

< 技術解説 >

알루미늄 도포강판의 특성과 그 응용

권 식 철 *

I. 서 론

철·강은 철기시대 이래 우리 인류와 가장 밀접한 관계에 있어왔고 현재는 중화학공업 발전에 필수불가결한 재료이다.

그러나 녹(鏽)이 슬기 수월하다는 결점이 있기 때문에 실제 사용상에 있어선 방청처리가 요구되며, 옛날부터 이러한 방청처리는 인류의 연구과제가 되어 왔고 현재에도 계속 연구되고 있는 과제이다.

한편 알루미늄은 철에 비하여 기계적 강도면에 선 뒤떨어지나, 비중이 철의 1/3 정도로 가볍다는 장점 외에도 우수한 내식성과 미려한 외관을 갖는 특징이 있어 널리 사용되고 있다.

표 1과 표 2는 이 두 재료의 기계적·물리적 성질을 비교하여 나타낸 것이다.

표 1. 기계적 성질 (CGS 단위)

재 료	철	알 루 미 늬
탄성률 (kg/mm ²)	2.1 ~ 10 ⁴	6.3 ~ 10 ⁴
항복강도 (kg/mm ²)	12 ~ 14	1.05 ~ 2.25
경 도 (Hb)	60 ~ 65	12 ~ 16
항장력 (kg/mm ²)	25 ~ 26	4.57 ~ 4.99
신 율 (%)	80 ~ 85	50

철·강의 강도와 알루미늄의 내식성·전기전도성을 복합시켜 두 재료의 장점만을 살려 이용하고자 오래전부터 연구되었으며, 그 결과 여러가지의 도포 방법들이 개발되었다. 다음 표 3은 여러가지의 도포방법들을 나타낸 것이다.

표 2. 물리적 성질 (CGS단위)

재 료	철	알 루 미 늬
용 점 (°C)	1530	660
비 중	7.86 ~ 7.88	2.699
비 열 (cal/gm°C)	0.1107	0.215 ~ 0.257
열팽창계수 (cm/cm°C)	1.116 × 10 ⁻⁵	2.649 × 10 ⁻⁵
전기저항 (Ω/cm)	10 × 10 ⁻⁶	2.69 × 10 ⁻⁶
열전도도 (cal·cm/cm ² ·sec)	0.159	0.57

표 3. 알루미늄 도포 방법

방 법	피부의 완전도	제조가액 (저렴순위)
용융알루미늄도포법(hot-dipping)	3	1
크래딩 (cladding)	2	2
전기도금 (electroplating)	4	3
스프레이 (spray)	4	4
캐로라이징 (calorizing)	1	3

표 3에서 알수 있는 바와 같이 용융알루미늄도포법은 용융알루미늄욕에 철·강의 소재를 직접 침지시키는 간단한 작업공정으로 생산가액이 가장 저렴한 방법으로 알려져 있으며, 특히 판재와 선재의 경우는 연속작업이 용이한 방법으로 밝혀졌다. 용융 알루미늄도포법이 철·강의 알루미늄 피복처리의 주제를 이루고 있으며 흔히 이 방법을 알루미늄나이징(aluminizing)이라고 부른다. 이 방법은 19세기 말경부터 연구가 되었지만 개발이 된것은 1938년 미국의 Armco Steel 회사에 의하여 되었다. 이와같이 개발이 늦어진 이유는 알루미늄의 용점이 높기 때문에 침지 직전에 소지금속 표면의 산화피막 및 용융알루미늄

* 한국기계금속시험연구소 표면처리 연구실장

녹육상에 존재하는 산화 피막으로 인하여 도포가 방지된 다든지 또는 부속기계 장치들의 손상이 빠른데 그 원인이 있었다.

알루미늄도포강판은 그 용도 및 사용 알루미늄 녹육에 따라 두가지로 분류된다. Armco Steel 회사에서 최초로 생산한 알루미늄도포강판은 알루미늄에 7.5~9.0%의 규소를 첨가한 합금금을 사용하여 제조된 것으로 내열용의 용도에 사용되며 I형 (type I) 이라고 명명됐다. 이에 반하여 1955년에 순수한 알루미늄을 사용하여 제조된 알루미늄도포강판은 내식용의 용도로 개발 되었으며 II형 (type II) 라고 명명됐다. 표 4에 두 종류에 대한 비교표를 표시하였다.

