

연차(단계)실적 · 계획서

[국토교통기술촉진연구 사업]

과제 번호							
보안 등급	일반[☒], 보안[☐]						
과제 성격	기초[☐], 응용[☐], 개발[☒]						
(총괄)과제명	국문	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발					
	영문	Development of a 4HP 80L/min scale ultra fine bubble washing device on vehicle for remove calcium chloride and particulate matter of a road facilities					
주관과제명	국문	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발					
주관연구기관	기관명	(주)평화엔지니어링	사업자등록번호	127-81-52705			
(총괄) 연구책임자	성명	박일건	직급(직위)	책임연구원			
	전화번호	031-420-7337	전자우편	igpark@pec.kr			
	휴대전화번호	010-8709-6438	과학기술인등록번호	1103 2139			
참여연구원	책임급	3 (명)	박사후연구원	()명			
	연구원	5 (명)	학생	박사 ()명, 석사 ()명, 학사 ()명			
중소 · 중견 신규 인력	신규 인력	(명)	참여율 100% 여부	(O)			
총 연구기간	2018. 04. 17 - 2020. 12. 31(33개월)						
해당 연도 연구기간	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)						
연구개발비 현황(단위: 천원)							
연도	정부 출연금 (A)	민간부담금			정부 외 출연금 (E)	상대국 부담금 (F)	합계 (G=A+D+E+F)
		현금 (B)	현물 (C)	소계 (D=B+C)			
1차 연도	150,000	5,900	44,100	50,000			200,000
2차 연도	225,000	8,850	66,150	75,000			300,000
3차 연도	225,000	8,850	66,150	75,000			300,000
합계	600,000	23,600	176,400	200,000			800,000
참여기관 (공동연구기관, 위탁연구기관, 참여기업)	기관명	책임자 성명	직급 (직위)	전화번호	전자우편	과학기술인 등록번호	
	(주)지티앤	조일형	대표이사	031-8003-5570	cihyoung72@hanmail.net	1012 1748	
	대하산업기계	방창열	전무	032-567-9087	salet@dhfm.co.kr	1080 4725	
참여기업	참여기관 중 중소기업 (2)개, 중견기업 (1)개, 대기업 ()개						
국제공동연구	상대국연구기관수			상대국연구비		상대국연구책임자수	
실무담당자	성명	박형준		직급(직위)	연구원		
	전화번호	031-420-7335		전자우편	aaaphj11@pec.kr		
	휴대전화번호	010-7127-1991					

관련 법령 및 규정과 모든 지시 사항을 준수하면서 이 국가연구개발사업을 성실히 수행하고자 아래와 같이 연차실적 · 계획서를 제출합니다. 아울러 이 연차실적 · 계획서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 선정 취소, 협약 해약 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2019 년 12 월 23 일

주관연구책임자: 박 일 건

주관연구기관의 장: 권 재 원

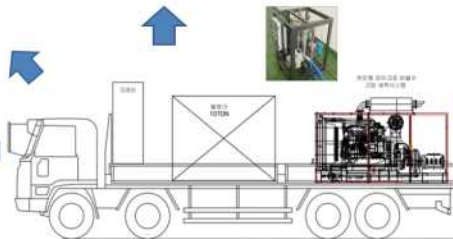
국토교통과학기술진흥원장 귀하



<연구분야 및 분류>

코드 구분		중심 분야		관련 분야1		관련 분야2		관련 분야3		관련 분야4	
		코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중
필수	국가과학기술표준분류	시설물 안전유지 관리 기술 (건설 교통) (EI11)	70 %	대기질 관리 (환경) (EH01)	30 %		%		%		%

< 요약문 >

연구 개발 목표	◦ 도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 80L/min 규모의 차량 탑재 가능한 20μm 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 상용화  터널 벽면  도로 바닥  도로 방음벽  도로 난간/가드레일   교량 콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근 구조물 <연구개발 최종 목표>																																
연구 개발 내용	◦ 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계 ◦ 1.5HP(1.1kW) 및 4HP(3kW)급 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 현장적용 평가																																
연구 개발 성과	◦ 도로, 교각, 터널 등에 사용하는 염화칼슘 및 미세먼지를 효과적으로 제거하여 구조물의 부식 방지 및 내구성을 향상 <예상되는 연구개발성과 유형> <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구시설 · 장비</th><th rowspan="2">기술요약 정보</th><th rowspan="2">소프트웨 어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr><tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr><tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr></table>					구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트웨 어	화합물	생명자원		신품종		생명 정보	생물 자원	정보	실물	예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N
구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보									소프트웨 어	화합물	생명자원		신품종															
						생명 정보	생물 자원	정보	실물																								
예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N																						
활용 계획 및 기대 효과	◦ 일본 기술 대비 우수한 100nm~20μm 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(영문핵심어 제외)

목 차

I . 연차실적

1. 연구 개발 목표 및 결과	1
1-1. 최종 목표	1
1-2. 당해 연도(단계) 개발 목표 및 결과	1
2. 평가의 착안점 및 기준	81
3. 연구 성과	88
3-1. 국내·외 논문 게재	88
3-2. 국내 및 국제학술회의 발표	88
3-3. 생명자원(생물자원)/화합물	88
3-4. 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)	88
3-5. 저작권(소프트웨어, 서적 등)	88
3-6. 전문 연구 인력 양성	89
3-7. 산업 기술 인력 양성	89
3-8. 기술 거래(이전) 등	89
3-9. 사업화 투자 실적	89
3-10. 사업화 현황	89
3-11. 표준화	89
3-12. 기술요약정보	90
3-13. 보고서 원문	90
3-14. 구매 금액이 3천만원 이상인 연구시설·장비 구축 현황	90
3-15. 기타	90
4. 연구비 집행실적	91
4-1. 총괄	91
4-2. 주관연구기관 : (주)평화엔지니어링	91
4-3. 협동/공동/위탁연구기관 : (주)지티앤	92
5. 연구 수행에 따른 문제점 및 개선 방향	93
6. 주요 연구 변경사항	93
7. 기타 건의 사항	93
8. 성과점검기준표	94
8-1. 총괄	94
8-2. 2차연도	96

II. 차년도 연구개발 계획

1. 국내외 관련 분야의 환경 변화	98
2. 연구 개발의 목표 및 내용	
2-1. 연구 개발의 목표 및 내용	99
2-2. 기술개발 성숙도	103
2-3. 평가의 착안점 및 기준	104
3. 연구 개발의 추진전략·방법 및 추진체계	108
3-1. 연구개발 추진전략·방법	108
3-2. 연구개발 추진체계	109
3-3. 추진일정	110
3-4. 위탁연구/외부용역/국제공동연구 현황	111
4. 연구 개발 성과의 활용 방안 및 기대효과	111
4-1. 연구 개발 성과의 활용 방안	111
4-2. 기대효과	111
5. 연구기관 현황	112
5-1. (총괄)연구책임자	112
5-2. 공동·위탁 연구책임자	114
5-3. 기관(기업) 정보 현황	115
5-4. 연구개발 참여연구원 현황	116
6. 연구비 명세	118
6-1. 연도별 연구비 총괄표	118
6-2. 연구기관별 연구비 총괄표	120
6-3. 민간부담 연구비 중 참여기업별 부담 금액	122
6-4. 3차년도 비목별 연구비 소요명세	122
7. 보안 등급의 분류 및 결정 사유	129
8. 연구에 활용 예정인 장비 현황	129
9. 사업화 계획	130

10. 연구실 안전조치 이행계획	133
11. 주요 연구 변경사항	133
12. 성과점검기준표	134
12-1. 총괄	134
12-2. 1차연도	136
12-3. 2차연도	137
12-4. 3차연도	138

I. 연차실적

1. 연구 개발 목표 및 결과

1-1. 최종 목표

구분	내용
최종 목표	도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 이하 80L/min 이상 규모의 차량 탑재 가능한 20 μ m 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 상용화
세부 목표	도로시설물(방음벽), 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근 구조물) 오염물질 분석/평가 및 80L/min 세척장비 성능평가, 4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비 종합설계, 제작 및 평가

1-2. 당해 연도 개발 목표 및 결과

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2019)	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발	도로시설물(방음벽), 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근 구조물) 오염물질 분석/평가 및 80L/min 세척장비 성능평가	도로시설물 (교각, 벽면), 도로노면(콘크리트) 오염물질(미세분진, 염분)의 분석 및 모니터링, 특성평가. 염분농도별 시편(콘크리트, 타일) 이용한 세척효율 실험실 성능평가 및 현장평가.	공용도로 오염물질(미세분진, 염분)의 현장조사 및 특성 파악 미세분진, 염분농도별 시편(콘크리트, 타일)을 이용한 세척효율 실험실 성능평가 및 공인인증시험 완료
		4HP급 80L/min 규모의 Pilot 세척장비 종합설계, 제작 및 평가	회전/전단(Cavitation)믹서 교반장치 정밀설계 및 제작 Vortex 다단충돌판 정밀설계 및 제작 회전충돌 붕괴노즐 정밀설계 및 제작 4HP급 이하 80L/min 이상 규모의 Pilot 세척장비 통합제작 및 제어반 제작 소요동력, 토출유량 등 성능평가	교반장치 정밀설계 및 제작 완료 다단충돌판 정밀설계 및 제작 완료 회전충돌 붕괴노즐 정밀설계 및 제작 완료 4HP급 이하 80L/min 이상 규모의 Pilot 세척장비 통합제작 및 제어반 제작 완료 소요동력, 토출유량 등 성능평가 완료

가. 문헌조사

1. 도로구조물 염분 및 미세먼지 문헌조사

1) 도로구조물에 존재하는 염분에 농도 및 분석

- 교량 구조물에서 측정된 제설목적의 염화칼슘의 고농도로 오염된 염분농도를 보면 $5\sim 25\text{g/m}^2$ 이 분포하고 교각 측면에서는 $30\sim 70\text{mg/L}$ 의 염분농도가 측정되고 있다(표 1). 또한 제설차량 후 도로에 남아 있는 농도는 $10\sim 1,000\text{mg/L}$ 으로 나타났다[1]. 염화칼슘에 의한 심각한 피해는 도로의 스폐링/포트홀이며 도로를 복구하는 비용이 연간 사용한 제설용 염화칼슘 살포비용 보다 높으며 교각/자동차 부식은 매우 심각한 안전상의 문제를 발생하고 있다.

<표 1. 도로구조물 교각 상부 및 측면에 존재하는 염분농도>

도로 구조물		염분 농도
교각	상부	$5\sim 25\text{g/m}^2$
	측면	$30\sim 70\text{mg/L}$
도로	표면	$10\sim 1,000\text{mg/L}$
	염분 비산분진	$2.8\sim 40\mu\text{g/m}^3$

- 최근 미국에서는 고속도로에 놓여 있는 다리의 40%가 결함이 있다는 조사결과가 발표되어 충격을 주고 있음. 아이오와 주립대학 토목공학과 교수인 둔커와 라벳은 1988년부터 지금까지 미국 전역의 교량을 조사해 그 결과를 '사이언티픽 아메리칸' 최근호에 발표했다[2].
- 이들은 미국교량통계를 중심으로 분석했는데, 현재 고속도로 교량 중 20만개(총 교량수는 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(그림 1).



<그림 1. 제설염해 염분에 의한 도로구조물 교각 상부 및 하부/측부의 철근부식>

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 도로먼지지도도를 만들었다. 지도는 도로 재비산먼지 오염도를 ‘매우 좋음($0\sim 50\mu\text{g}/\text{m}^3$)’에서 ‘매우 나쁨($201\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)’까지 5개 등급으로 나누고 이를 색상별로 보여준다.
- 조사 결과 수도권 도로 가운데 미세먼지 농도가 ‘매우 나쁨’ 수준인 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과한 회수는 289회로 전체의 약 4%로 나타났다. 이 가운데 인천이 117회, 경기도 107회, 서울 65회 순으로 많았다(표 2).
- 표 3에서 기준초과 상위 10개 도로를 분석한 결과 가장 미세먼지가 극심한 도로는 인천 중구 서해대로와 경기하남시 조정대로, 서울 강서구 마곡중앙로, 인천 중구 축항대로 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.

<표 2. 우리나라 지역별 미세먼지 기준초과($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) 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[3]

<표 3. 우리나라 미세먼지 기준초과($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) 상위 10개 도로 현황 분석>

순위	지자체	도로명	평균농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	측정거리(km)	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 290번길	577.3	1.9	항만지역으로 대형 화물차량 통행 빈번
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]

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, 국토관리청 및 한국도로공사가 사용한 제설제량은 50만 6,509톤이며 15톤 덤프트럭 3만 3767대 분량임. 민간 사용량을 고려하면 더 많은 양의 제설제가 사용된 것으로 보여진다(표 4).
- 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(표 5).

<표 4. 연간 전국 지자체 염화칼슘 사용량 및 동원현황>

염화칼슘 제설제량	동원규모	출처
50만 6,509톤	15톤 덤프트럭 3만 3,767대	2013년 소방방재청 자료 [4]

<표 5. 도로공사 봄철 도로구조물 세척을 위한 살수작업 세척장비 규모 및 동원현황>

도로구조물 살수작업	동원규모	출처
3주간 세척장비 3,712대	인력 14,850명	2017년 한국도로공사 자료 [5]



<도로변 및 방음벽 살수 세척>



<터널 입구 및 터널 안 살수 세척>



<도로 교각 측부 및 하부 살수 세척>

<그림 2. 도로구조물 세척 전경>

- 도로, 교각, 터널 구조물의 부식과 노후화에 가장 영향을 미치는 염화칼슘은 2013년 소방방재청 자료에 따르면, 전국 지자체, 국토관리청 및 한국도로공사가 사용한 제설제량은 50만 6,509톤이며 15톤 덤프트럭 3만 3767대 분량임. 민간 사용량을 고려하면 더 많은 양의 제설제가 사용된 것으로 보여진다(표 4).
- 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(표 6).

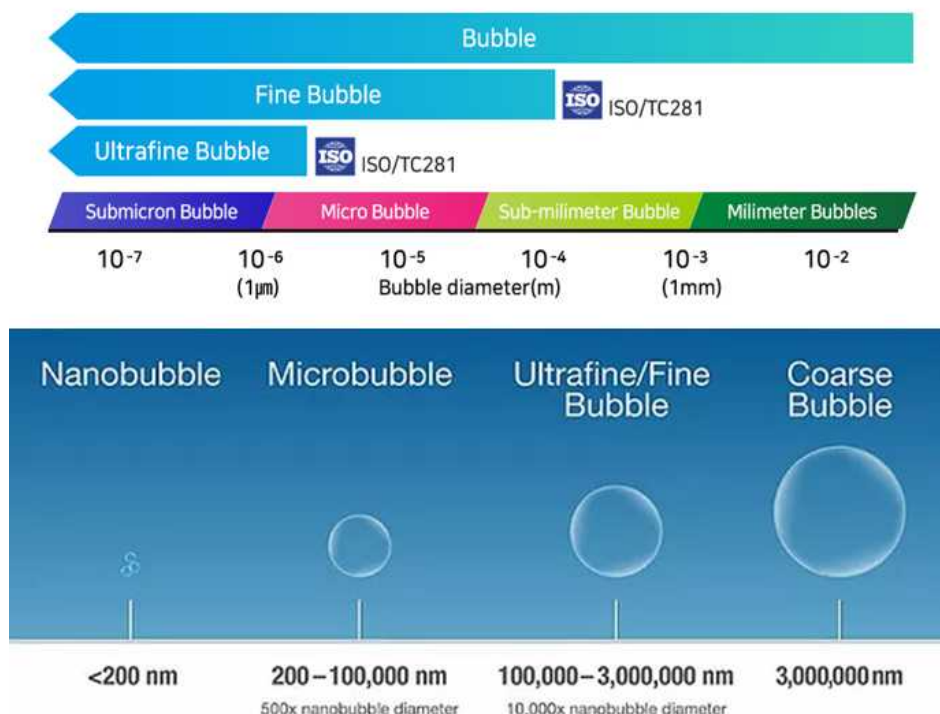
<표 6. 염화칼슘 및 미세먼지를 제거하기 위한 청소방법>

인력을 이용한 청소	순수 인력에 의한 청소방법		
청소장비를 이용한 청소	습식청소	고정식 살수장치	
		물청소차	고압살수차
			브러시장착 살수차
			진공흡입식 살수차

2. 미세기포 발생원리 및 특징

1) 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 3와 표 7와 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 있습니다. " 마이크로 버블'과' 울트라 파인 버블(일명 나노 버블)'도 국제 표준화기구 (ISO)에서 정의됩니다[7].



<그림 3. ISO 기준에 따른 미세기포의 직경별 분류 및 정의>

<표 7. 미세기포 직경별 분류 및 특징>

거품의 종류	울트라 파인 버블 Ultrafine Bubble [UFB]	마이크로 버블 Micro Bubble [MB]	밀리 버블/서브 밀리 버블 Mill/Submill Bubble
직경	~ 1 μ m 미만	1 μ m 이상 ~ 100 μ m 미만	100 μ m 이상 ~
비교 대상물	• 바이러스 (수십 ~ 100nm) • 담배 연기 (수십 ~ 500nm)	• 삼나무 꽃가루 (약 30μm) • 황사 (500nm ~ 5μm)	• 보통 거품 (수 mm ~) • 머리카락 지름 (약 80 ~ 100μm)

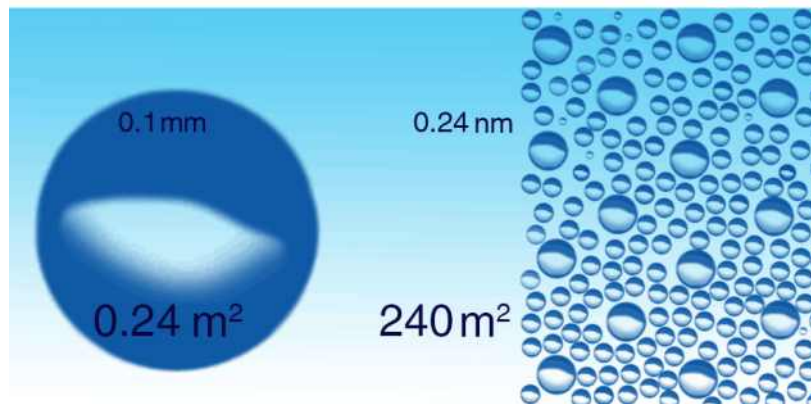
- 그림 4에서 울트라 파인버블(일명 나노버블(Nano Bubble))의 직경은 약 1 μ m (마이크로 미터 1mm의 1/1000) 이하의 작은 기포입니다. 1 μ m 이하의 기포는 기액 계면의 이온의 힘으로 수축합니다. 수축하여 기액 계면의 이온 농도는 증가되고 또한 내부의 압력과 온도는 상승하고 다양한 현상을 일으킵니다. 일반적으로 거품은 불안정하고 즉시 수면까지 부상하고 붕괴하지만 나노버블 (초미세기포)는 수중에 머물 시간이 깁니다. 또한, 액체 미네랄 (양이온)과 균형을 나노 수준 안정된다[8].



<그림 4. 미세기포의 거동 및 특성>

- 그림 5을 통해 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 이동을 생성함으로써 혐기성 활동을 제공한다. 공급된 gas와 액체 성분 사이에서 화학 반응의 효율이 향상합니다.
- 실제 응용 분야에서 조류는 CO₂를 쉽게 사용할 수 있고, 토양 치료에서 식물 뿌리 또는 호기성 박테리아에는 O₂를 쉽게 사용할 수 있습니다. 그림*에서 수학적으로 볼 때 : 생성될 때 큰 기포 보다 작은 기포를 더 높은 농도로 만들 수 있습니다. 기포 부피의 표면적은 기포직경에 반비례하고; 따라서, 100nm 직경의 버블의 1mL는 0.1 mm 버블 (0.24 m²) 1mL보다 1000배 더 많은 표면 (240 m²)을 갖는다(그림 5).

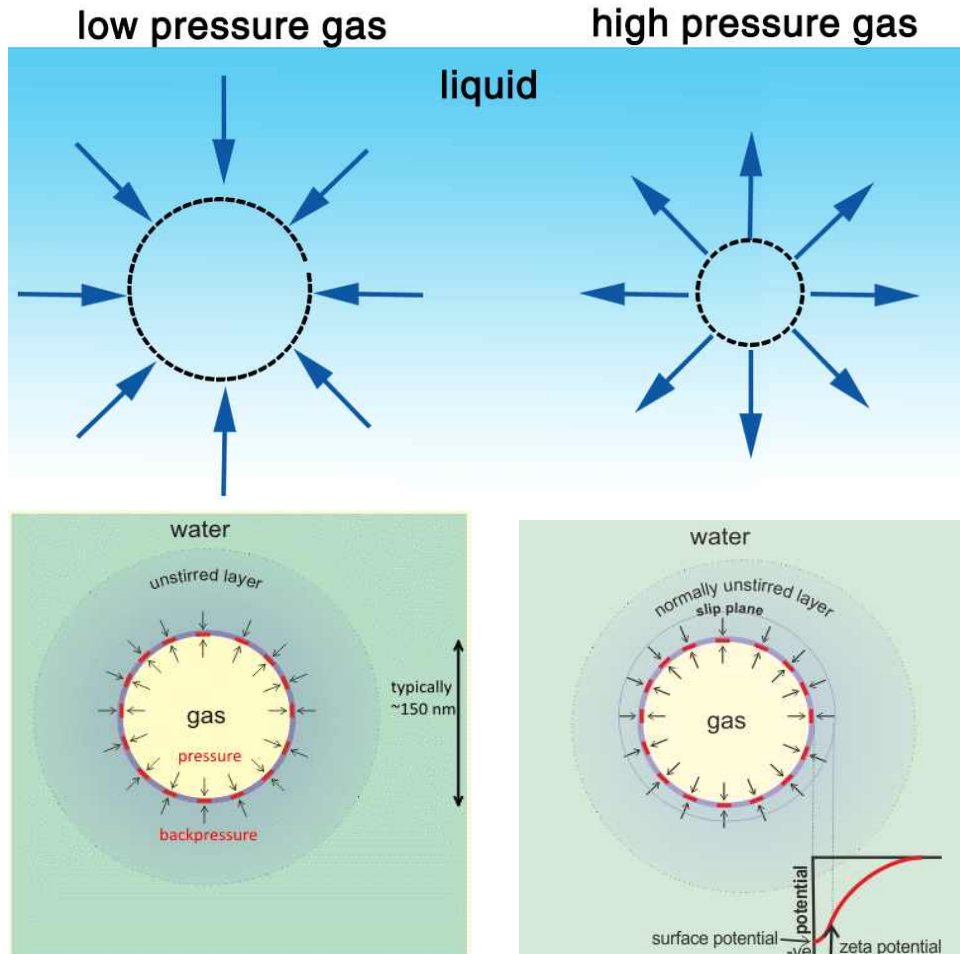
1000x times more surface / ml



<그림 5. 미세기포의 크기별 표면적 비교>

- 기포는 3 가지 성분, 기체상, 쉘 물질 및 수성 또는 액체상을 갖는다. 기체상은 단일 기체 또는 기체 혼합물 인 기포 내부의 기체이다. 쉘 물질, 물 또는 기상을 둘러싼 액체. 기포 형성 및 기포의 기계적 특성은 쉘 물질의 특성에 의존한다.
- 또한, 미세 기포는 전기적으로 대전 된 표면을 가지며 미세 기포 붕괴로 자유 라디칼을 생성 할 수 있다. 또한, 일부 연구자들은 공기 미세 기포가 수용액에서 유사 탄성 및 구형이라고 보고했다. 유체 역학적 특성과 관련하여, 기포는 액상에서 낮은 상승 속도 및 낮은 마찰 저항을 갖는다.
- 순수한 물의 거품은 음으로 대전 됩니다. 산소 미세 기포를 갖는 물에서 측정 된 제타 전위는 -45 mV 내지 -34 mV 였고, 공기 미세 기포는 -20 mV 내지 -17 mV인 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.
- 작은 기포 내부의 가스 압력은 큰 기포보다 높으므로 작은 기포의 표면 장력도 더 높습니다. 이러한 이유로 작은 기포의 기체는 큰 기포의 기체보다 빠르게 용해됩니다. 작은 기포는 큰 기포보다 수면의 상단으로 느리게 상승하는데, 이 여분의 시간 때문에 기포에서 액체로의 기체 수송이 더욱 효율적이다. 큰 기포보다 작은 기포 유착이 적다(결합이 적음). 기포가 커지면 표면으로 더 빨리 상승하여 가스 운반 시간이 줄어들 거 때문에 유리하다 (그림 6). 아래 표 8에서 기포의 크기에 따른 기포 내부의 압력에 대한 예가 제공되며 계산은 Young-Laplace 방정식을 기반으로 계산되었다.

bubble size and gas pressure



<그림 6. 기포 사이즈와 가스압력에 따른 용해도 및 내부압력 변화(상) 및 나노버블 변화(하)>

<표 8. 미세기포 직경별 분류 및 특징[9]>

기포직경 크기	액체 내 기포의 내부압력 변화
1 mm	1.003 atm
100 μm	1.03 atm
10 μm	1.29 atm
1 μm	3.9 atm
500 nm	5.8 atm
300 nm	9.7 atm
200 nm	14.6 atm
100 nm	29.7 atm

□ 물 속의 기포의 직경은 부력과 상승률에 반영된다. 상승률은 용액 특성에 의존하고, 레이놀즈수는 직경 약 100 μm 에서 대략 1에 해당한다. 또한, $Re < 1$ 의 경우, 구상 기포의 계면에서 플렉스 조건으로 인해 기포가 공으로서 작용하기 때문에 스톡 법칙이 잘 적용한다. 표 9의 스톡 법칙에 따라 기포 크기와 수중 기포의 상승 속도에 대한 3 가지 예가 제공됩니다. 초미세 기포가 너무 작아 액체를 무작위로 이동하기 때문에 스톡 법칙은 적용되지 않습니다.

<표 9. 기포 직경 대 수중 기포의 상승 속도 (vs)>

거품의 직경	수중 기포의 상승 속도 (vs)
100 μm	5440 $\mu\text{m} / \text{s}$
10 μm	54.4 $\mu\text{m} / \text{s} = 19.6 \text{ cm} / \text{h}$
1 μm	0.544 $\mu\text{m} / \text{s} = 2.0 \text{ mm} / \text{h}$

- 용해도, 안정성, 형태 정의, 고체 특성, 분배 계수 및 이온화 상수와 같은 화합물의 물리 화학적 특성을 이해하는 것이 필수적입니다. 미세 나노 버블의 물리 화학적 특성 중에서, 기포 내부에 가스의 큰 비 표면적 및 높은 가압이 존재하며, 이는 이들 기포에 높은 가스 용해 능력을 부여한다. 기포 크기가 작을수록 물의 산소 압력 pO_2 값이 높아져 나노 버블이 미세 기포 (직경 10-50 마이크로 미터)보다 물의 pO_2 값을 많이 증가시킵니다.
- 초미세기포인 나노버블은 실험실 환경에서는 3-6 개월 동안 기포를 유지할 가능성이 있으며 실제 적용 분야는 훨씬 짧습니다. 초 미세 기포가 오래 지속될 가능성이 높은 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 유지됩니다.

2) 미세기포 생성방법

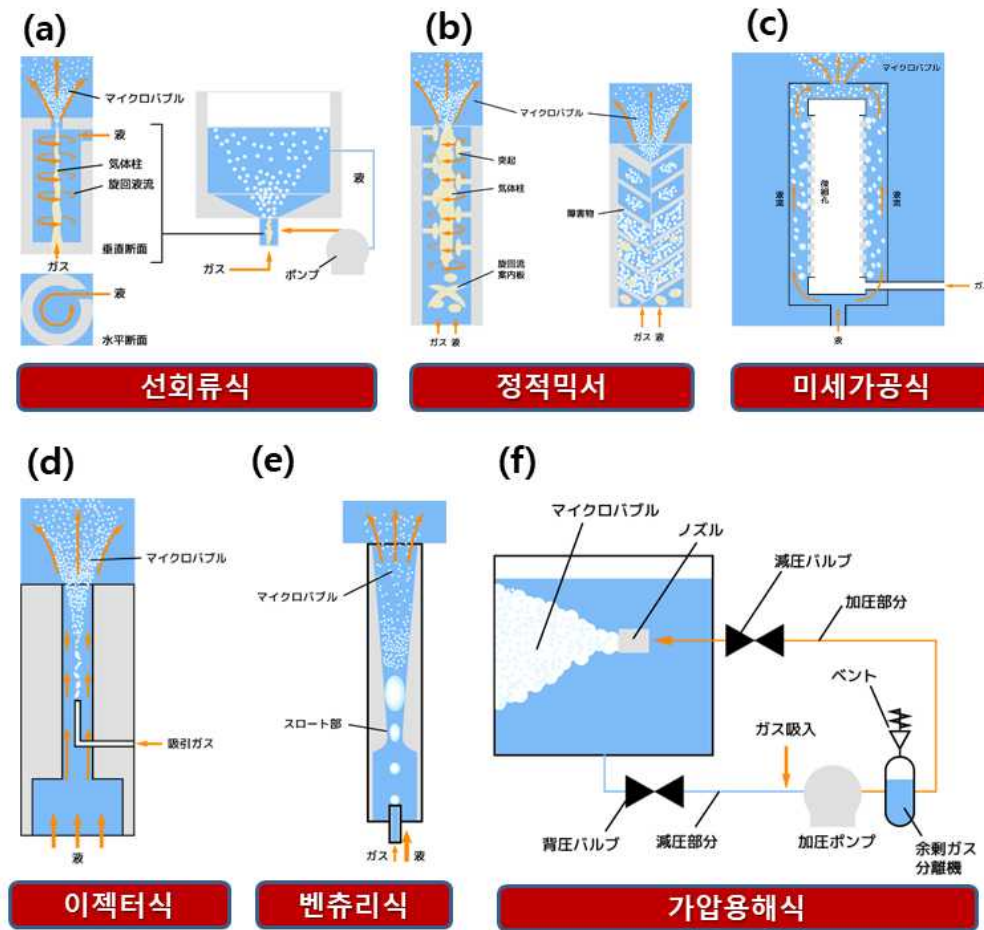
- 기포를 만들 때 기체를 액체에 넣을 때 기포는 기체의 액체인 이온이 집적한 클러스터이다. 기포, 유체 역학적, 음향, 광학 및 입자 캐비테이션을 만드는 몇 가지 방법이 있다. 초미세 기포를 만드는 가장 비용 효율적인 방법과 가장 효율적인 방법은 유체 역학적입니다. 유체 역학은 유체의 움직임과 유체에 잠긴 유체와 유체에 대해 움직임에 작용하는 힘을 다루는 물리학의 한 가지입니다. 거품을 만드는 것이 간단하다고 말하면 움직이는 액체가 필요하고 가스를 추가하고 가스와 액체에 힘을 가하면 거품이 생성된다.
- 우리는 다음과 같은 미세 기포의 생산 방법을 구별할 수 있습니다. 처음 세 가지 방법이 더 자세히 설명될 수 있다. 1) 가압 용해 2) 회전 흐름 3) 정적 믹서 4) 초음파 (초음파 진동) 5) 노즐 (이젝터) 6) 발전기 7) 벤투리 8) 혼합 증기 직접 접촉 응축 등 방법이 있다(표 10, 그림 7)[10].
-

<표 10. 마이크로 버블크기의 미세기포 생성방법 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 圧溶 해 식 (감압 석출 식)	과포화 기체 용액의 감압에 의한 가스 석출
	냉각 용해 식 (가온 석출 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 충돌제트 형태로 실린더이 벽면으로 회전후 폭발하는 형태로 구성되고 그다음으로는 이젝터 방식과 벤츄리식 방식 그리고 가압용해식이 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 물 흐름은 매우 격렬하기 때문에 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.



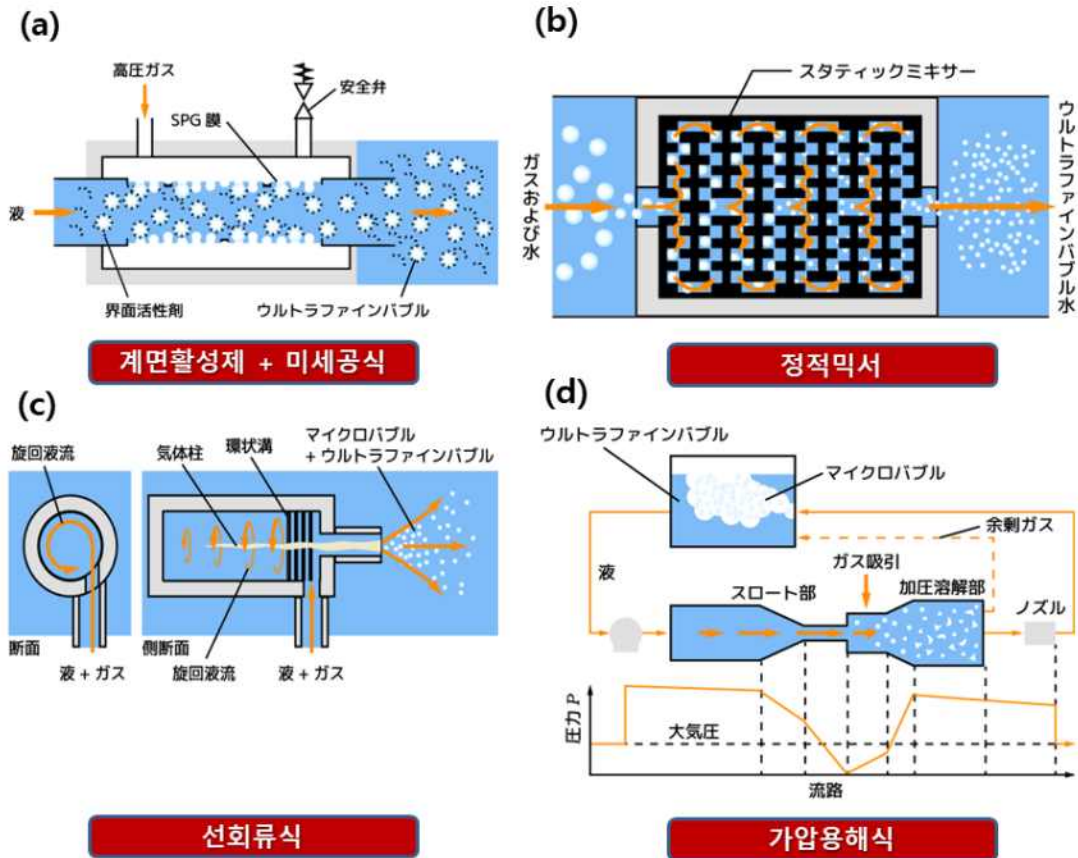
<그림 7. 미세기포 중 마이크로버블 크기의 생성방식>

- 나노크기의 초미세기포를 생성하는 방법은 표 11와 그림 8와 같이 마이크로버블 생성방법과 유사하나 기포를 생성하는 기계구조물의 전단력, 회전력 등의 구조적 차이가 발생한다. 특히 눈여겨 볼 방법 중 정적믹서 방식은 내부의 전단할 수 있도록 겹겹이 구조 격막을 정밀하게 설계하여 나노버블을 만드는 기술이다. 그림 9와 표 12에서 마이크로버블 및 나노버블 발생 방식에 따른 장단점 분석하였다.

- 일반적으로 세척장비에 맞는 방식 가압용해식과 연계된 선회전단이 증가시킬 수 있는 구조가 가장 합리적인 방법이다. 왜냐 하면 미세기포 밀도와 양이 순간적으로 생산하고 또한 기포의 직경이 작아야 오랫동안 체류하여 장거리 이송시간에 견딜 수 있는 방법으로 선택하여 개발할 필요가 있다.

<표 11. 나노버블의 미세기포 생성방법 분류[10]>

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



<그림 8. 미세기포 중 나노버블 크기의 생성방식>

<표 12. 마이크로버블 및 나노버블 발생 방식에 따른 장단점 분석>

발생 방식		가스 공급	가스 이용	출력	대형화	막힘
마이크로 버블 발생 장치	선회류식	○	○	중	×	△
	정적믹서식	가압	○	중	△	△
	미세공식	가압	○	대	×	×
	이젝터식	○	○	중	×	△
	벤츄리식	○	○	중	×	△
	가압용해식	○	○	대	△	△
	냉각 용해식 (가온 석출 식)	×	×	중	△	○
	혼합 증기 응축 식	가압	×	대	○	○
울트라 파인 버블 발생 장치	계면 활성제 첨가 + 미세 공 식	가압	○	대	×	×
	정적믹서식	가압	○	대	△	×
	선회류식	가압	○	중	×	△
	가압용해식	○	○	대	△	△



<그림 9. 다양한 방법에 의한 미세기포 생성과정>

- 일본에서는 그림 10와 같이 특히 미세기포(마이크로버블) 및 초미세기포(나노버블)를 이용하여 도로구조물, 도로 콘크리트, 기계정밀 부품, 반도체 및 태양광 패널 등의 오염물질을 세척하기 위한 기술들이 상용화되었다. 앞서 설명했듯이 미세기포는 일반적인 기포보다 직경이 작으므로 비표면적이 증가되고 이온화된 전하에 의한 오염물질의 탈리 현상이 매우 좋기 때문이다.



도로구조물 철근 염분 세척



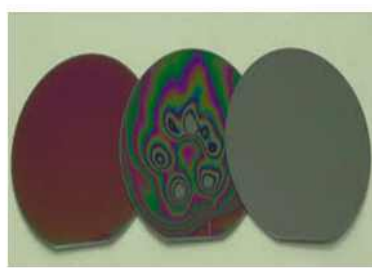
도로 콘크리트 염분 세척



기계정밀 부품 세척



방사능 세슘 물질 흡착



반도체 웨이퍼 세정



태양광 패널 세척

<그림 10. 일본의 100~200nm 나노크기의 초미세기포를 이용한 세척 상용화>

- 또한 그림 11와 같이 나노버블 발생장치를 사용화된 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.



