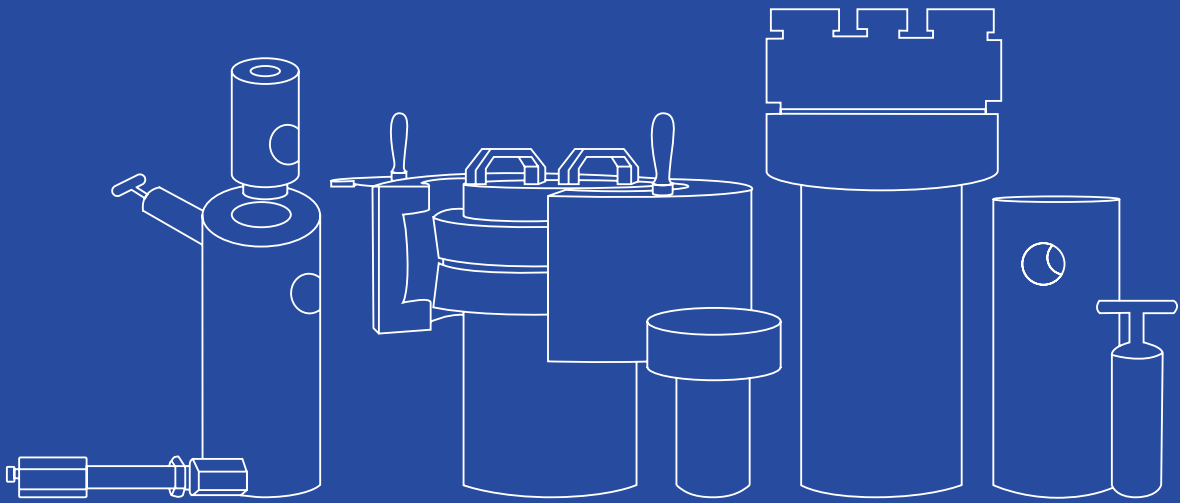


Pressure Vessel Selection Guide

# 압력용기 선정 가이드

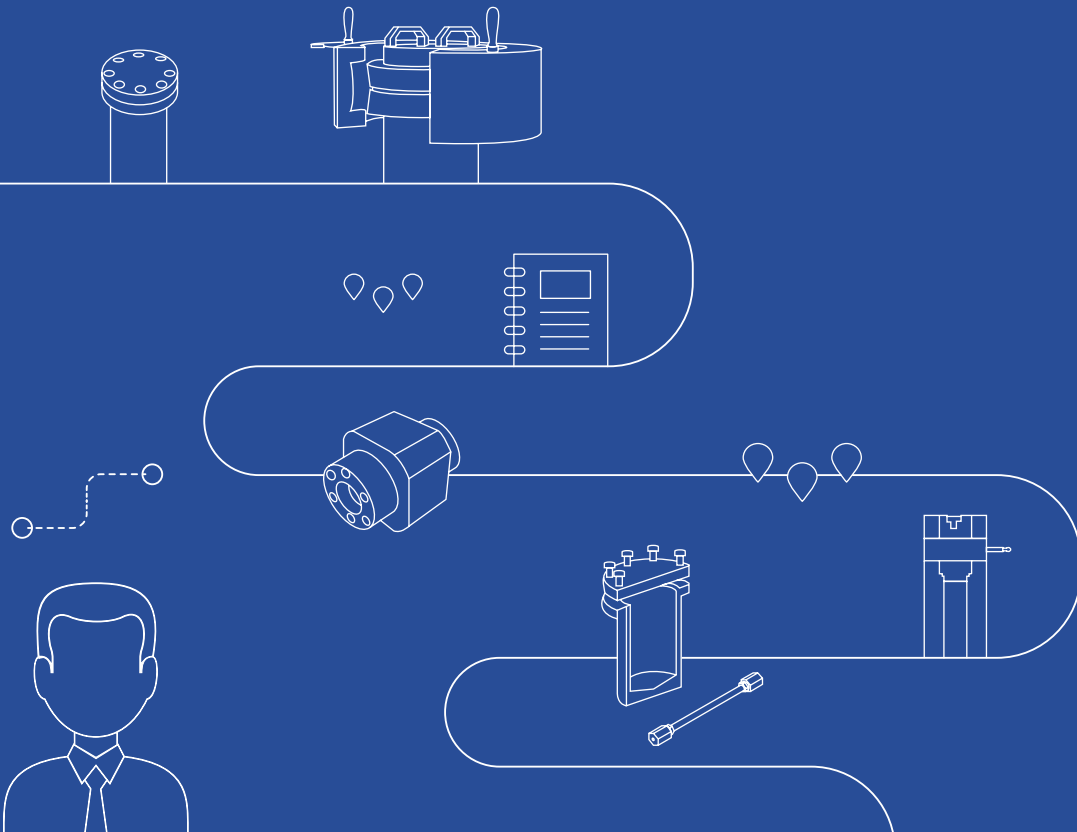
Vessel Feature\_재료특성

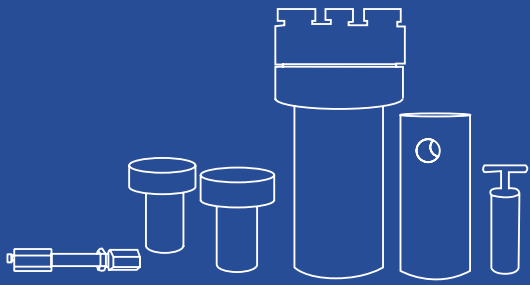


# II

압력용기 재료 특징

## 재료 특징에 따른 압력용기 선정 가이드





## **01** 금속재료의 특징

**02** 탄소강  
(Carbon steel)

**03** 킬드강  
(Killed Carbon Steel)

**04** 합금강  
(alloy steel)

**05** 비철금속 및 기타 강  
(Non-Ferrous Metal)



금속(Metals or Material)을 간단히 설명하면, 지구상에 존재하는 약 70종의 원소를 총괄하는 것으로 원소가 규칙적으로 배열된 결정으로서 특성은 불투명이고, 특유의 금속광택을 가지며 전성과 연성이 풍부하고 전도율이 높고 내산화성, 내식성, 내열성이 중요시 됩니다. 상온에서 수은을 제외하고는 고체이고, 두종 이상의 원소와 용해 혼합하고 있는 합금은 그 종류가 다양하고 많습니다. 가격도 금속에 따라 천차만별로 금보다 비싼것과 심지어는 kg당 아파트 한 채보다 비싼 금속류도 있습니다.

압력용기에 사용되는 재료는 필요한 경우 광범위한 부식조건에서 뛰어난 내식성을 필요로 하기도 하며, 높은 인장력과 우수한 용접성이 필요하기도 합니다. 때문에 여러 목적에 따른 다양한 종류의 재료의 물리적 성질과 기계적 성질, 용도 특성이 설계부터 적용 되어야 합니다.

원소의 주기율표

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.938	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.806	6 C Carbon 12.0096	7 N Nitrogen 14.0064	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989	12 Mg Magnesium 24.304											13 Al Aluminium 26.9815	14 Si Silicon 28.084	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.059	17 Cl Chlorine 35.446	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.9559	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.901	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.9058	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanoids*	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.382	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 Actinoids**	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (271)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
*Lanthanoids																	
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.255	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.968			
**Actinoids																	
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)			

## 02

## 탄소강(Carbon steel)

Carbon Steel 은 0.04~1.7%의 Carbon을 포함하는 Fe를 모재로 한 탄소강으로 Phosphorous 와 Sulfur 는 불순물로 최대 0.04% 이내로 억제되어야 하며, 탈산제로 Silicon, 대기중 부식 억제 첨가물로 Cu가 첨가 되기도 합니다.

