

技術資料

Al 및 Al 합금의 연속주조에 대하여

崔政喆\*, 曹亨鎬\*\*, 金三洙\*\*

On the Continuous Casting in Aluminum and Its Alloys

J. C. Choe\*, H. H. Jo\*\*, S. S. Kim\*\*

1. 서론

최근 국내에서는 Al 및 Al합금의 급격한 수요증가에 부응하여 그 주조방법에 대한 관심이 더욱 높아지고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다.

Al 및 Al 합금의 주조방법은 정지주형을 이용한 반연속주조(direct chill casting)와 가동주형에 연속적으로 판상, 봉상 및 선재등의 완제품에 가까운 형상을 생산할수 있는 연속주조압연으로 대별된다. 반연속 주조(이하 DC 주조라고 부른다)는 Al제련 및 압연공장의 주력을 이루는 주조기술이며 세계적으로 비교적 널리 이용되고 있다. 이분야는 생산성 및 품질을 더욱 향상시키기위한 주형 size의 대형화, 다분주입기술의 확립 및 주조조직의 개량을 목적으로 hot top 주조법, 전자장하의 주조법(이하 전자주조법이라 부른다), 수평연속주조법 등의 새로운 DC 주조기술이 개발되어 있다.

한편, 1940년대부터 시작된 연속주조압연법은 DC 주조법에 비해 설비투자액, 제조원가 및 에너지소비량이 적다는 장점때문에 1950년대에 들어서서 그 사용수가 확대되고 있으나 표면의 제어, 생산가능한 합금종류의 제한등 품질관리에 약간의 어려움이 있어 이부분에 대한 연구가 계속 필요한 주조기술이다. 그림1에 나타낸바와 같이 연속주조압연방식은 roll type, belt type, 및 caterpillar type의 3종류가 개발되고 있으며 이중 caterpillar type을 개량한 Alu-suisse Caster II 는 가장 발전된 연속주조방식이다.

2. DC주조법

(1) 종래의 DC주조

그림2는 DC주조의 개략도를 나타낸 것이다. Holding로를 거친 용탕은 Al 또는 Cu제의 수냉주형속으로 도입된다. 주형내의 용탕 level은 float분배기에 의해 일정하게 유지된다. 주형내의 용탕은 주형벽으로 전달되어 1차냉각이 일어나면서 주괴의 표면부가 응고되고 Bottom block이 강하할때 분사되는 냉각수에 의해 2차 냉각을 일으켜, 주괴의 중심부까지 응고한다. 최종상태까지 강하가 진행되면 주괴는 몰탱크에서 전체가 냉각되어 냉각은 완료된다. 1차냉각 system인 주형벽에 의해 주괴표면부가 응고할때 주괴의 수축이 일어남으로써 발생하는 air gap은 열전달을 극히 저하시키며, 주괴의 표면부가 서냉될때 조대한 cell층이나 저융점의 제2상이 형성되어 가공시에 표면에 표출되어 streak와 표면층편석등의 표면결함이 발생하게 된다. 이들 주괴의 결함은 그후의 가공성이나 가공제품의 품질에 직접 영향을 미치기 때문에 용탕의 높이, 주조속도 및 주조온도등의 주조조건의 최적선택과 주형설계에 상당한 주의를 필요로 한다.

billet의 경우, 샤프시등에 사용되는 6063합금에서는 152~254mm φ, 듀랄루민등의 고력 Al합금에서는 203~508mm φ의 것이 일반적으로 이용되나, 현재 800mm φ의 billet까지 생산되고 있으며 또한 더욱더 대형화추세이고 생산성을 높이기 위한 시도가 계속되고

