

# 鐵道軌條 및 鑄接連結部에 대한 疲勞設計強度의 評價

The Estimation of Fatigue Design Strength  
on Base Metal and Welded Parts of Rail

龍 煥 鮮\*  
Yong, Hwan Sun

---

## Abstract

The strength and load of structure are varied with the Passage of time, and become a process of probability. It is possible to estimate the reliability from the relation between strength and load.

Considering the safety, It is reasonable to estimate allowable stress from the safety factor based on the reliability. In this study, the method to estimate probability of fracture, which is index of reliability for rail subject to long term fatigue load were examined.

In estimation of reliability it is meaningless to evaluate numerical value especially this difficult case estimating parameter of random variable. To overcome this problem, conventional design method estimating relative reliability were proposed. In this study the Cornell method were examined. The uncertainty of random variable, ie coefficient of variation which is the index of variation of strength and load were considered. The effect of uncertainty related to probability of fracture, and safety factor based on reliability were examined.

The results of this study are followed. The reliability of weld metal were influenced by variation of strength more then load, and base metal were influenced by load. It is confirmed that the allowable stress range calculating with factor of safety based an reliability is conservative.

---

## 要 旨

構造의 強度와 荷重은 時間이 경과함에 따라 변하며 確率過程이 된다. 이들의 相互關聯性으로부터 信賴度의 推定이 가능하다. 따라서 安定性を 確保하기 위한 安全의 여유를 고려하는 경우 許用應力은 信賴性에 근거한 安全率로부터 구하는 것이 合理的이다. 本 研究에서는 長期적으로 疲勞荷重을 받는 鐵道레일을 對象으로 해서 信賴性의 指標인 破壞確率을 구하는 方法을 適用해 보았다.

信賴度의 推定에 있어서 母數의 推定이 어려운 경우 破壞確率의 數值計算은 의미가 없다. 이

---

\* 正會員 · 水原大學 助教授

와 같은 문제점을 극복하기 위하여 相對的인 信賴性을 구하는 慣用設計法이 提案되었다. 本 研究에서는 Cornell의 慣用設計法을 適用하였다. 不確定要素로서는 強度와 荷重의 變動係數를 사 용하였고 이들의 破壞確率에 대한 영향과 信賴性에 根據한 安全率을 검토하였다.

本 研究의 결과는 다음과 같다. 信賴性에 있어서 鎔接材는 強度變動의 영향을 크게 받고 母材 는 荷重變動의 영향을 크게 받았다. 信賴度에 根據한 安全率로 구한 許用應力範圍는 安全側에 있음을 確認하였다.

## 1. 序 論

結定論的設計에 있어서는 靜的強度에 基準한 安全係數를 定해서 構造의 安全性을 確保한다.

그러나 動的인 荷重에 대해서는 시간이 경과 함에 따라 強度와 荷重이 變하기 때문에 靜力學 的인 概念에 의한 安全率이나 荷重係數만으로는 使用期間동안 발생할 수 있는 不確定要素를 포 함시킬 수 없다. 따라서 최근에는 荷重과 強度를 確率變數로 보고 信賴性概念에 의해 安全을 確保하려는 確率論的인 設計方法이 활발히 研究 되고 있다<sup>(1)</sup>.

특히 疲勞問題에 있어서 시간의 경과에 따른 強度의 減少와 荷重의 變動이 確率過程에 따른 다는 것이 밝혀졌으며, 이들이 連續確率變數인 경우 相互關聯性으로부터 信賴度의 推定이 可能 하다<sup>(2)</sup>.

따라서 本 研究에서는 장기적으로 疲勞荷重을 받는 鐵道軌條를 對象으로 해서 供用기간중 安全성을 確保하기 위한 수단으로서 強度의 減少와 荷重의 變化를 確率變數로 취급해서 同一時 間軸에 대한 破壞確率을 求하는 方法을 提示하 고자 한다.

本 研究에서는 信賴度의 推定에 있어서 不確定要素를 適用시키는 方法으로서 適用성이 편리한 Cornell의 方法을 使用하였다<sup>(3)</sup>. 이 方法의 適用上 타당성을 檢證하기 위하여 信賴度에 대 한 不確定要因으로서 荷重 및 強度의 分散의 指標인 變動係數의 영향을 檢討하였다. 또한 通過 荷重과 強度의 相互關聯性으로부터 구해진 安全 率에 의해 許用設計應力範圍를 提示하였다.

