

|||||  
技術資料  
|||||

## LPS 주조공법 (I)

이 규 환

# Low Pressure Sand Casting Process (I)

Gyu-Hwan Lee

### 1. 서 언

자동차 부품에 사용되는 알루미늄 주조품의 제조공법은 용탕 단조법(Squeeze Die Casting), 모래중자를 이용한 고압 주조법, 소실모형 주조법(EPC) 등 특수 주조법이 일부에서 적용되고 있으나 주종을 이루는 것은 고압 금형주조법(High Pressure Die Casting), 저압 금형주조법(Low Pressure Die Casting), 중력 금형주조법(Gravity Die Casting), 중력 사형주조법(Gravity Sand Casting)이 주로 사용되고 있다.

자동차 엔진 및 구동부품에 있어서 알루미늄 주물의 적용은 경량화를 통한 차량의 연비 개선, 엔진의 냉각 성능 개선, NVH(Noise, Vibration, Harshness) 개선을 주목적으로 70년대 후반부터 주철의 대체품으로서의 사용이 증가하고 있는 추세이며 그 대상도 cylinder head, cylinder head cover, piston, intake manifold, trans case, clutch housing등에서 최근에는 경량화 효과가 큰 cylinder block에 까지 확대 적용되고 있는 추세이다.

국내 자동차 제조회사에서의 알루미늄 재질의 cylinder block 국산화 적용은 1997년부터 기아자동차의 KV6엔진을 필두로 하여 현대자동차, 삼성자동차에서도 적용하고 있다.

주철 cylinder block의 알루미늄화에 의한 경량화 효과는 주철과 동일한 형상으로 설계시에는 주철 대비 약 66% 정도의 경량화 효과가 있으나 실제의 설계에 있어서는 알루미늄의 강성이 주철 대비 약하기 때문에 구조적인 보강을 고려한다면 약 50~60% 정도의 경량화 효과가 있는 것으로 보는 것이 타당하다.

기아자동차에서는 알루미늄 AC4C 재질의 V6 엔진 cylinder block과 cylinder head를 신 주조공법인 저압

사형주조공법(Low Pressure Sand Casting Process, 이하 LPS공법으로 표기)으로 개발하는데 성공하였고 1997년부터 양산중에 있다.

본 자료에서는 LPS공법에 대한 이해를 돕기 위하여 이 공법을 양산화 적용하고 있는 대표적인 두 가지의 예를 들어 개략적인 공법개요와 적용동향을 소개하고 국내 최초로 양산화 적용한 LPS주조공법에 대하여 이론적인 주조 제어원리와 LPS공법의 특성에 대하여 소개하기로 한다.

### 2. LPS 주조공법의 개요 및 적용 동향

LPS 주조공법은 사형의 mould에 0.2~0.5 Kg/cm<sup>2</sup> 정도의 압력으로 주조하여 주물을 생산하는 공법으로 주로 경합금의 주조에 이용되고 있다. 이 공법은 1980년대 중반 영국에서 전자pump(Electro Magnetic Pump)를 이용한 LPS 주조법을 양산화 개발하여 상용화되었고 주조 생산성이 높고 주조가 가능한 형상의 자유도가 높으며 박육주물의 주조도 가능하다는 점 이외의 많은 장점이 있음에도 불구하고 모래를 많이 사용한다는 단점과 이 공법이 널리 알려져 있지 않은 관계로 양산 적용을 하고있는 곳은 그리 많지 않은 실정이다.

이 공법을 다시 기술적으로 세분화하여 분류한다면 크게 두 가지로 대별 할 수 있다.

#### 2.1 Cosworth LPS 주조공법

영국의 Cosworth사가 개발한 LPS공법으로 전자 pump를 이용하여 용탕을 사형에 주입하고 주입후 mould를 roll over시켜 runner부의 용탕을 drain시킨

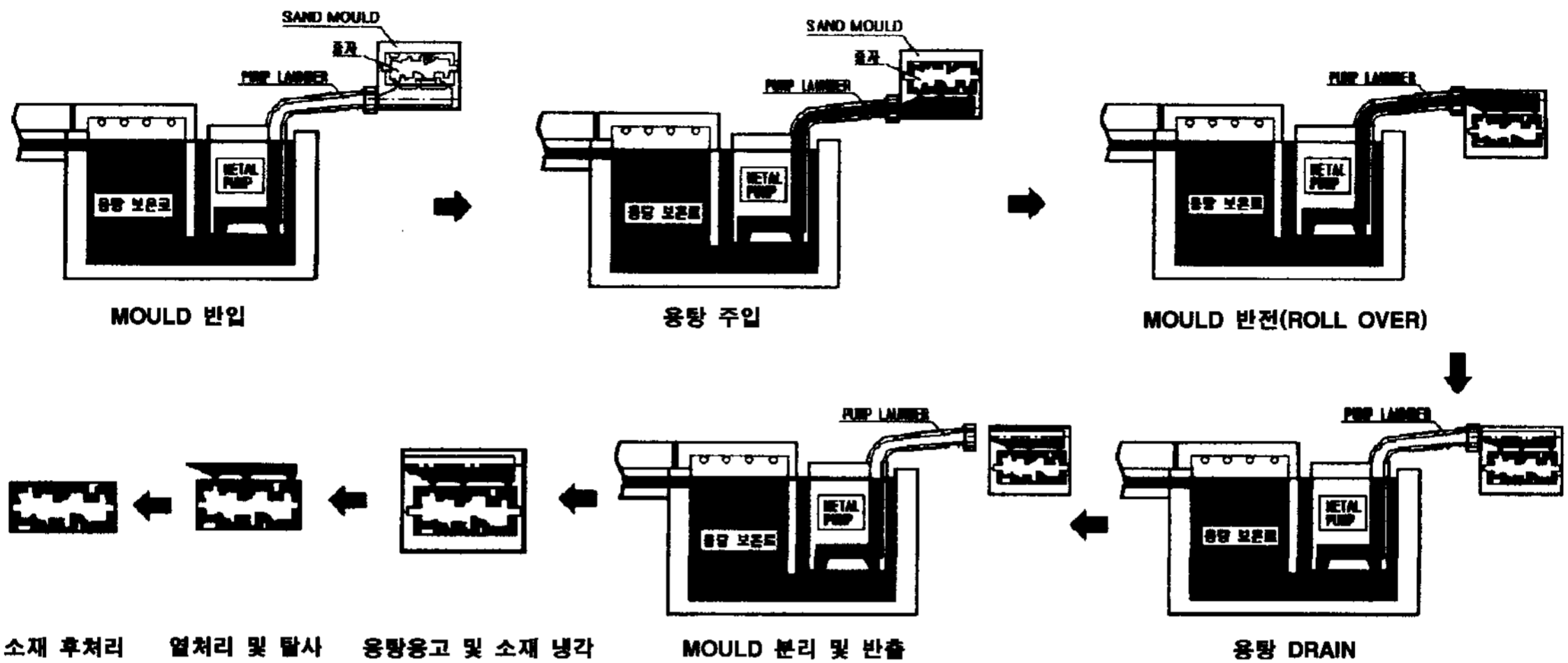


그림 1. Cosworth LPS process 주조공정 개념도.

다음 반송도중에 응고시키는 방법으로 엄밀하게 분류하면 저압+중력 사형주조에 가까우며 주조공정은 sand mould조립 및 주조기에 반입 → 용탕주입 → 가압 상태에서 mould roll over → 용탕 drain → mould 반출 → 용탕응고 및 소재냉각 → 소재취출 및 후처리공정으로 이루어져 있으며 그림 1에 주조공정 개념도를 나타내었다.

이 공법은 일명 Cosworth Process라 불리기도 하며 주조line의 구성, 주조 gate방안, 용탕 주입후의 처리 방법 등은 주철 주조공법인 Green Sand공법과 유사하다고 볼 수 있다.

Mould 및 중자 제조에 사용되는 모래는 silica sand 대비 열용량과 비중이 큰 zircon sand를 사용하고 있는데 이에 따른 장점으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 용탕 응고시 냉각속도를 빠르게하여 주물의 조직을 치밀하게 함으로써 DAS(dendrite arm spacing)값이 작은 양질의 제품을 생산할 수 있다는 점으로 고효율 엔진의 cylinder head도 생산이 가능하다.

