

## 파이프를 이용한 플랜지의 성형특성에 관한 연구

이상돈<sup>1</sup>, 이호용<sup>#</sup>

### A Study on the Forming Characteristics of Flange Using Pipe

S. D. Lee, H. Y. Lee

(Received November 16, 2006)

#### Abstract

This study is aimed to find out the optimal forming conditions by comparing and analyzing material flow, deformation pattern, and a forming load through rigid-plastic FEM for a flange using pipe. Flanges are widely used for various purposes as connectors of industrial steel pipes which are manufactured by drawing process. The forming feature of flange was reviewed through both heading process and radial extrusion process in a cold working condition. As a result of simulation, the shape of flange can not be made by heading process, but made by radial extrusion process. The effects of design factors, such as gap-height, die-corner radius, and frictional factors on maximum forming load and deformation pattern are investigated for radial extrusion process.

**Key Words** : Radial Extrusion, Pipe, Flange, Rigid-Plastic FEM

#### 1. 서 론

압출에는 직접압출, 간접압출, 정수압압출, 충격압출의 기본 유형과 편치의 운동방향에 대하여 수직방향으로 소재를 유동시키는 레이디얼압출(radial extrusion)이 있다[1~2]. 냉간 헤딩은 가공압력보다는 블랭크 치수를 확대시켜 소재이동이 가능한 성형한계(forming limits)치와 재료 균열이 제한 요소가 되며[3~4], 냉간 압출은 형강도 한계 근처의 견고한 가공이 많아 어떤 강종이 어느 정도까지 가공할 수 있는가가 기술적인 제한과 경제성에서 고려되어야 한다. 또한 가공 방법에 따라 가공압력, 소재의 연성, 피윤활성에 따른 마찰, 블랭크 형상 이 고려되어야 하며 이전의 연구결과에 따르면 레이디얼 압출 공정에서는 갭 높이, 다이코너반경, 블랭크 형상, 마찰 등이 주요 설계변수이다[5~8]. 이와 같은 변수는 소재의 유동이나 변형 양상을 다르게 하여 제품의 성형형태에 영

향을 미치게 된다. 공정수가 늘어나는 것과 중간 어닐링 등에 개의치 않는다면 대부분의 강재는 냉간압출을 할 수 있고 성형한계도 문제시 할 것이 못되나 공정수가 늘어날 수록 비용이 증가하게 되므로 성형한계 및 치수정도 등을 고려하여 공정수를 최대한 줄여야만 한다. 본 논문에서는 산업용 배관 이음으로 그 용도 및 수요가 매우 다양한 플랜지를 공정 분할없는 단발공정으로 강소성유한요소법[9~11]을 이용하여 모의실험하였다. 프레스 작업하중을 감소시키고 재료이용률을 높여 후속 기계가공은 줄여 가공시간을 단축하기 위해 인발 공정으로 제조된 파이프를 블랭크로 선정하였다. 헤딩 공정과 레이디얼압출에 대한 시뮬레이션을 통해 공정에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 설계 변수들 중 플랜지 두께, 다이 스폿의 돌출 유·무, 갭 높이, 다이코너 반경, 금형과 소재의 마찰 등을 변화시키면서 여러 가지 경우를 해석하였으며, 그 결과로서 이러한 변수들이 성형품의

1. 동국대학교 기계공학과 대학원

# 교신저자: 동국대학교 기계공학과, hoyong@dongguk.edu

변형 형상 및 하중, 금형에 나타나는 압력 등을 비교·분석함으로써 새로운 공정이 설계조건을 만족시키는 제품을 성형할 수 있는지 성형특성을 고찰하였다.

## 2. 헤딩 공정의 유한요소해석

Fig. 1 은 본 논문에서 해석할 플랜지의 형상을 나타내고 있다. 여기서 E, D는 플랜지에 연결하는 관의 규격과 상관되며 D와 t는 연결관 및 플랜지의 허용 압력과 상관된다. 특히 D와 t는 플랜지의 안정성 측면에서 ANSI를 비롯한 모든 규격에서 상사관계를 갖고 있다. G와 C는 D를 기준으로 하여 플랜지 체결에 적합한 볼트의 규격이 고려되어 얻어지는 규격이다.

성형공정의 특성을 해석하기 위하여 강소성 유한요소법 코드를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다[12].

