

전륜구동차용 등속 조인트 부품의 정밀 냉간 단조 기술 연구

Development of C. V. Joint for FF Car by Precision Cold Forging

이 정 환, 정 형 식, 한 상 호, 유 재 운
J. H. Lee, H.S.Chung, S. H. Han, J. W. You



李 廷 煥

- 1958년 2월생
- 자동차 및 항공기 부품의 정밀 단조, 알루미늄 합금의 정밀단조, Gear 단조등 연구
- 한국기계연구소 소재 성형실



韓 相 鎬

- 1963년 10월생
- 금속 조직 관찰 및 단조 성형 실험연구
- 한국기계연구소 소재 성형실



鄭 炯 植

- 1948년 9월생
- 분말단조, 분말압연 및 이를 이용한 전자재료 개발과 초전도 재료개발등의 연구
- 한국기계연구소 소재 성형실



俞 在 雲

- 1960년 1월생
- 냉간 단조에 의한 자동차 부품 개발
- 산업용 가스의 응용기술 개발 등의 연구
- 한국가스공업㈜

1. 서 론

등속 조인트(Constant Velocity Joint)는 전륜구동차에서 가장 핵심적인 부분으로 앞바퀴에 동력을 전달하는 부품이다. 전륜 자동차에 있어서 앞바퀴는 조향을 행함과 동시에 구동도 시켜야 하므로 훅 조인트(Hook Joint)를 사용하게 되면 조향 각이 클 경우 앞바퀴의 회전속도 변동이 심해져 주행상에 부리를 일으킨다. 따라서 등속 조인트를 사용하여 큰 각도 변화로 동력을 전달하여도 회전 속도의 변동이 없고 토오크가 균등히 전달되도록 한다.

세계 자동차 시장에서는 소형화 및 경량화에 대한 움직임이 더욱 활발히 진행되면서 자

동차 실내 공간을 보다 안락하게 유지하고 싶다는 요구로부터 대중차의 전륜 구동화가 세계적인 추세이다. 국내 자동차 업계에서도 이러한 시장 변화에 맞추어 전륜 구동차 생산에 박차를 가해 국내는 물론 미주, 구주 지역에 대량 수출되고 있으며 앞으로 수출증가에 따른 생산 급증이 예상되는 바 등속 조인트와 같은 중요부품의 국산화가 절실히 요구되고 있다.

등속 조인트는 기본적인 Housing(Outer Race), Spider(Inner Race)와 Ball 또는 Cage 등의 부품으로 구성되어 있는데 동력을 전달하는 부품으로서의 기계적 요구 특성과 각 부품간의 상대 운동에 따른 부품의 요구 정밀도가 높아 냉간 또는 온간 단조등의 정밀

단조에 의해 생산되고 있으며 단조품의 가공에 있어서도 자동화 및 고정도의 기술을 요하기 때문에 세계적으로도 미국, 일본, 영국 등의 몇개 회사에 국한되어 있다. 특히 각 Maker마다 고유의 Model 과 이에 따른 기계 가공기술은 특허로써 보호되고 있어 현재 국내 자동차 회사에서는 각 Maker와 기술제휴하여 가공설비 및 기공기술 일체를 도입하여 생산하고 있거나 추진중에 있으므로 등속 조인트의 국산화를 위해서는 중간 제품인 단조품의 국내 조달이 관건이라 하겠다.

2. 연구내용

2.1 개발대상의 선정

등속 조인트를 기능면에서 분류하면 축방향으로 고정되어 있는 고정식 조인트(Fixed Joint)와 축방향으로 Sliding이 가능한 플란징식 조인트(Plunging Joint)로 대별되고 그 가운데에서도 여러 Type이 있다. FF차에서는 구동과 조향을 동시에 행하는 바퀴축에는 Operating Angle이 큰 고정식 조인트를 사용하며 Trans Axle쪽에는 바퀴가 상하운동을 할 때 Drive Shaft의 길이가 변화하여야 하므로 플란징식 조인트를 사용한다. FR차에는 종래 많이 사용되었던 Cardan Joint (Cross Joint)대신에 바퀴축과 Trans Axle축 모두 Plunging Joint를 사용하는 경우가 증가하고 있다. 다음에 나타나는 것은 그 대

표적인 등속 조인트를 분류한 것이다.

Fixed Joint : BJ(Rzeppa), GE(Tripod) type

Plunging Joint : GI(Tripod Slide), VL(Cross Groove), DOJ type.

현재 외국 승용차에 사용되는 조인트의 조합과 적용차종은 표 1과 같이 일본 FF차에는 BJ+DOJ, BJ+GI, GE+GI 등의 조합이 사용되고 있으며 독일 차에는 BJ+VL, 프랑스차에는 GE+GI의 조합이 많다. 국산 FF차에 사용되는 등속조인트는 표 2에 나타내었다.

