

돌기성형공정에 관한 실험적 연구

구훈서¹ · 박용석² · 장동환[#]

Experimental Investigation on the Serration Process

H. S. Koo, Y. S. Park, D. H. Jang

(Received January 9, 2008)

Abstract

In this paper, experimental investigation has been performed to analyze the forming process of toothed or serrated sheets, which is used as strap engaging surface of the seal to secure together overlapping portions of steel or plastic strapping ligature. Serration formed on the strap engaging surface of the seal prevent from relative slipping between overlapping ligatures after closing the seal. The geometry of tooth on the strap engaging surface is directly related to the quality of securing overlapping ligatures together. Inclined indentation followed by scratching operation has been proposed and applied to the experiments. Punch entry and face angles are selected as process variables to see the influence of these variables on the tooth geometry. Five different punch entry angles have been applied to experiments and three different punch face angles have been selected for each case of punch entry angle. Clay is selected as model material for experiments. Experimental results are summarized in terms of tooth height, tooth width, and aspect ratio such as tooth height to width ratio, respectively.

Key Words : Serrated Sheets, Multi-action Die, Toothed Seal, Inclined Forming Angle, Punch Face Angle

1. 서론

돌기(tooth or serration)란 어떤 재료의 표면이 날카롭게 돌출된 형상을 말하는 것으로 이를 성형하는 방법은 여러 가지가 있다. 가장 대표적인 방법으로 주로 소재의 표면에 펀치를 이용하여 압력이나 충격을 가하여 펀치 주변으로 돌출된 형상을 만드는 접촉소성변형공정으로 압입공정(indentation)[1~2]이 있다. 하지만 이러한 전통적인 방법으로 충분한 높이의 돌기를 성형하는 것은 용이하지 않은 것으로 알려져 있다[3]. 일반적으로 제품을 묶음 포장하여 압착할 때 사용되는 씰(seal)의 내면에 미끄럼 방지를 위하여 돌기성형이 이용된다. 이러한 씰의 재료는 주로 연강(mild

steel)이 사용되며 두께가 1.0mm 이하인 박판을 사용한다[4].

띠(ligature) 묶음체결을 위한 씰의 내면에 사용되는 돌기는 충분한 체결력을 확보하기 위하여 높이가 0.35mm 이상이 되어야 한다. 또한, 돌기성형에 의하여 필연적으로 압착된 소재에 발생하는 오목한 홈(recess)의 깊이는 씰의 강성을 유지하기 위하여 소재 두께의 40% 이내에서 가공을 하여야 한다[4]. 형상적인 측면에서도 돌기가 매우 예리하여 씰이 띠에 압착체결시 쉽게 침투할 수 있어야 한다. 일반적으로 돌기의 형상은 높이와 폭의 비가 약 1.15 정도의 직각삼각형 형태가 가장 적당한 것으로 알려져 있다[4].

본 논문은 경사압입(inclined indentation)과 굽기

1. 인하대학교 대학원 기계공학부

2. 인하공업전문대학 기계과

교신저자: 인하공업전문대학 기계설계과,

E-mail: dhjang@inhatc.ac.kr

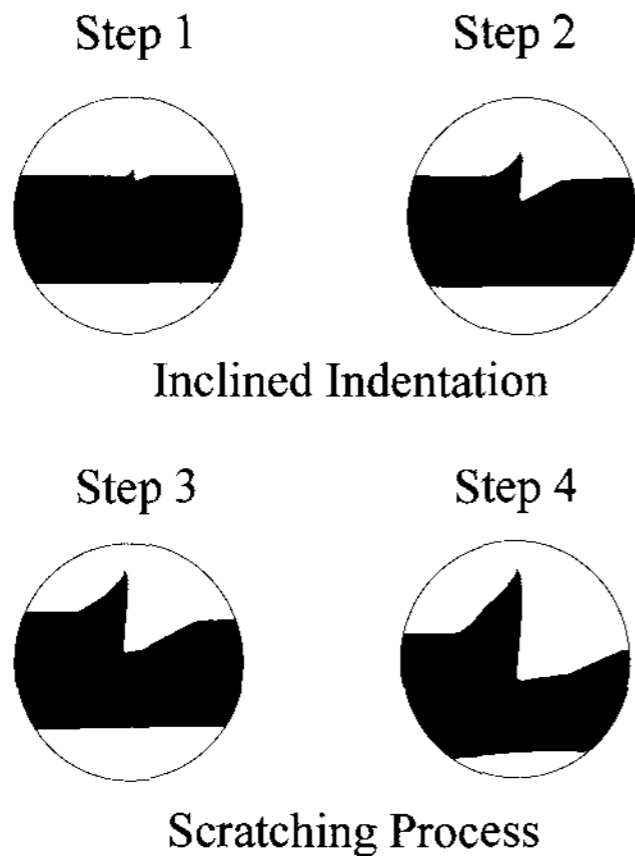


Fig. 1 Schematics of serration process

공정(scratching)을 적용하여 썰의 내면에 미끄럼 방지용으로 성형하는 돌기성형의 실험에 관한 것으로 펀치의 진입각(punch entry angle) 및 선단각(punch face angle)이 돌기의 형상적 특징에 미치는 영향에 대한 분석을 목적으로 한다. 본 논문에서 적용된 돌기성형공정은 Fig. 1에 나타난 것처럼 공정초기의 경사압입에서 돌기의 기본적인 형상을 형성하고 이후 이어지는 긁기공정에서 돌기의 형상이 유지되면서 높이가 높아지게 된다. 실험에 사용된 모델재료는 연강과 유동특성이 유사한 것으로 알려진 진흙을 사용하였다. 시중에서 유통되고 있는 썰의 사진이 확대된 돌기의 형상과 함께 Fig. 2에 나타나있다.

