

高酸化티탄系아아크熔接棒的 Penetration 에 關한 實驗的研究

朴 鍾 殷*

An Experimental Study on the Penetration of High-Titania Potassium Type Coated Arc Welding Rod

by

Jong Eun Park*

Abstract

The penetration of domestic high-titania potassium type arc welding rod has been investigated experimentally.

The penetration of this type arc welding rod is influenced much more by changing welding current than welding speed and thickness of base metal in range of 6~9 mm.

Values of penetrations were 1.00~1.75 mm for 3.2 mmφ rod, and 1.10~1.86 mm for 4 mmφ rod in adequate welding current range.

The domestic rod's penetration is deeper than same type rod of the United State's product.

1. 序 言

아아크熔接棒的 penetration 은 熔接棒的 몇가지 重要한 性質中的 하나이다. Penetration 은 熔接作業時의 edge preparation 의 精密度에 影響되는 바 크며 板의 두께와 bead 外觀等を 考慮한 熔接棒的 選擇에도 重要한 要素가 된다. 多層熔接에서는 層相互間이나 各 pass 間的 熔融에도 큰 影響을 주며 penetration 이 좋지 못한 棒을 不適合하게 使用하면 熔融不良, slag 混入, gas pocket 等の 熔接缺陷을 만들어서 熔接強度에 致命的인 惡影響을 준다.

같은 軟鋼用熔接棒이고 또 同一한 芯線을 使用하여 製造하였다 하더라도, 高酸化티탄系, 일미나이트系, 셀룰로스系, 低水素系等, 被覆劑의 主成分의 系統에 따라 penetration 은 相當한 差異가 있으며 같은 系統의 棒이라 할지라도 製造者에 따라서 또한 달라진다.

새로운 熔接棒(或은 熔接線)이나 熔接法이 開發될 때 반드시 penetration 을 研究하고 있는 것이 先進國들의 實情이며 美國에서는 軟鋼用棒에 對해서 高酸化티탄系는 shallow, 셀룰로스系는 moderate, 高酸化鐵系는 deep 等으로 區分되어 있고[1], submerged arc 熔接에서는 C.E. Jackson 이 penetration 에 關한 實驗式도 設定하고 있다[2].

接受日字 1970年 2月 20日
* 正會員, 서울大學校 工科大學

軟鋼用아아크熔接棒에 있어서는 우리 國產棒도 몇가지는 相當한 水準에 到達하였고, 가장 일찍부터 開發되고 또 現在 많이 使用되는 두 種類中의 하나인 일미나이트系(他는 高酸化티탄系)의 penetration에 對해서는 筆者도 研究한 바 있다[3].

本 研究에서는 國產高酸化티탄系棒의 penetration을 研究하였는데 比較해 보기 爲하여 같은 系統의 美國產棒을 選擇하였고 penetration에 가장 큰 影響을 주는 熔接電流와 熔接速度와의 關係도 考察하였다.

2. 實 驗

本 研究는 다음과 같은 熔接機器와 材料를 써서 實驗的으로 進行시켰다. 即, 먼저 實驗을 하고 거기서 얻은 數值로서 penetration을 考察하였다.

2. 1 實驗用機器

(1) 아아크熔接機; Marquette社의 model 95C A.C. 熔接機를 使用하였으며 그 諸元은 다음과 같다.

Secondary amperage; 295 (max.) amp.	Secondary voltage; 20 volt
Opencircuit voltage; 80 volt	Primary amperage; 54 amp.
Primary voltage; 230 volt	Frequency; 50 cycles/sec
Duty cycle; 20%	Power factor; 82%

(2) Clamp Meter; 아아크熔接機의 panel plate에서 읽어지는 出力電流値는 入力側의 條件에 따라 實際出力電流値와는 相當한 差異가 있으므로 bead를 熔接할때 National Clamp Meter 600 S (max. current 600 amp., max. voltage 600 volt A.C.)로서 아아크電流値와 電壓値를 각 bead마다 測定하였다.

(3) 定速運棒補助裝置; 아아크熔接에 있어서 penetration에 큰 影響을 주는 것은 熔接電流, 熔接速度, 被覆劑의 種類等이다. 이 중에서 熔接速度는 自動熔接機를 使用하지 않는 手動熔接에서는 어떤 길이의 bead를 一定速度로서 熔接하기는 大端히 어렵다. 그래서 本 研究에서는 株式會社 田中製作所와 熔斷機研究所製의 速度變化範圍 50~1,000 mm/min.인 KT 5型 自動切斷機에 切斷 tip代身에 Fig. 1에서 보는 바와 같이 solid tip을 製作附着시켜 熔接棒이 그 끝을 따라 進行토록 했다.

이 裝置를 利用한 結果 Fig. 2에서 보는 바와 같이 利用하지 않을 때에 比해 penetration 값의 變動은 훨씬 적어졌다. 두 試片中 4字가 표시하는 것은 이 補助裝置를 利用하지 않은 境遇이고 C14가 표시하는 것은 利用

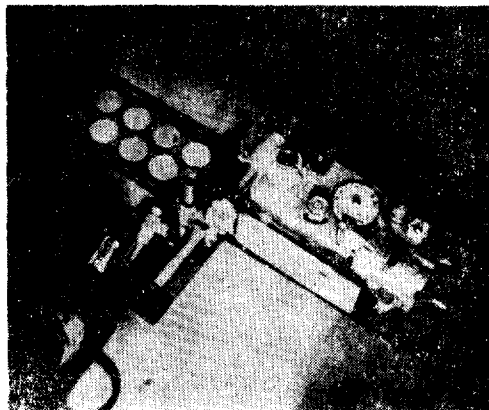


Fig. 1 Auxiliary equipment used to keep constant speed of travel.

