

## T형 단조부품의 결함에 관한 연구 (A Study on the Defect of T type Forging Products)

손 경 호\*(부산대 대학원), 김 영 호(부산대 정밀정형 및 금형가공 연구소), 서 윤 수 (창신전문대)  
K.H. Son\* (Graduate School, Pusan National University), Y.H. Kim (ERC/NSDM, Pusan National University), Y.S. Suh (Chang Shin Junior College)

### Abstract

This paper describes the method that can expand the forming limit of T type forging products used in aircraft and automotive forged products. The forming limit is determined by the ratio of web thickness to rib width in T type and the reduction in height of workpiece and especially depends on the ratio of web thickness to rib width. For this method, the geometric condition that consists of triangle type was introduced and FEM simulations and model experiments were carried out and compared with each other. The objective of this paper is to give the method not only that sink mark and folding phenomenon are eliminated but also that the forming limit and the structural strength of rib and web is increased.

**Keyword:** FEM Simulation(FEM 시뮬레이션), Model Experiment(모델 실험), Sink Mark(싱크마크), Forming Limit Curve(성형 한계 곡선), Ratio of Web Thickness to Rib Width(웹두께와 리브폭의 비)

### 1. 서론

항공기부품, 자동차등에 많이 사용되는 단조부품중에서 리브·웹구조를 지닌 T형 부품에 사출성형에서 보이는 싱크마크(Sink Mark)<sup>1)2)3)</sup>와 유사한 결함이 발생한다. 이 결함(싱크마크)은 T형태와 같은 리브·웹구조의 교차영역에서 웹부분의 재료가 리브방향으로 유동하여 발생하는 오목현상과 folding이 일어나려는 재료유동현상을 말한다. T형 단조형상은 단순하지만 웹두께/리브폭 비의 변화에 따라 성형성과 제품성에 영향을 주기 때문에 특히 고려되어야 할 요소이다. 그러나 제품에 따라 여러 가지 두께비(웹두께/리브폭)가 요구되는 부품의 경우와 항공기 부품과 같이 박판성형은 두께비에 따라 싱크마크가 현저히 발생된다. 그리하여 생산현장에서 예상되는 싱크마크를 효과적으로 예방할 수 있고 단조품설계에 이용될 수 있는 성형한계요소를 찾고자 T형 형상에 따른 성형한계에 대한 연구가 행하여졌다. 金丸 信夫등은 알루미늄 단조부품의 결함에 대하여 연구한 결과로 웹두께와 리브폭의 비가 결함에 크나큰 영향을 준다고 제시하였다<sup>4)</sup>. 즉,

웹두께/리브폭 비가 1이상인 경우는 결함을 발생시키지 않으면서 성형이 가능하였고 1미만인 경우는 성형결함이 발생한다는 싱크마크 결함발생한계곡선을 제시한 반면에 본 연구에서는 싱크마크와 folding현상의 개선과 성형 한계 곡선의 영역을 확대시키고 리브·웹의 강도를 증가시키기 위한 방법을 제시하였다. 먼저 웹두께/리브폭 비가 1이하인 경우 T형 단면에서 웹방향길리와 리브방향길리를 변수로 두어 성형한계확대에 대해 FEM 컴퓨터 시뮬레이션을 한 후, model 재료인 plasticine을 사용한 모델실험을 통해 검증하고자 한다.

### 2. 실험방법

리브·웹를 가진 단조 부품 공정에서 웹두께와 리브폭의 비(두께비)에 따라 Fig.1과 같이 리브 밑부분에 결함이 발생할 수 있는데 두께비( $t/b$ )가 1이상인 경우는 생기지 않고 1미만인 경우에는 생기므로 Fig.2와 같이 다이형상에서의 주어지는 변수를 웹두께( $t$ ), 리브폭( $b$ ), 기하학적 형상(삼각형)부분의 웹

리브방향길이(L), 리브방향길이(D)라고 설정하여 연구하였다. Fig.1에서 h는 결함(싱크마크)의 깊이를 말한다. Fig.2는 기하학적 형상이 있는 리브·웹브형의 해석모델이고 시뮬레이션은 Table.1에 있는 해석조건을 토대로 하여 실행되었다.

