論文 한국공작기계학회지 제9권 제5호 2000.10.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

정밀전단시의 유한요소 해석을 위한 파단기준 연구

강대철*, 전병희**, 이원평**, 성부용***

Study on the Failure Criterion for Finite Element Analysis of Precise Shearing

Dae-Cheol Kang*, Byung-Hee Jeon**, Won-Pyung Lee**, Boo-Yong Sung***

Abstract

The Tailor Welded Blanks(TWB) are using various materials (different thickness, strength and different materials) can be welded together prior to the forming process. Therefore, TWB applications have become little by little important in automobile industries, because it has more light weight and process reduction. A burnish area is very important for TWB using laser welding. In this paper, evaluated failure criterion, effect of clearance and distance of between pad and punch by computer simulation. We used element separation method for fracture. And applied a plastic strain to failure criterion.

According to the analysis results, we obtain failure criterion, when plastic strain is 2.0. The burnish area and clearance were inverse proportional.

Key Words : precise shearing, failure criterion, shearing parameters, FE analysis

1. 서 론

최근 성형분야에 있어서 용접판재를 이용한 박판성형이 각광을 받기 시작하였다. 용접판재는 사전에 전단가공 되어진 판재들을 원하는 목적에따라 배치한 후 용접하여 사용되어진다. 이때 두께와 소재가 서로 다른 두 판재를 용접할 경우 전단면의 품질에 따라 용접상태가 좌우되며 이는 매우 중요한 인자이다. 일반적인 자동차용 강판의 경우 코일재로된 강판을 절단하여 사용되며, 레이저를 이용한 용접 판재의 경우 정확한 단면의 확보가 필수적이다. 이러한 정밀 전단면을 확보하기 위해서 레이저 절단을 하거나 전단 후 밀링 가공을 하는 경우가 있다. 하지만 이 방법들은 생산성 저하와 가공 공정이 증가하여 단가의 상승을 초래하므로 정밀 전단기의 개발이 요구되고 있다.

진단에 관한 연구를 살펴보면 前田禎三[1]은 전단 가공에서 나타나는 현상을 규명하기 위해 펀치의 시어각과 블랭킹시 틈새의 영향, 펀치 속도에 따른 제품의 정밀도등 광범위한 기초 조사를 하였다. 또한 Maeda[2]등은 블랭크의

* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학부
** 인덕대학 기계계열
*** 한국산업기술평가원

지지력, 누름판의 돌기부 형상등에 대한 영향을 평가하였다. 안기순[3]등은 정밀전단 기구에 관한 폭넓은 실험을 하였다. 그리고 유한요소법을 이용한 연구로는 유요한[4]등은 단열 전단밴드의 발생 및 성장에 대한 특성 규명을 외연적 유한요소법을 적용하여 해석하였고, 정성훈[5]등은 강소성 유한요소법을 적용하여 전단과정의 수치 해석 가능성을 평가하였다.

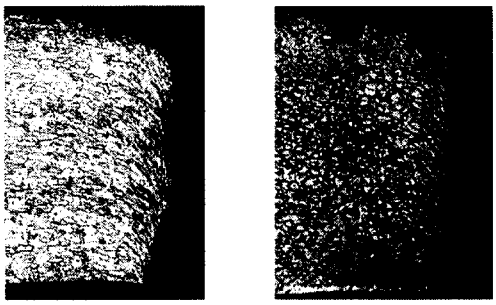
본 연구의 목적은 정밀 전단 공정의 해석을 위한 파단 기준 설정의 기초연구와 전단기 간극에 따른 전단면의 상태를 유한요소해석을 이용하여 평가하는 것이다.

2. 해석 모델

전단가공은 현재 가장 많이 행해지는 가공중에 하나이다. 다이와 펀치를 이용하여 판재를 절단하는 전단가공은 일반적으로 재료 두께의 30~50% 가량이 전단면이다. 하지만 TWB에 이용하기 위해서는 전단면이 약 70%가량 되어야 한다.[3] 따라서 기존의 방법과는 다른 전단 방법이 도입되어야 한다. Fig. 1은 실제 전단 후의 형상을 나타내고 있다.

