

Ilmenite 系 아아크熔接棒의 Penetration 에 관한 實驗的 研究

朴 鍾 殷

An Experimental Study on the Penetration of Ilmenite System Coated Arc Welding Electrodes

by

Jong Eun Park*

ABSTRACT

Penetrations of arc welding electrodes are different by changing welding conditions, welding speed of travel and current, even though quite same ones.

Changing status of penetration is studied by changing welding speed of travel keeping welding current constant, at first, and by changing welding current keeping welding speed of travel which was obtained prior experiment constant, afterward.

The F-100 4 mm ϕ rods, E 4301 class, which covering substance is mainly ilmenite and a domestic representative product of this class electrode, are used for this experiment.

The Marquette's No. 130 5/32''(4 mm) ϕ rods, E 6011 class, and No. 140 5/32''(4 mm) ϕ , E6013 class, which were produced in the United States, are used to compare penetration with F-100 at same welding conditions.

The covering substance of Marquette's No. 130 rods is mainly cellulose, and belong to deep penetration arc welding electrodes, the covering material of another rods is titania, and a kind of shallow penetration rods.

The result of this study is as follow: penetration of F-100, domestic ilmenite covering electrode, E 4301 class, is between E6011 and E 6013 of the United States products. At the lower range of welding current, penetration is closer to E 6013 than E 6011, at the higher range, closer to E 6011 than another; and the value of penetration ranges 1.65~2.70 mm for 4 mm ϕ rods in the adequate current range. The changing status of penetration is showed by following experimental formula.

$$P = KEv^{-\frac{2}{3}}I^{\frac{2}{3}}$$

1. 緒 言

熔接棒의 Penetration 은 Joint 의 Edge Preparation 의 精密度를 左右할뿐만아니라 多層熔接에서는, 層相互間 이나 各 Pass 間의 Penetration 에도 絶對的인 影響을 준다해도 過言이 아니다. 萬一 Penetration 이 좋지못하면 Slag 混入, Gas Pocket 等의 熔接缺陷을 일으켜서 結局 熔接強度를 低下시키게 된다. 이런 點에서 볼때 熔接棒 의 Penetration 은 그 몇가지 重要한 性質中의 하나인 것이다.

이러하므로 새로운 熔接棒(或은 熔接 Wire)나 熔接法이 開發될때 반드시 그 Penetration 을 研究하고 있는 것

接受日字 1969年 5月 10日.

* 正會員, 서울大學校工科大学

이先進國들의 實情인 것이다. 熔接棒의 Penetration은 같은 母材를 熔接하기 爲하여, 같은 心線을 써서 製造한 다하더라도 그 被覆劑의 成分 또는 系統에 따라 相當히 다르며 같은 規格品에 있어서도 製造者에 따라서 또 尙달라진다 [1], [2].

本實驗에서 Ilmenite系 軟鋼用國產아아크熔接棒을 擇한 것은, 이 棒은 他系統의 棒과 달라 우리나라와 日本에서 많이 使用되고 있으며 美國에서는 別로 使用되지 않고, 위에서도 말한바와 같이 우리 國產品은 또 그대로의 特徵이 있겠기 때문이다.

2. 實驗 및 考察

本 研究는 다음과 같은 熔接機器 및 材料로서 實驗的으로 進行되었다.

2-1 機器 및 材料

(1) 熔接機, Marquette Co.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 Amperes: 54 Amp.

Phase: Single.

Cycles: 50 cycles/sec.

Duty Cycle: 20 %.

Power Factor: 82 %.

이 熔接機에 供給된 電源은 110 Volt A.C. 60 cycle/sec 였음.

(2) 母 材 :

KS D 3503 規格의 構造用鋼板이며 韓國鐵鋼生產品인 9 mm 두께의 軟鋼板을 使用하였다.

(3) 熔 接 棒

(A) F-100 4 mm ϕ : 이 熔接棒은 KS E 4301 에 屬하는 規格品이며 韓國化工製品으로서 軟鋼用이며 被覆劑의 主成分은 Ilmenite 이다. 우리 나라에서는 가장 일찍부터, 또 많이 使用되는 棒으로서 本 研究의 目的棒이다. 이 棒에 依한 熔着金屬의 機械的性質은 Table 1 과 같고, 4 mm ϕ 의 A.C. 下向適正熔接電流値는 135~180 Amp 이다 [3]*.

