

熔接施工條件에 따른 高張力鋼材 熔接部の 破壞靱性 變化에 관한 研究

李 鍾 洙

A Study on the Variation of Fracture Toughness
in the Welded Parts of High Tensile Steel
under Various Welding Methods



〈目 次〉

Abstract

記號說明

1. 序 言
2. 實驗方法
 - 2.1 試驗片 및 熔接條件
 - 2.2 實驗裝置 및 試驗方法
3. 實驗結果 및 考察
 - 3.1 熔接條件에 따른 組織 및 硬度分布 變化
 - 3.2 熔接部位別 限界COD값의 變化
 - 3.3 熔接方法에 따른 限界COD값의 變化
 - 3.4 破面考察
4. 結 論
5. 參考文獻

A Study on the Variation of Fracture Toughness in Welded
Parts of High Tensile Steel under Various Welding Methods

Jong-Soo, Lee

*Department of Marine Engineering, Graduate School
Korea Maritime University*

Abstract

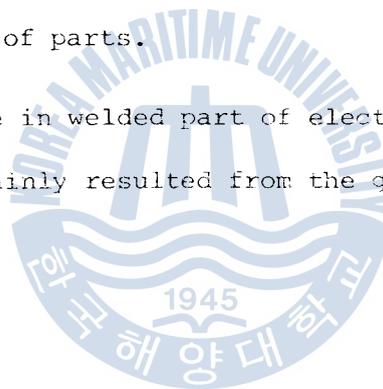
In this study, the high tensile steel AH36 plate specimens having a single edge cracked notch were investigated to find out the variation of fracture toughness in welded parts under such various welding methods as the shielded metal arc welding, the submerged arc welding and electro gas welding by means of crack opening displacement (COD) test, quantitatively.

In addition, the mechanisms of fracture toughness variation in the welded parts were discussed in connection with the fractographs of the fracture surfaces.

Main results obtained are as follows;

1. In shielded metal arc welding, heat affected zone and fusion line showed the ductile fracture behavior in the range of $-60^{\circ}\text{C} \sim \text{room temperature}$, however, welded metal appeared the brittle-ductile transition behavior.

2. In submerged arc welding, all welded parts showed brittle-ductile transition behavior at 0°C , however, in electro gas welding, all welded parts showed the brittle fracture behavior even at room temperature.
3. Regardless of the kind of welding methods, the critical COD value in base metal appeared to be greater than in heat affected zones and fusion lines; however, the fatigue crack propagation in base metal to be faster behavior than those of parts.
4. The low COD value in welded part of electro gas welding appeared to be mainly resulted from the grain coarsening phenomenon.

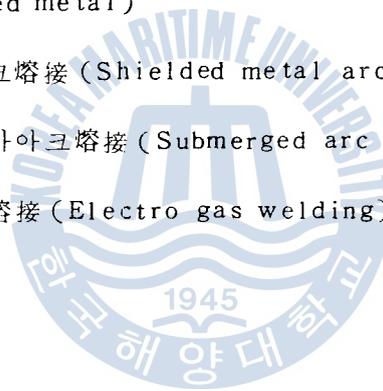


記 號 說 明

(Nomenclature)

W	: 試驗片 幅 (Width of specimen)	(mm)
B	: 試驗片 두께 (Thickness of specimen)	(mm)
N	: 노치 幅 (Notch width)	(mm)
M	: 有効노치길이 (Effective notch length)	(mm)
a	: 有効龜裂길이 (Effective crack length)	(mm)
L	: 스펠길이의 절반 (Half loading span)	(mm)
Z	: 나이프 에지높이 (Height of knife edge)	(mm)
P _c	: 限界點에서의 荷重 (Applied force at critical point)	(kg)
V _g	: 클립게이지 變位量 (Clip gauge displacement)	(mm)
δ _c	: 限界龜裂開口變位 (Critical crack opening displacement)	(mm)
σ _y	: 各溫度에서의 降伏強度 (Yield strength of temperature)	(kg / mm ²)
Y·S	: 降伏強度 (Yield strength)	(kg / mm ²)
T·S	: 引張強度 (Tensile strength)	(kg / mm ²)
E1	: 延伸率 (Elongation)	(%)
ΔK	: 應力強度係數範圍 (Stress intensity factor range)	(kg / mm ^{1.5})

da/dN :	龜裂成長速度 (Crack growth rate)	(mm / cycle)
E :	彈性係數 (Young's modulus)	(kg / mm ²)
ν :	포아송比 (Poisson's ratio)	
CGD :	Clip gauge displacement	(mm)
COD :	Crack opening displacement	(mm)
BM :	母材 (Base metal)	
HAZ :	熱影響部 (Heat affected zone)	
WM :	熔着金屬 (Welded metal)	
SMAW :	手動被覆 아아크熔接 (Shielded metal arc welding)	
SAW :	서브머이지드 아아크熔接 (Submerged arc welding)	
EGW :	일렉트로 가스熔接 (Electro gas welding)	



1. 序 言

最近 工業의 發達과 더불어 鋼構造物의 機能의 向上, 重量의 輕減, 材料의 節約등의 目的으로 高張力鋼材의 使用量은 顯著히 增加하고 있고, 또한 그 使用範圍도 擴大되어 船舶, 橋梁等の 大形 構造物, 各種 機械 및 壓力容器用 材料로 널리 利用되고 있다.

現在 開發되고 있는 各種 高張力鋼材는 各種 元素의 添加處理 혹은 Q·T處理에 依해 高張力 및 強靱化를 圖謀하고 있다. 그러나, 이러한 高張力鋼材의 實用面에 있어서는 熔接時의 熱싸이클로 因해 熔接部에서 機械的 및 組織的 特性의 劣化現象이 나타나 破壞靱性의 低下 또는 疲勞龜裂의 成長이 容易하게 되는 現象이 나타날 수 있으므로, 高張力鋼材 熔接構造物의 境遇 信賴性과 安全性 確保가 特히 重要한 問題點으로 指摘되고 있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

高張力鋼材로 製作되는 各種 構造物이나 機械가 充分한 安全性을 確保하여 그 機能을 發揮하도록 하기 위해서는 그 設計時 最適의 材質選擇이 重要하며, 이러한 材質選擇의 基準으로써 여러가지 材料 試驗이 開發되었다. 近來에 들어 急速히 構造物의 設計 基準으로 많이 使用되는 材料試驗中의 하나가 材料의 靱性を 測定하는 破壞靱性 測定試驗이다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾ 이 試驗은 線形彈性破壞力學(LEFM)에 基礎를 둔 K_{Ic} 값을 求하는 試驗과 彈·塑性破壞力學(EPFM)에 基礎를 둔 COD(Crack Opening Displacement)試驗, R-曲線解析, J-積分 등으로 區分할 수 있다. 이 중에서 COD試驗은 1979

年 英國에서 規格이 制定되어 現在 熔接構造物, 高壓容器, 低強度鋼材로 製作된 機械部品の 材質檢査에 널리 使用되고 있는 試驗方法이다.⁸⁾⁹⁾

本 研究에서는 國產 55 kg / mm² 級 AH36 인 高張力鋼材를 對象으로 實用되고 있는 3 가지 熔接方法, 卽 手動被覆 아아크熔接, 서브머지드 아아크熔接 및 일렉트로 가스熔接을 實施하여 熔接部の 破壞靱性變化를 COD 試驗을 通해 母材, 熱影響部, 本드部 및 熔着金屬部別로 定量的으로 評價하여 各 熔接部位別 限界 COD 값의 變化 및 熔接方法에 따른 限界 COD 값의 變化特性을 比較 檢討하고 破面의 微視的 解析을 通해 熔接部位에 따른 破壞靱性變化的 微視的 機構를 解明하고자 한다.

이러한 研究는 高張力鋼材 熔接部位에 있어서의 破壞靱性을 左右하는 要因이 糾明되어 國產 高張力鋼材 熔接構造物의 信賴性 向上에 寄與하게 될 것이다.

2. 實 驗 方 法

2.1 試驗片 및 熔接條件

本 實驗에 使用한 實驗材料는 海上構造物이나 船舶의 強力甲板의 舷側厚板, 強力甲板의 스트링거板 및 彎曲部外板等 造船用으로 使用되는 두께 20 mm의 國產 非調質 高張力鋼材인 AH36 으로서 그 化學成分 및 機械的性質은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of base metal

Material	Chemical compositions(wt%)							Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Nb	Sol.	Y.S (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	El. (%)
AH36	0.15	0.43	1.38	0.24	0.002	0.028	0.043	40	55	27

$$Ceq = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{24}Si + \frac{1}{40}Ni + \frac{1}{5}Cr + \frac{1}{4}Mo + \frac{1}{14}V(\%) = 0.408$$

이 鋼材를 母材로 하여 手動被覆 아아크熔接 (SMAW), 서브머어 지드 아아크熔接 (SAW) 및 일렉트로 가스熔接 (EGW)의 3가지 熔接方法에 依하여 熔接을 實施하였다. 이때 使用된 各 熔接棒의 化學成分과 機械的性質은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of electrode

Welding methods	Electrode	Chemical compositions(wt%)						Mechanical properties		
		C	Si	Mn	P	S	Mo	Y.S (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	El. (%)
SMAW	AWS E 5016 (Low hydrogen)	0.07	0.53	0.98	0.014	0.01	-	49	57	32
SAW	AWS F 72 - EH 14	0.06	0.26	1.70	0.024	0.013	-	44	56	27
EGW	AWS EG 70 T 2 (CO ₂ Gas)	0.08	0.36	1.72	0.015	0.006	0.12	49	59	31

手動被覆 아아크熔接은 國產 高張力鋼用 低水素系 熔接棒 (AWS E 5016)을 300℃에서 1時間 乾燥後 使用하였고 서브머지드 아아크熔接은 軟鋼 및 高張力鋼用 플럭스 (flux)와 와이어 (AWS F 72-EH 14)를 使用하였으며, 일렉트로 가스熔接은 탄산가스 熔接用 와이어 (AWS EG 70 T2)를 利用하여 탄산가스 保護霧圈氣에서 行하였다.

