

# 휴대폰용 리드 및 프레임의 접합력 향상을 위한 설계 변수 평가

남기주<sup>1</sup> · 이정민<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## Estimation of Design Variables for Improving the Bonding Force of Lid & Frame for Cellular Phone

K. J. Nam, J. M. Lee, B. M. Kim

(Received January 5, 2009)

### Abstract

A lid & frame used as the shield of electromagnetic waves in cellular phones are composed of frame, which is welded at their electric circuits, and lid, of which debonding and joining are available from the frame. Typical lid & frame were mechanically bonded by contact between the embossing of lid and the piercing of frame. Bonding force of this part has to allow us to detach the lid from frame for exchange or fix of the electric part and have to be high enough to protect the electric part from external impacts. This study is designed to estimate the effect of design variables of lid & frame on its debonding force. Estimations were performed by finite element method.

**Key Words:** Bonding Force, Lid & Frame, Embossing, Shape Design

### 1. 서론

리드와 프레임(Lid and Frame)은 휴대폰 내 전자파 차단용 주요 기능부품으로, 회로기판에 점접촉으로 고정되어 있는 프레임과 덮개로써 탈착이 가능한 리드로 구성되어 있다[1~2]. Fig. 1은 리드와 프레임의 용도와 조립형상을 나타낸 것이다. 리드의 경우 부품의 교환이나 수리를 위해 탈착이 용이 해야 하며, 또한 외부 충격으로부터 쉽게 벗겨지지 않아야 한다. 따라서 보통 리드와 프레임의 결합은 리드부분의 엠보싱(Embossing)과 프레임부분의 피어싱(Piercing)에 의해 별다른 체결요소 없이 기계적으로 결합되어 있다. 이러한 부품들은 주로 판재의 순차적 이송 및 연속공정으로 이루어진 프로그레시브(Progressive) 공법에 의

해 생산되고 있다[3].

리드와 프레임의 기계적 접합력에 영향을 미치는 변수로는 리드의 엠보싱 높이와 직경, 엠보싱 수, 벤딩 길이, 벤딩곡률, 벤딩각도, 소재 두께 등을 들 수 있다. 이러한 변수들은 상호의존적이며, 보통 임계엠보싱높이와 직경, 벤딩곡률 등은 사용되는 소재 두께에 크게 의존한다. 일반적으로 엠보싱 직경과 높이, 소재 두께를 증가시킬수록 접합력은 향상되지만, 제품설계 단계에서 리드와 프레임의 전체 크기 및 소재두께, 대략적인 형상이 결정되기 때문에 각각의 변수들의 활용은 매우 제한적이다. 따라서 실질적으로 접합력에 영향을 미치는 변수는 벤딩 길이와 벤딩각도로 제한된다.

본 연구는 제한된 리드와 프레임 형상 내에서 각각의 설계변수가 접합력에 미치는 영향을 평가

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학전공  
2. 한국국제대학교 자동차공학부  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

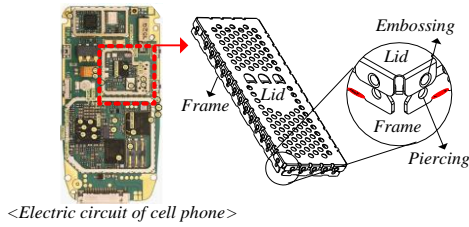


Fig. 1 Typical shape and an application of lid and frame for Nokia cellular phone

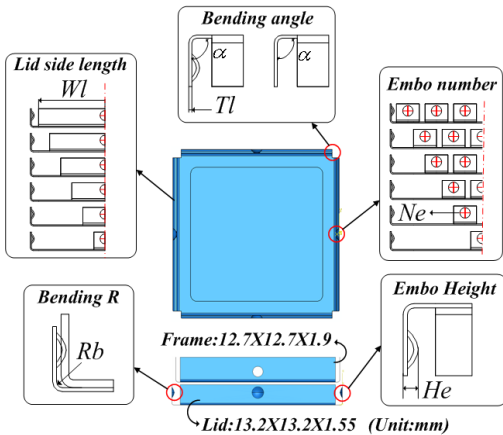


Fig. 2 Design variables and analytical model of lid and frame

하고, 최적의 리드 엠보싱 높이와 벤딩 폭의 관계를 조사하였다. 각각의 변수들은 유한요소해석(Finite element analysis)을 이용하여 평가되었으며, 해석모델은 N사 휴대폰 내 조립된 리드와 프레임 모델(Fig. 1)을 기준으로 설정하였다.

