

《解 說》

發電所用 티타늄復水器管에 있어서의 問題點과 對策

金 哲 淳 · 尹 容 九

韓國科學技術研究所

(1980. 9. 28)

◇차 례◇

1. 머리말
2. 復水器管材料 선택의 배경
3. 티타늄復水器管의 제특성
4. 티타늄復水器管의 문제점과 대책
5. 맺는말

1. 머리말

原子力發電플랜트에 있어서 터어빈으로 부터의 蒸氣는 復水器에서 냉각되어 물로 되며 加壓輕水型(PWR)에서는 格納容器 안에 있는 蒸氣發生器로 沸騰輕水型(BWR)에서는 原子爐壓力容器로 재순환된다. 우리나라의 경우 原子力發電플랜트의 復水器의 냉각은 海水를 사용하고 있어 復水器管의 海水에 대한 耐蝕性 및 無漏洩은 지극히 중요한 요구조건이 되어 있다. 加壓輕水型인 경우 漏水 또는 腐蝕에 의한 破損으로 海水가 蒸氣發生器에 재순환되면 인코넬(Inconel) 600 細管을 침식하게 되어 二次冷却系統이 放射性物質로 오염되게 된다. 따라서 蒸氣發生器에 순환되는 물의 water chemistry에 요구되는 사양은 塩素이온 함량이 0.15 ppm으로 유지되어야 한다. 따라서 海水로 냉각되는 復水器管의 無漏洩은 原子力發電플랜트의 높은 稼動率을 유지하고 蒸氣發生器의 損傷을 방지하는 데 중요한 요구조건이다. 格納容器안에 있는 放射線物質로 오염된 蒸氣發生器를 수리나 대체하는 데는 막대한 비용이 소요된다.

1970년경까지만 하여도 海水를 復水器의 냉각수로 사용할 경우 주로 알루미늄黃銅이나 쿠프로니켈復水器管을 사용하여 왔으나 이 후부터 海水耐蝕性이 우수한 티타늄復水器管이 급속히 실용되게 되었다. 이렇게 된 이유로는 당초 美國에서는 銅合金復水器管의 汚染海水腐蝕대책이, 日本에서는 空氣冷却部の 銅合金復水器管의 암모니아에 의한 침식에 대한 대책이 필요하였

기 때문이다. 이와 거의 때를 같이해서 앞서 언급한 바와 같이 加壓輕水(PWR)型 原子力發電플랜트에 있어서 蒸氣發生器의 細管 인코넬(Inconel) 600의 塩素이온에 의한 腐蝕문제에 긴급히 해결을 요구하는 문제로 제기되어 高度의 海水耐蝕性을 가진 復水器管을 요구하게 되었다. 이리하여 1975년경 부터는 티타늄復水器管을 전면적으로 채용하는 것을 美國의 웨스팅하우스(Westinghouse)社가 강력히 勸奨하게 되었고 加壓輕水型 原子力發電플랜트의 세계적 보급과 함께 티타늄復水器管의 사용은 증가하고 있다. 티타늄復水器管의 海水耐蝕性은 완벽하지만 작은 문제점이 있다고 하면 銅合金管板을 사용 할 경우 티타늄管을 음극으로 한 管板의 갈바닉(galvanic)침식과 電氣防蝕의 과잉에 의한 티타늄管端部에 있어서의 水素吸收를 보이는 정도이다. 이 두 가지 문제점은 적절한 電氣防蝕의 적용에 의하여 제어할 수 있는 것이 이미 알려져 있다.

우리나라의 原子力發電플랜트의 復水器管은 전부 海水를 冷却수로 쓰고 있어 古里原子力發電플랜트 2號機부터는 全티타늄復水器管材料를 사용할 계획으로 되어 있다. 본고에서는 티타늄復水器管材料의 제성질과 日本 및 歐美諸國에서 티타늄復水器管을 사용하는 데 있어서 경험한 1) 振動문제¹⁾, 2) 티타늄復水器管의 管板과의 接合문제¹⁾, 3) 生物汚損(bio-fouling)문제²⁾와 그들에 대한 對策에 대하여 다루고자 한다.

2. 復水器管材料 선택의 배경

蒸氣터어빈이 發電플랜트와 선박에 사용된 이래 復水器管으로서의 주로 銅合金管이 사용되어 왔다. 1960년에 이르기까지는 淡水를 冷却수로 하는 復水器에 있어서는 비소(As)함유 아드미랄티黃銅管이 많이 사용되었고 海水 또는 河海水를 사용하는 復水器에 있어서는 알루미늄黃銅管이나 10% 내지 30% 니켈 함유 쿠프로니켈管이 주로 사용되어 왔다.

