

미국 단조산업의 현황과 전망



박 종 진 (홍익대 기계공학과 교수)

- '76 서울대학교 공과대학 공업교육과(학사)
- '80 University of California Berkeley, 기계공학과 (석사)
- '82 University of California Berkeley, 기계공학과 (박사)
- '83-'91 미국 Battelle연구소 선임·수석 연구원
- '91-현 홍익대학교 공과대학 기계공학과 조교수

1. 1980년대의 단조산업

단조는 주로 기계부품이나 구조물의 요소를 생산하는 방법중의 한가지로써 소재에 압력을 가하여 원하는 기계적 성질과 형상의 제품을 만드는 기술을 말한다. 단조작업은 기본적으로 몇 종류로 구분할수 있으나 충격이나 압력을 가하여 소재의 소성변형을 유도한다는 공통점이 있다.

미국의 단조산업은 1983년도 총매상액이 약 50 억불 정도로 타산업에 비해 비교적 작은 편이고, 일반적으로 저기술의 산업으로 인식되어 왔다. 1980년대에 들어와서 단조업체는 단조품 수요자들의 대량생산과 고도의 기술요구에 초점을 맞추어서 경영 및 기술 개발에 전력을 다하고 있다. 단조품은 대부분의 경우, 일반사용자에게는 직접적으로 인식되지 않고 있으나, 일상생활에서 보는 많은 기계부품의 생산 기반 기술이다. 단조품은 항공기와 군수장비, 승용차, 트럭, 버스, 기차, 농기구와 건설장비, 천연가스와 원유생산 시설, 세탁기, 제초기, 공구에서 중요한 위치를 차지하고 있다.

단조업체의 분류, 단조품의 생산 및 출하현황, 단조업체의 투자방향은 다음과 같다.[1-4]

1.1. 단조업체의 분류

미국내에는 약 400여개의 단조공장이 있는데, 비교적 안정된 가격의 소량의 고급단조품, 또는 다량의 저급단조품의 생산으로 공장별 전문화가 되어가고 있다. 단조업체의 경기를 좌우하는 것은 주로 자동차, 항공기, 건설 및 농기계산업이다. 미국의 단조품은 가격별로 다음 세 부분으로 구

분할수 있다.

- (a) 자동차, 건설기계, 농업기계 등 중소기업체의 비교적 저가품의 단조품
- (b) 조선, 철도등 비교적 저가격의 단조품(\$ 10/1b 이하)
- (c) 항공기, 우주, 발전기 부문 등 고가격 단조품(\$ 10/1b)이상).

또한 단조공장은 타사에 판매를 주로하는 산업공장과 사내에서 사용하는 부품의 생산을 주로하는 자가공장으로 구분할수 있다. 자가공장의 대부분은 자동차 회사의 소유이다. 철강산업에서 경영하는 단조공장은 81년 이전에 대부분 폐쇄되었다. 단조공장중 85%가 철금속을 다루고 있는데 주로 오대호를 접하는 지역에 집중되어 있고, 비철금속의 단조회사는 주로 캘리포니아주에 자리잡고 있다. 단조산업의 고용자 수는 80년에 약 5만여명 이었으나 81년-85년 사이에 경기침체로 말미암아 약 9,500명의 고용자가 감소되었고 약 70여개의 단조공장이 폐쇄되었다. 반면 효과적인 경영개선, 시설투자과 기술연마로 인하여 원가 절감을 이룰수 있게 되어서 강력한 경쟁력을 확

보한 우량업체와 문을 닫는 폐쇄업체의 극단적인 양상을 보이고 있다. 현재 손꼽히고 있는 우량업체는 다음과 같다. Wyman Gordon(MA), Sifco Industries(OH), Kropp Forge(IL), Presrite Corp. (OH), AmForge(IL), Rockwell Int.(PA).

회사당 고용원수는 20인 이하가 전체의 약 60%를 점하고 있다. 단조공정 종류별로 분류한다면 다음과 같다. 열간 형단조-200사, 냉간 형단조-40사, 자유단조-80사~100사, 압연링 단조-25사

1.2. 단조품의 생산 및 출하현황

단조품의 출하량은 81년에 160만톤, 84년에 140만톤으로 4년간 약 13%감소하였는데 같은 기간중 알루미늄합금 단조품은 2%, 타금속 단조품은 10% 감소하였다. 비철금속 단조품에 대한 단강품(형단조품)의 감소가 상대적으로 저하된 것은 항공기부문을 포함한 국방지출의 증가에 기인한다. 단조품 출하액은 81년에 38억불에서 84년에 31억불로 약 18% 감소되었다. 파운드당 단조품의 가격은 82년을 고비로 해서 완만한 하강곡선을 나

표 1) 복미 형단조의 재질별 출하량, 출하액의 추이

재질별		1988		1989		1990	
		출하량 (톤)	출하액 (천달러)	출하량 (톤)	출하액 (천달러)	출하량 (톤)	출하액 (천달러)
철 계 단 조 품	탄 소 강	505,365	756,253	511,233	817,289	493,761	800,898
	일반합금강	368,312	840,490	372,808	871,939	356,592	893,683
	스테인레스	8,991	92,830	11,486	108,776	12,006	118,925
	소 계	882,668	1,689,573	895,527	1,798,004	862,359	1,813,506
비 철 계 단 조 품	알 루 미 늑	44,232	462,046	46,388	510,450	40,557	489,081
	티 탄	4,789	236,583	5,597	294,595	5,472	298,786
	황 동 · 동	23,907	140,181	21,592	145,446	20,887	137,223
	기타비철금속	186	4,342	219	5,679	393	9,015
	소 계	73,114	843,152	73,796	956,116	67,329	934,105
열간단조품		6,050	223,301	6,834	283,765	6,589	273,501
총 합 계		961,832	2,756,026	976,157	3,037,935	936,277	3,021,112