## 2. 해석모델 및 설계변수 선정

Fig. 2 는 본 연구에서 사용된 리드와 프레임의 표준 해석 모델 및 설계변수를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 리드와 프레임은 휴대폰의 외각형상 및 회로기관의 모양에 따라 다양하게 변화한다. 본 연구에서는 해석의 신뢰성 향상과 설계변수의 감소를 위해 표준 모델 형상을 정사각형으로 가정하였다. 이 때 리드와 프레임의 두께는 각각 0.1t와 0.2t로 적용하였으며, 기본적으로 엠보싱과 피어싱 개수는 각각 4개를 적용하였다. 설계변수로는 벤딩각도( $\alpha$ )와 엠보싱 개수(N), 벤딩 곡률(R), 엠보싱 높이(H), 리드 두께(T), 리드 벤딩 폭(W)으로 선정하였으며, 해석 범위는 Table 1에

Table 1 Design variables for estimating the bonding strength of lid and frame

Variables		Value
Bending angle( $\alpha$ )	Lid	89, <u>90</u> , 91°
	Frame	89, <u>90</u> , 91°
Number of embossing (N)		<u>4</u> , 8, 12, 16, 20
Bending R(R)	Lid	0.1, <u>0.15</u> , 0.2, 0.25mm
	Frame	<u>0.2</u> , 0.3mm
Embossing height (H)		0.2, 0.25, <u>0.3</u> , 0.35, 0.4mm
Lid thickness (T)		<u>0.1</u> , 0.12, 0.14, 0.16, 0.18mm
Lid bending width (W)		2, 4, 6, 8, 10, <u>12</u> mm

Table 2 Mechanical Properties of Nickel-Silver alloy

Item	Value
Elastic modulus, E	125 GPa
Stiffness coefficient, K	665 MPa
Work hardening exponent, n	0.105

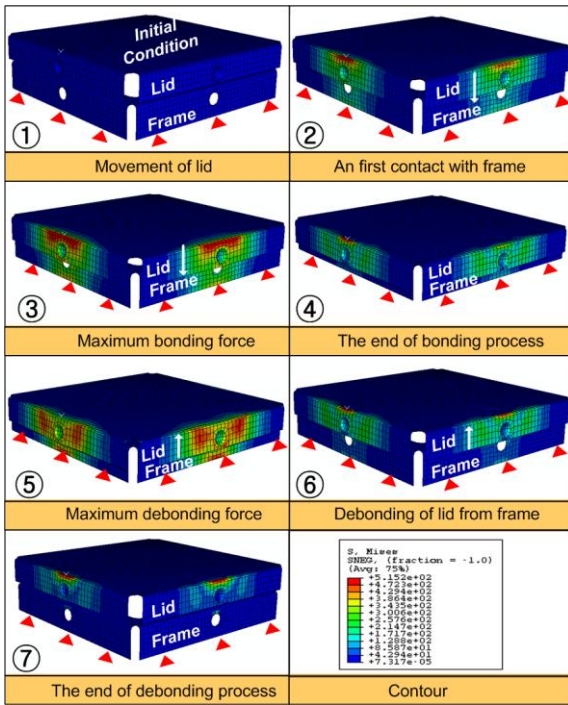
나타내었다. Table 1에서 진한 이탤릭체로 표시된 값들은 표준 해석모델의 리드와 프레임 모델치수이며, 나머지 치수들은 각각의 공정변수의 영향력을 평가하기 위해 선정된 치수이다.

리드와 프레임에 사용된 재료는 니켈-실버(Nickel-Silver)합금으로 기계적 특성은 Table 2에 나타내었다[4]. 유한요소해석(Finite element analysis)은 ABAQUS 6.6을 이용하였고, 해석모델은 정확성을 고려하여 전체 모델링(Full Modeling) 되었으며, 4절점 쉘(Shell) 요소를 사용하여 해석을 수행하였다[5].

