



# 400 계 스테인리스 특성 및 적용사례

특성 | 장점 | 적용 사례



400 계 스테인리스에 대한 기본 가이드





## **International Stainless Steel Forum (ISSF)**

1996에 설립된 국제 스테인리스 스틸 포럼 (ISSF)은 스테인리스 산업의 발전을 위해 일하는 비영리 연구 기관이다. ISSF는 국제 철강 협회 (IISI)의 일부이며, 이사회, 예산, 사무총장, 24개국, 약 67개 회원사와 관련 협회로 구성된다. 회원사들의 생산량은 전 세계 스테인리스 생산의 약 85%를 차지하며, ISSF 회원명단은 홈페이지 ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))를 통해 확인할 수 있다.

# 목차

요약: “400 계 스테인리스 특성 및 적용사례”, JEAN-YVES GILET	5
서문: “새로운 스테인리스의 시대가 왔다”, ICDA	6
400 계 사용자들의 의견	9
“뛰어난 400 계”	13
내식성	21
기계적, 물리적 특성	27
400 계의 성형성	31
400 계의 접합	37
제품들과 적용사례	45
<b>부록</b>	
400 계 화학조성	59
표면 마무리	63
참고자료	64
ISSF 회원	66
감사의 말	67



남아프리카 공화국 더반  
(DURBAN) 의 교각 철강  
구조물 - 페인트 코팅 400계

# 요약

## “400 계 스테인리스 특성 및 적용사례”

ISSF 시장개발위원회 회장, JEAN-YVES GILET (아르셀로 미탈 스테인리스)

ISSF는 2004년 2월에 처음으로 400계 강종들의 판매촉진과 관련해서 논의하였는데 이 과정에서 그 동안 회원사간 공동노력의 부재를 지적한 바 있습니다.

시장개발위원회의 요청에 따라, Philippe Richard 씨를 비롯 각 철강사 전문가들이 모여, 400 계 관련 시장통계 및 적용사례를 수합하였으며, 이 과정에는 400 계 시장이 가장 발달된 일본을 비롯한 세계각국의 지원을 받았습니다.

이 후, 국제크롬협회가 본 프로젝트에의 동참과 재원(財源)을 제공할 것을 제안하였고, 우리는 이 제안을 국제협회들간의 협력을 보여주는 예라고 생각하고, 기꺼이 받아들였습니다.

프로젝트가 시작되는 단계에서, 니켈 원료 가격이 치솟았고, 이 때문에 가격 편차가 적은 400 계 스테인리스에 대한 관심이 급격히 증가하였으며, 이에 ISSF 는 본 프로젝트에 최고 우선순위를 부여했습니다. 그리고 적당한 시기에 시장에 크게 영향을 미칠 본 프로젝트의 결과를 발표할 수 있게 되어 매우 자랑스럽게 생각합니다.

본인은 400 계가 더 널리 사용될 수 있고, 또 그래야 한다는 확신을 가지고 있습니다. 또한 이것이 본 책자의 발간 목적입니다.

스테인리스는 함유된 크롬 원소로 인해 뛰어난 내식성을 보유하기 때문에 “스테인리스”라는 이름이 붙여졌습니다. 400 계 강종은 합금원소로서 단순히 크롬만을 함유한 강종 뿐만 아니라 다른 원소 (Mo, Ti, Nb) 를 첨가한 것까지를 모두 포함합니다. 잘 알려진 400 계 강종인 409, 410 및 430 은 전세계적으로 널리 사용되고 있으며, 이 강종들은 세탁기 드럼, 자동차 배기계 등 대표적인 성공적 사례에서 보듯이 다양한 분야에서 광범위한 적용확대 가능성을 보유하고 있습니다.

439, 441과 같이, 최근에 개발된 400 계 강종은 더 많은 요구특성을 만족시킵니다. 더 복잡한 형상으로 성형이 가능하며, 용접 등 보편적인 접합방법으로 접합이 가능합니다. 또한 몰리브덴이 첨가된 444 강은 316 강 동등 이상의 공식저항성을 보여줍니다.

400 계는 니켈을 함유하지 않기 때문에, 300 계 대비 가격이 저렴하고 또한 안정적입니다. 따라서 다음과 같은 특징을 나타냅니다.

- 304 계열을 보완해 준다는 것입니다. (물론 304 강은 다양한 용도로 가장 보편적으로 사용되는 강종입니다)
- 200 계열을 대체할 수 있다는 것입니다. (일반적으로, 더 우수한 특성을 제공합니다)
- 400 계가 보유한 기술적 특성과 Life cycle cost 잇점으로 여러타소재(탄소강, 구리, 아연, 알루미늄, 플라스틱 등)를 대체할 수 있습니다.

400 계의 자성은 탄소강이 그렇듯 부정적인 특성이 아닙니다. 도리어 자성은 타계열의 스테인리스강과 구별되는 400 계의 우수한 특성중의 하나로 볼 수 있습니다.

400 계 사용을 극대화하기 위해서는 다음 사항이 선행되어야 합니다.

- 초기 사용자들에게는 성형과 접합기술 교육이 필요합니다.
- 사용자들은 올바른 강종선택을 위해 스테인리스 생산업체의 조언을 구할 필요가 있습니다.
- 사용자들은 강종의 특성과 원산지를 보증할 수 있는 공급업체에서 구매를 해야 합니다.

프로젝트 팀의 탁월한 능력과 노력, 그리고 국제크롬협회의 강력한 지원 덕분에 우리는 스테인리스 업계에 본 자료를 선보일 수 있게 되었습니다. 또한 관련업계에서 400 계 새로운 용도에 대한 현장감 있는 사용소감을 실어주셨습니다. ISSF는 이에 모든 이들의 도움에 감사드립니다.



Jean-Yves Gilet  
Chairman  
Market Development Committee  
ISSF



# 서문

## “새로운 스테인리스의 시대가 왔다”

국제 크롬 협회 (INTERNATIONAL CHROMIUM DEVELOPMENT ASSOCIATION, ICDA) FRIEDRICH TEROERDE

먼저, ICDA 를 대표해서 크롬과 매우 밀접한 관계에 있는 본 책자의 머리말을 쓰게 된것에 대해 ISSF 에 감사드립니다.

ICDA 는 1990 년 파리에서 설립되어 현재 5 대륙 26 개국 약 96 개의 회원사로 구성되어 있습니다. 우리의 목표는 크롬의 긍정적인 면을 세계에 알리는 것입니다.

크롬은 철강에 사용되어 스테인리스와 그 밖의 합금을 만들어 냅니다. 스테인리스 스틸에 있어서 크롬은 특별한 원소입니다. 크롬은 뛰어난 내식성과 내산화성을 부여함으로써 스테인리스 스틸을 “스테인리스” 로 만드는 합금원소입니다. 크롬은 스테인리스에 함유되어 재사용이 가능하기 때문에 환경 오염을 유발하지 않습니다.

크롬 생산업체를 대표하는 기관으로서 우리는 본 핸드북이 크롬 산업 발전에 상당히 기여할 것이라 믿고 있기 때문에 본 핸드북의 출간을 지원하고 있습니다. 크롬은 크롬원소 단독으로 사용되지 않습니다. 따라서 수 년 동안, ICDA 의 시장개발위원회는 ISSF 등 관련 기관과 공동 관심사를 다루는 프로젝트를 진행해 왔습니다. 크롬은 모든 계열의 스테인리스에 있어 필수 원소로 평균 약 18% 함유되어 있습니다. 스테인리스는 매년 5% 소비는 증가하고 있으며, 식품, 음료, 채광, 자동차, 건축 산업 등에서 적용범위가 확대되고 있습니다.

이미 알려진 대로, “300계” 스테인리스강을 생산할 때 사용되는 니켈은 주식 시장처럼 가격변동폭이 상당히 큽니다. 사실, 지난 몇 년 간 니켈 가격이 예상하지 못한 수준으로 인상되었고, 이것은 300 계 스테인리스강의 생산원가에 막대한 영향을 주었습니다.

스테인리스 중 두 번째로 소비 규모가 큰 400 계는 니켈을 포함하지 않고 대신 크롬을 사용하고 있습니다. 스테인리스 시장이 두드러지게 성장하고 있는 이 때, 크롬 업계의 발전을 위해 우리는 400 계의 사용을 더욱 확대시켜야 한다고 생각했습니다.

따라서, 400 계의 현재 사용현황을 파악하고, 신용도를 개발하고자 하는 본 프로젝트에 ISSF 가 우리에게 지원을 요청한 것에 대해 기쁜 마음으로 받아들였습니다. 본 프로젝트의 목적은 스테인리스 시장의 지속적인 발전을 위해서, 400 계의 밝은 미래를 건설하는 것입니다.

400 계의 역사가 100 년 가까이 되었고, 전반적으로

스테인리스를 연구하는 활동은 많았지만, 아직까지 400 계만을 전문적으로 다루는 연구활동은 거의 없었다고 할 수 있습니다. 이러한 사유로 ISSF 가 본 간행물을 계획하게 된 것입니다. 본 핸드북은 400 계의 기술적 특성, 이용상의 장점, 그리고 잠재적 응용범위에 대해 필수적인 정보뿐만 아니라 가공방법도 수록하였습니다. 또한, 400 계의 사용과 특성과 관련하여 널리 알려진 잘못된 관념을 수정하려 하였습니다.

결론적으로, ICDA는 니켈가격의 큰 변동성이 스테인리스 사용자들에게 중요한 문제점이 되고 있다는 것을 인식하고 있습니다. 우리는 이 문제에 대한 대안을 찾고자 하는 본 프로젝트에 참여함으로써 스테인리스 업계와 사용자들에게 도움을 주고자 합니다. 그 동안 입증된 400 계의 기술적 특성과 가격 경쟁력 덕분에, 400 계의 시대가 도래했다는 데에 의심의 여지가 없습니다.

다음에서 이어질 내용은 기존의 400 계 사용자들뿐만 아니라 잠재적 사용자들에게 400 계가 적용될 수 있는 새롭고 흥미로운 응용분야를 소개하고자 합니다.



Friedrich Teroerde  
ICDA, 시장개발위원회 회장





주방기기 외장에는 400 계가  
가장 이상적인 재질이다



400 개 표면의 빛나는 외관은 식품관련 용도 적용시 청결함과 위생성을 상징한다.



# 400 계 사용자들의 의견

**400 계의 경제적, 기술적 장점은 수십 년간 시장 내에서 인식되어 왔고, 다음에 기술된 400 계 사용자들의 의견은 이러한 장점이 기존 시장뿐만 아니라 개발되고 있는 시장 내에서도 널리 인식되고 있다는 것을 뒷받침해줄 것입니다.**

## STEFAN RAAB

**BOSCH AND SIEMENS HOME APPLIANCES GROUP (독일 뮌헨),  
소재구매담당 이사**

“우리가 생산하는 제품 중 약 3분의 1 정도가 스테인리스로 생산되고 있으며, 이 재질을 이용하는 이유는 기능성, 내식성, 미적 효과 때문입니다. 현재 400 계는 전체 스테인리스 소비량 중 50% 정도를 차지하고 있으며, 앞으로 우리는 400 계의 사용을 늘리려고 계획하고 있는데, 이는 400 계가 저렴한 가격으로 여러 응용 분야에서 우리 제품의 소비자들에게 기능적 특성과 미려한 디자인이라는 스테인리스의 우수성을 제공할 수 있기 때문입니다. 우리는 요구되는 내식성과 성형성을 만족시키는 범위내에서 400 계를 지속적으로 사용 확대할 생각입니다.”



## ROBERTA BERNASCONI

**WHIRLPOOL COPERATION (이탈리아)  
글로벌 소재구매/기술개발 매니저**

“가정용 전자제품을 생산하는 우리 회사는 냉장고와 세탁기에 400 계를 적용하고 있으며, 조리기구와 식기세척기에도 확대 적용을 검토하고 있습니다. 비용적인 측면에서 장점을 가지고 있기 때문에 우리 회사에게는 중요한 의미가 있고, 소비자들에게도 그에 대한 이익이 돌아갈 것이라고 생각합니다.



“이에 따라 우리는 제품을 필요한 제조 공정을 고려하여 디자인하고 있습니다. 일부 제품에는 코팅된 400 계, 심지어는 지문방지용 코팅을 하고 있습니다. 때로는 고합금 400 계도

고려할 수 있습니다. 중요한 점은, 400 계를 사용했을 때 경제적인 이익을 얻을 수 있겠냐는 것입니다.

“우리는 400 계가 우리 제품에 적용될 수 있는 우수한 소재라고 판단하며, 높은 니켈 가격을 고려할 때, 앞으로 400 계에 더욱 의존하게 될 것이라고 확신합니다.”

## JEAN-LOUIS LALBA

**GRUPE SEB (TEFAL, ROWENTA, KRUPS, MOULINEX,  
ARNO, ALL CLAD, PANEX 등) (프랑스) 구매담당자**

“우리는 연간 약 15,000 톤의 스테인리스를 사용하고 있으며, 400 계는 약 40% 를 차지합니다. 우리 그룹은 조리기구 뚜껑, 스템핑되거나 납땜된 전열기 바닥, 오븐 본체에 처음부터 400 계를 사용해 왔습니다. 현재는 400 계를 프라이팬에 확대 적용하고 있으며, 최종소비자들도 만족스러움을 표시하고 있습니다.



“이러한 용도에 적용하는 과정에서 400 계가 가진 특성, 즉, 내식성, 심가공성과 연마 가공성 등이 우리 회사나 고객 모두 받아들일 수 있는 수준임이 입증되었습니다. 때로는 재질 자체의 특성이나 가공성 등에 있어서, 요구하는 수준이 400 계가 보유한 한계를 넘어서는 경우도 있습니다. 또한 일부 국가에서는 400 계에 대한 비이성적인 편견을 보이기도 합니다. 그러나, 우리는 많은 사례에서 400 계가 탁월한 선택이었음을 깨달았습니다. 게다가 400 계에서 나타나는 자성은 전자기유도 조리기구를 생산할 때 매우 필수적입니다. 물론, 가격 안정성은 말할 것도 없습니다.

“400 계를 사용하여 좋은 효과를 얻은 우리는 그 적용 용도를 확대하려 하고 있습니다.”



제당산업- 모든 분야에서  
탄소강보다 400 계가  
우수하다는 것이  
입증되었다.

## GAETANO RONCHI

### IKEA 금속구매부장

“우리는 주전자, 팬, 칼을 비롯한 도물류, 그리고 화장실과 부엌용 액세서리를 제작할 때 스테인리스를 사용합니다. 현재 그 사용량은 연간 60,000 톤 정도인데 매년 약 15% 가량 증가하고 있습니다. 우리가 사용하는 스테인리스의 상당량이 400 계입니다.”



“2003 년 중반 IKEA 는 스테인리스가 소비되는 곳에 400 계를 사용하기로 결정했는데, 그 주된 이유는 400 계의 가격 안정성과 가격 예측 가능성 때문이었습니다. 테스트 결과 용접 이음새가 있는 제품은 430 보다 크롬 함량이 더 높은 강종을 요구한다는 것이 밝혀졌고, 추가적인 가공이 더 필요하다는 것이 밝혀졌습니다. 하지만 400 계를 적용하기로 한 결정으로 스테인리스 제품 발전에 혁신을 이루었습니다. 만약 우리가 계속 300 계를 사용했다면, 판매량은 저조했을 것이고, 새로운 제품에 스테인리스를 적용시키는 데에도 어려움을 겪었을 것입니다.”

“IKEA 에서 생산하는 스테인리스 제품 중 상당수는 아시아에서 OEM 방식으로 생산됩니다. 400 계로 전환하여 성공을 거둔 것은 아시아에 위치한 각 구매부서와 OEM 하청업체들을 교육하고 훈련시킨 덕분이었습니다. 우리의 목표는 더욱 업그레이드된 400 계로 300 계를 완전히 대체하는 것입니다. 현재 우리는 딥드로잉성과 내식성이 강화된 새로운 400 계 강종을 테스트하고 있습니다.”

## MICHAEL LEUNG

### YIU HENG INTERNATIONAL COMPANY LIMITED (마카오) 대리

“중국 광둥 지방에 위치한 우리 회사의 자회사인 Xinhui Rixing Stainless Steel Products 의 주요 생산품은 스테인리스 조리기구와양식기입니다. 현시점기준으로 이 회사는 월간 약 800 톤의 스테인리스를 사용하고 있으며, 그 중 400 계가 차지하는 비율은 66-70% 입니다. 공장을 가동하기 시작한 1999년에는 400 계를 조리기구 바닥에만 사용했습니다만, 2002년부터는 조리기구 본체에도 사용하고 있습니다.”



“400 계를 선호하는 이유는 단지 가격 때문만은 아닙니다. 400 계는 자성과 우수한 열전도도를 보유하고 있습니다. 또한, 재활용도 쉬운 자원을 절약할 수 있습니다. 304 에서 400 계로 전환하면서 회사의 경쟁력은 더욱 높아졌고, 소비자들은 더 저렴한 가격으로 안전한 제품을 구입할 수 있게 되었습니다. 400 계가 자성을 갖기 때문에 저급 소재이고 내식성이 열위할 것이라는 근거 없는 편견에서 벗어나야 합니다.”

“대체적으로 304 강종이 사용되던 공장에서 400 계로 전환하기 위해서는 생산공정이나 다이 (die) 를 조정해야 할 경우가 있고, 이때 추가비용이 발생합니다. 그렇더라도 우리의 경험으로 볼 때, 400 계로 전환하면 전체 생산 cost 가 절감됩니다.”

“우리는 400 계에 만족하고 있으며, 새로운 강종이 많이 개발되어 우리가 요구하는 다양한 성능을 만족시키고 있습니다. 우리는 400 계가 서비스센터에서 더 널리 사용되어 더 넓은 분야에 광범위하게 적용될 수 있기를 기대합니다.”

## ATUSHI OKAMOTO

### TAKARA STANDARD CORP., (일본) 오사카 공장 제 1 생산부 매니저

“Takara Standard 는 일본에 위치하여 주로 부엌과 욕실 관련 제품을 생산하는 회사입니다. 우리가 스테인리스를 사용하는 곳은 싱크대, 빌트인 (built-in) 키친의 판넬, 그리고 욕실 욕조와 빌트인 욕탕 받침대입니다. 우리 회사는 약 40 년 동안 400 계를 사용해왔는데 그 이유는 간단합니다. 400 계의 성능이 우리가 필요로 하는 조건에 충분하기 때문입니다.”



“제품을 디자인하는 단계에서부터 400 계의 기계적 특성을 고려하였고, 400 계에 적합한 프레스 포밍 (press-forming) 기술과 다이 제작 기술을 보유하고 있었기 때문에 성공적인 결과를 얻을 수 있었습니다. 우리는 아직까지 400 계로 인해서 심각한 문제를 경험한 적이 없습니다. 복잡한 형상을 제작할 때, 우리는 먼저 시제품을 제작해 보고 가장 최적의 공정 계수를 채택합니다.”

“결론적으로, 우리는 400 계에 대해 매우 만족합니다. 개인적으로 400 계를 적용하고자 할 때 용도에 적합한 강종을 선택하는데 도움을 받을 수 있는 가이드라인이 나왔으면 하는 마음입니다.”

그 밖의 다른 이들의 평가는 각 장의 첫 장 왼쪽 페이지에 실려있습니다



400 계의 기술적, 경제적 장점 때문에, 400 계 용접 튜브가 역동적인 발전을 보이고 있다.

## CLOVIS TRAMONTINA

### TRAMONTINA 사 대표 (브라질)

“가정용품과 가정용 도구를 생산, 수출에 역점을 두고 있는 Tramontina는 현재 월 약 850 톤의 스테인리스 스틸을 사용하고 있으며, 그 중 30%가 400 계입니다. 400 계가 적용된 제품은 정반, 도물류, 싱크대, 그리고 팬 바닥 등입니다.