## 2. 信賴性의 確率論的 解析

材料의 強度( $R$ )와 荷重( $Q$ )의 同時確率密度函 數를  $f(r, q)$ 라 하면 破壞確率은 다음 식과 같다.

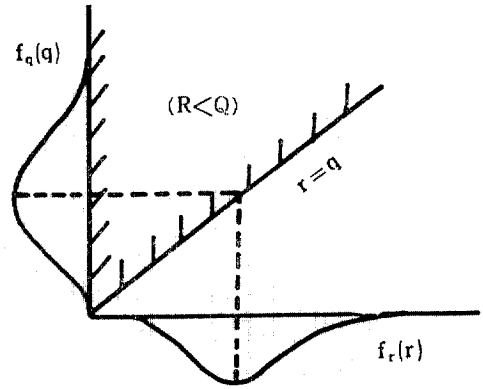


그림 1. 식 (1)의 積分領域

$$P_f = P(R < Q) = \int_0^q \int_0^q f(r, q) dr dq \quad (1)$$

식 (1)이 成立하는 領域은 그림 1의 斜線部分 이다.

식 (1)의 餘事象은 非破壞確率(信賴度)을 의 미하며

$$P_s = P(R > Q) = 1 - P_f \quad (2)$$

強度  $R$ 과 荷重  $Q$ 의 確率密度函數를 同一軸 上에 그리면 그림 2와 같고 이때 破壞確率은 식 (3)과 같다.

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} F_r(x) f_q(x) dx \quad (3)$$

여기서,  $F_r(x)$ ; 確率分布函數

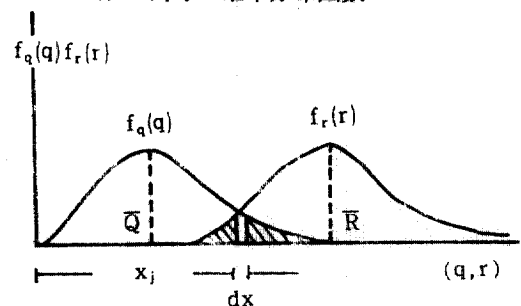


그림 2. 破壞確率의 積分領域

그러나 식 (3)과 같은 結合密度函數는  $x_i$ 가 非正規分布하는 경우 실제로 구할 수 없는 경우가 대부분이며 더구나 基本確率變數  $x_i$ 의 嚴密한 確率分布는 알 수 없는 경우가 많다. 또한  $x_i$ 의 嚴密한 確率分布를 안다고 하여도 統計的 자료의 貧困으로 인한 母數의 推定이 어려운 경우가 많기 때문에  $x_i$ 의 定確한 分布를 알 수 없고 正確한 確率密度函數를 구할 수 없는 경우 破壞確率의 計算이  $x_i$ 의 分布에 따라 端尾(tail)부분에서 매우 敏感하게 달라지는 것을 고려하면 破壞確率의 數值計算은 의미가 없다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 相對的인 信賴性을 구하는 慣用設計法이 使用된다<sup>(4)</sup>.

그림 2에서 強度  $R$ 와 荷重  $Q$ 가 正規分布  $\{R(\bar{R}, S_R), Q(\bar{Q}, S_Q)\}$ 하고 서로 獨立이면 安全의 여유  $M$ 도 正規分布한다. 安全의 여유  $M$ 의 平均  $\bar{M}$ 와 共分散  $S_M^2$ 은

$$\bar{M} = \bar{R} - \bar{Q} \quad (4)$$

$$S_M^2 = S_R^2 + S_Q^2 \quad (5)$$

따라서 破壞確率은 다음과 같이 된다.

$$P_f = P(R < Q) \\ = \Phi\left(\frac{0 - \bar{M}}{S_M}\right) \\ = \Phi\left(\frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}\right) \quad (6)$$

로 정의되고 信賴性指數  $\beta$ 는  $R-S$ 의 變動係數의 逆수로서

$$\beta = \frac{\bar{M}}{S_M} \quad (7)$$

로 된다. 따라서 破壞確率  $P_f$ 는

$$P_f = \Phi\left(-\frac{\bar{M}}{S_M}\right) = \Phi(-\beta) \quad (8)$$

식 (8)에서  $\beta$ 가 증가하면  $P_f$ 는 감소한다.