그러나 1960년경 부터 淡水를 冷却水로 쓰는 復水器에 있어서 18-8스테인레스鋼管을 쓰는 것이 美國에서 보급되기 시작해서 근래 美國에서는 18-8스테인레스鋼管이 비소함유 아드미랄티黃銅의 市場점유율을 증가하고 있다. 한편 美國에서 河海水를 冷却水로 사용하는 復水器에 있어서도 18-8스테인레스鋼이나 18-8-Mo스테인레스鋼으로 된 管의 실용화의 검토가 추진되었으나 孔蝕의 발생때문에 성공하지 못하였다. 그 후 수년간 美國에 있어서 高Cr-Ni-Mo스테인레스鋼復水器管의 개발이 추진되어 AL-6X로 알려진 合金鋼이 본격적으로 사용되기 시작하였다. 그 사용결과는 양호한 것으로 알려져 있다.

한편 銅合金復水器管 주로 알루미늄黃銅管의 海水耐蝕性이 水酸化鐵을 함유하는 피막의 형성에 의하여 현저하게 증가하는 것을 이용해서 鐵이온의 注入에 의한 防蝕法이 근래 적용되어 큰 효과를 거두고 있다. 그러나 鐵이온 注入에 의한 防蝕法은 環境보전의 면에서 제한을 받는 경우가 있고 또 水質에 따라서는 충분히 그 효과를 발휘할 수 없는 경우도 있어 만전의 對策으로 될 수 없는 것이 알려졌다. 鐵이온注入에 의하여 형성된 피막은 固形物로 막혔을 때 생기는 局部腐蝕에 대하여 충분한 耐蝕性을 갖고 있지 않음이 밝혀져 있다. 이러한 사태에 대처하기 위해서 銅合金復水器管의 內面에 人工保護皮膜을 입히는 기술이 확립되어 현재 일부 실용적으로 적용되고 있다²⁾. 그러나 銅合金復水器管의 耐蝕性에 대해서 반드시 충분하지 않다고 보는 경향이 있다. 큐프로니켈은 알루미늄黃銅에 비해서 耐腐蝕性과 암모니아 알칼리성 드레인(drain)에 대한 耐蝕性이 좋고 鐵이온 注入을 반듯이 필요치 않지만 汚染海水에 대한 耐蝕性 및 가격면으로 불리하다.

이상 개선했한 復水器管재료에서 최적 재료의 선택은 개개의 경우에 있어서 각 후보재료의 비용, 효과의 관제를 고려해서 결정하는 것이 원칙이다. 우리나라의 原子力發電플랜트의 復水器冷却水는 海水를 쓰고 있는

데 海水用 復水器管의 재질선정의 주안점은 海水耐蝕性을 주로 한 적합성에 두어야 할 것이다. 그러나 이것은 各材料의 특성에 의하여 일률적으로 순위를 붙일 수 없고 水質, 물處理, 環境규제 그리고 防蝕과 防汚染을 위한 부대설비의 적용상황등에 의하여 크게 영향을 받는다⁴⁾.

3. 티타늄 復水器管의 제 특성

가. 물리적 성질

순수 티타늄의 熱傳導度는 $0.041\text{cal/cm} \cdot \text{sec}^\circ\text{C}$ 으로서 Al黃銅의 熱傳導度 $0.210\text{cal/cm} \cdot \text{sec}^\circ\text{C}$ 의 약 1/5이다. 티타늄의 열팽창계수는 $8.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 18-8스테인레스鋼 및 Al黃銅의 열팽창계수($16.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)의 1/2 정도이다. 순수 티타늄의 비중은 4.51로 Al黃銅의 비중의 약 50%, 18-8스테인레스鋼의 비중의 60%정도이다.

나. 기계적 성질

순수 티타늄의 強度 및 충격치는 티타늄중에 함유하는 산소, 질소, 철, 수소 등의 불순물의 함량에 영향 받는다. 산소, 질소, 철의 함량의 증가는 強度를 높이고, 수소함량의 증가는 충격치를 저하시킨다. 예를 들면 순수 티타늄중에 함유된 미량 불순물의 함량에 의한 티타늄의 기계적 성질에 대하여 다음과 같은 실험식이 유도되어 있다⁵⁾.

$$\text{인장강도} = 22.65 + 0.625\text{Fe} + 5.0\text{N} + 0.1875\text{C} + 4.375\text{H} + 0.25\text{O} (\text{kg/mm}^2)$$

$$\text{耐 力} = 8.6843 + 0.625\text{Fe} + 4.25\text{N} + 1.50\text{C} + 2.1875\text{H} + 0.8435\text{O} (\text{kg/mm}^2)$$

$$\text{伸 率} = 52.83 - 0.50\text{Fe} - 2.5\text{N} - 0.3125\text{C} - 3.75\text{H} - 0.425\text{O} (\%)$$

(Fe, N, C 및 O는 0.01% 單位, H는 0.001%單位)
각종 復水器管 材料의 기계적 성질을 비교하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 각종 復水器管의 기계적 성질⁶⁾

