

대류 구름 챔버 수치 모의에서 열 속 계산 방법과 공간 격자 크기에 따른 해의 수렴 특성

김은미, 이현호

공주대학교 대기과학과

대기 중에서 구름이 발달할 때에는 대기의 초기 조건이나 대규모 강제력이 구름의 발달에 영향을 미치기 때문에 현장에서 관측한 구름의 특성과 수치 모델로 모의한 구름의 특성을 직접 비교하여 수치 모델의 성능을 평가하는 것은 매우 어렵다. 이러한 문제점을 피하고 구름 미세물리 과정 모수화의 불확실성을 줄이기 위해, 통제된 조건에서 구름 미세물리 과정을 재현할 수 있는 구름 챔버가 개발되어 사용되고 있다. 하지만, 이러한 통제된 구름 챔버로부터 얻은 결과와 수치 모의 결과를 비교하는 것에도 어려움이 있는데, 최근 레일리-베나르(Rayleigh-Benard) 대류를 발생시키는 구름 챔버를 수치적으로 모의한 연구에 따르면, 사용한 수치 모델, 수치 방안, 계산 영역 및 격자 크기, 측벽 경계 조건 등에 따라 결과가 달라질 수 있다고 보고된 바 있다.

본 연구에서는 큰 에디 모사(large-eddy simulation) 모델인 PALM 모델 v6.0을 이용하여 대류 구름 챔버에서 경계 근처의 열 속 계산 방법과 공간 격자 크기에 따른 해의 수렴 특성을 확인하고자 하였다. PALM 모델은 다리(bridge)와 같이 매달린 구조를 물리적인 특성에 따라 모의할 수 있으며, 바닥 경계 근처의 열 속을 모닌-오부코브 상사 이론(Monin-Obukhov similarity theory)에 기반하여 계산한다. 수치 실험 영역은 밑면의 지름이 2.5 m이고 높이가 5 m인 원통형 챔버로 설정하였고, 챔버의 하단 온도를 300 K, 상단 온도를 280 K, 측벽 온도를 285 K로 각각 일정하게 유지하고, 구름은 형성되지 않도록 설정한 후, 격자 간격을 약 10 cm에서 1 cm까지 변화시켜가며 흐름을 모의하였다. 열 속 계산 방법에 따른 해의 특성을 비교하기 위해 기존의 계산 방법을 사용해 모의하고(MO 사례), 경계의 열 속 계산 과정에 OpenFOAM의 벽함수를 적용한 것 외에 모든 조건이 같은 챔버를 추가로 모의하였다(WF 사례). 그 결과, 동일한 고해상도의 실험에서 열 속 계산 방법에 따라 기계적 및 열적 난류 특성에서 차이를 보이는 한편, 격자 간격이 작아짐에 따라 흐름의 특성이 대체로 수렴하지만, 그 수렴한 특성은 열 속 계산 방법에 따라 다른 것으로 나타났다.

Key words: 구름 챔버, 레일리-베나르(Rayleigh-Benard) 대류, PALM 모델, 벽함수