800톤 핫스탬핑 프레스의 구조해석 Structural Analysis of 800Ton Hot Stamping Press

최병근* · 이정훈** · 이종명** · 하정민** · 구동식*** · 김원철****†

Byeong-Keun Choi*, Jeong-Hoon Lee**, Jong-Myeong Lee**, Jeong-Min Ha**,
Dong-Sik Gu*** and Won-Chul Kim****†

(접수일 : 2012년 11월 23일, 수정일 : 2012년 12월 10일, 채택확정 : 2012년 12월 27일)

Abstract : Press machine has advantages over other manufacturing machine which can produce large quantities of products in short time so it is widely used in lots of industrial sectors. To obtain the vehicle's weight lightening and rigidity of the body-frame by applying 'Hot stamping' technique is increasing in the automotive field. In this paper, to improve the irregular vibration arose by 800Ton hot stamping press, the research was continued. Bed, slide and main frame are the key part of working precision, so perform structural analysis was conducted, and based on the analyzing results, structural changes were done on the parts where structural deformation occurred.

Key Words : Structural Analysis, Press, Hot Stamping, Stability Evaluation, Bed

1. 서 론

프레스를 이용한 가공은 소성변형을 행하는 방법으로, 대체로 대상물의 재결정온도 이하에서 가공되는 냉간가공을 뜻하며, 재결정온도 이상에서 진행되는 열간 가공 역시 소성가공의 한 방법이다.¹⁾

프레스 가공은 단시간에 대량생산 할 수 있으며, 가공의 편이성에 의해 다양한 분야에 적용되고 있다. 최근 자동차 산업에서 차량의 경량화와

운전자의 안전을 보장하기 위한 차체의 강성 확보를 위해 재결정온도 이상으로 가열된 대상을 소성변형 시키는 핫스탬핑(Hot Stamping)기법을 적용한 가공법 사용이 증대되고 있다.²⁾

핫스탬핑 프레스 기법은 전기로 등에서 700 ~ 950°C 이상의 온도로 가열된 가공물을 프레스에서 압착하여 성형을 시킨 후 이를 바로 냉각 처리하여 초고강도강 제품을 생산하기 위한 프레스 장치이다. 초고강도강의 경우 기존의 재료에 비해 2 ~ 3배가량의 강도향상과 25%내외의 경량화 효

**** 김원철(교신저자): 국립경상대학교 기계시스템공학과
E-mail : wckim@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9102

*최병근: 경상대학교 에너지기계공학과:

**이정훈, 이종명, 하정민: 경상대학교 대학원 에너지기계공학과

***구동식: 창원문성대학 조선학부

****† Won-Chul Kim(corresponding author) : Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

E-mail : wckim@gnu.ac.kr, Tel : 051-629-6193

*Byeong-Keun Choi : Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University.

**Dong-Sik Gu : Division of Shipbuilding Production, Changwon Moonsung University,

***Jeong-Hoon Lee, Jong-Myeong Lee, Jeong-Min Ha : Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University.

과를 얻을 수 있다.³⁾ 따라서 자동차 산업에서 초고강도강의 적용범위가 증가함에 따라 생산성 높은 핫스탬핑 프레스를 적용한 제품 생산의 필요성이 증대되고 있다.

국외의 경우 자동차업체와 철강업체 사이의 공동연구를 통하여 개발된 핫스탬핑 프레스 기법을 적용하여 자동차를 생산하는 업체들이 증가하고 있다. 대표적인 예로 아셀로미탈사와 티센크루파, 신일본제철 등의 대형철강업체와 볼보, BMW, 폭스바겐, 도요타 등에서 공동연구가 진행되었으며, 이를 통해 개발된 프레스 기법을 적용하고 있다. 국내의 경우 현대-기아 차에서 핫스탬핑 프레스를 이용한 제품이 차체 프레임 생산에 적용되고 있다.³⁾

하지만 핫스탬핑 프레스의 부하용량의 증가로 인하여 가공품의 정밀도 확보에 대한 문제가 제기되고 있다.

따라서 본 논문에서는 이미 개발된 800톤 핫스탬핑 프레스에서 발생된 이상진동과 제품의 단차 문제의 개선을 위하여, 프레스 작업의 핵심이 되고 가공의 정밀도에 매우 밀접한 관계가 있는 베드(Bed), 슬라이드(Slide), 메인프레임(Main Frame)을 중심으로 하여, 가공 공정에 적합한 경계조건을 구현하여 구조해석을 수행하였으며, 얻어진 결과를 통하여 구조적으로 취약한 부분을 파악하였으며, 구조변경을 통하여 문제점을 개선하였다.