<그림 11. 일본의 100~200nm 나노크기의 초미세기포 발생장치 상용화>

3. 일본의 미세기포(Ultrafine bubble)를 이용한 도로구조물 세척기술 상용화 및 분석

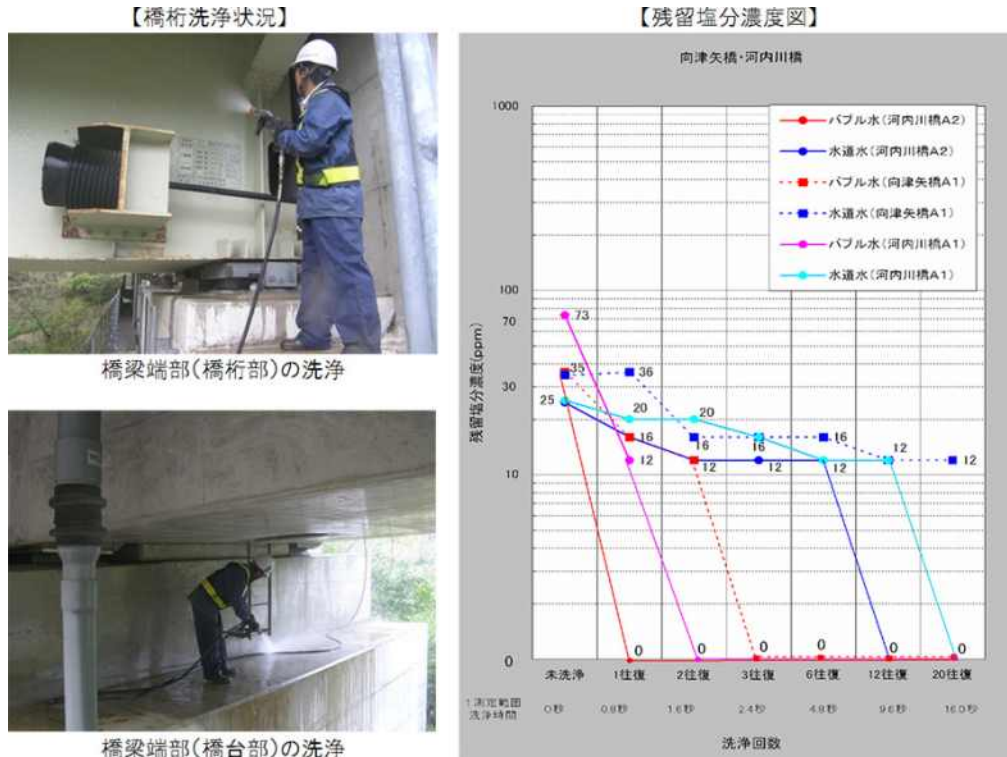
1) 서일본 고속도로 주식회사의 도로구조물 중 교각하부의 세척 사례연구

- 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 그림 12와 같이 실시하였다.



<그림 12. 미세기포 세척장비 Ligaric사와 서일본 고속도로 주식회사 협력하여 고도속도로 교각 구조물 염분세척>
: West Nippon Expressway Co., Ltd., Japan.

- 그 결과 표 13와 같이 수도수를 이용한 염분세척효율은 초기 60.9~57.4 mg/m² 범위 내에서 세척수 사이클을 20회 수행 한 결과 약 10mg/m² 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 mg/m²의 초기농도에서 교각 Web 펜스와 바닥 플랜지 상판부에서 각각 98.2%와 100%의 제거효율을 보였다[11].



<그림 13. 일반 수도수와 초미세기포수를 이용한 교각 Web 펜스와 바닥 플랜지 상판부 세척비교>

<표 13. 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 [°C]	22	20		22	20	

2) 서일본 고속도로 주식회사의 도로구조물 중 교각하부의 세척 사례연구

□ 서일본 고속도로 주식회사의 모리오카 사업소는 그림 14와 같이 토호쿠 자동차의 남쪽은 하나 마키IC 북쪽은 아 IC 및 하치노헤 자동차 도로의 浄法寺 IC까지 총 98.2km를 관리하고 있다. 모리오카 관내는 적설 한랭 지역에 위치한 공용 후 남쪽은 38 년 북한은 26년을 겪고 있다. 관내 모든 폭설 지대에 속하며 강설량이 많은 마츠오 하치만 타이 IC ~ 아시 IC 간에서는 지난 3개년 평균 7m26cm 물건 강설량이 있고 적설 대책 작업은 동결 방지제를 8758t 살포 교통 확보에 노력하고 있지만, 살포량은 해마다 증가 추세에 있으며, 염해에 의한 영향으로 교량의 거더 단부의 열화가 어려운 상태에 있다. 최근에는 부식으로 교량 거더 단부 콘크리트의 박리와 철강 숫자가 부식하는 현상도 볼 수 있다(그림 15).



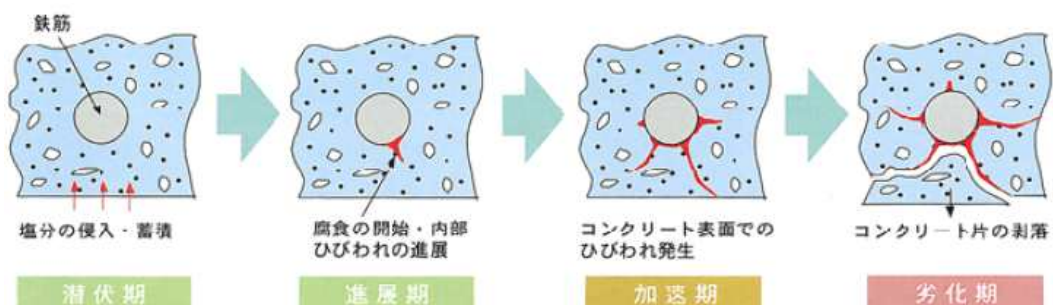
<그림 14. 일본 서일본 고속도로 주식회사 내 모리오카 관내도>[12]



<그림 15. 서일본 고도고속도로 교각 하부의 콘크리트 구조물 및 철근의 부식으로 인해 염해 심각 확인>

염해 현상

콘크리트 구조물의 염해는 콘크리트의 강재 부식이 염화물 이온의 존재로 촉진되고 부식 생성물의 부피 팽창이 콘크리트에 균열이나 박리를 일으키거나 강재의 단면 감소 등을 동반하여 구조물의 성능이 저하 구조물이 소정의 기능을 수행할 수지는 현상입니다. 열화를 촉진하는 염화물 이온은 바닷물이나 동결 방지제와 같이 구조물의 외부 환경으로부터 공급되는 경우와 콘크리트 제조시 재료로 공급될 수 있다, 염해를 내버려 두두면, 구조물의 사용 성능과 안전 성능을 저하해 버려 위험한 상태입니다



- 서일본 고속도로 주식회사는 고속도로 기능을 건강하게 유지하기 위해 대규모 청소 검토와 함께 단기 · 중기의 대책이 필요하다고 되어 있다. 그래서 매년 봄에 실시하고 있는 자리 가장자리 청소 염분 제거 효과가 높은 초미세기포를 이용하는 것을 실시했다(그림 16). 네쿠스코 유지 보수 동북에서는 최고급 거품 물을 화장실 청소에도 사용, 악취 저감 및 청소 시간 단축 등의 효과가 있음을 확인하고 있다. 이 세정효과에 착안하여 염분 제거의 효과를 확인하고 청소 범위를 확대하는 노력을 했다.



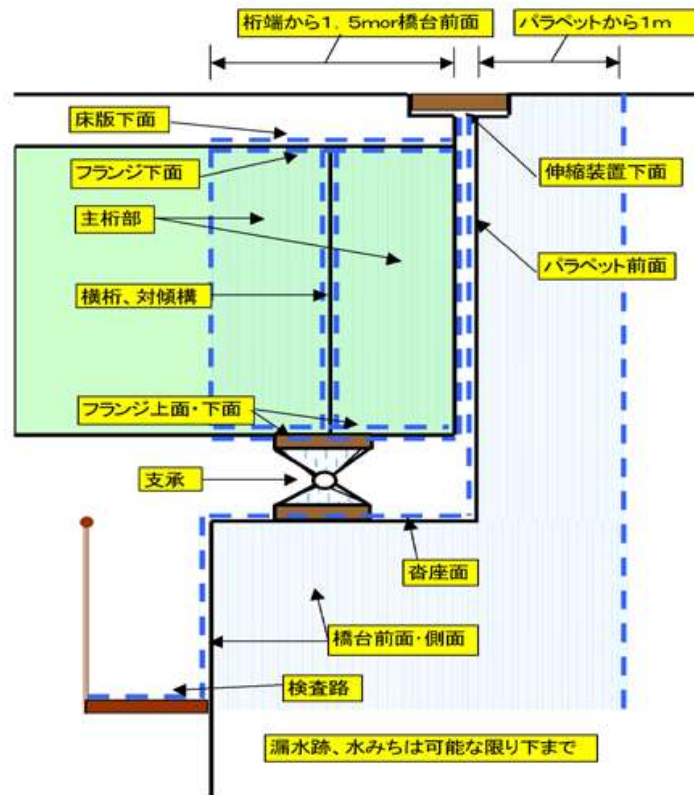
<그림 16. 콘크리트 및 철근부식 정도가 심각한 도로구조물 교각 하부 및 측면 미세기포를 이용한 세척 전경>

- 서일본 고속도로 주식회사는 동결 방지제를 위한 염화칼슘에 대한 살포는 설빙 대책 작업 요령은 $15\text{g}/\text{m}^2$ 로 동결 방지제를 살포하는 것으로 되어있다. 이것이 겨울의 약 120일 동안 거의 매일 살포 됨으로써 8,000t 이상의 살포량이 염분이 축적되어있다(그림 17).



<그림 17. 일본의 동결 방지제 염화칼슘 살포 전경>

- 적설 기간 종료 후 4월 말부터 6월 초까지, 교량 거더 단부에 축적된 염분을 제거 할 필요가 있다. 기온이 20°C 를 넘는 6월 무렵이 되면, 염해에 의한 부식이 진행되기 때문이다. 교대는 검사로 해서 1회 규정에 상하 선을 시공할 수 있다.
- 하루 약 4교대 시공할 수 있어서 약 1개월 만에 시공이 완료된다. 교량의 하부에 대한 세척은 동결 방지제 살포 및 교량의 신축 장치에서 누수에 의해 桁端部, 지승, 부속물, 하부 공 등에 부착된 염분을 세척하여 제거함으로써 구조물의 열화 진행을 억제하고 교량의 연 명화를 도모하는 것을 목적으로 하고 있다. 모리오카 사업소에서는 보전 공사에서도 매년 하고 있다(그림 18).



<그림 18. 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: 200nm - 토출유량 : 60LPM (2.6kw)
- 제품 : Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 제품에 대한 홍보자료는 그림 19와 그림 20에 제시함



☆当社では株式会社協和機設の
ナノバブル生成装置『BUVITAS』を採用しています。

HYK-20-SD



幅380mm × 奥行500mm × 高さ550mm

※ 装置 (配管含む) 材質はSUS304で、屋内仕様です。

HYK-25-D / HYK-32-D



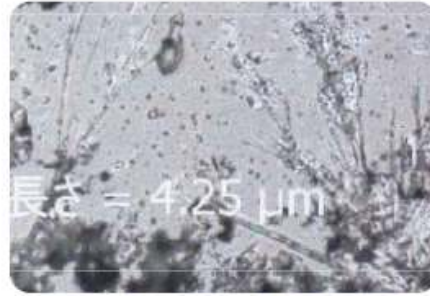
幅650mm × 奥行500mm × 高さ700mm

<그림 19. Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 제품에 대한 홍보자료>

ナノバブル水による構造物の塩分除去



NaCl立方体結晶の顕微鏡写真



NaCl針状結晶化の顕微鏡写真

○雪氷後、構造物の塩分洗浄を行うとナノバブルにより塩分が針状結晶化となり、効率的に除去できました。

<그림 20. 서일본 고속도로 주식회사의 Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 제품 홍보자료>

□ 그림 21은 거즈 닦아 염소이온검지관법」을 이용하여 시공 전후의 염분 농도를 측정하고 각각 수돗물을 사용하는 경우와 울트라 파인 거품 물을 사용하는 경우에 비교한다. 또한, 이번 검증 부분은 동결 방지제 살포량이 많고 최고급 거품 물을 생성하는 기지가 있는 아시 IC에서 가까운 마츠오 하치만 타이 IC ~ 아시 IC 간에 10교를 대상으로 했다.

201SA
塩素イオン (浸漬法)

試料液 →

検知剤 (茶色)

仕 様

測定範囲 10～2,000ppm

試料液量 5ml以上

測定時間 約1.5分

検知限度 3ppm

色の变化 茶色→白色

反応原理 クロム酸銀と反応して塩化銀を生成する。
 $\text{Cl}^- + \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{AgCl}$

有効期限 3年

経年変化 指示が低くなる。

使用温度範囲 5～80℃(温度の影響なし)

pHの影響 なし(3.5～13)

検知管の校正方法 塩化ナトリウム標準溶液

他のイオンの影響

妨 害 物 質	濃度 (ppm)	影 響
臭素イオン		指示が高くなる
ヨウ素イオン		〃
シアンイオン		〃
溶存硫化物		根元が褐色に変色し、指示が高くなる

注) 硫酸イオン、硝酸イオン、鉄イオンは1,000ppm以下が共存しても影響しない。p.218参照

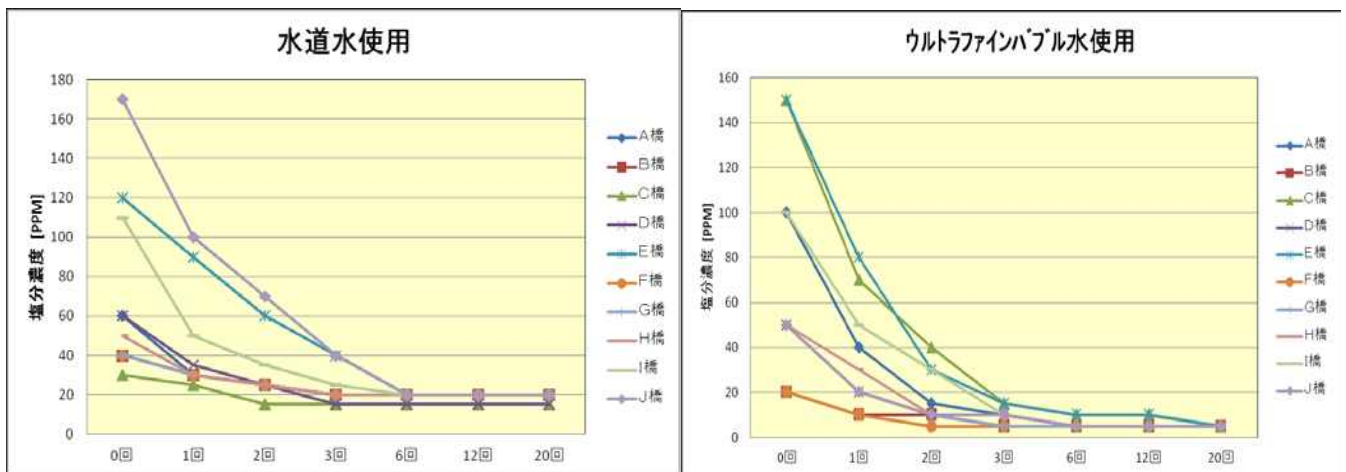
文献 2-59)

<그림 21. 염분농도 측정을 위한 검지관 사양>

□ "거즈 닦아 염소 이온"은 정해진 측정 범위를 적신 거즈에 의해 닦아내고 증류수에 의해 희석을 실시 검지 관 (그림 21)에서 농도를 측정하는 방법이다.

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

□ 그림 22의 결과를 정리하면 이번 효과 검증을 통해 동일 한 사용 수량은 수돗물은 약 20ppm까지 감소하였고 울트라 파인 버블은 약 10 ~ 5ppm까지 감소하는 것으로 나타났다. 울트라 파인버블은 물 염분 농도 감소 효과는 수도수 보다 약 2배 있다는 결과를 얻었다(염분 농도 [ppm]은 염분량 [mg/㎡]와 동일). 또한, 편차가 있을 수 있지만, 수돗물은 6회 (6분 세척) 세척해야 되고 울트라 파인 버블수는 3회 세척 (3분 세척)으로 약 절반에 청소 횟수를 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 22. 수도수와 미세기포를 이용한 염분세척 비교>

□ 부식은 금속, 즉 녹 같은 부식 생성물을 생성하도록 물 및 산소와 화학 반응을 겪는 것을 의미한다. 그것이 녹을 때, 금속이 취약해지고, 철근 콘크리트의 콘크리트 팽창 콘크리트가 저하된다. 일반적으로, 금속 비도전 막 (부식방지 필름)을 형성하고, 부식의 진행은 알칼리 금속을 유지함으로써 방지된다. 그러나, 염 함량은 비전도성 필름과 반응하여 필름을 중화시키며, 추가로 탈리퀴칭 (deliquescence)이라 불리는 공기 중에 수분을 흡수하여 액체가 되는 특성을 갖는다. 이를 소금 손상이라고 하며 부식을 유발하는 주요 요인입니다.

□ 3%의 염분이 녹 (1% = 10,000ppm의 염분)에 대한 가능성이 가장 큰 연구결과가 있다. 수용액 증가 염분 농도, 도전율 (반응의 용이성)는 일반적으로 증가할 때, 부식이 진행된다. 너무 높아지면, 수용액에 용해 감소 될 수 산소량 및 부식 반응이 진행되지 있다. 결과적으로, 특정 농도 (3%) 이상에서, 용존 산소 농도의 감소 효과는 소금으로 인한 녹의 진행보다 크고 녹의 진행이 지연되는 것으로 알려졌다. 그러나, 해수 농도에 가까워질수록 3%의 값이 커지기 때문에, 구조상으로는 농도가 증가하지 않는 것으로 생각된다.

□ Ultra Fine Bubble Water는 일반 수돗물과 비교할 때 생성 장치가 하나뿐이므로 바닥 근처의 구조물에는 거의 영향을 미치지 않지만, 원거리로 이동하여 구성할 때 이동하는 데 시간이 걸립니다. 수돗물의 경우 운송을 포함하여 면적당 약 1시간에서 40분 이내에 시공될 수 있지만, 초미세 기포수에서는 실제 세척시간의 약 절반으로 시공될 수 있으므로 약 20분 단축됩니다. 이에 더하여, 사용된 물의 양이 적기 때문에 보충할 필요가 없으며, 하루에 하나의 지대치를 더 건설할 수 있습니다. 아래 표 14는 미세기포를 통한 세척효과를 정리하였다.

<표 14. 수도수 및 초미세기포수 염분세척을 통한 노동력 및 시간 감축 효과>

ウルトラファインバブル水		備考
作業員数	×	生成する為に1名増員
労務金額	×	1名分増額
途中補給回数	○	1回補給から補給なしに変更
移動時間	-	変化なし
施工時間 (日)	○	補給なしになるため増加
施工時間 (1橋台)	○	20分程度短縮
1日可能橋台数	○	2橋増加
洗浄対象橋台数	-	64橋*2 (A1, A2)
所要日数	○	30%程度減少
総額	○	15%程度減少

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

3) 서일본 고속도로 주식회사의 동결 방지제 살포 차량에 관한 세척 사례연구

- 또한 겨울철에 동결방지를 위한 염화칼슘 분무 차량에 대한 세척시스템을 개발하여 기존의 분무방식과 초미세 분무 방식에 따른 세척효율에 비교 연구도 수행하였다. 모리오카 관내에서는 사용 기간의 장기화 눈과 얼음 기계의 연 명화를 목표로하고 최고급 거품 물을 이용하여 동결 방지제 살포 차량 세차 사업 효과를 검증했다.
- 그림 23은 오랫동안 사용되는 눈과 얼음 기계의 수명을 연장하기 위해 Morioka Jurisdiction은 초미세 거품 물을 사용하여 부동액 스프레이 자동차를 세척하고 효과를 확인했습니다. 초미세 기포 발생기가 있는 안시로 기지에서 부동액 분사 차량 2대가 검증 대상이 되며 각각 초미세 기포수 (차 번호 276)와 일반 급수를 사용하는 분사 차량입니다. 물을 사용한 분무 차 (차 번호 379)를 결정하고, 세척 후 염도를 비교하였다. 세정 전의 측정값은 2,000ppm을 초과하고, 검출기 튜브로는 측정할 수 없었으므로, 검증 전에 한 번만 측정되었다.



<그림 23. 살포 차량 세차 상황(위), 차량 후방(아래 좌), 측면 후면 (아래 우)>

<표 15. 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)

□ 표 15는 세차 후 염분을 각 스프레이 카 및 각 세차 위치에 대해 비교하였다. 결과적으로 초미세 기포수는 수돗물에 비해 염분 농도를 약 절반으로 줄일 수 있었습니다. 이 결과는 브리지 대들보 에지 세정에 의해 얻어진 결과와 유사하며, 초미세 기포 수의 세정효과를 추가로 지원한다.

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

□ 이 보고서는 185번 국도의 폐쇄 된 산 터널 (길이 1,706m)에서 보행자 도로를 분리하기 위해 유리 벽과 도자기 타일에 부착되어 퇴적되어 발생하는 배기가스를 효과적으로 제거하기 위해 수행되었습니다. 일반적으로, 터널의 벽면은 회전식 브러시형 터널 세정 차량으로 세정하기 위한 접촉식 세정 장치가 장착된 세정 차량에 의해 세정 된다. 이 개발에서 첫 번째 목표는 청소 시간을 단축하여 경제 효과를 개선하는 것이었으며 최신 기술 (초극세 버블)을 사용하는 기존의 방법과 완전히 다른 비접촉식 청소방법이 개발되었다.

□ 국도 185호 Quizan New Road는 2002년 3월에 교통 혼잡 감소, 이동 시간 단축, 교통사고 감소 및 교환 조정 개선 효과로 2.6km의 확장으로 개장되었다. 이 폐쇄된 산 새 도로 중에서, 폐쇄된 산 터널은 구레시 중심부와 아가 및 히로 지구를 연결하는 약 1.7km의 도로 터널입니다(그림 24). 히야마 신도의 개통으로 아침과 저녁 출퇴근 시간 (구레모토 거리 6초 메에서 아가주오 6초 메까지)의 소요 시간이 21분에서 6분으로 약 15분 단축되었습니다.



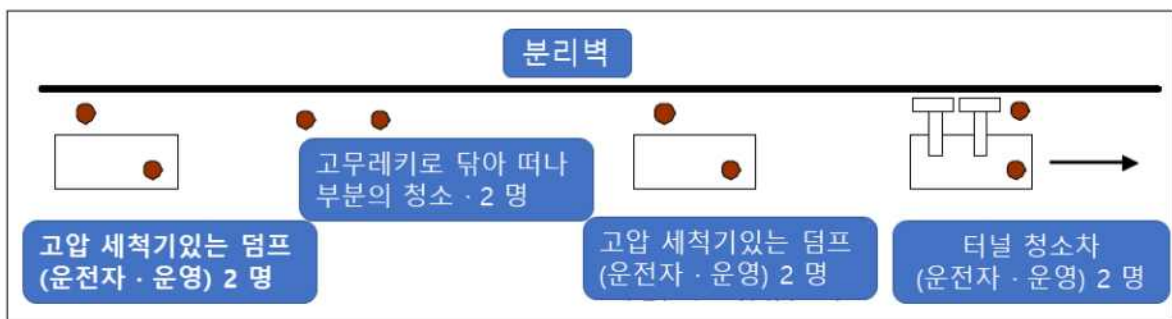
<그림 24. 히카리 터널의 전경(좌) 및 보행자 도로 분리 벽(우)>

- 그러나 편의상 히카리 터널은 38,000대의 차량에 사용되었으며, 개통 후의 교통량은 최초 추정량의 1.6 배입니다. 이와 함께, 출구 신호 교차점으로부터의 교통정체가 터널로 계속되고, 차량 배기가스 및 소음이 발생합니다. 개선이 필요했습니다. 이 요청에 따라 2004년 8월에 유리 보도 분리 벽이 설치되었으며, 보도의 대기 환경이 표 16에 표시된 것처럼 크게 개선되었습니다.

<표 16. 하카리 터널의 대기 환경의 개선 상황>

項目		單位	設置前	設置後	低下率
一酸化炭素	CO	ppm	20.4	3.6	82%
窒素酸化物	NO	ppm	1.443	0.207	86%
	NO ₂	ppm	0.196	0.045	77%
浮遊粒子状物質		mg/m ³	0.224	0.072	68%

- 그림 25와 26에서 볼 수 있듯이 청소 프로세스는 4가지 프로세스로 구성됩니다. (1) 터널 스위퍼로 분리 벽 유리를 청소합니다. 그런 다음 ② 고압 세척기로 씻는다. 또한, 청소차로 청소하기 어려운 가드 파이프, 비상 주차 구역, 비상문은 수동 고무 레이크로 청소한다. 그 후 ④ 고압 세척기로 세척을 마칩니다. 또한, 고압 세척 작업은 많은 물이 필요하므로 급수 작업이 필요하다.



<그림 25. 현황 청소 작업 공정>

- 보행자의 요청에 따라 설치된 터널의 통로 분리 유리는 환경개선 및 보안 문제로 인한 투명성을 유지하기 위해 반년에 한 번 청소해야 한다. 그러나 현재 청소 작업은 보호 파이프 청소와 같은 수동 작업입니다. 또한, 복수의 공정에 의해 세정 및 세정이 반복되므로, 많은 양의 물이 필요하고, 작업 중의 급수 조작 때문에 많은 작업 시간이 필요하다. 결과적으로, 장시간 (약 4.5 시간) 청소 작업이 필요하고, 단시간 교대 주간에는 연장 시간이 길고 (1,706m) 교통 혼잡 (37,600차량 / 일)이 밤에 발생할 수 있습니다. 이로 인해 한쪽이 방해를 받습니다. (22 : 00-5 : 00).



<그림 26. 터널 내 벽면에 대한 스위퍼에 의한 작업(좌) 및 사람에 의한 인력 청소(우)>

□ 이러한 문제를 극복하기 위해 다음 항목에 중점을 둔 청소방법을 개발

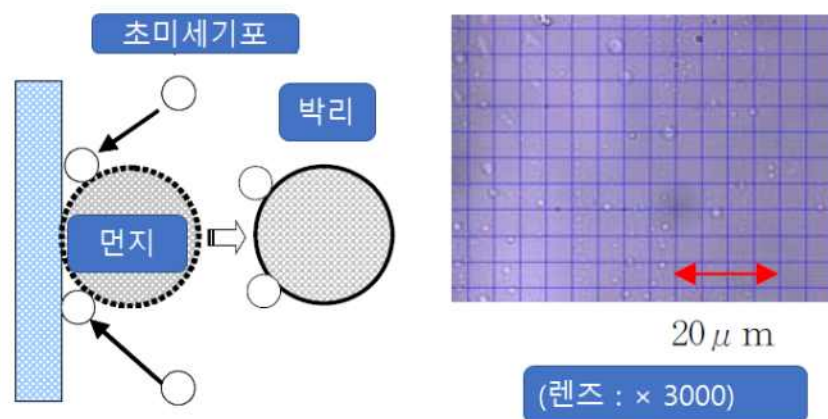
□ 비용 절감 연구

- 현재 수동 청소 작업의 기계화를 고려
- 보행자 도로 분리 유리를 훼손하지 않고 청소
- 브러시에 닿지 않는 부품을 청소
- 인적 노동 감소
- 교통 규제 시간 단축

□ 효율적인 청소 작업

- 세제를 사용하지 마세요
- 세탁 수 감소
- 세척 과정 단축을 고려
- 터널 벽 및 내부 패널에 대한 적용성 검토

□ 터널 스위퍼가 장착된 기존 브러시 유형에서는 청소 시간 단축과 청소 작업의 안전성이 모순되어 효율성을 높이기 어렵습니다. 본 연구에서는 초미세 기포를 이용한 세정 방법의 확립을 목표로 새로운 비접촉식 세정 방법을 시험했다. 초미세 기포로 벽을 청소하는 기본원리는 전기 접착을 사용하는 기술입니다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 초미세 기포는 먼지보다 직경이 몇 배 더 작습니다($100\text{ nm} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$). 기포 표면의 투과성 및 전기 접착 효과로 인해 먼지를 유발하는 먼지가 벗겨질 것으로 예상한다(그림 27).



<그림 27. 초미세 기포의 청소 원리>

□ 기술 활용 후 평가

(1) 초미세 기포에 의한 세정 시험

a) 시험 방법 : 세정효과 검정 시험에서는 수돗물 마이크로 버블 마이크로 나노 버블의 세 가지로 세척 효과를 검증했다. 청소 효과의 평가는 색채 색차계를 이용하여 밝기를 측정했다.

b) 시험 결과 : 표 17에 나타난 바와 같이, 마이크로 나노 버블수에 의한 청소에 효과가 확인되었다.

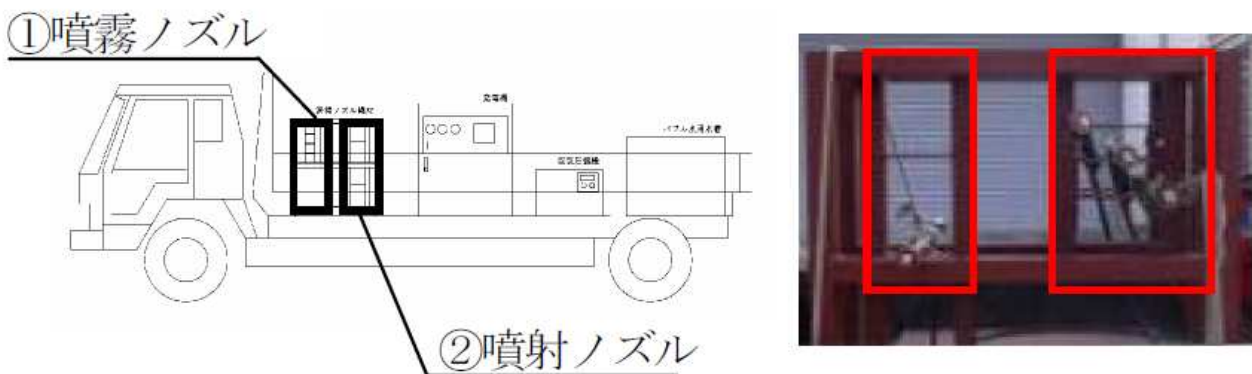
<표 17. 시험 명도 초기값 (70.92)>

	중양 (c)	중양에서 5cm(d)	중양에서 15cm(e)
수도수	69.98	67.93	64.63
마이크로 버블수	69.40	69.16	64.62
마이크로 나노 버블수	70.40	69.84	67.17

- c) 결과 고찰 : 본 시험에서는 청소에 유효한 작동 압력을 상승시킨 결과, 마이크로 버블이 외압에 의해 붕괴했기 때문에 보통의 물과 같은 상태에서 방사된 것으로 생각된다. 한편, 마이크로 나노 버블은 그 지름이 매우 미세하므로 압축 기체에 의한 내부 압력이 높고, 외력에 견딜 수 있는 상황에서 방출된 때문에 물과 비교했을 때 청소 효과에 차이가 나온 것으로 생각된다.

(2) 사전 분무에 의한 세정 시험

- a) 시험 방법 : 그림 28와 같이 차량 탑재식 장치를 이용하여 분무 노즐 및 분사 노즐에 의한 2단계의 청소 단계에 의한 청소 효과를 검증했다. 비교 시험으로 분무의 여부에 의한 청소 효과를 검증했다. 청소 효과는 색차계에서 밝기를 측정했다.
- b) 시험 결과 : 표 18와 같이 전처리로서 청소면에 초미세 기포수를 분사하여 청소 폭이 5 배 정도 상승하는 것으로 확인되었다.



<그림 28. 사전 분무에 의한 세정효과 시험 (① 분무 노즐, ② 분사 노즐)>

<표 18. 사전 분무에 의한 세정효과 시험(명도 테스트)>

測点	明度 (L*)	
	噴霧あり	噴霧なし
1	66.64	65.70
2	69.44	65.49
3	69.50	65.52
4	69.46	66.14
5	70.50	68.14
6	70.64	69.43
7	70.64	69.46
8	69.76	69.76
9	70.48	69.52
10	70.62	69.41
11	69.84	68.31
12	70.05	65.09
13	69.58	64.82
14	69.13	64.17
15	68.86	64.18
16	69.36	63.46
17	68.86	64.03
有効幅	30.8cm	5.6cm

凡例
試験後明度

69.5以上

70.0以上

Note: 明度 (L*) : 명도, 첫 번째 컬럼 : 나노 마이크로버블수

c) 결과 고찰 : 사전에 얼룩이 묻어있는 대상 면에 초미세 기포를 포함한 물을 분무해 주면 이후의 세척이 유효하게 실시할 것으로 확인됐다. 이로 인해 청소의 효율화를 도모할 수 있게 되었다.

(3) 실증 시험 (주행시험): 청소 조건을 결정하기 위해 청소 장비를 차량에 적재하고 주행시험을 시행한 결과, 15km/h로 주행이 가능해졌다. 이것은 앞에서 설명한 기본 시험의 결과를 근거로 현장에서 재연시킨 것으로, 각 시험체에 대해 충분한 효과가 있다는 것을 표 19에서 확인했다. 표 20는 실증 시험 결과보다 정한 청소 장비의 사양이다.

<표 19. 실증 시험 결과 () 안은 초기값>

대상	운전속도	명도		회복률
		세척전	세척후	
도자기 타일 (91.25)	15km/h	53.55	90.11	98.70%
	10km/h	82.51	89.67	98.30%
	2.0km/h	79.71	90.18	98.80%
유리 (70.92)	15km/h	53.08	68.76	97.00%
	10km/h	53.64	70.49	99.40%
	2.0km/h	54.45	70.56	99.50%
콘크리트 (63.76)	15km/h	51.07	59.69	93.60%
	10km/h	54.89	62.68	98.30%
	2.0km/h	52.84	61.38	96.30%

<표 20. 터널내 미세먼지 등 세척에 필요한 나노 마이크로버블 세척장비 사양>

청소 조건	검증 결과
청소 속도	15km / h
청소 수압	20Mpa
청소 거리	대상면에서 1.0m
청소 조건	스프레이 + 분사 (동시 작업)
물 조건	MNB 물 (분사 및 분무)
청소 각도	90 ° (적절한 각도 조절)
청소 폭	설계 유효폭 80mm (청소 유효폭 120mm)
청소 수량	3.2m ³ /1.7km
노즐 배열	가로 5cm 간격 이상
기포 안정제	베이킹소다 (탄산수소 나트륨) 1g/l

- 청소 빈도에 대한 검증을 한 결과, 보도에서 안전성 확보 및 사람이 체감하는 「얼룩은 매우 궁금하다 "얼룩의 정도는 명도 차 201)로 향후 청소 작업은 유리 50 인테리어판 (도자기 타일) 68 청소실시 시기를 기준으로 한다.

- (4) 비용 감축 효과 : 초미세 기포 방식은 청소 시간을 단축하는 것이 가능하고 표 21에 나타난 바와 같이, 유지관리비 44% 정도의 비용 감축을 도모할 수 있었다. 이것은 작업의 기계화 (24%), 작업의 간소화에 의한 청소 시간 단축 (84%)에 의한 것이다.

<표 21. 터널 내 터널 브러청소 접촉 방식 대비 미세기포 (비접촉식) 청소비용 비교>

청소 방식		기존 방식 (터널 청소차) 접촉식 브러쉬 세척방식	미세기포 방식 비접촉식 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 대상물에 미치는 영향		긁히는 자국 발생	영향 없음
청소비	회당	1,250,000엔 (일천 3백만원 정도) (13,272,772원)	197,000엔 (84% 감소) (2,091,783원)
	장비비용	50,000천엔 (5억 3천만원)	38,000천엔 (4억 3백만원) (24% 감소)
	유지관리비용 (50년 기준)	375,000천엔	209,700천엔 (44% 감소)
종합평가		보통	매우 우수

- 청소 빈도에 대한 검증을 한 결과, 보도에서 안전성 확보 및 사람이 체감하는 「얼룩은 매우 궁금하다 "얼룩의 정도는 명도 차 201)로 향후 청소 작업은 유리 50 인테리어판 (도자기 타일) 68 청소실시 시기를 기준으로 한다.

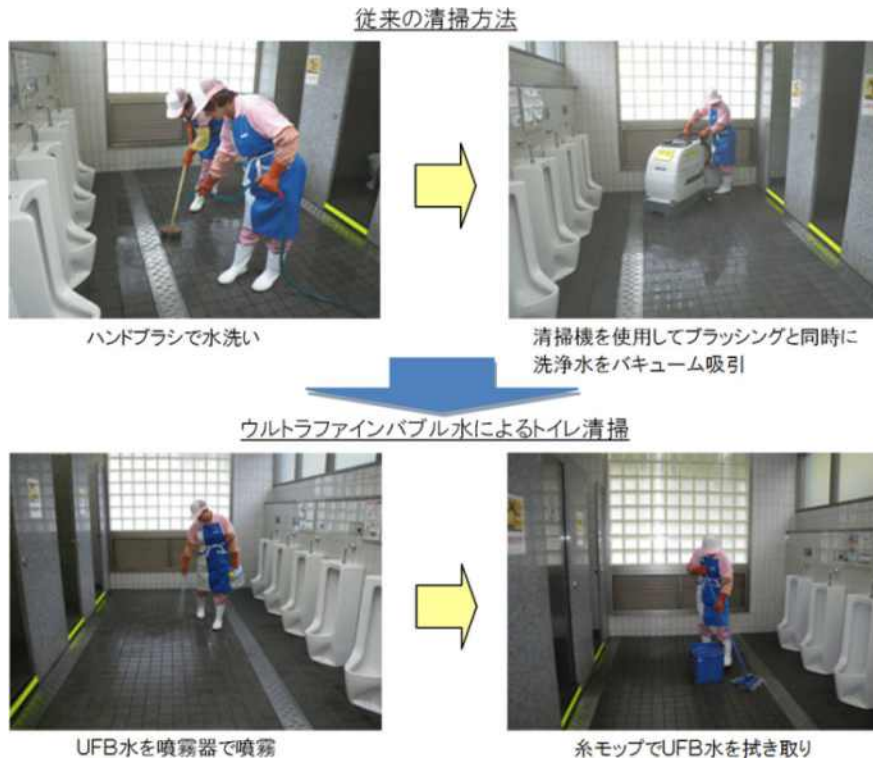
a) 결론

- 초미세 기포에 의한 비접촉식 청소 방식으로 주행하여 15km/h의 속도로 청소 작업을 가능하게 했다. 그 효과는 통행금지 등의 교통 규제를 주지 않고 청소 작업을 하고 주변 교통에 미치는 영향을 완화할 수 있다는 점에서 큰 것으로 생각된다. 休山 터널의 보도는 폐쇄 공간이 1.7km와 기므로 그 안전성을 높이기 위해 현재도 다양한 방안을 실시하고 있지만, 본 방식의 경제 효과로 청소 빈도를 연 2회에서 횟수를 증가시킴으로써, 유리의 오염이 심해지 전에 청소 작업을 시행할 수 있고, 보도 환경의 안전성을 높일 수 있다고 생각된다.