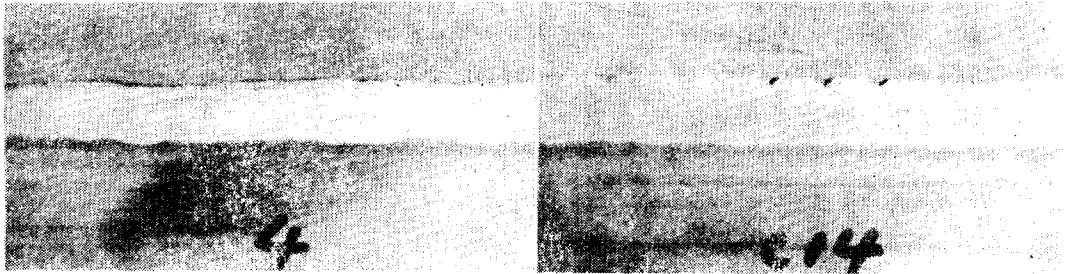


Fig. 2 Penetration lines welded with and without auxiliary equipment.

한 境遇이다. 사진에 표시된 試片의 길이는 3 cm 이고, 熔接條件은 다같이 電流 150 amp., 速度 22.0 cm/min., 母材두께 9 mm, 熔接棒은 B-1500 4 mmφ 였다.

2. 2 實驗에 使用한 材料

(1) 母材用軟銅板; KSD 3503 規格의 構造用銅板이며 韓國鐵鋼生産品인 9 mm 및 6 mm 두께의 軟銅板을 使用하였다.

(2) 熔接棒

(i) B-1500 및 CR-13 棒; 이 棒은 KS E 4313 級이며 高酸化티탄系棒으로서 本研究의 目的棒이며 우리 나라에서는 가장 일찍부터 많이 使用되는 2 種熔接棒中的의 하나이다.

우리 나라에는 現在 두 著名한 製造者가 있으므로 그들것을 各各 1 種式(B-1500 은 韓國化工株式會社, CR-13 은 朝鮮線材工業株式會社) 選擇하였으며 size 는 4 mmφ 및 3.2 mmφ 였다.

(ii) F-100 棒; 이 棒은 KS E 4301 級이며 일미나이트系棒으로서 高酸化티탄系棒과 같이 우리 나라에서는 가장 일찍 開發된 2 種中的의 하나이다. 高酸化티탄系棒과 penetration 을 比較하기 爲하여 選擇한 것이며 製造者는 韓國化工會社이고 size 는 3.2 mmφ 였다.

(iii) Marquette's No. 140; 이 棒은 美國 E6013 規格品으로서 亦是 高酸化티탄系棒인데 國產棒과 penetration 을 比較해 보기 爲하여 選擇한 것이다. 美國에는 優秀한 熔接棒 製造者가 많으나 材料獲得關係로 Marquette 社의 1 種만 採擇하였다.

이들 熔接棒에 의한 熔接金屬의 機械的 性質과 penetration 은 다음 Table 1 과 같다.[4][5][6][7].

Table 1. Mechanical Properties & Penetrations of Weld Metal

Name of Electrode	KS or A.W.S. Classification	Type of covering	Tensile Strength kg/mm ² (or min. psi)	Yield Point kg/mm ² (or min. psi)	Elongation% (or 2 in. %)	Penetration
B-1500	KS E 4313	High Titania Potassium	48~52	38~45	>17	Shallow
CR-13	KS E 4313	"	>43	>35	>17	
F-100	KS E 4301	Ilmenite	44~51	37~42	>22	
Marquette's No. 140	A.W.S. E 6013	High Titania Potassium	51~54(75,000 ~80,000)	42~46(62,000 ~67,000)	27~35	

2. 3 試片製作

(1) 試驗板製作; 母材銅板에 알맞는 間隙으로 bead 를 熔接한 試驗板을 製作하고 各 bead 를 切斷하여 試片

을 製作했다.

(i) 試驗板치수; 試驗板의 크기는 9 mm 및 6 mm 두께의 軟鋼板을 다같이 가로 305 mm, 세로 120 mm 로 切斷하고 熔接 bead 는 세로로 놓았다. 가로의 兩쪽 끝에서 30 mm 식을 남겼고 bead 間의 間隙은 熱影響部가 서로 干涉하지 않도록 35 mm 식 떼었다.

(ii) 試驗板熔接; 室溫 10~12°C 의 잘 乾燥된 實習場內熔接이었으며 熔接棒은 作業前에 잘 乾燥시켰다. 熔接進行方向은 後進法을 使用하여 lead angle 은 10~20°, work angle 은 0~5° 였고 [8][9], 아아크 길이는 4 mmφ 棒에서는 4 mm, 3.2 mmφ 棒에서는 3 mm 를 標準으로 삼았다.

