

# 일방향응고 연속주조 기술개발 현황과 전망



강 석 봉 (내식재료실 책임연구원)

- '72. 2 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업
- '74.7~'79.2 동국제강, 삼미종합특수강, 한국중공업 근무
- '81. 2 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '86. 8 한국과학기술원 재료공학과(박사)
- '80. 12-현재 한국기계연구소 책임연구원.

## 1. 서 론

금속 소재는 통상 용해, 주조, 열간가공, 냉간가공, 열처리 등 여러 공정을 거쳐서 제조된다. 일반적으로 제조공정수의 증가는 에너지 비용을 포함한 가공비의 증가, 재료 회수율의 저하를 초래하여 제조비용을 상승시키는 물론 결함 발생의 기회도 많아져서 품질상 문제점을 야기시키는 경우도 적지 않다. 이러한 관점에서 오래전부터 금속소재를 효율적으로 제조할 수 있는 공정 개발을 위하여 노력을 기울여왔다.

제품형상에 가능한 가까운 소형재(素形材)를 용융금속으로 부터 직접 제조함으로써 성자원, 회수를 향상, 성에너지, 성력화를 달성하는 목적으로 개발된 연속주조법은 전형적인 공정개발의 예이다. 연속주조법은 철강산업의 고속화, 대형화 및 자동화 추세에 부응하여 제품의 대량 생산과 규모의 이익을 추구하는데 현저한 공헌을 하였으며, 그 결과 설비도 수직형으로 부터 수직 굽힘형, 수직축차 굽힘형, 만곡형, 만곡축차굽힘형을 거쳐서 수평식으로 눈부신 발전을 하여왔다. 비철금속의 연속주조법에 있어서는 대량생산의 문제보다는 회수율, 품질등이 중요시 되고, 또한 철강에 비해 용점이 낮아서 용탕의 취급이 쉽기 때문에 철강소재의 연속주조법보다 앞서서 다양한 방법이 실용화되어 있다.

그러나 연속주조법은 일반적으로 열간압연과 결합시켜 가공용 소재인 반제품을 만드는 것이 목적이지만, 최근 이러한 생각을 한층 발전시켜서

소단면의 환봉상 및 판상주괴는 물론 관(官)이나 복잡한 단면형상의 금속조(金屬條)나 종래에는 소성가공만으로 제조할수 있는 것으로 생각된 박판과 세선을 직접 주조하거나 후속의 가공 및 열처리 공정을 생략하는 방법을 고려하게 되었다.

한편 연속주조법은 일반적으로 수냉식의 중공(中空) 냉각주형에 용탕을 공급하므로 주형벽면 상에서 우선적으로 안정한 응고각이 형성되고, 이를 주형으로 부터 인출하면서 냉각된 주괴를 얻게 된다. 따라서 주괴의 외부에는 주괴 표면에 수직한 방향으로 주상정이 발달하고, 주괴의 중심부에는 수축공이나 불순물의 편석이 발생하기 쉽다. 내부 결합이 없고 또한 결정입계가 없는 단결정재료의 제조법으로는 Czochralski법과 Bridgman법이 있는데, 이들 공정은 실리콘 단결정의 제조와 터빈 블레이드 제조에 각각 응용되고 있다. 그러나 이들 공정중 어느것이나 얻어지는 제품의 길이에 제한이 있고, 임의의 단면형상을 갖는 무한히 긴 단결정을 연속적으로 주조할 수가 없다.

따라서 본 현황보고서에서는 앞에서 언급한 연속주조법과 일방향응고법을 결합한 일방향응고 연속주조기술에 대해 제조공정 및 그 특성을 살펴보고, 국내에서의 이 분야에 대한 기술수준과 앞으로의 기술개발 전략에 대해 다루고자한다.

## 2. 일방향응고 연속주조기술의 제조공정 및 특징

일방향응고 연속주조기술에 관한 여러 방법중 현재 선진국에서 부분적으로 산업에 적용되거나 연구가 진행되고 있는 소단면의 환봉상·판상 및 판상의 주괴를 제조하는데 적합한 기술로 생각되는 가열주형 단결정 연속주조 기술과 무주형 일방향응고 연속주조기술에 대하여 원리, 장치의 종류 및 특성, 제품의 용도등에 관해 아래에 열거하였다.

### 2.1. 제조공정 및 특성

#### 2.1.1. 가열주형 단결정 연속주조기술

가열주형 단결정 연속주조기술은 일본 千葉工

業大學의 大野篤美가 최근 개발한 기술로서, OCC (Ohno Continuous Casting)공정이라 일컫는데, 이는 주형 내벽면의 온도를 주조금속의 용고온도 이상으로 유지하여 광택표면의 단결정 주괴를 연속적으로 얻을 수 있는 새로운 연속주조법이다. 그림1은 OCC공정의 원리를 보여주는 것으로써, 주형의 한쪽으로부터 용탕을 공급하여 다른쪽으로부터 주괴를 만드는데, 연속주조의 주형내벽을 용탕의 용고온도 이상으로 유지시켜주는 것이 특징이다.

