

스테인리스강의 용접

최근 한국철강협회 스테인리스스틸클럽(용접가공 및 부식분과위원회)은 스테인리스강의 용접기술 향상을 위해 「스테인리스강의 용접」을 펴냈다.

「스테인리스강의 용접」은 스테인리스강 일반에서부터 금속조직에 의한 분류별, 구체적인 용접성 및 시공방법, 이종금속의 용접에 이르기까지 일목요연하게 수록하여 스테인리스강의 용접시공을 담당하는 사람들의 필요지식을 중점적으로 해설하고 있어 관계자의 기술향상에 기여함과 동시에 향후 스테인리스강 용접사의 자격 인증시 필독서가 될 것으로 보여진다.

이에 본지는 설비건설인들의 도움이 되고자 「스테인리스강의 용접」을 연재로 게재할 계획이다. 독자 여러분의 많은 참고를 바란다. [편집자 註]

글 실는 순서

- 제1장 스테인리스강 일반(이번호)
- 제2장 용접방법 및 적용
- 제3장 오스테나이트계 스테인리스강의 용접
- 제4장 페라이트계 및 마르텐사이트계 스테인리스강의 용접
- 제5장 이종 스테인리스강의 용접
- 제6장 스테인리스강의 부식



제1장 스테인리스강 일반

1.1 스테인리스강의 정의

스테인리스강은 내식성을 주요 특성으로 하는 고합금강으로써 표면이 미려하고 가공이 용이하여 의장성이 뛰어난 뿐 아니라, 강도와 내열성 및 내마모성이 우수하여 용도가 매우 다양하며 광범위하다. 스테인리스강은 탄소강에 다량의 크롬(Cr)을 함유시킨 강으로 강 중의 Cr이 공기 중의 산소와 반응하여 강의 표면에 매우 얇고 연속적이고 안정한 크롬산화물 필름(30~50 Å 두께의 부동태 피막)을 형성하여 강의 표면을 부동태화함으로써 화학반응으로부터 보호해 준다. 강이 자연 발생적 내식성을 갖기 위해서는 최소한 11~12% Cr을 함유하여야 한다. 이렇듯 내식성이 우수한 스테인리스강은 일반 탄소강이나 알루미늄재에 비하여 도장과 같은 방청처리가 필요 없으나, 금이나 백금과 같이 녹이 전혀 슬지 않는 금속은 아니기 때문에 취급에 약간의 주의가 요구되며, 세심하게 선택 후 적절한 가공을 실시한다면 선택한 강종의 기본특성을 최대한도로 이용할 수 있다.

1.2 스테인리스강의 분류

강이 철(Fe)을 기지금속으로 하여 탄소(C)를 첨가한 것이라면, 스테인리스강은 Fe에 Cr을 다량 함유한 강이며, 용도에 따라 내식성, 기계적 성질, 용접성 및 절삭성 등을 향상시키기 위해 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo), 구리(Cu), 망간(Mn), 실리콘(Si), 알루미늄(Al), 탄소(C), 질소(N), 황(S), 세륨(Se), 티탄(Ti)등을 합금 한다.

그림 1.1은 Fe-Cr에 대한 평형상태도를 나타낸 것으로 Cr의 함량에 따라 체심입방격자(BCC)인 페라이트 영역과 면심입방격자(FCC)인 오스테나이트 영역이 존재하고 있음을 알 수 있다. 합금원소 중 C, N, Mn 및 Ni과 같은 원소는 오스테나이트 안정화 원소로 상태도 상의 오

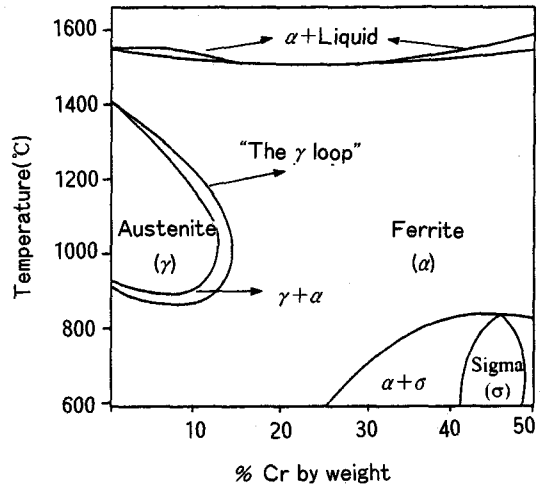


그림 1.1 Fe-Cr의 평형상태도

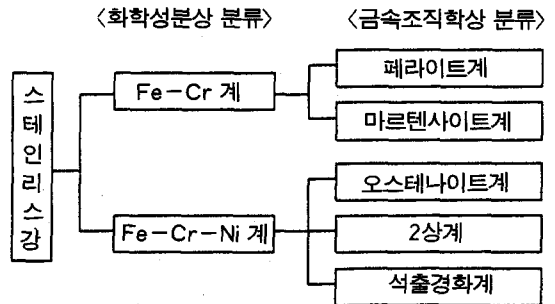


그림 1.2 스테인리스강의 분류

스테나이트 영역을 확대하고, Cr, Si 및 Mo과 같은 원소는 페라이트 안정화 원소로 페라이트 영역을 확대하는 특성을 지니고 있다. 따라서 Fe-Cr 평형상태도에서 가장 중요한 것은 감마 루프(γ-loop)로 알려진 오스테나이트와 페라이트 간의 경계이며, 주로 Cr과 Ni의 함량에 따라 강종이 변하게 된다.

스테인리스강은 그림 1.2에서 보이는 바와 같이 화학성분상 Ni의 함유 유무에 따라 크게 Fe-Cr계 또는 Fe-Cr-Ni계로 대부분류되며, 화학성분 변화에 따른 금속조직학상의 차이에 따라 페라이트(Ferrite)계, 마르텐사이트(Martens-

ite)계, 오스테나이트(Austenite)계, 2상(Duplex)계 및 석출경화(Precipitation Hardening)계 등으로 분류할 수 있다.

오스테나이트 안정화 원소들과 페라이트 안정화 원소들은 성분별로 각 상의 안정화에 미치는 정도가 차이가 나기 때문에 Ni을 기준으로 오스테나이트 안정화 원소들의 기여도 정도를 Ni 당량 그리고 Cr을 기준으로 페라이트 안정화 원소들의 기여도 정도를 Cr 당량으로 표기하고, 두 당량을 축으로 하여 합금성분의 함량 차이에 따라 스테인리스강의 조직학적 분류 영역을 분류한 도표는 Schaeffler diagram으로 잘 알려져 있으며 그림 1.3과 같다.

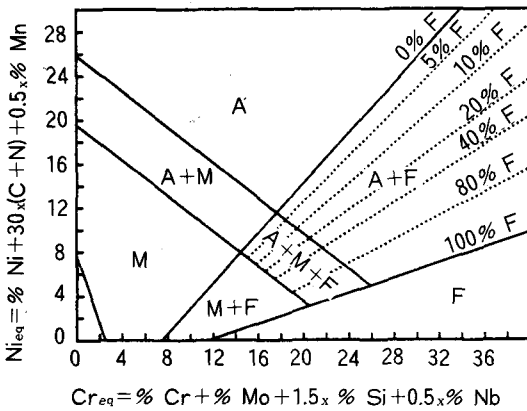


그림 1.3 스테인리스강의 조직에 미치는 Ni 및 Cr 당량의 영향
A: 오스테나이트, F: 페라이트, M: 마르텐사이트

Fe-18%Cr을 기본으로 하는 페라이트계, Fe-13%Cr을 기본으로 하는 마르텐사이트계 및 Fe-18%Cr-8%Ni을 기본으로 하는 오스테나이트계가 전체 스테인리스강 생산량의 약 90%를 차지하고 있으며, 2상계 및 석출경화계는 주로 특수목적으로 사용되기 때문에 생산량이 작다. 특별히 우수한 성질이 요구될 때는 Cr,

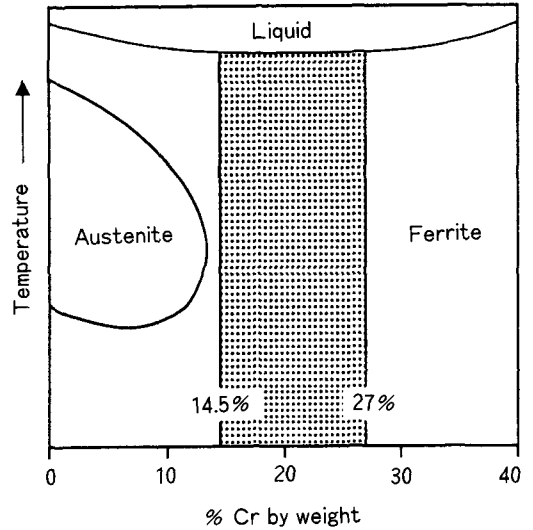


그림 1.4 페라이트계 스테인리스강의 크롬함량 범위

Ni, Mo 및 N 함량이 높은 슈퍼 스테인리스강이 사용되기도 하지만, 각 강종별로 기본조성에 첨가원소를 변화시켜 다양한 용도에 맞게 개발되어 있다.

1.2.1 페라이트계

순수 Fe-Cr 이원계 합금은 Cr이 14.5% 이상 함유되면 그림 1.4와 같이 고온에서도 γ -loop 바깥에 존재하여 전 온도 구간에서 페라이트 조직을 가지게 되고 Cr 함량이 증가함에 따라 강의 내식성이 향상되므로, 용도에 따라 Fe-Cr계인 페라이트계 스테인리스강은 통상적으로 14.5~27%의 Cr을 함유하고 있다. Fe-Cr 이원계 합금에 여러 합금원소가 첨가되는 경우는 상태도가 변화하게 된다. 특히 γ -loop 확장에 관계되는 합금원소가 많아지면 페라이트 조직을 확보하기 위하여 Cr 함량을 증가시켜 주어야 한다.

