

# 철도차량 경량화용 고강도 스테인리스강재와 그 이용



김 정 배

(현대정공(주) 철차기술부)

- '82. 2 부산대학교 금속공학과 졸업
- '82-현재 현대정공(주) 철차기술부 과장 재직 중
- '81. 8 금속기사 1급 자격취득
- '92. 8 용접기술사 자격취득
- '93. 7 기계공정설계 기술사 자격취득



김 창 주

(KIMM 재료기술연구부)

- '67-'71 성균관대학교 금속과(학사)
- '73-'76 서울기계공고 교사
- '76-'78 연세대학교 산업대학원 재료과(석사)
- '78-'79 포항제철 기술연구소 주임연구원
- '82-'86 부산대학교 대학원 금속과(박사)
- '79-현재 한국기계연구원 책임연구원

## 1. 서 론

산업화와 도시화에 따른 대도시 및 근교의 인구 집중과, 소득의 증대에 따른 생활수준의 향상으로 대중 교통은 새로운 전환기를 맞고 있다.

대도시의 도심 교통 및 근교간 통근 교통수단으로서의 전동차 및 도시간 연결 교통수단으로서의 고속철도 등 대량, 안전, 고속 수송이 가능한 철도차량에 대한 수요가 국내외적으로 증가되고 있는 추세이다.

이에 따라 최근 철도차량에 요구되고 있는 주요한 품질추세는

### 1) 경량화

- 운전 비용절감(전동차의 경우 잦은 가속 및 제동에 의한 전력 소모량 큼)
- 고속화(축당 중량 감소)

### 2) 유지 보수 비용의 감소

### 3) 내구성의 증대

### 4) 차량의 미려도 및 고급화

### 5) 충돌 또는 화재시 안전도의 향상 등이 있다.

이러한 관점에서 국내외적으로 철도차량 차체의 소재로서 스테인리스강이 많이 채택되고 있으며, 나아가 더욱 경량화 및 강도가 증대된 고강도 스테인리스강을 사용한 철도차량이 신설 지하철 노선용 전동차를 중심으로 그 증가 추세에 있다.

本橋에서는 최근 철도차량 제작용으로 80년대 중반 이후 일본을 중심으로 개발되었고 '92년부터 국내소재 업체에서도 개발된 경량 철도차량용 고강도 스테인리스강 소재의 특징과, 그 사용상의

특징 중의 기술동향에 대해 기술하고자 한다.

2. 철도차량용 소재로서의 스테인리스강의 특징

2.1 종래 철도차량의 주요 소재인 저탄소강과 비교한 일반적인 Cr-Ni系 (Austenite系)

스테인리스강의 특징으로서는

- (1) 우수한 내식성(耐蝕性)  
; 차량의 사용기간중 부식으로 인한 차체 보수 및 제도장 작업이 불필요(탄소강 차량의 경우 보증기간 12~15년후 잦은 보수에 따른 비용, 인건비 운행손실등이 있으나 스테인리스강 차량 경우 약35년 정도 무보수 운행

표 1. 철도차량용 각종 금속 재료의 기계적 성질(두께 16mm 이하 板材기준)

구분	규격명 (KSD)	재질		항복점(耐力) N/mm <sup>2</sup> , Kg/mm <sup>2</sup>	인장강도 N/mm <sup>2</sup> , Kg/mm <sup>2</sup>	연신율 (%)
		종류	(調質)기호			
연강	냉간 압연 강판 (3512)	SCP1	1/8H~H (주1참조)	규정없음	275 N/mm <sup>2</sup> 이상, 28Kg/mm <sup>2</sup> 이상	37이상
	열간압연 연강판 (3501)	SHP1	-	〃	275이상, 28이상	29이상
	일반구조용 압연강재 (3503)	SS41	-	245이상, 25이상	402~510, 41~52	17~21
	고내후성 압연 강재 (3542)	SPAC (냉연)	(3.2mm이하)	314이상, 32이상	451이상, 46이상	26이상
		SPAH (열연)	(6.0mm이하)	343이상, 350이상	481이상, 49이상	22이상
	용접구조용 압연강재 (3515)	SWS50	A,B,C	324이상, 33이상	490~608, 50~62	17~22
	용접구조용耐후성 열간압연강재(KSD3529)	SWA50	BP	363이상, 37이상	490~608, 50~62	150이상
스테인리스강	냉간 압연 스테인리스강 강판(3698)	STS304	고용화처리	205이상, 21이상	520이상, 53이상	40이상
		STS301L	調質 1/4H~H	345이상~684이상, 35이상~70이상	690이상~930이상, 70.5이상~95이상	40~20
		STS301 (주2참조)	調質 1/4H~H	510이상~960이상, 52이상~98이상	860이상~1270이상, 88이상~130이상	25~3
알루미늄(JIS)		A7N01	T4	196이상, 20이상	314이상, 32이상	-

주) 1. 1/4H~H: 고용화 열처리후 조질 압연(냉간)으로 가공경화 시킨 상태를 8등급으로 분류한 것.