(2) 중자와 mould의 열팽창 계수가 작아 정밀한 제품의 소재생산이 가능하다(600°C에서 0.2%정도, silica sand는 1.3%정도임).

(3) 중자제품의 겉보기 비중이 알루미늄 용탕과 비슷하기 때문에 용탕 주입시 중자의 부상 현상이 적다 (Zr sand 약 2.6, 용탕 약 2.5, silica sand 약 1.4).

(4) 모래 재생 사용시의 회수율이 높다.

그러나 이러한 장점외에 단점으로 지적되고 있는 것은 중자 제품의 중량이 무거워 mould조립 작업시의

취급성이 나쁘고 모래의 가격이 비싸다는 점이다.

이 공법의 가장 큰 장점은 주조 생산성이 높다는 점이며 주조기 대당 cycle time을 50~60초로하여 생산이 가능하다고 보고되고 있다. 이것은 그림 1에서 알 수 있듯이 용탕 주입후 mould를 roll over 시킨후 소재의 cavity부와 runner부의 용탕 일부를 남기고 용탕을 보온으로 drain시킨 다음 mould를 반출시킴으로써 주조기에서의 체류시간을 최소화한 것에 기인된다. 이러한 특성 때문에 생산line 구성에 있어 cooling zone 구간이 길어질 수 밖에 없고 주조line 구성은 주철의 green sand line과 유사하다.

소재 형상부의 응고시 가압을 하지 않고 대기압 상태에서 응고가 일어남으로써 소재품질 측면에서 가압 응고 보다 불리하나 용탕 주입시 runner부의 온도가 형상부의 온도보다 높고 roll over후 이 부분이 압탕 역할을 하여 방향성 응고가 이루어지기 때문에 양호한 품질의 소재를 얻을 수 있다고 보고되고 있다.

영국의 Cosworth Casting사에서는 이 공법으로 자동차용 알루미늄 cylinder head와 소물류 부품을 생산하고 있고 영국 이외의 국가에서 이 공법을 적용하고 있는 곳은 미국 Ford자동차의 북미 Ontario주에 위치한 Windsor공장에서 V6 엔진용 cylinder block을 생산하고 있으며 남아프리카 공화국의 M&R Foundry사에서도 이 공법을 적용하여 자동차용 부품을 생산하고 있는 것으로 알려져있다[1].

일본에서 많이 적용되고 있는 알루미늄 주조법은 주로 고압 금형주조법(HPD), 저압 금형주조법(LPD), 중력 금형주조법이 적용되고 있으나 Mazda자동차에

서는 알루미늄 cylinder block을 LPS공법으로 생산하기 위하여 추진중에 있는 것으로 알려져있다.

### 2.2 Rover LPS 주조공법

본 주조공법은 영국 Rover社가 개발한 공법으로 용탕을 가압한 상태로 응고시킨다는 점에서 정통적인 LPS 주조공법이라 할 수 있다.

이 공법은 용탕의 주입 구동원으로 전자 pump를 사용한다는 점과 사형의 mould를 사용한다는 점은 Cosworth LPS공법과 같으나 주조 제어방법, 주조방안, tundish의 적용 등 system의 구성은 상이하다.

중자 및 mould의 제조에 사용되는 모래는 zircon sand도 사용이 가능하나 작업성 및 cost를 고려하여 silica sand를 사용하고 있다.

주조공정은 sand mould의 반입 → 용탕주입 → 응고 유지 → mould 반출 → 소재냉각 → 소재취출 및 후처리 공정으로 이루어져 있고 그림 2에 주조 개념도를 나타내었다.

이 공법은 탕구방안과 공정구성이 저압 금형주조 방식과 유사하며 용탕 주입제어의 원리는 다르지만 주입 pattern도 3단 가압방식으로 저압 금형주조방식과 거의 동일하다. 응고시 가압상태를 유지하기 때문에 Cosworth LPS공법보다 주조기 생산성은 떨어지나

품질면에서는 유리한 측면이 있다.

주조system 구성상 Cosworth LPS공법과 다른점은 mould roll over 기구가 없고 mould와 전자 pump 사이에 tundish를 배치하였다는 점이다(그림 2).

연속 주조cycle의 start는 용탕을 tundish 상부 level 까지 pumping하여 유지한 상태에서부터 시작하며 주조 cycle이 완료하여 다음 cycle을 대기하는 용탕 level도 이 level로써 bias level로 부르고 있다.

이 방법의 적용은 타 공법의 일반적인 주조방법 대비 주조 cycle time을 줄일 수 있는 방안 중의 한 가지이며 주입하는 용탕온도를 미세하게 제어할수 있다는 장점이 있다.

이 공법을 적용하고 있는 곳은 영국 Birmingham에 위치한 Rover사에서 알루미늄 cylinder block과 cylinder head 및 transmission case를 생산하고 있고 국내에서는 기아자동차에서 이 공법으로 V6 cylinder block과 cylinder head를 생산하고 있다.

### 3. KIA LPS 주조 System

#### 3.1 주조 System의 구성요소 및 특징

기아자동차에서 적용한 LPS주조 system은 용탕보급 launder system, 주조기 보온로, 전자pump, pump

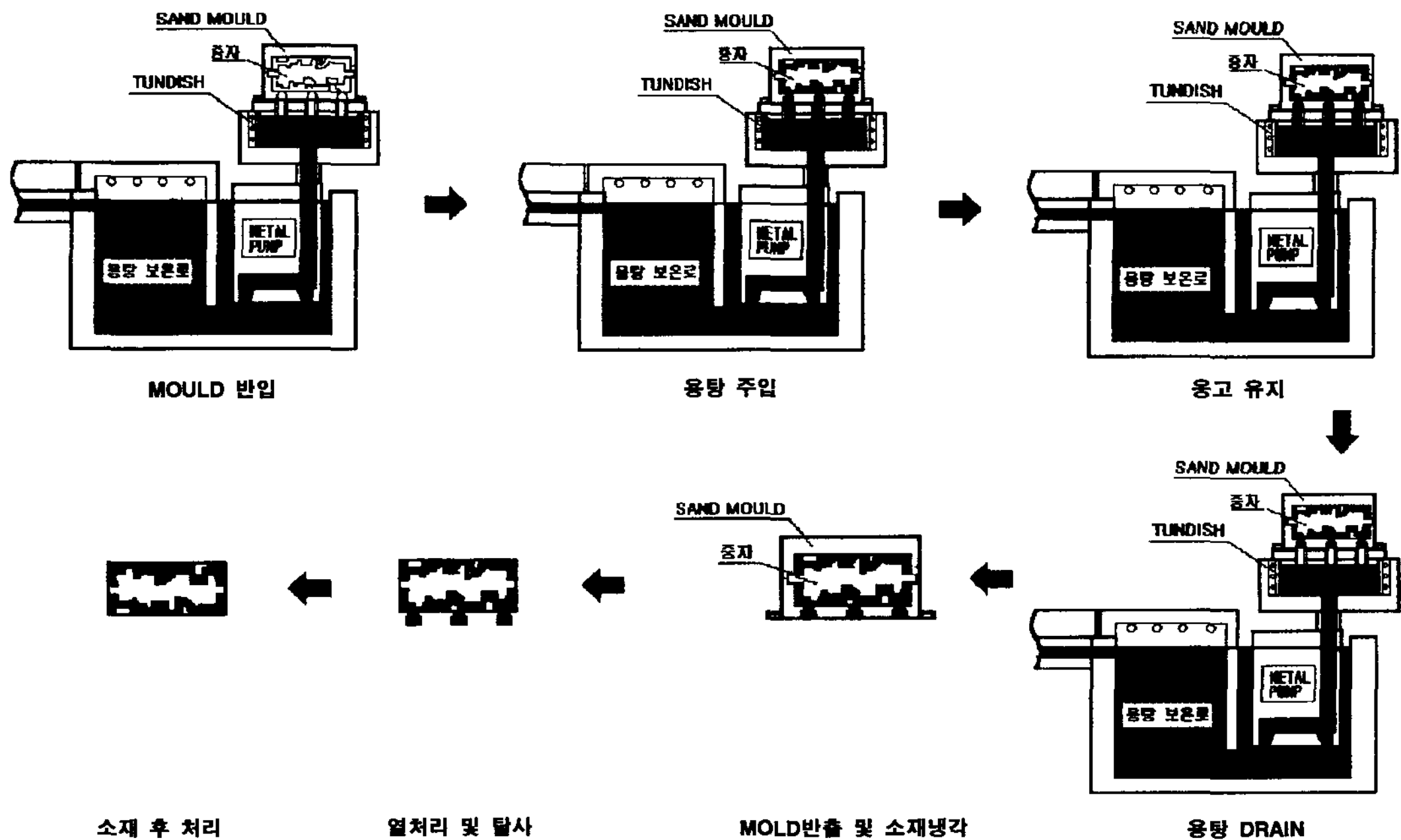


그림 2. Rover LPS procwss 주조공정 개념도.