표 2의 국내 개발종인 C.V Joint Outer Race 중 Cross Groove Joint의 경우 Groove의 형태가 단조에는 부적합하여 Groove가공이 필요하므로 대체효과가 비교적 작으며, DOJ Type의 경우에는 자체개발계획이 있고, BJ Type의 경우 부가가치도 높고 수요도 많아 그 대체효과가 가장 크나 제품화 및 양산화에 있어서는 자동차 Maker(정밀가공 및

표 2 국산 FF차용 등속조인트

위치 Maker	wheel side	trans	axle	side
현대	BJ		DOJ	
대우	BJ	Cross Tripod	Groove Slide	(수동변속) (자동변속)
기아	BJ	Tripod	Slide	

표 1 외국 승용차에 사용되는 조인트의 대표적인 조합과 적용차종

구동방식	사 용 위 치		적 용 차 종
	wheel side	trans axle side	
F F 차	Double Cardan	DOJ	미 국
	Tripod	Tripod Slide	프랑스(대부분)
	BJ	DOJ	일본(대부분), GM-X car, VW-Golf
	BJ	Tripod Slide	일 본
	BJ	Cross Groove	독일(대부분), 일본
F R 차	Cardan	Cardan	
	Tripod Sliding	Tripod Sliding	
	DOJ	DOJ	

정밀측정)와 단조품 Maker(정밀단조) 모두 고도의 기술과 장시간의 개발기간이 필요하다고 판단되어, 현재 국내의 자동차 회사에 많이 적용되고 있으며 단조 기술면에서 대형, 난성형 부품인 Tripod Slide Housing을 개발 대상으로 선정하였다.

2.2 소재 선정

Tripod Slide Housing의 재질은 두가지로 나눌 수 있는데 열간단조용 소재로 NF규격인 XC48(KS : SM 48C)과 냉간단조용 소재로 XC 48을 개선한 Al Killed강인 XC 48 FF로,

표 3 Tripod Slide Housing용 소재

재 질	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	P	S	Ti	Al
XC 48	0.45-0.51	0.15-0.35	0.45-0.70		0.2-0.4	-	-	<0.030	<0.035	-	-
XC48 FF	0.45-0.49	0.15-0.25	0.75-0.85	<0.2	0.22-0.28	-	<0.3	<0.03	<0.015	<0.01	0.02-0.05

2.3 제조 공정 설계

2.3.1 제조공정의 선택

Tripod Slide Housing의 단조 공법에는 여러가지 방법이 있다. 단조공법의 선택시에는 정도, 형상, 재질, 생산성, Cost 등이 충분히 검토되어야 한다. 일반적으로 열간단조는 치수 정도가 떨어지며, 냉간·온간단조는 Cost가 높은 결점이 있어 최근에는 이러한 문제 해결을 위해 한개의 단조공법을 채택하지 않고 두개 이상의 단조공법을 조합한 공법이 개발되고 있다. Tripod Slide Housing의 경우에는 (1) 온간단조+냉간단조 (2) 열간정밀단조+온간단조+냉간 Sizing 등의 공법이 보편화되어 있다. 그 결과로 열간단조에 비해서는 정도 향상 및 절삭가공량이 대폭 감소되며, 냉·온간단조 단독 공법보다는 원가절감이 예상되지만 기존 설비의 한계와 최종 사용자의 요구등을 고려하여 냉간단조 공정을 중심으로 연구개발을 수행하였다.

2.3.2 냉간 성형 공정

Tripod Slide Housing의 냉간 성형 공정은

단조후 후가공을 거쳐 고주파 경화를 통하여 H_RC58 이상의 표면 경도를 얻기 위하여 선정되었다. 화학조성은 XC 48의 규격안에서 냉간 단조성은 향상시키면서 고주파 경화에 의해 표면 경도와 경화깊이를 감소시키지 않는 범위에서 조성하였다.

성분 원소별로는 냉간단조성을 해치지 않기 위해서 C와 Si를 낮게하고 C와 Si의 감소에 따른 경화능 저하를 막기 위하여 Cr의 양을 약간 높였다. 표 3은 각소재별 화학조성을 나타내고 있다.

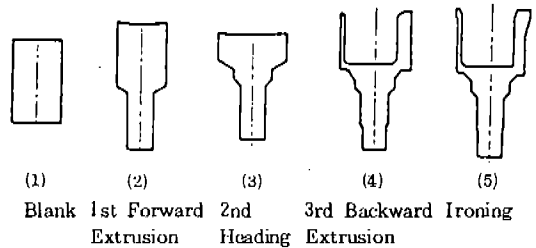


그림 1 냉간 성형 공정

형상, 정도, 재질 및 가공한계를 고려하여 그림 1과 같이 Blank로부터 전방압출 → Heading → 후방압출 → Ironing의 4 단계의 성형공정을 기본 공정으로 하였다.

그림 1과 같이 설계된 기본 성형 공정 중에서 (2), (3), (5)의 경우를 Ronald의 실험식과 AIDA에서 제시한 실험 Data로부터 계산한 결과 최대 가공압력이 발생하는 것은 (2)의 경우 압력이 220 kgf/mm² 정도이므로 금형 수명에 큰 문제가 없다. 그러나 가공압력이 가장 큰 (4)의 경우 245 kgf/mm²의 편치압력이 예상된다. 본 연구에서 Punch재로 사용한 SKH 9종(H_RC 62기준)의 경우 압출 피로

강도가 255 kgf/mm²하에서 약 10,000회이므로 Punch Design과 후방 압출전 소재의 구상화 조건을 최적으로 하여 가공 하중을 감소시키도록 하였다.