Workpiece	Aluminum Alloy
Workpiece Temperature	400°C
Type	Axisymetry
Die Temperature	20°C
Friction Factor	m= 0.4
Press Velocity	10mm/s

Table.1 the condition of FEM simulation

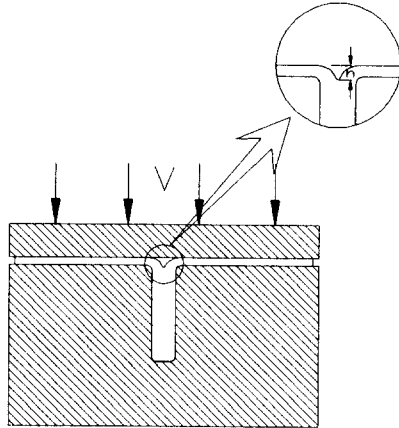


Fig.1 the defect of T type model in forging process

웹브방향길이(L)를 40mm으로 고정시켜 놓고 리브방향길이(D)를 3,4,5,6mm으로 변화시켜 가며 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 그리고 초기 소재 두께를 10mm로 하여 높이 감소율이 90%가 될 때까지 해석하였고 높이 감소율에 대한 하중선도와 높이 감소율 90%에서 결함의 발생 가능성이 있는 리브·웹브교차 영역의 변형을, 변형률속도, 유효응력 분포 결과 및 변수(D)에 따른 성형한계곡선을 얻어 내었다. 해석시 재료는 알루미늄 합금을 사용하였으나 실험에서는 다양한 변수에 의한 다이제작, 실험장치 및 비용의 어려움으로 인하여 모델재료인 흑백색 플라스틱인 직경 120mm, 두께 10mm인 원판을 적층하여 만들었고 Fig.3과 같은 형태로 D가 0,4,6mm인 3개의 다이에서 마찰계수가 0.4인 탈크 파우더를 사용하여 실험하였다.

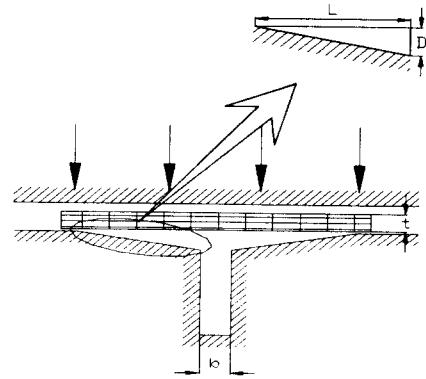


Fig.2 the simulation model of modified T type model

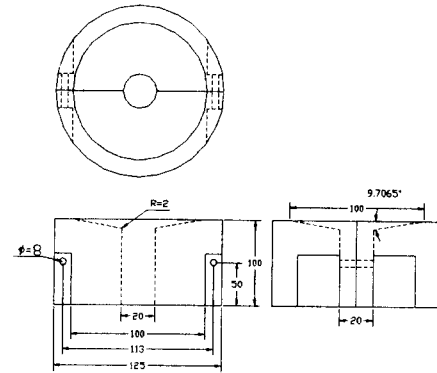


Fig.3 the die used in experiment

### 3. 실험결과

#### 3.1 시뮬레이션 결과

기하학적 형상(삼각형)의 웹브방향길이(L)를 40mm로 고정시킨 상태에서 리브방향길이(D)가 변수로 작용한 결과를 높이 감소율(%)-하중(KN)의 그래프로 Fig.4에서 Fig.7까지 제시하였다.

