

## 크린칭 접합의 성형특성에 관한 연구

비스라<sup>1</sup> · 노정훈<sup>1</sup> · 황병복<sup>2</sup> · 함경춘<sup>3</sup> · 장동환<sup>#</sup>

### A Study on the Forming Characteristics of Clinching Joint Process

V. R. Jayasekara, J. H. Noh, B. B. Hwang, K. C. Ham, D. H. Jang

(Received August 16, 2007)

#### Abstract

This paper is concerned with joining of thin metal sheets by single stroke clinching process. This method has been used in sheet metal work as it is a simple process and offers the possibility of joining similar-dissimilar thin sheet metals. Clinching generates a joint by overlapping metal sheets deforming plastically by punching and squeezing sequence. AA 5754 aluminum alloy of 0.5 mm thick sheets have been selected as a modal material and the process has been simulated under different process conditions and the results have been analyzed in terms of the quality of clinch joints which are influenced mainly by tool geometries. The rigid-plastic finite element method is applied to analyses in this paper. Analysis is focused mainly on investigation of deformation and material flow patterns influenced by major geometrical parameters such as die diameter, die depth, groove width, and groove corner radius, respectively. To evaluate the quality of clinch joints, four controlling or evaluation parameters have been chosen and they are bottom, neck thickness of bottom and top sheets, and undercut thickness, respectively. It has been concluded from the simulation results that the die geometries such as die depth and diameters are the most decisive process parameters influencing on the quality of clinch joints, and the bottom thickness is the most important evaluation parameter to determine if the quality of clinch joints satisfies the demand for industrial application.

**Key Words :** Clinching Joints, Evaluation Parameters, AA 5754 Aluminum Alloys, Process Parameters

#### 1. 서론

크린칭 접합공정(clinching joint process)은 두 개 이상의 겹쳐진 판재를 드로잉과 단조가 결합된 형태의 성형을 통하여 매우 신속하게 기계적으로 결합하는 공정이다. 이러한 크린칭 접합은 코팅된 판재나 이중금속으로 구성된 판재들을 기계적으로 접합할 수 있는 가장 간단한 접합공정 중 하나이다. 따라서, 크린칭 접합은 기존의 점 용접이나 볼트 체결과 같은 결합 방법을 대체할 수 있는

가능성이 있는 공정으로 알려져 있다. 또한 부품의 경량화 및 고생산성이 요구되는 자동차, 전자, 일반 가정용품 산업에서 크린칭 접합 방식의 응용을 검토하여 왔다[1]. 일반적으로 크린칭 접합공정으로 두께가 0.1에서 10mm까지의 다층 구조로 된 판재들을 체결 할 수 있으나 주로 3mm 이하의 경우에 많이 적용되고 있다[2]. 하지만 크린칭 접합방식은 대부분의 경우 복층구조에 적용되며 점 용접, 리벳체결, 나사체결, 납땜 등 판재 접합에 응용되는 모든 것들을 대체할 수 있는 방법으로

1. 인하대학교 대학원  
2. 인하대학교 기계공학부  
3. 인하공업전문대학 기계설계과,  
# 교신저자: 인하공업전문대학 기계설계과,  
E-mail: dhjang@inhac.ac.kr

알려져 왔다. 또 다른 장점은 단순히 펀치와 금형만으로 저렴하면서도 쉽게 자동화 할 수 있다는 것이다.

크린칭 공정 자체는 전혀 새로운 기술이 아니며 이미 독일에서 1897년에 특허가 등록되었다. 크린칭 장비 제작 관련업계에서는 크린칭 공정을 여러가지로 분류하는데 이 중 두 가지는 보다 광범위하게 사용되는 오래된 기술이다. 첫 번째는 상부소재에 전단력을 가하여 하부소재의 틈으로 밀어 넣는 방식이 있다. 이러한 방법은 경한 알루미늄 또는 스테인레스 스틸과 같이 연성이 부족한 재료를 서로 접합하거나 재료 간에 연성 또는 두께의 차이가 클 때 사용하는 방법이다. 두 번째는 일명 버튼 접합(button clinch)이라 불리는 방식으로 본 논문에서 분석 대상으로 하였으며, 두 소재가 금형의 공동부에 밀려 들어가면서 기계적 결합을 이루는 방식이다 [3]. 버튼 방식은 공정 후에 보다 깔끔한 공정 외관을 형성하기 때문에 상대적으로 선호되는 접합 방법이다.

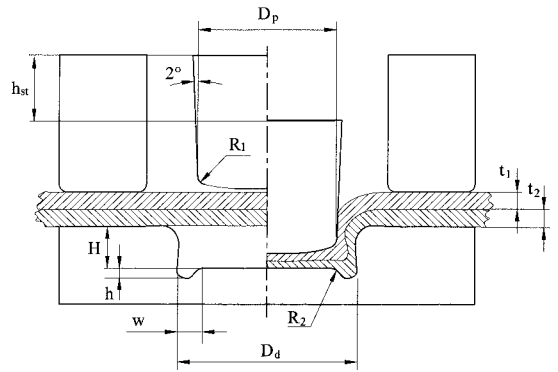
본 논문에서는 크린칭 접합공정의 파손형태를 분석하기 위하여 4 가지 주요공정 변수에 대해 강소성 유한요소법[4]을 이용하여 접합공정에 미치는 영향을 모의실험 하였다. 특히 평가지표를 이용하여 크린칭 접합공정에 대해 파손(failure)의 형태를 분류하고 이를 파손도표로 나타내는 것에 대해 초점을 두고 수치해석 하였다.

## 2. 크린칭 접합공정(clinching process)

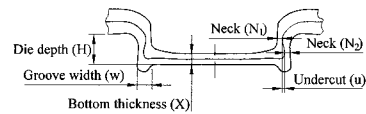
### 2.1 공정조건

단행정(single stroke) 공정으로 기계적 접합공정이 완료되는 크린칭 접합공정의 변형특성을 해석하기 위하여 본 논문에서는 공정에 영향을 미치는 주된 인자로서 금형직경( $D_d$ ), 금형깊이( $H$ ), 그루브코너반경( $R_2$ ) 그루브 너비( $w$ ) 등 4 가지를 주요 설계변수로 설정하였다. Fig. 1에 공구의 형상적 특징과 해석에 사용된 공정변수들이 도식적으로 설명되어 있으며 세부적인 수치값은 Table 1에 정리되어 있다. 본 연구에서는 두 소재 사이에 강한 기계적 결합력을 얻을 수 있도록 제반 공정 변수들의 적용 범위를 알아 보는데 초점을 두었다. 앞서 설명한 4 가지 공정 또는 공구의 형상적 변수에 대해 여러 가지 다른 수치값을 적용하고 이러한 변수들이 공정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모두 81 번의 경우에 대해 모의실험을 수