### 2.1 블랭크 선정 및 물성치

블랭크는 ANSI CLASS 150 FLANGES의 Nominal pipe size 1¼제품을 고려하여 외경 30.25mm, 내경 15.9mm의 AISI 1010의 강재 파이프를 높이 82.15mm로 자른 크기로 하였다. 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 근사적으로 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

블랭크의 재질은 인발 공정으로 제조된 AISI 1010의 강재 파이프를 사용하였고, 공정이 상온에서의 냉간압출 공정이므로 해석에 사용된 재료의 유동응력과 변형률의 관계식은 다음의 식으로 표현하였다[13].

$$\bar{\sigma} = 715.7 \bar{\epsilon}^{0.22} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

소재와 금형 사이의 마찰은 냉간압출에서 비누로 완전 윤활할 때 일정한 전단마찰을 가정하여 마찰인자 값을 0.05~0.15로 가정하여 해석하였다[14].

### 2.2 해석조건

헤딩 공정에서는 설계변수인 플랜지 두께(t)와 다이반경(r), 그리고 마찰인자(m)를 실제 냉간 가

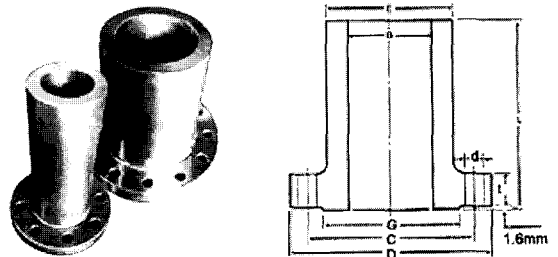


Fig. 1 Schematic configuration of flange

공이 가능한 범위 내에서 여러 가지로 변환시켜 가며 시뮬레이션을 시도하였다. 모의실험에 사용된 설계변수로 플랜지 두께, 다이반경, 마찰인자를 변화시키며 해석하였으며, 이때 플랜지 두께는 펀치의 행정거리( $h_{st}$ )에 따라 정해지며 Table 1은 모의 실험에 사용된 설계변수의 값을 정리하였다. 펀치의 행정거리는 플랜지 두께를 고려하여 8~12mm로 하였다. 고려된 플랜지 두께인 5.85~9.85mm는 ANSI CLASS 150 FLANGES규격의 상사관계[15]를 고려할 때 플랜지 제조에 적합한 두께이며 펀치를 하강시켜 행정거리가 길어질수록 플랜지 두께는 얇아지게 된다. 다이반경은 플랜지와 넥을 연결하는 필렛 반경을 고려하였다.

Table 1 Design Parameters used in heading process

Parameters	Values
Flange thickness(t)	5.85, 7.85, 8.85, 9.85(mm)
Die radius(r)	1, 3, 5(mm)
Friction factor(m)	0.05, 0.10, 0.15

### 2.3 해석결과 및 고찰

고려된 플랜지 두께에 의해 정해진 펀치의 행정거리에 따라 소재 유동 및 변형 양상, 하중상태를 다이반경, 마찰인자 등의 설계변수들에 대한 영향으로 나누어 분석하였다. 플랜지 두께에 따른 하중상태는 하중-행정 선도를 그려 하중의 변화를 살펴보았다. 또한 각각의 설계변수와 성형하중과의 관계를 비교·분석하였다.

Fig. 2(a)는 헤딩 공정의 초기상태와 해석후의 격자 상태 및 다이압력 분포이며 다이압력이 가장 크게 작용되는 부분은 플랜지와 넥의 이음 부분을 성형하는 다이반경상에 나타났다.

(b)는 유효변형률 분포와 속도벡터를 나타낸다.

