

# 高强度鋼 荷重非傳達형 十字鎔接連結部の 疲勞強度

## Fatigue Strength for the Non Load Carrying Cruciform Welded Joints of High Strength Steel

김 성 훈<sup>1)</sup> · 배 두 병<sup>2)</sup> · 최 준 혁<sup>3)</sup>

Kim, Sung Hoon · Bae, Doo Byong · Choi, Jun Hyeok

요 약: 본 연구에서는 고강도 강재인 SM570강재와 POSTEN80강재로 제작된 하중비전달형 십자용접연결부의 피로특성을 평가하는 것으로 대상강재의 피로강도, 피로균열의 발생과 진전, 판두께효과, 정적강도와 피로강도와의 관계를 기존의 연구결과와 비교, 분석하였다. SM570강재와 POSTEN80강재의 피로강도는 설계지침에 제시된 등급보다 높은 것으로 나타났으며 판두께효과 및 일부의 경우에 있어 정적 강도 의존성을 확인하였다.

ABSTRACT: This study investigated the fatigue strength of non-load carrying cruciform welded joints, which was manufactured using the SM570 and POSTEN80 high strength steel. Factors such as fatigue strength, fatigue crack initiation and propagation, thickness effect, and the relationship between the static strength and the fatigue strength were examined and compared with previous fatigue testing results. Results showed that the fatigue strength of SM570 and POSTEN80 steel are higher than the grade represented on the design specification. It is also identified the size effect and the dependence of the static strength in a few cases.

핵심용어: 고강도강, 십자용접연결부, 판두께효과, SM570, POSTEN80

KEYWORDS: High Strength Steel, Cruciform Welded Joint, Size Effect, SM570, POSTEN80

### 1. 서론

일반적으로 고강도 강재라 함은 490MPa에서 980MPa까지의 인장강도를 갖는 강재를 말하며, 최근에 있어서는 570MPa이상의 인장강도를 갖는 강재를 지칭한다. 현재 국내 설계기준<sup>1)</sup>에서 교량 제작용 강재로서 규정되어 있는 고강도 강재는 인장강도 570MPa의 용접구조용 압연강재인 SM570과 용접구조용 내후성 열간압연 강재인 SMA58로서, 인장강도 570MPa이 넘는 고강도 강재에 대해서는 아직 규정이 없는 상태이나 일본의 경우, 950MPa까지 규정되어 있다.<sup>2)</sup> 특히, 강교량은 다양한 구조상세로 이루어지고 현장에서 볼트 혹은 용접접합에 의해 조립되므로 설계시 피로에 대한 검토와 공용 중 피로손상 평가를 위한 자료의 구축이 필요하다. 현재 일반 용접구조용 강재에 대한 국내의 피로설계연구

는 대학 및 일부 연구소에서 지속적으로 이루어지고 있으나, 근간에 포항제철에서 생산되고 있는 고강도 강재인 SM570과 POSTEN80 강재에 대한 연구자료는 미미하다.

따라서, 본 연구에서는 고강도강재에 대한 피로특성 평가를 위하여 SM570과 POSTEN80 강재를 이용하여 제작된 하중비전달형 십자용접연결 상세에 대한 피로시험을 수행하였다. 그 결과로부터 균열발생양상 및 진전특성, 피로강도를 평가하였으며 고강도강의 특성인 인장강도 및 항복강도 그리고 판두께가 피로강도에 미치는 영향을 기존의 연구결과<sup>4)</sup>와 함께 비교, 분석하였다.

### 2. 십자 용접연결부의 S-N 특성

고강도강의 십자용접연결 구조상세에 대한 피로연구결과들

1) 정회원, 서울산업대학교 구조공학과 교수, 공학박사

2) 정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 교수, 공학박사

3) 정회원, 대한콘설리트 기술연구소 연구원, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2002년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

(1), (3), (4)의 자료를 인용하여 강종, 판두께 등으로 구분하고 피로특성을 나타내는 여러상수들을 산정하여 표 2.1에 나타내었다.

여기에서 사용된 자료는 모두 완전 편진하중상태에서의 피로시험 결과이며 용접 그대로의 십자 용접연결이다. 용접연결에서는 용접지단부 또는 루트부가 노치로 작용하고 모재에 비해 피로강도가 상당히 낮아지므로 국부응력대신 S-N선도와 피로강도로서 평가하였다.

그림 2.1은  $2 \times 10^6$ 회 피로강도와 판두께의 관계를 나타낸 것으로 HT50강재의 경우 하중비전달형의 피로강도가 하중전달형보다 높게 나타나고 있으나 하중전달방식과는 관계없이 판두께가 증가할수록 피로강도가 크게 저하되며 이러한 경향은 고강도강재에서도 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있다. HT60강재는 데이터가 부족하여 판두께효과를 단정하기는 어려우나 판두께증가에 따라 피로강도가 저하하는 일반적인 경향이 예상된다.