$R_1$  : punch corner radius       $h$  : groove depth  
 $R_2$  : groove corner radius     $w$  : groove width  
 $D_p$  : punch diameter           $t_1$  : punch side sheet thickness  
 $D_d$  : die diameter               $t_2$  : die side sheet thickness  
 $H$  : die depth                   $h_{st}$  : punch stroke



(a) Geometry of tooling



(b) Evaluation parameters

Fig. 1 Geometrical parameters

행하였다. 모든 경우의 모의실험에 펀치의 직경은 5mm 로 동일하게 적용되었다. 펀치의 행정거리 ( $h_{st}$ )는 금형의 공동부(cavity)를 완전히 채울 때까지 해석을 수행하였으며 다음의 식으로 표현된다.

$$h_{st} = t_1 + t_2 + (H - X) \quad (1)$$

여기서  $H$ 는 금형깊이,  $X$ 는 접합후의 바닥두께,  $t_1$ 과  $t_2$ 는 각각 초기 소재의 두께를 나타낸다.

### 2.2 평가변수

기계적 접합 방법의 일종인 크린칭 접합은 펀치와 금형, 구성재료 그리고 적용 기계 등 여러 가지 주변 상황에 영향을 받는다. 크린칭은 기본적으로 겹쳐있는 두 장 이상의 재료를 드로잉과 유사한 변형을 줌으로서 컵 형상의 접합부를 형성시켜 기계적 결합력을 얻는 공정이다. 이러한 결합부의 결합력은  $X$  변수( $X$  parameter)라 불리는 접합부 바닥두께에 의하여 결정되며 일명 ST-값(ST-value)으로도 불린다[5~7]. 크린칭 기계를 생산하는 제조업체는 이러한 기준값을 이용하여 이

**Table 1 Process parameters**

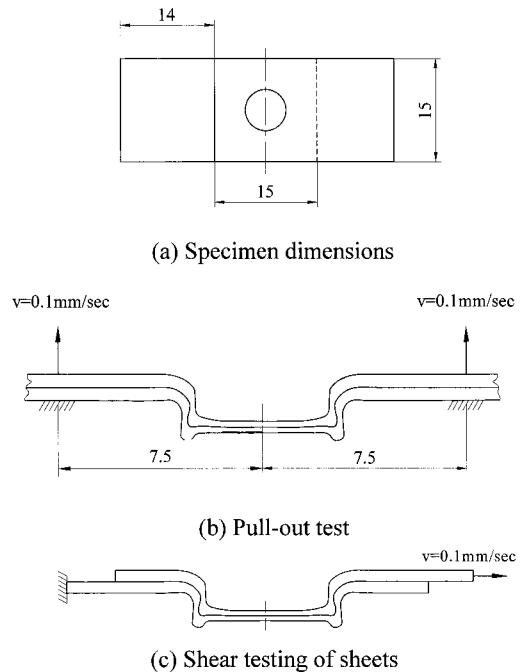
Parameters	Values
Punch diameter( $D_p$ )	5.0 (mm)
Punch corner radius( $R_1$ )	0.2
Draft angle of punch	2°
Die diameter( $D_d$ )	5.6, 6.0, 6.4
Die depth(H)	1.0, 1.2, 1.5
Groove height(h)	0.6
Groove width(w)	0.6, 0.8, 1.2
Groove corner radius( $R_2$ )	0.1, 0.3, 0.5
Friction factor	0.12
Thickness punch side sheet( $t_1$ )	0.5
Thickness die side sheet( $t_2$ )	0.5
Stroke ( $h_{st}$ )	Until die cavity completely fills

상적인 기계적 결합력을 얻기 위한 적절한 수치들을 제시해 준다. 따라서 이와 같은 방법은 공정의 적합도를 평가하는데 사용하는 가장 큰 장점으로 비파괴 방식이라는 점을 들 수 있다

크린칭 접합은 일반적으로 다음과 같은 조건을 만족시킬 때 결합력이 적절한 가장 이상적인 상태라 할 수 있다. 첫째, 금형의 공동부를 완전히 채워야 하며, 둘째 두 소재의 기계적 결합이 완벽하여야 하며, 셋째 상부 소재가 목(neck) 부분에서 과도한 신장이 발생되지 말아야 하며, 마지막으로 소재 사이에 공동부가 없어야 한다[8]. 바닥 면의 두께의 범위는 보통 초기 소재 두께의 40%[5] 또는 1/3[6]에서 금형깊이 사이가 적당한 것으로 알려져 있다.

### 2.3 모의실험조건

소성가공의 모의실험에는 탄소성[9] 및 강소성[10] 방법과 같은 여러 가지 모델을 적용할 수 있다. 본 연구에서 적용 대상인 크린칭공정은 탄성변형이 소성변형에 비하여 상당히 작다. 따라서, 모의실험의 효율성을 높이기 위하여 강소성 유한요소모델을 적용하였으며, 상용 유한요소해석 프로그램인 Deform-2D™[11]를 사용하였다. 모의실



**Fig. 2 Test for separating strength**

험에 적용된 소재는 AA 5754 알루미늄 합금이며 강소성 유한요소법에 의한 유동응력과 유효변형율의 관계는 Power Law 에 따라 다음식과 같다 [12].

$$\bar{\sigma} = 250 \bar{\epsilon}^{0.3} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

모의실험은 Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 축대칭의 2 차원 변형문제에 모델링하였으며, 금형과 펀치는 강체로 가정하였다. 펀치의 하강속도는 0.1mm/sec 로서 금형의 공동부를 모두 채울 때까지 행정을 진행하였다. 크린칭 공정이 성공적으로 완료되는 시점은 펀치면에 접한 상부 소재가 하부 소재인 금형쪽의 소재를 완전하게 파고들면서 펀치에 의하여 금형의 공동부에 끌려 들어가서, 상/하 재료가 강력한 결합력이 발생할 때이다. 마찰조건은 일정전단마찰(constant shear friction)을 이용하여 모든 경계 면에 적용하였으며 0.12 로 설정하였다. 블랭크홀더의 위치는 초기에 상부 소재에 접한 상태로 고정하였다.

