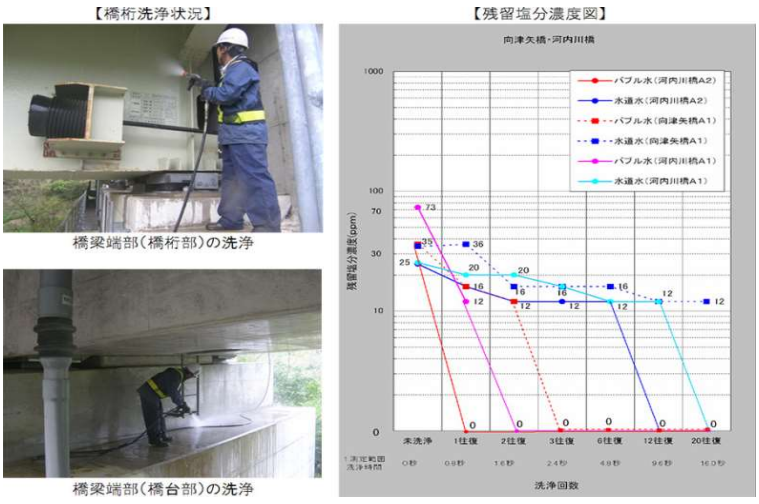
(가) 미세기포를 이용한 도로구조물 중 교각하부의 세척 사례연구

❍ 겨울에 염화칼슘 살포된 도로시설물 중 교각 하부의 염분에 의해 콘크리트 및 철근 부식이 심한 지역을 선택하여 서일본 고속도로 주식회사는 일반 수도와 초미세기포수를 동일한 조건에서 염분에 대한 세척 테스트를 아래 사진과 같이 실시하였다.



<미세기포 세척장비에 의한 고속도로 교각 구조물 염분세척>

❍ 그 결과 아래 표와 같이 수도수를 이용한 염분세척효율은 초기 60.9~57.4 ㎎/㎡ 범위 내에서 세척수 사이클을 20회 수행 한 결과 약 10㎎/㎡ 이내로 제거되었는데 이는 교각 Web 펜스와 바닥 플랜지 상판부에서 각각 82.1%와 91.6%의 제거효율을 나타냈다. 하지만 초미세 기포를 이용할 경우 136.9~190.9 ㎎/㎡의 초기농도에서 교각 Web 펜스와 바닥 플랜지 상판부에서 각각 98.2%와 100%의 제거효율을 보였다.



<수도수와 초미세기포수를 이용한 교각 Web 펜스와 바닥 플랜지 상판부 세척 비교>

<일반 수도수와 초미세기포수를 이용한 염분세척효율 테스트 비교>

Cleaning water	Tap water			Ultrafine Bubble water		
Cleaning position	Before cleaning	After cleaning	Cleaning rate [%]	Before cleaning	After cleaning	Cleaning rate [%]
Web face	60.9	10.9	82.1	136.9	1.5	98.2 Highly improved!
Upper face of bottom flange	57.4	4.8	91.6	190.9	0	100 Highly improved!
Weather	Sunny	Sunny		Sunny	Sunny	
Temperature [℃]	22	20		22	20	

❍ 서일본 고속도로 주식회사의 모리오카 사업소는 아래 그림과 같이 토호쿠 자동차의 남쪽은 하나 마키IC 북쪽은 아 IC 및 하치노헤 자동차 도로의 浄法寺 IC까지 총 98.2㎞를 관리하고 있다. 모리오카 관내는 적설 한랭 지역에 위치한 공용 후 남쪽은 38년 북한은 26년을 겪고 있다.



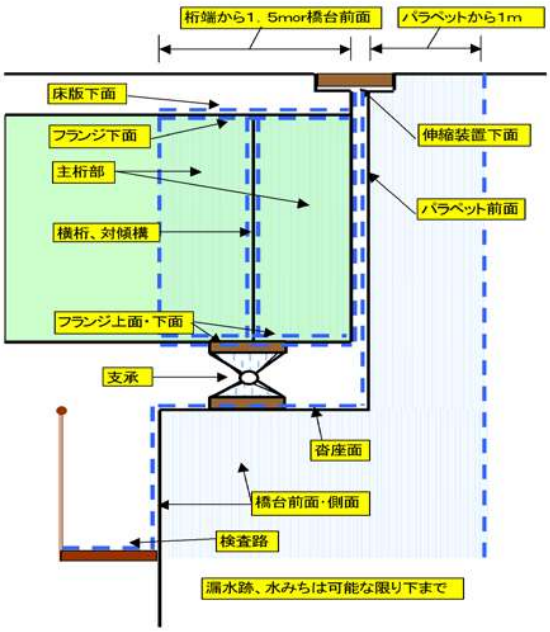
<일본 서일본 고속도로 주식회사 내 모리오카 관내도>

❍ 관내 모든 폭설 지대에 속하며 강설량이 많은 마츠오 하치만 타이 IC ~ 아시 IC 간에서는 적설 대책 작업은 동결 방지제를 8758t 살포 교통 확보에 노력하고 있지만, 살포량은 해마다 증가 추세에 있으며, 염해에 의한 영향으로 교량의 콘크리트와 철근 부식이 심각한 구역이다.



<교각 하부의 콘크리트 구조물 및 철근의 부식으로 인해 염해 심각 확인>

❍ 하루 약 4교대 시공할 수 있어서 약 1개월 만에 시공이 완료된다. 교량의 하부에 대한 세척은 동결 방지제 살포 및 교량의 신축 장치에서 누수에 의해 桁端부, 지승, 부속물, 하부 공 등에 부착된 염분을 세척하여 제거함으로써 구조물의 열화 진행을 억제하고 교량의 연 명화를 도모하는 것을 목적으로 하고 있다. 모리오카 사업소에서는 보전 공사에서 매년 하고 있다.



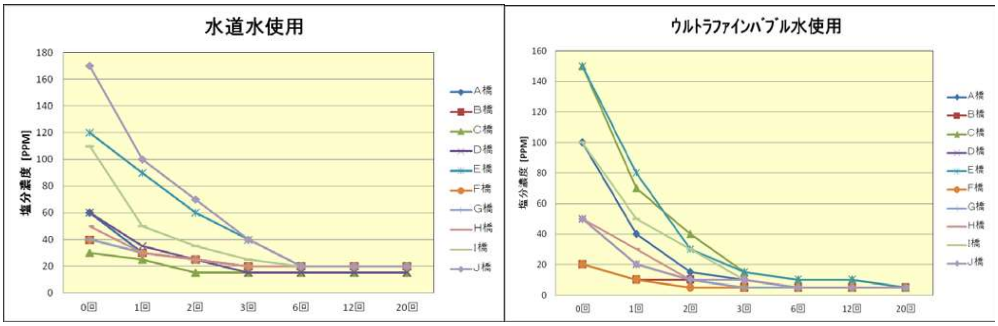
<미세기포 세척을 위한 교각 하부 청소시공도>

- 미세기포 세척장비를 이용한 6월에 실시한 도로구조물 교각 하부 청소 현황
- 이동식 차량 1대 (2톤 탱크 적재 트럭) - 1대당 인부 4명 (교통 감시원 포함)
- 고압 세척기 1대 (3톤/일 사용량) - 8시간 세척 (오전 8시부터 오후 5시까지)
- 세척수 보충 (1회) - 미세기포 직경: 200㎜ - 토출유량 : 60LPM (2.6kw)

❍ 표면에 오염된 염분 농도를 측정하기 위해 표면을 증류수 닦고 염소측정 검지관을 이용하여 측정

- 세척수로 초미세기포와 대조군으로 수도수 사용
- 청소개소 :마츠오하치만 타이 IC ~ 아시 IC간 10교
- 수압 : 5Mpa (50bar)
- 세척시간 : 세척시간은 1㎡당 1분 이상을 설정
- 샘플 측정 범위 : 1.0m × 1.0m의 정사각형
- 세척시간 : 1회 1분간 세척하고, 1회 2회 3회· 6회·12회·20회 6회 측정

❍ 아래 그림을 결과를 정리하면 이번 효과 검증을 통해 같은 사용 수량은 수돗물은 약 20ppm까지 감소하였고 미세기포에 의한 염분농도는 약 10 ~ 5ppm까지 감소하는 것으로 나타났다. 미세기포의 염분세척은 수도수에 의한 세척과 비교시 약 2배 이상의 세척효율을 보였다.



<수도수와 미세기포를 이용한 염분세척 비교>

- 중간 공급 횟수 : 1회 공급에서 공급 없이 변경
- 시공 시간 (1교대) : 20 분 정도 단축
- 1일 가능 다리 대수 : 2교 증가
- 세척 대상 교량 대수 : 64교 * 2 (A1, A2)
- 청소세척 소요일 수 : 30% 정도
- 청소비용 감소 총액 : 15% 정도

(나) 미세기포를 이용한 동결 방지제 살포 차량에 관한 세척 사례연구

❍ 겨울철에 동결방지를 위한 염화칼슘 분무 차량에 대한 세척시스템을 개발하여 기존의 분무방식과 미세기포 분무 방식에 따른 세척효율에 비교 연구도 수행하였다. 모리오카 관내에서는 사용 기간의 장기화 눈과 얼음 기계의 연 명화를 목표로 하고 최

고급 미세기포를 이용하여 동결 방지제 살포 차량 세차 사업 효과를 검증했다(아래 그림 참조). 그 결과 미세기포를 이용한 분무 방법은 수도수를 이용한 분무 방법에 있어 약 50% 정도의 높은 염분세척 효율을 나타냈다(아래 표 참조).



<살포 차량 세차 상황(위), 차량 후방(아래 좌), 측면 후면 (아래 우)>

<수도수 및 초미세기포수 염분세척을 통한 노동력 및 시간 감축효과>

回数	調査日	時間	気温	散布車276		散布車379	
				①	②	①	②
1	1/21	11:40	−1.9	150	200	200	200
2	1/27	13:40	2.7	100	600	120	650
3	1/29	11:30	−2.1	200	1,000	300	1,500
4	1/31	14:50	0.8	300	150	1,500	300
5	2/2	10:40	−2.2	600	500	1,300	500
6	2/3	9:30	−3.0	250	100	800	400
7	2/9	12:00	−1.1	230	160	*1 30	250
8	2/12	13:30	2.7	250	500	*1 10	250
9	2/16	17:20	0.4	200	100	900	200
10	2/19	14:50	0.2	200	100	160	500
11	2/22	15:10	4.3	100	400	100	700
12	2/24	16:00	2.5	30	100	130	120
13	3/4	16:00	3.9	30	100	300	250
14	3/6	13:30	3.2	10	100	200	900
平均				241.4		489.6	

*1 採取した水が凍結した為測定不能 (ppm)

(다) 코우엔지니어링(일본) 마이크로 나노버블수를 이용한 터널 벽면 세척방법 개발

❍ 코우엔지니어링(일본)은 185번 국도의 폐쇄 된 산 터널 (길이 1,706m)에서 보행자 도로를 분리하기 위해 유리 벽과 도자기 타일에 부착되어 먼지를 효과적으로 제거하기 위해 마이크로 나노 버블수를 수도수와 비교하여 수행하였다.

❍ 일반적으로, 터널의 벽면은 회전식 브러시형 터널 세정 차량으로 세정하기 위한 접촉식 세정 장치가 장착된 세정 차량에 의해 세정 된다. 이 개발에서 첫 번째 목표는 청소시간을 단축하여 경제 효과를 개선하는 것이었으며 최신 기술 (초극세 버블)을 사용하는 기존의 방법과 완전히 다른 비접촉식 청소방법이 개발되었다.



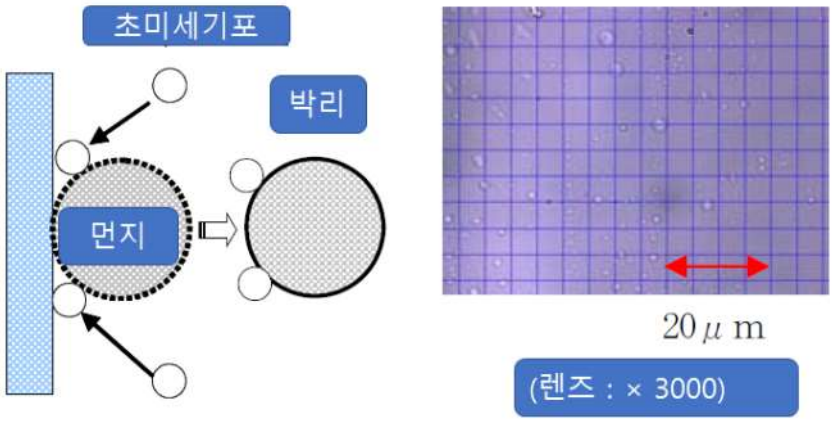
<히카리 터널의 전경(좌) 및 보행자 도로 분리 벽(우)>



<터널 내 벽면의 스위퍼에 의한 작업(좌) 및 사람에 의한 인력 청소(우)>

❍ 터널 스위퍼가 장착된 기존 브러시 유형에서는 청소시간 단축과 청소 작업의 안전성이 모순되어 효율성을 높이기가 어렵습니다. 본 연구에서는 초미세 기포를 이용한 세정 방법의 확립을 목표로 새로운 비접촉식 세정 방법을 시험했다.

❍ 초미세 기포로 벽을 청소하는 기본원리는 전기 접착을 사용하는 기술로서 초미세 기포는 먼지보다 직경(100㎚~10 μm)이 몇 배 더 작아서 기포 표면의 투과성 및 전기 접착 효과로 인해 먼지를 유발하는 먼지가 벗겨질 것으로 예상한다(아래 그림 참조).



<초미세기포의 청소 원리>

❍ 기존의 수도수를 이용한 접촉식 브러쉬 세척방식과 비교한 결과 초미세 기포 방식은 청소시간을 단축하는 것이 가능하고 아래 표에 나타낸 바와 같이, 유지관리비 44% 정도의 비용 감축을 도모할 수 있었다.

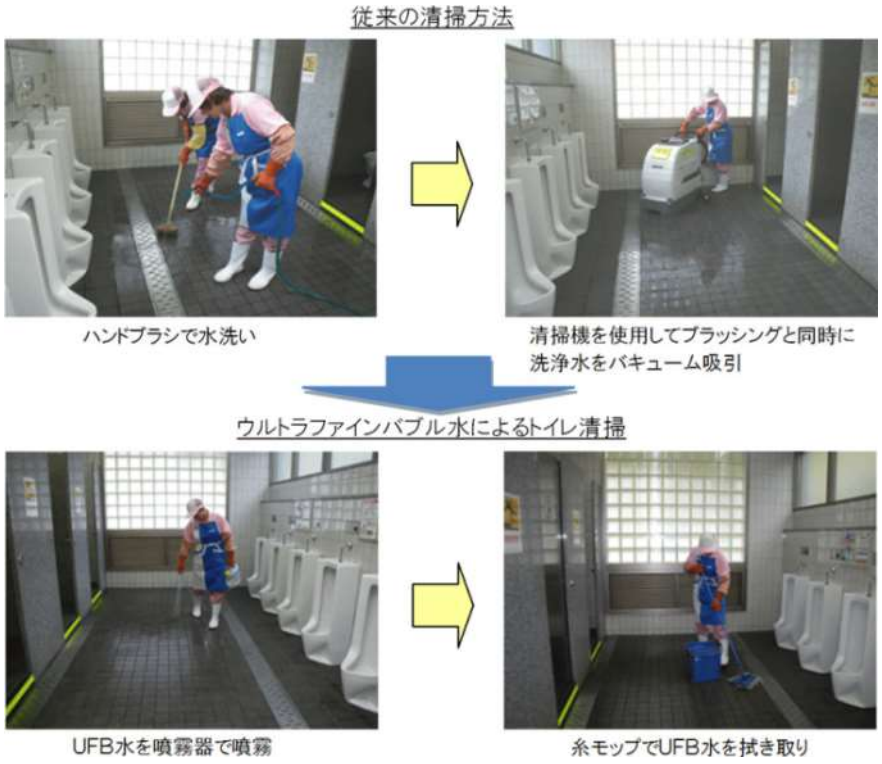
<터널 내 터널 브럿청소 접촉 방식 대비 미세기포 (비접촉식) 청소비용 비교>

청소 방식		기존 방식 (터널 청소차) 접촉식 브러쉬 세척방식	미세기포 방식 비접촉시 세척방식
시공능력 (청소 시간)		7분 (동일면적당)	1분 (동일면적당)
대상		도자기 타일, 콘크리트, 유리	
친환경 평가		세제를 사용함	세제를 사용하지 않음
청소 횟수		2회/년	2회/년
청소 대상물 영향		긁히는 자국 발생	영향 없음
청소비	회당	1,250,000엔	197,000엔 (84% 감소)
	장비비용	50,000천엔	38,000천엔 (24% 감소)
	유지관리비용 (50년 기준)	375,000천엔	209,700천엔 (44% 감소)
종합평가		보통	매우 우수

(라) 서일본 고속도로 주식회사의 염분세척에 관한 추가 연구 및 향후 전망

❍ 서일본 고속도로 주식회사는 휴게 시설의 화장실을 고객과의 중요한 접점이라고 파악 민영화 이후 화장실 환경의 근본적인 개선에 주력하고 있다. 그 노력의 일환으로 최고급 초미세기포(이하, UFB 물)를 이용한 새로운 화장실 청소방법을 22년도부터 중국 지역의 휴게 시설에서 시작 서일본 전체의 휴게 시설로 점차 확대를 도모하고 있다.

❍ 현재 실용화 연구를 통해서 기존의 세제를 이용한 세척에 비교해 작업시간을 30% 줄일 수 있었고 기존의 세제를 이용한 수도수 세척 대비 물의 양을 1/00로 정도로 절감할 수 있었다. 또한, 바닥 건조 시간을 약 40% 단축시킬 수 있었다.



<일본 수도수와 초미세기포를 이용한 화장실 변기 및 바닥 청소비교>

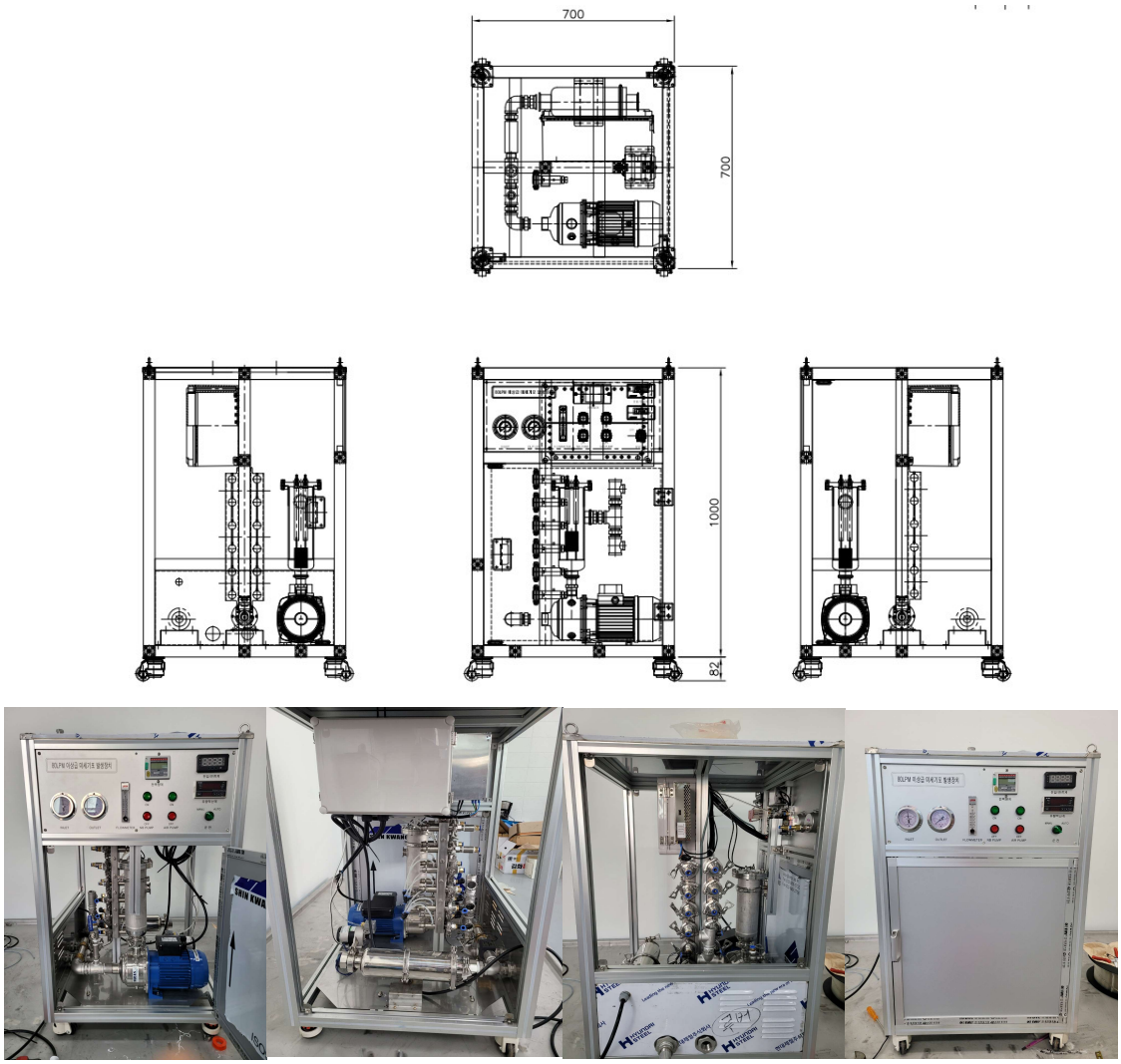
❍ 또한, 초미세기포수를 고압으로 분사하여 기존의 일반 물과 비교하면 부착된 염분을 효율적으로 제거할 수작업 효율 및 안전성을 향상할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다. 최근 서일본 고속도로 주식회사는 신 메이신 고속도로 카와니시 IC에 초미세기포를 이용한 염분 제설차량에 대한 염분세척용 기지 시스템을 아래 그림과 같이 구축하여 겨울철 많은 염화칼슘 분무를 마치고 돌아온 차량에 대한 염분세척을 수행하도록 하였다.



