

技術資料

# 주편의 품질특성에 미치는 EMS의 영향

황 호 순

## Effects of Electromagnetic Stirring(EMS) on the Quality of Billet and Bloom

H. S. Hwang

### 1. 서 론

전자교반(EMS:Electromagnetic Stirring)은 미응고 용강에 전자장을 걸어서 강제로 용강을 유동시켜 양호한 주조조직을 얻기위한 방법으로 1952년 Junghans와 Schaaber[1]가 처음으로 연주용 EMS를 개발한 이래, EMS의 설치위치와 교반방법등에 관한 많은 연구가 진행되어 오고 있다. EMS에 의한 용강교반은 용강 고/액 계면에서의 온도 기울기(Gradient)와 과열도(Superheat)를 쉽게 제거할 수 있어 등축정 조직의 확대가 용이하며, 이로 인하여 중심편석, 기공, Pipe 및 V-편석 등의 결함을 감소시킬 수 있다[2-3]. 또한, 수지상 가지 사이에 있는 비금속 개재물과 기공들은 용강유동에 의하여 Meniscus 부위로 부상되는 기회를 보다 많이 제공받게 되어 표면과 표피결함의 발생이 감소될 수 있다[4-5]. 따라서, EMS는 연주주편의 품질향상과 고급강 연주를 위한 핵심기술 중의 하나로 주목받고 있다.

본고에서는 Billet와 Bloom연주에 EMS를 적용하여 용강을 교반할 때에 용강 고/액 계면에서 용질원소의 거동, 온도 및 응고조직의 변화과정을 비롯해서, 주편내에서의 Macro-편석, 기공, White Band와 표면 및 표피결함에 미치는 EMS의 영향을 소개하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 EMS설치위치에 따른 기능과 역할

현재 Billet와 Bloom연주에 적용되는 EMS는

삼미종합특수강(주) 중앙연구소

“본 기술자료는 1996년도 하계기술강연대회에서 발표된 내용임”

그림 1에서와 같이 3곳에 설치되고 있다. 즉, 주형 EMS(M-EMS), 2차 냉각대 EMS(S-EMS, 또는 Mold 직하 MS-EMS) 및 최종응고말기 EMS(F-EMS)로 분류된다[1-4]. 이중 M-EMS는 미응고 용강을 교반시켜 Columnar-Dendrite의 Tip을 절단시키고, 고/액 계면에 농축되는 용질의 확산을 도와주어 용질의 편석을 감소시켜주는 역할을 한다[4-5]. 절단된 수지상결정들은 미응고 용강내에서 등축정핵으로 성장하기도 하며, 그 일부는 용강의 과열도에 의하여 재용해되기도 하는데 결과적으로 용강의 과열도를 감소시켜 보다 많은 미세등축정들이 형성된다[2-3].

또한 M-EMS에 의해 수지상 가지 사이의 비금속 개재물과 Blowhole들이 제거될 수 있다[4-5]. 더우기 주형에서 형성된 응고층은 앞에서 언급한 것처럼 응고선단에서 농축되는 용질농도의

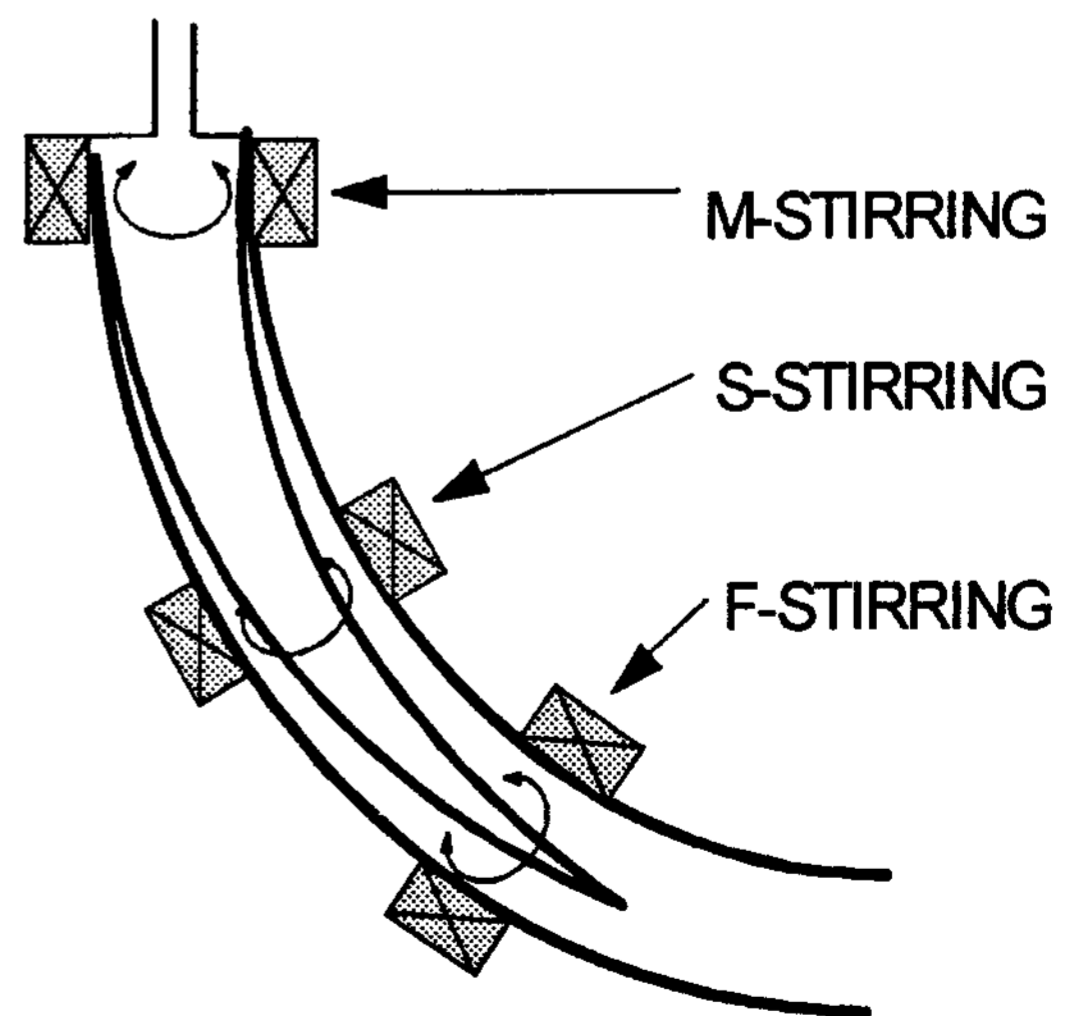


그림 1. Billet와 Bloom의 연주에 적용되는 전자교반(EMS)의 설치

감소로 인하여 두께가 균일하며 높은 강도를 갖게되어 균열과 Break-out의 발생이 방지될 수 있으며, 이는 연주속도의 증가를 가능하게 한다 [4].

한편, 주형직하 또는 2차냉각대의 Up and Down형태의 EMS는 그림 2[6]에서 나타낸 바와같이 주편의 Bottom에서 Top부위로 방향성 응고를 증가시킴으로써 용강 pool의 깊이를 효과적으로 단축하여 중심편석과 기공을 감소할 수 있다. 또한 최종 응고말기에 설치되는 F-EMS는 단독으로 사용할 경우 효과적인 주편결함의 개선은 기대하기 어렵지만 M-EMS와 함께 사용할 때 주편의 중심부위 결함을 더욱 효과적으로 개선할 수 있다고 알려져 있다[4].

표 1[4]은 이상에서 설명한 EMS의 형태에 따른 기능과 주편의 품질개선효과를 요약해서 나타

낸 것으로 M-EMS는 표면과 내부결함을, S-EMS 및 F-EMS는 내부결함의 개선에 효과적임을 알 수 있다. 또한, 그림 3[7]은 Billet와 Bloom연주기에 있어서 EMS의 조합에 의해

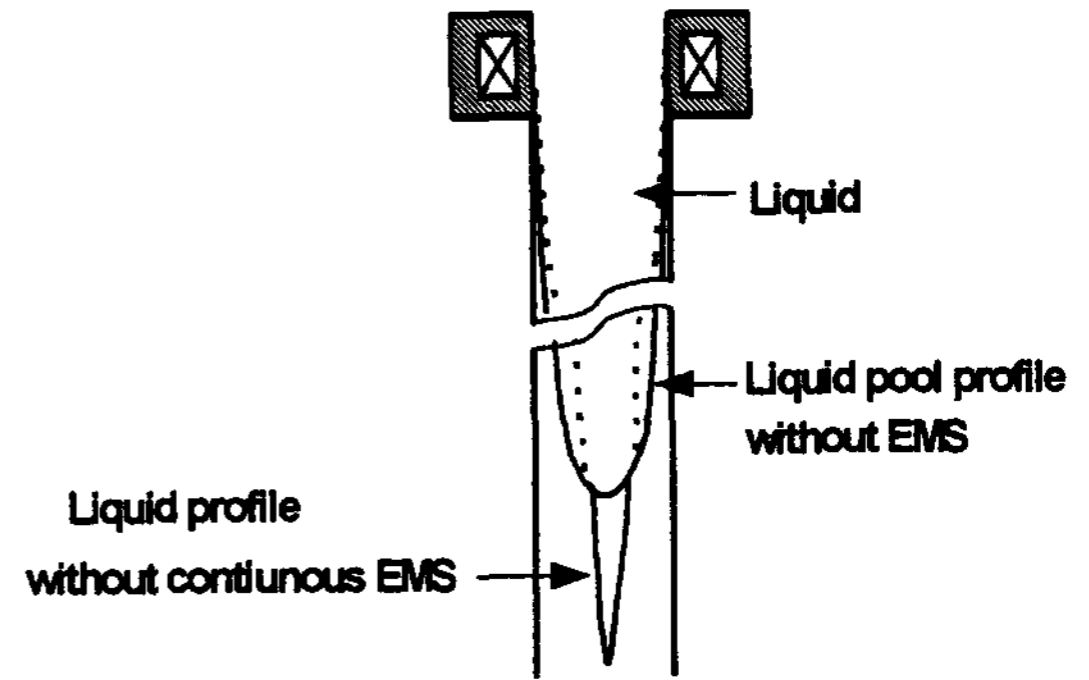


그림 2. Up and Down형태의 EMS에 의한 용강 pool깊이의 효과적 단축

Combination of EMS	Metallurgical purposes	Application to Product
M Only	Decreasing of Inclusions Decreasing of Blow Holes	Low Carbon Killed Steel (Incl. Low Alloy Steel)
MS or MF	Decreasing of Both Inclusions and Center Segregation Prevention of white Band by Controlled Stirring Power	Si-Al Trace Steel Middle. High Carbon Steel (Incl. Low Alloy and Spring Steel)
M. S. F.	More Effective Decreasing of Center Segregation	Special High Carbon Steel

그림 3. EMS의 조합에 의한 기능 확대

표 1. EMS의 형태에 따른 기능과 주편의 품질개선 효과

Type of stirring	Function	Quality Improvement Effect
Mold stirring (M-stirring)	Cutting of columnar crystals	Decrease in inclusions Decrease in blowholes Increase in fine equiaxed zone Homogenization of solidified shell Improvement in center segregation
Secondary cooling zone stirring (S-stirring)	Cutting of columnar crystals	Increase in equiaxed crystal zone Improvement in center segregation
Final solidification zone stirring (F-stirring)	Dispersion in concentrated molten steel	Improvement in center segregation Improvement in center cavity

EMS의 기능을 보다 확대시켜 주편의 품질개선과 연주적용 강종의 확대가 가능함을 보여주고 있다.

