

가스터빈에서 변형홀을 사용한 막냉각 특성 해석

Characteristics of the Shaped Hole Film Cooling in Gas Turbine

이동호, 김병기, 조형희
(연세대학교)

가스터빈 엔진의 효율 및 성능은 터빈입구온도에 크게 좌우되므로, 높은 열효율을 얻기 위하여 최근 가스터빈 엔진은 높은 입구온도(대략 1400~1500℃)에서 작동되도록 설계되고 있다. 이는 요소재질의 열한계점을 훨씬 상회하며, 이와 같은 입구온도의 고온화 경향은 터빈요소에 대한 열부하를 증가시키고 있다. 따라서 극한의 작동조건하에서의 허용수명 및 안정성의 유지를 위해서 내부대류냉각, 충돌세트냉각과 더불어 막냉각기법이 많이 응용되고 있다. 막냉각기법은 연소기 벽면 혹은 터빈블레이드 표면의 작은 구멍들을 통해서 압축기의 공기를 분사하여 표면에 고온의 유체와 일종의 단열벽을 형성하여 표면을 보호하는 냉각방법이다. 지금까지는 주로 단면적이 일정한 막냉각홀에 대한 연구가 주가 되어왔으나, 이러한 막냉각홀을 이용하는 경우 많은 문제점이 발생한다. 분사율이 높은 경우 냉각유체가 표면으로부터 분리되어 주유동을 투과해 나가는 현상이 발생하거나, 막냉각효율이 횡방향으로 불균일하게 분포하여 과도한 열응력에 의해서 연소실 벽면이나 터빈 블레이드의 파손이 일어날 수 있다. 복합각도분사를 통해서 이러한 문제를 어느 정도 해결할 수 있으나, 분사율이 높은 경우 복합각도분사시에도 축방향분사와 동일한 문제점을 유발한다. 이와 같은 문제점은 출구면적이 확대되는 변형된 막냉각홀을 이용한 냉각유체의 분사를 통해서 개선될 수 있다. 본 연구에서는 입구 대 출구의 면적비가 2.55인 원뿔형상의 출구확대형 막냉각홀을 사용하여 횡방향 분사각도 및 분사율을 변화시켜가며 막냉각홀 주변에서의 열(물질)전달특성을 연구하였다. 이 실험에서는 물질전달실험방법인 나프탈렌 승화법을 이용하여 물질전달계수 및 막냉각효율을 측정하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 결과는 열전달과 물질전달의 상사성에 의하여 열전달해석에 직접 응용될 수 있다. 변형홀을 통한 막냉각의 경우, 홀 입구에서의 높은 속도에도 불구하고 확대형 출구형상으로 인하여 출구에서의 제트의 운동량을 감소시키고 냉각유체의 횡방향 확산을 촉진시킨다. 이로 인하여 냉각유체가 주유동을 투과하는 현상을 억제하여서 높고 균일한 막냉각효율을 나타냈다. 또한 비교적 높은 분사율에서도 단면적인 일정한 막냉각홀에 비하여 좋은 막냉각효과를 보여주었다.