

# 콘크리트구조물의 보수·보강기법의 최근 연구 동향

## The Currency of Recent Studies for the Repair and Rehabilitation of R / C Structures



심 종 성\*

### 1. 서 언

통상 콘크리트 구조물은 시공상, 사용상 또는 환경적 요인으로 인해 노후화 또는 성능저하되고 있으며, 이러한 성능저하현상은 안전점검 또는 안전진단에 의해 그 정도 및 원인이 밝혀진다. 성능저하정도 및 원인에 의거해서 구조물은 보수 또는 보강이 실시되는데, 여기서 보수란 구조물의 성능을 향상시키기 보다는 미관 혹은 방수성 등의 사용성 혹은 기능성을 향상시키기 위한 모든 행위를 일컬으며, 이에 대해 보강이란 구조물이 현재 보유하고 있는 성능을 원상태 혹은 그 이상의 성능을 갖도록 적절한 조치를 취함으로써 안전성을 향상시키는 모든 행위를 일컫는다.

이번 특집에서는 콘크리트구조물의 보수·보강에 대한 내용을 다루고 있는데, 필자는 국내외 연구동향을 기술하도록 의뢰받았다. 이 분야의 연구동향을 언급하려면 우선 보수·보강의 최근 업계 실태를 언급하여야 할 것 같다. 따라서 본 소고의 2장 및 3장에서 이러한 내용을 다루고 있으며, 4장

에서는 이 분야의 국내·외 연구결과를 수집하여 요약정리함으로써 국내 및 국외의 연구동향을 비교하였고, 따라서 이 분야의 국내연구가 앞으로 나아가야 할 방향을 5장에서 제안하였다.

본 소고에서 참조하고 있는 콘크리트구조물의 보수·보강에 관한 외국자료는 1991년 홍콩에서 개최된 ACI 국제학술대회 논문집에 게재된 기술자료 및 최근 10년간의 ACI 발간 Journal 그리고 Concrete International 지 등을 근거로 하였으며, 국내 자료로는 최근 업계에서 발간한 기술자료 및 한국콘크리트학회와 대한토목학회, 대한건축학회 등에서 발간된 논문집과 기술강습회, 학술발표회 자료 등의 내용을 근거로 하고 있다.

### 2. 보수기법

일반적으로 보수는 균열의 원인, 보수의 범위 및 규모, 환경조건, 안전성, 경제성 등을 고려하여 적절한 재료 및 공법 그리고 시기 등을 결정하여 행하여진다. 보수설계란 안전진단결과에 의거하여 보수의 필요여부, 보수범위의 결정, 성능저하원인의 파악, 그리고 보수목적 및 회복목표 등을

\* 정회원, 한양대학교 토목 환경공학과 부교수, 공박

만족하기 위한 적절한 재료 및 공법을 결정하는 행위를 일컫는다.

## 2.1 보수재료

최근 현장에서 사용되고 있는 보수재료는 크게 수지계와 시멘트계로 구분되며, 사용상의 주의사항이나 요구되는 성질은 각각 다르다. 표 1은 보수재료와 보수공법과의 관계를 나타낸 것이다.

### 2.1.1 수지계 보수재료

일반적으로 사용되고 있는 수지계보수재료는 레진모르터, 에폭시수지, 가소성에폭시수지, 탄성 실링재 및 도막탄성방수재 등이 있으며 점도, 가사시간 및 내열온도에 따라 프라이머, 시일재 및 주입재의 선택기준이 달라진다.

표 1 보수재료와 보수공법과의 관계

	재료의 종류	표면 처리 공법	주입 공법	충전 공법
수 지 계 재 료	레진모르터			○
	에폭시수지		○	○
	가소성 에폭시수지		○	○
	탄성 실링재	○		○
시 멘 트 계 재 료	도막 탄성방수재	○		
	폴리머 시멘트 슬러리		○	
	폴리머 시멘트 페이스트	○		
	폴리머 시멘트 모르터			○
	시멘트 휠러	○		
	팽창시멘트 그라우트		○	

토목·건축현장에서 현재 널리 사용중인 에폭시수지를 목적과 용도에 적합한 것을 선택하기 위한 선택기준과 물성은 다음과 같다. 프라이머의 경우는 접착성능을 향상시키기 위한 것으로 피착재의 재질, 함수율 등에 따라 선택하는 것이 중요하며, 저점도의 것으로 침투성이 좋고 건조속도가 비교적 빠른 것이 선정되어야 한다. 시일재의 경우는 접착제의 압입 전에 압력의 누출이나 주입재의 유출을 막기 위하여 균열이나 들뜬 부위의 작은 간극을 밀폐할 때 사용하는 것으로, 퍼티상의 것이 일반적이며, 고점도, 그리스상의 재료를 사용하는 경우도 있다. 주입재의 경우는 사용목적,

공법, 사용부위 및 환경조건에 따라 적절한 점도의 것이 선정되어야 한다.

### 2.1.2 시멘트계 보수재료

일반적으로 사용되는 시멘트계 재료의 종류는 폴리머시멘트슬러리, 폴리머시멘트페이스트·모르터, 시멘트휠러, 팽창시멘트 그라우트 등이 있다. 시멘트계 보수재료는 방청처리재, 단면복구재, 표면피복재로서 사용되는 경우가 가장 많으며, 주입재료도 사용된다.

주입재에 요구되는 성능은 유동성이 뛰어나며 좋은 충전성, 큰 재료분리저항성, 무수축성, 양호한 접착성 및 뛰어난 내구성이 요구된다. 방청처리재, 단면복구재 및 표면피복재에 요구되는 성능은 무수축성, 양호한 접착성 및 뛰어난 내구성이 요구된다.