2. STS 301: 高탄소(0.03%C)급이므로 용융 용접부 내식성 문제로 현재 거의 사용하지 않음.

표 2. 전동차 구조체의 중량 구성비 및 중량 추이

중량단위 : Kg

구 분	Carbon steel car	Skin S.S. car	Semi S.S. car	All S.S. car	Light weight SS.car
탄소강	10,000	8,600	4,500	2,900	1,900~2,000
스테인리스강	0	1,300	5,000	5,100	4,400~5,300
합 계	10,000	9,900	9,500	8,000	6,300~7,300

※약어 S.S.=Stainless steel

가능)

(2) 높은강도

; 일반적으로 탄소강에 비해 강도가 높아 (특히 STS301L 調質압연 강판: 2~3배) 차체 경량화 가능

- 차량 운행 비용 에너지 감소 및 제동시 선로 손실 비용 절감
- 고속화 가능

(3) 변형 및 충격에너지 흡수 능력이 큼(탄소강의 약 2.5배)

; 충돌시 승객 안전성 증대

(4) 고온강도 유지

; 500°C에서 항복강도 감소율이 60%이하로서 화재시 안전성 유지

(5) 열전도도가 낮음(저탄소강의 약 1/2수준인 0.039 cal/sec/cm<sup>2</sup>)

; 화재시 구조를 이루는 부품의 열적 손상의 전파를 줄임

(6) 미려도 우수

; 스테인리스강 특유의 아름다운 광택유지가 가능하며 다양한 표면상태에 따른 대중 교통수단으로서의 철도차량의 고급화

2.2 철도차량용 소재의 강도 비교

경량화의 기본적 개념은

- (1) 정확한 구조해석에 의한 최적 강도 설계
- (2) 구조체의 강성과 내구성의 저하가 없도록 한 경량화

- (3) 강도등 기계적 성질이 우수한 소재의 개발
- (4) 차량 제작기술 개발(절단, 성형, 용접, 교정, 마무리, 치공구, 자동화 기술등)

이러한 개념에 기초하여 대표적인 철도차량용 소재들의 강도를 비교해보면 아래의 표 1과 같다.

2.3 스테인리스강의 사용에 따른 차량 중량 감소 효과

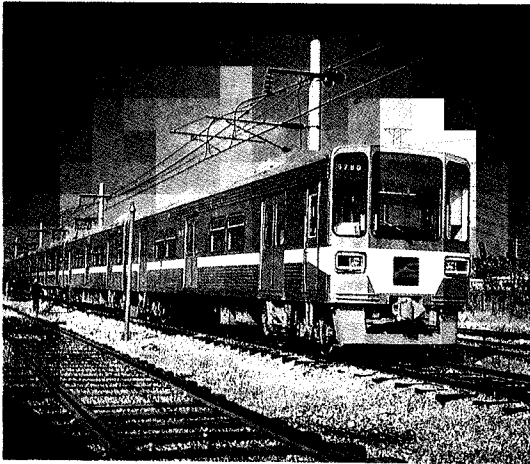
종래 차량 구조체의 주소재였던 탄소강 소재 대신 스테인리스강을 사용하는 비율을 높임으로써 경량화가 가능했으며, 특히 경량스테인리스강은 표 2에서와 같은 사례로 적용되어 전동차의 경우는 최근 개발된 저탄소급 調質압연 고강도 스텐인리스강판(STS 301L)의 사용과 컴퓨터에 의한 구조 해석 및 설계기술 발전으로 더욱 경량화의 효과가 크게 되었다.

여기서 스테인리스강의 사용 정도에 따른 차량 명칭 및 사용부위는 아래와 같으며 그림 1은 국산철도차량 예이다.

- i) skin S.S. car : side 外板만 스테인리스강 사용
- ii) Semi S.S.car : underframe을 제외한 side, roof의 구조체에 스테인리스강 사용
- iii) all S.S.car : underframe의 bolster부(대차와 연결부분)을 제외한 side, roof등 전구조체에 스테인리스강 사용
- iv) light weight S.S. car : underframe의 bolster부를 제외한 전구조체에 고강도 스테인리스강 사용 및 최적 강도계산에 의한 경량 철도차량



연강(저탄소강)材  
철도차량



스테인리스강材  
STS 304 철도차량



고강도스테인리스강材  
STS 301L 철도차량

그림 1. 국산 철도차량의 예

### 3. 철도차량용 스테인리스강 개발 내역

#### 3.1 철도차량용 스테인리스강 품질 요구특성 변화 및 개발 강종

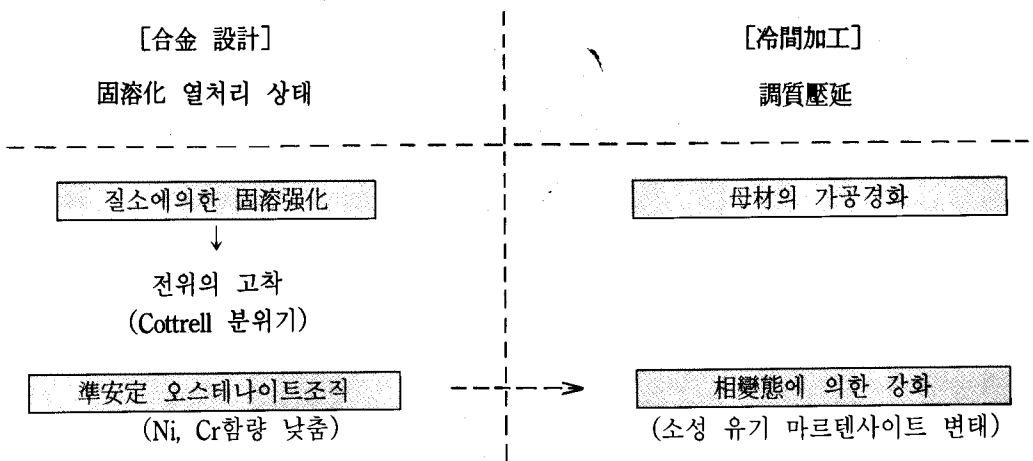
품질 요구 특성	1960년대 내식성	→	1970년대 내식성+고강도 (경량화를 통한 에너지 절감)	→	1980년대 내식성+고강도+ 용접부내식성 향상
鋼種	STS 304 18C-8Ni C≤0.08	→	STS 301 17C-7Ni C≤0.15	→	STS301L 17C-7Ni C≤0.03 N≤0.20
문제점	강도제약	→	· 고강도 (연신율 낮음) · 용융 용접부 내식성 문제로 용접방법제약 (고탄소)	→	연신율 개선 (N첨가) 저탄소 ↓ 용융용접 가능