일반적으로 건축소재, 싱크, 가정용 기구 및 건축물 테두리로 많이 사용되는 페라이트계 스테인리스강은 소둔 열처리된 상태로 사용되며, 합

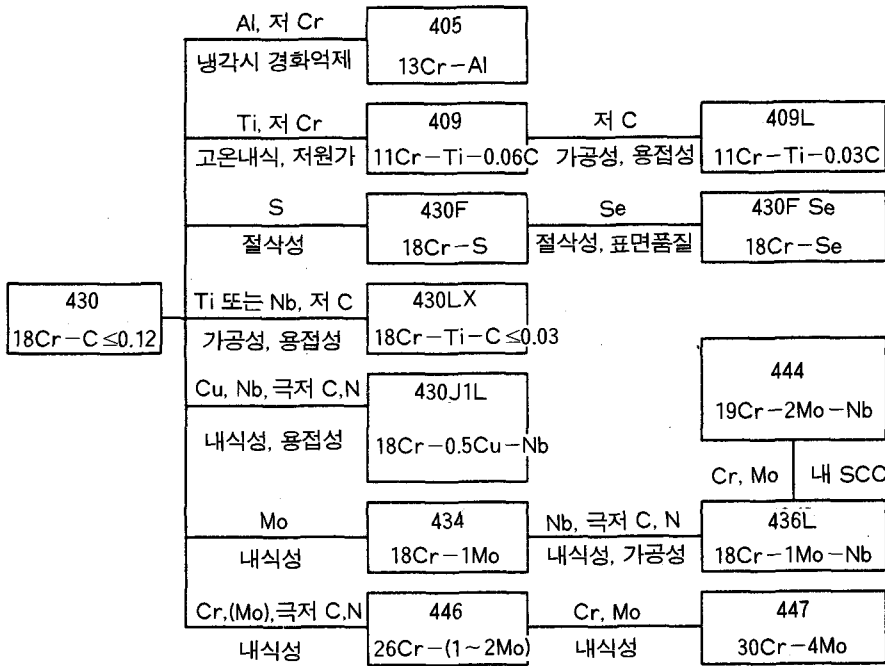


그림 1.5 페라이트계 스테인리스강의 발전 계통도

금성분에 따라 열처리 조건이 달라지며, 이는 오스테나이트 ↔ 페라이트 변태 및 탄화물 석출거동과 밀접한 관계가 있다. 통상적으로 페라이트계 스테인리스강의 C 함량은 0.06% 이하로 매우 적어 γ -loop를 변화시키고 넓히는데 큰 영향을 미치지 않는다고 알려져 있으나, Cr 함량이 비교적 작은 강 경우 약 850~1300°C 온도구간에서 C 함량에 따라 페라이트와 오스테나이트가 혼재하는 영역이 존재할 수도 있다.

이 경우 고온에서 형성된 오스테나이트는 압연 후 급랭에 의하여 미처 페라이트로 변태되지 못하고 상온까지 잔류하게 된다.

따라서, 이러한 페라이트계 스테인리스강은 공석변태온도 (A_{c1}) 이하의 온도 즉 페라이트와 탄화물이 공존하는 영역에서 충분히 열처리함으로써 잔류 오스테나이트를 페라이트로 변태 시

켜 주어야 한다.

슈퍼 페라이트계 스테인리스강은 기존 오스테나이트계 스테인리스강의 공식과 용력부식균열 감수성 문제를 해결하기 위하여 개발된 강으로 19~30% Cr, 1~4% Mo를 함유하고 있으며 용접성은 다소 불량한 편이다. 용접시 탄화물과 질화물 형성을 억제하기 위해 C와 N을 각각 0.03% 이하로 관리하고, 고온 취성을 줄이기 위해 Ni을 첨가하기도 한다. 판재 형태로 열교환기 튜브 및 태양열 가열기 등에 사용되며, 후물형태로는 급탕조와 식품업종에서의 농축염수용액 취급기에 사용된다.

Fe-18%Cr을 기본 조성으로 하는 페라이트계 스테인리스강의 발전 계통도는 그림 1.5와 같다.

1.2.2 오스테나이트계

Ni은 치환형 오스테나이트 안정화 원소로 원

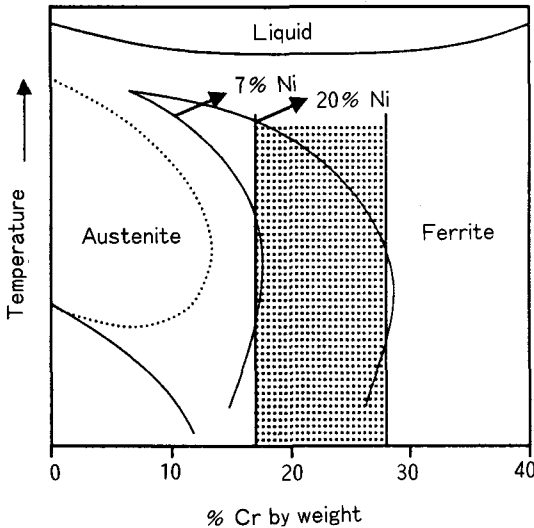


그림 1.6 γ -loop 확장에 미치는 Ni의 영향

자 크기가 커 확산속도가 매우 느리다. 따라서, Fe-Cr 강에 Ni을 다량 첨가하면 그림 1.6과 같이 γ -loop가 넓어져, 전 온도 구간에서 오스테나이트 조직이 유지될 수 있다. Ni 대신 Mn이 사용되기도 하며, 침입형 오스테나이트 안정화 원소인 N이 첨가되기도 한다. 침입형 오스테나이트 안정화 원소인 C 함량이 규격상 0.08% 이하인 강은 통상 0.04~0.05% C를 함유하므로 오스테나이트 상을 안정화시키기 위해 첨가되는 Ni 양은 강의 종류에 따라서 결정된다.

즉, 17% Cr의 경우 7% Ni이 필요하고 26% Cr의 경우 20% Ni이 필요하게 된다.

내식성 향상을 위해 치환형 페라이트 안정화 원소인 Mo를 2~3% 추가로 첨가하는 경우, 오스테나이트 조직을 유지하기 위하여 Ni 함량을 올려야 한다. 용접부 근처에 생기는 부식형태를 예방하기 위하여 C 함량을 0.03% 이하로 한 “저탄소 등급(L 등급)” 또는 Ti와 Nb을 첨가한 “안정화 등급”을 사용한다. 적용범위가 매우 넓어 움푹한 식기류, 구조물 기본소재, 건축물 소재,

음식료품 제조기구 등에 많이 쓰이며, 극저온 (Cryogenic temperature)에서도 취급이 가능하여 액화가스 저장에도 사용된다. 또한 내식성 및 용접성이 좋기 때문에 화학, 석유화학, 석유, 제련, 펄프, 제지산업 등에서 파이프, 탱크, 압력 용기와 같은 가공부품으로 아주 적절하게 사용된다. 특히 Cr이 최대 24% 까지 함유되고 Ni은 14~22% 함유되어 950~1100℃의 고온에서도 산화가 잘 진행되지 않고 고온강도가 큰 309와 310 강종은 내열 스테인리스강으로 분류되며 노(爐)부품, 열교환기, 공해억제기기, 연소가스 배출기기로도 사용된다. 이 종류의 강종들은 후판, sheet나 코일, 튜브나 파이프, 봉이나 선재로 생산된다.

슈퍼 오스테나이트 스테인리스강은 첨가된 합금량이 50%를 넘는다. 20~27% Cr, 25~42% Ni, 3~6% Mo이 함유되어 있어 내부식성이 매우 높고 염소이온 분위기에서도 공식이나 응력 부식균열이 거의 일어나지 않는다. 가공이 쉽고 후물의 경우에도 용접성이 양호하여, 매우 열악한 부식 분위기의 화학산업장치 및 석유화학산업장치에 사용된다. 후물 sheet, 후판, 봉, 튜브 및 파이프 형태로 사용된다.

Fe-18%Cr-8%Ni을 기본 조성으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강의 발전 계통도는 그림 1.7과 같다.

1.2.3 마르텐사이트계

마르텐사이트계 스테인리스강은 Fe-Cr계 스테인리스강의 일부로서 공업적으로 가장 먼저 도출용으로 개발되었다. Cr을 11~12% 이상 함유한 스테인리스강에 강력한 오스테나이트 안정화 원소인 C를 다량 첨가하면 그림 1.8에서 볼 수 있는 바와 같이 γ -loop가 확대되어 고온에서도 오스테나이트 상이 존재하게 되므로 열처리 마르텐사이트계 스테인리스강을 얻을 수 있으며, C의 효과는 Cr에 의해서 한정된다. 즉,

스테인리스강의 용접

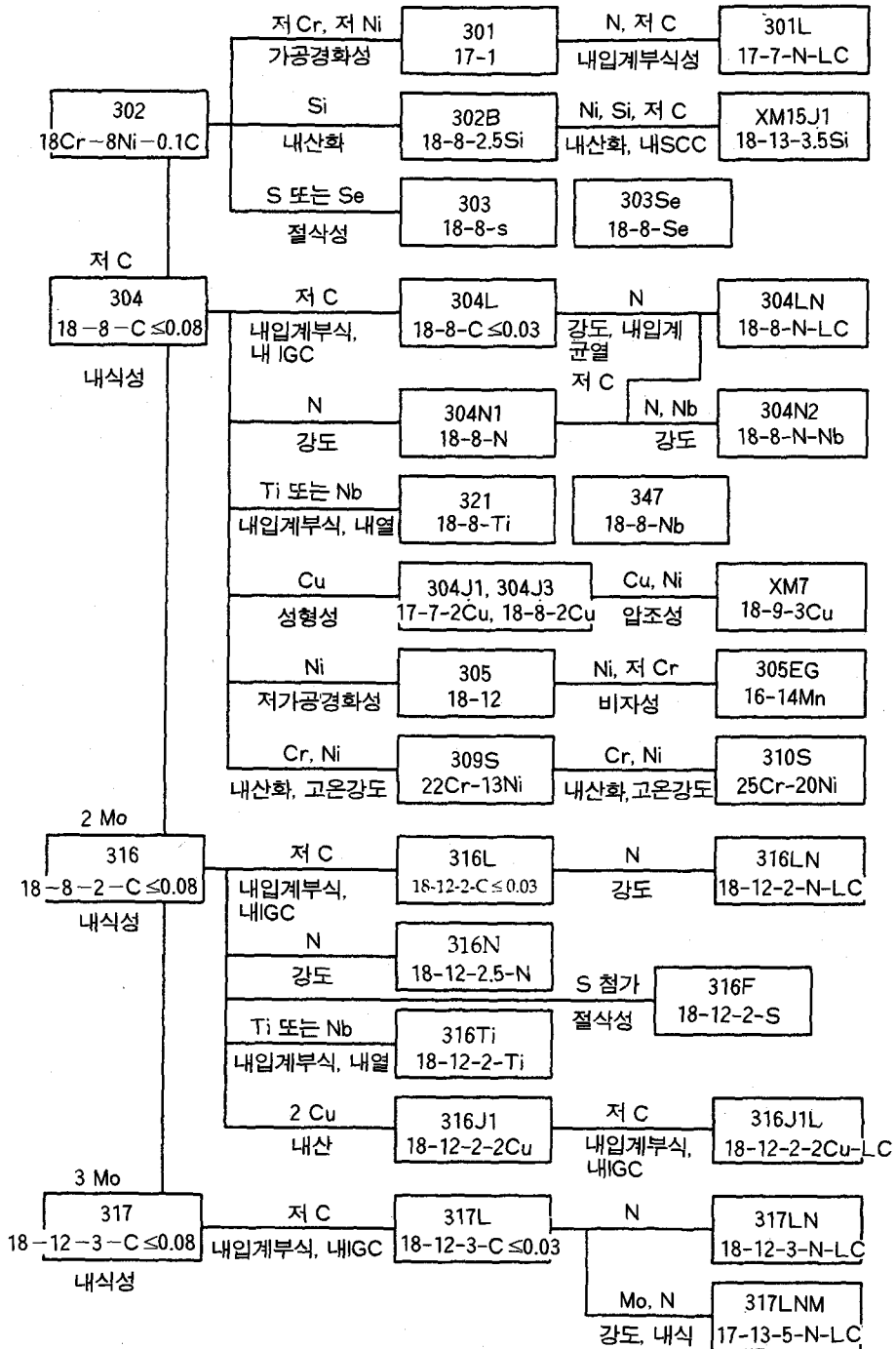


그림 1.7 오스테나이트계 스테인리스강의 발전 계통도

Cr 함량이 높으면 C 함량도 높아지고 Cr 함량이 낮아지면 C 함량도 낮아진다. 이러한 이유 때문에 마르텐사이트계 스테인리스강에 존재하는 Cr 함량을 12~18%로 한정하고 있으며, C 함량은 0.2~1.2%의 비교적 높은 수준이다. 강도와 경도가 동시에 요구되는 칼날, 수술기구, 파스나(Fastener), 스펀들(Spindle), 노즐, 샤프트 및 스프링 등에 많이 사용되며, 봉재나 판재로도 사용된다. Fe-13%Cr을 기본 조성으로 하는 마르텐사이트계 스테인리스강의 발전 계통도는 그림 1.9와 같다.

