

바이모달 분포표면의 접촉해석 Contact Analysis for Bimodal Height Distributed Surfaces

*#김태완¹, 광재섭¹, 강대민¹
*#T. W. Kim¹ (tw0826@pknu.ac.kr), J. S. Kwak¹, D. M. Kang¹
¹부경대학교 기계공학부

Key words :Contact Analysis, Bimodal Height Distributed Surface

1. 서론

지금까지 대부분의 거친 표면의 접촉해석에 사용된 표면은 Gaussian 또는 Non-Gaussian 높이 분포를 갖는 표면들과 같이 단일 모달 거칠기 분포 표면으로 가정되어 해석이 수행되어 왔다. 그러나 실제 표면에는 다중 모달의 높이 분포를 갖는 표면들이 많이 존재한다. Fig. 1(a)과 같이 폴리머 지지층 위에 마그네틱 코팅층이 존재하는 마그네틱 테잎은 대표적인 바이모달 높이 분포를 갖는 표면이다. 또한 Fig. 1(b)는 Waspaloy' s bimodal precipitation 분포를 보여 주고 있는데 열처리동안 석출된 크고 작은 구형 입자들이 랜덤하게 분포되어 바이모달 분포를 보이고 있다. 그동안 거친 표면위에 입자들이 개재된 표면에 대한 접촉해석에 관한 연구는 매우 미진하다[1].

따라서 본 연구에서는 바이모달 분포를 갖는 표면을 수적으로 생성 시켜 접촉해석을 수행하였다. 이를 위해 우선 Gaussian 거친 표면을 생성 시키고 그 위에 랜덤으로 존재하는 구형 입자 표면을 중첩함으로써 바이모달 분포 표면을 생성시켰다. 다양한 입자의 크기 및 분포에 따른 바이모달 분포 통계 특성을 파악하였으며 접촉해석을 수행하여 마멸, 마찰에 유리한 최적을 표면을 제시하고자 하였다.

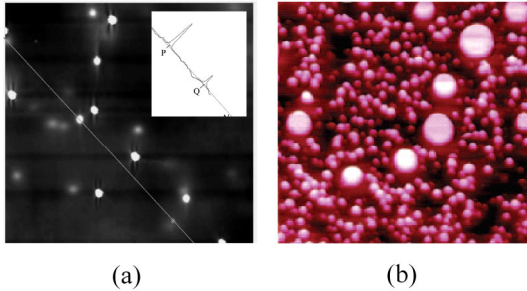


Fig. 1 Examples of surface with bimodal roughness distribution, (a) magnetic tape, (b) Waspaloy's bimodal precipitation distribution

2. 바이모달 분포 표면 생성

2.1 Gaussian rough surface

Gaussian 거친 표면은 Hu 와 Tonder[2]의 거친 표면 생성기법에 따라 생성하였다. Fig. 2 는 $\sigma_s = 0.08 \mu\text{m}$, $\beta_s^* = 0.5 \mu\text{m}$, $SK_s = 0$, $K_s = 3$ 의 파라미터를 갖는 Gaussian 표면을 나타낸 것이다.

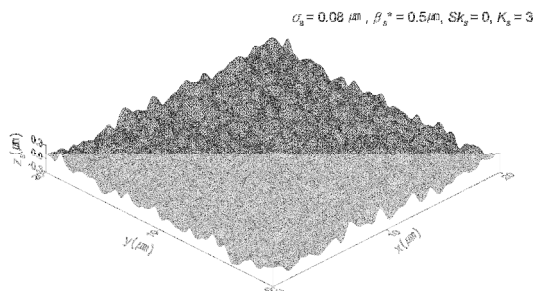


Fig. 2 Three-dimensional surface of generated Gaussian surface

2.2 Particulate surface

입자 표면을 생성시키기 위해 다음과 같은 가정을 사용하였다.

- (1) 모든 입자는 구형이다.
- (2) 입자의 크기는 Gaussian 분포를 따른다.
- (3) 입자들은 거친 표면에 골고루 분포되기 때문에 입자의 spatial probability distribution 은 균일하다.

