

접합식 도어시일의 온도를 고려한 접촉거동에 관한 수치적 연구

김청균 · 김한구

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터

A Numerical Study on the Contact Behavior Analysis with Thermal and New Design of Bonded Door Seal

Chung Kyun Kim · Han Goo Kim

Tribology Research Center, Hongik University

Abstracts

This paper presents contact behavior of a perfluoroelastomer bonded door seal by a non-linear finite element method using the mechanical and thermal analysis. The shape effects are investigated for sealing performance of bonded door seal. Also maximum stress, temperature distribution and contact force are investigated. A bonded door seal was modeled three shape. The highest contact force occurs at model III(sunflower shape). The maximum stress of model III is lower than that of the others. The calculated FEM results show that the model III has excellent performance compared with other seal models.

Key Words: Bonded door seal, Perfluoroelastomer, Contact force, FEM

1. 서 론

반도체 산업의 건식 웨이퍼 공정에서 밀봉은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 만약 밀봉상태가 잘 유지되지 않아서 미세한 오염이 발생된다면 공정가동이 중단되고 이것은 곧 바로 생산성의 큰 손실을 발생하게 된다. 따라서, 이러한 공정의 밀봉에 사용되는 접합식 도어시일(Bonded door seal)의 역할은 매우 중요하다.

알루미늄, 스테인레스에 Perfluoroelastomer를 직접 접합시켜 개발한 접합식 도어시일은 설치와 교체가 매우 간단하게 설계되어 있다. 또한, 접합식 도어시일은 입자수를 크게 줄여주고, O-링의 비틀림 변형이 전혀 발생되지 않을 뿐만 아니라 HDP와 CVD와 같은 고열의 열악한 공정에서 증가된 시일(Seal) 수명으로 웨이퍼 생산성을 크게 높여주는 장점을 갖고 있다.

웨이퍼 공정에 적합한 밀봉효과를 낼 수 있는 접합식 도어시일의 설계조건은 시일의 내구성파 밀봉성에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 이에 대한 해석과 최적설계를 수행해야한다. 더욱이 접합식 도어시일이 사용되는 작업조건이 상당히 높은 고온조건에서 사용되고 있기 때문에 열에 대한 안전성이 고려되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 형상이 다른 접합식 도어시일이 고온의 벽에 일정한 압축률을 유지하면서 접촉할 때 발생하는 최대응력과 접촉력을 비교 평가하여 시일 형상에 따른 최적 설계 데이터를 유한요소해석[1]으로 고찰하고자 한다.

2. 해석모델 및 해석조건

접합식 도어시일의 재질은 고온·내열성과 내케미컬 특성이 대단히 우수한 Perfluoroelastomer 소

재를 사용한다. Perfluoroelastomer 소재에 대한 물리적 특성은 Table 2-1에 제시하고 있다.

Table 2-1. Physical properties of Bonded door seal

Material type	FFKM
Young's modulus [MPa]	7.2
Poisson's ratio	0.46
Mass density [kg/m ³]	2150
Coeff. of thermal expansion [1/K]	3.2×10 ⁻⁴
Thermal conductivity [W/m · K]	0.165

Fig. 2-1에는 해석에 사용된 여러 형상의 접합식 도어시일 유한요소모델을 나타내고 있다. 해석에 사용된 요소는 4-node isoparametric arbitrary quadrilateral element를 사용하였고 2차원 평판변형 요소(plane strain element)를 함께 사용하여 모델링을 :

