

크리깅 모델을 이용한 Gate Valve의 단조공정 설계

*박영철¹, 강정호², 공형걸³, 박희천⁴, 최성규⁵

^{1,2} 동아대학교 기계공학과, ³ 동아대학교 대학원 기계공학과, ^{4,5} (주)K.S.P

Forging Process Design of Gate Valve using Kriging Model

*Y. C. Park¹, J. H. Kang², H. G. Kong³, H. C. Park⁴, S. G. Choi⁵

^{1,2} Dept. of Mech. Eng., Dong-A Univ., ³ Dept. of Mech. Eng., Graduate School of Dong-A Univ., ^{4,5} K.S.P Inc.

Key words : Kriging Model, Forging Process, Optimization

1. 서론

우리나라의 전자산업 및 반도체 산업의 수준은 현재 최상위 그룹에 속한다. 특히 반도체 산업의 발전으로 인해, 반도체 제조공정장비 관련 기술 역시 급속도로 발전하고 있다. 그 중에 Main Chamber 혹은 Vacuum Pump에 이상 발생 시 Fore Line을 차단하고 각 장비의 오작동 및 제조공정 중에 필수요소인 고진공 상태를 유지하기 위하여 게이트 밸브가 사용되고 있다.

현재 PDP용 수직형 Glass코팅기술, 박막공정, 반도체 공정기술에서는 고진공상태를 형성-유지하는 것이 필요하다. 이때 게이트 밸브는 시스템에 이상이 발생 시 신속하게 유로를 차단하여 안전성과 동시에 생산의 효율을 높일 수 있다. 그러나 게이트 밸브의 시팅 구조상 가장 튼튼한 구조나 밸브의 열팽창과 배관 작용력에 대한 디스크에서의 흡수 여유가 없기 때문에 밸브 디스크가 상온에서는 고착 또는 누설가능성이 높아지게 된다. 따라서 내구성, 내식성 및 내산화성이 우수한 SUS 304 소재를 사용하고 관련 기술을 외국에서 도입하여 제조하고 있음에도 불구하고 재료의 특성 및 기계적 성질, 가공성에 대한 많은 문제점이 대두되고 있다.

기존의 게이트 밸브는 용접공정을 이용하여 제조되었으나 여러 가지문제점과 단점을 가지고 있다. 단조공정으로 제조할 경우 용접공정보다 기계적 특성이 향상되고, 소재비용 절감이 가능하며, 제품의 생산시간을 줄일 수 있고, 대량생산이 가능하다. 하지만 단조공정을 이용하여 가공한 제품의 가장 큰 문제점은 경량화 문제이다.

본 연구에서는 먼저 게이트 밸브의 주요 부품인 Body와 Body Cover에 대해 유한요소 모델링을 한 후 강성에 대한 제한조건을 설정하고 최적설계기법인 크리깅(Kriging) 모델을 이용하여 단조제품의 형상최적화를 수행하였다. 다음으로 기계적 특성 향상과 소재낭비를 줄이고 금형에 소재가 만족스럽게 충전 될 수 있는 단조공정을 설계하기 위하여 단조해석 전용프로그램인 DFORM-3D를 이용하여 최적설계한 단조제품의 형상이 실제 단조공정에서 생산될 수 있도록 단조공정을 설계하였다.

2. 크리깅 모델을 이용한 게이트 밸브의 형상최적화

크리깅(Kriging)은 관심 있는 지점에서 특성치를 알기 위해 이미 값을 알고 있는 주위의 값들의 가중 선형조합으로 그 값을 예측하는 지구 통계적 기법이다.

2.1 제품에 대한 구조해석

게이트 밸브는 실제 사용 환경에 대한 정확한 하중조건이 도출이 어렵다. 따라서 현재 사용되고 있는 용접제품을 강성기준을 만족시키므로 0.2mm의 수직변형을 발생시키는 최악의 하중조건을 역산하였다. 용접제품의 구조해석에서 처짐량 0.2mm에 대한 최대 작용하중은 1020N이었고, 이 하중을 단조제품에 작용시켜 강성기준을 만족하도록 구조설계를 하였다.

2.2 단조제품에 대한 구조해석

용접제품에 의해 산출한 최대 작용하중을 이용하여 단조제품의 초기모델에 대하여 해석을 수행하였다. 이때 단조제품 초기모델에서 발생하는 처짐량은 0.0436mm이었다. 이는 요구조건인 0.2mm의 20% 정도 수준으로 과잉설계 되었음을 확인할 수 있었다.

2.3 단조제품의 형상최적화

게이트 밸브의 설계 규격에 정의되지 않았으나 경량화 및 안전성에 영향을 미치는 곳을 설계 변수로 설정하여 Fig 1에 나타내었다.