#### 3.2 저탄소강 調質압연 고강도 스테인리스강재 (STS301L)의 金屬組織學的 특성

- (1) STS 304보다 Cr 및 Ni 함량이 낮아 준안정 오스테나이트 조직 형성  
→ 냉간가공 (調質압연) 시 加工유기 마르텐

- 사이트 변태가 용이하여 고강도화 가능  
(2) 질소(N)의 첨가 (0.2%이하)에 의한 固溶 強化 효과로 강도를 높이면서도 연신율을 높임 (성형성 및 피로, 충격특성 향상)  
(3) 저탄소 (0.03%이하)에 의한 모재 및 용접부의 내식성 향상

#### 3.3 STS 301L 소재의 強化機構



※폴림(燒純)상태의 高연신율 (≥45%) 확보를 위해서 니켈당량을 20 이상으로 合金設計,

$$Ni_{eq} = Ni + 0.35Si + 0.5Mn + 0.65Cr + 12.6(C+N)$$

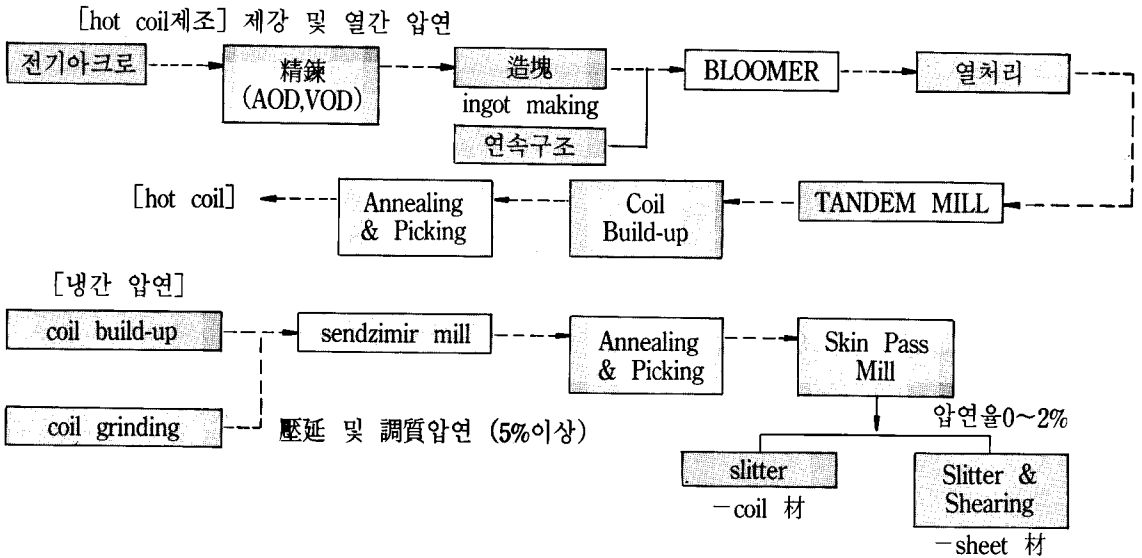
※調質壓延시 마르텐사이트 변태량은 온도증가에 반비례하나 통상의 냉간 압연 온도 구간인 30~90°C에서는 온도영향을 무시할 정도임.

3.4 화학 성분 (KSD 3698규정)

구분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	비고
STS301L	≤0.030	≤1.00	≤1.00	≤0.045	≤0.030	6.00~8.00	16.00~18.00	≤0.20	
STS301	≤0.15	≤1.00	≤1.00	≤0.045	≤0.030	6.00~8.00	16.00~18.00	-	용융용접부 내식성 문제
STS304	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.045	≤0.030	8.00~10.50	18.00~20.00	-	

3.5 STS 301L 調質압연재의 특징

(1) 調質압연 스테인리스강 제조 공정



(2) STS 301L 調質 압연재의 특징

鋼種	調質 記號		냉간調質 압연율	항복점(耐力) (N/mm <sup>2</sup> )	인장강도(주2.) (N/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	굽힘특성 (주3.참조)	경도(주4.) HV(10)
	KSD 3698	JISE4049						
STS 301L	固熔化 열처리상태	LT (주1.참조)	0~2	215이상	550이상	45이상	180°×0.5t	200이하
	1/4H	DLT	3	345~(482)	690~(862)	45이상	↗	(246)
	1/2H	ST	5	410~(552)	760~(931)	40이상	↗	(270)
	3/4H	MT	10	480~(655)	820~(999)	35이상	180°×0.75t	(309)
	H	HT	20	685~(827)	930~(1138)	25이상	135°×1.0t	(348)
STS304	固熔化 열처리상태	-	-	205이상	520이상	40이상	135°1.5t	200이하

