

技術資料

자동차회사에서의 엔진 및 트랜스미션용 주조품의 생산

장철현†

Iron and Aluminum Castings Production for Engines and Transmissions in auto maker

Cheol-Heon Jang†

1. 서론

자동차 한대 제조시 약 3만점의 부품이 사용되는데 주조품은 자동차 중량의 15%를 점유하며 특히 자동차 성능에 직접관계가 있는 엔진 및 트랜스미션부품의 80%를 점유하고 있어 이에 따른 주조부문에서의 대폭적인 공법 및 경량화 기술 개발이 요구 되어 왔다.

발표 자료에 따르면 일본에서 생산된 철계 주조품의 45%,알루미늄 주조품의 75% 등 전체 주물 생산량의 50%가 자동차용으로 주물 생산량의 신장은 자동차 생산 대수의 증가에 의존하고 있음을 알 수 있다.

선진 자동차회사와 같이 현대자동차에서도 엔진 및 트랜스미션의 주요 부품인 실린더 블록, 실린더 헤드, 크랭크 샤프트, 캠 샤프트, 트랜스 미션 케이스 등의 주조품을 자체 생산하고 있는데 이는 선행 시작단계로 부터 발생된 고유기술이 주조 부품에 그대로 반영되어 있을 뿐 아니라 이에 따른 신 주조공법 및 기술을 보유 할 수 있기 때문이다.

현재 자동차 메이커에서 이루어지고 있는 주조품 생산 현황을 중심으로 살펴 보기로 한다.

2. 자동차 기술동향

신자동차 개발시 중요시 되는 구상(Concept)으로 「고성능」, 「고감도」, 「쾌적성」, 「신뢰성」, 「경제성」을

들 수 있으며 이를 위해 다양한 신엔진, 신기구의 탑재가 늘어났다.

지난 수년간 승용차에 탑재된 엔진 형식과 배기량의 추세 변화는 「다기통화」, 「대배기량화」, 「DOHC의 증가」 경향을 보였으며, 트랜스미션에 있어서는 「오토매틱 비율의 급증」을 보이고 있다.

엔진에 있어서의 「배기증량과 DOHC화」는 「엔진 출력의 향상」을 「다기통화」는 「저소음, 저진동과 고회전화」를 달성하였으나 「배기량 증대」에 따른 「엔진의 장대화 및 피스톤, 콘 로드 부품수의 증가」와 「DOHC화」에 따른 「캠 샤프트 및 밸브 로커수의 증가와 실린더 헤드, 로커 커버의 폭 증대」를 가져와 엔진 중량의 증가를 유발 하였다.

트랜스 미션에 있어서 「오토매틱 비율의 급증」은 「부품수의 증가 및 사용재료의 증가」를 유발하여 자동차 전체적으로 차량 중량이 매년 증가 할 수 밖에 없는 상황 이었다.

최근엔 지구 환경문제에 따른 재활용 및 대체에너지 차량 개발의 필요성의 제기로 저공해 차량의 실용화와 자동차 연비 향상을 위한 차량 경량화가 급속히 추진 되어 왔다.(Fig. 1,2)

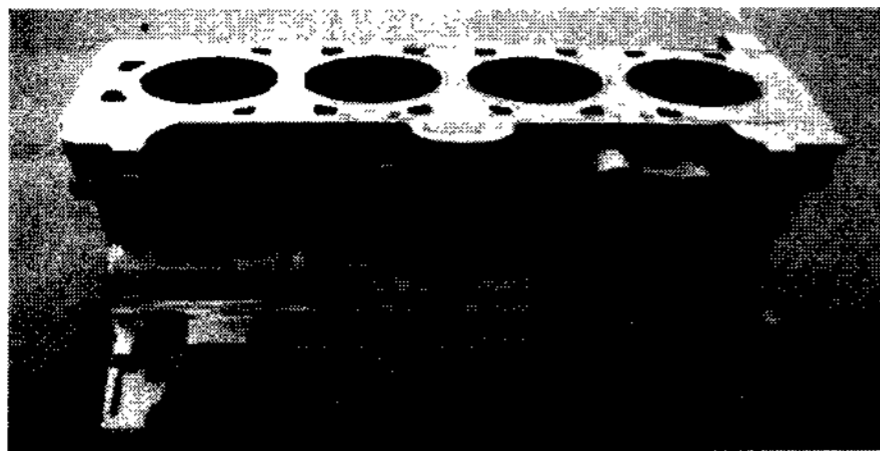
3. 자동차 구성재료

자동차를 구성하고 있는 재료의 사용비 추이를 보면

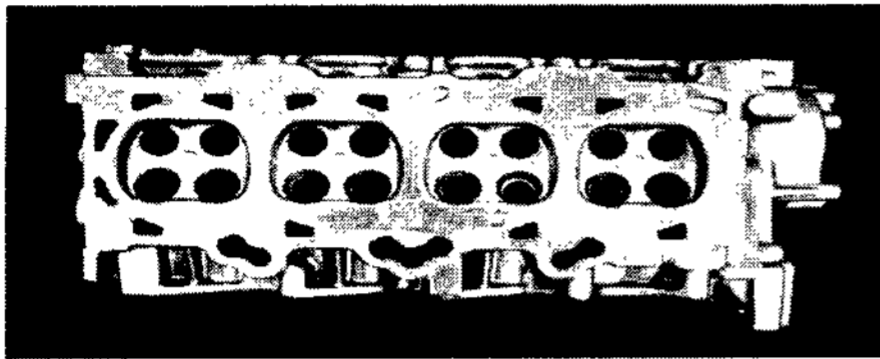
현대자동차(주) 이사(Hyundai Motor Company)

†E-mail : jchksu@yahoo.ac.kr

"본 기술자료는 2003년도 하계기술강연대회에서 발표한 내용임"



