

特別講演

大韓熔接學會誌
 第1卷第2號 1983年12月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol. 1, No. 2, Dec., 1983

日本에서의 鐵鋼 熔接技術의 現況*

田 村 博**

1. 序 言

日本の 鐵鋼 용접 기술은 戰後의 부흥기와 더불어 주로 造船을 基盤으로 開化하여, 그 후 압력 용기, 重機械, 鐵骨, 車輛 등의 大型 構造機器가 첨가되어 비약적인 發展을 이룩해 왔다. 鐵鋼 生産高는 高度 成長期에 1億 3千萬톤을 초과하였고, 熔接을 建造技術의 기둥으로 삼는 船舶 건조량은 세계 第1位의 위치를 유지하고 있다. 그러나 그 후의 세계적 에너지 위기와 주변 기술의 急變 등으로 인해 日本의 産業構造도 크게 변모하지 않으면 안되었기 때문에 生産量은 減少하여 82년에는 1億톤 정도(9,955萬톤)에 머물고 있다. 最近에는 鐵鋼 技術의 轉換期에 있으며, 從來의 量으로부터 質로 부가가치가 높은 것이나, 新材料의 研究 및 生産態勢로 변모해 가고 있다. 이와 같은 狀況 아래서도 鐵鋼 熔接 技術은 착실히 進歩를 계속하여 여전히 熔接技術 發展의 리더 위치를 차지하고 있다.

日本の 鐵鋼 熔接技術과 研究는 鐵鋼을 비롯하여 용접 재료 메이커, 造船等 fabricator 및 user 등이 수십년간 精力의인 研究를 계속하고 있으며 大學, 研究所 등의 研究가 첨가되었고, 政府나 日本 溶接協會 등의 部會, 委員會 活動에 의해 그 成果가 취합되어 國家의 規格, 基準作業 등의 骨格이 되고 있다. 또한 以上の 基礎가 되는 個個의 研究 成果는 每年 春秋로 열리는 鐵鋼協會 및 溶接學會 강연회나 溶接學會, 日本 溶接協會 등의 各 研究委員會에서 發表 托의되고 있다.

그림 1은 1983년 4월 東京에서 行한 溶接 學會에 발표된 論文을 대상 재료별로 나타낸 것으로 鐵鋼 關係가 무려 90% 가까운 비율을 차지하고 있다.

以下 各 委員會 活動成果 等を 中心으로 最近 日本에 있어서의 鐵鋼 熔接技術의 狀況을 高張力鋼 等を 中心

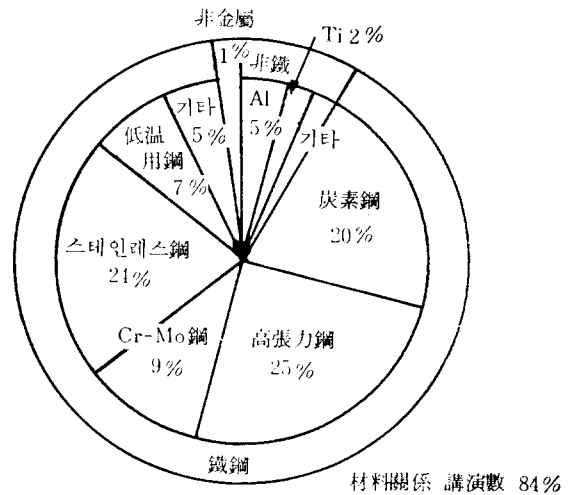


그림 1. 溶接學會에서의 講演內容의 材料別 分類으로 그 概略을 記述하고자 한다.

2. 熔接構造用 鋼

熔接構造用 鋼에는 軟鋼 등의 보통 鋼과 高張力鋼, 低溫用 鋼, 低合金 耐熱鋼, 스테인레스 鋼 등의 特殊鋼이 있다. 日本에서 熔接構造에 利用되는 高張力鋼을 포함한 特殊鋼의 生産高는 보통 鋼의 15% 정도이지만 그 비율은 每年 增加하고 있으며 鋼 生産의 質的 向上이 반영되고 있어 흥미롭다. 從래부터 船舶, 橋梁, 압력 用器 등에 利用되고 있는 厚板은 構造物의 重量輕減을 主目標로 高強度化가 行하여져 왔으며 熔接用 高張力鋼은 새로운 構造用 鋼으로서 한 時代를 攄미하고 있다. 高張力鋼의 強度를 높이기 위한 合金元素의 첨가는 熔接性이나 韌性을 低下시키는 結果를 가져오기 때문에, 이것을 打開하기 위해 Q. T 처리한 소위 調質鋼이

* 本 特別講演은 1983. 11. 5 秋季學術發表大會에서 行한 것임.

** 東京工業大學 教授

탄생하여 現在 $60kg/mm^2$ 以上の 高張力鋼이나 低溫用鋼의 거의가 調質處理로 製造되고 있다. 또한 連續鑄造나 脫 가스 處理技術 等 製造技術의 進歩로 P.S 等の 不純物이나 介在物量은 현저하게 減少하여 高品質의 鋼材가 生産되고 있다. 그림 2는 各種 高張力鋼의 産業別 주요 比率를 보인 것이다.¹⁾

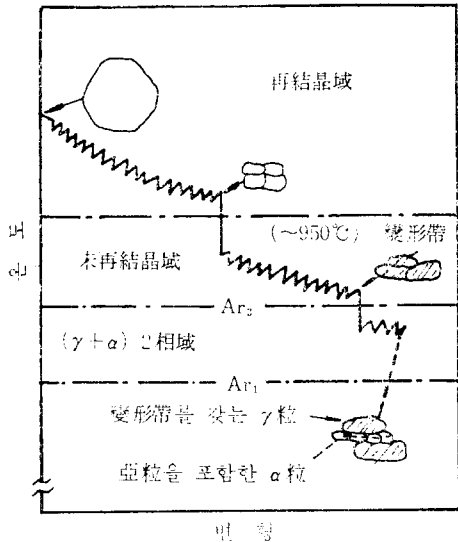


그림 2. 日本에서의 高張力鋼板의 用途別 使用比率

또한 最近 急速히 發展한 鋼板 製造技術로서 制御壓延法(controlled rolling)이 있다. 이것은 壓延 終了 溫度를 종래보다 낮게 함으로서 結晶粒을 微細化하여 鋼의 靱性を 向上시킨다고 하는 調質鋼 以來의 획기적인 方法이다. 數年 前까지는 주로 寒冷地用 line pipe用 鋼에 適用되어 왔으나 最近에는 造船用 E級 鋼이나 低溫用 等 파이프 이외의 高級 厚鋼板에 利用이 擴大되었으며 또한, 製造法도 制御壓延, 制御冷却, 直接 담금질 等 여러가지 方法이 開發되어, HT 70, HT 80 等の 高強度 까지에도 擴大될 可能性을 보이고 있다.

그림 3은 制御壓延法의 概念圖이다.²⁾ 制御壓延鋼에 是 보통 再結晶을 지연시키는 元素로서 Nb 0.03%, Ti 0.01% 程度 포함시키는 경우가 많다. 制御壓延에 있어 가장 특징적인 것은 低溫의 未再結晶 γ 域에서의 壓延으로 이것에 의해 만들어진 變形帶는 變態時의 페라이트 核 生成을 촉진하여 細粒化가 이루어진다. 또한 二相域 압연에서는 페라이트 加工도 行하여져, 脆性破壞 전과 특성이 특히 우수한 鋼이 얻어지며, 強制 냉각을 가하면 더욱 強度向上이 기대되고 있다. 直接 담금질은 省 에너지 제조법으로서 커다란 長점이 있으며, 今後 그 利用이 기대되어진다.

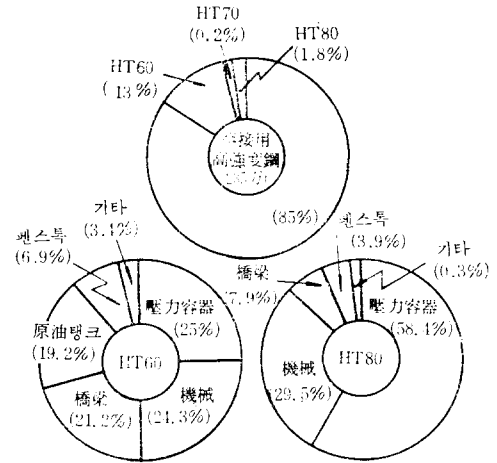


그림 3. 制御壓延이 3段階로 되어 있다는 것을 나타내는 模式圖

이상에서 설명한 制御 압연 및 냉각법을 이용함으로써 從來의 鋼과 同一한 強度의 鋼이 아주 적은 합금 元素 첨가로 얻어지기 때문에 靱성이 높으면서도 P_{CM} 值가 낮은 熔接성이 우수한 鋼材가 얻어질 수 있다.