- 주) 1. JIS E 4049「鐵道車輛用 STAINLESS 鋼材熔接繼手-設計方法」에 의한 調質기호  
 : LT(Low Tensile), DLT(Deadlite Low Tensile), ST(Special Tensile), MT(Middle Tensile), HT(High Tensile)
2. 耐力 및 인장강도 값 중 ( )내의 값은 두께 2mm 시편 기준 측정치임.
3. 굽힘 특성: 굽힘 강도×굽힘날(bending blade)의 최소 반지름을 두께(t)에 대한 비율로 표시
4. 경도 값 중 ( )내의 값은 두께 2mm 시편 기준 측정치임.

### 3.6 내식성

(1) STS 301L은 탄소함량이 0.03%이하인 저탄소 급으로서 母材의 耐蝕性은 근본적으로 우수하며 그 예로서 황산, 황산동 부식 시험 및 입계부식 시험 결과 균열 또는 粒界분리등은 그림 2에서 처럼 발견되지 않았다.

(2) 용접부 또는 열처리부의 耐粒界 부식성

- ① STS 304 ( $C \leq 0.08\%$ ), 301 ( $C \leq 0.15\%$ ) 등은 용접 또는 장시간 가열 또는 유지시 약 450~800°C 구간에서 예민화(표 3참조)가 일어나 (650°C에서 최고) 粒界의 耐蝕性이 저하될 수가 있으나
- ② STS 301L은 低炭素級( $C \leq 0.03\%$ )이므로 耐粒界부식성이 우수하다.

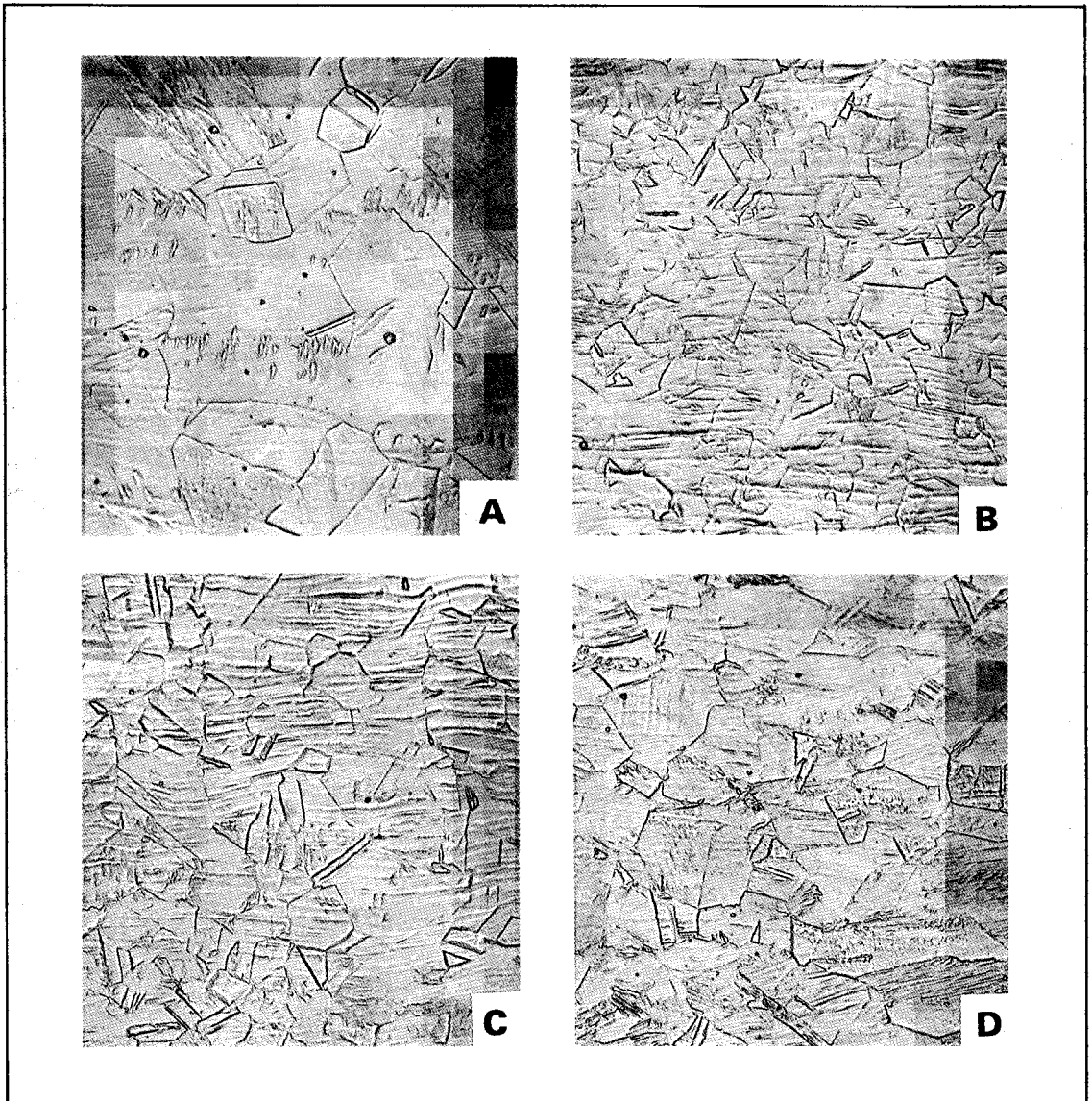


그림 2. STS 301L을 황산 및 황산동액 중에서 부식시험한 후의 금속조직 (x500)