본 논문에서는 최종적으로 크린칭 접합의 기계적 결합력을 판단하기 위하여 Fig. 2 와 같이 인장 및 전단 모의실험을 수행하였다. Fig. 2(a)는 기계적으로 접합된 두 소재의 분리 강도를 모의실험하

기 위한 시편의 평면 그림을 나타낸다. 그림에서와 같이 초기 소재의 두께, 폭, 너비가 각각 0.5, 29, 15mm 인 두 소재를 포개서 크린칭 접합을 한 후에 모의실험을 수행하였으며 상용 FEM 프로그램인 Deform-3D™[13]가 사용되었다. 모의인장실험은 Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이 하부 소재가 고정된 상태에서 소재의 중심에서 7.5mm 떨어진 양 지점의 상부 소재에 위쪽으로 일정한 속도를 적용 하였다. Fig. 2(c)의 모의전단실험은 하부 소재가 고정된 상태에서 상부 소재에 일정한 속도를 부여하여 수행하였다. 본 논문에서 기계적 결합력을 측정하는 이유는 기존의 결합 상태를 판단하는 조건들이 유용한지를 재검토하여 보다 나은 판단 조건을 제시하기 위함이다.

### 3. 해석결과(Simulation results)

#### 3.1 크린칭 성형공정

Fig. 3 은 크린칭 공정에서 소재의 유동을 공정 단계별로 알아보기 위한 것으로 상/하부 소재의 유동방향을 공정 단계별로 나타낸 것이다. 적용된 공정변수들의 수치는 금형직경( $D_d$ ), 금형깊이(H), 그루브코너반경( $R_2$ ), 그루브폭(w)이 각각 6.0mm, 1.2mm, 0.3mm, 0.8mm 이다. 모의실험을 통하여 각각의 6 가지 공정 단계별로 성형에 따른 소재의 유동특성을 알아 보았다. 그림에서 알 수 있듯이 펀치의 행정거리가 0.03mm 인 공정 초기에는 바깥쪽 상부 소재는 중심축 방향으로 이동하지만 하부 소재는 반대로 반경방향으로 이동하는 경향을 보인다. 펀치면 아래 소재는 상대적으로 작은 축 방향의 유동을 보여준다. 펀치코너가 상부 소재에 완전하게 접촉한 때, 즉 행정거리가 0.38mm 일 때, 펀치면 아래의 소재는 계속하여 축 방향 유동을 유지하고 블랭크홀더 아래의 상/하부 소재 모두 축 중심으로 이동하고 있다. 이러한 유동 형태는 펀치의 행정거리가 1.26mm 에 이를 때까지 동일한 경향으로 유지되지만 펀치 아래의 소재의 유동방향이 약간 반경방향으로 변화를 보이기 시작한다. 펀치의 행정거리가 1.44mm 일때 블랭크홀더 아래의 소재는 축 중심에서 먼 쪽으로 이동하는 경향을 보이기 시작하며 펀치 아래의 소재는 반경 방향의 유동이 더욱 커지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 목 부분의 두께 감소가 본격적으로 일어나면서 발생한다. 공정의 마지막 단계에서 펀치 아래의 소재의 유동방향이 거의 바깥쪽

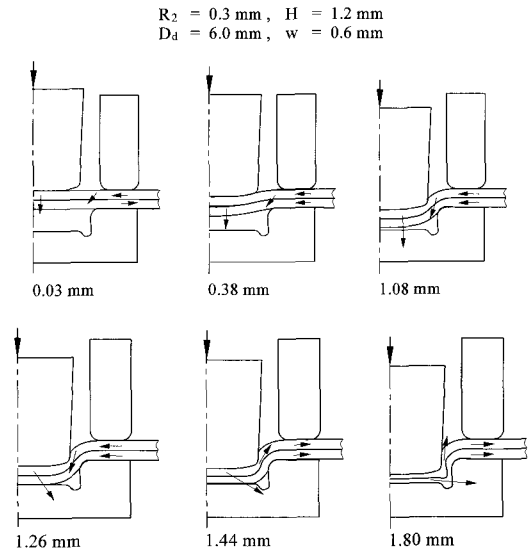


Fig. 3 Clinching process chronology

반경 방향인 그루브 방향으로 유지되면서 그루브 안쪽을 소재가 채우게 된다. 이상과 같이 크린칭 성형공정에 따른 변형형태 분석에서 알 수 있는 것은 소재가 펀치의 측면과 금형의 벽면 사이에서 변형이 시작되면서 소재의 유동 방향이 급격하게 변하게 된다는 것이다. 이러한 점에서 펀치 측면과 금형 벽면의 간극이 매우 중요함을 알 수 있다.

#### 3.2 금형직경에 따른 성형특성

Fig. 4 는 그루브폭(w)이 0.8mm 이고 그루브코너반경( $R_2$ )이 0.3mm 인 경우에 다양한 금형직경에 대해 각각의 설계변수와의 모의실험결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 금형깊이가 커질수록 언더컷도 커지는 경향을 보이며 이러한 경향은 금형직경이 커질수록 더욱 뚜렷해 진다 (Fig. 4(a)). 금형깊이가 증가하거나 금형직경이 감소할수록 목 1 두께는 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 4(b)). 목 2 두께는 금형깊이에 대하여 뚜렷한 변화를 보이지는 않지만 금형직경이 증가하면 목 2 두께도 증가하는 경향을 보이며, 이러한 경향은 금형깊이가 감소하면서 보다 뚜렷해 진다 (Fig. 4(c)). 바닥두께에 대해서는 금형깊이와 직경이 증가할수록 상대적으로 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 4(d)). 이상의 결과에서 알 수 있듯이 목 2 두께가 금형깊이 또는 금형직경과 같은 공정변수에 매우 둔감하여 많은 영향을 받지 않는 것을 알 수 있

