

## 강교량 맞대기용접 결함부의 피로수명 평가

백 영 남\* · 장 영 권\*\*

\*경희대학교 기계공학과

\*\*산업기술시험원(KTL) 기술감리본부

### Fatigue Life Assessment of Steel Bridge Butt Joint Weld with Defects

Young Nam Paik\* and Young Kwon Chang\*\*

\* Mechanical Engineering Dept. Kyung-Hee Univ. 449-701, Korea

\*\*Tech. Supervision Dept. Korea Testing Laboratory, 152-053, Korea

#### Abstract

There are many weld defects such as surface crack, lack of fusion, and incomplete penetration(IP) in the butt joint weld of the existing steel bridges. The crack-like defects may significantly reduce the fatigue life of the structure.

This paper presents the procedure and the results of the fatigue life assessment of the butt joints with weld defects in the existing steel girder bridge. The butt joint welds with incomplete penetration were instrumented with strain gages to determine the stress histogram under normal traffic. Based on the measured stress histogram the crack propagation analysis were performed for the fatigue life assessment.

By using the suggested procedure and methodology, one can decide the time of periodic inspection and the necessity of repair of the butt joint welds with serious weld defects in the existing steel bridge.

(Received October 1, 1999)

Key Words : Fatigue life assessment, Stress histogram, Crack propagation analysis, Butt joint weld, Incomplete penetration

#### 1. 서 론

최근 차량의 대형화, 교통량 증가 추세에 따라 강교량에 있어서 피로손상에 대한 관심이 높아지고 있다. 기 설치된 강교량의 피로에 대하여 안전을 확보하기 위해서는 피로손상 예측결과에 따른 사전보수를 통하여 예방차원의 유지관리가 필요하다. 공용중인 강교량에 대한 피로손상 평가는 기 발생된 피로균열의 피로손상 평가, 대상부재의 피로손상 예측에 대한 검토가 요구된다<sup>1,2)</sup>. 피로수명은 피로균열 발생수명과 한계 균열길이까지 균열이 진전하는 피로균열 진전수명으로 분류할 수 있다. 피로균열 발생수명은 부재 내에 초기 균열이 발생하는 시점까지의 시간을 의미하고 피로균열 진전수명은 균열이 성장하여 한계길이에 도달하기

까지의 시간을 의미한다. 피로수명은 용접결함에 의하여 크게 단축되므로 강교량 제작시 용접결함의 허용기준을 엄격하게 적용하고 있다.

강 구조물에 있어서 용접결함은 크게 선형결함인 용접부균열, 용입불량, 융합불량과 슬래그 혼입, 기공 등의 체적 결함, 그리고 언더컷, 오버랩 등과 같은 형상 결함으로 분류된다<sup>3)</sup>. 이러한 용접결함은 용접부의 응력집중을 증가시켜 구조물의 피로수명이 단축된다.

강 용접부에 대한 결함은 비파괴시험 관련 산업규격<sup>4)</sup>에 따라 결함을 평가하고 등급을 분류되며, 방사선투과시험 방법에서의 의한 등급분류에서 불완전용입과 같은 선형결함은 그 크기와 관계없이 부적합 결함으로 판정된다.

최근 강교량의 정밀안전진단 결과<sup>5)</sup>에 따르면 많은 수의 교량에서 다양한 용접결함이 상당수 발견되었고

그 중에서도 특히 인장 하부플랜지 맞대기 용접부에서 용입부족이 확인되었다. 이러한 기존 교량에 존재하는 불완전용입 결함은 비파괴시험 기준에 따라 불합격 결함으로 분류되어 보수 또는 보강을 해야한다. 이와 같이 정기적인 안전진단 과정에서 검출된 용접결함을 강교량 제작에 적용한 기준에 따라 보수여부를 결정하는 것은 경제적, 기술적 측면에서 바람직하지 못하다. 따라서 맞대기 용접부의 용접 결함 크기 및 사용응력 조건을 고려한 피로평가를 통하여 보수여부를 판단할 필요가 있다.

현재 국내에서 완전용입 맞대기 용접부에 대한 피로강도 연구<sup>6,7)</sup>는 용접부의 형상 및 재료에 따른 피로강도 곡선을 얻거나 균열전파특성에 대한 연구가 수행되고 있어 이러한 연구결과를 사용응력이 다양한 교량의 정밀 안전진단결과 확인된 결함부의 피로수명 평가에 직접 적용하기는 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 실제 교량의 정밀안전진단에서 확인된 인장 하부플랜지 맞대기 용접부에 용입부족 및 초기균열이 존재하는 경우 보수 필요성을 판단하기 위해서 대상 교량에서 측정된 응력범위를 적용하여 피로균열 진전해석을 통한 피로수명 평가를 수행하였다. 본 연구에서 수행한 피로평가 절차를 요약하면 다음과 같다.