\* 亞洲大 材料科

\*\* 韓國鑛業製鍊(株) 技術研究所

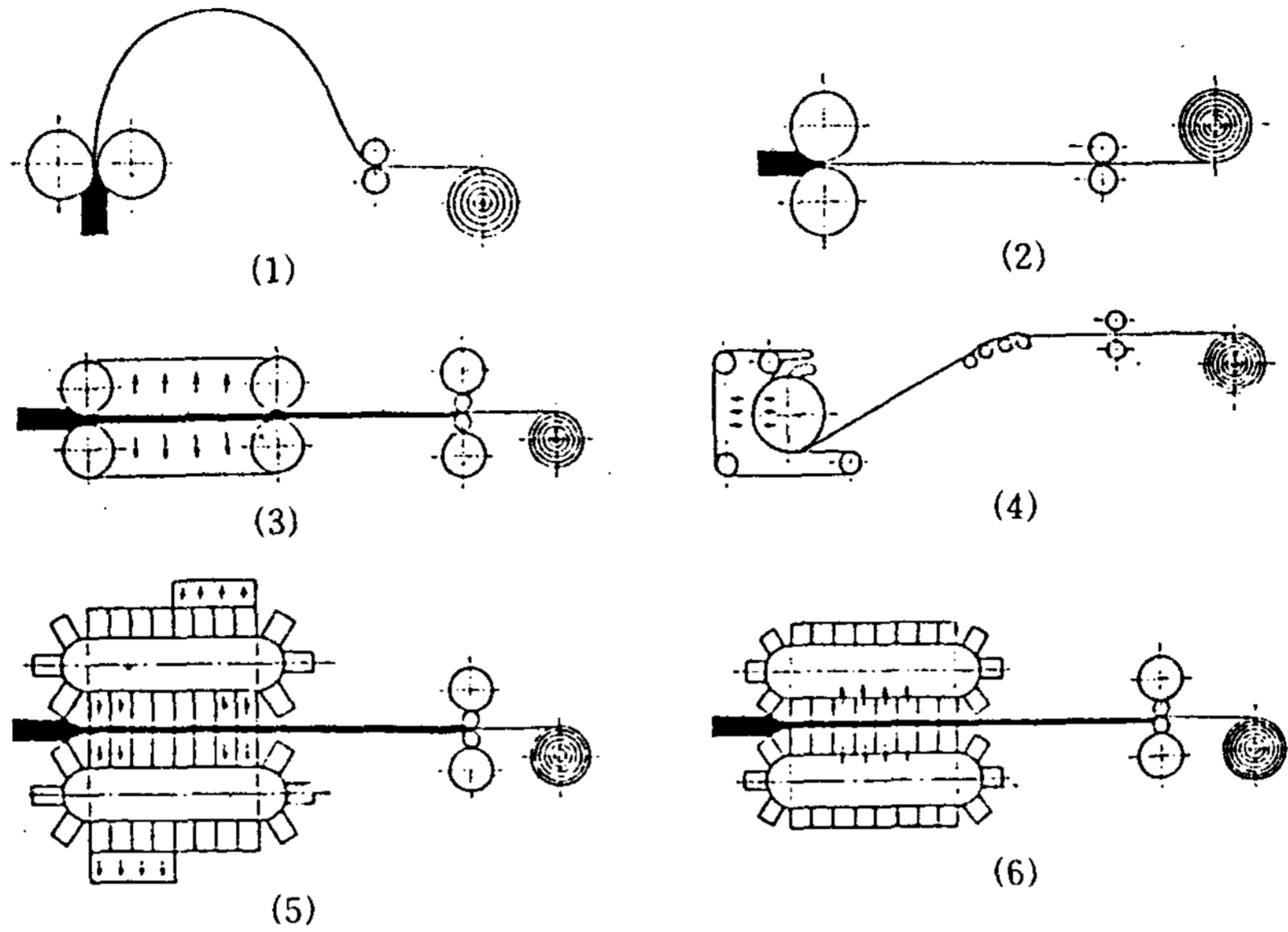


그림1 판재의 연속주조압연방식. (1), (2) Roll 주조법 (3) Belt 주조법 (4) Wheel-belt 주조법 (5), (6) Caterpillar 식 block 주조법