표 2) 북미 자유단조의 재질별 출하량, 출하액

재질별		1988		1989		1990	
		출하량 (톤)	출하액 (천달러)	출하량 (톤)	출하액 (천달러)	출하량 (톤)	출하액 (천달러)
철 계 단 조 품	탄 소 강	69,497	97,508	63,750	106,740	70,536	110,297
	일반합금강	171,134	390,555	194,444	434,303	208,223	456,075
	스테인레스	12,329	63,955	14,537	74,923	16,558	80,697
	공 구 강	20,787	35,429	19,193	37,185	17,775	35,924
	소 계	273,747	587,447	291,974	653,151	313,087	682,993
비 철 계 단 조 품	알 루 미 늬	9,084	49,176	10,456	55,087	8,686	49,564
	티 탄	754	24,620	713	24,050	521	17,709
	황 동 동	998	9,268	1,086	10,116	1,215	11,254
	기타비철금속	41	513	22	430	32	857
	소 계	10,877	83,577	12,277	89,683	10,454	79,384
열간단조품		2,206	41,259	2,351	48,265	2,328	50,533
총 합 계		286,830	712,283	306,602	791,099	325,869	812,910

타내고 있다. 84년도 기준으로 단강품은 \$0.85/lb, 알루미늄합금은 \$4.75/lb, 타금속은 \$10/lb이다.

매상고의 수요 부문별 내용은 평균 항공기 41.8%, 자동차 25.8%, 건설 5.7%, 병기 5.4%, 배관기관 3.2%, 농업기계 3.1%, 기타로 구성되어 있다. 북미형단조품 및 자유단조품의 재질별 출하량과 출하액의 추이가 표 1과 표2에 보여지고 있다.

수요부문별 매상액으로는 일본의 경우와는 달리 항공우주분야(항공기 엔진부품, 구조부품, 미사일, 우주선 부품)등의 병기관계 부분이 제일 크다. 단강품 분야에 한하여는 단조 공업국 상위 10개국 이 전세계 생산량의 70%~80%를 차지하고 있다. 전세계 생산량은 81년-82년에 440만톤, 83년에 최저 수준을 기록하고, 84년에 소폭의 증가에도 불구하고 81년에 비해 떨어지고 있다.

일본은 세계 시장의 37%를 차지하여 자유국가 중에 제일의 생산량을 차지하고 있으며, 서독이 20%, 미국이 17%를 점하고 있다. 소련은 통계가 나와있지 않으나 세계적인 위치일 것으로 추정하고 있다. 미국의 주요 강단조품으로는 크랭크 샤프트, 커넥팅 로드, 차량의 언더부품, 액슬 및 스프링, 스티어링 아암, 벨브, 조인트와 플랜지,

동력전달장치, 후크와 로터, 터빈로터와 기타 발전기 부품등이다.

수년간 계속되어 오는 미국 단조산업의 침체는 큰 이유가 수입의 증대와 기술개발의 저하에 있다. 예를 들자면, 여러가지 크랭크 샤프트와 엔진부품은 5년-10년전부터 지속된 주조기술의 발달로 생산가의 절감을 이루어 왔고 결과적으로 단조품을 대체하고 있다. 81년-84년에는 국내출하량의 4%-6%를 수출하였으나, 82년-84년에는 세계경제의 불황으로 수출의 저하를 초래하였다. 83년의 수출액 1억 650만불은 81년도 1억 8,300만불에 비해 약 40% 감소되었다. 미국내의 시장은 외국의 시장에 비해 자유로운 경쟁을 허용하고 있다.

따라서 전체적인 단강품의 수입은 81년-84년까지 100%신장을 보이고 있다. 수입의 동기는 가격의 안정, 가공비의 절감, 판매의 호조건 등이다. 주요 수입상대국인 캐나다, 이태리, 일본, 영국, 서독이며 최근 한국을 포함한 Nics등이 부상되고 있다. 많은 공업국들은 자국내의 단조품 시장의 축소에 따라 설비가동을 유지를 위해 외국시장으로의 진출을 강화하여 왔고, 결과로 미국시장에서 외국 수입품이 확대되고 있다.

장래에는 국내제품의 경쟁력 강화를 위한 기술개발, 서비스의 향상, 납기단축등에 노력할 것이며 외국시장에서 미국 기업의 활동이 증가되는 반면, 미국은 무역장벽 등 대규모의 제한을 가할 것으로 예상된다. 외국 정부의 기업체에 대한 불공정한 재정지원의 규제, 미국 수출품에는 미국 생산 부품의 일정비율 요구등 수입을 저해하는 법적 조치가 예상되고 있다.

1.3. 단조업계의 투자 동향

미국의 단조업체의 자국내 투자액이 감소되는 경향을 보이고 있다. 84년도 자본지출이 81년도에 비해 53% 감소한 1억 1,050만 불로 총매상의 3.5%에 불과하다. 알루미늄합금 단조부분은 83년도 270만불로써, 81년도 1,830만불에 비해 급감하고 있으며 이는 전 부분중 자본지출 비율이 최저이다. 연구개발비는 매상의 12%~3.8%에 이르고 있다. 투자 감소의 이유는 생산성의 하락, 제품의 판매 가격의 하락 등 시장 유통의 악화에 기인한다.

2. 향후 20년간 단조산업의 전망

단조산업은 능동적 산업이라기 보다는 비교적 수동적 산업으로 인식되어 왔다. 즉 단조품의 개발에 대한 의욕에도 불구하고 대부분의 단조회사들은 수동적 자세로써 주문을 기다려 왔다. 이제는 단조산업이 설계자의 결정을 기다리는 것 대신 능동적으로 새로운 시장을 창출해야 되는 것이 필수적이다. 더욱 중요한 것은 스스로의 운명을 개척하는 정신으로 마케팅과 기술의 우위를 통한 서비스영역의 확대와 개발이다. 지적 소유권의 강화로 제품의 독자적인 개발로 얻을 수 있는 특허권도 유심히 고려하여야 한다. 단조산업은 향후 20년 간 여러가지 문제에 직면하게 될 것이다. 단조업체의 경영에 있어서 장래에 고려되어야 할 몇가지는 다음과 같다.