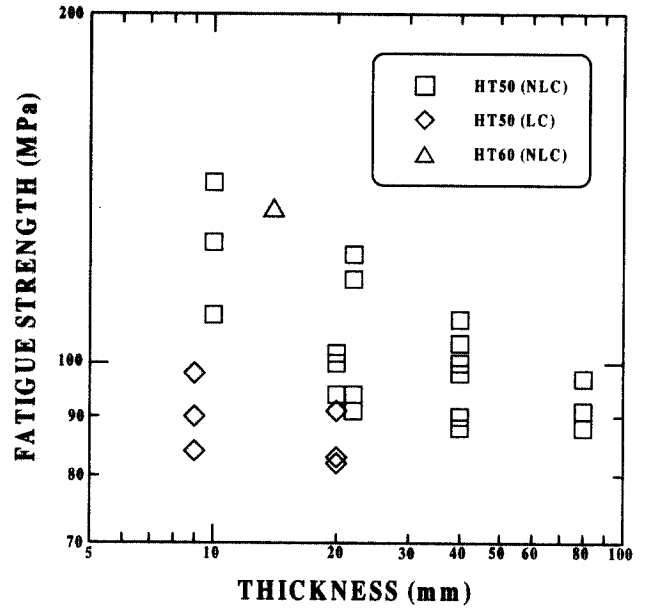


그림 2.1  $2 \times 10^6$ 회 피로강도와 판두께의 관계

표 2.1 십자 용접연결의 강도특성 및 S-N직선화귀

구분	강종	판두께 (mm)	연결 형식 <sup>2)</sup>	용접 방법	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	응력비 R	시험 편수	지수 m	계수 C	표준 편차	$2 \times 10^6$ 회 피로강도
연강	SM41B	25	NLC	GMAW	314	451	0.1	11	3.208	12.60	0.0749	92
HT50	SM490B	9	NLC	SMAW	413	541	0	19	3.705	14.19	0.1068	135
	EH36 <sup>1)</sup>	10	NLC	SMAW	455	547	0.07	5	4.350	15.63	0.0978	143
	EH36 <sup>1)</sup>	10	NLC	SMAW	402	510	0.1	7	4.188	15.11	0.0680	127
	EH36 <sup>1)</sup>	10	NLC	SMAW	431	500	0.02	7	3.293	13.03	0.0911	110
	EH36 <sup>1)</sup>	10	NLC	SMAW	431	500	0.02	7	3.293	13.03	0.0911	110
HT50	SM490B	20	NLC	SMAW	397	534	0	23	3.263	12.85	0.0810	102
	SM490B	20	NLC	SMAW	397	534	0	9	3.167	12.55	0.0832	94
	SM490B	20	NLC	SMAW	372	530	0	6	3.203	12.71	0.0563	100
	EH36 <sup>1)</sup>	22	NLC	SMAW	438	547	0.06	6	3.481	13.59	0.0408	124
	EH36 <sup>1)</sup>	22	NLC	SMAW	422	510	0.06	8	3.278	12.72	0.0401	91
	EH36 <sup>1)</sup>	22	NLC	SMAW	421	510	0.1	8	3.279	12.77	0.1065	94
	HT53 <sup>1)</sup>	22	NLC	SMAW	441	530	0.1	8	3.210	12.95	0.0781	118
	SM490B	40	NLC	SMAW	364	526	0	8	2.947	12.03	0.0722	88
	SM490B	40	NLC	SMAW	364	526	0	7	3.190	12.53	0.0428	90
HT50	EH36 <sup>1)</sup>	40	NLC	SMAW	398	495	0.1	14	3.471	13.22	0.0825	98
	EH36 <sup>1)</sup>	40	NLC	SMAW	392	510	0.1	8	3.427	13.15	0.2224	100
	EH36 <sup>1)</sup>	40	NLC	SMAW	440	510	0.02	7	3.094	12.61	0.0268	109
	EH36 <sup>1)</sup>	40	NLC	SMAW	392	510	0.1	8	4.191	14.75	0.1336	104
	EH36 <sup>1)</sup>	80	NLC	SMAW	449	541	0.05	6	3.294	12.75	0.0889	91
	EH36 <sup>1)</sup>	80	NLC	SMAW	441	510	0.1	7	3.042	12.22	0.0420	88
HT50	EH36 <sup>1)</sup>	80	NLC	SMAW	403	513	0.02	8	2.886	12.03	0.0232	97
	SM490B	20	NLC	GMAW	372	530	0	8	3.076	12.31	0.2227	90
	SM58Q	14	NLC	SMAW	556	608	0	5	3.750	14.30	0.0516	136
HT50	SM490B	9	LC	SMAW	413	541	0	8	3.908	13.81	0.0844	84
	SM490B	9	LC	SMAW	413	541	0	8	3.297	12.74	0.1592	90
	SM490B	9	LC	SMAW	413	541	0	10	3.156	12.59	0.1305	98
HT60	SM490B	9	LC	SMAW <sup>3)</sup>	413	541	0	8	3.201	12.67	0.1319	98
HT50	SM490B	20	LC	SMAW	397	534	0	9	3.947	13.88	0.2041	83
	SM490B	20	LC	SMAW	397	534	0	8	3.723	13.60	0.1368	91
	SM490B	20	LC	SMAW	397	534	0	8	3.064	12.10	0.0695	82

1) TMCP강, 2) NLC : Non Load Carrying, LC : Load Carrying, 3) Shielded Metal Arc Welding

