고온고압 환경에 노출된 영상장치 내열특성

신재익*† · 안동찬* · 조재한*

Thermal Characteristics of Imaging Device Exposed to High Temperature and High Pressure

Jaeik Shin* · Dongchan Ahn* · Jaehan Cho*

ABSTRACT

This paper describes the heat resistance characteristics of the imaging device installed in behind the engine due to monitoring the engine condition, and this paper includes the introduction and development of the imaging probe. Because the imaging device which is at the rear end of the engine is exposed to a high temperature and high pressure, the stability of the device should be secured by changing the device shape and supplying cooling water. The imaging probe in ADD engine test facility is installed at the rear end of the engine, and it is designed by reflecting the heat resistance characteristics to ensure the stability of the device.

초 록

본 논문은 엔진 시험시 엔진의 후단에 설치되어 엔진 내부의 상태를 감시하는 영상장치의 내열 특성에 관한 것으로, 엔진 시험설비에 사용되는 영상프로브 소개 및 개발에 관한 내용을 담고 있다. 엔진 후단의 영상장치는 고온고압 환경에 노출되어 있어서 장치형상 변경 및 냉각수 공급으로 장치의 안정성을 확보해야 한다. 국방과학연구소의 엔진 시험 장치의 후단에 영상프로브가 설치되어 있으며, 내열특성을 반영하여 설계하여 장치의 안정성을 확보하였다.

Key Words: Imaging Device, Probe, Cooling Water, Periscope

1. 서 론

가스터빈 엔진의 연소 과정을 분석하는 것은 연소 효율 및 엔진의 성능을 측정하는데 매우 중요하다. 연소 현상을 특정하기 위하여 연소 과정을 관찰 및 측정하여 화염 구조, 연료 분사 특성, 화염 전파 특성을 파악해야 한다[1, 2]. 이러한 특성들은 유동 가시화 방법에 의해 획득할 수 있으며, 가시화가 가능한 창을 가진 특수 시험 챔버를 사용하여 연소현상을 관측해왔다. 하지만 기하학적 구조로 인하여 연소 장치와 측정 장치 사이의 유동 특성이 많이 차이났으며, 이를 감소시키는 방안으로 장치의 소형화를 연구하였

* 국방과학연구소
† 교신저자, E-mail: ik1248@add.re.kr

다. 또한 고온고압의 환경에서 견디며 좋은 화질을 제공할 수 있는 소형 영상 장치를 제작하는 기술이 필요하다[1].

미국 AEDC(Arnold Engineering Development Center)에서는 2002년 JT-12 터빈 엔진의 연소현상 관측을 위해 영상프로브를 적용하였다[1]. 영상프로브는 연소기, 노즐, 증진기 등을 직접 볼 수 있어 유동 패턴, 점화 및 안정화, 재료 무결성, 열 손상, 연소 균일화 등을 관찰 할 수 있다. 엔진 후단 화염을 정면에서 관측하기 위하여 국방과학연구소 엔진시험장에도 AEDC와 유사한 영상프로브가 엔진 후단, 디퓨저 상단에 설치하였다. 본 논문에서는 두 설비의 영상장치를 비교해보았다.

2. 본 론

2.1 AEDC 영상프로브

AEDC에서는 엔진 출구면에 직접 설치 가능한 창이 없는 배출 조리개 설계를 통해 영상프로브를 구현하였다. 이를 위해 고압의 물 냉각 및 SUS 하우징을 이용하였고, 고온의 가스가 들어오는 것을 막기 위해 건성 질소가스를 300 psia로 공급하여 조리개를 통해 질식시키는 방식을 사용하였다. 개념 형상은 Fig. 1과 같다[1].

하지만 내경이 작은 핀카메라를 찾지 못하여 창이 없는 형태의 설계가 불가능하였다. 대안으로 윈도우를 설치하고 내부에 45° 기울어진 거울을 설치하여 잠만경 형태로 제작하고 CCD 카메라를 거울상단에 배치하였다. 형상은 Fig. 2, Fig. 3 과 같다.

