

## 자동차 부품의 정밀 압출 단조

강 대 건  
(생산기술연구원)

### 1. 서 론

자동차, 항공우주, 철도차량 등의 무게를 줄이기 위한 노력은 최근에 들어서 해당 산업체의 주요한 연구개발 부분을 이루고 있다. 이를 위해서 고강도 강종과 경량금속 그리고 복합재료가 개발되기도 하였다. 최근에 전 세계적으로 소성가공 업계에서 추진되고 있는 과제중의 하나가 소성가공만으로 조립이 가능하거나 기계가공이 최소화 될 수 있는 부품을 만들고자 하는 것이다.<sup>(1)</sup> 정밀압출단조(Near Net Shape Flow Press 또는 Net Shape Flow Press) 기술은 현재 독일, 일본 등지에서 지속적으로 개발되고 있으며, 이미 많은 부품이 생산되고 있다. 본 내용에서는 정밀단조의 기본을 간략히 소개하고 몇 가지 실례를 샘플과 함께 보이며, 설계시의 주의할 점과 설비에 관한 사항을 함께 설명한다. 특히, 우리 나라의 여러 소성가공업체에서 생산중이거나 생산을 시도하였으나 문제가 해결되지 않는 부품인 자동차 Differential에 들어가는 베벨기어의 소성가공시 문제점과 해결방안을 제시하였다. 자동차 부품의 개발과정에서 자동차 회사와 부품업체간의 기술적 협력관계를 실례를 들어 소개하였다.

본 내용에서 소개되는 자동차 부품들은 모두 실제로 개발되어 외국에서 자동차의 제조에 쓰이고 있는 부품들이고, 베벨기어도 현재 외국에서 시행되는 제조방법을 나타낸 것이므로, 우리 나라의 자동차 회사나 부품제조 회사의 기술개발 방향 설정과 현재 산재한 문제의 해결에 도움이 될 것으로 보인다.

