〈技術論文〉

# 리브/웨브 형상을 갖는 부품의 단조품설계 자동화에 관한 연구

최재찬* · 김병민* · 김성원** · 이언호**

(1993년 8월 28일 접수)

# A Study on the Computer-Aided Forging Design for Rib/Web Shaped Parts

Jae Chan Choi, Byung Min Kim, Seong Weon Kim and Eon Ho Lee

**Key Words:** Forging Design(단조품설계), Rib/Web Shaped Parts(리브/웨브 형상을 갖는 부품), Machined Part(기계가공부품), Forged Part(단조품), Design Rule(설계규칙), Database(데이터베이스)

**Abstract**

This paper describes computer-aided forging design for rib/web shaped parts. In manufacturing a part by means of forging process, the first step is to design the forging. This is done by modifying the given machined part geometry according to the requirements of the forging process. Traditionally, this is done by experienced forging designers using empirical forging design guidelines. Generally, it would be neither possible nor practical to develop a system which encompasses the design of all types of forgings. Accordingly, forging design can be simplified by considering critical two dimensional cross sections of the machined part geometry. This system is composed of three modules(process variable decision module, forging design module and re-design module) and each module is carried out in regular sequence. In the process variable decision module, first of all, the undercut is checked and modified, and then deep recesses and holes difficult to forge are eliminated. Also parting line, forging plane, forging plan view area, forging weight and maximum size(maximum height or width) are determined. In the forging design module, the magnitude of various allowances, draft angle, minimum web thickness, corner and fillet radius are determined and then geometry modification is performed. Finally, since the design rules and databases used in this system are based on parameters of the forging geometry, such as the trimmed forging plan area, forging weight, forging maxmum size, plausible estimates need to be made for these parameters. Therefore, in the re-design module, the design process is iterated until a satisfactory forging is obtained.

## I. 서 론

일반적으로 제조분야에서 한 부품을 생산할 때 생산비용 및 제조기술의 한계를 고려하여 생산방법을 결정한다. 단조품은 다른 소성가공으로 만든 부품들과 마찬가지로 내부결함이 적고 강도대 무게의 비가 크다. 그러나 단조로 부품을 성형하려면 단조공정에 알맞게 부품을 재설계해야 한다.[1,2] 이것은 단조공정조건을 고려하여 기계가공부품을 단조가능한 부품으로 변환함으로써 얻을 수 있다. 즉,

*정회원, 부산대학교 기계설계공학과
**부산대학교 기계설계공학과 대학원

단조하기 어려운 깊은 홈이나 구멍을 없애고, 얇고 긴 리브나 웨브들은 더 두껍게 한다. 또한 적절한 코너반경, 필렛반경 및 경사각을 기계가공부품에 부여함으로써 금속유동을 원활하게 한다. 이 작업은 경험에 따른 설계지침들을 사용하여 주로 숙련된 단조설계자들에 의하여 수행되었다.[3,4] 그리고 단조품설계는 많은 수정작업을 필요로 한다. 따라서 복잡하고 다양한 단조품들을 빠르게 설계하기 위해서는 컴퓨터의 이용은 필수적이며 따라서 생산성향상과 비용절감을 가져올 수 있다.[5]

단조품설계의 자동화에 관한 시스템으로서, Subramanian, T. L.과 Altan, T.[3] 등은 임의의 단면에 대하여 단조품과 블로커를 설계할 수 있는 "DIEFORGE"라는 시스템을 포트란 언어를 사용하여 개발하였는데, 여기서는 시스템의 사용자가 단면의 윤곽을 설계할 수 있도록 코너와 필렛에 번호를 할당하고, 이것을 이용하여 단면에 공차를 부여하거나, 경사각 및 코너와 필렛반경을 수정하였다. Tang, J. P.과 Oh, S. I. 등[4]은, 리브/웨브를 갖는 부품에 대하여 단면을 리브와 웨브의 부분단면으로 분할한 후 형상수정, 형상구성 및 형상검증의 반복과정을 통하여 자동으로 단면의 형상을 설계할 수 있는 "AFD"라는 전문가시스템을 개발하였다. 또한 Raikar, A., Haque, I. 및 Jackson, J. 등[5]은 주로 강단조품에 대하여 단조품설계, 블로커와 피니셔다이의 설계 그리고 하중과 에너지계산을 할 수 있는 CAD시스템을 개발하였다. 이 시스템의 입력형상은 3차원 기계가공부품이며 솔리드모델러를 이용하여 부품 중 특정단면을 선택하여 2차원 단면에 대하여 설계하였다.

