

## 멀티 성형 가공법을 활용한 전극용 소형 링 성형

윤일채\*, 고태조#, 이천\*\*, 김희솔\*\*\*

### Small Electrode Ring Forming by Multi-Forming Process

Il-Chae Yoon\*, Tae-Jo Ko#, Chun Lee\*\*, Hui-Sul Kim\*\*

(Received 11 June 2009; received in revised form 11 September 2009; accepted 15 September 2009)

#### ABSTRACT

Recently, LCD Backlight Unit is being replaced from cold cathode fluorescent lamp(CCFL) to external electrode fluorescent lamp(EEFL) because the EEFL has high energy efficiency and long life. Also, it can reduce energy consumption and weight. So far, external electrode ring for EEFL is produced by sheet metal press forming process. Therefore it had low precision and much material loss. To solve these problems, Multi-Forming process that has five step forming process was invented. However, low productivity is another barrier. Product speed that is controlled by the rotational speed cannot be increased due to the unsatisfied design specification. The reason is that the gap between rolled two edge parts of the sheet plate is tightly inspected. Regarding this factor, the understanding of forming behavior to each process is inevitable. This paper describes the CAE analysis of the multi-forming process by PAM-STAMP.

**Key Words** : Multi-Forming(멀티 포밍), EEFL(External Electrode Fluorescent Lamp / 외부전극형광램프), Finite Element Analysis

## 1. 서 론

지금까지 LCD백라이트 전극을 생산하는데 사용된 공작기계는 정밀 프로그래시브 금형을 장착한 고가의 정밀프레스였다. 정밀 프레스는 크기가 대형이고 고가일 뿐만 아니라 프로그래시브 금형을 개발하는데 기간이 많이 소요되는 등 기술적인 어려움을

겪고 있다. 금형을 개발한 후에도 정밀 조정을 위해 상당기간 시행착오를 거치면서 완성되기 때문에 기계, 금형 및 치구 제작비용이 과다하게 지출되고 있는 실정이다. 하지만 외부 전극 가공에서 프레스 방식이 아닌 멀티 포밍(Multi-Forming) 방식을 도입한다면 소재 스크랩이 없고 원자재의 절감이 가능하며 전용 장비에서 생산이 가능하다. 또한 균일한 제품 품질을 확보 할 수 있고 금형 유지 관리의 용이함 등 여러 장점으로 인해 콤팩트한 Multi-Forming기 개발에 대한 필요성이 날로 높아지고 있는 실정이다. 해외 업체에서는 냉음극 형광램프에서 외부전극

\* 영남대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자 : 영남대학교 기계공학과  
E-mail : tjko@yu.ac.kr

\*\* 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 영남대학교 대학원 기계공학과

형광램프로 대체되고 있으나 멀티 포밍 방식을 적용하지 못하고 있다. 국내 기업들도 백라이트 램프의 경우는 외부전극 형광램프로 대체되고 있으나 멀티 포밍 방식을 적용하지 못하고 있다. 국내 기업들도 백라이트 램프의 경우는 기존의 냉음극 형광램프가 사용되고 있으나 최근 들어 외부전극 형광램프(EEFL)로 대체되고 있는 실정이다. 그러나 백라이트 유닛 전극만을 전문으로 생산하는 콤팩트한 Multi-Forming기를 개발하여 가공품을 생산할 경우 생산성이 상당히 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 전극가공에 전적으로 이용되지 못하고 있는 문제점이 발생한다. 따라서 적정 생산성을 맞추기 위해서는 현재의 운용속도 보다 빠른 속도에서 운용이 가능하도록 하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 최종 제품의 끝 단 간격을 아주 정밀하게 유지해야 하는 만큼, 다단성형기의 고속운용에서 가공품의 각 성형 절차 별로 변형을 수치적으로 해석하여 이를 바탕으로 고속 운용에서도 최적의 제품을 생산하는데 목적이 있다. 이에 따라 다단성형 해석을 수행하고 결과를 예측 함으로써 다단성형 해석 기법을 정립함과 동시에 이로 인하여 다단성형 가공 중 소재 변형 및 각종 예상치 못한 오류를 예측할 수 있게 됨으로써 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 성형 실험