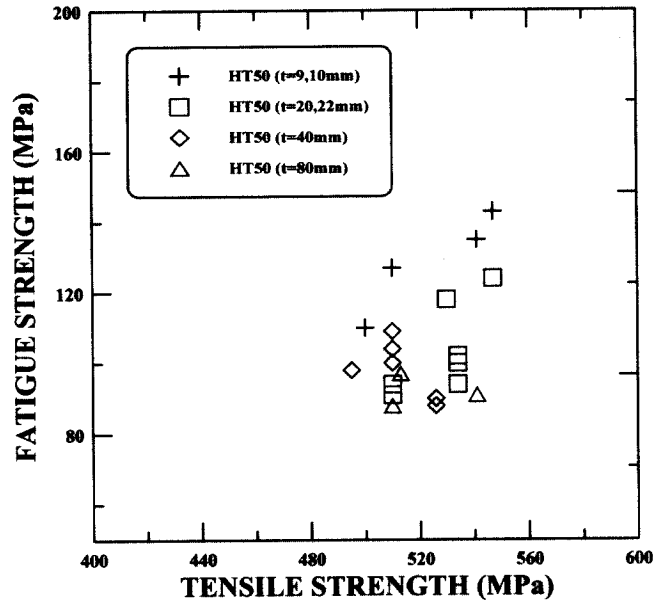
그림 2.2는 반복회수  $2 \times 10^6$ 회의 피로강도와 재료의 정적 강도인 인장강도 및 항복강도와와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 2.2(a)에서 피로강도가 증가할수록 피로강도가 커지는 경향은 두께가 10mm, 22mm인 경우 비교적 잘 나타나고 있으나 다른 경우는 인장강도가 동일한 경우에도 최대 20MPa 정도의 피로강도 편차가 발생하고 있고 동일조건인 경우 인장 강도도 인장강도의 최대 5%정도의 편차를 보이고 있기 때문에 인장강도의 증가에 따른 피로강도의 증가를 단정하기는 어렵다. 이러한 경향은 그림 2.2(b)의 항복강도의 경우에서도 동일한 경향이 나타나며 인장강도의 결과에 비하여 좀더 산만

한 경향을 나타낸다. 대부분의 국내의 피로설계지침<sup>1),3),4)</sup>에서는 용접연결에서 정적강도의 변화에 따른 피로강도의 차이는 없는 것으로 언급하고 있다. 그러나 그림 2.2로부터 알 수 있듯이 일부의 경우에 있어서는 피로강도의 정적강도 의존성이 나타나는 경우가 있으므로 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

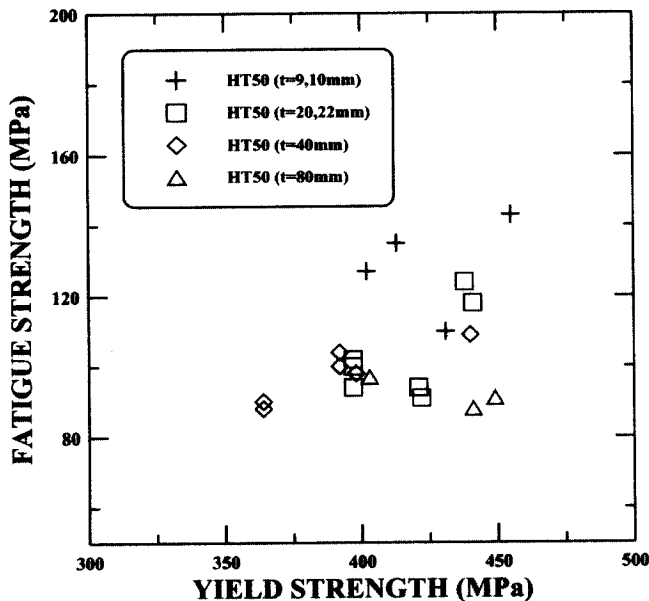
### 3. 피로시험

#### 3.1 재료의 특성

사용된 공시재료는 국내에서 생산되고 있는 용접 구조용 강재인 SM570과 POSTEN80 강재로서 대상 강재와 용접재료의 화학적 및 기계적 성질을 표 3.1~표 3.4에, 그리고 용접조건은 표 3.5에 나타내었다.



(a) 인장강도와  $2 \times 10^6$ 회 피로강도



(b) 항복강도와  $2 \times 10^6$ 회 피로강도

그림 2.2 정적강도와  $2 \times 10^6$ 회 피로강도의 관계

표 3.1 사용 고강도강재의 화학적 성질

강종	화학적 성분 (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Mo	B
SM570	0.13	0.30	1.39	0.015	0.003	-	-	-	-	-	-
POSTEN80	0.07	0.29	0.92	0.014	0.004	0.44	0.96	0.02	0.043	0.45	0.0014

표 3.2 고강도강재의 기계적 성질

강종	인장 시험			충격 시험	
	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	신장율 (%)	온도 (°C)	흡수에너지 (J)
SM570	556	656	24	-5	270
POSTEN80	820	862	20	-	-

표 3.3 용접재료의 화학적 성질

용접 방법 <sup>1)</sup>	화학적 성분 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Mo
FCAW	0.03	0.35	1.12	0.013	0.017	0.03	1.05	-	0.02	0.19
GMAW	0.07	0.29	0.92	0.014	0.004	0.44	0.96	0.02	0.043	0.45

1) FCAW : Flux Cored Arc Welding, GMAW: Gas Metal Arc Welding

표 3.4 용접재료의 기계적 성질

강종	인장 시험			충격 시험	
	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	신장율 (%)	온도 (°C)	흡수에너지 (J)
SM570	582	610	27	-30	43
POSTEN80	770	850	22	-20	120

표 3.5 십자 용접연결의 용접조건

강종	용접 방법	용접 봉		용접 전압 (V)	용접 전류 (A)	용접 속도 (cm/min)	예열 온도 (°C)
		종류	지름				
SM570	FCAW	SUPER CORED 81	1.2	29	220~230	42.9~46.2	117~135
POSTEN80	GMAW	MGS-80	1.2	25~28	220~240	20~35.3	65

### 3.2 시험편

시험편은 판두께 10mm인 POSTEN80 강재와 판두께 40mm인 SM570강재로 제작하였으며 십자용접연결 시험편의 형상 및 치수를 그림 3.1에 나타내었다.