Fig. 2에서 1 부위는 처짐(rollover)영역으로 공구가 재료를 관통할 때 재료가 당겨져서 늘여진 부분이다. 2 부위는 전단면(burnish) 영역으로 소성유동에 의해 생성된 영역이다. 3 부위는 파단면(fracture) 으로 전단변형후 균열에 의해서 파단이 일어난 부분이다. 4 부위는 뒤말림(burr) 영역으로 파단면에 연이어 나타나는 부분으로 없는 편이 제품의 품질 유지에 유리하다.

Fig. 3은 해석에 사용된 전단 기구의 형상을 나타낸 것이다. 펀치부의 곡률은 0.01 mm 이고, 다이 간극은 0.01,



(a) Bad shape (b) Good shape

Fig. 1 Shape of shearing

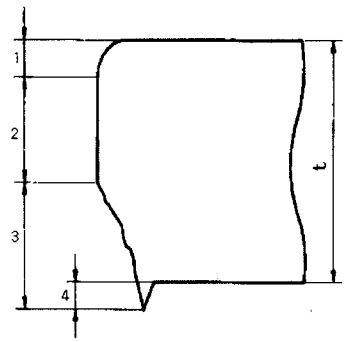


Fig. 2 Shear shape

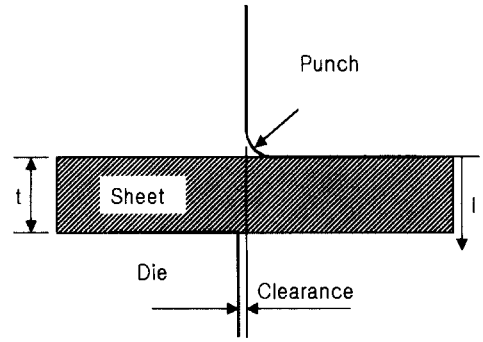


Fig. 3 Schematic illustration of analysis model

Table 1 Material Properties of SPCEN

Young's modulus (GPa)	162.621
Poisson's ratio	0.29
Yield stress (MPa)	147
K	490
n	0.203

0.03, 0.05 의 3가지를 이용하였다. Fig. 3에서 l 은 펀치 stroke 이다. 전단 해석을 위해 사용된 소재의 두께는 1mm 이며 소재의 종류는 SPCEN 이다. 물성치는 Table 1 과 같으며, 응력-변형률 관계는 $\sigma = K(\varepsilon)^n$ 으로 나타냈다.

3. 유한요소 해석

유한요소 해석을 하기 위해 Fig. 4와 같은 모델을 이용하였다. 2D 해석을 하여 파단 기준을 평가한다. 파단 기준

으로 소성변형률(파단 소성변형률)을 적용한다. 파단 기준이 되는 파단 소성변형률이 임계치에 도달하면 균열이 발생하고 균열은 다시 성장하여 파단을 일으킨다.

유한요소법을 이용하여 전단을 시뮬레이션을 할 경우 요소간의 분할을 위한 기준이 요구된다. 일반적으로는 그 기준은 적분점에서의 유효응력, 유효변형률, 최대전단응력, 절점력 및 에너지 흡수정도와 사용자의 판단에 따라 적용되고 있으나 기준은 적용되는 모델에 따라 다르다. 그리하여 본 연구에서는 유한요소 해석시에 소성변형률을 요소분할을 위한 파단의 기준으로 설정하였다.

유한요소 해석을 위하여 유한요소를 분할하기 위한 소성변형률[6]을 각각 1.5, 2.0, 2.5 의 3가지 경우에 대해서 해석을 수행하였다. 해석은 상용유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA 3D를 사용하였고, 해석 기법은 파단 소성변형률이 위의 3가지 기준에 도달했을 때 요소를 분할(element separation)하는 기법을 이용하였다.

