자동차 부품을 위한 정밀단조의 응용

박 종 수

(소재성형실 책임연구원)

'72 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업
'74 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업(석사)
'82 미국 Polytechnic Institute of New York 금속공학과 졸업(박사)
'82－'85 Gould / Clevite Co. Staff Engineer
'85－'88 Wyman-Gordon Co. 선임연구원
'88－현재 한국기계연구소 책임연구원

이 정 환

(소재성형실 선임연구원)

'80 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업
'82 연세대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사)
'82－현재 한국기계연구소 선임연구원

1. 서 론

일반적으로 보통급 단조품은 단조후 절삭·연삭·방전가공 및 마찰용접·확산 접합등의 마무리 가공을 행하고 있다. 그러나 모든 분야에서도 기술혁신이 진행되고 있는 실정에 맞추어 단조 기술에서도 자원의 절약, energy 절감, 고효율화, 경량화 등의 요구에 따라 마무리 가공을 수반하지 않고 완성품 그대로 단조하는 정밀단조가 개발되었다. 정밀단조의 개념은 완전히 새로운 개념으로 볼 수는 없다. 2차세계대전중에 오늘날 정밀단조로 구분될 수 있는 부품을 제조하기 시작하였으며, 그이후로 "no draft" 단조, "pressings", "net" 단조 등의 여러가지 이름으로 불리워져 오던 것을 미국 FIA (Forging Industry Association)에서 용어의 표준화를 위해서 정밀단조의 정의를 내렸다. FIA 정의에 따르면 "정밀단조는 공차, draft angle, web과 rib의 비, 기타 제품 요구조건 등이 보통급 단조에 적용하는 설계기준을 넘어서는 단조"라고 정의하였다. 정밀의 의미는 일차적으로 가공품의 치수 정도를 말하지만 제품의 용도에 따라 필요한 정도는 다르기 때문에 절대적 개념이 아니라 목적과 시대에 따라 변화하는 상대적 개념으로 보는 것이 타당하다.

일반적으로 정밀단조는 복잡한 형상의 제품을 단조하여 마무리 가공없이 사용 가능하도록 하는 고정도의 단조라고 이해하면 무리가 없다. 정밀단조의 장점은 기계가공의 생략으로 재료의 손실을 방지하고 합리적 가격으로 제품을 수요자에게 제공할 수 있으며, 제품의 경량화와 고품질화에 기여할 수 있다.

표1) 자동차 대당 단조품 소요량

(단위 : kg)

차종 \ 구분		자동차 part별 소요량					
		Engine	T/M	Diff.	Steering	Propeller	계
승용차	후륜	36.9	26.2	15.5	5.1	15.1	98.8
	전륜	10.8	16.8	8.2	8.0	—	43.8
소형차	승합	37.9	26.2	15.5	5.1	15.1	99.8
	화물	37.9	26.2	15.5	36.4	15.1	131.1
대형차		136.8	89.3	83.6	141	89.9	540.6

표2) 연도별 국내 단조품 소요량 예측

(단위 : ton)

구분 \ 년도별		'89	'90	'91	'92	'93
승 용	후륜	13,239	7,845	12,024	15,462	18,970
	전륜	48,049	59,743	76,781	90,797	106,609
	소계	61,288	67,588	88,805	106,259	125,579
소 형	승합	9,002	11,108	15,289	17,106	19,711
	화물	24,227	26,836	30,297	34,296	39,435
	소계	33,229	37,944	45,586	51,402	59,146
대 형 차		27,571	30,111	34,815	39,356	45,248
계		122,088	135,643	169,206	197,017	229,973

2. 국내외 현황

자동차에는 많은 단조품이 사용되기 때문에 자동차 산업과 단조품 업계는 밀접한 관계가 있어, 단조기술도 자동차의 발전과 더불어 기술개발이 이루어지고 있다. 국내의 경우 급격하게 진행된 원화절상으로 자동차의 수출 환경이 까다로와지고, 국내 자동차 업계간의 경쟁도 치열하게 되면서 자동차용의 단조품에 대해서도 원가절감뿐 아니라, 모델 변경에 따른 새로운 특성을 만족시키기 위해 많은 경쟁을 하고 있다. 표1은 자동차의 part별 단조품의 소요량을 나타내고 있으며, 표2는 국내 자동차 업계의 생산 계획을 참고로 하여 연도별 단조품 소요량을 예측하여 보았다.

일본의 경우도 자동차 부품을 대상으로한 철강재료의 정밀단조가 중심이 되어 현재는 항공기 기체 부품을 대상으로 단조기술의 진보가 이루어지고 있다. 표3은 단조품 수요 부문의 생산 실적의 추이를 나타내고 있다.

표3) 단조품 수요 부문별 생산 실적의 추이

(단위 : ton)

연 도	자동차용	합 계	자동차용의 점유율
1985년	1,029,522	1,696,322	60.69%
1986년	1,105,112	1,729,686	63.89%
1987년	1,148,580	1,791,298	64.12%

자료)일본 통산성 "기계통계"

미국의 경우는 단조 설비의 개발과 단조 재료의

고급화 추진으로 대형화 및 고정도화를 꾀하고 있으며, 정밀 단조의 경우는 항공기 산업의 동향과 깊은 관계를 맺고 있으며 자동차 부품 및 전기제품 등에도 많이 활용되고 있다.