성분	역할 및 영향
C	· 함량이 증가할수록 인장강도는 증가하나 연성 및 용접성 감소
Cr	· 인장강도를 증가시키나 Carbon보다 영향이 적음 · 0.8%이상 포함되면 용접시 Crack 발생 가능성이 높아짐 · Mn은 S와 결합하여 용접시 고온취성(Hot Shortness)과 용접시 Inter-fanular Crack 현상 발생이 감소

화학공정에 가장 많이 사용되는 재료이며, 탄소 함유량이 낮아 부식저항, 산화저항, 고온강도, 인성이 상대적으로 낮습니다. 용접성이 떨어져 결함발생이 많으므로 사용시 주위해야 합니다. 또한, 황화합물, 가스소다, 아민 수용액중에서 응력 부식균 열을 일으키며, Hydrogen Attack이나 Graphitization에 민감합니다.

## 02

## 킬드강(Killed Carbon Steel)

탄소강의 일종으로 제조공정중에 Si, Mg, Al을 첨가하여 녹아있는 산소를 완전히 제거한 탄소강입니다. 저온 인성이 우수하여 정유공정에 흔히 사용되는 재질로 다음과 같은 경우 사용되어집니다.

## 킬드강이 사용되는 경우

- 사용유체중에 수소분압이 50psi를 넘기는 경우
- 수용액중에 H<sub>2</sub>S 농도가 0.3mol% 이상이거나 물중에 H<sub>2</sub>S가 10ppm 이상으로 존재하는 경우
- 사용유체중에 HF, BF<sub>3</sub>가 포함되어 있는 경우
- 용액중에 아민(MEA/DEA/TEA)의 농도가 5wt%를 넘을 경우
- 장비의 설계온도가 482℃를 넘을 경우

탄소강에 Cr 을 비롯한 Nickel, Molybdenum, Silicon, Titanium, Columbium 등이 포함된 합금입니다.

성분	역할 및 영향
Cr	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강도를 증가</li> <li>· 표면에 얇은 산화 피막을 형성하여 금속을 보호</li> <li>· Cr의 함량이 증가할수록 내식성 증가</li> </ul>
Ni	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Austentic 구조 형성</li> <li>· 고온강도, 인성, 내식성 향상</li> </ul>
Mo	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Pitting에 대한 저항성 향상</li> <li>· Sulfur와 Halogen Acid에 대한 내식성을 증가</li> </ul>
Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고온에서의 산화방지</li> </ul>
Ti / Cb	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 예민화 현상 방지</li> </ul>

### 1 저합금강(Low alloy steel)

탄소강에 약간의 합금원소(니켈, 크롬 등)를 첨가하여 산화, 황화, 수소취성에 대한 저항을 높인 것으로 Cr 함량이 10% 이하인 것을 말합니다. 이 종류의 강은 구조물, Pipe, Tank 와 같이 용접성과 강도가 중요시 되는 곳에 사용되며, A440, A514, A517 등이 있습니다.

### 2 고온처리강(Elevated Temperature Steel)

650℃ 이하의 온도로 운전되는 Crude Heater Tube 와 압력용기에 사용되는 강으로서 Cr 과 Mo 를 포함한다.

성분	역할 및 영향
Cr	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고온에서 인장강도와 Creep 파괴에 대한 특성 향상</li> <li>· Cr 함량이 높을수록 Hydrogen Attack과 Sulfur Corrosion에 대한 저항성 증가</li> </ul>
Mo	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 취성에 대한 저항성 증가</li> </ul>

### 3 고합금강(High alloy steel – Stainless Steel)

탄소강에 약간의 합금원소(니켈, 크롬 등)를 첨가하여 산화, 황화, 수소취성에 대한 저항을 높인 것으로 Cr 함량이 10% 이상인 것을 말합니다. 보통, 최소 12% 이상의 Cr 과 Nickel, Molybdenum, Silicon, Titanium, Columbium 등이 포함된 합금입니다.

스테인리스강은 주성분인 Cr을 12%이상 함유할 때 자연적으로 매우 얇은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(10~50 $\mu$ m)층(부동태피막:Passivity Layer)을 형성하여 금속 내부로 산소가 침입하지 못하게 차단하여 산화를 억제합니다. 하지만 스테인레스강은 모든 산에 내 식성이 있는 것이 아니고 초산과 같이 산화성 산에는 강하나 염산이나 황산과 같은 비산화성 산에는 약한 특징을 가집니다.