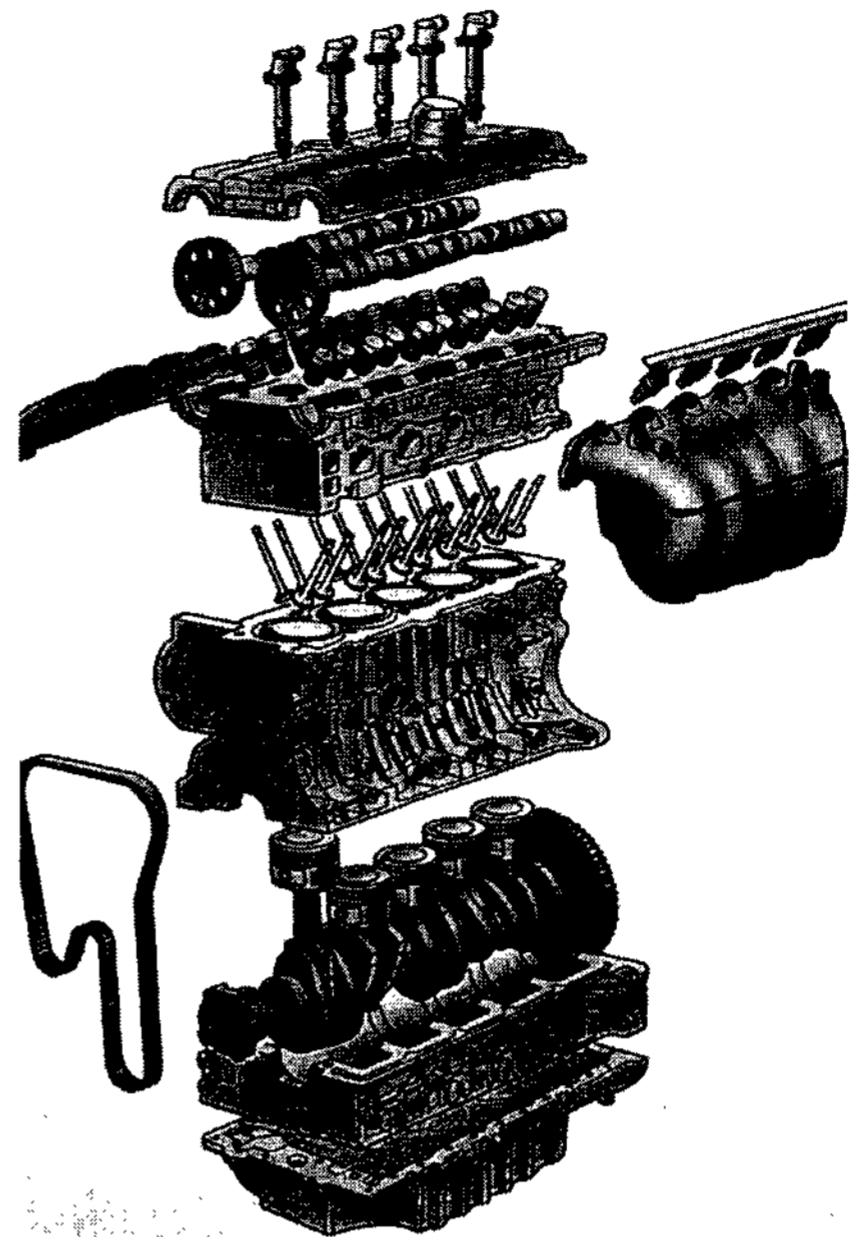
실린더 블록



실린더 헤드

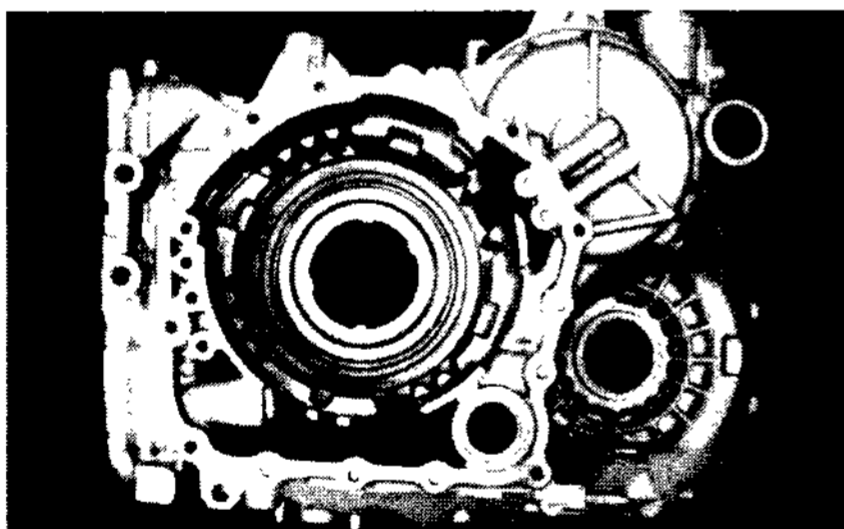


크랭크 샤프트

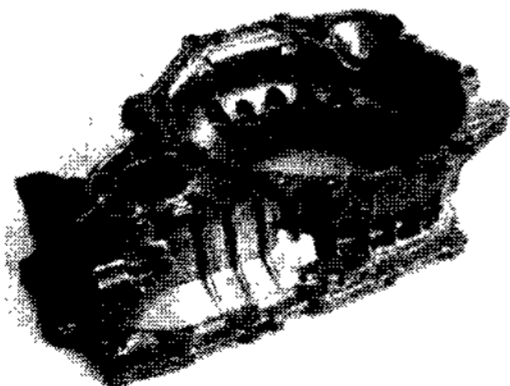


엔진 구성 부품

Fig. 1. 엔진 구성 및 주조 부품



미션 케이스



컨버터 하우징

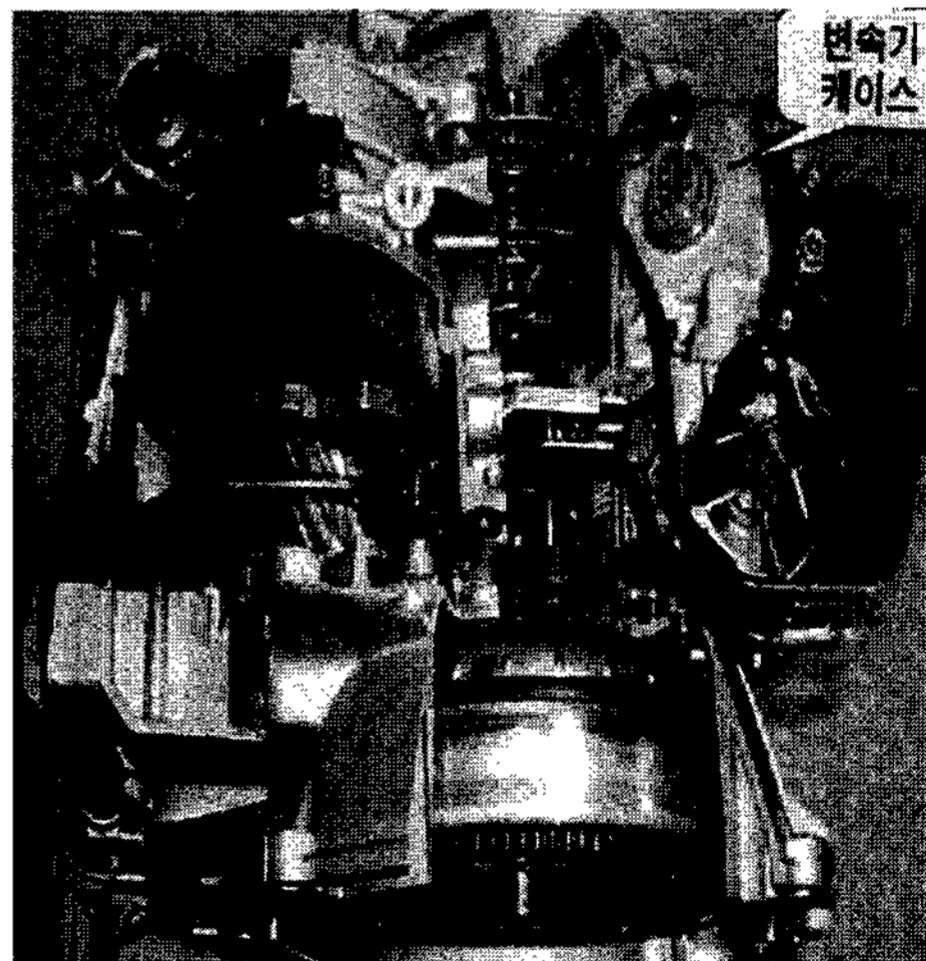


Fig. 2. 트랜스 미션 및 주조부품

고장력판 외에 알루미늄, 플라스틱등의 경량재료의 사용이 늘고 있는데 「고강도, 경량성」과 「높은 재활용성」 면에서 경합금 즉 알루미늄이 각광을 받고 있다.

알루미늄과 경합하고 있는 경량화 재료로서는 마그네슘, 플라스틱, 세라믹, FRP, FRM, 티타늄 합금 등

이 있으나 특성 및 코스트면에서 알루미늄이 우위를 지키고 있다.

도요다 『마크 II』는 「차량 중량 1360 kg」에 주조품 점유비는 「주철이 10.5%(142.8 kg)」이며 「알루미늄이 4.8%(65 kg)」이었으나 『렉서스』의 경우 「차량중량

표 1. 차량재료 구성비 (도요다 마크 II)

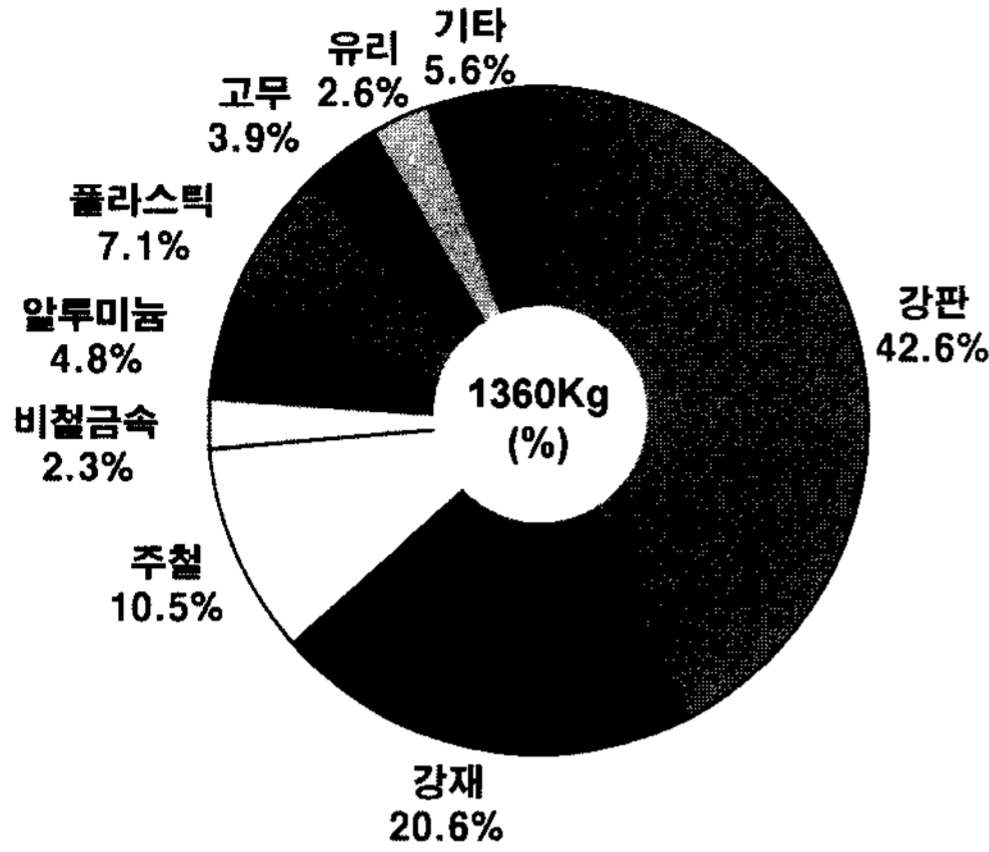
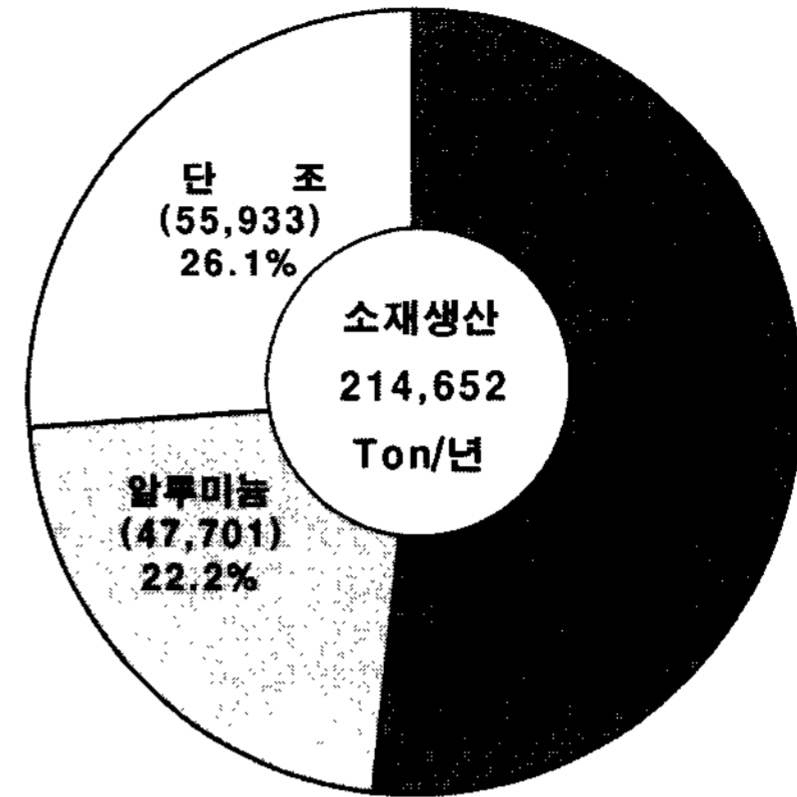


표 3. 현대자동차 주·단조품 생산 현황



1730 kg」중 「알루미늄 점유비는 9.9%(171 kg)」이었다.(Table 1) 자동차용 재료 선택시 요구되는 항목은 다음과 같다.

- (1) 재료의 코스트 및 가공 코스트
- (2) 재료 품질 및 품질 안정성
- (3) 재료의 공급 안정성
- (4) 강도 특성(피로강도, 충격강도)·내식성등의 기능 특성
- (5) 성형성, 용접·접합성, 도장성 등의 생산성
- (6) 폐기처리·리사이클의 문제

#### 4. 자동차부품의 수급

자동차회사에서의 「부품조달 체계」를 살펴보면 도

요다자동차는 기본적으로 「주요부품」 즉 실린더 블록, 실린더 헤드, 캠 샤프트, 각종 기어, 변속기, 프런트 엑슬, 리어 엑슬, 차동 기어 장치, 프레임, 승용차 보디 등은 『자체 제작』하며 「그외 부품」인 전장품, 스프링, 타이어, 배터리, 실내 조명품, 트럭 보디 등은 관련 산업 및 협력회사에 『외주처리』하여 부품을 조달하고 있다. 따라서 도요다 자동차의 일본 국내 10개 지역에 「주철 및 경합금 주조공장 5개소」, 「단조공장 3개소」, 「소결공장 1개소」등 9개소의 소재공장을 보유하고 있다.(Table 2)

현대자동차의 경우도 기본적으로 동일한 체계로 운영되고 있는데 국내 3개지역에 「주철 및 경합금 주조공장 2개소」, 「단조공장 1개소」 등 3개소의 소재공장을 보유하고 있다. 차량생산 151만대를 기록한 2001년 소재생산 실적은 Table 3과 같다.