### 2. 압출단조기술(Flow Press Technology)

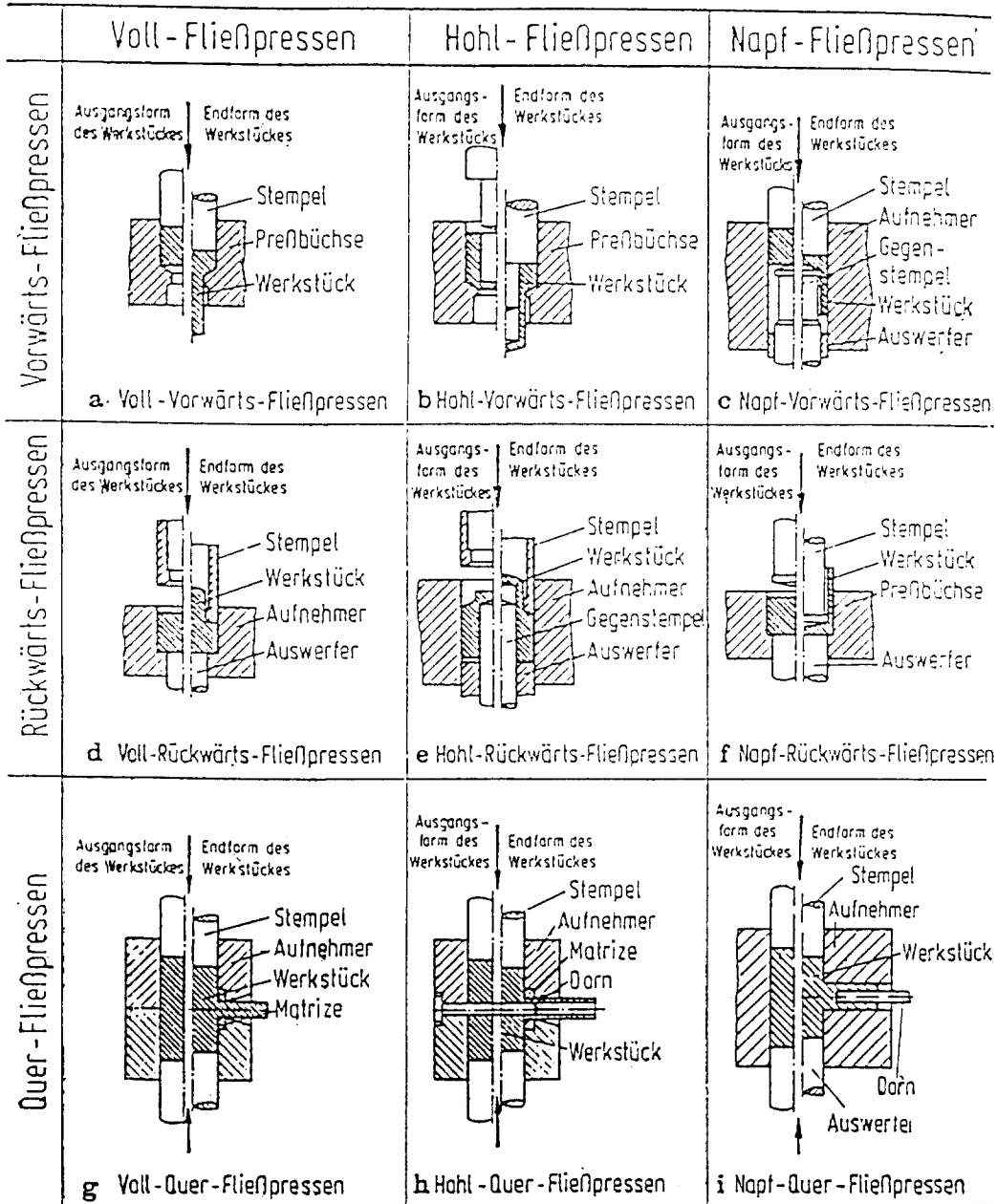
#### 2.1 압출단조의 정의

압출은 소성가공 기술중의 하나로, 형상을 가지

는 다이의 구멍으로 블록을 밀어내는 생산기술로서 대개 블록과 생산제품과의 면적비가 크고 재결정 온도 이상의 높은 온도에서 성형되며 반제품을 생산한다. 단조 역시 소성가공기술에 속하며 자유단조와 형단조의 두 가지가 있다. 단조에서는 소재의 형상이나 단면의 크기를 바꾸며 형단조의 경우 원하는 형태의 제품을 만들 수 있다. 단조 역시 대부분 재결정온도 이상의 고온에서 이루어진다. 위의 각각의 생산기술로 정밀 자동차 부품을 만드는 일은 많지 않으며 있어도 정확도에서 떨어지므로 많은 기계가공이 뒤따라야 한다. 본 내용에서 소개하는 압출단조 방법은 주로 정밀 자동차 부품을 상온에서 생산할 수 있어 많이 사용되는 생산기술이며 기술개발과 그에 적합한 기계설비의 개발에 많은 투자가 진행되고 있다. 압출단조 방법은 위의 압출과 단조를 그대로 합한 것과는 차이가 있다. 일단 작업온도가 대부분 상온이고 면적감소율이 압출의 경우보다 훨씬 작으며 완제품을 생산한다. 작업온도의 차이에서 오는 압출단조와 각각 기술의 차이로는 소재의 윤활제, 금형의 형태와 재질, 기계설비 등을 들 수 있다. 이 기술은 단조와 비하여는 필요한 힘이 작고 표면이 우수하여 정밀제품의 생산이 가능한 장점을 가진다. 그러므로 본문에서 압출단조(Flow Press)는 재질의 흐름과 금형의 형태에 의하여 붙여진 이름이지만, 위에서 언급한 특징을 가지는 독자 생산기술을 나타내는 용어로 본다.