비교항목 \ 재 료	Ti管	Al黃銅管	70/30CuNi管	汚 染 海 水 用 銅 合 金 管
크기(외경×두께), mm	25.4×0.5	25.4×1.245	25.4×1.245	25.4×1.245
引張強度, kg/mm ²	35-52	38이상	36이상	38이상
管板의 把握力, kg/mm ²	0.19	0.6	0.6	0.6
管과 管板의 固着力*, kg	350	1,010	1,010	1,010
兩端自由길이 1m 座屈強度**, kg	315	785	—	785

*; Naval黃銅管板에 擴管하는 경우의 시험최저치 管두께 감소율; Ti管 8~10%, 나머지管 5~8%

**; 座屈強度; 일정길이의 管의 굽힘강도(bending strength)

表 2. 海水中에서 사용되는 각종 復水器管의 耐蝕性¹⁾

비교항목	재 료	아 드 미 랄 티 黃 銅	Al 黃 銅	304 스테인레스강	90-10 Cu-Ni	Ti
일 반 부 식		2	3	5	4	6
웨 식		2	2	6	4	6
孔 蝕 (流 動)		4	4	4	6	6
孔 蝕 (靜 止)		2	2	1	5	6
高 流 速		3	3	6	4	6
기포의충격(管内面)		2~1	2	6	3	6
증기의충격(管外面)		2~1	2	6	3	6
응 력 부 식		1	1	5	6	6
염 화 물 부 식		3	5	1	6	6
암 모 니 아 부 식		2	2	6	4	6
生 物 汚 損		5	5	2	4	3

註: 耐蝕性(最低 1, 最高 6)

復水器管材料로서 日本 및 歐美各國에서 실용화 하고 있는 티타늄 復水器管의 두께는 0.3mm~1.0mm이다. 이 경우 티타늄管的 强度 특히 軸方向壓縮荷重에 대한 座屈强度(bending strength) 및 지지판 간격에 좌우되는 振動强度가 중요한 문제이다. 이에 대한 三好⁶⁾의 실험결과에 의하면 외경이 25.4mm이고 두께가 0.5mm의 티타늄管을 사용하고 지지판 간격을 800mm로 한 경우는 약 500kg의 座屈强度를 얻었고 이 간격을 1,000mm로 한 경우에는 약 320kg의 座屈强度를 얻었다. 외경이 25.4mm이고 두께가 1.24mm인 Al黃銅管을 사용하고 지지판 간격을 800mm로 한 경우는 1,400kg의 座屈强度를 얻었고 이 간격을 1,000mm로 한 경우는 약 900kg의 座屈强度를 얻었다. 두께 0.5mm인 티타늄復水器管의 座屈强度가 두께 1.24mm인 Al黃銅管의 座屈强度보다 훨씬 떨어지고 있다. 그러나 실제 사용시 이와 같이 큰 軸方向壓縮荷重이 걸리지 않는 것으로 생각되므로 티타늄管은 만족할 만한 座屈强度를 갖고 있다고 할 수 있다.

다. 水耐蝕性

유동하는 상온 海水에 대하여 티타늄은 우수한 耐蝕性을 나타낸다. 특히 銅合金의 부식이 일어나는 유화물 오염해수, 漂砂를 함유하는 해수, 高流速 海水등의 환경에서도 티타늄은 우수한 耐蝕性을 나타내고 있다. 표 2는 Peake¹⁾에 의한 각종 復水器管의 海小耐蝕性的 실험결과이다.

표 2에 의하면 티타늄復小器管은 여러가지 상황의 海水에 대하여 우수한 내식성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

고온 海水에서 티타늄에 틸부식과 孔蝕이 일어날 수

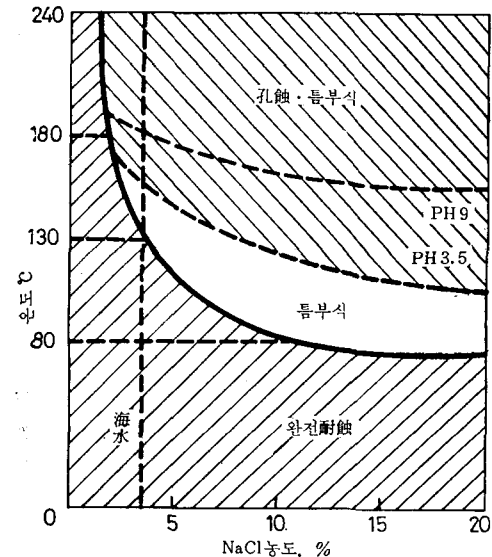


그림 1. 순수티타늄의 틸부식에 영향을 미치는 온도, NaCl농도, pH의 영향⁷⁾

있다. 부식이 일어나는 조건은 온도, pH 및 염분농도에 의해 정해지며 이들 간의 관계를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에 의하면 일반 海水의 염분농도의 경우 130°C 이하에서 부식이 일어나지 않지만 130°C 이상에서 틸부식 또는 孔蝕이 일어나고 있다. 염분의 농도가 증가할수록 부식이 일어날 수 있는 온도는 낮아진다. 따라서 실제 사용할 때에는 그림 1의 관계에 대하여 충분한 검토를 하고 安全性을 고려하여야 할 것이다.