Table 2. 도요다 공장 현황 및 공장별 생산부문

공장	혼샤 (本社)	모도마찌 (元町)	가미꼬 (上郷)	다가오까 (高岡)	미요시 (三好)	쨌쯔미 (堤)	묘우찌 (明知)	시모야마 (下山)	기누우라 (衣浦)	다하라 (田原)
주조			●			●	●		●	●
단조	●				●				●	
소결					●					
기체가공	●	●	●		●	●		●	●	●
열처리	●		●		●	●			●	
기제조립	●	●	●		●	●		●	●	
프라스틱		●				●				●
프레스	●	●	●	●		●		●		●
용접	●	●		●		●		●		●
도장	●	●		●		●				●
조립	●	●		●		●				●
차량검사	●	●		●		●				●

Table 4. 실린더 헤드 주조품 수급 사례

항목	도요다	크라이슬러	포드	
주조생산	자체	외주	외주	자체
제품설계	도요다	디디씨	코스워스	포드
선행시작		텍시드		
소재생산		다디씨		
엔진가공		크라이슬러	포드	
차량생산				
주조공법	저압주조법	중력주조법	코스워스 주조법	

소재를 자체 생산하는 경우는 「엔진 및 변속기 자체 설계 개발시 선행 시작 단계로부터 투자된 기술 노하우 즉 주조부문의·신공법 및 금형 개발 등의 고유 기술 축적·품질확보기술과 엔진, 변속기 부문의·성능·연비·진동·소음·강성·경량화·내구성관련 기술이 그대로 반영되어 있으므로 소재 외주 개발시 우려되는 기술의 노출을 막을 수 있기 때문」이다.

소재를 외주 처리하는 경우는 「엔진변속기 전문 설계 또는 생산업체가 자체 설계 및 생산 기술을 보유하고 있거나 자동차회사에서 이미 축적되고 상용화된 기술로 업체에서 생산이 가능」할 때이다.(Table 4)

### 5. 주조부품의 생산기술과 금형

#### 5.1. 주조부품의 특성

자동차용 부품은 다른 어떤 제품 보다 복잡한 형상을 가지고 있기 때문에 신제품 개발시 제품 안정화까지 반복된 시험주조 (Try Out)로 인해 장기간이 소요되는데 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 대량생산
- (2) 치수 정밀도와 재질의 균질성
- (3) 경량화 요구에 따른 제품 두께
- (4) 복잡한 형상
- (5) 피로 강도, 내열성, 내마모성의 요구

#### 5.2. 생산기술

신제품 개발은 「제품계획」, 「생산준비」, 「생산시작」, 「양산」의 4단계로 구분되며 각 단계별로 「제품설계」, 「생산기술」, 「생산」, 「금형」 부문간의 긴밀한 협조가 요구되어진다.

최근의 컴퓨터 기술 발달과 더불어 생산준비 방법자

체가 변화해 가고 있는데 종래엔 제품 설계부문으로부터 도면이 출도 된 후에야 비로서 생산준비부문에서 「공정설계」, 「주조 금형의 구상」, 「금형 설계」 등의 검토가 시작되었다. 이 과정에서 주조 기술자는 제품설계부문에 주조성 및 생산성 등의 개선요구 사항에 대해 과거의 경험을 바탕으로 제안하는 등 어찌 보면 수동적인 자세로 업무를 추진할 수 밖에 없는 상황이었다.

그러나 환경, 안전 문제에 대처하기위해 지속적으로 개발되어지는 엔진, 미션을 비롯한 관련 부품에 대해 지금까지의 방법으로는 개발 일정을 맞출 수 없을 뿐만 아니라 복잡형상화에도 신속하게 대응할 수 없는 실정이었다.

최근 자동차회사에서는 3차원 CAD를 이용한 시뮬레이션 (Simulation) 기술의 진전과 함께 빠르게 발전하는 정보기술을 바탕으로 「개발초기 단계부터 생산기술자가 직접 설계 자체에 참여하여 양산용 제품설계를 시행」 하는 「동시공학 (Simultaneous Engineering)」 수법이 정착되어 가고 있다.

도요다에서는 특히 주조, 단조부품 설계시 생산기술 부문이 공동으로 3차원 CAD/CAM/CAE 기술을 중심으로 각 부문을 초월한 「CASE(Computer Aided Simultaneous Engineering)」을 전개하고 있는데 이 활동의 핵심은 「팀에 의한 제품 설계」, 「팀활동을 통한 진보된 주변기술(Tool)의 지원」이라고 할 수 있다.

#### (1) 팀에 의한 제품 설계

제품설계자와 생산기술부문 기술자가 한 팀을 이룬다. 제품 설계 컨셉을 기준으로 제품가공 및 주조 기술자는 그 시점에서의 최신 생산기술을 가지고 제품설계에 초기부터 참여하여 바로 양산할 수 있는 제품의 형상을 결정하는 것이다.

도요다는 이 활동을 통해 「기술적 정보교류」, 「차량개발기간의 단축」, 「설계 변경 없는 생산준비」 등 「생산준비체계의 개혁」을 이루고자 한다.

#### (2) 팀 활동을 통한 진보된 주변기술의 지원

지금까지 3차원 CAD는 의장, 보더 부품등에 먼저 보급되었으나 최근 주조품에서도 적용되고 있다. 「3차원 모델」은 제품의 개념 설계시 기본적인 모델이 되며 팀 설계를 통해 각 생산 조건이 포함되므로 「생산준비 데이터」로 활용되어진다. 또 이와 같은 3차원 CAD를 핵으로 주변기술인 「제품CAE기술」 또는 「신속모형(Rapid Prototype) 기술」 등의 종합적인 정보화

기술 진전이 동시공학 활동을 지원하고 있다.

### 5.3. 주조금형

자동차 한대에 필요한 수 만개의 부품을 제조하기 위해 다양한 금형이 이용되고 있다. 자동차 보디를 구성하는 강판부품에는 「프레스금형」이·내외장의 여러 의장 및 기능 부품이 되는 플라스틱부품에는 「사출금형」이 사용되고 있으며, 자동차의 성능을 좌우하는 엔진, 미션, 구동부의 여러 가지 기능부품 제조에는 「주조 및 단조금형」이 이용되고있다.

따라서 신차를 개발하여 소비자에게 적기에 제공하기 위해선 금형제작을 얼마나 효율적으로 단기간에 만들 수 있는지가 중요한 관건이 된다.

주조기술은 부품제작의 「자유도」가 플라스틱과 함께 높은 특색을 갖고있는데 차량요구(Need)에 부응한 생산기술의 발전은 점점 「고정도화」, 「박육화」를 가능하게 하였을 뿐만 아니라 부품의 「복합화에 따른 대형화」를 실현 하였다.

Fig. 3은 「자동차용 금형의 복잡도」를 비교한 것으로 금형중에 나타내어지는「제품의 구성면 수」 및 「성형상 필요로 부가되는 면(주조형에서의 분할면)의 수」로 표현된 것이다.

Figure의 가로축은「형상 정의면 즉 구성면의 총 수」를 세로축은 「면과 면을 이어주는 곡면(Fillet면) 및 복수의 면간 결합 변화부에서 생기는 면의 총수」를 나타낸다.

이 Figure에서 「모든 자동차용 금형 중에서 실린더 블록, 실린더 헤드, 트랜스 미션 케이스 등의 주조금형은 다른 어떤 금형 보다도 복잡도가 높음」을 알 수 있다.

최근 주조금형의 제조기술에선 설계로부터 제작까지 컴퓨터를 이용한 정보기술의 활용이 그 중심과제로 부상하여 왔다.

1단계가 각 공정의 효율 증대를 겨냥한 「CAD/CAM의 진보」와 「형상부 NC가공」을 중심으로 한 「공정 집약에 의한 금형의 제작」이었다면 2단계는 제품설계에서 금형제작까지의 기간을 획기적으로 단축하기 위하여 지금까지 축적된 데이터 베이스(Data Base)를 일원화하고 정보기술을 구사한 「동시공학(Simultaneous or Concurrent Engineering)에 의한 금형제작」이라고 말할 수 있다.(Fig. 4)

