

단품(실린더헤드/밸브시트)조립을 위한 상온압입공정에 관한 연구 Analysis of the Normal Temperature Fitting Process for Assembling the Parts (the Cylinder head and Valve seat)

*박지수¹, 송명준¹, #김철², 한승무³, 조해용⁴

*J. S. Park¹, M. J. Song¹, #C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)², S. M. Han³, H. Y. Cho⁴

¹부산대학교 창의공학시스템 협동과정, ²부산대학교 기계기술연구원, ³경희대학교 동서의료공학과, ⁴충북대학교 기계공학부

Key words : Valve seat, Normal temperature Fitting, Contact Pressure, Fitting load, FEM

1. 서론

밸브시트(Valve seat)는 밸브의 고속 왕복운동으로 실린더헤드(Cylinder head)의 내구성이 저하되는 것을 방지하며, 연소실의 기밀을 유지하고 연소과정에서 발생하는 밸브헤드의 고온의 열을 실린더 헤드 내부의 냉각수로 방열시키는 역할을 한다. Fig. 1은 실린더헤드와 밸브시트를 보여주고 있다.¹

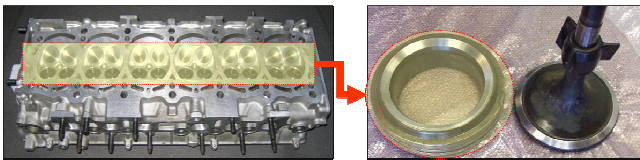


Fig. 1 Cylinder head and Valve seat

연소실 온도 상승에 의한 실린더헤드의 팽창시 발생하는 밸브시트의 이탈을 방지하기 위해 억지끼움 방법이 사용되며 열간압입, 냉간압입을 적용하고 있다. 열간압입은 실린더헤드를 열팽창 시킨후 밸브시트를 삽입하는 방법이며, 냉간압입은 밸브시트를 질소냉각(-196℃) 시킨 후 실린더 헤드에 삽입하는 공법이다.

열간/냉간 압입 공정은 압입하중이 작으므로 압입이 용이하며 생산기술이 많아 신뢰성이 높지만 초기 설비비 및 운영비가 많이 든다. 이에 반해 상온에서 오일 도포후 시트를 직접 실린더헤드에 끼워 넣는 상온압입 공정은 장비가 단순하기 때문에 초기 설비비 및 운영비가 적으며 압입 불량률이 적다. 이러한 장점 때문에 밸브시트 압입 방식은 냉간 또는 열간압입에서 상온압입으로 변화되고 있는 추세이나 타 압입 공법 대비 연구 및 경험이 부족하여 신뢰성이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 밸브시트 상온압입 공정의 접촉면압 발생에 따른 이론식을 적용하였고 유한요소 해석을 통하여 실제 실험결과와 비교 하였다.

2. 압입공정의 이론적 해석

단품(실린더헤드/밸브시트)의 접촉면압을 계산하기 위해 Lamé's equation 을 이용하여 Fig. 2로부터 식 (1)을 유도할 수 있었으며 $p_i=0$ 일때와 $p_o=0$ 일때를 조합하여 식 (2)를 유도하였다.²

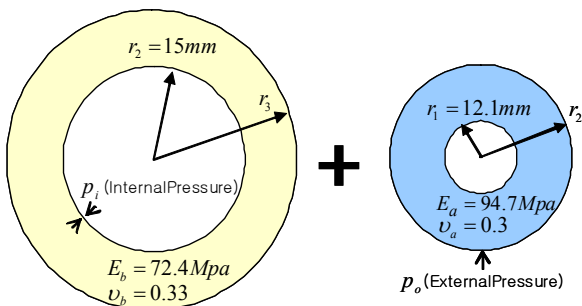


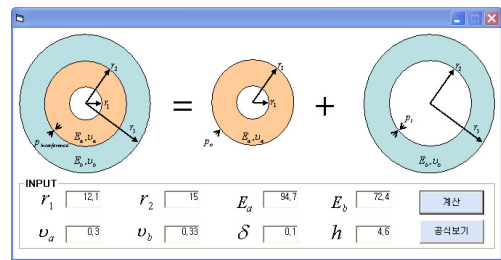
Fig. 2 Free body diagram for cylinder head and valve seat