Table 1은 3개의 설계변수에 따른 3개의 수준수를 나타낸다. 구조해석을 통하여 얻은 중력방향 처짐량 및 고유진동수를 Table 2에 나타내었다. 중량, 변위, 고유진동수 각각에 대한 목적함수를 구성한 후, 게이트 밸브 설계의 제한조건을 만족하면서 목적함수(중량)를 최소화하도록 최적화하였다. 크리깅 모델에 의한 최적화 결과, 각각의 설계변수가 A=3.39mm, B=16.39mm, C=6mm 인 값을 갖는 경우가 최적 값이며, 이때의 중량, 변위, 고유진동수를 Table 3에 초기 모델과 비교하여 나타내었다.

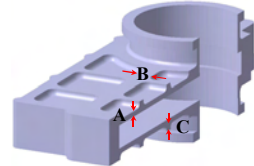


Fig. 1 Design variables for gate valve

Table 1 Design variables and level

D. V.	A (mm)	B (mm)	C (mm)
1	3	5	6
2	5	12.5	8
3	7	20	10

Table 2 Analysis results according to orthogonal array

Exp.	Design Variables				Experiment condition	Weight (Kg)	Deformation (mm)	Frequency (Hz)
	A	B	C	E				
1	0	0	0	0	A ₀ B ₀ C ₀	12.545	0.099	217.3
2	0	1	1	1	A ₀ B ₁ C ₁	13.639	0.082	229.9
3	0	1	2	2	A ₀ B ₂ C ₂	14.764	0.068	246.0
4	1	0	1	2	A ₁ B ₀ C ₂	15.189	0.061	257.1
5	1	1	2	0	A ₁ B ₁ C ₀	14.327	0.067	253.9
6	1	2	0	1	A ₁ B ₂ C ₁	15.456	0.057	265.6
7	2	0	2	1	A ₂ B ₀ C ₁	16.825	0.046	287.1
8	2	1	0	2	A ₂ B ₁ C ₂	17.978	0.040	298.6
9	2	2	1	0	A ₂ B ₂ C ₀	16.109	0.049	287.0

Table 3 Comparison optimum to initial model

Exp.	Weight (Kg)	Deformation (mm)	Frequency (Hz)
Initial model	17.14	0.044	294.8
Optimum model	13.439	0.08	260.3

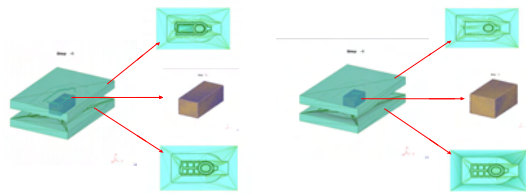
3. 단조공정 설계

본 연구에서 중요하게 다룬 단조제품의 형상이 실제 단조공정에서 생산될 수 있도록 단조공정을 설계하였다. 우선 255 최적 설계한 단조제품의 형상을 이용하여 금형을 설계하고

설계된 게이트 밸브의 Body와 Body Cover의 금형에 대한 소재의 충진률을 확인하기 위하여 단조해석 전용프로그램인 DEFORM-3D를 이용하여 해석을 수행하였다.

3.1 1-Step 단조공정

Fig. 2와 같이 원소재를 가공 없이 1-Step으로 단조공정 예비형상을 생산할 경우 Fig. 3과 같이 금형에 소재가 만족스럽게 충진되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 3에 나타나는 것과 같이 Metal Flow가 원활히 발생하지 않아 금형의 바깥부분으로 빠져나가야 할 부분이 금형 안쪽으로 역류하는 현상이 발생하여 소재가 금형에 충진되는 것을 방해하였기 때문이다. 이러한 현상은 Body와 Body Cover 모두에서 발생하여 1-Step 단조공정으로 제품을 생산하기에는 문제가 있음을 확인하였다.



(a) Body (b) Body Cover
Fig. 2 1-Step of Forging Process

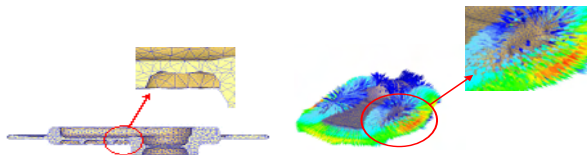
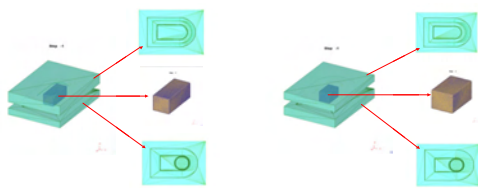


Fig. 3 1-Step forging Process of Problem

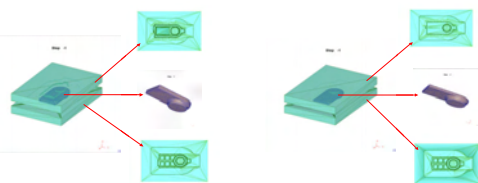
3.2 2-Step 단조공정

3.1에서 확인한 것과 같이 소재가 금형에 충진 되지 않는 문제점을 해결하기위해 Fig.4과 같이 2-Step 단조가공을 통하여 제품을 생산하는 방안을 검토하였다.

