

유동제어를 통한 자동차용 피스톤-핀의 공정설계

김동진* · 김병민* · 이동주**

(2000년 12월 12일 접수)

Process Design of Piston-Pin for Automobile by the Flow Control

D. J. Kim, B. M. Kim and D. J. Lee

Abstract

Flow defect of a piston-pin for automobile parts is investigated in this study. In combined cold extrusion of piston-pin, lapping defect, which is a kind of flow defect, appears by the dead metal zone. This appearance evidently happens in products with a thin thickness to be pierced for the dimensional accuracy and the decrease of material loss. The flow defect that occurs in piston-pin has bad effects on the strength and the fatigue life of piston-pin. Therefore, it is important to predict and prevent defects in the early stage of process design. The best method that can prevent flow defect is removing or reducing dead metal zone through material flow control. The finite element simulations are applied to analyze the flow defect. This study proposes processes for preventing flow defect by removing dead metal zone. Then the results are compared with the experimental ones for verification. These FE simulation results are in good agreement with the experimental ones.

Key Words : Flow Defect, Piston-Pin, Material Flow Control, Forward-Backward Extrusion, Dead Metal Zone, FE Simulation

1. 서 론

금속의 냉간 성형 공정은 제품의 치수정도가 좋고 양호한 표면조도 및 기계적 성질을 얻을 수 있으므로 현재 제품의 생산에 있어서 많이 사용하고 있다. 특히 냉간 압출 공정은 장비가 비교적 간단하고 큰 압출비를 얻을 수 있으므로 고강도 부품과 치수가 작은 정밀 부품 생산에 많이 적용되고 있다. 그러나 제품의 형상과 성형조건, 소재의 성형성, 재료의 유동양상에 따른 변형이력 등에

따라 결함이 발생할 가능성이 있다. 냉간 성형공정에 있어 대표적으로 나타날 수 있는 결함에는 불안정한 금속 유동에 의한 유동결함과 응력상태와 변형이력에 따른 연성파괴, 금형형상 및 윤활조건 불량 등에 의한 치수정밀도 불량 등이 있으며 소재 내부의 중심 축선상에 파괴가 일어나는 내부결함과 소재표면의 균열이나 소재 끝 부분에 구멍이 생기는 파이핑 결함(piping defect)과 같은 외부 결함으로 구분할 수 있다.⁽¹⁾ 이러한 결함은 제품의 수명 저하와 제품생산의 단가 상승의 원인이 되므로 초기

* 부산대학교 경밀정형 및 금형가공 연구소
** (주) 현대중공업 산업기술연구소

공정설계 단계에서 결함을 예측하고 방지하는 것이 중요하다.

Wifi 등⁽²⁾은 유한요소 해석을 통해 연성파괴에 대한 여러 성형 한계식을 적용하여 체적성형의 성형한계에 대하여 연구하였고 Kim 등⁽³⁾은 유한요소 해석을 통하여 이중 리브를 가지는 냉간 압출품의 성형에 있어서 발생하는 내·외부 결함을 방지하기 위한 공정설계에 대해 연구하였으며 Oh⁽⁴⁾는 축대칭 전방 압출공정에서 발생하는 파이핑 결함에 대하여 연구하였다.

본 논문에서는 자동차 피스톤 핀을 대상으로 하여 제품 성형 시 발생하는 결함을 연구하였다. 피스톤 핀을 냉간 압출공정으로 성형한 결과 제품의 내벽에 유동결함과 유사한 외부 결함이 발생하였다. 이러한 결함은 피어싱 후에도 완전히 없어지지 않고 제품의 내벽에 존재하여 응력집중에 의한 제품강도 및 수명을 저하시킬 것으로 판단되므로 제품의 공정설계 단계에서 결함의 원인을 파악하고 결함을 없앨 수 있는 새로운 공정의 설계가 필요하다. 따라서 자동차 피스톤 핀을 대상으로 하여 제품 생산 시 발생하는 결함을 초기 공정설계 단계에서 유한요소 해석을 통하여 예측하고 유동결함을 없앨 수 있는 공정설계를 하였다. 이를 바탕으로 결함이 발생하지 않는 공정을 선정하여 실험과 비교, 검증하였다.

