

## Cellular Phone용 초소형 사각 진동모터 케이스의 블랭크 설계

하병국\* · 구태완\* · 강범수\*\*

### Blank Design of The High Miniature Rectangular Vibrator Case for The Cellular Phone

B.K. Ha, T.W. Ku and B.S. Kang

**Key Words:** Micro-forming(미세 성형), Milli-structure(초소형 부품), Rectangular Cup Drawing(사각컵 드로잉), FEM(유한요소법)

#### Abstract

Milli-structure components are classified as component group whose size is between macro and micro scale. that is, about less than 20mm and larger than 1mm. The forming of these components has a typical phenomenon of bulk deformation with thin sheets because of the forming size. In order to conventional metal forming, where numerical process simulation is already fully applied, the micro-forming process is characterized by some scale effects which have to be considered in an advanced process simulation. milli-structure rectangular cup drawing is analyzed and designed using the finite element method and experiment. The result of the finite element analysis is confirmed by a series of experiments.

#### 1. 서 론

초정밀 사각 딥드로잉 공정으로 생산되어지는 초박형 초소형의 휴대폰용 사각 진동모터 케이스는 휴대폰의 초정량 콤팩트화로 급격한 소비증가가 예상되며, IMT-2000용 부품으로 각광을 받고 있다. 새로운 초정밀 사각 딥드로잉 기술 개발은 적용 범위가 현재의 휴대폰용 진동 모터 케이스에 국한되지 않고 의료기기 부품, 노트북 PC의 배터리 케이스, 캠코더·워크맨 배터리 케이스 등의 첨단 부품 분야에서 수요가 폭증할 것이라 예상되어지고 있다. 하지만 이러한 초정밀, 초정

량, 초소형화의 추세는 부품성형에서 높은 생산성과 고효율성 같은 많은 이점이 있지만, 일반적인 성형공정을 그대로 소형품 성형공정에 적용할 수 없다는 단점이 있다. 또한 진동모터 케이스와 같은 소형품성형에서는 거시적 재료성질 외에 미시적 재료성질, 결정학적 성질, 그레인 크기 (grain size)를 고려해 주어야 한다. 그러나 현재 초소형 부품성형(micro forming) 분야에서 수행되고 있는 연구들은 실험을 통한 극히 제한적 부분에서 연구되고 있으며, 초소형 부품성형 해석을 위해 일반적인 성형공정에서 사용하는 인자들을 직접적으로 적용시킬 수 없어 소형품의 소재 변형해석(metal flow analysis), 금형설계 같은 성형공정 해석을 위한 유한요소해석기법은 거의 연구되지 않았다. 이러한 문제를 유한요소해석에 적용하기 위한 방법으로 유한요소해석 시 크기효과(size effect)를 고려하는 방법이 제기되고 있다. 크기효과는 소재의 형상, 표면 마찰정도, 윤활상태에 따라 결정되어지며, 이 값들은 주로 실험을 통해 얻어진다.(1)(2)

\* 부산대학교 항공우주공학과 대학원

\*\* 부산대학교 항공우주공학과

현재 국내외적으로 기계적 방법에 의한 초정밀, 초소형 가공기술과 반도체 제조 공정을 이용한 Micro-Machining에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 산업체 응용 측면에서 기능성 Milli-Structure에 대한 중요성이 매우 커지고 있기에 이 분야에 대한 집중적인 연구 투자가 이루어지기 시작하고 있다.

본 연구에서는 판재성형 공정이 거시적 관점에서 미시적 관점으로 바뀔 때 발생하는 기본적인 문제에 대해 제기하고, 이 문제를 고려하기 위한 크기효과에 대한 고찰을 수행하였다. 또한 초정밀 사각 딥드로잉 성형 부품인 사각 진동 모터 케이스의 성형 공정에 대해 유한요소해석을 수행하여 그 결과를 실험과 비교 검토하였다.

## 2. Milli-Structure의 개념

일반적으로 형상의 크기를 초소형, 중형, 대형등으로 구분하나 명확한 정의는 없다. 미세 부품은 크기가 수 [mm]의 공간적 개념을 갖는 Mili structure의 범위에 있다고 본다. 이러한 Milli structure는 Camcorder의 Deck 부품이나, DVD의 Optical Head처럼, 수 mm의 크기에 수  $\mu\text{m}$ 의 정밀도를 갖는 기계요소부품 또는 그것들의 조립체를 지칭하는 것으로서, 일반적 기계구조품의 크기인 수십 mm이상의 Macro structure와 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술에 의한 submillimeter 크기의 Micro structure에 대응되는 개념이다. Milli-structure는 그 내부에  $\mu\text{m}$  단위의 미세 구조물을 포함하며, 특정 목적을 수행하기 위하여 정보 및 물질의 전달, 작동 및 취급이 가능하도록 일정한 정도 이상의 (mm 단위 정도) 크기를 갖고 있는 작동 가능한 전체 시스템을 의미한다.(3)

