

## 플라스티신을 이용한 롱넥 플랜지 냉간 단조 공정의 모사 실험

이호용\* · 임중연\*\* · 이상돈\*\*\*

(2000년 10월 23일 접수)

### Experiment of Long-neck Flange Cold Forging Process Using Plasticine

H. Y. Lee, J. Y. Lim and S. D. Lee

#### Abstract

The cold forging process to produce a long-neck flange is investigated by using model material test. The two stage process with optimum design condition is examined using plasticine, which is suitable to model steel at room temperature. The similarity theory is employed to estimate the forging load of each sequence by strict application of similarity condition between steel(AISI 1015) and plasticine material. The model test results are compared with the simulation results and shows good agreement. The proper forging process with least forming energy can be resulted in 25° of extrusion semi-die angle.

**Key Words** : Plasticine, Cold Forging, Long-neck Flange, Semi-die angle, Similarity Condition

#### 1. 서 론

단조 공정 설계시 경험 법칙에 의존하면 제품에 결함이 발생하거나 프레스에 손상을 줄 수 있고, 부품의 최종 형상 및 치수가 원하는 값들과 맞지 않는 경우가 많아 커다란 경제적 손실을 초래할 수 있다. 따라서 단조 공정에 대한 체계적인 연구를 통한 단조 공정 설계방법의 개발이 필요하나 단조 공정 실험이 고가의 비용이 들기 때문에 실제 규모의 수행이 어려워 모델재 실험이 많이 이용되고 있다. 지금까지 주로 사용된 모델 재료들은 왁스, 탄소강, 진흙, 납 등으로 이들에 대한 많은 연구가

진행되어 왔다<sup>(1)</sup>. 지금까지 플라스티신을 모델재로 이용한 연구는 열간 공정에 국한된 것으로 유동과 변형에 관한 것이 대부분이었으나<sup>(2,3)</sup>, Aku 등은 상온에서도 항복 응력들이 변형률 속도에 민감하게 변하는 것을 알았고,<sup>(4)</sup> Chijiwa 등은 상사성을 유출하여 하중과 응력을 예측하였다<sup>(5,6,7)</sup>.

본 연구는 단조 공정 설계에 중요시 되고 있는 재료의 유동 및 변형 형상을 실험적으로 예측하였는데 단조품 성형은 Fig. 1과 같이 탄소강(AISI 1015)으로 만들어진 롱넥 플랜지를 세가지 압출반각에 대하여 다단계 성형 공정으로 모사 실험하였다. 모사 실험을 통하여 유동

\* 동국대학교 기계공학과 교수

\*\* 동국대학교 기계공학과 조교수

\*\*\* 동국대학교 기계공학과 박사과정

과 변형의 양상을 알아보고 상사관계를 이용하여 단조 하중을 예측하였으며 각각의 압출반각별 성형하중과 에너지를 평가하여 공정 설계시 최적의 압출반각을 찾아 보았다.

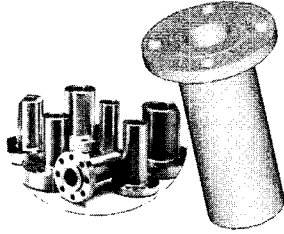


Fig. 1 Long-neck Flange made of carbon steel (AISI 1015)

## 2. 냉간 단조의 모사 실험

### 2.1 실험장치

플라스티신은 영국의 Harbutt사에서 만든 것을 사용했으며, 이는 기름과 혼합된 소상용 점토의 일종으로 동적인 특징이 고온의 강과 유사하기 때문에 모델 재료로 많이 사용되어져 왔다. 또한, 어떤 형태로든 시편 제작이 쉽고 색깔이 다양하므로 관찰이 용이하며 실험장비의 용량은 작아지게 된다. 플라스티신은 상온에서 변형률 속도 민감도값이 작은 가공 경화재료써 기계적 시효, 온도 및 수분의 함량에 따라 달라지며 유동응력은 다음과 같은 식으로 표현되어 진다.

