

技術資料

수평연속주조기술

류봉선, 박원욱

Horizontal Continuous Casting Technologies

B. S. You and W. W. Park

1. 서 론

연속주조에 대한 아이디어가 고안된 후 약 1 세기가 지난 1950년대[1]에서 부터 산업화 되기 시작한 연속주조기술은 새로운 공정설비의 개발과 함께 고능률화, 대형화 및 자동화가 중점 추진되어 왔다. 특히 철강분야에서의 연속주조기술은 비철합금에 비해 빠른 수요증가와 대형화를 기반으로 급속히 발전하였으며, computer를 이용한 제어기술의 도입으로 인해 연속주조공정의 무인화가 진행되고 있다. 반면, 철강재료의 연속주조에 비해 용점이 낮으면서도 다양한 특성이 있는 비철합금의 연속주조는 합금의 고유특성이거나 요구되는 최종제품의 형상 및 여러가지 환경요인에 의해 철강의 연속주조와는 다른 연속주조기술이 개발 및 적용되어 왔다.

개발된 연속주조기술은 용탕이 응고되는 mould의 구조적차이로 구분[2]할때 고정형 주형과 이동형 주형으로 분리된다. Tundish에서 mould로 유입된 용탕이 mould의 단면형상으로 응고되고 응고된 소재는 mould의 내부를 지나 취출되는 고정주형방식의 연속주조와, 유입된 용탕과 제품의 단면형상을 결정하는 mould가 동일한 방향으로 이동하면서 용탕을 응고시키는 이동주형 방식의 연속주조가 있다. 지금까지 철강 및 비철합금의 대량생산에는 고정주형방식이 이용되었으며, 일부 비철합금의 경우 이동주형방식을 이용하는 것으로 보고되어 있다.

고정주형방식의 연속주조는 또한 주조하는 방향에 따라서 수직식과 수평식의 연속주조로 구분

할 수 있으나 철강이나 Al합금의 연속주조에는 지금까지 수직식 연속주조가 당연시 되어 왔다. 그러나 최근 비철합금을 중심으로 소량 다품종소재의 생산에 대한 관심이 높아지고 특히 수직공정으로는 제조가 불가능한 소구경이나 소단면적소재의 제조에는 공정단축의 효과가 있는 수평연속주조의 장점이 다시 부각되고 있다. 또한, 수직식에 비해 생산성 및 회수율이 높을 뿐 아니라, mould의 단면적크기나 형상에 제약을 받지 않고 다양한 형상의 strip, tube, wire, rod 등을 제조할 수 있기때문에 수평연속 주조공정으로의 변화는 가속화되고 있는 추세이다.

이와같은 수평연속주조공정은 선진각국에서 이미 개발되어 실용화단계에 접어들었으나 국내에서는 최근 일부 비철금속을 중심으로 적용되기 시작하는 태동단계라고 볼 수 있다. 따라서 본고에서는 기술적인 제반사항이 취약한 연속주조에 대한 이해를 돕고 기술개발에 관한 기초자료를 제공하고자 1차적으로 다양한 형태의 이동주형방식의 연속주조에 대한 기본원리와 특성에 대해 고찰하였다. 또한 기존에 보급되어 실용화되어 있는 고정형 주형방식의 수직연속주조는 생략하였으며, 최근 국내에서 비철계 합금의 생산에 일부 적용되기 시작한 고정주형방식의 수평연속주조기술에 한정하여 핵심기술인 mould의 구조와 용탕의 mould내 응고과정 및 취출공정에 관해 기술하기로 한다.

2. 이동주형방식의 연속주조 원리

고정주형(stationary mould)방식으로 보급된 연속주조 한계를 극복하고 소재특성 및 공정단축을 위한 많은 새로운 개념의 주조방식이 고안되어 왔다. 이들은 대부분 이동주형방식으로 판재나 선재를 연속적으로 주조하면서 압연하는 방법이기 때문에 소재의 편석이 적고 미세조직이 균일한 합금의 경우에 적용된다. 따라서 일반적으로 가공성이 좋고 용고온도 범위가 좁은 순 Al이나 Al합금등의 비철합금 제조에 이용이 가능하다.

그림 1은 지금까지 개발된 이동주형방식의 연속주조설비들에 대한 주조원리를 도식화한 것이다. a) 및 b)는 wheel 및 band를 이용한 연속주조법으로서 a)는 Properzi[3], b)는 Mann공정[2]으로 불리운다. 비교적 많이 알려진 Properzi공정은 Pb의 제조를 위해 개발되었으나 2차대전 후 부터 Al합금에 적용되기 시작하여 rod를 생산하는데 이용되고 있으며, 영국, 미국, 스위스 등에서는 일부 Cu, Zn등의 생산에도 이용되고 있는 것으로 알려져 있다. 수냉되는 wheel은 Cu 재질의 rim와 steel side plate로 구성되며 mould는 수냉되는 steel band에 의해 감싸지게 된다. 용탕은 nozzle을 통해 mould에 공급되고 wheel을 따라 회전하는 동안 응고되어 상향으로 취출된다. 같은 원리지만 회전하면서 냉각되는 0.5~1.5mm의 steel belt를 주형으로 하여 판재를 제조하는 Hazelett공정[4]은 c)의 주조원리를 이용한 것이다. Belt는 주조방향으로 6~9° 정도 경사지게 하며, belt의 양측에 용탕의 유출을 방지하기 위해 dam-block을 설치하는데 dam-block의 위치와 높이에 따라 제조되는 판

재의 폭과 두께가 결정된다. 이 방식은 후술되는 roll방식에 비해 냉각지역이 긴 특징이 있으며 제조된 판재는 pinch-roll등을 지나 곧바로 소정의 두께로 열간압연하여 권치할 수 있는 설비들로 구성된다. 따라서 생산성은 비교적 높으나 압연량이 작고 표면연삭을 하지 않기 때문에 소재의 표면상태가 매끄럽지 못하다. 반면 band 대신 단절된 chill block[5]을 사용하는 Hunter-Douglas법이나 Alusuisse Caster II 법의 주조원리 (d)는 비교적 두꺼운 판재의 제조에 적합한 설비이다. Mould로 사용되는 금속 block은 내부에 수냉 hole을 가공(Hunter-Douglas법)하여 냉각하거나 금속 block에 냉각수를 분사하는 spray chamber(Alusuisse Caster II 법)가 있다. 이외에는 최근에 활용범위가 점증되는 기술로서, 냉각되는 roll과 roll사이에서 용탕을 응고시키는 twin roll 주조법(e, f)이 있다. 판재를 직접 주조압연하는 방법으로 주조방향이 수직일 경우 (e)에 Hunter-Engineering법[6], 주조방향이 수평(f)일 경우에 Pechiney-Coquillard법[7](3C, Caster-I)으로 불리운다. 수냉되는 roll의 틈새에 삽입되는 nozzle의 끝으로부터 roll의 중심점까지 약 40~50mm의 사이에서 용탕은 응고냉각되며 용탕의 응고 및 냉각시 최대 20%정도의 단면수축을 위한 하중을 받게된다. 이공정은 냉각속도가 200~600°C/sec정도로 매우 빨라 조직이 미세하고 균일한 특징이 있다.

