

(옆면)

(앞면)

20CTAP-
C157760-01

최종보고서 2022
Thermoacoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개소산 장치개발

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

보안 과제 (), 일반 과제 (○) / 공개 (), 비공개 () 발간등록번호 ()
국토교통과학기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 20CTAP-C157760-01

Thermo-Acoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개소산 장치개발 최종보고서

2022. 04. 25.

주관연구기관 / 성균관대학교 산학협력단
공동연구기관 / 앤츠이엔씨(주)

국토교통부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘Thermo-Acoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개 소산 장치 개발’ (연구개발 기간 : 2020. 04. 13. ~ 2021. 12. 31.) 과제의 최종보고서(안)을 제출합니다.

2022. 04. 25.

주관연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단 (박선규)
공동연구기관명 : 엔츠이앤씨 주식회사 (이상준)



주관연구기관책임자: 김 윤 제
공동연구기관책임자: 이 상 준

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C157760-01	해당 단계 연구 기간	2020. 04. 13- 2021. 12. 31 (21개월)	단계구분	(2)/(2)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구			
연구과제명	대과제명	Thermo-Acoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개소산 장치 개발			
	세부과제명	Thermo-Acoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개소산 장치 개발			
연구책임자	김 윤 제	해당단계 참여연구원 수	총: 15명 내부: 15명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 210,000천원 민간: 52,500천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 262,500천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 18명 내부: 18명 외부: 명	총 연구비	정부: 370,000천원 민간: 95,500천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 462,500천원
연구기관명 및 소속 부서명	성균관대학교 산학협력단			참여기업명	앤츠이엔씨 주식회사
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

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

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	목적: 상기 원천기술과 벤치스케일 시스템 검증 및 운영기법 등 기반기술 확보 내용: 안개의 상태에 따른 소산 메커니즘 규명, 안개의 상태에 영향을 미치는 소산입자분석, 안개소산을 위한 열음향 및 방출입자 제어기법 확립, 벤치스케일 안개소산 시스템 제작 및 검증, 후속연구개발 및 실용화 방안 마련				
연구개발성과	안개의 특성 및 소산 방법 사례 조사 및 분석 보고서 국내외 안개소산 장치 사례 조사 및 특허 조사 보고서 SCD 방사 노즐 시스템 관련 논문 및 설계 보고서 열음향파 관련 논문 및 설계 보고서 안개소산 장치 특허 출원				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1) 안개소산 메커니즘 - 미래원천기술에 해당하는 기술로서 안개소산을 제어하는 방법의 개발, 소산장치의 개발, 실내외 기후조절을 위한 기초이론 등으로 활용 가능 2) 소산입자 방출노즐 및 시스템 - 소산입자를 정해진 구역으로 각도, 거리, 밀도 등을 종합적으로 분석 평가하여 방출하는 정밀기술로써 안개소산시스템에서 입자방출장치뿐만 아니라 화재진압을 위한 노즐 개발, 세척장치 개발 등에 효과적으로 적용 가능 3) 안개소산을 위한 소산입자 및 열음향파 방출 제어기법 - 안개와 소산입자의 반응메커니즘, 안개 및 소산입자와 열음향파의 반응메커니즘이 원천기술이며, 융합된 메커니즘에 의하여 다양한 안개소산에 활용 4) 벤치 스케일 안개소산시스템 및 제어장치 - 벤치 스케일 시스템은 개발기술의 홍보에 활용				
국문핵심어 (5개 이내)	안개소산	열음향파	응고	침강	공항 활주로
영문핵심어 (5개 이내)	Fog dissipation	Thermo-acoustic wave	Solidification	Sedimentation	Airport runway

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발과제의 최종 목표	1
나. 연구개발과제의 년차별 목표	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	4
가. 연구개발의 목표 및 내용	4
나. 연구개발 추진전략·방법	6
다. 연구개발 추진체계	7
라. 추진일정	8
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	9
가. 연구수행 결과	9
나. 정량적 연구개발성과	53
다. 세부 정량적 연구개발성과	54
라. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책	66
4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	67
5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	68
< 별첨 >	70

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발과제의 최종 목표

- 상습적인 안개발생구역에 소산입자(가스 또는 흡습성 물질)와 열음향파(thermo-acoustic wave, TAW)를 이용하는 복합 메커니즘(condensation, evaporation, bouyancy effect, etc.)을 통한 안개소산 기술 개발
 - SCD를 이용한 안개소산 메커니즘 규명
 - 열음향파가 안개소산에 미치는 영향 분석
 - SCD와 열음향파를 이용한 안개소산의 복합 메커니즘 규명
 - 안개소산 노즐 및 열음향파 캐논 개발 및 시작품 제작
 - 방사거리 50m SCD 노즐 시작품 제작
 - 유효사거리 50m 0.5kHz ~ 30kHz 열음향파 캐논 시작품 제작

나. 연구개발과제의 년차별 목표

○ 1차년도(2020)

- 개발 목표
 - 주관연구기관(성균관대학교 산학협력단) : 방사거리 50m, 방사각 100° 를 갖는 SCD 방사 노즐 개발
 - 공동연구기관(엔츠이엔씨 주식회사) : 수치해석기법을 활용한 0.5kHz ~ 30kHz 열음향파 캐논 개발(사거리 50m)
- 개발 내용 및 범위

구분	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
1차 년도 (2020)	방사거리 50m SCD seeding 노즐 기술개발	■ 국내외 선행연구 및 특허 벤치마킹	• 국내외 선행연구 조사 • 안개소산 장치관련 국내외 특허 조사 • 선행 연구를 통한 안개소 산 장치 노즐 벤치마킹
		■ 수치해석 기법을 활용한 SCD 노즐 설계 ■ 방사모듈 시뮬레이션/최적 설계안 확립	• 선행 연구조사를 통한 노 즐 개념 설계 • 수치해석을 통한 SCD 방 사 노즐 유동 해석 및 방 사 거동 계산

			• 다양한 노즐 형상에 따른 수치해석 수행 • 수치해석 결과를 이용한 방사 노즐 시스템 설계 및 제작
		■ SCD 방출량에 따른 안개 소산 효과 평가	• Lab-scale 실험장치 설계 및 제작 • SCD 방출량에 따른 안개 소산에 미치는 영향 실험 수행
	유효 사거리 50m 0.5kHz~30kHz 열음향파 캐논 기술 개발	■ 국내외 안전규제 및 기준 검토	• 국내 주파수 사용범위 조사 분석 • 안개에 대한 공향, 도로 규제 및 법규 조사 분석
		■ 국내외 산업 및 기술동향	• 국내외 열음향파 관련기술 조사 분석 • 국내외 열음향파 산업동향 조사 분석
		■ 실험장치 제작 및 열음향파를 이용한 안개 소산 실험 ■ 안개생성 조건 경계조건 입력 후 주파수 유효사거리 시뮬레이션	• Lab-scale 실험장치 설계 및 제작 • 시뮬레이션을 구동하기 위한 해석기법 조사 • 시뮬레이션에 필요한 경계 조건 확립 • Comsol(상용소프트웨어)을 이용한 주파수 이동에 대한 시뮬레이션 결과 분석

○ 2차년도(2021)

- 개발 목표

- 주관연구기관(성균관대학교 산학협력단) : 신뢰성 기반 방사거리 50m, 방사각 100° 를 갖는 SCD 방사 시스템 구축
- 공동연구기관(엔츠이엔씨 주식회사) : 실험기반 0.5kHz ~ 30kHz 열음향파 안개 소산 시스템 개발

- 개발 내용 및 범위

구분	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
2차년도 (2021)	방사거리 50m SCD seeding 노즐 기술개발	■ 시스템 노즐 등 방출 시스템 설계	• 수치해석을 통한 SCD 방사 노즐 설계 및 제작 • 노즐 성능 평가

		■ 국내 공항 활주로, 도로 시스템 검토 및 안개소산 시스템의 구성요소 확립	• 국내 외 안개관련 도로 시스템 조사 및 구성요소 확립 • 안개소산 시스템 구성요소 확립
		■ 방사각 및 방사거리, 방사 밀도 제어기능 확인 ■ 안개소산 및 제어시나리오 확립	• SCD 방사밀도 조절을 위한 screw feeder 설계 및 제작 • 수동식 각도 조절 장치 설계
	유효 사거리 50m 0.5kHz~30kHz 열음향파 캐논 기술 개발	■ 안개소산을 위한 열음향파 특성 실험 ■ 벤치스케일 안개소산시스템 설계 및 제작	• 열음향파 특성 파악을 위한 실내 실증 실험 수행 • 벤치스케일 안개소산시스템 설계 및 제작 • 안개소산시스템 성능 평가
		■ 소산입자 및 열음향파 통합제어 알고리즘 ■ 시스템 종합평가 및 보완	

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	SCD 노즐 개발	방사 노즐 SCD 최대 방사거리	-	50m	성과보고서 참조	35
		방사 노즐 SCD 방사 각도(이미지 검사)	-	100°		20
	캐논(cannon) 개발	열음향파 최대 도달거리(파장 측정)	-	50m		25
		열음향파 방사 캐논의 noise level 측정	-	150dB		20
2년차 (2021)	안개소산 시스템	육안 가시거리 평가 (3자 입회)	-			70
		투과율 측정 (3자 입회)	-			30

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 연구개발의 목표 및 내용

○ 연구개발의 최종 목표 및 최종성과물

구분	내용
최종 목표	50m 방사거리를 갖는 열음향파, solid-carbon-dioxide 기반 안개소산 장치 개발
세부 목표	- 안개 상태에 따른 소산메커니즘 규명 및 안개소산입자 방사 노즐의 최적설계인자 도출 - 안개소산을 위한 열음향 및 방출입자 제어기법 확립 및 안개소산입자 방출시스템 설계 - 안개소산시스템 bench scale 설계 - 벤치 스케일 안개소산시스템 제작 및 검증 - 후속 연구개발 및 실용화방안 마련

○ 실험 검증 항목

항목	내용	검증 방법
방사거리	노즐에서 방사되는 solid-carbon-dioxide의 최대 방사 거리 측정	3자 입회 검사
방사각	이미지를 이용하여 노즐에서 방사되는 solid-carbon-dioxide의 방사각 측정	자체 시험
소음 측정	사방 1m 거리에서 소음을 측정하여 암소음을 배제한 순소음 측정	3자 입회 검사
육안 가시거리	Test bed 공간에서 가시거리 1m 이내, 안개소산장치 작동시 육안 가시거리 측정	3자 입회 검사
투과율	Test bed 공간에서 가시거리 1m 이내, 안개소산장치 작동시 투과율 측정	3자 입회 검사

○ 연구 개발 내용

- 안개 발생 원리 및 특성 조사 및 분석
 - 국내외 안개 발생 원인을 통한 안개 특성 조사 및 원인별 안개소산기술 분석
 - 안개 상태에 따른 안개 소산 메커니즘 특성 조사 및 분석
 - 안개소산기술 사례 조사
- 안개소산 방법 및 메커니즘 사례조사
 - 국내외 안개소산 장치 사례 조사
 - 안개소산 메커니즘 조사
- 복합 메커니즘 분석 및 lab-scale 실내실험장치 설계 및 제작
 - 재현성 확보를 위한 실내 안개 챔버 제작

- 복합메커니즘 분석을 위한 실험
 - 안개소산기술의 영향 평가
- 소산입자(SCD) 방사를 위한 노즐 설계
- 방사거리 50m, 방사각 100° 를 가지는 노즐 설계
 - 수치해석을 이용한 최적 노즐 형상 도출
- 방사 노즐 시스템 제작
- 수치해석 결과를 기반으로 노즐 시스템 설계
 - 방사거리, 방사각 그리고 방사밀도 제어
- 열음향파 발생 장치 설계
- Multiphysics 해석을 바탕으로 열음향파 설계
 - 유효사거리 50m, 0.5kHz ~ 30kHz 열음향파 발생 장치 설계
 - 열음향파 방사 시스템 설계 및 제작
- 안개소산 장치 시험 및 성능 평가
- 안개소산기술의 소산 성능 평가
 - 안개소산 시스템 성능 평가



그림 1. 안개제어시스템 개요도

나. 연구개발 추진전략 · 방법

○ 연구개발 추진전략

- 본 연구를 추진하기 위한 전략으로 기술정보 수집, 전문가 확보, 타기관과의 협조방안, 제반 문제점 해결 등과 관련하여 다음과 같이 전략을 수립하여 추진하고자 함
 - 기술정보수집: 국내외 전자도서관과 인터넷 서핑, 해외 네트워크를 이용하며, 주관기관인 성균관대학교에서 각종 논문, 특허 정보를 획득하고 이를 기반으로 선행 연구를 조사함
 - 전문가확보: 국내 및 해외 전문가 네트워크를 구축하여 국제 세미나 및 컨퍼런스에 참여하여 관련 정보를 획득함
 - 타 기관과의 협조방안: 건설교통부 유관관련 부서, 기상청 연구소 등과 교류협력 추진
 - 연구개발방법론에 있어서 본 연구의 아이디어를 구체적으로 실현하기 위하여 관련 특허나 선행연구를 분석하고, 기관별 보유하고 있는 기술을 해석 및 실험적 검증 등을 통하여 개선(기반기술과 애로기술 해결을 위한 공학적 지식 융합)하는 방식으로 수행함
 - 1차년도: 안개소산입자 방사 노즐 설계 및 수치해석 수행
 - 2차년도: 기반기술과 애로기술 해결을 위한 공학적 지식 융합(해석, 실험)과 시작품 설계, 제작 및 평가
-

다. 연구개발 추진체계



라. 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
총괄															
주관	성균관 대학교 산학협력단	A	A-1	A-1-①	세부 계획 수립 및 자료 조사										
					안개소산 시나리오 작성										
					안개 상태에 따른 소산 메커니즘 규명										
					보고서 작성	보고서									
		A	A-2	A-2-②	안개 소산입자 방출노즐의 최적인자 도출										
					안개 소산입자 방출노즐의 수치해석 수행										
					열음향 시스템과의 연계방안 마련										
					안개소산시스템 제작 및 검증	시작품									
					보고서 작성	보고서									
공동	엔즈이엔씨 주식회사	B	B-1	B-1-①	세부 계획 수립 및 자료 조사										
					안개의 상태에 영향을 미치는 소산입자 분석										
					보고서 작성	보고서									
		B	B-2	B-2-②	가열시스템 시뮬레이션/ 최적설계 확립										
					개발 시스템 적응성 평가 및 기준 도출										
					보고서 작성	보고서									