日本에서의 熔接構造用 鋼의 規格 基準 等은 一般의 으로 日本 工業規格(JIS)으로 되어 있다. 日本 溶接協會는 JIS와는 별도로 日本 溶接規格(WES)으로서 $60 \sim 100kg/mm^2$ 級 高張力鋼 規格(WES 3001)을 기본으로 實情에 신속히 적응되는 諸規格을 制定하고 있다. 이상의 관련 규격을 나타내면 표 1과 같다.

WES 3001 規格은 1960年 12월에 制定된 以來, 日本의 熔接構造用 高張力鋼의 開發과 표준화의 方向을 나타낸 것으로서 중요한 역할을 하여 왔으나 1983年 4월에 표 2에 그 骨子を 나타낸 바와 같이 크게 개정되었다. 이 改訂은 주로 다음의 2가지 點에 있다. 첫째는 「制御壓延」을 從來의 「압연만 한것」 「어닐링材」 「퀵칭 템퍼링材」에 추가한 것, 둘째는 熔接性 評價를 위해 從來 사용되고 있던 熔接熱影響部의 最高硬度에 대한 炭素當量(C_{eq})에 대신해서, 低溫 균열 評價에 有効한 熔接 균열 感受性 組成(P_{CM})이 全面的으로 採用되고 있는 것이다, 또한 P_{CM} 值를 이용함으로써 鋼板은 그 用途 및 용접 低溫 균열의 위험성에 따라서 A, B의 2等 級이 선택될 수 있다.

이 중에서 A級은 용접 구조물에 널리 適用되고 있는 것이며, B級은 균열의 위험성이 높은 용접 구조물에 이용된다.

最近의 複雜多樣화된 特別한 用途에 대하여는 WES 3001보다 한층 엄격하게 鋼板의 特性을 規定한 必要性

표 1. 熔接用 厚鋼板의 種類

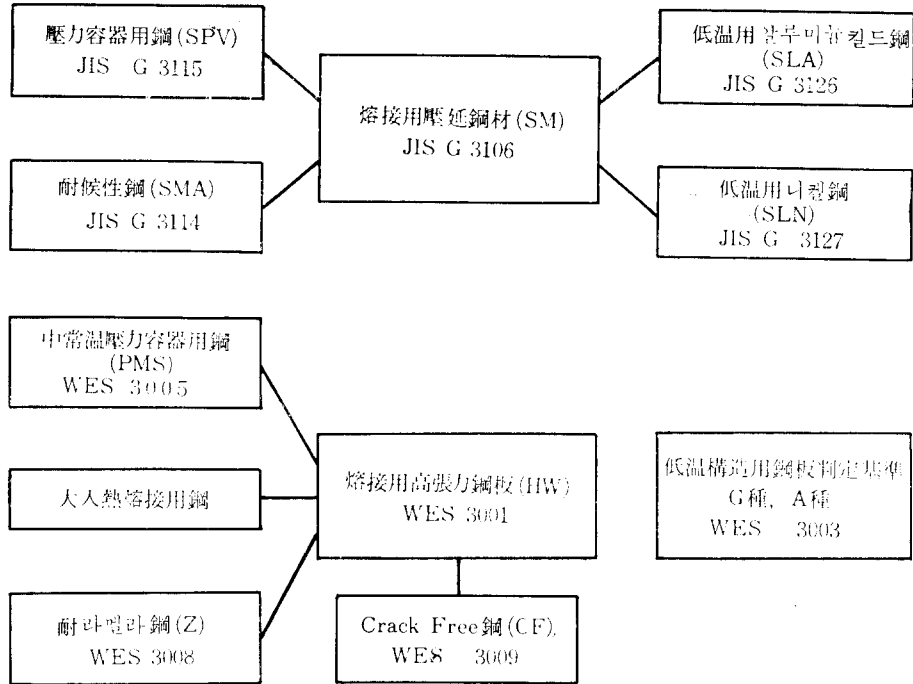


표 2. 熔接構造用 高張力鋼板 規格 WES 3001-1983 (抜粹)

區分 種類 記號	耐力 kg/mm^2 (N/mm)	製造 方法	P_{CM} %				
			A 級		B 級		非調質鋼 鋼板 厚께 mm
			調 質 鋼		調 質 鋼		
			鋼板 厚께 mm	鋼板 厚께 mm	鋼板 厚께 mm	鋼板 厚께 mm	
50以下	50以上 75以下	50以下	50以下	50以上 75以下			
HW 36	36(353)以上	壓延 그대로, 制御壓延 노멀라이징 또는 헨칭 템퍼링	—	—	0.32以下	—	—
HW 40	40(392) "		—	—	0.34 "	—	—
HW 46	46(451) "		0.28以下	0.30以下	0.35 "	0.26以下	0.28以下
HW 50	50(490) "		0.28 "	0.30 "	0.39 "	0.26 "	0.28 "
HW 56	56(549)以上	헨칭, 템퍼링	0.30 "	0.32 "		0.28 "	0.30 "
HW 63	63(618) "		0.31 "	0.33 "		0.29 "	0.31 "
HW 70	70(686) "		0.33 "	0.35 "		0.30 "	0.32 "
HW 80	80(785) "		0.35 "	0.37 "		0.33 "	0.35 "
HW 80	80(785) "		0.35 "	0.37 "		0.33 "	0.35 "
HW 90	90(883) "		0.36 "	0.38 "		0.34 "	0.36 "

備考 1. P_{CM} 의 계산식은 다음과 같이 한다.

$$P_{CM}(\%) = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

2. 種類의 記號는 다음과 같이 표시한다.

種類의 記號 製造方法의 記號 P_{CM} 等級
 HWOO R, CR, N 또는 Q A 또는 B

여기서 製造方法의 記號는 다음과 같이 한다.

壓延 그대로 : R 制御壓延 : CR
 노멀라이징 : N 헨칭 템퍼링 : Q, T

예, HW 36 CRA
 HW 46 NA
 HW 70 QB

이 생겼다. 이 때문에 最近 새로이 制定된 特性規格은 熔接 균열 感受性이 낮은 高張力鋼板의 特性인 crack free 鋼 規格(WES 3009)과 耐 라멜라테어 鋼材의 特性 規格(WES 3008)이다. crack free 鋼(CF 記號)는 WES 3001의 HW 46 및 HW 50인 소위 60kg/mm² 高張力鋼에 對해서 C量을 낮게 억제하여, P_{CM} ≤ 0.20%로 規定되어 있다. 이 CF 鋼은 從來 同級 鋼의 필요 예열 溫度의 最大值가 130°C인 것에 對하여 50°C 以下이며, 예열 溫度가 낮을수록 熔接 作業環境은 良好하게 되기 때문에 실제 施工에 있어서 今後의 需要가 一層 增大될 것이 예상된다.

라멜라테어는 海洋開發과도 關連하여 世界的으로 注目되어 IIW가 1972年 以來 構造用 鋼의 熔接性 研究의 主要 과제로서도 취급해 왔던 중요한 용접 균열이다. 日本에서는 鐵鋼 메이커가 耐 라멜라테어 鋼의 開發을 추진하는 한편 溶接協會 鐵鋼部會 IL委員會를 中心으로 그 發生 要因과 評價 方法 等に 對해서 檢討가 行하여져 그 成果가 特性規格으로 표 3에 그 骨子を 나타내었다. 이것은 鋼을 S量과 板 두께 방향의 단면 수축률 φ_z에 의해 3단계로 나누어 鋼材 선택의 기준으로 삼고 있다.

薄鋼板에 對해서는 自動車用 鋼板으로서의 熱延 및 冷延鋼板이 있다. 最近에는 安全車 對策이나 연료비 측면에서 重量輕減이 目標로 되어 있으나 車體用 鋼板의 材質은 프레스 成形性을 重視하기 때문에 高強度化는 兩立이 곤란했다. 最近 이것을 극복한 새로운 薄鋼板으로서 複合組織 鋼板(DP鋼)이 注目되고 있다. 이것은 適當한 合金元素의 첨가와 오오스테나이트 領域으로부터의 冷却速度의 選擇에 의해 페라이트와 마르텐사이트의 二相組織(dual phase)을 한 것으로 同一強度에서 比較하면 延性이 다른 鋼보다도 특히 뛰어나다. 그림 4는 이것을 나타낸 것이다.