<일본 초미세기포를 이용한 차량용 염분세척 시스템 기지 구축>

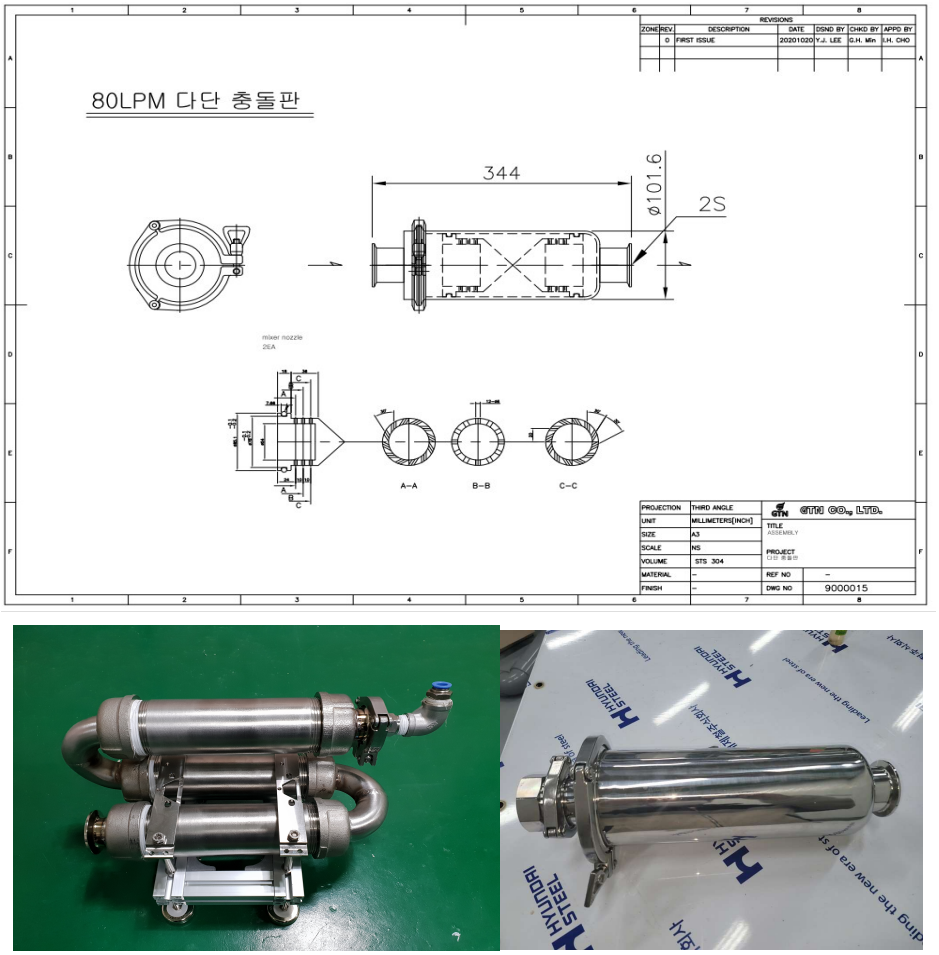
(2) 차량탑재형 표준화된 4HP급 80L/min급 미세기포 발생장치 설계 및 제작

❍ 차량탑재형 표준화된 4HP급 80L/min급 미세기포 발생장치는 가로×세로는 700×700㎜에 높이 1,000㎜의 직사각형 케이스에 구동펌프, 충돌판/다단선회노즐, 에어펌프, 각종 센서(압력계, 전력량계, 유량계)와 이물질 방지 필터 그리고 제어반으로 구성되었다.



<표준화된 4HP급 80L/min급 미세기포 발생장치 설계 및 제작>

❍ 종래의 다단 충돌판은 3단으로 구성되어 공간구조 배치와 유지관리의 문제점이 있어 이를 개선하고자 내부구조 설계와 효율 개선을 통해 1단으로 구성되어 설치되었다. 3단 충돌판은 유체의 유로로 인한 dead space로 압력과 유량 등 조건에 따라 일부 기포가 붕괴하거나 파괴되는 현상이 있어 이를 개선하였다.



<출돌판 구조변경 설계도면(위) 그리고 아래 변경(전) 과 변경(후)>

(3) 미세기포(나노수)의 수명평가

❍ 벌크 나노 버블의 가장 독특한 특징은 수명이 매우 길다는 것인데, 몇 주와 몇 달 동안 지속되는 것으로 보고되고 있다. 우리는 장기간에 걸쳐 평균 기포 직경을 관찰하여 나노 버블 현탁액의 장기 안정성을 모니터링 하였다.

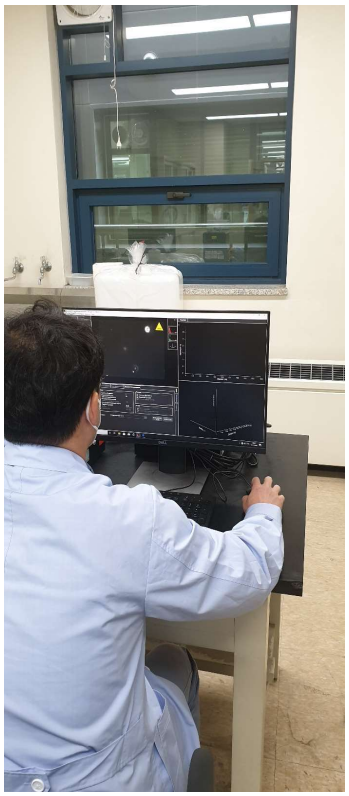
❍ 초기 6개 시료를 샘플링 하여 월 마다 기포를 측정하였다. 분석장비는 나노입자 추적장비를 이용하여 측정하였다(아래 그림 참조). 그 결과를 보면 6 개월 후에도 여전히 살아남았다. 초기 144㎚에서 6개월 이후에는 188㎚으로 전반적으로 200㎚ 이하 기포직경을 가지고 존재하는 것을 확인하였다.



6개 시료

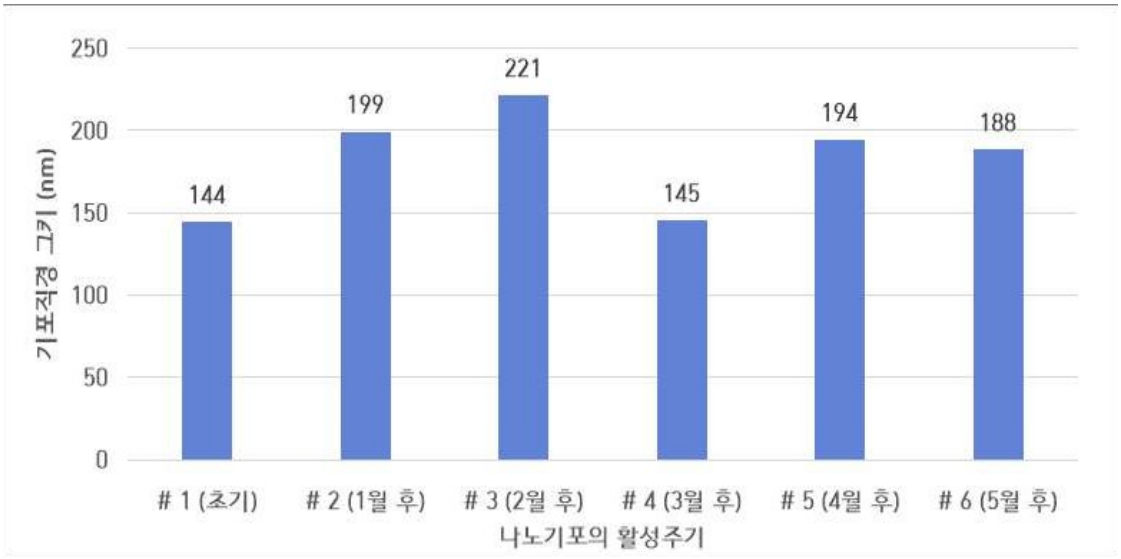


분석 대기중



나노입자분석기 측정

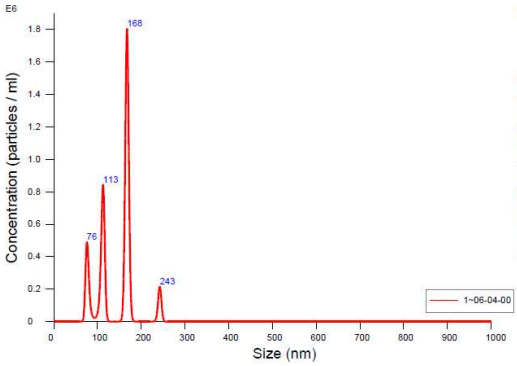
<생상된 나노기포의 장시간 존재 유무 수명평가>



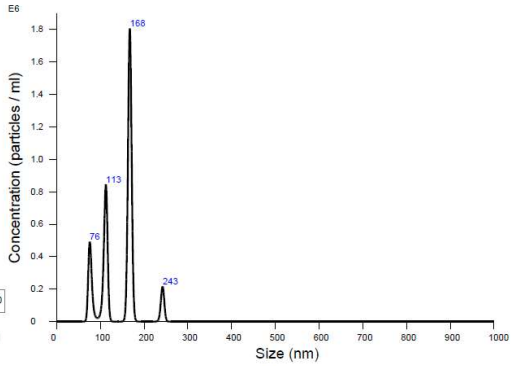
<시료로부터 6개 동안의 나노기포의 평균직경 크기 분석>

NANOSIGHT

1 2020-11-17 06-03-10



FTLA Concentration / Size graph for Experiment:
1 2020-11-17 06-03-10

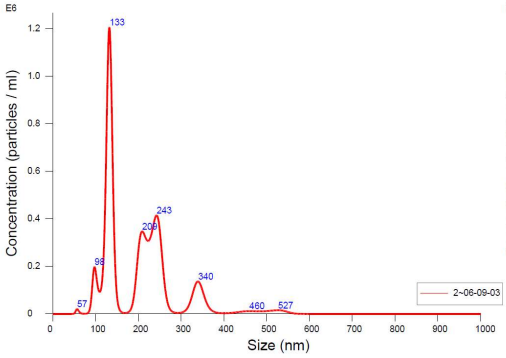


Averaged FTLA Concentration / Size for Experiment:
1 2020-11-17 06-03-10
Error bars indicate + / -1 standard error of the mean

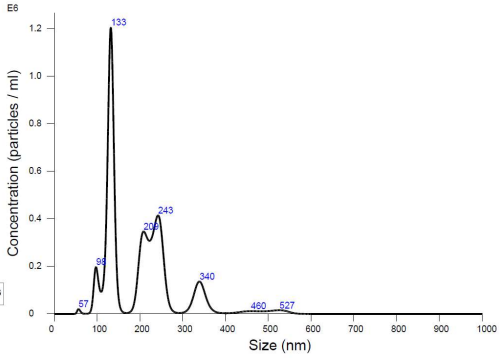
<# 초기 시료>

NANOSIGHT

2 2020-11-17 06-08-23



FTLA Concentration / Size graph for Experiment:
2 2020-11-17 06-08-23

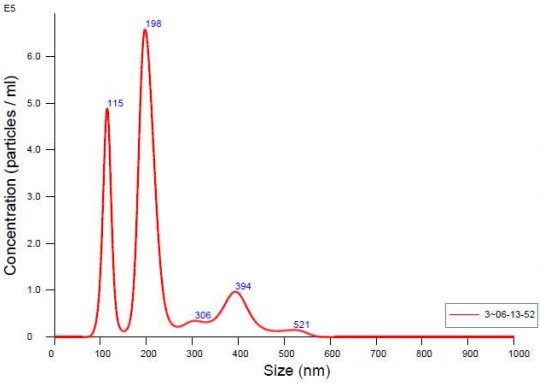


Averaged FTLA Concentration / Size for Experiment:
2 2020-11-17 06-08-23
Error bars indicate + / -1 standard error of the mean

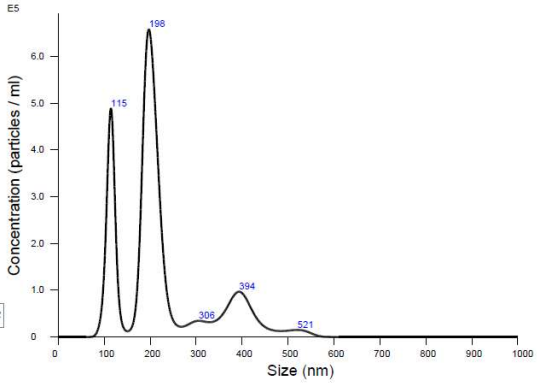
<# 초기 시료 1월 후>

NANOSIGHT

3 2020-11-17 06-13-13

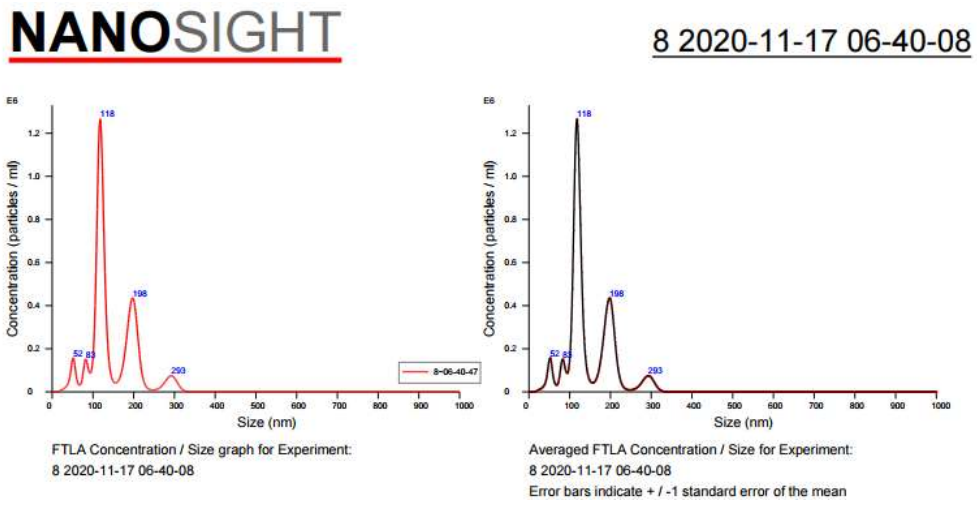


FTLA Concentration / Size graph for Experiment:
3 2020-11-17 06-13-13

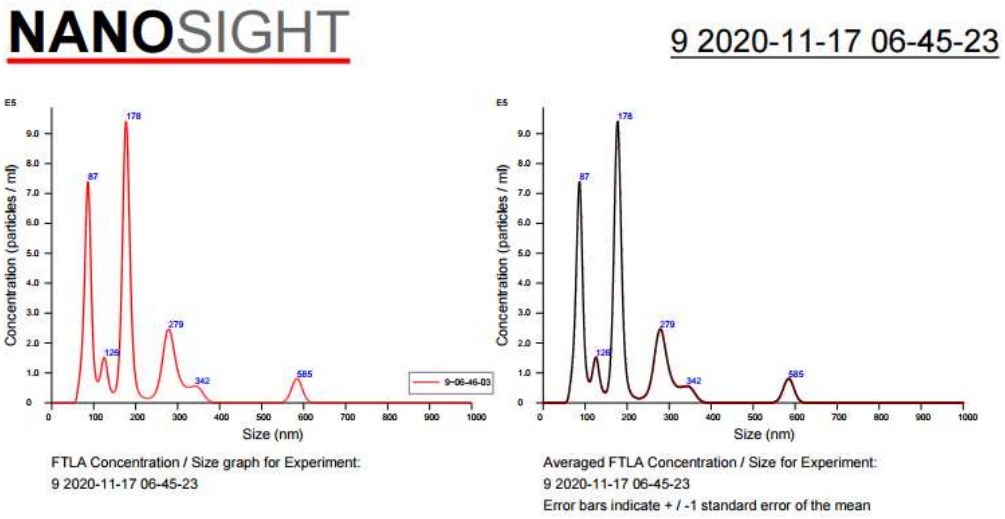


Averaged FTLA Concentration / Size for Experiment:
3 2020-11-17 06-13-13
Error bars indicate + / -1 standard error of the mean

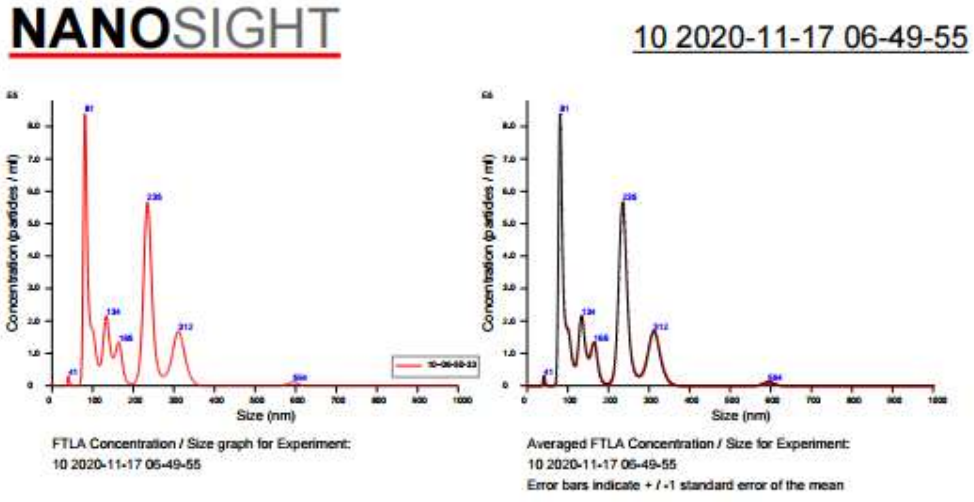
<# 초기 시료 2월 후>



<# 초기 시료 3월 후>



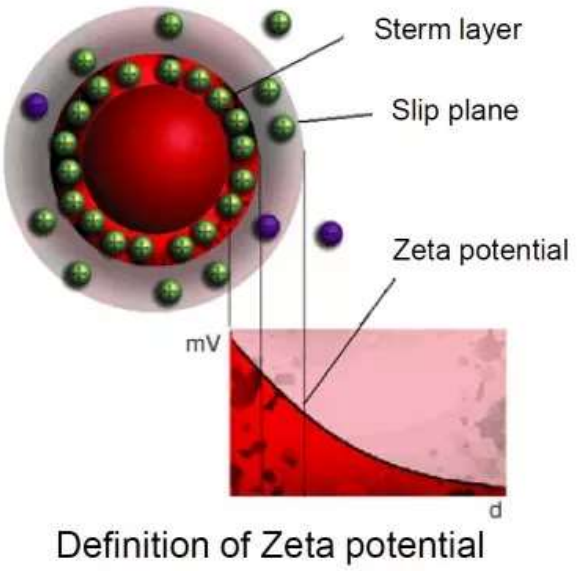
<# 초기 시료 4월 후>



<# 초기 시료 5월 후>

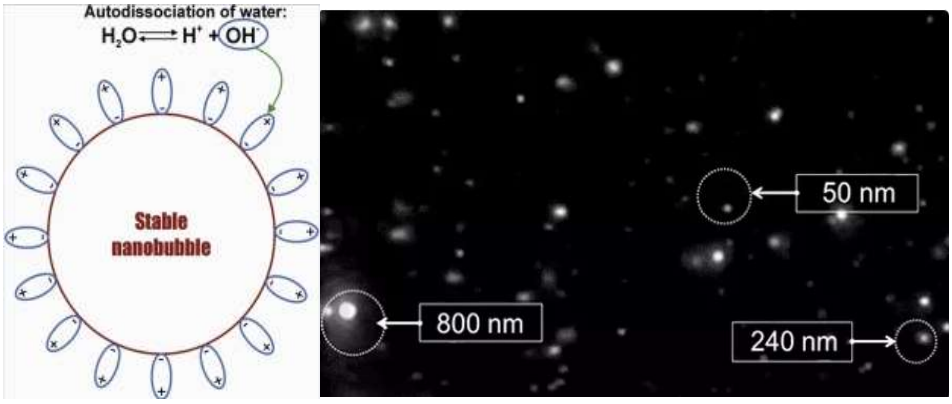
<나노사이트 분석장비를 통한 시간에 따른 나노기포의 직경크기 분석>

❍ 모든 기포는 자연적으로 표면 전하를 가지고 있다. 기포가 작을수록 표면 전하가 강해지고 나노 버블은 콜로이드 분산에서 전기 운동 전위인 높은 제타 전위를 가지고 있다. 제타전위 측정기를 통해 나노 버블의 강력한 음전하가 존재하는 것을 확인 할 수 있다.



