

2차원 및 3차원 맨틀 플룸의 벤치마크

김예슬, 이창열

전남대학교 지구환경과학부, 북구 용봉로77, 광주광역시, 61186.

연구 배경 및 목적

- 최근의 수치모델링 연구들은 맨틀 플룸(mantle plume)이 배호(back-arc)지역의 분지 및 산맥(basin and range)과 유사한 지구조를 형성시키는 성인임을 제시하였다. 섭입 슬랩 후퇴(slab roll-back) 현상에 의해 지각에 가해지는 인장력과 지각 아래로부터 상승하는 뜨거운 맨틀 플룸으로 인한 지각 강도 감소가 더해져 배호 지역에 분지를 형성시킨다는 것이다. 이처럼 분지 형성 작용에 있어 맨틀 플룸의 역할이 중요해짐에 따라, 수치모델링의 필요성이 커지고 있기 때문에 초기 연구로써 우리는 2차원 및 3차원의 맨틀 플룸 수치모델링을 수행하였다.

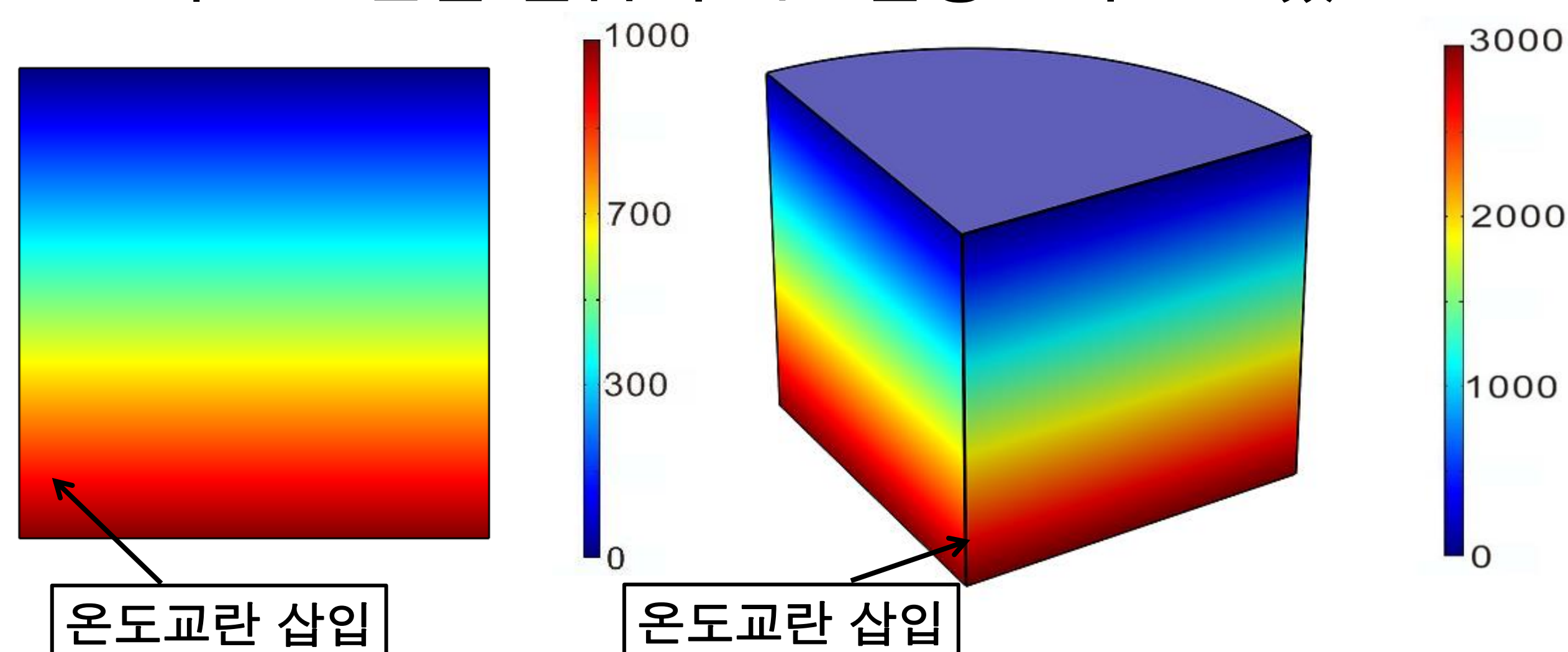


Figure 1. 2차원 및 3차원 모델의 초기 온도 분포

연구 방법

- **경계조건** : 모델의 깊이는 1000 km. 좌우경계(옆면)은 단열, 상하경계는 free-slip 조건.

