

## 後輪車軸(8 Ton)의 強度評價 (Strength Evaluation of Rear Axle Housing)

文相烈\* · 韓應教\*\* · 崔萬鎔\*\*

### 1. 序 言

現在生産되고 있는 8 ton 車軸(後輪)의 強度를 評價하기 위해 strain gauge에 의한 應力測定과 이 製品의 信賴性 向上을 위한 疲勞 試驗機에 의한 試驗 및 特히 熔接部分의 缺陷을 檢出하기 위한 非破壞檢査法의 適用 등, 製品에 대한 品質保證을 위한 一連의 試驗을 한 結果를 報告하고자 한다.

### 2. 疲勞試驗

#### 2.1 疲勞試驗機의 校正

本 試驗機는 電氣-油壓 Servo 機構를 使用한 疲勞試驗機로서 最大荷重이 20ton이며 動的 最大荷重은 16ton이다. 本 試驗機에서 靜的 荷重과 動的 荷重과의 關係를 同一供試品, 同一 strain gauge로 測定, 應力值를 比較하여 같은 應力值에 대한 荷重(load, 加壓)의 差를 求한 結果는 그림 1 과 같고 그림 2는 疲勞試驗의 加荷重裝置의 概略圖이다.

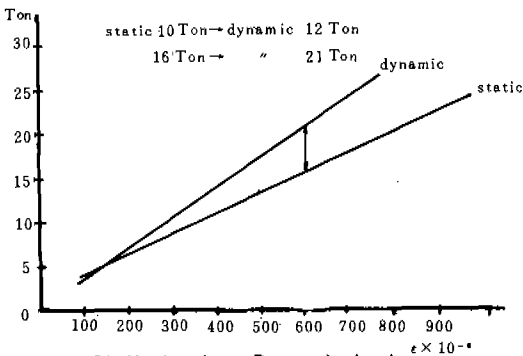


Fig. 1. Static Load vs Dynamic load

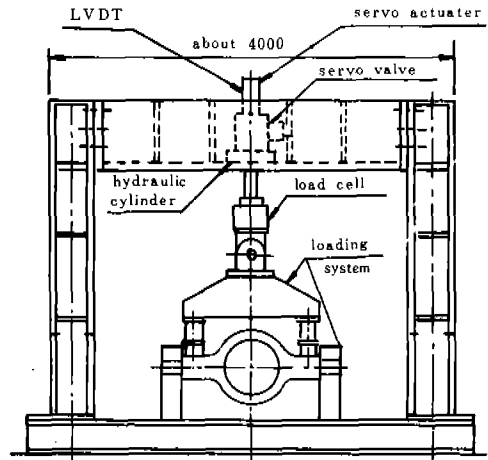


Fig. 2. Schematic diagram of fatigue testing machine

### 2. Rear axle housing의 應力測定

#### 2.2.1 靜的測定

Rear axle housing의 圓周方向, 軸方向, 45°方向으로 G.L. = 6 mm, G.F. = 2.01, G.R. = 120 Ω 接着하고 이를 그림 3 과 같이 static strain meter로 靜荷重을 加해가며 strain을 測定한다.

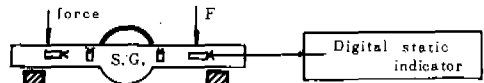


Fig. 3. Static strain measurement

#### 2.2.2 動的測定

動的測定에서는 一定한 反復荷重을 가하는 疲勞試驗과 實際의 積載走行車輛으로 自然 道路에서의 應力을 測定하여 이 둘의 試驗值를 比較하

\*東亞精機(株) 技術顧問

\*\*正會員; 漢陽大

여 자연도로서 random 상태로 가해지는 荷重의 狀態와의 關係를 구하고, 피로시험기에서 가해야 할 하중의 값을 구했다. 方法으로서 strain gauge를 rear axle housing의 圓周方向, 軸方向에 接着하고 피로시험기에서 구형波, sine波, 톱니波 등을 cycle 數와 하중을 變化시키며 測定하고 走行시험은 實際 자연도로서 하중을 積載하여 速度를 變化시켜 가면서 strain을 測定하였다. 感度는 미리 측정한 靜의 測定值를 參考로 하여 校正值를 구해가지고 하였다. 그림 4는 피로시험기에 依한 動的 應力測定에 대한 線圖이다.