미세 구조물의 기계적 성질은 재료의 크기효과에 의해서 벌크 재료와는 크게 차이가 있다. 미세 구조물의 경우 미세 조직적 요소와 기하학적 요소의 크기가 모두 수십  $\mu\text{m}$ 수준이기 때문에 기존의 벌크 소재에서는 발생하지 않았던 미세 조직적 요소와 기하학적 요소의 상호작용이 발생되게 된다. 즉, 재료의 기본 물성을 결정하는 미세 조직적 요소는 일반적으로 기하학적 요소의 영향을 받지 않기 때문에, 기하학적 영향을 고려하여 설계할 때 미세 조직적 요소에 의해 결정되는 기계적 성질을 설계를 위한 기본 물성 자료로 사용할 수 있었

지만, 미세 구조물의 경우 기하학적 요소가 미세 조직적 요소에 영향을 미칠 수 있을 만큼 작기 때문에 일반적으로 재료의 물성이나 성질로 생각되던 미세 조직적 요소가 각 설계 단계마다 다른 영향을 미치게 되어, 설계시 기하학적 요소뿐만 아니라 미세 조직적 요소도 함께 고려해야 하는 것이다. 미세 구조물의 기계적 성질을 알기 위해서 미소 인장시험을 통하여 미세구조물의 기계적 성질을 시험하고, 미세 구조물의 FE-simulation을 수행하기 위해 실험을 통한 재료의 크기 효과를 고려해야 한다. 실제 구조물의 크기와 유사한 시편의 기계적 성질(flow curve, 마찰계수, 등등)을 측정하여 시뮬레이션에 적용한다.(4)

## 3. 진동모터 케이스의 유한요소해석

### 3.1 진동모터 케이스 시제품 제작

초소형 진동모터 케이스 성형 공정은 5공정 (blanking, drawing, sizing, piercing, trimming)으로 이루어져 있다. 본 제품을 제작하기 위해 실제 전진금형(progressive die)를 제작하여 초소형 진동모터 케이스를 제작하였다. 본 실험에서 사용된 소재의 재료는 냉간압연강인 SPCE이고, 윤활재로는 tapping oil을 사용하였다. 일반적인 소재의 재료 물성치는 아래 Table 1에 나타내었다. Punch와 Lower die의 대략적 형상이 Fig. 1에 있다.

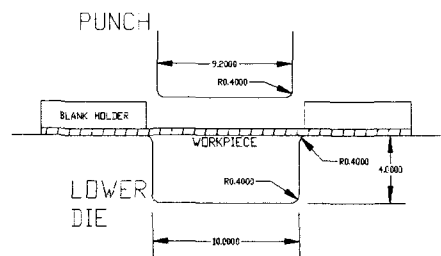


Fig. 1 A schematic diagram of the deep drawing of square cup

드로잉 공정에 사용되는 소재는 폭 30mm, 판재 두께 0.4mm인 스트립(strip)을 사용하였다. Figure 1에서 보여주는 바와 같이 Punch는 9.2×9.2mm, Lower Die는 10×10mm의 각각 정사각 형상이며, Punch와 Lower Die의 각 코너 반경은 0.4mm로 동일하게 설계하였다. 이는 전통적인 성형 방법

에 있어서 일반적으로 코너 반경이 판재 두께( $t$ )보다 약 4배에서 12배 사이에서 결정되어지는 것과는 달리 초소형 부품 성형을 위해서는 판재 두께와 같은 수준의 코너 반경으로 설계되어졌음을 의미한다.

Table 1 Mechanical properties of material, SPCE

Specimen	SPCE
Yield Strength(0.2%)	149MPa
Ultimate Tensile Strength	268MPa
n-value	0.25
r-value	2.17
C-value	537MPa

미시적 관점에서 해석수행을 위해 시편의 섹션별로 금속결정을 관찰하였다. Figure 4에 최종 성형전, 후 그레인 크기를 나타내고 있다. Figure 4에서 보듯이 Fig. 4(a)는 성형 전 초기 소재의 grain size, Fig. 4(b)(c)는 최종 성형후 소재의 그레인 크기이다. 초기 소재의 그레인 크기와 비교해 볼 때, A-A섹션에서는 성형후 그레인 크기가  $14.65 \mu m$ 로 변화였다. (성형 전 소재의 그레인 크기는  $13.20 \mu m$ 이다.) B-B섹션에서는 성형 후 그레인 크기가  $29.87 \mu m$ 로 변화였다. 성형후 최종 부품에서 바닥 부위와 모서리부위의 그레인 크기가 달랐으며, 이는 국부적인 소성변형과 과다 신장에 의한 것이다.