첫째, 정부의 법규와 규제, 둘째, 북미에서 생산되는 승용차의 급격한 디자인의 변화, 세째, 단조품과 경쟁할 타 소재생산 제품, 네째, 외국과의 경쟁등이다.[5]

2.1. 정부의 법규와 규제

70년에 발효된 미국의 직업안전과 건강법(Occupational Safety and Health Act)과 환경보호처(Environmental Protection Agency)가 발효한 법규는 근로자들에게 안전하고 건강한 작업환경을 공급하고 천연자원인 공기와 물의 오염을 바로 잡고자 하는데 목적이 있는데, 이들이 미국의 단조산업에 미치는 영향은 매우 크다. 현재 미국과 캐나다의 정부보다 이 분야에 더 강력한 규제를 하는 나라는 없는데 문제는 그 법규들을 지키는데 들어가는 비용에 있다. 매년 수억달러의 비용이 공장내외의 소음방지, 기계의 안전장치, 공기와 물의 정수 시설에 쓰여지고 있는데 그러한 비용은 공장시설의 확대와 현대화에 투자될 수도 있다. 대부분의 단조회사들은 직업안전과 건강법과 더불어 환경보호처의 규제를 잘 따르고 있으나, 일부 단조회사들은 그 규제에 맞는 시설장치의 과도한 비용으로 인하여 파산하고 있다. 하지만 이러한 법규는 앞으로 점점 더 강화되어 갈 것이다.

2.2. 승용차 디자인의 변화

승용차와 트럭 부문은 북미 단조업계의 주요 시장이 되어왔다. 70년대에 8기통 자동차에는 커넥팅 로드, 밸브, 엑슬, 허브 등 약 70개의 단조품을 포함하고 있다. 자동차부품은 단조산업에서 큰 부분을 차지하고 있는데 80년대에 들어와 정부의 연비규제를 맞추기 위하여 자동차 산업은 자동

표 3) 자동차에 사용하는 재질의 변화

(단위 : 1b)

재 질	1977	1982	1985
플라스틱(Plastics)	165	224	225
알루미늄(Aluminum)	110	133	135
고강도강(High-strength steel)	105	252	270
냉간압연강(Cold rolled steel)	820	510	490
열간압연강(Hot rolled steel)	1419	864	760
주 철(Cast iron)	620	352	315
기 타	521	369	338

차의 크기와 무게를 줄여야만 하였다. 이것은 표3에서 보여지는 것처럼 지난 5년동안 포드 자동차 회사는 자동차당 강철의 수요를 무려 31%나 줄였는데 이것은 관련 단조산업의 큰 손실이었다. 더구나 82년에 미국에서 팔린 승용차는 약 570만대인데 그중 28%가 수입된 차이다. 이것은 북미 단조업체에 더욱 큰 손실을 초래하게 되었다. 앞으로 이와같은 디자인 및 소재의 변화가 더욱 심화될 것으로 추정된다.

2.3. 경쟁 생산기술

복합재료는 단조품의, 매우 경쟁적인 소재로서 항공우주분야 뿐만아니라 일반 단조분야에서도 나타나고 있다. 미국은 약 20만톤 급의 용량을 가진 유압 단조 프레스의 제작을 검토하고 있는데 이것은 복합재료가 대형 비행기 구조용 단조품을 대체할 수 있다는 점에서 매우 모순으로 지적되고 있다. 앞으로 복합재료의 대응성은 이러한 대형 프레스의 설계와 제작 결정에 주요한 영향을 미칠 것이다. 복합재료의 승용차와 트럭과 같은 큰 시장으로의 진출은 단조업체들에게 또하나의 위협이 되고 있는데, 트럭의 복합재료를 이용한 구동축과 리프트 스프링은 관심이 커져가고 있다.

이러한 부품의 개발이 이루어지게 되면 유리섬유를 이용한 복합재료는 트럭의 구조부품에 많이 응용될 것이다. 복합재료를 이용한 흥미로운 개발계획중의 한가지는 “합성수지 엔진(plastic engine)”이다. 이 4기통 엔진은 배기량 2000cc로 최대 318마력을 낼수 있다. 무게는 160파운드로서 금속소재로 제작된 엔진의 약 반에 해당한다. 플라스틱은 타이밍 기어, 밸브, 스프링 리테이너, 태핏, 피스톤 핀, 케넥팅로드 등 여러부품에 쓰여진다. 엔진 블록은 탄소섬유 보강 플라스틱으로 되어있다. 현재 생산 중인 같은 배기량의 금속으로 만든 엔진은 무게가 415파운드이고 최대 188마력을 낸다.

주조기술은 단조기술에 계속적인 위협이 되고 있다. 지난 20년간 주조에 대한 연구와 개발은 고도의 주조기술을 이루어 항공우주분야의 주요 부품에도 응용이 가능한 수준에 도달해 있다. 터빈

블레이드 제조산업이 그것을 보여주고 있다. 대량의 강단조품이 약 30%에 이르는 생산가 절감을 위하여 연철의 주조품으로 변화되어가고 있다. 원자력 분야에 이용되는 스테인레스강의 단조품도 회주철의 주조품으로 바뀌어지고 있다. 체트엔진 산업은 특히 세라믹에 관심이 많은데 그것은 현 생산품의 소재 부족에서 기인한다. 많은 전문가들은 미국의 체트엔진에 전통적으로 쓰여 왔던 금속 단조품의 대응소재를 개발하여야 한다고 생각하고 있다. 미국 공군과 해군은 신소재 개발을 위하여 대규모의 연구개발비를 책정하여 놓고 있다. 이러한 고도의 신소재기술이 성취되면 일반 상용부문에도 곧 확산 될 것이다.

