

## 자동차 배기관용 스테인레스 강재 개발

### Development of Stainless Steel for Automotive Exhaust Systems

이 용 득\* 박 수 호\*  
Y. D. Lee, S. H. Park



이 용 득

- 1952년 4월생
- 특수강 가공 열처리 기술개발과 합금설계, 미세조직과 품질특성과의 상관성 규명 연구
- 산업과학기술연구소 스테인레스 연구실장



박 수 호

- 1962년 4월생
- 페라이트계 스테인레스강의 상변태 및 재결정 거동 연구
- 산업과학기술연구소 스테인레스 연구실

요구됨에 따라 이러한 품질특성을 갖는 스테인레스강으로 자동차 배기부품의 소재 대체가 선진국에서 급속히 이루어져 현재 미국, 일본 등지에서 자동차의 배기부품으로 페라이트계 강종인 AISI 409L, 304 강종이 사용되고 있다. 최근에는 Aluminized 스테인레스강이 개발되어 사용되고 있다. 국내에서도 이러한 국제시장의 수요요구에 따라 국내 자동차 업계에서도 Aluminized 강에서 스테인레스강으로 대체중이며 이러한 스테인레스강의 소재 전량을 외국으로부터 수입(2,700ton/'89)하여 현대강관, 삼미금속 등 국내 파이프 생산업체에서 가공제조하고 있으며 이러한 수요는 향후 2000년에 약 15,000ton/년이 예상되므로 이러한 배기강종의 국산화 개발이 시급한 실정이다.

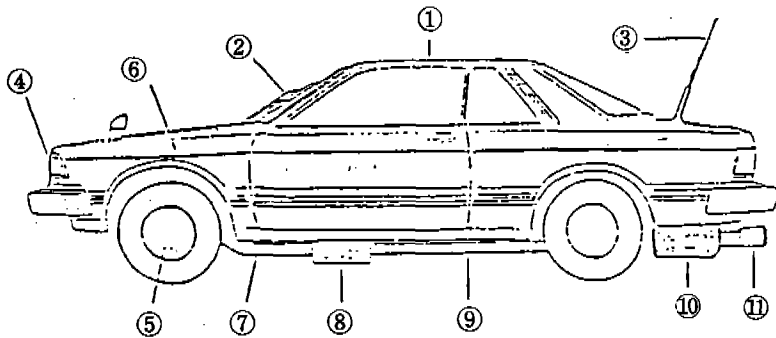
본 연구논문의 내용은 현재 국내 자동차업계에서 자동차 배기부품으로 전량 수입되고 있는 STS 409L 스테인레스강을 국산화하기 위한 개발연구에 대한 내용으로서 배기관용 스테인레스강 409L의 제조기술과 관련된 국내의 기술개발 동향과 포항제철 스테인레스 제조설비에 맞는 적정합금성분계와 조업조건을 도출하기 위하여 실험적으로 시험조사하여 품질 제특성을 평가한 연구결과이다. 주요 내용으로서 합금원소가 열연 및 냉연 소둔조업조건에 미치는 영향을 조사하기 위하여 C, N과

### 1. 서 론

국내 자동차 산업의 발달에 따라 자동차 부품용 스테인레스강의 소재 개발이 활발히 진행되고 있고 이러한 부품(약 18kg/대)의 수요가 증대되고 있다. 자동차용 스테인레스강은 Table 1과 같이 고온에서 사용되는 내열 스테인레스강과 상온에서 사용되는 외장용 스테인레스강으로 크게 분류되는데 내열 스테인레스강의 용도는 주로 배기계 부품으로 사용되고 있다. 자동차 배기부품으로 종래 사용되던 Galvanized, Aluminized 강이 연료소비 개선을 위한 차체의 경량화, 엔진의 고성능화, 배기 정화장치의 의무화, 한냉 지역에서의 제설용 염화칼슘 사용에 따른 내식성 등의 품질특성이 우수한 소재가

Table 1 자동차 부품용 스테인레스강의 사용현황

No.	部 品 名	材 質	要 求 特 性	kg/대
1	mole	SUS 430LX	耐蝕性, 加工性	2-3
2	wiper	SUS 430LX		0.5
3	antenna	SUS 304		0.1
4	head lamp ring	SUS 430LX		0.1
5	wheel cap	SUS 301, 304		0.8
6	tube, pipe	SUS 304	耐凝縮液性, 耐蝕性  高溫酸化, 耐蝕性	0.4
7	front tube	SUS 409L		3
8	converter shell	AISI 409		2
9	center tube	SUS 409L		4
10	muffler	SUS 409L		3
11	diffuser	SUS 430LX		0.5



