

# 銲接構造物의 Crack 傳播 特性에 關한 考察 ( I )

金 永 植

Study on the Characteristics of the Crack Propagation of  
the Welded Constructions  
Young sik kim

目 次	
I. 序論	(3) Crack 傳播길이 測定方法
II. 實驗裝置 및 實驗方法	III. 測定結果와 考察
(1) 굽힘 疲勞試驗機	IV. 結 論
(2) 試片	參考文獻

## Abstract

The fracture intensity of the welded constructions is comparatively inferior to that of other constructions due to notch effect of the welded joint and continuance of the stress transmit.

In general, several examples of fractures of these welded constructions have shown that the cracks are originated mainly from the welded joint. Therefore, in order to evaluate the fracture sensibility of the welded constructions, it is most important to study the characteristics of the crack propagation from the above zone.

In this paper, a new device for crack propagation test is proposed. And, on the multi-run arc welded specimen, an attempt was made to examine and compare the fatigue crack propagation speed of the heat-affected zone with that of base metal by means of crack gauge.

With this experiment, it has been proved that under the bending fatigue conditions the fatigue fracture strength of the heat-affected zone is larger in the inner layer of the welded joint than that of the base metal.

## I. 序 論

從來多數의 機械部品들은 그 設計에 있어서 Crack의 發生條件에 依하여 使用應力이 制限되었으므로 Crack의 傳播에 關한 問題는 別로 關心을 갖지 않았다. 그러나 現在에는 材料의 經濟性에 觀點을 두고 있으므로 構造物 內部에 몇 個의 작은 Crack이 發生되더라도 그 機能에 害를 미치지 않는 以上 계속 使用이 可能하도록 하기 爲해서는 發生한 Crack이 擴大되지 않도록 하

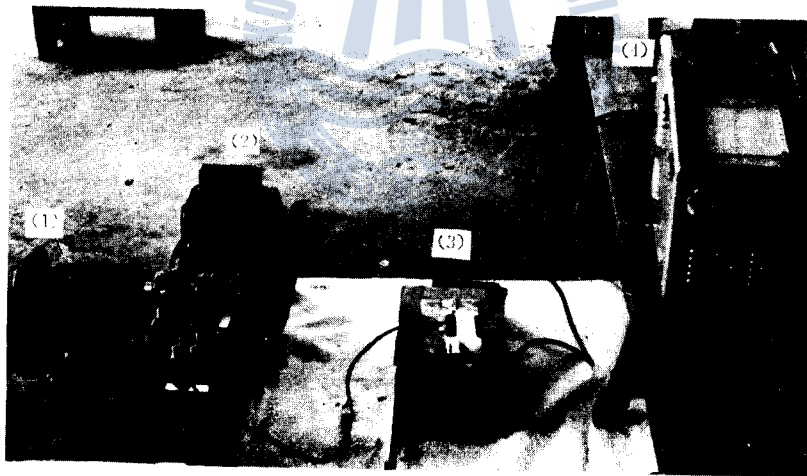
는 設計가 要望된다. 따라서 近來에는 疲勞 Crack의 傳播에 關한 研究가 多方面에 걸쳐 進行되고 있다.

鎔接構造物은 鎔接部의 Notch效果와 應力傳達의 連續性 때문에 他 構造物에 比해 Crack의 傳播感受性이 比較的 크다. 이러한 鎔接 構造物에서 鎔接部의 疲勞強度는 母材에 比해 낮기 때문에 使用中 Crack 發生點이 되는 것은 一般的으로 鎔接部로 알려지고 있다. 이와같은 鎔接部의 疲勞強度를 向上 시키기 爲해 여러가지 方法이 採擇되고 있으며 境遇에 따라서는 鎔接部를 다듬어서 平滑하게 함으로써 兩振引張疲勞試驗의 境遇, 母材의 疲勞強度와 거의 같은 程度로 向上시킬 수 있으며<sup>(1)</sup> 굽힘 疲勞強度는 母材보다 더 높다는 實驗結果도 報告되고 있다.<sup>(2)</sup>

本稿에서는 鎔接部內의 位置別 疲勞破壞 強度를 究明하기 爲해 그 첫 段階로서 鎔接部 內層의 鎔接熱影響部와 母材의 疲勞 crack 傳播速度를 自作한 平板 Crack 傳播試驗機에 依해 Crack gauge를 利用하며 比較 考察 하였다.

本 研究의 目的은 鎔接部內의 位置別 疲勞破壞強度를 究明하여 鎔接部의 疲勞強度를 效果的으로 向上시키는 方法을 究明하는데 있다.

