

4각형 고강도 콘크리트 기둥 단면 변형을 통한 CFS Jacketing 보강방법 개발

Development of CFS Jacketing Retrofit Method for Rectangular High Strength Concrete Columns by Cross Sectional Shape Modification

이 종 길¹⁾ 김 장 호^{2)*} 박 석 균³⁾ 김 진 근⁴⁾
Lee, Jong Gil Kim, Jang-Ho Jay Park, Seok kyun Kim, Jin Keun

Abstract

Numerous past studies have shown that safety and serviceability of many concrete infrastructures and buildings built in 1970's have far less strength capacities than their original intended design capacities, thereby requiring repair and strengthening. Currently, aged concrete structures are being repaired using various methods developed in the past. Unfortunately, these methods do not consider the specific conditions that these members are under, but they merely attach repairing materials on the external surface for random strength improvements. Therefore, in order to improve repair and strengthening methods by considering composite behavior between repairing material and structural member, enhanced construction methodologies are needed. Also, the enhanced repairing and strengthening methods must be able to be implemented on structural members constructed using high performance concrete to meet the present construction demand of building mammoth structures. Therefore, in this study, a repairing and strengthening method for retrofitting high strength concrete (HSC) columns that can effectively improve column performance is developed. A square HSC column's cross-sectional shape is converted to an octagonal shape by attaching precast members on the surface of the column. Then, the octagonal column surface is surface wrapped using Carbon Fiber Sheets (CFS). The method allows maximum usage of confinement effect from externally jacketing CFS to improve strength and ductility of repaired HSC columns. The research results are discussed in detail.

Keywords : CFS, cross sectional shape modification, repair, retrofitting, Jacketing, HSC (high strength concrete)

1. 서론

건설 기술의 발전과 세계 인구 증가에 적합한 공공시설물의 안전성에 대한 대중의 관심이 날로 높아지고 있다. 현재 기존 구조물에 대한 보수·보강 및 재건축이 활발히 진행되고 있는 가운데 1970년대 이래로 건설되었던 수많은 철근콘크리트 건축구조물과 사회기반 시설물들의 장기간 진행된 노후화 문제가 심각한 실정이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 노후화된 구조물에 대한 설계연한 확보와 동시에 구조안전성을 확보하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 이를 위해 철근 및 콘크리트 자체를 보강하는 기법과 탄소섬유, 유리섬유 및 아라미드섬유재료 등과 같은 복합재료를 구조물에 적용하여 보강하는 방

법에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다(김성배 등, 2008; 2010; 서수연 등, 2007; 이대형 등, 2007). 이들 복합 재료를 사용한 보강공법의 공통점은 에폭시 등의 접착제를 사용하여 섬유보강재를 부재의 표면에 부착함으로써 구조물의 강도, 내력 및 내진성능을 향상 시키는 특징을 지니고 있다. 따라서 지금까지의 연구는 특수한 상황 또는 단면 형상조건과 같은 세부 내용 반영은 미흡하였고, 일반적인 부재 외측부 전체 면적에 에폭시로 보강섬유를 도포하는 보수·보강하는 방법들이 주로 연구되어 왔다(신성우 등, 1998; 심중성 등, 1996; 홍성남 등, 2007). 그러나 외부부착 보수·보강공법에서는 접착의 불균질성, 콘크리트 통기성에 대한 문제들이 존재하고, 사각기둥 및 원형기둥과 같은 단면 형상의 특성을 고려하

1) 학생회원, 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석박사통합과정
2) 정회원, 연세대학교 토목환경공학과 부교수
3) 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수
4) 정회원, KAIST 토목공학과 교수

* Corresponding author : jjhkim@yonsei.ac.kr 02-2123-5802

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

지 않고 진행되므로 보수·보강의 효율성이 매우 낮다고 볼 수 있다. 또한 일반 부착공법은 강성보강 및 전단보강에 주안점을 두고 있으나, 보강섬유에 의해 가해지는 횡구속압이 작기 때문에 최대하중 재하 시 변위 저감효과를 기대하기 어렵다. 압축응력을 받는 부재에서 가장 효과적인 보수·보강 방법은 횡구속 상태를 극대화 할 수 있는 공법이므로 구속효과를 최대한 유발 시킬 수 있는 방법이 최적의 보수·보강 방법이라고 할 수 있다.