Ti 또는 Ti + Nb 원소 첨가를 변화시킨 409 L 계열강에 있어서 소둔조업조건에 따른 재결정과 상변태 거동을 조사하였으며, TIG 용접에 의한 용접부의 기계적 특성과 가공성 그리고 고온부식 및 응축수 부식 시험을 통한 내식성 등의 품질 특성 평가를 조사 서술하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 자동차 배기관 강재의 품질요구 특성

자동차 배기관의 구조는 Fig.1에 나타낸 바와 같이 이중관으로 된 Exhaust manifold, Front pipe 등으로 구성되어 있으며<sup>1)</sup>에 대한 주요 품질요구특성은 고온특성, 내식성, 가공성, 용접성 등이다. Exhaust manifold는 종래 주철이 사용되었지만 차체 경량화에 의

한 연료비 개선을 목적으로 스테인레스강으로 박물화하여 대체되고 있다. Front pipe, Flexible pipe는 재료온도가 800℃ 정도로 상승되기 때문에 이 온도에 견딜 수 있는 고온특성 특히 가열 및 냉각 Cycle을 반복할 때 견딜 수 있는 내식성이 요구되고 또 가공조립에 의해 Press와 Pipe 제조시 확관과 굽힘을 행하기 때문에 우수한 가공성이 요구된다. 특히 파이프 제조시 파단이 일어나는 부위는 용접부위로서 용접부에서의 성형가공성 향상이 중요한 품질요구 특성 중 하나이다. 또한 Middle pipe, Silencer, Tail pipe 등은 기존 Aluminized 강이 내면과 외면에서의 부식문제 때문에 스테인레스강으로 대체되고 있는 이유이다. 내면으로부터 배기응축수에 의한 것파 외면으로부터의 부식은 해양성 염분과 겨울철 제설제에 의한 것이다. 특히 추운 지방에서는 제설제 사용이 증가되어 부식환경이 심해지고

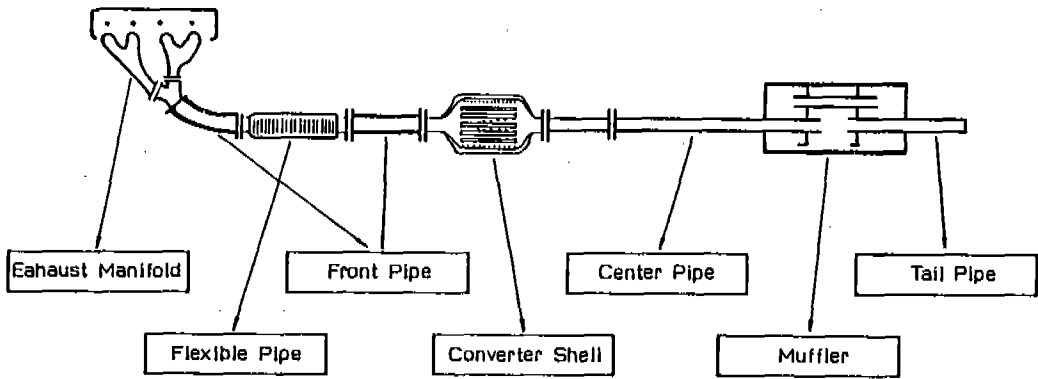


Fig.1 Typical exhaust system

있다. 배기관용 스테인레스 강에서 용접부의 내식성과 가공성이 중요한 품질요구 특성이므로 배기관 부품을 제조하기 위해서는 강관제조시 일반적으로 TIG 용접에 의해 제조되고 있는데 제조시 용접부의 경도변화 폭이 클수록 확관 제조시 가공성 불량으로 파단이 자주 발생되므로 용접시 입열, Upset 등의 관리를 최적조건으로 행해주어야 한다. 또한 최근에는 고주파 유도용접에 의한 제조기술<sup>2)</sup>이 개발되어 TIG 용접제조에 비교하여 생산성이 수십배 향상되는 이점이 있지만 강관의 표면 Roll 결함, 용접부 결함 등이 발생하는 단점이 있어 적정 용접조건설정과 유지, 스테인레스강의 비금속 개재물 저감이 강관품질 확보에 중요한 항목이다.