Fig. 1은 LCD BLU에 사용되는 EEFL의 모습을 보여주고 있다. Fig. 2는 최종가공이 끝난 EEFL의 모양과 규격을 나타낸다. Fig. 3은 멀티 포밍 가공기의 모습이며 Table 1은 계획된 멀티 포밍의 가공 단계 및 각 펀치의 역할을 나타낸다. Fig. 3은 각 펀치의 번호를 나타낸다. 포밍 순서는 첫 번째 공정에서 펀치 1이 소재를 절단하고, 두 번째 공정에서는 펀치 1과 5를 작동하여 양쪽 모서리 벤딩 작업을 한다. 세 번째 공정은 펀치 1이 펀치 역할, 축(shaft)이 다이 역할을 하여 2차 벤딩 작업을 한다. 네 번째 공정에서는 펀치7과 축이 각각 펀치와 다이가 되어 3차 벤딩 작업을 진행한다. 다섯 번째 공정은 펀치 3과 축이 4차 벤딩 작업을 진행한다. 4차 벤딩이 끝

난 후 제품의 양 끝 단을 일정한 간격으로 유지하기 위해 마지막 공정인 리스트라이크(restrike) 작업을 진행한다.

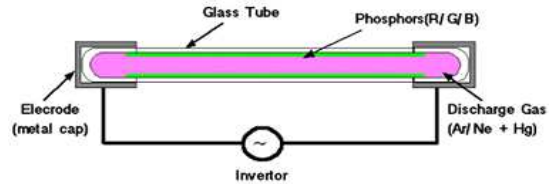


Fig. 1 Composition of EEFL

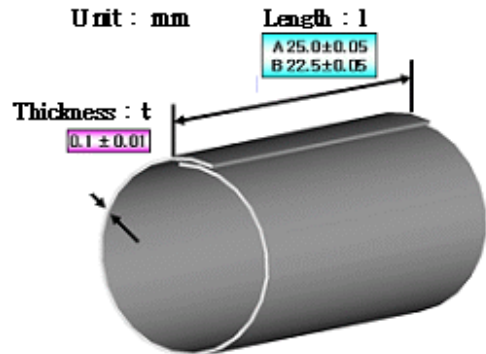


Fig. 2 Shape and size of EEFL

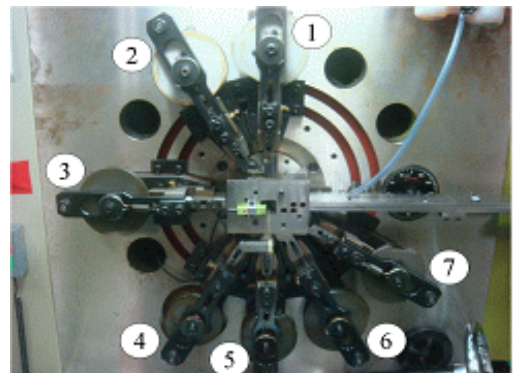


Fig. 3 Tool arrangement of Multi-Former

실제 전극 생산에는 여러 가지 문제점이 있었다. 특히 목표로 하는 생산성을 맞추기 위하여 고속

(60cycle time 이상)으로 멀티 포밍기를 운용 할 시에는 최종 전극 형상의 양 끝단 부분이 0.04mm 정도로 정밀도를 유지하여야 하지만, 두 끝단이 접촉하는 문제점이 발생하였다.