표 4. 알루미늄 도포 강판의 종류

종류	옥조성	표준 부착량 (양면)	도포층두께
I형	Al-Si	153 g/m ²	25 μm
II형	Al	305 g/m ²	50 μm

※ 도포층두께는 표면 알루미늄두께와 합금층으로 구성되었다.

용융알루미늄 강판의 생산이 급증하기 시작한 것은 1958년 미국의 자동차 생산업자들이 자동차의 머플러에 사용하여 그 특성을 인정하고 부터이며 이에 따라서 U.S Steel 회사가 1959년, Inland Steel 회사가 1960년에 생산을 개시하면서 부터이다.

가까운 일본의 경우는 1959년 부터 주로 내열용을 목적으로 용융 알루미늄 도포 강판에 대하여 기초연구가 되었고, 그 후 미국과의 기술 제휴로 제품생산이 이루어진 것은 1965년 부터이다.

이와같이 용융알루미늄 도포강판의 역사는 반세기 정도로 용융 아연강판의 약 200년의 역사에 비하면 매우 짧다고 하겠으나, 앞으로는 용융아연강판에 비하여 여러가지의 우수한 성질을 갖고 있으므로 그의 사용범위는 확대되리라 하고 기대된다.

따라서 본 발표에서는 앞으로 우리나라에도 소개될 용융알루미늄 도포강판의 제특성을 용융아연강판과 비교 검토하여 그 사용 용도에, 이해를 증진시키고져 하는데 그 목적이 있다.

II. 알루미늄도포강판의 특성

1. 내 식 성

철과 알루미늄의 내식성을 부식도 (mg/dm²/day) 로 표시하고 다른 금속과 비교하기 위하여 다음 표 5에 나타내었다.

표 5. 각종 금속의 내식성

금속	산성			alkali 성		중성		
	비 산	화 산	산화성 산	5% NaOH		담수	해수	도시
	5% H ₂ SO ₄	5% 초 산	5% HNO ₃					
Al	15~2,000	1~10	30~150	25,000		0~1	1~100	0~1
Zn	현저히름	3,000~4,000	현저히름	75~1,000		3~60	3~60	0~2
Sn	10~2,000	10~2,000	500~800	25~50		0~3	-	0~1
Pb	0~10	100~1,000	1,000~50,000	50~5,000		1~10	2~50	0~1
Fe	100~2,000	50~2,000	1,000~50,000	0~1		1~35	1~35	5~40

표 5로 부터 아연과 알루미늄을 비교해보면, 알루미늄은 산성 용액에 대하여 아연보다 내식성이 우수하고 중성에 대하여는 거의 큰 차이가 없다고 할 수 있겠다. 그러나 알칼리성 용액에 있어선 아연이 알루미늄보다 내식성이 양호한 것을 알 수 있다.

그러나 표 5에서는 단체금속 (單體金屬)에 대하여 표시한 것으로 도포강판의 경우는 철과의 전기화학적 부식도 고려하지 않으면 안된다.

알루미늄은 아연과 철보다는 이산화 경향이 커서 부식경향이 클것으로 고려되지만, 실제로는 알루미늄표면에 치밀하고 안정된 산화피막이 용이하게 형성되기 때문에 대기중에 있어서 내식성은 아연보다 우수하다.

다음 그림 1은 각종 PH용액에 따른 알루미늄

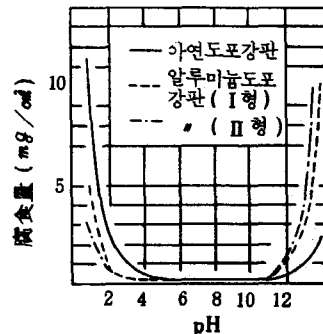


그림 1. 각종 pH용액에 의한 부식량 (상은 25 hr 침적)

과 아연 도포강판의 부식성을 표시한 것이다. PH가 4~11에서는 부식량에 큰 차가 없으나, 강산 (PH<4)에선 알루미늄 도포강의 내식성이 아연 도포강판보다 우수하고 강 알칼리 (PH>11)의 경우는 아연 도포강이 알루미늄 도포강보다 양호함을 나타낸다.