## 2.2 배기관용 스테인레스강 409L의 합금 성분과 조직

페라이트(ferrite)계 스테인레스강의 상변태 거동은 합금원소의 조성 및 밀접한 관계를 가지고 있다. Fig.2는 Fe-Cr 이원계 합금의 상태도인데 저Cr 영역의  $\gamma$ -loop 부분을 확대한 것이다. 상태도에서 보는 바와 같이 Cr 함량이 14.3% 이상인 경우 고온에서 페라이트 상만이 안정한 상으로 존재하게 된다.<sup>3)</sup> 그러나 Fe-Cr 이원계 합금에 C, N, Si 등과 같은 제 3 원소가 첨가되는 경우 상태도는 변화하게 된다. 특히 C, N 과 같은 침입형 원소는 오스

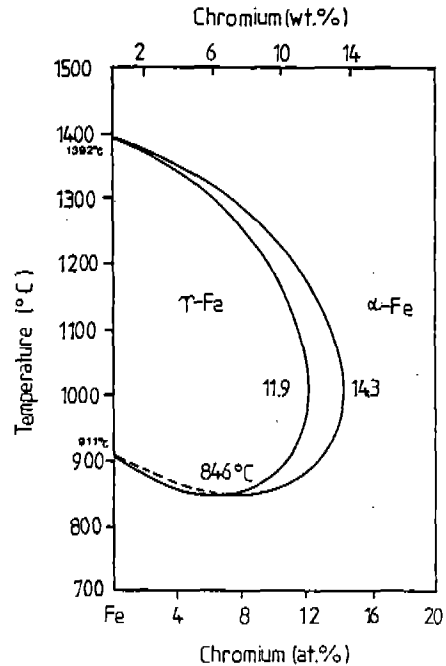


Fig.2 Iron-chromium phase diagram

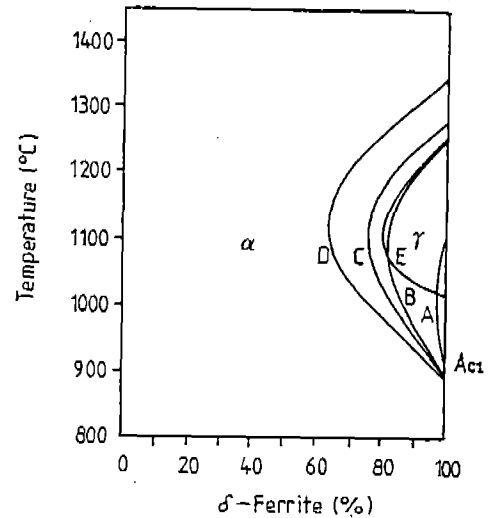
테나이트(austenite) 안정화 원소로서 C, N 함량에 따라 상태도상에서 오스테나이트 영역이 확대된다. 합금성분에 따른 오스테나이트 함량 변화 및  $Ac_1$  변태온도 변화는 페라이트계 스테인레스강의 합금성분계 설정 및 소둔 조업과 같은 제조조업조건 설정에 있어서 매우 중요한 인자가 되고 있다. C, N, Ni, Mn 등의 오스테나이트 안정화원소와 Cr, Si, Ti

등의 페라이트 안정화 원소가 상의 안정성에 미치는 효과를 Kaltenhauser의 Ferrite Factor<sup>4)</sup>로 설명할 수 있다.

$$\text{Ferrite Factor (F.F)} = [\text{Cr} + 6\text{Si} + 8\text{Ti}] - [40(\text{C} + \text{N}) + 2\text{Mn} + 4\text{Ni}]$$

이 식은 Thielemann의 실험결과<sup>5)</sup>에 근거를 두고 Kaltenhauser에 의해 만들어진 것인데 한마디로 말해서 F.F는 합금원소가 상평형에 미치는 효과를 나타낸 것이다. 위의 식에서 보는 바와 같이 합금원소중 C, N의 영향이 가장 크므로 C, N이 상평형에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 진행되어져 왔으며 스테인레스강의 특성 규명과 강종 개발에 적극 이용되고 있다.