2.2 주편의 표면 및 표피 품질에 미치는 EMS의 영향

그림 4[4-5]는 M-EMS의 교반강도와 표면 Blowhole 발생빈도와의 상관관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 표면의 Blowhole은 용강의 불충분한 탈산에 기인하지만, 그림 4에 의하면 주편을 산으로 부식시킨 경우에 있어서 표면 Blowhole의 발생빈도는 M-EMS의 적용여부에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 즉, M-EMS를 사용하지 않았을 경우 이들 Blowhole의 발생빈도는 매우 높지만, M-EMS를 사용했을 경우 비교적 약한 교반력에서도 Blowhole의 발생빈도가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 주편을 Shot Blast했을 경우에는 M-EMS를 사용하지 않아도 Blowhole의 발생빈도가 매우 낮는데, 이는 Blowhole들이 표면 Skin에 감추어져 노출되지 않기 때문이다. 또한 그림 5[4-5]는 표피결함의 크기와 발생빈

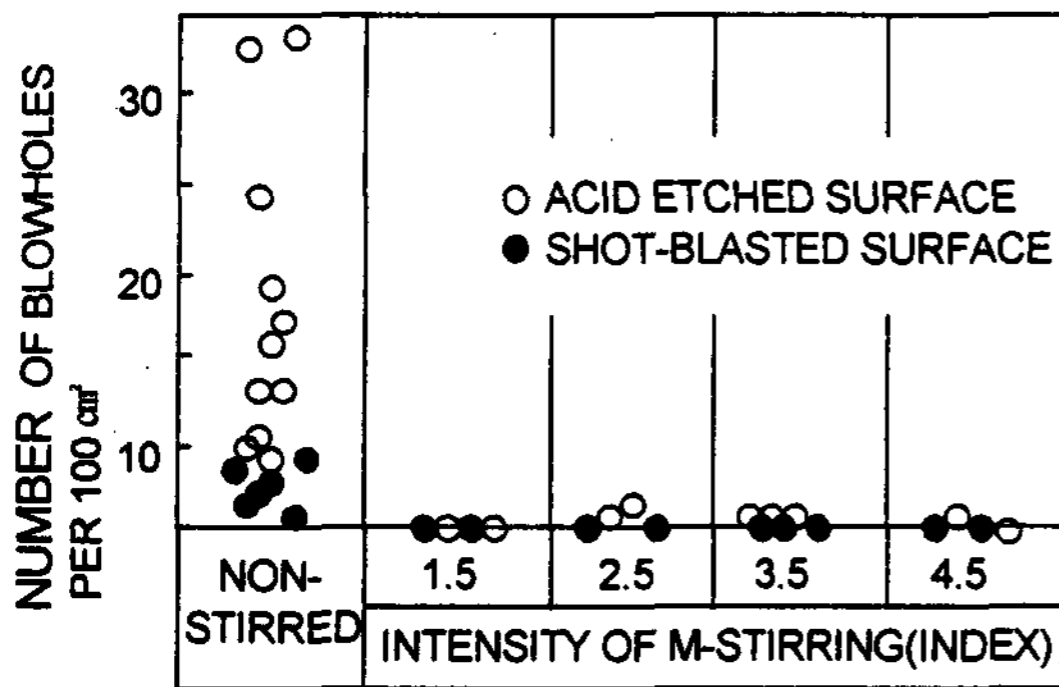


그림 4. M-EMS의 교반강도와 표면 blowhole 발생빈도와의 상관관계

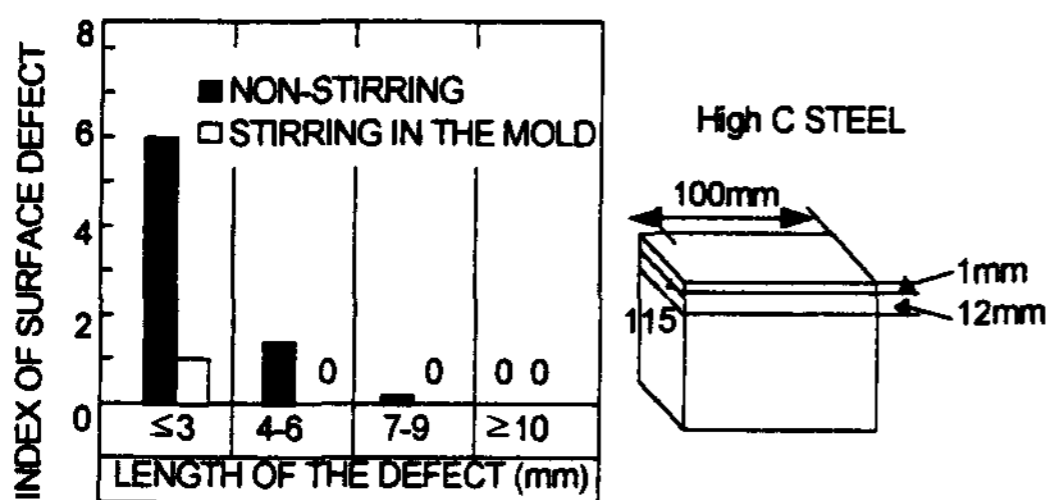


그림 5. 표피결함의 크기와 발생빈도에 미치는 M-EMS의 영향(115mm² Billet의 경우)

도에 미치는 M-EMS의 영향을 보여주고 있다. 주편의 표면으로 부터 1mm를 제거한 12mm 두께의 표피층에서 개재물과 Pinhole에 의해 발생되는 표피결함은 M-EMS에 의해 크게 감소되는 것을 알 수 있다.

이외에도 M-EMS 교반강도의 증가는 응고층으로 하여금 균일하고 높은 강도를 갖게 하여 Oscillation Mark의 깊이 감소와 함께 종방향모서리 균열 및 Break-out의 감소에도 효과적임이 알려져 있다[4-8].

2.3 주편의 내부품질에 미치는 EMS의 영향

2.3.1 주편의 응고시 고/액 구간에 미치는 EMS의 영향

합금원소를 가지는 강의 응고조직은 고/액 계면에서의 온도기울기(G), 응고속도(R) 및 용강의 과냉도에 의존하며, 과냉도가 증가할수록, 그리고 G/R이 작을수록 Planar에서 Cellular, Columnar-Dendrite(수지상), Equiaxed-Dendrite(등축정)로 조직이 변화한다.

그림 6[9]은 이러한 변화과정을 나타낸 것이다. 연주주편의 경우 주형과 주편측면에서의 강제수냉으로 인하여 과냉도가 크고 응고속도가 빨라 수지상조직의 발달이 불가피함을 알 수 있다. 그림 7[2-3]은 주편의 응고시 고/액 계면 선단에서의 온도기울기에 미치는 M-EMS의 영향을 나타낸 것이다. 이에 의하면 M-EMS는 고/액 계면에서의 온도기울기와 농도기울기를 낮추어 고/액 계면에서의 온도(T<sub>1</sub>)와 평형응고온도(T<sub>2</sub>)를 상승시키는 역할을 한다. 그러므로 EMS가 적용되기 이전의 낮은 평형응고온도(T<sup>2</sup>)에서 형성되었던 수지상들은 EMS적용시 고/액 계면의

