교량 확폭시 RC 상판 접합부의 부착강도에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Adhesive Strength of Construction Joints of RC Slabs at Widened Bridges

* 전 준 창 Jeon, Jun Chang　　** 조 병 완 Jo, Byung Wan　　*** 조 효 남 Cho, Hyo Nam

ABSTRACT

Recent increasing traffic volumes have made many bridges on highway be widened. Depending on the construction method of bridge widening, several undesirable problems have been arisen with the additional stresses resulting from de-staging of new bridge and the difference of the amount of creep and shrinkage between new and existing bridge.

The main focus of this paper is given to investigate the variation of the adhesive strength of steel bar and construction joints of new and old concrete slab.

The result shows that repeated vibration loadings was caused some bad effects on the constrution joints between new and existing bridges.

1. 서 론

최근 교통량의 증가와 차량의 대형화로 구간 및 시간대에 따른 교통정체가 발생하여 확폭공사가 계획·시공되고 있으나, 확폭공사를 주요 간선도로에서 실시할 경우에는 장시간 동안 교통의 완전통제는 불가능하므로 현재 차선의 교통 공용하에서 시공하는 것이 요구된다. 그러나 차량의 자유통행상태하에서 교량을 확폭하는 경우 주행차량에 의해 유발되는 진동은 확폭교량 접합부의 신·구콘크리트의 부착 뿐만 아니라 철근과 신콘크리트의 부착에도 영향을 미쳐 접합부의 강도저하, 균열발생 등을 유발할 수 있다.

이러한 영향을 조사하기 위해 진동의 영향에 의한 신·구콘크리트의 부착 및 철근과 신콘크리트의 부착강도에 관한 실험을 실시하였으며, 이로부터 진동의 유무와 시공방법의 차이에 따른 영향을 조사하였다. 신·구콘크리트의 부착강도 시험에서는 시험변수를 진동의 유무, 접합면 처리방법, 진동시작시간, 진동유지시간 그리고 진동수·진폭으로 정하였으며, 철근과 신콘크리트의 부착강도시험에서는 진동의 유무, 진동시작시간, 진동유지시간, 진동수·진폭 그리고 정착길이로 정하였다. 실험을 통해 얻어진 결과로부터 진동에 의한 영향과 합리적인 시공방법을 도출하였다.

*한양대학교 산업과학연구소 연구원
** 한양대학교 토목공학과 조교수
*** 한양대학교 토목공학과 교수

2. 시험체 설계

2.1 신·구콘크리트의 부착강도시험

2.1.1 시험체 분류

주행차량에 의해 유발되는 진동이 신콘크리트와 구콘크리트 사이의 부착에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 본 시험에서의 시험변수에 따른 시험체의 분류는 표

2.1과 같다.

표 2.1 시험변수별 시험체 분류

시험체 번호	일체치기	진동의 유무		접합면 처리방법				진동 시작시간		진동 유지시간		진동수 진폭		
		무	유	무	ch	접	ch+접	0일	7일	10	30	$f_1\delta_1$	$f_2\delta_2$	$f_3\delta_3$
1	○													
2		○		○										
3		○			○									
4		○				○								
5		○					○							
6			○	○				○		○		○		
7			○	○				○		○			○	
8			○	○				○			○	○		
9			○	○				○			○		○	
10			○				○	○		○		○		
11			○				○	○		○			○	
12			○				○	○			○	○		
13			○				○	○			○		○	
14			○				○		○	○		○		
15			○				○		○	○			○	
16			○				○		○	○				○

○ 비고 * 접합면 처리방법
무 : 무처리
ch : chipping
접 : 접착제

* 진동수, 진폭
$f_1\delta_1$: 진동수 2Hz, 진폭 1.5㎜
$f_2\delta_2$: 진동수 4Hz, 진폭 1.0㎜
$f_3\delta_3$: 진동수 6Hz, 진폭 0.5㎜

2.1.2 시험체 제작방법

진동에 의한 신·구콘크리트의 부착강도 시험체의 형상 및 크기는 그림 2.1과 같다.