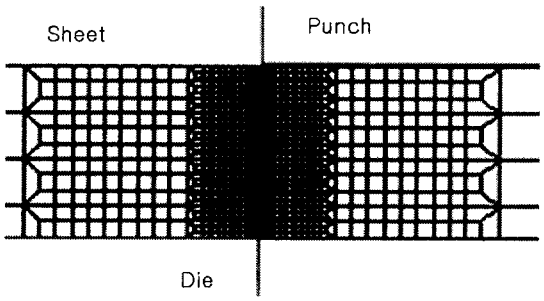
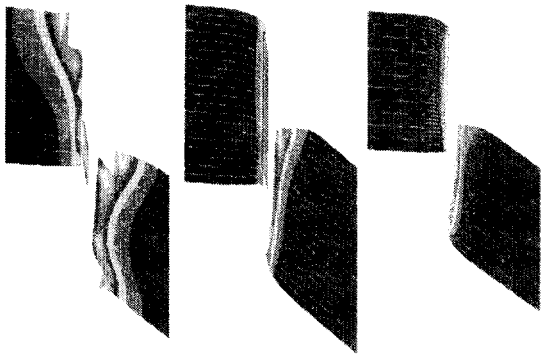


Fig. 4 FE model



(a) 100μm (b) 50μm (c) 10μm

Fig. 5 Effects of various element size

또한 유한요소의 크기가 전단면에 미치는 영향을 알아보기 위해 요소의 크기를 100, 50, 10μm으로 구성하여 해석하였다. 이때의 파단 소성변형률은 2.0 이고, 다이 간극은 0.03 mm 이다. 해석결과를 살펴보면 요소의 크기가 50μm 이상일 경우 정확한 전단면을 보여주지 못했다. 따라서 정확한 전단면을 표현하기 위해서 10μm 의 요소 크기를 사용하였다.

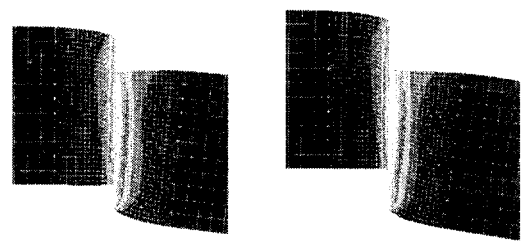
3.1 다이 간극과 파단기준의 영향 평가

다이간극과 파단기준의 영향을 평가하기 위한 유한요소 해석 모델로는 다이간극 0.01, 0.03, 0.05mm에 대하여 펀치 곡률 0.01mm을 사용하였다. 요소분할 기준은 소성변형률을 사용하였으며, 그 값은 1.5, 2.0, 2.5의 3가지 경우에 대하여 적용하였고, 각각에 대한 해석 모델은 Table 2 에 나타내었다.

Fig. 6부터 Fig. 11에 완전전단이 발생하는 과정을 나타냈다. 완전전단이 발생했을 때의 두께에 대한 펀치 이동거리를(l/t) 각각의 파단 소성변형률에 대해 Fig. 12에 나타내었다.

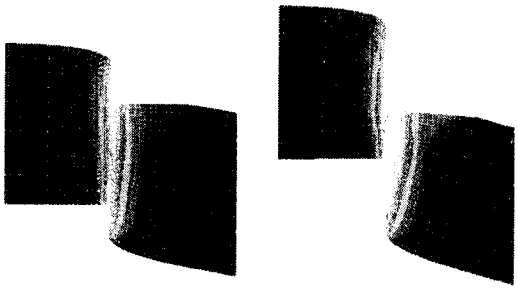
Table 2 Parameters of shearing(without pad)

Clearance(mm)	Plastic strain	Punch radius(mm)
0.01	1.5	0.01
0.01	2.0	0.01
0.01	2.5	0.01
0.03	1.5	0.01
0.03	2.0	0.01
0.03	2.5	0.01
0.05	1.5	0.01
0.05	2.0	0.01
0.05	2.5	0.01



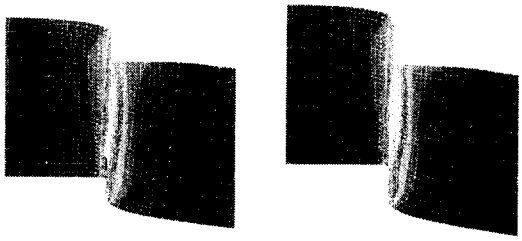
(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 6 Plastic strain 1.5 (clearance 0.01mm)



