技術資料

급속응고법에 의한 박판주조기술

韓 堯 燮, 李 浩 仁

Strip Casting Technology

Y. S. Han, H. I. Lee

용융금속을 ingot나 slab 형태로 주조한후 필요한 열연과 냉연의 소성가공공정을 거쳐 최종제품인 판재나 선재 및 형재를 얻는 방법이 금속재료의 가장 일반적인 제조공정이다. 이 가운데 소성공정의 일부 또는 전부를 생략하므로써 설비투자를 줄이고 생산성과 제조원가를 절감하고자 하는 노력은 경제적인 측면에서 필연적으로 추구되는 사항이다. 이러한 노력은 '73년경의 석유파동 이후 전세계의 산업체에 에너지 절감을 목표로 심각하게 인식하게 되여 공정생략을 최대한으로 하는 신주조기술 개발의 필요성이 대두되었고, 그에 대한 노력이 용융금속에서 최종제품의 형태에 가까운 얇은 두께의 박판재를 급속응고법으로 직접 제조하는 이른바 "strip casting" 또는 "near net shape casting"의 신주조 기술이 개발되기 시작하였다.

이러한 박판주조기술(strip casting technology)은 제조공정 생략이라는 경제적측면과 함께 1970년대부터 활발해진 급속응고법의 연구로 재료의 특성 개선과 신소재개발이라는 재질적 측면에서 동시에 수용하는 기술로써 알려지게 되면서 최근 선진각국에서는 이에 대한 활발한 연구 개발이 촉진되고 있으며 비철분야의 실용화된 분야를 포함해서 철강분야에서의 응용 및 실용화에 크게 노력이 경주되고 있다.

1. 박판주조법의 개발목적

박판(strip) 및 중판(slab)의 직접 주조법의 개발목적은 ① process 생략 또는 간소화에 의한 설비비나 제조원가의 절감이며 ② 재료측면에서 종래 방법으로는 압연이나 성형이 어려운 특수강이나 난가공재 박판의 직접 제품화, ③ 박판화에 따른 급속응고 효과에 의한 신재질, 신기능의 소재개발에 있다. 이러한 목적들에 관해 각각 연구된 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) Process 생략에 의한 원가절감

종래의 Ingot로 시작하여 얻어지는 일반적인 제조공정으로써 박판을 얻기까지는 많은 공정들을 거치게 되어있다. 알루미늄의 경우를 실례로 coilable strip을 얻기까지의 과정이 그림 1에 개략적으로 표시되어 있다. 그림 2는 이를 각 제조공정별 에너지 소모량을 추정하여 나타낸 것이다. 이 도표에 따르면 주조법에 따라서 annealing과 열연공정들이 단축 또는 생략되며 그와 함께 절감되는 에너지는 최소한 1KJ/g Al이상에 해당됨을 알 수 있다. 또한 알루미늄과 같이 이미 공업적으로 박판주조기술의 실용화가 활발히 추진되고 있는 소재와 달리 80년대 부터 전세계적으로 주목을 받고 있는 철강소재의 박판주조 제조의 경우 process 축소의 가능성을 보면 그림 3에 나타난 바와 같다. 현재 연주－열연의 직접 연결되는 process가 공정적으로 실시되고 있어 에너지 절감의 대표적인 역할을 하고 있는데 박판주조기술인 strip 연주나 thin slab 연주의 경우를 보면 종래 연주기－열연공정에 비해서 건설비가 40～50%, 조업비가 10～20% 절감되는 것을 보고하고 있다. 문제는 현재의 연주－열연공정을 포기하고 thin slab 연주－열간사상압연을 채용하여 그 채산성이 그다지 현저하지 않기 때문에 기존 process의 노후·갱신때에 신규 연주기 또는 열간압연기를 건설할 경우에 유용하다고 할 수 있다. stainless에 대해서 일부 실용화가 되고 있다.

韓國科學技術院

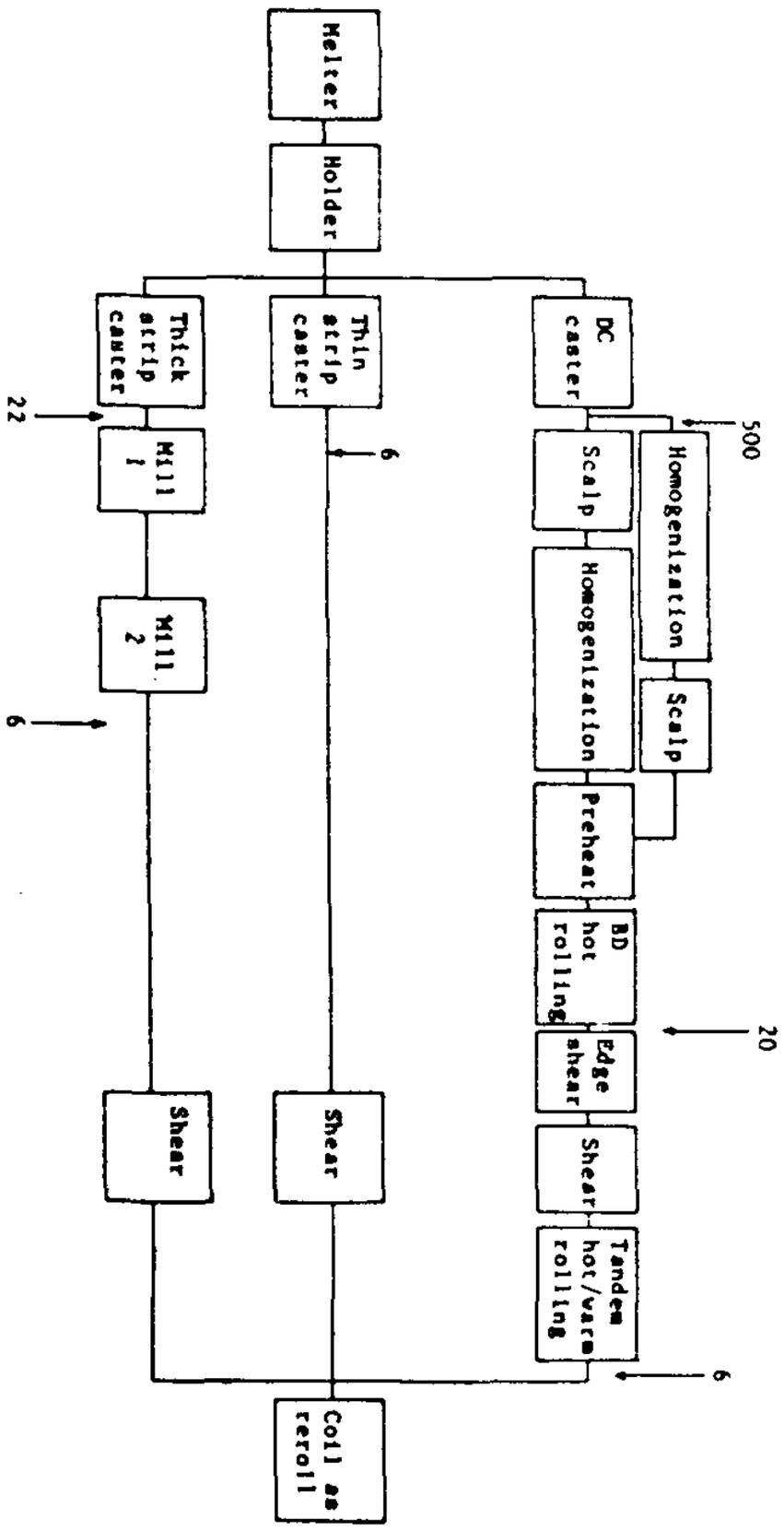

그림 1. Schematic flow chart of alternative routes from aluminium ingot to coilable sheet ; flgures are typical thickness values in millimeters.