철근 콘크리트부재를 횡방향 압축응력으로 구속할 경우 부재의 연성이 증가한다는 사실은 Woolson이 1905년에 발견 하였다. 그 후 100년이 지난 지금까지 콘크리트 구속력에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 최근에 Mander et al(1998)은 구속된 콘크리트의 응력-변형률 곡선의 이론적인 모델을 제시하였으며, Chai et al (1991)은 원형 콘크리트 기둥의 내진성능 검토를 한 실험을 수행하였다. 또한 Hosotani et al(1997)은 CFS로 보강된 콘크리트의 응력-변형률의 관계에 대한 실험식을 제시 하였고, Saadatmanesh et al(1998)은 적층이론을 이용한 CFS 전단보강 휨부재 거동 해석에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 기존의 연구들은 콘크리트 부재의 보수·보강에 사용되는 재료의 역학적 거동 및 특성에 관한 연구에 주안점을 두었으며, 단순한 철근콘크리트 구조물의 보수·보강에 보강재 부착 방법을 통한 보강효과를 파악하고자 하는 내용을 다루고 있었다. 따라서 기존의 연구들은 보수·보강 재료의 역학적 거동 해석에 관한 연구와 기존 부재를 효율적으로 보수·보강하는 새롭고 독창적인 방법 연구에는 미흡하다고 할 수 있으며, 특히 대상 구조물의 변형과 내력을 고려하여 역학적 거동 해석을 통한 보수·보강 설계와 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 일반적으로 널리 사용되는 외부 표면부착(Jacketing)을 통한 기둥의 보강공법에서는 외부 Jacket으로 인해 내부의 콘크리트는 구속압을 받게 되는데, 이로 인해 균열발생이 방지되고 강도증진 효과가 있다. 하지만 기둥의 단면 형상에 따라 다압축 발생의 효율은 매우 다르게 나타나므로 횡방향 구속효과를 고려한 새로운 보수·보강 방법의 개발이 필요한 실정이다.

21세기에 들어 국내외 건설 분야의 건설동향은 초대형화, 초고층화, 초장대화를 지향하고 있다. 이러한 대형 구조물들의 건설을 위하여 고강도 및 고강성 건설재료의 개발과 동시에 경량화가 가능한 초고강도 콘크리트의 개발이 각광을 받고 있다. 고강도 콘크리트(High Strength

Concrete : HSC)는 높은 압축강도 발현으로 단면을 축소하여 구조물의 자중을 경감시켜주기 때문에 초고층 및 초장대 구조물에 사용될 수 있으며, 현재의 건설 추세에 부합하는 최적의 건설재료라고 볼 수 있다. 그러므로 이러한 실정을 고려하여 본 연구에서는 고강도 콘크리트 기둥시편을 보수·보강하는 방법으로 횡구속을 극대화 시킬 수 있는 jacketing 공법을 개발하는 것을 목적으로 두고 있다. 보강방법의 세부 내용은 다음과 같다. 사각형 기둥을 원형에 가까운 팔각형으로 변형 시킨 후 CFS로 jacketing 함으로써 단면형상 변형에 따른 횡구속 효과를 고찰하고, 고강도 콘크리트 기둥의 보수·보강방법에 대한 연구를 통해 강도증진 효과 및 파괴거동을 파악하고자 한다. 세 가지 형태의 부재를 통해 부재 단면 형상 변경에 따른 보강효과를 파악하고, 실험결과를 통하여 사각 휨-압축부재의 효과적인 보수·보강 방법에 대한 방안을 제시하고자 하며, 휨-압축 시험체의 최대하중 거동과 파괴양상을 파악하고, CFS로 보강된 콘크리트 휨-압축부재의 축 응력-축 변형률과 휨 응력-최적 곡률관계를 비교하고자 한다.

2. RC 부재의 CFS보강 및 파괴실험

2.1 실험개요

CFS로 보강된 고강도 기둥 부재의 휨-압축 성능을 파악하기 위해서 4가지의 조건을 가지고 있는 다음과 같은 시편을 실험하였다.

