

딥드로잉공정에서의 재료 수율 향상에 관한 연구

하중호† · 강형선* · 백호현**

(원고접수일 : 2008년 9월 29일, 원고수정일 : 2009년 1월 8일, 심사완료일 : 2009년 4월 28일)

A Study on Improving The Coefficient of Utilization of Material in Deep Drawing Process

Jong-Ho Ha† · Hyung-Sun Kang* and Ho-Hyun Baik**

Abstract : This paper is the study on improving the coefficient of utilization of material in deep drawing process. Cylindrical cup drawing process is widely used in sheet metal forming process. The blank shape is one of the important things in sheet metal forming process. It is produced for the bridge of blank in a blanking process. The coefficient of utilization of material is much effected by this bridge of blank. This study offered a new process method to reduce the loss of material. The new blank shape offered and manufactured by new process method is investigated by a finite element method and the experiment. Then the wrinkling, the punch load, the thickness distribution is observed. This result is different from the result of circular blank process. And it is got that the Max strain, the wrinkle and the height of the wrinkle are effected by the holding force and the punch load. As a result, if the processing optimum condition is found, the loss of material will be reduced. It is necessary to research systematically about determining the optimum value of process variables.

Key words : Deep drawing(딥드로잉), Finite Element Method(유한요소법), Blank(박판성형 소재), Bridge(브리지), Cylindrical Cup(원형 컵)

1. 서 론

딥드로잉 가공은 자동차, 전기·전자, 항공산업에서의 매우 중요한 제조산업 공정에 속한다. 그리고 부품의 경량화와 더불어 공정이 단순하고 대량생산이 가능하기 때문에 광범위하게 사용되고 있다. 딥드로잉 공정은 굽힘, 인장, 전단, 재료의 특성, 다

이의 형상, 다이와 펀치 사이의 틈새 등 많은 인자들에 영향을 받는 성형공정이다. 이 인자들에 대하여 종합적으로 최적조건을 위한 수치적인 연구 결과는 거의 없다. 딥드로잉 공정에 있어서 중요한 역할을 하는 것들 중 하나가 블랭크의 형상이다. 드로잉 공정에서 초기 블랭크의 형상에 따라 펀치력과 블랭크의 변형률이 크게 영향을 받는다. 그리

† 교신저자(전남과학대학 자동차과, E-mail:jhha@chunnam-c.ac.kr, Tel: 061-360-5121)

* 조선이공대학 하이테크 CAD/CAM과

** 광주·전남지방 중소기업청

고 재료 손실에 있어서 또한 큰 변수를 가져올 수 있는 것이 블랭크의 형상이다. 딥드로잉 공정에서 드로잉 공정 후에 주름이 형성되는 부분을 트리밍 하게 되는데 이때 재료의 손실이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 킵 드로잉 공정에 사용될 블랭크 형상에 대하여, 여러 가지 수치적인 방법의 도입과 실험들이 수행되어 왔다.^[1-7] 이들 연구들은 가공상의 브리지 발생을 고려하지 않은 최적 블랭크 형상을 얻기 위한 연구가 대부분이었으나 블랭크 가공시 생기는 브리지와 연관된 연구는 거의 이루어지지 않았다.

현재 산업체에서 이루어지고 있는 다열 브랭킹 공정에서의 재료 수율은 약 75%정도이다. 본 연구에서는 현재 75%인 재료의 수율을 향상시키는데 목표를 두고 연구를 수행하였다.

2. 가공방법의 비교

현재 산업체에서는 다열 브랭킹 가공을 하여 드로잉 컵을 생산하고 있다. 이때 브랭킹 가공으로 인하여 브리지가 생기게 되는데 이때 생기는 브리지가 재료 수율에 큰 영향을 미치게 된다. 이 브리지는 킵 드로잉 후의 트리밍 보다 재료손실에 더 큰 영향을 미치므로 가공상의 브리지에 관한 최적 조건을 찾는다면 재료 손실의 최소화시키는 것이 가능하다고 사료된다.