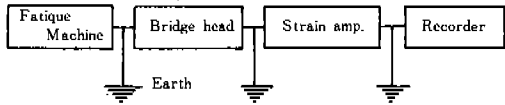


Fig. 4. Block diagram of dynamic Strain measurement

그리고 그림 5는 피로시험기의 加荷重 裝置에 대한 驅動制御盤의 線圖이다.

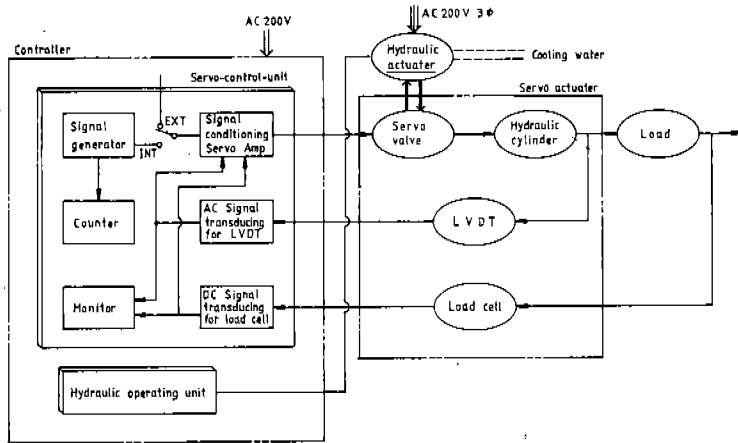


Fig. 5. Block diagram of driving controller

3. 非破壞試驗

車軸의 熔接部에 대한 非破壞檢査로서 全製品마다 放射線사진 투과시험을 實施하고 있다. 즉 Ir<sup>192</sup> 5 Ci 정도의 세기를 가진 同位元素를 利用 圓周方向으로 附着한 film에 사진撮影을 하여 熔接部の 缺陷有無를 檢出하고 있다. 이것을 조금

効果的으로 하기 위하여 超音波에 依한 探傷을 自動化시켜 볼 생각으로 우선 基礎的인 實驗을 하였다.

3.1 供試片의 人工缺陷

그림 6과 같이 人工缺陷을 만들어서 探傷器의 感度 調整을 하였다.

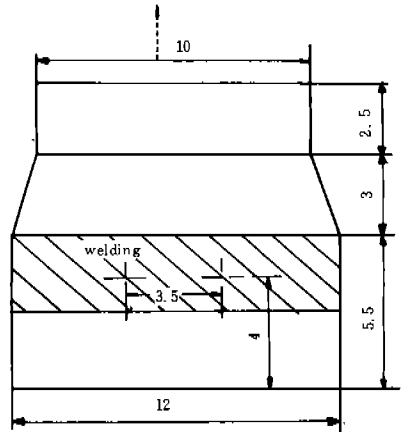


Fig. 6. Specimen dimension of artificial flaw in circular tube welding

3.2 測定方法

斜角探傷法에 따른 0.5skip方法을 가지고 그림 7과 같이 探觸子를 左右로 움직이면서 探傷을 하여 人工探傷을 探傷器로서 測定했을때의 正確度를 把握, 實驗에 適用하여 RT와의 比較를 하였다.

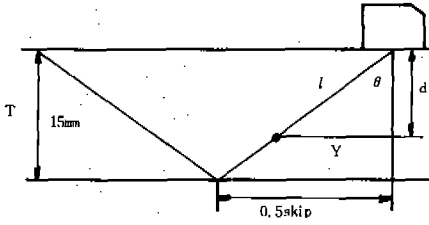


Fig. 7. 0.5skip method for angle flaw testing

으로 가할때 측정된 應力값은 다음 表 1 과 같다.