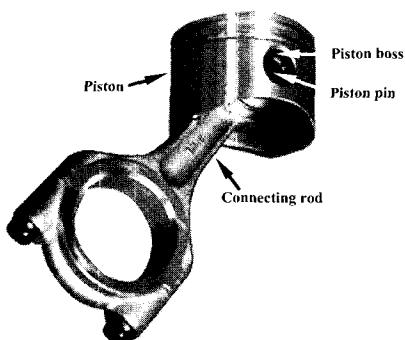


Fig. 1 Assembly of piston-pin and connecting rod

2. 성형공정 및 결함의 유한요소 해석

2.1 성형공정 및 결함의 발생

피스톤 핀은 Fig. 1과 같이 보스부의 구멍(피스톤 핀 베어링)에 꽂아서 피스톤을 커넥팅 로드의 소단부에 연결하는 역할을 하며, 피스톤이 받는 압력을 커넥팅 로드를 거쳐 크랭크축에 전달함과 동시에 피스톤을 따라 실린더 안에서 고속 왕복운동을 한다. 따라서 피스톤 핀의

설계 요건은 순간적으로 변하는 큰 하중에 견뎌야 하기 때문에 전체적으로 균일한 경도분포가 요구되므로 균일한 변형을 해야하며^(6,7) 벽부에 균열, 파손 등의 결함이 없어야한다. 동시에 커넥팅 로드가 핀의 중앙에 연결되므로 이 부분의 집중하중에 견디기 위해 양방향으로 압출길이가 동일하도록 하여 피어싱 되는 웨브부가 중앙에 위치해야 한다. 또한 가볍고 내마멸성이 우수해야 하기 때문에 피스톤 핀은 주로 저탄소강이나 니켈 크롬강으로 만든다. Fig. 2에 피스톤 핀의 피어싱 전의 형상과 치수를 나타내었다.

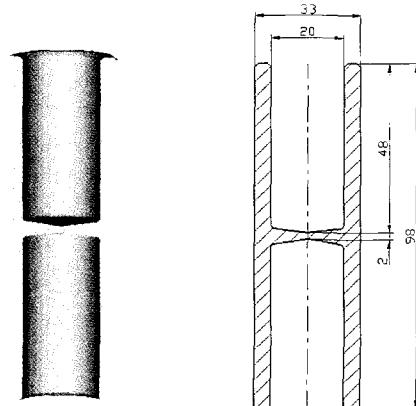


Fig. 2 Shape and dimension of piston-pin

피스톤 핀에 사용되는 재질은 SCM 4135H 니켈 크롬강이며 소재에 대해 압축실험을 수행하여 다음과 같은 응력-변형률 관계식을 얻었다.

$$\sigma = 768.06 \bar{\epsilon}^{0.139} \quad (\text{Mpa}) \quad (1)$$

소재와 금형간의 마찰은 원소재를 인산염 피막처리 후 본드루베(Bond rube) 윤활 처리를 하였으며, 링압축 실험 결과 마찰상수 μ (m)은 0.1이었다.

피스톤 핀의 냉간 다단포머(Multi-stage former)에 의한 기존 생산 공정은 Fig. 3과 같다. 전체 공정은 먼저 펀치의 수명과 제품의 치수정밀도 향상을 위해 절단결함을 없애는 1공정, 2공정에서의 에비업세팅 공정과 3공정에서의 전방압출 또는 후방압출로 웨브를 중심으로 한쪽을 먼저 성형하고 4공정에서의 후방 압출로 다른 한쪽을 성형한 다음 마지막 5공정에서 피어싱으로 최종제품을 성형하였다. 그러나 기존의 공정으로 제품의 성형실험을 실시한 결과 피스톤 핀의 중앙 웨브(Web)를 중심으로 먼저 성형된 부분에 Fig. 4와 같이 소재의 유동이 리브

유동제어를 통한 자동차용 피스톤-핀의 공정설계

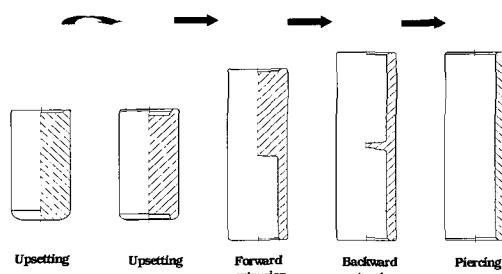


Fig. 3 Conventional forming process sequence for piston-pin

(Rib)부로 말려 올라가는 결함이 발생하였다. 특히 결함부에 급격한 유동의 변화를 관찰할 수 있었는데 이것은 소재의 불안정한 유동에 의한 유동결함으로 생각되었다. 따라서 먼저 피스톤 핀의 성형 시 나타나는 결함의 원인을 유한요소 해석을 통하여 파악하고 실제 제품성형 시 나타나는 결함과 비교하였다. 다음으로 유한요소 해석결과를 토대로 결함을 방지할 수 있는 공정을 재설계하였다. 설계된 공정에 대하여 각각 유한요소 해석을 수행하고 해석 결과를 검토하여 결함이 없이 설계조건을 만족하는 성형 공정을 선정하였다.