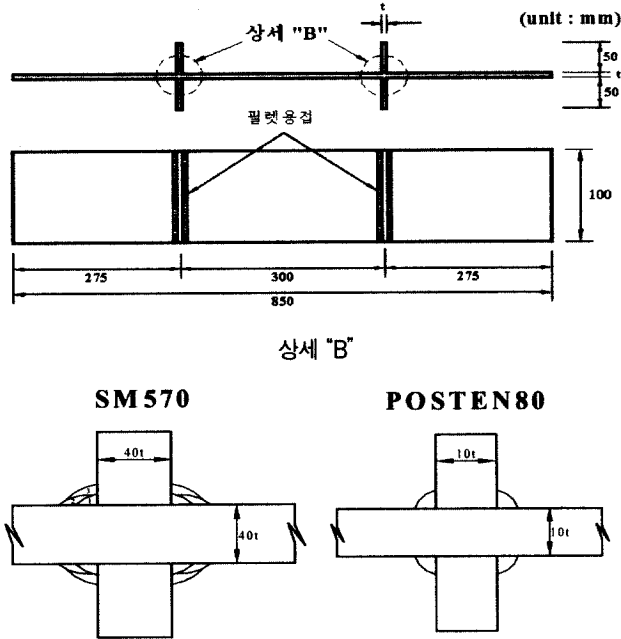


그림 3.1 시험편 형상 및 치수

### 3.3 시험방법

피로시험에 앞서 시험편에 대한 공칭응력을 조사할 목적으로 정적 인장시험을 실시하였다. 용접연결부에 작용하는 공칭 응력과 시험편의 편심여부를 조사하기 위해 용접연결부로부터 15mm 떨어진 위치에서 모재 양면의 중앙 그리고 좌측과 우측 6개소에 길이 5mm의 변형률 게이지를 그림 3.2와 같이 부착하였다.

사용된 피로시험기는 표 3.6과 같고, 피로시험시 하중재하 속도는 재하하중의 크기와 피로시험기 용량에 따라 5~10Hz 범위에서 축방향으로 일정진폭하중을 재하하여 실시하였으며, 응력비는 0.1로 하였다.

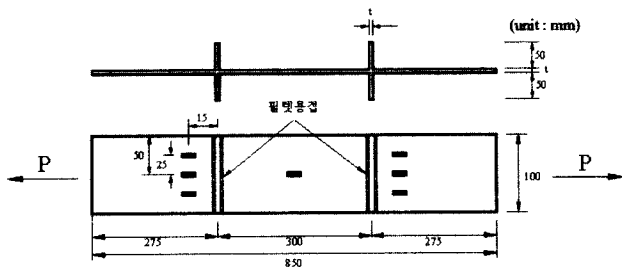


그림 3.2 시험편 변형률 게이지 부착위치

피로균열의 발생 여부는 침투탐상법을 사용하였으며, 균열 진전양상을 조사하기 위하여 반복회수에 따른 균열의 진전길이를 측정하였다. 이때 판두께 방향의 균열진전길이를 얻기 위해 비치마크(Beach Mark)법을 사용하였다.

시험체별 시험조건 및 피로시험 전경은 표 3.7과 사진 3.1에 각각 나타내었다.

표 3.6 피로시험기

강종	시험기 용량	제작회사	제작국	실험실
SM570 (t=40mm)	200tonf급	MTS	미국	포항산업 과학연구원
	100tonf급	MHI	일본	포항산업 과학연구원
POSTEN80 (t=10mm)	30tonf급	SHIMADZU	일본	한양대학교
	25tonf급	MTS	미국	국민대학교

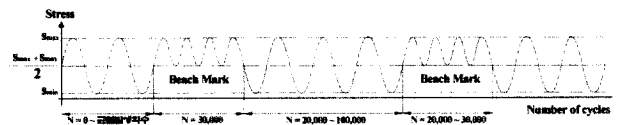


그림 3.3 비치마크도입 응력이력

표 3.7 십자 용접연결 시험편의 시험조건

시험편 분류	시험편 구분	폭 (mm)	두께 (mm)	단면적 (mm <sup>2</sup> )	P <sub>max</sub> (kN)	P <sub>min</sub> (kN)	응력범위 (MPa)	응력비
SM570	CF-1	100	40	4000	607.20	55.20	138.0	0.1
	CF-2	100	40	4000	759.00	69.00	172.5	
	CF-3	100	40	4000	910.80	82.80	207.0	
POSTEN80	PCF-1	100	10	1000	151.80	13.80	138.0	
	PCF-2				197.34	17.94	179.4	
	PCF-3	100	10	1000	182.16	16.56	165.6	
	PCF-4				212.52	19.32	193.2	
	PCF-5	100	10	1000	212.52	19.32	193.2	
	PCF-6				212.52	19.32	193.2	
PCF-7	212.52				19.32	193.2		
PCF-8	100	10	1000	212.52	19.32	193.2		
PCF-9				212.52	19.32	193.2		

사진 3.1 피로시험 전경

그림 4.1 유한요소해석 모델링과 응력분포

표 4.1 해석 결과와 측정응력의 비교

시험편	게이지 위치	측정응력 (MPa)	계산응력 (MPa)	(S <sub>mea</sub> /S <sub>cal</sub> ) ×100(%)
PCF-1	용접지단에서 15mm (총 6개의 변형률 게이지의 평균)	142.289	151.533	94
PCF-2		145.923		96
PCF-3		204.150	196.993	104
PCF-4		173.261	181.840	95
PCF-5		171.163		94
PCF-6		172.652		95
PCF-7		182.531	212.146	86
PCF-8		195.861		92
PCF-9		200.158		94

#### 4. 실험결과

##### 4.1 정적시험결과

하중비전달형 십자용접연결부에 대한 응력해석은 범용해석 프로그램인 LUSAS13.3을 사용하여 평면변형요소로 모델링 하였다. 그림 4.1은 시험편 PCF-1의 최대하중(151.8kN)을 작용시킨 경우의 유한요소해석 결과의 일례를 나타낸 것이다.