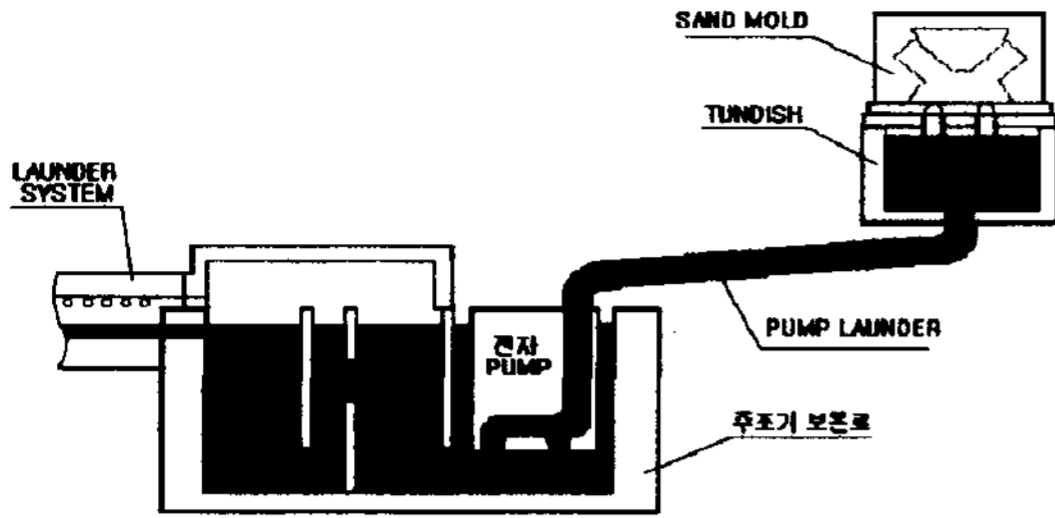


그림 3. KIA LPS 주조 system 구성도.

launder, tundish 및 주조기 본체로 구성되어 있으며 그림 3에 개략적인 구성도를 나타내었다.

이 system의 기본적인 구성요소 및 주조원리는 Rover사의 LPS system과 비슷하나 세부적인 사양은 차이점이 많이 있으며 Rover사 LPS system의 개량형이라 할 수 있다.

### 3. 1. 1 Launder System

용해된 용탕을 보온로에 보급하는 방식은 전통적인 용탕 보급방식인 ladle에 의한 수동공급 방식이 있고 자동보급 방식으로는 batch식 보급방식인 pot carrier 식과 연속식 보급방식인 launder방식이 있다.

본 system은 주조공법 자체와는 직접적인 관계가 없지만 주조line 구성 설비로써 국내에서는 적용 예가 없었기 때문에 간략히 소개하기로 한다.

launder system이란 연결형(湯道식) 자동 용탕 보급 장치를 의미하는 것으로 국내에서는 1997년 기아자동차에서 최초로 이 system을 적용하였고 이의 적용에 따른 장점은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 주조기 보온로에서 항상 일정한 용탕level을 유지할 수 있기 때문에 주조제어의 반복 정밀도를 향상시켜 일정한 품질수준의 주조품을 생산하기 쉽다.

(2) ladle 용탕 보급방식의 단점인 용탕의 낙차와 와류발생에 의한 공기와 접촉을 피할 수 있어 산화물의 생성을 줄이고 대기중의 수분으로 부터의 수소가스 흡수를 억제할 수 있다.

(3) 위험작업 공정인 용탕보급 공정을 무인 자동화를 할 수 있어 작업 안전성을 확보할 수 있다.

(4) 주조line의 lay out을 compact하게 편성할 수 있다.

launder system에 있어서 일반적으로 많이 적용되고 있는 용탕보급(pumping) 방식은 Swedish Furnace사가 개발한 상품명 "HOLIMESY" system에 적용한 가압 방식과 일본의 SANKEN(三建)사가 개발한 상품명 "ALUMAP" system에 적용한 용탕낙차를 이용한

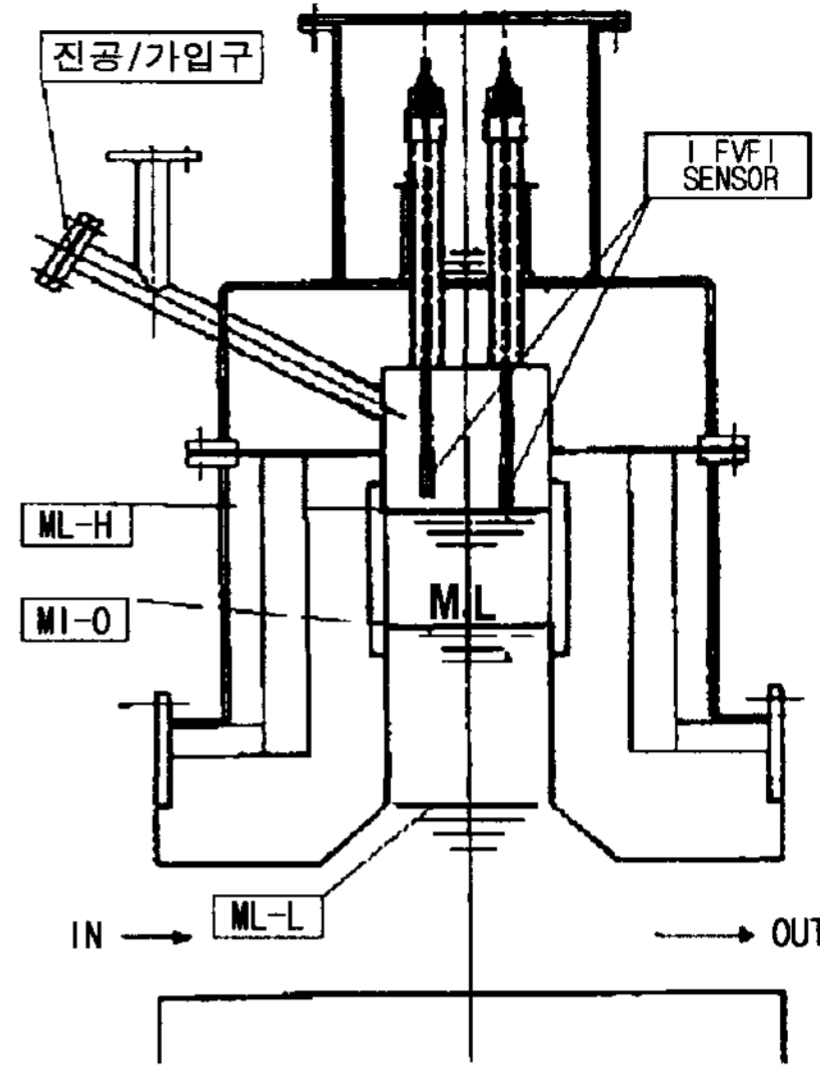


그림 4. 진공/가압 pumping chamber 구조도.

tapping 방식이 있으며 일부에서는 세라믹 재질의 mechanical pump를 이용한 보급방식을 적용하는 곳도 있는 것으로 알려져있다.