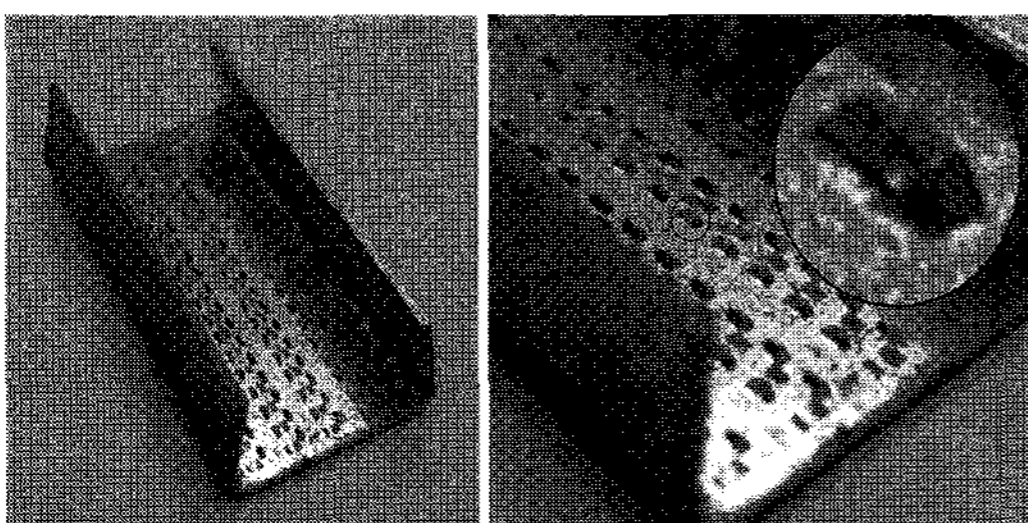


Fig. 2 Photograph of a commercial seal

2. 실험방법

2.1 공정변수의 설정 및 적용범위

실험에 대한 공정변수(process parameter)는 펀치 진입각(punch entry angle, θ)과 선단각(punch face angle, β)이며, 본 논문에서는 이러한 공정변수들이

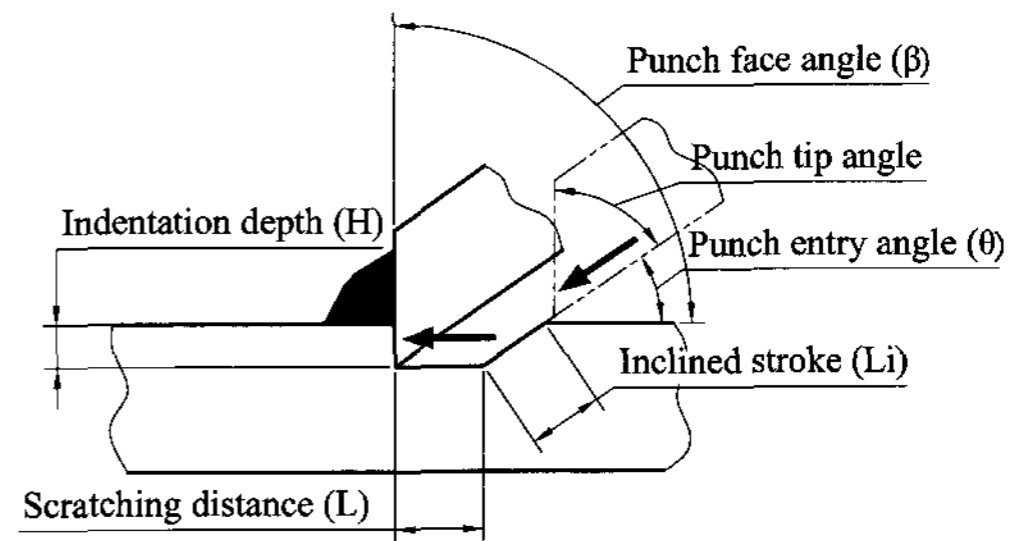


Fig. 3 Definition of experimental parameter

돌기의 형상 및 높이에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되어 주요 공정변수로 설정하고 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 돌기성형 공정에서의 펀치진입각 및 선단각, 날끝각(punch tip angle), 압입깊이(indentation depth, H), 긁기 행정거리(scratching distance, L) 등을 설명한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 성형펀치의 경사압입 전면이 모재 표면과 이루는 각도인 선단각은 경사 압입에서 초기의 돌기 모양을 형성하는데 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 선단각이 너무 예리하거나 또는 클 경우에 적합한 형상의 돌기를 형성하기에는 부적절할 것으로 판단되어 본 논문에서는 세 가지경우의 선단각을 설정하였다. 선단각이 직각인 경우가 돌기의 형상이 가장 좋을 것으로 판단되며 85°, 90°, 그리고 95°를 실험에 적용하였다. 실험에 적용된 펀치 진입각의 최소값 및 최대값은 각각 18°에서 38°까지 5°간격으로 균등하게 설정하였다. 이와 같이 각각의 펀치진입각에 대해 세 가지의 선단각을 모두 적용함으로써 총 15 가지의 서로 다른 공정 조건에서 실험을 수행하였다. Table 1은 실험에 적용된 모든 공정변수에 대해 정리한 것이다.

Table 1 Parameters used in experiment

Parameters	Values
Punch entry angle (θ)	18°, 23°, 28°, 33°, 38°
Punch face angle (β)	85°, 90°, 95°
Indentation depth (H)	2.5mm
Scratching distance (L)	5mm