라. 응력부식 균열

순수 티타늄이 응력부식 균열을 일으키는 환경으로

서는 미량의 물 및 할로젠을 함유한 메타놀 용액만이 알려져 있다⁷⁾. 이러한 균열은 粒界를 따라 진행되는 것이 보통이지만 티타늄—알루미늄계 합금의 경우⁷⁾는 입계와 입내 양쪽을 통하여 균열이 일어나는 것으로 알려져 있다. Takamura⁸⁾는 각종 티타늄 합금이 응력 부식 균열을 일으키는 환경으로 메타놀용액 이외에 고온염화물, 염수등이 있다고 보고하였다.

4. 티타늄復水器管의 문제점과 대책

가. 티타늄復水器管의 진동과 대책

티타늄復水器管은 티타늄의 熱傳導度가 매우 낮고 코스트가 높은 반면 海水耐蝕性이 극히 우수하므로 얇은 두께 주로 0.3 내지 1.0mm 두께의 용접관이다. 이때문에 종래의 銅合金管보다 剛性이 작게 되어 진동문제가 일어날 수 있다. 진동의 현상에는 카르만 보르텍스(Karman Vortex)에 의한 共鳴振動과 유체의 흐름에 의한 強制振動이 있다. Karman Vortex에 의한 共鳴振動에 대하여 식(1)⁷⁾이 알려져 있다.

$$S = \frac{f \cdot D}{V} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 S : Strouhal數(無次元)

Re : 100~630,000일때 S=0.1~0.3

f : 진동수(cycles/sec)

D : 관의 외경(m)

V : 유체의 유속(m/sec)

위식에서 진동수 f가 식(2)에 나타난 관의 고유진동수 f_n 과 같게 될때 共鳴振動이 일어나는 것이다.

$$f_n = C(g \cdot E \cdot I / WL^4)^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 C : 정수

g : 중력가속도(m/sec²)

E : 탄성계수(kg/m²)

I : 단면 2次 모멘트(m⁴)

W : 관에 미치는 하중(kg/m)

L : 支持板間隔(m)

따라서 관의 고유진동수에 대응해서 共鳴振動이 일어나게 되는 한계유속이 존재하게 된다. 한편 強制振動에는 현상의 기구는 충분히 해명되지 않았으나 따라서 식(3)⁹⁾과 같은 관계가 알려져 있다.

$$S = KL^4 \cdot \frac{\rho V^2 D}{E \cdot I} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 S : 평균하중에 의한 진동에 기인한 苛酷度(severity)

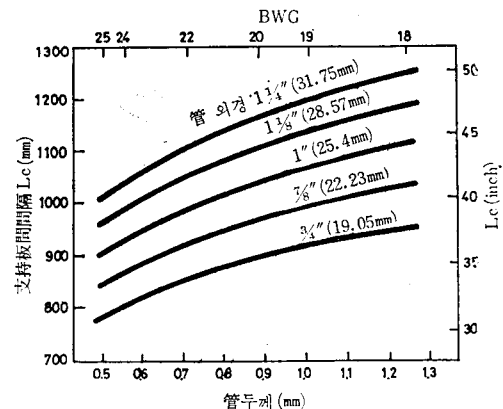
K : 정수

復水器의 경우 Karman Vortex에 의한 共鳴振動은 중요한 것은 아니라고⁷⁾ 알려져 있다. Peake¹⁾는 실제

에 기초하여 검토한 결과 強制振動에 의한 苛酷度 S를 1.0으로 하는 것이 바람직하다고 하였으며, 그는 허용한계 支持板間隔을 식(4)¹⁾와 같이 유도하였다.

$$L_c = 0.814 \left(\frac{E \cdot I}{\rho \cdot V^2 \cdot D} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (4)$$

(4)식에 의해 외경 25.4mm, 두께 1.245mm의 黃銅管을 외경 25.4mm, 두께 0.5mm의 티타늄管으로 대체하는 경우 티타늄復水器管의 支持板間隔을 黃銅管의 그것보다 약 20% 단축하는 것이 바람직하며 실제로 사용하여 성공하였다. (4)식에 의하여 사용조건을 적당히 가정하고 티타늄復水器管의 크기와 支持板間隔을 계산하면 그림 2와 같다.