1.2.4 2상계

2상 스테인리스강은 Ni 당량과 Cr 당량을 조절하여 오스테나이트 상과 페라이트 상을 상온에서 약 50:50 함유하고 있게 만든 강이다(그림 1.3 참조). 공식 및 응력부식균열 저항성이 우수

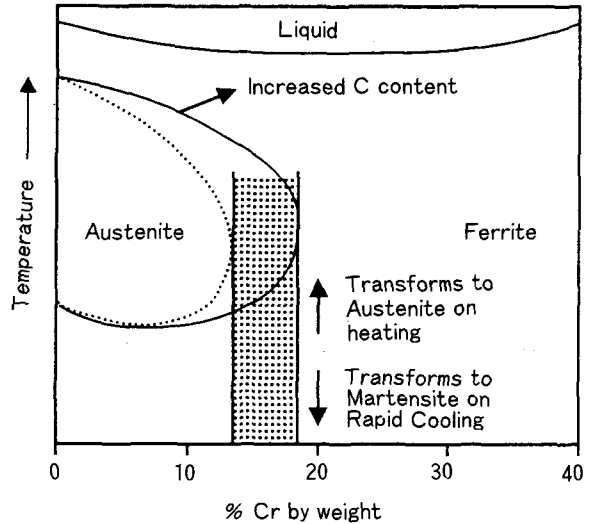


그림 1.8 γ -loop 확장에 미치는 C의 영향

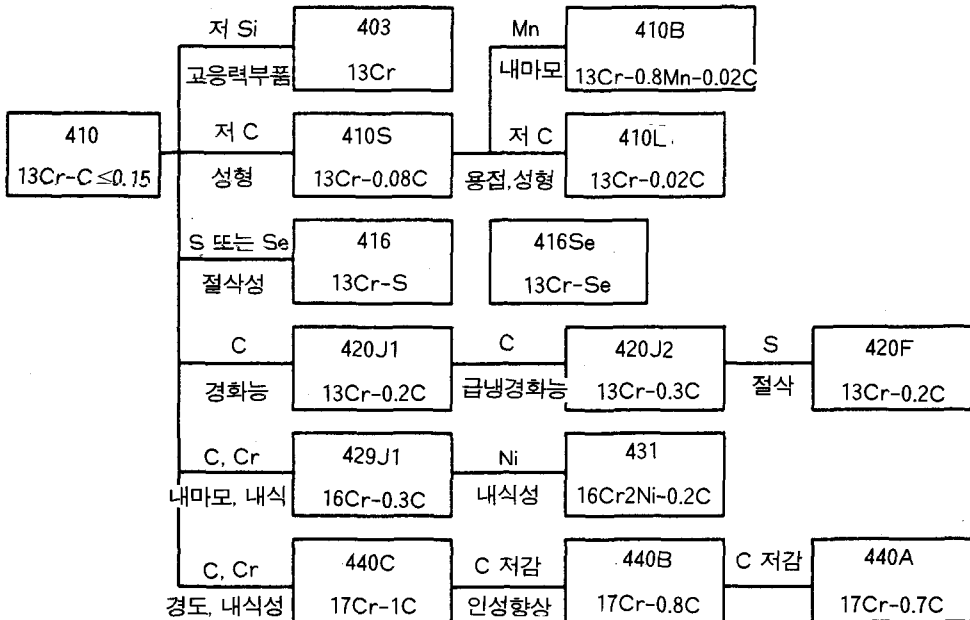


그림 1.9 마르텐사이트계 스테인리스강의 발전 계통도

하여 열교환기 및 염분과 관련된 탱크와 용기에 널리 쓰인다. 합금성분에 따른 대표 강종의 구분은 표 1.1과 같다. 합금량이 클수록 내식성이 우수하며, 특히 2상 스테인리스강은 용도에 맞게 제조회사별 합금성분계를 미량 변화시킨 고유 성분계를 보유하고 있다.

850~1300℃ 온도구간에서 C 함량에 따라 페라이트와 오스테나이트가 혼재하는 영역이 존재할 수도 있다. 이 경우 고온에서 형성된 오스테나이트는 열간 압연 후 급랭에 의하여 미처 페라이트로 변태 되지 못하고 상온까지 잔류하게 된다. 따라서, 이러한 페라이트계 스테인리스강은 공식

표 1.1 2상 스테인리스강 강종별 화학조성

강 종	UNS No	Cr	Ni	Mo	N	기 타
2304	S32304	23	4	-	0.10	-
2205	S31803	22	5	2.8	0.15	-
	S32205	22	5	3.1	0.18	-
255	S32550	25	6.5	3.0	0.18	1.6Cu
2507	S32750	25	7	3.5	0.27	-

1.2.5 석출경화계

탄소함량을 줄이고 Cu, Nb 또는 Al 등을 첨가하여 용체화 처리한 다음 급랭에 의해 1차적으로 경도가 낮은 마르텐사이트가 생기게 하고 후속적으로 시효처리를 통해 복잡한 탄화물이나 Ni-(Nb, Al) 화합물을 형성케 하여 강화시킨 강으로 대표적인 강의 화학성분계는 표 1.2와 같다.

변태온도 (Ac1) 이하의 온도 즉 페라이트와 탄화물이 공존하는 영역에서 충분히 열처리함으로써 잔류 오스테나이트를 페라이트로 변태시켜 주어야 한다. C+N 함량이 0.08%인 430 스테인리스강의 경우 1000℃에서 약 15%, 1100℃에서 약 25%의 오스테나이트 조직을 보유하게 되므로, 생산조업시 약 800℃ 전후에서 약 5시간 유

표 1.2 석출경화계 스테인리스강 강종별 화학조성

강 종	C	Cr	Ni	Cu	기 타	비 고
STS 630	≤ 0.07	17	4	4	0.15~0.45 Nb	Martensite 계
STS 631	≤ 0.09	17	7	-	0.75~1.5 Al	Semiaustenite 계

1.3 스테인리스강의 성질

1.3.1 페라이트계

페라이트계 스테인리스강은 자성을 갖고 있으며, 상변태가 없기 때문에 열처리에 의해 강해지지 않는 것을 특성으로 한다. 통상적으로 페라이트계 스테인리스강의 C 함량은 중량비로 0.06% 이하로 매우 적어 γ -loop를 변화시키고 넓히는 데 큰 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다. 그러나, Cr 함량이 비교적 작은 강의 경우 약

지하는 소둔 열처리 공정을 적용하고 있다.

페라이트계 스테인리스강의 재질특성은 종종 오스테나이트계 스테인리스강의 특성에 비교되어 설명되어 진다. 결정 구조학적인 차이로 인하여 페라이트계 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 일반적으로 항복강도는 유사하나 고온 유동응력이 낮아 고온가공이 용이하며, 입간 응력부식균열 저항성이 우수한 반면 내식성이 떨어지며, 상온에서 연성과 인성이 낮다.

그러나 이러한 특성 외에 페라이트계 스테인리스강에 있어 문제시되는 취약한 특성으로 고온 취화현상, 연성-취성 천이 온도(DBTT: Ductile to brittle transition temperature), 용접부 취화현상, 475°C 취성, 시그마상(Sigma phase) 형성 등이 있으며, 이들 특성들은 페라이트계 스테인리스강의 조성 및 사용분위기 및 소둔조업공정과도 매우 밀접한 연관성을 가지고 있다.

고온취화 현상이란 C 및 N 함량이 높은 고 Cr 함유 페라이트계 스테인리스강을 1000°C 이상 고온에서 열처리 후 급랭하였을 때 상온에서 연성과 인성 및 내식성의 급격한 감소를 가져오는 현상을 말하며, 이러한 부정적인 영향은 입계의 성장, 크롬탄화물과 질화물의 석출 및 입계 주위의 석출한 탄·질화물에 의한 Cr 결핍 현상으로 설명된다. 왜냐하면, 페라이트계 스테인리스강의 C 및 N의 고용 한계는 고온에서 온도가 증가할수록 감소하므로 고온 열처리시 크롬탄화물과 질화물의 형성이 더욱 용이하게 되며, C 및 N의 함량이 높을수록 또한 Cr 함량이 증가할수록 탄·질화물의 석출거동이 활성화되기 때문이다. 이렇게 고온취화된 소재는 약 750~850°C 구간에서 열처리 해주면 석출물의 재고용에 의하여 내식성 및 인성이 회복된다. 이러한 고온 취화 현상은 페라이트계 스테인리스강의 고온 단시간 소둔처리를 불가능하게 할 뿐 아니라 용접부 취화 현상을 동반하게 되어 실제로 건축 구조물과 같은 용접 구조물 소재로의 적용에 한계성이 있음을 보여주고 있다. 통상 연성-취성 천이 온도가 약 0°C 부근인 페라이트계 스테인리스강의 용접 열영향부는 고온에 노출되었기 때문에 천이온도가 40~60°C로 증가하게 됨으로, 페라이트계 스테인리스강은 용접하여 사용할 때 소재 두께의 제한을 받게 된다. 이러한 결점을 보완하기 위해서 내식성 및 용접성을 향상시킨 슈퍼

페라이트계 스테인리스강이 개발되었지만 최대 5 mm 이상의 두께를 갖는 소재는 사용하기 힘들다.

475°C 취성이란 주로 15~70% Cr을 함유한 Fe-Cr계 스테인리스강을 400~500°C 구간에서 장시간 유지하면 경도의 급격한 증가 및 연성의 급격한 감소를 가져오는 취화 현상으로 Cr이 농축된 탄화물의 석출에 의한 일종의 석출경화 현상이며, Cr 농축 탄화물의 석출은 모재의 선택적 부식현상을 동반하여 내식성 감소현상을 가져온다.

500~800°C 구간에서 장시간 유지하면 20~70% Cr을 함유하는 시그마상이 석출될 수 있으며, 이 경우 연성과 인성의 감소 현상을 동반, 475°C 취성과 유사한 현상을 보인다. 시그마상의 석출은 475°C 취성에 비하여 상대적으로 매우 장시간을 요한다. 특히, Cr 함량이 20% 이하인 강 경우 시그마상의 석출은 상기 온도구간에서 수백 내지 수천 시간 유지시 가능하다. 이렇듯 475°C 취성이나 시그마상 석출기구는 용접시나 고온 열처리시 나타나는 현상이 아니라 해당 온도구간에서 장시간 사용할 때 나타나는 현상으로 소재의 용도별 적용 범위가 제한을 받게 된다.