<나노버블의 안정성과 제타전위>

❍ 즉 나노버블의 경계면에 대한 수산화이온(OH^-) 음전하의 강한 친화력은 전하 농축을 유발하여 제타전위가 음의 값으로 더 상승하고 이로 인한 나노기포간의 강력한 반발력이 존재하는 브라운 운동을 하게 된다.



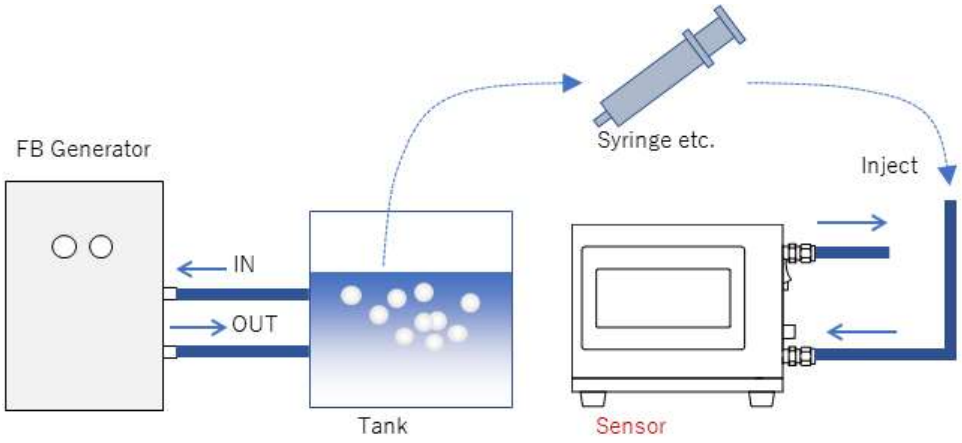
<나노버블의 안정성(좌)과 브라운 운동 스캔 사진(우)>

❍ 미세기포인 나노버블은 실험실 환경에서는 3-6 개월 동안 기포를 유지할 가능성이 있으며 실제 적용 분야는 훨씬 짧습니다. 초미세 기포가 오래 지속될 가능성이 큰 이유는 초미세 기포 가스/액체 계면이 충전되어 표면 장력에 반대 힘을 가하여 소산을

늦추거나 방지하기 때문입니다. 전해질 용액에서 양이온은 음으로 하전 된 표면으로 인해 가스 핵 주위에 집중되어 가스가 분산되는 것을 막는 쉘 (shell) 역할을 한다 (염화 현상). 이러한 이온 거동 특성으로 인해 초극세 버블은 전해질 용액에서 6개월 이상 안정적으로 유지되는 것으로 판단된다.

❍ 입자 추적 분석 방법을 사용하는 NanoSight는 아마도 초미세 기포에 대해 가장 널리 사용되는 측정 장비 일 것입니다. 또한 Sald7100HH를 사용하는 Shimadzu와 Sympatec의 Helos는 초미세 기포를 측정 할 수 있다. 이 장비의 단점은 상대적으로 비싸고 공정 모니터링에 적합하지 않다.

❍ 산란 레이저 원리를 기반으로 한 초미세 기포 모니터링은(아래 그림 참조) 기포의 직경크기를 측정하는 장비가 아니라 나노기포가 존재하는지 유무에 대한 모니터링 개념의 장비이다. 즉 Nanosight 장비를 이용한 기포의 정밀한 사이즈를 측정하고 나노기포를 만들어 내는 시스템이 연속적으로 나노수가 존재하는 유무를 파악하는 정도를 파악하는 간접 모니터링 시스템이다.



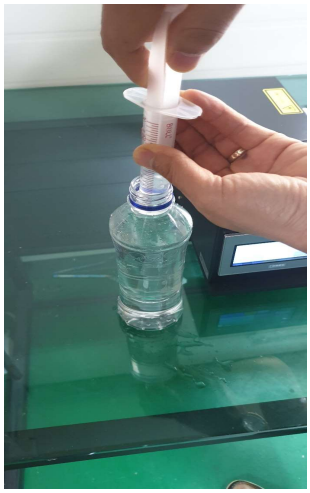


<레이저 산란광 측정용 나노버블 간접 모니터링 장치의 측정>

❍ 대조군은 3차증류수 실험군은 나노버블 용해장치로부터 생산된 나노수 시료수를 준비하여 아래 그림과 같이 레이저 산란광 측정용 나노버블 간접 모니터링 장치로 측정하였다.

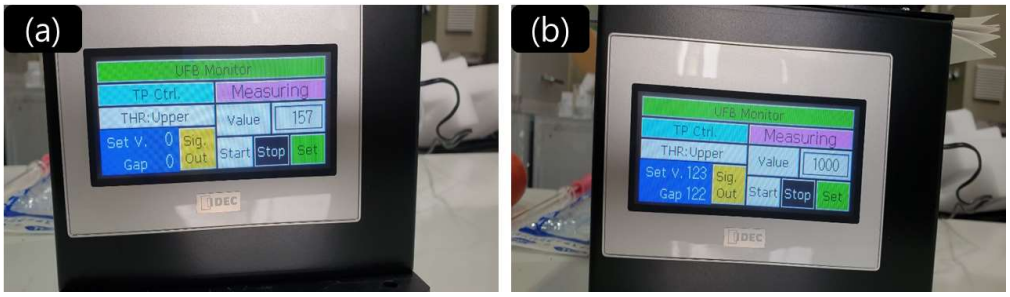

나노수 시료채취


시료분석 준비중


시료 샘플링

<나노수 시료채취 및 산란광 나노버블 측정용 간접모니터링 측정>

❍ 그 결과 대조군인 3차 증류수는 레이저 신호값이 200이하로 측정되었고 레이저 신호값이 나노수 시료수는 1,000으로 측정되었다. 다만 장비로 측정된 값은 우선 정량과 정성이 되는 나노측정장비로부터 얻어진 Reference를 가지고 역추적하는 방식으로 확인할 수밖에 없다. 단순히 나노수인지 아닌지만을 확인하는 용도로 가능하다. 따라서 아래 그림의 시료를 이용하여 연속적으로 나노버블이 존재하는지를 간단하게 측정할 수 있다.



<나노버블 간접 모니터링 장치를 이용한 대조군(a)와 실험군(b) 측정>

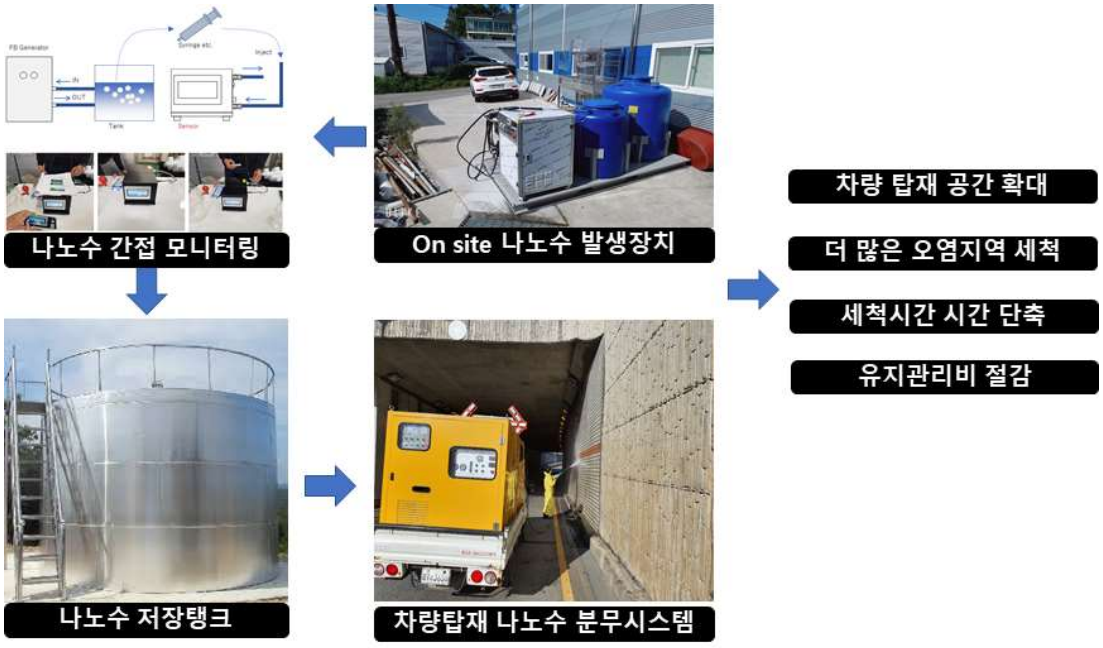
(4) 미세기포(나노수)의 응용

❍ 고속도로 등 도로구조물을 세척하기 위해서는 효율적으로 짧은 시간 내 더 많은 지역으로 이동하면서 세척함으로서 유지비를 절감하는 것이 매우 중요하다. 일본의 경우는 수도수와 나노수를 비교 평가 한 결과 세척효율은 10~20% 개선, 세척시간은 최대 1/3 단축 등의 결과를 제시하였다. 이로 인한 연간 유지비용이 40% 이상 감소한다는 보고서를 제시하였다.

❍ 현재는 나노수 발생장치를 차량에 탑재하고 차량 공간 내 원수 물탱크와 나노수 발생 저장탱크를 함께 탑재하여 이동하기 때문에 만약 나노수를 On site에서 생산하여 저장하고 필요시에 나노수를 차량에 적재하여 효율적으로 세척한다면 기존 방식보다 더 효율적인 운전이 가능하다고 판단된다(아래 그림 참조).

❍ 지금까지 현장 운전 테스트를 통해 얻어진 경험으로는 오염정도가 약하거나 고압세척기로 가능한 지역은 기존 방식대로 유지하되 오염정도 높거나 염분농도가 매우 높고 부식에 대한 민감도가 높은 site을 집중적으로 모니터링과 세척을 운영하는 것이 매우 바람직하다고 판단된다.

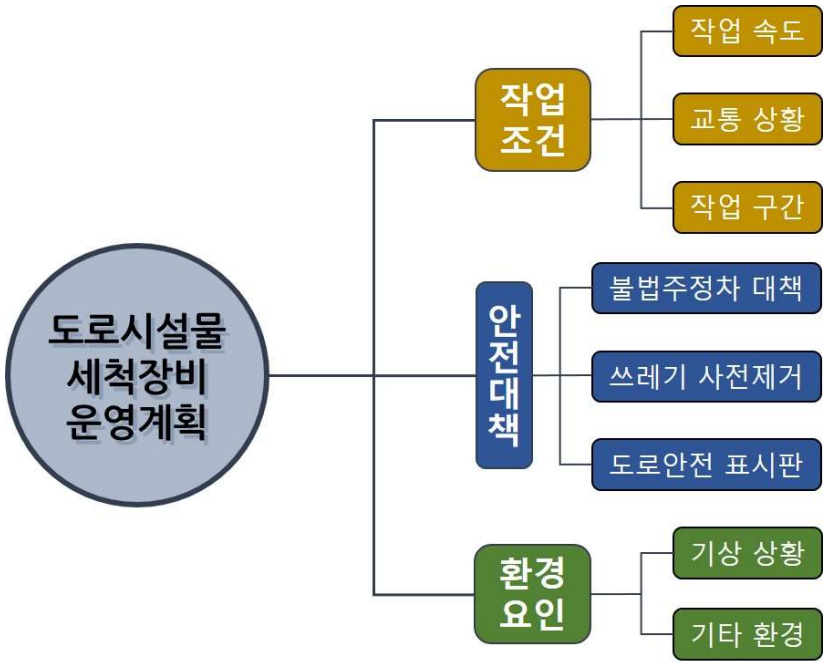
❍ 일본의 경우도 도로구조물 중 교각 하부/측면과 터널 내부의 경우는 오염도가 매우 높기 때문에 수도수 대신 나노수를 적용하는 것이 유지관리 측면에서 유리하다고 하다고 판단하고 있다.



<나노수 On site 생산과 존재 모니터링 기반의 도로구조물의 세척방식의 효율성>

(5) 차량탑재형 표준화된 4HP 급 80L/min급 미세기포 발생장치 운행 및 현장 평가

(가) Test-Bed 운영방안



<세척장비 운영 고려사항>

<세척장비 운영 고려사항>

고려사항		내용
작업조건	작업속도	도로 여건과 작업환경에 따른 작업시간 및 속도 조절
	교통상황	차량통행량이 많은 출/퇴근 시간 작업 지양
	작업구간	도로 및 터널 대상지점의 작업 애로사항 파악
안전대책	불법주정차 대책	도심 지역 불법주정차에 의한 도로청소 방해 구간대책
	쓰레기 사전제거	세척운영에 방해되는 낙엽 및 쓰레기 사전 제거
	도로안전 표시판	청소차량과 인력 안전을 위한 안전유도 표시사항 준수
환경요인	기상 상황	동절기, 홍수, 태풍, 안개에 의한 장비운영 가능여부 파악
	기타 환경	작업차량 운행 제한 지역, 기타 환경적 방해요소 고려

❍ 세척장비 운영시간

- 15:30 - 20:00)에는 가급적 지양한다.
- 일일 청소 차량의 작업일수는 청소차량의 정비에 따라 주 3 - 4회 운영할 수 있음
- 청소방식에 따라 계절별, 기상조건 등을 고려하여 실시한다.
- 강우, 폭염, 황사예보, (초)미세먼지 경보 등 기상상황을 사전에 검토하여 청소계획을 수립하며, 도로별 여건에 맞게 효과적으로 청소가 되도록 해야 한다.
- 청소기준은 시간대별 유입교통량에 따라 청소시간을 유동적으로 조절하여 운영한다. 도로·터널 청소시간은 차량통행량이 많은 출·퇴근 시간(오전 07:30 - 09:30, 오후

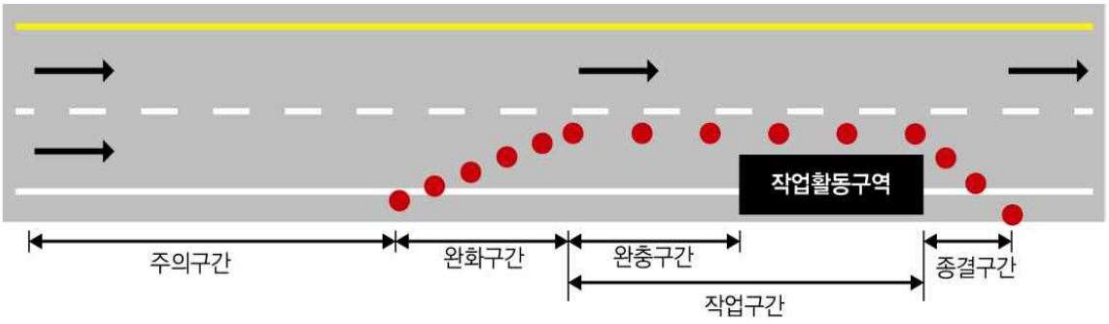
❍ 용수 확보방안

- 용수원으로 활용 가능한 형태는 지하철 용출수, 하수처리수, 개발 지하수, 소화용수, 중수도 등이 있으며, 하수처리수(도시 재이용수 기준)와 중수도(세차·청소용수)를 청소용수로 사용할 때의 수질기준은 pH, BOD, 탁도 등 기준에 맞게 사용해야 한다.
- 본 T/B 운영시에는 상수도 용수를 사용하였다.

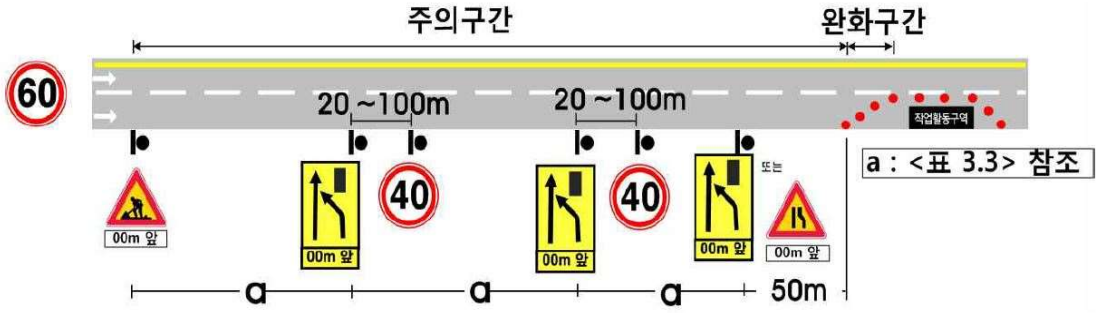
❍ 도로시설물 세척작업시 안전대책

- 도로청소는 실제 자동차들이 주행하고 있는 도로의 측구 또는 차선별로 작업속도에 맞춰 진행되고 있기 때문에 운전자 또는 청소 인력들에 대한 안전대책이 필요하다.
- 도로청소를 실시하기 전에는 사전 작업방법 및 작업구간 검토, 장비 및 작업인원, 작업도구에 대한 점검을 실시하였다.
- 도로 청소차량은 대상노선 및 작업시간, 차량속도, 작업방법, 차량 투입수량 등 사전계획을 철저히 준수하여 작업을 실시하였다.
- 도로 청소차량의 작업속도는 차량 제작사의 권장 사양을 준용하되 가능한 10 ㎞/h 이하의 속도로 청소가 철저하게 이루어지도록 하였다.
- 고속도로 및 자동차 전용도로, 간선도로의 안전지대 청소 시 청소차량과 인력의 안전을 위하여 청소안내 홍보판과 후위 안전 유도차량을 배치하여야 한다.
- 청소에 투입되는 차량은 반드시 작업등, 안전표시판 등을 점등하여 작업 중임을 도로이용차량에게 알려야 한다.(70㎞/h: 500m, 60~50㎞/h: 350m, 40㎞/h: 200m)
- 도로청소차량은 실질적인 작업거리(총 운행거리-비작업거리)에 대한 기록 관리를 철저히 하였다.
- 도로청소 실시 전에 가로청소 인력 등을 통해 쓰레기 및 낙엽을 제거한 후 도로청소를 실시하였다.

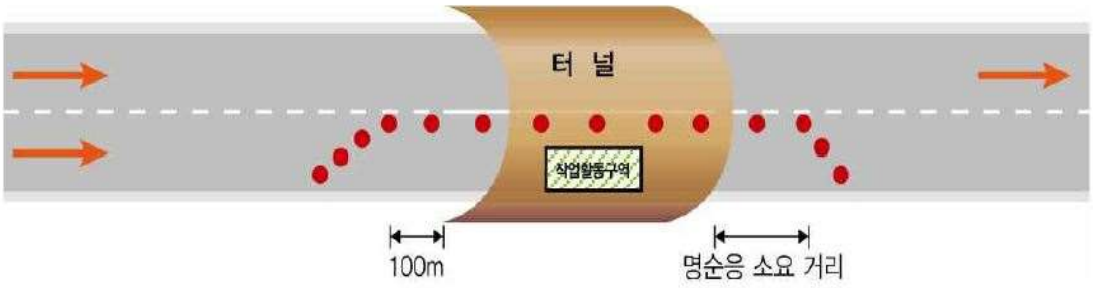
- 도로시설물 세척작업을 위한 교통통제 관리는 아래 그림을 참조하여 교통안전표지 및 유도시설물 등을 설치하고 유도통제자를 배치하여 안전에 유의하여 작업함. 이외 세부사항은 국토교통부의 “도로 공사장 교통관리지침(2018)”을 참조하였다.



