

입자유동체 계산셀 크기변화에 따른 경계면 입자의 Spacing Effect에 관한 연구

A study on the effect of boundary particle spacing due to computational cell size variations on the flow of granular media

*#김형진¹

*#H. J. Kim(hjkim@krri.re.kr)¹

¹ 한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : Solid fraction(SF), Spacing effect, Cell size ratio

1. 서론

본 연구에서는 입자들의 전단유동(granular shear flow)이 발생하는 입자 유동시스템에 있어서 경계면을 구성하고 있는 경계면 입자들 간의 간격이 유동시스템 내부의 입자 유동에 어떠한 영향을 미치는가를 고찰하였다. 경계면 입자들 간의 간격은 동일한 숫자의 경계면 입자가 사용되는 조건하에서 입자유동 시스템의 계산셀 크기를 변화시켜 경계면에 배치된 경계면 입자의 간격을 조절하였다. 즉, 입자유동시스템 계산셀의 크기가 커질수록 경계면 입자간의 간격이 커지게 된다. Chou[1]는 경계면 입자 간격의 크기를 조절하여 경계면 입자의 spacing effect를 분석하였는데 경계면 입자 간격의 크기가 커질수록 경계면이 거칠게 되고 경계면과 접하는 내부 입자 유동층 및 경계면의 속도차를 의미하는 slip velocity가 줄어 경계면 응력이 커지는 것으로 예측하였다.

2. 입자유동 계산셀 모델링

표면이 매끄럽고 동일한 크기의 유동입자 및 경계면 입자가 사용되었으며 Walton[2]이 제시한 soft particle model을 사용하였다.

Table 1 Modeling parameters

변수	적용 수치
유동/경계면 입자 반경	$R_p=1R$
상하 경계면 간의 거리(초기)	$H=16R, 20R, 24R$
경계면 입자수	128, 200, 288
입자 Restitution coefficient	$e=0.8$
상하 경계면의 이동 속도	$v=U, -U$
입자 전단 유동율	$SR=(2U/H)=4$
입자 체적비(Packing Fraction)	0.52

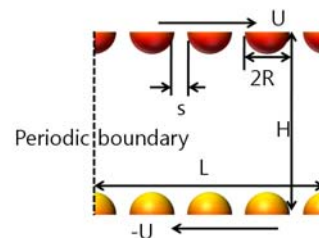


Fig. 1 Computation cell and boundary conditions

계산셀은 Fig. 1(측 방향은 연속 경계면, 상하 경계면: 반구형의 경계면 입자가 부착)과 같으며 길이(L), 폭(W), 높이(H)가 같은 정 육면체 구조이다. 3가지의 계산셀($H=16R, 20R, 24R$)이 사용되었으며 사용된 경계면 입자 수는 각각 128, 200, 288개이다. 초기에는 경계면 입자들이 서로 접촉하고 있으나 길이, 폭, 높이 방향으로 동일하게 셀 크기가 확장됨에 따라 경계면 입자들 간의 간격이 벌어져 경계면이 거칠어지는 효과가 발생한다.

3. 경계면 입자 spacing에 따른 유동입자 분포

Fig. 2는 초기 계산셀($H=24R$)이 $H=26.4R, 28.8R, 30R$ 로 확대될 경우, 각각의 계산셀내에서 유동입자들의 분포를 나타낸 그림이다. 경계면에 배열된 반구(semi sphere)형 경계면 입자의 수는 상하 경계면에 각각 144개가 배열되어 동일하게 유지되므로 계산셀이 커질수록 경계면 입자간의 간격은 커지게 된다. 그림에서 알 수 있듯이 $H=24R$ 의 경우는 경계면 입자가 서로 붙어 배열되는 구조이므로 경계면이 부드럽게 되는 효과가 발생하여 경계면 부근의 유동층에서는 유동입자가 나란히 배치되는 layering 현상이 발생하지만 계산셀의 크기가 커질수록 이러한 경향이 약화됨을 예측할 수 있었

다. Fig. 3은 유동입자의 체적비(Packing Fraction, 유동입자 체적/계산셀 체적)를 초기계산셀 H=24R 및 확장 계산셀(H=26.4R, 28.8R, 30R)에 대해 나타낸 것으로 경계면이 거칠게 될수록 유동깊이에 따라 입자가 고르게 분포됨을 예측할 수 있었다.