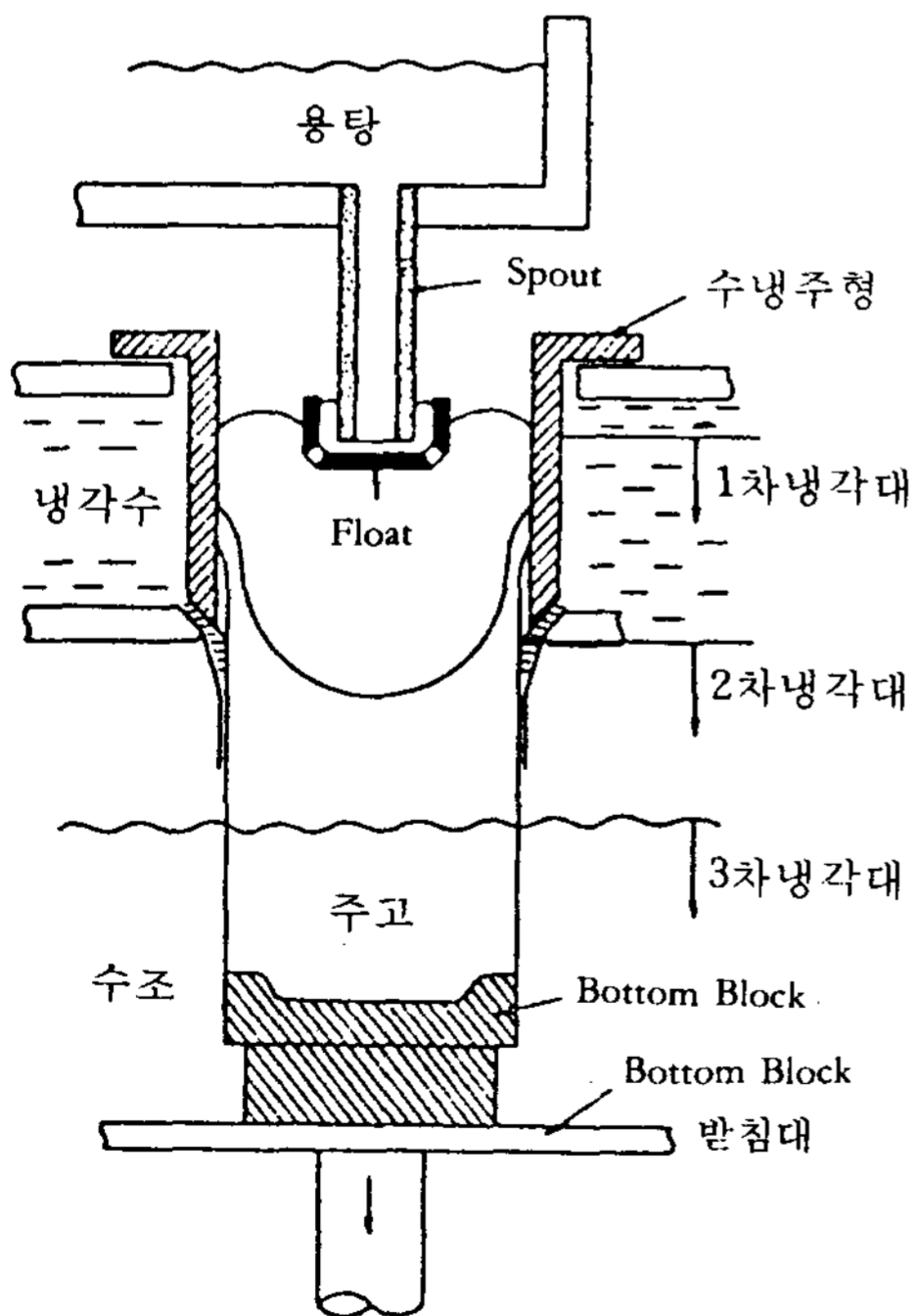


그림2. Float를 사용한 DC 주조주형

있다. 하나의 주형부착판에는 여러개의 주형이 설치되어 동시에 주조되는 다분주입기술도 도입되고 있다. 순 Al 및 6063합금 billet의 경우, 일반적으로 40~60개, 최고 120개의 다분주입이 동시에 행해지고 있다. 주조속도를 빠르게하면 주괴표면부와 중심부의 냉각속도의 차이가 커지고 응력이 발생하여 중심부에 주조균열이 생기기때문에 임계주조속도가 존재한다. 일반적으로 주조속도는 billet가 175mm  $\phi$  일때, 순Al의 경우 100mm  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, Al-Cu-Mg 합금의 경우 75mm  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, Al-Zn-Mg합금의 경우는 68mm  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 이라는 실험적 결과가 보고되고 있다.

(2) Hot top 주조

종래의 DC주조법에서 발생하는 air gap을 억제시키기 위해 개발된 방법으로 billet주조에서 넓게 사용되고 있다. 그림3는 hot top주조장치 및 주형의 대표적인 구조를 나타낸 것이다. 일반적으로 30mm 정도의 길이가 짧은 수냉주형과 단열내화재로 만들어진 용기(header)부분으로 구성되어 있다. 용탕은 단열재의 header를 통하여 난류의 발생이 적은 수평식으로 주입된다.<sup>2)</sup> Hot top주조법이 일반적인 DC주조에 비해 우수한 점은 용탕면을 낮추어도 주조가 가능하기 때문에 주괴표면부의 조대 cell층을 최대한 억제할수 있는데 있다. 또한 용탕면을 일정하게 유지할수 있기때문에 표면산화피막의 혼입을 방지할