- 향후의 과제로서 기계화에 따라 시험 할 때 사용한 장비의 확장이 필요 기계 설비의 효율성에 대한 상세한 검토가 필요하다고 생각된다. 터널 청소 작업은 주변 교통에 미치는 영향이 큰 현장에서는 이 방식 같은 비접촉식 청소 방식을 채용하고 효율화를 도모하면, 도로 서비스 향상에 이바지하는 것이 가능하다고 가능한 앞으로도 실용화를 향해 검토를 진행해 나가고 싶다.

5) 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 있습니다. 그 노력의 일환으로 최고급 거품 물 (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 작업 시간을 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(그림 29).



<그림 29. 일본 수도수와 초미세기포를 이용한 화장실 변기 및 바닥 청소비교>

- 또한, 초미세기포수를 고압으로 분사하여 기존의 일반 물과 비교하면 부착된 염분을 효율적으로 제거할 수 작업 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 그림 30와 같이 구축하여 겨울철 많은 염화칼슘 분무를 마치고 돌아온 차량에 대한 염분세척을 수행하도록 하였다.



<그림 30. 일본 초미세기포를 이용한 차량용 염분세척 시스템 기지 구축>

- 서일본 고속도로 주식회사는 설빙 대책 작업 요령은 $15\text{g}/\text{m}^2$ 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 동결할 시기가 지난 초봄에 우리나라와 같이 잔류 염분을 제거하고 있다.

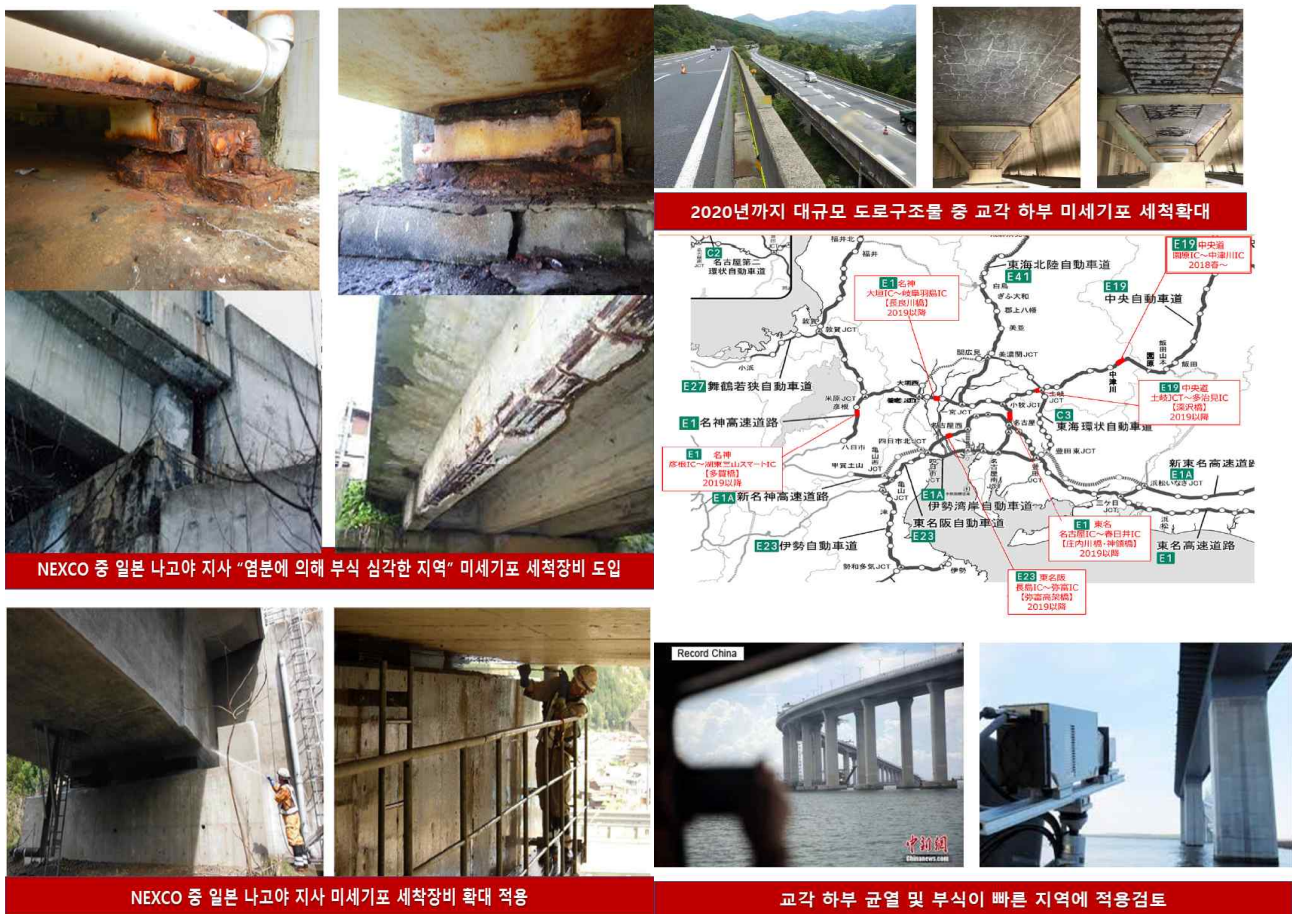
- 서일본 고속도로주식회사와 초미세기포 세척장비 제조사인 Ligaric사는 초미세기포를 이용한 고속도로 휴게실 화장실 청소와 도로구조물에 대한 세척에 대한 활용을 홈페이지를 통해서 적극적으로 홍보하고 있다 (그림 31). 또한 그림 32와 같이 차량 탑재식 이동형 초미세기포 세척장비를 설계하여 직접 운영하기 위한 개념을 수립하였다.
- 기존 접촉식 혹은 비접촉식 수도를 이용한 고압세척 방법은 많은 양의 물의 사용량과 유지비용 등의 문제로 인하여 서일본 고속도로 주식회사는 초미세 기포를 이용한 도로구조물에 대한 세척에 대한 지역을 2020년까지 확대하고 염분에 의한 부식이 심각한 지역에 세척장비를 추가로 도입하여 운행하도록 계획을 수립하였다 (그림 33).
- 또한 다양한 도로구조물로의 확대를 통한 염분농도별, 도로구조물 염분 오염별 및 터널 내 미세먼지 등 오염물질을 세척하기 위한 미세기포 세척장비 및 시스템의 기술적 사양은 물론 운영 매뉴얼에 대한 지속적인 추가 연구와 더불어 현장적용을 확대하고 있다.



<그림 31. 서일본 고속도로 주식회사 홈페이지 중 초미세기포 내용>



<그림 32. 서일본 고속도로 주식회사와 연계한 Ligaric사(일본)의 초미세기포 세척장치 설계도>



<그림 33. 서일본 고속도로 주식회사 염분오염 심각한 도로구조물에 초미세기포 세척장비 추가 확대(2020년까지)>

나. 현장조사

1. 평가기준 - 국내 콘크리트 표준시방서 기준

□ 굳지 않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/m^3 이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/m^3 까지 허용할 수 있다.

□ 콘크리트 구조설계기준(2007년)

<표 22. 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007년))>

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

□ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)

<표 23. 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12))>

기 준	전염화물 이온량(kg/m^3)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 $< 0.3\text{kg/m}^3$	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• $0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 1.2\text{kg/m}^3$	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• $1.2\text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 2.5\text{kg/m}^3$	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	• 철근 부식발생
e	-	-

2. 측정기기

□ 염분 측정을 위해 TOADKK(Japan)회사의 디지털 표면 염분 측정기 SSM-21P 모델을 사용하였다(그림 34). 측정기기는 선박, 교량, 철제구조물 등 염분에 의한 부식을 판단하는 목적으로 사용하고 있으며, 염분, 전기 전도도 두 가지의 항목을 측정 할 수 있다.



<그림 34. 염분 측정기기>

3. 현장조사 결과

- 실제현장의 도로 및 도로구조물의 위치에 따라 단위면적당 염분에 노출되는 정도를 파악하고, 표 26과 같이 철근부식의 가능성을 고려하여 현장조사를 진행하였다. 각 대표지역을 비교하기 위해 염분에 직접적인 영향을 받지 않는 일반도로 및 도로구조물 등에서 현장분석을 진행하였고, 염분에 직접적으로 영향을 받는 해안가근처 교각, 도로 및 도로구조물 등 염분에 쉽게 노출되는 지점에서 현장조사를 실시하였다(그림 35-38).

일반도로



<일반도로 전경>



<도로측정 사진>

<그림 35. 일반도로 현장조사 측정>

도시고속도로



<도시고속도로 전경>



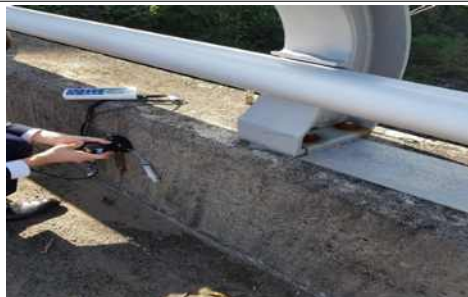
<도시고속도로, 도로시설물 측정 사진>

<그림 36. 도시고속도로 현장조사 측정>

교각



<교각 전경>



<교각, 시설물 측정 사진>

<그림 37. 해안가 근처 교각 현장조사 측정>

해안가 도로



<해안가도로 전경>



<해안가도로 측정 사진>

<그림 38. 해안가도로 현장조사 측정>

- 실제 현장의 염분 함유량을 측정한 결과로 표 24와 같다. 일반도로의 염분 함유량은 67.3 mg/m^2 으로 측정되었고, 도시고속도로, 교각 도로에서는 86.7 , 117.7 mg/m^2 으로 측정되었다. 또한 해안 바로 옆에 있는 도로, 방파제에서는 최대 332 mg/m^2 로 염분에 의한 콘크리트, 철근의 부식 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

<표 24. 현장조사 측정결과>

측정위치			염분 함유량, mg/m^2
내륙지역	일반도로	도로 콘크리트	67.3
	도시고속도로	도로 콘크리트	117.7
		가드레일	11.6
해안가 근처	교각 (다리)	도로 콘크리트	86.7
		콘크리트 구조물	98.7
		가드레일	30.1
	해안가 도로	도로 콘크리트	332
		방파제	172.2

다. 미세기포 세척장비 개발

1. 일본의 도로시설물 오염물질에 대한 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 분석

- 일본의 고속도로 회사인 NEXCO-West (West Nippon Expressway Company)인 Ligaric사로부터 제작된 B UVITAS 모델과 BUVITT 모델을 사용하여 세척장비로 사용하고 있다(그림 39). Ligaric사의 미세기포 발생 원리는 그림 40과 같이 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 울트라 파인 버블이 생성된다.

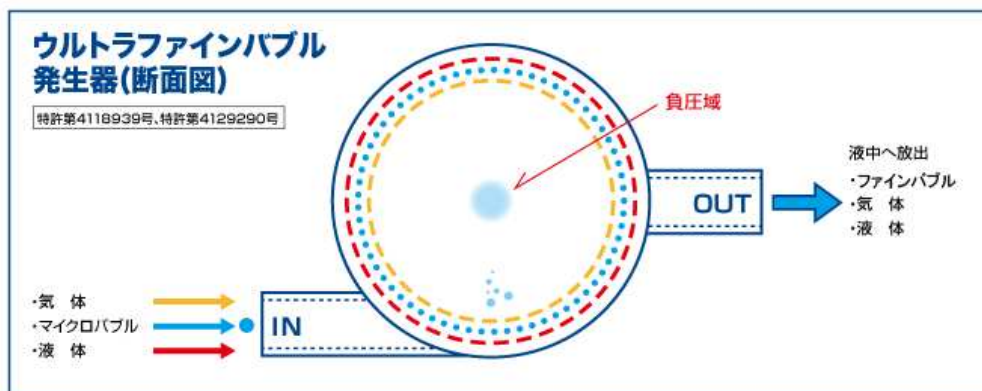


写真提供 (株)Ligaric



写真提供 (株)Ligaric

<그림 39. Ligaric사(일본)의 미세기포 세척장비>



<그림 40. Ligaric사(일본)의 미세기포 발생원리>

- Ligaric사로부터 제작된 BUVITAS 모델과 BUVITT 모델을 사용하여 세척장비는 차량 탑재식으로 입경이 200nm 이하의 나노 버블을 다수 포함한 미세 기포를 포함한 나노 버블 물을 저장한 탱크 (14)를 포함하고, 상기 탱크 내의 나노 버블 물을 펌프 (16)에 의해 가압하여 노즐 (18)에서 염분을 세척하도록 하는 특허를 등록하였다(그림 41). 최근 Nanosight (브라운 운동 추적 법)으로 측정한 순수한 물에서의 대기의 미세기포 개수 분포를 보면 기포 66nm 가장 빈번한 지름으로 한 4.04 억개/mL의 미세 기포가 측정되고 있다(그림 42).

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 1	テーマコード (参考)
E 0 1 H 1/00 (2006.01)	E 0 1 H 1/00 Z	2 D 0 2 6
E 0 1 D 1/00 (2006.01)	E 0 1 D 1/00 Z	2 D 0 5 9
E 0 4 G 23/02 (2006.01)	E 0 4 G 23/02 Z	2 E 1 7 6

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2009-135968 (P2009-135968)	(71) 出願人	507297400
(22) 出願日	平成21年6月5日 (2009. 6. 5)		西日本高速道路メンテナンス中国株式会社
		(71) 出願人	507175843
			株式会社協和機設
		(74) 代理人	100083895
			弁理士 伊藤 茂
		(72) 発明者	山崎 寿重
			広島県広島市東区光町1-7-11 西日
		(72) 発明者	社 秀泰
			広島県広島市新瀬町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

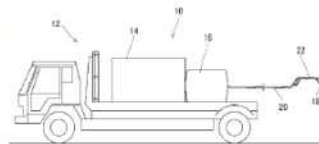
(54) 【発明の名称】 橋梁・鉄骨・コンクリート構造物に付着した塩分を除去する方法及び装置

(57) 【要約】 (修正有)

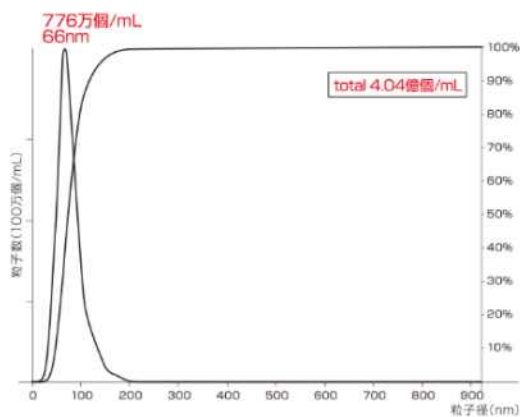
【課題】 橋梁に付着した塩分を確実に除去する。

【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



< 그림 41. Ligaric사(일본)의 교량, 철골, 천근 콘크리트 구조물에 부착된 염분을 제거하는 방법 및 장치 특허 >



< 그림 42. Ligaric사(일본)의 미세기포 세척장비의 미세기포 크기 측정 >

- Ligaric사는 차량 탑재형 초미세기포 세척장비에 대한 모듈화된 단위 장치를 온라인 상에서 판매하고 있다 (그림 43). 제품의 특징은 원패스에서 초미세기포를 1mL 중에 1 ~ 3 억개 발생하고 순환 운전시 수십억 개에 "UFB 펌프 유닛" 물과 수압만으로 고농도로 대량의 울트라 파인 버블을 효율적으로 생성 할 수 있는 장치입니다. 1mL 당 UFB의 발생량은 원 패스에서 1 ~ 3 억개에서 순환 운전에 의해 증가하여 50 억 개 정도의 발생이 가능하다.

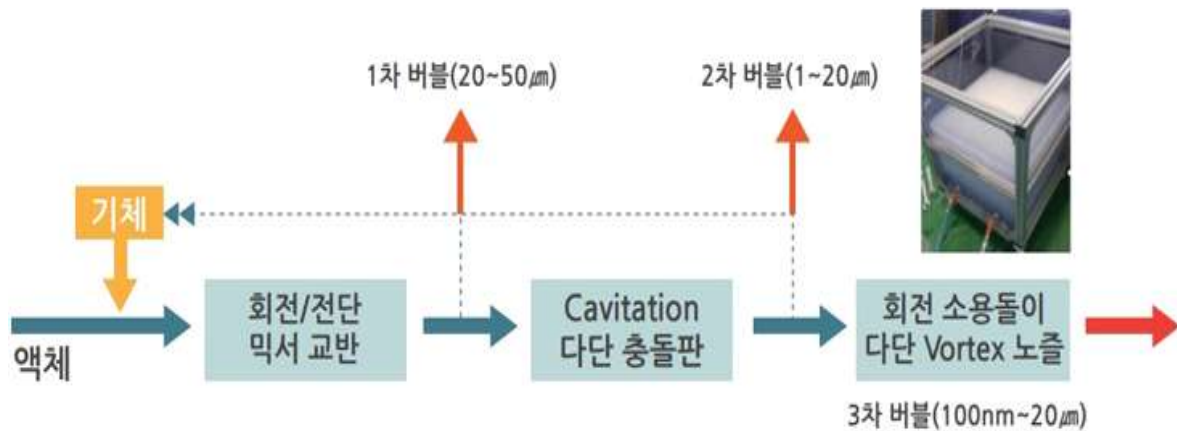
【특징】

- 최대 토출 수량은 20L / min
- 야외에서 사용하기 쉬운 엔진 유형 소금물에 해당하는 모터 유형 2 종
- 미세한 이물질 (0.2mm 이하)가 들어 있어도 사용 가능



<그림 43. Ligaric사(일본)의 미세기포 세척장비의 모듈화 판매>

- 본 연구개발에서 사용되는 미세기포 발생방식은 소용돌이 충돌제트형 + 이젝터 방식 + 가압-감압 용해 방식이 혼용된 하이브리드형 방식으로 구성된다(그림 44). 즉 미세기포 크기가 작고 고밀도를 형성하도록 설계 및 제작되도록 하였다. 미세기포 세척장비의 핵심구성은 그림 44와 같이 1) 기체 액체 혼합 교반장치, 2) Cavitation 다단 충돌판 및 3) Vortex 붕괴노즐로 구성되어 있다. 또한 일본 기술과 비교한 설명은 표 25에 제시하였다.
- 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 2차년도 미세기포 세척장비는 마이크로버블 비중 보다는 나노버블 비중에 근간하여 개발되어 미세기포에 의한 세척효율이 증가 할 것으로 판단된다.



<그림 44. 제안기술의 미세기포 발생방법 및 구성>

<표 25. 도로구조물 미세기포 세척장비 비교>

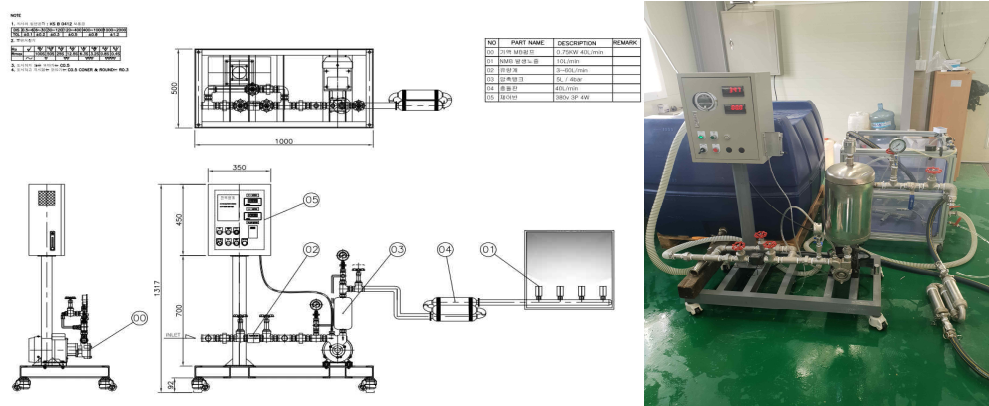
No	Ligaric사(일본)	제안기술
방식	회전/전단 믹서교반 + 선회류 원심력 이젝터 노즐	회전/전단 믹서교반 + 다단 충돌판 + 회전 소용돌이 다단 Vortex 노즐
버블크기	100nm~20um	20um 이하 (최대 100nm급)
소요동력	2.6kwh	3kwh 이내 (4HP 이내)
토출유량	60LPM	80LPM 이상
농축시간	30분	5분 이내
분사방식	고압세척기 연동	고압세척기 연동 및 단독사용
특징	차량 탑재 방식	차량 탑재 방식
비고	상용화하여 2017년도 고속도로에 보급중	개발 중

2. 미세기포 세척장비 제작

1) 1차년도 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 미세기포(세척장비)

- 1차년도 1.5Hp급 30LPM 미세기포 발생장치는 1차 회전/전단(Cavitation) 믹서 교반장치(펌프), 2차 다단충돌판 및 3차 Vortex 회전충돌 붕괴노즐을 통합화시킨 미세기포 세척장비로 전체 장치의 크기는 1,000mm(L)*500mm(W)*1,317mm(H)의 크기의 미세기포 세척장비의 도면을 제시하였다(그림 45).

- 1차년도 파일럿 장비는 캐비닛에 집적화시켜 개발된 장비가 아니라 여러 가지 운영관점에서 다양한 데이터를 뽑기 위해 제작된 장비이다. 따라서 부품의 집적화는 물론 기포크기를 마이크로버블 중심에서 나노버블 중심으로 전환하기 위한 다양한 개선된 설계기반으로 제작되었다.



<그림 45. 1차년도 1.5HP급 30L/min 규모의 Pilot 미세기포(세척장비)>

2) 2차년도 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 사용가능한 한계점을 가지고 있는 바, 이에 대한 구조적 개선을 통해 활용성 증대 및 한계점을 개선하고자 함.
- 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 설계변경시 유속, 압력변화 등에 대한 검토를 진행함.



<그림 46. 기존 노즐의 내부 유동 변화>

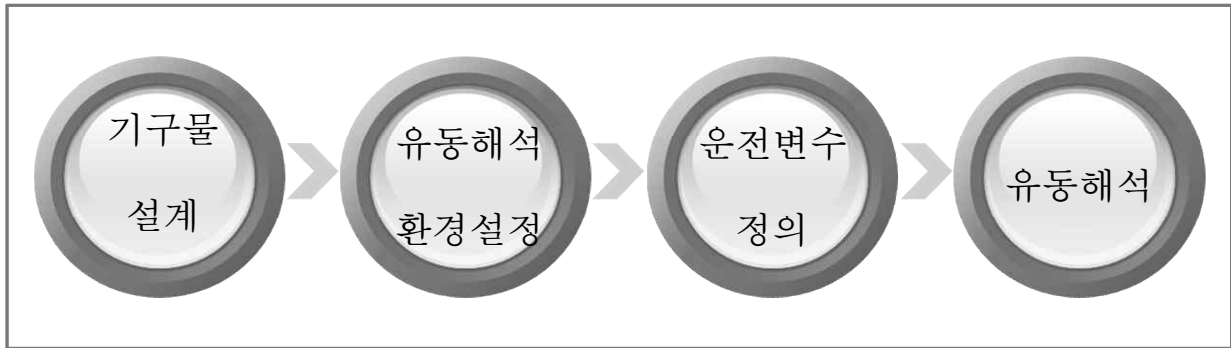
- 버블생성을 위해 제작된 마이크로버블용 노즐을 대상으로 내부구조만을 변경한 후 운전조건에 따른 압력(P), 유속(V), 온도(T)의 변화를 살펴보고자 하였음, 우선, 입구압력을 5.5bar, 유량을 10L/min로 고정한 상태에서 개선 노즐의 구조에 따른 내부의 압력, 유속, 온도 등과 선회부에서의 회전정도를 살펴본 후 적정 구조를 선정함
- 선정된 구조를 대상으로 운전압력에 따른 내부압력의 변화와 적정 토출압력 유지를 위한 출구직경의 검토를 실시한 후, 이를 대상으로 유입유량변화에 따른 유속의 변화와 노즐 통과에 따른 유체온도의 변화에 대한 검토를 실시하여 적정 운전조건에 대한 검토를 실시함.



<그림 47. 기존 노즐의 내부 유동 변화>

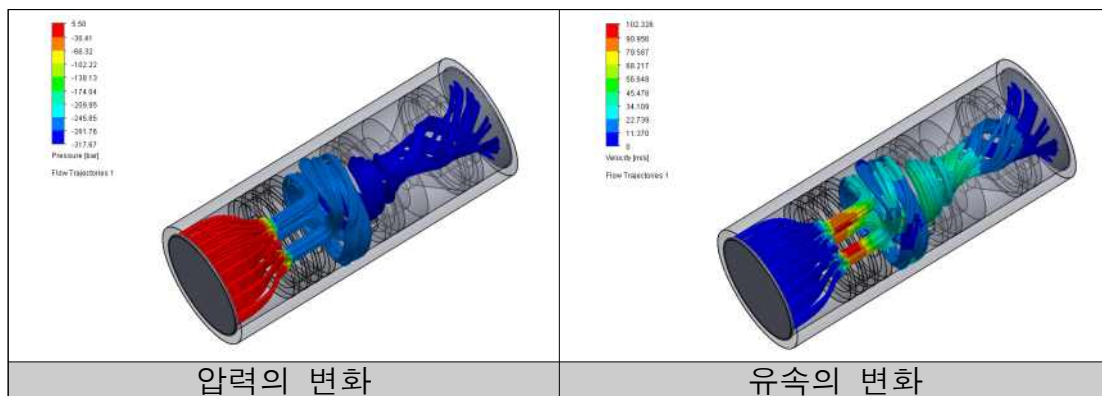


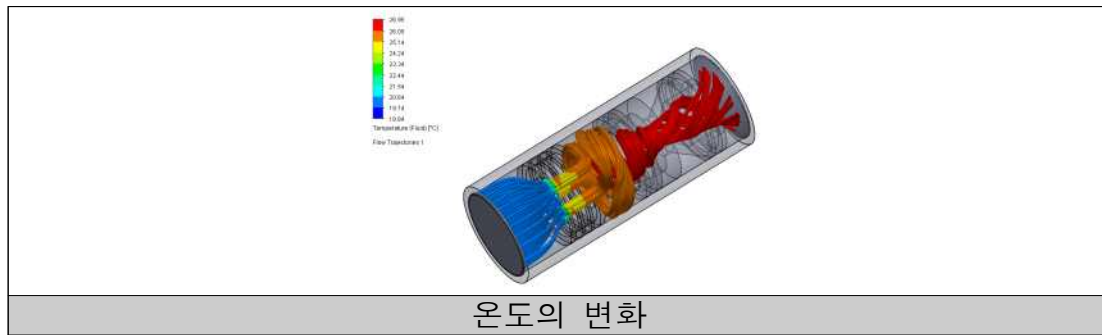
<그림 48. 금회 검토대상 노즐의 선회류부 형태>



유동해석 조건

- 기존 노즐과 제작편의성 감안 신규노즐(중간 홀 有, 無)의 구조 비교
 - ✓ 구조형태 비교
 - 신규노즐의 최적구조선정을 위한 유동해석 조건(유량 및 압력 등 고정상태에서 노즐 구조별 유동해석)
 - ✓ 신규노즐(2가지)과 기존 노즐의 유동해석 비교
 - ✓ 신규노즐 간 비교
 - 최적 노즐을 대상으로 한 유동해석
 - ✓ 신규노즐 토출 홀 사이즈에 따른 압력 등 변화
 - ✓ 입구 유량에 따른 내부 유속의 변화
- 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 있음.
- 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 하였음.
- 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 나타남.





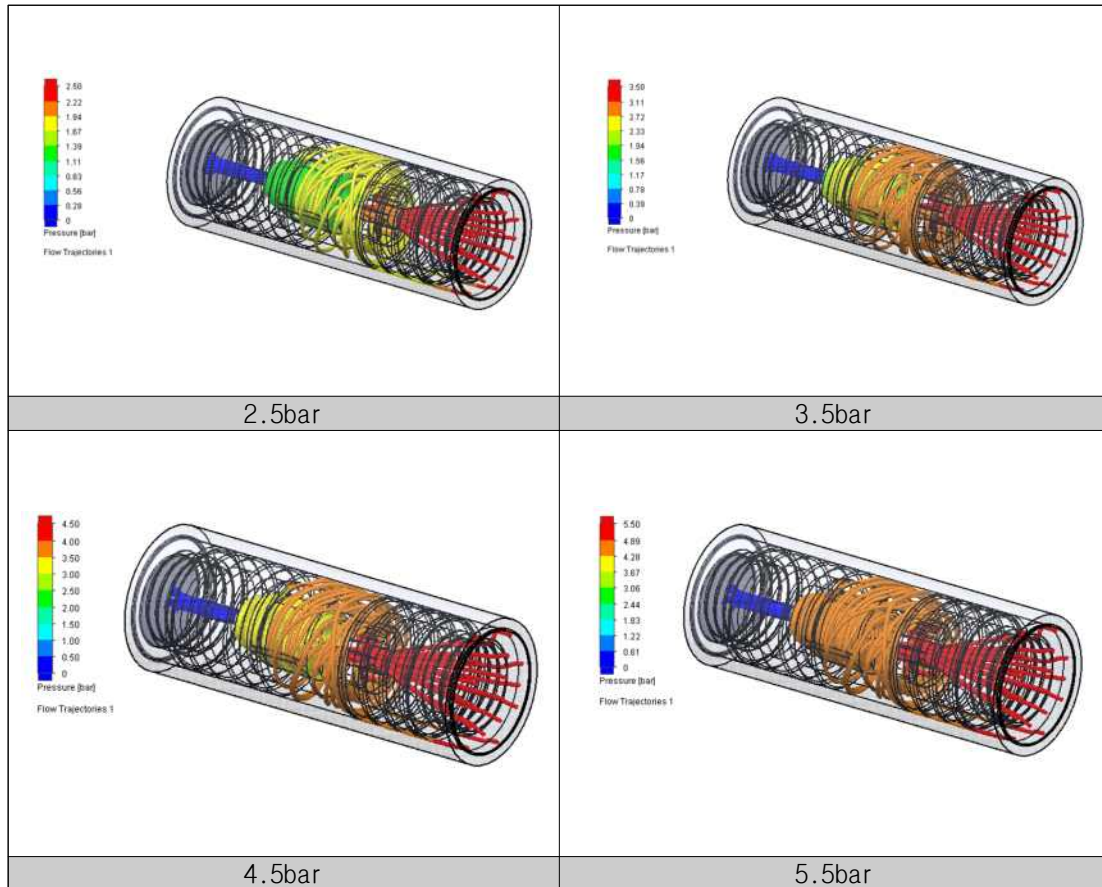
<그림 49. 기존 노즐의 내부 유동 변화>

- Swirl노즐의 구조개선은 동일몸체로 되어 있어 제작이 어려운 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스펀홀을 가진 노즐을 대상으로 진행되었으며, 기존과 동일하게 3개의 입구홀을 갖는 구조와 1개의 입구홀을 갖는 경우 등 총 3가지 형태에 대한 검토를 진행함.
- 구조개선 후의 노즐 내부 유동변화는 5.5bar의 압력과 10L/min의 유량조건으로 설정한 후 각 노즐의 형태에 따른 유동변화(압력변화)를 살펴보고자 하였음. 검토결과, 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스펀홀을 갖춘 Type1과 Type2보다 1개의 입구홀을 가진 Type3의 경우에는 선회부의 회전이 보다 활발한 것으로 나타나 이를 대상으로 유량 및 압력의 변화에 따른 개선 검토를 진행함.



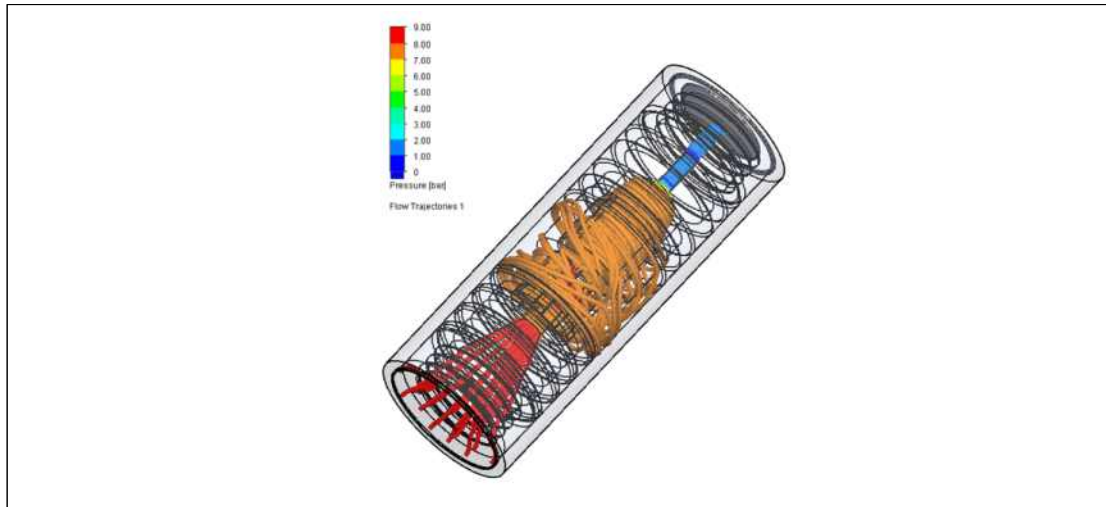
<그림 50. 선회류 발생부 형태에 따른 노즐내 압력의 변화>

- 입구 압력을 2.5, 3.5, 4.5, 5.5bar로 하고, 토출유량은 10L/min로 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 나타남.
- 입구압력을 3.5bar, 4.5bar, 5.5bar로 증가시키에 따라 노즐내에서의 압력손실이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 검토된 모든 경우에서 출구의 압력은 1bar이하로 나타나 토출압력을 1bar이상으로 유지하기 위해서는 입구압력을 증가시켜야 하는 것으로 확인됨.

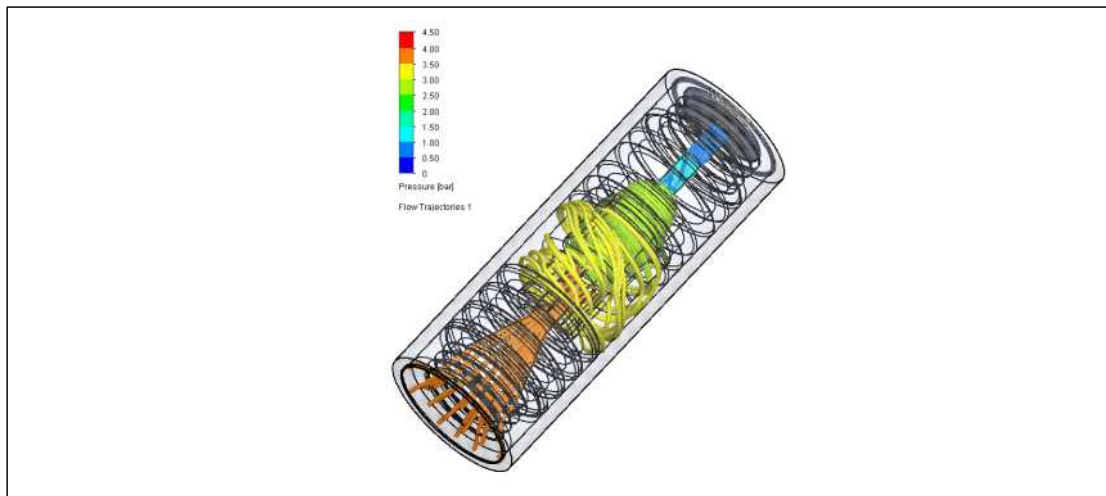


<그림 51. 선회류 발생부 형태에 따른 노즐내 압력의 변화>

- Swirl노즐의 구조개선은 동일몸체로 되어 있어 제작이 어려운 3개의 입구홀과 1,2단 선회류 발생 스펀홀을 가진 노즐을 대상으로 진행되었으며, 기존과 동일하게 3개의 입구홀을 갖는 구조와 1개의 입구홀을 갖는 경우 등 총 3가지 형태에 대한 검토를 진행함.
- 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 나타남.
- 이에 따라, 토출부의 직경을 4mm로 확대한 후 출구압력을 1bar로 유지하고자 할 때 필요한 유입압력을 재검토한 결과, 4bar정도의 압력이 적절한 것으로 나타남.