3. 정밀 단조품의 특징

정밀 단조품의 제조 공정은 일반의 단조품과 같은 공정이지만 우수한 정밀 단조품을 생산하기 위해서는 그림1과 같이 관련 기술의 종합적인 기술진보와 조화있는 기술개발이 되어야만 한다.

그림2에는 단조에 있어서 정밀화의 필연적인 요인을 나타낸 것으로, 정밀단조가 최근의 단조품의 요구를 충족시키는 중심적 기술임을 알 수 있다[1]. 단조품의 일체화 및 복잡 형상화는 절삭 및 연삭가공을 줄일 수 있으며, 경량으로 고강도를 얻기 위해서는 metal flow가 기계 가공에 의해 재료 표면에서 끊어지는 보통급 단조품에 비해 형분

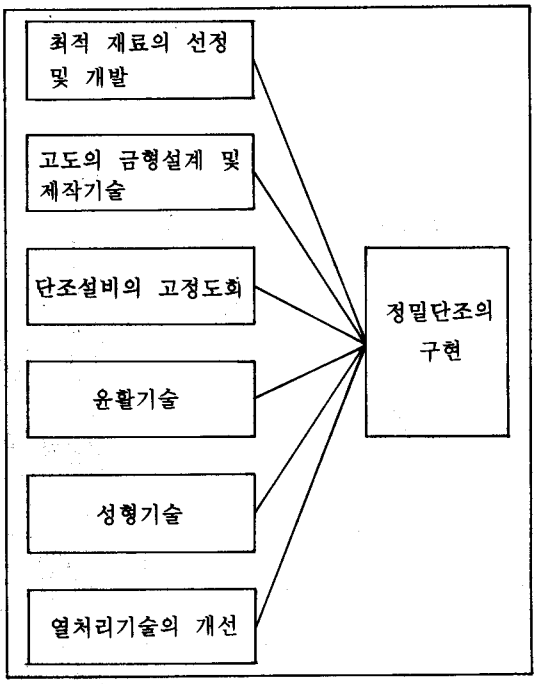


그림1) 정밀단조의 관련기술

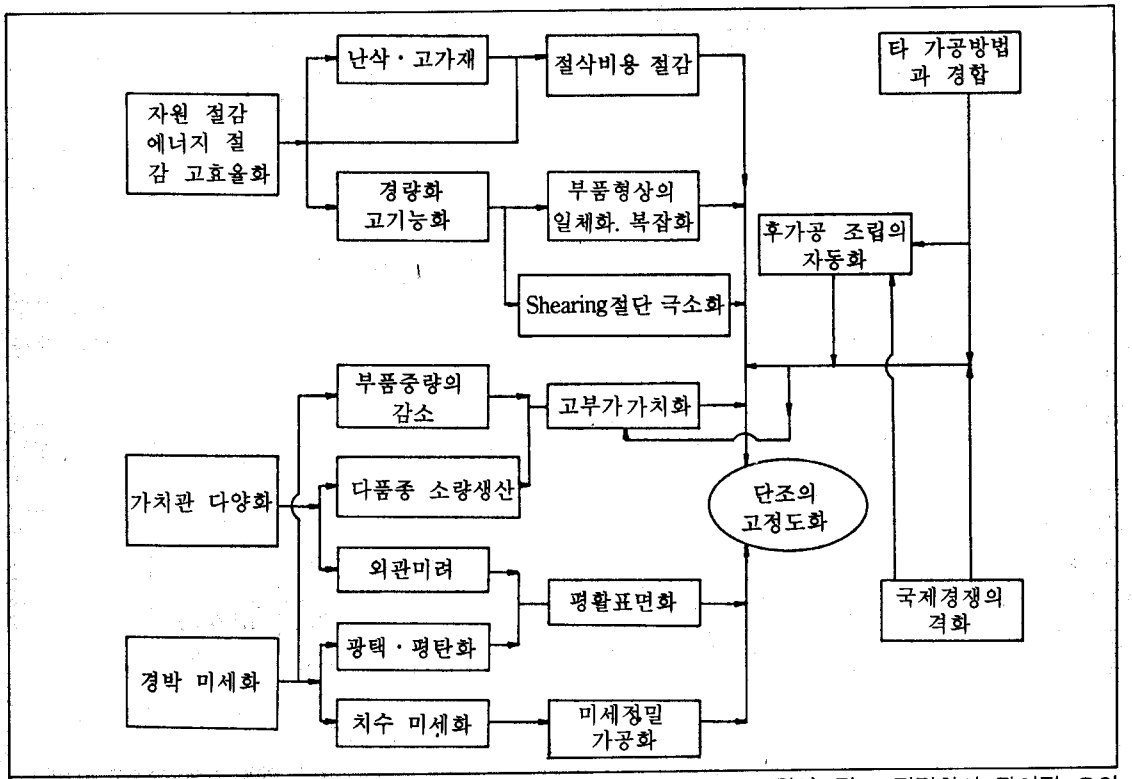


그림2) 단조 정밀화의 필연적 요인

할선을 잘 설계함으로써 metal flow를 형상을 따라 만들어 주면 제품의 기계적 성질, 피로강도, 내응력 부식 균열을 개선할 수 있다. 또한 마무리 가공을 하지 않고 단조품 그대로 사용하기 때문에 표면의 상태가 양호하여야 하며 자동화를 위해서 작업 조건을 일정하게 함으로써 고정도를 유지할 수 있다.