2.4. 외국기업과의 경쟁

미국과 캐나다의 시장에 단조품의 수입이 점점 증가하고 있다.[6] 많은 단조업체들은 소성가공품의 공정거래를 위한 연합(Metalworking Fair Trade Coalition)에 참가하고 있다. 이 연합은 판매 총액이 약 750억불, 2만 5천여개의 공장 그리고 150만명의 고용인을 대표하는 25개의 무역 단체로 이루어져 있다. 이 연합의 목적은 미국과 캐나다 정부로 하여금 외국정부나 업체의 불공정한 무역현실에 관심을 갖게 하는데 있으며 보호무역을 위한 것이 아니고 자유무역 정책을 지키려고 하는데 있다.

현재 이 연합은 정부로 부터 인정과 긍정적인 협조와 반응을 얻고 있다. 미국과 캐나다의 법은 수입업자에게 관대한 편인데 더구나 외국정부는 덤핑, 수출업체에 대한 지원, 저이자 융자 그리고 외환환율을 조정함으로써 수출업체를 도와주고 있다. 외국 정부는 그들의 회사들이 새로운 일자리를 창출, 조세의 확대, 기술의 진보등을 이룰 수 있도록 적극적으로 유도하고 있다. 반면에 미국 회사들은 이러한 정부의 지원을 받지 못하고 있다. 외국 단조업체가 그들의 정부의 지원을 얻어 세계에서 제일 큰 시장규모인 미국에 진출할 때 미국 경쟁사의 제품보다 20% - 40% 정도 낮은 가격을 제공하고 있다. 평균 50명 정도의 고용인을 가진 미국과 캐나다 단조업체는 정부의 재정적 재원을

받은 외국업체와의 부당한 경쟁에 의하여 급속한 속도로 쇠퇴하고 있다.

3. 단조기술의 발전방향

19세기 말부터 해머를 사용한 단조산업이 생겨났는데, Nasmith가 스팀해머를 발명한 후 부터 단조산업은 많은 발전과정을 거쳐왔다. 최근에 들어서 단조업체들은 기술의 개혁을 경험하고 있는데 여러가지 형태의 재정적 압박과 더불어 단조업체들은 단조업내의 경쟁뿐 아니라 다른 생산기술 업체와의 경쟁에도 대처하여야 하고 있다. 이러한 복합적인 상황변화는 그들로 하여금 생산가격을 낮추고 질을 높이는 기술을 개발토록 하고 있다. 단조산업은 기초산업으로써 생산의 전분야에 걸쳐 광범위하게 퍼져 있다.

즉 자동차산업, 광산과 에너지 산업, 건설과

항공우주 산업이다. 단조기술의 개발은 공통적인 목표를 갖고 있는데 그것은 저렴한 생산가, 더 작은 생산 오차를 가진 정형 또는 근사정형 단조 (net shape or near-netshape forging)이다. 정형단조 또는 근사정형 단조란 그림1에 보는 바와 같이 최종제품의 형상에 가까운 제품을 만드는 것이다. 재래식 단조(conventional forging)와 고온금형단조 (hot-die forging)와의 비교에서 볼 수 있듯이 소재와 기계가공의 비용절감을 이룰 수 있다. 등온 단조(isothermal forging)에 의한 제트 엔진 디스크의 성형이 그림 2에 보여지고 있다.

생산성은 로봇과 컴퓨터에 의해 작동되는 장비를 통한 자동화에 의존하고 있다. 또한 통계학의 응용으로 공정통제(process control)가 성공적으로 행하여지고 있으며 공정의 변동요소를 명확히 하고, 절단가공 소재의 유보상황, 단조공차의 향상, 100% 검사의 달성, 종업원의 효과적인