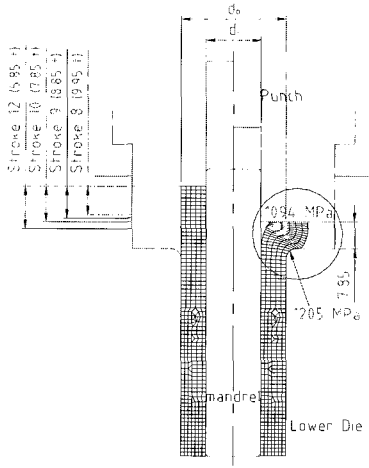


Fig. 2 (a) Deformation patterns of heading process

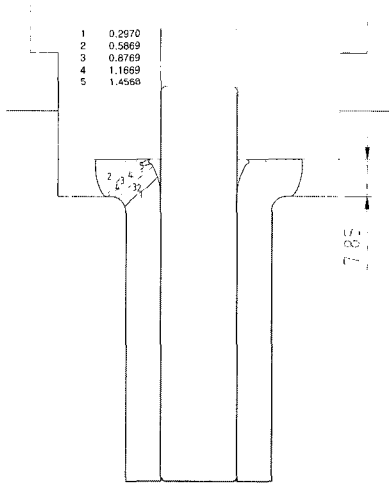


Fig. 2 (b) Effective strain(left) and velocity vector plots(right)

소재는 플랜지 직경 방향으로 유동하면서 변형이 이루어졌고, 이때 최대 유효변형률은 2.5 이며 넥 아래 부분에서의 변형은 거의 발생하지 않았다. Fig. 3 은 마찰인자 값이 0.10 일 때 플랜지 두께에 따른 성형하중, 소재 유동 및 변형 양상을 나타낸다.

해석에 사용된 블랭크 크기와 플랜지 제품으로 널리 이용되는 ANSI CLASS 150의 Nominal size와 상사관계를 고려하면 플랜지 한계 두께는 5.85mm 가 되고 이때 행정거리는 12mm이다. 플랜지 두께가 5.85mm일 때 소재는 플랜지 직경방향으로 가장

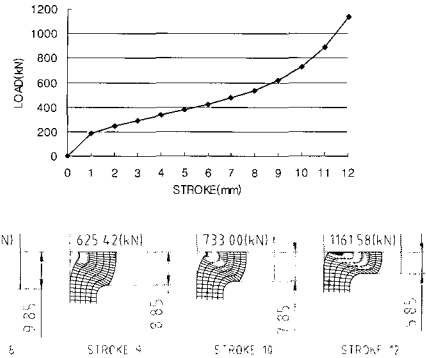


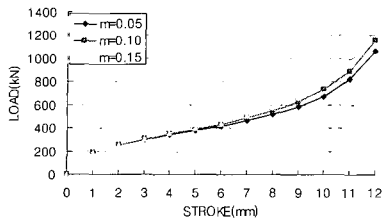
Fig. 3 Comparison of deformation patterns for various flange thickness

많이 유동하였으나 플랜지 직경에 이르지 못하는 못하였다. 다이반경이 클수록 소재는 플랜지 직경방향으로 더 이동하는 양상을 보였으나 제품으로 채택할 수 있는 플랜지 직경과 외관은 얻지 못하였고 다이반경 5mm에서는 플랜지 안쪽면이 맨드렐의 접촉면과 분리 되면서 플랜지 내경이 경사면을 갖고 벌어지는 변형 양상을 보였다. Fig. 4는 마찰인자의 값이 0.05, 0.10, 0.15일 때 성형하중의 변화를 다이반경에 따라 나타낸 것이다. 최대 성형하중은 1245.9kN이며 공정 초기에 하중은 점진적으로 증가하다가 행정거리가 길어져 소재 이동이 늘어나면서 급속히 증가하는 양상을 보였다. 다이 반경과 마찰인자에 따른 하중의 변화는 다이반경이 작을수록, 마찰인자 값이 커질수록 증가되었고 설계변수에 따른 하중-행정선도가 유사한 경향을 보였다. 각각의 설계변수들에 대한 하중차이가 크지 않은 양상을 보인 이유는 전체적으로 행정거리가 길지 않아 설계변수들이 미치는 영향이 크지 않았던 것으로 판단된다. 재료이용률은 높이고 시간과 경비를 줄여 생산효율을 향상시키기 위하여 공정분할없는 단발 냉간 헤딩 공정으로 모의 실험을 수행하였으나 플랜지 직경방향으로의 소재 유동이 원활하지 못해 플랜지 제조에 부적합한 공정으로 판단되었다.

