

사각형 블랭킹을 통한 리드프레임의 블랭킹 특성에 관한 기초연구

임상현*, 서의권**, 심현보***

A Study on the Characteristics for the Blanking of Lead Frame with the Rectangular Shape Blanking

Sang Heon Lim*, Eui Kwon Suh** and Hyun Bo Shim***

ABSTRACT

An experiment is carried out to investigate the characteristics of blanking for copper alloy C194 ($t=0.254\text{mm}$), a kind of IC lead frame material. By varying clearance between die and punch, the shapes of shear profile are examined. Finite element analysis with element deletion algorithm for ductile fracture mode is also carried out to study the effect of clearance theoretically and to compare with experimental results.

The rectangular shape specimen with four different corner radius is used to study the characteristics of blanking for straight side and corner region simultaneously. As the result, the ratios measured from the experiment of roll over, burnish, and fracture zone based on initial blank thickness are compared with those of FE analysis. Both experiment and FE analysis show that the amount of roll over and fracture is increased as the clearance increases. It has been found that larger clearance is required than that of straight region when the radius of corner is less than thickness of blank, in order to maintain same quality of shear profile at the corner region.

Key Words : Lead frame(리드 프레임), Blanking(블랭킹), Finite element analysis(유한요소 해석), Element deletion method(요소제거기법), Clearance(틈새), Copper alloy (구리합금)

1. 서론

리드 프레임(Lead frame)은 반도체의 칩(chip)을 지탱하는 골격으로 칩의 외부로의 전기적 접속 경로의 역할과 아울러 칩에서 발생하는 열의 발산 경로의 역할도 수행한다. 이러한 리드 프레임은 블랭킹, 노칭, 피어싱, 트리밍등의 여러 공정이 복합된 프로그래시브(progressive) 금형에서 제작된다.

Fig. 1은 플라스틱 패키지 몰딩(plastic package

molding) P형 42핀 반도체에 사용되는 리드 프레임의 최종 공정의 형상을 나타낸다. 반도체의 리드(lead) 간격은 핀 수에 따라 달라지지만 최소 간격이 0.102mm인데 이는 소재의 두께인 0.254mm 이하로서 이를 블랭킹 가공 시에 리드의 뒤틀림, 편심, 프레임의 뒤틀림, 휨 등으로 치수정밀도에 많은 불량률 동반할 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요한 초정밀 프레스 가공품이다.

따라서 리드 프레임을 생산하기 위해서는 금형

* 영남이공대학 금속금형설계과
** 영남대학교 공업기술연구소
*** 영남대학교 기계공학부

의 초정밀 가공뿐만 아니라 금형설계에서도 경험과 아울러 리드 프레임 소재의 블랭킹 특성에 대한 정확한 이해가 필요하다.

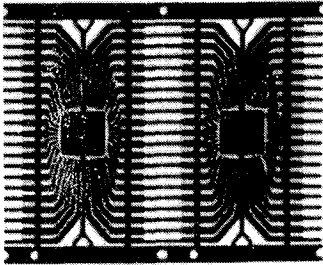


Fig. 1 Configuration of the lead frame

컴퓨터의 발달과 더불어 금형설계에서 CAE를 통하여 금형설계전에 많은 유용한 정보를 얻으려는 시도가 끊임없이 이어지고 있으며, 그 중 유한요소 해석법이 널리 이용되고 있다. 블랭킹은 소재의 파단을 동반하기 때문에 이 공정을 유한요소법으로 해석하기 위해서는 특별한 고려, 즉 적절한 연성과 파괴기준(ductile fracture criterion)⁽¹⁻⁶⁾ 과 요소제거기법(element deletion method)의 사용 등이 필요하다.

Cockcroft와 Latham⁽²⁾이 제안한 연성과파괴기준은 파괴시 소성변형률 경로에 대한 최대 주인장응력의 영향을 고려하여 전단공정에서 인장변형률에너지가 재료상수인 임계값에 도달하면 파괴가 일어난다는 가정이다. 이 방법은 다양한 하중조건에 적용될 수 있고 실험적 접근 및 수치적 계산이 용이하여 많이 사용되고 있다.