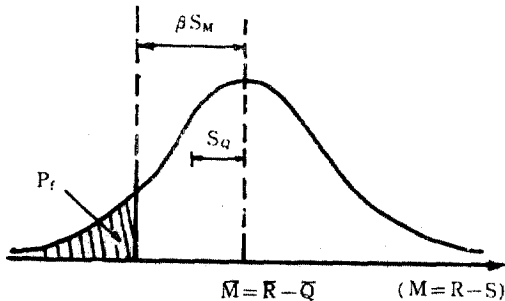


그림 3. 破壞確率과  $\beta$ 의 關係

$P_f$ 와  $\beta$ 의 關係는 그림 3과 같다. 여기서  $S_Q$ 는 荷重  $Q$ 의 標準偏差이다.

식 (7)과 식 (8)에서

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}} \quad (9)$$

이러한 慣用設計法은 Cornell과 Ang에 의해 提案된 方法으로서 確率密度函數를 使用치 않고 期待値와 共分散만을 使用한다. 다만 Ang은 不確定要素를 細分하나 Cornell은 強度와 荷重의 共分散만을 使用하는 簡便性이 있고 非正規分布하는 경우에도 適用이 가능하다. 本 研究에서는 Cornell의 方法을 使用하였다.

強度曲線은 疲勞應力範位( $\sigma_r$ )와 疲勞壽命( $N$ )의 關係로부터 求해지며 다음과 같다.

$$\log N = b - m \log \sigma_r \quad (10)$$

여기서  $b$ 와  $m$ 은 材料의 常數이다. 回歸直線上의 어떤 應力範位( $\sigma_r$ )에서 疲勞壽命( $N$ )이 對數正規分布하면  $\log N$ 은 正規分布하며 그 平均 및 標準偏差는 각각 다음과 같다<sup>(5)</sup>.

$$\bar{R} = \log N \quad (11)$$

$$S_R = S_{\log N} \quad (12)$$

따라서  $\bar{R}$ 와  $S_R$ 은 強度曲線의 Parameter가 되고 強度曲線은 그림 4(a)와 같이 수평선상에 놓인다.

荷重曲線은 供用荷重에 의해 구한 應力履歷으로부터 구하는 것이 원칙이나 이 方法이 불가능한 경우 荷重의 變動係數로부터 다음과 같이 구할 수 있다<sup>(6)</sup>.

$$S_Q = \log(1 + V_Q) \quad (13)$$

여기서,  $V_Q$ : 荷動의 變動係數

그림 4에서 強度曲線과 荷動曲線을 同一軸上에 두기 위하여 그림 4(b)를 90°回轉시키면

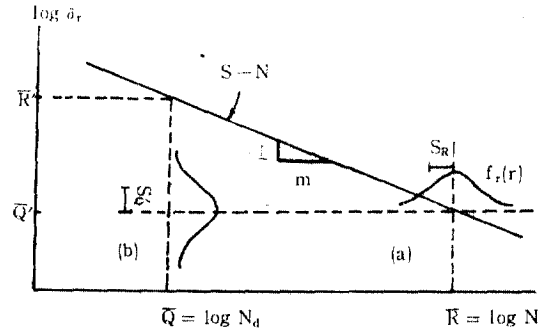


그림 4. 強度曲線과 荷重曲線

$$S_q = mS_0 \quad (14)$$

따라서 식 (7)은 다음과 같이 된다.

$$\beta = \frac{R - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + (mS_0)^2}} \quad (15)$$

식 (15)에서 구한  $\beta$ 에 해당하는 破壞確率 ( $P_f$ )는 正規分布表에서 읽을 수 있으며  $P_f$ 는 다음과 같다<sup>(7)</sup>.

$$P_f = 1 - f_\beta(\beta) \\ P_f = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{-M/S_M} e^{-(\beta^2/2)} d\beta \quad (16)$$

疲勞設計에 있어서  $R \geq \theta \bar{Q}$ 를 만족해야 되고  $\theta$ 는 安全率로서 다음과 같다<sup>(8)</sup>.

$$\theta = \frac{1 + \beta \sqrt{V_R^2 + V_Q^2 - \beta^2 V_R^2 V_Q^2}}{1 - \beta^2 V_R^2} \quad (17)$$

여기서  $V_R, V_Q$ 는 각각 強度와 荷重의 變動係數를 의미한다.