현재 시멘트계 보수재료로 널리 사용되고 있는 폴리머시멘트모르터는 보통시멘트모르터 및 콘크리트에 비해 내후성, 중성화 등에 대한 저항성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 폴리머시멘트계보수재는 혼합비율에 따라 열팽창계수를 조절할 수 있으며, 시멘트계 재료에 비해 기본적인 역학적 성질이 우수하다.

## 2.2 보수공법

보수공법에는 균열, 박리 및 표면붕괴 등의 성능저하에 대하여 표면처리공법, 주입공법, 충전공법, 핀그라우트공법, 화학부식된 콘크리트의 보수공법 등이 적용되고 있다. 균열의 현상과 발생원인에 따른 보수공법을 분류하면 표 2와 같다.

표면처리공법은 미세한 균열(폭 0.2mm 이하) 위에 도막을 형성하여 방수성, 내구성을 향상시킬 목적으로 사용하며, 균열 내부의 처리와 활동성 균열에 대하여는 균열의 거동에 대처하기 어려운 점이 있어 경미한 균열에 적용하며, 균열부분만을 피복하는 방법과 전면을 피복하는 방법이 있다. 표면처리공법에는 결합부위의 에폭시수지모르터도포공법과 결합부위의 에폭시수지 시일공법이 있다.

주입공법은 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법

표 2 균열의 현상과 발생원인에 따른 보수공법의 분류

보수 목적	균열의 현상·원인		균열의 폭 (mm) (주1)	보수공법(주2)			
				표면 처리 공법	주입 공법	충전 공법	핀그라우트공법
방수성	철근이 부식하지 않는 경우	균열폭의 변동이 작음	0.2이하	○	△		○
		균열폭의 변동이 큼	0.2~1.0	△	○	○	
내구성	철근이 부식하는 경우	균열폭의 변동이 작음	0.2 이하	○	△	△	
		균열폭의 변동이 작음	0.2~1.0	△	○	○	
		균열폭의 변동이 작음	1.0 이상		△	○	
		균열폭의 변동이 큼	0.2 이하	△	△	△	
		균열폭의 변동이 큼	0.2~1.0	△	○	○	
		1.0 이상		△	○		
	철근부식		-			○	

(주1) 균열폭이 3.0mm 이상의 경우는 구조적인 결함을 수반하는 경우가 많으므로, 구조내력의 보강을 필요로 하는 것이 일반적이다.

(주2) ○ : 적절한 공법, △ : 조건에 따라 적절한 공법

으로, 마감재가 콘크리트 구조로부터 들떠 있는 경우에도 적용할 수 있다. 이 공법을 적용함에 있어서는, 시공시기에 맞는 가사시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하다. 주입공법에는 수동식 주입법(수동식 에폭시수지 주입공법, 앵커 피닝 전면 에폭시수지 주입공법)과 저압·저속식 주입법(자동 저압식 에폭시수지 주입공법)이 있다.

충전공법은 균열의 폭이 0.5mm 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르타르 마감 또는 콘크리트를 컷트하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되어 있는 경우와 부식되지 않은 경우에 따라 보수방법이 다르다. 충전공법에는 U컷트 실링재 충전공법, 결합부위 에폭시수지모르타르 충전공법 그리고 결합부위 폴리머시멘트모르타르 충전공법 등이 있다.

핀그라우트공법은 최근 일본에서 개발된 콘크리트의 보수공법으로, 누수되고 있는 균열의 보수에 적합하다. 친수성 일액형 폴리우레탄 수지가 물과 반응하여 체적팽창을 일으켜 균열부를 충전하는 것으로, 기존의 방법으로는 충전이 불가능한 미세한 균열에 적용되며 지속적인 방수성의 확보가 가능, 습윤상태 콘크리트와의 접착성이 양호하며 적용이 간편한 것이 특징이다.

화학적으로 부식된 콘크리트의 보수공법은 부식성 물질에 대한 성능저하 정도를 조사·진단한 후, 바탕 처리, 철근의 방청처리, 단면 복구, 표면 처리의 공정으로 진행된다.

### 3. 보강기법

안전진단 결과, 보강을 요하는 철근콘크리트 구조물의 보강에 있어서는 저하된 내력을 회복할 수 있는 가장 적절한 보강재료와 보강방법을 채택해야 하며, 보강된 부재 내력의 산정은 기존에 사용된 재료와 보강시 사용된 재료의 역학적 특성과 접합체의 특성을 정확히 파악하여 행한다.

#### 3.1 보강재료

보강재료로서 현재 널리 사용되고 있는 것으로는 시멘트계재료, 수지계재료, 강재, 탄소섬유 sheet(신소재) 등을 들 수 있다.

시멘트계 재료는 보강공법의 종류에 따라 적절한 품질의 콘크리트를 사용하고 보강 콘크리트 배합 설계시에 물시멘트비, 단위시멘트량, 팽창재, 특수콘크리트사용, 프리캐스트콘크리트사용 및 고온에 대한 내화벽돌의 사용 등에 대한 사항을 고려해야 한다.

보강용 강재는 일반 구조용 강재가 사용될 수 있으며 보강용 강재의 형태는 철근, P.S.용 강재, 강판, 형강 등으로서 각 보강 공법에 따라 적절히 선택해야 하며 집합용 강재로는 일반볼트 및 앵커용 볼트 등이 사용된다.