(iii) 試驗板作成要領; penetration 은 被覆劑의 種類, 熔接電流, 熔接速度에 따라 變하는데 本研究에서는 被覆劑의 種類가 高酸化티탄系로 定해져 있으므로 남은 2 가지 條件으로서 實驗하였다.

熔接棒製造者의 catalog 에는 熔接棒의 굵기에 따라 適正熔接電流가 표시되어 있으므로 適正電流範圍는 쉽게 알 수 있다.

本 實驗에서는 電流를 一定하게 해놓고 速度를 變化시킨 境遇와 速度를 一定하게 해놓고 電流를 變化시킨 境遇의 2 가지로서 實驗하였다.

먼저 catalog 에 의해서 適正電流를 하나 정하고 그 電流로서 電流를 一定하게 維持하면서 速度를 變化시킨 試驗板을 作成한 다음, 이 試驗板의 bead 를 보고 適正速度를 하나 定해서 그 速度를 一定하게 維持하면서 電流를 變化시킨 試驗板을 만들었다.

(iv) 熔接速度를 變化시킨 試驗板作成(一定電流 110 amp. 및 160 amp.); catalog 에 표시된 B-1500 및 CR-13 棒 4 mmφ 의 電流範圍는 120~170 amp. 이고 [4], [5] 美國產被覆아아크熔接棒 5/32"(약 4 mm)φ 의 電流範圍는 120~175 amp. 이다 [10]. 따라서 이 範圍內에서는 電流가 若干 큰 便이 좋으므로 4 mmφ 에 對해서는 160 amp. 로 決定했다. 3.2 mmφ 棒에 對한 110 amp. 도 마찬가지로 決定했다. 各 bead 를 熔接함에 있어서는 먼저 熔接한 bead 의 熔接熱이 다음 bead 에 影響이 없도록 各試驗板에 2 줄의 bead 를 놓은 다음 充分히 冷却시켰다.

3.2 mmφ 棒(母材두께 9 mm 및 6 mm)과 4 mmφ 棒(母材두께 9 mm)에 對한 熔接條件은 다음 Table 2 및 3 과 같다.

Table 2. Welding Conditions for 3.2 mmφ Electrodes of B-1500, CR-13, F-100, and Marquette's No. 140

No. of Bead	1	2	3	4	5	6	7	8
Welding Speed cm/min.	10.0	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	30.0	40.0
Arc Voltage, volt	30	30	30	30	30	30	30	30
Welding Current, amp.	110	110	110	110	110	110	110	110

Table 3. Welding Conditions for 4 mmφ Electrodes of B-1500, and CR-13

No. of Bead	1	2	3	4	5	6	7	8
Welding Speed cm/min.	10.0	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	30.0	40.0
Arc Voltage, volt	35	35	35	35	35	35	35	35
Welding Current, amp.	160	160	160	160	160	160	160	160

이 試驗板熔接에서 作業時에 發見된 事實은 熔接速度가 빠른 便의 끝으로 부터 2 개 bead 는 너무 빠른 感이 있고(bead 外觀에 依해), 느린 便의 끝으로 부터 2 개 bead 는 너무 느려서 slag 가 妨害하는 등 作業性이 좋치

못하였는데 3.2 mmφ 때가 4 mmφ 때보다 그 程度가 若干 더 甚했다.

(v) 熔接電流를 變化시킨 試驗板作成(一定速度 20.0 cm/min.); 먼저 만든, 熔接速度를 變化시킨 試驗板에 依해서 가장 適合하다고 認定되는 速度를 擇한것이 20.0 cm/min.이다. 이 速度로서 速度를 一定하게 維持하면서 다음 Table 4(母材두께 9 mm 및 6 mm) 및 5(母材두께 9 mm)에 표시한 바와 같은 電流로서 各 bead를 熔接하였다.

Table 4. Welding Conditions for 3.2 mmφ Electrodes of B-1500, CR-13, F-100, and Marquette's No. 140

No. of Bead	1	2	3	4	5	6	7	8
Welding Current, amp.	60	80	100	110	120	130	140	160
Arc Voltage, volt	28	28	30	30	30	30	30	35
Welding Speed, cm/min.	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

Table 5. Welding Conditions for 4 mmφ Electrodes of B-1500, and CR-13

No. of Bead	1	2	3	4	5	6	7	8
Welding Current, amp.	100	120	140	150	160	170	180	200
Arc Voltage, volt	32	30	30	35	35	35	30	35
Welding Speed, cm/min.	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

이 試驗板의 熔接作業時 發見된 事實은 熔接電流가 작은 便의 끝으로 부터 2개 bead에서는 아아크維持가 어렵고 bead外觀도 不良하였으며 큰 便의 끝에서는 4 mmφ 棒에서는 2개 bead가, 3.2 mmφ에서는 3개 bead가 被覆劑가 타는것을 보았으며 이 現象은 電流가 增加할수록 甚하였다.