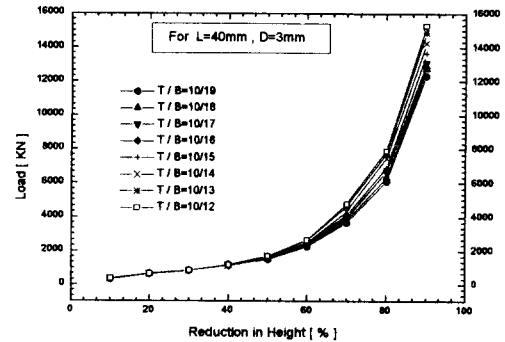


Fig.4 Load-Reduction in height curves for various web thickness/ rib width ratio (D=3 mm)

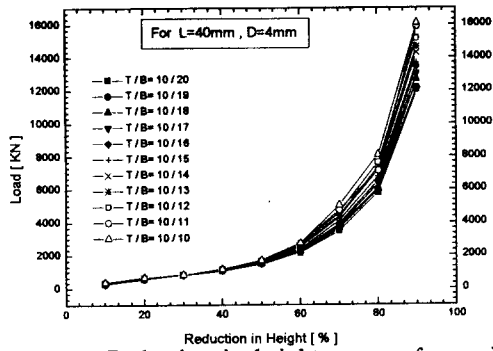


Fig.5 Load-Reduction in height curves for various web thickness/ rib width ratio (D=4 mm)

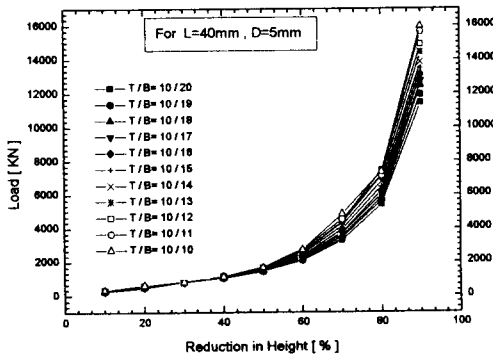


Fig.6 Load-Reduction in height curves for various web thickness/ rib width ratio (D=5 mm)

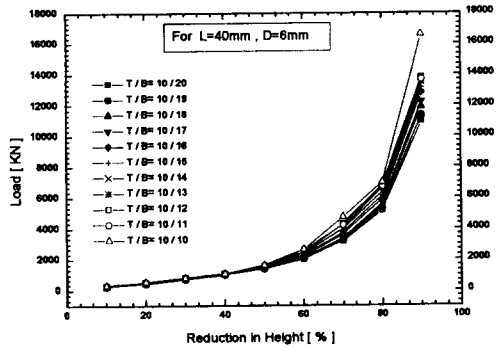


Fig.7 Load-Reduction in height curves for various web thickness/ rib width ratio (D=6 mm)

Fig.4에서 Fig.7은 리브방향길이(D)에 관계없이 높이 감소율이 증가함에 따라 하중이 증가함을 보여 주고 있고 리브방향길이(D)의 감소에 따라 웨브두께/리브 폭 비(두께비)와 높이 감소율에 상관없이 하중이 증가한다는 것을 나타내고 있다.

Fig.8과 Fig.9는 T형상에서 리브와 웨브가 교차하는 영역에서의 변형율과 변형율속도의 분포를 나타내고 있다. 변형율과 변형율속도가 높은 부분이 서로 비

슷한 것으로 보아 이 부분에서 많은 변형이 일어난다고 할 수 있다. Fig.8에서 보면 축으로 가까워 질수록 유효 변형율의 값이 증가하고 그 등가선이 축을 따라 리브방향으로 길게 분포되어 있는 것으로 보아 축방향으로 변형이 급속히 진행된다. 게다가 Fig.10은 이 부분에서의 유효응력을 나타내고 있는데 그 값을 보면 축에서 멀리 떨어진 곳의 압축응력의 절대값보다 매우 적은 압축응력과 인장응력이 공존하고 있다. 그러므로 재료의 웨브 윗부분에서 리브방향으로 쉽게 재료유동이 일어날 것이다. 즉, 이 부분이 결함(싱크마크)의 발생 가능성이 매우 높은 부분임을 알 수 있고 그림은 그 상태를 보여 주고 있다.