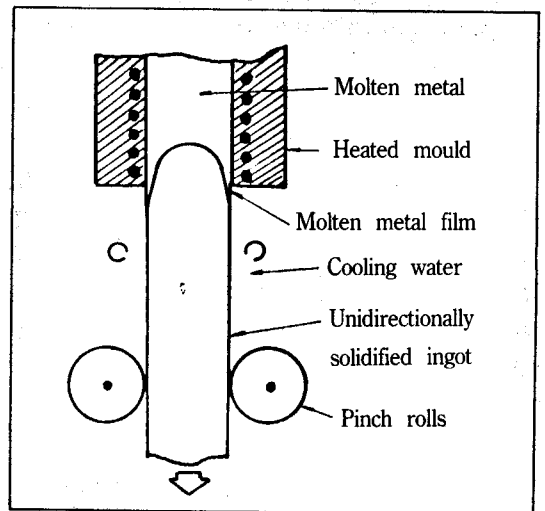


그림1) OCC공정의 원리

OCC공정은 연속주조에서 일반적으로 사용하는 중공(中空)의 냉각주형 대신에 가열주형을 사용하여 주형 벽면에서 결정의 핵생성을 완전히 저지하여 용탕의 용고는 주형을 벗어나 주괴의 용고 선단에서만 이루어진다. 즉 주괴 표층은 액막으로 덮혀있는 상태에서 주형을 나와 주형 바로 밖에서 그 액막이 응고를 하게된다. 일반적으로 주상정 → 등축정 천이는 주상정의 성장 전면에 있어서 과냉용융금속중에 존재하는 이물질, 미립자 상에 등축정의 핵이 생성된다고 믿기 때문에  $G/R$ 을 중요시하여 고액계면에 있어서 온도구배  $G$ 와 응고속도  $R$ 의 관계로 응고기구를 설명하여  $R$ 이 크게되면 등축정이 생성된다는 개념을 가지고 있다.

그러나 大野(Ohno)는 주조금속에 있어서 등축정

즉 자유정은 주형벽상에서 핵생성한 결정이 안정한 응고각을 형성하기 이전 단계에 주형벽으로부터 유리한다는 결정유리설(結晶遊離說)을 제창하였다. OCC공정은 연속주조용 주형의 내벽면을 주조금속의 응고온도 이상으로 가열하고 주형벽면에서 결정의 핵생성을 완전히 제지함으로써 G/R에 관계가 없이 무한히 긴 일방향으로만 성장한 결정을 얻을수 있는 것으로 알려지고 있다. 주형출구 내벽의 온도가 항상 주조금속의 응고온도 이상으로 유지하도록 제어함으로써 환봉상·판상·관상 또는 복잡한 단면형상의 일방향응고 주괴를 연속적으로 얻을 수 있다. 또한 용탕의 공급이 불가능하기 때문에 종래 생각하기 어려웠던 세션 또는 박판을 직접 용탕의 응고에 의하여 제조하는 것이 가능하다.

OCC공정은 주괴의 인출방향에 따라서 하향식, 수평식, 상향식으로 구분된다. 하향식은 주괴를 주형으로부터 하향으로 인출하므로 주괴의 중간에 가스가 함유하는 위험이 가장 적으나 용탕이 주형하단으로부터 유출하게 되어 break out을 일으키기 쉽다. 수평식은 세션과 박판제조에 적

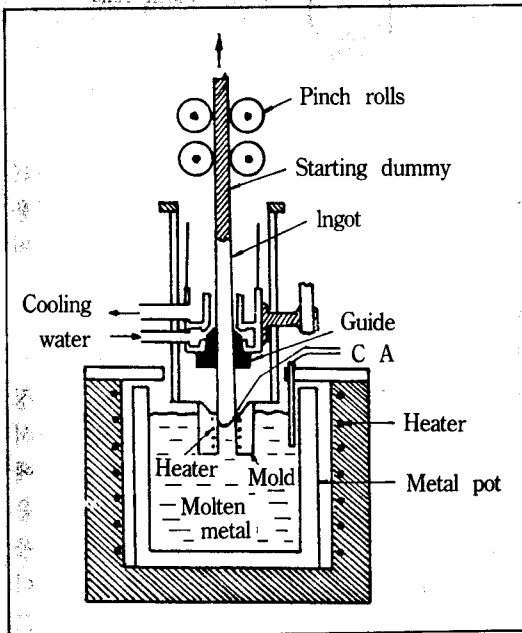


그림2) 상향식 일방향응고 연속주조장치  
(도가니 : 120mm×120mm)

합한 것으로 알려져 있는데, 이 방법은 가열주형 내벽의 상단을 용탕 보지로의 탕면과 거의 같은 위치가 되도록 수평으로 설치한다. 상향식은 용탕 보지로의 탕면과 주형출구단이 같은 위치에 있도록 한 상태에서 주형의 하단으로부터 용탕을 공급하고 상단으로부터 주괴를 인출하므로 break out의 위험이 있다.