2.2 실험장치

돌기성형공정에 대한 실험을 위하여 프레스에 장착되어 실험을 할 수 있는 금형과 편의성을 고려하여 레버를 이용한 수동으로 캠드라이버(cam

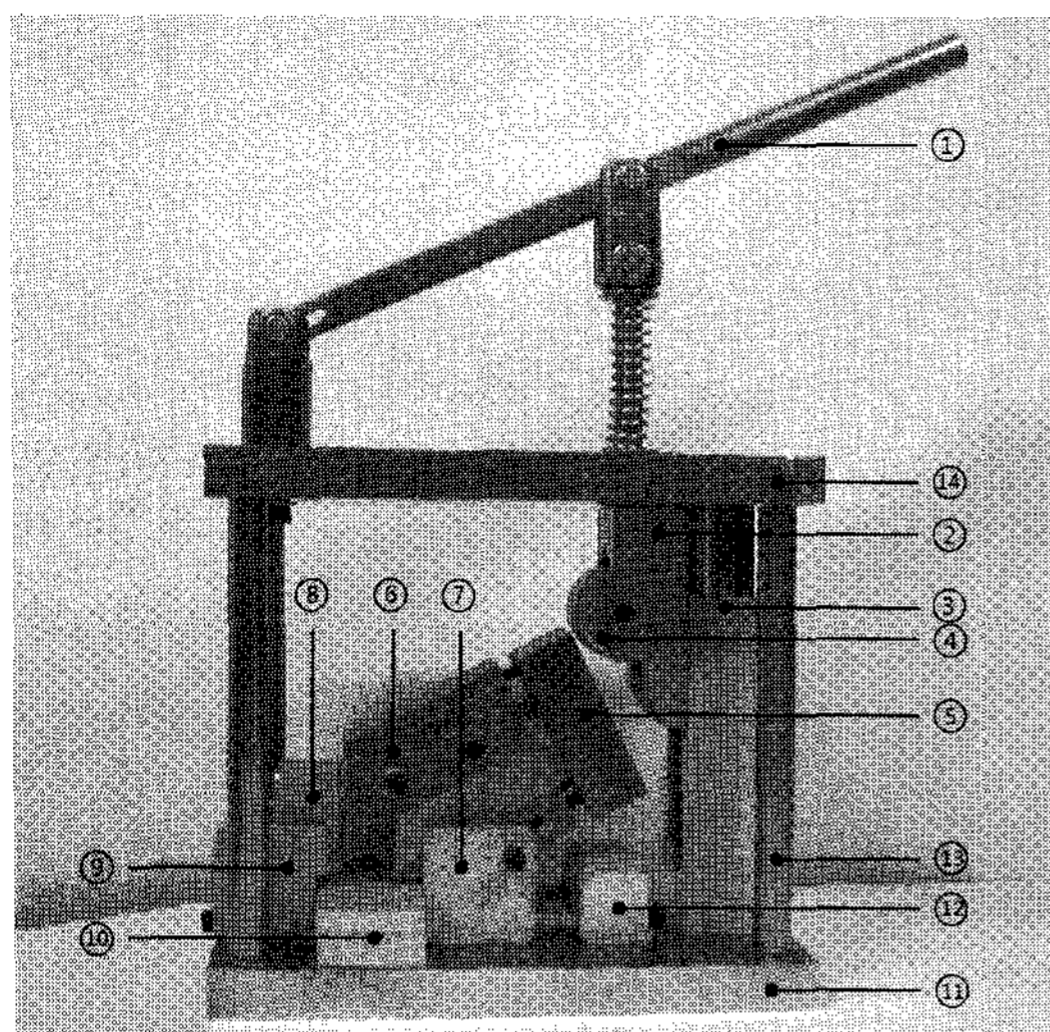


Fig. 4 Photograph of die assembly for experiment

driver)를 작동할 수 있는 두 개의 금형을 별도로 제작하였다. 제안된 금형은 Fig. 4 와 같은 구조이며 사진에 나타난 금형 각 부의 부품을 설명하면 다음과 같다.

①은 레버이고 ②은 캠드라이버이다. ③은 캠드라이버를 수평방향으로 지지하며 수직방향으로 안내하는 역할을 하는 블럭이고 ④는 롤러(roller)로 캠드라이버의 운동을 경사슬라이더(inclined slider)로 전달하는 역할을 한다. ⑤는 ③의 안내블럭과 ④번 부품인 롤러에 의해 전달된 운동에 의해 펀치가 경사 진입을 하도록 하는 경사슬라이더이고 ⑥은 성형펀치(forming punch)를 장착한 수평슬라이더(horizontal slider)로 경사압입이 완료된 후 경사슬라이더가 밀착되면 함 몸체를 이루면서 수평방향으로 미끄럼 운동을 한다. ⑦은 수평슬라이더의 가이드 역할을 하는 부품이고 ⑧은 굵기 행정을 완료시키기 위하여 수평슬라이더가 맞게 되면서 공정을 완료하는 정지블럭(stopper block)이다. ⑩은 시편 장입판(specimen magazine)이고 ⑪은 금형 전체를 지지하는 베이스이다. ⑫는 슬라이더의 안내면을 지지하는 지지 블록이고 ⑬은 상판(upper plate)와 금형의 베이스를 연결하는 연결봉(connecting rod)으로 금형의 베이스와 상판을 고정시키는 역할을 하며 ⑭는 상판이다.