본 연구에서는 이전에 제안된 단조품설계에 관한 규칙과 데이터베이스를 활용하여 리브와 웨브를 갖는 부품들에 대한 단조품설계에 시스템을 AutoCAD 환경하에서 개발하였다. 단조공정중 단조품설계는 사용장비의 종류, 성형재료 및 단조품의 형태(블로커형태, 재래식형태 및 정밀형태) 등에 크게 영향을 받기 때문에 많은 지식을 필요로 한다. 그리고 이 지식들은 대부분 경험적인 지침들이므로 이것들을 규칙과 데이터베이스로 정량화하였으며 따라서 CAD 시스템내에서의 지식구축이 용이하였다. 그리고 밀폐형단조 공정에서 부품들의 형상은 대부분 3차원 형상이다. 따라서 모든 형상을 취급하기는 어렵기 때문에 부품단면을 리브/웨브를 갖는 2차원 단면으로 제한하였다.

## 2. 설계규칙과 데이터베이스

단조품설계에 관한 규칙과 데이터베이스는 관련 서적[1,2,6,7,9] 및 참고문헌[3~5]으로부터 추출하여 구축되었으며, 여기에는 규칙들 중에서 많이 사용되는 일부분을 기술한다. 그리고 여기에 제시된 설계규칙과 데이터베이스는 설계변수들과 관련하여 단조품설계시 최소값이다.

### 2.1 일반규칙

규칙 1, 사용장비의 램은 상부에서 하부로 작동된다.

규칙 2, 부품의 단면은 분할선에 대하여 상부와 하부로 나누어진다.

### 2.2 분할선 및 단조평면에 관한 규칙

규칙 3, 언더컷을 방지하기 위하여 혹은 플래시의 트리밍을 쉽게하기 위하여 부품의 최대 폭부분에 분할선이 있다.

규칙 4, 부품의 최대 폭부분에서 두께를 가지면 사용자가 분할선의 위치를 입력하거나 웨브의 중심에 분할선이 있다.

규칙 5, 부품의 상부와 하부가 대칭이면 분할선은 직선이고, 웨브의 중심에 있으며 단조평면과 일치한다.

규칙 6, 부품의 상부와 하부가 비대칭이면 분할선은 직선 혹은 휘어진 분할선이고, 웨브의 중심에 있다.

### 2.3 차경사각에 관한 설계규칙과 데이터베이스

규칙 7, 기계가공허용량(machining allowance)은 Fig. 1과 같이 단면의 모든 윤곽에 부여하며 그 크기는 단면의 최대크기와 관련하여 참고문헌 (6)

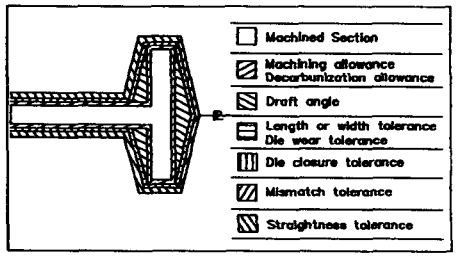


**Fig. 1** Machined section showing application of allowances or tolerances

의 p. 167을 인용하여 결정되며 기계가공을 하지 않으면 기계가공허용량을 적용하지 않는다.

규칙 8, 경사각(draft angle)은 단조품 형태, 성형재료 그리고 경사의 종류(내부경사 및 외부경사)와 관련하여 Fig. 1과 같이 적용하며 그 크기는 Table 1과 같다.

규칙 9, 성형재료가 강이면 탈탄에 대한 허용량(decarburization allowance)은 Fig. 1과 같이 단면의 모든 윤곽에 부여하며 그 크기는 단면의 최대크기 및 재료와 관련하여 참고문헌 (6)의 p. 167을 인용하여 결정된다.

규칙 10, 수축(shrinkage)을 포함한 길이 혹은 넓이공차(length or width tolerance)는 Fig. 1과 같이 분할선에 평행한 모든 길이와 넓이에 부여하며 그 크기는 재료와 관계없이 단면의 최대크기의 0.003 mm/mm이다.