표 3. 耐 라멜라테어 鋼材의 特性 WES 3008

記 號	備 考
Z 15	라멜라테어의 위험성 있는 熔接構造物 또는 그 部材에 利用하는 것.
Z 25	라멜라테어의 위험성 높은 熔接構造物 또는 그 部材에 利用하는 것
Z 25	라멜라테어의 위험성이 높고 또한 安全性이 重視되고 있는 熔接構造物 또는 그 部材에 利用하는 것

記 號	硫黃含有量 (%)	두께 방향의 단면 수축률 (%)	
		6개의 試驗片의 平均值	個個의 試驗片의 值
Z 15	0.010% 以下	15 以上	10 以上
Z 25	0.008% 以下	25 以上	15 以上
Z 35	0.006% 以下	35 以上	25 以上

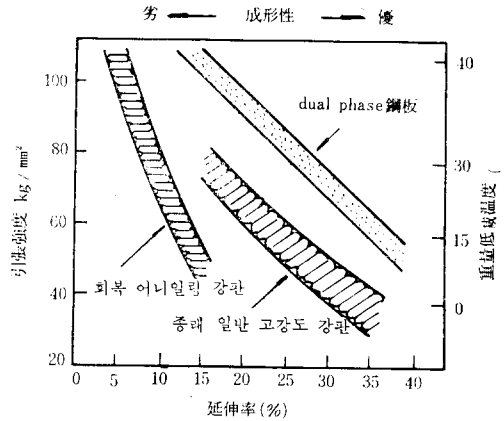


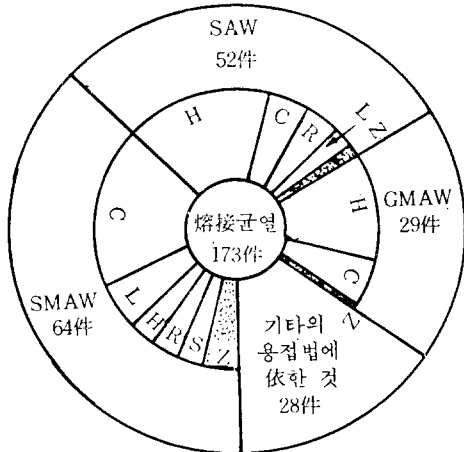
그림 4. dual phase 鋼板 및 各種 高強度鋼板의 引張強度와 延性의 關係 (古川: 鐵と鋼 67-2 (1981) 33p)

現在 알루미늄 킬드 鋼을 비롯해서, 低溫用 鋼으로서 各種 Ni 鋼이 JIS化 되어 있다. 9% Ni 鋼은 各 鐵鋼 메이커가 각각 독특한 技術을 구사하여 우수한 材質의 것이 實用化되고 있다. 또한 알루미늄 킬드 鋼에는 종래의 熱處理에 代身하여 制御壓延이 이미 채용되었으 며, 또한 3.5% Ni에서부터 9% Ni 鋼에로의 適用이 進行되고 있다.

3. 熔接性

熔接構造用 鋼의 熔接性으로서는 熔接 균열과 熔接 bond 脆化가 重要하며 많은 研究가 行하여져 왔다. 日本에서의 용접 균열의 研究은 오래 前부터 行하여져 왔고, 그 結果 균열 발생 機構는 대략 解明되기에 이르렀

으며, 熔接 균열을 防止하기 爲한 鋼材, 熔接棒 및 熔接施工 조건이 거의 確立되어가고 있다. 最近 官民合同으로 組織된 熔接部의 品質評價 委員會가 日本의 主要 關連會社를 대상으로 행한 熔接施工法과 熔接缺陷과의 關係에 관한 앙케이트 結果에 의하면, 그 半數가 熔接 均열에 關係한 解答으로 熔接 均열에 대한 關心도가 아직도 높다는 사실을 말하고 있다. 그림 5는 그 중 특히 熔接 均열의 內譯을 나타낸 것이다.³⁾



注 SMAW 피복 아아크 용접
SAW 서브머지 아아크 용접
GMAW 가스메탈 아아크 (MIG, MAG) 용접
C 低溫 均열 R 再熱 均열
H 高溫 均열 S 應力부식 均열
L 라멜라테어 Z 기타 均열

그림 5. JWH 委員會 앙케이트의 용접 均열의 內譯³⁾

被覆 아아크 熔接(SMAW)에서는 低溫 均열과 라멜라테어를 포함한 水素에 關連한 均열이 그 過半數를 占하고 있다. 한편 잠호 용접(SAW)에서 많은 高溫 均열은 어느 것이나 大入熱片面 熔接部에 發生한 배(梨) 모양 均열 및 終端 均열로 低溫 均열은 橫 均열 및 미크로 均열이다.

CO₂ 용접법 등의 가스 금속 아아크 熔接(GMAW)에서는 熔接部의 水素量은 작으며 低溫 均열은 거의 없다고 생각되나 약간의 均열의 예가 보고되고 있다. 또한 이들의 숫자는 直接 均열의 發生頻도를 나타내는 것이 아니지만, 現場에서 實際로 遭遇하는 均열의 種類를 아는 데 좋은 참고가 될 것이다.

高張力鋼 등의 構造用 鋼의 경우 水素에 의한 지연 均열(delayed cracking)이 가장 重要하며, 單層 熔接部에서 일어나는 熱影響部의 루트 均열에 대해서 日本에서는 이미 Y형 拘束 均열 試驗法이 일반적으로 利用되고 있다. 이 試驗法을 基礎로 만들어진 다음과 같은

熔接 均열 감수성 指數 P_c 또는 P_w值를 利用하면, 低溫 均열 防止를 爲한 限界 예열 溫度 T₀*는 다음 式으로 求해진다.

$$\left. \begin{aligned} P_c(\%) &= P_{CM} + H/60 + t/600 \\ P_w(\%) &= P_{CM} + H/60 + R_F/40000 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 P_{CM}(%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

H: 擴散水素量(JIS, ml/100g),

t: 板厚(mm) R_F: 拘束度(kgf/mm·mm)

$$\text{均열 防止限界 예열 溫度 } T_{0}^* = 1440 P_c - 392 \dots\dots\dots(2)$$

이 均열 防止限界 예열 溫度를 높이는 것은 熔接時의 冷却熱 사이클 과정에서 均열의 發生이 시작되는 약 100°C까지의 冷却時間을 길게 하여 擴散性 水素의 放出을 조장하는 것이다. 따라서 予熱溫度보다도 熔接終了後부터 100°C까지의 冷却時間으로 바꾸어 놓은 P_w - Δt 100 criterion이 다음 式으로 提案되어 있다.

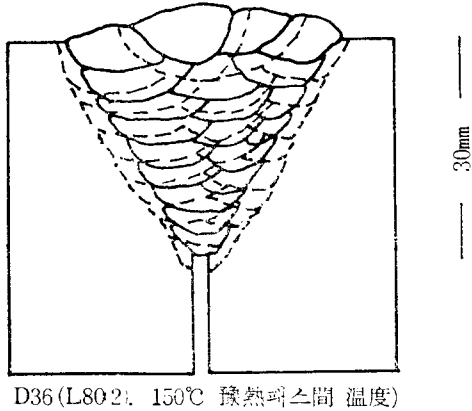
$$(\Delta t 100)_{cr} = 10.5 \times 10^4 (P_w - 0.276)^2 \dots\dots\dots(3)$$

IIW에서 Granjon(프랑스)이 提案한 implant 試驗은 그 後 日本에서도 鐵鋼部會 IL委員會 등에서 數年間 검토한 結果, 低溫 均열 感受性評價 試驗法으로서 WES 1104 規格으로 制定되었다. 同委員會에서는 implant 試驗으로부터 구한 限界應力 σ_{cr}(implant)에 미치는 鋼組織, 水素量과 冷却時間의 關係를 나타내는 다음 式을 유도하였다.⁴⁾

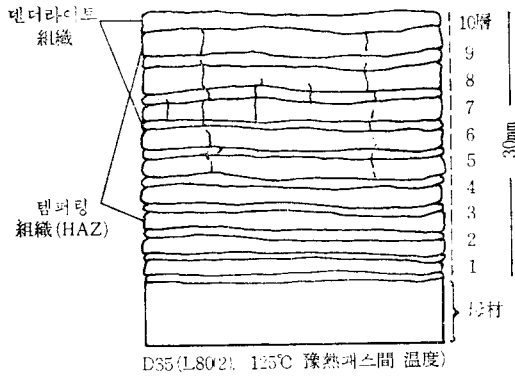
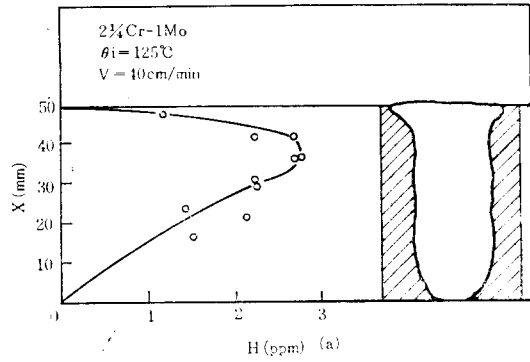
$$\sigma_{cr}(\text{implant}) = 86.3 - 211 P_{CM} - 28.2 \log(H_{JIS} + 1) + 2.78\tau + 9.7 \times 10^{-3} \Delta t 100 \dots\dots(4)$$

여기서 τ는 熔接熱 사이클에 있어서 800°C로부터 500°C까지의 冷却時間이다.

