

자동차 변속기어의 가공기술

전 기찬, 이 항수
기아자동차(주) 생산기술연구팀

Manufacturing Technology for the Transmission Gears in Automobile

Ghi-Chan Jun, Hang Soo Lee
Production Eng. R/D Dept., Kia Motors Co.,

1. 서 론

근래에 들어 자동차 산업에서의 부품제조기술은 소비자 시장의 환경변화와 함께 급속히 변화하고 있다. 전자분야의 기술발달과 함께 운전의 편리함과 차량의 고급화가 강조되고 있으며, 사회적으로는 환경 및 배기가스에 대하여 강력한 규제를 가하고 있는 것이 현재의 실정이다. 또한 차량의 수명이 점차 길어지고 있으며 차량의 가격상승은 크게 제약을 받고 있다. 이에 따라 자동차 제조업체에서는 다각적인 방법으로 소비자 및 시장의 변화에 대처하고 있으며, 이러한 노력은 선진 자동차 메이커에서는 상당히 구체화 되어 있고^[1-4] 국내 자동차 업체에서도 소비자의 욕구를 충족시키고자 연구개발에 주력하고 있다. 즉, 자동차의 고급화와 함께 엔진의 고출력, 고속화가 추구하고 있으며 변속기 등 동력전달을 위한 부품의 고강도, 고내구성이 요구되고 있다. 또한 최근에 들어 CAFE 규제에 대응하기 위한 경량화, 소형화의 요구가 부상되고 있으며, 이에 따라 부품의 크기(Size)를 키우지 않고 큰 동력을 전달하기 위해 보다 강한 재질을 사용하게 되고 또한 절삭근란한 강종을 사용하는 사례가 많아지고 있어 정밀단조에 의한 정형가공(Net Shape Manufacturing) 또는 근사정형가공(Near Net Shape Manufacturing)에 의한 부품의 요구가 점점 커지고 있다.

단조란 단조기계 및 금형을 이용하여 재료를 가압함으로써 소재의 형상을 변형시켜 요구하는 형상의 제품을 얻는 방법을 말하며 여기에는 크게 4가지의 특성이 있다. 즉, 1) 재질변화, 강도 2) 치수, 형상 3) 치수의 정밀도 4) 표면상태 등이 그

(V: SLEEVE DISPLACEMENT)