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

가. 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

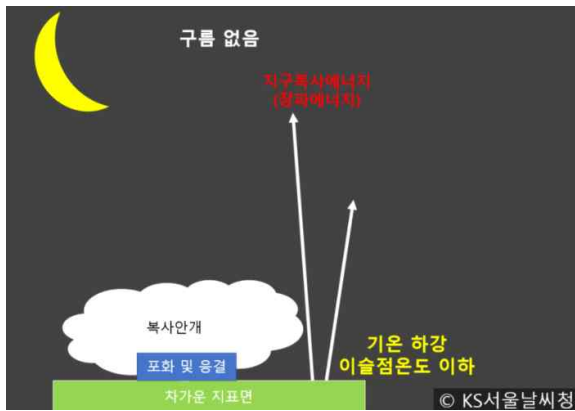
○ 안개 발생 원리 및 특성 조사 및 분석

- 안개

- 안개는 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 의해 미세한 물방울이 공기 중에 부유하여 시야를 감소시키는 기상 현상으로 정의됨
- 대기 중에 수증기가 많이 포함되어 있어야 하며, 기온이 이슬점 아래로 내려가 공기가 포화상태에 이르고 수증기가 물방울로 응결되어야 함
- 수증기가 응결핵을 중심으로 응결하면 구름이나 안개가 되는데 이때 지표면에 접하고 시정이 1km 이하일 때 이를 안개라고 정의
- 통상 상대습도 100%에 달하며, 안개가 낮고 연직 방향으로 얹어서 하늘이 들여다보이는 것으로 낮은 안개, 사람이 서 있을 때 눈높이에서는 1km 이상의 먼 곳까지 확실히 보이고, 지표면 가까이 낮게 깔려있는 안개를 얇은 안개 또는 땅안개라 함
- 따뜻하고 습한 공기가 지표 가까이의 차가운 공기와 만나거나 주변에 수증기의 공급원이 많아 습도가 높을 경우 안개가 잘 발생
- 안개가 지속적으로 발생하려면 바람이 약해야 하고(풍속 2~3m/s 이하), 지표면 부근의 공기가 안정되어야함
- 안개는 다음과 같은 조건일 때 발생함
 - 1) 공기가 수증기를 다량 함유하고 있을 것
 - 2) 대기 중에 응결을 촉진시키는 흡습성의 미립자(응결핵)가 많이 부유하고 있을 것
 - 3) 공기괴(공기덩어리)가 노점 온도 이하로 냉각될 것
 - 4) 공기괴에 외부에서 다량으로 수증기를 공급할 것
 - 5) 특별한 경우를 제외하면, 바람이 약하고 상공에 기온의 역전이 존재할 때 발생
 - 6) 일반적으로 97% 이상의 높은 습도에서 발생하지만, 공장지대에서는 응결핵이 많으므로 습도가 80% 정도인 경우에 발생

1) 복사안개(radiation fog)

- 우리나라 내륙에서 가장 빈번하게 발생하는 안개로써 주로 가을철에 발생빈도가 높으며, 고기압권에서 바람이 약하고 지상에서 925hPa 부근까지, 혹은 그 이상의 고도까지 역전층이 형성 될 경우 발생
- 주로 새벽과 아침 사이에 발생하고, 일출 후 2~3시간 정도까지 이어지나, 역전층과 지면 부근의 포화된 층의 두께가 두꺼우면, 일출 후 3시간 이상 길어짐
- 2006년 서해대교 29중 추돌사고가 복사안개로 인한 대표적인 피해 사례

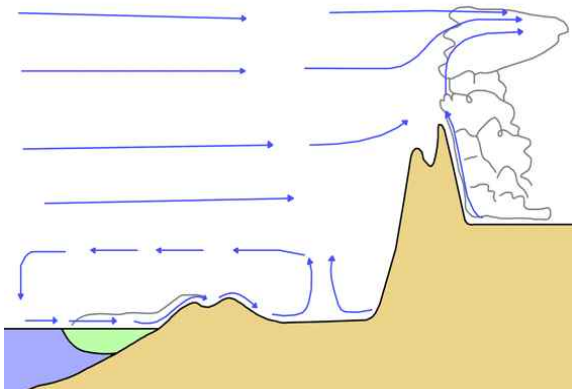


출처: 서울 기상센터 블로그(<https://m.blog.naver.com/jungiinkim97/221228009422>)

그림 2. 복사 안개

2) 이류안개(advection fog)

- 차가운 해수면 위로 따뜻한 공기가 근접하여 포화될 때 발생
- 지상에서 925hPa 고도 내의 풍계에 따라 내륙으로 들어오기도 하며, 안정한 대기상태에서 내륙의 복사안개와 동시에 만들어질 경우 이류안개는 더욱 오래 지속됨
- 해수면 온도보다 기온이 높은 4~10월 사이에 나타남. 특히, 서해상의 이류안개는 남서기류가 강화되는 5, 6, 7월에 집중되며, 이 중 7월에 발생빈도가 가장 높음

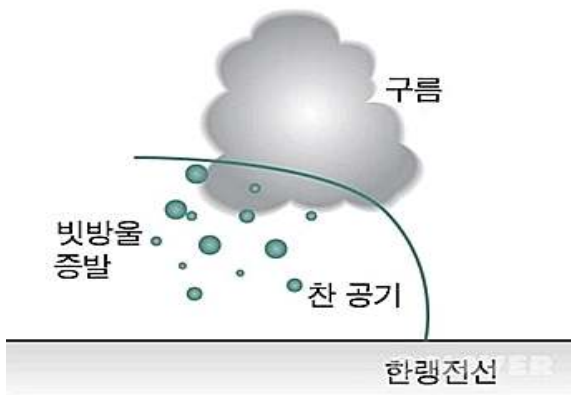


출처: 서울 기상센터 블로그(<https://m.blog.naver.com/jungiinkim97/221228009422>)

그림 3. 이류 안개

3) 전선 안개(frontal fog)

- 상층의 따뜻한 공기에서 내리는 비가 차가운 지면에 떨어지면서 증발과정을 통해 포화되거나 과포화되어 발생
- 보통 지상의 저기압 중심부근에서 발생
- 증발에 의해 공기 중으로 수증기가 들어가 생기는 증발성 안개
- 전선을 따라 두 기단이 혼합해서 생기는 안개
- 온난전선의 통과에 앞서서 빗방울에서 증발된 수증기가 찬 공기 내에서 생기는 안개
- 전선 통과 후에 비가 와서 습해진 지표 위로 생기는 안개



출처: 서울 기상센터 블로그(<https://m.blog.naver.com/jungiinkim97/221228009422>)

그림 4. 전선 안개

4) 증발 안개(steam fog)

- 차갑고 습한 공기가 따뜻한 해면으로 흘러와 해면에서 수증기를 보급받아 발생
- 해면이 따뜻하므로 공기의 상하 혼합이 자발적으로 일어나 목욕탕에서 김이 오르는 것과 같은 현상
- 기온이 낮아 0℃ 부근 이하이고, 해수온과 기온의 차가 대략 8℃ 이상일 때 발생
- 이른 봄이나 겨울철에 해수나 호수에서 물과 공기의 온도 차이 때문에 발생

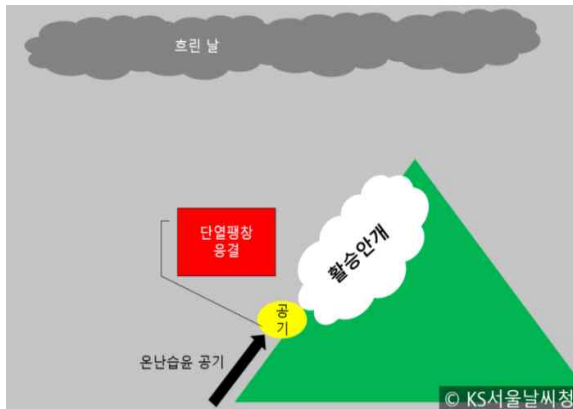


출처: 서울 기상센터 블로그(<https://m.blog.naver.com/jungiinkim97/221228009422>)

그림 5. 증발 안개

5) 활승 안개(upslope fog)

- 습한 공기가 사면을 따라 상승할 때 발생
- 구름도 같은 메커니즘으로 생기므로 활승안개의 구성입자와 형태는 구름과 비슷함
- 안개와 구름은 그 구성입자나 미세한 물방울이라 같은 것이라 할 수 있지만 편의상 지면에 접한 것을 안개라 하고, 공중에 떠있는 것을 구름이라 칭함



출처: 서울 기상센터 블로그(<https://m.blog.naver.com/jungiinkim97/221228009422>)

그림 6. 활승 안개

○ 안개소산기술 및 메커니즘 사례조사

- 안개소산기술은 안개로 인해 발생하는 피해를 줄이고자 안개를 인위적인 방법을 이용하여 제거하거나 약화하는 기술
- 안개는 생성온도에 따라 냉안개(cold fog, 0℃ 이하)와 온안개(warm fog, 0℃ 이상)로 구분되며, 안개소산기술은 안개입자를 소산시키기 위한 물리적 특성이 온도에 민감하기 때문에 안개의 생성에 따라 다른 기술들이 적용됨
- 안개소산기술은 다양한 메커니즘에 의해 소산되며, 물리적인 메커니즘은 크게 침강시키거나 증발시키는 두가지 방법으로 나누어짐
- 중력 침강(gravitational sedimentation)을 이용한 안개소산기술은 핵화(nucleation), 응결(condensation), 충돌(impaction) 등의 과정에 의해 진행되며 흡습성물질이나 냉각물질을 이용한 안개소산기술이 이에 속하며, 증발은 안개 영역을 강제로 가열시켜 열에너지를 부가하여 액체 상태인 안개입자를 기체 상태로 변화시켜 소산시키는 방법
- 열을 이용한 안개소산기술은 안개 내부에 존재하는 안개입자를 직접적으로 가열시켜 소산시키기 때문에 많은 양의 열을 필요하며, 이외에도 화학물질을 이용한 안개소산기술은 빙정핵이나 응결핵의 역할을 할 수 있는 화학물질을 안개에 방사(seeding)하여 안개입자의 크기나 개수, 수함량(liquid water content) 등의 물리적 성질을 변화시키는 원리를 이용
- 화학물질의 종류에 따라 빙정핵 및 냉각물질 방사(glaciogenic seeding)와 흡습성물질 방사(hygroscopic particle or droplet seeding)로 구분되며, 일반적으로 냉각물질을 적용하여 빙정핵으로 작용하는 경우 0℃ 근처에서 쉽게 활성화됨

표 1. 연도별 안개소산 기술의 역사

연도	내용
1910 ~ 1930년	비행기에서 전자기적 성질을 띤 모래(electrified sand) 낙하 [단점] 활주로에 모래가 쌓이는 문제 발생
1935년	활주로 양측에 분무기(sprayer)를 설치하고 염화칼슘(CaCl ₂) 가루 방사 [단점] 분무기 규격이 커 사용이 어렵고 염화칼슘의 강한 부식 문제 발생
1946년	비행기에서 드라이아이스(solid-carbon-dioxide) 낙하 [단점] 차가운 안개에만 적용 가능
1946 ~ 1953년	공항에서 FIDO 시스템(석유가 연소될 때 발생하는 열을 이용한 안개제거시스템) 운영 [단점] 연료 대량 소모, 그을음 및 안전상 문제 발생
1969년	따뜻한 안개에 요소 등 신 화학물질 방사 [단점] 화학물질 대량 필요
1970 ~ 1980년	레이저빔, 열기구, 초음파, 마이크로파, 헬리콥터 등 신 안개조절장치 이용 [단점] 효과 검증 실패, 효율에 비해 고가의 설치·운영 비용
1973 ~ 1988년	공항에서 천연가스를 원료로 하는 새로운 FIDO 시스템 운영 공항에서 제트엔진의 뜨거운 바람을 이용하는 안개제거시스템 운영 [단점] 고가의 설치·운영 비용
1984년	우주비행선 착륙에 물을 이용한 안개제거시스템 운영 계획 [단점] 계획만 되고 실제 활용되지 못함
1986년	공항에서 전기역학 에너지를 이용한 안개제거시스템 운영 [단점] 효과 검증 실패

출처: 흡습성물질을 이용한 안개조절 실험 수행에 대한 가이드라인, 응용기상연구과, 2013

○ 국내 외 안전규제 및 기준 검토

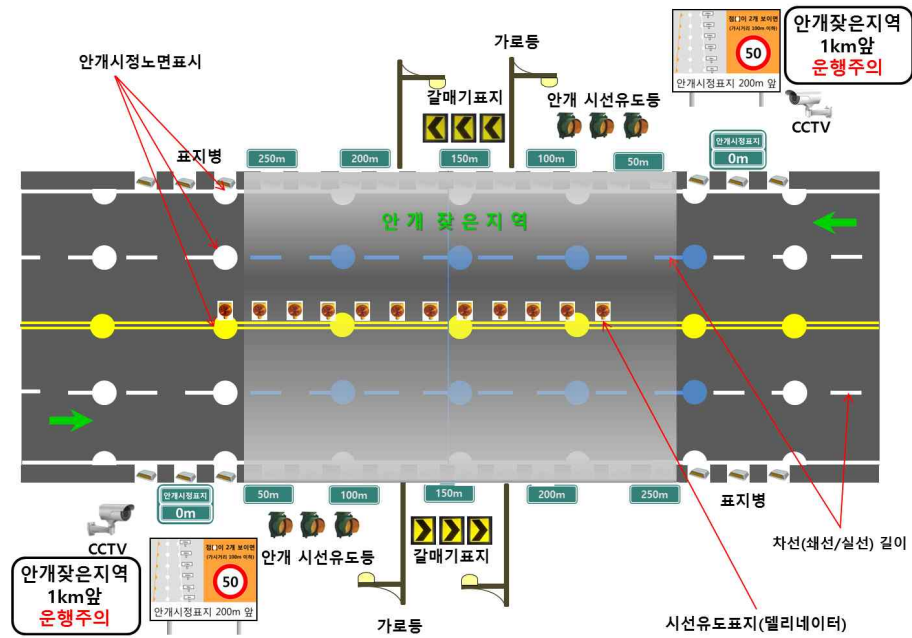
- 국내

1) 안개와 같은 자연재해에 대한 피해를 최소화 하고자 선제적 대응이 필요함

- 안개 발생시, 위기경보 단계별로 안전속도를 규정하고, 도로전광표지(VMS) 및 가변형 속도제한표지 등을 활용해 안전속도를 운전자에게 안내('20.11~)할 계획임

*(예시) 주의(시정거리 250m↓ : 20% 감속), 경계(100m↓ : 30%), 심각(50m↓ : 50%)

- 바람에 취약한 케이블 교량의 진동 문제(사례: 천사대교)를 근본적으로 해결하기 위해 설계기준 개정 등의 방안도 강구하고 있음('21)



출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

그림 7. 도로상 목측 시정거리 추정 방안 구성도

표 2. 주요 안개 대비 안전시설

도로 선형 안내 및 차로 이탈 예방	시선유도표지	LED시선유도등	안 개 등
	낮은 가로등	방 무 벽	노면요철포장
정 보 제 공 안 내	도로전광표지(VMS)	가변속도제한표지	차로제어시스템
	안개주의표지	안개예고표지	안개시정표지



출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

2) 국토교통부는 안개에 따른 교통사고 예방을 위해 R&D로 개발된 안개제거장치를 시범 설치하여 그 성능을 검증 중에 있음

- 현재 국도에 설치된 70대 중, 20대는 정상 가동되고 있으며, 나머지 50대는 자동제어기능 고장으로 수동 운영
- 국토교통부는 영종대교 106중 추돌사고('15.2.11) 계기로 안개취약구간 지정, 과속단속 강화, 안전시설(경고등, 시정계 등) 설치 등 ‘안개상습구간 도로교통 안전관리 대책’을 마련하여 지속 추진 중

3) 대비활동

- 기상청 등의 자료를 바탕으로 기상상황 관측 및 예보 모니터링
- 기상청 등의 자료를 바탕으로 안개발생상황을 지속적으로 파악
- 안전순찰 시 안개구간·발생시간·시정거리 등을 지속적으로 확인
- 안개발생구간, 발생시간, 시정거리 등을 파악하여 유관기관 전파

4) 안개 발생 시 운전자 정보제공

- 시정거리에 맞도록 도로전광판(VMS)을 통하여 감속문구 표출 및 추월금지, 간격유지 등 구체적 행동요령을 명시
- 안개발생 시 운전자 시야제한 상황을 고려하여 비상방송 설비를 통한 경고방송을 실시하고, 교통방송이나 민간 내비게이션 등을 활용해 차량 내 운전자에게 안개정보 제공
- 고속도로 요금소에서 진입차량의 안전운행 당부, 홍보물 배포

