

原子炉用 熔接材料

振興課

[概要]

熔接은 原子炉製作에 있어서 主要部分을 차지하고 있으며, 熔接材料의 品質 및 施工法의 良否는 原子炉의 品質과 安全性에 크게 영향을 준다.

本稿에서는 PWR, BWR의 格納容器 및 原子炉에 使用되고 있는 熔接材料에 대하여 그 適用되는 法規 및 規格을 紹介함과 同時에, 各部分에 使用되고 있는 熔接材料와 그 主要性能에 대하여 說明하였다. 그 밖에 原子炉配管用 熔接材料에 관한 最近動向과 FBR 'MONJU' 熔接用으로 試驗研究中인 熔接材料의 性能의 一例, 그리고 밸브 등에 대한 硬化隆起 熔接用材料에 대해서도 紹介한다.

I. 序言

原子力發電에서는 무엇보다도 安全性이 重要な 條件이다. 그러기 위해서는 熔接接合部分과 熔接材料의 品質이 重要하게 된다.

本稿에서는 日本의 原子力發電設備의 大部分을 차지하고 있는 輕水炉인 PWR, BWR에 使用되고 있는 熔接材料를 主体로 하여 그 概要를 說明한다.

II. 原子力用 熔接材料에 適用되는 法規 및 規格

現在 日本에서 輕水炉型 原子力機器를 設

計·製作하는 경우에 適用하고 있는 熔接材料에 關聯한 主要 關係法規 및 規格에 대해 說明한다.

1. 日本의 關聯法規 및 規格

電氣事業法에 의해 施工하고 있는 技術基準에는 “發電用原子力設備에 관한 構造等의 技術基準(通産省 告示 501号)”와 “電氣工作物에 관한 技術基準(通産省令 第81号)” 등이 있다.

또 “熔接方法認可에 대하여(資源에너지庁 長官通牒)”에서 熔接施工法의 確認 및 熔接士의 技能確認實施要領이 定해져 있다.

이 技術基準은 많은 製造実績과 經驗에 의해 다시 檢討되고 있다.

2. ASME 規格

美國의 ASME Boiler and Pressure Vessel Code는 世界各國에서 現在 가장 큰 영향력을 갖고 있는 規格中의 하나이다. 原子力機器에 관해서는 ASME Sec. III Nuclear Power Plant Components가 中核이 되어 있다. 이 內容은;

Div.1 : 压力容器, 配管系統, 탱크, 펌프, 밸브支持構造物, 炉心支持 構造物 등의 機器

Div.2 : 콘크리트容器를 構成하는 材料(熔接材料를 包含)의 設計, 製造, 試驗, 檢査 및 証明등

이 主体가 되어 있다.

다시 各 Subsection으로 分類하여 構成機器로 사용되는 熔接材料에 대해서는 ASME Sec. II Part C 또는 ASME Sec. IX의 要求에 滿足함과 同時に ASME Sec. III의 各 Subarticle의 要求를 滿足시키는 事項이 規定되어 있다.

各 Subsection에서의 熔接材料에 대한 要求試驗은 거의 같지만, 熔接金屬의 性能에 대해서는 母材에 規定된 값, 또 異材接合部分 熔接에 사용되는 熔接材料에 대해서는 어느 한쪽의 母材에 規定된 값과 同等 혹은 그 이상이어야 한다.

그리고 Acceptant standard로서는 機器의 機能에 의한 重要도에 따라 다르며, 그중 1972년의 Summer Addenda로 破壞力學을 導入한 Appendix G는 特異한 것이다.

다음에 ASME Sec. IX에 規定되어 있는 熔接施工法의 認定"에 관하여 必要로 하는 F No. 및 A No.의 区分을 각각 表 1과 表 2에서 表示한다.

Ⅲ. 格納容器用 材料

格納容器는 原子炉压力容器 등의 1次系統設備을 外部로부터 遮斷하여 放射性物質을 含有하는 1次系統의 配管등에 萬一의 事故가 發生하여도 外部로 被害가 새어나가지 않도록, 事故를 最少限으로 막기 위한 容器이다.

1. 格納容器用 鋼材

이 格納容器用 鋼板으로는 脆性破壞 등 重大한 事故가 일어나지 않도록 酷寒期의 氣溫에 安全率을 考慮하여, 低溫으로도 좋은 彈力性을 나타내는 低溫压力容器用 炭素鋼板 ASTM A516 Gr.60 및 Gr.70이 現在, 一般的으로 使用되고 있다.

2. 格納容器的 熔接에 使用된 被覆 아아크 熔接棒

格納容器 被覆아아크 熔接棒으로서는 現在

까지 거의 AWS A5.5 E7016G 타일이 使用되고 있다. 이 熔接棒은 熔着金屬중에 0.5% 程度의 Ni를 含有하고 있기 때문에 低溫으로도 좋은 衝擊性能을 지니며 -45°C 쯤까지 사용되는 $50\text{kg}/\text{mm}^2$ 級 高張力鋼 및 알미킬드鋼에 대하여 適用할 수 있다.

3. 格納容器的 熔接에 使用되는 서브머 어지드 아아크 (Submerged Ark) 熔接材料

서브머 어지드 아아크 熔接法은 被覆 아아크 熔接法등에 比較하여 高能率의 이며, 많은 熔接部位에 使用되고 있다.

熔接材料(와이어, 프랙스)로서는 A516 Gr. 60鋼用에 대하여 高Mn系의 AWS A5.17 F76-EH14가, 그리고 A516 Gr. 70鋼用에 대해서는 中Mn, 0.5Mo系의 AWS A5.23 F86-EG-A3. 또는 高Mn. 0.25% Mo系의 AWS A5.17 F76-EH14가 使用되고 있다. 이들 熔接材料는 熔接後 熱處理를 하는 것이 前提가 된다.