주성분에 의한 스테인리스강의 분류

주성분에 의한 분류					금속조직상으로 본 분류
구분	명칭	대표적인 강종	구강종	조성	
크롬계	13Cr계	STS410	51종	13% Cr	마르텐사이트계
	18Cr계	STS430	24종	18% Cr	페라이트계
크롬-니켈계	18Cr-8Ni계	STS304 STS316	27종 32종	18%Cr-8%Ni 18%Cr-8%Ni-2.5% Mo	오스테나이트계
	16Cr-7Ni-1Al	STS631	-	16%Cr-7%Ni-1%Al	석출경화형

대표적인 스테인리스강의 특성

특성 / 강종	STS410 (13Cr계)	STS430 (18Cr계)	STS304 / STS316 (18-8계)	STS631 (16-7-Al계)
자성(磁性)	있음	있음	없음 (단, 냉간가공후 다소 자성이 있음)	없음 (단, 열처리경과 후 자성이 있음)
녹발생 여부	발생하는 경우가 있음	옥내에서는 녹발생이 거의 없으나 옥외사용시 다소 문제가 있음	뛰어난 내식성을 가지고 있음	18-8계와 거의 동일
충격/신장(伸長)	18-8계에 비해 떨어짐	18-8계에 비해 떨어짐	극히 양호하며 성형성이 풍부함	열처리경화 후 높은 경도와 강도를 갖는다
열팽창	보통강과 거의 동일	보통강과 거의 동일	보통강의 1.5배	보통강과 거의 동일
열전도도	보통강의 1/2배	보통강의 1/2배	보통강의 1/3배	보통강의 1/3배
열처리 강화성	있음	없음	없음	있음

#### 가. Martensitic 스테인레스강(Martensitic Stainless Steel) – Type : 431, 410, 420, 440

11~18%의 Cr 을 함유하고 있으며, 열처리로 경화시킬수록 산화성에 대한 적응력이 강하고 경도가 필요한 Valve Seat 와 Body 등에도 많이 사용됩니다. 용접 중 경화되어 열영향부위에 취성을 가져오므로 열처리가 필요합니다. 용접 HAZ부 열경화 문제를 최대한 줄이기 위해 탄소 함량을 0.08%이하로 줄인 Type 410S 가 많이 사용됩니다.

#### 나. Ferritic 스테인레스강(Ferritic Stainless Steel) – Type : 430, 405

11~27%의 Cr 을 함유하며 Ferrite 의 조직을 가집니다. 산화에 대한 저항성이 좋고 Vessel 의 Lining 과 같이 경도가 그다지 중요하지 않은 곳에 사용됩니다.

#### 다. Austenite 스테인레스강 (Austenite Stainless Steel)

Cr 과 Ni 을 포함한 것으로 내식성과 고온 강도가 좋고 용접성도 우수합니다. 하지만 담금질 경화능이 없어 강도면에서는 Martensitic 스테인레스강보다 떨어집니다. 자성이 없으므로 불감 자성재료로 사용되어 저온에서도 충격치가 열화되지 않아서 저온용 재료로써 유용합니다. Type 304는 18Cr-8Ni의 대표적인 Austenitic Stainless Steel 이고 Type316은 2~3%의 Molybdenum 을 첨가하여 Pitting 에 대한 저항성을 향상시킨 것입니다. 또한, Type321 과 347 은 Ti 와 Cb 를 첨가한 것으로서 예민화 현상에 대하여 우수한 저항력을 가지며, Type 310(25Cr-20Ni) & Type 309(25Cr-12Ni)는 고온강도를 개선한 Stainless Steel 입니다. 또한, Type 304,316에는 예민화 현상을 방지하기 위해 탄소함량을 낮춘 'L' Grade와 고온 강도 특성이 좋은 'H' Grade 가 있으며, Ni 일부를 Mg 로 교체한 200 계열도 Austenitic Stainless Steel 로서 가격이 저렴하면서 300 계열과 비슷한 내식성을 가집니다.