5) 도로 운영관리 강화

- CCTV, 시정계 등을 통해 안개발생 확인 시 해당구간에 대한 현장순찰을 실시하고 안개 시정거리를 산정
- 시정거리가 악화 시 단계별 비상근무 기준에 따라 안개상황 종료 시까지 비상상황실 운영
- 교통사고 예방을 위해 전광판 상 감속운행 문안 표출, 유관기관 및 민간 내비게이션 업체에 정보제공

- 인근 줄음쉼터, 요금소, 갓길 등에 통제인력, 사고처리 장비 등을 사전 배치하고 순찰 중대 및 안전운전 제도 실시
- 교통통제 가능성에 대해 경찰과 사전협의, 소방, 의료, 견인차 등 사고 시 신속대응을 위한 유관기관 연락 실시

6) 안개상태에 따른 월별 교통사고

- 2018년 발생한 안개상태에 월별 교통사고를 누적하여 분석한 결과 사고발생건수가 11월이 가장 높게 나타났으며 7월이 가장 낮게 분석됨
- 사망자는 11월이 가장 높았으며, 치사율은 10월부터 상승하여 11월이 가장 높고 6월부터 낮아지는 것으로 분석됨

표 3. 2018년 안개 발생에 따른 교통사고 월별 현황

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
발생건수	20	10	48	14	13	3	1	3	7	47	90	26
부상자수	40	14	72	28	25	5	2	5	11	59	156	45
사망자수	2	1	6	0	2	0	0	0	0	7	8	3

출처: 통계청

- 해외

- 해외의 경우 안개의 제거적 측면보다는 안개정보 시스템 등의 간접적인 대응이 주로 이루어짐

Forensic Weather Consultant (미국)	기상감정 및 컨설팅 서비스	기상감정	- 특정 지역의 기상 조건에 대해 심층 분석 - 보험청구 및 법적 분쟁 사건에 보고서, 진술서 재판 증거자료 제공 - 눈, 얼음, 실내 젖은 바닥에서 미끄러짐, 우박 및 바람으로 인한 손상 및 피해 청구, 홍수, 허리케인, 선박 및 운송 사고, 피로 및 저체온 사고, 폭우나 안개 등으로 인한 자동차 사고 조사
Weather Watch (미국)	업종별 기상 컨설팅 제공 서비스	기상컨설팅	- (농업) 수확 조건, 일정계획, 서리 보호, 날씨 전망 등을 고객 특성에 맞게 제공 - (시설 및 전력 관리) 최고점/최저점, 서리, 습도, 강우량, 풍속 및 풍향, 이슬점, 일조시간, 온도등고선지도, 해수면 온도, 상부 공기 패턴 등을 제공하여 에너지 산업의 장기 예측 정보 제공 - 영화 및 방송 제작산업) 온도, 바람, 강우, 안개, 습도, 대기상태, 해돋이, 일몰, 일광관련 정보 제공 - (건설) 잠재적인 기상 요인을 정확하게 분석

			하여 수익에 대한 안정성 확보 및 부정적 영향 제거를 위해 온도, 강수량, 풍속, 일조시간, 장기 예보, 통계적 전망 등의 정보 제공 - (라디오 방송) 기상관측소에 일반 및 농업 기상 라디오 방송 제공(캘리포니아, 오레곤, 워싱턴에서 총 16개)
AMECS (Applied Meteorological Engineering Consulting Service, 미국)	의사결정지원 서비스	기상컨설팅 및 기상감정업	- 기상 관측·조사 - 자연에너지(풍력, 태양광 등) 도입 계획 제안 - 농경지 시설·환경 개선·조정 방법 조언 - 안개 특성 파악 기반 안전시설 검토·제안 - 도로 기상 관측 및 자동차 관측 장비에 의한 이동 기상 관측실시 - 터널 및 건물, 교량 주변의 특수 기상 환경 조사(기온·습도·바람의 관측 바탕의 구조물 영향 조사) - 눈보라 관측 데이터 기반 시정 장애 대책 제안 - 현지 및 항공조사에 의한 눈사태 위험도 판정, 시뮬레이션 결과 기반 대책 제안 - 로켓 발사 및 인공 강우 시 항공기 이용 기상 관측실시
Centro Epson Meteo (이탈리아)	기업 의사결정지원 서비스	기상컨설팅	○ 산업별 맞춤형 기상서비스 1) 에너지 ‘Energy Weather Solution’ - 전력 및 가스 생산, 에너지 저장, 유통, 거래 등에 필요한 날씨정보 제공 - 전력 생산량에 대한 시간별 예측 정보 제공 2) 교통 ‘Weather Warning Solutions’ - 도로, 다리, 지하철, 철도 등 특정 교통구간의 온도, 안개, 눈, 비, 누적 강수량 등에 대한 기상정보를 바탕으로 공공안전성 향상 및 위험 최소화, 유통·운송 활동 최적화 지원 3) 해양 ‘Marine Weather Solutions’ - 안전한 항해 및 선박작업 활동을 위한 해양 모니터링 및 위험기상 예측 정보, 항구 및 주변지역 날씨정보 제공 - 해양 오일 및 가스탐사, 해당 작업을 위한 유·무인 항공기 운항 시 필요한 기상정보 제공 - 기름유출 사고 발생 시 해당 지역 기상데이터 (해류, 풍속·풍향) 기반 예측모델을 바탕으로 유출 시나리오 설정 및 생성, 사고대응 지원

AURA (폴란드)	기업 의사결정지원 서비스	기상정보 제공	○ 미디어 매체에 기상정보 제공 1) TV 방송국 - 영상 및 텍스트 형태의 예보자료 제공(24시간 단기예보, 72시간 중기예보, 120시간장기예보) 2) 포털 및 웹사이트 - 기상 전문가, 그래픽 디자이너, IT 전문가가 제공하는 그래픽 예보자료 혹은 사용자 맞춤형 제작 자료 제공 - 구름의 크기, 기상현상 발생확률(강우, 안개, 폭풍 등), 최고·최저 기온, 풍향·풍속, 기압의 변화 추세 등을 그래픽 형태로 제공 3) 미디어, 언론매체 - 온도, 구름, 기압 등 그래픽 및 텍스트 예보자료 제공 4) 라디오 방송국 - 텍스트 형태의 예보자료 제공 - 단기(1~2일), 장기(1주일) 예보 및 급작스런 날씨변화, 도로기상, 24시간 기상모니터링 및 상담서비스 제공 ○ 기상정보제공 SMS 문자서비스 - 운량, 최고·최저 기온, 풍향·풍속, 기압 등 기상정보 제공
---------------	---------------------	------------	---

- 선진국에서는 가변형 속도제한표지(VSL)를 설치하여 운영하고 있으며, LED, 혼합식, 재귀+LED, CMS 등 다양한 방식이 있음



독일(LED)



네덜란드(혼합식)



프랑스(LED)



미국(재귀 + LED)



스위스(CMS)

출처: 악천후 시 가변속도 제한 방안, 도로교통공단 교통과학연구원

그림 8. 해외의 VSL 설치 사례



New South Wales – M4(LED)



Victoria(LED)



South Australia(LED)



Queensland(LED)

출처: 악천후 시 가변속도 제한 방안, 도로교통공단 교통과학연구원

그림 9. 호주 VSL 설치 사례

- 국가별 안전관련 규제

1) 미국

- (안전시설) 짙은 안개로 위험한 구간에는 시정감시 경고시스템, 포장조명, 점등형 표지병 및 고광도 표지판 등 다양한 시설들을 설치함
- (속도제한) 경찰이 아닌 주 교통부에서 직접 속도제한을 실시하며, 도로 전광판에서도 트럭 우측 통행 등 다양한 행동 요령을 제공함

2) 이탈리아

- (안전시설) 안개 시 운전자 스스로가 시정거리를 인지해 안전 운전을 유도시키기 위해 시정거리 안내표지를 설치함
- 노측에 안개 시정거리 노면표지(반원형 노면표시)를 20m 간격으로 설치하여 인지 가능한 도색 수에 따라 속도를 낮추어 주행하도록 안내표지 설치

3) 일본

- (안전시설) 방무벽, 안개전용 경고표지판 등의 장비 운용중이나 주로 통행제한을 실시
- (교통운영) 시정거리 70m 미만의 경우 통행금지 규정을 적용하여 도로관리 기관에서 통행금지 조치중



출처: Google

그림 10. 안개관련 안전시설물 설치사례(해외)

○ 국내 공항 활주로, 도로 시스템 검토 및 안개소산 시스템의 구성요소 확립

- 국내 도로 중 안개 잦은 지역별 목적 시정 추정 대응척도에 대한 설치간격의 색인표를 작성해야함
 - 대응척도: 안개시정표지, 안개시정노면표시, 차선, 표지병, 시선유도표지, 갈매기표지, 안개등, 가로등 등

1) 목측 시정거리 대응척도에 대한 설치간격 색인표

표 4. 목측 시정거리 대응척도에 대한 설치간격 색인표 예시

종 류		구분	거리 [m]
안개시정표지		설치간격	0, 50, 100, 150, 200, 250
안개시정노면표시		도색길이	0, 50, 100, 150, 200, 250
차 선	점 선	도색길이	5
		빈 길 이	8
표지병		설치간격	20
시선유도표지		설치간격	40
갈매기표지		설치간격	45
안개시선유도등		설치간격	40
가로등		설치간격	35
기타			

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

- 목측 시정거리 추정을 위한 대응척도는 1km를 인지할 수 있도록 도로안전시설의 설치간격을 기준으로 적절한 개수를 설치하는 것을 원칙으로 하되, 불가피한 경우 최소 250m를 인지할 수 있도록 설치함
- 자동차관리법에 따른 차량의 높이의 범위는 약 1.49m ~ 3.80m이므로 차종별 운전자의 눈높이를 고려하여, 도로상에서 목측 시정 추정을 위한 각종 대응척도의 크기는 최소시력 0.5인 사람이 인지할 수 있는 크기를 기준으로 하고, 순찰자의 눈높이 범위는 1.3m ~ 3.5m로 함
- 표적물의 전체가 보이는 지점을 목측 시정거리로 추정하여 해당 시정거리의 추정구간을 결정하고 카메라 또는 CCTV로 기록함
- 안개사고 예방을 위해 보수적인 관점에서 추정함

2) 주간 시정거리 추정 예시

- 목측 시정거리 추정 예시: 차선, 가로등, 시선유도등의 설치간격 숙지 및 식별을 통해 시정거리 30m로 추정하여 심각단계로 기록



출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

그림 11. 주간 시정거리 추정예시

- 안개 위기수준이 심각 단계를 넘어 통행제한이 필요한 시정거리(10m 미만)를 추정할 수 있도록 대응척도 중 적절한 방법(로프, 라바콘, 표지병, 시선유도표지, 갈매기표지 등)을 활용함
- 관할 안개찾은지역에 설치된 대응척도에 대한 색인표를 토대로 시정목표도 등을 미리 제작하여 순찰자가 숙지할 수 있도록 함
- 도로상 안개찾은지역 내에서 여러 농도의 안개가 동시 발생 시 가장 짙은 농도의 안개로 해당 도로 구간의 시정거리를 추정함
- 야간에는 안개시선유도등 또는 반사체(시선유도표지, 차선, 표지병)등을 활용하여 시정거리를 추정

3) 야간 시정거리 추정 예시

- 시선유도표지, 갈매기표지 등의 설치간격 속지 및 식별을 통해 시정거리 20m로 추정하여 심각단계로 기록



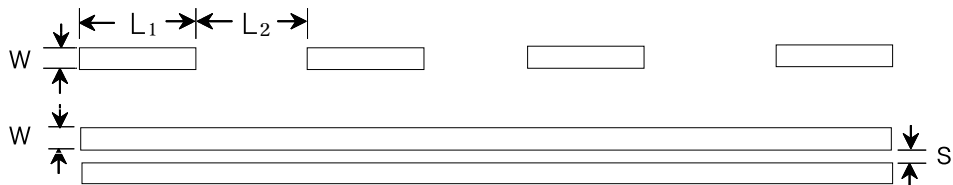
출처: '도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인' 핸드북, 국토교통부, 2017

그림 12. 야간 시정거리 추정예시

4) 차선 표시간격

표 5. 도로 차선의 종류 및 규격(교통노면표시 설치·관리매뉴얼, 경찰청) (단위: cm)

선 종 류 \ 구 분			도로교통법 시 행 규 칙	표 준			
				도시지역 도 로	지 방 지역도로	자 동 차 정용도로	
중 양 선	점 선	도색길이(L ₁)	300	300	300	300	
		빈 길 이(L ₂)	300	300	300	300	
		폭 원(w)	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	
	실 선	폭 원(w)	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	
		복 선	폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
			간 격(s)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
차 선	점 선	실 선	폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	
		도색길이(L ₁)	300 ~ 1,000	300	500	1,000	
		빈 길 이(L ₂)	(1 ~ 2) L ₁	500	800	1,000	
		폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	
길가장자리 구역선	실 선	폭 원(w)	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	
진로변경제 한선	실 선	폭 원(w)	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20	
		간 격(s)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	
	점 선	도색길이(L ₁)	300	300	300	300	
		빈 길 이(L ₂)	200 ~ 300	200 ~ 300	200 ~ 300	200 ~ 300	
		폭 원(w)	10 ~ 50	10 ~ 50	10 ~ 50	10 ~ 50	
유턴 구역선	점 선	도색길이(L ₁)	50	50	50	-	
		빈 길 이(L ₂)	50	50	50	-	
		폭 원(w)	30 ~ 45	30 ~ 45	30 ~ 45	-	
전용차선	점 선	도색길이(L ₁)	300	300	300	300	
		빈 길 이(L ₂)	300	300	300	300	
		폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	
	실 선	폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	
		복 선	폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
			간 격(s)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
유도선	점 선	도색길이(L ₁)	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	
		빈 길 이(L ₂)	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	
		폭 원(w)	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15	



출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

5) 표지병

- 직선부에서 도로별 표지병 설치간격(N)은 다음과 같음

i) 시가지도로는 $8m : 1N = \text{점선길이}(3m) + \text{빈공간}(5m)$

ii) 지방도로는 $13m : 1N = \text{점선길이}(5m) + \text{빈공간}(8m)$

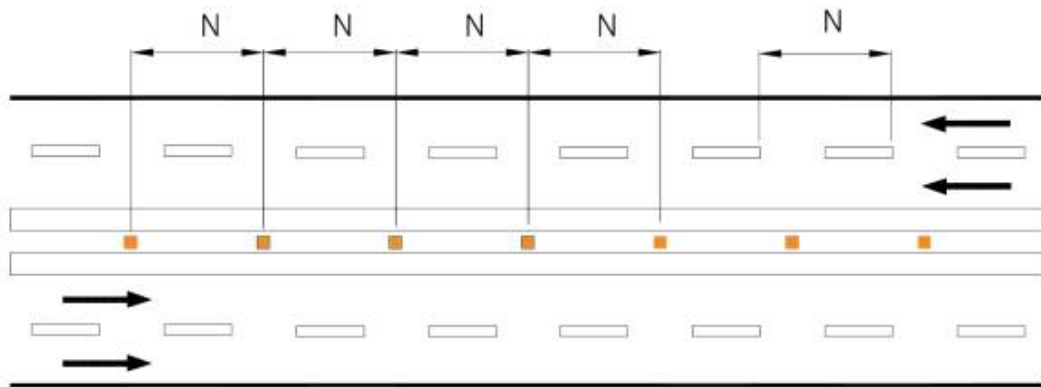
iii) 자동차전용도로는 $20m : 1N = \text{점선길이}(10m) + \text{빈공간}(10m)$