各 熔接金屬의 化學成分의 一例를 表 3에, 그리고 機械的 性質의 一例를 表 4에 表示한다.

4. MIG 熔接材料

MIG 熔接法은 서브머 어지드 아아크 熔接法을 代身할 수 있는 高能率 熔接法으로 最近에 더욱 많이 使用하기 시작했다.

熔接材料로서는 AWS A5.18 E70S-G 相當의 것 혹은 이것보다 더 低溫에서도 彈力性이 좋은 A5.28 ER70 S-G 相當의 1.5% Ni系 와이어가 使用되고 있다.

실드가스는 어느 쪽도 $\text{Ar}+2\%\text{O}_2$ 또는 $\text{Ar}+5\sim 20\%\text{CO}_2$ 가 使用되고 比較的 Ar 量을 늘림으로써 熔接金屬의 耐久性 및 作業性의 向上을 圖謀하고 있다.

各 熔接材料의 化學成分의 一例를 表 5에, 그리고 機械的 性質의 一例를 表 6에 表示한다.

Ⅳ. 原子炉用 材料

原子炉 本体는 設置가 일단 끝나, 稼動을

시작하면, 詳細한 補修点檢, 혹은 修理가 困難할 경우가 많기 때문에 材料選定에 있어서는 原子炉用 材料로서 特異한 現象인 中性子照射脆弱化的 点도 包含하여 充分한 実績이 있고 熔接性, 加工성이 좋은 材料를 使用하여 嚴格한 品質管理体制下에 施行할 必要가 있다.

1. 原子炉에 使用되는 鋼材

現在 原子炉用 鋼材로서는 거의 全部가 圧延材로는 ASTM A533 Gr.B Cl.1鋼이, 또 鍛鋼品으로는 ASTM A508 Cl.2, Cl.3 鋼이 使用되고 있다. 이들 鋼種은,

- (1) 耐照射脆弱성이 좋을 것.
- (2) 耐食성이 優秀할 것.
- (3) 高温強度特性이 좋을 것.

등, 原子炉用으로서 具備해야 할 條件이 거의 滿足할만한 정도이다.

그러나 앞으로는 使用鋼材로

- (1) 压力容器自體의 무게의 輕減化
- (2) 建設費 및 工費의 削減化
- (3) 压力容器 輸送作業의 輕減化

등을 考慮하여 무게의 減少化 傾向이보이며 高强度-특히 高温強度가 우수한 A533 Gr. B Cl.2鋼, A508 Cl.4鋼이, 나아가서는 A542 鋼과 A543鋼이 使用될 것으로 보인다.

表7에 이들 鋼種에 대한 ASME 規格을 表示한다.

2. 原子炉压力容器用 熔接材料

原子炉压力容器用 熔接材料로서는 強度, 특히 高温強度와 耐久성이 뛰어나야 한다는 점은 말할 것도 없거니와 그 밖에 中性子照射脆化성이 뛰어나야 한다는 점이 不可欠한 條件이다.

表8은 288℃에서 照射한 A533 Gr.B鋼의 照射脆化 感受성에 미치는 Cu量의 影響을 表示한 例이다. 이 傾向은 熔接部에 대해서도 마찬가지며 이것보다 中性子照射 脆弱화에 대해서는 特히 惡影響을 미칠것으로 생각되는 Cu 및 P등을 可及的 낮게 할 必要

가 있다.

서브머지드아아크熔接材料에 대해서는 ASME Sec II Part C SFA5.23으로 熔接金屬중의 $Cu \leq 0.08\%$, $P \leq 0.012\%$ 로 規制하고 있다.

(1) 被覆아아크熔接棒

A533 Cr.B Cl.1鋼, 혹은 A508 Cl.2 鋼用으로는 AWS A5.5 E9016G에 相当하는 것, 또는 A533 Gr.B Cl.2鋼用으로는 AWS A5.5 E10016G에 相当한 것이 使用되고 있다. 그리고 A542 Cl.1鋼用으로는 역시 AWS A5.5 E10016G에 相当한 것이 있다.

또 原子炉用 熔接材料는 重大한 事故가 일어나지 않도록 低温에서의 耐久性이 특히 우수해야 한다는 점이 必要하기 때문에 熔接施工을 할 때, 熔接入熱에 대하여 細心한 注意를 해야 한다.

實際 現場에서는 熔接棒의 管理로서 특히 吸溫이 되지 않도록 留意해야 한다. 熔接棒을 吸溫하게 하면 熔着金屬중의 擴散性 水素量이 增加하여 그 結果 遲裂感受성이 높아지기 때문이다. 難吸溫타이프의 熔接棒은 普通 熔接棒에 比하여 吸溫速度가 늦고, 包裝도 잘 研究되어 있기 때문에 開封時에는 熔接棒의 乾燥가 必要없다는 利點이 있다.

表9에 被覆아아크熔接棒을 使用할 경우의 適切한 熔接條件, 予熱, 파스間 溫度, 乾燥條件을 表示한다. 熔接後는 遲裂을 考慮하여, 早速한 熔接後 處理가 바람직하다.

(2) 서브머지드 아아크熔接材料

A533 Gr.B Cl.1鋼用으로는 AWS A5.23 F94-EG-G 相当의 것이, Cl.2 鋼用으로서는 F102-EG-G相当의 熔接材料가 있다. 그리고 A542 Cl.1鋼用으로서 F92-EG-G에 相当한 것이 있다. 表10에 각기 熔接材料에 대하여 熔接金屬의 化學成分例를 表示한다. 이런 熔接材料는 高能率化를 期하기 위해 2電極을 同時에 熔接하는 탄뎀熔接도 可能하기 때문에, 두꺼운 판을 여러層 熔接하는 데에도

適合하다.