(2) 난소성재의 박판제조 가능성

종래의 압연이 불가능한 주철의 경우 1~2mm 두께로 주조하면 압연율을 적게하여 용이하게 압연이 가능하며, 열연이 힘든 stainless(SUS 309등)도 1~2mm로 주조후 냉연함으로써 보다 결함이 없는 압연이 가능하다. 아울러 종래에는 제조 불가능한 것으로 알려진 4.5~5.5% Si 규소강이 strip 연주(박판주조)에 의해서 상품화가 가능해져서 보다 우수한 전자특성의 강판이 얻어진다.

비철재료 중에서는 초소성소재의 박판주조로 개발하고자 하는 연구가 진행되고 있으며 일반적인 주조법으로 제조가 어려운 소재제조에 대해서 그 가능성 연구가 이루어지고 있다.

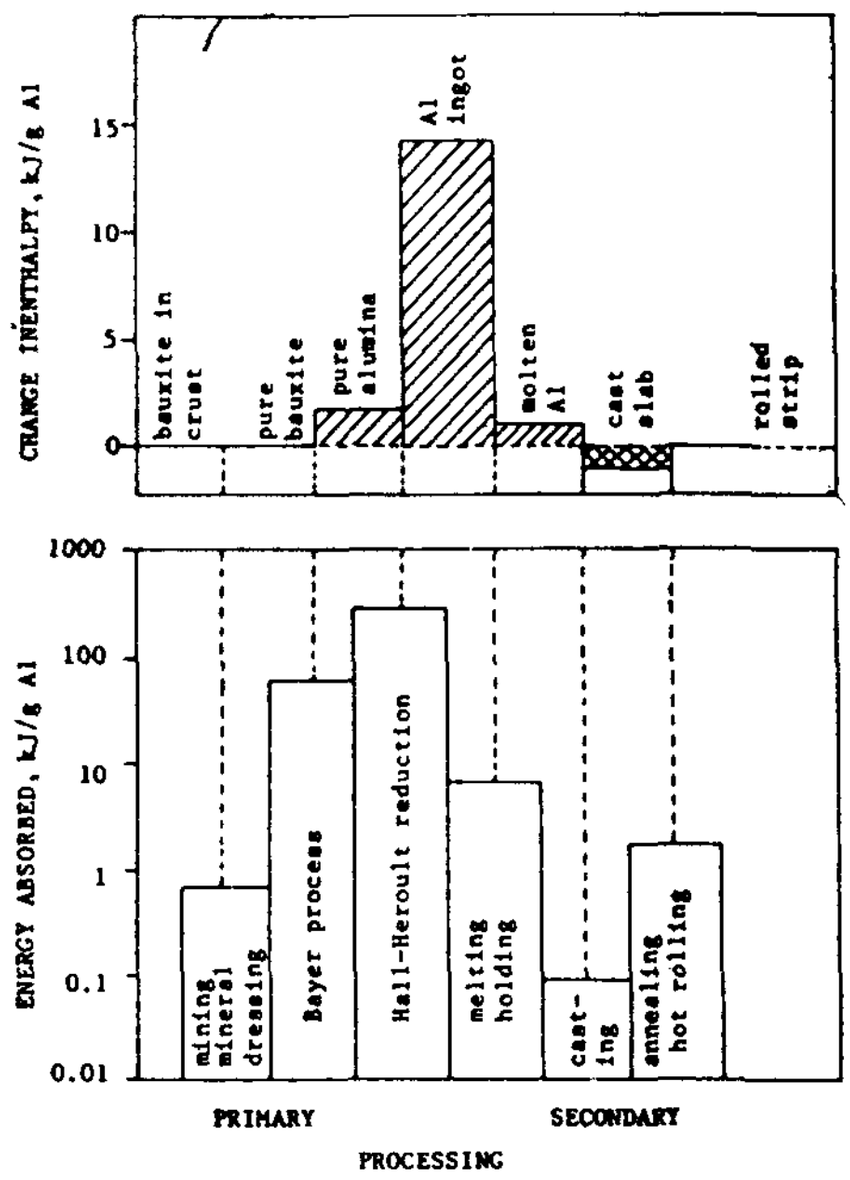

그림 2. Estimates of energy absorbed during extraction and processing of aluminium, compared with theoretical changes internal energy for each step.

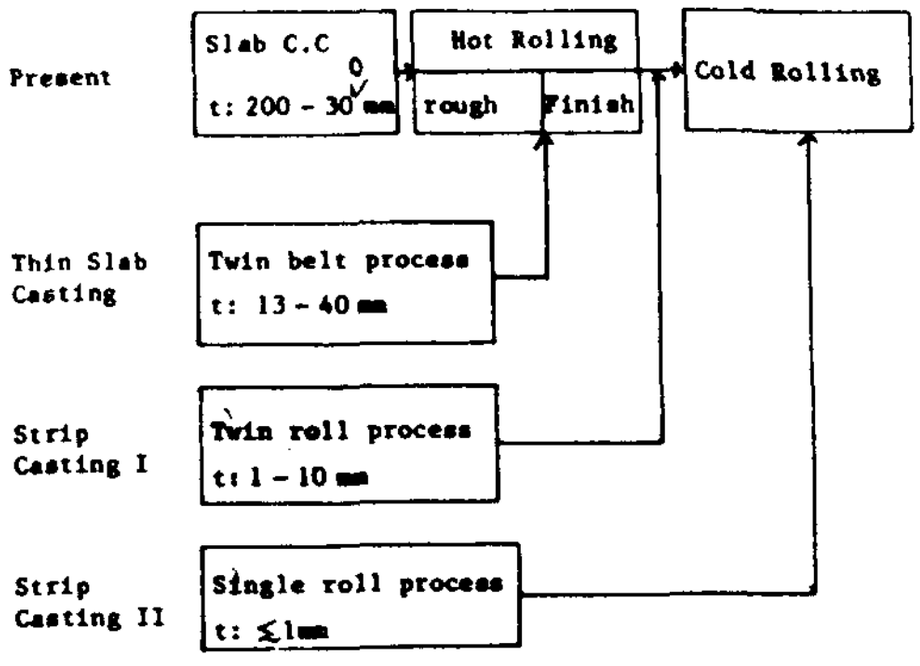

그림 3. Flowchart of strip casting and slab continuous casting processes.