페라이트계 스테인리스강의 대표적인 몇 강종의 소둔 후 상온에서의 0.2% 항복강도와 인장강도 및 연신율은 표 1.3과 같다.

페라이트계 스테인리스강은 냉간 가공에 의해 항복강도와 인장강도가 약간 증가하지만 그 정도는 작으며, 보통의 연강과 동등한 연성을 갖고 있으므로 적절한 정도의 냉간 성형 조업에 적당하다. 또한 400~500°C까지는 우수한 강도를 유지하나 그 이상의 온도에서는 강도가 급격히 떨어지며 몇 가지 강종의 공칭값들을 표 1.4와 같다. 일반적으로 페라이트계 스테인리스강은 450°C 이상의 온도에서 크립 강도가 낮기 때문에 고온 용도에는 추천되지 않는다. 446 같은 규격화된 페라이트계 스테인리스강은 다량의 Cr을 함유하고 있어 내산화성이 우수해 고온에서 사

용되기도 하지만 이 경우 하중을 지탱하는 부분으로는 사용될 수 없다.

표 1.3 소둔상태의 페라이트계 스테인리스강의 상온 기계적 특성

강 종	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
430	345	510	25
444	340	515	30
446	345	550	20

표 1.4 페라이트계 스테인리스강의 단시간 고온 인장강도

온도(°C)	인장강도(MPa)		
	430	444	446
200	465	480	580
400	395	450	550
600	165	-	240
700	89	-	110
800	45	-	55

1.3.2 오스테나이트계

오스테나이트계 스테인리스강은 조직이 매우 안정하여 쉽게 가공할 수 있고 우수한 용접성을 갖고 있으며 내식성과 청결성이 우수하며 열처리에 의해서는 경화되지 않는 것을 기본 특성으로 하고 있다. 통상적으로 소둔된 상태로 사용되기 때문에 비자성이고 상온에서 50~60% 이상의 연신율을 가지며 0°C 이하 온도에서도 보통 40~50%의 연신율을 나타내므로 우수한 냉간 성형성, 프레스 성형성을 보인다. 소둔 상태 일부 오스테나이트계 스테인리스강의 상온에서의 0.

2% 항복강도와 인장강도를 표 1.5에 나타냈다. 보통의 구조용 탄소강(항복강도 270MPa, 인장강도 465MPa)과 비교하여 오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 특성을 갖고 있다고 할 수 있다.

냉간 가공을 받아 강 내부에 마르텐사이트가 형성되면 경화되고 자성도 갖게 되며, 자성의 정도는 마르텐사이트 생성량과 조성에 따라서 변화한다. 오스테나이트 스테인리스강에서 형성되는 마르텐사이트는 C 함량이 적고 강하며 BCC 혹은 HCP 형태의 결정구조를 갖으며 마르텐사이트계 스테인리스강과는 다르다는 점에서 준마르텐사이트라고 부른다. 냉간 가공에 의하여 강도가 증가되는 가공 경화는 화학 성분 즉 오스테나이트계 결정 구조를 안정화시키는 원소(특히 Ni)의 함량에 따라 다르다. 예를 들면 표 1.6과 같이 오스테나이트계 구조를 완전히 안정화시킬 충분한 조성을 갖지 못한 301 강은 가공 경화 효과가 크다. 그러나 상온에서 완전히 안정화된 오스테나이트 구조를 갖는 304나 316 강은 가공 경화 정도가 작으며, 30% 냉간 가공 후에도 보통의 기술 표준에서 수용할만한 정도인 20% 정도의 연신율을 보인다. 약 1050°C의 고온에서 가열하는 용체화처리를 해 주면, 냉간가공에 의하여 생성된 마르텐사이트가 분해되어 본래의 오스테나이트 조직으로 되어 가공경화된 상태가 제거된다.

환원성 산은 강 표면의 산화막을 파괴하기 때문에 일반부식을 일으킨다. 오스테나이트 스테인리스강은 농도가 낮은 환원성 산에 견딜 수 있고 저온에서는 환원성 산 혼합물에도 견딜 수 있다. 염소이온(Cl-)과 같은 할로젠화물 이온은 오스

표 1.5 소둔상태의 오스테나이트계 STS강의 항복강도 및 인장강도

강 종	301	304	304L	305	309S	310S	316	316L
항복강도(MPa)	275	290	270	262	310	310	290	290
인장강도(MPa)	755	580	560	585	620	655	580	560

테나이트계 스테인리스강 표면에 형성된 부동태 피막을 파괴하므로 처음에는 국부적으로 약한 반점형태로 나타나며 더욱 진전되면 공식으로까지 발전할 수 있으며, 밀폐된 공간이나 틈새에서는 산소결핍이 발생하여 틈새부식이 발생할 수도 있다. 오스테나이트 스테인리스강에서는 종종 용력부식균열이 발생하는데 이는 공식과 관련이 있는 부식형태이다.

표 1.6 오스테나이트계 STS강의 냉간가공에 의한 기계적성질 변화

강 종	냉간가공량 (%)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
301	10	585	1035
	30	1035	1275
	50	1310	1445
304	10	480	685
	30	825	860
	50	1000	1100
310S	10	470	744
	30	854	965
	50	1010	1145

1.3.3 마르텐사이트계

마르텐사이트계 스테인리스강 역시 자성을 갖고 있으며, 비교적 Cr 함량이 낮고 탄화물을 형성하는 C를 다량 함유하기 때문에 내식성이 다소 떨어진다. 마르텐사이트계 스테인리스강은 통상적으로 기계 가공을 쉽게 하기 위하여 소둔하여 연화된 상태로 공급된다. 이 조건에서 마르텐사이트계 스테인리스강은 페라이트 구조를 가지므로 페라이트계 스테인리스강과 비슷한 기계적 성질을 갖는다. 일반적인 규격으로 410 및 420 계통의 강종이 있으며, C 함량이 높을수록 경화성이 커지며, 용접 열영향부는 마르텐사이트 형성에 의해 깨지기 쉬우므로 용접에 특별한 주의

가 요구된다.

마르텐사이트계 스테인리스강 고유의 기계적 성질과 내식성을 나타내기 위해서는 담금질(오스테나이트 형성 온도에서 열처리후 급속 냉각)과 뜨임(오스테나이트 형성 온도 이하에서 소둔 열처리)이 필요하다. 담금질과 뜨임에 의해 얻을 수 있는 물성치들의 조합을 도식적으로 나타내면 그림 1.10과 같다. 즉, 담금질에 의하여 마르텐사이트가 형성되면 상당 수준의 높은 강도와 경도를 얻을 수 있으나 연성과 충격인성은 아주 작아진다. 그러나 뜨임 처리를 하면 온도가 높을수록 강도와 경도는 작아지나 연성과 충격인성은 증가되므로 요구되는 기계적 특성에 따라 뜨임 온도를 결정하여야 한다.

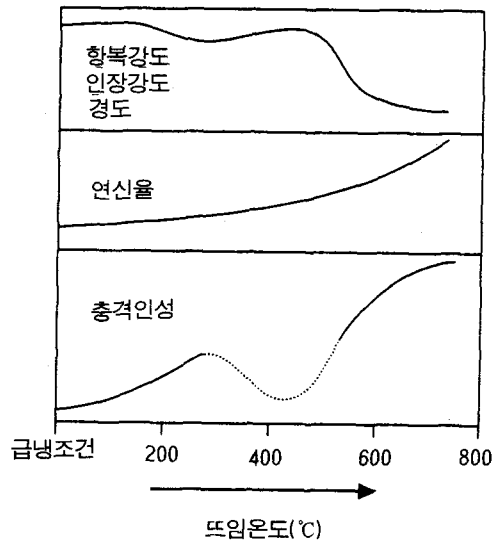


그림 1.10 뜨임 온도에 따른 물성치 변화의 모식도

뜨임은 보통 260~300°C의 온도에서 행해지는데 이 온도에서는 고강도, 고경도와 충분한 연신율 및 최대의 인성을 얻을 수 있다. 강도와 경도는 약 425°C의 뜨임 온도까지 유지되나, 375~600°C사이에서의 뜨임은 인성의 급격한 감소로

스테인리스강의 용접

낮고 불규칙적인 충격 특성치를 얻게되므로 실시되지 않는다. 600℃ 이상에서의 뜨임은 연신율과 인성은 현격히 향상되나 강도와 경도가 급격히 감소된다. 고경도 마르텐사이트 스테인리스강을 충격 하중이 크거나 동적인 조건 등에서 사용할 때에는 연신율과 인성이 상대적으로 낮은 점을 반드시 고려하여야 한다. 강의 피로 특성(피로한:인장강도의 약 45%) 역시 뜨임 조건에 따라 변하게 된다. 대표적인 몇 강종의 마르텐사이트계 스테인리스강의 뜨임온도에 따른 기계적성질의 변화는 표 1.7과 같다.

1.3.4 2상계

2상 스테인리스강은 오스테나이트 스테인리스강에 비하여 Cr, Mo 및 N 함량이 높아 임계공

식온도도 상당히 높다. 오스테나이트에서 시작된 응력부식균열이 페라이트상에 의해 저지되기 때문에 응력부식균열에 대한 저항성 또한 매우 높으며, 페라이트상과 오스테나이트상의 분율이 50:50일 경우 내식성이 가장 양호하다고 알려져 있다. 1100℃ 이상의 고온에서는 오스테나이트상이 페라이트상으로 상변태되며, 온도가 높을수록 페라이트상의 분율이 증가한다. 따라서, 초기 개발 시에는 용접 후 냉각속도가 빠르면 열영향부의 페라이트 분율이 높아져 사용상 제한을 받았으나, 강력한 침입형 오스테나이트 안정화 원소인 N 함량을 증가시킴으로써 열영향부의 페라이트 상분율의 증가를 억제하여 모재와 유사한 품질특성을 갖게 할 수 있게 되었다. 표 1.8은 강종

표 1.7 마르텐사이트 스테인리스강의 뜨임 온도에 따른 기계적 성질

강 종	열처리온도 (°C)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	경 도	충격인성 (J)
410	200	1000	1310	15	41HRC	47
	315	965	1240	15	39HRC	47
	425	1035	1345	17	41HRC	—
	538	790	1000	20	31HRC	—
	648	585	758	23	97HRB	102
	760	415	620	30	89HRB	130
420	200	1380	1755	10	48HRC	14
	315	1345	1725	10		
	425	1380	1755	10		
	538	1000	1170	15		
	648	585	860	20		
431	200	1070	1415	15	43HRC	41
	315	1035	1345	15	41HRC	61
	425	1070	1415	15	43HRC	—
	538	895	1035	18	34HRC	—
	648	655	860	20	24HRC	68
440A	315	1655	1795	5	51HRC	5
440B	315	1860	1930	3	55HRC	4
440C	315	1895	1963	2	57HRC	3

별 임계공식온도와 기계적성질의 규격범위를 보여 주며, 오스테나이트계 스테인리스강과 페라이트계 스테인리스강에 비해 인장 및 항복강도가 약 2배정도 높음을 알 수 있다. 350℃이상의 온도에서는 취성이 있는 상이 생겨 파괴되기 쉬우므로 사용온도가 300℃ 넘는 곳에는 적합치 않다.