2.3.3 열 처리

소재의 냉간 단조성은 화학 조성과 더불어 열처리 조건에 의해 많은 영향을 받는다. 냉간 단조 성형중 소재에는 큰 Flow Stress가 발생하고 금형에는 큰 가공압력이 작용하게 된다. 그러므로 성형 공정 동안에 필요한 냉간 단조성의 정도에 따라 소재의 적당한 열처리 공정이 필요하다.

열처리 방법은 크게 공정 전처리로서의 구상화 소둔과 공정 중간 처리로서의 저온 소둔 및 최종 제품에 대한 열처리로 나눌 수 있다. Blank 상태와 Heading 전, 후방 압출전에는 재료내의 조직 균일화와 내부결함 및 잔류응력의 제거, 성형성 향상등을 목적으로 총 3회의 구상화 소둔을 행하였으며, Ironing 전에는 가공 경화된 재료를 연화시킬 목적으로 중간 소둔을 하였다. 최종 제품에 대한 열처리는 내마모성을 증대시켜 제품 수명을 연장시키는 목적으로 최종 수요자의 규격에 준하여 고주파 소입을 하여 표면경화 처리를 하였다.

2.3.4 윤 활

냉간단조에서의 윤활제로는 가공압력 250 kgf/mm² 이하, 면적확대비 15 이하의 가공에서는 일반적으로 인산염피막+ Soap를 사용하며, 가공압력과 면적확대비가 이보다 클 경우에는 Soap Lubricant로는 불충분하여 MoS₂ 또는 흑연의 미세한 분말을 Tumbler 내에서 인산염 피막에 부착시켜 사용하면 양호한 결과를 얻을 수 있다.

Tripod Slide Housing의 냉간 단조 공정에서 면적확대비는 후방압출에서 최대 5.8 정도이고 최대 접촉압력도 240~245 kgf/mm² 정도로 예상되므로 인산염 피막+ Soap Lubricant로 충분하다. 상용되는 인산염 피막+ Soap Lubricant로는 일본 Parkerizing사의 Bonderite Bonderlube가 널리 쓰이고 있으며 본 실험에서는 대한 Parkerizing사의 Bonderite 3651과 Bonderlube 235X를 사용하여

표준처리 공정에 준하여 윤활을 행하였다.

2.4 소둔처리 연구

냉간 단조용 소재로서는 변형 저항이 작고, 전연성이 우수한 것이 요구되지만 그것들의 요구를 만족시키기 위해 소둔 및 구상화 소둔 처리를 실시하는 것은 전술한 바 있다. 구상화 소둔이 변형 저항에 크게 영향을 미치는 것은 중탄소 이상의 강이기 때문에 저탄소강에는 소둔을, 중탄소강 및 합금강에는 구상화 소둔을 행하는 경우가 많다. 그러나 냉간 가공도가 특히 높을 때는 저탄소강에서도 구상화 소둔을 할 필요가 있으며, 역으로 중탄소강에서도 가공도가 낮을 경우에는 소둔만으로도 가능하다. 소둔 및 구상화 소둔의 조건은 일반적으로 장시간의 처리가 좋지만 실제로는 경제적 이유로 Energy 절감을 위하여 간략화 시킨 열처리 Cycle이 적용되는데, 경도를 내리는 것도 필요하지만 양산에서는 경도와 조직의 산포가 적도록 조절하는 것이 열처리 Cycle 선정에 있어서 Key Point가 된다. 소둔의 경우에는 경도, 구상화 소둔의 경우에는 경도와 금속조직으로 품질 관리가 이루어지는데, 경도의 산포에 따라 Die의 수명이 영향을 받기 때문에 경도의 규격 범위를 맞추어 주어야 한다. 최적 구상화 조건을 선정하기 위하여 유지 온도와 시간에 따른 경도 및 조직변화를 실험을 통하여 살펴보았다.

유지 온도의 영향을 살펴보기 위해서 유지 시간은 3시간, 냉각 속도는 20 °C/hr로 서냉한 후 온도는 700 °C, 740 °C, 760 °C, 780 °C의 4가지 온도에서의 경도와 조직을 관찰한 결과는 표 4와 그림 2와 같다.

표 4 유지온도에 따른 경도 분포

유 지 온 도	경 도 (H _R B)
구상화 처리전 경도	95 ~ 100
700 °C	82 ~ 88
740 °C	80 ~ 83
760 °C	78 ~ 84
780 °C	82 ~ 87

표 4에서 알 수 있듯이 구상화 열처리에 의해 경도 값이 초기 상태에 비해 떨어지나 연화 정도는 유지온도가 상승함에 따라 커져서 740~760°C 구간에서 최저 경도값을 보이다가 780°C에서는 다시 증가하여 700°C와 비슷한 경도값을 나타내었다. 유지온도에 따른 현미경 조직변화는 그림 2와 같이 700°C의 경우 층상의 Pearlite가 일부 고용되어 구상화 초기에 있음을 알 수 있고, 740, 760°C의 조직은 일부 Fe₃C가 구상화가 잘 이루어졌음을 알 수 있다. 한편 경도값의 증가를 보인 780°C에 유지한 조직은 일부 Fe₃C가 구상화가 이루어졌으나 대부분의 조직이 층상 Pearlite임을 알 수 있었는데 그 이유는 탄소가

많이 고용된 후 Pearlite로 재석출한 것으로 추정된다.