- (1) 무보강 사각기둥
(Unrepaired Undamaged Square Column : UUSC)
- (2) CFS로 보강한 사각기둥
(Repaired Undamaged Square Column : RUSC)
- (3) 사각형 부재에 사다리꼴 프리캐스트 부재를 부착시켜 팔각형으로 변형후 CFS보강한 팔각기둥
(Repaired Undamaged Octagonal Column : RUOC)
- (4) 파괴된 사각형 부재에 사다리꼴 프리캐스트 부재를 부착시켜 팔각형으로 변형한 후 CFS로 보강한 팔각기둥
(Repaired Damaged Octagonal Column : RDOC)

Table 1 Number of specimens used for the test

	R/C		합계
	4각기둥	UUSC	
	RUSC	3	6개
8각기둥	RUOC	3	8각형
	RDOC	3	6개

Table 2 Concrete mixture proportions

굵은 골재 최대치수 (mm)		20
물-시멘트 비 (%)		28.0
슬럼프값 (cm)		22.0
단위재료량 (kgf/m ³)	물	166
	시멘트	593
	잔골재	593
	굵은골재	1186
	고성능 감수제 (WR Grace)	7.12
압축강도 (MPa)	7일	43.8
	14일	48.8
	28일	59.3
응결시간 (h/m)	초결	4 / 20
	종결	6 / 0.5

휨-압축부재 시편은 사각과 팔각 단면을 undamaged 와 damaged로 각각 3개씩 제작하여 총 12개의 부재를 실험에 사용 하였으며 Table 1에 정리되어 있다. 변위 제어법(0.003mm/sec)을 사용하여 최대응력에 도달하기까지의 거동과 파괴양상을 고찰 하였으며, CFS로 보강된 콘크리트 압축부재의 응력-변형률과 응력-곡률관계를 실험적으로 도출하였다.

2.2 시험체 제작

2.2.1 배합설계

본 연구에서 사용된 콘크리트는 국내에서 시판되는 일반 보통 포틀랜드 시멘트로 배합 하였으며, 배합 압축강도는 60MPa이다. 굵은 골재 최대치수는 20mm이며, 표면건조 포화상태를 유지하였다. 모든 시험체는 상온에서 28일간 기건양생 하였다. Table 2는 콘크리트 배합비를 나타내는 배합 설계표이다.

2.2.2 시험체의 단면형상

사각형 단면의 휨-압축부재를 원형에 가까운 팔각형으로 보수·보강하여 횡방향 구속 효과와 부재 강도를 향상 시킨 후 보수·보강 효과를 파악하고자 하였다. Fig. 1(a)