Jeong 등⁽⁷⁾은 Deform 2D⁽⁸⁾를 이용하여 변형률을 파괴기준으로 설정하고, 계산과정중에 요소에 발생한 변형률이 파괴기준 변형률에 도달하면 해당요소를 제거하고, 격자 재구성을 수행하여 전단 메카니즘을 해석하여 요소제거기법에 의한 전단공정의 해석이 가능함을 최초로 제시하였다. Taupin 등⁽⁹⁾은 역시 Deform 2D에 McClintock⁽⁶⁾의 연성과파괴기준을 적용하여 블랭킹공정을 실험과 함께 해석하여 Cockcroft와 Latham의 연성과파괴기준과 마찬가지로 블랭킹 공정에 적용할 수 있음을 보였다. Ceretti 등⁽¹⁰⁾은 Cockcroft와 Latham의 연성과파괴기준을 상용 유한요소해석 프로그램인 Deform 2D에 적용하여 직교절삭(orthogonal cutting), 블랭킹, 냉간압출 공정을 해석하였다. Ko 등⁽¹¹⁾은 Deform 2D의 해석결과를 예비 시뮬레이션으로 이용하여 Cockcroft와

Latham의 연성과파괴기준을 적용하고, 제거되는 요소의 강성(stiffness) 값을 작게 만들어 다른 요소에 영향을 미치지 못하도록 하여 전단공정을 해석하였다. 이는 근본적으로 요소를 제거하지 않으므로 격자재구성에 따른 계산시간을 줄일 수 있으나, 격자 왜곡이 발생하면 더 이상의 해석을 진행할 수 없는 단점이 있다. 김윤주 등⁽¹²⁾은 Deform 2D의 요소제거 기법을 이용하여 파인 블랭킹(fine blanking) 공정을 해석한 바 있다.

지금까지의 연구들은 대체로 소재의 두께가 0.7mm 이상의 비교적 두꺼운 판재의 전단 공정들에 국한되어왔으며, 재질도 일반냉연강판과 같이 일반적인 소재에 한정되고 있다. 따라서 리드 프레임과 같이 두께가 0.254mm이고 재질도 구리합금인 C194를 사용한 경우에 대한 블랭킹 특성에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 뿐만 아니라 실험적인 방법으로 리드 프레임의 블랭킹 특성을 규명하기 위해서는 장비 및 측정의 정밀도가 요구되기 때문에 실험이 매우 까다로운 형편이다.

본 연구에서는 리드 프레임용 재료인 두께 0.254mm, C194 재질의 블랭킹 특성을 알아보기 위해 직접 실험을 수행하였다. 실험에서는 가장 큰 영향을 미치는 공정변수인 틈새(clearance)의 크기에 따른 단계별 전단면 형상을 조사하였다. 아울러 직선부와 곡선부의 전단 특성을 조사하기 위하여 곡선부의 곡률반경을 변화시키면서 전단면의 형상을 비교하였다. 실험과 더불어 유한요소해석을 통하여 틈새의 변화가 직선부의 전단면 형상에 미치는 영향을 조사하고 이를 실험과 비교 하였다. 해석에 사용된 S/W는 Deform 2D⁽¹³⁾를 이용하였는데 실험과 잘 부합되는 해석조건을 도출함으로써, 금형설계에 유용한 기초자료를 제공하는데 본 연구의 의의가 있다.

2. 실험 조건 및 유한요소해석

2.1 실험 조건

리드프레임의 블랭킹 특성을 알아보기 위하여 Fig. 2와 같은 블랭킹 시편으로 실험을 수행하였다. 10mm×5mm 두께 0.254mm의 직사각형으로 모서리부에 반경 0.10mm, 0.15mm, 0.20mm, 0.25mm의 모서리 반경을 부여하여 직선부 뿐만 아니라 곡선부위의 전단면 형상을 동시에 관찰할 수 있게 하였다.