A) 용체화처리 상태 B) 1/4H 상태 C) 1/2H 상태 D) H 상태

표 3. 예민화 시험 결과

구 분	열처리(유지)온도	유지시간	무게감량	비 고
STS 304	650℃	30분	1.2mg/cm <sup>2</sup> .hr	
STS 304	650℃	240분	0.3mg/cm <sup>2</sup> .hr이하	고용화 열처리재 및 조질기호 H 모두

단, 용접母材가 STS 301L끼리 또는 저탄소강종이 아닐 경우에는 耐粒界부식성이 문제가 될 수 있으므로 용접봉은 저탄소급(AWS ER308L 또는 ER309L)을 써야하며 예민화 온도구간(450℃~800℃)에서 장시간 유지되지 않도록 용접 또는 열처리시 냉각 방안을 강구 해야한다.

주) 1. 예민화 : 450℃~800℃구간 (650℃가 최대)에 유지시 C와 Cr이 반응하여 粒界에 크롬탄화물이 형성되고, 이로인해 粒界에 인접한 부위가 내식성을 가지는 不動態(passivity)유지에 필요한 최소한의 Cr량(즉12%Cr) 이하가 되어 (Cr고갈)입계 주위의 내식성이 현저히 떨어지고, 계속 부식 환경에 유지시 小양극, 大음극 현상으로 입계의 부식이 더욱 촉진되는 현상을 말한다.

### 3.7 용접성

저항용접 및 용융용접(fusion welding)이 가능하다.

#### (1) 저항 용접성(resistance welding)

오스테나이트계-스테인리스강의 경우 표면 비저항이 커서 저전류로도 높은 발열량을 얻을 수 있으므로 저항 용접성은 아주 좋다. 저항 용접부위 강도는 母材의 인장강도 또는 調質 등급에 따라 허용 전단하중을 각종 규격(JIS E 4049.AWS)에서 그 최소값을 표 4에서와 같이 규정하고 있다. 시편 용접후 인장시험기를 이용한 인장 전단하중 측정을 행해 시험한다.

#### (2) 용융 용접성(fusion weldability)

용융 용접 가능하도록 저탄소급으로 개발된 강종이므로 不活性가스 아크용접(MIG, TIG) 및 잠호용접(SAW), 피복아크용접(SMAW) 등의 작업이 가능하다.

단, 용접시 入熱量이 많거나, 불균형이 생기면 용접후 열변형이 생기기 쉬우므로 低入熱 용접 조건 및 열응력의 균형이 생기도록 용접해야할 필요가 있다.

高炭素 모재등과 용접시는 냉각속도가 느리게 되므로 용접봉의 선정시 가급적 저탄소급으로 한다.

또한 용융 용접시 調質압연에 의해 증대된 강도가 용접열에 연화될 수 있으므로 저입열 용접

표 4. spot 용접부의 허용 인장 전단하중(예)

상부판+하부판 (mm)	母 材		
	304	301L	
		고용화 열처리	1/4H, 1/2H
0.8 + 0.8	1420 (145)	1960 (200)	2500 (255)
1.0 + 1.0	1960 (200)	2660 (275)	3435 (350)
1.5 + 1.5	3480 (355)	4755 (485)	6030 (615)
2.0 + 2.0	5200 (530)	7110 (725)	9070 (925)
3.0 + 3.0	9120 (930)	12555 (1280)	15985 (1630)
4.0 + 4.0	13680 (1395)	18780 (1915)	23930 (2440)

※ JIS E 4049 '철도차량용 스테인리스강재 용접 joint-설계방법'中 발췌



조건 선택, 냉각속도 증대 등 열영향을 최소화하고, 설계시는 이러한 연화에 의한 강도보상이 되도록 용접 joint를 충분히 고려해야 한다.

#### 4. 調質압연 스테인리스강(STS 301L) 材를 이용한 경량 철도차량 제작 예

저탄소 조질 압연재인 STS 301L이 지니는 고유한 특성에 유의하여 본래의 목적인 경량화를 비롯하여 강도, 치수, 형상등이 우수한 철도차량을 제작하는 것은 아주 중요한 일로서 여기서는 절단, 소성가공, 용접 등에 대해 언급하고자 한다.

##### 4.1 절단 방법

냉간 調質 압연에 의해 증대시킨 강도의 저하가 적은 기계적 절단 또는 低入熱 熱의 절단(thermal cutting)방식을 사용함이 좋다.

[기계적 절단 ; mechanical cutting]

##### (1) 剪斷(shearing)

연강에 비해 일반적으로 연신율이 크므로 전단기의 날(blade)간 틈새(clearance)는 작게 설정해야 전단면의 상태가 좋다.