신소재인 탄소섬유 sheet는 강판 대용으로 최근 일본에서 개발되어 우리나라에서도 도입되어 보급단계에 있는 최신 보강재이다. 국내에서 사용 중인 탄소섬유 sheet 보강재는 1방향 또는 2방향으로 제작되어 1축 및 2축 인장을 감당할 수 있도록 개발된 제품이다.

수지계 재료는 강판 및 탄소섬유 sheet판을 부재에 접착시키기 위하여 주로 사용되고 있다.

#### 3.2 보강공법

보강공법에는 강판주입공법, 강판압착공법, 보

강보접착공법, 앵커접착공법, 신소재(탄소섬유 sheet)접착공법, 포스트텐션닝에 의한 공법, 프리캐스트 콘크리트 판 설치에 의한 보강법 등이 있다.

강판주입공법은 전처리, 시공, 실링, 주입작업, 주입확인의 절차로 이루어진다. 강판주입공법은 압착공법과 달리 앵커의 인발력을 직접 기대하지 않으나, 시공시에 강판의 자중을 받아야 할 필요가 있다. 일반적으로는 상판에 강판을 접착시킬 경우의 앵커는, 철근의 피복두께 범위내에서 처리하는 것이 원칙이다.

강판압착공법은 앵커설치를 포함한 전처리, 토크렌치에 의한 압착력 도입을 포함한 시공, 양생 및 마감의 절차로 이루어진다.

보강보 접착공법은 성능저하부위의 보수를 포함한 전처리, 에폭시주입공 등의 시공, 양생 및 마감의 절차로 이루어진다.

앵커의 접합공법은 전처리 및 앵커설치한 후 하중방향, 모재강도, 삽입깊이, 모서리부위, 보수의 앵커 및 철근보강콘크리트 등의 요인에 의한 앵커의 내력을 계산하여야 한다.

신소재(탄소섬유 sheet) 접착공법은 성능저하부위의 보수를 포함한 전처리, 탄소섬유 sheet부착을 위한 시공단계, 양생 및 마감의 절차로 이루어진다.

## 4. 국내외 연구동향

### 4.1 국외연구동향

1991년 홍콩에서 개최된 ACI 국제학술대회 논문집 및 최근 10년간의 ACI 발간 Journal 그리고 Concrete International 지 등을 근거로 수집된 연구논문 및 현장작용실험에 대한 보고서는 보수

표 3 국외 보수·보강 연구동향

연구테마	연구논문수	
	보수	보강
재료물성 및 배합	5	-
구조성능시험	9	13
이론 및 해석연구	-	14
현장에서의 적용성	36	9
합계	50	36

및 보강에 대한 내용이 각각 50편과 36편이었으며, 이들을 연구테마별로 분류하면 표 3과 같다.

본 소고에서는 수집된 보수·보강에 대한 자료 중 연구내용을 소개하기 위해 대표적인 것만을 요약하여 정리하였다.

#### 4.1.1 보수재료 연구사례

미국 또는 유럽지역의 보수재료에 대한 연구는 다양하며, 폴리머 수정 몰타르의 특성연구, 금속성 glass fiber보강재 연구, 주입용시멘트재료에 대한 연구, 에폭시주입재의 역학적거동연구, shotcrete의 초기재령에서의 강도추정에 관한 연구, 신소재(탄소섬유, 강섬유)를 사용한 시멘트페이스트와 몰타르의 물성에 관한 연구, 표면보수재료의 몰타르의 특성연구, 몰타르보수재의 분류 및 품질체계에 관한 연구 등이 발표되었다. 발표된 연구논문의 내용을 요약정리하면 다음과 같다.

##### 1) 시멘트계보수재료

•프랑스와 캐나다의 공동연구프로그램(1991)인 “금속성 glass fiber보강콘크리트를 사용한 포장보수의 내구성에 대한 실험 및 현장실험”은 한 냉지역에서 동결과 융해, 건조수축과 온도변화의 영향으로 인하여 콘크리트에 발생하는 심각한 균열에 대한 보수기법과 눈을 제거하는 장치에 의해 발생하는 충격의 영향을 연구한 내용이다. 보수에 사용되는 섬유는 유연성이 있는 1내지 2mm의 폭과 다양한 길이를 갖는 밝은 금속성 ribbon으로서 부식저항특성이 크다. 현재까지는 주로 shotcrete에 의한 섬유보강콘크리트로서 터널보강에 사용되고 있으나 보수의 내구성에 대한 섬유의 영향은 아직까지 체계적으로 규명되지 못한 실정이다. 간단한 공시체에 의한 실험실험은 초기재령단계(1~24hr), 경화단계(24hr이후)에서 체원변화, 초음파측정, Replica technique에 의한 미세균열평가 등에 대하여 실시되었으며, 현장실험이 병행되었다.

•J. Mirza 등(1991)의 “콘크리트구조물의 균열에 대한 시멘트주입재료”에 대한 연구에서는 콘크리트구조물에 발생된 균열을 보수하기 위하여 주입가능한 무기계재료(시멘트, 시멘트그라우트), 유기계재료(epoxy, polyurethanes, poly-

ester 등) 그리고 유·무기혼합재료에 대한 주입 공법 적용을 위한 실내실험이 실시되었다. 본 연구에서는 보통포틀랜드(type 10)과 혼화재 유무의 조기고강도시멘트(type 30) 그리고 두가지 초미립시멘트, 물시멘트비 등 균열주입에 적절한 재료에 대한 실내실험을 수행하여 이들 시멘트성 재료에 대한 물리적, 역학적 특성을 제시하였다.