이 밖에 특히 炉心用으로 熔接金屬 中の Cu를 더욱 낮게하는 非金屬와이어도 있다.

表11에 熔接金屬의 化學成分의 一例를 表示한다.

와이어徑으로 現在 가장 많이 使用되고 있는 4.8mmφ도 있으나 두꺼운 판을 熔接하는 데는 더 가는 4.0mmφ, 3.2mmφ의 와이어를 使用한 것이 作業能率이 좋다.

(3) MIG 熔接材料

MIG 熔接材料는 그 실드가스로서 무엇을 使用하느냐에 따라 熔接作業性, 熔接金屬의 化學成分이 變化하고, 그 結果 機械的 諸性質이 變化한다. 原子炉用 熔材로 主로 使用되는 것으로 AWS A5.28 ER80S-G(As Weld)相當의 와이어가 있고, 이것은 실드가스로 Ar-20%CO₂를 使用하는 스프레이아아크 熔接用와이어이다.

그리고 炉心用으로 熔接金屬의 Cu量을 낮게 하도록 非鍍金와이어로 한 것도 있다.

V. 壓力容器的 熔接材料

PWR, BWR등 輕水炉에서는 中性子の 減速材로서, 또한 炉心에서 發生한 熱을 搬出하는 熱媒介體로서 輕水가 使用되고 있다. 이 때문에 壓力容器內面은 腐食環境에 露出된다. 腐食이 進行되면, 腐食生成成分이 放射化되는 점, 또 運轉開始後는 補修가 困難한 점등으로 壓力容器內面에는 거의 全面에 스텐레스鋼 혹은 인코넬(Ni-Cr-Fe合金)이 熔接되고 있다. 原子炉와 같은 大型壓力容器에서는 熔接面積이 극히 넓기 때문에 能率的인 施工法이 必要하게 되며, 日本에서는 핸드아아크 熔接이 일찍부터 採用되어 왔다. 小徑노즐內面과 鏡面등에는 一部 서브머지드아아크 熔接(오시레이트方式, 시리즈 아아크方式을 包含)도 使用되고 있다. 또 自動 熔接이 困難한 部分에는 被覆아아크 熔接이 使用되고 있다.

1. 스텐레스 熔接材料

스텐레스鋼用 熔接材料에는 一般的으로 ASME Sec. II part C에 規定된 것이 使用되고, 被覆아아크 熔接棒은 SFA5.4에 MIG, TIG, 서브머지·아아크 熔接用 와이어는 SFA5.9에 規定되어 있다. 그러나, 서브머지드아아크 熔接用 프렉스 및 핸드아아크 熔接材料에 대한 規定은 없다. 핸드아아크 熔接材料는 JIS規格의 후우프와 프렉스를 결합한 熔接金屬으로 規定되어 있다. 이것은 熔接材料의 性質 및 施工條件으로 決定되는 希積率에 따라 熔接金屬이 變動한다는 점을 考慮하였기 때문이다.

ASME Sec. III로는 原子力用 熔接材料의 品質保證에 관한 要求와, 스텐레스鋼에 대해서는 熔接材料 및 熔接金屬의 化學分析試驗과 웨라이트量의 測定에 대해 規定하고 있다.

熔接金屬의 化學分析에 대해서는 ASME Sec. IV의 施工認定試驗에 의해 하기로 되어 있으며, 成分範圍등의 規定은 특별히 없다. 化學成分範圍는 過去의 実績과 試驗데이터를 土台로 決定되며, 日本의 原子炉 壓力容器는 모두 304타입의 熔接金屬이 熔接되어 왔다. 表12에 使用되고 있는 熔接材料와 熔接金屬의 化學成分의 一例를 表示한다. 原子炉의 타입에 따라서는 放射化의 原因이 되는 Co, Cu등의 微量元素를 엄격히 制限한 材料도 使用되고 있다. 304鋼에는 応力腐食균열이 發生한다는 報告가 있어, 종종 問題가 되어, 低炭素 304L, 또는 316L, 347등의 鋼種에 대하여 檢討하고 있다.

웨라이트量의 測定에 관해서는, AWS-A 4.2-74에 의해 檢定된 磁氣的裝置(마그네 게이지·웨라이트 인디케이터, 웨라이트 스크오프) 혹은 化學成分과 表13에서 表示하는 組織圖에 의해 決定하기도 하며, Cr-Ni 스텐레스鋼의 熔着金屬 및 熔接金屬(16-8-2系 및 熔接材料는 除外함)을 FN≥5로 規定

하고 있다. FN \geq 5로 規定한 것은 오오스테 나이트系 熔接金屬의 熔接時에 發生하기 쉬운 高温균열을 防止하려는 의도로 생각된다.

FN(Ferrite Number)은 縱前과 같이 韋라이트를 絶對的 量으로 表示하는 것이 아니라, 單純히 相對的 指數로 表示한다. 즉 從來 韋라이트量이라고는 하지만 正確한 韋라이트組織의 絶對量을 나타내고 있느냐 여부가 問題이며, 概念的으로 애매했었다. 또한 各 測定法사이에 그값이 同一하지 않아서, 적지 않은 混亂이 있었다. 이와 같은 理由에서 FN을 使用하게 되었고, FN은 어떤 基準下에서의 韋라이트量을 相對的 指數로 表示한 것이다.