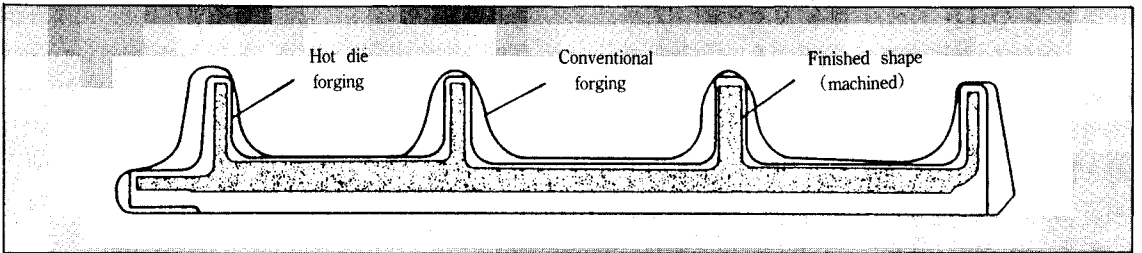


그림 1) 근사정형단조와 재래식, 고온 금형단조의 비교

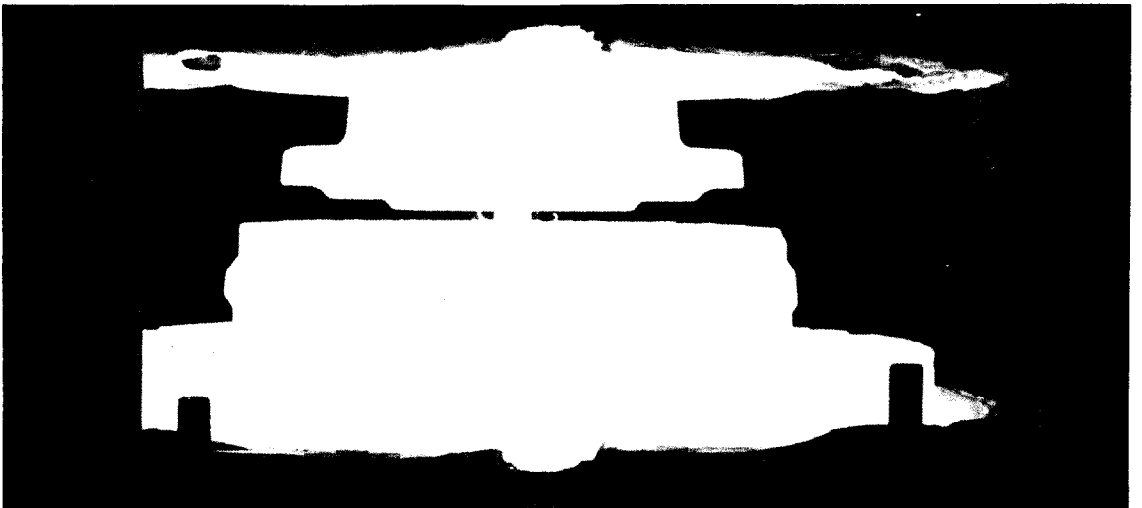


그림 2) 티타늄합금 엔진 디스크의 등온단조공정모습

교육, 금형제조의 컴퓨터 응용, 단조품질의 향상이 이루어져 가고 있다. 현재 컴퓨터는 경험과 기능을 과학기술로 바꾸는 단조기술의 개발에 가장 큰 도구가 되고 있다.[7]

3.1. 성형기술

단조공정의 해석은 매우 중요하다. 특히 고가의 원자재를 사용하는 경우에는 생산제품의 형상을 최종 제품의 형상에 가깝게 만들어야 한다. 자동차는 비교적 작은 크기의 생산품에 속하는데 부품의 파손을 방지하기 위하여 자동차회사들은 기계가공의 오차를 더 작게 하고 있고 결함이 없는 표면처리를 강조하고 있다. 이에 따라 단조업자들은 단조기술, 장비, 품질검사 과정을 개선하여야 한다. 알루미늄합금 단조에서는 정밀 단조의 한계가 보통 250inch² PVA(Plan View Area)이고 특별한 경우에 300-350inch²이다. 최근의 알루미늄합금 단조기술에 대한 연구를 통하여 400-600inch²로 늘어나고 있다. 장래에 단조기술 개발의 목표는 매우 큰 정밀단조(1500-2000inch² PVA)를 생산할 수 있게하는 것이다. 초소성(super plastic) 알루미늄합금 단조라고 불리우는 기술은 비교적 저렴한 생산가의 단조기술로서 P/M합금, 알루미늄-리튬 합금, 불연속 metal matrix 복합재료 등이 사용될 것이다.

티타늄 단조기술에서는 단조성이 개량된 합금, 고온금형 단조기술, 특수 장치가 부착된 대형프레스의 개발로 복잡한 형상과 최종 제품에 가깝게 생산하는데 목표를 두고 있다. 티타늄과 초합금(super alloy)의 정형단조는 150-200inch² PVA로 한정되어 있으나 단조기술과 장비의 개선으로 350 inch²로 확장되고 있다. 정형 및 근사정형 단조기술은 신소재를 사용하여 복잡한 형상을 단조하고 있으며 열과 기계적 에너지의 복합공정기술에 의해 최적의 기계적 성질과 미세구조의 단조품을 생산하고 있다. 이 기술은 재래적인 철합금 단조에도 확장되고 있는데, 주요한 증장비 및 트럭의 변속기, 직경 20inch까지의 베벨기어의 단조에 응용되고 있다.

열간에서의 근사정형 단조기술의 한계는 고온

에서의 스케일 발생에 기인한다. 온간 단조기술의 개발이 이루어져 냉간단조 기술과 열간단조 기술의 간격을 메워주고 있다. 약 700-1000°C에서의 온간단조는 종래의 냉간단조에 의해서는 기술적으로나 경제적으로 불가능했던 작은 오차의 단조품을 만들고 있다. 온간단조기술은 종래의 큰 기계가공 오차를 동반하는 열간단조기술보다 최종 제품의 형상에 가까운 제품을 단조할 수 있다. 축, 기어, 전륜구동장치의 부품생산에 쓰여지고 있는데 기술의 개발 수준에 따라 현재 열간 또는 냉간단조에 의해 생산된 많은 부품들은 온간에서 성형될 것이다. 또한 이 기술이 성공적으로 개발 되면 타 생산기술에 의해 생산된 부품을 단조품으로 전환시킬 수 있을 것이다.

3.2. 소재기술

단조를 위한 소재의 개발은 알루미늄, 티타늄, 미세합금강, 초합금, 복합재료에 이르기까지 개선된 기계적 성질, 저렴한 부품가격, 윤택한 기능의 성취를 목적으로 하고 있다. 새로운 합금의 개발은 종래의 단조에 의해서 생산되었던 부품을 타생산기술에 의해서도 생산이 가능하게 한다. 그 이유는 우리가 얻고자하는 기계적 성질이 단조에 의한 변형이 없이도 얻어질 수 있기 때문이다. 많은 경우에 개발된 소재들은 가공하기가 어려우며 단조업자가 극복하여야 할 기술적인 과제가 되고 있다.[5, 8]

3.2.1. 연소주조강

생산성 향상은 곧 질이 좋은 제품의 생산가격을 최소화시키는 것이다. 단조업자는 공정의 효율과 직접 연관이 되는 소재의 효과적인 사용, 초기 성형체의 정확한 설계를 통하여 생산가를 줄일 수 있다. 특히 저가격의 소재를 사용함으로써 큰 비용을 줄일 수 있는데, 중요한 것은 어느 부품 또는 부분에서 저가격의 소재를 무리없이 사용할 수 있는가를 판단하는 길이다. 두가지의 가능한 방법은 연속주조로 생산된 강과 미세합금강을 사용하는 것이다. 일반적으로 연속 주조강의 질은 단조용으로 사용하기에는 부적합하였으나 최근

기술의 개발로 사용이 증가되고 있다. 단조용으로 사용하기 위해서는 5:1정도, 경우에 따라서는 12:1정도의 압연과정을 거쳐야 하는데 압연을 거치지 않는 연속 주조강을 사용할 수 있다면 약 10%의 생산가의 절감을 꾀할 수 있다.

