보수 · 보강재료의 부착 특성에 관한 연구
(Studies on Bond Properties of Repair Materials)

김지선[1], 김경원[1], 한만엽[2], 정영수[3], 홍영균[4]
Kim J.S. Kim K.W. Han M.Y. Chung Y.S. Hong Y.K.

Abstract

This study experimentally evaluate the bonding performance of repair and strengthening materials. It is very important problem to justify bonding properties between repair and strengthening materials and old concrete. Many previous research and investigation showed that bonding strength of reinforcing materials determines the strengthening effect and the durability of repair work. Therefore, menifestation of bonding properties and the improvement of bonding performance of repair and strengthening materials are very important. In order to improve the perforamnce of repair work, it needs to investigate the behavior of bonding materials, such as stress distribution along the bonding area and the long term performance of the material. The target repair methods are steel plate addition technique and repair mortar method, and the test parameters studied in this paper include epoxy thickness, bonding surface texture, and bonding area.

1. 서론

1.1 연구배경

철근 콘크리트 구조물은 일반적으로 지금까지 가장 합리적이고 영구적인 구조물로 인식되어 왔으나, 철근 콘크리트 구조물만이 가지고 있는 특성으로 인하여 숙명적인 결함과 세월이 흐르면서 발생되는 각종 열화현상은 구조물의 유지보수에 대한 또 다른 관심을 고조시키고 있다. 기존에 건설되었던 구조물, 특히 교량의 경우 산업발전의 가속화로 말미암아 점점 증대되는 교통량을 감당할 수 없게 되고 설계하중 자체도 전에 DB-18 로 설계되어 오던것이 최근에는 DB-24 에 맞추어 설계되고 있는 실정이다. 이처럼 교통하중의 증대로 인하여 교량들이 급속도로 노후화됨에 따라 시급한 보수 · 보강 대책을 요구하게 되었다. 이에따라 여러가지 보수 · 보강 방법이 소개되고 적용성이나, 기술적 문제를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

대부분의 보수는 기존의 열화된 콘크리트를 제거하고 새로운 보수재료로 그 부분을 메꾸는 방식이 사용되고 있고, 보강의 경우 교량 연속화 공법처럼 구조물에 구조적 변화를 가하여 외부하중에 의해 작용하는 내력을 분산시키는 방법과 접착제(주로 에폭시)를 이용하여 보강재를 역학적으로 가장 합리적인 곳에 부착시켜 추가하중을 보강재가 받게 함으로서 구조내력을 증진시키는 방법이 쓰이고 있다.

1) 정회원, 아주대학교 토목공학과 석사과정
2) 정회원, 아주대학교 토목공학과 부교수
3) 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수
4) 정회원, 홍익대학교 건축학과 조교수

현재 교량의 내하력을 증진시키기 위한 여러가지 방법들이 소개되고 있는데, 교량 연속화 공법, 강판 접착 보강공법, 탄소섬유 쉬트 접착 보강공법이 가장 보편적으로 여겨지는 공법들이다. 여기서 교량 연속화 공법은 단순보 형식의 교량에 적용이 가능하며 각 지간의 단부에 분리된 부분을 연속화 시킴으로써 지간중앙에 발생하게 되는 과도한 정모멘트를 줄여주는 공법이다. 이 방법의 적용에 있어 가장 문제가 되는 것은 교량의 연속화시 양쪽 지간의 교량상부를 들어낸 후 이곳에 부모멘트에 견딜수 있도록 배근설계 및 시공를 하고 고강도 보수몰탈로 채우게 되는데 이 보수몰탈과 구 콘크리트 간에 과연 휨에 의한 응력을 견딜 수 있을 정도의 부착강도가 확보될 수 있는가 하는 문제이다.

강판 접착 보강공법과 탄소섬유쉬트 접착 보강공법은 강판이나 고인장(장기하중의 경우 약 12,000 kg/cm^2) 섬유 쉬트등의 보강재를 거더의 바닥에 에폭시를 이용하여 완전히 부착시킴으로서 휨에 의해 발생하는 인장력을 보강재가 받아주도록 하는 것이다. 이때 거더의 내력 보강 설계는 보강재가 콘크리트 면에 완전한 부착이 이루어져 콘크리트에 작용하는 응력을 골고루 받을 수 있다고 가정하여 이루어지는데 실제 교량의 거더가 장기하중을 받을 경우에는 보강재가 단부로부터 박리가 발생 할 경우가 있고, 실험으로도 증명된 바 있다. 이는 보강재에 의한 들보 내력 보강 설계시 콘크리트와 보강재사이의 부착강도를 고려하여 이를 안전치 이하로 유지하는 것이 필요하게 된다.