그림2는 상향식 연속주조 작업의 상태를 보여주는 것이다.

가열주형은 용탕보지로의 중앙에 위치시키고, 주괴 dummy bar의 선단을 가열주형내 용탕에 침적시켜 일정시간 유지후 pinch roll로써 수직상향으로 인출시킨다. 주괴는 수냉장치로 냉각시키는데, 주괴의 표면은 가열주형의 외부에서 응고하도록 주형온도와 주괴의 인출속도를 조절하므로써 임의의 단면형상의 주괴를 연속적으로 얻을 수 있다.

OCC공정에 의해 제조하는 주괴의 일례로서 大野(Ohno)는 Al-Cu 합금에 대해 수평식 연속주조장치로 일방향응고 주괴를 주조하여 보통주괴에 대한 응고조직과 소성가공성 및 기계적 성질의 차이점에 대하여 연구하였다. 중요한 주조조건은 용탕온도를 각 합금의 액상선 온도이상 50-90°C, 주형온도를 각 합금의 액상선 온도 이상 20-70°C, 주조속도를 250mm/min, 수냉위치를 주형출구단으로부터 20mm, 냉각수량을 1l/min으로 하였다. 실험결과 표면상태는 일방향응고 주괴가 보통주괴에 비해서 표면조도·광휘도 등이 우수하고, 응고조직은 보통주괴가 주괴표면으로부터 내부로 향한 주상정이거나 등축정인데 반해, 일방향응고 주괴는 등축정이 전혀없는 일방향응고 조직으로써 결정 성장 방향으로 규칙성을 보여 준다.

기계적 성질은 일방향 응고주괴가 보통주괴에 비해 경도·인장강도 및 굽힘 성질이 우수하고, 박판 및 세션 가공시 소성가공성 면에서도 일방향응고 주괴가 보통주괴에 비해 우수한 특성을 갖는다. OCC공정은 알루미늄이나 동합금에 대해서 이미 공업화되어 있으며, 마그네슘합금에 대해서도 현재 연구가 진행되고 있다.

2.1.2. 무주형 일방향응고 연속주조기술

OCC공정은 가열주형의 수명이 짧고 온도제어가 용이하지 않으므로, 가열주형을 사용하지 않는 일방향응고 연속주조기술인 무주형 상향식 일방향응고 연속주조기술과 전자력에 의해 주괴의 단면 형상을 결정하는 상향식 전자주조법에 대하여 살펴보았다.

1) 무주형 상향식 일방향응고

연속주조기술

하향식 및 수평식 연속주조법은 이미 실용화되어 있는 것도 많고, 관련기술도 상당히 확립되어 있는 상태이다. 그러나 상향식 연속주조법은 하향식 및 수평식 연속주조법에는 없는 여러 특징을 가지고 있음에도 불구하고 지금까지 연구가 활발하지 않아서 향후 연구에 의해 많은 발전이 있으리라 생각된다.

지금까지 발표된 상향식 연속주조법에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

1941년부터 증공수냉주형에 하부로 부터 용융 금속을 공급하여 봉이나 관을 제조하는 여러 방법이 제안되어, 다양한 시험이 수행되었다. 그러나 상향식 연속주조법에서는 기본적으로 대형강괴의 제조에는 부적합하여서, 소형강괴의 제조가 고려되었지만, 주형과 strand와의 윤활이 큰 문제가 되어서 이의 해결책에 관한 고안이 많이 제시되었다. 또한 용융금속의 공급수단으로서 압력이나 전자수송법을 적용하는 것 등도 고안되어 있다.

특수한 성형재로 사용하는 소환봉이나 박물판재의 상향식 연속주조법으로써는 Stepanof법, Edge-defined Film-fed Growth(EFG)법이 있다. 내부로부터 자유표면의 외부로 향하여 응고되는 Dip forming process, 흑연주형을 사용하는 Upcast법은 동선재의 제조에 실용화되고 있다. 용기중의 용융금속을 세공(orifice)으로부터 분출시켜서 고체·액체·기체로 이루어진 냉각 매체에 의해 냉각 응고시켜서 용융금속으로 부터 직접 세선이나 박판을 제조하는 방법도 실용화되어 있다.

가열주형을 사용하는 상향식 연속주조법(OCC process), 전자력에 의해 강괴의 단면 형상을 결정하는 상향식 전자주조법 등의 독특한 방법도 있다.

일본의 금속재료기술연구소의 佐藤 彰 등은 이상과 같은 각종 상향식 연속주조법을 참고로 하여 그림3에 보인 바와 같이 주형을 사용하지 않는 상향식 연속주조기술에 대하여 현재 연구를 수행하고 있다.

