

샌드위치 강판의 전단가공에 있어서 전단면에 미치는 금형 설계 변수의 영향

김지용¹ · 김종호[#] · 정완진²

Influence of Die Design Variables on the Sheared Surface in Shearing Process of Sandwich Sheet Metal

J. Y. Kim, J. H. Kim, W. J. Chung

(Received August 27, 2004)

Abstract

In order to investigate the influence of die design variables on the quality of the sheared surface in cutting of sandwich sheet metals, the cut-off operation is carried out, which is the typical shearing process in sheet metal forming technology. For experiments we made the cut-off die which can be easily adjusted for die design variables such as blankholding force, pad force and clearance. The sandwich sheet metals considered are clad304(STS304-Al1050-STS304) and anti-vibration sheet metal. The shearing process is visualized by the computer vision system installed in front of the cut-off die and the sheared surface is measured and quantitatively compared with the help of the optical microscope after cut-off operation. From test results it is shown that the shearing mechanisms are different according the material of which sandwich sheet metal is composed. The influence of die design variable is explored and we found optimal conditions for both sandwich sheet metals. It is expected that this investigation can be utilized to get the better sheared surface.

Key Words : Clad Sheet Metal, Anti-vibration Sheet Metal, Clearance, Blankholding Force, Pad Force, Sheared Surface, Die Design Variables, Cut-off Die

1. 서 론

오늘날 제품은 다품종 소량생산의 시대를 맞이하면서 점차 다양한 기능을 요구하고 있다. 특히 에너지 효율과 생활의 질 향상이라는 측면이 점차적으로 강조되고 있다. 이러한 제품의 기능을 단일 판재로는 만족하기 어렵기 때문에 2개 이상의 판재를 접합시킨 샌드위치 강판이 주목을 받고 있다. 샌드위치 강판은 경량화를 추구하면서 내식성, 내열성 등을 높이기 위하여 비철금속계통을 모재로 하여 양면을 금속 판재로 압연 또는

압접을 시킨 금속 적층 강판(Clad plate)과 제진성을 높이기 위해서 금속과 금속 사이에 수지층을 접합제로 하여 제작된 수지 적층 샌드위치 강판(Resin sandwich laminated plate)이 있다. 이러한 샌드위치 강판은 자동차, 항공기, 선박, 건축자재, 가전제품, 로보트의 암(arm)등 많은 분야에 사용되고 있고, 그에 따른 성형성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 금속 적층 샌드위치 강판과 수지 적층 샌드위치 강판의 대표적인 소재인 클래드강판과 제진강판의 전단가공시 전단면에 미치는 금형설계변수에 대하여 연구하

1. 서울산업대학교 대학원 정밀기계공학과

2. 서울산업대학교 금형설계학과

교신저자 : 서울산업대학교 금형설계학과

E-mail : jhkim365@snut.ac.kr

고자 한다.

우스다[1] 등은 금속 Clad판과 수지복합강판의 성형상의 특징과 지배요인에 대한 연구를 수행하였고, 후로타[2]는 2매판 Clad판재의 접착부에 따른 성형시 두께변화 및 성형하중변화에 대한 실험적 연구를 하였다. 야마자키[3] 등은 제진강판의 경사전단 가공의 전단면에 대한 연구를 하였다. 류[4] 등은 Clad304 강판재의 온도에 따른 드로잉 성 향상과 박리현상에 대한 연구를 수행하였고, 이[5] 등은 제진강판의 블랭킹 전단 작업에서의 가공특성과 최적의 작업 조건을 제시하였다. 신[6] 등은 단일 판재에서 정밀금형의 설계인자가 전단 가공특성에 미치는 영향에 대하여 실험적인 연구를 하였고, 류[7] 등은 Clad304 강판재의 디프드로잉에 대한 유한요소해석을 수행하였고, Faura[8] 등은 재료 두께에 대한 최적틈새의 예측을 유한요소법을 사용하여 연구하였다.

본 연구에서는 클래드강판과 제진강판의 전단 가공에 있어서의 전단면에 금형설계변수가 미치는 영향을 조사하기 위하여 틈새, 블랭크홀딩력, 패드력을 조절하여 소재의 절단 과정, 절단면의 형상, 각 소재의 압축비 및 전단면의 비율 등에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 실험재료

본 실험에서 사용한 재료는 Fig. 1(a)와 같이 스테인리스-알루미늄-스테인리스 판재로 구성된 클래드강판과 Fig. 1(b)와 같이 고무, 접착제, 강판 2매, 이형지로 이루어진 제진강판을 사용하였다.