手動被覆 아아크熔接, 서브머지드 아아크熔接時와 일렉트로 가스 熔接時 그루우브形狀과 노치位置 및 熔接條件을 Fig.1, Fig.2 및 Table 3에 各各 나타내었다.(이러한 熔接條件은 實用條件이다.)

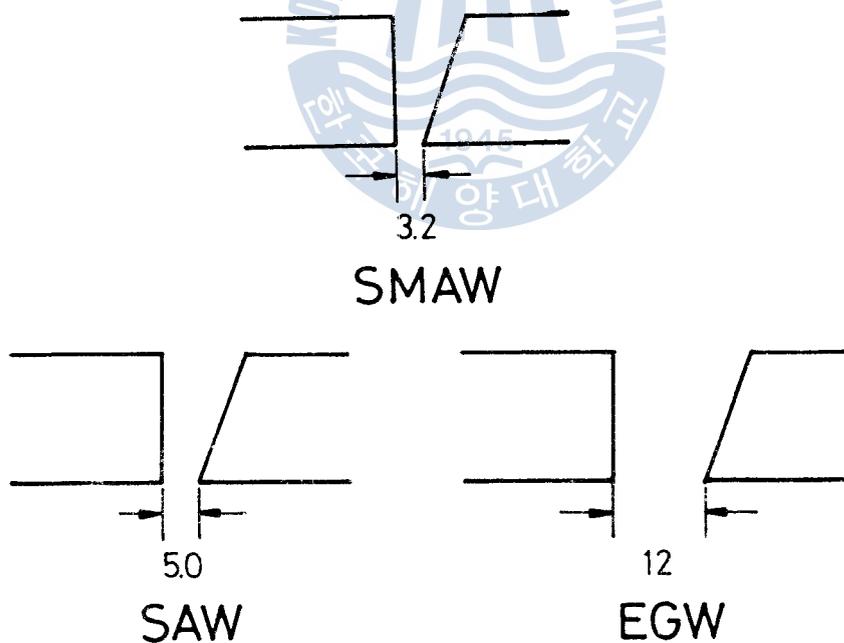


Fig.1 Shape of groove

2.2 實驗裝置 및 試驗方法

COD 實驗에 使用한 試驗機는 Shimadzu 社製 材料試驗機이며 荷重速度는 1 mm/min 로 하였다. Photo.2 는 이 實驗裝置의 概略을 나타낸다.

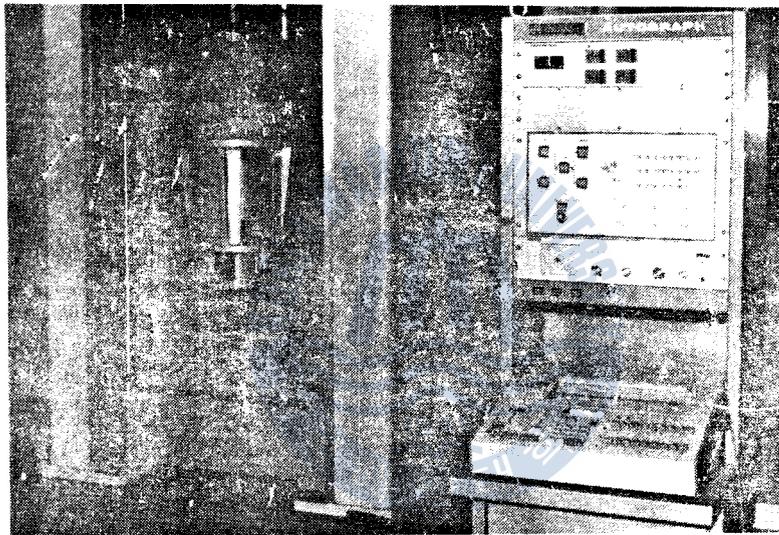


Photo.2 General view of experimental apparatus

COD試驗은 -60°C , -30°C , 0°C , 室溫의 4 가지 溫度에서 進行하였으며, 實驗은 Fig.5 및 Photo.3 에 보이는 바와 같이 試片의 せん에 의해 荷重이 試驗片에 傳達되어 노치入口의 割입개이 지에 依한 變位를 X-Y 記錄計에 記錄하여 이 結果를 BS 5762 規格에 따른 式을 利用하여 限界 COD 값으로 換算하였다.

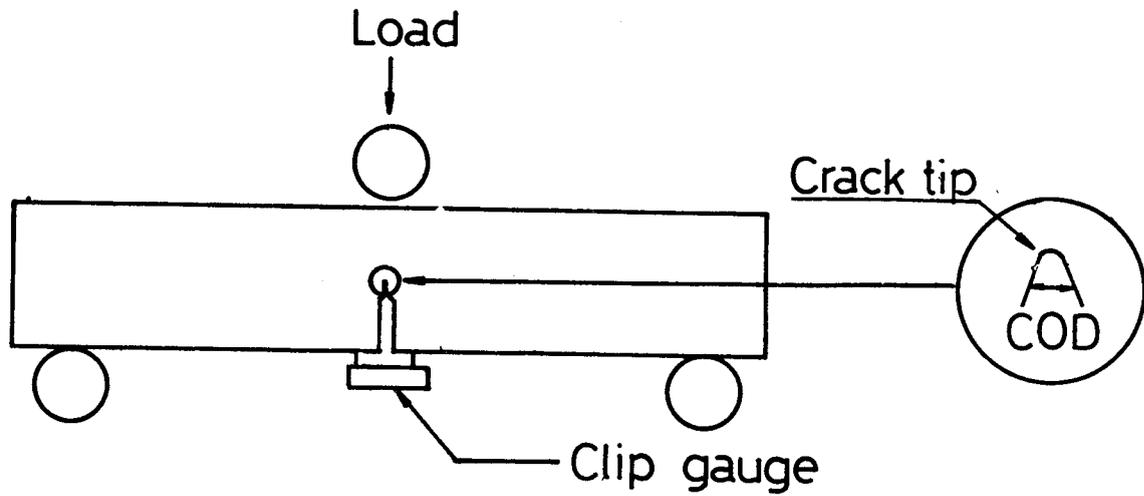


Fig.5 Schematic diagram of COD

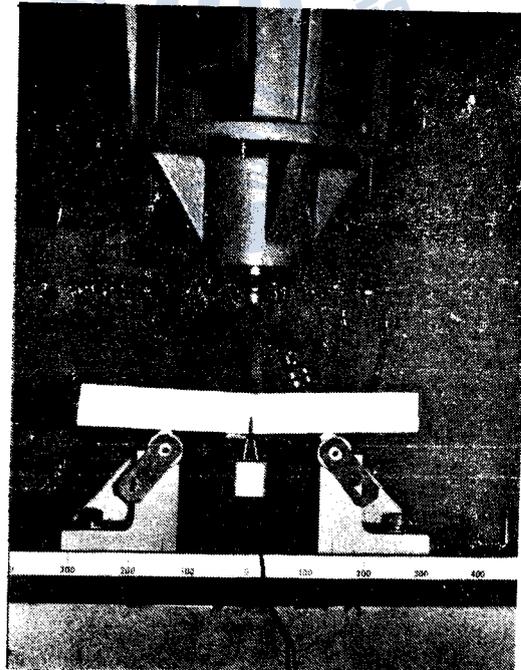


Photo.3 General view of COD test

熔接方法에 따른 熔接部の 疲勞龜裂成長舉動을 調査하기 위하여 動的 萬能材料試驗機에 의해 Fig.3 에 圖示한 試驗片을 利用하여 疲勞龜裂傳播試驗을 行하였다.

한편, 微視的 破壞靱性 變化特性은 走査型 電子顯微鏡 (SEM)에 의한 破面觀察을 통해 調査하였다.



3. 實驗結果 및 考察

3.1 熔接條件에 따른 組織 및 硬度分布의 變化

Photo.4, Photo.5 및 Photo.6은 熔接時 熱싸이클을 받아 나타난 熔接본드部 近傍의 組織變化를 手動被覆 아아크熔接, 서브머지드 아아크熔接 및 일렉트로 가스熔接의 各 熔接方法에 對해 比較하여 나타낸 것이다. 여기에서 熔接金屬은 WM, 熱影響部는 HAZ, 母材는 BM으로 나타내었다.