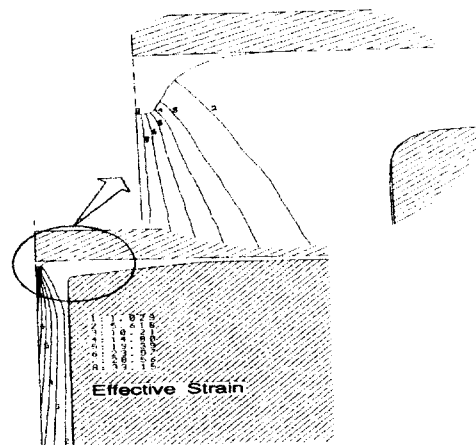


Fig.8 Effective Strain Distribution in the Cross Section of the Rib and Web

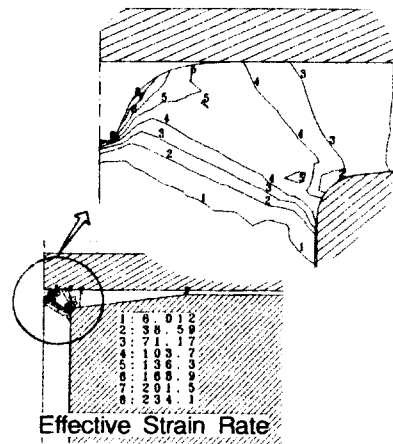


Fig.9 Effective Strain Rate Distribution in the Cross Section of the Rib and Web

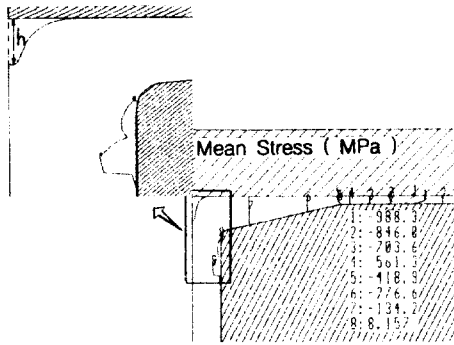


Fig.10 Mean Stress Distribution in the Cross Section of the Rib and Web

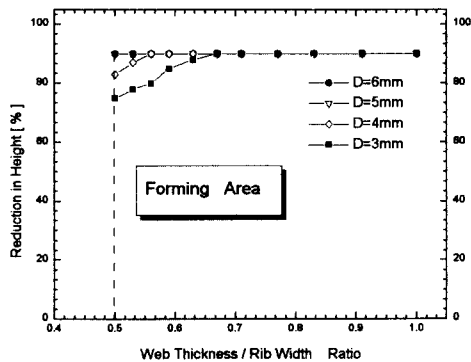


Fig.11 Forming Area in the T Section

Fig.11은 기하학적인 형상을 적용시켜 얻어낸 성형 가능영역을 보여주고 있다. 金丸 信夫등이 제시한 성형가능영역을 기하학적인 형상을 도입하여 두께비가 1이하의 영역까지 성형한계를 확대시킬 수 있음을 나타내고 있다. 두께비가 0.7에서 0.5에 접근할수록 성형한계곡선들의 높이 감소율 값이 점차 저하되고 있다. 이것은 두께비가 적을수록 결함이 빨리 발생한다는 것을 보여 준다. 그리고 두께비가 0.5일 때 D가 감소함에 따라 성형한계곡선들의 높이 감소율 값도 감소한다. D가 감소한다는 것은 웨브의 경사진 부분이 평행에 가까워 진다는 의미로 완전한 T형에 가까울수록 결함이 빨리 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서 D가 점차 감소하거나 두께비가 점차 감소하면 성형한계곡선들의 높이 감소율 값들이 낮아지면서 상대적으로 결함발생시기가 빨라진다는 것을 예측할 수 있다.

### 3.2 모델 실험 결과 및 고찰

Fig.12는 모델실험에 사용한 다이(D=4mm)를 보여주고 있고 다이들은 단순 T형(D=0mm)과 기하학적 형상을 적용한 T형 모델(D=4mm)을 사용하였다.