규칙 11, 다이마모공차(die wear tolerance)는 Fig. 1과 같이 수축의 반대방향으로 부여하며 그 크기는 부품의 재료와 관련하여 참고문헌(6)의 p. 167을 인용하여 결정된다.

규칙 12 불일치 공차(mismatch tolerance)는 Fig. 1과 같이 분할선에 인접한 끝면에 부여하며 그 크기는 트리밍 후의 단조품의 무게와 관련하여 Table 2와 같다.

규칙 13, 다이닫힘공차(die closure tolerance는 Fig. 1과 같이 분할선에 수직한 단면의 윤곽에 부여하며 그 크기는 단면두께가 150 mm보다 작으면 트리밍 후의 단조품의 평면적과 관련하여 참고문헌 (6)의

**Table 1** Suggested limits for design of draft angle[6]

| Materials \ Forging type | Blocker type forging | Conventional type forging | Precision type forging |
|---|---|---|---|
| Aluminum alloys<br>Nagnesium alloys | 7° | 5° | 3° |
| Steel alloys | 10° | To 25.4mm Height<br>Inner : 7° Outer : 5° | 3° |
| | | Over 25.4 mm Height<br>Inner : 10° Outer : 7° | |
| Titanium alloys | 10° | 7° | |
| Copper alloys | 3° | 1° | 0° |
| Heat resisting alloys | | Inner : 10° Outer : 7° | |

**Table 2** Suggested limits of mismatch allowances[6]

| Materials \ Weight (kg) | 0.0<br>−2.27 | 2.27<br>−11.34 | 11.34<br>−22.68 | 22.68<br>−45.36 | 45.36<br>−90.72 | 90.72<br>−226.80 | 226.80<br>−453.59 | 453.59<br>− |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbon steels<br>low alloy steels | 0.406 | 0.987 | 1.194 | 1.600 | 2.388 | 3.175 | 3.962 | 4.775 |
| Stainless steels | 0.787 | 1.194 | 1.600 | 2.388 | 3.175 | 3.962 | 4.775 | 6.350 |
| Heat resisting &<br>titanium alloys | 0.787 | 1.194 | 1.600 | 2.388 | 3.175 | 3.962 | 4.775 | 6.350 |
| Aluminum alloys<br>Magnesium alloys | 0.406 | 0.987 | 1.194 | 1.600 | 2.388 | 3.175 | 3.962 | 4.775 |
| Refractory metals | 1.600 | 2.388 | 3.175 | 3.962 | 4.775 | 6.350 | 7.950 | 9.525 |

p. 169을 인용하여 결정되며 단면두께가 150 mm보다 크면 다이닫힘 공차를 부여하지 않는다.

규칙 14, 진직도공차(straightness tolerance)는 Fig. 1과 같이 분할선에 인접한 끝면을 제외한 모든 윤곽에 부여하며 그 크기는 단면의 최대크기의 0.003 mm/mm이다.

### 2.4 리브/웨브에 관한 설계규칙과 데이터베이스

규칙 15, 리브높이/폭의 비의 최대는 6 : 1이며 리브높이/폭의 비가 6 : 1이상이면 리브 폭을 두껍게 한다.

규칙 16, 부품단면이 평면변형형태이면 평행한 리브사이의 웨브폭은 리브높이보다 더 커야 한다. 따라서 웨브의 두께를 두껍게 한다.

규칙 17, 부품단면이 축대칭형태이면 리브사이의 웨브직경은 리브높이의 1.33배보다 더 커야 한다. 따라서 웨브의 두께를 두껍게 한다.

규칙 18, 부품단면의 웨브두께가 최소 웨브두께보다 작으면 웨브두께를 최소 웨브두께보다 두껍게 한다. 최소 웨브두께는 웨브폭, 리브높이/폭의 비 그리고 트리밍 후의 단조품의 평면적과 관련하여 참고문헌 (6)의 p. 116,117을 인용하여 결정된다.

규칙 19, 부품단면의 리브폭이 최소 리브폭보다 작으면 리브폭을 최소 리브폭보다 두껍게 한다. 최소 리브폭은 웨브폭, 리브높이/폭의 비 그리고 단조품의 평면적과 관련하여 참고문헌 (6)의 p. 116, 117을 인용하여 결정된다.