(3) 급속응고에 의한 신소재의 개발

급속응고의 효과로써 비정질금속 또 미세결정질(microcrystalline)의 제조(10^6 ℃/sec이상 급냉), 합금원소의 고용증대, 조직 및 석출물들의 미세화 및 균일분산과 편석의 감소 등에 의해 새로운 기능과 다양성을 추가로 지니는 소재개발이나 새로운 재료를 창출할 수가 있다.

일반적으로 주조두께 1mm이하에서는 10^3 K/sec

이상의 냉각속도가 얻어져서 급속응고효과에 의한 재질 개량이 기대된다. 철강재료의 경우 박판주조의 두께와 냉각속도는 다음과 같은 관계식을 가지고 있음이 보고되고 있다.

$$G = 803\, d^{-1.76}$$

여기서 G : 냉각속도(℃/sec), d : 주조두께(mm)

그림 4는 각종 급속응고법에서 나타나는 냉각속도 범위와 제조형상들을 나타낸 것이다.

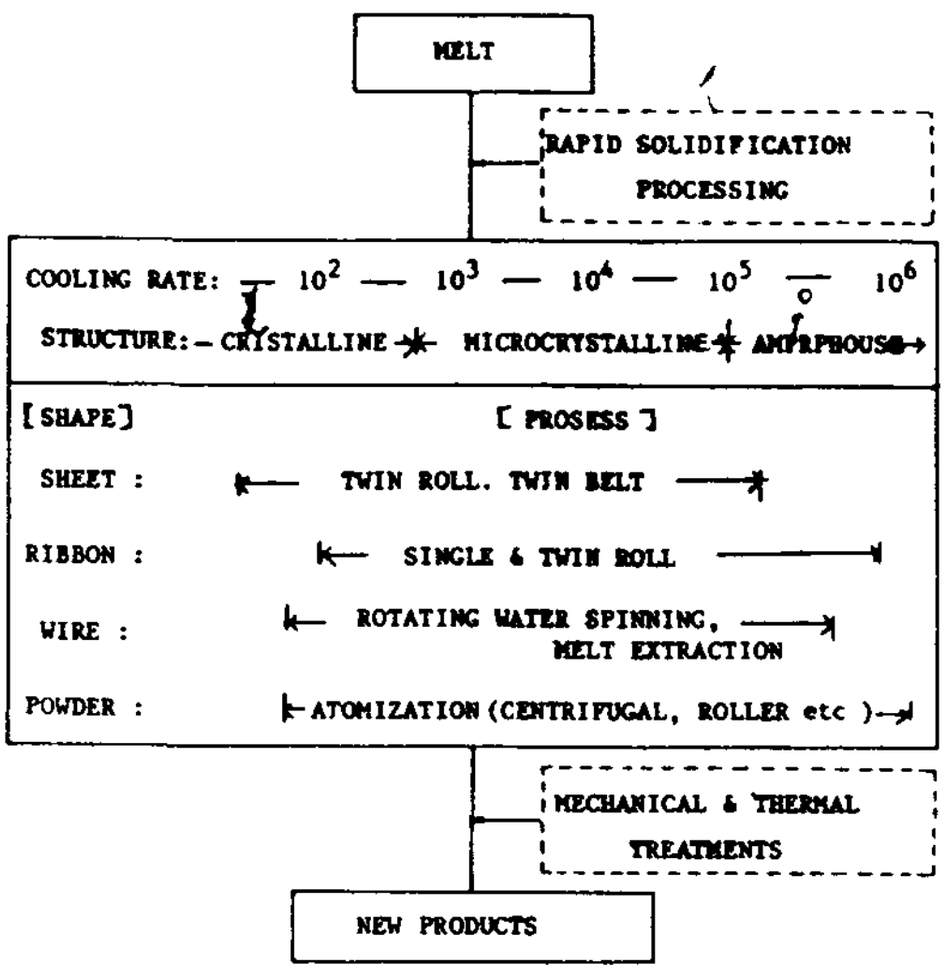

그림 4. Flow chart of rapid solidification processes.

2. 박판주조법의 종류와 특징

박판주조법은 주형의 종류에 따라 구분할 수 있으며 그 분류는 표 1에 나타나 있다. 이외에도 다양한 주형 재료와 형상을 이용하여 새로운 박판주조법의 연구 개발이 진행중에 있으며 지난 수년동안 이에 대한 각종 보고가 급증하고 있다. 이들중에서 현재 많이 이용되고 있는 박판주조법으로 single roll, twin roll, twin belt, moving mould 및 horizontal continuous casting(stationary mould)법 등이 있으며 최근에는 적층응고법인 spray rolling법이 주목을 받고 있다.

이들에 의해 얻어지는 냉각속도와 주조두께와의 관계를 보면 그림 5에 나타난 바와 같이 single roll법으로는 수십μm두께로 $10^5 \sim 10^7$° K/S의 초급속냉각이 되어 신재료 제조용에 적합하며, twin belt법은 종래의 연주(CC)보다 약간 높은 $10^{-1} \sim 10^1$° K/S 정도의 냉각속도로 신재료 개발보다는 에너지 절감 및 경제성이 강조되는 process 생략의 면이 크며, twin roll법은 중간범위인 $10^1 \sim 10^4$K/S의 냉각속도로써 공정생략과 재질개선의 요구를 동시에 수용해 줄 수 있는 주조법으로 고려된다.

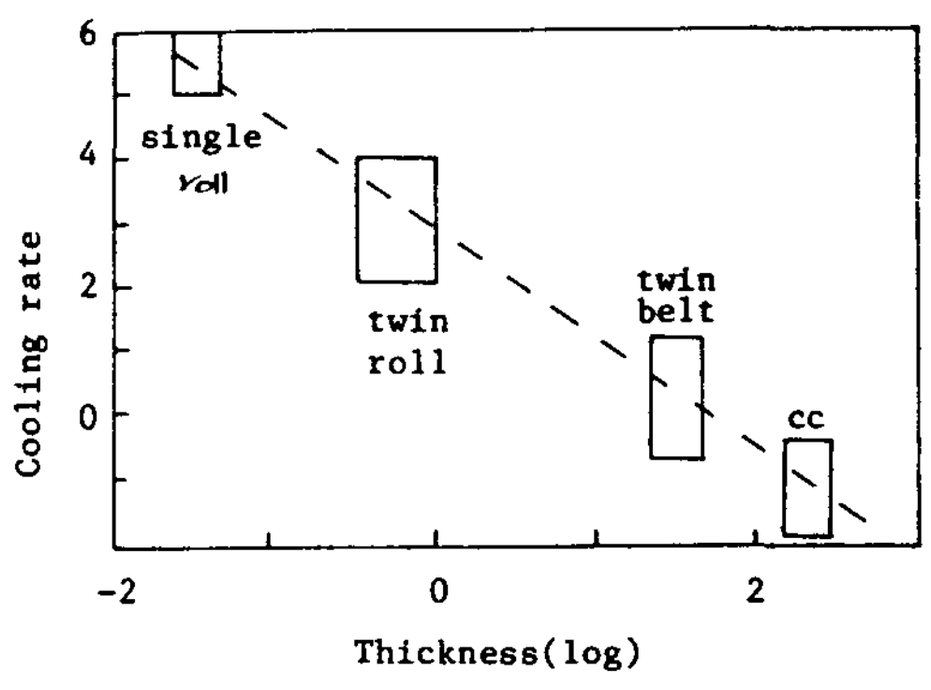

그림 5. Relation between the cooling rate and the strip thickness.