90년대 전후부터는 CAD/CAM간의 데이터를 링크하

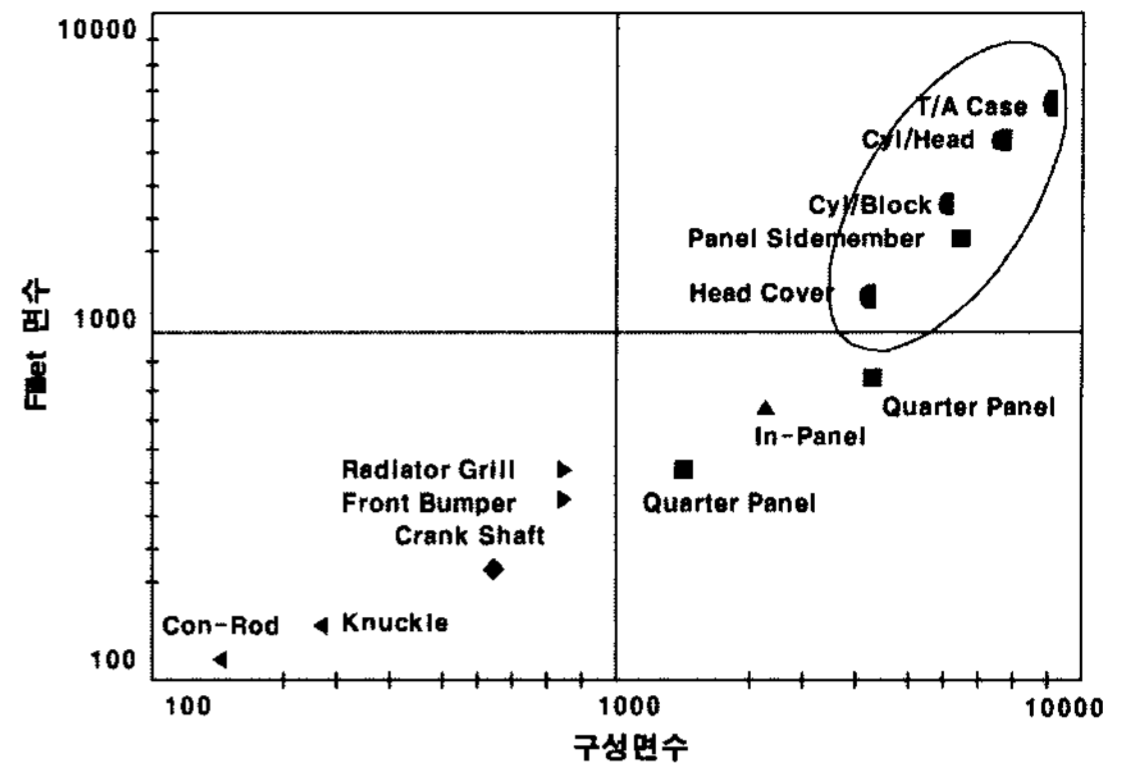


Fig. 3. 자동차용 금형의 구성면 수에 따른 복잡도

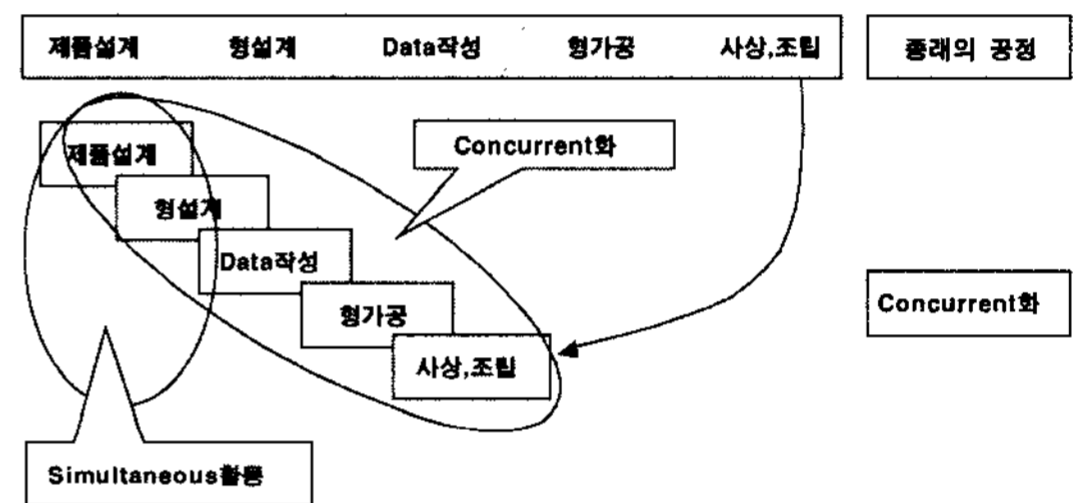


Fig. 4. 금형 제작공정의 Concurrent화

여 「CAD시스템의 3차원화」가 이루어짐에 따라 CAD와CAE기술에 의한 형설계 기술혁신을 이루어 「주조의 탕류성의 사전검토」, 「금형의 구조해석」, 「금형 설계시 금형구성 부품간 간섭확인」등이 가능한 「3차원 솔리드 시스템」을 구축하였다.

당사에서도 최근 생산기술부문에서 금형 열 해석과 구조해석을 연동시켜 금형 캐비티 내에서의 주조품 온도, 주조중의 열변형 등을 예측하여 「금형설계의 최적화」를 기하고 있으며 탕구방안 설정을 위한 탕류 및 응고 해석을 시행하여 탕구계(Gating System)및 가스 벤트(Gas Vent), 오버 플로우(Over Flow) 방안을 결정하고 있다.(Fig. 5,6,7)

## 6. 자동차회사에서의 주조 생산기술 전개

자동차회사에서는 새로운 공법개발과 생산기술 시스템 확립을 통한 경쟁력 확보를 위해 자체 연구소를 보유하고 있으며 이곳을 통해 생산 기술 활동을 활발히 전개하고 있다.



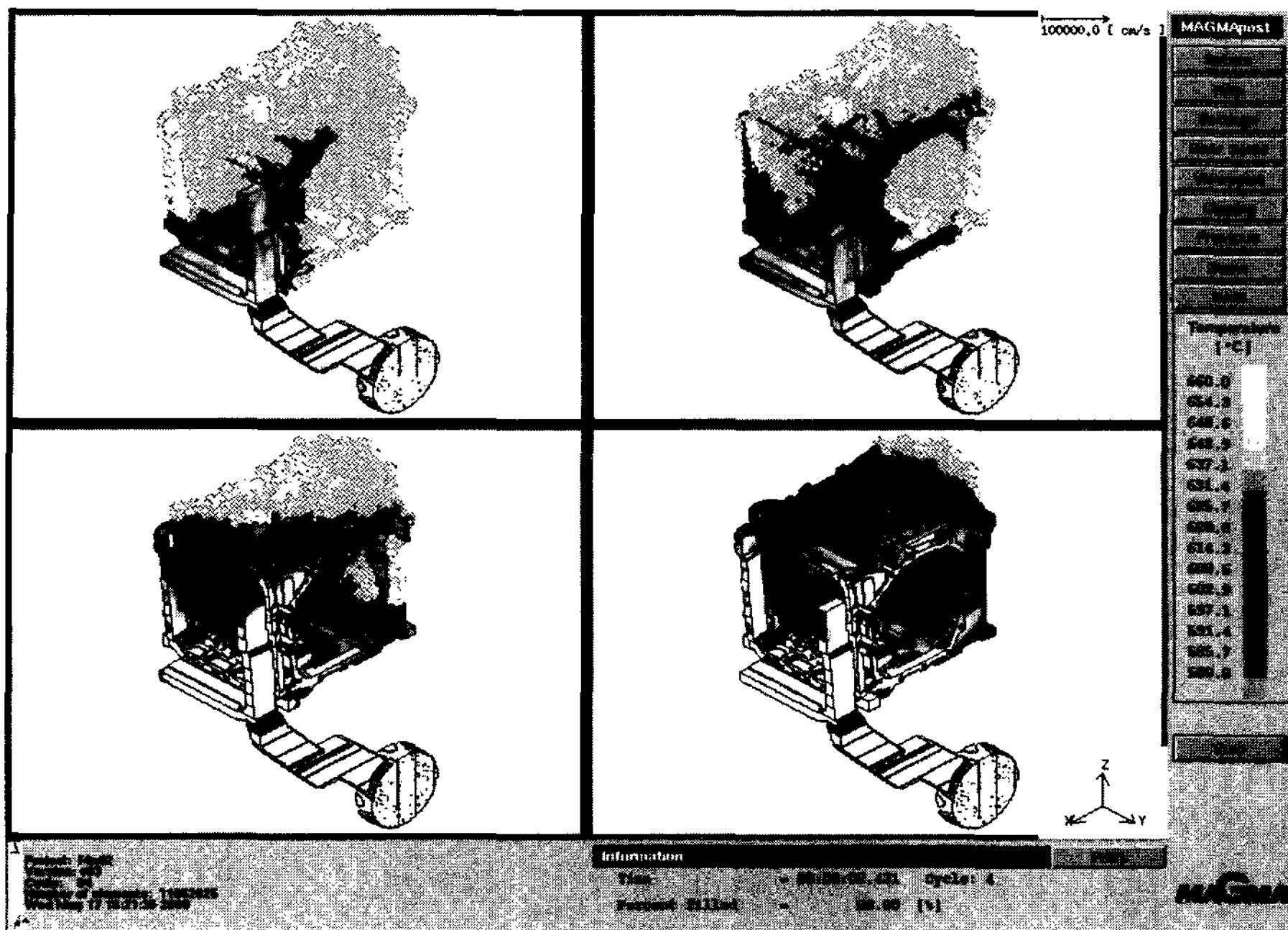


Fig. 5. 트랜스 미션 케이스 응고해석

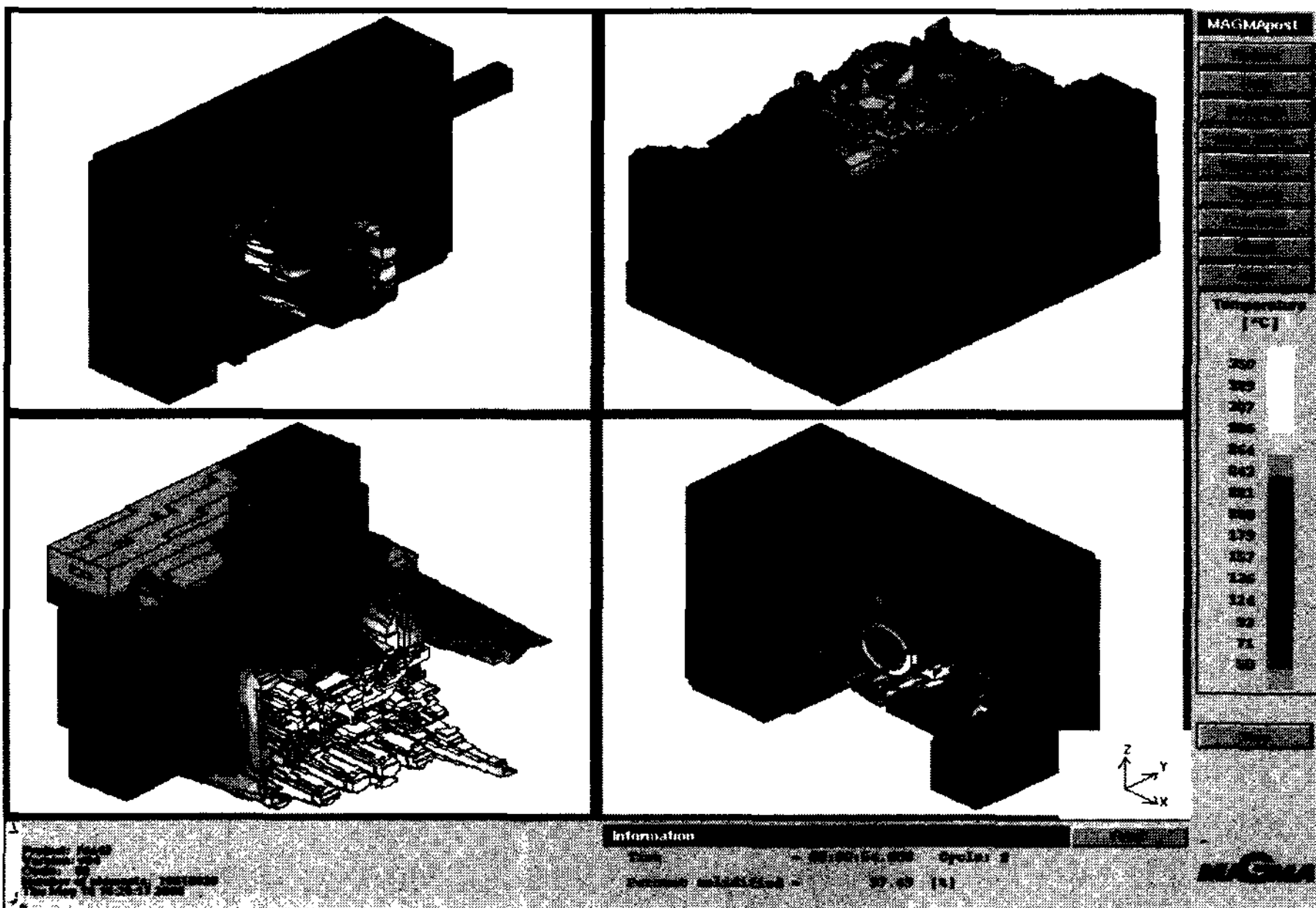


Fig. 6. 트랜스미션 케이스 금형 열 분포 해석

6.1. 지엠 (G.M)