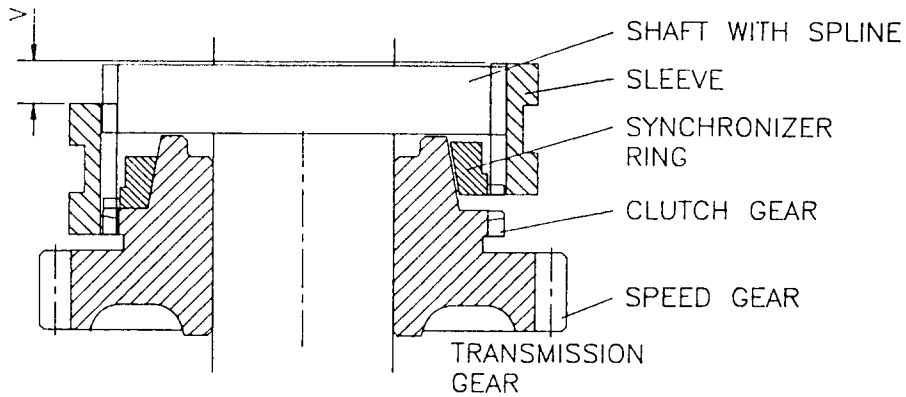


그림 1. 자동차 변속기어의 동력전달 기구

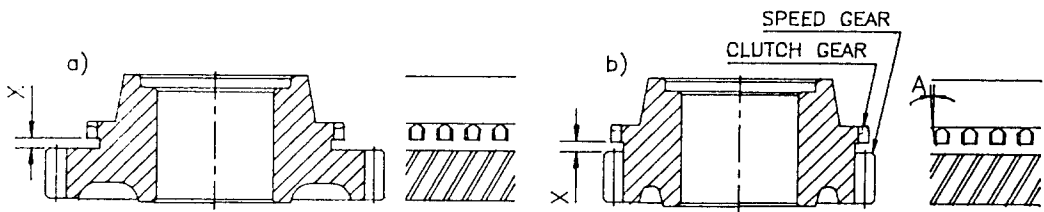


그림 2. 일체형 절삭가공에 의해 제조된 변속기어의 형상

그림 2에 보이는 변속기어는 전통적인 절삭가공에 의해 제조된 형태를 나타내고 있다. 이와 같은 제조방법은 가장 보편적으로 적용되고 있는 방법으로서 한가지 특성은 물림기어와 스피드기어 사이에 일정한 크기의 간극 ($X=3\sim 4\text{mm}$)이 존재한다는 점이다. 물림기어를 절삭하기 위해서는 절삭칩이 배출되거나 공구가 왕복할 수 있는 최소한의 공간이 필요하며 따라서 이 공간을 구성하기 위한 틈새가 존재해야 한다.

이러한 경우에는 다음과 같은 단점이 존재하게 된다.

- 1) 간극으로 인한 변속기어의 두께가 커지게 된다.
- 2) 스플라인의 유효 접촉길이가 작게 된다.
- 3) METAL FLOW의 단절로 인하여 강도가 취약하다.
- 4) 엔진 출력을 증대시킬 경우 변속기의 내구성이 떨어진다.

그림 3은 접합 형태의 변속기어를 보여주고 있다. 절삭공정으로 치면을 가공하는 경우의 단점 중 틈새를 없애기 위한 방법으로서 기어(스피드기어)본체와 클러치기어를 각각 따로따로 가공하여 마지막으로 조립하여 완제품을 제조하는 방법이다. 기어본체의 제작은 열간 또는 냉간단조로서 기어블랭크(Blank)를 가공하여 절삭가공

(치절가공) 및 연삭가공을 하는 것이 일반적이다. 클러치기어의 제작은 냉간단조로써 치형을 가공하기도 하며 냉간단조후 절삭가공으로 치형을 완성하기도 한다. 기어 본체와 클러치 기어를 조립하는 방법에는 두가지의 방법을 주로 사용한다. 첫째는 용접에 의한 방법으로 일체화 시키는 것으로 제품의 정밀도를 위하여 진공에서 행하는 전자 빔 용접(EBW:Electron Beam Welding)을 적용하는 방법이고, 두번째는 기어본체와 클러치기어의 접합부에 미리 스플라인을 가공하여 압입함으로써 일체화 시키는 방법이다. 이 방법에서는 그림 2에서와 같이 완전 절삭하는 방법과 비교하여 클러치기어와 스피드기어 사이의 틈새가 필요없게 되며, 따라서 슬리브의 스플라인과 접촉하는 치면의 접촉 유효길이를 길게 할수 있는 장점이 있으며 클러치 기어의 내구성이 상당히 향상 될 수 있다. 그러나 이 방법에서는 일체화를 위한 접합부를 위한 가공이 추가되는 단점이 있다. 즉, 비용이 많이 소요되는 전자 빔 용접을 적용하거나 절삭, 압입 해야 하는 공정이 추가 됨으로써 그림 2에서와 같은 절삭형태에 대한 경우보다 제조 비용이 상승하게 된다.