3. 고정형 주형방식의 수평연속주조

고정형주형방식의 연속주조는 대량생산되고 있는 철제나 Al합금의 경우 수직연속주조법이 이용되고 있으나 인건비상승에 따른 공장 자동화 추세와 더불어 다음과 같은 수평연속주조의 특징 [8]으로 인해 수평연속주조공정의 적용범위는 확대되고 있는 실정이다.

1. 연속주조소재의 회수율 향상
2. 자동화(무인화) 용이
3. 균질화 처리시간의 단축
4. 압출형재의 강도향상
5. 주조가공비의 절감
6. Billet의 운송이 용이
7. 초기 설비비의 감소

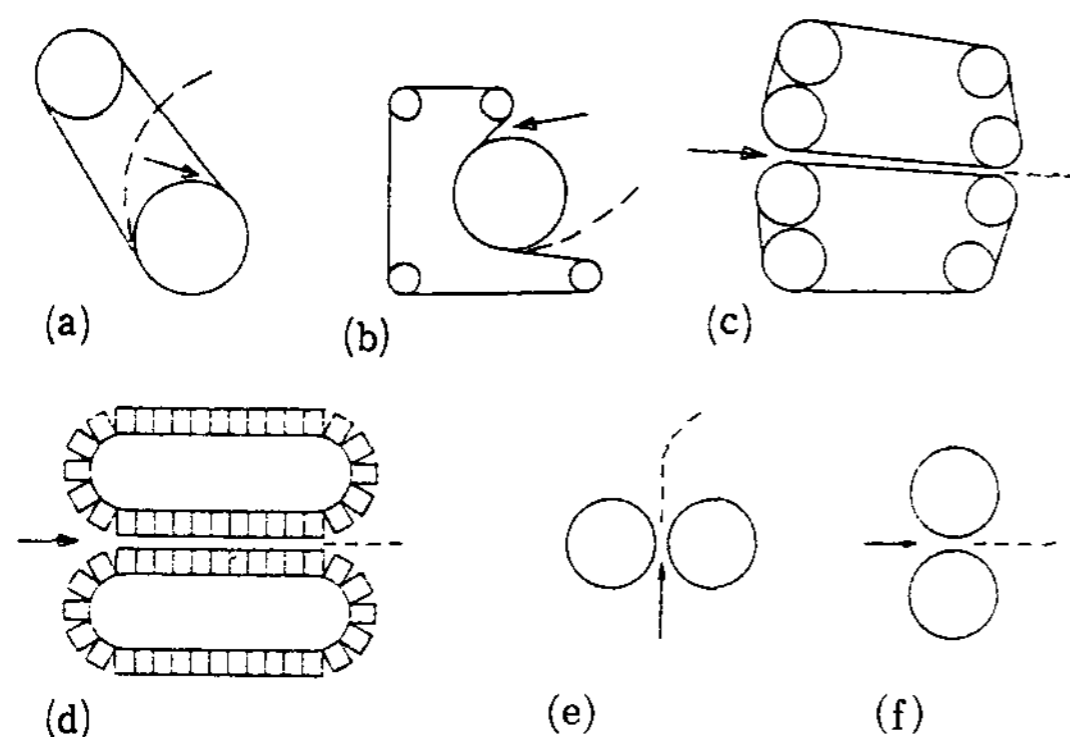


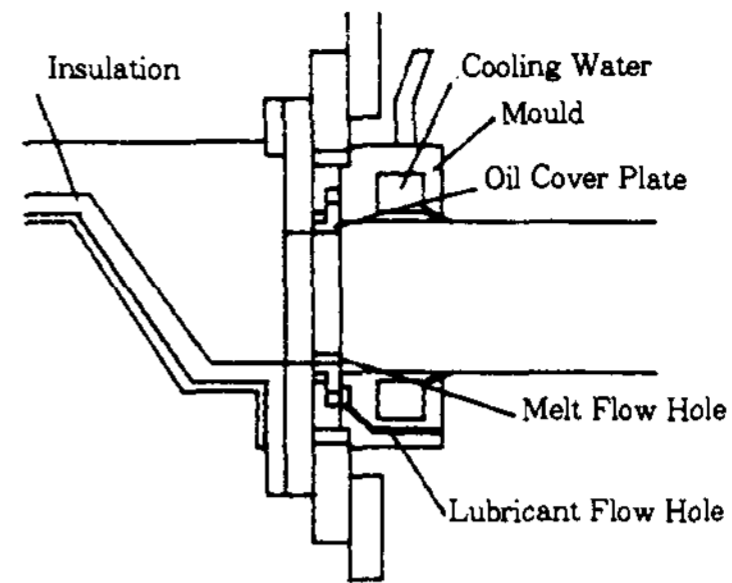
그림 1. 이동주형 연속주조방식의 주조원리

이와같은 특징의 수평연속주조에 의해 생산되는 소구경선재의 제조는 기존의 제조공정인 주조, 균질화처리, 압출 및 용도에 따른 열처리나 인발단계를 거치던 지금까지의 소구경선재 제조공정에 비하여 직접 소구경의 선재를 제조하고 사용조건에 따라 열처리나 peeling하여 제품화하기 때문에 제조공정이 크게 단축되고 공정비가 낮은 장점이 있다.