“우리는 Farroupilha 에 공장 설립 후 팬을 생산하기 시작한 1974년부터 400 계를 사용해왔습니다. 400 계를 사용하게 된 주요 원인은 400 계의 낮은 가격과 우리 회사가 생산하고 있는 제품이 요구하는 특성을 400 계가 잘 만족시킨다는 사실이었습니다.

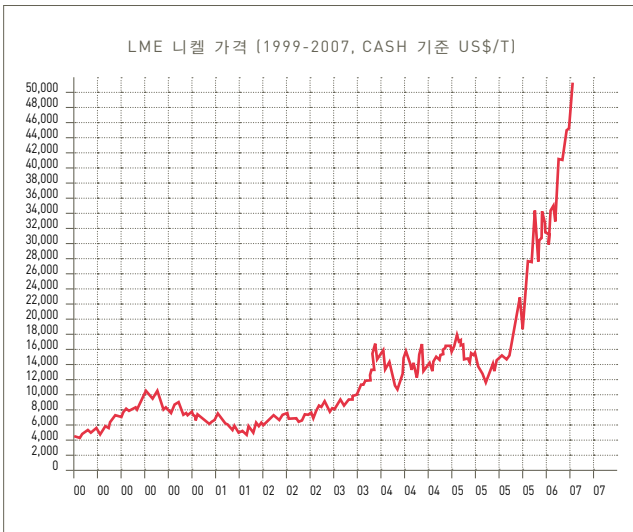
“레이온 싱크대 (lay-on sink) 와 같이 심 (deep) 가공이 필요한 제품에 있어서는, 400 계는 300 계 만큼 작업성이 좋지 않고, 중간 압연 가공이 요구됩니다. 하지만 저는 400 계는 가격대비 성능을 따져볼 때 탁월한 선택이었다고 생각합니다. 400 계는 세척과 관리가 쉬우면서도 위생적입니다. 또한 스테인리스다운 미적인 장점을 가지고 있으며, 다양한 표면 마무리가 가능합니다.

“요약하자면, 우리는 400 계를 오랫동안 사용해왔고, 만족스럽습니다. 우리는 원가절감의 혜택을 누릴 수 있는 400 계의 새로운 용도를 찾고 있습니다.”

# “뛰어난 400 계”

**원료의 가격이 폭등함에 따라, 원가절감을 위한 대체소재가 긴급히 요구되는 많은 용도에 400 계가 해법으로 등장하고 있다.**

최근에, 알루미늄, 구리, 아연, 니켈과 같은 원료의 가격이 폭등하였다. 니켈은 널리 쓰이는 300 계 스테인리스를 생산할 때 필수적인 합금원소이기 때문에, 니켈 가격이 폭등하고 가격이 하루 단위로 변동하는 시점에서 가장 크게 영향을 받는 이들은 스테인리스 생산업체와 그 사용자들이다.



스테인리스를 생산하는 업체들은 니켈의 가격 변동을 컨트롤할 수 없으며, 이러한 현상은 니켈을 함유한 300 계 스테인리스의 가격을 인상시키고, 생산원가를 불안정하게 만든다. 이런 상황 때문에 스테인리스 사용자들은 하여금 용도에 적합한 특성과 가공성을 제공하면서 저렴한 대체 소재를 찾게 되었다.

또한 스테인리스의 높은 가격과 가격불안정성은 스테인리스가 보유한 특성을 인식하고 있는 잠재적 수요자들에게 악영향을 미치고 있다.

## 낮은 비용, 안정적인 가격

이런 상황에서 기본 소식은 가격이 저렴하고 안정적이면서도 우수한 기술적 특성을 보유하고 있는 400 계가, 오로지 300 계만을 사용해야 할 것으로 여겨졌던 많은 분야에서 300 계를 대체할만한 뛰어난 소재가 될 수 있다는 것이 입증되고 있다는 것이다.



웨이퍼용 판 (430)



건물 지붕 (445M)

니켈을 포함하지 않는 400 계는 기본적으로 철 원소와 크롬 원소 (최소 10.5%) 로 구성되어 있다. 내식성을 향상시켜, “스테인리스”로 만들어 주는 크롬의 가격은 역사적으로 봤을 때 비교적 안정적이었다. 일부 400 계는, 특정 성능을 향상시키기 위해, 몰리브덴과 같은 합금원소가 첨가되기도 한다.

400 계는 훨씬 고가의 300 계 대비하여 내식성과 기계적 특성에서 크게 불리하지 않고, 심지어는 일부 특성은 300 계보다 우수하다. 그런데 왜 값비싼 니켈에 돈을 지불해야 하는가?

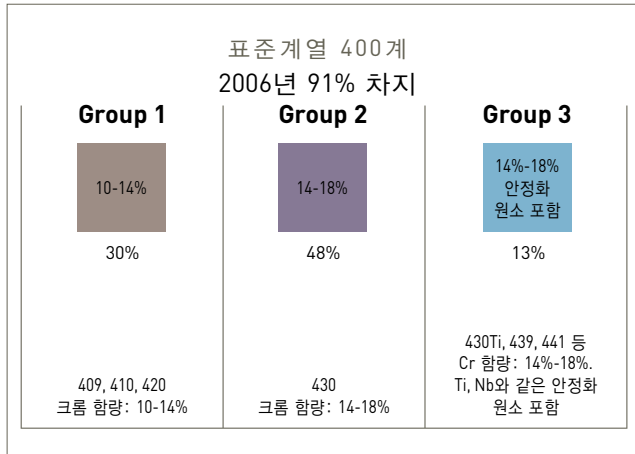
구리, 알루미늄, 또는 300 계 스테인리스의 사용자들은 다른 대체 소재를 마음에 둘 수도 있다. 그러나 400 계는 스테인리스의 독특한 특성을 그대로 보유하면서도 경제적인 소재이다.



**“왜 값비싼 니켈에 돈을 지불해야 하는가?”**

## 400 계 스테인리스의 5 가지 그룹

400 계는 5 가지 그룹으로 분류된다. 3 개 그룹은 표준 강종으로 구성된 계열이고, 나머지 2 개 그룹은 특수강종으로 구성된 계열이다. 현재까지는 400 계 중 사용량이나 적용분야에 있어 가장 많이 소비되어 온 것이 표준 계열이다. 400 계 표준 계열은 전반적으로 만족스러운 특성을 가지고 있어, 여러 응용 범위에서 적절한 재질로 사용된다.



**Group 1 (409/410L):** 스테인리스 전체를 통틀어 크롬의 함량이 가장 낮고, 가격도 가장 저렴하다. 이 그룹의 400 계는 부식성이 전혀 없거나 약한 환경에 노출될 경우에 이상적이다. 또는 약간의 국부부식이 일어나도 무방한 곳에 사용될 수 있다. 409 강종은 자동차 배기관외의 머플러(부식이 심각하지 않는 환경의 외부 부속품)에 사용될 목적으로 개발된 것이다. 410L 은 콘테이너, 버스, 기차, 그리고 최근에는 LCD 모니터 프레임에 사용된다.

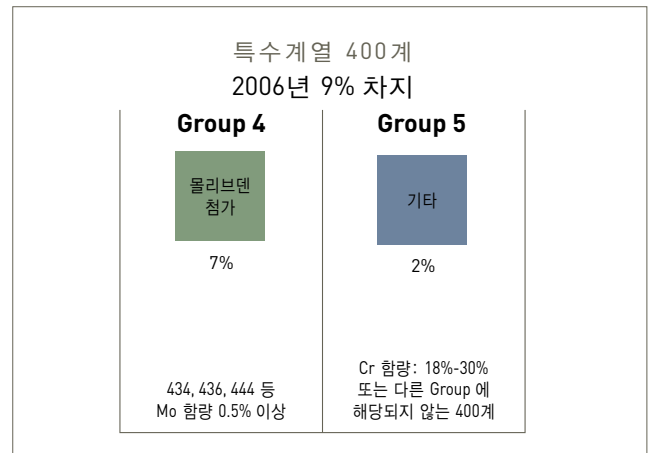
**“400 계 표준 계열은 전반적으로 만족스러운 특성을 가지고 있고, 여러 응용 범위에서 적절한 재질로 사용되고 있다.”**



Containers, in grades 409L and 410L.

**Group 2 (430):** 430 은 400 계 중 가장 널리 사용되는 강종으로, 크롬 함량이 높아 우수한 내식성과 일부 측면에서 304 강과 유사한 성능을 보여, 실내용 등 몇몇의 경우 304 를 대체할 수 있다. 주로 사용되는 곳은 세탁기 드럼, 실내용 판넬 등이다. 430 은 가정용 식기, 식기세척기, 주전자, 팬 등 용도에서 304 를 대체하여 사용되기도 한다. 용접 특성에 대한 정보는 37 page 에 실려있다.

**Group 3 (430Ti, 439, 441, 등):** Group3 에 해당되는 강종 들은 Group 2 대비 용접성과 성형성이 더 우수하고 304 동등 이상의 특성을 나타내므로 경우에 따라 304 도 대체가 가능하다. 일반적인 용도는 싱크대, 열교환기 튜브 (제당산업, 에너지 산업 등), 배기계 시스템 (409 보다 오랜 수명), 그리고 세탁기의 용접된 부속품 등이다.

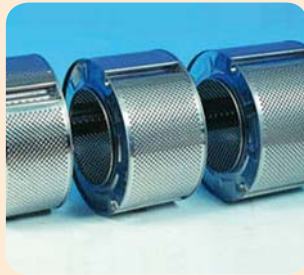


■ **Group 4 (434, 436, 444 등):** 여기에 해당하는 강종들은 내식성을 더욱 향상시키기 위해 몰리브덴을 첨가한다. 일반적으로 적용되는 곳은 고온수 탱크, 태양열수기, 배기계 시스템의 외관용 부품, 전기주전자, 전자오븐 부품, 자동차의 외장재, 실외용 판넬 등이다. 444의 내식성은 316과 동등 수준이다.

■ **Group 5 (446, 445/447 등):** 여기에 해당하는 강종들은 내식성과 내산화성을 더욱 향상시키기 위해서 크롬의 함량을 높이고, 몰리브덴을 포함시킨다. 따라서 내식성과 내산화성은 316보다 더 우수하여, 일반적으로 해안가 및 부식이 열악한 환경에 적용된다. JIS 447의 내식성은 티타늄과 동등 수준이다.

### 400계 적용의 성공 사례

수년 동안 400계가 두드러지게 성공한 두가지 용도를 들자면, 자동차 배기계와 세탁기 드럼이다.



자동차의 배기계는 고온과 부식성이 매우 높은 환경에 노출된다. 스테인리스 (400계)의 사용으로 이들 부속품의 보증 기간이 늘어났다.

세탁기 드럼은 세제와 일정하게 높은 습도를 이겨내야 한다. 그러나 400계가 적용되면서 국부부식은 명확히 개선이 되었다.

가정 주부, 자동차 운전자는 세탁기 드럼과 배기계의 수명이 연장된 데에 만족감을 표할 것이다. 자동차나 세탁기를 생산하는 업체들에게는 제작 용이성과 비용우위가 400계를 선택하게 하는 명확한 이유가 된다.

“... 많은 사례에서 400계는 비싼 소재보다 탁월한 선택임이 입증되고 있다.”

최근에는 400계가 부엌용품에서 조리기구, 실내 가구, 장식품, 자동차 외장재, 슈퍼히터, 재가열 튜브, 버너, 에어컨 배수구, 바비큐 그릴 등에까지 적용이 확대되고 있으며, 새로운 용도를 개척하고 있다.



태양열수기, 대만.

### 최근에 개발된 400계

뛰어난 성능을 자랑하는 400계는 수년간 존재해 왔으나, 상당한 연구개발 활동 덕분에 더욱 뛰어난 강종들이 등장하고 있다.

이 강종들은 시장에서나 경험 많은 생산자들에게는 새로운 것이 아니다. 하지만 이상하게도 이 등급에 대해서는 오해와 무시가 섞인 태도를 나타내는데, 이는 역사적인 근거를 갖는다. 한 때 430이 사용 가능한 유일한 강종이었을 때, 이 강종을 사용한 “개척자”들은 특히 용접 구조물이나 부식성이 강한 환경에서 사용함에 있어서 제대로 된 기술적 지원을 받지 못했다. 이를 계기로 어떤 시점에서부터, 400계에 대한 오해가 자리를 잡았다. 즉, 400계는 “열등하고”, 300계만이 우수하다고 생각하게 되었다.

400계는 오래 전부터 발전해왔다. 완벽한 기술적 지원이 오늘날에는 가능해졌고, 또한 수요자가 요구하는 특성을 맞추고자 강종수가 증가하고 다양해졌다. 400계의 특성은 300계 대비하여 여러 부분에서 견줄 만한 수준이다. 따라서, 400계가 300계보다 열위하거나 우수하다고 보는 것은 잘못된 것이다. 이 두 계열은 단지 다를 뿐이고, 모두 유용한 것이다.



교차로 교통 소음 방지판, 일본.

게다가 많은 사례에서 400 계는 비싼 300 계보다 탁월한 선택임이 입증되고 있다. 특정 경우에는 실제적으로 더 비싼 재질들보다 요구되는 특성을 더 근접하게 만족시켜 줄 수 있다.



우유 탱크, 플레팅 (430, 남아프리카, 미국)

### 양호한 성형성

탄소강만큼의 연성을 가지고 있기 때문에, 400 계에 있어 대부분의 성형 가공은 가능하지만, 300 계보다는 연성이 낮다. 그러나 대부분의 경우, 300 계는 “필요 이상의 성능”을 가지고 있다.

탄소강과 400 계는 동등수준의 성형이 가능하므로, 탄소강으로 현재 성형되고 있는 복잡한 형태 (자동차 본체 등) 만 고려해 보더라도, 400 계의 성형성을 평가해 볼 수 있을 것이다. 성형 장치와 강종을 제대로 선택한다면, 400 계로 성형할 수 있는 형태는 수 없이 많다.

### 자랑스러운 자성

널리 인식된 400 계에 대한 오해는 400 계가 자성을 띠기 때문에, “진짜” 스테인리스가 아니고 탄소강만큼 부식이 잘 일어날 것이라는 것이다. 이것은 잘못된 인식이다! 순전히 원자구조의 차이 때문에, 어떤 스테인리스는 자성을 띠고, 어떤것은 그렇지 못한 것이다. 내식성은 원자 구조 차이에

의해 발생한 것이 아니라, 특히 크롬 등 합금 원소 때문이다. 자성은 내식성과 아무런 관계가 없다.

냉장고 메모 스티커, 나이프 보관통 등에서 보듯이 자성을 이용한 많은 응용제품이 있고, 따라서 자성은 400 계의 중요한 특성 중 하나이다. 전자파 유도조리에 사용되는 팬이 게다가 자성 에너지를 전달함으로써 조리과정에서 열을 발생시키기 때문에, 자성을 띠어야 한다는 것은 필수적인 사항이다. 앞으로도 이러한 장점을 이용한 다양한 상품이 나올 것으로 예상된다.



냉장고, 플레팅 (430)

### 기술적인 이점

스테인리스는 견고하고, 관리작업이 적은 재질이다. 또한, 탄소강보다 수명주기원가 (Life Cycle Cost) 가 상당히 낮다. 100% 재활용될 수 있으며, 60% 이상이 용융스크랩 (melted scrap) 으로 만들어 진다.

스테인리스의 주요 특성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 내식성
- 외관의 미적 효과
- 내열성
- 저렴한 수명주기비용 (Life Cycle Cost)
- 100%의 재활용도
- 위생성 (biological neutrality)-EU RoHS 요건 만족
- 가공 편의성

400 계는, 탄소강에 비해 스테인리스가 가지고 있는 모든 장점, 즉, 내식성, 수명주기원가를 보유하고 있다. 게다가, 400 계는 300 계 보다 가격경쟁력을 가지고 있을 뿐만 아니라, 몇몇 특성은 300 계보다 우수하다.

**“널리 인식된 400 계에 대한 오해는 400 계가 자성을 띠기 때문에, “진짜” 스테인리스가 아니고 탄소강만큼 부식이 잘 일어날 것이라는 것이다. 이것은 잘못된 인식이다!”**



## 400 계, 트럼프 카드

- 400 계는 **자성**을 갖는다.
- 400 계는 **열팽창율**이 낮다-가열될 때, 300 계보다 팽창 정도가 낮다.
- 400 계는 **고온 내산화성**이 우수하다 - 300 계보다 산화 스케일이 잘 생성되지 않는다.
- 400 계는 **고온 열전도성**을 가지고 있다 - 300 계보다 고르게 열을 전달한다.
- Nb (니오븀) 원소로 안정화된 400 계는 **내 Creep 특성**이 우수하다 - 장기간의 응력에 잘 변형되지 않는다.
- 400 계는 300 계보다 **절단과 가공이 용이**하다 - 300 계를 절단하거나 가공하려면, 특수장비가 있어야 하며, 더 강력한 기계를 사용해야 한다. 또한 도구에 마모가 더 많이 발생한다.
- 400 계는 냉간성형이 가해지면, **원래의 형태로 되돌아 가려는 힘**이, 300 계보다 상당히 작다.
- 400 계는 304 보다 **항복 강도가 더 높다**. - 탄소강과 항복강도가 비슷하다.
- 300 계와는 달리, 400 계는 **응력부식균열 (stress corrosion cracking)** 이 잘 일어나지 않는다.

## 필요 성능을 완벽히 소화할 수 있다

현재 시장의 상황을 보면, 기존의 사용자들이나 잠재적 사용자들은 예전처럼 특정 응용분야에서 필요한 성능보다 “과도한” 성능을 가진 철강을 선택하고 있지 않다.

역사적으로, 304 는 다양한 요구를 만족시킬 수 있는 성능을 가지고, 광범위하게 적용되어 왔다. 그러나 오늘날의 400 계 강종은 특정 용도에 적합한 성능을 가지고 304 를 대체하고 있다.

요구되는 가공성과 특성에 대한 면밀하고 현실적인 연구를 통하여, 경제적인 장점을 가진 400 계가 가공자와 최종소비자가 요구하는 특성을 적절하게 만족시킬 수 있다는 사실이 알려져야 한다.



**“현재 시중에 나와 있는 400 계는 적절히 세분화 되어 있고, 용도에 적합한 성능을 가지고 304 를 대체하기도 한다”**



부엌 조리대 (430, 남아프리카 공화국).

제품이 사용되는 기간 동안 부식 없이 유지하기 위해 소비자들에게 요구되는 것은 취급방법 (예를 들어, 정기적인 표면 세척) 뿐이다.



블루드 판넬 (베인트 코팅된 430, 이탈리아)

## “400 계의 시대가 왔다”

오늘날의 400 계의 품질, 가격 우위, 그리고 합금원소의 추가로 우수해진 성능 고려해 볼 때, 400 계의 응용 영역은 제한이 없는 것으로 보인다.

본 자료는 400 계의 특성을 단순하게 설명하여 쉽게 이해시키려고 하는 것이다. 다시 말하면, 이 자료의 목적은 가격이 저렴한 400 계의 장점을 널리 알려 더 폭넓게 사용되도록 하는 것이다. 또한 사용자들이 필요에 맞는 적절한 강종을 선택할 수 있도록 도와주려는 스테인리스 업계의 취지를 담고 있다.

다음에서는 현재 시장에 나와 있는 400 계의 특성을 면밀히 살펴보고, 여러 합금 원소의 역할, 기존의 적용 분야, 그리고 앞으로 새롭게 적용될 수 있는 분야를 알아 보고자 한다.



400 계는 가로시설물에  
요구되는 미적 효과, 견고성,  
그리고 경제적인 잇점을 줄  
수 있는 해법이 된다.