Type에 따른 특징	
Type	특징
Type 304 (18Cr-8Ni)	고온에서 H <sub>2</sub> 와 H <sub>2</sub> S에 의한 공격이 예상되는 튜브와 용접이 필요없는 장치에 이용되며, Polythionic산과 염소에 의한 응력부식에 민감합니다.
Type 316 (18Cr-8Ni-2.5Mo)	인산, Naphthenic산, 저농도의 황산과 같은 부식환경 또는 고온 강도가 요구되는 곳에 이용되며, 유체중에 수소분압이 50psi를 넘는 경우, 427~1093℃의 온도에서 polythionic산에 노출될 경우 응력 부식 균열이 일어날 수 있습니다.
Type 309 & Type 310 (25Cr-12Ni & 25Cr-20Ni)	1093℃까지 산화저항을 높인 재료로 고온 용도와 가열로의 튜브지지대로 이용합니다.
Carpenter 20 (20Cr-29Ni-2Mo-3Cu)	황산 혹은 염소에 의한 더 큰 저항을 위해 개발되었고 용접성이 낮습니다.
Type 321 & Type 347 (18Cr-10Ni)	Ti, Nb, Cb(Columbium), Ta를 첨가하여 조직을 안정화 시키므로서 용접시 Carbide의 침전을 막아 경계면 부식(Intergranular Corrosion)을 예방한 재료로 Type 304와 마찬가지로 황이 포함된 유체를 다루는 장비의 경우 표면이 황화되었기 때문에 공기와 접촉할 때는 소다재로 먼저 중화시켜야 합니다.

#### 라. 석출경화계 스테인레스강(Precipitation Hardening Stainless Steel) – Type : 630,631

스테인리스강의 뛰어난 내식성을 유지하고, 탄화물, 질화물, Cu에 많은 상 등의 석출경화작용을 이용한 강인한 재료로서 고온강도가 높고 가공성이나 용접성도 좋습니다. 마텐자이트계와 세미오스테나이트계는 고용화처리나 그 후의 뜨임처리, 심냉처리, 냉간가공처리 등으로 마텐자이트 조직으로 변태시켜서 석출경화처리로서 인장강도 100~170kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율 5~15%가 얻어냅니다. 또한, 오스테나이트와 오스테나이트+페라이트 2상계에서는 고용화 상태의 오스테나이트에서 또는 2상 중의 페라이트 중에 시효 처리에 의해서 탄화물이나 금속간화합물을 석출시켜서 인장강도 80~110kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율 10~25%를 얻어냅니다. 강도 수준은 앞에 쓴 마텐자이트 조직의 것보다 낮지만 내식성은 우수하고, 오스테나이트계의 것은 내열성도 우수하게 됩니다.



## 1 니켈

니켈은 은백색의 광택을 지닌 금속으로 철과 마찬가지로 단조 및 단접이 가능하고, 또한 전성·연성이 풍부합니다. 또한 연마가공도 가능합니다. 강한 자성을 지니고 있으나, 철보다는 약하고 전기 전도도는 구리의 14.9%이며, 공기 및 습기에 대해 철보다도 안정하여 잘 산화되지 않습니다. 또한, 알칼리에도 잘 침식되지 않습니다. 묽은 질산에는 쉽게 녹지만, 진한 질산에는 철과 마찬가지로 부동상태로 되어 침식되지 않고, 염소 및 브롬 등과는 격렬하게 반응합니다.

합금명 (UNS NO.)	주성분 (%)	밀도 (g/cm)	기계적성질(상온)				특징
			상태	인장강도 1000Psi (Mpa)	항복강도 1000Psi (Mpa) at 0.2% offset	경도 Brinell (ROCK WELL)	
Nickel 200 (2200)	Ni/99.6 C/0.15 MAX	8.89	-	55-80 (380-550)	15-30 (100-210)	90-120	순수 니켈로 양호한 기계적 성질과 우수한 내식성을 갖는다
Nickel 201 (2201)	Ni/99.6 C/0.02 MAX	8.89	-	55-80 (380-550)	15-30 (100-210)	90-120	Nickel 200과 같은 성질이나 탄소가 낮아 300℃ 이상의 용도로 적합

## 2 니켈합금강

## 가. Monel (70Ni-30Cu)

캐나다 서드베리 지구에서 생산되는 자황철광석을 전로로 제련하는 과정에서 생성물을 배소하고, 목탄가루로 환원해서 얻은 구리와 니켈의 자연합금입니다. 대표적인 합금은 모넬 400이며, 니켈 60~70%, 구리 26~34%, 그 외에 소량의 철, 망간, 규소 등을 포함합니다. 니켈의 내식성을 개량한 것이고, 보통강보다 강인하며 내식성을 요하는 구조재료로서 용도가 다양합니다.