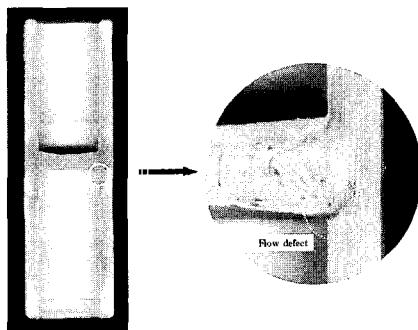


Fig. 4 Flow defect of piston-pin

2.2 유한요소 해석에 의한 결함 예측

피스톤 핀 성형 시 나타나는 결함을 해석하기 위하여 상용 강소성 유한요소 프로그램인 DEFORM^⑧을 이용하였다. 결함의 원인을 규명하기 위해 초기 소재 외경이 30mm 높이가 77.5mm인 소재를 사용하여 기존의 공정대로 성형 해석을 수행하였다. 해석 결과 최대 연성파괴(Ductile fracture) 값은 Fig. 5와 같이 0.08으로 결함이 발생한 부분이 아닌 편치의 선단부에 나타났다. 따라서

성형 실험에서 나타난 결함은 연성파괴에 의한 크랙이아님을 알 수 있었다. 다음으로 T. Altan 등^⑨이 제안한 소재의 유동선 추적(Flow-line tracking scheme)을 통하여 유동결함의 발생을 해석하였다.

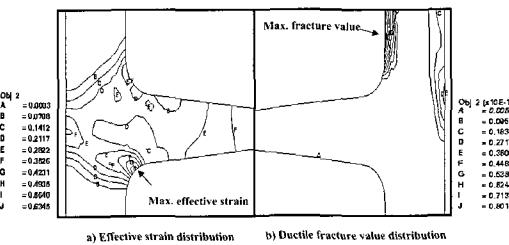


Fig. 5 Distribution of effective strain and fracture value

Fig. 6에 기존 공정으로 피스톤 핀 성형시 각각의 스트로크에 따른 재료의 유동선과 속도 분포를 나타내었다. 편치의 스트로크가 진행되어 웨브부의 두께가 얇아짐에 따라 실제 실험에서 나타난 결함의 위치와 같은 위치인 핀의 웨브와 리브가 만나는 지점에서 소재의 급격한 유동변화와 속도 불연속을 관찰할 수 있었다. 이것은 세 번째 공정에서 전방압출 또는 후방압출을 통하여 웨브를 중심으로 한 방향으로 먼저 성형을 하고 네 번째 공정에서 후방압출로 반대쪽을 성형하였기 때문에 먼저 성형된 부분이 비성형 영역이 되어 소재의 유동이 제한되고 웨브의 소재가 리브쪽으로 말려 들어가는 현상 때문에 발생한다. 따라서 피스톤 핀 성형 시 발생한 결함은 속도 불연속에 의한 급격한 유동의 변화에 의한 유동결함으로 생각된다.

이러한 유동 결함은 피스톤 핀의 피어싱 후에도 결함부가 제품의 내벽에 존재하여 하중을 받을 경우 응력 집중으로 인한 강도저하와 피로하중에 취약할 것으로 예상된다. 특히 피스톤 핀과 같이 고속 왕복운동을 하며 큰하중을 전달해야하는 경우의 제품에는 치명적인 결함으로 판단된다. 따라서 유동결함을 없애기 위해서는 피스톤 핀의 성형 공정동안 소재의 비성형 영역이 없이 원활한 소재의 유동이 이루어져야 하므로 본 연구에서는 소재의 유동 제어를 통해 비성형 영역 또는 데드메탈 영역을 없앰으로써 유동결함을 방지할 수 있는 새로운 공정을 설계하였다.

3. 유동결함 방지를 위한 공정 재설계

피스톤 핀과 같이 양방향 압출품에 발생하는 유동 결

합의 원인을 비성형 영역에 의한 소재유동의 제한에 의한 것으로 파악하고 소재의 유동제어를 위해 크게 두 가지 공정으로 접근하였다. 첫째, 두 번의 후방압출 공정으로 성형하는 기존의 공정에서 결함이 발생하는 카운터(Counter) 편치 부위에 그루브(Groove)를 가공하여 웨브부의 소재의 유동을 지연시키는 공정을 제안하였다. 둘째, 전·후방동시 압출 공정을 고려하였다. 특히 전·후방동시 압출공정은 전·후방부로의 압출비와 압출길이에 따라 한 방향의 성형이 먼저 끝나기 때문에 기존 공정과 마찬가지로 성형 후반에 데드메탈(Dead metal) 영역에 의한 비성형영역이 발생하게 되어 결함이 발생한다. 피스톤 핀은 양방향으로의 압출비는 1.580, 압출길이는 48mm로 동일하기 때문에 전·후방 압출 공정에서 양방향으로 동시에 성형을 완료하여 데드메탈영역을 없애기 위해 예비 성형체를 이용하는 방법과 금형의 구조를 변경하는 방법, 압출 컨테이너를 구동하는 방법을 제시하였다.