• L. R. Prudencio, Jr.(1991)의 “초기재령 shotcrete의 강도평가”에 대한 연구에서는 초기재령 shotcrete의 압축강도를 추정하기 위하여 Meynadier Penetrometer, Constant Energy Penetrometer 시험법이 적용되었다. 초기재령의 shotcrete 강도평가는 터널라이닝과 같은 경우에 중요하며, 현재까지 이와 같은 연구는 미흡하였다.

• N. Banthia et al. (1991)의 “얇은 층보수를 위한 미세보강시멘트복합재(microreinforced cementitious composites)” 연구에서는 중량비 5% 까지 포함된 탄소와 강섬유를 혼합한 보수복합재료인 미세섬유로 보강된 시멘트페이스트와 몰타르에 대한 실내실험이 수행되었다. 이 실험으로부터 기존콘크리트와 보수복합재료사이에서의 역학적 거동이 조사되었다.

• J. Mirza(1991)의 “표면보수재료로서의 몰타르의 특성” 연구에서는 현재 시중에서 시판되고 있는 다양한 형태의 보수재료 즉, 기본시멘트 몰타르, 실리카흙몰타르, 시멘트그라우트, 폴리머수정시멘트로 된 몰타르와 에폭시몰타르 등에 대하여 부착강도, 마모-부식저항성, 기존콘크리트와의 열적합성, 침투성 및 탄성계수 등의 물리적 특성 등이 실험을 통하여 연구되었다.

S. T. Chan(1991)의 “콘크리트보수몰타르에 대한 분류 및 품질체계”에 대한 연구에서는 콘크리트보수몰타르에 의한 보수 및 보수의 질을 제어하기 위한 일련의 실험과 행정절차를 개발하고자 하였다. 또한 재료공급자에게 요구되는 일상품질 평가시험, 재료의 공인된 품질자료 그리고 QC시험에 대하여 언급하고 있다.

## 2) 수치계보수재료

• Yoshihiko ohama et al.(1990)는 “다양한 단량체비를 갖는 styrene-butyl acrylate 라텍스를

사용한 폴리머수정 몰타르의 특성에 관한 연구”에서 방수재 및 보수재료인 라텍스를 사용한 폴리머수정 몰타르에 대한 단량체비의 영향을 규명하였으며, 연구결과 라텍스단량체비와 폴리머수정몰타르에서의 폴리머시멘트비가 가장 큰 영향인자 인 것으로 나타났다.

• M. G. Pauri et al.(1991)의 “균열이 발생된 콘크리트에 주입된 에폭시계의 탄성 및 역학적 특성”에 대한 연구에서는 주입된 에폭시계의 영향을 고찰하였다. 손상된 콘크리트구조물을 보수하기 위하여 균열에 주입된 에폭시계의 영향을 평가하기 위하여 제작된 공시체에 대한 실내실험이 수행되었다. 실험변수로는 에폭시의 점성과 탄성계수이다.

## 4.1.2 보수공법 연구사례

기존의 보수재료에 의한 보수공법과 신소재에 의한 보수공법 등 다양한 방법들이 적용되고 있다.

• A. T. Tankut et al.(1991)의 “보수보강된 철근콘크리트부재의 거동”에 대한 연구에서는 일축하중 혹은 조합 일축하중과 반복휨하중을 받는 Jacket보수된 기둥의 거동, 단주하중, 반복하중 및 피로하중을 받는 에폭시부착강판보강보의 거동, 슬래브보수 및 보강방법, 현장타설 R/C infilled frame 혹은 masonry infill에 도입된 구조계 거동개선 및 기존콘크리트내에 새로운 에폭시 강재정착에 대한 연구가 수행되었다.

• G. Andrews et al(1990)의 “전단파괴된 철근콘크리트 보의 보수”에 대한 연구에서는 전단으로 파괴된 시편(10×20cm)을 섬유보강콘크리트로 보수하였다. 보수기법은 파괴면의 콘크리트를 chipping하여 건어낸 후 동일한 stirrup을 설치하고 1% 섬유로 혼합한 콘크리트로 단면을 수복하였다. 전단보수시험편에 대하여 전단강도와 처짐 특성 등을 기본시험체와 비교 고찰하였다.

• Alexander M. Vaysburd (1990)의 “Elevated Roadway Bridge 보수”에 대한 현장적용 보고서에서는 볼티모어/워싱턴 국제공항에 있는 고가교량에 심한 균열, 박리 및 철근부식이 발생되어 실시된 안전진단, 보수설계 및 보수시공 등

에 대하여 기술하였다. 안전진단결과로부터, 박리 부위에는 보수재료로서 pumped 콘크리트가 선정되었고, 보수절차는 철근안쪽까지 chipping 한후 pumped 콘크리트로 보수하였다. 또한 균열부위에는 epoxy sealing, epoxy injection 공법 그리고 표면처리공법이 적용되었다.

• Pete Barlow & Chris Olson(1990)의 “Methyl methacrylate polymer concrete (MMA-PC)에 의한 joint 보수”에 대한 연구에서는 북아메리카에서 joint 보수와 patching을 위해 여러해 동안 MMA-PC가 사용되고 있으며, 기존의 성능저하를 보수하고 joint파괴를 늦추기 위하여 MMA-PC 재료와 적절한 설치기술 등에 대한 보수설계 제한사항이 제안되었다.