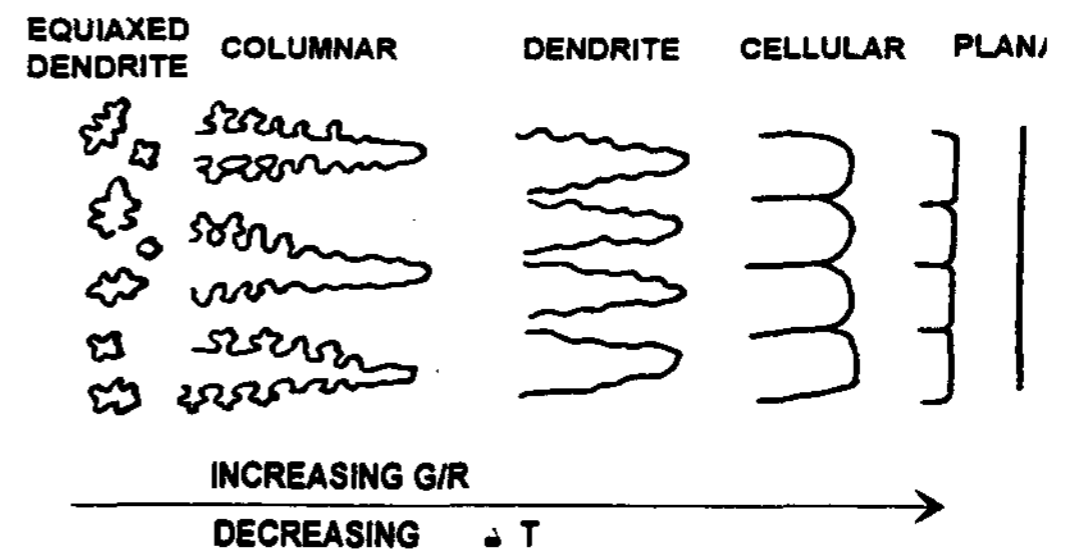


그림 6. 온도구배(G), 응고속도(R)와 과냉도(ΔT)에 따른 고액계면형태의 변화

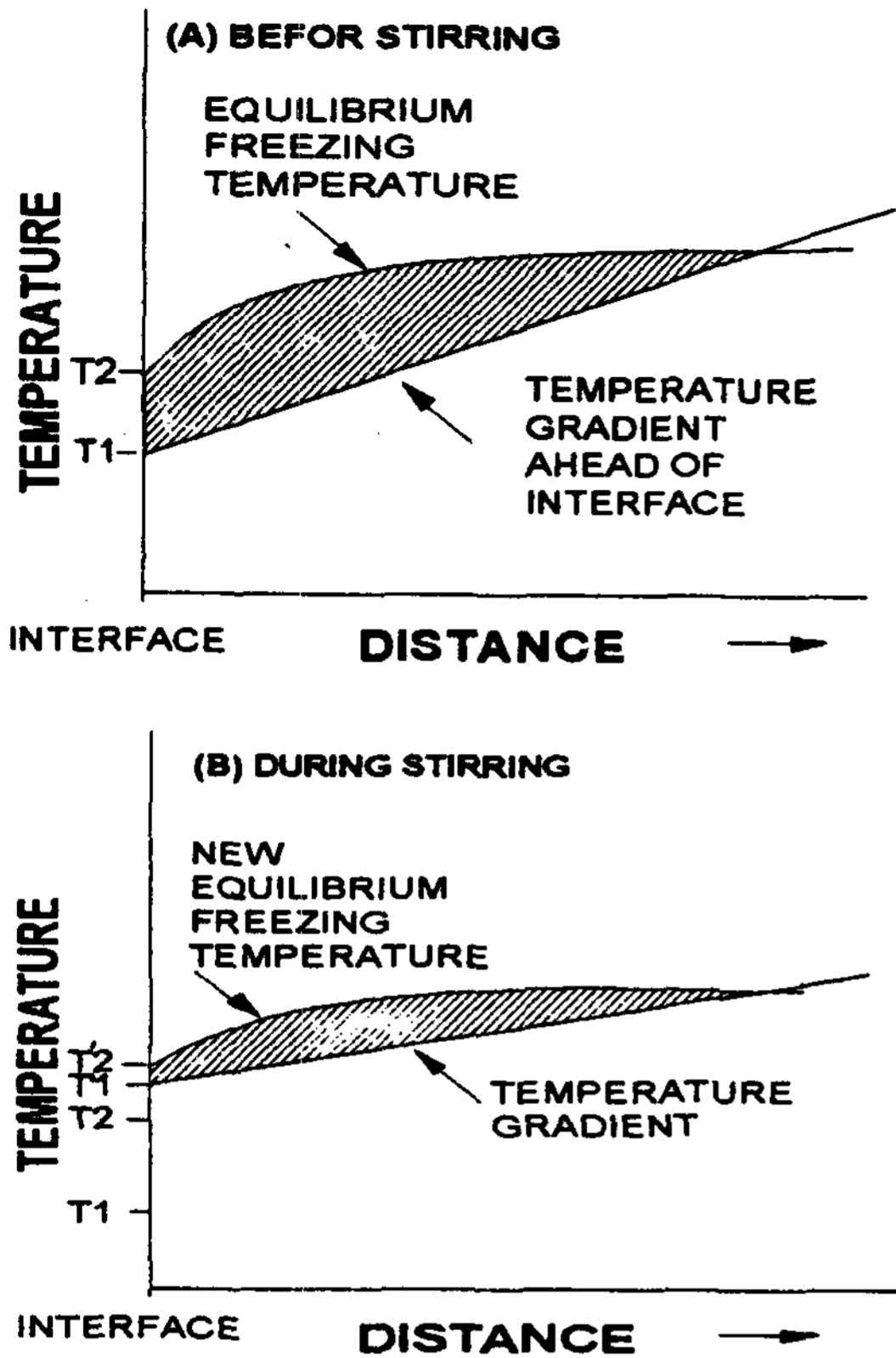


그림 7. 주편의 응고시 고액계면 선단에서의 온도구배에 미치는 M-EMS의 영향

온도상승으로 재용해되며, 용강유동에 의한 Dendrite Tip의 분리를 촉진시키게 된다. 결과적으로 EMS는 분리된 Dendrite Tip의 갯수를 증가시키며, 용강의 과열도를 보다 신속하게 낮추어 등축정 성장에 유리한 여건을 조성하면서 새로운 등축정핵으로 작용하여 등축정의 분율을 증가시킨다.

그림 8[6]은 용강유속의 변화에 따른 고/액 구간에서의 응고조직의 성장거동을 보여주고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이 고체와 액체가 공존하는 Mushy Zone에서 용강의 유속이 증가하게 되면 용강의 유동은 정상류(laminar flow)에서 와류(Turbulent flow)로 바뀌게 되는데, 특히 용강유속이 25cm/sec 이상으로 증가하면 Columnar-Dendrite형상은 전형적인 Tree-Like에서 Bush-Like 또는 Thornitic형상으로 변하게 된다. 또한 이들 형상은 용강유속이 계속 증가할 경우 고/액 공존구역인 Mushy Zone이 완전히

제거되면서 Fibrous형상이 된다[6].

2.3.2 주편의 응고조직에 미치는 EMS의 영향

그림 9[10]는 연주 Billet의 응고과정을 나타낸 것으로서 큰 과냉도와 높은 온도기울기로 인하여 수지상조직들이 주편의 중심부위까지 불규칙하게 성장되는 것을 볼 수 있다. 이로 인한 수지상조직들은 주편의 중심부위에서 Bridge를 형성하여 연주방향으로 응고수축을 보상할 용강의 공급을 차단시킴으로써 주편의 중심부에 기공 및 Pipe와 같은 결함의 생성을 조장하게 된다. 이와 같은 결함들은 그림 10[11]에서 나타낸 바와같이 주조온도를 낮추어 등축정조직을 확대시킴으로써 상당히 개선시킬 수 있다. 그러나 주조온도와 연주속도를 낮출 경우 연주조업의 유연성이 확보되지 않아 조업사고의 가능성이 증대하게 된다. 특히, 160mm Square이하의 소단면 Billet의 중·고탄소강(0.6~0.8% C)의 경우 주조온도를 낮추는 것만으로 이들 결함들의 발생을 억제시키

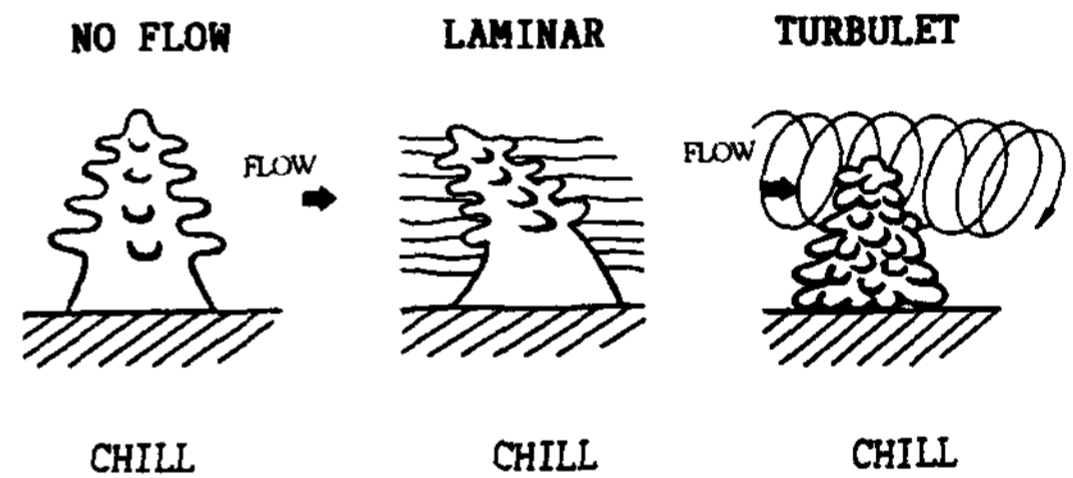


그림 8. 용강유속의 변화에 따른 고액구간에서의 응고조직의 성장거동

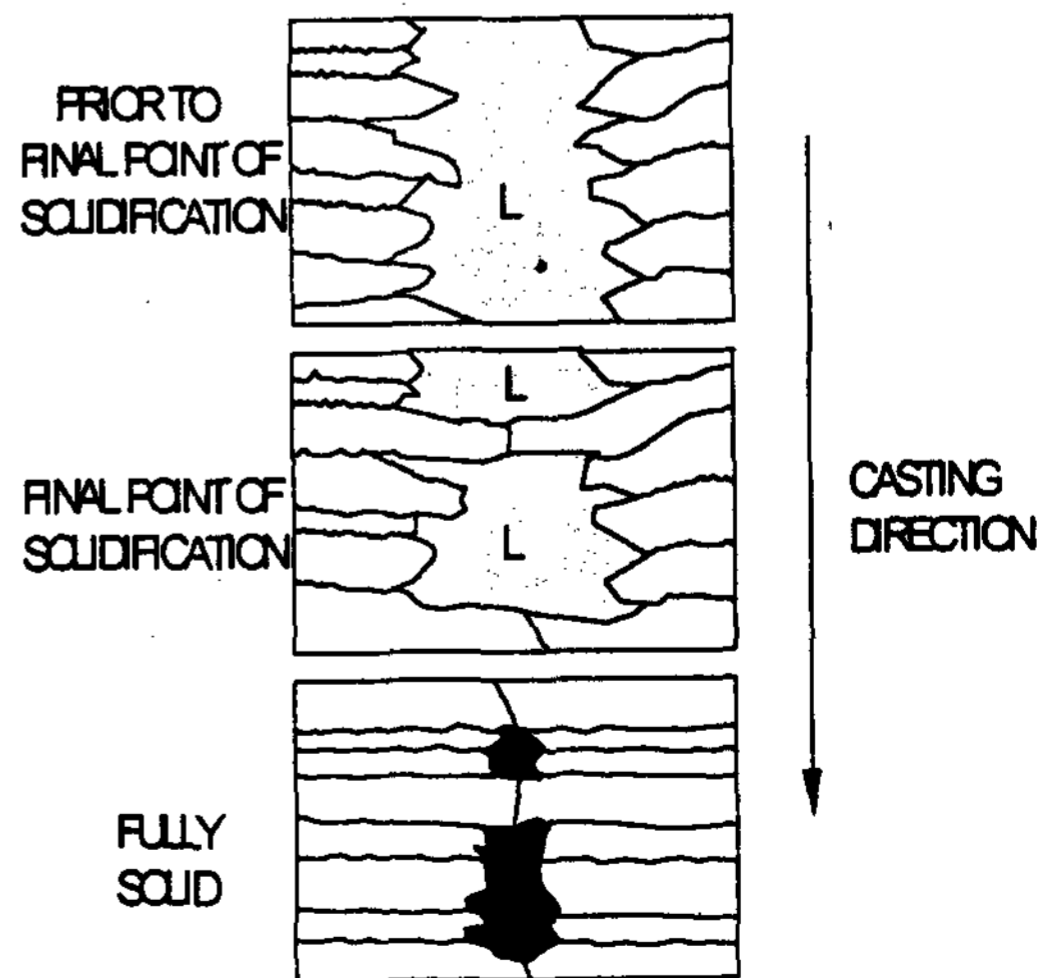


그림 9. 연주 Billet의 응고과정

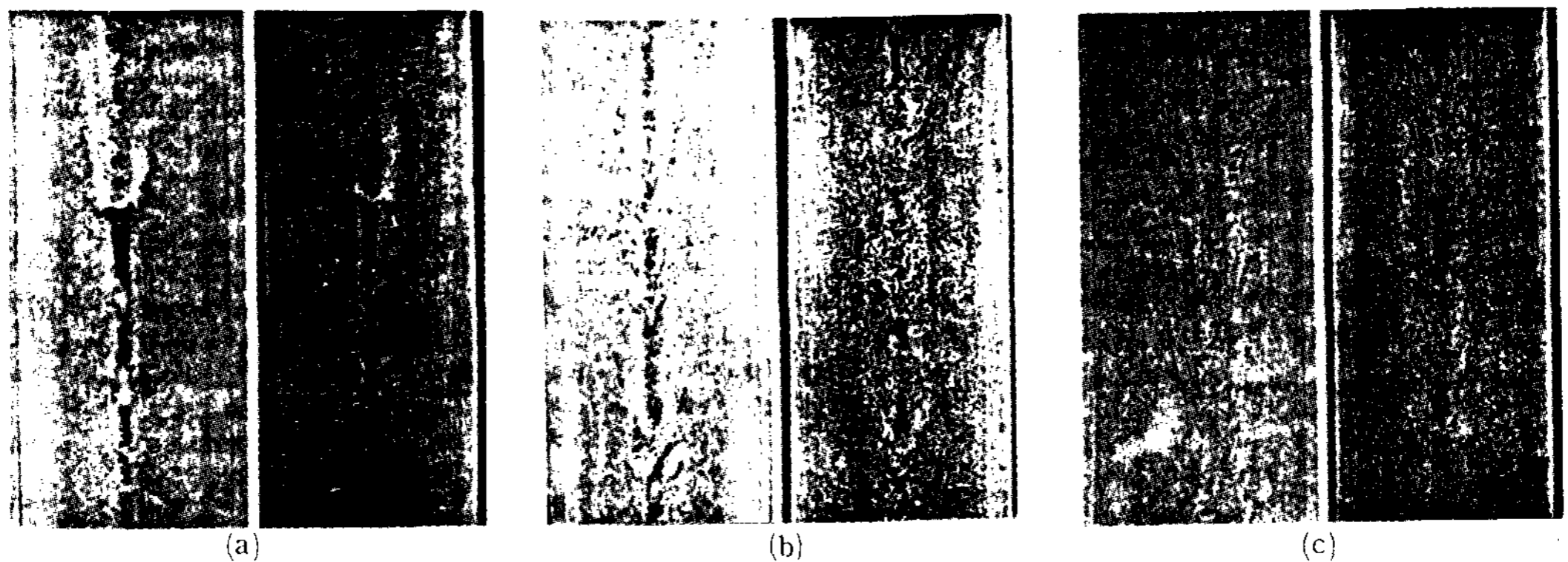


그림 10. 응고조직에 미치는 주조온도의 영향(100mm<sup>2</sup> Billet의 경우)  
(a) 1550°C (b) 1523°C (c) 1487°C