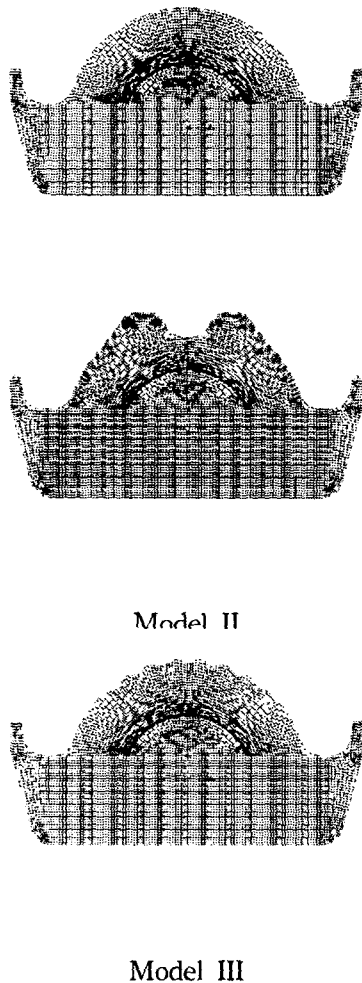
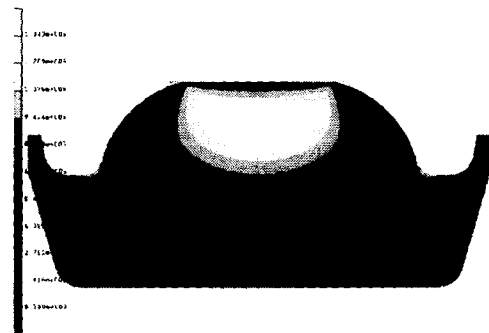


Fig. 2-1 Bonded door seal FE model.

해석프로그램은 선형 및 비선형 유한요소 해석 상용프로그램인 MARC 7.3[2]을 사용하였다. 일반적으로 Lindley가 O링에 대하여 수행한 이론해석 모델[3]은 Hertz의 탄성이론에 기초한 것으로 O링의 압축성은 15%까지 유효하다. 그러나 Green과 English[4]에 의해 수행된 압축력과 스퀴즈 레벨에 따른 강성도(stiffness) 연구결과는 압축률이 32%까지 적용하여도 된다고 보고 하였다. 이러한 해석결과는 O링 소재의 특성이 서로 다르기 때문에 발생된다. 따라서, 해석조건은 이들의 연구결과를 기초로 변위량이 시일 지름의 8%가 될 때까지 압축하였다. 또한, 시일이 챔버에 닿았을 때 벽의 온도를 250℃로 유지하였으며 시일이 알루미늄으로 제조된 그루브에 접착되어 있으므로 그루브에 닿는 부분의 변위를 고정하여 접촉거동 문제를 해석하였다.

3. 해석결과 및 고찰

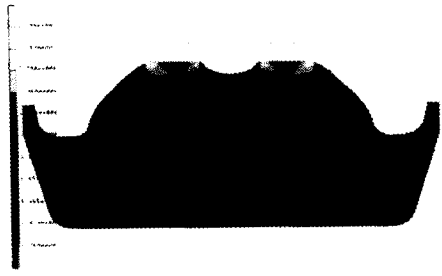


(a) Stress distribution



(b) Stress distribution : after 10min.

Fig. 3-1 Stress distribution of Model I.



(a) Stress distribution

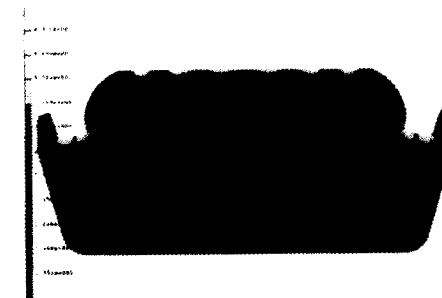


(b) Stress distribution : after 10min.

Fig. 3-2 Stress distribution of Model II.



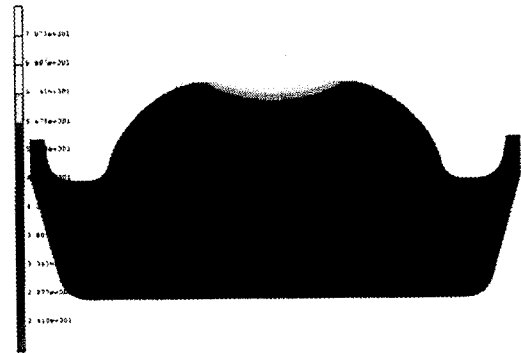
(a) Stress distribution



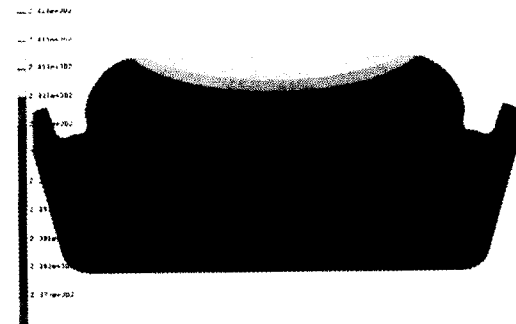
(b) Stress distribution : after 10min.