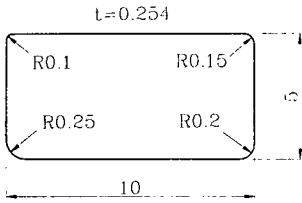


Fig. 2 Configuration of experimental specimen

Fig. 3은 실험에 사용된 금형의 각 구성부분을 나타내는 개략도이다. Fig. 4는 조립된 상태의 금형 정면도, Fig. 5는 펀치를 포함한 상형을 제거한 다이의 하형 부분을 나타낸다. 금형은 우선 틱새를 두께의 4% 를 기준으로 펀치와 다이를 제작하여 먼저 실험하고, 프로파일 그라인더를 이용하여 다이부분을 가공하여 6%, 8% 및 12%등으로 틱새를 조절한 후 실험을 수행하였다. 이때 금형의 가공정밀도는 2 μ m이하로 유지하였다. 실험에 사용한 프레스는 스위스 Bruderer 사의 초정밀 고속 프레스(18 Ton)를 이용하였다. 실험후 각 시편의 단면을 에폭시로 몰딩(moulding) 및 연마를 거쳐 공구현미경으로 촬영 측정하였다.

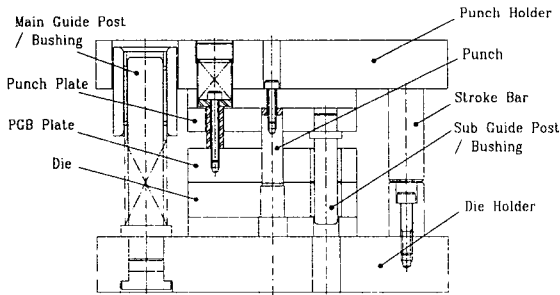


Fig. 3 Schematic view of blanking die components

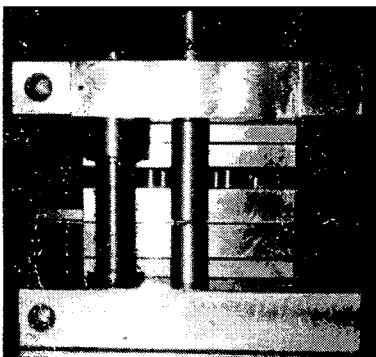


Fig. 4 Front view of blanking die

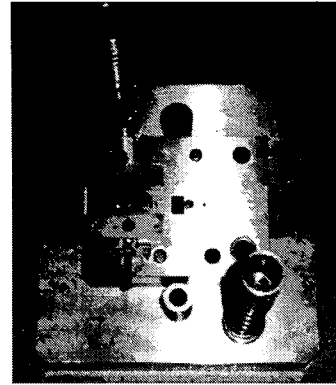


Fig. 5 Top view of lower blanking die

블랭킹 실험시 4%를 기준 틱새로 하여 펀치를 0.05mm씩 단계별로 전진시키면서 단면을 공구현미경으로 측정하였으며, 최종 블랭킹후에는 직선부와 곡선부의 전단면 형상을 정면과 측면에서 각각 측정하였다. 다음으로 각 틱새별로 다이를 연마하면서 실험을 수행하여 직선부의 전단면 형상을 역시 정면과 측면에서 측정하였다.

2.2 유한요소해석

Table 1은 본 연구에서 사용된 C194의 성분 및 기계적 성질을 나타낸다. 유한요소해석에서는 항복 응력, 인장강도, 연신률 등의 일반적인 기계적 성질 보다는 재료의 변형경로를 예측할 수 있는 응력과 변형률의 곡선의 결정이 중요하다. 따라서 재료 메이커(Mitsubishi)로부터 제공받은 리드프레임용 C194 재료의 응력과 변형률 데이터를 이용하여 최소자승법을 이용하여 식 (1)의 유효응력-유효변형률 곡선식을 도출하였다.

$$\bar{\sigma} = 774.3 \bar{\epsilon}^{0.11} \text{ MPa} \quad (1)$$

본 연구에서는 Deform 2D 상용프로그램을 사용하여 단일 평면변형률 문제로 가정하여 유한요소 해석을 하였다. 시편의 모서리부는 원호 형상이지만 블랭킹 과정 중에 직선부의 영향을 받기 때문에 축대칭 해석이 곤란하여 3차원 해석이 필요한 반면 직선부위는 평면변형률해석으로 충분하기 때문에 본 연구에서는 Deform 2D로 해석이 가능한 직선부만 해석하여 전단면 형상을 실험과 비교하였다.

