

직접설계법에 의한 박판부품의 초기형상설계

윤정환* · 김상국* · 정관수** · 연의정***

(2000년 9월 7일 접수)

Blank Design for Sheet Metal Product Based on Direct Design Method

J. W. Yoon, S. K. Kim, K. S. Chung and E. J. Yeon

Abstract

In order to improve trial-and-error based conventional practices for optimizing forming processes, a direct design method to guide iterative design practices, called the ideal forming theory, has been previously developed. In the theory, material elements are required to deform following the minimum plastic work path. The theory can be used to determine the ideal initial blank shape needed to best achieve a specified final shape while resulting in optimum strain distributions. In this work, the direct design method based on the ideal forming theory was applied to design initial design shape for VCR deck chassis. Based on the solution of the ideal forming theory, FEM analysis was utilized to evaluate an optimum blank shape to be formed without tearing. Simulation results are in good agreement with experimental data. It was shown that the proposed sequential design procedure based on direct design method and FEM can be successfully applied to optimize the die design procedure of sheet metal forming processes.

Key Words : Direct Design Method, Ideal Forming, Optimum Blank Design, FEM

1. 서론

컴퓨터를 이용한 전산수치해석법의 급속한 발전으로 설계에 필요한 해석 식들의 풀이가 가능해 지면서, 공학 자체의 산업기여도는 크게 증가하였다. 그리하여 최근에는 유한요소법과 같은 전산을 이용한 해석법에 기반을

둔 설계기술 개발이 연구의 주류를 이루고 있다. 그러나, 해석법에 기반을 둔 설계기술도 실험에 의한 설계기술과 마찬가지로 간접설계기술이기 때문에 시행착오를 수반하게 되며, 이로 인한 장시간의 설계시간으로 인하여 연구실내에서의 설계작업에는 효과적일 수 있어도 설계에 시간적 제한이 있는 산업현장에서의 설계기술로는 그 응용

* LG 생산기술원 Design Eng. Center
** 서울대학교 재료공학부
*** LG 전자 VCR OBU

에 많은 한계를 가지고 있다. 이러한 간접설계기술의 한계를 극복하기 위하여, 직접설계기술이 개발되었으며, 최적공정설계를 위한 새로운 CAE시스템은 Fig.1 에서 보는 바와 같이 직접설계기술, 해석법에 의한 상세설계기술, 그리고 실제 실험에 의한 마무리설계의 단계적 기술들로 이루어져 있다.

직접설계법을 이용한 새로운 설계기술의 중요성은 해석법과 실험에만 기반을 둔 종래의 설계기술과 비교한 다음의 비유를 통하여 설명할 수 있다. 우선, 직접설계법은 설계자에게 있어서, 여행지도가 여행자에게 행선지의 방향을 제시하는 것과 같은 역할을 한다. 여행지도에는 삼차원 지형이 이차원으로 개략 되어 있으나, 여행 초기 계획단계에서 필요한 행선지의 방향과 거리 등 대략적 정보를 제시하는 데 충분하다. 실제 공정설계에 있어서도 많은 경우 특히 산업현장에서는 개략적 설계정보의 신속한 조달이 가장 요긴한데, 직접설계법은 이러한 필수적인 임무를 수행하게 된다. 여행의 구체적 계획단계에서 행선지의 삼차원적 지형에 대한 정보가 필요하듯이 해석법에 의한 상세한 설계기술은 공정설계에서 구체적인 정보가 필요한 단계에 도입된다. 해석법에서 얻어진 최적공정요소들은 실험에 의하여 검증되고 수정되어 확정된다. 새로운 설계시스템에서 직접설계법은 개략적 설계정보를 신속히 조달할 뿐 아니라 시간과 경비가 많이 드는 해석법의 수행 수를 현저히 줄이는 중요한 역할도 담당한다. 이는 큰 용량의 화물차(해석기술)와 작은 화물차(직접설계기술)를 함께 마련하여 작은 물건은 작은 화물차로 운반하여 효율성을 높이는 것과 같은 원리이다.

