

자동변속기용 드럼클러치의 유동제어 성형공정 및 실험장치 개발 연구

박종남[#]

(#국방기술품질원)

A Study on the Flow Control Forming Process and Experiment Device of Drum Clutch for Automatic Transmission

Jong-Nam Park[#]

(Received 9 September 2013; received in revised form 25 November 2013; accepted 28 November 2013)

ABSTRACT

This paper presents the development of the FCF method for the manufacturing of final products using numbers related to the minimum amount of work. The utilized product is a drum clutch, which is part of the transmission of an automobile. A double acting press is secured first and a prediction of the forming load on the practical material is made through an experiment with a plasticine model. Also, a finite element simulation using product shape and properties is performed, as well as a press experiment. A double acting press is manufactured that is suitable for a double acting experiment with a conventional hydraulic press(200 tons). A peripheral device for the press is additionally designed for experimental purposes. And, the press has as its essential points the drive speed, stroke control, etc., all of which influence the forming and is modified. Especially, a laser system is used for velocity measurement of two punches. The forming load of a practical material is predicted in order to derive a forming load formula for cold conditions on the basis of approximate similarity theory. Finite element analysis of the relative velocity ratio(RVR), etc., for most suitable flow defect(unfilling, etc.) prevention is achieved as well. The results are verified through a press experiment.

Key Words : Flow Control Forming(유동제어성형), Drum Clutch(드럼클러치), Finite Element Analysis(유한요소해석), Relative Velocity Ratio(상대속도비), Flow Defect(유동결함)

1. 서 론

일반적으로 성형제품은 형상이 복잡하고 두께가

각 부에 따라 달라 여러 번의 성형공정과 기계가공이 필요하므로 생산성 저하 및 단가 상승에 영향을 미친다. 그러므로 요구된 제품형상과 기계적 성질을 얻기 위해서는 소재유동을 제어하고 이해하는 것이 매우 중요하다.

형상이 간단한 제품은 컴퓨터 시뮬레이션만으로 소재유동에 의한 결함발생과 최종 성형 가능성을 예측할 수 있으나, 형상이 복잡하고 일반적인 성형

[#] Corresponding Author :
Dept. technology Planning
defences Agency for Technology and Quality
E-mail : njp3836@chol.net

공법으로 가공이 어려운 제품에 대해서는 기존 방법과는 다른 새로운 가공방법이 필요하다. 이러한 가공방법중의 하나가 유동제어 성형(FCF: flow control forming) 기술이다. 유동제어 성형공법은 기본적으로 판금성형과 냉간단조기술을 조합한 복합적인 성형 방법으로서 판재에 의한 단조적인 성형을 포함하는 프레스 가공기술을 이용해 재료에 소성유동을 적극적으로 부여하여 단면형상을 변화시키는데 있다^[1]. 이를 위해서는 제품성형이 가능한 복동식 프레스 확보와 이론적인 해석기법 개발이 필요하다. 이 기술은 속도가 서로 다른 두 개 이상의 구동핀치로부터 소재를 압축하여 제품을 성형하는 전용 프레스를 사용한 방식이 가장 일반적이나, 일반 프레스를 사용할 경우 금형세트에 복동기능을 추가하여 적용할 수 있다^[2]. 일본의 AIDA사^[3]는 유동제어 성형기술을 이용해 여러 가지 형상의 제품들을 생산하였으며, 유동제어 복합성형에 관한 연구 내용으로서 Osakada 등^[4]은 전·후방 압출공정에서 컨테이너 구동을 이용한 유동제어로 소재의 전·후방부 금형내의 동시충만을 통한 압출하중 감소에 대하여 연구하였다. Nakano^[1]는 복동성형과 복합단조기술이 다른 분야로의 공법전환이 가능케 되어 프레스 가공분야가 확대될 것으로 전망했고, Maeda 등^[5]은 자동변속기에 조립되는 판금제 치형제품의 가공방법과 드로잉 및 단조기술을 조합한 프레스가공으로의 판금화 기술개발 현황에 대해 소개하고 있다. 또한 Imamura 등^[6]은 압출시험시 유압프레스에 장착된 변위변환기와 유압제어장치에 부착된 압력변환기를 사용하여 각각 압출하중과 램 스트로크를 측정하는 방법을 제시하였다. 국내에서는 Bae 등^[7-8]과 Park 등^[9]이 압출공정에서 플라스틱인 모델재료 실험을 통해 재료의 유동제어에 관한 최적의 성형공정을 연구한 바 있다.

