

# 확폭교량 RC 상판의 피로거동에 관한 연구

## A Study on the Fatigue Behavior of RC Slabs of Widened Bridges

홍순길\*

장동일\*\*

Hong, Soon Kil Chang, Dong Il

### 요 약

교량의 확폭공사에는 대개 기설부와 신설부 교량을 일체화시키는 접합시공법이 행해지고 있다. 그러나 접합시공방법은 설계 및 시공상 여러가지 복합적인 문제를 야기시킨다.

본 연구는 피로실험을 통하여 접합시공에 따른 제반 문제점중 확폭교량 시공방법에 따른 휘피로거동과 콘크리트 양생시 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동이 신설부 교량에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다.

연구결과, 초기에 접합부 철근에서 약간의 응력집중현상 및 철근과 콘크리트간에 슬립현상이 관찰되었으나 전체적인 거동은 유사하였으며, 무수축접합시공법이 신설부 교량의 콘크리트 양생중 발생하는 진동의 영향을 완화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### Abstract

Most widened bridges have been constructed by the joining-construction method that makes new and existing bridges structurally a single structure. Since the joining-construction method has several problems in design and construction viewpoint, this study is conducted in order to investigate the flexural fatigue behavior of RC slabs, which are widened and influenced by traffic-induced vibration of existing bridge during placing and curing of new concrete, with the prototype fatigue test.

It was found that stress concentration at the joints and slips between steel bar and concrete are occurred. But, the general behaviors are similar to the original state and joining-construction method using expansive concrete mitigated the influence of the traffic-induced vibration.

**Keywords :** widened bridge, RC slab, joining-construction method, traffic-induced vibration, fatigue test, S-N curve

\* 정회원, 한양대 공과대학 토목공학과 박사과정

\*\* 정회원, 한양대 공과대학 토목공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 1995년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

경제성장과 더불어 급격히 증가하는 도로 교통량을 수용하기 위하여 최근 기존 도로의 확폭시공이 일반국도 및 고속도로상에서 새로운 도로의 신설과 함께 활발하게 시행되고 있다. 기존의 도로를 확폭할 경우 교량의 확폭은 필연적이며, 교량 확폭에는 교통처리문제, 현장시공여건, 주변환경조건 및 경제성<sup>(1)</sup> 등 여러 가지 요인에 따라 시공방법이 채택되고 있다.

확폭 시공방법은 크게 분리시공과 접합시공 두 가지로 나눌 수 있다. 분리시공이란 기설부와 신설부 교량 사이에 종방향의 조인트를 설치하고 두 교량을 완전히 분리시켜 서로 독립된 교량으로 시공하는 방법이며, 접합시공은 신설부와 기설부 교량의 접합부를 시공이음으로 처리하여 일체화시키는 시공법이다<sup>(2)</sup>.

분리시공에 의한 교량의 확폭은 신설부와 기설부의 두 교량 사이에 생기는 시공단차와 통행차량에 의한 부동변위 등에 의해서 차량의 승차감이 저하된다. 특히 장경간 강교의 경우에는 단차의 크기가 커서 고속으로 주행하는 차량에 순간적인 교통사고의 위험성을 내재하고 있다. 또한 누수, 부식 및 통행차량에 의한 충격 등에 의해 주기적인 조인트의 유지보수문제 및 보수중의 교통지체 등 많은 문제점을 안고 있어 도로의 평탄성 및 고속성을 중요시하는 고속도로의 교량확폭 시공에는 대부분 접합시공방법이 채택되고 있다. 접합시공방법은 신설부 교량을 기설부 교량에 직접 맞대어 시공하는 직접접합시공과 신설부 교량을 기설부 교량과 일정거리 띄워서 분리시공한 후 그 사이를 무수축콘크리트(또는 팽창콘크리트)에 의해서 접합시공하는 방법으로 나눌 수 있으며, 이 경우에도 기설부와 신설부 교량의 설계하중 차이, 기설부 교량의 건전도 문제, 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 유발되는 진동의 영향, 기설부와 신설부 교량의 재령차에 따른 건조수축 및 크리이프의 영향, 신설부 교량의 동바리 제거시 기설부 교량이 부담하는 추가응력, 기설부와 신설부 교량 접합부에서의 균열발생 및 반복하중에 의한 접합부에서의 피로파괴 등 시공, 설계 및 유지관

리상 복합적인 문제가 발생하게 된다<sup>(1-5)</sup>.

