

Multihole 블랭킹 가공시 최적 레이아웃 설계시스템의 개발

정성재*, 김동환**, 김병민**, 전영학***

Development of Optimal Layout Design System in Multihole Blanking Process

Seong Jae Jeong*, Dong Hwan Kim**, Byung Min Kim** and Young Hak Jeon***

ABSTRACT

The multihole blanking of thin sheet metal using progressive die set is an important process on production of precision electronic machine parts such as IC leadframe. In this paper, in order to investigate the influence of blanking order on the final lead profile and deformed configuration, simulation technique for progressive blanking process is proposed and analyzed by LS-DYNA. The results of FE-simulations are in good agreement with the experimental results. Consequently, from the results of FE-analysis based on the procedure proposed in this paper, it is possible to predict the deformation of lead and to manufacture high precision leadframes in progressive blanking process and these results might be used as a guideline to develop layout design system in multihole blanking process.

Key Words : Optimal blanking order(최적 블랭킹 순서), Leadframe(리드프레임), Lead shift(리드 평면 뒤틀림), FE-simulation(유한요소해석), Progressive blanking process(순차 이송 블랭킹 공정)

1. 서론

반도체 패키지에서 리드프레임(leadframe)은 IC(Integrated Circuit) 제조공정의 저, 중간 단계로서 칩을 기구적으로 지지하고 외부 회로와의 전기적인 접촉역할을 하며 작동 시에 발생하는 열의 발산 등의 역할을 담당한다.

리드프레임의 생산방법은 크게 에칭 가공과 블랭킹 가공으로 나뉘며, 블랭킹 가공에 의한 제조는 에칭 가공에 비하여 비용측면에서 우수한 반면, 전단 시 탄성 및 소성변형으로 인한 제품의 결함을 동반하게 된다. 따라서 반도체 칩의 소형

화, 정밀화 추세에 따른 리드프레임의 엄격한 치수정밀도 및 형상정밀도의 요구를 충족하는 블랭킹 가공 공정의 개선이 요구된다.

전단공정의 기존 연구들을 살펴보면, Ko¹ 등은 연성파괴기준을 기준으로 제거되는 요소의 강성을 작게 만들어 다른 요소에 영향을 미치지 못하도록 하는 Element Kill Method를 이용하여 블랭킹 공정에 대해 유한요소해석을 하였으며, Taupin² 등은 클리어런스, 재료, 공구마모 등이 전단면 형상에 미치는 영향을 관찰하였고, Faura³ 등은 블랭킹 공정의 최적 클리어런스를 찾는 방법을 제안하였다. Samuel⁴ 은 공구형상반경과 공구의 마모와의 관계

2002년 8월 23일 접수

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

*** (주)동호에이텍

를 조사하였으며, Jimma⁵ 등은 I 형 리드의 블랭킹 순서, 클리어런스 불균일 및 스트리퍼력이 제품의 정밀도에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. Cheon⁶ 등은 스트리퍼 형상이 최종 리드의 형상에 미치는 영향을 연구하였으며, Lim⁷ 등은 리드의 직선 부와 곡선 부의 곡률반경과 클리어런스에 따른 전단면의 형상을 관찰하였다. Pyttel⁸ 등은 파단 기구의 기본 개념을 기초로 하여 유한요소해석을 수행하였으며, Cho⁹ 등은 유한요소해석을 통해 블랭킹 공정 순서와 스트리퍼력이 제품정밀도에 미치는 영향을 파악하였다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 공정변수들이 전단면의 형상과 제품의 정밀도에 미치는 영향 등의 파악에 집중되어 있지만 블랭킹 순서가 제품 정밀도에 관한 연구는 Jimma⁵의 기초 실험 연구 이외에는 거의 없는 실정이다.

리드프레임 가공을 위한 프로그래시브 공정은 소재 재질, 금형의 정적/동적 정밀도, 스트리퍼 누름력, 공구의 클리어런스, 프레스의 정적/동적 정밀도, 윤활조건, 가공속도, 온도 등 여러 공정변수들에 의해 복합적인 영향을 받기 때문에 각 공정 조건들의 적절한 조합이 요구되며, 부적절한 조합은 리드프레임의 잔류응력의 불균일을 유발하고 제품정밀도 저하의 원인이 된다⁵. 따라서, 리드프레임의 개발단계에서는 공정변수 및 공정변수 상호간의 영향 때문에 레이아웃 설계과정에서 시행착오를 수반하게 되며 이로 인하여 개발 기간과 비용이 많이 소요된다.