표 1. Methods of thin strip and slab casting.

Mold	Characteristic	Thickness of cast	Method
Roller	shortening of finish mill and/or cold mill	<5mm (thin strip)	○ Spray rolling ○ Melt spinning ○ Melt drag ○ Twin/double roller
Belt	shortening of roughing mill	inch size : 20—40mm (thin slab)	○ Twin-belt (Hazelett Machine) ○ Wheel-belt (Hitachi, Southwire)
Block	shortening of roughing mill	inch size	○ Alusuisse caster ○ BSC type

2-1. Single roll 법

이 방법은 여러가지의 급속응고법 중에서 가장 빠른 냉각속도(10^5K/S이상)을 얻을 수 있기 때문에 주로 비정질 철강재료나 초미세결정질 비철재료 제조에 주로 사용되고 있다. 여기서 얻어지는 제품은 두께가 매우 적고 폭이 좁은 ribbon이나 filament의 형태이기 때문에 bulk 재료의 형태를 얻기 위해 제조후 추가적인 성형(consolidation)이 필요하다. 따라서 공정생략의 면보다는 초급냉효과에 의한 신재료 개발에 중점을 두고 있다. 이 single roll법도 용융금속을 roll에 유입시키는 방법에 따라 melt spinning, melt-drag, melt spray 법 등으로 나눌 수 있는데 이중에서 그림 6에 나타난 melt-spinning법이 가장 많이 이용되고 있다. roll 재료로는 Cu 합금이나 stainless steel 등이 사용되고 있다.

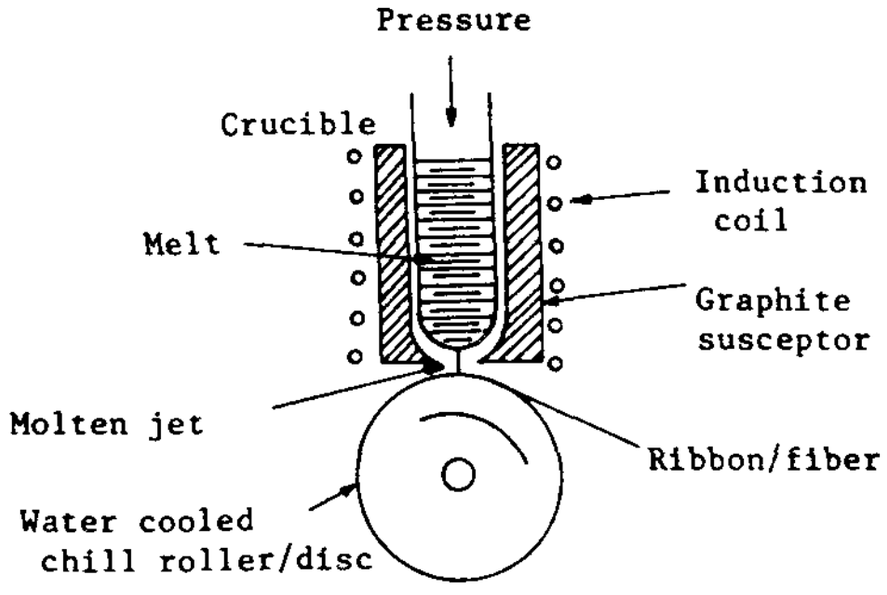

그림 6. Melt-spinning process

이 방법에 의해 제조되는 철강재료로는 Fe-X-C (X=Cr, Mo, W, Al, Si)계의 비정질 합금이 있으며, 특히 metglass 2826A로 알려진 Fe-Ni-Cr 합금은 상품화된 제품이다. 최근의 연구방향은 항공기 재료에 사용되는 Al계 합금의 개발인데 급속응고법으로 고용한도의 증가특성을 최대로 이용하여 기계적, 내열특성을 향상시키는 초미세 결정질 재료 제조가 과제이다. 그림 7은 급속응고법에 의해 개발된 각종 Al 합금들의 고온인장강도가 현저히 증가하고 있음을 보여주고 있으며 이들이 현재 사용중인 Ti계 합금의 대체용으로 개발되고 있다.

2-2. Twin roll 법

이 방법은 용융금속을 같은 속도로 회전하고 있는 두개의 roll 사이로 주입시켜 roll 사이에서 급속응고 시키는 방법이다. 이때 얻어지는 냉각속도는 10^1~10^4K/S 정도이며 0.5~5mm 두께의 비교적

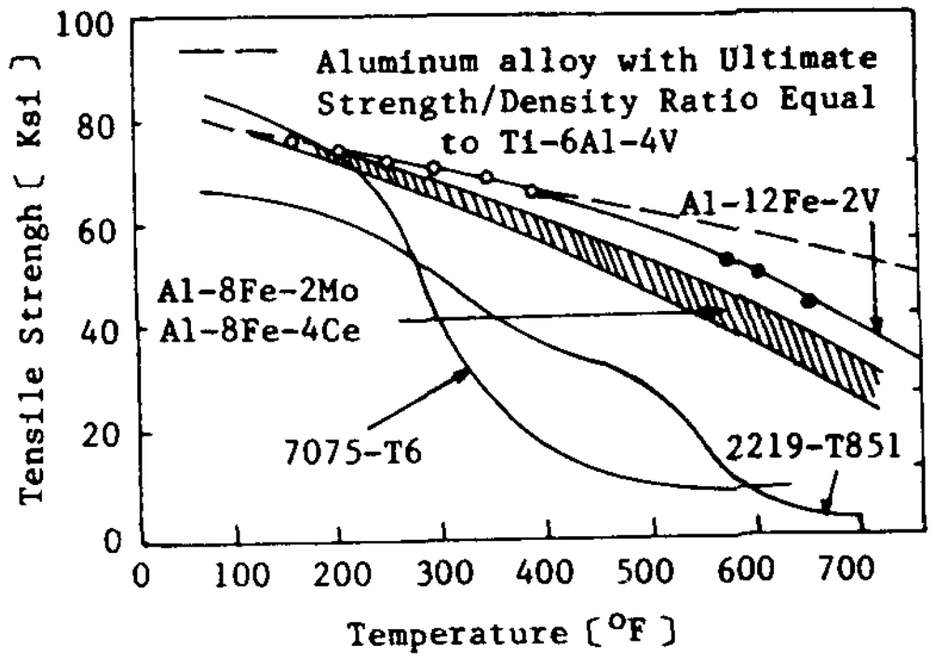

그림 7. Elevated temperature strength of some rapidly solidified Al alloys

광폭박판의 제조용으로 적합한 방법이다. 이 방법은 재질적 효과와 공정생략의 양측면을 함께 만족하고 있어서 많은 연구들이 이 방법에 의해서 이루어지고 있다. 특히 대규모의 생산능력이 요구되는 철강산업계에의 실용화 가능성이 가장 높은 박판 주조법으로 주목을 받고 있다.