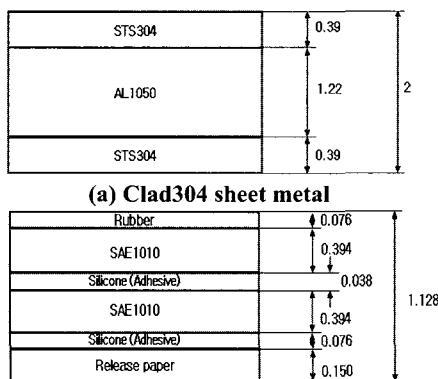


Fig. 1 Sandwich sheet metal

2.2 실험재료의 기계적 성질

클래드강판과 제진강판의 기계적 성질을 파악하기 위해서 KS B 0801 규격의 13호 시편을 사용하여 인장실험을 실행하였다. 인장시험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of sandwich sheet metal

	Thickness (mm)	Tensile Strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
Clad304 sheet metal	2.0	33.1	66.5
Anti-vibration sheet metal	1.128	78.6	4.2

2.3 실험장비

2.3.1 컷오프다이

실험에서는 만능재료시험기에 금형을 장치하여 사용하였으며, 그에 따라서 Fig. 2와 같은 컷오프다이(Cut-off die)를 설계, 제작하였다.

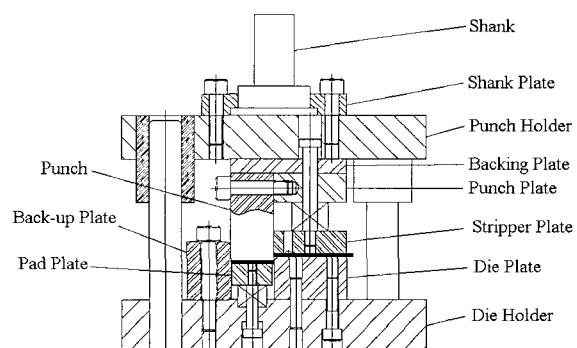


Fig. 2 Cross-section view of cut-off die

펀치와 펀치 플레이트 사이에 틈새를 설정하여 틈새를 조절할 수 있게 하였고, 블랭크홀딩력과 패드력을 스프링을 사용하여 조절하기 위해서 가동식 스트리퍼 방식을 선택하였다. 또한 측압력 발생에 따른 펀치의 변형을 억제하기 위하여 백업플레이트를 설치하였다. 금형에서 소재가 전단되는 과정을 관찰하기 위해서 1초당 30프레임 촬영이 가능한 CCD 카메라를 이용하여 전단과정을 관찰하였다. LED 링조명을 사용하였고, 배율렌즈를 사용하여 50배의 배율로 전단되는 과정을 촬영하였다.

2.4 실험조건 및 실험방법

본 연구의 실험 조건은 Table 2, 3과 같다. 실험은 클래드강판과 제진강판에 대하여 전단전후 전단면의 전체 두께비, 각 소재의 전단면 구성비 등을 조사하였으며, Table 2와 같이 블랭크홀딩력, 패드력을 변화시키면서 적정의 조건을 확인한 후, Table 3과 같이 틈새를 변화하여 실험을 하였다. 실험용 소재는 폭 30mm, 길이 80mm를 사용하였고, 무윤활 상태에서 실험하였다. 블랭크홀딩력과 패드력은 이론전단하중(클래드강판 : 1680kgf, 제진강판 : 2030kgf)의 백분율로, 틈새는 두께의 백분율로 표시하였다. 제진강판의 경우 선행연구결과에서⁽⁵⁾ 나타난 바와 같이 제품의 평면도가 양호한 리버가 위에 오도록하여 전단을 실행하였다. 측정은 편치쪽의 소재를 선택하여, 공구 현미경을 이용하여 측정하였다. 제진강판은 측정의 정도를 높이기 위하여 종이를 제거한 후 측정하였다.