본 연구에서는 시제품 개발기간의 단축과 금형제작 비용의 절감 및 공정조건의 최적화를 위하여 프로그래시브 블랭킹 공정의 CAE 해석 기법을 제시하였고, 반도체 리드프레임 제품의 형상 정밀도 향상을 위하여 블랭킹 공정의 레이아웃 설계에 따른 Multihole 블랭킹 공정에 대한 기본 규칙을

제시하기 위하여 단순모델 해석을 수행하였다. 해석에 적용된 모델은 48TSOP (Thin Small Outline Package) 리드프레임이며 리드수가 48 개이며 리드 피치(lead pitch)는 0.5mm, 리드 폭(lead width)이 0.25mm 이며, 소재의 두께는 0.254mm 이다(Fig. 1). 해석은 상용 유한요소 코드인 LS-DYNA 를 이용하였다.

2. 프로그래시브 공정의 해석 개념

블랭킹 금형이 소재에 접촉을 시작하면 탄성 및 소성변형이 발생하게 되며 금형의 움직임이 계속 진행되어 소재의 전단강도 한계를 넘게 되면 소재는 파단 된다.

Fig. 2 는 파단 기구에 근거한 블랭킹 과정을 표현한 것으로 크랙이 안정적으로 성장하는 것을 가정한 것이다. 두번째 단계에서 공구의 날 끝이 소재를 침투하기 시작하고 그 후 변형영역 내의 응력은 소재의 전단강도까지 증가하게 되며 소재는 전단날을 따라서 분리된다. 세번째 단계는 크랙 성장의 구성과 소재가 완전히 분리되는 것을 보여준다. 본 연구에서는 파단 기구의 기본개념을 전단공정에 적용하여 파단면 생성지점까지 성형해석을 수행하였다⁸.

프로그래시브 블랭킹 공정의 해석을 구현하기 위하여 전단계 해석결과를 다음 단계의 초기값으로 연계하는 알고리즘을 적용하였다. 이러한 절차에 의하여 크랙의 발생지점까지 성형해석을 수행하며 그 후 경계선인 펀치 외곽선을 따라 요소를 제거하는 트림(trim) 작업을 수행하였다. 트림작업 후 성형공구인 펀치, 다이, 홀더를 제거하고 소재의 탄성회복 해석이 수행 되었다. 이러한 과정을 상용 유한요소해석 코드인 LS-DYNA 를 이용하여 마지막 공정까지 반복수행 하였다. Fig. 3 은 연속 블랭킹 공정의 해석 과정을 설명한 것이다.