P. Albrecht는 壽命과 應力範圍에 대한 安全率을 각각 다음과 같이 계산하였다.

$$(F.S)_N = 10^{\beta f t} \quad (18)$$

여기서,  $S_t : \sqrt{S_R^2 + (mS_0)^2}$

$$(F.S)\sigma_r = \{(F.S)_N\}^{1/m} \quad (19)$$

### 3. 實驗結果

本 研究에서 強度曲線을 그리기 위하여 50kg 급  $N$ 레일의 母材와 鎔接材에 대하여 一定應力

範圍의 疲勞試驗을 하였다. 母材의 化學性分 및 機械的性質은 표 1과 같다.

鎔接條件은 鐵道廳 레일鎔接基準에 依據하였다. 試驗片의 形狀은 그림 5와 같다.

回轉軸疲勞試驗結果는 표 2(母材), 표 3(鎔接材)과 같다. 그림 6은 母材와 鎔接材의 回歸直線이며  $S-N$ 關係는 母材와 鎔接材에 대하여 각각 식 (20), 식 (21)과 같다.

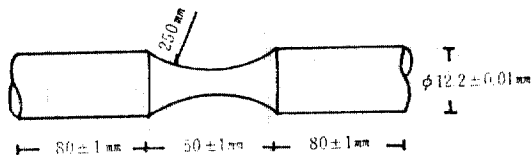


그림 5. 試驗片의 彈狀

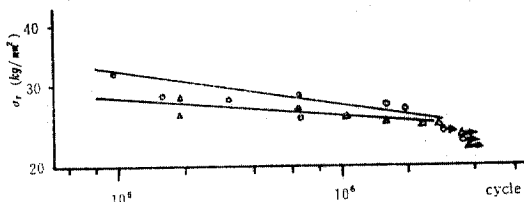


그림 6. 母材와 鎔接材의  $S-N$ 關係

$$\log N = 20.798 - 10.4316 \log \sigma_r \quad (20)$$

$$\log N = 29.768 - 17 \log \sigma_r \quad (21)$$

표 1. 鋼材의 化學性分 및 機械的性質

化 學 性 分 (%)					機 械 的 性 質			
C	Si	Mn	P	S	항복응력 kg/mm <sup>2</sup>	인장강도 kg/mm <sup>2</sup>	탄성계수 kg/mm <sup>2</sup>	신장율 (%)
0.6~0.75	0.10~0.30	0.70~1.10	0.35 이상	0.040 이상	50 이상	80 이상	21,000	8 이상

표 2. 母材의 試驗結果

應力範圍(kg/mm <sup>2</sup> )	疲勞壽命(cycle)	
1	25.06	687,000
2	27.55	1,968,000
3	28.04	1,639,000
4	28.10	635,000
5	28.30	325,600
6	28.50	156,300
7	31.00	96,500
8	22.5	3,500,000
9	24.1	2,800,000

표 3. 鎔接材 試驗結果

應力範圍(kg/mm <sup>2</sup> )	疲勞壽命	
1	24.0	2,567,800
2	24.40	1,623,500
3	24.90	2,325,000
4	25.07	613,400
5	25.30	1,056,700
6	26.00	187,000
7	28.00	198,600
8	23.00	3,500,000이상
9	22.00	3,200,000이상

여기서  $N$ 과  $\sigma_r$ 은 疲勞壽命과 應力範圍이다.

#### 4. 考 察

##### 4-1. 強度曲線의 Parameter

一定應力範圍(母材 28kg/mm, 銲接材 24kg/mm<sup>2</sup>)에서 疲勞壽命이 對象正規分布하는 것으로 보고 구한 標準偏差 및 變動係數는 다음과 같다.