Table 2 Experimental condition for blankholding force and pad force in cut-off operation

	Condition		Remark
Holding force (percent of shear force)	Blankholding force	10%	Clearance 5%
		20%	
	Pad force	5%	
		10%	

Table 3 Experimental condition for Clearance in cut-off operation

	Condition	Remark
Clearance	2%	Blankholding force : 20% Pad force : 5%
	5%	
	10%	
	20%	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 샌드위치 강판의 전단과정

3.1.1 클래드강판(Clad304)

Fig.3 은 블랭크홀딩력 20%, 패드력 5%, 틈새 2%일 때 Clad304 의 전단과정을 비전(Vision)장비를 이용하여 촬영한 화면이다. Clad304 는 전단과정은 외부재인 STS304(2)에 비해 내부재인 Al1050 이 연질 재료이기 때문에 초기 압축력에 의해 놀림면 발생 이후 Al1050 이 압축된다. Al1050 이 압

축된 양만큼 STS304(1)에 굽힘현상이 발생하여 놀림면이 증가되고, 총 두께비도 감소된다. Al1050 의 압축이 완료된 후 STS304 에 크랙이 발생하고 전단된다.

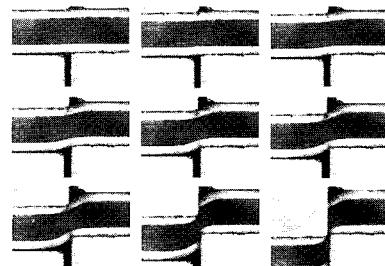


Fig. 3 Shearing process of Clad304 sheet metal

3.1.2 제진강판

Fig. 4는 블랭크홀딩력 20%, 패드력 5%, 틈새 2% 일때 제진강판의 전단과정을 비전장비를 이용하여 촬영한 화면이다. 초기 압축으로 인해 바닥면의 이형제가 압축되면서 제진강판의 위치가 전체적으로 기울어진다. 이후 전단과정은 일반일 강판과 비슷하지만, 강판과 강판을 접착하고 있는 접착제인 실리콘의 접착력과 강도가 약하기 때문에 상판과 하판이 약간 슬라이딩 되는 것을 볼 수 있었다.

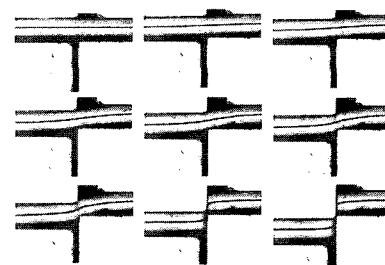


Fig. 4 Shearing process of anti-vibration sheet metal

3.2 훌딩력에 따른 전단면

3.2.1 클래드강판(Clad304)

Fig. 5는 5% 틈새에서 블랭크홀딩력과 패드력을 조절하면서 실험한 클래드강판의 전단전과 후의 두께비를 나타내고 있다. 전체적으로 전단시 압축력에 의해 각 소재의 두께가 얇아지는 것으로 나타났다. 상판(STS304(2))의 두께는 원래 두께보다 30% 전후로 얇게 변하였다. 하판(STS304(1))의 경우엔 블랭크홀딩력과 패드력이 각각 10%에서 20%, 5%에서 10%로 증가할수록 두께 감소가 심

한 것으로 나타났고, 블랭크홀딩력이 10%일 경우 소재의 유입으로 절단면의 길이가 초기 길이보다 길어지는 경향이 있었으나, 홀딩력이 증가되면서 이러한 현상이 억제되어 두께가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 반대로 알루미늄과 상판은 블랭크홀딩력이 커지면서 하판에 의한 압축력이 감소되어 두께 감소가 줄어든다.

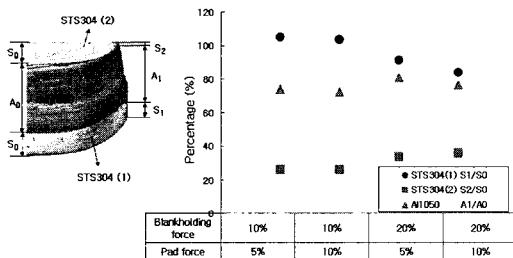


Fig. 5 Comparison of thickness ratio of each laminate in cut-off operation

Fig. 6은 절단면 중의 전단면의 분포를 조사한 것으로 홀딩력이 클수록 전단면 비율이 높아지는 것으로 나왔다. 상판의 경우 홀딩력에 관계 없이 절단면이 모두 파단면으로 구성되어 있었다. 같은 두께의 단일 알루미늄과 비교하면 전체적으로 전단면의 비율은 크다. 그러나 Clad304의 내부재인 Al1050은 압축력에 의해 전단면에 물결무늬가 생성된 것을 확인할 수 있었다.