이와같이 정밀단조는 기계가공비 부담의 절감, 제조공정의 생략, 제조일정의 단축, 작업 인원의 삭감, flash 및 가공 scrap의 최소화에 기인한 재료비의 절감등과 같은 장점이 있으며, 이러한 장점을 살리기 위해서는 정밀단조 설계시에 금형 제작비·제조수량·최종사용 상태에서의 형상, 요구 공차의 검토 등이 충분히 이루어져야만 한다. 정밀단조는 사용하는 재료를 성형할 때의 온도에 따라 냉간단조, 온간단조, 열간정밀단조로 구분되며, 그리고 사용하는 단조기계에 따라 여러가지 단조 방법이 있다. 표4에는 열간단조까지 포함한 4종류의 단조방법을 비교한 것이며, 표5는 각각의 단조 공정에 따른 특징을 나타내었다.

표4) 단조공법의 비교

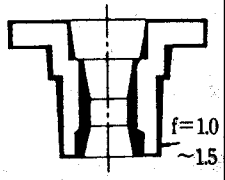
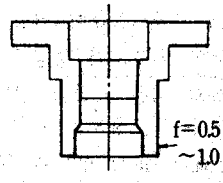
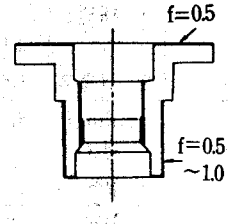
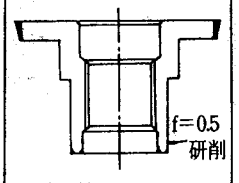
		열간단조	열간 정밀단조	온간단조	냉간단조
온도(℃)		1150~1250	950~1100	400~900	상 온
정도 (mm)	두께	±0.5~+1.5 −0.5	±0.25~+1.0 −0.3	±0.25~+0.5 −0.2	±0.01~±0.3
	폭 내외경	±0.5~+1.5 −0.5	±0.25~+1.0 −0.3	±0.20~±0.4	
Draft		External 3°~ 7° Internal 7°~10°	0~2°	0	0
금형수명		7,000~10,000	3,000~10,000	10,000~20,000	20,000~50,000
제품단가에 대한금형비		5~8%	7~12%	6~9%	3~5%
약도에 의한 단조공법 비교		 —부는 절삭을 표시 2) 투입중량 : 1.4kg 2) 제품중량 : 1.0kg 3) 완제품/원재료비 : 71.4% 4) Draft : 5~7°	 —부는 절삭을 표시 1) 투입중량 : 0.85kg 2) 제품중량 : 0.80kg 3) 완제품/원재료비 : 94% 4) Draft : 0~1°	 —부는 절삭을 표시 1) 투입중량 : 0.80kg 2) 제품중량 : 0.75kg 3) 완제품/원재료비 : 94% 4) Draft : 0~1°	 —부는 절삭을 표시 1) 투입중량 : 0.80kg 2) 제품중량 : 0.73kg 3) 완제품/원재료비 : 91% 4) Draft : 0

표5) 정밀단조의 공정별 특징 [2]

Item	Hot	Warm	Cold
Billet control	Volume	Volume	Shape and volume
Billet preparation	None	Preheat lubricant dip	Anneal clean & lubricant dip
Die lubrication	Spray	Spray	Generally
Billet heating	Atmosphere control	Induction	None
Suitable machines	Mechanical, hydraulic, screw press short dwell		Mechanical hydraulic screw presses
Multi-stage operations	In press mechanisation for consistency		In press handling for productivity
Post forging	Cool in protective atmosphere	Air cool	—
Tools	Hot work steels	Hot work & H.S. steels	Cold work steels
Accuracy shape dependent	Machining standards	Good machining standards	High machining standards
	Improved by cold coining		

4. 정밀단조품의 형상 및 치수공차

4.1. 형상공차

정밀단조품의 주요 형상 요소의 특징은 표6과 같다.

표6) 형상공차 및 특징

형상요소	특 징
Draft	· 외면 0° · 내면1°(단조 작업시 온도 저하에 의해 수축이 됨에 따라 금형으로 부터 취출이 가능하기 위함) · 금형과 단조품의 온도차가 없을수록 Draft는 작게함.
Rib	· Rib 높이와 폭의 비는 보통급 단조에서는 6 : 1 정도이며 정밀 단조에서는 약 20 : 1 정도도 가능 · Rib 높이는 corner, fillet 형상에 영향을 많이 받음
Web	· Web의 두께가 얇을수록 단조 압력이 커지며 단조 회수도 많아짐. · Web을 얇게하기 위해서는 윤활이 양호하고 단조온도 관리가 철저해야 함. · Web이 너무 얇으면 단조시에 냉각되어 단조가 곤란하며 변형을 발생시켜 치수 정도의 유지가 곤란함.
Corner 반경, fillet 반경	· 반경이 너무 작으면 금형에 응력 집중이 발생하여 금형 마모의 위험이 크게됨. · 금형내에 소재가 흐르지 않아 단조 결함 발생

4.2. 치수공차

정밀단조품의 치수는 그림3과 같이 제조설비·제품의 종류 및 형상에 의해 영향을 받고, 정밀도는 단조 설비의 기본적인 특성·금형의 제작오차·단조작업 상황에 의해 변화할 수 있다. 치수공차를 엄격히 하는 것은 제품 가격의 상승과 직결되는 것으로, 경제적으로 고려할 경우 허용되는 부분에 대해서는 공차를 완화시키고, 반면에 기계 가공이 곤란한 것은 가능한한 공차를 엄격히 하여준다. 정밀단조품의 설계 및 제조시에는 제품의 최종 사용 상태에서 기능, 형상 (기계가공을 필요로 하는 경우는 가공후의 형상)을 충분히 파악하여 단조금형의 설계·단조방법·치수 정도의 설정을 효과적으로 하는 것이 중요하다. 표7에는 정밀단조품의 일반적인 치수 공차를 나타내었다.