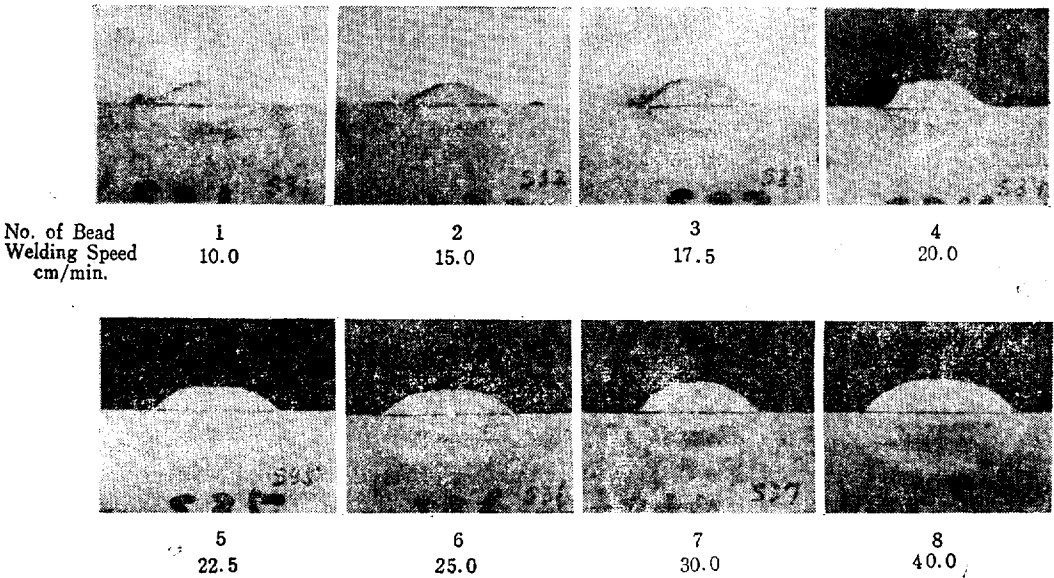


Fig. 3. Macro pictures showing different penetrations by different welding speed (2×).

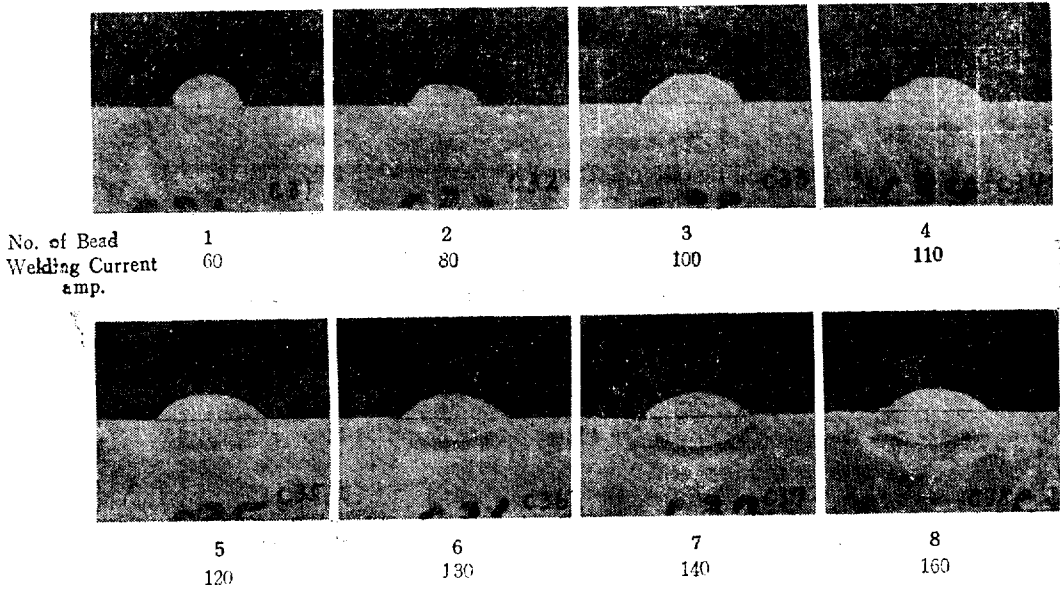


Fig. 4. Macro pictures showing different penetrations by different welding currents (2×).

Table 6. Relation Between Penetration and Welding Speed

Welding Speed cm/min.	Penetration, mm										
	B-1500	CR-13	Marq. No. 140	F-100	B-1500	CR-13	Marq. No. 140	F-100	B-1500	CR-13	
10.0	1.03	0.98	0.74	1.08	1.14	1.27	0.86	1.16	1.21	1.53	
15.0	1.50	1.01	0.72	1.11	1.17	1.21	0.89	1.09	1.64	1.65	
17.5	1.38	1.16	1.07	1.37	1.35	1.28	0.93	0.95	1.65	1.85	
20.0	1.40	1.31	1.06	1.07	1.15	1.36	0.97	1.07	1.63	1.65	
22.5	1.33	1.32	0.89	1.15	1.17	1.23	1.13	1.04	1.64	1.90	
25.0	1.41	1.15	0.83	1.43	1.12	1.16	1.09	1.03	1.62	1.76	
30.0	1.36	1.21	0.88	1.46	1.16	1.29	0.83	1.06	1.46	1.63	
40.0	1.25	1.08	0.75	1.27	0.61	1.02	0.56	0.84	1.24	1.42	
Welding Current, amp.;			110					110	160		
Electrode Size, mmφ;			3.2					3.2	4		
Base Metal Thick, mm;			9					6	9		
(A)					(B)			(C)			

(2) 試片製作

Penetration 을 測定하기 爲하여 試驗板에 熔接된 bead 를 切斷하여 斷面을 腐蝕시켰다. Bead 의 crater 쪽에서 30 mm 정도 되는 곳이 가장 熔接條件이 均一했다고 認定되므로 그 곳에서 bead 線에 垂直인 直線에 따라 機械切斷하고 거기서 다시 bead 의 各各을 잘라내서 grinder 에 갈고 sand paper 로서 研磨한 後에 nital acid (a) [11]를 利用하여 腐蝕시켰다. 여기서 國產 HNO₃를 使用했는데 5%로서는 腐蝕이 잘되지 않아서 20% HNO₃를 使用하였다. 이렇게 하여 만들어진 (iv)와 (v)의 境遇의 試驗板中 各 1개씩을 표시하면 Fig. 3 (B-1500 3.2

mmφ, 110 amp., 母材두께 9mm) 및 4(B-1500 3.2 mmφ, 20.0 cm/min., 母材두께 9mm)와 같다.