본 연구는 자동차 자동변속기용 드럼클러치(drum clutch) 제품을 대상으로 기존 공정과는 다른 복동식 가공을 통해 공정수 및 재료손실의 최소화를 위한 성형공법을 개발하고자 한다. 이를 위해 기존 200톤 유압프레스를 정밀한 유동제어가 가능하도록 복동식 프레스로 주변장치를 보완하고, 실험재료는 하중의 제한으로 플라스틱인 모델재료를 이용해 실험하였다.

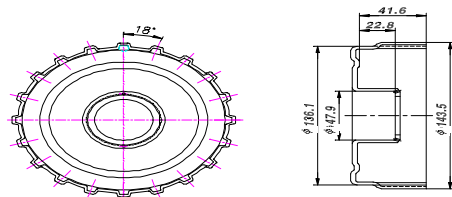
2. 드럼 클러치의 구조 및 특성

자동차의 변속기는 엔진의 동력을 자동차의 주행 상태에 맞도록 기어물림을 변경시켜 그 회전력과 속도를 바꾸어서 구동바퀴로 전달하는 장치로서, 수동변속기, 자동변속기, 무단변속기가 있다. 자동변속기는 자동적으로 기어비가 선택되어 치합되는 자동변속장치로 클러치가 필요없이 간편한 운전이 가능하다. 자동변속기는 크게 동력을 전달하는 토크변환기, 토크변환기의 보조변속기로 사용되는 유성기어 장치 등으로 구성되어 있다. 자동차 구동장치는 기어 형태의 부품이 많고 대부분 강도 및 정밀도 측면에서 높은 등급을 필요로 하며, 경량화와 가공비 절감이 요구되므로 점차 금형을 이용한 프레스 정밀단조 및 복합성형공법 등을 통한 정형가공이 필요하다.

본 연구대상인 드럼 클러치 제품은 Fig. 1(a)와 같이 다단 드로잉 공정을 거친 후 프레스 치형성형을 두 공정으로 하여 최종 제품을 생산하므로 공정수 감소와 제품 강도 향상이 필요하다. Fig. 1(b) 도면에서처럼 내·외경부에 스플라인식 치형이 20개 배열되어 있고 중앙에는 안쪽 방향으로 허브가 돌출되어 있어 성형이 까다로운 구조로 이루어져 있다.



(a) Shape of drum clutch



(b) Drawing of drum clutch

Fig. 1 Shape and drawing of drum clutch product with inner & outer tooth

치형은 치형길이가 길고 내·외치부의 치형곡률이 작아 제작이 어려운 특성을 가지고 있다.

3. 실험용 복동식 유압프레스 주변장치 설계 및 제작

3.1 복동식 유압프레스의 구비조건

본 논문에서는 드럼 클러치를 대상으로 유동제어 성형공법을 적용하기 위한 프레스의 주요 구비조건은 다음과 같다.

첫째, 유동제어 성형공법의 가장 큰 특징인 판재 성형과 체적성형을 조합한 복동성형으로 재료를 원하는 형상으로 적절히 유동시키는 구동편치의 작동원이 복수여야 하고 이들이 한 스트로크 내에서 각각 상대 작동함으로써 속도제어가 정확히 이루어져야 하며

둘째, 두 구동 실린더의 하강속도는 원하는 속도로 일정하게 유지되어야 하고, 스트로크 길이는 충분해야 하며, 또한 원하는 위치에서 정확하게 정지되어야 한다.