지엠의 「새턴(Saturn) 공장」에서는 1990년 「소실모형 주조법(Lost Foam Process or Evaporative Pattern Casting Process)」을 적용한 연간 25만대 규모의 엔진

및 엑슬용 실린더 블록, 크랭크 샤프트등의 생산을 개시한바 있는데 주철과 알루미늄의 2종류 재질로 4종류의 부품을 양산할 수 있는 최초의 주조공장으로 사내 「Casting Production Readiness Center」에서 6년에

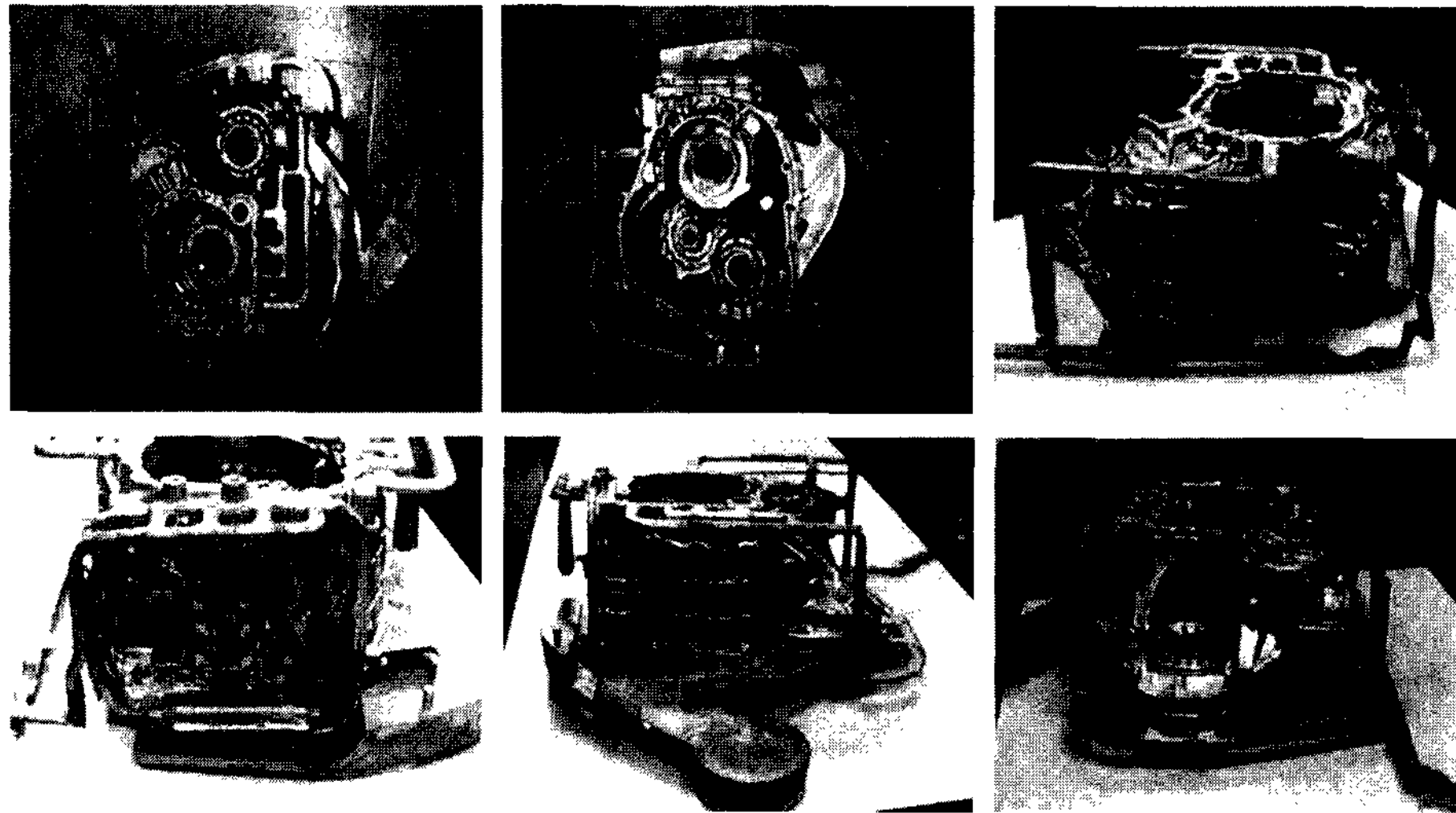


Fig. 7. 트랜스미션 케이스 탕구 방안 (Gating System)

Table 5. 자동차 회사별 주조공법 적용예

주조공법		공법명	양산적용현황		
기본공법	주형		회사명	재질	부품명
중력주조법	사형	LOST FOAM	G.M	주철	크랭크샤프트
	금형	ROTACAST	DAIMLER	알루미늄	실린더블럭, 헤드 실린더헤드
저압주조법	사형	COSWORTH	FORD	알루미늄	실린더헤드
	금형	T.D.P FLOAT CASTING	TOYOTA HYUNDAI		실린더블럭 실린더블럭, 헤드
고압주조법	금형	ACCURAD G.F(Gas Free) P.F.(Pore Free)	G.M HYUNDAI NISSAN	알루미늄	실린더블럭 변속기케이스 케이스, 블럭

결친 「시작주조 (Prototype Casting)」를 통해 「주조공법」을 확정 지었다.

모형 재료로서 저밀도 발포체(0.016 g/cc)의 EPS (Evaporative Polystrene) 또는 PMMA(poly Methyl Metha Acrylate) 등이 사용되어진다.

최근 발표된 지엠의 차세대 자동차 생산전략에 따르면 「장래의 4기통 엔진은 소실모형 주조품으로 바뀌어 나갈 것」이며 「파워 트레인 부품에서도 가능하면 소실 모형 주조품을 적용 할 예정」이라고 한다. 지엠이 「소실모형 주조법」으로 전환한 이유는 다음과 같다.

- 부품의 일체화
- 중자를 사용하지 않는다
- 기계가공의 삭감
- 우수한 재현성
- 뽑기구배와 분할선의 축소
- 자동화, 기계화가 가능

이전에 지엠은 실린더 블럭의 유압회로를 기계가공 하였으나 소실모형 주조법을 이용하여 블럭 전체의 길이를 늘릴 수 있었으며 면 조도(Surface Roughness)를 향상시킴으로써 기계가공을 생략 시킬 수 있었다. (Fig. 8)

### 6.2. 포드 (FORD)

포드는 「윈저 (Windsor) 공장」 건설시 사내 『CARD (Cast Aluminum Research and Development)』 시작설비를 활용하여 4년간의 시험주조 시행한 후 주조공법을 결정하였다.

지르콘사(Zircon Sand)와 콜드박스법(Cold Box Process)으로 만든 조립중자(Core Package)에 전자펌프(Electro Magnetic Pump)로 용탕이 충전되는 코스워스



실린더 블록

크랭크 샤프트

Fig. 8. 소실 모형법에 의한 실린더 블록 및 크랭크 샤프트 생산

공법(Cosworth Process)을 알루미늄 실린더 블록 및 헤드의 양산 주조에 적용 생산하였다.

포드 「2.5l V-6 엔진 블록」의 경우 「17종의 코어」가 「3.0 l V-6 블록」에서는 「18종의 코어」가 사용되고 있으며 주조 사이클 타임은 「주입(Filling) 30초」 「응고(Solidification) 500초」이고 치수정도는 「±0.5 mm 수준」이다.(Fig. 9)

### 6.3. 도요다 (TOYOTA)

도요다에서 V-8 엔진용 알루미늄 실린더 블록 (Close Deck Type) 개발시 검토된 저압주조법은 「내부결함이 적고 고품질의 주조품 제조에 적당하나 생산성이 낮은 결점」을 갖고 있었다. 이는 「용탕의 탕회성 확보와 지향성응고 촉진을 위해 금형온도가 높으며 이에 따라 응고 시간이 길어 지기 때문」이다. 따라서 「낮은 금형온도에서도 탕회성을 확보할 수 있고, 지향성 응고도 유지」시킬 필요성의 요구에 따라 「용탕을 금형중에 진공 흡인」시키는 「도요다 신차압주조법 (TDP법: Toyota New Differential Pressure Casting Process)」을 체계화하여 V-8 및 V-6 엔진용 알루미늄 블록 주조 생산에 적용하게 되었는데 기본 기술은 다음과 같다.

① 금형을 감싸고 있는 밀폐 용기의 감압 제어기술  
· 최고 유지 감압도가  $-4.7 \times 10^4 \cdot \text{Pa}$ 이며 제품내 수소가스 함유량이  $0.25 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$  이하

② 금형의 에어 실 (Air Seal) 기술

③ 금형의 수냉 (Water Cooling) 기술

저압주조법에서 주조 사이클 타임은 주물소재 중량이 증가함에 따라 길어지는 경향이 있다.

V-6 및 V-8블록의 중량은 42 kg 및 34 kg으로서 금

표 6. 도요다 V-형 실린더 블록 주조

항 목	V-8 블록	V-6 블록
주 조 품 중 량	42 kg	34 kg
주 조 회 수 율	94%	94%
재 질	A 390	AC2B
싸 이 클 타임	570 Sec	330 Sec

형온도가 높은 통상의 저압주조법의 경우 사이클 타임이 V-6 엔진 블록의 경우 12분 이상 예상되나 TDP 공법 적용시 330초로 약 1/2정도 단축 시켰다.