Table 1. Mechanical Properties of F-100 Weld Metal

| Name of Electrode | K S Classification | Type of covering | Tensile Strength kg/mm ² | Yield Point kg/mm ² | Elongation % |
|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| F-100 | E 4301 | Ilmenite | 44~51 | 37~42 | >22 |

(B) Marquette's No. 130(E 6011) 5/32'' (4 mm) ϕ 및 No. 140(E 6013) 5/32'' ϕ : 美國 Marquette Co. 製品으로서 우리 國產品 F-100 과 같이 目的用途는 軟鋼用이며 被覆劑의 系統이 다르기 때문에 使用特性을 달리 한다. 이 熔接棒에 依한 熔着金屬의 機械的性質 및 Penetration은 다음 Table 2 와 같다 [4], [5].

이 棒들은 우리 Ilmenite系棒과 그 Penetration을 比較해 보기 爲하여 選擇한 것이며 이 두가지 棒은 다같이 A.C.로서 熔接할 수 있다고 規定되어 있다.

* []안의 數字는 本論文의 末尾에 掲載한 參考文獻의 番號임.

Table 2. Mechanical Properties & Penetrations of Electrodes

| Name of Electrode | A.W.S. Classification | Type of Covering | Tensile Strength Min. psi (kg/mm ²) | Yield Point Min. psi (kg/mm ²) | Elongation in 2 in. % | Penetration |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|---|--|-----------------------|-------------|
| Marquette's No. 130 | E 6011 | High Cellulose Potassium | 70,000~75,000 (47~51) | 60,000~65,000 (41~44) | 23~25 | Deep |
| Marquette's No. 140 | E 6013 | High Titania Potassium | 75,000~80,000 (51~54) | 62,000~67,000 (42~46) | 27~35 | Shallow |

2-2 試片製作

(1) 熔接:

(A) 熔接環境: 室溫 約 12~16°C 程度의 比較的 乾燥된 實習工場內熔接이었으며 熔接棒은 잘 乾燥시켜서 使用하였다.

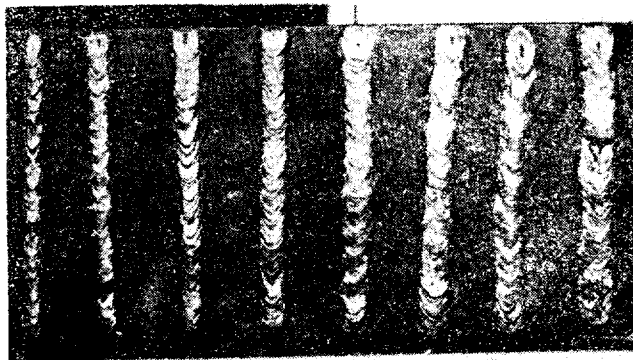
(B) Master 試片熔接: 9 mm 두께의 軟鋼板을 가로 340 mm 세로 150 mm 로 잘라서 가로의 양쪽 끝에서 30 mm 式을 남기고 40 mm 간격으로 Bead 熔接을 하였다(Fig. 1 참조).

熔接棒의 Penetration 은 같은 系統의 棒이라 한지라도 電流와 速度에 따라 크게 다르므로[2] 먼저, 電流를 一定하게 하고 速度를 變化시켜서 實驗하여 여기서 얻은 適正速度中 하나를 擇하여 速度를 一定하게 하고 電流를 變化시켜서 實驗하였다.

(C) 熔接速度를 變化시킨 試片(Constant Current 160 Amp.): 後進法을 使用하여 Lead Angle 은 10~20°, Working Angle 은 90° 였고[6] Arc Length 는 4 mm 정도였다. 熔接速度 아아크電壓, 電流值 등은 Table 3과 같으며 完成된 試片中 하나(Specimen C)는 Fig. 1 과 같다. 本 實驗에 있어서 電流와 아아크 電壓은 National Clamp Meter 600 S(電流 Max. 600 Amp. A.C. 電壓 Max. 600 Volt A.C.)로써 測定하였다.