熔着金屬에서는 熔融點 以上の 熱을 받아 熔融凝固하였으므로 樹枝狀組織이 形成되고 있음을 觀察할 수 있다. 入熱量이 比較的 많은 일렉트로 가스熔接 및 서브머지드 아아크熔接에서는 樹枝狀組

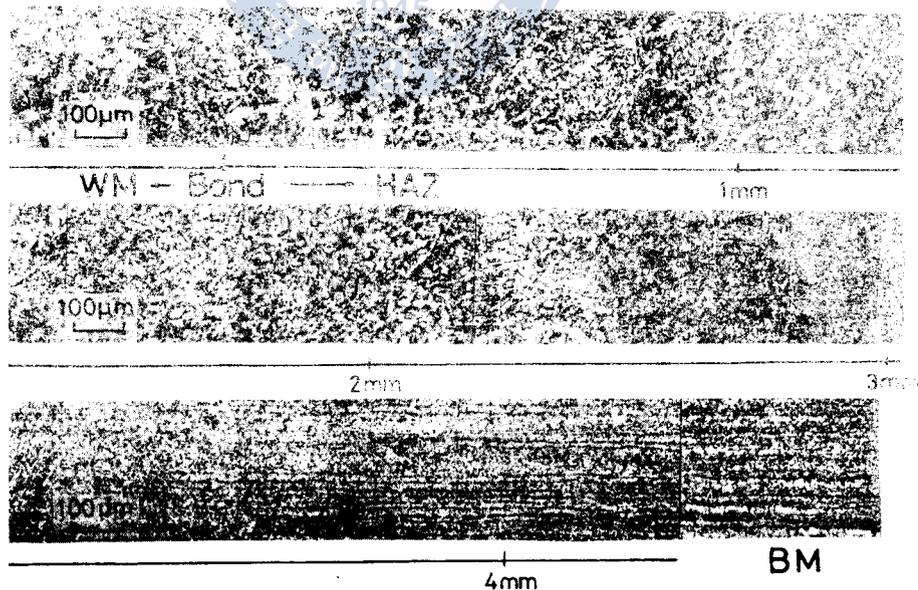
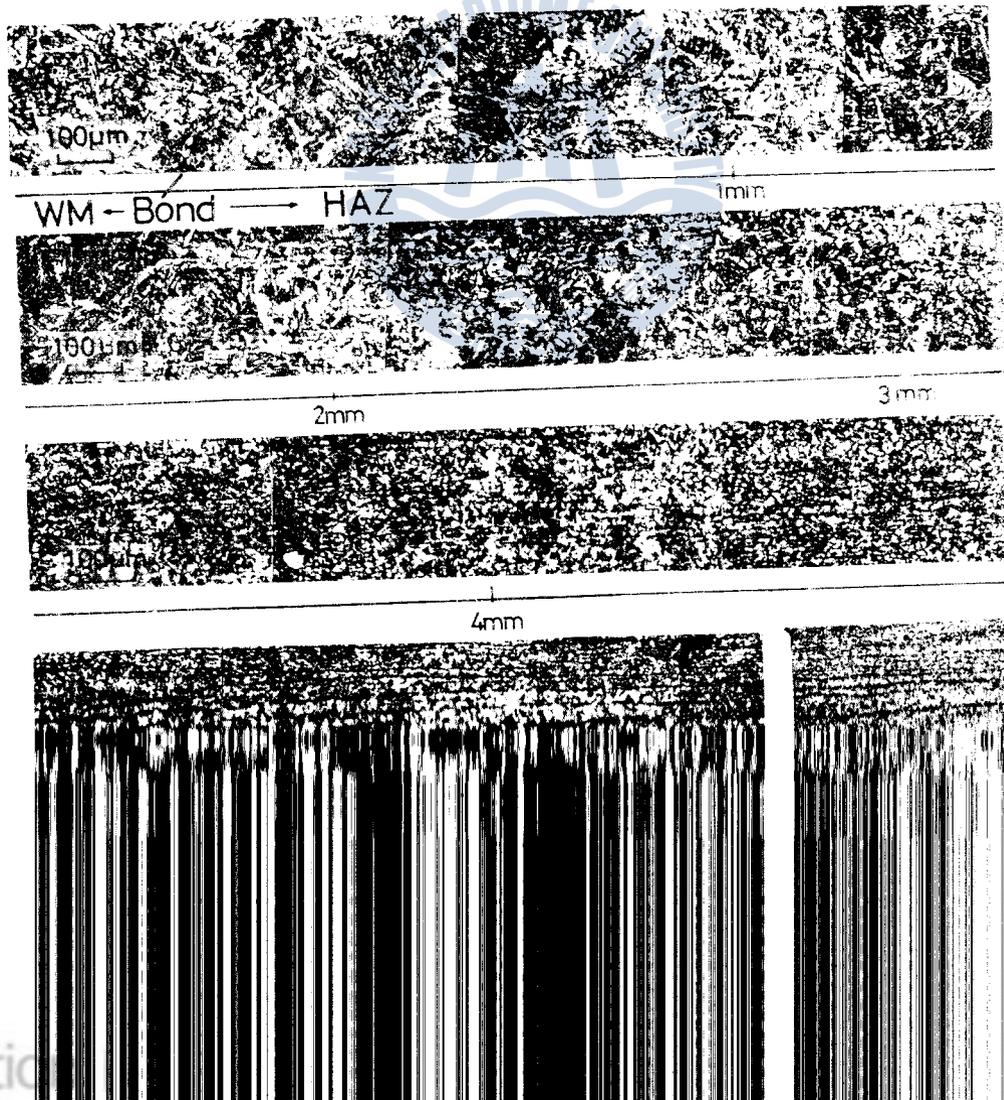


Photo. 4. Change of continuous micro-structure in SMAW

織이 뚜렷하게 나타나는데 反하여 手動被覆 아아크熔接과 같은 低入熱 多層熔接의 경우는 後層의 熱處理 效果를 받아 樹枝狀組織이 뚜렷하게 나타나지 않고 均一하게 分布되어 있음을 觀察할수 있다.11)

본드部 附近에서는 페 라이트 結晶이 析出되어 있는 狀態로 부터 알 수 있는 바와 같이 프라이어 오오스테나이트 (prior austenite) 結晶의 粗大化 現象은 入熱量이 적은 手動被覆 아아크熔接의 境遇



織이 뚜렷하게 나타나는데 反하여 手動被覆 아아크熔接과 같은 低入熱 多層熔接의 경우는 後層의 熱處理 效果를 받아 樹枝狀組織이 뚜렷하게 나타나지 않고 均一하게 分布되어 있음을 觀察할수 있다.¹¹⁾

본드部 附近에서는 페 라이트 結晶이 析出되어 있는 狀態로 부터 알 수 있는 바와 같이 프라이어 오오스테나이트 (prior austenite) 結晶의 粗大化 現象은 入熱量이 적은 手動被覆 아아크熔接의 境遇

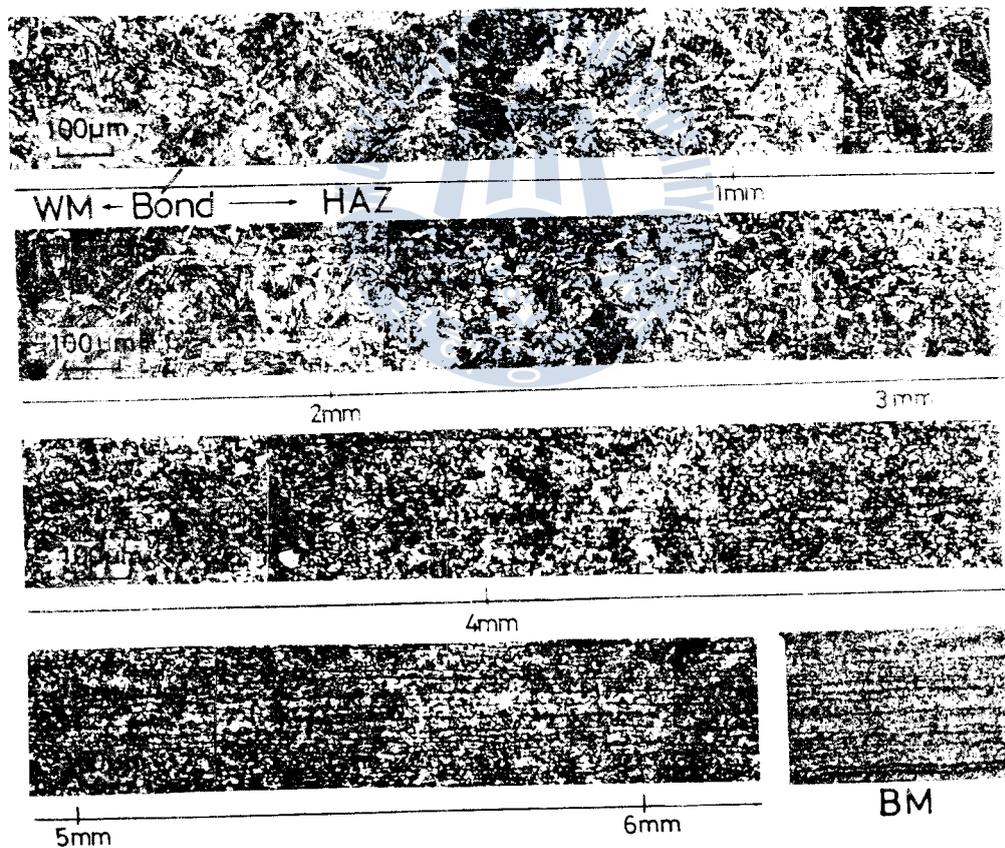


Photo. 5. Change of continuous micro-structure in SAW

에 있어서는 적게 나타나고 入熱量이 가장 많은 일렉트로 가스熔接의 境遇에 매우 顯著하여 그 領域 또한 大端히 넓게 되므로 본드部 近傍의 脆化領域이 크게 되어 있음을 알 수 있다.