## 3. 해석 결과

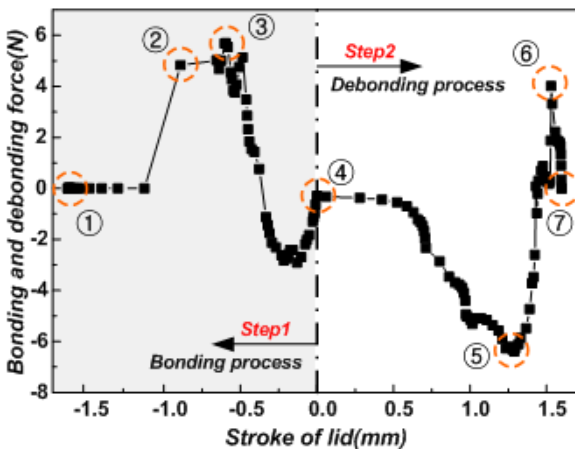
### 3.1 해석과정 및 접합력 평가

Fig. 3의 (a)와 (b)는 각각 리드와 프레임의 접합력 평가를 위한 표준모델의 거동현상과 거동시 나타나는 전형적인 하중-변위곡선을 나타낸 것이다. 표준모델의 거동과정은 접합공정(Bonding Process: ①~④구간)과 분리공정(Debonding Process: ⑤~⑦구간)으로 구분되며, 접합공정에서 리드의 변위량은 -1.6mm, 분리공정에서 리드의 변위량은 +1.6mm로 하였다. 해석과정에서 리드에게만 변위를 부여하였고 프레임은 고정하였으며, 이 때 리드의 Z축 변위를 제외한 나머지 경계조건과 프레임 바닥부의 모든 경계조건을 고정하여 해석을 수행하였다.



(a) Behavior condition of Procedure of FE simulation

최초로 접촉하는 구간으로 하중이 급격히 증가한다. ③구간은 엠보싱의 중심축이 프레임의 벤딩부와 완전 접촉하는 구간으로 리드에 작용하는 하중 및 소성변형이 최대가 되는 구간이다. ④구간은 리드가 프레임에 안착이 되는 즉 리드의 엠보싱부가 프레임의 피어싱부에 기계적 접합이 이루어지는 구간으로 리드에 작용하는 하중은 0이 되며 리드의 벤딩 상부에 잔류응력이 존재하는 구간이다. ⑤구간은 리드의 엠보싱이 프레임의 피어싱부분으로부터 분리가 되는 공정 즉, 결합 후 분리공정으로 진행이 될 때의 최대접합력(⑤: Debonding force)으로 평가될 수 있으며, 이것은 주로 엠보싱 높이에 의한 리드 벤딩 폭의 언 벤딩(Unbending)력에 의해 생성된다. ⑥구간은 ③구간과 동일한 구간으로 분리공정에서 엠보싱의 중심축이 프레임의 벤딩부와 평행하게 접촉하는 구간으로 하중이 급격히 상승한다. ⑦구간은 리드가 프레임으로부터 완전 분리된 초기상태와 동일한 구간으로 리드의 벤딩상부에 잔류응력이 존재하며 소성변형상태에 있다. 이러한 변위-하중 그래프를 기본으로 하여 앞에서 선정한 Table 1을 기준으로 하여 다양하게 선정된 설계변수의 영향력을 유한요소해석을 통해 각 Case 별로 평가하였다.



(b) Load - stroke curve for estimating the debonding force of lid & frame

Fig. 3 Procedure of FE simulation and typical load - stroke curve for estimating the debonding force of lid and frame