본 연구는 접합시공에 의한 교량확폭에 관련해서 발생하는 제반 문제점중 차량의 반복하중에 의한 피로누적이 확폭교량 상판접합부의 휘기동에 미치는 영향을 조사하고자 실시되었다. 이를 위하여 시험변수로 교량확폭 시공방법, 신설부 교량의 콘크리트 양생시 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동의 유무 및 피로파괴실험시 재하되는 피로하중의 크기로 선정하여 시험체를 제작하였고, 정적 휘강도실험과 피로파괴실험을 실시하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

시험체 제작을 위하여 사용한 철근은 KS D 3504에 규정되어 있는 이형철근 H16(주철근용)과 H13(배력철근용)을 사용하였으며, 콘크리트는 물-시멘트비 45%, 슬럼프 12cm로 하여 재령 28일의 압축강도가 270kg/cm<sup>2</sup>이 되도록 배합설계하였다. 시멘트는 제 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 골재는 한강에서 채취한 강모래, 강

Table 1 Physical properties of aggregates

	Fine aggregate	Coarse aggregate
Fineness modulus	2.80	6.50
Specific gravity	2.60	2.65

Table 2 Mix proportions of concrete

G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	W/C	S/a	Air (%)	Proportion by unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				Admixture (g/m <sup>3</sup> )
					Water	Cement	Fine agg.	Coarse agg.	
25	12	45	44.0	3~5	178	394	769	997	790

Table 3 Results of material test

	Concrete			Steel bar
	Old concrete	New concrete	Expansive concrete	
Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	438	336	218	-
Yield Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	-	-	-	4385
Young's modulus (kg/cm <sup>2</sup> )	226000	224000	213000	2040000

자갈로서 각각의 조립율과 비중은 표 1과 같다. 콘크리트의 배합설계표는 표 2와 같으며, 혼화제는 AE 감수제를 사용하였다.

표 3에는 철근 및 콘크리트의 물성시험으로 부터 측정된 재료의 제강도를 정리하였다.

## 2.2 시험체

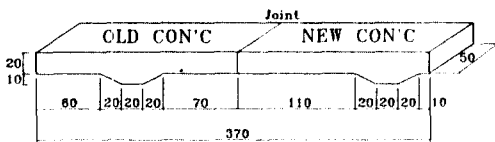
본 연구를 위하여 제작한 시험체의 제원은 확폭 교량의 특성을 최대한 반영하기 위하여 현재 경부 고속도로상에서 확폭시공중에 있거나 또는 확폭 시공이 완료된 4개 교량의 제원을 조사하여 이로부터 표 4와 같은 자료를 획득하였다. 표 4의 확폭 교량 상부구조의 제원과 주형이 있는 교량 상판 횡단면의 모멘트 영향선을 고려하여 시험체의 제원을 결정하였으며, 시험체의 제원 및 형상은 그림 1과 같다. 시험체의 설계 및 검토는 기존의 교량 설계방법인 허용응력설계법에 준하였다.

Table 4 Dimensions of super structure of widened bridges

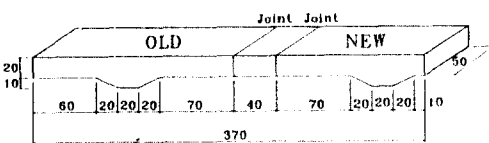
Girder spacing (m)	Slab depth (cm)	Spacing of main reinforcement (cm)		Spacing of distribution bar (cm)	
		upper	lower	upper	lower
2.4	20	H16×20	H16×10	H13×20	H13×10



(a) 일체치기



(b) 직접접합



(c) 무수축접합

Fig. 1 Dimensions of specimens (unit : cm)

시공방법 및 시공중 교통처리 방법에 따른 접합부의 피로거동을 조사, 분석하기 위하여 본 연구에서는 시험체의 시험변수를 시공방법, 신콘크리트(직접접합 시험체) 또는 무수축콘크리트(무수축접합 시험체) 양생중 진동의 유무 및 피로하중의 크기로 정하였다. 시험변수별 시험체의 분류는 표 5와 같다.