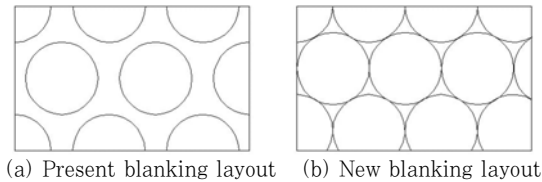


Fig. 1 Circular blanking layouts

Fig. 1은 현재 사용되고 있는 원형 브랭킹 가공의 레이아웃과 본 연구에서 새롭게 제안한 원형 브랭킹 가공의 배열을 보여 주고 있다. 현재 사용되고 있는 브랭킹 가공 방법은 Fig. 1의 (a)처럼 브리지 부분으로 인한 재료 손실이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 브리지 부분의 손실을

최소화시키기 위하여 Fig. 1의 (b)처럼 블랭크 부분을 촘촘히 하여 브랭킹 가공하는 방법을 제안하였다. 현재 사용되어 지고 있는 브랭킹 가공 방법은 알루미늄 판에 다열 브랭킹 가공을 한 후 즉시 드로잉 가공이 이루어지는 방법이다. 본 연구에서 제안한 브랭킹 가공 방법은 먼저 삼각형 모양의 부분을 트리밍하고 그 후에 다열 브랭킹 가공을 한 후 드로잉 가공을 하는 방법이다. 삼각형 부분을 가공할 때 삼각형의 꼭지점 부분에 가공상의 곡률이 발생하게 되는데 이때 발생하는 곡률은 0.22mm이다. 본 연구에서 제안한 브랭킹 가공 방법은 진원을 그리는 브랭킹 가공이 아니라 Fig. 1의 (b)처럼 삼각형 부분의 트리밍으로 인한 곡률을 가지는 브리지가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서 제안한 브랭킹 가공 방법으로 드로잉된 컵과 현재 사용되어지고 있는 브랭킹 가공 방법으로 드로잉된 컵을 비교하였다.

3. 시제품 제작 결과 및 고찰

실험에 사용된 펀치, 블랭크 홀더, 다이의 기하학적 형상 및 치수들은 Fig. 2와 같다. 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

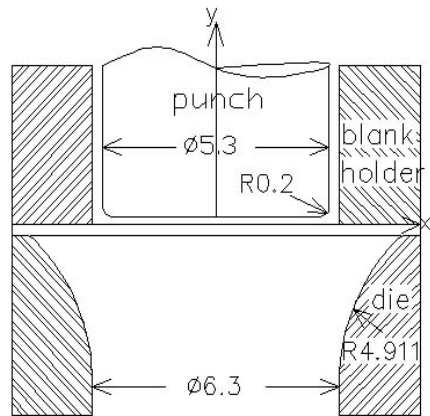


Fig. 2 Geometry description of the tool for deep drawing

본 연구에서 제안 한 브랭킹 가공방법으로 가공된 블랭크를 new blank로 칭하면 new blank는 트리밍 되지 않고 남아 있는 브리지 부분에 주름이

Fig. 3과 같이 생겼음을 관찰할 수 있다. 이 주름은 트리밍 되지 않고 남아 있는 브리지의 영향으로 블랭크의 형상이 변했기 때문에 브리지 주위를 중심으로 심하게 나타나고 있다고 사료된다. 이는 “원주방향을 따라 두께 변형률이 원형 블랭크에서 보다 new blank에서 더욱 불규칙하게 나타나기 때문에 주름이 심하게 나타난 것이다”라는 가정으로부터 딥드로잉 전문 FEM해석 상용프로그램인 Z-Stamp를 사용하여 해석을 수행한 후 원형 블랭크와 new blank의 두께 변형률의 차이와 홀더력과 펀치력의 영향으로 new blank의 두께 변형률이 어떻게 나타나는지 알아보았다.