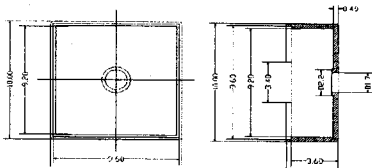


Fig. 2 The final product geometry(unit:mm)

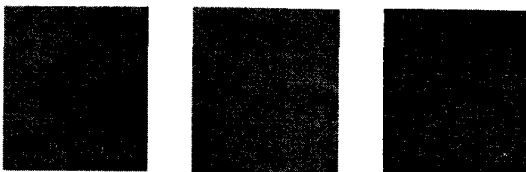


Fig. 4 Microphotograph of SPCE specimen(x400)  
(a)the initial blank (b)bottom corner (c)wall corner

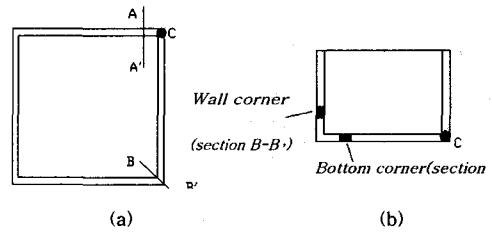


Fig. 3 The measurement positions of the grain size and thickness distribution of the rectangular deep drawing process  
(a) the top view (b) the side view

### 3.2 진동모터 케이스의 유한요소해석

#### 3.2.1 유한요소모델링

초소형 진동모터 케이스 드로잉 공정의 유한요소해석은 LS-DYNA3D 940 version으로 수행되었으며, 전/후 처리기(pre/post processor)는 상용 전/후처리기인 FEMB를 사용하였다.(5)

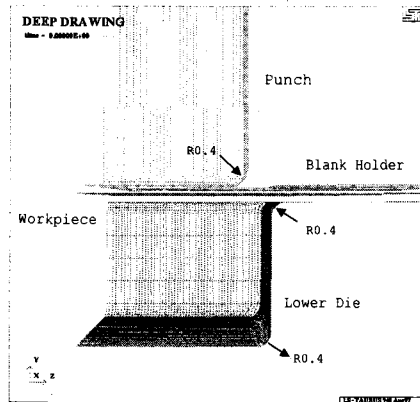


Fig. 5 The FE-model for rectangular cup drawing

Figure 5은 유한요소 모델링된 펀치, 다이, 블랭크 홀더 그리고 0.4mm 두께의 블랭크의 형상을 나타낸다. 다이, 펀치, 블랭크 홀더는 강재 4노드 사각 쉘요소로 모델링 되었으며, 대칭 조건으로 1/4모델에 대하여 모델링하였다. 블랭크는 SPCE 재료에 대하여 4 노드 사각 쉘요소와 8 노드 브릭요소로 모델링하여 판재성형 후 블랭크의 두께 변화를 비교하였다. 펀치, 블랭크 홀더와 다이는 각각 904, 27, 1436개의 요소수를 가지며, 유한요소해석에 적용된 마찰계수는 쿨롱계수 0.12를 적용하였다.

### 3.2.2 초소형 부품 성형(I) - 4 노드 쉘 요소 타입

블랭크의 요소 수는 1680개의 쉘요소이며, 두께는 0.4mm이다. Figure 6, 7은 LS-DYNA3D를 이용한 유한요소해석 결과를 나타낸다. Figure 6는 성형 후의 유효 변형률 분포를 나타내며, Fig.7은 두께 분포를 나타낸다.

유한요소해석은 펀치 변위는 4mm로 적용하여, 블랭크 홀더력을 200N에서 400N까지 변화시켜 수행하였다. 유한요소해석의 결과로부터 블랭크 홀더력이 260N일 때 최대 코너 두께 0.1938mm를 나타내었다.

Figure 6에서 보여지는 바와 같이 상부 코너에서 최대 변형률 1.29로 나타나고 있다. 즉 측면부에서 상부 코너에 재료가 유입되어 Fig.7에서 나타나는 바와 같이 초기 블랭크의 두께 보다 상부 코너 부위의 두께가 증가하였다. Figure 8은 블랭크 홀더력에 따른 두께 분포를 보여준다.