## II. 實驗裝置 및 實驗方法

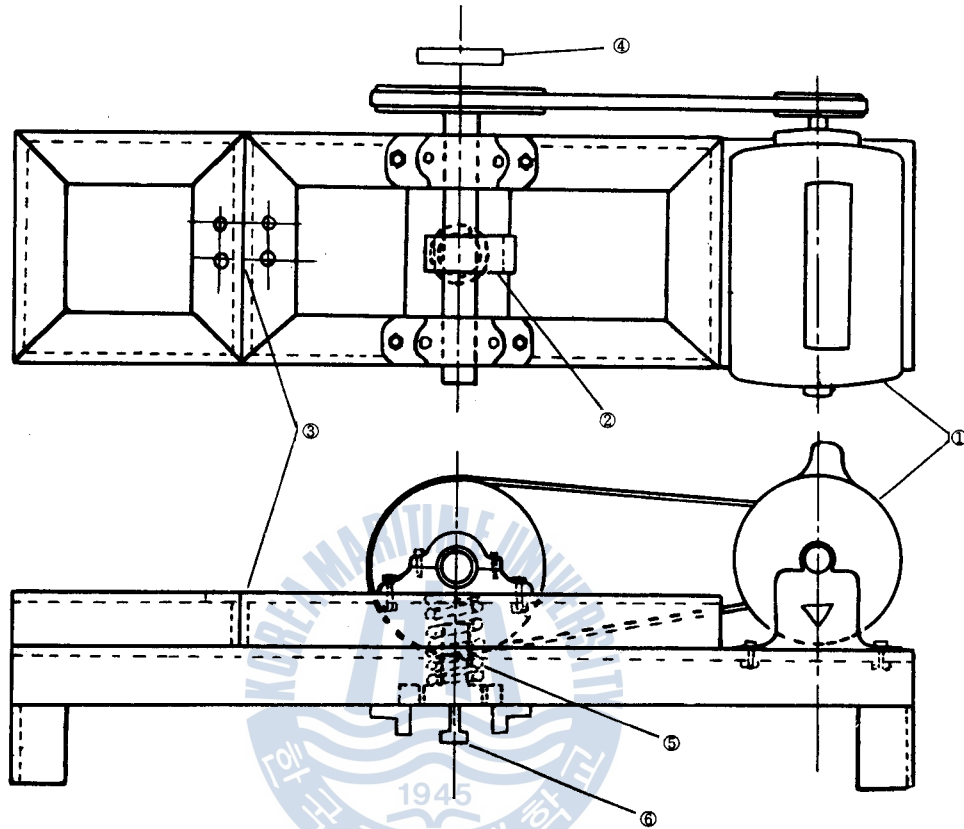


- 1) Revolution counter
- 2) Bending fatigue test machine
- 3) Wheatstone bridge
- 4) Strain indicator

Photo. 1 General view of crack propagation test.

### 1. 굽힘 疲勞試驗機

Crack gauge를 附着시켜서 平面板의 Crack 傳播를 測定하기에는 從來의 굽힘 疲勞試驗 裝置가 不適合하기 때문에 Crack 傳播 試驗用으로 굽힘 疲勞試驗機를 Fig. 1과 같이 製作했다.



- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| ① Motor                  | ④ Revolution counter      |
| ② Eccentric ring         | ⑤ Spring                  |
| ③ Test piece fixing seat | ⑥ Spring tension adjuster |

Fig. 1 Bending fatigue test machine

試片은 固定板에 試片의 한 쪽을 Bolt에 依해 외팔보로 固定하고 다른 쪽은 偏心輪에 닿게 함으로써 偏心輪이 廻轉하면 試片에 굽힘 荷重이 作用하도록 했다. 試片과 摩擦時 摩擦에 依한 影響을 除去하기 爲해 偏心輪은 內輪과 外輪으로 分離해서 만들고 外輪으로서는 Ball bearing을 利用했다. 또한 굽힘 荷重의 크기를 變更하기 爲해 偏心距離가 다른 內輪을 交換 可能하도록 했다. 片振 굽힘 혹은 兩振굽힘의 調節은 試片固定板과 試片사이의 liner를 넣어 調節할 수 있도록 하고 試片이 偏心輪과 接觸하는 部分에는 그 下部에 Spring을 設置하여 그 反力에 依해 兩振굽힘이 可能하도록 했다. 또한 Spring 全體를 上, 下로 옮겼다, 내렸다 할 수 있도록 함으



Photo. 2 Inner ring of the Eccentric

로써 偏心輪의 偏心距離를 變更했을 때도 充分한 反力을 낼 수 있도록 했다.

Spring은 固定狀態에서 試片의 한쪽 端을 最高 3.5mm까지 밀어 올릴 수 있는 充分한 反力과 偏心輪의 最高廻轉速度 1800r. p. m에서 서어징 없이 作動하도록 Spring 常數(1.3Kg/mm), Coil卷徑 (30.5mm) 卷數 (10) 및 線經 (4.2mm)을 考慮했다. 그리고 Motor側과 偏心輪側에 設置된 Pulley를 交換함으로써 反復速度를 變更시키도록 했으며 偏心輪의 軸은 積算廻轉計에 連結하여 總廻轉數를 指示하도록 했다.

## (2) 試片

試片은 市販되고 있는 두께 9mm의 軟鋼板에서 採取했으며 그 化學成分은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions(wt%)

	C	Mn	Si	P	S
base metal	0.20	0.75	0.15	微量	微量
deposit metal	0.10	0.35	0.33	0.026	0.02

Table 2 Welding conditions

plate thickness (mm)	electrode dia. (mm)	Layer	arc voltage (V)	arc current (A)
9	3.2	3	35	140

試片의 製作은 400mm×300mm로 切斷한 다음 壓延方向과 直角되게 그 中央을 Fig. 2와 같은 形狀으로 機械加工하여 手動 Arc 鎔接을 實施했다.