유지시간에 따른 조직 및 경도의 변화를 살펴보기 위하여 구상화가 가장 잘 된 유지온도인 740°C에서 1시간, 3시간, 5시간까지 변화시켜 실험을 한 결과 표 5와 그림 3과 같이 나타난다.

표 5 유지시간에 따른 경도 변화

유 지 시 간	경 도(H _R B)
1 시 간	82 ~ 87
3 시 간	81 ~ 84
5 시 간	78 ~ 85



(a) 700°C



(c) 740°C



(b) 760°C



(d) 780°C

그림 2 유지온도에 따른 조직 변화 (X 1,000)



(a) 1시간



(b) 3시간



(c) 5시간

그림 3 유지시간에 따른 조직 변화 (X 1,000)

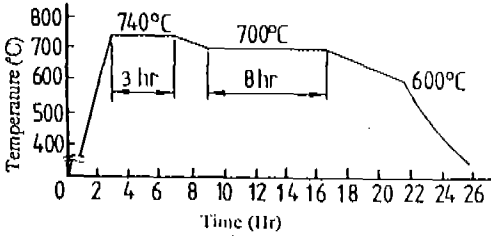


그림 4 구상화 소둔 열처리 Cycle

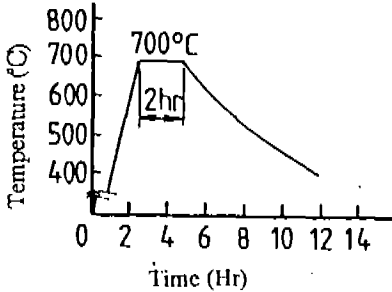


그림 5 중간 소둔 열처리 Cycle

표 5 와 그림 3 에서 알 수 있듯이 유지시간에 따라 경도와 조직의 변화는 심하지 않으나 3시간 유지했을 때 경도 분포 범위도 좁고 조직도 가장 양호하였다. 이와 같은 실험 결과 유지온도는 740°C 유지시간은 3시간으로 그림 4 와 같은 구상화 Cycle 을 선정하였으며, 저온 소둔은 후방 압출에서의 가공응력 및 내부 잔류 응력 제거를 위해 Ac₁ 변태 온도직하 (680~700°C)에서 2시간으로 그림 5 와 같은 Cycle 을 선정하였다.

2.5 성형 실험

2.5.1 금형 설계 및 제작

Punch 재료로는 내압축성, 내모성 및 인성이 우수한 SKH 9(H_RC 62~64)을 사용하였으며, Die Insert 는 SKD 11(H_RC 60~62), 보강링 재료로는 SCM4(H_RC 32~35)를 사용하였다. 금형은 일반적인 금형 설계 기준과 AIDA의 설계기준에 준하여 설계하였다.

Tripod Slide Housing의 성형시 Punch, Die Insert 등에 걸리는 응력은 주로 압축응력으로 200~250 kg/mm²이다. 이러한 높은 응력을 분산시키고 가공의 편의를 위하여 Die Insert 는 그림 6 과 같이 가로 분할법을 채택

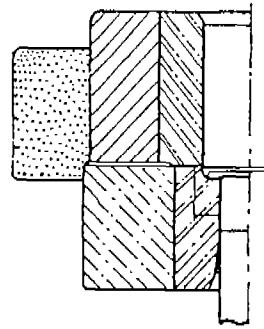


그림 6 가로분할 Die Insert

하였다.

냉간단조에 있어서 Die Insert 에 작용하는 반경방향의 면압은 단조의 종류, 단면감소율, 단조품의 모양에 따라 다르지만 대개 편치 면압의 60~70% 정도이다. 따라서 큰 면압을 받는 Die Insert 를 보강하기 위하여 1개 이상의 보강링을 사용함으로써, 무부하 상태의 Die Insert 에 압축응력을 부여한다.

Tripod Slide Housing의 4개 단조공정중 전방압출, 후방압출 공정은 Punch 및 Die Insert 에 가해지는 압축응력이 250 kg/mm² 이상으로 매우 크고, Ironing 공정은 Die Insert 형상이 매우 복잡할 뿐 아니라 Die 의 높이가 200mm로서 일반적인 방전가공으로는 원하는 정도의 가공이 어렵기 때문에 전방압출, Heading, 후방압출 공정의 Die Insert 는 응력집중이 예상되는 부분에서 가로분할하여 설계하였고, Ironing 공정의 Die Insert 는 가공이 용이한 형상으로 분할하여 설계하였다.

Die Insert 를 분할함으로써 발생하는 문제점으로는 첫째, 앞에서 언급한 바와 같이 보강링을 끼워 박으면 분할된 Die Insert 의 내경이 서로 다른 양만큼 수축함으로써 Die Insert 사이에 단이 생길 우려가 있으며, 둘째로 단조품이 축대칭 형상이 아닐 경우에 분할된 Die Insert 의 원주방향 위상을 정확하게 조립하기 어렵고, 셋째로, 단조시에 높은 압력을 받는 소재가 분할된 경계부분으로 밀려 들어가 날카로운 Flash가 형성될 우려가 있는 점이다. 이러한 문제점 중 첫번째 문제점

은 수축량을 계산하여 차를 고려하여 Die Insert를 설계함으로써 그 영향을 줄일 수 있으나 엄밀한 치수 정도가 요구되는 경우에는 조립후에 재가공을 하여야 한다.