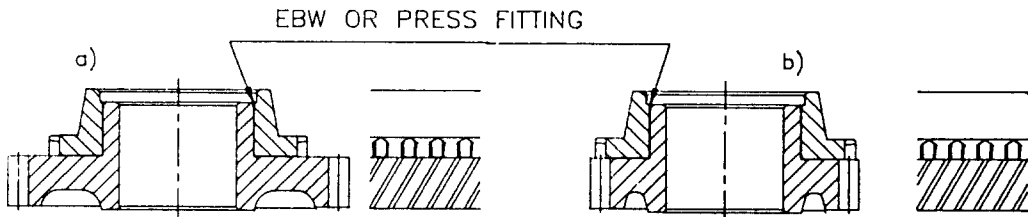


그림 3. 분리가공 및 접합에 의해 제조된 변속기어의 형상

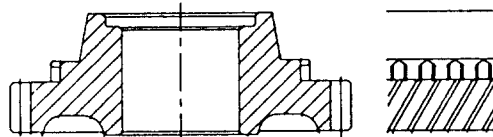


그림 4. 일체형 단조에 의해 제조된 변속기어의 형상

그림 4는 정밀단조에 의해 제조하는 역구배 기어 스플라인 붙이 일체형 변속기어를 보여 주고 있다. 이 경우는 단조공정만으로 역구배가 있는 스플라인 기어(클러치 기어)를 성형하여 클러치 기어부에 대한 추가 공정없이 스피드 기어의 치절가공만을 행하여 일체형 변속기어를 완성하는 방법이다. 단조성형 공정은 냉간단조로써 행하여 지기도 하지만 열간단조와 냉간단조를 조합한 복합단조를 적용하여 제조하는 것이 일반적인 방법이다. 하중이 적게 소요되는 장점을 이용하여 열간단조에서 제품과 근사한 형태로 예비성형을 한 다음에 냉간단조로써 사이징(Coining)공정을 적

용하여 클러치 기어의 치형부에 요구되는 정밀도를 유지하도록 성형하고 또 다른 공정으로 역구배 부분을 성형 함으로써 완성된 치형을 얻는 방법이다. 역구배 부분은 수직으로 움직이는 금형만으로는 성형이 불가능하므로 캠(Cam)을 이용하여 측면 즉, 반경방향에서 성형공구를 안쪽으로 움직이도록 하여 치형을 완성하는 경우가 많다.

이 경우, 다른 두가지 경우와 비교하여 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

1) 유효 스플라인 길이를 크게 할 수 있다. 일체형으로 제조되므로 클러치 기어와 스피드 기어 사이의 간극이 필요없으며 따라서 유효 스플라인 길이를 크게 할 수 있는 여유가 있다.

2) 스플라인 및 챔퍼부의 절삭공정이 제거되며 용접공정 등이 생략되어 제조비용이 크게 줄어든다.

3) 강도 및 내구성이 우수하다. 단조에 의한 단류선이 연결되어 있으므로 절삭가공품이나 분할접합품과 비교하여 강도가 크게 향상되고 피로 수명측면에서 월등히 우수하게 된다.(3~4배 증가)

4) 쉬프트 필링(Shift Feeling)이 우수하다. 절삭에 의한 가공에서는 챔퍼부의 가공면에 미소한 절삭흔적이 남게 되며, 이로 인하여 변속레버를 조작할 때 저항력이 커지게 되나 정밀 단조품에서는 이러한 저항력을 절반이하로 줄일 수 있게 되어 소비자 측면에서의 상품성이 향상 될 수 있다.

5) 설계의 변경이 자유롭다. 자동차용 변속기어의 가공설비는 대부분 전용기를 사용하며 이에따라 역구배 각도나 챔퍼부의 각도를 바꾸는 등의 설계 변경이 용이하지 않으나 정밀단조로 치형을 완성하는 경우에는 금형의 형상만 변경시키면 되므로 설계상 또는 제작상의 여러가지 제한점을 극복할 수 있다.

6) 표면조도를 우수하게 할 수 있다. 절삭가공에서는 절흔이 남게 되나 단조에서는 금형의 면조도를 향상시켜 제품의 표면조도를 우수하게 할 수 있다.

7) 챔퍼부의 가공이나 역구배 형상 가공을 위한 다수의 전용설비들을 제거할 수 있으며 공장의 면적을 축소시킬 수 있고 제조비용을 절감할 수 있다.

8) 품질상의 불량요인을 제거할 수 있다. 챔퍼 선단부의 위치 변화나 버(Burr)등이 생기는 것을 없앨 수 있으며, 부분적 미가공으로 인한 기타의 가공불량 요인이 제거된다.

3. 변속기어의 단조사례

3.1 클러치 기어의 단조사례

그림 3에서와 같이 기어 본체 및 클러치 기어를 각각 따로따로 제작하여 일체형으로 결합하는 경우에 기어 본체는 열간단조로 기어 블랭크를 제작한 뒤 선삭가공 및 기어 절삭을 통하여 제조되나 클러치 기어는 냉간단조로 제작하는 것이 제조비용 또는 강도 측면에서 유리하다. 그림 5에 클러치 기어의 단조사례^[2]를 나타내었다. 클러치 기어의 내경과 동일한 내경을 갖는 링(Ring)형태의 소재로 부터 완제품을 성형하는 방법인데, 제 1 공정에서는 압출 형태의 공정을 적용시켜 치형의 선단부에 있

는 챔퍼부를 성형하고 또한 인벌류우트 스플라인(Involute Spline)치형을 성형한다. 제 2 공정에서는 트리밍에 의해 필요없는 부분을 제거하고 제 3 공정에서는 역구배 형상을 성형한다. 역구배 형상은 경사진 치형을 갖는 금형속으로 소재를 밀어 넣음으로써 성형된다.