내용을 종합해 보면 알수 있듯이 보수나 보강 모두 2가지 이상물질의 부착(구 콘크리트 + 보수재, 보강재)으로 인하여 효과를 발휘하고 있는데, 장기하중, 충격하중등의 하중조건으로 인하여 부착에서 문제가 발생 할 수 있다.

1.2 연구내용 및 방법

1.2.1 강판단부의 거동 특성

에폭시 접착 강판보강 내력 평가에 대한 실험에서 대부분의 시험체가 극한 내력에 도달하기 전에 접착강판의 단부에서 콘크리트의 사인장파괴가 발생하는 것으로 보고 되고 있다. 콘크리트-에폭시-강판계면이 완전 접착되어 합성거동을 한다는 가정하에 강판단부의 응력집중현상을 연구한 Roberts, Deric, Jones의 제안식을 검토한 결과, 단부거동의 이론을 고찰하면 보강된 단면과 보강되지 않은 단면의 경계점(강판의 단부)근처에서 최대전단응력과 수직응력의 집중현상이 그림과 같이 나타난다.

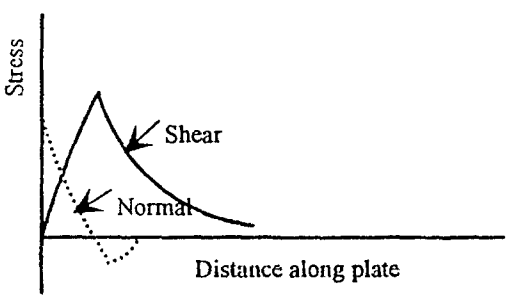

그림1. 강판단부 접착면에서의 응력분포

집중응력의 크기는 주로 접착제의 전단·탄성계수, 강판의 두께·폭·길이의 변수에 따라 달라진다. 본 연구에서는 강판과 콘크리트 간의 변수에 따른 부착강도를 측정하여 서로의 상관관계를 알아보고, 차후 접착계면에서의 응력분포, 장기하중 하에서의 부착 특성 연구등

앞으로 계획되어 있는 연구의 기초자료로 삼고자 한다.

1.2.2 보수몰탈의 부착특성

보수몰탈에 의한 콘크리트 열화부 보수 역시 접착계면 간의 부착이 상당히 중요한 요건이다. 콘크리트와 보수몰탈 접착계면에 응력은 직접전단, 인장, 사전단등의 형태로 작용하고 물론 복합적으로 작용할 수 있다. 본 실험에서는 적절한 시험체를 제작하여 각 응력조건하에서 부착강도를 측정하고 변수에 따른 부착강도의 변화를 측정하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시험체 제작

시험체는 여러가지 부착응력조건을 만들어 주기 위하여 각각 다른 형태를 취하고 있으며, 기본적으로 콘크리트와 강판은 에폭시에 의하여 부착이 이루어지고 보수몰탈과 구 콘크리트는 자체적으로 부착이 이루어진다.

2.2 시험변수

시험체의 부착면적, 에폭시 두께, 접착계면의 상태, 계면의 각도등의 변수는 표1. 과 같고, 각시험체명은 3개의 같은 시편을 지칭한다.

2.3 실험 재료의 특성

2.3.1 콘크리트

본 실험에 사용한 콘크리트 배합재료는 국내산 보통 포틀란트시멘트(TYPE I)를 사용한다. 굵은골재는 최대골재치수 25mm인 쇄석골재를 사용하고, 잔골재는 No.4 체 통과한 모래를 사용한다. 콘크리트 강도는 재령 7일 기준 250 kg/cm^2 이 되도록 한다. 콘크리트 배합에 사용된 각 재료의 배합비는 다음 표3. 과 같다.

표1. 시험체 변수 및 시험체 (강판 부착 시험)

부착 응력 조건	시험체명	시험 변수		
		부착 면적	에폭시 두께	접착계면의 상태
직접 전단	sDS80*10	100*80	10	매끄러움
	sDS80*20		20	
	sDS130*10	100*130	10	
	sDS130*20		20	
휨 인장	sF100*10S	100*100	10	매끄러움
	sF100*10R			거침
	sF100*10S		20	매끄러움
	sF100*10R			거침

표2. 시험체 변수 및 시험체명 (보수몰탈 부착 시험)

부착 응력 조건	시험체명	시험 변수		
		부착 면적	접착계면의 상태	사면의 각도
직접 전단	mDS80S	150*80	매끄러움	90
	mDS80R		거침	
	mDS130S	150*130	매끄러움	
	mDS130R		거침	
압축 사전단	mOS45˚S		매끄러움	45
	mOS50˚S			50
	mOS55˚S			55
직접 인장	mDTS		매끄러움	0
	mDTR		거침	