1.3.5 석출경화계

석출경화 스테인리스강은 열처리 조건에 재료의 기계적 특성이 많이 달라진다. 고용화 열처리 상태는 'S'로 표기하며, 요구되는 강도에 따라 달리 열처리를 행하여지며 각 열처리 조건은 고유한 기호를 갖는다.

표 1.9는 석출경화 열처리 조건에 따른 기계적 특성의 변화를 보여준다. STS 630 강은 마르텐

사이트 등급으로 고용화 열처리 후 급랭에 의하여 마르텐사이트가 생성되기 때문에 후속으로 석출경화 열처리를 하면 된다. 열처리 온도가 높을수록 강도가 떨어진다. STS 631은 준안정 오스테나이트 등급으로 마르텐사이트 형성 시작온도(Ms)가 상온 이하이기 때문에 경화를 위해서 탄화물 석출 처리에 의해 Ms 온도를 상온 이상으로 상승시키거나 Ms 이하인 영하의 온도로 내리는 등 서브제로 처리를 함으로써 1차 마르텐사이트를 만들어 준 후 석출경화 열처리를 하는 여러 단계의 열처리를 거쳐야 한다. 석출경화 스테인리스강의 연신율은 전반적으로 매우 낮은 편으로, 두께 15mmt 이상 후판은 10% 이상이 요구되고 두께 5mmt 이하 박판은 5% 이상이 요

표 1.8 2상 스테인리스강들의 임계공식온도 및 기계적 특성

강 종	UNS No	CPT (°C)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	경도 (HRC)
2304	S32304	~ 20	≥ 400	≥ 600	≥ 25	≤ 32
2205	S31803	~ 35	≥ 450	≥ 620	≥ 25	≤ 32
	S32205	~ 40				
255	S32550	~ 50	≥ 550	≥ 760	≥ 15	≤ 32
2507	S32750	~ 70	≥ 550	≥ 795	≥ 15	≤ 32

표 1.9 석출경화 스테인리스강의 열처리 조건에 따른 기계적 특성

강 종	기 호	열처리조건(°C)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	경 도
STS 630	S	1020~1060 급랭	-	-	≤ 38HRC
	H900	S+470~490 급랭	≥ 1175	≥ 1310	≥ 40HRC
	H1025	S+540~560 급랭	≥ 1000	≥ 1070	≥ 35HRC
	H1075	S+570~590 급랭	≥ 860	≥ 1000	≥ 31HRC
	H1150	S+610~630 급랭	≥ 725	≥ 930	≥ 28HRC
STS 631	S	1000~1100 급랭	≤ 380	≤ 1030	≤ 92HRB
	TH1050	*	≥ 960	≥ 1140	≥ 35HRC
	RH950	**	≥ 1030	≥ 1230	≥ 40HRC

* : S 처리후, 760±15℃로 90분 유지, 1시간 이내 15℃로 냉각, 30분 유지, 565±10℃로 90분 유지 후 공랭
 ** : S+955±10℃로 10분 유지, 실온까지 공랭, 24시간 이내에 -73±6℃로 8시간 유지, 510±10℃로 60분 유지 후 공랭

구된다.

1.4 스테인리스강의 적용

스테인리스강 표면에 형성되는 부동태 피막의 안정도는 합금성분의 변화에 따라 달라지므로, 스테인리스강을 사용할 경우에는 사용 분위기를 면밀히 분석한 후 용도에 맞는 적합한 강종을 선정하는 것이 가장 중요하다. 선택 강종의 기본 특성인 내식성을 최대한 유지하기 위해서는 강종의 특성에 맞는 고유의 설계방법, 표면에 손상이 가지 않는 제작방법 그리고 사용 중의 적절한 표면 유지 및 청소방법 등에 특별한 기술과 주의가 요구된다.

1.4.1 설계

강의 선정시 제일 먼저 고려해야 할 사항은 사용환경을 파악하고 사용 온도 및 최대온도, 유동(Flow)조건, 대기의 노출정도, Flow의 연속 또는 불연속성, 내재하는 고체분자들의 크기, 정도 및 분포 그리고 피로(Fatigue), 충격(Impact), 정하중(Static load)과 같은 응력에 관한 예측등 사용조건을 면밀히 분석하여야 한다. 사용조건 분석 후에는 일반적으로 내식성, 기계적 성질, 가공성 및 경제성을 고려하여 강종을 선택하여야 한다. 특히 주의하여야 할 점은 사용 조건하에서 발생 가능한 단속적인 현상 즉, 스파크나 순간적인 압력의 집중현상 등의 발생여부이다. 이러한 현상은 사전에 제거되어야 하지만 이것이 불가능할 경우 설계 과정에서 반드시 고려하여야 한다.

스테인리스 제품의 파괴는 주로 부식에 의하여 이루어지므로, 설계시 외부 및 사용환경에 의한 부식 발생 가능성 여부를 반드시 고려하여야 한다. 공장이나 구조물의 위치 선정은 태풍 또는 산업공해의 영향 여부 등을 고려하여 이루어져야 하며 공장 내부의 용기(Vessel), 탱크(Tank), 배관(Pipe-line) 등도 배기가스의 영향권 등에서 벗어날 수 있도록 설계되어야 한다. 구조물의 경우는 내 외부에 습기나 침적물이 축

적되지 않도록 설계 및 제작되어야 하며, 특히 탱크의 경우는 그림 1.11에 보여지는 바와 같이 탱크 바닥을 약간 경사지게 만들어 배수를 완벽하게 해주는 것이 좋다.

구분	측면 배수관	중앙 배수관
불량		
양호		
우수		

그림 1.11 Tank 하부의 부식방지를 위한 배수관 설계 모식도

탱크는 하부 구조 및 설치 방법에 따라 강도의 내식특성이 크게 달라진다. 그림 1.12(a)와 같이 바닥을 편편하게 제작하여 콘크리트나 기타 물체 위에 직접 설치하는 경우는 탱크 바닥 내부의 용접부인 모서리 부위에 침적물이 축적되어 틈부식이 촉진되며, 탱크 바닥의 외부와 지지물 사이에서도 틈부식이 발생한다. 따라서 그림 1.12(b)와 같이 탱크 바닥의 모서리 부위를 둥그렇게 설계하는 것이 바람직하다. 만약 이러한 설계가 불가능하다면 밀폐(Sealing)를 하여야 하는데, 그림 1.12(c)와 같이 시멘트 등으로 탱크 바닥과 지반 사이를 밀폐하는 경우 일시적인 효과는 있으나 시간이 경과함에 따라 탱크와 시멘트 사이에 틈이 발생하므로 계속적인 보수를 해주어야 한다. 설치 시에는 그림 1.12(d)와 같이 다리 등의 지지대를 세워 지면과 일정한 간격을 유지하는 것이 좋으며, 그림 1.12(e)와 (f) 같이 탱크바

(a) 내부: 불량, 외부: 불량	(b) 내부: 양호, 외부: 불량
(c) 내부: 양호, 외부: 불량	(d) 내부: 양호, 외부: 양호
(e) 내, 외부: 양호, 내피로성	(f) 내, 외부: 우수, 내피로성

그림 1.12 탱크 하부구조 및 설치 방법에 따른 내식특성

각 부위를 동그렇게 설계하면 탱크의 피로 특성을 크게 개선할 수 있다.

이외에도 탱크 하부 설계시 그림 1.13(c)와 같이 모서리 부위를 동그렇게 곡률을 주어 위로 올려 용접하는 경우 탱크 바닥 모서리 부위에 발생하는 틈부식을 방지하여 탱크의 수명을 크게 연장할 수 있다.

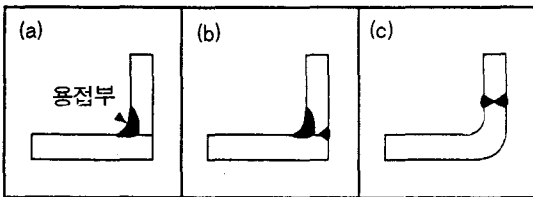


그림 1.13 탱크 하부 용접부 부식방지를 위한 구조 변경 모식도

액체상태의 부식 매개체 저장 탱크와 같은 경우 기화된 부식매체들이 탱크나 용기의 저장액 수위보다 높은 부위의 벽에 농축되어 부식을 유발하곤 하기 때문에 탱크 내부의 부식 방지를 위해서는 내용물을 항상 채워놓는 것이 유리하다.

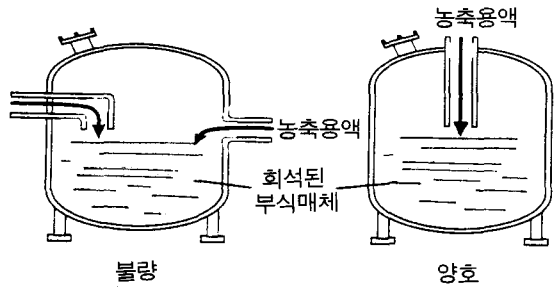


그림 1.14 혼합 탱크의 부식용액 투입구 설계예

탱크를 가득 채우는 경우 유체의 유동에 의해 발생한 액체 방울들이 탱크 벽에 묻어 부식을 유발하는 것을 방지할 수 있어 좋으며, 만약 탱크를 완전히 채울 수 없는 경우는 기화된 부식 매체들이 잘 배출될 수 있도록 하여야 한다.

혼합 탱크(Mixing tank)의 경우 부식 매개체 투입구에 Impeller나 공기 등을 사용하여 가능한 한 빨리 투입시켜 입구에 부식물이 농축되는 현상 및 액체의 유동에 의해 생긴 액체방울이 탱크 벽에 묻는 것을 방지하여야 한다. 부식 매체의 투입구 위치도 그림 1.14에 보여지는 바와 같이 탱크의 벽면보다는 탱크 상부의 중앙에 오도록 설계하는 것이 바람직하다. 투입구의 위치가 탱크 벽면에 설치되는 경우 부식액 투입시 완전한 혼합이 원활히 이루어지지 않아 탱크 내벽에 부분적으로 농축되어 부식을 촉진하게 된다.

일반적으로 온도가 30℃ 증가할 때 부식속도는 약 2배로 증가되므로, 탱크 내부 및 외부의 국부적인 온도 상승을 방지하여야 한다. 이러한 현상은 열전대나 직사광선 하에 있는 탱크나 파이프 구조물 등에서 종종 나타난다. 즉 가열된 부위는 액체와 용이하게 반응하여 부식속도가 급격히 증가한다. 이러한 현상을 최소화하기 위하여 유체를 유동시키는 것이 좋으며, 태양열판(Solar heater panel)이나 탱크, 파이프 내에 액체가 장시간 정체되어 있는 경우 액체를 배수시켜야 한다. 또한 탱크 내부에 가열기를 설치하는 경우에

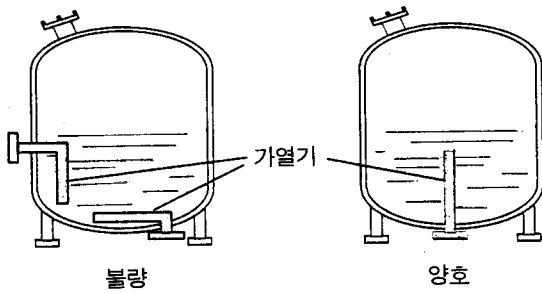


그림 1.15 혼합 탱크 내 가열기 설치 위치의 설계에

는 그림 1.15에 보여지는 바와 같이 탱크 벽면보다는 탱크 중앙에 설치하여 탱크 내벽의 국부적인 온도 상승을 방지하는 것이 바람직하다.