• Johan Sifwerbrand (1990)의 “보수된 교량 상판에서의 콘크리트부착 개선”에 대한 연구가 수행되었다. 콘크리트교량상판에 대한 보수양상은 5가지 즉, 성능저하된 콘크리트제거, 노출된 콘크리트표면과 철근 청소, 부식된 철근의 대체, 제거된 콘크리트의 대체 그리고 보수후 양생이다. 보수시의 chipping에 대한 고려사항은 ACI 위원회 546을 참고하였다. 본 연구에서는 콘크리트부착에 영향을 주는 인자는 크게 5가지로 규정하였으며 pull-off test를 적용하여 보수된 콘크리트의 부착 특성을 규명하였다.

• Myles A. Murray(1990)의 “High performance 포장표면내의 공동에 대한 보수”에 대한 연구에서는 High performance 포장시 표면부와 상부철근사이에 공동이 형성될 수 있으며 그 원인은 아직 명확하지 않은 것으로 보고하였다. 공항 활주로의 시공후 정기점검시 발견된 공동에 대한 보수공법은 먼저 공동이 있는 부위의 포장을 제거한 후 수정포틀랜드시멘트콘크리트로 대체하고, 에폭시주입공법이 적용되었다. 보수범위는 full depth와 partial depth로 하였다.

• Eiji Sawada(1990)의 “염해를 받는 철근콘크리트구조물에 대한 보수”에서는 해안에 인접한 교량에서 염해에 의해 박리가 발생된 콘크리트거더 부위에 대한 보수설계와 보수시공을 보고하였다. 적용된 보수공법은 콘크리트모체개선공법인 AR process(Asano Refresh process)이다. AR공법

에서 사용된 재료 및 특성으로서는 높은 접착성, 중성화방지, 염화이온과 염해방지, 품질관리된 라텍스의 사용과 경제적인 시공 등이다.

• N. C. Kothari(1991)의 “해양환경하의 콘크리트파일의 성능저하와 보수의 문제”에 대한 연구에서는 콘크리트파일내 철근의 부식으로 발생된 심한 균열과 박리에 대한 체계적인 조사와 그에 따른 보수기법을 제안하였다. 해수에 노출된 보의 모서리부와 슬래브 또는 기둥과 파일의 표면에 발생된 성능저하를 보수하는 기법은 성능저하된 콘크리트부를 제거함으로써 수행되며, 구체적인 절차를 소개하였다.

• A. M. Paillere et al(1991)은 “유럽에서 구조물의 보호 및 보수에 대한 Standard Activities”에 관한 연구동향을 소개하였다. 1986년에 표준화를 위한 유럽위원회(CEN)의 CEN/TC 104 “concrete performance, protection, placing and compliance criteria”는 콘크리트에 대한 혼화제(TC 104/WG3), 플라이애쉬(TC 104/WG4), 혼화수(TC 104/WG5), 프리스트레싱 텐던에 대한 그라우트(TC 104/WG6), sheet(TC 104/WG7) 등에 대하여 규준을 제정하였다. 그리고 1989년에는 콘크리트구조물의 보호 및 보수관련 규준(TC 104/WG 8)이 만들어졌다.

#### 4.1.3 보강재료 및 보강공법 연구사례

현재 현장에 적용되고 있는 보강재료 및 보강공법은 다양하며, 연구되고 있는 보강공법은 에폭시 접착강판보강공법, 탄소섬유 sheet 접착보강공법, FRP 및 GFRP 접착보강공법, braket 보강공법, post-tensioning 공법 등이 연구되고 있다. 본 소고에서는 이에 대한 연구사례를 발췌 소개하고자 한다.

##### 1) 에폭시접착강판보강공법 :

• MacDonald & Calder(1982)의 “콘크리트구조물의 보강을 위한 강판부착”에 관한 연구에서는 길이 3.5m, 4.9m의 보를 제작하여 외부환경에 방치해둔 후 4점 휨시험을 실시하였다. 실험결과, 철판에 상당량의 부식이 발생하였고, 이로인해 철판과 에폭시사이에 부착강도의 손실이 발생하였으나 휨시험결과에서는 극한하중과 강성이 개선되

었다.

• VanGemert & VandenBosch(1985)의 “강판부착에 의한 콘크리트구조물의 보강”에 대한 효과를 검증하기 위하여 내구성실험이 실시되었다. 즉 자연환경하에서의 부식의 영향을 조사하기 위하여 오랜기간 노출, 피로하중 및 온도하중이 적용되었다. 시험편의 길이는 6m(2개), 단면제원은 300×250mm, 철판두께는 5mm, 폭은 200mm가 사용되었으며, 최대응력 40N/mm<sup>2</sup>을 유발시키는 하중을 주기 30 cycles/min으로 각 시험편에 500,000만회를 가하여 피로시험을 실시하였다. 또한 full-scale 온도하중시험(-20℃~90℃)을 실시하였다.

• Swamy et al.(1987)의 “에폭시접착 강판보강된 철근콘크리트보의 구조거동”에 대한 연구에서는 여러가지 변수를 사용하여 실험한 결과 강판접착공법에 유용한 지식을 제공하였다. 제작된 시험체는 24개이며 단면제원은 155×255mm, 길이 2.5m, 인장철근 직경 20mm(3EA), d=220mm이고 변수로는 에폭시접착두께(1.5, 3, 6mm), 강판은 3mm lapped plate, 1.5mm 2층 plate, 하부 및 측면을 보강한 plate이다. 접착기구로는 에폭시와 볼트가 사용되었다. 균열발생하중은 3종류 즉, 초기균열하중, 사용하중(극한하중의 50%) 그리고 비선형단계하중(70~90%)이 적용되었다. 이 시험으로 부터 철판보강보에 적용된 변수에 대한 parameter study를 수행하였으며 시험체의 휨 파괴 및 연성파괴를 유도하기 위한 제한사항이 제시되었다.