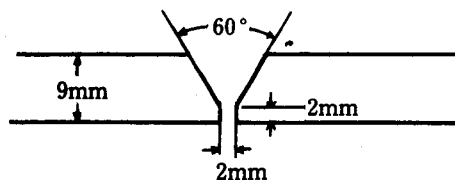


Fig. 2 Cutting for welding joint

鎔接은 下向姿勢로 클램프와 豫熱 없이 했으며 鎔接棒은 KSE 4313으로 鎔接條件은 Table 2와 같다.

이와 같이 鎔接된 板은 板幅의 中央部에서 鎔接線과 直角되게 試片을 採取한 다음, 前面에서 4mm 길이, 背面에서 1.8mm 길이로 깎아 내어 두께 3.2mm의 Fig. 3과 같은 形狀으로 加工하여 鎔接熱影響

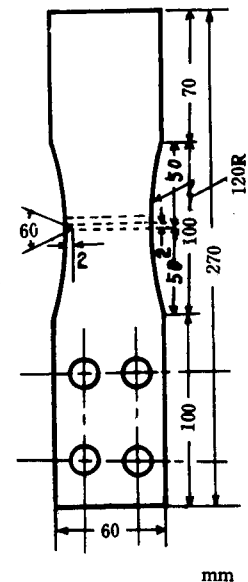


Fig. 3 Dimension of specimen

部에 最大 應力이 作用하도록 하고 여기에 깊이 2mm, 角 60°, 低部半徑 0.05mm의 V型 Notch를 加工했다.

Bending moment를 받는 狀態下에서의 이 試片의 形狀係數  $\alpha$ 는 다음과 같이 計算된다<sup>3)</sup>.

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} = 1 + 0.788\sqrt{\frac{t}{\rho}} \dots\dots\dots(1)$$

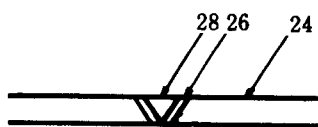
- 여기서  $\sigma_n$  : 平均應力
- $\sigma_{max}$  : notch 低部の 最大應力
- $\rho$  : notch의 低部半徑
- $t$  : notch 깊이

이와 같이 計算한 試片의 形狀係數는 5.96이었다. 또한 加工된 試片의 銲接部 組織 및 硬度는 Photo. 3 및 Fig. 4와 같다. 但 Photo 3은 同 試片을 硝酸 5%의 硝酸 알콜 溶液에 3分間 腐食시켜 찍은 顯微鏡寫眞이다.



Photo. 3 Micro structure of the welded specimen(×200)

(3). Crack 傳播 길이 測定方法



Shore Hardness

Fig. 4 Hardness of the welded specimen.

準備된 試片에 Photo. 4와 같이 한쪽 端이 Notch의 低部에 오도록 Crack gauge를 附着시켰다. Notch의 低部에서부터 Crack이 發生하여 傳播하면 그에 따라 Crack gauge의 Filament가 切斷되고 이때 생기는 抵抗值의 變化量을 測定하여 Crack의 傳播길이 및 傳播速度를 計測할 수 있다.

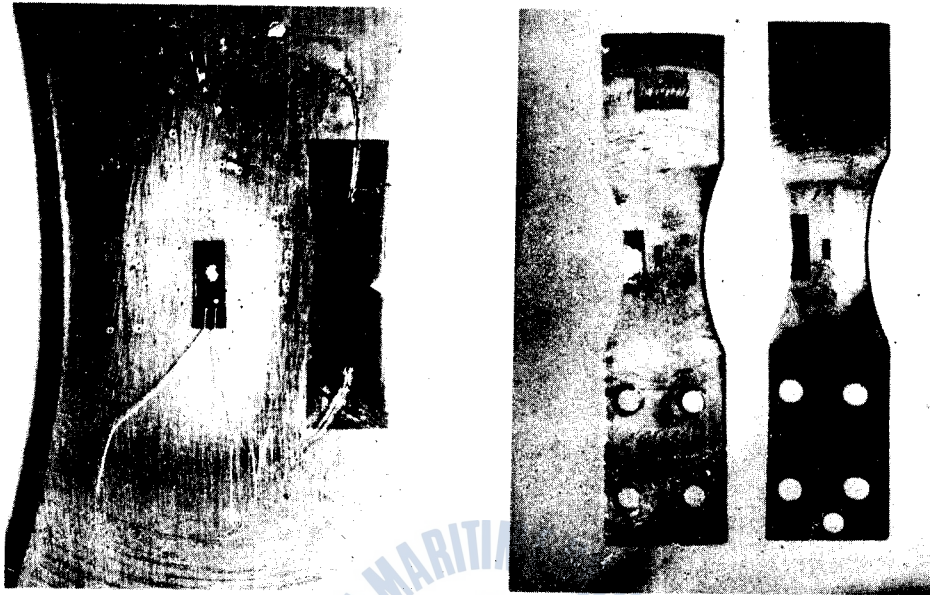


Photo. 4 Specimens.

그리고 試片의 中央에는 Strain gauge를 附着시켜서 試片의 굽힘應力을 一定하게 調整토록 했다. Crack 길이 測定回路는 Fig. 5와 같다.