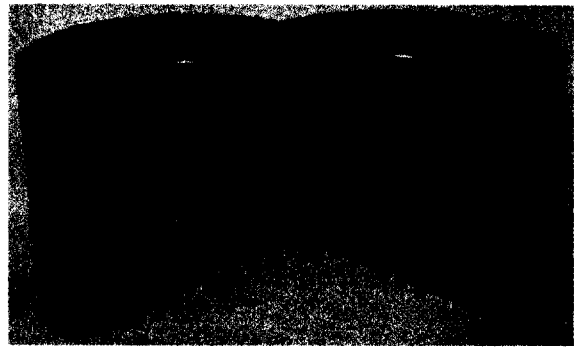


Fig.12 Die used in model experiment with geometric shape(D=4mm)

Fig.13은 단순 T형 모델에 대해 50%, 70%의 높이 감소율에서 발생한 싱크마크와 folding 현상의 재료 유동을 보여 주고 있다. 50%의 경우 h(싱크마크 깊이)가 약 4mm인 싱크마크가 발생했고 70%의 경우에는 싱크마크가 계속 진행되면서 어느 한계에 이르러 folding이 일어난 상태를 보여주고 있다.



a) For the reduction in height of 50%



b) For the reduction in height of 70%

Fig.13 Metal flow of simple T type model in the reduction in height of a) 50% and b) 70%

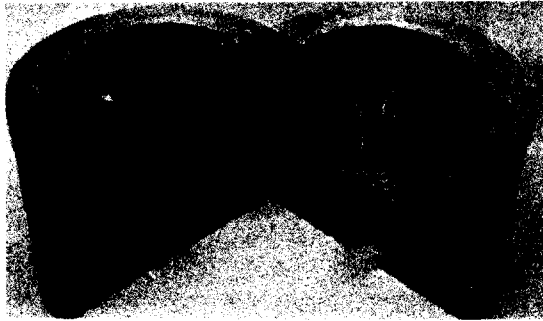


Fig.14 Metal flow of T type model with geometric shape

Fig.14는 기하학적 형상을 가진 T형 모델의 실험결과로써 리브부분에 축방향으로 길게 늘어진 듯한 공간이 발생한 것을 볼 수 있는데 단순 T형 모델과 조금 다른 양상을 띠고 있다. 이것은 기하학적 형상으로 인해 재료유동에 영향을 끼쳐 단순 T형 모델의 양상과 다른 결과를 초래했다고 볼 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과와 비교하면 리브부분에 공간이 발생하는 현상을 볼 수 있었고 단순 T형 모델에서 싱크마크가 생기고 난 후 그것이 계속 진행되면서 folding 현상이 일어나는 것도 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있었다. 그리고 실험을 통해 얻어낸 하중도 시뮬레이션 결과와 그 경향이 서로 일치함을 알 수 있었다.

#### 4.결론

항공기 부품과 자동차 부품에서 사용되는 T형 단조 부품의 성형성과 제품성을 높이기 위해 시뮬레이션과 모델실험을 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 웨브두께/리브폭 비를 변화시킴으로써 성형가능영역을 확대하였다.
- 2) 새로운 형상(삼각형)을 적용시킴으로써 성형성을 높일 수 있음을 확인하였다.
- 3) 새로운 형상을 적용시킴으로써 T형 단조부품의 강도를 구조적으로 증대시킬 수 있었다.
- 4) 싱크마크, folding 발생한계가 예측가능함으로 생산 현장 제품의 설계시 유용하게 적용될 수 있음을 밝혔다.

앞으로 성형 가능영역의 확대와 이에 따르는 자동검색 소프트웨어를 추가함으로써 현장에서 편리하게 이용할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

#### ※참고문헌

1. K. Nakayama, M.Kodama, Y. Motoichi, " Optimization of Rib Design and Possibilities of Weight Reduction for ABS Moldings " , Annual Technical Conference-Society of Plastic Engineers 41st Published by SPE , pp. 690-693 (1983)
2. M. J. Liou, D. M. Ramachandra, K. Ishii, L. Hornberger, "Sink Mark Study in Injection Molded Parts ", ANTEC '90 , pp. 288-291,1990
3. Chengter Ted Ho, " An Investigation of Sink Mark Formation in Compression Molding of Polymeric Composites " , DISSERTATION,1993
4. 金丸 信夫, 律田 統, 中尾 正和, 長谷川 淳, 福田 篤實 , " 航空機用アルミニウム合金製リブ・ウェブ部材の鍛造過程のシミュレーション " , 第 42回 塑性加工連合講演會, pp.515-518, (1991. 9. 25~27)