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

위식에서 가공경화지수 n값은 0.2~0.3의 값을 가지며 변형률 속도 민감도 m은 0.05~0.06의 값을 갖는다. 윤활제는 열간 공정에서는 고온에서 강의 유동시 유사한 마찰인자로 널리 알려진 흑연기의 윤활제(graphite-base lubricant)가 많이 사용되고 있으나 본 연구에서는 냉간 공정에서의 유사 조건을 만족시키기 위해 플라스티신 시편에 테플론 테이프를 감은 후, 이황화 몰리브덴(MoS<sub>2</sub>)분말을 도포하여 윤활하였다. 이 윤활 방법은 0.12~0.15사이의 마찰계수를 갖으며 냉간 공정에서 적합한 마찰 계수인 0.1과 가장 유사한 조건을 만족시킨다. 제조 공정은 축대칭 중공축의 소재로부터 전방 압출과 업셋팅 공정을 거치는 다단계 성형공정으로 최종제품을 만들게 된다. 이 과정에서 소재유동을 파악하기 위해서는 소재내부의

변형양상을 파악할수 있어야 한다. 따라서, 시편 제작시 두가지 이상의 색을 적층<sup>(8,9)</sup>하거나 동일한 간격의 격자 망 구성<sup>(10)</sup>이 필요하게 되는데 본 연구에서는 흑색과 백색의 플라스티신을 적층하여 시편을 제작하는 방법을 채택하였다. 시편의 제작은 흑색과 백색의 두 물성치를 최대한 같게 하기 위해서 반죽전 서로 약간씩 섞은후, 반죽을 하였으며 약 2시간 정도 고무망치로 두들린 후에 다시 반죽하여 내부에 기포가 남아 있지 않도록 하여 재료의 모든 부분에서 균질한 성질을 갖도록 하였다. 반죽을 마친 플라스티신은 로울러 장치를 통하여 압연하였으며 동일한 두께의 판으로 만든후 Fig. 2의 파이프 형태의 칼을 사용하여 잘라 내었는데 이때 소재의 직접적인 접촉을 막으면서 원판모양의 소재를 쉽게 꺼내기 위해 칼날 부위에 파우더를 약간 묻혀 주었다<sup>(11)</sup>. 잘라낸 원판모양의 소재를 흑색과 백색을 번갈아 가면서 적층하였으며 적층시 소재를 약간씩 눌러줌으로써 접촉제 사용을 대신하면서 Fig. 3과 같은 축대칭의 중공축 플라스티신 시편을 완성하였다. 시금형은 전방압출 공정에 대하여 15°, 20°, 25°의 압출 반각에서 사용할 3종과 업셋팅 공정에서 사용할 1종을 분할 조립식의 형태로 Fig. 4와 같이 목형을 사용하여 제작하였으며 지그는 시금형을 양쪽에서 지지하면서 고정시킬수 있고 지지하지 못하는 다른 양쪽은 C형 클램프로 지지시킬수 있는 공간을 갖는 형태로 Fig. 5와 같이 중탄소강(KSD 3710, S45C)으로 제작하였다.