熱影響部の 組織은 連續적으로 變化하고 있음을 사진을 통하여 알 수 있다. 본드部로 부터 2 mm 떨어진 部位를 熔接條件에 따라 比較하여 보면 일렉트로 가스熔接과 서브머이지드 아아크熔接時는 方向性이 完全히 消失된 마르텐사이트 또는 中間段階組織인 베이나이트 結晶粒 周圍에 網狀의 페라이트 組織이 發達되어 있고 오스테나이트 結晶粒의 粗大化는 본드部에 비해 작아졌음을 觀察할 수 있다. 그리고 手動被覆 아아크熔接의 境遇는 프라이어 오스테나이트 組織이 微細化되고 常溫組織인 微細한 베이나이트, 페라이트組織의 混合組織으로 나타나 있음을 알 수 있다.¹²⁾

또한, 各 熔接方法 다같이 熱影響部の 外側附近에서는 微細한 페라이트와 퍼얼라이트 조직으로 되어 壓延材를 노오멀라이징 (normalizing) 處理한 效果를 얻을 수 있어 母材보다도 細粒의 結晶領域이 觀察된다. 이것은 熔接時 1100 ~ 900 °C 程度로 加熱되어 이루어진 領域으로 粗粒域에 비해 相當한 靱性回復이 豫想된다. 이 領域은 본드部로 부터 手動被覆 아아크熔接은 約 2.5 mm, 서브머이지드 아아크熔接은 約 4.5 mm, 일렉트로 가스熔接은 約 5.2 mm 떨어진 部位에 存在함을 觀察할 수 있다.¹³⁾¹⁴⁾

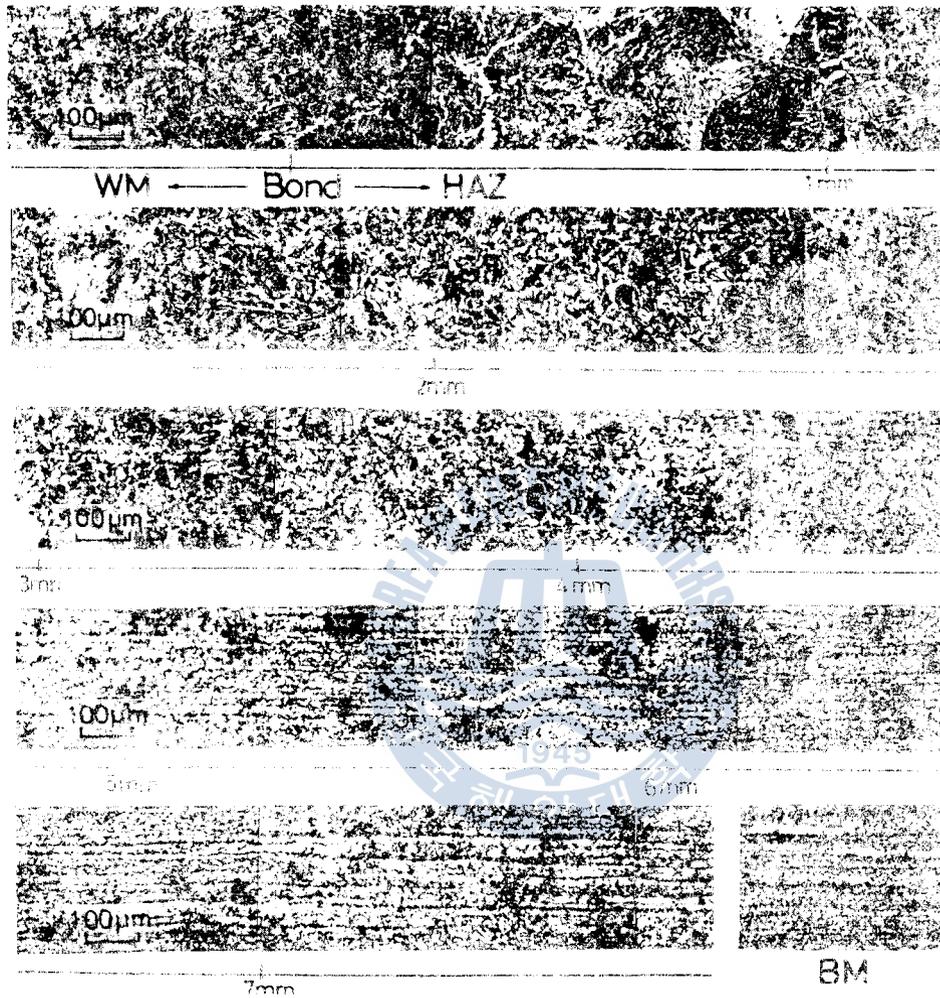


Photo. 6. Change of continuous micro-structure in EGW

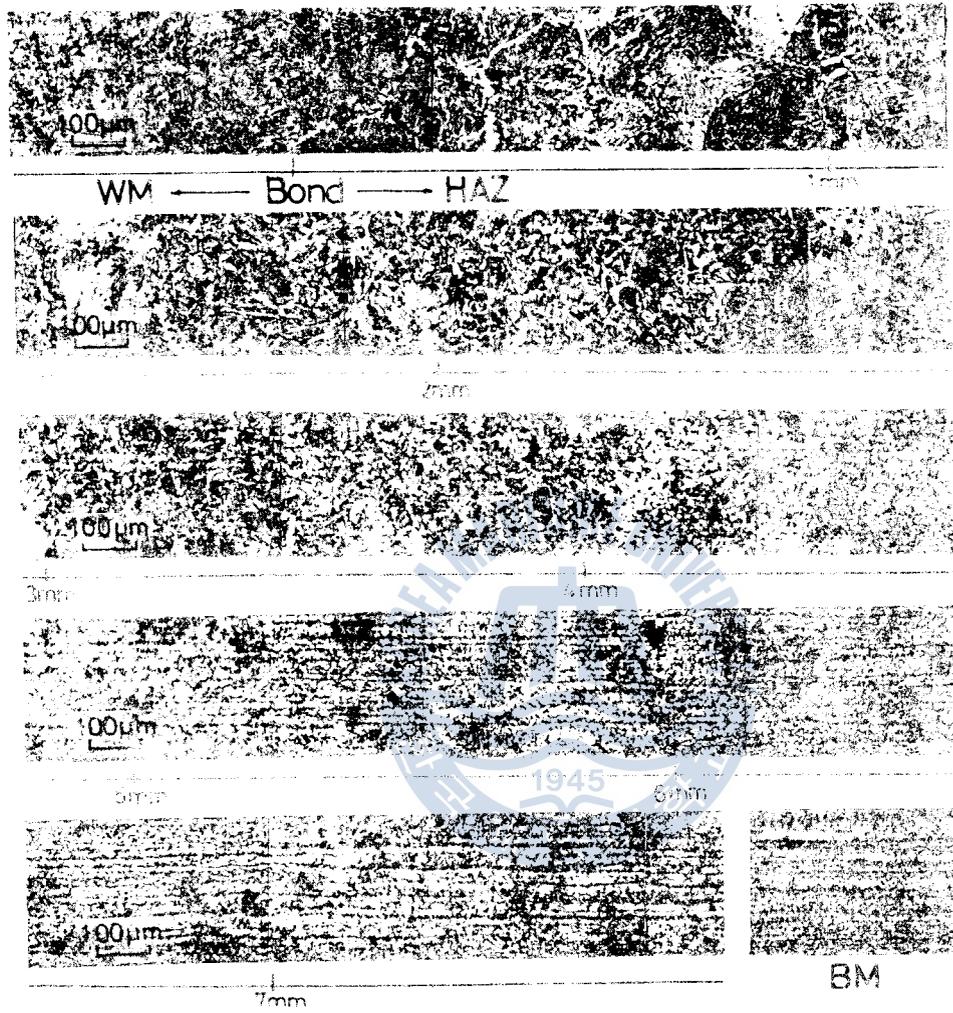


Photo. 6. Change of continuous micro-structure in EGW

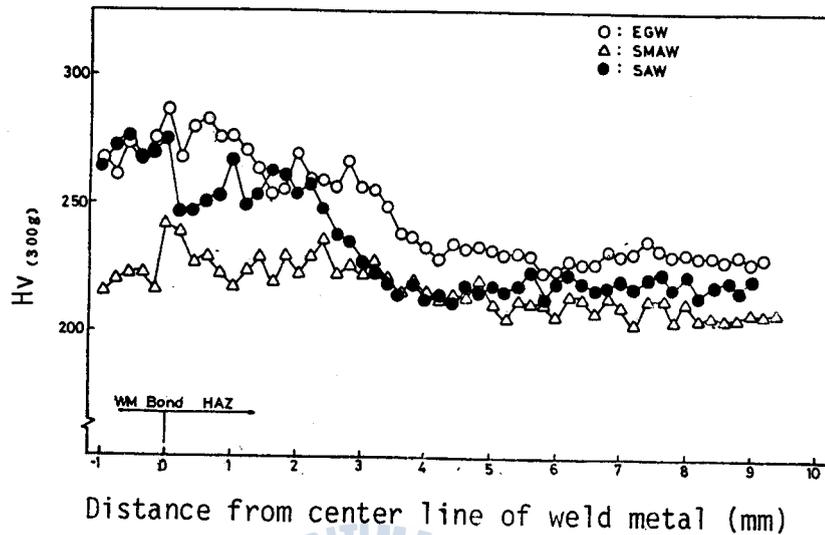


Fig. 6. Distribution of micro-Vickers hardness in various welding methods (AH 36)