Table 1 The material properties

Sheet material	A1100
Sheet thickness	0.27mm
Tensile Strength	90MPa
Yield Strength	34MPa
Elongation	35%
r value	0.522

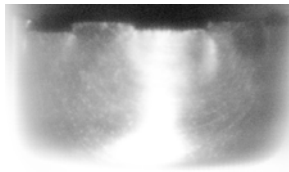


Fig. 3 Wrinkle shape of the New blank

4. 유한요소법적 해석

4.1 모델링과 요소분할

딥드로잉 해석을 위해 먼저 다이, 펀치, 홀더를 모델링 한 다음 블랭크를 그 사이에 모델링 하였다. 다이, 펀치 그리고 홀더는 강체(rigid body)로 정의하였고 블랭크는 두께 변형도 분포를 보다 정확하게 해석하기 위한 쉘(shell) 요소로 정의하였으며^[8], 딥드로잉 해석의 신뢰성 확보에 따른 4절점 사각형 요소가 사용되었다.

Fig. 4는 FEM 해석을 위한 다이, 펀치, 홀더, 블랭크에 대하여 모델링 된 형상을 보여 주고 있다.

Fig. 5는 원형 블랭크의 4분의 1 부분의 형상에 대해 사각형 요소분할을 한 것이다. 블랭크의 지름은 10.16mm이고 두께는 0.27mm이다.

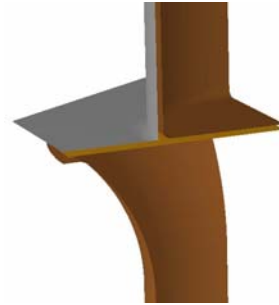


Fig. 4 Geometry of deep drawing tool for FEM

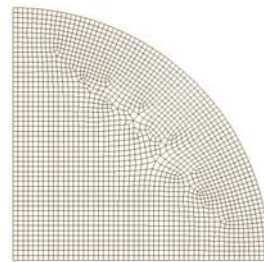


Fig. 5 Circular blank shape mesh

Fig. 6은 본 논문에서 제시한 것으로서 브리지를 브랭킹 가공배열내에 포함시켜 재료의 수율을 향상시킬 수 있는 블랭크 형상의 4분의 1 부분에 대해 사각형 요소분할을 한 것이다. 이 블랭크 또한 원형 블랭크의 조건과 똑같이 지름이 10.16mm, 두께는 0.27mm이고 가공 공구의 한계로 인해 생긴 브리지의 높이는 0.22mm 이다. 블랭크 홀더가 좁은 면에 집중 홀딩하고 있는 것으로 생각하여 무윤활 상태의 마찰계수 $\mu=0.25$ 를 사용하였다^[9].

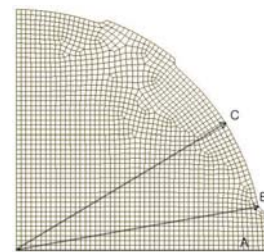


Fig. 6 New blank shape mesh

본 해석에서 사용된 요소 수는 원형 블랭크인 경우 2254개, 절점 수는 2347개, 브리지가 있는 new blank인 경우 요소 수는 2013개, 절점 수는 2106개로 이루어져 있다.

4.2 성형해석

산업현장에서 사용하고 있는 브랭킹 툴을 그대로 사용하여 본 연구에서 제시한 new blank에 대하여 실험과 원형 블랭크와 new blank 이 두 모델을 그대로 유한요소법에 적용하여 해석을 수행 한 후 그 결과를 비교 검토하였다.

Fig. 7에서 (a)는 원형 블랭크를 드로잉 한 후의 주름의 형상을 나타낸 것이고 (b)는 블랭크가 드로잉과정을 거친 후 블랭크에 생기는 두께 변형률을 보여 주고 있다. Fig. 8은 Fig. 7과 마찬가지로 브리지가 있는 new blank에 대하여 주름과 블랭크의 두께 변형률에 대하여 보여 주고 있다.

Fig. 9는 원형 블랭크와 new blank가 드로잉 된 후 생긴 주름의 형상을 비교한 것이다. 브리지가 있는 new blank는 브리지의 영향으로 원형 블랭크 보다 벽면의 주름이 큰 것을 알 수 있다.