## 2) 신소재(FRP, CFRS)접착보강공법 :

• Saadatmanesh & Ehsan(1990)의 “섬유복합판으로 보강된 보”에 대한 연구에서는 손상된 보를 FRP로 보강하여 실험을 수행하였으며 시험체는 구형보 5개와 T형보 1개를 제작하였고 3가지의 주철근비가 사용되었다. 한 시험체는 전단에 대하여 낮은 전단철근비를 사용하였으며 나머지 시험체는 충분한 전단보강을 하였다.

• Philip et al.(1991)의 “FRP를 사용하여 외부보강된 보”에 대한 연구에서는 FRP 적층판의 형식, 판제원 및 정착법위를 변수로 하여 실험하였다. 실험결과 보강시험체는 휨강성 및 강도가

증가하였으나 연성은 나타나지 않았다.

• Alfarabi et al.(1994)는 “손상된 R/C 보에 대한 FRP보강 효과”에 대하여 실험적으로 고찰하였다. 시험체의 제원은 150×150×1250mm 10개의 저보강보(=0.0098)로서 전단파괴를 피하기 위하여 전단보강하였다. 균열발생하중은 극한하중의 85%로써 처짐 10mm에 해당하며 휨균열은 보 높이의 75% 까지 진전되었으며 최대 균열 폭은 1.5mm 였다.

• T. S Bond건설공업(주)의 “Forca Tow Sheet(탄소섬유) 보강공법”에서는 최근 탄소섬유복합체인 Carbon Fiber Sheet는 에폭시수지로 구조물에 보강되며 도장처리의 유무에도 불구하고 자외선에 의한 성능저하가 거의 발생하지 않는 것으로 보고되고 있다. 그리고 탄소섬유 sheet는 금속 및 GFRP와 비교하여 반복하중하에서의 피로에 대한 저항이 우수한 것으로 나타났으며 크리프특성 또한 GFRP 나 KELVAR에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

## 3) 기타 공법

• Kevin A. Michols & John F. Vincent(1990)의 “다층 주차장구조물의 reinforced overlay 및 shotcrete 공법”에서는 다층 주차장구조물의 철근콘크리트 상판에 발생된 균열과 누수에 대한 보수기법이 보고되었다. 본 연구에서 적용된 보수설계와 시공방법으로서는 누수와 균열을 억제하기 위하여 포장에 대해서는 현장 epoxy-coated 철근과 overlay 콘크리트가 적용되었으며, 상부거더의 전단보강을 위하여 shotcrete공법이 적용되었고, 기존 기둥을 보강하기 위하여 bracket공법이 적용되었다.

• J. E. McDonald(1991)의 “콘크리트구조물의 보수·보강에 대한 새로운 기술의 적용”에 대하여 연구가 진행되었으며, 본 연구에서는 경제적인 시공방법의 개발과 적용에 대하여 다음과 같이 6가지 기술이 적용되었다. 1) 기존콘크리트를 제거하고 대체하는 방법으로서 성능저하된 중량콘크리트의 현장보수가 가능한 재료와 방법의 검증, 2) 수중보수시 씻겨나가지 않는 혼화제를 포함한 콘크리트 혼합물의 개발, 3) lock wall회복에 대한 프리캐스트콘크리트 현장거푸집의 설계, 4) 비용

이 많이드는 노후콘크리트 중력구조물의 구조적 회복의 비용을 줄이기 위한 안정조건외의 개발, 5) 수중에 있는 콘크리트에 앵커삽입을 위한 새로운 방법개발, 6) 보통콘크리트보다 25배 이상 큰 압축강도를 갖는 공동현상에 대한 보수재의 저항성 검증 등이다.

• Robert Tracy et al(1992)의 “성능저하가 발생한 post-tensioned된 1방향 슬래브의 회복”에 관한 연구가 수행되었다. 본 연구에서 적용된 회복방법들의 장점을 고려한 적절한 절차를 소개하였으며, 여러 가지 변수와 각시스템의 장점들 그리고 설계과정과 수행에 있어서의 제한사항 등이 소개되었다. 또한 단계적 절차에 의한 시공과정과 시공과정 중에 발생하는 문제점들에 대한 사항이 검토되었다.

• Thomas E. Nehil(1992)는 “부식된 바닥판-상부 post-tensioning tendon이 부착된 주차장의 보강”에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 부식된 바닥-상부의 post-tensioning tendon이 부착된 구조물을 보강하기 위하여 적용된 절차는 6 단계이며, 각 단계를 요약하면 다음과 같다. 1) 기존 텐던과 정착장치 보수 및 보호, 2) 내부 post-tensioning 대체, 3) 외부 post-tensioning 대체, 4) 외부철근과 함께 post-tensioning 대체, 5) 기존슬래브제거 및 대체, 6) 구조물제거 및 대체 등으로 나눌 수 있다.

#### 4.2 국내연구동향

국내의 보수·보강에 대한 연구논문 및 현장적용실험에 대한 보고서는 90년도부터 95년도까지 보수 및 보강에 대한 내용이 각각 8편과 10편이었으며, 이들을 각 연구테마별로 분류하면 표 4와 같다.