셋째, 각 성형단계에서의 하중값은 측정 가능해야 하고, 시간 차이에 의한 제품 성형의 재현성 등이 있어야 한다.

이와 같은 조건을 만족하기 위해서는 기존의 200톤 유압프레스로는 복합성형 실험이 곤란하므로 새로이 연구개발 방안을 검토하여 주요 주변장치의 추가 설계 및 제작이 필요한 내용은 다음과 같다.

첫째, 한 스트로크 내에서 두 구동편치의 복동구동은 가능하나 두 구동부의 속도를 동시에 측정할 수 있는 장치가 필요하다.

둘째, 두 실린더의 스트로크가 너무 길어 별도로 높이를 조절할 수 있는 더미블록(dummy block)이 필요하다.

셋째, 두께가 얇은 판재를 이용하므로 두 구동편치가 원하는 제 위치에 정확히 정지하도록 하는 스톱장치가 필요하다.

넷째, 성형하중을 각 스트로크에서 측정할 수 있

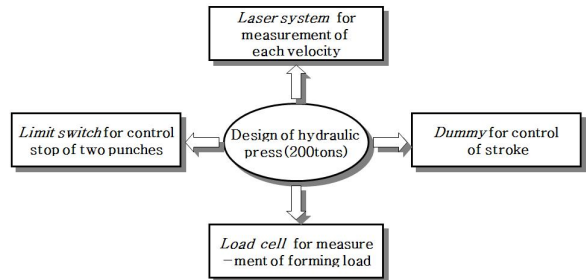


Fig. 2 Design and manufactured apparatus from existing hydraulic press(200tons)

는 장치가 필요하다.

Fig. 2는 유동제어 복합성형 실험에 필요한 주변장치를 요약하여 나타내었다.

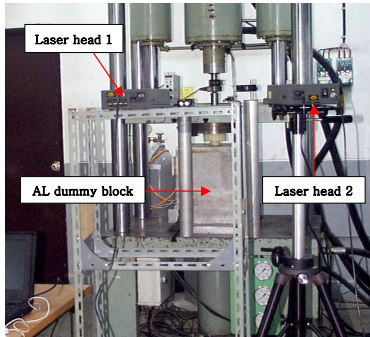
3.2 실험용 복동식 프레스 수정 및 보완

위 3.1에서 요구한 프레스 구비조건을 토대로 기존의 200톤 유압프레스를 복동식으로 수정 보완하였다.

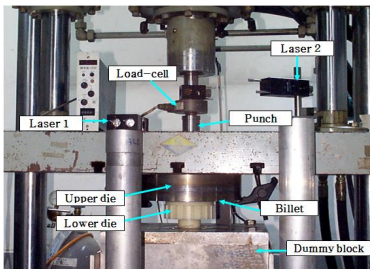
유동제어 성형공법에서 제품의 성형성에 가장 큰 영향을 미치는 두 구동편치의 성형속도는 영국의 Renishaw사 제품인 레이저 시스템(레이저 발사기, 환경보상장치, 간섭계 및 반사경, 노트북)을 이용하여 측정하였다. 이 장치의 원리는 레이저 발사기로부터 발사된 빛(光)이 일직선에 고정된 간섭계를 통하여 원하는 구동위치(반사경)로 굴절되고 구동부에 장착된 반사경은 이 빛을 원점으로 반사시켜 노트북에 입력된 프로그램에 의해 원하는 데이터를 얻게 된다. 이 장치는 두 구동부의 속도를 측정해야 하므로 각각 두 세트가 필요하며, 측정가능 속도는 1 m/s 이하, 정밀도는 0.7 μ/m이다.

두 구동실린더에 의한 성형 가능 높이는 일정한 높이의 알루미늄 더미블록을 제작하고, 그 위에 성형높이에 맞는 플레이트로 높이조정이 되도록 설계하였다.