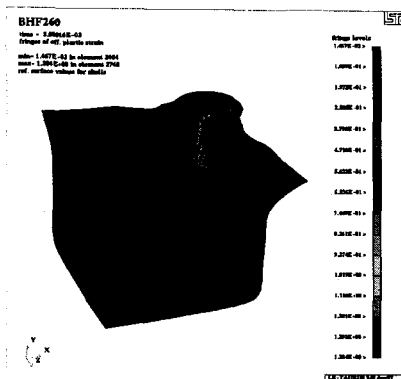


Fig. 6 The effective strain distribution at the BHF, 260N

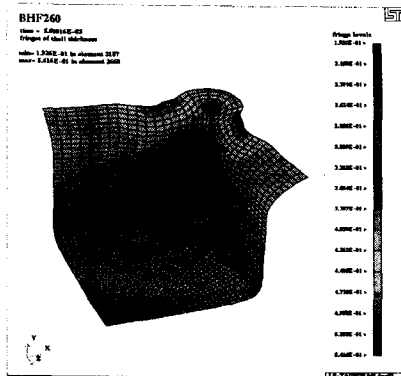


Fig. 7 The thickness distribution at the BHF, 260N

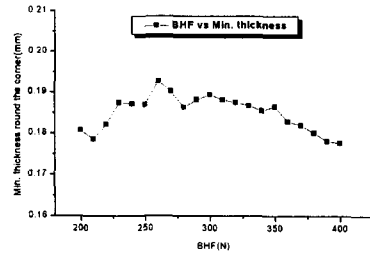


Fig. 8 The thickness distribution at each BHF

### 3.2.3 초소형 부품 성형 - 8 노드 브릭 요소 타입

경계 조건은 1/4 모델의 대칭 조건을 주었으며, 두께 0.4mm의 3360개의 브릭 요소로 모델링되었다. 브릭 요소 모델링의 경우 실제 제작한 시제품과 유사한 형태의 변형 모습을 보이고 있다. Figure 9은 브릭요소 타입에 대한 유효 변형률 분포를 나타낸다. 해석은 펀치 변위 4mm로 블랭크 홀더력을 200N에서 400N으로 변화하며 수행하였다. Figure 9에서 보는 바와 같이 최대 유효변형률은 상부코너 부위에서 1.31로 나타난다. 즉 상부 코너의 두께는 측면부에서 상부 코너에 재료가 유입되어 초기 블랭크의 두께보다 증가하였음을 알 수 있다.

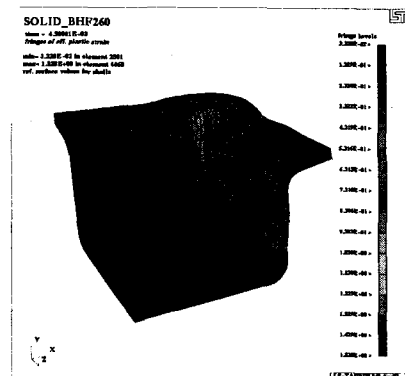


Fig. 9 The effective strain distribution of the brick element type

## 4. 결론

셀요소 타입의 두께 변화를 브릭요소타입의 두께 변화에 비해 다소 큰 변화를 나타낸다. 하지만 그 차이 작아 무시할 수 있다. 최대유효변형률은 상부코너에서 셀요소타입의 경우 1.29를 나타내며, 브릭요소타입의 경우 같은 부위에서 1.31를 나타내었다. 즉 상부 코너 부위에서 측면부로부터 소재가 유입되어 초기 블랭크의 두께보다 두꺼워짐을 알 수 있다. 그러나 상대적으로 밀면의 코너부위에서는 셀요소타입과 브릭요소타입에 대하여 각각 최대 유효변형률 0.84와 0.73로 나타나고 있다.

본 연구에서는 사각 덩 드로잉에 대한 유한요소해석결과와 실험과의 비교를 수행하였다.

향후 미소 인장실험을 통하여 미세 구조물의 기계적 성질을 파악하여, FE-Simulation에 크기 효과를 고려한 향상된 유한요소해석을 수행할 것이다.

## 후 기

이 연구는 1999년 두뇌한국21 핵심사업 분야에서 지원 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] A. Messner, U. Engel, R. Kals and F. Vollertsen, 1994, "Size effect in the FE-simulation of micro-forming processes", J. of Materials Processing Technology, Vol.45, 371.
- [2] M. Geiger, F. Vollertsen and R. Kals, 1996, "Fundamentals on the Manufacturing of Sheet Metal Microparts", Annals of the CIRP, Vol.45(1), 227.
- [3] K. H. Na, H. J. Park, N. S. Cho, 2000, "Development of Manufacturing Technology for Milli-Structure", 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, 1039~1042.
- [4] S.H. Hong, K.S. Kim, 2000, "Effect of Thickness on Mechanical Behavior of Micro Foil Materials", The 1st Milli-Structure 생산기술 개발 Workshop, 11~16.
- [5] LS-Dyna Keyword Users Manual, Livmore Software Technology Corporation, Livmore, CA, USA, June 1997.
- [6] S. Miyazaki, H. Fujita and H. Hiraoka, 1979, "Effect of specimen size on the flow stress of polycrystalline Cu-Al alloy", Scripta Met., Vol.6, 447.