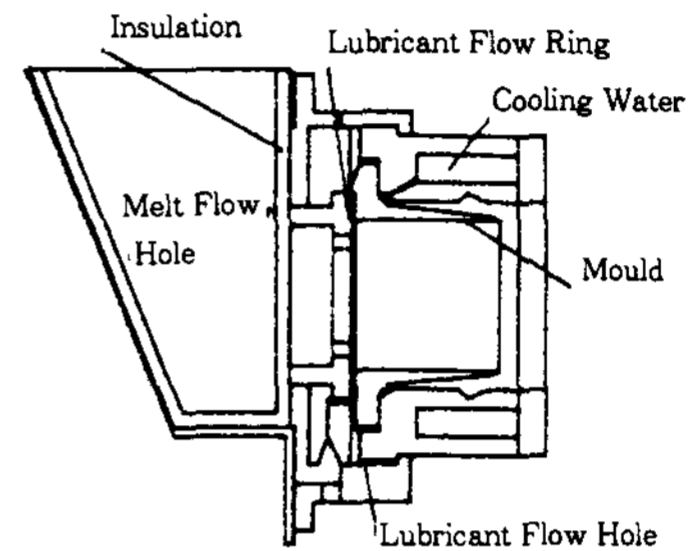
특히 소구경의 선재제조는 billet제조에 비해 2~3배 이상의 주조속도를 낼 수 있으므로, 높은 냉각속도에 의해 조직이 미세하고 정출하는 상들이 균일하게 조직내에 분포하는 등 일반적인 주조제품과는 달리 압출한 제품에 상당하는 기계적 특성을 나타낸다.

그러나 수평연속주조에서는 합금용탕이 응고하면서 고상-액상천이에 따라 부피가 수축하기 때문에 연속주조한 제품의 냉각속도가 mould의 상하에서 편차[2]가 생길 수 있다. Mould내에서 표면부터 응고 및 냉각하기 시작하는 선재나 판재는 부피가 수축하고 자중에 의해 mould의 하부에 밀착되기 때문에 mould의 상부와는 비접촉상태가 되어 cooling jacket의 냉각효과가 직접 전달되지 못하기 때문에 냉각속도가 늦고, 따라서 고액계면의 sump형상 또한 mould의 하부에서 먼저 시작되는 비대칭응고가 일어나서 미세조직의 차이를 동반하게 된다. 이와같은 문제점외에도 수평연속주조에서 발생할수 있는 cold shut, ripple 등의 결함을 줄임과 아울러 표면상태를 개선하고 후공정에서 표면가공을 줄이기 위해 수평연속주조공정의 개발초기에는 그림 2와 같이 각 회사마다 고유한 design의 용탕유입구를 설계[9]하여 연주선재의 상하편차를 줄이고자 하였다.

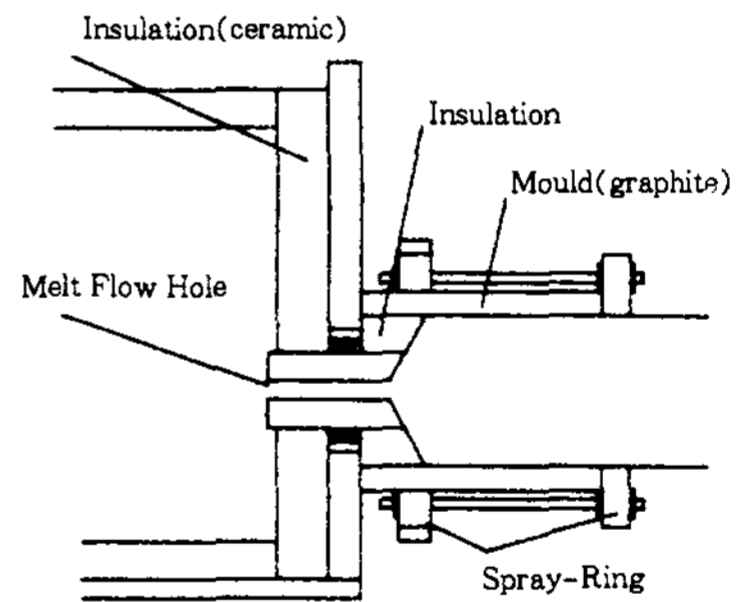
Tundish와 mould의 사이에는 mould에 유입된 용탕이외에 tundish의 용탕에 의한 열전달을 억제하여 mould에서의 냉각능을 높이기 위해 단열재를 사용하게 되고 단열재에 각종 형상의 용탕유입구를 가공하여 연속주조에 이용하게 된다. Alcoa에서는 용탕의 유입구를 mould의 하부에 설계(a)하여 유입되는 용탕의 온도에 의해 mould의 하부온도를 mould의 상부보다 높게 유지함으로써 연주선재의 상하편차를 줄이고자 하였다. 반면 Kaiser사의 용탕유입구는 b)와 같이



(a) ALCOA



(b) KAISER



(c) REYNOULD

그림 2. 수평연속주조설비의 특징

작은 크기의 용탕유입구를 상하에 가공하거나 방사형의 위치에 가공하여 유입되는 용탕의 mould내 이동거리를 줄여줌으로써 표면결함을 억제하고자 하였다. 한편 Reynold사는 이와같은 표면결함이나 mould내의 상하편차를 고려하지 않고 단지 용탕유입구의 단면적만을 줄여 선재의 중심에 설계하였다. 연속주조공정의 개발초기에 설계된 이와같은 용탕유입구의 영향은 80년대 중반 이후 생산성 향상을 위해 고효율의 cooling jacket이 개발되고, 높은 열전도도의 mould재질을 사용함에 따라 그 영향이 줄어들게 되었다. 따라

서, 최근 압출용 6063Al합금의 수평연속주조공정을 개발한 YKK(吉田)사[10]에서는 Reynold사와 동일한 형태의 용탕유입구를 설계하여 직경 9 inch의 Al합금 billet를 240mm/min.의 속도로 생산하는 설비를 가동중에 있다.

또한 일본의 SHOTIC사에서는 그림 3과 같이 mould내에 용탕을 수평으로 공급하고 mould구조는 수직인 Hot-Top방식의 주조법[11]이 개발되었다. Hot-Top방식은 float를 사용하지 않기 때문에 용탕공급이 안정되고 산화의 가능성이나 개재물의 혼입이 적다는 장점이 있다. 또한 mould에 고압의 가스를 주입함으로써 응고하는 용탕과 mould와의 접촉이 거의 없이 연속주조가 가능한 Air-Slip Casting법이 개발되어, 용탕과 mould와의 접촉으로 인해 발생하는 표면결함을 줄여 제반특성이 우수한 소재의 제조가 가능하게 되었다.

