

# VRC 시스템의 기능성 밸브 액추에이터의 실린더 설계

## Design of Functional Valve Actuator Cylinder for Valve Remote Control System

\*예상돈<sup>1</sup>, #민병현<sup>1</sup>, 지석준<sup>2</sup>, 이병현<sup>2</sup>

\*S. D. Ye<sup>1</sup>, #B. H. Min(bhmin@deu.ac.kr)<sup>1</sup>, S. J. Ji<sup>2</sup>, B. H. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 동의대학교 기계공학과, <sup>2</sup>HANLA IMS

Key words : VRC(Valve Remote Control), FEM(Finite Elements Method), ABS(American Bureau of Shipping), DNV(Det Norske Veritas), JIS(Japanese Industrial Standards), ASME(American Society of Mechanical Engineers)

### 1. 서론

대형 선박 및 플랜트산업의 경우에 각종 탱크 즉, 화물유 탱크, 연료 탱크, 청수 탱크, 해수 탱크 등 많은 저장용 탱크가 사용되고 있다. 이들 각 탱크 내에 있는 연료의 이상 유무, 수위 제어 및 실시간 모니터링이 선박의 안전 운항에 있어서는 필수적인 요소이며, 이들 탱크의 수위, 압력을 제어하는 밸브의 제어는 밸브원격제어시스템(Valve Remote Control System)으로 원격관리되고 있다. 이러한 밸브관련 기술은 고부가가치의 창출이 가능한 산업의 하나로서, 밸브의 시험 및 검증을 통하여 산업경쟁력을 확보하여야 한다.

VRC를 구성하는 부품 중 원격제어와 관련된 핵심부품으로는 유압과워팩(Hydraulic Power Pack), 솔레노이드 밸브(Solenoid Valve), 액추에이터(Actuator), 유량계(Flowmeter) 등을 들 수 있다. VRC 시스템에서 사용하는 액추에이터 중 하나인 랙과 피니언 형태(Rack & Pinion Type)의 액추에이터는 랙과 피니언을 감싸고 있는 하우징(Housing), 유압의 동작유체를 저장하고 동작 압력에 충분한 내구성을 가진 실린더 등이 핵심부품이다.

이들 액추에이터의 요소 중 하나인 실린더는 내압을 주로 받으며, 하우징과 결합하기 위한 플랜지 부분과 랙의 이동에 따라 내압을 받으며 실린더 내의 동작유체의 저장하고 구조적으로 안정성을 유지하는 요소부품이다.

본 연구에서는 이러한 실린더의 주요 설계인자인 벽두께를 결정하기 위하여, 미국해상선급협회규격(ABS), 노르웨이해상선급협회규격(DNV), 일본공업규격(JIS)에서의 압력용기 설계를 참고하고, 임의의 기본적인 쉘 형상을 모델링하여 유한요소해석을 이용하여 해석한 후 미국기계학회(ASME)의 응력강도(Intensity Strength)로 안정성을 평가 비교하였고 이를 활용하여 VRC 시스템에 사용하는 랙과 피니언 형태의 액추에이터용 실린더를 설계하고 유한요소해석을 수행하여 최종적으로 설계된 모델의 적절성을 평가하였다.

### 2. 임의의 쉘 형상 모델을 이용한 유한요소해석

VRC 시스템에 사용하는 랙과 피니언 형태의 액추에이터용 실린더와 같은 단순하지 않는 형태의 요소를 최적화하기 위해 모든 설계치수를 변수로 사용하기에는 설계변수가 너무 많아 제품의 개선이 아닌 개발의 측면에서 유한요소를 사용하여 해결하기에는 너무 많은 시간이 소비된다. 따라서 각종 규격에 제시되어 있는 계산식을 활용하고 이를 이용한 임의의 형상 모델링, 즉 단순화된 모델을 생성하여 유한요소법을 활용하여 결과를 분석한 후 복잡한 실제 제품설계에 최종 적용 후 평가하였다.

Fig. 1은 기능성 밸브 액추에이터 실린더의 임의의 형상을 나타내고 있으며, 유한요소 해석을 위해 수직한 두평면을 기준으로 대칭조건을 사용하여 1/4로 단순화 하였다.

Table 1은 임의의 형상에 사용된 형상에 대한 주요 설계인자를 나타내고 있으며, 여기서 W는 실린더 내부에 작용하는 최대절대압력이며, R은 실린더 내부의 반지름을 나타내고, T는 실린더의 두께를 나타내고 있다. 내부 모서리의 라운드는 두께와 같은 크기로 모델링하였다. 여기서 초기 설계 값들은 ABS, DNV, JIS 압력용기 설계 규격을 토대로 결정한 치수이다.