유한요소해석 결과 응력은 용접지단에서 5mm의 범위 안에서 가장 크게 나타남을 확인할 수 있으며 피로균열발생위치가 됨을 예상할 수 있다.

유한요소해석을 실시하여 얻은 계산응력과 측정응력을 표 4.1과 그림 4.2에 나타내었다. 여기서 S<sub>mea</sub>는 정적시험에서 얻은 공칭응력이고, S<sub>cal</sub>은 해석결과에 의한 계산공칭응력이다.

시험결과 시험편 PCF-3,7,8을 제외하면 측정응력은 약 4~6%의 편차로 계산응력보다 낮게 나타나 해석결과와 유사하게 나타나고 있으나 시험편 PCF-3,7,8의 경우는 응력편차가 비교적 큰 경우로서 시험체의 초기변형이 상대적으로 크게 발생되어 있음을 예상할 수 있다.

##### 4.2 피로시험결과

피로시험결과 얻어진 응력범위별 시험편 파단회수를 표

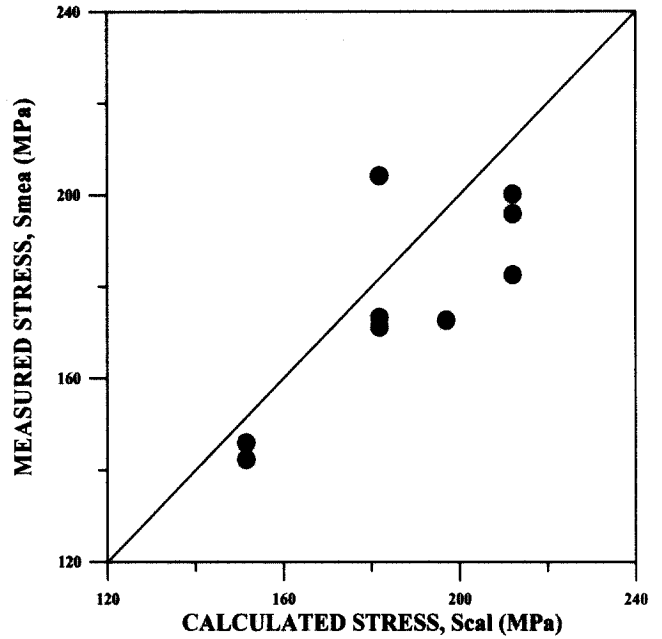


그림 4.2 측정응력과 계산응력의 비교

표 4.2 피로시험 결과

강재종류	시험편	응력범위 (MPa)	반복회수 (N <sub>f</sub> )	비고
SM570 (t=40mm)	CF-1	138.0	1,063,225	
	CF-2	172.5	581,000	
	CF-3	207.0	252,600	
POSTEN80 (t=10mm)	PCF-1	138.0	1,366,722	Run-out
	PCF-2		2,800,000	Run-out
	PCF-3	179.4	407,666	
	PCF-4	165.6	1,019,457	
	PCF-5		1,359,289	
	PCF-6		1,689,927	
	PCF-7	193.2	765,408	
	PCF-8		614,328	
	PCF-9		991,918	

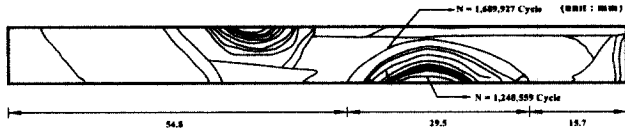
4.2에 나타내었다.

#### 5. 시험결과 분석, 고찰

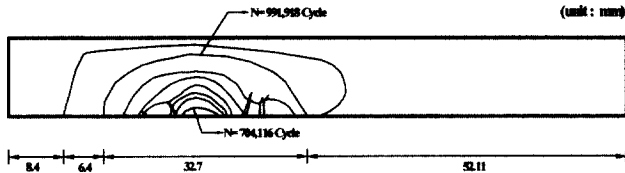
##### 5.1 피로균열 발생 및 파단면 특성

피로시험편중 2개의 시험편에 대하여 Beach Mark법으로부터 추정된 피로균열 발생 및 진전양상을 그림 5.1~5.2에 나타내었다.