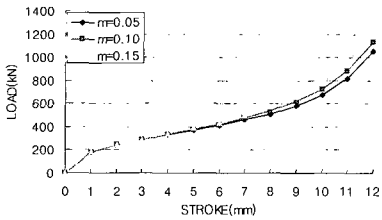
### 3. 레이디얼압출을 이용한 유한요소해석

#### 3.1 해석조건

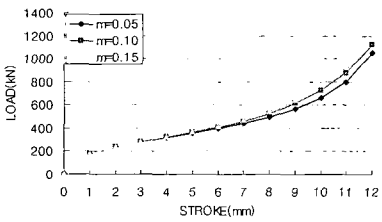
앞서 헤딩 공정과 같은 조건으로 레이디얼 압출 공정을 시뮬레이션하기 위하여 블랭크는 앞서 선정한 외경 30.25mm, 내경 15.9mm의 AISI 1010의



(a) r=1



(b) r=3



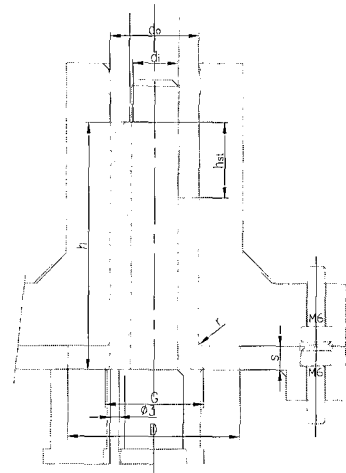
(c) r=5

Fig. 4 Comparison of Load-Stroke relationship for various Friction Factor

강재 파이프를 높이 82.15mm로 자른 크기로 하였다. 레이디얼 압출 공정에서는 다이스폿의 돌출 유·무, 갭 높이(s), 다이코너반경(r), 그리고 마찰인자(m)를 설계변수로 하여 실제 냉간 공정이 가능한 범위 내에서 다양한 값으로 변환시켜가며 시뮬레이션을 시도하였다. 이때 플랜지 두께는 갭 높이에 따라 정해지며 펀치의 행정거리는 갭 높이에 따른 금형공동부의 부피를 고려하여 20~35mm로 하였다. 고려된 플랜지 두께인 5.85~9.85mm는 ANSI CLASS 150 FLANGES규격의 상사관계를 고려할 때 플랜지 제조에 적합한 두께이며 Table 2는 모의 실험에 사용된 설계변수의 값을 정리하였고, Fig. 5는 해석에 사용된 다이의 형상을 보여준다.

### 3.2 해석결과 및 고찰

다이스폿 돌출 유·무, 갭 높이, 다이코너반경, 마찰인자 등의 설계변수들의 소재의 유동 및 변



- d : blank diameter
- D : outside diameter
- H : blank height
- $h_{st}$  : punch stroke
- r : die-corner radius
- s : gap-height
- G(Face spot) : existence or nonexistence

Fig. 5 Die Geometry used in radial extrusion

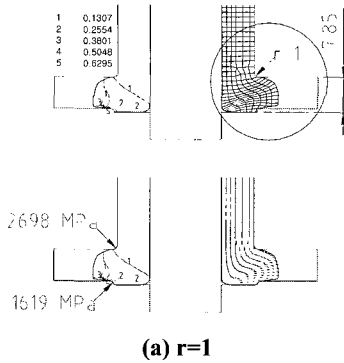
Table 2 Design Parameters used in radial extrusion

Parameters	Values
Face spot	existence, nonexistence
Gap height(s)	5.85, 7.85, 8.85, 9.85(mm)
Die-corner radius(r)	1, 3, 5(mm)
Friction factor(m)	0.05, 0.10, 0.15

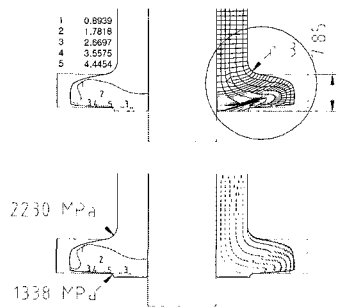
형 양상과 성형하중에 대한 영향으로 나누어 분석하였다. 각각의 갭 높이에 따른 하중상태는 하중-행정 선도를 그려 하중의 변화를 살펴보았다. 또한 각각의 설계변수와 성형하중과의 관계와 각각의 설계변수가 다른 설계변수와 최대하중과의 관계에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