Table 3. Welding Conditions

| No. of Bead | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Welding Speed cm/min. | 45.0 | 25.7 | 20.9 | 17.7 | 15.0 | 13.0 | 11.3 | 10.0 |
| Arc Voltage, Volt | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Arc Current, Amp | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |



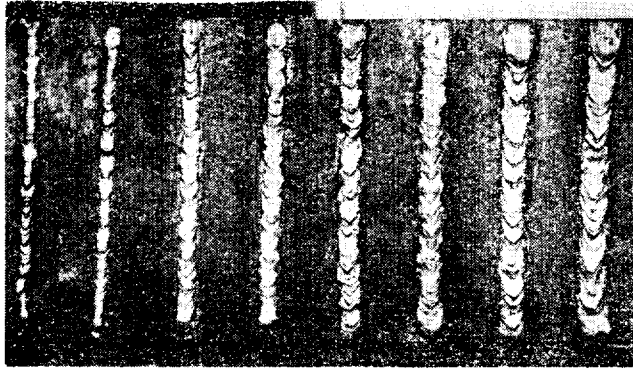
No. of Bead 1 2 3 4 5 6 7 8
Fig. 1. Bead Weld (Welding Speed Change, Specimen C)

(D) 電流值를 變化시킨 試片(Constant Speed 22 cm/min. 표준) : 熔接進行方向과 Lead Angle, Working Angle, Arc Length 등은 먼저 試片(Specimen C)과 같고 각 Bead 마다의 電流值, 아아크電壓熔接速度 등은 다음 Table 4 와 같으며 完成된 試片中 하나(Specimen D)는 Fig. 3 과 같다.

熔接速度는 一定하게 維持하려고 最善을 다하였으나 Manual Welding 이므로 Table 4에서 보는바와 같이 若干의 變動을 免할 수 없었다.

Table 4. Welding Conditions

| No. of Bead | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arc 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 | 23.1 | 23.1 | 22.0 | 22.0 | 22.5 | 21.4 | 22.5 |



No. of Bead 1 2 3 4 5 6 7 8

Fig 2. Bead Weld (Welding Current Change, Specimen D)

2-3 試片腐蝕 및 Macro 寫眞

試片(C)는 Bead 始端에서 70 mm 되는 位置에서 Bead 方向에 垂直인 直線으로서 機械切斷하고 Grinder 로서 研磨한 後 다시 國產 No. 180 Sand Paper 로서 갈아서 Nital Acid (a) 로서 腐蝕시켰다[7]. 試片 D 는 Bead 의 終端에서 50 mm 되는 位置에서 Bead 方向에 垂直인 直線에 따라 切斷한 點 外는 試片 (C)의 腐蝕과 同一하다. 切斷位置가 다른 理由는 그 位置가 가장 合理的이라고 認定하였기 때문이다. 他試片들에서도 이러한 程度의 差異는 있다.

여기서 얻은 腐蝕된 面을 Cannon FTQL 에 Bellows SR 을 붙여서 撮影하고 다음과 같은 사진(Fig. 3 및 4) 을 얻었다.

2-4 結果 및 考察

(1) 熔接速度와 Penetration 과의 關係

Fig. 3 에서 表示된것과 같은 試片에서 Penetration 의 깊이(母材表面에서 Bead 中央部의 가장 깊이 파고 들어간 곳까지의 垂直거리)를 測定하여 다음 Table 5 와 Fig. 5 를 얻었다.