## DOMINIQUE MARET

FAURECIA EXHAUST SYSTEMS (프랑스) MARKETING DIRECTOR

“전세계에 자동차 장비를 공급하는 업체로서, Faurecia가 스테인리스를 주로 이용하는 곳은 배기계이며, 연간 약 200,000 톤 정도를 사용하고 있는데, 그 중 90%가 400계입니다. 사실, 우리는 미국 배기가스 허용 기준을 만족시키기 위해 촉매 변환 장치 (catalytic converters)를 생산하기 시작한 1970년대 중반부터 400계열을 사용해 왔는데, 400계는 300계 대비하여 촉매 변환 장치의 내구성에 영향을 주는 핵심적인 요소인 열팽창도가 훨씬 낮은 잇점이 있습니다.



“우리는 배기계 용도별 사용환경에 따른 적합한 400계 강종을 선택할 수 있었기 때문에 400계를 성공적으로 적용시킬 수 있었습니다. 물론, 제품개발과 제조공정에서 400계의 성형한계와 입계부식을 고려해야 합니다. 또한, 900°C가 넘는 환경 등 고온에서 내식성을 보유할 수 있는 400계가 더욱 필요한 실정입니다. 이와 같이 300계보다 낮은 원가와 안정된 가격을 가지면서 300계와 유사한 성능을 보유한 400계가 개발될 것으로 확신합니다. 하지만, 우리 회사는 이미 400계에 만족하고 있습니다.”



**그룹 1:** 이 그룹에 해당하는 400 계 강종은 집안 실내와 같이 극심한 환경이 아닌 경우 (수분에 노출되지 않는 환경이나 정기적으로 건조시키는 조건), 또는 어느 정도의 표면 부식이 허용되는 실외 환경에서 가장 알맞다. 이러한 조건에서라면, 이 그룹의 400 계는 탄소강보다 더 긴 수명을 가질 수 있다.

**그룹 2:** 이 그룹의 강종은 간헐적으로 물과 접촉하는, 극심하지 않는 환경에서 효과적이다.

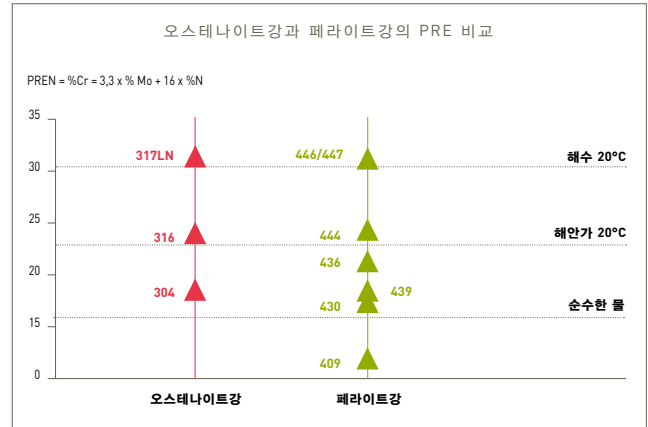
**그룹 3:** Group 2 가 사용될 수 있는 환경 조건과 같으나, 용접이 더 용이하다.

**그룹 4:** 이 그룹의 강종은 304 보다 내식성이 더 우수하고, 더 광범위한 영역에서 사용될 수 있다.

**그룹 5:** 크롬 함량이 매우 높아 29% 정도이고 몰리브덴 4% 가 함유되어 있어 티타늄과 같이 해수내에서도 내식성을 나타낸다.

**PRE**

“PRE (공식저항지수, pitting resistance equivalent number)” 는 염화물이 포함된 환경에서 스테인리스 스틸의 상대적인 내공식성을 나타내는 수치이다. PRE 값이 높을수록, 더 우수한 내식성을 보인다.



**“니켈은 내공식성에 아무런 영향을 미치지 못한다.”**

PRE 값을 비교한 표를 보면, 300 계 강종에 대하여 동등 수준의 내식성을 보이는 400 계 강종이 하나씩 존재함을 알 수 있다.

가장 널리 사용되는 PRE 약식 공식은  $PRE = \%Cr + 3.3\%Mo$  에서 보듯이 몰리브덴은 내공식성에 있어서 크롬보다 3.3 배 더 효과적이다. 그러나, 크롬은 내식성을 부여하는 필수 원소이다. 몰리브덴은 기본적으로 스테인리스내 크롬의 절대함량을 대체할 수 없으나, 내식성을 획기적으로 향상시키는 역할을 한다.

니켈 함량은 PRE 식에 포함되지 않는데 이는 내공식성에 있어서 니켈이 아무런 역할을 하지 못하기 때문이다.

**부식 방지**

스테인리스의 “부동태” 피막이 건전한 상태를 유지하기 위해서는 산소를 필요로 한다. (p. 59 를 보십시오) 스테인리스 스틸 표면에 침착물이 쌓이면, 어느 시점에서 산소가 접촉하지 못하기 때문에 부식이 발생한다. 부식반응이 심각하게 발생하면, 일부에서 파단이 발생하게 된다.



저장탱크 (444, 브라질).

바비큐 그릴과 운반대 (430, 이탈리아).

## 부식 위험 요소

- 철강 고용체의 오염물질
- 표면의 침적물
- 표면 흠집
- 구조적인 불연속성
- 염분 (염분이 많은 환경, 해수 등)
- 온도의 증가
- 산성 환경 (강산 등)
- “환원성” 이 높은 환경

## 부식 방지요소

- 깨끗한 표면
- 매끄러운 표면
- 부동태처리가 된 표면
- 표면의 시효 (aging)
- 세척효과 (비 등)
- 크롬 함량의 증가
- 산화성 환경 ( $O_2$  농도가 강하지 않은 환경)
- 몰리브덴 첨가

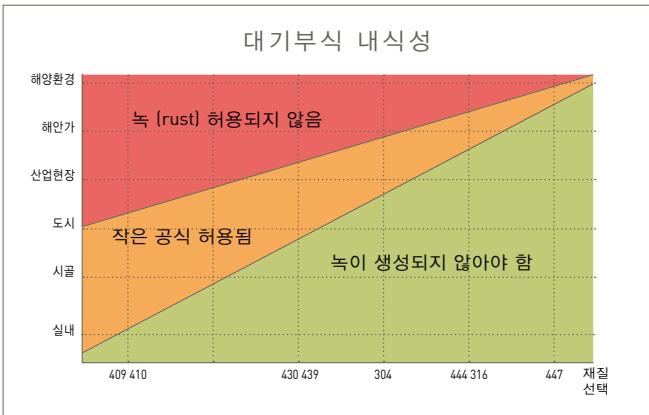
Ph 가 낮아질수록 (산성이 강해질수록) 부식반응이 잘 일어난다. “ph” 는 용액의 산성 또는 알칼리성을 나타내는 수치이며, 범위는 0 부터 14 까지다.



기저역 안전 장벽, SUS4301L, 일본.

### 대기 부식

대기부식은 철강의 표면에서 공기중의 수분과 불순물이 만들어낸 얇고 습한 막에 의해 발생한다. 산업현장 등에서 표면에 염화물이나 황화물이 존재하게 되면 대기부식이 시작될 수 있다. 대기 부식이 발생하는 가장 일반적인 조건은 습한 해양 환경에서 염화물에 노출될 때이다.



대기부식에 있어서, 어떠한 400 계 강종 혹은 300 계 강종을 선택할까하는 고민은 적용될 환경에 따라 달라진다. 산업현장, 해안가, 해양환경에서 사용되더라도, 어느 정도의 국소 부식 (공식) 이 허용되는 경우가 있다.

**“400 계는 다양한 대기 부식 환경에 사용될 수 있다.”**

### 강종 선택

400 계는 다양한 부식 환경에 노출될 수 있다. 적절한 강종을 선택하기 위해서는, 사용 조건에 관한 모든 요소들을 면밀히 파악하여야 한다.

예를 들어, 어떤 환경에서 표면에 약간의 부식 (공식) 이 발생해도 중요하지 않다면, 저렴한 강종이 적절한 선택이 될 것이다

### 기본 원칙

- 부식성이 강한 환경에 사용될 것이라면, 크롬 함량 또는 몰리브덴 함량이 높은 강종을 선택한다.
- 표면이 거친 것 보다는 (Ra 값이 낮은) 매끈하게 연마된 표면이 좋다.
- “세척성” 에 대해 염두에 두고 설계한다.
- “틈새 같은” 구조를 피한다.
- 정기적으로 세척하여 표면을 깨끗이 하고, 얼룩이나 먼지가 쌓이지 않게 한다.



전화박스 (electrification box, 배인토로 코팅된 410 강종, 니미프리가 적용) (한국)



## 내산화성 (Oxidation Resistance)

위에서 다룬 두 가지 부식 유형과 달리, 고온산화는 500°C 이상 고온 산화분위기에서 때로는 열순환과 동반되어 발생하는 “건식부식”이다.

스테인리스 스틸이 가열되면, 스테인리스 스틸 내의 크롬 원소가 산소와 반응하여 산화크롬 “스케일”을 생성한다. 이때 생성된 스케일 때문에 더 이상의 산화반응이 일어나지 않는다. 스케일과 금속모재는 각각 다른 열팽창도를 가지고 있기 때문에, 주기적으로 열순환이 변하는 환경에서는 스케일이 불안정해진다. 스케일의 열팽창계수는 매우 낮은 반면, 금속의 열팽창계수는 매우 높기 때문에 금속이 냉각되어 수축하면 손상부위가 생기거나 균열이 발생한다.

400 계의 열팽창계수가 300 계보다 낮기 때문에 고온산화스케일에 덜 민감하다. 철강 표면에 스케일이 부스러지거나 균열이 발생하지 않는다면, 더 이상의 산화반응이 일어나지 않는다. 이런 이유 때문에 400 계가 가열 시스템, 버너, 매니폴드를 포함한 배기계 등에 우선적으로 적용될 수 있다.

## 광범위한 적용 영역

내식성은 400 계가 인기를 끌게 된 이유와는 거리가 멀고, 오히려 300 계가 내식성과 더 연관이 있다.

400 계를 면밀히 검토해 보면 다른 재료의 사용자들 어느 정도 끌어 모을 수 있다는 것을 알 수 있다. 300 계 사용자들이 400 계의 세분화된 특성을 살펴 본다면, 400 계 강종이 해당용도에 매우 적합하다는 것을 알게 될 것이다.



... 400 계의 열팽창계수가 300 계보다 낮기 때문에 고온산화스케일에 덜 민감하다.



400 계 사용을 고려하는 이들은 400 계의 뛰어난 특성에 놀라게 될 것이고, 결국에는 스테인리스가 경쟁력 있는 재료라는 것을 알게 될 것이다.

## 수명주기원가 (LIFE CYCLE COST): 재질 선택의 핵심 지침

어떤 재질을 선택하려 할 때 수명주기원가 연구의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 수명주기원가를 평가해보면, 스테인리스가 장기적인 관점에서 실제로 가장 비용이 낮은 해법이다.

스테인리스의 우수한 내식성은 오랜 사용기간, 적은 관리비용, 미려한 외관, 다시 팔 때의 높은가격을 가져다 준다. 때로는 페인팅이나 아연 도금이 필요할 때가 있다. 이러한 스테인리스의 장점이 제공됨에도 재질 선택을 망설인다면, 더 낮은 가격의 400 계를 제시함으로써 논의를 종결시킬 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 이미 널리 사용되어 인정 받고 있는 400 계 강종의 사용 용도가 “새로이 개발되고” 있다. 이미 현재 사용되고 있는 영역에서 검증된 수 많은 사례를 통해 새로운 가능성의 길이 나타나고 있다.

...비용이 낮은 400 계 강종을 제시한다면, 재질 선택에 대한 논의를 끝맺을 수 있을 것이다...



유도가열조리기구는  
400 계의 자성이  
필요하다.

## 백승태

LG 전자, 세탁기 소재구매팀장, 대한민국

“우리는 처음 자동 세탁기를 제작한 시기부터 지금까지 400 계를 사용해 왔고, 현재 세탁기 드럼에 대부분 400 계를 사용하고 있습니다. 실제로 우리 업체는 2006 년에 300 계를 2,500 톤 사용한 반면, 400 계는 약 15,500 톤 사용했습니다. 따라서, 우리가 소비하는 스테인리스의 약 86% 가 400 계인 셈입니다.



“400 계를 이용하는 이유는 단순합니다. 400 계는 기계적 특성이 매우 우수하고, 300 계 보다 저렴하다는 것입니다. 또한 요즘 물딩기술의 발달과 고품질의 400 계 강종 개발 덕분에 400 계를 매우 성공적으로 사용하고 있습니다. 프레스 과정에서 균열이나 주름 (creasing) 이 간혹 흠집을 만들어 내어, 딥드로잉 공정에 개선이 필요하긴 합니다. 그러나, 400 계를 사용해서 우리 회사는 가격과 품질 모두에 있어서 만족스러운 결과를 얻었습니다.

# 기계적, 물리적 특성

400 계 가공이 용이하고, 여러 분야에서 적용이 가능하다.

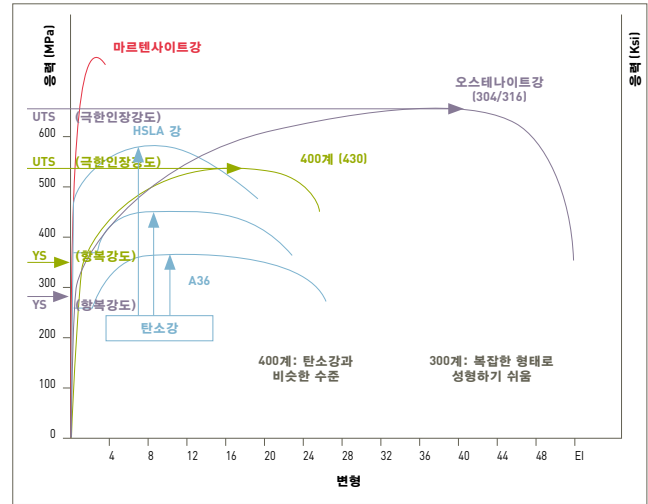
400 계는 기계적 특성이 우수하여 다른 스테인리스 계열과 비교했을 때, 중간 정도 순위를 나타내고 있다. 400 계는 300 계 대비 항복강도가 높으며, 연신율과 성형성은 탄소강과 대등한 수준이다. 열팽창도와 열전도도는 300 계보다 우수하다.

## 기계적 특성

대략적으로 말하자면, 합금강의 기계적 특성은 압축 (compress), 양축인장 (stretch), 굽힘 (bend), 경도 (scratch), 파괴/파단 (break) 등에 대한 재료의 성능을 나타낸 것이다. 가장 흔히 평가되어 사용되고 있는 기계적 특성은 다음과 같다.

- **강도**: 재질이 변형에 견딜 수 있는 정도를 의미한다. 다음과 두 가지 측정기준이 주로 사용된다:
  - 항복강도- 영구적으로 소성 변형이 일어나기 전까지 재질에 가해진 응력을 의미한다.
  - 인장강도- 파단이 발생하기 전까지 재질에 가한 응력을 의미한다.
- **경도 (Hardness)**: 특정하중을 가하였을 때 움푹 들어간 정도를 의미한다.
- **인성 (Toughness)**: 재질에 파괴가 일어나기 전에 변형에너지를 흡수하는 능력이다.
- **연성 (Ductility)**: 또는 소성 (plasticity) 라고도 한다. 파괴를 일으키지 않은 상태에서 소성적으로 변형을 일으킬 수 있는 재료의 능력이다.

이들 특성 중 일부는 인장강도 테스트를 수행함으로써 측정할 수 있다. 테스트 결과 얻은 응력-변형곡선을 통해 항복강도 (Yield strength, YS), 인장강도 (UTS, Ultimate tensile strength), 그리고 파괴점에서의 연신율 (E, Elogation) 을 구할 수 있다. 하중을 달리하여 인장강도 테스트를 수행할 경우, 금속의 성능을 나타내는 응력변형곡선을 얻는다.



UTS (인장강도) 는 MPa (1Mpa = 1N/mm<sup>2</sup> = 145PSI = 0.1kg/mm<sup>2</sup>) 단위로 측정되고 파괴가 일어났을 때의 최대 저항응력을 나타낸다. YS (항복강도) 는 “소성” 변형의 시작을 알려준다. 즉, 응력이 제거된 후에도 늘어난 재질이 다시 제자리로 되돌아가지 않는다.

응력변형곡선을 살펴보면, 400 계의 430 강종이 한계값을 갖는 반면 이 한계치 내에서는 매우 탁월한 성능을 나타낸다.



“... 400 계의 연신율이나 성형성은 탄소강과 유사한 수준을 나타낸다.”

400 계의 응력 변형곡선은 탄소강과 유사하다. 전체적으로 300 계보다 높은 항복강도를 나타내고, 인장강도 역시 300 계보다 높은 수준이다. 또한 연신율, 연성도 우수한 수준이다.

기계적 특성 (냉간압연)												
ASTM A 240				JIS G 4305				EN 10088-2				
	R <sub>m</sub> min	R <sub>p02</sub> min	A <sub>5</sub> min		R <sub>m</sub> min	R <sub>p02</sub> min	A <sub>5</sub> min			R <sub>m</sub>	R <sub>p02</sub> min	A <sub>80</sub> min
409	380	170	20	--	--	--	--	X2CrTi12	1.4512	380-560	220	25
410S	415	205	22	SUS 410	440	205	20	X2CrNi12	1.4003	450-650	320	20
430	450	205	22	SUS 430	420	205	22	X6Cr17	1.4016	450-600	280	18
434	450	240	22	SUS 434	450	205	22	X6CrMo17-1	1.4113	450-630	280	18
436	450	240	22	SUS 436	410	245	20	X6CrMoNb17-1	1.4526	480-560	300	25
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4520	380-530	200	24
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4510	420-600	240	23
441	415	205	22	--	--	--	--	X2CrMoNb18	1.4509	430-630	250	18
S44400 [444]	415	275	20	SUS 444	410	245	20	X2CrMoTi18-2	1.4521	420-640	320	20
304	515	205	40	SUS 304	520	205	40	X5CrNi1-80	1.4301	500-750	230	45

위의 표는, 미국, 일본, 유럽의 규격서를 대상으로 400 계와 300 계의 대표강종 304 를 비교한 것이다. R<sub>m</sub> 은 인장강도, R<sub>p02</sub> 는 항복강도, A<sub>5</sub>/A<sub>80</sub> 은 파단까지의 연신율을 나타낸 것이다.



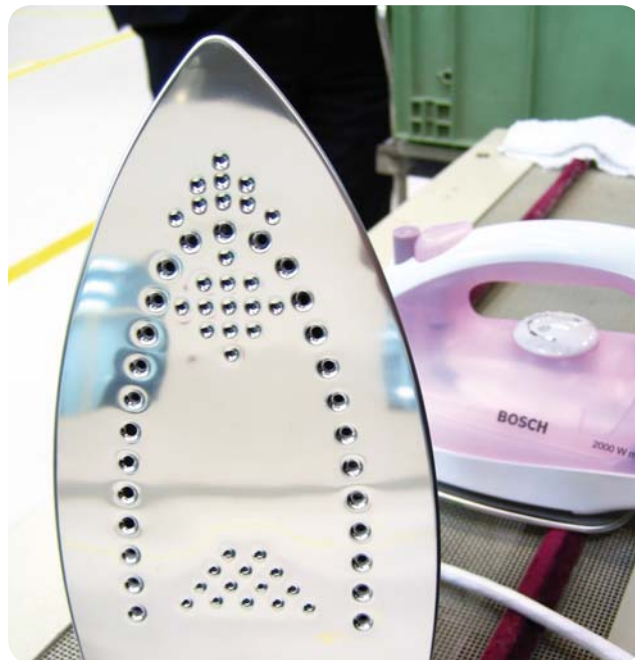
보일러의 배수 부품, 444, 대한민국.

### 물리적 특성

합금강의 물리적 특성은 열전달, 전기전도도, 그리고 팽창율이나 수축율 등과 관계된 것이다.