수 있고 균일하게 열전달이 가능하다. 그러나 용탕이 주형의 윗부분에서 응고하여 주괴강하에 방해가 되는 것을 막기위해 header의 내경은 주형내경보다 약간 작게 한다. 이 내경의 차이로 인한 gap 때문에 얇은 주괴표면부가 파괴되어 편석을 수반한 ripple이 주기적으로 발생하게 된다.<sup>3)</sup> 이러한 문제점을 해결하기 위해서 header와 주형의 접합부에 금속제 ring이나 흑연제 liner의 삽입, 윤활유의 공급, 주형상부의 열전달제어등을 하고 있다.<sup>4)</sup> 또한 이 접합부에 가스를 도입하여 용탕주형에 접촉하는 것을 막고 유효주형의 높이를 낮추는 기체가압식 hot top주조법이 개발되었다.<sup>1,5)</sup> 이것에 의해 양호한 주괴표면이 얻어지며, 또한 압출공정을 거치지 않고 직접단조가 능한 50~10mm  $\phi$  정도의 봉상이 양산되고 있다.

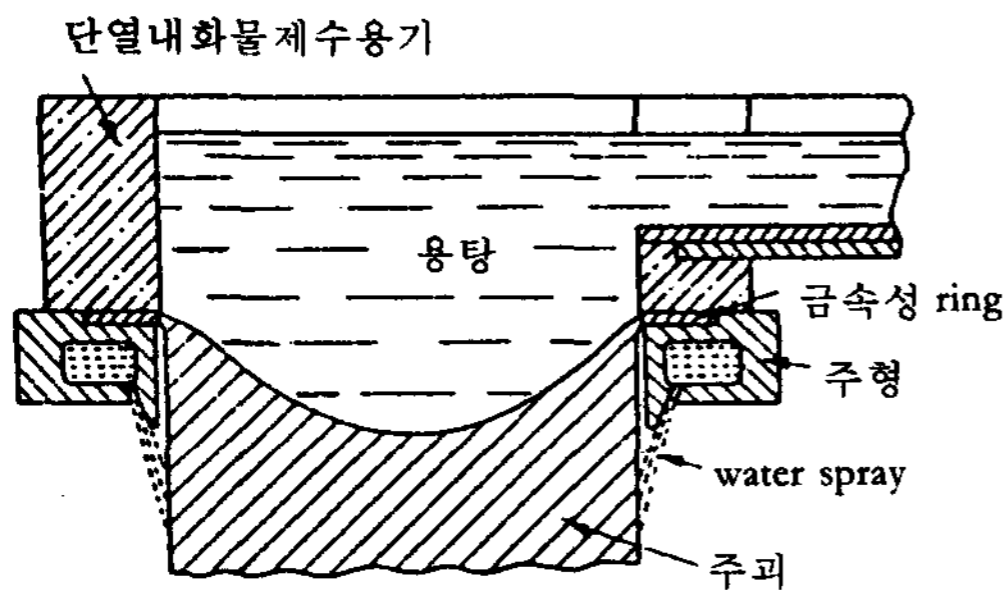


그림3. Hot top 주조주형

(3) 전자주조(電磁鑄造)

1960년대 소련에서 개발된 방법으로 coil에서 발생하는 교류자장내의 용탕은 교류자장에 의해 속박되며 coil형상과 유사한 용탕기둥이 그대로 유지된다. 단면의 size는 전자력과 용탕정수압의 균형에 의해 결정된다.<sup>6)</sup> 원주상의 billet에서는 진원도가, 단면이 짧은 slab에서는 모서리부분의 돌출등 주괴형상의 제어가 문제되고 있긴하지만, 현재로서는 개량되어 거의 양호한 주괴가 얻어지고 있다.

그림4에서 나타낸바와 같이 용탕은 float분배기 및 고주파전류가 흐르는 coil을 통하여 bottom block에 주입되며 bottom block이 강하할때 냉각수가 직접 주괴에 분사되어 냉각응고된다. 1차냉각은 없고 2차냉각만 있기 때문에 일반적인 DC주조에서 나타나는 air gap으로 인한 조대 cell층이 거의 형성되지 않는 장점이 있다. 따라서 비교적 양호한 주괴표면을 얻을수 있다.