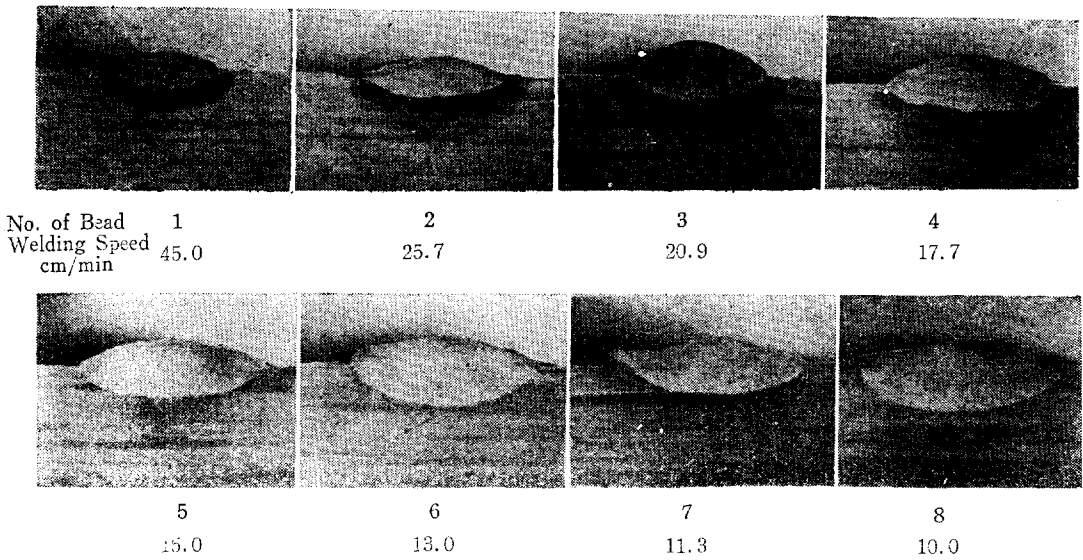


Fig. 3 Macro pictures showing different penetrations by different welding speeds.(2×)

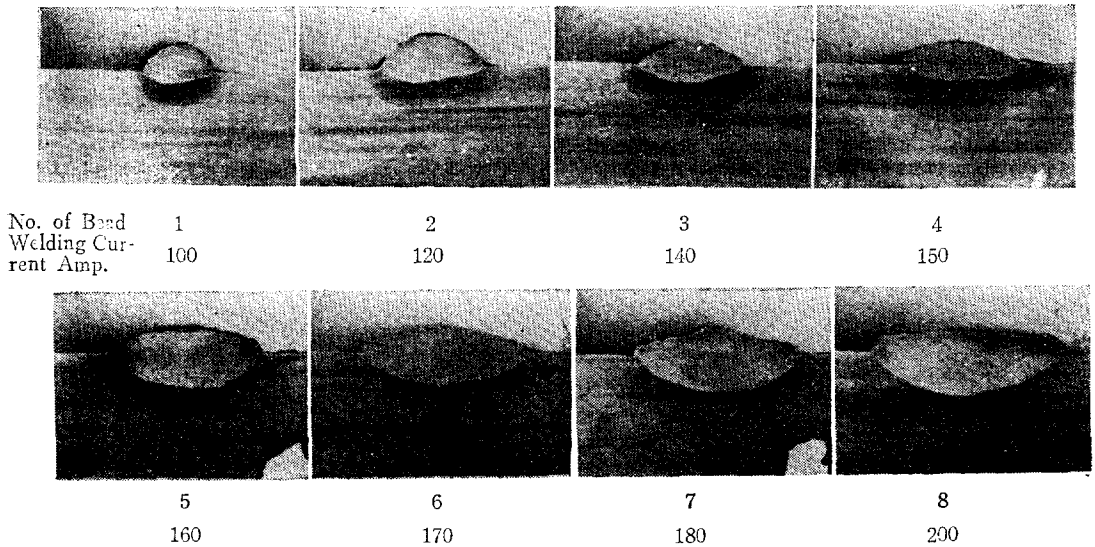


Fig. 4. Macro pictures showing different penetrations by different welding currents(2×)

Fig. 5에서 볼때 같은 電流로서 熔接하더라도 速度가 달라지면 Penetration은 漸次 減少함을 알수 있다. 이것은 速度가 빨라짐으로써 母材에 스리울수 있는 電氣的 에너지가 減少하고 따라서 Penetration이 약아진다는 事實이며, 理論적으로 當然한 일이다.