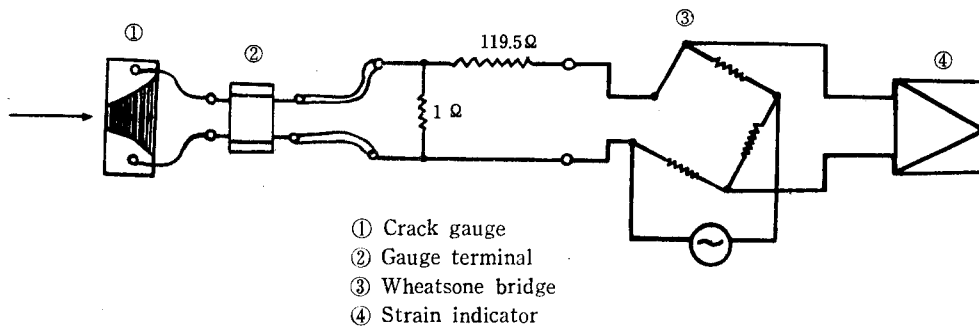


Fig. 5 Crack length measurement circuit.

本實驗에서는 Strain gauge로 Wheatstone bridge 回路를 만들고 測定은 自動平衡記錄計에 依해 行했다. Table 3은 測定에 使用된 計器들의 明細이다.

Table. 3 Meter, gauge

Article	Specifications	Maker
Crack gauge	KV-5B Resistance $1\Omega$ Filament pitch 0.2mm	Kyowa
Strain gauge	KFC-5-C-11 Resistance $120\Omega$ Gauge factor 2.14	Kyowa
Strain indicator	AS 3/A. Auto, balancing type recorder	Shinkoh

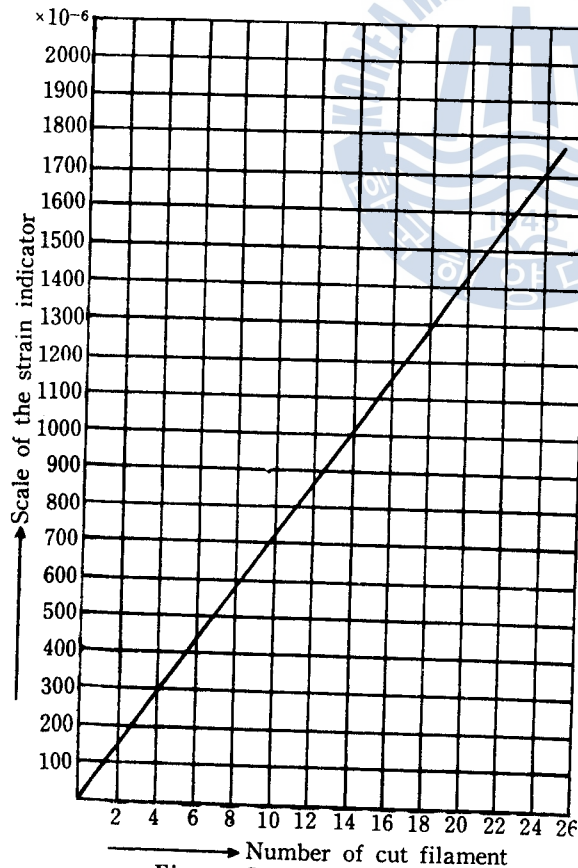


Fig. 6 Calibration curve

Fig. 6은 測定狀態에서 5個의 Crack gauge에 對해 그 Filament를 에리한 칼 끝으로 切斷해 가면서 Strain 變化量을 測定하여 그 값의 平均値를 取해 만든 較正曲線이다.

이 Gauge들의 誤差는  $\pm 3\%$  以內였다. 따라서 이 較正 曲線을 基準으로 하여 負荷狀態에서의 Strain量을 Strain 測定器로 測定하여 Crack의 傳播 길이 및 傳播速度를 求할 수 있다.

### III. 測定結果 및 考察

N. E Frost, D. S Dugdale에 依하면 Crack 長이가 板幅의 約  $\frac{1}{8}$  以下 時는 Crack 傳播에 對한 板幅의 影響은 작다는 것이 確認되었다" 따라서 모든 Crack 傳播狀況은 試片 幅의  $\frac{1}{8}$  以下에서 考察했다.