2.3 실험조건

본 논문에서는 펀치진입각과 선단각이 돌기의 형상에 미치는 영향을 분석하는 것이 일차적인

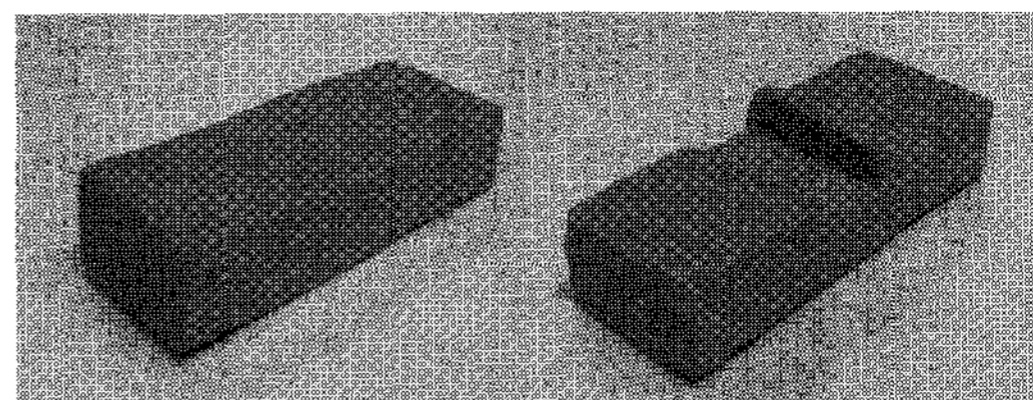


Fig. 5 Photograph of experimental specimens

목적이므로 압입 또는 절입깊이(indentation or cut-in depth)를 일정하게 함으로서 모재로부터 분리되는 소재의 두께가 일정하게 성형될 수 있도록 실험을 수행하였다. 실험에 적용된 재료의 수직방향에 대한 압입깊이는 모든 경우에 대하여 2.5mm로 동일하게 적용하였다. 이러한 행정거리를 소재 두께의 40%로 보았을 때 소재 두께는 6.25mm가 되며 돌기의 높이는 소재 두께의 35%인 약 2.2mm가 되어야 충분한 것으로 판단할 수 있다. 또한 수평행정거리는 5mm로 하였으며 두께 1mm의 박판에서 환산하면 압입깊이는 0.4mm, 수평행정거리는 0.8mm가 된다.

2.4 실험모델재료

실험을 위한 모델재료(model material)을 선정하기 위하여 예비실험을 통한 여러가지 종류의 재료를 고려하였으며 최종적으로 연강과 물성치가 유사하다고 알려진 진흙을 사용하였다[5]. 예비실험에서 종이 찰흙을 사용하였지만 섬유질이 많이 포함되어 있어 성형펀치의 측면에서 소재가 분리되지 않아 적절한 모델재료가 아닌 것으로 판단하였다. 또한, 테프론 박판을 이용한 예비실험도 시도하였다. 그러나 테프론은 측면에서 전단은 잘 이루어지지만 재료가 전연성이 매우 작은 특성이 있어 분리된 소재형상이 모재로부터 분리된 원형 그대로 유지하고 있었다. 따라서, 테프론은 성형펀치의 측면에서 전단은 되지만 재료의 유동이 원활하지 않아 돌기성형의 특성을 알아보기 위한 모델재료로는 부적합한 것으로 판단하였다. Fig. 5는 본 논문에서 적용된 모델재료인 진흙을 이용하여 돌기성형 실험 전후 시편의 사진을 나타낸 것이다.

2.5 시편처리 및 실험 데이터 수집

실험에 사용된 모델재료인 진흙은 점성으로 인하여 성형이 완료된 후 즉시 절단하면 형상이 왜

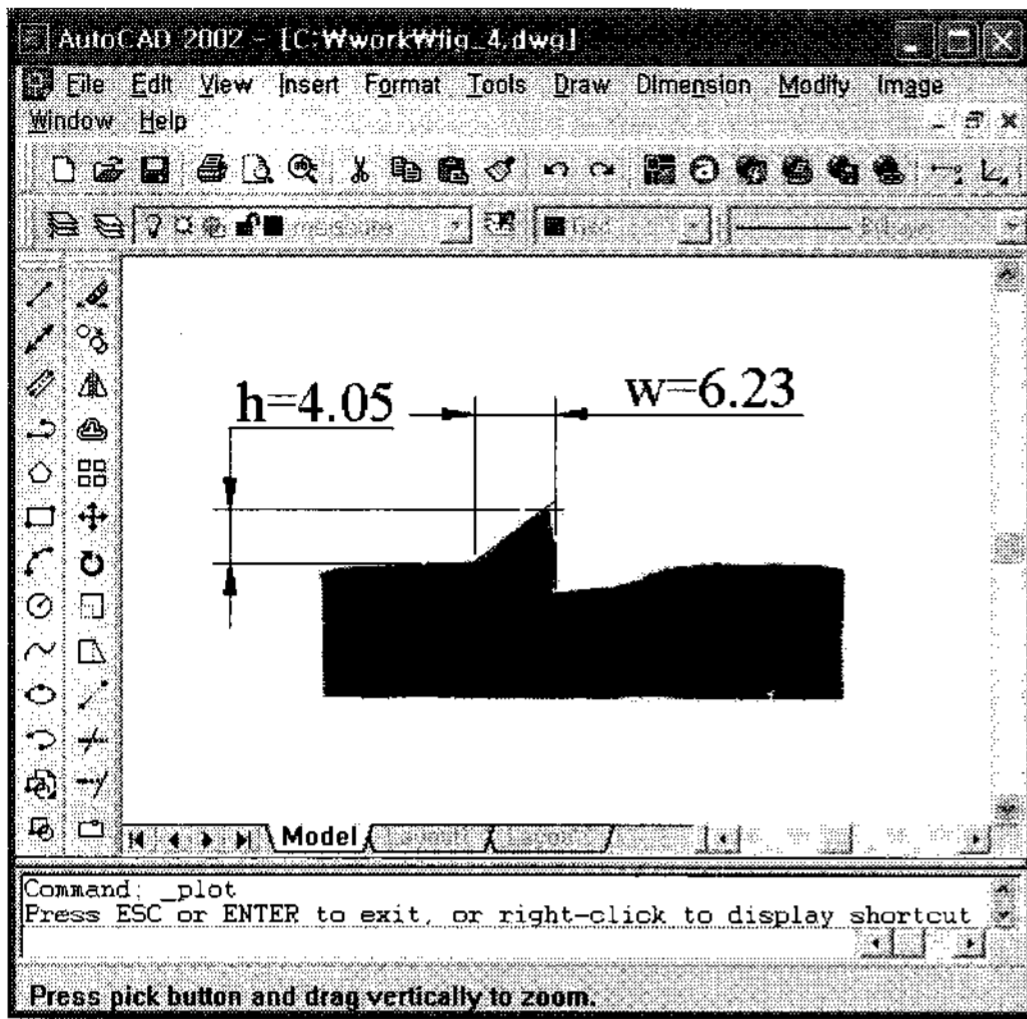


Fig. 6 Measurement of tooth height and width

곡될 수 있는 가능성이 있다. 따라서, 성형이 완료된 시편은 충분히 건조한 후 금형후면의 기준면을 기준으로 중심선을 하이트 게이지(height gage)로 금긋기하여 시편을 절단하였다. 절단이 끝나면 스캐닝하기 전에 먼저 단면의 표면 정도를 높이기 위해 샌드페이퍼(sand paper) #200을 이용하여 래핑(lapping)하였다. 이와 같은 시편처리 과정이 끝나면 돌기가 정상적으로 성형이 되었는가를 판단하는 기준으로 돌기의 높이 및 폭을 기본적으로 측정하고 상대적인 비를 계산하여 돌기의 형상적 특성을 나타내는 지표로 삼았다.