#### 2.2 압출단조기술의 구분

압출단조기술은 재질이 주로 흐르는 방향과 제품의 형상에 의하여 여러 가지로 구분된다. (Fig. 1)



DIN 8583

Fig. 1 압출단조의 기본구분, DIN 규격

### 3. 정밀압출단조기술을 이용한 자동차 부품 개발 사례<sup>(2)</sup>

#### 3.1 Tie rod end(TRE)

TRE는 자동차 조향장치에 들어가는 부품으로

지금까지 열간단조와 후속기계가공을 조합하여 생산되어 왔다. 여기에 소개되는 TRE는 독일의 프레스 제조업체인 Schuler사의 위탁으로 Stuttgart 대학교의 소성가공연구소(Institut für Umformtechnik, IFU)에서 개발한 부품이고, 개발이 완료된

## 강 대 전

후 Schuler사의 설비와 함께 생산기술이 일본에 공급되었다. 소재의 재질은 C35이고 냉간가공경화의 이점으로 C45를 열간가공 했을 때 보다 더 우수한 기계적 강도를 얻을 수 있다. 본 TRE의 정밀압출 단조에 필요한 소재는 봉재 또는 코일을 절단한 후 한쪽 끝을 압축 성형하여 구의 형상을 가진다. 압축성형공정은 Former에서 할 수 있다. (Fig. 2)

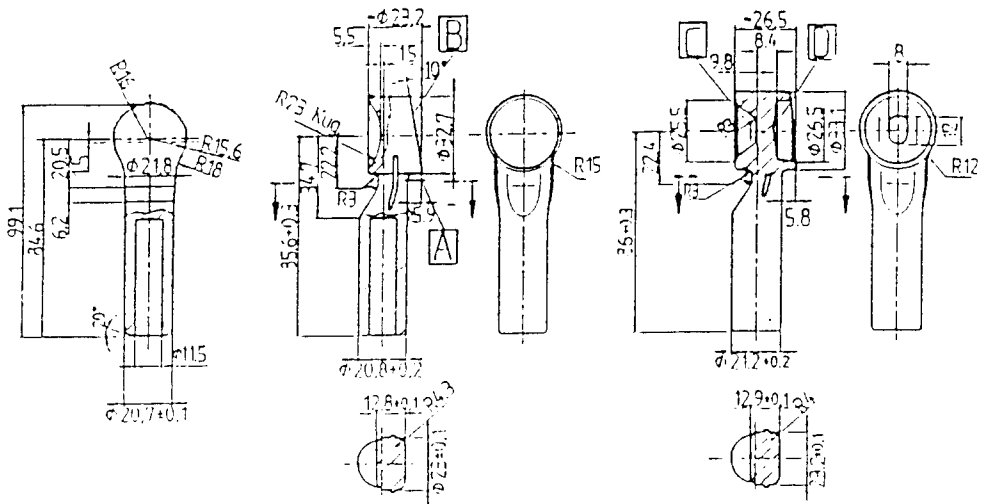
소재의 머리부분을 실린더 형태로 가공하는데 윗부분을 자루부분에서 약간 올라오도록 한다. 한편 위쪽의 바닥 면을 10° 경사지도록 설계하였다. 이에 대한 이유는 제품이 완성되었을 때의 치수를 맞추기 위한 것이다. 즉, 첫번째 공정에서 실린더 부분을 올라오지 않게 하면 후속공정에서 올라올 수 있는 방법이 없으므로 제품 치수에 맞지 않으며 10°의 경사를 주지 않으면 재질의 흐름 때문에 완