이 實驗에서 取致한 速度의 大部分 即 10 cm/sec 以下와 45 cm/sec 以上部分은 熔接品質面에서 볼때 到底히 使用할수 없는 速度이고, Fig. 1에 表示된 試片으로서 考察할때 中央의 4個 Bead는 實用에 適合한 品質이었으나 그외는 不適當하였다.

Table 5. Relation Between Speed and Penetration.

| No. of Bead | Welding Speed cm/min. | Penetration mm |
|-------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 45.0 | 1.85 |
| 2 | 25.7 | 1.78 |
| 3 | 20.9 | 2.35 |
| 4 | 17.7 | 2.15 |
| 5 | 15.0 | 2.52 |
| 6 | 13.0 | 3.08 |
| 7 | 11.3 | 2.42 |
| 8 | 10.0 | 3.41 |

Arc Current: 160 Amp.
Arc Voltage: 35 Volt

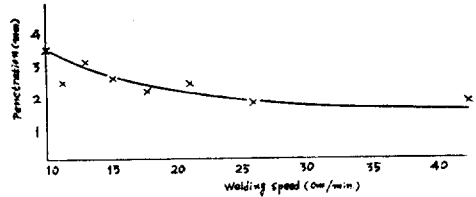


Fig. 5. Relation between speed and penetration

(2) 熔接電流과 Penetration 과의 關係

(1)項과 마찬가지로 方法을 利用하여 얻은 熔接電流과 Penetration 과의 關係를 Table 6 및 Fig. 6에 表示한다.

Fig. 2에서 表示된 試片으로서 考察할때 中央의 4個 Bead는 實用에 適合한 品質이었으나 그 외는 使用하기 어려운 程度였다. 이것은 4mmφ(或은 5/32"φ)의 適正電流가 135~180 Amp.인 것파로 一致한다. 即 Fig. 6에서 考察할때 品質을 損傷시키지 않을 程度의 電流範圍內에서는 Penetration은 電流가 增加함과 더불어 增加함을 알 수 있다.

Table 6. Relation Between Current and Penetration.

| No. of Bead | Welding Current Amp. | Penetration mm |
|-------------|----------------------|----------------|
| 1 | 100 | 0.85 |
| 2 | 120 | 1.20 |
| 3 | 140 | 1.65 |
| 4 | 150 | 1.42 |
| 5 | 160 | 2.79 |
| 6 | 170 | 2.70 |
| 7 | 180 | 2.95 |
| 8 | 200 | 3.77 |

Arc Voltage: 30~35 Volt
Welding Speed: 22.0~23.1 cm/min.

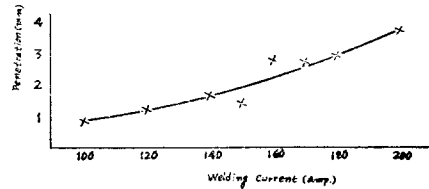


Fig. 6. Relation between current and penetration

이 2가지 實驗結果로서 熔接電流, 아크 電壓 및 熔接速度와 Penetration 과의 關係를 實驗式으로 表示해 볼까 한다.

지금까지 Manual Welding에 對한 Penetration을 表示하는 式은 아직 發表된 것이 없으므로 먼저 Unionmelt Welding에서 얻은 Jackson의 實驗式(?)을 가지고 檢討해 보았으나, Manual Welding에서는 아크 電壓이 거의 不變인데 비해 Unionmelt Welding에서는 變化가 물론 아니라 電流值과 熔接速度等의 差가 너무 커서 인자 K의 값이 너무 큰 幅으로서 變化하고 또 實驗曲線과 Jackson의 式이 表示하는 曲線이 差異가 너무 커서 K의 값을 修正하는 程度로서는 출수가 없었다. 그래서 實驗值로서 研究하여 다음과 같은 實驗式을 設定해 보았다. 即

$$P = KEv^{-\frac{2}{5}} I^{\frac{3}{2}}$$

- 但 : P : Penetration (mm)
 E : Arc Voltage (Volt) (30~35 Volts)
 I : Welding Current (Amp.)
 v : Welding Speed (mm/min.)
 K : Constant (0.0002~0.0003)

이 식에 의한 曲線은 實驗曲線과 比較的 잘 一致하였다.