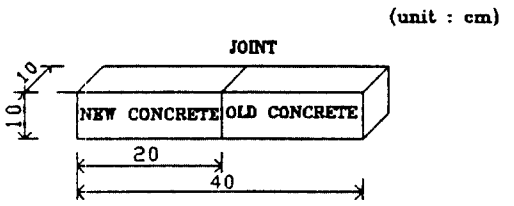


그림 2.1 시험체 형상 및 크기

시험체 제작은 먼저 구콘크리트부를 타설한 후 28일간 양생한 다음 신콘크리트를 타설하는 방법으로 제작하였으며, 콘크리트의 배합설계조건은 표 2.2와 같다.

표 2.2 콘크리트 배합설계조건

굵은골재최대치수 (㎜)	슬럼프 (cm)	호칭강도 (kg/cm²)	공기량 (%)	혼화재료의 종류
25	12	270	3~5	AE 감수제

물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트 (kg/m³)	물 (kg/m³)	잔골재 (kg/m³)	굵은골재 (kg/m³)	혼화제 (kg/m³)
45.2	44.0	394	178	769	997	0.79

한편, 가진 시험체의 제작은 그림 2.2와 같은 가진장치 위에 올려놓고 가진하여 제작하였다.

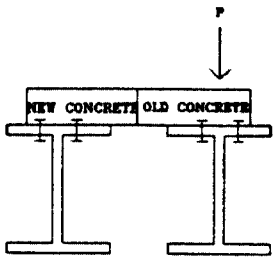


그림 2.2 시험체 가진 장치

2.2 철근과 신콘크리트의 부착강도시험

2.2.1 시험체 분류

진동이 철근과 신콘크리트의 부착에 미치는 영향을 조사하기 위해 시험변수를 진동의 유무, 진동시작시간, 진동유지시간, 진동수·진폭 및 정착길이로 선택하여 실험을 실시하였으며, 위의 변수에 대한 시험체 분류는 표 2.3과 같다.

표 2.3 시험변수별 시험체 분류

시험체 번호	진동의 유무		진동 시작시간		진동 유지시간		진동수 진폭			정착길이			계이지 부착
	무	유	0일	7일	10	30	$f_1\delta_1$	$f_2\delta_2$	$f_3\delta_3$	L_1	L_2	L_3	
1	○									○			○
2	○										○		○
3	○											○	○
4		○	○		○		○			○			
5		○	○		○		○				○		○
6		○	○		○		○					○	
7		○	○		○			○		○			
8		○	○		○			○			○		○
9		○	○		○			○				○	
10		○	○		○				○	○			
11		○	○		○				○		○		○
12		○	○		○				○			○	
13		○	○			○	○			○			
14		○	○			○	○				○		○
15		○	○			○	○					○	
16		○	○			○		○		○			
17		○	○			○		○			○		
18		○	○			○		○				○	
19		○	○			○			○	○			
20		○	○			○			○		○		
21		○	○			○			○			○	
22		○		○	○		○				○		
23		○		○	○			○			○		○
24		○		○	○				○		○		

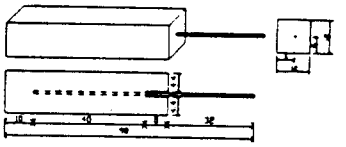
○ 비고 * 진동수, 진폭
$f_1\delta_1$: 진동수 2Hz, 진폭 1.5㎜
$f_2\delta_2$: 진동수 4Hz, 진폭 1.0㎜
$f_3\delta_3$: 진동수 6Hz, 진폭 0.5㎜

* 정착길이
L_1 : 30cm
L_2 : 40cm
L_3 : 50cm

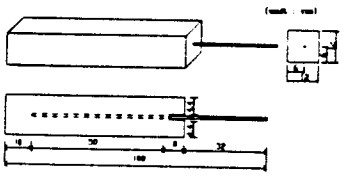
2.2.2 시험체 제작방법

진동에 의한 철근과 신콘크리트의 부착강도 시험체의 형상 및 크기는 그림 2.3과 같다.