그림 5.1에서 피로균열은 응력집중이 가장 큰 용접지단부에서 발생하여 반타원형으로 점차 진전하는 전형적인 균열진전

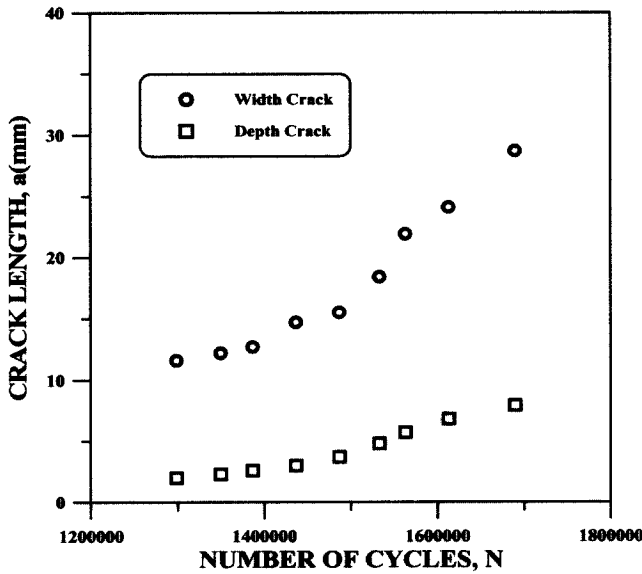


(a) PCF-6 시험편의 파단면 모식도

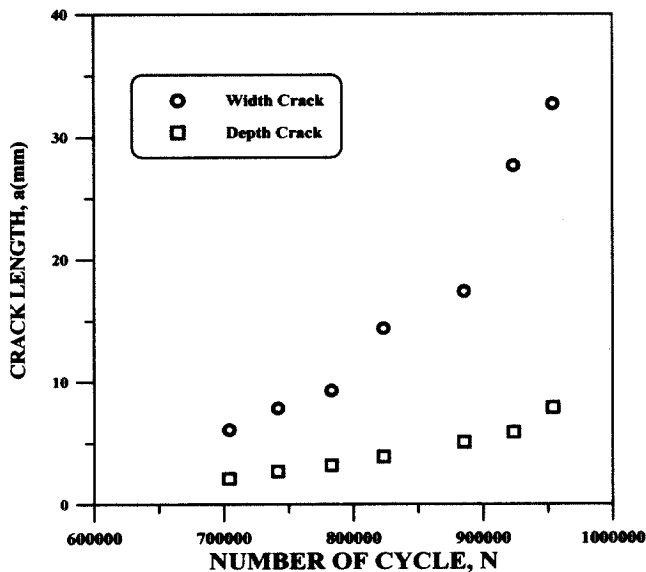


(b) PCF-9 시험편의 파단면 모식도

그림 5.1 십자 용접연결의 파단면 모식도



(a) PCF-6 시험편의 a-N선도



(b) PCF-9 시험편의 a-N선도

그림 5.2 반복회수에 따른 균열진전곡선

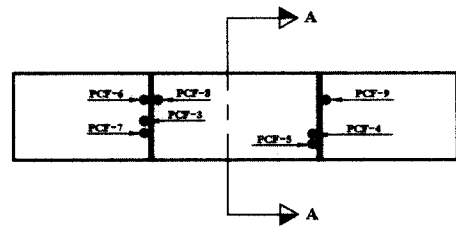
양상을 볼 수 있으며 PCF-9의 경우 균열발생점이 여러곳에서 발생되어 합체된 양상을 확인할 수 있다. 그림 5.2에서 균열 진전은 반복회수가 증가할수록 진전속도가 점차 증가하고 있으며 폭방향으로는 시험편 폭의 약 35%정도 진전된 후 파단되었고 두께방향으로는 시험편 두께의 약 80%정도까지 진전된 후 파단이 됨을 알 수 있다. 그 후는 피로균열의 진전없이 단면의 전면향복으로 파단하였다.

## 5.2 파단면 특성

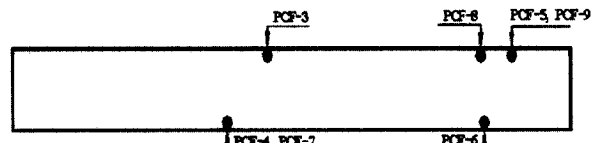
대상 피로시험편에 대한 피로균열 발생 및 진전에 따른 파괴파괴 특성을 규명하고자 파괴시험을 종료한 후, 모재 혹은 용접지단부에서의 균열발생 위치와 균열의 진전상황 그리고 파단면을 조사하였다. 이를 정리하여 표 5.1에 나타내었으며 초기균열 발생위치를 그림 5.3에, 그리고 대표적인 파단면 형상을 그림 5.4에 나타내었다.

표 5.1 파단시험편의 조사결과

시험편	초기균열발견회수 및 길이			부재단부에서 초기균열 발생위치	파단부위	비고
	회수	폭 (mm)	두께 (mm)			
PCF-3	-	-	-	45mm	용접지단부	부재변형 (4mm)
PCF-4	95만	35	-	35mm	용접지단부	
PCF-5	102만	15	-	25mm	용접지단부	
PCF-6	124만	9.5	1.2	30mm	용접지단부	
PCF-7	43만	-	-	35mm	용접지단부	
PCF-8	49만	30	-	30mm	용접지단부	
PCF-9	70만	6.1	2.1	32mm	용접지단부	



(a) 정면



(b) A - A면(파단면)

그림 5.3 초기균열 발생위치

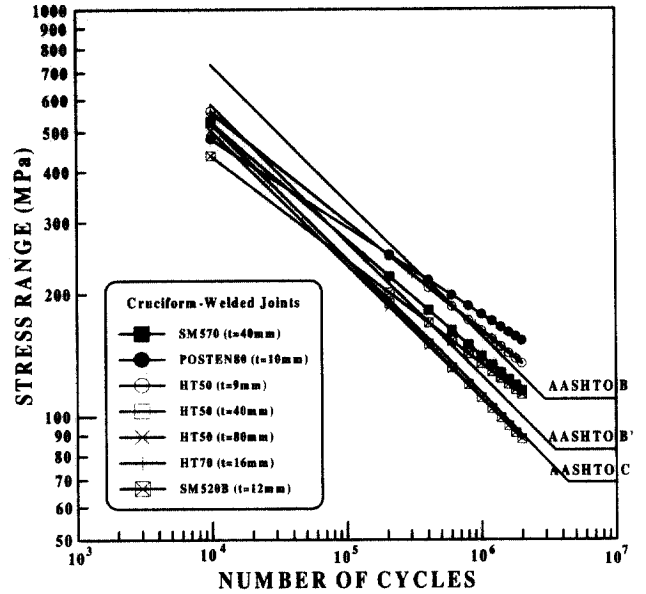


그림 5.5 S-N선도와 설계곡선의 비교

그림 5.4 십자 용접연결의 파단면 사진

대상 십자 용접연결 시험편에서 초기균열 발생위치를 조사해 본 결과, 대부분의 균열은 부재단부에서 폭방향 내측으로 25mm~45mm 떨어진 위치에서 발생하였으며 파단위치는 시험편 모두 용접지단부에서 파단되었다. 또한, 피로균열은 용접연결부에 내재되어 있는 결함이나 표면결함으로부터 발생하여 진전하였으며, 다른 시험편에 비해 조기에 파단된 PCF-3 시험편은 리브가 모재면에 수직이 아닌상태로 부재 중앙과 부재 길이 끝단에서의 편차가 4mm정도로 조사되었다.