Fig.6 은 高張力鋼材 AH36 鋼에 對하여 Table 3의 熔接條件으로 手動被覆 아아크熔接, 서브머이지드 아아크熔接과 일렉트로 가스熔接을 實施하여 各 試驗片에서 나타난 熔着金屬部, 본드部 및 熱影響部の 硬度變化를 測定한 結果이다.

이에 依하면, 3 가지 熔接方法 다같이 본드部에서 最大硬도를 나타내어 일렉트로 가스熔接時 $H_{V(300g)}$ 287, 서브머이지드 아아크熔接時 $H_{V(300g)}$ 275, 그리고 手動被覆 아아크熔接에서는 $H_{V(300g)}$ 236으로 最大硬도를 서로 比較하여보면 큰 差異는 보이지 않으며 또한 3 가지 熔接方法에 있어서 일렉트로 가스熔接과 서브머이지드 아아

크熔接의 경우는 比較的 高硬度 領域의 幅이 넓으나 手動被覆 아아크熔接의 경우는 본드部位를 除外하고는 硬度變化가 거의 없으며 특히 熔着金屬部는 母材部와 거의 같음을 알 수 있다. 본드部로부터 1.7 mm 位置에서 서브머지드 아아크熔接의 경우가 일렉트로 가스熔接의 硬度보다 높은 硬度值를 나타내고 있다.

手動被覆 아아크熔接의 경우가 다른 熔接方法에 비해 낮은 硬度 分布를 나타내는 것은 多層熔接으로 인한 熱處理 効果에 起因한 것으로 思料된다. 또한 3가지 熔接方法 多같이 熔接本드部에 있어서 $H_v(300g)$ 250 前後로 $50 kg/mm^2$ 級 高張力鋼材의 選定基準으로 考慮되고 있는 $H_v \max(5-10 kg)$ 325 에는 充分한 값을 나타내고 있다.¹⁵⁾

3.2 熔接部位別 限界 COD 값의 變化

Fig.7 은 試驗中 X-Y 記錄計에 記錄된 代表的인 荷重-變位 曲線을 나타낸 것이다.

여기서, 曲線(a)는 彈性限界內에서 破斷이 發生하는 脆性破壞 舉動을 나타내며, 曲線(b)는 彈性限界를 벗어나 最高荷重點을 지난 뒤의 破壞, 卽 延性破壞 舉動을 나타내는 形態이다. 여기에서, 最高荷重 P_c 와 塑性部分의 變位量 V_p 로서 BS 5762 規格에 따른 式을 利用하여 限界 COD 값을 計算할 수 있다.

Fig.9, Fig.10 및 Fig.11 은 以上の 方法으로 限界 COD 값을 計算하여 手動被覆 아아크熔接, 서브머이지드 아아크熔接 및 일로트로 가스熔接의 熔着金屬, 본드部, 熱影響部 및 母材部位에 對하여 溫度變化에 따른 限界 COD 값의 關係를 片對數座標에 表示한 것이다. 이에 依하면 手動被覆 아아크熔接部는 熔着金屬을 除外한 熱影響部 및 본드부의 限界 COD 값이 母材와 거의 같은 값을 나타내고 있다.

그러나 서브머이지드 아아크熔接 및 일로트로 가스熔接部の 경우는 熔着金屬, 본드部 및 熱影響部 모두 母材에 比하여 매우 낮은 限界 COD 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한, 試驗中 試驗片 表面形象의 連續觀察 및 試驗後 荷重-變位曲線上에서 全面降伏狀態를 考察한 結果 Fig.9, Fig.10 및 Fig.11 에 나타낸 바와 같이 限界 COD 값이 約 0.35 mm인 경우를 基準으로 그 以上에서는 全面降伏後 破斷되었으며 그 以下에서는 彈性的인 脆性破壞舉動을 보이고 있음이 확인되었다.¹⁷⁾

溫度變化에 따른 以上과 같은 延性-脆性遷移舉動은 熔接方法에 따라 顯격한 差異를 나타내고 있다. 卽 手動被覆 아아크熔接의 경우는 熱影響部 및 본드部에서는 全溫度區間에서 延性破壞舉動을 보이고 熔着金屬部는 -30 °C 를 前後하여 延性-脆性遷移舉動을 보이며,

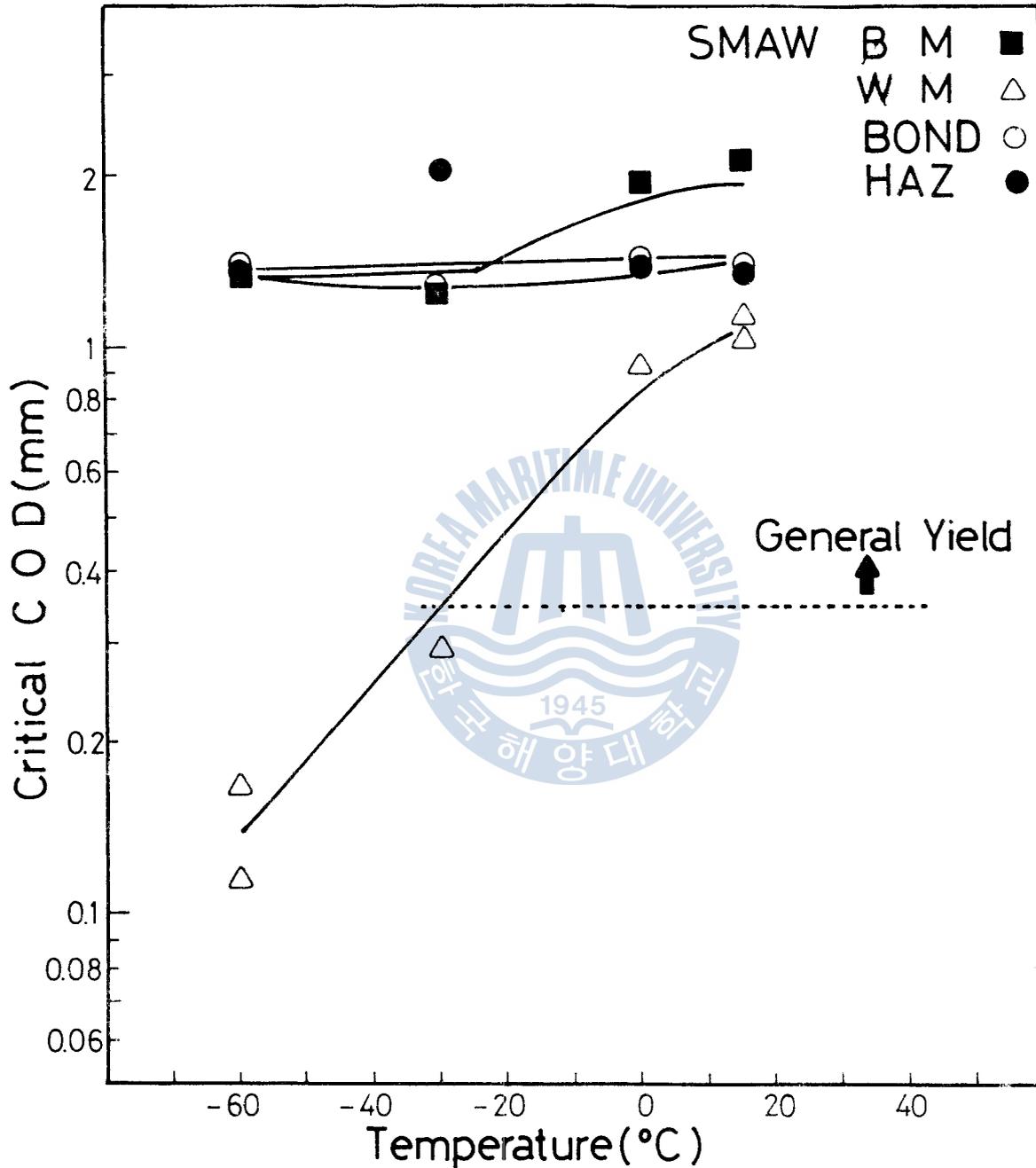


Fig.9 Critical crack opening displacement vs. temperature in shielded metal arc welding

