

하는 것이 필요하다. 내연기관에서 수치해석연구는 엔진 내부 유동 및 연소 현상의 이해와 해석, 연소실 내 현상에 대한 물리적 모델의 개발과 검증을 중심으로 이루어지며, 수치해석 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 각 요소 모델에 대한 다양한 실험 결과와의 검증 작업이 요구된다.

본 연구에서는 라디칼 인젝터를 장착한 엔진의 연소실을 모사한 정적연소기에서의 연소현상을 해석하고 이를 동일한 지오메트리에서 실험한 결과와 비교하여, 본 계산에 적합한 계산상수들을 제시하고 연소특성을 상세히 분석하고자 한다.

일반적으로 연소모델은 충분한 반응시간으로 평형상태를 유지할 경우에는 평형모델(equilibrium model)을 쓰고, 반응이 비교적 느리게 진행되어 주어진 시간 간격으로 반응 진행 과정의 추적이 필요한 경우에는 Arrhenius 형태의 비평형모델(kinetic model)을 적용한다. 이중 Arrhenius 형태의 비평형모델에서 사용되는 activation energy, pre-exponential factor 등의 값은 경험상수로 화학반응기간 및 점화시작점에 큰 영향을 미치게 된다. 이 값들은 엔진 및 연소실의 형상과 특성에 따라 그 값이 크게 변화하며, 많은 연구에서 여러 가지 상수값을 제안하고 있다^{15),16)}.

본 연구는 Arrhenius 형태의 비평형모델(kinetic model)에서 경험값으로 사용되는 activation energy, pre-exponential factor의 값을 다양하게 적용하여 계산을 수행한후, 실험결과와 비교하여 실험결과에 가장 접근하는 값을 선정하여 당량비 변화에 따른 정적연소기의 연소특성을 해석하였다.

상술한 해석결과를 기반으로 라디칼인젝터가 장착된 연소실의 연소특성을 해석한다. 라디칼인젝터가 장착된 연소실은 연료가 희박한 상태로 분포되어있는 주실과 주실보다 농후한 상태의 부실이 작은 연락공으로 연결되어있으며, 부실에서 점화를 일으킨다. 본 연구에서는 주실의 당량비를 변화시켜 연소시의 연소유동, 압력과 온도변화, 각종 화학종들의 거동등을 시간의 경과에 따라 상세하게 분석하고자 한다.

13. 밀폐관형 스피커 구동형 열음향 냉동기의 주파수 및 온도변화 연구

석사과정 오 상 훈
지도교수 김 동 혁

각종 냉동기에 많이 쓰이는 염화 불화탄소 계열의 냉매는 환경을 심하게 파괴하기 때문에

곧 사용 금지될 전망이다. 대체냉매를 개발하기 위하여 많은 개발과 노력이 기울여 지고 있다. 그것과는 상반 되게 극저온 특수냉동기들은 환경에 무해한 헬륨 등을 사용하는데 그 중의 하나가 바로 열음향 냉동기이다.

열음향은 1777년 Higgins가 커다란 관에서 수소불꽃 실험을 통해 음향진동 현상을 발견하면서 시작되어 Sondhauss 등에 의하여 음향진동에 대한 연구가 진행되었으며 음향 진동기로는 1850년에 그가 제작한 Sondhauss tube가 가장 단순하고 오래되었다. Sondhauss tube는 액체 헬륨 사용자들에게 Taconis 진동기로 잘 알려져 있는데 극저온 냉동장치에서 가스가 주입된 관이 상온에서 극저온에 접근할 때 매우 큰 진폭을 갖는 Taconis진동 발생에 대하여 1954년 Clement, 1980년 Yazaki 등에 의해 계속 연구되었다. 이처럼 열음향 이론에 관한 연구는 비교적 긴 역사를 가지고 있으나, 그리 많은 사람의 주목을 끌지는 못했다. 1980년대 들어와서 원리가 규명되어 1980년대 중반부터 연구가 시작되었다. 냉동기의 냉매로 쓰여지고 있는 프레온 계열의 가스 즉, 염화불화탄소가 오존층을 파괴한다고 하여 전세계는 프레온 가스의 사용을 규제하기 시작하였으며 남극지방의 오존층 구멍이 점차 커져감에 따라 CFC 생산을 전면 중단하기까지 이르렀다. 이러한 환경 문제에 대처하기 위하여 새로운 관점에서 냉동에 대한 원리를 연구하기 시작하였고, 열음향 냉동기술도 이 시점에서 크게 대두되기 시작하였다. 열음향 냉동기술은 아직까지도 많은 사람들에게 생소한 용어이다. 열음향 냉동의 원리를 쉽게 표현하자면 음파 좀더 정확히 말해서 정재파(Standing wave)에 의한 유체의 단열 압축 및 팽창시에 형성되는 온도의 진폭에 특정한 매개체를 도입하여 열펌핑 효과를 유도하는 것이라 할 수 있다. 열음향 냉동기술의 장점은 냉매로 헬륨과 같은 불활성의 가스를 사용하므로 환경에 친화적이며 기존 냉동장치의 압축기를 사용하지 않기 때문에 소음 및 진동이 적다는 것이다. 열음향의 역사에서 본격적인 열음향 냉동장치의 구현은 1982년에 미국의 국립 Los Alamos 연구소의 휘틀리(Wheatley)등이 스피커를 이용한 공명관식 열음향 냉동장치를 제작하고 연구를 하면서 시작되었다. 1986년에 호플러(Hofler)는 공명관의 구조를 개량한 일명 호플러 공명관(Hofler resonator)을 고안하여 열음향 냉동장치를 제작하고 실험을 행하여 논문을 발표하였다. 1988년에 스위프트는 그때까지의 열음향 냉동이론에 대한 원리를 체계적으로 정리 발표하였다. 이 스위프트의 논문 발표 이후 열음향 냉동기술도 크게 발전하였다. 지금까지의 열음향 냉동기술에 대한 연구는 미국의 주립 Los Alamos 연구소와 미해군 대학원이 주축이 되어 왔다. 그리고 미국의 펜실 베니아 주립대학교에서도 활발한 연구를 수행중에 있다. 이처럼 미국은 이 분야에서 많은 연구를 하고 있는데 현재 열음향에 관련된 여러 가지 극저온 냉동기를 개발하고 있다. 우리 나라 열음향 냉동에 대한 연구는 1990년대 중반부터 수행되기 시작하였다. 한국과학기술원에서는 자동차용 촉매 변환장치를 박판 집적체로 사용하여 열음향 냉동장치를 제작하여 열펌핑 효과에 대해 실험을 행하였으며, 같은 해에 서울대학교에서도 호플러 냉동장치를 모델로 하여 음향학적 해석을 통해 설계방법을 제시하고 제작하여 PET필름으로 만든 박판 집적체에서 열음향 효과를 관찰하였다. 1996년에 홍익대학교에서는 호플러 공명관식 열음향 냉동장치에 대한 수치 해석적 모델을 제시하였으며,