표 4 국내 보수·보강 연구동향

연구테마	연구논문수	
	보수	보강
재료특성 및 배합	4	-
구조성능시험	3	8
이론 및 해석연구	-	2
현장에의 적용성	1	-
합계	8	10

본 소고에서는 수집된 보수·보강에 대한 자료 중 대표적인 것만을 요약하여 정리하였다.

##### 4.2.1 보수재료 및 보수공법 연구사례

국내보수재료에 대한 연구는 주로 폴리머계에 대한 연구이며, 최근에는 폴리머계, 시멘트계(폴리머-시멘트계 포함)에 대한 연구도 일부 실시되었다.

초기강도에 미치는 양생온도의 영향”에 대한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 현재 한국에서 생산되고 있으며 실용가능성이 높은 폴리머를 구입하여 폴리머콘크리트를 제조한후, 양생온도에 따른 초기강도 변화특성을 규명하여 제시하였다. 사용된 폴리머계는 에폭시수지시스템 2종, 폴리에스터수지시스템 4종에 대한 압축강도, 할렬인장강도 및 휨강도 등을 조사하였다.

• 연규석, 허남석(1990) 등은 “각종 폴리머 콘크리트의 강도특성”에 대하여 고찰하였다. 이 연구에서는 폴리머계를 국산 5종(에폭시수지 1종, 불포화폴리에스터수지 4종)과 일본제 3종(에폭시수지 1종, 불포화폴리에스터수지 1종, MMA 모노머 1종) 등 총 8종을 구입하여 선정된 재료에 대한 압축강도, 할렬인장강도 및 휨강도특성을 실험적으로 규명하였다.

• 심종성(1990)의 “철근콘크리트구조물의 성능저하진단 및 보수에 관한 국내현황”에서는 성능저하 정도에 따라 실행되고 있는 각종 보수공법 및 보수재료를 체계적으로 정리하고, 철근콘크리트 구조물의 진단 또는 보수 및 보강을 위한 전문업체의 필요성에 대하여 언급하였다.

• 변근주 외 3인(1991)은 “폴리머를 이용한 콘크리트구조물의 강도증진” 효과를 실험적으로 고찰하였다. 본 연구에서는 (Methyl methacrylate MMA)를 대상으로 제조기법고찰, AE제의 과다사용으로 초기강도발현이 불량한 신축건물의 슬래브구조물을 대상으로 현장침투실험을 적용하여 실구조물에의 강도증진실험을 실시하였다.

• 변근주 외 3인(1991) 등은 “강섬유보강 폴리머침투콘크리트의 기계적 성질에 대한 실험적 연구”를 수행하였다. 본 연구에서는 강섬유보강콘크리트(SFRC)와 폴리머침투콘크리트(PIC)의 두



가지 재료특성을 하나로 집약한 강섬유보강 폴리머침투콘크리트(SF-PIC)의 기계적 특성을 규명하기 위하여 강섬유보강 폴리머침투콘크리트의 제조기술을 개발하고, 총 93개 시험체에 대한 강도 및 기계적 특성이 조사되었다.

- 심종성, 심재원(1993)의 “콘크리트구조물에 발생한 균열보수를 위한 전문가시스템개발”에 대한 논문에서는 균열의 유형을 분류한 후, 각각의 종류에 따른 역학적 또는 기능적 특성을 조사하고, 실제 국내의 현장에서 적용되고 있는 균열의 유형 및 특성에 따른 적절한 보수 및 보강공법을 수집하여 지식베이스를 구축하였다. 구축된 지식베이스시스템을 적용한 균열유형에 따른 가장 일반적인 보수 및 보강공법을 제시할 수 있는 전문가시스템을 개발하였다.

- 심종성 외 5인(1995)등은 “철근콘크리트구조물의 보수·보강 신기술개발”에 대한 연구를 체계적으로 수행하였다. 본 연구에서 선정된 보수재료는 폴리머계2종(에폭시, 폴리에스터), 시멘트계 2종(그라우트, 급결제) 및 폴리머-시멘트계 2종(라텍스, 프리믹스)의 6종이며, 선정된 보수재료에 대한 배합설계, 제작된 시험체에 대한 물리적 및 역학적 성질을 실내실험을 통해 규명하였다. 또한 선정된 보수재료에 대한 적절한 보수공법을 비교하여 그 적절성을 고찰하였다. 또한 보수재료에 따라 보수된 시험체에 대하여 실내 정·동적실험이 실시되어 보수재료에 따른 보수시험체의 정·동적 거동특성을 규명하였다.

#### 4.2.2 보강재료 및 보강공법 연구사례

보강재료에 대한 연구는 기존의 강판보강재와 신소재인 FRP 및 탄소섬유 sheet보강재에 대한 연구가 활발하게 진행중이며, 보강공법은 주로 에폭시접착재를 사용하는 부착공법이 많이 적용되고 있다.

- 박제선 외 2인(1990)의 “강판으로 보강한 철근콘크리트 T형보의 거동에 대한 실험적연구”에서는 철근콘크리트 T형보에 I형강을 보강한 시험체의 거동을 고찰하기 위하여 1/4축소된 철근콘크리트 T형보시험체를 제작하였다. 제작된 T형보에 I형강을 스티드볼트를 사용하여 부착시켰다.

보강된 보의 콘크리트와 강재에 부착된 스트레인이제이지와 보강보 중앙부의 다이알게이지로부터 실험값을 획득하여 보강보의 역학적거동을 규명하고자 하였다.