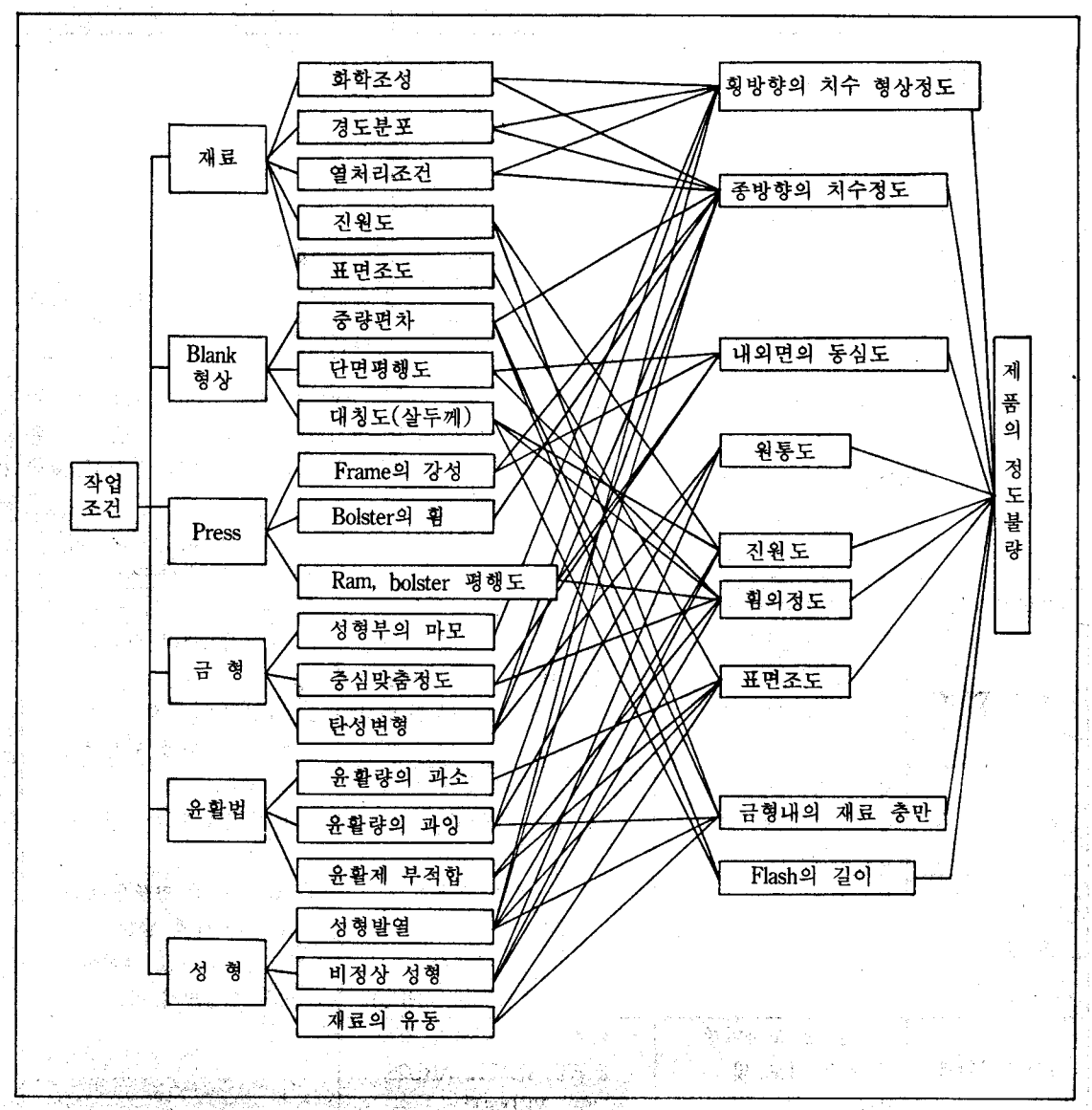


그림3) 단조제품 치수정도의 영향요인 [1]

표7) 정밀단조의 치수공차

종 류		공차범위 (mm)	비 고
길이·폭·높이·두께		+ 0.6 − 0.3	254mm를 초과할 경우 공차는 + 0.004mm/mm더함 − 0.002
단 차		± 0.25	Fillet과 corner 반경의 접속점 기준
벽 두 께		+ 0.6 − 0.3	−
상·하형의 어긋남		0.4	−
각 도		± 0° 30′	도면상의 모든각도
Draft	외 면	0° + 30′ − 0′	−
	내 면	1° + 30′ − 1° 0′	−
Fillet 반경		± 1.6	−
Corner 반경		+ 0.8	−
진 직 도		± 0.5	폭길이가 229mm마다 ± 0.5mm 더함
Burr		≤0.8	Flash 제거후