두 편치의 스트로크 제어는 제품 성형성에 영향을 미치고, 제품 두께가 얇은 부분을 성형하므로 편차와 금형간의 충돌 가능성 때문에 정확한 제어가 가능하도록 구성하였다. 이를 위해서 프레스 후면에 브라켓트 지주대를 높게 부착한 후 여기에 두 구동



(a) The front side view of press



(b) The rear side view of press

Fig. 3 Set-up of the repaired press for model material experiment

펀치의 정확한 스트로크 제어를 위해 각각의 한계 스위치를 가변식으로 설치하여 주 장비 전원장치에 전원을 연결시켜 펀치가 성형이 완료되는 최 하단 위치에 이르렀을 때 한계스위치에 의해 자동으로 전원이 차단되고 동시에 정지하도록 하였다.

성형하중은 로드셀(load cell)을 이용하여 측정하였으며, 사용된 로드셀의 용량은 2.5톤이며, 증폭기를 이용해 전압으로 디스플레이된 데이터를 하중으로 변환하여 값을 얻었다.

Fig. 3은 수정 보완된 프레스 장비의 정면도 및 측면도와 각 주요 주변장치를 나타내었다.

4. 유동제어 성형공법에 의한 공정설계

4.1 유한요소 해석

드럼 클러치의 실제 소재는 AISI 1008로서 플라

스틴인 모델재료를 이용해 성형해석과 실험을 수행하였다. 해석은 강소성 유한요소법을 이용하였으며, 성형해석을 위한 플라스틱인 재료의 유동응력식은 압축시험을 통해 아래 식 (1)을 얻었다.

$$\bar{\sigma} = 0.224 \bar{\varepsilon}^{0.117} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

또한 실제 재료의 유동응력식은 식 (2)와 같다.

$$\bar{\sigma} = 657 \bar{\varepsilon}^{0.24} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

금형과 접촉하는 모델재료 표면은 탈크 파우더로 윤활처리를 하였고, 실제 재료는 인산염 피막처리 후 본데 루베(윤활처리) 처리하여 링 압축시험 결과인 마찰상수 $m=0.1$ 로 해석을 수행하고, 강소성 유한요소 코드인 DEFORM-2D^[10]를 이용하였다.

4.2 초기 소재 및 예비성형체 설계

일반적으로 냉간단조에서 초기소재의 직경은 최종제품의 직경중의 하나로 선택한다^[11]. 따라서 초기 소재의 외경은 최종 제품의 내경 치수인 $\phi 131.6$ mm로 하고, 초기 소재의 내경은 소재 압축에 의한 내경 감소량을 고려하여 $\phi 36.4$ mm로 선정하였다. 두께는 소재압축에 따른 동일 단면상에서 내경 감소량과 외경 증가율을 같게 하고, 두께 감소량은 후방압축에 의한 칩 높이량과 동일하게 하여 $\phi 16.7$ mm로 설계하였다.

초기소재로부터 최종 성형가능성을 3차원 해석을 수행한 결과 소재 선단 부위에 미충만 결함(unfilling defect)이 발생하였다.

따라서 초기소재로부터 한번의 공정으로 치형가공이 곤란함에 따라 중간 단계의 예비성형을 설계하였다. 예비성형체는 치형부쪽으로 소재 유동이 원활하게 흐를수 있는 구조로 설계하고, 이를 최종 금형에 의해 제품 성형가능성을 검토하였다.

예비성형체는 DEFORM-2D를 이용한 후방압출 공정으로 Fig. 4와 같이 두가지 형태로 분석한 결과, 최적의 형상은 Fig. 4(b)와 같았고, 이때의 해석 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