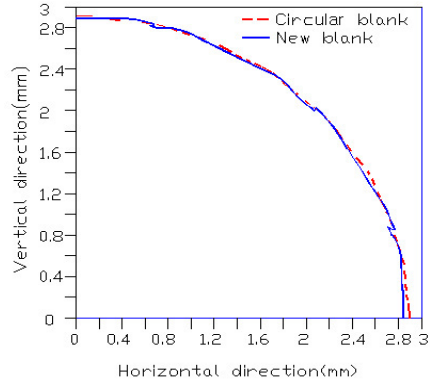


Fig. 9 Wrinkle shapes according to blank shape

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 거리에 따른 두

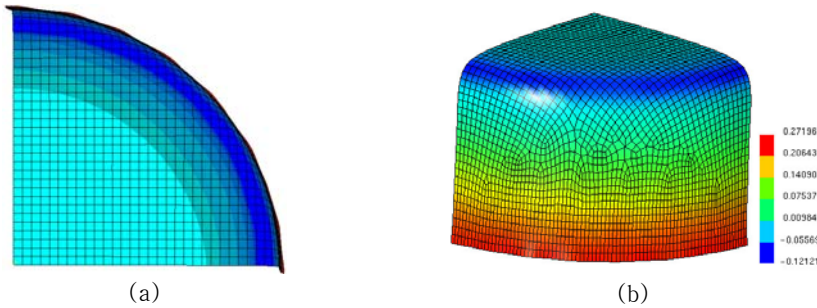


Fig. 7 Deformed shape and distribution of thickness strain of circular blank with finite element mesh geometry

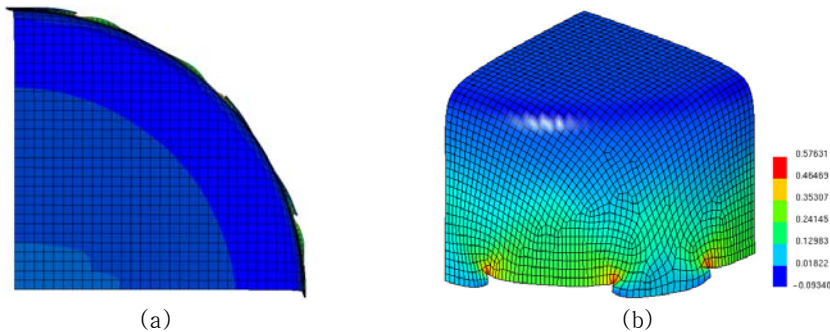


Fig. 8 Deformed shape and distribution of thickness strain of blank having bridge with finite element mesh geometry

블랭크의 두께변화를 나타내고 있다(Fig. 6 참조). Fig. 10은 수평 단면(A)을 따라 나타나는 두께변화를 비교한 그래프이고 Fig. 11은 원점에서 수평 단면으로부터 브리지가 끝나는 점까지 잇는 선(B)을 따라 나타나는 두께변화를 원형블랭크의 같은 위치에서의 두께변화와 비교한 그래프이다. Fig. 12는 원점에서 브리지가 없는 부분의 중앙점을 잇는 선(C)을 따라 나타나는 두께변화를 비교한 그래프이다.

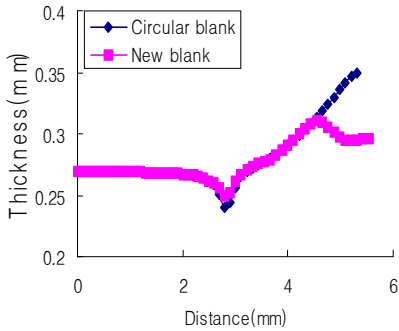


Fig. 10 Thickness curves for two blank shapes (section "A" of Fig. 6)

브리지가 있는 부분에서는 두께변화의 차이가 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있고 브리지가 없는 부분에서는 두께변화가 원형 블랭크와 거의 같게 나타나는 것을 알 수 있다. 브리지가 있는 부분에서 두께변형률이 급속히 증가함으로 인해 벽면에 주름이 더 심하게 생기는 것으로 사료된다.