	標準偏差( $S_R$ )	變動係數( $V_R$ )
母 材	0.41924	0.07315
銲 接 材	0.0855	0.0135

##### 4-2. 荷重曲線의 Parameter

荷重의 標準偏差와 變動係數를 구하기 위하여 수도권전철을 포함치 않은 列車의 通行이 최대인 水原을 點으로 하였다. 이때 通過列車의 數와 頻度는 長期의인 統計資料가 없어 1987.11末의 下行線 通過列車를 對象으로 하였고 기관차에 연결된 客車와 貨車의 數도 變動이 있을 수 있으나 正確한 資料가 없어 새마을 8량, 우등 8량, 통일 10량, 화물열차 30량으로 規格화하였다. 輪荷重도 각 列車等級에 따른 標準軸荷重으로부터 기관차의 새마을 11t, 우등 11t, 통일 12.25t, 비둘기 12.25t이며 客貨車의 輪荷重은 모두 6.25t으로 하였다. 수원경유 下行列車의 1日 通過回數는 표 4, 각각 輪荷重의 通過回數는 표 5와 같다.

鐵道廳의 50kg 급  $N$ 레일에 대한 疲勞壽命 5

표 4. 각종 列車의 水原譯 通過回數(下行)

旅 客		貨 物	
새마을	무궁화	통 일	비둘기
17	36	37	6
			콘테이너
			유 개, 개
			8
			25

표 5. 각 列車別 輪荷重의 1日 通過回數

열차명	윤하중	6.25t	11t	12.75t
새 마을		544	102	
무 궁 화		1,152	236	
통 일		1,480		222
비 둘 기		240		36
화 물		4,440		222
계		7,856	338	480

億톤에 근거하던 8.550 일(5億톤/58.478톤)간의 기대壽命은 74.162.700 cycle 이 된다. 設計壽命 동안의 荷重別 通過回數를 고려한 通過輪荷重의 標準偏差와 變動係數는 다음과 같다.

$$Q_0 = 1.432 t$$

$$V_L = 0.2115$$

따라서 식 (13)으로부터

$$S'_0 = 0.0833$$

식 (14)로부터 母材와 銲接材의 荷重曲線에 대한 parameter 는 각각 다음과 같다.

이때 荷重의 平均은 時間軸上의 문제가 되므로 設計壽命인  $N_d = 2,000,000$  cycle 에 대한  $\bar{Q} = \log N_d = 6.3$  을 使用하였다<sup>(2,6)</sup>.

$$\text{母 材 } S_0 = 0.8689$$

$$V_0 = 0.1379$$

$$\text{溶接材 } S_0 = 1.461$$

$$V_0 = 0.22478$$

##### 4-3. 疲勞強度

식 (20), 식 (21)로부터 구한 設計壽命 2,000,000 cycle 에 대한 疲勞強度는 母材가 24.537kg/mm<sup>2</sup>, 銲接材가 24.014kg/mm<sup>2</sup> 이다. 그림 (6)에서 동일한 cycle 수에 대한 壓力範圍도 2,000,000 cycle 이하에서는 母材가 크다. 이것은 銲接材의 材質의 粗大化와 硬化에 기인한 것으로 생각된다<sup>(9)</sup>.

母材部와 銲接部에서 疲勞強度의 比는 1 : 0.98 로서 比較적 差가 크지 않다. 그러나 그림 (6)을 보면 高應力範圍에서는 그 差가 커진다. 이러한 현상은 균열의 發生時期에 관계되는 것으로 回轉輻疲勞試驗이 均열의 成長보다는 發生까지의 壽命에 관계가 크기 때문에 高應力水準에서는 銲接材에서 均열의 초기 발생에 따른 疲勞壽命이 短縮되는 것이라 생각된다.

또한 反復應力이 作用하는 疲勞下에서  $S-N$ 線圖의 기울기와 Paris線圖의 기울기가 같다는 研究結果 및 反復疲勞와 回轉輻疲勞에서의  $S-N$  關係의 유사성을 고려하면 母材에서의  $m=10.4$ , 銲接材에서  $m=12$  로서 銲接材에 均열이 發生하면 均열의 成長은 銲接材가 母材보다 더 크게 된다는 것을 알 수 있고 50kg 급  $N$ 레일에 대한 既存의 研究結果에서도 같은 傾向이 지적된 바 있다<sup>(10,11)</sup>.