### 2.5 필렛/코너반경에 관한 설계규칙과 데이터베이스

규칙 20, 코너반경은 단조품형태, 성형재료 및 리브높이와 관련하여 참고문헌 (6)의 p. 102,103을 인용하여 결정된다.

규칙 21, 필렛반경은 단조품형태, 성형재료, 리브높이 및 웨브형태(한정된 웨브와 한정되지 않은 웨브)와 관련하여 참고문헌 (6)의 p. 102, 103)을 인용하여 결정된다.

## 3. 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 리브/웨브를 갖는 부품의 단조품설계 시스템은 메뉴방식으로 설계순서를 나타내는 블록다이아그램은 Fig. 2와 같다.

리브/웨브를 갖는 단면의 단조품설계는 단면을 리브와 웨브로 분할하고 인접한 부분단면을 고려하여 수행된다. 시스템은 3개의 모듈 즉, 공정변수결정 모듈, 단조품설계 모듈 및 재설계 모듈 등으로 구성되었다. 시스템의 입력사항은 기계가공부품의 단면형태(축대칭 혹은 평면변형), 단조품형태(블로커형태, 재래식형태 혹은 정밀단조형태), 성형재료 및 작업에 사용되는 장비(해머 혹은 프레스)이며 출력결과는 공정변수들 그리고 단조품의 형상이다.

### 3.1 공정변수결정 모듈

공정변수결정 모듈에서는 기계가공부품을 단조가 가능한 부품으로 변환할 때의 전처리과정으로서 먼저 분할선과 단조평면이 결정된다. 이것은 입력된 기계가공부품의 형상에 따라서 규칙들을 적용함으로써 시스템내에서 결정되거나 혹은 사용자와의 대화식으로 결정할 수 있다. 그런 다음 분할선에 대하여 단면을 상부와 하부로 나눈 후 언더컷의 유무를 확인하고 수정한다. 이것은 도면요소(entity)를

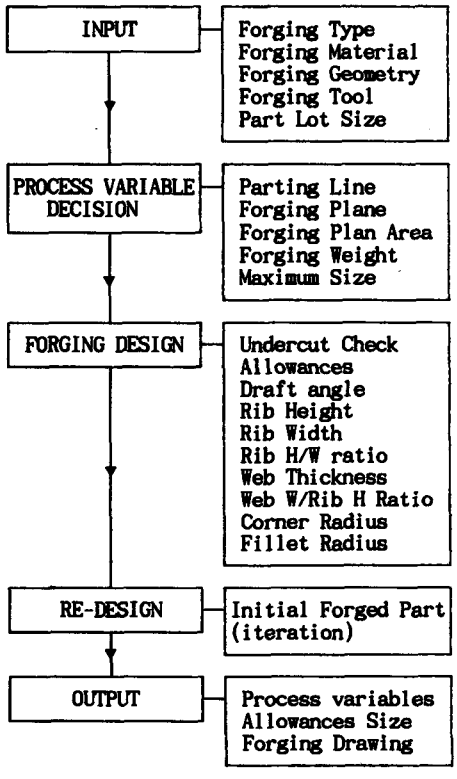


**Fig. 2** Block diagram of forging design system (H: Height and W:Width)

기호로 표현함으로써 쉽게 처리할 수 있다.

예를들면, Fig. 3(a)와 같은 단면은 Fig. 3(b)를 이용하여 각 도면요소에 방향을 나타내는 기호를 할당하고 "B," "W," "C"의 기호가 있는 부분단면을 수정함으로써 언더컷을 방지할 수 있다. 그리고 나서 부품의 평면적, 체적 혹은 무게 및 최대크기(최대높이 혹은 최대폭)을 차례로 결정한다.

### 3.2 단조품설계 모듈

공정변수결정 모듈에서 결정된 분할선, 단조평면 그리고 부품의 기하학적 특성들을 이용하여 단조품 설계모듈에서는 기계가공부품을 단조품으로 변환하기 위하여 순차적으로 형상을 수정한다. 먼저 공차 및 경사에 관한 규칙을 이용하여 그 크기를 결정하고 이 값들을 Fig. 1과 같이 기계가공부품의 형상수정에 사용한다. 그런 다음 리브높이대 폭의 비, 리브폭 및 웨브두께가 제안된 한계값을 만족하는지를 확인하고 만약 만족하지 않으면 제안된 값을 만족하도록 형상을 수정한다. 단면에 대한 또 다른 형상수정은 모서리에 필렛반경이나 코너반경을 부여함으로써 성형시 이 부분에서 응력집중을 감소시키고 다이의 채움을 쉽게 한다.