표 6. 목시 시정거리 대응척도에 대한 설치간격 색인표 예시

구분		설치간격	비고
직선부	시가지도로	$1N(8[m])$	공학적 판단에 의해 조정 가능
	지방도로	$1N(13[m])$	공학적 판단에 의해 조정 가능
	전용도로	$1N(20[m])$	공학적 판단에 의해 조정 가능
	편도1차로	$N/2$	간격은 도로구분별로 달리 적용
곡선부		$N/4 - N/2$	반경의 크기에 따라 공학적 판단하에 설치
진출입램프 고어부		$N/4$	미국 FHWA 기준 적용
교차로 좌회전 차로		$N/2$	미국 FHWA 기준 적용

출처: 도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인 핸드북, 국토교통부, 2017

- 일반적인 직선부에서의 표지병 설치간격



출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

그림 13. 일반적인 직선부에서의 표지병 설치간격

6) 시선유도표지

- 시선유도표지의 직선 구간의 최대 설치 간격은 일반도로의 경우 40m, 고속도로는 50m로 하며 연속으로 설치하여 원활한 시선유도 효과가 있도록 함. 도로의 곡선반경에 따른 설치 간격은 아래 표와 같음

표 7. 시선유도표지 설치 간격(국토교통부, 2016)

곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]	곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]
50 이하	5.0	406~500	22.5
51~80	7.5	501~650	25.0
81~125	10.0	651~900	30.0
126~180	12.5	901~1,200	35.0
181~245	15.0	1,201~1,550	40.0
246~320	17.5	1,551~1,950	45.0
321~405	20.0	1,951 이상	50.0

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

7) 갈매기표지

- 갈매기표지 설치 간격

표 8. 갈매기표지 설치 간격(국토교통부, 2016)

곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]	곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]
50 이하	5.0	406~500	22.5
51~80	7.5	501~650	25.0
81~125	10.0	651~900	30.0
126~180	12.5	901~1,200	35.0
181~245	15.0	1,201~1,550	40.0
246~320	17.5	1,551~1,950	45.0
321~405	20.0	1,951 이상	50.0

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

8) 가로등

- 가로등 설치간격

표 9. 차도 폭에 대한 LED 등기구의 설치 높이와 최대 간격 (한국전기안전공사, 2014)

설치 높이 [m]	차도 폭	2차선 [m]	3차선 [m]	4차선 [m]
8	한쪽	24	-	-
	지그재그	24	24	-
	마주보기	-	28	24
10	한쪽	30	-	-
	지그재그	30	30	-
	마주보기	-	35	30
12	한쪽	42	36	-
	지그재그	-	36	36
	마주보기	-	42	42

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

- 고속도로 가로등 설치 제원

표 10. 고속도로 가로등 설치제원(한국도로공사, 2013)

구 분	TYPE “A”	TYPE “B”	TYPE “C”
적용도로	콘크리트 1차로(편도)	콘크리트 4차로(왕복)	콘크리트 8차로(왕복)
도로폭(차도폭) [m]	8.1 (3.6)	23.4 (14.4)	37.8 (28.8)
등주 배열 간격 [m]	35	55	65
등주 배열 방법	편측	마주보기	
등주높이(암,오버행) [m]	10 (2.0, 1.5)	12 (2.8, 2.3)	
경사각도 [°]	10	12	
보수율	0.75	0.75	
적 용 [W]	100(램프용)	150(본선용)	250(본선용)

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

9) 시선유도표지

- 시선유도표지 설치간격
- 시선유도표지의 직선 구간의 최대 설치 간격은 일반도로의 경우 40m, 고속도로는 50m로 하며 연속으로 설치하여 원활한 시선유도 효과가 있도록 함. 도로의 곡선 변경에 따른 설치 간격은 아래 표와 같음

표 11. 시선유도표지 설치 간격(국토교통부, 2016)

곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]	곡선 반경 [m]	설치 간격 [m]
50 이하	5.0	406~500	22.5
51~80	7.5	501~650	25.0
81~125	10.0	651~900	30.0
126~180	12.5	901~1,200	35.0
181~245	15.0	1,201~1,550	40.0
246~320	17.5	1,551~1,950	45.0
321~405	20.0	1,951 이상	50.0

출처: ‘도로 안개 발생 시 시정거리 추정 가이드라인’ 핸드북, 국토교통부, 2017

○ 소산입자(SCD) 방사를 위한 노즐 설계

1) 설계 기준 및 목표

- 선행 연구를 기반으로 SCD 노즐 벤치마킹 설계
- 수치해석 상용 코드(ANSYS)를 이용한 유동 및 방사 입자 거동 계산
- Discrete phase model(DPM)을 사용하여 기체-고체 노즐 해석 진행
- 노즐 형상에 따른 수치계산 수행
- 수치해석 결과를 이용한 방사 노즐 시스템 설계 및 제작

2) 기본모델

- SCD 방사 노즐은 압축된 공기를 통해 SCD를 방사하기 위해 기체-고체 노즐 형태 사용함
- 기본모델을 바탕으로 노즐 형상 변화를 통한 수치해석을 진행함

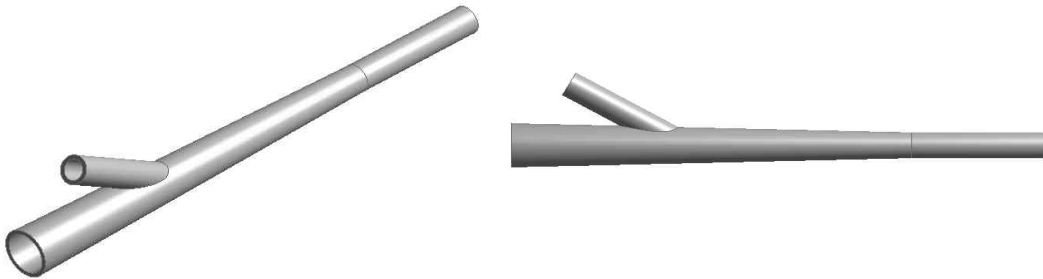


그림 14. 기본 노즐 모델의 3D 모델링

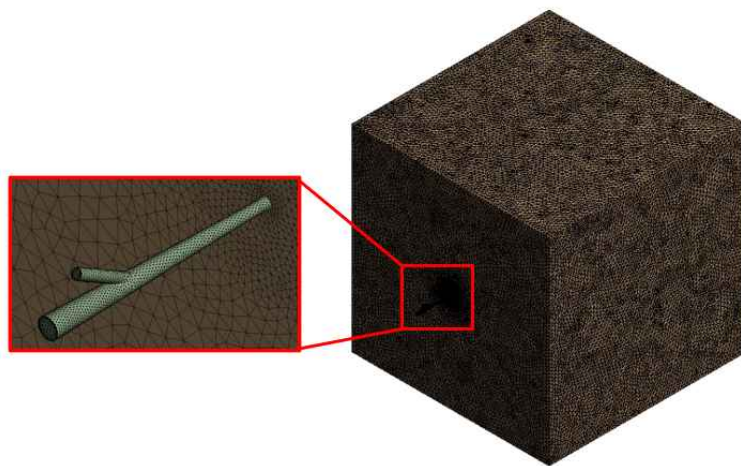


그림 15. 기본 노즐 모델의 격자 형상

3) 수치해석

- 본 연구에서는 SCD 방사거리를 50m 목표로 진행되었으며, 방사거리에 가장 큰 영향을 미치는 입자의 속도를 목표값으로 선정하여 해석을 진행함
- 수치해석은 DPM 모델을 사용하여 압축된 공기가 SCD를 방사하여 방사되는 각도와 속도

등을 확인함

- 변수 연구(parametric study)를 통해 노즐 끝단 부에서 최고 속도를 가지는 노즐 형상을 최종 모델로 선정

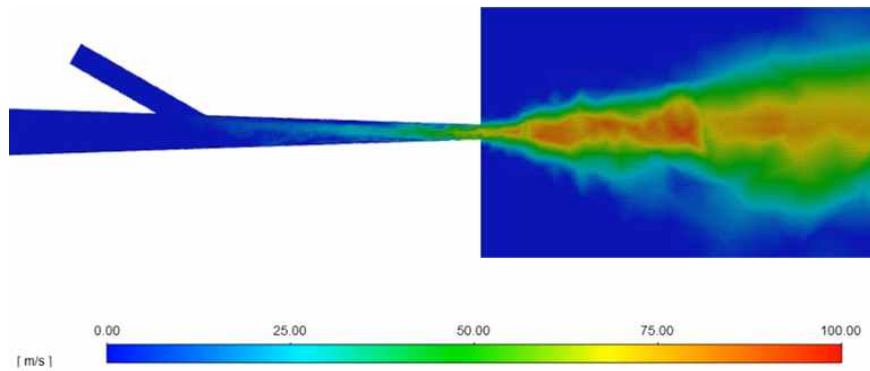


그림 16. 기본 노즐 모델의 수치해석 결과(DPM velocity contour)

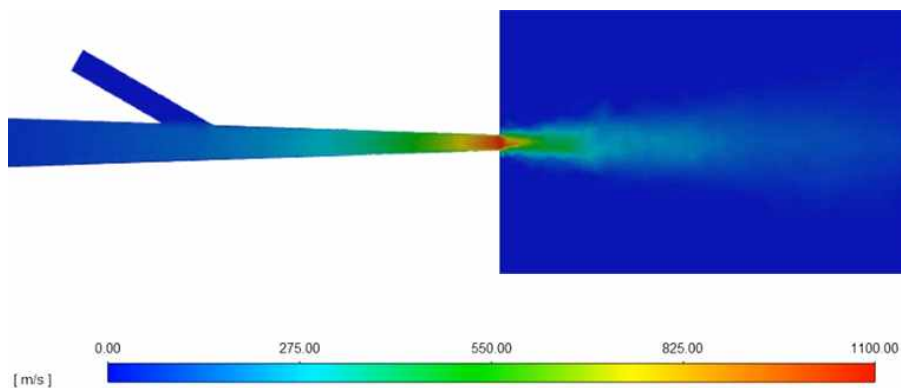


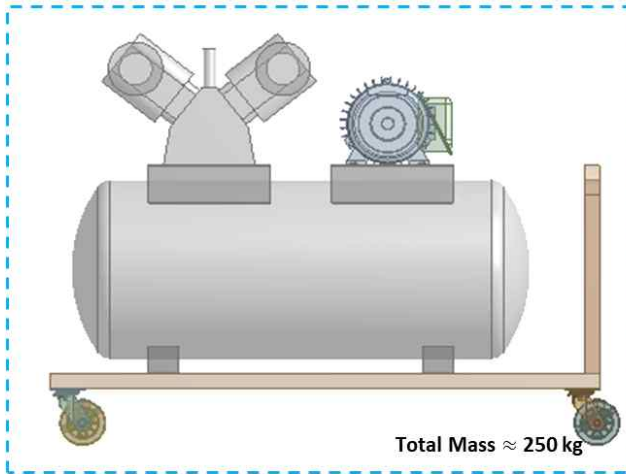
그림 17. 기본 노즐 모델의 수치해석 결과(Air velocity contour)

○ SCD 방사 노즐 시스템 제작

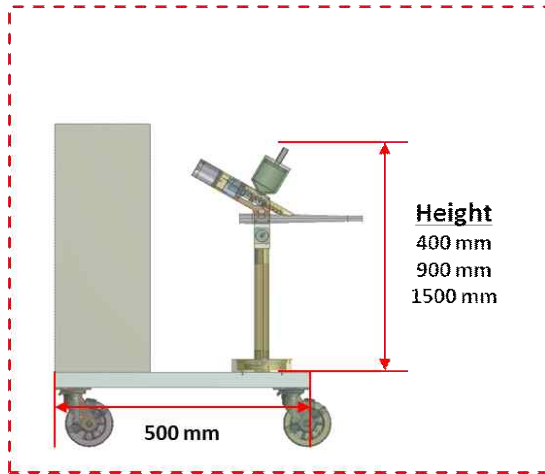
- 수치해석 결과를 이용한 방사 노즐 제작 설계 및 제작
- 방사 시스템은 SCD 펠릿의 방사 속도를 제어하기 위하여 screw feeder를 설치하여 SCD 양을 조절가능하게 하였음
- 또한 수동식 제어장치를 통해 방사각도 제어 가능함
- 방사거리는 압축기 성능에 따라 제어가 가능하며 제어는 조절장치(regulator)를 통해서 가능함

Air compressor plate	
Size [mm]	H650*L1000*W120
Air Tank capacity	200 L
Allowable Pressure	15Bar

Nozzle plate	
Size [mm]	H500*L500*W120



Air compressor system



Nozzle system

그림 18. SCD 방사 노즐 시스템 구성도

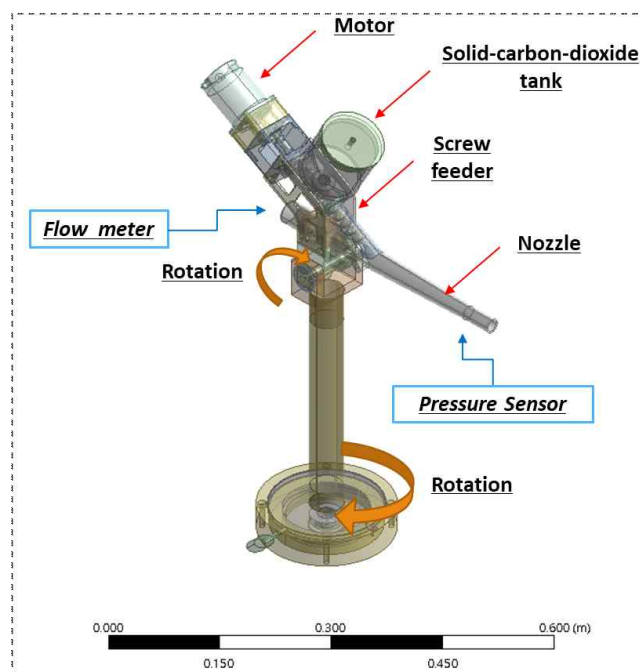
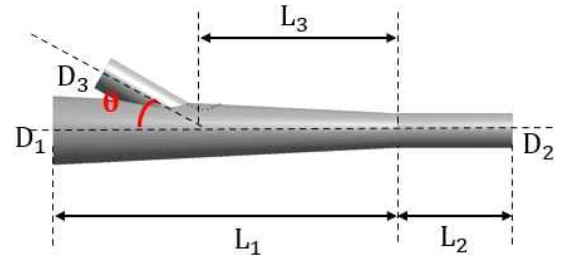


그림 19. SCD 방사 노즐 구성도



Length[mm]	L_1	300
	L_2	100
	L_3	150
Diameter[mm]	D_1	30
	D_2	15
	D_3	15
Angle[°]	θ	30
Thickness[mm]	T	3

그림 20. SCD 방사 노즐(좌) 사진 및 제원(우)



그림 21. SCD 방사 노즐 시스템



그림 22. 노즐의 방사 각도 제어

○ 다중물리 시뮬레이션을 활용한 열음향과 장치 설계

- 주파수 시뮬레이션

1) 경계조건

- 안개 입자 크기 : $17.6\mu\text{m}$ (출처 : 김종규, “안개 왜 생기고 건강에 어떤 영향 미치나”, 과학동아, 1993)
- 안개 밀도 : 0.5g/m^3 (출처 : ATTENUATION DUE TO CLOUDS AND FOG, RECOMMENDATION ITU-R P.840-3)
- 물의 표면장력 : 75.64dyne/cm (출처 : 위키피디아)

• 물의 점도 :
$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + 0.03368 \times t + 0.000221 \times t^2}$$

$\mu_0 = 0.00179\text{ kg/m}\cdot\text{s}$ (0°C 물의 점성계수)

t = 물의 온도

μ = 물의 점성 계수

(출처 : 유동훈, 유체역학의 공학원리, 새론, 1997)

2) 시뮬레이션 설정

- 50m(W) × 50m(D) × 50m(H)의 공간 생성
- 주파수 발생위치 (X,Y,Z) = (1,25,1)
- Mesh 최소 요소 품질 : 0.18993
- Mesh 요소 수 : 101,579