3.1 편치선단에 흄(Groove)을 가공

기존의 두 번의 후방압출로 성형하는 경우에 먼저 후방 압출된 부분이 다음 공정에서 비성형 영역으로 되어 웨브부가 리브부로 압출되면서 웨브부의 두께가 얇아질 수록 소재가 말려 올라간다.(Fig. 6) 따라서 이러한 현상

을 완화시키기 위해 기존의 공정에서 금형면에 흄(Groove)을 가공하여 웨브부의 소재의 유동을 지연시키고 결합의 발생여부를 조사하였다. Fig. 7에 최종 피어싱 전의 웨브부의 소재 유동선을 나타내었다. 소재의 유동선을 추적한 결과 유동결함이 완전히 없어지지는 않고 완화됨을 알 수 있다. 이것은 결함이 발생하는 영역의 소재유동은 제한하였지만 결함의 직접적인 원인인 비성형 영역을 없애지 못하였기 때문으로 판단된다. 따라서 유동결함을 없애기 위해 공정의 변경이 필요함을 알 수 있었다.

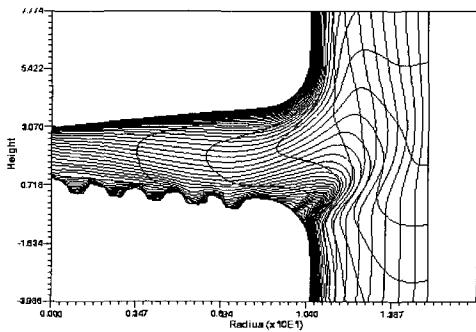


Fig. 7 Flow lines of web where the defect occurred

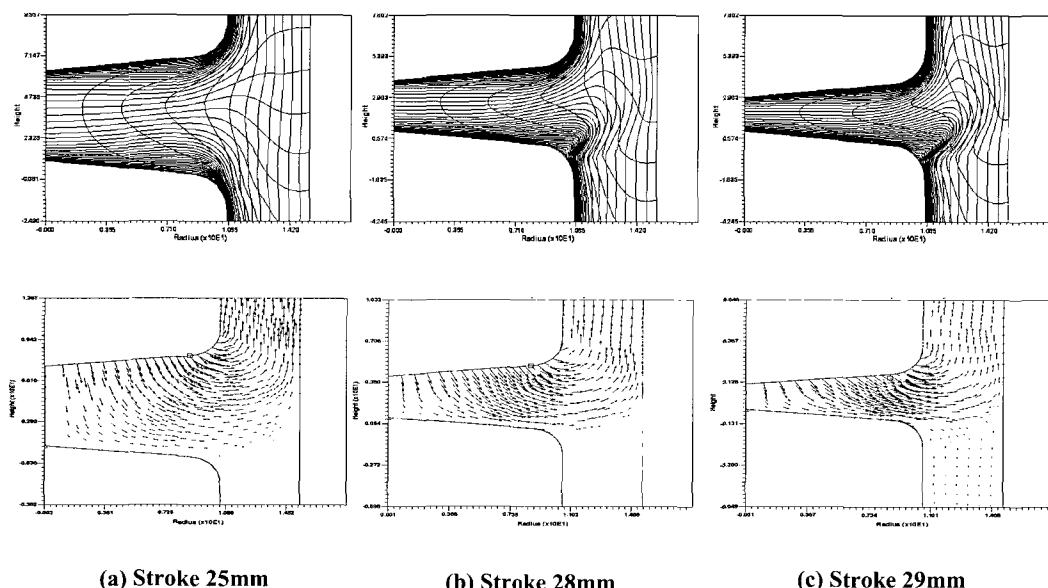


Fig. 6 Flow lines and velocity fields of web where the defect occurred

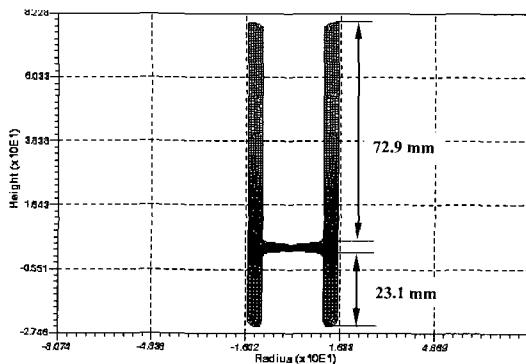


Fig. 8 Comparison of extrusion length in the forward-backward extrusion

3.2 양방향 동시 압출을 하는 경우

피스톤 핀을 양방향 동시 압출로 성형시 양방향으로 동시에 소재의 유동이 완료되는 것은 각 방향으로의 압출비 및 길이의 변화에 따라 매우 어렵다.⁽¹⁰⁾ 이것은 결과적으로 어느 한쪽이 먼저 성형이 완료되고 소재의 유동이 멈춘다는 것을 의미한다. 따라서 이 순간을 기점으로 하여 먼저 성형이 완료된 부분은 소재의 유동이 없는 데드메탈 영역이 형성되어 비성형 영역이 발생하고 이때 형성된 비성형 영역에 의하여 유동결합이 발생한다. 피스톤 핀의 경우에 전·후방부로의 압출비가 같고 길이가 동일해야 하므로 먼저 양방향 동시압출 시 각 방향으로의 압출길이를 조사하기 위해 해석을 수행하였다. 수행 결과 Fig. 8과 같이 후방압출부의 길이가 24.9mm 길게 되어 양방향으로 압출길이가 달라지게 되어 설계조건을 만족하지 못함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 동일한 압출비를 가지는 전·후방압출의 경우에 발생하는 결과로서, 일반적으로 마찰 차이에 의한 성형 하중의 차이로 발생한다⁽¹¹⁾. 