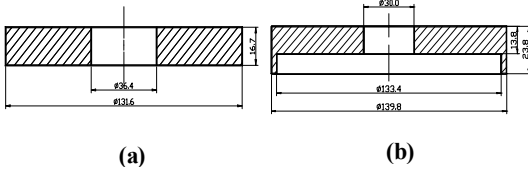
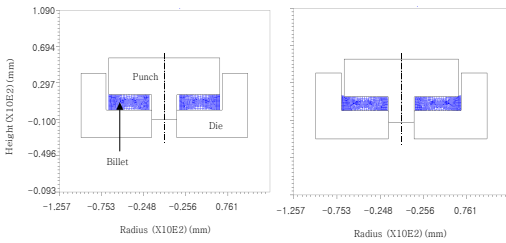
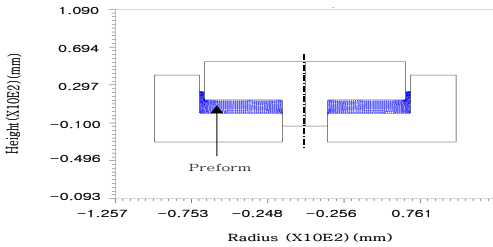


Fig. 4 1st and 2nd shape of preform



(Initial billet condition: Left, Equal condition for inner dia. decrease and outer dia. increase: Right)



(Equal condition for thickness decrease and cup height increase)

Fig. 5 FE-simulation result for preform from initial billet

4.3 유동제어에 의한 최적설계

소재유동의 원활한 제어를 위하여 복동식 프레스 성형방식의 금형구조를 상부금형, 하부금형 및 펀치로 구성하고, 상부금형과 펀치의 속도를 변화시켜 성형해석을 수행하였다. 예비성형체로부터 최종 제품의 성형성을 평가하고 치형부로의 소재 채움상태 등을 확인하기 위해 3차원 해석이 필요하므로 DEFORM-3D를 이용하였다.

상부금형과 펀치의 스트로크 증가에 따라 소재는 유동하고 그 상대속도비에 의해 제품의 성형상태가

주로 결정되므로 제품의 중간 허브부위 및 치형부로의 재료유동이 균일하게 분포하기 위한 최적의 상대속도비는 최적화 기법인 이등분법을 이용하여 구하였다. 본 드럼 클러치의 제품 바닥 두께는 업세팅에 의해, 중앙 허브부위는 드로잉 및 버링 공정으로 제어하는 방식을 활용하여 금형구조를 설계하였다.

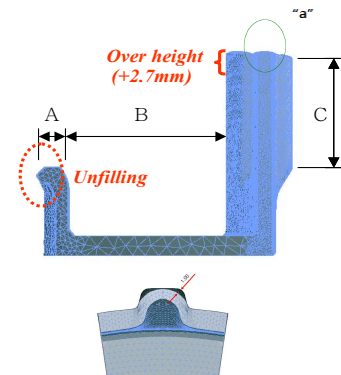
상부금형과 펀치의 속도는 펀치의 속도 V_p 에 대한 상부금형의 속도 V_d 를 상대속도비로 식 (3)과 같이 정의하고 상대속도비를 조정하여 해석을 수행하였다.

$$\frac{V_d}{V_p} = RVR(\text{Relative velocity ratio}) \quad (3)$$

4.4 상대속도비에 의한 성형해석

제품의 형상은 두 구동부의 최적의 상대속도비에 의해 결정된다.

먼저 상대속도비가 1.5인 경우는 Fig. 6처럼 중앙의 펀치속도가 상부금형에 비해 상대적으로 빠르게 하강하므로 펀치에 의한 허브쪽으로의 소재 미충만 현상이 발생한 반면, 상부금형에 의한 치형길이는 도면 치수인 34.0 mm에 비해 약 2.7 mm 더 긴 36.7 mm로 나타났다. 이는 업세팅에 의해 압축을 받은 소재가 허브쪽으로 충분히 유동하기 전에 펀치가 허브안쪽으로 먼저 유입되어 소재 흐름을



(Detail "a" : over height of tooth)

Fig. 6 Result of DEFORM-3D simulation at RVR 1.5 condition

제한하고 계속적으로 압축력을 받은 소재는 치형방향으로 이동되어 치형길이가 길어지고("a"부) 결국 허브 끝단부의 소재 미 충만 현상이 발생됨을 볼 수 있다. 이때의 최대 성형하중 값은 성형 후반부에서 약 45.5 kgf이다.