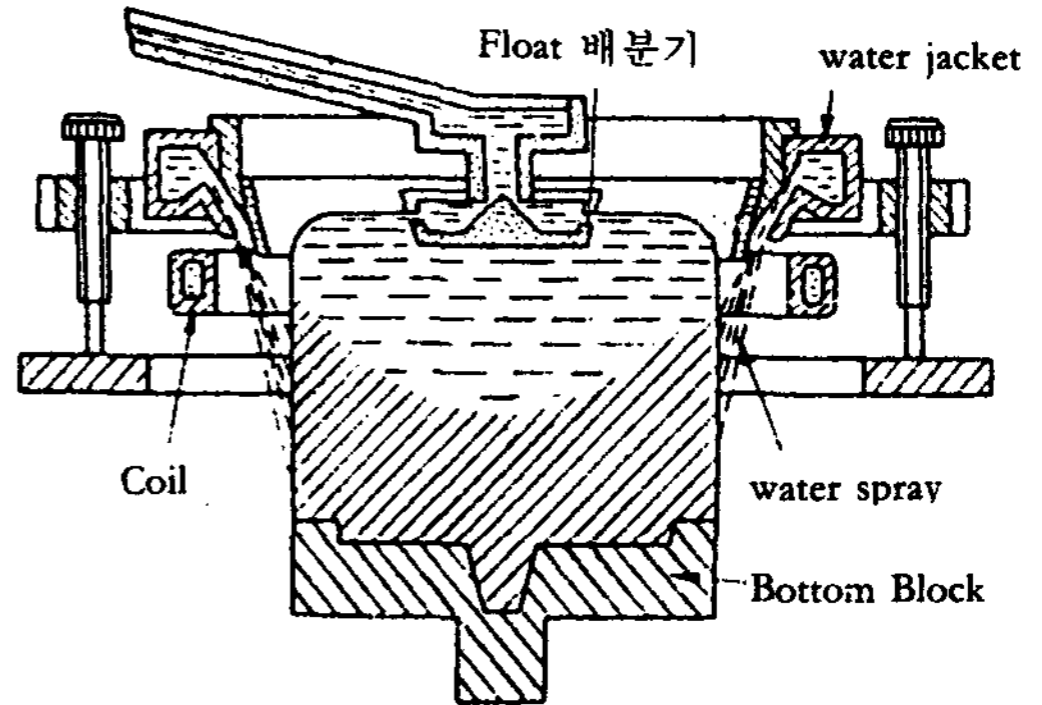


그림4. 전자주조의 개략도

(4) 수평연속주조

종래의 DC주조, hot top주조 및 전자주조법은 수직형반연속주조방식(DC주조)이지만 DC주형을 옆으로 설치한 수평연속주조법이 개발되었다. 구미각국에서는 이 방법으로 billet 및 slab를 공업적규모로 생산하고 있으며, 이방법에 의한 대량생산의 기대가 더욱더 커지고 있다.

그림5는 수평연속주조방식의 개략도를 나타낸 것이다. 용탕과 주형부분의 사이에 있는 용탕공급구는 중앙과 하단 또는 상하단의 2개이며 품질이나 생산성의 향상을 위해 용탕의 유속 및 온도등에 대한 조건을 잘 설정해야 한다. 주형의 재질은 일반적으로 Al이 사용되며, 윤활제는 주형과 용탕공급구와의 경계에 설치된 ring으로부터 주괴표면에 공급된다. 윤활제는 표면품질과 인출작업에 큰 영향을 미친다. 또한 자기윤활성이 우수한 흑연주형도 사