또한 표6은 중공업지대와 전원지대에서 실시한 옥외 노출시험 결과로 아연도포강은 중공업지대에서 알루미늄 도포강판보다 훨씬 중량 감소가 크게 나타남을 알 수 있다.

표 6. 옥외 노출시험결과 (2년) (mg/dm^2)

지역	시료	알루미늄도포강판	
		I종	II종
전원지대	아연도포강판	-71.3	+40.3
중공업지대	아연도포강판	-1177.0	+133.1
	알루미늄도포강판		+12.5
	알루미늄도포강판 (II형)		+96.2

위 표에서 알루미늄 도포강판은 중량변화가 증가의 경향을 표시하고 아연 도포강판의 경우는 중량변화가 감소의 경향을 나타낸 이유는 아연도포강판 표면에 부식생성물이 강우등에 의하여 씻겨나가는데 반하여 알루미늄 도포강판에 생성되는 알루미늄의 부식생성물은 불용성으로 대기중으로 부터의 강진 (降塵)과 더불어 축적되었기 때문으로 생각이 된다.

표7도 19년간의 옥외시험결과를 나타낸것으로 아연도포강판은 7년만에 아연도포층이 탈락하기 시작하여 12년만에는 철소지에 30% 이상의 녹이 발생하지만, 아연도포강판에선 19년이 지나도 거의 변화가 없으므로 지속적인 내식성을 기대할 수 있겠다.

표 7 미국 Ohio주에서의 옥외시험결과 (19년)

시료	표면상태
아연 도포 강판	7년째 아연도포층의 탈락 12년째 30%이상의 녹발생
알루미늄도포강판 (II형)	거의 변화없음. 따라서 내식성은 계속적으로 기대됨

또 수중 (水中)과 3% 염수 중에서의 내식성 침지시험결과를 표8에 표시하였다. 표8로부터 알루미늄 도포강판이 아연 도포강판에 비하여 역시 수중과 3% 염수중에서는 우수한 내식성을 나타낼을 알 수 있다.

표 8. 침수내식성시험 (Armco Steel Co. 내식성 시험)

침지조건	알루미늄도포강판		아연도포강판
	I형	II형	
수중	변화없음	변화없음	7개월에 회백점 녹발생
염수 (3%)	"	"	5개월에 회록색 점 녹발생

시험기간 : 10개월

그림2는 알루미늄 도포강판, 냉간압연, 강판, 아연도포강판 및 스테인레스강판 (SUS 27)을 포화황화수소개스중에 91일 방치한후 부식량으로 내황화성을 표시한것으로 알루미늄 도포 강판의 경우 스테인레스강판 (SUS 27)보다 더 우수한 내황화성을 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 황화수소에 의한 부식이 염려되는 석유·정제공장이나 온천지대에 적합한 재료라고 할 수 있다.

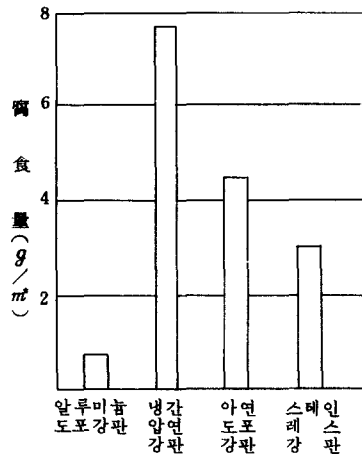


그림 2. H₂S에 의한 각종 강판의 부식량 (포화 H₂S, 91일)

2. 내 열 성

아연 도포 강판은 내식성을 목적으로한 표면 처리 강판으로 내열성면에선 좋지 않고, 특히 장시간 사용 가능한 온도는 겨우 300℃ 정도에 불과하다. 이에 반하여 알루미늄 도포강판은 우수한 내열성을 갖고 있는데 그 이유는 비교적 저온의 경우 400~500℃에서는 표면 알루미늄이 산화되어 치밀한 산화피막의 형성됨으로 인한 산소의 확산이 저지되어 소지철을 보호하는데 있고, 또한 합금화가 일어나는 정도의 온도인 500℃ 이상의 온도에서는 알루미늄의 침투로 확산되어 합금화가 이루어져 철·알루미늄 합금의 우수한 내열성(용점 1,000℃ 이상)이 소지철을 보호하는 것이다.