5. 정밀 단조품의 제조

5.1. 단조 press

정밀단조에는 유압press와 mechanical press가 많이 사용된다. 유압press는 가압속도·가압시간의 조절이 가능하므로 얇은 rib-web의 성형이 요구

표8) 정밀단조용 금형 재료의 동향

단조방식의 분류	금형마모의 특징	금형재료의 동향*	열처리 및 금형재 제조기술
냉 간 단 조	충격을 수반하는 고응력 가공에 의한 마모 및 균열	· 표준형 H.S.S.(SKH 51) · 분말 H.S.S.(HAP 10, 40, 72) · 고소입성 H.S.S.(AHS 43, 48) · 초경합금	(1) 진공열처리의 적용확대 (2) 표면처리의 적용확대 ◦ 경질탄화물 피복처리 (냉간) ◦ 이온질화 (온·열간) (3) 금형 수명 향상을 위한 열처리기술의 발달 (소입냉각 속도 제어에 의한 인성향상 등)
온 간 단 조	열간단조에 비해 변형저항의 증대로 인한 마모 및 균열	· 고경도 열간 공구강 (MDC-K3, YXR3)	
열간정밀단조	치수공차의 엄격함에 따른 금형의 조기마모 및 균열	· 고경도 열간 공구강 (MDC-K3) · 고열간 강도공구강 (MDC-K, YEM-K, AHD26)	
고속열간단조	강수냉 및 고사이클에 의한 마모 및 균열	· 내열충격성 고열간 강도 공구강 (YEM-K, AHD26, YHD26)	

* 금형 재료의 동향은 일본 히다찌 금속을 예로 들었음.

되는 정밀 단조품에는 가압속도와 시간의 조절에 따라 금형 내로의 재료의 흐름을 양호하게 할 수 있다. 특히 큰 단조 압력을 필요로 하는 대형품의 경우 가압시간을 길게함으로써 재료의 변형을 유도하여 가압력의 부족을 보완할 수 있으나, 단점으로는 crank press등에 비해서 가압속도가 늦은 것이 큰 결점이다. 제품의 정도와 관련된 press의 특성으로는 press의 강성이 있는데 강성이 높고, 부하시의 press의 탄성 변형이 적으면 재료체적·단조온도의 변동에 따라 단조품의 두께 변화가 적게 된다.

5.2. 금 형

5.2.1. 금형재료

금형재료는 제품 정도와 금형 수명과 관련이 있으며, 경제적인 강종의 선정을 위해서는 금형재료의 가공성과 제조수량도 고려하여야 한다. 표8은 정밀단조용 금형재료의 동향을 나타내었다.

5.2.2. 금형설계

금형설계는 제품형상·설비능력·제조공정등에 의해 결정되지만 정밀 단조품으로서의 특징을 얻기 위해서는 금형과 제품의 열팽창 계수의 차이에 기인하는 치수변화·금형가공 상태·상형과 하형의 matching 등의 가공 정도등과 metal flow의 제어가 중요하다. 그림4는 금형 설계시의 flow chart를 나타내었다.

정밀단조품의 성능에 대한 요구중에서 중요한 것중의 하나가 metal flow의 제어로 flash와 금형 분할선의 위치 선정을 잘하여야 한다. Flash의 제어가 부적당할 경우에는 결육·말려들어감 등의 단조 결함이 발생하므로 flash의 형상과 크기를 결정하여 metal flow의 제어·단조 결함의 방지를 꾀하여야 한다.

금형 분할선의 위치 선정은 제품의 형상·작업성·기계가공의 난이등을 고려하되 제품 사용시 큰 하중을 받는 부분은 metal flow가 단속되지 않도록 하여야 한다. 또한 최근에는 computer를