### 5.3 고강도 강재별 피로강도 특성 비교

하중비전달형 십자 용접연결에 대하여 기존의 고강도강재와 피로강도를 비교, 분석하기 위해 인장강도 600MPa의 SM520B 강재와 HT50~HT70 강재에 대한 S-N선도를 정리하여 본 시험결과와 함께 그림 5.5에 나타내었다.

S-N선도의 회귀직선으로부터 다양한 고강도 강재를 사용한 하중비전달형 십자 용접연결 구조상세에 대한 피로강도를 기존의 연구결과와 비교하면, 표면성상이나 용접지단부의 강

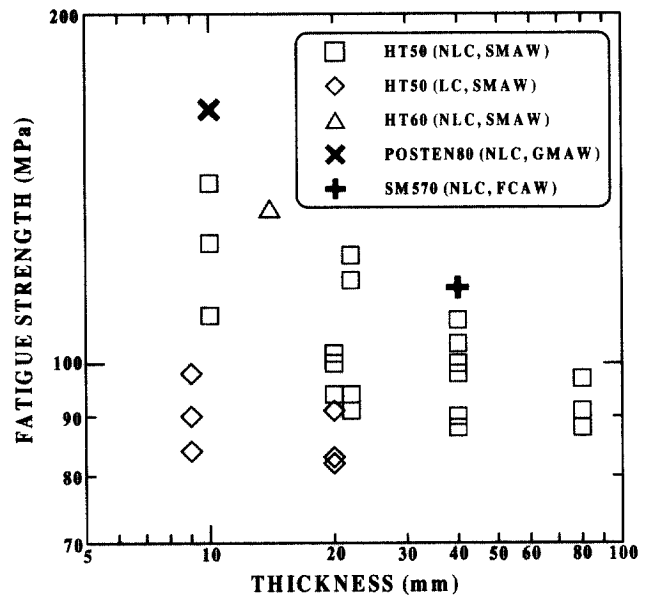


그림 5.6  $2 \times 10^6$ 회 피로강도와 판두께의 관계

도, 판두께에 의해 다소 차이는 있지만, POSTEN80 강재의 경우 두께가 유사한 HT50과 SM520B에 비하여 피로강도가 높은 것으로 나타나고 있으며 SM570도 두께가 40mm인 HT50보다 약간 높게 나타나고 있다.

### 5.4 판두께 효과

용접 그대로의 HT50~HT60 강재와 지단마무리한 SM570, POSTEN80 강재에 있어 판두께의 변화가 피로강도에 미치는 영향을 조사하기 위해  $2 \times 10^6$ 회 피로강도와 판두께와의 관계를 그림 5.6에 나타내었다.

대상 시험편의 판두께가 피로강도에 미치는 영향은 2절에서 나타낸 바와 같은 경향을 나타내고 있으며 기존의 시험결과보다 피로강도가 매우 높게 나타나고 있다. 이러한 이유는 판두께 뿐만 아니라 하중전달방식, 강도, 지단마무리 등 여러 원인들이 있겠으나 지단마무리, 용접방법 및 용접기술의 변화가 피로강도향상의 큰 요인이 될 것으로 판단되며 이에 대해서는 추후 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5.5 S-N선도와 피로강도특성

하중비전달형 십자 용접연결 구조상세에 대한 피로강도등급은 표 5.2와 같이 국내 도로교 설계기준과 AASHTO에서는 "C"등급으로, 일본의 JSSC에서는 "D"등급으로 규정하고 있으며,  $2 \times 10^6$ 회 기본 허용응력범위에는 다소 차이가 있다.

본 논문의 대상 고강도 강재인 SM570과 POSTEN80 강재에 대한 하중비전달형 십자 용접연결부의 피로시험 결과를 S-N선도에 나타내면 그림 5.3과 같다. 여기서 피로시험시 파단되지 않은 시험편의 경우에는 S-N선도상에 →의 기호로 나타내었다.