400 계는 자성을 갖는다. 이 외에도 400 계는 300 계보다 더 좋은 물리적 특성을 가지고 있는데, 예를 들면 열전도도는 주목할 만한 수준이다. 이는 400 계가 상대적으로 열을 효과적으로 전달한다는 것을 의미한다. 따라서, 전기다리미나 열교환기 (튜브형, 판형 모두) 에 적절하다.

400 계의 열팽창계수는 탄소강과 비슷하고 300 계보다 훨씬 낮다. 따라서 400 계는 가열되었을 때 뒤틀림이 적다.



전기다리미 밑판, 430 (비평차리).

물리적 특성							
스테인리스 강종	밀도 g/cm <sup>3</sup>	전기저항 Ω mm <sup>2</sup> /m	비열 0-100°C J/kg • °C	열전도도 100°C W/m • °C	열팽창 계수		영률 [Young's modulus x10 <sup>4</sup> ] N/mm <sup>2</sup>
					0-200°C 10 <sup>-1</sup> /°C	0-600°C 10 <sup>-1</sup> /°C	
409/410 10%-14% Cr	7.7	0.58	460	28	11	12	220
430 14%-17% Cr	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Stabilised 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Mo > 0.5% 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Others 17%-30% Cr	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Carbon steel	7.7	0.22	460	50	12	14	215

400 계의 탄성률 (20°C 에서) 은 오스테나이트 304 강종보다 우수하다. IS 단위: g/cm<sup>3</sup> = kg/dm<sup>3</sup> - J/kg • °C = J/kg • °K - W/m • C = W/m • K -10<sup>-6</sup>/°C = 10<sup>-6</sup>/°K - N/mm<sup>2</sup> = MPa.



크롬 함량이 낮은 400 계 강종은 탄소강만큼의 강도를 제공할 뿐 아니라, 내식성도 동등수준이다. 따라서 400 계로 된 탄광차는 수명주기원가 (LCC, LIFE CYCLE COST) 가 낮다.



미적, 위생적 요인 때문에  
400 계가 가스렌지 상판에  
이상적인 재질이다.

## ZHANG SEN

QINGDAO HAIER INTERNATIONAL TRADING CO. LTD.,

(중화인민공화국) 스테인리스구매이사

“세계 백색 가전 시장에서 선두를 달리고 있는 Haier 그룹은 세탁기, 식기 세척기, 가스레인지, 전자오븐, 부엌 외장 후드 등 다양한 제품에 400 계를 적용하고 있습니다. 2000 년이 시작되기 전부터 400 계를 사용하였는데, 현재는 연간 약 14,500 톤을 사용하고 있으며, 이는 우리가 소비하는 스테인리스 중 약 85% 를 차지하는 것입니다. 400 계 강종은 300 계보다 가격이 저렴하고, 우리 제품에 이상적인 재질입니다.



“300 계의 304 강종과 비교해 보면, 400 계는 딥드로잉성이 다소 열위하며, 염화물이 존재하는 환경에서 내식성도 그리 우수하지 않고, 용접성도 떨어지는 편입니다. 그래도 400 계는 전자제품으로 적용하기에 우수한 재질입니다. 또한 펀칭 (punching) 과 드로잉 (drawing) 성능이 좋아서 우리는 400 계에 만족합니다.

“니켈 가격이 매우 치솟아 스테인리스 구매 비용이 급격히 상승했습니다만 300 계를 400 계로 대체하는 이유는 반드시 비용 문제만은 아닙니다. 자원도 아끼고 환경도 보호할 수 있습니다.

필자는 이렇게 말하고 싶습니다. 300 계가 현재로서는 시장에서 주도적인 자리를 차지하고 있지만, 앞으로 스테인리스 산업은 400 계에 의존하게 될 것이라고 믿습니다.”

# 400계의 성형성

**400 계는 드로잉 특성이 좋은 덕분에 3 차원 디자인과 같은 복잡한 형태를 만족시킬 수 있다.**

복잡한 형태의 디자인을 적용한다고 해서 내식성, 내열성, 외장성 등이 떨어지는 것은 아니기 때문에, 산업용 제품이나 일반 소비재 모두에 적용되기에 알맞다.

**“...일부 400 계 강종은 드로잉 성능이 탁월하다.”**



보일러의 옷면과 배덕면, 441, 남양포리강종화강.

냉간압연은 소성변형을 일으켜 스트립이나 철판의 형태를 바꾼다. 성형공정에는 스트레칭이나 딥드로잉 도중에 인장, 압축을 가하는 등 복잡한 과정을 거친다.

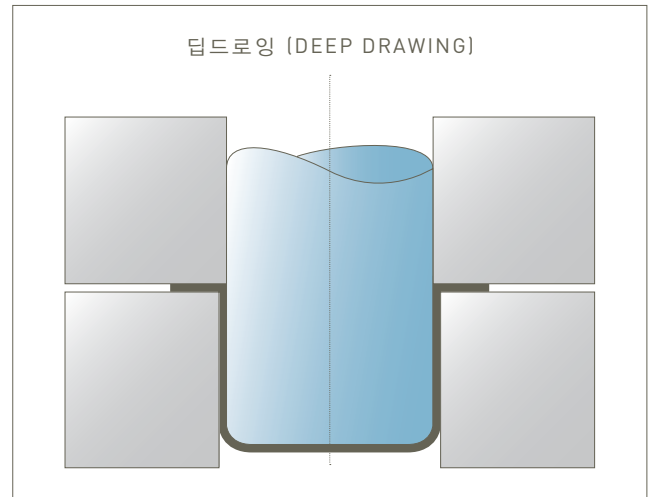
300 계의 드로잉성이 400 계보다 우수하지만, 일부 400 계 강종은 (티타늄 안정화 원소를 첨가한 17% 크롬 강종) 탁월한 드로잉 성능을 보인다.

## 400 계의 드로잉 가공

드로잉 가공은 일반적으로 Blank 로 불리는 평판 형태의 철판을 이용하여 오목한 형태의 가공품을 만들 때 사용하는 공정이다. 400 계는 드로잉 성능이 좋고, 비용이 저렴하기 때문에, 최적의 재질로 선택되곤 한다.

## 드로잉 가공방법

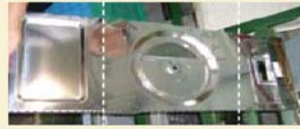
드로잉으로 형태를 만들 때는, 다이 위에 철판을 올려놓고 펀치를 이용하여 가압한다. 금속은 안쪽에서 드로잉되는데, 다이와 홀더사이를 통해 SLIPPING 이 일어나면서 최종부품의 외관을 형성하게 된다.



슬리핑 (slipping) 의 차이로, “드로잉” 과 “장출성형 (stretch-forming)” 이 구별된다. 신장성형에서는 성형되는 소재가 빨려들어감 없이 홀더에 의해 팽 물리게 된다.



싱크대, 430, 일본.



전자레인지, 430, BA finish, 태평양국.

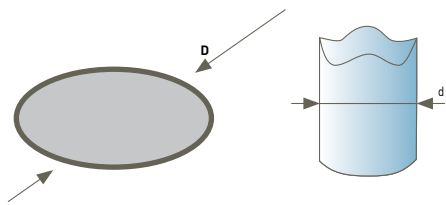
## 성공적인 드로잉가공은 다음을 의미한다:

- 파괴가 일어나지 않아야 한다
- 표면 외관이 훼손되지 않는다
- 최소한의 소재를 사용한다
- 생산성이 높아야 한다
- 도구 마모가 적어야 한다

### 드로잉 가공한계 (LDR, LIMITED DRAWING RATIO)

드로잉 가공한계 (LDR) 는 딥드로잉에 있어서 중요한 요소이다.

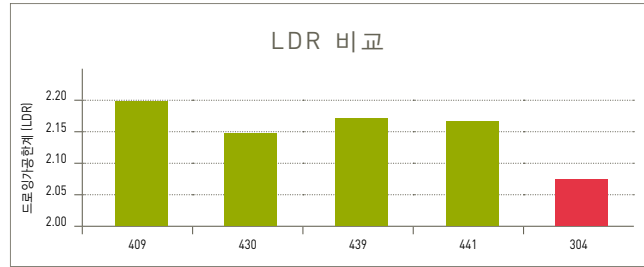
드로잉가공한계 (LDR, LIMITED DRAWING RATIO)



(LDR) 은 한번에 실린더로 딥 드로잉할 수 있는 블랭크 철판의 최대 직경 (D) 에 대한 실린더의 직경 (d) 의 비율을 나타낸 것이다 (LDR = D/d).

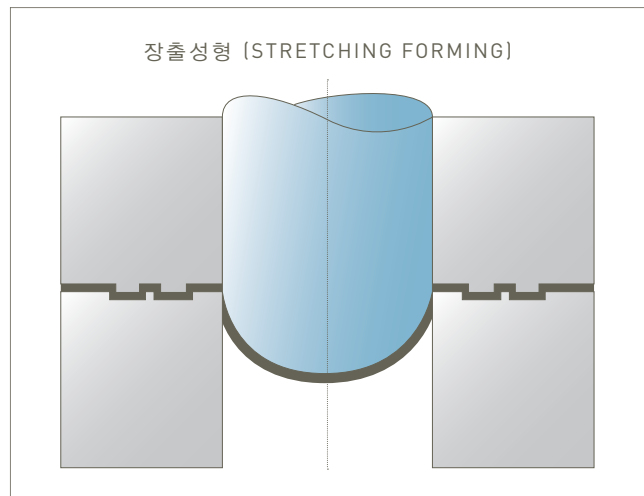
**“400 계는 300 계보다 LDR 이 높아서 드로잉 가공에 적합하다.”**

400 계는 300 계보다 LDR 의 값이 더 높다. 따라서 400 계가 드로잉에 보다 더 적합하다.



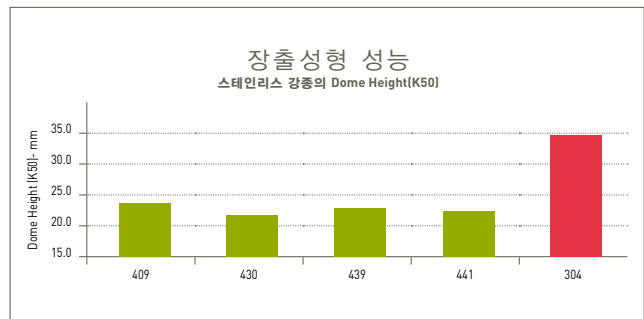
### 400 계의 장출성형 (STRETCH-FORMING)

400 계는 300 계보다 장출성형이 어렵다.



장출성형이 일어나면, 드로잉된 부분이 많아진다.

아래 표는 각 강종의 장출성형성을 비교한 것이다. “dome height” 는 철판이 스트레칭되는 (stretching) 과정에서, “네킹 (necking-파괴가 일어나기 바로 전 상태)” 이 발생하기 전의 최대 변형 정도를 의미하는 것이다.

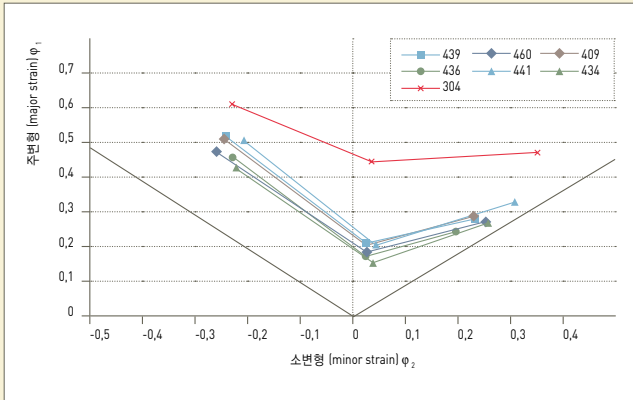




## 성형한계곡선 (FORMING LIMIT CURVES)

실제 산업현장에서의 성형과정에는 일련의 연속공정으로 드로잉가공과 장출성형이 포함된다.

성형한계곡선 (Forming Limit Curves) 은, 드로잉이나 스트레칭이 가해질 때, 재질이 파괴되기 전 최대 변형 정도를 알려주는 유용한 도구이다. 스테인리스 기본 강종에 대해 성형한계곡선이 완성되어 있으며, 성형 가공공정을 분석하는 데에 사용된다.



이 곡선은, 특별히, 세로방향 변형 (“주변형”) 과 가로방향 변형 (“소변형”) 두 가지 “실제 변형” 에 대해, 성형가공 도중과 이후의 국부적 변형정도를 알려 준다. 또한, 성형한계곡선을 가지고, 파괴가 일어나기까지 이 두 가지 변형이 다양하게 조합되었을 때의 효과를 알 수 있다. 곡선의 위치가 위에 위치할수록 성형성도 좋다는 것을 의미한다.

### 400 계의 반응

일반적으로, 400 계의 가공경화와 연신율은 고강도 탄소강과 비슷한 수준이고, 300 계와는 비교할 수 없다.

최적의 드로잉 공정을 완성하려면 400 계 강종 특성과 제품의 디자인, 구조, 가공계수 등을 반드시 함께 고려해야 한다.



스텝핑가공된 축 매변환장치, 441.

“티타늄 안정화 강종인 430Ti 은 이 문제에 있어 상당한 효과를 나타내므로, 딥드로잉 가공이 수반되는 용도에서 300 계를 대체하기도 한다.”

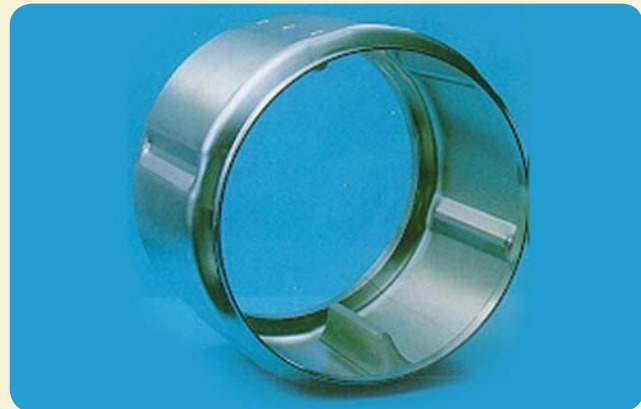
## 리징 (RIDGING)

성형가공 후에 400 계 표면에는 간혹 “리징 (ridging)” 이나 “로핑 (roping)” 으로 알려진 표면 불규칙현상이 나타날 수 있다.



리징현상이 있는 경우와 없는 경우.

이 결함은 철판의 압연 방향과 평행하게 나타나는 일련의 융기선과 같은 것이다. 리징 (ridging) 은 변형된 표면에 나타낸 전체적인 모양을 나타내는 것인데, 미소한 조직내 형태 변이와 변형으로 발생한 기복 “로핑 (roping)” 을 포함한다.



건조기 드럼: 용접된 409, 확산 가공으로 성형.

티타늄과 같은 안정화 원소가 첨가되면, 이러한 문제를 개선할 수 있다. 티타늄 안정화 강종인 430Ti 은 이 문제에 있어 상당한 효과를 나타내므로, 딥드로잉 가공이 수반되는 용도에서 300 계를 대체하기도 한다.



매니폴더, 스텝핑가공, 441.

## 윤활제 (LUBRICATION)

성공적인 드로잉 가공을 위해서는 표면 외관이 변질되는 것을 피하고 도구에 들러붙지 않게 하여 도구 수명을 연장하기 위해서 성형되는 Sheet 와 도구에 윤활제를 적용하는 것이 필수적이다.

400 계의 표면이 광택처리되었고 매끄럽다면, 점성이 높은 윤활제를 사용해야 할 것이다. 스테인리스 스틸에 사용되는 윤활제들은 내압성이 있고 염화물을 거의 포함하지 않거나 아예 포함되지 않는 것들이다. 블랭크에 고르게 바르면, 드로잉가공이 끝난 후 쉽게 스테인리스 부품을 분리할 수 있다.

## 공구 (TOOLING)

공구는 마찰 상태에 결정적인 영향을 미치고, 성형공정 도중 금속의 움직임에 영향을 줄 수 있기 때문에, 정확한 공구를 사용하는 것은 필수적이다. 특별한 경우, 구리나 철, 또는 알루미늄 청동으로 된 공구 (몰드, 다이) 를 사용할 수 있다.



도구의 수명을 연장하기 위하여 TiCN 코팅과 같은 표면처리를 할 수도 있다. 블랭크홀더 (blankholder) 나 다이는 주의깊게 연마되어야 한다. 펀치는 표면이 거친 것을 사용해도 무방하다.

**“스테인리스 스틸에 윤활제를 사용하면, 드로잉가공 후 떼어내기 쉽다”**

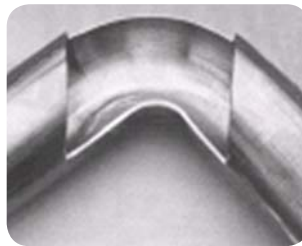
## 주요 철강의 성형 특성

아래 표는 일부 400 계의 성형특성을 탄소강과 300 계와 비교한 것이며, 이 자료는 성형특성을 정의하는데 기준자료로 사용된다. “BCC (body-centred cubic, 체심입방체)” 와 FCC (face-centred cubic, 면심입방체)” 는 각 타입의 결정구조를 나타낸 것이다.



메니폴드의 용접, 벤딩된 튜브, 441.

	탄소강	400계	300계
결정구조	BCC	BCC	FCC
가공경화	낮다	낮다	높다
스프링백	낮다	낮다	높다
딥드로잉	우수하다	좋다	좋다
장출성형 (stretch-forming)	좋다	좋다	우수하다
리징 (ridging)	없다	일어날 수 있다	없다



용접튜브의 벤딩부, 430Ti.



영교환기 용접튜브, 439.



하이드로포밍 (hydroforming) 된 용접튜브, 1.4003.



용접부의 변형, 1.4003.



## 400 계의 적용

각종 표와 곡선을 살펴보면 성형성에서 300 계가 400 계보다 우수하다는 것을 나타내고 있지만, 비용적 장점 때문에 400 계를 사용하는 것이 유리하다. 특히 드로잉성 때문에 400 계의 적용 범위가 넓어진다. 게다가, 딥드로잉가공이나 스프링백 효과에 있어서 400 계가 300 계 보다 더 나은 특성을 보인다.

사용자들은 신뢰성있는 철강 공급체에 400 계에 대한 기술적인 자문을 구해야 한다. 스테인리스 스틸 산업의 전문가들은 언제나 가까운 곳에 있다. 이들은 400 계가

제대로 된 역할을 할 수 있도록 그 길을 열어 주고, 적용분야에 따라 가장 적절한 등급을 선택할 수 있도록 도움에 앞장서고 있다.

**“... 드로잉가공의 용이성  
때문에 400 계의 적용 범위가  
상당히 넓어졌다.”**



더욱 엄격해진 환경규제,  
그리고 기술적, 경제적  
요건사항이 늘어나고 있어,  
배기계에 400 계가  
기본 소재로 사용된다.

## BERNHARD BLAESER

MACADAMS BAKING SYSTEM (PTY) LTD 이사,  
남아프리카공화국

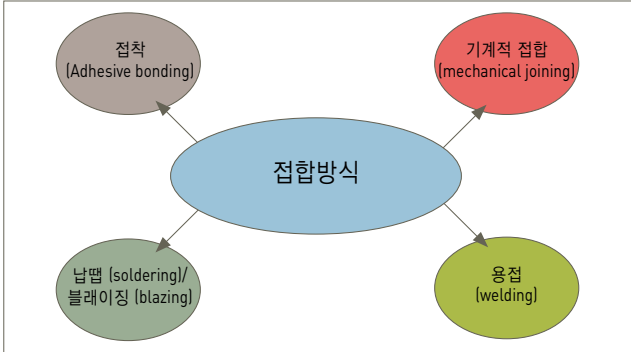
“우리 회사는 제빵용 오븐과 프로버 (provers) 를 생산합니다. 최근 몇 년간 300 계의 가격이 상당히 인상되어 많은 업체들이 점차 스테인리스강을 사용하지 않고 있습니다. 특별히, 오븐의 외장용 판넬 등과 같이 열선과 관계없는 부분, 그리고 음식과 직접적으로 닿지 않는 부분에서 점차 스테인리스강을 사용하지 않고 있습니다. 400 계의 가격은 크게 변동을 보이고 있지 않기 때문에 400 계로 대체하는 것이 하나의 대안이 됩니다. 스테인리스 전체를 포기하는 것보다 400 계로 대체하는 문제를 고려해 보아야 합니다.”