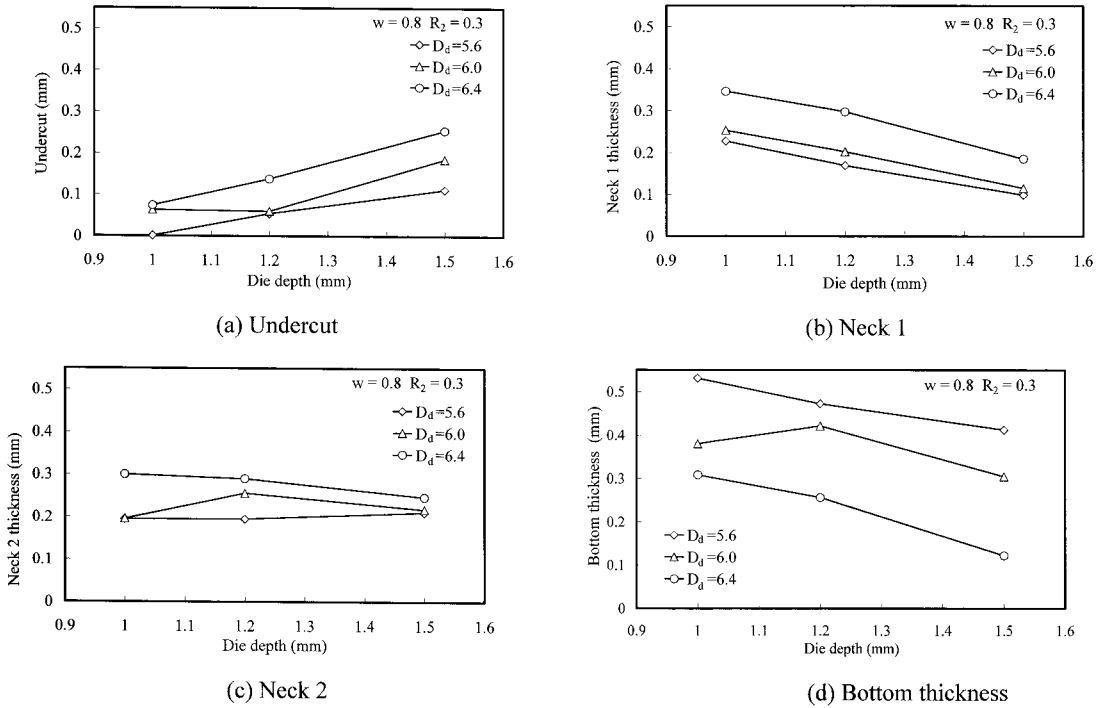


Fig. 4 Effect of die diameter ( $D_d$ )

다. 이와 반대로 바닥두께는 금형직경의 변화에 대하여 매우 민감하게 영향을 받는다. 모의실험 결과 Fig. 4(a)로부터 적절한 언더컷과 목두께는 금형직경이 6mm 와 6.4mm 일 때 얻어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 금형직경이 6.4mm 일 때 소재가 금형의 공동부, 즉 그루브를 완전히 채우지 못하거나 바닥두께가 충분하지 못한 경우가 발생하였다. 더불어 상/하부 소재가 컵 형상의 금형 안쪽으로 완전하게 밀려 들어가지 못하거나 목두께가 충분하지 않게 성형이 되는 경우도 발생하였다. 금형직경이 5.6mm 일 때는 거의 모든 경우 소재가 금형의 바깥으로 과도하게 유동되어 언더컷과 목두께가 상대적으로 낮은 수치를 보였다. Fig. 4(b)에서는 금형직경이 6.4mm 일 때 바닥두께가 불충분한 것을 알 수 있다. 이상과 같은 모의실험 결과와 문헌[5~7]을 참고하여 앞으로 보다 개선된 결합조건을 판단하는데 다음과 같은 새로운 기준을 적용하였다.

- (a) 언더컷( $u$ ) > 0.05mm
- (b) 목두께( $N_1$  과  $N_2$ ) > 소재 두께의 20%
- (c) 바닥두께( $X$ ) > 소재 두께의 35%

그림에 의하면 위의 조건을 만족시키는 가장 가까운 경우는 금형직경이 6.0mm 일 때다.

### 3.3 그루브코너 반경에 따른 성형특성

앞서 언급한 새로운 기준을 가지고 보다 각각의 설계변수에 따른 심도있는 분석을 위하여 그루브코너가 성형형태에 미치는 영향을 알아보았다. Fig. 5는 그루브폭( $w$ )이 0.8mm 이고 금형직경이 6mm 인 경우에 다양한 그루브코너 반경( $R_2$ )에 대해 각각의 설계변수와 모의실험결과를 나타낸 그림이다. Fig. 5(a)에서 금형깊이가 1.0 mm 와 1.2mm 일 때 언더컷은 별다른 변화를 보이지 않는다. 하지만 금형깊이가 1.2mm 이상 클 때는 금형깊이가 늘어나면 언더컷도 증가한다. 언더컷은 그루브코너반경에 매우 둔감한 반응을 보이지만 금형깊이가 1.2mm 보다 작을 때 그루브코너반경이 줄어들면 언더컷이 약간 증가하는 경향을 보인다. 금형깊이가 증가하면서 목 1 두께가 점차적으로 감소하는 것을 Fig. 5(b)에서 볼 수 있다. 그림에서 그루브코너반경은 목 1 두께에 전혀 영향을 미치지 못하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(c)에서 금형깊이가 작은 경우인 1.2mm 이하에서 금형깊이가 증가하

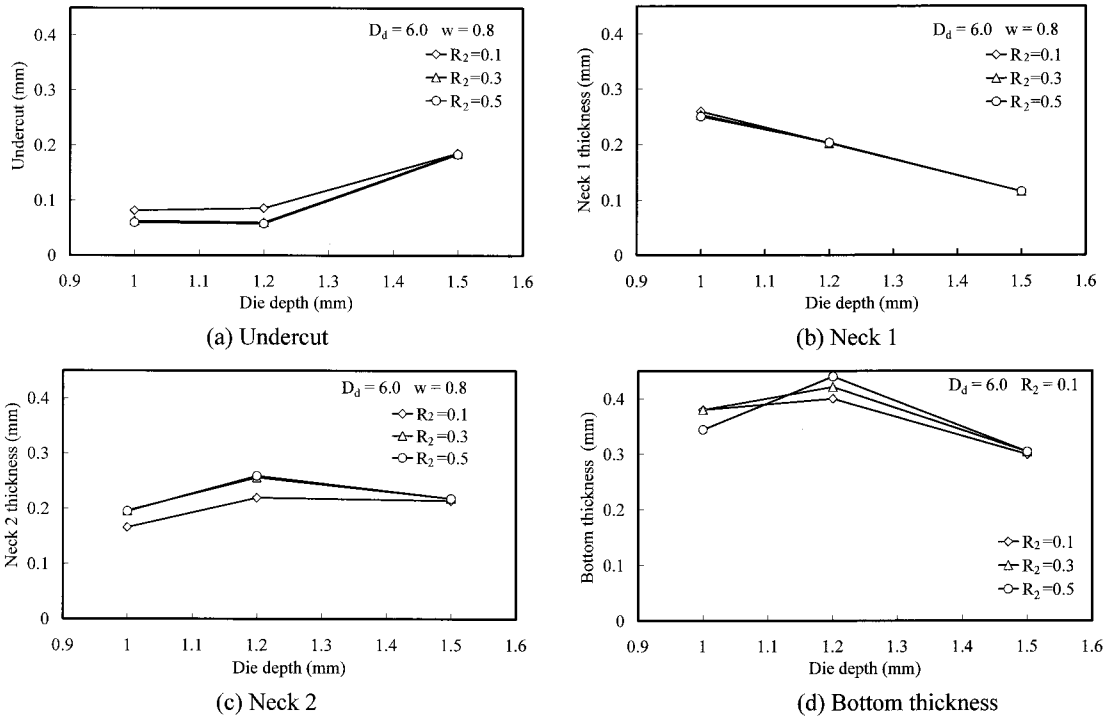


Fig. 5 Effect of groove corner radius ( $R_2$ )

