

한국기계연구원의 열유체환경기술 개발현황

김석준*

R&D on Thermal, Fluid, and Environmental Engineering Technology in KIMM

Seock Joon Kim

Key Words: Turbomachinery, Cryogenics, Combustion, Incineration, Emission, Water Treatment

Abstract

To solve the problems of energy and environment conservation issued recently, mainly in mechanical engineering point of view, R&D's on the thermal, fluid and environmental engineering technology have been carried out by two R&D departments in the Korea Institute of Machinery & Materials (KIMM). Now there are 65 researchers in the two. The representative projects in the field of thermal and fluid engineering are development of an inactive gas generator and development of a cryogenic cooler for electronic sensors. Pyrolysis and melting of wastes, gas treatment using nonthermal plasma, and desalination are important technology to be developed in environmental R&D areas. To reduce the emission from the existing diesel engines for buses, an LPG direct injection type of bus engine is being developed supported by LPG supply companies. These several R&D projects which have been carried out in KIMM are introduced briefly.

1. 서 론

한국기계연구원은 국무총리실 산업기술이사회 산하 7개 정부출연연구소 중 기계 및 소재분야 전문 연구소이다. 대전의 대덕 연구단지 내에 있는 본원에서는 기계 분야, 창원에 위치한 본원에서는 소재 분야의 연구를 수행하고 있다.

1976년 창원의 기계공업공단 내에 한국기계금속 시험연구소란 이름으로 당시 상공부 (현 산업자원부) 산하 정부출연기관으로 설립되어 확장되어 가는 산업에 필요한 기계 및 소재 분야의 연구와 시험을 담당하게 되었다. 1981년에는 5공화국이 들어서면서 추진한 연구기관 통폐합의 일환으로 과학기술부로 담당부처가 바뀌었고 대덕 연구단지 내에 있던 한국선박연구소가 통합되어 한국기계연구소로 이름이 변경되었다. 1994년에는 한국

기계연구원 (이하 기계연)으로 명칭이 변경되면서 본부가 대전으로 이전되었다. 1999년 다시 정부의 정부출연연구기관 관리 일원화 방침에 따라 국무총리실 산하로 소관 부처가 변경되어 현재에 이르고 있다. 총 인원은 410여명으로 이 중 연구부서 인원은 약 260명 정도이다.

기계 분야는 열유체환경연구, 구조 및 동역학 연구, 정밀기계연구의 3개 분야로 구성되어 있으며 6개의 연구부서가 이를 수행하고 있다. 그 중 열유체환경관련 연구는 65명 정도의 연구 인력이 소속된 열유체환경연구부와 환경설비연구부의 2개 부서에서 수행하고 있다.

열유체환경연구부에는 유체기계, 열공조기계, 연소환경기계, 엔진환경의 4개 그룹과 대형 과제를 수행하기 위한 2개의 사업단이 있다. 환경설비 연구부는 환경안전과 수처리의 2개 그룹으로 구성되어 있다.

산업이 고도로 발달해 감에 따라 점점 심각해져 가는 에너지 및 환경과 관련된 문제를 해결하기 위하여 주로 기계공학적 측면에서 고효율, 저공해의 에너지 환경 기계 설비의 연구개발에 초

* 한국기계연구원 열유체환경연구부장

점을 두고 있다. 에너지와 환경은 서로 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 이와 관련된 기계 설비는 열유체 기술이 중심이 되고 있다.

이에 따라 기계연에서는 터보기계, 극저온 냉동, 화재 안전 등의 열유체 기술의 연구개발은 물론 소각 등의 폐기물 처리, 대기환경보전, 수처리, 저공해 엔진 등 열유체 기술을 기반으로 하는 환경 기술의 연구개발에 주력하고 있다.

2. 유체기계연구

유체기계그룹에서는 사이클해석, 공력/수력설계, 유동해석 및 성능평가 기술을 바탕으로 가스터빈 및 터보제너레이터와 같은 고효율, 저공해 차세대 엔진의 개발, 대형 발전용 가스터빈 냉각 블레이드의 공력설계기술 개발 및 산업용 고효율 터보기계(압축기, 펌프, 송풍기) 등의 터보기계 관련 연구를 중점적으로 수행하고 있다. 또한 비활성 가스제너레이터, 배인 펌프, 폐수처리용 포기기, 유동의 측정 및 제어 등 유체공학 관련 연구를 수행하므로써, 신제품의 창출 및 제품의 고부가가치화를 위해 노력하고 있다.