기아자동차에 적용한 launder system은 진공/가압/tapping 보급방식으로 세계에서 최초로 적용한 방법으로 그림 4에 pumping chamber의 구조도를 나타내었다.

이 system의 용탕보급 원리를 간략하게 설명하면, 먼저 pumping chamber의 용탕 흡입측(용해로 또는 buffer로 측)에 설치된 tap을 열고 토출측(launder, 주조기 보온로 측)에 설치된 tap은 닫은 상태에서 pumping chamber에 진공을 걸면 용탕이 상승하게 되고 level이 ML-H까지 상승하면 진공을 차단하고 흡입 측 tap을 닫은 다음 토출측 tap을 열고 pumping chamber에 압력을 가하면 용탕은 ML-L level까지 하강하며 토출측으로 용탕이 보급되게 된다.

다음 공정은 토출측 tap을 닫고 흡입측 tap을 열어 다음 pumping chamber에 걸린 압력을 대기중으로 방압하면 용탕level은 ML-0로 보충되며 한 cycle이 완료되게 된다.

토출된 용탕은 pumping실과 launder본체 사이에 설치된 degassing chamber를 통과하면서 rotation식 gas bubbling장치에 의해 용탕내에 함유된 수소가스의 제거와 비금속 개재물이 제거된 청정 용탕이 주조기 보온로로 보급되게 된다.

용탕보급 cycle의 제어는 pumping실의 토출측에 있는 launder본체에 설치된 용탕 level sensor에 의해 연

동 제어되며 무인자동으로 용탕이 보급되게 된다.

이 방식의 장점은 상한 level sensor의 위치조정과 가압력의 조정으로 용탕보급량을 조정할 수 있다는 점과 용탕보급 cycle의 가역제어가 가능하다는 점을 들 수 있다.

### 3. 1. 2 주조기 보온로

일반적으로 많이 사용되는 주조기용 보온로는 내부의 chamber 구조가 1개 또는 2개로 이루어져 있고 용탕 가열방식도 가압용 보온로에는 복사열에 의한 상부heater 가열방식이 주로 이용되고 비 가압식 보온로에는 상부 heater 가열방식과 침적 heater 가열방식이 이용되고 있으나 국내에서는 주로 상부 heater 가열방식이 적용되고 있다.

용탕이 접촉되는 부분의 내화물도 보온로의 요구 특성에 따라 SiC 또는 흑연 도가니, 내화벽돌, SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 타일, 세라믹 board 등이 이용되고 있으나 최근에는 비 가압식 보온로에는 세라믹 board재질이 많이 적용되고 있고 가압식 보온로에는 SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 내화물 재질이 많이 적용되고 있는 추세이며 일부 기능부품에는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계의 fine ceramic이 적용되고 있다.

기아자동차에서 적용한 LPS 주조기용 보온로는 일반적인 보온로와 그 구조를 완전히 다르게 설계한 특수형 보온로를 개발하여 적용하였다.

이 보온로의 특징은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 내부의 저장실이 4개로 나누어져 있고 용탕의 흐름을 launder로부터 유입된 용탕을 저장하는 제1보온실은 상부유입 하부배출, 용탕에 함유된 수소가스를 제거하고 비금속 개재물을 부유시키기 위한 탈가스실은 하부유입 상부배출, 탈가스실에서 손실된 용탕의 열량을 보충하고 용탕온도를 주조온도로 제어하기 위한 제2보온실은 상부유입 하부배출과 같은 방식으로 하여 보온로 내부에서의 용탕 path를 길게하여 침적 heater로부터의 열 흡수를 쉽게 하고 부위별 용탕온도 편차를 최소화하였다.

(2) 용탕표면의 dross 유입을 방지하기 위하여 보온로 내부의 각 격벽간 용탕 통과용 개구부의 위치를 일정 깊이 이상의 내부에 설정하였고 격벽의 재질은 내식성이 좋고 열전도도가 좋은 SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 내화물을 사용하였으며 용탕이 접촉되는 보온로 내부면의 내화물도 이 재질을 사용하였다.

(3) 용탕 가열원은 침적식 전기heating 방식을 적용하여 열효율이 높고 상부 가열방식의 단점인 용탕 깊

이에 따른 온도편차를 최소화 하였다. 또한 로내 분위기온도가 용탕온도와 거의 같은 온도로 낮게 제어되므로 산화물의 생성억제와 용탕의 수소가스 용해한(溶解限) 저하로 수소가스 흡수량을 줄일 수 있다.

(4) SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 내화물 재질의 porous pipe를 이용하여 불활성 가스 bubble에 의한 탈가스 처리가 가능하게 하여 용탕내의 수소가스 농도를 줄이고 청정한 용탕을 얻을 수 있다. 특히 장기간 용탕 holding시 대기 중의 수분으로부터 흡수된 용탕내의 수소가스에 의한 주조결함을 줄이는데 큰 효과가 있다.

### 3. 1. 3 전자 Pump

LPS주조에 사용되는 전자pump(Electro Magnetic Pump)는 미국의 cmi Novacast사에서 제조한 것을 사용하고 있는데 이것은 Cosworth process에 사용되는 pump와 작동원리는 비슷하다.

전자pump는 LPS주조에 있어 가장 핵심적인 기능부품으로 본체는 단열성과 내열성이 우수한 ceramic 재질로 되어 있으며 그 내부에는 자기장을 발생시키기 위한 coil이 내장되어 있다(그림 5).

전자pump의 coil은 용탕에 2차 측 유도전류를 발생시키기 위한 transformer 기능을 하는 "Current coil"과 용탕흐름의 방향을 제어하고 적정의 유량을 유지하기 위한 "Field coil"로 구성되어 있다.

전자pump는 용탕속에 잠겨져 있는 상태로 가동되기 때문에 내부가 항상 고온인 상태로 되고 coil의 소손(燒損)을 방지하기 위하여 항상 냉각을 실시할 필요가 있다.

이러한 특성 때문에 coil의 재질은 pump 작동시에 발생하는 열과 강제 냉각시의 열전도도를 향상시키기 위하여 aluminium재질의 foil형으로 만들어져 있으며

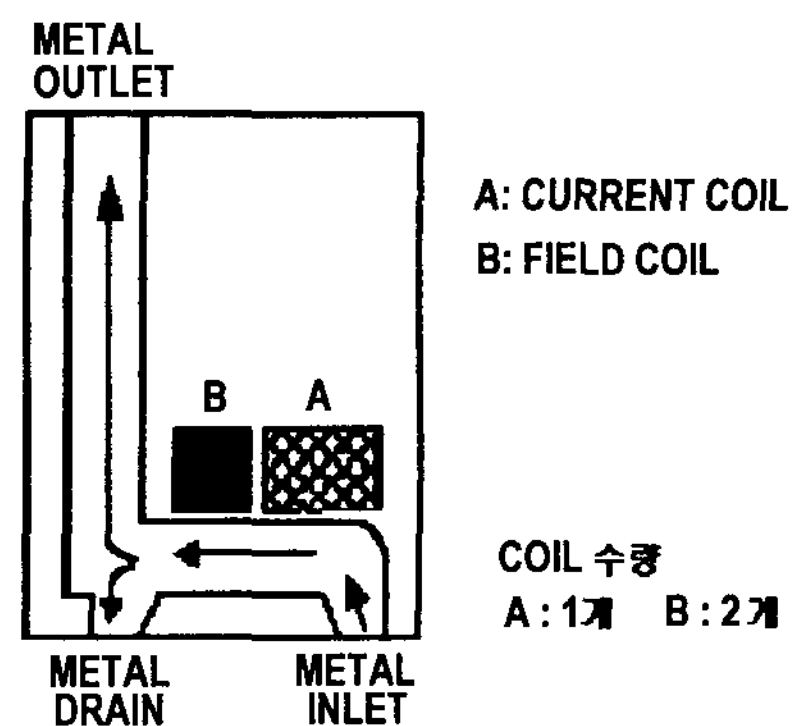


그림 5. 전자 pump 내부 구조도.