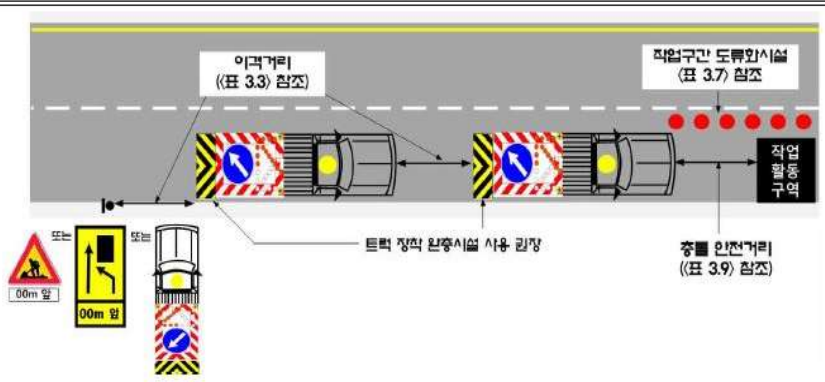
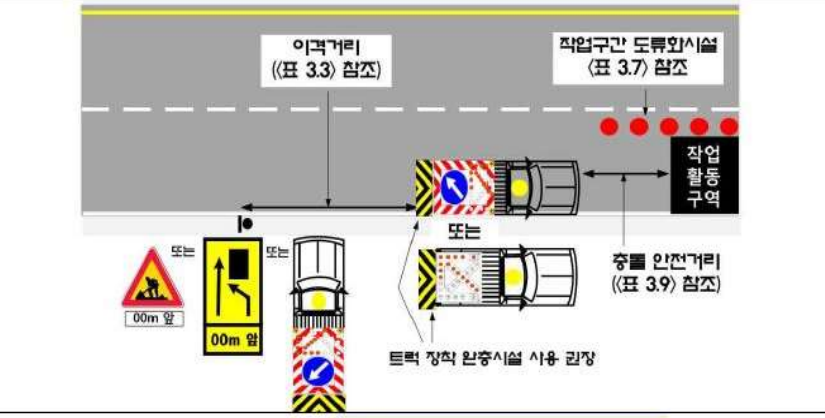
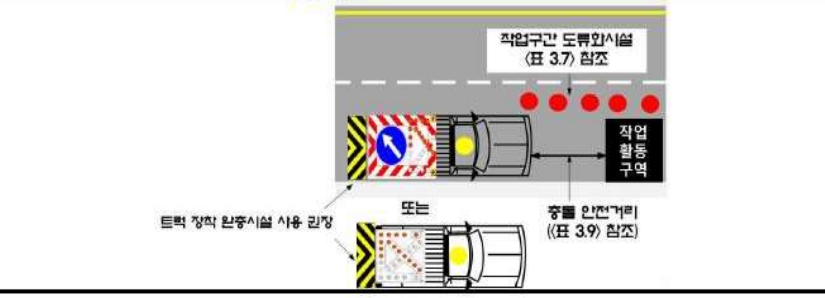
<교통관리 구간>



<일반도로 주의구간 교통안전표지 설치 예>



<터널 내 도로 점용시 교통관리>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>임시 교통통제시설 설치 기준</th></tr>
<tr><td colspan="2">고속도로</td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">지방 지역 및 도시 지역 일반 도로</td><td>제한속도
80km/h
이상</td></tr>
<tr><td>제한속도
80km/h
미만 ~
60km/h
이상</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>제한속도
60km/h
미만</td><td> 
</td></tr>
</table>

<단시간 공사 교통관리>

❍ 기타 도로시설물 세척작업 대책

- 관련부서와 협의를 통해 상습불법 주차구간에 임시 또는 상시 도로청소 안내표지판 설치 및 주차단속을 요청하였다.
- 불법 주정차로 측구의 청소가 어려울 시 주정차된 차로의 바로 옆(좌측)차로로 진행하였다.
- 도로청소를 실시한 후 발생되는 폐기물(폐토사 등)은 각 지자체의 집하장(구(舊)적환장)까지 운반하여야 하며 폐기물의 수집, 운반, 보관 처리에 관한 구체적 기준 및 방법은 폐기물관리법 시행령 제7조 제2항 및 동법 시행규칙 제14조 "별표 5" 규정에 의거하여 적합하게 처리하여야 한다.

○ 기상예보 운영기준

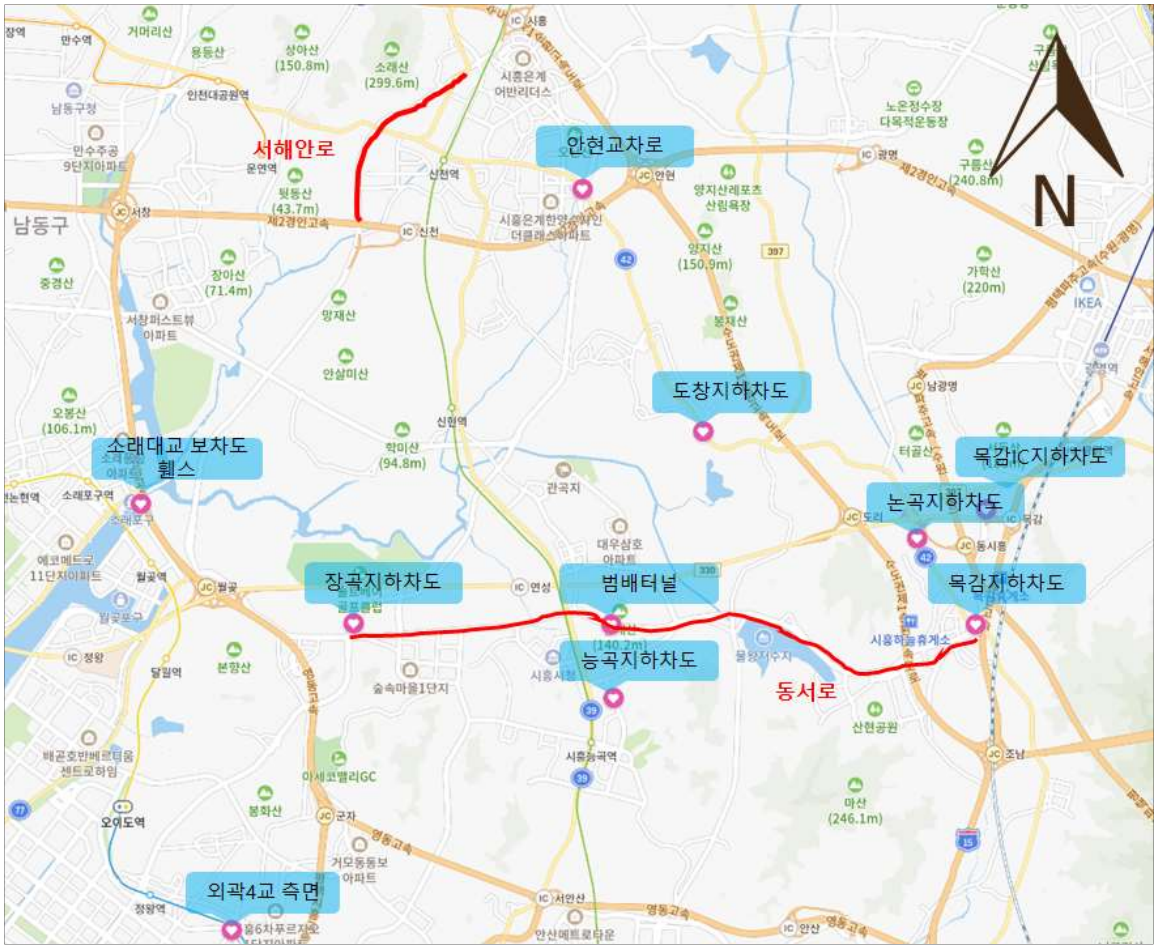
- 강우 상태에 따라 물청소 작업기준이 상이하며, 강수예보와 강우 상태로 구분하여 작업기준을 준수하였다.

<기상상태에 따른 도로청소 매뉴얼>

기상상태기준		작업기준
강수예보	• 강수확률 60% 이상	• 전일(17:00)예보: 익일 물청소 보류 – 당초예보에 의한 강우가 없거나 추가강수 예보 없을 경우 → 물청소 실시 – 비가 올 경우 → 강우상태 기준에 따라 대처
강우상태	• 당일 강수량이 도로에 물이 흐르지 않고 도로표면만 적시는 상태로 도로 물청소 효과가 없을 경우	• 당초계획에 의한 물청소 실시 – 왕복4차로이상 도로 → 측구 작업 – 이면도로, 골목길 및 보도물청소 작업 확대
	• 도로표면에 물이 흐르는 정도이상으로 청소효과가 있을 경우	• 강우 종료 후 익일부터 물청소 실시
	• 20 ㎜/일 이상 2일 이상 지속	• 강우 종료 후 2일 경과 후 물청소 실시
	• 작업용이성, 용수활용 효율성 등을 감안하여 고가 밑, 토사유출 등 특별한 지역에 대해서는 강우 시에도 물청소 가능	

발췌 : 환경부 수도권대기환경청, "도로청소 매뉴얼", 2016

(나) Test-Bed 선정구간



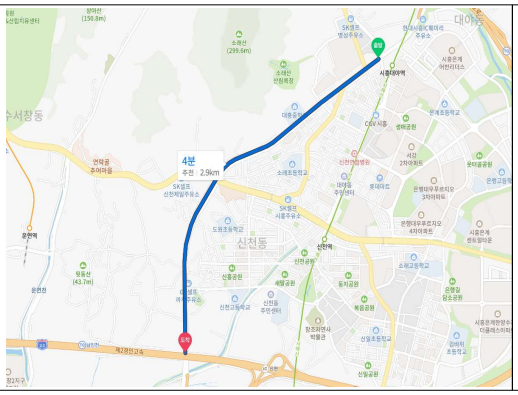
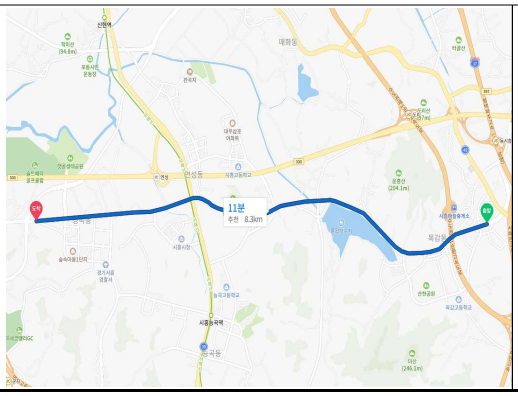
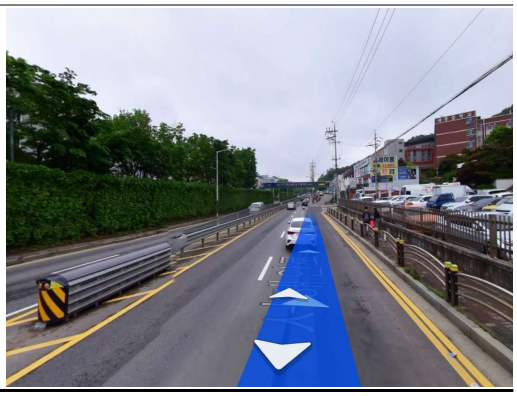
<시흥시 도로변 T/B 세척 희망 지점 map>

○ 시흥시 도로변의 가드레일과 지하차도 및 교량구간을 중심으로 T/B조건에 어울리는 희망 지점을 총 10곳 선정하였다.

○ 청소 사용용수 수급 및 교통량, 각 지점별 현장상황을 파악하고 실질적인 실험이 가능한 현장으로 선정하였다.

○ 시흥시와의 협약을 통해 공식적으로 Test를 진행할 수 있었고 안전에 유의하여 진행할 수 있었다.

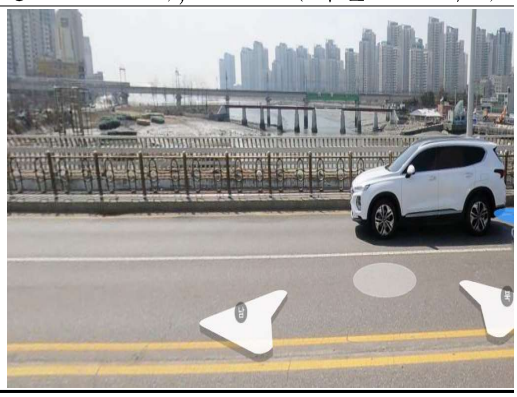
○ 도로 가드레일

순번	위치	로드뷰
1-1	서해안로 신천IC ~ 시흥대야역, 2.9 ㎞ 구간 (제한: 70㎞/h)	
		
1-2	동서로 (목감동 422 ~ 장곡동 759-6), 8.3 ㎞ 구간 (제한: 60㎞/h)	
		

○ 지하차도 및 교량구간

순번	위치	로드뷰
2-1	장곡지하차도 (장곡교차로, 장곡동 754-5), 80m (제한: 70㎞/h)	
		

2-2	목감IC지하차도(동서로, 목감동 70-9), 80m (제한: 60㎞/h)
	 
2-3	범배터널(동서로, 광석동 산 24-9), 70m (제한: 60㎞/h)
	 
2-4	논곡지하차도(논곡동 170-4), 40m (제한: 20㎞/h)
	 
2-5	도창지하차도(도창동 125-3), 25m (제한: 20㎞/h)
	 

2-6	능곡지하차도 (능곡중앙로, 능곡동 490), 40m (제한: 30㎞/h)
	 
2-7	목감지하차도(동서로, 목감동 422), 430m (제한: 60㎞/h)
	 
2-8	안현교차로 측면(수인로, 안현동 162-3), 910m (불가)
	 
2-9	소래대교 보차도 휀스(소래로, 월곶동 520-171), 360m (제한: 60㎞/h)
	 

2-10	외곽4교 측면(정왕천로, 정왕동 876-135), 60m (불가)



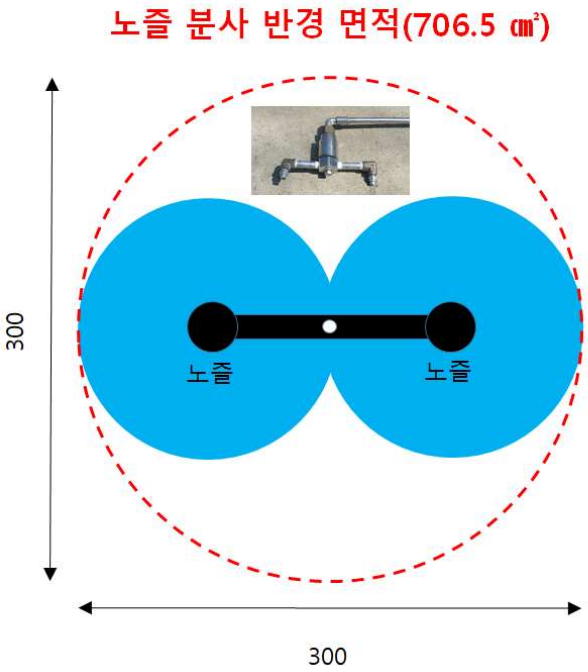


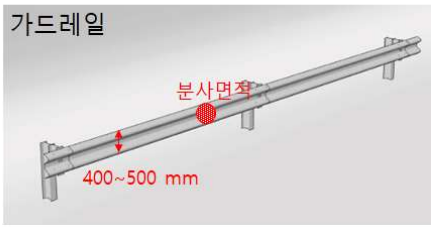
※ ▭: 2-8, 2-10 구역은 도로통제와 장비 적용 범위의 한계로 세척 불가.

(다) 세부일정

❍ 작업량 산정

- 세척차량 용량은 1,500L로 1,000L 물탱크 하나와 5,00L 물탱크 하나로 이루어져 있다.
- 분사노즐 개수는 2개로 이루어져 있으며 분사 면적은 706 ㎠이다.







<분사노즐 반경 면적 및 분사 부위에 따른 적용면적>

- 세척용량(분사용량)은 30LPM
- 세척속도는 1 m/s 이상임(수동 세척분사 노즐)

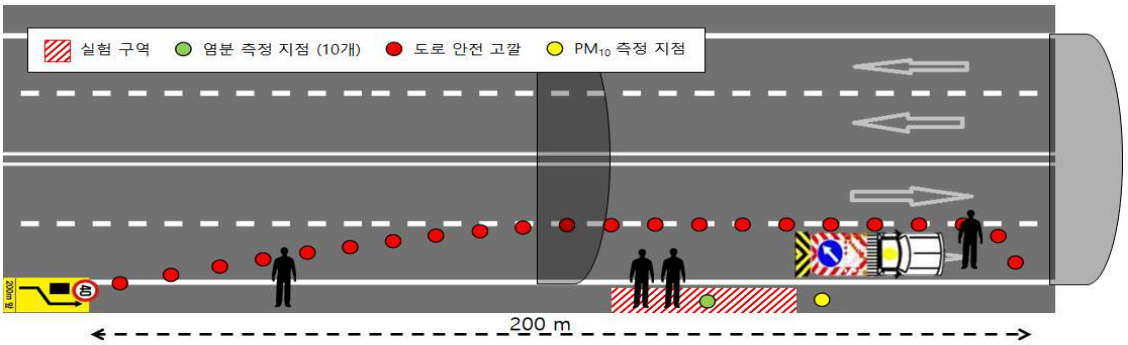
<각 부위별 세척 소요시간>

가드레일 1단	콘크리트	타일
5 초/m	25 초/㎡	15 초/㎡
600 m/일	120 ㎡/일	200 ㎡/일

<각 작업 구간별 예상 작업량 산정>

예상 작업구간			작업횟수	예상 작업일수	작업인력
1-1	서해안로	2,900 m	2	5 일	▪ 세척차량 운전수 1명 ▪ 세척호스 2명, ▪ 보조 1명 (차량 유도 등)
1-2	동서로	8,300 m	2	14 일	
2-1	장곡지하	320 ㎡	2	3-6 일	
2-2	목감IC지하	320 ㎡	2	3-6 일	
2-3	목감지하	1,720 ㎡	2	17-29 일	
2-4	범배터널	280 ㎡	2	3-5 일	
2-5	논곡지하	160 ㎡	2	2-3 일	
2-6	도창지하	100 ㎡	2	1-2 일	
2-7	능곡지하	160 ㎡	2	2-3 일	
2-9	소래로	720 m	2	1-2 일	

- 작업일수 산정방법
  - 가드레일 : 예상 작업길이(m) ÷ 600 m/일 × 2회 × 0.5
  - 콘크리트 : 예상 작업면적(㎡) ÷ 120 ㎡/일 × 2회
  - 타일 : 예상 작업면적(㎡) ÷ 200 ㎡/일 × 2회



<염분 제거 실험 지점 및 차량통제 계획도>

❍ 일일 작업 계획

시간	작업 내용
08:30 - 09:30	○ 준비 - 차량, 장비 셋팅 및 점검 - 나노수 제조
09:30 - 10:00	○ 장소 확인 및 이동
10:00 - 12:00	○ 작업 게시 - 작업 시작 보고 - 차량 통제 및 안전 방지물 설치 - 세척 작업 및 염분/PM10 측정
12:00 - 13:00	점심 및 휴식시간
13:00 - 15:00	○ 작업 계속 - 세척 작업 및 염분/PM10 측정
15:00 - 16:30	○ 작업 완료 및 정리 - 차량 통제 및 안전 방지물 수거 - 작업 사항 보고

작 업 일 지

작업 관리자	

작 업 일 자	2020년 월 일 (오전 / 오후) 시 분 ~ 시 분									
작 업 지 점							상행선 / 하행선			
작 업 구 분	가드레일 / 지하차도 / 교량						콘크리트 / 타일 / 철제 / 기타( )			
작 업 구 간	시작지점:			종료지점:			-			(m)
구 분	세척 전						세척 후			
작 업 사 진										
측 정 높 이				m						m
P M 1 0				ppm						ppm
표 면 염 분 농 도				ppm						ppm
표 면 분 진 등 급	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
기 타 특 이 사 항										

<작업일지 예시>

(라) 운행 결과

❍ 세척 전 표면 염분 농도는 평균 200 - 260 ㎎/㎡으로 세척 구역에 고르게 분포하고 있었으며, 미세기포 세척장치로 5회 세척을 진행 한 후 표면 염분 농도는 평균 50 - 65 ㎎/㎡으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

❍ 세척 전 표면 분진 등급은 평균 3 - 5등급으로 높은 등급으로 세척 구역에 고르게 분포하고 있었으며, 미세기포 세척장치로 5회 세척을 진행한 후 표면 분진 등급은 평균 1등급으로 매우 깨끗해지는 것을 확인할 수 있었다.

❍ 세척 전 표면 분진 입자수는 평균 1,000 - 1,800 개/37.5㎠으로 많은 개수의 분진이 세척 구역에 고르게 분포하고 있었으며, 미세기포 세척장치로 5회 세척을 진행한 후 표면 분진 입자수는 평균 36 - 105 개/37.5㎠으로 매우 감소하는 것을 확인할 수 있었다.