(1) 공정

Vorstufe  
Geglüht, Phosphatiert,  
mit Molydag 15 beschichtet

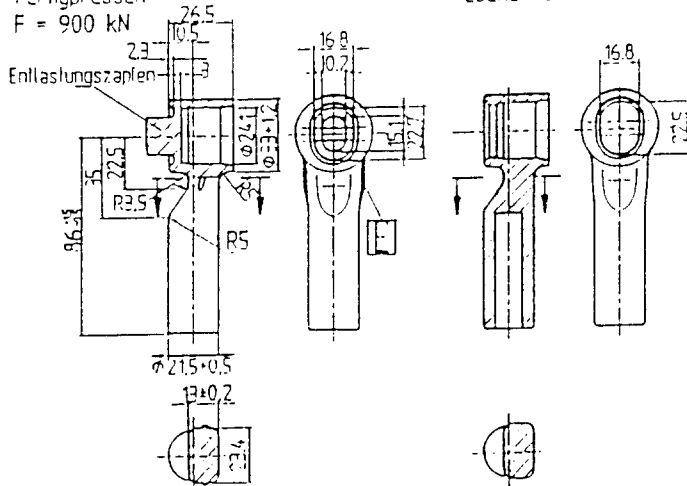
1. Arbeitsgang  
F = 1000 kN Schleßkraft ~550 kN

2. Arbeitsgang  
F = 1000 kN



Fertigpressen  
F = 900 kN

Lochen und Beschneiden



Werkstoff: C35

Fig. 2 Tie Rod End 압출단조의 공정순서

제품의 높이가 균일하게 되지 않기 때문이다. 반대편의 구형 Indentation은 후속공정에서의 재질의 적절한 분배를 얻기 위하여 설계한 것이다.

(2) 공정

최종부품에서 필요로 하는 내부실린더를 위쪽에 만들고, 아래쪽에는 계란형의 모양이 있어야 하므로 타원형 형태의 Indentation을 만든다. 재질의 접힘을 방지하기 위하여 타원 펀치의 둘레길이는 항상 최소한 원형 Indentation의 최대 둘레보다 같거나 커야 한다.

(3) 공정

후방압출공정이 이루어지고 타원형의 Indentation이 부분적으로 아래로 밀려난다. 이때에 부하 감소용 꼭지가 아래부분으로 밀려나와 생성된다. 이 공정은 이렇게 해서 후방압출과 밀어냄 공정이 결합된 형태로 이루어진다. 압출펀치는 실린더 형태의 단면에서 경사를 거쳐 계란형의 단면으로 변하고, 마지막에서 피어싱 작업을 용이하게 하기 위하여 컵부분의 바닥에 미리 피어싱 자국을 내놓는

다.

(4) 공정

계란형 바닥부분을 댄다.

3.2 Tripod(Spider)

트리포드는 전륜구동용 자동차에 필요한 부품으로 본문에서 소개되는 부품의 재질은 20MnCr4이다. 이 부품은 측방 압출단조를 이용하여 단 한번의 공정으로 생산하는 전형적인 예 중의 하나이다. 특수폐쇄 장치를 이용하면 상하로부터의 균일한 재질의 흐름이 가능해지고 제품의 대량생산에서  $\pm 0.15$  mm의 정확도를 얻을 수 있다.

처음에 자동차회사에서 설계한 부품은 가운데 부분이 각기 평면을 통하여 꼭지부분과 연결되어 있음을 알 수 있다(Fig. 3). 이런 형상에서 오는 직각은 소성가공시 재질의 흐름에 좋지 않은 영향을 끼치고, 필요한 힘 역시 커지게 된다. 표면에 나타나는 결함을 제지하기 위해서는 연삭여유를 많이 주어야 한다.

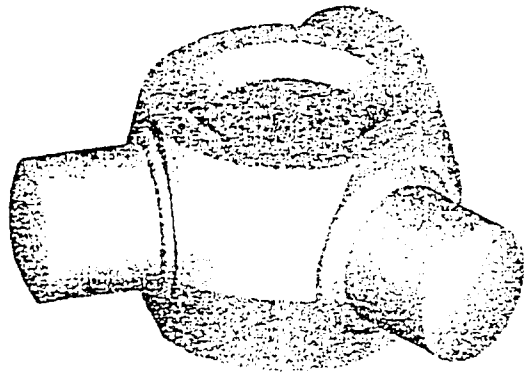
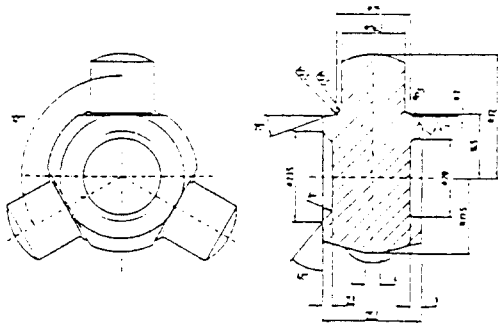