성형된 시편에서 돌기의 형상적 특징을 측정하는 방법으로는 첫째 돌기의 높이 등을 하이트게이지 등의 측정기구를 사용하여 직접 측정하는 방법이 있고, 둘째 시편의 단면을 스캐닝하여 컴퓨터 소프트웨어를 활용하는 방법인 간접측정방법이 있다. 본 논문에서는 절단된 시편을 1:1 축적으로 스캐닝하여 파일을 생성하고 이러한 화일을 Auto-CAD[6]로 불러 들여서 측정하는 간접측정방식을 사용하였다. Fig. 6은 스캐닝한 시편에서 돌기의 높이와 폭을 측정하는 과정을 보여준다.

3. 실험결과

3.1 단면형상

모델 재료인 진흙을 이용하여 경사압입 후 굽기 공정을 갖는 복동금형을 사용하여 여러 가지 다양한 경사각 및 선단각에 대하여 실험을 수행

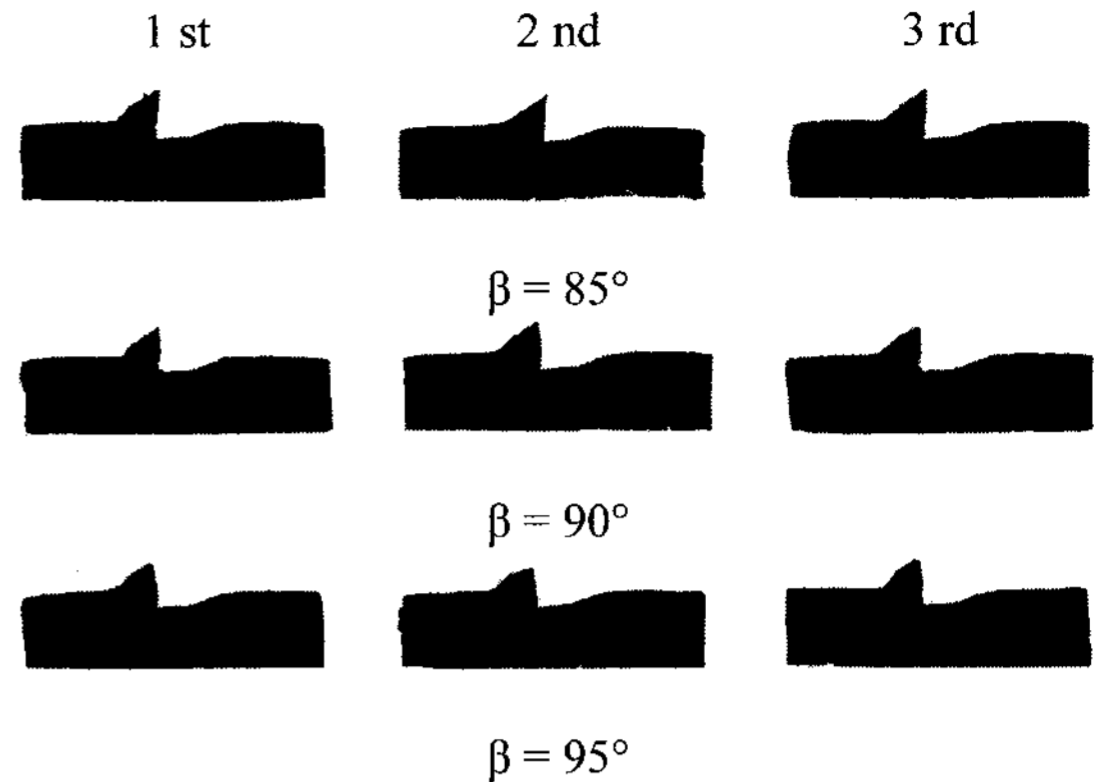


Fig. 7 Specimen section view for different punch face angle with punch entry angle $\theta=18^\circ$