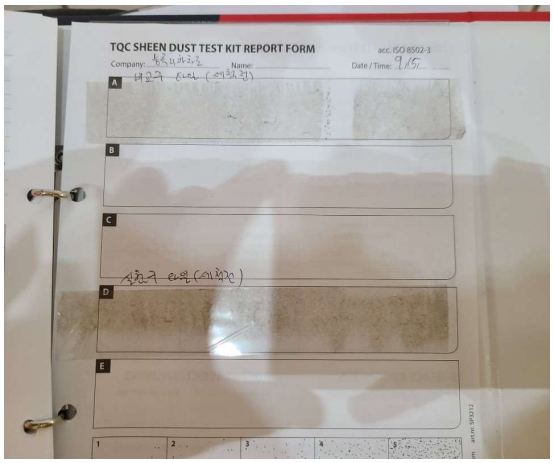
콘크리트 미세기포 세척



타일 표면 염분농도 측정



미세먼지 간이측정 장비



타일 표면 분진 등급 측정

<능곡 지하차도 미세기포 세척장치 현장 운행>



콘크리트 미세기포 세척



시멘트 벽면 미세기포 세척

<논곡 지하차도 미세기포 세척장치 현장 운행>



타일 벽면 미세기포 세척1



타일 벽면 미세기포 세척2

<도창 지하차도 미세기포 세척장치 현장 운행>

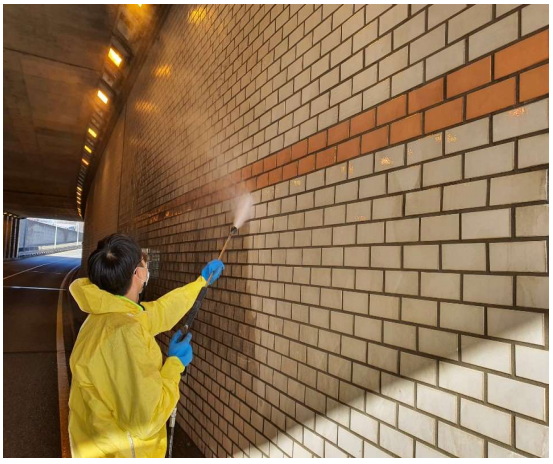


가드레일 미세기포 세척

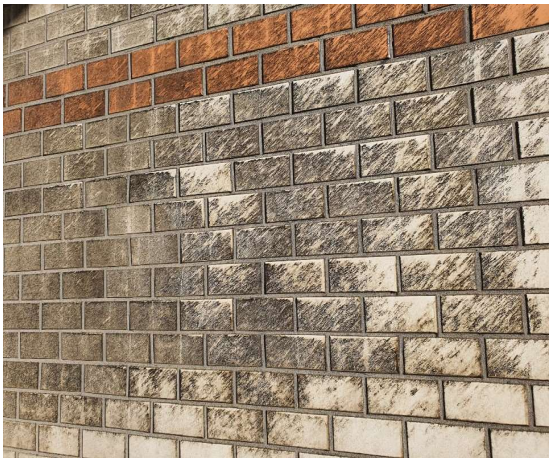


가드레일 표면 염분농도 측정

<서해안로 미세기포 세척장치 현장 운행>



타일 벽면 미세기포 세척

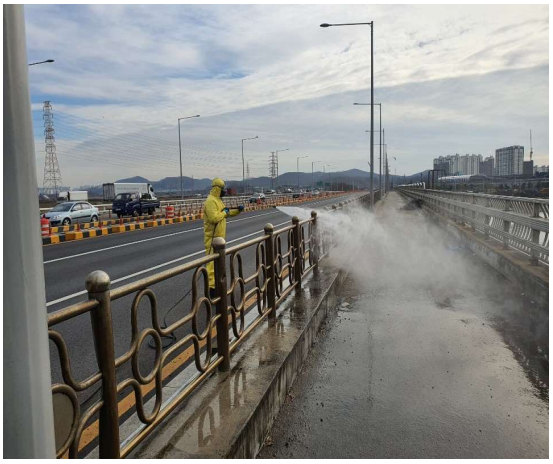


미세기포 세척 후 타일 벽면

<목감IC 지하차도 미세기포 세척장치 현장 운행>



콘크리트 미세기포 세척



난간 미세기포 세척

<소래대교 미세기포 세척장치 현장 운행>

○ 타일 및 난간 미세기포 세척 시 표면 염분 농도의 감소가 더 효과적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

○ 상대적으로 콘크리트 미세기포 세척 시 콘크리트 내 스며들어 있던 염분이 새어나와 타일 및 난간 미세기포 세척 시 표면 염분 농도의 감소량 보다 낮은 감소량을 확인할 수 있었다.

○ 타일 및 난간 미세기포 세척 시 표면 분진 제거효율은 세척 전에도 분진이 많이 분포하고 있지 않아 제거효율이 미미하였다.

○ 상대적으로 콘크리트 미세기포 세척 시 세척 전 분진이 많이 분포하고 있었기에 제거효율이 큰 것을 확인할 수 있었다.

(마) 현장 평가

○ 한국산업기술시험원(KTL)의 표준작업절차서를 토대로 현장 평가를 진행하였다.

○ 시험 방법 및 조건

<미세기포 발생장치 및 엔진형 세척기>

구분	운영 항목	운영 조건
미세기포 발생장치	공기량 (L/min)	2 - 2.5
	토출압력 (bar)	2.5 - 3
엔진형 세척기	토출압력 (bar)	90 - 110

<계측기 사양>

구분	제품명	교정여부
염분 농도 측정기	E130-SP (Elcometer 社)	KTL 보유장비 (교정일자 : 2020. 09. 02)
전기식 지시저울	PAG4102C (OHAUS 社)	KTL 보유장비 (교정일자 : 2020. 11. 27)

<시험방법>

구분	시험방법
염분	1. 지하차도의 콘크리트와 타일에 일정 면적의 실험군(5개)을 선정하여 3.5% 염분용액 도포 2. 세척 전 콘크리트 및 타일의 염분농도 값 측정 3. 미세기포 세척기를 50㎝ 거리에서 5분간 세척 4. 세척 후 콘크리트 및 타일의 염분 농도 값 측정 5. 세척 전·후 무게차를 계산하여 제거효율 산정
PM10 (분진)	1. 지하차도의 콘크리트 및 타일에 일정량의 PM10(분진) 시료 도포 후, 육안 평가를 통한 일정 면적의 실험군(4개) 선정 2. ISO 8502-3 표준에 의거하여 분석 테이프 길이를 15㎝로 일정하게 잘라 무게를 측정하며, 선정한 실험군 내 서로 다른 임의 지점 5곳의 PM10(분진) 샘플링 후 무게 측정 3. 미세기포 세척기를 50㎝ 거리에서 5분간 세척 4. 세척 후 상기 2번 항과 동일하게 분석 테이프의 무게를 측정하며, 세척 전 샘플링 지점을 제외한 서로 다른 임의 지점 5곳의 PM10(분진) 샘플링 후 무게 측정 5. 세척 전·후 무게차를 계산하여 제거효율 산정

○ 시험 결과

<표면 염분 제거율 시험 결과>

평가항목		염분 농도(㎎/㎥)		제거효율(%)
		세척 전	세척 후	
콘크리트	실험군 1	62	0	100.00
	실험군 2	101	2	98.02
	실험군 3	34	1	97.06
	실험군 4	62	7	88.71
	실험군 5	64	11	82.81
	평균	**65**	**4**	**93.32**
	표준편차	**23.85**	**4.66**	**7.29**
타일	실험군 1	42	8	88.10
	실험군 2	45	4	91.11
	실험군 3	47	5	89.36
	실험군 4	56	6	89.29
	실험군 5	51	4	92.16
	평균	**48**	**5**	**90.00**
	표준편차	**5.45**	**0.84**	**1.61**

<표면 PM10(분진) 제거율 시험 결과>

평가항목			실험군 1		실험군 2		실험군 3		실험군 4	
콘크리트	PM10 (분진) 무게 (㎎)	구분	세척전	세척후	세척전	세척후	세척전	세척후	세척전	세척후
		1	90	10	70	-	40	20	60	10
		2	40	0	80	-	120	0	80	0
		3	130	0	170	0	70	10	80	0
		4	90	0	90	10	40	0	60	0
		5	80	10	30	-	80	-	50	10
		평균	86	4	88	5	70	8	66	4
	실험군별 제거효율		**95.35**		**94.32**		**88.57**		**93.94**	
	전체평균 제거효율		**93.04**							
타일	PM10 (분진) 무게 (㎎)	구분	세척전	세척후	세척전	세척후	세척전	세척후	세척전	세척후
		1	40	0	20	0	120	0	120	0
		2	30	0	80	0	20	-	30	-
		3	80	0	20	-	70	20	20	-
		4	50	0	40	-	30	-	10	0
		5	50	0	-	-	30	0	20	0
		평균	50	0	40	0	54	7	40	0
	실험군별 제거효율		**100**		**100**		**87.04**		**100**	
	전체평균 제거효율		**96.76**							

*측정 오차에 의한 무게 음수(-) 값 제외

❍ 미세기포 세척장치의 콘크리트 표면 염분 제거 효율은 평균 93.32%인 것을 확인할 수 있었고 미세기포 세척장치의 타일 표면 염분 제거 효율은 평균 90.00%인 것을 확인할 수 있었다.

❍ 미세기포 세척장치의 콘크리트 표면 분진 제거 효율은 평균 93.04%인 것을 확인할 수 있었고 미세기포 세척장치의 타일 표면 분진 제거 효율은 평균 96.76%인 것을 확인할 수 있었다.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 연구 목표

(1) 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 80L/min 규모의 차량 탑재 가능한 20㎛ 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 상용화 (TRL: 6단계⇒8단계)
세부 목표	■ 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계 ■ 1.5HP(1.1kW) 및 4HP(3kW)급 30~80L/min 미세기포 세척장비 정밀설계/제작 및 성능평가 ■ 종래 고압 water jet 세척장비 대비 세척효율, 세척시간 및 용수사용량 비교 평가 ■ 도로시설물(방음벽, 도로 노면/가드레일, 터널벽면, 교량 노면/측면/기둥/철근 구조물)에 현장적용 평가

(2) 연차별 목표

구분	기관	목표
1차년도	㈜평화엔지니어링	• 도로시설물 (터널 벽면, 도로노면(콘크리트) 적용한 오염물질(미세분진, 염분) 분석/평가 • 세척장비의 핵심 Part 설계 • 정밀 유동해석, 성능평가
	㈜지티앤	• 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 세척장비 종합설계, 제작 및 평가
2차년도	㈜평화엔지니어링	• 도로시설물(방음벽), 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근 구조물) 오염물질 분석/평가 • 30L/min 세척장비 성능평가
	㈜지티앤	• 4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비 종합설계, 제작 및 평가
3차년도	㈜평화엔지니어링	• 차량 탑재 Compact형 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비 설계 및 개발 • 대표적 도로시설물(터널벽면, 도로노면, 방음벽, 교량 등) 현장적용 평가 • 운영관리 지침서 개발
	㈜지티앤	• 세척장비의 차량탑재 동력전달 연결장치 개발 • 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비의 설계 및 시공기술 표준화

○ 1차년도 개발 내용 및 범위((주)평화엔지니어링)

- 도로시설물 (터널 벽면, 도로노면(콘크리트) 오염물질(미세분진, 염분)의 분석 및 모니터링, 특성 평가

- 1차 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치, 2차 Vortex 다단충돌판 및 3차 회전충돌 붕괴노즐 하이브리드형 미세기포 세척장비 핵심구조의 설계, 세척장비 핵심구조 Part 정밀 유동해석

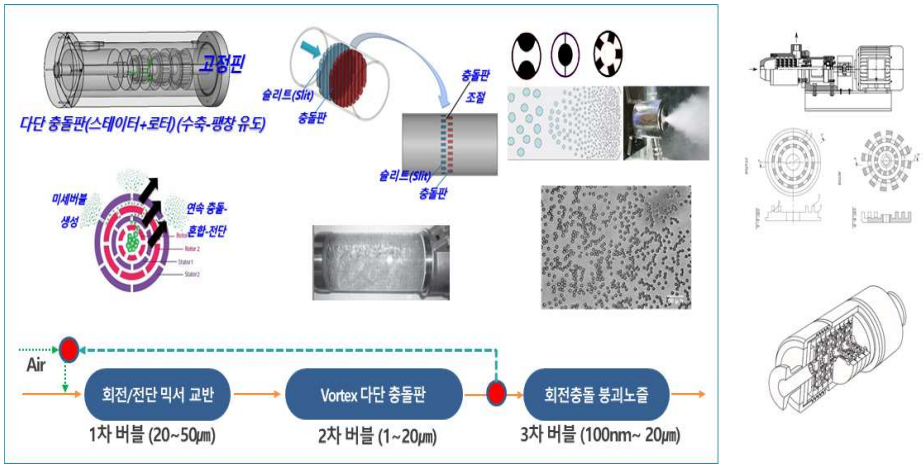
- 미세분진, 염분농도별 시편(콘크리트, 타일) 이용한 세척효율 실험실 성능평가



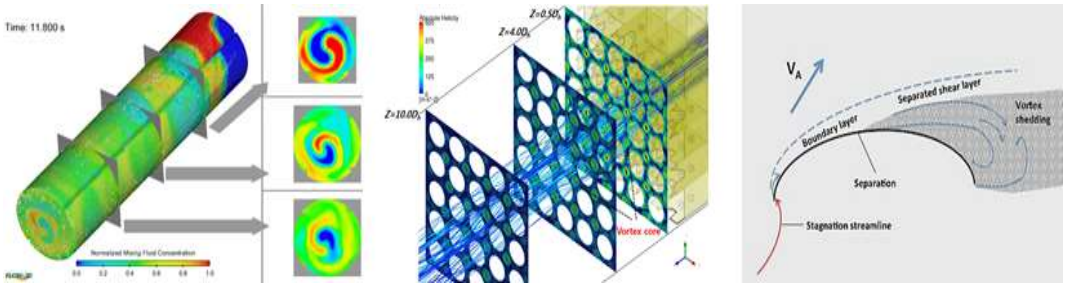
<대표적 도로 구조물 선택 및 샘플링 설계>



<대표적 도로 구조물 오염물질 샘플링, 분석, 모니터링>



<1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 세척장비 종합설계>



<세척장비 핵심구조 Part 정밀 유동해석>

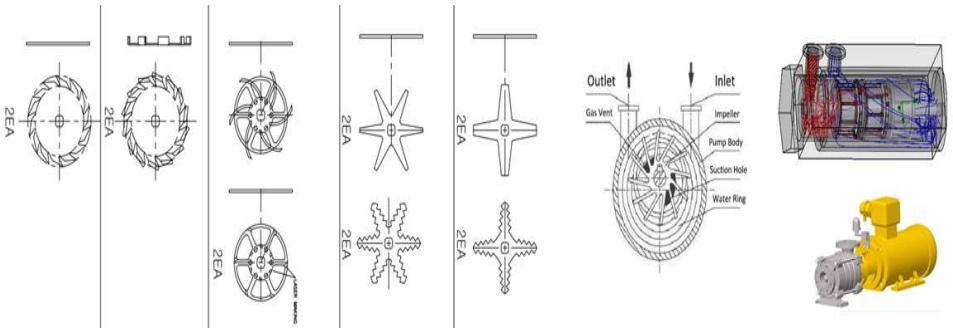


다양한 콘크리트 및 철근 구조물 시편 ⇒ 운전조건, 오염수준별 특성 테스트 수행

<미세분진, 염분농도별 시편(콘크리트, 타일) 이용한 세척효율 실험실 성능평가>

❍ 1차년도 개발 내용 및 범위((주)지티앤)

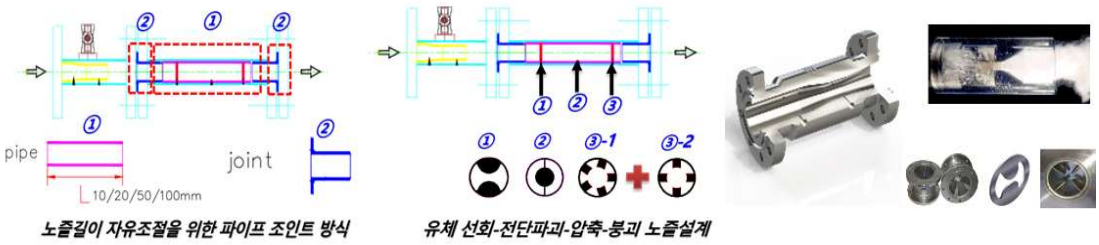
- 1.5HP급 30L/min 규모의 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치 정밀설계 및 제작
- 1.5HP급 30L/min 규모의 Vortex 다단충돌판 정밀설계 및 제작
- 1.5HP급 30L/min 규모의 회전충돌 붕괴노즐 정밀설계 및 제작
- 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 세척장비 통합제작 및 제어반 제작
- 소요동력, 토출유량 등 성능평가



<회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치 정밀설계 및 제작>



<Vortex 다단충돌판 정밀설계 및 제작>



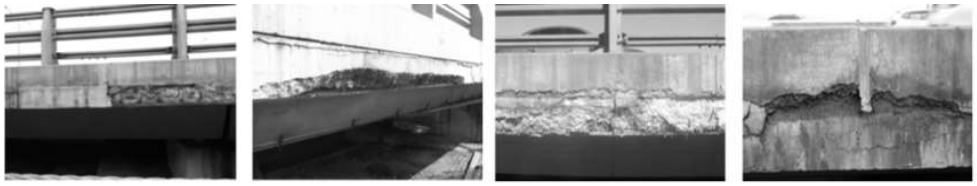
<회전충돌 붕괴노즐 정밀설계 및 제작>



<1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 세척장비 통합제작 및 성능평가(버블크기, 발생량 등)>

❍ 2차년도 개발 내용 및 범위((주)평화엔지니어링)

- 도로시설물(방음벽), 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근 구조물) 오염물질 분석/평가
- 1차년도 Pilot 1.5HP급 30L/min 규모의 세척장비에 대한 현장평가 및 운전조건 수립
- 세척 핵심장비의 문제점 도출 및 Trouble shooting 및 피드백
- 종래 Water jet 세척장비와 동일한 조건하에 용수사용량, 미세분진 제거율 등 세척효율 평가

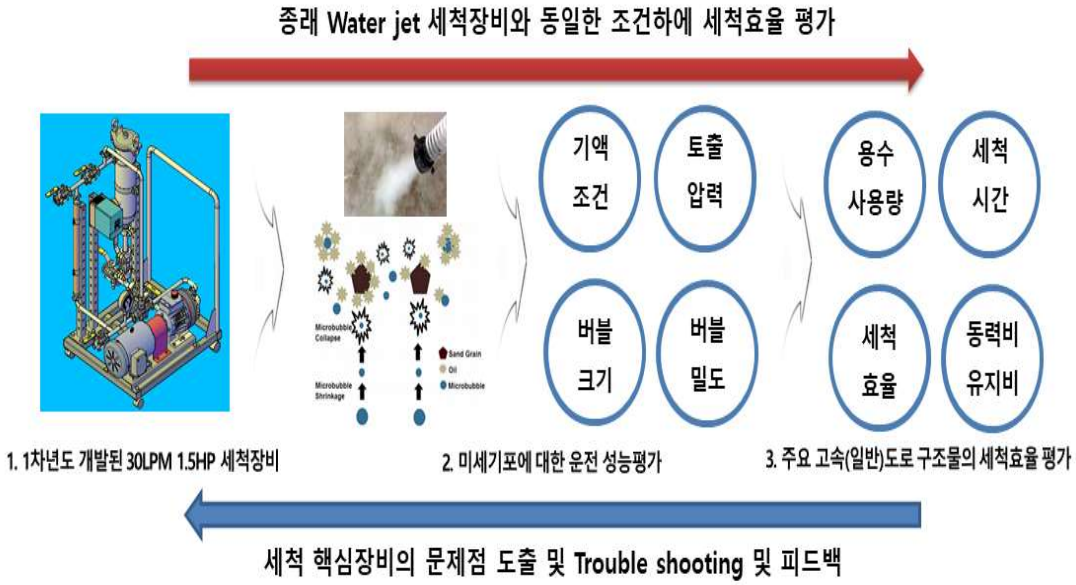


교각 층부, 측부 및 하부의 **철근 및 시멘트 염분에 의한 부식** 우려 사이트 선택 조사



철제 표면 염분측정, 콘크리트 표면 염분측정 및 모니터링

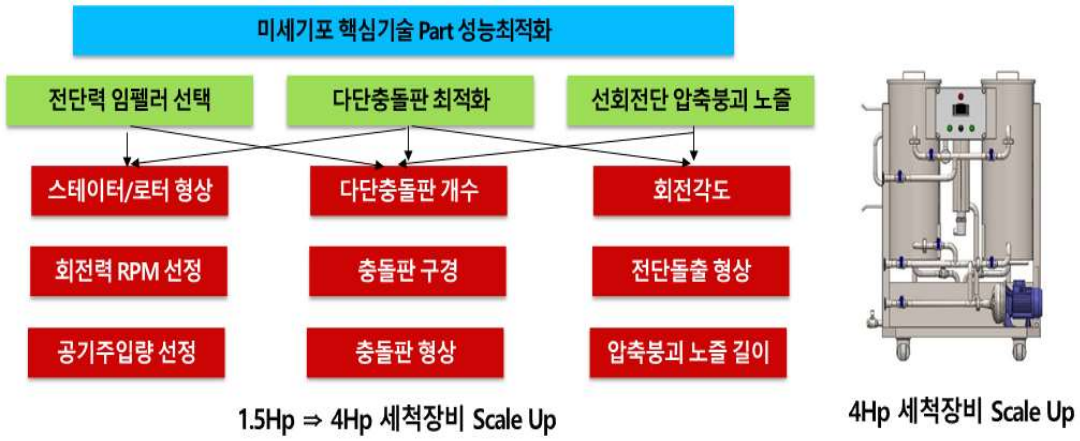
<대표적 교각 구조물 염분 샘플링, 분석, 모니터링>



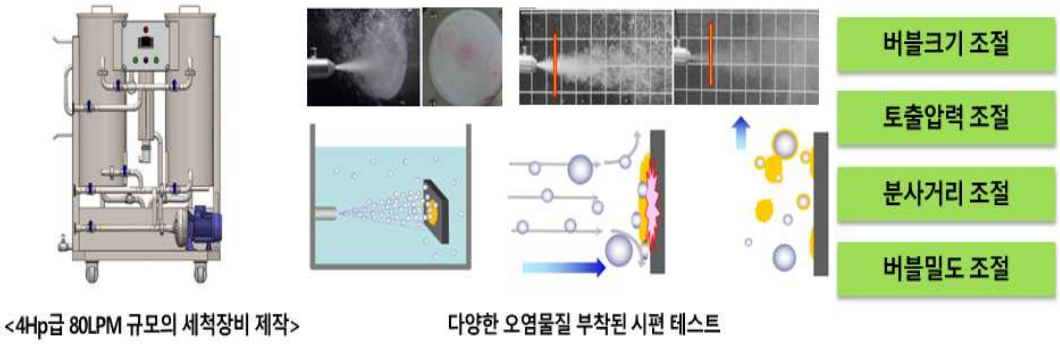
<1차년도 Pilot 1.5HP급 30L/min 규모의 세척장비에 대한 현장평가 및 운전조건 수립>