2. 연구모델

본 논문의 연구모델은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 베드, 슬라이드, 무빙 볼스터, 메인프레임 파트로 구성되어 있으며, 구조해석을 위하여 CATIA V5를 통해 모델링 되었다. 메인 프레임은 타이로드(Tie-rod)가 프레스의 설계기준의 지표로 사용되기 때문에 Fig. 2에 상세히 나타내었다.

연구모델의 가공과정은 가열된 가공물이 프레스 외부에서 Fig. 1에 표시된 무빙 볼스터에 놓이게 되면, 무빙 볼스터에 의해 프레스의 내부로 옮겨지게 된다. 무빙 볼스터가 베드상면에 위치하게 되면 슬라이드의 상하 운동에 의해 가공물을 압

Fig. 1 Hot Stamping Press

Fig. 2 Main Frame

착과 동시에 성형하게 된다. 성형이 완료된 가공물은 무빙 볼스터에 의해 다시 프레스 외부로 옮겨지고, 이후 냉각 과정을 거치게 된다. 특히 프레스의 압착 과정 중에 베드 중앙에 설치된 쿠션패드가 무빙 볼스터를 지지하여 무빙볼스터의 변형을 방지한다. 슬라이드의 상하 이동거리는 Fig. 2에 표시된 타이로드의 길이에 의해 결정되고, 이 거리만큼 슬라이드는 상하운동을 반복하게 된다.

본 연구모델에서 사용된 재질은 SM490A이며, 쿠션패드를 지지하기 위해 장착된 핀 부분만 SM440으로 제작되었다. Table 1은 연구모델에 사용된 재료물성치를 나타낸 것이다.

3. 경계조건

본 연구모델의 구조해석은 ANSYS Workbench

를 사용하여 수행되었으며, 베드, 무빙 볼스터, 슬라이드에 대해, 가공 시에 작용하는 환경조건을 적용하여 구조해석을 수행하였다.

Table 1 Material Properties

Material	SM490A	SM440
Elastic Modules	206 GPa	203GPa
Density	7850 kg/m3	8190 kg/m3
Poisson's Ratio	0.3	0.284
Tensile Strength	543 Mpa	250 MPa
Yield Strength	393 Mpa	250 MPa

3.1 슬라이드(Slide)

슬라이드는 가공물에 하중을 가하는 부위로 크라운에 설치된 유압실린더에 의해 발생하는 압축력을 받아, 가공 시에 압축하중을 받는 상태가 된다. 슬라이드의 경계조건은 Fig. 3과 같이, 크라운의 실린더에서 발생하는 압축력이 슬라이드 상부에 작용하고, 가공물과 접촉하게 되는 슬라이드의 하부는 고정된 상태로 경계조건을 설정하였다. 상부 실린더에서 800톤의 힘이 작용할 때 슬라이드의 응력 및 변형을 구조해석을 통해 살펴보았다.

Fig. 3 Boundary Condition of Slide

3.2 메인프레임(Main Frame)

메인프레임은 조립식 H형 프레스에서 슬라이드나 베드, 타이로드 등이 결속되는 파트로써, 베드와 메인프레임은 용접에 의해 결합되는 조건을

적용하기 위해 Bonded로 설정하였다. 경계조건은 Fig. 4와 같이 작업 시 크라운의 실린더에서 800톤의 힘이 가해질 때에 대한 반작용으로 크라운 하부의 실린더 설치 위치에 800톤의 힘을 슬라이드에 작용되는 힘의 반대방향으로 적용하였다.⁶⁾

Fig. 4 boundary condition of Main Frame

3.3 무빙 볼스터(Moving Bolster)

무빙 볼스터가 베드 상면에 정지된 후 쿠션패드와 무빙 볼스터 하부까지 상승한 상태에서 800톤의 힘을 가했을 때 무빙 볼스터에 작용하는 응력 및 변형량을 해석하였다. 경계조건은 Fig. 5와 같이 무빙 볼스터와 슬라이드 및 가공물은 서로 맞닿아 있는 상태로 슬라이드에 작용하는 압축력을 적용하였으며, 무빙 볼스터의 하부가 쿠션패드에 의해 완전 고정된 상태로 설정하였다.

3.4 베드(Bed)

프레스가 작업 중인 상태에서 베드에 작용하는 힘은 슬라이드에 작용하는 압축력(800톤), 슬라이드의 자중, 가공물의 무게 및 무빙 볼스터의 자중이 합산된 것이다.

가공작업 시에 베드의 응력 및 변형량의 해석을 위하여, 경계조건은 Fig. 6과 같과 같이 베드의 하부를 완전고정하고, 슬라이드에 800톤의 압축력과 중력가속도를 적용하여 하중 조건을 구현하였다.