400 계 사용자들의 의견

# 400 계의 접합

400 계에는 수 많은 접합 방식이 적용될 수 있다.



- **용접 (welding):** 금속을 용융시킨 후, 재응고시켜 두 가지 이상의 금속을 접합하는 것을 의미한다.
- **납땜 (soldering):** 납땜 온도 (soldering temperature) 까지 두 재질을 가열시키고 (모금속의 고상선 아래까지), 용가제의 온도는 450°C 미만의 온도에서 액상으로 존재하게 하여 금속 재질을 접합시킨다.
- **블레이징 (blazing):** 납땜과 같으나, 450°C 이상의 온도에서 접합이 일어난다.
- **기계적 접합 (mechanical joining):** 클린칭 (clinching), 시밍 (seaming), 리베팅 (riveting), 기계적조임 (mechanical fastner) 을 포함한다.
- **Adhesive bonding:** 두 재질 표면에 불순물을 제거하고 접착제를 바른 후 접착제로 활성화된 두 표면을 함께 압착한다. 접착제는 공기, 물, 또는 기타 화학물질을 이용하여 접착반응을 일으킨다.



“400 계는 300 계보다 우수한 용접특성을 나타내기도 한다”

## 용접

탄소강에 적용되기 위해 개발된 수 많은 용접 방식 중 스테인리스에 적용될 수 있는 것은 몇몇에 지나지 않는데, 이 방법들이 스테인리스의 표준 방식이 되었다. 아크용접 (arc welding), 저항용접 (resistance welding), 전자빔용접 (electron-beam welding), 레이저빔용접 (laser-beam welding), 그리고 마찰용접 (friction welding) 이 그것이다.

금속을 접합시키는 방식 중 용접은 가장 효과적이고 저렴한 방식이다. 비교적 경량의 구조물에서, 시중에 판매되고 있는 금속 제반에 적용될 수 있는 접합 방식이고, 다양한 디자인에 적용될 수 있는 유연성을 가지고 있다.

스테인리스 스틸의 용접 특성은, 스테인리스 스틸의 화학성분, 결정구조, 그리고 물리적 성질에 따라 달라진다. 열팽창도가 낮고, 전기저항이 낮으며, 열전도도가 높기 때문에, 400 계는 300 계보다 우수한 용접특성을 나타내기도 한다.

## 안정화된 400 계와 일반 400 계

평균적으로 400 계는, 용접으로 인한 입계부식 발생 가능성이 300 계보다 적다.



이것은 Ti, Nb 같은 탄화물 형성 억제원소를 함유하는 400 계 강종에서 더욱 두드러지게 나타난다. 탄화물 형성 원소들은 철강 내의 탄소와 결합하여, 용접이 일어나는 동안, 탄소가 크롬과 결합하는 것을 막기 때문에 크롬탄화물이 생성되지 않는다. 입자 경계에서 크롬 원소가 소모되는 것을 막기 때문에, 사실상 안정화원소가 첨가된 400 계 강종에서는 입계부식이 발생하지 않는다.

충분히 안정화시키기 위해, 티타늄 원소의 양은 탄소함량의 5 배를 첨가한다. 또는, 니오븀이 티타늄과 함께 사용되면, 탄소함량의 3 배를 사용하게 된다. 때때로 용접부 입자를 미세화하기 위해 질소가 첨가되기도 한다.

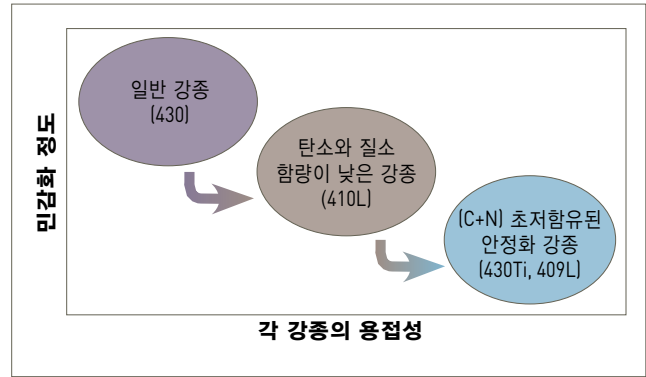
티타늄이나 니오븀를 포함하지 않아 안정화되지 않은 400 계 강종은 열영향부 (heat affected zone) 에서 입계부식에 취약하게 된다. 이는 입자 경계에서 크롬탄화물이 생성되기 때문이다. 이 현상을 “예민화 (sensitisation)” 라고 한다. 예민화 정도는 탄소함량에 따라 달라진다.

그러나, 600-800°C 사이에서 어닐링 처리하면, 예민화된 강의 내식성을 회복시킬 수 있다.



배기계, 용접, 439, 대한민국.

“...안정화원소가 첨가된 400 계강에는 사실상 입계부식이 일어나지 못한다.”



### 용가제 적용 방식

용접부의 내식성을 확보하기 위해서 400 계에 적용되는 용가제는, 모금속의 합금조성에 따라 Cr, Mo, Ti/Nb 등이 약간 과도하게 포함되어야 한다. 가열되면 용접부분에서 크롬 손실이 일어나기 때문이다. 또는 대안으로 크롬과 몰리브덴 함량이 높은 300 계의 용가제를 사용할 수 있다.

### 보호가스 (PROTECTIVE GASES)

크롬 함량이 높기 때문에 스테인리스는 용융 상태에서 산화반응이 잘 일어난다. 용접되는 동안, 일반 공기와의 접촉이 차단되지 않으면, 크롬이 소모되고 산화물이 생성된다. 따라서 용접 부분의 상태가 저하되고 내식성이 감소한다. 용접부와 그 주변부는 비활성 기체로 보호막을 생성시킴으로써 보호할 수 있다. 보호가스는 순수한 아르곤 (Ar) 가스, 헬륨 (He) 가스, 또는 헬륨과 아르곤의 혼합가스를 사용한다.

400 계를 용접할 때는 보호가스로 순수한 아르곤 가스나 아르곤과 헬륨의 혼합 가스를 사용한다. 아르곤-수소 혼합가스는 300 계에서 사용되는데, 400 계에 사용될 경우, 용접 접합부에서 수소취성 (hydrogen embrittlement) 을 일으킬 위험이 있다. 아르곤 가스를 사용할 때에는 주로 후면보호가스와 함께 사용한다 (용접부 후면 보호). 400 계에 질소가스는 사용할 수 없다.

### 400 계의 용접 문제 해결

위에서 언급한 위험 말고도, 고온에서 발생하는 “상변태 (phase formation)” 에 따른 취성과 “결정립조대화 (grain coarsening)” 가 발생한다. 이러한 문제에 대한 해결방안은 다음 표 “대처방안” 에 수록하였다.



탱크, 용접, 444, 유럽.

## 400 계 용접: 처방

스테인리스 스틸 그룹	특성	현상	원인	방지법
안정화되지 않은 등급	예민화	용접부의 내식성 저하	입계에서의 크롬산화물 석출	600~800°C 온도에서 소둔 (annealing)
안정화 등급	결정립조대화 (grain coarsening)	용접부에서의 인성 저하	고온에 기인한 입자의 과성장	용접열 최소화
Cr 15% 이상	475°C 취성	400~540°C 사이에서 취성 발생	Fe 함량이 높은 상과 Cr 함량이 높은 2개의 상으로 분해	600°C 로 재가열한 후 급냉시킨다
Cr-Mo 함량이 높은 등급	시그마 취성 (Sigma (σ) phase embrittlement)	취성은 550~800°C 에서 발생	δ - 페라이트의 분해로 인한 시그마상의 생성	800°C 이상으로 재가열한 후 급냉
안정화되지 않은 등급	마르텐사이트상 취성	Cr 함량이 낮고 C 함량이 높은 열경에서 취성이 발생한다	급냉으로 인한 마르텐사이트상 생성	600~700°C 에서 장시간 소둔하여 마르텐사이트상을 제거한다



400 계 루브르, 브라질.

## 불활성 가스 금속 아크 용접 (GAS METAL ARC WELDING, GMAW, MIG)

GTAW 와 달리, GMAW 의 전극봉은 소모성이 있다. 용융된 용가제 와이어와 금속 사이에 아크가 발생한다. 와이어 근처에서 토치로 분사되는 보호가스는 보통 아르곤을 사용하는데 2-3% 의 산소가 포함되어 있다. 일부 경우에는 더 복잡한 혼합가스가 사용되기도 한다.

용접에는 기본적으로 용가제가 포함되기 때문에 용가제의 합금 성분은 모재에 침투하여 완전히 채울 수 있어야 한다.

생산성이 높은 이 공정은 GTAW 용접 방식보다 수행하기가 더욱 어렵다. 그러나 잘만 수행된다면 그 효과는 훨씬 뛰어나다.

## 아크용접 (ARC WELDING)

아크용접은 400 계에 가장 널리 적용되는 용접 방식이다.

## 가스 텅스텐 아크 용접 (GAS TUNGSTEN ARC WELDING, GTAW 또는 TIG/WIG)

이 공정은 TIG (혹은 WIG) 라는 공정으로 알려져 있으며, 금속을 용융시키기 위해 필요한 에너지는 텅스텐 전극봉과 금속사이의 전기 아크를 통해 공급된다.



탱크, 용접, grade 441, 남아프리카.

스테인리스 스틸은 비활성 기체 안에서 언제나 정극성 (straight-polarity DC mode) 으로 용접된다. 만약 용가제가 사용된다면, 코팅되지 않은 로드 (rod) 형태이거나 (수동식 용접) 코일로 된 철사의 형태가 될 것이다 (자동식 용접).

## 저항용접

저항용접에서, 전류는 접합되는 두 금속 사이를 흐르게 되는데, 저항으로 발생한 열에 의해 용접된다.



구조물 프레임, 용접, grade 1.4003.

저항 용접에 해당하는 기술에는 몇 가지가 존재한다. 그 중 가장 일반적으로 사용되는 것이 spot welding 과 seam welding 이다. 두 가지 모두 다음과 같은 장점이 있다:

- 열영향부 (HAZ) 에서의 결정구조 변형이 제한된다.
- 제대로 냉각되면 표면에 산화물이 존재하지 않는다.
- 용접 후 뒤틀림이 매우 적다.
- 용접 도중 “단조 forging” 변형이 일어난다. 이 특성은 400 계를 접합할 때 특히 유용하다.

탄소강의 용접과 대비, 스테인리스 용접시의 주요한 차이점은 전기전도도와 열전도도가 낮기 때문에 전류는 더 낮으면서 정밀 조절되고, 전극봉의 전압은 높다는 것이다.

### 그 외 다른 용접 방식

400 계에 적용되는 다른 용접 방식에는 전자빔용접, 레이저빔용접, 그리고 마찰용접 등이 있다.

### 솔더링 (납땜) 과 브레이징

솔더링 (납땜, soldering) 과 브레이징 (brazing) 은 금속을 접합하는 공정이다. 모금속보다 녹는점이 낮은 융합 용가제를 사용하여 고체 상태의 금속을 접합한다. 솔더링은 녹는점이 450°C 이하인 합금 용가제를 이용하는데 반해, 브레이징은 더 단단하고 녹는점이 그 이상인 합금 용가제를 이용한다.

이들 접합 방식은 다음과 같은 장점을 갖는다:

- 비교적 낮은 온도로 가열시켜도 무방하다.
- 영구적 접합, 또는 임시 접합 모두에 적용될 수 있다.
- 유사성이 적은 재질끼리 접합시킬 수 있다.
- 가열 속도와 냉각 속도가 느리다.
- 다양한 두께의 금속을 접합시킬 수 있다.
- 재접합이 용이하다.
- 용접보다 낮은 열을 사용한다.

특정 구조물에 솔더링이나 브레이징을 적용하고자 할 때는 접합부에 요구되는 강도와 성능을 주의 깊게 고려하여야 한다.

모든 경우에 있어서, 접합을 하는 동안 두 재질에 용가제가 충분히 용융되도록 하는 것이 중요하다.

안정화되지 않은 강종의 경우엔 예민화가 일어나기 쉽다.



후. 산세척 전과 산세척 후.



후. 브레이징, grade 441.



후. 주석의 표면 430T 500 계.

### 산세척, 부동태화, 오염물질제거

용접으로 인한 금속 표면의 변색은, 기계적으로 스케일을 제거하는 방식이나, 또는 산세척이라고 하는 화학적 처리를 통하여 제거할 수 있다.

산세는 질산화불소용액 (10% 질산 + 2% 불화수소), 또는 용접용 산세제를 이용한다.

산세척 이후, 부동태화와 오염물질제거 처리가 뒤따를 수 있다. 부동태화는 불활성막이 다시 생성될 때, 그 과정을 신속히 하기 위함이다. 오염물 제거처리는 금속 잔여물을 제거하기 위함이다. (철이 포함된 입자들) 20-25% 의 차가운 질산 용액에 담그는 과정이 포함된다.

용접부에만 적용할 경우, 특수 부동태 용재로 부동태화 처리를 할 수 있다.



## 기계적 접합

탄소강에 적용되는 기계적 접합 방식이 400 계에서도 성공적으로 적용되고 있다.



기계적 접합은 다음과 같은 장점을 갖는다:

- 유사성이 적은 재질끼리도 접합시킬 수 있다.
- HAZ 부가 존재하지 않는다.
- 다양한 두께의 재질을 접합시킬 수 있다.
- 열팽창 현상이 일어나지 않는다.

기계적 접합은 모재간에 완전한 융합을 이룬 것이 아니기 때문에, 어떤 경우, 접합의 기계적 특성이 매우 약할 수 있다는 것을 고려해야 한다. 접합을 수행할 때 양면이 모두 이용될 수 있다.

두 재질을 접합시킬 때, 두 재질의 접촉면에서 갈바닉 반응이 일어날 수 있는지 여부를 확인하는 것 또한 매우 필수적이다. 이런 위험을 피하려면, 접합되는 두 금속이 모두 같은 등급이거나, 또는 비슷한 등급끼리 접합하는 것이 좋다. 나사, 볼트, 패스너, 리벳 모두 스테인리스 스틸로 되어야 함은 물론이다.

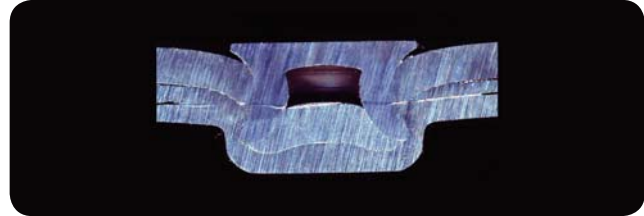
### 나사와 볼트 적용 (SCREWING AND BOLTING)

모든 주요 스테인리스 스틸 강종들은 나사와 볼트용으로 이용할 수 있다. 크롬 함량 17%의 400 계 강종들은 약한 부식 환경에서 사용한다면 가장 적합한 재질이 될 것이다. 염화물에 대한 내식성을 확보하려면, 몰리브덴 1-1.5%가 함유된 것이 좋다.



## 리벳 적용

리벳 적용은 상온에서 수행된다. 리벳 최대 직경은 약 5mm이다. 리벳을 이용한 설계시 인장력보다 전단응력이 부가된다는 것을 반드시 고려하여야 한다.



### 클린칭 (CLINCHING)

이는 비교적 최근에 적용되기 시작한 기술로서, 연성이 높은 덕분에 스테인리스 스틸에 쉽게 적용될 수 있다. 냉간가공이기 때문에 표면에 산화물이 생성되지 않고 구조적인 변형도 발생하지 않는다.

접합부위가 겹쳐져야 하므로 클린칭시 보통 접착식 연결법을 동시에 이용한다. 접착식 연결방식은 틈새를 막아주므로 틈새부식의 위험과 진동을 감소시켜 준다.

### 시밍 (SEAMING)

시밍은 기계적 접합 기술이다. 철판 하나의 모서리, 또는 두 철판 모두의 모서리가 180도로 구부러지게 하여 짝 조인 이음새를 만든다. 클린칭과 같이 여러 재질이 접합될 수 있다. 예를 들면, 300 계와 400 계가 접합될 수 있다.

누출을 완벽히 방지하려 할 때 이 기술을 사용할 수 있다. 주로 가정용 전자제품을 제조할 때 적용된다.



430 자동리벳팅 (Auto-riveting)  
1.3 mm.

세탁기 내부.

## 접착식 연결

접착식 연결은 기계적 접합을 강화하고자 할 때 적용된다. 특별히 스테인리스 스틸판재를 접합할 때 좋은 결과를 얻을 수 있다.



1.4003 투브량 프레임에 접착된 창문

접착식 연결의 장점은 다음과 같다:

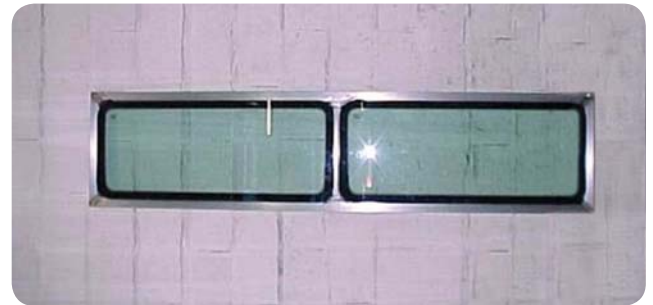
- 접합된 부분의 외관, 미세조직, 형상의 변형이 일어나지 않는다.
- 유사하지 않는 재질끼리도 쉽게, 그리고 의장성을 유지하면서 접합할 수 있다.
- 정확하게 설계하면, 매우 뛰어난 피로 강도를 얻을 수 있다.
- 그 방법은 열, 전기, 소리를 차단효과를 제공할 수 있다.
- 두께가 다양한 부속들을 접합시킬 수 있다.

그러나, 접합을 수행하는 온도가 200°C로 제한된다는 점, 그리고 수분에 민감하다는 점 등을 고려하여야 한다. 접착성 접합 방식은 용접이나 브레이징으로 얻을 수 있는 강도보다 약하다. 이러한 이유 때문에 lap joint에 사용된다. 국부적으로 작용하는 응력을 제한하기 위해 충분한 넓이에 걸쳐 하중을 분산시킨다.

표면이 매끄러운 스테인리스 스틸 (특히 BA finish)은 접착특성이 좋지 않을 여지도 있다.

표면을 거칠게 한 후, 불순물을 제거하고 건조시켜 준비되어야 한다. 제대로 된 결과를 얻으려면 접착제를 충분히 발라주는 것이 필수적이다.

접착식 연결이 적용되는 예를 들자면, 버스나 기차 차량을 생산하는 업체들이 간혹 본체 프레임을 만들 때 스테인리스 스틸로 특정 부분을 생산한다. 즉 400계 강종인 1.4003/410을 이용하여 접착식 연결을 적용한다. 본체를 감싸는 외장(철판, 또는 유리)은 본체 프레임에 접착된다. 이 방식을 적용하면 운송기기의 수명을 늘릴 수 있고 중량도 감소시킬 수 있다.



1.4003 투브량 프레임에 접착된 창문







## NICK MCDONALD

마케팅 매니저, LINCAT LIMITED, 영국 링컨

"1971년에 설립된 Lincat은, 36년 동안 부엌장비 제작 분야에서 선두를 달려왔습니다. 우리 회사가 설립되면서부터 사용한 400계 스테인리스 스틸인 430강종은 우리가 생산하는 여러 제품의 기반이 됩니다.