입자의 반경 \bar{r}_p 는 다음의 Gaussian 분포를 따른다.

$$P(r_p) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(r_p - \bar{r}_p)^2}{2\sigma_p^2}\right] \quad (1)$$

여기서 \bar{r}_p 는 입자의 평균 반경이고 σ_p 는 입자 반경의 표준 편차이다. 입자표면은 다음과 같다.

$$z_p(I, J) = \begin{cases} \sqrt{r_p^2(I, J) - (I - I_c)^2 - (J - J_c)^2}, & \begin{cases} I_c - r_p(I, J_c) \leq I \leq I_c + r_p(I, J_c) \\ J_c - r_p(I, J_c) \leq J \leq J_c + r_p(I, J_c) \end{cases} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $r_p(I_c, J_c)$ 는 입자의 반경이며 (I_c, J_c) 는 입자 중심의 위치이다.

2.3 Composite surface

Fig. 3 에 Gaussian 거친 표면 위에 입자들이 중첩된 표면의 개략도를 차원적으로 나타내었다. 여기서 입자들은 거친 표면위에 존재한다고 가정하였고 최종 중첩된 표면은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_f(I, J) = \begin{cases} \max [z_s(I, J), z_p(I, J)], & \begin{cases} I_c - r_p(I, J_c) \leq I \leq I_c + r_p(I, J_c) \\ J_c - r_p(I, J_c) \leq J \leq J_c + r_p(I, J_c) \end{cases} \\ z_s(I, J), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 z_s , z_p , z_f 는 각각 거친 표면, 입자 표면, 중첩표면을 나타낸다. Fig. 4 는 생성된 중첩 표면의 예를 도시한 것이다.

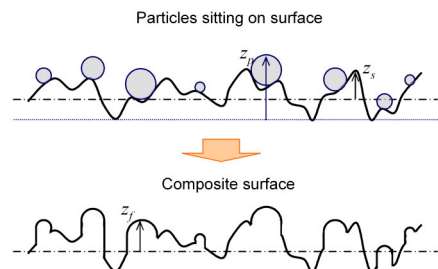


Fig. 3 Schematic diagram of a composite surface

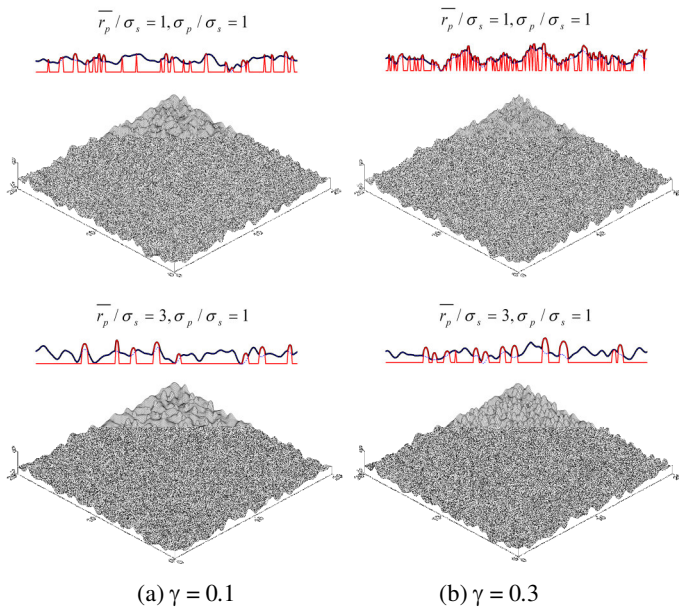


Fig. 4 Two- and three-dimensional diagrams of generated bimodal surface for two different particle densities

3. 접촉해석 결과

일반적으로 두 탄성체 접촉은 하나의 상당 표면 (equivalent surface)과 강체면의 접촉으로 모델링 할 수 있다. 본 연구에서는 기본적으로 영향함수를 이용한 방법으로 3 차원 접촉해석을 수행하였다[3]. Fig. 5는 Fig. 4 표면에 대해 상당탄성계수는 100GPa, 프아송비 0.3 으로 가정하였고 수직하중 500kPa 하에서의 접촉해석 결과를 도시한 것이다.

