

연소 반응을 가지는 후류 유동의 불안정성

Stability Analysis of Wakes with Chemical Reaction

신 동 신, 홍 성 제
(홍익대학교)

연소반응을 가지는 후류(wake)는 가스터빈 연소실의 flame holder 등에서 발생한다. 후류유동의 안정성 혹은 불안정성은 이러한 유동에 있어서 많은 영향을 끼치므로 상당히 중요하다. 본 연구는 위와 같이 연소 반응에 의한 밀도구배를 가지는 후류유동에 대하여 불안정성 해석을 수행하였다. 교란에 대한 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식에서 점성항을 제외한 Euler 방정식을 고려하였다. 층류유동의 압력은 일정하다고 가정하였다. 교란 방정식을 유도하기 위하여 층류 유동이 평행하여 유동 방향에 수직인 방향의 구배만이 존재한다고 가정하였다. 모든 변수들은 층류 유동의 값과 움직이는 파장의 형태를 가지는 작은 교란의 합으로 생각하여 압력에 대한 교란방정식을 구하며, shooting법과 Newton-Raphson법에 근거를 두는 반복법을 사용하여 풀었다. 불안정성 해석을 수행하는 기본 유동의 속도장 및 온도장은 불안정성 해석을 수행하는 기본 유동의 속도장 및 온도장은 비압축성의 경우 우선 Gaussian Profile로 가정함과 동시에 연소반응을 포함하는 유동장을 보다 정확히 구하기 위하여 Navier-Stokes 방정식으로부터 구한 결과를 사용하였다. 연소반응을 포함하는 유동장을 구할 때에는 해석상 편의를 위해 예혼합물질은 이상기체로, 화학반응은 1단계의 비가역반응으로 가정하였으며, 반응열로 인한 부력의 효과는 무시하였다. 위와 같은 유동장을 가지고 불안정성 해석을 수행한 결과 후류유동은 두 개의 변곡점을 가지며 sinuous 모드와 varicose 모드의 두 개의 불안정성 모드가 있음을 보였다. 밀도 변화가 있는 경우나 밀도 변화가 없는 경우 모두 sinuous 모드의 가장 불안정한 모드가 varicose 모드의 가장 불안정한 모드보다 더 불안정함을 보여주어 후류 유동은 자유 유동에 가까운 위상 속도를 가지는 sinuous 모드에 의해 지배될 것임을 예측할 수 있다. 연소반응이 완전연소에 가까울수록 그리고 압축성 효과가 클수록 유동내부의 온도가 증가하고 점성 또한 증가하여 후류유동은 안정됨을 알 수 있었다. 유동변수들의 contour로부터 유동의 특성을 예측한 결과 baroclinic 항이 dilatational 항보다 상대적으로 크며, 중심선 상하에 생기는 vortex를 더욱 성장시킬 것으로 생각된다.