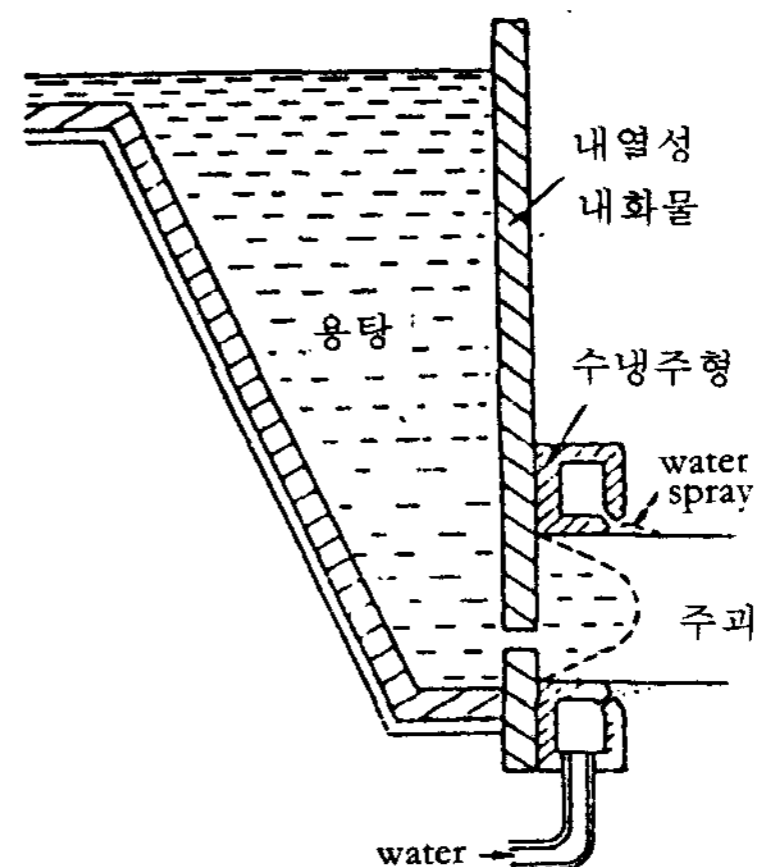


그림5. 수평연속주조주형

용된다. 6063 billet의 주조속도는 152mm  $\phi$ 인 경우 150 mm  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 216mm  $\phi$ 인 경우, 100mm  $\cdot$  min<sup>-1</sup>이고 수직반연속 주조보다 빠르게 할수 있다.<sup>7)</sup>

표 1은 수평연속주조법과 수직반연속주조법의 설비비, 작업성, 주조성등을 비교한 것이다.

표1. 水平連續鑄造와 水直半連續鑄造에 대한鑄造 시스템의 比較

項 目	水平連續鑄造	垂直半連續鑄造
設備投資費	初期設備投資 적다	同規模에서는크다
Plant 能力	1000-2000 t/ 月	2000 t/ 月 以上
作業性	鑄造開始時의 人員 적다	1 cycle마다 많은 人員 必要
生産管理	押出工程과 직접 연결가능	형상이 다른 製品은 동시에 生産곤란
鑄造回收率	좋다	나쁘다
製品品質	鑄造表面이 거칠다	鑄造表面이 양호
鑄造技術管理	未解決點이 많다	技術的으로 높은 수준이다

### 3. 연속주조압연

일반적으로 DC주조법에 의한 주괴는 표면면삭, 가열, 열간 및 냉간압면의 공정을 거쳐 제품화되지만, 연속주조압연법에서는 경우에 따라 대형열간압연기, hot strip mill, 면삭기, 가열로등이 필요하지 않으며 연속작업에 의해 제품의 수율과 생산성을 향상시킬수 있다. 또 합금의 종류에 따라 다르기는 하나 Al-Fe, Al-Mn계 합금등은 이방법에 의해 기계적 성질도 향상시킬수 있다.

#### (1) 판재의 연속주조

연속주조된 strip은 면삭하지 않고 압연되기 때문에 strip표면은 평활하고 편석이 적어야하며 주조조직이 균일미세화해야 한다. 일반적으로 가공성이 양호하고 응고온도범위(고상선과 액상선에 나타나는 온도차)가 좁은 순 Al, Al-Mn, Al-Fe계 합금 및 Mg을 5%까지 함유하는 Al-Mg계 합금등의 경우 연속주조가능하며, 고력 Al합금이나 열처리형 Al합금에서는 부적합하다.

표. 2<sup>11)</sup>는 실용화되어 있는 판재의 대표적인 연속주조압연 process를 비교한 것이다.

표2. 板材의 代表的인 連續鑄造壓延 프로세스

鑄 造 process	鑄 造 機 種	板 幅 / mm	鑄造速度 / m $\cdot$ min <sup>-1</sup>	鑄造速度 / m $\cdot$ min <sup>-1</sup>	板 幅 mm 당 生産量 / kg $\cdot$ h <sup>-1</sup> $\cdot$ mm <sup>-1</sup>	鑄造可能合金範圍 (Al-Mg合金의 最大Mg量)Mg/%	直結되는 壓延裝置의 有無
Roll 鑄造	Hunter	6~12.5	600~1676	1.2 (純Al) 0.6 (5052)	1.1 (純Al) 0.7 (5052)	2.5 (5052)	無
	Hunter-Supercaster	~12.5 3~15	~2000	1.8 (純Al) 1.0 (5052)	1.1~1.8	5.5 (5056)	無
	Coquillard(3C)	6~10	~1550	0.6~1.0	0.7~1.3	2.8 (5052)	無
	Jumbo 3C		~2000	~1.0	~1.6	2.5 (5052)	
	Alusutsse-Caster I	6~12	~1700	0.6~1.2	0.7~1.3	3.6 (5754)	無 有
Belt 鑄造	Hazelett	9.5~50	305~1676	5~9	~20	1.2 (5357)	無
	Hunter	20~40	~1460	0.5	2	5 (5056)	
Caterpillar 式 Block 鑄造	Hunter-Douglas	12~28	~600	~1.5	~6	3.5 (5754)	有
	Alusuisse-Caster II	15~40	~1700	2~5	8~20	5 (5182)	有
Wheel-belt 鑄 造	Rotary-strip Casting	12~30	100~500	4~7	20	2.8 (5052)	有