두번째 문제점인 비축대칭 Die Insert의 조립시의 위상차는 분할된 Die Insert를 가공할 때 기준점을 표시하거나, 가공후 결합할 수 있도록 설계하여 해결할 수 있다. 세째로 가로분할된 Die Insert의 경계면에서 발생하는 날카로운 Flash는 경계면을 그림 7과 같이 설계하고 보강링을 조립할 때 경계면에 축방향으로 압력을 가하여 조립함으로써, 그 발생을 막을 수 있다.

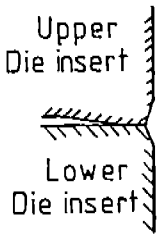


그림 7 Flash 방지용 성형 여유 공간

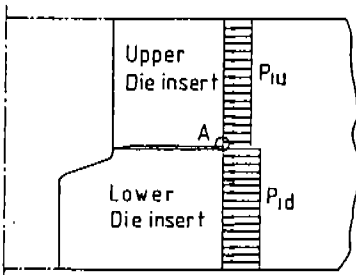
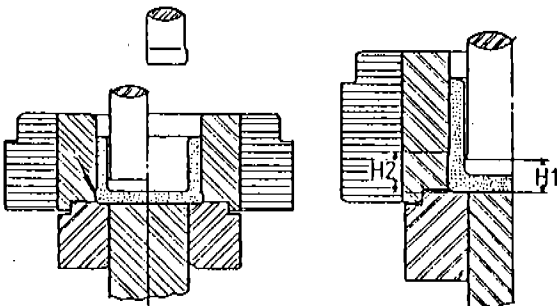


그림 8 분할 Die Insert의 휨 여유



(a) 양호 (b) 불량
그림 9 후방 압출에서 소재의 구속용 돌출부

또 가로분할 Die Insert를 보강링으로 보강할 때 그림 8과 같이 상하 Die Insert의 휨 여유가 같으며 Die Insert의 외경에 걸리는 압력 P_{lu} 은 P_{ld} 보다 적기 때문에 A부분에 공간이 생겨 보강이 약해진다. 따라서 상하 Die Insert와 보강링 사이의 휨여분은 $P_{lu} = P_{ld}$ 가 되도록 하여야 한다.

한편 후방압출에서는 성형품이 상승하는 편치쪽에 붙어나가는 수가 있다. 이의 방지책으로는 고정 또는 가동 스트리퍼를 이용하는 방법과 그림(A)와 같이 Die Insert의 하부에 돌출부를 두는 방법이 있다. 이때 돌출부의 위치는 편치의 하사점 보다 낮은 곳에 두어야 효과가 있으며 그림 9(B)와 같이 돌출부의 길이가 너무 길어 Punch의 Land부 보다 높은 위치에 있으면 역효과가 있다.

금형은 각 부품마다 제작 공정상에 다소의 차이는 있으나 대개 Die는 황삭→정삭→열박음→재정삭→평면연삭→원통연삭→래핑 순으로 진행되었고, Punch의 경우에는 황삭→열처리→원통연삭→방전가공→성형연삭→래핑 순으로 제작하였다. 금형 제작상 주의해야 할 점으로는 첫째로 열처리후 Punch 및 Die Inset의 경도는 요구 경도를 만족시켜야 하며 소재의 내부까지 균일한 경도를 가지고 있어야 한다. 둘째로 보강링의 열처리에 있어서 소려는 고온 소려를 하여야 한다. 보강링은 저온 소려를 할 경우 인성이 작기 때문에 단조중에 걸리는 인장 응력에 의하여 파손될 우려가 있다.

세째로 Punch 및 Die Insert가 소재와 직접 접촉하는 부분과 단이 지거나 곡면으로 연결된 부분은 연마 공정에서 가능한한 매끄럽게 가공해야 한다. 소재와 직접 접촉하는 면이 매끄럽지 못하면 마찰에 큰 영향을 주게 되어 소재의 소착 현상이 일어나며 금형 수명에 악영향을 미친다. Punch 및 Die Insert의 열처리 후의 경도값은 $H_{RC} 62 \sim 65$ 사이로 양호하였다.

2.5.2 1/2 Scale Model 실험

성형 실험은 1/2 Scale Model 실험과 실제 제품 성형의 2가지 실험을 수행하였다.

소성변형과정의 Simulation에 있어서 Model 실험과 실제 단조 공정 사이에는 다음과 같은 유사법칙(Similarity)이 성립하여야만 재료의 변형양식과 금형과 재료의 응력, Strain 분포 및 가공하중에 있어 실제 단조와 Model 실험과의 상사가 성립하게 된다.