#### 3.2.1 다이스폿이 돌출되는 조건의 해석

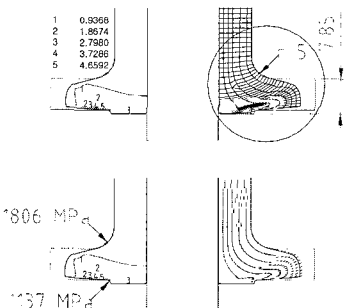
다이스폿이 돌출되는 조건으로 정도 높은 플랜지 바닥면을 갖는 정밀 압출이 가능한지를 살펴 보았다. Fig. 6는 다이스폿이 돌출되는 조건으로 갭 높이가 7.85mm로 일정하고 마찰인자의 값이 0.10 일 때의 가공 중의 격자 상태 및 다이압력 분포,



(a) r=1



(b) r=3



(c) r=5

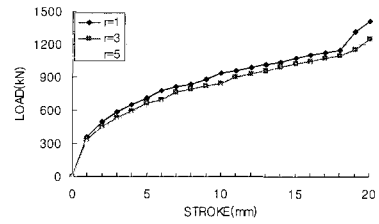
Fig. 6 Comparison of deformation patterns for various die corner radius with face spot

유효변형률 분포, 속도 벡터를 나타내고 있고 행정거리는 20mm이다.

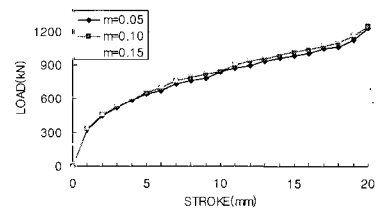
소재는 다이코너반경에 의해 플랜지 직경방향으로 유동하며 변형이 발생하였고, 플랜지 바닥면은 금형과 분리(separation)되며 유동하였다.

이런 양상을 보이는 이유는 다이에 돌출된 스폿이 소재 유동을 간섭하는 것으로 판단된다.

유효변형률은 다이코너반경이 5mm일 때 가장



(a) Comparison of Load-Stroke relationship for various die corner radius(r)(m=0.10)



(b) Comparison of load-stroke relationship for various friction factor(m)(r=3)

Fig. 7 Comparison of Load-Stroke (Face spot)

컸고 최대 유효변형률은 4.7이며 넥 부분에서의 변형은 거의 발생하지 않았다. 다이압력 분포를 살펴보면 다이압력이 가장 크게 작용되는 부분은 플랜지 방향으로 소재의 유동이 이루어지는 다이코너반경상에 나타났고 다이코너반경이 1mm일 때 가장 크게 나타났다. 소재 유동 및 변형 양상을 살펴보면 각각의 설계조건 모두에서 플랜지 직경에 이르지 못하는 것으로 나타났다. 다이코너반경이 1mm일 때 보다 3mm와 5mm일 때 플랜지 직경으로 소재는 더 많은 유동을 보였으나 다이바닥과 플랜지면이 분리되는 크기는 더 커지는 것으로 나타났다. Fig. 7(a)는 마찰인자의 값이 0.10일 때 다이코너반경에 따른 성형하중의 변화를 나타낸 것이며 Fig. 7(b)는 다이코너반경이 3mm일 때 마찰인자의 값에 따른 성형하중의 변화를 나타낸 것이다. 이때 최대 성형하중은 1410.7kN이며 소재가 다이스폿을 지나는 공정 초기에 하중은 크게 증가하다가 소재가 다이 바닥면과 분리되며 다이코너반경을 따라 유동하면서 점진적인 증가를 보였고 다시 소재 유동이 플랜지 직경방향으로 향하면서 빨라지는 양상을 보이고 있다. 다이코너반경과 마찰인자에 따른 하중의 변화는 다이코너반경

이 작을수록, 마찰인자 값은 커질수록 증가되었고 마찰인자 값에 따른 하중의 변화보다 다이코너반경에 따른 하중의 변화가 더 큰 것으로 나타났다. 설계변수에 따른 하중-행정선도는 비교적 유사한 경향을 보였다. 플랜지면의 고정도 정밀 압출의 가능성을 살펴보기 위해 다이스폿을 돌출시켜 모의 실험을 수행하였으나 플랜지 직경으로 소재 유동이 원활하지 못했고 스폿의 간섭으로 금형에서 플랜지 바닥은 크게 분리되었다.