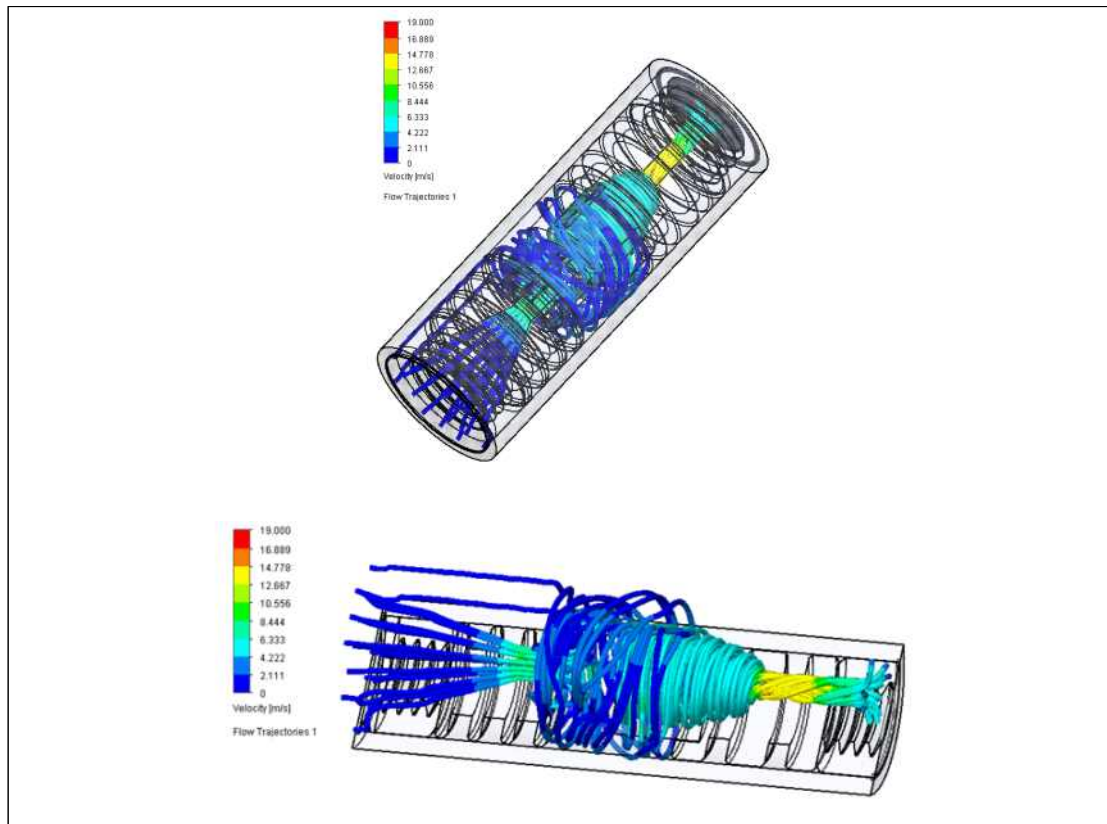


<그림 52. 토출직경 3mm시 토출압력 1bar 유지를 위한 필요 유입압력>

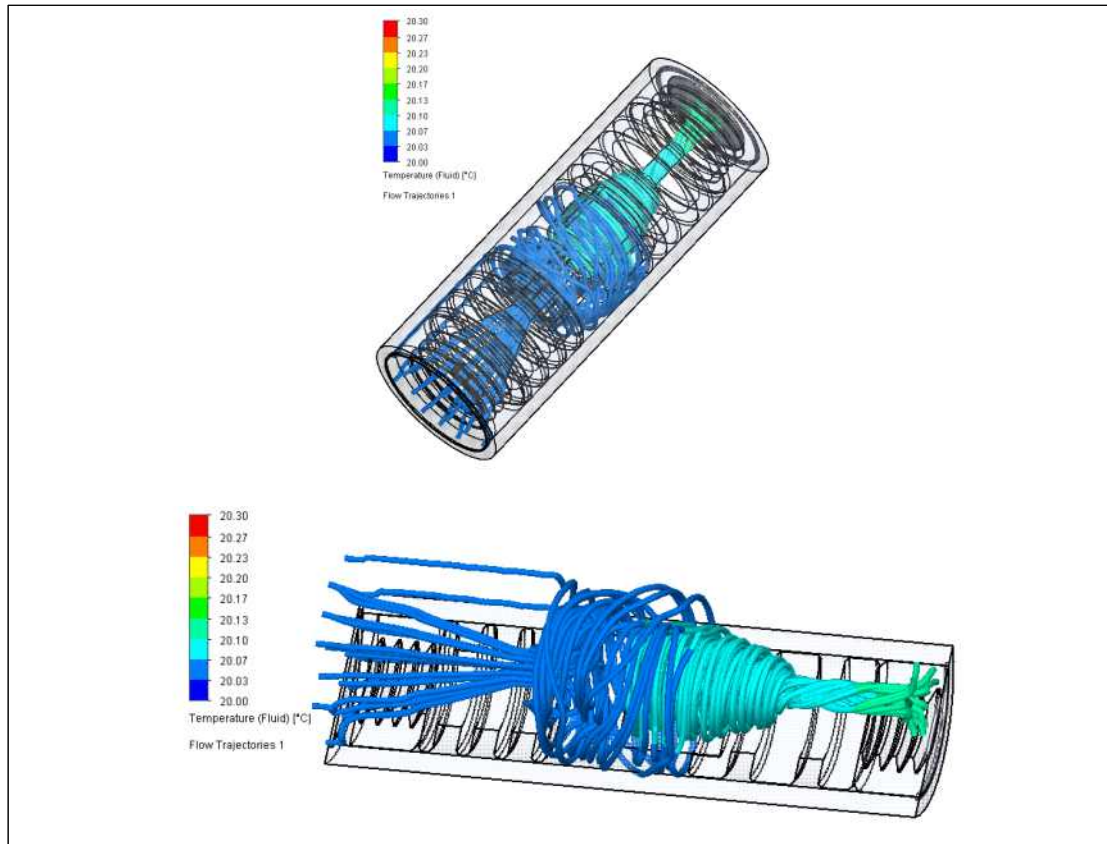


<그림 53. 토출직경 4mm시 토출압력 1bar 유지를 위한 필요 유입압력>

- 앞선 검토결과를 토대로 토출직경을 4mm, 입구압력을 4.0bar로 하고, 토출유량은 10L/min로 하여 내부 유속의 변화를 살펴보면 다음과 같음. 내부에서 최고의 유속은 2단 선회류 슬릿홀을 통과한 토출부에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이때의 유속은 19m/sec 정도로 나타남. 선회부에서의 유속은 5m/sec 정도로 나타났으며, 입구에서의 유속은 2m/sec 이하인 것으로 나타남.
- 앞선 검토결과를 토대로 토출직경을 4mm, 입구압력을 4.0bar로 하고, 토출유량은 10L/min로 하여 내부 온도의 변화를 살펴보면 다음과 같음. 설정된 운전조건에서 노즐을 통과하면서 마찰과 충돌 등으로 인해 유체의 온도는 0.1℃ 정도 상승하는 것으로 나타남.
- 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 사료됨.



<그림 54. 토출직경 4mm, 입구압력 4.0bar, 유량 10L/min 유지시 유속변화>



<그림 55. 토출직경 4mm, 입구압력 4.0bar, 유량 10L/min 유지시 수온변화>

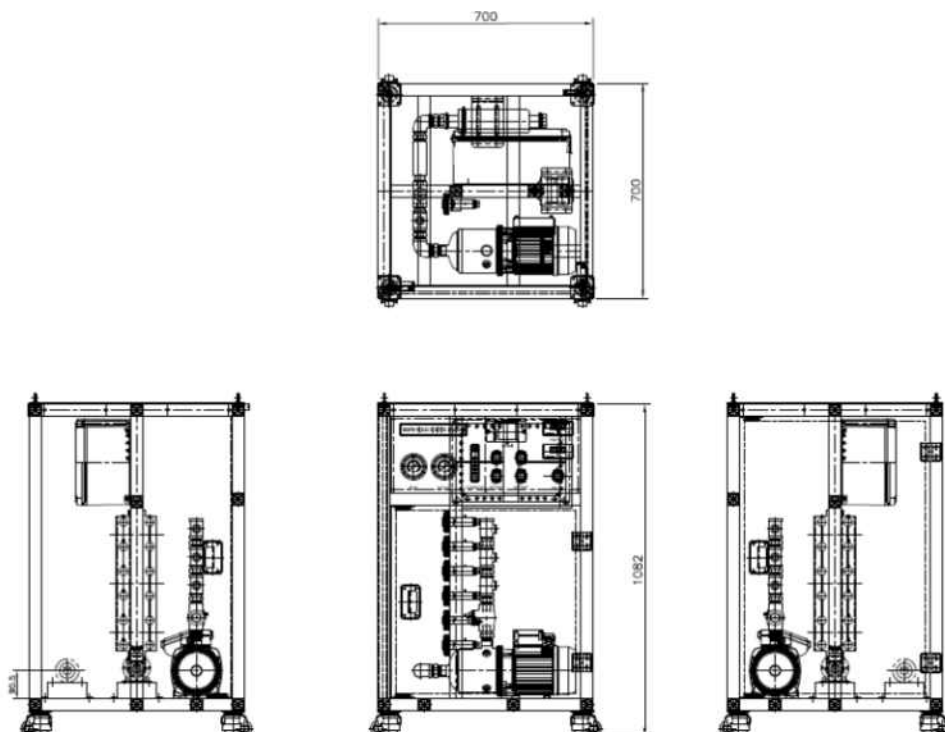
3) 2차년도 4HP(3kwh)급 이하 80LPM 이상 규모의 미세기포(세척장비) 발생장치 설계 및 제작

- 1차년도 1.5Hp급 30LPM 미세기포 발생장치는 마이크로버블 중심으로 설계 및 제작되니 세척효율이 떨어져 1차년도 세부 단위장치를 개선하기 위해 표 26과 같이 다단충돌판 구조를 슬릿형 구조에서 상하-좌우 다단 충돌판인 직진형으로 설계 및 제작되어 압축팽창 및 버블밀도를 증가시켰다. 또한 미세기포 노즐은 3단 Vortex 노즐에서 12단 Vortex 노즐로 증가시켜 기포 발생량을 증가시켰다.

<표 26. 1차년도 미세기포 개선한 4HP급 이하 80L/min 미세기포 발생장치>

No	1차년도	2차년도	변경 개선
1	마이크로버블 중심 ($\sim 20\mu\text{m}$)	나노버블 중심 (100~200nm)	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

- 본 연구개발에서 4HP급 이하 80L/min 미세기포 발생장치는 기본적으로 1차년도 생성방식과 동일하나 용량이 확대되고 기포크기를 좀더 나노크기로 만들기 위해 노즐 개수를 증가시켜 원하는 용량을 만족하도록 하였다. 그림 56에 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 버블생성 속도가 매우 느리게 하는 내부순환하는 방식에서 탈피하여 인라인 토출 방식으로 만들기 위해 노즐을 병렬식으로 배치 후 한곳에서 모이기를 함으로써 버블의 밀도와 개수를 증가시키는 원리를 채택하였다.





<그림 56. 2차년도 4HP급 80L/min 규모의 미세기포(세척장비) 설계도면 및 제작>

- 표 27은 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 스피널 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.

<표 27. 2차년도 80LPM급 이상 3HP 이하급 미세기포 세척장비 사양 및 규격>

No	Part	규격	비고
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 스피널 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 57은 1차 믹서 교반장치 제작과정이며 그림 58은 2차 Vortex 노즐 제작과정이며 그림 59은 3차 회전충돌 붕괴노즐이며 그림 60은 압력계(유입/토출) 및 Air 유량계의 설치이며 그림 61. 미세기포 발생장치의 제어반이고 그림 62. 세척장비 장착된 전력량계 및 유량 전산계이다. <그림 63. 검교정된 전력량계 및 유량 전산계>이다.



<그림 57. 1차 믹서 교반장치(임펠러)>



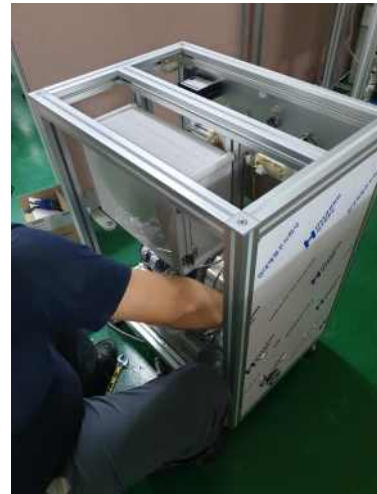
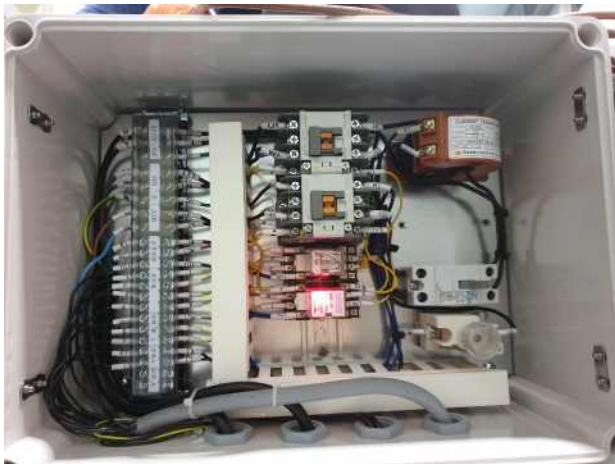
<그림 58. 2차 Vortex 다단총돌판>



<그림 59. 3차 회전총돌 붕괴노즐>



<그림 60. 압력계(유입/토출) 및 Air 유량계>



<그림 61. 미세기포 발생장치의 제어반>



전력량계



유량적산계

<그림 62. 세척장비 장착된 전력량계 및 유량 전산계>

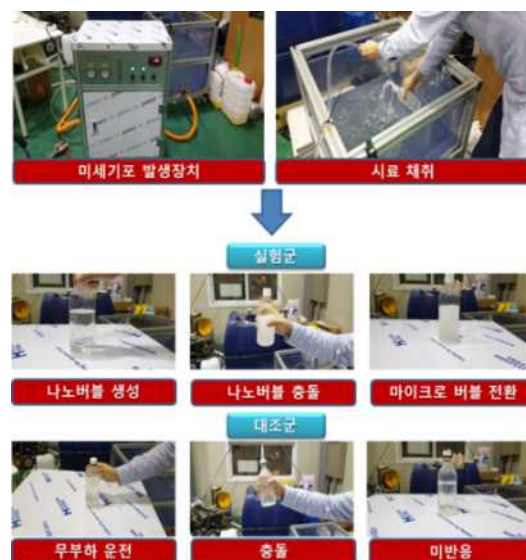


<그림 65. 2차년도 차량 탑재형 4HP급 80L/min 규모의 미세기포(세척장비)>

3. 미세기포 세척장비 성능 평가

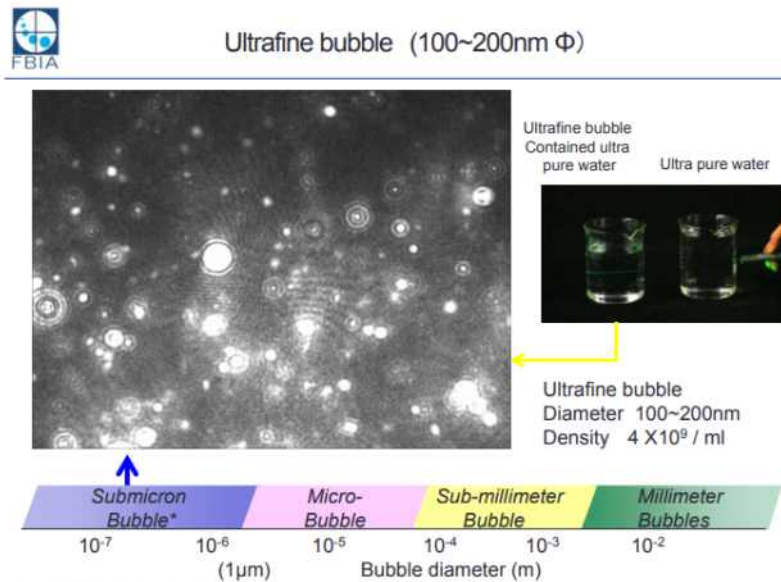
1) 나노버블 생성 및 마이크로 버블 전환 확인

- 그림 66은 4HP급 이하 80L/min 이상 규모의 미세기포(세척장비) 발생장치에 대한 시운전을 수행하였다. 공기압 3~8LPM 기준 운전압력 4Bar 조건에서 운전하였다. 우선 무부하 조건에서 공기량을 주입하지 않고 운전할 경우 아무런 반응이 일어나지 않았다. 하지만 공기량을 3LPM 조건에서 4BAR 운전한 결과 그림 60와 같이 무색의 나노버블이 생성되었다.
- 이 나노버블을 충돌을 할 경우 밀크색의 마이크로버블로 전환되는 것을 확인하였다. 이런 현상은 브라운 운동을 하는 매우 안정적인 나노버블이 일시적인 충격을 가하여 표면장력을 파괴하면 마이크로 버블 전환된다.



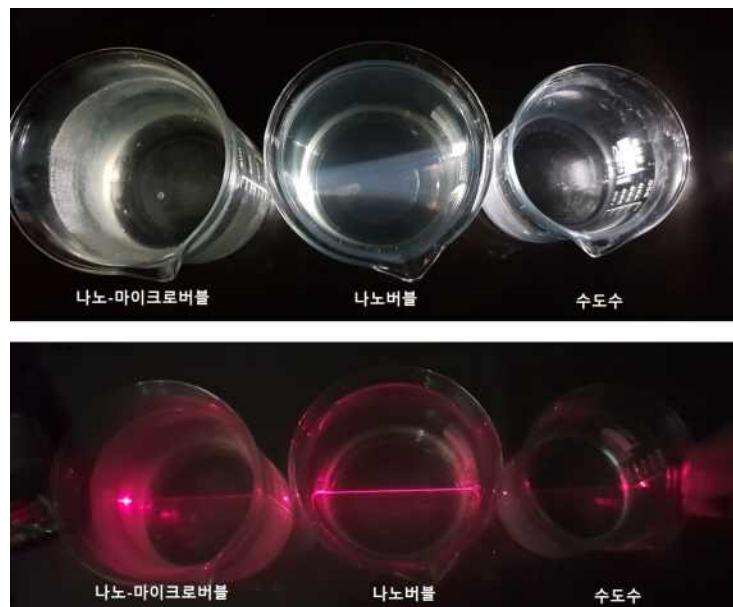
<그림 66. 2차년도 차량 탑재형 4HP급 80L/min 규모의 미세기포(세척장비) 시운전>

- 국제파인버블협회인 FBIA에서 쉽게 초미세기포인 나노버블을 확인하기 위해 그림 67와 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.



<그림 67. 레이저 포인트를 이용한 나노버블 확인 간접측정 방법>

- 그림 68은 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 산란되지 않은 것을 확인하였다.



<그림 68. 레이저 포인트를 이용한 나노버블수 간접확인>

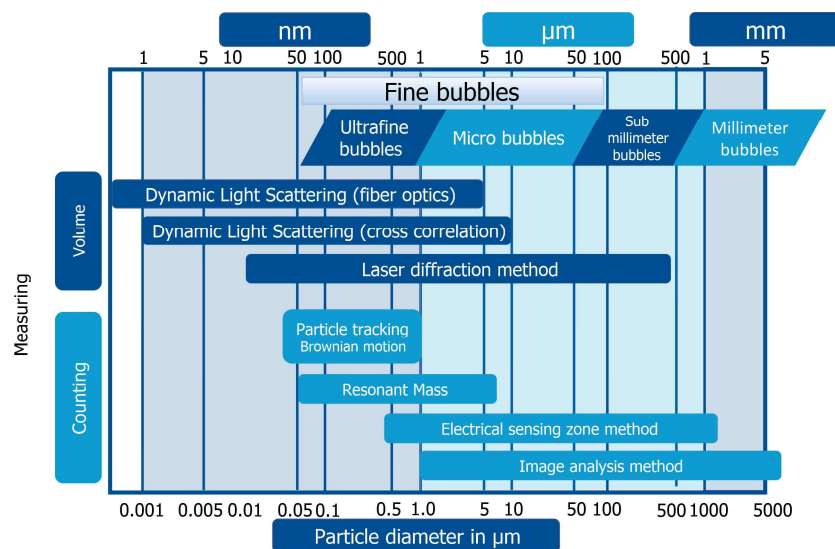
- 나노버블을 확인할 수 있는 또 하나의 특징은 표면에 음이온 전하를 띄는 특성이 있다. 따라서 그림 69와 같이 ORP 계측기를 이용하여 음이온 전하를 측정하였다. 나노 버블 사이의 정전 기적 상호작용은 유착을 피하기에 충분히 클 수 있습니다. 정전 기적 상호작용은 상승 속도를 훨씬 늦출 수 있습니다.

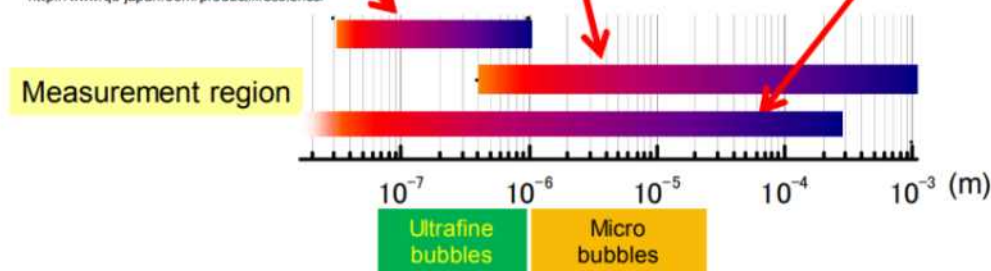
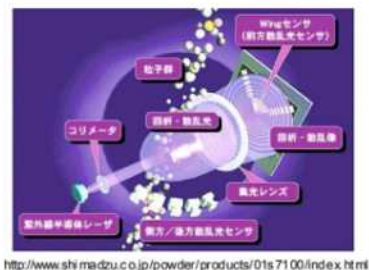
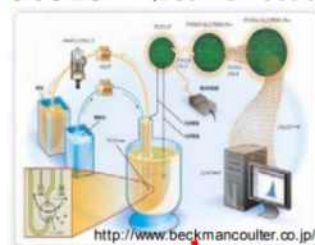
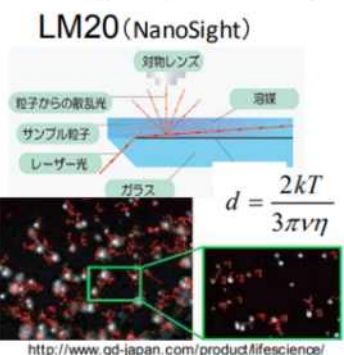


<그림 69. 나노버블수의 표면전위 측정을 위한 제타전위 측정 및 확인>

2) 미세기포 직경크기 측정 방법

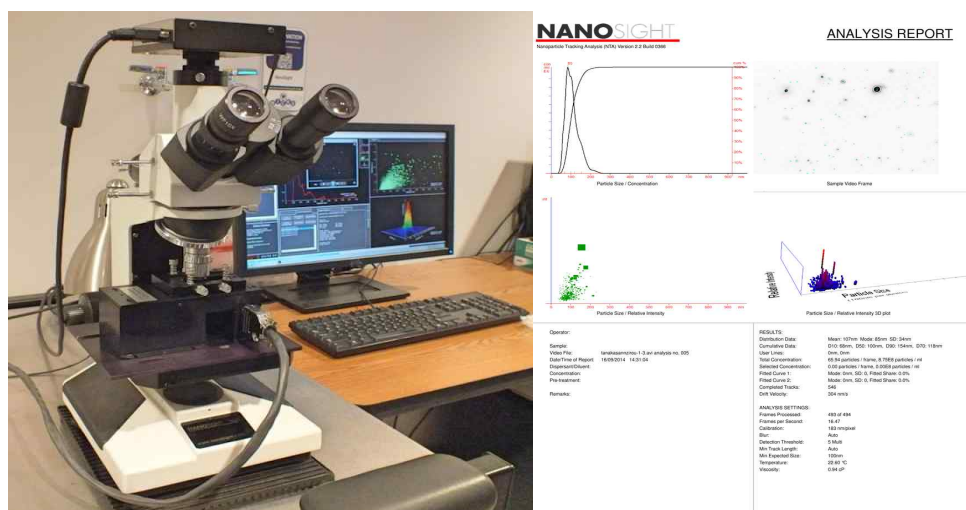
□ 그림 70은 ISO에 지정한 Fine bubble은 기포 크기별 분석방법에 대한 설명하고 있다. 1미크론 이하의 기포크기를 갖는 나노버블과 그 이상의 크기를 갖는 마이크로버블로 구분된다. 우선 미세기포의 양적인 관점에서는 $10\mu\text{m}\sim 1\text{nm}$ 범위는 Dynamic Light Scattering 방법으로 $500\mu\text{m}\sim 10\text{nm}$ 범위는 Laser Diffraction Method로 구분된다. 카운팅(Counting) 관점에서는 $1\mu\text{m}\sim 40\text{nm}$ 범위에서 Particle Tracking Brownian Motion 방법을 사용하고 그보다 큰 범위인 $10\mu\text{m}$ 은 Resonant Mass 방법을 사용하고 있다. 좀더 큰 기포의 측정은 $1\text{mm}\sim 500\text{nm}$ 은 Electrical Sensing Zone Method를 사용하고 있고 $1\mu\text{m}$ 이상의 기포는 Image Analysis Method 방법을 사용하고 있다.





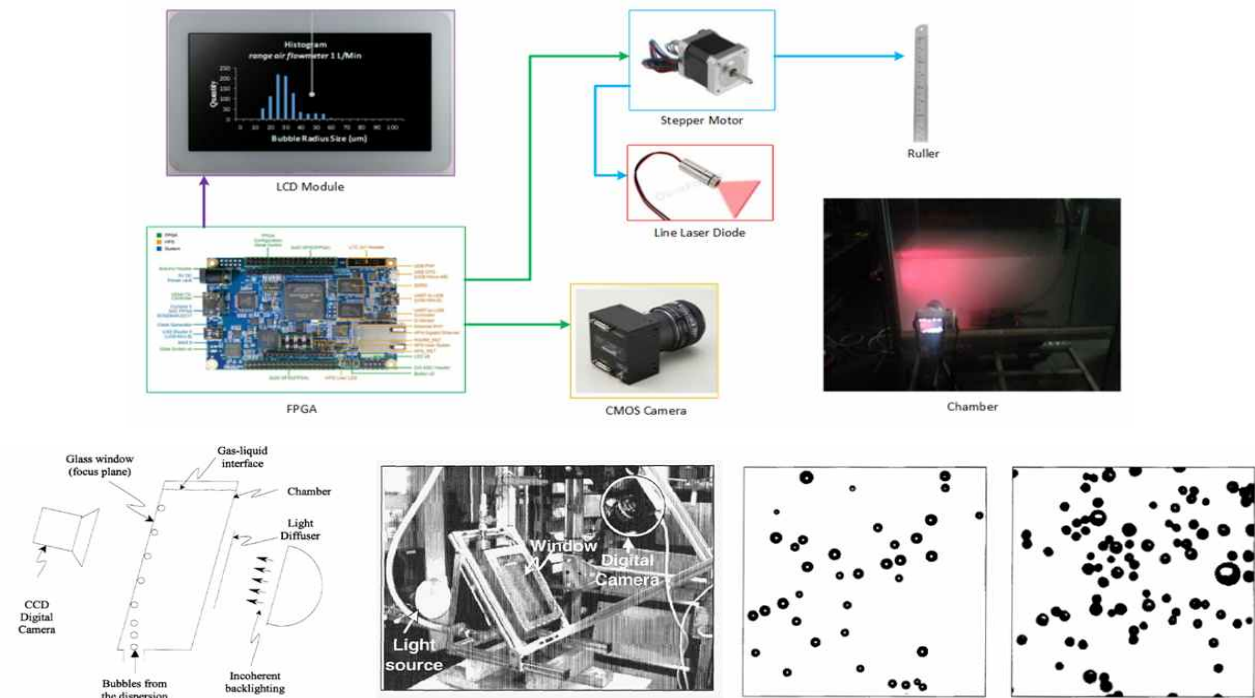
<그림 70. ISO에 지정한 기포 크기별 분석방법 분류>

□ 가장 일반적으로 나노기포의 직경을 측정하는 장비는 그림 71와 같이 NANOSIGHT이다. NANOSIGHT 방법을 사용하면 액체에서 나노 입자의 브라운 운동을 실시간으로 관찰할 수 있습니다. 입자의 속도는 직경에 의존하기 때문에, 브라운 운동 패턴을 측정함으로써 직경 및 입자 수의 입자 크기 분포 그래프를 얻을 수 있다.



<그림 71. 나노버블 직경을 측정하기 위한 나노사이트 장비(좌) 및 프로그램에 의한 측정값>

□ 마이크로 버블은 밀크타입으로 순간적으로 생성한 후 직경크기에 따라 1~3분 내외에서 사라지는 특성으로 마이크로버블 입자의 산란과 회절의 패턴강도를 측정하는 레이저 입자계수 측정법에 한계가 있다. 따라서 그림 72와 같이 최근에 빠른 시간내 마이크로버블의 입자크기를 측정하는 방법으로 고속카메라와 조명을 이용하는 방법과 고배율 카메라에 고속카메라를 장착하여 순간적인 버블입자를 측정하는 방법이 소개되고 있다.



<그림 72. 고속 카메라를 이용한 마이크로버블 직경크기 측정방법>

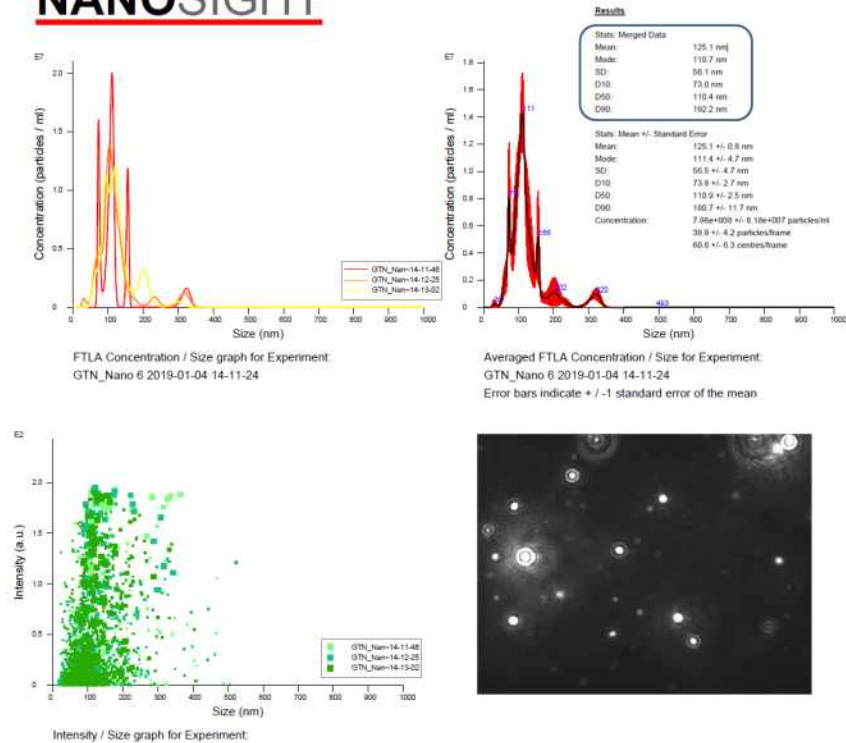
3) 미세기포 발생장치로부터 나노버블 미세기포 측정

□ 그림 73은 멜번사(영국)의 나노사이트(Nanosight) 장비를 임대하여 미세기포 발생장치로부터 시료를 채취 후 나노버블 직경 및 밀도를 측정하였다. 그림 74와 같이 나노버블의 평균직경은 123nm이고 농도는 8×10^8 개/ml를 나타냈다. 특히 50nm~200nm 직경크기 분포로 나노버블이 존재하였다.



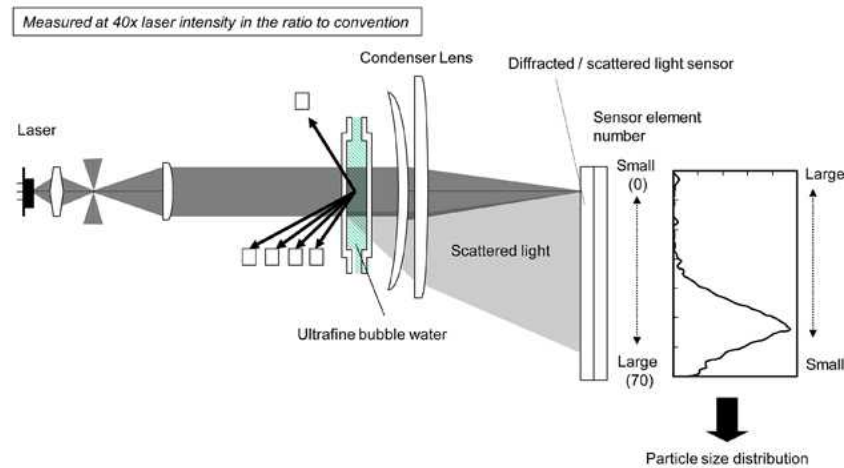
<그림 73. 나노사이트(Nanosight)를 이용한 나노버블 직경을 측정>

NANOSIGHT



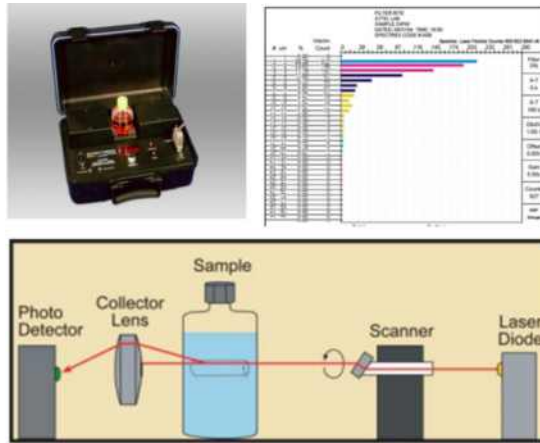
<그림 74. 나노사이트(Nanosight)를 이용한 나노버블 측정결과>

- 마이크로 버블 직경 크기를 측정하는 레이저 회절/산란법(Laser diffraction/scattering method)은 빛이 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.



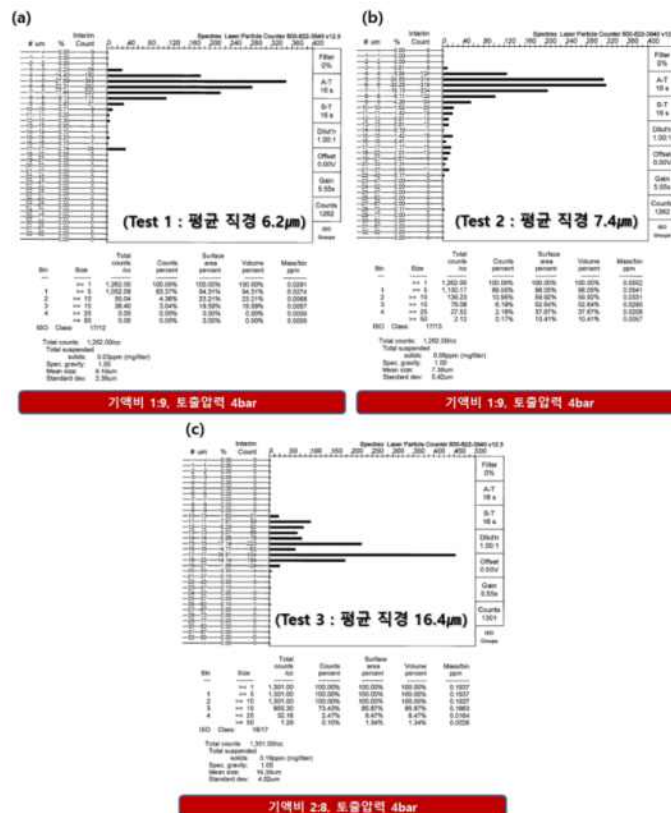
<그림 75. 레이저 회절/산란법(Laser diffraction/scattering method) 측정원리>

- 본 연구에서는 미세기포층의 깊이를 측정하기 위해 particle counter인 PC-2300 휴대용 레이저 파티클 카운터(SPECTEX사, 미국)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. 레이저 광산란 (g g Near Angle Laser Light Scattering) 을 기본원리로 이용하여 측정한다. 입자 크기에 따라 산란광의 크기가 다른 원리를 이용하여, 유리병이나 Flow Cell에 레이저를 조사하여 입자크기 별에 따른 광산란을 발생시킨다.



<그림 76. PC-2300 휴대용 레이저 파티클 카운터(SPECTEX사, 미국)를 이용한 마이크로버블 직경측정>

□ particle counter인 PC-2300 휴대용 레이저 파티클 카운터(SPECTEX사, 미국)를 사용하여 측정한 결과 기액비 1:9 및 토출압력 4bar에서 평균직경 $6.2\mu\text{m}$ 및 $7.4\mu\text{m}$ 그리고 기액비 8:2에서 평균직경 $16.4\mu\text{m}$ 으로 나타났다. 공기량이 너무 많이 액체에 주입 할 경우 기포크기가 증가되는 것을 확인하였다.



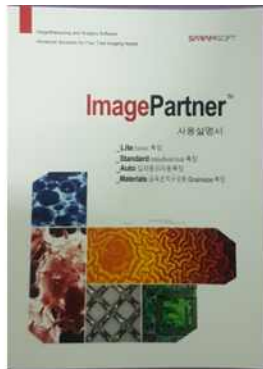
<그림 77. PC-2300 휴대용 레이저 파티클 카운터(SPECTEX사, 미국)를 이용한 마이크로버블 직경측정 결과>

□ 최근에는 레이저 파티클 카운터를 이용한 마이크로버블 분석장치 마다 전처리 속도에서 차이가 많이 나고 순간적으로 기포가 증가한 후 사라지는 특성 때문에 고정밀 현미경에 고속카메라로 순간적으로 직경크기를 측정하고 이미지 측정 프로그램으로 기포 크기를 분류 한후 엑셀에서 데이터를 통화 분석하는 기법이 그림 78과 같이 최근에 개발되었다.

□ 본 연구에서는 그림 78과 같은 절차에 따라 마이크로버블의 직경크기를 측정하였다. 고정밀 현미경은 미세조정 2.5 μ m을 갖는 고배율 고정밀의 올림푸스(CX43) 현미경을 사용하였고 고속카메라는 픽셀사이즈 3.45 μ m (Sony IMX265, CMOS, 1/1.8" 센서)를 갖는 FLIR사 제품을 사용하였다. 또한 측정된 사이즈를 계량화시키기 위해 이미지파트너 제품을 사용하였다.



