

10,000 Ton Brake Bending Press 구조 건전성에 관한 평가

박중원[†] · 이현민^{*} · 구태완^{**} · 김정^{**} · 강범수^{**}

Structural Integrity Evaluation of 10,000 Ton Brake Bending Press

Jung-Won Park, Hyun-Min Lee, Tae-Wan Ku, Jeong Kim, Beom-Soo Kang

Key Words : Thick Pipe Forming Process(후육 강관 성형 공정), Brake Bending Press(브레이크 밴딩 프레스), Finite Element Analysis(유한요소해석)

Abstract

Thick pipes have been used in fields of ocean and industrial plants, and pipe arrangement of oil and water pipelines. Mostly, roll bending process has been used in manufacture of the pipes. Recently, however, studies on the pipe forming processes using brake press have been performed. Normally, the brake press has high aspect ratio, so structural integrity evaluation should be conducted. In this study, finite element analysis of structural integrity for the brake bending press was carried out for thick pipe forming process.

1. 서론

용도가 다양하고 규격이 세부적으로 제정되어 있어 사용이 편리한 강관(pipe)은 산업 발전과 더불어 그 수요가 대폭적으로 증가하고 있다. 강관은 가공이 쉽고 가격이 저렴하며 시공성이 양호하고 강도가 높을 뿐 아니라, 2차 가공을 통해 내구성·부식성을 향상시킬 수 있는 등 경제적 측면에서 유리한 점이 많아 여러 분야에서 이용되고 있다. 그 중에서 후육관(thick pipe)은 해양·산업 플랜트, 대형 송유관 및 송수관 등에 사용된다. 세계적으로 플랜트 설비의 대형화 및 해양, 유전과 같은 기간 산업의 시장성 증가와 함께 후육관 수요도 커지고 있다. 후육관 제조에는 Fig. 1 과 같이 3~4 개의 밴딩 롤러(bending roller)를 위, 아래로 배치하여 롤러 사이의 틈으로 강판(steel plate)을 넣고 곡면을 가공하는 롤 밴딩 공정이 주로 이용되고 있다⁽¹⁻³⁾.

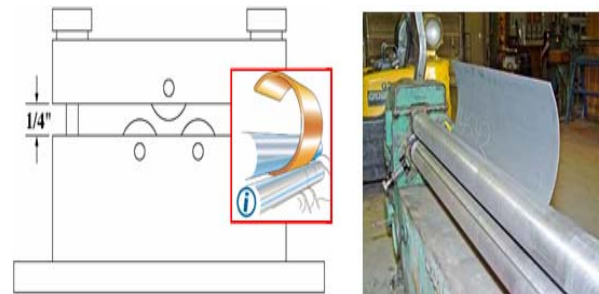


Fig. 1 Roll bending process for thick pipe forming



Fig. 2 Brake bending press for thick pipe forming

[†] 부산대학교 항공우주공학과 대학원
E-mail : aeronaut81@hotmail.com
TEL : (051)510-1531 FAX : (051)512-4491

^{*} 부산대학교 항공우주공학과 대학원

^{**} 부산대학교 항공우주공학과

후육관을 생산하는 다른 방식으로는 Fig. 2dp 도
시한 Brake Press^(4,5)를 이용한 공정이 있다. 상부
프레스에 의해서 구동되는 Forming Press Knife 를
소재에 접촉시킨 후 Press Knife 의 하향 이송
(stroke)에 의해 후판 소재를 변형시키고, 이후 변
형 된 후판 소재를 다시 수평 이송시키는 과정을
반복하여 성형하는 공정이다. 하지만 국내에서는
Brake Press 는 잘 쓰이지 않으며, 최근에 이르러
그 연구가 이루어지고 있다.

Brake Press 의 경우 일반적인 Press 와는 달리 폭
대비 길이가 크므로 구조 건전성에 관한 평가가
이루어져야 한다. 그러나 현재까지 구조해석을 통
한 체계적 연구가 이루어지지 않고 있다. 본 연구
에서는 유한요소해석(finite element analysis)을 이용
하여 10,000 Ton Brake Bending Press 에 대한 구조
건전성 평가를 실시하였다.

2. 해석 모델 및 방법

2.1 유한요소 모델링

10,000 Ton Brake Bending Press 는 전체적으로 높
이 약 15,000mm, 너비 약 14,000mm, 폭 약
3,500mm 의 크기로 설계되었다. 후육관 성형에
대한 Press Knife 성형 개념은 Fig. 3 과 같다. 유한
요소 모델링에 의한 파트 모델은 크게 Crown,
Bed, Column 으로 이루어진 모델과 Press Knife 모
델로 나뉘어지며, Fig. 4 에 파트 모델과 어셈블리
모델을 나타내었다.