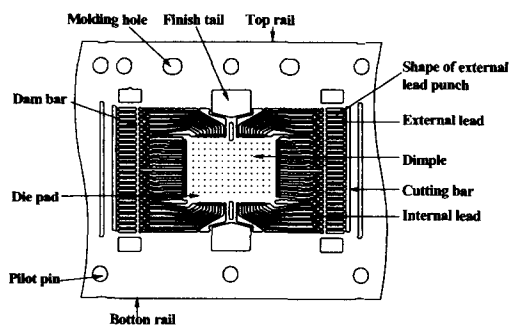


Fig. 1 Description for main parts of 48TSOP

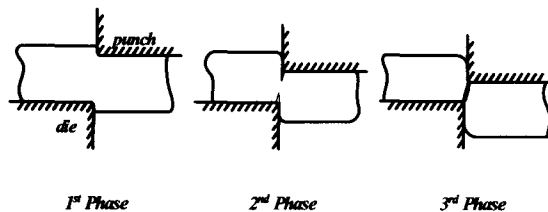


Fig. 2 Three phases of blanking

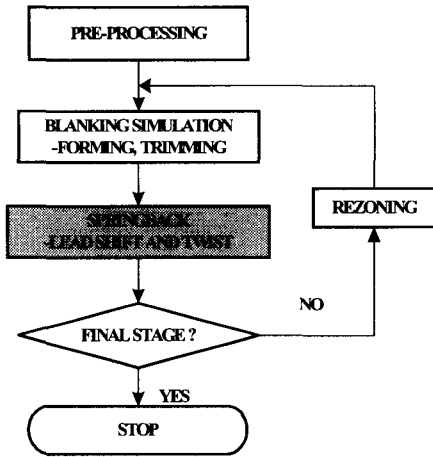


Fig. 3 FE-simulation procedure for progressive blanking process

3. 리드프레임 블랭킹 공정의 CAE 적용

3.1 소재의 기계적 성질 평가

유한요소해석에 입력될 소재의 물성치 확보를 위한 시험에 쓰일 48TSOP 소재인 구리합금을 ASTM E-8 규격을 기준으로 인장시험편을 제작하였으며 이를 최대용량 10ton 인 만능시험기(Instron)에서 단순인장시험을 실시하였다.

소재의 두께는 0.254mm 이며 10mm/min 의 등속도로 연신 하였다. 소재의 화학적 조성 및 기계적 성질을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of copper alloy

Material	Copper alloy
Yield stress(MPa)	340
Tensile stress(MPa)	517
Elongation(%)	9.16
Hardness(HV)	163
Strain-stress	$\bar{\sigma} = 580(\bar{\epsilon}_0 + \bar{\epsilon})^{0.0333}$
Chemical composition	Cr:0.26, Sn:0.25, Zn:0.24, Cu:bal

3.2 블랭킹 해석 조건

앞 장에서 설명한 것처럼 셀 요소인 블랭크를 파단시점의 깊이까지 스탬핑하고, 그 후 펀치 외곽 형상을 따라 트림하여 요소를 제거한 후 탄성 회복 해석을 수행하였다.

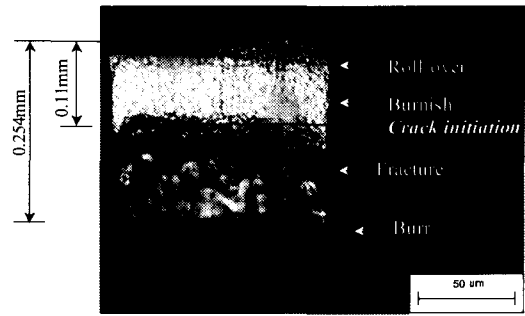


Fig. 4 Optical cross section of a sheared inner lead

48TSOP 제품의 전단 된 내부리드(inner lead)의 리드 단면을 광학현미경을 통해 관찰한 결과(Fig. 4), 크랙은 소재두께의 약 45%에서 파단이 발생하게 되는 것을 알 수 있었고, 따라서 해석시 성형 깊이를 소재두께의 45% 깊이만큼 적용하였다.

3.3 리드프레임 블랭킹 규칙

리드프레임 블랭킹 공정은 여러 번의 블랭킹을 순차적으로 수행하는 프로그래시브 공정이다. 이때 펀치의 배치에 따라 생성되는 리드의 순서가 달라지게 되고 이로 인해 블랭킹시 발생하는 잔류응력의 분포도 달라지게 된다. 이에 따라 블랭킹 공정 완료 후 탄성회복의 경향도 변하게 되므로 최적 블랭킹 순서의 설정은 제품의 정밀도 향상에 중요한 요소가 된다.

3.3.1 블랭킹 순서에 대한 규칙의 설정

리드프레임은 제품에 따라 개별 리드들의 형상 및 크기가 각각 다르기 때문에 블랭킹 과정 중에 발생하는 변형을 최소화 하기 위한 블랭킹 순서에 대한 규칙을 정립하는 것이 무엇보다 중요하다.

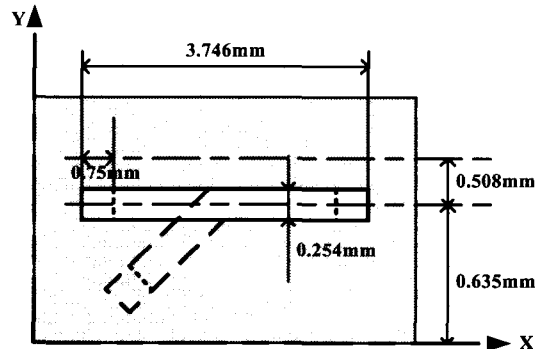


Fig. 5 Concept for rule base analysis model

다. 이를 위해 본 연구에서는 직선형상과 꺾인형상(45°)의 두가지의 단순모델에 대해 각각 전단선 길이와 블랭킹 위치를 달리하여 리드 시프트(lead shift)에 미치는 영향을 평가하고 이를 통하여 블랭킹 순서에 대한 기본 규칙을 정리하였다.