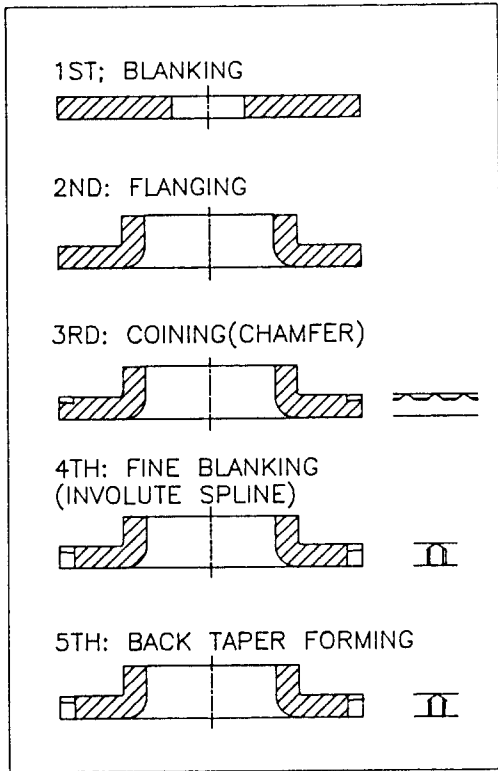


그림 5. 냉간단조에 의한 클러치 기어의 가공흐름도

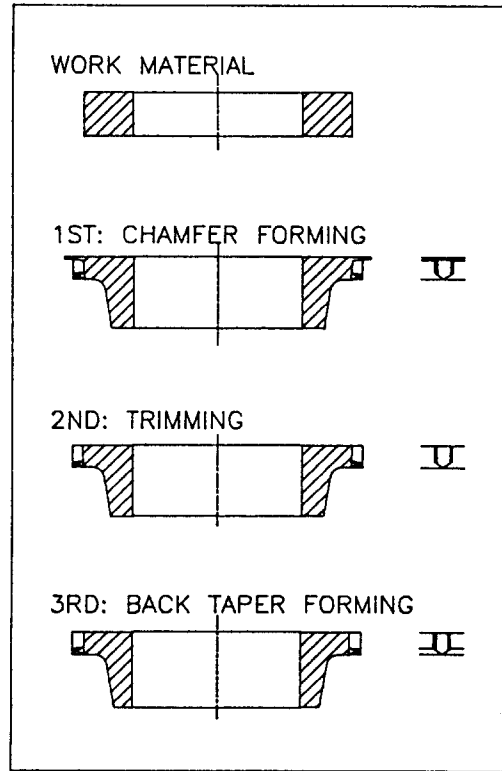


그림 6. 판재가공에 의한 클러치 기어의 가공흐름도

그림 6은 클러치 기어 제조방법의 또 다른 예^[3]를 보여 주고 있다. 일반적으로 단조는 봉상의 소재를 사용하는 경우가 많으나, 이 경우는 판상의 소재를 사용한 예를 보여주고 있는데 여기서는 단조 이외에도 파인 블랭킹(Fine Blanking)공정이 적용된다. 제 1 공정은 금속 평판으로부터 내외경부를 갖는 원판상 소재를 블랭킹 또는 파인 블랭킹으로 제작하는 공정이다. 제 2 공정에서는 내경부에 플랜지를 성형하며 제 3 공정에서는 외경부에 중심축과 평행하게 코이닝(Coining)하여 챔퍼부를 성형한다. 다음에 4번째 공정에서 인벌류우트 치형을 만드는데 여기서는 파인 블랭킹 공정이 적용된다. 금형의 상형과 하형에 각각 암수의 치형을 갖는 절삭날을 부착하여 파인 블랭킹 가공을 하며 인접한 챔퍼부 사이에 축방향과 평행한 치면을 형성한다. 앞 공정에서 형성된 불필요한 부분이나 버(Burr)가 형성되어 있으면 이 공정에서 전

단재거 된다. 이때 형성된 치면은 모두 중심축에 대하여 평행하므로 제 5 공정에서 역구배 성형을 하여 클러치 기어의 제조공정을 완료한다.