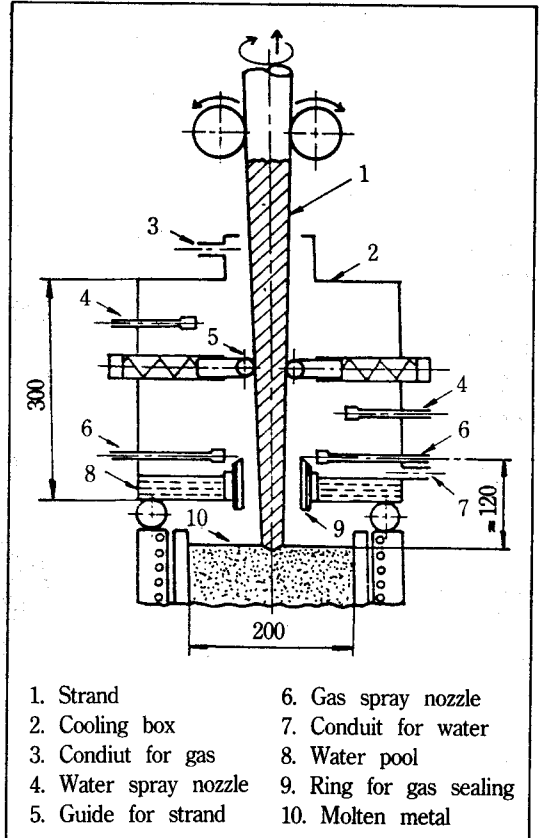


그림3) 무주형 상향식 일방향응고 연속주조 장치에  
서 냉각조와 용해로 부위의 개략도

장치를 구성하고 있는 주요부분은 용해로, 인발기구, 냉각장치, strand회전 기구등 4부분으로 대별할 수 있다. 이중 냉각장치가 중요한 역할을 하는데, 이에 대해 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

단면 형상이 변화하는 strand를 물로 분무하여 냉각시키기 위해 냉각조의 아래 부분에 ring을 설치하고 주위에서 가스를 상부 방향으로 분사시켜 가스 밀폐를 시킴으로써 물이 용탕에 떨어지지 않도록 하였다.

Ring의 내경은 strand직경에 가능한한 가깝게 하는 것이 가스 밀폐를 하는데 바람직하다. 그러나 taper가 진 소형재를 제조하기 위해서는 ring의 내경을 strand보다 크게하여야 한다. 가스 및 물을 분무하기 위한 노즐은 full-cone형 노즐로써, 최소 통로직경이 0.5mm, 분사각이 48°~65°로 하며, 물은 직경이 약 100 $\mu$ m이 되도록 분무시킨다.

작업방법은 용탕내 용탕을 일정시간 요구온도로 유지시켜서 용탕의 온도를 안정시킨다. 선단을 소정의 형상으로 가공한 dummy bar를 회전기구에 설치시킨다. 용탕의 표면을 청정시킨후, dummy bar를 용탕중에 침적시킨다. Dummy bar를 회전시키고, 가스 및 물을 분무시킨다. Dummy bar는 용탕내 일정한 깊이에 일정한 시간동안 침적시킨 후, 상부 방향으로 인발을 시작한다.

무주형 상향식 일방향 응고 연속주조 기술이 실현되면 다음과 같은 장점을 얻을 수 있다.

- 상향식 연속주조법으로 부터 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.
- 소형주괴의 제조에 적합하다.
- Program에 의한 완전자동화를 실현할 수 있다.
- Break-out 및 이와 관련된 문제를 방지할 수

있다.

- Start-up 및 shut-down이 극히 용이하다.
- 주상정, 단결정 등의 완전한 일방향응고 소형재를 제조할 수 있다.
- In-situ 복합재나 섬유강화금속 등을 제조할 수 있다.
- Break-out의 염려가 없기 때문에 필요하면 주조중 주괴의 열처리가 가능하다.
- 주괴의 단면형상을 결정하는 주형을 사용하지 않으므로써 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.
- 주조중에 단면형상을 연속적으로 변경하는 일이 가능하다. 예를 들면, taper가 진 소형재나 계단진 소형재와 같이 제품에 가까운 형상의 소형재를 제조할 수 있다.
- 강괴와 주형과의 마찰을 피할 수 있기 때문에 이에 의해 발생하는 체결함이 없게 된다.
- 침강하는 개재물, 결정편 등은 완전히 제거할수 있고 부상하는 개재물 및 기포도 주형이 없기 때문에 주괴로부터 분리할 수 있다.
- 대량의 용탕으로부터 적은 강괴를 제조하기 때문에 응고시 평형분배계수에 기초를 둔 정제가 가능하게 된다. 특히 부상 또는 침