Fig. 5 는 블랭킹 순서에 대한 기본 규칙의 설정을 위한 단순모델을 나타낸 것으로 직선형상과 45° 꺾인형상으로 나누었으며 각 형상의 경우에서 8mm 의 전단선 길이를 기준으로 1.5mm 간격으로 줄여 전단선 길이의 영향을 조사하였다. 또 블랭킹 위치의 영향을 평가하기 위하여 X 축을 소재 중심선으로 하여 0.635mm 떨어진 거리에서부터 0.508mm 의 간격으로 2.667mm 위치까지 블랭킹하는 경우를 설정하였다. 각각의 설정된 모델에 대해 상용 유한요소 해석코드인 LS-DYNA 에 의한 블랭킹 해석을 수행하여 전단선 근처 절점들의 변형량을 측정하였다.

3.3.2 블랭킹 순서에 대한 기본 규칙의 정립

직선 및 꺾인형상별 전단 위치와 전단선 길이에 따른 블랭킹의 영향을 리드 시프트량을 기준으로 분석하여 Fig. 6 과 Fig. 7 에 나타내었다. 그 결과 직선형상보다 꺾인형상의 것이, 전단선 길이가 짧은 것이 긴 것보다 변형이 적은 경향을 나타낸다. 또한 이전의 연구⁵ 및 기존의 현장실험 결과로부터 내부리드 블랭킹시 최종 블랭킹 공정에서 변형이 큰 것을 알 수 있다.

단순모델 해석의 결과로부터 블랭킹 순서에 따른 영향도가 큰 순서로 정리하면 다음과 같다.

(규칙 1) 최종 공정이 리드 시프트에 가장 큰 영향을 준다.

(규칙 2) 직선형상의 리드를 블랭킹 할 때가 꺾인형상의 리드를 블랭킹 할 때보다 블랭킹 공정 이후의 변형이 많으므로 꺾인형상 보다 직선형상의 공정을 먼저 수행하는 것이 유리하다.

(규칙 3) 전단 위치가 블랭크의 센터지점에 가까울 수록 블랭킹 이후의 변형이 크게 나타나므로 블랭크의 센터에서 가까운 공정을 먼저 수행하는 것이 제품의 정밀도에 유리하다.

(규칙 4) 전단선 길이가 길 수록 블랭킹 이후의 변형이 크게 나타나므로 긴 전단선을 갖는 리드의 블랭킹 공정을 먼저 수행하는 것이 유리하다.

3.4 기본 블랭킹 순서 규칙의 적용

위의 4개의 규칙을 근거로 블랭킹 순서를 정하는데 있어 제품의 정밀도에 불리한 영향을 미치게 하는 요소를 포함하는 공정이 최종 공정에 속하지 않도록 하기 위해서 선행하여 블랭킹하는 것을 원칙으로 하였고, 기존의 48TSOP급형 레이아웃에 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 수정된 블랭킹 순서를 정하였다. 기존의 블랭킹 순서는 Fig. 8의 순서대로 공정이 진행되고 있으며 이는 위의 (규칙 4)를 만족한다. Part A의 전단선 길이는 거의 유사하고, Part B의 경우는 ③→⑥의 순서대로 전단선 길이가 짧다. 기존공정 순서는 Fig. 8에 표시된 ①→⑧의 순서로서 (규칙 4)를 만족하고 있으나 (규칙 3)과 반대로 수행되고 있다. 블랭킹 순서에 관한 기본 규칙을 해석한 결과에서 보면 전단선 길이의 영향보다 블랭킹 위치의 영향이 크므로 수