**Table 1 Experimental conditions**

Forming order	Role of punch	Shape of product
1	Punch 1 – cutting material	—
2	Punch 1-5 – 1st bending	⌒
3	Punch 1 – 2nd bending	⌒
4	Punch 7 – 3rd bending	⌒
5	Punch 3 – 4th bending	⊙
6	Punch 1-6 – 5th restrike	⊙

**Table 2 Chemical composition of aluminum**

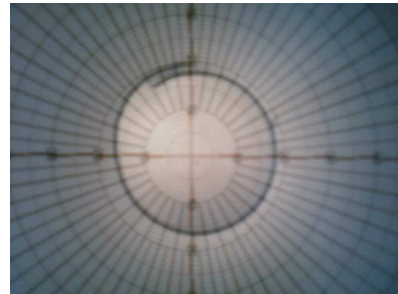
material	STS430
comment	Cr/Cr-Ni steel
Chemical composition(%)	Cr (16.19%)
	Mn (0.428%)

**Table 3 Mechanical property**

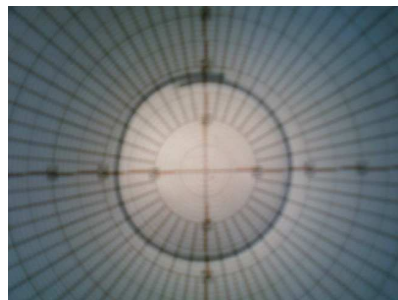
test type	Tensile
thickness	0.1mm
max. load	30.15kg/mm <sup>2</sup>
elongation	15.9%
yield	22.15kg/mm <sup>2</sup>

특히 이런 문제점은 멀티 포밍기 고속 운용시에 많이 나타났다. Fig. 4는 제품을 상단에서 투영기로 촬영한 사진이다. Fig. 4(A)는 정상 가공품의 모양이고, Fig. 4(B)는 끝단이 겹쳐진 불량품을 관찰한 사진이다. 여기서 최종 제품은 공정이 끝난 후에 제품 양 끝단이 허용 간격인 0.04mm 이내로 유지되어야 한다. 멀티 포밍 가공 후 전극의 양 끝단이 밀착되는 현상이 발생하여 여러 번 실험을 수행하였다. 가공 소재의 특성을 파악하기 위해 재료 물성치 분

석과 기계적 성질 측정을 실시하여 Table 2, 3과 같은 결과를 얻었다[1]. 소재는 STS430스테인리스 강판이고,[2] 두께가 0.1 mm이며 연신율이 15.9%인 소재이다.



(a) Normal product



(b) Failed product

**Fig. 4 Photos of product by project**

### 3. 성형해석 결과 및 고찰

전극의 다단 성형 가공은 Fig. 3(a)와 같이 가공품을 둘러싸고 7개의 펀치들이 순차적으로 돌아가면서 가공에 참여한다. 그 중 직접적으로 제품을 성형하는 부품인 1, 3, 6, 7번 펀치를 3차원 모델링 하여 변형해석을 수행하였고, 해석 순서는 실제의 다단 성형 순서대로 실시하였다[3]. Fig. 2와 같은 최종 제품을 얻기까지는 소재 전단 및 네 번의 Forming(4차 성형), 한 번의 Restrike 공정으로 총 6 공정이며 성형 공정중에서 1~4차 성형 공정과 리스트라이크 공정을 대상으로 해석을 수행하였다[4]. 해석에 사용된 프로그램은 PAM-STAMP Ver. 2007이며 초기 소재

의 크기는 9x30mm 이며, 유한요소격자 수는 120개, 최대 Refinement 5회, 균일 Refinement 2회로 설정하고 해석을 실시하였다.