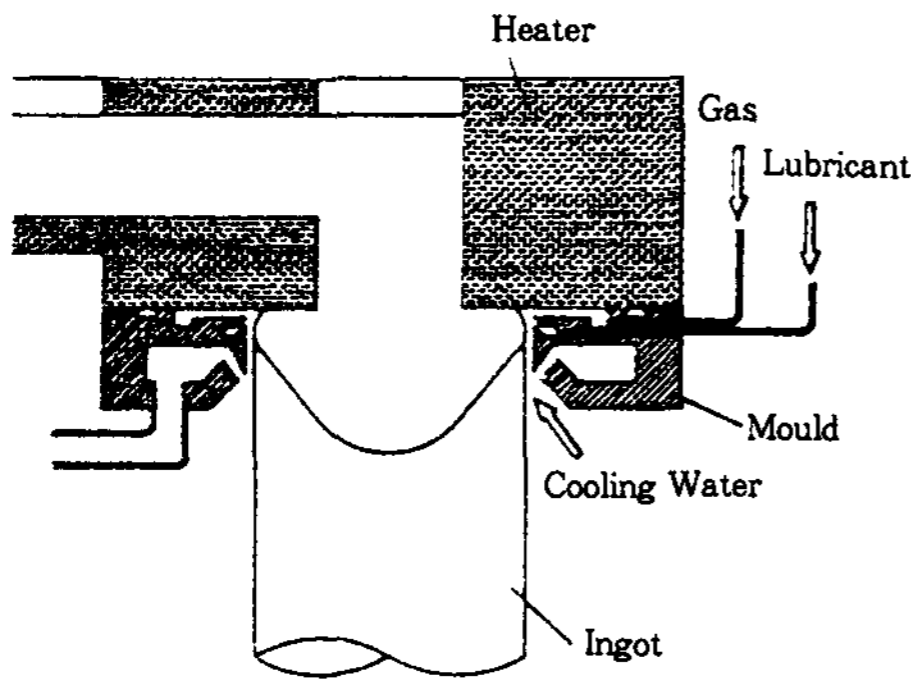


그림 3. Gas가압방식의 Hot-Top연속주조

이와같이 고압의 가스를 이용하는 air-slip법은 Hot-Top방식 뿐만 아니라 그림 4와 같이 수평연속주조에도 적용[12]되었으며, SHOTIC사에서는 $\phi 20\sim 106\text{mm}$ 의 Al선재를 동시에 수십 strand씩 제조하고 있다. Hot-Top이나 air-slip법에 의해 제조한 선재는 표면상태가 현저히 향상되었고 조직이 미세하고 균일한 것으로 보고되어 있다.

용탕이 주형내에서 응고할 때 주형면과 용탕의 접촉으로 인해 발생하는 재용출이나 역편석을 근본적으로 방지하는 또다른 방법으로 그림 5와 같은 원리의 전자장주조[13](EMC:Electromagnetic Casting)가 있다. 전자장주조는 개발초기 고정형 수직연속주조에 적용되었으나 그후 수평