以上은 1 pass bead 熔接에 대해서 考察한 것이다. 그러나 實施工은 一般적으로 多層 熔接이 행하여지기 때문에 熔接金屬內에서의 水素集積效果 등에 의해 여러가지 다른 熔接 均열 舉動이 일어나고 있다. 그림 6은 HT 80 鋼이나 Cr-Mo 鋼 厚板 熔接金屬에 생기는 橫 均열의 發生狀況을 보인 것이다.⁵⁾ 지금까지의 調査結果로부터 이러한 均열은 水素에 의한 지연 均열(delayed cracking)로 그림과 같이 대부분은 多層 패스의 最終層 直下의 2~3層에서 생기고 있다. 多層 熔接의 경우 熔接金屬內의 水素集積은 板厚 및 積層數와 더불어 증가한다. 그림 7은 厚板 多層 熔接部의 板厚方向의 水素濃度 分布(實測值)를 보인 것으로⁶⁾ 같이 구해진 板厚方向의 熔接 殘留應力 分布와 더불어 水素濃度 및 應力の peak 值를 나타낸다. 位値는 그림 3의 熔接金屬 均열의



D36 (L80 2): 150°C 豫熱パス間 温度)



D35 (L80 2): 125°C 豫熱パス間 温度)

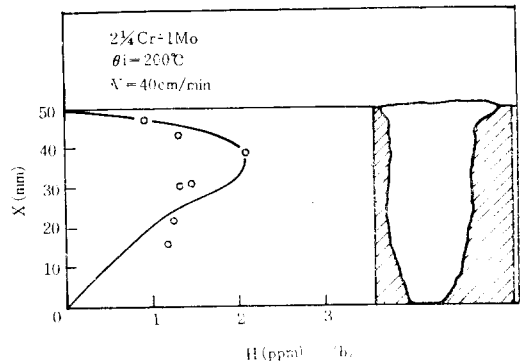


그림 6. HT 80 鋼 多層熔接部の 橫 均열과 마이크로 均열¹⁰⁾

그림 7. 水素濃度分布

多發位置와도 잘 一致하고 있다. 지금까지 행하여진 여러가지의 熱傳導 解析 結果로부터 熔接部の 殘留水素濃度는 初期 水素量과 熔接熱 싸이클 曲線이 알려지면 熱因子 $\sum D_i \Delta t_i$ (D_i : 擴散係數, Δt_i : 熱 싸이클 時間增分)로부터 解析의으로 求解될 수 있다. 따라서 이러한 關係를 多層 熔接金屬에 適用함으로써, 多層 熔接部の 殘留水素濃度分布를 결정하거나 또한 橫 均열 發生限界 水素濃도에 達하는 初期 水素濃도와 熔接施工 條件의 關係가 熱因子에 의해 計算될 수 있는 algorism이 提案되어 있다.⁷⁾

한편 다층 용접에서는 後續 패스의 後熱效果로 水素放出이 조정되는 것이 기대된다. 그림 8은 各種 압력 容器用 鋼에 대해 행한 自拘束型 均열 試驗에 의한 結果로부터 루우트 均열, 토우 均열, 비이드 밀 均열 등 各種 低溫 均열에 대해 각각의 限界 均열 온도를 炭素當量에 대해 표시한 것이다.⁸⁾ 그림 중에 CTS 均열 시

험에 입각한 것이라고 생각되는 英國 BS 規格의 필요 均열 온도가 破線으로 나타나 있지만, 日本의 경사 Y 形 等의 試驗에서 求해진 필요 均열 溫度보다 훨씬 낮아서, 多層 용접부의 토우(toe) 均열 等에 의한 값과 거의 一致하고 있다. 最近 鐵鋼部會 MWC 委員會는 多層 용접에 있어서 合理的인 均열 감수성의 評價 均열 防止를 위한 鋼材成分規制의 방식 확립 및 多層 용접 均열 試驗法의 標準化를 目的으로 한 調査研究를 행하였다.⁹⁾

그림 9는 多層 용접에 있어서 루우트 均열을 1층 용접 루우트 均열과 비교한 일례로 多層 용접에 있어서 루우트 均열 방지 均열 온도는 L型 1층 용접보다 약 50°C 낮게 될 수 있다는 것이 밝혀졌다.¹²⁾ 多層 용접에서는 루우트 均열과 더불어 토우(toe) 均열도 (그림 10 참고) 발생하며, 同委員會는 이들의 均열을 再現하는 것으로 그림 11의 試驗法을 提案하고 있다. 이 試驗

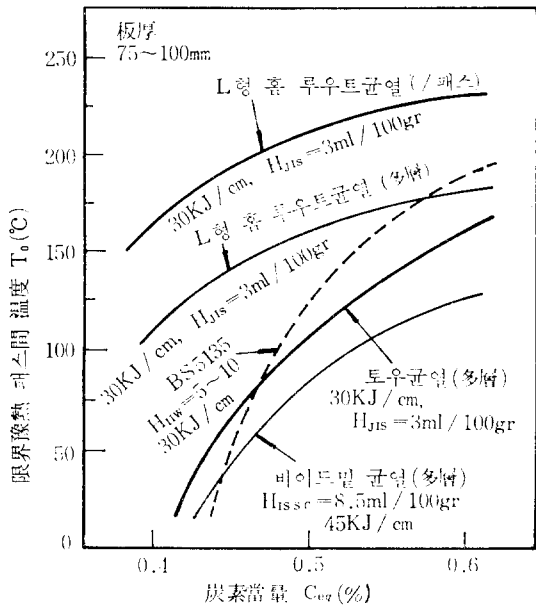


그림 8. 여러가지 熔接 均열에 대한 限界子熱 温度의 비교 (矢竹ら)⁸⁾

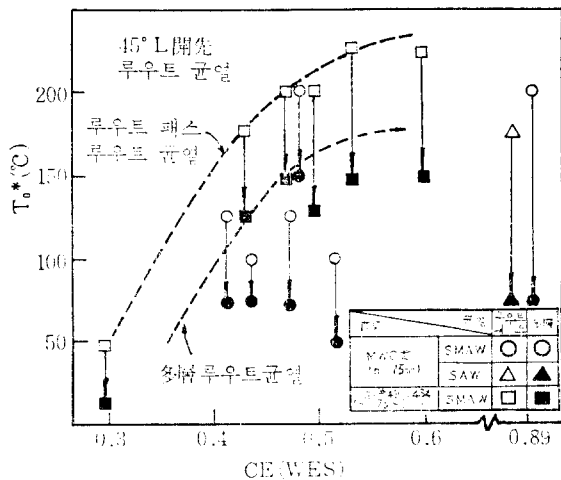


그림 9. 루우트 패스 試驗과 多層試驗에 있어서의 루우트 均열의 To*의 差(WES 炭素當量 으로 整理)⁹⁾

法은 냉각 조건 水素集積 殘留應力 等を 실제 施工 조건에서 유리시키지 않은 범위에서 試驗片의 치수나 용접 시간을 절약할 수 있도록 또한 토우 均열 發生感도가 증가하도록 積層數나 순서 등이 세밀하게 규정되어 있다.⁹⁾ (그림 12 참고)

熔接構造物의 大型化와 더불어 熔接工數 低減이나 高能率化를 위해 1층 單層 熔接이나 엘렉트로 가스 等大入熱 熔接이 船舶이나 原油 탱크 등에서 널리 要求되고