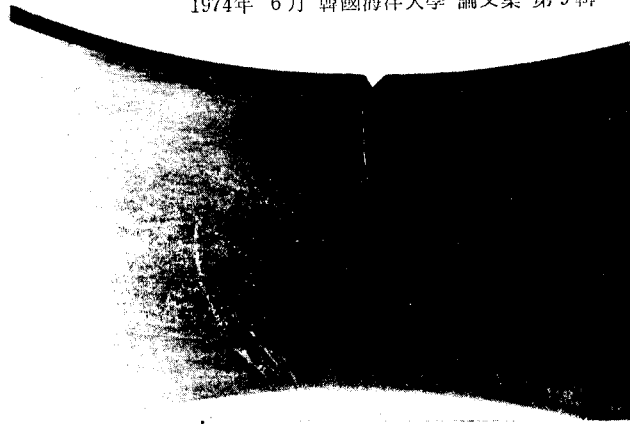


Photo. 5 Figure of the crack propogation

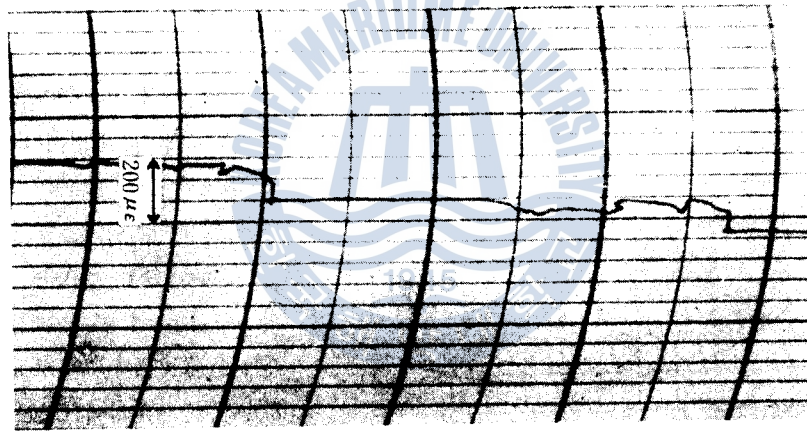


Photo. 6 Recording of the measurement (Paper speed 0.6cm/min)

### 1 疲勞 Crack 傳播길이 및 傳播速度

Fig. 7은 準備된 鎔接試片과, 母材를 鎔接試片과 똑 같은 形狀으로 加工하여 만든 試片에  $\pm 15.4\text{kg/mm}^2$ 의 應力을 反復하여 Crack을 傳播시켰을 때 Crack길이와 反復回數와의 關係를 示한 것이다.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 鎔接熱影響部에서나 母材에서, 共히 Crack 傳播 길이는 反復回數에 對하여 曲線關係를 갖는다.

Crack 傳播 狀況을 좀 더 究明하기 爲해 Crack 傳播 길이를 약 0.2mm間隔으로 區分하여 各 區間에서 Crack 傳播의 平均 速度를 Crack 길이에 對해 表示하면 Fig. 8과 같다.

이 그림에 依하면 모든 點에서 均一한 傳播速度를 갖지 않으며 傳播의 初期에 比較的 急激한 速度增加를 보이고 있음을 알 수 있다.