### 3.2.2 갭 높이에 따른 해석

다이스폿이 없는 조건으로 ANSI CLASS 150 FLANGES 규격에서 고려된 5.85mm, 7.85mm, 8.85mm, 9.85mm의 플랜지 두께를 다이에 갭 높이를 주어 각각 23mm, 30.4mm, 33.9mm, 35mm의 행정거리로 모의 실험을 수행하였다. Fig. 8은 갭 높이가 8.85mm로 일정하고 마찰인자의 값이 0.10일 때의 해석후의 격자 상태 및 다이압력 분포, 유효변형률 분포, 속도 벡터를 나타내고 있다. 소재 유동 및 변형 양상을 살펴보면 다이코너반경에 의해 플랜지 직경방향으로 유동하며 변형이 발생하였고, 다이코너반경이 1mm일 때는 플랜지 직경방향으로 소재 유동이 원활하지 못했고 3mm와 5mm일 때 플랜지 직경 끝까지 소재는 원활하게 유동하는 것으로 나타났다. 플랜지 직경과 외관을 만족시키는 성형 양상을 보였으나 플랜지 직경 위쪽 가장자리 부근에서 약간의 금형공동부가 나타났고 금형공동부는 다이코너반경이 3mm일 때보다는 5mm일 때 더 크게 나타났다. 갭 높이가 9.85mm일 때는 금형 공동부를 충전하지 못하는 체적이 생겨서 플랜지 두께가 일정하지 못한 형상이 나타났으며 갭 높이가 5.85mm이고 다이코너반경이 클 때 바닥이 미세하게 들리는 현상이 나타났다. 유효변형률은 다이코너반경이 클수록 컸고 다이코너반경 5mm일 때 최대 유효변형률은 8.7이며 넥 부분에서의 변형은 거의 일어나지 않았다. 다이압력 분포를 살펴보면 다이압력이 가장 크게 작용되는 부분은 플랜지 직경방향으로 유동이 이루어지는 다이코너반경상에 나타났고 다이코너반경이 1mm일 때 가장 컸다.

### 3.2.3 설계변수와 성형하중과의 관계

Fig. 9는 갭 높이와 성형하중과의 변화를 다이코너반경에 따라 나타내고 있다. 공정초기에 하중은 점진적으로 증가하다가 소재 이동이 플랜지

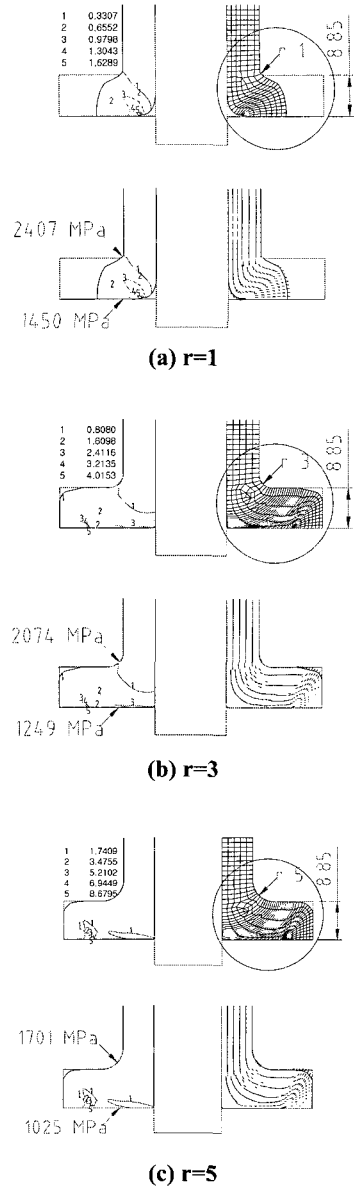


Fig. 8 Comparison of deformation patterns for various die corner radius(s=8.85mm)

직경에 가까워질수록 급속히 증가하는 경향을 보이고 있다. 갭 높이에 따른 최대 성형하중은 갭 높이가 9.85mm 일 때 1214.9kN, 8.85mm일 때 1445.1kN, 7.85mm일 때 2118.6kN, 5.85mm 일 때는 2164.2kN으로 나타났다. 성형하중은 갭 높이가 작을수록, 금형공동부의 소재 충전이 좋을수록 커지는 양상을 보였다. 금형공동부의 소재 충전이 좋은 갭 높이 5.85mm와 7.85mm의 경우 최종 행정거리 근처에서