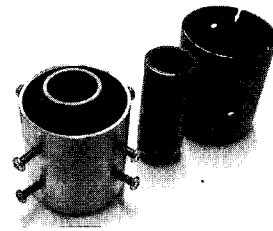


Fig. 2 Photograph of cutting device for rolled plasticine



Fig. 3 Photograph of stacked plasticine workpiece

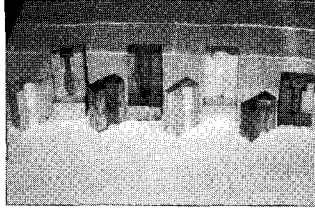


Fig. 4 Photograph of dies for forward extrusion and upsetting

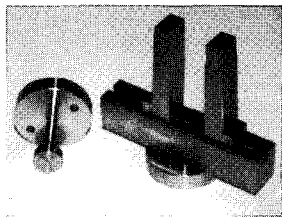


Fig. 5 Photograph of jig and punch set

기존의 플랜지 생산공정은 소재를 헤딩공정을 거쳐 중공부위를 장시간의 후속 기계가공으로 생산해 내므로 가공시간이 길고 재료 손실이 많아 생산비가 고가하게 되는데, 본 연구에서는 기존 공정의 문제를 극복할 수 있도록 공정을 설계하였다. 새로운 공정은 크게 전방 압출, 업셋팅, 냉간 사이징으로 나뉜다. 초기 소재는 띠톱에 의해 절단되며 절단된 소재는 소둔과 윤활 처리후 전방 압출하여 플랜지부를 예비성형하고 이후 업셋팅 공정에서 플랜지부와 넥부의 외관을 성형하게 된다. 펀치가 진행되면 소재는 압출각을 따라서 이동하면서 넥부로 유동

Table 1 Key variables for each process

Process	Variable
Preform	Inner · outer diameters, height
Forward extrusion	The length of neck part in the forward extrusion, Semi-extrusion angle
Upsetting	Length of the neck, Thickness of the flange, The bottom shape of the flange, Round shape of connecting part between flange and neck

하게 된다. 업셋팅 공정 이후에는 냉간 사이징을 수행하는데, 플랜지 바닥부의 성형을 완성하면서 제품의 높은 치수 정도를 가질 수 있게 한다. 단조 실험을 통해 얻을 수 있는 결과는 변형저항 거동, 마찰, 금형의 팽창량 등이 있지만 본 연구에서는 금속 유동의 예측과 탄소강과 플라스티신의 상사성 도출, 성형하중에 대한 평가를 통한 새로운 공정에 대한 적합성 판단에 중점을 두었고 Table 1은 공정별 주요 실험변수이다.

## 2.2 플라스티신의 상사성 도출

모사 실험을 통하여 실제 공정을 정확히 예측하기 위해서는 실소재와 모델재 사이에 엄격한 상사 조건<sup>(12)</sup>을 성립시켜야 하며 이를 위해서는 소재들의 변형 응력관계, 마찰조건, 금형의 탄성변형 및 열적 팽형 등을 고려해야 한다<sup>(13)</sup>. 소성 변형하는 동안 소재의 유동응력은 일반적으로 유효 변형률 속도( $\dot{\epsilon}$ ), 유효 변형률( $\bar{\epsilon}$ )과 온도의 함수로 표시될 수 있는데, 상온에서 실험하는 경우에는 변형률 속도에 의한 영향을 무시할 수 있으며 일정한 온도의 주변환경에서 변형중의 소재 온도가 일정하다고 가정하면 응력은 단지 유효 변형률만의 함수로 간단히 표시할 수 있으며<sup>(14)</sup>, 응력-변형률의 관계식은 Table 2의 지수 함수 형태로 표시할 수 있다. 실소재와 모델재의 유동응력 상사관계를 규명하기 위하여 실제 규모로 유한 요소 시뮬레이션이 수행되었고<sup>(15)</sup>, 1/2 규모로 모델재 실험을 수행하였다. 마찰조건은 재료의 변형 패턴에 영향을 미치는 중요한 요소로 실소재와 모델재 사이에 유사한 마찰조건이 성립되어야 하므로<sup>(16)</sup>, 냉간 공정에서의 마찰계수인 0.1<sup>(17)</sup>과 가장 유사한 마찰조건을 갖는 윤활로 플라스티신 시편을 테플론 테입으로 감은 상태에서 이황화 몰리브덴(MoS<sub>2</sub>)분말을 도포하는 방식을 사용했으며 마찰계수가 0.12~0.15로 마찰조건이 실소재와 모델재사이에 유사한 상사관계를 갖게 되었다.