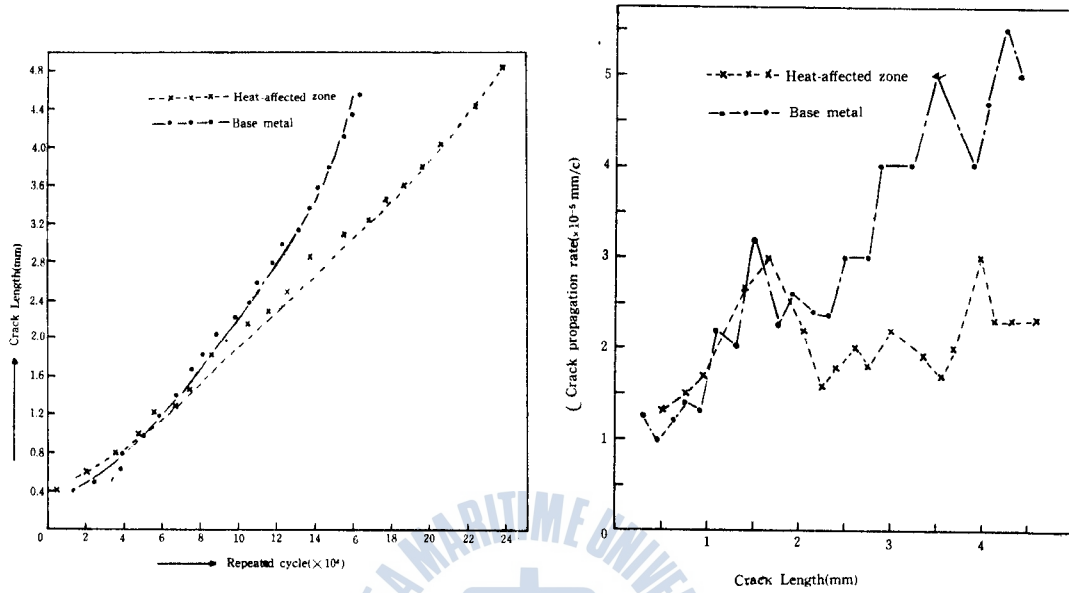


Fig. 7 Fatigue crack propagation curves

Fig. 8 Crack propagation rate vs crack length

2. 銲接熱影響部에서와 母材에서의 Crack 傳播 速度

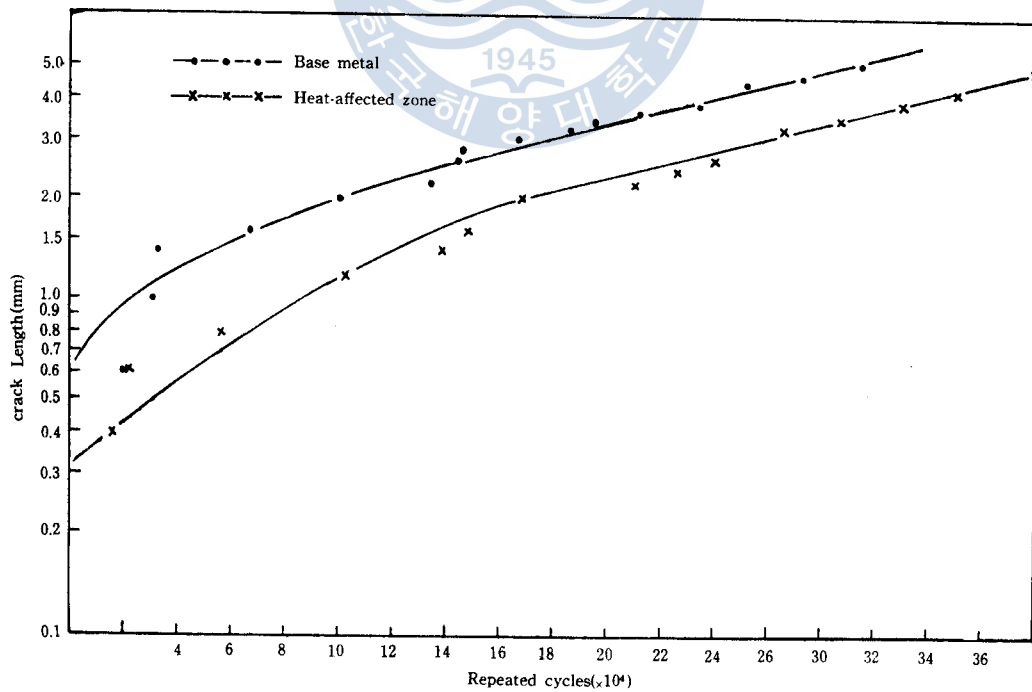


Fig. 9 LogL-N curve diagram ( $12.2 \text{ kg/mm}^2$ )

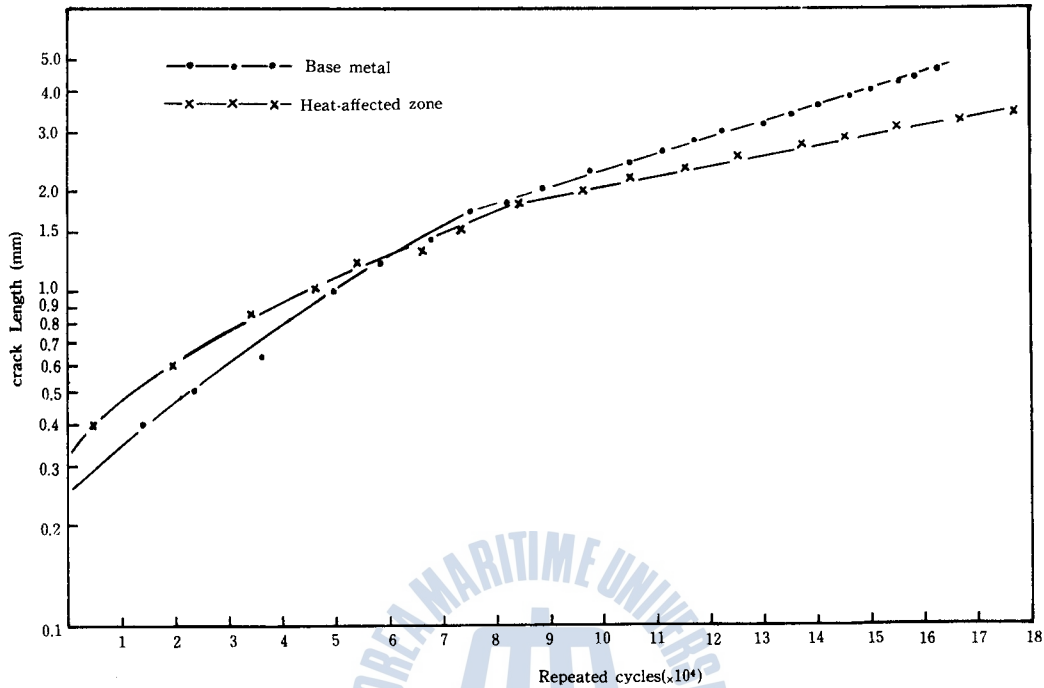


Fig. 10 Log L-N curve diagram ( $15.4 \text{ kg/mm}^2$ )

Fig 9, Fig10, Fig 11은 各各  $\pm 12.2 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\pm 15.4 \text{ kg/mm}^2$ , 및  $\pm 22.1 \text{ kg/mm}^2$ 의 應力을 反復하여 Crack을 傳播시켰을 때, 鎔接 熱影響部에서와 母材에서의 Crack 傳播길이 L과 反復回數 \*N과의 關係를 片對數紙에 表示한 것이다.

이 그림들에 依하면 모든 試片에서 共히 Notch의 低部로부터 Crack이 發生하여 傳播를 始作하는 段階와 Crack이 一定길이 以上 成長한 後의 傳播段階로 區分된다. 이와 같이 發生段階와 傳播段階로 區分되는 것은 N.E Frost, D.S Dugdale의 實驗結果에 依해서도 밝혀 졌다. (11)

疲勞 Crack의 進行에는 반드시 그 先端에 微少한 降伏域이 先行한다<sup>11)</sup>. 이와 같이 先行된 降伏域은 계속적인 反復應力을 받아 그 中에 微小한 Crack을 發生하며 그 結果 Crack은 그 降伏域의 길이 만큼 進行한다.