소성가공공정의 최적설계기술은 자동차, 가전, 항공, 반도체 산업 등의 프레스 성형품의 금형설계, 초기형상(preform)설계 및 공정 최적화 등에 활용되는 기술인데 향후 가공 제품의 경쟁력 향상을 위해서는 기존의 시행착오법에 의존한 설계 방법에서 탈피하여 획기적인 개발기간 단축 및 원가절감이 가능하도록 하는 새로운 설계기술이 요구된다. 직접공정설계에 기반을 둔 최적설계기술은 이러한 요구를 충족시키는 기술로서 자동차, 가전, 항공, 반도체 산업의 프레스 성형품의 금형설계에 포괄적으로 적용할 수 있는 광범위한 기술이면서, 제품의 품질을 좌우하는 핵심기술이다.

오랜 동안 공학은 그 목적이 설계에 있음에도 불구하고 전통적으로 해석에 역점을 두고 설계자체를 위한 직접설계법의 개발을 등한시하여 설계기술 기여에 한계가 있었다. 직접설계법에 기반을 둔 소성가공 공정설계기술은 그 관련분야의 공학과 산업의 발전에 기여할 뿐 아니라, 공학 전 분야에서 공학연구가 앞으로 추구하여야 하

는 설계중심의 기술개발의 방향을 제시하며, 또한 제품설계와 공정설계가 한 CAE시스템에서 수행될 동시설계법에 핵심기술도 제공하게 된다.

본 논문에서 제안하는 박판성형공정의 최적설계기술은 새로운 금형설계 및 공정개발 분야에 해당하는 기술로 종래의 해석법과 실험법 등 간접설계기술(indirect design method) 위주의 공정설계기술에 직접설계기술(direct design method)을 개발, 접목시켜 설계자의 입장에서 원하는 설계 정보를 신속하고 효율적으로 처리할 수 있는 장점을 부여하는 시도를 하였다. 한 예로 VCR테크 사시의 초기 블랭크 설계를 위해 직접설계법과 공정해석법을 동시에 적용하여 초기 블랭크 형상을 제안하고 평가하였다.

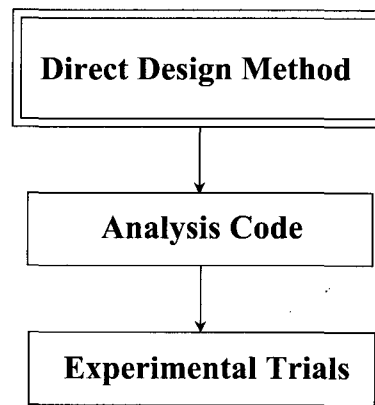


Fig. 1 Design procedure utilizing direct design method

2. 직접설계법

직접공정설계법과 관련된 연구는 Richmond 등^(1,2)에 의해 주로 압출공정 등을 대상으로 선도 되었으며, Chung 과 Richmond^(3,4)에 의해 박판성형공정을 위한 직접공정설계법이 시도되었다. 이러한 직접설계법에서는 기존의 해석적 방법이나 실험적 방법에서 필수적인 시행착오법에서 탈피하여 이상적 성형이론(Ideal Forming Theory)에 기초하여 빠른 시간 내에 최적설계공정을 설계할 수 있도록 되어 있다.

이상적성형이론에 기초한 FEM 코드는 초기 금형설계 단계에서 최적의 공정변수에 관련된 직접 정보를 제공한다. 이상성형이론은 해석적 이론과는 달리 재료요소들이 최소 소성일의 경로를 따라 변형한다고 가정한다. 이러한 경로는 최적의 성형성을 제공하게 되고, 이는 최종제

품으로 성형 후 가장 균일한 두께 변형분포를 가지도록 한다. 최적의 변형률 분포 이외에 직접설계법을 활용하여 이상적 블랭크 형상과 최소 소성일의 경로를 따르는 중간형상도 예측할 수 있다.

박판성형공정을 위한 직접설계코드에서 일반적으로 제품의 최종 형상은 미리 주어지고 초기 블랭크 형상은 미지수이다. 최종형상이 미리 주어지고 초기형상을 구할 경우, 이상성형이론은 최소 소성일의 경로를 따라 재료가 성형 되도록 소성일 (W)을 최소화하는 다음과 같은 방정식을 풀게 됨으로써 최적의 블랭크 형상을 얻게 된다.⁽³⁻⁶⁾

$$\frac{dW}{dX_i} = \int \sigma_e(\epsilon_e) \frac{\partial \epsilon_e}{\partial X_i} dV_o = 0, \quad i = 1 \text{ and } 2 \quad (1)$$

