

## 유한요소해석을 이용한 더스트 씰 밀봉성에 대한 설계변수의 영향평가

이광오\*(부산대학교 정밀기계공학과 대학원), 이상욱(부산대학교 정밀기계공학과 대학원),  
허영민(대웅알티㈜), 강성수(부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터)

### Estimation on the effect of design variables for sealing performance of the dust seal using finite element simulation

K. O. Lee (Prec. Mecha. Eng. Dept. PNU), S. U. Lee (Prec. Mecha. Eng. Dept. PNU),  
Y. M. Huh (Daewoong RT Co., Ltd.), and S. S. Kang(ERC/NSDM, PNU)

#### ABSTRACT

Usually, hydraulic cylinder is widely used as the actuator in the equipment of construction machines, airplane and military machines. In case of these devices, due to use under severe environment such as water,  $\text{SiO}_2$  and dust, etc. seal which has high packing ability and long service life has been required. These characteristics are largely influenced by material and geometries of seal such as approach angle, withdrawal angle and interference. Recently, many a study about seal material has been performed so that many materials have been developed. But the concrete studies including the relationships between geometry of seal and sealing performance have hardly been performed yet. Therefore, in this study, we predicted the deformation behavior and contact normal distribution of dust seal with the variation of geometries of seal lip using finite element analysis. And based on the results of analyses, we discussed the effects of the design variables for sealing performance of the dust seal.

**Key Words:** TPU, Dust seal(더스트 씰), Finite element analysis(유한요소해석), Sealing performance(밀봉성), Contact normal force(접촉 수직력)

#### 1. 서론

작동유체의 누설이나 외부에서 침입하는 이물질을 효과적으로 차단(밀봉성능)하기 위하여 사용하는 더스트 씰(Dust Seal)은 베어링, 유압펌프, 액츄에이터 등에서 널리 사용되고 있는 핵심 기계부품중의 하나이다. 이러한 더스트 씰의 밀봉성능과 수명은 씰 재질, 씰 립 선단부의 형상 및 장착여유(Interference)등과 같은 형상 설계 인자에 대단히 큰 영향을 받으나, 실제 설계에 있어서는 대부분 경험적인 수치에 의존하고 있다.

씰의 재질은 형상 설계에 앞서 고려해야 할 사항으로 씰의 성능 및 수명에 직접적인 영향을 미치는 중요한 특성으로, 더스트 씰의 경우, 내마모성, 내유성 및 내압성이 우수한 TPU(Thermoplastic Polyurethane Elastomer)가 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 TPU 재질의 기계적 물성값을 실험적으로 구하고, 씰의 형상 설계변수 및 장착여유량에 따른 씰 내부응력 및 접촉반력에 대한 유한요소 해석을 수행하였고, 해석 결과 분석을 통해

각 설계변수의 밀봉성에 대한 영향을 평가하였다.

#### 2. 유한 요소 해석

##### 2.1 TPU 재료 분석

본 연구에서 사용된 씰 소재인 TPU는 탄성체로서 고무재질의 변형거동을 가지며, 15%~150%의 변형율에 가장 일반적으로 사용되는 Mooney-Rivlin 식을 적용하였다.

##### 2.2 모델 구성 및 경계조건

Fig. 1에서 본 연구에서 사용된 더스트 씰 모델을 보여주고 있으며, 더스트 와이퍼 역할외에 작동유 누유방지를 위한 2차 밀봉기능을 가지고 있어 더블 립 형상을 가지며, 금속보강테 부분이 홈에 장착된다. 씰의 접촉거동을 해석하기 위하여 상용비선형 유한요소 해석툴인 MARC를 사용하였으며, 해석에 사용된 각종 조건들을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다.

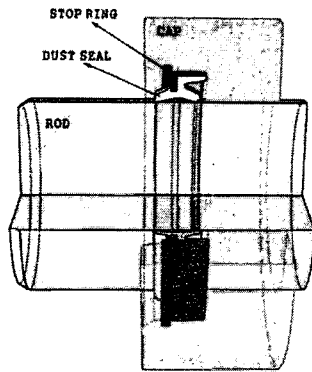


Fig. 1 Dust seal of hydraulic packing system

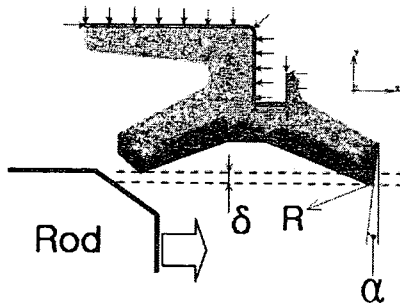


Fig. 2 Principal design variables and B/C in the FEA

Table 1 Comparison of measured roughness data

Material parameter	Values	
Normal seal diameter (mm)	105	
Number of elements	8256	
Number of nodes	8574	
Mooney-Rivlin (MPa)	C10	-3.91175
	C01	14.718
	C11	0.312908
Tensile strength (MPa)	33.57	
100% (MPa)	12.45	
200% (MPa)	14.46	
300% (MPa)	16.2	
Friction coefficient	0.12	

### 2.3 유한요소해석

더스트 씰의 최적설계를 위한 주요변수는 Fig. 4 와 같이 립의 선단각( $\alpha$ ), 더스트 와이퍼 립의 선단 곡률( $r$ ) 및 씰 장착여유( $\delta$ )등이다. 각 변수의 경험적인 추천값에 근거하여 여러 가지 값에 대해 유한요소해석 수행하였다[1-2]. 씰의 밀봉성의 척도로 접촉수직반력(Contact Normal Force)을 선정하였으며,

이러한 접촉수직응력에 대한 각 설계변수의 값을 영향을 해석결과를 통해 분석하였다.

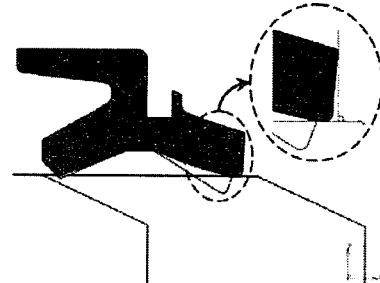


Fig. 3 Simulation result at specific lip edge angle( $\alpha$ )

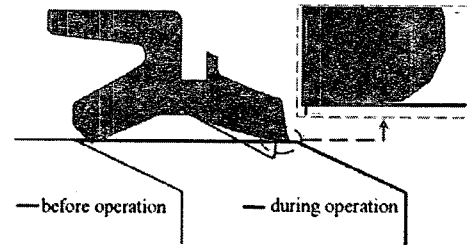


Fig. 4 Contact normal force between rod and seal during operation

### 3. 결론

더스트 씰의 접촉거동에 관한 유한요소해석을 통해 각 설계의 변수의 영향을 평가하였다. 이러한 설계변수에 대한 검토를 통해 씰의 밀봉성을 극대화시킬 수 있는 설계변수의 값을 정량적으로 제안할 수 있었으며, 이는 씰 설계의 표준으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 지역진흥사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. C. Bignardi, A. Manuello Bertetto and L. Mazza, "Photoelastic measurements and computation of the stress field and contact pressure in a pneumatic lip seal", Tribology International, Vol. 32, Issue 1, pp. 1 - 13, 1999.
2. Chung Kyun Kim and Woo Jeon Shim, "Analysis of contact force and thermal behavior of lip seals", Tribology International, Volume 30, Issue 2, pp. 113-119, 1997