"이 강종은 우리 제품이 요구하는 요구범위를 이상적으로 맞춰주고 있습니다. 또한 경제적으로도 이득을 보고 있습니다. 음식 예비 조리 제품이나 주요 조리 제품으로 가면, 가격 경쟁력이 아주 중요한 문제가 됩니다. 게다가 430강종은 비교적 열팽창도가 낮아, 고온에서 적용되어야 하는 경우엔 기술적인 장점도 제공합니다.



우리는 몇 제품을 제외하고는 사실상 거의 모든 제품에 430강종을 적용하고 있습니다. 저장 탱크 안쪽 면은 여전히 304강종을 사용하고 있습니다. 제작성 관점에서 보면, 청결 유지나 가공이 쉽습니다.

"소비자들의 필요에 적극적으로 대처하면서도, 제품의 안정성, 견고성, 내구성 등에 뛰어나다는 평가를 얻고 있습니다. 430강종은 이러한 명성을 얻는데 커다란 기여를 했습니다. 회사나 고객 모두 매우 만족하고 있습니다."

# 제품들과 적용사례

**400 계는 장식용 트림, 싱크대, 그리고 자동차 배기관에 사용된다. 실제적으로 400 계는 위에서 언급한 적용 분야 보다 훨씬 더 많은 곳에 적용될 수 있다.**

400 계는 크롬 원소에만 의존하는 철강으로서 니켈을 포함하지 않는다. 내식성과 내산화성을 갖는데, 응력부식균열에 대한 저항성이 높다. 또한, 기술적, 미적, 경제적 장점이 있다. 장기간을 두고 보면, 탄소강보다 더 좋은 효과를 얻을 수 있고, 니켈을 포함하는 오스테나이트강보다 훨씬 저렴하다.

400 계의 사용처는 현재 활발히 개발단계에 있으며 다음과 같이 세계 지역별, 시장 섹터별로 사용 일례를 보여준다.

본 간행물의 목적은, 기존에 성공적으로 적용되고 있는 적용사례를 보여줌으로써 400 계강의 현재와 미래의 사용자에게 영감을 불어넣어 주는 것이다. 더불어, 재질을 선택함에 있어서 더 책임감 있고 숙지된 상황에서 이루고자 함이다. 따라서 응용 분야에 최적의 재질을 선택하는 문제가 가장 중요한 사안으로 떠오르는 것이다.

## 자동차 산업

배기 시스템 부속품



EN 1.4509/441,  
매연 저감 장치, 푸조 607,  
Faurecia

배기 시스템 부속품



EN 1.4509/441,  
다기관, Faurecia

배기 시스템 부속품



EN 1.4512/409,  
소음기,  
Faurecia, 대한민국

배기 시스템 부속품



EN 304 & 441,  
매연저감장치,  
E 클래스 메르세데즈,  
Faurecia

배기 시스템 부속품



EN SUS430J1L,  
촉매변환 장치외장,  
Honeycomb(20%Cr-5%Al)

배기 시스템 부속품



EN 1.4509/441,  
촉매변환장치,  
Faurecia

장식용 트림



SUS430, 대한민국

장식용 트림



SUS430J1L, 일본

장식용 트림



SUS430, 대한민국

장식용 트림



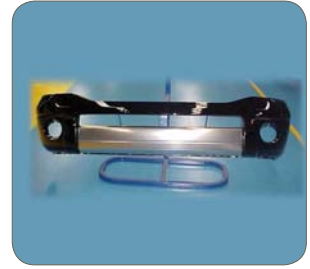
EN 1.4016/430,  
블랙코팅 트림, USA

장식용 트림



EN 1.4113/434, USA

S.U.V. 앞면 부속품



EN 1.4513,  
Plastic Omnium, 프랑스

자동차 트렁크 덮개  
(CAR BOOT SILL)



EN 1.4510/430ti,  
푸조 307, 프랑스

헤드라이트  
(HEADLIGHT)



헤드라이트 트림,  
EN 1.4513, 이탈리아

트럭  
(TRUCK)



트럭 장식용 트림,  
EN 1.4113, USA

클램프  
(CLAMPS)



EN 1.4509/441,  
1.4016/430

필터  
(FILTERS)



EN 1.4512/409I, 대만

브레이크 디스크  
(BRAKE DISCS)



EN 1.4028/420

자동온도조절장치  
(THERMOSTAT)



EN 1.4512/409, 프랑스

패들 휠  
(PADDLE WHEEL)



EN 1.4512/409,  
두께 1.5 mm, 프랑스

# 건물과 구조물 (BUILDING & CONSTRUCTION)

## 액세서리

**철물제품-창 힌지와 패스너  
(IRONMONGERY - WINDOW HINGES & FASTENERS)**



EN 1.4016/430, 유럽

**거터링  
(GUTTERING)**



EN 1.4510/439,  
주석 도금, 유럽

**거터링  
(GUTTERING)**



EN 1.4510/439, 유럽

**연통기  
(CHIMNEY DUCT)**



EN 1.4521/444,  
Cheminées Poujoulat, 프랑스

## 건축 (CONSTRUCTION)

**사각형상 튜브 외장 절연부품  
(SQUARE-TUBE EXTERIOR INSULATING MEMBERS)**



SUH409L (EN 1.4512/409),  
JSSA, 일본

**긴급 상황시 덮개  
(EMERGENCY HOUSING)**



EN 1.4016/430,  
페인트 코팅, VERNEST®  
and Centro Inox, 이탈리아

**커뮤니케이션 시스템 SHELTER  
(COMMUNICATION-SYSTEM SHELTER)**



SUS436L (EN 1.4526/436),  
JSSA, 일본

**공장 빌딩  
(FACTORY BUILDING)**



EN 1.4003,  
Columbus new finishing mill,  
남아프리카공화국

**긴지붕 구조물  
(ROOF STRUCTURE)**



지붕 지지대:  
400 계가 적용될 수 있는 분야

**건물  
(BUILDING)**



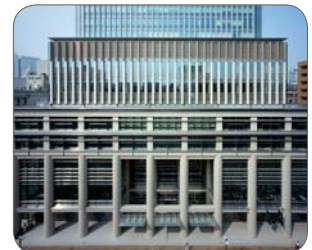
SUS445J1, SUS445J2,  
나카노 사카우에 빌딩,  
1996, 일본

**건물  
(BUILDING)**



SUS445J2, 수지코팅,  
Phoenix Resort, 1994, 일본

**건물  
(BUILDING)**



외장재: SUS445J1,  
내장재: SUS304, 니혼바쉬  
미츠이 빌딩, 2005, 일본

**도시건설  
(CIVIL CONSTRUCTION)**

**오버패스용 소음판  
(NOISE-ABSORBING PLATE FOR OVERPASS)**



SUS436 (EN 1.4526/436),  
JSSA, 일본

**교각의 철강 구조물  
(STRUCTURAL STEELWORK OF BRIDGE)**



EN 1.4003/410,  
페인트 코팅, SASSDA,  
남아프리카공화국 (8년 경과)

**터널 안쪽 벽면  
(INNER WALL OF TUNNEL)**



SUS430J1L (EN 1.4016/430),  
JSSA, 일본

**터널 안쪽 벽면  
(INNER WALL OF TUNNEL)**



EN 1.4016/430,  
페인트 코팅, Monte Mario  
Tunnel, Centro Inox, 이탈리아

**바람막이 펜스  
(WINDBREAKER FENCE)**



SUS445J2, JSSA, 일본

**스크린도어  
(PLATFORM SCREEN DOOR)**



EN 1.4510/439,  
헤어라인 표면 마무리,  
KOSA, 대한민국

**전화 마스크  
(ELECTRIFICATION MASTS)**



EN 1.4003 (1982년 사용,  
해안가 - 물가로부터 10m,  
부식이 발생하지 않음),  
남아프리카

**발전소  
(POWER GENERATION)**



EN 1.4003/410,  
x-grid 냉각탑,  
남아프리카공화국

**클래딩 (CLADDING)**

**건물 앞면 클래딩  
(BUILDING FAÇADE CLADDING)**



SUS445m2,  
반사도가 낮은 matt finish,  
ASSDA, 호주

**건물 앞면 클래딩  
(BUILDING FAÇADE CLADDING)**



EN 1.4521/444 brushed no. 4  
(수평 판넬), Vivo Building,  
Rio De Janeiro, Nucleo  
Inox, 브라질 (해안 환경)

**건물 앞면 클래딩  
(BUILDING FAÇADE CLADDING)**



SUS445J2,  
Future Science Museum,  
JSSA, 일본

**건물 앞면 클래딩  
(BUILDING FAÇADE CLADDING)**



SUS445J2,  
Future Science Museum,  
JSSA, 일본



**엘리베이터 (LIFTS)**

**에스컬레이터 계단 (ESCALATOR STEPS)**



SUS430LX (EN 1.4016/430), 일본

**리프트 패널 (LIFT PANELS)**



EN 1.4510/439

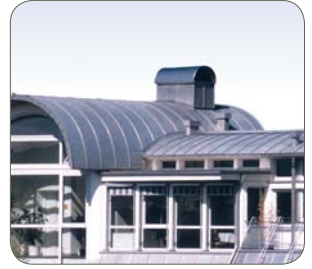
**지붕 (ROOFING)**

**메디아돔 지붕 (MEDIADOME ROOF)**



SUS445J2, Kitakyushu Mediadome (후쿠오카) 1998, 일본

**학교건물 지붕 (SCHOOL ROOF)**



430Ti (standing seam technique), Ugine & Alz, 호주

**체육관 지붕 (GYMNASIUM ROOF)**



445, KOSA, S. Korea 대한민국

**캐노피 (CANOPY)**



STS446M, KOSA, 대한민국, 서울

**샬레 지붕 (CHALET ROOF)**



EN 1.4510/430Ti (standing seam technique), Ugine & Alz, 독일

**공항지붕 (AIRPORT ROOF)**



SUS447J1, 칸사이 공항 터미널 건물 (건축가: Renzo Piano), JSSA, 일본 오사카

**도시 가정 인테리어 (URBAN FURNITURE)**

**가로등 지주대 (LAMP POST)**



EN 1.4510/439, 전자연마 용접 파이프, KOSA, 대한민국 서울

**우체통 (POST BOXES)**



EN 1.4003/410, 페인트 코팅, SASSDA, 남아프리카공화국. 오스테나이트강이 중요하게 검토되던 곳에 "Utility" 400 계를 페인트 코팅 하여 사용하였다.

**전차표 자동판매기 (TICKET MACHINE ON RAILWAY PLATFORM)**



EN 1.4003/410, 페인트 코팅 (15 경과), SASSDA, 영국

**전화박스 (ELECTRIFICATION BOXES)**



EN 1.4003/410, 페인트 코팅 (15년 경과), SASSDA, 남아프리카공화국

# 상업용 조리 기구 (COMMERCIAL FOOD EQUIPMENT)

**제빵용 오븐  
(BAKERY OVEN)**



430, Macadams Baking Systems (PTY) Ltd, 남아프리카공화국

**가스 조리기기  
(GAS COOKING EQUIPMENT)**



430, Lincat, 영국

**커피서버  
(COFFEE SERVER)**



SUS430J1, JSSA, 일본

**가열용 제품  
(HEATED MERCHANDISER)**



430, Lincat, 영국

**컨베이어 토스터  
(CONVEYOR TOASTER)**



Grade 430, Lincat, UK

**전자레인지  
(MICROWAVE OVEN)**



430 (내장재와 외장재), JSSA, 일본

**버너  
(BURNER RANGE)**



430 (가스호브), POSCO, 대한민국

**냉장고  
(REFRIGERATOR)**



SUS430J1L 수지코팅 판넬, JSSA, 일본

**커피머신  
(COFFEE MACHINE)**



Grade 430, Lincat, UK

**식당용 운반장치  
(RESTAURANT TROLLEY)**



430

**장식용 상품  
(DISPLAY MERCHANDISER)**



430, Lincat, UK

**벽찬장  
(WALL CUPBOARD)**



430, Lincat, UK

# 가정/사무실

다음과 같은 적용 분야에서는, 400 계 (400 시리즈) 등급이 현재 이상적인 재료로 인정 받고 있다. 이는, 미적 효과, 세척 편의성, 감염물질에 대한 저항성, 낮은 열팽창계수, 그리고 자성 (전자식 조리 기구) 등 400 계가 제공하는 특징에 근거한다. 또한 다른 재료들보다 경제적으로 우위를 점하고 있다고 여겨지고 있다.

## 가정용 조리기구

**가스조리기구  
(GAS COOKER)**



KOSA, 대한민국

**다양함**



TKN, 독일

**전자레인지  
(MICROWAVE OVEN)**



SUS430J1, JSSA, 일본

**가스 쿡킹 탑  
(GAS COOKING TOP)**



TSSDA, 태국

## 조리용품과 주전자 (COOKWARE AND POTS)

**BARBECUE**



EN 1.4016/430, windscreen and brazier, Ompagrill and Centro Inox, 이탈리아

**BARBECUE**



EN 1.4016/430 barbecue, USA

**WOK**



**전자식 조리기구  
(INDUCTION COOKWARE)**



Gruppe SEB (테팔)

## 식기 세척기 (DISHWASHERS)

**가압식 조리기구  
(PRESSURE COOKER)**



430, Groupe SEB

**팬  
(PANS)**



430, POSCO, 대한민국

**식기 세척기  
(DISHWASHER)**



430, 내장용 판넬

**식기 세척기  
(DISHWASHER)**



SUS430J1L, 수지코팅, 외장 판넬, JSSA, 일본

**전자제품  
(ELECTRICAL APPLIANCES)**

**식기 세척기  
(DISHWASHER)**



430 (내장용 판넬과  
외장용 판넬), Haier, 중국

**믹서  
(MIXER)**



EN 1.4513, TKN, 이탈리아

**믹서  
(MIXER)**



430

**전기 밥솥  
(ELECTRIC RICE COOKER)**



SUS430, 수지코팅,  
JSSA, 일본

**장치 (EQUIPMENT)**

**전기 주전자  
(ELECTRIC KETTLE)**



SUS430, 수지코팅,  
JSSA, 일본

**선반  
(SHELVES)**



EN 1.4016/430, 수평 쉘브,  
Graepel and Centro Inox,  
이탈리아

**쓰레기 콘테이너  
(RUBBISH CONTAINER)**



EN 1.4016/430,  
Graepel and Centro Inox,  
이탈리아

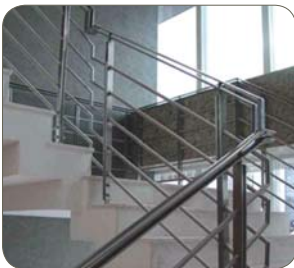
**파티션  
(PARTITION)**



430, POSCO, 대한민국

**후드 (HOODS)**

**난간**



430, 용접된 튜브

**LCD 프레임  
(LCD FRAME)**



410, POSCO, 대한민국

**키친 후드  
(KITCHEN HOOD)**



430, Blanco, TKN, 독일

**키친 후드  
(KITCHEN HOOD)**



430, Falmec,  
Nucleo Inox, 브라질

키친웨어 (KITCHENWARE)

리퀴드 디스펜서  
(LIQUID DISPENSER)



430

전기 주전자  
(ELECTRIC KETTLE)



430, Groupe SEB

파스타 쿠킹 팻  
(PASTA COOKING POT)



SUS430J1L  
(전자식 가열),  
JSSA, 일본

냉장고 (REFRIGERATORS)

냉장/냉동고  
(FRIDGE & FREEZER)



430, 판넬

싱크대 (SINKS)

냉장/냉동고  
(FRIDGE & FREEZER)



430, 도어 판넬,  
TKN, 독일

가정용 싱크대



430, Tramontina, 브라질

세탁기

드럼 세탁기



430 (드럼통과 외장재),  
TKN, 독일

드럼 세탁기



430, LG 전자,  
대한민국

드라이어

드럼 세탁기



SUS430, JSSA, 일본

드럼 세탁기



409, 월풀(Whirlpool), 유럽

테이블웨어 (TABLEWARE)

동양식 스푼  
(ASIAN SPOON)



430

칼붙이



400 계 강종들, IKEA

# 산업분야

탄소강이 적용될 수 없는 부품들에 400 계가 광범위하게 적용된다.

**댐 유출수 파이프  
(DAM OUTLET PIPES)**



EN 1.4003/410, 페인트코팅,  
남아프리카공화국 콜럼버스

**홍수 방지 수문  
(FLOOD CONTROL GATES)**



EN 1.4003/410, 페인트코팅,  
남아프리카공화국 콜럼버스

**탱크  
(TANKS)**



SUS430J1L,  
컬러 수지 코팅, JSSA, 일본

**분류관  
(FRACTIONATING COLUMN)**



410S, 유럽

## 버너 (BURNERS)

**컨베이어벨트  
(CONVEYOR BELT)**



410S, 유럽

**버너  
(BURNER)**



EN 1.4509/441 (내산화성 높음)

**버너  
(BURNER)**



SUS430,  
보일러 가스 버너, JSSA, 일본

## 보일러 (BOILERS)

**보일러 튜브**



EN 1.4521/444,  
KOSA, 대한민국

**"HYDROBOIL" 급온수기  
( "HYDROBOIL" INSTANT BOILING WATER HEATER)**



EN 1.4521/444,  
ZIP industries and ASSDA,  
호주

**보일러  
(BOILER)**



444, 유럽

**고온수 탱크**



EN 1.4521/444, 유럽

**고온수 탱크**



SUS444, JSSA, 일본

**식품 가공  
(FOOD PROCESSING)**

**열교환기  
(HEAT EXCHANGERS)**

탄소강은 침식문제가 있고, 백동을 적용할 때는 증기로 인한 침식과 구리의 침식을 발생시키기 때문에, 열교환기에 400 계가 대체되고 있다.

**벽과 천장  
(WALLS & CEILINGS)**



445M2, 호주 멜버른

**습분 분리기의 용접 튜브  
(MOISTURE SEPARATOR REHEATER WELDED TUBES)**



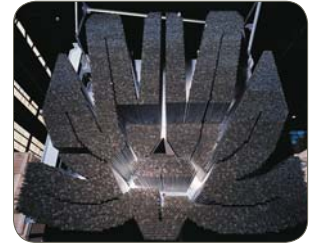
EN 1.4510/439,  
VALTIMET, 유럽

**급수가열기 용접 튜브  
(FEEDWATER HEATER WELDED TUBES)**



EN 1.4510/439,  
VALTIMET, 유럽

**콘덴서 용접 튜브  
(CONDENSER WELDED TUBES)**



EN 1.4510/439,  
VALTIMET, 유럽

**태양열 온수기  
(SOLAR WATER HEATERS)**

**제당산업  
(SUGAR INDUSTRY)**

**태양열 온수기  
(SOLAR WATER HEATER)**



SUS444, Suncue Company Ltd.  
and YUSCO, 대만

**태양열 온수기  
(SOLAR WATER HEATER)**



EN 1.4509/441 (실린더),  
Sun tank and SASSDA,  
남아프리카공화국

**태양열 온수기  
(SOLAR WATER HEATER)**



태양열 집열판: 프레임과  
집열판(잠재적 적용 분야),  
Grades 441/444.

**콘베이어 시스템  
(CONVEYOR SYSTEM)**



EN 1.4003/410,  
남아프리카공화국 콜럼버스  
(18년 경과)

**슬레이트 운반기  
(SLATE CARRIER)**



EN 1.4003/410,  
남아프리카공화국  
(22년 경과)

**스케일링 주스 히터 커버  
(SCALDING JUICE HEATER COVER)**



EN 1.4003/410,  
남아프리카공화국 (6년 경과,  
탄소강 (위) 와 400 계 (아래))

**열교환기 튜브  
(HEAT EXCHANGER TUBES)**



EN 1.4521/444,  
Nucleo Inox, 브라질

**결정기와 산광기  
(CRYSTALLISER & DIFFUSER)**



EN 1.4003/410,  
남아프리카공화국 콜럼버스

**탱크 (TANKS)**

**물탱크와 파이프**



444, 브라질

**물탱크**



444, KOSA, 대한민국

**물탱크**



일부에 SUS444 적용,  
No.4 표면마무리, JSSA, 일본

**물탱크**



일부에 SUS444 적용,  
No.4 표면마무리, JSSA, 일본

**모터사이클 (MOTORCYCLE)**

**발효탱크와 저장탱크  
(FERMENTATION AND STORAGE TANK)**



444, Nucleo Inox,  
브라질 Sander Inox 가 7 년  
동안 400 계를 적용한 탱크를  
성공적으로 생산하고 있다.

