

Film-Cooling Hole의 유출계수에 관한 수치해석적 연구

김재형, 김희동, 우선훈

안동대학교 기계공학부

(E-mail : Kimhd@andong.ac.kr)

가스터빈의 경우 터빈 입구의 온도가 높을수록 출력이 증가하게 되므로, 고온의 연소 가스 사용이 요구되고 있으나, 터빈 블레이드에 작용하는 열적 부하로 인하여 터빈 성능 및 수명을 제한하는 중요한 요인으로 되고 있다.

종래 터빈에 작용하는 열적 부하를 경감하기 위한 방법으로 주로 convection cooling, impingement cooling, film cooling, transpiration cooling 등의 네 가지 냉각법이 채택되어왔다. 이 네 가지 방법 중 블레이드의 냉각효율이 높은 film cooling의 경우 냉각기체가 블레이드 벽에 설치된 구멍을 통해서 방출되어 고온의 가스에 접해 있는 블레이드의 벽면에 저온의 얇은 막을 형성하게 됨으로서 고온 가스와의 접촉을 방해하며, 동시에 블레이드 내부에서는 convection cooling이 이루어진다. 이 방법은 아주 효과적이기는 하나 저온의 기체막은 고온 고속의 연소가스로 인하여 블레이드 벽으로부터 확산분리되어 그 냉각 기능을 상실하므로 국부적인 냉각밖에 하지 못한다. 따라서 많은 면적을 이 방법으로 냉각시키려면 블레이드 표면에 다량의 구멍을 설치해서 저온의 기체막을 지속적으로 형성해 주어야 한다. 이때 film cooling에 큰 영향을 미치는 인자로는 냉각구를 통과하는 냉각기체의 유출량으로, 터빈 블레이드 설계시에 고려되어야 할 필수적인 요소이다. 이러한 냉각기체의 유출계수는 냉각구의 기하학적 형상과 유동의 기체 역학적 조건에 크게 의존하게 되지만 이에 대한 연구사례는 많지 않다.

종래 벽면에 설치된 구멍의 기하학적 형상이 유출계수에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되어, 수직형상의 냉각구, 경사진 형상의 냉각구와 뿔족한 형상의 냉각구에 대한 유출계수가 얻어진 바 있다.

본 연구에서는 경사진 형상의 냉각구에 대한 유출계수를 블레이드 내/외부유동의 압력비와 마하수를 변화시켜 수치 해석하였으며, 이 결과를 실험적 방법에 의해 구해진 값과 비교하였다. 수치해석에서는 압축성 Navier-Stokes 방정식에 유한체적법을 적용하였으며, 난류모델로서 표준형 $x-\epsilon$ standard 난류모델을 사용하였다.

Fig. 1은 블레이드 내/외부 그리고 냉각구내의 유동을 모식적으로 나타내었으며, 수치계산에서 적용한 유동장을 함께 보여준다. Fig. 2는 본 수치계산에 사용된 정렬격자계이

며, Fig. 3은 블레이드 내/외부의 압력비 p_{tc}/p_m 가 2.2인 경우의 등 마하선도를 나타내었다. Fig. 4는 냉각구내의 속도 벡터를 나타내었으며, Fig. 5는 외부 유동의 마하수 $M=0.6$ 인 경우에 압력비에 따른 유출계수 값을 실험값과 비교한 그림이다.

External hot gas crossflow Film-cooling hole

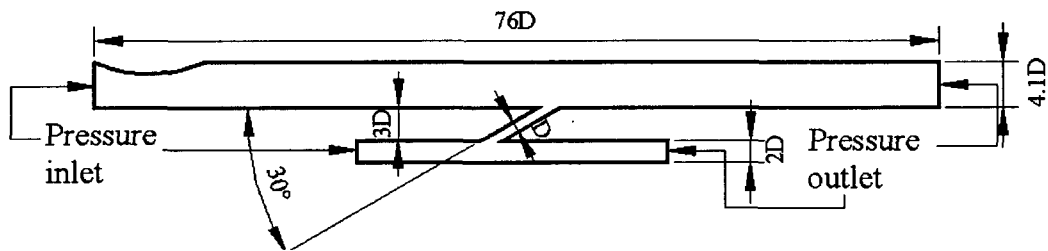


Fig 1. Schematic diagram of film-cooling hole and computational flow field



Fig 2. Computational grid system

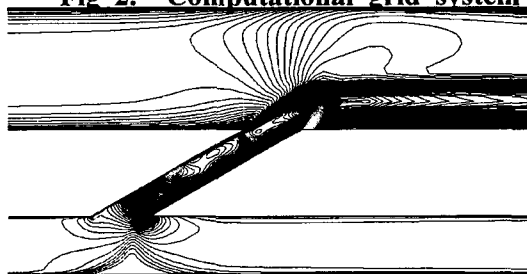


Fig 3. Mach number contour

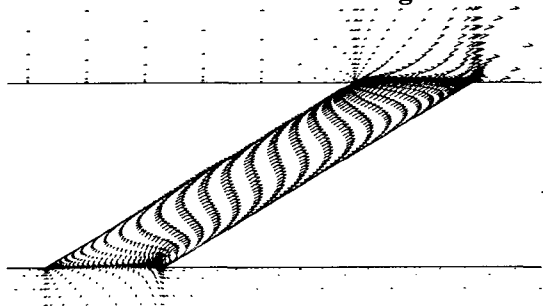


Fig. 4 Velocity vector inside film-cooling hole

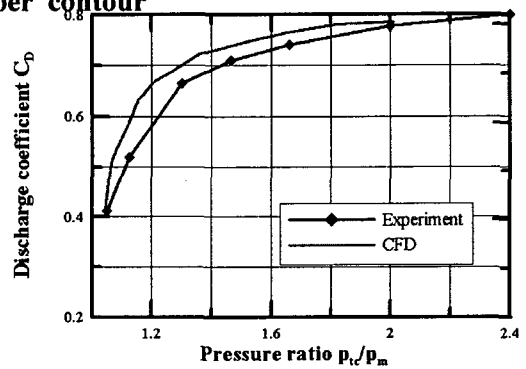


Fig. 5 Comparison of experimented and computed C_D values