### 3.3 재설계 모듈

공정변수결정 모듈과 단조품설계 모듈을 수행하고 나면 기계가공부품과 관련된 변수들을 이용한 첫번째 단조품이 설계된다. 그러나 단조품을 설계할 때의 규칙과 데이터베이스는 기계가공부품보다는 단조품과 관련된 값들이므로 재설계를 해야 한다. 따라서 반복과정이 필요하며 이 과정은 N-1번째의 각종 공차 혹은 설계변수들의 값이 N번째의 설계변수들의 값과의 차이가 미소값(여기서는 0.001)을 가질때까지 설계과정은 반복을 계속한다.

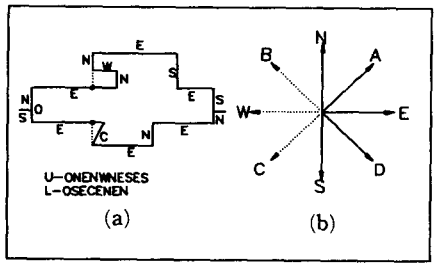


**Fig. 3** An example of undercut check and modification

### 3.4 형상표현

단조품설계를 시스템내에서 자동으로 수행하기 위해서는 단면형상의 특성(예를 들면 한정된 웨브인지 혹은 한정되지 않은 웨브인지)을 고려하여 단면을 수정하도록 형상을 인식시켜야 한다. 따라서 AutoCAD 도면 데이터베이스[8]를 이용하여 단면형상을 도면요소로 읽어드린 후, Tang, J. P. 등[4]이 제안한 것처럼, Fig. 4, 5와 같은 형태로 단면을 리브와 웨브의 부분단면으로 분할하였다. Fig. 4, 5에서 점선으로 나타낸 부분이 하나의 부분단면이다.

리브와 웨브로 단면을 분할하는 방법은 코너와 필렛에 기호를 할당함으로써 얻을 수 있다.

예를 들면 Fig. 6과 같은 단면형상은 상부스트링이 "USTR"이고, 하부스트링은 "LSTR"이다. 따라서 Fig. 4, 5를 이용하여 단면을 분할하면 Fig. 6

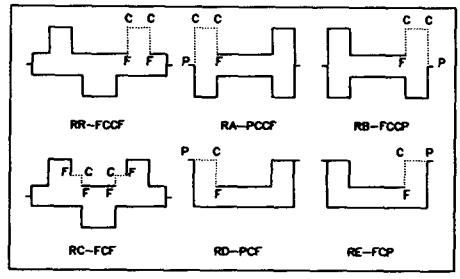


**Fig. 4** Various rib types for a certain section

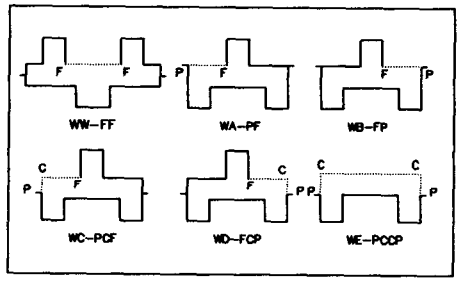


**Fig. 5** Various web types for a certain section

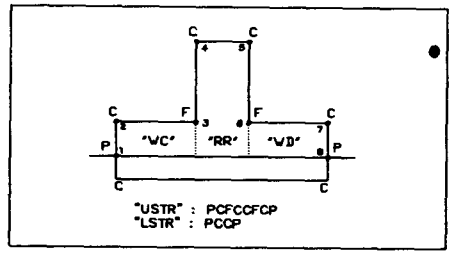


**Fig. 6** An example of geometry decomposition

의 상부의 단면은 "WC," "RR" 및 "WD"로 두개의 웨브와 하나의 리브로 분할된다. 여기서, P는 단면이 분할선과 만나는 점이며, C는 코너, F는 필렛이다.