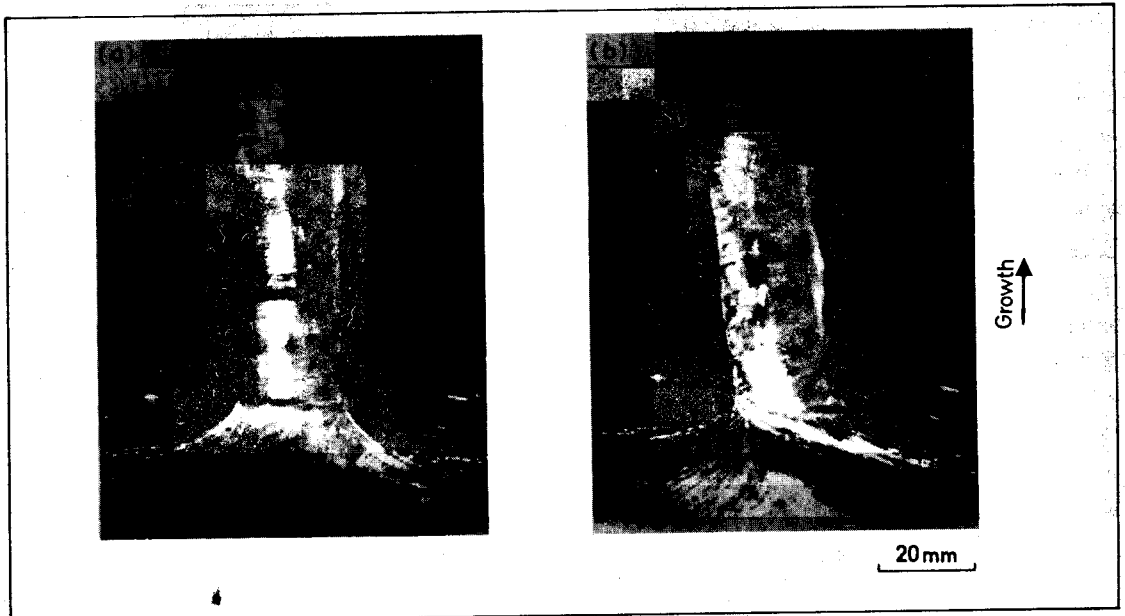


사진1) Strand회전속도가 주조 strand의 응고 선단 형상에 미치는 영향(963°K,  $2.5 \times 10^{-4}$  m/s)  
 (a)  $0.0s^{-1}$  (b)  $5.0 \times 10^{-3} s^{-1}$

강하는 상이 발생하는 경우에 현저히 유효하다고 생각된다.

무주형 상향식 연속주조장치로 소환봉을 제조할 때 고려해야할 사항으로는 용탕온도, 냉각조건, 인발속도, strand회전속도, strand중심의 온도, 주괴의 칫수 및 형상, 주괴의 조직 및 표면상태 등을 들수있다. 사진1에는 위에서 설명한 무주형 상향식 연속주조장치에서 순 알루미늄을 용탕온도 690°C, 인발속도 0.25mm/sec로 연속주조시 strand를 회전시키지 않은 경우와  $5.0 \times 10^{-3}$ /sec로 회전시킨 경우의 응고 선단 부근에서 주괴의 모양을 보여주고 있다.

2) 전자주조법(Electromagnetic casting : EMC)

EMC는 1960년대에 소련의 Getseler에 의해 개발되었다. EMC에 의한 최초의 주괴는 1966년에 제조되었으며, 1969년에는 직경 200-500mm의 빌렛트가 공업적으로 주괴되었다. 그후 체코·헝가리·동독등 동구제국에 파급되었고, 서구제국에서는 미국의 Kaiser가 1973년에 특허를 도입, 같은해 Alusuisse도 기술도입한 것 이외에 Alcoa·Reynolds·Pechiney 등의 대기업도 이시기에 기술도입을 하였다. 일본도 1972년에 당시 三菱化成이 기술도입하였다. 현재 EMC기술을 도입한 것 중에 공업적으로 실용화된 것은 Kaiser와 Alusuisse의 2개社만 있는데, 이들 회사들도 기본기술 도입후 수년에 걸쳐서 공업화하였다.

EMC의 실용화에서는 컴퓨터 제어에 의한 주조의 자동화가 필요불가결한 것이다. EMC의 원리는 전기의 양도체를 교류자장중에 두면, 도체에는 와전류가 유기된다. 유도가열·유도용해는 와전류에 의한 Joule열을 이용하는 것이지만 EMC는 와전류와 교류자장과의 상호작용에 기초를 한 전자기력(Lorentz힘)을 이용하는 것이다.

그림4에 EMC의 원리도를 나타내었다. 코일에 고주파전류  $J_0$ 을 흘리면, 교류자장  $H$ 가 발생하고 동시에 주괴 표층에는 코일 전류와는 역위상의 와전류  $J$ (그 깊이는 주파수  $f$ , 주괴의 전기전도도  $\sigma$ 에 의존한다.)가 흐른다.