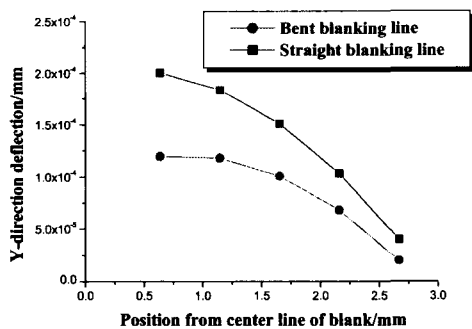


Fig. 6 Blanking position effect in each shape

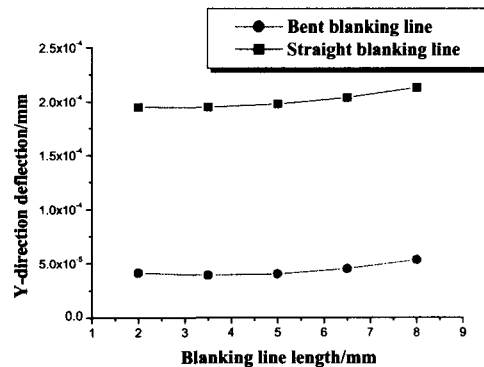


Fig. 7 Blanking length effect in each shape

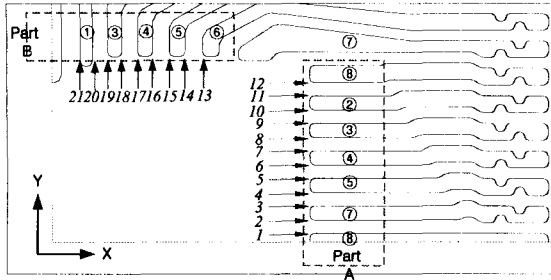


Fig. 8 Measurement point and blanking numbering

정 순서는 (규칙 3)의 관점에서 정하는 것이 정밀도 향상에 더 큰 효과를 볼 수 있다. (규칙 3)을 적용하면 기존공정순서와 반대인 ⑧→①의 순서가 된다.

해석은 Table 2에 나타난 해석 조건을 적용하여 기존 블랭킹 공정의 순서와 수정된 순서로 실제 리드프레임인 48TSOP를 모델로 하여 multihole 블랭킹 공정의 해석을 수행하였으며 Fig. 8에 표시한 21개의 측정점의 좌표를 측정하여 리드의 최종 변형량을 나타내었다.

3.5 결과 및 고찰

48TSOP의 블랭킹 순서에 대한 실험 및 해석의 결과를 Fig. 9의 (a), (b), (c)에 나타내었다. Fig. 9는 각 측정점의 변형 허용치에 대한 편차, 즉 리드 시프트량을 나타낸 것으로 (a)는 실험 측정치

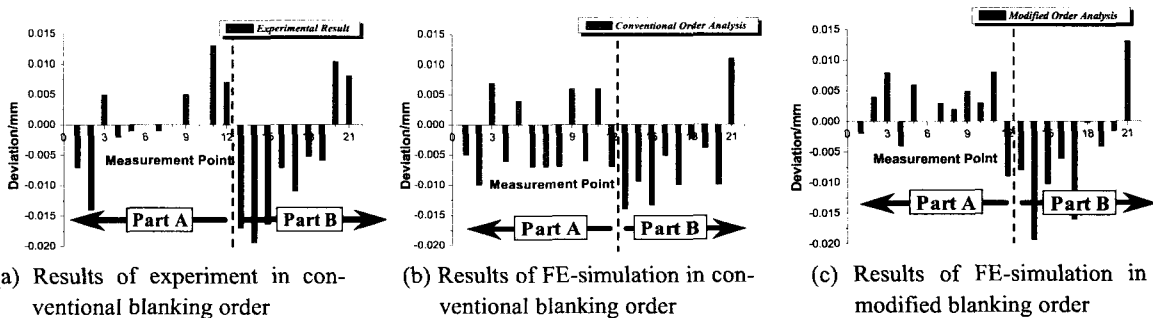
Table 2 Simulation conditions in 48TSOP blanking

Item	Condition
Thickness	0.254mm
Stroke	0.11mm
Punch velocity	12mm/min

이고, (b)는 기존 블랭킹 결과이며 (c)는 수정된 블랭킹 순서로 해석한 결과이다. 기존공정의 해석결과 최대 지점은 Part A에서는 2번 지점이고 Part B에서는 13번 지점으로 나타났는데 이는 최종 공정으로 인한 영향이라 할 수 있으며, 수정된 블랭킹 순서의 해석결과 역시 이러한 경향을 보이고 있다. 이는 Jimma⁵ 등의 연구에서도 리드의 변형은 최종 블랭킹 공정의 펀치로 향하고 그 영향도가 가장 크게 나타나고 있는 것으로 보아 위 (규칙 1)의 타당성을 입증하고 있다.