표3. 배합설계

250 kg/cm^2 강도발현 일수	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프량 (cm)	공기량 (%)	W/C 비 (%)
28	25	8	4	46.7
7	25	8	4	37.9

잔골재율 S/a (%)	단위량(kg/m^3)			
	물 (W)	시멘트 (C)	잔골재 (S)	굵은골재 (G)
41	175	374.73	723.65	1025.73
41	175	461.74	693.64	981.36

2.3.2 에폭시 및 보수몰탈

에폭시와 보수몰탈의 대표적인 물성이 표 4.에 정리되어 있다.

표4. 실험에 사용된 에폭시와 보수몰탈의 물성

구 분	Epoxy1	Epoxy2	보수몰탈	비 고
성 상	A:주 제 B:경화제	A:주 제 B:경화제	A:액 상 B:파우더	
배 합 비 A : B	2 : 1	1 : 1 (체적비)	1 : 6 (중량비)	
비 중	1.65±0.1	1.4	2.15 (혼합후)	
탄성계수 (kg/cm^2)	5.25×10^4			
압축강도 (kg/cm^2)	840~910	560~720	450 ~ 550 (28일강도)	20℃
휨 강도 (kg/cm^2)	308	450~500	120 ~ 150 (28일강도)	20℃
인장강도 (kg/cm^2)	250	330~350		
접착강도 (kg/cm^2)	160~240	100~150	20 ~ 30 (7일, 콘크리트)	20℃
열팽창계수 $mm/mm℃$	6×10^{-5}			(20~ 60℃)

1) 에폭시

Epoxy1 은 강판접착에 사용되고, Epoxy2는 신구 콘크리트 접착용으로 사용된다. 모두 국내 S사로 부터 실험을 위해 공급받은 것이다. 가사시간은 온도가 높음에 따라 짧아지는데 20kg을 기준으로 할때 상온에서 보통 30 - 60분 정도이다.

2) 보수몰탈

시멘트계의 고분자 중합 2성분형 보수몰탈 프리믹스 타입 2성분의 재료를 혼합하면 콘크리트 보수용 또는 표면 허니컴의 면처리를 위한 고강도 몰탈을 형성한다.

각종 콘크리트 구조물 보수시 충진몰탈 즉, 접착부위나 모서리부분 및 honeycomb의 보수 등에 이용한다.

시공방법

(1) 표면처리

시공하고자 하는 콘크리트, 몰탈, 석재등의 표면은 기름이나 먼지등이 없도록 사전에 깨끗이 처리 해야하며 금속재료의 표면은 녹이나 기름이 없도록 깨끗이 표면처리 한 후 시공면을 충분히 물로 적셔준다.

(2) 혼 합(A: 액상 B: 파우더)

A성분 전체를 먼저 적당한 용기에 부은후 천천히 저으면서 B성분을 첨가한다. 고른 농도가 이루어질 때까지 약 2분간 잘 섞어준다.

(3) 시 공

모체의 표면이 습윤할 때 효율이 향상된다. 대면적 보수시에는 접착용 코팅제를 이용하면 유리하며, 쇠흙손으로 작업한다.

(4) 양 생

ANTISOL -E등의 양생제를 이용하여 골고루 도포한다.

(5)주의사항

최저 시공 온도 : 8 ℃

최저 시공 두께 : 3 mm

최대 시공 두께 : 20 mm/1회

시공의 두께는 균질한 모래를 첨가하거나 작업자의 숙련도에 따라 증가시킬 수 있다.

2.4 실험방법

2.4.1 강판 부착 시험

1) 강판의 직접 전단 시험(SP-C)

기존 시험에서는 강판을 한쪽으로만 붙여 정확한 직접전단 조건이 아니었는데 본 시험에서는 2cm두께의 강판을 에폭시를 이용하여 양쪽으로 부착시킴으로서 좀더 정확한 하중재하를 추구하였다. 주의 할 점은 재하시 편심하중이 걸리지 않도록 부재의 수직을 확보한 뒤 재하 해야 한다는 것이다.(그림2. 참조)