면 목 2 두께도 약간 증가한다. 하지만, 금형깊이가 1.2mm 이상에서는 목 2 두께는 거의 일정하다. 목 2 두께는 일반적으로 금형깊이와 그루브코너반경의 변화에 민감하게 반응하지 않는 것으로 판단된다. Fig. 5(d)에서 바닥두께 또한 마찬가지로 금형깊이와 그루브코너반경의 변화에 민감하지 않은 것으로 보인다. 이상의 결과를 정리하면 그루브코너반경은 성형 후 결합상태를 판단하는 제반 측정치인 언더컷, 목두께, 바닥두께에 의미 있는 영향을 주지는 못하는 것으로 나타났다.

### 3.4 그루브폭에 따른 성형특성

Fig. 6은 그루브폭( $w$ )이 성형형태에 미치는 영향을 나타낸 그림이며 금형직경과 그루브코너반경은 모든 경우에 동일하게 각각 6.0mm와 0.3mm가 적용되었다. Fig. 6(a)에서 금형깊이가 1.0mm와 1.2mm 사이에서는 금형깊이가 증가해도 언더컷이 거의 변하지 않으나 금형깊이가 1.2mm 이상일 때는 금형깊이가 커지면 언더컷도 일정한 비율로 증가한다. 또한 그루브폭이 증가하면 언더컷은 감소하는 것을 쉽게 볼 수 있으며 이러한 경향은 금형깊이가 감소할수록 더욱 뚜렷해진다. Fig. 6(b)

에서 목 1 두께는 그루브폭이 작을 때 약간 크게 나타나지만 의미 있는 차이를 보이지는 않는다. 또한 금형깊이가 증가하면서 목 1 두께는 점차 감소하는 경향을 보인다. Fig. 6(c)에서 그루브폭이 작을수록 목 2 두께도 작아지는 경향을 보이며, 이러한 경향은 금형깊이가 작을수록 더욱 뚜렷하다. 금형깊이가 작은 경우인 1.0mm에서 1.2mm 사이에서는 금형깊이가 증가하면 목 2 두께도 증가하지만 금형깊이가 1.2mm 이상에서는 금형깊이가 증가하면 목 2 두께가 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 6(d)에서 금형깊이가 1.0mm에서 1.2mm 사이일 때는 그루브폭이 감소하거나 금형깊이가 증가하면서 바닥두께가 조금 커지는 경향을 보이지만, 금형깊이가 1.2mm 이상에서는 다시 작아지는 것을 볼 수 있고 이러한 경향은 그루브폭이 클수록 더욱 뚜렷하다.

### 3.5 공정변수에 따른 성형 및 파손특성

일반적으로 크린칭 공정에서 파손은 세가지 유형으로 구분한다. 첫번째 유형은 상부소재의 불충분한 변형으로 결합부의 형상이 불완전한 경우이다. 두번째 유형은 펀치 직경의 틈새가 과도하게

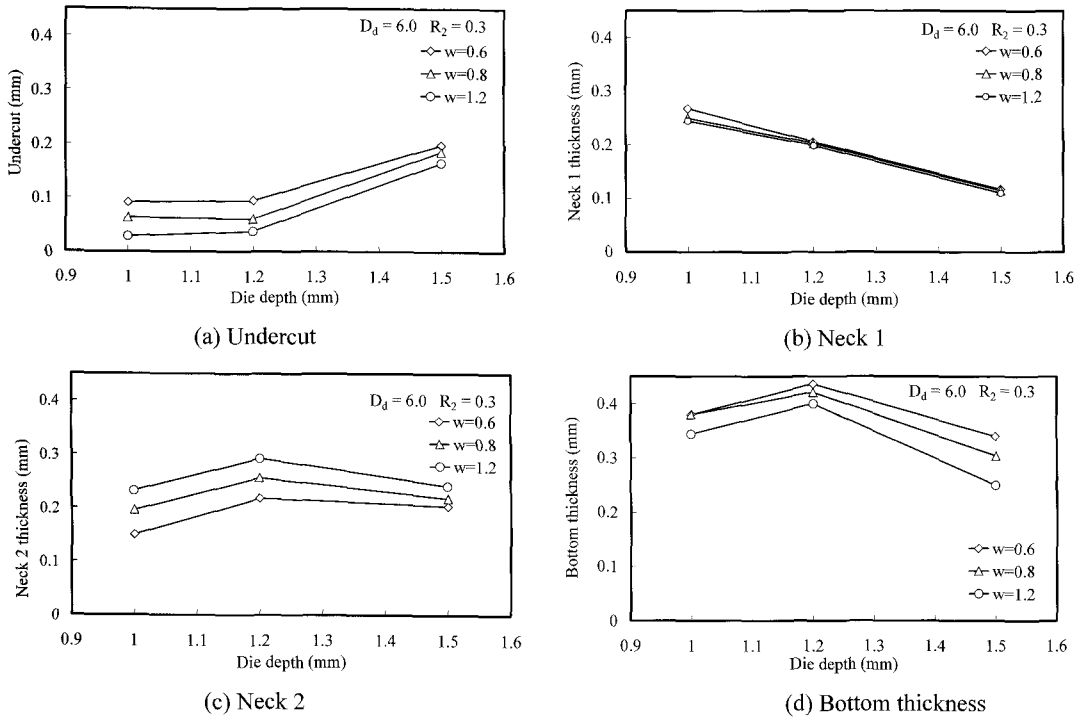


Fig. 6 Effect of die groove width (w)