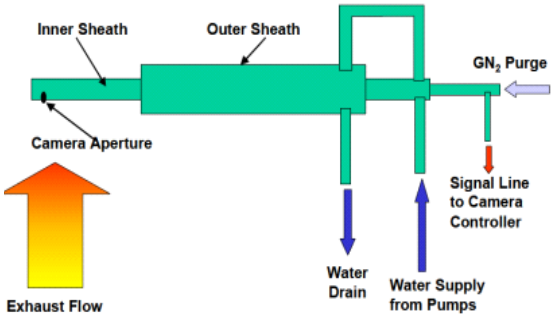

Fig. 1. Viewing Probe Installation Schematic

영상프로브 장치가 적용되는 후단화염의 조건은 약 1800 ~ 2000 °C, 350 kPaA 이다[1]. 장치에는 500 psi 이상의 냉각수가 흐르며, 질소가스 질식을 이용하여 광학 장치를 깨끗하게 유지한다. 한번 가동 뒤 내부 반사경의 불순물을 제거하기 위해 수백시간 후에 재가동을 한다.

AEDC에서는 전기 성형관 및 모터를 이용하여 창의 위치를 회전시키는 회전 프로브를 추가적으로 연구중에 있다[2].

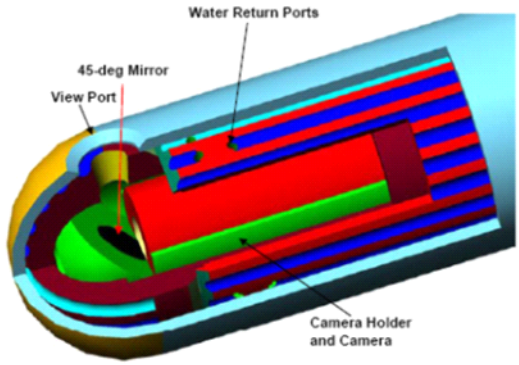

Fig. 2. Cutaway View of Probe Head

Fig. 3. Augmentor Imaging Probe

2.2 국방과학연구소 영상프로브

국방과학연구소 엔진시험장치에 설치된 영상프로브는 디퓨저 상단에 설치되어 있으며, 디퓨저로 연소생성물이 온도 2000 °C, 압력 540.0 kPaA 로 유입된다[3].

AEDC와는 다르게, 국과연 영상프로브는 엔진의 정중앙에 위치하고 있지 않다. 초기 형상에서는 영상프로브가 정중앙에 위치하였으나, 고압으로 날아온 파편에 의하여 장치의 파손되었기 때문에 차후에 설계를 변경하였다. CFD 해석은 초기 형상을 반영하여 진행하였으며 형상은 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

실린더는 반으로 나뉘어 냉각수가 상하로 흐르고 있으며, 내/외부 실린더 사이에 6 mm 간격으로 300 K 냉각수가 유입되어 실린더 외벽으로부터 가해지는 열을 감소시킨다. 또한 실린더 내부로 상온의 냉각공기가 2 m/s 로 유입되어 실린더 하단으로 배출되며 내부 장치 및 센서의 온도를 유지한다.