①구간은 리드가 거동하기 전 초기상태로 정의가 되며 변위 및 하중은 0이 된다. ②구간은 리드가 z축 방향으로 이동하면서 프레임의 벤딩부에

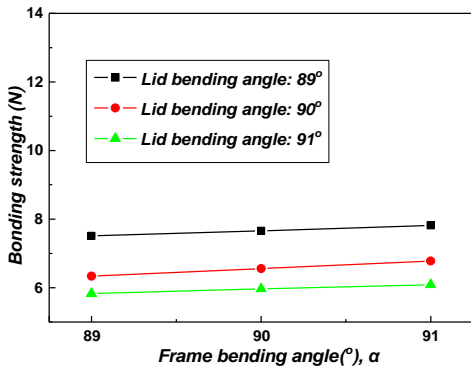
### 3.2 각 설계변수에 대한 접합력 평가

#### 3.2.1 벤딩각도와 벤딩곡률의 영향

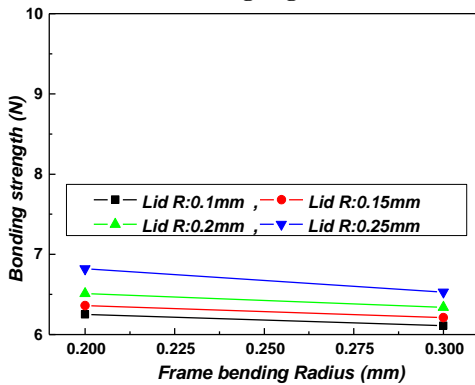
Fig. 4는 리드와 프레임의 벤딩각도(a)와 벤딩곡률 변화(b)에 따른 접합력 변화를 나타낸 것이다. 해석결과는 리드 각도가 작고 리드 벤딩곡률이 증가할수록 리드의 접합력은 증가하는 것으로 나타났다. 이에 반해 프레임의 각도와 프레임의 곡률변화는 접합력에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다. 이것은 앞서 설명하였듯이 접합력이 리드의 언벤딩력(Unbending)에 의존하기 때문이며, 해석에서 벤딩곡률이 증가하고 리드 벤딩각도가 감소할수록 곡률부 벤딩 면적과 전체 언벤딩량은 증가한다[6~7].

#### 3.2.2 엠보싱 높이와 엠보싱 개수의 영향

Fig. 5는 엠보싱 개수(a)와 엠보싱 높이(b)에 따른 접합력 변화를 나타낸 것이다. 결과는 리드 옆 길이를 2mm로 고정하였을 때 엠보싱의 수가 많아질수록 접합력은 증가하였으며, 리드의 폭 길이 변화 없이 동일한 경우의 폭에서 엠보싱 높이가



(a) Bending angle ( $\alpha$ )



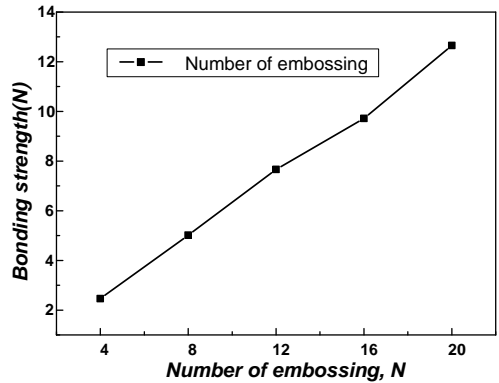
(b) Bending Radius

Fig. 4 Bonding strength of lid & frame for different bending angle and bending Radius

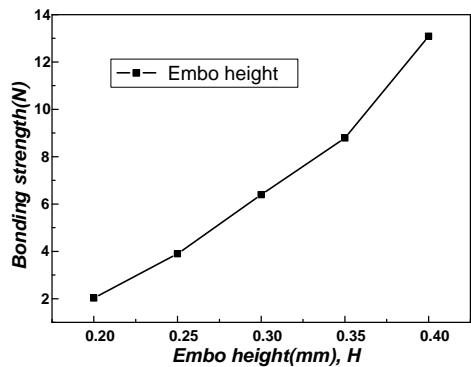
높아질수록 리드의 접합력 또한 선형적으로 증가하였다. 그러나 엠보싱 높이의 증가는 리드와 프레임 부품의 조립공차에 영향을 미치며, 사용된 소재두께에 제한을 받는다. 또한 엠보싱 개수의 증가는 전체적인 공정수를 증가시키는 단점이 있다.

### 3.2.3 엠보싱 위치와 벤딩 폭의 영향

Fig. 6은 엠보싱의 위치와 리드 벤딩 폭 변화에 따른 접합력 변화를 나타낸 것이다. 제한된 벤딩 폭(12mm)에 대해서 엠보싱의 수를 변화하면서 리드의 벤딩부를 분리 및 일체화하여 해석을 수행하였다. 결과는 같은 엠보싱의 수에서 리드의 벤딩폭이 분리가 되면 접합력이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 설명하였듯이 접합력은 리드의 언벤딩력에 의존하기 때문이라 판단된다. 이를 확인하기 위해 Fig. 7과 같이 엠보싱 위치와 리드 벤딩 폭 변화에 대한 리드 벤딩 곡률부 상단에서의 유효응력값의 분포를 확인하였다. 결과는 리드



(a) Number of embossing, (N)



(b) Embo height, (H)