Table1. Static strain value (kg/mm<sup>2</sup>)

供 試 品	A	B	C
最 大 荷 重 (ton)	21.3	21.3	21.3
軸 方 向(左)	20.8	21.1	22.5
軸 方 向(右)	21.0	22.1	23.7
円周方向(左)	5.0	4.9	-
円周方向(右)	5.0	4.9	-

4. 實 験 結 果

4. 靜 的 應 力 測 定 值

3 개의 供 試 品 中 最 大 荷 重 21.3 ton

다음의 表 2 는 供 試 品 A 의 應 力 値 과 그림 10 은 gauge 接 着 位 置 을 表 示 한다.

Table. 2 Static strain value on specimen-A

No	P		RH × 10 <sup>-6</sup> strain							LH × 10 <sup>-6</sup> strain						
	ton	kg/cm <sup>2</sup>	① <sub>t</sub>	② <sub>t</sub>	③ <sub>t</sub>	④ <sub>t</sub>	⑤ <sub>t</sub>	⑥ <sub>r</sub>	⑦ <sub>r</sub>	① <sub>r</sub>	② <sub>r</sub>	③ <sub>r</sub>	④ <sub>r</sub>	⑤ <sub>r</sub>	⑥ <sub>r</sub>	⑦ <sub>r</sub>
	0	0	29	27	30	27	28	25	26	- 32	- 30	- 30	29	31	30	29
	5.3	10	-180	-158	-159	126	241	116	- 66	- 28	-157	-198	111	255	124	- 78
	8.0	15	-294	-264	-265	155	359	168	-115	- 61	-258	-323	145	376	174	-136
	10.7	20	-426	-388	-387	192	498	226	-173	- 96	-375	-464	185	515	231	-207
	13.3	25	-537	-496	-492	246	618	277	-221	-130	-478	-587	236	640	280	-274
	16.0	30	-658	-625	-618	305	760	338	-281	-174	-595	-725	302	785	336	-352
	18.7	35	-735	-715	-708	368	866	385	-324	-216	-682	-835	357	903	377	-415
	21.3	40	-830	-840	-827	448	1006	444	-382	-275	-789	-981	428	1056	428	-499
		0	30	24	37	41	29	29	25	5	53	30	76	56	34	12

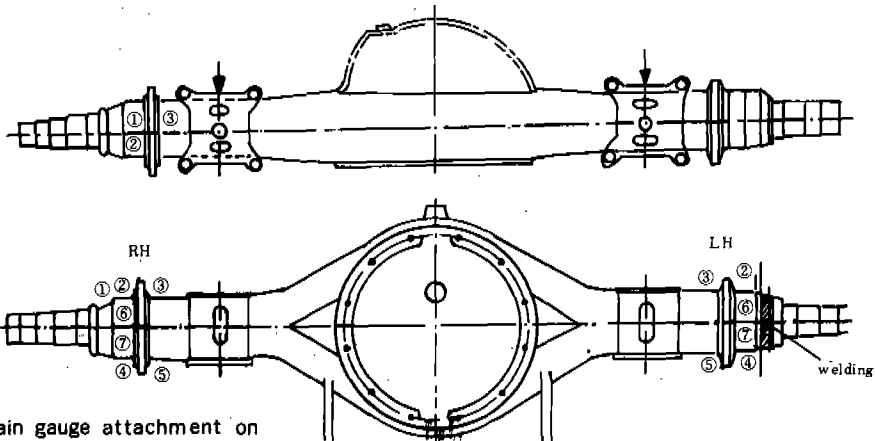


Fig. 8. Strain gauge attachment on rear axle housing

4.2 動的應力 測定

動力應力 測定은 疲勞試驗機에서 일정한 條件을 變化시키며 測定한 것과 積載走行試驗에서 측정된 값이 있다.

다음의 그림 9와 表 3은 피로시험기의 荷重과 function의 變化에 따른 應力值를 表示하며 그림 10과 表 4에서는 비포장도로에서의 走行試驗結果이며 表 5는 最大 strain과 平均 strain을 動的인 값으로 나타낸 것이다.