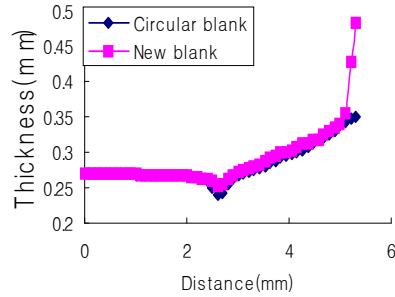


Fig. 11 Thickness curves for two blank shapes (section "B" of Fig. 6)

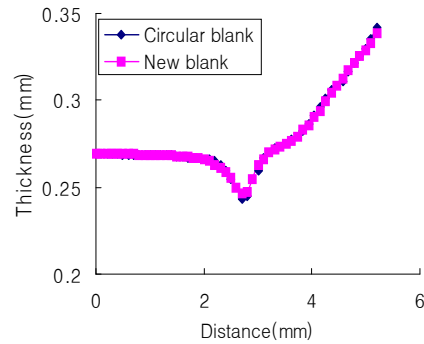


Fig. 12 Thickness curves for two blank shapes (section "C" of Fig. 6)

Jung^[10]의 실험 연구에 의하면 원형컵 드로잉 공정에서 홀딩력을 높여 주었을 때와 펀치 속도를 증가시켜 펀치력을 증가 시켰을 때 블랭크 원주 부위의 두께 변형률이 줄어들을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 벽면의 주름에 크게 영향을 주고 있

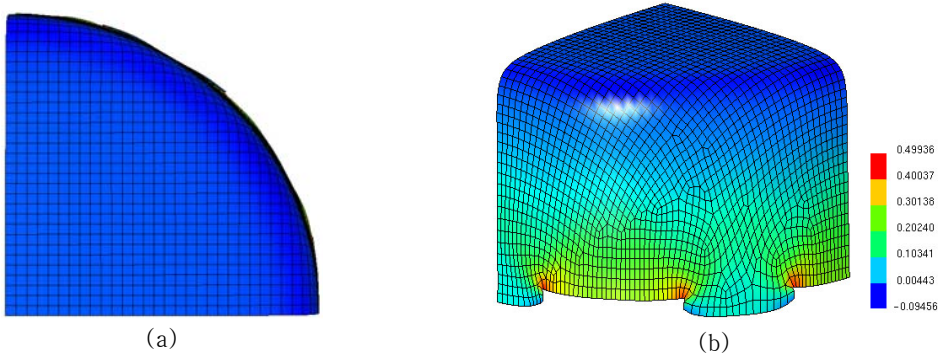


Fig. 13 Deformed shape and distribution of thickness strain of New blank with finite element mesh geometry

는 블랭크 원주 부위의 두께 변형률을 줄이기 위해 블랭크 홀딩력과 펀치력을 trial and error로 변화 시켜감으로써 두께 변형률에 어떠한 변화가 있는지를 알아보았다. 해석을 수행한 후 Fig. 13과 같은 new blank의 두께 변형률을 확인할 수 있었다.

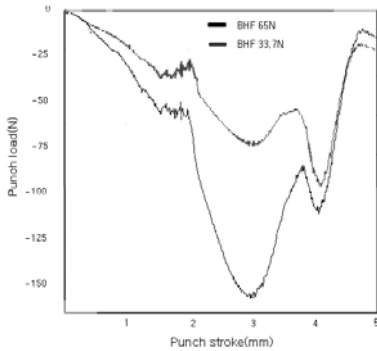


Fig. 14 Load displacement curves of punch

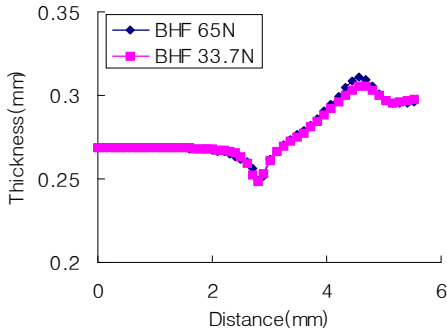


Fig. 15 Thickness curves for two blank shapes (section "A" of Fig. 6)

Fig. 14는 Fig. 13과 같은 결과를 얻었을 때의 홀딩력에 대한 펀치력의 변화를 보여주는 그래프이다. 홀딩력을 절반정도로 줄였을 때 펀치력도 상당히 줄어들었음을 볼 수 있다. 이로 인하여 최대 변형률과 주름의 높이가 줄어들었음을 알 수 있었다. Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17은 BHF 65N일 때와 BHF 33.7N일 때의 거리에 따른 두께 변화를 비교한 것이다.