다음으로 ASME Sec. IX에서는 熔接施工法의 認定에 대하여 規定하고 있고, 耐食熔接에 대해서는 앞서 말한 熔接金屬의 化學分析試驗이외에 液体浸透探傷式驗 및 側曲試驗을 하게 되어 있다. 이 중, 側曲試驗에서는 發生하는 欠陥이 1.6mm以下이어야 하며, 스텐레스鋼 熔接部에 대해서는 規格이 엄격하다. 즉 原子炉压力容器의 母材로는 A533-B Cl.1鋼 및 A508 Cl.2鋼등의 低合金鋼이 使用되며, 原子炉의 大型化에 따라, 두께도 아주 두껍게 되었기 때문에 熔接部는 600~650℃에서 30~50時間이나 応力除去熱處理를 한다. 이와 같은 高温 長期間의 熱處理를 하면 異材인 스텐레스鋼 熔接部の 母材와 熔接金屬의 境界部에는 炭素의 拡散移行에 따라, 低合金側에는 脱炭, 스텐레스 熔接金屬側에는 侵炭現象이 일어난다. 侵炭層에서는 堅固하고 부스러지기 쉬운 Cr炭化物이 析出하기 때문에 심할 경우에는 側曲試驗으로 미세한 균열이 생길 경우가 있다. 그리고 境界部뿐만 아니라 熔接金屬 그 自体도 熱處理에 따라, Cr₂₃C₆등의 Cr炭化物과 시그마相등의 金屬間 化合物이 析出하여 脆弱化하여, 側曲試驗時 균열이 생길 경우가 있다. 이 傾向은 一般的으로는 熱處理温

도가 높을수록, 또 長時間이 될수록 크며, 熔接金屬의 韋라이트量과 Cr量이 過大해졌을 때에 크다. 더욱 304타입 보다도 347타입과 316타입처럼 Nb와 Mo가 含有되면 한층 促進된다. 따라서, 實際로 使用되는 熔接材料에서는 要求되는 化學成分과 韋라이트量의 範圍内에서 다시 前述한 影響을 考慮한 化學成分을 設定하며, 施工面에서도 熱處理溫度, 時間을 制限하고 있다.

이 밖에, 耐食성에 대해서 ASME Code에는 特別한 規定은 없으나, 銳敏化域인 600℃ 정도에서 長時間의 熱處理를 받은 熔接金屬에 대해서는 粒界腐食에 대한 感受性を 줄이기 위해 炭素量을 可及的 낮게 유지하고, 適當한 韋라이트量을 含有토록 配慮가 되어 있다.

2. 인코넬 熔接材料

压力容器의 下部등 特別히 高温에 露出되는 部分은 인코넬로 熔接된다. 熔接法은 거의 大部分이 핸드아아크熔接法과 被覆아아크熔接法이다.

熔接材料의 規格은 ASME Sec. II part C SFA5.11에 被覆아아크熔接棒에 대한 規定이 있다. 핸드아아크熔接材料에 대해서는 스텐레스鋼의 경우와 마찬가지로 規格은 없다. 또, 인코넬熔接의 경우는 化學成分보다도 熔接作業성과 機械的 性質, 耐균열性等이 重視되기 때문에, 規格의 成分範圍를 벗어나도 基本成分만 滿足하면 좋은 경우도 있으며, 이 경우는 適切한 成分範圍의 熔接材料가 使用된다.

表14에 實際로 使用되고 있는 熔接材料의 化學成分의 一例를 表示한다.

인코넬의 熔接部에 대해서도 ASME Sec. IX에 의하여 液体浸透探傷試驗 및 側曲試驗을 한다. 스텐레스鋼에 比하여, 熔接時 高温균열이 發生하기 때문에, 熔接材料가 適切하지 못할 경우, 熔接入熱이 過大할 경우 등에는, 미세한 균열이 發生할 적이 있다.

또 인코넬의 경우에는 熱處理에 따른 熔接金屬의 脆弱化는 거의 問題가 되지 않으나, 미세한 균열이 있으면 側曲試驗에서 크게 벌어지기 때문에 注意해야 한다. 特히 大入熱로 하게 되는 핸드아아크熔接에서는 入熱을 制限하기 때문에 후우프 사이즈를 最大 50mm幅까지로 하고, 耐균열性이 좋은 高塩基性 프랙스를 使用하고 있는 것이 現狀이다.

인코넬의 熔接部는 強度部材로 設計될 경우도 있고, 引張試驗이 要求될 경우도 있다. 이 경우에는 母材와 同等한 強度가 要求된다.

VI. 原子炉系配管用 熔接材料

原子炉系 配管 熔接部の 耐応力腐食 균열性의 向上은 1965年以後의 課題가 되어 있고, 日本에서도 各種 研究를 하고 있다.

応力腐食균열은 応力, 環境, 材料의 3因子에 左右되지만, 配管인 경우에 發生하는 곳은 熔接의 熱영향部에 集中되어 있고, 또 熔接殘留応力이 높은 4"管에 事故의 例가 가장 많다.

環境에 대해서는 前부터 말해 오드시 Cl-濃度 및 熔存酸素濃度가 높을수록, 그리고 溫度가 높을수록 応力腐食균열을 일으키기 쉽다는 것은 알고 있다.

材料에 대해서는 事故事例의 거의 大部分이 304系에서 일어나고 있기 때문에 여기에 대한 改善을 努力하고 있다. 試驗 結果로는 高溫水中의 応力腐食균열과 粒界腐食과의 사이에 対応이 있고, 鋭敏化傾向에서 大應力腐食균열의 傾向을 알 수 있다고 한다. 管에 대한 耐応力腐食性은 304>316>304L>316L, 321, 347의 順으로 좋다고 하며, 따라서 管의 材質로서는 從前의 304에서 304L을 나아가서 極低炭素의 316L의 配管도 檢討되고 있다.