Table 1 Material composition(%) and mechanical properties of copper alloy C194

Fe	Zn	P	Cu	Pb
2.1-2.6	0.05-0.20	0.015-0.15	97.2-97.8	≤ 0.03
Tensile strength (kgf/mm ²)	Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)	
49.2-53.4	47-52	≥ 4	140-155	

Fig. 6은 해석에 사용된 전체 유한요소 모델을 나타낸다. 펀치와 다이의 틈새 부위에서 변형이 집중되므로 요소를 세분화하였다. Fig. 7은 틈새가 4%일 경우의 해석에 사용된 전체 모델링중 파단이 일어나는 부위만을 확대한 것이다. 실제 펀치 및 다이의 모서리는 예리하여 소재에 절입이 되나, 유한요소해석에서는 해석중에 격자의 왜곡이 심해짐에 따라 자코비안(Jacobian)값이 음수가 되고 이에 따라 해석이 불가능해 지기 때문에 성형해석시 펀치 및 다이의 최소 반경으로 0.003mm로 하였다.

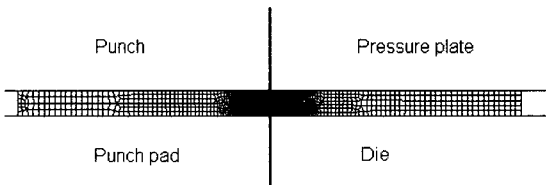


Fig. 6 Finite element mesh system

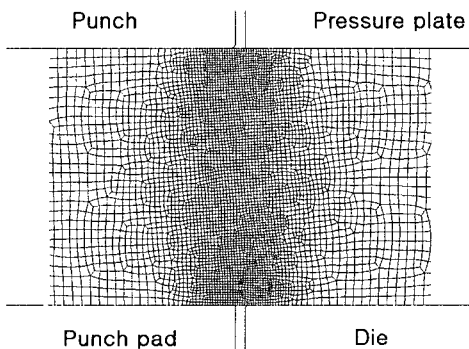


Fig. 7 Magnified view of FE mesh (clearance 4%)

연성 파괴조건은 수정된 Cockcroft & Latham식⁽¹³⁾을 사용하였고, 이때 임계치를 0.45로 가정하였는데 이 값은 여러 연구자^(10,11)가 제시한 바와 같이 반복적인 해석을 통해 실험과 잘 일치되는 값으로

알려져 있다. 파괴가 시작될 때까지 격자재구성을 이용하여 해석을 수행하고 파괴가 발생되면 격자재구성을 중지하고 Deform 2D에서 제공하는 요소 제거법을 사용하여 해석을 진행하였다. 기타 공정변수는 Table 2와 같다.

Table 2 Parameters used in FE analysis

Parameter	Value
Punch speed	1000 mm/s
Friction Coefficient	0.1
Stroke per step	0.002 mm
No. of elements	About 6000 EA
Mesh densities	200, 60, 10, 5

3. 결과 및 고찰

먼저 기준 틈새인 4%에서 실험과 유한요소해석을 각각 수행하였다. Fig. 8은 펀치의 진행단계별로 블랭킹이 진행되는 실험 형상을 나타낸다. 펀치가 소재에 절입된 모습을 단계별로 잘 보여준다. Fig. 9는 틈새가 4%인 경우의 유한요소 해석 결과를 보여준다. 블랭킹 초기단계에서는 소재에서 처짐이 발생되고 펀치선단에서 절입이 되어 진행되는 과정을 보여준다.

Fig. 10(a)는 펀치행정 0.145mm일 때의 유한 요소 해석결과로 펀치선단 및 다이 선단에서 균열이 시작되고 Fig. 10(b)는 블랭킹의 최종 단계에서 펀치선단 및 다이선단에서 시작된 균열이 서로 만나 재료의 분리가 완료, 즉 블랭킹이 완료된 모양을 보여준다.