Part A와 Part B의 변형 정도를 비교하여 보면 Part B에서 훨씬 많은 변형을 보이고 있는데 이는 Part B의 전단선 길이가 Part A보다 훨씬 긴 것에 기인하고, Part B에서 수정 블랭킹 순서의 경우가 기존 블랭킹 순서의 경우보다 대체로 큰 변형을 보이는 것은 Part B에서 수정 순서는 전단선 길이가 짧은 것부터 수행되어 위의 (규칙 4)에 어긋나기 때문이다. 또한 Part A의 경우 기존의 순서는 소재 중심으로 향하는 순서이고 수정된 순서는 소재의 중심에서 외측으로 공정이 진행되는데 수정된 순서로 해석한 결과가 기존 순서보다 적은 변형을 보이는 것은 (규칙 3)의 소재 중심에서 가까운 위치의 블랭킹 공정을 선행하여야 한다는 것을 입증하고 있다. 하지만 리드의 수가 증가하게 되면 이를 블랭킹 하기위해 한번의 공정에 여러 개의 펀치를 배치하는 경우가 발생하게 된다. 이 경우 블랭킹 위치가 소재의 중심과 외곽 부분에 동시에 배치되어야 하므로 블랭킹 위치에 관한 (규칙 3)의 적용이 어렵게 되는 문제점이 있다.

Fig. 10과 11은 각각 기존공정순서와 수정순서의 최종 공정해석결과에서 유효응력분포와 변형분포를 나타낸 것이다. 두 결과는 모두 마지막 블랭킹 공정 근처에서 응력과 변형률의 분포가 높은 것을 알 수 있다. 즉, 앞에서 가정한 블랭킹 순서의 규칙들 중에서 (규칙 1)을 증명하고 있다.