3.2 일체형 변속기어의 단조사례

일체형 변속기어는 냉간단조로 행해지는 사례도 있으나 이는 제품의 사이즈(Size)에 제한을 많이 받게 되므로 열간단조와 냉간단조를 적절히 조합하는 복합단조의 적용이 합리적인 경우가 많다. 그리고 이때에는 역구배 치형의 성형방법이 주목을 받고 있다.

그림 7에 일체형 변속기어의 단조사례를 나타내었다. 열간단조에서는 보통의 열

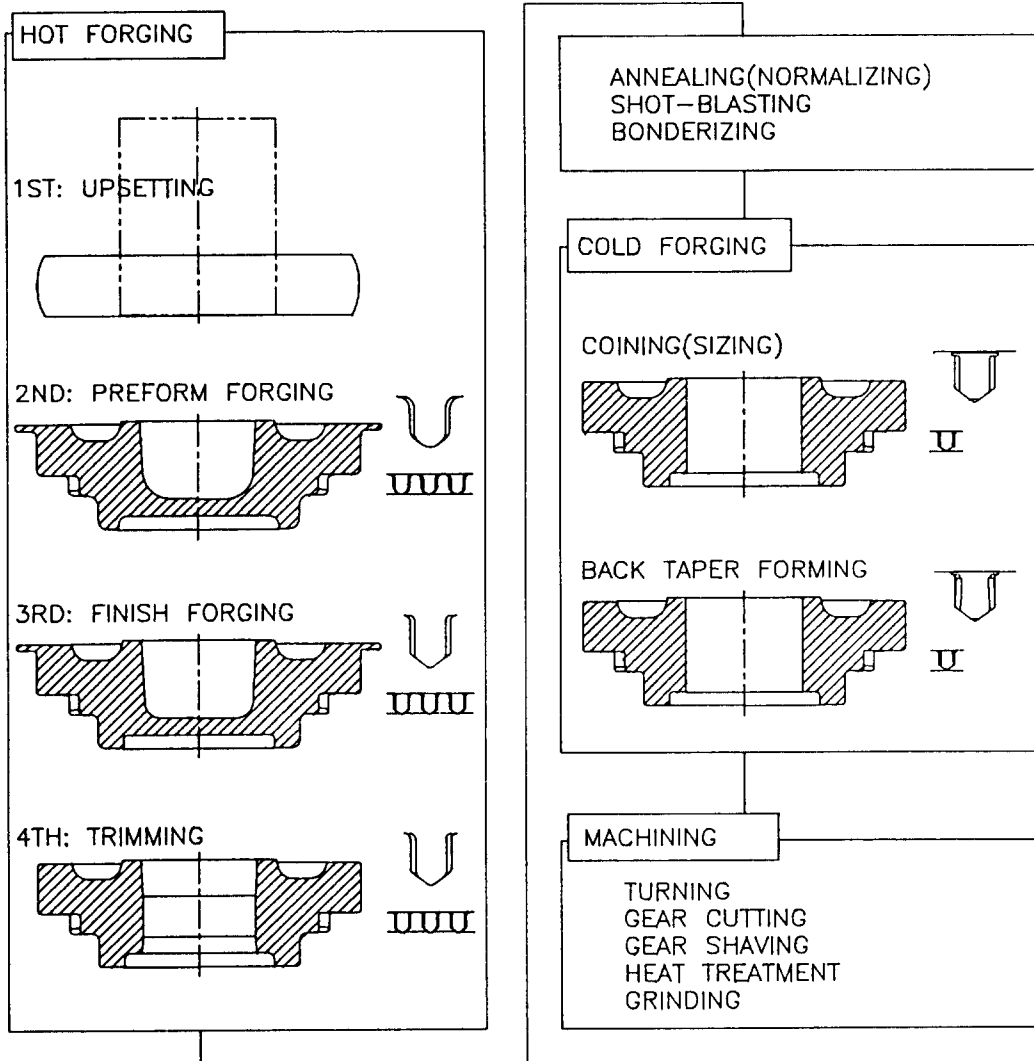


그림 7. 복합단조에 의한 일체형 변속기어의 가공흐름도

간단조와 마찬가지로 4공정으로 진행된다. 즉 원형 단면의 소재를 엷셋팅(Upsetting)하여 블로커 다이(Blocker Die)로 부터 예비성형(Preform Forging)을 한 뒤, 피니셔 금형(Finisher Die)으로 열간단조에서의 필요형상을 완성하여 트리밍(Trimming) 가공으로 불필요한 부분을 전단제거 한다. 열간단조에서 구현할 수 있는 치수의 정도는 금형의 마모나 단조중의 산화 등과 같은 요인들 때문에 제약을 받게 되므로 냉간단조 공정이 추가 된다. 냉간단조에서는 철편부 및 치형의 정밀도를 위한 사이징(Coining) 공정과 축방향으로 평행한 치면에 경사를 주기 위한 역구배 성형이 적용된다.