배관의 경우는 매우 신중하게 설계하여야 한다. 파이프의 구경은 침적물이 침적되지 않도록 유량 및 유속을 고려하여 선정하여야 한다. 침적물이 침적되는 경우 틈부식과 같은 현상을 유발하여 파이프의 바닥에 부식을 유발한다. 유속이 너무 느린 경우, 구경이 좁은 파이프를 사용함으로써 유속을 증가시켜 침적을 방지할 수 있으며, 플랜지(Flange)의 제작이 필요한 경우 틈부식 방지를 고려하여야 한다. 배관을 땅속에 묻는 경우 파이프를 테이프로 감거나 페인팅한 후 배수가 잘 되는 곳에 설치하여야 한다.

배관을 장시간 사용하지 않는 경우 내용물을 배출하는 것이 좋다. 파이프나 용기를 단열 처리하는 경우 Cl- 이온이 없는 소재를 반드시 선택하여야 한다. 단열재의 외부처리는 일반강이나 Al을 불문하고 물의 침투를 철저히 방지하여야 한다. 물이 침투하는 경우 Cl- 이온이 유입되고 이들이 파이프나 용기의 바닥에 농축되어 임계치에 도달하는 경우 공식이나 응력부식 균열을 유발한다. 구조용 건축물 또는 용기 등의 Seam weld시 용착금속이 충분히 침투하도록 하여야 하며, 외부 심(External stiffener) 또는 보강판

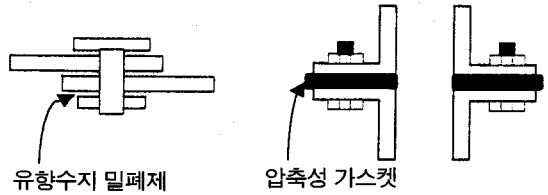


그림 1.16 연결 부위의 틈부식방지를 위한 밀폐제나 가스켓 사용에

(Gusset)등과 같이 완벽한 용접을 요구하지 않는 경우 경제적인 Stitch weld 방법을 사용할 수 있다. 구조물을 볼트로 연결하는 경우에는 그림 1.16과 같이 유항수지 밀폐제(Mastic sealer) 또는 압축가능 가스켓(Compressible gasket) 등을 사용하여 틈부식을 방지하여야 한다. 용접 구조물의 경우 설계시 용접이 어려운 부위에 대해서는 그림 1.17과 같이 충분한 공간 확보를 위한 고려가 필요하다.

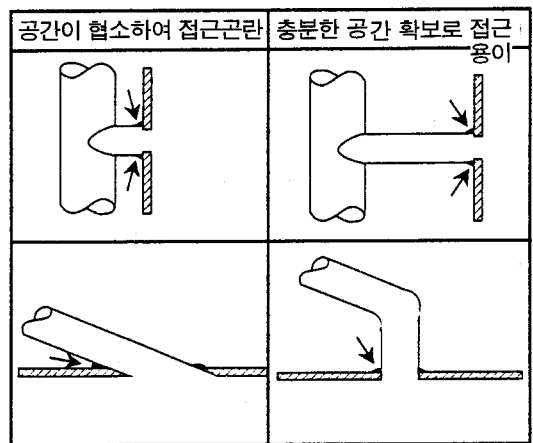


그림 1.17 용접 작업성 개선을 위한 설계 변경의 모식도

설계시에는 경제성과 효율이 모두 고려되어야 한다. 스테인리스 제품의 가격은 강종, 형상, 표면특성 등에 따라 달라지므로 경제성은 강종 선택이 가장 중요한 항목중의 하나이다. 두께를 선정하는데 있어서도 Duplex강과 같이 고강도강

을 사용할 경우 얇은 두께를 사용할 수 있어 소재의 총 소모량을 절감할 수 있다. 강종을 선정할 경우 상용적으로 생산되는 규격품을 사용하는 것이 유리하며, 우선적으로 430, 304, 316과 같이 통상적으로 사용되는 강종들이 사용 가능한지의 여부부터 평가하여야 한다. 만약 이들 강종의 특성이 용도에 적합하지 않다면 그때 기타 강종에 대하여 고려하는 것이 바람직하다. 강종을 선택할 때에는 품질특성에 따라 경제성을 고려하여야 한다. 즉 총 제작비(재료비, 제조비, 표면 처리비, 검사비), 유지비(사용연한, 감가상가비), 수리비(부품비) 및 폐품가격 등 여러가지 항목을 고려하여야 한다.

1.4.2 제작

스테인리스강은 고합금강으로써 일반 탄소강과 저합금 구조용강과는 품질특성이 다르며 더욱 가혹한 환경 하에서 적용되고 있으므로, 한가지의 제조가공공정도 빠뜨리지 않았다는 것을 확인하고 나서 비로소 제품이 소비자(수요가)에게 공급되어야만 소재와 제조회사에 대한 소비자(수요가)의 신뢰도를 만족시킬 수 있다. 제조가공공정 중 몇 가지 기본적인 주의사항만 취해진다면 생산성은 향상되고 품질은 개선될 수 있다.

제조 회사로부터 두꺼운 판(Plate), 얇은 판(Sheet), 코일(Coil) 형태로 공급되는 스테인리스강의 표면에는 산제 공정을 통해 화학적으로 처리된 부동태피막이 형성되어 있다. 따라서, 제작시 이러한 부동태 피막을 보존하여 스테인리스강 고유특성을 유지하며 외관이 좋게 보일 수 있도록 오염 방지, 기계적 손상방지 및 손상 받은 영역의 재부동태화를 위하여 세심한 주의를 기울여야 한다. 최종제품의 부동태피막을 손상시킬 수 있는 원인과 결과 그리고 유해한 조건을 방지하기 위해 취해야 할 대응책은 다음과 같다.

1) 보관

옥외보관시 야기되는 문제점으로 습윤(Wetting) 및 오염(Contamination)에 의한 녹 발생을 들 수 있으며, 스테인리스강의 표면에 녹이 발생되면 보기 싫게되므로 연삭(Grinding) 또는 연마(Polishing)에 의해 제거해야 한다.

습윤은 지붕의 누수 또는 응축수에 의해 발생할 수 있으며 이에 따라서 녹이 생기게 된다. 이러한 녹은 내식성에 크게 영향을 미치지 않는지만, 표면외관을 나쁘게 하고 녹을 제거하는데 비용과 시간이 많이 들게 된다. 만약, 습기가 용접부에 존재한다면 용접부에 기공을 발생시키게 된다.

스테인리스강 표면에 존재하는 먼지가 철분을 함유하고 있다면 녹 발생으로 인해 보기 싫게된다. 따라서, 일반강의 연삭에 의해 발생한 철분먼지의 야적장으로의 유입은 반드시 방지해야만 한다. 바닥에 저장할 경우 그 위로 인부들이 걸어다니는 것이 불가피하므로 기름이나 윤활유가 묻어서 오염되기 쉽다. 만약 기름이나 윤활유가 용접부 또는 용접열영향부에 존재하게 되면 고탄소를 함유하는 부위에서는 내식성이 저하하게 된다. 기름과 윤활유는 기름제거제로 없앤 다음 미지근한 세제로 닦고 깨끗한 물로 씻어내고 나서 완전히 말린다. 해안가 또는 공장지대에서는 먼지층이 염분을 흡수할 수 있다. 먼지층 내에서 수분의 흡수와 증발을 반복하면서 염의 농도가 증가하게 되어 먼지층은 스테인리스강을 부식시킬 수 있을 만큼 강한 부식매체가 된다.

소재를 보관시 습윤과 오염을 피하기 위해 지붕아래에서 보관하는 것이 바람직하다. 저장하는 동안에 두꺼운 판재보다 표면상태가 미려한 얇은 냉연판재의 표면에 기계적 손상이 발생할 가능성이 높으므로, 이러한 얇은 판은 저장할 때는 두꺼운 마분지로 분리하여 저장하는 것이 좋다. 오염방지를 위하여 강철 선반에 보관할 때는, 선반소재와 스테인리스강의 접촉을 방지하기 위해

강한 목재가 사용될 수 있다. 그러나 접촉부위를 스테인리스강으로 사용하는 것이 가장 좋다. (이러한 용도로 스테인리스 스크랩(Scrap)이 사용될 수 있다.)

2) 운반 및 취급

운반 작업시 고려해야 할 2가지 인자로 기계적 손상 및 오염이 있다. 기계적손상은 운반 작업중에 쉽게 발생할 수 있다. 이러한 기계적손상에 의해 부동태피막이 파괴되기 때문에 주위의 부동태화된 부분에 비해 더낮은 내식성을 갖게 되어 부식의 개시점으로 작용하여 내식성을 열화시킨다. 또한 그런 영역에서는 상대적인 면적비에 의한 갈바닉부식(Galvanic Corrosion) 효과에 의해 부식이 가속화된다. 따라서 스테인리스강의 운반이나 취급시 다음과 같은 주의가 요구된다.

① 판재류(Plate 및 Sheet)는 선반에서 끌어 내지 않는다.

② 무거운 판재는 표면에 기계적손상을 입히지 않게 판재 사이에 지게차의 갈퀴가 끼워질 수 있도록 나무뿔목을 대어서 분리시킨다. 만약 지게차의 갈퀴가 판재 사이에서 아무렇게나 힘을 가하게 되면 굽힌 자국이 생기게 된다.

③ 판재류를 사용하기 위해 바닥에 놓을 때는 나무판자로 바닥과 분리시키므로써 표면손상을 방지할 뿐만 아니라 이후의 작업을 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.

④ 클램프가 사용된다면 톱니모양의 면이 표면에 끌자국을 내기 때문에 주의해서 사용해야만 한다.

⑤ 만약 쇠사슬을 사용한다면 미끄러지기 쉽기 때문에 표면에 기계적손상을 주게 된다. 그러므로 합성물질로 된 사슬을 사용하는 것이 바람직하다.

모든 운반 장비는 스테인리스강을 사용하기 전에 깨끗하게 해야한다. 운반시 오염은 일반강

을 사용한 장비의 표면으로부터 야기되며, 이는 일반강표면의 치밀하지 않은 녹이 장비에 묻어나오기 때문이다. 운반장비를 스테인리스강 전용으로만 사용할 수는 없지만 가능하다면 전용으로 사용하는 것이 바람직함으로 스테인리스강의 운반 일정을 별도로 계획하는 것이 중요하다. 왜냐하면 만약 운반 장비를 닦는 대로 사용한다면 장비의 청소는 무시되고 오염이 발생하게 된다. 냉연박판은 비교적 미려한 표면을 가지고 있어 운반시 지문이 묻지 않도록 장갑을 껴야 한다. 지문이 묻었을 경우에는 연한 유기용액으로 닦은 다음 미지근한 세제로 깨끗하게 한 다음 깨끗한 물로 닦고 완전히 말려야 한다.