R. Castro와 R. Tricot<sup>6)</sup>는 Fe-17.3% Cr 강의 C, N 함량 변화에 따른 페라이트양 변화에 관한 연구를 하였다. Fig.3에서 보여지는 바와 같이 0.08%의 (C+N)을 함유한 것은 1,100°C에서 최대로 24%의 오스테나이트 조직을 보이는데 0.3%의 (C+N)을 함유한 것은 1,000°C에서 약 2%의 오스테나이트만이 존재하게 된다. 이와 같이 C, N 함량이 적을수록 페라이트량은 상당히 줄어드는 것을 알 수 있다. 한편 Ac<sub>1</sub> 변태점은 C, N양에 따라 870°C에서 900°C까지 변화하는데 C, N 함량이 낮을 수록 약 30°C정도 증가하는 것을 보여주고 있다. 동일한 Cr과 C, N을 가지는 합금에 Ti을 첨가하는 경우에는 오스테나이트 양의 변화는 크지 않으나 Ac<sub>1</sub>이 900°C에서 1,020°C로 120°C정도 크게 증가하는 것을 알 수 있다. Cr이 11%로 낮은 409강에 있어서도 17% Cr 강과 유사한 거동을 나타낼 것으로 생각되므로 11% Cr 강에 있어서 C, N 함량을 낮추거나 Ti, Nb 등을 첨가하여 C, N을 탄화물과 질화물 형태로 안정화 시킴으로서 고온에서 안정한 페라이트상을 얻을 수 있다. C은 Cr보다 Ti과 더 큰 친화력을 가지고 있으므로 Ti은 409강을 안정화하는데 이용된다. Ti 안정화는 입계에 Cr 탄화물의 석출에 기인한 입계부식과 예민화를 감소



	A	B	C	D	E
% C	0.012	0.049	0.066	0.091	0.060
% N	0.016	0.013	0.013	0.013	Ti: 0.21

Fig.3 Influence of carbon, nitrogen and titanium content on the changes of percentage of delta ferrite against temperature (Fe-17.3% Cr)

시키며 용접부의 내입계부식성을 향상시킨다. Ti 첨가에 의한 석출물은 Ti 탄질화물로 생각되어지며 Pollard와 Aronson<sup>7)</sup>은 Ti 탄질화물이 페라이트와 동등한 내식성을 가지고 있으므로 이 석출물에 기인한 부식을 일어나지 않는다고 발표하고 있다.

### 2.3. 합금성분변화와 적정소둔조업조건

STS 409L 강에 있어서 냉연강판 제조시 양호한 입연성 및 기계적 성질을 얻기 위해서는 페라이트 단상을 얻어야 한다. 페라이트 단상조직을 만들기 위해서는 오스테나이트 상영역을 줄여야 한다. 409L 강에 있어서 조직변화에 영향을 미치는 성분원소는 Cr, Ti, C, N이다. 이중에서 Ti와 C, N 등 미량 첨가 원소가 조직변화에 직접적인 관련이 있으며 소둔조업조건을 설정하는데 있어서 큰 요인이 된다. 합금원소가 조직에 미치는 인자로서는 Ti/C+N 값과 Ferrite Factor를 들 수 있다.

Table 2 Chemical composition of 409 stainless steels.

STEEL	C	N	Si	Mn	Cr	Ti	Nb	$\frac{Ti + 0.7 Nb}{C+N}$	F. F.
409-1	0.035	0.0120	0.44	0.53	11.30	0.20	-	4.25	12.6
409-2	0.008	0.0115	0.43	0.53	11.20	0.12	-	6.12	12.8
409-3	0.017	0.0036	0.49	0.52	10.80	0.18	-	8.74	13.3
409-4	0.017	0.0046	0.28	0.51	10.80	0.23	-	10.65	17.9
409Ti	0.024	0.0105	0.45	0.43	10.68	0.32	-	9.3	13.54
409TiNb	0.024	0.0266	0.67	0.39	11.66	0.11	0.27	5.9	14.64
NAR 409	0.010	0.0100	0.48	0.24	11.29	0.22	-	11.0	14.65

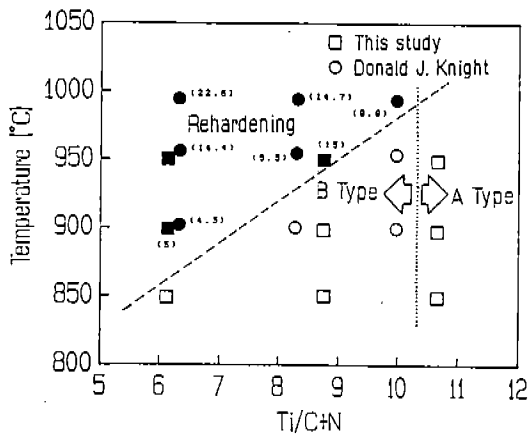


Fig.4 Rehardening at annealing temperature for 5 min as related to the Ti/C+N ratio in Type A and B steels  
( ): value of rehardening,  $H_{RB}$