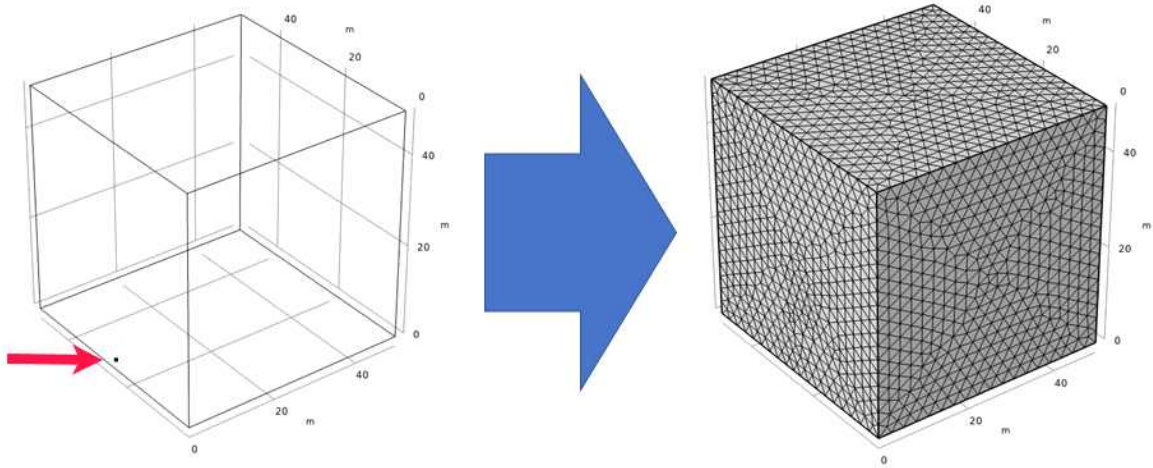


그림 23. 공간 생성, 주파수 발생위치 선정 및 격자 생성

- 시뮬레이션 결과

- 0.5kHz
- 시뮬레이션 확인 결과 발생하는 주파수에 대하여 거리에 따라 음의 세기(dB)의 감소는 보였으나, 50m까지 주파수가 도달하는 것을 볼 수 있음

표 12. 0.5kHz 시뮬레이션 결과

구분	시뮬레이션 결과값
최대 소음 [dB]	103.5539
최대 소음 거리 [m]	0.539
최소 소음 [dB]	90.09129
최소 소음 거리 [m]	50

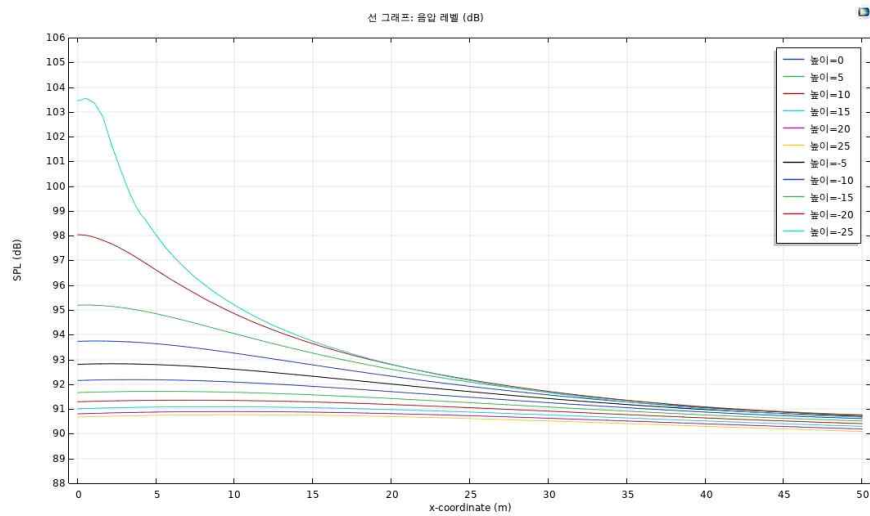


그림 24. 1D_dB_value xy_plane(at 0.5kHz)

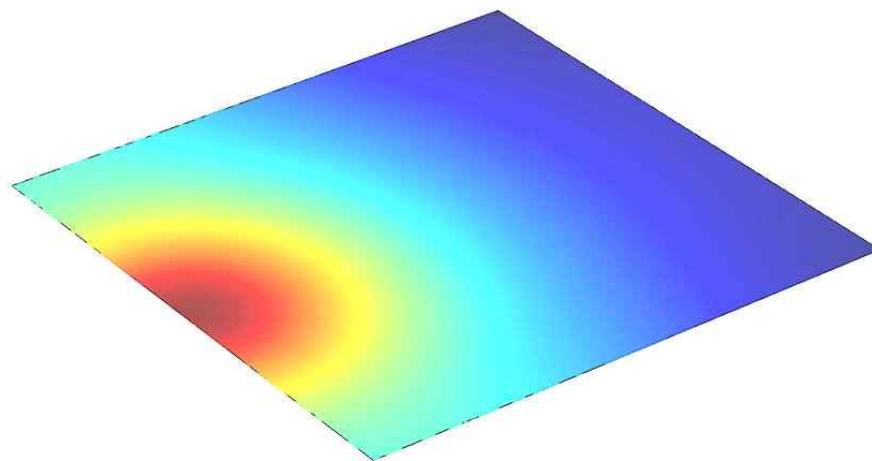


그림 25. 2D_dB_value xy_plane(at 0.5kHz)

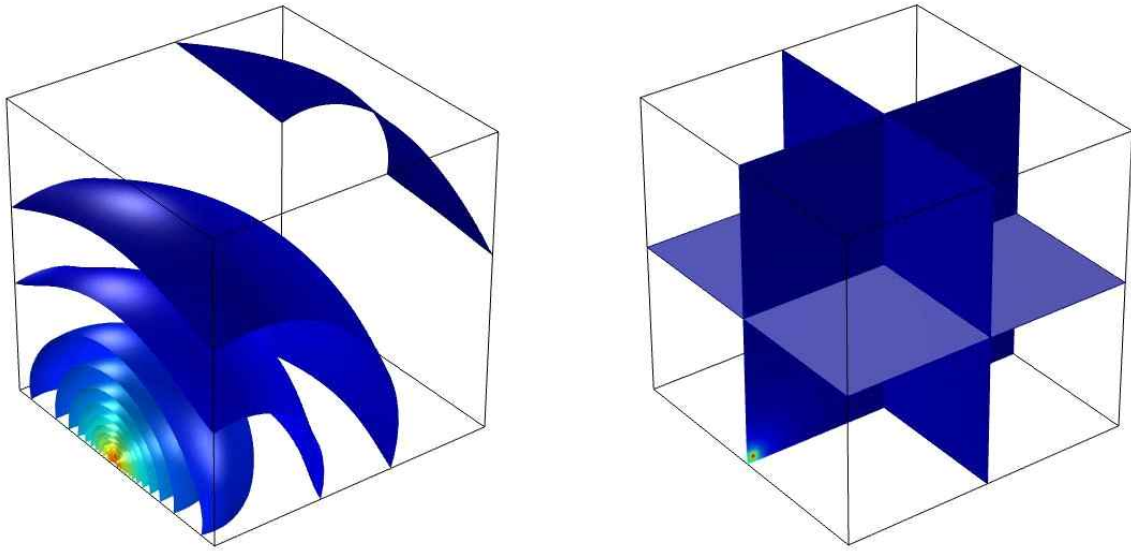


그림 26. 3D_dB_value xy_plane(좌) 3D_sound energy density value(우) (at 0.5kHz)

○ 열음향파 캐논 시스템 구성

- 시스템은 크게 열음향파 발생장치와 전압공급기로 구성되어 있음
- 열음향파 발생장치 부분에서는 공진기, 스택, 전원 공급(power supply) 리드선과 0.3mm의 니크롬선으로 만든 코일로 이루어져 있음
- 공진기의 길이에 따라서 발생하는 주파수(Hz)를 변하며, 공급하는 전원(V)에 따라서 발생하는 소음의 크기(dB)가 변함
- 스택의 경우 공향 활주로 소음 기준 85.9dB을 넘지 않기 위하여 흡음재를 장착함

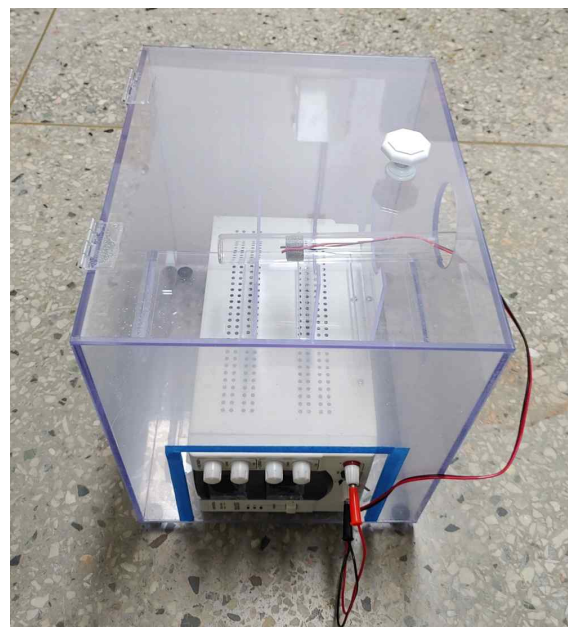


그림 27. 열음향파 발생장치 모듈(좌) 및 시작품(우)

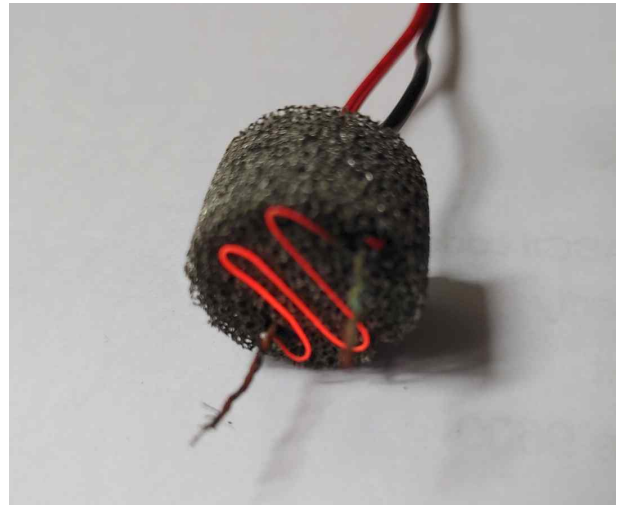


그림 28. 열음향파 발생장치의 스택(좌) 및 코일(우)

○ 안개소산시스템 성능 평가

1) SCD 방사 노즐 도달거리 측정

- SCD 방사 노즐의 성능 평가를 위해 노즐의 최대 도달거리를 측정함

2) 실험 방법

- 에어탱크 내 압축된 공기를 압축 후, 압력 조절 장치를 통해 압력 조절
- Screw feeder 이송 속도 조절 및 작동
- 일정한 압력으로 압축공기 방사
- 압축된 공기를 통해 SCD 방사
- 도달거리 측정

3) 실험 결과

- 최대 도달거리는 공압이 0.88MPa인 경우 52.1m로 측정됨

표 13. 방사 노즐 도달거리 결과

시험 항목	Distance [m]
최대 도달거리	52.1



그림 29. 도달거리 실험 결과

○ 안개소산을 위한 열음향파 특성 실험

- 열음향파 주파수 측정

- 열음향파 발생장치에서 발생하는 열음향파의 주파수를 측정함
- 도달거리 50m를 측정할 수 있는 국내 무향실이 존재하지 않기에, KTC(한국기계전기전자시험연구원)이 보유하고 있는 무향실에서, 1m와 7m(무향실 대각의 최대거리)의 두 지점에서의 주파수와 dB을 측정함
- 두 지점에서의 최대 주파수가 동일하게 측정되면 외부의 영향이 없는 경우 주파수는 동일한 주파수를 가지고 진행될 것으로 사료됨

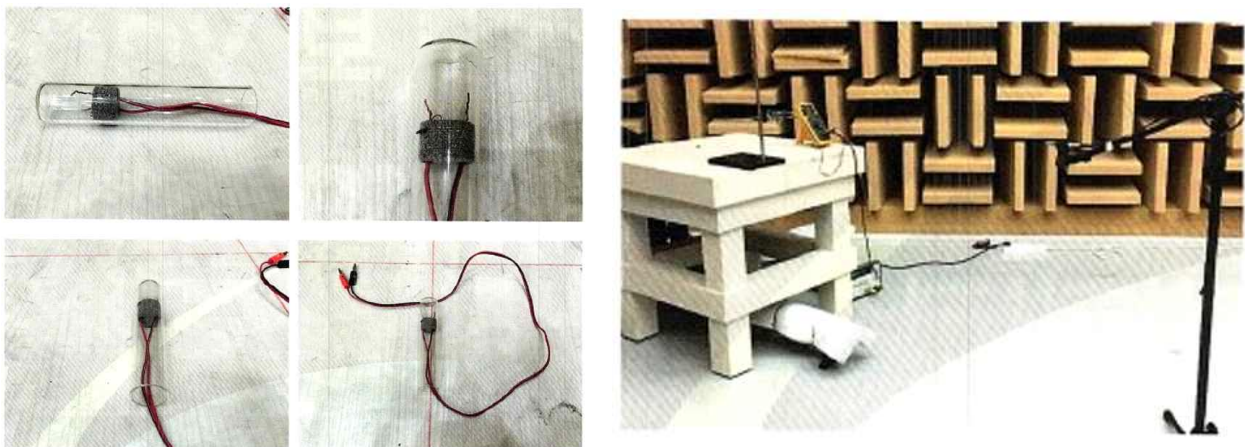


그림 30. 열음향파 발생장치 시료(좌) 및 측정 시험(우)

- 실험 결과

- 실험 결과는 KTC의 무향실에서 진행되었으며 열음향파 발생장치의 전면 1m와 7m에서의 주파수와 dB을 측정함
- 최대 dB의 경우 1m에서 76.7dB이 발생하였음
- 최대 주파수의 경우 688Hz가 가장 높게 발생하였으며, 1m와 7m 동일한 Hz가 가장 높게 측정되었음(표 14 참조)
- 이에 외부 외력의 영향을 받지 않을 경우 동일한 주파수로 열음향파가 진행됨을 알 수 있음

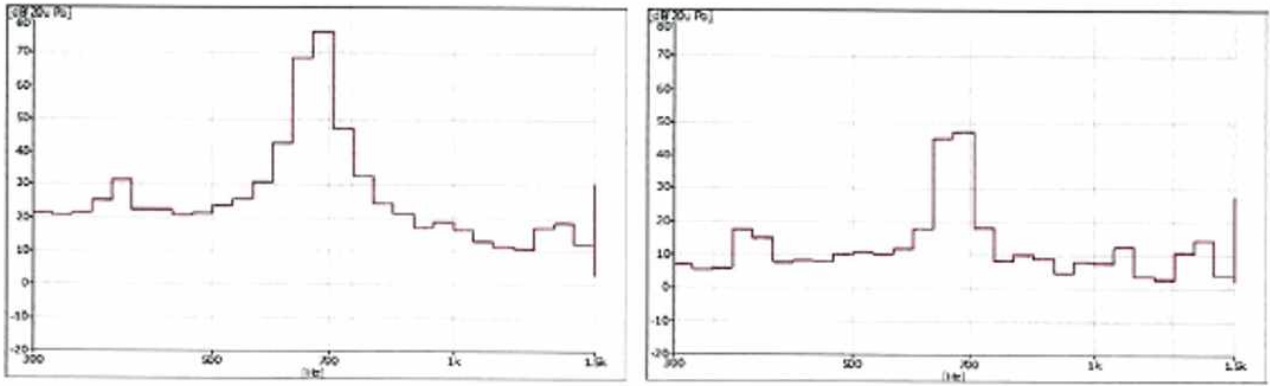


그림 31. 열음향파 측정 결과 1m(좌), 7m(우)