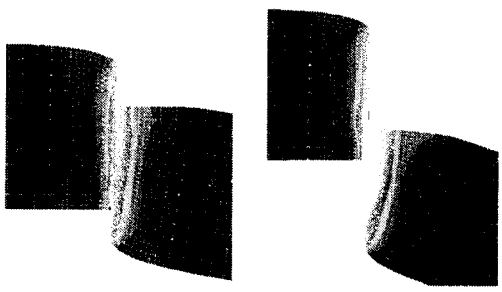
(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 7 Plastic strain 2.0 (clearance 0.01mm)



(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 8 Plastic strain 1.5 (clearance 0.03mm)

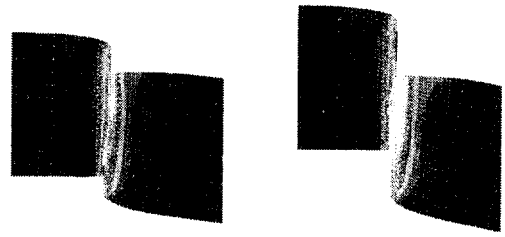


(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 9 Plastic strain 2.0 (clearance 0.03mm)

(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 10 Plastic strain 1.5 (clearance 0.05mm)



(a) Before fracture (b) After fracture

Fig. 11 Plastic strain 2.0 (clearance 0.05mm)

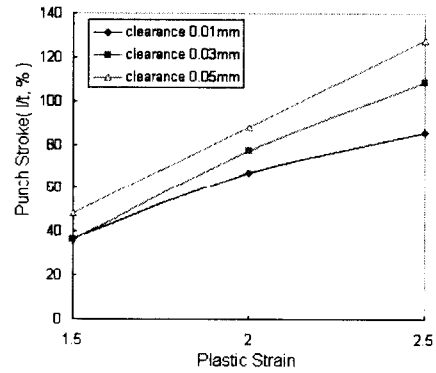


Fig. 12 Punch stroke vs. plastic strain curve

Fig. 12에서 보이듯이 파단 소성변형률이 1.5일 경우 다이간극 0.03mm 와 0.05mm 는 두께에 대한 펀치 이동거리(l/t)가 약 0.4 에서 전단이 되었고, 다이간극 0.01mm 인 경우는 약 0.5에서 전단이 완료되었다. 파단 소성변형률이 2.0 인 경우에는 다이간극 0.01, 0.03, 0.05mm 에 대해서 각각 두께에 대한 펀치 이동거리(l/t)가 0.85, 0.75, 0.62에서 완전전단이 발생했으며, 파단 소성변형률이 2.5인 경우에는 다이간극이 0.01mm 일 때 두께에 대한 펀치 이동거리(l/t)가 0.8일 때 완전전단이 발생되었다. 또한, 다이간극 0.03mm, 0.05mm 일 때 1.08, 1.27 이 얻어졌으며, 이 결과로 보아 유한요소가 분리되는 소성변형률을 2.5로 선정하는 것이 부적절함을 알 수 있다. 또한, 동일한 파단 소성변형률일 때 다이간극이 커질수록 두께에 대한 펀치의 이동거리가 크게 나타났다. 이러한 현상은

Table 3 Results of analysis(without pad)

Clearance(mm)	Plastic strain	Punch stroke(l/t)
0.01	1.5	0.5
0.01	2.0	0.85
0.01	2.5	0.8
0.03	1.5	0.4
0.03	2.0	0.75
0.03	2.5	1.08
0.05	1.5	0.4
0.05	2.0	0.62
0.05	2.5	1.27

다이간극이 증가할 수록 단면이 커지는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 파단 소성변형률이 2.0일 경우가 가장 적절한 것으로 판단되며, 이들의 결과를 종합하여 Table 3에 나타내었다.

3.2 누름판의 영향 평가

누름판(pad)은 전단 시 펀치가 재료를 당기는 것을 억제하여 결국 전단 품질을 높이는 목적으로 사용된다.

일반적으로 누름판의 형상, 압력, 위치 등은 절단시 전단면에 지대한 영향을 끼친다고[7] 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 유한요소 해석 결과를 이용하여 전단면의 상태를 파악하고 이를 적용하여 정밀 전단기 제작에 필요한 설계 인자를 찾아내는데 목적이 있으므로 누름판의 형상은 직육면체 강체(rigid body)로 설정하였다.