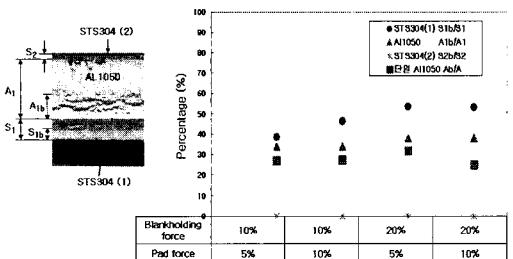


Fig. 6 Comparison of burnished area ratio in cut-off operation

본 실험에서 전단 전후의 두께비의 차이가 적을수록 후가공이 쉬고 전단면의 양이 큰 것이 절단면이 양호하다고 판단할 때, 절단면이 양호한 조건은 블랭크 홀딩력 20%, 패드력 5%일 경우인 것으로 나타났다.

3.1.2 제진강판

Fig. 7 은 클래드강판과 동일한 방법으로 실험한

제진강판의 전단전후의 두께비를 나타내고 있다. 제진강판을 구성하고 있는 재료가 클래드강판 보다 강하기 때문에 전단 후 구성 판재의 두께 감소가 훨씬 작은 것으로 나타났다. 전단시 상판과 하판의 슬라이딩 현상이 발생하고, 수지층의 두께가 크게 감소되는 것을 알 수 있었다. 감소된 양 만큼의 수지들이 소재 밖으로 유출되어 소재의 절단면에 코팅된 것을 확인 할 수 있었다. 블랭크 홀딩력 10%, 패드력 10%일 때 다른 조건과는 다른 현상을 보이고 있는데 CCD 카메라를 이용하여 전단과정을 관찰한 결과, 상판(SAE1010(2))과 하판(SAE1010(1))의 슬라이딩 현상이 크게 발생하여 다른 조건과는 다른 경향성을 보이고 있다.

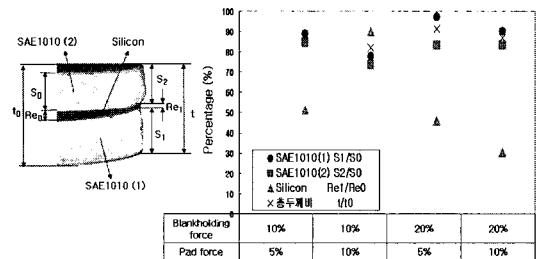


Fig. 7 Comparison of thickness ratio of each laminate in cut-off operation

Fig. 8은 절단면 중의 전단면의 분포를 나타낸 것으로, 접착제에 의해 코팅된 부분도 전단면으로 고려하여 측정하였다. 하판의 전단면은 평균 50% 전후이며, 상판은 하판에 비해 20% 전후로 전단면 구성이 적어지는 것으로 나타났다.

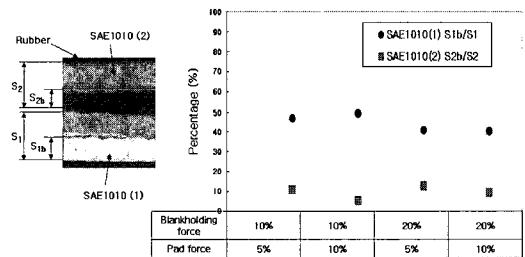


Fig. 8 Comparison of burnished area ratio in cut-off operation

제진강판에서 절단면이 양호한 조건은 클래드 강판과 마찬가지로 블랭크홀딩력 20%, 패드력 5% 일때 인 것으로 나타났다.

3.3 틈새에 따른 전단면

3.3.1 클래드강판

홀딩력에 따른 클래드강판과 제진강판의 전단 가공실험에서 블랭크홀딩력 20%, 패드력 5% 일 때 절단면이 양호한 것으로 나타나 이 실험조건을 기준으로 틈새를 변화시키면서 전단실험을 하였다. Fig. 9는 틈새량을 조절하며 실험한 클래드강판의 전단전과 후의 두께비를 나타내고 있다. 틈새가 증가됨에 따라 내부재인 Al1050에 작용하는 압축력이 커지면서 두께비는 점차 감소된다. 반면 하판(STS304(1))은 재료가 끌려들어가면서 인장이 발생하여 두께가 증가되었다. 상판(STS304(2))은 틈새에 관계없이 30% 전후의 두께비를 보이고 있다.