### 6.4. 현대 (HYUNDAI)

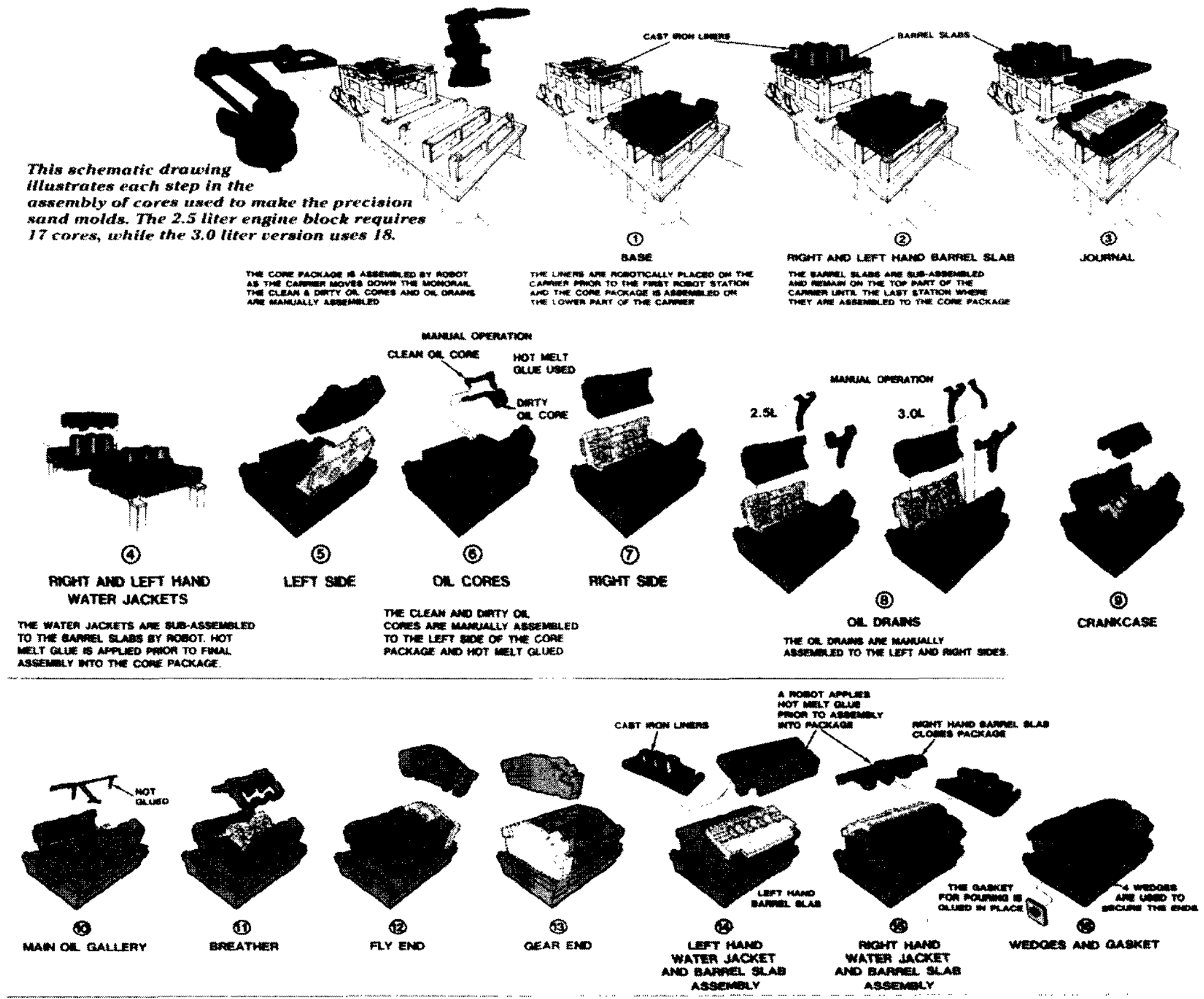
주철제 실린더 블록은 수평 및 수직 분할식 고속 조형기에서 생산되고 있으며 콜드 박스법(Cold Box Process)에 의한 「일체형 중자 조형법」이 적용되고 있다.

V-6 실린더 블록은 「크랭크실 중자」 조형시 언더컷(Fig. 10의 「R」 부) 때문에 종래의 중자 성형법으로는 「일체형 중자」를 만들 수 없어 「R부분」을 별도로 「1차 성형(First Blow)」 한 뒤 본체 중자 금형에 삽입 후 「2차 성형(Second Blow)」하여 「일체형 중자」를 만든다.(2-Blowing Core Process 또는 Core In Core Process로 불리우고 있다)

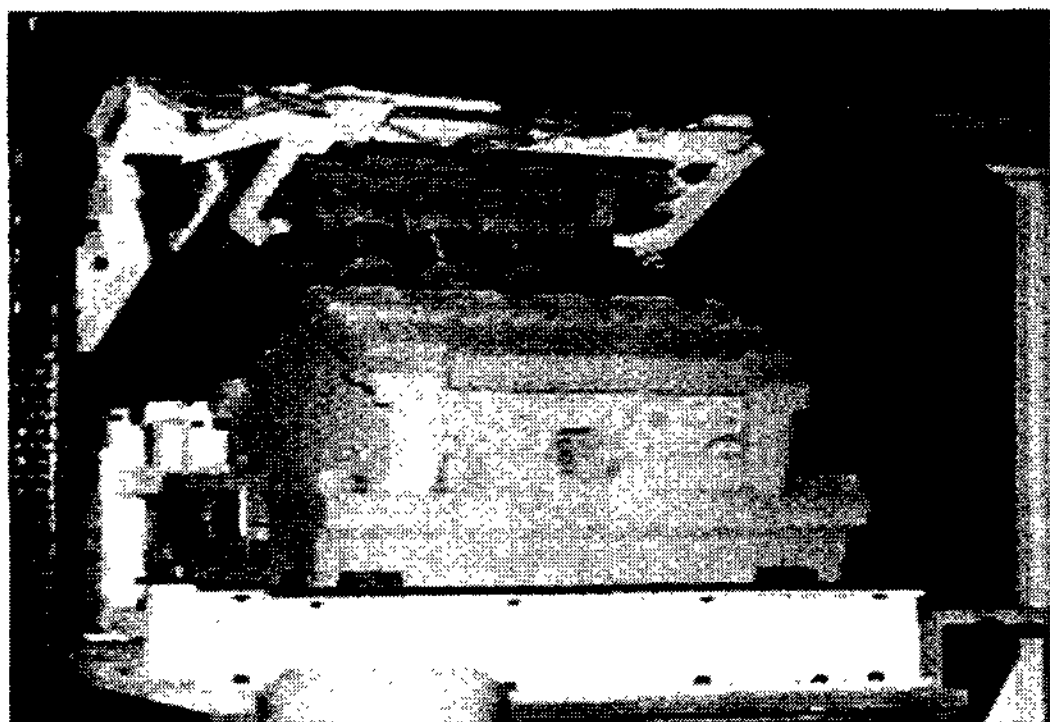
알루미늄 실린더 헤드 주조에 「저압 주조법」과 「신중력 주조법」이라고 할 수 있는 「플로트 주조법 (Float Casting Process)」이 적용되고 있다.

저압주조시 실린더 헤드 금형 캐비티(Cavity) 내 충전시 가해지는 압력  $0.22 \text{ kg/cm}^2$ 에 해당하는 수두 (Head Pressure) 100 mm를 플로트 로드(Float Rod)의 상하 운동에 의해 확보 함으로서 저압주조시의 압

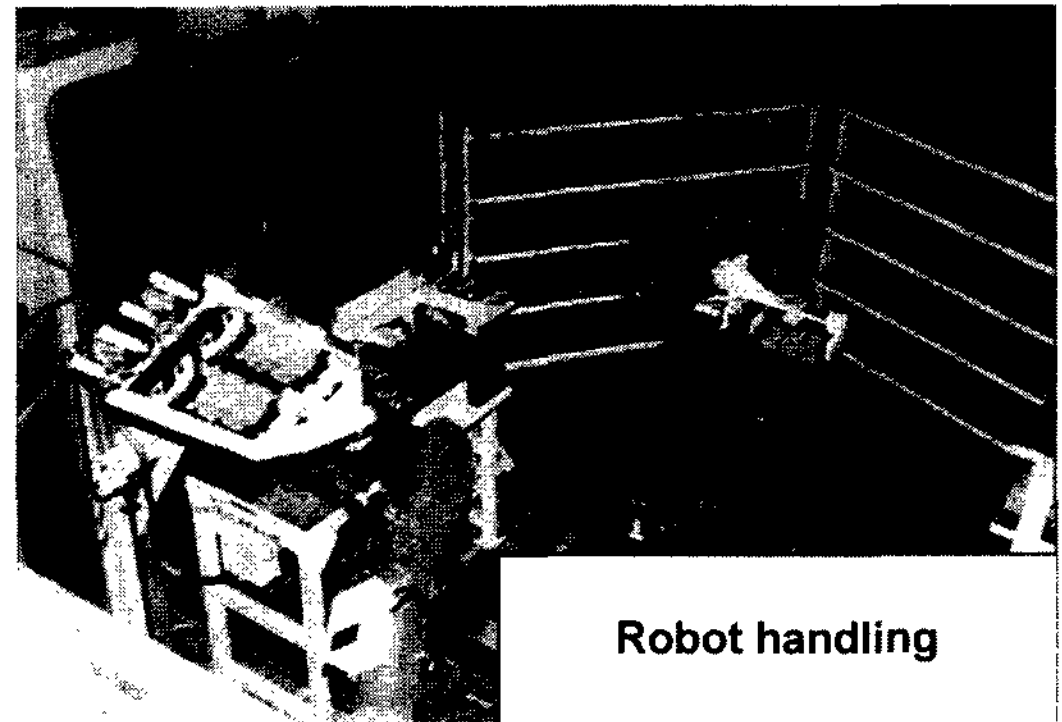




실린더 블록 코어 패키지 (Core package) 조립공정



바렐 슬래브 코어 조립



로보트에 의한 코어 취출

Fig. 9. 포드 V-6 2.5 & 3.0ℓ 알루미늄 실린더 블록용 코어 제작

력과 동일한 주조압력을 얻게 되기 때문에 금형은 양 쪽 주조법에 혼용되어 사용하고 있다.