### 1) 강재 비파괴시험

강재용접부의 비파괴시험을 수행하여 맞대기 용접부 용입부족 크기를 측정한다. 방사선투과시험 방법으로 불완전용입 결함을 확인하고 정확한 크기평가를 위하여 용접부의 결함 위치에서 코어를 채취하여 결함형상 및 크기를 확인하였다.

### 2) 응력범위 측정

3일, 7일 및 1개월간의 상시 교통하중 하에서 활하중에 의한 변동응력을 측정하여 rainflow법에 따른 응력범위빈도 해석을 통해 응력범위빈도 분포도를 작성하였다.

### 3) 피로균열 진전해석

맞대기 용접부의 불완전용입 크기를 확인하여 초기 균열 크기로 간주하고 측정된 응력범위빈도 분포도하에서의 피로균열 진전해석을 수행하였다.

## 2 응력범위 빈도 측정

### 2.1 평가 대상부위

강교량 맞대기 용접부의 피로수명 평가는 Fig. 1과 같은 단면을 가진 2차선 1등교인 강상관형 교량의 정밀안전진단 과정에서 비파괴시험 결과 전 길이의 맞대

기 용접부에 Fig. 2와 같이 용입부족이 존재하는 하부플랜지 맞대기 용접부위와 표면균열이 존재하는 복부판 맞대기 용접부를 대상으로 하였다.

강재 비파괴시험은 초음파탐상시험 및 방사선투과시험 방법으로 용입부족 및 균열의 위치 및 그 크기를 조사하였으며 정확한 결함크기를 확인하기 위하여 맞대기 용접부에 직경 30mm의 코어를 채취하여 불완전용입 형태 및 크기를 확인하였다. Fig. 2는 확인된 인장력이 작용하는 하부플랜지 맞대기 용접단면의 불완전용입 형상과 방사선투과사진으로 하부플랜지 맞대기 용접부 전 길이에 걸쳐 불완전용입이 존재하고 있다.

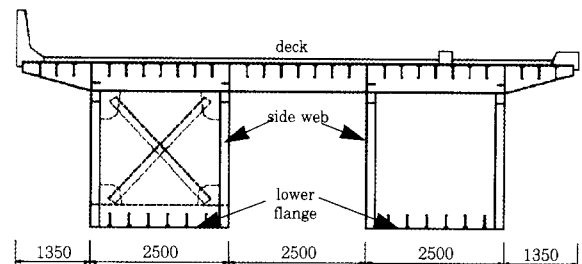
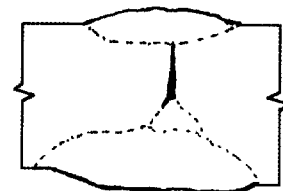


Fig. 1 Cross section view of deck and box girder



(a) Cross section of butt joint weld with IP



(b) Radiography image of IP in butt joint lower flange

Fig. 2 The shape of incomplete penetration in butt joint weld

이러한 불완전용입 결함은 KS B 0845의 방사선투과사진 등급분류<sup>4)</sup>에 의하면 4급 결함에 해당되는 심각한 용접결함이다. 이러한 불완전용입 결함은 제작과정에서 부적절한 용접개선 각도 및 루트간격으로 용접되었을 것으로 판단된다. 이러한 결함부의 피로수명 평가를 위해 활하중 응력범위빈도를 측정할 위치를 fig. 3에 나타내었다.

### 2.2 응력범위 빈도 측정방법

결함이 검출된 용접부에 작용하는 응력 측정을 위하여 사용한 변형률 게이지는 용접용(AWC-6)으로서

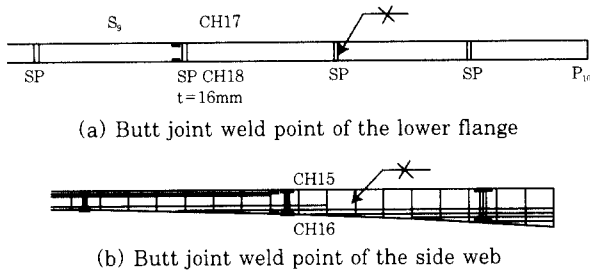


Fig. 3 Stress measurement areas

브리지박스(SB-120B)를 사용하여 풀 브리지(full bridge)회로를 구성하였다. 측정 대상부위는 Fig. 3 과 같이 용입부측 결합이 존재하는 하부플랜지 맞대기 용접부와 표면 균열이 존재하는 복부판 맞대기 용접부로서 변형을 게이지를 맞대기 용접 지단부에서 20cm 떨어진 위치에 변형을 게이지를 부착하여 측정였다.