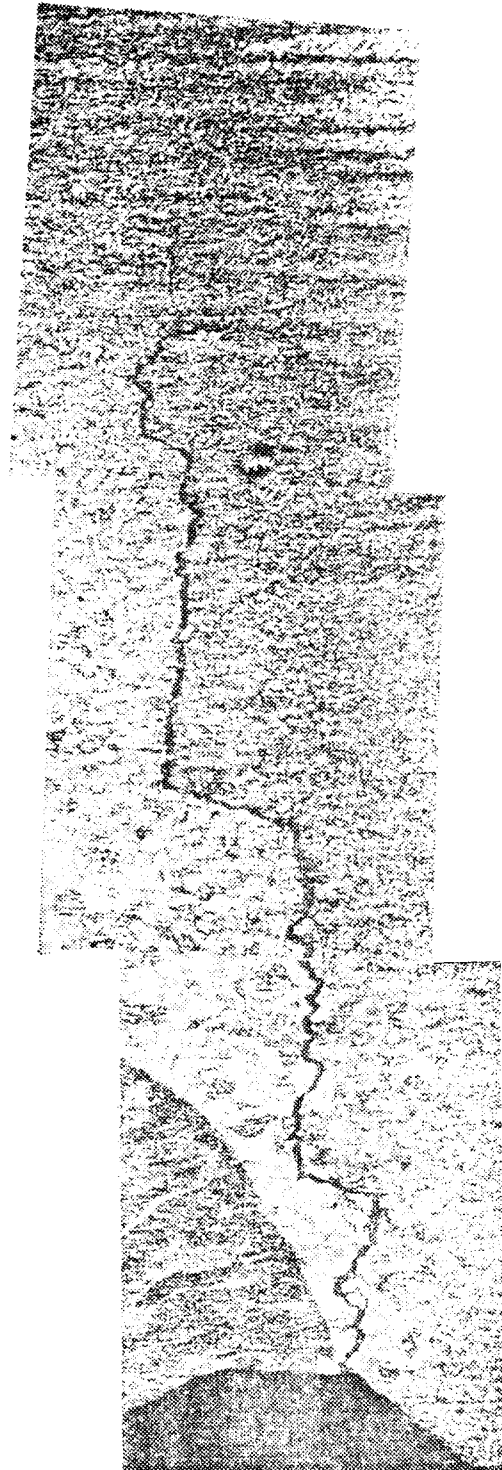
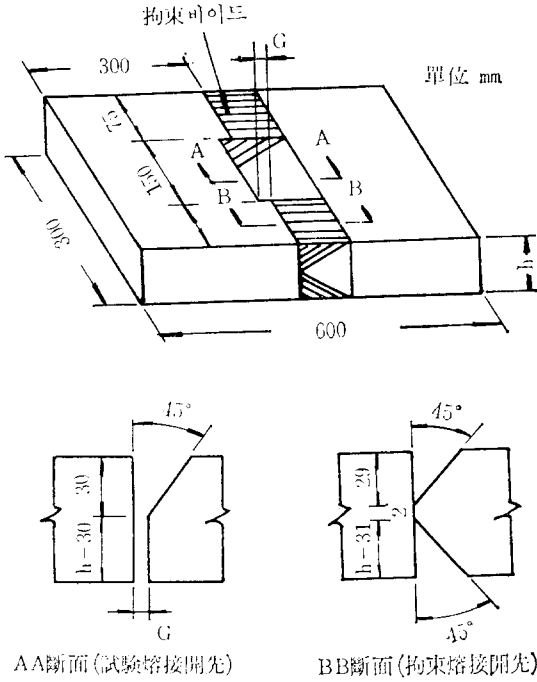


그림 10. A533B 鋼의 多層 均열의 代表例



G=2±0.2 mm {被覆 아아크 용접
서브머지 아아크 용접
G=1±0.2 mm 가스시일드 아아크 용접
그림 11. 開先 다층 용접 균열 실험片⁹⁾

있다. 이 경우 용접 본드部 近傍의 熱影響部の 靱性低下가 문제로 용접 본드 脆化로서 알려져 있다. 따라서 高張力鋼의 용접에서는 엄격한 熱制限을 필요로 하지 않는 소위 大入熱 용접용 鋼의 開發이 活發히 行하여지고 있다. 大入熱 용접 본드部의 靱性低下의 主要 原因은 용접熱 사이클에 의한 오오스테나이트 結晶粒 粗大化와 高炭素 마르텐사이트를 포함한 粗大한 上部 베이나이트 生成으로 생각되고 있다. 이 때문에 高溫에서 安定된 析出物을 形成하는 Ti 등의 元素를 鋼 中에 첨가하여 結晶粒 成長을 抑制하며, 또한 粒內 페라이트 變態를 促進하여 粗大한 베이나이트 形成을 방지하여 有効 結晶粒을 微細化 시킴과 동시에 B, Ti 등의 첨가에 의해 固溶 N의 低減 등을 行하여 靱性 向上을 도모하고 있다.¹⁰⁾ 現在 이러한 觀點에서 微量의 Ti, B-REM, Ti-Ca, Al-B, Ti-Ce 등을 첨가한 50~60kg/mm² 級의 大入熱 용접용 高張力鋼이나 低溫용 鋼이 각 鐵鋼 메이커에서 市販되고 있다. 또한 70~80kg/mm² 級 高張力鋼과 같은 調質鋼에서는 非調質鋼보다 용접 본드 脆化가 현저하기 때문에 一般적으로 大入熱 용접은 適用하기 어렵다. 또한 이러한 調質鋼의 靱성은 담금질 組織과 密接하게 關係하며, 下部 베이나이트 組織을 포함한 마르텐사이트 組織이 最良의 靱성을 나타낸다. (그림

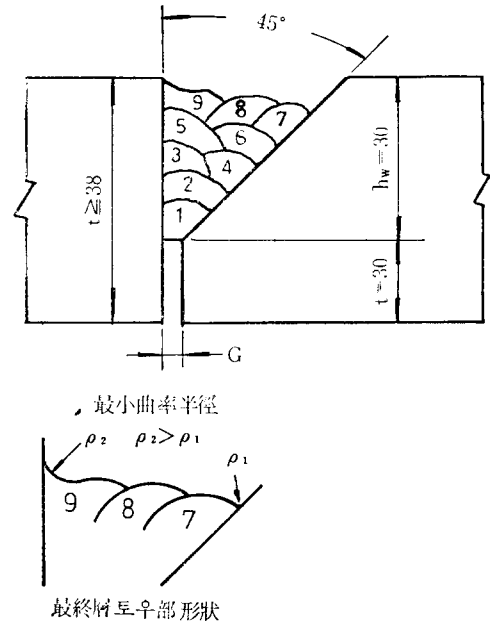


그림 12. 積層方法

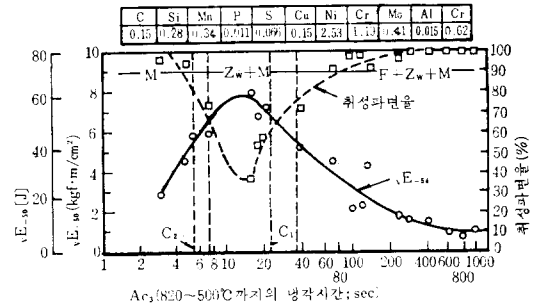


그림 13. 再現 熱사이클 실험때 冷却時間組織과 衝擊値의 關係

13 參照)¹¹⁾ 이것은 微細 베이나이트의 生成은 마르텐사이트 組織을 分割하여 有効 結晶粒 또는 破面單位를 微細化하여 靱性改善에 기여하고 있기 때문이다.

4. 용접 材料

日本의 용접材料 生産量의 推移를 그림 14에 나타낸다. 용접材料의 生産量은 鋼材의 生産量에 거의 비례하여 增減하는 傾向이 있으며, 全生産量은 1975年度 이래 크게 低下하고 있음을 나타내고 있다. 材料別로는 피복 아아크 棒의 비율이 低下하고 있고 가스 시일드 와이어가 增加하고 있으며 今後 自動化가 進行됨에 따라 한층 이 傾向은 크게 되리라 생각된다. 日本의 용접材料의

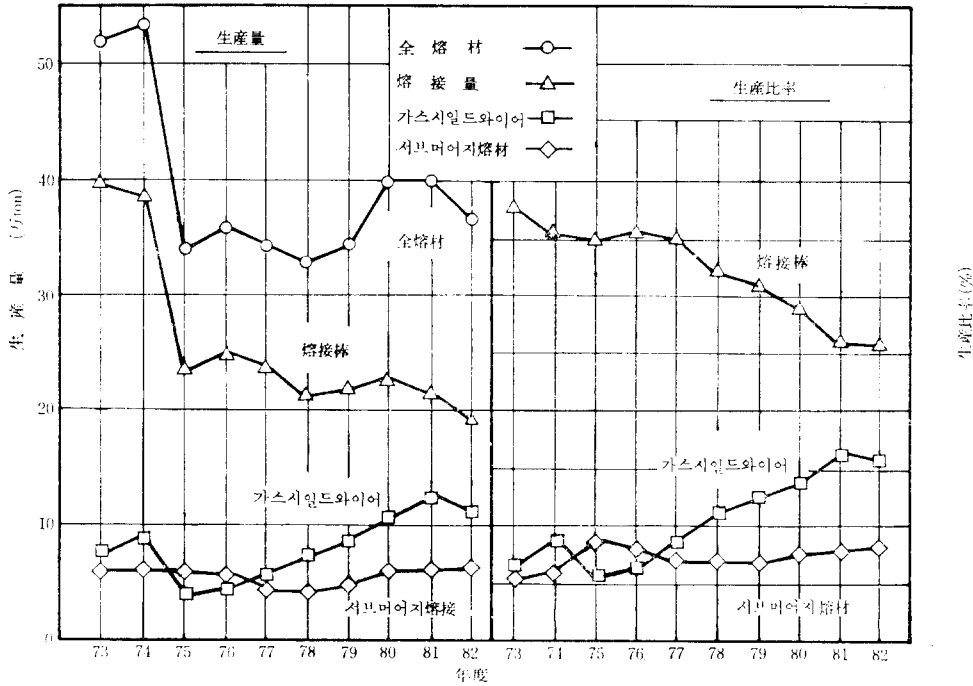


그림 14. 熔接材料의 生産推移 (日本熔接棒工業會 統計資料)

調査研究나 規格 基準作成은 오래 전부터 溶接協會 溶接棒部會 技術委員會를 中心으로 熔接材料 메이커, 철 구조 조립업체, 中立 機關이 공동으로 活動하고 있다. 同委員會는 最近 수요가 增加하고 있는 가스 시일드 아아크 熔接용 와이어에 대하여 國內 各業種의 熔接 施工會社에 대해서 使用狀況 等에 대하여 조사한 앙케이트를 公表하고 있다.¹²⁾ 이에 의하면 CO₂ 熔接의 適用 鋼種으로서는 軟鋼 50kg/mm² 鋼이 거의 全部를 차지하고 있다(93%). 適用 가스 중 CO₂ 가스만은 74.8%이고, 混合 가스로는 Ar+CO₂ 가스가 가장 많이 使用되고 있다. 또한 業種으로서는 造船이 특히 混合 가스 使用率이 작다.