는데는 현실적으로 어렵다고 알려져 있다[7].  
그림 11[12]은 소단면 Billet에서 용강의 과열도와 등축정비의 관계에 미치는 EMS의 영향을 보여주고 있다. 용강교반이 없을 경우 40% 정도의 등축정비를 얻기 위해서는 턴디쉬내 용강의 과열도가 10~15°C이하로 관리되어야 하지만, EMS를 사용할 경우에는 20~30°C의 용강과열도에서도 약 40%의 등축정비를 쉽게 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 12는 SUS430에서 연주 Billet의 응고조직을 나타낸 것으로 EMS에 의해 주편의 응고조직이 크게 개선되는 것을 알 수 있다. 즉, 약 30°C의 과열도를 가지는 고탄소강의 경우 용강교반이 없으면 Columnar Zone이 거의 주편중심 부위까지 성장하게 되어 주편 중심부에 등축정조직이 매우 적게 분포한다. 그러나 M-EMS에 의해 용강교반이 이루어질 경우 Columnar 조직의 성장이 억제되면서 등축정 조직의 성장이 주편중심부위까지 확대되어 등축정율이 약 60~70%까지 증가하게 된다. 또한 주

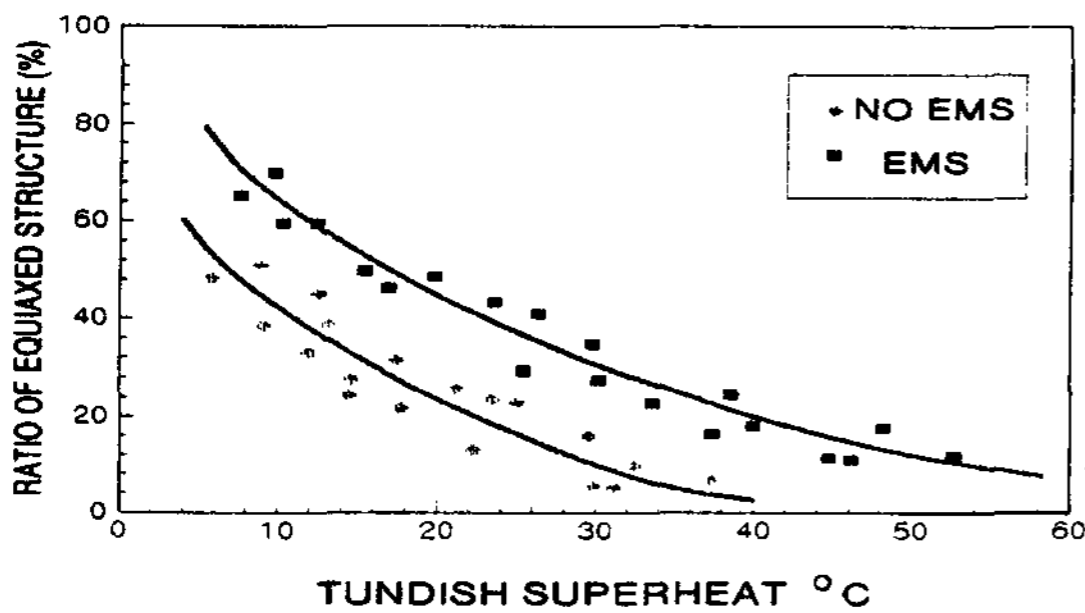


그림 11. 소단면 Billet에서의 용강의 과열도와 등축정비의 관계에 미치는 EMS의 영향

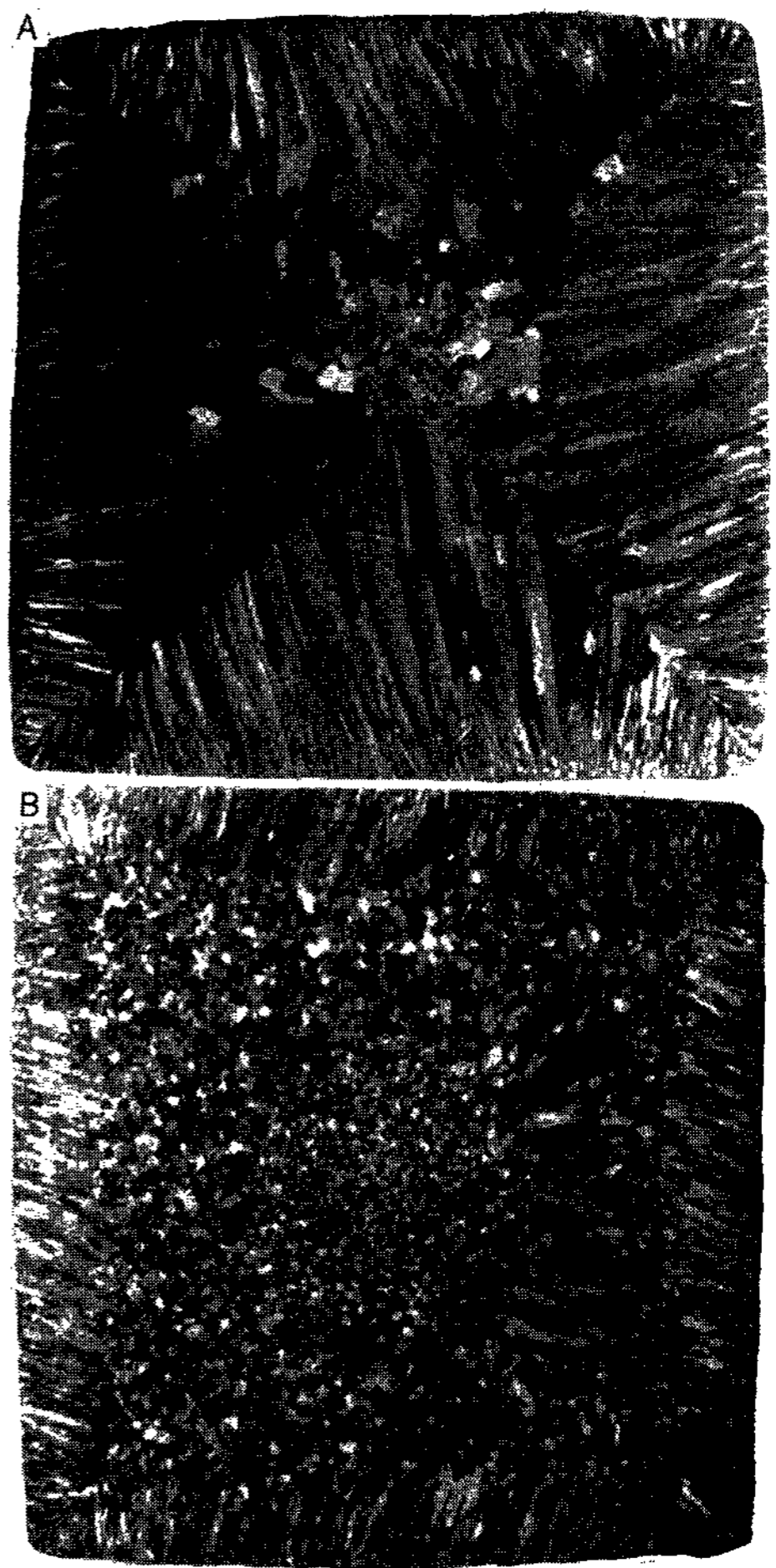


그림 12. SUS 430 연주 Billet의 응고조직 (과열도 30°K)  
(a) 무교반의 경우 (b) 용강교반의 경우

편의 등축정비는 그림 13[7]에서 알 수 있듯이 EMS의 교반력이 클수록 증가한다. 그림 14[2]는 EMS의 사용형태와 등축정비의 상관관계를 나타낸 것으로서 단일계 교반방식보다는 2단계, 3단계 교반을 적용할 경우 등축정비가 각각 10%, 25% 정도 더 확대되는 것을 알 수 있다. 한편, 등축정 조직은 용강의 화학성분에 크게 영향을 받는데, 그림 15[12]는 약 25~35°C의 과열도를 가진 용강을 Bloom으로 제조할 때에 있어서 탄소함량에 따른 등축정의 비율을 나타낸 것이다. 그림 15에서 볼 수 있듯이 용강교반을 하지 않았을 경우 탄소함량이 0.1%이하와 0.5%이상의 영역에서 등축정비가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 M-EMS에 의해 용강이 교반될 경우 10~30%까지 등축정비가 더 확대되는 것을 알 수 있다. 특히, 고탄소강(0.6%C이상)에서 EMS의 적용은 등축정비를 증가시키는데 매우 효과적인 수단임을 알 수 있다. 그림 16[14]은

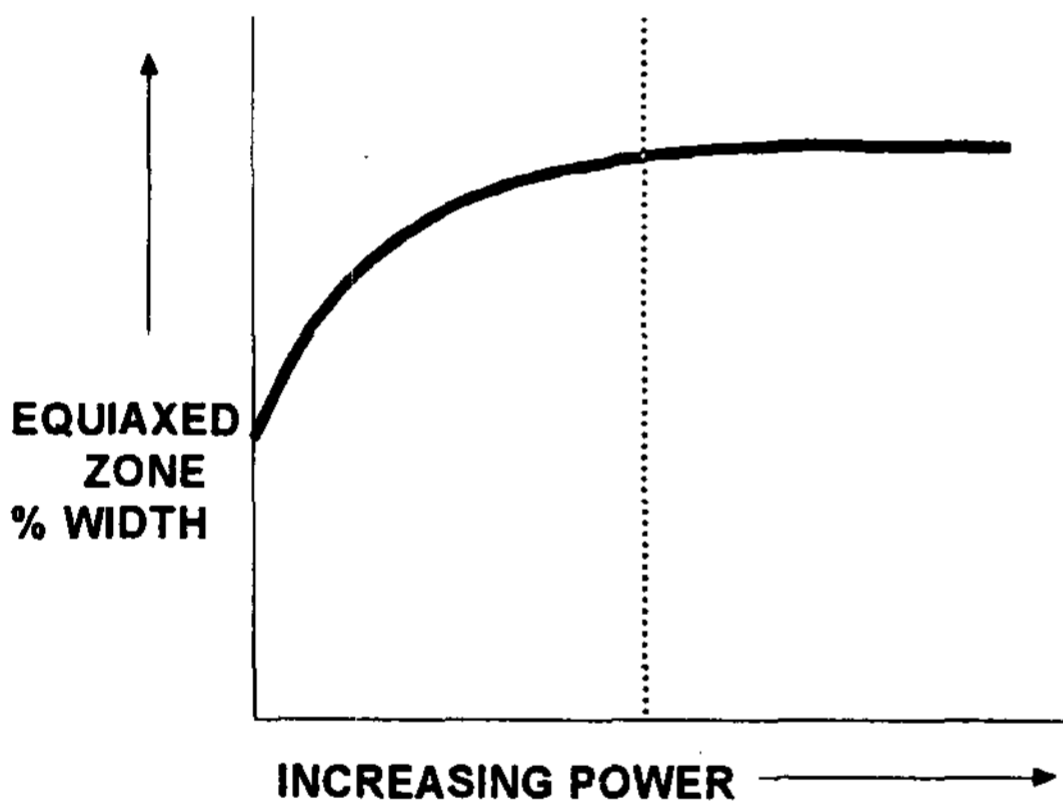


그림 13. 주편의 등축정비에 미치는 EMS의 교반력

	WIDTH OF EQUIAXED CRYSTAL ZONE (mm)			
	0	50	100	150
NON STIRRED	~10			
S	~20	~40		
M	~30	~60		
F	~40	~80		
M + F	~50	~100		
S + F	~60	~120		
M + S	~70	~140		
M + S + F	~80	~150		

그림 14. EMS의 사용형태와 등축정비의 상관관계

용강교반력과 중심부위 기공 및 Pipe의 크기를 나타낸 것이다. 이에 의하면 EMS에 의한 용강교반력의 증대로 중심부위 기공 및 Pipe가 크게 감소되는 것을 볼 수 있다.