(a) 정착길이 30cm



(b) 정착길이 40cm



(c) 정착길이 50cm

그림 2.3 시험체 형상 및 크기

한편 철근의 부착응력도의 분포를 구하기 위해 제작한 시험체의 제작과정은 그림 2.4와 같으며, 시험체의 게이지 부착위치는 그림 2.5와 같다.

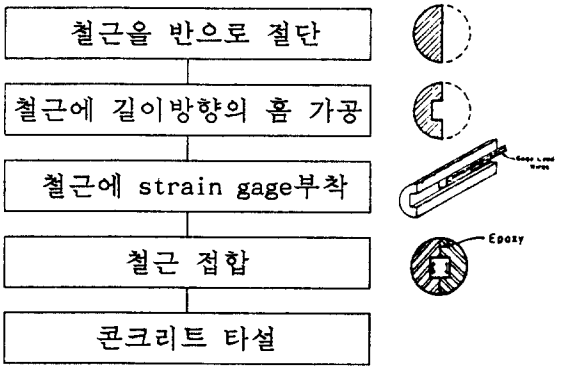
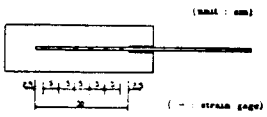
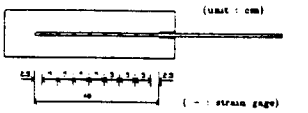


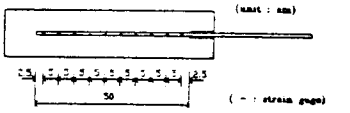
그림 2.4 시험체 제작과정



(a) 정착길이 30cm



(b) 정착길이 40cm



(c) 정착길이 50cm

그림 2.5 게이지 부착위치

strain gauge를 철근표면에 부착시키는 경우, 철근표면에 결함이 발생하는 것을 피하기 위해 철근을 반쪽으로 길이방향을 따라 절단한 다음 홈을 만들고, 그 홈에 strain gauge를 부착시키고 lead wire는 홈을 따라 뽑아내어 반으로 절단된 두개의 철근을 스틸용 에폭시로 접합시키므로써 겉으로 보기에는 철근표면에 아무런 홈집이 나지 않도록 배려하였다. 그림 2.6은 홈이 패인 철근의 단면치수, 그림 2.7은 가진 시험체의 제작방법을 나타낸다.

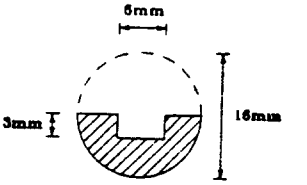


그림 2.6 홈이 패인 철근의 단면

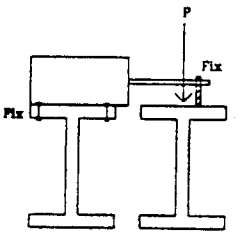


그림 2.7 시험체 가진장치

3. 실험 방법

3.1 신·구 콘크리트의 부착강도시험

신·구 콘크리트의 부착강도시험시 하중재하 방법은 4점 휨하중법으로 하였으며,

100ton 용량의 만능시험기를 사용하여 보 시험체가 파괴될 때까지 하중을 10kgf/sec의 속도로 증가시켜 재하하였다. 이때 4점 휨 재하시험의 개략도는 그림 3.1과 같다.

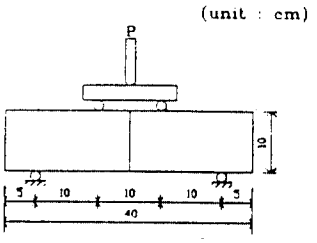


그림 3.1 신,구 콘크리트 부착강도시험

3.2 철근과 콘크리트의 부착강도시험

철근과 콘크리트의 부착강도 실험방법은 Pull-out test 방법을 사용하였으며, 100ton용량의 만능시험기를 사용하여 시험체가 파괴될 때까지 하중을 100kgf/sec의 속도로 증가시켜 재하하였다.