즉 적정조직을 얻기 위한 합금성분 설계의 기준이 되는 인자로서  $Ti/C+N$  값과 Ferrite Factor의 적정값을 도출하기 위해서 Table 2에 나타낸 바와 같이 Ti와 C, N을 변화시켜 열연 및 냉연소둔관의 조직과 경도변화를 조사한 결과를 Fig. 4에 종합하였다. 이 결과에 의하면  $Ti/C+N$  값이 10.65인 409-4강종은 소둔열처리시간에 따라 경도값이 감소하고 있으며  $Ti/C+N$  값이 8.7 이하인 409-1, 2, 3 강종은 초기에는 감소하다가 증가하는 것을 보여주고 있다. 본 연구결과에서는 소둔열처리시 이러한 경도상승이  $Ti/C+N$  값이 10 이하에서 일어나는 반면 D. Knight와 D. Jarvis의 결과<sup>8)</sup>에 의하면 C+N 함량이 0.016~

0.025% 범위인 409L 강종에 있어서  $Ti/C+N$  값이 12 이하에서 나타났다. 이상과 같이 연속소둔 열처리시 페라이트 단상조직을 얻기 위한  $Ti/C+N$  값은 절대 C+N 양에 따라 달라지게 된다. 한편 상소둔 열처리에 비교하여 연속소둔 열처리로 조업할 경우 생산성 향상 및 성에너지 효과가 있으며 제품의 재질편차 및 결함감소에 의한 품질향상 효과가 있기 때문에 연속소둔이 가능한 적정  $Ti/C+N$  값을 가지도록 합금성분 설계를 해야하며 이러한 성분설계는 용접후 페라이트 단상조직을 얻기 위한 조건과 일치되는 것이다.

#### 2.4 Ti 과량 첨가에 따른 제조공정상 문제점과 대책

Ti 원소는 Cr 원소보다 C, N와의 친화력이 크기 때문에 Ti 탄질화물을 생성하여 Cr 탄화물을 석출시키지 않고 TiC 석출물질로 존재하게 하여 409L 강을 안정화 시키는 것이다. Ti의 안정화 역할은 Cr 탄화물의 입계 석출로 기인하는 입계부식과 에민화를 감소시키며 용접부의 내입계 부식성을 향상시키는 것이다. Ti 첨가에 의해석출되는 석출물은 Ti 탄질화물로서 용강상태인 고온에서 온도가 낮아짐에 따라 형성되는 석출물은 TiN, TiCN, TiC 순서로 형성되며 이러한 Ti 탄질화물이 페라이트와 동등 이상의 내식성을 가지고 있으므로 이들 석출물에 기인한 부식은 일어나지 않는다고 설명하고 있다.<sup>7)</sup> 이와 같이 Ti 첨가는 C, N을 Ti 탄질화물로 생성하게 하여

안정화 시키는데 강중 C, N 함량 변화에 의한 Ti/C+N 적정비에 따라 AOD 정련 제조법에 의해 생산된 409L 강은 C, N 함량을 저감시키는 제한(C, N $\geq$ 0.02%)이 있으므로 VOD 정련제조법에 의해 제조된 409L 강 보다 C, N 함량이 많으므로 이에 따른 Ti 첨가량도 증가되기 때문에 TiO<sub>2</sub>, TiN 개재물에 의한 Cluster 형성으로 연주시 노즐막힘과 슬라브 표면품질이 불량하게 된다. TiN 석출물은 용융 금속 보다도 밀도가 작기 때문에 표면에 부상되어 Slag 로 부착되거나 연주완료시 슬라브 표면에 주로 포집되어 표면결함을 일켜서 슬라브 표면과 열연코일 표면을 반드시 연마하여야 되고 표면결함 발생에 따른 스크랩(scrap) 발생 증기와 열연코일 연마에 따른 가공비 증가 때문에 생산성 저하와 제조원가가 상승되는 문제점이 있다. 409L 페 라이트계 스테인레스강의 Cluster 표면결함은 제강 및 연주시 Ti 산화물과 질화물의 석출을 억제하면 실제 조업에서 결함발생을 방지할 수 있다. 이러한 방법은 C과 N을 가능한 낮추어 정련하여 TiN 석출물의 량을 줄이는 것이다. 그러나 AOD 정련법으로 TiN이 석출되지 않는 N함량 범위로 낮추는 것은 Cr 손실이 증가함에 따라 비경제적이고 N함량을 낮추는 것도 제한(N $\geq$ 0.015%)되어 있다. 통상 AOD