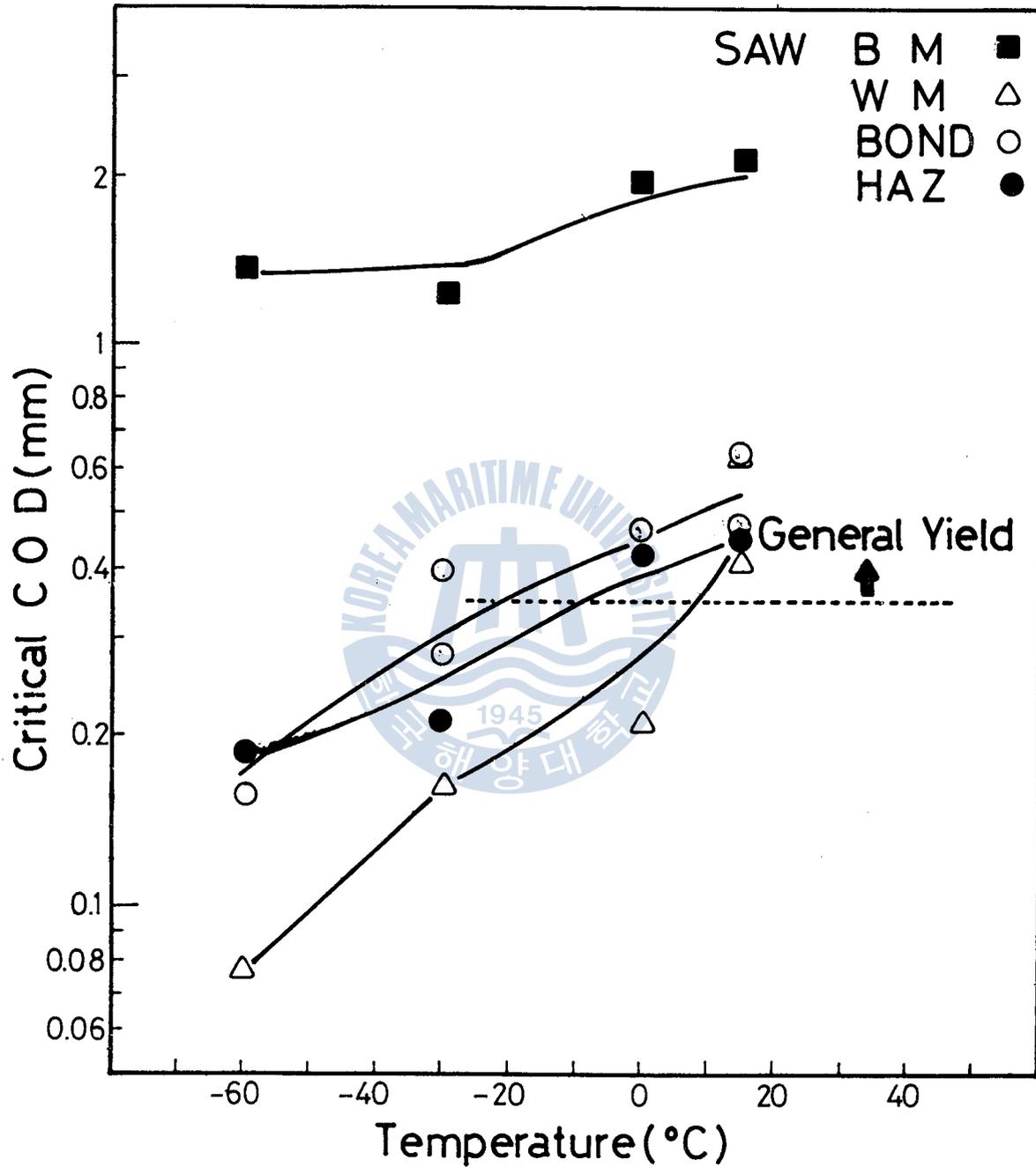


Fig.10 Critical crack opening displacement vs. temperature in submerged arc welding

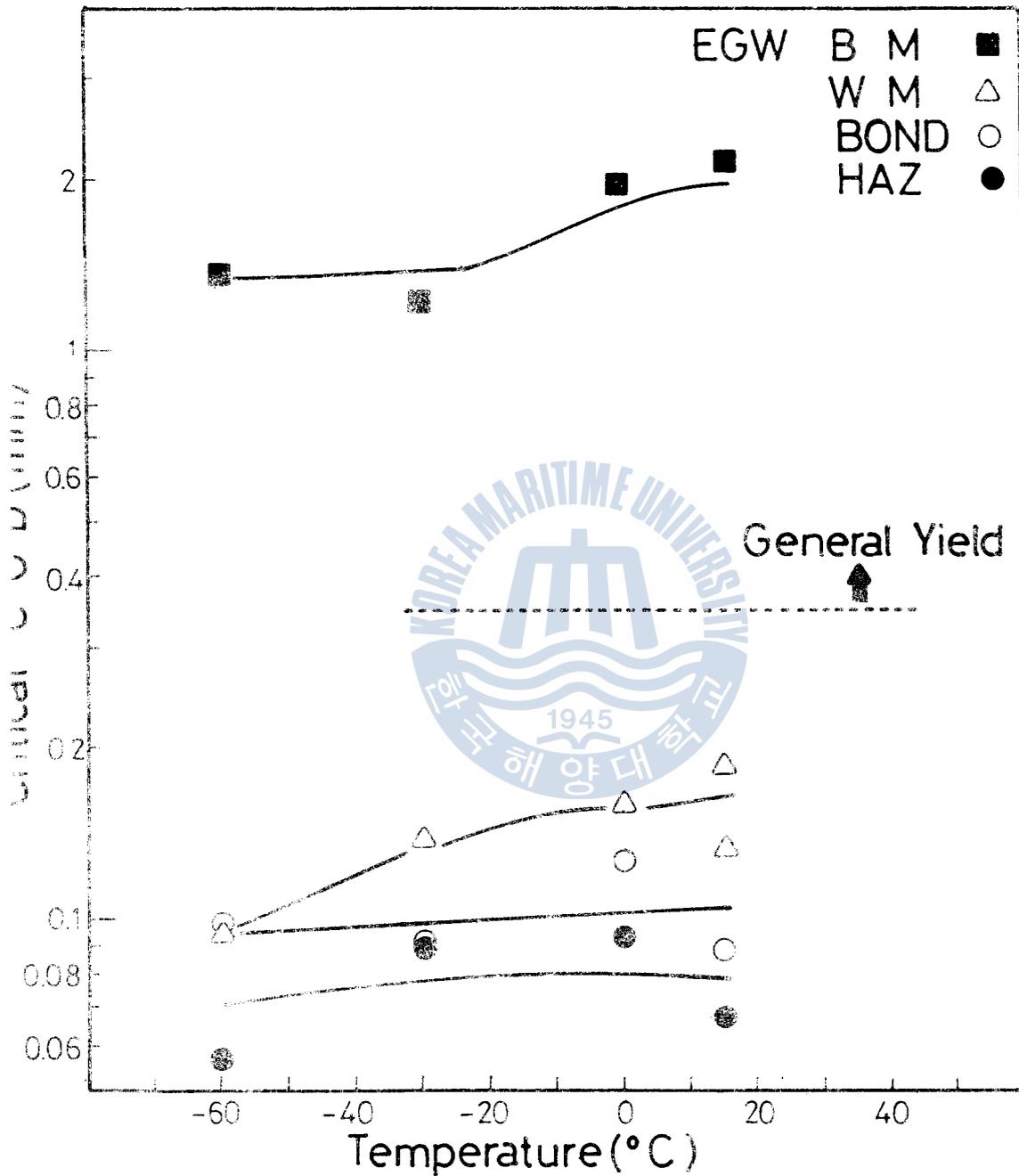


Fig.11 Critical crack opening displacement vs. temperature in electro gas welding

서브머이지드 아아크熔接의 경우는 0℃ 以下에서는 脆性破壞 그 이상의 溫度에서는 全面降伏後의 延性破壞舉動을 보이고 있다. 그리고, 일렉트로 가스熔接의 경우는 모든 熔接部가 全溫度區間에서 脆性破壞舉動을 보이고 있다.¹⁸⁾

이와같은 結果에서 限界 COD 값은 母材部가 熔接部에 比하여 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.¹⁹⁾

또한, 熔接部 中에서는 比較的 入熱量이 적은 手動被覆 아아크熔接과 서브머이지드 아아크熔接의 경우는 熔着金屬部가 가장 낮은 限界 COD 값을 나타내고 있으며, 일렉트로 가스熔接에서는 熔着金屬部가 조금 더 높은 값을 나타내고 있다.

Fig.12, Fig.13 및 Fig.14는 本 實驗에 使用한 것과 같은 鋼材인 AH36에 對하여 熔接部位別 疲勞 龜裂成長舉動을 比較하여 나타낸 것이다. 여기서, 應力強度係數範圍 ΔK 는 荷重과 試驗片의 形狀關係에 依해 式(2)를 利用하여 求하였다.²⁰⁾

$$\Delta K = \frac{3 \cdot \Delta P \cdot S \sqrt{\pi a}}{2B(W-a)^2} \{ 1.09 - 1.735(a/W) + 8.20(a/W)^2 - 14.18(a/W)^3 + 14.57(a/W)^4 \} \dots\dots\dots (2)$$

위 式에서, ΔP 는 荷重範圍, S 는 스패의 길이, a 는 노치를 포함한 龜裂길이, B 는 試驗片의 두께이며, W 는 試驗片의 幅이다.