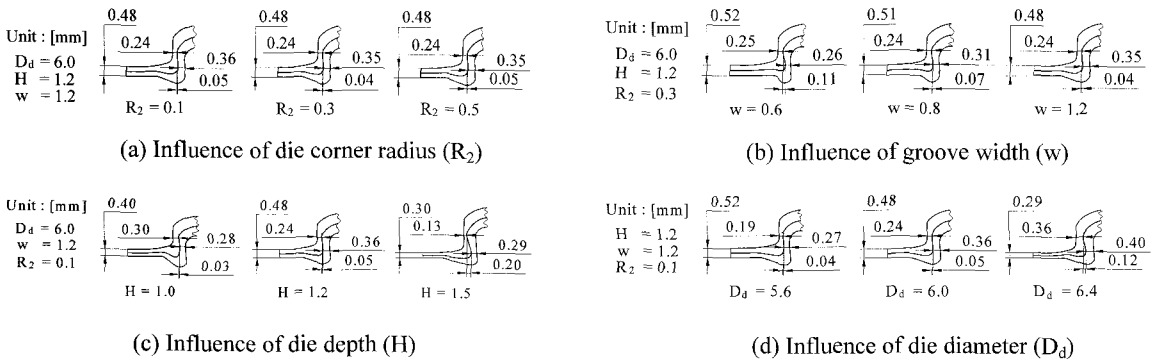


Fig.7 Deformation patterns of clinch joints

작은 경우 발생하는 목부분의 균열이다. 마지막 세번째 유형은 앞서 첫번째와 두번째 유형이 복합적으로 발생하는 경우이다[5].

모의실험결과로부터 크린칭 공정에 대한 접합 품질을 판단할 자료로 본 논문에서 선택한 변수들이 적합함을 알 수 있었다. 가장 중요한 점은 모든 공정변수에 대하여 성형후의 바닥두께가 민감하게 변한 것에 착안한다면, 크린칭 결합상태를 판단하는데 바닥두께를 이용할 수 있다는 것이다.

본 논문에서 적용된 4 가지의 공정변수 중 결합 정도의 기준이 되는 평가변수에 가장 큰 영향을 주는 것은 금형직경으로 나타났고, 가장 작은 영향을 미치는 인자는 그루브코너 반경으로 나타났다. 따라서, 금형직경이 평가지표의 가장 중요한 설계변수라 볼 수 있으며 최적의 언더컷, 목두께, 바닥두께가 얻어지기 위해서는 그루브코너 반경 및 그루브폭이 각각 0.3mm 와 1.2mm 일 때로 예상된다.

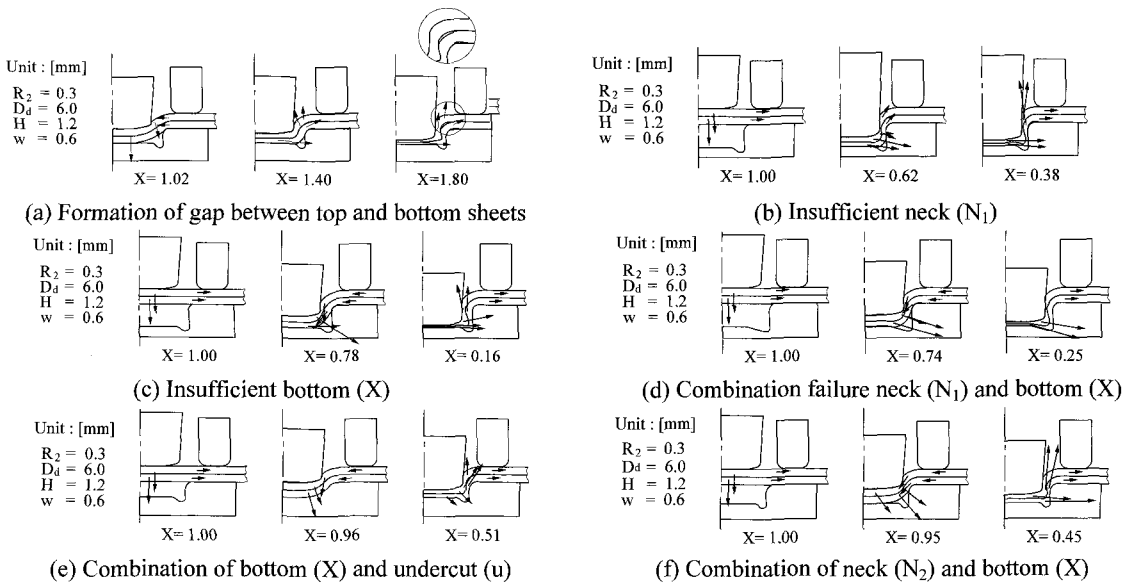


Fig. 8 Flow patterns for each failure mode

Fig. 7 은 본 논문에서 공정변수로서 적용한 여러 가지 형상적 변수들의 영향을 변형상태의 형태로 표현한 그림이다. Fig. 7(a)에서 다시 한번 확인 할 수 있듯이 그루브코너 반경은 크린칭 접합의 기계적 결합도를 평가할 수 있는 제반 평가지표에 별다른 영향을 미치지 않는다. 그림의 세가지 경우에서 평가지표 상 뚜렷한 차이점이 보이지 않기 때문에 그루브코너 반경이 중요한 공정변수가 아니라는 점을 다시 확인할 수 있다. Fig. 7(b)에서 볼 수 있는 점은 언더컷과 목 2 두께는 그루브폭에 상당한 영향을 받으나, 목 1 두께는 그루브폭에 별다른 영향을 받지 않는다는 것이다. 금형깊이와 금형직경은 Fig. 7(c)와 (d)에서 확인할 수 있듯이 언더컷, 목두께, 바닥두께 등 제반 평가지표들에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서, 크린칭 접합공정에서 주요한 공정변수는 금형깊이와 금형직경이라 할 수 있다.

이상의 모의실험 결과에서 공정이 성공적으로 진행되지 못한 경우, 언더컷, 목두께 및 바닥두께의 급격한 변화에 의한 파손을 형태별로 분류하면 모두 6 가지를 들 수 있다. 이러한 파손 형태는 (1) Fig. 8(a)에서 보이는 것처럼 상부 소재가 하부소재 안쪽으로 완전하게 밀려 들어가지 못함으로써 두 소재 사이에 간극이 발생하는 경우, (2) Fig. 8(b)에서처럼 상부 소재의 목 두께, 즉 목 1 두께가 충분치 못한 경우, (3) 바닥두께가 너무 얇은

경우 (Fig. 8(c)), (4) 목 1 두께와 바닥두께가 동시에 얇아지는 복합적인 파손의 경우 (Fig. 8(d)), (5) 불충분한 언더컷과 과도한 바닥두께에 의한 복합 파손 (Fig. 8(e)), 그리고 마지막으로 (6) Fig. 8(f)에서와 같이 불충분한 목 2 두께 등이 있다. 그림에서 쉽게 알 수 있는 것은 모든 파손의 경우 각각 특징적인 소재 흐름의 형태를 보이고 있으며 공정이 성공적으로 마무리되기 위하여는 적절한 형태의 소재 유동이 필요하다는 것이다.