고정밀 현미경



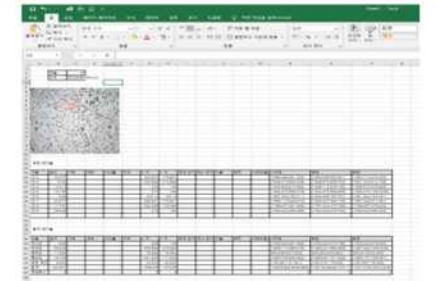
측정 프로그램



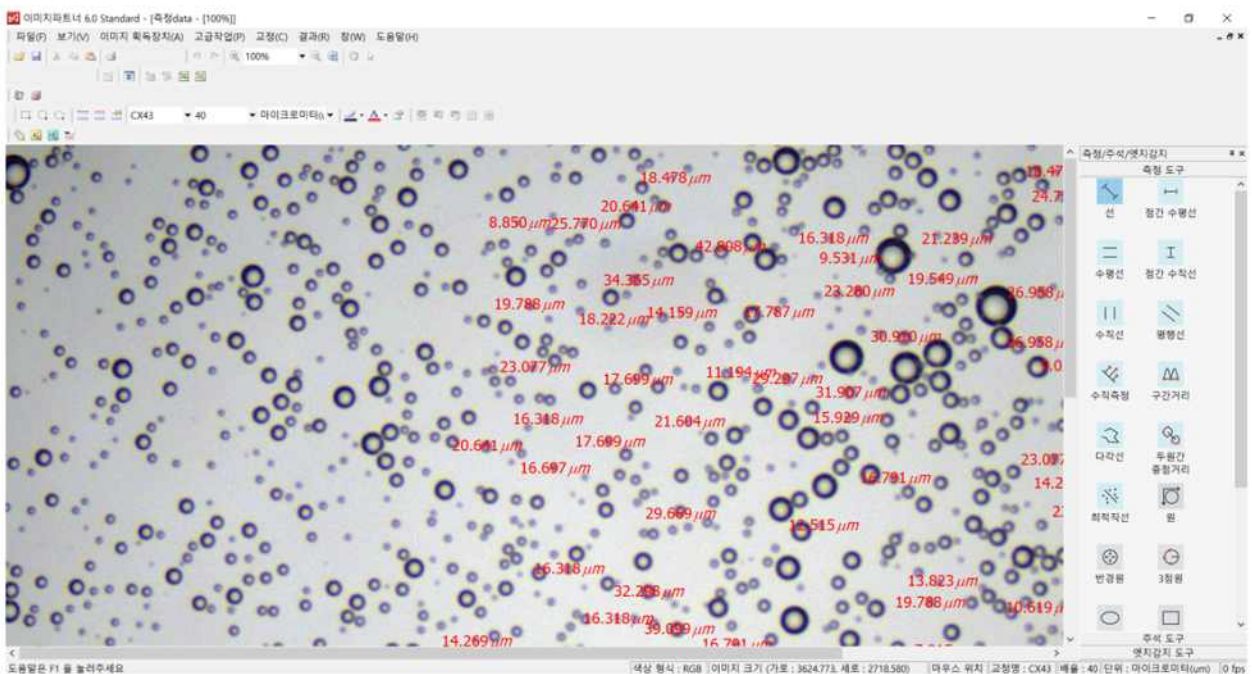
고속 카메라



기포크기 분류



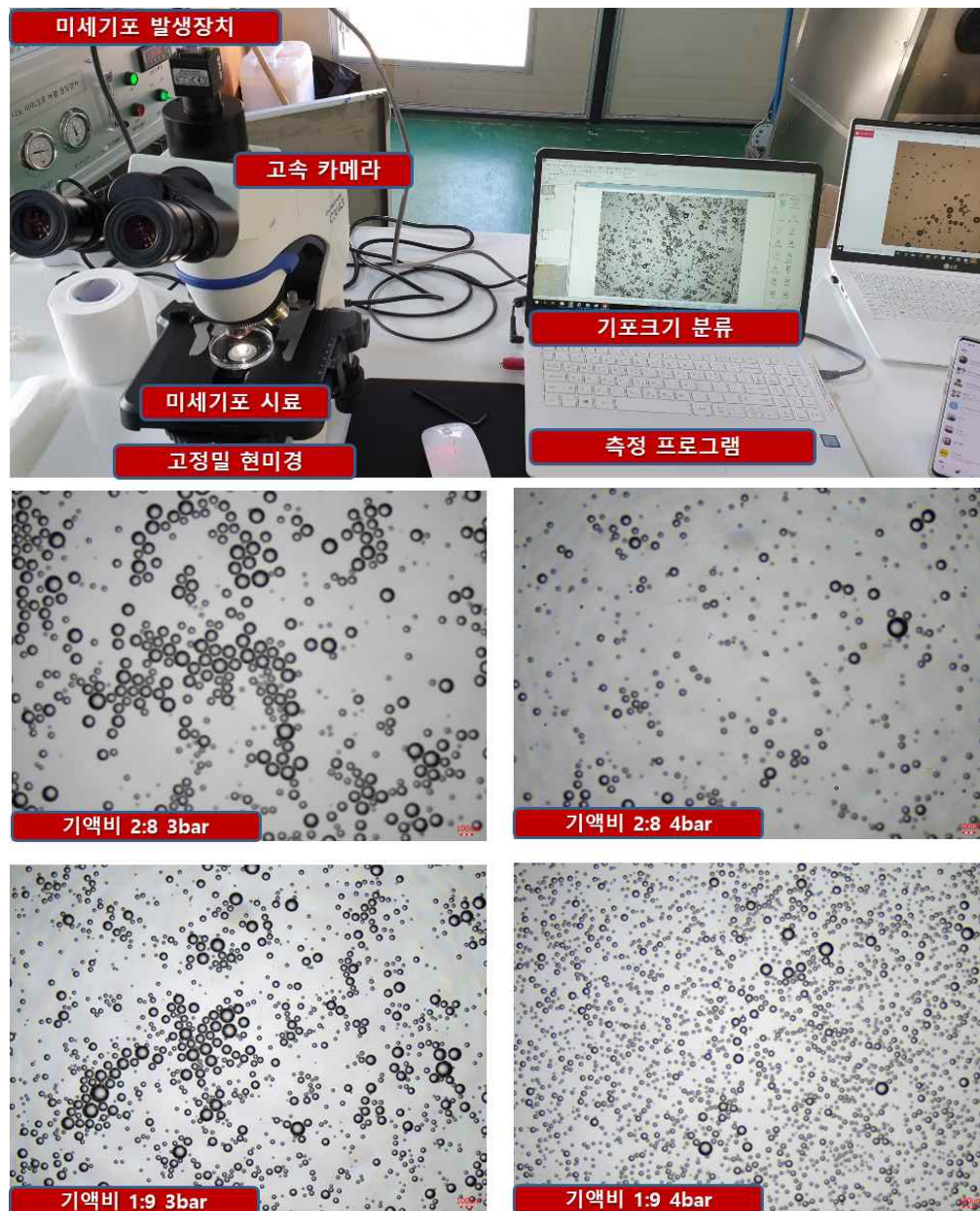
데이터 DB화



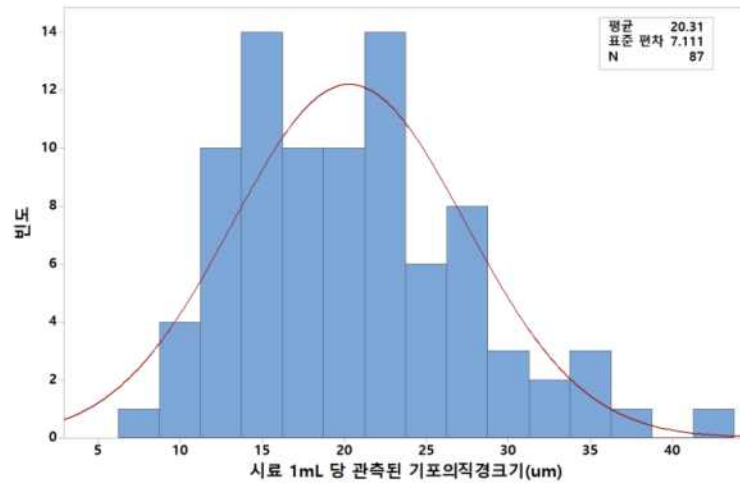
데이터 DB화 전환시 화면

<그림 78. 정밀현미경과 고속카메라를 연계한 마이크로버블 직경크기 측정>

- 그림 78에 제시된 방법으로 운전조건별 기포의 이미지는 그림 79에 제시되었다. 그림 *에서 보듯이 운전 조건에 따라 기포의 초기 형상이 제각기 다르게 나타났다. 그 중 기액비 1:9 조건에서 운전압력이 4bar 일 경우 가장 많은 버블밀도는 물론 기포크기가 매우 작은 것을 확인하였다.
- 측정프로그램을 통해 데이터를 얻어 이를 히스그램 분포그래프로 전환한 결과는 그림 80에 제시하였다. 시료 1ml 당 관측된 기포의 직경크기는 평균 $20\mu\text{m}$ 으로 확인되었다. 이는 앞서 측정한 레이저 파티클 카운트 방식에 의한 $6\sim 7\mu\text{m}$ 하고 차이가 나타났다.



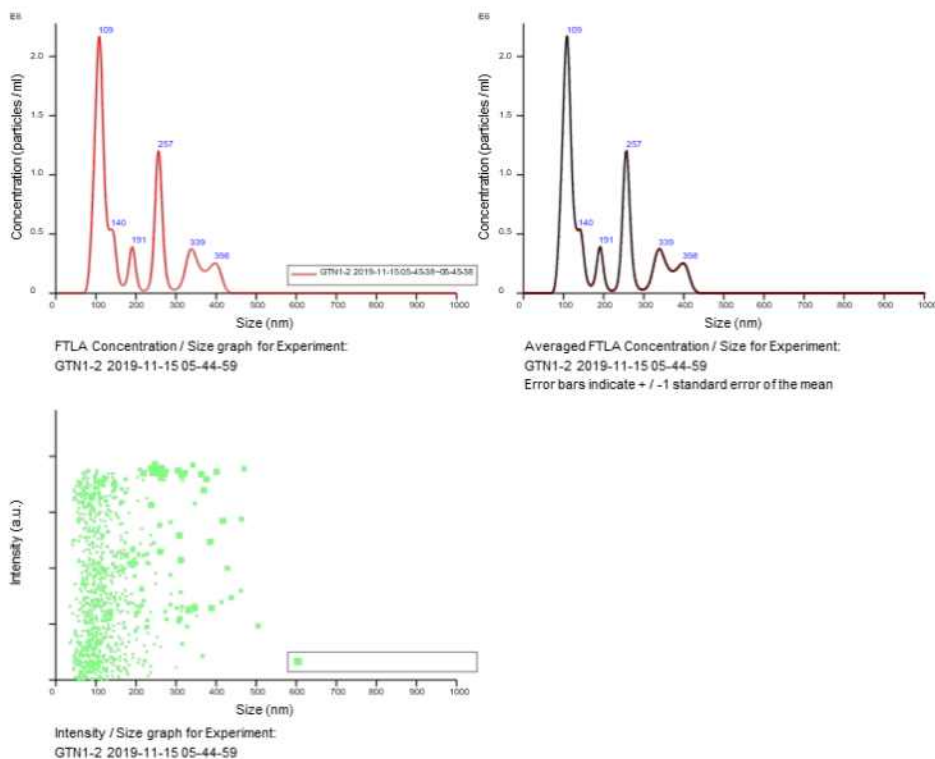
<그림 79. 정밀현미경과 고속카메라를 연계한 운전조건별 마이크로버블 직경크기 측정 결과>



<그림 80. 정밀현미경과 고속카메라를 연계한 운전조건별 마이크로버블 직경크기 분포그래프>

□ 나노입자추적법인 나노사이트(Nano Sight) 장비를 이용하여 나노버블에 대한 크기를 측정한 결과 그림 80에 제시하였다. 측정결과 $196.6 \pm 100.6\text{nm}$ 나노직경에 $1.36 \times 10^8\text{개/mL}$ 의 농도를 나타냈다. 본 미세기포 발생장치는 초기 마이크로버블이 순간적으로 발생하고 추후에 잔류성 나노버블이 발생되는 것을 나노사이트 분석장비를 통해 확인하였다(그림 81).

NANO SIGHT



<그림 81. 나노입자추적법인 나노사이트를 이용한 나노버블의 직경크기 측정 및 결과>

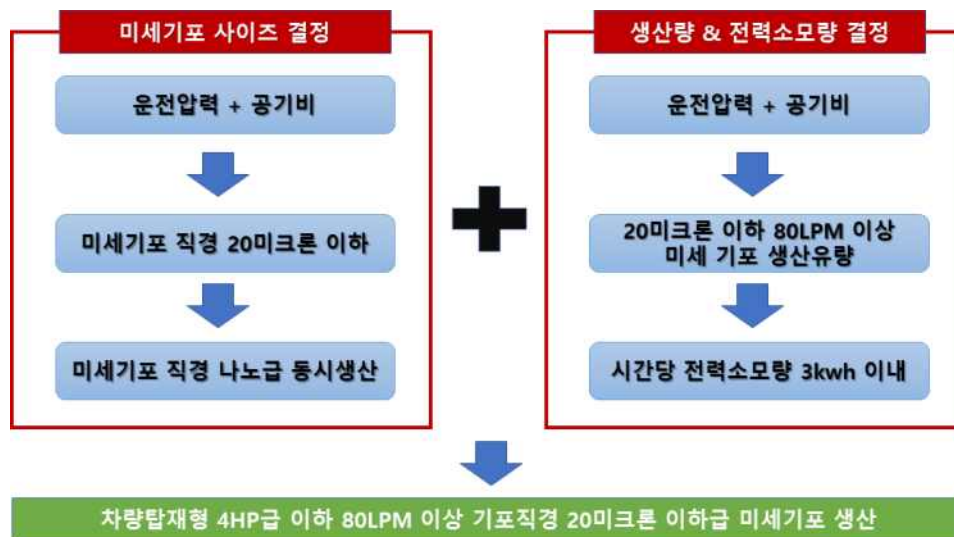
4) 미세기포 발생장치에 대한 유량 및 전력량계 측정

- 차량 탑재형 4HP급(3kwh 이내) 이하 80L/min 이상 규모의 미세기포 발생장치에 대한 소모전력량과 미세기포 발생유량에 대한 성능목표치 표 28에 대한 제시하였다. 일본의 제품의 경우 2.6kwh에 60LPM 토출유량을 가지고 있어 일본 제품보다 우수한 성능을 평가하기 검교정된 전력량계와 유량계를 사용하여 측정하였다.

<표 28. 2차년도 80LPM급 이상 3HP 이하급 미세기포 세척장비에 토출유량 및 전력소모량 목표치>

항목	성능목표치	측정제원 (검교정된)
미세기포 토출유량	>80LPM	0~100LPM(L/min), WP7000사
미세기포 발생장치 전력소모량	<4HP(3kwh 이내)	LS 산전 교류 단상2선식/220V/40(10)A

- 도로구조물에 부착되어 있는 염분을 제거하기 위해 개발된 미세기포 세척장비는 그림 82와 같이 다양한 운전조건과 성능 목표치를 만족해야 한다. 크게 미세기포 사이즈와 미세기포 생산량과 전력소모량을 동시에 만족하기는 쉽지가 않다. 미세기포 사이즈는 미세기포 발생장치의 운전압력으로 주로 기체와 액체가 순간적으로 혼합하기에 필요한 전단압력과 적절한 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 염분 제거율을 90% 이상 제거해야 한다. 또한 차량으로 이동하면서 현장에 상기 목표운전값과 성능값을 만족하는 것은 쉽지 않아 보인다. 금번 2차년도는 현장에 투입하기 전에 80LPM 이상의 4마력 전력소모량을 평가해야 한다.



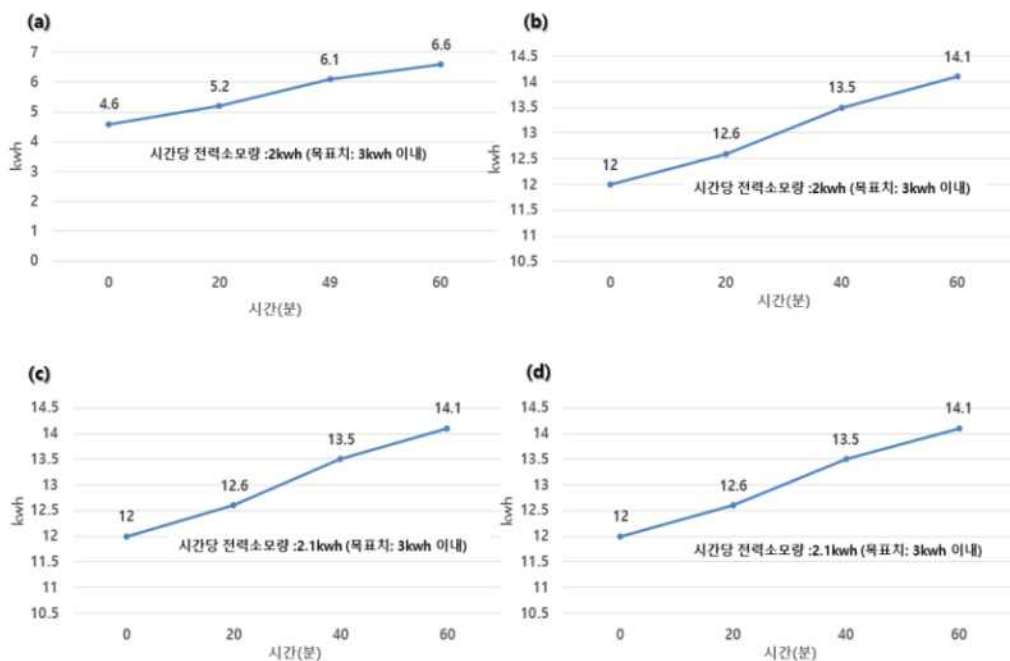
<그림 82. 차량탑재형 미세기포 생산을 위한 2가지 핵심목표 달성 개념도>

- 차량 탑재된 미세기포 발생장치 전면에 검교정된 전력량계와 유량계를 통해 시간당 운전시 성능목표치에 만족하는 확인하기 위해 총 4시간 연속운전을 수행하였다. 그림 83은 20분 간격으로 전력량과 유량을 측정하여 성능목표치에 만족하는지 확인하였다.



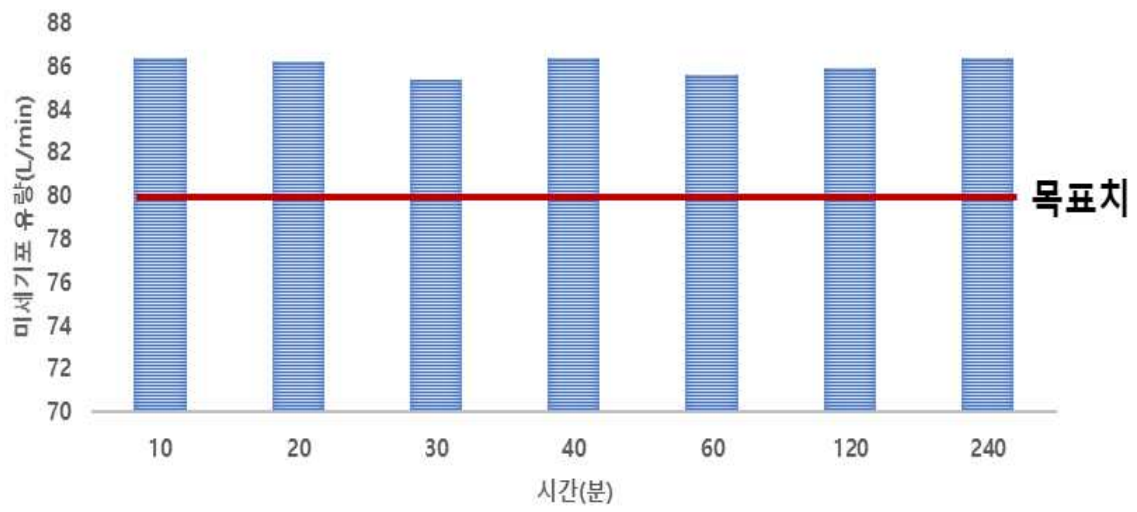
<그림 83. 미세기포 발생장치로부터 소모전력량과 유량적산계 측정>

□ 그림 84은 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.



<그림 84. 미세기포 발생장치로부터 시간당 전력소모량 연속측정>

□ 그림 85은 그림 82와 같은 조건에 따라 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 나타냈고 이는 80LPM 이상을 만족하였다.



<그림 85. 차량탑재형 미세기포 발생장치로부터 분당 토출유량 연속측정>

라. 미세기포 세척장비 세척효율 평가

1. 미세기포 세척장비의 세척원리

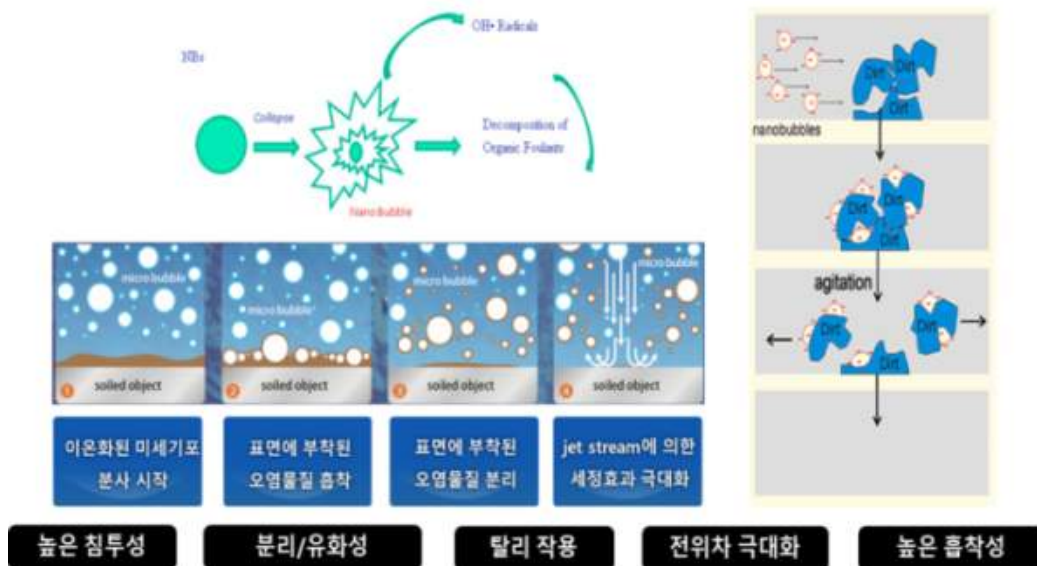
- 일반적으로 고압으로 세척하는 원리는 50~200bar에서 (초)고압 펌프를 이용하여 노즐을 통해 물을 분사시켜 빠른 속도 에너지를 이용한 물리적 힘과 마찰력을 이용하는 고압 water jet 분사방식이 채택되고 있다(그림 86). 이런 방법은 오염물질이 벽면에 부착될 경우 주로 마찰력으로 세척하기 때문에 높은 압력은 물론 많은 양의 물이 필요하고 높은 농도의 염분을 세척하는데 상당한 시간이 소요된다.



(초)고압 펌프를 이용하여 50~200bar에서 물을 노즐을 통해 분사시켜 빠른 속도 에너지를 이용한 물리적 힘과 마찰력을 이용하는 세척방법

<그림 86. 기존 고압 Water jet 세척원리>

- 미세기포는 접촉면적이 증가되고 전기적 특성을 이용한 소수성 물질 및 반대 이온의 미세입자물질에 대한 높은 흡착력을 가짐에 따라 세척효율이 증가한다. 그림 87은 미세기포가 자기압괴 과정을 거치면서 수축되었다가 순간 붕괴시 세척대상물에 흡착된 후 탈착되면서 오염물질을 분리하는 원리를 설명하고 있다.
- 고압세척기와 같은 워터제트의 원리가 적용된 장치는 Jet stream에 의한 효과에 의해 세척효율이 극대화한다고 보고하고 있다.



<그림 87. (초)미세기포의 표면 부착된 오염물질 세척원리>

2. 미세기포 세척장비 구축

□ 도로 시설물, 타일 등의 염분, 미세먼지 세척에 사용될 4HP 80 LPM급의 미세기포 세척장비를 그림 88과 같이 구축하였다.



<세척장비 전체사진>



<물탱크>



<발전기>



<세척 분사장치>



<세척장비 분사장면>



<4HP 80LPM급 미세기포 발생장치>

<그림 88. 미세기포 세척장비>

3. 미세기포 세척장비 염분제거율 평가

1) 분사압력, 분사거리 최적조건 도출

□ 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 표 28과 같다.

<표 28. 염분제거율 평가 세척조건>

시료	분사압력 (bar)	분사거리 (cm)
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(그림 89.).



<그림 89. 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(그림 90.).



<그림 90. SSM-21P 염분측정기기 및 미세기포 세척장비 염분제거율 평가 실험사진>

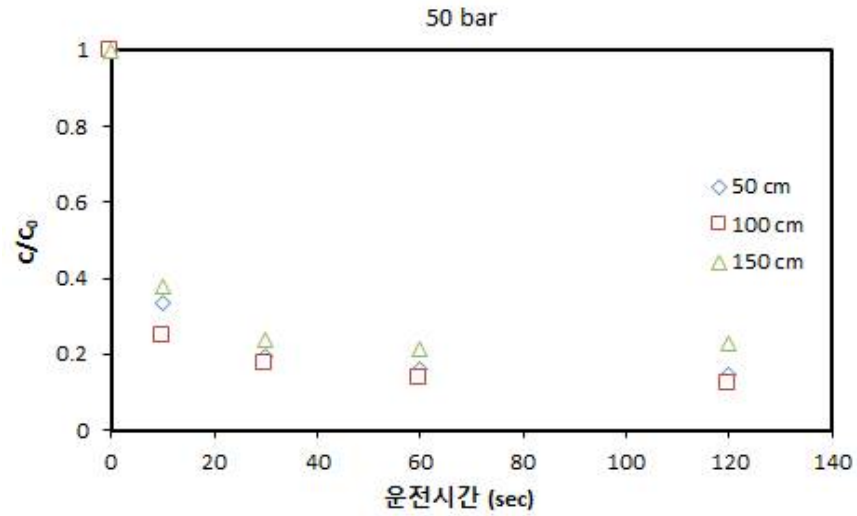
- 운전조건을 설정하기 위해 분사거리를 측정 후 50, 100, 150cm 조건에서 실험하였으며, 분사압력을 조절하여 50, 100, 150 bar에서 실험을 진행하였다(그림 91).



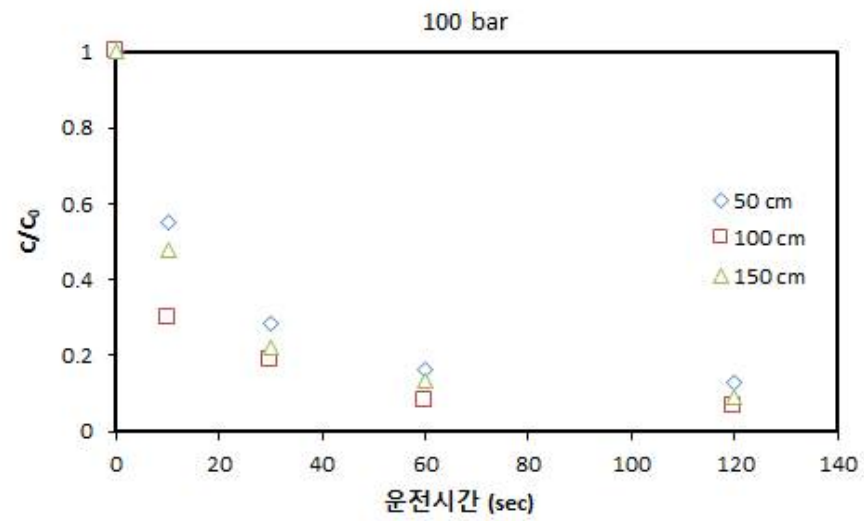
<그림 91. 미세기포 세척장비 거리, 압력별 염분제거율 평가 실험사진>

- 그림 92는 50, 100, 150 bar의 압력에서 분사거리에 따른 염분제거율을 나타낸 그래프이다. (a) 그래프 50 bar의 압력에서는 분사거리 100 cm에서 87%의 제거효율로 가장 높게 나타났으며 150 cm에서 77%의 제거효율로 가장 낮게 나타났다. (b) 100 bar의 조건에서도 분사거리 100 cm에서 93.4%의 제거효율로 염분세척효과가 가장 높은 것을 확인하였다. 그러나 (c) 150 bar에서는 오히려 150 cm에서 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 cm로 설정할 수 있다.

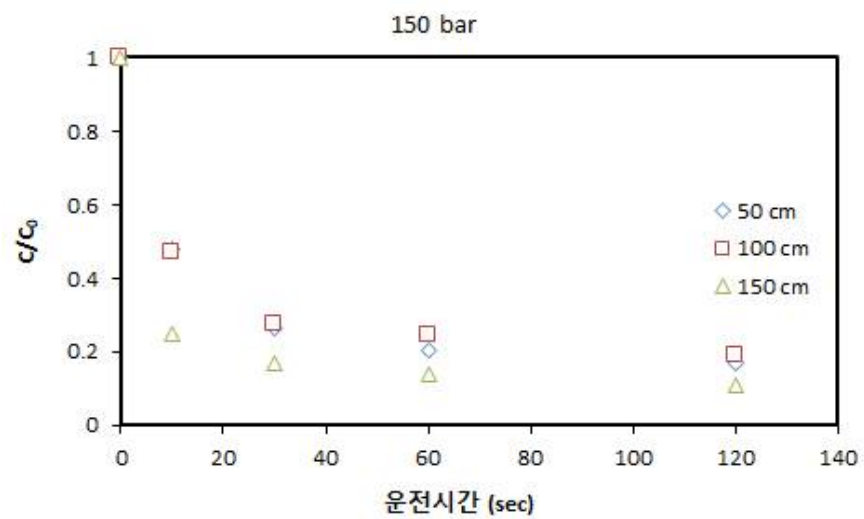
(a)



(b)

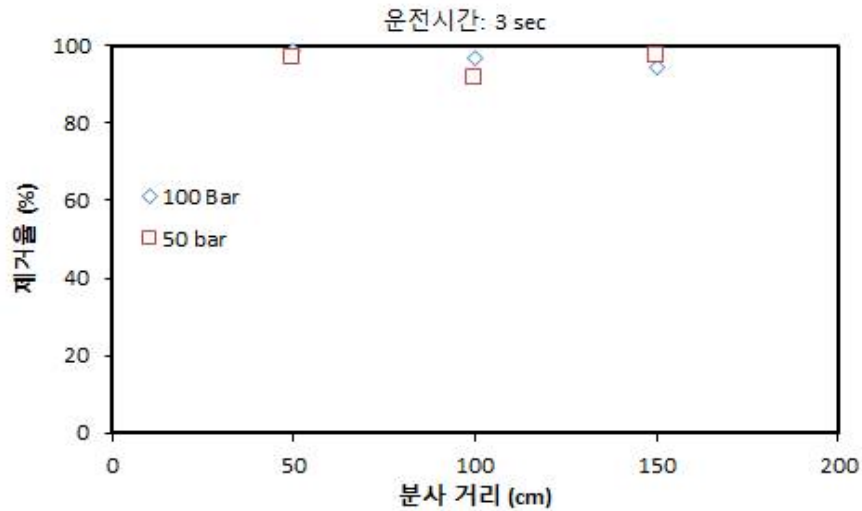


(c)



<그림 92. 콘크리트 시편 분사거리 따른 염분제거율 그래프>

□ 그림 93은 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 cm에서 세척을 진행할 수 있다. 다음 실험단계인 실제현장 세척에 본 실험의 최적조건을 적용하여 진행할 예정이다.



<그림 93. 타일 시편 분사거리, 압력에 따른 염분제거율 그래프.>

2) 미세기포 발생 조건에 따른 염분제거율 평가

□ 미세기포 세척장비는 기액펌프 → 다단충돌판 → 노즐구성으로 나노버블이 발생되며 기액펌프에 유입되는 공기 유량에 따라 그림 79와 같이 나노버블의 특성 및 크기가 변화한다. 또한 농축횟수에 따라 나노버블의 농도가 높아지므로 두 조건을 변경하며 염분 제거효율을 평가하였다. 자세한 실험조건은 아래 표 29와 같다.

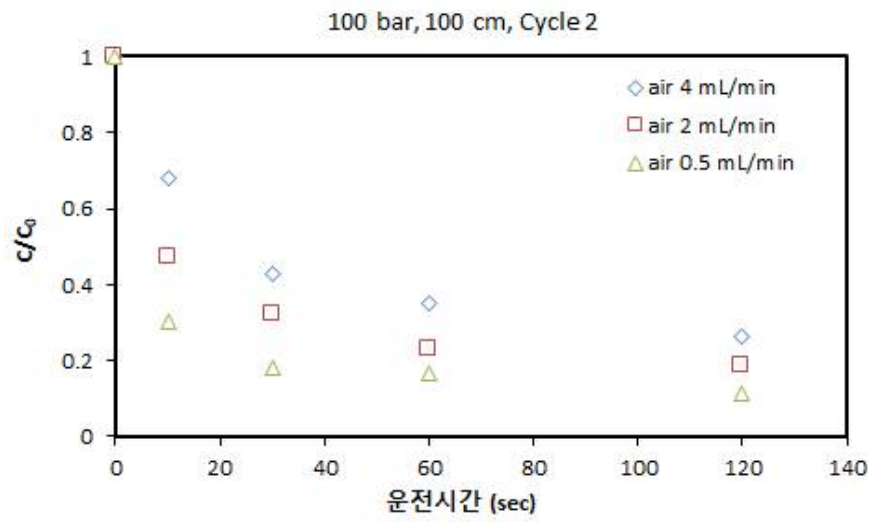
<표 29. 염분 제거율 평가 미세기포 발생 운전조건 >

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

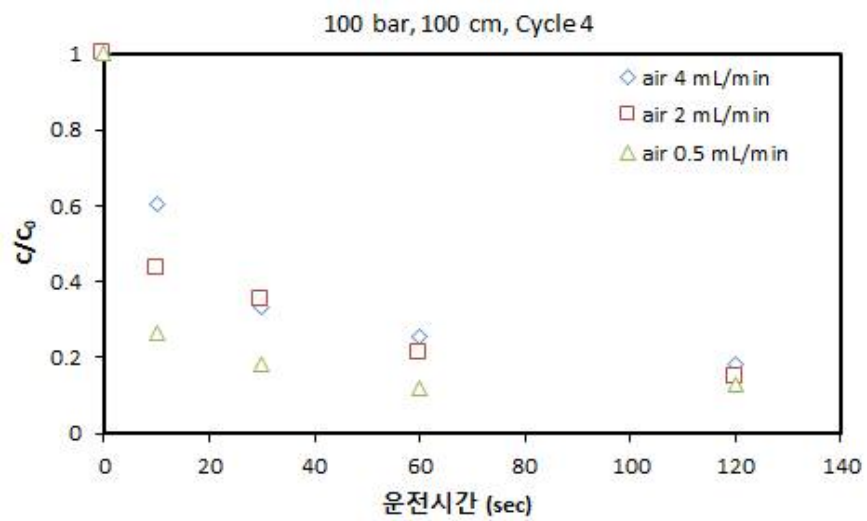
□ 아래 그림 94는 공기유입유량 4, 2, 0.5 mL/min의 조건으로 나노버블 수를 발생시켜 세척을 진행한 그래프이다. (a), (b), (c) 모두 공기유입유량 0.5 mL/min에서 세척효율이 가장 높은 것으로 나타났으므로 나노버블을 발생시키는 조건 중 공기유입유량이 적을수록 세척효율이 높은 것을 알 수 있다. 또한 그림 79를 참고하면 공기유입유량이 낮을 때 나노버블의 크기가 작아지기 때문에 염분을 흡착제거하는 효율이 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

□ 그림 95는 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.