따라서 Crack 成長過程이 發生段階와 傳播段階로 區分되는 것은 加工된 Notch의 低部에 應力이 集中하여 Crack이 發生되기까지의 潛在期間에 先行된 降伏域의 크기와 進行中인 Crack先端에 先行하는 降伏域의 크기가 다르기 때문인 것으로 判斷된다.

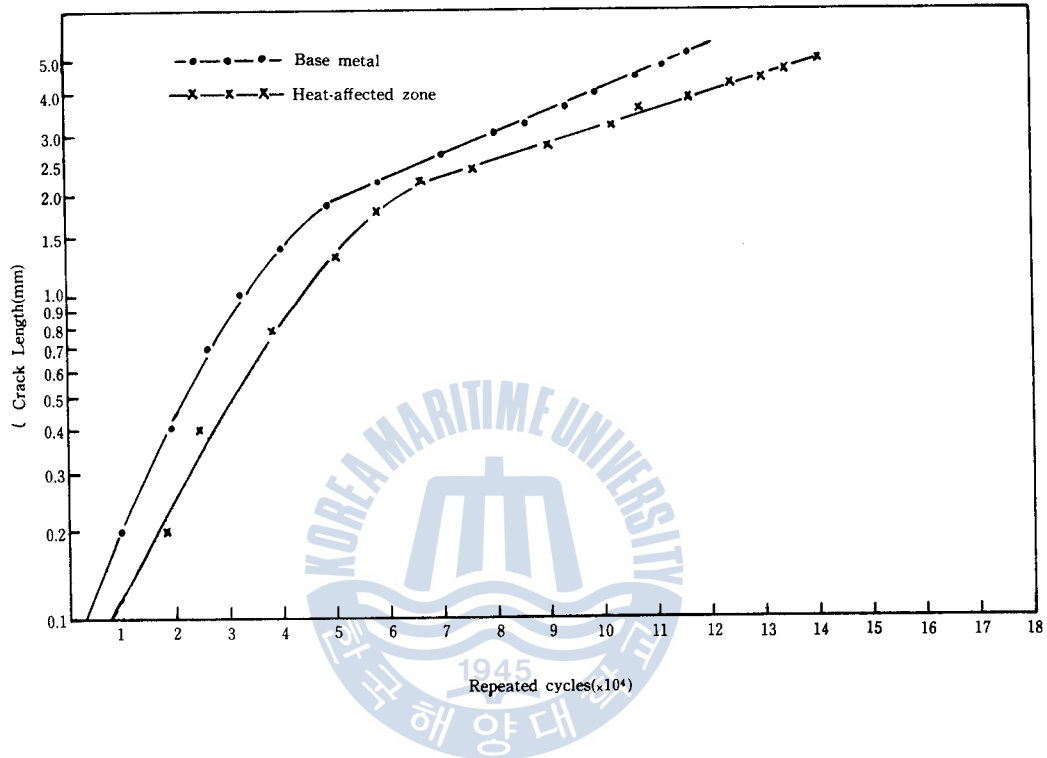


Fig. 11 Log L-N curve diagram(22.1kg/mm<sup>2</sup>)

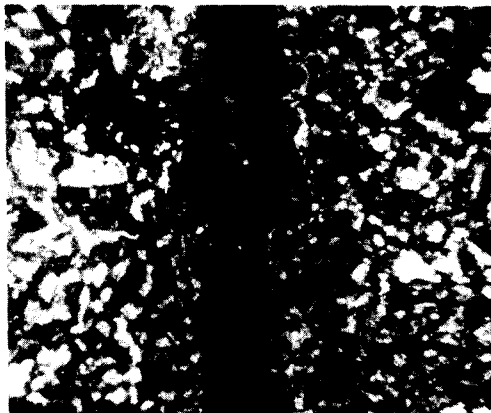


photo. 7 Microstructure around the crack (×400)  
(The micro structure around the crack changed to fine grain due to plastic deformation)

Crack 의 傳播段階에 있어서 는 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11로부터 Frost<sup>(5)</sup> 등이 究明한 바와 一致한 다음과 같은 關係式을 얻을 수 있다.

$$\log L = KN + C \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{dL}{dN} = KL \dots\dots\dots(3)$$

여기서 比列常數 K는 應力  $\sigma$ 의 영향을 받고 있으므로 이의 關係圖를 兩對數紙에 表示하면 銲接熱影響部에서와 母材에서 各各 Fig. 12와 같은 結果를 얻는다.

이에 依하면 本 實驗 應力 範圍內에서는 log k  
는 log σ에 對하여 直線關係에 있으며 다음과 같  
은 關係式을 求할 수 있다.

$$\log k = m \log \sigma + C' \dots\dots\dots(4)$$

Fig. 12로부터 K의 값을 求하면 鎔接熱影響  
部の 境遇는

$$K = 7.8 \times 10^{-8} \sigma^{1.61} \dots\dots\dots(5)$$

母材에서는

$$K = 2.98 \times 10^{-8} \sigma^{2.08} \dots\dots\dots(6)$$

(5), (6)式을 (3)式에 代入하면 鎔接熱影響  
部에서와 母材에서 各各 다음과 같은 關係式  
을 求할 수 있다.