정련조업에서 N의 함량범위에서 TiN 석출물이 석출되지 않는 용해도곡선의 하한으로 Ti 첨가량을 낮추어 연주시 Ti 질화물이 석출되지 않게하여 슬라브와 열연장판의 표면품질을 향상시키고 Cr 탄화물과 오스테나이트 상조직이 생성되지 않게 하기 위하여 C를 안정화 시키는 원소로 대체하면 Ti 다량첨가에 따른 표면품질 악화를 방지할 수 있다. 이러한 원소로서는 Nb, Zr 등이 있는데 특히 Nb은 Ti 보다 C과 친화력이 강하여 강력한 탄화물 생성요소이고 용강에서 NbN의 생성에너지가 낮아 TiN과 같이 생성되지 않고 페라이트 생성 원소이므로 용접시 오스테나이트상이 생성되지 않으므로 강판표면이 양호하고 재질이 우수한 배기관용 스테인리스 강재를 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

### 2.5 합금성분 변화에 따른 용접부 조직 변화

자동차 배기관용 페라이트 스테인레스강에서 용접부의 조직변화와 품질요구 특성인 가공성, 내식성, 충격인성과의 상관관계를 고찰하여 보면 용접부에서 페라이트 단상조직을 얻는 것이 무엇보다도 중요하다. 페라이트강을 용접할 경우 용접부 및 열영향부가 Ac<sub>1</sub> ( $\gamma/a$ ) 변태 온도를 넘기 때문에 페라이트 상

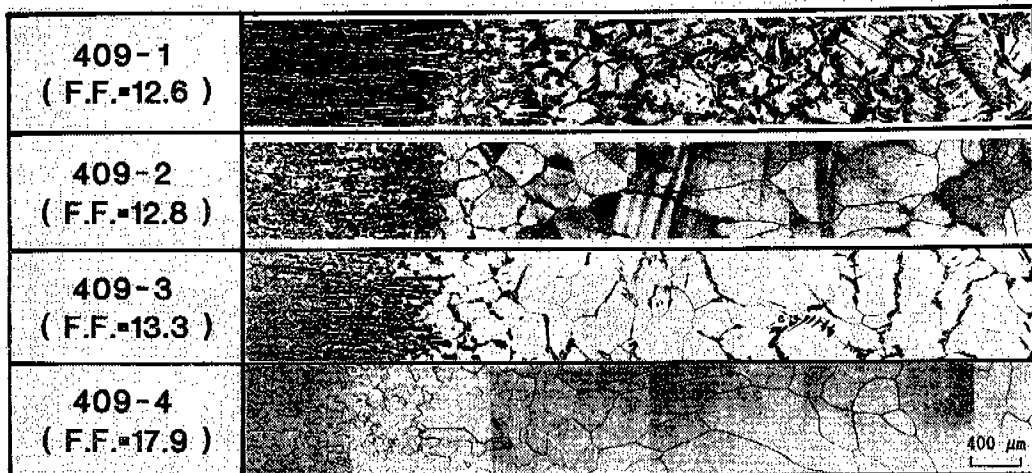


Photo 1 Typical welding structures of 409-1, 409-2, 409-3, and 409-4 steels

의 안전성을 나타내는 Ferrite Factor를 고려해야 한다.

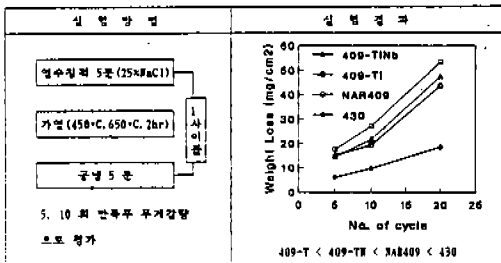
F.F (ferrite factor)에 가장 영향을 미치는 원소는 오스테나이트 안정화 원소인 C, N인데 용접부의 조직이 페라이트 단상을 얻기 위해서는 이러한 C, N을 줄이거나 탄질화물 형성원소인 Ti 또는 Nb를 첨가하여 F.F. 값을 증가시키는 것이다. Photo 1은 강종별 용접부의 조직을 나타낸 것인데 F.F. 값이 17.9인 용접부의 조직이 페라이트 단상이며 F.F. 값이 각각 12.6, 12.8, 13.3인 409-1, 2, 3은 용접부 및 열영향부에 마르텐사이트가 존재함을 보여주고 있다. 409L 강 관련 타연구결과<sup>9)</sup>에 있어서도 용접부에서 페라이트 단상조직을 얻기 위해서는 F.F. 값이 13.5 이상이 되어야 한다고 보고한 바가 있다. 용접부 조직에 있어서 마르텐사이트 조직이 존재하면 Fig. 5와 같이 내식성, 가공성, 충격인성 등 품질특성이 악화되므로 페라이트 단상조직을 얻기 위한 적정 Ti/C+N 값과 F.F. 값을 도출하여 합금설계가 이루어져야 하며 용접 후 모재와 용접부의 경도 변화의 폭을 적게하여 확관가