이 와전류는 자장과의 상호 작용에 의해 Fre-

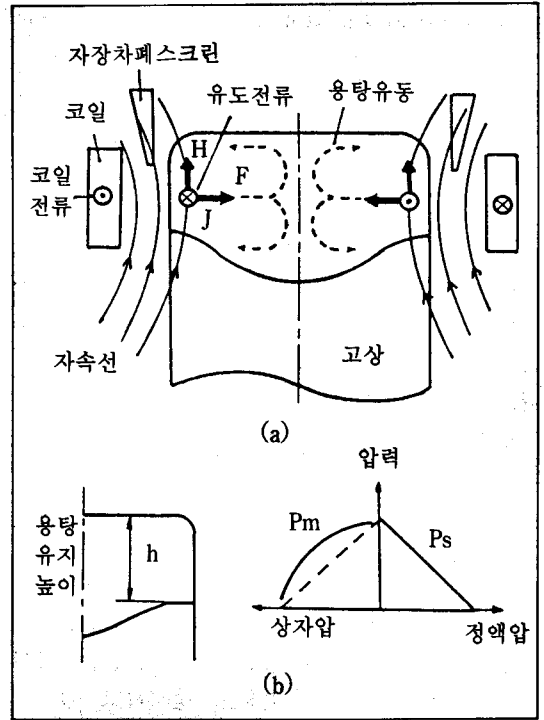


그림4) EMC의 원리도

ming의 원손법칙에 의해 전자기력  $F$ (이 경우 주괴 중심방향)가 작용하여 용탕기둥을 측면으로 부터 보지한다. 이때 주괴에 냉각수를 공급하여 인발량과 주탕량간에 균형을 유지하면 연주 조업이 가능하게 된다. 그러나 이상태에서는 교류자장내의 용탕기둥이 산 모양으로 활발히 솟아올라서 형상이 불안정하다. 소정의 안정된 단면형상을 얻으려면 그림4(b)에 보인 바와 같이 용탕기둥 측면을 수직으로 유지시킬 필요가 있는데, 이를 위해 자장 차폐 스크린이 설치되어 있다. 자장 차폐 스크린은 자장을 상방보다 감쇄시켜서 용탕정압(직선적으로 변화)과 거의 동등하게 되는 전자기력 분포를 만드는 역할을 하며, 또한 용탕내의 과도한 유동을 억제시켜 형상을 안정화시키는 역할도 한다.

유지되는 용탕정압은 탕면 높이 및 고액 계면 위치에 의해 변화하기 때문에, 탕면조절과 냉각조절이 중요하다.

알루미늄의 EMC와 같이 완전 무접촉을 전제로

하면 위에서 언급한 바가 되지만 종래법에 EMC를 부가적으로 응용하려면 상황은 다르다. 예를들면 주형내 응고각과 주형벽과의 접촉압을 전자기적으로 저감시켜서(전자가압), 주형 oscillation, 분말 등의 부하를 경감시킬 수 있으면 주괴표면개선, 표면균열 대책에 이용 가능성이 있다. 이미 이와 같은 착상은 알루미늄의 hot top연주에서는 주형부를 기체(주로 공기)로 가압시켜 현저한 주괴 표면개선 효과를 얻었다. 또한 전자력은 국부적(모서리부, 짧은변)으로 작용시키는 것도 가능하다.

수평연주에 EMC를 적용하는 것도 원리적으로는 불가능하지 않다. 용탕 정압은 수직형연주에 비교해서 적고, 설비적으로 compact화가 기대된다. 단지 상하에서의 정압차, 형상제어의 면에서 전자력을 부여하는 방법이 어렵게 된다. 淺井등은 정자장 통전방식에 의한 수평 EMC를 보고하고 있고, 또한 소경의 빌렛트(직경 10mm 이하)의 단계이지만, 박판에의 적용도 생각하고 있어서 주목을 받고 있다.

EMC를 상향 인발식 연주에 적용한 예로서 GE의 GELEC(GE Levitation Casting)공정이 있다. 그림5에는 GELEC공정을 도식적으로 나타낸 것이다.

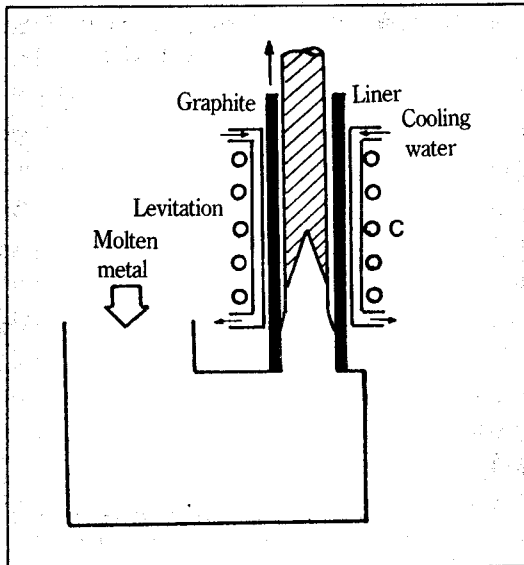


그림5) GELEC(GE Levitation Casting) 공정의 개략도

GELEC공정은 기본적으로 상향식 구조장치에 전자기 부양장과 효율이 높은 열교환기가 결합된 장치로써, chill구조법에서 흔히 볼 수 있는 물-금속 계면에서의 마찰과 접촉 문제를 해결한 구조가 간단하고도 제작 비용이 저렴한 새로운 연속주조 공정이다.