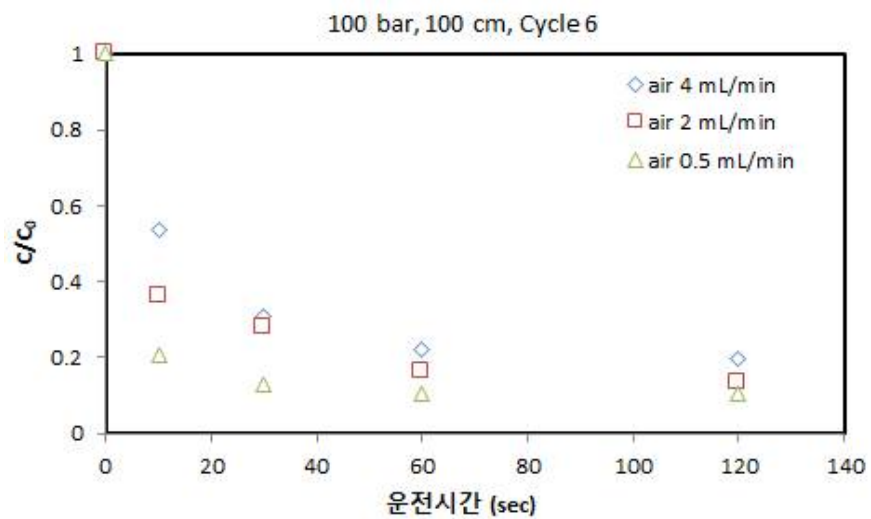
(a)



(b)

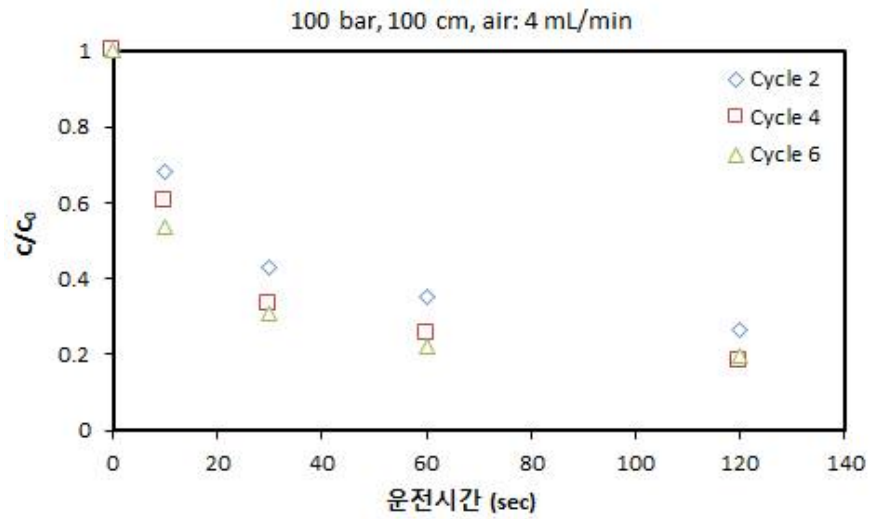


(c)

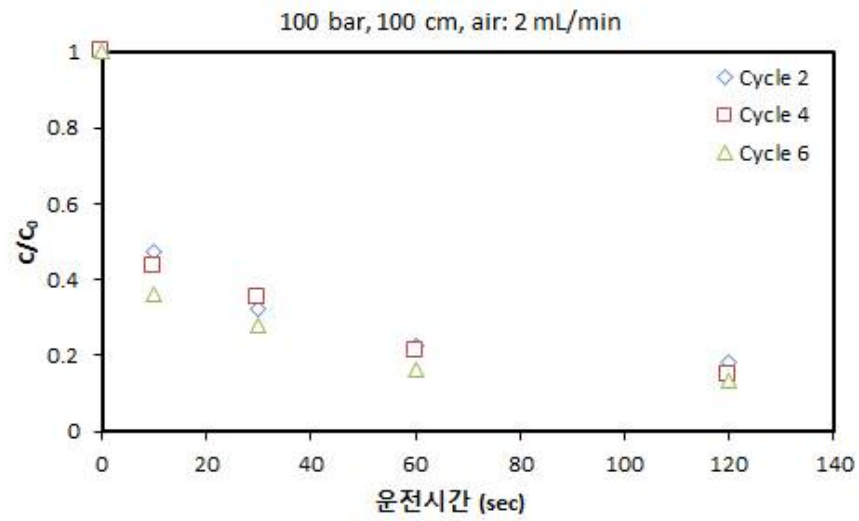


<그림 94. 미세기포 발생조건 중 공기유량에 따른 염분제거율 그래프>

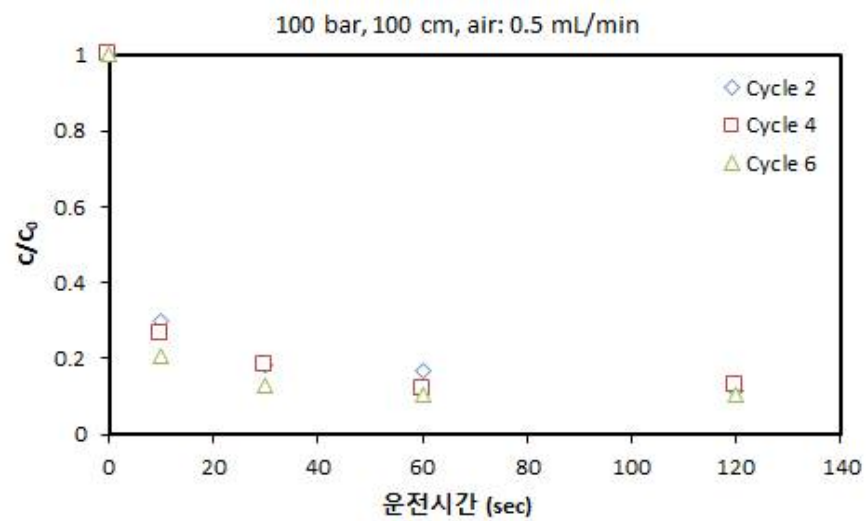
(a)



(b)



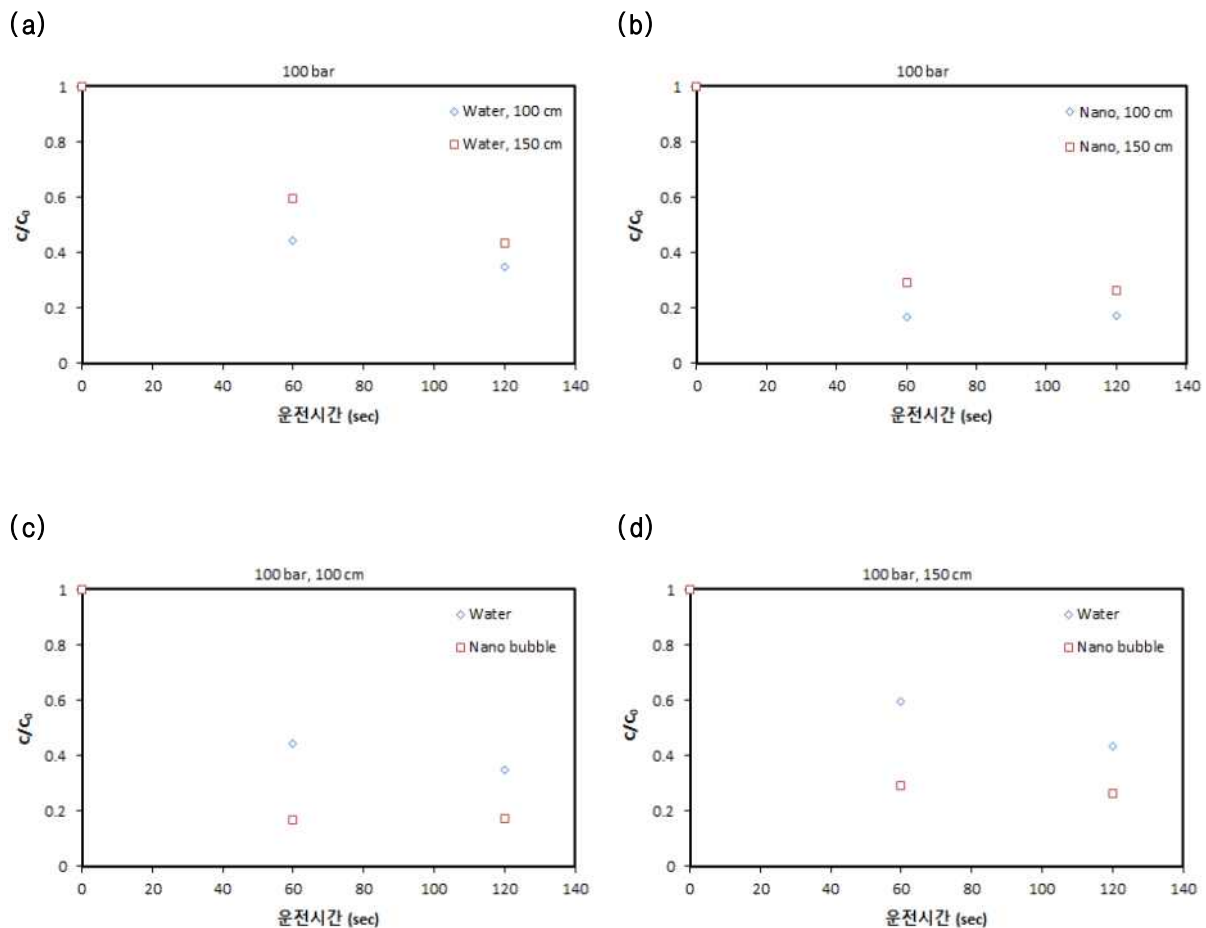
(c)



<그림 95. 미세기포 발생조건 중 농축횟수에 따른 염분제거율 그래프>

3) 나노버블 수, 일반 상수도 염분제거효율 비교평가

- 나노버블 수의 정확한 효율을 확인하기 위해 일반상수도와 나노버블 수의 염분제거효율 비교평가를 진행하였다. 운전조건은 앞서 실험을 진행한 분사압력의 최적조건인 100 bar로 적용하였으며 분사거리는 100 cm, 150 cm 두 가지로 실험하였다.
- 그림 96은 제거율 비교평가 그래프로 (a), (b)의 일반 상수도, 나노버블 수 모두 거리 100 cm에서 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, 분사 량 감소 등 경제적인 성능도 뛰어난 것을 확인할 수 있다.



<그림 96. 나노버블수, 일반 상수도 염분제거율 비교평가 그래프>

4. 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(그림 97.). 운전조건으로는 나노버블과 일반 상수도의 효율을 비교평가 하였으며, 분사위치에 따라 제거율을 파악하였다.



<건조기>



<미세먼지 도포 시편제작>



<미세먼지 시편 무게>



<미세먼지 세척평가 실험>

<그림 97. 미세기포 세척장비 미세먼지 제거율 평가 실험사진>

□ 아래 표 30은 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.

<표 30. 콘크리트 미세먼지 세척효율 평가 >

항목	운전 시간 (sec)	압력 (bar)	거리 (cm)	도포 전 무게 (g)	도포 후 무게 (g)	세척 후 무게 (g)	도포량 (g)	제거량 (g)	잔여량 (g)	제거율 (%)
나노 버블 수	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

□ 그림 98은 미세먼지 도포 콘크리트 세척 전/후 사진이다. 표 30의 실험결과를 운전조건에 따라 무게차이 제거율의 큰 변화가 없지만 그림 98의 사진에서 보이는 것과 같이 분사거리 150 cm에서는 잔여 미세먼지가 많은 것을 확인할 수 있다. 따라서 150cm의 거리에서는 적합하지 않으며 최적조건 : 50bar, 50cm로 결정 할 수 있다. 즉 다음 실험단계인 현장평가를 진행할 때 최적조건을 적용하여 실험을 진행할 예정이다.



<세척전>



<세척후>

<그림 98. 미세먼지 도포 콘크리트 세척 전/후 사진>

2) 타일 미세먼지 제거효율 평가

- 실험준비과정은 콘크리트의 과정과 동일하며 나노버블 수, 일반 상수도, 분사거리에 따라 실험을 진행하였다(그림 99).



<도포 전 타일>



<타일 건조>



<도포 후 타일>



<미세먼지 타일 세척 실험>

<그림 99. 타일 미세기포 세척장비 미세먼지 평가 실험>

- 아래 표 31은 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 확인 할 수 있다.

<표 31. 타일 미세먼지 세척효율 평가 >

항목	운전 시간 (sec)	압력 (bar)	거리 (cm)	도포 전 무게 (g)	도포 후 무게 (g)	세척 후 무게 (g)	도포량 (g)	제거량 (g)	잔여량 (g)	제거율 (%)
나노 버블 수	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 표 31의 미세먼지 제거율은 일반 상수도와 나노버블의 차이가 미미하다. 그러나 아래 그림 100과 같이 일반 상수로 세척할 경우 잔여 미세먼지가 흡착되어 있는 것을 볼 수 있는데, 무게측정법으로는 흡착된 잔여 미세먼지 측정에 한계가 있음을 의미한다.



<미세기포 세척후>



<일반 상수도 세척후>

<그림 100. 나노버블과 일반 상수도를 사용한 세척 후 잔여 미세먼지 사진>

□ 위 그림 100에서 나노버블과 일반 상수도 세척 후 남아있는 잔여 미세먼지를 자세히 분석하기 위해 현미경으로 측정하였다. 그림 101에서 나노버블로 세척한 타일표면은 미세먼지가 완전히 제거되어 입자들이 발견되지 않은 것을 확인하였다. 그러나 일반 상수도로 세척한 타일에서는 미세먼지, 미세먼지가 뭉친 큰 입자 등 완벽히 제거하지 못하는 것을 확인하였다. 따라서 잔여 미세먼지를 정확히 측정하기 위해 다음 실험단계인 현장측정 평가에서는 분석방법을 변경하여 실험을 진행 할 예정이다.



<현미경 40배율 분석>



<나노 버블수 세척 타일>



<일반 상수도 세척 타일>



<일반 상수도 세척 타일>



<일반 상수도 세척 타일>

<그림 101. 타일 잔여 미세먼지 현미경 분석 사진>

<참고문헌>

- [1] Jordan Pharris, Road Salt Runoff: Impervious Surface Area and Salt Concentrations in Urban Water Bodies, University of Nebraska, Lincoln, Theses, 2012
- [2] <https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/hq/h28/1026a/>.
- [3] 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.
- [4] B.R.Denby, Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRI P road dust emission model, Atmospheric Environment, 141, 508–522, 2016.
- [5] 미국 고속도로 교량, 40% 붕괴위기, 동아라이브러리, 1993년 6호.
- [6] www.cleanroad.or.kr.
- [7] 연간 전국 지자체 염화칼슘 사용량 및 동원현황, 2013, 소방방재청.
- [8] 도로공사 봄철 도로구조물 세척을 위한 살수작업 세척장비 규모 및 동원현황, 한국도로공사. 2017
- [9] 도로청소를 통한 비점오염물질관리 타당성 조사 연구, 환경부, 2012.
- [10] www.thr.mlit.go.jp/yukimirai_morioka/pdf/804B_9.pdf.
- [11] Snigdha Khuntia, Microbubble-aided water and wastewater purification: a review, Reviews in Chemical Engineering, 28(4–6), 191–22, 2012.
- [12] R. Parmar, S. K. Majumder. “Microbubble generation and microbubble-aided transport process intensification—A state-of-the-art report”. Chemical Engineering and Processing, Vol. 64, pp. 79–97, (2013).
- [13] M. Alheshibri, J. Qian, M. Jehannin, V. S. J. Craig. “A history of nanobubbles”. Langmuir, Vol. 32, pp. 11,086–11,100, (2016).
- [14] N. Matsuki, T. Ishikawa, S. Ichiba, N. Shiba, Y. Ujike, T. Yamaguchi. “Oxygen supersaturated fluid using fine micro/nanobubbles”. Int J Nanomedicine, Vol. 9, pp. 4495–4505, (2014).
- [15] A. Agarwal, WJ. Ng, Y. Liu. “Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment”. Chemosphere, Vol. 84, pp. 1175–80, (2011).
- [16] Z. Zhou, Xu. Zhenghe, J. A. Finch, J. H. Masliyah, R. S. Chow. “On the Role of Cavitation in Particle Collection in Flotation—A Critical Review II”. Miner. Eng., Vol. 22, pp. 419–433, (2009).
- [17] K. Terasaka, A. Hirabayashi, T. Nishino, S. Fujioka, D. Kobayashi. “Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge”. Chem Eng Sci, Vol. 66, pp. 3172–3179, (2011).
- [18] T. Li, L. Guo, J. Zhao, X. Tang, Y. Zhu. “Optimization of micro-bubble aeration process for magnesium sulfite oxidation in desulphurization wastewater with response surface methodology”. Desalination and Water Treatment, Vol. 82, pp. 308–314, (2017).
- [19] M. W. Lim, E. V. Lau, P. E. Poh. “Optimization studies for the flotation of bunker oil from contaminated sand using microbubbles”. J. Eng. Sci & Tech, Vol. 12, pp. 2046–2063, (2017).

- [20] R. Ahmadi, A. Khodadadi Darban. "Modeling and Optimization of Nano-bubble Generation Process Using Response Surface Methodology". *Int. J. Nanosci. Nanotechnol*, Vol. 9, pp. 151–162, (2013).
- [21] A. Smolianski, H. Haario, P. Luukka. " Numerical study of dynamics of single bubbles and bubble swarms". *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 32, pp. 641–659, (2008).
- [22] M. Takahashi. " ζ potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas–water interface". *J. Phys. Chem. B*, Vol. 109, pp. 21858–21864, (2005).
- [23] R. Parmar, S. K. Majumder. "Microbubble generation and microbubble-aided transport process intensification – a state of-the-art report". *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* Vol. 64, 79–97, (2013).
- [24] H. Tsuge. *Micro and Nanobubbles: Fundamentals and Applications (1st edn)*. P. 45–77, Pan Stanford Publishing, Japan, (2014).
- [25] Korbahti B.K., Tanyolac, A: J. Hazard. Mater. " Electrochemical treatment of simulated textile wastewater with industrial components and Levafix Blue CA reactive dye: optimization through response surface methodology." Vol. 151. pp. 422–431, (2008).
- [26] Z. Pourkarimi, B. Rezai, M. Noaparast. "Effective parameters on generation of nanobubbles by cavitation method for froth flotation applications". *Physicochem. Probl. Miner. Process.* Vol. 53, 920–942, (2017).
- [27] I. H. Cho, K. D. Zoh. "Photocatalytic degradation of azo dye (Reactive Red 120) in TiO₂/UV system: Optimization and modeling using a response surface methodology (RSM) based on the central composite design". *Dyes and Pigments*, Vol. 75, pp. 533–543, (2007).
- [28] M. Takahashi, K. Chiba, P. Li. "Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus". *Japan Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 111, pp. 1343–1347, (2007).
- [29] T. K. Trinh, L. S. Kang. " Application of Response Surface Method as an Experimental Design to Optimize Coagulation Tests". *Environ. Eng. Res.* Vol. 15, pp. 63–70, (2010).
- [30] S. M. Lee, C. M. Jang. "Evaluation for the Numerical Model of a Micro-Bubble Pump". *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 27, pp.121~126, (2016).
- [31] S. M. Walke and V. S. Sathe. " Experimental study on comparison of rising velocity of bubbles and light weight particles in the bubble column". *International Journal of Chem. Eng. Appl*, Vol. 3, pp. 25–30, (2012).
- [32] E. Ruckenstein. "Nano dispersions of bubbles and oil drops in water". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 423, pp. 112–114, (2013).
- [33] M. Takahashi, K. Chiba, P. Li. "Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus". *Japan Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 111, pp. 1343–1347, (2007)

○ 세척효율 공인인증 시험성적서
- 염분 및 미세먼지 제거효율

시험 성적서 (TEST REPORT)



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



- 의뢰자 (Client)**
 기 관 명 (Name) : (주)원화엔지니어링
 주 소 (Address) : 경기도 남양주시 분당로194,001호 (일가광동, 티라워빌딩)
 의뢰일자 (Date of Receipt) : 2019. 11. 21.
- 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 목적용**
- 시험대상품목/종류/시료명 (Test Sample)**
 세 정 명 (Description) : 염분 및 미세먼지 세척효율
 제작회사 (Manufacturer) : -
 모 델 명 (Model Name) : -
 제조번호 (Serial Number) : -
 기 타 (Remark) : -
- 시험기간 (Date of Test) : 2019년 12월 03일 ~ 2019년 12월 03일**
- 시험장소 (Location of Test) :**
☐ KTL 시험실 (주소 : 후문광로)
☒ 현장시험
- 시험규격/방법 (Test Standard/Method) :** 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험
- 시험결과 (Test Results) : 주안점**
 비고(Notes) : 1. 이 성적서는 의뢰자의 제출한 자료에 준하여, 법적 및 계약상 명시된 효력을 가지는 것으로서 사용될 수 없습니다.
 2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 정본으로 복제된 자료는 법적 효력을 인정하지 않습니다.
 3. 기타로 증명사진을 첨부하여 양자의 확인을 득한 후, 성능평가, KTL 로고, 본문의 무단 사용, 고의 또는 과실로 인한 손해배상 책임은 의뢰자에게 있습니다.

확 인 Affirmation	확 인자 (Name) : 이철호	기술책임자 (Technical Manager)	성 명 (Name) : 김성규
	(Signature)		(Signature)

2019. 12. 04.

한국산업기술시험원장

서울특별시 강남구 테헤란로30길 11 (우정동) KTL Digital+ing Center (Seoul, Korea) : TEL 02-6001-1127 Fax 02-6001-1189



성적서 번호 : 19-076810-01-1
 Report No.
 페이지 (2 / 총 3)
 Page of Pages



시험 결과 (Test Results)

○ 시험 개요

- 시험 일자 : 2019. 12. 3
- 시험 장소 : PHz터널 연구소(경기도 파주시 광남면 새당3길 34)
- 시험 항목 : 염분 및 미세먼지 세척효율

○ 시험 방법

- 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험
- 제측기 사양

구분	제품명	비고
염분 측정기	SSM-21P (TOADKK, JAPAN)	교정검사 됨
미세먼지 측정기	Explorer Pro 33001 (GHAUS, USA)	

○ 시험조건 및 방법

구분	방법
염분 세척효율	- 염분농도 3.5% 표준용액 제조 후, 24시간 시험 담지 후 건조 - 건조 된 각 시편을 고정 지지대에 고정 후, 미세기로 탈염 및 세척장치로 5분간 세척 후 세척 전/후의 염분농도 측정
미세먼지 세척효율	- 미세먼지 일정량을 계량하여 콘크리트와 타일에 도로 후 건조 - 건조 된 각 시편을 고정 지지대에 고정 후, 미세기로 탈염 및 세척장치로 5분간 세척 후 세척 전/후의 미세먼지 무게 측정

○ 시험 결과

- 염분 측정 결과

구분	염분 농도 (mg/m ²)		세척효율 (%)
	세척 전	세척 후	
타일	710.0	4.9	99.3
콘크리트	1,726.0	123.2	92.9

- 미세먼지 측정 결과

구분	무게 (g)			세척효율 (%)
	시험무게	시험+연지무게	세척 후 무게	
타일	392.8	419.0	393.5	97.3
콘크리트	7,357.8	7,449.1	7,384.0	96.8



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



현장 시험사진





시험 고정 지지대 및 미세기로 세척장치





미세기로 세척실험





콘크리트 시험 무게 콘크리트 시험+연지 무게 콘크리트 시험 세척/건조 후 무게





타일 시험 무게 타일 시험+연지 무게 타일 시험 세척/건조 후 무게





타일 세척 전 무게 타일 세척 후 무게 콘크리트 세척 전 무게 콘크리트 세척 후 무게

이 상 문.

FP204-03-02

시험 성적서 (TEST REPORT)



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

장기서 번호 : 19-076810-01-3
Report No.

페이지 (1 / 총 3)
Page of Pages



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

- 의뢰자 (Client)**
 기 관 명 (Name) : (주)원화엔지니어링
 주 소 (Address) : 전라남도 나주시 문화로194,001호(빛가람동,비라리빌딩)
 의뢰일자 (Date of Receipt) : 2019. 11. 21.
- 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 의뢰용**
- 시험대상품목/종류/시료명 (Test Sample)**
 제 품 명 (Description) : 전력소모량 및 토출유량
 제작회사 (Manufacturer) : -
 모 델 명 (Model Name) : -
 제조번호 (Serial Number) : -
 비 고 (Remark) : -
- 시험기간 (Date of Test) : 2019년 12월 03일 ~ 2019년 12월 03일**
- 시험장소 (Location of Test) :**
☐ KTL 고정시험실
☒ 현장시험 (주소 : 후평동3리)
- 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 시험회로가 제시한 방법에 따른 시험**
- 시험결과 (Test Results) : 추간참조**

(비고(Notes)) : 1. 이 성적서는 의뢰자의 제출한 자료에 준하여, 법적 및 기타법령상의 요구사항과도 차이를 인정합니다.
 2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 정식으로 복 사된 것 이 아닌 다른 형 식의 사본은 효력이 없습니다.
 3. 원본의 유효성을 증명하기 위하여 정해진 도장을 부착하고, 복제하는 것은 법적으로 금지되어 있습니다.
 4. 기타로 (참고사항)을 첨부하여 양 작업의 완공이후, 확인이 가능하며, KTL 모든 판본과 동일합니다.
 5. 기타사항을 첨부하여 (Attachment)를 첨부하여, 복제본은 유효하지 않습니다.

확인 (Affirmation) 직 명 (Name): 이철돈 (Signature)	기술책임자 (Technical Manager) 직 명 (Name): 김성규 (Signature)	2019. 12. 04.
---	--	---------------

한국산업기술시험원장

시험목적: 가동중 전력소모량 측정 및 토출유량 측정 (10.0kWh, 10.0L/min) (KTL-001-001-001) (Page 1 of 3)

FP204-01-00

시험 결과 (Test Results)



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

장기서 번호 : 19-076810-01-3
Report No.

페이지 (2 / 총 3)
Page of Pages



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

- 시험 개요**
 - 시험 일자 : 2019. 12. 3
 - 시험 장소 : (주)원화엔지니어링 (경기도 화성시 장안면 새마을3길 34)
 - 시험 항목 : 전력소모량 및 토출유량
- 시험 방법**
 - 시험회로가 제시한 방법에 따른 시험
 - 제측기 사양

구분	제측기명
전력량계	LD1210DRM - 040LS (LS 안전)
유량계	Promass80F1.0 (EnDRESS+Hauer)
- 시험조건 및 방법**

구분	방법
전력소모량 및 토출유량	- 전력량계 초기 값 : 11.8kWh - 4 bar, 물기비 0.5 LPM 조건에서 비석기로 발생 후, 세척장비 운전 시 발생하는 전력소모량과 토출유량 확인
- 시험 결과**
 - 전력소모량

시간	전력소모량(kWh)
20분	12.5
30분	12.8
40분	13.2
60분	13.8
평균	2.0

 - 토출유량

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

FP204-02-00



시험성적서 (TEST REPORT)					
 한국산업기술시험원 Korea Industrial Laboratory	성적식 번호 : 19-070810-01-2 (Receipt No.) 레이저 (1) / (총 3) (Page of Pages)				
					
1. 의뢰자 (Client) 의뢰명 (Name) : (주)파라제트씨아엠 주 소 (Address) : 경기도남동구 나주시 영랑로194,61번 (영랑마을,리타워빌딩) 발행일자 (Date of Receipt) : 2019. 11. 21.					
2. 시험형식서의 용도 (Use of Report) : 지출증					
3. 시험대상품목/용량/시료명 (Test Sample) 제품명 (Description) : 비커대크고프 제작회사 (Manufacturer) : - 모델명 (Model Name) : - 세로번호 (Serial Number) : - 기타 (Remarks) : -					
5. 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(Notes) : 1. 이 성적서는 전기회로의 제품을 시험에 한하여, 특정 전기시험방식의 결과와도 다를 수 있습니다. 2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 압인부, 복사 등 가공된 자료 및 전자데이터 등은 효력이 없습니다. 3. 증명서상 언급되어 있는 제품의 성능이나 사양과 일치하지 않을 경우에도 이는 보증이 되지 않습니다! 4. 고압으로 평가되는 스터브는 안전상의 이유로써 확인이 불가하며, KTL은 관련분야의 해당 전문기관을 통해 저지점(jumper.com.kr)에서 "평가서 전문확인"에서 시공과정을 확인하십시오.					
하첨인 Affirmation	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">작성진(Created by)</td> <td style="width: 20%;">기술책임자(Technical Manager)</td> </tr> <tr> <td>성 명 (Name) : 이철호</td> <td>성 명 (Name) : 김광우</td> </tr> </table>	작성진(Created by)	기술책임자(Technical Manager)	성 명 (Name) : 이철호	성 명 (Name) : 김광우
작성진(Created by)	기술책임자(Technical Manager)				
성 명 (Name) : 이철호	성 명 (Name) : 김광우				
2019. 12. 04.					
한국산업기술시험원장					

 한국검정기술시험원 Korea Testing Laboratory	성적서 번호 : 19-076818-01-2 Report No. 페이지 (2 / 7) (총 3) Page of Pages	
--	---	---

시험 결과 (Test Results)

○ 시험 개요

- 시험 일자 : 2019. 12. 3
- 시험 장소 : 한국지리력 연구소(경기도 화성시 장안면 책장3길 34)
- 시험 항목 : 미세기포 크기

○ 시험 방법

- 시험의뢰자가 제시한 방법에 따른 시험
- 표준치 사용

구분	제품명
고정밀 원미경	CX43 (OLYMPUS, JAPAN)
고속 카메라	3.2MP Color Blackfly S PoE GigE Camera, Sony IMX265 (FLIK, JAPAN)

• 시험조건 및 방법

구분	방법
미세기포 발생	- 4 bar, 분기비 0.5 LPM 조건에서 미세기포 발생
미세기포 크기	- 고정밀 원미경 및 고속 카메라를 이용해 미세기포 Sample 측정 - Image 소프트웨어를 이용한 직경크기 분류 및 측정

○ 시험 결과

- 미세기포 크기

구분	미세기포 크기(μm)			평균
	최대	최소	중위수	
Sample 1	70.7	2.7	38.0	18.7
Sample 2	72.9	2.7	18.2	19.0
Sample 3	78.9	2.7	16.6	18.0

ET2024-02-02



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

상기서 번호 : 19-070810-01-2
Report No.
페이지 : 3 / (총 3)
Page of Page



Korea Testing Laboratory

현장 시험사진



표본을 현미경



제품 포장그림



크로마틴 표본



고배율 현미경



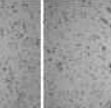
현미경 이미지

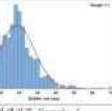
고정된 현미경 및 고속카메라를 이용한 미세기로 직접크기 측정결과



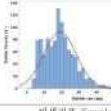

미세기로 발생 및 크기 측정



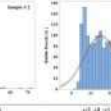




미세기로 Sample 1



미세기로 Sample 2



미세기로 Sample 3

이 상 결

2. 평가의 착안점 및 기준

○ 당해 연도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI	1	1	12월 게재 예정
	계	1	1	
특허 출원	국내	2	100	
	국외			
	계	2	100	
특허 등록	국내	2	50	특허등록 완료 1건 특허등록 진행 중 1건
	국외			
	계	2	50	
인력 양성	석사			
	박사			
	계			
기술 이전	계약 건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어			
기타	화학물			
	시제품	1	100	4HP 이하 80L/min 이상 미세기포 세척장비 시제품 제작
	성과 홍보			
	일자리 창출			

○ 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
질적 성과목표	질적 성과목표는 공인인증시험을 통하여 목표달성이 되었음을 객관적 지표로 확인함.(당해년도 목표치 달성)
양적 성과목표	양적 성과목표는 계획 대비 목표달성이 되었음을 객관적 지표로 확인함.(당해년도 목표치 달성)

【 별첨 】

주관연구기관의 자체평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호		18CTAP-C143623-01-000000		
사업 구분	국토교통기술촉진연구사업					
연구 분야	국토교통기술혁신연구 사회이슈해결 유형					
과제명	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 4HP 80L/min 급 차량 탑재형 미세기포 세척장치 개발			주관연구책임자		박일건
연구기관	(주)평화엔지니어링			과제 유형		(기초, 응용, √개발)
연구 기간 연구개발비 (천원)	연차	연구개발기간	정부출연금	기업부담금	정부 외 출연금	계
	1차 연도	2018.04.17 ~ 2018.12.31	150,000	50,000		200,000
	2차 연도	2019.01.01 ~ 2019.12.31	225,000	75,000		300,000
	3차 연도	2020.01.01 ~ 2020.12.31	225,000	75,000		300,000
	계	2018.04.17 ~ 2020.12.31	600,000	200,000		800,000
참여기업	(주)평화엔지니어링, (주)지티앤, 대하산업기계					
상대국			상대국 연구기관			

※ 총 연구기간에 따라 셀을 추가/삭제하여 작성

2. 평가일: 2019년 12월 10일

3. 평가자(연구책임자):

소속	직위	성명
(주)평화엔지니어링	수석연구원	박일건

4. 평가자(연구책임자) 확인:

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구개발성과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약

연구책임자 박일건

I. 연구개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체 평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발성과의 우수성/창의성

■ 등급: (우수)

- 본 연구는 도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 80L/min 규모의 차량 탑재 가능한 20 μ m 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비를 개발하여 상용화하는 것임.
- 이를 위해, 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계를 통하여 4HP(3kW)급 80L/min 이상 미세기포 세척장비 정밀설계/제작 및 성능평가를 수행하고, 보완사항 도출 후 최적화하는 연구를 수행하고 있음.
- 또한, 종래 고압 water jet 세척장비 대비 세척효율, 세척시간 및 용수사용량 비교 평가를 통한 개발 장치의 우수성을 확보하고, 도로시설물(방음벽, 도로 노면/가드레일, 터널벽면, 교량 노면/측면/기둥/철근 구조물)에 현장적용 평가를 통한 적용 가능성을 도출하고자 함.
- 이에, 2차년도에는 핵심 장치(4HP 80L/min 급)를 개발하였고, 성능평가를 통해 세척효율에 대한 성능을 공인인증시험기관(KTL)의 시험성적서를 취득하여 성능을 입증하였음.
- 향후 본 연구에서 개발된 장치는 국내는 물론 해외(특히, 일본)에서도 혁신적인 세척장비로 파급효과가 있을 것으로 판단됨.

2. 연구개발성과의 파급 효과

■ 등급: (우수)

- 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

3. 연구개발성과에 대한 활용 가능성

■ 등급: (우수)

- 일본 기술 대비 우수한 100nm~20 μ m 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 및 미세먼지 관리를 위한 규제 기준을 마련

4. 연구개발 수행의 성실도

■ 등급: (우수)

- 본 연구의 주관연구기관인 (주)평화엔지니어링에서는 연구과제의 성공적인 수행을 위해 추진계획 및 추진일정에 맞게 체계적이고, 효율적인 연구를 수행하였음.
- 월 1회 주관연구기관과 공동연구기관, 전문가 자문위원이 포함된 연구성과 점검회의를 개최하여 연구수행에 대한 결과 분석 논의와 문제점 등을 도출하여 최적의 연구성과를 달성 할 수 있는 계기를 마련하였음.
- 특히, 공동연구기관인 (주)지티앤 연구공간에 2차년도에 개발한 미세기포 세척장비를 구축하여 실시간 원활한 연구수행 공유가 가능하도록 체계를 구축하여 연구를 수행하였고, 참여기업인 대하산업기계는 회전충돌 붕괴노즐에 대한 정밀 설계 및 제작을 위한 기술을 지원하였음.
- 이를 통해 질적연구성과와 양적연구성과에서 탁월한 연구결과를 도출하였고, 향후 본 연구에서 개발한 장치의 국내/외 파급효과가 클 것으로 판단됨.

5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: (우수)

- 논문 게재(1건)
 - 논문명 : 미세기포 세척장비를 이용한 도로시설물 염화칼슘의 제거
 - 학술지명 : 한국응용과학기술학회지
 - 발행일 및 호 : 36(4) [논문 심사 중으로 2019년 12월 게재 예정]
- 특허 등록(1건)
 - 미세버블을 이용한 세척장치(출원인 : (주)지티앤, 특허번호 : 제 10-2041434 호)
- 특허 출원(2건)
 - 도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 차량 탑재형 미세기포 세척장치
(출원인 : (주)평화엔지니어링, 출원번호 : 10-2019-0123490)
 - 나노버블수를 이용한 이동형 세척시스템(출원인 : (주)지티앤, 출원번호 : 10-2019-0128873)
- 학술 발표(1건)
 - 학술회의 명 : 2019 추계 소음진동공학회
 - 발표일 : 2019. 10. 24(제주 해비치호텔&리조트)
 - 발표명 : 차량 탑재형 미세기포 세척장비의 미세버블용 출돌판 및 노즐분사에 대한 유동해석
- 질적/양적 성과목표 달성 평가
 - 질적 성과목표는 공인인증시험을 통하여 목표달성이 되었음을 객관적 지표로 확인함.
(당해년도 목표치 달성)
 - 양적 성과목표는 계획 대비 목표달성이 되었음을 객관적 지표로 확인함. 다만, 논문 1편의 경우 2019년 12월 게재 예정이며, 특허 1건 등록의 경우 보정의견서가 접수된 상태로 특허청 심사중에 있음.
(당해년도 목표치 달성)

II. 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 유동 해석을 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 세척 장비 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	

III. 종합 의견

1. 연구개발성과에 대한 종합의견

- 본 연구는 도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP급 80L/min 규모의 차량 탑재 가능한 20 μ m 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비를 개발하여 상용화하는 것으로 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계를 통하여 미세기포 세척장비 정밀설계/제작 및 성능평가를 수행하고, 보완사항 도출 후 최적화하는 연구를 수행하고 있음.
- 이에, 2차년도에는 핵심 장치(4HP 80L/min 급)를 개발하였고, 성능평가를 통해 세척효율에 대한 성능을 공인인증시험기관(한국산업기술시험원; KTL)의 시험성적서를 취득하여 성능을 입증하였음.
- 또한, 체계적이고, 효율적 연구수행을 위해 월 1회 주관연구기관과 공동연구기관, 전문가 자문위원이 포함된 연구성과 점검회의를 개최하여 연구수행에 대한 결과 분석 논의와 문제점 등을 도출하여 최적의 연구성과를 달성 할 수 있는 계기를 마련하였음.
- 이를 통해 질적연구성과와 양적연구성과에서 탁월한 연구결과를 도출하였고, 향후 본 연구에서 개발한 장치의 국내/외 파급효과가 클 것으로 판단됨.
- 향후 본 연구에서 개발된 장치는 국내는 물론 해외(특히, 일본)에서도 혁신적인 세척장비로 파급효과가 있을 것으로 판단됨.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 2차년도 연구수행 중 미세기포 세척장비 실험실 규모 평가에서는 미세먼지 제거율을 세척 전/후의 시편 무게차이(중량법)로 성능평가를 진행하였으나 3차년도 실증화 현장 평가에서는 무게측정을 적용하기에 어려움이 있음.
- 따라서 명도, 색도, 휘도 등의 계측기로 세척 전/후의 성능을 측정하는 방법으로 표준화하고자 함.

※ 본 측정방법에 대해서는 공인인증시험기관(한국산업기술시험원 KTL)의 전문가 자문 및 인증시험관 의견을 수렴하여 측정 표준화 방법을 제시함.



<현장 모니터링/효율평가에서 PM10 미세먼지 평가방법 변경(안)>

3. 연구개발성과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

- 본 연구개발의 성공적인 수행으로 다음과 같은 활용성이 있을 것으로 판단됨.
 - 일본 기술 대비 우수한 100nm~20μm 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 및 미세먼지 관리를 위한 규제 기준을 마련
- 이를 위해 연구계획에 맞춰 성실히 연구를 수행할 계획이며, 향후 과제 종료 후에도 상용화를 위해 후속 과제를 통한 연구성과 극대화를 도모할 계획임.
- 다만, 국가공인시험기관의 전문가 자문을 통하여 표준화된 실험절차 및 평가방법을 개선해 나갈 계획임.