공성이 향상되도록 용접시 입열, Upset 등의 관리를 최적조건으로 행해주어야 한다. 또한 용접부의 확관가공성을 향상시키기 위해서는 마르텐사이트상 생성이 없는 페라이트 단상조직으로서 조대한 결정이 없어야 한다. 이러한 관점에서 강종 오스테나이트 생성원소인 C, N성분을 Ti 또는 Nb 첨가로서 탄화물로 안정화시켜 주므로써 마르텐사이트 생성방지로 용접부의 경도상승을 방지하여 확관가공성이 향상되며 Cr 탄화물 생성을 방지하여 내식성이 향상되는 것이다. Ti 첨가에 의한 TiC 석출물은 850°C 온도 이상에서 서서히 고용되어 약 1,200°C에서 완전히 고용되며 TiN은 1,300°C 온도의 고온에서도 고용되지 않는다.<sup>9)</sup> Nb 첨가에 의한 NbC 석출물은 TiC보다 약 50°C 높은 온도인 900°C에서 고용되기 시작하여 약 1,250°C에서 완전히 고용되어 NiC보다 NbC가 높은 온도에서 안정하다고 하였다.<sup>10)</sup>

### 2.6 AOD 정련설비에 적합한 409L 강의 합금성분계 설정

자동차용 배기부품으로 사용되는 STS 409, 409L 강종에 대한 외국 제철소의 성분조정 범위는 Table 3와 같다. STS 409L 강은 0.03% 이하의 C를 함유하는 11% Cr 강에 Ti를 첨가하여 C를 안정화시킨 페라이트계 스테인레스강 중에서 최저 Cr을 첨가하여 가격이 저렴할 뿐만 아니라 Ti를 첨가함으로써 내식성이 우수한 자동차 배기계 부품용으로 개발된 강종이다. 자동차 배기관용 강재로서 요구되는 품질 특성은 앞에서 언급한 바와 같이 고온특성, 내식성, 용접성, 가공성이며 이러한 품질특성은 합금성분중 C, Si, Cr, Ti 등 성분에 따라 변화되는데 특히 C, N, Ti 성분의 함량비율(Ti/C+N ratio)에 따라 크게 좌우된다. C, N 성분은 낮을수록 품질특성은 향상되는데 VOD를 사용하여 C를 더욱 더 낮추어 Ti 합금원소 첨가량을 감소시킬 수 있다. 현재 POSCO의 AOD 제강설비 능력상 제한(C+N ≥ 0.03%)을 받기 때문에 설비 운영 여건상 최적 품질특성을 얻을 수 있는 적정

(a) 고온열 부식시험



(b) 용접부 인계부식시험 (EPR Test : Electrochemical Potentiokinetic Reactivation)

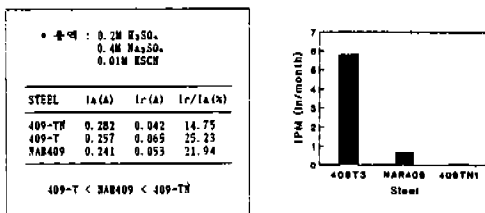


Fig. 5 Weight loss after hot corrosion test at 650°C (a) and intergranular corrosion for HAZ of various stainless steels after EPR test (b)

Table 3 Chemical composition of commercial 409 stainless steels.

MAKER	GRADE	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
川 岐	R 409 SR	0.005	1.40	0.51	0.021	0.006	11.40	0.26
	R 409L	0.010	0.50	0.50	0.025	0.005	11.20	0.15
新 日 本	YUS 409D	0.010	0.50	0.35	0.024	0.007	11.05	0.23
日 本 冶 金	NAS 409L	0.011	0.45	0.50	0.021	0.003	11.14	0.30
日 新	NSS 409M 1	0.010	0.32	0.30	0.020	0.005	11.19	0.35
日 本 스텐	NAR 409	0.010	0.48	0.24	0.028	0.001	11.29	0.22
KRUPP	NIROSTA	Max.	0.4	0.4	Max.	Max.	11.0	0.20
	4512	0.015	0.6	0.6	0.040	0.008	11.4	0.30