Table 1 Design variables of arbitrary geometry

Type	W[bar]	R[mm]	ABS[mm]	DNV[mm]	T[mm]
A	160	17.5	4.96	5.81	6
B	160	25	7.08	7.87	8
C	160	30	8.49	9.25	11
D	160	37.5	10.61	11.31	13
E	160	45	12.73	13.37	16

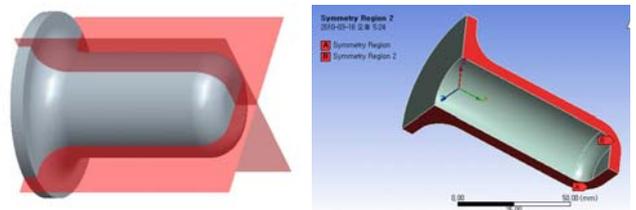


Fig. 1 Arbitrary geometry of cylinder for functional valve actuator

Table 1을 이용하여 A, B, C, D, E 형태의 실린더를 모델링하였으며, 이를 각각 유한요소 해석을 하기 위해 Fig. 2와 같이 각각 요소망을 생성하였다. 내압을 받는 용기에 대한 정적 해석을 수행하기 위해 실린더의 바닥면을 고정하였고, 실린더 내부 모든 표면에 Table 1에 나타난 최대절대압력을 경계조건으로 적용하였으며, 온도 변화는 무시하고 해석을 수행하였다.

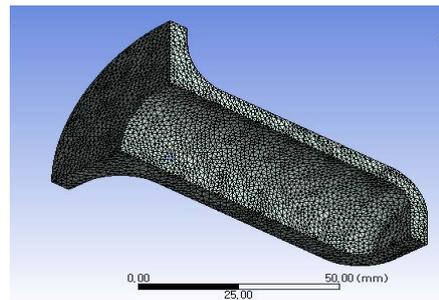


Fig. 2 Mesh generation on arbitrary geometry of cylinder

VRC 시스템에 사용하는 랙과 피니언 형태의 액추에이터용 실린더의 재료로는 탄소 2.5%이하, 황 0.02%이하 그리고 마그네슘 0.09%이하를 함유한 구상흑연주철인 FCD 450을 사용했으며, Table 2는 이 재료의 기계적 물성치를 나타내고 있다.

Table 2 Mechanical properties of FCD450

Material	Tensile strength	Yield strength	Young's Modulus	Poisson's ratio
ASTM 65-45-12	448 MPa	310 MPa	168 GPa	0.29

Fig. 3은 임의의 형상 모델을 유한요소해석을 수행한 결과 중 A 형상의 등가응력(Equivalent stress)과 응력강도(Intensity stress)를 나타내고 있다. ASME SEC II - D에서는 안전성을 평가하기 위해 응력강도를 사용하고 있으며, 응력강도의 계산은 식(1)과

같이 구할 수 있다. 여기서, S는 응력강도를 나타내고  $\sigma_i$ 는 주응력을 나타내고 있다. 즉, 주응력 차이의 최대값을 의미한다. 구조 제품의 경우 최대인장강도의 1/3을 허용값으로 사용하고 있다. 따라서 FCD450 재료의 경우 응력강도는 149.3 MPa 보다 작은 값을 나타내야한다.

$$S = \max \{ |\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1| \} \quad (1)$$