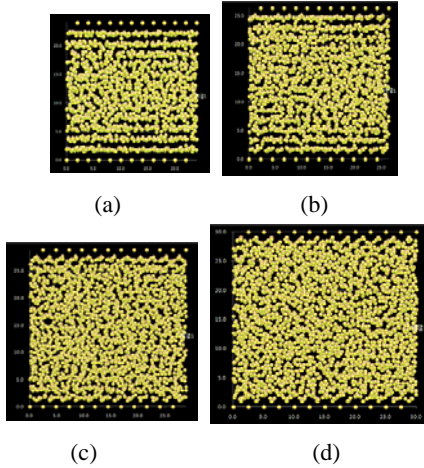


Fig. 2 Particle distribution profiles for computational cells with the cell heights of (a)H=24R, (b)H=26.4R, (c)H=28.8R and (d)H= 30R.

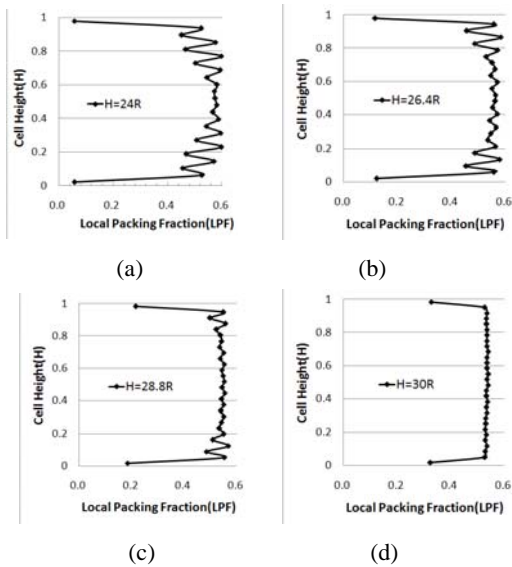


Fig. 3 Local packing fraction distribution profiles for the computational cells with the cell heights of (a)H=24R, (b)H=26.4R, (c)H=28.8R and (d)H= 30R.

4. 경계면 응력

Fig. 4는 계산셀 크기가 확장되면서 경계면 입자 간격이 커지는 경우 경계면 응력(Normal stress)을 나타내고 있는데 발생응력은 입자밀도 \times 입자직경 $^2 \times$ 전단유동율 2 로 나누어 무차원화 하였다. x축은 초기 계산셀 대비 확장 계산셀 크기를 나타내며 cell size ratio가 클수록 계산셀 확장이 커지는 것을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 경계면이 거칠게 되면 발생 응력이 커지는 것으로 예측되었으나 경계면 입자의 간격이 특정범위를 넘어서면 이러한 경향이 약화되는 것으로 예측되었다.

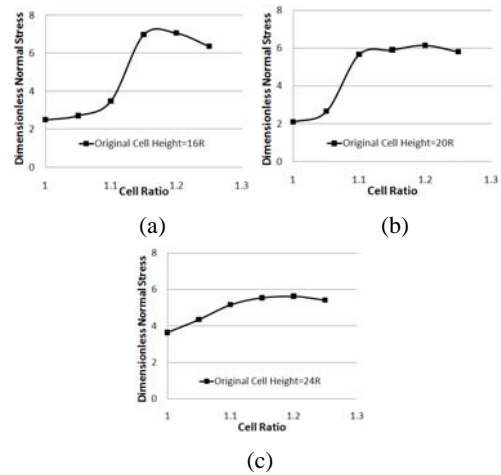


Fig. 4 Dimensionless normal stress variations due to the computational cell expansion for the computational cells with the original cell heights of (a)H=16R, (b)H=20R and (c)H=24R.

5. 결론

입자유동 시스템의 경계면이 거칠게 되면 경계면의 발생 응력이 커지는 것으로 예측되었으나 경계면 입자의 간격이 특정범위를 넘어서면 경계면 거칠기의 경향이 약화되는 것으로 예측되었다.

참고문헌

1. Chou, Chuen-Shii, "The steady inhomogeneous rapid granular shear flow of nearly elastic spheres", Physica A 287, 127-152, 2000
2. Walton, O. R., Braun, R. L., "Stress calculations for assemblies of inelastic spheres in uniform shear", Acta mechanica, 63, 73-86, 1986