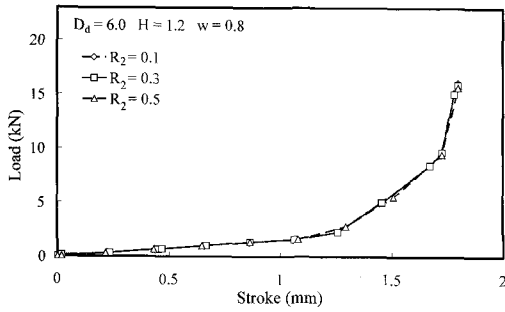
Fig. 9 는 크린칭 성형 공정변수들에 대해 하중-변위 선도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 성형하중은 적용된 공정변수에 대해 별다른 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 또한, 하중-변위 선도에서 다시 한번 판단할 수 있는 것은 그루브코너반경과 그루브폭의 변화가 하중-변위 선도에 별다른 영향을 미치지 못하는 점을 볼 때 이러한 공정변수는 크린칭 접합공정에서 크게 중요한 변수가 되지 못한 다는 점이다.

## 4. 크린칭 접합평가

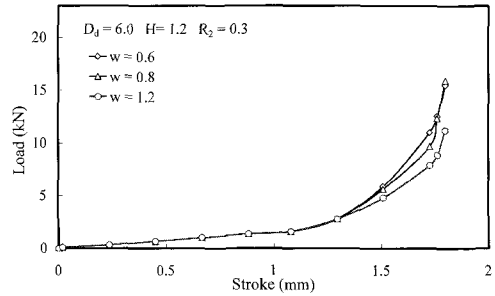
### 4.1 평가지표

본 논문에서는 크린칭 접합 기계적 결합력을 알아보기 위하여 두 가지의 모의실험을 수행하는 방법을 앞에서 설명하였다. 인장 및 전단시험을 통하여 두 소재가 완전히 분리될 때 최대 분리하

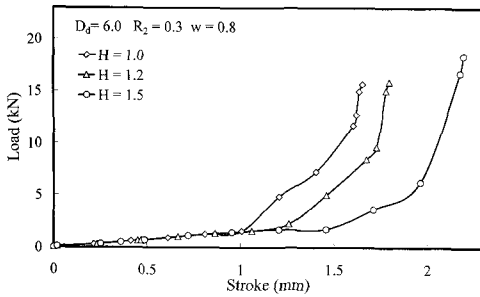




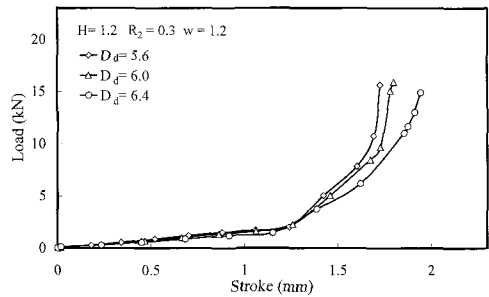
(a) Effect of groove corner radius ( $R_2$ )



(b) Effect of groove width ( $w$ )



(c) Effect of die depth ( $H$ )



(d) Effect of die diameter ( $D_d$ )

Fig. 9 Load-stroke relationships

Table 2 Pull-out and shear strengths

Process Parameters(mm)				Simulation parameters				Failure	Pull-out strengths (N)	Shear strengths (N)
$D_d$	H	w	$R_2$	X	U	$N_1$	$N_2$			
5.6	1.2	0.6	0.5	(0.467)	0.077	0.156	0.154	High X	39	270
5.6	1.5	0.3	0.8	0.412	0.112	(0.099)	0.211	Low $N_1$	45	321
6.0	1	0.6	0.3	0.38	0.091	0.268	(0.15)	Low $N_2$	45.6	362
6.0	1.2	0.6	0.3	0.436	0.094	0.206	0.218	Safe (high X)	259	402
6.0	1.2	0.6	0.5	0.393	0.096	0.201	0.224	Safe (low X)	246	282
6.4	1.2	0.1	1.2	(0.238)	0.102	0.296	0.332	Low X	358	105

중을 측정 함으로서 결합력을 결정하였으며 모의 실험에 적용된 공정변수들과 평가지표 및 예측된 결합력이 Table 2 에 정리되어 있다. 여러 가지 경우의 모의실험을 수행하였지만 표에 정리된 것은 언더컷이 충분한 경우만을 가지고 분리하중에 대한 결과를 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 인장 분리하중이 제반 평가지표에 따라 많은 영향을 받지만, 전단분리하중은 그다지 큰 편차를 보이지

않는다. 표에 정리된 결과에서 뚜렷하게 볼 수 있는 것은 목 두께가 적절한 경우에 바닥두께가 기계적 결합력, 즉 인장 및 전단분리하중을 예측할 수 있는 평가 지표로 사용될 수 있다는 것이다. 표에서 두 가지 경우가 성공적으로 크린칭 접합 공정이 수행되었으며 적합한 크린칭 접합이 성형되기 위해서 바닥두께가 0.39mm 에서 0.44mm 사이에 있어야 하는 점도 확인할 수 있다. 전체적으

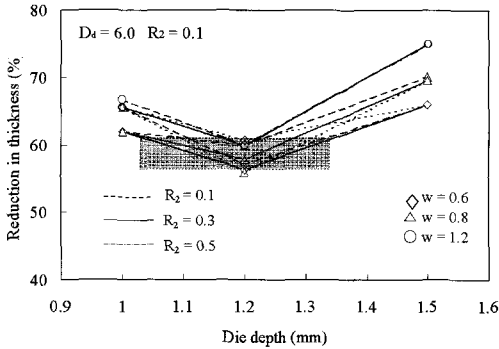


Fig.10 Criterion for successful clinch joints

로 목두께 및 언더컷과 같은 평가지표는 분리하중 측면에서 일관된 경향을 보이지 않았다.