熔接材料에 대한 応力腐食균열의 事例는 管에 比하면 極히 적다. 이것은 熔着金屬중

에 包含되고 있는 數%의 韃ライト効果라고 한다. 따라서 管에 대한 問題만큼은 아니지만, 管의 改善과 同時에 점차 高度의 것을 要求하게 되었다. 一例로 E316L系 熔着金屬의 化学成分과 性能을 表示하면 表15와 같다.

VII. 기타 熔接材料

1. 高速原型炉用 熔接材料

가까운 將來에 建設開始予定인 高速原型炉 “몬주”의 1次系 및 2次系 機器構造材料의 最高使用溫度는 오오스테나이트系 스텐레스鋼은 529°C, 2¼Cr-1Mo鋼은 450°C로서 現行日本基準을 適用할 수 있는 溫度域(오오스테나이트鋼은 425°C까지, 韃ライト鋼은 370°C까지)을 훨씬 초과하고 있다.

現行日本基準의 適用範圍밖의 ‘高溫’으로는 設計上 새로운 크리이프破斷, 크리이프疲労破壤, 크리이프座屈등의 破損樣式을 考慮할 必要가 있고, 熔接施工, 試驗檢査등에 대해서도 設計思想의 修正에 따른 再檢討를 必要로 한다.

ASME에서는 SEC. IV의 設計理念을 되도록 살리면서, 이것을 크리이프領域까지 擴張하여 使用하도록 1971年 Code Case(略C.C.)1331, 그리고 1974년에는 C.C. 1952-1, 1979년에는 C.C.N-47(1592)이 發行되고 있다. 이 規格은 오늘날 가장 發達된 高溫設計基準으로서 注目되고 있으며, “몬주”의 設計指針도 이것을 模範으로 삼고 있다. 따라서, “몬주”用 熔接材料에 대해서는 550°C에서의 熔着金屬의 크리이프強度, 크리이프伸張등에 대해 從前의 것 以上の 性能을 要求하고 있고, 現在 試驗研究를 계속하고 있는 중이다. 現在 試驗중에 있는 熔接材料의 熔接金屬化学成分의 一例를 表示하면 表16과 같다.

從前의 것보다 크리이프強度가 높고 크리이프伸張도 좋다.

2. 하아드 아로이熔接棒

原子力機器의 밸브라든가 펌프의 磨擦部分의 硬化熔接에 하아드아로이熔接棒이 使用되고 있다.

하아드아로이는 스테라이트系 合金이라고 불리우는 것으로서, 耐熱性, 耐食性, 耐磨耗性에 뛰어나다.

熔接方法은 酸素아세틸렌가스熔接法과 TIG熔接法이 主로 適用되고 있다.

Ⅵ. 後記

輕水炉의 PWR, BWR에 使用되고 있는 熔接材料를 主體로 原子力用 熔接材料의 現

況에 대해 概說하였다. 天然燃料資源이 없는 國家에서의 原子力發電은 앞으로 더욱 더 重要하게 된다. 原子炉型도 PWR, BWR에서 ATR, FBR, 나아가서는 核融合炉로 점차 效率度가 높은 것으로, 또 安全性, 信賴性이 높은 것으로 계속 發展할 것으로 본다. 여기에 따라, 熔接材料에 대해서도 더욱 高性能의 材料가 要求될 것으로 본다.

우리나라도 技術發達에 對處하는 研究開發에 努力함과 同時에 엄격한 品質保證體制下에서 信賴性이 높은 熔接材料生産에 힘써 나아가야 할 것이다.

國際會議案內

期 間	會 議 名	場 所	主 催
1981. 7.27- 31	International Symposium on Migration in the Terrestrial Environment of Long-lived Radionuclides from the Nuclear Fuel Cycle	Knoxville	IAEA
8.10-21	New and Renewable sources of Energy	Nairobi Kenya	U.N.
9. 2 - 4	Sixth Annual Symposium of the Uranium Institute	London	Uranium Institute
9.10	Lecture: Comparison of French and British Nuclear Policies	London	BNES
9.14-18	Research Reactor operation and use	Julich W. Germany	IAEA
9.15-18	International Conference on Uranium	Quebec, Canada	AIF/Canadian Nuclear Assoc.
9.28-10.	International Conference on Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology	Grenoble	IAEA
10. 5 - 9	Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants	Karlsruhe, Germany	IAEA

期 間	會 議 名	場 所	主 催
10.18-21	Workshop on Reactor Construction and Operation	Illinois	AIF
10.19-23	International Symposium on the Application of the Dose Limitation System in Nuclear Fuel Cycle Facilities and other Radiation Practices	Madrid	IAEA
11. 9 -12	International Conference on Fast Reactor Fuel Cycles	London	BNES
11.26-27	15th Japan Conference on Radioisotopes	Tokyo	JAIF
11.29-12.2	AIF Annual Conference 1981	San Francisco	AIF
1982. 6.20-24	Foratom III: Nuclear Energy Europe and the World	Lansanne, Switzerland	Foratom
9.13-17	International Conference on the Three Decades of Nuclear Power	Vienna	IAEA
9.20-24	Gas-cooled reactors today	Bristol, England	BNES

〈表 1〉 Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification (ASME Sec. IX)