Table 5 Description of specimens used in test

Specimen ID.	Construction method			Vibration during curing		Applied fatigue load (P/P <sub>ult.</sub> )		
	일체치기	직접접합	무수축접합	Nonvibrated	Vibrated	80%	70%	60%
Static test	SW	○		○				
	SND		○	○				
	SNE			○	○			
	SVD		○			○		
	SVE			○		○		
	Fatigue test	FW-80	○		○		○	
FW-70		○		○			○	
FW-60		○		○				○
FND-80			○			○		
FND-70			○				○	
FND-60			○					○
FNE-80				○	○	○		
FNE-70				○	○		○	
FNE-60				○	○			○
FVD-80			○			○	○	
FVD-70			○			○		○
FVD-60			○			○		○
FVE-80			○	○	○			
FVE-70			○	○		○		
FVE-60			○	○			○	

표 5의 시험변수중 시공방법에 대한 시험변수는 확폭교량의 접합시공시 일반적으로 선택되어지는 직접접합시공법과 무수축접합시공법으로 하였으며, 일체치기 시험체는 교량 상판의 원상태를 나타내는 것으로 확폭교량 상판과 일반교량 상판의 거동을 비교하기 위한 것이다. 양생중 진동의 유무는 시공시 또는 양생시에 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 발생되는 진동이 신설부 교량에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것으로 진동 시험체에 대한 진동조건은 고속도로상에 위치한 교량을 대상으로 실측한 자료<sup>(6)</sup> 및 일본도로공단시험소의 자료<sup>(7,8)</sup>를 근거로 하여 진동수 4Hz, 진폭 1mm로

정하였다. 진동시험체의 제작을 위해 신콘크리트 부에 동바리를 설치하고 50ton 용량의 피로시험기 (Hydraulic servo pulser)를 이용하여 진동을 가하였다. 콘크리트의 초결 및 종결은 각각 1~10시간 범위이고 이후부터는 강도발현단계인 경화단계이므로 이를 고려하여 진동유지시간을 20시간으로 정하였다.

### 2.3 실험방법 및 측정

#### 2.3.1 재하방법

본 연구의 피로파괴실험에 앞서 시험체별 정적 극한강도를 알아보기와 정적 강도실험을 실시하였다. 피로파괴실험 및 정적 강도실험은 연속보의 휘실험으로서 시험체의 지점조건 및 재하방법은 그림 2와 같다.

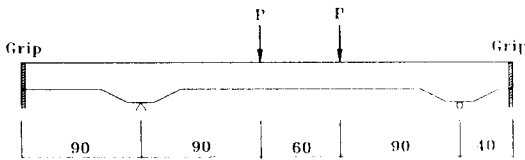


Fig. 2 Test setups for static and fatigue test (unit : cm)

정적 강도실험은 100ton 용량의 만능시험기를 사용하여 가력하였다. 실험시 하중재하속도는 100kgf/sec로 극한하중에 도달할 때까지 일정하게 유지하였으며, 시험체 파괴시의 극한하중을 조사하였다.

피로파괴실험은 50ton 용량의 피로시험기를 사용하여 가력하였다. 재하하중의 크기는 정적 강도 실험으로 부터 측정된 정적 극한강도의 80%, 70% 및 60%를 적용하였으며, 응력비( $P_{min}/P_{max}$ )는 0.1로 일정하게 유지하였다. 피로하중누적에 따른 철근 및 콘크리트의 변형률과 변위의 변화양상을 조사하기 위해 표 6과 같은 하중반복회수에 대해서는 정적 강도실험과 동일한 방법으로 하중을 재하하였으며, 하중이 1000kgf씩 증가할 때마다 변형계이지 및 변위변환기에 의해 하중과 콘크리트의 변형률 관계, 하중과 철근의 변형률 관계 및 하중과 변위 관계를 측정하였고, 시험체 파괴

시의 피로하중 반복회수를 조사하였다. 응답측정용 변형계이지 및 변위변환기의 부착위치는 그림 3과 같다.

Table 6 Measuring frequencies in fatigue test

Measure	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
No. of cycles	1	10	100	1000	5000	10000	20000	30000
Measure	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th
No. of cycles	50000	80000	100000	150000	200000	250000	300000	400000
Measure	17th	18th	19th	20th	21th	22th		
No. of cycles	500000	600000	700000	800000	900000	1000000		

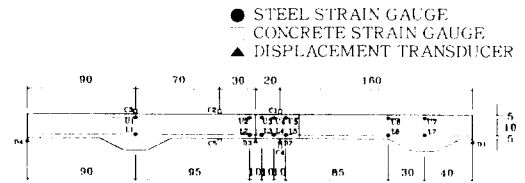


Fig. 3 Locations of measuring sensors (unit : cm)

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 정적 강도실험

정적 휘강도실험은 시험체별 극한하중을 조사하고 이로부터 피로파괴실험시 재하할 피로하중의 크기를 산정하기 위하여 실시하였다. 실험결과 측정된 시험체 파괴시의 극한하중을 표 7에 나타내었다.