조건; 터빈排出
프랜지부의 평균증기속도 V=200m/sec
復水器內 압력=25.4mm/Hg
증기밀도 $\rho=0.0245\text{kg/m}^3$
티타늄의 탄성계수 $E=10,600\text{kg/mm}^2$

그림 2. 티타늄 復水器管 크기와 支持板間隔과의 관계(美國 웨스팅하우스社 Peake氏 등의 式에 의함)

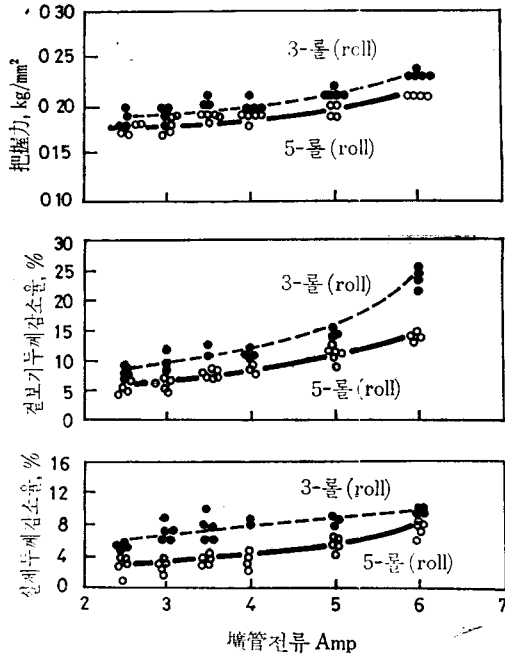
두께가 얇은 용접티타늄管을 復水器管으로 사용하는 경우 종래의 銅合金管의 경우보다 두께 차이에 따른 剛性의 차이에서 증기흐름에 의한 관의 진동의 가능성은 증가되지만 이것은 支持板間隔을 (4)식과 같은 계산에 의해 구하고 설치함으로써 해결할 수 있는 것으로 알려져 있다.

나. 티타늄復水管과 管板의 接合(seal)

티타늄復水器管은 보통 擴管方式에 의하여 管板에 附着되는데 후술하는 바와 같이 일반 銅合金의 경우에 비해서 1/2 내지 1/3의 把握力밖에 얻을 수 없다. 復水器管을 사용시 軸방향의 힘이 작용하는데 얇은 티타늄管의 擴管附着에 의한 사용에는 일말의 불안이 있다. 그 위에 擴管部의 氣密性에 대하여도 얇은 티타늄管의

경우 銅合金管에 비하여 彈塑性에 관한 성질로 봐서 불안하다. 더우기 금후의 復水器, 특히 原子力發電 플랜트 復水器에 있어서 종래 이상의 氣密性이 강하게 요구되고 있어 예를들면 2重管板方式의 채용이 검토되고 있다⁹⁾.

티타늄 復水器管으로서 소망스러운 管-管板 接合方



管; 25.4 ϕ ×0.5t/mm
 管板; Naval黃銅(두께 32mm)
 擴管길이; 29mm
 管과 管板 사이의 거리; 0.2mm

그림 3. 把握力, 겉보기 및 실제 두께 감소율에 미치는 擴管電流의 영향¹⁰⁾

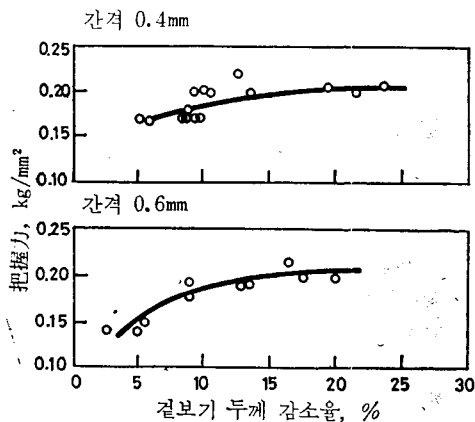


그림 4. 擴管시의 把握力에 미치는 管과 管板의 間격의 영향¹⁰⁾

式으로 熔接方式이 고려되고 있다. 美國에서는 필요한 크기의 티타늄管板의 입수가 곤란하고 현지 熔接作業의 불안정을 이유로 아직 보급되어 있지 않으나 日本에서는 티타늄板을 사용한 管-管板熔接接合에 의한 全티타늄管復水器를 제작하여 공급하기 시작하였다.

(1) 擴管

두께가 얇은 티타늄管的 擴管시 5-롤(roll)이 주로 사용된다. Suzuki¹⁰⁾ 실험결과에 의하면 롤수 및 管과 管孔과의 간격과 把握力과의 관계는 그림3, 4와 같다.

0.5mm 두께의 티타늄管을 네이벌(Naval) 黃銅管板에 擴管하는 경우 겉보기 두께감소율 8~12%의 擴管加工에 의하여 0.18~0.20kg/mm²의 把握力을 얻는다. 管과 管板과의 간격을 0.6mm로 하면 把握力에는 거의 영향을 미치지 않는다. 티타늄管板의 경우는 Naval黃銅管板보다 약 50kg정도 높은 把握力을 얻는다. 두께가 두껍게 되면 그림 5와 같이 把握力은 증가한다.