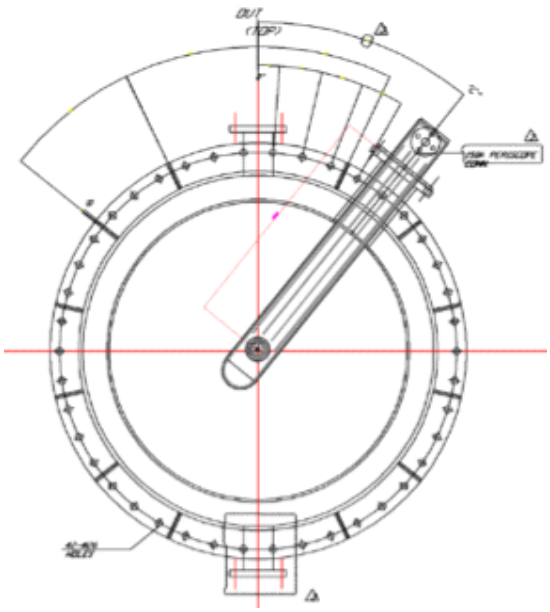

Fig. 4 Schematic of the Imaging Probe Installed in the Diffuser

Fig. 5 Imaging Probe Installed in the Diffuser

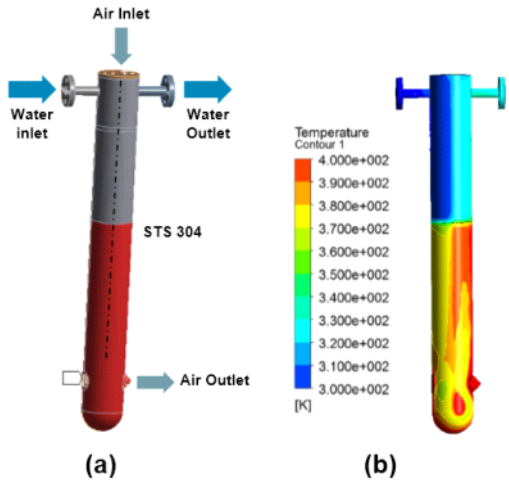

Fig. 6 Periscope Cylinder; (a) Model and Inlet/Outlet Positions, (b) Temperature Analysis

연소가스는 2000 °C, 압력 540.0 kPaA 로 유입되며 이 때 실린더 표면에 가해지는 열유속값 5.0×10^5 W/m^2 은 선행연구에서 계산되어졌다[3]. Fig. 6은 위 조건에서 CFD 해석을 통해 계산된 실린더 내부 냉각수의 정온도 분포를 나타낸다. 해석 결과 냉각수는 300 K로 공급되어 330 K로 나가며, 실린더 내부를 400 K 이하로 낮춰준다.

CFD 해석 결과를 바탕으로 실제 모델을 제작하여 실제 시험을 진행하였다. Fig. 7은 연료 유량 변화에 따른 온도 분포를 나타내고 있다.

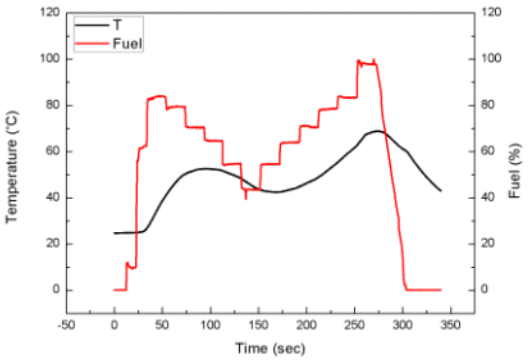

Fig. 7 Temperature and Fuel Distribution during Combustion Test

연료량은 최대값을 100%로 하여 상대적인 분포를 나타내고 있으며, 온도는 실린더 내벽온도의 평균값이다. 연료량 증가에 따라 디퓨저로 빠져나가는 연소생성물의 온도가 증가하며, 결과 값은 실린더 내벽의 온도변화와 같은 경향을 나타낸다. 내벽의 온도는 최대 68 °C까지 올라갔으며 장치의 내열성이 확보되었다.

3. 결 론

고온고압 환경에 노출된 영상장치에 대하여 AEDC 와 국과연 영상프로브에 대하여 내열특성을 비교하였다. 고온고압의 환경에 노출되어있다는 공통점이 있는 반면, 국과연 시험장치는 파편에 의한 안정성을 위하여 AEDC보다 영상프로브의 거리가 상대적으로 멀리 위치한다. 국과연 시험장치의 경우 초기 설계시 CFD를 통한 고온에서 안정성을 확보하였으며, 엔진 연소 시험 결과와 비교하여 장치의 고온 내열성을 확인하였다.

추가적으로, 환경 규제로 인하여 가스 터빈 엔진의 공해 물질 배출의 감소를 요구하고 있고, 이로 인한 많은 연구가 진행중임에 따라 가스 성분 검출 프로브를 국과연 엔진 시험 장치에 적용할 것을 구상하고 있다.

참 고 문 헌

1. Robert S. Hiers III and Robert S. Hiers Jr., “Development of High-Temperature Image Probes for Viewing Turbine Engine Augmentors“, AIAA 2002-2912, 22nd AIAA Conference, June 2002
2. Keith P. Savage, Bradley C. Winkleman, Gregg R. Beitel, David H. Plemmons, Daniel R. Catalano, Robert S. Hiers III, “Imaging Probes for Gas Turbine Engines, AIAA 2006-4301, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, July 2006
3. 신재익, 진병대, 현동기, “영상프로브를 이용한 화염 정면 가시화”, 한국추진공학회 2016 추계학술대회, pp.23-27