## 4. 시스템의 적용결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 단조품설계 시스템의 적용과정을 두 종류의 리브/웨브를 갖는 부품단면에 적용해보고 그 결과를 검토하고자 한다.

Fig. 7은 상부에는 리브와 보스, 하부에서는 리브가 있고 언더컷의 발생이 예상되는 축대칭 부품이다. 이 부품에 대하여 입력사항을 바꾸어 가면서 출력결과를 검토해 보고자 한다.

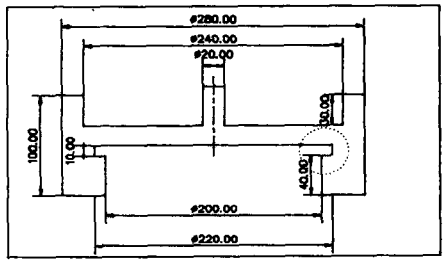


**Fig. 7** Fornt view drawing of machined part (Axisymmetric part)

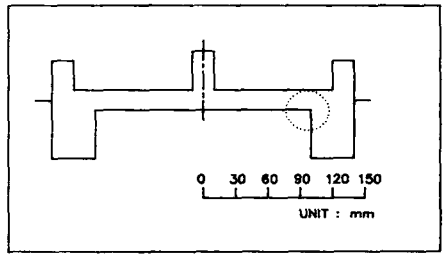


**Fig. 8** Machined part which undercut is modified

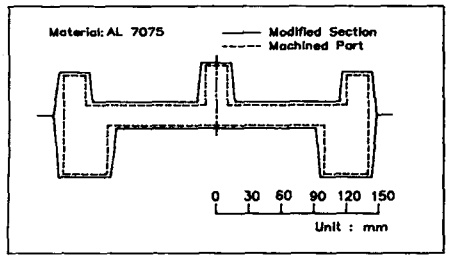


**Fig. 9** Design procedure of the forging geometry

단조품설계의 적용과정에서 Fig. 8은 Fig. 7의 하부에서 예상되는 언더컷의 유무를 판정하고 그것을 방지하기 위하여 점선부분으로 형상을 수정하고 난 후의 단면이다.

Fig. 9는 각종 공차와 허용량 그리고 경사각을 적용하고 난 후의 부품단면 형상이다. 이 출력결과는 본 연구에서 개발된 시스템에서의 설계진행과정을 보여주기 위하여 출력된 결과이다.

Fig. 10과 Table 3은 입력사항으로 단조품형태는 재래식, 성형재료는 알루미늄 7075 그리고 사용장

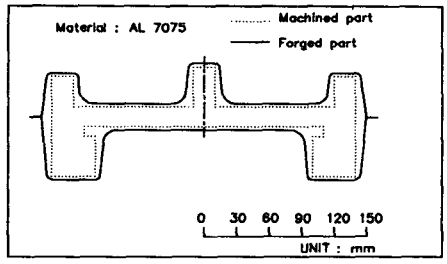


**Fig. 10** Forged section geometry, shown with machined part

**Table 3** Output for process variables (Material: AL 7075) Unit:mm, Kg

| Parts / Variables | Machined part | Forged part |
|---|---|---|
| Section area | 11400.0 | 16548.9 |
| Part volume | 3176150.0 | 4679632.0 |
| Perimeter | 1040.0 | 966.541 |
| Max. width | 280.0 | 299.116 |
| Plan area | 61575.2 | 70270.0 |
| Part weight | 8.893 | 13.103 |
| Parting line X | 140.0 | 149.558 |
| Parting line Y | 110.0 | 110.0 |
| Machining | | 1.016 |
| Width | | 0.896 |
| Die wear | | 1.195 |
| Mismatch | | 1.194 |
| Die closure | | 3.175 |
| Straightness | | 0.896 |

비는 유압프레스인 경우의 공정변수들과 단조품의 단면형상을 나타낸다. 여기서, 점선은 기계가공부품이고 실선은 단조품이며 기계가공부품대 단조품의 체적비는 약 67.9%가 됨을 알 수 있다.