대표적인 과제로서는 산업자원부가 주관하는 민간겸용사업으로 1999년 12월부터 가스 터빈을 활용한 화재진압용 비활성가스제너레이터를 개발하고 있다. 개발 목표는 비활성가스 발생량 15,000-20,000Nm³/hr, 가스 온도 50-70℃, 산소농도 10% 이하이다. 1차년도에는 외국과 공동으로 시제품 제작 기술을 개발하고 이의 성능시험을 완료하였고 현재 진행 중인 2차년도에는 국내업체에 의한 1기를 제작 중이며 동시에 관련 요소기술을 자체적으로 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 2차년도 연구가 종료되는 시점에서 비활성가스제너레이터 중 가스터빈을 제외한 나머지 모든 제품의 90% 이상 국산화하고자 한다. 3차년도에는 화재 적용실험을 하여 상용화를 위한 수정 보완을 거칠 예정이다.

이 과제는 화재진압 시 기존 소방수를 사용하는 화재진압의 경우 많은 시간과 경비 그리고 노력이 요구되는 단점을 혁신적으로 개선하기 위한 연구이다. 비활성가스제너레이터는 소화제로서 물을 사용하지 않고 대기공기를 연소시키는 가스터빈의 배기 가스에 수분을 증발시켜 산소성분이 10% 이하인 다량의 비활성가스를 발생시켜 이를

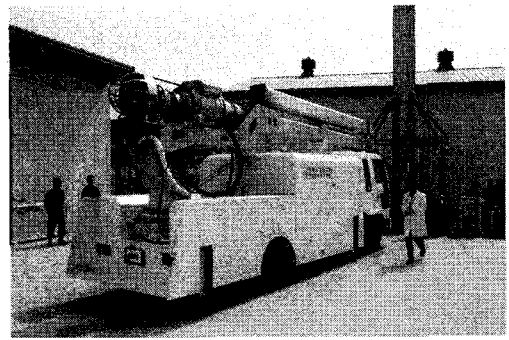


그림 1 비활성가스제너레이터 시제품

화재진압에 사용하는 것이다. 이는 소화제로서 가스를 사용하기 때문에 화재의 대상을 가리지 않고 사용되어질 수 있고 짧은 시간에 다량의 가스를 제조하여 화재지역에 분사하기 때문에 소방차에 의한 소방수 공급에 비하여 화재진압에 소요되는 시간과 비용이 대폭 절약된다는 점 등이 장점이다. 비활성가스제너레이터에 대한 성능시험결과 내부 용적이 150m³인 경우 약 30초 미만의 분사로 화재가 급속하게 진압될 수 있음이 밝혀졌다.

3. 열공조기계연구

열공조기계그룹에서는 밀집형 열교환기, 공기조화장치, 열펌프, 건조기, 병축열시스템 등 각종 민생용, 산업용 에너지 이용기기의 개발 및 고효율화 연구와 더불어 극저온 냉동기 및 극저온 냉각 시스템과 관련한 각종 응용기기의 개발연구를 수행하고 있다. 이에 따라 열전달 해석기술, 열교환기 설계기술, 냉동 및 공기조화기기 설계기술, 극저온 냉동 및 Cryostat 설계기술을 보유하고 있으며 이의 향상에 노력하고 있다.

특히 최근에는 극저온 냉동기술의 개발에 주력해 오고 있다. 1988년 극한기술개발사업의 일환으로 극고진공펌프인 "Cryopump"의 설계 및 제작 기술 개발" 과제를 수행 하면서 1988년부터 1992년까지 2단 Gifford-McMahon 극저온 냉동기에 대한 연구를 시작하여 최저도달온도 8.4K, 77K에서 냉동능력 42W의 극저온 냉동기를 개발하였다. 또한 1992년에는 액체헬륨온도(4.2K) 발생용 Gifford-McMahon/Joule-Thomson (G-M/J-T)

극저온 냉동기의 개발에 착수하였으나, 당시 일본을 중심으로 한 선진국들이 Gifford-McMahon 극저온 냉동기만으로 4.2K에 도달하였다는 연구 성과가 발표되면서 동 연구는 중단되었다.