전단저항은 일반적으로 인장강도의 80%정도인데 여유 부여 및 계산의 편의를 위해 재료의 인장강도로 전단하중을 계산하면 된다.

따라서 전단하중은 연강材(예 : SS41)에 비해 2~3배가 필요하다.

또한 전단기의 날(blade)은 절단소재가 高硬度(3/4H 및 H재)로서 두께가 클 경우(약4MM이상) 날의 모서리 부분에 chipping 현상이 발생하는 경향이 있으므로 SKD 11종을 기본으로 Mo등을 첨가하여 개량한 鋼種을 Q.T 처리하여 사용하면 좋다.

직선 윤곽 형상의 절단 또는 대형 판재의 중간 절단 등에 적용되며 각 모서리부의 귀따기 작업 시에는 corner shearing machine을 사용한다.

##### (2) 연속 천공 절단

高硬度材의 punch와 die를 上, 下로 조합하여 작은 구멍가공을 연속해서 절단하는 방식으로 내부 切開部 절단에 적합하며 통상 수치제어식 장비로 절단 경로, tool선정 등을 자동으로 수행한다.

##### (3) 연마방식에 의한 절단

高硬度 연마 입자를 디스크 형상에 접착시킨 연삭순돌을 고속으로 회전 시켜 절단하는 방식으로서, 形狀단면을 가지는 부품의 길이조정 작업 등에 적용하면 좋다.

[열적 절단 : Thermal cutting]

절단시 入熱量이 많을 경우 절단부의 인접한 부위에 열변형 또는 다소간의 軟化현상이 있을 수 있으므로 다음과 같은 高에너지 밀도 절단 방식으로 가급적 最小入熱量으로 절단하는 것이 좋다.

##### (4) 플라즈마(plasma)절단

산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>) 및 아르곤(Ar) 가스를 사용하는 플라즈마는 arc의 교축 및 고속플라즈마 기류로 인해 에너지 밀도가 높아(약 50Kw/cm<sup>2</sup>) 調質스테인리스강 절단에 적합하다.

절단면의 粗度 및 열변형 최소화를 위해 절단 parameter (가스압력, 전류등)를 최적으로 절단한다.

절단면이 지나치게 거칠 때는 전동 공구 작업으로 마무리한다.

주로 小部品절단, 形狀단면을 가지는 부품의 길이 조정 절단 등에 이용한다.

##### (5) 레이저 (laser)절단

탄산가스(CO<sub>2</sub>)를 He, N<sub>2</sub> 등과 혼합한 가스(He : N<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> = 40 : 55 : 5)를 사용하는 CO<sub>2</sub> Laser는 에너지밀도가 아주 높아 절단폭이 좁아(약0.1 mm) 절단부 주위로의 열확산이 적으므로 入熱量이 적고 절단면 精度가 아주 높아 調質스테인리스강 및 각종 조질 처리강의 정밀절단에 널리

이용할 수 있다.

얇고 큰 부품으로서 평탄도가 중요한 부품이나, 복잡하거나 반복되는 형상의 구멍가공등 板形狀의 어떠한 형상 절단에도 적합하며, CNC方式에 의한 절단 경로 및 절단 parameter(출력, 절단속도 등)를 入力한 상태로 자동절단 작업을 수행한다.

## 4.2 냉간 塑性 가공 방법

### (1) 굽힘 및 成形(drawing)가공

1) 냉간 굽힘, 성형 가공시 가공구역 부근에 소성 유기 마르켄사이트 변태에 의한 硬化현상(磁化현저)으로 점차 가공이 곤란하게 되므로 한번 가공후에는 수정작업이 곤란하고, spring back이 크기 때문에 단변에 목표 형상 또는 각도로 성형 하는 것이 좋다.

- 굽힘가공 spring back 率 -  
 고용화 열처리, 1/4H 材 : 약 2~3°  
 1/2 H, 3/4H 材 : 약 9~10°  
 H 材 : 약 12° 내외

2) spring back은 같은 調質압연재 경우에도 소재의 항복응력, 연신을 및 합금원소 함량등에 다른 組織에 따라 다른데 비해, 규격(KS, JIS, ASTM등)에서는 항복응력, 인장강도, 연신을 등의 最少值만 규정·上限値는 규정하지 않고 있으므로, 가급적 제품특성과 工程에 적합한 범위의 기계적 성질값(범위)을 정하여 주문 하는 것이 바람직하다.  
 또한 本 製品 제작전 上記특성 등을 검토하기 위한 시험가공 실시 및 試製品가공을 해보아

성형압력 보정 또는 금형 수정 작업등을 행하는 것이 바람직하다.

3) 굽힘 또는 drawing가공 후에는 내부응력 구배 및 準안정相 (metastable phase ; 준안정 austenite)으로 인한 時效변형이 있으므로 (25°C경우 약3일) 유의해야 하며 時效후 평탄도가 나쁠 경우는 stretcher등으로 그림 3에서 처럼 引長 교정을 하면 형상 교정이 가능하다.

### (2) 인장 성형 (stretch forming)

그림 4에서와 같이 길이 방향으로 인장력을 가하면서 金形成形을 하는 것으로서 단순 굽힘 또는 성형가공 방법에 비해 spring back이 적으며 形鋼類의 곡면 형상등의 성형에 적합하다.