Table 7 Ultimate flexural strength (unit : ton)

Specimen ID.	SW	SND	SNE	SVD	SVE
Ultimate flexural strength	24.0	23.0	22.0	22.0	24.0

표 7에 정리된 결과로 부터 시공방법에 따른 극한하중을 일체지기 시험체를 기준으로 하여 비교해 보면 직접접합의 경우 92~96% 그리고 무수축집합의 경우 92~100%로 나타나 시공방법의 차이에 따른 극한하중의 차이는 미소하였고, 양생중의 진동유무에 따라서는 직접접합의 경우에는 무진동 시험체가 진동 시험체보다 큰 극한하중을 나타내었으나, 무수축집합의 경우에는 진동 시험체가

부진동 시험체보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이상의 결과에서 접합시공에 따른 다소의 강도감소 현상은 발생하나 전체적인 구조기동상에 큰 영향을 미칠 정도는 아니며, 양생중 진동의 영향에 의한 강도감소현상은 없었다.

### 3.2 피로파괴실험

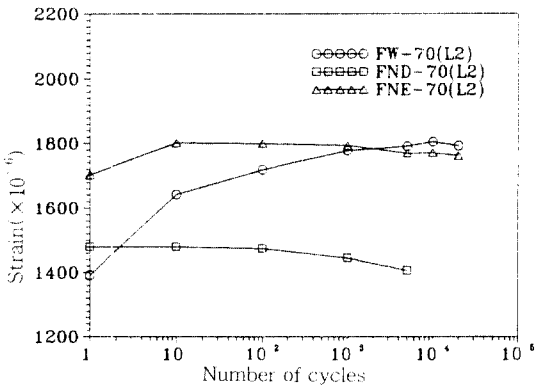
접합시공방법의 차이에 따른 확폭교량 접합부의 구조기동을 조사하기 위하여 피로파괴실험시 하중 반복회수별로 측정된 하부 철근(게이지 부착 위치 L2, L3, L4, L5) 변형률의 최대값 변화를 조사하였으며, 이중 시험체 FW-70, FND-70, FVD-70에 대한 것을 그림 4에 나타내었다.

그림 4에 의하면 직접접합이나 무수축접합 시험체가 일체치기 시험체와 비교하여 게이지 부착위

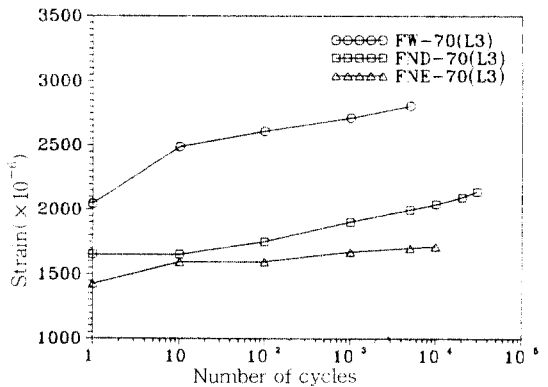
치 L2를 제외한 L3, L4 및 L5에서 작은 변형률을 나타내고 있다. 이러한 현상은 정적강도실험<sup>(9)</sup>에서도 나타난 바와 같이 콘크리트부의 응력 집중 및 신콘크리트와 철근 사이의 슬립현상에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 하중반복회수의 증가에 따라 게이지부착위치 L2에서는 철근변형률이 감소하고 게이지부착위치 L3, L4 및 L5에서는 미소하나마 증가하는 경향을 나타내어 초기의 슬립(slip)이나 응력 집중현상이 진전되지 않는 것으로 분석된다.

시공방법별 피로누적 양상을 조사하기 위하여 시험체의 중앙부에 부착한 변위변환기 D3에서 측정된 하중반복회수 증가에 따른 소성변형에너지의 누적양상을 분석하여 그림 5에 나타내었다.