상대속도비가 2.5인 조건에서는 상부금형과 펀치의 하강속도가 일정한 비율로서 허브 및 치형방향으로 데드메탈 영역없이 일정하게 유동되어 재료손실과 미 충만 결함없이 Fig. 7와 같은 양호한 형상을 얻을 수 있었다. 치형길이는 약 32.0 mm로서 도면 치수보다 약 2 mm 짧게 나타났으나 대체로 잘 일치하였다. 최대 성형하중 값은 성형 후반부에서 약 41.5 kgf이었다.

다음으로 상대속도비가 3.5인 조건에서는 1.5인 조건과 달리 상부금형의 속도가 펀치보다 빠르기 때문에 상부금형에 의해 압축되는 소재는 펀치선단보다 빠르게 허브쪽으로 유입되어 치형부 길이가 29.0 mm로서 도면 치수보다 약 7.0 mm 더 짧게 나타났으며, 치형부 코너부에 미 충만 현상("b"부)이 발생하였다. 이는 상부금형에 의해 압축되는 소재가 내경방향으로 유동되고 일정량 이상의 유동량이 느리게 하강하는 펀치선단보다 먼저 허브 안쪽방향으로 유입됨에 따라 허브쪽으로 재료손실이 발생한 것으로 볼 수 있다. 이때의 최대 성형하중 값은 가공 후반부에서 약 37.5 kgf로서 상대속도비가 1.5인 조건에 비해 하중값이 적게 나타나, 완전 치형성형을 위해서는 하중이 크게 증가함을 볼 수 있다. 이에 대한 해석 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

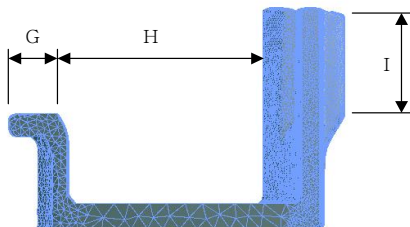
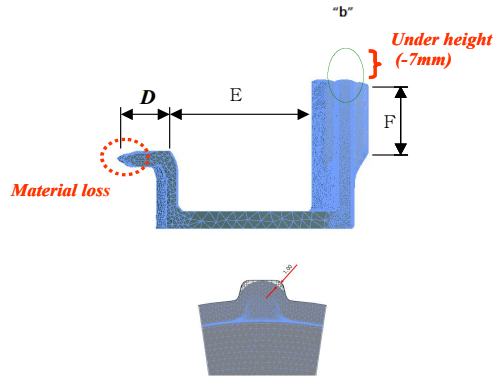


Fig. 7 Result of DEFORM-3D simulation at RVR 2.5 condition (sound metal flow of hub "G" and tooth "I")



(Detail "b" : under height of tooth)

Fig. 8 Result of DEFORM-3D simulation at RVR 3.5 condition

5. 모델재료 실험

5.1 금형제작 및 실험방법

실험용 재료는 플라스틱신을 이용하였으므로 하부금형은 가공이 용이한 플라스틱 합성수지(synthetic resin)를 호빙머신으로 가공하였으며, 상부금형은 AISI S1 금속재료를 피니언 커터로 셰이빙머신을 이용해 정밀가공하였다. 펀치는 AISI 1045 재질을 담금질 및 뜨임 처리를 하여 사용하였다. Fig. 9는 상·하부금형 가공상태 및 치합상태가 양호하게 이루어져 있음을 보여주고 있다.

본 드럼 클러치 제품의 모델재료 실험은 수정 보완된 복동식 프레스를 이용하였다.

모델재료 실험은 수지로 제작한 하부금형을 더미 위에 두고 예비성형체를 올려놓은 후 상부금형과

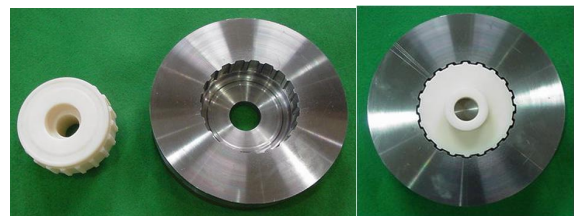


Fig. 9 Shape of lower & upper die(Left), Tooth arrangement(Right)

편치의 하강속도를 변화시키면서 수행하였다. 특히 스트로크 증가에 따라 재료유동의 원활한 흐름을 위해 상부금형과 하부금형부의 치형 중심위치가 정확히 배열되도록 주의하였고, 두 구동부의 하강속도는 레이저 측정기를, 성형하중값은 로드셀을 이용해 측정하였다.