$da/dN - \Delta K$ 關係를 全體적으로 보면 各 熔接方法 多같이 龜裂成長舉動은 應力強度係數範圍 ΔK 가 約 $170 \text{ kg} / \text{mm}^{1.5}$ 인 點을 前後

로 發生段階와 成長段階로 뚜렷이 區分되며 모든 實驗點들은 대체로 두개의 區間안에 整理되고 있음을 보이고 있다. 卽 母材의 實驗點 區間과, 본드部, 熱影響部 및 熔着金屬部가 部位別로 뚜렷한 區別없이 하나의 實驗點 區間안에 整理되고 있다. 이와 같은 結果에서 龜裂成長段階에 있어서의 同一한 ΔK 條件下에서 母材部가 溶接部보다 더 빠른 龜裂成長速度的의 舉動을 보이고 있다.²¹⁾²²⁾

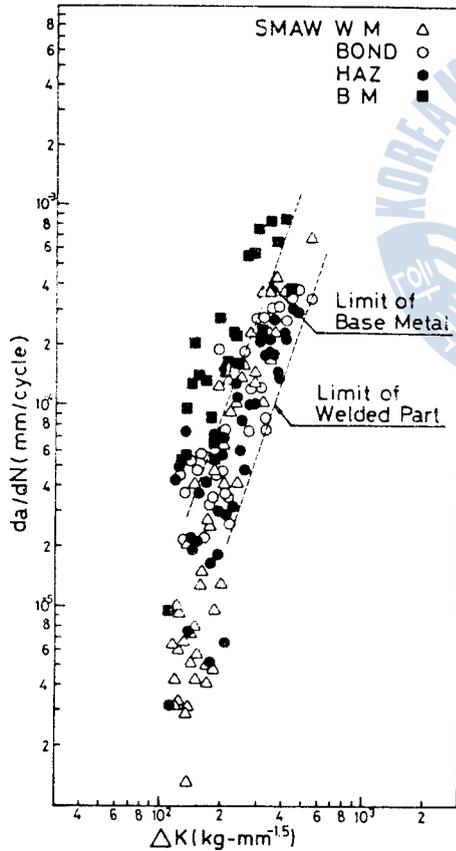


Fig.12 Crack growth rate(da/dn) vs. stress intensity factor range(ΔK) in shielded metal arc welding

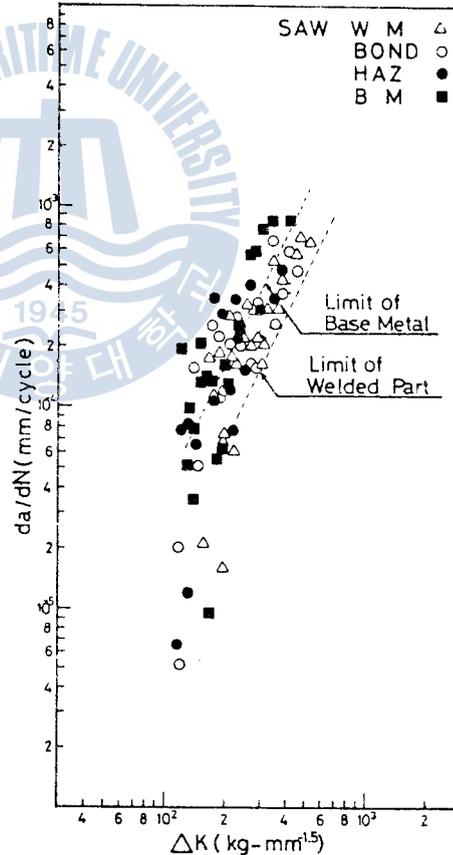


Fig.13 Crack growth rate(da/dn) vs. stress intensity factor range(ΔK) in submerged arc welding

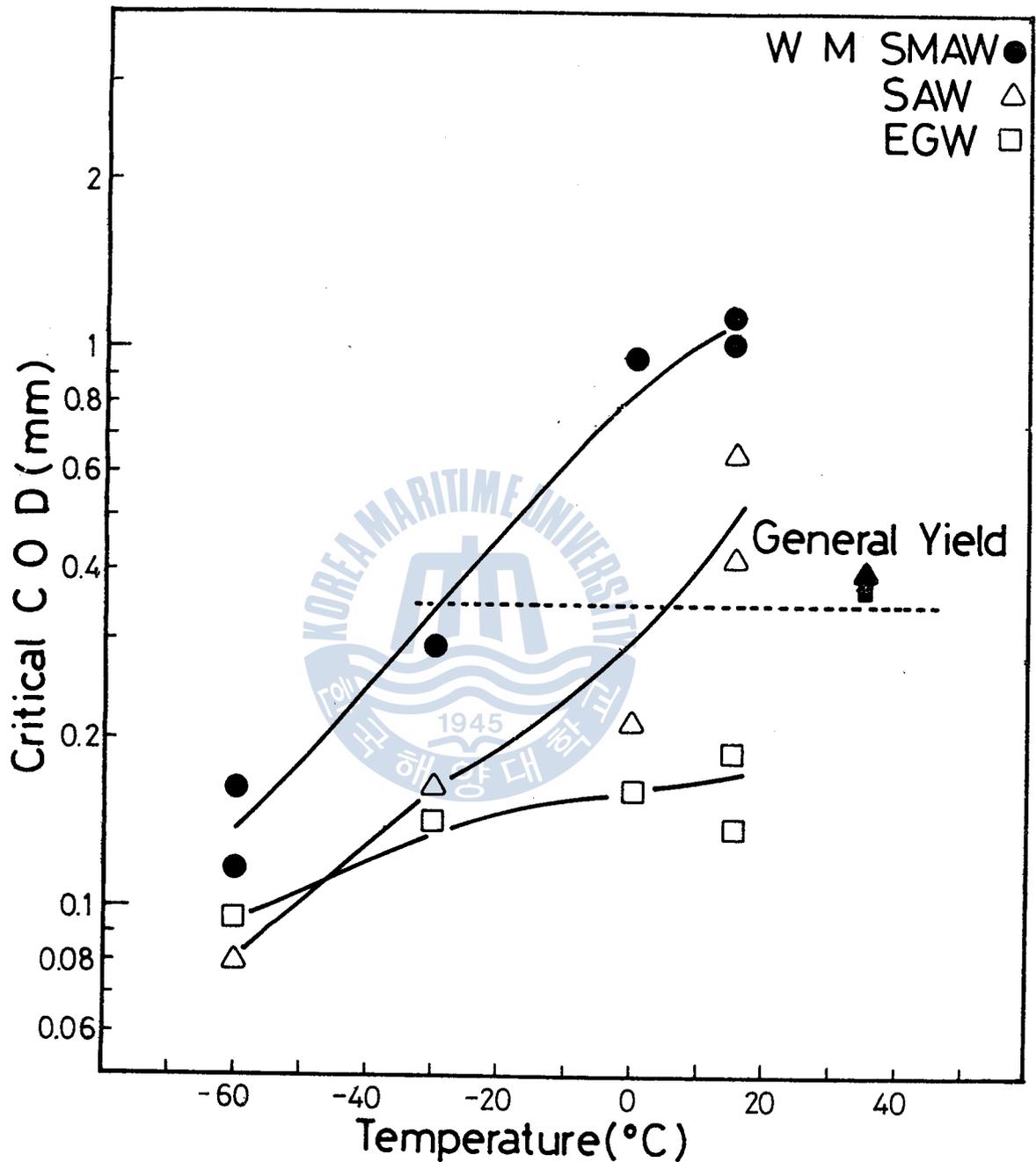


Fig.15 Critical crack opening displacement vs. temperature in weld metal under various welding methods