Fig. 3-3 Stress distribution of Model III.

Fig. 3-1,2,3에는 각각 모델이 250℃인 챔버 벽면과 접촉할 때 발생되어지는 응력분포를 나타내고 있다. 우선 모든 Model이 접촉 후 10분정도가 지났을 때 열팽창에 의해서 접촉면이 점점 증가하는 현상을 나타내고 있다. Model I인 경우 접촉 초기에는 O-ring과 비슷한 응력분포를 나타내고 있고 접촉 후 10분이 경과했을 때 최대응력이 발생하는 위치가 접촉면에서 양쪽 가장자리로 이동하는 것을 알 수 있다. Mode II인 경우 10분이 경과한 후에도 접촉초기와 마찬가지로 돌출부위 양쪽 가장자리에서 최대응력이 발생되고 있고 시일의 가장 자리에도 약간의 응력집중 현상이 나타나는 것을 알 수 있다. Model III인 경우 벽면과 접촉이 시작되면서 각각의 돌출부위에서 최대응력이 발생되고 있으며 10분이 경과한 후에는 열팽창에 의해서 접촉하는 돌출부위가 증가하여 접촉된 각각의 돌출부위에서 응력이 발생하는 것을 볼 수 있다.

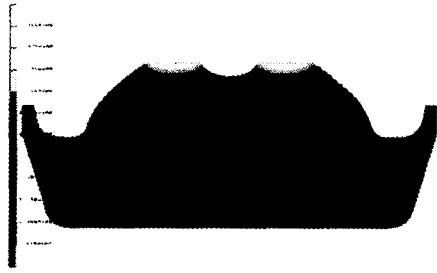


(a) Temperature distribution

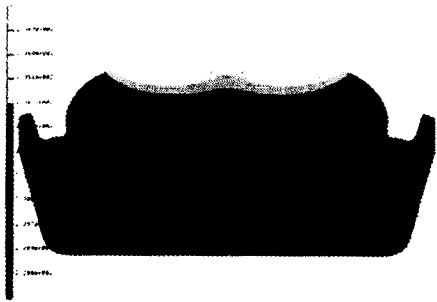


(b) Temperature distribution : after 10min.

Fig. 3-4 Temperature distribution of Model I.



(a) Temperature distribution

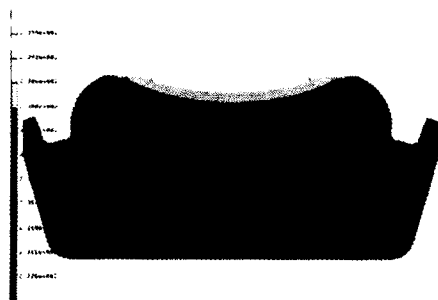


(b) Temperature distribution : after 10min.

Fig. 3-5 Temperature distribution of Model II.



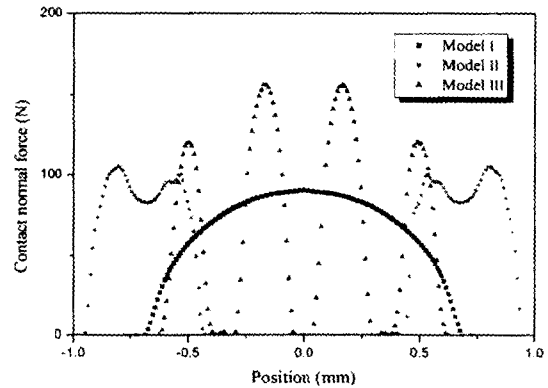
(a) Temperature distribution



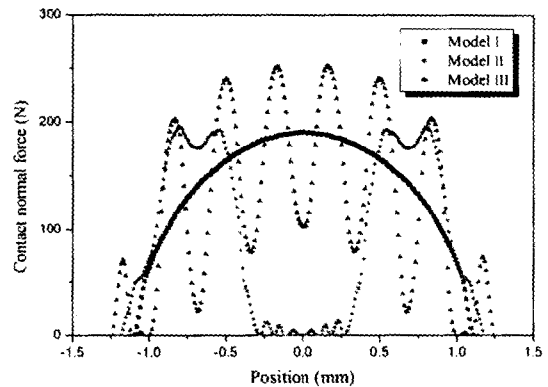
(b) Temperature distribution : after 10min.