여기서 δ_{SF} 는 실린더헤드와 밸브시트에서 발생하는 변위를 나타내며 두 항의 합은 실제 압입공차량과 같다. 그러나 실제의 실린더헤드는 복잡한 형상이므로 공식에 적용하기 위해서는 원형으로 가정할 필요가 있으며 이를 위해 식(2)와 식(3)을 이용하여 실린더헤드의 외경 r_3 (19.07mm)를 구하였다. 평균접촉면압과 편치하중을 구하기 위해 Visual basic 언어를 사용하여 압입자동화 프로그램을 개발 하였다. Fig. 3은 압입자동화 프로그램의 수행 결과로서 압입 종료시 평균접촉면압(60.64MPa)과 편치하중(3.94kN)을 나타낸다.

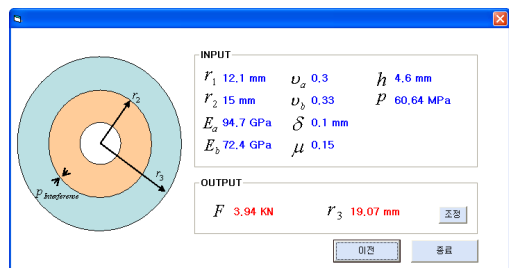
$$u = \frac{1-\nu}{E} \frac{r_1^2 p_i - r_2^2 p_o}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_1^2 r_2^2 (p_i - p_o)}{r_2^2 - r_1^2} \frac{1}{r} \quad (1)$$

$$\delta_{SF} = \frac{r_2^2 p_o r}{E_a (r_2^2 - r_1^2)} \left[(1-\nu_a) + (1+\nu_a) \frac{r_2^2}{r^2} \right] + \frac{r_1^2 p_i r}{E_b (r_3^2 - r_2^2)} \left[(1-\nu_b) + (1+\nu_b) \frac{r_3^2}{r^2} \right] \quad (2)$$

$$F_{Fitting} = \mu \cdot A \cdot p_{shrinking} = \mu \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot h \cdot p_{shrinking} \quad (3)$$



(a) Window for Input values



(b) Window for output values

Fig. 3 Results carried out in program

3. 유한요소해석

3.1 최적화 모델링

제안된 이론식을 검증하기 위하여 Fig. 4와 같이 편치, 밸브시트, 복잡한 형상을 원통형상으로 단순화 시킨 시켜 r_3 값을 적용한 실린더헤드를 2D 축대칭으로 모델링 하였다.

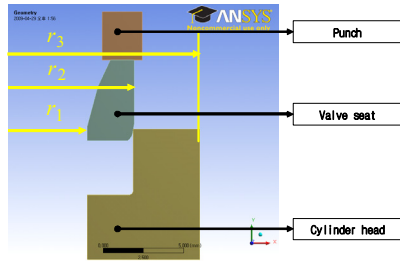


Fig. 4 2D Modeling of the Cylinder and Valve seat

3.2 경계조건

유한요소해석을 위해 Table 1 은 실린더헤드와 밸브시트의 물성치를 나타내었다. 압입 과정 중 실린더헤드와 밸브시트가 접촉하는 부분의 마찰계수는 0.15, 펀치 이동량은 4.6mm 를 적용하였다.¹

Table 1 Properties for FEM analysis of the cylinder head and valve seat

Parameters	Properties	
	Cylinder Head	Valve seat
Density	2800 Kg / m ³	7200 Kg / m ³
Tensile Ultimate Strength	310 MPa	691 MPa
Tensile Yield Strength	280 MPa	553 MPa
Young' s Modulus	70 GPa	94.7 GPa
Poisson' s Ratio	0.33	0.3

3.3 유한요소해석결과

ANSYS 를 이용한 유한요소 해석시 데이터 값은 최대값만 나타내므로 각 스텝에서 평균값을 추출한 접촉면압은 68.76MPa 으로 이론값 60.64MPa 과 약 8MPa 정도의 차이를 보였다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 실제 압입공정의 펀치하중 선도와 유한요소해석 결과인 펀치하중 선도를 나타내며 유사한 경향성을 나타내었다.