Fig. 3 Tripod의 original 설계와 제품, Mercedes Benz

부품의 개발을 맡은 개발 팀에서는 몸통과 꼭지의 연결부분을 압출단조공정에 유리하도록 변경하고 자동차회사와 협의하여 변경된 대로 부품을 개발하여 현재 실제 차량에 적용하고 있다. (Fig. 4)

3.3 Flange(Fig. 5)

이 부품의 재질이 C45이므로 상온에서 흐름응력이 높아 720°C에서 온간가공을 하도록 설계하였다. 다만 연속공정에서 작업이 이루어지므로 중간에 냉간공정을 넣는 것 보다 전체 공정을 모두 온간으로 하는 것이 경제적이다.

(1) 공정

실린더 형태의 소재를 한쪽으로 Reducing하고 센터를 맞춰 후속공정을 위한 준비를 한다.

(2) 공정

측방압출을 통해서 부속 엘레먼트를 만든다. 부품에서 요구하는 엘레먼트의 모양이 밖으로 갈수록 좁아지는 쐐기 형태이므로 재질의 흐름에 저항이 크고 엘레먼트쪽 방향으로 흐르는 속도가 불균일하게 된다. 쐐기 각도가 클수록 흐름속도의 불균일 현상은 커진다. 안으로 생성된 Ball 모양의 Indentation은 다음 이어지는 압출공정에서 중요한