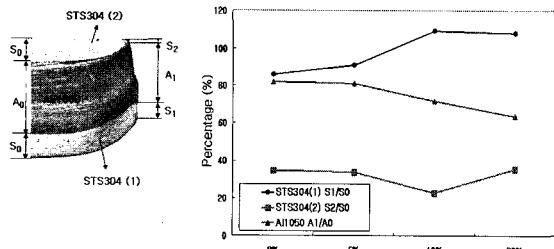


Fig. 9 Comparison of thickness ratio of each laminate in cut-off operation at various clearances

Fig.10은 틈새에 따른 절단면 중의 전단면의 분포를 조사한 것으로 틈새가 2%일 때 Cald304의 Al1050의 전단면비는 70%로 단일알루미늄에 비해 10% 정도 전단면의 비율이 큰 것으로 나타났고, 단일알루미늄은 2차 전단이 발생한 것에 반해 Cald304의 Al1050의 전단면은 깨끗한 것으로 나타났다. 또한 틈새가 5%이상이 되면 Al1050에 발생하는 압축력이 커지면서 전단면에 물결무늬가 발생하고 틈새가 커지면 물결무늬가 두꺼워지고 많이 발생한다.

클래드강판은 틈새 2%일 때 전체적으로 두께비

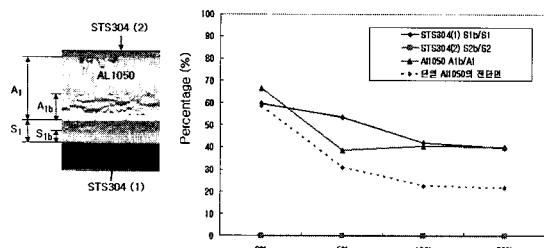


Fig.10 Comparison of burnish area ratio in cut-off operation at various clearances

감소가 가장 적고, 전단면의 양이 크고, 알루미늄의 전단면도 물결무늬 없이 깨끗하였다.

3.3.2 제진강판

Fig.11은 틈새량을 조절하며 실험한 제진강판의 전단전과 후의 두께비를 나타내고 있다 틈새가 증가됨에 따라 접착재로 사용된 실리콘의 두께비는 급격히 감소하였다. SAE1010(1)은 틈새가 증가함에 따라 두께비가 증가된 반면 SAE1010(2)는 틈새가 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였다.

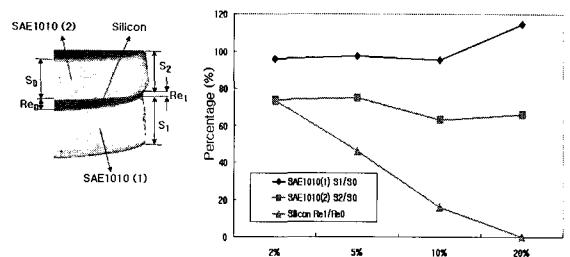


Fig.11 Comparison of thickness ratio of each laminate in cut-off operation at various clearances

Fig.12는 틈새량을 조절하며 실험한 제진강판의 절단면 중 전단면의 분포를 나타내고 있다. 전단면의 분포는 하판은 틈새가 커짐에 따라 전단면의 비는 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 상판은 틈새 2%, 5% 일 때는 전단면이 나타났지만 틈새 10% 이상이 되면 형상불량이 생기면서 전단면이 생성되지 않았다.

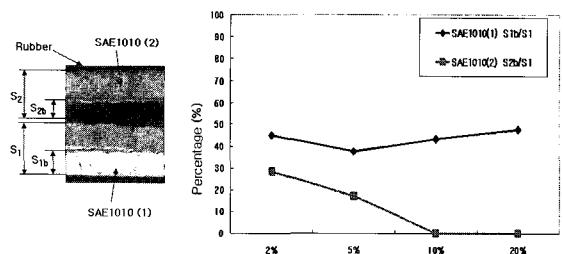


Fig.12 Comparison of burnish area ratio in cut-off operation at various clearances

Fig.13은 틈새에 따른 제진강판의 절단면 측면 사진이다. 틈새 2%, 5%에서 전단과정을 관찰한 결과 전단시 상판이 슬라이딩 되면서 전단되었고, 전단이 완료된 후 슬라이딩 된 상판이 다시 다른 방향으로 재슬라이딩 되면서 상판이 둘출되는 것

을 알 수 있었다. 틈새 10%, 20%에서는 판재 사이의 슬라이딩 발생은 오히려 감소하였지만, 틈새가 증가함에 따라 상판과 하판의 절단위치가 다르기 때문에 하판이 상판을 감싸는 현상이 발생하였다.