이와 같은 강괴는 기공과 분리등에 의한 소재의 결함이 있다 하더라도 중공의 축대칭 단조품의 소재로 사용이 가능하다. 고품질 소재의 사용과 적절한 양의 소성변형으로 비압연강괴의 사용은 크랭크샤프트, 케벡팅로드, 기어 등 복잡한 강도의 검사에 의한 성공적인 사례를 든다면 트럭 롤러 림, 크랭크샤프트, 기어와 유니버설조인트 등이다. 일반적으로 자동차 부품의 단조에는 비압연강괴 사용의 한계가 있는데, 이유는 단조용 빌렛의 규격이 현존하는 압연강괴의 규격(75mm-150mm)에 의존하고 있기 때문이다. 이 문제의 해결은 단조 공정에 필요한 특정한 규격의 빌렛 수율을 증가시켜 그 규격의 연속주조용 몰드와 관련주조장치 투자를 가능하게 하여야 한다. 일반적으로 연속 주조에서는 100mm이내의 빌렛은 생산하지 않는데 주조 속도의 증가에 따라 질의 변화가 심해지기 때문이다. 연속주조시 몰드의 진동에 의해 발생하는 표면의 불균일성과 가열시 발생하는 스케일은 압연시 제거할 수 있다.

3.2.2. 알루미늄 합금

알루미늄합금의 개발은 주물용해(ingot melted I/M)와 분말야금(powder metallurgy P/M) 또는 급속냉각의 두방향으로 나가고 있다. 고도의 기계적 성질을 갖고 밀도가 낮은 합금을 만드는 것이 I/M연구의 목적인데 약 1%-3%의 리튬을 함유하고 있는 2xxx계통의 알루미늄합금은 2024 또는 7075와 같은 인장강도를 갖고 있는데 무게는 5%-8%정도 가볍다. P/M으로 개발된 7090과 7091은 단조용으로 쓰여지고 있는데 I/M 7xxx계통과 동일한 인성(toughness)과 용력부식 저항(stress corrosion resistance)을 가지고 있는 반면 10%-15% 높은 강도를 보여준다. 더욱 개선된 2xxx와 7xxx P/M합금이 단조용으로 개발되고 있는데 더욱 높은 강도와 인성을 가지고 있다.

개발중인 고온 Al-Fe-Ce 알루미늄합금(Cu78)

은 290°C-340°C에서 훌륭한 기계적 성질을 나타내고 있다. Cu78과 Al-Fe-Mo와 Al-Fe-Ni 계통의 합금이 개발중인데 이들은 확산 경화 소재로써 단조가공이 용이하지 않다. 이런 합금들은 가스터어빈을 비롯한 고온 분야 응용에서 티타늄합금과 경쟁하게 될 것이다.

3.2.3. 티타늄 합금

β 와 근사 β 티타늄 합금은 많은 개발이 진행되고 있는데 고온금형 단조에서 좋은 기계적 성질로 인해 저렴한 생산가로 정형 및 근사정형으로 단조가 가능하다. Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-17, Transagel75와 같은 합금도 개발중인데 Ti-10V-2Fe-3Al은 우수한 β 합금으로서 인장강도가 140ksi-190ksi이고 강성도가 40ksi $\sqrt{\text{inch}}$ 에 이르고 있다. 이 소재는 현재 상업용 항공분야의 단조에 쓰이고 있다. 티타늄합금의 또다른 개발은 α 와 근사 α 합금(Ti-100, Corona, IMI 829)과 티타늄 알루미늄이드(TiAl, TiAl₃)로써 고온에서의 강도와 부식에 대한 좋은 저항성을 나타내고 있다. 이러한 소재들은 가공하기가 매우 어려워져서 고유한 열 및 기계적 공정(thermo-mechanical process)기술이 필요하다.

3.2.4. 미세 합금강

고강도 저합금강은 높은 강도와 인성을 보이고 있는데 침상페라이트(acicular-ferrite)와 펄라이트(pearlite)로 구분된다. 미세합금의 강도와 인성은 화학적 구성, 최종 열간가공온도, 냉각속도 등에 의해 결정된다. 이 기술에 의하면 미세합금강의 사용으로 가격저하에 기인한 타생산 기술과의 경쟁력 개선이다. 미세합금중 탄소강의 경우 일반 고합금강에 비해 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 열처리 과정이 없이 단조 공정후 사용이 가능하고, 둘째, 직선공정 작업이 최소화되고, 셋째, 기계가공성과 피로강도가 증가한다. 49MnVS₃(독일)과 Vanard 1000(영국)과 같은 미세합금강은 유럽지역에서 케벡팅로드, 크랭크샤프트, 스티어링너클, 콘트롤아암등에 사용되어 왔다. 불보승용차에 사용되는 단조품의 50%가 미세합금강이고 일본에서도 사용되고 있다.

미세합금강의 강도는 석출경화에 의해 유도되고

있다. 약 0.25wt%의 Nb, Ti, Mo 등은 C나 Ni와 결합되어 페라이트의 강도를 개선시킨다. 바나듐 미세합금강의 경우, 석출물들은 예열중에 용체로 용해되어 단조과정까지 용해상태로 존재한다. 냉간단계에서 석출되어 페라이트의 강도를 증가시킨다. 석출경화는 연성과 충격강도를 약화시키나 오스테나이트와 페라이트의 크기를 조정함으로써 기계적성질의 개선을 도모할 수 있다. 오스테나이트의 조직은 낮은 온도에서 열간작업을 하므로 작게 할 수 있으나, 다이의 마모와 가공하중의 증가 등 역효과로 인해 낮은 온도에서의 단조는 기피하고 있다. 따라서 미세합금강의 최적화는 합금비율과 단조후의 냉각속도의 조정으로 이루어진다. 전반적인 열처리를 요하는 일반강에 비해 10%~25%의 생산비의 절감효과를 가져올 수 있다.