사용된 조건은 앞 절에서 사용한 조건중 가장 양호한 결과를 이용하였다. 다이간극은 0.01mm, 요소 분할의 기준인 소성변형률은 2.0이며, 두께와 재료는 동일하게 사용하였다. 이때 펀치와 누름판 사이의 거리를 5, 35, 65mm 로 변화 시켜가며 해석을 수행하였다. 또한 누름판의 압력변화에 따른 영향을 평가하기 위해 압력을 변화시켰다.

압력은 10, 20 그리고 30MPa 로서 3가지 경우에 대하여 전단면의 형상을 비교하였다. Fig. 15는 누름판의 압력

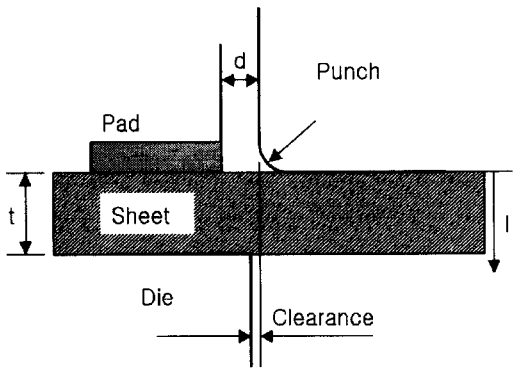


Fig. 13 Concept diagram of pad

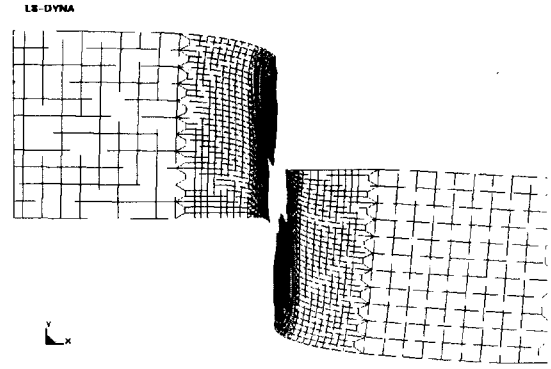
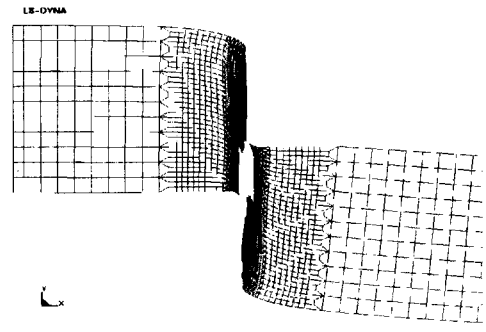
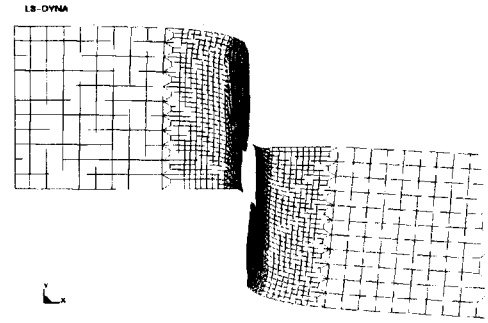


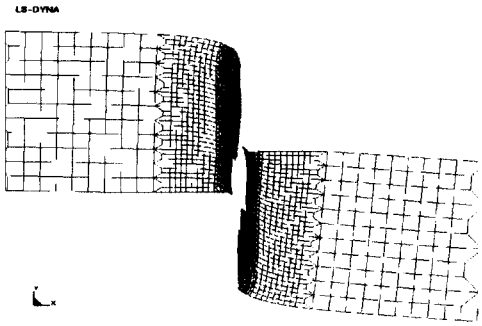
Fig. 14 Result of without pad



(a) Pad distance 5mm(10MPa)



(b) Pad distance 35mm(10MPa)



(c) Pad distance 65mm(10Map)

Fig. 15 Results of with pad

Table 4 Parameters of shearing(with pad)

Distance of between Pad and Punch(mm)	Pad Pressure (MPa)	Punch radius (mm)
5	10	0.01
5	20	0.01
5	30	0.01
35	10	0.01
35	20	0.01
35	30	0.01
65	10	0.01
65	20	0.01
65	30	0.01

이 10MPa 이고, 누름판과 펀치와의 거리를 변화 시켰을 때의 전단면을 나타낸다.