표 14. 열음향파 측정 결과

주파수(Hz)	측정결과(dB)	
	1m	7m
516	23.4	10.4
546	25.3	9.9
579	30.7	11.7
613	42.6	17.8
649	68.5	45.2
688	76.7	47.2
729	47.1	18.2
772	32.7	7.9
818	24.4	10.0
866	21.4	8.7
917	16.9	3.9
972	18.8	7.4

○ 복합 메커니즘 분석 및 lab-scale 실내실험

1) 실험 목표

- SCD 방출량에 따른 안개소산 효과 평가
- 소산입자와 열음향파 복합 메커니즘 효과 규명
- Lab-scale 실험장치 설계 및 제작
- 칼로리미터실을 통한 안개 상태 형성
- 안개 상태에 따른 열음향파와 SCD가 미치는 영향 평가

2) 실험 방법

- 1) 칼로리미터 제어를 통해 안개 종류에 따른 목표 온도 도달(열평형 상태 유지)
- 2) 전자식 지시저울을 사용하여 실험조건별 일정한 양의 안개를 생성
- 3) 일정 물의 질량을 모두 사용하여 안개생성을 완료한 시점부터 소산으로 정의
- 4) 소산 시점부터 실험조건에 맞춰 안개소산 기술 적용
- 5) 시간 경과에 따른 거리별 피사체의 가시성 확인을 통해 안개제거유무 확인(육안가시거리)
- 5-1) 시간 경과에 따른 LiDAR의 데이터를 통해 투과율 산출(정량적 평가)
- 6) 실험이 종료된 후 습·온도계를 통해 초기 실험조건을 맞춘 후 시험절차 1)부터 5)까지 과정 반복

		Indoor	Outdoor
Capacity	cooling	2,000 ~ 15,000kcal/h	
	heating	2,000 ~ 16,000kcal/h	
Range of hygrothermograph		10 ~ 50℃ 30 ~ 90%RH	-20 ~ 60℃ 5 ~ 90%RH
Range of air volume		3 ~ 50 m ³ /min	5.5 ~60 m ³ /min
Wind speed		0.5 m/s	
Reproducibility		± 2%	
Accuracy		± 2%	
Air conditioner		1 set 130m ² /min, 2.2kW Heater: 40kW	
Unit of refrigerator		4kW-1set (Bitzer) 5.5kW-2set (Bitzer) Refrigerant: R-22	5.5kW-1set (Bitzer) 7.5kW-2set (Bitzer) Refrigerant: R-22



그림 32. 칼로리미터의 제원 및 장치 외관

3) 세부 실험 내용

- 냉안개와 온안개에서 실험은 자연소산, SCD 방사, 열음향파 및 복합 메커니즘 총 4가지 케이스로 진행함
- 안개의 소산 여부는 챔버 내부의 가시거리 측정(카메라) 및 LiDAR 2D 데이터를 통해 판단함
- (육안평가) 가시거리를 소산 경과 시간 별로 비교하기 위해 챔버 내부의 윗부분과 아랫부분에 두 개의 카메라를 설치하였고, 챔버의 바닥에 0.5m 간격으로 피사체를 설치하여 가시거리 확보 여부를 판단함
- (LiDAR평가) 챔버 상단면, 좌측면과 하단면에 LiDAR를 설치하여 LiDAR의 2D data를 확인하여 안개소산을 확인함
- SCD 방사는 방사 장치를 이용하여 실험조건에 따라 각기 다른 양의 SCD를 방사함
- 복합메커니즘은 SCD 방사와 열음향파 작동을 동시에 진행함

4) 육안 가시거리 평가

- 안개소산기술은 시정도를 개선하여 안전성을 확보하는 기술이며, 이때 시정도는 대기의

혼탁 정도를 나타내는 기상요소로써 수평 방향으로 목표물을 관측할 수 있는 거리를 뜻함

- 시정은 관측점을 중심으로 각 방면으로 거리를 알고 있는 지점에 목표물을 정해두고 그것을 기준 삼아 시정을 측정하는 ‘목시 관측’을 사용함
- 육안 가시거리는 관측 지점에 카메라를 설치하고 0.5m의 일정한 간격으로 피사체를 설치함

- 실험 종류

표 15. 안개소산 실험 case

안개상태	안개강도	소산방법
온안개 [20° C]	P1 [150g]	자연소산
		드라이아이스 + 열음향파
냉안개 [-1° C]	P1 [150g]	자연소산
		드라이아이스 + 열음향파

- 실험 조건

표 16. 안개소산 실험 case

조건	자연 소산	복합메커니즘 소산
안개 밀도	P1[150g]	P1 [150g]
SCD 방사	-	용량 : 1,000g 직경 : 3mm(pellets 형태)
열음향파	-	발생 주파수 : 550Hz 공급 전압 : 6V

- 실험 결과

- 육안 가시거리 측정 결과_온안개(20° C)

시간	자연소산	복합소산
0 분		
5 분		

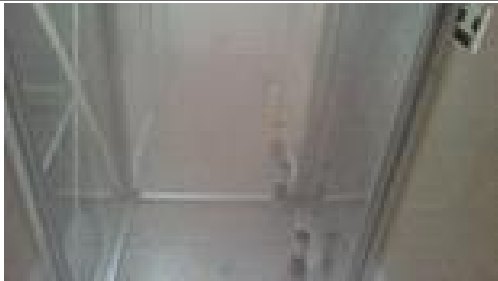
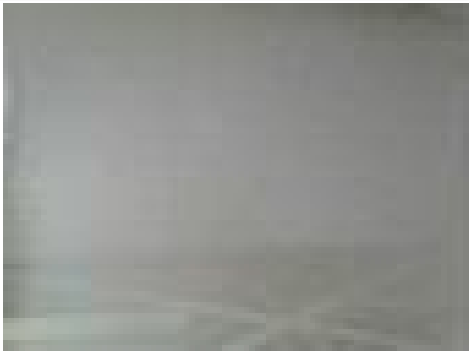
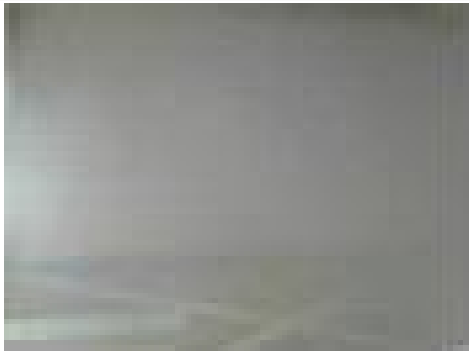
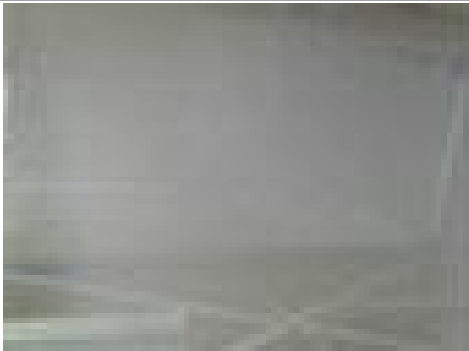
10 분		
15 분		
20 분		
25 분		
30 분		

그림 33. 육안 가시거리 측정 결과(온안개) - camera 01

• 육안 가시거리 측정 결과_온안개(20° C)

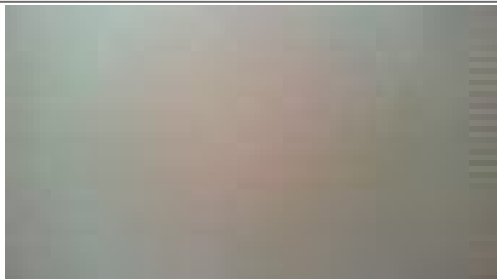
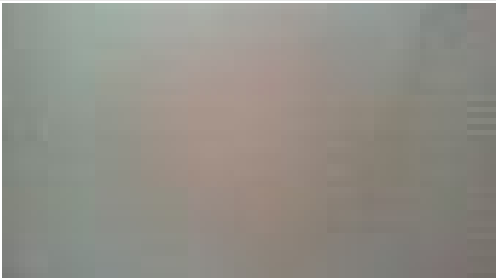
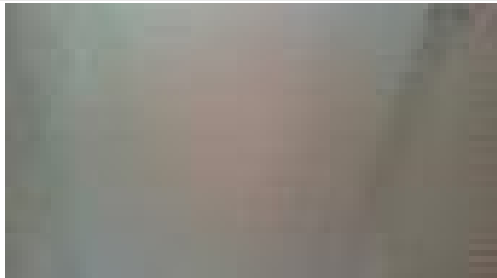
시간	자연소산	복합소산
0 분		
5 분		
10 분		
15 분		
20 분		

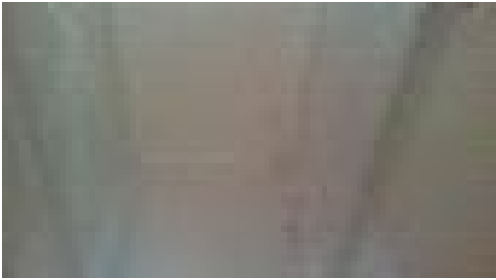
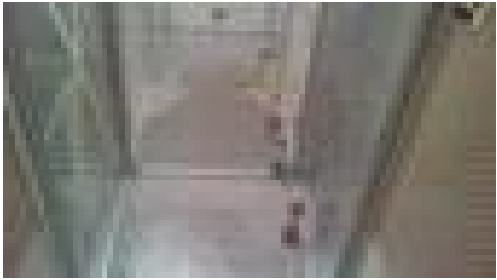
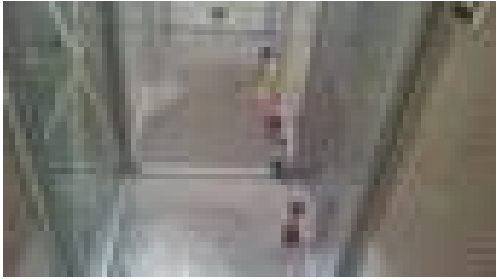
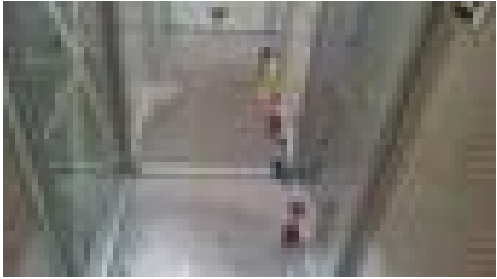
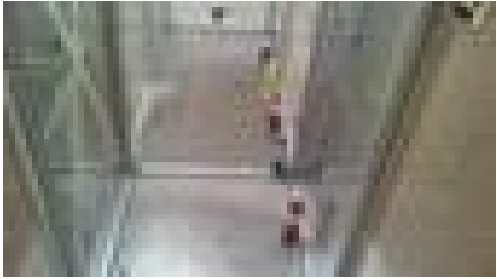
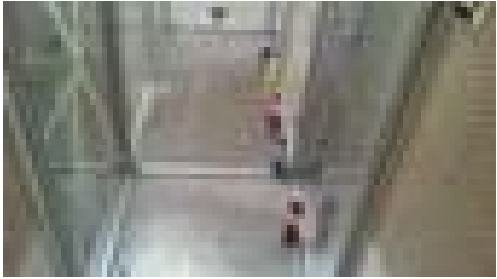
25 분		
30 분		

그림 34. 육안 가시거리 측정 결과(온안개) - camera 02

- 1번 카메라에서 피사체는 자연소산의 경우 5분경부터, 복합소산의 경우 10분경부터 관측이 가능하였으나 육안 가시거리의 완전한 확보는 자연소산의 경우 25분, 복합소산의 경우 20분으로 복합소산이 더 빠른 것을 확인함
- 2번 카메라의 경우 피사체는 10분이 경과한 시점에 관측 가능하였고, 두 소산 모두 안개의 층(layer)이 육안으로 관측됨
- 또한, 육안 가시거리의 확보는 자연소산 약 25분, 복합소산은 약 20분으로 확인됨

• 육안 가시거리 측정 결과_냉안개(-1° C)

시간	자연소산	복합소산
0 분		
5 분		

10 분		
15 분		
20 분		
25 분		
30 분		
35 분		
40 분		

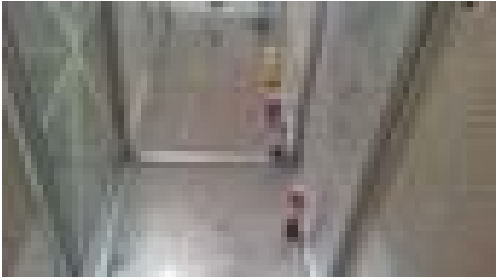
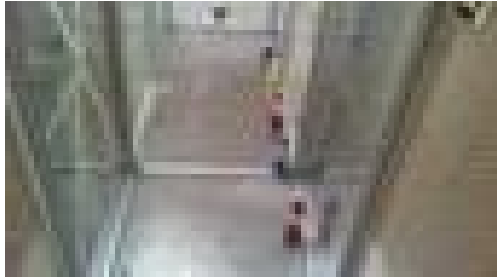
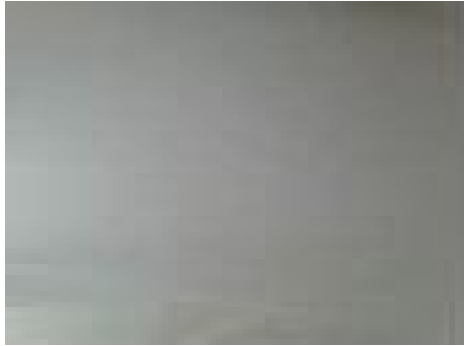
45 분		
------	---	--

그림 35. 육안 가시거리 측정 결과(냉안개) - camera 01

- 육안 가시거리 측정 결과_냉안개(-1° C)

시간	자연소산	복합소산
0 분		
5 분		
10 분		
15 분		

20 분		
25 분		
30 분		
35 분		
40 분		

45 분		
------	---	--

그림 36. 육안 가시거리 측정 결과(냉안개) - camera 02

- 1번, 2번 카메라 모두에서 피사체는 자연소산의 경우 15분경부터, 복합소산의 경우 10분경부터 관측 가능함
- 또한, 육안 가시거리의 확보는 자연소산 약 45분, 복합소산은 약 30분으로 확인함
- 각 소산의 경우 피사체를 통해 육안 가시거리를 확인할 수 있었으나, 연속적으로 변화하는 안개의 상태를 정량적으로 판단하는 데는 무리가 있다고 판단됨
- 추가로 복합소산의 어떤 요인이 소산 시간을 단축할 수 있었는지에 대한 고찰의 필요성을 확인하여 정량적인 성능측정 방법을 사용하여 추가적인 연구를 수행함

5) LiDAR를 활용한 정량적 성능 평가

- 일반적으로 안개는 시정계를 통해서 발생 여부를 판단함
 - 시정계는 광원에서 나온 일정한 강도의 빛을 수광기로 받아, 본래의 강도에 대한 비로 시정을 측정함
 - 시정계는 일반적으로 실외용으로 제작되었기 때문에 실내에 적용 가능한 시정계가 존재하지 않음
 - LiDAR는 안개 유무에 따라 측정되는 거리 값이 변화하며 이를 본 연구에서 정량적 성능 측정방법으로써 사용함
- 측정원리
- LiDAR는 ToF(time-of-flight) 방식으로 작동됨
 - ToF LiDAR는 방출된 레이저 펄스와 장애물에서 확산되거나 반사된 레이저의 시간 차이를 계산하여 거리를 측정하는 방식임
 - ToF LiDAR는 송신기, 수신기, 시간제어 및 신호처리 회로의 세 부분으로 구성됨
 - 펄스 레이저는 전송 매체(예: 공기)를 통해 전성되어 주변으로 퍼지게 되며, 방출된 레이저가 물체에 부딪힐 때, 확산되거나 반사된 레이저는 수신기로 수신되어 광학 시스템에 의해 포착되고 광검출기에 의해 전기적 신호로 변환됨