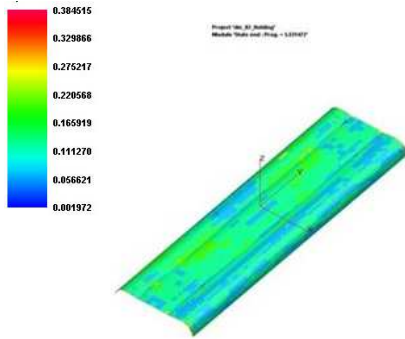


Fig. 5 Residual stress at 1st step



Fig. 7 Position setting at 2nd step



Fig. 6 Variation of thickness at 1st step

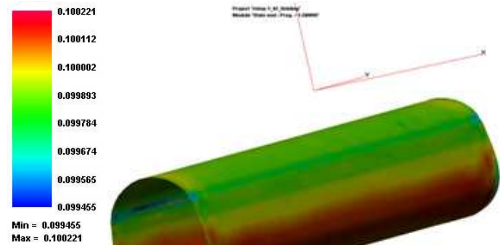


Fig. 8 Variation of thickness at 2nd step

Fig. 5, 6은 첫 번째 성형 공정이 끝난 후 가공품의 잔류응력과 두께 변화를 나타낸다. 제 1공정성형 후에 큰 응력 변화 및 두께 변화는 나타나지 않는다. 이는 양 끝단에 완만한 U 벤딩을 하므로 급격한 벤딩 보다는 큰 응력 변화가 나타나지 않아 두께 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 또한, 초기 벤딩 공정으로 두께 변화가 없고 응력 집중이 발생하지 않아 거의 균일한 두께 분포를 나타내고 있다.

Fig. 7은 두 번째 성형 공정을 시작하기 위하여 펀치, 소재 그리고 축의 초기 위치 설정을 나타낸 그림이다. 두 번째 성형 공정에서는 Fig. 8과 같이 축이 다이 역할을 하여 성형 가공이 진행된다. Fig. 8는 두 번째 성형 공정 후 두께 변화 결과는 나타낸

두 번째 성형 공정 후 양 끝단 부분의 두께가 가장 두꺼운 것으로 나타났고 가운데 부분, 즉 인장되는 부분의 두께가 최저 0.073mm로 가장 얇은 것으로 나타났다. 또한 대부분 박판 성형 공정에서 굽힘 공정보다는 인장 공정에서 큰 변형이 일어나는 만큼 Fig. 8과 같이 인장 변형을 많이 받는 양 끝단 부분에서 최대 0.02mm 정도의 두께 변형이 있었다. 붉은색으로 표시 되는 부분이 응력을 많이 받아 두께 변화가 많은 곳이고, 푸른색으로 나타난 부분이 두께 변화가 비교적 적은 곳이다.

Fig. 9(a) 부분은 판재가 축을 감싸고 있는 형상을 유지하기 위하여 판재의 일부분의 영역을 가상의 장치로 추가 지정하여 판재의 위치를 고정시키는 방법

을 나타낸 모습이다. 해석 상황은 실제의 가공 현장과 동일하여 중력이 적용되는 것으로 설정되어 있다. 그로 인하여 Fig. 9(a) 부분과 같이 추가 보조 장치 없이 가공품을 축에 고정시키는 것이 어려웠다.

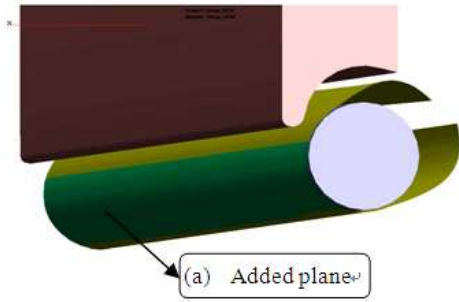


Fig. 9 Position setting at 3rd step

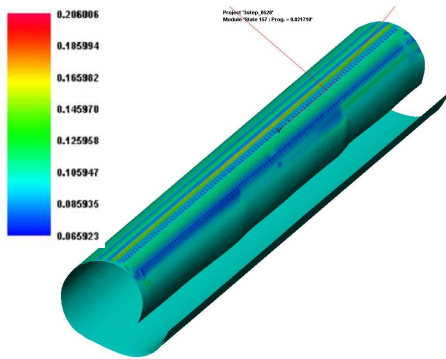


Fig. 10 Variation of thickness at 3rd step

Fig. 10은 세 번째 성형이 끝난 후 가공품의 두께 변화를 나타낸다. 가공품 끝단 부분에서 두께 변화가 생기며, 세 번째 공정 이후 박판의 두께 변화율이 커지기 시작한다. 특히 가공품 양쪽 끝 안쪽 부분의 잔류응력이 크며 두께 편차도 크게 나타났다. 제 3성형 공정에서도 마찬가지로 굽힘 작용이 일어나는 부분에서 두께가 얇아진 것을 Fig. 10의 파란색 부분으로 확인 할 수 있었다. 또한 가공품 끝단 부분에서 미세한 주름들이 생기는 것을 확인하였다.