여기서 $W = W[\epsilon_e(X_{i=1,2,3}, X_{i=1,2})] = \int \sigma_e(\epsilon_e) \epsilon_e dV_o$ 또한 σ_e 와 ϵ_e 는 유효응력 및 유효변형률이고, V_o 는 초기재료체적이다. 식(1)의 조건은 지정된 변형경로에 관계없이 유효하나, 해 X_i 는 지정된 경로에 의존하여 변한다. 이상적 성형이론에서는 최소 소성일 경로가 각각의 재료요소에 지정되며, 식(1)은 초기형상의 모든 재료 절점(X_i)에 대해서 동시에 만족되어야 하는 방정식이다. 또한, 식(1)에서 유효변형률 ϵ_e 는 경로에 의존하는 양이다. 이상적 성형이론의 최소소성일 경로 가정하에서 유효변형율은 logarithmic 변형률의 함수로서 구해진다. 최소 소성일 경로에 대한 자세한 내용은 참고문헌^(7,8)에서 찾아볼 수 있다. 식(1)의 비선형 방정식은 Newton-Raphson 방법을 도입하여 선형화 된 후 반복계산법에 의해 풀게 된다.

3. VCR 데크 샤시의 초기형상설계

Fig. 2는 VCR 데크 메커니즘(Mechanism)에 있어서 화질 성능을 내기 위해 헤드드럼(Head Drum)을 장착하는 데크 샤시라는 고정밀도 제품이다. 종래에는 이 제품의 생산을 위해 알루미늄 다이캐스팅 후 기계가공을 통해 생산되었으나, 최근에는 프레스 성형공정으로 데크 샤시 형상을 일체로 드로잉하는 기술로 가격경쟁력 확보에 박차를 가하고 있다. 그러나, VCR 데크 샤시의 초기형상이 최적화되지 않아 자주 터짐 현상이 발생하였고, 프레스 성형시 윤활장관을 사용하거나, 무윤활장관 사용시 윤활유 투여 공정과 세척공정이 필요하여 공정수준가

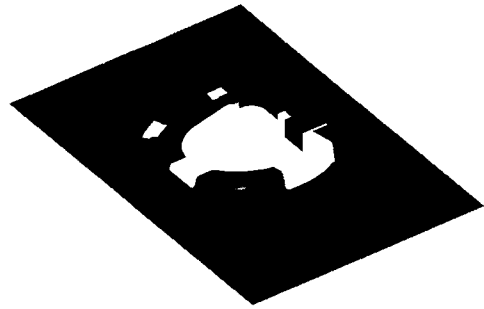


Fig. 2 Wanted final shape after forming

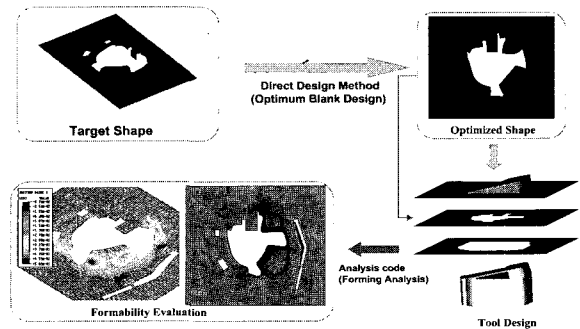
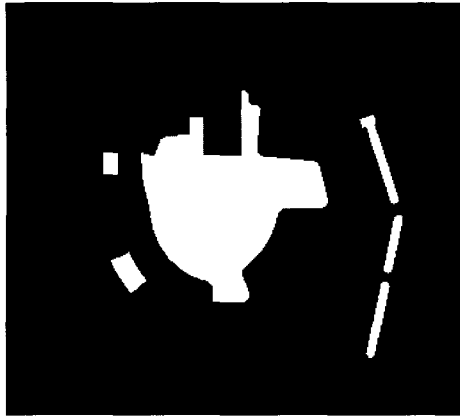