Ti/C+N 비율을 도출하는 것이 매우 중요하다. 이와 같이 용접후 용접부조직이 페라이트 단상조직을 얻기 위한 성분설계 기준의 하나가 Ti/C+N 값으로 나타나는데 C+N을 0.016~0.025% 함유하는 409 계열강에 있어서 Ti/C+N이 12 이상 되어야 한다고 보고한 바가 있으며<sup>1)</sup> 외국제철소 조업기준의 예로서 C+N이 0.035%인 경우 적정 Ti/C+N 값을 7.4~8.4로 하여 409L 강을 생산하고 있지만 본 연구결과에서는 C+N 범위가 0.021~0.061%를 함유하는 409L 강종에 있어서 Ti/C+N 값이 10 이상이 되어야 페라이트 단상조직을 얻을 수 있다는 결과를 얻었다. 그러나 AOD 제강설비 능력상 제한(C+N ≥ 0.03%)을 받기 때문에 Ti 첨가량 증가에 따른 과량 Ti 첨가는 연주시 Nozzle Clogging 발생과 슬라브 표면 품질을 악화시키므로 일부 Ti 첨가를 Ti 원소와 동일한 탄질화물 원소인 Nb를 적정 첨가 대체하므로써 고온인 용강상태에서 NbN, NbO<sub>2</sub>가 TiN, TiO<sub>2</sub>와 같이 발생되지 않기 때문에 표면품질과 용접부의 품질특성을 향상시킬 수 있다. Nb+Ti 복합첨가 409L 강에서 Ti 적정 첨가량은 본 연구결과로부터 C+N 함량범위에 따라 적정 Ti 첨가량은 409L 강의 성분계로부터 다음과 같은 계산식  $Ti + 0.7 Nb = 4(C+N) + 0.15$ 로부터 얻어 질수 있다. 용강의 응고온도에서 과열도(35°C)를 고려한 연주 Tundish 온도에서 TiN 개재물이 석출되지 않는 Ti 첨가량 즉 TiN 용해도 적 식으로부터 얻어지는 값이 적정량이고 나머지 Ti을 Nb로 대체 첨가하면 된다.

여기서 Nb 첨가량은 화학당량론에 의해  $Nb = 0.5 Ti$  이지만 실제 Nb는 Ti 보다 C과의 결합력이 강하고 고온에서 TiN과 같이 NbN이 생성되지 않으므로 0.7Ti 이상의 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 상기 계산식으로부터 C: 0.02%, N: 0.02%인 경우 연주 Tundish 온도에서 TiN이 석출되지 않는 범위로서 409 강의 적정 Ti 첨가량(전체 Ti 필요량: 0.32%)은 0.015%이고 Nb 첨가량은 0.24% 범위라고 생각되며 Nb 첨가량을 0.4% 이상으로 하는 경우 연속주조 또는 용접시 고온균열이 발생될 가능성이 있다.

### 3. 결 언

본 연구개발은 Nb+Ti 복합첨가 409L 강의 배기관용 강재는 AOD 정련설비 능력상 제한을 받는 C, N 함량에 관계없이 제조할 수 있고 VOD 정련제조 409L 강에 비교하여 동등 이상의 품질특성을 얻을 수 있다는 연구결과를 얻었다.

### 참 고 문 헌

1. 久松定興, 特殊鋼, 37(1988), 12, p.26.
2. 川谷浩一, 佐藤亮, 日新製鋼技報, 50(1984), 6, p.96.
3. G. Kirchner, T. Nishizawa and B. Uhrenius, Met. Trans A 4(1973), p.167.
4. R. H. Kaltenthaler, Metall. Eng. Quart., 11(1971), 2, p.41.



5. R. Thielmann, ASTM Proc. 40(1940), p.788.
6. R. Castro and T. Tricot, Sci. Rev. Met. 63(1964) 7. p.657.
7. B. Pollard, A. H. Aronson, Metall. Eng. Quart., 13(1973), 3, p.28.
8. D. J. Knight and D. G. Jarvis, Mech. Working and Steel Processing, 23(1986), p.79.
9. C. Aslund, Scand. J. of Metall., 5 (1976), p.206.
10. K. Eastering, "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", Butterworths, London, (1983), p.122.
11. 李胤龍, 朴秀湖, 金鶴, "Ferrite계 스테인레스강의 연속소둔조업기술개발", 산업과학기술연구소 연구보고서(1989).