Fig. 5 boundary condition of Moving Bolster

Fig. 6 boundary condition of Bed

4. 분석 기준 및 해석 결과

4.1 구조해석 기준

일반적으로 프레스 메이커에서는 프레스의 설계 시 베드, 슬라이드, 메인프레임부분에 작용하는 하중은 등분포하중으로 가정하고, 하중이 가해지는 조건을 내부 규정에 의거하여 설정한다. 본 연구에서는 클리어링사와 던리사의 설계기준에 따라 구조해석 결과를 분석하였다.

굽힘 응력과 전단응력의 비율은 치수와 프레임 단면의 형상에 따라 결정이 되고, 평균적으로 굽힘 응력을 1이라 할 때 전단응력은 1~3이므로 전단응력이 굽힘 응력보다 크다. 클리어링사는 굽힘 응력만을 생각한 휨을 전단응력의 합성으로 바꾸

어 보기 위해, 굽힘응력과 전단응력의 합성을 2로 놓았을 경우에 0.025 mm/300 mm는 0.05 mm/300 mm가 된다.⁴⁾

던리사는 등분포 하중이 가해지는 범위를 타이로드 (Tie-rod)중심 간격에 대해 0.06L1(타이로드 길이의 약 60~70%구간에 하중이 작용)로 하고 있으며, 이를 클리어링사의 경우와 비교하면 클리어링사는 타이로드 중심 간격에 대해 2/3L1으로 하고 있으며, 0.66L1이 된다. 이는 던리사의 1.1배에 해당된다. 던리사는 0.044 mm/300 mm로 규정하고, 이를 클리어링사의 기준으로 환산하면 약 0.05 mm/300 mm가 된다.⁴⁾

즉, 두 프레스 제작사의 기준은 거의 일치하고 있어 설계방법에는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 또한 가까운 일본의 프레스제작사 AIDA의 경우 프레스 설계상의 부하조건은 상기의 두 메이커와 유사하며, 양단 타이로드 거리의 60%에 등분포하중이 작용하는 것으로 한다.

따라서 프레스의 베드 설계 기준은 0.05 mm/300 mm로 설정할 수 있으며, 다음 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{Deformation}{300mm} = \frac{(\max deformation * 300)}{(Distance between tie rod)} \quad (1)$$

4.2 슬라이드(Slide)

슬라이드의 경우, Press에 적용된 소재 SM490A의 항복강도 343 MPa보다 낮은 108.55 MPa의 최대응력이 상단 실린더부분에서 발생하였으며, 상단 실린더 부분 근처에서 최대 변형량 0.0141 mm가 발생하였다.

이 값은 참고문헌⁴⁾에서도 유사한 결과를 나타내고 있기 때문에, 가공 작업 시 발생하는 작용력에 의한 슬라이드의 구조적 문제는 발생되지 않을 것으로 사료된다.

4.3 메인 프레임(Main Frame)

메인 프레임의 경우, 상하변형과 동시에 타이로드 부가 좌굴되는 모습을 확인하였다.⁴⁾ 이것은 베

드와 크라운 사이에 작용하는 상하 수직방향의 작용력이 메인프레임에 인장력으로 작용하여 수평방향의 변형에도 영향을 끼친다는 것을 나타낸다. 메인프레임에서 발생하는 최대응력은 프레임에 부착된 타이로드의 2/3지점에서 73.867 MPa로 나타났으며, 참고문헌⁴⁾의 결과 값과 비교 하였을 경우, 그에 비해 더욱 작은 값이므로 메인프레임은 안전한 것으로 사료된다.

4.4 무빙 볼스터(Moving Bolster)

무빙 볼스터는 식(1)에서 우변의 분모항인 타이로드간의 거리를 무빙 볼스터의 폭으로 설정하였을 때에 대한 값으로, 최대 변형량을 0.06 mm를 적용하여 환산하면 0.006 mm/300 mm로 매우 작은 결과를 얻었으며, 이는 설계기준(0.05 mm/300 mm 미만)보다 작은 값이기 때문에, 무빙 볼스터는 가공 작업 시 구조적으로 안전한 것으로 사료된다.

4.5 베드(bed)

베드의 경우 핀의 설치 여부에 따른 결과를 비교하기 위하여, 핀을 적용한 모델(A)과 적용하지 않은 모델(B), 두 가지 경우로 분류하여 해석결과를 비교 하였다.⁵⁾ 식(1)에 A모델의 최대변형량 1.52 mm를 적용하면, 0.124 mm/300 mm로 설계기준치인 0.05 mm/300 mm를 2.4배 초과한다.