5.2 실험결과

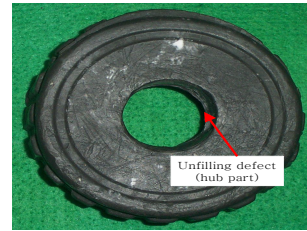
상대속도비가 1.5인 조건에서 중앙 편치의 속도가 상대적인 상부금형 속도보다 빠르게 하강되어 상부금형에 의해 압축력을 받은 소재가 허브 안쪽으로 유입되기도 전에 편치는 허브 안쪽으로 들어와 뒤늦게 유동되는 소재흐름을 막게 되고, 편치에 의한 버링 공정은 소재의 유동량이 적어 원활하게 이루어지지 못하게 됨에 따라 Fig. 10(a)와 같은 허브 방향에 재료 미충만 현상이 발생되었다.

반면 상대속도비가 3.5인 조건에서는 편치속도에 비해 상부금형 속도가 빨라 초기에 상부금형에 의해 압축을 받은 소재는 허브 안쪽으로 급속히 유동되나 뒤이어 유입되는 편치에 의해 유동이 제한된다. 이때 먼저 허브 안쪽으로 유입된 소재는 편치에 의한 드로잉 성형시 편치 선단부에서 불필요한 재료손실이 발생되고 재료가 멎쳐진 현상이 발생되었다. 이로 인해 Fig. 10(b)와 같이 치형부 길이 방향으로 소재 이동량이 적게 되어 치형길이가 짧게 되고 일부 치형 코너부에 재료 미충만 현상이 나타났다.

최적의 상대속도비인 2.5인 조건에서는 Fig. 10(c) 처럼 전체 형상은 대체로 균일하게 분포하였으며, 치형부의 전장길이, 코너부 소재 채움상태 모두 양호하게 나타났다. 중앙에 위치한 허브 부위도 버링 공정에 의해 원활하게 유동되었고, 바깥부분의 치형상태도 양호하게 형성됨을 볼 수 있다.

최대 성형하중 값은 성형 후기에 약 42.8kgf로서 이론해석 결과와 유사하게 나타났다. 또한 압축력에 의해 유동되는 소재는 치형 성형이 시작되는 이뿌리 선단부에서 일시 정지하여 하중이 증가하였으나 점진적으로 소재압축에 따른 하중은 증가하였다.

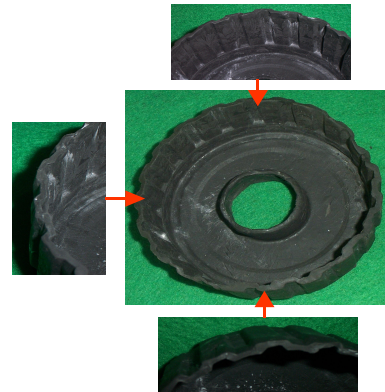
Table 1은 상대속도비 변화에 따른 3차원해석과 모델재료 실험에 의한 제품 치수 및 결함 형태를 정리하여 나타났다.



(a) RVR 1.5 condition



(b) RVR 3.5 condition



(c) RVR 2.5 condition (sound metal flow)

Fig. 10 The comparative shape through RVR difference

Table 1 Comparison of tooth/hub height, max. punch load to relative velocity ratio by 3-D FEM and model material experiment


Relative velocity ratio (RVR)	FEM			Model material experiment			Defect type
	Tooth height (mm)	Hub height (mm)	Max. punch load (kgf)	Tooth height (mm)	Hub height (mm)	Max. Punch load (kgf)	
1.5	36.7	25.6	45.5	38.3	26.0	49.5	Hub unfilling
2.5	32.0	26.4	41.5	32.5	27.0	42.8	No defect
3.5	29.0	26.5	37.5	28.2	26.5	40.6	Tooth unfilling

따라서 치형이 있는 클러치류 제품을 복동식으로 성형시 제품 성형상태에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 두 구동편치의 상대속도비임을 3차원 유한요소해석과 모델재료 실험을 통해 알 수 있었다.