2.3.3 주편의 Macro-편석에 미치는 EMS의 영향

① 중심편석

그림 17은 주편의 횡단면 중심부에서 용질원소들의 분포에 미치는 턴디쉬 과열도와 EMS의 영향을 나타낸 것으로, 탄소, 유황과 같은 용질원소들은 턴디쉬의 과열도가 클수록 중심편석을 향상하게 됨을 알 수 있다. 이와같은 중심편석들은 용강교반에 의하여 감소시킬 수 있는데,

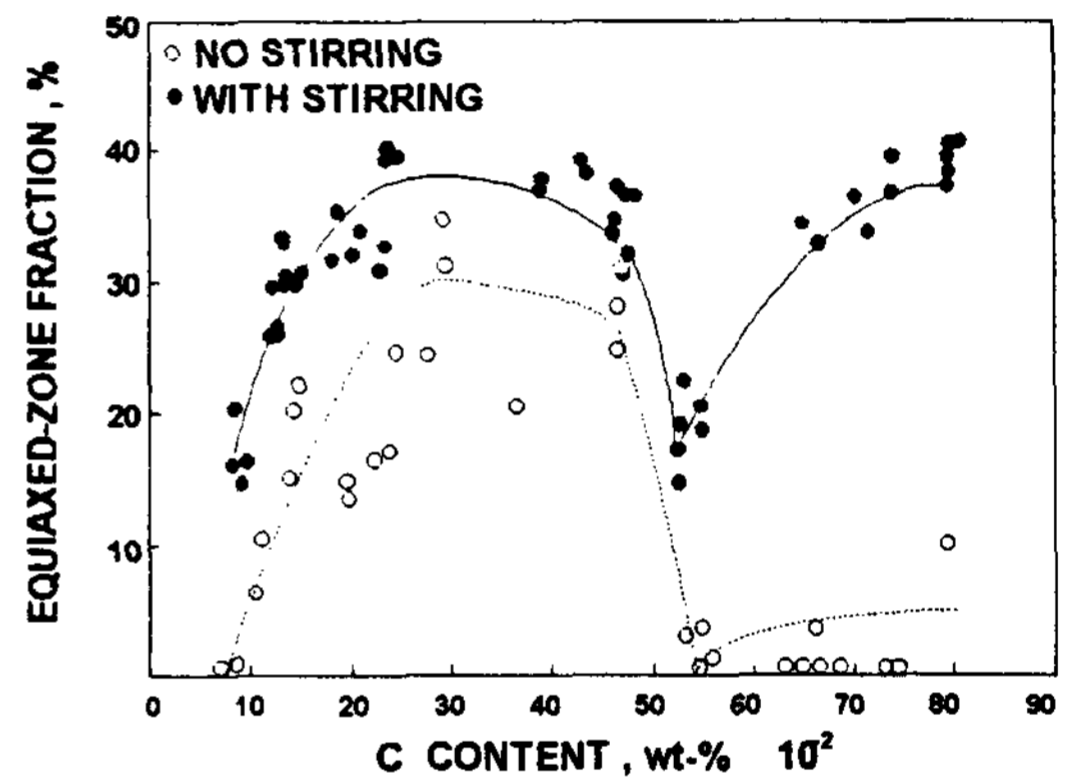


그림 15. Bloom제조시 탄소함량에 따른 등축정비의 변화(과열도 25~35°C)

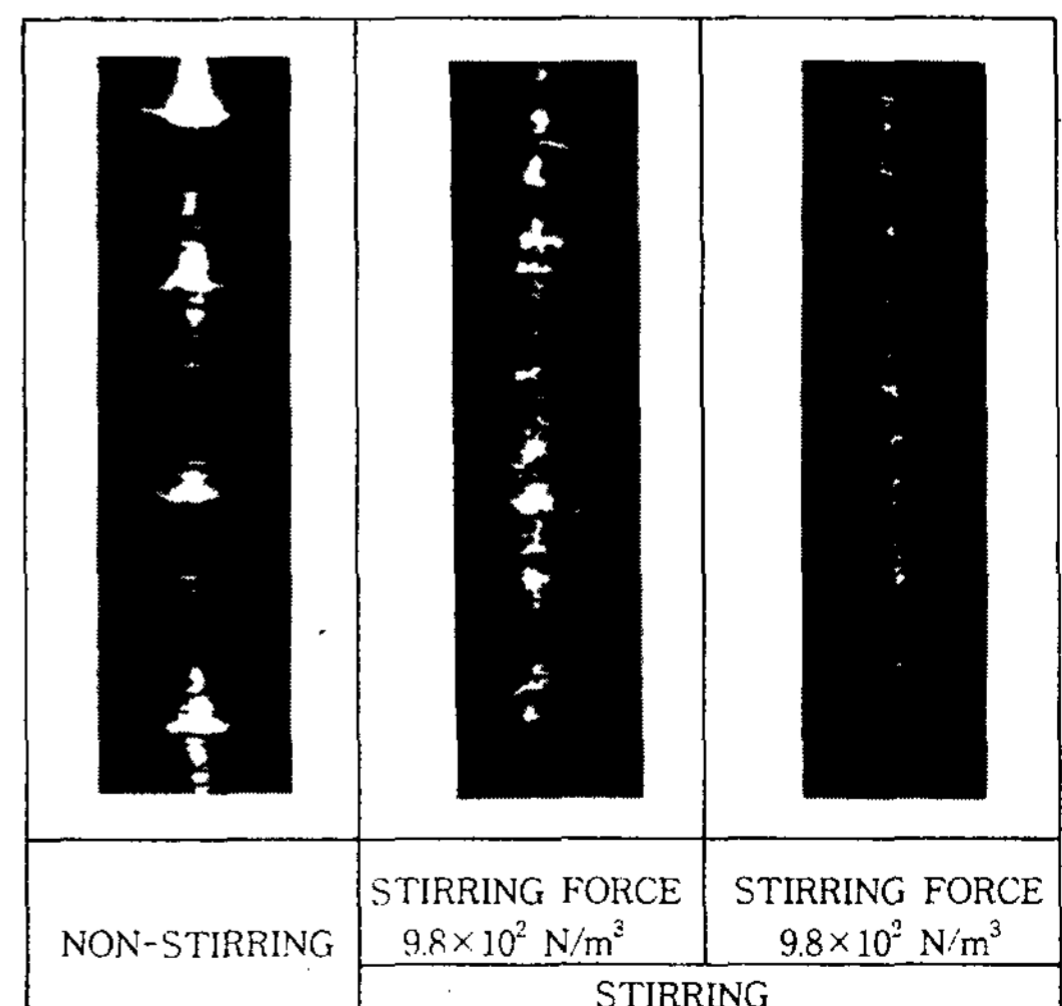


그림 16. 용강교반력에 따른 중심부위 기공과 파이프의 크기변화(116mm² Billet의 경우)

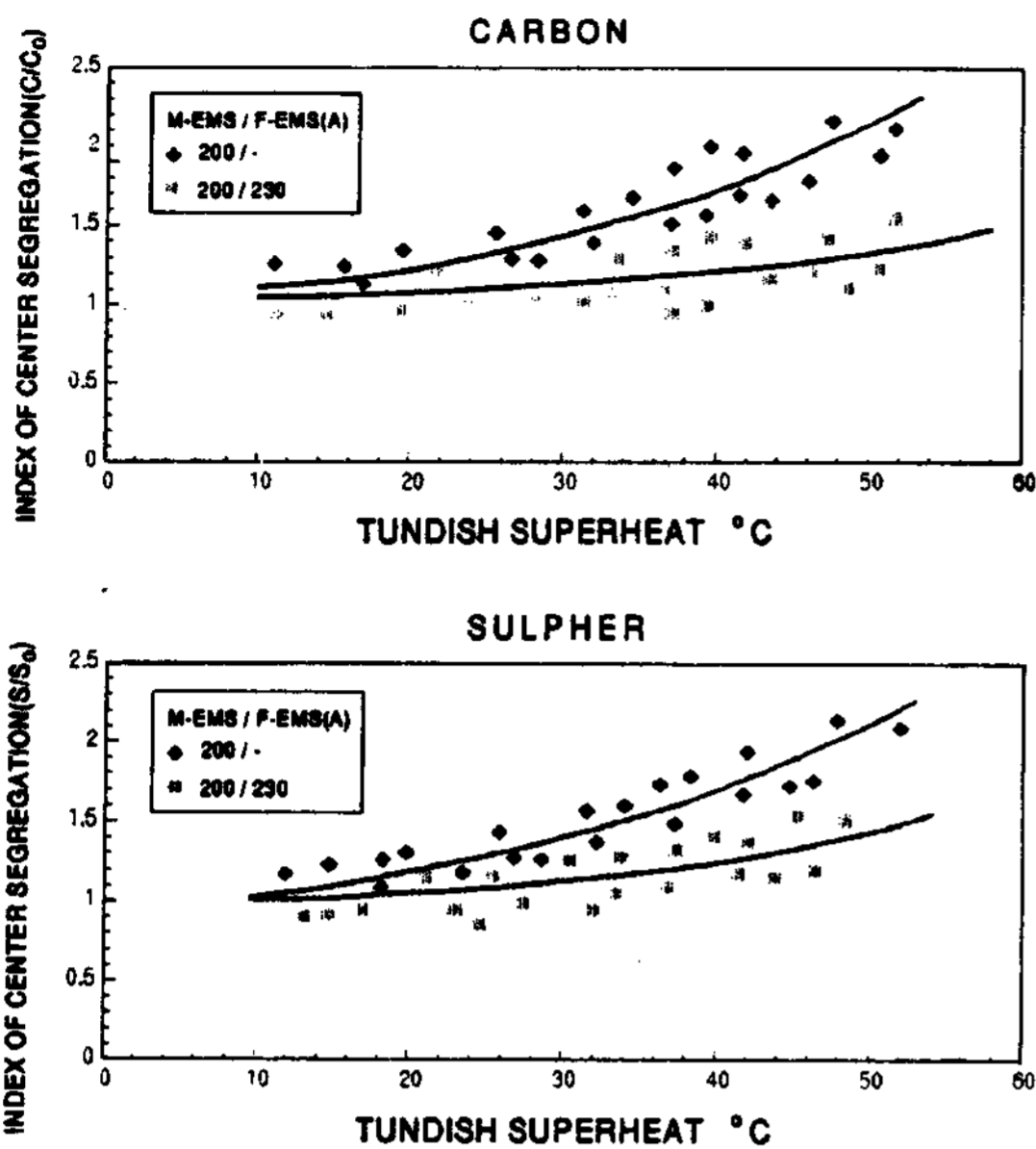


그림 17. 용질원소의 분포에 미치는 턴디쉬 과열도와 EMS의 영향(150mm<sup>2</sup> 고탄소강 Billet의 경우)