### (3) 복잡 斷面 形鋼材의 소성 가공

길이가 길고 복잡한 단면의 形鋼材는 多段式을 성형(roll forming)을 실시한 후 소요 길이로 절단하여 제작할 수 있다.

다단식 roll은 spring back등을 고려하여 roll각도를 설계하고 stand의 수가 충분하도록 한다.

## 4.3 용접 작업 방법

(1) 가급적 저항(spot)용접 방법을 선택하도록 하며 구조물 member들끼리 직접용접이 곤란할 경우는 여러가지 형상의 연결용 부품(joint piece)를 고안하여 설계한다.  
 구조상 용융 용접방식이 필요한 때에는 용접 및 관련 작업(교정)에 의한 연화 현상을 감안하여 충분한 강성이 유지되도록 설계한

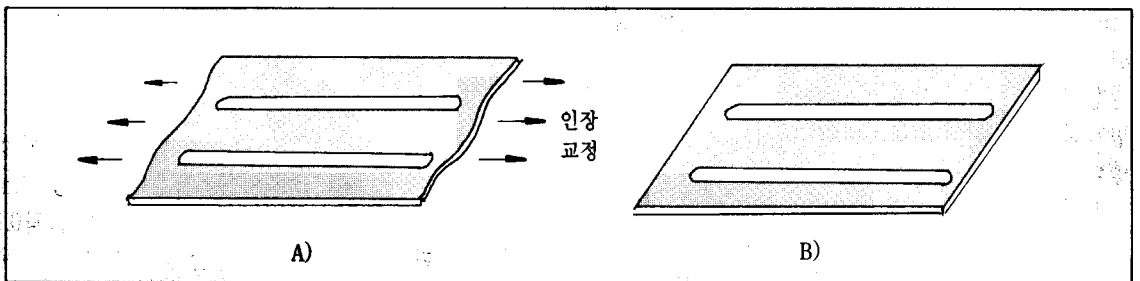


그림 3. 인장교정 모식도

A) 성형 후 변형소재 B) 인장교정 후 상태

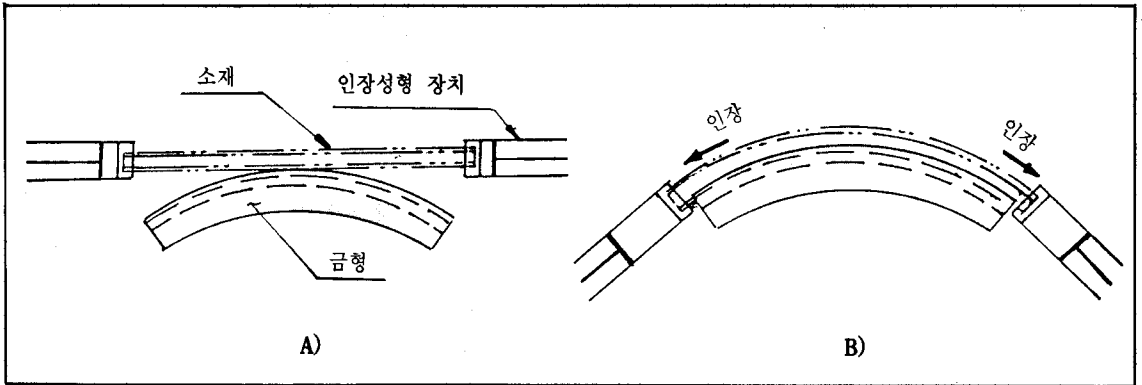


그림 4. 인장성형방법 모식도

A) 인장성형 전 : 유압식 인장성형장치에 금형을 설치하고 소재를 물림.

B) 인장성형작업 : 유압식 인장성형장치에 유압주입 후퇴 및 금형방향으로 이동 성형

다.

(2) 용접 방식

- ① 저항용접 : spot용접(direct, indirect, series), seam용접 - 전극 형상 고안 필요
- ② 용융용접 (fusion welding) : MIG, TIG, SMAW, SAW

(3) 용융용접시 가능한 入熱量이 적은 용접 조건을 택하여 층간 온도는 낮을수록 좋다.

(4) 용접부가 빨리 냉각되도록 back plate, chill(冷金:銅), 治具를 고안한다.

또한 예열은 행하지 않는다.

; 열변형, 연화, 탄소강재와 용접시 용접부 Cr탄화물 석출 억제에 의한 耐粒界 부식성 문제방지

(5) 용접봉 및 母材의 선정

용접열에 의해 Cr탄화물이 용접부에 석출되지 않도록 저탄소급(0.03%C이하) 용접봉을 선택한다(예 : AWS ER308L, ER309L)

(6) 개선가공

기계 절삭 가공, plasma 절단, arc절단, 그라인딩등, 스테인리스강材 와이어 브러싱의 방법으로 스케일은 충분히 제거한다. 연강에 비해 湯流가 다소 나쁘고 용입이 적으므로 개선은 약간 크게 한다.

(7) 취부 용접 (tack welding)

연강에 비해 열팽창 계수가 크므로 본 용접시 균열이 발생하지 않도록 충분한 길이로 용

접해야 한다.

(8) 용접부 구속용 治具는 보다 견고하게 제작한다.