이 twin roll법도 roll 사이에 용탕주입 방식에 따라 상부에서 낙하하는 Bessemer법과 하부 또는 측면에서 주입하는 Hunter법으로 구분이 된다. 초기 개발된 Bessemer법은 기술과 학술적 연구 부족으로 진전을 보지 못하였으나 Hunter법은 이미 공업화가 되어져 비철분야의 박판제조에는 상업화되고 있으며 더욱 이용도가 증가하고 있다.

Bessemer법은 1857년 최초로 고안된 박판주조법으로써 그림 8에 개략적으로 나타난 바와 같다. 초기는 시간, 에너지의 소모가 크고 기술적으로 해결되지 못하였으나 근래에 와서 소련에서 이 방법으로 가단주철의 연주에 성공, 상업화하고 있으며 미국에서도 2mm 두께 정도의 stainless steel 제조에 성공하여 실용화를 보고하고 있다.

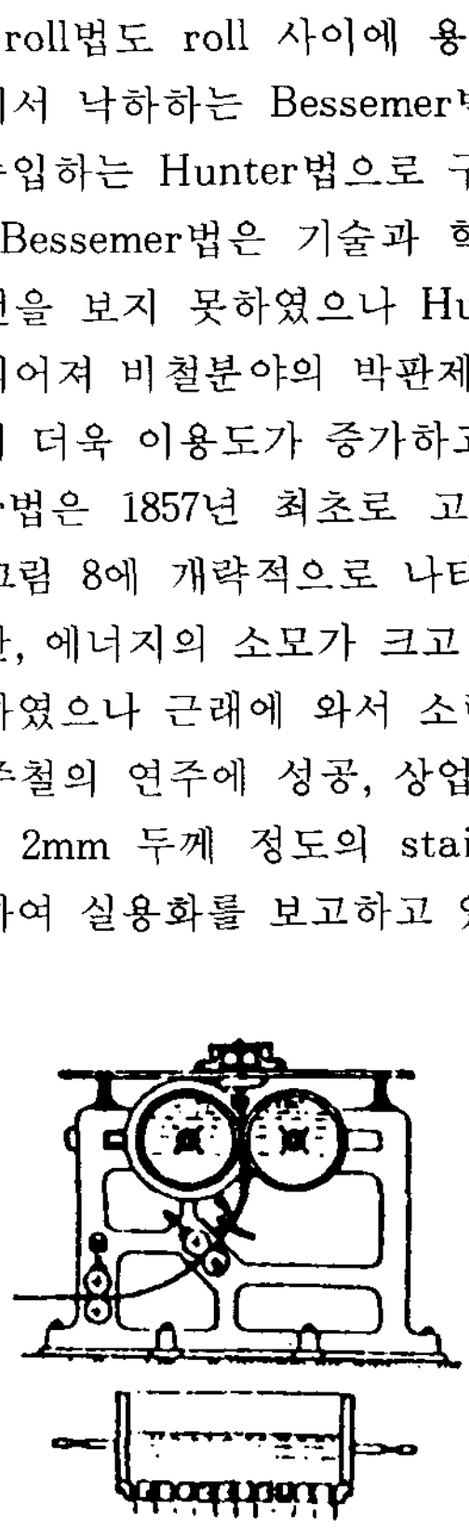

그림 8. Double roll process.(Bessemer process)

Hunter법은 1950년대에 개발되기 시작한 박판 주조법으로써 그림 9에 나타난 바와 같이 하부에서 용탕 guide를 통하여 회전하는 roll 사이에 용융금속을 주입 및 응고시키는 방법으로써 알루미늄에 첨가원소가 적은(편석의 정도가 낮음) 합금의 용탕에서 직접 6mm 두께로 광폭의 박판을 주조한다. 이 경우 후처리 가공을 하지 않고 직접 coiling이 가능하며, 제조 가능한 coil의 크기는 1~3ton으로 두께 6mm, 폭 1000~1700mm까지 된다.

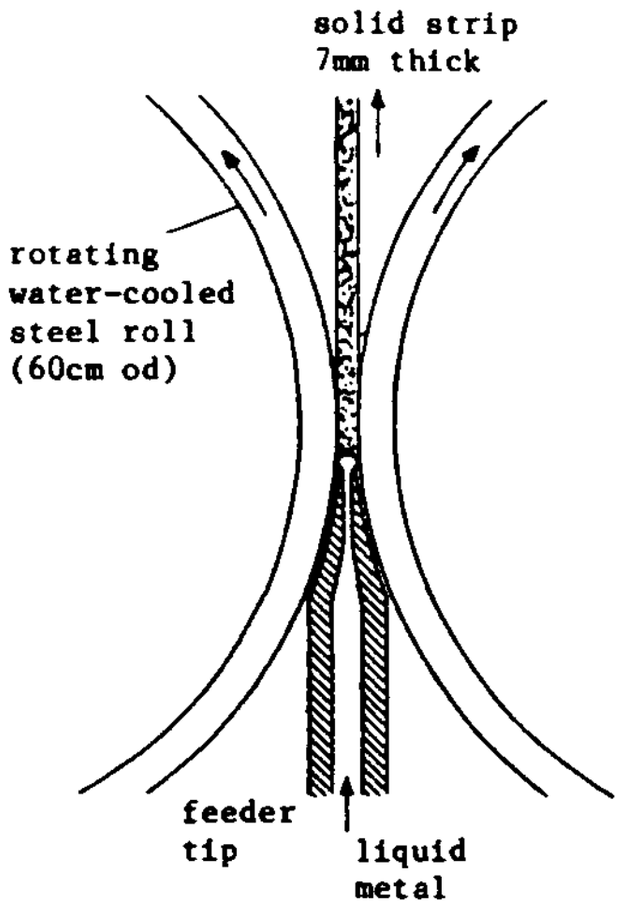

그림 9. Schematic illustration of the Hunter thin -strip casting system

또한 주조속도는 8.2~9.6kg/min이다. 이 방법의 특징은 재질면에서 연주법의 단점인 고품질의 deep drawing 소재개발도 가능하며 열연재와 같은 품질을 지니고 있으며 제조에너지가 50%이상 절감되어 소규모생산 및 공정 단축으로 경제성이 높다.

2-3. Twin belt 법

이 방법은 미국의 Hazelett 의해서 1919년 설계되어진뒤 1940년대 이후에 strip의 연주방법으로써 정착되면서 현재 thin slab 및 thick strip 제조법으로 가장 많이 쓰이고 있으며 공업적으로 개발자의 명칭을 따라 Hazelett 법이라고 한다. 이 주조법의 원리는 그림 10에 개략적으로 표시된 바와 같이 무한히 반복되는 두개의 수냉철재 belt 사이에 수평으로 용탕을 주입 · 응고시키는 주조법이다. 이 주조법이 가지는 특징을 보면,

· 4면의 이동금형에 의해 급속응고로 고품질의 주조 표면과 생산성이 높다.