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에서와 같은 방법으로 두께 변화를 관찰한 것이다(Fig. 6 참조). 위 결과를 보면 블랭크 두께 변화가 거의 비슷하게 나

타고 있음을 볼 수 있고 브리지의 시작되는 부분에서는 블랭크 두께가 줄어들었음을 알 수 있는데 이로 인하여 벽면의 주름이 줄어들었음을 알 수 있었다. 기존 연구와 더불어 Jung⁽¹⁰⁾의 실험 연구에서도 볼 수 있듯이 홀딩력을 올리면 주름이 감소하고 블랭크 두께 변형률도 감소한다.

본 논문의 FEM 해석 결과를 보면, Fig. 15, Fig. 17에서 볼 수 있듯이 기존 연구와 같이 홀딩력이 큰 블랭크에서의 두께 변형률이 작게 나타남을 알 수 있다. 그러나 Fig. 16을 보면 블랭크 브리지가 시작하는 부위에서는 반대로 블랭크 홀딩력이 작을 때 블랭크 두께 변형률이 작게 나타남을 알 수 있다. 펀치가 진행함에 따라 재료가 유입되면서 블랭크 브리지가 시작되는 부위로 재료가 모여 이 부위에서 큰 변형률을 보이고 있는 것으로 생각되는데 이 부분과 브리지가 없는 부분을 연관시킨 두께 변형률에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결과적으로 브리지가 시작되는 부분의 두께가 급격히 커짐에 따라 그 부분에서 벽면이 고르지 못한 표면으로 형성되는데 홀딩력과 펀치력의 변화를 통해 두께변화를 줄임으로서 벽면의 주름을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 또한 브리지 형상에 있어서도 최대 주름이 발생하는 브리지 측면의 곡률반경을 변화시켜 주름이 최소화 되도록 설계하여야 함을 알 수 있었으며, 브랭킹 가공과 드로일 공정에서 최적 공정변수를 결정한다면, 본 연구에서 제안한 브랭킹 가공방법으로 재료의 손실을 10%이상 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

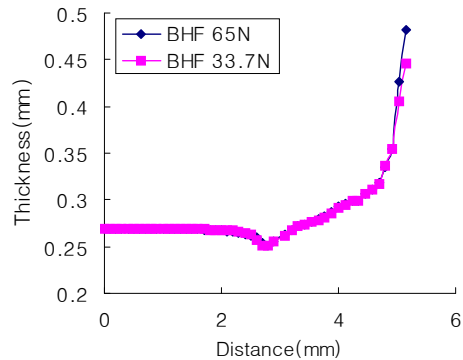


Fig. 16 Thickness curves for two blank shapes (section "B" of Fig. 6)

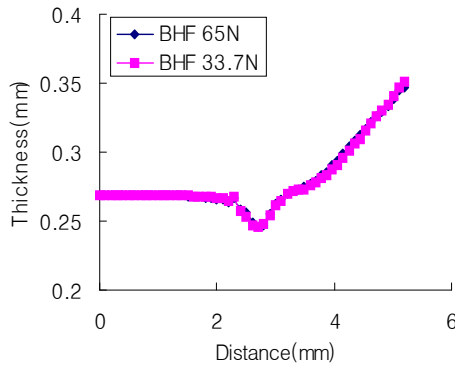


Fig. 17 Thickness curves for two blank shapes (section "C" of Fig. 6)

5. 결 론

본 논문에서는, 현재 재료의 수율이 75%인 블랭킹 가공공정에서 수율 향상을 위해 브리지를 블랭킹 가공배열 내에 포함시키는 가공 방법을 제안하였고 이 방법에 의해 가공된 블랭크 형상에 대한 실험과 FEM 해석을 수행하여 그 결과를 고찰하였다.

실험 결과 본 연구에서 제안한 블랭크 형상은 드로잉 된 후 남아 있는 브리지 부근에 주름이 심하게 나타남을 알 수 있었다.