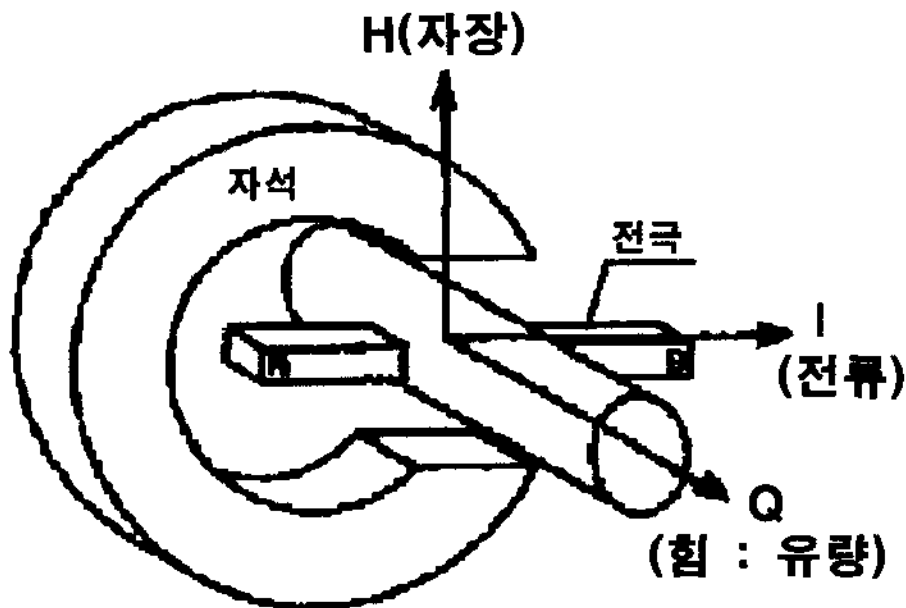


그림 6. FLEMING의 왼손법칙 설명도.

foil표면의 절연피막은 250°C 이상의 고온에서 견디는 적당한 절연재가 없기 때문에 알루미늄 foil 표면을 anodizing처리를 하여 절연기능을 하도록 하였다.

전자pump의 작동원리는 FLEMING의 왼손법칙을 이용한 것으로 그림으로 작동원리를 나타내면 그림 6과 같다[2].

㉑ Current Coil 통전(通電)

그림 7과 같이 coil 하부에 aluminium용탕이 들어있는 세라믹 관(pipe)을 배치하고 coil에 전기를 통하게 하면 이 coil은 transformer의 1차 coil의 역할을 하여 하부에 있는 aluminium용탕에 유도전류를 발생시키며 (용탕은 2차 coil 역할을 함) 이때 current coil에서 발생된 자장에 의해 그림 7의 I(전류)방향으로 용탕이 순환된다.

용탕이 순환되는 거동은 보온로 pump chamber내의 용탕을 교반하여 부위별 온도편차가 거의 없는 양호한 용탕을 얻을 수 있게하는 기능을 한다.

㉒ Field Coil 통전

Current coil 通電상태에서 Field coil에 통전시켜 그림 8의 H 방향으로 강력한 자장을 발생시키면 용탕은

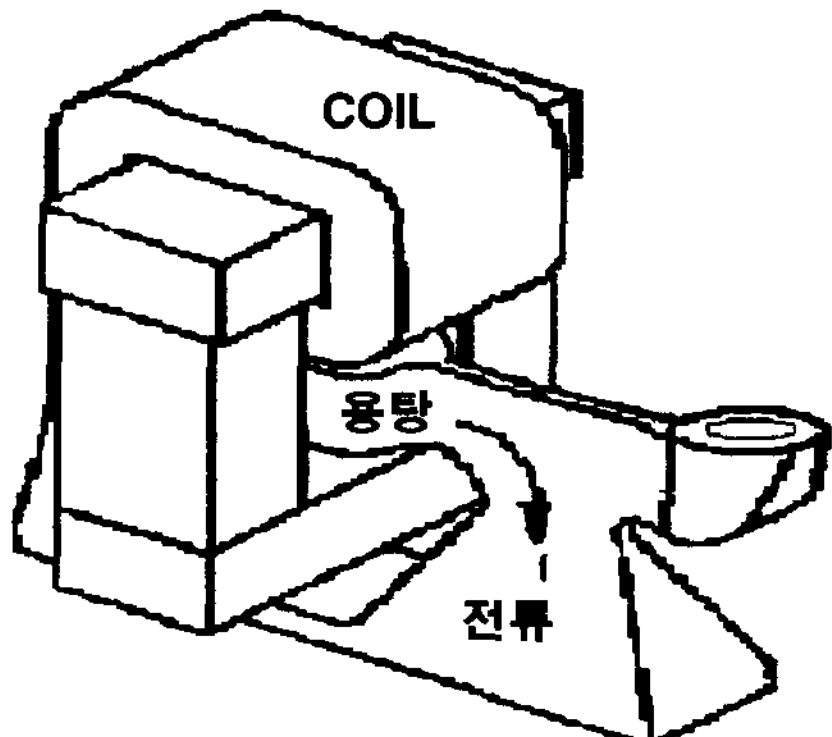


그림 7. Current Coil 기능 설명도.

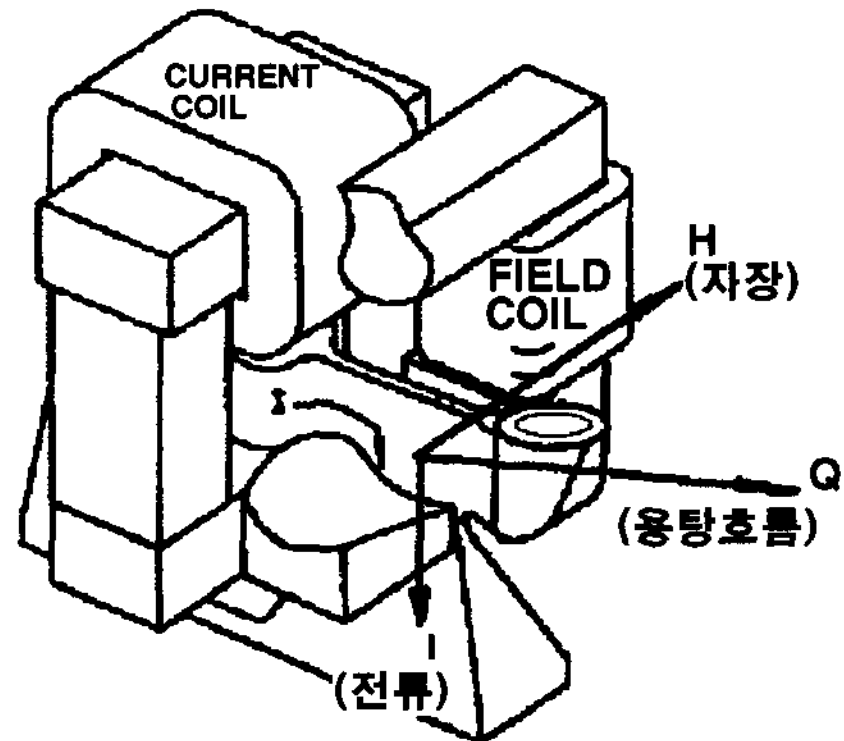


그림 8. Field Coil 기능 설명도.

FLEMING의 왼손법칙에 의해 Q 방향으로 흐르는 힘이 발생하게 되고 용탕의 관로를 위로 향하게 하면 용탕은 위로 pumping되고 일부의 용탕은 I 방향으로 설치된 drain hole을 통하여 drain되게 된다.

주조 압력(용탕 수두)은 용탕에 걸리는 유도전류의 세기(Current coil의 출력)에 비례하며 Field coil은 출력을 높여도 약간의 압력상승 효과는 있으나 압력을 크게 상승시키지는 않으며 압력을 지배하는 인자는 아니다.

실제의 용탕주입 제어는 Field coil의 출력은 일정하게 유지시키고 Current coil의 출력으로 제어한다.

3. 1.4 Pump Launder

Pump launder는 전자pump와 tundish를 연결하는 용탕공급 관(tube)으로 용탕이 접촉되는 통로부는 재질을 SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 내화물로하여 내구성을 높이고 산화물의 부착성을 억제하도록 하였고 그 주위를 ceramic moulding type의 heater로 가열하여 외부로의 열방산은 줄이고 관을 효율적으로 가열하여 용탕온도를 제어할 수 있는 구조로 하였다.