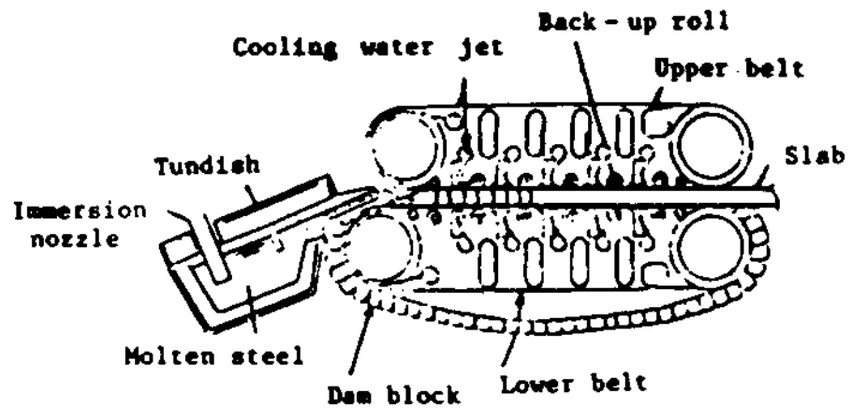

그림 10. Twin-belt process(Hazelette type).

· 주조두께를 통하여 기계적 성질이 균일
· 박판주조된 금속은 전면등축정 조직이다.
· 자동주입으로 소수의 인원으로 작업 가능
· 저렴한 제조원가
· 박판주조로 인한 에너지 절감
· 박판 및 billet의 높은 생산성으로 일반 주조—압연 공정보다 경제적 생산가능

실제로 얻어지는 냉각속도가 10^{-1}~10^{1}K/S이므로 급속응고법으로 엄밀하게 분류되지 않고 있으나 공정생략의 경제적 생산면에서 중요하며 주로 Cu나 비철계 합금의 박판 및 후판 제조에 많이 사용되어져 왔다. 이 방법으로 철강재 제조에 대한 연구가 급속응고 효과도 함께 도모하는 노력이 최근 증가하고 있어 높은 냉각속도로 제조하는 방법이 보고되고 있으며, 개발된 경우로써 20~50mm 두께의 1320mm폭의 thin slab 연주에 실용화 단계에 있다고 한다. Strip 연주의 제조 상황을 보면 십여개 국에서 53개 twin belt caster가 Al, Zn, Pb, Cu 또는 steel 제조 또는 개발에 이용되고 있다. 이들의 생산속도는 표 2에 나타나 있다.

Al, Zn 또는 Pb 주조설비는 열연 line과 연결되어져 0.5~1in로 박판 주조된뒤에 pass 횟수에 따라 최종적인 치수 0.05in 이하로 제조되고 있다. Al의 경우 폭은 300~2030mm까지 되며 년생산량이 23~227million kg에 이르고 있다. 이 sheet에서 야채용기, 주방기기, 건축재, 식품포장 및 aerosol

표 2. Nominal strip production rates

	tons/hr/in. of cast width	tons/hr, 50-in. strip width
aluminum	0.5	25
zinc	0.8	40
lead	2.0	100
copper	1.5	75
steel	2 to 4	100 to 200

용기등이 제조된다. Cu 주조설비는 주로 0.5~2in 두께의 anode plate(년 60t 생산에 사용되고 있으며)로나 billet제조에 크게 활용이 되고 있어 전세계 Cu Wire 수요의 30%이상을 충족시키고 있다고 보고되었다.

2-4. Spray rolling법

이 방법은 앞에서의 박판주조법과 다소 차이가 있다. 이 경우는 그림 11에 표시된 개략적인 원리와 방법에서 나타난 바와 같이 용융금속의 atomization이란 spray에 의한 일차적으로 적층된 소재를 압연시켜 박판제조를 하는 방법이다.

이때 얻어지는 냉각속도는 기존 박판주조법들보다 높아서 10^3~10^6K/S까지의 범위를 지니고 있어서 신소재제조 효과가 매우 높으며 동시에 process 절감에 따른 에너지절약 및 경제성면에서도 그림 12에 비교된 바와 같이 비교 우위에 있음을 알 수

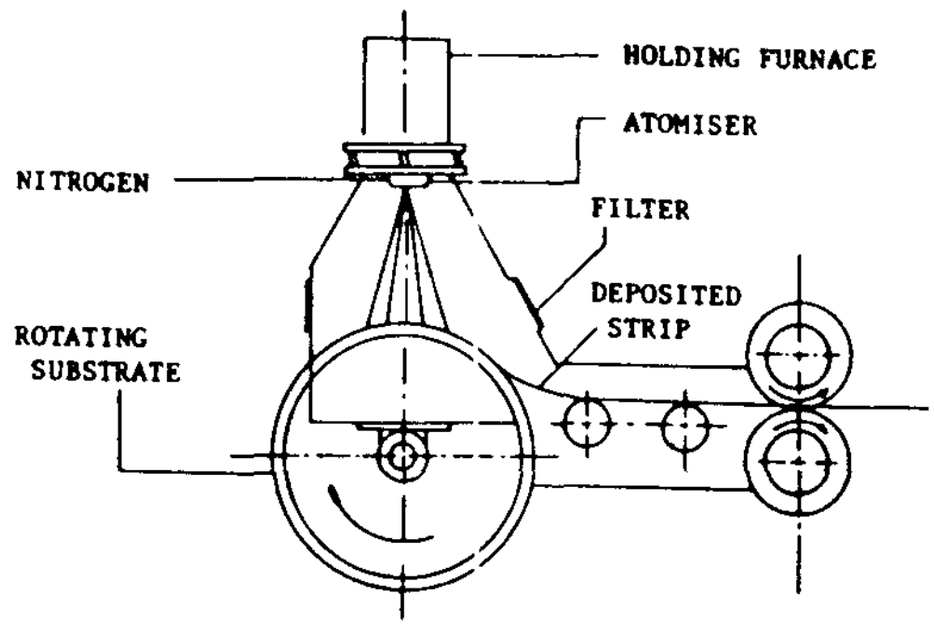

그림 11. Schematic section of equipment for spray rolling

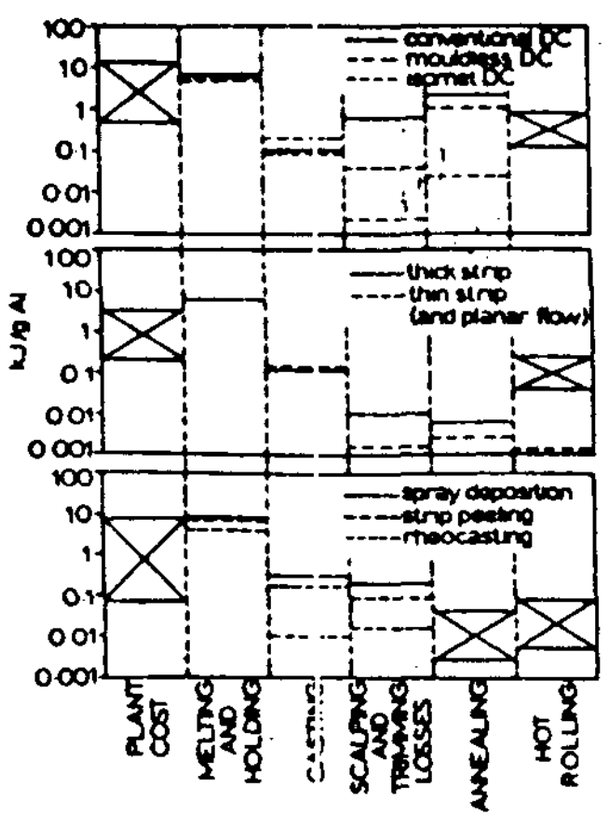

그림 12. Estimates of energy expenditure during stages involved in producing aluminium sheet from primary ingot by routes.