CO₂ 熔接에는 솔리드 와이어와 후락스 코아드 와이어가 있으며, 日本에서는 솔리드 와이어가 압도적으로 많다(약 15:1). 후락스 코아드 와이어의 利點은 비이드 外觀이 良好하며 스패터링이 적은 것 등 때문에 최근 作業성이 좋은 全資勢 와이어가 開發되어 造船을 中心으로 急速히 보급되고 있다.

한편 研究面으로서는 最近 熔接 材料에 대해서 V Charpy 值 대신에 熔接金屬의 균열 開口變位量(COD值)이 要求되는 경우가 많아져 問題로 되고 있다. 熔接金屬의 경우 從來의 V Charpy 值의 要求值는 滿足하나, COD值는 반드시 良好한 값을 나타내지 않는 경우가 가끔 있다. 從來 熔接金屬의 靱性 向上을 위해 O₂量 輕減

효과가 주로 거론되어 왔으나 근래 數年 Ti과 B의 複合效果가 熔接金屬의 靱性 向上에 顯저한 효과가 있는 것으로 알려져 이 方法이 各 熔接法에서 널리 利用되고 있다. 그림 15는 Ti-B系 피복 아아크 熔接棒의 高靱性을 나타낸 예로, 海洋 構造物에 要求되고 있는 限界 COD 值 $\delta_{c-10^\circ C} \geq 0.25mm$ 와 비교한 경우 通常의 熔接棒에서는 入熱量 25KJ/cm로 억제하고 있으나, Ti-B系 熔接棒으로는 50KJ/cm에서도 충분한 COD 값을 나타내고 있다.¹³⁾ Ti-B系 熔接材料 熔接金屬의 靱性 向上 理由로는 ① B에 의한 N의 固定 ② 固溶 B에 의한 初析 페라이트 析出의 抑制 및 ③ Ti에 의한 粒內針狀 페라이트 微細化 등을 들 수 있다. Ti-B系 熔接材料는 入熱制限을 緩和시킬 수 있는 외에도 N량을 낮게 억제하는 것과 技術的인 差가 없고, COD 值의 確保가 容易하며, 被覆 아아크 熔接棒이나 罩호 아아크 熔接 와이어로서 널리 利用되어가고 있다.

熔接時의 遲延 균열(delayed cracking)을 防止하기 위해서는 熔接材料의 水素量을 極力 低減시키는 것이 重要한 일이지만 최근에는 crack free 鋼 등 鋼의 균열 방지 대책에 호응하여 極低水素 용접 재료의 開發이 추진되고 있다. 그 예로서 從來의 것보다도 吸濕하기 어렵고 또한 H_{JIS}=1ml/100g 程度로 억제한 超低水素 熔接棒이 利用되고 있다. 그림 16은 이러한 용접봉의 吸濕 속도를 一般 棒과 比較한 것이다.¹⁴⁾ 또한 罩호

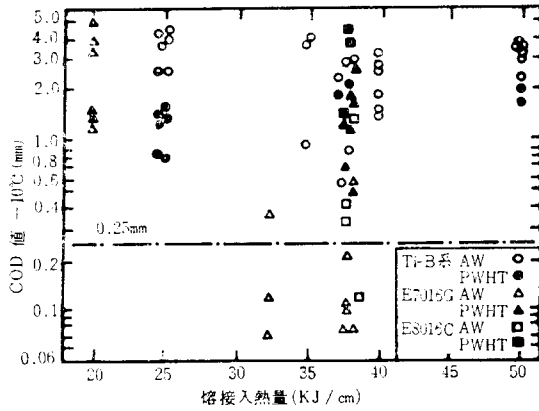


그림 15. BS 4360 Gr 50D 鋼의 被覆 아아크 용접에 의한 入熱量과 熔接 金屬의 COD(-10°C)

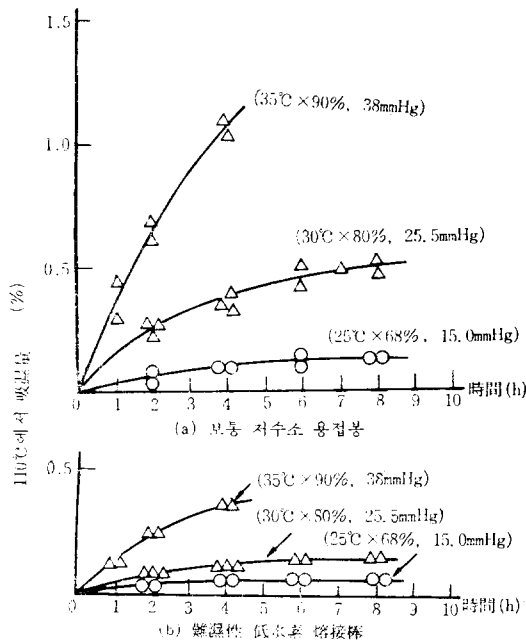


그림 16. 放置時間과 吸濕量의 關係¹⁷⁾

용접 재료로서도 極低水素의 燒結型 후락스가 이미 開發되어 있다. 이러한 용접材料를 利用하면 前述한 厚鋼板 용접金屬의 橫 均열 防止를 위해 行하여온 豫熱 파스間 溫度의 低減과 中間 어닐링을 省略할 수 있는 등의 經濟的 效果가 期待되고 있다.

5. 새로운 용접技術

용접構造物의 大型化, 高品質化, 生産性向上 省에너지 등 여러가지 觀点에서 鐵鋼 용접技術은 그 후로도

進歩發展을 繼續하고 있다. 以下 새로운 용접技術의 2, 3의 예를 들어 최근의 日本 용접技術의 一端을 소개하고자 한다.

狹開先 용접(narrow gap welding), 省資源, 高能率의 새로운 용접法으로서 협개선 용접이 現在 厚肉 압력 容器나 超高層 건축 등에 널리 利用되고 있다. 협개선 용접은 今後 後退하리라 예측되는 아아크 용접 중에서도 점차 그 利用 範圍가 擴大되고 있는 方法으로 日本에서도 최근 그 實用化의 보고서가 公表되어 있다.¹⁵⁾

표 4는 현재 각 社에서 提案하고 있는 各種 용접 方法을 나타낸 것이다. 협개선 용접의 利點은 말할 것도 없이 開先面積이 작고 高能率의 이라는 것이다(그림 17 참고). 한편 融合不良이나 언더컷이 發生되기 쉽기 때문에 이것을 防止하기 위해 좁은 開先內의 兩壁面으로의 융합을 充分히 하기 위해 여러가지 方法이 연구되고 있다.

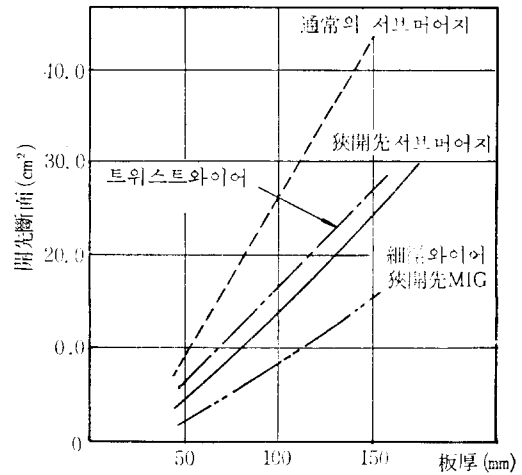


그림 17. 狹開先 용접의 開先 斷面 比較¹⁷⁾

電子 비임 용접이 利用되기 시작하여 약 1/4 세기 경과하였으며, 第1期는 航空宇宙, 原子力, 自動車産業 등에 있어서 精密部品, 조그마한 部品 등이 主對象이었으나 最近에는 第2期에 들어왔으며, 특히 용접機의 精密化, 大型化가 推進되어 厚板 鋼 構造物을 製作하는 重工業分野에 實用化가 추진되고 있다. 大出力 電子 비임 용접의 開發과 實用化에 대해서는 日本 용접協會 電子 비임 開發研究委員會가 1979년까지의 7년 간에 걸쳐 大規模의 研究를 行하여 그 結果를 취합하였다.¹⁶⁾ 그림 18은 低炭素 鋼 厚板을 맞대기 용접의 경우에 대해서 人件費를 포함한 加工費의 原價計算 結果이다.¹⁷⁾ 板厚 50mm 程度까지는 현재까지 없으나 100mm를 넘으면 電子 비임 용접이 窄호 용접보다도 훨씬 有利하게 된다.