또한 그림 11은 全peak計數法에 의한 應力判讀을 나타낸다.

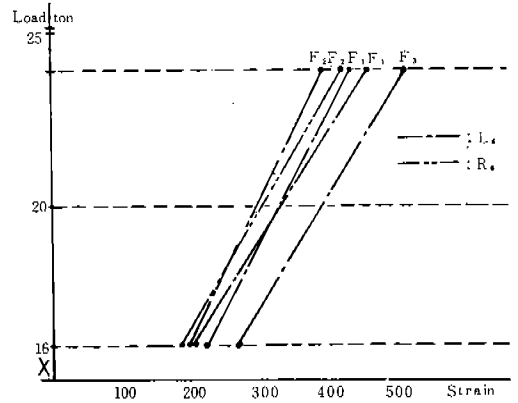


Fig. 9. Relationship between load and strain by function on fatigue machine

Table 3. Stress by fatigue testing machine, strain( $\mu$ ), 1Hz

Function Load(ton) strain	F			F			F		
	16	20	24	16	20	24	16	20	24
L 6	225 ( $\mu$ )	337 ( $\mu$ )	428 ( $\mu$ )	204 ( $\mu$ )	3000 ( $\mu$ )	394 ( $\mu$ )	268 ( $\mu$ )	390 ( $\mu$ )	513.6
R 6	216	327	461	192	304	418			
function									

Table 4. Dynamic strain on the natural road

		아산만 - 평택 (비포장도로) 77km/h			
		strain ( $\mu$ )	cycle (Hz)	dynamic strain + static strain	dynamic 환산값
L 6	max	238	15	701	510
	difference	158			
	mean	159			
R 6	max	281	15	744	547
	difference	231			
	mean	165			

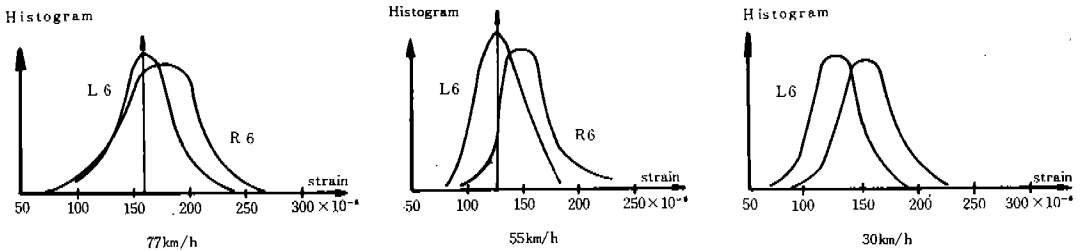


Fig. 10. Stress distribution on natural road from Asan to Peongtak

Table 5 最大Strain과 平均strain (dynamic으로 환산한 값)

	상 교 천 비포장도로		덕산-고적 비포장도로		아산-평택 비포장도로		단위 : $\times 10^{-4}$
	最大	平均	最大	平均	最大	平均	
L 6	331	320	487	417	510	431	
R 6	339	322	481	374	547	431	

4.3 走行試驗 · 應力값과 피로시험기의 應力 값과의 관계

피로시험기의 sine wave( $F_1$ ), 三角波( $F_2$ ), 구형波( $F_3$ )의 strain값은 同一荷重에 대하여 最大 function이  $F_3 \rightarrow F_1 \rightarrow F_2$ 로 되며(그림 11) 그 차는  $(F_3 - F_1) = 75 \times 10^{-4}$ ,  $(F_1 - F_2) = 50 \times 10^{-4}$ ,  $(F_3 - F_2) = 125 \times 10^{-4}$ 이 된다. 포장도로에서는 最大 331 $\mu$ , 平均 320 $\mu$ 이므로 function은  $F_1, F_2$ 에서 21ton,  $F_3$ 로는 18ton을 택하면 되고 비포장

도로에서는 function F<sub>1</sub>의 24ton 荷重에 해당되거나 最大값의 分布가 극히 적으므로 평균 값으로 생각할 때 374~431μ이므로 F<sub>1</sub>로서는 18~22 ton, F<sub>2</sub>로서는 22~24ton의 荷重에 해당된다.