합금명	특성/용도	주성분(%)								비중 (mg/m³)	열전도도	
		Ni	Cu	Cr	Fe	Si	Mo	Co	기타		70°F (20°F)	1500°F (815°C)
MONEL ALLOY 400	광범위한 부식조건에서 뛰어난 내식성을 갖는 합금으로 높은 인장력과 우수한 용접성 보유/밸브, 펌프, 축, 해양설비, 화스너, 전기전자부품, 화학 및 석유화학 관련설비, 발전소 급수예열설비, 열교환	66.5	31.5	-	-	-	-	-	-	0.318 (8.80)	151 (21.8)	323 (46.6)
MONEL ALLOY K-500	시효 경화성을 보유하여 인장력 및 경도를 상승시킨 MONEL alloy 400의 변형/펌프축, 닥터 블레이드 및 스크래퍼, 유정 시추용 칼라 및 기기, 전자부품, 스프링, 밸브스텝, 볼트너트	66.5	29.5	-	-	-	-	-	Ai 2.7 Ti 0.6	0.305 (8.44)	121 (17.4)	272 (39.2)

주로 Chloride & Fluoride공격이 예상되는 곳이나 바닷물에 널리 이용되며, 204℃이상의 온도에서 황화합물에 민감합니다.

**나. Inconel 600/625(62~79Ni, 16~22Cr), 718/750(52~73Ni, 21~22Cr), 800/825(33~42Ni, 21~22Cr)**

Austenite 스테인레스강과 비슷하나 Nigkafid이 높아서 Chloride Stress Corrosion Cracking에 대한 저항이 큽니다. 니켈을 주체로 하여 15%의 크롬, 6~7%의 철, 2.5%의 티탄, 1% 이하의 알루미늄·망간·규소를 첨가한 내열합금입니다. 내열성이 좋고, 900℃ 이상의 산화기류 속에서도 산화하지 않고, 황을 함유한 대기에도 침지되지 않습니다. 신장·인장강도·항복점 등 여러 성질도 600℃ 정도까지 대부분 변화하지 않는 등 기계적 성질에 우수하며, 유기물·염류용액에 대해서도 부식하지 않습니다. 앞에서 말한 조성에 1%의 니오브를 첨가한 인코넬 X라고 하는 것이 대표적으로 고온 내열 설비에 우수한 강재특성을 지니고 있어 주 사용용도를 보면 열처리로, 초고온 전기로, 세라믹 소성로, 연구소 시험로, 진공로, 공업로, 보일러 등 내열을 요구하는 설비와 제트기관의 재료, 원자로의 연료용 스프링재, 전열기의 부분품, 고온도계용 보호관, 진공관의 필라멘트 등에 쓰여지고 있습니다. 방지하기 위해 탄소함량을 낮춘 'L' Grade와 고온 강도 특성이 좋은 'H' Grade 가 있으며, Ni 일부를 Mg 로 교체한 200 계열도 Austenitic Stainless Steel 로서 가격이 저렴하면서 300 계열과 비슷한 내식성을 가집니다.

이와같이 높은 산화/환원 저항이 요구되는 압력용기에 이용될 수 있으나, 538℃이상의 sulfur 혹은 sulfide 분위기에는 적당하지 않고, 황산, 염산, 불산을 다루는 곳에서는 Monel보다 성능이 떨어집니다.