상사조건으로는,

- 1) 기하학적 형상의 상사
- 2) 금형과 재료의 접촉면에서의 마찰조건의 상사
- 3) 재료특성의 상사 (Stress-strain 관계, Stress-strain Rate 관계, 항복조건, 온도의존성 등)

이 있다. 본 실험에서는 동일한 재료와 동일한 윤활조건(Bonderite-Bondelube 처리)하에서 기하학적 형상을 1/2로 축소하였으며 가공속도가 느린 250 Ton 유압 Press로 성형하였으나 냉간에서는 Stress-strain Rate의 영향을 무시할 수 있으므로 3가지 유사법칙이 모두 성립된다. 따라서 가공하중을 제외한 Model 실험의 결과는 실제 단조와 일치하며 가공하중에 있어서는 대략 실제 단조시의 가공하중을 Model 실험결과의 4배로 추정할 수 있다

Model 실험은 형상, 정도, 재질 및 가공한계를 고려하여 Sawing 한 Blank로부터 전방압출 → Upsetting → 후방압출의 다단공정을 기본 성형공정으로 하였다. 그러나 실제품 성형시에는 후방압출로 얻을 수 있는 정밀도로는 Cup 부 내면의 기계 가공이 필요하기 때문에 10~30% 정도의 단면 감소율로 Ironing 공정을 추가함으로써 후 가공을 완전히 생략해야 될 것으로 생각된다. 또한 공정수를 최소화 시키기 위하여 다단 공정에서의 전방압출 → Upsetting → 후방압출의 3단계 공정을 전후방 복합 압출 1 공정으로 대체한 복합 압출 공정을 시도하였다. 각각의 성형 공정은 그림 10 과 11에 나타내었다.

다단 공정의 첫번째 공정은 전방압출로 단면 감소율이 78%이며 단면축소부의 형상을 Taper로 하지 않고 원호로 설계한 것은 금형수명을 연장하기 위함이다. 두번째 공정은 Up-

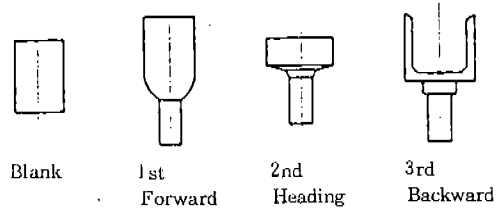


그림 10 다단 성형 공정

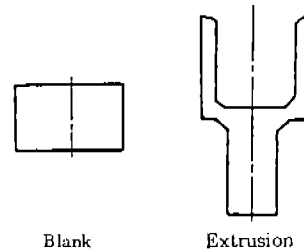


그림 11 복합 압출 공정

setting Ratio가 47% Upsetting 공정으로 Free Upsetting이 아닌 금형내에서 원주방향으로 구속시키면서 Free Upsetting에서의 변형저항에 1.5배정도의 가공압력으로 성형한다. 따라서 단조품 형상은 그림10에서와 같이 양끝면이 자유곡선이 되고 중간부분은 금형과 밀착되어 평탄면을 형성하게 된다. 세번째 성형공정은 단면감소율 65%의 후방압출이다. 중간소둔(Process Annealing)과 재윤활은 두번째 공정과 세번째 공정사이에 행해진다.

공정별 가공하중을 계산하기 위해 Ronald의 실험식과 AIDA의 Data를 사용하였으며 실제 단조시 가공하중은 Load Cell로 측정하였다.

Ronald의 실험식은 대부분의 다른 실험식과는 달리 전방압출에서의 압출다이각도와 후방압출에서의 Punch전단 부각도 및 재료의 물성을 실험식에 직접 포함시킨 것으로 실험 재료로 납을 포함하여 SAE 1008부터 SAE 1050까지 14종의 탄소강을 사용하여 전방, 후방 및 전후방 복합압출에서 단면감소율에 따라 가공력을 계산할 수 있도록 하였다.

가공력의 계산식은 다음과 같다.

전방압출시 Punch Pressure :
 $P = 37.9 F A_R^{0.787} \alpha^{0.375}$ (psi)

후방압출시 Punch Pressure :
 $P = 38.2 F A_R^{0.855} \alpha^{0.355}$ (psi)

여기서 F : Lead-to-Steel Conversion Factor

A_R : 단면감소율 (%)

α : 압출다이 원추각 또는 Punch선단부 원추각 (Degree)

납을 포함한 각각의 재료에 대한 압축실험 결과를 $\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n$ 형태로 Curve Fitting 한 결과 가공경화지수 n 은 모든 재료에서 약 0.2 로 동일한 가공경화특성을 보였다. 따라서 각각 재료의 가공력은 상대적인 K값의 비 $F = \frac{K(\text{Steel})}{K(\text{Lead})}$ 로서 계산할 수 있다. 위에 표시한 실험식은 납의 Conversion Factor F를 1로 하였을 때 가공하중을 계산하는 식이며 각 재료의 Conversion Factor F는 표 6과 같다.