또한 규소가 들어있는 I형의 내열성이 우수하다고 하는것은 규소의 존재로 인하여 알루미늄의 침투로 확산 억제 작용때문에 표면 알루미늄의 소모가 적어 수명이 길어지는 것과 더불어 생성된 합금의 취성을 개선시키기 때문으로 알려졌다.

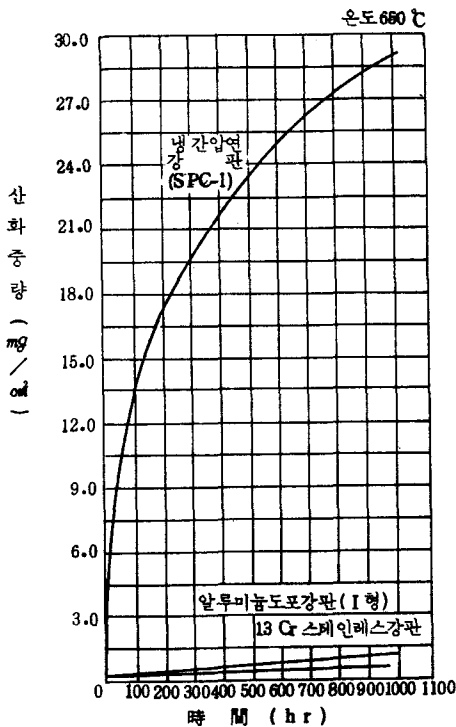


그림 3. 각종 강판의 산화시험곡선

그림 3에 650℃에 있어서 각종 강판의 산화시험결과를 표시한 것으로 특히 I형은 약 750℃까지는 충분한 내열성이 유지되어 스테인레스 강판에 필적할만한 내열성을 갖는 것으로 알려졌다.

그림 4는 알루미늄 도포강판이 여러온도에 있어서 산화증량을 시간에 따라서 표시한 것이다. 또한 그림 5와 그림 6은 규소의 함량이 다른 경우 각각 500℃와 700℃에 있어서 시간의 변화에 따른 중량변화를 나타낸 것이다. 여기에서 500℃는 합금화 온도 이하이고, 700℃는 합금화 온도 이상으로 잡은 것이다. 그림에서 규소

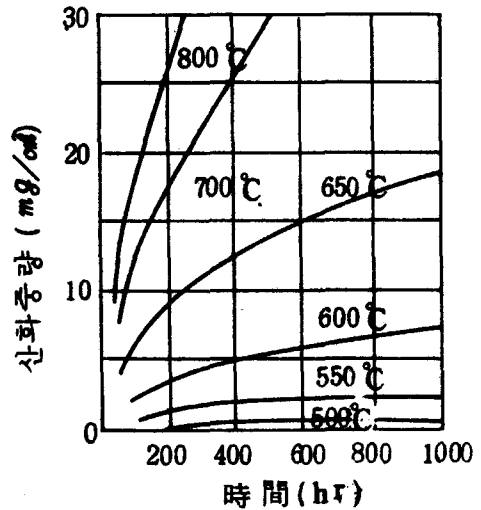


그림 4. 알루미늄 도포강판의 고온산화

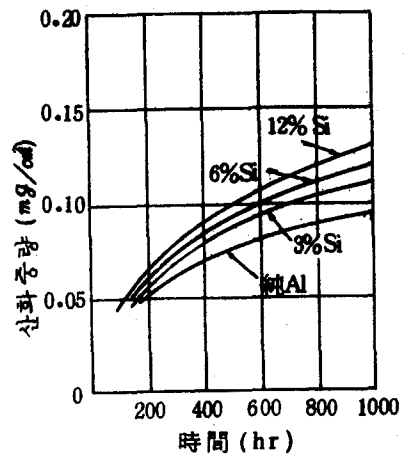


그림 5. 규소함유량과 산화증량 (500℃)