이 試片을 測定하여 다음 Table 6 및 7을 얻었다.

Table 7. Relation Between Penetration and Welding Current

Welding Current, amp.	Penetration, mm										
	B-1500	CR-13	Marq. No. 140	F-100	B-1500	CR-13	Marq. No. 140	F-100	Weld. Current	B-1500	CR-13
60	0.60	0.43	0.24	0.43	0.18	0.16	0.21	0.22	100	0.71	0.66
80	0.66	0.51	0.51	0.61	0.65	0.62	0.34	0.47	120	1.12	1.17
100	1.15	1.13	0.72	1.07	0.93	0.84	0.79	0.94	140	1.13	1.45
110	1.16	1.37	0.87	1.13	1.16	1.09	0.97	1.02	150	1.28	1.55
120	1.41	1.26	1.23	1.26	1.34	1.41	1.23	1.53	160	1.48	1.53
130	1.65	1.87	1.43	1.59	1.39	1.75	1.52	1.66	170	1.86	1.87
140	2.00	2.01	1.78	1.88	1.56	1.95	1.45	1.97	180	2.31	2.05
160	2.25	2.43	1.99	2.23	2.19	2.56	2.11	2.63	200	2.50	2.53
Welding Speed, cm/min.;				;20				;20			
Electrode Size, mmφ;			3.2			;3.2			;4		
Base Metal Thick. mm;			9			;6			;9		
(a)			(b)			(c)					

3. 考 察

試片의 penetration을 測定하여 얻어진 數值, Table 6 및 7로서 熔接速度 및 熔接電流의 變化에 따르는 penetration의 變化를 그림표로 그려보면 Fig. 5 및 6과 같고 이것으로서 penetration을 考察해 본다.

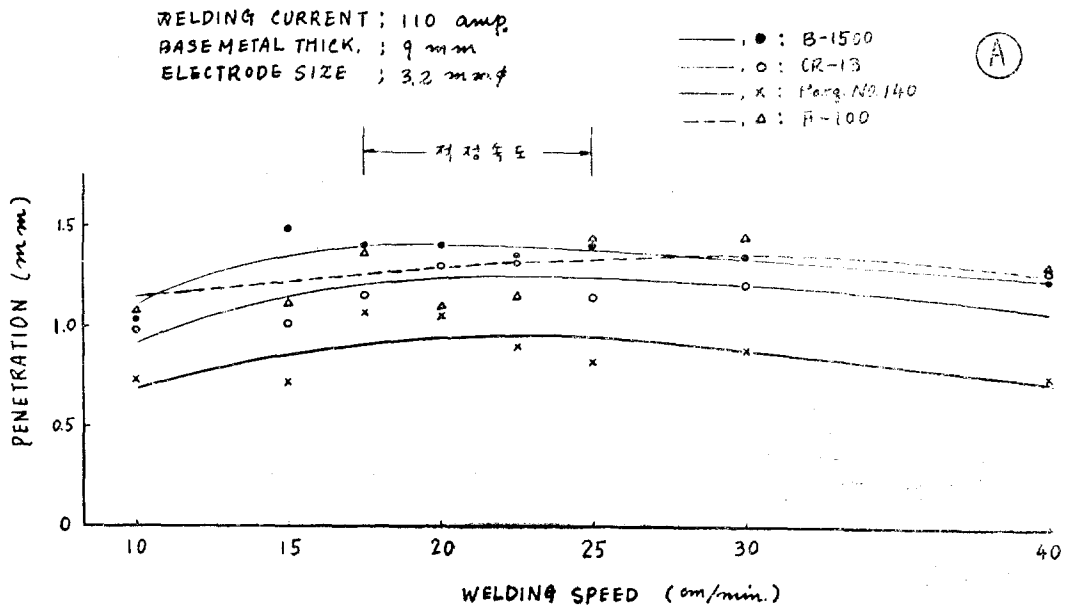


Fig. 5. (a) Relation between penetration and welding speed.