(a) Results of experiment in conventional blanking order

(b) Results of FE-simulation in conventional blanking order

(c) Results of FE-simulation in modified blanking order

Fig. 9 Result of lead shift in each case

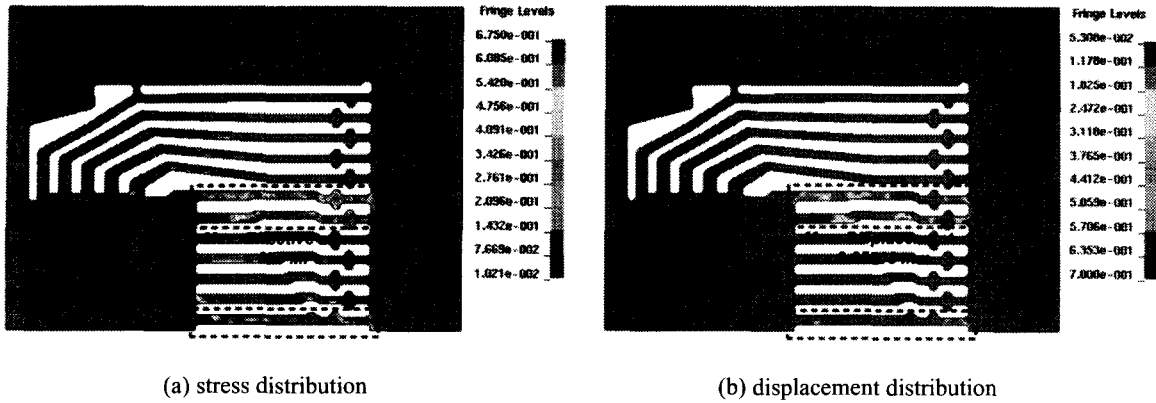


Fig. 10 Results of FE-simulation in conventional blanking order

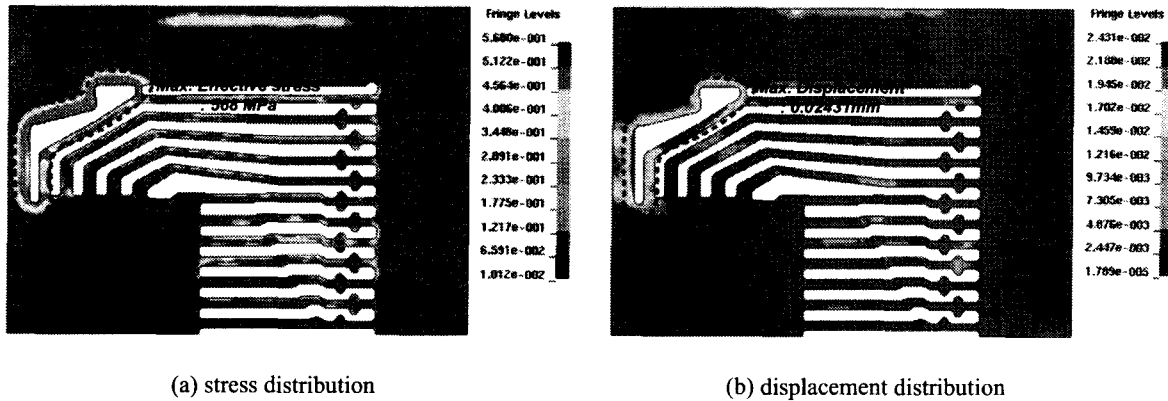


Fig. 11 Results of FE-simulation in modified blanking order

4. 결론

본 연구에서는 반도체 리드프레임 제품의 형상 정밀도 향상을 위하여 블랭킹 공정의 레이아웃 설계에 따른 Multihole 블랭킹 공정에 대한 기본 규칙을 제시하였고, 이를 48TSOP 리드프레임에 적용하여 해석과 실험결과를 비교하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 프로그래시브 블랭킹 공정에 대한 CAE 해석 기법을 제시하여, 이를 48TSOP 리드프레임에 적용한 결과, 해석이 실제 현상을 잘 반영할 수 있음을 알 수 있었다.
- (2) 제시된 해석 기법으로 블랭킹 형상과 크기 및 위치 변화에 따른 단순 모델 해석을 수행하여 블랭킹 공정의 레이아웃에 따른 기본 규칙을 제시하였다.

- (3) 본 연구에서 제시된 Multihole 블랭킹 공정의 해석적 기법 및 블랭킹 순서에 대한 기본 규칙은 향후 고정밀도 제품의 생산을 위한 최적 레이아웃 설계에 적용이 가능하다.

후 기

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(KRF-2001-041-E00049).

참고문헌

1. 고대철, 김철, 김병민, 최재찬, “요소제거기법에 의한 판재 전단 가공의 유한요소 시뮬레이션,” 한국정밀공학회지, 제 13 권, 제 11 호, pp. 114-123, 1996.

2. Taupin, E., Breitling, J., Wu, W. T. and Altan, T., "Material fracture and burr formation in blanking results of FEM simulation and comparison with experiments," J. of Mat. Proc. Tech., Vol. 59, No. 1-2, pp. 68-78, 1996.
3. Faura, F., Garcia, A. and Estrems, M., "Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process", J. of Mat. Proc. Tech., Vol. 80-81, No. 1, pp. 121-125, 1998.
4. Samuel, M., "FEM simulation and experimental analysis of parameters of influence in the blanking process," J. of Mat. Proc. Tech., Vol. 84, No. 1-3, pp. 97-106, 1997.
5. Jimma, T., Sekine, F., Sekiya, K., Shouzui, S. I. and Morimoto, W., "Research on Precision Blanking of Electronic Machine Parts," J. of JSTP, Vol. 28, No. 315, pp. 355-362, 1987.
6. 천선규, 한철호, "A study on the precision improvement of lead frame in blanking process", 99 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 1027-1030.
7. 임상현, 서익권, 심현보, "A study on the characteristics for the blanking of lead frame with the rectangular shape blanking," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 3 호., pp. 182-188, 2001.
8. Pyttel, T., John, R. and Hoogen, M., "A finite element based model for the description of aluminium sheet blanking," Int. Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 14, pp. 1993-2002, 2000.
9. 조형근, 김동환, 이선봉, 김병민, "반도체 리드 프레임의 형상 동결성에 관한 연구," 2001 한국소성가공학회 춘계학술대회, pp. 77-80, 2001.