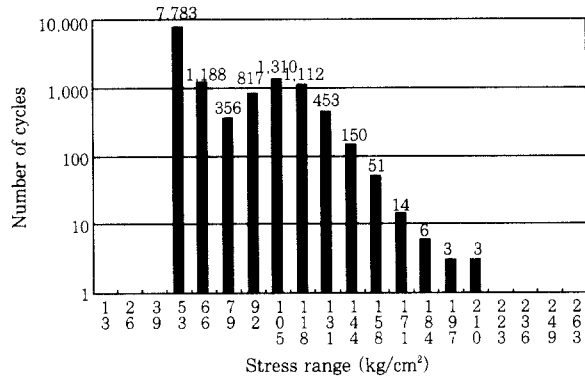
응력범위빈도 측정은 히스토그램 레코더(histogram recorder)를 사용하여 수행하였다. 측정에 앞서 측정 장비의 신뢰성 및 현장적용 조건을 확인하기 위한 예비 측정 결과 여러 가지 주변환경(지하철통과, 무선전화기, 무전기, 110V 전류)에 의한 영향은 거의 없는 것으로 확인되었다. 응력범위빈도 측정은 상시 통과하중 하에서 실시하였으며 측정결과는 rainflow법으로 응력 범위빈도 해석을 수행하였다. 측정기간은 3일, 7일, 1개월 단위로 하였으며, 측정응력범위는 13kg/cm<sup>2</sup> 중 분으로 정하였다.

2.3 응력범위 빈도 측정결과

평가 대상부위에서 측정한 응력범위빈도 분포중 40kg/cm<sup>2</sup> 이하의 변동응력은 노이즈에 의한 계측오차 및 피로균열 진전을 평가함에 있어 영향이 매우 적음을 고려하여 무시하였다. 변동응력 계측기간 3일, 7일, 1개월 단위로 응력범위빈도 분포양상은 유사하고 작용횟수만에 차이가 있어 대표적으로 7일간의 측정결과를 사용하여 피로손상평가를 수행하였다. 피로손상평가에 사용한 응력범위빈도 분포도는 Fig. 4와 같다.

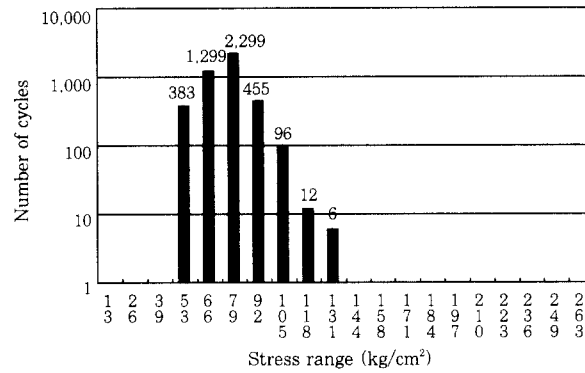
3. 피로손상도 평가

강교 부재의 피로손상 평가는 Fig. 5와 같이 균열이 없는 경우의 누적피로 손상도 평가와 균열이 발생한 경우의 균열 진전해석을 통한 피로손상도 평가로 분류할 수 있으며 누적피로에 의한 피로손상도 평가는 피로손상도의 누적이 1.0으로 되었을 때 대상부위에 피



$\Sigma n_i = 13246(7days)$   
 $\Delta \sigma_i = 80kg/cm^2(7.84Mpa)$

(a) Stress histogram acquired at butt joint weld point of the lower flange(CH18)



$\Sigma n_i = 4413(7days)$   
 $\Delta \sigma_i = 77kg/cm^2(7.54Mpa)$

(b) Stress histogram acquired at butt joint weld point of the side web(CH16)

Fig. 4 Acquired stress histogram at the lower flange and the side web of box girder

로균열이 발생한다는 개념 하에 수행된다. 평가 대상부위의 피로강도는 구조상세범주(A~E')에 따라 S-N곡선 또는 다음의 관계식으로부터 결정된다<sup>8)</sup>.