그리고 1993년 부터는 극저온부에 가동부가 없어서 고수명이고 신뢰성이 높아 기존의 극저온 냉동기를 대체할 수 있는 맥동관 극저온 냉동기(Pulse tube cryocooler)에 대한 연구를 수행하여 1단 맥동관 냉동기에서 34.4K의 최저도달온도를 달성하였으며, 2단과 3단 맥동관 극저온 냉동기에서 각각 29K와 18K의 최저도달온도를 달성하였다

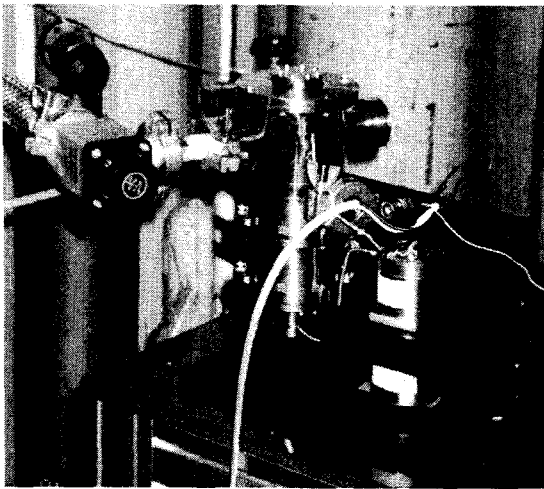


그림 2 적외선 센서 냉각용 Stirling 극저온 냉동기 성능시험장치

1998년에는 이동통신 무선기지국에 사용되는 초전도 RF 필터 냉각용 일체형 맥동관 극저온 냉동기에 대한 연구를 수행하여, 선형압축기(Linear compressor)를 이용한 관성 맥동관 극저온 냉동기(Inertance type pulse tube cryocooler)를 개발 하였다. 그 결과는 최저도달온도가 52K, 냉동능력이 77K에서 5W로서 성공적인 성과를 거두었다. 또한 적외선 센서 냉각용 Stirling 극저온 냉동기의 개발을 위한 기초연구로서 네델란드의 Signaal Usfa 제품에 대한 기초 성능실험을 수행하였다.

현재는 민군겸용기술과제로서 0.5W(at 77K)의

용량을 갖는 적외선 센서 냉각용 Stirling 극저온 냉동기의 개발 과 초전도전력저장장치(SMES)용 Cryostat 설계기술 개발 및 산자부 에너지절약과제로서 1W(at 4.2K)의 용량을 갖는 2단 Gifford-McMahon 극저온 냉동기의 개발 등의 연구를 수행중에 있다.

4. 연소환경연구

연소환경그룹에서는 연소기술, 폐기물 처리 기술, 대기오염방지 기술의 개발을 주요 연구 분야로 하고 있다. 연소기술분야에서는 각 종 버너 및 연소기기의 개발과 저 NOx 연소기술의 개발을, 폐기물처리 기술분야에서는 소각, 열분해, 용융, 폐기물 고형화 등과 관련된 기술의 개발을 중점적으로 수행해 오고 있다. 또한 플라즈마/축매 이용 저온조건 탈질 및 VOC 처리기술, 전기 집진기술, 여과포 집진기술, 실내오염 방지기술 등의 대기환경 개선을 위한 연구에도 많은 노력을 하고 있다. 특히, 연소 및 환경 관련 시스템 설계 기술과 성능평가 기술을 확보하고 있어 연구결과와 산업현장 적용에 많은 실적을 쌓아가고 있다.

폐기물 소각 기술 분야는 그 동안 축적된 연소 기술을 폐기물 처리에 적용하고자 1988년 소형 소각로의 개발에서부터 출발하였다. 산업폐기물을 대상으로 대부분 수냉식 원통형 소각로였으나 소각 효율을 높이기 위하여 내화벽돌을 이용한 소형 소각로 개발이 이루어졌다. 이어 1989년부터 3년간 고분자 폐기물의 연속 건류소각에 대한 연구를 수행하였고 이 기술을 바탕으로 하향 건류 소각 기술을 개발하여 현재 참여기업에서는 많은 수주 실적을 올리고 있다. 이 하향 건류 소각로 개발 연구팀은 1994년 환경부에서 수여하는 제1회 환경기술상 국무총리상을 수상하기도 하였다.