표 6 각각의 재료의 Conversion Factor

재 료	K	F
Lead	3, 165	1. 00
1010	82, 056	25. 93
1020	91, 786	29. 00
1032	123, 636	39. 06
1040	133, 255	42. 10
1045	137, 860	43. 56
1050	142, 133	44. 91

복합압출공정에서 가장 중요한 설계 Point 는 압출되는 Cup과 Shaft의 길이가 제품이 요구하는 치수대로 동시에 성형되도록 설계하는 것이다. Cup과 Shaft의 길이비를 결정하는 변수로는 크게 전후방의 압출비(단면 감소율, ϵ_a)와 금형형상이 있다. 금형의 형상 변수로는 마찰력에 영향을 미치는 Punch와 Die Land 길이, 마찰력과 재료의 유동성을

결정하는 Punch Nose의 형상과 전방압출 Die의 원추각, 재료의 유동성에 영향을 미치는 금형단부의 R등이 있는데 이들 변수중에서 Land의 길이와 모서리 R은 그 영향이 작고 금형수명과 제품표면품질에 의한 제한을 받고 Punch Nose와 금형단부의 R은 제품형상에도 제한을 받기 때문에 설계변수로 변화에 한계가 있다. 한편 후방압출에서의 압출비는 후가공을 생략해야 하는 전제조건이 있으므로 변화시킬 수 없고 따라서 후가공량을 최소화시키면서 제품이 요구하는 Cup과 Shaft 길이를 성형할 수 있도록 전방압출 부분에서 최적의 압출비를 결정해야 한다. 결국 Tripod Slide Housing의 복합압출공정에서의 설계변수로는 전방압출에서의 압출비(ϵ_a)와 Die 원추각(2α)의 두가지로 결정된다.

이상의 설계변수를 결정하기 위해 본 실험에 앞서 Cup내측에 Groove를 생략한 단순한 Bar & Cup의 전·후방 복합압출에 대한 예비실험을 행하였다. 단면감소율을 후방압출 60%, 전방압출 78.6%로 고정하고 전방압출 다이원추각을 180°로 하여 실험한 결과

Cup길이에 대한 Bar 길이비 즉, $R = \frac{\text{Bar 길이}}{\text{Cup 길이}}$

은 제품의 요구치인 $R=0.9$ 에 비하여 SCM 415의 경우 $R_{max}=0.83$, S 45C의 경우 $R_{max}=0.69$ 이었다.

후방압출의 단면 감소율은 다단 공정에서와 같이 65%로 전방압출은 Shaft의 최대 직경을 기준으로 78.8%의 단면감소율로 하고 전방압출의 Die 원추각을 180°, 120°, 60°로 변화시킬 수 있도록 하였다.

복합 압출에서는 전술한 바와 같이 Shaft와 Cup의 길이비가 가장 중요한 Factor로서 그림 12에서 볼 수 있듯이 SCM 415 소재를 사용하고 다이 원추각이 60°인 경우만 제품요구치를 만족시키고 있다. 그러나 이 경우에도 다이 원추부의 길이가 길어 불필요한 부분 즉, 가공해야할 부분이 많아지므로 실제로 생산에 적용시키기에는 부적당하다. 또한 다이 원추각에 따른 전방압출된 Bar길이 즉, 총다이 Shaft 길이에서 다이 원추부의 길이를 뺀 h_b

를 비교하면 180°의 경우가 제일 크다. 이것은 복합압출에서 전방압출을 지배하는 변수가 재료의 유동성 보다는 마찰력임을 알 수 있으며 결과적으로 마찰력이 발생하는 다이 원추부의 길이가 가장 짧은 180°의 경우가 전방압출이 용이한 것으로 생각된다. 따라서 복합압출공정을 Tripod Slide Housing의 생산에 적용하기 위해서는 다이 원추각을 180°로 하고 Shaft와 Cup의 길이비를 제품 요구치인 0.9까지 올릴 수 있도록 Shaft의 직경을 늘려 전방압출의 단면 감소율을 감소시켜야 하며 이러한 경우 Shaft부의 상당한 가공은 감수해야 한다. Punch Stroke에 따른 재료

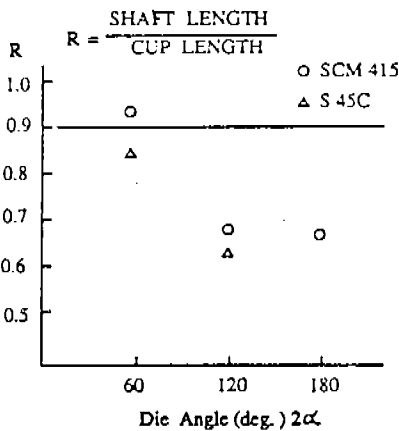


그림 12 다이원추각에 따른 Shaft와 Cup 길이비의 변화

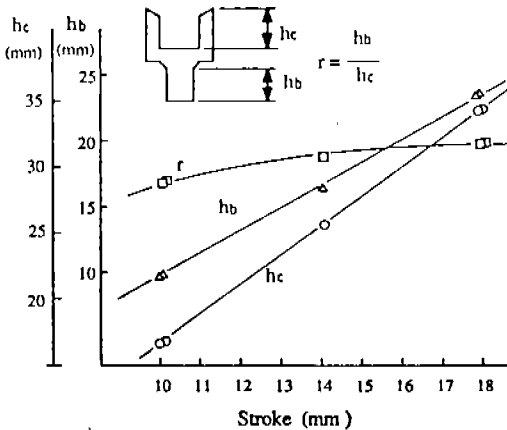


그림 13 Punch Stroke에 따른 hb, hc, r의 변화 (S45C, 2α = 120°)

의 변형양식을 그림 13을 통해 살펴보면 hb, hc 모두 기울기가 1보다 큰 것을 알 수 있는데 이것은 전·후방압출 모두 순수한 전단압출(Shearing)이 아닌 전단과 압출이 복합된 양식에 의해 성형됨을 보여주는 것이며 압출되는 길이비 r가 Stroke에 따라 증가하는 것은 초기 단면감소율이 작은 후방압출이 지배적으로 일어나고 점차로 전방압출이 진행됨을