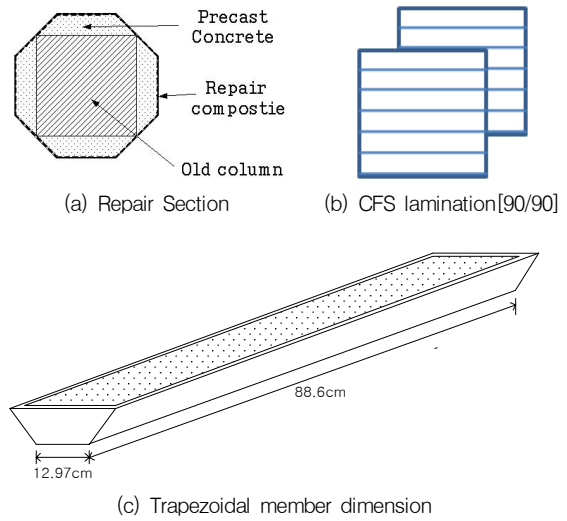


Fig. 1 Section alteration and Dimensions of trapezoidal member

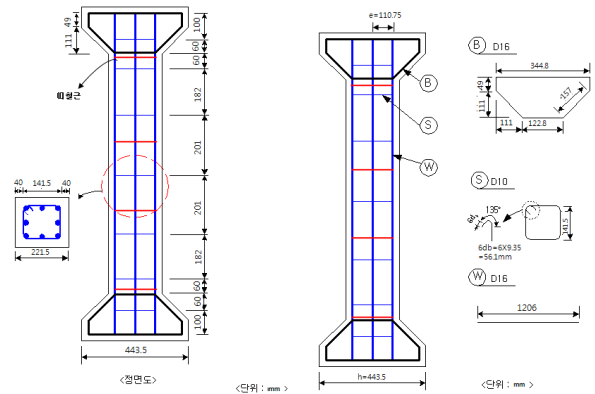


Fig. 2 Specimen details and dimensions

는 사각형 휨-압축부재에 프리캐스트로 제작된 사다리꼴 보강 부재를 기둥 표면에 부착시킨 후 CFS로 jacketing 하여 원형에 가까운 팔각형 압축부재로 보수·보강한 단면형상을 보여주고 있다. 프리캐스트 사다리꼴 시편은 내력을 직접적으로 받는 내력 구조부재가 아닌 기둥 단면형상을 변경시키는 비내력 부재이다. 그러므로 이러한 실험조건들은 실험결과를 분석하는데 적용될 것이다. Fig. 1(c)는 팔각형으로 변경하기 위한 프리캐스트 사다리꼴 시편의 치수를 나타내고 있다. Fig. 2는 사각형 철근 콘크리트 기둥의 치수와 철근 배근 상세 설계도면을 보여주고 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 피복두께를 40mm로 하여 철근을 배근 하였으며, 본 실험은 CFS보강을 통한 강도증진 효과를 파악하기 위한 실험이므로 최소 피복두께는 고려하지 않았다. 띠철근은 D10을 사용 하였으며, 띠철근의 배근간격은 225mm로 배근하였다.

Table 3 CFS material properties

Property	Unit	Capacity
인장강성도(E_1)	MPa	2.31×10^5
횡인장강성도(E_2)	MPa	7.91×10^3
전단강성도(G_{12})	MPa	3.90×10^3
최대포아송비(ν_{12})	-	0.31
인장강도(F_{11})	MPa	4.42×10^3
횡인장강도(F_{22})	MPa	30.03
전단강도(F_6)	MPa	981
극한인장변형률(ϵ_{11}^U)	-	1.9
극한횡인장변형률(ϵ_{22}^U)	-	0.8
압축강도(F_{1c})	MPa	1.47×10^3
횡압축강도(F_{2c})	MPa	68.67

2.2.3 시험체의 CFS보강

본 연구에 사용된 CFS는 국내에서 판매되는 SK-N300 제품을 사용하였다. 에폭시 레진을 사용하여 콘크리트 표면에 Fig. 1(b)에서 보여주는 [90/90]의 적층방향으로 일반적인 에폭시 접착방식을 사용하여 부착시켰다. CFS적층방향을 [90/90]로 한 이유는 탄소섬유의 영향을 콘크리트 구속에만 적용하고 휨 또는 압축력에 대한 저항성을 배제하기 위해서이다. CFS의 자세한 재료의 특성은 CFS 생산업체가 제공한 재료 특성을 Table 3에 정리해 놓았다

CFS 보강방법은 다음과 같다.

- (1) CFS섬유를 재단하고, 시험체 표면의 요철 및 파손 부위를 보정하는 표면처리 및 모따기과정을 거친다.
- (2) 프라이머를 도포한 후 접착 수지인 에폭시 수지를 이용하여 CFS를 부착시킨다.
- (3) 단부에 4겹, 중부에 2겹을 에폭시 수지를 이용하여 부착시킨다.
- (4) 박판사이의 단차는 1mm 이내로 하였고, 시험체가 완벽히 마르도록 한 후 상부에 레진을 도포한다.

접침길이는 100mm를 확보하였으며, 여러 겹으로 적층했기 때문에 상부에 도포된 레진이 완전히 마를 수 있도록 충분한 시간 간격을 두고 제작하였다. 제작시 최소 1주일간 양생을 시켜 수지의 경화반응이 충분히 진행되도록 하였다. Fig. 3(a)와 3(b)는 각각 CFS 보강방법과 보강된 시험체의 모습을 나타내고 있다.