3.2.5. 초합금

Rene 95, IN-100 그리고 MERL76과 같은 초합금들은 급속냉각 기술, 독특한 소결과 단조기술에 의해 정형 및 근사 정형으로 만들어진다. 이러한 소재들은 종래의 주조기술로 생산한다면 단조용으로 사용될 수 없는데, P/M 공정을 거쳐 생산하게 되면 초소성을 나타내며 진공등온상태에서 정형으로 단조된다. 고온금형 단조와 같은 단조는 니켈합금 901과 718, Waspaloy, Astroloy, Rene 41과 같은 소재를 다룰 수 있는데 복잡한 형상과 최적의 기계적 성질을 도모할 수 있다.

3.2.6. 복합재료

불연속 metal matrix 복합재료(DMMC)는 silicon carbide나 boron nitride의 위스커와 알루미늄 또는 티타늄합금의 매트릭스로 이루어져 있는데 초고강도와 높은 탄성계수를 나타내고 있는 소재로써 현재 단조를 비롯한 열간 소성가공기술에 의해 가공이 가능하다. 현재 정형 및 근사 정형 DMMC는 개발단계이지만 수년내에 실용이 가능하리라 예견된다.

3.3. 생산성

산업체들은 항상 생산성을 개선할 수 있는 방법을 찾고 있다. 생산과정중 어떤 부분이 개선되어야 비용절감을 이룰 수 있는가가 결정된다. 예를 들면 인력, 시간당 생산량, 시설의 실제 사용비율 그리고 작업과정의 수 등이다.

3.3.1. 생산설비의 개선

단조는 금속의 형상을 만드는 비교적 저가의 생산 방법이다. 정형 및 근사정형 단조에 대한 요구가 점점 증대함에 따라 단조비중을 늘리고 기계가공의 비중을 줄여나가고 있다. 생산성을 높이는 일반적인 요소는 인력, 원자재, 에너지 소비량을 줄이고 시간당, 기계당, 일인당 생산량을 증가 시키는데 있다. 이것은 개선된 설계, 생산 기술과 생산시설의 자동화에 의해 이루어질 것이다. 자동화는 높은 인건비와 환경적으로 불가능한 작업환경을 극복할 것이다. 가열로의 소재를 주입하는 장치, 가열로 부터 프레스까지 소재를 운반하는 장치, 단조과정중에 소재를 이동하는 장치가 주종을 이루고 있다.

신속한 금형의 교환과 설치 기술은 과거의 비경제적이었던 소량제품의 생산을 가능하게 한다. 산업 로봇 기술은 현재 생산기술에 많이 응용되고 있는데, 단순한 기능(집고 옮겨놓는 작업)의 로봇 개발 분야에서의 중요 관점은 시스템의 유연성이다. 신뢰할 만하고 조작이 손쉬운 로봇의 개발은 소량의 단조에 있어서 생산성을 높여준다. 대량 생산의 경우에는 고속과 특수 목적의 장비가 사용되고 있다. 플래시와 드래프트 각이 없는 정밀단조품을 생산하는 고속단조기계를 계속적으로 개발중이며, 이러한 장비들은 일단의 유사한 형상과 크기의 제품을 위해 개발될 것이다. 단조품은 개별적으로 자동화되고 중앙조정장치에 의해 연결된 여러개의 포밍센터(forming center)에 의해 생산될 것이다.

3.2.2. 컴퓨터에 의한 공정의 해석과 통제

단조공정 중의 소재의 유동상태를 해석할 수 있는 컴퓨터 프로그램의 개발은 단조설계에 큰 도움이 된다.[9-11] 즉 컴퓨터를 이용하여 최종 단조다이(finisher die) 및 중간 단조다이(blocker

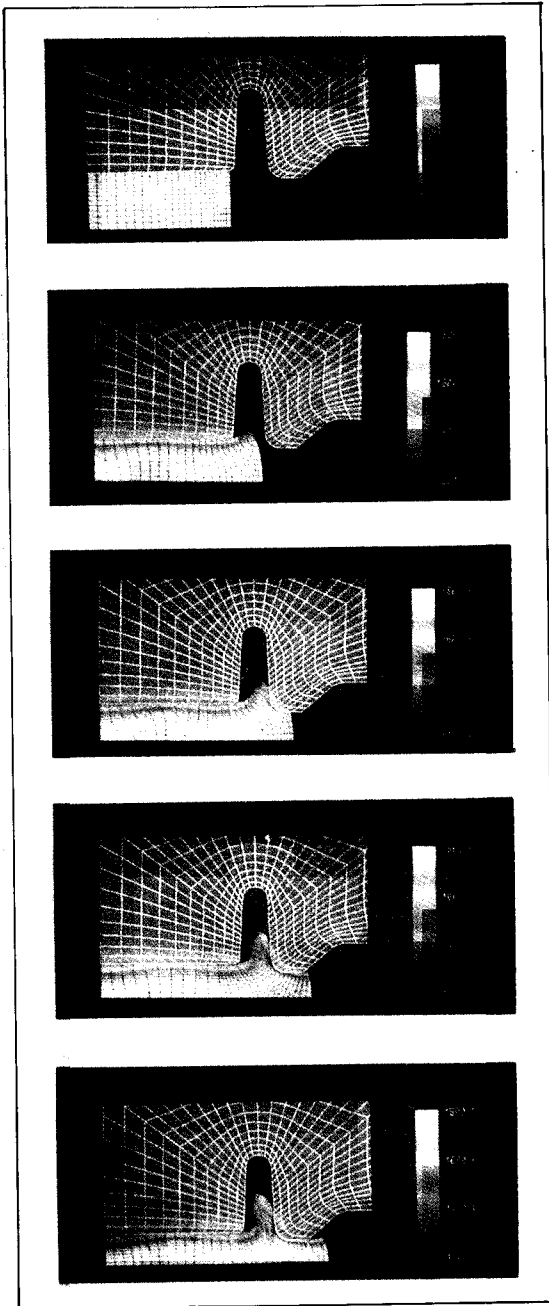


그림 3) 티타늄합금 리브-웹(rib-web) 부품의 고온금형 단조공정의 컴퓨터 Simulation

die)에 대한 '실험'을 행할 수 있게 된다. 이러한 실험은 만족할 만한 결과를 얻을때까지 계속할 수 있으며 결과적으로는 실제적인 실험의 횟수를 크게 줄일 수 있게 된다. 많은 단조회사들은 공