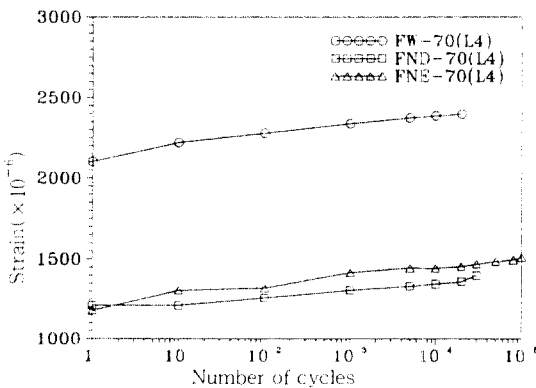
그림 5를 살펴보면 세 시험체간의 기울기의 변화가 대체적으로 유사하게 나타나 피로누적이 시



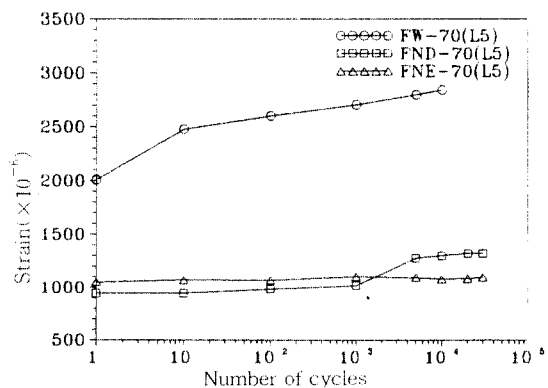
(a) Location of gage, L2



(b) Location of gage, L3

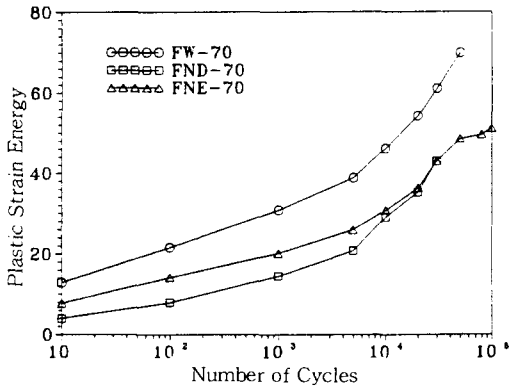


(c) Location of gage, L4

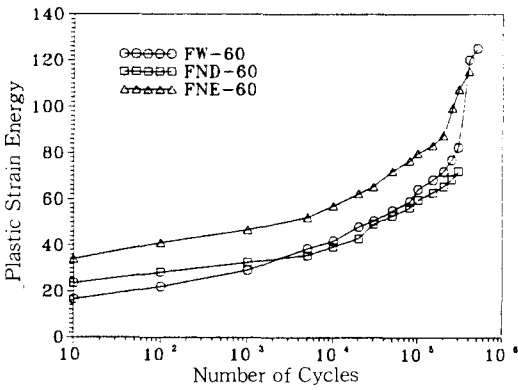


(d) Location of gage, L5

Fig. 4 Increase of maximum strain due to repeated load



(a) Fatigue load,  $P_{70}$



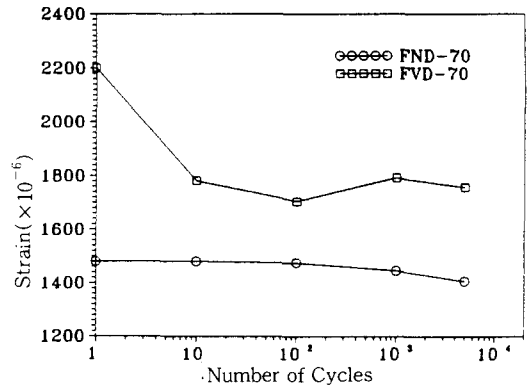
(b) Fatigue load,  $P_{100}$

Fig. 5 Increase of plastic strain energy

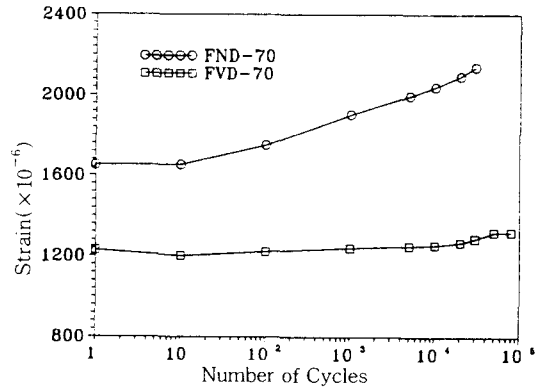
공방법에 무관하게 이루어지는 것을 알 수 있다.