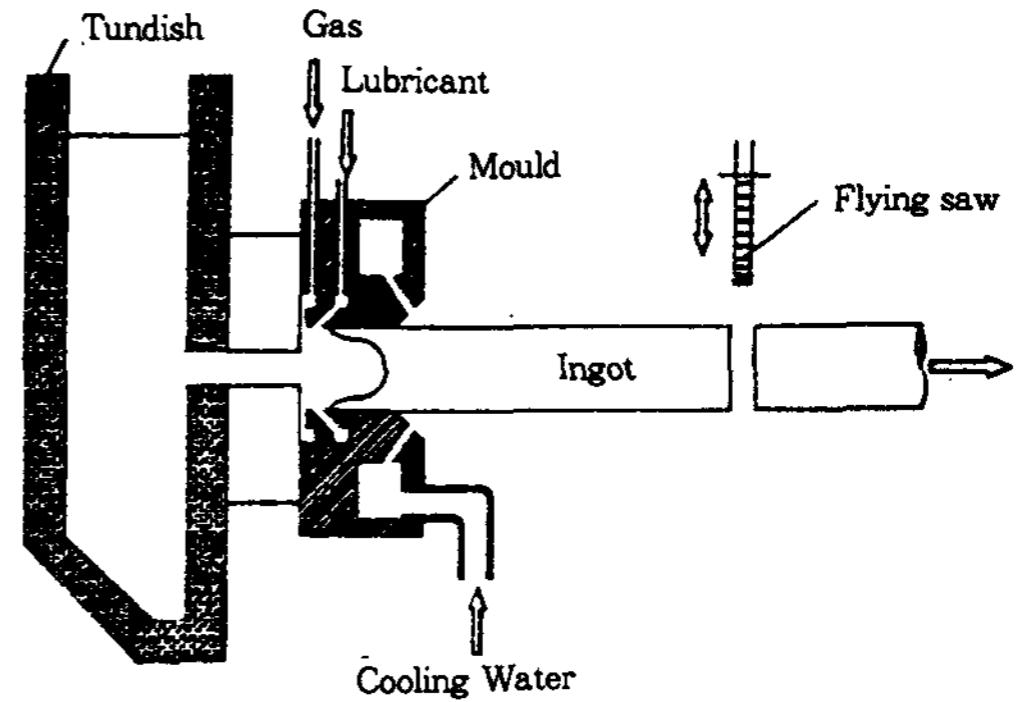


그림 4. Gas가압방식의 수평연속주조

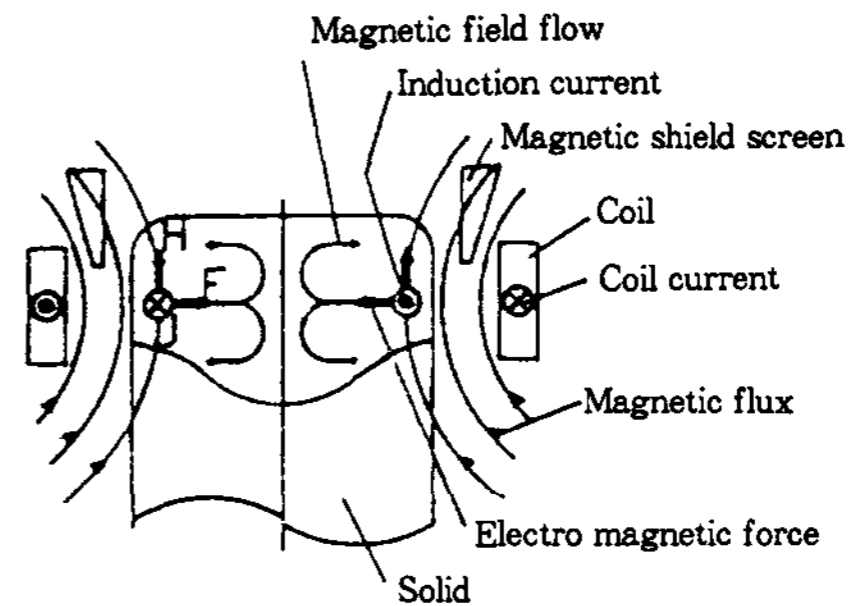


그림 5. 전자장 주조의 원리

연속주조 및 상향식 연속주조에도 적용하기 위한 연구가 수행되고 있다. 전자장주조의 기본원리는 용탕에 전자력을 주어 용탕을 구속하는 것으로, 주형을 빠져나오는 용탕에 고주파전류에 의한 자장을 가함으로써, 용탕표면에 와전류가 형성되고 발생하는 전자기력에 의해 용탕을 일정한 형상으로 구속하는 방법이다. 구속된 용탕에 직접 냉각수를 분사하기 때문에 냉각속도가 크며, 주형에서 표면응고한 후 취출되는 기존의 공정에서 발생하는 표면결함을 없앨 수 있는 주조법으로 60년대 중반 소련에서 개발된 후 Kaiser사 및 Alusuisse사 등에서 80년대에 실용화한 방법이다. 그러나 이와같이 우수한 소재의 생산이 가능하지만 전자장 발생장치의 설치에 따른 설비비가 높고 설비의 치밀화가 어렵다는 단점이 공정의 저변화를 억제하는 최대 단점이다.

그의 냉각주형에서 나타나는 방사형의 조직을 없애고 방향성응고조직이나 단결정을 제조할 수 있는 가열주형방식의 연속주조법으로 Ohno-process가 있으나 본고에서는 이를 생략하기로

한다.

4. 고정형 수평연속주조에서 용탕의 응고와 취출

수평연속주조설비는 합금용해를 위한 용해로, 용탕의 미세화제 첨가나 flux처리를 위한 보온로, tundish, 용탕을 응고시키는 cooling jacket 및 취출기로 구분할 수 있으나 설비에서 핵심기술은 합금용탕의 경로설계나 냉각mould의 설계기술이다. 냉각 mould에 관해서는 설비를 개발한 각 회사에 따라 구조의 차이가 있으며 또한 공개되지 않은 부분도 있으나 금속 mould를 이용한 냉각mould의 예[1]를 그림 6에 나타내었다. 내화단열재로 가공된 용탕유입구를 통해 tundish의 용탕은 mould로 유입된다. 유입된 용탕은 mould와 접촉하면서 응고하기 시작하는데 응고가 시작되는 shell의 형성위치는 내화재질의 break ring과 mould의 계면이 된다. Mould재료로 Cu합금을 사용할 경우에는 열전달속도가 크기 때문에 용탕의 열을 cooling jacket의 냉각수에 전달하는 속도가 빨라 냉각효율이 높고 미세조직의 제어가 용이하다는 특징이 있다. 또한 용점이 낮은 합금의 연속주조에서는 Cu합금 외에 Al합금 mould도 사용된다. 그러나 냉각속도가 큰 영향

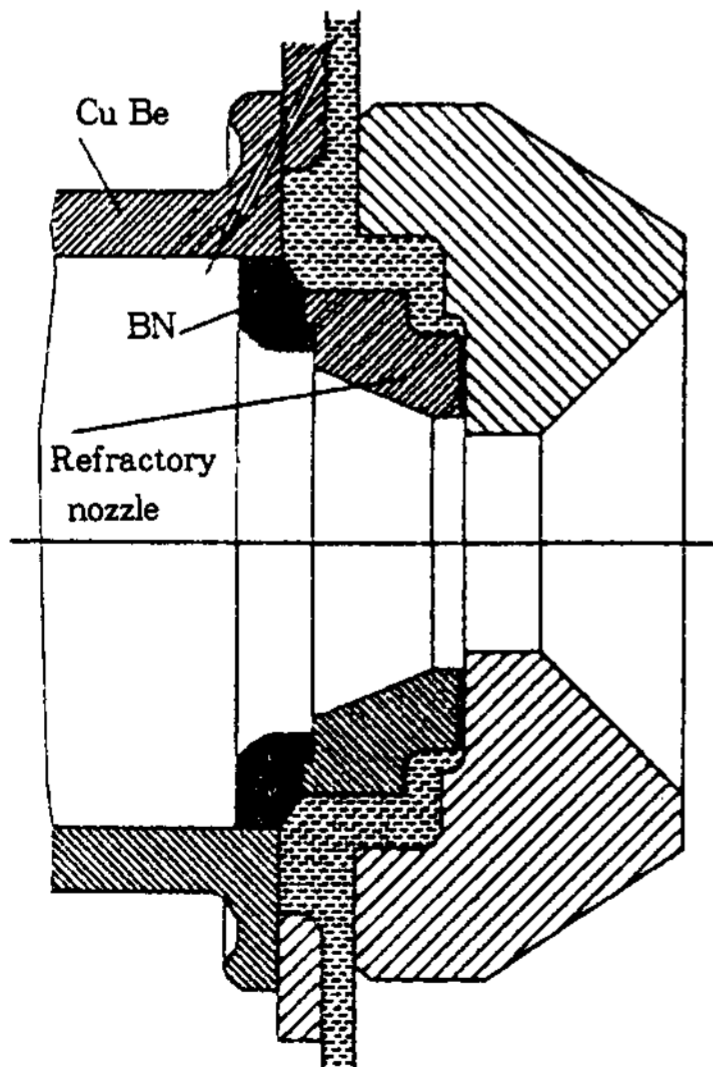


그림 6. 강의 수평연속주조를 위한 tundish와 mould의 연결구조

을 미치지 않고 연주제품의 표면상태나 결함을 줄이기 위한 공정에서는 용탕의 응고가 일어나는 부분만을 graphite ring으로 교체하기도 하며 mould 전체를 graphite로 사용하기도 한다. Graphite를 사용할 경우에는 Cu합금 mould와는 달리 graphite자체의 윤활성으로 인해 mould내면에서의 윤활유 공급system을 없애거나 줄일 수 있기 때문에 설비의 제어가 용이하다.