WELDING CURRENT: 110 amp
 BASE METAL THICK: 6 mm
 ELECTRODE SIZE: 3.2 mmφ

○ : B-1500
 ○ : CR-13
 x : Marq. No. 140
 △ : F-100

(B)

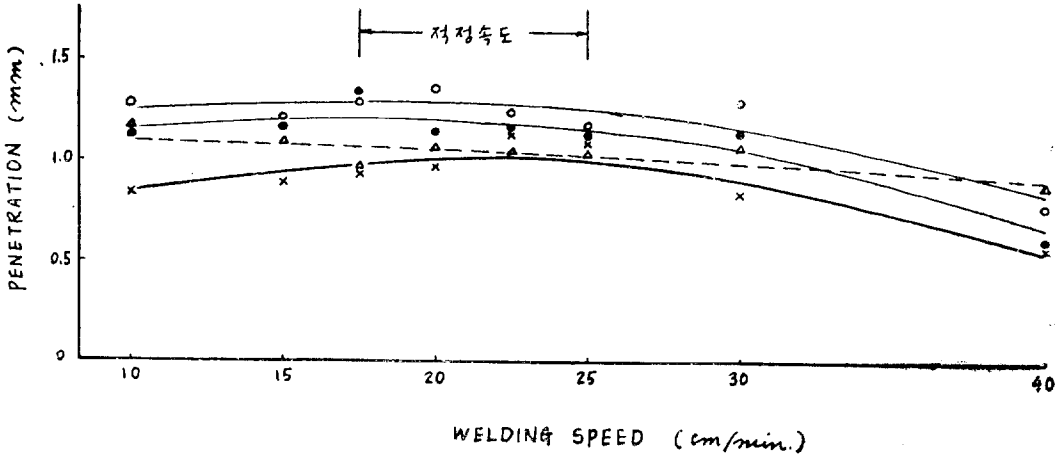


Fig. 5 (b)

WELDING CURRENT: 160 amp
 BASE METAL THICK: 9 mm
 ELECTRODE SIZE: 4 mmφ

○ : B-1500
 ○ : CR-13

(C)

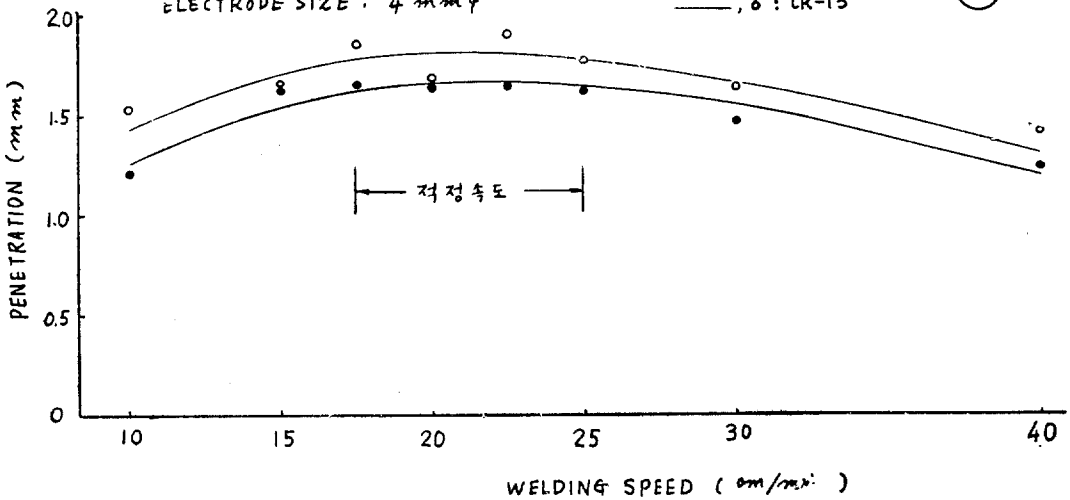


Fig. 5 (c)