3) 성형과 절단

스테인리스강의 성형과 절단시 특히 주의하여야 할 점은 오염방지이다. 성형과 절단장비는 가격이 비싸므로 스테인리스강 전용으로만 사용될 수는 없다. 앞에서 언급한 바와 같이 일반강의 치밀하지 않은 녹이 오염의 주원인이 된다. 성형과 절단장비 사용시 힘이 가해지기 때문에 일반강의 녹이 비교적 연한 스테인리스강 표면에 박히게 되어 오염이 악화된다. 이렇게 박힌 입자들의 부식은 일반적인 녹발생과 국부적인 부동태피막의 약화를 초래하여 내식성을 저하시킨다. 조금이라도 오염을 받은 절단부가 용접되게 되면 용접부성질에 나쁜 영향을 미치게 되므로 스테인리스강을 사용하기 전에 장비를 깨끗하게 해야 한다. 가능하다면 스테인리스강을 두꺼운 마분지로 덮어서 장비의 오염된 표면과의 접촉을 피하는 것이 좋다. 스테인리스강과 일반강을 혼합하여 작업하면 불가피하게 일반강의 녹이 스테인리스강에 오염되게 되므로 운반에서 언급한 바와 같이 스테인리스강의 성형과 절단은 작업일정을 철저히 계획하여 장비를 깨끗한 상태로 하여 작업을 진행시키는 것이 필요하다.

4) 제조가공

제조가공 공정중 스테인리스강의 부동태 피막을 손상시킬 수 있는 주요인자로 표면오염, 기계적 손상 및 국부 가열을 들 수 있다.

표면오염은 주위의 일반강 작업장에서 일반강 연마시 발생한 철분먼지가 날아들어서 발생하게 된다. 철분오염의 단순한 확인방법은 표면에 물을 묻혀서 24-30 시간 방치하는 방법으로 철분오염이 되어 있을 경우에는 녹자국이 나타나게 된다. 보다 빠르고 확실한 철분오염 확인방법은 Ferroxy Test(ASTM A380)이다. 3%(30g) Potassium Ferricyanide + 3%(20ml) HNO₃ + 94%(1000ml) H₂O 용액을 표면에 바르거나 분사하는 방법이다. 철분오염이 되어 있을 경우에는 약 15초 이내에 청색을 띠며, 표면 산화층을 확인하기 위해서는 약 3~5분 정도 필요하다. 색의 강도로서 오염정도를 알 수 있다. 확인한 다음 용액과 색을 띄는 부분은 가능한 한 빨리 물로 깨끗이 씻어내야 한다. 만약 물로 씻어내기가 어려울 때는 5~20% 초산용액 또는 가정용 식초를 사용하면 된다. 따라서 스테인리스강은 일반강 작업장과 완전히 분리된 전용 작업장에서 제조 가공하는 것이 이상적이나 그렇게 하는 것이 항상 가능한 것은 아니므로 일반강 작업장에서 기인하는 오염물질을 최소화하기 위해 칸막이 벽을 만들어서 스테인리스강 작업장은 분리하는 것이 좋다. 이와 같이 특정장소를 배려한 공장배치가 실제로 많이 적용되고 있다.

스테인리스강을 강종별로 표시하기 위해서는 지워지지 않는 잉크를 사용해서 고무스탬프로 표시하는 것이 바람직하다. 크레용이나 테이프를 표시재료로 사용하면 접착제등에서 기인된 유기 잔류물질에 의하여 심한 부식환경하에서 부식의 개시점으로 작용할 수 있다. 이경우 염소성분이 없는 용제를 사용하여 제거한 다음 물로 깨끗하게 씻어 주어야 한다.

제조가공 공정중에 일시적으로 손잡이나 버팀대 등을 부착하는 것이 필요할 때가 있다. 경제적인 이유 때문에 버팀대는 일반강이 사용되기도 하지만 가능하면 모든 손잡이나 버팀대는 동급 이상의 스테인리스강을 사용해야 한다. 가공시 손잡이나 버팀대의 용접은 적절한 용접봉을 사용하여 행해져야 한다. 이러한 주의가 지켜지지 않는다면 국부오염은 물론이고 모재의 상당한 깊이까지 오염이 발생하게 된다. 부식은 그러한 국부부위에서 쉽게 개시될 수 있고 소재의 표면과 두께방향으로 급속히 진전된다.

이러한 오염은 제거하기가 극히 어렵고 설명 완전히 연마해 낸다고 해도 잠재적으로 내식성이 낮은 국부부위를 갖게 된다. 또한 손잡이와 버팀대는 주의해서 용접해야 한다. 용접이 국부적으로 행해지기 때문에 국부부위의 용접열에 의한 응력이 발생하게 된다. 이는 일종의 기계적손상이므로 이러한 효과를 최소화하기 위해 적절한 용접방법을 선택하여야 한다. 제조가공시 어떤 일시적인 부착물은 제조후 주의해서 연마하여 제거하여야 한다. Spot 용접으로 부착된 것을 힘을 가하여 충격에 의해 떼어내게 되면 Spot 용접자국이 국부적인 부동태 열화를 초래하여 부식의 개시점으로 작용하게 된다. 또한 운반 및 취급 항목에서 언급한 바와 같이 제조되는 과정이나 최종제품의 운반시에 발생할 수 있는 기계적손상을 피해야 한다. 용접시 용접불꽃의 튀김에 의해 부동태피막이 타서 부식을 조장하게 되므로 이러한 것은 연마해서 제거한 다음 재부동태화 시켜야 한다. 한편 튀김방지 Paste를 시중에서 구입하여 사용하는 것이 좋다. Paste 위에 부착된 용접 튀김부는 제조 완료후 Paste를 닦아내므로써 Paste와 함께 쉽게 제거할 수 있다. 국부부위를 닦치는대로 마구 연마하는 것이 제조중에 종종 발견되는데 국부연마는 대개 용접

튀김을 제거하기 위해 행하기 때문에 용접튀김이 발생하지 않게 하거나 최소화할 수 있는 용접 조건을 설정하는 것이 중요하다. 국부연마는 국부가열과 표면거침을 유발할 수 있으며 이런 부위는 위에서 언급한 바와 같이 잠재적으로 취약한 내식성을 가지고 있다. 따라서 연마시 국부가열을 막기 위해 거친 연마제는 사용하지 않는 것이 좋다.

5) 용접

용접은 최종제품의 성질에 영향을 미치는 많은 인자를 가진 특별한 공정임으로 용접시 용접봉의 엄격한 관리, 용접부 오염방지 및 용접부와 열영향부(HAZ)의 부동태화에 유의하여야 한다.

용접봉이 섞이는 것을 방지하기 위해 스테인리스강 용접봉 저장용기와 일반강 용접봉 저장용기를 완전히 분리하는 것이 바람직하다. 스테인리스강 용접봉 중에서 강종이 서로 다른 용접봉은 섞이지 않도록 분명하게 구별하여 표시한 용기에 분리해서 보관하는 것이 매우 중요하며, 보관중이나 사용시 깨끗하고 건조된 상태로 유지되어야 한다. Manual Metal Arc(MMA) 용접봉은 보관함에 보관되어야 하고 습기나 땀 또는 기름이 묻은 손으로 잡지 말아야 하고 작업장 바닥에 놓아서도 안 된다. 용제(Flux) 피복 MMA 용접봉은 용착금속을 함유하고 있을 뿐만 아니라 용접시 안정한 아아크를 유지하고 용고시 용착금속을 보호하기 위한 성분을 함유하고 있다. 피복을 제거하거나 손상시키면 용접부 품질특성에 해로운 영향을 미친다. MIG와 TIG 용접봉은 기름이나 윤활유로 오염되어서는 안된다. 더우기 스테인리스강 MIG 용접봉의 오염은 이전에 일반강 용접봉을 사용한 용접장비에서 기인됨으로 이러한 용접장비는 일반강 사용후 스테인리스강으로 바꾸기전에 철저히 청소되어야 한다. 가능하면 용접장비를 스테인리스강 전용으로 사용하는 것이 바람직하다. 용제 피복

MMA 용접봉과 Sub-arc 용접시 사용되는 용제는 수분을 흡수하기 쉬우며 이 경우 심각한 손상을 줄 수 있으므로, 적당량의 건조제(CuSO₄ 결정, 실리카겔)를 넣어둔 환기가 잘되는 찬장에 용접봉을 넣어서 20~30℃의 온도에서 보관함이 바람직하다.

용접부의 철분에 의한 오염은 스테인리스 브러시의 사용과 스테인리스강 전용연마기를 사용하므로써 방지될 수 있다. 아연도금강판으로부터 기인된 아연의 오염은 특히 위험하다. 용접부에 아연의 혼입은 용접부의 성질에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

또한 기름, 윤활유 그리고 페인트는 용접작업장에 없어야 한다. 이러한 것들은 용접부에 탄소함량을 높게 되어 용접부와 열영향부의 내식성을 열화시킨다. 페인트는 제품번호등을 기록하여 구별하기 위해 종종 사용되지만 작업완료 후 염소성분을 함유하지 않는 용제로 제거하고 물로 씻어낸 다음 완전히 말려 주어야 한다. 따라서 페인트는 가능한 사용하지 않는 것이 바람직하다.

용접시 고열에 의해 용접부에는 치밀하지 않은 스케일이 형성될 뿐 아니라 용접부 인접부위의 Cr 산화물 부동태피막이 변하게 된다. 어떠한 형태든 표면에 산화스케일이 형성되거나 열영향을 받아서 부동태피막이 열화된 부위는 내식성이 좋지 않으므로 적절한 표면처리를 통하여 산화스케일을 제거후 반드시 재부동태화 처리를 하여 내식성을 확보할 수 있도록 해야 한다. 산화스케일 제거에는 기계적 또는 화학적인 방법이 있으며, 기계적 방법은 단지 표면만 깨끗하게 할뿐이므로 화학적방법에 의해 보완되어야 한다. 일반적으로 용접부가 양호한 상태를 나타낸다면 기계적방법을 사용할 필요가 없고 화학적 방법만 사용하면 된다.

6) 표면처리

(1) 기계적 방법

① 철사 솔질(Wire brushing)

단지 푸석푸석한 스케일이나 용접시 생긴 용재를 제거할 뿐으로 반드시 화학적인 산세를 병행해 주어야 한다. 솔은 오염을 방지하기 위해서 반드시 스테인리스 철사로 만든것을 사용해야 한다.

② 연삭(Grinding)

국부적인 산화막이나 열영향부는 일반적으로 연삭에 의해 제거된다. 오염을 방지하기 위해 연마제는 철분이 없는 것을 사용해야 하며 휠이나 피대는 판 재료에 사용하지 않은것을 사용해야 한다.