Table 2 Stress-strain relationships of test materials

Material	AISI 1015	Plasticine
Effective Stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma} = 784.8 \bar{\epsilon}^{0.10}$	$\bar{\sigma} = 0.294 \bar{\epsilon}^{0.18}$
Range of measured Strain	$0.16 < \epsilon < 0.8$	$0.16 < \epsilon < 0.8$
Remark	Compression	

실소재와 모델재 사이의 상사관계는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Q = K^x \cdot Q^x \quad (2)$$

여기서 Q는 실소재의 변수이고, Q<sup>x</sup>는 모델재의 변수가 된다. 실소재와 모델재 사이의 비례 상수를 나타내는 상사 계수가 K<sup>x</sup>로서 각각의 변수들에 따라 서로 다른 값을 갖게 된다. 실소재와 모델재 사이의 시편의 크기에 대한 상사 관계는 Table 3과 같으며, 길이의 상사 계수 K는 약 0.5임을 알 수 있고 응력 상사 계수는 가공 경화 지수에 의한 변형률 계산값이 거의 같으므로 다음과 같이 간단히 구할 수 있으며 나머지 상사 관계는 Table 4와 같다.

$$K_\sigma = \frac{\bar{\sigma}_s}{\sigma_p}$$

$$= \frac{784.8}{0.294} \frac{\bar{\epsilon}_s^{0.10}}{\epsilon_p^{0.18}} \approx 2669.4 \left( \frac{\bar{\epsilon}_s^{0.10}}{\epsilon_p^{0.18}} \approx 0.6 \right)$$

$$0.294 \times \frac{F^*}{l^{*2}} = 784.8$$

$$l_s = l^* l_p$$

$$F^* = K_\sigma \times l^{*2}$$

$$= 10678 \quad (3)$$

**Table 3 Dimensions of preform for extrusion**

Material \ Item	Height	Outer diameter	Inner diameter
AISI 1015	123.0mm	114.3mm	50.8mm
Plasticine	63.0mm	57.0mm	25.0mm

**Table 4 Similarity coefficients for AISI 1015 and plasticine**

Material \ Item	Similarity Coefficient				
	Length	Area	Speed	Stress	Load
	K <sub>X</sub>	K <sub>B</sub>	K <sub>U</sub>	K <sub>σ</sub>	K <sub>F</sub>
AISI 1015	0.50	0.25	0.02	2667	667
Plasticine (model material)					

### 2.3 상사 법칙에 의한 단조 하중 예측

실소재와 모델재인 플라스틱인 사이에 엄격한 상사 조건을 유지하면서 모델재 실험과 본 연구에 앞서 진행된 유한요소 시뮬레이션을 통해 Table 5와 Table 6의 단조 하중의 결과를 얻었으며, 모델재 실험으로부터의 하중과 상사이론<sup>(18)</sup>으로부터의 하중 상사 계수를 곱한 것이 단조 예측 하중이다. 예측 하중은 모델재 실험과 유한요소 시뮬레이션의 경향은 비교적 유사하나 모델재 실험에서 하중이 높기 감소율에 따라 높은 값을 보여주고 있다.

이 차이는 실험적인 오차와 압축과정시 증가되는 마찰 계수 및 급형재의 탄성변형을 고려하지 않았기 때문인 것으로 사료된다<sup>(19)</sup>. 따라서, 실험적인 오차와 압축과정시 증가되는 마찰계수 및 급형재의 탄성변형을 고려한 상사조건이 보완이 이루어진다면 보다 정확한 하중 예측이 가능할 것으로 보인다.

**Table 5 The comparison of the maximum load of forward extrusion process between simulation results and model material test**

Semi-die angle of extrusion	Simulation result	Model material test	Precision uncertainty
15°	25.60MN	29.61MN	±5.8N(95%)
20°	13.60MN	24.96MN	±2.9N(95%)
25°	11.70MN	20.83MN	±5.4N(95%)

**Table 6 The comparison of the maximum load of upsetting process between simulation results and model material test**

Semi-die angle of extrusion	Simulation result	Model material test	Precision uncertainty
15°	28.20MN	32.81MN	±5.8N(95%)
20°	19.10MN	25.48MN	±336.8N(95%)
25°	16.00MN	21.52MN	±3.1N(95%)