국내에서 판매되는 Inconel 표의 예시

합금명 (UNS No.)	주 성분	밀도 (g/cm)	기계적 성질 (상온)				특징
			상태	인장강도 1000Psi (Mpa)	하복강도 1000Psi (Mpa) at 0.2% offset	경도 Brinell (ROCK WELL)	
INCONEL 600 (6600)	Ni/79 Cr/15.5 Fe/8	8.42	Annealed	80-100 (550-690)	30-50 (210-340)	120-170	고니켈, 고크롬 합금으로 산화성 및 환원성 분위기, 고온에서의 내식성이 우수
INCONEL 601 (6601)	Ni/60.5 Cr/23 Fe/8 Al/1.4	8.06	-	80-115 (550-790)	30-60 (210-340)	110-150	고온, 내산화성이 우수
INCONEL 617 (6617)	Ni/52, Mo/9 Cr/22 Al/1.2 Co/12.5	8.36	-	110 (760)	51 (350)	173	고온, 내산화성이 우수
INCONEL 625 (6625)	Ni/61 Cr/21.5 Mo/9 Nb+Ta/3.6	8.44	-	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	180	극저온에서 980℃의 고온까지 높은 강도와 인성, 내산화성 피로강도를 갖는 내식성이 우수한 합금
INCONEL 690 (6690)	Ni/60 Cr/30 Fe/9.5	8.19	-	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	184	산화성의 화학약품과 유황을 함유한 가스에 우수한 내식성을 나타냄
INCONEL 718 (7718)	Ni/52.5 Mo/3 Cr/19 Fe/18.5 Nb+Ta/5.1	8.19	Aged	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	382	-250℃의 저온에서 700℃의 고온까지 우수한 강도를 나타내는 시효경화합금 으로 시효상태에서의 용접이 가능 980℃까지 내산화성이 우수
INCONEL x-750 (7750)	Ni/73 Ti/2.5 Cr/15.5 Al/0.7 Fe/7 Nb+Ta/1.0	8.25	-	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	300-390	내식성과 내산화성이 우수한 시효경화형의 합금
INCOLOY 800 (8800)	Ni/32.5 Fe/46 Cr/21	7.95	Annealed	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	120-184	고온강도가 우수
INCOLOY 800TH (8811)	Ni/32.5 C/0.08 Fe/46, Cr/21 Al+Ta/1.0	7.95	-	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	100-184	고온강도가 우수
INCOLOY 825 (8825)	Ni/42 Cu/2.2 Fe/30 Cr/21.5 Mo/3	8.14	-	80-115 (550-790)	80-115 (550-790)	100-184	광범위한 분야에서 내식성이 풍부하고 특히, 입계부식, 환원성산에 대해서 양호한 성질을 나타냄

**다. Hastelloy B/C(59~65Ni, 16~30Mo)**

내식성이 매우 우수한 니켈 기합금으로 대표적인 합금에 하스텔로이 B가 있으며 몰리브덴 약 30%, 철 약 5%가 포함되어 있습니다. 비산화성의 산, 특히 염산에는 끓는점까지 모든 농도에서 견디며, 염화수소가스나 환원성 용액에도 견딥니다. 질산이나 염소 등의 산화성 분위기에서 내식성을 개선한 것으로는 크롬을 첨가한 하스텔로이 C가 있으며, 그 외에 황산이나 인산, 플루오라이온에 내식성을 가진 하스텔로이의 이름을 붙인 몇 종류의 개량합금이 있습니다. 일반적으로 가공성과 용접성이 좋고 여러 모양으로 가공되어 있어 화학공업 등에 사용되어지고 있습니다. 또한 하스텔로이 X는 우수한 내산화성을 가진 내열합금으로 부식성이 강한 공정에 적용되어지고 있습니다.