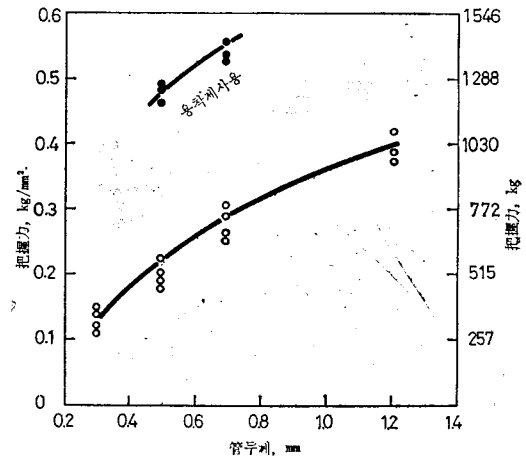


그림 5. 擴管時의 把握力과 管 두께의 관계¹⁰⁾
 (管板; Naval黃銅, 間隔; 0.2mm
 두께감소율; 10%)

(2) 티타늄復水器管과 티타늄管板의 접합(seal-용접)

두께가 얇은 티타늄管을 擴管方式에 의해 管板에 接合시킨 경우는 일반 銅合金을 管板에 接合시킨 경우보다 1/2내지 1/3의 把握力밖에 얻을 수 없다. 復水器管은 사용시에 軸방향의 하중을 받기 때문에 두께가 얇은 티타늄管的 擴管에 의한 接合시 擴管部의 氣密性은 다소 불안한 점이 있다. 擴管部에 있어서 보다 높은 氣密性 또는 強度가 요구되는 경우 티타늄管板 또는 티타늄클래드(clad)鋼管板을 사용하여 용접에 의한 接合이 행하여지고 있다. 氣密性を 위해서 2重管板式도 일부 쓰이고 있다. 熔接은 직류정극성의 TIG(tungsten arc inert gas)용접법으로 행하고 있다. 시공방법으로

管(티타늄)

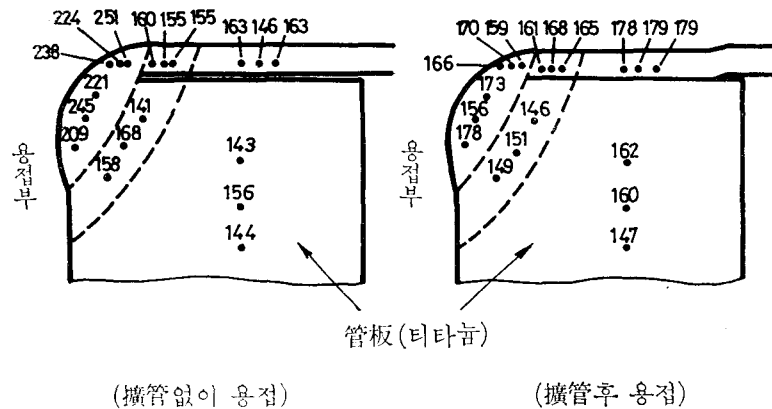


그림 6. 용접접합부 縱斷面 경도¹¹⁾(마이크로 빅커스 하중 100g)

는 管을 管板에 擴管밀착시키면서 용접하는 방법, 용접만 하는 방법 및 용접후 擴管시키는 방법이 있다. Sato¹¹⁾는 이들 방법을 사용하여 실험을 행하여 용접접합부 단면의 경도와 접합부의 強度를 측정하였다. 그림 6 및 표 3은 그 결과를 나타낸다.

表 3. 티타늄管과 티타늄管板의 接合부의 把握力¹¹⁾

接 合 方 法	把握力 (kg)	破 斷 位 置
擴管없이 용접 만	1,280	管 材
	1,250	管 材
擴 管 + 용 접	1,320	管 材
	1,300	管 材
擴 管 만	450	擴 管 部
	500	擴 管 部

그림 6에서 擴管하지 않고 용접한 시료의 용접금속의 빅커스경도(Hv)는 209~251로 擴管후 용접한 시료의 그 값(156Hv~178Hv)보다 40Hv~80Hv정도 증가하였다. 이는 擴管하지 않고 용접할 경우 管板의 용접하는 면의 반대측에서 管과 管板面사이로 공기가 용착부로 들어가 그 결과 이 공기에 의하여 용접부가 산화하였기 때문인 것으로 해석된다. 표 3에 의하면 용접접합한 것은 용접전 擴管有無에 관계없이 전부 管—管板接合部에서 파단되지 않고 管자체에서 인장파단되었다. 이 실험결과 용접전의 擴管은 용접부 배면의 산화, 질화에 의한 오염방지 때문에 바람직한 것을 알 수 있다. 日本 Sumitomo Light Metal Industry(住友輕金屬工業(株))의 Sato¹¹⁾등은 3~5m의 風速하에서도

용접부의 산화를 방지하기 위한 간단한 차단판을 부착시켜 용접함으로써 티타늄管—티타늄管板의 接合에 성공하였다.