❍ 2차년도 개발 내용 및 범위((주)지티앤)

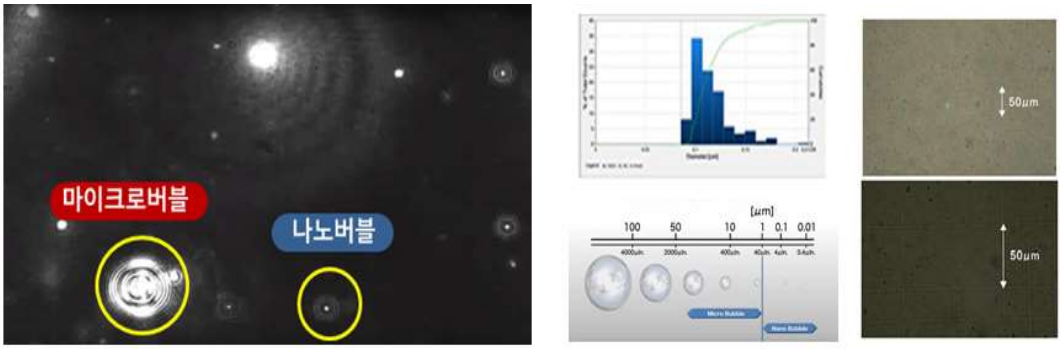
- 80L/min 규모의 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치 정밀설계 및 제작
- 80L/min 규모의 Vortex 다단충돌판 정밀설계 및 제작
- 80L/min 규모의 회전충돌 붕괴노즐 정밀설계 및 제작
- 4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비 통합제작 및 통합제어반 제작
- 소요동력, 토출유량 및 버블크기 분석 및 성능평가



<4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비 통합제작>



<4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비의 성능평가>



4Hp 세척장비의 미세기포 측정 (입자추적 및 산란법, 동적광산란법 등 분석장비 이용)

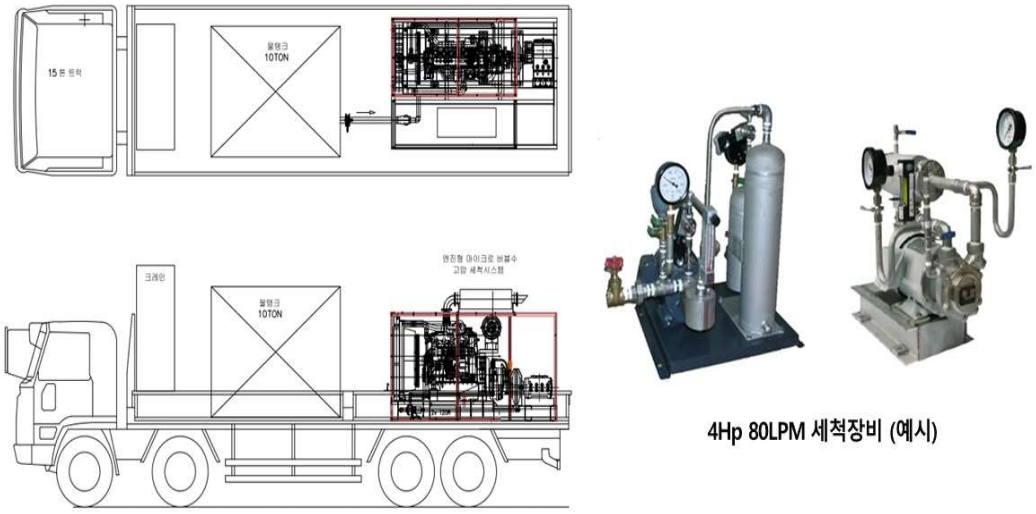
<4HP급 80L/min 세척장비에 대한 미세기포 크기 측정>

❍ 3차년도 개발 내용 및 범위((주)평화엔지니어링)

- 차량 탑재형 Compact형 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비 설계 및 개발

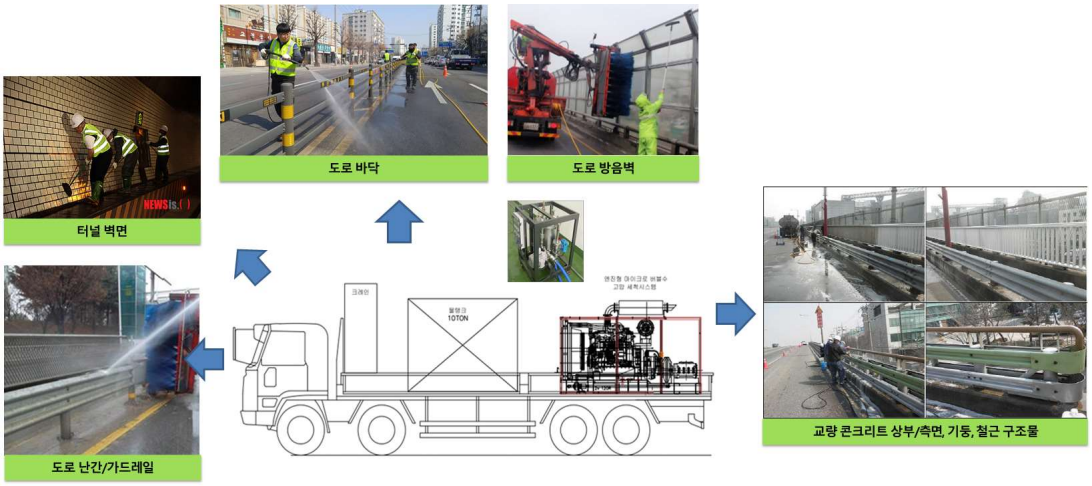
- 대표적 도로시설물(터널벽면, 도로노면, 방음벽, 교량 등) 현장적용 평가, 운영관리 지침서 개발

- 종래 Water Jet 세척장비 대비 단위 면적당 미세분진(PM2.5), 염분제거 세척효율, 세척수량, 세척시간 정량화



4Hp 80LPM 세척장비 (예시)

<차량 탑재형 Compact형 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비 설계 및 개발>



<대표적 도로시설물(터널벽면, 도로노면, 방음벽, 교량 등) 현장적용 평가>

도로시설물 미세기포 세척장비
유지관리 지침서

1. 세척장비 개요 및 구성

2. 세척장비 작동법

3. 도로시설물 장비 사용법
   가. 터널 벽면
   나. 도로 노면
   다. 도로 가드레일/측면
   라. 도로 방음벽
   마. 교량 노면, 측면, 기둥, 철근구조물

4. 장비 보관법

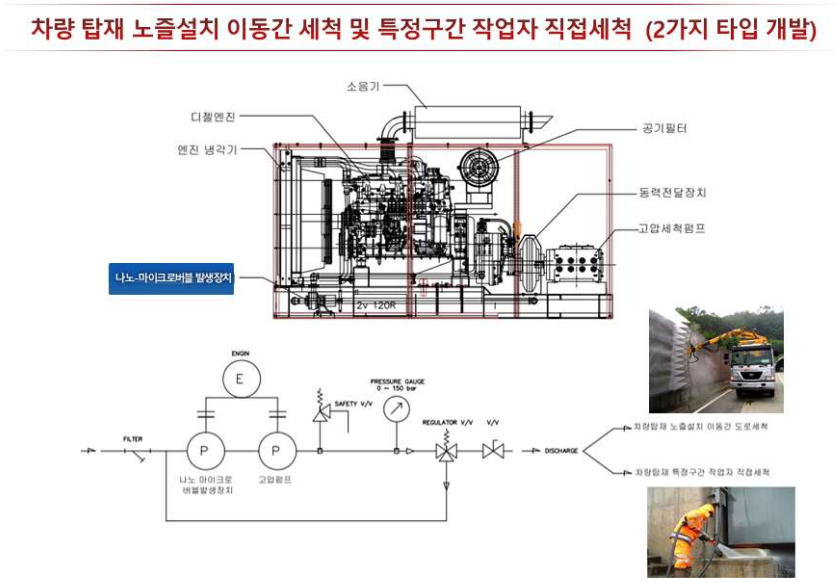
<도로시설물 미세기포 세척장비 유지관리 지침서 및 메뉴얼>

❍ 3차년도 개발 내용 및 범위((주)지티앤)

- 차량 탑재 동력 및 부대장치 개발

- 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비의 설계 및 시공기술 표준화

- 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비와 기존 water jet 세척장비의 경제성 비교



<미세기포 세척장비의 설계 및 시공기술 표준화>

나. 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
현장 조사 및 분석	5	100	○ 현장조사를 통해 공용도로와 유사한 환경을 구축 후 성능평가 수행
단위핵심 part 설계	10	100	○ 핵심유니트 최적설계 완료
단위핵심 part 유동해석	5	100	○ 미세기포 세척장비의 핵심구조 유동해석을 통한 설계 정확도 최적화
시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	15	100	○ 공인인증시험성적서 취득
시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	15	100	○ 공인인증시험성적서 취득
시제품 제작	20	100	○ 40HP, 80L/min 급 미세기포 세척장비 시제품 제작 완료
장치 성능평가 (전력소모량)	10	100	○ 공인인증시험성적서 취득
장치 성능평가 (미세기포 토출유량)	10	100	○ 공인인증시험성적서 취득
장치 성능평가 (미세기포 크기)	10	100	○ 공인인증시험성적서 취득
합계	100점	100	

시편 세척효율 평가(콘크리트, 타일) 공인인증시험성적서

시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-2 Report No.
페이지 (1)/(총 4) Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : (주)평화엔지니어링
주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,601호(빛가람동,티타워빌딩)
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2020. 11. 24.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 연구자재 제출용

3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 미세기포 세척장치의 염분 및 미세먼지 세척효율 성능평가
제작회사 (Manufacturer) : -
모 델 명 (Model Name) : -
제조번호 (Serial Number) : -
기 타 (Remark) : -

4. 시험기간 (Date of Test) : 2020년 12월 11일 ~ 2020년 12월 11일

5. 시험장소 (Location of Test) :
□ KTL 고정시험실
■ 현장시험 (주소 : 경기도 시흥시 소월동 125-3 지하차도)

6. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 시험 의뢰자 제시 방법

7. 시험결과 (Test Results) : 후면참조

비고(Note) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 법적 및 기타분쟁의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 부분적 유효하며, 임의로 제 가공된 사본 및 전자신청본 등은 유효하지 않습니다.
(이하여백 KTL 대표이사 직인 또는 사인을 포함하지 않은 성적서는 모든 법적효력을 잃어합니다.)
3. 아래의 QR코드를 스캔하여 성적서의 원본내용 확인이 가능하며, KTL 로관 원본과의 동일성은 고객센터를 통하거나(customer.ktl.re.kr)의 "성적서 원본확인"창에서 확인가능 합니다.

확 인 Affirmation
작성자(Tested by) 성 명(Name) : 어인섭 (Signature)
기술책임자(Technical Manager) 성 명(Name) : 김광구 (Signature)

2020. 12. 18.

한국산업기술시험원장

경상남도 창원시 성산로 10 (창원공단1동) (Changwongongdan-dong), 10, Changgul-ro, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea) Tel:055-860-1591 Fax. 02-860-1639

FP104-05-00

---

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-2 Report No.
페이지 (2)/(총 4) Page of Pages

시 험 결 과 (Test Results)

1. 시험 개요
- 시험 일자 : 2020년 12월 11일
- 시험 장소 : 경기도 시흥시 도창동 125-3 지하차도
- 시험 항목 : 염분 및 미세먼지 제거효율

2. 시험 방법 및 조건
- 미세기포 발생장치 및 엔진형 세척기

구분	운영 항목	운영 조건
미세기포	공기량 (l/min)	2~2.5
발생장치	토출압력 (bar)	2.5~3
엔진형 세척기	토출압력 (bar)	90~110

- 계측기 사양

구분	제품명	교정여부
염분 농도 측정기	E130-SP (Elcometer 社)	KTL 보유장비 (교정일자 : 2020. 09. 02.)
전기식 지시저울	PAG4102C (OHAUS 社)	KTL 보유장비 (교정일자 : 2020. 11. 27.)

- 시험방법: 시험 의뢰자 제시방법

구분	시험방법
염분	1) 지하차도의 콘크리트와 타일에 일정량의 실험군(5개)을 선정하여 3.5% 염분용액 도포 2) 세척 전 콘크리트 및 타일의 염분농도 값 측정 3) 미세기포 세척기를 50 cm 거리에서 5분 간 세척 4) 세척 후 콘크리트 및 타일의 염분 농도 값 측정 5) 세척 전, 후 무게차를 계산하여 제거효율 산정
PM_{10} (분진)	1) 지하차도의 콘크리트 및 타일에 일정량의 PM_{10}(분진) 시료 도포 후, 육안 평가를 통한 일정 면적의 실험군(4개) 선정 2) ISO 8502-3 표준에 의거하여 분석 테이프 길이를 15 cm로 일정하게 잘라 무게를 측정하며, 선정한 실험군 내 서로 다른 임의 지점 5곳의 PM_{10}(분진) 샘플링 후 무게 측정 3) 미세기포 세척기를 50 cm 거리에서 5분 간 세척 4) 세척 후 상기 2)번 항과 동일하게 분석 테이프의 무게를 측정하며, 세척 전 샘플링 지점을 제외한 서로 다른 임의 지점 5곳의 PM_{10}(분진) 샘플링 후 무게 측정 5) 세척 전, 후 무게차를 계산하여 제거효율 산정

FP104-06-00

---

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-2 Report No.
페이지 (3)/(총 4) Page of Pages

3. 시험 결과
- 염분

평가항목		염분 농도(mg/m²) 세척 전	염분 농도(mg/m²) 세척 후	제거효율(%)
콘크리트	실험군 1	62	0	100
	실험군 2	101	2	98.02
	실험군 3	34	1	97.06
	실험군 4	62	7	88.71
	실험군 5	64	11	82.81
	평균	65	4	**93.32**
	표준편차	23.85	4.66	**7.29**
타일	실험군 1	42	5	88.10
	실험군 2	45	4	91.11
	실험군 3	47	5	89.36
	실험군 4	56	6	89.29
	실험군 5	51	4	92.16
	평균	48	5	**90.00**
	표준편차	5.45	0.84	**1.61**

- PM_{10}(분진)

평가항목		구분	실험군 1 세척 전	실험군 1 세척 후	실험군 2 세척 전	실험군 2 세척 후	실험군 3 세척 전	실험군 3 세척 후	실험군 4 세척 전	실험군 4 세척 후
콘크리트	PM_{10}(분진) 무게(mg)	1	90	10	70	-*	40	20	60	10
		2	40	0	80	-*	120	0	80	0
		3	130	0	170	0	70	10	80	0
		4	90	0	90	10	40	0	60	0
		5	80	10	30	-*	80	-*	50	10
		평균	86	4	88	5	70	8	66	4
		표준편차	32	5	51	7	33	10	13	5
	제거효율 (%)	실험군별 제거효율	95.35		94.32		88.57		93.94	
		전체평균 제거효율 (표준편차)	**93.04 (3.04)**							
타일	PM_{10}(분진) 무게(mg)	구분	세척 전	세척 후	세척 전	세척 후	세척 전	세척 후	세척 전	세척 후
		1	40	0	20	0	120	0	120	0
		2	30	0	80	0	20	-*	30	-*
		3	80	0	20	-*	70	20	20	-*
		4	50	0	40	-*	30	-*	10	0
		5	50	0	-*	-*	30	0	20	0
		평균	50	0	40	0	54	7	40	0
		표준편차	19	0	28	0	42	12	45	0
	제거효율 (%)	실험군별 제거효율	100		100		87.04		100	
		전체평균 제거효율 (표준편차)	**96.76 (6.48)**							

*측정 오차에 의한 무게 음수(-) 값 제외

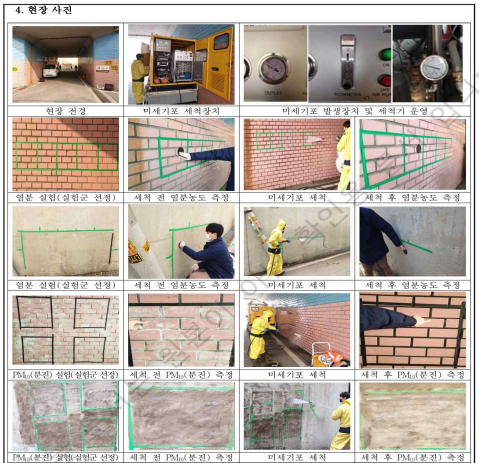
FP104-06-00

---

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-2 Report No.
페이지 (4)/(총 4) Page of Pages

4. 현장 사진



이 하 여 백

FP104-06-00

본 문서는 인증 확인용 문서 입니다

장치 성능평가(전력소모량 및 토출유량) 공인인증시험성적서

시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 19-076810-01-3
Report No.
페이지 (1)/(총 3)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : (주)평화엔지니어링
주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,601호(빛가람동,티타워빌딩)
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2019. 11. 21.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 제출용

3. 시험대상품목/품질/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 전력소모량 및 토출유량
제작회사 (Manufacturer) : -
모 델 명 (Model Name) : -
제조번호 (Serial Number) : -
기 타 (Remark) : -

4. 시험기간 (Date of Test) : 2019년 12월 03일 ~ 2019년 12월 03일

5. 시험장소 (Location of Test) :
□ KTL 고정시험실
■ 현장시험 (주소 : 후면참조)

6. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험

7. 시험결과 (Test Results) : 후면참조

비고(None) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 법적 및 기타품질의 근거 증으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 원문만 유효하며, 임의로 제 가공된 사본 및 공개되므로 증은 유효하지 않습니다.
(원본이상 KTL에서 정해진 절차에 따라 보관성을 포함하며 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)
3. 아래의 2D메모리를 스캔하여 성적서의 원본내용 확인이 가능하며, KTL 보유 원본과의 동일성은 고객입증책임자(customer,utilizer)의 "성적서 원본확인"창에서 비교가능 합니다.

확 인 Affirmation	작성자(Tested by)	기술책임자(Technical Manager)
	성 명(Name): 이청돈 (Signature)	성 명(Name): 김광구 (Signature)

2019. 12. 04.