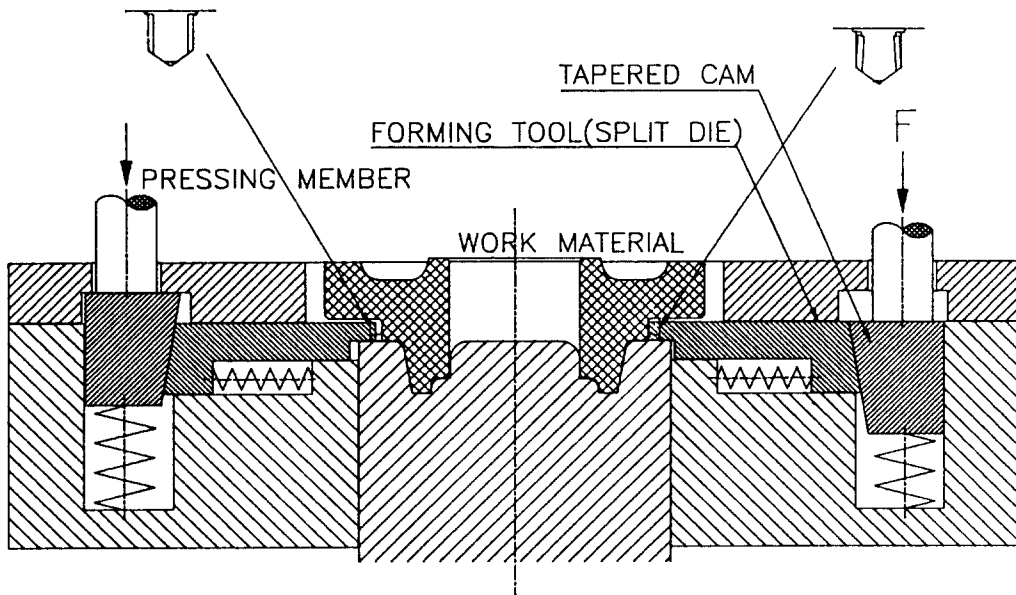


그림 8. 역구배 단조사례의 성형장치 모식도

그림 8은 역구배 성형장치의 한 예^[4]를 보이고 있다. 역구배 성형을 위한 가공법은 여러가지가 있으나 여기서는 캠(Cam)을 이용한 단조사례를 보여주고 있다. 즉, 프레스의 램(Ram)이 하강하면 가압부재가 하강하게 되며 안쪽에 경사진 안내면을 가진 캠펀치가 하강하여 역구배 치형을 가진 성형 핀(Forming Tool)을 방사선 방향의 안쪽으로 오무라들게 하여 치형을 완성한다.

복합단조를 적용하여 일체형 변속기어를 제조하는 데에는 다음과 같은 주의점이 있다.

- 1) 재료 절단시 부피의 정확성이 확보 되어야 한다.
- 2) 가열 및 열간단조 공정 중의 산화 스케일을 최소한으로 억제하여야 한다.
- 3) 열간단조후의 쇼트 블러스트(Shot Blast)공정에서 볼(Ball)의 크기가 작아야 한다.
- 4) 스피드기어의 중심축과 스플라인의 중심축이 일치되도록 가공하여야 한다.