FEM 해석을 통하여 원형블랭크와 new blank의 두께 변화를 비교하였는데 브리지가 남아 있는 부근에서 국부적인 두께 변형 집중이 나타나고 있음을 알 수 있었고 브리지가 없는 부분에서는 원형 블랭크의 두께 변화와 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 브리지 부근의 높은 두께 변형률로 인해 벽면에 주름이 생겼음을 알 수 있었다.

홀더력과 펀치력의 변화를 통해 최대 변형률과 주름, 그리고 주름의 높이를 줄일 수 있었다. 그리고 블랭크 브리지가 시작되는 부분과 브리지가 없는 부분을 연관하여 두께 변형률에 대한 연구가 필요함을 확인할 수 있었다.

블랭킹 가공과 드로잉공정에서 여러 가지 공정 변수들에 대한 최적조건을 결정한다면, 본 연구에서 제안한 블랭킹 가공방법으로 재료의 손실을 10%이상 줄일 수 있을 것으로 사료되며 이에 대한 지속적인 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Hyunbo Shim, Kichan Son, Kwanghee Kim, "Optimum blank shape design by sensitivity analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, 104, pp. 191-199, 2000.
- [2] 이충호, 허훈, "박판금속 성형공정에서의 블랭크 설계 및 변형률 예측," *대한기계학회논문집 (A)*, 제20권, 제6호, pp. 1810-1818, 1996.
- [3] 김상도, 박민호, 서대교, "유한요소법을 이용한 임의의 단면 딥드로잉 제품의 소재형상설계," *한국소성가공학회지*, 제4권, 제4호, pp 302-321, 1995.
- [4] 배원병, 허병우, 김호윤, 이영석, "사각 컵 드로잉 공정에서의 최적 블랭크 형상 결정," *한국정밀공학학회지*, 제15권, 제12호, pp. 68-71, 1998.
- [5] H. Gloeckl, K. Lange, "Computer aided design of blanks for deep drawn irregular shaped components," in: *Proceedings of the 11th NAMRC*, pp. 243-251, 1983.
- [6] X. Chen, R. Sowerby, "The development of ideal blank shapes by the method of plane stress characteristics," *Int. J. Mech. Sci.* 2, pp. 159-166, 1992.
- [7] T. Kuwabara, W.H. Si, "PC-based blank design system for deep drawing irregularly shaped prismatic shells with arbitrarily shaped flange," *J. Mater. Process. Technol.* 63, pp. 89-94, 1997.
- [8] H. Iseki, R. Sowerby, "Determination of the optimal blank shape when deep drawing nonaxisymmetric cups using a finite element method," *JSME Int. J. Ser. A* 38(4), pp. 473-479, 1995.
- [9] O. Barlat, J.L. Batoz, Y.Q. Guo, F. Mercier, H. Naceur, C. Knopf Lenoir,

“Optimum blank design of blank contours using the inverse approach and a mathematical programming technique,” in: Proceedings of the NUMISHEET'96, pp. 178-185, 1996.

- [10] 정동원, 양경부, 김광희, “원형컵 드로잉 공정에 미치는 영향인자에 관한 실험적 연구,” 한국소성가공학회지, 제8권, 제5호, pp. 449-453, 1999.

저 자 소 개



하중호(河鍾鎬)

1961년 2월생, 1985년 조선대학교 기계공학과 졸업, 1987년 전남대학교 기계공학과 석사과정 졸업(공학석사), 2005년 조선대학교 기계공학과 박사과정 졸업(공학박사), 1987년~1996년 한국차량공업(주)기술개발연구소 근무, 1997년~현재 전남과학대학 자동차과 부교수



강형선(姜馨善)

1966년 2월생, 1991년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업, 1995년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 2005년 전남대학교 박사과정 졸업(공학박사), 1991~2000년 화천기공주식회사 설계과장, 2003년~현재 조선이공대학 하이테크 CAD/CAM과 교수



백호현(白虎鉉)

1963년 11월생, 1991년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업, 1995년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 1990년~1996년 화천기어공업(주)기술개발연구소 ROBOT개발팀장, 1997년~현재 광주·전남지방 중소기업청 재직(공업연구사)