Fig. 3 Analysis procedures using direct design method and FEM

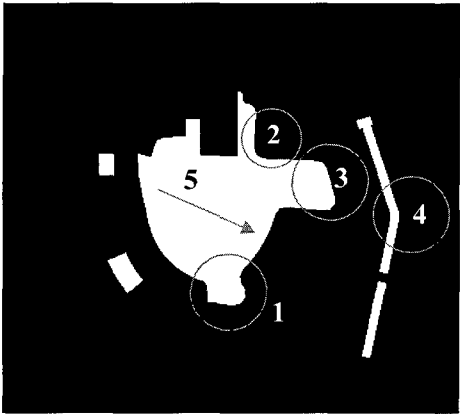
및 세척유 처리에 의한 비용상승과 환경오염의 요인이 되고 있어 무윤활 스트레칭 성형기술의 개발이 요구되었다. 또한 VCR 데크 샤시 개발에서 프레스 성형에 관련된 부분은 제품의 품질과 직접적으로 관련되어 있기 때문에, 데크 샤시 개발에 많은 시간과 비용을 프레스 금형개발에 투입하는 문제점에서 탈피하는 것이 시급한 실정이었다.

Fig. 3은 VCR 데크샤시의 해석을 위한 해석 프로세스를 설명하고 있다. 우선 원하는 최종제품의 모양이 설계되면 이 최종모양을 얻기 위한 초기형상(initial blank)의 설계가 필수적이다. 기존의 실험법이나 해석법을 사용할 경우 이러한 초기형상을 얻기 위해 여러 차례 시행착오를 겪어야만 한다.

본 연구에서는 최종제품모양이 정해지면 이를 만들기 위한 초기 블랭크 형상이 직접설계법에 의해 자동적으로 구해지며, 이론적으로 직접설계법에 의해 얻게 되는 초기형상은 최소 소성일의 원리에 따라 성형되고, 두께분



(a)

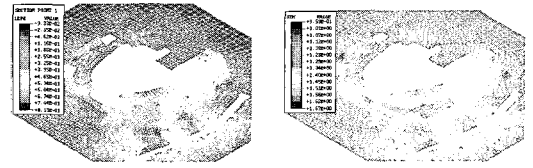


(b)

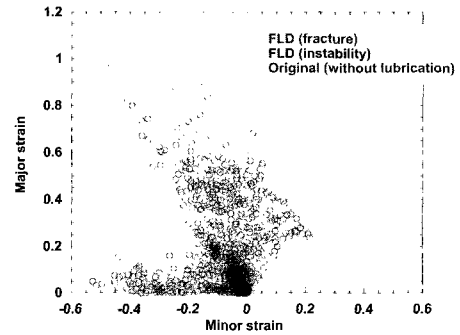
Fig. 4 Comparison of blank shapes : (a) original model (b) final design

포를 가장 균일하게 하도록 하는 방향으로 해(solution)를 주게 된다. Fig. 4에서는 직접설계법에 의해 얻어진 블랭크 형상과 14번의 시행착오에 의한 시험타발 끝에 얻어진 블랭크형상을 비교해 놓았다. 그림에서 블랭킹라인의 차이가 명백히 존재함을 알 수 있다.

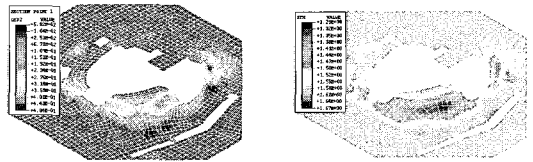
초기블랭크 형상에 따른 성형 가능성을 검증하기 위해 시험타발법 및 직접설계법에 의해 얻어진 두가지 블랭크 형상에 대해 성형성을 검증하였다. Fig. 5는 개선전(시험타발법)과 개선후(직접설계법)의 두께분포와 성형한계도를 보여주고 있다. 성형한계도에서 알 수 있듯이 직접



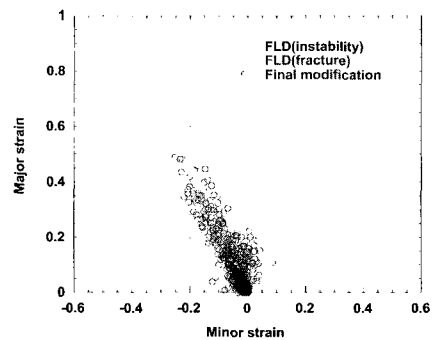
Plastic strain : 0.81 Max. thickness strain : 40 %
(1.6t → 0.959t)



(a)



Plastic strain : 0.484 Max. thickness strain : 19.3%
(1.6t → 1.29t)



(b)

Fig. 5 Comparison of predicted plastic strain, thickness and FLD curves : (a) original model (b) final design

