

# Boundary geometry가 granular mixture 거동에 미치는 영향 고찰 An investigation of the boundary geometry effect on the behavior of granular mixtures

\*#김형진<sup>1</sup>

\*#H. J. Kim(hjkim@krri.re.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : Solid fraction(SF), Triangular boundary arrangement(TA), Rectangular boundary arrangement(RA)

## 1. 서론

입자유동(granular flow)은 자연계 및 산업계에서 흔히 발생하는 것으로 많은 연구자들이 관련 연구를 지속적으로 수행하여 왔다. Zheng[1] 등은 경계면 입자 크기를 조정하여 부드러운 경계면 및 거친 경계면으로 구분하고 각 경우에 입자 및 속도 분포를 분석하였으며 동일 경계면 조건의 경우 유동입자가 많아질수록 경계면에서의 slip 현상이 줄어드는 것으로 예측했다. Chou[2]는 경계면 입자 간격을 조정하여 경계면 거칠기를 변화시켰다. 경계면이 거칠어짐에 따라 경계면에서의 slip이 줄어 부드러운 경계면보다 큰 유동을 발생시키므로 경계면 응력이 커지는 것으로 예측하였다. Karion[3] 등은 동일 크기 및 두 가지 크기가 혼합된 입자 그룹에 대해 2차원 유동특성을 수행하였으며 작은 입자들이 차지하는 면적이 증가하면 경계면 응력의 크기는 줄어드는 것으로 예측했다.

## 2. 계산셀 모델링 및 경계면 조건

단일 크기 및 두종류 크기의 입자그룹을 사용하였으며 입자들은 표면이 매끄러운 3차원 구형 모델이고 Walton[4]의 soft particle model을 사용하였다.

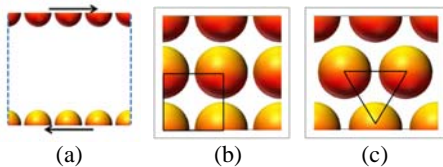


Fig. 1 (a)Computational cell, (b)rectangular boundary arrangement, (c)triangular boundary arrangement

해석에 사용된 계산셀은 축 방향은 연속 경계면이고 반구형의 경계면 입자(Fig. 1a)가 부착된 상하 방향 경계면은 내부입자에 전단유동을 야기하기

위해 서로 반대방향으로 이동한다. 또한 경계면 입자는 Fig. 1(b),(c)와 같이 기하학적 배치를 달리하였는데 사용된 경계면 입자의 수는 동일하다.

## 3. 경계면 조건에 따른 입자 분포

Fig. 2는 경계면 입자가 삼각형 형태(TA, Fig 1c)로 배열된 경우의 입자 분포를 나타내는 것으로 (a)는 전체입자 분포를 (b), (c)는 각각 직경 R, 0.5R 인 입자들만의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 작은 입자들이 경계면에 더 가까이 분포하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 3은 경계면 입자가 사각형 형태(RA, Fig.1b)로 배열된 경우의 입자 분포를 나타내는 것으로 TA와 마찬가지로 작은 입자가 경계면에 더 가까이 분포하였다. TA의 경우는 경계면이 부드러워지는 효과가 발생하여 RA의 경우와 달리 작은 입자들이 경계면 입자 사이에 끼이는 현상이 나타나지 않았다.

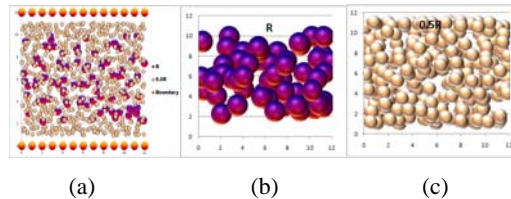


Fig. 2 (a) Total particle, (b) "Particle-R", (c) "Particle-0.5R" distribution for TA(R-0.5R)

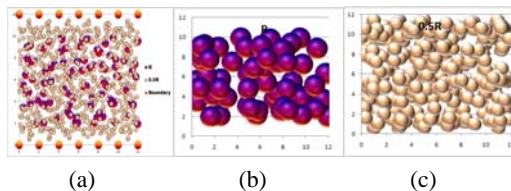


Fig. 3 (a) Total particle, (b) "Particle-R", (c) "Particle-0.5R" distributions for RA(R-0.5R)

