

음향여기된 축대칭 충돌제트의 유동 및 열전달 특성

Flow and Heat Transfer Characteristics of Acoustically Excited Axisymmetric Impinging Jet

조 형 희, 이 창 호

(연세대학교 기계공학과)

산업의 발달과 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 고효율, 저공해인 가스터빈의 응용 범위가 넓어지고 있는 추세이다. 가스터빈 기관의 효율을 높이기 위해서는 터빈 입구 온도를 높이는 것이 필수적인데 이는 재질에 의해 제한받게 되고 이 때문에 효과적인 냉각 방법의 필요성이 대두되었다. 충돌제트는 국소적으로 높은 열/물질 전달 효과를 얻을 수 있어서 터빈 블레이드 냉각과 연소기 벽면 냉각에 효과적으로 응용될 수 있다. 이러한 충돌제트의 냉각효과는 제트출구의 초기조건에 매우 민감한데 Kelvin-Helmholts 불안정은 불안정한 자유전단층에서 자연적인 와류생성(roll up)과 개개의 와류고리 형성의 원인이 되고 이 고리의 성장과 병합(pairing)은 제트의 유동특성에 상당히 영향을 미친다. 제트주위에 생성되는 이러한 와류에 의해 제트중심에서 속도와 난류강도가 변하게 된다. 이러한 제트초기의 불안정성은 하류에서의 와류성장에 영향을 끼치기 때문에 와류의 조절에 의한 충돌면의 열전달 효과 상승을 기대할 수 있다. 이 조절방법은 크게 두가지로 나눌 수 있는데 하나는 제트주위 환형관에 이차유동을 가하여 와류를 직접 제어함으로써 자유전단류(free shear layer flow)의 안정성 원리를 이용하여 열전달을 촉진하는 것이고 다른 하나는 음향여기(acoustic excitation)를 사용하여 제트주위의 와류형성을 조절하는 것인데, 자연적으로 형성되는 와류의 주파수(와류의 고유주파수)나 부조화 주파수(subharmonic)로 음향여기시키는 경우 제트 주위 와류는 더욱 증폭되고 그렇지 않은 경우 제트주위 와류의 형성이 억제되어 더 긴 제트코어의 길이 및 제트코어 주위에서 작은 크기의 와류들이 형성된다.

본 논문에서는 FFT를 이용하므로써 제트의 와류생성과 병합의 주파수 특성을 연구하고 이에 적절한 주파수로 와류를 여기하여 제트의 유동특성 변화와 충돌면에서의 열전달 특성을 고찰하였다. 여기하지 않은 단순제트의 경우, 제트의 고유주파수는 $St_n=1.2$ 로 나타났다. 이 와류는 하류로 대류되면서 제트의 불안정성에 의해 와류병합(vortex pairing)

이 일어나기 시작하는데 이러한 과정을 통해 두 개의 와류는 하나로 합쳐지게 되고 그 절반의 주파수 특성이 강하게 나타나게 된다. 이 제트의 전단층에 생성되는 와류의 병합을 제어하기 위하여 제트의 고유주파수와 그 부조화에 해당하는 주파수들로 여기를 하였는데 제트의 고유주파수로 여기한 경우 제트하류에서 여기하지 않은 경우보다 난류강도가 높아지는 것이 관찰되었으나 그다지 큰 차이를 볼 수는 없었다. 하지만 이 제트에 고유주파수의 두배에 해당하는 $St_e=2.4$ 로 여기하게 되면 초기의 불안정성에 의하여 생성된 와류가 강화되어 와류병합이 억제되는 효과를 나타내고 전체적으로 난류강도가 감소하게 된다. 이 결과는 $St_e=3.0$ 으로 여기하였을 때도 유사하게 나타났는데 이는 부조화교란이 와류의 성장과 병합에 중요한 인자임을 나타내는 것이다. $St_e=4.0$ 으로 여기하는 경우는 $St_e=3.0$ 인 경우와 달리 병합이 촉진되어 이에 따른 부조화특성이 강하게 보이게 되며 하류로 진행하면서 와류의 강도가 상당히 증가하는 것이 보이고 중심부의 난류강도 증가를 가져오게 되었다.

초기에 교란된 제트하류의 충돌면에서의 열전달 특성은 위에서 언급한 자유제트의 특성과 유사한 결과를 나타내었는데 노즐과 충돌면사이의 거리가 가까운 경우, 와류병합이 촉진되어 중심부의 난류강도가 상승하게 되면 정체점에서의 열전달이 상승하게 되었고 먼 경우에는 포텐실코어의 감소로 오히려 낮은 결과를 나타내었다. 반면에 와류병합을 억제하여 중심부의 난류강도가 낮아지면 가까운 거리에서는 열전달이 감소하였으나 포텐실코어의 길이가 길어지면서 먼거리에서는 열전달에 효과적이 되었다.