7. 주조 품질 확보

주조 기술자에 있어서 공통된 관심사는 「결합 없는 건전한 주물을 안정적으로 주조」하는데 있다. 그러나 주조공법 특성상 「주형내에서의 용탕 거동」과 「결합

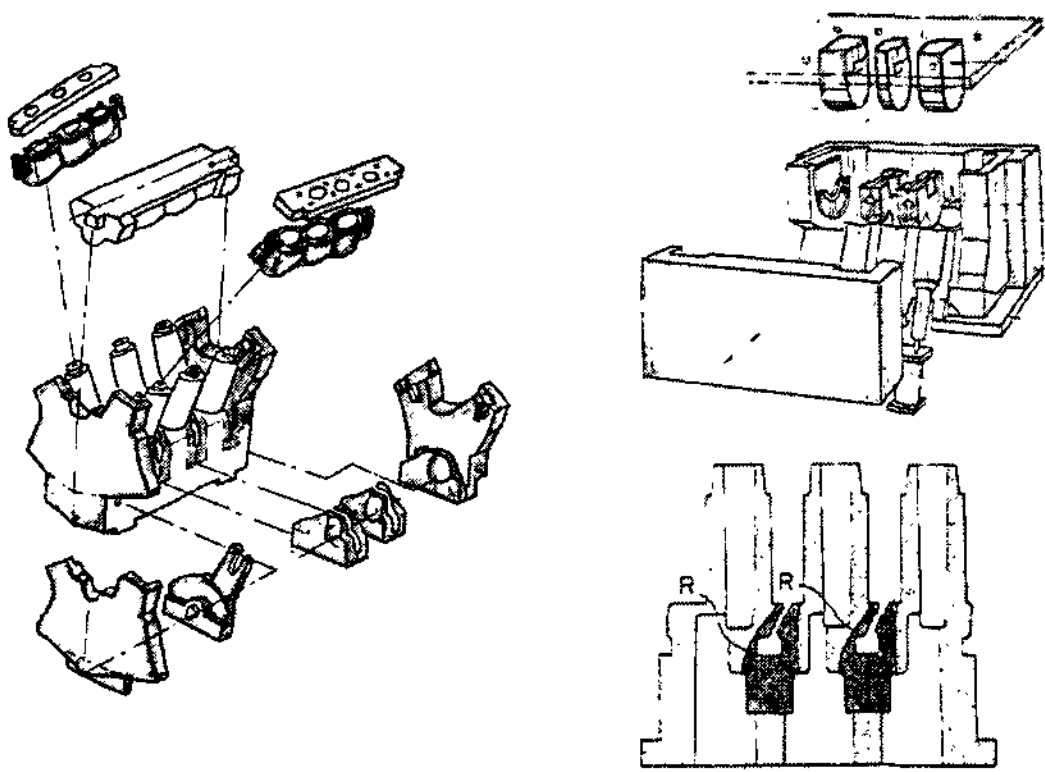


Fig. 10. V-6 실린더 블록 중자 구성 및 일체형 중자 금형 방안

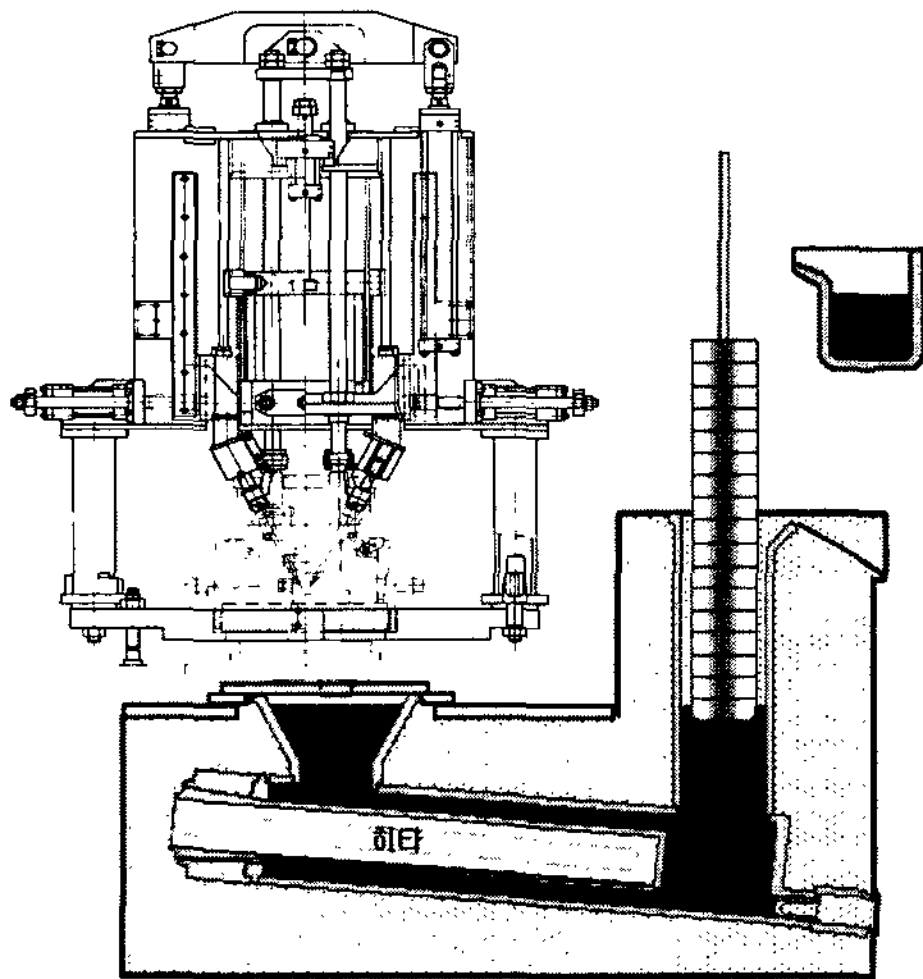


Fig. 11. 현대 신 중력 주조법(Float Casting Process)

발생 위치에서의 탕의 온도, 난류의 유무, 지향성 응고의 확인」은 현실적으로 불가능한 실정이다.

주조불량발생 원인은 「주조 기술의 부족」, 「관리 방법의 부적당」으로 대별 할 수 있는데 전자의 경우는 신제품 개발에 따른 양산 준비 단계에서 후자는 양산 중인 제품에서 돌발적이고 만성적으로 발생한다. 「주조 불량을 줄이기 위해서 어떻게 관리 할 것인가?」하는 문제는 주조 기술자에게 있어서 매우 중요한 일상의 업무라고 할 수 있으며 「각 공정에서의 관리점이 미치는 영향」, 「관리가 부적당 할 때 발생하는 불량」 「관리 방법 및 관리 요점」에 대해서 잘 파악해둘 필요가 있다.

주조품에서 발생하는 내부 결함은 품질보증 측면에서 신뢰성을 저하 할뿐 아니라 제조원가를 상승시키고 생산성을 악화시키기 때문에 신속한 대책을 강구할 필요가 있는데 현재 주조현장에서 시행되고 있는 품질보증 활동 사례를 살펴 보기로 한다.

7.1. X선CT기의 활용

자동차부품의 복잡한 형상에 따른 좁은 공간에서의 급격한 두께 변화부, 고립된 두께부에서 발생하는 「내부 수축결함」은 대부분 가공 후 리크 테스트(Leak Test) 공정에서 발견되어지는데 종래의 절단 검사 등의 방법으로는 결함부를 정확히 확인하고 찾기에 역부족이었다. 최근 「X선 CT촬영기」를 도입 활용하여 내부 결함부의 위치를 정확히 확인할 수 있어 불량대책에 좋은 성과를 얻고있다.(Fig. 12)

7.2. 전자현미경과 X선 분석장치

주조현장에서 발생하는 「핀홀 결함」등에 대해 「주사형 전자 현미경(SEM: Scanning Electron Microscope Analysis)」 및 「에너지 분산형 X선 분석장치(EDS: Energy Dispersive X-ray Analysis)」 등은 결함 내부의 미소 영역 정보를 얻을 수 있어 결함대책의 보조수단으로 현재 활용하고 있다.

일반적으로 「핀홀 결함은 미소영역에서의 용해, 산화반응, 슬래그 생성」 등의 요인으로 발생하는 경우가 많으므로 「내부 결함 분석이 가능한 SEM·EDS」는 발생요인을 추정하기 위한 유효한 수단이라고 할 수 있다.

Fig. 13은 「실린더 블록 보아」 부분에서 가공 후 발견된 결함으로 결함부를 SEM·EDS 분석한 결과 「핀홀(Pin Hole)과 유사한 모래흔입」으로 추정된 사례이다. 「스캐(Scab)」, 「국부적인 중자 또는 주형의 씻김(Wash)」, 「모서리부 주형 파손(Drop Off) 및 침식(Cut)」이 발생하여 「괴상의 주형사」가 용탕 속으로 들어가 생형사 중의 수분, 휘발분 등으로 기인한 블로우홀(Blow Hole) 결함이 발생하고 결함 내부에 생형사가 함께 존재한 경우이다.

7.3. 열화상 카메라의 활용

고압 주조법(High Pressure Die Casting)에 의해 주조되어지는 트랜스 미션 케이스는 금형의 과열에 따른 수축불량의 발생으로 가공 후 오일 리크(Leak) 불량이