③ 블라스팅(Blasting)

유리 구슬(Glass bead), 짧게 자른 철사(Cut wire) 또는 쇼우트(Shot)을 사용한다. 이 방법은 주로 화학적인 방법으로 산화 스케일을 제거하기 힘든 재료에 주로 사용된다. 이 방법 역시 오염되지 않게 짧게 자른 철사나 쇼우트는 스테인리스로 만든것을 사용해야 한다.

④ 텀블링(Tumbling)

통체 속에 제품과 함께 적합한 연마제를 넣어서 통의 회전에 의해서 청소하는 방법으로 작은 제품의 스케일 제거에 적합하다.

(2) 화학적 방법

일반적으로 스테인리스강은 로내에서 열을 받으면 로내의 분위기 종류에 따라 표면전체에 특성이 다른 산화 스케일이 형성된다. 분위기에 따라 표면과 접착력이 좋은 스케일이 형성되면 제거하기가 힘들며 반대로 다소 푸석푸석한 스케일이 형성되면 상대적으로 제거하기가 쉽다. 모든 경우 스테인리스강 표면에 형성되는 산화 스케일은 어느 정도 치밀하고 내식성이 있으므로 산세시 스케일이 먼저 제거되는 부위의 과산화에 의해 기지금속의 유실을 막아 주어야 한다. 그러므로 산세 시간은 될 수 있으면 짧아야 하며

스케일이 두꺼운 부분은 중간에 솔로 문질러 주는 것이 바람직하다. 표면이 기름이나 구리스에 의해 오염이 되어 있으면 산세후 누더기 같은 흔적이 남으므로 조심해야 한다. 스테인리스강은 스케일의 특성상 산세는 질산을 모체로 하는 산세용액 즉 부피비로 8~20% 질산(HNO₃)과 1~4% 불산(HF)을 함유한 용액을 이용하여 55~65℃에서 행하는 것이 바람직하며 염산(HCl)을 사용한 산세용액은 적합치 않다. 불산은 침식력이 매우 강하고 질산은 부동태화 시킴으로 불산에 의해 새로 생긴 표면은 질산에 의해 보호되어 산에 의한 침식정도를 늦추어 준다. 불산의 농도가 너무 높으면 국부부식이나 공식을 일으킬 수 있으므로 농도는 주기적으로 검사하며 적정수준으로 조정해 주어야 한다. 산화 스케일이 너무 두껍거나, 그 특성상 상기의 방법으로 효과적으로 제거할 수 없을 경우 다음의 방법이 필요하게 된다. 크롬과 니켈을 함유한 스테인리스강(304, 316등)은 표면의 산화 스케일을 산세가 용이하게 하게 하기 위하여 전처리로써 온도가 약 70~80℃인 황산용액(부피비로 15% H₂SO₄)내에 침적시킨다. 침적시간은 산화 스케일의 종류에 따라 다르나 과다한 침적은 금속의 유실을 유발하므로 피해야 한다. 이 방법은 Scale을 완전히 제거하지 못하나, 주된 이점은 산세가 용이하게 스케일을 무르고, 푸석푸석하게 하는데 있다. 이 처리 후 표면에 스케일이 제거된 부위는 짙은 회색이나 검은색을 띠게 되며 이러한 표면은 내산피막을 형성하지 못하므로 상기한 질산/불산 처리를 다시 해 주어야 한다. 고합금내열강(25%Cr-12%Ni 또는 25%Cr-20%Ni)과 단순히 Cr만 포함한 스테인리스강은 산세하기가 더욱 힘들므로 가성소오다를 함유한 용액에서 전처리하는 것이 효과적이다. 이는 20wt.% NaOH 및 5wt.% KMnO₄를 함유한 용액을 100℃로 가열하여 약 1시간 침적시키는 방

법으로 이후 상기한 황산 및 질산/불산 처리를 해주어야 한다. 즉 모든 스테인리스강의 산세는 최종적으로 질산/불산 용액내에서의 산세과정을 반드시 거쳐야만 한다.

용접부와 같이 국부적인 부위의 산세에는 산세연고(Pickling paste)를 사용하는 것이 효과적일 수 있다. 이 연고는 질산과 불산이 적당히 함유된 것으로 원하는 부위에 선택적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 주로 부드러운 솔을 이용하여 바르며 접촉시간은 약 3045분 정도이다. 이 연고는 매우 침식력이 강하고 유해함으로 사용시 표면에 과다하게 사용하는 것을 피해야 하며 취급 및 처리에 유의해야 한다. 염산(HCl)으로 된 산세반죽이나 산세용액은 사용하지 않는 것이 바람직하다. 모든 산세공정후 반드시 물을 완전히 세척하여 잔류된 산에 의해 국부적으로 계속 침식되는 것을 방지할 뿐만 아니라 후 공정인 부동태화 처리용액의 오염을 방지해야 한다.

7) 부동태 처리

스테인리스강의 표면에 형성되어 우수한 내식성을 보여주는 치밀하고 안정된 부동태 피막은 열역학적으로 공기 중에서 산소에 의해 자연발생적으로 형성되며 만일 손상을 입게 되더라도 저절로 다시 복구된다. 그러나 이 피막이 산화성 산용액내에서 형성 된다면 그 형성속도와 부동태화 정도가 더욱 향상된다. 질산은 산화성 산으로 항상 스테인리스강의 부동태화 처리에 사용된다.

질산/불산 산세액 역시 같은 맥락에서 스테인리스강의 표면을 부동태화 시킨다. 기계가공, 연마, 연삭, 쇼우트투사 등 기계적으로 생겨진 표면은 질산 부동태화 처리를 해 주는 것이 바람직하며 특히 제품이 매우 열악한 환경에서 사용되어질 경우는 반드시 필요하다. 국부적으로 연마된 부위는 부동태화 연고(Passivating paste)를 사용하거나 질산을 발라주는 처리를 할 수도 있다.

연고 도포시간은 제조회사의 지시에 따라서 행해야 하며, 농도는 연고 종류에 따라서 다르고 저급강종일수록 처리시간이 짧게 걸린다. 질산처리의 부수적인 이점은 강의 가공이나 취급시 표면에 오염 될 수 있는 철분의 제거이다.

부동태화 처리에 사용되는 질산용액은 부피비로 10~15% 질산을 함유하는 용액으로 오스테나이트계 스테인리스강은 약 65℃에서, 페라이트와 마르텐사이트계 스테인리스강은 약 50℃에서 일반적으로 약 30분간 처리한다. 부동태화 처리후 반드시 따뜻하거나 뜨거운 물로 완전히 세척하여 모든 오염물질을 제거해 주어야 한다. 그러나 뜨거운 질산수용액에 제품을 완전히 담글 수 없는 경우가 있다. 그래서 작업이 용이하도록 저농도와 저온(20~25℃)의 산용액으로 닦아내는 것이 보통 사용되고 있다. 이 경우에는 장시간 닦아주는 것이 필요하다. 오스테나이트계 스테인리스강은 15% 질산용액으로 약 30~90분간, 페라이트계 스테인리스강은 12% 질산용액으로 30~45분 마르텐사이트계 스테인리스강은 10% 질산용액으로 약 30분 정도 스폰지나 부드러운 페인트솔 또는 부드러운 나일론 패드로 닦는다. 용액이 계속해서 표면에 묻어 있도록 연속해서 닦아주는 것이 필요하다. 부동태화 작업은 조심해서 작업해야 하고 부동태화처리 후의 폐기물은 주의해서 처리해야 한다.

1.4.3 유지 및 청소

일반적으로 스테인리스강의 표면은 최소한의 주의만 기울여도 그 특성을 유지할 수 있다. 스테인리스강의 표면조건은 영구적인 것이 아니며 강의 특성상 열악한 분위기에서 사용되는 경우가 종종 있어, 강 자체의 외관이나 내식성 등을 유지하기 위해서는 통상적인 청소를 정기적으로 해 주어야 한다.

스테인리스강을 정상적으로 사용할 때 원래의 외관이나 그 특성의 유지를 위해서는 간단한 일

상적인 청소만 해주면 된다. 잘못 사용하거나 남용하는 등 비정상적으로 사용되어질 경우에도 강의 특성이 쉽게 파괴되거나 사용 불가능하게 되지는 않으므로 청소방법을 반복하여 시행하면 비교적 짧은 시간 내에 표면을 원상태로 복귀시킬 수 있다. 스테인리스강의 특성이나 외관유지가 힘든 경우는 강 자체의 결함 때문이 아니라 부적합하거나 잘못된 유지 및 청소방법에 기인한다. 그 예를 들면 다음과 같다.

산업용 설비인 탱크나 파이프 외부에 부식매질이 누출될 경우, 증발에 의해 농축되어 부식이 가속화 된다. 비록 내부는 부식 매질에 대해 내식성을 유지하나 외부로부터 부식이 진행된다.

해양성 기후나 산업공해 환경에서 스테인리스 표면에 부착된 먼지나 가루들이 부식오염물을 흡착(소금등)할 수 있으며 이것이 증발, 농축되어 결과적으로 부식을 유발한다.

살균소독액이나 세제는 흔히 매우 강한 부식매질(CI-)을 함유한 것이 많다. 종종 제시된 농도 이상으로 농축된 액을 사용하거나 조업중지 등 액이 용기 내에 장시간 유지될 경우 부식이 야기될 수도 있다.

스테인리스강 표면을 청소시 항상 가장 약한 청소방법을 먼저 사용하여야 하며, 좀더 강한 청소방법을 사용하기 전에 인내심을 가지고 여러 번 청소하는 것이 바람직하다. 청소 방법은 다음과 같이 3단계로 나눌 수 있으며 최종적으로 반드시 1단계 청소를 실시해 주어야 하며, 청소후 세척 및 건조시는 항상 부드러운 천을 사용해야 한다.

1) 1단계

스테인리스강의 청소에는 비누, 순한 세제 또는 따뜻한 물에 희석한 암모니아 용액을 이용하여 부드러운 천이나 나이론 스폰지로 닦는 것이 일반적인 청소방법이나, 가끔 약간 거친 나이론 패드를 사용하는 경우도 있다. 이 방법을 사용하

면 일반적인 얼룩을 쉽게 제거할 수 있다.

2) 2단계

중탄산소다나 약한 연마제가 포함된 가정용 세제를 사용한다. 부드러운 천이나 나이론 패드를 사용하나 털의 강도가 약한 솔을 사용할 수도 있다. 가능하면 한쪽 방향 전후로 힘을 고르게 주며 표면을 문질러 주어야하며 회전식으로 문지르는 것은 피해야 한다. 이 방법을 사용하면 표면에 형성된 약한 녹을 제거할 수 있다.

3) 3단계

표면이 심하게 오염되어 있을 경우 청소하기 전에 따뜻하거나 뜨거운 세제 또는 암모니아 용액 내에 미리 담그어 두는 방법이다. 이 방법으로도 충분히 제거할 수 없을 경우 가정용 강 세제를 사용할 수도 있으며, 3단계 청소와 2단계 청소 방법을 번갈아 몇 번 반복할 수도 있다. 만일 이방법으로도 제거하기 힘들면 굵은 연마제가 함유된 세제를 사용할 수도 있으나 이 경우 표면의 외관이 상하는 것을 감수해야 한다.

〈다음호에 계속〉