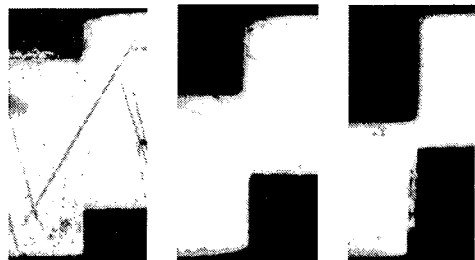


Fig. 8 Proceeding sectional views (clearance 4%)

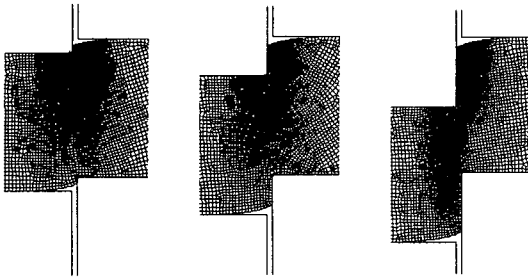


Fig. 9 Progress of blanking (clearance 4%)

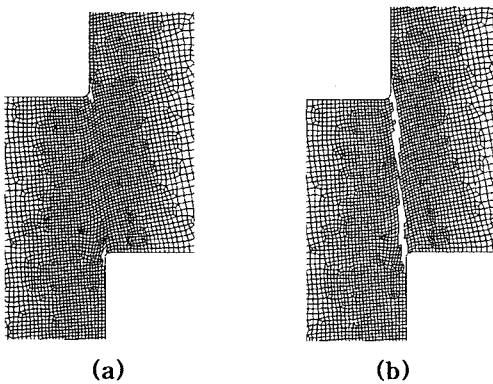


Fig. 10 Crack initiation and finish of blanking operation at simulation

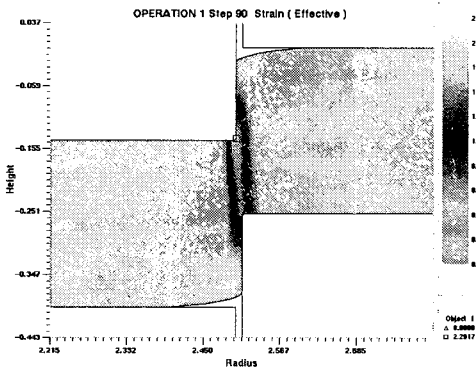


Fig. 11 Effective strain distribution (clearance 4%)

Fig. 11은 균열이 발생되기 직전의 직선의 소재에서의 유효변형을 분포를 나타내는데 그림에서 알 수 있는 바와 같이 펀치 선단과 전단밴드 부근에서 변형이 집중되고 있음을 알 수 있다. Fig. 12는 최종 블랭킹 작업후 정면과 측면에서 관찰한 단면형상을 해석형상과 함께 나타내었다. 해석에서 얻어진 전

단면의 형상이 실험과 거의 유사하게 나타남을 볼 수 있다.

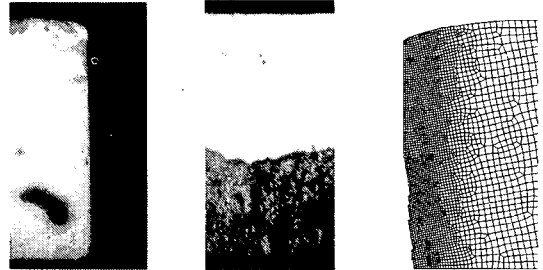
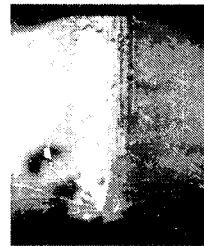


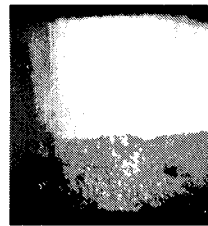
Fig. 12 Final front and side views of experiment and simulation (clearance 4%)