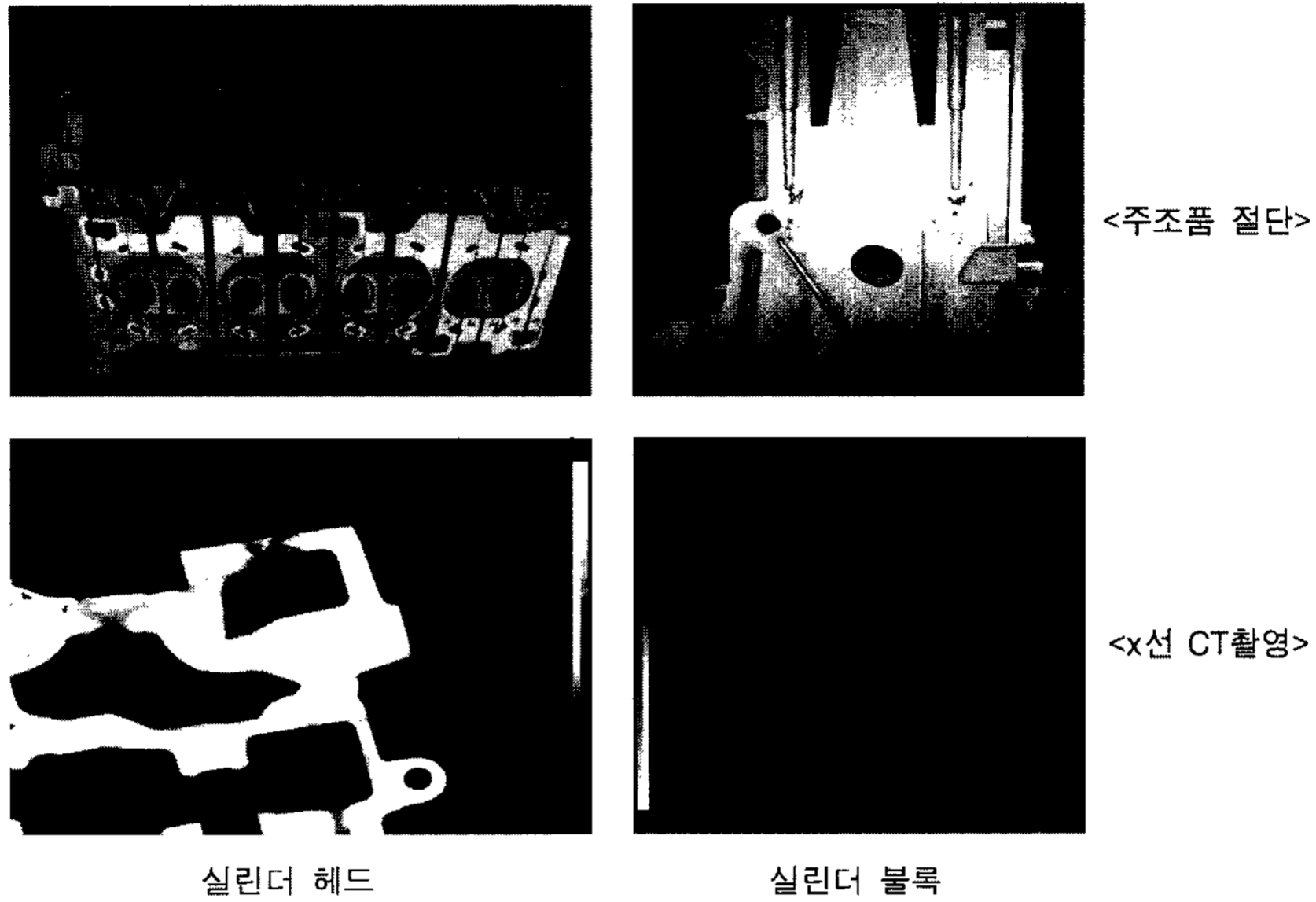


Fig. 12. 주조품 내부 수축 결함 검사 사례

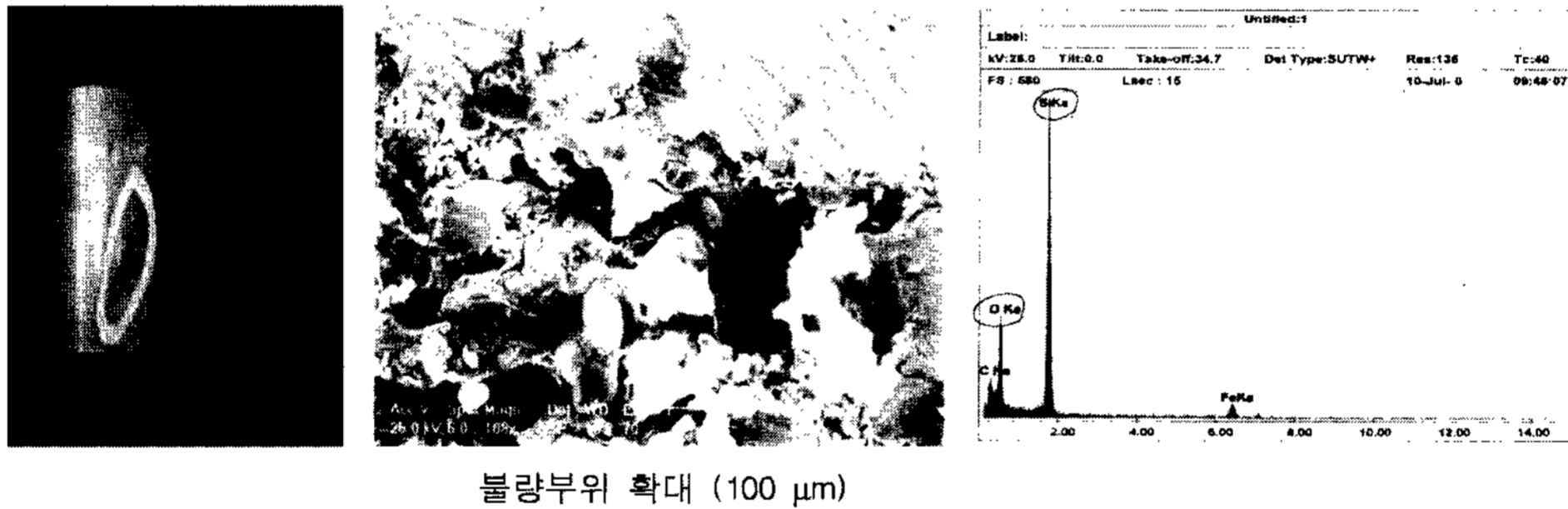


Fig. 13. 주물사 혼입 결함의 SEM·EDS 분석 사례

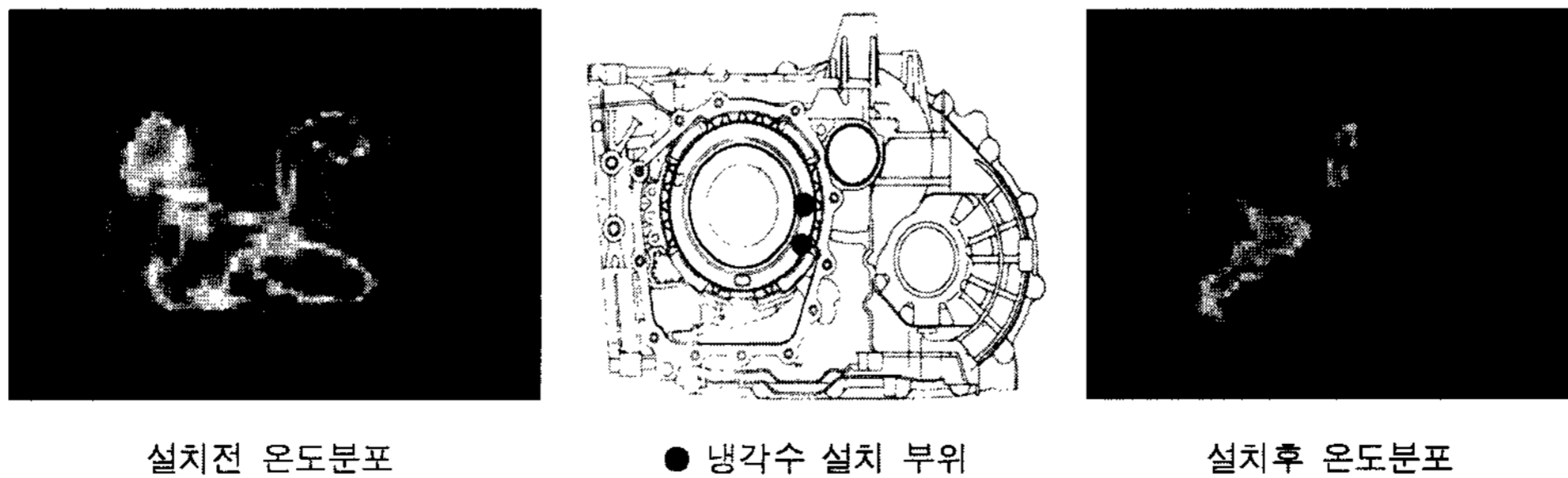


Fig. 14. 열화상 카메라에 의한 다이 캐스팅 금형 온도 측정

종종 발생된다.

다이캐스팅 금형은 일종의 「열 교환기」로서 금형온도는 「용탕을 캐비티 내에 양호한 상태로 주입시킬 수

있는 역할」과 「용탕을 빨리 응고시킬 수 있는 역할」의 상반된 두 가지 역할을 하고 있다. 일반적으로 금형온도는 「용탕온도」, 「시간당 주조수(Shot/hour)」,

「금형 냉각」의 3가지 요소에 의해 결정되어지기 때문에 「금형온도의 적정수준 유지」가 주조품의 품질확보 및 생산성 향상에 매우 중요하다.

Fig. 14는 불량 원인을 명확히 밝히기 위해 「열화상 카메라」를 활용 미션 케이스 금형 내부의 온도 분포를 측정 후 과열부에 냉각수 통로를 설치하여 줌으로서 금형 과열에 따른 수축불량을 감소시킨 사례이다.

### 8. 결 론

최근 지구 환경문제에 따른 재활용 및 대체에너지 차량개발의 필요성의 제기로 전기 자동차, 대체 에너지 차량등 저공해차의 실용화와 자동차 연비향상을 위한 차량 경량화가 급속히 추진되고 있다. 1톤에서 2.5톤까지의 차량의 경우는 연료소비량이 중량감소에 직선적으로 비례하여 감소하는 경향을 보인다. 차량연소에 영향을 미치는 요소로는 출력효율, 차량 중량의 경량화, 공기저항, 주행저항을 들 수 있으며 연비대책으로서 차량중량 증가분을 출력효율향상으로 보완하기에는 한계가 있어 자동차 회사에서는 경량화의 수단으로

「후륜구동(FR)에서 전륜구동(FF)으로의 차량구조의 전환」, 「차체구조의 설계변경」, 「부품수의 삭감과 박육화」, 「경량 재료로의 전환」 등을 강구하고 있는데 이중 경량 재료로의 전환이 가장 유효한 방법이라고 할 수 있다.

엔진의 경우 주철제 실린더 블록에서 알루미늄제 블록으로의 전환이 일찍부터 이루어져 왔는데 이는 엔진 중량 1kg의 경감은 차량전체로 보면 수배의 경량화 효과를 나타내기 때문이다. 최근엔 엔진 부품이외에 차체, 샤시 부품 즉 서스펜션 멤버(Suspension Member), 너클(Knuckle), 스페이스 프레임(Space Frame), 리어 액슬(Rear Axle)까지 알루미늄 적용 영역을 넓혀가고 있다.

선진자동차 회사에서는 새로운 공법개발과 생산기술 시스템 확립을 통한 기술 경쟁력 확보를 위하여 사내 생산기술 연구소에서의 활동을 활발히 전개하고 있다.

국내 자동차업계에서도 급변하는 환경변화에의 대응과 이들 회사와의 경쟁을 위해 주조기술 부문에서의 대폭적인 경량화 기술 개발과 새로운 제조방법의 실용화에 적극적인 관심과 인식의 전환이 요구된다.