即  $\frac{dL}{dN} = 7.8 \times 10^{-8} \sigma^{1.61} L \dots\dots(7)$

$$\frac{dL}{dN} = 2.98 \times 10^{-8} \sigma^{2.08} L \dots\dots(8)$$

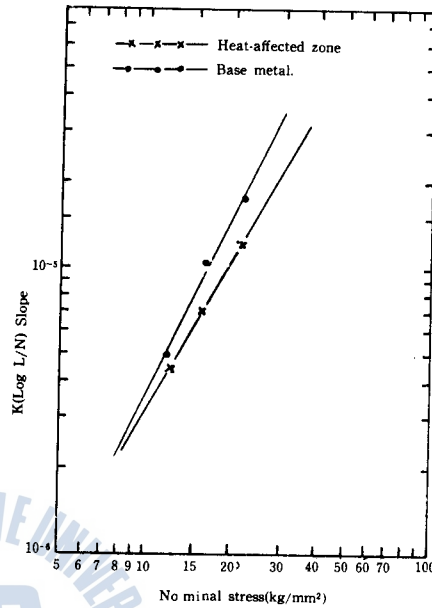


Fig. 12 LogL/N slope vs nominal stress

上記 (7), (8)式에 있어 σ > 7.7 kg/mm<sup>2</sup>의 應力範圍에 있어서는 鎔接影響部에 對한 dL/dN가 母  
材에 對한 dL/dN보다 더 크게 된다. 上記 限界 應力値는 本實驗에 限定된 것이며 一般의인 基  
準値가 될 수는 없으나 應力이 높은 部分에 있어서는 Crack 傳播速度를 比較하는 指標가 될 수  
는 있을 것이다.

多層鎔接을 行한 部分이 급힘 疲勞荷重을 받는 境遇, 鎔接部 內層 熱影響部の 疲勞 Crack 傳播  
速度는 母材의 境遇에 비해 더 느리 다는 것이 本 實驗에 있어 觀察되었다. 이것은 多層(3層)  
鎔接으로 因해 鎔接部 內層에 있어서는 鎔接熱影響部の 組織이 Photo, 3에서 보는 바와 같이 微  
細하게 調質되고 따라서 급힘 荷重을 받는 狀態下에서 Strain集中이 緩化, 平均化되며<sup>(6)</sup> 또한  
Fig. 4에서 보는 바와같이 硬度의 增加가 Crack傳播를 저지하는 效果를 나타내는 것으로도 解析  
된다.

#### IV. 結 論

以上 自作한 급힘 疲勞 Crack 傳播 試驗機에 依해 鎔接部 內層에서의 熱影響부와 母材에서의  
疲勞 Crack 傳播速度를 比較한 結果 熱影響部에서 Crack 傳播速度는 母材에 있어서 보다 느리  
다는 結論을 얻었다.

그러나 이와 같은 結論은 制限된 應力範圍內에서 橫맞대기 鎔接試片에 限하여 얻은 實驗 結  
果이며 이것의 보다 一般의인 結論은 앞으로 좀더 多樣한 試驗片을 利用하여 究明되어야 할 것  
이다.

끝으로 本 研究에 도움을 주신 本學 田大熙教授任과 材料分析에 手苦해 주신 朴相潤 教授任  
께 感謝드린다.

### 參 考 文 獻

- 1) 中村 孝, 日本 機械學會誌, 東京, VOL. 73, No. 616, 1970, p. 694.
- 2) 日本機械學會 強度委員會編, 金屬材料의 強度와 破壞, 東京, 丸善, (1964), p. 453.
- 3) 西田正孝, 應力集中, 東京, 森北, (1973), p. 184.
- 4) N E Frost, D. S Dugdale, J. Mech.  
phys. solids 6. 1958 p92~110.
- 5) 石橋正, 金屬의 疲勞와 破壞의 防止, 東京, 養賢堂, (1759), p. 192.
- 6) 辛奉碩·鄭世喜, 大韓機械學會誌, 서울, (Vol, 11) (1971) p. 23.
- 7) 宮園 昭八郎·柴田勝之, 共和技報, 東京, 共和電業, No. 170 (1972).



끝으로 本 研究에 도움을 주신 本學 田大熙教授任과 材料分析에 手苦해 주신 朴相潤 教授任  
께 感謝드린다.

### 參 考 文 獻

- 1) 中村 孝, 日本 機械學會誌, 東京, VOL. 73, No. 616, 1970, p. 694.
- 2) 日本機械學會 強度委員會編, 金屬材料의 強度와 破壞, 東京, 丸善, (1964), p. 453.
- 3) 西田正孝, 應力集中, 東京, 森北, (1973), p. 184.
- 4) N E Frost, D. S Dugdale, J. Mech.  
phys. solids 6. 1958 p92~110.
- 5) 石橋正, 金屬의 疲勞와 破壞의 防止, 東京, 養賢堂, (1959), p. 192.
- 6) 辛奉碩·鄭世喜, 大韓機械學會誌, 서울, (Vol, 11) (1971) p. 23.
- 7) 宮園 昭八郎·柴田勝之, 共和技報, 東京, 共和電業, No. 170 (1972).