F No.	ASME Specification No.	AWS Classification No.
Steel and Steel Alloys		
1	SFA5.1 & 5.5	EXX 20, EXX 24, EXX 27, EXX 28
2	SFA5.1 & 5.5	EXX 12, EXX 13, EXX 14
3	SFA5.1 & 5.5	EXX 10, EXX 11
4	SFA5.1 & 5.5	EXX 15, EXX 16, EXX 17
4	SFA5.4 Nom. Total Alloy 6% or less	EXX 15, EXX 16
4	SFA5.4 Nom. Total Alloy more than 6%	EXX 15, EXX 16
5	SFA5.4 Cr-Ni Electrode	EXX 15, EXX 16
6	SFA5.2	RGXX
6	SFA5.17	FXX-XXXX
6	SFA5.9	ERXX
6	SFA5.18	EXXS-X, EXXU-X
6	SFA5.20	EXXT-X
6	SFA5.22	EXXXT-X
6	SFA5.23	FXX-EXXX-X, FXX-ECXXX-X, and FXX-EXXX-XN, FXX-ECXXX-XN
6	SFA5.28	ERXXS-X, EXXC-X
Aluminum and Aluminum-Base Alloys		
21	SFA5.10	ER 1100, ER 1260
22	SFA5.10	ER 5554, ER 5356, ER 5556, ER 5183, ER 5654
23	SFA5.10	ER 4043
24	SFA5.10	R-SC51A, R-SG70A
Copper and Copper-Base Alloys		
31	SFA5.6 & 5.7	RCu, ECu
32	SFA5.6 & 5.7	RCuSi-A, ECuSi
33	SFA5.6 & 5.7	RCuSn-A, ECuSn-A, ECuSn-C
34	SFA5.6 & 5.7	RCuNi-ECuNi
35	SFA5.6 & 5.7	RBCuZn-A, RCuZn-C
36	SFA5.6 & 5.7	ECuAL-A1, RCuAL-A2, ECuAL-A2, RCuAL-B, ECuAL-B
Nickel and Nickel-Base Alloys		
41	SFA5.11	E Ni-1
41	SFA5.14	E Ni-1
42	SFA5.11	E NiCu-7
42	SFA5.14	ER NiCu-7
43	SFA5.11	E NiCrFe-1
43	SFA5.11	E NiCrFe-2
43	SFA5.11	E NiCrFe-3
43	SFA5.11	E NiCrFe-4
43	SFA5.11	E NiCrMo-2
43	SFA5.11	E NiCrMo-3
43	SFA5.14	ER NiCr-3
43	SFA5.14	ER NiCrFe-5
43	SFA5.14	ER NiCrFe-6
43	SFA5.14	ER NiCrMo-2
43	SFA5.14	ER NiCrMo-3
44	SFA5.11	E NiMo-1
44	SFA5.11	E NiCrMo-4
44	SFA5.11	E NiCrMo-5
44	SFA5.14	ER NiMo-1
44	SFA5.14	ER NiMo-2
44	SFA5.14	ER NiCrMo-4
44	SFA5.14	ER NiCrMo-5
45	SFA5.11	E NiCrMo-1
45	SFA5.11	ER NiCrMo-1
45	SFA5.14	ER NiFeCr-1
Unalloyed Titanium		
51	SFA5.16	ER Ti-1, ER Ti-2, ER Ti-3, ER Ti-4

〈表 2〉 Classification of Weld Metal Analysis for Procedure Qualification (ASME Sec. IX)

A No.	Types of Weld Deposit	* Analysis (%)					
		C	Cr	Mn	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.15				1.60	1.00
2	Carbon-Moly	0.15	0.50	0.40~0.65		1.60	1.00
3	Chrome(0.4 to 2%)-Moly	0.15	0.40~2.00	0.40~0.65		1.60	1.00
4	Chrome(2 to 6%)-Moly	0.15	2.00~6.00	0.40~1.50		1.60	2.00
5	Chrome(6 to 10.5%)-Moly	0.15	16.00~10.50	0.40~1.50		1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00~15.00	0.70		2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00~20.00	1.00		1.00	3.00
8	Chromium-Nikel	0.15	24.50~30.00	4.00	7.50~15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nikel	0.30	25.00~30.00	4.00	15.00~37.00	2.50	1.00
10	Nikel to 4%	0.15	14 30	0.55	0.80~4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Moly	0.17		0.25~0.75	0.85	1.25~2.25	1.00
12	Nickel-Chrome-Moly	0.15	1.50	0.25~0.80	1.25~2.80	0.75~2.25	1.00

*Single values shown above are maximum.

〈表 3〉 서브머지드 · 아아크 용접金屬의 化学成分의 一例 (%)

와이어 프렉스(AWS規格)	C	Mn	Si	P	S	Mo
F76-EH14 (高 Mn系)	0.09	1.63	0.32	0.014	0.012	-
F76-EH14 (高Mn, 0.25%Mo)	0.07	1.60	0.33	0.018	0.010	0.24
F86-EG-A3 (中Mn, 0.5% Mo)	0.06	1.38	0.34	0.017	0.010	0.46

〈表 4〉 서브머지드 · 아아크 용접金屬의 機械的性質의 一例

와이어 프렉스	熔接後熱 處理條件	引 張 試 驗			衝 擊 試 驗		落重試驗 NDT溫度 (°C)
		降 伏 点 N/mm ² (kgf/mm ²)	引張強度 N/mm ² (kgf/mm ²)	伸 張 (%)	0°C Joule (kgf-m)	-40°C Joule (kgf-m)	
F76-EN14 (高Mn系)	As Welded	472 (48.2)	564 (57.5)	31	126 (12.9)	53 (5.4)	-65
	625°C×5hr SR	413 (42.1)	516 (52.7)	35	122 (12.4)	71 (7.2)	-60
F76-EH14 (高Mn, 0.25%Mo系)	As Welded	500 (51.0)	604 (61.6)	29	125 (12.7)	55 (5.6)	-
	625°C×5hr SR	471 (48.1)	570 (58.2)	31	133 (13.6)	74 (7.5)	-
F86-EG-A3 (中Mn, 0.5%系)	As Welded	540 (55.1)	629 (64.2)	28	122 (12.4)	63 (6.4)	-70
	625°C×5hr SR	537 (54.8)	625 (63.8)	27	93 (9.5)	58 (5.9)	-65