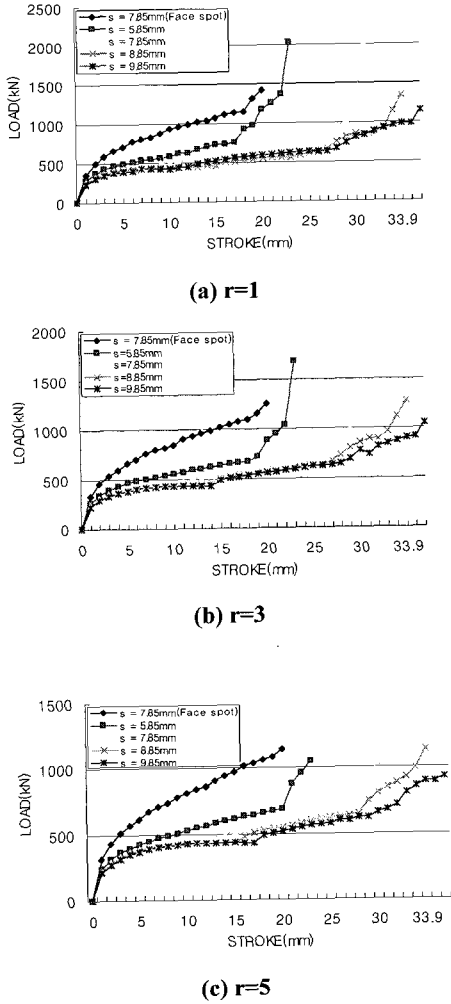


Fig. 9 Effect of gap height and die corner radius on forming force(m=0.10)

성형하중이 급격히 증가하는 경향을 보였고 금형 공동부의 소재 충전이 좋지 못했던 9.85mm의 갭 높이에서의 성형하중은 최종 행정거리까지 점차적인 증가를 보였다.

Fig. 10 은 마찰인자 값의 변화에 대한 갭 높이와 최대 성형하중과의 관계를 나타내고 있다.

다이코너반경과 마찰인자에 따른 최대 하중은 다이코너반경이 작을수록, 마찰인자의 값이 커질수록 증가되었고 마찰인자 값에 따른 하중의 변화보다 다이코너반경에 따른 하중의 변화가 더 큰 것으로 나타났다. 설계변수에 따른 하중-행정선도는 이러한 경향을 보여주고 있다.

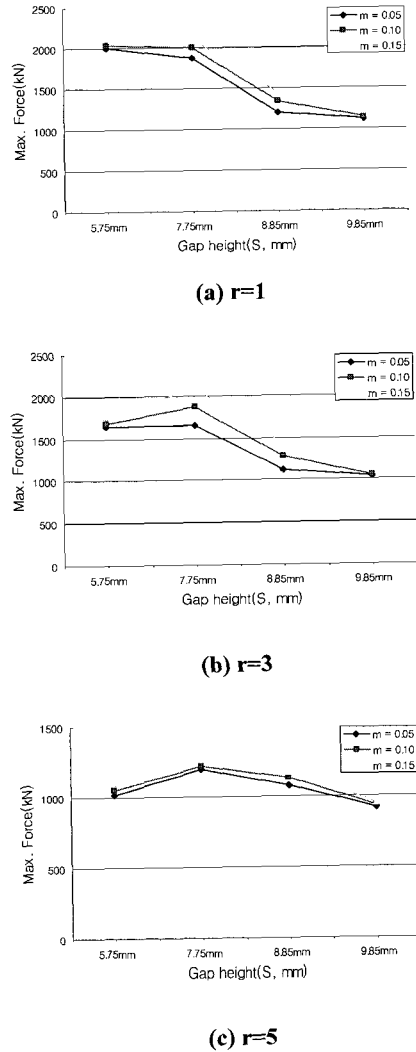


Fig.10 Effect of gap height and die corner radius on maximum force(m=0.10)

#### 4. 결론

본 논문에서는 파이프를 이용하여 공정을 분할하지 않고 예비성형체를 고려하는 않는 냉간 가공 조건에서 헤딩 공정과 레이디얼 압출 공정을 통해 플랜지의 성형특성을 고찰하였다. 여러 변수들 중에서 다이 스톱 돌출 유·무, 갭 높이, 다이 코너반경, 마찰인자를 설계변수로 설정하였고, 강소성 유한요소법을 이용한 모의실험을 통해 설계변수에 따라 소재 유동 및 변형 양상, 하중상태가 미치는 영향을 비교·분석하였다. 그 결과를 요약

하면 다음과 같다.