A. Hunter법 ; 미국의 Hunter engineering사에서 개발되어 넓은 폭의 sheet용으로 가장 대표적인 process이다. Al용탕은 정교하게 제작된 주입구를 통해 수냉 roll틈새로 주입되어 Cast sheet(일반적으로 6.35 mm)가 되며 coil에 연속적으로 감긴다. 생산량은 1.5ton/h로 비교적 규모는 작지만 적은 인원으로 완전연속조업이 가능하기 때문에 단일규격제품의 주조에 적당하다. 제품용도로서는 foil외에 판의 표면 특성을 중요시하지않는 color용 Al sheet등이 있다.

B. Coquillard(3C)법 ; 프랑스의 Pechney사와 Coquillard 사가 공동개발한 것으로 원리는 Hunter법과 유사하지만 Hunter 법이 하향식 주입인 반면 Coquillard 법은 수평주입이 특징이다. 역시 넓은 폭의 박판coil까지 연속주조가 가능하며 용도는 Hunter 법과 같다.

C. Hazelett법 ; Hunter와 Coquillard 법이 수냉 roll 주조인데 비해 이 방식에서는 2개의 steel belt에 의해 주형을 형성하는 점이 특징이고 또한 Caster와 연속적으로 작동하는 압연기를 함께 설치한 일관된 연속주조압연 process이다. 주형을 형성하는 냉각효율이 좋고 주조속도가 빠르며 대규모 생산에도 적당한 process이다. 또한 압연율을 크게 할수 있기때문에 최종판재의 표면품질이나 기계적특성이 양호하여 내충격용, 알루미늄이트제품등 범용판으로 사용할수 있다.

D. Hunter-Douglas법 ; Hazelett법과 마찬가지로 비교적 후판으로 주조한 후 바로 연속작동하는 열간압연기에서 압연되는 연속주조압연 process이다.

Caster는 독특한 설계로 제작되어 있으며 수냉 Block은 여러개가 서로 연결된 Caterpillar식으로 되어 있으며 이것이 상하 1개조가 되어 Caster를 형성한다. 따라서 각각의 주형에 공급되는 냉각수의 급배수장치에 부착된 호스는 Caster가 회전할때 함께 회전하도록 설계되어 있다. 이 방법에서는 주형연결부에 나타나는 영향이 주괴표면에 직접 나타나기때문에 열간압연기앞에 표피제거장치가 설치되어 있다.

E. Hunter 수평 slab 주조법 ; 전술의 Hunter-Engineering 사가 개발한 process로 광폭후판의 연속주조에 이용되며, 주조판은 표면연삭가공하여 사용한다. 원리는 Hazelett법과 동일하지만 수명이 짧은 steel belt대신에 유리섬유제 belt를 사용하는 점이 특징이다.

F. Rotary strip casting 법 ; 지금까지 설명한 각 방법은 광폭에 이용되는 주조법이라면 이 방법은 소폭과 중폭에 이용되는 연속주조법이라고 할수 있으며 폭은 100mm에서 250mm까지가 일반적이다. 주형의 형성은 수냉Wheel과 Steel belt로 이루어져 있고 주조된 strip은 즉시 압연된다. 압연재는 내충격재, 압출용, 도체용 strip, 판재등에 사용되고 있다.

(2) 선재의 연속주조압연

연속주조압연의 장점은 특히 선재의 경우 현저하다. 즉, 연속주조압연에 의해 품질이 일정한 큰 rod의 선이 얻어지며 후속공정인 냉간인발에 대한 작업성이 우수하고 종래의 용접불량에 의해 발생하는 단선문제가 해결될수 있기때문이다.

표3<sup>10,11)</sup>은 선재의 대표적인 연속주조압연 pro-

표3 . 線材의 代表的인 連續鑄造壓延 프로세스

鑄造 process	鑄造機種	鑄造棒의 斷面積/mm	Wheel dia. /mm	鑄造速度 /m min	壓延方式	壓延 stand 數	製品 rod dia. /mm	生産量 /th
Wheel-belt 鑄造	Properzi 7型	2163	1400	6.8	3 方向	13	9.5	4.0
		3472	1400		3 方向	17	9.5	6.0
		3472	1800	8.0	3 方向	17	9.5	8.1
			2000		3 方向	17	9.5	11.4
	Spidem 4型	2000	1400		2 方向	10	7.6	4.5
		4000	2000		2 方向	12	7.6	9.0
	Cegedur-Sedim	1000	1400	10.8	2 方向	8	9.5	2.5
	Southwire (SCR) 6型	3440	2400	10.8	2 方向	12	9.5	8.0
5180		2400		2 方向	13	9.5	11.2	

cess를 나타낸 것이다. 본해설에서는 가장 일반적으로 이용되고 있는 Properzi법과 Southwire(SCR) 법에 대해 간단히 기술한다.