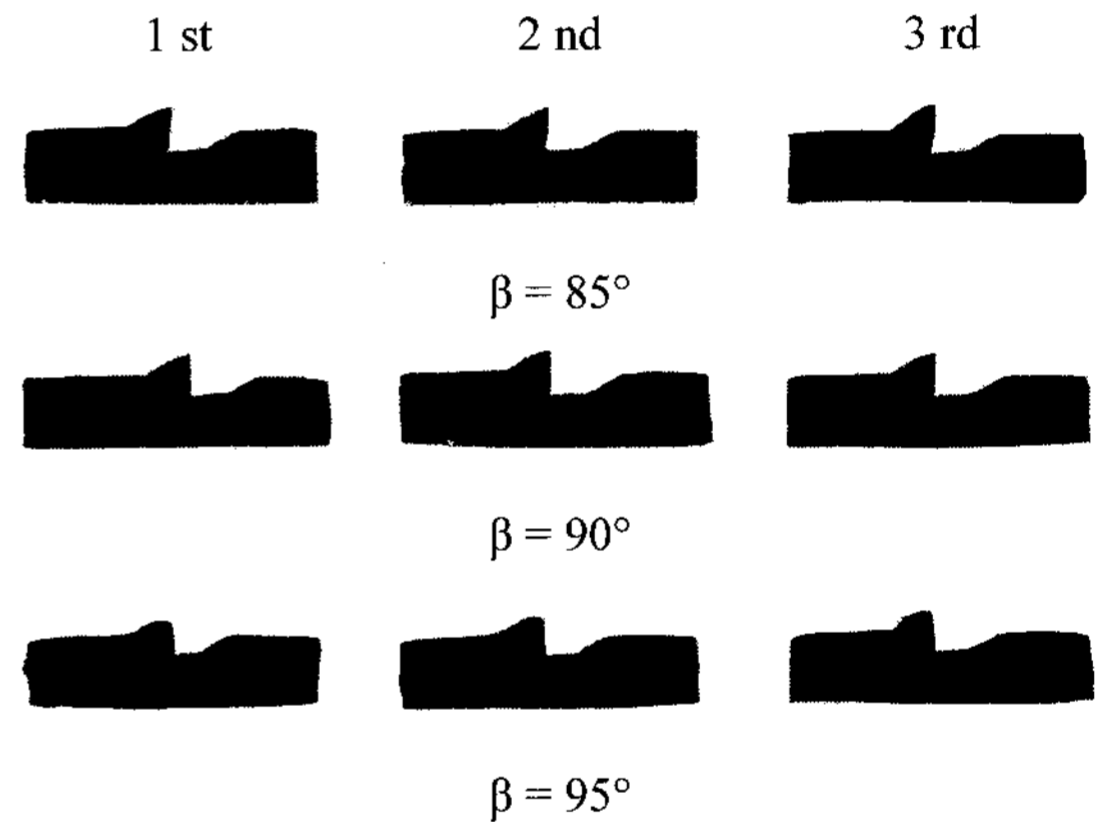


Fig. 8 Specimen section view for different punch face angle with punch entry angle $\theta=28^\circ$

하였다. Fig. 7과 8은 펀치진입각이 각각 18° 및 28° 일 때 실험에 의한 단면형상을 스캐닝한 그림을 나타낸 것이다. 전체적인 시편의 단면을 스캐닝한 그림으로 관찰할 수 있는 것은 펀치의 진입각이 작을 때 상대적으로 돌기의 형상이 더 예리하며, 이는 진입각이 작을수록 돌기의 높이가 높아진다는 의미도 된다. 또한 선단각의 영향은 그리 크지 않은 것으로 보이나 선단각이 예각(85°)일 때 돌기의 형상이 상대적으로 더 예리함을 관찰할 수 있다. 시편을 스캐닝한 그림에서 판단할 수 있는 것은 경사각과 선단각이 작을 때 돌기의 형상이 보다 더 예리하게 형성된다는 점이다. 또한 같은 조건에서 세 번의 실험을 수행한 결과를 스캐닝한 그림으로 서로 비교해 보면 거의 동일한 형상의 돌기단면이 얻어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 수행한 실험 결과가 우수한

재현성을 보여 줌으로서 실험 방법이 적절하였다고 판단된다.

3.2 공정변수에 따른 돌기높이

셀의 압착체결시 돌기의 높이는 돌기가 압입되는 깊이를 판단할 수 있는 제원으로 돌기의 형상적 특징 중 가장 중요한 것으로 볼 수 있다. Fig. 9는 실험에 적용된 세 가지 선단각에 대한 돌기높이와 편치진입각의 관계를 나타낸 그래프이다. 그림으로부터 전체적으로 돌기높이는 편치의 진입각이 작을수록 높게 성형되며 반대로 편치의 진입각이 커질수록 돌기높이는 선형적으로 감소되는 경향을 나타낸다. 또한 선단각이 작을수록 돌기높이가 증가하는 것도 볼 수 있다. 다만 편치의 진입각이 작을수록 모재에서 분리되는 소재의 부피가 증가하기 때문에 이러한 경향은 자연스러운 현상이라 할 수 있다. 하지만 실험에서 측정된 결과 경사각이 18°일 때를 38°일 경우와 비교하면 모재에서 분리된 소재의 부피는 편치의 진입각이 18°일 때 약 25% 크게 나타났다. 따라서 모재에서 분리된 소재의 부피만 고려한다면 진입각이 18°일 때 돌기 높이가 진입각이 38°일 때의 돌기 높이보다 동일하게 25%정도 크면 경사각이 돌기높이에 미치는 영향이 없다고 볼 수 있다. 하지만 실제로 경사각이 18°일 때가 38°일 경우보다 약 45% 정도 돌기높이가 크게 측정되었다. 이러한 결과를 감안하면 순수하게 편치의 진입각이 돌기높이에 미치는 영향은 실험에 적용된 공정변수의 범위에서 약 20% 정도로 볼 수 있다. 결론적으로 편치의 진입각 자체가 돌기의 높이가 형성되는데 커다란 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 또한 진입각이 작아지면서 모재에서 분리된 소재의 부피가 상대적으로 돌기높이에 커다란 영향을 미치는 것으로 나타났다. 동일한 진입각에서는 선단각이 작을수록 돌기의 높이가 약간 크게 성형되는 결과를 얻었다. 선단각이 85°와 95°일 때를 서로 비교하면 선단각이 85°일 때 돌기의 높이가 약 10% 이상 크게 측정되었다. 따라서 실험에 적용된 공정변수의 범위에서 선단각 보다는 경사각이 돌기높이 형성에 미치는 영향이 약 2 배 정도 더 크다는 것을 알 수 있다.