#### 4. 경계면 조건에 따른 국부적 속도 profile

Fig. 4는 경계면 입자의 기하학적 배열 형상 조건이 내부 유동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 유동깊이를 12개의 layer로 나누고 각 layer에 속하는 유동입자들의 평균속도를 나타낸 것이다. 즉, 12, 1번 layer는 경계면과 인접한 layer이다. x축은 layer 번호이고 y축은 입자들의 평균 유동속도를 나타내는 것으로 각 layer에서의 입자들의 평균 유동 속도는 경계면 속도로 나누어 무차원화 하였다. TA(Fig. 4a)의 경우는 경계면 입자들 간의 간격이 좁아져 경계면이 상대적으로 부드러워지기 때문에 RA(Fig. 4b)의 경우보다 경계면에서 slip이 많이 발생하여 경계면 주위 layer에서 평균속도가 작게 나타남을 예측할 수 있었다. 이러한 경향은 단일 입자 및 binary 입자 그룹에서도 공통적으로 발생하나 binary 입자그룹에서는 그 차이가 많이 줄어드는 것으로 예측되었다(Fig. 5 참조).

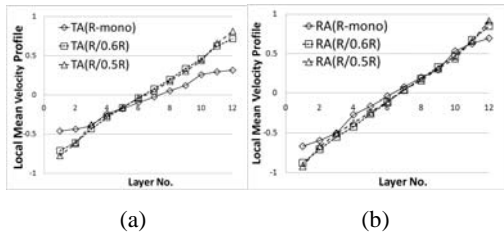


Fig. 4 Local velocity profiles for the TA(a) and RA(b) boundary arrangements

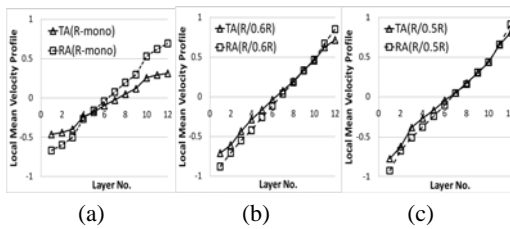


Fig. 5 Local velocity profiles for the TA and RA for (a)R-mono, (b)R-0.6R and (c)R-0.5R granular mixtures

#### 5. 경계면 조건에 따른 경계면 응력

Fig. 6은 경계면 입자배열의 기하학적 형상에 따른 경계면의 응력을 나타내고 있는데 발생응력은 입자밀도×입자직경<sup>2</sup>×전단유동율<sup>2</sup>로 나누어 무차원화 하였다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 높은 SF 및 RA의 단일 입자그룹에서 상대적으로 큰 경계면 응력이 발생하였으며 binary 입자그룹에서는 이러한 경향이 약화되는 것으로 예측되었다.

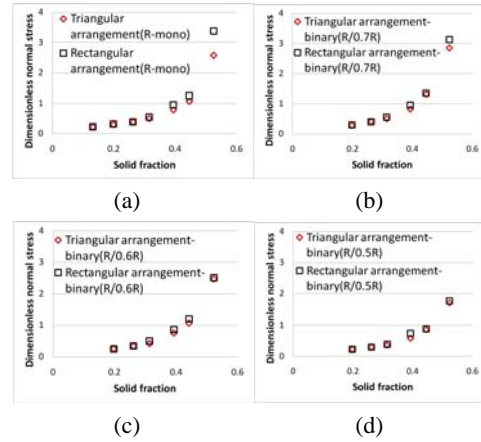


Fig. 6 Dimensionless normal wall stresses for the TA and RA for (a)R-mono, (b)R-0.7R, (c)R-0.6R and (d)R-0.5R granular mixtures

#### 6. 결론

작은 입자들이 경계면에 더 가까이 분포하며 RA의 경우는 작은 입자들이 경계면 입자 사이에 끼이는 현상이 나타났다. TA의 경우는 RA의 경우보다 경계면에서 slip이 많이 발생하여 경계면 주위 layer에서 평균속도가 작게 나타났다. 이러한 경향은 단일 및 binary 입자 그룹에서 공통적으로 발생하나 binary 입자그룹에서는 그 차이가 많이 줄어드는 것으로 예측되었다. 또한 SF가 클 경우, RA 경계면 단일 입자그룹에서 TA 경계면보다 상대적으로 경계면 응력이 크며 binary 입자그룹에서는 이러한 경향이 약화되는 것으로 예측되었다.

#### 참고문헌

1. Zheng, Xiao Ming, Hill J. M., "Boundary effects for couette flow of granular materials: dynamical modeling", Appl. Math. Modeling Vol. 20, 82-92, 1996
2. Chou, Chuen-Shii, "The steady inhomogeneous rapid granular shear flow of nearly elastic spheres", Physica A 287, 127-152, 2000
3. Karion, A., Hunt, Melany L., "Wall stresses in granular Couette flows of mono-sized particles and binary mixtures", Powder Technology, 109, 145-163, 2000
4. Walton, O. R., Braun, R. L., "Stress calculations for assemblies of inelastic spheres in uniform shear", Acta mechanica, 63, 73-86, 1986