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 전방 압출 공정

모델재 실험은 전방 압출 공정과 플랜지부와 넥부를 제품 형상으로 성형하는 업셋팅 공정으로 나눠 실시하였

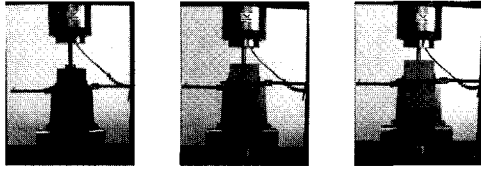
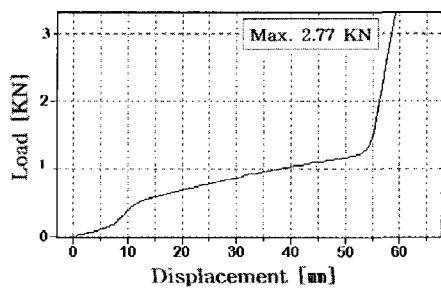
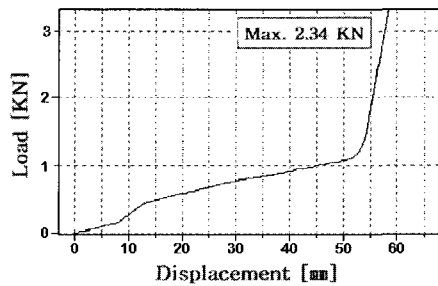


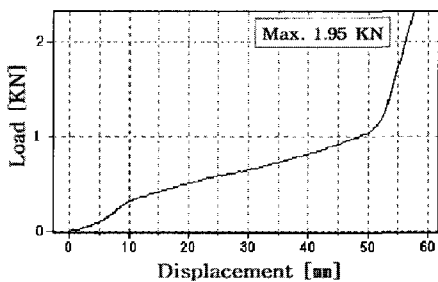
Fig. 6 Forward extrusion experiment by universal testing machine (Instron, series IX)



(a) semi-extrusion angle of 15°



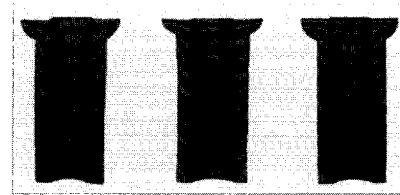
(b) semi-extrusion angle of 20°



(c) semi-extrusion angle of 25°

Fig. 7 Load-stroke curve in forward extrusion process according to different semi-extrusion angle

다. 첫 번째 공정인 전방 압출 공정은 압출 반각이 작은 순서에서 큰 순서의 순으로 15°, 20°, 25°에 대해 총 14회씩 실험을 수행하였다. 초기 시편은 약 15~18°C의 상온에서 윤활후 시금형으로 옮겨져 램속도 30 mm/min으로 압출하였는데 Fig. 6은 만능시험기에서 전방 압출 실험이 진행되는 모습이며 Fig. 7은 실험을 통해 얻어진 시간, 하중, 변위의 그래프이다. 압출후 시편을 수직으로 변형이 일어나지 않으면서 좌우로 대칭을 이루도록 평평하게 반으로 잘랐으며 Fig. 8은 압출 반각별로 얻어진 외관과 유동의 양상들이다. 유동은 단면적이 넓은쪽에서 좁은쪽으로 급격한 이동을 보이고 있었으며 중공부분은 유동이 나타나지 않을 것으로 예상했으나 마찰 상승에 따른 유동의 흔적이 보였다. 또한, 압출이 진행되면서 소재가 금형의 단면적이 좁아지는 곳을 지날 때 중심부가 가장자리보다 빨리 이동했으며 중심부에서의 변형은 균질변형에 가까운 반면 가장자리 쪽은 소재와 금형간의 마찰로 인하여 전단 변형을 일으켰고 압출 반각이 커져 갈수록 유동의 양상은 중심부와 가장자리의 이동이 완만하였다. 소재는 전체적으로 균질 변형의 양상을 갖는 곳이 많았다. 전방 압출 공정은 실험의 결과로 보아 압출 반각이 25°일 때 가장 적은 성형 하중과 규칙적이면서 완만한 유동의 양상을 보였다. 분할된 금형의 벽부분에서는 금형간의 미세한 간극(0.09 mm 정도)과 플라스티신의 성형성으로 인해 간극으로 소재의 유동이 얇은 두께의 플래쉬가 생성되었고<sup>(20)</sup>, 이로 인해 유동이 금형의 벽면에서 윗쪽으로 몹시 급해졌다. 압출후 시편의 핵부분에서 온도가 올라간 것을 알 수 있었으며 이 부분은 소성일로 인한 열의 발생이 플랜지부보다 상대적으로 컸음을 알 수 있었다.