Fig. 3-6 Temperature distribution of Model III.

Fig. 4,5,6에는 각각의 모델이 250℃인 챔버 벽면과 접촉한 후 발생되어지는 온도분포를 나타내고 있다. Model I인 경우 접촉초기에는 벽면에 접촉하는 부분의 온도가 가장 높게 나타나다가 시간이 지날수록 열팽창에 의하여 접촉면적이 넓어지면서 접촉하는 부분 전체의 온도가 거의 250℃에 도달하는 것을 알 수 있다. Model II는 돌출된 부분이 초기에 접촉이 일어나면서 온도가 가장 높게 나타난다. 10분 정도가 경과한 후 열팽창에 의해서 접촉면적이 넓어지지만 접촉면 전체가 250℃에 도달하는 것이 아니라 돌출부분만 계속적으로 최고 온도를 유지하고 있다. Model III는 접촉초기에 돌출부분에서 최고 온도가 나타나고 있지만 시간이 경과 후 열팽창에 의해서 접촉면적이 넓어지면 접촉하는 전체 부분이 250℃를 나타내고 있다. 따라서, 접촉 후 10분이 경과했을 때 Model I과 Model III는 거의 비슷한 온도분포를 나타내지만 Model II는 조금 다른 경향의 온도분포를 보이고 있다.



(a) Contact force distribution for contact area



(b) Contact force distribution for contact area : after 10min

Fig. 3-7 Contact force distribution for contact area.

Fig 3-7은 각각 모델이 250°C인 챔버 벽면과의 접촉할 때 접촉면에 발생되어지는 접촉력의 분포를 나타내고 있다. 우선 모든 Model이 접촉 후 10분 정도가 지났을 때 열팽창에 의해서 접촉면적과 접촉력이 증가하는 현상을 볼 수 있다. Model I인 경우 초기 접촉점을 최대점으로 하여 반원형상으로 접촉력이 분포하고 있고 시간이 경과된 후에도 같은 형상의 접촉력 분포를 유지하고 있다. Model II인 경우 접촉초기에는 돌출되어 있는 부분에서 접촉력이 분포하고 있지만 시간이 지날수록 열팽창에 의하여 접촉이 발생하지 않았던 오목한 부분의 일부분에서 접촉력이 나타나는 것을 볼 수 있다. Model III인 경우 접촉초기에 Model II와 비슷하게 각각의 돌출부에서 접촉력이 발생하고 있지만 시간이 경과할수록 열팽창에 의하여 접촉력이 발생하지 않았던 오목한 부분 전체에서 접촉력이 나타나고 있다. 따라서, Model III가 Model I과 Model II 보다도 가장 높은 접촉력을 유지하면서 시간이 지날수록 접촉면 전체에 접촉력이 분포하는 가장 안정적 접촉력 분포형상을 나타내고 있다.

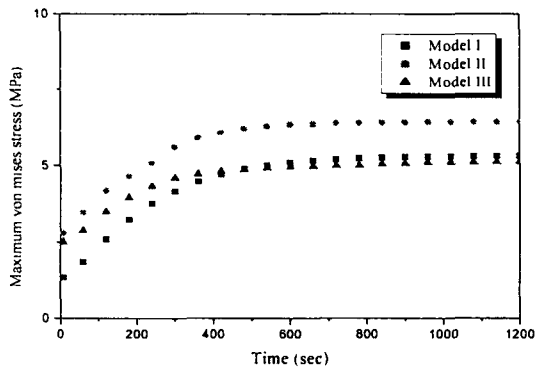


Fig. 3-8 Variation of maximum stress due to contact time.

Fig. 3-8은 시일이 챔버 벽면에 접촉 된 후 시간 경과에 따른 시일 내의 최대응력 변화를 나타내고 있다. 고무의 파손에 직접적 영향을 미치는 최대응력은 Model III가 Model I과 Model II보다 빠르게 일정한 최대응력을 유지하면서 가장 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 Model III가 벽면에 접촉 후 시간에 경과 따른 열응력 변화에 대하여 가장 안정적인 상태를 유지한다고 볼 수 있다.