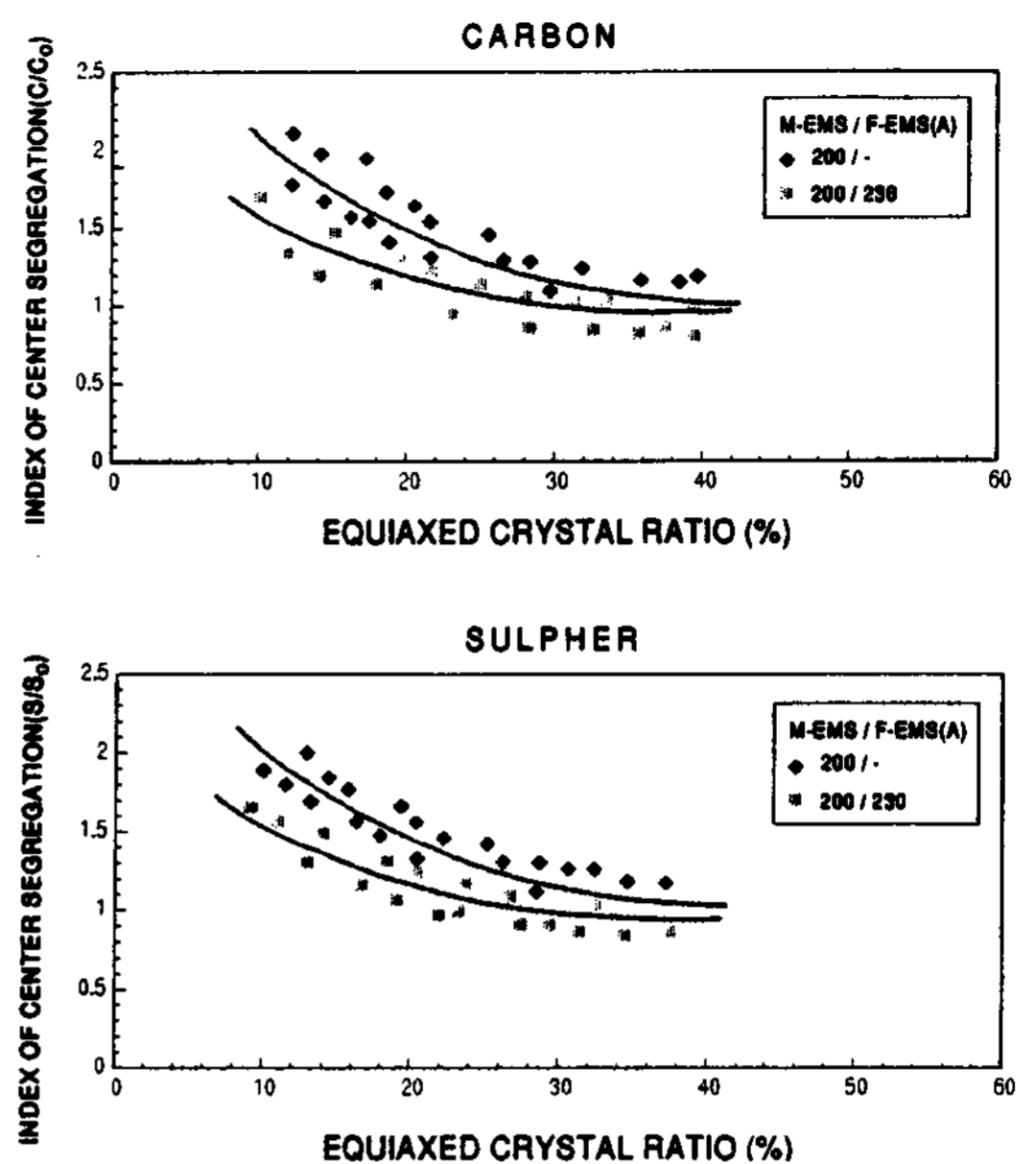


그림 18. 등축정비와 중심편석간의 상관관계 (150mm<sup>2</sup> 고탄소강 Billet의 경우)

EMS의 교반력이 클수록 감소하는 경향을 보인다[2,14]. 중심편석의 형성은 턴디쉬의 과열도가 높을 경우 수지상 조직이 크게 발달되어 응고선단에 농축된 용질원소들이 주편의 최종 응고부위인 중심부에 집중되어 일어나며, EMS에 의한 용강교반은 등축정대를 확대시킴으로써 이들 농축용질원소들을 입계에 미세분산하는 효과를 가져온다.

그림 18에서는 등축정비의 증가가 중심편석을 감소시키는 것을 보여주고 있으며 등축정비가 약 40~50% 이상일때 중심편석이 대부분 제거되는 것을 알 수 있다.

② V-편석

그림 19는 주편의 종·횡단면에서 나타는 V-편석의 모형도와 실제로 Sulphurprint상에 나타난 V-편석을 보여주고 있다. 이와같은 V-편석은 응고말기에 등축정 사이에 농축된 용강이 응고수축을 수반하는 연주방향으로 선택적으로 미끄러져 빨려 들어가기 때문에 형성되는 것으로 알려져 있다[15]. 따라서 V-편석의 방지는 주편의 중심부에 있는 등축정들을 효과적으로 충전하여 등축정들과 이들 결정사이에 있는 농축된 용강이 함께 이동하여 응고수축을 보상하도록 할때 가능하다. 이를 위하여 Linear 또는 Rotary 형태

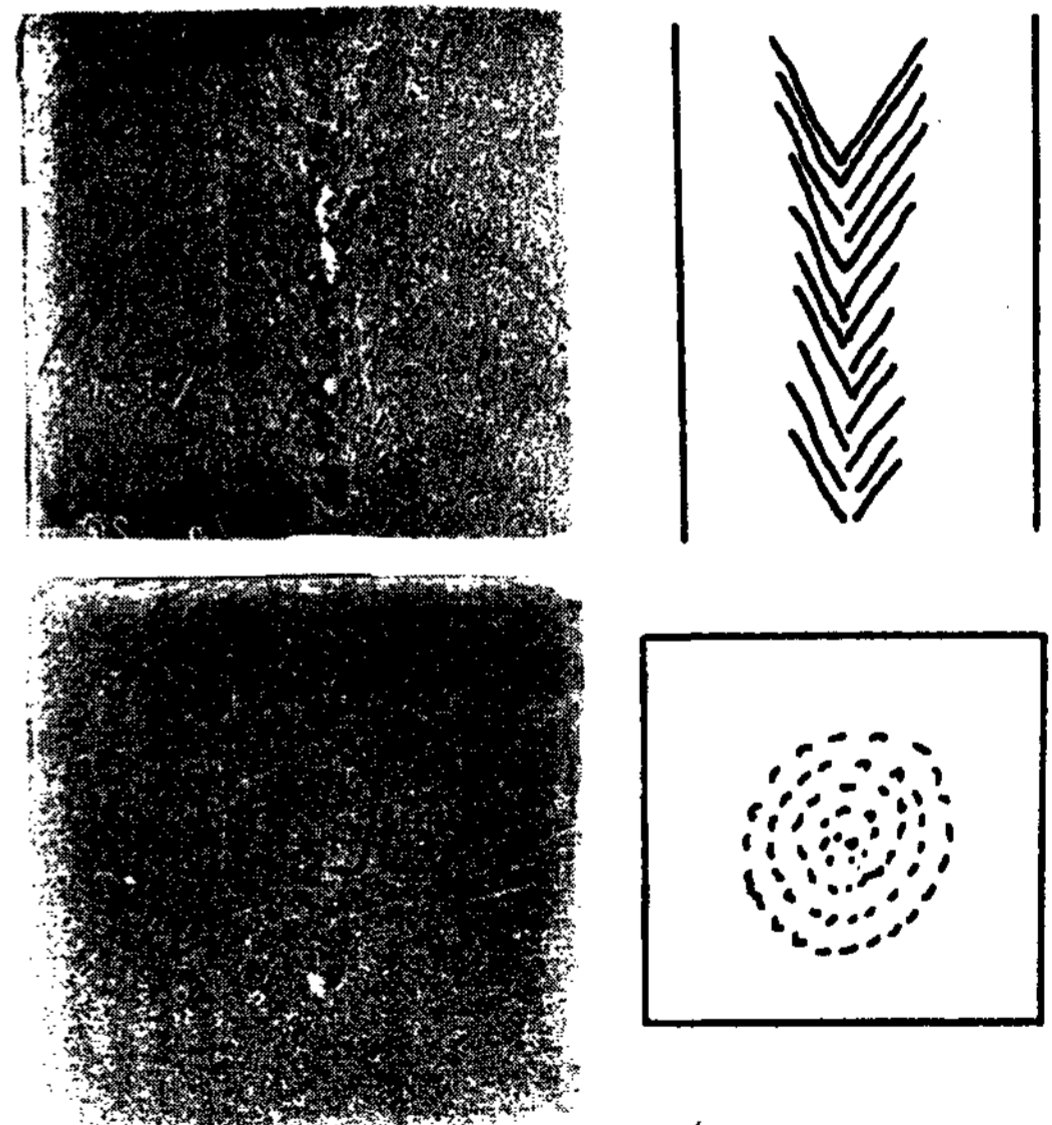


그림 19. Billet의 종·횡단면에서 나타나는 V-편석의 모형도와 실제의 Sulphur Print

의 EMS가 응고말기에서 등축정립이 성장하는 시기에 이용되고 있다. 특히, Linear 형태의 EMS는 10~20cm/sec 정도의 약교반을 주편의 상부방향(Upward Direction)으로 걸어줌으로써 등축정 사이의 농축용강이 응고수축을 수반하는 연주

방향으로 빨리 들어가는 것을 저지시킬 수 있어 V-편석을 방지할 수 있다[15]. 또한 Rotary 형태의 교반에서는 충분히 많은량의 미세 등축정립이 형성될 때 V-편석을 방지할 수 있는 것으로 알려져 있다[15].

그림 20[9]은 주변중심부의 응고조직을 나타낸 것으로서 EMS에 의한 용강교반이 이들 결정들을 효과적으로 충전할 수 있음을 보여주고 있다.