表 4. 日本에서의 狹開先 熔接法의 分類

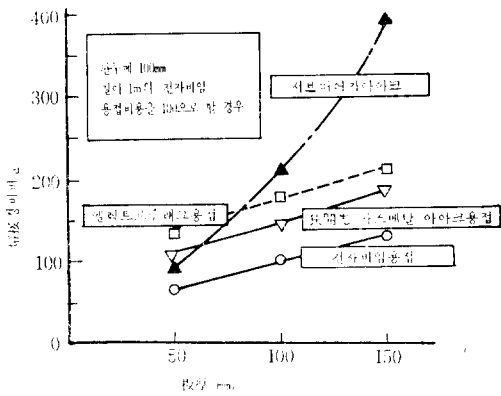
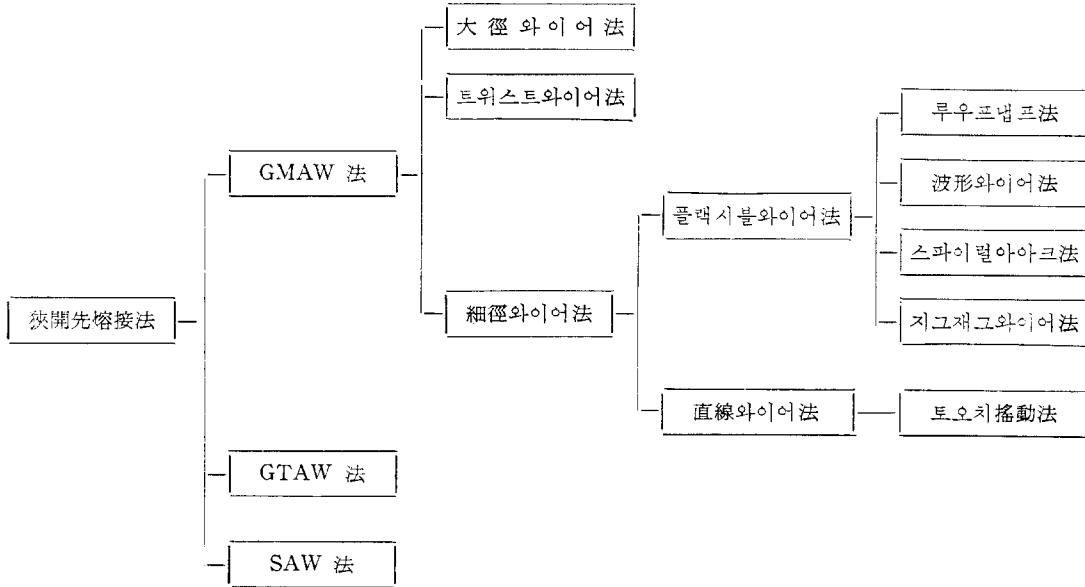


그림 18. 厚板의 맞대기 용접에 의한 코스트 비교¹⁷⁾

그림 19는 熔接 속도와 熔込 깊이의 關係를 보인 것이다.¹⁸⁾ 現在 最大 120kw의 電子銃이 製品化되어 있으며 最大 320mm 厚鋼板의 1패스 熔接이 可能하다. 日本 熔接協會는 그 후 電子 비임 熔接技術의 압력 용기에의 適用을 위한 基準作成 委員會를 설치하여 國內外的 關係法規를 檢討하여 1982년 '電子 비임 熔接施工法의 確認, 試驗 方法'을 새로이 制定하였다.

또한 電子 비임 熔接의 새로운 應用으로서는 300mm 幅의 스테인레스 鋼板과 炭素 鋼板을 1 패스로 面接合한 후 압연하여 信賴性이 높은 클래드 鋼이 製成되고 있다.¹⁹⁾ 鋼 厚板 電子 비임 熔接部의 材質이나 이음부 강도 特性에 대해서도 많은 結果가 發表되어 있으며 材

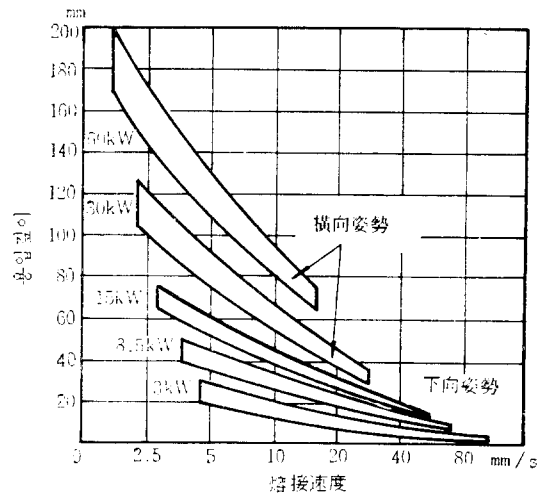


그림 19. 전자 비임 용접의 용접 속도와 용입 길이

料面으로는 熔接 void, 高温 균열, 靱性劣化 등이 指摘되어 있으나 종합적으로 아아크 熔接보다도 우수한 點이 많다. 단지 現在 實際의 生産에의 應用으로서는 압력 容器, 터빈 部品, 核融合 裝置, 大型 차차 등 適用材料는 壓力容器用 軟鋼, Cr-Mo 鋼, 스테인레스 鋼 程度 (最大板厚 160mm)이며, 今後 한층 많은 利用이 期待되고 있다.¹⁷⁾

레이저 熔接, 電子 비임 熔接과 함께 高 에너지 密度 熔接의 쌍벽을 이루는 것으로 溶込形狀이나 熱影響部の 幅 등도 서로 비슷하다. 大氣 中에서 非接觸 熔接이 可能한 것 등 여러가지의 利點이 있다. 日本에서는 이미 1

kw級 以下の 작은 精密部品の 熔接은 거의 定着되어 있으며 現在 1kw級 程度의 것이 製作, 自動車 部品 등 薄鋼板의 熔接의 實用化가 進行되고 있다. 今後는 3~5 kw級 以上の 高出力發振 可能한 CO₂ 레이저의 出現에 의해 造船重機械 關係의 厚鋼板으로 進出하러 하고 있다. 그림 20은 레이저 出力과 溶込 깊이의 關係를 보인 것이다.²⁰⁾

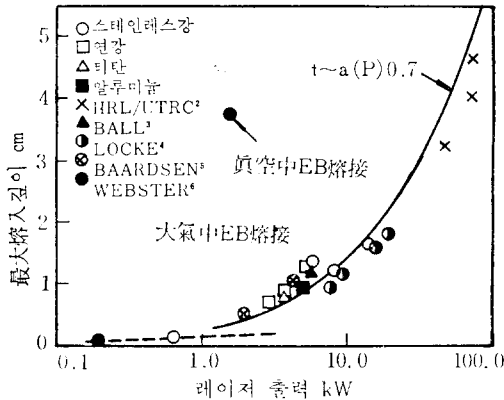


그림 20. 레이저 出力과 溶込 깊이와의 관계²⁰⁾

水中熔接, 石油, 鑛物 등 海洋資源 海洋 에너지 開發에 關連하는 새로운 技術로서 10數年 水中熔接이 世界的으로 重要視되고 있으며, 1983年의 노르웨이에서 行하여진 IIW 커리큘럼 테마로서도 水中 熔接이 거론되었다. 水中 熔接에는 乾式法, 濕式法으로 大別되나, 日本에서는 設備가 간편하고 補修 熔接 等に 利用하기 쉬운 濕式法의 實用化를 위한 研究가 활발히 이루어지고 있다. 被覆 아아크 熔接法, 重力式 熔接, plasma 熔接, CO₂, MIG 熔接, 잠호 熔接, 그 외 몇가지가 研究되고 있다. 이 중에서 그림 21과 같이 물 커튼으로 물을 排除하여 가스 空洞을 形成하여 CO₂, Ar 또는 이들의 混合 가스 熔接이 注目되고 있으며, 水深 90m 程度까지 熔接 결합이 없는 健全한 熔接部가 얻어지고 있다.²¹⁾ 濕式法은 乾式法과 달리 熔接部의 急 冷에 의한 硬化,

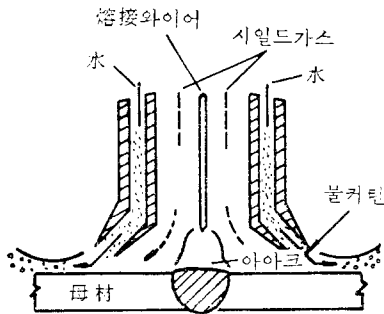


그림 21. 물 커튼식 가스 시일드 아아크 용접²¹⁾

水素侵入에 의한 균열, 氣孔生成 등이 問題로 된다. 熔接部의 擴散性 水素量은 大氣中 熔接의 1.5~2倍 程度의 값을 나타내고 있다. 또한 水壓의 增大와 더불어 熔接 金屬中の 合金元素量이 低下하거나 氣孔이 增加하는 것이 알려져 있다(그림 22).²²⁾ 高張力鋼에 水中熔接