실험시 strain gage를 부착한 시험체에 대해서는 부착응력도 분포와 파괴하중을 조사하였으며, strain gage를 부착하지 않은 시험체에 대해서는 변위계를 사용하여 하중과 변위관계 및 파괴하중에 대해서 측정하였다. 재하시험의 개략도는 그림 3.2와 같다.

그림 3.2 철근과 콘크리트의 부착강도시험

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 신·구콘크리트의 부착강도시험

신·구콘크리트의 부착강도를 얻기 위하여 4점 휨 실험을 수행하여 시험변수별로 파괴하중을 표 4.1에 정리하였다.

표 4.1 시험변수별 파괴하중 (단위 : kg)

시험체 번호	1	2	3	평 균
1	1300	1285	1262	1282.3
2	400	343	351	364.7
3	424	328	372	374.7
4	558	540	574	557.3
5	880	976	940	932.0
6	240	218	308	255.3
7	142	0	0	47.3
8	0	0	0	0.0
9	115	0	0	38.3
10	869	869	978	905.3
11	978	956	818	917.3
12	856	884	-	870.0
13	782	734	-	758.0
14	696	634	-	665.0
15	654	666	-	660.0
16	588	652	-	620.0

진동의 유무에 따른 신·구콘크리트의 부착강도의 변화를 알아보면 접합면을 무처리한 경우 진동의 영향에 의해 상당한 강도저하가 나타나고 있음을 알 수 있으며, 특히 소수의 시험체를 제외하고는 부착이 되지 않았다. 한편, 접합면을 chipping한 후 접착제를 도포한 경우에 있어서는 진동의 영향에 의해 약 1.6~18.7% 정도의 강도저하가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이로부터 진동이 접합면의 부착강도에 미치는 영향은 접합면을 무처리한 경우에 있어서는 부착 그 자체까지도 위협받을 정도로 큰 문제가 되지만, 접합면을 chipping한 후 접착제를 도포한 경우에 있어서는 본 연구에 사용된 시험체가 무근 콘크리트임을 감안한다면 그 영향이 미소함을 알 수 있다.

접합면의 시공방법에 따른 영향은 진동이 없는 경우, 접합면의 부착강도는 시공방법에 따라, 즉, 무처리, chipping, 접착제 도포, chipping 후 접착제 도포방법의 순서로 강도증진 현상이 나타나고 있으며, 진동이 가해지는 경우에 있어서는 접합면을 chipping한 후 접착제를 도포하는 방법이 무처리한 경우와 비교해 볼 때 최소 2.5배 이상의 강도증진 현상이 나타나고 있다. 이로부터 신·구 콘크리트 접합면의 처리는 chipping 후 접착제를 도포하는 것이 가장 우수한 시공방법임을 알 수 있었으며, 특히 진동이 가해지는 경우에 있어서는 더욱 그러함을 알 수 있었다.

진동시작시간이 신·구콘크리트의 부착강도에 미치는 영향은 진동시작시간이 타설 직후일 경우에 비해 7일 양생후의 경우에 약 26.5~28.0% 정도의 강도저하가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이로부터 진동이 기존의 콘크리트와 응결상태의 콘크리트의 부착에 미치는 영향보다는 기존의 콘크리트와 어느 정도의 강도가 발현된 콘크리트간의 접합면 부착강도에 유해한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

진동유지시간이 신·구콘크리트의 부착강도에 미치는 영향은 진동의 종결이 완료된 후에도 계속해서 가해지는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 파괴하중이 약 3.9~17.4% 정도 저하됨을 알 수 있다. 한편 신·구콘크리트의 접합면을 무처리한 경우에 있어서는 진동유지시간의 영향보다는 진동자체의 영향에 의해 현격한 강도저하가 나타나고 있음을 알 수 있다.