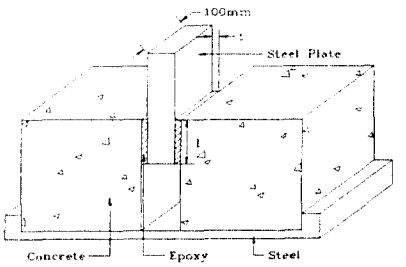

그림2. 강판의 직접전단 부착시험

2) 강판의 휨 부착 시험

강판의 휨 부착 성능이 에폭시의 두께에 따라 어떤 변화를 가지는 지를 알아보기 위한 실험이다. 2점재하로 순수 모멘트에 의한 휨 부착 시험을 실시하였다.(그림3. 참조)

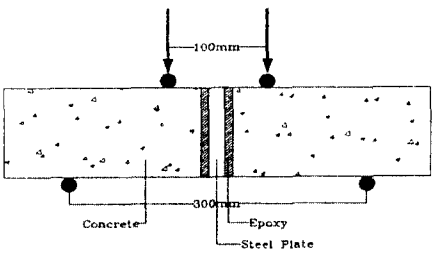

그림3. 강판의 휨 부착 시험

2.4.2 보수 몰탈 부착 시험

1) 보수 몰탈의 직접전단 부착시험

시험방법은 강판의 직접전단 부착시험과 비슷하나, 다른점은 에폭시등의 접착제를 이용하여 부착하는 것이 아니라 기존의 콘크리트에 보수몰탈을 타설, 양생하여 접착제를 사용하지 않는다는 점이다.(그림4. 참조)

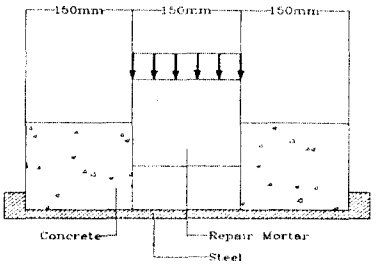

그림4. 보수몰탈의 직접전단 시험

2) 보수 몰탈 직접 인장 부착 시험

부착 계면에 대하여 수직인장으로 하중을 재하하여 순수한 인장력이 가해 졌을 경우 접착계면의 상태에 따른 부착강도의 변화를 파악하고자 한다.

3) 보수 몰탈의 압축 전단 부착 시험

본 시험에서는 보수몰탈과 구 콘크리트와 접착시 접합계면에서의 응력전달 특성에 대하여 조사한다. 접착계면이 50° 에서 70° 의 경사를 가지고 있기 때문에 응력은 전단과 압축이 동시에 작용하게 된다. 계면의 전단전달 해석 기법으로 모아-쿨롱의 전단이론을 이용하였다. 계면의 재료특성인 점착력 c마찰계수 μ 에 대하여 분석하고 이를 정리하였다.

2.5 재하 및 측정방법

보수재료의 부착력 평가를 위한 하중재하는 압축시험기와 UTM을 이용하여 실시하였다. 현단계에서는 변위는 측정치 않았고 단순

히 부착강도만을 측정하였다. 하중재하시 오차를 최대한으로 줄이기 위해 편심에 유의하였고, 접착계면의 상태에 유의하여 공시체를 제작하였다.

3. 결론

본 연구 결과 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) 보수 보강재료는 다양한 부착과 관련된 다양한 거동을 보임으로써 한두가지의 부착 특성 실험으로는 그 특성을 규명하기가 어렵다.

2) 보수 보강 재료의 부착 거동을 규명하는 실험 방법은 다양하게 많이 있는데 이들 사이의 상호관계 규명과 사용 목적에 따른 적절한 평가 방법 또는 측정 방법에 대한 표준화가 미비된 상태이다.

3) 본 연구에서는 부착 특성에 관한 여러가지 실험방법들의 상호관계 규명과 이에 따른 적절한 평가방법을 제시하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 보수 보강 재료 및 공법 개발 연구의 세부과제로서 수행된 연구임을 밝히며, 씨카 코리아(주)의 협동으로 수행되었고 연구원을 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1) Sika, "concrete Restoration Systems"

2) ACI SP-85 "Rehabilitation, Renoration, and Preservation of Concrete and Masonry Structures" ,1985

3) ACI "Repair and Rehabilitation of Concrete - Structures Seminar Course Manual/SCM-16(87)" ,1987

4) Peter H. Emmons, "Concrete Repair and Maintenance illustrated" ,1974

5) ACI "Structural Repair Corrosion Damage and Control Seminar Course Manual" /Scm-8(85)

6) (주) T.S BOND 건설공업 "강판접착 보강공법을 중심으로 한 보수·보강용 에폭시 수지 기술자료" ,1994

7) (주) T.S BOND 건설공업 "탄소섬유 Sheet 보강공법 기술자료" ,

8) 숭실대학교 생산기술 연구소 "에폭시접착 강판보강 철근콘크리트의 역학적 거동에 관한 연구" ,1994