있다. 아직은 이 제조법에 대한 확실한 규명과 조업상태가 밝혀지지 않고 있어서 일반적인 공정으로 도입되고 있지는 않으나 GKN에서의 Al기 bearing 제조와 Sandvick steel에서 년 3000t 규모의 stainless strip 제조 등에 사용이 확대되고 있다. 또한 Drexel 대학에서는 A. Lawly를 중심으로 보통강의 적층응고법에 의한 박판제조가 진행중에 있다.

3. 박판주조기술의 연구개발 동향

용탕에서 직접 금속박판을 얻고자 하는 시도는 역사적으로 오래되었다. H. Bessemer가 1856년에 St. Pancras Factory에서 용강을 twin roll 사이에 주입하여 두께 1mm, 길이 1m의 박판을 제조한 것이 시초이다. 그뒤에 Hazelett는 ring mill을 고안해서 1940년경 Si강과 stainless강 등의 여러가지 주조를 하여 박판주조의 가능성을 실증하였는데 그당시에는 철강과 같은 고융점 재료를 처리하는데 따른 품질의 문제와 주변기술의 부족으로 공업화가 되지 못하였다.

1960년대에 이르러 thin slab 연주기로써 비철금속-Cu 합금을 시초로 Al 및 Zn 등의 실용화가 Hazelett식 twin belt 연주기가 개발되어 주목을 받았으며 공업화가 활발히 이루어졌고 강에 적용도 시도되었다.

비철분야에서 Hunter법, 등 다양한 연주기가 개발, 실용화가 이루어져 갔으며 철강분야에서는 미국의 Bethlehem steel, U.S steel, Oregon steel, 프랑스에서는 Ugine Kuhlman, 일본에서는 금속재료연구소를 중심으로 pilot plant를 설치하여 연구에 들어갔으나 설비자체의 기계적, 열적 문제가 많았으며 용강의 균일주입 등에 어려움이 많았다.

그뒤 1973년경의 1차 석유파동 이후 이러한 박판주조의 연구개발 노력이 에너지 절감이란 심각한 요구에 의해 증가하였다. 이러한 연구개발의 활동들이 표 3에 종합되어 나타나 있다. 이러한 철강분야에서의 동향을 보면 아직은 기초실험에서 pilot plant에 가까운 실험들이 여러가지 있지만 일부 특수한 강종을 제외하고 양산화 system으로써 공정화를 목표로 하고 있다.

구미의 개발상황을 보면 대표적으로 U.S. Steel-Bethlehem steel이 공동연구로 Hazelett식 thin slab 연주기 개발이 있어 주목을 받고 있다.

이들은 1in 주조박판을 0.1in까지 열연하여 통상적인 hot strip을 얻으며 이것을 냉연소둔하여 원하는 품질의 냉연강판을 얻는데 이때에 계산상 설비비가 $35/t, 조업비가 $45/t의 원가절감이 된

표 3. Activity of strip and thin slab casting

	Company/Name	Caster type	Country	Remarks
Pioneers	Sir Henry Bessemer(1956)	Twin roll, vertical	UK	First patent
	CW Hazelett (1920s)(1959s)	Single roll Twin roll	USA USA	First commercial application
	Ulitovskii(1934)	Twin roll	USSR	
	Goldobin(1938)	Twin belt	USSR	Used at Kuznetsk Works, Serpi Molot, Moscow, and Bezhitsii Works, Bryansk.
Strip casting *Present day P*	Kawasaki Steel	Twin roll	Japan	120-500 microns thick, 400-500mm wide, high Si-steel
	Nippon Kokan	Twin roll	Japan	2-5mm thick, stainless steel
	Nippon Steel	Twin roll	Japan	2-5mm thick, stainless steel
	Waseda University,	Twin roll	Japan	Inclined feeding
	Irsid	Twin roll	France	ECSC project with Clecim, strip and thin slab to 7.5mm thick. See separate story in this featrue
	Nippon Metal Co	Twin rolls, unequal diameter	Japan	Drag caster, thickness 1-4mm Speed 10-40m/min. See *Steel Times Int. Continuous Casting Supp.* March 1987.
	Voest-Alpine AG	Single or twin roll operational modes	Austria	0.5-1.0mm thick; 250mm wide. See separate paper in this feature.
	Allegheny Ludlum	Single roll	USA	0.8-1mm thick at up to 150mm/min. Stainless steel
	National Steel/ Batelle	Single roll	USA	0.025-1.25mm thick. Wide range of steels and non-ferrous alloys.
	Armco/Bethlehem/ Inland/Weirton	Twin rolls	USA	Joint developments
	Concast Standard AG	Single roll	Switzerland	Thin foil casting process Metamorph, patent applied.
Thin slab *Early work*	Bethl hem Steel/ Oregon Steel/ US Steel/Ugine (1940s)	Twin belt caster to concept of R W Hazelett	USA/France	Individual developments, did not overcome problems of quality, inclusions, and containment
	Creusol-Loire (1969-72)	Twin roll	France	12-16mm thick. 200mm wide. Abandoned.
Present day	Krupp Stahl	Twin belt Hazelett caster	West Germany	70 x 180mm section carbon and low alloy steel
	Sumitomo Metal Industries	Twin belt Hazelett casters	Japan	30.50 x 600mm at 4-6m/min. See separate article in this feature. Now testing 1320mm wide machine
	Nucor Steel, Darlington, SC	Twin belt Hazelett caster	USA	38mm thick, 1320mm wide production plant now running.
	US Steel/Bethlehem	Twin belt Hazelett caster	USA	Joint research venture with US Dept of Energy funding.12-25mm thick, 1830mm wide.
	Kawasaki Steel, Chiba Works	Twin belt, Harizontal, Kawasaki design	Japan	30mm thick, Si-steels, stainless and carbon See *Steel Times Int. Continuous Casting Supp.* March 1987.
	Concast Service	Twin roll, inclined	Switzerland	Bottom feeding;see short story in this feature
	Irsid/Clecim	Twin roll, vertical	France	ECSC joint project;see short story in this featrue
	LTV Steel, Independence	Inside-the-ring unique caster concept	USA	Project started 1963, abandoned 1975, restarted 1985;see story in this feature.
	BSC Teesside Labs	Single belt	UK	75 x 500mm
	Nucor Steel/SMS	SMS Schloemann Siemag classical mould type	USA/West Germany	See story in this issue and *Steel Times Int. Continuous Casting Supp.* March 1987.

다고 하였다.

미국의 최대 mini mill인 Nucor은 역시 Hazelett식 연주기로 조업할 예정이며 이로 인하여 강판원가가 현재의 Slab 연주법에 비해서 $50~100/t의 안정을 가져오며 설비비도 종래의 절반 이하로 할 수 있다고 한다.