**발효탱크와 저장탱크  
(FERMENTATION AND STORAGE TANK)**



444, Nucleo Inox, 브라질

**모터사이클 배기계**



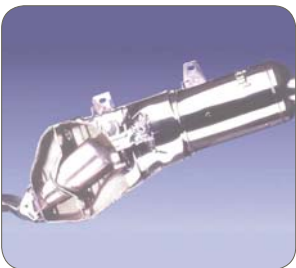
EN 1.4512/409L, YUSCO, 대만

**모터사이클 배기계**



EN 1.4509/441, Centro Inox,  
이탈리아 새로 출시된 Vespa  
ET2 에는 400 계를 사용한  
촉매 소음기가 장착되어 있다.

**모터사이클 배기계**



409L

**모터사이클 배기계**



409L, Acesita, 브라질

**디스크 브레이크 로터  
(DISC BRAKE ROTOR)**



SUS410SM1, JSSA, 일본

**기타**



420 브레이크 디스크,  
EN 1.4113 장식용 트림,  
이탈리아



# 운송장비 (TRANSPORTATION)

**버스와 전차 프레임  
(BUS & COACH BODY FRAME)**



EN 1.4003/410,  
남아프리카공화국 콜럼버스

**버스와 전차 프레임  
(BUS & COACH BODY FRAME)**



EN 1.4003/410,  
아래쪽 일부 페인팅,  
남아프리카공화국 콜럼버스

**버스와 전차 프레임  
(BUS & COACH BODY FRAME)**



EN 1.4003,  
용접 튜브와 판넬, Solaris  
Bus & Coach Co., 폴란드

**컨테이너  
(CONTAINER)**



EN 1.4003/410, 프레임과 판넬,  
POSCO, 대한민국

**컨테이너  
(CONTAINER)**



EN 1.4003/410, 프레임과 판  
넬, 페인팅

**석탄차  
(COAL WAGON)**



EN 1.4003/410,  
판넬, 남아프리카공화국  
콜럼버스 (20년 이상 경과)

**석탄차  
(COAL WAGON)**



EN 1.4003/410,  
판넬, 남아프리카공화국  
(15년 경과)

**석탄차  
(COAL WAGON)**



EN 1.4003, SASSDA,  
남아프리카공화국

**석탄차  
(COAL WAGON)**



EN 1.4003/410,  
페인팅, 유럽

**석탄차  
(COAL WAGON)**



409/410,  
페인팅, TISCO, 중국

**석탄차  
(COAL WAGON)**



EN 1.4003, SASSDA,  
남아프리카공화국

**전차선로  
(TRAMWAY)**



EN 1.4003/410, 본체 프레임과  
페인트 코팅된 판넬, 유럽



SIEMENS

5000 0000 0000 0000

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

# 부록

## 400 계 화학조성

**400 계의 특성은 일반탄소강 특성과 유사하다. 그러나 연철보다 훨씬 우수한 내식성을 나타내며 100 여 년 전에 개발되었다.**

### 초기 400 계

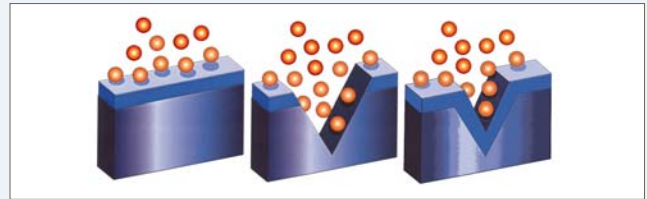
스테인리스 스틸은 1900-1915 경에 “발견되었다.” 다른 여러 발견들과 마찬가지로 스테인리스 스틸도 몇몇 과학자들의 노력이 축적되어 이루어진 것이다. 영국, 프랑스, 그리고 독일에서 합금강에 대한 연구가 이루어졌고, 현재 알려져 있는 합금강인 410, 420, 430, 442, 446, 440C 등 이다.

스테인리스 스틸은 탄소 함량이 낮아야 한다. 오랜 기간, 탄소 함량을 낮추는 것이 문제가 되어 품질 좋은 400 계의 개발이 다소 늦추어진 이면이 있다. (1980년대)

### 강종과 합금원소

지금까지도 크롬 (Cr) 은 스테인리스 스틸을 생산하는데 있어 가장 중요한 원소이다. 크롬 원소로 인해, 표면에 “부동태” 막이 생성되고 스테인리스 스틸의 내식성, 스케일 방지 특성 향상, 내마모성 및 인장강도가 증가하게 된다.

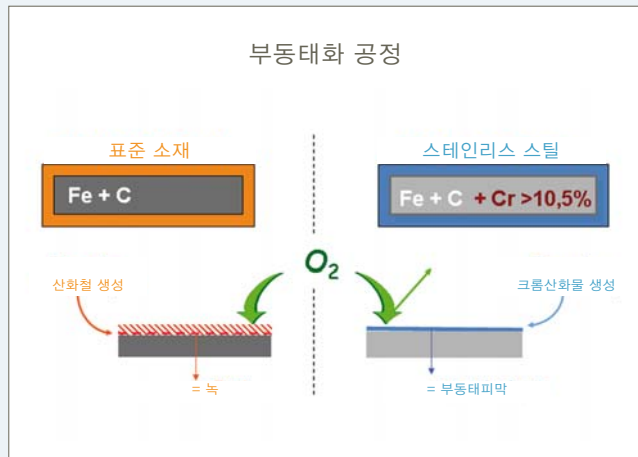
안정된 크롬 산화막의 형성과 손상 시 자발적인 복원을 위해 최소 10.5% (중량기준) 의 크롬이 필요하다. 크롬 함량이 높아질수록, 부동태 피막의 성능도 좋아진다.



스테인리스 스틸에 기계가공을 가하거나, 우발적으로 훼손이 가해지면 공기 또는 물의 존재할 시 즉각적으로 부동태피막을 다시 생성한다.

### 화학조성과 국제표준

다음 표들은 400 계를 화학조성에 따라 5개 그룹으로 분류한 것이다.



400 계 5 개 그룹

Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
10%-14%	14%-18%	14%-18%, 안정화강	몰리브덴 (Mo) 원소 추가	기타 그룹
409, 410, 420 류 Cr 함량: 10%-14%	430 류 Cr 함량: 14%-18%	430Ti, 439, 441 류 등 Cr 함량: 14%-18%, Ti, Nb, 등과 같은 안정화 원소 포함	434, 436, 444 류 등 Mo 함량: 0.5% 이상	Cr 함량: 18%-30%, 또는 타 그룹에 속하지 않는 강종

표준: - ASTM A 240 - 06C, 2006.11 월  
 - EN 10088-2, 2005.9 월  
 - JIS G 4305, 1991

GROUP 1

AISI, ASTM	합금구성 (최대 중량 %)														표준	참고 규격서
	C (탄소)	Si (규소)	Mn (망간)	P (인)	S (황)	Cr (크롬)	Mo (몰리브덴)	Ti (티타늄)	Nb (니오브)	Cu (구리)	Al (알루미늄)	N (질소)	Ni (니켈)			
10%-14%Cr	403(M)	0.15 0.12-0.17	0.5 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.015	11.5-13.0 12.0-14.0								JIS EN	SUS403 1.4024
	405	0.08 0.08 0.08 0.08	1.0 1.0 1.0 1.0	1.0 1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.015 0.03	11.5-14.5 12.0-14.0 12.0-14.0 11.5-14.5					0.1-0.3 0.1-0.3 0.1-0.3	0.6		UNS EN EN JIS	S40500 1.4000 1.4002 SUS405
	409L	0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.5 1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04	0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.015 0.015 0.015 0.03	10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-11.75		6x[C+N]-0.5 8x[C+N]-0.5 [0.08+8x[C+N]]-0.75 0.05-0.2 6x[C+N]-0.75 6x[C+N]-0.65 0.05-0.35 6xC-0.75	0.17 0.1 0.18-0.4			0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5-1.0 0.3-1.0 0.5 0.5-1.5 0.6	UNS UNS UNS UNS UNS UNS EN EN JIS	S40910 S40920 S40930 S40945 S40975 S40977 1.4512 1.4516 SUH409L
	410(M)	0.08-0.15 0.08-0.15 0.15	1.0 1.0 1.0	1.0 1.5 1.0	0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.03	11.5-13.5 11.5-13.5 11.5-13.5							0.75 0.75	UNS EN JIS	S41000 1.4006 SUS410
	410L	0.03 0.03 0.04 0.03	1.0 1.0 1.0 1.0	1.5 1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.045 0.04	0.03 0.03 0.03 0.03	10.5-12.5 12.0-13.0 10.5-12.5 11.0-13.5		9[C+N]-0.6				0.03 0.03 0.1	1.5 0.5 0.6-1.10	UNS UNS UNS JIS	S41003 S41045 S41050 SUS410L
		0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5							0.3-1.0	EN	1.4003
	410S(M)	0.08 0.08	1.0 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.03	11.5-13.5 11.5-13.5							0.6 0.6	UNS JIS	S41008 SUS410S
	420J1(M)	0.16-0.25 0.16-0.25	1.0 1.0	1.0 1.5	0.04 0.04	0.03 0.015	12.0-14.0 12.0-14.0								JIS EN	SUS420J1 1.4021
	420J2(M)	0.26-0.40 0.26-0.35 0.36-0.42 0.43-0.50	1.0 1.0 1.0 1.0	1.0 1.5 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.015 0.015	12.0-14.0 12.0-14.0 12.5-14.5 12.5-14.5								JIS EN EN EN	SUS420J2 1.4028 1.4031 1.4034

GROUP 2

AISI, ASTM	합금구성 (최대 중량 %)														표준	참고 규격서
	C (탄소)	Si (규소)	Mn (망간)	P (인)	S (황)	Cr (크롬)	Mo (몰리브덴)	Ti (티타늄)	Nb (니오브)	Cu (구리)	Al (알루미늄)	N (질소)	Ni (니켈)			
14%-18%Cr	420	0.08 0.08	1.0 1.0	1.0 1.0	0.045 0.04	0.03 0.015	13.5-15.5 13.5-15.5	0.2-1.2	0.3-0.5					1.0-2.5 1.0-2.5	UNS EN	S42035 1.4589
	429	0.12 0.12	1.0 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.03	14.0-16.0 14.0-16.0								UNS JIS	S42900 SUS429
	429J1(M)	0.25-0.40	1.0	1.0	0.04	0.03	15.0-17.0								JIS	SUS429J1
	430	0.12 0.08 0.12	1.0 1.0 0.75	1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.03	16.0-18.0 16.0-18.0 16.0-18.0							0.75	UNS EN JIS	S43000 1.4016 SUS430
	1.4017	0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0							1.2-1.6	EN	1.4017
	440(M)	0.6-0.75	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0								JIS	SUS440A

### GROUP 3

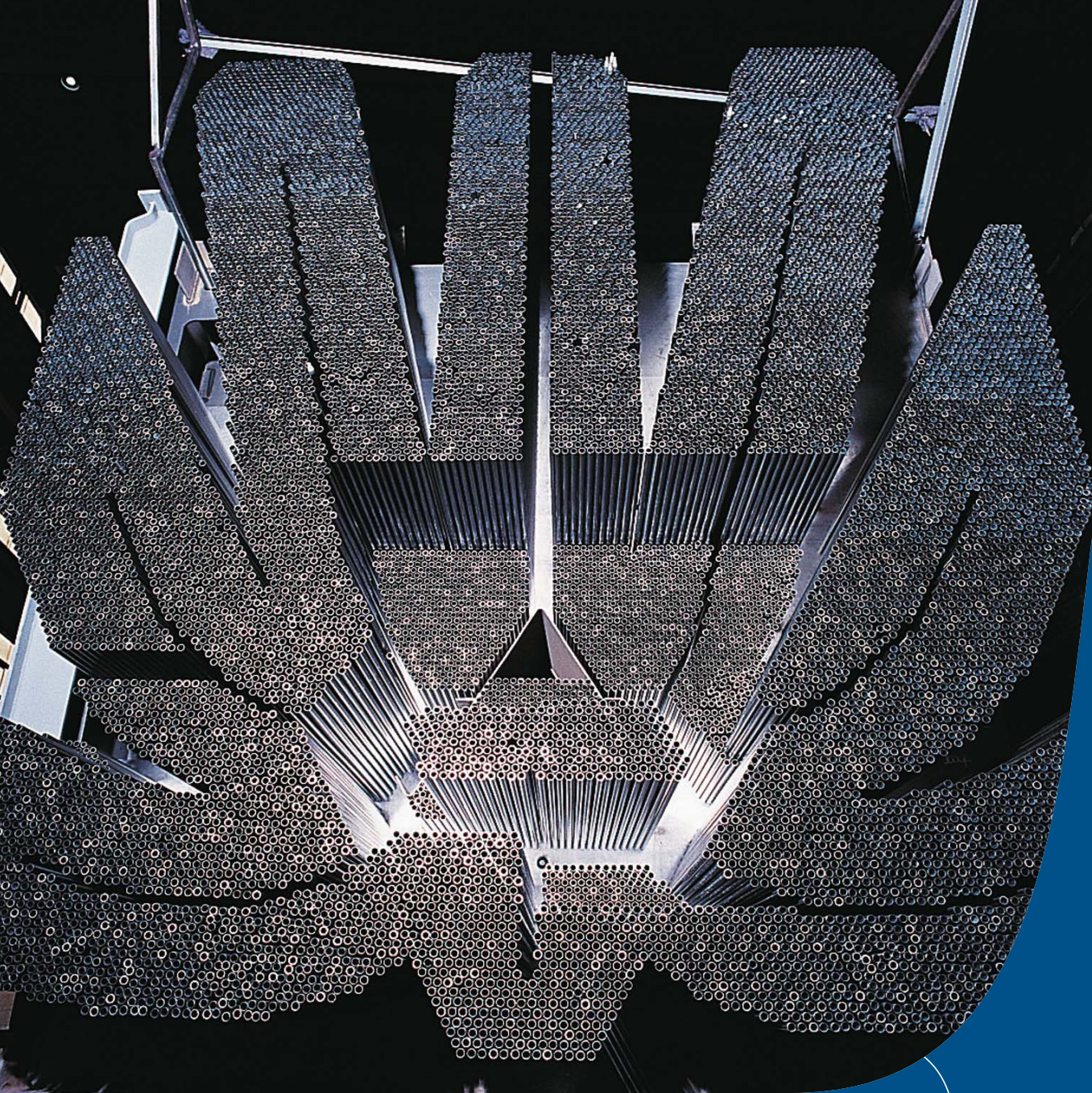
	AISI, ASTM	합금구성 (최대 중량 %)														표준	참고 규격서
		C (탄소)	Si (규소)	Mn (망간)	P (인)	S (황)	Cr (크롬)	Mo (몰리브덴)	Ti (티타늄)	Nb (니오브)	Cu (구리)	Al (알루미늄)	N (질소)	Ni (니켈)			
14%-18%Cr, 안정화 등급	430J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-20.0				8x[C+N]-0.8	0.3-0.8		0.025		JIS	SUS430J1L
	430LX	0.03	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0		0.1-1.0						0.6	JIS	SUS430LX
	439	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0		[0.2+4x(C+N)]-1.10			0.15	0.03	0.5		UNS	S43035
		0.05	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0		[0.15+4x(C+N)]-0.8							EN	1.4510
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0		[0.2+4x(C+N)]-0.75			0.15	0.03	0.5		UNS	S43932
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5		0.1-0.6	[0.3+{3xC}]					UNS	S43940	
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-17.5			0.35-0.55					EN	1.4590	
		0.025	0.5	0.5	0.04	0.015	16.0-18.0		0.3-0.6						EN	1.4520	
		0.02	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0			0.2-0.6					EN	1.4595	
	430Ti	0.05	1.0	1.0	0.4	0.015	16.0-18.0		0.6							EN	1.4511
441	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.5-18.5		0.1-0.6	9xC+0.3-1				1.0		UNS	S44100	
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5		0.1-0.6	3xC+0.3-1					EN	1.4509		

### GROUP 4

	AISI, ASTM	합금구성 (최대 중량 %)															표준	참고 규격서
		C (탄소)	Si (규소)	Mn (망간)	P (인)	S (황)	Cr (크롬)	Mo (몰리브덴)	Ti (티타늄)	Nb (니오브)	Cu (구리)	Al (알루미늄)	N (질소)	Ni (니켈)	Other			
Mo 추가됨	415	0.05	0.6	0.5-1.0	0.03	0.03	11.5-14.0	0.5-1.0						3.5-5.5		UNS	S41500	
	434	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25									UNS	S43400
		0.08	0.75	0.8	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4									EN	1.4113
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.8-1.4					0.04				EN	1.4526
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25		[7x(C+N)+0.1]-1.0						JIS	SUS434	
	436	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25		8x(C+N)-0.8			0.025			UNS	S43600	
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4	0.3-0.6						EN	1.4513		
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0	0.75-1.25		8x(C+N)-0.8			0.025		JIS	SUS436L		
	1.4419(M)	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-14.5	0.6-1.0								EN	1.4419	
	1.4110(M)	0.48-0.60	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0	0.5-0.8						V≤0.15		EN	1.4110	
	1.4116(M)	0.45-0.55	1.0	1.0	0.04	0.015	14.0-15.0	0.5-0.8						0.1≤V≤0.2		EN	1.4116	
	1.4122(M)	0.33-0.45	1.0	1.5	0.04	0.015	15.5-17.5	0.8-1.3						≤1.0		EN	1.4122	
	1.4313(M)	≤0.05	0.7	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0	0.3-0.7					≥0.02	3.5-4.5		EN	1.4313	
	1.4418(M)	≤0.06	0.7	1.5	0.04	0.015	15.0-17.0	0.8-1.5					≥0.02	4.0-6.0		EN	1.4418	
	436J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	0.4-0.8		8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS436J1L	
	444	0.025	1.0	0.7-1.5	0.04	0.03	17.5-19.5	1.75-2.5		0.2+4(C+N)-0.8				1.0		UNS	S44400	
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	17.0-20.0	1.8-2.5		4x(C+N)+0.15-0.8			0.03		EN	1.4521		
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	1.75-2.5		8x(C+N)-0.8			0.025		JIS	SUS444		

### GROUP 5

	AISI, ASTM	합금구성 (최대 중량 %)														표준	참고 규격서	
		C (탄소)	Si (규소)	Mn (망간)	P (인)	S (황)	Cr (크롬)	Mo (몰리브덴)	Ti (티타늄)	Nb (니오브)	Cu (구리)	Al (알루미늄)	N (질소)	Ni (니켈)				
그 외 등급	445	0.02	1.0	1.0	0.04	0.012	19.0-21.0			10x(C+N)-0.8	0.3-0.6		0.03	0.6		UNS	S44500	
	445J1	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0		0.7-1.5				0.025			JIS	SUS445J1	
	445J2	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0	1.5-2.5					0.025			JIS	SUS445J2	
	446	0.06	0.75	0.75	0.04	0.02	25.0-27.0	0.75-1.5	0.2-1.0		0.2		0.04			UNS	S44626	
		0.01	0.4	0.4	0.02	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5		0.05-0.2	0.2		0.015	0.5		UNS	S44627	
		0.025	0.75	1.0	0.04	0.03	24.5-26.0	3.5-4.5					0.035	3.5-4.5		UNS	S44635	
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	25.0-28.0	3.0-4.0		[0.2+4(C+N)]-0.80			0.04	1.0-3.5		UNS	S44660	
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5		6x(C+N)-1.0			0.015	0.5		JIS	SUSXM27	
	447	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2				0.15		0.02	0.15	[C+N] 0.025	UNS	S44700
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	28.0-30.0	3.6-4.2		6x(C+N)-1.0				0.045	1.0		UNS	S44735
		0.025	1.0	1.0	0.03	0.01	28.0-30.0	3.5-4.5						0.045			EN	1.4592
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	28.5-32.0	1.5-2.5		[4x(C+N)+0.15]-0.8				0.015			JIS	SUS447J1
448	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2				0.15		0.02	2-2.5	[C+N] 0.025	UNS	S44800	



전력발전소 콘텐서용으로

400 계 용접튜브 적용.