Fig. 11은 펀치, 다이 및 가공품의 초기 위치를 보여준다. 제 4성형 공정에서도 마찬가지로 축이 다이

역할을 한다. 제 4성형 공정 역시 가공품을 축에 고정시키기 위하여 판재의 일부분의 좌표를 고정시키는 방법을 사용하였다. Fig. 12은 네 번째 성형이 끝난 후 가공품의 옆모습을 나타낸다. 네 번째 성형이 끝난 후 가공품의 양 끝단이 불균일하게 떨어져 있는 모습을 확인 할 수 있다. Fig. 13는 세 번째 성형 공정 결과와 비슷하게 가공품의 양 끝단 부분에서 크고 작은 변형이 많이 발생되는 것을 나타내고 있다[5]. 또한 굽힘 작용을 받은 부분에서 두께가 얇아진 것을 확인 할 수 있다. 최종 가공품의 허용된 양 끝단 간격을 맞추기 위하여 가공품의 불규칙적으로 떨어져있는 두 끝단을 한 번 더 눌러주는 공정이 필요한데 그 과정이 제 5성형 공정이다. 제 5성형 공정은 Restrike 공정이라고 불리기도 한다.

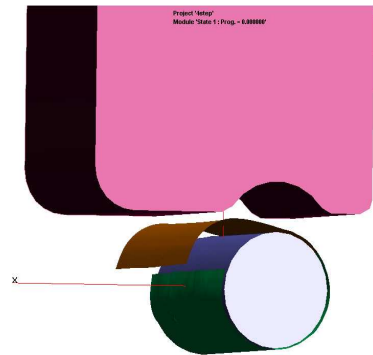


Fig. 11 Position setting at 4th step

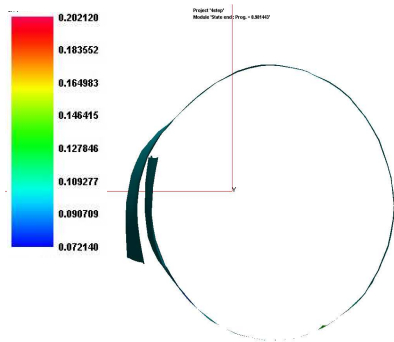


Fig. 12 Side view after 4th step

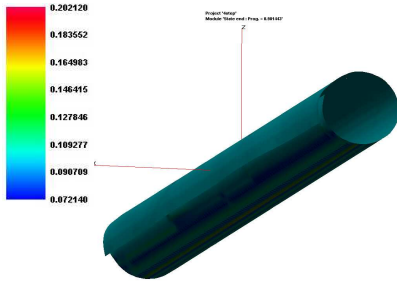


Fig. 13 Variation of thickness at 4th step

Fig. 14는 하는Restrike 공정의 초기 모습이다.이 공정은 네 번째 성형이 끝난 후 판재의 두 끝단이 겹치는 부분을 눌러주어 가공품의 Spring-Back[6, 7, 8] 으로 인해 제품의 두 양 끝단이 미세한 간격을 유지하도록 한다. 제 5성형 공정에서도 역시 축이 다이 역할을 하였다. 최종 5 성형 공정까지 끝난 후 잔류응력 분포는 가공품의 양 끝부분의 겹쳐지는 부분에서 가장 컸으며, 두께 변화 또한 가장 크며 편차도 크게 나타났다.