따라서 양방향으로 압출길이를 같게 하려면 성형도중에 전방압출부가 먼저 성형을 완료하고 결국 이 순간부터 후방압출만이 진행되어 데드메탈 영역의 발생으로 인한 유동결합이 발생하는 것으로 생각된다. 따라서 양방향 동시 압출 시 압출길이가 같게 동시에 성형을 완료하기 위해 공정의 수정이 필요하다.

3.2.1 예비 성형체 재설계

전·후방부의 압출길이가 동일하고 동시에 성형을 완료하기 위해 양방향 압출을 수행하기 전에 개방형 압출 시 길이의 차이만큼 예비성형을 하였다. 세 번째 공정에서 후방압출로 전·후방부 압출길이의 차이만큼인

24.9mm를 성형하고 네 번째 공정에서 양방향 동시 압출을 하는 공정으로 변경하여 해석을 수행하였다.

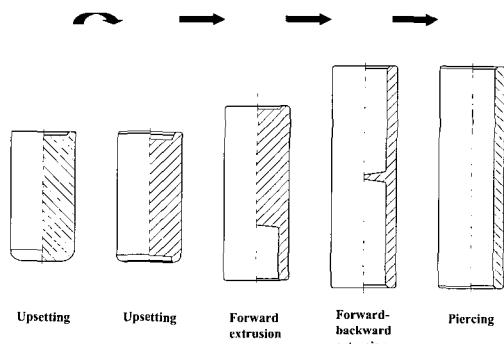


Fig. 9 Modified process sequence for multi stage former

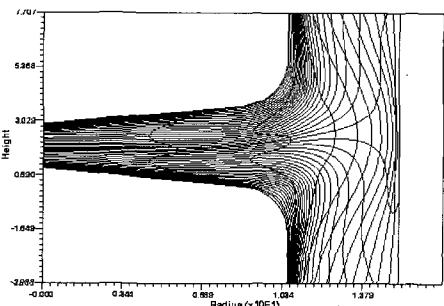


Fig. 10 Flow lines of web in the case of using preform

Fig. 9에 각각의 공정도를 나타내었다. 해석결과 기존의 결합 발생부에 전·후방부로의 속도 불연속은 발생하지 않았으며 균일한 금속유동을 관찰 할 수 있었다. 이것은 전체 성형공정동안 소재가 데드메탈 영역이 없이 전체적으로 균일하게 유동을 했기 때문이다. 또한 양방향으로 동일한 압출길이를 가져 설계조건을 만족하는 제품을 성형할 수 있었다. Fig. 10에 최종단계에서의 유동선을 나타내었다

3.2.2 금형의 구조 변경

금형의 구조를 변경하여 전·후방부로의 성형이 동시에 완료되도록 후방압출부의 소재의 유동을 지연시키는 방법을 제안하였다. 이 경우 양방향 동시성형과 전·후방부로의 압출 길이를 동일하게 하기 위해 금형 구조에서 소재로부터 편치 취출을 용이하게 하기 위해 사용되는 스트리퍼(Stripper)를 재설계 하였다. 여기서 일반적으로 다단포머에서 사용하는 고정 스트리퍼 구조를 사용

하게 되면 기준공정과 마찬가지로 성형 말기에 먼저 성형이 된 후방압출부의 소재 유동이 제한되어 데드메탈 영역이 발생한다. 따라서 스프링력을 이용하여 먼저 성형되는 후방압출부의 유동을 제한하는 구조를 사용하였다.