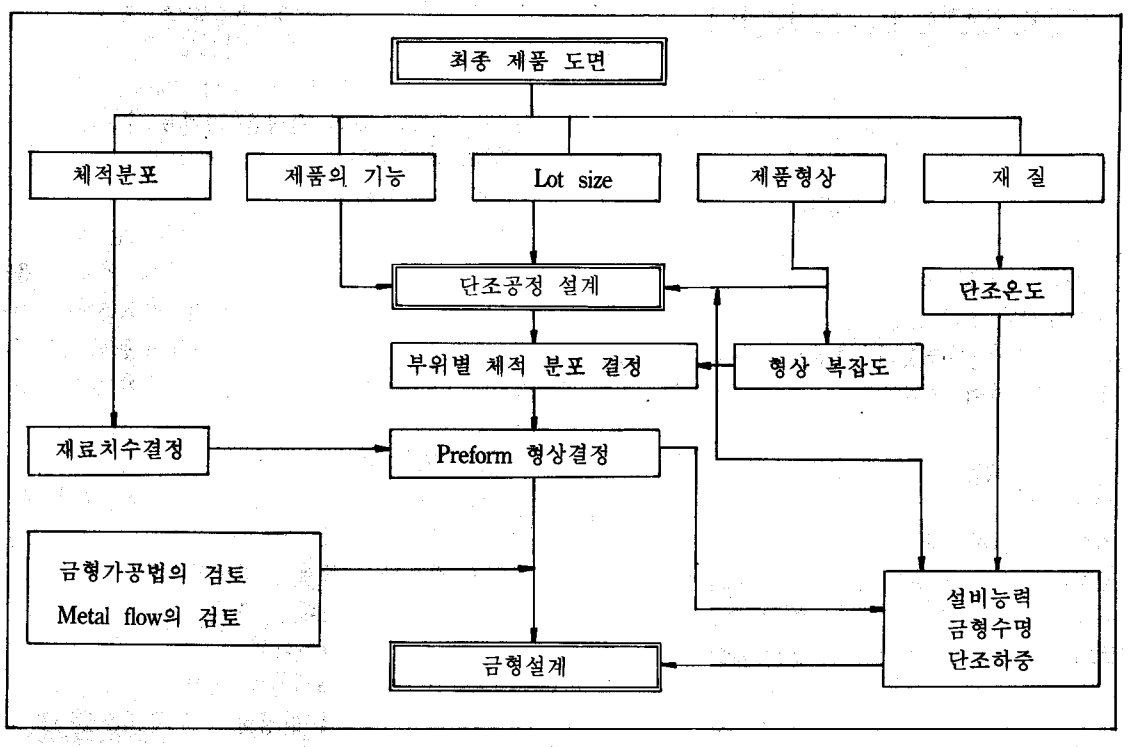


그림4) 단조금형설계 flow chart

이용한 CAD/CAM의 단조금형 설계 및 제작에 국내 단조업체들이 많은 관심을 갖고 있는데, 미국은 Battelle Columbus 연구소 중심으로 적용 확대를 하고 있고 일본에서는 표9, 10과 같이 이용을 하고 있다.

표9) 일본 단조업체의 CAD/CAM이용 상황 [3]

(회답 37개사)

	현재	금후	현재+금후	%
CAD	17개사	14개사	31개사	84
CAM	10개사	3개사	13개사	35

표10) CAD 이용 내용

(CAD 이용회사 17개사)

이 용 내 용	회 사 수	%
단조도 작성	10개사	59
금형도 작성	9개사	53
체적, 중량계산	9개사	53
강도 등 기술계산	8개사	47

(중복회답 포함)

6. 정밀단조의 경제성

정밀단조품은 기계 가공이 거의 불필요하고, 공정의 단축·재료 절약 등의 장점이 있기 때문에 보통급 단조품보다 저렴한 것이 일반적이지만, 제조 수량에 따라서는 제품 단가가 높을 수도 있다. 이어서 정밀 단조품의 경제성을 여러가지 측면에서 고찰하여 본다.

1) 정밀단조품의 강도와 경제성

정밀 단조품은 metal flow 방향의 강도가 우수한 것이 큰 특징이다. 주조품이나 기계가공품에 비해서는 두말할 나위도 없고 열간단조품도 마무리 기계가공에 의한 metal flow의 단속을 피할수가 없기 때문이다. 실제적으로 정밀단조에 의해 제작된 gear의 경우 기계 가공에 의해 제작된 gear에 비해 피로강도가 20~30% 향상되는 것으로 알려져 있는데, 그 이유는 치형을 따라 연속적인 metal flow와 단련에 의한 미세조직에 의한 것이다. 이와같이 정밀단조품의 metal flow를 활용함에 따라 강도를 향상시키고 그결과 제품의 중량경감을 실현할 수가 있다.

2) 부품의 일체화와 경제성

정밀단조는 복잡·정밀한 형상의 성형이 가능한 것이 장점 중의 하나이다. 자동차 부품중 복잡 형상의 제품은 제작상의 여러가지 문제 때문에 일체화가 곤란할 경우가 있다. 그러나 정밀단조로 부품을 일체화로 제작하면 많은 공수를 필요로 하는 조립 공정의 생략이 가능하다.

3) 에너지 및 소재 절감과 경제성

정밀열간 단조의 경우는 열을 가하는 공정이 많기 때문에 열 에너지의 절감을 검토할 필요가 있다. 첫째로 가열 공정수의 감소를 위하여 단조 공정 및 열처리 공정의 가열 횟수의 삭감이 필요하고, 둘째로 열효율의 향상, 세째로 원재료 투입에서 완제품까지의 소재 비율을 높임으로써 제조원가의 절감을 꾀할 수 있다. 실제로 ring gear의 경우 제조공정의 변경으로 약 8%의 재료 절감을 한 예가 보고되고 있다. 이로 인하여 약 19%의 작업 속도의 향상을 가져올 수 있다.

4) 정도향상과 경제성

정밀단조는 가공 압력이 크기 때문에 단조 press와 금형의 변형, 금형 마모등에 의해 제품 치수의 오차가 발생하지만, 이를 최소화하여 기계가공을 극소화시키거나, 냉간 coining등의 공정과 조합함으로써 정도 향상을 꾀하는 것이 필요하다.

5) 자동화와 경제성

정밀단조의 자동화 필요성은 다음과 같은 이유로 강조되고 있다.