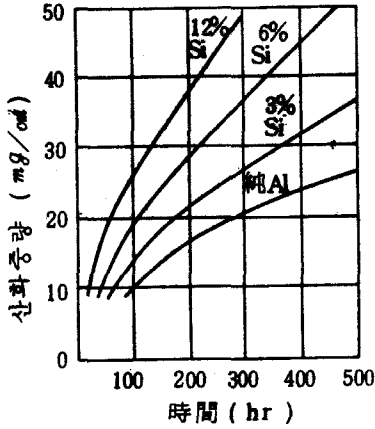


그림 6. 규소함유량과 산화증량 (700°C)

합량이 많으면 산화증량은 증가하지만, 규소를 첨가하지 않은 순수한 알루미늄을 사용한 II형은 합금층 두께가 20 μm 이상으로 가열에 의한 알루미늄층의 박리가 용이하다는 위험성이 있으므로 I형을 사용하게 된다. 실제로 II형을 공기중 450°C에서 장시간 가열하면, 외관은 완전히 변화하지 않지만 간단한 인발에 의하여 도포층이 박리가 일어난다. 따라서 내열용으로 알루미늄도포강판을 사용하는 경우 I형을 채택하지 않으면 아니된다.

마지막으로 반복가열후 아연 도포강판과 알루미늄 도포강판의 표면상태를 보면 다음 표 9와 같이 반복가열에서는 알루미늄 도포강판이 우수함을 알 수 있다.

표 9. 반복가열후 표면상태 (반복가열회수: 3회)

온도(°C)	아연도포강판	알루미늄도포강판 (I형)
450	회색	변화 없음
650	스케일화	회색
850	원형형상과 다름 회색	부분적으로 스케일화

3. 광 및 열 반사성

알루미늄 도포강판의 또다른 특성은 광 및 열의 반사성이 우수함이다. 광반사율의 경우 II

형에서 보면 그림 7과 같이 80% 이상의 광반사율을 갖는다. 이 광반사성은 표면까지 합금화가 되지 않는한 변화하지 않으며 적외선의 경우는 95%까지도 반사한다.

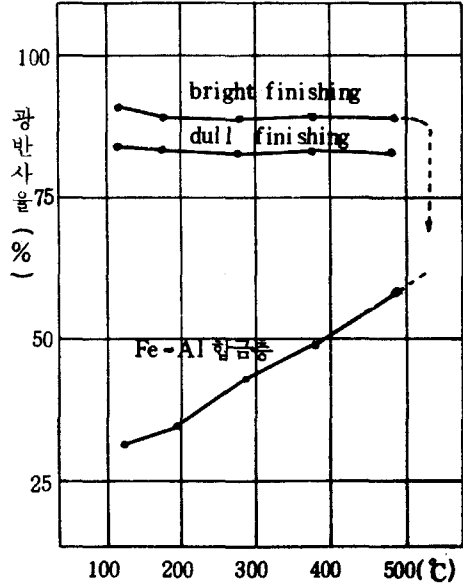


그림 7. 알루미늄 도포강판 (II형)의 광반사율 (가열시간 1hr 유지)

열반사율에 관하여도 그림 8과 같이 스테인레스 강판과 동일조건에서 가열 시험에서 스테인레스 강판이 500°C때 알루미늄 도포강판은 430°C로 70°C정도 낮고, 또 350°C 근방에서는 50°C 낮다.

이것으로 보면 열반사성도 스테인레스 강판에 필적할 수 있는 것을 알 수 있으며 난방기기 및 열기구에서 열효율이 우수한 재료임을 알 수 있다.

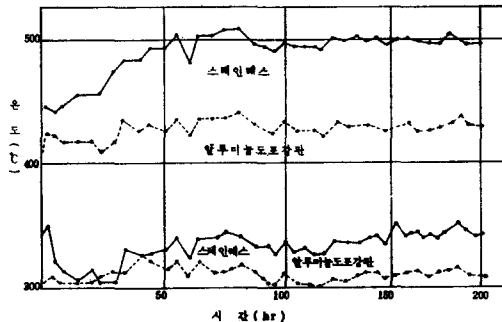


그림 8. 스테인레스강판과 알루미늄강판을 비-너스 중심으로 동일 조건에서 가열한데의 표면온도

4. 기계적 성질 및 가공성

알루미늄 도포강판의 가공성은 아연도포강판과 마찬가지로 원판의 가공성과 피막의 밀착성의 두가지 문제로 나누어진다. 원판의 가공성에 대하여는, 모재(母材)는 일반적으로 냉간 압연강판을 사용하고 있으므로, 도포전의 열처리 이력에 따라 결정된다.