(a) 15° degree (b) 20° degree (c) 25° degree

Fig. 8 Flow patterns after the forward extrusion according to different semi-extrusion angle

### 3.2 업셋팅 공정

업셋팅 공정에서는 전방 압출 공정을 거친 시편을 롱벙 플랜지의 제품 형상으로 성형하게 된다. 실험은 압출 반각별로 전방 압출한 시편들을 윤활후 각각 14회씩 수

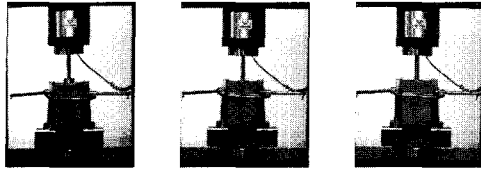
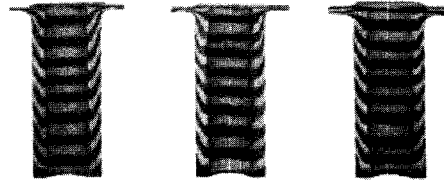
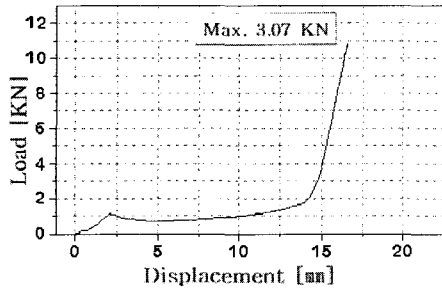


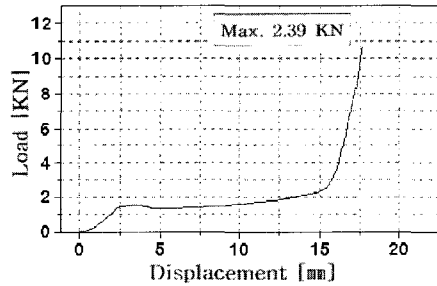
Fig. 9 Upsetting experiment by universal testing machine (Instron, series IX)



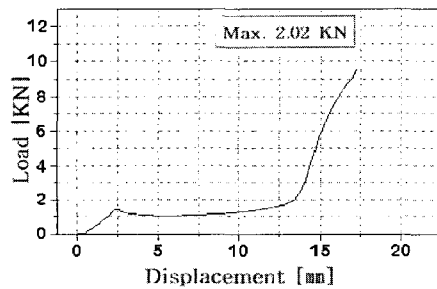
(a) 15° degree (b) 20° degree (c) 25° degree



(a) semi-extrusion angle of 15°



(b) semi-extrusion angle of 20°



(c) semi-extrusion angle of 25°

Fig. 10 Load-stroke curve for upsetting process according to different semi-extrusion angle

Fig. 11 Flow patterns after upsetting process according to different semi-extrusion angle

행하였다. 램속도는 전방 압출시와 동일하게 유지하였고 Fig. 9는 만능시험기를 통해 업셋팅 실험이 진행되는 모습이며 Fig. 10은 실험을 통해 얻어진 시간, 하중, 변위의 그래프이다. Fig. 11은 전방 압출 실험시와 같은 방법으로 시편을 잘라서 보여주는 압출 반각별 외관과 유동의 양상들이다. 유동의 양상은 전방 압출 실험시와 유사하게 나타났는데 업셋팅 실험에서 변위량이 작아 전체적인 변형 양상은 큰 차이가 없었던 것으로 사료된다. 업셋팅 실험의 결과는 25° 에서 압출한 시편을 업셋팅한 실험이 가장 적은 성형 하중과 규칙적이고 완만한 유동 양상을 보였다.