- LiDAR를 통한 소산 기준

- 소산 기준은 LiDAR가 측정하는 거리값을 바탕으로 다음과 같이 정의 내려짐

$$|L_n - L_{n+1}| < 1 \quad (1)$$

$$L_n > 0.98 \times L_1 \quad (2)$$

- 여기서, L_n 은 n초에서의 LiDAR 센서 측정 거리 값이며, L_1 은 안개가 없는 상태의 LiDAR 센서의 초기 측정 거리값을 나타냄
- 식 (1)은 n초와 n-1초에서의 거리값의 차이가 1mm 이하일 때를 의미하며, 식 (2)는 n초에서의 LiDAR 거리 측정값과 초기값의 차이가 2% 이내일 때를 의미하는 오차율임
- 위 두 식을 동시에 만족할 때 소산 되었다고 판단할 수 있음

- 투과율

- LiDAR를 활용한 소산 시간은 안개가 생성되어 LiDAR가 측정할 수 있는 최소 거리를 시점으로 초기 거리값으로 돌아오는 시간까지를 측정함
- LiDAR를 기준으로 최소 측정 거리인 시점을 투과율 0%로 LiDAR가 원래 거리를 지칭하는 시점을 투과율 100%로 정의할 수 있음
- 투과율(η)은 아래 식과 같이 자연 소산시간과 안개소산기술 적용 시 소산 시간의 비로 나타냄

$$\eta = \frac{|t_n - t_m|}{t_n} \quad (3)$$

여기서, η : 투과율(%)

t_n : 자연 소산 시간(min)

t_m : 안개소산기술 소산 시간(min)

- 실험 종류

- 실험은 앞선 육안 가시거리 평가와 동일하게 안개 상태에 따라 자연소산과, 복합메커니즘 실험을 진행함

표 17. 안개소산 실험 case

안개상태	안개강도	소산방법
온안개 [20° C]	P1 [150g]	자연소산
		드라이아이스 + 열음향파
냉안개 [-1° C]	P1 [150g]	자연소산
		드라이아이스 + 열음향파

- 실험 조건

표 18. 안개소산 실험 case

조건	자연 소산	복합메커니즘 소산
안개 밀도	P1 [150g]	P1 [150g]
SCD 방사	-	용량 : 1,000g 직경 : 3mm(pellets 형태)
열음향파	-	발생 주파수 : 550 Hz 공급 전압 : 6 V

- 실험 결과
 - LiDAR 측정 결과_온안개(20° C)

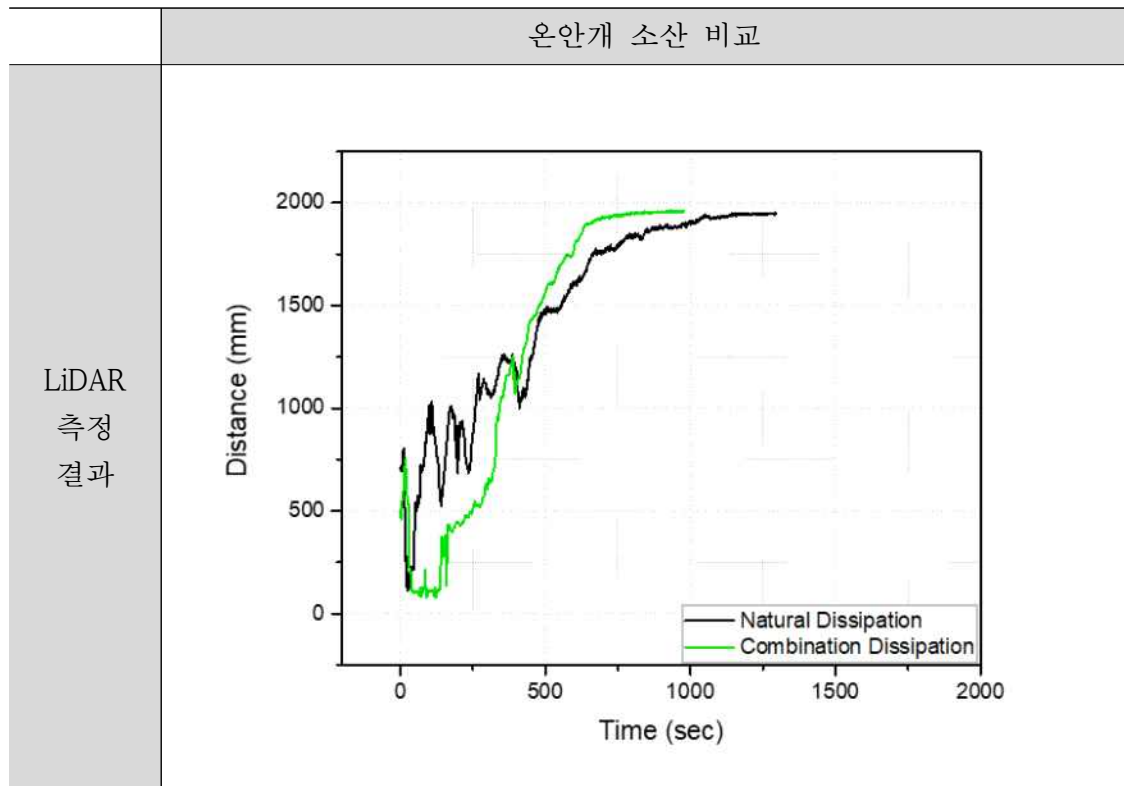


그림 37. LiDAR 측정 결과(온안개)

- LiDAR 측정결과, 온안개 자연소산(natural dissipation)의 경우 1,776초(29.6분)경, 복합소산(combination dissipation)은 979초(16.3분)경 소산이 완료됨
- 두 그래프가 만나는 점인 약 385초까지 자연소산이 복합소산보다 측정값이 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 앞선 육안 가시거리 측정 결과의 피사체의 관측 가능 시점과 일치하는 경향을 확인할 수 있음
- 또한, 육안 가시거리 측정 결과에서 자연소산, 복합소산의 소산 시간이 25분과 20분이었던 것과 비교하면 32.6분 16.3분으로 다소 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있음

- LiDAR 측정 결과_냉안개(-1° C)

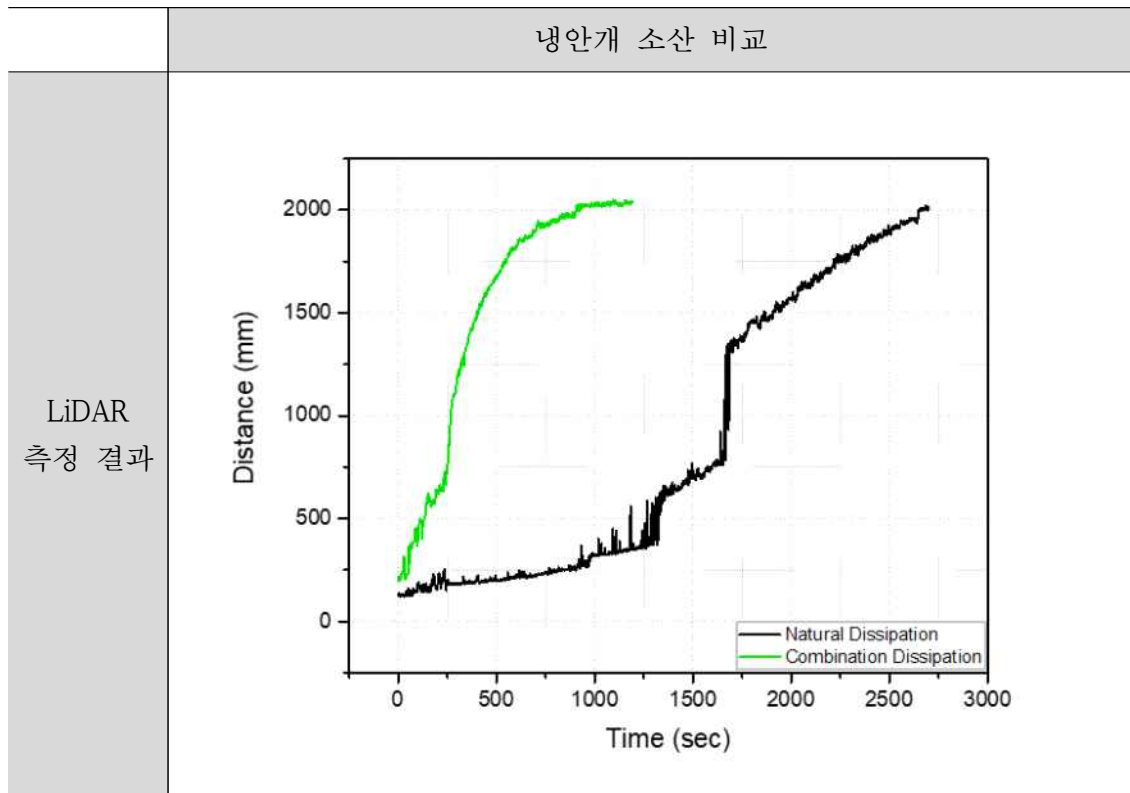


그림 38. LiDAR 측정 결과(냉안개)

- 냉안개의 자연소산(natural dissipation)의 경우 2,701초(45분)경, 복합소산(combination dissipation)은 1,191초(19.8분)경 소산이 완료되었음
- 육안 가시거리 측정 결과에서 자연소산과 복합 소산의 시점이 40분 및 30분이었음을 비교하면 LiDAR 측정 결과는 45분 및 19.8분으로 다소 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있음

나. 정량적 연구개발성과

○ 정량적 연구성과 목표 및 달성도

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분		목표	달성	비고
국내외 논문 게재	SCI	2	2	달성완료
	비SCI	3	4	초과달성
	계	5	6	초과달성
특허 출원	국내	2	2	달성완료
	국외			
	계	2	2	달성완료
특허 등록	국내	1	1	달성완료
	국외			
	계	1	1	달성완료
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			
	시작품	3	3	달성완료
	성과 홍보			
	일자리 창출	1	1	달성완료

다. 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	안개 소산에 미치는 열음향파 공진기 길이 변화에 따른 주파수에 대한 고찰	융복합지식학회 논문지	이상엽	1	대한민국	융복합지식학회	비SCIE	2021.03	2287-8920	
2	도로 안전성 확보를 위한 안개 제거 기술에 대한 실험적 연구	자동차안전학회	김성연	13 (3)	대한민국	한국자동차학회	비SCIE	2021.08	2005-9396	
3	열음향 스택의 길이와 전압 변화에 따른 주파수와 온도 변화에 대한 고찰	융복합지식학회 논문지	이상엽	3	대한민국	융복합지식학회	비SCIE	2021.09	2287-8920	
4	습식 압축 기술이 원심압축기 공력성능에 미치는 영향	한국유체기계학회	김성연	24 (6)	대한민국	한국유체기계학회	비SCIE	2021.10	2287-9706	
5	CFD-DEM Simulation for the Distribution and Motion Feature of Solid Particles in Single-Channel Pump	Energies	Cheng Tang	3	스위스	MDPI	SCI(E)	20.09.23	1996-1073	
6	Prediction of Abrasive and Impact Wear Due to Multi-Shaped Particles in a Centrifugal Pump via CFD-DEM Coupling Method	Energies	Cheng Tang	14 (9)	스위스	MDPI	SCI(E)	21.04.23	1996-1073	

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	대한기계학회 추계학술대회	노즐 형상비에 따른 SCD 분산 특성 연구	김성연	2020.12	강원	대한민국
2	유체기계학회 동계학술대회	기체-고체 노즐 내벽형상이 SCD 분산 특성에 미치는 영향	김성연	2020.11	여수	대한민국
3	유체기계학회 동계학술대회	기체-고체 인젝터 형상변화가 방사성능에 미치는 영향	윤석범	2020.11	여수	대한민국
4	유체기계학회 하계학술대회	액적 거동이 압축기 성능에 미치는 영향	김성연	2021.07	평창	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	열음향파를 이용한 안개소산 장치	대한민국	엔즈이엔 씨 주식회사	2020년 11월 2일	10-2020-0 144619					100	
2	열음향파 발생장치용 메탈폼 스택	대한민국	엔즈이엔 씨 주식회사	2020년 12월 31일	10-2021-0 193859					100	

☐ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

☐ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

☐ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

☐ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

☐ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

☐ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1		앤즈이앤씨 주식회사	1	0	1
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설 · 장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설 · 장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설 · 장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○ 현장시험 및 검증

1) 안개소산 시스템의 성능 평가(육안가시거리)

- 유형 : 공인시험
- 현장시험/검증명 : 안개소산시스템
- 시험/검증기간 : 2021년 8월 12일 ~ 2021년 8월 30일
- 시험/검증장소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 제 1공학관 2B001호
- 주요 내용 : Test bed (4×1×2m³)공간에서 소산기술이 가시거리 확보에 미치는 영향을 이미지(육안)로 확인함

시험성적서

성적서 번호 :	T2021-08013
회사명 :	성균관대학교 산학협력단
대표자 :	박선규
주소 :	경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 1층(관전동, 성균관대학교내)
연락처 :	031-299-4572
1. 시험명 :	안개소산 시스템
규격 및 형식 :	/
2. 성적서의 용도 :	국토교통과학기술진흥원 제출용
3. 접수일자 :	2021.07.19
4. 시험일자 :	2021.08.12 ~ 2021.08.30
5. 시험방법 :	TM-기계(2021-34안개소산시스템)
6. 시험결과 :	유지 참조

시험자 : 경세훈

장세훈

승인자 : 이봉수

이봉수

1. 이 성적서는 비파괴가 계기별 시험 결과 및 시험결과에 대한 시험결과를 보증하는 것입니다.
2. 이 성적서는 우리 시험연구팀의 책임하에 발행하며, 안전, 정확 및 소중함으로 사용될 수 있도록 최선의 노력을 다합니다.
3. 이 성적서의 사용은 무료입니다.

2021년 09월 06일



한국기계전기전자시험연구원

www.ktc.re.kr 15809 경기도 군포시 흥안대로 29
TEL : 031-428-9441

위 성적서의 결과는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련한 법률을 준수합니다.

서식P708-05(Rev.3)

Page : 1 of 6

시험결과

성적서 번호 : T2021-08013

(2) 냉각 시험

시간	촬영내 사진			
분사 종료				
5분 후				
10분 후				
15분 후				
20분 후				
25분 후				
30분 후				
35분 후				
40분 후				
45분 후				
관찰 위치	카메라 #1	카메라 #2	카메라 #1	카메라 #2
	자연소산		복합메커니즘	

비고 5 자연소산 시험: 물 분무 전 챔버온도 1.5 °C, 습도 41 % R.H.

6 복합메커니즘 시험: 물 분무 전 챔버온도 0.2 °C, 습도 45 % R.H.