한편 알루미늄 도포강판과 아연강판의 기계적 성질을 비교해 보면 표 10 과 같다.

표 10 기계적 성질

시험	알루미늄 도포강판		아연도포강판
	I형	II형	
항복점 (kg/mm ²)	20.0	24.4	26.1
인장강도 (＃)	31.4	35.6	34.7
연신율 (%)	37.6	20.2	38.6
표면경도 (Hb)	44.3	56.5	54.0
에릭슨값 (mm)	10.2	8.5	10.6
밀착굴곡	이상없음	약간의 균열	이상없음

(관두께 : 0.8 mm)

표 10 으로부터 아연도포강판과 알루미늄도포강판 (I형)의 연신율은 일반 냉간압연 강판과

거의 변화가 없다. 그러나 알루미늄도포강판 (II형)은 합금층 발달의 차이에 따라 변화한다.

에릭슨값 및 밀착굴곡에서도 알루미늄도포강판 (I형)은 아연도포강판과는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

2 종류의 알루미늄도포강판에 있어서 I형은 II형보다 가공성이 좋은 것은 합금층의 두께 감소에 의한 효과도 있지만 생성된 합금층 자체의 경소감소로 설명되고 있다. 리버스 밴드 (reverse bend) 시험결과 I형은 60~80 급 (grade) 로 II형의 30 급 (grade)보다 2배 정도 가공성이 좋은 것이 알려졌다.

III. 용도 및 장래성

알루미늄도포강판의 주된 용도는 내식용과 내열용으로 크게 나누어 생각할 수 있다. 먼저 내식용으로는 외관의 미려한 광택을 이용한 옥외용 건축재료가 주된 용도이다. 특히 내황화성이 있기 때문에 대도시 및 공업지대등의 건축자재 및 화학공장의 장치재로서 그 특성이 발휘되고 있다. 미국의 경우 1964년에는 건축용 자재로서의 급격한 사용증가가 나타나게 되었다고 한다. 이외에도 내식용으로서의 용도개발이 진행되고 있는 실정으로 지금까지 개발된 용도분야를 보면 다음 표 11 과 같다.

표 11. 용용 알루미늄도포강의 耐食用途

使用場所	要求되는耐蝕性	用途品名裝置
石油 · 石油化學	耐工業用水性 (冷 · 溫) 耐海水性 (冷 · 溫) 耐黃化水素性 耐高溫水性 耐黃化水素性 耐鹽化物性 原油	配管 (導入, 排水) Condenser cooler 廢水處理裝置용 cooler, condenser, 열교환기 및 배관유황회수 heating coil, 熱交換器
化學 plant	耐海水性 (冷 · 溫) 耐工業用水性 (＃) 耐藥品, 耐 gas 性 耐 Ammonia 性 耐工業用水性	inter cooler, out cooler 溶液 cooler, gas cooler cooler
電力 · gas	耐海水性 (冷 · 溫) 耐磨耗性 耐黃化性	灰處理裝置 海水管 脫黃裝置

使用場所	要求되는耐蝕性	用途品名裝置
	耐工業水, 耐海水性 耐 gas 性 耐藥品性 耐候性	cooler, 脱 benzol 장치 送電用 A·C·S·R線
製鐵·製鍊	耐海水性 耐工業用水性 耐腐蝕性 gas	高爐體冷却用配管, 循環 pipe, 放散塔 冷刊水配管(加熱爐, 酸素裝置) 排風裝置
機械·造船 plantmaker	耐熱水-耐海水性 耐水(冷·溫·熱)性 耐油性 耐油性 耐應力腐蝕割性	tanker - 甲板蒸排氣管 船用居住區配管, 機閥部冷却水管系 heating - coil (tanker) 油壓機器配管 stainless 鋼 熱交換器 tube
冷凍施設 溫泉 屋外構造物	耐海水 - ammonia 性 耐黃化物性 耐候性 耐候 - 耐熱性	冷凍船 ammonia condenser, 溫泉配管, 熱交換器 海岸構造物, guiderail, 同支柱 排氣筒, 煙突
電氣機器	耐溫水性	溫水 boiler (兼耐熱) 給湯配管

최근에는 알루미늄도포강판에 특수 처리를 하여 대기중에서 변색을 막고져 하는 연구가 진행되고 있다.