- 작업자의 육체적 피로의 경감
- 노동력의 절대량 부족
- 작업자의 안전대책
- 작업속도, 생산성의 향상
- 작업 공정의 안정화
- 제품 품질의 안정 및 향상

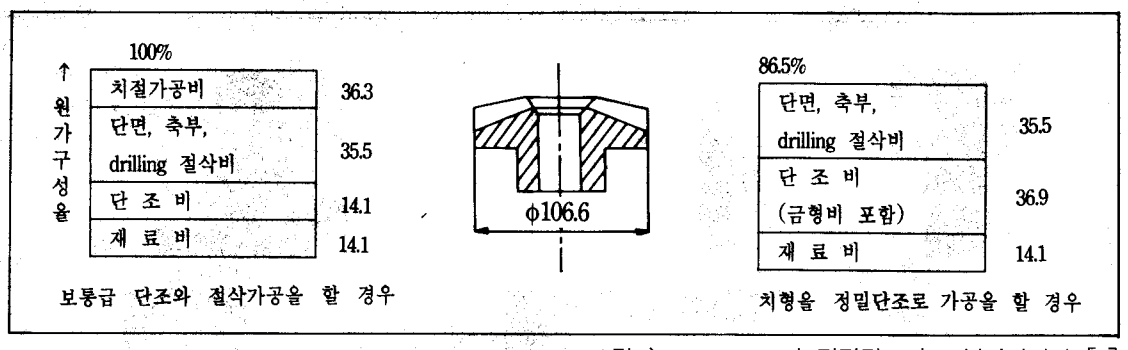


그림5) Bevel gear의 정밀단조시 고부가가치화 [4]

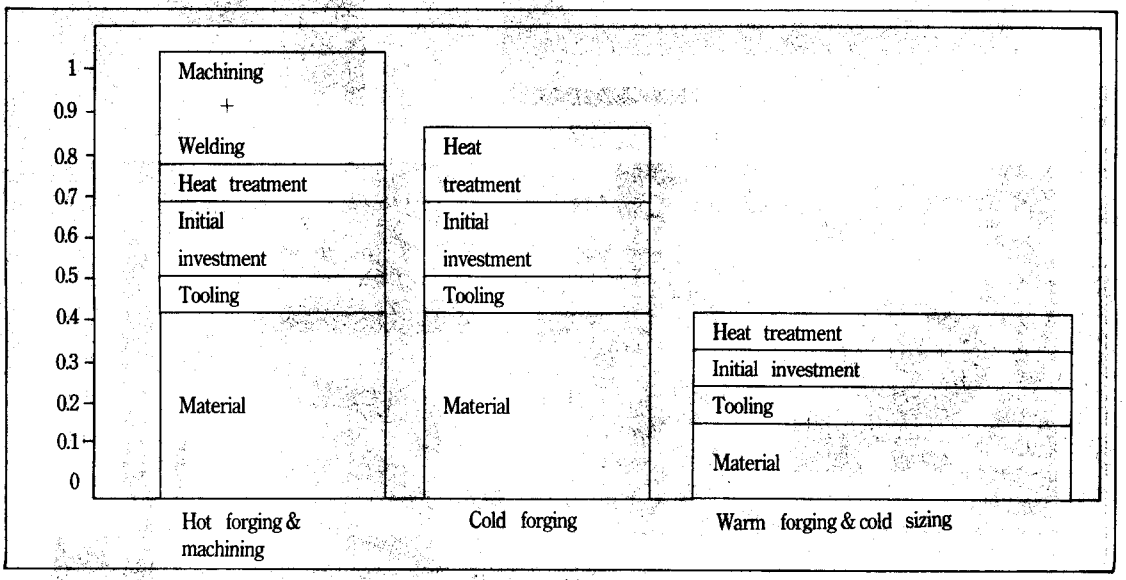


그림6) 등속죠인트 제조시 단조공정별 원가비교 [2]

그러나 정밀단조품은 형상의 복잡, 작업 공정의 복잡, 단조 설비의 구조상 문제등의 이유로 기술적인 문제가 남아 있다.

그림5와 그림6은 bevel gear와 동속죠인트에 있어서 경제성을 비교한 것이다.

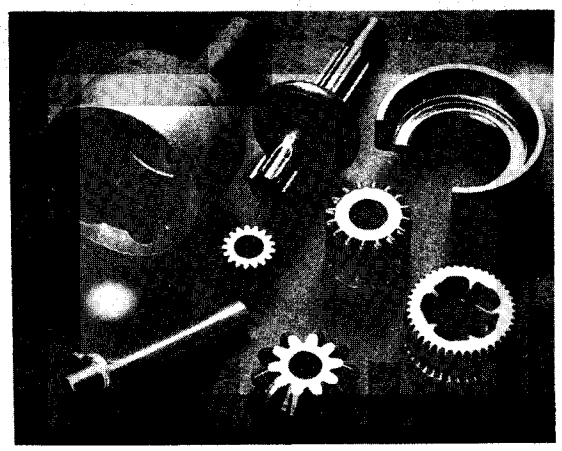
7. 맺음말

정밀단조 기술을 주제로 개요적인 측면에서 서술하였다. 단조의 정밀화가 필연적인 동향이지만 본질적으로 곤란한 많은 문제점이 있다는 것도 강조하였다. 결국 정밀화의 곤란한 문제는 단조품의 설계, 소재재료의 선택, 소재의 제조 공정 설계, 금형의 설계 및 제작, 윤활법의 선택, 가공설비의 선정, 가열 방법의 선택, 단조 후가공 및 후처리 등 총합적인 검토가 이루어져야 하고, 단조기술과 동시에 주변 기술의 발달도 수반되어야 한다고 생각한다. 마지막으로 정밀단조에 의해 제작된 제품의 응용예를 사진으로 나타내었다.