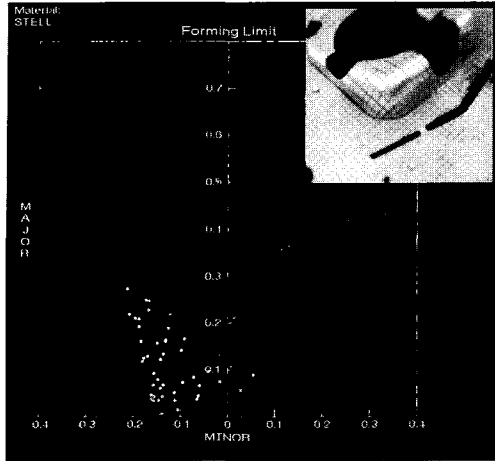
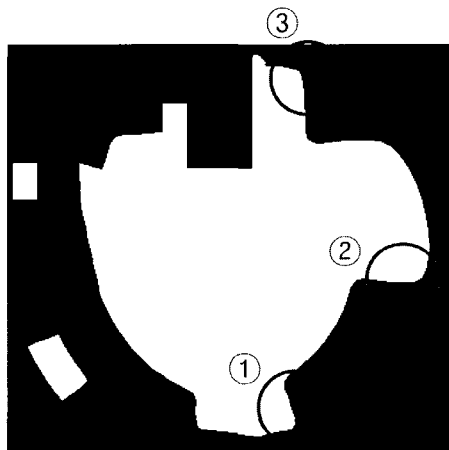


Fig. 6 FLD measurement using ASAME



* initial thickness : 1.6 mm

area	Original	Final Design	Improvement Ratio
①	0.89	1.24	23 %
②	0.93	1.27	21 %
③	1.08	1.32	18 %

(unit : mm)

Fig. 7 Thickness measurement for three critical points

설계법에 의해 구해진 최적 블랭크를 사용할 때 안전하게 성형할 수 있음을 보여주고 있고, 최소 두께도 20%

이상 향상되었음을 알 수 있다.

Fig. 6은 최종개선안 5개 샘플에 대해 시험타발을 실시한 후 자동변형률측정장치(ASAME)로 측정된 FLD선도이다. 실제 실험을 바탕으로 측정된 Fig. 6의 결과가 시뮬레이션에 바탕을 둔 Fig. 5(b)의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히 Fig. 7은 가장 취약한 부분에서의 두께를 측정하였는데, Fig. 5의 해석결과 같이 실험에서도 최종개선안이 기존모델보다 최대 20% 까지 두께분포가 개선되었음을 확인할 수 있다.

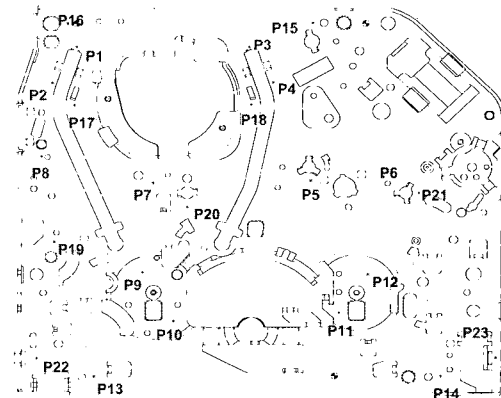
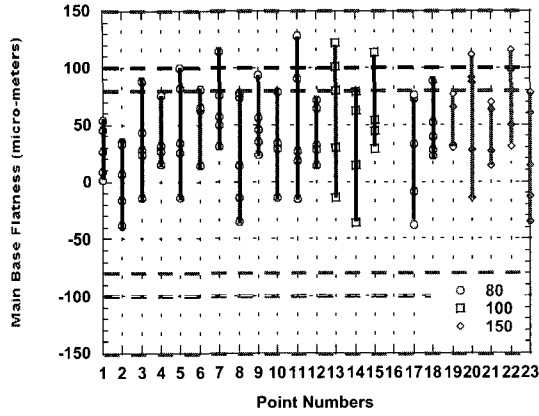


Fig. 8 Points for flat measurements on VCR deck chassis

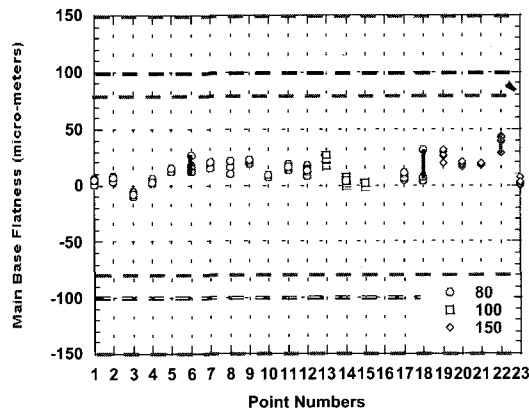
마지막으로 헤드 드럼부의 성형이 VCR 데크샤시의 다른 부분에 미칠 수 있는 평탄도를 평가해 보았다. Fig.8은 5개의 샘플에 대하여 평탄도를 측정하기 위한 24개의 측정점을 보여주고 있다.