3. 1.5 Tundish

Tundish는 본체와 distribution plate로 구성되어 있으며 주조시 용탕을 일시적으로 저장하는 저장통으로 LPS주조에서는 용탕을 mould의 각 탕구로 분배하는 distributor 기능을 한다.

용탕이 접촉하는 부분의 내화물은 세라믹 재질로 되어있고 용탕온도의 유지를 위하여 측면부를 heater로 가열을 할 수 있는 구조로 되어있다.

3. 1.6 주조기 본체

주조기 본체는 mould 반입, 반출부와 mould 압착부, mould lifter부로 구성되어 있고 저압주조기 대비 간단

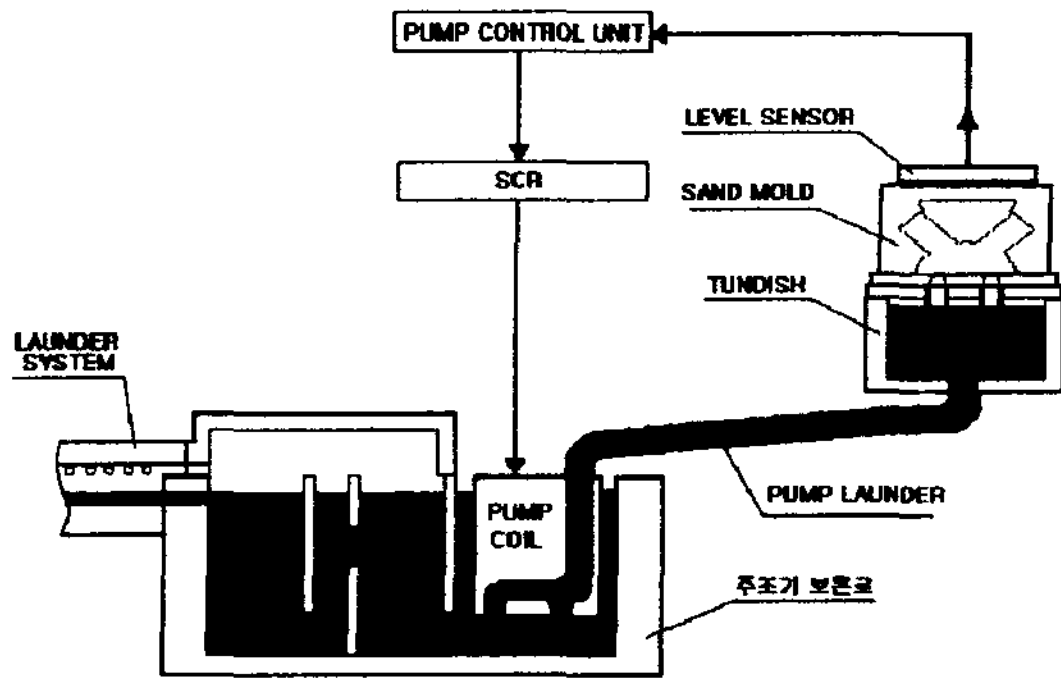


그림 9. LPS 주조 제어 System도.

한 구조로 되어있다.

Mould 압착부에는 용탕주입을 할 때 mould 내부에 충전되는 용탕의 level을 검지하기 위한 sensor가 내장되어 있다.

### 3.2 주입 제어System 및 주조 원리

#### 3.2.1 주입 제어System 구성요소 및 특징

LPS 주조의 주입제어에 관련된 구성요소는 용탕주입 구동원 역할을 하는 전자pump, 주입되는 용탕의 level을 검지하기 위한 sensor, pump의 출력을 제어하기 위한 pump control unit와 그 출력을 변환 제어하기 위한 SCR 등으로 구성되어 있다(그림 9).

주입제어의 특징은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 연속 PID feed back 제어방식으로 반복제어 정밀도의 확보가 가능하다.

(2) 용탕주입시 mould내에 주입되는 용탕level을 직접 검지하여 제어하는 방식으로, 보온로 내의 공기압을 검출하여 그 값을 용탕수두 높이로 환산하여 제어

하는 LPD 제어방법보다 상당히 정확한 방법이다.

(3) 용탕level 검지용 sensor는 inductive sensor로 비접촉식이며 넓은 면을 측정할 수 있고 수명이 길다.

(4) LPD 주조공법은 압축성 유체인 공기의 압력이 구동원인 반면(보온로의 용탕level을 제어하여 위치 에너지로 가압하는 방법도 있음) LPS는 전자pump의 출력이 구동원으로 제어의 정확도가 높다.

(5) 전자pump의 특성을 이용하여 pump출력 preset 제어도 가능하다.

이상의 특징중 타 주조공법에서는 볼 수 없는 독특한 것은 주입제어시 연속으로 mould내부의 용탕level을 검출하여 제어한다는 점이며 이 방식은 V형 cylinder block과 같이 제품의 높이에 따른 단면적 변화가 큰 제품의 주조시 효과적인 제어방법이라 할 수 있다.

#### 3.2.2 주조 원리

LPS주조법의 용탕주입 기본 개념은 기존의 LPD 주조방법과 거의 유사한 3단 주입방식이며 개략적인 주조원리에 대하여 이해를 돕기 위해 LPD와 비교하여 설명하기로 한다.

그림 10은 용탕주입 곡선으로 실제 주조시의 소재 높이와 비교하여 나타내었다.

주입제어 방법은 먼저 pump를 기동하여 용탕이 tundish 상부(H1)까지 올라가도록 pumping하며 이때의 용탕 level을 bias level이라 하며 연속 주조시 주입 시작 조건으로 용탕주입 준비단계로 볼 수 있다.

주조 cycle완료 후에도 tundish의 용탕을 보온로로 return시키지 않고 이 level을 유지한다.(LPD의 경우 주입완료 후 용탕이 보온로로 return되고 보온로의 용

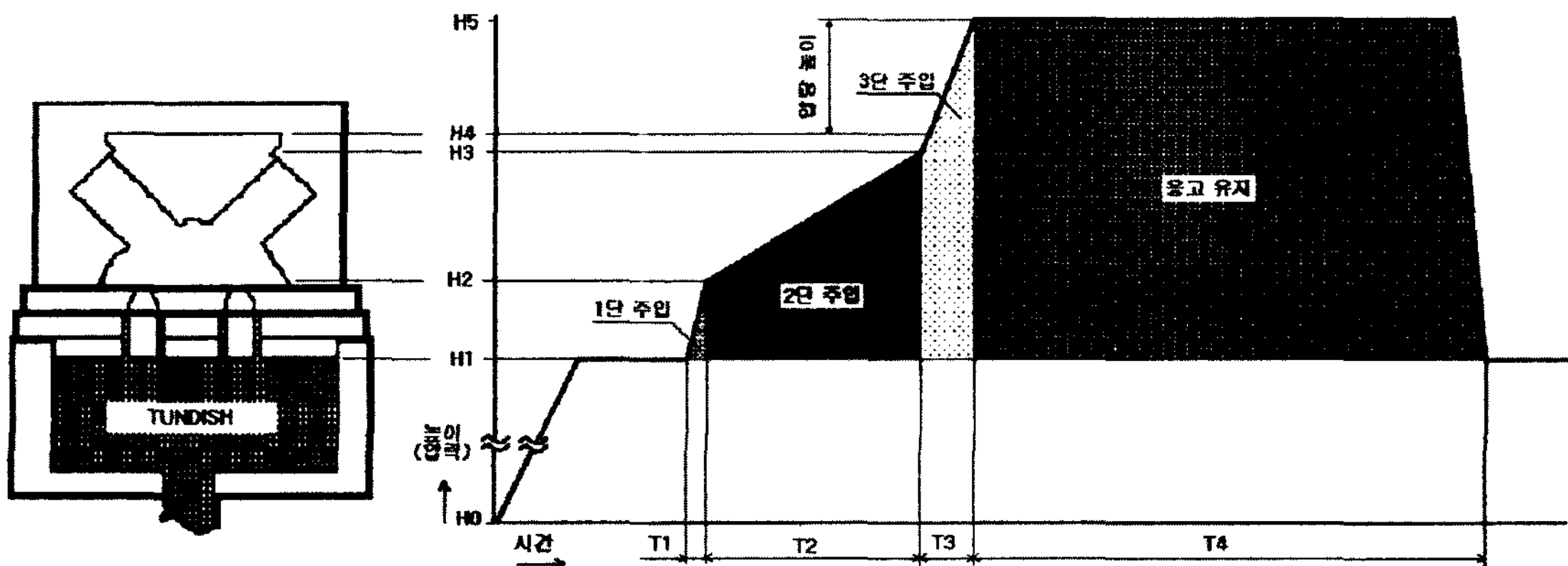


그림 10. LPS 주입제어 곡선.