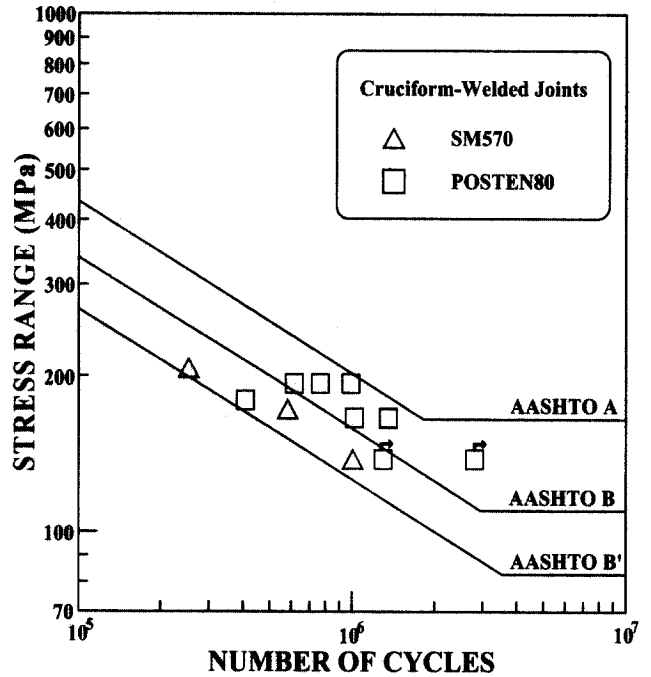
본 피로시험 결과에 의한 하중비전달형 십자 용접연결 시험편의 피로강도를 살펴보면, SM570 강재보다 POSTEN80 강재가 전반적으로 우수한 피로강도를 나타내고 있다. 이는 AASHTO 피로설계기준 제정을 위한 실험의 결과로부터 "피로수명에 강재의 종류가 미치는 영향은 무시할 정도이다"<sup>(6),7)</sup> 라는 결론과는 상반된 결과를 보이고 있다. POSTEN80 강재로 제작된 십자 용접연결 시험편의 경우에 있어서, 일부 시험편이 제작 부실과 다듬질의 불량으로 인해 조기에 결함으로부터 초기 피로균열이 발생하여 낮은 피로강도를 나타내고 있으나 AASHTO의 C등급과 JSSC의 피로등급인 D등급을 모두 만족하며 추후 연구시 결함발생을 위한 신중한 고려가 뒷받침된다면 피로등급의 향상도 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, SM570 강재로 제작된 십자 용접연결 시험편의 경우에 있어서는 AASHTO 시방서의 C등급을 그리고 JSSC의 D등급을 만족하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 앞서 언급한 바와같이 피로강도에 미치는 영향인자는 여러 가지가 있으

표 5.2 피로강도 등급

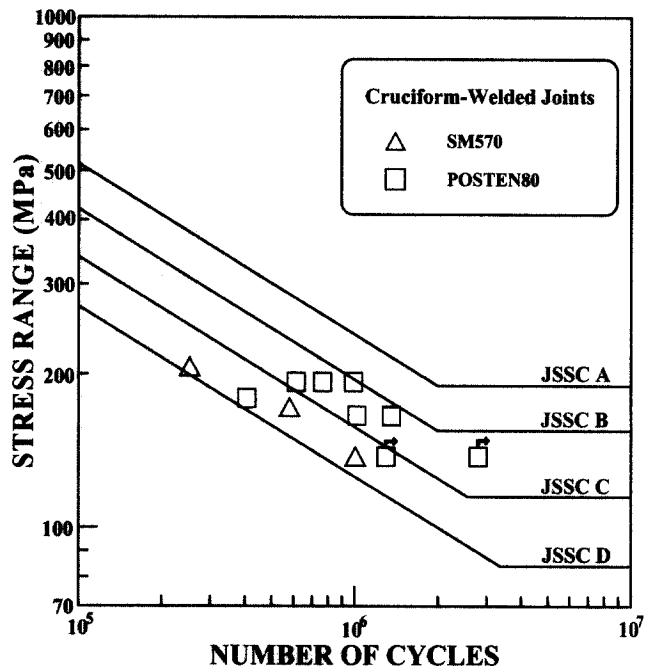
구조상세	용접조건	구분	피로등급
하중비전달형 십자용접연결	필릿용접 (grinding)	도로교 설계기준	C (89)
		AASHTO	C (89)
		JSSC	D (100)

< ( )은 200만회 기준 허용피로응력범위(MPa) >

므로 고강도강의 피로강도향상에 대해서는 이번 실험결과로서는 다소 부족하며 좀더 많은 실험적인 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.



(a) 도로교설계기준, AASHTO



(b) JSSC

그림 5.7 공칭응력범위와 반복회수 선도



## 6. 결론

고강도강인 SM570과 POSTEN80 강재를 사용한 십자용접연결 구조상세에 대해 피로강도 특성을 조사할 목적으로 기존의 고강도 강재에 대한 데이터를 조사, 분석하고, 하중비전달형 십자용접연결 시험편을 제작하여 피로시험을 실시하였다. 그 분석 결과로부터 기존 고강도 강재의 S-N선도 및 피로파괴거동을 비교, 분석하여 대상 고강도강재에 대한 피로강도 특성을 규명하였다.

- (1) 하중비전달형 십자용접연결상세에서 POSTEN80 강재의 피로강도는 SM570 및 다른 고강도 강재보다 매우 높은 피로강도를 가지며 도로교 설계기준과 AASHTO 피로설계곡선의 C등급, JSSC 피로설계곡선에 대해서는 D등급을 충분히 만족한다.
- (2) 판두께가 증가할수록 피로강도가 낮아지는 경향은 고강도 강재에서도 뚜렷하게 나타남을 확인하였다.
- (3) 고강도강재에서 피로강도가 정적강도에 의존하는 경향이 일부 나타나는 경우가 있으나 이에 대해서는 추후 많은 실험결과가 뒷받침되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. 한국도로교통협회, "도로교설계기준", 2000.
2. 이종관, 윤태양, "교량용 고성능강의 현황 및 전망", 한국강구조학회지, 제12권, 1호, pp.39~52, 2000. 3.
3. AASHTO, "LRFD Bridge Design Specifications", Second Edition, American Association of Steel Highway and Transportation Officials, 1998.
4. 日本鋼構造協會編, "鋼構造物の疲勞設計指針・同解説", 技報堂出版, 1993.
5. 김대영, "鋼鐵道橋 連結部の 疲勞舉動에 關한 研究", 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 1995. 6.
6. J. W. Fisher et al., "Effect of Weldments on the Fatigue Strength of Steel Beams," NCHRP Report 102, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1970.
7. J. W. Fisher et al., "Fatigue Strength of Steel Beams with Transverse Stiffness and Attachments", NCHRP Report 147, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1974.

(접수일자 : 2002년 1월 17일)