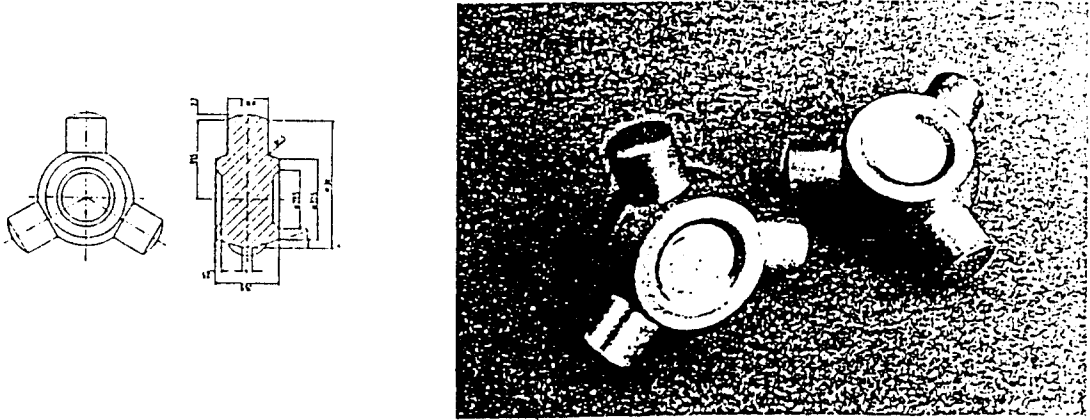


Fig. 4 Tripod의 개선된 설계와 제품, M. Kammerer

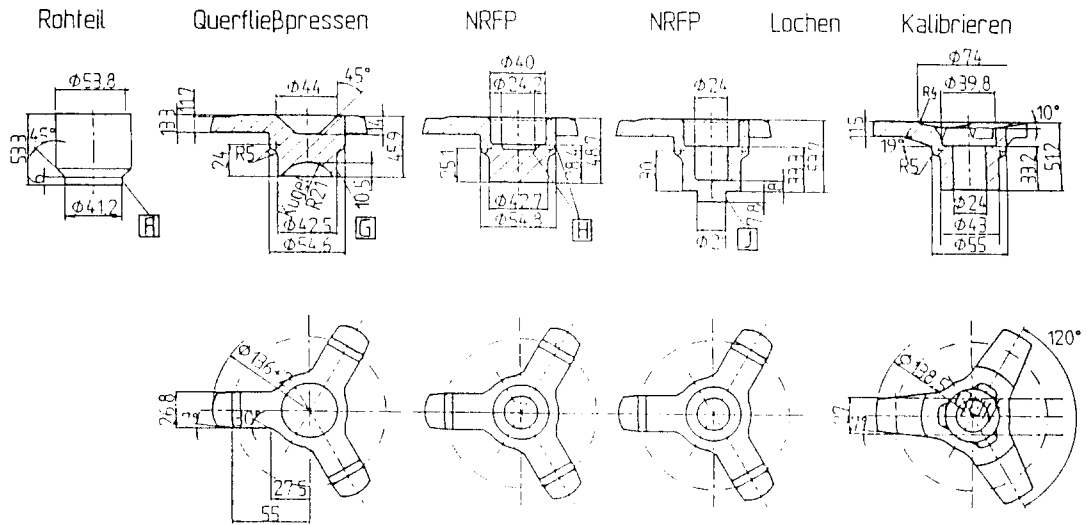


Fig. 5 Flange의 온간압출단조 공정순서, M. Kammerer

역할을 한다.

(3) 공정

후방압출이 이루어지는데 우선 Ball 모양의 Indentation이 먼저 아래로 채워지고 그후 실질적인 후방압출이 시작된다. 이 경우 후방압출 펀치가 flange 부분을 지나 실린더 부분에 이르러서야 재질의 후방흐름이 시작되어 flange 부분의 변형이 방지된다. Indentation이 없이 직접 공정이 진행된다면 재질의 후방흐름이 즉시 시작되고 제품의 실린더 부분에서 flange 부분으로 넘어가는 부분에서 금형의 지지가 없어 방사방향으로 재질의 흐름이 통제되지 않아 엘레먼트가 평면에서 벗어나게 되어

치수에 문제가 된다.

(4) 공정

가운데 구멍을 후방압출로 형성하는 공정으로 펀치가 누르기 시작하면 우선 미리 정해진 아래쪽의 빈 공간을 재질이 채우면서 펀치가 flange 부분을 지나 실린더 구역에 들어오게 되고 그후 실제의 후방압출이 시작된다. 이렇게 함으로써 Flange 부분의 변형이 방지된다.

(5) 공정

피어싱 작업이며 4 공정에서 생긴 보조꼭지를 따른다.

(6) 공정

Sizing 작업을 수행한다.

### 3.4 Bevel gear

자동차의 differential에 들어가는 Bevel Gear를 최근에는 소성가공법으로 많이 생산하고 있다. 우리 나라에서도 몇몇 업체가 생산을 하고 있으며 제품에 대한 문제점으로는 실차 시험에서 접촉면이 패이는 pitting현상과 비늘처럼 표면이 일어나는 현상 그리고 치차가 부러지는 현상을 들 수 있다. Pitting의 원인으로는 점접촉을 들 수 있고 치차 절단의 원인으로는 선 접촉을 생각할 수 있다. 비늘현상은 접촉면에서의 상대운동 때문에 생기는 현상이다. 치차의 접촉면을 일정한 크기로 유지할 수 있도록 치차가 설계되어야 하고 설계치수를 소성가공으로 만족시킬 수 있는 생산시스템이 필요하다.

소성가공 후의 제품의 치수는 여러 가지 과정에 의해서 복잡적으로 결정되므로 어느 한가지 공정만을 관리해서는 정확한 제품을 생산하기 어렵고 전체 필요한 공정을 정확하게 관리할 필요가 있다. 각 과정 중에서 생기는 치수불량의 원인으로는, 금형가공용 전극의 부정확한 가공, 전극 검수의 미비, 금형 가공시의 부정확도, 금형 검수의 미비, 금형 재질의 불량, 금형의 탄성변형, 열처리시의 변형, 최종제품의 측정불량 등이 있다. 해결방법은

로는 다음과 같은 과정이 실제로 독일에서 시행되었고 제품을 생산하여 실차에 적용하고 있는 중이다(Fig. 6).