탕level이 주입 시작 조건이 됨)

그 다음 단계는 주입단계로 먼저 용탕을 mould의 탕구 직상부(H2)까지 주입하며 저압주조의 1단계 주입에 해당된다.

용탕이 H2 level에 도달하면 제품의 상부높이(H3, cavity의 최고 상부에서 일정높이를 뺀 높이)까지 Closed Loop PID feed back 제어방식에 의해 주입되며 이 단계는 LPD의 2단계 주입에 해당된다. 이 단계에서의 주입제어 과정은 PCU(Pump Control Unit)에 미리 입력된 parameter에 따라 연속으로 level sensing → PCU에서 연산 및 출력지령 → SCR 출력변환 → pump출력의 cycle을 반복하면서 제어한다.

그 다음 단계는 LPD의 3단계 가압에 해당하는 단계로 용탕이 H3 level까지 도달하면 설정된 압력으로 용탕을 제품의 최 상부까지 주입하고 압탕 가압력을 가한 상태로 응고가 완료 될 때까지 유지하게 된다.

압탕효과를 얻기 위한 가압력은 (H5-H4)의 높이에 해당하는 압력이며 pump의 current coil 출력 암페어로 관리한다.

기아 자동차에서 사용하고 있는 pump의 출력특성은 용탕주입 구간에서 current coil 출력 1 암페어당 약 25 mm의 양정으로 이 값을 이용하여 압탕높이(압력)를 암페어로 관리하고 있다.

용탕응고가 완료되면 pump출력은 bias level출력으로 떨어지고 용탕은 응고 완료된 탕구부와 분리되어 다시 H1 level로 하강하게 되고 이 동작이 완료되면 주입완료된 mould를 주조기로부터 취출하여 후공정으로 반출하면 주조공정이 완료되게 된다.

#### 4. LPS 공법의 특징

LPS 제조공법의 가장 큰 특징이자 장점은 주조 생산성이 좋고 복잡형상의 주물을 만들 수 있으며 박육형상의 주조가 가능하다는 점이라 할 수 있다.

다시 말하면 주조 생산성 면에서는 HPD공법에 필적하는 생산성과 LPD공법의 특징인 내부형상이 복잡하여 중자를 필요로 하는 소재의 생산이 가능하고 소재의 강성을 높이기 위한 열처리가 가능하다는 LPD 공법의 장점을 모두 갖춘 공법이라 할 수 있겠다.

##### 4.1 주조 생산성

LPS공법의 가장 큰 장점은 주조 생산성이 좋다는

것을 들 수 있다. 실제 기아자동차 LPS line에서 생산하고 있는 V6 엔진용 cylinder head의 cycle time은 230초로 2 cavity/shot 방안으로 생산하고 있다. 이는 개당 115초의 주조 tact time으로 가압 주조방식은 세계 최고의 주조 생산성이며 동일 중량의 HPD공법 주조 tact time과 맞먹는 수준이다(실제 HPD공법으로 내부형상이 복잡한 cylinder head를 주조하는 것은 무리임).

V6 엔진 cylinder block은 주조 cycle time이 385초로써 약 3분대인 HPD공법에 비교하면 긴 편이나 LPD공법에 비교하면 짧은 편이다.

Cylinder head에 비하여 cycle time이 월등히 긴 것은 KV6 cylinder block의 형상적인 특징 때문으로 두꺼운 형상이 넓게 형성된 crank journal부의 형상에 기인된다. Rover社의 직렬 4기통 엔진 cylinder block의 cycle time이 cylinder head와 비슷한 4분 정도인 것을 감안한다면 HPD공법으로 생산 가능한 정도의 cylinder block 형상일 경우 4~4.5분의 cycle time 달성도 가능하리라 판단된다.

표 1은 cylinder head를 2 cavity/shot 방안으로 생산할 때의 주조 cycle time의 한 예를 공법별, 구성요소별로 구분하여 나타낸 것으로 LPD공법에서는 용탕주입, 응고, 냉각시간이 전체 cycle time의 80%정도를 차지하고 수작업 시간도 12%정도를 차지한다.

따라서 주조cycle time의 단축을 위해서는 용탕의 응고, 냉각시간의 단축이 가장 효과적인 방법이며 실제로 최근에는 LPD에서는 금형의 냉각을 통한 cycle time을 단축하려는 방안이 많이 시도되고 있는 추세이다.

과도한 금형 냉각시 성형성이 나빠지는 문제점을 보완하기 위하여 일본 TOYOTA 자동차에서는 금형의 cavity부에 진공압을 걸어 이 문제를 보완하는 방법을 적용하여 cycle time을 단축하였다고 알려져 있다.

LPS공법이 금형 주조공법 대비 주조 생산성이 좋은

표 1. 주조공법별 주조 CYCLE 구성요소 비교

구 분		LPD	LPS	비 고
구 성 요 소	기계 동작	50초	40초	중자, 철망 setting 등
	수 작업	(70초)	-	
	용탕 주입	35초	10초	
	응고	245초	180초	
	냉각	200초	-	LPS: 반송중 냉각
합계(cycle time)		600초		230초



점은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 금형주조의 경우는 금형을 예열 하여 주조하여야 하는 반면 LPS공법은 상온의 mould에 용탕을 주입하므로 작업준비 시간과 응고시간이 짧다.

(2) 금형주조의 경우는 cavity내의 용탕이 응고 완료된 후에도 離型 時의 소재변형을 줄이기 위해 소재온도가 적정온도로 냉각 될 때까지 유지하여야 되는 반면 LPS는 응고완료후 바로 mould를 취출하여 반송도중 냉각시킬 수 있기 때문이다.

(3) LPD의 경우 중자 setting, 철망 setting, 도형제 spray, 기계조작 등의 수작업이 주조공정에서 이루어 지는데 비하여 LPS는 주조공정에서는 수작업공수가 없이 전자동으로 주조가 가능하기 때문에 인적요소에 의한 변동요인이 없다.

(4) Distributor 기능을하는 tundish를 채용하여 주입 대기 상태의 용탕level을 mold와 최대한 가깝게 유지하여 전체 주입시간을 줄일 수 있다.

이상과 같은 같은 요인들에 의해 주조공정에서의 cycle time의 단축이 가능하여 주조기의 생산성을 높일 수 있다.

#### 4.2 주조가능 형상의 자유도

LPS공법이 타 공법 대비 복잡형상의 주조가 가능하다는 점은 금형주조에서는 외부형상을 만드는 주형(主型)이 금형으로 되어 있기 때문에 빼기구배 설정이 가능한 형상의 소재만 생산가능한데 비해 LPS는 사형 주조로써 주형 형상도 사형으로 되어 있기 때문에 주조가 가능한 형상의 제약요소가 적다.

금형주조에서 발생하는 쉘층의 충격도 거의 없기 때문에 섬세한 형상의 주조가 가능하다.

실제로 기아자동차에서 생산하고 있는 V6 엔진 cylinder block의 형상은 open deck 구조이지만 매우 복잡하여 LPD공법으로는 주조가 불가능한 형상이지만 LPS공법으로는 생산이 가능하다.

알루미늄 cylinder block의 주조공법은 water jacket 상부deck 구조와 제품의 형상에 따라 결정된다.