Fig. 9에서는 이러한 24개의 평탄도 측정점에 대하여 기존 모델과 최종개선안의 결과를 종합하였다. 그림에서 알 수 있듯이 최종개선안의 평탄도가 기존 모델보다 월등히 향상되었음을 보여주고 있다. 이는 최종개선안의 경우 헤드드럼부의 안정된 성형조건이 데크 샤시의 전체 평탄도 개선에 기여한 것으로 추측된다.

시뮬레이션 결과와 5개 샘플의 실험 결과를 바탕으로 와이어 커팅(wire cutting)후 100개의 실제 연속타발 결과 무윤활 성형에 모두 성공하였고, 이는 실제 대량생산에 피드백(feedback) 되었다. 따라서, 직접설계법을 이용한 초기 블랭크 설계를 통해 무윤활 성형공정을 달성했을 뿐만 아니라, 금형설계 기간을 대폭 줄일 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 9 Flatness measurement for 24 points; (a) original model (b) final design

4. 결론

박판성형에서 컴퓨터에 의한 공학적 해석 방법의 발달은 지금까지 서술한 바와 같이 컴퓨터의 발달과 CAE의 필요성에 부합되어 최근에 급격히 발전되고 있다. 현재는 실험적 시행착오를 컴퓨터상에서 하는 공정해석 개발에 치중되어 있으나, 앞으로는 컴퓨터를 이용한 가상적인 시행착오법의 단계를 넘어서, 금형설계자의 입장에서

설계에 필요한 정보를 시행착오 없이 얻을 수 있는 직접설계법 (디자인 코드) 개념으로 바뀔 것으로 전망된다.

본 연구에서는 실제 금형설계과정에서 직접설계법을 활용하기 위하여 VCR테크 사시의 초기형상설계 및 이의 평가를 위해서 직접설계법과 성형해석법을 연계하여 사용함으로써 금형설계과정에서의 시행착오를 최소화하고, 무운할 성형을 달성을 위한 최적의 블랭크 형상을 제안하였다. 이러한 직접설계법과 최적화가 연계된 설계자향 CAE시스템이야 말로 금형설계에 유용한 tool이 될 것이다.

참고 문헌

- (1) O. Richmond and M.L. Devenpeck,, 1962, "A Die Profile for Maximum Efficiency in Strip Drawing", Proc. U.S. National Congress of Applied Mechanics, Vol. 2, p. 1053.
- (2) O. Richmond and H.L. Morrison,, 1967, "Streamlined Dies for Wire Drawing, J. Mech. Phys. Solids, Vol.15, p. 154.
- (3) K. Chung and O. Richmond, 1992, "Ideal Forming, Part I: Homogeneous Deformation with Minimum Plastic Work", Int. J. Mech. Sci., Vol.34, No.7, pp. 575~591.
- (4) K. Chung and O. Richmond, 1992 "Ideal Forming, Part II: Sheet Forming with Optimum Deformation", Int. J. Mech. Sci., Vol.34, No.8, pp. 617~663.
- (5) J.W. Yoon., K. Chung, F. Barlat, B.T. Allison. and O. Richmond, 1999, "Aluminum sheet forming design based on the non-quadratic strain rate potential SRP98", NUMISHEET99 France, pp. 103~108.
- (6) K. Chung, J.W. Yoon and O. Richmond., 2000, "Ideal sheet forming with frictional boundary constraints", Int. J. of Plasticity, Vol.16, pp. 595~610.
- (7) R. Hill, 1986, "External Paths of plastic work and deformation", J. Mech. Phys. Solids. Vol.34, p. 511.
- (8) K. Chung. and O. Richmond, 1993 "A deformation theory of plasticity based on minimum work paths", Int. J. Plasticity, Vol.9, pp. 907~920.