Fig. 11의 실선과 Table 4는 입력사항으로 단조품의 형태는 재래식, 성형재료는 강 1015 그리고 사용장비는 유압프레스일 때의 단조품 단면형상과 공정변수의 출력결과이다. 그리고 점선은 성형재료가 알루미늄인 경우의 Fig. 10의 단조품 단면형상이다. 이 그림으로부터 다른 공정조건은 동일할 때 재료가 강인 경우가 단면의 크기, 필렛이나 코너반경 등이 더 큰 것을 알 수 있다. 이것은 재료가 강인 경우에는 탈탄에 대한 허용량을 고려하며 재료의 유동성이 알루미늄보다 작기 때문이며(더 큰 필렛반경과 코너반경) 그리고 기계가공부품대 단조품의 체적비는 61.8% 정도이다.

Fig. 12는 성형재료가 강이고 분할선을 끝면의 상부에 위치시키고 그 외의 입력사항은 Fig. 11과 같을 때의 단조품의 단면형상을 나타내며, Table

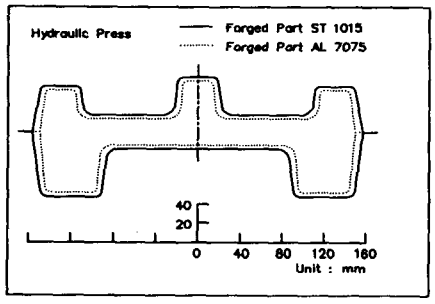


**Fig. 11** Forged section geometry of different materials

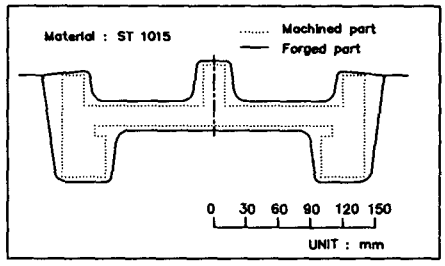


**Fig. 12** Forged section geometry of different parting line

**Table 4** Output for process variables (Material: St 1015) Unit:mm, Kg

| Parts / Variables | Machined part | Forged part |
|---|---|---|
| Section area | 11400.0 | 18015.3 |
| Part volume | 3176150.0 | 5136042.0 |
| Perimeter | 1040.0 | 971.523 |
| Max. width | 280.0 | 306.199 |
| Plan area | 61575.2 | 73637.4 |
| Part weight | 24.933 | 40.318 |
| Parting line X | 140.0 | 153.1 |
| Parting line Y | 110.0 | 110.0 |
| Machining | | 1.524 |
| Width | | 0.916 |
| Die wear | | 1.833 |
| Mismatch | | 1.600 |
| Die closure | | 3.962 |
| Straightness | | 0.916 |

**Table 5** Output for process variables (Material: ST 1015) Unit:mm, Kg

| Parts / Variables | Machined part | Forged part |
|---|---|---|
| Section area | 18015.3 | 18464.4 |
| Part volume | 5136042.0 | 5346083.0 |
| Perimeter | 971.523 | 988.131 |
| Max. width | 306.199 | 316.265 |
| Plan area | 73637.4 | 78558.3 |
| Part weight | 40.318 | 41.967 |
| Parting line X | 153.1 | 158.133 |
| Parting line Y | 110.0 | 150.0 |
| Machining | 1.524 | 1.524 |
| Width | 0.916 | 0.946 |
| Die wear | 1.833 | 1.892 |
| Mismatch | 1.600 | 1.600 |
| Die closure | 3.962 | 3.962 |
| Straightness | 0.916 | 0.946 |