이 공정은 다양한 종류의 순금속 및 합금의 소단면 환봉상을 직접 주조하는데 특히 적합하다. GELEC공정이 갖는 여러 장점들 중에서 주된 것은 신속한 주조속도, 연속적인 주조품 인발, 우수한 소재의 균질성 및 결정구조, 결합 또는 개재물이 없는 주조표면, 그리고 용융금속과 접촉하는 부품의 수명이 길다는 것 등을 열거 할 수 있다.

GELEC공정에서 주조속도의 제한 인자는 열교환기 벽을 통한 열이동이다. 열교환기벽을 통한 열이동속도(watts/cm<sup>2</sup>)는 공정제한 인자이므로, 환봉 직경이 감소함에 따라 체적에 대한 표면적 비율이 증가하여 소직경 환봉은 대직경 환봉보다 빠른 선속으로 주조할 수 있다. 예를 들면 직경 14mm 환봉은 40mm/sec의 속도로 주조할 수 있고, 직경 8mm 환봉은 70mm/sec의 속도로 주조한다. 서로다른 크기의 이들 환봉을 주조할時, 열교환기벽을 통한 단면적(cm<sup>2</sup>)당 열이동속도는 동일한 값을 갖는다. GELEC장치의 부양코일, 열교환기 단면의 길이를 길게하면 주조속도를 증가시키는데 유효하다. 알루미늄과 동합금에 대하여 이 GELEC장치를 사용하여 부양 주조한 실험결과가 있다. GELEC공정으로 제조한 환봉의 공업적 유용성에 대한 시험으로 직경 14mm, 길이 30ft의 순동 환봉을 세선인발기로서 직경 0.13mm로 인발하였다.

주조환봉의 소둔이나 세선 작업공정상의 중간 소둔은 필요하지 않고, 최종 세선기에서 나온 제품에 대하여 연속소둔기로 소둔처리를 행하였는데, 소둔된 최종 선재는 파단시 21%의 연신율을 갖는다. 중간 소둔처리를 하지 않고 직경을 1/100로 감소(단면적이 99.9%감소)시키는 것은 동환봉 소재에 매우 엄격한 시험조건이다. 이 시험결과와 흥미로운 점은 주조조직을 파쇄하기 위한 환봉의 탄탱(TANDEM)식 열간 압연공정이 필요없을 만큼, GELEC 공정으로 주조한 환봉의 결정구조와

소재의 균일성이 우수하다는 것이다. GELEC공정으로 주조한 환봉은 탄탄식 열간압연에 적합한 온도에서 사용하는 장치로서 비록 출현하였지만, 열간압연공정의 제거는 주된 공정 간소화이며 제조비를 절감할 수 있는 이점이 있다.

## 2.2. 용도 및 장래성

일방향응고 연속주조 공정은 수축, 기포, 불순물의 편석, 비금속개재물 등이 없이 일방향 응고 조직으로 되는 표면이 미려하고 임의의 단면형상의 주괴를 얻을 수 있는 연속주조법이기 때문에 집적회로용의 리드프레임재나 본딩와이어, 뿔납재나 기억 디스크재 등과 같은 내부결합이나 표면결합이 없어야하는 전자기기용이나 음향기기용 고급재료의 제조법으로 향후 응용될 것이며, 그 가공성이 양호하므로 종래에는 얻을 수 없었던 초극세선이나 초박막의 제조법으로도 응용될 것으로 생각된다. 또한 우수한 기계적 성질을 갖지만, 너무 단단하여 소성가공이 어렵기 때문에 실용화가 되지 않았던 합금 및 임의의 단면형상의 금속소재를 용탕으로 부터 직접 연속적으로 주조하는 것이 가능한 공정 즉 "near net shaping process"로서 응용되리라 생각된다. 예를들면 가공성이 나빠서 길이가 긴 선재를 제조할 수 없었던 공정합금으로 된 경질의 다양한 소재 및 이러한 길이가 긴 선재의 제조가 가능함에 따른 자동용접 기술의 진보에 큰 공헌을 하리라 생각된다.