지금까지 평가지표에 대한 표를 통하여 바닥두께가 소재 사이의 기계적 결합 상태를 정량적 또는 정성적으로 평가할 수 있는 가장 중요한 인자라는 것을 확인하였다. 따라서, 크린칭 접합의 기계적 결합성을 판단할 수 있는 새로운 평가지표로 단지 바닥두께에 대한 감소율만을 사용할 수 있는 가능성을 보았으며, 이러한 기준으로 크린칭 접합의 새로운 판단 조건을 적용하여 Fig. 10에 나타냈다. 그림에서 음영으로 나타낸 영역에서 공정조건을 선택할 때 크린칭 접합이 성공적으로 수행될 수 있다. 그림에서 쉽게 알 수 있듯이 비교적 작은 그루브폭과 그루브코너 반경을 적용하고 금형깊이가 1.2mm 부근에서 가장 이상적인 공정조건이 선택되는 것으로 예측된다. 모의실험의 결과에서 다른 평가지표에 무관하게 바닥두께 감소율이 55% 이하 또는 65% 이상인 모든 경우에 대해 여러 가지 파손으로 인하여 공정이 성공적이지 못한 점을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 파손도표

Fig. 11은 지금까지 모의실험에 의하여 예측된 모든 결과를 파손도표(failure diagram)의 형태로 다시 정리하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 파손도표는 4개의 공정변수들을 2개의 표준변수(normalized parameter)로 변환하여 작성한 것이다. 2개의 표준변수는 금형직경에 대한 금형깊이의 비( $D_d/H$ )와 그루브폭에 대한 그루브코너 반경( $w/R_2$ )로 정의하였다. 그림에서 명확하게 알 수 있는 점은 그루브와 관련된 표준변수인  $w/R_2$ 는 적합한 크린칭공정을 설계하는데 있어서 결정적인 인자가 되지 못

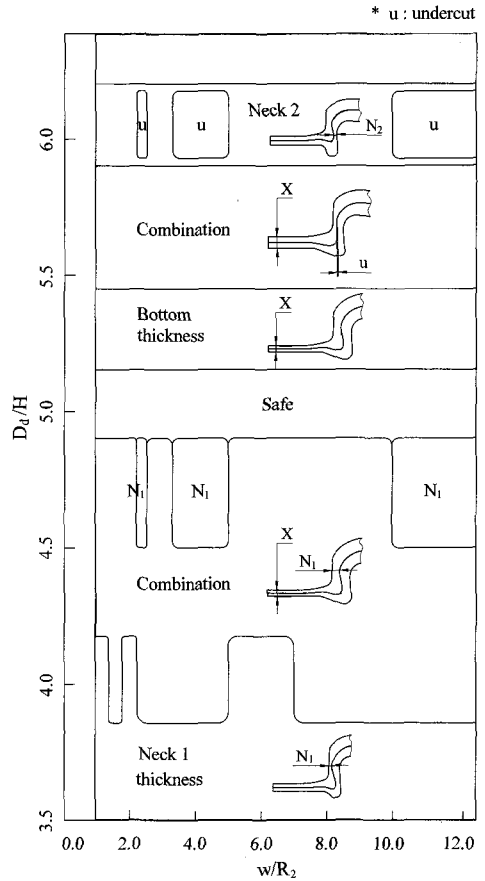


Fig.11 Failure diagram

한다는 것이다. 또한 표준변수  $w/R_2$ 는 파손형태에도 전혀 영향을 미치지 못한다는 점에서 크린칭 접합공정은 그루브와 관련된 형상변수(geometrical parameter)에는 매우 둔감한 변화를 보인다고 판단할 수 있다. 이와는 반대로 금형과 관련된 표준변수인  $D_d/H$ 는 크린칭 공정에 매우 민감한 변화를 주면서 여러 가지 파손형태가 결정된다는 점을 알 수 있다. 따라서 표준변수  $D_d/H$ 가 크린칭 접합공정을 설계하는데 있어서 가장 중요한 대표적인 설계인자로서 역할을 할 수 있는 가능성을 볼 수 있다. 그림으로부터 표준변수  $D_d/H$ 의 값이 5 근처일 때 이상적인 크린칭 공정이 수행될 수 있음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 이용하여 4 가지

공정변수가 크린칭 접합공정에 미치는 영향을 분석하고 파손형태를 정리하였다. 모의실험에 의하여 예측된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 크린칭 접합공정에 영향을 주는 주요 공정 변수는 금형깊이(H)와 금형직경(D<sub>d</sub>)이며 그루브코너 반경은 상대적으로 접합공정에 큰 영향을 주지 못한다.

(2) 크린칭 접합공정의 이상적인 기계적 결합력을 판단하는 대표적인 평가지표는 바닥두께이다.

(3) 파손도표에서 금형형상과 관련된 표준변수인 D<sub>d</sub>/H가 이상적인 크린칭 접합공정을 설계하는데 고려할 주요 인자이다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. Carboni, S. Bereetta, M. Monno, 2006, Fatigue behavior of tensile-shear loaded clinch joints, *Engineering Fracture Mechanics* Vol. 73, pp. 179~181.
- [2] Overview of TOX clinching technology, TOX-Pressotechnik GmbH, St. Andreasberg, Germany.
- [3] J. P. Varis, 2003, The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, *J. Materials Processing Technology* Vol. 132, pp. 242~249.
- [4] D. H. Jang, B. B. Hwang, 2003, Rigid Plastic FE Modeling of Frictional Contact Problems based on a Penalty Method, *Trans. of Mat. Processing*, Vol. 12, No. 1, pp. 34~42.
- [5] J. P. Varis, J. Lepisto, 2003, A simple testing based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameter, *Thin-Walled Structures* Vol. 41, pp. 691~709.
- [6] ATTEXOR Tools S.A, Chemin des Larges Pires B, CH-1024 Ecublens, Switzerland.
- [7] Adam Cort, 2002, In a clinch, *Assembly magazine*, BNP Media.
- [8] Juha varies, 2006, Ensuring the integrity in clinching process, *J. Materials Processing Technology* Vol. 174, pp. 277~285
- [9] P.Hrycaj, 1991, S.Cescotto, J.Oudin, Elasto-plastic Finite Element Analysis of Unilateral Contact with Generalized Coulomb Friction, *Engineering computation* Vol. 8, pp. 291~303.
- [10] D. H. Jang, B. B Hwang, 2005, An Analysis of the Riveting Process as 2-D Frictional Contact Problem, *Materials Science Forum* Vol. 475-479, pp. 3255~3259.
- [11] SFTC, 2004, DEFROM-2D Ver. 8.0 Users Manual (Scientific Forming Technologies Corporation Inc., U.S.A.).
- [12] P. O. Bouchard, 2006, Numerical modeling of self-pierce riveting, *ESAFORM Bulletin*, The European Scientific Association for material forming, Vol. 6, No. 1, pp. 4~7.
- [13] SFTC, 2004, DEFROM-3D Ver. 5.0 Users Manual (Scientific Forming Technologies Corporation Inc., U.S.A.).