$N = AS^m$  (1)

여기서, S : 응력의 범위  
 N : 피로균열이 발생하는 응력반복 회수  
 A, m : 구조상세에 따른 상수

현장에서 측정된 변동응력 히스토그램은 변동응력 범위에 따른 측정기간동안에 발생회수에 나타내므로 이 자료를 이용하여 측정부위의 변동응력 크기별, 대상기간 동안의 발생회수를 구할 수 있다. 따라서 대상부위의 피로강도와 응력범위 히스토그램으로부터 피

로손상도 D를 구할 수 있다.

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (2)$$

여기서  $N_i$  : 응력범위 크기  $S_i$ 에 해당하는 피로발생 반복회수  
 $n_i$  : 대상기간 동안의  $S_i$ 의 발생회수

피로발생 잔존수명은 피로손상도 D가 1.0이 되도록 하는 대상기간을 계산하여 공용기간을 제한 나머지로 구할 수 있다. 이때 측정된 응력범위 히스토그램을 통과차량의 중량증가 또는 교통량 증가 등을 고려하여 수정 사용할 수 있다.

또한 등가응력 범위 개념으로부터 피로균열 발생 수명을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_i = AS_i^{-m} \quad (3)$$

$$D = \sum (S_i^m \cdot n_i) / A = S_e^m \sum n_i / A$$

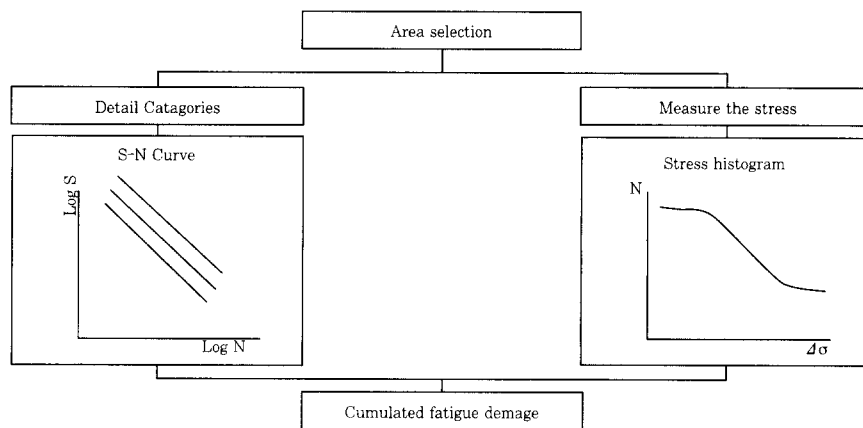
의 관계로부터

$$S_e = \sqrt[m]{\sum \gamma_i \cdot S_i^m} \quad (4)$$

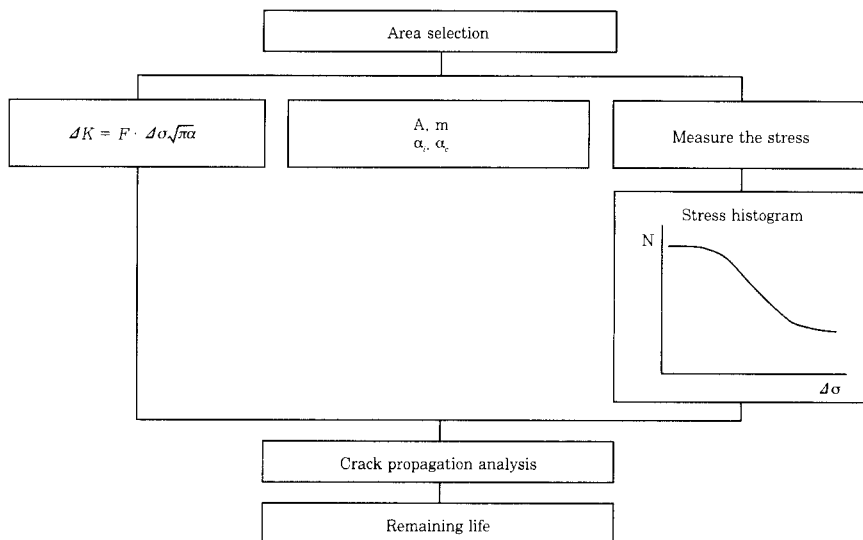
위 식에서  $\gamma_i$ 는 응력범위  $S_i$ 의 상대빈도이다. 위의 등가응력 범위  $S_e$ 를 S-N관계에 대입하여 피로발생 수명  $N_e$ 를 구할 수 있다.

$$N_e = A \cdot S_e^{-m} \quad (5)$$

여기서  $N_e$  : 피로균열 발생수명  
 $S_e$  : 등가응력 범위



a) Fatigue life assessment procedure in the case of no pre-crack



b) Fatigue life assessment procedure in the case of pre-crack

Fig. 5 Fatigue life assessment procedures

용접부의 결함이 초기균열로 판단되는 경우는 그 균열이 한계균열까지 진전되어 대상 부재가 그 기능을 상실할 경우를 부재의 수명으로 고려하여 피로 손상도를 평가한다. 이는 파괴역학에 기초하는 것으로 한계 균열길이에 대한 정의 및 재료에 따른 피로균열 진전속도에 관한 충분한 자료가 필요하다<sup>9)</sup>.