IV. 보안성 검토 (※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성)

1. 연구책임자의 의견

-
- 본 연구 과제를 수행함에 있어 연구 자료의 철저한 보안을 위하여 보관함을 비치하여 관리하였으며, 정기적으로 연구원 보안교육을 실시하여 연구기밀 누설을 방지하였고, 연구 협약에 정하여진 모든 의무와 책임을 준수하였음.
-

2. 연구기관 자체의 검토 결과

-
- 본 연구의 종료 이후에는 사업화에 대한 단계별 목표를 수립하여 국내는 물론 국외(일본 등) 수출을 통하여 경제적 효과를 창출할 계획임.
 - 이를 위해, 연구 자료의 분실 예방을 위한 보관함 비치 및 정기적인 연구원 보안교육 등 연구책임자로서의 역할을 충실히 이행하였음.
-

3. 연구 성과(해당 시 작성)

※ 해당연도 연구기간 동안 발생한 연구 성과를 작성 또는 국가연구개발사업 조사·분석에 제출한 자료를 첨부하여도 무방함

3-1. 국내·외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호*
1	미세기포 세척장비를 이용한 도로시설물 염화칼슘의 제거	한국응용과학기술학회지	박일건	36(4)	대한민국	한국유화학회	비SCI	논문 심사중으로 2019년 12월 게재 예정	
2									

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

3-2. 국내 및 국제 학술회의 발표

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

3-3. 생명자원(생물자원)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물명	등록/기탁 번호*	등록/기탁 기관	발생 연도
1				
2				

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록/기탁한 번호 기재

3-4. 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신제품 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록 번호*	등록인	등록일	등록번호	등록 번호*	
1	도로시설물의 염화칼슘 및 미세먼지 제거를 위한 차량 탑재 형 나노버블 세척장치	대한민국	(주)평화엔지니어링	2019.10.06	10-2019-0123490						
2	미세버블을 이용한 세척장치	대한민국	(주)지티앤	2018.10.01	10-2018-0116825		(주)지티앤	2019.10.31	10-2041434		
3	나노버블수를 이용한 이동형 세척시스템	대한민국	(주)지티앤	2019.10.17.	10-2019-0128873						

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

3-5. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
1							
2							

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

3-6. 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1													
2													

3-7. 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
1						
2						

3-8. 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1						
2						

3-9. 사업화 투자 실적

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격
1					1) 내부 자금 2) 신용 대출 3) 담보 대출 4) 투자 유치 5) 기타

3-10. 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생연도	기술 수명
							국내	국외		
1	기술 이전 자가 실시	신제품 개발 기존제품 개선 신공정 개발 기존 공정 개선 기타	국내 국외							

3-11. 표준화

번호	수행기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
1						yyyy.mm.dd	
2							

3-12. 기술요약정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호*

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

3-13. 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호*

* 연구 개발 성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

3-14. 구매 금액이 3천만원 이상인 연구시설·장비 구축 현황(해당 시 작성)

연구시설·장비명	구축 금액 (천원)	구축일	활용 용도	설치 장소	ZEUS 시설 장비 등록 번호

3-15. 기타

4. 연구비 집행실적

4-1. 총괄 : 2019년도 연구비 집행실적(구 세목 적용)(2020년도 이후 미적용)

(단위: 천원)

비목	세목			계획금액	사용금액	잔액	비고	
직 접 비	인 건 비	내부 인건비	미지급					
			지급	현금	30,000	30,000	0	
				현물	54,400	49,898	4,502	
		외부 인건비	미지급					
			지급	현금				
				현물				
	학생인건비							
	인건비 소계				84,400	79,898	4,502	
	연구장비· 재료비	현금		146,100	137,100	9,000		
		현물		11,750	11,750	0		
	연구활동비				27,700	21,172	6,528	
	연구과제추진비				15,310	10,888	4,422	
	연구수당				8,640	0	8,640	
	위탁연구개발비							
	직접비 소계				293,900	260,808	33,092	
간접비				6,100	6,100	0		
연구비 총액				300,000	266,908	33,092		

4-2. 주관연구기관 : (주)평화엔지니어링 (구 세목 적용)(2020년도 이후 미적용)

(단위: 천원)

비목	세목				계획금액	사용금액	잔액	비고
직 접 비	인 건 비	내부 인건비	미지급					
			지급	현금	30,000	30,000	0	
				현물	27,400	27,400	0	
		외부 인건비	미지급					
			지급	현금				
				현물				
	학생인건비							
	인건비 소계				57,400	57,400		
	연구장비·		현금		70,000	61,000	9,000	집행중
	재료비		현물		11,750	11,750		
	연구활동비				22,700	16,190	6,510	집행중
	연구과제추진비				10,310	8,430	1,880	집행중
	연구수당				5,740		5,740	평가후 집행
위탁연구개발비								
직접비 소계				177,900	154,770	23,130		
간접비				2,100	2,100	0		
연구비 총액				180,000	156,870	23,130	2019.11.28. 작성	

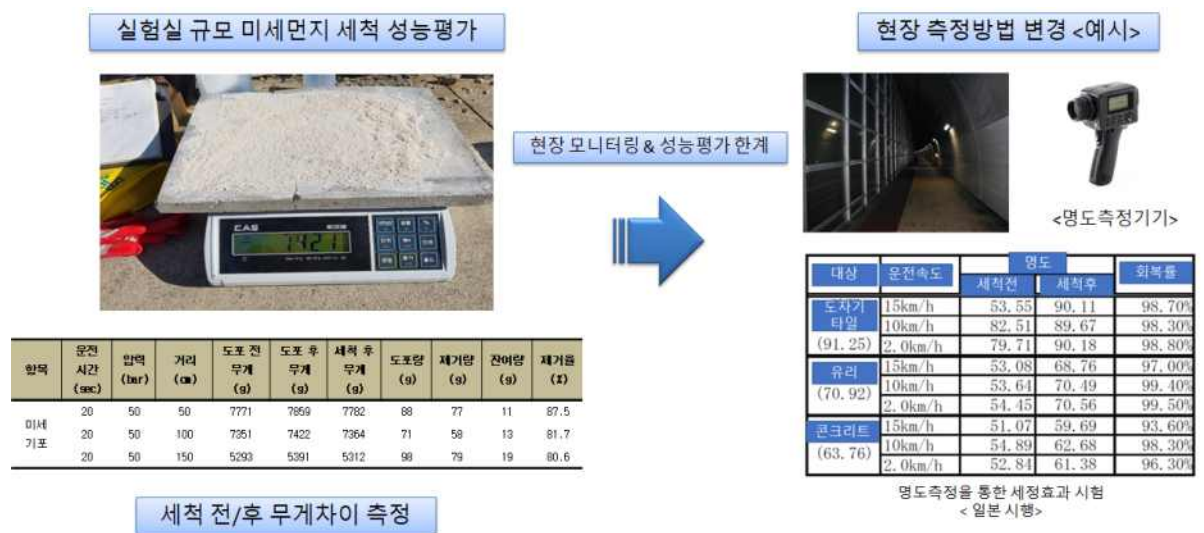
4-3. 공동/위탁연구기관 : (주)지티앤 (구 세목 적용)(2020년도 이후 미적용)

(단위: 천원)

비목	세목				계획금액	사용금액	잔액	비고
직 접 비	인 건 비	내부 인건비	미지급					
			지급	현금				
				현물	27,000	22,498	4,502	
		외부 인건비	미지급					
			지급	현금				
				현물				
	학생인건비							
	인건비 소계				27,000	22,498	4,502	
	연구장비· 재료비	현금		76,100	76,100	0		
		현물						
	연구활동비				5,000	4,982	18	
	연구과제 추진비				5,000	2,458	2,542	
	연구수당				2,900	0	2,900	
	위탁연구개발비							
	직접비 소계				116,000	106,038	9,962	
간접비				4,000	4,000	0		
연구비 총액				120,000	110,038	9,962		

5. 연구 수행에 따른 문제점 및 개선 방향

- 2차년도 연구수행 중 미세기포 세척장비 실험실 규모 평가에서는 미세먼지 제거율을 세척 전/후의 시편 무게차이(중량법)로 성능평가를 진행하였으나 3차년도 실증화 현장 평가에서는 무게측정을 적용하기에 어려움이 있음.
 - 따라서 명도, 색도, 휘도 등의 계측기로 세척 전/후의 성능을 측정하는 방법으로 표준화하고자 함.
- ※ 본 측정방법에 대해서는 공인인증시험기관(한국산업기술시험원 KTL)의 전문가 자문 및 인증시험관 의견을 수렴하여 측정 표준화 방법을 제시함.



<현장 모니터링/효율평가에서 PM10 미세먼지 평가방법 변경(예시)>

6. 주요 연구 변경사항

구분	당초	변경
당해연차		

7. 기타 건의 사항

○

8. 성과점검기준표(실적)

8-1. 총괄

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황			
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1	1.5HP 이내 30L/min 이상 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	2건	현장조사	결과보고서	2.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	20
					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 이내 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	3건	현장조사	결과보고서	2.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	20
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 이내 80L/min 이상	4HP 이내 80L/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 : > 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 이내 80L/min 이상 차량탐재형 세척시스템 현장 성능평가	①	세척효율 평가 (도로시설)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	2.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	-	20
					②	세척효율 평가 (터널)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	5				
					③	현장모니터링	6개월	-	현장적용	모니 터링 결과	7.5				
					④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	-	매뉴얼작성 여부	운영 매뉴얼	5				

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황			
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1	1.5HP 이내 30L/min 이상 세척장비	①	장치제작	1.5HP 이내 30L /min 이상	1.5HP 이내 30L /min 이상	시제품 제작	설계 도면	5	(주)지티앤	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	10
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kWh 이내	1.1kWh 이내	실내실험	공인 시험서	3.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min 이상	30L/min 이상	실내실험	공인 시험서	3.5				
			2-2	4HP 이내 80L/min 이상 세척장비	①	장치제작	4HP 이내 80L/ min 이상	4HP 이내 80L/ min 이상	시제품 제작	설계 도면	5.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	10
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kwh 이내	3kwh 이내	실내실험	공인 시험서	3.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	80L/min 이상	실내실험	공인 시험서	3.5				
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	20 μ m 이내	실내실험	공인 시험서	3.5				
			2-3	4HP 이내 80L/min 이상 차량탑재형 세척시스템	①	장치제작	시제품	-	시제품 제작	설계 도면	5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	-	20
					②	차량탑재형 세척시스템 통합제어	시제품	-	시제품 확인	현장 평가	3.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5				
계											100		특허 : 출원 <u>6건</u> 등록 <u>3건</u> 논문 : <u>3건</u> 시제품 : <u>4건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>5건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	100

8-2. 2차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-2	4HP 이내 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	3건	현장조사	결과보고서	7.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	60
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 이내 80L/min 이상	4HP 이내 80L/min 이상	단위핵심 설계	설계도면	15				
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	해석정확도 90%	단위핵심 설계	결과보고서	15				
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	염분 : > 90% PM10 : > 80%	실내실험	공인시험서	22.5				
시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	염분 : > 90% PM10 : > 80%	실내실험	공인시험서											
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-2	4HP 이내 80L/min 이상 세척장비	①	장치제작	4HP 이내 80L/ min 이상	4HP 이내 80L/ min 이상	시제품 제작	설계도면	14.5	(주)지티앤	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	40
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kwh 이내	3kwh 이내	실내실험	공인시험서	8.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	80L/min 이상	실내실험	공인시험서	8.5				
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	20 μ m 이내	실내실험	공인시험서	8.5				
계											100		특허 : 출원 2건 등록 2건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	특허 : 출원 2건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건	100

○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	◦ 차량탐재용 4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작	⑥	(주)평화엔지니어링	3	8
2	미세기포 세척장비 개발	◦ 4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생하는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	⑤	(주)지티앤	3	8

○ 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1		
정의	◦ 4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작	
목적	◦ 종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발	
성능목표	(기존기술 수준) 해당사항 없음 (개발기술 수준) 염화칼슘 제거효율 90%, PM10 제거효율 80%	
성과달성 책임자 (소속기관)	박 일 건((주)평화엔지니어링)	
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	◦ 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건, 등록 : 2건
	논문	SCI(E) : 0건, 학술지 : 3건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	운영매뉴얼 1건

핵심성과 2		
정의	◦ 4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생하는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	
목적	◦ 종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발	
성능목표	(기존기술 수준) 일본제품으로 100nm~20 μ m 이내 60L/min 소용량 미세기포 세척장비 (개발기술 수준) 100nm~20 μ m 80L/min 이상 다목적 차량탐재형 미세기포 세척장비	
성과달성 책임자 (소속기관)	조 일 형((주)지티앤)	
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	◦ 소요동력 4HP(3kWh) 이내 전력량계, 토출유량(80L/min 이상) 유량계 및 기포크기 (20 μ m 이내) 입자계수측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건, 등록 : 1건
	논문	SCI(E) : 0건, 학술지 : 0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

II. 차년도 연구개발 계획

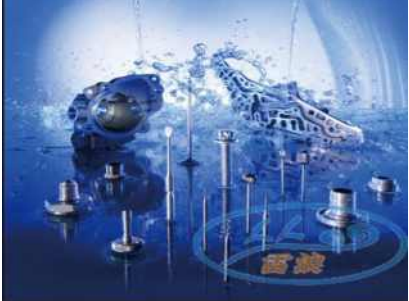
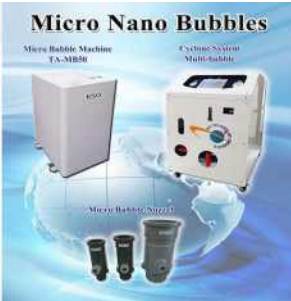
1. 국내외 관련 분야의 환경 변화[전년도 제안서(Proposal) 내용과 비교·분석]

○ 미세기포 세척장비 관련

No	국외	제안기술
국가	일본, 대만, 미국	한국
버블크기	환경분야는 마이크로버블 세척분야는 나노버블>>마이크로버블	대부분 마이크로버블 나노버블 확대 예정
분야	도로구조물, 정밀부품, 반도체 웨이퍼	도로구조물, 정밀부품 등
환경변화	세척시장 외 전분야 급성장	환경분야, 산업분야로 이동중
예상시장	5조원 이상	세계시장의 10%



<대만, ESTRONG OPTECH CO.,LTD>



<중국, leilangkj Co., LTD>



<대만, Cashido CO.,LTD>



<일본, Acniti Co., Ltd>



<일본, Ligaric Co., Ltd>



<일본, nittoseiko Co., Ltd>

2. 연구 개발의 목표 및 내용

2-1. 연구 개발의 목표 및 내용

가. 연구 개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	○ 도로, 교각 및 터널 구조물의 (미세)분진 및 염분제거용 4HP(3kwh)급 이내 80L/min 이상 규모의 차량 탑재 가능한 20 μ m 이내의 미세기포(Ultra Fine Bubble) 세척장비 상용화 (TRL: 6단계⇒8단계)
세부 목표	■ 도로시설물 오염물질 분석/평가 및 세척장비 핵심구조의 기본 설계 ■ 1.5HP(1.1kwh 이내) 및 4HP(3kwh 이내)급 30~80L/min 이상 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

나. 연차(단계)별 연구 개발 목표 및 내용

다. 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관((주)평화엔지니어링) : 차량 탑재 Compact형 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비 설계 및 개발, 대표적 도로시설물(터널벽면, 도로노면, 방음벽, 교량 등) 현장적용 평가, 운영관리 지침서 개발
- 공동연구기관((주)지티앤) : 세척장비의 차량탑재 동력전달 연결장치 개발 및 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비의 설계 및 시공기술 표준화

② 개발 내용 및 범위

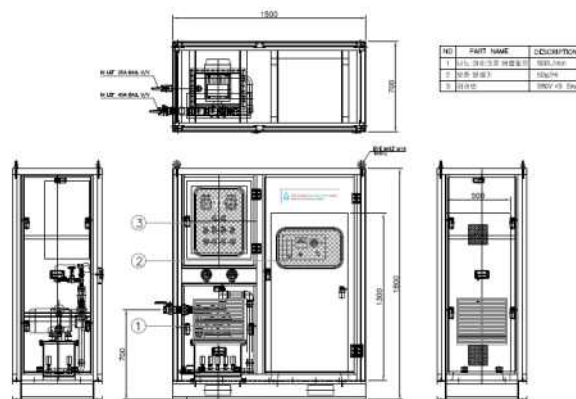
- 주관연구기관((주)평화엔지니어링)
 - 차량 탑재형 Compact형 4HP급 80L/min 미세기포 세척장비 설계 및 개발
 - 대표적 도로시설물(터널벽면, 도로노면, 방음벽, 교량 등) 현장적용 평가, 운영관리 지침서 개발
 - 종래 Water Jet 세척장비 대비 단위 면적당 미세분진(PM2.5), 염분제거 세척효율, 세척수량, 세척시간, 세척면적(시간당) 등 정량화
 - 국/내외 미세기포 세척 관련 법/제도 검토 및 분석
 - 실용화를 위한 박람회 참여 홍보 및 유관기관 개발 제품 등록을 통한 사업화 추진
 - 개발 제품 국산화를 통한 원가계산 및 경제성 평가 분석



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	

<유지관리 지침서 및 매뉴얼>

- 차량 탑재 가능한 케비넷 4HP급(3kwh) 이하 80L/min 이상 미세기포 세척장비 개발 (대하산업기계 참여)
- 표준화된 나노급 및 마이크로버블급 동시 생산 가능한 차량 탑재 모듈형 세척장비 개발 (지티앤)
- 표준화된 나노급 및 마이크로버블 동시 생산 가능한 표준형 노즐 제작 (지티앤)
- 4HP(3kwh)급 이하 80L/min 이상 미세기포 세척장비의 설계 및 시공기술 표준화(지티앤)
- 차량 탑재 동력 및 부대장치 개발 (대하산업기계)
- 나노버블의 잔류성에 대한 모니터링 및 평가 (지티앤)
- 4HP(3kwh)급 이하 80L/min 이상 미세기포 세척장비와 기존 water jet 세척장비의 경제성 비교 (지티앤, 대하산업기계)



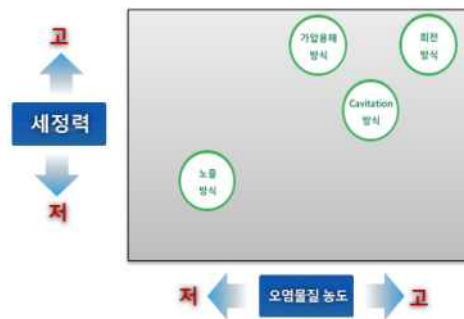
– 101 –

다. 연구개발의 창의성 · 혁신성 등(해당 시 작성)

- 종래 기체 용해율 60~70% 수준, 제안기술은 90% 이상의 기체 용해율 확보한 고밀도 미세기포 생산
- 도로, 터널 및 교각 등 염분 및 고오염물질 나노-마이크로버블 세척장비 개발



<버블대용량 및 기포 고밀도 생산을 위한 하이브리드형 미세기포 세척장비 개발>



<도로 및 교각 등 사각지대에 존재하는 고농도 염분을 제거하기 위한 높은 세정력 갖는 장비개발>

<외산 장비 대비 제안기술의 비교>

No	Ligarc사(일본)	제안기술
방식	회전/전단 믹서교반 + 선회류 원심력 이젝터 노즐	회전/전단 믹서교반 + 다단 충돌판 + 회전 소용돌이 다단 Vortex 노즐
버블크기	100nm~20um	20um 이하
소요동력	2.6kwh 이내	3kWh 이내
토출유량	60LPM 이상	80LPM 이상
분사방식	고압세척기 연동	고압세척기 연동 및 단독사용
특징	차량 탑재방식	차량 탑재방식
비고	상용화하여 2017년도 고속도로에 보급 중	개발 중

2-2. 기술개발 성숙도

구분		1차년도	2차년도	3차년도	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

2-3. 평가의 착안점 및 기준

○ 성과점검기준표

[총괄]

구분	핵심성과 (CTE)	단위성과	성과점검기준							양적 성과 건수	
			질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치		
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1 1.5HP 이내 30L/min 이상 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	-	현장조사	결과 보고서	2.5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
				②	단위핵심 Part 설계	1.5HP 이내 30L/min 이상	-	단위핵심 설계	설계 도면	5	
				③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	-	단위핵심 설계	결과 보고서	5	
				④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	-	실내실험	공인 시험서	7.5	
				④	시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	-	실내실험	공인 시험서		
		1-2 4HP 이하 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트		①	현장 조사/분석	3건	-	현장조사	결과 보고서	2.5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
				②	단위핵심 Part 설계	4HP 이하 80L/min 이상	-	단위핵심 설계	설계 도면	5	
				③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	-	단위핵심 설계	결과 보고서	5	
				④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	실내실험	공인 시험서	7.5	
				④	시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	실내실험	공인 시험서		
		1-3 4HP 이하 80L/min 이상 차량탑재형 세척시스템 현장 성능평가		①	세척효율 평가 (도로시설)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	2.5	특허 : 출원 1건 등록 2건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
				②	세척효율 평가 (터널)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	5	
				③	현장모니터링	6개월	-	현장적용	모니 터링 결과	7.5	
				④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	-	매뉴얼작성 여부	운영 매뉴얼	5	
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1 1.5HP 이하 30L/min 이상 세척장비	①	장치제작	1.5HP 이내 30L/min 이상	-	시제품 제작	설계 도면	5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
				②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kWh 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
				③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min 이상	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
		2-2 4HP 이하 80L/min 이상 세척장비		①	장치제작	4HP 이내 80L/min 이상	-	시제품 제작	설계 도면	5.5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
				②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kwh 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
				③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
				④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20μm 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
		2-3 4HP이하 80L/min 이상 차량탑재형 세척시스템		①	장치제작	시제품	-	시제품 제작	설계 도면	5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 2건 S/W : 1건
				②	차량탑재형 세척시스템 통합제어	시제품	-	시제품 확인	현장 평가	3.5	
				③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20μm 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5	
		계									100

[1차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증 방법	가중치	
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1	1.5HP 이내 30L/min 이상 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	-	현장조사	결과 보고서	2.5	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
					②	단위핵심 Part 설계	1.5HP 이내 30L/min 이상	-	단위핵심 설계	설계 도면	5	
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	-	단위핵심 설계	결과 보고서	5	
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	-	실내실험	공인 시험서	7.5	
						시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	-	실내실험	공인 시험서		
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1	1.5HP 이내 30L/min 이상 세척장비	①	장치제작	1.5HP 이내 30L/ min 이상	-	시제품 제작	설계 도면	15	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kWh 이내	-	실내실험	공인 시험서	12	
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min 이상	-	실내실험	공인 시험서	12	
계											100	특허 : 출원 2건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건 S/W : 1건

[2차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증 방법	가중치	
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1~2	4HP 이내 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	-	현장조사	결과 보고서	2.5	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 이내 80L/min 이상	-	단위핵심 설계	설계 도면	5	
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	-	단위핵심 설계	결과 보고서	5	
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	실내실험	공인 시험서	7.5	
						시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	실내실험	공인 시험서		
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2~2	4HP 이내 80L/min 이상 세척장비	①	장치제작	4HP 이내 80L/min 이상	-	시제품 제작	설계 도면	14	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kWh 이내	-	실내실험	공인 시험서	10	
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	-	실내실험	공인 시험서	10	
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	-	실내실험	공인 시험서	10	
계											100	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증 방법	가중치		
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1~3	4HP 이내 80L/min 이상 차량탐재형 세척시스템 현장 성능평가	①	세척효율 평가 (도로시설)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	2.5	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>2건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>
					②	세척효율 평가 (터널)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	5	
					③	현장모니터링	6개월	-	현장적용	모니 터링 결과	7.5	
					④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	-	매뉴얼작성 여부	운영 매뉴얼	5	
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2~3	4HP 이내 80L/min 이상 차량탐재형 세척시스템	①	장치제작	시제품	-	시제품 제작	설계 도면	15	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>
					②	차량탐재형 세척시스템 통합제어	시제품	-	시제품 확인	현장 평가	12	
					③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	-	실내실험	공인 시험서	12	
계											100	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>2건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>

○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	차량탐재용 4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작	⑥	(주)평화엔지니어링	3	8
2	미세기포 세척장비 개발	4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생시키는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	⑤	(주)지티앤	3	8

○ 핵심 연구성과별 설명

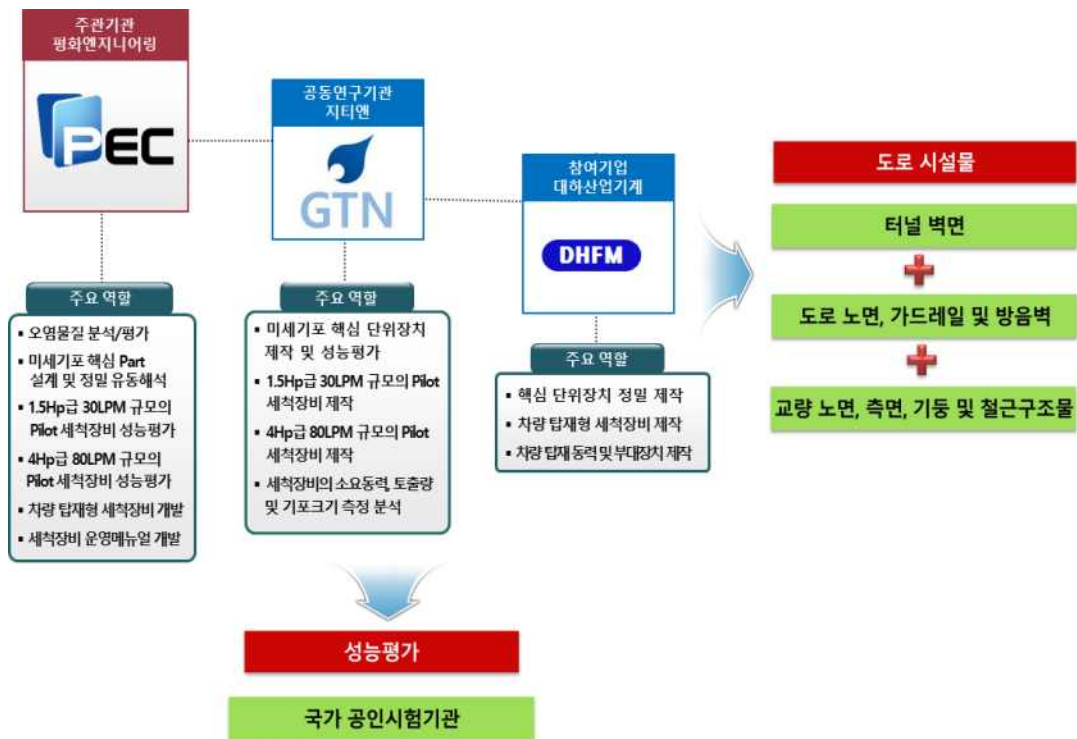
핵심성과 1	
정의	4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작
목적	종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발
성능목표	(기존기술 수준) 해당사항 없음 (개발기술 수준) 염화칼슘 제거효율 90%, PM10 제거효율 80%
성과달성 책임자 (소속기관)	박 일 건((주)평화엔지니어링)
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)
성과달성 확인방법	오염물질(염화칼슘, 미세분진) 측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록
	출원 : 3건, 등록 : 2건
	논문
	SCI(E) : 0건, 학술지 : 3건
	저작
	0건
	S/W
	0건
	신기술
	0건
기타	
운영매뉴얼 1건	

핵심성과 2		
정의	◦ 4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생하는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	
목적	◦ 종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발	
성능목표	(기존기술 수준) 일본제품으로 100nm~20 μ m 이내 60L/min 소용량 미세기포 세척장비 (개발기술 수준) 100nm~20 μ m 80L/min 이상 다목적 차량탑재형 미세기포 세척장비	
성과달성 책임자 (소속기관)	조 일 형((주)지티앤)	
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	◦ 소요동력 4HP(3kWh) 이내 전력량계, 토출유량(80L/min 이상) 유량계 및 기포크기 (20 μ m 이내) 입자계수측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건, 등록 : 1건
	논문	SCI(E) : 0건, 학술지 : 0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

3. 연구 개발의 추진전략 · 방법 및 추진체계

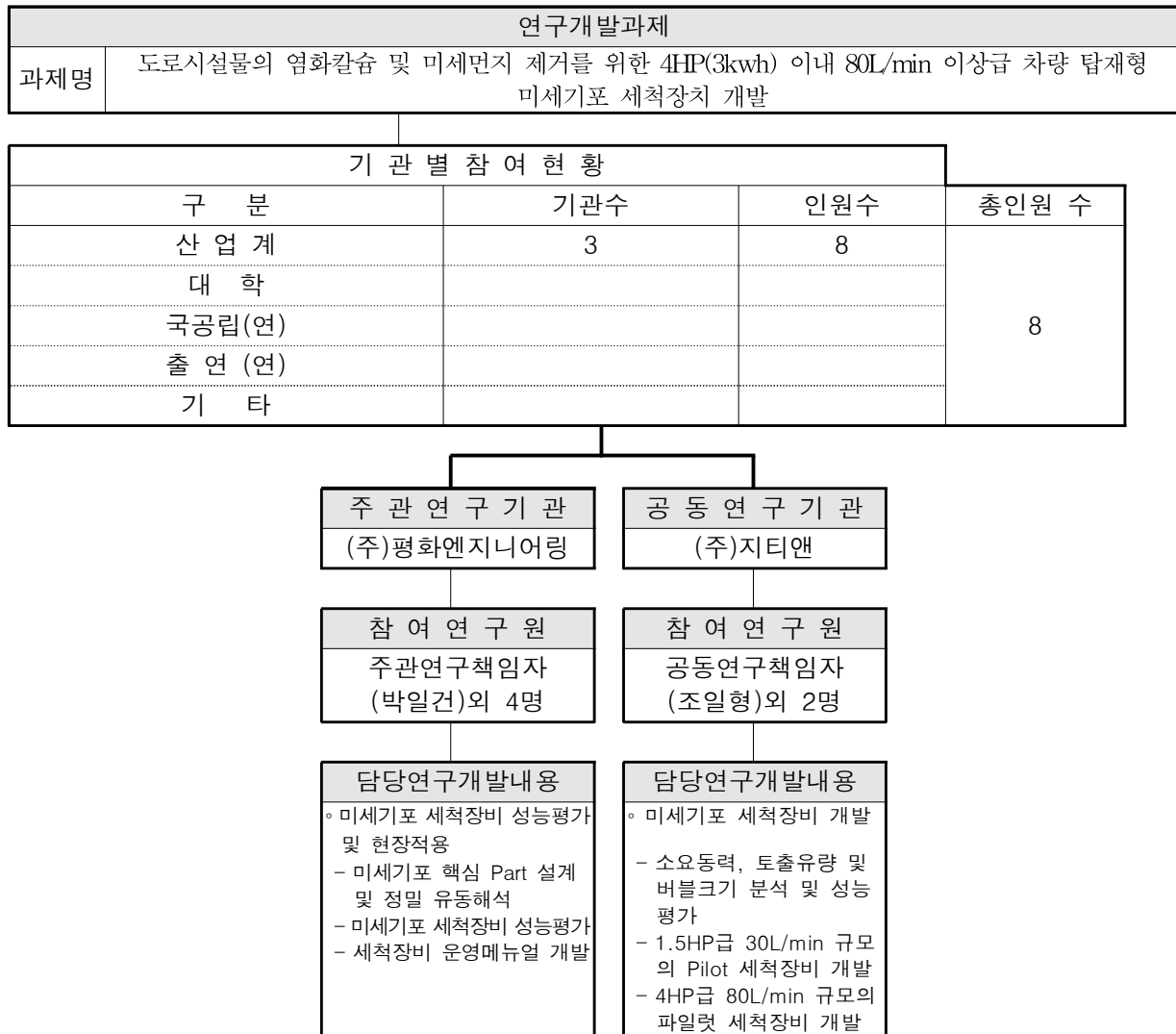
3-1. 연구개발 추진전략 · 방법

- 각 참여기관과의 유기적인 업무협조를 통하여 성공적인 연구수행 할 계획이며, 각 참여기관들의 주요업무내용 및 범위는 다음과 같음.



3-2. 연구개발 추진체계

○ 연구수행 체계도



3-3. 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심 성과	단위 성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
주관	(주)평화엔지니어링	A	A-1	A-1-①	현장 조사/분석	결과보고서	5												
				A-1-②	단위핵심 Part 설계	설계도면	10												
				A-1-③	단위핵심 Part 유동해석	결과보고서	10												
				A-1-④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	공인시험서	15												
					시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)														
			A-2	A-2-①	현장 조사/분석	결과보고서	5												
				A-2-②	단위핵심 Part 설계	설계도면	10												
				A-2-③	단위핵심 Part 유동해석	결과보고서	10												
				A-2-④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	공인시험서	15												
					시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)														
			A-3	A-3-①	단위핵심 Part 설계	설계도면	5												
				A-3-②	단위핵심 Part 유동해석	결과보고서	10												
				A-3-③	현장모니터링	모니터링결과	15												
				A-3-④	운전매뉴얼	현장평가	10												
공동	(주)지티엔	B	B-1	①	장치제작	설계도면	10												
				②	장치성능 평가 (전력소모량)	공인시험서	7												
				③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	공인시험서	7												
			B-2	①	장치제작	설계도면	11												
				②	장치성능 평가 (전력소모량)	공인시험서	7												
				③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	공인시험서	7												
				④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	공인시험서	7												
			B-3	①	장치제작	설계도면	10												
				②	차량탑재형 세척시스템 통합제어	현장평가	7												
				③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	공인시험서	7												

3-4. 위탁연구/외부용역/국제공동연구 현황(해당 시 작성)

가. 위탁연구/외부용역 현황

구 분	과 제 명	발주 기관	수행자 (수행 기관)	위탁 또는 용역 필요성	위탁 또는 용역 목표 및 내용	연구 기간	소요 금액 (천원)
위탁연구							
외부용역							

* 외부용역 : 관리지침 [별표2] 연구비 비목별 세부계상 및 집행기준 - 직접비 - 연구활동비 중 연구개발서비스 활용비 및 지식재산 창출 활동에 필요한 경비 계상기준에 해당하는 항목

나. 국제공동연구 현황(글로벌기술협력만 작성)

4. 연구 개발 성과의 활용 방안 및 기대효과

4-1. 연구 개발 성과의 활용 방안

- 일본 기술 대비 우수한 100nm~20 μ m 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

4-2. 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

5. 연구기관 현황

5-1. (총괄)연구책임자

가. 인적 사항

성명	국문	박일건 (한문) 朴一建	생년월일(성별)	1980.04.04(남)
	영문	Park il gun	과학기술인등록번호	1103 2139
직장	기관명	(주)평화엔지니어링	전화번호	031-420-7337
	부서	연구원	휴대전화번호	010-8709-6438
	직위	책임연구원	전자우편	igpark@pec.kr
	주소	(14056) 경기도 안양시 동안구 학의로 250 관양두산벤처다임 1001호		

나. 학력(대학 이상 기재)

연도	학교명	전공	학위	지도 교수
2007.08.27~2013.08.15	아주대학교	환경공학	박사	홍민선
2003.03.01~2007.08.20	아주대학교	환경공학	석사	홍민선

(최종학위논문명) 흡수제와 흡착제를 이용한 저농도 CO₂ 및 VOCS 제거 기술

다. 경력

연도	기관명	직위	비고
2014.10.01~현재	(주)평화엔지니어링	책임연구원	
2015.05.01~2015.08.31	경기연구원	초빙연구위원	국가산단 HAPs 처리기술 개발
2009.09.01~2014.09.30	아주대학교 환경연구소	전임연구원	
2013.09.01~2015.02.28	아주대학교 공학대학원	시간강사	
2009.09.01~2010.08.31	경기대학교 환경에너지시스템 학부	시간강사	
2007.09.01~2009.08.31	김포대학교 환경시스템 학부	시간강사	

라. 주요 연구수행 실적(3개 이내)

연구 제목	연구 내용	연구 기간	연구 수행 당시의 소속 기관	역할(연구책임자 또는 연구원)	연구비 지급 기관	비고
이동식 사고현장 누출 유해화학물질 응급배기 기술 개발	작업장에서 유해화학물질 누출사고 발생 시, 초기 대응을 위해 누출된 가스상의 유해화학물질을 포집·처리하는 이동식 장치 개발	2017.08 ~2019.07	-	(주)평화엔지니어링	연구책임자	환경부
에너지효율 7% 개선을 위한 주류공정 고농도 이산화탄소 흡수공정 개발	에너지절감형 통합시스템 개발 및 에너지효율을 개선	2017.05 ~2019.12	스크러버를 이용한 주류공정 내 고농도 이산화탄소 제거효율 평가 (2017, 34(4))	(주)평화엔지니어링	참여연구원	산업통상자원부
미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	VOCs 사업장을 대상으로 환경규제에 대응 가능한 비용 절감형 VOCs 처리 및 회수시설을 개발하고 회수된 VOCs로 에너지회수형 통합발전플랜트를 구축	2016.12 ~2019.09	-	(주)평화엔지니어링	참여연구원	산업통상자원부

마. 대표적 논문/저서 실적(최근 5년간 실적, 5개 이내로 작성)

구분	논문명/저서명	게재지 (권, 쪽)	게재 연도 (발표연도)	역할	비고 (피인용 지수)
1	스크러버를 이용한 주류공정 내 고농도 이산화탄소 제거효율 평가	한국유화학회	2017	주저자	
2	합성가스 에너지화를 위한 가스엔진 성능 평가	한국가스학회	2017	교신저자	
3	암모니아와 염화나트륨 수용액을 이용한 저농도 CO ₂ 제거 연구	에너지기후변화학회지	2015	공저자	
4	철도 승강장 소음의 청감실반응평가모형에 대한 적합도 검정	한국소음진동공학회논문집	2015	공저자	
5	Estimation of fine particulate removal rates by inhalation in a lecture room	IJAER	2015	공저자	

바. 현재 수행 중인 타 과제 현황

(단위: 천원)

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	
이동식 사고현장 누출 유해화학물질 응급배기 기술 개발	(주)평화엔지니어링	2017.08.21	24	30
환경부/화학사고대응환경기술개발사업	연구책임자	2019.07.31	980,000	
에너지효율 7% 개선을 위한 주류공정 고농도 이산화탄소 흡수공정 개발	(주)평화엔지니어링	2017.05.01	32	30
산업통상자원부/에너지기술개발사업	참여연구원	2019.12.31	164,000	
미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	(주)평화엔지니어링	2016.12.01	36	10
산업통상자원부/에너지기술개발사업	참여연구원	2019.09.30	370,000	

5-2. 공동·위탁 연구책임자(해당 시 작성)

가. 인적 사항

성명	국문	조일형 (한문) 趙 一衡	생년월일(성별)	1973.01.18(남)
	영문	Cho il Hyung	과학기술인등록번호	1012 1748
직장	기관명	(주)지티앤	전화번호	031-8003-5570
	부서	사업부	휴대전화번호	010-9227-1421
	직위	대표이사	전자우편	cihyoung73@hanmail.net
	주소	(18516)경기도 화성시 정남면 괴랑3길 34		

나. 학력(대학 이상 기재)

연도	학교명	전공	학위	지도 교수
1996.03.01~2000.08.15	서울대학교	환경보건	석사	이홍근
2003.03.01~2008.02.28	서울대학교	환경보건	박사	조경덕