서식 P708-06 (Rev.2)

Page : 5 of 6

그림 39. 육안 가시거리 평가에 대한 공인 인증 성적서(KTC)

2) 안개소산용 방사 노즐 성능 평가

- 유형 : 공인시험
- 현장시험/검증명 : 안개소산시스템
- 시험/검증기간 : 2021년 8월 12일 ~ 2021년 8월 30일
- 시험/검증장소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 제 1공학관
- 주요 내용 : SCD 방사 노즐 최대 방사거리 측정

시험 성적서

성적서 번호 :	T2021-08013
회사명 :	성균관대학교 산학협력단
대표자 :	박선규
주소 :	경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 1층(천천동, 성균관대학교내)
연락처 :	031-299-4572
1. 시험명 :	안개소산 시스템
규격 및 형식 :	/
2. 성적서의 용도 :	국토교통과학기술진흥원 제출용
3. 접수일자 :	2021.07.19
4. 시험일자 :	2021.08.12 ~ 2021.08.30
5. 시험방법 :	TM-기(계-2021-34안개소산시스템)
6. 시험결과 :	유지 참조

시험자 : 정세훈

장세훈

승인자 : 이봉수

이봉수

1. 이 성적서는 위와 기재된 시험명 및 시험방법으로 시험한 결과로 시험장 제출용 증명서임을 보증합니다.
2. 이 성적서는 우리 시험연구원의 시험장소에 설치된 장비, 전원, 냉각 및 소용량으로 사용될 수 없으며 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 사본은 무효입니다.



2021년 09월 06일 한국기계전기전자시험연구원



www.ktc.re.kr 15809 경기도 군포시 불암대로 29

TEL 031-428-8441

위 성적서의 결과는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS인증과 관련이 있음을 알려 드립니다.

서식P708-05(Rev.3)

Page: 1 of 6

시험 결과

성적서 번호 : T2021-08013

4.2 안개소산용 방사노즐 방사거리 시험

시험항목	시험결과
방사거리 시험	미상없음 (50 m 이상)



비고 7 방사거리 시험은 실외에서 진행한 관계로 풍향 및 풍속은 무시하고 시험한 결과임.

5. 시험장소: □고정시험실 ■현장시험
(주소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066)

6. 사용장비

사용장비명	기기번호	교정	
		교정일자	차기 교정일
압력계	2870-13	2021-01-26	2022-01-26
줄자	5628-05	2020-05-11	2022-05-11
온습도계	2105654	2021-08-24	2022-08-24
저울	5444	2021-05-06	2022-05-06
스톱워치(초시계)	5628-03	2020-04-27	2022-04-27

문.

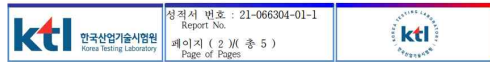
서식 P708-06 (Rev.2)

Page: 6 of 6

그림 40. 방사 노즐 방사 거리 시험 평가에 대한 공인 인증 성적서(KTC)

3) 안개소산 시스템의 성능 평가(정량적 성능지표개발)

- 유형 : 공인시험
- 현장시험/검증명 : 안개소산시스템
- 시험/검증기간 : 2021년 11월 2일
- 시험/검증장소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 제 1공학관 2B001호
- 주요 내용 : Test bed ($4 \times 1 \times 2 \text{m}^3$)공간에서 소산기술이 가시거리 확보에 미치는 영향을 정량적인 수치로 확인함



시험 결과 (Test Results)

1. 일반사항

제 품 명 : 안개 소산 시스템
제 작 회 사 : None
모 델 명 : None
제 조 번 호 : None



사진 1. 안개 소산 시스템

2. 사용한 표준장비 명세

사용장비명 Description	제조사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	유효일자 및 자기교정일자 The due date of next calibration	교정 및 시험기관 Calibration Laboratory
2D/3D Dual LiDAR	Cyghot / None	D1A02021190318	-	KTL
Stop watch	STAR / None	None	2021. 07. 19.	KTL
Precision Balance	CAS / SWII-6CS	CSU1481	2022. 07. 28.	WITHCAL
Digital Thermo-hygrometer	CAS / TE-201	2105654	2022. 08. 24.	KIC

FP104-06-00

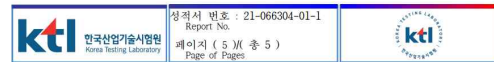


표 2 자연 소산 및 복합메커니즘 소산 시간 측정 데이터

구분	온도 측정값 (℃)	소산 시간 측정값 (min)		투과율 (%)
		자연 소산 t_n	복합메커니즘 소산 t_m	
온안개	21.8	30.67	17.32	43.5
냉안개	1.2	46.38	23.2	50.0

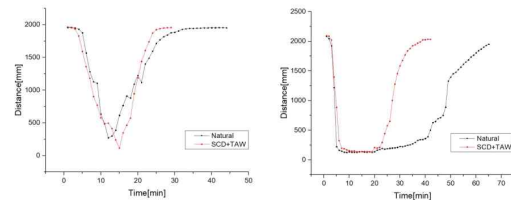


사진 3. 2D LiDAR를 이용한 소산 데이터 측정결과(좌측: 온안개, 우측: 냉안개)

참.

FP104-06-00

그림 41. LiDAR를 활용한 정량적 성능 평가에 대한 공인 인증 성적서(KTL)

4) 열음향과 발생장치의 성능 평가(정량적 성능지표개발)

- 유형 : 공인시험
- 현장시험/검증명 : 안개소산시스템
- 시험/검증기간 : 2021년 12월 24일 ~ 2022년 01월 05일
- 시험/검증장소 : KTC(한국기계전기전자 시험연구원, 경기도 군포시 흥안대로27번길 22)
- 주요 내용 : 열음향과 발생장치에서 발생하는 주파수와 소음레벨을 정량적인 수치로 확인함



시험 성적서

성적서 번호 : T2021-14199

회사명 : 엔조이엔씨 주식회사
대표자 : 김혜미, 이상준
주소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 23301호(천원동, 제1공학관)

연락처 : 070-8883-7193

1. 시험명 : 열음향파 발생장치
규격 및 형식 : -
2. 성적서의 용도 : 제출용 [국토교통과학기술진흥원]
3. 접수일자 : 2021.12.24
4. 시험일자 : 2021.12.24 ~ 2022.01.05
5. 시험방법 : 외래자 제시 규격
6. 시험결과 : 시험결과 참조

시험자 : 송정성 송정성 승인자 : 최영하 최영하

1. 이 성적서는 시험자가 제시한 시험 및 시험결과에 대한 결과로서, 본 시험에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서는 우리 시험연구원의 사원 등이 종이, 인선, 잉크 및 소용량으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 일부부분은 홈페이지(www.ktc.or.kr)에서 확인할 수 있습니다.

2022년 01월 05일

 한국기계전기전자시험연구원장

www.ktc.or.kr 15809 경기도 군포시 흥안대로27번길 22
TEL : 1899-7654

서AIP708-05(Rev.4) Page : 1 of 4 Code NO : IW8P-D250-2587



시험 결과

성적서 번호 : T2021-14199

5. 시험에 사용된 장비

장비명	장비번호	모델명 (제조사)
Hemi-Anechoic Room 1	4686	None (사차원엔지니어링)
Sound Calibrator	5631	4231 (B & K)
GENERATOR MODULE	3795-02	3160-A-042 (B & K)
5-MODULES LAN-XI FRAME	3795	3660c (B & K)
MULTI-PURPOSE 4-AND 6-CHANNEL INPUT MODULES	3795-01	3050-A-060 (B & K)
1/2-INCH FREE-FIELD MICROPHONE	5634-10	4189 (B & K)
디지털 레이저 거리측정기	5709	GLM 30 (Bosch)
Digital Multimeter	2575-01	87 (Fluke)

6. 비교

관심 주파수 범위의 시험실 배경소음레벨 [시험실 Size(W x D x H : 8.4 m x 7.6 m x 5.0 m)]

주파수[Hz]	배경소음레벨 [dB]	주파수[Hz]	배경소음레벨 [dB]
516	-2.8	779	-2.9
546	-2.4	772	-3.3
579	-2.2	818	-3.2
613	-3.0	866	-2.8
649	-3.1	917	-3.0
688	-3.0	972	-2.8

- 진행된 시험은 특별한 언급이 없는 한 IEC 60068-1에 따른 다음의 대기 조건에서 실시함
(1) 온도 : (25 ± 10) °C
(2) 습도 : (50 ± 25) % R.H.

서AIP708-06 (Rev.2) Page : 4 of 4 Code NO : IW8P-D250-2587

그림 42. 열음향과 발생장치의 정량적 성능평가에 대한 공인 인증 성적서(KTC)

○ 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 방사 노즐 SCD 방사 거리 측정 - 최대 방사 거리 50m	○방사 노즐 SCD 방사 거리 측정 - 최대 방사 거리 51.2m	100
○ 방사 노즐 SCD 방사각도 측정 - 최대 방사 각도 100°	○ 방사 노즐 SCD 방사각도 측정 - 최대 방사 각도 130°	100
○ 열음향파 도달거리 - 파장 측정	○ 열음향파 도달거리 - 1m, 7m에서의 동일한 파장이 측정됨에 따라 50m에서도 동일한 파장이 발생할 것으로 사료됨(국내 50m의 무향실을 보유한 기관이 없음)	100
○ 열음향파 방사 캐논 noise level 측정 - Noise level 측정	○ 열음향파 noise level - 열음향파 발생장치 1m 전방에서 76.7dB의 발생으로 보아 공항 활주로 기준 85.9dB이 넘지 않는 것을 확인함	100
○ 육안 가시거리 평가 - Test bed(4x1x2m ³)공간에서 가시거리 1m 이내, 소산장치 가동 1시간 내외 가시거리 3m 측정	○ 육안 가시거리 평가 - 이미지를 통한 가시거리 개선 효과 확인	100
○ 투과율 - Test bed(4x1x2m ³)공간에서 가시거리 1m 이내, 소산장치 가동 1시간 내외 투과율 측정	○ 투과율 - LiDAR를 통한 안개소산기술 투과율 30% 이상 확인	100

라. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책

해당 없음.

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 기존의 미립자 방사 방식에 열음향파를 적용하여 보다 효과적인 안개 소산 기술 개발
- 국내에서 비교적 부족한 열음향파에 대한 연구를 통해 활용 가능한 분야 개척
- 냉안개에 효과적인 안개소산기술의 특성 연구를 통한 원천기술 확보
- 방사형 SCD 노즐개발을 통한 노즐의 기술적 발전에 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 냉안개에 비해 상대적으로 미비한 온안개 안개소산기술에 대하여 새로운 접근 방안 도출
- 안개소산기술은 러시아 및 미국이 기술을 독점하고 있는 실정으로 선진국의 기술이전 기피 현상 극복이나 규제 회피를 기대할 수 있음
- 안개소산기술 확보를 통한 실용화 단계로 진입할 수 있는 기반을 마련할 수 있으며, 공항이나 항만, 도로 등에서 안개에 의한 활동 및 운영 시 위험요소를 제거할 수 있음
- 본 연구에서의 안개의 생성과 소산에 대한 정량적 데이터는 후속 연구의 주요 데이터로써 활용 가능함

○ 경제적·산업적 측면

- 도로, 활주로 등의 주변 환경에 적합한 안개 소산 기술 적용을 통해 설치비 대비 효율적인 대처가 가능하며, 대형교통사고 예방을 통한 경제적 손실 방지
- 열음향파와 미립자의 거동 특성에 대한 기초 데이터 및 활용 기술을 확보함. 이를 통해 활용 가능한 관련 국산화 기술 개발이 가능함
- 공항 활주로 안개소산 기술은 항공기 안전운항 뿐만 아니라 항공기 운항의 지연, 회항 및 결항으로 인한 경제적 손실을 최소화할 수 있음
- 안개소산기술의 응용분야는 도로 및 공항 활주로뿐만 아니라, 군사목적, 실내 및 도심기후 조절, 수자원 확보 등 다양한 산업분야에 적용이 가능함

○ 사회적 측면

- 안개로 인해 발생하는 대형교통사고를 방지하고, 높은 치사율을 낮춤으로써 국민의 안전을 지키는 기술로 활용 가능함
- 높은 사고율을 자랑하는 특정 지역에 대한 사전 안전조치가 가능함

○ 상용화 측면

- 연구내용의 상용화를 위해 기 연구된 안개 소산 시스템을 국지적으로 안개가 발생하는 지역으로 이동하여 안개를 효율적으로 제거할 수 있는 ‘특장차’에 탑재하기 위한 기초연구 자료로 사용될 수 있음
- SCD 방사 시스템 및 TAW 장비를 효율적으로 활용할 수 있도록 특장차에 알맞은 최적 설계 및 관련 전문기관과의 협력하여 연구를 진행하여 기술의 상용화를 앞당길 수 있음
- 본 과제를 통해 연구된 기술은 특장차 적용을 위한 안개 소산 시스템 고도화 연구에 기여할 수 있을 것으로 사료됨

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 성과물의 활용방안

- 상습 안개 발생 지역에 적용하기 위해서 경량화뿐만 아니라 요구조건을 정확히 반영한 최적설계를 수행하고 원천기술을 바탕으로 국내외 시장에서 기술판매를 할 수 있도록 지속적인 연구개발을 수행할 계획임
- 개발되는 안개소산장치는 향후 이상기후에 대처할 수 있는 인공적인 안개조절시스템의 소중한 연구 자료로 사용될 수 있음
- 안개소산장치는 안개로 인해 안전에 위협을 줄 수 있는 요소에 대해 안전을 담보할 수 있도록 하는 시스템임
- 기존과 다른 새로운 사업분야이며, 안개소산장치를 구성하는 주요 부품의 관련 산업들에게도 국내외 시장 진출을 제공하는데 일조할 수 있을 것으로 판단됨
- 국가적 차원의 연구 결과의 활용을 위해 성과물 전담기관과 연계하여 특허, 시제품 등 연구성과 검증 서비스를 통해 유망 연구성과의 사업화 지원 및 후속 R&D를 적극 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치로써 창출할 수 있는 연구개발 사업기반 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단됨
- 성과물 전담기관에 등록 및 기탁하고, 수집된 연구성과를 수집·가공하여 기업과 관련기관 등 기술수요자에게 제공함으로써 원천기술 발전에 기여할 것으로 판단됨
- 과학계, 정부, 산업 간 긴밀한 논의를 바탕으로 장기적 과학기술정책의 의제를 탐색, 기획 기능을 강화할 계획임
- 원천기술확보를 통한 성과활용 및 기술확산을 강조, 범부처적인 사업으로 체계화하여 후속 R&D 성과확산을 극대화할 수 있을 것으로 판단됨
- Lab-scale의 연구성과를 후속 R&D를 통해 실제 환경에서의 실증실험을 통해 안개소산 기술의 효과를 판단할 계획임
- 안개소산 물질 중 하나인 SCD를 활용한 연구성과와 더불어 여러 다른 성질을 가진 물질을 사용하여 현 연구성과와 비교할 계획임
- 기술의 상용화를 위한 SCD 방사 시스템 및 TAW 장비를 효율적으로 활용할 수 있도록 특장차에 알맞은 최적 설계 및 관련 전문기관과의 협력하여 연구를 진행할 계획임
- 안개 소산 관련 장비 제품개발을 위한 과학적 근거 자료가 될 수 있음
- SCD와 TAW를 활용한 복합 소산에 의한 안개 소산 효과 증대를 위하여 다양한 소산 방법을 추가로 적용한다면 안개 소산 메커니즘 기초연구자료로써 가치가 충분할 것이라고 사료됨
- 추후, TAW 장비의 대형화 및 SCD 방사 시스템 고도화 그리고 안개 소산 기술이 상용화 단계에 도달하기 위한 기술자료로써 효용성이 충분하다고 판단됨
- 본 과제를 통해 연구된 안개 소산 시스템을 정부 및 민간 기업 투자를 바탕으로 상용화 프로젝트를 추진한다면, 글로벌 시장을 선도하고 안개 소산 기술의 국제 표준화가 가능할 것으로 사료됨



그림 43. 성과물의 활용방안

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘Thermo-acoustic wave, solid carbon dioxide를 활용한 안개소산 장치 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.