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K^m - \Delta K_h^m) \quad (6)$$

$$\Delta K_h = F \cdot \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \quad (7)$$

여기서  $a$  : 균열길이  
 $N$  : 반복회수  
 $A, m$  : 상수  
 $\Delta K$  : 응력확대 계수 범위  
 $F$  : 응력집중 보정계수  
 $\Delta \sigma$  : 응력범위

변동응력하의 피로균열 진전수명은 등가응력 범위 개념을 도입하여 구할 수 있다. 변동응력하의 균열진전 속도의 평균은

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{av} = \frac{\sum A(\Delta K_i)^m}{\sum i} \quad (8)$$

이 되며, 이 식으로부터 등가응력 범위는

$$\Delta \sigma_e = (\sum \Delta \sigma_i^m \cdot i / \sum i)^{\frac{1}{m}} \quad (9)$$

가 된다. 따라서 평균 균열진전 속도는 다음과 같다.

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{av} = A(\Delta K_e)^m \quad (10)$$

여기서  $\Delta K_e = F \cdot \Delta \sigma_e \cdot \sqrt{\pi a}$

균열진전 속도 관계식으로부터 피로균열 진전 수명을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$N_p = \int_{a_i}^{a_c} \frac{1}{A(\Delta K_e)^m} da \quad (11)$$

여기서  $a_i$  : 초기균열 길이  
 $a_c$  : 한계균열 길이  
 $N_p$  : 피로균열 수명

본 연구에서는 맞대기 용접부에 용접결함이 존재하는 경우 피로수명 평가를 수행함이 목적이므로 맞대기

용접부의 용입부족 및 표면균열을 초기균열로 고려하여 피로균열 진전해석을 수행하였다. 초기 균열이 존재하는 경우 피로균열 진전해석은 Table 1의 일본 강구조협회에서 제안하는 강구조물의 피로설계지침<sup>10)</sup>의 평균설계곡선 계수를 사용하였다.

Table 1. Parameters in da/dN-ΔK curve

	A(×10 <sup>-11</sup> )	m	ΔK <sub>th</sub>
Safe curve	2.7	2.75	2.0
Mean curve	1.5	2.75	2.9

Table 1의 평균설계곡선 계수값을 사용하여 변동진폭응력이 작용할 때 식(9)와 식(10)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{da}{dN} = 1.5 \times 10^{-11} \Delta K_e^{2.75} \quad (12)$$

$$\Delta K_e = F \Delta \sigma_e \sqrt{\pi a}$$

$$\Delta \sigma_e = (\sum \Delta \sigma_i^{2.75} \cdot i / \sum i)^{\frac{1}{2.75}} \quad (13)$$

식(13)에서  $\Delta \sigma_i$ 와  $i$ 는 응력범위빈도 분포도 상의 값이다.

식(7)의 응력집중 보정계수  $F$ 는 초기균열의 형상과 크기에 따라 유한요소해석 등에 의하여 구할 수 있으나 여기에서는 일본 구조물 피로설계 지침상<sup>10)</sup>의 Table 2와 같은 간편한 식을 사용하였다.

#### 4. 피로수명 평가 결과

불완전용입 결함이 존재하는 인장 하부플랜지 맞대기 용접부의 피로강도 평가는 강재에 대한 비파괴시험 결과 결함의 크기가 가장 크고 활하중에 의한 변동응력이 상대적으로 큰 교량의 경간 중앙부를 대상으로 하였으며, 인장 하부플랜지 맞대기 용접부의 피로평가에 있어서 대표성을 지닌다. 평가 대상부위의 결함크기는 Fig. 6과 같으며 응력범위빈도 분포도는 Fig. 4.a와 같다.

Fig. 6과 같이 초기균열이 있는 경우 Fig. 4.a의 변동응력 하에서 피로균열 진전해석을 수행한 결과는 Table 3 및 Fig. 7과 같다.