한국산업기술시험원장

서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동)(87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, KOREA) Tel.02-860-1157 Fax. 02-860-1689

FP204-01-06

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 19-076810-01-3
Report No.
페이지 (2)/(총 3)
Page of Pages

시 험 결 과 (Test Results)

○ 시험 개요
- 시험 일자 : 2019. 12. 3
- 시험 장소 : ㈜지티엔 연구소(경기도 화성시 장남면 패랑3길 34)
- 시험 항목 : 전력소모량 및 토출유량

○ 시험 방법
- 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험
- 계측기 사양

구분	제품명
전력량계	LD1210DRM - 040LS (LS 산전)
유량계	Promass80F15 (EnDRESS+Hauser)

- 시험조건 및 방법

구분	방법
전력소모량 및 토출유량	- 전력량계 초기 값 : 11.8kwh - 4 bar, 공기비 0.5 LPM 조건에서 미세기포 발생 후, 세척장비 운전 시 발생되는 전력소모량과 토출유량 확인

○ 시험 결과
- 전력소모량

시간	전력소모량(kwh)
20분	12.5
30분	12.8
40분	13.2
60분	13.8
합계	2.0

- 토출유량

시간	토출유량(L/min)
20분	86.4
30분	86.5
40분	86.9
60분	87.1
평균	86.7

FP204-02-02

ktl 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 19-076810-01-3
Report No.
페이지 (3)/(총 3)
Page of Pages

현장 시험사진


미세기포발생장치



전력량계

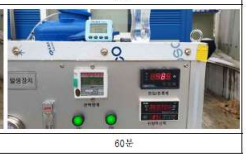


유량적산계


20분


30분


40분


60분

이 상 끝.

FP204-02-02

장치 성능평가(미세기포 크기) 공인인증시험성적서

시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

kTL 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-1
Report No.
페이지 (1)/(총 3)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : (주)청화엔지니어링
주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,601호(빛가람동,티타워빌딩)
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2020. 11. 24.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 연구과제 제출용

3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 미세기포 크기 측정을 통한 발생장치 성능평가
제작회사 (Manufacturer) : -
모 델 명 (Model Name) : -
제조번호 (Serial Number) : -
기 타 (Remark) : -

4. 시험기간 (Date of Test) : 2020년 11월 26일 ~ 2020년 11월 26일

5. 시험장소 (Location of Test) :
□ KTL 고정시험실
■ 현장시험 (주소 : 후면참조)

6. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 의뢰자 제시 시험방법

7. 시험결과 (Test Results) : 후면참조

비고(Note) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 법적 및 기타분쟁에 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 일부로 재 가공된 사본 및 전자이미지 등은 유효하지 않습니다.
(훼손이유 KTL에서 정확한 원인에 따라 교정업체 보정사에 제공하는 모든 정적사를 의미합니다.)
3. 아래의 2D바코드를 스캔하여 성적서의 원본내용 확인이 가능합니다. KTL 부관 문본과의 동일성은 고객센터(customer.ktl.re.kr)가 "성적서 원본확인"을 에서 비교가능 합니다.

확 인 Affirmation	작성자(Tested by)	기술책임자(Technical Manager)
	성 명(Name): 어인실 (Signature)	성 명(Name): 김정구 (Signature) 김정구

2020. 12. 03.

한국산업기술시험원장 직인

서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동) (87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, KOREA) Tel.02-860-1591 Fax. 02-860-1639

FP104-05-00



※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

kTL 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-1
Report No.
페이지 (2)/(총 3)
Page of Pages

시 험 결 과 (Test Results)

1. 시험 개요
- 시험 일자 : 2020년 11월 26일
- 시험 장소 : 경북대학교 공동실험실습관 213호 (주소 : 대구광역시 북구 대학로 80)
- 시험 항목 : 미세기포 크기

2. 시험 방법 및 조건
- 미세기포 발생장치

구분	공기량	토출압력
운영 조건	950 ~ 1,000 (cc/min)	3.5 ~ 4 (bar)

- 계측기 사양

구분	제품명
나노입자추적분석시스템	NanoSight NS300 (Malvern 社)

3. 시험 결과

평가항목	샘플명	측정 값	측정단위
미세기포 크기	1	0.1483	μm
	2	0.1676	
	3	0.2112	
	4	0.1743	
	5	0.1398	
	6	0.1872	
	7	0.1789	
	8	0.1736	
	9	0.1365	
	10	0.1369	
	평균	0.1654	

FP104-06-00

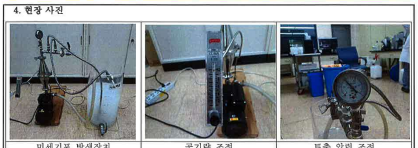


※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

kTL 한국산업기술시험원 Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 20-076195-01-1
Report No.
페이지 (3)/(총 3)
Page of Pages

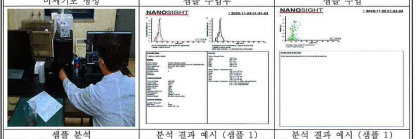
4. 현장 사진



미세기포 발생장치 | 공기량 조절 | 토출 압력 조절



미세기포 생성 | 샘플 주입부 | 샘플 주입



샘플 분석 | 분석 결과 예시 (샘플 1) | 분석 결과 예시 (샘플 1)

이 하 여 백

FP104-06-00



※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

다. 연구 성과 목표

(1) 질적 성과지표

구분	핵심성과(CTE)		단위성과		성과점검기준						
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1	1.5HP 30L/min 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	2건	현장조사	결과보고서	2.5
					②	단위핵심 Part 설계	1.5HP 이내 30L/min 이상	1.5HP 이내 30L/min 이상	단위핵심 설계	설계도면	5
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	해석정확도 90%	단위핵심 설계	결과보고서	5
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	염분 : > 80% PM10 : > 70%	실내실험	공인시험서	7.5
						시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	염분 : > 80% PM10 : > 70%	실내실험	공인시험서	
			1-2	4HP 80L/min 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	3건	현장조사	결과보고서	2.5
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 80L/min	4HP 80L/min	단위핵심 설계	설계도면	5
					③	단위핵심 Part유동해석	해석정확도 90%	해석정확도 90%	단위핵심 설계	결과보고서	5
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분: > 90% PM10: > 80%	염분: > 90% PM10: > 80%	실내실험	공인시험서	7.5
						시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분: > 90% PM10: > 80%	염분: > 90% PM10: > 80%	실내실험	공인시험서	
			1-3	4HP 80L/min 차량탑재형 세척시스템 현장 성능평가	①	세척효율 평가 (도로시설)	염분: > 90% PM10: > 80%	염분: > 90% PM10: > 80%	현장적용	공인시험서	2.5
					②	세척효율 평가 (터널)	염분: > 90% PM10: > 80%	염분: > 90% PM10: > 80%	현장적용	공인시험서	5
					③	현장모니터링	6개월	6개월	현장적용	모니터링 결과	7.5
					④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	장치운영매뉴얼 개발	매뉴얼 작성여부	운영매뉴얼	5

공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1	1.5HP 30L/min 세척장비	①	장치제작	1.5HP 30L/min	1.5HP 30L/min	시제품 제작	설계 도면	5
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kW	1.1kW	실내실험	공인 시험서	3.5
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min	30L/min	실내실험	공인 시험서	3.5
			2-2	4HP 80L/min 세척장비	①	장치제작	4HP 80L/min	4HP 80L/min	시제품 제작	설계 도면	5.5
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kW	3kW	실내실험	공인 시험서	3.5
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min	80L/min	실내실험	공인 시험서	3.5
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20㎛	20㎛	실내실험	공인 시험서	3.5
			2-3	4HP 80L/min 차량탑재형 세척시스템	①	장치제작	시제품	시제품	시제품 제작	설계 도면	5
					②	차량탑재형 세척시스템 통합제어	시제품	시제품	시제품 확인	현장 평가	3.5
					③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20㎛	20㎛	실내실험	공인 시험서	3.5
계								100			100

(2) 양적 성과지표

❍ 국내·외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호*
1	다항식 회귀분석을 이용한 마이크로 버블의 종말상승속도 모델식 구축 및 운전조건 최적화	한국응용과학기술학회지	박일건	35(4)	대한민국	한국유화학회	비SCI	2018년 12월	
2	미세기포 세척장비를 이용한 도로시설물 염화칼슘의 제거	한국응용과학기술학회지	박일건	36(4)	대한민국	한국유화학회	비SCI	2019년 12월	
3	초미세기포 water jet을 이용한 도로 시설물 분진 제거 효율 평가	한국청정기술학회	김현진	27(1)	대한민국	청정기술	비SCI	2021년 3월 예정	

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

❍ 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2018 추계 소음진동공학회 (도로시설물 유지관리를 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장비의 기계적 안전성 연구)	박일건	2018.10.17 ~ 20	여수 디오션 리조트	대한민국
2	2019 추계 소음진동공학회 (도로시설물 유지관리를 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장비의 기계적 안전성 연구)	박일건	2019.10.24 ~ 25	제주도 해비치호텔	대한민국

❍ 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록 번호*	
1	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장치	대한민국	㈜평화엔지니어링	2018.11.29	10-2018-0150932		
2	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장치용 미세기포발생장치	대한민국	㈜평화엔지니어링	2018.11.29	10-2018-0150938		
3	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 차량 탑재형 나노버블 세척장치	대한민국	㈜평화엔지니어링	2019.10.06	10-2019-0123490		
4	미세버블을 이용한 세척장치	대한민국	㈜지티앤	2018.10.01	10-2018-0116825		
5	나노버블수를 이용한 이동형 세척시스템	대한민국	㈜지티앤	2019.10.17	10-2019-0128873		
6	살균과 세척 효과를 갖는 나노버블수 생성장치	대한민국	㈜지티앤	2020.09.10	10-2020-0116424		

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	등록				기여율
			등록인	등록일	등록번호	등록 번호*	
1	미세버블을 이용한 세척장치	대한민국	㈜지티앤	2019.10.31	10-2041434		
2	나노버블수를 이용한 이동형 세척시스템	대한민국	㈜지티앤	2020.09.18	10-2159671		
3	살균과 세척 효과를 갖는 나노버블수 생성장치	대한민국	㈜지티앤	2021.02.08	10-2215906		

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

○ 홍보

구분	장소·매체	홍보명	일자	목적	내용
언론 보도	웹 기사 (미디어투데이)	첨단도시 시흥, 차량 탑재형 미세기포 세척으로 도로시설물 염화칼슘 및 미세먼지 말끔 제거	2020.08.21	차량 탑재형 미세기포 세척장치 홍보	차량탑재형 미세기포 세척장치 개발 과제로 제작된 장비를 사용하여 도로시설물 세척관련 민원사항을 효과적으로 해결하고 깨끗한 도시 경관을 조성할 것임
언론 보도	웹 기사 (비전21뉴스)	첨단도시 시흥, 차량 탑재형 미세기포 세척으로 도로시설물 염화칼슘 및 미세먼지 말끔 제거	2020.08.21		
언론 보도	웹 기사 (세계로컬타임즈)	시흥시, 도로시설물 염화칼슘 및 미세먼지 제거	2020.08.21		
언론 보도	웹 기사 (시흥타임즈)	시흥시, 도로시설물 염화칼슘 및 미세먼지 제거	2020.08.21		
언론 보도	웹 기사 (일간경기)	시흥시, 첨단 개발장비 활용 도로시설물 미세먼지 청소	2020.08.21		
언론 보도	웹 기사 (로컬라이프)	시흥시, 차량 탑재형 미세기포 세척으로 도로시설물 염화칼슘 및 미세먼지 말끔 제거	2020.08.22		
언론 보도	웹 기사 (한국방송뉴스)	시흥시, 친환경 나노버블수 이용 쾌적한 도로 환경조성	2020.10.23		
언론 보도	웹 기사 (한국분양정보)	시흥시, 친환경 나노버블수 이용 쾌적한 도로 환경 조성	2020.10.23		
언론 보도	웹 기사 (시흥신문)	시흥시, 도로 미세먼지·염분 제거 예산 절감	2020.10.30		

라. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당사항 없음 -

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구 개발 성과의 활용 방안

❍ 일본 기술 대비 우수한 100㎚ - 20㎛ 이하의 차량 탑재형 세척장비 기술 확보

❍ 눈이 많이 내리는 국가(러시아, 미국, 캐나다, 동유럽 등)에 장비 수출 가능

❍ 구조물에 부착된 염화칼슘 관리를 위한 규제 기준을 마련하는데 활용

나. 기대효과

❍ 기술적 측면
- 본 연구개발은 고밀도도로, 교각, 터널 등 구조물 세척용 고효율 장비 확보
- 일본 기술 대비 다목적의 고성능의 미세기포 세척용 장비 기술 확보

❍ 경제적 · 산업적 측면
- 개발 세척장비를 통한 유지관리비 절감(동력비, 인력비, 용수사용량 등)
- 일부 고압세척 외산장비의 수입대체 효과
- 교각 구조물 사각지대의 고염분에 의한 노후화 및 부식방지
- 관련 개발기술 제품의 상용화에 따른 다양한 세척 산업분야로 확대

❍ 사회적 측면
- Chemical free 기반의 친환경 세척 장비에 의한 미세분진 및 염분제거
- 염화칼슘 및 미세분진 관리에 따른 인체 위해성 저감
- 부식방지를 통한 깨끗한 도시경관 조성

참고문헌

[1] Jordan Pharris, Road Salt Runoff: Impervious Surface Area and Salt Concentrations in Urb an Water Bodies, University of Nebraska, Lincoln,Theses, 2012

[2] Curtis A. Cooper, Paul M. Mayer, Barton R. Faulkner, Effects of road salts on groundwater and surface water dynamics of sodium and chloride in an urban restored stream, Biogeochemistry, 121(1),149-166, 2014.

[3] B.R.Denby, Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRIP road dust emission model, Atmospheric Environment, 141, 508-522, 2016.

[4] 미국 고속도로 교량, 40% 붕괴위기, 동아라이브러리, 1993년 6호.

[5] www.cleanroad.or.kr.

[6] 연간 전국 지자체 염화칼슘 사용량 및 동원현황, 2013,소방방제청.

[7] 도로공사 봄철 도로구조물 세척을 위한 살수작업 세척장비 규모 및 동원현황, 한국도로공사. 2017

[8] 도로청소를 통한 비점오염물질관리 타당성 조사 연구, 환경부, 2012.

[9] https://www.unitracc.com/technical/books/

[10] S. Manfred, Urban Soils and Road Dust－Civilization Effects and Metal Pollution －A Review, Environments 2020, 7(11), 98

[11] https://www.acniti.com/technology/iso-fine-bubbles/

[12] https://www.rawbiochem.com/nano-bubbles

[13] https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime/46/6/46_861/_pdf

[14] https://finebubble.net/technology

[15] https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/

[16] https://www.nittoseiko.co.jp/

[17] https://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news_data

[18] http://sokeizai.or.jp/japanese/publish/200706/200710miyamoto.pdf

[19] https://solarpit.com/service/washing/

[20] https://www.ligaric.co.jp/bubble/

[21] http://www.ekouhou.net

[22] https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4062

[23] J.B. Hudson, D. G. Nunes, Micro-bubble size distribution measurements by laser diffraction tech nique 2009, Minerals Engineering 22(4):330-335

[24] L. A. Romero1, J. R. Torczynski, Terminal velocity of a bubble in a vertically vibrated liquid Physics of Fluids, 2014.

[25] https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/hq/h28/1026a/.

[27] https://www.ybm.jp/technology/ufb/about

[28] https://www.acniti.com/blog/nano-bubbles-on-camera/

[29] http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai_morioka/pdf/804B_9.pdf

[30] http://jcmanet.temporarydomain.net/pdf/111227-7-4.pdf

[31] https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0706/

[32] H. Tsuge. *Micro and Nanobubbles: Fundamentals and Applications (1st edn)*. P. 45-7 7, Pan Stanford Publishing, Japan, (2014).

[33] M. Alheshibri, J. Qian, M. Jehannin, V. S. J. Craig. "A history of nanobubbles". Langmuir, Vol. 32, pp.11,086-11,100, (2016).

[34] A. Agarwal, WJ. Ng, Y. Liu. " Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment". Chemosphere, Vol. 84, pp. 1175-80, (2011).

[35] https://www.an.shimadzu.co.jp/powder/lecture/beginner/b12.htm

[36] https://www.acniti.com/products/ultrafine-bubble-monitoring-alt-9f17/

붙임.(협약서, 작업일지, 별지 등)

과제수행협약서(PEC&시흥시)

도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한
4HP 80L/min급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발
과제수행 협약서

시흥시장(이하 "시흥시" 라 한다)과 ㈜평화엔지니어링 대표(이하 "연구기관" 이라 한다)는 국토교통과학기술진흥원 사회문제해결형 과제의 연구결과에 대한 지자체 실증을 위하여 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조(목적) 본 협약은 시흥시 내 「4HP 80L/min급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발」 연구개발 성과를 효과적으로 도출하기 위하여 시흥시와 연구기관 간 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(사업내용)
① 본 사업의 목적은 시흥시 내 테스트베드 지역에 대한 개발 기술을 적용하고 검증함으로써 세척 효율 개선 및 유지비를 절감하고 시민들에게 쾌적한 도로 환경을 조성하는 데 있다.
② 본 사업의 주요 내용은 다음과 같다.
1. 사 업 명 : 국토교통기술촉진연구사업
2. 구 간 : 동서로, 서해안로, 신천IC ~ 시흥대야역 등
3. 규 모 : 도로시설물(가드레일, 지하차도, 터널 등) 10㎞ 이상
4. 내 용 : 차량 탑재형 미세기포 세척장비를 활용한 도로시설물 세척

제3조(당사자들의 의무와 역할)
① 시흥시의 본 사업에 관한 의무와 역할은 각 호와 같다.
1. 사업부지에 설치된 시설물 등에 관하여 실증 허가 협조
2. 테스트베드 실증 시 연구기관 요청사항 협력 지원
② 연구기관의 본 사업에 관한 의무와 역할은 각 호와 같다.
1. 본 사업 시행에 따른 연구 개발 수행 전반과 제반 사업비 부담
2. 테스트베드 설치 및 운영과정에 수반되는 각종 행정사항 처리
3. 사업계획서를 준수하여 관련법에 의한 행정절차 이행
4. 데이터 측정 비교 · 분석을 통한 최종 결과보고서 시에 제공

제4조(사업계획의 확정 및 변경)
① 연구기관은 시흥시와 협의를 거쳐 미세기포 세척장치 활용을 위한 사업계획을 이행하여, 추진완료 후에는 결과보고서를 시흥시에 제출한다.
1. 과업 수행 이전에 시흥시와 사전 협의하여야 하며, 사업계획서(위치도, 수행범위, 사업기간 등)를 제출하여야 한다.
2. 제출된 사업계획서에 대한 결과는 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 제34조 2항에 따라 사업기간 종료 후 45일 이내에 제출하는 연구개발 최종보고서로 갈음하고, 그 내용을 시흥시와 공유하여야 한다.
3. 사업계획서에 따른 결과보고서는 업무협력 협약서 제7조 제2항에 의거하여 2022년 12월 31일 내에 제출하여야 한다.
② 확정된 사업계획 중 추가사항이 발생할 경우 상호 협의하여 반영하여야 한다.

제5조(신의성실 및 상호협조)
① 시흥시와 연구기관은 신의를 가지고 본 협약의 각 조항을 성실히 이행하여야 한다.
② 연구기관은 전 사업과정을 통하여 시흥시의 요청이 있을 때에는 수시로 사업내용에 관하여 시흥시와 협의하여야 하며, 연구기관 또한 필요한 사항을 시흥시에 적극 협조하여야 한다.

제6조(협약의 변경 및 해석)
① 시흥시와 연구기관은 상호 서면 합의를 통해 이 협약의 내용을 변경할 수 있다.
② 이 협약서에 규정되지 아니한 사항과 해석상 의문이 있을 때에는 사업의 원활한 추진을 위하여 필요한 세부사항은 상호 협의에 의하여 결정하되, 상호 협의되지 아니하여 법적 분쟁 발생 시에는 시흥시 관할 법원의 판결에 따른다.

제7조(협약의 해제 또는 해지)
① 이 협약은 다음 각 호의 사유에 따라 해지할 수 있다.
1. 천재지변, 전쟁 등 불가항력으로 인해 더 이상 사업을 진행할 수 없을 때
2. 상대방이 협약 상 의무를 이행할 것을 최고하였음에도 정당한 사유 없이 이행하지 않았을 때
3. 사업목적을 달성하지 못할 것으로 예상되어 당사자 간 상호 합의할 때
② 양 기관은 제1항에 따라 이 협약을 해제 또는 해지하는 경우, 상대방에게 그 사유를 사전에 서면으로 통지하여야 한다.
③ 제2항에 따라 이 협약의 해제 또는 해지의 통보를 받은 경우에는 그 통지를 받은 날로부터 14일 이내에 서면으로 상대방에게 이의를 제기할 수 있으며, 이 경우 양 기관은 성실한 자세로 협의하여 처리한다.

제8조(보험 및 배상) 본 사업으로 인해 발생하는 인적 · 물적 사고에 대하여 그 책임은 연구기관에 있으며 연구기관은 보상 등에 대한 책임을 위해 손해보험 등을 가입하고, 그 가입을 증빙할 수 있는 서류를 시흥시에 제출하여야 한다.