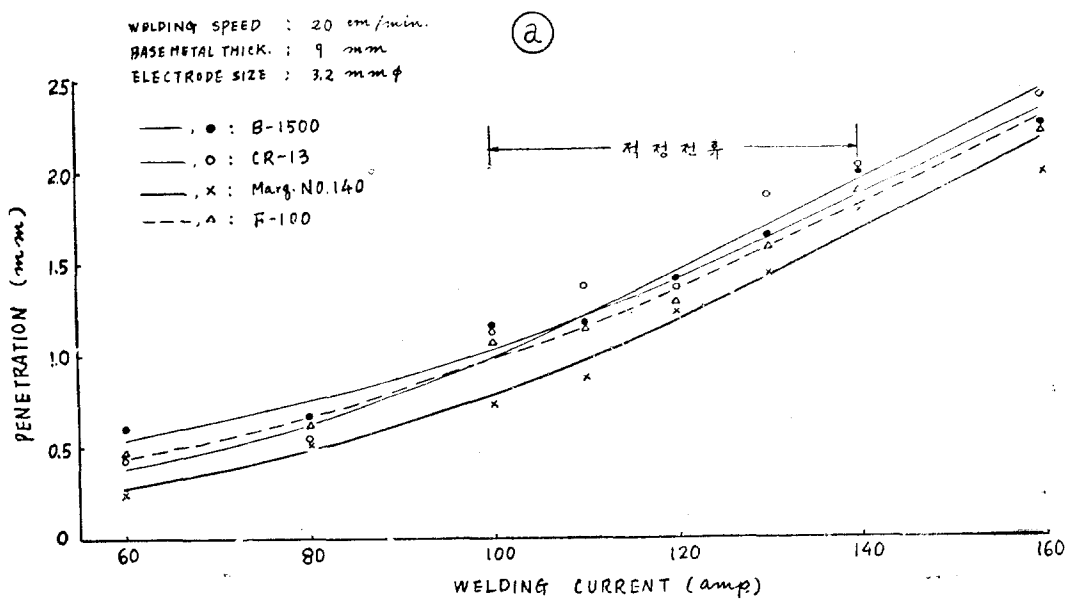


Fig. 6(a) Relation between penetration and welding current

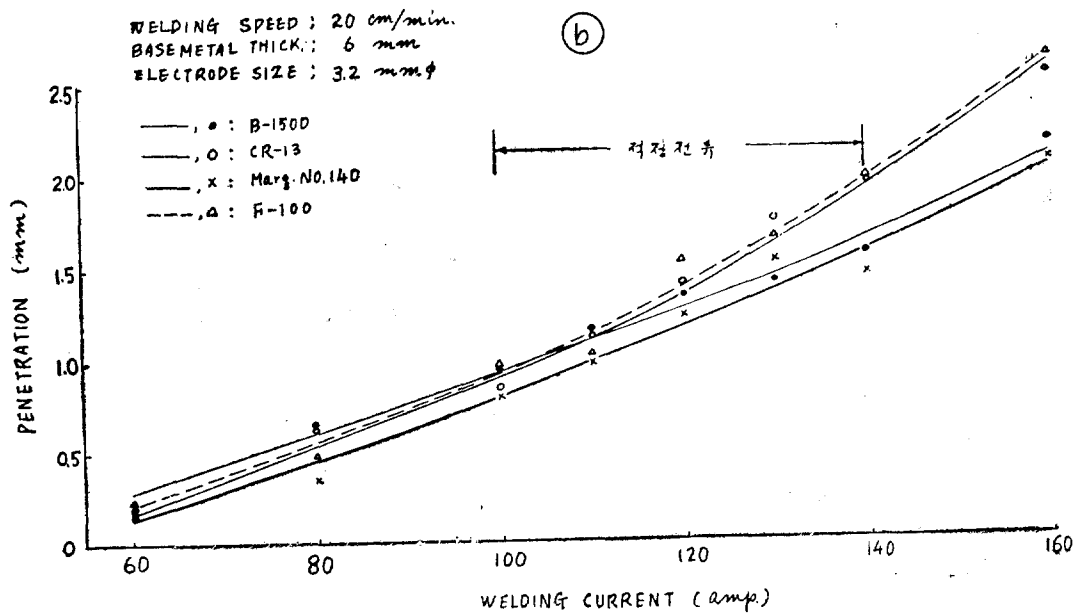


Fig. 6 (b)

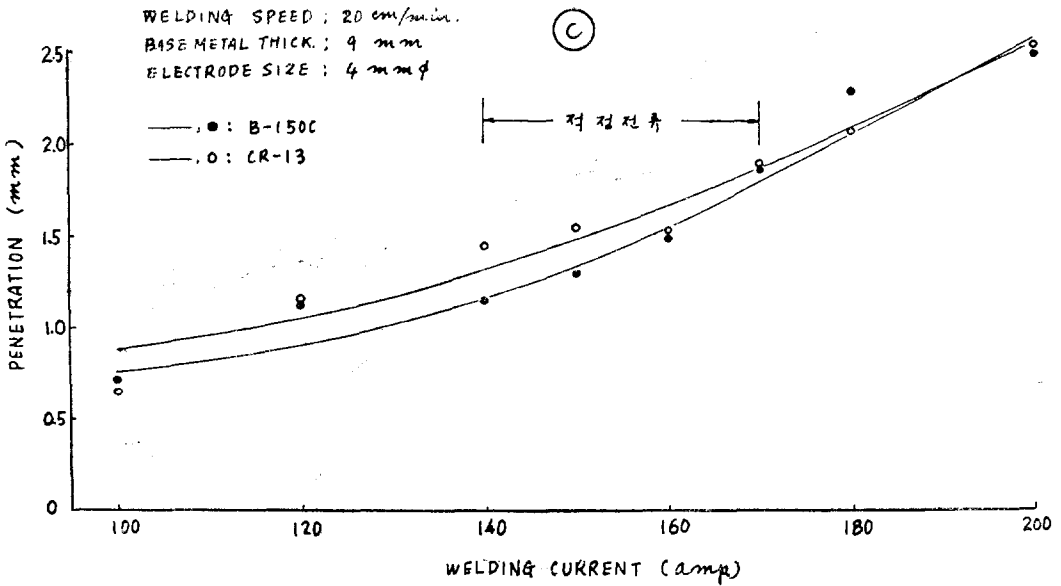


Fig. 6 (c)

3. 1 一定電流下에서의 熔接速度와 penetration 과의 關係

(1) 熔接速度를 漸次 增加시키면 penetration 은 처음에는 차차 增加하여 適正速度範圍에서 最高値에 到達하고 그後는 다시 漸次減少한다. 이것을 考察해 볼 때 速度가 느릴 때는 먼저 熔着된 熔融金屬이 아아크가 母材에 到達하는 것을 妨害하는 까닭이며 速度가 너무 빨라지면 單位길이當의 熔接入熱이 減少하므로 penetration 이 減少한다고 解釋되는데 이것은 鈴木의 著述과는 一致한다[2]. 그러나 岡田와 鈴木의 共著에 依하면 penetration 을 處理하는 데 I/\sqrt{v} 를 써서 整理하는 것이 보다 좋겠다고 著述하고 있으나[12], 처음의 部分, 即 速度增加와 더불어 penetration 이 增加하는 部分에서는 一致하지 않는다. 여기서 I 는 電流, v 는 速度를 표시한다.