Fig. 5에 나타나는 것과 같이 2-Step 단조공정으로 가공할 경우 1-Step 단조공정에서 발생한 문제점들이 발생하지 않고 만족스럽



(a) 1-Step Body (b) 1-Step Body Cover



(a) 2-Step Body (b) 2-Step Body Cover

Fig. 4 2-Step of Forging Process

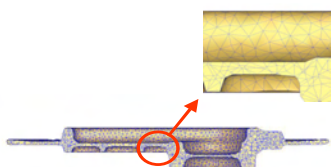


Fig. 5 2-Step Forging Process of Analysis

게 충진되는 것을 확인 하였다. 1-Step에서 당조공정 예비형상에 보다 가까운 소재의 형상을 제작하였기 때문에 1-Step 단조공정에 비하여 불량률이 감소할 것으로 예상된다. 그리고 금형에 가해지는 예상 작용 하중은 Body의 경우 183000KN으로 1-Step 단조공정보다 40%감소하였고, Body Cover의 경우 82900KN으로 약 70%가 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 예상 작용 하중이 감소되면 금형에 가해지는 하중이 감소하기 때문에 금형의 수명이 길어질 것으로 예상된다.

3-Step 또는 그 이상의 Step으로 단조공정을 설계할 경우 단조공정이 더욱 세분화 되어 불량률이 2-Step 단조공정에 비하여 줄어들겠지만 제품의 생산시간이 길어지고 금형을 더 제작하여야 하는 문제점이 있고 위의 결과를 통해 볼 때 2-Step 단조공정만으로도 제품 생산이 충분할 것으로 판단되어 3-Step 또는 그 이상의 Step에 대한 단조공정은 고려하지 않았다.

4. 결론

반도체 생산설비에서 중요한 역할을 하는 게이트 밸브를 기존의 용접공정을 통해서가 아니라 보다 기계적 특성 향상과 생산효율이 우수한 단조공정에서 생산하기 위한 최적설계를 크리깅 모델 기법을 이용하여 수행하였다. 그리고 이렇게 최적설계된 단조공정 예비형상을 모델링하여 단조해석 전용프로그램을 통하여 단조공정에서 발생할 수 있는 문제점들을 고려하여 단조공정을 설계하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 크리깅 모델 기법을 이용한 효율적인 최적화 수행을 통하여 게이트 밸브에 대한 단조공정에서의 예비형상을 최적화하였다. 초기모델과 비교하여 약 21.6%의 중량 감소율을 얻으면서 처짐량과 고유진동수는 요구된 제한조건을 만족하였다.
- (2) 최적화된 예비형상에 대하여 단조공정에 적용시켜본 결과 게이트 밸브 1-Step 단조공정을 통해 한번에 제품을 생산하기에는 어려움이 있어 단조공정을 2-Step으로 나누어 제품을 생산하는 것이 불량률을 줄이고 금형에 작용하는 하중을 줄여 금형의 수명을 연장시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Yi, J. W., Park, J. S., Lee, K. H. and Park, G. J., 2001. "Development of an Optimization Algorithm Using Orthogonal Arrays in Discrete Space," Journal of KSME, Vol. 25, No. 10, pp. 1621-1626.
2. Kim, M. S., Lee, C. W., Son, S. H., Yim, H. J., and Heo, S. J., 2003. "Shape Optimization for Improving Fatigue Life of a Lower Control Arm Using the Experimental Design", Trans. of KSAE, Vol, 11, No. 3, pp. 161-166.
3. Ryu, J. S., Kim, M. S., Cha, K. J., Lee, T. H., and Choi, D. H., 2002. "Kriging Interpolation Methods in Geostatistics and DACE Model", KSME International Journal, Vol. 16, No. 5, pp.619-632.
4. Martin, J. and Simpson, T., 2002. "Use of Adaptive Metamodeling for Design Optimization". Proceedings of the 9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Atlanta, Georgia, AIAA, pp.2167-2175.
5. Lee, K.H., 2005. "Optimization of a Driver-Side Airbag Using Kriging Based Approximation Model", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 19, No. 1, pp.116-126.
6. Ryu, J. H., 2003. "Investigation about Topology Optimized Design of Structures", Journal of COSEIK, Vol. 16, No. 1.