(3) 國產 Ilmenite 系棒(E4301)과 美國產 E6011 및 E6013 과의 Penetration 比較.

(2)와 마찬가지로 方法에 依해서 熔接電流와 Penetration 과의 關係로서 國產 Ilmenite 系棒과 美國製棒의 Penetration 을 比較하여 다음 Table 7 과 Fig. 7 을 얻었다.

Table 7. Comparison Between Penetrations of E 4301, E 6011 and E 6013.

| Welding Current Amp. | Penetration mm | | |
|----------------------|----------------|--------|--------|
| | E 6013 | E 4301 | E 6011 |
| 100 | | 0.85 | |
| 120 | 1.02 | 1.20 | 1.67 |
| 140 | 1.66 | 1.65 | 2.55 |
| 150 | | 1.42 | |
| 160 | 1.88 | 2.79 | 2.53 |
| 170 | | 2.70 | |
| 180 | 2.27 | 2.95 | 3.12 |
| 200 | | 3.77 | |

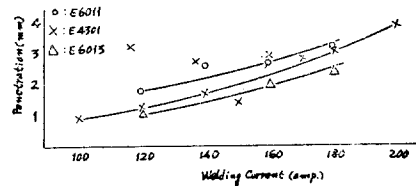


Fig. 7. Comparison Between Penetrations of E 4301, E 6011 and E 6013.

Table 7 과 Fig. 7 의 適正電流範圍內에서 考察할때 다음과 같은 것을 알 수 있다.

- 1) 國產 Ilmenite 系(E4301, F-100)熔接棒의 Penetration 은 美國產인 Penetration 이 알은 E6013 과 Penetration 이 깊은 E6011 의 中間程度이고 電流値가 적은 範圍에서는 Penetration 은 E6013 과 가깝고 큰 範圍에서는 E6011 과 가깝다.
- 2) 이 範圍에서의 Penetration 은 1.65~2.70 mm 程度 된다.

3. 結 言

以上 實驗에서 大體로 다음과 같이 結論지을수 있다.

國產 Ilmenite 系熔接棒의 Penetration 은

(1) 다음
$$P = KEv^{-\frac{2}{5}} I^{\frac{3}{2}}$$

의 實驗式으로서 表示할수 있으며 아아크電流가 一定하면 適正熔接速度範圍內에서 速度가 增加하면 Penetration 은 速度의 $\frac{2}{5}$ 乘에 反比例하여 減少하고, 速度가 一定하면 適正電流範圍內에서 電流가 增加함에 따라 Penetration 은 電流의 $\frac{3}{2}$ 乘에 比例하여 增加한다.

(2) 美國產 E6011 및 E6013 과 比較하면 이 2種의 中間程度이고 適正電流範圍內에서 낮은 電流部分에서는 E6013 에 높은 部分에서는 E6011 에 가깝다.

(3) 4mmφ의 適正電流範圍內에서 Penetration 은 1.65~2.70 mm 程度 된다.

後 記

本 實驗에 있어서 Macro 寫眞撮影에 좋은 指導와 도움을 주신 金鳳梧先生任과 柳秀安先生任께 깊은 感謝를 드리는 바입니다.

參 考 文 獻

- [1] George E. Linnert; *Welding Metallurgy*, Volume 2, p. 24, 25, Third Edition (1967).
- [2] 鈴木春義: 最新熔接工學 p. 31, 39, 49, (1963).
- [3] 韓國化工株式會社: 被覆아아크熔接棒 Catalog p. 11, (1967).
- [4] A.W.S.; *Specification A 5.7~64 T Last Revised* (1964).
- [5] Marquette Co.; *Guide to Better Welding* p. 7, 8, Recent Edition.
- [6] Raymond J. Sacks; *Arc Welding* p. 232, Second Edition (1960).
- [7] Robert S. Williams, Victor O. Homerberg; *Principles of Metallography*, p. 292, Fifth Edition (1948).