정통제를 위하여 공정해석을 하고 있다. 그림 3에 티타늄합금의 고온금형 단조공정의 해석결과가 나타나 있다. 단조강의 특성, 즉 하중의 한계, 공정조건 중의 소재의 변형특성, 소성변형 해석을 통하여 통제 알고리즘이 개발되어 정형 또는 근사정형 단조에 이용되고 있다.

이러한 공정통제는 비파괴 검사 방법에 의한 검사가 어려운 부품의 품질개선을 위해서도 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 기술은 CAD/CAM/CAE 시스템의 사용으로 단조공정중의 소재의 성형이 예상했던 방향으로 진행될 수 있도록 초기 성형체의 설계로 부터 열과 기계적 가공내력의 통제를 더욱 가능하게 하여 준다. 이러한 단조공정을 정확히 해석하기 위해서는 소재의 데이터베이스가 필요한데 해석의 정확성은 데이터베이스의 질과 직접 관계된다.

4. 결 론

일반적으로 새로 개발된 합금과 소재들은 높은 유동용력을 가지고 있어서 단조를 성공적으로 수행하는 것이 어렵다. 이러한 문제는 단조업계에 대한 기술적 도전이며 따라서 발전할 수 있는 기회제공이 된다. 새로운 단조기술의 개발로 이러한 난점을 극복해 나가야하는데 가공이 어려운 합금들은 낮은 변형율의 단조기술, 인발과 단조, 주조와 단조, 고온등압 압축(HIP)과 단조, 고온금형, 등온단조의 기술을 사용할 것이다. 최근 개발된 프레스 장비들은 고온과 낮은 변형율의 기술을 사용할 수 있는 능력을 갖추고 있다.

현재 컴퓨터기술의 사용으로 단조기술자들은 단조기술 문제를 과학적으로 해결할 수 있다. 정형 및 근사정형 단조는 장비와 금형제작자에게 더욱 정확한 설계를 요구하고 있다. CAD/CAM/CAE시스템은 이것을 이루기 위하여 급속하게 발전하고 있으며 이는 금형 제작 과정을 과학화할 수 있다. CAD/CAM/CAE시스템은 많은 회사에서 제품의 설계와 도면의 전산화를 위해 사용되고 있다. 산업로봇의 개발과 컴퓨터를 이용한 통제장비는 무인 공장의 개념을 실현화시키고 있다. 무인화 공장이란 모든 생산기능이 기계에 의해 자동으로

이루지고 한 사람의 고도로 숙련된 작업자에 의해 관리되는 것을 뜻한다. 생산장비의 상호연결을 통제하는 장비는 중앙처리 장치에 의해 감시되고 다른 감시장비와 함께 생산장비의 결합을 진단한다. 치수측정 장치(coordinate measuring machine)는 생산된 단조품의 기본 치수를 측정하고 자동적으로 금형의 위치를 조정한다. 품질통제 데이터의 통계학적 해석은 금형교환의 시간을 예견하여 금형의 자동교환을 용이하게 한다.

단조산업은 성숙된 산업으로서 여러가지 형태의 경쟁과 발전 기회에 대응하여야 한다. 북미의 많은 기초산업과 같이 단조산업은 변화의 과정으로 가고 있는데 패자, 생존자, 번창하는 자가 있을 것이다. 번창하는 자들은 현재 확고한 계획을 갖고 있으며, 희망, 용기, 재정적인 신용, 지도자적 자질을 갖춘 기업경영자들일 것이다. 결론적으로 단조산업은 생산가를 낮추고 질을 높이고 과학적이며 창조적이 되어야만 생산산업에서의 제 위치를 지킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] "아메리카의 단조공업", 단조기보, No. 45, Vol. 16, pp.70-82, 1991. 3, Forging Technology Institute of Japan
- [2] "1990년 아메리카 단조 공업회(FIA)의 활동과 생산 통계", 단조공업, 제85호, pp.58-63, 평성 3년 8월, 전일본 단조공업회
- [3] 박종진, "일본단조업체 시찰 보고", 단조심포지움 '91, pp.140-148, 1991. 11, 한국소성가공학회
- [4] Scofield, C.G., "Current Industry Profile", Forging Handbook, editor Byrer, T.G., pp.18-21, Forging Industry Association, American Society for Metals
- [5] Williamson, I.R., "Future Trends", Forging Handbook, editor Byrer, T.G., pp.21-28, Forging Industry Association, American Society for Metals
- [6] Welch, M.M., "Business Outlook", Precision Metal, p.26, February, 1987
- [7] Manohar, N.D., "기술과 프로세스 콘트롤의 실태", 단조 제13회 국제 단조회의 보고서, pp.232-241, 평성 2년 10월, 전 일본 단조 공업회
- [8] Kukul Jr., E.J., "Advancements in Forging Technology", pp.55-61, Metal Progress, 6/87
- [9] Kobayashi, S., Oh, S.I., and Altan, T., "Metal Forming and the Finite-Element Method", 1989, Oxford University Press
- [10] Wright, J.R., "Meta Flow Simulation in Forging Die Design", Precision Metal, pp.25-27 May, 1987
- [11] 박종진, "CAD/CAM의 시스템을 이용한 단조설계", 단조심포지움 '91, pp.100-109, 1991. 11, 한국소성가공학회