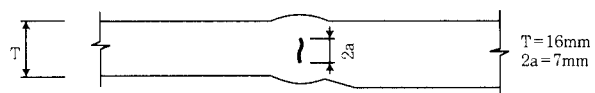
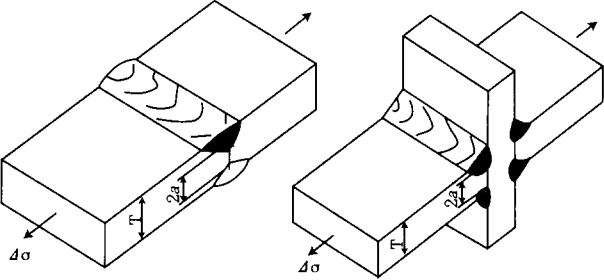
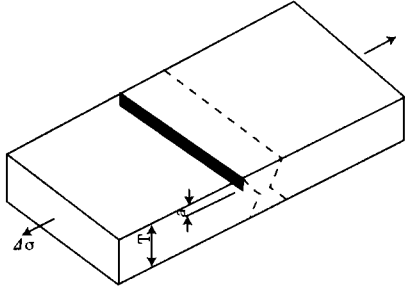
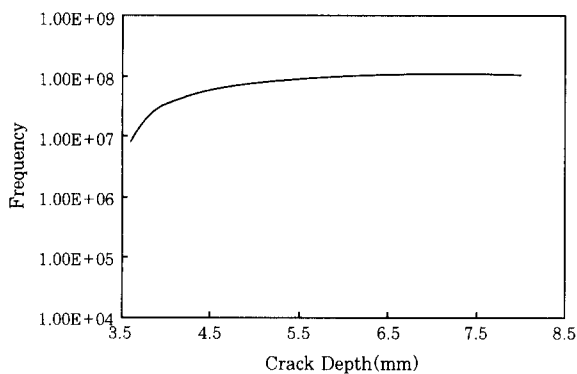


Fig. 6 The shape of the IP defect in the lower flange butt joint weld

**Table 2.** Correction factors according to the location of the crack

Crack model	Calculation of the stress concentration correction factor
Internal crack	$F = F_s \cdot F_t \cdot F_e$ $F = \sqrt{\sec(\pi a / T)}$ $2a/T \leq 0.7 ; \text{error } 0.3\%$ $F = \{1 - 0.025(2a/T)^2 + 0.06(2a/T)^4\} \times \sqrt{\sec(\pi a / T)} ; \text{error } 0.1\%$ $F = \{1 - 0.5(2a/T) + 0.370(2a/T)^2 - 0.044(2a/T)^3\} \times \sqrt{1 - (2a/T)} ; \text{error } \leq 0.3\%$ 
Surface crack	$F = 1.12 - 0.231(a/T) + 10.55(a/T)^2 - 21.72(a/T)^3 + 30.39(a/T)^4$ $a/T \leq 0.6 ; \text{error } 0.5\%$ $F = 0.265 \{1 - (a/T)\}^4 + \{0.857 + 0.265(a/T)\} / \{1 - (a/T)\}^{3/2}$ $a/T < 0.2 ; \text{error } \leq 1.0\%$ $a/T > 0.2 ; \text{error } \leq 0.5\%$ $F = \sqrt{\frac{2}{\pi(a/T)} \tan \frac{\pi a}{2T}} \times \frac{0.752 + 2.02(a/T) + 0.37 \{1 - \sin(\pi a / 2T)\}^3}{\cos(\pi a / 2T)}$ $; \text{error } \leq 0.5\%$ 



**Fig. 7** Result of the crack propagation analysis of the butt joint welded lower flange

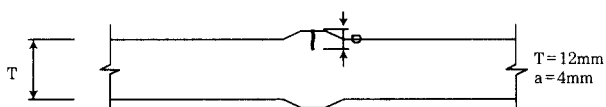
Table 3 및 Fig. 7의 평가결과에 나타낸바와 같이 0.5mm 균열진전에 필요한 변동응력 작용회수는 현 교통상황에서  $3.48 \times 10^7$ 이므로 소요 년수로 계산하면 50년이 된다. 따라서 현재의 교통상황 및 용접결합 상태 하에서는 하부플랜지 맞대기 용접부의 균열진전 가능성은 매우 적은 것으로 평가된다.