한편, 진동수와 진폭이 신·구콘크리트의 부착강도에 미치는 영향은 타설 직후 바로 진동을 가한 경우에 있어서는 진동수, 진폭의 변화에 따라 일정한 변화양상이 나타나고 있지 않았으나, 7일 양생후 가진한 경우에는 진폭이 커짐에 따라 약 0.8~6.8% 정도의 미소한 강도저하 현상이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

4.2 철근과 콘크리트의 부착강도시험

진동이 철근과 신콘크리트의 부착에 미치는 영향을 조사하기 위해 각 변수별로 3개씩 제작된 시험체에 대해 Pull-out test를 실시하여 얻어진 결과치의 평균은 표 4.2와 같다. 표 4.2에서 ①은 파괴하중, ②는 철근인장시험에서 얻은 철근 항복하중하에서의 변위, ③은 하중-변위선도 로부터 추정한 항복하중 그리고 ④는 하중-변위선도로 부터 추정한 항복하중에서의 변위를 나타낸다.

표 4.2의 측정결과치 중 정착길이별로 진동의 영향을 살펴보면, 정착길이가 30cm인 경우 각 시험체의 항복하중은 무가진 시험체를 제외한 각 진동조건별로 제작된 가진 시험체의 항복하중이 모두 철근의 인장강도시험으로 부터 얻은 항복하중(7456kg)을 상회하고 있음을 알 수 있다. 정착길이가 40cm인 경우, 모두 철근의 항복하중을

표 4.2 측정결과 (단위 : kg, mm)

측정치	시험체	평 균	시험체	평 균	시험체	평 균	시험체	평 균
①	1	6600	7	11780	13	13680	19	10893
②		-		6.4		5.2		5.8
③		5900		9400		8000		9000
④		5.3		7.7		5.8		6.7
①	2	12615	8	10870	14	12640	20	11673
②		6.0		7.1		6.1		4.7
③		8400		9200		7500		10093
④		6.7		8.1		6.1		5.9
①	3	10800	9	12560	15	11720	21	11460
②		5.0		7.6		6.1		6.1
③		8400		9200		8550		9400
④		5.6		8.7		6.7		7.4
①	4	13000	10	8980	16	13547	22	15300
②		4.9		6.1		8.0		4.8
③		8767		8100		8867		9200
④		5.6		6.5		9.0		5.6
①	5	13390	11	10070	17	12640	23	12790
②		4.8		7.8		7.4		4.5
③		8700		8850		9300		9300
④		5.5		8.8		8.4		5.5
①	6	15193	12	11850	18	13620	24	14033
②		4.9		5.6		5.8		5.6
③		9233		9300		9440		9500
④		5.7		6.6		6.8		7.2

상회하고 있으며, 시험체 14를 제외한 모든 가진 시험체가 무가진 시험체 보다 약 3.6~20.2% 정도의 항복하중의 증가가 나타나고 있다. 또한, 정착길이가 50cm인 경우도 모두 철근의 항복하중을 상회하고 있으며, 모든 가진 시험체는 무가진 시험체 보다 약 1.8~12.4% 정도의 항복하중의 증가가 나타나고 있다. 위의 결과로부터 진동은 철근과 콘크리트의 부착에 유리한 방향으로 작용하는 인자임을 알 수 있다.

한편, 진동시작시간이 철근과 신콘크리트의 부착강도에 미치는 영향은 진동수와 진폭이 2Hz, 1.5mm인 경우는 7일 양생후 가진하는 경우가 타설 직후부터 가진한 경우에 비해 약 5.7% 정도, 진동수와 진폭이 4Hz, 1.0mm인 경우는 약 1.1% 정도 그리고 진동수와 진폭이 6Hz, 0.5mm인 경우에 있어서는 약 7.3% 정도의 항복하중의 증가가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 콘크리트 타설 직후 보다는 7일 양생 후 진동을 받는 것이 철근과 콘크리트의 부착에 유리하게 작용한다는 것을 나타내는 것이지만, 그 차이가 미소할 뿐만 아니라 모든 시험체의 항복하중이 철근의 항복하중을 상회하고 있는 것으로 미루어 진동시작시간의 변수는 철근과 콘크리트의 부착에 큰 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