1992년 시작된 환경부 G7과제의 하나로 “대도시형 저공해 소각로의 개발” 과제에 참여하게 되었다. 1단계 3년은 대우중공업, 대우건설, 삼성중공업이 주관기관으로 한국과학기술원과 한국기계연구원은 위탁연구기관으로 참여하여 하루 50톤의 생활쓰레기를 처리할 수 있는 스토커 방식의 파일럿 소각로를 독자적으로 설계 제작하였다. 그 후 삼성중공업이 제외된 2, 3단계 5년간 대우

중공업 주관으로 파일럿의 성능시험을 수행하여 수정보완을 하였고 수주를 위한 영업활동을 하고 있다. 현재까지 건설되는 국내의 모든 대형 생활 쓰레기 소각로는 외국의 기술을 도입하여 왔으므로 단기간에 국내의 기술로 개발해 온 것을 매우 의의가 크다고 할 수 있다. 기계연 연구팀은 스토커식 소각로의 핵심인 스토커의 개발을 담당하였고 그 외 공기공급장치, 전 시스템의 성능 시험 등을 맡아 중추적인 역할을 하였다 할 것이다.

1995년경부터 사회 문제로 대두되기 시작한 다이옥신 문제는 소각로에 대한 부정적인 시각을 급격하게 증폭시켜 매립장이 고갈되어 가는 상황에서 폐기물의 처리는 난관에 봉착해 있다. 이때 대두되기 시작한 것이 차세대 소각기술로 언급되는 열분해 용융 기술이다. 환원 분위기에서 폐기물을 열분해하여 다이옥신의 발생을 최소화하고 생성된 다이옥신은 용융로에서 완전 분해할 뿐 만 아니라 용융 슬래그를 재활용하도록 하여 "Emission Zero"화 하자는 것이 열분해 용융의 궁극적 목표이다.

기계연에서는 1998년부터 2년간 수분함량이 적고 발열량이 높은 사업장 일반폐기물을 대상으로 하루 2톤을 처리하는 열분해 용융 시스템의 개발에 성공하였다. 또 일반 소각로에서 발생하는 소각재에 함유된 다이옥신과 중금속으로 인해 소각재를 매립하는 것조차 어려움을 겪고 있어 이를 해결하기 위하여 하루 1.5톤을 처리할 수 있는 파일럿 용융로를 개발하였고 기업에 기술 이전하여 수주 단계에 있다.

생활 폐기물의 열분해 용융 시스템은 2000년부터 기관과유사업으로 개발이 시작되어 현재 진행 중이다. 하루 2.4톤 처리량의 파일럿을 3년간 개발하는 것이 1단계 목표로 추후 기업과 공동으로 하루 100톤 이상의 폐기물을 처리하는 상용시스템의 개발을 최종 목표로 하고 있다.

저온 플라즈마를 이용한 탈황탈질 동시처리 시스템의 개발은 1994년 한국중공업으로부터 수탁을 받아 시작되었다. 100kV 이상의 전압과 수백 나노초 정도 펄스폭의 전원으로 황산화물과 질소산화물의 오염 물질이 함유된 화력발전소 배기가스 유동장에 저온 플라즈마를 발생시켜 이를 제거하는 것이 기술적 목표이다. 0.5MW급의 파일럿을 개발하여 기업에 기술 이전하였고 10MW급

을 설계하여 현재 하동화력발전소에서 실증시험 단계에 있다. 파일럿 실험 결과 황산화물은 95% 이상, 질소산화물은 70% 이상 제거됨을 확인하였다.

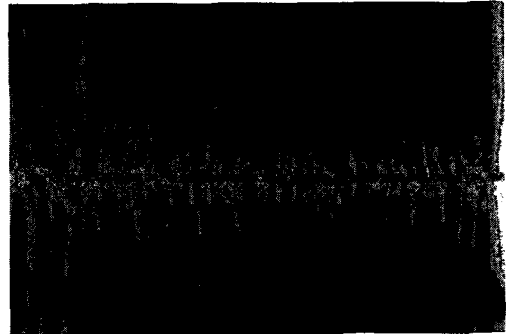


그림 3 펄스 전원에 의해 발생된 저온 플라즈마

이 기술을 바탕으로 유전체 방전에 의한 플라즈마를 이용하여 VOC 등을 제거하는 연구를 1996년 시작하였고 1999년에는 해당 연구실이 NRL로 선정되어 상업화에 소요되는 여러가지 기초 기술의 개발에 주력하고 있다. 특히 플라즈마 유동장에서의 화학 반응에 대하여 깊이 있게 연구하고 펄스 전원보다는 훨씬 경제적인 AC, DC 전원을 사용하면서도 플라즈마의 강도를 최대화하고 scaleup이 가능한 반응기 구조를 개발하는데에 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 제거 효율을 극대화하기 위하여 최적 촉매를 선정하는 연구도 중요한 테마가 되고 있다. 대상 유해가스로는 톨루엔, TCE 등의 VOC 물질은 물론 NF3, CF4 등의 PFC와 NOx 등을 다루고 있으며 다수의 특허를 출원하고 있다.