Fig. 5 Bonding strength of lid & frame for different number of embossing and embo height

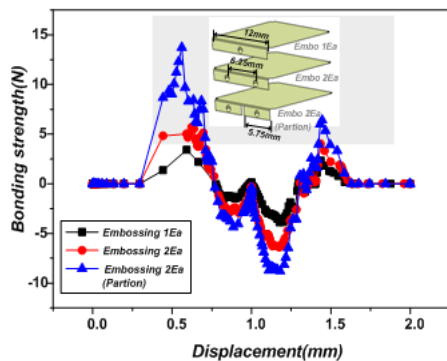


Fig. 6 Bonding strength of lid & frame for different embossing location and lid bending width

의 벤딩폭이 분리되면 전체적인 유효응력값의 값은 증가하였으며, 이와 같은 특징은 리드와 프레임의 설계에 유용한 변수로 적용될 수 있다고 판단된다.

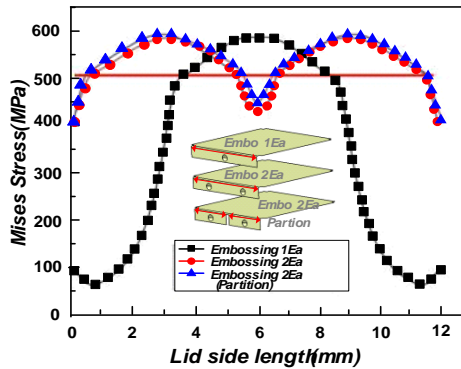


Fig. 7 Distributions of effective stress in lid bending section of embossing location and lid side length

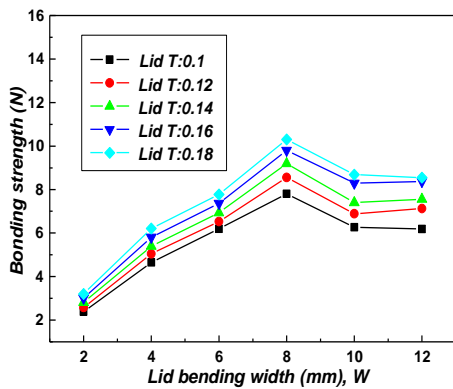


Fig. 8 Bonding strength of lid & frame for different lid thickness and lid bending width

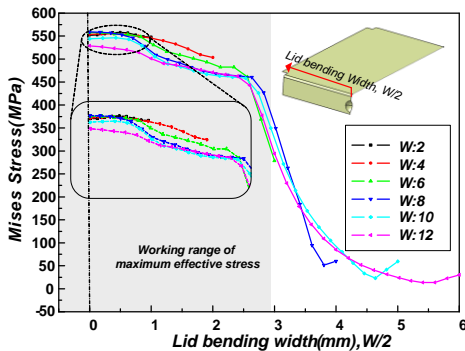


Fig. 9 Distributions of effective stress in bending Radiuses with thickness of 1mm for different lid bending width

### 3.2.4 리드두께와 리드 벤딩 폭의 영향

Fig. 8은 리드 소재 두께와 리드 벤딩 폭 변화에 따른 접합력 변화를 나타낸 것이다. 결과는 리드의 소재 두께가 증가할수록 접합력은 증가하였다. 그러나 리드 벤딩 폭의 경우 엠보싱 높이에 따라 최대 접합력을 가지는 최적의 벤딩 폭이 존재하는 것으로 나타났다. 특히 소재의 두께에 상관없이 벤딩 폭 8mm에서 가장 높은 접합력을 나타내었다. Fig. 9는 리드 소재 두께 0.1mm의 각 벤딩 폭에 대한 리드의 벤딩 곡률부에서 유효응력 값을 나타낸 것이다. 벤딩 폭이 감소할수록 유효응력 값은 증가하였으며, 모든 벤딩폭에 대해 엠보싱을 중심으로 약 3mm 전후 지점까지 최대유효응력 값을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 최대유효응력발생범위(Fig. 9)는 엠보싱 높이에 의존하며 접합력에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다[8~9]. 벤딩 폭 2mm와 4mm의 경우, 최대유효응력 값은 2mm가 높지만 4mm에서 더 넓은 최대유효응력발생범위를 포함하고 있다. 따라서 접합력은 4mm가 더 높게 나타난다. 이에 반해 8mm과 10mm의 경우, 10mm가 더 넓은 응력분포를 가지지만 실질적으로 최대유효응력 발생범위 내 응력값은 8mm가 더 높기 때문에 접합력은 8mm가 더 높게 나타난다.