- **지배방정식**

- 연속 방정식 (Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (\mathbf{u}) = 0$$

- 나비에-스토크스 방정식 (Navier-Stokes equations)

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F} = 0$$

- 에너지 방정식 (Energy equation)

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) = 0$$

- **실험 조건**

- 점성도(η)

1) $\eta = 1$

2) $\eta = \exp(-6.907755279 * \frac{T}{3000})$

- 레일리수(Rayleigh) 수 (Ra#) : 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 및 10^6 으로 변화시켜 맨틀 플룸의 강도를 변화시킴.

- 메쉬 해상도 : 메쉬 해상도 증감.

- **벤치마크**

- 2차원의 경우 이미 계산된 벤치마크 자료들(Lee, 2013;

Blankenbach, 1989)과의 비교. Excerpt from the Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Seoul

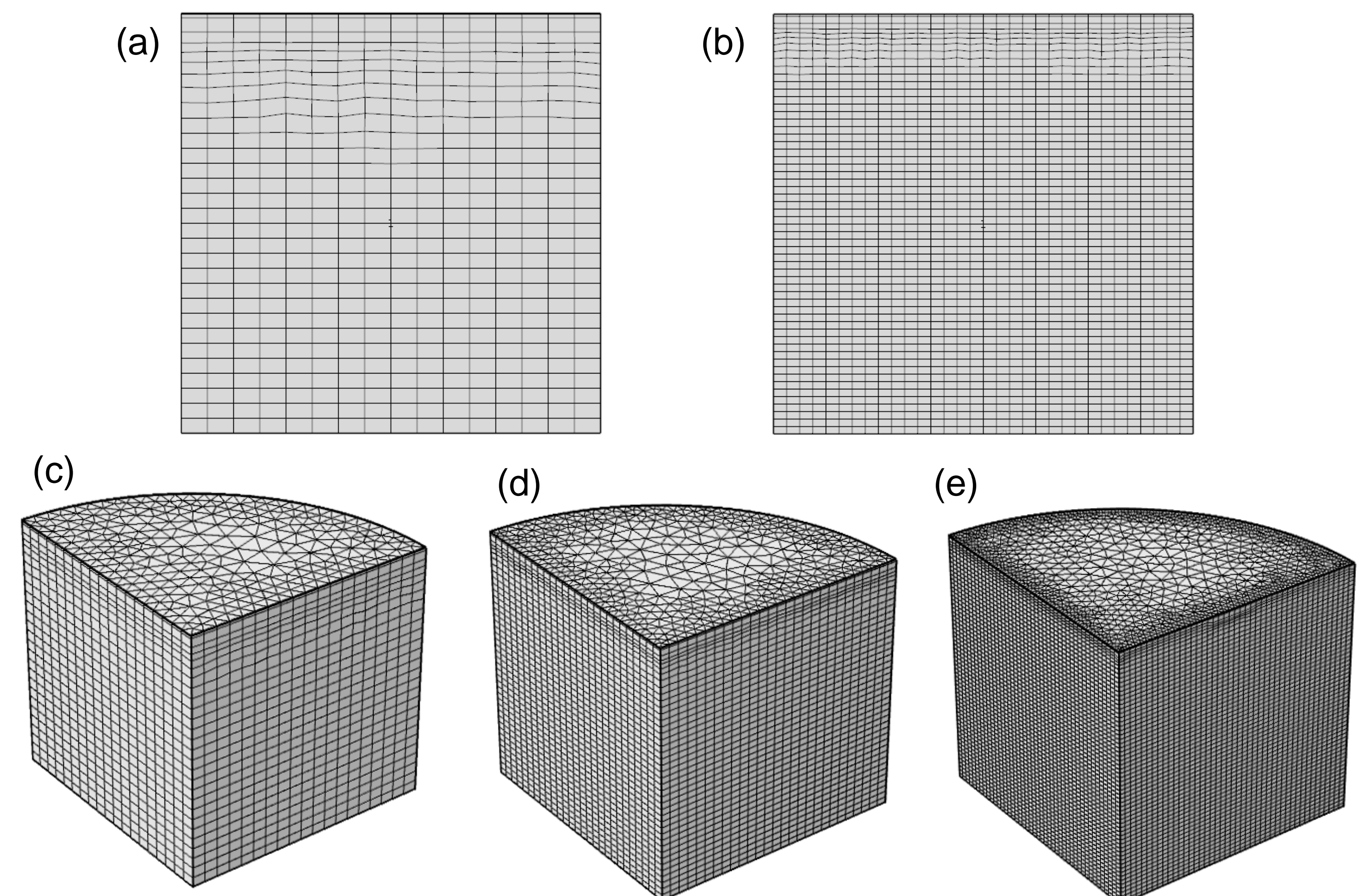


Figure 2. 메쉬 해상도 조건
(2차원 - (a) 512개, (b) 1,920개. 3차원 - (c) 14,964개, (d) 36,388개, (e) 106,304개)