5. 엔진환경연구

엔진환경그룹에서는 이산화탄소(CO2) 총량규제에 대응하는 저연비·저배기 엔진기술의 개발을 주목적으로 하고 있으며, 이를 위해서 (1) 국내 자동차에 의한 배기공해 문제를 조기에 해결하고 국제경쟁력을 강화하기 위한 초저공해엔진 기술개발, (2) 석유자원 고갈과 환경문제 대응을

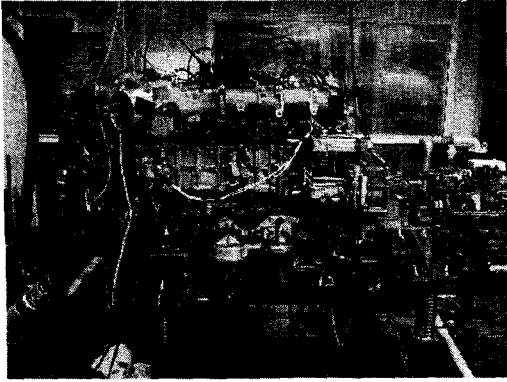


그림 4 개발중인 K-1(NA) LPLI 엔진

위한 액화석유가스(LPG), 압축천연가스(CNG), Bio-Gas 등 대체연료엔진 기술개발, (3) 엔진전자화, 고장진단장치, 차량의 전자제어 기술을 주축으로 하고, 아울러서 차세대 차량의 준비단계인 “지능형 자동차 핵심기술개발”을 중점적으로 수행하고 있다.

특히 1999년 11월에는 가스회사의 연구비 지원에 따른 대형 “LP가스엔진 연구사업단”이 한국기계연구원을 중심으로 8개 기관이 참여하는 Consortium으로 출범하였다. 이외에도 자동차 배기 공해 대책을 위한 국가적인 장·단기 개선방안과 기술적인 추진방향의 제시를 통한 보다 나은 대기 환경의 보전에 많은 노력을 경주하고 있다.

LP가스엔진 연구사업단에서 수행하고 있는 “저공해 버스용 대형 LPG엔진 개발” 과제의 최종목표는 대도시 대기오염의 주범으로 인식되고 있는 대형 디젤차량의 엔진을 대체할 수 있는 최신의 액상분사식 대형 LPG엔진을 개발하는 것으로, 구체적으로는 현용 동급기관의 출력성능(270 PS, 100 kgm)과 연료 경제성을 확보하고 유해 배기가스 저감을 EURO-III 이하로 실현하는 것이다. 즉, LPG엔진의 제 3세대 기술인 액상분사(LPLI, Liquid Phase LPG Injection)기술 개발하고 이를 오염도가 심한 대형엔진에 적용하여 저공해 대형 LPLI 엔진을 국산화 개발함을 연구내용으로 하고 있다.

주관기관인 기계연에서는 대형 LPG 엔진개발을 총 책임지며, 이에 따른 연소실 개발, 시작품 엔진의 설계 및 제작, 엔진시험 및 성능평가 그

리고 위탁기관의 관리 및 조절의 역할을 효율적으로 전담하기 위하여 LP가스엔진 연구사업단을 조직하였다. 엔진 국산화 개발에 필요한 핵심부품의 국산화는 참여기업인 창원기화기와 씨멘스 오토모티브에서 담당하였다. 또한 기반 연구팀을 구성하여 대형 LPLI 엔진의 국산화 개발을 뒷받침하도록 하며, 국내외로 개발되는 엔진의 성능을 효과적으로 홍보할 수 있게 하였다. 또한 이미 대형 LPG 엔진의 개발에 많은 경험을 가진 네덜란드 TNO와 일본의 AIST에서도 개발엔진의 종합성능 예측 및 개선방향에 대한 위탁연구 및 기술협회가 계속적으로 수행되고 있다.

6. 수처리설비연구

수처리설비연구그룹은 정수 및 담수화, 난분해성 폐수처리 기술 수질계측 기술등의 수처리 관련 기술을 개발하고 있다. 물부족 현상과 도서지방의 식수난에 대한 해결방법의 일환으로 해수 및 각종 수자원을 이용하여 식수와 용수를 만들어내는 담수화 기술에 관한 연구를 수행하고 있다. 또한 초음파 막 등의 물리적 방법을 이용하여 난분해성 폐수를 처리하는 고도 수처리에 관한 연구와 다양한 수처리 방법들의 조합공정에 관한 연구도 수행중이다. 더불어 수처리 방법들의 조합공정에 관한 연구도 수행중이다. 더불어 수처리장비에 필요한 각종 수질 계측기에 관한 기술을 연구중이며 환경시험에 관한 공인기관으로서 다양한 시험 평가를 수행중이다.