### 3.3 성형에너지 평가

전방 압출 공정에서는 압출 반각이 15° 일 때 9,386 KJ로 소요 에너지가 가장 컸으며 20° 에서는 25° 보다 약 480 KJ의 소요 에너지가 적게 들을 알 수 있었다. 압출 반각이 20° 일 때가 가장 적은 소요 에너지로 성형되었으나 20° 와 25° 는 차이가 근소함을 보였다. 업셋팅 공정은 압출 반각이 커질수록 소요 에너지가 적어져 25° 일 때 2,655 KJ의 소요 에너지가 들었으며 압출 반각이 15° 일 때는 25° 일 때 보다 약 1.6배나 컸다. 전방 압출과 업셋팅 공정을 같이 고려하면 압출 반각이 20° 일 때 15° 보다 3,844 KJ이 적은 9,734 KJ이었고 25° 일 때는 8,928 KJ로 15° 일 때 보다 약 35%가량의 소요 에너지가 적게 든 것으로 나타났다. 압출 반각이 25° 일 때가 가장 적은 소요 에너지로 성형되는 것을 알 수 있었다. Table 7은 압출 반각별 성형 에너지를 비교한 것이다.

**Table 7 Comparison of forming energy for forward extrusion according to semi-die angle**

Semi-die angle of extrusion	Forward extrusion	Upsetting	Total
15 °	9386 KJ	4192 KJ	13578 KJ
20 °	5791 KJ	3943 KJ	9734 KJ
25 °	6273 KJ	2655 KJ	8928 KJ

**4. 결 론**

모델 재료인 플라스티신을 이용하여 롱넥 플랜지를 단조 성형 공정으로 실험을 수행함으로써 새로운 성형 방법을 제안할 수 있었으며 성형가능성을 찾아낼 수 있었다. 단조 하중을 예측하여 고온의 강과 상사성이 유사한 것으로 널리 알려진 플라스티신을 냉간 단조 공정 실험을 통하여 상온의 강과도 상사성을 검토하였다. 흑색과 백색으로 적층하여 제작한 플라스티신 시편의 성형 과정을 통하여 금속 유동을 예측할 수 있었으며, 실제 공정과 유사하도록 각종 변수를 선정해 플라스티신과 상온의 탄소강(AISI 1015)과의 상사성을 도출해 내었다. 공정별 형상 관찰과 소요 하중을 예측함으로써 실제 공정에서 적절한 금형 및 예비 형상을 설계할 수 있도록 하였다. 또한 보다 정확한 하중을 예측하기 위해서는 금형재의 탄성 변형에 대한 상사 조건이 고려되어야 함을 알았다. 롱넥 플랜지를 정밀하게 성형함에 있어 업셋팅 공정보다는 전방 압출 공정에서 많은 영향을 주며 단면적 감소율과 마찰 조건이 동일한 경우라면 압출 반각이 가장 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다. 적용한 조건들 중에서 소재의 외관과 유동 양상, 소요 하중과 에너지를 비교해본 결과 압출 반각이 25° 일 때 가장 좋다는 것을 알 수 있었다. 끝으로 모델재 상사 기법은 다른 냉간 단조 공정 설계와 여러 가지 소성 가공을 통한 복잡한 형상의 제품 개발시에도 매우 유용하게 응용될 수 있을 것이다.

**후 기**

본 연구는 2000년도 동국대학교 교원 해외연수 지원금에 의한 것입니다.