일반적으로 HPD공법은 open deck 구조로 모래 중자를 사용하지 않고 주조가 가능한 형상만 적용가능하고 LPD공법과 LPS공법은 open deck, closed deck 구조의 제품을 모두 적용 가능하며 HPD공법보다 복잡한 내부구조의 제품을 생산할 수 있다.

저압 주조공법 중에서도 LPS공법은 LPD공법에 비

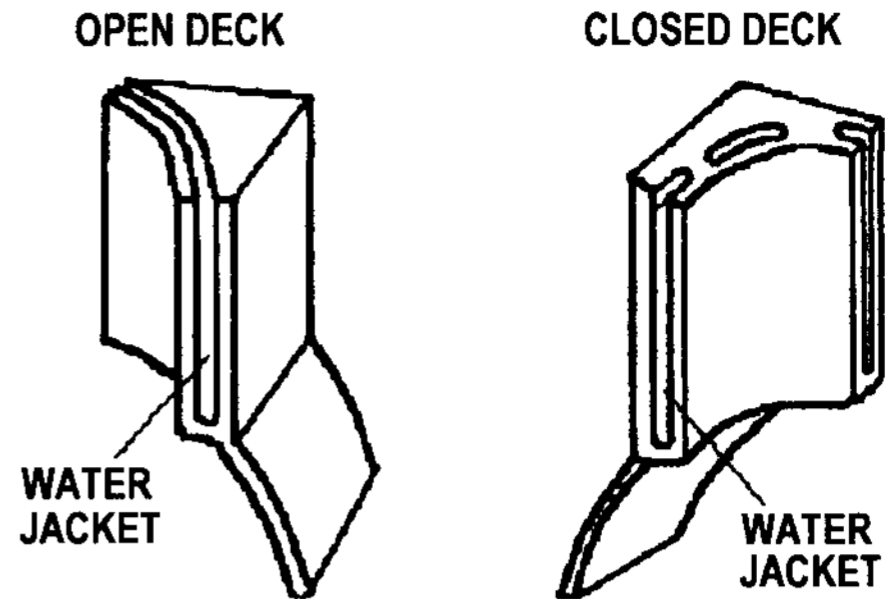


그림 11. Cylinder Block Deck 구조도 비교.

하여 형 조립시의 충격이 적어 가늘고 긴 형상의 모래 중자를 사용할 수 있고 빼기구배의 제약요소가 적기 때문에 더 복잡한 형상의 제품을 만들 수 있다.

일반적으로 closed deck구조의 cylinder block은 open deck구조에 비해 열변형이 적고 진동에도 유리하여 배기량이 큰 고출력 고성능 엔진에 많이 적용되고 있고 open deck구조의 cylinder block은 생산성이 좋은 HPD공법으로 주조가 가능하여 경제적인 차에 많이 탑재되고 있으며 여러 제약조건으로 인하여 큰 배기량의 대형 엔진은 HPD공법으로 주조하는데 한계가 있다.

#### 4.3 박육주물 생산

알루미늄 주물의 일반육후는 일반적으로 주조공법에 의해 결정되는데 중력주조는 5 mm, LPD는 4 mm, HPD는 2 mm를 적용하는 것이 보통이다.

LPS공법은 일반육후가 3 mm로써 HPD공법에 비하여 후육(厚肉)이지만 중력주조나 저압 주조공법에 비하면 박육화에 의한 경량화가 가능하다.

일반육후는 제품의 재질, 기능 및 형상적 특성 외에 용탕 주입속도 및 온도, 주조압력, mould의 온도 및 치수 정밀도, 용탕 주입시 cavity내의 압력 및 mould의 gas 배출성 등의 주조 성형성 영향인자에 의해 결정되어지며 이는 주조공법에 의해 결정되어지는 경우가 보통이다.

성형성은 이와 같은 인자들에 의하여 복합적으로 영향을 받으며 주조조건은 품질과 연계하여 결정되므로 주조공법에 의해 거의 결정되어진다고 할 수 있다.

주조공법이 결정된 상태에서 성형성에 가장 많은 영향을 미치는 인자는 용탕 주입속도로써 느리면 주입도중 cavity내부로 먼저 유입된 용탕은 냉각되어 용탕유동에 저항요소로 작용하고 모래중자의 유기 점결제의

연소gas에 의하여 cavity내부의 압력이 높아져 탕경(湯境)불량의 가능성이 높아지며 주입속도가 빠를수록 냉각 정도가 적어지고 주입도중의 cavity내 gas발생량이 적기 때문에 박육주물의 생산에 유리하다.

LPS공법은 sand mould의 정밀도가 열간금형의 정밀도보다 좋기 때문에 주조burr 생성 및 용탕누출 우려가 적어 주입속도를 빠르게할 수 있고 사형의 통기도가 좋은 특성에 기인하여 LPD 및 중력주조 대비 박육주물의 주조가 가능하다.

그러나 고압, 고속으로 주입하여 일반육후가 2 mm 까지 주조가 가능한 HPD에 비하면 박육주물 주조성이 떨어진다.

#### 4.4 주조공정 자동화

소재 생산line의 생산능력은 주조능력에 의해 결정되는 것이 보통이며 주조공정의 자동화는 생산관리적인 면에서 유리한 점이 있다.

LPS공법은 주조공정에 선행하여 mould 조립공정에서 별도의 공수가 투입되거나 용탕보급, 주조공정에서는 무인 자동화가 가능하여 수작업 배제에 의한 주조품질의 균질성 확보 및 주조가동을 향상이 가능하다.

최근에는 작업환경에 대한 관심이 높아지면서 일부 회사에서는 저압 금형주조에서 고열 작업공정 중의 하나인 주조공정에서의 중자setting, 철망setting 등의 고열 수작업(뜨거운 금형에 상체를 넣어 작업함)을 피할 수 있게 주조방안, 설비구조를 변경하여 이들 작업의 자동화를 시도하고 있지만 대부분은 수작업에 의존하고 있다.

그러나 LPS공법에서는 이들 작업을 완전 무인 자동화 할 수 있다는 장점이 있다.

#### 4.5 모래 사용량

LPS공법은 앞에서 기술한 내용과 같은 장점이 있는 반면 모래를 많이 사용한다는 단점이 있다.

금형주조에서는 제품의 외형을 형성하는 주형(主

型)이 금형으로 되어있기 때문에 내부중자만 모래를 사용하지만 LPS공법은 주형과 중자를 모두 모래로 사용하기 때문에 모래 사용량이 많다.

따라서 LPS공법에서는 사용한 모래를 재생하여 사용하는 것이 필수이며 기아자동차에서도 국내에서 최초로 열적방식에 의한 사재생 설비를 설치하여 가동하고 있으며 제조원가 절감과 자원보호 및 재활용이라는 효과를 얻고있다.

제조원가적인 측면에서 모래중자를 사용하는 타공법 대비 유리한 점이 많으나 주형을 사형으로 만들고 조립하기 위한 설비비, 부재료비와 작업공수는 금형주조보다 많이 소요되며 이점은 단점중의 하나이다.

## 5. 결 언

최근의 알루미늄 주물의 주조공법은 기존의 전통적인 주조공법의 부분적인 개량 외에 새로운 개념의 양산 주조공법으로 용탕 단조법, EPC법, 특수 중자를 이용한 HPD 또는 MPD법, cavity 진공흡인+용탕가압 LPD법 등이 많이 소개되고 있다.

LPS공법은 Cosworth사에서 내용을 소개한 적이 있으나 일반에 별로 알려지지 않은 공법으로 새로운 공법에 대한 이해를 돕기 위해 설비를 직접 개발하여 양산 적용한 내용을 바탕으로 pump maker인 cmi Novacast사, LPS공법을 적용하고 있는 자동차 회사인 Rover사로부터 기술을 습득한 내용에 근거하여 기술하였으며 복잡한 형상의 주물을 높은 주조 생산성으로 생산할 수 있다는 장점을 고려한다면 타 회사에서도 이 공법의 적용을 검토해 볼 가치는 충분히 있다고 믿는다.

## 참 고 문 헌

- [1] Cosworth Engineering 자료.
- [2] cmi Novacast 자료.