〈表 6〉 MIG 熔接金屬의 機械的性質의 一例 [Ar+10%CO₂]

銘柄 AWS規格	熔接後熱 處理條件	引張試驗			衝擊試驗		落重試驗
		降伏點 N/mm ² (kgf/mm ²)	引張強度 N/mm ² (kgf/mm ²)	伸張 (%)	-20°C Joule (kgf-m)	-45°C Joule (kgf-m)	
E70S-G	As Welded	469 (47.9)	576 (58.8)	30	127 (13.0)	91 (9.3)	-55
	620°C×6hr SR	419 (42.8)	515 (52.6)	32	146 (14.9)	135 (13.8)	-60
ER70S-G	As Welded	454 (46.3)	535 (54.6)	29	214 (21.8)	178 (18.2)	-
	620°C×6hr SR	430 (43.9)	515 (52.5)	30	226 (23.1)	187 (19.1)	-

〈表 5〉 MIG 熔接金屬의 化學成分의 一例 (%)

[Ar+20%CO₂]

銘柄 AWS規格	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo
E70S-G	0.07	1.21	0.62	0.012	0.013	-	-
ER70S-G	0.04	1.08	0.33	0.007	0.010	1.56	0.22

〈表11〉 非鐵金와이어 各熔接金屬化學成分의 一例 (wt%)

銘柄 (AWS規格)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
F94-EG-GN	0.08	0.30	1.20	0.009	0.006	0.06	0.50	0.89	0.05
F92-EG-GN (A542鋼用)	0.11	0.19	0.75	0.010	0.011	2.56	1.03	-	0.05

〈表 7〉 主要原子炉压力容器鉄鋼材

(ASME Sec. II PART A, 1977年版 및 ASTM A508, 1977年에 의함)

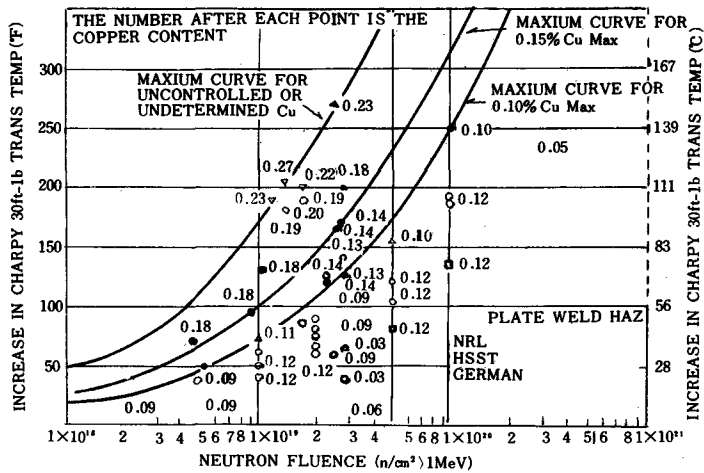
鋼材 種別	鋼材適用規格	化學成分 (%)									機械的性質					熱處理		
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	기타	降伏點 (ksi)	引張強度 (ksi)	伸張 (%)	조리가 (%)	衝擊值		落重試驗	
圧延 鍛板	ASME SA533 B CL1 (ASTM A533B)	≤0.25	0.15 ~0.30	1.15 ~1.50	≤0.035	≤0.040	0.40 ~0.70	-	0.45 ~0.60	-	≥50	80 ~100	≥18	-	-	-	QT	
鍛鋼	ASME SA508 (ASTM A508)	CL2	≤0.27	0.15 ~0.40	0.50 ~1.00	≤0.025	≤0.025	0.50 ~1.00	0.25 ~0.45	0.55 ~0.70	V ≤0.05	≥50	80 ~105	≥18	≥38	40°F 2vE≥ 30ft- lbs	T _{NDT} ≤ 10°F	"
	CL3	≤0.25	0.15 ~0.40	1.20 ~1.50	≤0.025	≤0.025	0.40 ~1.00	≤0.25	0.45 ~0.60	V ≤0.05	≥50	80 ~105	≥18	≥38	40°F 2vE≥ 30ft- lbs	T _{NDT} ≤ 10°F	"	
圧延 鋼板	ASME SA533 B CL2 (ASTM A533B)	≤0.25	0.15 ~0.30	1.15 ~1.50	≤0.035	≤0.040	0.40 ~0.70	-	0.45 ~0.60	-	≥70	90 ~115	≥16	-	-	-	"	
"	ASME SA542 CL1 (ASTM A542)	≤0.15	≤0.50	0.30 ~0.60	≤0.035	≤0.035	-	2.00 ~2.50	0.90 ~1.10	-	≥85	105 ~125	≥14	-	-	-	"	
"	ASME SA543 B CL1 (ASTM A543)	≤0.23	0.20 ~0.35	≤0.40	≤0.020	≤0.020	2.60* ~3.25 3.00 ~4.00	1.50 ~2.00	0.45 ~0.60	* ≤0.03 ≤0.05	≥85	105 ~125	≥14	-	-	-	"	

* 두께 4inch 以下: Ni 2.60~3.25 V≤0.03 두께 4inch 以上: Ni 3.00~4.00 V≤0.05

〈表10〉 서브머저드·아아크 熔接의 場合의 熔接金屬化學成分의 一例 (wt%)