한국과학기술원에서는 공명관의 주파수 특성을 전달행렬을 이용하여 해석하고 이때 유도된 에너지 평형식에서 열음향 효과를 예측하여 설계기법을 개발하였으며 자동차용 촉매 변환장치를 박판 집적체로 하여 열음향 효과를 관찰하였다. 1997년에는 한국표준과학연구원과 충남대학교가 공동으로 얇은 플라스틱판을 말아서 박판 집적체를 제작하고 호플러 공명관 형식의 열음향 냉동장치를 제작하였다. 이 냉동장치는 저온부의 최저 온도를 영하 24.5도까지 얻을 수 있는 성능을 가지는 것이었다.

열음향 냉동기술은 음향학, 열 전달 및 열역학에 대한 많은 지식을 요구하며 시스템을 설계하기 위해서는 이들 모든 분야에 대한 전문지식이 필요하다. 열음향 냉동기는 크게 두 가지로 대별할 수 있다. 하나는 맥동관 식으로서 충전가스의 압력에 변화를 주기 위하여 압축기를 사용하고 있다. 또 다른 하나는 공명관 식인데 공명관내의 밀폐시스템 내에 정재파를 형성시키기 위하여 적절한 음향 발생장치를 이용한다. 본 연구에서의 연구 초점은 공명관 식에 맞추고 있는데 공명관 식은 구동부의 형식에 따라 스피커 구동식과 열 구동식으로 나누어진다. 스피커 구동식은 전기에너지를 음향에너지로 바꾸는 형식이고 열 구동식은 파이프 양단에 온도차가 존재할 때 적절한 장치를 이용하여 음향을 발생시킬 수 있다는 원리를 이용하여 열에너지를 음향에너지로 바꾸는 형식이다. 열 구동식 열음향 냉동기의 장점은 폐열 등을 이용 할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 공명관식 중에서 스피커 구동식에 의한 열음향 냉동장치를 설계 제작하여 그 성능 시험을 하고자 하였다. 스피커구동 공명관식 열음향 냉동기는 밀폐된 공명관 내부에 설치된 스피커가 공명관의 길이와 냉매의 음속에 의해 산출된 구동주파수를 발생시킨다. 공명관 내부의 충전가스는 단일 압축과 팽창의 과정을 반복하면서 온도진폭을 형성하게 된다. 이러한 온도진폭에 박판 집적체를 온도 구배가 완만한 곳에 개재시켜 열펌핑 효과를 유도하여 냉동을 하는 방식이다.

본 연구의 연구 목적은 실제 열음향 냉동기를 제작하여 구동주파수를 변화시켜가면서 공명관에서의 온도 구배를 관찰하여 주파수마다의 설계기준을 잡고자 하였다. 공명관의 길이, 구동 주파수, 스피커 입력전압등을 변화 시켜가면서 열펌핑 효과를 관찰하였다.

본 연구에서 사용한 열음향 냉동기는 관의 직경이 일정한 열음향 냉동기로 스위프트 논문을 참고하여 제작하였으며 제작 방법과 과정을 설명하고 열음향 냉동기의 구성 부품을 소개하고 실험 결과를 비교 검토하고 결론 부에서는 앞으로의 연구 진행 방향을 제시하려고 한다.

본 연구에서 열음향 원리를 이용하여 열음향 냉동기를 제작하여 주파수 별, 음향 출력에 대한 온도 특성을 조사하였다. 본 연구에 제작, 사용된 열음향 냉동기는 스피커, 박판 집적체, 고온 열교환기, 저온 열교환기, 공명관 등으로 구성되며 Speaker를 통하여 열음향 냉동기 내부에 음압을 발생시키고 이 음압을 이용하여 열음향 냉동기의 저온부를 냉각시키는 시스템이다. 열음향 냉동기의 내부를 1기압의 공기로 채우고 Speaker를 250Hz에서 구동시켰을 때 열음향 냉동기의 저온부를 약 15℃ 정도 냉각시킬 수 있었다.