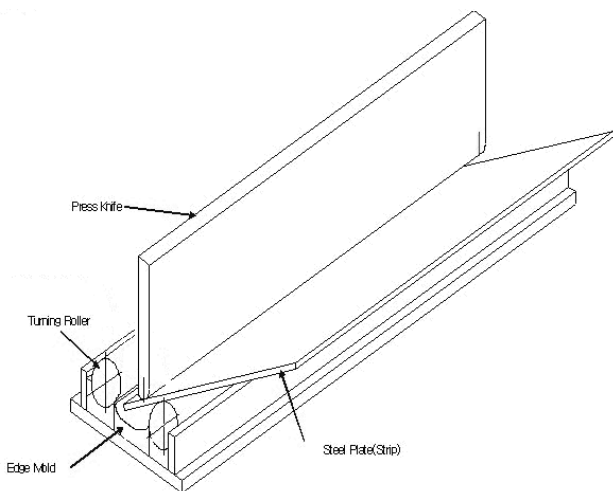
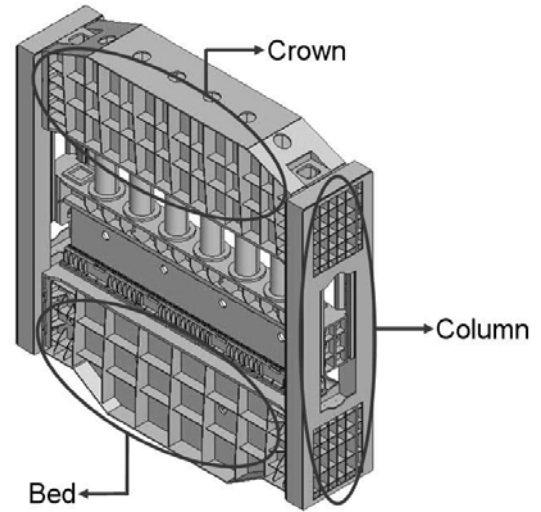
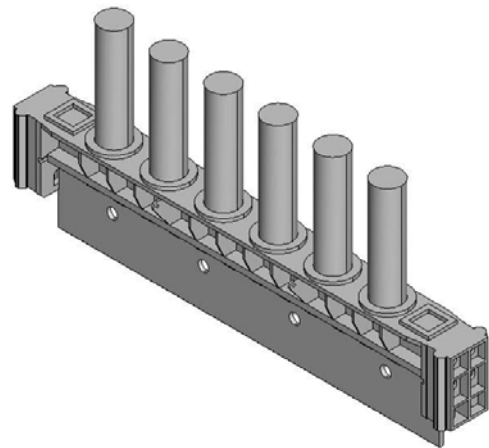


Fig. 3 Schematic diagram of press knife forming



(a) Assembly and parts of crown, bed and column



(b) Part of knife press

Fig. 4 10,000 ton brake bending press modeling

2.2 유한요소 해석

본 연구에서는 Table 1 과 같이 판재의 성형 여
부에 따라 두 경우로 나누어 해석을 수행하였다.
먼저, 판재 없이 Press Knife 자체에 10,000 Ton 의
하중을 주어 Brake Bending Press 의 구조 건전성
에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 판
재 성형시의 Brake Bending Press 의 구조 건전성
에 관한 유한요소해석을 수행하였다. 두 번째 해
석에서도 Press Knife 에는 최대 하중인 10,000 Ton
의 하중을 주었다. Brake Bending Press 모델의 소
재는 SS400 을 사용하였으며, 그에 대한 물성치
를 Table 2 에 표기하였다. Press Knife 와 Crown,
Column 이 접촉되는 부분은 윤활이 이루어져 있
으므로 마찰 계수 0.15 로 가정하여 Contact 조건

을 주었다. 아울러 경계조건과 하중조건을 Fig. 5에 나타내었다. 경계조건으로는 Bed 밑 부분의 양 끝에 위치한 Ground 부분을 구속 시켰으며, 하중조건으로는 Fig. 4(b)의 Press Knife의 Cylinder 윗부분에 10,000 Ton의 힘을 수직방향으로 주었다. 판재는 12,000mm × 3,000mm × 55mm의 크기의 API 5L X65 PSL1 소재를 사용하였으며 Brake Bending Press 중앙에 위치시켜 성형이 되도록 하였다. Fig. 4(a)와 같이 해석 모델은 대칭을 이루고 있으므로 해석상의 편의를 위해 1/4 모델을 사용하였으며 ABAQUS/CAE 프로그램 Static, General 모드를 사용하여 유한요소해석을 실시하였다.