표 6.  $V_R$ ,  $V_Q$ 의 변화에 따른  $P_f$ 의 변화

$V_R \backslash V_Q$	$P_f(\%)$					
	0.03	0.06	0.1	0.3	0.6	1.0
0.03	0	0.02	1.7	20.5	33.9	40.9
0.06	0.03	0.6	2.3	21.1	34.1	40.2
0.1	2.6	3.6	6.0	22.2	34.3	40.2
0.3	25.4	25.6	26.2	30.2	36.3	40.8
0.6	37.0	37.0	37.1	37.8	39.7	42.1
1.0	42.1	42.1	42.2	42.3	42.9	43.8

4-4. 強도와 荷重의 不確定要素의 영향

強도와 荷重의 時間에 따른 變動을 確率變數로 취급하는 경우 不確定要素로는 強도의 變動係數( $V_R$ )와 荷重의 變動係數( $V_Q$ )가 있다. 時間軸上에서 強度는 기대수명으로 74,162,700cycle에 대한  $R=7.87$ 과 荷重은 設計壽命 2,000,000 cycle에 대한  $Q=6.3$ 에 대하여  $V_R$ 과  $V_Q$ 를 變化시키면서 破壞確率에 대한 영향을 검토하였다. 표 6, 그림 7은  $V_R$ 과  $V_Q$ 가 0.01부터 1.0까지 變化할 때 破壞確率( $P_f$ )과의 관계를 나타낸다.

그림 7은  $V_R$ 을 橫軸으로 해서  $V_Q$ 를 變化시키면서  $P_f$ 와의 관계를 나타낸다. 荷重變動의

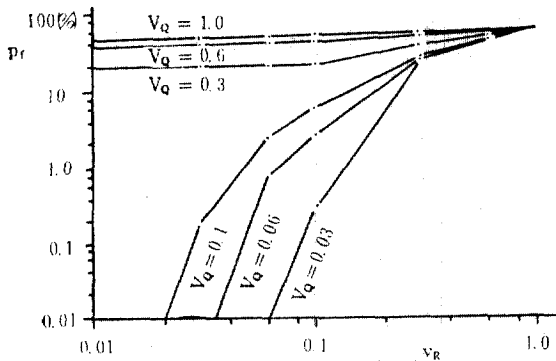


그림 7. 強도와 荷重의 變動과 破壞確率의 관계

표 7. 50kg 급 N 레일의 強도와 荷重의 變動과 破壞確率의 관계

鋼 種	$P_f(\%)$						비	고
	0.03	0.06	0.1	0.3	0.6	1.0		
母 材	$5.3 \times 10^{-1}$	1.3	3.92	21.35	33.91	40.21	$V_Q/V_R$ $V_R=0.07315$	
	4.41	5.6	6.681	25.96	37.18	42.07		
鎔接材	0	$3.2 \times 10^{-3}$	$7.2 \times 10^{-1}$	20.33	33.90	40.13	$V_Q/V_R$ $V_R=0.0135$	
	13.79	14.69	16.60	28.43	37.45	42.27		

指標인 變動係數  $V_Q$ 를 기준으로 볼 때  $V_Q=0.3$  이상에서 破壞確率は 強度變動의 程度에 관계없이 荷重變動의 指標인  $V_Q$ 에 支配된다. 마찬가지로  $V_Q < 0.2$ 에서는 強度變動의 指標인  $V_R$ 에 支配받는 것으로 나타났다. 표 6에서 0.5% 破壞確率 이하의 可能性은  $V_R$ ,  $V_Q$ 가 각각 0.05 이하인 경우에 해당된다. 따라서 疲勞破壞確率が 0.5% 이하가 되기 위해서는 強도의 變動이  $V_R=0.05$  이하가 되는 것이 바람직하다.