베벨기어의 소성가공에서 수치해석 simulation의 역할은 아직 크지 못하는데, 그 이유로는 위의 모든 과정에서의 현상을 충분한 정확도를 유지하며 계산을 해야하나, 실제로 그렇게 할만한 해석 프로그램이 아직은 없기 때문이다.

## 4. 결 론

지금까지 절삭가공에 의해서만 생산이 가능했거나 많은 연삭가공을 후속공정으로 하여 생산이 가능했던 자동차 부품들이 재료기술과 소성가공기술 및 설비의 발달로 세계 여러 곳에서 Net Shape 또는 Near Net Shape으로 개발되고 있다. 본 발표문에서는 독일에서 개발되어 실제로 생산되고 있는 자동차부품 몇 개를 골라서 설계시의 중요한 점과 그 배경을 살펴보았다. 빠르게 증가하는 한국의 자동차 생산을 생각하면 자동차 부품에 대한 수요도 증가함을 알 수 있다. 소성가공으로 자동차 부품을 만들면 기계적 성질의 우수성, 생산성의 증가, 생산원가의 절감과 같은 많은 이점이 있어, 소성가공품에 대한 수요는 자동차 생산량의 증가에서 오는 것 외에 신제품 개발에서 오는 것까지 합해져서 더욱 크게 될 전망이다. 여기에 적합한 기술이 바로 압출단조기술(Flow Press Technology)로써 본문에서 실례를 든 몇 가지 부품과 그 밖의 수많은 자동차 부품의 생산에 적용되고 있다. 그러나 정밀압출단조기술을 정확히 그리고 효과적으로 구사하기 위해서는 프로세스에 대한 기초이론 배경이 필요하고 더욱 중요한 것은 현장에서의 실무경험이 있어야 한다. 어느 한쪽만 해결되어서는 부품이 요구하는 성질을 맞추기 힘들고 생산가격의 최소화도 어렵다. 현재 우리 나라에서는 일반적으로 두 가지 요건이 모두 부족한 사정이므로, 자동차 부품 제조 회사가 새로운 제품을 개발하고자 할 때, 소성이론과 실무적 배경이 있고 설비에 대한 이해를 할 수 있는 인력이 시스템 전체를 관장하여 제품개발과 생산을 주도하여야 소기의 성과를 거둘 수 있을 것이다.

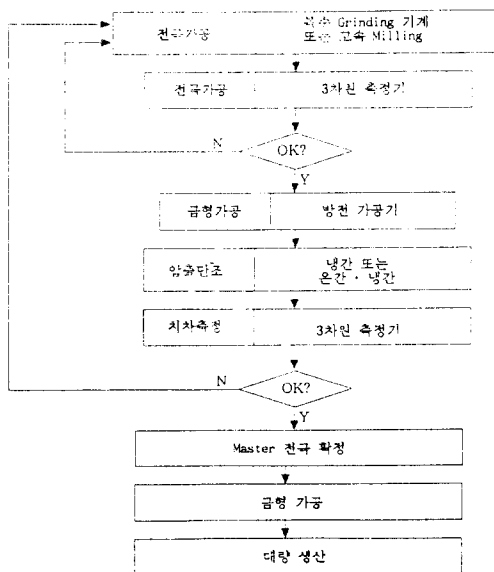


Fig. 6 자동차용 Bevel Gear의 개발과정, M. Kammerer, D. K. Kang

참고문헌

- (1) Dae-Kern KANG : Finite Elemente Simulation von Massivumformvorgängen mit Berücksichtigung des Kontaktproblems und der radialen Anisotropie, PSU Band 8, Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- (2) Manfred KAMMERER : Beitrag zur Entwicklung von Stadienplanen in der Kaltmassivumformung, Vortrag am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart, 1994.