교량확폭시공시 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 유발되는 진동이 신설부 교량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 직접접합 시험체와 무수축접합 시험체에 대하여 피로하중의 반복회수 증가에 따른 시험체 접합부 부위의 하부철근 변형률의 최대값 변화량을 고찰하였다. 그중 직접접합 시험체의 경우 FND-70과 FVD-70에 대하여, 무수축접합 시험체의 경우 FNE-60과 FVE-60에 대해 각각 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

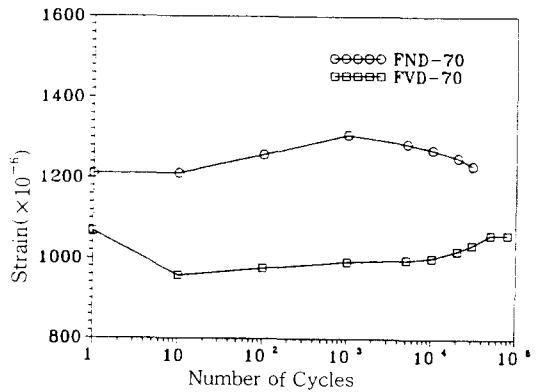
직접접합 시험체에 대한 그림 6에 의하면 진동의 영향을 받지 않는 게이지 부착위치 L2에서는 진동의 영향을 받은 시험체가 진동의 영향을 받지 않은 시험체보다 상대적으로 높은 변형률을 보이고 있으나 진동의 영향을 받은 게이지 부착위치 L3와 L4에서는 그 반대의 양상을 보이고 있다. 이



(a) Location of gage, L2

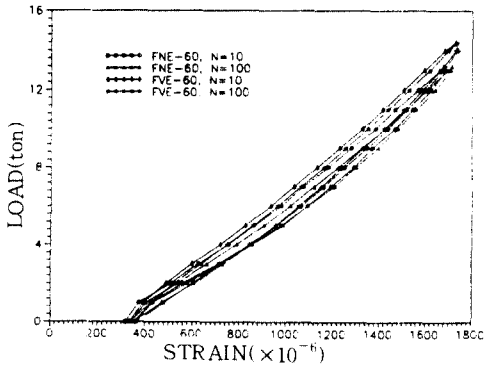


(b) Location of gage, L3

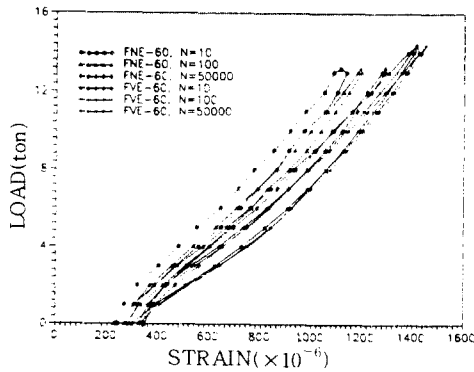


(c) Location of gage, L4

Fig. 6 Increase of maximum strain due to repeated load



(a) Location of gage, L2



(b) Location of gage, L4

Fig. 7 Increase of maximum strain due to repeated load

는 신설부 교량의 콘크리트 양생중 가해진 진동의 영향에 의해 철근과 콘크리트간에 다소 부착력이 저하되어 생기는 슬립(slip)현상으로 판단된다. 무수축접합 시험체의 경우에는 게이지 부착위치 L2와 L4에서 직접접합 시험체와는 상반되는 경향을 나타내고 있음을 그림 7로부터 확인할 수 있다. 이러한 결과는 기존의 정적 강도실험에 의해 규명된 구조거동<sup>19)</sup>과도 일치하는 것으로 무수축콘크리트에 의한 교량확폭시공법이 직접접합 시공법보다는 진동의 영향을 완화시킬 수 있음을 의미한다.

각 시험체의 피로파괴실험으로부터 측정된 피로파괴시의 피로하중 반복회수를 이용하여 작성한 S-N선도를 그림 8에 나타내었다.

그림 8의 S-N선도로 부터 추정한 피로하중 반복회수 50만회에 대한 피로강도를 표 8에 정리하

였다. 여기서의 피로강도는 정적 극한강도에 대한 비율이다.