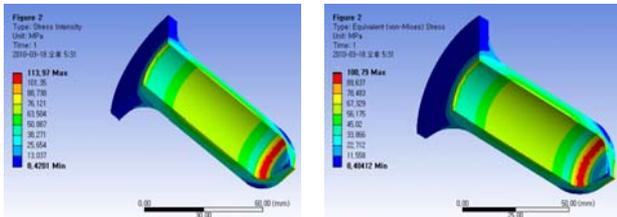


Fig. 3 Equivalent stress and stress intensity distribution on cylinder

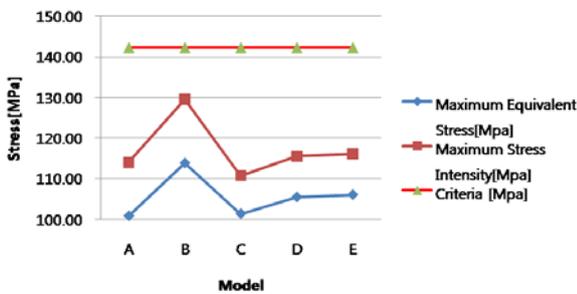


Fig. 4 Results of FEA for arbitrary geometry

Fig.4는 임의의 형상에 대한 유한요소해석 결과이며, 각각의 최대등가응력과 최대응력강도를 나타내고 있다. B 모델이 A, C, D, E에 비해 높은 수준의 응력값을 나타내고 있으며, 모두 ASME에 규정한 임계값 이하에서 적용되고 있음을 알 수 있다. 그리고 최대응력값은 실린더 내부의 모서리 부분에서 작용하고 있음을 알 수 있으며, 최종 설계에 있어 모서리 부분의 라운드 크기가 설계의 적절성에 많은 영향을 주리라 판단된다.

### 3. 기능성 액추에이터용 실린더의 유한요소해석

Fig. 5는 각종 규격과 임의의 형상을 참고로 설계된 액추에이터용 실린더 중 하나의 등가응력분포와 응력강도 분포를 나타내고 있다. Table 3은 설계된 액추에이터용 실린더의 최대절대압력변화에 따른 응력결과들을 나타내고 있으며, 23 MPa까지의 압력에 안전하다는 것을 알 수 있다.

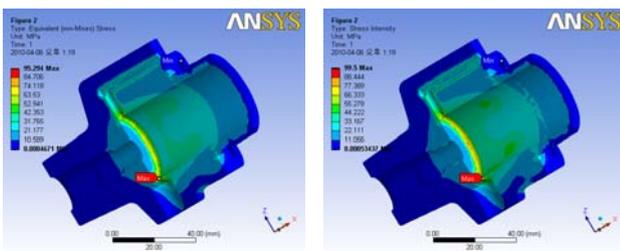


Fig. 5 Equivalent stress and stress intensity distribution on a functional valve actuator cylinder

Table 3 Stress results of functional valve actuator cylinder according to absolute pressure

Run	Pressure Magnitude [MPa]	Maximum Equivalent Stress [MPa]	Maximum Stress Intensity [MPa]
Initial	16	95.294	99.50
1	17	101.25	105.72
2	18	107.21	111.94
3	19	113.16	118.16
4	20	119.12	124.37
5	21	125.07	130.59
6	22	131.03	136.81
7	23	136.99	143.03
8	24	142.94	149.25
9	25	148.90	155.47
10	26	154.85	161.69

## 4. 결론

본 연구에서는 이러한 실린더의 주요 설계인자인 벽두께를 결정하기 위하여, 미국해상선급협회규격(ABS), 노르웨이해상선급협회규격(DNV), 일본공업규격(JIS)에서의 압력용기 설계를 참고하고, 임의의 기본적인 쉘 형상을 모델링하여 상용유한요소 해석프로그램을 이용하여 해석한 후 미국기계학회(ASME)의 응력강도(Intensity Strength)로 안정성을 평가 비교하였고, 이를 활용하여 VRC 시스템에 사용하는 랙과 피니언 형태의 액추에이터용 실린더를 설계하고 모델링한 후 유한요소해석을 수행하여 최종적으로 설계된 모델의 적절성을 평가하였다. 그 결과, 임의의 형상을 사용한 초기 해석이 제품설계에 있어서 유용하게 사용되었으며, 실린더 설계의 안정성은 내부 모서리의 라운드 크기에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었고, 추후 피로해석을 통한 안정성 검토와 플랜지 부분의 설계에 대한 최적화를 수행할 예정이다.

## 후기

이 논문은 2010년 광역선도산업육성사업 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

1. Kang, J., Lee, J. M., Kang, J. H., Park, Y. C. and Park, H. C., "Optimization of a gate valve using orthogonal array and kriging model," Journal of KSPE, Vol. 23, No. 8, pp. 119-126, 2006
2. 배태성, 김시범, 이권희, "압력용기 매니폴드 밸브의 구조최적 설계," 한국정밀공학회지, 제26권, 12호, 102-109, 2009
3. 김문영, 정남용, "유한요소해석에 의한 ASME Code 적용 압력용기 스택드 압나사산의 건전성 평가," 대한기계학회논문집, A권, 제27권, 제6호, 930-937, 2003
4. ANSYS, Inc., "ANSYS Workbench-simulation introduction release 11.0," 2007.