- 김생빈, 김동신(1990)의 “FRP보강효과에 관한 실험적연구”에서는 무손상인 경우와 상대동탄성계수가 60이 될 때까지 동해를 받아 손상된 휨강도용 공시체(10x10x50mm) 18개 시편에 대하여 FRP 1층 및 2층 으로 접착한 보강시험체를 제작하였다. 본 연구에서는 제작된 FRP 보강시험체와 무보강시험체에 대한 역학적 거동특성을 실내실험을 통하여 비교·고찰하였다.

- 심종성, 유태석(1994)의 “자유진동시험을 통한 강판 및 탄소섬유 sheet로 보강한 R/C Beam의 보강효과연구”에서는 에폭시접착강판보강공법과 탄소섬유 sheet 보강공법을 적용하여 제작한 보강시험체의 보강효과를 검증하기 위하여 진동시험을 실시하였다. 제작된 20개 보강시험체의 건전상태, 손상상태 그리고 보강상태에서 각각 고유진동수를 측정하여 손상계수와 보강계수를 추정하여 보강보의 보강효과를 검증하였다.

- 최완철 외 4명(1994)의 “에폭시접착강판으로 보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동에 대한 연구”에서는 에폭시접착강판공법과 탄소섬유 sheet 보강공법으로 보강된 보시험체의 역학적거동특성을 규명하기 위하여 보강길이(3종), 보강두께(3종), 초기균열 유무, 보강폭(2종), 측면보강, 앵커볼트사용유무, 에폭시종류(2종), 보강재료(2종) 등의 변수에 따라 20개의 보강시험체가 제작되었다. 보강시험체의 역학적거동특성을 규명하기 위하여 실내 정적실험이 수행되었으며, 실험결과를 근거로 보강단부에서의 거동특성을 파악하기 위하여 Roberts, Deric 및 Jones의 이론해와 비교하여 일체거동을 위한 보강길이산정식을 제안하였다.

- 황규표 외 5명(1995)의 “철판압착에 의해 보강된 휨부재의 구조적 거동에 관한 실험 연구”에서는 철판압착보강에 의한 휨부재의 구조적거동을 파악하기 위하여 초기강성과 연성효과 및 종국 내력상승효과, 파괴형태, 에폭시에 의한 철판과 콘크리트의 부착성능 등을 실험적으로 고찰하였

다. 시험체는 휨부재로서 PC제품인 PC계단부재를 임의로 선정하여 철판의 부착유무, 철판부착시 앵커볼트사용유무 등의 변수로 실험이 실시되었다. 하중가력방법은 4점휨실험으로써 보강시험체의 역학적 거동특성을 규명하고자 하였다.

• 심종성 외 6인(1995)의 “강판 및 탄소섬유 sheet로 보강한 R/C 보의 피로거동에 관한 연구”에서는 에폭시접착강판보강공법과 탄소섬유 sheet로 보강된 보시험체의 피로거동을 규명하기 위하여 보강길이(2종), 보강두께(2종), 보강재료(2종) 그리고 응력수준(3종) 등의 변수에 따라 15개의 보강시험체가 제작되었다. 보강시험체의 피로실험이 수행되었다.

## 5. 결 언

국외에서 진행되고 있는 보수재료에 대한 연구는 수지계재료 및 시멘트계재료에 대한 연구가 모두 활발하게 진행되고 있다. 보수공법연구는 주로 현장적용을 중심으로 구조물의 사용환경에 따른 적절한 보수공법의 선정기법 및 경제성 분석 등이 종합적으로 다루어 졌으며 콘크리트구조물의 보수에 관한 표준도 이를 근거로 만들어졌다. 보강재료에 대한 연구는 강판보강재를 이용한 연구에서 시작되어 90년대에는 신소재인 FRP, CF sheet보강재에 대한 실내연구가 실시되고 있다. 또한 기존 강판보강재의 경우는 정·동적실험, 내구성실험 및 이론적고찰을 통하여 적절한 보강설계방안이 이에 제시되었으며, 보강방법의 개발과 응용연구가 진행되고 있다. 보강공법의 경우 실내

실험에서는 에폭시접착공법, 현장적용실험에서는 post-tensioning공법 등을 포함하는 다양한 기법이 적용된 연구결과가 제시되고 있다.

국외에서 진행되고 있는 콘크리트구조물의 보수 및 보강기법에 대한 연구방향과 성과를 살펴볼 때 국내의 이 분야연구가 더욱 활성화되어야 함을 알 수 있으며 국내실정에 적합한 보수·보강기법을 개발하기 위해서는 장래의 연구방향이 다음과 같아야 할 것으로 사료된다.

(i) 국내 보수재료에 대한 연구는 수지계 일부 재료에 대해서만 수행되었으며 시멘트계재료에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 콘크리트구조물의 보수재료로서 기존모체콘크리트의 제물성과 유사한 시멘트계보수재료의 개발 및 연구가 요망된다.

(ii) 현재까지 보수공법에 대한 연구는 일부 실내구조성능실험만이 수행되었다. 따라서 현장적용과 구조물이 처한 특수한 환경하에서의 보수공법선정, 보수절차 등을 최적화하기 위한 연구가 필요하며, 체계적이고 경제적인 보수업무가 이루어지기 위하여서는 이와 같은 연구결과를 근거로 보수에 관한 제기준을 작성하는 것이 필요하리라 사료된다.

(iii) 보강재료는 강판과 FRP 및 탄소섬유 sheet재가 사용되고 있으나 아직 현장적용실험과 보강설계 등에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 그리고 보강공법은 주로 에폭시주입 또는 강판접착공법에 대한 연구가 진행되고 있으나, 이외 다른 보강공법에 대해서도 많은 실험과 연구가 필요할 것으로 사료된다. 