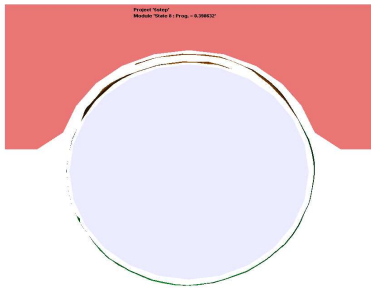


Fig. 14 Setting for restrike

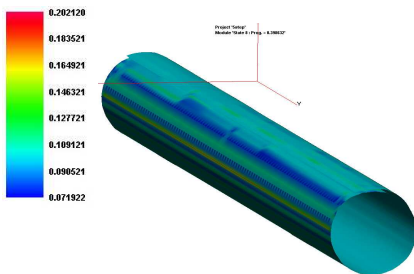


Fig. 15 Variation of thickness at restrike

#### 4. 실험 및 해석 결과 비교

Table 4는 가공품 양 끝단의 간격을 실험 결과 값과 해석 결과값을 비교하여 나타낸 표이다. 실험 결과는 현장에서 생산된 가공품을 특별한 기준 없이 cycle time별로 20개를 선정하여 각 제품의 양 끝 부분 간격을 측정하여 평균치를 도출하였다. 해석 결과 데이터를 얻기 위하여 해석 작업 진행시 다단 성형기의 운용 속도를 각각 20, 50, 70 cycle time으로 설정하였다[9]. 그 후 각 운용 속도에 상응하는 펀치 이동 속도를 입력하여 얻은 결과로 가공품 양 끝단 간격을 측정할 수 있다. 최초 다단 성형기를 활용한 전극 가공에서 가장 큰 문제점이 운용속도가 높아질수록 불량률이 높아지는 것이다. 다단성형 가공에서 불량품 기준은 완성된 제품의 양 끝단 간격이 0.04mm 보다 작거나 혹은 간격이 0.7mm 보다 더 큰 경우, 그리고 두 끝단이 붙은 경우이다. 하지만 Table 4의 70cycle time의 결과 값은 오히려 허용치에 가장 근접한 수치를 보인다. 이와 같은 결과는 70cycle time에서 측정된 20개의 제품 중에서 10개의 제품이 양 끝이 서로 붙어 있는 불량품이어서 평균치가 낮게 측정된 것으로 판단된다. 결국 70cycle time에서 불량률이 가장 높다는 사실을 다시 한번 확인 할 수 있었다. Fig. 15은 모든 성형 공정이 끝난 후 가공품의 두께 변화를 나타낸 그림이다. 다섯 번째 성형 공정이 끝난 후 가공품의 두 끝부분의 겹쳐지는 부분 중 바깥쪽 부분이 전체 공정 중에서 가장 큰 잔류응력을 지니고 두께 변화 또한 가장 불규칙으로 나타났다. Fig. 16은 제품이 겹쳐지는 끝 부분의 응력변화를 공정순서 별로 나타내었고, Fig. 17은 공정별 두께 변화를 나타낸 그림이다. 마지막 성형 후의 잔류응력이 가장 높으며, cycle time이 높을수록 잔류응력이 높아지는 것을 확인 할 수 있다. 응력변화가 가장 큰 공정은 Restrike 공정이었고 박판의 두께 변화가 가장 심한 공정은 4성형공정이었다.

**Table 4 Comparison end-gap distance(refer Fig. 4, 12) between experiment and analysis result at the two end of product**

forming speed	Experiment	Anlalysis
30 cycle time	0.06mm	0.085mm
50 cycle time	0.082mm	0.12mm
70 cycle time	0.055mm	0.041mm