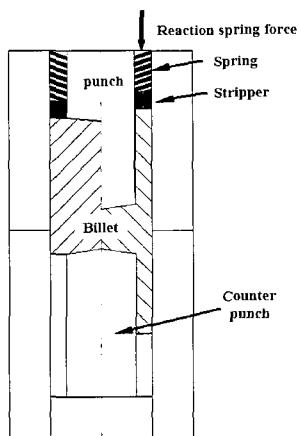


Fig. 11 Schematic diagram of die structure using stripper

Fig. 11에 금형의 구조를 나타낸다. 이 경우에 양방향 동시에 성형을 위해 중요한 변수는 적절한 스프링력을 결정하는 것이 중요하다. 따라서 먼저 유한요소해석을 통해 전·후방부의 길이를 동일하게 하기 위해 스트리퍼에 작용하는 하중을 구하고 구해진 하중만큼 스트리퍼에 스프링력을 가하여 소재의 유동을 제한하는 구조로 하여 최종적으로 동시에 성형을 완료하도록 공정을 설계하였다. 해석결과 후방압출부에 스트리퍼에 작용하는 하중은 최종단계에 있어서 5ton 이었다. Fig. 12에 이 경우에 최종 펴어상 전의 소재의 유동선을 나타낸다. 이 경우 역

시 기존의 유동결합 영역에서의 데드메탈 영역에 의한 속도연속이 없이 소재의 유동이 완만하게 분포함을 알 수 있었으며 설계조건을 만족하는 제품을 성형할 수가 있었다.

3.2.3 압출 컨테이너 구동

제품을 같은 길이로 동시에 충만 시키기 위해 Fig. 13과 같이 압출 컨테이너를 구동하는 구조를 사용하였다. 이 구조는 먼저 성형이 완료되는 방향과 반대 방향으로 압출 컨테이너를 구동하여 먼저 성형이 완료되는 부분의 소재 유동은 제한하고 반대로 나중에 성형이 완료되는 방향으로는 소재의 유동을 원활히 하여 동시에 성형을 완료시키기 위한 구조이다. 퍼스톤 펀의 경우에는 전후방 압출비가 동일하기 때문에 양방향 동시에 압출 시 후방 압출부로 먼저 성형이 완료된다.(Fig. 8) 따라서 컨테이너의 구동방향은 펀치의 구동방향과 동일한 방향으로 하였다. 이 경우에 있어서 동시에 성형완료를 위해 가장 중요한 변수는 펀치와 압출 컨테이너의 상대 속도비와 소재와 압출 컨테이너 사이의 마찰이다.

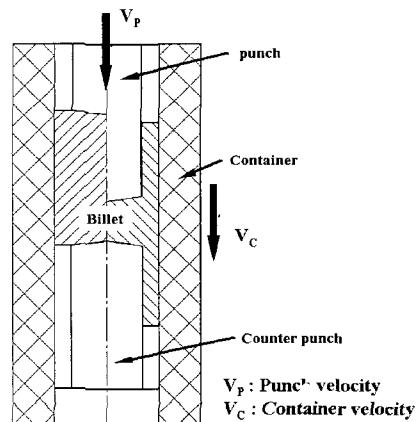


Fig. 13 Schematic diagram of axially moving container die structure

본 연구에서는 소재와 재료와의 마찰값 m 은 0.1이기 때문에 상수로 두고 상대 속도비(v_p/v_c : 0.1, 0.25, 0.5 0.75 1.0)만을 변화시켜 해석을 수행하였다. 만약 상대속도비가 최적의 상대속도비에 비해 큰 값을 가지면 전방 압출부의 금속 유동성이 좋아져 전방압출부가 먼저 성형을 완료하게 되어 기준 공정과 동일 부분에 결합이 발생하게 된다. 반대로 상대속도비가 최적값에 비해 작은 값을 가지는 경우에는 후방압출부가 먼저 성형을 완료하게 되어 기준 공정의 반대 부분에 유동결합이 발생하게 된다.

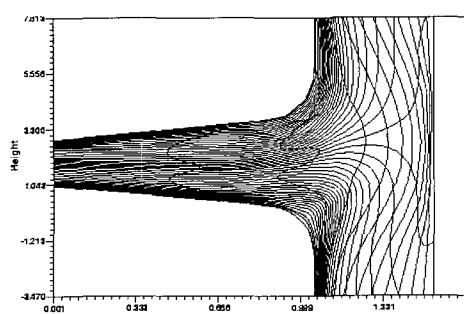


Fig. 12 Flow lines of web in case of using stripper

다. 따라서 설계조건을 만족하는 최적의 상대 속도비를 이분법을 사용하여 결정하였다. 그 결과 최적의 상대속도비는 0.48임을 알 수 있었다.

Fig. 14에 펀치 스트로크가 42.7mm에서의 상대속도 0.1mm/s, 0.48mm/s, 1.0mm/s 일 때의 변형 양상을 나타내었고 Fig. 15에 각각의 상대 속도비에 따른 소재의 유동선을 나타내었다. 먼저 상대 속도비 0.1인 경우에는 후방압출부에 유동 결함이 발생함을 알 수 있었고, 최적의 속도비인 0.48의 경우에는 유동결함이 없이 유동이 전·후방부로 균일하게 분포함을 알 수 있었다. 마지막으로 속도비가 속도비가 1.0일 때는 전방압출부에 결함이 발생하였다(Fig.15).