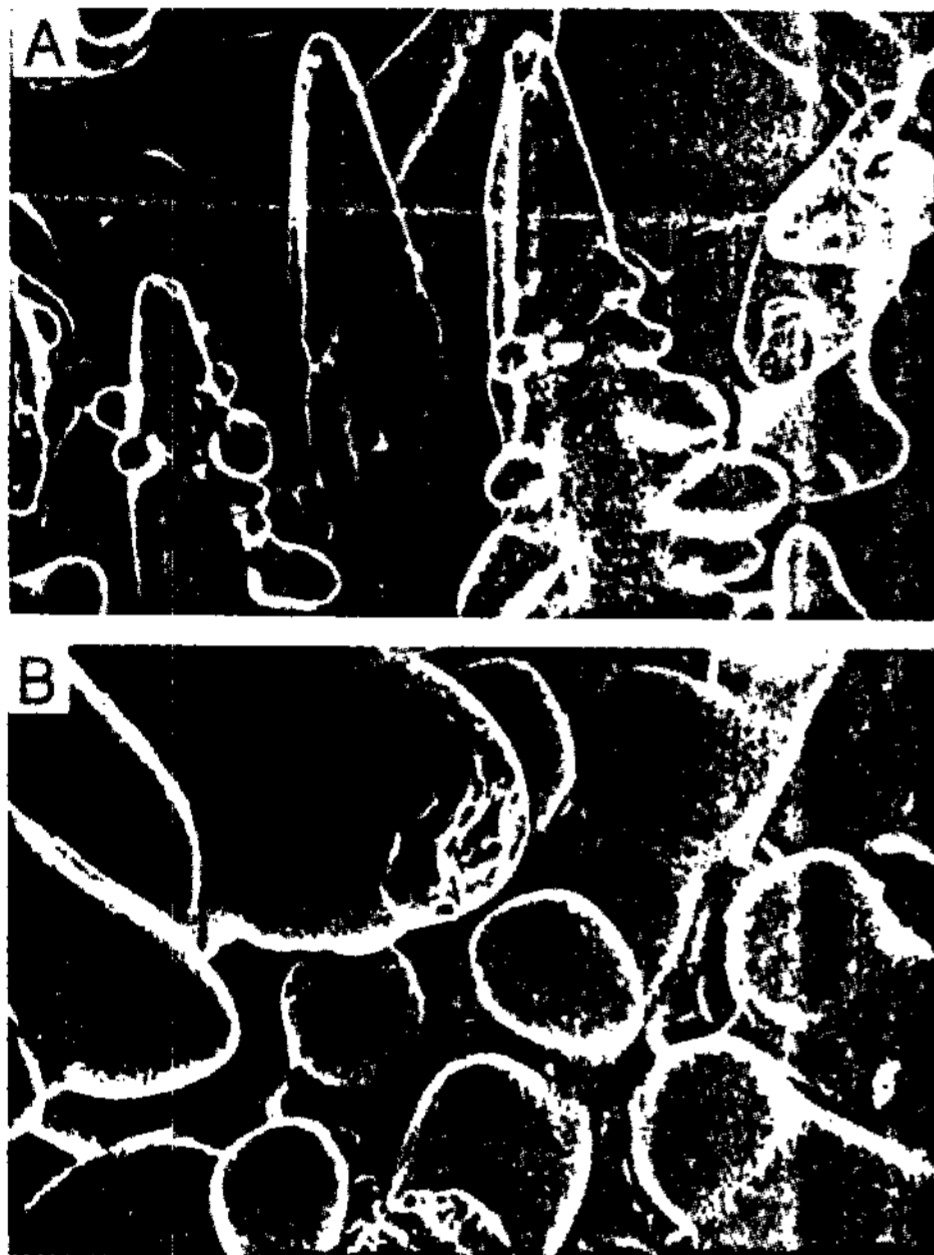


그림 20. 주변 중심부에서의 주상정의 형상  
(a) 무교반의 경우 (b) 용강교반의 경우

3.4 EMS에 의한 White Band의 형성

그림 21[7]은 EMS를 사용하여 주조된 연주 Billet의 절단면에 나타난 용질원소들의 농도분포를 보여주고 있다. 이들 용질원소들은 EMS에 의해 용강교반이 시작된 직후와 완료된 직후에 각각 음편석대(Negative Segregation Zone)와 정편석대(Positive Segregation Zone)를 형성하는 것을 볼 수 있다. 이와같이 용강교반에 의해 형성된 음편석대는 Sulphurprint를 할 경우 흰색의 띠로 나타나 "White Band"라는 명칭을 얻게 되었다. 음편석대의 발생원인은 용강교반에 의해 응고선단에 농축되었던 용강들이 씻겨 나가면서 응고선단의 성장이 일시적으로 정지된 후 다시 재개되는 과정에서 생긴 응고속도차이에 기인하

는 것으로 알려져 있다[7,16]. 일반적으로 음편석대의 크기는 용강교반력에 의한 용강유속의 증가와 용강내 탄소량의 감소와 함께 늘어난다. 이는 그림 22[7]에서 보인 바와 같이 용강유속의 증가와 탄소량의 감소가 Mushy Zone에서 미응고용강에 의해 세척되는 고체분율( $f_s$ )를 크게하기 때문이다.

그림 23[7]은 White Band의 형성에 미치는 용강교반력의 영향을 보인 것으로 비교적 약교반(20%교반력)에서는 두께가 얇은 1차 White

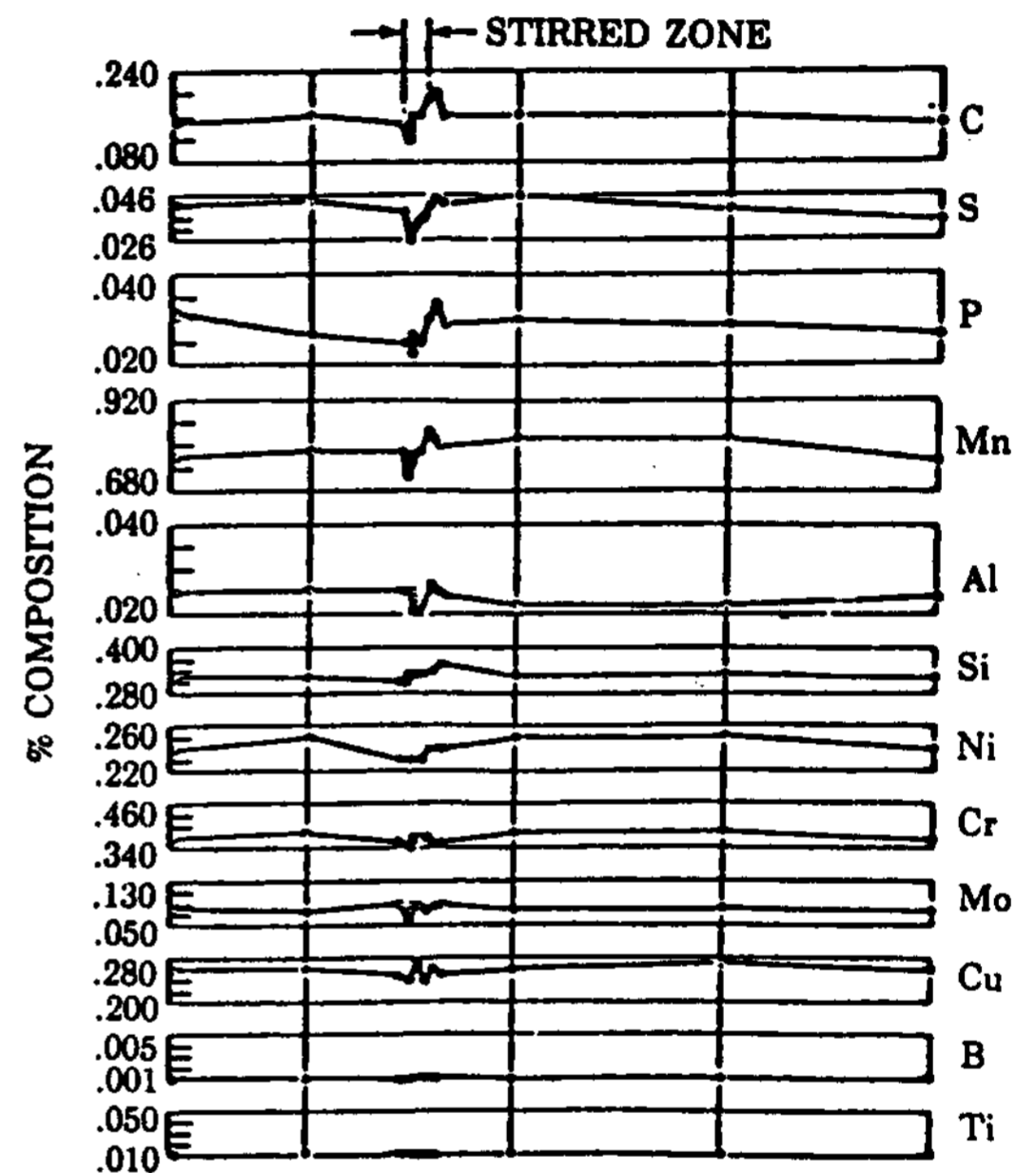


그림 21. EMS를 사용하여 주조된 연주 Billet의 절단면에 나타난 용질원소들의 농도분포(98.4 mm<sup>2</sup> 저탄소강 Billet의 경우)