## 3. 국내 기술개발 현황과 발전 전략

국내에서 일방향 응고 연속주조기술에 대한 연구는 단속적인 일방향응고기술 또는 단결정에 대한 연속주조기술에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 일방향응고 기술에 대한 것은 KIST의 실리콘 단결정제조, KIMM의 항공기용 터빈블레이드 소재인 초내열합금의 주상정 및 단결정제조, 경북대등 일반대학에서의 일방향응고 공정합금 시편 제조 등을 들수 있는데, 이들은 모두 단속적인 일방향응고 방법을 사용하는 것이다. 연속주조 기술에 대한 것은 이론적 연구로써 산업과 학기

술연구소의 강편 연속주조기술, 서울대의 연속주조시 열전달해석, KIMM의 비철판재 연속주조기술 등을 들수 있다. 일반 산업체에서 철강 및 동합금소재에 대한 슬라브·블룸·빌렛 등의 반제품 상태와 알루미늄 소재에 대한 판재 상태의 연속주조기술은 1970년부터 업체에 활발히 도입되었으며, 최근 동합금의 선재 생산을 위한 연속주조 기술도 국내 관련업체에서 활용하고 있다.

일방향응고 연속주조기술에 대한 연구로써는 연세대에서 가열주형을 쓰는 OCC공정에서 주형을 가열하지 않는 세라믹 주형을 사용하는 알루미늄 단결정제조 방법에 대해 최근 3년간에 걸쳐 연구를 수행하고 있다. 그러나 일방향응고 연속주조기술은 합금계, 제조공정, 제품형상에 따라 수많은 기술자료의 축적이 필요하므로 많은 인력과 시간이 요하는 대형연구과제이다. 즉 합금계 분류는 Al합금, Sn합금, Cu합금, Au합금, Ag합금, Fe합금, Ni합금 등으로 구분할 수 있으며, 예로써 Al합금은 다시 순 알루미늄, Al-Si, Al-Cu, Al-Mg등 용도에 따른 수많은 합금으로 세분할 수 있다. 제품형상별로는 원형, 정사각형, 직사각형, 판재형, 파이프형, 이형 등으로 나눌수 있다. 이외에 재료 특성면에서 주상결정·단결정에 따른 전자기적특성, 기계적특성, 미세조직에 관한 특성 연구도 필요하다. 따라서 본 연구는 국내의 産·學·研의 기술력을 잘 결집시켜 부분적 요소기술의 개발을 지양하고 총체적 연구개발체제를 구축하여 지속적인 체계적인 연구 수행이 되도록 하며, 아울러 선진 연구기관과도 공동연구를 수행함으로써 연구효과를 배가 할수 있도록 하는것이 효과적인 연구추진 방안이 될 수 있을것으로 생각한다.

## 4. 결 론

최근 전자기기 및 음향기기 등 고부가가치 제품의 정밀화·소형화·고품질화 추세에 따라, 결정제어기술에 의해 제조되는 결정립계가 없거나, 한방향으로 제어된 단결정 및 방향성 합금이 전자기기 및 음향기기의 핵심부분에 사용되는 양이 급격히 증가할 것으로 예상된다.

따라서 최종 제품 형상에 가까운 단결정 또는



방향성 합금을 용융금속으로 부터 연속적으로 제조함으로써 성자원·회수율 향상·성에너지 등의 제조비 절감을 기할수 있는 신제조공정 기술인 일방향용고 연속주조기술에 대해, 이 분야에서 선도적 위치에 있는 선진 연구기관과의 공동연구와 국내의 産·學·研의 총체적 연구개발체제를 구축함으로써, 국내에서 이분야 기술향상에 이바지할수 있다고 사료된다.

참고문헌

[1] A. Ohno : Journal of Metals, Jan. (1986) 14  
[2] A. Ohno : U.S.A. Patent 4,515,204 ; German pa-

tent 3,246,470  
: Japanese Patent 1,049,146 ; Canadian Patent 1,188,481

[3] 大野篤美 : 素形材, 27(1986) 12,21  
[4] 大野篤美 : 日本金屬學會會報, 23(1984), 773  
[5] 佐藤 彰 : 大澤嘉昭, 荒金吾郎 : 日本金屬學會誌, 52 (1988), 572  
[6] 吉田 政博 : 鐵と鋼, 73(1987),403  
[7] Y. V. Murty, J. P. Faunce : Journal of Metals, Dec. (1984) 48  
[8] 本保元次郎, 大野篤美 : 輕金屬學會 講演概要, May(1988) 13

◎ 키에프 자동차기술 박람회  
(AUTOTECHNIK/Automobile Technology Exhibition)

- 1) 개최기간(주기) : '90. 5
- 2) 개최국(도시, 전시장명) : 소련(키에프, 박람회장)
- 3) 전시면적 : 140,000 S/F
- 4) 전시품내용 : 자동차와 자동차구조의 자동화과정, 마이크로 처리과장, 자동차구조의 플라스틱과 합성기계
- 5) 성격 및 현황 : 관련학술회의 병행개최, 접수마감 90. 1
- 6) 주 최 : Gebr, Helbig Industrie-Messen GmbH, Wolframstr 5, Postfach 1569, D-8480 Weiden,  
Tel : 096/33028, Tlx : 63704, Fax : 0961/36807