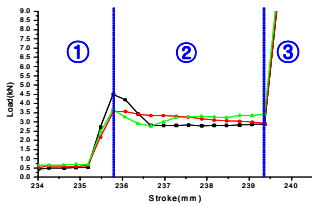


Fig. 5 The amount of punch force obtain from experiment for Cylinder head and Valve seat

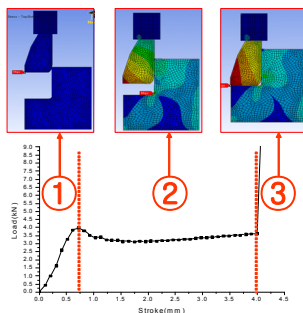


Fig. 6 The amount of punch force obtain from FEM simulation for Cylinder head and Valve seat

3.4 주요인자별 압입하중에 대한 고찰

압입공정 시 실린더헤드와 밸브시트의 접촉면압에 영향을 주는 오일도포, 이물질, 공차량초과, 직각도의 영향에 대한 유한요소해석을 수행하였으며 Fig. 7 과 Fig. 8 은 각각

의 펀치하중 선도를 나타내었다. 오일도포는 마찰값을 구분하여 해석을 수행하였으며 이물질 유입은 실린더헤드 부분의 상, 중, 하 위치에 돌출부분을 모델링하여 해석을 수행하였다.

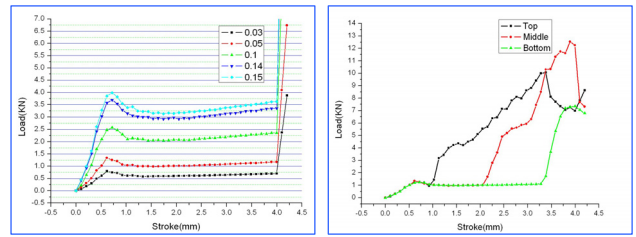


Fig. 7 The amount of load obtain from FEM simulation for coefficient of friction and incoming obstacle

또한 공차량 초과는 최대값(0.0575mm)을 기준으로 하여 수행하였으며 직각도 불량은 실린더헤드 압입부에 경사각을 주어 해석을 수행하였다.

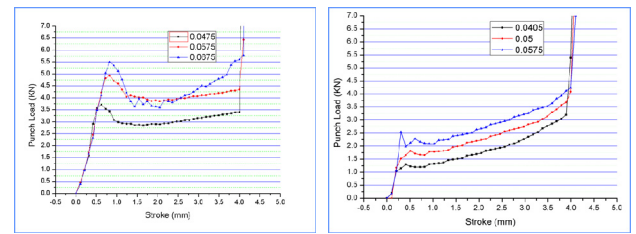


Fig. 8 The amount of load obtain from FEM simulation for the over tolerance and squareness

4. 결론

본 연구에서는 자동차 엔진 단품(실린더헤드/밸브시트)에 대한 상온압입공정 시 발생하는 접촉면압을 이론식으로 구하고 이를 검증하기 위해 유한요소해석과 실험을 수행하였다.

- 1) 이론식에 의한 접촉면압은 60.64MPa 이며 유한요소해석 결과 접촉면압은 68.76MPa 으로 11.8%의 오차가 나타남을 확인했다.
- 2) 실제 압입하중과 FEM 해석결과의 비교를 통해 이론식을 검증했으며 결과가 잘 일치하였다.
- 3) FEM 해석 및 이론식을 통해 펀치하중을 예측할 수 있으므로 주요인자별 접촉면압 및 하중선도의 특성을 파악하여 실제 공정에서 적용할 수 있다.

후기

본 연구는 교육과학기술부의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상식, 이재용, 이경우, 이재현, “밸브시트 상온압입에 대한 설계적 고찰,” 한국자동차공학회 2006 년도 추계 학술대회 논문집”, 29-35, 2006
2. 김호운, 최창진, 김철, 배원병, “온간압입공정에서 자동차 변속기 단품(축/기어) 치형 변화 예측에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 9, 54-60, 2006
3. Yoh, E.G and Lee, Y.S., “Integrated Analysis for the Shrink-fitted Die with Multi Stress-Ring of Dissimilar Materials,” J. of KSME, Vol. 18, No. 3, pp.40-46, 2001
4. Ugural, A. C. and Fenster, S. K., “Advanced Strength and Applied Elasticity,” Elsevier North Holland, Inc., pp. 234-244, 1981