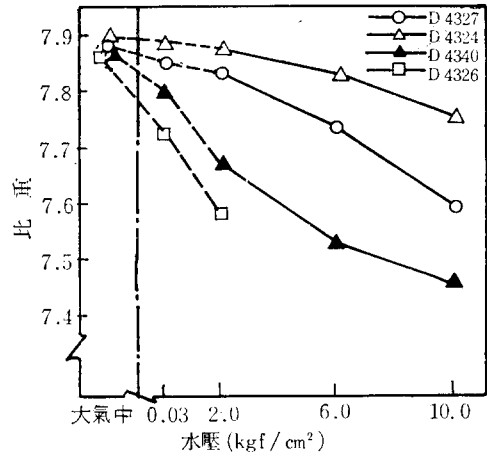


그림 22. 水壓과 熔接部의 比重(기공)과의 관계²²⁾

을 適用한 實驗結果도 많으나 豫想대로 균열이 발견되고 있으며 오오스테나이트系 熔接棒의 使用도 試圖되고 있다. 또한 日本에서의 水中熔接의 實用 예는 現在 補修나 해난 구조용이 主種을 이루고, 本格的 活用은 今後 이루어질 것이다.

擴散熔接은 原子擴散을 利用하여 固體 相互間을 非 溶融接合하는 새로운 技術로 보통 眞空 또는 不活性 가스 中에서 行하여 變形이 작은 高精度의 熔接이 可能하다. 從來에는 航空宇宙工業에 있어서 제트 엔진 部品이나 하니컴과일 등의 製作 예가 美國 등에서 있었으나 그 후 日本에서도 實業化가 추진되어 最近에는 航空機, 原子力, 重電氣, 電子工業 등에서 異種金屬의 精密熔接을 비롯하여, 製作困難한 複雜한 形狀의 部品이나 薄肉部品에 積極的으로 行하여지고 있다. 또한 裝置도 차츰 大型化, 量産化의 方向으로 추진되고 있으며, 實用化의 예로서 合材를 積層 擴散熔接하여, 鍛造品의 cort 低減을 도모한 것, 또는 클래드 鋼의 製作 예가 있다.²³⁾ 그림 23에 클래드 製作裝置를 보인다.

또한 擴散熔接은 insert 金屬의 利用에 의해 難 熔接 金屬끼리의 接合을 可能하게 할 수 있으며, 最近에는 融點이 낮은 insert 金屬을 삽입하여 一時的으로 液相을 만들어 長時間의 加熱에 의해 擴散 均質化시키는 液相 擴散接合이 耐熱合金에 利用되어 高性能을 나타내고 있으며²⁴⁾ 더욱 더 應用이 확대되어 가는 추세에 있다.

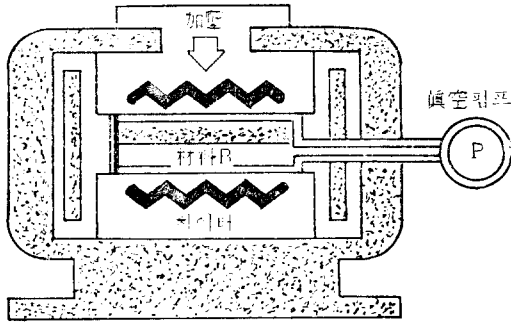


그림 23. 擴散熔接 클래드 鋼의 製造裝置 概要 (大前 深谷)

6. 맺음 말

鐵鋼의 熔接技術에 대해서 특히 高張力鋼에 초점을 맞추어 最近의 進歩를 기술하였다. 序頭에서도 설명한 바와 같이 日本의 鐵鋼産業은 社會的 正세에 따라 從來의 量에서 質로의 커다란 轉換期에 있으며, 보통 鋼 대신에 高強度, 高靱性, 耐食, 而熱性 等の 特殊鋼, 나아가서는 클래드 鋼, 表面處理 鋼, 또는 클래드 鋼과 多樣性을 갖는 材料生産에 重點을 두고 있다. 따라서 熔接法도 從來의 아아크 熔接은 現狀에 머물고, 새로이 전자 비임 熔接을 비롯한 各種 熔接法이 鐵鋼分野에도 도입되어, 鐵鋼 메이커도 이러한 熔接法에 힘을 쏟고 있다.

한편 지난 1980년은 日本의 로봇트 보급 元年이라고 불리워지며, 지금까지의 스폿트 接熔 로봇트에 첨가하여 아아크 熔接 로봇트의 生産이 급격히 增加하였다. 아아크 熔接 로봇트의 1980年 以後의 平均成長率은 35% 程度로 예측되며²⁵⁾ 鐵鋼의 熔接技術은 今後 커다란 進展이 豫想되고 있다. 로봇트를 軸으로 熔接의 自動化 컴퓨터화에 의해 鋼構造物. 製品의 品質을 비약적으로 向上하여 머지 않은 장래에 熔接 缺陷이나 그에 의한 사고는 완전히 없어지는 時代가 오리라 크게 기대되고 있다.

단지 現在로서는 高度의 熔接設計, 施工, 安全檢査技術 等이 熔接 生産面에서 충분히 발휘되지 못하기 때문에 그로 인한 작은 事故가 아직까지 완전히 없어지지 않고 있다. 이러한 理由 중의 하나는 熔接技術者 教育의 不徹底라고 생각된다. 다행히 熔接學會 및 協會는 이미 數年 前부터 社會人 技術者의 熔接 教育에 힘을 쏟으며, 여러 가지 活動을 추진하고 있다. 그 하나로서 '熔接 技術者 認定資格 制度 WES 8103'은 社會적으로도 確立된 制度로, 現在까지의 資格取得者 17,194명이 全

産業의 鐵鋼 熔接現場에 活躍하고 있으므로 앞으로 크게 期待되고 있다.

끝으로 本論文은 금번의 大韓熔接學會 강연회에 즈음하여 日本에서의 最近의 熔接事情의 一단을 소개하고자 作成한 것으로, 초빙 및 발표의 機會를 주신 同學會 長 朴鍾殷 教授, 그 밖에 關係者 여러분께 깊은 謝意를 表합니다. 또한 論文에 引用된 日本 溶接協會 等の 各委員會 및 各論文의 著者들에게 깊은 感謝를 드립니다.

參 考 文 獻

- 1) 日本溶接協會 鐵鋼部會 WR委員會, 最近の 高張力鋼의 進歩と HW規格制度及び改定案について(1983-2)
- 2) 田中, 日本金屬學會報 17(2), (1978) p.104.
- 3) 河野, 溶接學會 東部支部 第9回 實用溶接講座ラキスト(1983) p.34.
- 4) 日溶協鐵鋼部會 IL委員會 報告 (1979-2)
- 5) 百合岡等, 溶接學會 冶金研 第67回 資料 WM-638-77 (1977)
- 6) 寺崎ら, 溶接學會誌 48(9), (1979) p.68.
- 7) 高橋ら, 溶接學會誌 49(2), (1980) p.129.
- 8) 矢竹ら, 溶接學會誌 49(7), (1980) p.484.
- 9) 日本溶接協會 鐵鋼部會 MWC 委員會 總會 報告書 (1983-2)
- 10) 佐藤山戸, 溶接學會誌 50-1 (1981) p.11; 坪井, 平井: 同 p.29.
- 11) 溶接全書 第11卷, 産報出版 p.98.
- 12) 日本溶接棒部會, 溶接の研究 No.21(1981) p.11.
- 13) 熊谷, 溶接技術 29(5), (1981) p.25.
- 14) 奥田, 鐵と鋼 (69), 8(1983) p.887.
- 15) JPVR部會, 日本における狭開先熔接の利用 (1981-8)
- 16) 日溶協電子ビーム 溶接開發研究委員會 研究成果集 (1979-5)
- 17) 喜多他, 溶接學會誌 49(11), (1980) p.781.
- 18) 中島浜田, 溶接技術 31(8), (1983) p.46.
- 19) 吉田, 溶接學會誌 49(5), (1980) p.287.
- 20) 大前, 吉田, 溶接技術 31(8), (1983) p.15.
- 21) 蓮井管, 鐵と鋼 69(2), (1983) p.187.
- 22) 浜崎, 溶接技術 31(7), (1983) p.57.
- 23) 大前, 深谷, 溶接技術 29(2), (1981) p.54.
- 24) 鈴村他, 溶接學會 溶接冶金研資料 (1983-8) p.1.
- 25) 柴田, 溶接技術 30(5), (1982) p.75.