B모델의 경우, 최대변형량 0.14 mm를 식(1)에 적용 하면, 0.012 mm/300 mm로서 설계기준치에는 적합하나 베드에 응력집중이 발생되기 때문에 피로하중에 대한 안전성이 확보되지 않을 것으로 사료된다.

따라서 베드에서 설계기준보다 2.4배 큰 결과를 나타내었기 때문에 금형제품의 단차가 발생하고, 이로 인해 제품의 정밀도가 떨어질 수 있다.

쿠션패드는 베드의 내부에 수직으로 설치된 플레이트 구조에 고정되어 있다. 수직 방향의 플레이트의 강성이 충분하지 못하기 때문에 설계기준을 능가하는 변형을 보이는 것으로 분석되었다.

따라서 쿠션패드를 지지하기 위한 구조물의 강

Fig. 7 Analysis Results of Slide

Fig. 8 Analysis Results of Main frame

Fig. 9 Analysis Results of Moving bolster

성 보강이 필요하며, 이는 베드의 간단한 구조변경을 통하여 충분히 보완할 수 있었다.

기존모델의 핀을 적용한 모델(A)와 베드 내부의 강성이 보강된 모델의 핀을 적용한 모델(A')을 비교한 결과, A모델의 경우 0.124 mm/300 mm로 설계기준치인 0.05 mm/300 mm를 2.4배 초과하였다.

Fig. 10 Pin config of bed (A:left B:right)

Fig. 13 Max deformation results of bed
(A : left, A' : right)

Fig. 11 Max deformation results of bed
(A : left B : right)

Fig. 14 Max stress results of bed
(A : left, A' : right)

하지만, A'모델의 경우 0.079 mm의 최대 변형량을 환산하면, 0.006 mm/300 mm의 결과가 나왔으며, 이 결과는 프레스의 베드 설계기준치인 0.05 mm/300 mm 보다 낮은 값으로, 설계기준을 만족하고 있다.

5. 결 론

800톤 핫스탬핑 프레스 모델의 각 파트에 대한 구조해석을 통하여 최대 변형량과 최대응력을 Table 2 와 같이 구하였다. 슬라이드와 메인프레임의 경우 참고문헌⁴⁾의 결과와 유사하거나 더 작은 결과를 얻어 구조적 문제는 발생되지 않는 것으로 판단되었으며, 무빙 볼스터파트는 설계기준보다 매우 작은 값을 나타내기 때문에 구조적으로 안정됨을 알 수 있었다. 하지만 베드의 경우, 구조변경 전의 모델은 쿠션패드를 지지하는 플레이트 부분에서 충분한 강성을 가지지 못하였기 때문에 설계기준을 만족하지 못하는 결과를 보였다. 이러한 문제는 쿠션패드의 지지부에 간단한 구조변경을 통하여 해결할 수 있었고, 변경 후 설계기준을 만족할 수 있는 결과를 얻었다.

Fig. 12 Modified Bed Design
(A: Original model, A' : Modified model)

Table 2 Result of Analysis

No.	Model	Max Deformation (mm)	Max Stress (MPa)
1	Slide	0.141	108.55
2	Bed (with Pin :origin model-A)	1.52	207.71
3	Bed (With out Pin :origin model-B)	0.145	31.45
4	Bed (With Pin :modified model-A')	0.079	31.499
5	Main Frame	0.159	73.867
6	Moving Bolster	0.06	29.49

따라서 연구모델의 베드파트에서 발생한 구조적 강성 문제를 해결하였으며, 800톤 핫스탬핑 프레스는 충분한 작업정밀도를 가질 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. H. K. Park and B. B. Hwang, 1997, "A Structural Analysis of C-Frame Press", Spring journal of The Korean Society For Technology Of Plasticity, pp. 257-260.
2. M. J. Jeon, 2012, Hyundai-Hysco, "Hot Stamping expansion", KMJ News.
3. J. H. Bang and J. H. Yu, 2009, "Hyundai-Hysco, Hot stamping method introduced in the automotive steel", KMJ News.
4. J. S. Jeong, 2007, "Stress Analysis of H-Frame Mechanical Link-Motion Press", In-ha University Master's Thesis, In-cheon, pp. 11-14,
5. D. H. Moon, M. S. Choi and Y. B. Kim, 1998, "Longitudinal and Flexural Vibration Analysis of a Beam Type Structure by Transfer Stiffness Coefficient Method", Journal of The Korea Society for Power System Engineering, Vol. 2,

No. 1, pp. 59-66.

6. M. J. Lee, D. S. Han and G. J. Han, 2008, "Evaluation of Structural Stability of JIB Crane for a Feed Vessel According to the Luffing Angle", Journal of The Korea Society for Power System Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 24-28.