6. 결 론

본 연구는 복잡한 형상을 지닌 드럼 클러치 제품에 대해 유동제어 성형공법을 적용하여 공정수 저감 및 무 결함 성형공정 방안을 제시하였다.

이를 위해 3차원 유한요소 성형해석과 모델재료 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 판 두께 제어를 통한 제품 복합성형은 기존 프레스로는 곤란하였으며, 이를 위해 주변장치를 설계 및 수정 보완하였다.
2. 최적 예비성형체의 형상은 후방압출 방법을 이용해 컵 높이가 낮고 바닥이 두꺼운 형상()으로 설계하였다.
3. 최적의 제품 형상을 예측하기 위한 3차원 유동해석 결과 두 구동부의 상대속도비에 따라 주로 좌우됨을 알 수 있었고, 그 값은 2.5인 조건에서 나타났다.
4. 모델재료 실험을 통해서도 상대속도비가 2.5인 조건에서 제품 형상이 가장 양호하게 나타나 해석결과와 실험결과가 일치함을 알 수 있었다.
5. 본 논문에서 제시한 유동성형해석 및 모델재료 실험 방법은 두께가 얇은 복잡한 제품들에 대해 활용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Nakano, T., "Modern Applications of Complex Forming and Multi-action Forming in Cold Forging", J. of Materials Processing Technology, Vol. 46, pp. 201-226, 1994.
2. T. Nakano, Using Method of Cold Forging through Sheet Forming, 素形材, pp. 13-16, 1996.
3. Nakano, T., "Multi-action Technique of Sheet Forming and Cold forging", Journal of the JSTP, Vol. 42, No.

- 484, pp. 388-392, 2001.
4. Osakada, K., Wang, X., and Hanami, S., "Forward-backward Extrusion with Axially Driven Container", Journal of the JSTP, Vol. 37, No. 430, pp. 1154-1179, 1996.
5. Maeda, A., Araki, K., "Forming Technique of Tooth Parts Using Sheet Material", Journal of the JSTP, Vol. 39, No. 445, pp. 106-110, 1998.
6. Imamura, Y., Takatsuji, N., Matsuki, K., Tokizawa, M., Murotani, K., and Maruyama, H., "Metal Flow Behavior of Wide Flat Bar by Spreading Extrusion: Study of Spreading Extrusion Process I", Journal of the JSTP, Vol. 39, No. 454, pp. 1150-1154, 1998.
7. Bae, W. B., Kim, Y. H., Kim, B. M., Park, J. W. and Choi, W. D., "Experimental Investigation on the Flow Control in Non-Axisymmetric Flat Die Extrusion - I", Journal of the KSME, pp. 674-679, 1996.
8. Y. H., Kim, Bae, W. B., Kang, B. S., Park, J. W. and Lee, K. H., "Experimental Investigation on the Flow Control in Non-Axisymmetric Flat Die Extrusion - II", Journal of the KSME, pp. 680-686, 1996.
9. Park, J. N., Park, T. J., Kim, D. H. and Kim, B. M., "Experimental Investigation on the Flow Control in Forward-Backward Extrusion of Piston-Pin for Automobile", Journal of the JSTP, Vol. 26, No. 7, pp. 1366-1375, 2002.
10. "DEFORM-2D System User's Manual V4.1", Scientific Forming Technologies Corporation, 1995.
11. Ko, D. C., Kim, B. M., Oh, S. O., "process Sequence Design in Cold Forged Part of Hub", Journal of the KSME, Vol. 26, No. 7, pp. 3387-3397, 1996.