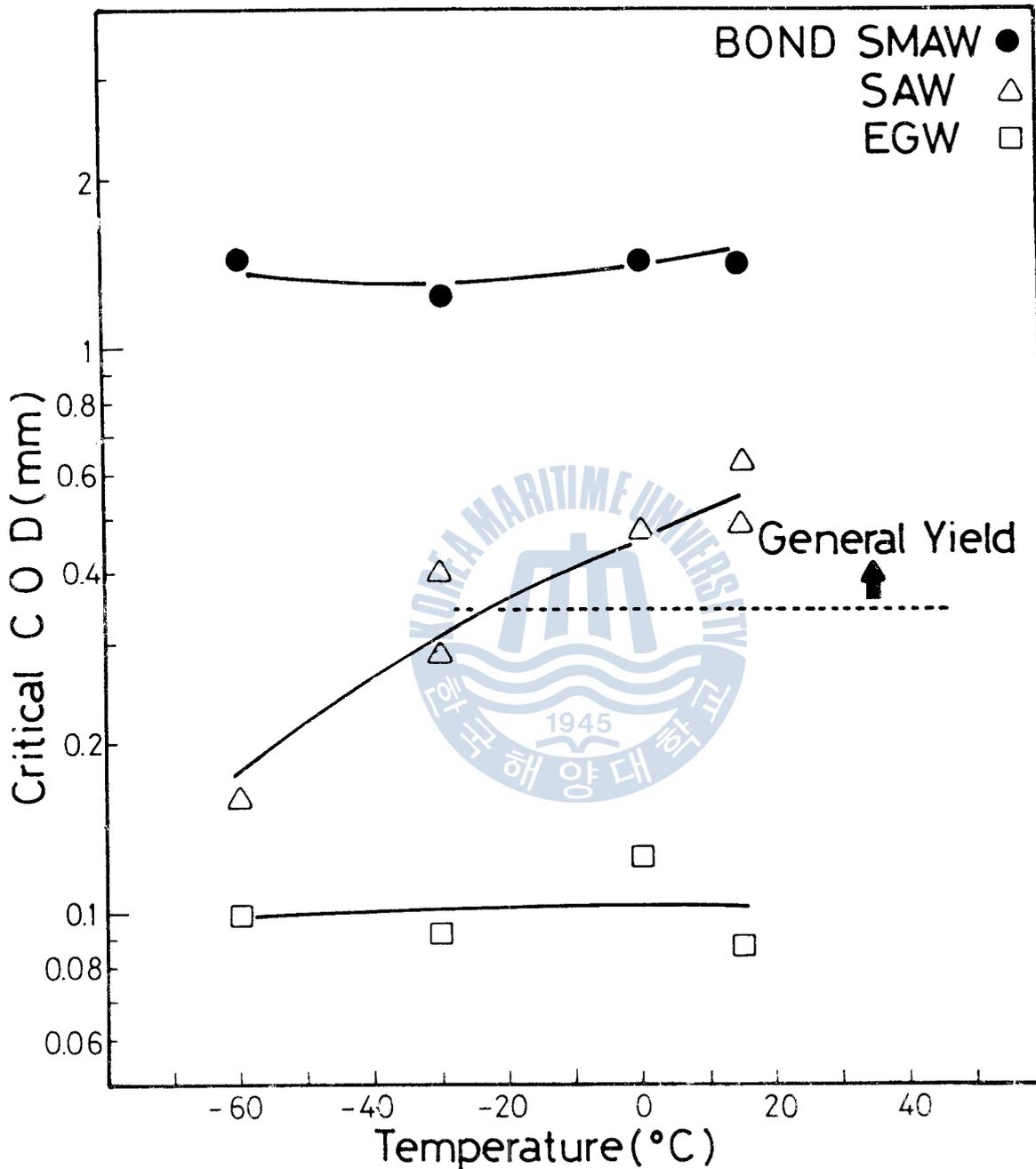


Fig.16 Critical crack opening displacement vs. temperature in bond under various welding methods

을 보이고 있다.

以上の 結果에서, 入熱量이 커짐에 따라 龜裂成長速度가 빨라질 뿐만 아니라 限界COD값도 낮아지고 있음을 알 수 있다.

3.4 破面考察

以上の 實驗結果를 보다 明確하게 하기 위하여 巨視的 및 微視的 破面을 통하여 考察하고자 한다.

Photo.7은 서브머지드 아아크熔接時 熔着金屬部の 溫度變化에 따른 巨視的 破面으로서, -60°C 에서는 脆性破面의 特徵인 光澤을 띤 破面이나, 溫度의 增加와 더불어 延性破面의 特徵인 거무스레한 破面이 增加하여 室溫에서는 破面全體가 거의 延性破面의 形態를 나타내고 있다.

이러한 事實을 走査型 電子顯微鏡을 利用하여 1,000倍로 擴大觀察한 Photo.8의 微視的 破面을 살펴보면, -60°C 에서는 破面全體가 脆性破面의 特徵인 壁開面으로 이루어져 있으나 溫度의 增加와 더불어 延性破面의 特徵인 dimple이 점차 增加하여 室溫에서는 dimple이 거의 全破面을 이루고 있음을 알 수 있다.

Photo.9는 -60°C 에 있어서 手動被覆 아아크熔接의 熔着金屬部 (a), 본드部(b) 및 熱影響部(c)의 微視的 破面을 나타낸 것이다. 熔着金屬部는 壁開面과 shear lip이 나타나 있어 脆性的인 破面을

보이나, 본드部 및 熱影響部에 있어서는 완전히 dimple 型 破面을 보이고 있어서 Fig.9의 實驗結果를 잘 뒷받침하고 있다.

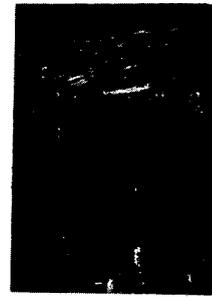
Photo.10 및 Photo.11 은 -60℃에 있어서 일렉트로 가스溶接(a)과 서브머지드 아아크溶接(b)時 熱影響部の 巨視的 및 微視的 破面을 撮影한 사진이다.

巨視的 破面을 살펴보면 일렉트로 가스溶接時 結晶粒의 粗大化는 肉眼으로도 比較될 만큼 서브머지드 아아크溶接에 비해 크게 發達되어 있음을 알 수 있다. 이를 微視的 破面에서 觀察하여 보면, 일렉트로 가스溶接의 熱影響部에 있어서는 그 破面單位(fracture facet)가 서브머지드 아아크溶接部에 비해 매우 크게 나타나 있어서 結晶粗大化 現象이 뚜렷함을 보이고 있다.²⁴⁾²⁵⁾

따라서, 일렉트로 가스溶接部の 限界 COD값이 매우 작게 나타나는 것은 大人熱로 인한 結晶粗大化 現象이 크게 寄與함을 알 수 있다.



(a) EGW



(b) SAW

Photo.10 Appearance of macro-fractographs in heat affected zone of EGW and SAW(-60°C)



(a) EGW



(b) SAW

Photo.11 Micro-fractographs in heat affected zone of EGW and SAW(-60°C)

參 考 文 獻

1. 金永植 ; 高張力鋼 熔接時의 問題點, 大韓機械學會誌, Vol.22, No. 3, 1982, pp.175~183. .
2. 掘川一男 ; 高張力鋼の 機械的性質とその劣化, 日本工經連セミナーテキスト, 第2部, 1970, pp.1~2.
3. 稻垣道天, 伊藤慶曲 ; 高張力鋼, 低溫用鋼の溶接, 産報出版, 1978, pp.9~20.
4. Kenneth Easterling; Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworths, 1983, pp.156~157.
5. 國尾 武外 3人 ; 破壊力學實驗法, 朝倉書店, 1984, pp.73~127.
6. George E. Dieter; Mechanical Metallurgy, International student edition, 1976, pp.509~513.
7. 向井喜彦 ; 溶接工學, 理工學社, 1979, pp.241~247.
8. British Standard Draft for Development DD19; Methods for Crack Opening Displacement (COD) Testing, The British Standards Institution, 1972.
9. British Standard BS 5762; Methods for Crack Opening Displacement (COD) Testing, The British Standards Institution, 1979.
10. 金永植, 具滋永 ; 高張力鋼 熔接분드部의 疲勞特性에 미치는 擴散性水素의 影響에 관한 研究, 1986, 韓國海洋大學 大學院,

pp.8~9.

11. 須藤 一外 2人；金屬組織學，丸善株式會社，1977，pp.69~73.
12. 日本溶接學會；溶接部組織寫眞集，黑木出版社，1984，pp.71~72.
13. 鈴木春義，田村博；溶接金屬學，產報出版，1978，pp.62~64.
14. 佐藤 由兵衛；50~60キロ非調質鋼溶接影響部の組織と加工性，日本溶接學會會誌，Vol.50, No.11, 1981, pp.11~18.
15. 日本規格協會；JIS 鐵鋼，1985，pp.79~80.
16. 韓國標準研究所；Crack Opening Displacement (COD) 試驗에 관한 英國工業規格 DD19 과 BS 5762 에 比較研究，1981，pp.11~14.
17. David Broek: Elementary Engineering Fracture Mechanics, Sijthoff & Noordhoff Netherlands, 1978, pp.227~230.
18. 日本造船研究協會；船體用高張力鋼板大入熱溶接継手の脆性破壊試験に關する研究，1976.
19. Robert D. Stout, W.D'orville Doty; Weldability of Steels. Welding Research Council, 1978, pp.135~141.
20. 岡村弘文；線形破壊力學入門，培風館，1976，p.218.
21. Stanley T. Rolfe, John M. Barson, Fracture and Fatigue Control in Structure, Prentice-Hall Inc., p.218.
22. 向井喜彦，田村新；高張力溶接部での疲勞き裂つ傳播舉動，日本溶接學會誌，Vol.51, No.10, 1982, pp.833~837.
23. 金永植，宋成玉；熔接施工條件에 따른 高張力鋼材 熔接部の 疲勞

龜裂成長特性에 관한 研究, 1986, 韓國海洋大學 大學院

24. 日本溶接學會 溶接冶金研究會; 鐵鋼溶接部の破面寫眞集, 黒木出版社,
1982, pp.282 ~ 283.

25. 北川英夫, 小寺沢良一; フラクトグラフィ, 培風館, 1976, pp.39~
78.