A. Properzi 법 : 1947년 이탈리아의 Continuous사에서 개발과 개량을 거듭해 온 것으로 세계에서 가장 널리 쓰이고 있는 선재의 연속주조압연법이다. 주조 rod의 단면형상이 5각형인것이 특징이며 3대의 roll로 압연한다. 주형틈의 단면적 및 Wheel지름을 증가시킴으로써 대량생산이 가능하다.

B. Southwire 법(SCR) : 5개의 Wheel로 된 strip주조법과 properzi법을 응용한 방법이다. 원래 Cu의 선 연속주조압연법으로 개발된 것이나 Al용으로도 널리 사용되고 있다. Wheel지름이 크고 주형틈의 단면은 사다리꼴로 2방향압연방식이다. 생산능력은 EC재의 경우 11.5ton/h이며, 5052, 5056, 2011, 2017, 7075 Al합금등의 주조가 가능하다.

#### 4. 결론

연속주조압연법에 의해 생산되는 Al합금의 종류는 제한(Al-Fe, Al-Mn, Al-5wt%이하 Mg합금정도)되어 있으며 응고온도범위가 넓은 합금에서는 표면에 porosity나 crack이 발생하기 쉽기때문에 고품질의 압연재생산이 곤란하다. 따라서 품질관리가 어렵다는 단점을 지적해 두고싶다. 또한 압연재의 폭조정이 잘 안되고 scrap이 많이 발생하기때문에 생산성도 저하될 것으로 사료된다. 이에 비하면 DC주조법은 에너지소비 및 보수비가 막대하지만 품질관리가 용이하다는 장점을 지니고 있다. 선단기술의 소재로서 수요의 다양화와 확대의 추세에 있는 고품질의 Al 및 Al합금을 경제적으로 생산하기 위해서는 투자비가 적게드는 연속주조압연방법에 대한 여러문제점을 개선해야하며 기술적확립을 이루어야 하겠다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 三田村良太 ; 輕金屬, 30(1980), 227.
- 2) W.J. Bergmann ; Aluminium, 51(1975), 336.
- 3) W.J. Bergmann ; Z. Metallkunde, 64(1973), 536.
- 4) 吉田政博 ; 住友輕金屬技報 ; 17(1976), 145.
- 5) 三田村良太, 伊藤忠直, 高橋靖弘, 平岡高弘 ; 輕金屬學會第10回 Symposium, (1977), 36.
- 6) 三田村康二, 杉崎英雄, 青山堯 ; 輕金屬, 26(1976), 208.
- 7) H.S. spaulding ; Light Metals Age, 33(1975), 8.
- 8) 廣度正明, 榊原信夫, 廣田于彦 ; 輕金屬學會第19回 Symposium, (1981), 19.
- 9) D. Altenpohl ; Z. Metallkunde, 60(1969), 678.
- 10) 久本方 ; 日本金屬學會 Symposium, (1972), 14.
- 11) 平岡高彌 ; 金屬, 592(1971), 85.

#### 종신회원패유상배부

1) 당학회는 그동안 종신회비를 납부하시고 종신회원패를 받지 못하신 회원에게 충분히 공급코져 다량의 회원패를 제작하여 1988년도 1~2월중에 신청자를 접수받아 일괄배부 한바 있습니다.

본회는 종신회원패 구입을 원하는 회원에게 계속해서 제작공급하고 있어오니 아래 양식에 의거 신청하여 주시기 바랍니다.

2) 본패의 제작에는 상당한 금액이 소요된바 제작비의 일부는 본회가 부담하고 나머지는 본패를 구입하시는 종신회원께서 부담하도록 결의되었사오니 양지 하시기 바랍니다.

#### 아 래

1. 종신회원패대금 : 10,000원(케이스 발송비 포함)
2. 신청대상 : 종신회원으로써 종신회원패를 아직 받지 못하셨거나 받으신 후 분실하신 회원
3. 신청방법 : 신청서 양식에 기재하신 후 우편대체구좌로 대금 10,000원을 우송하시기 바랍니다.
4. 신청기간 : 수시
5. 우편대체구좌 : 012211-31-1441351

#### 종 신회 원 패 신 청 서

성 명	근 무 처	연 락 처