(9) 連棒法 및 bead 형상은 직선형이 좋으며 arc strike는 용접되는 부분 또는 모재외에서 실시하는 것이 좋다.(end tab 사용)

(10) 용접용 차폐(shield)가스

MIG 용접 : 純 argon 또는 argon 95% + 산소 5% 혼합가스 (유량 15ℓ/분)

TIG 용접 : 純 argon (유량 10ℓ/분 정도)

(11) 저항 용접 전극(tip)

직경 약 16~19mm의 크롬0.2% 함유銅 또는 Be 및 Ni 첨가銅 등이 사용가능하며 tip 선단은 R형 경우 약 50~100mm직경으로 드레싱하여 사용한다.

4.4 절삭 가공 방법

STS 301L 조질 압연재는 304대비 고강도 (구조물용 1/2H 및 H 경우 1.5~2배)이므로 절삭가공에 동력 또는 인력(수작업시)이 많이 소요되고 절삭공구의 마모도 크다.

특히 수작업에 의한 가공(드릴링, 태핑 등)시 어려움이 많으므로 미리 천공(punching) 또는 드릴링 머신으로 구멍가공을 하는 방식이 좋다.

절삭공구는 고속도 공구강 또는 초경합금 (KS

M20, M40등) 고경도材가 좋으며 재료의 열전도가 낮으므로 절삭유제는 수용성이 냉각속도가 빨라서 좋다.

## 4.5 기 타

조질 압연재들까지 외관상 구별이 곤란하여 혼용의 우려가 있으므로 사용(절단 등)시 조질 기호를 식별할 수 있는 표시(tag, 마킹 등)를 하는 것이 좋다.

## 5. 결 론

이제까지 철도차량 경량화용 STS 301L 소재에 대한 특징들을 살펴 보았으나 소재 자체 특성상의 문제와 국내의 소재 생산 및 사용 경험이 아직 짧은 관계로 아직도 개선의 여지가 많은 소재이다.

80년대 조선용 강재로 일본에서 개발 국내에서도 소재 생산 및 조선업계에서 널리 사용되고 있는 제어 압연 및 가속냉각 공정으로 제조한 강(TMCP강=Thermo Mechanical Control Process steel)도 용접성을 개선하기 위해 저탄소급으로 하면서도 TMCP로 강도를 높인 강이다. STS 301L 조질 압연강과 같이 용접부의 연화문제 등이 있었으나 용접부의 충격특성이 좋은 관계로 현재 조선용 강재로 가장 널리 쓰이고 있다.

일본의 경우 301L 소재는 80년대 중반 철도차량 업체와 전문소재 업체(NSC등)간의 긴밀한 협조하에 다년간 개발 보완 끝에 91년도에 JIS규격화가 가능했다(JIS E 4305). AISI에서도 301LN으로 등록(ASTM A167)되었으며 KS에서도 92년도 부터 규격화가 되었다(KS D 3698). 국내소재 업체도 삼미특수강, 포항제철등에서 개발되어 국내 철도 차량 제작용에 사용되고 있다. 그러나 아직도 규격상 규정된 품질 특성에 대한 긴밀한 협조하의 꾸준한 개선이 필요하다. 그 중요한 개선사항으로서는

### 1) 기계적 성질 규격 개선

현재 인장강도, 항복점, 연신율 등이 최소값만 규제되어 있고 실제 소재의 물성이 상향 편차가 크므로 소성 가공품의 형상, 치수가 불균일,

소요동력의 불균일 등의 문제가 있다. 따라서 적절한 상한치도 규정하는 것이 바람직할 것이다.

- 2) 소성 가공후 시효에 대한 형상, 치수의 변화
- 3) 入熱가공(절단, 용접, 국부열처리 등)시 연화 문제 및 열변형 문제에 대한 소재개선, 철도 차량 설계 및 제작기술의 개선

소재 생산자, 철도차량 제작자, 학계 및 연구계의 관심과 노력으로 경량 철도차량용으로 보다 적합한 소재의 개발이 요망되며 이는 현재 추진되는 고속전철 사업과도 관련성이 매우 크다.

## 참 고 문 헌

1. 철도차량 기술지 통권 제62호(90. 12), 제63호(91. 3), 제64호(91. 6), 제65호(91. 9)
2. 삼미특수강(주) 기술자료 「스테인리스강」外
3. 제 25회 철강 21세기 운동 특수강 업종 워크숍 교재-'93. 9. 10 한국 철강 협회, 포항제철(주) 발표
4. 철도 및 지하철 차량을 스테인리스강 세미나 자료-'92. 5. NI DI Korea-
5. Nippon steel 「Specification of cold rolled stainless steel sheets and strip for railway cars」-1991
6. 日本車輛(宙) 기술자료 「SUS 301L 1/4H材 용접 및 가공특성」
7. 「TMCP강의 용접 열영향부 인성에 관한 연구」 등 대한 용접학회지 Vol. 4, No. 3(1986. 12月) Vol. 8, No. 2(1990)
8. 규격류
  - KS D 3698 냉간 압연 스테인리스강판 및 강대
  - JIS E 4305 냉간 압연 스테인리스강판 및 강대
  - JIS E 4049 철도차량용 스테인리스강재 용접 Joint-설계방법
  - KS D3501 열간 압연 강판
  - KS D3512 냉간 압연 강판
  - KS D3515 용접구조용 압연 강재
  - KS D3529 용접구조용 내후성 열간 압연 강재