그림에서 또 다른 주안점으로 그래프에서 돌기높이가 2.2 인 지점인 곳에 점선으로 기준선을 표시하였다. 앞서 언급했듯이 문헌에서[4] 견고한 체결력을 확보하기 위한 돌기높이를 판재두께가

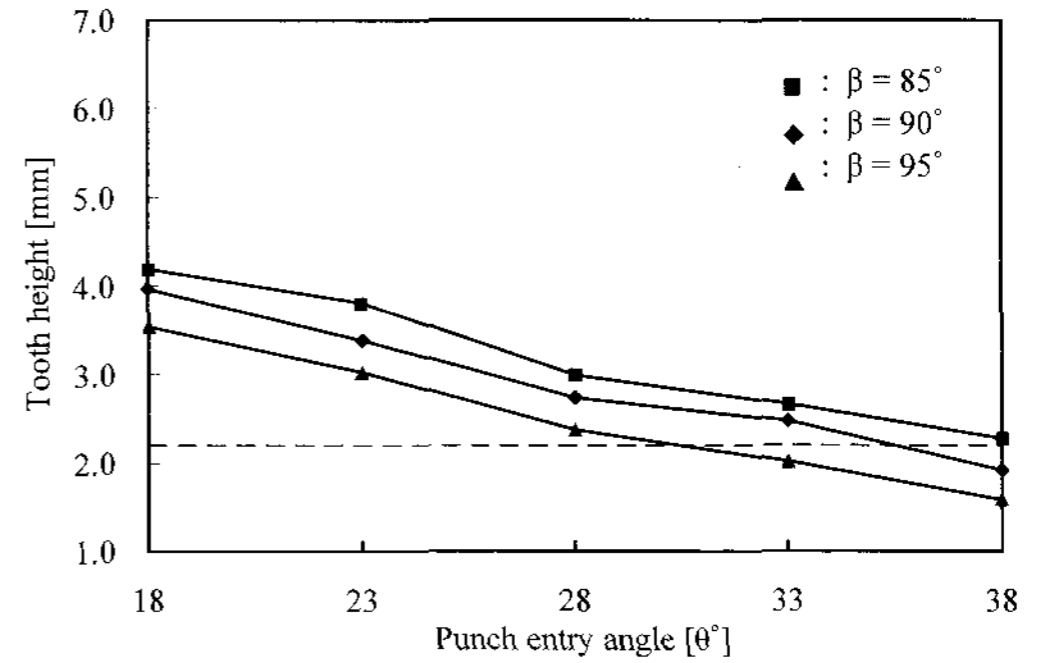


Fig. 9 Influence of punch entry angle on the tooth height

1.0mm 일 때를 기준으로 0.35mm 이상으로 보았다. 따라서 제시된 기준선은 본 실험에서 적용한 모델재료의 두께에 대해 한계 높이인 약 35% 이상을 기준으로 돌기 높이가 2.2mm 이상이 되어야 하는 것을 나타낸 것이다. 따라서 실험에서 측정된 돌기높이는 경사각이 28°보다 작을 때는 기준 높이 보다 높게 성형되었으며, 경사각이 33°이상에서는 선단각이 95°일 때 모든 경우가 이러한 돌기높이기준에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서 수행된 실험에서 적용한 공정변수의 범위가 과도하게 설계되었다고 판단된다. 따라서 돌기의 높이 기준을 만족시키는 최소한의 공정조건에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

3.3 공정변수에 따른 돌기폭

Fig. 10은 실험에 적용된 세 가지 선단각에 대한 돌기폭과 편치진입각의 관계를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 돌기폭은 경사각이 28° 이하 일 때는 거의 변화를 보이지 않는다. 그러나 경사각이 28° 이상이 되면서 진입각이 증가할수록 돌기의 폭이 선형적으로 점차 감소되는 경향을 볼 수 있다. 또한 선단각이 크면 돌기의 폭도 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 앞에서 돌기높이와 선단각의 관계와는 반대의 경향으로 소재의 부피가 변형 전후에 일정한 조건에서는 자연스러운 현상이다. 경사각이 18°와 38°에서의 돌기폭의 변화는 경사각이 18°일 때 약 16% 정도 크게 나타났다. 따라서 진입각은 돌기의 높이와 함께 돌기의 폭에도 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 선단각이 85°와 95°일 때 돌기폭은 약 7% 정도 차이가 났다.

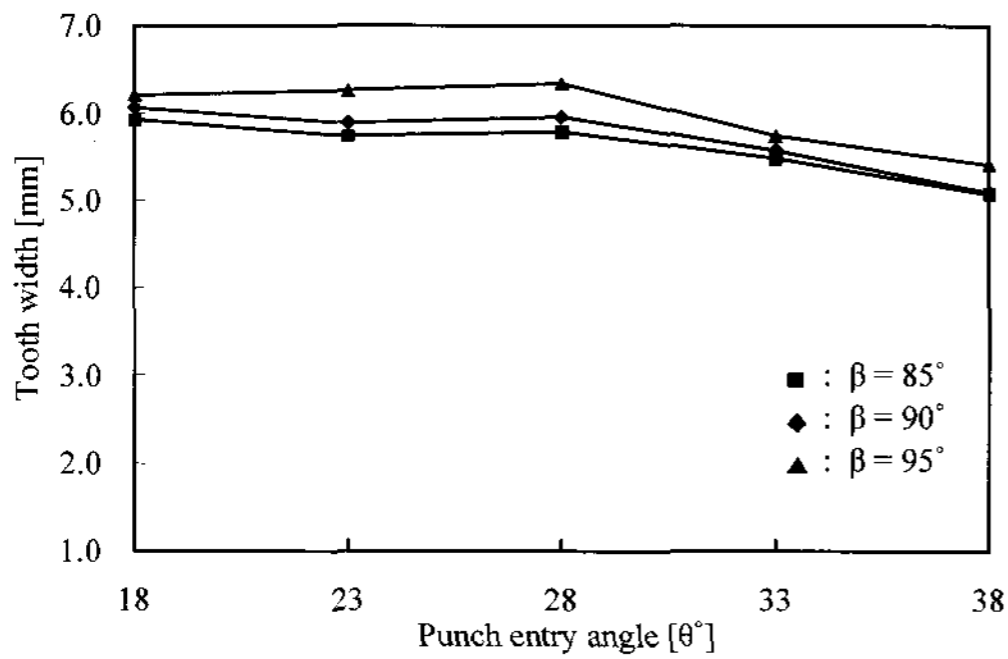


Fig.10 Influence of punch entry angle on the tooth width

3.4 돌기 형상비

본 논문에서는 돌기높이에 대한 폭의 상대적인 비(h/w)를 돌기 형상비(tooth aspect ratio)로 정의하였으며 이러한 형상비는 돌기가 얼마나 강건하게 형성되었는가를 판단하는 중요한 지표로 사용될 수 있다. Fig. 11은 세가지 선단각에 대해 편치 진입각에 따른 형상비의 관계를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 진입각이 증가할수록 형상비가 뚜렷하게 감소하는 것을 알 수 있다. 전체적으로 보았을 때 본 연구에서 적용된 공정변수의 범위 내에서 선단각과 편치진입각이 형상비에 미치는 영향은 돌기높이에 대한 영향과 유사하게 나타났다.