4.4 超音波探傷에 의한 缺陷測定結果

4.4.1 人工缺陷 熔接部 試驗片의 結果

表 6에서는 스크린에 처음 echo가 나타날 때의 缺陷値를 나타내며 表 7에서는 echo가 最大로 올라갈 때의 缺陷값을 나타낸다.

Table. Screen에 처음 echo가 나타날때의 缺陷치 (길이단위 : mm)

	시험편 두께	감도	ℓ	Y	d <sub>1</sub>	y	dB	dB'
①	t : 12.7 t' : 13.7	30	13×2 =26	24.58	8.46	24	24	30
②	t : 12.6 t' : 13.6	16	14.5×2 =29	27.5	9.4	27	24	29.5
③	t : 12.8 t' : 13.8	14	14×2 =28	26.4	9.1	26	24	29.5
④	t : 12.9 t' : 13.8	12	15×2 =30	28	9.7	27.5	24	28.5
⑤	t : 12.7 t' : 13.7	25	14×2 =28	26.4	9.1	26	24	30
⑥	t : 12.9 t' : 13.9	15	15.4×2 =30.8	29.12	10	28.5	24	29.5

5. Rear axle shaft의 疲勞壽命의 算出法

Rear axle shaft에 반복응력이 負荷되면 靜的 負荷의 경우에 비하여 훨씬 낮은 應力下에서도 破壞가 일어난다. 이러한 破壞를 疲勞破壞라 부르는 것으로 實際의 部材의 破壞는 대부분 疲勞破壞이다. 그리고 強度設計의 立場에서 疲勞強度를 아는 것은 대단히 重要하다. 또한 部材의 熔接部에 이미 初期缺陷을 갖고 있는 경우의 피로균열 進展속도의 data는 잔류수명의 評價가 可能하게 되어 보다 安全하면서도 合理的인 許容應力의 設定이 可能해진다. 여기서는 疲勞強度의 算出法 및 破壞力學에 의한 殘留壽命의 評價 그리고 許容應力의 選擇法에 대하여 조사

한다.

5.1 方 法

5.1.1 疲勞強度의 算出法

① Axle에 가하여 지는 應力振幅을 결정

例)  $\sigma_{a1} > \sigma_{a2} > \sigma_{a3} > \sigma_{a4} > \sigma_{a5}$ 의 5종류 「real axle case」는 5本

② 各 應力振幅에서의 破斷時間을 조사

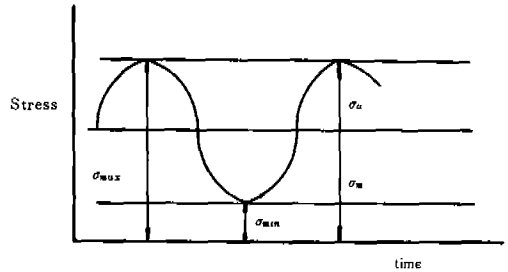
例)  $\sigma_{a1}$ 일때 N<sub>1</sub>에서 파단

∴ ∴

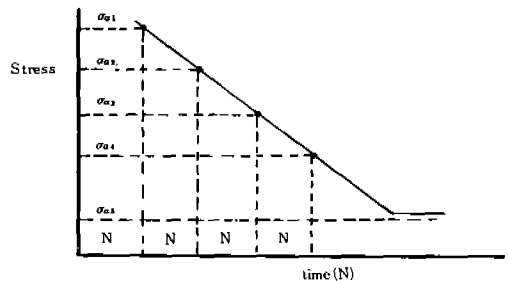
$\sigma_{a5}$ 일때 파단이 생기지 않음

③ 縱軸에 應力振幅을, 橫軸에 時間을 graph로 나타낸다.