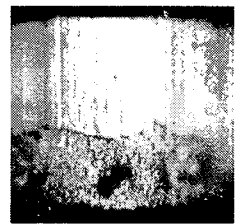
(a) R=0.10mm



(b) R=0.15mm



(c) R=0.20mm



(d) R=0.25mm

Fig. 13 Front views of corner rounds (clearance 4%)

Fig. 13은 시편의 각 모서리 라운드에 따른 전단면의 정면 형상이다. 직선부의 파단면의 비율을 기준으로 각 라운드 크기에 따른 파단면의 비율을 Fig. 14에 나타내었다. 그림에서 보듯이 모서리 반경이 0.10mm인 경우 파단면의 비율이 거의 0에 가까워 직선부의 형상과 동일한 파단면을 얻기 위해서는 직선부보다 큰 틈새가 필요함을 알 수 있다. 다시 말하면 대략 모서리반경이 판 두께 이상일 경우는 모서리부위의 전단특성이 직선부와 비슷하게 됨을 보여주고 있다.

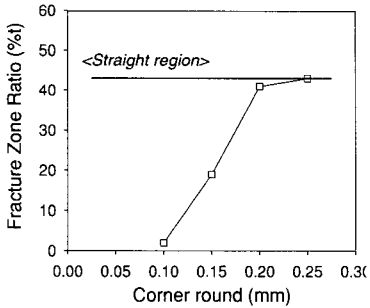


Fig. 14 Effect of corner radius at the corner region (clearance 4%)

Fig. 15에서 Fig. 17은 각각 6%, 8%, 12%의 틈새에서의 최종 블랭킹 후 실험과 해석 결과를 나타내었는데 해석결과가 실험과 유사한 경향을 보여준다. 틈새가 증가함에 따라 처짐과 파단면의 비율이 증가하고 전단면의 비율은 감소하고 있으며 또한 파단면의 각도가 틈새가 증가함에 따라 커지는 것을 알 수 있다.

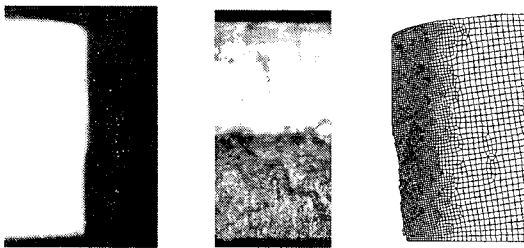


Fig. 15 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 6%)

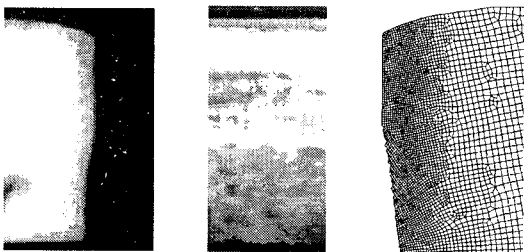


Fig. 16 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 8%)

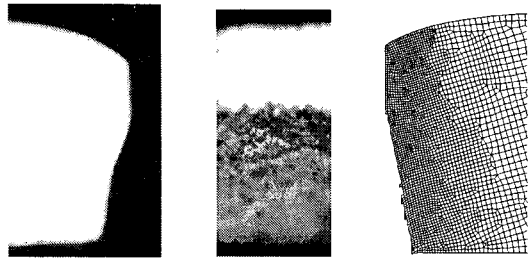


Fig. 17 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 12%)

Fig. 18은 실험 및 해석결과에서 나타난 전단면의 각 구성영역 즉, 처짐, 전단면과 파단면의 비율을 틈새별로 정리하여 나타내었는데, 틈새가 증가함에 따라 처짐과 파단면의 비율이 증가하고 전단면의 비율은 감소하는 것을 쉽게 알 수 있다.