Fig.14는 틈새 20%일 때 CCD카메라를 이용하여 촬영한 제진강판의 전단과정으로 편치의 압축에 의해 상판이 먼저 전단된 후 하판이 전단되는 것을 볼 수 있었다.

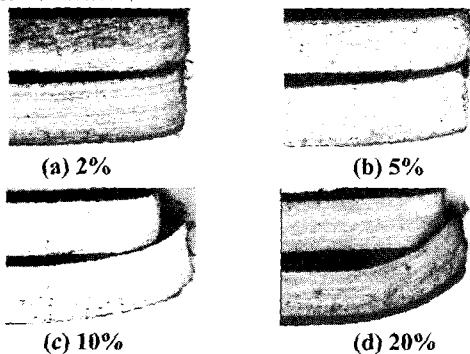


Fig.13 Side view of sheared surface of anti-vibration sheet metal



Fig.14 Shearing process of anti-vibration sheet metal in case of clearance 20%

4. 결 론

본 논문은 샌드위치 강판 중 클래드강판과 제진강판의 전단가공시 전단면에 미치는 금형설계 변수의 영향을 연구하고자 틈새와 홀딩력을 조절할 수 있는 컷오프다이를 제작, 실험하였으며 이의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) Vision 장비를 이용하여 전단과정을 순차적으로 조사하여 강판을 구성하고 있는 각각의 소재 특성이 복합적으로 작용하여 전단이 이루어지는 과정을 관찰하고 이에 따른 메커니즘에 대하여 분석하였다.

(2) 블랭크홀딩력과 패드력을 조절한 클래드강판과 제진강판의 전단 실험에서 블랭크홀딩력과 패드력은 전단에 미치는 영향은 크지 않지만, 절

단면이 양호한 조건은 블랭크홀딩력 20%, 패드력 5%일 때 인 것으로 나타났다.

(3) 틈새에 따른 전단실험에서 클래드강판은 틈새 2%일 때 내부재의 변형이 적으면서 전단면이 가장 큰 것으로 나타났다.

(4) 틈새에 따른 전단실험에서 제진강판은 틈새 2%일 때 전단면이 가장 양호하지만 틈새 5% 와 비교할 때 큰 차이를 보이지는 않는다. 그러나 틈새 10% 이상 일 때는 절단면이 큰 차이를 보이게 되어 상하판의 절단위치가 크게 달라지면서 하판이 상판을 감싸는 현상이 발생하였다.

(5) 샌드위치 강판에서 공통적으로 보이는 전단특성은 내부재의 영향으로 놀림면이 단일 강판에 비해 크다는 것과 절단면에서 전단면의 분포는 하판이 50%전후인 반면, 상판은 10%이하로 상판의 전단면 비율이 아주 적은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 白田松男, 橋本活, 1977, 複層板材のプレス成形性, 塑性と加工, 第38卷. 第432號, pp. 40~44.
- [2] 吉田總仁, 1998, 積層板のプレス, 塑性と加工, 第39卷. 第454號, pp. 1102~1106.
- [3] 山岐進, 尾崎龍夫, 1992, 制振鋼板の斜めせん断加工, 塑性と加工, 第33卷. 第378號, pp. 844~849.
- [4] 류호연, 김영은, 김종호, 2001, 온간성형법에 의한 클래드 강판의 정사각접 드로잉성 향상에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제10권 제3호, pp. 253~260.
- [5] 이광복, 이용길, 김종호 2003, "제진 강판의 블랭킹 가공 특성에 관한 연구", 한국소성가공학회지 제12권 제8호, pp. 724~728.
- [6] 신용승, 김병희, 김현영, 2001, 정밀금형의 설계인자가 박판 전단가공특성에 미치는 영향, 한국정밀공학회, 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 523~526.
- [7] 류호연, 김영은, 김종호, 정완진, 2001, 클래드 강판에 의한 축대칭 디프드로잉의 탄소성 유한요소해석, 한국소성가공학회지, 제10권 제5호, pp. 411~417.
- [8] F. Faura, A. Garcia, M. Estrems, 1998, Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process, Journal of Materials Processing Technology 80-81, pp. 121~125.