금속 mould나 graphite mould와 같이 단일재료를 사용함에 따라 발생하는 단점을 보완하기 위해 General Motors사는 그림 7과 같이 mould내면을 2개의 부분으로 분리함으로써 이중재질의 mould를 결합하여 사용하는 방법을 고안하였다. 용탕의 응고가 일어나는 전면부에서는 Cu합금을 사용하고, 응고한 shell이 파괴되지 않고 충분히 두꺼워질 수 있도록 유지시키기 위한 mould의 후반부에는 graphite mould를 사용함으로써, Cu mould사용에 따른 냉각속도 증대효과와 graphite mould사용에 따른 마찰력 감소효과를 동시에 취할 수 있는 구조이다.

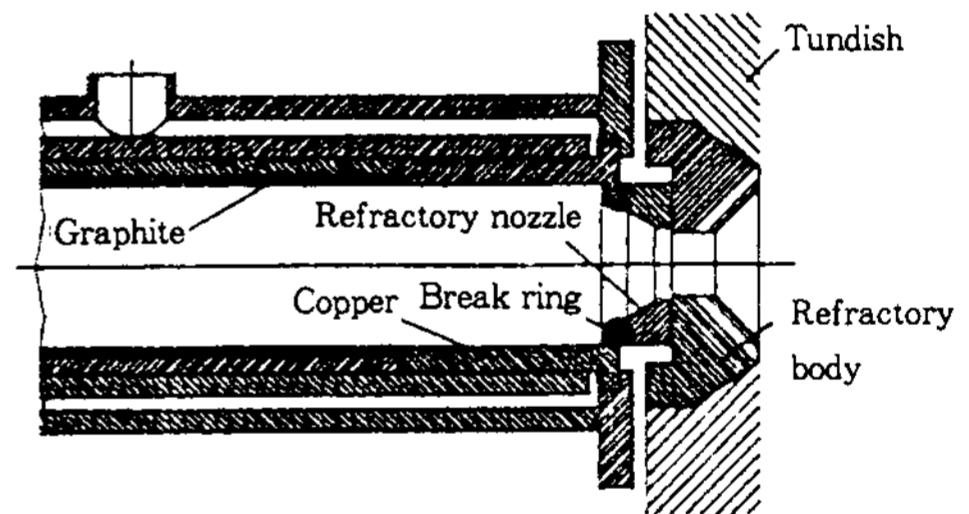


그림 7. Cu와 Graphite의 two-part mould구조

Mould에 유입된 용탕의 이동에 따른 변화는 Stroke직전(a) 및 직후(b)에서의 응고양상을 도식화한 그림 8과 같이 3개의 영역으로 구분[1]해 볼 수 있다. 유입된 용탕의 상변화가 일어나지 않은 E-F지점은 완전액상영역이며 이 영역에서 용탕의 온도는 떨어져 응고온도에 도달하게 된다. 응고온도에 도달한 용탕은 F점을 지나면서 영역 II에 도달하는데 F점에서 Z에 이르는 영역 II는 응고가 일어나는 영역으로 응고에 따른 잠열이 방출되기 때문에 가장 큰 냉각이 필요하다. 따라서 소재의 표면상태 및 내부응고조직을 제어하기 위해 응고양상이나 냉각속도등을 조절하고자 하는 많은 연구는 영역 II를 제어하기