결과

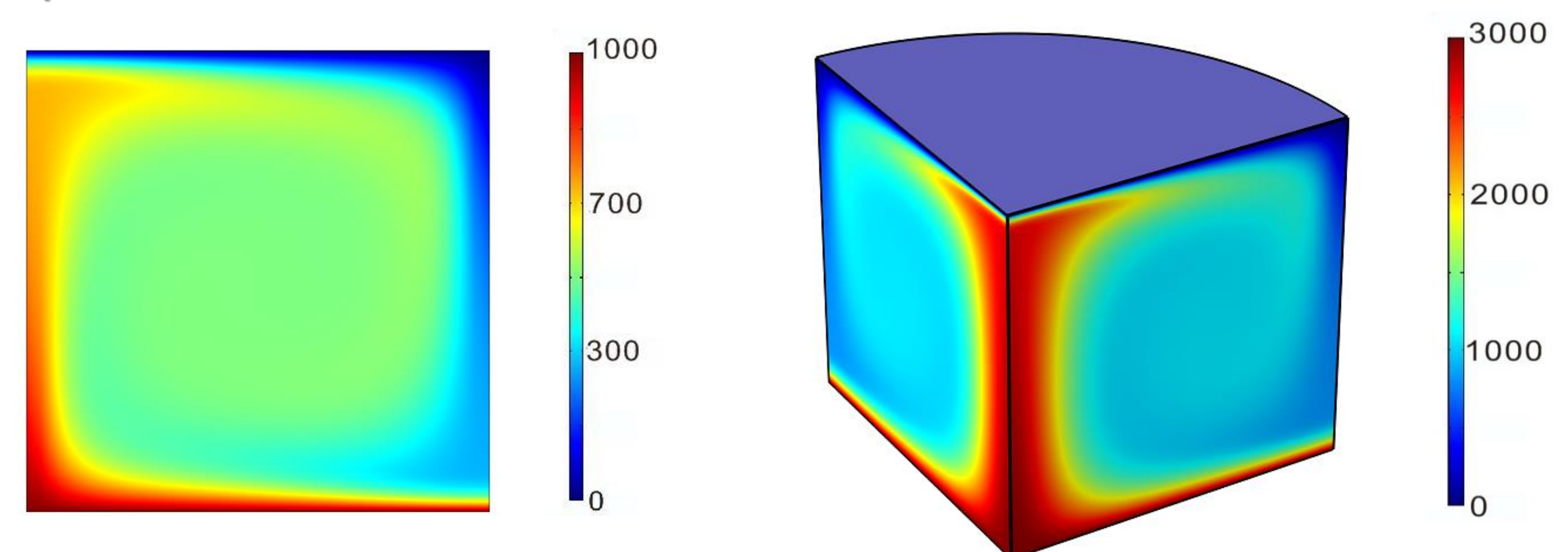


Figure 3. 레일리 수 10^5 일 때의 플룸

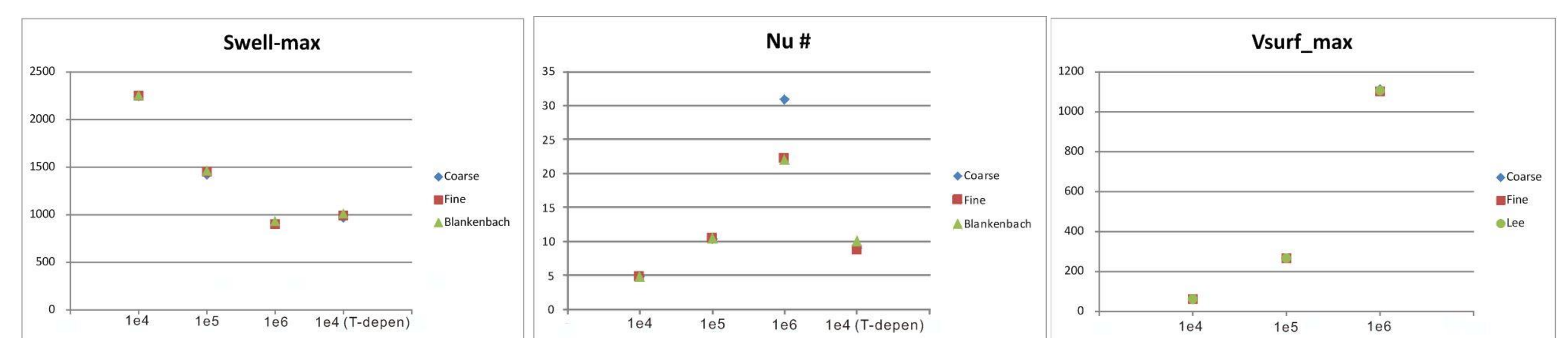


Figure 4. 2차원 모델링 결과
(a) 스웰(swell)의 최고 높이, (b) 넛셀(Nusselt) 수, (c) 표면 최대 속도

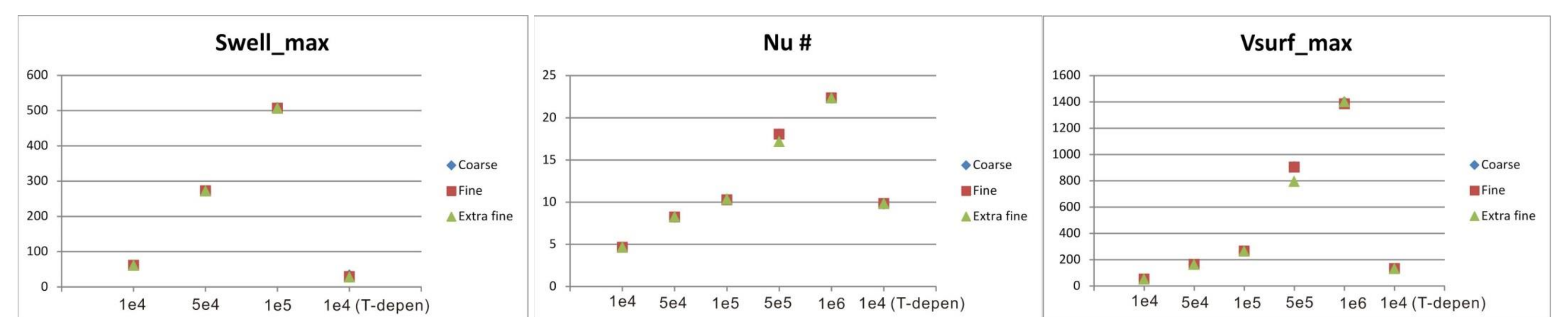


Figure 5. 3차원 모델링 결과

결론

- 레일리 수 증가 \rightarrow 플룸의 세기 증가 \rightarrow Nu#, 표면 속도 및 스웰 높이 증가

- 메쉬 해상도 변화 : 2차원 및 3차원 실험 공통적으로 두 점성도 조건 모두에서 10^5 이하의 레일리 수에서는 메쉬 해상도에 의한 결과값의 차이가 거의 없으나, 레일리 수가 그보다 큰 경우 정확한 계산 위해 2차원은 1,920개, 3차원은 106,304개 정도의 높은 메쉬 해상도가 확보되어야 함.

참고문헌

1. Blankenbach et al., A benchmark comparison for mantle convection codes, Geophys. J. Int., 98, 23-38 (1989)
2. 이창열, 콤솔 멀티피직스를 이용한 2차원 비압축성 및 압축성 맨틀 대류의 벤치마크, 지질학회지, 49, 245-265 (2013)