(2) 國產高酸化티탄系棒의 penetration 은 2 製造者에 依한 2 種類가 비슷하며 美國產同系棒보다는 깊다.

(3) 鋼板의 두께의 差異에 대한 penetration 의 差異는 이 實驗의 境遇에는 別로 認定할 수 없다. 이 理由는 熔接入熱은 短時間에 急激한 變化를 일으키므로 母材의 熱容量은 penetration 에 別影響을 주지 못한다고 생각된다.

(4) 일미나이트系熔接棒의 penetration 의 變化는 高酸化티탄系와는 다른 變化特性을 나타내어 速度의 變化에 따르는 penetration 의 變化는 別로 認定되지 않고 거의 一定하다.

3. 2 一定速度下에서의 熔接電流와 penetration 과의 關係

(1) 熔接電流를 漸次增別시키면 penetration 은 繼續하여 增加하고 增加率은 相當히 크다. 따라서 penetration 은 電流의 變化에 더 큰 影響을 받음을 알 수 있다. 이것은 熔接入熱이

$$H = \frac{60EI}{v} \text{ Joule/cm}$$

여기서

E ; 아아크電壓, volt, I ; 熔接電流, amp. v ; 熔接速度, cm/min.

와 거의 一致한다. 따라서 penetration 에 가장 큰 影響을 주는 것은 電流임을 알 수 있다.

(2) 이 境遇에도 國產高酸化티탄系棒의 penetration 은 2 製造者의 2 種類는 비슷하고 美國產同系棒 보다는 깊다.

(3) 鋼板의 두께의 差異에 따르는 penetration 의 差異는 이 때도 別로 認定되지 않는다.

(4) 일미나이트系棒의 penetration 變化는 이 境遇에는 高酸化티탄系와 別差異가 없다.

即 電流에 依한 큰 影響때문에 被覆劑에 依한 작은 差異는 別로 나타나지 못한다고 考慮된다.

3. 3 두 境遇에 共通되는 點

(1) penetration 의 境界를 表示하는 bond 線은 圓弧形인데 速度가 많이 느릴 때는 平坦에 가까운 波形이 되고 spray 아아크 때에는 相當히 다르다.

(2) 熱影響部의 範圍는 熔接速度의 增加에 따라서는 減少라고 熔接電流의 增加에 따라서는 增加한다. 이것도 熔接入熱의 見地에서 考察하면 理致와 一致한다.

4. 結 言

以上 實驗과 考察에서 다음과 같이 結言지을 수 있다.

(1) 國產高酸化티탄系 熔接棒의 penetration 은 電流가 一定하면 熔接速度가 增加함에 따라 처음에는 增加하고 適正速度附近에서는 最高值에 到達하고 그後는 漸次 減少한다. 速度를 一定하게 하고 電流를 漸次 增加시키면 繼續하여 增加한다. 이때 熔接電流變化量에 對한 penetration 變化量은 速度變化量에 對한 그것보다 훨씬 커서 penetration 의 變化는 熔接電流에 가장 큰 影響을 받는다. Penetration 의 값은 3.2 mmφ 의 適正電流範圍에서는 1.00~1.75 mm, 4 mmφ 에서는 1.10~1.86 mm 정도다.

(2) 國產高酸化티탄系棒의 penetration 은 美國產同系棒보다 깊다.

(3) 美國產 이 系統棒은 얇은 penetration 을 나타내어 高酸化티탄系의 特性이 顯著하나, 國產棒은 일미나이트系와 別 差가 없다.

(4) 一般적으로 많이 쓰이는 6~9 mm 정도 두께의 軟鋼板에서는 母材의 두께의 差異에 따르는 penetration 의 差異는 別로 認定되지 않는다.

(5) penetration 의 境界를 표시하는 bond 線은 圓弧形이다.

(6) 熱影響部의 範圍는 熔接速度의 增加에 따라서는 減少하고 電流의 增加에 따라서는 增加한다.

參 考 文 獻

- [1] George E. Linnert; *Welding Metallurgy*, Volume 2, p. 24, 25, Third Edition, 1967
- [2] 鈴木春義; 最新溶接工學, p. 39, 49, (1963)
- [3] 朴鍾殷; "Ilmenite 系아아크熔接棒의 Penetration 에 關한 實驗的研究" 大韓造船學會誌, 第 6 卷 第 1 號, 1969
- [4] 韓國化工株式會社; 被覆아아크熔接棒 Catalog p. 13, 1967
- [5] 朝鮮線材工業株式會社; 電氣鎔接棒 Catalog p. 19, 1969
- [6] Marquette Co.; *Guide to Better Welding*, p. 8, 1968
- [7] A.W.S.; *Specification A5.1-64 T*, p. 2, 1964
- [8] A.W.S.; *Welding Handbook*, Section Two, p. 25-11, Fifth Edition, 1963

- [9] Raymond J. Sacks; *Arc Welding*, p. 232, Second Edition, 1960
- [10] Boniface E. Rossi; *Welding Engineering*, p. 125, 1954
- [11] Robert S. Williams, Victor O. Homerberg; *Principles of Metallography*, p. 292, Fifth Edition, 1948
- [12] 岡田實, 鈴木春義; 溶接冶金 p. 78, 1964