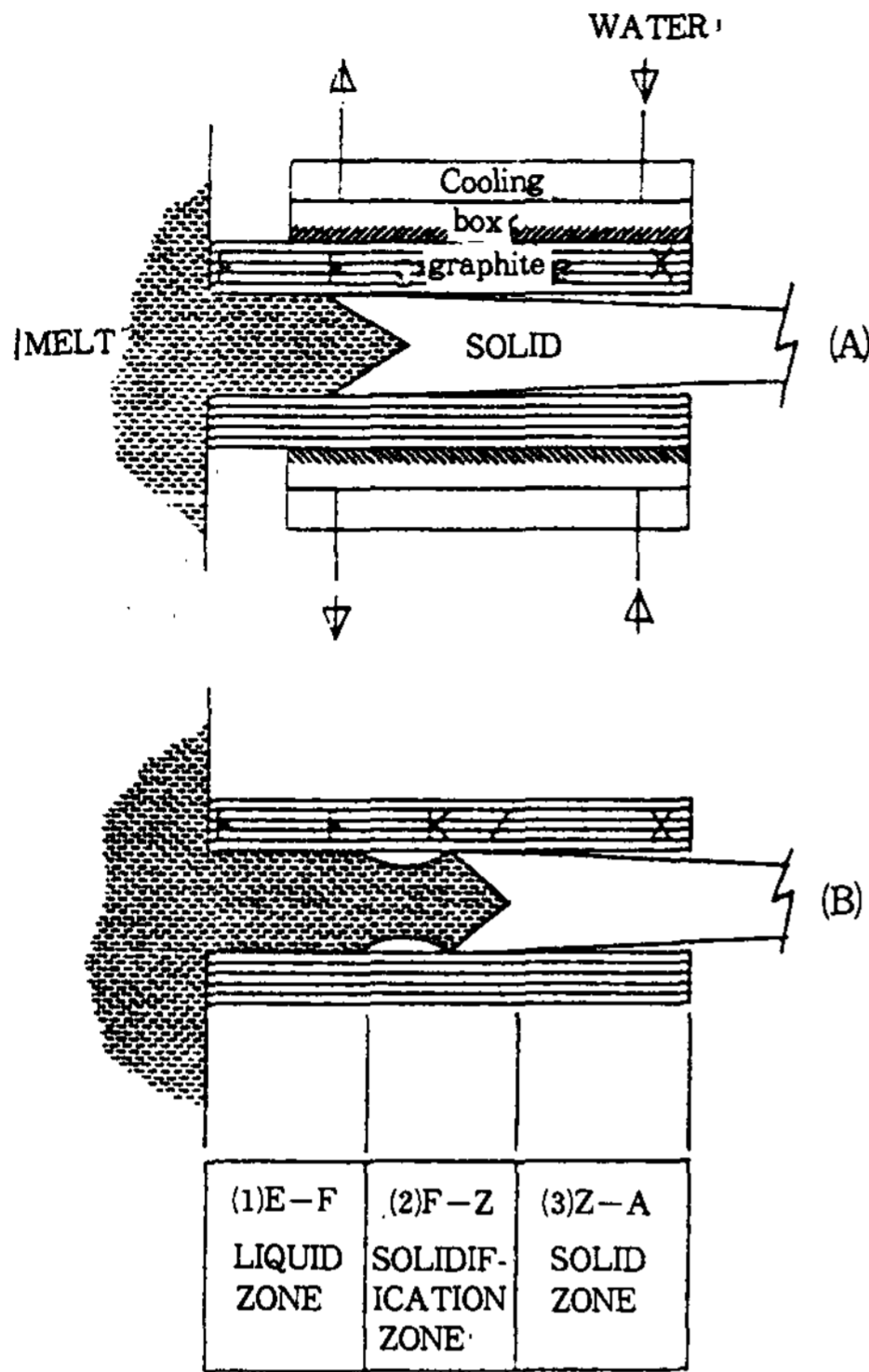


그림 8. Mould에 유입된 용탕의 이동에 따른 응고 model

위한 연구라고 볼 수 있다. 한편 Z에서 X에 이르는 영역은 응고한 고상의 냉각영역으로, 냉각속도를 측정하기 위해 die내면에 groove를 가공하여 T/C를 삽입하기도 한다. 이와같은 상의 천이과정중 공정변수로서 가장 중요한 F지점의 위치를 직접 확인하고자 여러가지 방법이 시도되어 왔다. 그 중에서도 가장 명확하게 F의 위치를 확인하는 방법은 cooling jacket 및 die하부의 절반을 기존의 설비로 사용하고 상부는 육안으로 확인할 수 있도록 투명하게 처리하는 방법이 있다. 그외 graphite나 금속 die의 내면에 groove를 가공하여 간헐취출시 groove의 크기에 따라 F지점의 이동거리를 확인하기도 한다. 반면 Z지점의 위치는 위에서 언급한 방법으로는 확인이 불가능하기 때문에 연속주조한 소재의 횡단면 조직중 columnar grain이 응고한 기울기를 이용하여 F지점으로 부터 간접 추정한다. 이와같은 방법에 의해 측정된 F와 Z의 위치 및 영역 III에서의 냉각속도를 고려하여 냉각 system의 열효율을 산

정하는 것이 가능하다. 연구결과에 의하면 mould에서 흡수되는 열의 50%정도는 잠열이 방출되는 영역 II에서 흡수되는 것으로 나타났다.

수평연속주조한 선재나 판재의 취출방식은 고융점합금의 경우 간헐취출방식[14]을 택하게 되는데 간헐 취출방식 중에서도 합금의 특성에 따라 취출하는 cycle은 단계를 달리한다. 가장 단순하면서도 많이 이용되는 취출방법은 전진/정지 2단계의 반복 cycle이다. 응고한 소재를 소정의 거리만큼 취출한 후 정지단계에 일정시간 유지한다. 이때 새로 유입된 용탕은 mould에서 shell을 형성한다. 형성된 shell은 정지단계에서 충분히 두꺼워져 일정강도를 유지함으로써 전진단계에서 파괴되지 않고 응고한 선재를 따라 취출된다. 2단계의 cycle에 후진단계를 추가한 전진/후진/정지 3단계에의 반복 cycle이 있다. 이는 전진단계 후 약간의 후진단계를 줌으로써 합금용탕의 응고에 따른 수축력을 보완하고 응고한 소재와 유입된 용탕의 welding을 용이하게 하기 위함이다. 마지막으로 후진/전진/정지 3단계의 반복 cycle이 있는데 전진단계 이전에 약간의 후진단계를 도입한 cycle이다.

정지단계에서 형성된 shell이 die표면과 응착되어 있어서 취출되지 못하고 파괴될 수 있기 때문에 발생할 수 있는 표면결함이나 연주소재의 파단등을 억제하기 위해 짧은 후진단계를 도입한 방식으로 합금에 따라 이러한 후진단계가 필수적인 경우가 있다.

이와같은 cycle중 전진/정지 2단계의 취출 cycle에서는 mould내에 형성된 shell이 파괴되지 않고 다음 단계인 전진단계에서 취출될 수 있는 최소의 시간으로 정지단계의 시간을 선정함으로써 소재의 냉각속도를 증가시키고 생산성을 높인다. 한편 전진시간의 경우 시간이 길어 질수록 break ring에서 성장하는 shell의 두께나 높이는 커진다. 즉 coldshut의 깊이가 커지기 때문에 이에 따른 crack의 발생가능성 및 편석의 경향 또한 커진다. 따라서 정지시간과 전진시간을 최소화하여 단위시간당 취출 cycle을 늘리는 것이 표면상태가 양호하고 결함이 없는 소재를 제조하는 최선의 방법이다. 반면 후진단계를 도입한 취출 공정에서 응고는 그림 9와 같이 3단계의 공정으로 나뉘어진다. 소재를 일정한 길이로 취출하는

전진단계(1)와 전진직후의 짧은 후진단계를 도입함으로써 용탕의 용접이 일어나는 부위에 압축력을 주어 탕경계에서의 결함을 줄이고자 하는 후진단계(2)와 정지단계(3)로 구성된다. 이들 각 단계에서의 공정변수는 1, 2단계에서 stroke의 길이 및 속도이며, 작업초기에는 stroke의 길이 및 속도를 줄여 안전하게 초기취출을 시작한 후 점차 stroke의 길이 및 속도를 늘려 확립된 공정조건으로 변환한다.

이와같이 간헐취출에 따라 발생할 수 있는 결함이나 미세조직의 불균일성을 억제하기 위해 최근에는 Al합금 등의 저융점 합금을 중심으로 정지단계가 없는 완전한 연속취출공정에 대해 연구하고 있으며 6000계 Al합금 billet나 소구경 선

재의 제조에 일부 적용되고 있다.

5. 결 언

본고에서는 고정주형방식의 수평연속주조와 이동주형방식의 연속주조에 대한 특성과 응고양상의 변화에 관해 간단히 기술하였다. 그러나 지금까지 개발 및 실용화된 연속주조의 종류 및 특징이 방대하고 또한 공정을 개발한 회사에서 일부기술은 노하우로 분리하고 있기 때문에 특정기술에 대해 세부적으로 접근할 수 없어서 일반적인 사항에 국한하여 기술하였다.