이상과 같이 돌기성형에 대한 실험 결과를 형상적인 측면에서 간단한 분석을 수행하였다. 실험 결과 모델재료인 진흙의 마찰 상태를 감안하여 돌기높이 측면에서 쉘에 적용되는 설계 기준을 거의 대부분 만족하고 있다. 이러한 점에서 본 논문에서 제시한 경사압입 후 굽기 공정이 돌기성형공정에서 매우 효과적이란 것을 알 수 있다. 결론적으로 본 논문에서 설정하여 적용한 편치의 진입각 및 선단각은 공정변수 범위 내에서 돌기형상의 특성인 높이, 폭, 형상비에 대해 각각 약 45%, 16%, 37% 정도의 변화를 보인다. 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서 적용된 공정 변수들은 돌기의 특성 중 가장 중요한 것의 하나인 돌기의 높이에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 점에서 2 단 복합 공정으로 구성된 경사압입 후 굽기 공정이 유효한 돌기높이를 확보하는데 매우 효과적이란 사실을 알게 되었다. 다만 실제 쉘의 재료로 사용되는 연강이 아닌 진흙을 모델재료로 하여 실험을 수행했기

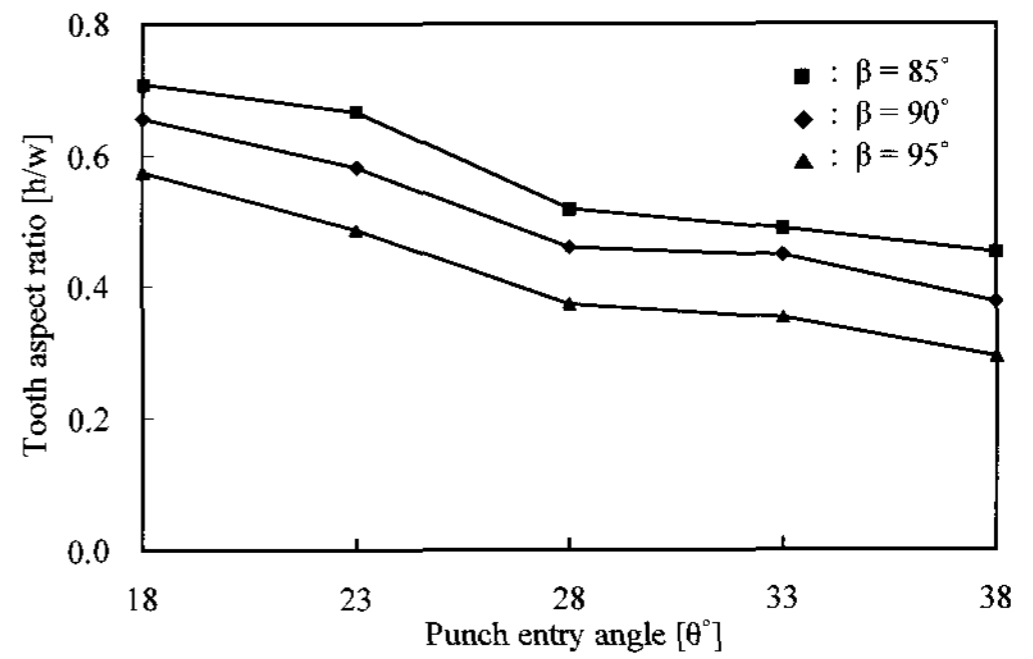


Fig.11 Influence of punch entry angle on the tooth aspect ratio

때문에 실제 재료를 적용했을 경우와 차이점이 있을 것으로 본다. 본 실험에 적용된 모델재료인 진흙은 연강재 보다 마찰이 크기 때문에 돌기의 형상적 특성인 높이가 연강재료 보다는 더 낮게 성형되었을 것으로 추정된다.

4. 결론

본 논문에서는 단일금형내에서 경사압입 및 굽기행정의 두 가지 서로 다른 공정을 순차적으로 수행할 수 있는 복동금형을 사용하여 진흙을 모델재료로 돌기성형에 대한 실험을 수행하였다. 돌기의 형상적인 측면에서 실험에 의한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 공정변수중에서 편치 진입각이 돌기 압입깊이를 판단할 수 있는 돌기높이 형성에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.
- (2) 선단각은 편치 진입각과 비교하여 상대적으로 돌기의 형상적 특징에 미치는 영향이 작게 나타났다.
- (3) 실험에 의한 돌기성형 결과가 대부분 미끄럼 방지를 위한 돌기의 일반적인 설계기준을 만족한 것으로 보아 제안된 성형공정이 유효한 것으로 판단된다.
- (4) 포장업계에서 쉘의 재료로 사용되고있는 연강박판에 대한 돌기성형은 향후 수치해석을 이용한 모의실험을 통해 연구하고자 한다.

참고 문헌

[1] J. R. Matthews, 1980, Indentation Hardness and Hot

- Pressing, Acta Metal., Vol. 28, pp. 311~318.
- [2] D.H. Jang and B.B Hwang, 2003, Rigid-Plastic FE Modeling of Frictional Contact Problems based on a Penalty Method, KSTP, Vol. 12, No. 1, pp. 34~42.
- [3] H. S. Koo, 2008, Experimental and Analytical Study on the Forming Process of Serrated Sheets, Ph. D Thesis, Inha University.
- [4] U.S. Patent, Toothed Seal, No. 3636592, 1972.
- [5] KR Patent, The Environmental-friendly Foundation Structure using Fried Clay, No, 20-0418820-000, 2006.
- [6] AutoDesk Co., 2002, Auto-CAD 2002.