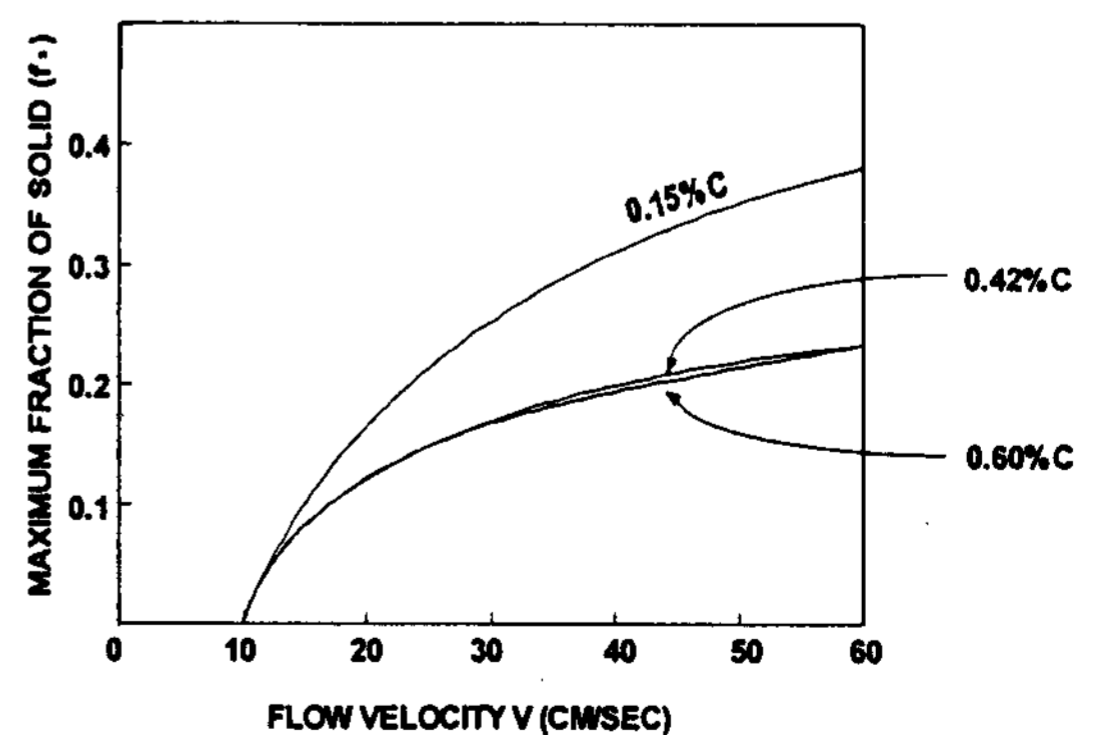


그림 22. 용강유속과 탄소량에 따른 고상분율의 변화



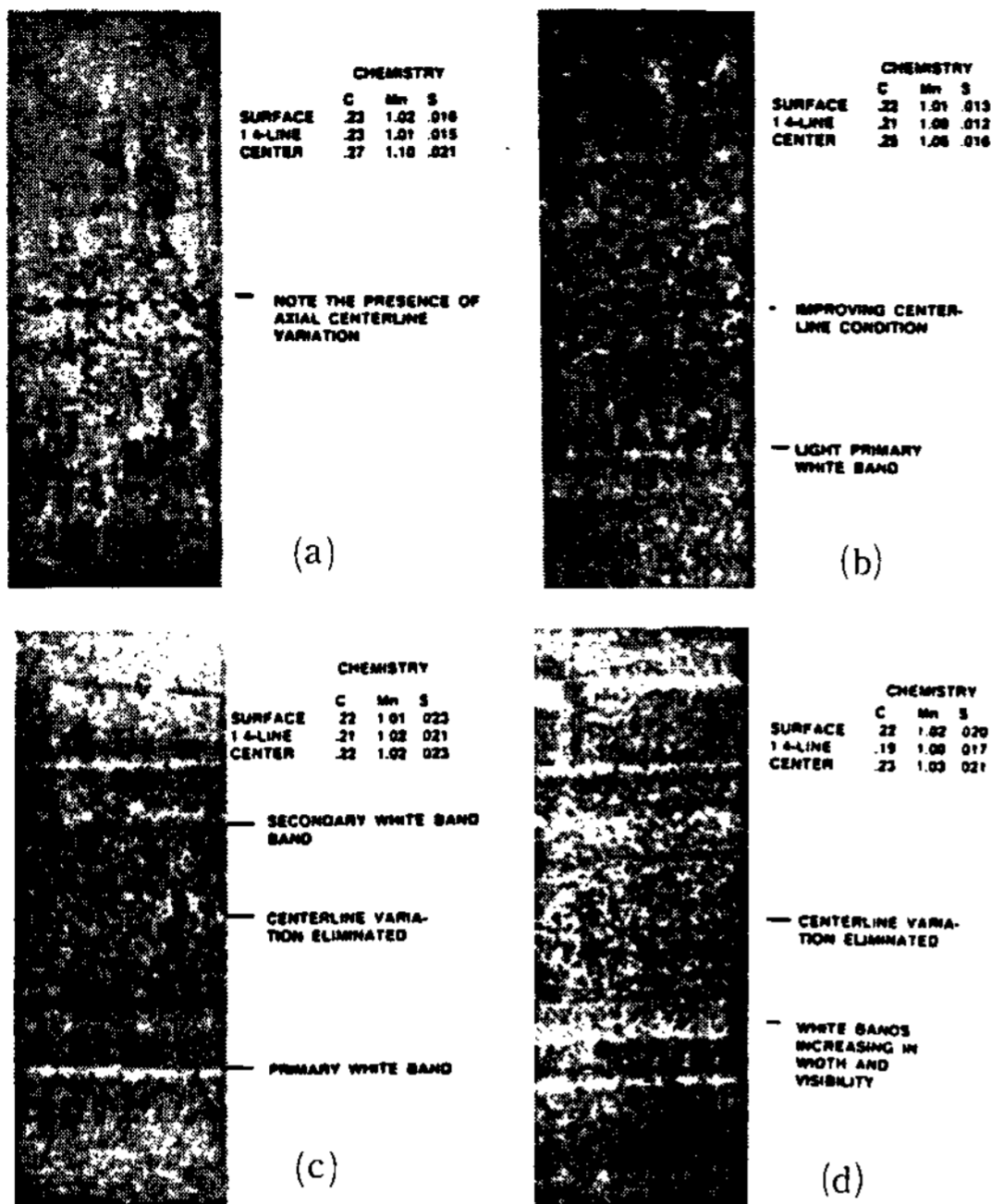


그림 23. White Band의 형성과 중심선편석에 미치는 용강 교반력의 영향  
 (a) 무교반의 경우 (b) 20% power  
 (c) 45% power (d) 80% power

band가 형성되지만 교반력이 증가하면 1차 White Band의 두께 증가와 함께 2차 White Band가 형성된다. 또한 White Band의 두께는 용강의 과열도가 클수록 증가하는 것으로 알려져 있다[17]. 이와같은 White Band를 최소화하기 위해서는 수지상조직이 등축정조직으로 변태되는 교반강도 범위내에서 가능한 낮은 교반강도를 유지하여야 하며 이를 위한 용강유속은 Columnar-dendrite Tip을 절단하는데 필요한 임계유속과 일치된다고 보고되고 있다[9].

그림 24[17]는 EMS의 설치장소와 설치갯수를 달리했을 때 요구되는 등축정비를 얻기 위한 교반력의 범위와 이때 연주주변에 나타나는 White Band의 크기 저도를 나타낸 것이다.

주형직하의 EMS가 2차냉각대 또는 응고말기의 경우보다, 그리고 2단계 또는 3단계 교반형태가 단일계 교반형태보다 Columnar-Equiaxed dendrite변태에 필요한 EMS의 최소 교반력을 줄일 수 있어, White Band의 형성을 감소시키는데 유리하다.

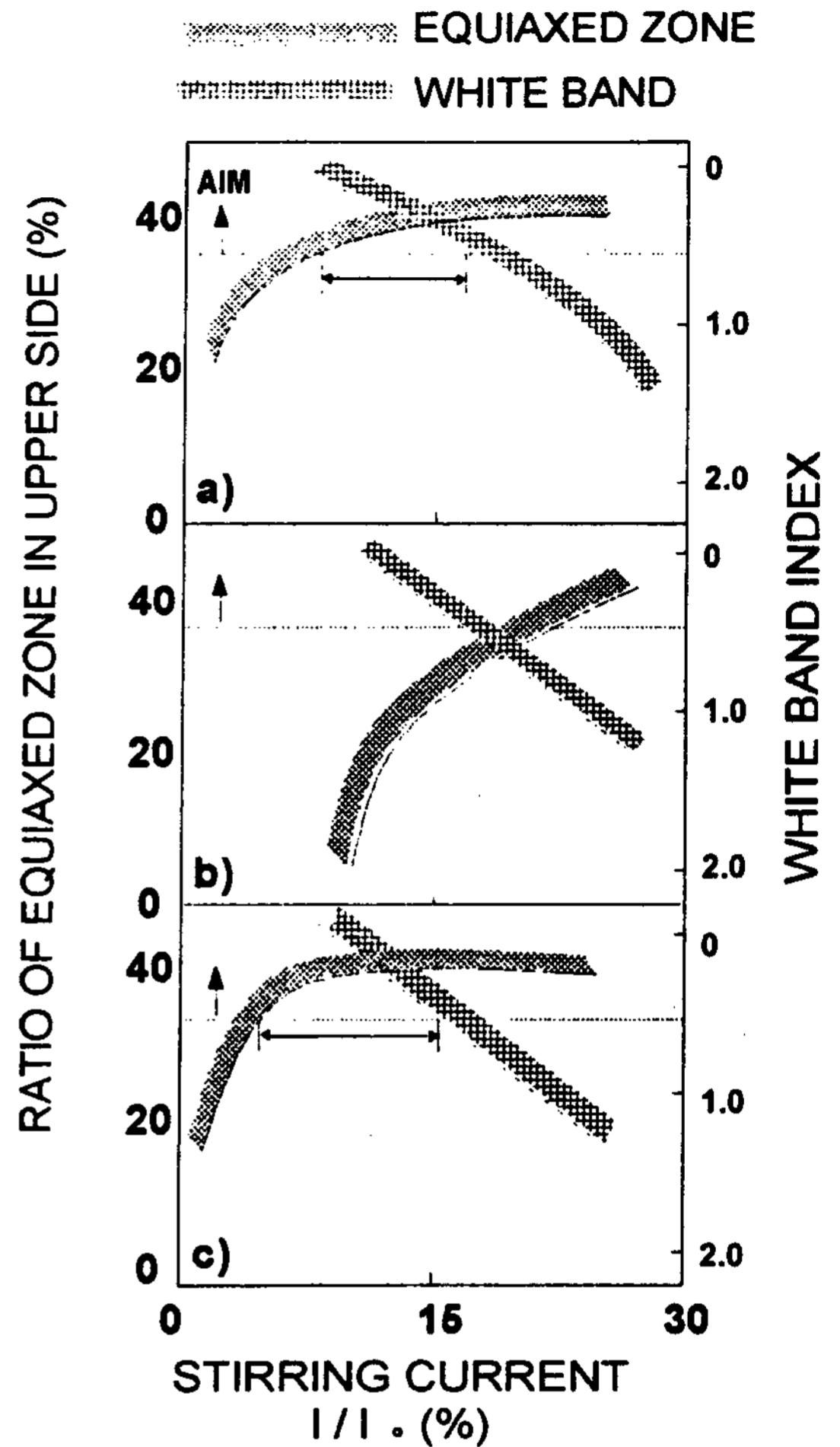


그림 24. EMS의 설치장소와 갯수에 따른 White Band의 크기와 등축정비의 변화관계  
 (a) 상부에 1개 설치  
 (b) 하부에 1개 설치  
 (c) 하부에 2개 설치

### 3. 결 론

용강교반에 의한 고/액 계면의 거동과 응고조직의 변화과정을 비롯해서, 주변내에서의 Macro-편석, 기공, 표면 및 표피 등의 구조결함에 미치는 EMS의 영향을 조사한 결과 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) EMS에 의한 용강교반은 고/액 계면에서 온도와 농도기울기를 감소시키는 한편 수지상 Tip의 절단과 절단된 Tip의 재용해를 용이하게 하여 용강의 과열도를 보다 쉽게 제거할 수 있어

다소 높은 과열도에서도 등축정의 확대가 가능하다.

2) 등축정대는 EMS의 교반력이 클수록 증가하며 단일계보다 2단계와 3단계 교반방식으로 등축정을 더욱 효과적으로 증대시킬수 있으며 이와같은 등축정대의 증가는 중심편석과 기공을 감소시킬 수 있다.

3) 주형내 EMS에 의한 용강교반은 주편표면과 표피에서이 기공과 개재물은 물론 Oscillation Mark의 깊이, 종방향 모서리 균열과 Break-out를 감소시킬 수 있다.

4) V-편석은 등축정 입계의 농화용강이 연주방향으로 선택적으로 미끄러져 들어가는데 기인하며 응고 말기에서 EMS에 의한 Linear 또는 Rotary형태의 용강교반으로 등축정립들을 효과적으로 충전시킴으로써 방지할 수 있다.

5) White Band는 과도한 용강교반에 의한 음편석대의 형성에 기인하며, 이를 최소화하기 위해서는 Columnar-Equiaxed dendrite변태가 일어나는 범위내에서 가능한한 EMS의 교반강도를 낮추어야 한다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] J. P. Birat and J. Chone : Continuous Casting, Vol.3, ISS-AIME (1984) 21
- [ 2 ] J. E. Lait and J. K. Brimacombe : Continuous Casting, Vol.2, ISS-AIME (1984) 171
- [ 3 ] D. A. Currey and C. A. Pickles : I&SM, August (1987) 37
- [ 4 ] KOBELCO : Eletromagnetic Stirring in Continuous Casting Engineering Reports (2), KOBE STEEL, LTD., (1984) 1
- [ 5 ] L. Beitelman et al : International symposium on the Continuous Casting of Steel Billets, CIM (1985) 165
- [ 6 ] A. A. Tzavaras : Continuous Casting, Vol. 3, ISS-AIME (1984) 47
- [ 7 ] J. J. Moore and N. A. Shah : Ibid, 35
- [ 8 ] 坂本克己 等 : 鐵と鋼, 73 (1987) 321
- [ 9 ] J. J. Moore : Continuous Casting, Vol.3, ISS-AIME (1984) 1
- [10] R. Alberny et al : Continuous Casting of Steel, The Metal Society (1977) 116
- [11] 鈴木章 : 鐵と鋼, 60 (1974) 774
- [12] M. Kitamura et al : Ironmaking and Steelmaking, Vol.10, No.2(1983) 82
- [13] 中谷元彦 : 第69·70回 西山記念技術講座, (1975) 211
- [14] Y. K. Shin et al : Ironmaking and Steelmaking, Vol.15, No.2 (1988) 147
- [15] 水上秀昭 等 : 鐵と鋼, 70 (1984) 194
- [16] M. R. Bridge et al : Metal. Trans., Vol25B (1984) 581
- [17] 氏家義太郎 等 : 鐵と鋼, 67 (1981) 1297

### 미국 주조공학회 강좌

#### Casting Process Simulation and Rapid Prototyping Forum:

'97.3.11~13(3일간) 매일 09:00~16:00시

미국주조공학회 기술연구소(Des Plaines, Illinois)

#### Supervisory Skills for Metalcasters:

'97.3.18~19(2일간) 매일 09:00~16:00시

Holiday Inn Select(San Antonio, Texas)

#### Practical Green Sand Control:

'97.3.18~20(3일간) 매일 09:00~16:00시

미국주조공학회 기술연구소(Des Plaines, Illinois)