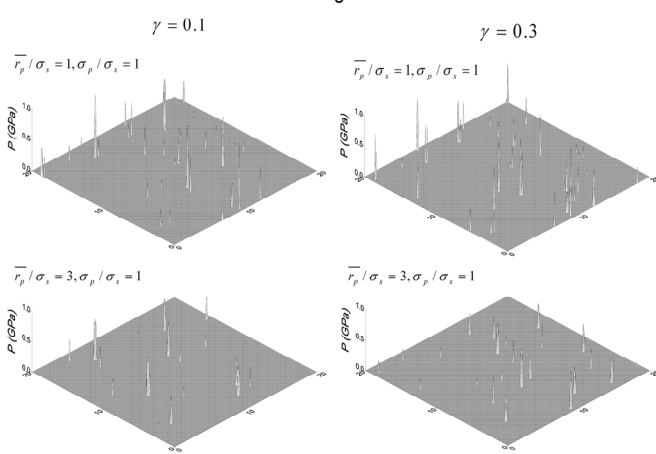


Fig. 5 3D contact pressure for bimodal surfaces

Fig. 6은 of \bar{r}_p/σ_s 와 σ_p/σ_s 가 실접촉면적, 최대 접촉압력 및 meniscus 힘에 미치는 영향을 살펴본 것이다. \bar{r}_p/σ_s 이 증가할수록 실접촉면적은 증가하는 반면, 최대 접촉압력 및 meniscus 힘은 감소함을 알 수 있다. 즉, 입자의 반경이 커짐에 따라 최대 접촉압력이 증가하기 때문에 심각한 표면 마멸을 유발할 수 있다. \bar{r}_p/σ_s 이 3 이하일 경우 비교적 낮은 접촉면적을 가져와 마찰에는 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 입자 밀도 γ 의 영향에 대해서는 낮은 입자 밀도를 갖는 표면이 낮은 접촉 면적 및 낮은 meniscus 힘을 유발하는 것으로 보아 마찰에 유리할 것으로 사료된다. σ_p/σ_s 의 영향에 대해서는 실접촉면적 및 meniscus 힘은 σ_p/σ_s 가 증가함에 따라 감소하지만 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 즉 입자 반경의 표준 편차가 접촉 성능에 미치는 영향은 입자 반경에 비해서는 크지 않은 것으로 사료된다.

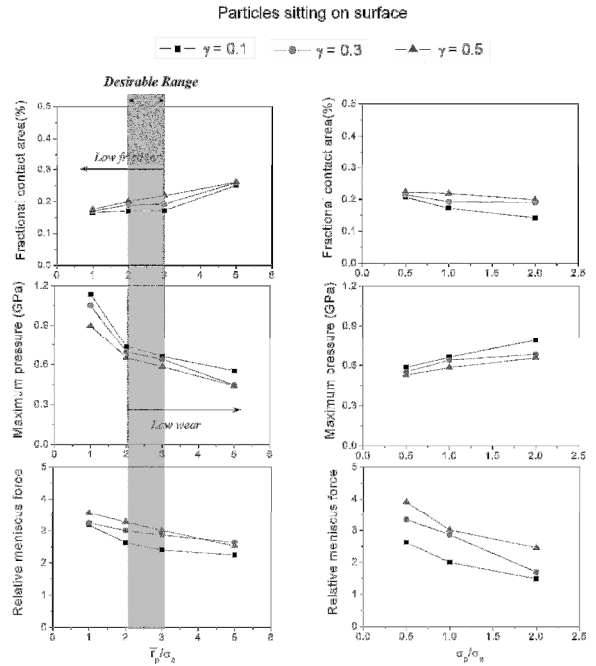


Fig. 6 Fractional contact area, maximum pressure and relative meniscus force as a function of \bar{r}_p/σ_s and σ_p/σ_s for bimodal surfaces

4. 결론

본 연구에서는 Gaussian 표면 및 입자 표면을 생성시켜 중첩법을 사용하여 바이모달 표면을 생성시켰다. 생성된 바이모달 표면에 대한 접촉해석 결과, 낮은 입자 밀도 및 작은 입자 반경은 마찰면에서는 긍정적인 영향을 주는 반면, 높은 입자 밀도 및 큰 입자가 게재된 표면은 마멸 측면에서 보다 유리한 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 중소기업청 산학공동기술개발지원사업 (No.: 000387500109)의 지원에 이루어졌음.

참고문헌

1. Peng, W., and Bhushan, B., "Modeling of Surfaces with a Bimodal Roughness Distribution," Proc. Instn. Mech. Engrs., **214J**, pp. 459-470, 2000
2. Hu, Y. Z., and Tonder, K., "Simulation of 3-D Random Surface by 2-D Digital Filter and Fourier Analysis," Int. J. Mach. Tools Manufact., **32**, pp. 82-90, 1992
3. T. W. Kim and B. Bhushan, "Generation of Composite Surfaces with Bimodal Distribution and Contact Analysis for Optimum Tribological Performance," ASME Journal of Tribology, Vol. 128, pp. 851-864, 2006