$$y = \frac{3.48 \times 10^7}{(13246/7) \times 365} = 50.4 \text{년}$$

복부판 맞대기 용접부 표면균열 발생부의 균열결합 형상은 Fig. 8과 같고, 대상부위의 응력범위빈도 분포

**Table 3.** Results obtained by the crack propagation analysis of the butt joint welded lower flange

$a_i$ (mm)	$\Delta K$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$C(\Delta K)^n$ (m/cycle)	$\Sigma N_i$ (cycle)
3.500			
4.000	0.933	0.1238E-10	0.3485E+08
4.500	1.043	0.1682E-10	0.6040E+08
5.000	1.168	0.2300E-10	0.7894E+08
5.500	1.317	0.3202E-10	0.9207E+08
6.000	1.503	0.4603E-10	0.1010E+09
6.500	1.749	0.6974E-10	0.1067E+09
7.000	2.099	0.1153E-09	0.1099E+09
7.500	2.674	0.2244E-09	0.1114E+09
8.000	3.938	0.6501E-09	0.1117E+09

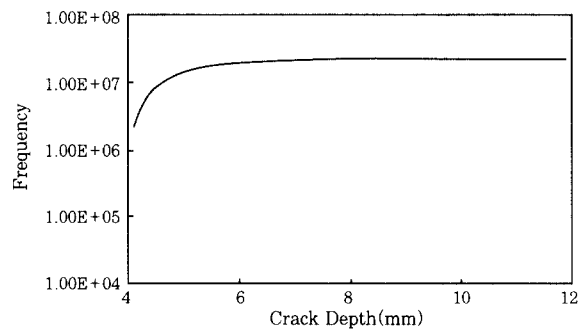


**Fig. 8** The shape of the surface crack on the butt joint welded web

도는 Fig. 4.b와 같다.

용접부 표면에 Fig. 8과 같이 초기균열이 있는 경우 Fig. 4.b의 변동응력 하에서 피로손상도 평가를 수행한 결과는 Table 4 및 fig. 9와 같다.

Table 4 및 Fig. 9의 평가결과에 나타낸바와 같이 복부판 맞대기 용접부 표면에 존재하는 표면 결함이 피로균열로 성장하여 0.5mm 진전하는데 필요한 작용회수는 현장에서 계측된 등가 변동응력 7.54MPa 하에서  $8.69 \times 10^6$ 회가 되므로, 현 교통상태 하에서 0.5mm균열 진전에 필요한 연수는 37.8년이 된다.



**Fig. 9** Result of the crack propagation analysis of the butt joint welded side web

$$y = \frac{8.69 \times 10^6}{(44137) \times 365} = 37.8\text{년}$$

Table 3과 Table 4의 평가 결과에 의하면 평가대 상부위에 따라 응력범위의 작용회수에 상당한 차이가

**Table 4.** Results obtained by the crack propagation analysis of the butt joint welded side web

$a_i$ (mm)	$\Delta K$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$C(\Delta K)^n$ (m/cycle)	$\Sigma N_i$ (cycle)
4.000			
4.500	1.771	0.7228E-10	0.8689E+07
5.000	2.081	0.1125E-09	0.1428E+08
5.500	2.455	0.1774E-09	0.1785E+08
6.000	2.914	0.2842E-09	0.2010E+08
6.500	3.487	0.4654E-09	0.2149E+08
7.000	4.214	0.7836E-09	0.2233E+08
7.500	5.160	0.1367E-08	0.2282E+08
8.000	6.424	0.2498E-08	0.2310E+08
8.500	8.174	0.4845E-08	0.2325E+08
9.000	10.710	0.1019E-07	0.2332E+08
9.500	14.614	0.2394E-07	0.2335E+08
10.000	21.170	0.6635E-07	0.2337E+08
10.500	33.741	0.2391E-06	0.2337E+08
11.000	64.088	0.1395E-05	0.2337E+08
11.500	187.202	0.2660E-04	0.2337E+08

Table 5. Fatigue life assessment results according to the applied stress range

Applied stress range	Lower flange			Web		
	$\Sigma n_i$	$\Delta \sigma_e$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$y^*$ (년)	$\Sigma n_i$	$\Delta \sigma_e$ (kg/cm <sup>2</sup> )	year
53kg/cm <sup>2</sup> ≤	13246	80	50.4	4413	77	37.8
66kg/cm <sup>2</sup> ≤	5463	104	59.3	4025	78	39.8
79kg/cm <sup>2</sup> ≤	4275	111	63.5	2796	83	48.3

\* life time the crack propagate to 0.5mm

있음을 알 수 있다. 따라서 상대적으로 작은 응력범위가 피로수명에 미치는 영향을 검토하기 위하여 53kg/cm<sup>2</sup>, 66kg/cm<sup>2</sup>, 79kg/cm<sup>2</sup> 이상의 응력범위만을 고려하는 경우에 대하여 각각 피로손상평가를 수행하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