- (1) 중공 파이프를 블랭크로 하는 공정 분할없는 냉간 헤딩 공정은 공업적 건지의 플랜지 직경 및 외관을 갖는 성형을 할 수 없었다.
- (2) 레이디얼 압출 공정에서 다이스폿이 돌출되는 설계 조건은 소재 유동 및 변형에 대한 간섭이 매우 커 제품 성형을 방해할 수 있다.
- (3) 레이디얼 압출 공정에서 플랜지 성형 및 하중에 영향을 미치는 설계변수는 깎 높이, 다이코너반경, 마찰인자 순이었다.
- (4) 레이디얼 압출공정으로 파이프를 이용한 플랜지의 준정형 성형은 플랜지의 두께에 대한 설계변수의 적절한 조합으로 가능하다.
- (5) 준정형 성형이 완료되는 공정의 후반부에 밀폐단조와 같이 하중이 급격히 증가하므로 성형이 가능한 설계조건 중 깎높이와 다이코너반경이 크고 마찰인자를 줄이는 것이 좋다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Kalpakjian, 1997, Manufacturing Processes for Engineering Material, Addison-Wesley Pub. Co., Inc., pp. 327~341.
- [2] M. Arentoft, S. B. Petersen, J. M. C. Rodrigues, P. A. F. Martins, R. Balendra and T. Wanheim, 1995, Review of Research into injection Forming of Tubular Materials, J. of Material Processing Tech., Vol. 52, pp. 460~471.
- [3] Takaji Mizuno, Toshihiro Mizuno, K. Kitamura, 1999, An Experiment on Injection Upsetting, J. of Material Processing Tech., Vol. 96, pp. 234~239.
- [4] A. S. Wifi, A. Abdel-Hamid, N. El-ABBASI, 1998, Computer-Aided Evaluation of Workability in Bulk Forming, J. of Material Processing Tech., Vol. 77, pp. 285~293.
- [5] B. D. Ko, S. H. Lee, D. J. Kim, B. B. Hwang, 2001, The influence of die geometry on the radial extrusion processes, J. of Material Processing Tech., Vol. 113, pp. 109~114.
- [6] 황승규, 이호용, 황병복, 2002, 레이디얼-전방 압출 공정의 성형특성에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 11 권, 제 1 호, pp. 84~89.
- [7] 장동환, 최호준, 최진화, 이호용, 황병복, 2000, 후방압출과 연계한 레이디얼압출의 성형특성에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 7 호, pp. 754~760.
- [8] 장용석, 황병복, 2000, 전방압출과 연계된 레이디얼압출의 성형특성에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 3 호, pp. 242~248.
- [9] K. Lange, M. Herrmann, P. Keck, M. Wilhelm, 1991, Application of an elasto-plastic finite element code to the simulation of metal forming processes, J. of Materials Processing Technology, Vol. 27, p. 239.
- [10] M. J. Saran, 1991, Comparison of elastic-plastic implicit FEM simulations in sheet forming applications, J. of Materials Processing Technology, Vol. 27, p. 279.
- [11] J. H. Cheng, N. Kikuchi, 1985, An analysis of metal forming processes using large deformation elastic-plastic formulations, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., Vol. 49, p. 71.
- [12] S. I. Oh, G. D. Lahoti, T. Altan, 1981, ALPLD-A General Proceedings of NAMRC IX, State College, Pennsylvania.
- [13] T. Altan, S. I. Oh, Harold L. Gegel, 1983, Metal Forming, American society for metals, p. 56.
- [14] S. Kobayashi, S. I. Oh, T. Altan, 1989, Metal Forming and the Finite Element Method, Oxford Univ. Press, pp. 30~33.
- [15] Korea Flange Co., Ltd: KOFCO, 2006, Flange catalog II (foreign standards), p. 48.