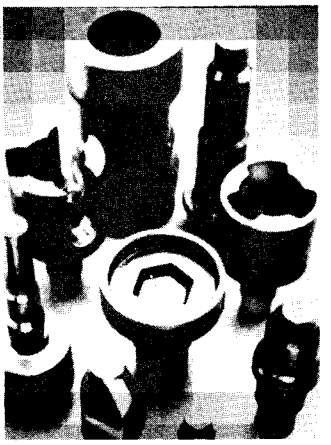
참고문헌

[1] 天野 富男, 최근의 정밀 단조와 금형의 기술적 과제, 형기술 3-6 (1988), pp. 17~21

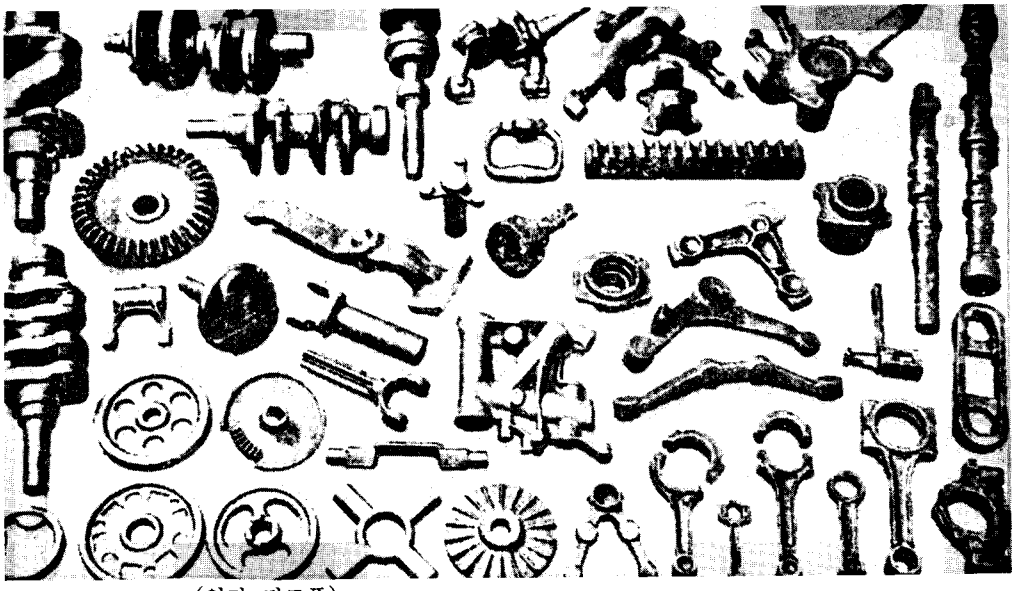
[2] T.A. Dean, Concepts 7 Practice in Precision For-



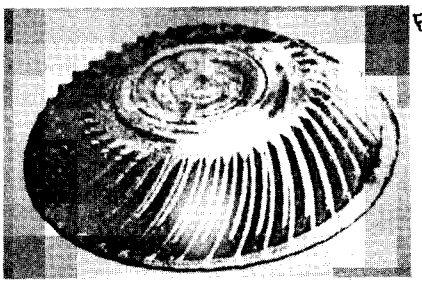
(냉간단조품)



(온간단조품)

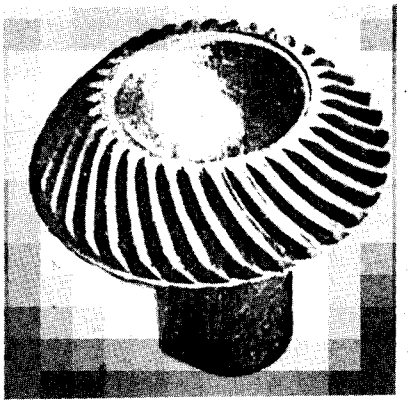


(열간 단조품)



단조기어

단조피니언



(Spiral Bevel Gear의 정밀 단조품)

ging International Cold Forging Congress 1986
[3] 河部 壽雄, CAD/CAM을 이용한 단조성형기술, 형기술 3-6(1988) pp34~37
[4] F. Dohmann, Grundlagen der Umformtechnik, Berichte Ifu, Univ. Stuttgrat, 2(1983) 75. p.179

◎ 토론토 산업제품 및 용접장비 박람회
〈TIPS/The Industrial Production Show/Canadian Welding Show〉

1) 개최기간(주기) : '90. 10. 9~12(격년)
2) 개최국(도시, 전시장명) : 카나다(토론토, Coliseum Complex Exhibition Place)
3) 전시면적 : 110,000 S/F
4) 전시품내용 : 공작기계, CAD/CAM, 로보트, 용접장비 기타 기계류 및 장비 전반
5) 성격 및 현황 : (후원)Fabricating & Manufacturing Assn,
American Metal Stamping Assn.
6) 주 최 : Industrial Trade & Consumer Shows Inc., 20 Butterick Road, Toronto, Ontaria, M8W 3Z8, Tel : 416/2527791, Tlx : 416/2529848

◎ 에센 과학기술 박람회
〈KOMMTECH/European Congress Fair for Technical Automation〉

1) 개최기간(주기) : '90. 6
2) 개최국(도시, 전시장명) : 서독(에센, Messegelande)
3) 전시면적 : 32,293 S/F
4) 전시품내용 : CIM, CAD/CAM, 자동화장비, 로보트, 센서장비, 사무실통신장비
5) 성격 및 현황 : 학술회의와 동시 개최
첨단과학분야 정보 소개
6) 주 최 : ONLINE GmbH, Kongresse und Messen fur Technische Kommunikation, Postfach 100866, 5620 Velbert 1, Tel : 02051/23071, Tlx : 8597500, Fax : 02051/21993