이러한 경향은  $V_R$ 을 變化시키면서  $P_f$ 의 變化를 確認하여도 같은 結果를 나타낸다. 또한  $V_R < 0.3$ 에서  $V_Q < 0.3$ 이면  $V_R$ 의 영향을 받고  $V_Q > 0.3$ 이면  $V_Q$ 의 영향을 받는 것으로 나타났다.  $V_R > 0.3$ ,  $V_Q > 0.3$ 이면  $V_R$ 과  $V_Q$ 의 영향

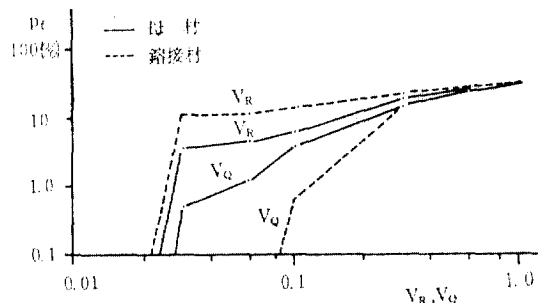


그림 8. 50kg 급 N 레일의 強도와 荷重의 變動과 破壞確率의 관계

은 거의 같다. 따라서 強度나 荷重의 分散의 程度가 0.3 이하이면 變動係數가 큰편의 影響을 크게 받는다.

표 7, 그림 8은 母材와 鎔接材에 있어서  $V_R$  또는  $V_Q$ 를 변화시키면서  $P_f$ 에 대한  $V_Q$  또는  $V_R$ 의 影響을 나타낸 것이다. 표 7, 그림 8에 의하면 母材와 鎔接材에서 破壞確率에 대한 影響은  $V_Q$ 보다  $V_R$ 의 影響이 더 크다. 그러나 媒介變數로 간주한  $V_R$ 이나  $V_Q$ 가 0.3 이상이면 그 影響은 서로 같아져서 1.0이면 破壞確率は 최대값에 가까워진다. 破壞確率에 대한  $V_R$ 의 影響이  $V_Q$ 보다 큰것은 列車의 通過回數를 時間軸上에서 一定하게 하였기 때문에 強度의 變動이 더 큰 影響을 주는 것으로 생각된다. 다만 母材와 鎔接材를 比較하면  $V_R$ 의 影響은 鎔接材가,  $V_Q$ 의 影響은 母材가 더 크다. 이로부터 鎔接材는 強度變動의 影響을 크게 받고 母材는 荷重變動의 影響을 크게 받는 것을 알 수 있다. 따라서 레일의 長大化에 수반되는 鎔接의 質은 信賴度에 있어서 荷重變動보다 더 큰 影響因子임을 알 수 있다.

#### 4-5. 安全率과 許容應力範圍

식 (17)에 의해 계산한 결과 強度와 荷重의 變動은 安全率에 變化를 주지 못하고 一定한 값을 갖는다. 계산된 安全率은 다음과 같다.

母材 1.2490

鎔接材 1.2492

Pedro, Albretch의 提案式으로 계산한 결과

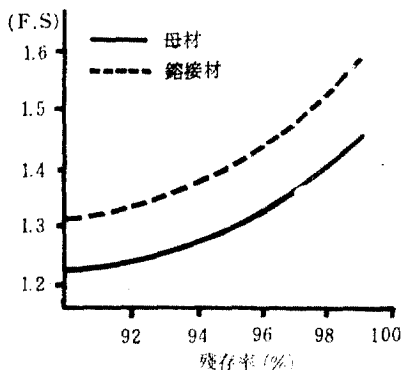


그림 9. 安全率과 殘存率의 관계

는 母材와 鎔接材가 각각 1.414와 1.2369로서 식 (17)에 의해 계산한 것과 큰 차이가 없다. 그림 4에서 2,000,000회 疲勞強度에 安全率을 適用하면 許用應力範圍는 母材 19.6kg/mm<sup>2</sup>, 鎔接材 19.2kg/mm<sup>2</sup>으로서 레일의 許用應力範圍인 靜的強度의 0.4~0.6 배를 基準한 應力範圍 ( $\sigma_y=60\text{kg/mm}^2$ ) 24kg/mm<sup>2</sup>보다 작다. 그러나 計算應力範圍 5.5kg/mm<sup>2</sup>에 比較하면 14kg/mm<sup>2</sup> 이상의 여유를 갖고 있는 것으로 생각된다.