銘柄 (AWS規格)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
F94-EG-G相当	0.07	0.30	1.25	0.012	0.008	0.06	0.50	0.90	0.10
F102-EG-G相当	0.08	0.32	1.34	0.011	0.010	0.28	0.68	0.64	0.10
F92-EG-G相当 (A542鋼用)	0.11	0.20	0.75	0.012	0.011	2.54	1.05	-	0.10

〈表 8〉 288°C에서 照射한 A533B鋼材의 照射脆化感受性에 미치는 Cu 量의 影響



〈表 9〉 被覆아아크 熔接棒의 適正熔接條件 (AC 또는 DC 逆極性)

棒 徑 (mm)		3.2	4.0	5.0	6.0	予熱·파스 温度 (°C)	熔 接 棒 乾燥條件	기 타	
棒 長	E9016G E10016G	350	400	400	450	E9016G E10016G 150~250 E10016G (A542鋼用) 250~350	325~375°C × 1Hr	開先內的 스케일, 녹, 기름等의 附着物은 프로놀의 原因이 되기 때문에 充分히 除去·淸淨할것.	
	E10016G (A542鋼用)				-				
電 流 範 圍 (A)	下向	E9016G E10016G	90~130	140~180	180~240				240~300
		E10016G (A542鋼用)	90~130	140~190	190~240				-
	上向	E9016G E10016G	80~115	110~170	-				-
		E10016G (A542鋼用)	75~115	100~160	-				-

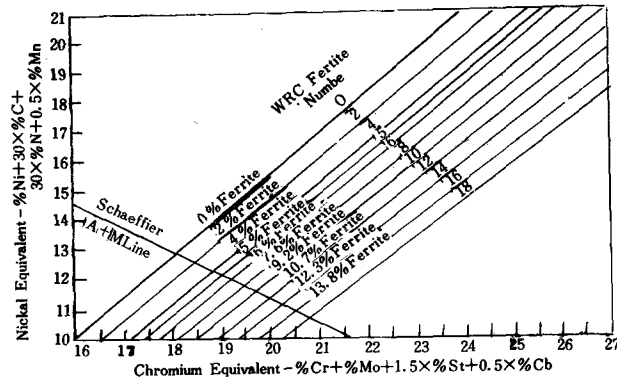
〈表 12〉 스텐레스鋼 原子炉肉盛熔接材料 및 熔接金屬의 化學成分의 一例

熔接方法	熔 接 材 料	熔接材料의 化學成分 (%) *1					肉盛層	肉盛熔接金屬의 化學成分 (%)					헤라이트 量 *2
		C	Si	Mn	Ni	Cr		C	Si	Mn	Ni	Cr	
被覆아아크 熔 接	NC-39L	0.02	0.43	1.59	12.49	24.04	1層目	0.05	0.37	1.32	9.37	19.21	8.0
	NC-38L	0.03	0.28	1.39	9.60	19.90	2層目	0.03	0.29	1.43	9.80	19.50	9.0
서브머지드	PFS-1 ×US-309LA	0.02	0.41	1.80	13.23	24.25	1層目	0.08	0.61	1.67	9.15	19.24	5.5
아아크熔接	PFS-1 ×US308L	0.02	0.34	1.75	10.01	19.75	2層目	0.06	0.62	1.78	9.57	20.09	8.5
벤 드	PFB-1 ×USB-309LA	0.20	0.31	1.71	11.48	22.60	1層目	0.06	0.54	1.52	9.38	20.01	8.5
	PFB-1LS ×USB-308EL	0.01	0.35	1.71	10.02	20.05	2層目	0.03	0.44	1.55	10.01	19.82	8.0

* 1 被覆아아크熔接棒(全熔着金屬의 化學成分), 서브머지드, 벤드(와이어, 후프의 化學成分)

* 2 헤라이트量의 測定은 세푸라의 組織圖에 의한.

〈表13〉 FN 조직도



〈표14〉 原子力用 인코넬 용접재료

原子力用 인코넬被覆아아크용접봉 全熔着金屬의 化学成分의 一例 (%)

銘柄 (極性)	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Nb	Fe	Ti
NIC-70A (AC)	0.05	3.14	0.25	0.004	0.005	70.66	14.46	2.17	9.24	-
NIC-70AH(DC)	0.03	1.58	0.32	0.005	0.006	71.82	14.41	2.02	9.58	-
NIC-703A(AC) NIC-703D(DC)	0.04	6.55	0.34	0.004	0.003	70.35	13.92	1.81	7.83	0.07

原子力用 인코넬 벤드아아크용접후프 및 용접金屬의 化学成分의 一例 (%)

成分	C	Mn	Si	Fe	P	S	Ni	Cr	Nb	Ti
후프 USB-70N	0.02	3.22	0.17	1.20	0.001	0.004	72.26	19.81	2.59	0.59
2層目용접金屬	0.03	2.79	0.38	4.37	0.005	0.006	71.62	18.09	2.17	0.18

注) 結合부릭스 PFB-70N

〈표15〉 熔着金屬의 化学成分 및 웨라이트량

種類	銘柄	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	FN
E316L	NCA-316UL	0.018	0.37	0.81	0.020	0.005	12.02	19.43	2.57	0.02	16
서브머지드 용접材料	US-316LC×PFS-1A	0.020	0.44	1.43	0.008	0.006	11.25	16.69	2.31	0.10	9

〈표16〉 熔接金屬의 化学成分 (%)

熔接材料 成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb
US-308N×PFS-1N	0.068	0.24	1.72	0.021	0.002	9.37	18.81	0.050
NC-38N	0.073	0.27	1.58	0.027	0.002	9.41	19.10	0.052