\* Stress Cycle



$\sigma_m$  : average stress     $\sigma_a$  : stress amplitude  
 $\sigma_{max}$  : maximum stress     $\sigma_{min}$  : minimum stress



이때  $\sigma_{a5}(\sigma_w)$ 를 피로한도로 정의하고 一般的으로  $N=10^6 \sim 10^7$  사이의 應力이 된다. 즉 應力振幅  $\sigma_{a1}$ 以下에서는 rear axle case의 疲勞壽命은 無限大이다.

5.1.2 疲勞龜裂進展속도의 評價

「Rear axle case」S의 熔接部등에 결함이 存

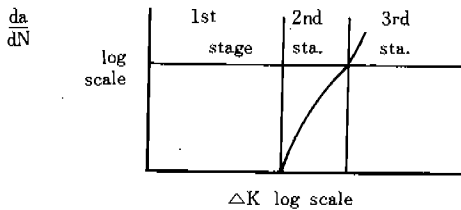
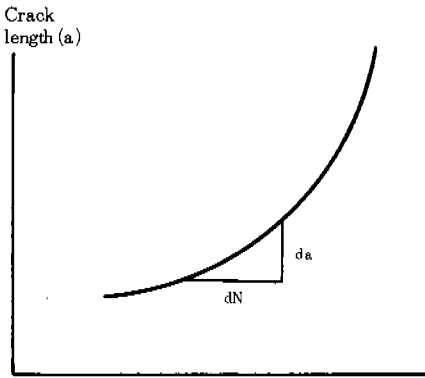
在한다는 假定下에서는 缺陷先端에 負荷 應力에 의한 應力場이 생기게 되므로 이 axle에 適用할 수 있는 試驗片을 製作하여 應力擴大係數 K의 값을 算出한다. 즉,

$$K=f(g) \cdot \sigma \cdot \sqrt{a} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 f(g); 試驗片 및 결함의 形狀에 따른 값  
 σ; 負荷應力  
 2a; 缺陷의 길이

그리고 피로균열 進진속도 da/dN은 다음의 順序에 의한다.

- ① σ<sub>a</sub>에 있어서 時間(N)에 따른 均열의 길이(2a)의 變化조사



- ② 피로균열 進진속도 da/dN을 1 cycle 간격으로 조사.

- ③ 均열길이의 變化에 따른 K의 값을 (1) 式에 의해 計算

④ 順序 ②, ③에서 얻어진 결과, 즉 da/dN과 ΔK(K<sub>max</sub>-K<sub>min</sub>)을 log-log의 graph로 表示, 그러면 一般的으로 그림과 같이 3段階 영역으로 나눈다. 제 3 단계는 불안전영역으로 均열은 急速히 傳播된다. 그러므로 불안전 영역이 시작되는 應力의 값은 K에 의해서 산출되고 또한 da/dN으로부터 殘留壽命이 評價된다.

### 5.1.3 疲勞限度를 基準으로 한 許容應力의 選擇法

Axle의 許容應力은 다음式에 의해서 定할 수 있다.

$$\sigma_{at} = \frac{1}{f} \sigma_w = \frac{1}{f} \cdot \frac{\rho_1, \rho_2, \sigma_w}{\beta} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, f; 實物部品の 피로한도에 대한 安全率로서 使用材料의 疲勞限度 σ<sub>w</sub> 및 notch, 치수, 표면효과등의 추정치의 不確實등을 고려할 것.

β; notch계수

ρ<sub>1</sub>; 치수효과에 의한 低下率

ρ<sub>2</sub>; 표면의 상황 및 그밖의 因子에 의한 低下率

한편 振動이나 衝擊에 의한 應力上昇, 殘留應力의 存在등의 影響은 豫測이 困難하고 推定이 不確實하기 때문에 設計應力측에서도 安全率을 고려하여 설계應力을 그것만큼 높게 計算해야 된다.

## 6. 考 察

(1) 本 實驗에서는 使用된 피로시험기는 一定時間의 使用後에는 반드시 校正을 必要로 한다.