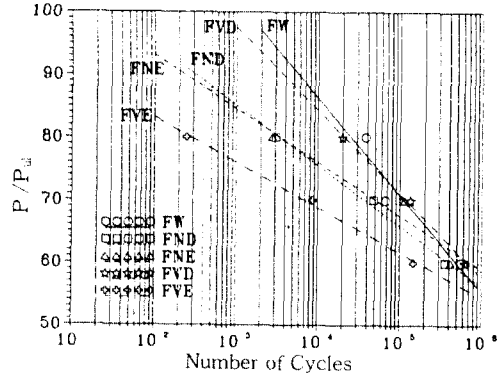


Fig. 8 S-N curves

Table 8 Fatigue strength for  $5 \times 10^5$  cycles

Specimen ID.	FW	FND	FNE	FVD	FVE
Fatigue strength(%)	60.0	59.2	61.5	61.8	56.6

그림 8 및 표 8에 의하면 각 시험체의 피로하중 반복회수 50만회에 대한 피로강도는 정적 극한강도의 약 56.6~61.8%의 범위로서 일체지기 시험체의 60.0%와 거의 비슷한 수준이며, 시공방법 및 양생중 진동의 영향에 따라서는 일정한 변화양상을 나타내지 않아 교량확폭시공방법 및 양생중 진동의 영향이 확폭교량 상판의 피로거동에 큰 영향을 미치지 않는 요소임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

피로실험을 통하여 접합시공에 따른 제반 문제점중 확폭교량 시공방법에 따른 피로거동과 콘크리트 양생시 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동이 신설부 교량에 미치는 영향을 조사하고자 실시한 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 확폭교량 시공방법의 차이에 따른 접합부의 피로거동을 조사한 결과, 직접접합시공법과 무수축접합시공법에 의해 제작된 시험체 모두 일체지기 시험체와 비교하여 초기에 다소간 접합부에서

슬립현상과 과응력이 발생하였으나, 피로하중의 누적에 따라 이러한 현상이 진전되지는 않으며, S-N선도로 부터 추정된 피로하중 반복회수 50만 회에 대한 피로강도도 일체치기 시험체와 비교하여 거의 비슷하게 나타나 접합시공방법의 차이가 상판의 피로거동에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있었다.

2) 교량확폭시공시 별도의 우회도로를 신설치 않고 기존의 기설부 교량으로 차량을 통행시키면서 시공하는 경우에 대해 접합부의 피로거동을 조사한 결과, 직접접합시공법보다는 무수축접합시공법이 접합부에서의 슬립현상 및 과응력을 완화시킬 수 있는 것으로 나타나 우회도로를 신설치 않고 시공하는 경우의 교량확폭시공법은 무수축 접합시공법이 효과적이다.

#### 감사의 글

본 연구는 1992년도 및 1993년도 한국도로공사의 연구비 지원하에 수행된 연구로서 이에 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참 고 문 헌

1. Soto M.H., "Some Considerations in Widening and Rehabilitation of Bridge, " Transportation Research Record 664, pp. 56-63, 1992.
2. Allen J.H., Carrato, J.L. and McHale P.F., "Guide for Widening Highway Bridges, " ACI Structural Journal, Vol. 89, No. 4, pp. 451-466, 1992.
3. Furr H.L. and Fouad F.H., "Effect of Moving Traffic on Fresh Concrete during Bridge-Deck Widening, " Transportation Research Record 860, pp. 28-36, 1990.
4. 前川静男, 沖野俊廣, "エポキシ樹脂による新コンクリートの接着に関する研究, " 土木試験所月報, No. 48, pp. 1-6, Aug. 1968.
5. 平野 實, 立脇重幸, "横浜新道保土ヶ谷高架橋幅補強工事(実験編: 特に コンクリートの諸度に與える振動の影響とコンクリートの膨脹收縮について, " 道路, Vol. 2, pp. 61-71, 1972.
6. 한국도로공사, "고속도로 교량 내하력평가 시스템 개발 연구보고서", 1988.
7. 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に関する試験, " 日本道路公團試験所, pp. 103-112, Nov. 1981.
8. 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に関する試験(第2報), " 日本道路公團試験所, pp. 86-95, Nov. 1982.
9. 홍순길, 장동일, "확폭교량 RC 상판의 휘기동에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제 6권, 제 3호, pp. 152~161, 1994.

(접수일자 : 1994. 8. 29)