내열용으로는 그 대표적인 용도가 자동차의 머플러라고 하겠다. Armco Steel 회사의 내열 보고에 따라서 1963년형의 자동차의 약 90%

에 알루미늄도포강판의 머플러가 채택되어 사용되었다. 그 후엔 연소로, 연도 라디에터, 엔진 발브 등에도 사용되었으며 최근엔 수지코팅, 비금속코팅, 자기코팅의 하지로서도 사용되고 있으며 그외에 개발된 용도는 표 12와 같다.

표 12. 용용 알루미늄강의 耐熱用途

業種	使用品名施設
石油, 石油化學	油 - 油熱交換器 (耐蝕도 兼함) 空氣子熱器, 加熱管, burner - cone
電力·가스	boiler - 部品 (bolt - nut 등) 消防車部品, 重油灰處理 (兼耐蝕, 耐摩耗)
製鐵·製鍊	燒結關係 - 集塵裝置 screen plate 製鐵關係 - 熱風管 製鋼關係 - 噴出口冷却管 (兼耐蝕) 出鋼口插 cover 集塵裝置 main - burner 加熱爐關係 - 空氣子熱器, impella 鑄造關係 - cupola, 除灰板, 防塵裝置, 熱風發生爐, 熱交換器, 鑄粹

業 種	使 用 品 名 施 設
	製鍊關係 - 鋼製鍊 converter 部品, 煙道 duct, 熱交換器, 原鍊乾燥爐, 硫黃燃燒裝置, Al 合金均熱爐, 熱風管, 台車 frame 鑄鈍關係 - innercover, 鑄鈍 pot
機械 · 造船 Plant - maker	排氣消音器, 煙突, 排氣弁 各種 plant 關係 - 塵埃燒却爐, boiler 部品, 溫水罐, 熱處理 case 爐部品 - 浸炭用變成가스發生裝置 (耐浸炭性)
窯 業	rotary - kiln side liner carbon 燒成 case 集塵裝置
電氣機器	central - heating 用 溫水 boiler - (兼耐蝕)

이상과 같이 광범위한 용도를 갖고 있는 알루미늄도포강관의 생산량은 현재로서는 아연도포강관에 비하여 적다. 그러나 앞에서 언급한 특성 때문에 메이커측의 품질향상과 코-스트다운을 시키는 노력과 또한 사용자들의 그 특성을 충분히 이해하고 사용한다고 하면 현재 아연도포강관분야의 40~50%는 점유하리라고 생각된다.

IV. 결 론

알루미늄도포강관의 역사는 아연도포강관에 비하여 짧은 역사를 지니고 있지만, 그 특성의 개발과 함께 그 용도도 증가하고 있다. 일본의 경우 71년과 73년의 3년사이에 50%의 생산증가 추세를 보이고 있다.

최근 우리나라에서도 아연도포강관의 생산업체에서 알루미늄도포강관의 생산을 서두르고 있는 움직임이 있어 머지 않아 우리도 알루미늄도

포강관을 주위에서 사용하게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄도포강관의 특성을 중심으로 아연도포강관등과 비교하여 설명하여 보았다.

참 고 문 헌

- 1) 植 木 : 金屬材料 Vol 10. No 3. 55
- 2) K.G.Coburn : Metal Progress Oct. (1964), 184
- 3) 差 我 : 金屬, Vol 30, No 8, 10
- 4) P.T.Stroup : Metal Progress, Jan. (1950), 59
- 5) 多賀谷 : 金屬表面技術, Vol 12, No 11 (1961), 443
- 6) D.O.Gitting : ASM Vol 43. 587
- 7) 差 我 : 金屬, Jun (1974), 19
- 8) 伊 佐 : 金屬, Jun (1974), 25