누름판과 펀치와의 거리가 5mm 일 때 전단면이 가장 양호했으며(전단면 70% 이상), 펀치와 누름판 사이의 거리가 멀어질 수록 처짐과 파단면이 증가하고, 전단면이 줄어드는 것을 알 수 있다. 그러나 일정 거리까지는 전단면의 감소량이 작았다. 이것은 누름판과 펀치와의 거리가 일정 거리내에서는 소재가 말려 들어가는 것에 큰 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 또한 누름판의 압력이 증가해도 동일한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다.

Fig. 16에 누름판 압력에 따른 누름판과 펀치사이의 거리와 전단면과의 관계를 나타냈다. 압력이 증가해도 전단면은 넓어지지 않고 오히려 줄어드는 것을 알 수 있다. 이것은 누름판의 압력에 의해 소재의 유입이 억제되면서 생기는 현상으로 보인다.

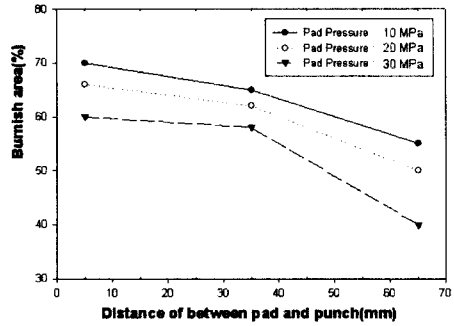


Fig. 16 Distance of punch and pad vs. burnish area

4. 결 론

본 연구에서는 정밀전단공정을 유한요소법을 이용하여 해석하기 위한 파단 기준 및 기초적인 전단인자에 대하여 연구하였다. 파단으로 나타나는 요소분할의 기준으로는 소성변형률을 이용한 해석을 수행하였다.

연구 수행 후 다음과 같은 결과를 얻었으며, 이 결과를 이용하여 최적의 전단면을 얻기 위한 틈새와 누름판의 위치 및 압력을 예측할 수 있고, 이를 설계에 반영할 수 있다.

(1) 정밀 전단 공정 해석에 사용된 유한요소의 크기는 10㎛ 이하이어야 정확한 전단면을 표현할 수 있었다.
(2) 파단기준으로는 소성 변형률을 이용하였으며, 이는 실제 현상을 유추하는데 적합하다고 판단되었다.
(3) 다이간극이 증가함에 따라서 전단면이 불량해짐을 알 수 있었다.
(4) 누름판의 거리에 따른 전단면의 영향을 분석하였다. 거리가 가장 가까운 경우가 전단면 이 가장 좋았으며 거리가 멀어질수록 전단면이 줄어들었다.

유한요소 해석을 통하여 정밀 전단시 전단 인자의 특성을 파악하였으며, 이들을 이용하여 정밀 전단 기구의 개발을 위한 기초 설계자료로 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

(1) 前田禎三, "薄板の剪斷加工の研究(1)" 精密機械, Vol.16, No.3, pp. 70~77, 1950.
(2) Maeda T. and Nakagawa T., "Experimental Investigation on Fine Blanking", Sci. Papers I.P.C.R.,

Vol.62, No.2, pp. 65~80, 1968.
(3) 안기순, "테일러 접합 블랭크를 위한 정밀 전단기구에 관한 연구", 단국대 박사학위논문, 1998.
(4) 유요한, 정동택, "단열 전단 밴드의 유한요소 해석", 대한 기계학회 논문집 제16권 제8호, pp. 1519~1529, 1992.
(5) Jeong S.H., Kang J.J. and Oh S.I., "A Study on Shearing Mechanism by FEM Simulation", Advanced Technology of Plasticity, Vol.2, 1996.
(6) 표창률, 전병희, 조명래, "레이저 용접을 위한 박판재의 정밀 전단 메카니즘 개발", 한국산업 안전학회지 제14권 제4호, pp. 53~59, 1999.
(7) 김윤주, 곽태수, 배원병, "파인 블랭킹에서 전단면에 미치는 다이 틈새의 영향에 관한 유한요소 해석", 한국소성가공학회지 제9권 제2호, pp. 152~158, 2000.