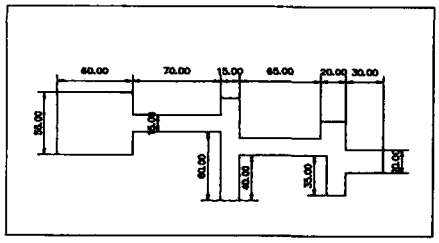


**Fig. 13** Front view drawing of machined part (Plane strain part)

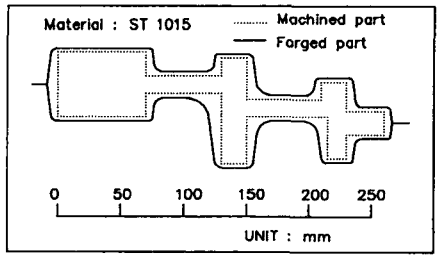


**Fig. 14** Forged section geometry shown with machined part

**Table 6** Output for process variables (Material: ST 1015) Unit:mm, Kg

| Parts / Variables | Machined part | Forged part |
|---|---|---|
| Section area | 8425.0 | 13701.9 |
| Part volume | 842500.0 | 1370189.0 |
| Perimeter | 928.246 | 832.375 |
| Max. width | 260.0 | 275.116 |
| Plan area | 26000.0 | 27511.6 |
| Part weight | 6.614 | 10.756 |
| Parting line X | −130,<br>12.5 | −137.6,<br>12.5 |
| Parting line Y | 130,<br>−20.0 | 137.6,<br>−20.0 |
| Machining | | 1.526 |
| Width | | 0.824 |
| Die wear | | 1.649 |
| Mismatch | | 0.987 |
| Die Closure | | 2.388 |
| Straightness | | 0.824 |

5는 재료가 강 1015인 경우에 분할선의 위치에 따른 공정변수들의 비교를 나타낸다. Table 5로부터 Fig. 12와 같은 단조품은 더 많은 잉여재료가 필요한 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 평면변형형태의 단면으로서 몇개의 리브와 웨브를 갖고 있는 더 복잡한 형상의 단면이다. 이 부품의 단조품 설계에 사용된 입력사항으로 단조품의 형태는 재래식형태이며 성형재료는 강 1015, 단면의 길이는 100 mm 그리고 사용장비는 유압프레스이다.

이 출력결과는 Fig. 13의 기계가공부품으로부터 단조품의 설계공정중 Fig. 14는 단조품의 형상을, Table 6에는 기계가공무역과 단조품에 대한 공정변수의 출력결과를 보여준다. Table 6으로부터 기계가공부품대 단조품의 체적의 비는 61.5%정도이다. 또한 끝면에서의 분할선의 위치는 양끝단면에서 다르며 따라서 휘어진 분할선을 갖고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 리브/웨브를 갖는 기계가공부품을 단조가 가능한 부품으로 변환하는 단조품설계 시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 리브/웨브 형태의 단조품설계에 대하여 기술지식을 설계규칙과 데이터베이스로 정량화함으로써 시스템내에서의 구축이 용이하며 수작업으로 설계할 때에도 쉽게 적용할 수 있다.

(2) 기계가공부품의 단면형상의 언더컷발생유무를 예측함으로써 솔리드모델러로부터 직접 작성된 부품단면에서 혹은 사용자의 입력부주의로 인하여 발생할 수 있는 단조하기 어려운 형상도 단조가 가능한 형상으로 변환할 수 있다.

(3) 부품의 단면을 리브와 분할하여 부분단면의 특성을 고려한 단조품설계 시스템을 개발하였다. 이것은 열간단조 공정설계 및 금형설계의 전과정의 자동화를 위한 첫 단계가 될 것이다.

## 참고문헌

(1) Altan, T., Boulger, F. W., Becker, J. R., Akgerman, N. and Henning, H. J., 1973, *Forging Equipment, Naterials, and Practices,* MCIC HandBook, Battelle Columbus Laboratories, OH.

(2) Sabroff, A. M., Boulger, F. W. and Henning, H. J., 1968, *Forging Naterials and Practices,* Reinhold Book Corporation.

(3) Subramanian, T. L. and Altan, T., 1978, "Application of Computer aided Techniques to Precision Closed-Die Forgings," *Annals of CIRP,* Vol. 27, No. 1, pp. 123~127.

(4) Tang, J. P. and Oh, S. I., 1988, *AFD: An Automated Forging Design System,* 16th of NAMRC, pp. 55~62.

(5) Raikar, A., Haque, I. and Jackson, J., 1987, "An Empirically Based Computer Aided Design Procedure for Closed Die Forgings," *J. Applied netal Working,* Vol. 4, No. 4, pp. 306~316.

(6) American Society for netals, 1972, *Forging Design* Handbook, ASM, Metals Park, Ohio.

(7) American Society for Netals, 1985, Forging HandBook, *Forging Industry Association,* Metals Park, Ohio.

(8) 김용성, 서재철, 1989, AutoCAD와 Database, 영진출판사.

(9) Altan, T., Oh, S.I. and Gegel, H., 1983, Metal *Forming: Fundamentals and Applications,* ASM, Metals Park, Oh.