4. 결과 및 실험

유한요소 해석 결과로부터 금속 유동제어 공법으로 유동결함을 없앨 수 있는 세 가지 공법을 제안하였다. 각 공정의 특성은 다음과 같다. 먼저 예비성형체를 재설계한 경우에는 최종 제품을 성형하기 위해서는 3공정(예비 성형, 전후방 동시압출, 피어싱)이 필요하지만 간단한

금형 구조를 가진다. 반면에 금형의 스트리퍼를 개선한 경우와 압출 컨테이너를 구동한 경우에는 최종 제품성형을 위해서 2공정(전후방 동시압출, 피어싱)이 필요하지만 복잡한 금형 구조를 가진다. 따라서 다단포머를 이용하는 경우에는 금형의 구조를 고려하여 예비성형체를 이용하는 경우와 금형의 스트리퍼를 이용하는 공정이 적합하나 압출 컨테이너를 이용하는 경우는 펀치와 압출 컨테이너의 최적의 상대 속도비가 0.48이므로 전체 이동 가능한 압출 컨테이너의 스트로크를 고려할 때 적용의 한계가 있다. 반면에 프레스를 이용하여 제품을 성형하는 경우에는 각 성형공정이 각각 이루어지기 때문에 예비성형체를 이용하는 경우에 비해 스트리퍼 구조를 변경하는 경우와 압출 컨테이너를 구동하는 경우가 공정수가 절감되어 유리하다. 제안된 각 공정에 대한 성형하중은 기존 공정과 비슷한 성형하중을 나타냈다. 그러나 압출 컨테이너를 구동한 경우에 최대 성형하중이 다른 공정에 비해 약 10ton 정도 작은 값을 나타내었다. 이것은 컨테이너 구동이 펀치 진행방향으로의 소재 유동을 원활히 하였기 때문이다. Table 1에 각 경우를 비교하여 나타내었다.

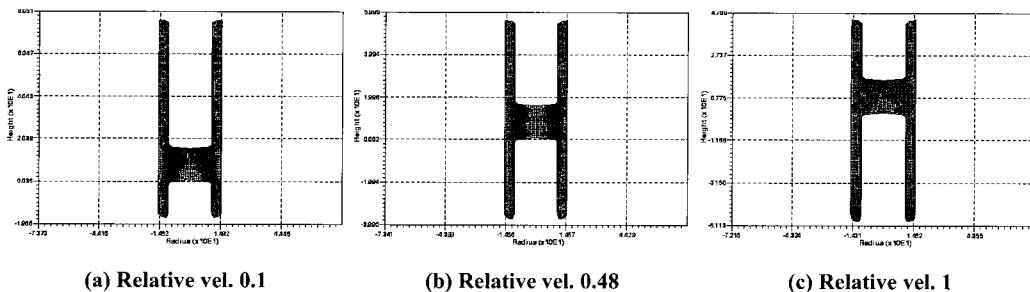


Fig. 14 Comparison of deformation according to relative velocity ratios

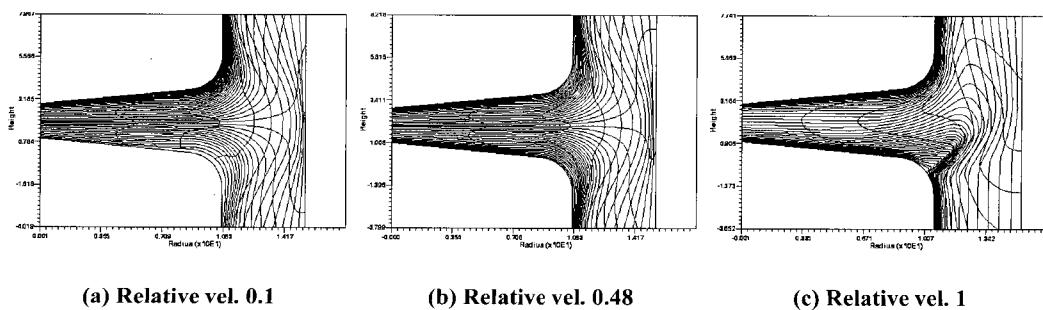


Fig. 15 Comparison of flow lines according to relative velocity ratios

본 연구에서는 유한요소 해석의 검증을 위해 적용 가능한 공정 중 다단포머를 사용하여 예비성형체를 사용하는 경우에 대해 실험을 수행하였다. 실험은 250ton 냉간 단조용 다단포머를 사용하였다. Fig. 16에 실험 결과를 나타내었다. 최종 피어싱 전의 제품을 절단하여 유동선 관찰용 부식을 통하여 유동선을 추적하였다. 유동선 관찰 결과 유한 요소해석에서와 마찬가지로 웨브를 중심으로 전·후방부로 균일하게 유동선이 분포함을 알 수 있었고 기존의 결합 발생부위에 발생하던 유동결함이 없어진 것을 알 수 있었다. 또한 양방향으로 동일한 압출길 이를 얻을 수 있었다.