3.3 기어 단조품의 품질특성

그림 9는 복합단조에 의해 제조된 변속기어의 예를 보여주고 있으며, 표 1은 이 기어 측정치의 예^[1]를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 기어 스플라인의 정밀도는 KS규격에 의거 5급 정도의 등급을 유지하고 있으며 단조 상태로 제품화 하는데 충분한 품질상태를 유지하고 있다. 단조품의 또 한가지 특징은 강도와 우수성인데 일반적으로 단조된 기어의 내구성은 피로수명 측면에서 약 3배 내지 4배 정도 증가되는 것으로 알려져 있다.^[5]

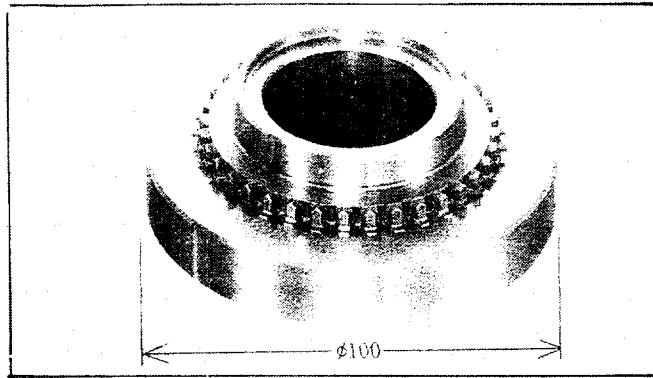


그림 9. 일체형 단조에 의해 제조된 변속기어 사진(예)

표 1. 일체형 단조에 의해 제조된 기어의 측정치(사례)

구 분	규 격	측 정 치				
		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5
치형오차	R	23	29	32	26	23
	L	20	30	27	28	20
누적피치오차	200 μ m이하	57	64	59	70	64
치홈의 흔들림	100 μ m이하	54	64	59	70	64
역구배 각도	R	3° 58′	3° 59′	3° 55′	3° 50′	3° 48′
	L	3° 58′	3° 59′	3° 55′	3° 50′	3° 48′

4. 맺는 말

이상에서 변속기어의 형태 및 가공방법에 대한 흐름을 소개 하였으며 특허기술을 중심으로 한 단조사례를 열거 하였다. 변속기어 뿐만 아니라 자동차의 다른 부품에

서도 단조품의 증가는 꾸준히 이루어지고 있으며 기어 부분에 있어서도 단조품에 대한 연구가 매우 활발해 지고 있다. 단조에 있어 지금까지는 열간단조품이 주종을 이루고 있었으나, 제조비용의 절감 및 차량중량의 경량화, 고강도화의 추세에 따라 정형가공을 위한 냉간단조의 중요성은 날로 더 인식되고 있으며 따라서 단조품의 정밀화를 실현하기 위한 많은 연구가 더 필요하다. 정밀단조에 영향을 주는 각종 요인들을 분석하고 제품화를 위한 종합적인 연구가 수행되어야 한다. 재료측면에서는 단조성 뿐 아니라 조직의 분포나 강도에 대해서도 매우 중요하게 인식해야 하며, 단조성형성을 위한 공정설계 및 금형설계 기술을 위해서도 많은 노력을 기울여야 한다. 또한 금형의 마모에 의한 수명을 개선개선하기 위하여 단조윤회에 대해서도 많은 연구가 있어야 하며, 금형재의 선정 및 금형의 표면처리 등에 대해서도 깊은 관심을 가져야 한다.

5. 참고문헌

1. 長谷川 平一, 逆勾配 スプライン 付き 一體 ギヤ の 開發, 鍛造技報, No.40, 1990
2. 吉川 雅則, スプライン ピース の 冷間 塑性 加工 方法, 日本 公開 特許 公報, 昭 61-92749, 1986
3. 田中 弘, 三谷 外二, 丸山 章, 牧本 文夫, 神谷 俊二, クラッチ ギヤ의 製造方法, 日本 公開 特許 公報, 昭58-120433, 1986
4. 金光 保, カム 型に よる 加工 裝置, 日本 公開 特許 公報, 平2-200341, 1990
5. D.M.Rupp, Hannver, 鍛造品 品質 利点, 鍛造技報, 増7,1983