한편 single roll법으로써 Allegheny L. Steel은 stainless강을 0.05in 이하의 박판을 직접 제조하는 설비를 개발하여서 상업화를 기하면 폭 24in의 single strand로 30분간에 50t의 주조능력이 된다고 한다. 또한 Allied Corp은 1972년부터 연구하여 4in 폭의 비정질 ribbon을 연속생산에 성공하여 년 1~1.5만t의 공급이 가능하다고 한다.

일본에서는 Hazelett식과 twin roll법이 주류를 이루고 있으며 실용화면에서 stainless강을 대상으로 하는 twin roll법이 많다.

이상에서 thin slab 연주는 보통강의 양산방법으로써, strip 연주는 stainless강 등의 특수강의 주조법으로써 개발이 되고 있다. 이러한 현상은 보통강이 재질적으로 최종제품을 얻거나 as cast재에서 직접냉간압연되기가 어려워 열간가공이 냉연전에 필요하여서 strip주조에 적용이 곤란하며 현재의 hot coil의 두께에 따라 필요한 압연율을 계산하여 thin slab연주는 일반강에 대해 25~30mm로 주조하는 것이 요구된다. 이들 연주법에는 twin roll법이 응고속도가 높아 주조두께 어느 한도이상(1~10mm가 한계)에는 얻어지지 않기 때문에 2쌍의 belt 등의 동기식연주법인 Hazelett식, block caster, 수평 belt식 등이 중심이 된다.

한편 stainless강은 as cast 주조박판을 냉연·소둔공정에 적용하여 원하는 재질특성을 얻을 수 있음이 밝혀지고 있어서 process생략의 이점이 보다 높은 strip연주법의 twin roll법을 중심으로 개발되고 있다.

비철분야에서의 박판주조법의 개발동향은 이미 큰 진전을 보여서 박판생산에 상당한 비중을 차지하고 있다. 대표적으로 Al의 박판제조법을 보면 표 4에 나타난 바와 같이 산업체가 중심이 되어 개발되어서 process에 그 특성을 알 수가 있다. 또한 Cu 합금제조업체에서도 무산소동판의 수평연주와 쾌삭 양백과 인청동의 박판주조를 목표로 하여 개발에 노력을 기울이고 있는 중이다.

국내에서의 박판주조법의 동향을 보면 86년경부터 충남대에서 twin roll법으로 황동판, stainless

표 4. Typical solidification conditions during various casting processes applied to aluminium.

Casting process	Typical process-parameter ranges Growth rate, Thermal gradient, Cooling rate, Cell/dendrite spacing.*
	mm s^{-1} / K mm^{-1} / K s^{-1} / μm
Batch shaped	
Shell mould	0.1 / 0.1 / 0.01 / 150–200
Permanent mould	0.2–10 / 0.1–4 / 0.05–5 / 30–120
Pressure die	1.0–20 / 0.5–10 / 10–100 / 10–30
Semiconitinuous ingot	
DC	0.5–5 / 0.20–2 / 0.10–5 / 30–100
Mouldless DC	0.5–5 / 0.20–5 / 0.20–20 / 20–60
Isomet DC	0.2–2 / 0.05–1 / 0.01–1 / 100–150
Continuous thick strip	
Hunter-Douglas Caster Ⅱ	0.1–5 / 0.5–10 / 0.5–50 / 10–60
Hazelet	0.1–1 / 0.5–5 / 0.2–2 / 40–60
Properzi/Rigamonti	0.5–5 / 1.0–5 / 1.0–10 / 20–40
Continuous thin strip	
Hunter engineering	5.0–30 / 10–20 / 50–500 / 5–10
Pechiney-Coquilard Caster Ⅰ	1.0–20 / 5–20 / 20–400 / 5–20

* Cell spacings should be compared with primary dendrite arm spacings, but in practice it is often secondary arms that are measured in a dendritic structure.

강, Si강판 기초연구가 보고되기 시작하였으며 포항제철 산하의 산업기술연구소의 신연주개발team에서도 pilot plant 규모의 박판주조법의 연구를 수행하고 있다고 한다. 이러한 철강분야의 기초단계의 상황과 대조적으로 비철분야에서는 이미 공업적인 박판주조애의 생산이 이루어지고 있다. 이 경우는 대표적으로 대형 Al압연업체인 조일알미늄 공업사는 1982년 프랑스 SCAL사의 3C jumbo caster를 도입하여 최대 1,350mm폭의 박판을 년간 22,000t 규모로 생산하고 있으며,같은 분야의 효성알루미늄(주)는 년 18,000t 규모의 Hunter사의 Super caster를 설치하여 1,676mm폭까지 생산하고 있다. 그러나 제조합금이 제한되어서 다양한 소재개발이 되지 못하고 있다. 이의 해결을 위해서 새로운 주조기술이 연구되고 있으며 그 중의 하나로 spray deposit법이 있다. 이 법은 특히 합금원소성분이 많은 고합금난가공성 재료개발에 유리한 장점을 가지고 있으며, 이 법의 개발은 현재 KAIST에서 연구진행중에 있다. 또한 서울대학에서도 이법의 연구가 수행중에 있다.

이상에서 살펴본 박판주조법의 응용개발의 연구는 크게 증가될 것이며, 비철분야에서의 실용화 못지않게 철강분야 특히 특수강제조의 확산보급이 확실히 여겨지고 있다. 국내에서도 이에 대한 관심이 높아지고 있고 아직은 개발초기에 있으므로 산학협동으로 체계적이고 효율적인 연구개발의 노력이 이 분야의 기술개척에 주요 관건이 된다.

끝으로 해결해야 할 연구과제를 살펴보면 다음과 같다. Thin slab 연주의 과제는 고청정강의 용제와 20~50mm 두께로 용탕을 고속이동하는 주형으로 공기산화를 입지 않고 완전히 sealing되게 주탕하는 기술이 중요하다. 또한 불순물을 줄이고 표면결함(균열, 요철 등)을 발생시키지 않는 냉각방법, 압연율 등을 포함해서 열연의 사상압연방법도 중요하다. 기계설비면에서 양산경우 벨트, 롤러 등의 내구성문제 및 기존 연주의 10배에 가까운 속도로 주입하는 조업의 안정성 확보와 사상압연 밑에 직결하여 직접압연하는 경우에 열확산이 커서 thin slab의 온도제어관리도 중요한 과제이다. strip casting에서는 냉연모판을 얻고자 할때에 여러강종에 따른 요구품질을 만족시키는 문제, 조업시에 thin slab 연주와 같이 sealing하여 주탕하는 기술, 롤면과 팁간의 탕면제어기술, 균일한 용탕을 보급하는 노즐, 제품 두께의 균일성 등이 strip의 광폭화와 함께 중요한 과제이다.

1989年度 春季學術行事開催案內

1989年度 當學會 臨時總會, 春季學術研究發表 및 技術講演大會가 아래와 같이 개최될 예정입니다.

아　　래

1. **行事日時** : 1989年 5月 21日~5月 22日
2. **場　　所** : 부산소재 극동호텔

※ 5月 21日 : 臨時總會, 研究發表 및 技術講演大會
　 5月 22日 : 工場見學會