Table 1 Comparisons of the proposed methods

	Conventional method	Preform	Stripper	Moving container
Max. load (ton)	97.2	96.3	96.1	84
No. of forming stages	3	3	2	2
Defect	Exist	Non	Non	Non

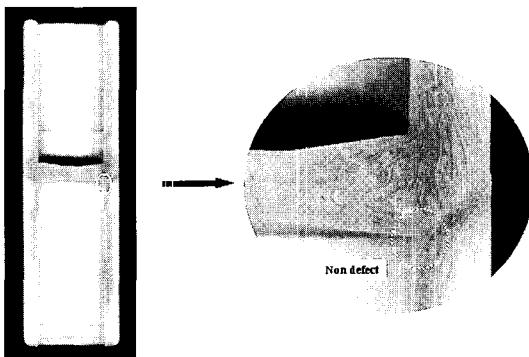


Fig. 16 Elimination of flow defect by the first proposed method

5. 결 론

본 연구에서는 강소성 유한요소 해석을 통하여 자동차 피스톤 핀 부품 성형 공정 시 발생하는 결함을 규명하고 결함방지를 위한 설계를 하였다. 먼저 결함의 해석결과와 실험결과를 비교함으로써 결함의 원인을 파악하고 결함의 해석적 접근의 타당성을 밝혔다. 이를

근거로 하여 결함을 방지할 수 있는 공정을 재 설계하였다. 재 설계된 공정에 대하여 유한 요소해석과 실험 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 피스톤 핀 성형시 나타나는 유동결함은 금속유동의 제한에 의해 발생하는 네드메탈 영역과 이로 인한 속도 불연속에 의해 발생하며 유동결함을 없애기 위해서는 금속 유동을 제어하는 것이 중요하다.

(2) 전후방 동시 압출공정에서 유동결함을 없애고 설계조건을 만족하는 제품을 성형하기 위해 예비성형체 재설계, 금형의 구조변경, 압출 컨테이너 구동 방법을 제안하였다.

(3) 예비성형체를 재 설계한 경우에는 3공정의 성형공정이 필요한 반면 간단한 금형 구조를 가지며 스트리퍼의 재설계, 압출 컨테이너 구동방법은 2공정의 성형공정을 필요로 하는 반면 복잡한 금형 구조를 가진다.

(4) 제안된 공정들은 피스톤 핀의 설계조건을 만족하였으며 예비성형체를 재 설계한 경우에 대한 실험 결과로부터 유한요소해석과 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀 정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) T. Okamoto, T. Fukuda and H. Hagita, 1997, "Material Fracture in Cold Forging-systematic Classification of Working Methods and Types of Cracking in Cold Forging", Source Book on Cold Forming, ASTM, pp. 216~226.
- (2) A. S. WiFi, A. Abdel-Hamid, N. El-Abbasi, 1998, "Computer-aided evaluation of workability in bulk forming processes", J. Mater. Process. Technol., Vol.77, pp. 285~293.
- (3) 김동진, 김병민, 1999, "이중 리브를 가진 냉간 압출품의 내·외부 결함 방지를 위한 공정설계", 한국소성가공학회, 제8권, 제6호, pp. 612~619.
- (4) 오세욱, 1995, "축대칭 전방압출공정의 파이핑 결함에 관한 유한요소해석", 부산대학교 대학원 석사학위논문
- (5) "http://www.magneto.co.kr/index_product_k.html"

- Combination of Piston and Connection Rod.
- (6) M. Kobayashi, M. Li and H. Sakuta, 1990, "Prediction of Mechanical Properties and Micro structure in Forged 1050 Aluminum by Numerical Simulation", Light Metals (in Japanese), Vol.40~11, pp. 805~810.
 - (7) T. Altan, K. Sweeny, V. Vazquez, H. Kim, M. Knoerr, 1995, "Cold Forging of Complex Shaped Parts to Close Tolerance-application of Metal Flow Simulation to Process and Tool Design", Proc. 9th International Cold Forging Congress. Solihull, UK
 - (8) "DEFORM User's Manual V4.1", 1995, Scientific Technologies Corporation.
 - (9) T. Altan and M. Knoerr, 1992, "Application of the 2D finite element method to simulation of cold-forging processes', J. Mater. Process. Technol., Vol.35, pp. 275~302.
 - (10) Kozo Osakata, Xin Wang and Shinji Hanami, "Forward - Backward Extrusion with Axially Driven Container", J. JSTP, Vol.37, No.30, pp. 1154~4479.
 - (11) K. Lange, Handbook of Metal Forming, McGraw Hill, 1985.