그림 9는 殘存率을 90%에서 99%까지 변화시켰을 때 母材와 鎔接材의 安全率의 變化를 나타낸다. 安全率은 殘存確率의 增加와 함께 커진다. 이것은 安全率을 決定함에 있어 破壞確率에 根據해서 安全率을 결정하는 것이 合理的이라는 것을 의미한다. 식 (17)에 의해 계산된 安全率은 母材의 殘存率이 94%이하 鎔接材의 殘存率은 90%이하가 되는 것을 의미한다. 또한 破壞確率 0.5%를 기준한 殘存確率 99.5%부터 90%까지 변화하는데 安全率은 母材가 20% 鎔接材가 22.5%程度 變한다. 이것은 鎔接에 따라 鎔接材의 強度變動이 母材보다 크다는 것을 의미한다.

#### 5. 結 論

(1) 時間軸에서의 기대壽命과 2,000,000회 疲勞強度에 근거한 실제壽命을 強度와 荷重으로 하는 경우 실제應力履歷의 測定없이 信賴度의 推定이 가능하다.

(2) 強度의 平均과 荷重의 平均을 時間軸에서 疲勞回數에 기준하는 경우 強度變動의 程度와 荷重變動의 程度를 표시하는 變動係數가 각각 0.05 이하가 되는 것이 破壞確率을 0.5%이하로 할 수 있다.

(3) 鎔接材는 鎔接에 의한 材質의 不均一로 인해 S-N 관계의 分散度가 크고 따라서 對象試驗材에서는 破壞確率을 支配하는 要素가 힘을 알 수 있었다. 그러나 素材에 있어서는 荷重의 變動이 破壞確率을 支配하였다. 따라서 레일의 長大化에 필수적인 鎔接의 質은 信賴度에 있어서 荷重變動에 관계없이 큰 影響을 줄 수 있다.

(4) 安全率을 定하는 경우 單純히 靜的強度에 대한 安全率보다는 信賴性에 根據한 安全率이 合理的이며 經濟的인 方法이다.

(5) 信頼度에 根據한 安全率로부터 구한 許用 應力範圍는 計算應力範圍에 비하여 상당히 安全 測에 있음을 알 수 있었다.

#### 감사의 말

본 연구는 1988년도 문교부 자유과제 학술연구 조성비의 지원에 의해 수행된 것으로 문교부의 지원에 감사드린다. 연구수행에 편의를 제공해주신 철도전문대학의 이종득 교수님, 수원공전 기계과 박 소 교수님, 김학윤 교수님께 감사를 드리며, 아울러 한양대학교 토목과 강구조 연구실의 최성원군에게 감사의 뜻을 표한다.

#### 參 考 文 獻

1. 大路清嗣, "破壞強度學", 오ーム社, 1985, pp.110~124.
2. P. Albretch, "*Fatigue Reliability Analysis of Fatigue of Highway Bridge*", ASTM. STP. 798, 1983, pp.184~204.
3. 小西一郎, "鋼橋", 基礎編 1, 丸善, 1977, pp.126~136.

4. 申載喆, "構造信頼性方法에 의한 道路橋의 耐荷力 評價에 관한 研究", 博士學位論文, 漢陽大學校大學院, 1986.12.
5. 西谷弘信, "疲勞強度學", 오ーム社, 1985, pp.286.
6. P. Albretch, "*Analysis of Fatigue Reliability*", Engineering and physical Science Library, 20742, University of Maryland, 10. 1984, pp.19.
7. Edward B. Haugen, "*Probabilistic Approach to Design*", John Wiley and Sons, 1968, pp.150.
8. 大南正瑛, "材料強度學總論", 오ーム社, 1985, pp.64.
9. 橋內良雄, "炭素鋼의 疲勞き裂傳は舉動に及童す微視的組織의 影響", 材料, Vol. 29, No. 325, 1980.
10. Kentaro Yamada, "*Fatigue Behavior of Structural Components Subjected to Variable Amplitude Loading.*" Thesis of P.H.D., University of Maryland, 1975, pp.62.
11. 張東一, 朴鎔傑, 慶甲秀, "鐵道軌條의 鎔接連結部에 대한 疲勞균열成長", 대한토목학회논문집, Vol. 6, No. 3, 1986.

(接受 : 1988. 3. 10)