Table 5로부터 66kg/cm<sup>2</sup> 이상의 응력범위만을 피로수명 평가에 고려하는 경우 인장 하부플랜지와 복부판에 작용하는 응력회수가 비슷하다. 이 경우 53kg/cm<sup>2</sup> 이상을 고려하는 경우에 비해 소요 년수가 각각 17%, 5% 증가된다. 따라서 응력범위보다 분포도상의 낮은 응력범위 값은 피로균열 진전수명에 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

현재 국내 교량은 시설물 안전관리법에 따라 정기적으로 정밀 안전진단을 실시하는데 많은 수의 강교량 맞대기 용접부에 다양한 용접결합이 존재하고 있음이 확인되었고 그중 특히 맞대기 용접부에 용입부족이 심각한 경우가 있다. 이러한 경우 교량 제작시 적용한 도로교 표준시방서의 결함 허용기준에 따라 보수를 수행하는 것은 경제적, 기술적 측면에서 어려움이 있다. 뿐만 아니라 용접결합부의 피로수명 평가는 현행 도로교 표준 시방서 상에 피로등급이 규정되어 있지 않으므로 S-N 곡선을 사용하여 수행 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 정밀안전진단시 검출된 강교량 박스거더(Box girder)의 인장 하부플랜지 및 복부판에 존재하는 불완전용입 결함 및 표면균열 부위에 대하여 변동응력을 측정하고 해당 결함의 피로균열 진전해석을 통한 피로수명 평가를 수행하였으며, 피로수명 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 하부플랜지 맞대기 용접부의 용입부족량이 부재두께의 43.8%이고 복부판의 표면균열이 4mm(부재두께의 33%)로서 매우 큰 용접결합이 존재하고 있음에

도 현재의 교통상황하에서 결함의 크기가 0.5mm 진전에 필요한 소요년수는 각각 50년, 38년으로 평가되었다.

2) 이는 현재의 교통상황하에서 평가 대상부위에 작용하는 응력의 등가응력범위가 각각 7.84MPa(80kg/cm<sup>2</sup>), 7.54MPa(77kg/cm<sup>2</sup>)인 경우 계산된 소요년수로서 향후 중차량 혼입률 증가, 교통량의 급격한 증가 등 교통상황의 변화가 있을 경우 재평가가 수행되어야 한다.

3) 피로수명 평가결과를 이용하여 대상부위의 점검주기 및 보수시기를 결정함으로써 용접결합부의 효율적이고 경제적인 유지관리를 수행할 수 있을 것이다.

4) 교량의 정밀안전진단시 제작기준을 적용하는 현재의 비파괴시험방법에 의한 결함의 합·부 판정은 결함이 검출된 교량 및 부재의 정적강도 뿐 아니라 사용응력 조건을 고려한 피로강도를 고려하여 평가하는 것이 타당하다.

## 후 기

본 연구는 시설안전기술공단으로부터 교량의 정밀안전진단 결과 자료 및 시험 대상 교량 선정 등의 지원을 받아 수행되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Hahin, C. et al. : "Accurate and Rapid Determination of Fatigue Damage in Steel Bridges", Journal of Structure Engineering, Vol. 119, No. 1(1993), pp. 150-167
- T. W. Philbrick et al. : "Fatigue Assessment of Through Plate Girder Railway Bridge", Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 11(1995), pp. 1613-1619
- ANSI/AASHTO/AWS D1.5-95 : "Bridge welding code" (1995), Appendix B



4. 한국산업규격 : "강 용접부의 초음파탐상시험 및 검출결함의 등급분류(KS B 0896), 강 용접부의 방사선투과시험 및 투과사진의 등급분류(KS B 0845)" (1997)
5. 시설안전기술공단 : 강 교량의 정밀안전진단보고서(1997-1998)
6. 장동일, 경갑수, 조광현, 홍성욱 : "블로우홀을 가진 맞대기 용접부의 피로특성에 관한 연구", 한국강구조학회지, 제11권, 제4호(1999), P339-350
7. 이종형 "미소 피로균열 측정과 성장특성" 과학재단 연구보고서 (1991), pp. 9-11
8. J. W. Fisher : "Inspection Steel Bridge for Fatigue Damage", Lehigh University, Friz Engineering Laboratory Report, No. 386-15(1981).
9. S. T. Rolf et al : "Fracture and Fatigue Control in Structures(Applications of Fracture Mechanics)", Prentice-Hall, Inc. pp. 256-262
10. (사) 일본강구조협회 : 강구조물의 피로설계지침 동해설 (1993), pp. 245, 249-257