Table 1 Analysis Case

Case 1	Analysis without steel plate
Case 2	Analysis with steel plate

Table 2 Material properties of brake bending press

Density	7.8E-9 tonne/mm ³
Young's modulus	200 GPa
Poisson's ratio	0.28

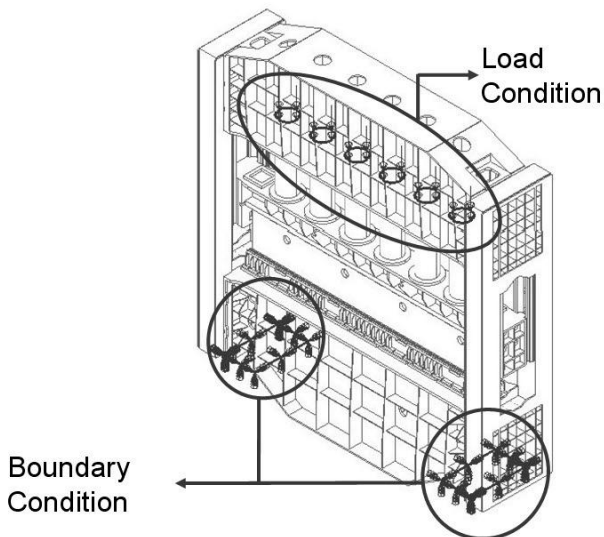
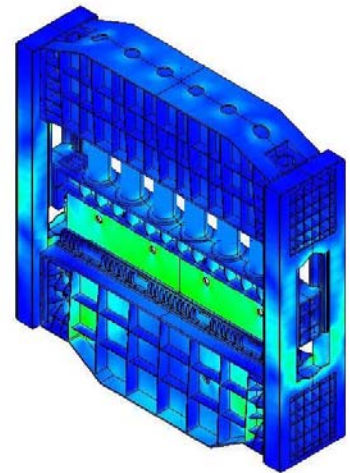
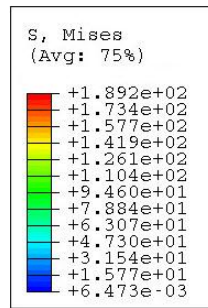


Fig. 5 Boundary condition and load condition

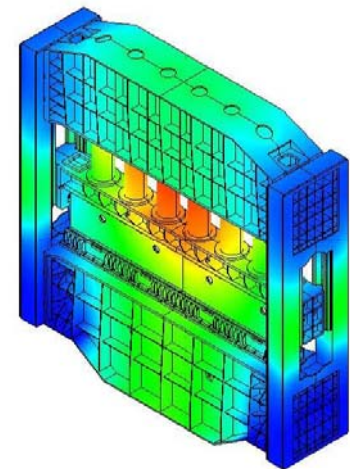
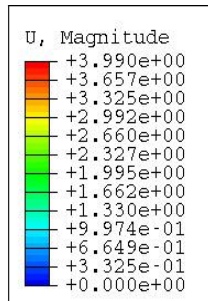
3. 결과 해석

3.1 Case 1

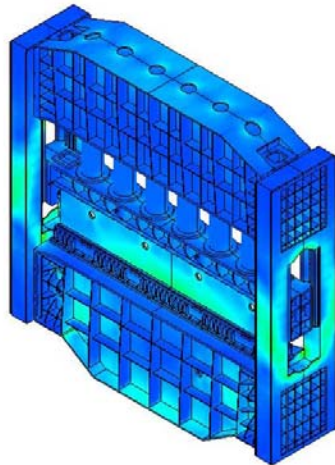
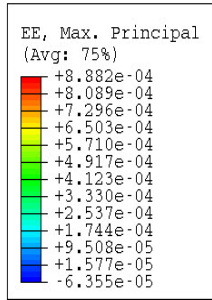
SS400 소재의 항복응력은 230MPa이다. 이보다 낮은 189.2MPa의 최대 응력이 경계조건으로 설정된 그라운드 부근에서 발행하였다. 안전 계수 (safety factor)로 나타나며 0.823 값이 된다. Press Knife에서의 80~110MPa의 분포를 나타내었다. 변위(deformation)는 하중이 실리는 실린더에서 가장 많이 발생하였으며, Press Knife에서는 1.3~2.3mm의 변위가 발생하였다. 주 탄성변형률(principal elastic strain)은 응력과 비슷한 성향을 나타내고 있으나 실제 변형률 값은 0에 가까운 값을 나타내므로 변형이 거의 일어나지 않은 것으로 판단된다.