표 7 Tripod Slide Housing의 정밀 냉간 단조 공정

순서	공정	내용
1	절단	Band Sawing
2	구상화+ Sand blast	구상화율 80% 이상
3	윤활	인산염 피막
4	전방압출	단면감소율 : 73% Die Height : 979.5 mm Stroke : 19.2 mm 하중 : 370 ton 에너지 : 6400 kgf·m
5	Heading	압축율 : 48% Die Height : 973 mm Stroke : 20.7 mm 하중 : 580 ton 에너지 : 9600 kgf·m
6	구상화+ Sand blast	
7	윤활	인산염 피막
8	후방압출	단면감소율 : 58% Die Height : 970 mm Stroke : 16.4 mm 하중 : 460 ton 에너지 : 6800 kgf·m
9	공정간 소둔	
10	윤활	
11	Ironing	단면감소율 : 30% Die Height : 972 mm Stroke : 20.7 mm 하중 : 972 ton 에너지 : 320 ton

나타낸다. 이러한 양상은 전방압출 $\epsilon_a = 71\%$, 후방압출 $\epsilon_a = 60\%$ 인 경우 변형양식은 Stroke 초기에 Backward Extrusion-shear (후방압출-전방 전단압출)에서 Stroke 증가에 따라 Backward-forward Extrusion)으로 변하고 있다.

2.6.3 실물 성형 실험

실물 성형은 AIDA의 CFI-1000 Press에서 수행하였으며 가공하중은 Press 자체에 부착된 Load Monitor로 측정하였다. 1/2 Scale Model 실험결과를 토대로 하여 결정된 최종 공정은 표 7과 같다. 그림 14는 각 공정별 성형 상태를 보여주고 그림 15는 최종 단조품 상태 및 Metal Flow를 나타내었다.



그림 15 최종 단조품 및 Metal Flow

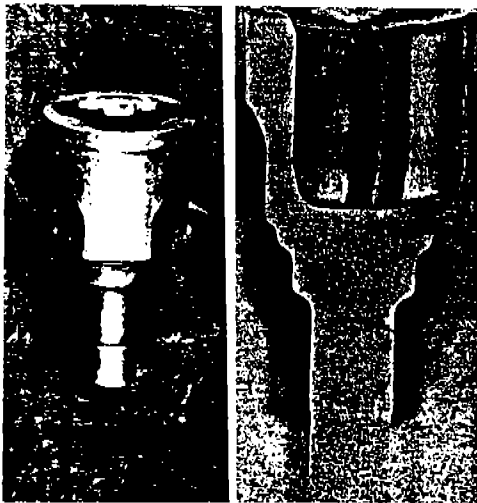


그림 14 공정별 성형 상태

3. 결 론

1) 1/2 Scale Model 실험과 실제품 성형 실험을 통하여 정밀 냉간단조에 의한 Tripod Slide Housing의 제조공정 설계 기술을 확립하고, 4 단계 성형공정으로 시제품 제작에 성공하였다.

2) Tripod Slide Housing을 성형할 수 있는 4 단계(전방압출, Heading, 후방압출, Ironing)의 금형을 설계 및 제작하여 시제품 생산에 적용하고, 관련 필요기술을 축적하였다.

3) XC 48 등 중·고탄소강의 소둔 실험을 통하여 소둔 조건에 따른 구상화율 및 경도의 변화에 대한 연구를 수행함으로써, 고탄소강의 냉간단조시에 필요한 최적 소둔 조건에 응용할 수 있는 자료를 축적하였다.

후 기

이 연구내용은 과학기술처 국가 특정연구로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

또한 본 과제의 참여 기업인 일진금속의 담당자 여러분께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. "NTN 등속 볼조인트", NTN 동양 베어링(주) 기술자료.
2. Toshio MAKI, "Changing Growth of Forging Art [2] - Trends in Forging Technology in Field of Constant-Velocity Joint", JIDOSHA-GIJUTSU (JSAE) Vol. 36, No. 8, 1982, pp. 838-845.
3. 安藤弘行, "溫間鍛造用金型", 型技術, Vol.2, No.1, 1987, p.42-47.
4. Hibi, K., "Precision Cold Forging of Vehicle Parts with Various Sections," SOSEI - TO-KAKO, Vol. 24, No. 271, 1983, pp. 854-858.
5. Makoto Tsuda, Hisayoshi Kojima, and Masashi Arita, "The Development on Cold

- Forging Technique to form a Component of the Constant Velocity Joint,” SAE Technical Paper 850353.
6. Taylan Altan, Soo-Ik Oh, Harold L. Gegel, “Metal Forming Fundamentals and Applications,” ASM, 1983, pp. 84-85.
 7. “冷間鍛造 入門”, AIDA Engineering (株) 기술자료.
 8. 吾鄉瞭生, “冷間成型用工具鋼”, 塑性加工, Vol.19. No.204. 1978. p.44-49.
 9. 吳詩惇, 朱志文, “Metal Flow Patterns for Cup-Bar Axisymmetric Combined Extrusion”, 中·日 塑性加工學術座談會〔冷間鍛造〕論文集, 1986.