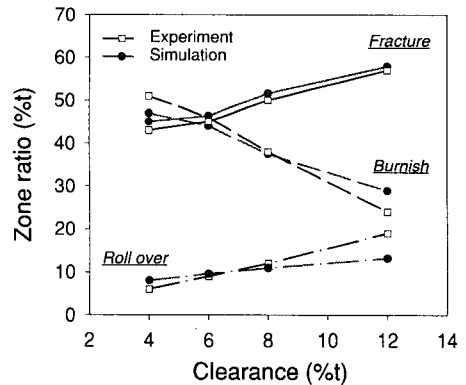


Fig. 18 Variation of fracture, burnish, and roll over zone ratios according to each clearance

4. 결론

본 연구에서는 반도체 리드 프레임용 재료인 두께 0.254mm, C194재질의 블랭킹 특성을 실험을 통하여 조사하였다. 펀치와 다이 사이의 틈새가 전단면의 형상에 미치는 영향을 실험과 유한요소해석을 통하여 파악하였다. 틈새의 증가에 따라 처짐과 파단면의 비율이 증가하고 전단면은 감소하는 것을 실험과 유한요소해석을 통해 검증할 수 있다. 특히 직선부의 형상과 동일한 파단면을 얻기 위해서는 직

선부보다 큰 틈새가 필요함을 알 수 있었으며, 모서리의 라운드 크기가 판두께 이상일 경우는 직선부와 같은 틈새를 유지하여도 직선부와 곡선부의 과도면 형상은 균일하게 나타남을 알 수 있었다.

유한요소해석을 통하여서는 전단면 형상에 영향을 미치는 틈새에 대해 해석결과와 실제 실험결과와 비교하여 유한요소해석의 타당성을 검증하였다. 이러한 미소 박판의 유한요소해석기법의 습득은 차후 동일한 C194 재료를 사용한 리드 프레임 금형설계에 유용한 기초자료를 제공할 것으로 사료된다

참고문헌

1. Freudenthal A. M., "The inelastic behaviour of engineering materials and structures," Wiley, New York, 1950.
2. Cockcroft M. G. and Latham D. J., "Ductility and the workability of metals," J. Inst. Metals, Vol. 96, pp. 33-39, 1968.
3. Brazzo P., Deluca B. and Rendina R., "A new method for the prediction of formability limits of metal sheets," Proceedings of the 7th Biennial Conference of the IDDRG, 1972.
4. Ghosh A. K., "A criterion for ductile fracture in sheets under biaxial loading," Metallurgical Transactions, Vol. 7A, pp. 523-533, 1976.
5. Oyane M., "Criteria of ductile fracture strain," Bulletin of the JSME, Vol. 105, pp. 1507-1513, 1972.
6. McClintock F. A., "A criterion for ductile fracture by the growth of holes," J. Appl. Mech. Vol. 35, pp. 363-371, 1968.
7. Jeong S. H., Kang J. J., and Oh S. I., "A study on shearing mechanism by FEM simulation," Proceed. 5th Int. Con. on Tech. of Plasticity, Vol. 2, pp. 631-634, 1996.
8. Oh S. I., Wu W. T., Tang J. P., and Vedhanayagam A., "Capabilities and applications of FEM code DEFORM : Perspective of the developer," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 27, pp. 25-42, 1991.
9. Taupin E, Breitling J., Wu W. T., and Altan T., "Material fracture and burr formation in blanking results of FEM simulations and comparison with experiments," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 59, pp. 68-78, 1996.
10. Ceretti E., Taupin E., and Altan T., "Simulation of metal flow and fracture applications in orthogonal cutting, blanking, and cold extrusion," Annals of the CIRP, Vol. 46 No. 1, pp. 187-190, 1997.
11. 고대철, 김철, 김병민, 최재찬, "요소제거기법에 의한 판재 전단가공의 유한요소 시뮬레이션," 한국정밀공학회지, 제13권, 제11호, pp. 114-123, 1996.
12. 김윤주, 곽태수, 배원병, "과인 블랭킹에서 전단면에 미치는 다이 틈새의 영향에 관한 유한요소 해석," 한국소성가공학회지, 제9권, 제2호, pp. 152-158. 2000.
13. DeformTM, Scientific Forming Technology. Co., "Deform 2D Ver. 6.0 Users Manual," 1998.