**참 고 문 헌**

- (1) Wanheim T., Maegaard V. and Danckert J. 1984, "The Physical Modeling of Plastic Working Processes", Advanced Technology of Plasticity, pp. 984~996.
- (2) Kroneis V.M., and Skamletz, T. 1964, "Beitrag zur Kenntnis der Verformungsvorgange beim Schmieden", Bergund Huttenm a nniische Monatshefte Sonderabdruck aus Jahrgang, 109, Heft 1.
- (3) Nippon Kokan K.K. 1983, "Experimental Technique Using Plasticine", Rolling Technology Laboratory, Technical Research Center, July.
- (4) Aku S.Y., Slater., and R.A.C., Jonson W. 1965, "The Use of Plasticine to Simulate the Dynamic Compression of Prismatic Blocks of Hot Metal", Int J Mech Sci., Vol.9, pp. 495.
- (5) Kenji Chijiwa., and Yotaro Hatasegawa 1981, "Characteristics of Plasticine to Plasticine Used in the Simulation of Slab in Rolling and Continuous Cating", Transactions ISIJ, Vol. 21.
- (6) 윤덕재, 최석우, 나경환, 김종호, 1995, "모델재를 이용한 회전단조 공정의 시뮬레이션", 한국소성가공학회지, 제4권, 제1호, pp. 9~16.
- (7) 박근, 신민철, 양동근, 조정래, 김중수, 1995, "모델재료와 SLA 시금형을 이용한 터빈블레이드 열간단조 공정의 모사실험", 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp. 335~344.
- (8) C.H. Lee, and Kobayashi S., 1971, "Analysis of Axisymmetric Upsetting and Plane-Strain Side Pressing of Solid Cylinders by Finite Element Method", J. of Eng. for Industry, ASME, pp. 445~451.
- (9) Shah K.N., Kiefer B.V. and Gavigan, J.J., 1986, "Finite Element Simulation of Internal Void Closure in Open-Die Press Forging, J. of Advanced Manufacturing Processing", Vol. 1, no. s-4, pp. 501~509.
- (10) 한철호, 임태복, 1996, "모델재를 이용한 축대칭 평금형 압출공정의 변형가시화 해석", 한국소성가공학회지, 제5권, 제2호, pp. 156~164.

- (11) Aku S.Y., Slater R. A. C. and Jonson W., 1967, "The Use Plasticine To Simulate The Dynamic Compression of Prismatic Block of Hot Metal", In. J. Mech, Sci., Vol. 19, pp. 405~525.
- (12) Hiroshi Yaguchi and Devendra Rusia., 1990, "Verification of Osakada's Method to calculate stress-strain curves from upset test Load-Stroke Curves under Various Work Hardening Conditions", J. Master. Sraping Technol, Vol. 8, pp. 159~165.
- (13) Danckert, J. and Wanheim, T., 1977, "Model Material Technique Applied in the Analysis of the Forming of A Specimen of Complicated Shape", Scandinavian J. of Metallurgy, 6, pp. 185~190.
- (14) Perzyna, P., 1966, "Fundamental Problems in Viscoplasticity", Advanced App. Mech., Vol. 9, pp. 243.
- (15) C.S. Kim, J.Y. Lim. and H.Y. Lee, 1999, "A Computer-aided sequence design of longneck flange forming process", Professional Eng. Publishing Limited London and Bury St Edmunds. UK, pp. 381~389.
- (16) Hedeiko T., Taura Y. and Ibushi J., 1984, "Simulation of Hot Steel in Plastic Working with Plasticine and Lead", Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2, pp. 1003.
- (17) Hedeiko T., Taura, Y. and Ibushi, J., 1984, "Analysis on Distribution of Deformation during Hot Forging", Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2, pp. 997.
- (18) Osman F.H., Bramley A.N. and Ghobrial M.I., 1990, "Forming and Preform Design Using UBET", J. Material Processing Tech. Vol. 24, pp. 127~135.
- (19) Shiro Kobayashi., S.L. Oh. and Taylan Altan., 1989, "Metal Forming and The Finite-Element Method", New York: Oxford University Press, pp. 92~93, pp. 121~122.
- (20) T.A. Dean., 1977, "Die Technology", The feasibility of flashless forging Drop Forging Research Association Conference, Leicester May, pp. 20~21.