다. 티타늄復水器管의 生物汚損과 대책

復水器管등의 傳熱性を 해치는 것에 냉각수측의 관벽에 생기는 汚損(fouling)이 있다. 汚損을 형성하는 물질 중에는 (1) 冷却水中의 혼탁물과 파포화로 용해된 염류의 석출등 冷却水 자체에 의한 것 (2) 冷却水和 管의 부식반응에 의해 생기는 부식생성물의 부착에 의한 것. (3) 冷却水を 따라 흘러 들어온 生物이 관벽에 부착 성장하는 것 등이 알려져 있다. 이중 (1)은 冷却水 자체의 문제이므로 管의 材料와 직접적 관계는 없다. (2)는 티타늄이 淡水나 海水에 극히 우수한 耐蝕性を 갖고 있기 때문에 문제가 없고 티타늄復水器管은 銅合金管에 비해서 우수하면 하이지 떨어진다는 것은 전연 생각할 수 없다. (표 2 참조) (3)에 관하여 銅合金管은 生物 특히 海洋生物의 생존에 대하여 어느정도 억제하므로 生物汚損에 대하여 저항력을 갖고 있으나 티타늄管은 이런 海洋生物의 부착을 억제하는 작용을 갖지 않은 것으로 보여진다. Sato¹¹⁾는 銅合金復水器管과 티타늄復水器管을 사용하여 淸淨海水中에서 1년 동안에 걸쳐서 耐蝕性, 生物汚損에 관한 실험을 하였다. 그 결과는 그림 7과 같다.

그림 7에 의하면 流速 2m/sec로 淸淨海水를 통과하기 시작후 6개월 경과한 뒤의 티타늄管의 汚損이 銅合金管의 汚損보다 명백히 크게 일어났고 티타늄管內的 부착량은 銅合金管內的 그 양보다 2~3배에 달하고 있다. 이 값은 傳熱장애로서 중대한 영향을 줄 수 있는

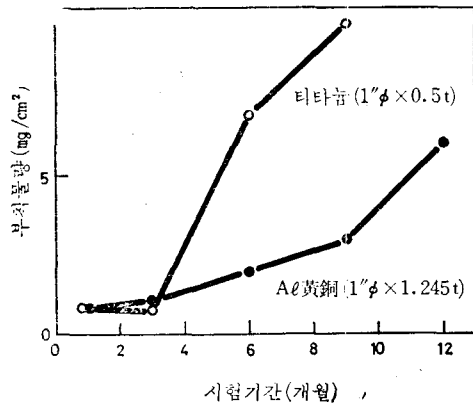


그림 7. 티타늄관의 내면 부착물량과 Al黃銅관의 내면 부착물 양의 비교
(管内流速; 2m/sec, 塩素處理; 없음)

것이기 때문에 어떤 대책이 필요하다. J. Taborek¹²⁾은 최근 티타늄관과 90%Cu-10%Ni관을 사용하여 海水에 의한 汚損에 관한 실험결과를 발표하였다.

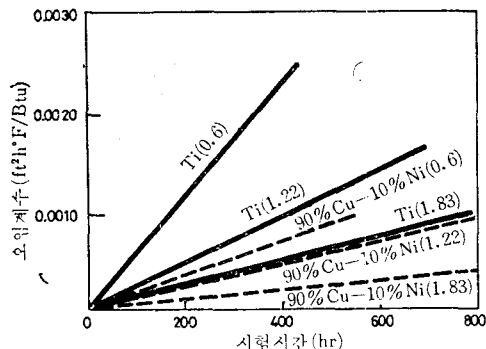


그림 8. 海水의 流速에 따른 티타늄관內的 汚染量과 90%Cu-10%Ni 관內的 汚染量과의 비교¹²⁾, ()內는 管内流速(m/sec)

이 결과를 나타내는 그림 8에서 보는 바와 같이 티타늄관은 90%-10%Ni관의 2.4배의 生物汚損을 보이고 있다. 이러한 티타늄관의 生物汚損에 대한 대책으로 염소처리, 부랴쉬洗淨, 스폰지 볼(sponge-ball)에 의한 세정법이 있다. 종래에는 염소처리에 의한 방법을 많이 사용하였으나 최근에는 환경문제 때문에 이 방법의 적용에가 줄어들고 있다. 부랴쉬(brush)에 의한 세정법의 단점은 가동중에 적용시킬 수 없다는 것이다. 이러한 사실에서 스폰지 볼(sponge-ball)에 의한 세정법이 유효하다. 그림 9는 티타늄관의 汚損에 미치는 管内流速의 영향과 스폰지 볼(sponge-ball)세정 효과를 나타낸다.