## 부록

# 표면 마무리

스테인리스 스틸에 적용되는 표면마무리 처리에는 여러가지 방법이 적용된다. 주요 마무리 처리들에는 다음과 같은 것들이 있고 근본적으로 오스테나이트계 나 기타 스테인리스강의 처리 방식과 같다.

명칭 (가공방식)	ASTM	EN10088-2	비고
열간 압연	1	1E/1D	특정 두께로 열간 압연하고 어닐링 과 스케일을 제거하면 표면이 비교적 거친 Dull 표면.
냉간압연	2D	2D	특정 두께로 냉간압연과 소둔, 스케 일을 제거하면 Dull 표면. 또한, 최종적으로 Dull Roll 로 조질압연 시 확보가능
냉각압연	2B	2B	2D 표면과 동일한 방법의 공정이나 추가적으로 Polished roll 을 통과하여 밝은 광택의 표면확보. 가장 보편적인 냉연재 표면으로 No.1 이나 2D 보다 공정이 수월.
광택 어닐링 (Bright Annealed)	BA	2R	냉간압연 후, 불활성 기체분위기노내에서 BA (광택소둔) 소둔을 수행. 2B 보다 더 매끄럽고 밝은 광택.
연마마무리 (Brushed, 또는, dull polished)	No. 4	1J/2J	초기연마 후 더 미세한 120~150 Mesh 를 사용하여 밝은 광택 표면 확보.
Satin polished (matt)	No. 6	1K/2K	Dull 보다 더 낮은 반사도를 가지며 광택이 낮음 Tampico brush 로 연마.
광택연마 (Bright polished-경면마무리)	No. 8	1P/2P	표면 마무리 연마방식 중 가장 반사도가 높음 미세한 버핑 (buffing) 연마재로 연마한 후, 연속적으로 더 미세한 연마재로 연마. 사전 연마자국이 전혀 없음.
전해연마	-	-	전기화학적인 방식으로 표면의 불규칙한 부분을 말끔히 제거.

(위 표는 공식규격이 아니므로 안내서로만 사용 필요)



2D



2B



BA



no. 4



no.6

## 부록

# 참고자료

- Bucher, L., P.-O. Santacreu, *et al.* "Elasto-Viscoplastic Behaviour of Ferritic Stainless Steel AISI 441-EN 1.4509 from room temperature to 850°C." *Journal of ASTM International (JAI)* Vol. 3, Issue 7 (2006). Also: *Fatigue and Fracture Mechanics* (symposium), Vol. 35.
- Cunat, Pierre-Jean. "Working with Stainless Steels" Paris: SIRPE, 1998.
- Fedosseev, A, and D. Raabe. "Application of the method of superposition of harmonic currents for the simulation of inhomogeneous deformation during hot rolling of FeCr." *Scripta Metall. Mater* Vol. 30 (1994): 1-6.
- Gümpel, P., N. Arlt, *et al.* "Simulation des Korrosionsverhaltens von nichtrostenden Stählen in PKW-Abgasanlagen." *Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ)* No. 4 (2004): 350-356.
- Huh, M.-Y., J.-H. Lee, *et al.* "Effect of Through-Thickness Macro and Micro-Texture Gradients on Ridging of 17%Cr Ferritic Stainless Steel Sheet." *Steel Research* Vol. 76, No. 11 (2005): 797-806.
- Kim, D. S., J. H. Park, *et al.* "Improvement of Cleanliness of 16%Cr-containing Ferritic Stainless Steel in AOD Processes", *La Revue de Metallurgie* No. 4, Paris (2004): 291-299.
- Kim, K, Y. Kim, *et al.* "POSCO's development of Ferritic Stainless Steel." *The Second Baosteel Biennial Academic Conference* Vol. 3, Shanghai, China (2006).
- Lee, S.-B., M.-C. Jung, *et al.* "Effect of Niobium on Nitrogen Solubility in High Chromium Steel." *ISIJ International* Vol. 42 (2002): 603-608.
- Lee, S.-B., J.-H. Choi, *et al.* "Aluminum Deoxidation Equilibrium in Liquid Fe-16 Pct Cr Alloy." *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 36B (2005): 414-416.
- Miyazaki, A., J. Hirasawa, *et al.* "Development of High Heat-Resistant Ferritic Stainless Steel with High Formability, RMH-1, for Automotive Exhaust Manifolds." *Kawasaki Steel Technical Report* No. 48 (2003): 328.
- Miyazaki, A., Takao, *et al.* "Effect of Nb on the Proof Strength of Ferritic Stainless Steels at Elevated Temperatures." *ISIJ International* Vol. 42, No. 8 (2002): 916-920.
- Murayama, M, N. Makiishi, *et al.* "Nano-scale chemical analysis of passivated surface layer on stainless steels." *Corrosion Science* Vol. 48 (2006): 1307-1308.
- Park, J. H., D. S. Kim, *et al.* "Inclusion Control of Fe-16%Cr Stainless Steel Melts by Aluminum Deoxidation and Calcium Treatment." *AIST Transactions in Iron & Steel Technology Magazine* Vol. 4, No. 1 (2007): 137-144.
- Park, S. H., K.Y. Kim, *et al.* "Evolution of Microstructure and Texture Associated with Ridging in Ferritic Stainless Steels." ICOTOM 13, Seoul, Korea (2002): 1335.
- Park, S. H., K. Y. Kim, *et al.* "Investigation of Microstructure and Texture Evolution in Ferritic Stainless Steels," *ISIJ International* Vol.42, No.1 (2002): 100.
- Park, S. H., K. Y. Kim, *et al.* "Effect of Annealing Process on the Microstructure and Texture Evolution in Type 430 Stainless Steel." *Journal of the Korean Institute of Metals & Materials* Vol.39, No. 8 (2001): 883.
- Park, S. H., K. Y. Kim, *et al.* "Effect of annealing process on the microstructure and texture evolution in Fe-16%Cr ferritic stainless steel." *Rex & GG Aachen, Germany* (2001): 1203.
- Park, S. H., K. Y. Kim, *et al.* "Effect of initial orientation and austenitic phase on the formation of deformation band and recrystallization behavior in hot rolled ferritic stainless steels." *THERMEC 2000, Las Vegas, USA* (2000): 163.
- Raabe, D. "Experimental investigation and simulation of crystallographic rolling textures of Fe-11wt.% Cr." *Materials Science and Technology* No. 11 (1995): 985-993.
- Raabe, D. "On the influence of the Chromium content on the evolution of rolling textures in ferritic stainless steels." *Journal of Materials Science* No. 31 (1996): 3839-3845.



Raabe, D. "Metallurgical reasons and mechanical consequences of incomplete recrystallization." *Stahl und Eisen* No. 120 (2000): 73-78.

Raabe, D, and K. Lücke. "Influence of particles on recrystallization textures of ferritic stainless steels." *Steel Research* No. 63 (1992): 457-464.

Raabe, D, and K. Lücke. "Textures of ferritic stainless steels." *Materials Science and Technology* No. 9 (1993): 302-312.

Santacreu, P.-O., L. Bucher, *et al.* "Thermomechanical fatigue of stainless steels for automotive exhaust systems." *La Revue de Métallurgie* No. 1, Paris (Jan. 2006): 37-42.

Santacreu, P.-O., O. Cleizergues, *et al.* "Design of stainless steel automotive exhaust manifolds." *La Revue de Métallurgie* Nos. 7-8, Paris (July-Aug. 2004): 615-620. Also: JSAE Paper No. 20037127 (2003).

Schmitt, J.-H., F. Chassagne, *et al.* "Some Recent Trends in Niobium Ferritic Stainless Steels". *Proceedings of the symposium Recent Advances of Niobium Containing Materials in Europe*, Düsseldorf (20 May 2005): 137.

Sinclair, C. W., and J.-D. Mithieux, "Coupling recrystallization and texture to the mechanical properties of ferritic stainless steel sheet." *Proceedings of 2nd International Conference on Recrystallization & Grain Growth*, Annecy, France (30 Aug.-3 Sept. 2004): 317.

Sinclair, C.W., J.-D. Mithieux, *et al.* "Recrystallization of Stabilized Ferritic Stainless Steel Sheet", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 36A (Nov. 2005): 3205.

Van Hecke, B. "The Forming Potential of Stainless Steel" *Materials and Applications Series* Vol. 8, Euro Inox (2006).

Toscan, F., Galerie, *et al.* "Relations between Oxidation Kinetics and Chromium Diffusion in Stainless Steels." *Materials Science Forum* Vols. 461-464 (2004): 45-52. Online at [www.scientific.net](http://www.scientific.net).

Yazawa, Y., Y. Kato, *et al.* "Development of Ferritic Stainless Steel with Excellent Deep Drawability for Automotive Fuel tanks." *Review of Automotive Engineering* Vol. 26 (2005): 59.

Yazawa, Y., M. Muraki, *et al.* "Effect of Chromium Content on Relationship Between r-value and {111} Recrystallization Texture in Ferritic Steel." *ISIJ International* Vol. 43, No. 10 (2003): 1647-1651.

Yazawa, Y., Y. Ozaki, *et al.* "Development of ferritic stainless steel sheets with excellent deep drawability by {111} recrystallization texture control." *JSAE Review* No. 24 (2003): 483.



## 부록

# ISSF 회원

### 기업체 회원

Acciaierie Valbruna  
Acerinox S.A.  
Acesita S.A.  
Aichi Steel Corporation  
Arcelor Mittal  
Baoshan Iron and Steel Co. (Stainless Steel Branch)  
Cogne Acciai Speciali S.p.A.  
Columbus Stainless (Pty) Ltd  
Daido Steel Co. Ltd.  
Deutsche Edelstahlwerke GmbH  
현대제철  
Industeel  
JFE Steel Corporation  
Jindal Stainless Ltd.  
JSC Dneprospetsstal  
Ningbo Baoxin Stainless Steel Co., Ltd.  
Nippon Kinzoku Co., Ltd.  
Nippon Metal Industry Co. Ltd.  
Nippon Steel and Sumikin Stainless  
Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.  
Nisshin Steel Co., Ltd.  
North American Stainless  
Outokumpu Oyj  
Panchmahal Steel Limited (PSL)  
POSCO  
포스코특수강 (주)  
Shanghai Krupp Stainless (SKS)  
SIJ - Slovenska industrija jekla d.d./Slovenian Steel Group  
Steel Authority of India Ltd. (SAIL)  
Sumitomo Metal Industries, Ltd.  
Taiyuan Iron and Steel (Group) Co. Ltd. (TISCO)  
Takasago Tekko K.K.  
Tang Eng Iron Works Co. Ltd.  
Thainox Stainless Public Company Limited  
ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A.  
ThyssenKrupp Mexinox S.A. de C.V.  
ThyssenKrupp Nirosta GmbH

Ugine & ALZ  
Ugitech S.A.  
Viraj Group  
Walsin Lihwa Corporation  
Yieh United Steel Corporation (YUSCO)  
Zhangjiagang Pohang Stainless Steel Co. Ltd. (ZPSS)

### 협회 및 기관 회원

Australian Stainless Steel Development Association (ASSDA)  
British Stainless Steel Association (BSSA)  
Cedinox  
CENDI  
Centro Inox  
Edelstahl-Vereinigung e.V.  
Euro Inox  
EUROFER  
Institut de Développement de l'Inox (ID Inox)  
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER)  
Indian Stainless Steel Development Association (ISSDA)  
Japan Stainless Steel Association (JSSA)  
Jernkontoret  
Korea Iron and Steel Association (KOSA)  
New Zealand Stainless Steels Development Association (NZSSDA)  
Nucleo Inox  
Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA)  
Special Steel and Alloys Consumers and Suppliers Association (USSA)  
Specialty Steel Industry of North America (SSINA)  
Stainless Steel Council of China Specialist Steel Enterprises Association (CSSC)  
Swiss Inox  
Taiwan Steel and Iron Industries Association (TSIIA)  
Thai Stainless Steel Development Association (TSSDA)  
Union de Empresas Siderúrgicas (UNESID)

## 부록

# 감사의 말

ISSF 는 본 간행물의 서문을 기고해주신 Friedriche Teroerde (ICDA) 씨와, Ferritic project 리더인 Philippe Richard (Arcelor Mittal Stainless, France) 씨 및 각 회원사 전문가 (Jacques Charles (Ugine & Alz, 프랑스), Peirteh Huang (Yusco, 대만), Kwangyuk Kim (Posco, 대한민국), Jochen Krautschick (ThyssenKrupp Nirosta, 독일), Juan Antonio Simon (Acerinox, 스페인) and Hideaki Yamashita (JFE, 일본)) 께 감사를 드립니다. 더불어, 최종 논고에 도움을 주신 Benoît Van Hecke (Euro Inox, 벨기에), 프리랜서 컨설턴트 Paul Snelgrove, 영문 번역자 (프랑스) 님께도 심심한 감사를 드립니다.

본 간행물의 디자인과 출판을 맡은 de blauwe peer (벨기에 겐트), 표지 디자인을 맡은 MBCOM (프랑스 파리), 그리고 인쇄사 Stevens Creative Printing (벨기에 Merelbeke) 에게도 감사를 전합니다.

ISSF는 한국어 번역을 제공한 POSCO 와 KOSA (www.kosa.org.kr) 에 감사를 포함합니다.

## PHOTO CREDITS

본 간행물에 포함된 사진을 제공해 준 기업체와 개인들께 감사의 말씀을 드리며, 혹시 원본 출처가 불분명한 사진이 있다면, 저작권자에게 ISSF 입장에서 죄송함을 전합니다.

**표지사진:** MBCOM (프랑스, 파리); **p. 2-3:** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 4:** Columbus Stainless [Pty] Ltd, 남아프리카공화국; **p. 5:** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 7:** Lincat Limited, Lincoln, 영국; **p. 8:** ISSF China, 중국; **p. 9 (tl):** BSH Bosch und Siemens Hausgerate Gmbh, Munich, 독일 뮌헨; **p. 9 (bl):** Whirlpool Corporation, Cassinetta di Biandronno, 이탈리아; **p. 9 (r):** Groupe SEB, Rumilly, 프랑스; **p. 10:** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 11 (tl):** IKEA, Aelmhult, 스웨덴; **p. 11 (bl):** Yiu Heng International Company Limited, 마카오; **p. 11 (r):** Takara Standard Corporation, 일본; **p. 12 (t):** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 12 (b):** Tramontina, São Paulo, 브라질; **p. 13 (l):** Lincat Limited, Lincoln, 영국; **p. 13 (r):** South Korea Iron & Steel Association (KOSA), 대한민국 서울; **p. 14:** POSCO, 대한민국, 포항; **p. 15 (l & c):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 15 (tr):** Suncue Company Ltd. and Yieh United

Steel Corp. (YUSCO), 대만; **p. 15 (br):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), 일본 도쿄; **p. 16 (l):** South Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA), 남아프리카공화국 리보니아; **p. 16 (r):** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 17:** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 18 (l):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 18 (tr):** Mac Brothers Catering Equipment, 남아프리카공화국 케이프타운; **p. 18 (br):** Centro Inox and ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A., 이탈리아; **p. 19:** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 20 (t):** BSH Bosch und Siemens Hausgerate Gmbh, 독일 뮌헨; **p. 20 (b):** Faurecia, Nanterre, 프랑스; **p. 21 (l):** Valtime, Boulogne-Billancourt, 프랑스; **p. 21 (c):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 21 (r):** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 22 (l):** Sander Inox and Nucleo Inox, 브라질; **p. 22 (r):** Ompagrill and Centro Inox, 이탈리아; **p. 23:** BSH Bosch und Siemens Hausgerate Gmbh, 독일 뮌헨; **p. 24 (tl & tr):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), 일본 도쿄; **p. 24 (br):** Columbus Stainless [Pty] Ltd, 남아프리카공화국; **p. 25 (l):** 한국철강협회 (KOSA), 대한민국 서울; **p. 25 (tc):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 25 (tr):** Faurecia, 프랑스 낭테르; **p. 26 (t):** Group SEB, 프랑스 루밀리; **p. 26 (b):** LG 전자, 대한민국; **p. 27 (l):** Columbus Stainless [Pty] Ltd, 남아프리카공화국; **p. 27 (r):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), 일본 도쿄; **p. 28 (l):** BSH Bosch und Siemens Hausgerate Gmbh, 독일 뮌헨; **p. 28 (r):** 한국철강협회 (KOSA), 대한민국 서울; **p. 29:** Taiyuan Iron & Steel (Group) Company Ltd. (TISCO), 중국 타이위안; **p. 30 (t):** ISSF China, 중국; **p. 30 (b):** Qingdao Haier International Trading Co. Ltd., 중국; **p. 31 (l):** SunTank, Pretoria, 남아프리카공화국; **p. 31 (r):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), 일본 도쿄; **p. 32 (box):** POSCO, 대한민국 포항; **p. 33 (all):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 34 (l):** Centro Inox, 이탈리아; **p. 34 (tr):** Faurecia, 프랑스 낭테르; **p. 34 (b):** all 4 photos Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 35:** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 36 (t):** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, 독일 크레펠트; **p. 36 (b):** Macadams Baking Systems (Pty) Ltd, 남아프리카공화국 케이프타운; **p. 37 (l):** Faurecia, Nanterre, 프랑스; **p. 37 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 38 (l):** Faurecia, 프랑스 낭테르; **p. 38 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 39 (l):** SunTank, 남아프리카공화국 프리토리아; **p. 39 (tr):** Acesita (Arcelor Mittal Group), 브라질; **p. 39 (br):** Solaris Bus & Coach Co., 폴란드; **p. 40 (l):** Brandt Edeltahldach GmbH, 독일 쾰른; **p. 40 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 41 (tr):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 41 (br):** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, 독일 크레펠트; **p. 42 (tl):** Willem de Roover, 벨기에 겐트; **p. 42 (bl):** Faurecia, 프랑스 낭테르; **p. 42 (tr):** Centro Inox, 이탈리아 밀란; **p. 42 (br):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), 프랑스; **p. 43:** 한진, 대한민국; **p. 44 (t):** Groupe SEB, 프랑스 루밀리; **p. 44 (b):** Lincat Limited, 영국 링컨; **p. 58:** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, 독일 크레펠트; **p. 62:** Valtime, 프랑스 불로뉴-빌랑꾸르; **p. 63:** POSCO, 대한민국 포항.

## 기권 성명 (DISCLAIMER)

본 간행물에 제시된 내용과 관련 기술적으로 정확성을 기하는데 최선을 다하였으나, 독자제위께는 본 내용이 일상적인 정보임을 알려드립니다. ISSF 를 포함하여, ISSF 회원과 직원들, 컨설턴트는, 본 간행물 (문서, 전자문서, 그 외 기타 형식) 의 정보를 사용함에 있어 발생된 손실, 훼손, 상해에 대해 책임, 채무가 없음을 밝힙니다.



연락처  
International Stainless Steel Forum (ISSF)  
Rue Colonel Bourg 120  
1140 Brussels • Belgium  
T: +32 2 702 8900 • F: +32 2 702 8912  
E: info@issf.org