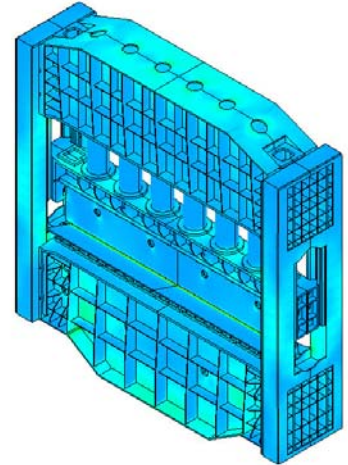
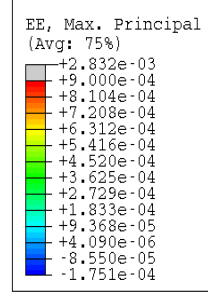
(a) Distribution of equivalent stress



(b) Distribution of displacement



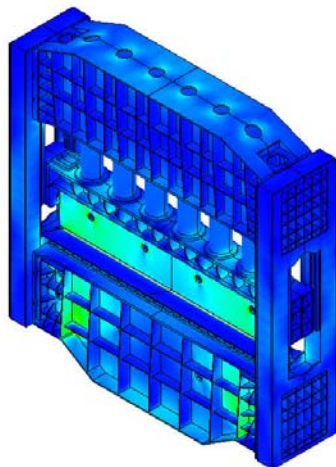
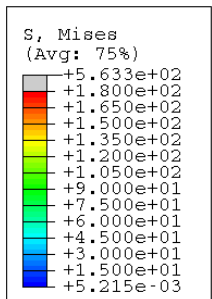
(c) Distribution of principal elastic strain
Fig. 6 Results of analysis case 1



(b) Distribution of principal elastic strain
Fig. 7 Results of analysis case 2

3.2 Case 2

판재 성형 시 Brake Bending Press 의 최대 응력 분포 값은 Case 1 의 경우보다 작게 나타났다. Case 1 에서 최대 응력 값을 나타냈던 그라운드 부근의 최대 응력 값은 150~175MPa 분포를 나타내었다. Case 2 에서도 주 탄성변형률 값은 거의 0 을 나타내므로 변형이 거의 일어나지 않은 것으로 볼 수 있다. 그러므로 Brake Bending Press 자체에는 구조적 문제점이 없는 것으로 판단할 수 있다. 변위의 경우 판재 성형 시에 Kinfe Press 에 70mm 의 이송 (stroke)이 있으므로 그 분포를 따로 나타내지는 않았다. 하지만 knife press 의 너비와 폭 방향의 변위를 확인 한 결과 변위가 거의 없음을 확인하였다.



(a) Distribution of equivalent stress

4. 결론

본 연구에서는 10,000 Ton Brake Bending Press 의 구조 건전성에 관한 평가를 실시하였다. 구조 건전성 평가에 있어서 중요한 요소는 결과 해석에 타나냈듯이 응력과 변위 그리고 변형률이다. 본 연구에서는 길이에 비해 폭이 짧은 Knife Press 의 변위와 변형률에 중점을 두었다. 해석 결과에서 변형은 거의 나타나지 않는 것으로 예측되었다. 변위는 최대 2.3mm 까지 나타났으나, 이는 Brake Bending Press 전체 길이에 비해 작은 수치이므로 무시할 수 있다. 유한요소 해석 수행 후 소성 변형률(plastic strain)의 값을 확인 한 결과, Brake Bending Press 에 소성 변형이 발생한 곳은 단 한 곳도 나타나지 않았다.

실제로 Press 장비는 최대 하중의 70~80%까지의 하중 크기로 성형을 한다. 그러므로 본 연구의 Brake Bending Press 는 실제 사용에 있어서 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 / 한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15 -2006-022-02002-0) 및 2008 학년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(R0A-2008-000-20017-0)이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) M. Hua., K. Baines., I.M. Cole., 1999, "Continuous four-roll plate bending: a production process for the manufacture of single seamed tubes of large and medium diameters," *Int. J. of machine tools & manufacture*, Vol. 39, pp. 905~935.
- (2) M. Hua., Y.H. Lin., 1999, "Large deflection analysis of elastoplastic plate in steady continuous four-roll bending process," *Int. J. of mechanical sciences*, Vol. 41, pp. 1461~1483.
- (3) Y.H. Lin., M. Hua., 2000, "Influence of strain hardening on continuous plate roll-bending process," *Int. J. of non-linear mechanics*, Vol. 35, pp. 883~896.
- (4) Coelho. PG., Faria. LO., Cardoso. JB., 2005, "Structural analysis and optimization of press brakes," *Int. J. of machine tools & manufacture.*, Vol. 45, pp. 1451~1460.
- (5) U.P. Singh., S.K. Maiti., P.P. Date., K. Narashimhan., 2004, "Numerical simulation of the influence of air bending tool geometry on product quality," *J. of materials processing technology*, Vol. 145, pp. 269~275.