1996년부터 3년간 기계연의 스타프로젝트로 개

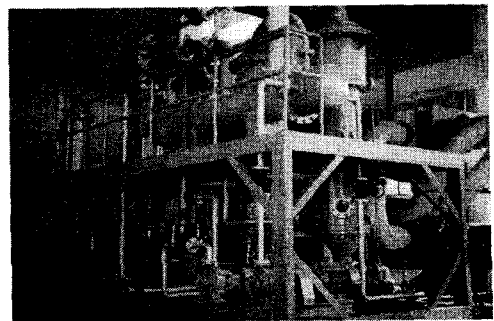


그림 5 4중효용 증발식 담수화장치 (50톤/일)

발한 해상 바지용 담수화 기술 개발 과제에서는 담수화 장치의 지역별, 방식별 경제성 분석, 담수화 시스템의 방식 및 종류에 따른 특성 파악 등 시스템 기술 개발을 수행하였고 전남 신안군에 증발식 해수 담수화기지를 건설하여 실제 해수를 이용한 담수화 실험을 진행하였다.

1997년부터 1999년까지는 역삼투막식 복합담수화 시스템 개발을 위한 요소기술 개발을 추진하였으며 디젤발전기의 폐열을 이용한 역삼투식 담수화장치, 섬유막을 이용한 전처리 공정 (100톤/일) 등의 기술을 개발하였다.

2000년부터는 다중효용 담수화장치 (4중효용방식, 하향액막증발식, 생산수 50톤/일)의 설계 및 제작 기술을 개발해 오고 있다. (그림 5).

7. 환경안전 및 제어 연구

우리 나라의 경우, 화재에 의해 매년 2000여명 (사망 500여명 포함)의 인명피해와 1000억원 이상의 재산손실이 발생하고 있으며, 또한 경제규모의 증가로 30층 이상의 고층빌딩과 지하터널 등 화재 취약부분이 크게 증가되고 있을 뿐만 아니라 지진활동이 빈번하게 일어나게 됨에 따른 대형 화재사고 발생의 가능성이 점차 고조되고 있는 상황에서 환경안전과 관련된 체계적인 연구의 필요성이 점차 높아지고 있는 실정이다. 환경안전 제어 연구그룹에서는 화재를 포함하는 환경안전 사고의 예방 및 피해저감과 관련된 핵심 기술을 연구하고 있다.

특히 화재구역의 연기제어, 터널화재의 안전설계, 특별 피난 구역에서의 연기제어 성능평가, 가

압방연 설계를 위한 Network 모델링, 불환성 가스 소화설비 설계 등을 주요 연구분야로 하고 있으며 가압방연 설계를 위한 Network 모델링 (BuiPeD 1.2), 화재구역 연기제어 프로그램 (SMOKE 1.0) 등 다수의 소프트웨어 개발을 완료하여 기업에 이전하였다.

향후 환기를 고려한 지하공간 및 터널 화재 안전설계 Tool을 개발할 예정으로 있으며 이를 위하여 실제의 자동차 터널과 철도 터널에 화재를 발생시켜 실험을 하므로써 설계에 유용한 데이터를 확보할 예정으로 있다.

8. 결론

가스 터빈과 엔진은 가장 대표적인 열유체 기계설비로서 기술 집약적이면서 지속적인 개발을 필요로 하며 극저온 냉동은 초전도, 정밀 센서, 통신 등에 필수적인 첨단 기술로 부각되고 있다. 소각과 열분해 응용 기술은 폐기물 처리를 위하여, 플라즈마 유해가스 처리와 집진 기술은 유해가스 처리를 위하여, 또한 담수화와 초음파 응용 기술은 수처리를 위하여 가장 핵심이 되는 환경기계 설비 분야의 기술이다. 화재는 끊이지 않는 인간 재앙의 하나로 효과적인 진화에 대한 기술적인 접근이 시도되고 있다.

한국기계연구원에서는 이러한 기술들을 개발함으로써 심각해져 가는 에너지와 환경 문제를 해결하여 국내 관련 산업을 활성화하고 궁극적으로는 국민의 삶의 질 향상 추구를 목표로 하고 있다.