(최종 학위 논문명) Degradation characteristics of reactive Dye, BTEX, and TPH in water using advanced oxidation processes and probabilistic risk analysis of BTEX exposure : TiO_2 photocatalysis and health risk assessment : 광촉매 반응 및 위해성 평가 중심으로 = 고급산화공정을 이용한 수중 반응성 염료, BTEX, TPH 분해특성과 BTEX 노출에 대한 확률론적 위해성 분석

다. 주요 연구 실적(3개 이내)

연구 제목	연구 내용	연구 기간	연구 수행 당시의 소속 기관	역할(연구책임자 또는 연구원)	연구비 지급 기관	비고
이동식 사고현장 누출 유해화학물질 응급배기 기술 개발	작업장에서 유해화학물질 누출사고 발생 시, 초기 대응을 위해 누출된 가스상의 유해화학물질을 포집·처리하는 이동식 장치 개발	2017.08 ~2019.07	-	(주)지티앤	참여연구원	환경부
환경산업선진화 기술개발 사업	자동차 공장에서 배출되는 미세먼지 및 VOCs 처리를 위한 1,000CMM 이상급 고성능 선회류식 흡수세정 장치 실증화	2017.6.1. ~2018.12.31	-	(주)지티앤	참여연구원	환경부

라. 현재 수행 중인 타 과제 현황

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	
이동식 사고현장 누출 유해화학물질 응급배기 기술 개발	(주)평화엔지니어링	2017.08.21	10	30
환경부/화학사고대응환경기술개발사업	참여연구원	2019.07.31	980,000	
자동차 공장에서 배출되는 미세먼지 및 VOCs 처리를 위한 1,000CMM 이상급 고성능 선회류식 흡수세정 장치 실증화	(주)시원기업	2017.06.01	12	20
환경부/환경산업선진화기술개발사업	참여연구원	2018.12.31	375,000	

5-3. 기관(기업) 정보 현황 (※ 기업 주관인 과제에 해당 시 기업만 작성)

	구분		수행 기관명	(주)평화엔지니어링	(주)지티앤	대하산업기계(주)
①	사업자등록번호			1278152705	1818100365	2588100272
②	법인등록번호			1115110019608	1348110362385	1201110797194
③	대표자 성명(국적/성별)			권재원 (대한민국/남)	조일형 (대한민국/남)	전차녀 (대한민국/여)
④	최대 주주(국적)			권재원 (대한민국)	조일형 (대한민국)	전차녀 (대한민국)
⑤	기업(기관) 유형 (중소기업, 중견기업, 대기업)			중견기업	중소기업	중소기업
⑥	설립 연월일			1995.01.25	2016.03.08	2016.01.04
⑦	주생산 품목			토목/건설 및 환경플랜트 엔지니어 링, 연구개발(R&D)	환경에너지 설비 및 시공/제조업	블로워, 펌프, 세척시스템, 고압세척기
⑧	상시 종업원 수			560명	3명	11명
⑨	전년도 매출액(백만원)			73,972	268	1,702
⑩	매출액 대비 연구개발비 비율			3.5%	37.4%	
⑪	부채 비율	2018년	110%	103%	64.96%	
		2017년	139%	112%		
⑫	유동 비율	2018년	147%	1539%	261.07%	
		2017년	178%	2.790%		
⑬	자본 잠식 현황	자본	2018년	127	495	
		총계(백만원)	2017년	111		
		자본금	2018년	30	30	
		(백만원)	2017년	30		
⑭	이자 보상 비율		2018년	147%	0	13.02%
			2017년	-723%	0	
⑮	영업 이익 (백만원)		2018년	4,156	17	119
			2017년	-4,525	9	
⑯	주소			전라남도 나주시 문화로 194, 601호	경기도 화성시 정남면 괘랑3길 34	인천시 서구 설원로94(대곡동)

5-4. 연구개발 참여연구원 및 비영리법인 연구부서의 연구 지원인력 현황

5-4-1. 연구개발 참여연구원 현황

번호	소속 기관명	직위	생년월일	전공 및 학위		연구 담당 분야	신규 채용 여부	국가연구개발사업 참여율 (%) [B]	국가연구개발사업 참여 과제 수 (건)
	성명	과학기술인 등록번호	성별	취득 연도	학위 (전공)	과제 참여 기간	이 과제 참여율 (%) [A]	전체 참여율 [A+B, %]	
1	주관-평화ENG	수석연구원	1980.04.04	2013	박사	주관연구책임자	N	20	2
	박일건	11032139	남			20.01~20.12	25	45	
2	주관-평화ENG	선임연구원	1982.09.05	2009	학사	핵심기술 설계	N	50	3
	이인근	11924811	남			20.01~20.12	28	78	
3	주관-평화ENG	연구원	1991.02.13	2015	석사	효율평가 및 최적화	N	20	2
	김강미	11766211	여			20.01~20.12	30	50	
4	주관-평화ENG	연구원	1991.08.05	2018	석사	효율평가 및 최적화	N	60	3
	이준형	11537835	남			20.01~20.12	30	90	
5	주관-평화ENG	연구원	1991.05.22	2018	석사	효율평가 및 최적화	N	70	4
	박형준	11511996	남			20.01~20.12	30	100	
6	지티앤	대표이사	1973.01.18	2008	박사 (환경보건)	공동연구책임자	N	80	3
	조일형	10121748	남			20.01~20.12	20	100	
7	대하산업기계	전무	1957.09.03	1975	고졸 (기계)	기계장치 설계 및 제작	N	0	0
	방창열	10804725	남			20.01~20.12	10	10	
8	대하산업기계	과장	1982.01.01	2003	전문학사 (자동차)	기계장치 설계 및 제작	N	0	0
	강병일	10834753	남			20.01~20.12	12.2	12.2	

5-4-2. 비영리법인 연구부서의 연구 지원인력 현황

번호	소속 기관명	성명	전공 및 학위		지원 업무	국가연구개발사업 참여 과제 수 (건)
	소속 연구부서명	생년월일	취득 연도	학위 (전공)	참여 기간	
1						
2						

가. 중소·중견기업 신규 인력 채용 현황(해당시)

(단위: 천원, %)

연구기관명	신규 인력 성명	참여시작일	참여종료일	인건비 지급액	현금/현물	참여율
계						

나. 신규 인력 채용 계획 및 활용방안

○

6. 연구비 명세

6-1. 연도별 연구비 총괄표

가. 연차별 총괄

(단위: 천원)

구분		1차 연도 (2018)		2차 연도 (2019)		3차 연도 (2020)		합계
		금액	%	금액	%	금액	%	
정부출연금		150,000	75%	225,000	75%	225,000	75%	600,000
민간 부담금	현금	5,900	3%	8,850	3%	8,850	3%	23,600
	현물	44,100	22%	66,150	22%	66,150	22%	176,400
	소계	50,000	25%	75,000	25%	75,000	25%	200,000
정부 외 출연금								
합계		200,000	100%	300,000	100%	300,000	100%	100%

나. 정부출연금, 민간부담금(현금, 현물) 및 정부 외 출연금 배분 내용

(단위: 천원)

구 분			(주)평화엔지니어링	(주)지티앤	계
1차 연도	정부출연금		90,000	60,000	150,000
	민간 부담금	현금	3,900	2,000	5,900
		현물	26,100	18,000	44,100
		소계	30,000	20,000	50,000
	정부 외 출연금				
	합계		120,000	80,000	200,000
2차 연도	정부출연금		135,000	90,000	225,000
	민간 부담금	현금	5,850	3,000	8,850
		현물	39,150	27,000	66,150
		소계	45,000	30,000	75,000
	정부 외 출연금				
	합계		180,000	120,000	300,000
3차 연도	정부출연금		135,000	90,000	225,000
	민간 부담금	현금	5,850	3,000	8,850
		현물	39,150	27,000	66,150
		소계	45,000	30,000	75,000
	정부 외 출연금				
	합계		180,000	120,000	300,000
총계	정부출연금		360,000	240,000	600,000
	기업 부담금	현금	15,600	8,000	23,600
		현물	104,400	72,000	176,400
		소계	120,000	80,000	200,000
	정부 외 출연금				
	합계		480,000	320,000	800,000

다. 비목별 총괄

비 목	세목				1차 연도	2차 연도	3차 연도	합계	
					2018	2019	2020		
직 접 비	인 건 비	참 여 연 구 원	내부 인건비	미지급					
				지급	현금	10,000	30,000	32,400	72,400
					현물	36,200	54,400	54,400	145,000
			외부 인건비	미지급					
				지급	현금				
					현물				
		(신)연구지원인력인건비							
		학생인건비							
		인건비 소계				46,200	84,400	86,800	217,400
		(구)연구장비· 재료비(∼19)		현금		95,500	146,100		241,600
	현물			7,900	11,750		19,650		
	(신)연구시설· 장비비('20∼)		현 금	일반			78,000	78,000	
				통합관리					
			현물				11,750	11,750	
	연구활동비				33,800	27,700	40,370	101,870	
	(구)연구과제 추진비(∼19)				10,700	15,310		26,010	
	(신)연구재료 비('20∼)		현금				68,000	68,000	
			현물						
	연구수당				2,300	8,640	5,980	16,920	
	위탁연구비								
	직접비 소계				196,400	293,900	290,900	781,200	
간접비				3,600	6,100	9,100	18,800		
연구비 총액				200,000	300,000	300,000	800,000		

6-2. 연구기관별 연구비 총괄표

가. 주관연구기관 : (주)평화엔지니어링

(단위: 천원)

비 목	세목				1차 연도	2차 연도	3차 연도	합계	
					2018	2019	2020		
직 접 비	인 건 비	참 여 연 구 원	내부 인건비	미지급					
				지급	현금	10,000	30,000	32,400	72,400
					현물	18,200	27,400	27,400	73,000
				외부 인건비	미지급				
		지급	현금						
			현물						
		(신)연구지원인력인건비							
		학생인건비							
		인건비 소계				28,200	57,400	59,800	145,400
	(구)연구장비· 재료비	현금		41,000	70,000		111,000		
		현물		7,900	11,750		19,650		
	(신)연구시설· 장비비	현 금	일반			15,000	15,000		
			통합관리						
			현물			11,750	11,750		
	연구활동비				29,800	22,700	30,370	82,870	
	(구)연구과제추진비				10,000	10,310			
	(신)연구재료 비	현금				51,000	51,000		
		현물							
	연구수당				2,300	5,740	5,980	14,020	
	위탁연구비								
	직접비 소계				119,200	177,900	173,900	471,000	
간접비				800	2,100	6,100	9,000		
연구비 총액				120,000	180,000	180,000	480,000		

나. 공동연구기관(참여기관) : (주)지티앤

(단위: 천원)

비 목	세목				1차 연도	2차 연도	3차 연도	합계	
					2018	2019	2020		
직 접 비	인 건 비	참 여 연 구 원	내부 인건비	미지급					
				지급	현금				
			현물		18,000	27,000	27,000	72,000	
				외부 인건비	미지급				
		지급	현금						
			현물						
		(신)연구지원인력인건비							
		학생인건비							
		인건비 소계				18,000	27,000	27,000	72,000
		(구)연구장비· 재료비	현금		54,500	76,100		130,600	
	현물								
	(신)연구시설· 장비비	현 금	일반			63,000	63,000		
			통합관리						
			현물						
	연구활동비				4,000	5,000	10,000	19,000	
	(구)연구과제추진비				700	5,000		5,700	
	(신)연구재료 비	현금				17,000	17,000		
		현물							
	연구수당					2,900	0	2,900	
	위탁연구비								
	직접비 소계				77,200	116,000	117,000	310,200	
간접비					2,800	4,000	3,000	9,800	
연구비 총액					80,000	120,000	120,000	320,000	

6-3. 민간부담 연구비 중 참여기업별 부담 금액(참여기업이 있는 경우만 기재)

(단위: 천원)

구분	기업명	기업 유형	민간 부담액		
			현금	현물	계
1차 년도	(주)평화엔지니어링	중견기업	3,900	26,100	30,000
	(주)지티앤	중소기업	1,200	10,800	12,000
	대하산업기계(주)	중소기업	800	7,200	8,000
2차 년도	(주)평화엔지니어링	중견기업	5,850	39,150	45,000
	(주)지티앤	중소기업	1,800	16,200	18,000
	대하산업기계(주)	중소기업	1,200	10,800	12,000
3차 년도	(주)평화엔지니어링	중견기업	5,850	39,150	45,000
	(주)지티앤	중소기업	1,800	16,200	18,000
	대하산업기계(주)	중소기업	1,200	10,800	12,000
계					200,000

6-4. 3차년도 비목별 연구비 소요명세(주관연구기관: (주)평화엔지니어링)(해당 연도만)

가. 직접비: 177,900 천원

1) 내부인건비

(단위: 천원)

성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	참여율 (%)	실지금액	현금/ 현물	지급 여부
박일건	수석연구원	2020.01.01	2020.12.31	4,700	25%	14,100	현물	지급
이인근	선임연구원	2020.01.01	2020.12.31	4,000	28%	13,300	현물	지급
김강미	연구원	2020.01.01	2020.12.31	3,340	30%	12,024	현금	지급
이준형	연구원	2020.01.01	2020.12.31	2,830	30%	10,188	현금	지급
박형준	연구원	2020.01.01	2020.12.31	2,830	30%	10,188	현금	지급

2) 외부인건비

(단위: 천원)

성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	참여율 (%)	실지금액	현금/ 현물	지급 여부

3) 연구 지원인력인건비(비영리법인 연구부서)

(단위: 천원)

소속 연구 부서명	성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	실지금액	지급 여부
합계							

4) 학생인건비(학생 인건비 통합 관리 시행 기관인 경우)(통합 관리 미 시행 기관인 경우 삭제)

(단위: 천원)

구분	월 급여	월 작업량 (man-month)	총액	비고
박사후연구원				
박사 과정				
석사 과정				
학사 과정				
합 계				

5) 연구시설·장비비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액			비고
				현금	현물	계	
연구 시설							
연구 장비	CAD(장치 설계)	11,750	1		11,750	11,750	
	미세기포 고압세척장비 통합제어 설비	15,000	1	15,000		15,000	
통합관리비							
총액				15,000	11,750	26,750	

- 필요성 및 용도

구분	품명	필요성 및 용도
연구시설		
연구장비	CAD(장치 설계)	▪ 1차년도 및 2차년도 Pilot 설비를 통해 문제점이 도출되고 이를 개선 및 보완하여 미세기포 세척장비 4HP 이하 80L/min 이하 시제품 설계도면 제작
연구장비	미세기포 고압세척장비 통합제어 설비	▪ 1차년도 및 2차년도 Pilot 설비 개발제품에 대한 개선보완과 더불어 미세기포 고압세척장비의 통어제어 설비를 제작하고자 함
통합관리비		

6) 연구활동비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
연구활동비	인쇄비	1,000	5	5,000	
	위탁정산수수료	1,200	1	1,200	
	박람회 참가	5,500	1	5,500	제 품 홍보
	세미나 개최비	1,000	1	1,000	
	학회 참가비	300	3	900	
	논문게재료	1,000	1	1,000	
	시험분석료	7,000	1	7,000	공인인증시험 및 자체성능시험 등
	국내출장 및 시내교통비	250	6	1,500	
	사무용품비	1,235	2	2,470	
	회의비	200	20	4,000	
	식대	8	100	800	
총액				30,370천원(현금:30,370천원)	

- 국외 출장 여비 산출근거(국외 출장 계획이 있는 경우만 기재)

[단위 : 천원]

연구수 행기관	차수	직급	인원	횟수	국외 출장여비 세부산출 내역		금 액
1세부- 주관- ○○○	1						
		소계					
		출장 목적 및 사유					
		당해 연구개발과제 관련 내용					
		국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유					
		출장자	('00. 00. 00 ~ ' 00. 00. 00)			출장 목적지 및 기관	
		출장기간					
합계							
연구수 행기관	차수	직급	인원	횟수	국외 출장여비 세부산출 내역		금 액
1세부- 공동- ○○○	2						
		소계					
		출장 목적 및 사유					
		당해 연구개발과제 관련 내용					
		국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유					
		출장자	('00. 00. 00 ~ ' 00. 00. 00)			출장 목적지 및 기관	
		출장기간					
합계							

7) 연구재료비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
연구재료비	소음저감 및 단열 재료	11,000	1	11,000	
	성능실험 소모품 (베어링, 노즐, 라텍스 튜브, SUS 케이스 등)	20,000	2	40,000	
총액				51,000천원(현금 : 51,000천원)	

8) 연구수당

(단위: 천원)

구분	산정 기준	금액	비고
연구수당	인건비(59,800) × (10)%=(5,980) 원	5,980	
합계		5,980	

9) 위탁연구비

_____천원

나. 간접비

1) 영리기관의 경우

(주)평화엔지니어링: 6,100 천원(간접 비율 : 3.3 %)

(단위: 천원)

구분		성명	직위	신규채용 구분	실지 금액 (A)	참여율(%) (B)	합계(A×B/100)		
							현금	현물	계
인력 지원비 (1)	지원인력인건비								
	연구개발능률성과급								
	연구지원전문가인건비								
				소계(C)					

구 분		내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
기타 (2)	연구지원비(D)					
	성과활용지원비(E)	특허등록	1,500	2	3,000	
		특허출원	3,100	1	3,100	
	소계(F=D+E)				6,100	
간접비 총액(G=C+F)					6,100천원 (간접비율:3.3%)	

6-5. 3차년도 비목별 연구비 소요명세(공동연구기관: (주)지티앤)

가. 직접비: 117,000 천원

1) 내부인건비

(단위: 천원)

성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	참여율 (%)	실지금액	현금/ 현물	지급 여부
조일형	대표이사	2020.01.01	2020.12.31	6,750	20	16,200	현물	
방창열	전문	2020.01.01	2020.12.31	1,545	22	4,080	현물	
강병일	과장	2020.01.01	2020.12.31	2,800	20	6,720	현물	

2) 외부인건비

(단위: 천원)

성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	참여율 (%)	실지금액	현금/ 현물	지급 여부

3) 연구 지원인력인건비(비영리법인 연구부서)

(단위: 천원)

소속 연구 부서명	성명	직위 (직급)	참여 시작일	참여 종료일	월급여	실지금액	지급 여부
합계							

4) 학생인건비(학생 인건비 통합 관리 시행 기관인 경우)(통합 관리 미 시행 기관인 경우 삭제)

(단위: 천원)

구분	월 급여	월 작업량 (man-month)	총액	비고
박사후연구원				
박사 과정				
석사 과정				
학사 과정				
합 계				

5) 연구시설·장비비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액			비고
				현금	현물	계	
연구 시설							
시작품 제작 (외주제작)	표준화된 80LPM급 이상 4HP 이하급 모듈형 미세기포 발생장치	28,000	1식	28,000			
	표준화된 탈부착형 다단충돌판 제작	15,000	1식	15,000			
	표준화된 탈부착형 선회전단 노즐 제작	20,000	1식	20,000			
통합관리비							
총액				63,000		63,000	

- 필요성 및 용도

구분	품명	필요성 및 용도
시작품 제작 (외주제작)	표준화된 80LPM급 이상 4HP 이하급 모듈형 미세기포 발생장치	1차년도 및 2차년도 Pilot 설비를 통해 문제점이 도출되고 이를 개선 및 보완하여 현장 차량 이동형 탑재식에 맞는 모듈형 세척장비를 개선하기 위한 필요함 - 현장 여건이 매우 다양하고 필요하는 용량이 매우 달라 차량 탑재식 모듈형으로 개선하는 장비를 제작하고자 함
	표준화된 탈부착형 다단충돌판 제작	1차년도 및 2차년도 개발제품에 대한 개선보완과 더불어 현장 여건에 따라 나노급 및 마이크로버블 동시에 적용생산하기 위해 탈부착형으로 다단충돌판을 제작하고 일괄적인 균질성을 위해 표준화된 단위 모듈장치로 제작하고자 함
	표준화된 탈부착형 선회전단 노즐 제작	1차년도 및 2차년도 개발제품에 대한 개선보완과 더불어 현장 여건에 따라 나노급 및 마이크로버블 동시에 적용생산하기 위해 탈부착형으로 선회전단 노즐을 제작하고 일괄적인 균질성을 위해 표준화된 단위 모듈장치로 제작하고자 함

6) 연구활동비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
연구활동비	식대	10	50	500	
	사무용품비	500	2	1,000	
	기술정보수집비	2,500	1	2,500	
	국내출장비	50	40	2,000	
	회의비	200	20	4,000	
총액				10,000 천원(현금: 10,000천원)	

- 국외 출장 여비 산출근거(국외 출장 계획이 있는 경우만 기재)

[단위 : 천원]

연구수 행기관	차수	직급	인원	횟수	국외 출장여비 세부산출 내역		금 액
		소계					
		출장 목적 및 사유					
		당해 연구개발과제 관련 내용					
		국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유					
		출장자				출장 목적지 및 기관	
		출장기간					

7) 연구재료비

(단위: 천원)

구분	내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
연구재료비	표준화된 개량형 80LPM 4마력급 미세기포 세척장비를 개발하기 위한 유지 및 개보수 소모품 및 재료비	17,000	1식	17,000	
총액				17,000	

8) 연구수당

(단위: 천원)

구분	산정 기준	금액	비고
연구수당	인건비 × () % = () 원		
합계			

9) 위탁연구비

_____ 천원

나. 간접비

1) 영리기관의 경우

(주)지티앤 : 3,000 천원(간접 비율 : 3 %)

(단위: 천원)

구분		성명	직위	신규채용 구분	실지 금액 (A)	참여율(%) (B)	합계(A×B/100)		
							현금	현물	계
인력 지원비 (1)	지원인력인건비								
	연구개발능률성과급								
	연구지원전문가인건비								
		소계(C)							

구 분		내역	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
기타 (2)	연구지원비(D)					
	성과활용지원비(E)	특허출원 혹은 등록비 (우선심사 포함)	3,000	1	3,000	
	소계(F=D+E)				3,000	
간접비 총액(G=C+F)					3,000 천원(간접비율: 3 %)	

7. 보안 등급의 분류 및 결정 사유

보안등급 분류	보안	일반
결정 사유		

8. 연구에 활용 예정인 장비 현황

보유기관	연구시설·장비명	규격	수량	용도	활용용도 및 시기

9. 사업화 계획(필요 시 작성)

9-1. 생산 계획

구분		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)	3	5	10
	판매량(단위:)	5	10	25
	판매단가(원)	25,000,000	25,000,000	25,000,000
	국내매출액(백만원)	125	250	625
해 외	시장점유율(%)	0	1	2
	판매량(단위:)	-	3	10
	판매단가(\$)	-	30,000	30,000
	해외매출액(백만\$)	-	90,000	300,000
당사 생산능력 ¹⁾		10대 이상	20대 이상	30대 이상

9-2. 투자 계획

(단위 : 백만원)

항목		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)		77	240	700
판매관리비2)		20	40	60
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/구축물	-	-	-
	기계장치등	15	20	30
자본적지출 합계		112	300	790

9-3. 사업화 전략

○ 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략

가. 참여기업 ((주)평화엔지니어링)

구분	구체적인 내용
형태/규모	◦ 미세기포 세척장비(50L/min급 이상) ◦ 지자체, 도로공사, 민자도로사업 ◦ 대당 2~5천만원 (차량 탑재 대용량: 1억원 예상) ◦ 개발연구원 : 3~5인 투입
상용화 능력 및 자원 보유	◦ 신청기관 도로공사 용역사업 다수 진행 중이며 관련 부서에서 직간접적 으로 세척장비 설계 능력 확보
상용화 계획 및 일정	◦ 상용화 후 2년 이내 사업화 추진

나. 참여기업 ((주)지티앤)

구분	구체적인 내용
형태/규모	◦ 주관기관하고 협조하여 상용화 세척장비(50L/min급 이상) ◦ 지자체, 도로공사, 민자도로사업 ◦ 대당 2~5천만원 (차량 탑재 대용량: 1억원 예상) ◦ 개발연구원 : 2인 투입
상용화 능력 및 자원 보유	◦ 신청기관 도로공사 용역사업 다수 진행 중이며 관련 부서에서 직간접적 으로 세척장비 설계 능력 확보 ◦ 반도체 미세기포 세정용 10대 이상 판매
상용화 계획 및 일정	◦ 상용화 후 2년 이내 사업화 추진

9-4. 사업화를 위한 비즈니스 모델

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 현재 도로시설물 관련한 미세먼지 및 염분 관련된 오염물질 세척은 고압 water jet 방식이 채택되어 사용되고 있으나 높은 동력, 많은 용수 사용량 및 세척효과에 대한 객관적인 성능이 검증되지 않았음.
- 일본 고속도로 회사인 NEXCO-West사는 미세기포 세척원리를 이용하여 교량 구조물 측면에 높은 농도로 부착된 염화칼슘을 제거하기 위하여 미세기포 세척장비를 상용화하였음.
- 따라서 일본 제품보다 우수한 새로운 미세기포 세척장비를 국산화하고 국내 도로시설물에 적용 및 검증을 통해 신규사업화를 모색

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

- 종래 고압세척방식의 적용 한계 도로시설물에 신규 개발된 미세기포 세척장비를 집중공략 및 사업화 확대
- 수한 세척효율을 기반으로 차량에 쉽게 탑재 및 해체 가능한 다목적 미세기포 세척장비 경쟁요인 확보

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 국내 미세기포 발생장치는 약 10개 존재하고 대부분 압축탱크를 기반으로 한 가압용해방식을 채택

(2) 시장 진입 장벽

- 종래 고압세척 장비는 국내외 제품이 매우 치열하게 경쟁하고 있으나 동종 제품간의 세척효율의 차이가 없이 가격경쟁력이 매우 취약하기 때문에 세척이 매우 어려운 시설물에 적용 및 틈새시장을 공략을 통해 시장 진입 장벽 해결

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 지자체, 도로공사, 환경분야, 수산분야, 농업분야, 산업분야 세척관련 기업

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 세탁소, 자동차 세차, 반도체 세정, 금속부품 세정, 화장실/식당 세척, 배관/열교환/냉각탑, 채소 세척 등 다양한 분야에 적용을 통한 수익 창출 가능

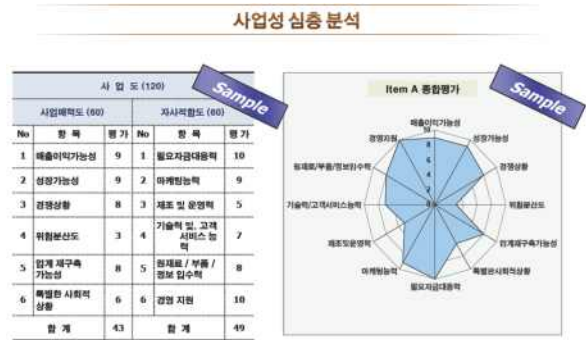


마. 사업화 전략 및 연계방안 수립

- 본 연구에서 개발되는 장치는 관련 시장의 파급적인 효과를 가져올 것으로 판단되며, 향후 공공기관 및 관련 기업을 대상으로 적극적인 사업화를 추진해 나갈 계획임.
- 또한, 연구 수행을 통하여 전문 컨설팅 기관과의 유기적인 협업을 통해 구체적인 사업화 전략 및 방안을 구축해 나갈 계획임.



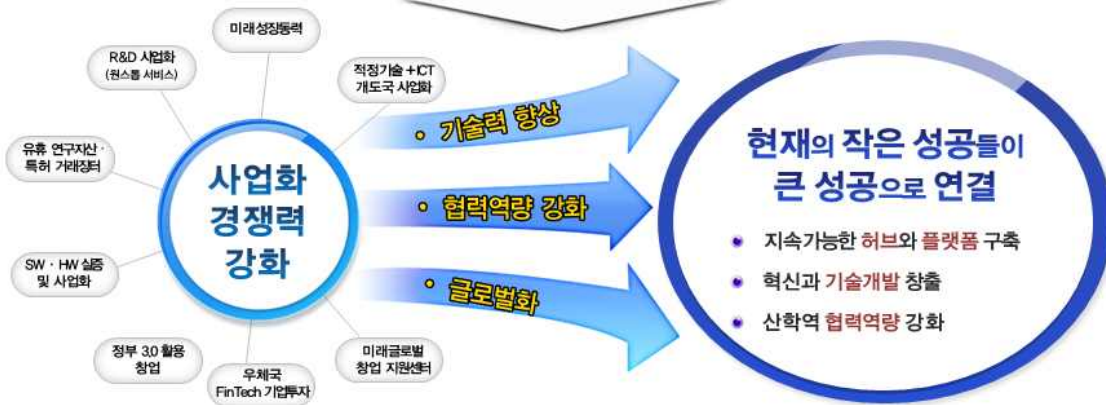
<타겟 시장 동향 분석 툴 구축>



<사업성 심층 조사/분석>

향후 큰 성공을 만들기 위해 협업 역량을 결집

- Death Valley
: R&D 이후 사업화 및 시장진입에 실패하는 현상



<사업화 성공을 위한 관련기관 협업 전략 수립>

10. 연구실 안전조치 이행계획

가. 연구실 안전조치 이행계획

- 연구실 안전교육, 보험가입 및 건강검진 업무
- 연구실 유해위험물의 관리
- 연구실 안전사고 발생시 원인, 경위조사, 사후처리 및 대책강구
- 법령에 따른 안전점검 및 정밀안전진단
- 기타 연구실 환경안전관리에 관한 업무
- 연구실의 안전관리 “주” 담당자는 당해 연구실책임자가 되며, 안전관리 “부” 담당자는 안전관리 “주” 담당자가 연구 활동 종사자 중에서 지정하는 사람이 됨.
- 연구실 입구에는 안전관리담당자(주 및 부)의 이름을 게시하여야 운영함.
- 연구실 안전관리 책임자는 안전사고가 발생할 우려가 있거나 발생한 경우 안전관리 부서에 즉시 보고하고, 매뉴얼에 따른 신속히 사고처리를 실시함.
- 연구책임자 주관 하에 주 1회 안전 교육을 정기적으로 실시함.
- 상시 안전교육 : 매 주 수요일(연구책임자 및 참여연구원)
- 정기 안전교육 : 격월 셋째주 금요일(연구책임자 및 참여연구원)

나. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황(해당 시 작성)

시설 번호	제LML○○ - ○○호	안전 관리 등급	○등급

11. 주요 연구 변경사항(해당 시 작성)

“해당하지 않음.”

구분	당초	변경
차년도		

12. 성과점검기준표(계획)

12-1. 총괄

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황			
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1	1.5HP 이하 30L/min 이상 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	2건	현장조사	결과보고서	2.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	20
					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 이하 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	3건	현장조사	결과보고서	2.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	20
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 이내 80L/min 이상	4HP 이내 80L/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 : > 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 이하 80L/min 이상 차량탑재형 세척시스템 현장 성능평가	①	세척효율 평가 (도로시설)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	2.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>2건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	-	20
					②	세척효율 평가 (터널)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	5				
					③	현장모니터링	6개월	-	현장적용	모니 터링 결과	7.5				
					④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	-	매뉴얼작 성여부	운영 매뉴얼	5				

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황						
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치			
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1	1.5HP 이하 30L/min 이상 세척장비	①	장치제작	1.5HP 이내 30L /min 이상	1.5HP 이내 30L /min 이상	시제품 제작	설계 도면	5	(주)지티앤	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	10			
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kWh 이내	1.1kWh 이내	실내실험	공인 시험서	3.5							
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min 이상	30L/min 이상	실내실험	공인 시험서	3.5							
			2-2	4HP 이하 80L/min 이상 세척장비	①	장치제작	4HP 이내 80L/ min 이상	4HP 이내 80L/ min 이상	시제품 제작	설계 도면	5.5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	10			
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kwh 이내	3kwh 이내	실내실험	공인 시험서	3.5							
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	80L/min 이상	실내실험	공인 시험서	3.5							
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	20 μ m 이내	실내실험	공인 시험서	3.5							
			2-3	4HP 이하 80L/min 이상 차량탑재형 세척시스템	①	장치제작	시제품	-	시제품 제작	설계 도면	5		특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	-	20			
					②	차량탑재형 세척시스템 통합제어	시제품	-	시제품 확인	현장 평가	3.5							
					③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	-	실내실험	공인 시험서	3.5							
			계											100		특허 : 출원 <u>6건</u> 등록 <u>3건</u> 논문 : <u>3건</u> 시제품 : <u>4건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>5건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>2건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	100

12-2. 1차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-1	1.5HP 이하 30L/min 이상 세척장비 단위핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	2건	2건	현장조사	결과보고서	7.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 건	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 건	60
					②	단위핵심 Part 설계	1.5HP 이내 30L /min 이상	1.5HP 이내 30L /min 이상	단위핵심 설계	설계도면	15				
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	해석정확도 90%	단위핵심 설계	결과보고서	15				
					④	시편 세척효율 평가 (도로시실 콘크리트)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	염분 : > 80% PM10 : > 70%	실내실험	공인시험서	22.5				
시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 80% PM10 : > 70%	염분 : > 80% PM10 : > 70%	실내실험	공인시험서											
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-1	1.5HP 이하 30L/min 이상 세척장비	①	장치제작	1.5HP 이내 30L /min 이상	1.5HP 이내 30L /min 이상	시제품 제작	설계도면	15	(주)지티앤	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 1건 S/W : <u> </u> 건	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 1건 S/W : <u> </u> 건	40
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	1.1kWh 이내	1.1kWh 이내	실내실험	공인 시험서	12.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	30L/min 이상	30L/min 이상	실내실험	공인 시험서	12.5				
계											100		특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1건 시제품 : <u> </u> 1건 S/W : <u> </u> 건	특허 : 출원 <u>3건</u> 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1건 시제품 : <u> </u> 1건 S/W : <u> </u> 건	100

12-3. 2차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-2	4HP 이하 80L/min 이상 단위세척장비 핵심Part 설계 및 Lab 테스트	①	현장 조사/분석	3건	3건	현장조사	결과보고서	7.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	60
					②	단위핵심 Part 설계	4HP 이내 80L/min 이상	4HP 이내 80L/min 이상	단위핵심 설계	설계도면	15				
					③	단위핵심 Part 유동해석	해석정확도 90%	해석정확도 90%	단위핵심 설계	결과보고서	15				
					④	시편 세척효율 평가 (도로시설 콘크리트)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	염분 : > 90% PM10 : > 80%	실내실험	공인시험서	22.5				
시편 세척효율 평가 (터널벽면 타일)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	염분 : > 90% PM10 : > 80%	실내실험	공인시험서											
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-2	4HP 이하 80L/min 이상 세척장비	①	장치제작	4HP 이내 80L/ min 이상	4HP 이내 80L/ min 이상	시제품 제작	설계도면	14.5	(주)지티앤	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	40
					②	장치성능 평가 (전력소모량)	3kwh 이내	3kwh 이내	실내실험	공인시험서	8.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 토출유량)	80L/min 이상	80L/min 이상	실내실험	공인시험서	8.5				
					④	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	20 μ m 이내	실내실험	공인시험서	8.5				
계											100		특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	100

12-4. 3차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	1-3	4HP 이하 80L/min 이상 차량탐재형 세척시스템 현장 성능평가	①	세척효율 평가 (도로시설)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	7.5	(주)평화엔지니어링	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>2건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>1건</u> S/W : <u>1건</u>	-	60
					②	세척효율 평가 (터널)	염분 : > 90% PM10 : > 80%	-	현장적용	공인 시험서	15				
					③	현장모니터링	6개월	-	현장적용	모니 터링 결과	22.5				
					④	운전매뉴얼	장치운영매뉴얼 개발	-	매뉴얼작 성여부	운영 매뉴얼	15				
공동	2	미세기포 세척장비 개발	2-3	4HP이하 80L/min 이상 차량탐재형 세척시스템	①	장치제작	시제품	-	시제품 제작	설계 도면	15	(주)지티앤	특허 : 출원 <u>1건</u> 등록 <u>1건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	-	40
					②	차량탐재형 세척시스템 통합제어	시제품	-	시제품 확인	현장 평가	12.5				
					③	장치성능 평가 (미세기포 크기)	20 μ m 이내	-	실내실험	공인 시험서	12.5				
계											100		특허 : 출원 <u>2건</u> 등록 <u>2건</u> 논문 : <u>1건</u> 시제품 : <u>2건</u> S/W : <u>1건</u>	-	100

○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	미세기포 세척장비 성능평가 및 현장적용	◦ 차량탐재용 4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작	⑥	(주)평화엔지니어링	3	8
2	미세기포 세척장비 개발	◦ 4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생하는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	⑤	(주)지티앤	3	8

○ 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1		
정의	◦ 4HP(3kWh) 이내 80L/min 이상 미세기포 세척장비를 이용하여 도로시설물(터널 벽면, 도로노면(콘크리트), 방음벽) 및 교량(콘크리트 상부/측면, 기둥, 철근구조물) 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 제거효율 평가 및 운영관리지침서 제작	
목적	◦ 종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발	
성능목표	(기존기술 수준) 해당사항 없음 (개발기술 수준) 염화칼슘 제거효율 90%, PM10 제거효율 80%	
성과달성 책임자 (소속기관)	박 일 건((주)평화엔지니어링)	
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	◦ 오염물질(염화칼슘, 미세분진) 측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건, 등록 : 2건
	논문	SCI(E) : 0건, 학술지 : 3건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	운영매뉴얼 1건

핵심성과 2		
정의	◦ 4HP(3kWh) 이내 소모전력과 80L/min 이상 토출유량을 갖는 20 μ m 이하의 미세기포를 발생하는 세척장비를 규격화된 차량에 콤팩트하게 탑재가능한 시스템	
목적	◦ 종래 고압 Water Jet 세척 장비 대비 저동력, 높은 세척효율을 갖는 도로시설물에 적용가능한 미세기포 세척장비를 개발하여 용수사용량 절감, 세척효율 개선 및 세척시간 단축 목적으로 개발	
성능목표	(기존기술 수준) 일본제품으로 100nm~20 μ m 이내 60L/min 소용량 미세기포 세척장비 (개발기술 수준) 100nm~20 μ m 80L/min 이상 다목적 차량탐재형 미세기포 세척장비	
성과달성 책임자 (소속기관)	조 일 형((주)지티앤)	
소요기간	'18.04 ~ '20.12 (33개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	◦ 소요동력 4HP(3kWh) 이내 전력량계, 토출유량(80L/min 이상) 유량계 및 기포크기(20 μ m 이내) 입자계수측정 등 국가공인시험기관에 의뢰하여 성과달성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건, 등록 : 1건
	논문	SCI(E) : 0건, 학술지 : 0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건