그림 9에 의하면 管内의 流速이 클수록 티타늄관內的 生物汚損量은 감소되고 있고 스폰지 볼(sponge-

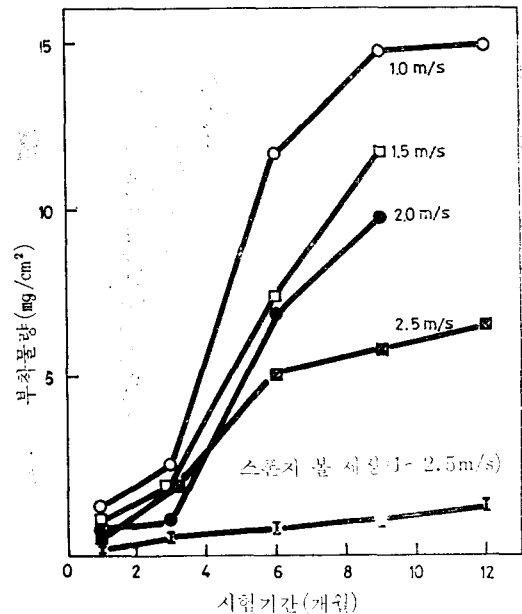


그림 9. 티타늄관의 汚損에 미치는 管内流速의 영향과 스폰지 볼(Sponge-ball) 세정의 효과¹⁾ 티타늄관; 25.4φ×0.5mm

ball)세정이 티타늄 관內的 生物汚損에 대한 대책으로 극히 유효함을 알 수 있다.

5. 맺는 말

原子力發電所에 있어서 海水를 冷却水로 사용하는 경우 冷却海水에 대한 耐蝕性 및 氣密性에 관한 요구가 엄격하여 졌다. 이에 대한 대책으로 日本 및 歐美各國에서 소티타늄復水器管의 사용이 보급되고 있다.

본고는 지금까지 연구검토된 原子力發電所用 티타늄復水器管을 사용하는데 나타난 문제점과 이에 대한 대책을 기술하였다. 티타늄復水器管의 진동은 기존 銅合金管의 두께보다 얇은 티타늄관을 사용하기 때문에 생기는데 이는 復水器管의 支持板間隔을 단축함으로써 방지할 수 있다.

티타늄復水器管을 管板에 부착시키기 위해서는 擴管方式과 管-管板의 熔接方式이 있다. 얇은 티타늄관의 擴管方式에 의한 接合에는 불안정이 있으며 熔接方式에 의한 接合이 管의 표면상태, 風速 등 현장조건에서 이미 실험되어 채용되고 있음을 소개하였다.

티타늄관은 海水中の 海洋生物의 부착에 의한 生物에 의한 汚損을 일으킨다. 티타늄관內的 生物汚損에 대한 대책으로 스폰지 볼(Sponge-ball)에 의한 세정법이 유효하다.

후 기

본 해설을 쓰는데 있어서 復水器管材料의 권위자인 日本 Sumitomo Light Metal Industry의 Dr. Shiro Sato와 Dr. Koji Nagata와 유익한 토론을 가졌고 기술자로서의 협조를 받는데 대하여 심심한 사의를 표합니다.

参 考 文 献

1. C.C. Peake, G.F. Gerstenkorn, and T. R. Arnold, American Power Conference (April, 1975)
2. W.D. Fletcher and D.D. Malinowski, "Operating Experience with Westinghouse Steam Generators," International Conference of Materials for Nuclear Steam Generators (Sept. 9-13, 1975)
3. 佐藤史郎, 永田公二, 住友輕金屬技報, **19**, 83 (1978)
4. 佐藤史郎, 永田公二, 小木曾昭夫, 住友輕金屬技報, **21**, No. 1, 52~63 (1980)
5. 티타늄 協會技術委員會強度分科會, Titanium-Zirconium, **20**, 5, 258 (1972)
6. 三好, 火力發電, **22**, 1 (1971)
7. 佐藤史郎, 下野三樹雄, 內山重德, 石油學會誌, **20**, 11, 985~993 (1977)
8. 高村 昭; 日本金屬學會會報, **8**, 10, 697~707 (1969)
9. R.L. Coit, "Design Trends in United States Utility Feed Water Heaters and Condensers", Power Conference, Lousanne (1972)
10. 鈴木脩二郎, 下野三樹雄; 住友輕金屬技報, **16**, 3, 137 (1975)
11. 佐藤史郎, 杉山禎彦, 永田公二, 難波圭三, 下野三樹雄; 火力原子力發電, **28**, 6, 563~571 (1977)
12. J. Taborek, Progress Report, INCRA Proj., No. 214A (1976)