최근 국내에서도 수평연속주조공정이 도입되어 Cu합금등의 제조에 부분적으로 적용되고 있고 그외 저융점의 비철합금 제조에 적용범위를 확대하고자 관심이 모아지고 있다. 이와같은 추세는 기존의 공정을 대체하여 급격하게 확산되리라 예상되나 수평연속주조에 대한 기초연구나 공정개발은 극히 미약한 실정이다. 향후 국내에서도 수평연속주조공정의 저변확대에 따른 공정효율화나 소재의 특성향상을 위해서는 보다 많은 관심과 투자가 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Voss and W. Reichelt:Metals Forum, 7(2)(1984)79
- [2] E. F. Emley:International Metals Reviews, June(1976)75
- [3] W. F. Barron:Wire Industry, November (1979)801
- [4] P. C. Regan:Light Metal Age, April (1971)10
- [5] 松尾 守:輕金屬, 39(7)(1989)524
- [6] G. Vassily:Light Metal Age, October (1975)5
- [7] P. Y. Crouzet:Light Metal Age, Oct. (1975)17
- [8] 廣渡正明, 廣田千彦:輕金屬, 32(6)(1982) 311
- [9] 吉田政博 住友經金屬技報, July(1976)44
- [10] 新瀨誠, 大皇紀夫, 永井嘉隆, 田中一生:アルトピア, 10(1990)9

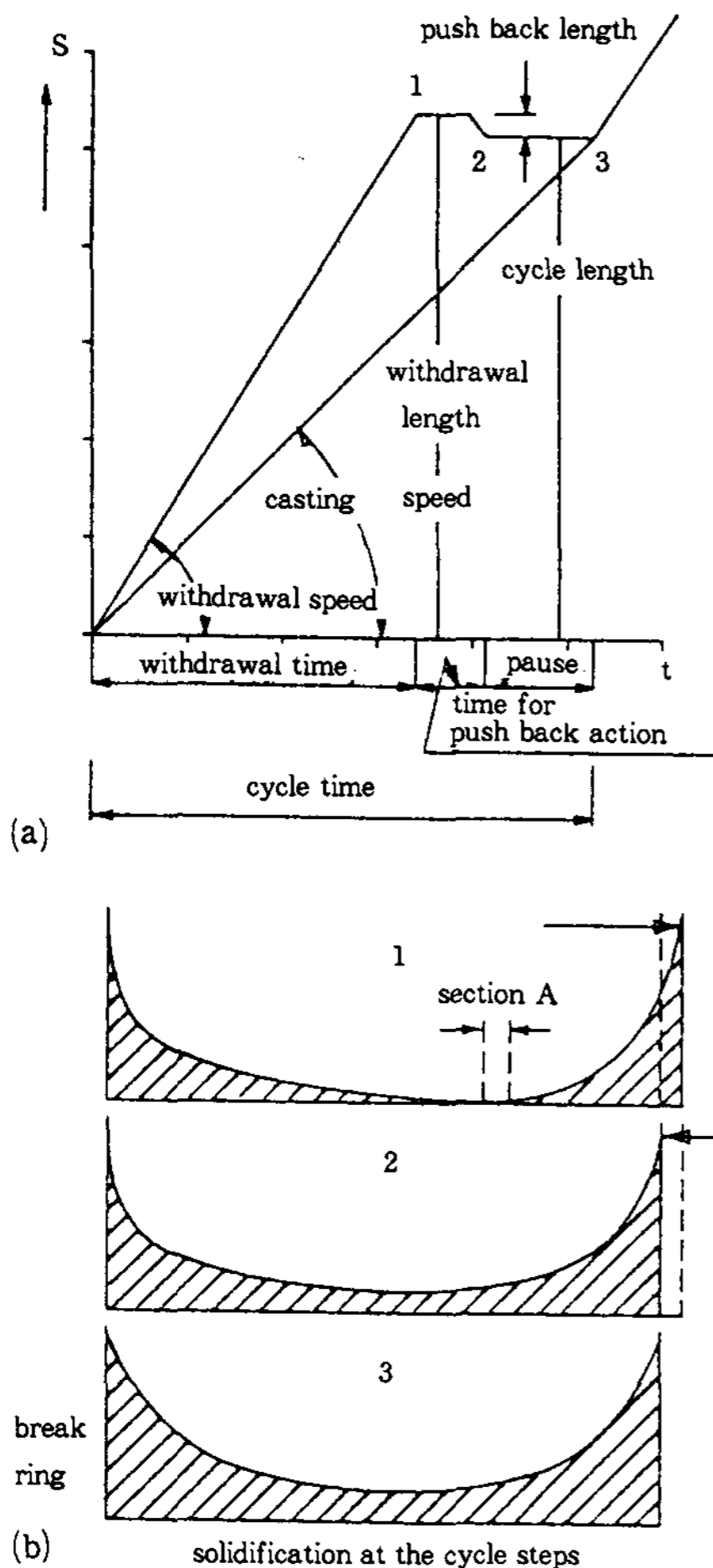


그림 9. 전진/후진/정지 3단계 cycle에서 취출에 따른 응고양상

[11] 柳本 茂:アルトピア, 4(2)(1989)17
 [12] L. Katgerman:Cast Metals, 4(3)(1991)
 133

[13] 大園智哉, 林典史, 長江光司:アルトピア, 4
 (1989)9.
 [14] J. Mitchell:Steel Times, June(1982)320

國內外鑄物關係行事

1995

- 9월 20일~9월 22일
 Vertical Gating Design
 AFS Technical Center
 Des Plaines, Illinois
- 9월 24일~9월 29일
 61차 세계주조대회
 북경, 중국
- 9월 25일~9월 29일
 CONAF/FENAF 95 Congress and
 Foundry Expo
 São Paulo, Brasil

- 10월 14일~10월 17일
 일본주물협회 127회 전국강연대회
 홋카이도대학
- 11월 9일~11월 10일
 한국주조공학회
 1995년도 정기총회, 추계학술발표
 및 기술강연대회
 경주, 코오롱호텔
- 11월 8일~11월 10일
 한국주조공학회
 제3회 아시아주조대회
 경주, 코오롱호텔

- 10월 3일~10월 5일
 Practical Green Sand
 Control(Nonferrous)
 AFS Technical Center
 Des Plaines, Illinois
- 10월 10일~10월 12일
 Cast Metals Development Ltd.
 International Conference
 Raffles City, Convention Center
 Singapore
- 10월 10일~10월 11일
 The 2nd Metals Manufacturing and
 Engineering Asia Exhibition
 Raffles City Convention Centre
 Singapore

1996

- 4월 20일~4월 23일
 The AFS 100th Casting Congress &
 Cast Expo
 Philadelphia, Pennsylvania
- 4월 23일~4월 26일
 62차 세계주조대회
 필라델피아, 미국
- 5월 21일~5월 22일
 15th International Pressure
 Diecasting Conference
 1996
 Montreux Switzerland