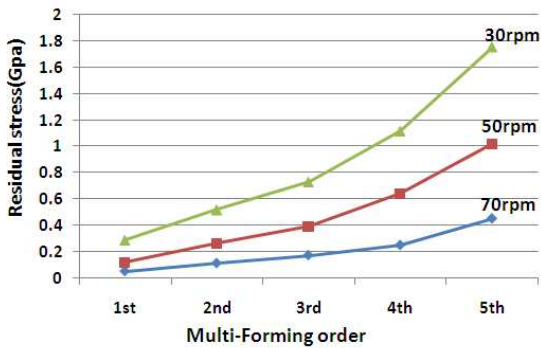


Fig. 16 Residual stress on each step

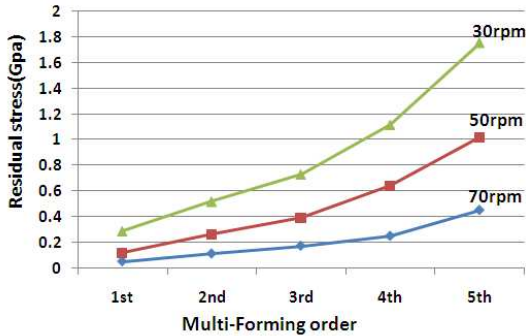


Fig. 17 Variation of thickness on each step

## 5. 결론

본 연구에서는 다단 성형기를 이용하여 박판의 멀티 포밍 과정을 상용 해석 프로그램을 이용하여 성

형 공정에서의 잔류응력 및 두께 변화를 해석하여 실험값과 비교 분석 하여 보았다.

이상의 결과에서 박판의 성형에 있어 실제로는 확인 할 수 없었던 크고 작은 변형들이 존재하였으며 특히 그런 변형들은 제3공정 이후로 두드러지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 박판 성형 공정은 대부분의 변형이 굽힘보다는 인장에 의하여 성형이 이루어지는 만큼 인장 변형에서의 잔류응력이 크게 나타남을 확인 할 수 있었고 두께 변형량도 가장 크게 나타났다. 전체 4번의 성형 과정에서 최종적으로 가장 큰 변형이 일어난 공정은 마지막 공정인 Restrike공정으로 겹쳐지는 가공품 끝 단 부분인 것으로 확인 되었고 이 부분의 변형량이 결국 전체 가공품의 품질과 직결된다는 것을 확인 할 수 있었다.

이번 연구를 통하여 멀티 포밍 가공법을 활용한 외부 전극 링 성형 공정의 FEM해석이 가능함을 확인하였다. 기존 생산에서는 박판의 성형 공정이 전체 5공정으로 성형 공정이 진행될수록 박판의 잔류응력이나 미세한 두께 변화는 예측하기 힘들었다. 하지만 성형 해석을 수행하여 실제 생산에서는 확인 할 수 없었던 미세한 두께 변화를 확인 할 수 있었다.

## 참고문헌

1. S.T.Won, K.H. Lim, A Study on the Mechanical Properties and Bending Formability Evaluation of the Spring Strip Material, Official Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol.15, No.9, pp.661-662, 2006
2. J.H.Song, S.H.Kim, Study on DesignParameters in Stamping Process of an Automotive Member with the Simulation-based Approach, Official Journal of the Korean Society for Precision Engineering , Vol.14, No.1, pp. 21-23, 2005
3. C.D,Park, B.M, Kim, W.J Chung, Multi Stage Simulation for Autobody Member Part, Official Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol.15, No.4, pp.281-282, 2006
4. T.J. Kim, C.G. Jeong, Improvement of Formability in the Multi-Stage Sheet Pair

- Hydroforming Process, Official Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol.12, No.8, pp-703-706, 2003
5. H. Ike, Micro-Damage and Micro-Shape Making on Surface using by Plasticity, Official Journal of the Korean Society for Precision Engineering , Vol.15, No.4, pp. 267-268, 2006
  6. J.U.Park, U.Y.Lee, Spring-back Reduction of multi-step cylindrical cup in spinning process. Official Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.18, No.9, pp.349-350,2001
  7. K.H. Hyun, J.H. Kim, A Study on the Spring-back in U-bending, the assay book in Soeul national university of Technology, pp. 201-205, 2006
  8. J.H.Lee, D.W. Kim, Analysis of spring back of sheet metal, Vol.16, No. 7, pp.517-519, 2007
  9. D.G.Ahn, K.J. Moon, Investigation into Low Velocity Impact Characteristics of the Stainless Steel Sheet with Thickness of 0.7mm on the Stretching Condition using Three Dimensional Finite Element Analysis, Official Journal of the Korean Society for Precision Engineering , Vol.25, No.8, pp. 81-84, 2008