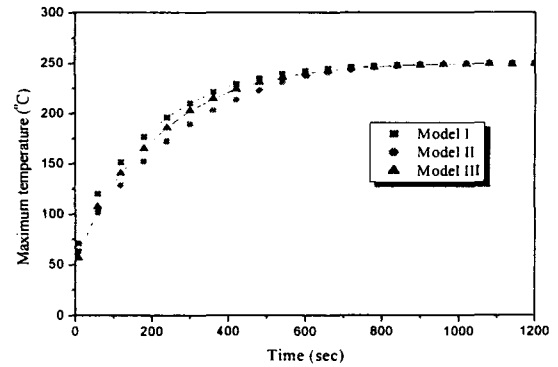


Fig. 3-9 Variation of maximum temperature due to contact time.

Fig. 3-9은 시일이 챔버 벽면에 접촉 된 후 시간 경과에 따른 시일 내의 최대온도 변화를 나타내고 있다. 세 모델 모두 비슷한 경향을 나타내며 약 10분 정도 경과후 접촉면이 챔버 벽면의 온도인 250°C에 도달하는 것을 알 수 있다.

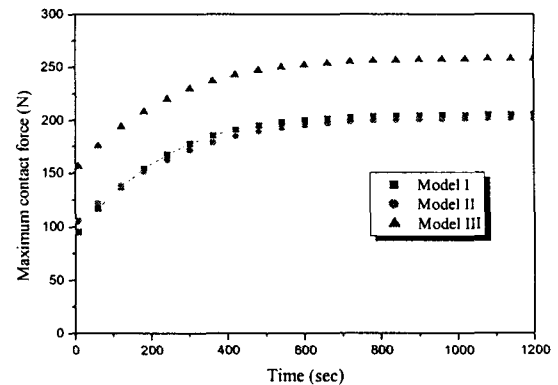


Fig. 3-10 Variation of maximum contact force due to contact time.

Fig. 3-10는 시일이 챔버 벽면에 접촉 된 후 시간 경과에 따른 시일의 접촉력 변화를 나타내고 있다. 밀봉력에 직접적인 영향을 미치는 접촉력은 일정한 압축률을 유지한 상태에서 접촉시간이 지날수록 증가하다가 약 10분 정도 경과 후 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. Model I과 Model II는 접촉 초기에서부터 비슷한 접촉력을 나타내고 있지만 Model III인 경우는 접촉 초기에서부터 Model I, II와 달리 높은 접촉력을 계속 유지하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

참고문헌

본 연구에서는 고온의 열악한 환경에서 사용되고 있는 접합식 도어시일이 일정한 압축률을 유지한 상태에서 접촉시간이 경과될 때 시일의 형상과 온도의 영향이 최대응력 및 접촉력에 미치는 영향에 대하여 수치적 해석을 수행하였다.

해석결과에 의하면 Mdeol III(sunflower shape)가 현재에 주로 사용되고 있는 Model I(O-ring shape)과 또 다른 형태의 Model II보다 시일의 수명에 영향을 미치는 최대응력이 가장 작게 나타났다. 또한, 밀봉압력에 직접인 영향을 미치는 접촉력이 상당히 높게 나타났다. 다시 말해서 최대응력이 가장 작게 나타났다는 것은 열에 대한 안정성을 유지한다는 것이고 접촉력이 높다는 것은 접촉하는 챔버 벽면과 접합식 도어시일 사이에 걸리는 접촉면압이 높다는 것을 의미하기 때문에 Model III가 다른 모델에 비해서 열에 대한 안정성과 밀봉력이 우수하다고 판단 할 수 있다.

1. Kim, C. K., Cho, S. H., Kim, Y. G., "On the Contact Behavior Analysis and New Design of O-ring Seals," 2th Int, Conference on Tribology, ASIATRIB, pp.121-122, Oct. 2002.
2. "MARC user's manual," Version K6.1, MARC Analysis Research Co., 1996.
3. Lindley, P. B., "Compression Characteristics of Laterally Unstrained Rubber O-Ring," J. of IRI, Vol. 1, pp.202-213, 1967.
4. Green, G. and English, C., "Stress and Deformation of Compressed Elastomeric O-ring Seals," 14th Int, Conference on Fluid Sealing, BHRA, pp.83-95, April 1994.