Type		Chemical Composition													
		Ni	Co	Cr	W	Fe	C	Si	Mo	Mn	P	S	Al	Cu	Other
HASTELLOY B-2	N10665	BAL	1.0	1.0	-	2.0	0.01	0.01	28	1.0	-	-	-	-	-
HASTELLOY B-3	N10675	BAL	3.0	1.5	3.0	-	-	-	28.5	3.0	-	-	-	-	-
HASTELLOY C-22	N06022	BAL	2.5	22	3.0	-	0.01	-	13	-	-	-	-	-	-
HASTELLOY C-276	N10276	BAL	2.5	15	4.1	5.5	0.01	-	16	1.0	-	-	-	-	-
HASTELLOY C-4	N06455	BAL	2.0	16	-	3.0	0.01	-	15.5	1.0	-	--	-	-	Ti 0.7
HASTELLOY G	N06007	BAL	2.5	22	1	19.5	-	1.0	6.5	1.5	-	-	-	2.0	Cb+Ta 2.0
HASTELLOY G-3	N06985	BAL	5	22	1.5	18-20	0.015	1.0	6.8	1	-	-	-	1.5-2.0	-
HASTELLOY G-30	N06030	BAL	5	29	2.5	15	-	1.0	5.0	2	-	-	-	1.7	-
HASTELLOY X	N06002	BAL	1.5	22	0.6	18.5	0.1	1.0	9.0	1	-	-	0.5	-	Ti 0.15

**3 구리합금****가. Admiralty(70Cu-29Zn-1Sn)**

Water Condenser의 튜브재질로 이용되어집니다. 204℃ 이상에서 강도가 떨어지고 pH8 이상에서 부식이 심하므로 암모니아를 포함한 용액에는 사용이 곤란합니다. 용접하기 어려우며, 해수와 같은 조건에 대한 저항이 다른 구리합금에 비해 낮습니다.

**나. Aluminum Brass(77Cu-21Zn-2Al)**

Admiralty와 비슷하나 해수에 대한 저항이 더 커서 해수 응축기 등에 이용 됩니다.

**다. Naval Brass(60Cu-Zn39-15n)**

주로 상기 1), 2) 재료 사용시 튜브 Sheet로 이용됩니다.

**라. 90Cu-10Ni**

해수와 같은 조건에 대한 저항이 크나 황화합물 수용액에 대한 저항이 낮습니다.

**마. 70Cu-30Ni**

해수와 같은 조건에 대한 저항이 크고 암모니아에 대한 응력부식균열에 민감하지 않습니다.

**4 티타늄(Titanium)**

은백색 금속으로, 순수한 것은 전성·연성이 있고, 가열에 의해서 단련할 수 있으며, 내부식성이 있기 때문에 공업상 중요한 금속입니다. 결정은  $\alpha$  형과  $\beta$  형의 2종이 있는데,  $\alpha$  형은 상온에서 안정합니다.  $\alpha$  형은 육방정계에 속하며, 882℃ 이상에서는 등축정계인  $\beta$  형이 됩니다. 굳기 4.0으로 차가울 때는 극히 취약하여 가루로 만들 수도 있으며 적 열상태에서는 선으로 만들 수 있습니다. 강도는 탄소강과 거의 같고, 자중에 대한 강도비는 철의 약 2배, 알루미늄의 약 6배입니다. 또한, 열전도율·열팽창률이 작고, 400℃ 이하에서는 강도의 변화가 작으며 공기 중에서는 안정하나, 산소 속에서 강열하면 산화티탄이 됩니다. 할로겐과 가열하면 반응하고, 산에는 철보다 잘 녹지 않는다. 바닷물 속에서는 백금에 이어서 내식성이 강하고 많은 금속과 합금을 만드는데 사용되어집니다. 강도·내식성이 크고 가벼우므로 항공기 선박을 비롯하여 많은 구조용 재료로 사용되고, 화학공업에서 내식성 용기 재료로도 사용되어지고 있으며, 최근 심한 부식환경의 열교환기 튜브의 사용 재질로 니켈합금보다 티타늄 사용이 증가하고 있습니다.

**5 클래드강(Clad metal)**

두개의 서로 다른 금속을 압착시켜 만든 강으로 경제적인 목적으로 고합금강이나 비철금속을 탄소강 모재에 얇게 접착시켜 사용되어지고 있습니다.

**6 피복강(Lined metal)**

라이닝 재료를 모재인 탄소강에 피복시킨 것으로 클래드강은 소재상태에서 접착되어 생산되는 반면 피복강은 용기제작중에 피복시킵니다.