(2) 熔接部의 결함의 크기 및 깊이를 測定해 본 결과 最大誤差가 1mm 정도 發生하는데 그 理由는 스크린 값의 目差 및, 시험편의 表面이 均열하지 않았기 때문이며 不感帶가 크고 接觸子와 시험편사이의 接觸面에서 均열한 音響coupling을 유지 못하기 때문이며 초음파 탐상은 被檢體가 幾何學的으로 適合한 때에만 가능하기 때문이다.

(3) 現在는 수동에 의해 초음파탐상이 實施되나 人力과 時間이 절약되며 보다 더 缺陷의 探傷力이 강한 自動超音波探傷法을 使用하면 좋을 것 같다.

(4) 피로시험기에서 應力을 풀 때 만약 熔接部라든가 其他 다른 부분에서 音響放出(acoustic emission)이 생기게 된다면 이를 A. E. 計測器

를 통해서 탐지할 수 있으므로 이 A. E의 total count로서 強度的 評價法을 고려해 보는 것도 좋을 것이다.

## 7. 結 言

(1) 實際 積載走行試驗을 통해 얻은 dynamic strain값에 대응하는 荷重과 function의 種類를 피로시험기에서 가할 수 있으므로 rear axle housing의 疲勞試驗은 本 疲勞試驗機를 통해서 可能하다.

즉 疲勞試驗機에서 20ton, 1 Hz로 10時間 試驗한 것은 비포장도로에서 77 km/h로 1時間 走行한 것에 해당되며 포장도로에서는 80 km/h로 7.4時間 走行한 것에 해당된다. 따라서 200萬回 數는 時間으로 550時間(23日間)에 해당된다.

(2) 熔接部の 결합이 放射線透過試驗과 超音波 探傷法을 併用함으로써 能率化와 信賴性을 增大할 수가 있다.

(3) 앞으로 熔接部の 缺陷에 대한 評價는 破壞力學的인 側面에서도 이를 考慮하여야 할 것 같다.

## 參 考 文 獻

### I. 應력측정 및 피로시험에 관한 技術

- ① 韓應教：스트레인게이지-理論과 應用- 普成文化社, 1976.
- ② 多田地：應力測定マニュアル, 오름社.
- ③ 韓應教：計測工學, 光林社, 1978.
- ④ 中 村：機械部品及び構成部材의 疲 勞 壽命 推定法(10), 1975.  
機械の研究, Vol. 27, No. 11, p. 1412.

- ⑤ K. I. Da: Y. Ishii: IIW Document No. XIII 560-69(1969).
- ⑥ J. D. Harrison: IIW Document No. XIII 624-71(1971).
- ⑦ 寺田, 多田：溶接學會誌 Vol. 29, No. 9, p. 110.

### II. 非破壞檢査에 關한 技術

- ① 機械教育會編, 非破壞檢査部門 檢定試驗에 對備한 시리즈①~④.
- ② Krautkramer: 超音波探傷技術, 日刊工業新聞社.
- ③ 日本學術振興會 編：超音波探傷法, 日刊工業新聞社(1964).
- ④ 非破壞檢査便覽：日刊工業新聞社
- ⑤ 李 勇 編：工業用 放射線試驗技術, 형제사.

### III. 材料評價

- ① 日本NDI協會：非破壞檢査技術者のための 破壞力學.
- ② 北川：疲勞龜裂에 대한 破壞力學的의 適用, 機械學會誌 Vol. 75(1972), p. 1068.
- ③ ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Sec XI, 1977, edit.
- ④ 小林英男：“材料”22-297(1978), p. 495.
- ⑤ 小林英男：日本機械學會誌, 80-703(1977), p. 492.
- ⑥ 中澤一, 小林：“固體의 強度” 엔지니어링, 사이언스講座(1976), 共立出版.
- ⑦ 吉田 享：“金屬破斷面의 目方”日刊 工業新聞社.
- ⑧ 日本 NDI協會：“非破壞檢査” Vol. 30, No. 8, 1981.