제9조(비밀유지)
① 본 사업 수행을 위하여 필요한 경우를 제외하고 본 협약의 당사자는 본 협약이 유지되는 기간 또는 종료 이후에도 본 사업의 수행과 관련하여 상대방으로부터 제공받은 정보를 상대방의 동의 없이 제3자에게 누설하여서는 아니 된다.
② 제1항에 의한 제한은 아래의 경우에는 적용되지 아니한다.
1. 공지의 사실 또는 본 협약의 당사자로부터 직, 간접적으로 획득하지 않은 것으로서 이미 알고 있는 정보
2. 법령, 사법기관, 시의회 및 행정절차에 의하여 공개가 요구되어지는 정보
3. 본 협약 당사자의 법률사무소, 보험회사, 금융기관 등에게 제공되는 정보
4. 공개에 관하여 상대방에게 서면으로 사전 동의를 얻은 정보
③ 제2항 각 호의 사유에 의한 공개는 본 협약 및 이에 관련한 합의 등을 이행하고 이에 따른 권리를 보호, 실행하거나 상대방의 의무이행 등을 확보하는데 필요한 목적으로 한정된다.

제10조(협약의 효력 및 유효기간)
① 이 협약의 효력은 제9조(보험 및 배상)에 의거 연구기관의 보험 체결일로부터 동일하게 발효된다.
② 협약의 유효기간은 효력이 발생한 날로부터 2020년 12월 31일로 하며, 유효기간 종료일에 자동 종료된다. 단, 연구과제 추진상황에 따라 당사자의 합의로 연장하거나 단축할 수 있다.
③ 제2항에 따라 협약의 유효기간을 연장 또는 단축하고자 할 경우 1개월 이전에 상대측에 서면으로 해당 의견을 통보하여야 한다.
④ 이 협약의 체결을 증명하고 각자 의무를 성실히 수행하기 위하여 협약서 2부를 작성하여 시흥시의 연구기관이 기명날인한 후 각각 1부씩 보관한다.

2020년 7월 31일

시흥시 SIHEUNG CITY
시 흥 시 장 (서명)

PEC 평화엔지니어링
평화엔지니어링 대표 (서명)

도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한
4HP 80L/min급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발

업무협력 협약서

시흥시와 ㈜평화엔지니어링(이하 "연구기관"이라 한다)은 국토교통과학기술진흥원 사회문제해결형 과제의 연구결과에 대한 지자체 실증을 위해 상호 협조가 필요하다는 점을 인식하고 다음과 같이 양해각서를 체결한다.

제1조(목적) 이 양해각서는 양 기관이 상호발전 및 협력관계를 증진시키기 위해 필요한 기본적인 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(기본 운영원칙) 양 기관은 상호 협력함에 있어 해당 기관의 제규정을 준수하고 상호 호혜적인 교류 및 협력관계를 유지한다.

제3조(협력내용) 양 기관이 추진하는 협력 사업의 내용은 다음과 같으며 구체적인 사항은 상호 협의로 정한다.

1. 연구개발과제 관련 상호 협력 기반 구축
2. 연구개발과제 관련 적극적 추진
3. 연구개발과제 관련 계획 및 결과보고서 관련 내용 공유
4. 그 밖에 양 기관의 상생협력과 상호 발전을 위하여 필요한 사항

제4조(자문) 양 기간은 상호간 업무상 자문에 성실히 응한다.

제5조(기타) 그밖에 필요한 사항에 대해서는 양 기관이 상호 협의하여 결정한다.

제6조(해석) 이 양해각서에 명시되지 않는 사항과 협약서의 조문 해석이 서로 다른 경우에는 상호 협의하여 결정한다.

제7조(효력 및 유효기간)

① 이 협약은 양 기관의 협약 당사자가 서명한 날로부터 효력이 발생한다.

② 협약의 유효기간은 효력이 발생한 날로부터 2020년 12월 31일로 하며, 유효기간 종료일에 자동 종료된다. 단, 제3조 협력내용의 추진상황에 따라 당사자의 합의로 연장하거나 단축할 수 있다.

③ 제2항에 따라 협약의 유효기간을 연장 또는 단축하고자 할 경우 1개월 이전에 상대측에 서면으로 해당 의견을 통보하여야 한다.

제8조(권리·의무의 승계) 이 협약 체결 후 양 기관의 명칭, 대표자 변경 등 변동사항이 발생하는 경우 상호 합의하여 이 협약에 따른 권리·의무를 포괄 승계하게 할 수 있다.

제9조(개정) 이 협약의 내용은 상호 협의하여 개정할 수 있다.

제10조(비밀유지) 양 기관은 협약기간 또는 종료 이후에도 이 협약에 따른 업무수행 과정에서 지득한 비밀을 상대방의 동의 없이 제3자에게 제공하여서는 아니 된다. 또한 모든 보도자료 배포 및 미디어 발표는 상대방의 사전 동의를 받아야 한다.

제11조(운영) 이 양해각서의 내용을 효과적으로 운영하기 위하여 상호 협의 하에 연락담당자를 둔다.

2020년 7월 31일

시흥시 SIHEUNG CITY

시 흥 시 장 (인)

PEC 평화엔지니어링

㈜평화엔지니어링 대표

작 업 일 지

작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 7월 15일				10시 00분 ~ 16시 00분	
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선	
작 업 구 분	지하차도				타일 1-1	
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도	19.8 ℃

작 업 사 진

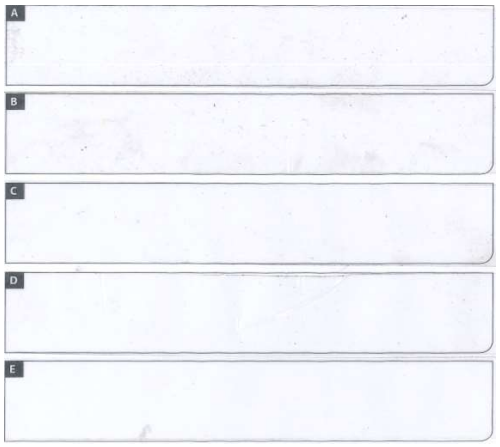
세척 전





세척 후





측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전	210~223	215	3~4	3.6	1,086 ~1,568	1,237.4
세 척 후	51.7	51.7	1	1	44~101	67.8

기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 5회(일반 상수)
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

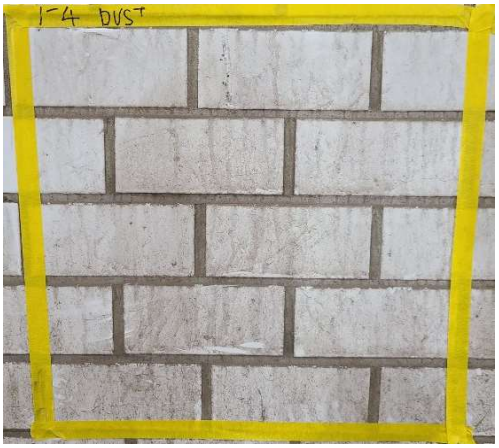
작 업 일 지

작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 8월 18일				10시 00분 ~ 16시 00분	
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선	
작 업 구 분	지하차도				타일 1-2	
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도	19.3 ℃

작 업 사 진

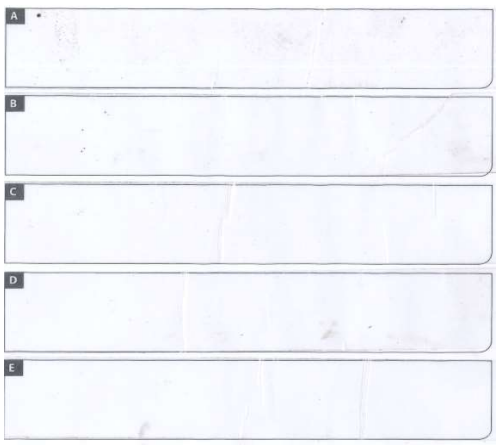
세척 전





세척 후





측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전	200~252	219.67	3~5	4.4	1,188 ~1,476	1,316.2
세 척 후	62.5	62.5	1	1	36~104	63.2

기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 5회(일반 상수)
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

작 업 일 지

작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 9월 22일				10시 00분 ~ 16시 00분		
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선		
작 업 구 분	지하차도				타일 1-3		
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도	19.2 ℃	

작 업 사 진

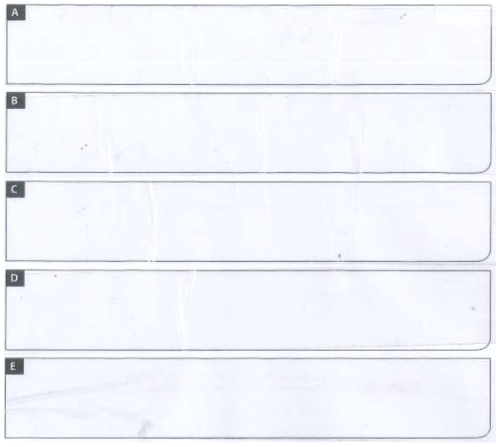
세척 전





세척 후





측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전	226~278	253.34	4~5	4.6	1,251 ~1,826	1,602.6
세 척 후	57.8 ~58.7	58.13	1	1	29~69	52

기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 5회(나노버블수)
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

작 업 일 지

작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 10월 23일				10시 00분 ~ 16시 00분	
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선	
작 업 구 분	지하차도				타일 1-4	
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도	19.0 ℃

작 업 사 진

세척 전





세척 후





측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전	224~282	250.67	4~5	4.4	796 ~1,581	1,153.4
세 척 후	62.1~76	41.42	1	0.2	27~55	41

기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 5회(나노버블수)
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

작 업 일 지

작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 11월 18일				10시 00분 ~ 16시 00분	
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선	
작 업 구 분	지하차도				콘크리트 2-1	
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도	℃

작 업 사 진

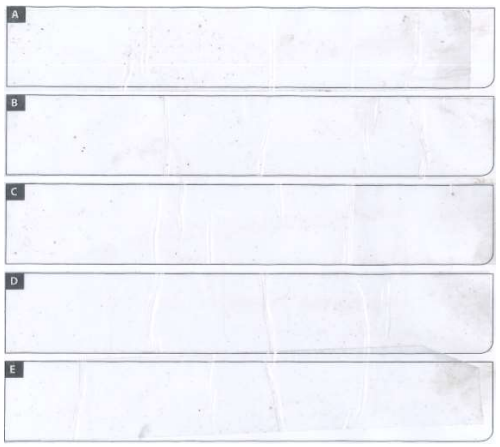
세척 전



세척 후







측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전			5	5	444~672	526.6
세 척 후			1~2	1.2	67~139	85.2

기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 3회
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

작 업 일 지

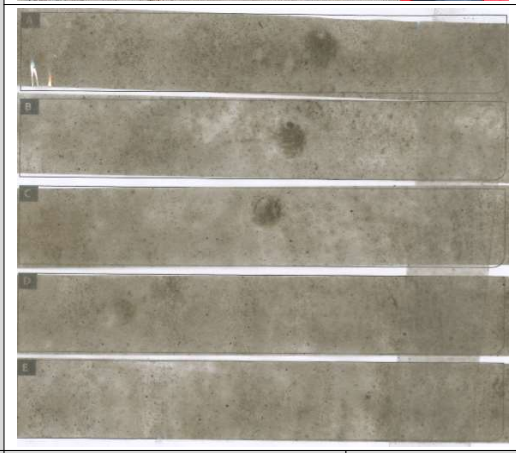
작업 관리자	정	김현진 책임
	부	박형준 연구원

작 업 일 자	2020년 12월 09일				10시 00분 ~ 16시 00분		
작 업 지 점	능곡지하차도				상행선		
작 업 구 분	지하차도				콘크리트 2-2		
작 업 구 간	위도	37°22.4890′N	경도	126°48.7300′E	표 면 온 도		℃

작 업 사 진

세척 전





세척 후





측정 분류	표면 염분 농도 (㎎/㎡)		표면 분진 등급 (1~5)		표면 분진 입자수 (개/37.5㎠)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
세 척 전			5	5	186~324	261
세 척 후			1~2	1.2	55~218	119

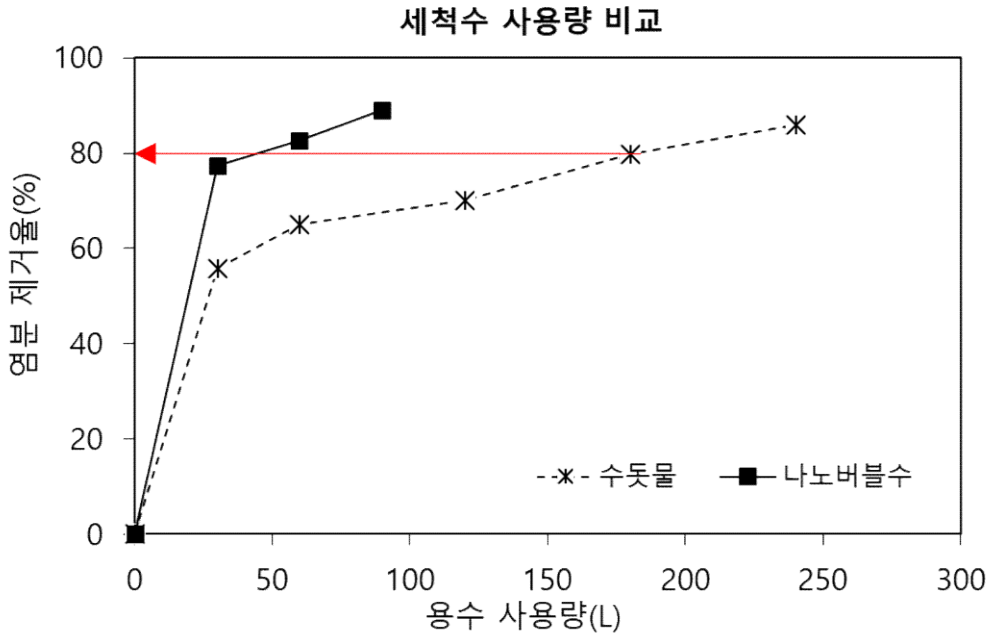
기 타 특 이 사 항

- ✓ 세척횟수 3회
- ✓ 표면 염분는 대상 구간에 제설수를 살포하여 실험하였음
- ✓ 분진은 10㎛ 이상(>PM10)만 산정하였음

별지1. 기존 기술 대비 개발기술의 기술성

<수도물과 나노버블수의 시간(용수사용량) 대비 염분제거 효율 비교>

수도물	시간 (min)	0	1	2	4	6	8
	용수사용량 (L)	0	30	60	120	180	240
	염분제거율	0	55.8	65.1	70.2	79.7	86
나노버블수	시간 (min)	0	1	2	3		
	용수사용량 (L)	0	30	60	90		
	염분제거율	0	77.3	82.7	89		





<현장 염분농도측정 사진>

별지2. 기존 기술 대비 개발기술의 기술성

<기존 기술대비 개발 기술의 우수성>

항목	기존 기술 (고압 Water Jet 세척장비)	개발 기술 (미세기포 세척장비)
용수	물	미세기포수
세척 메커니즘	운동에너지에 의한 마찰력	이온화된 기포에 의한 흡착 및 탈착 고압 세척기 연계 가능
버블 크기	조대기포 (>10㎜)	20㎛
성능 (동일 조건)	염분 90% 이내 PM10 80% 이내	염분 90% 이상 PM10 80% 이상
단독 운전	**고압 운전** 30LPM (50~200bar)(4~16Hp) 80LPM (50~200bar) (11~43Hp)	**저압 운전** 30LPM (1.5Hp) 80LPM (4Hp)
병합 운전 (고압 세척기)	-	30LPM (<4Hp) (50bar 이하) 80LPM (<11Hp) (50bar 이하)
운전특징	압력, 온수, 분사각도 조절	기포 크기 및 압력제어

<해외업체 기술대비 개발 기술의 우수성>

No	Ligaric사(일본)	제안기술
방식	회전/전단 믹서교반 + 선회류 원심력 이젝터 노즐	회전/전단 믹서교반 + 다단 충돌판 + 회전 소용돌이 다단 Vortex 노즐
버블크기	100㎚~20㎛	20㎛ 이하 (최대 200㎚급)
소요동력	2.6kwh	3kwh 이내 (4HP 이내)
토출유량	60LPM	80LPM 이상
농축시간	30분	5분 이내
분사방식	고압세척기 연동	고압세척기 연동 및 단독사용
특징	차량 탑재방식	차량 탑재방식
비고	상용화하여 2017년도 고속도로에 보급중	핵심기술 완료 (상용화 전단계)

○ 일본 기술과 금번 제안기술의 큰 차이는 미세기포 생성하는데 걸리는 농축시간이 금번 제안기술은 5분 이내이고 일본의 Ligaric사는 30분이 소요됨에 따라 현장 운전 적용 측면에서 매우 효율적이다. 또한 금번 미세기포 세척장비는 마이크로버블 비중보다는 나노버블 비중에 근간하여 개발되어 미세기포에 의한 세척효율이 향상할 것으로 판단된다.

별지3. 자동세척기능 추가의 어려움


橋梁端部(橋桁部)の洗浄


橋梁端部(橋台部)の洗浄

<교각 측부 철근 및 하부 시멘트 미세기포 세척>



❼ウルトラファインバブルによる高速道路の橋脚外壁の洗浄（写真提供：NEXCO西日本）

<교각 측부 시멘트 미세기포 세척>



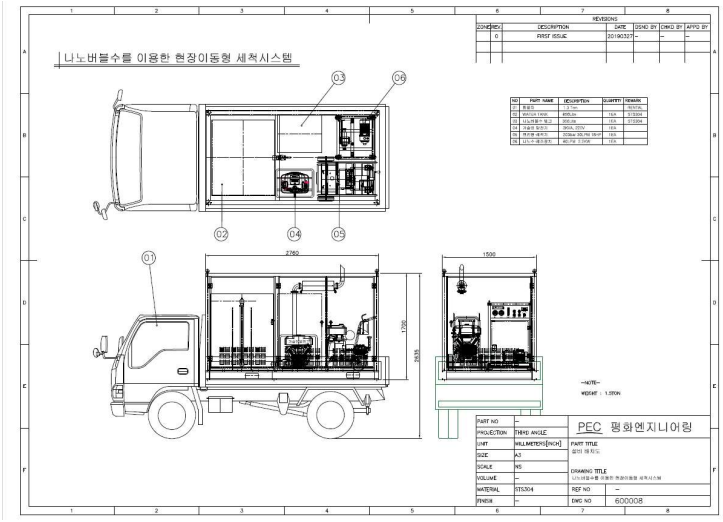
<미세기포 세척장비에 의한 고속도로 교각 구조물 염분세척>

○ 교각의 측부 및 하부는 교각의 건설 위치 등과 같은 이유로 장비의 접근성이나 구조적 특이함 때문에 자동세척에 어려움이 있다. 이와 같은 이유로 교각의 외부 세척은 인력이 필수적이다.

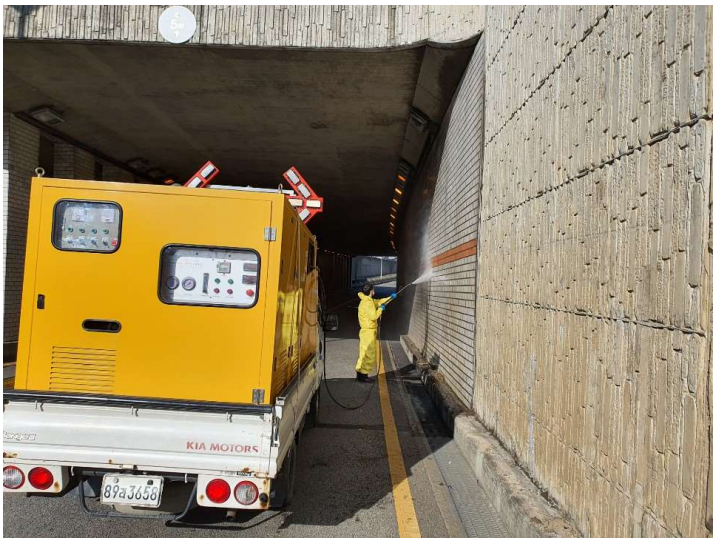
○ 그 외 세척장비 자동화에 관련하여 일반사랑수차량 대비 세척효율을 기준으로 노즐의 수를 조절하여 사업화 진행 예정

별지4. 향후 사업화 시 원가 계산 및 경제성 평가

펌프용량	3HP	4HP	5HP
분무용량	80LPM	160LPM	240LPM
노즐개수	12개	24개	36개
수조용량	1톤	2톤	3톤
세척거리	1km	2km	3km
총 가격(원가)	4.5천만원	5천만원	6천만원



<미세기포 세척장비 도면>



<미세기포 세척장비>

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.