### 3.2.5 엠보싱 높이와 리드 벤딩 폭의 영향

앞에서 설명하였듯이 접합력은 최대유효응력발생범위의 값과 크기에 의존하며, 이것은 엠보싱 높이에 따라 변화한다.

이러한 결과를 확인하기 위해 엠보싱 높이와 벤딩 폭에 따른 접합력의 변화를 유한요소해석을 통해 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 최대 접합력을 발생시키는 리드 벤딩 폭은 엠

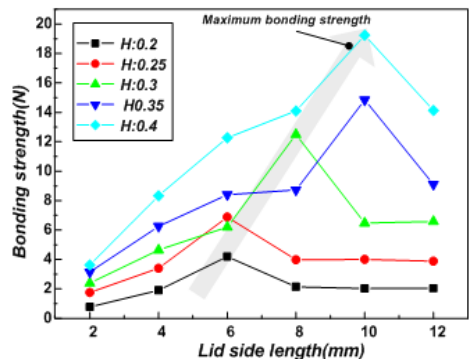


Fig.10 Bonding strength of lid & frame for different embossing height and lid bending width

보싱 높이에 따라 변화하였으며 그 비는 대략적으로 3.3~4.0으로 나타났다

일반적으로 프로그래시브 금형에서 90°이상 오버벤딩(Over-bending)하기 위해서는 부가적인 사이드 캠(Side Cam)장치가 필요하다. 또한 소재의 두께는 휴대폰부품 설계단계에서 결정되기 때문에 임계벤딩폭률과 엠보싱 높이는 대략적으로 정해지며, 엠보싱 개수는 적을 수록 생산측면에서 보다 효율적이다. 따라서 실질적으로 리드와 프레임의 접합력에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 벤딩폭과 엠보싱 높이의 비로 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 휴대폰 전자과 차단용 부품인 리드와 프레임의 설계변수가 접합력에 미치는 영향을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 엠보싱 높이고와 엠보싱 개수가 증가할수록 리드와 프레임의 접합력은 증가하였으며, 벤딩 각도와 벤딩 폭률의 영향은 상대적으로 적었다.

(2) 리드 벤딩 폭 변화에 따른 접합력은 엠보싱 높이에 의존하였으며, 최대접합력을 발생시키는 리드 벤딩 길이 대 엠보싱 높이의 비는 약 3.3~4.0이다.

(3) 일련의 연구결과는 리드와 프레임의 결합강도의 예측과 형상설계 시 중요한 기초 자료로써 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-03003-0)지원 및 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. K. Chou, Q. Balzano, R. Cleveland, A. W. Guy, L. Heynick, J. Osepchuk, R. Petersen, 1995, Human exposure to microwaves and other radio frequency electromagnetic fields, IEEE eng in med and boil Mag 14(3), pp. 336~337.
- [2] A. Cook, A. Woodward, N. Pearce, C. Marshall, 2003, Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumors, NZ Med 116(1175), pp. 457~464.
- [3] Z. Marciniak, 2002, Mechanics of Sheet Metal Forming, Butterworth-Heinemann.
- [4] ASTM standard E 517 00 Standard Test Method for Plastic Strain Ratio  $r$  for Sheet Metal Sept. 1, 2006.
- [5] Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc ABAQUS/STAND. User's Manual Ver. 6.3 USA 2000.
- [6] M. C. Oliveira, J. L. Alves, B. M. Chaparro, L. F. Menezes, 2007, Study on the influence of work-hardening modeling in springback prediction, international journal of Plasticity 23, pp. 516~543.
- [7] K. Mattiasson, P. Thilderkvist, A. Strange and A. Samuelsson, 1995, Simulation of springback in Sheet Metal Forming, Proceeding of NUMIFORM'95, edited by S. Shen and P. R. Dawson, A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 637~641.
- [8] N. He, R. H. Wagoner, 1996, Springback Simulation in sheet Metal Forming, Process-dings of the 3<sup>rd</sup> international Conference NUMISHEET'96, pp. 308~315.
- [9] H. B. Mullan, 2004, Improved Prediction of springback on final formed components, J .Mat. Proc. Tech., 153-154, pp. 464~471.