진동유지시간이 철근과 신콘크리트의 부

착강도에 미치는 영향은 진동수와 진폭이 2Hz, 1.5mm인 경우 즉, 낮은 진동수와 큰 진폭에서는 진동유지시간이 길어짐에 따라 항복하중이 저하하는 양상을 나타내고 있지만, 진동수와 진폭이 4Hz, 1.0mm에서는 거의 비슷한 항복하중을 그리고 진동수와 진폭이 6Hz, 0.5mm에서 즉, 높은 진동수와 작은 진폭에서는 오히려 진동유지시간이 길어짐에 따라 항복하중이 증가하는 양상을 나타내고 있다. 이는 작은 진폭의 진동이 지속적으로 작용하는 것이 철근과 콘크리트의 부착에 보다 유리하게 작용함을 의미한다.

진동과 진동시작시간 변화에 따른 철근의 부착응력도 분포변화를 살펴보면 가진 시험체가 무가진 시험체 보다 상대적으로 작은 변형을 나타냄을 알 수 있으므로 진동이 철근과 콘크리트의 부착강도를 상승시킴을 알 수 있다. 그러나 진동시작시간의 변화는 철근과 콘크리트의 부착에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

진동과 진동수 및 진폭에 따른 철근의 부착응력도 분포변화를 살펴보면 진동은 철근과 콘크리트의 부착에 유리하게 작용하는 인자임을 알 수 있으며, 진동수 및 진폭에 따른 변화는 진동수가 높고 진폭이 작아짐에 따라 진동이 보다 유리하게 작용함을 알 수 있다.

정착길이에 따른 철근의 부착응력도 분포변화는 정착길이 30cm인 시험체는 정착길이 40cm와 50cm인 경우에 비해 철근 전길이에 걸쳐 많은 변형을 일으키고 있음을 알 수 있다. 이로부터 앞서 언급한 바와 마찬가지로 철근의 정착길이는 시방서 규정을 따르는 것이 타당하다고 판단된다.

5. 결 론

1) 진동은 신·구콘크리트 접합면의 부착에는 악영향을 미치지만 철근과 콘크리트간의 부착에는 유리하게 작용함을 알 수 있었다.

2) 신·구교량의 접합면 처리방법은 접합면을 chipping한 후 접착제를 도포하여 시공하는 것이 접합면의 부착에 가장 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

3) 작은 진폭의 진동이 큰 진폭의 진동보다 신·구콘크리트의 부착 뿐만 아니라 철근과 콘크리트의 부착에도 유리하게 작용함을 알 수 있었다.

4) 콘크리트가 7일 양생된 후에 진동을 가하는 경우가 콘크리트 타설 직후 부터 가하는 경우에 비해 철근과 콘크리트간의 부착강도는 증진시키지만 콘크리트간의 부착에는 나쁜 영향을 미친다.

5) 진동유지시간이 길어짐에 따라 대체적으로 접합면의 부착강도는 저하된다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어졌으며 도로연구소장님 및 배두병 실장님, 정수형 선임연구원께 감사를 드립니다.

6. 참고문헌

1) Allen J.H., Carrato, J.L. and McHale P.F., "Guide for Widening Highway Bridges," ACI Structural Journal, Title No. 89-S45, pp. 451-466, 1992.

2) 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.

3) Goto Y., "Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bar," ACI Journal, Vol. 68, No. 4, April, 1976.

4) Soto M.H., "Some Considerations in Widening and Rehabilitation of Bridge," pp. 56-63.

5) 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打継に關する試驗," 日本道路公團試驗所, pp. 103-112, Nov. 1981.

6) 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打継に關する試驗(第2報)," 日本道路公團試驗所, pp. 86-95, Nov. 1982.

7) 前川靜男, 沖野俊廣, "エポキイシ樹胎による新コンクリートの接着に關する研究," 土木試驗所月報, No. 48, pp. 1-6, Aug. 1968.

8) 高木秀貴, "道路橋の鐵筋コンクリート床版に關する調査研究よおび補修補強について," 土木試驗所月報, No. 275, pp. 1-17, 1976.