2.2.4 단부처리 및 시험체 준비

본 실험에서는 압축력을 편심으로 재하하여 파괴를 유

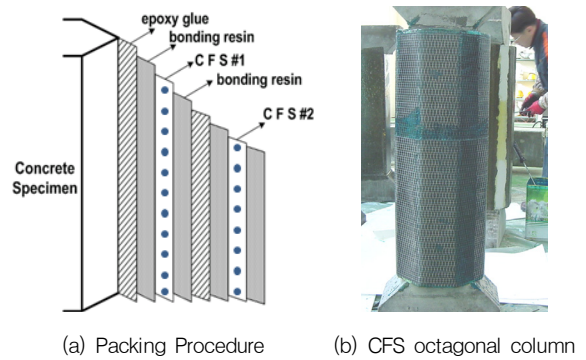


Fig. 3 Packing procedure and CFS octagonal column

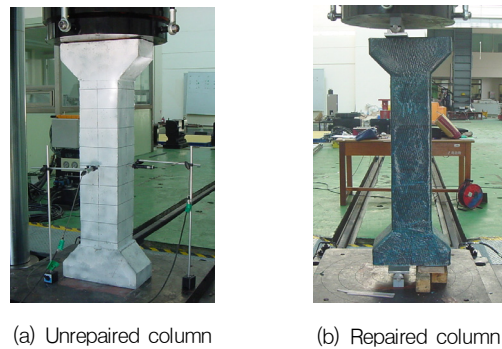


Fig. 4 Overall view of test setup

도하기위한 휨-압축실험이기 때문에 압축부 혹은 가압면의 조기파괴를 막기 위해 단부를 4겹으로 적층하였고, 중앙부는 2겹으로 적층하였다. 시험체는 하중계의 중앙부분으로 이동시키기 위해 수평자를 이용하여 수직·수평을 유지 하면서 가압판 위로 안전하게 이동 시켰으며 700ton 용량의 만능시험기(Universal Testing Machine : UTM)로 하중을 변위재하 하였으며 0.02mm/sec의 속도로 재하를 실시하였다. Fig. 4(a)와 4(b)는 각각 CFS 보강 전·후의 시험체 실험준비 장면이다. Fig. 4(b)에서 나무받침은 하중 재하전 균형을 유지하지만 하중재하가 되면 편심을 받아 기둥에 좌굴이 발생하기 때문에 나무받침은 영향을 미치지 않았다.

3. 실험결과 및 분석

시험체의 파괴양상은 대부분 대각선 방향을 따라 파괴 균열이 발생하였고, 대부분의 시험체는 취성적으로 파괴되었다. Fig. 5는 시험체의 파괴양상을 나타내고있다. 보강된 팔각 시험체는 보강 전 사각 시험체보다 최대하중이 증가함에 따라 최대처짐 또한 증가하였으며, 보강재의 항복과 동시에 시험체의 파괴형상을 확인 할 수 있었으며,

Table 4 Test results of maximum deflection, load, compressive strength, and bending strength.

시험체 종류	최대처짐 (mm)	최대하중 (KN)	최대강도 (MPa)	휨강도 (MPa)	비고 (파괴양상)
UUSC	1.73	531.51	10.8	23.5	인장측
	1.77	452.93	9.2	20.0	인장측
	1.89	469.31	9.6	20.7	인장측
RUSC	2.04	446.36	9.1	19.7	인장측
	1.87	532.98	10.9	23.5	인장측
	2.66	661.48	13.5	29.2	인장측, 작은하중
RUOC	3.16	1034.86	15.0	27.4	인장측, 압축측
	4.54	1359.18	14.9	27.2	인장측, 압축측
	4.53	1249.11	16.5	30.2	인장측, 압축측
RDOC	4.70	1221.54	12.7	23.3	인장측, 지압파괴
	4.74	1210.95	16.7	30.5	인장측, 지압파괴 단부파괴
	4.96	1345.34	15.4	28.1	인장측, 지압파괴

고강도 콘크리트의 사용으로 인해 급격한 취성파괴형상이 나타났다고 판단된다. 본 실험결과를 통해 축응력-축변형률 관계곡선 및 휨 응력-최적 곡률곡선을 도출하여 신뢰도 높고 논리적인 결과로 최종적인 결과를 분석하고 자하였다. 실험을 통해 얻은 결과는 식(1)과 (2)를 이용하여 축응력과 휨응력을 각각 계산하였다.

$$\sigma_A = P/A \quad (1)$$

$$\sigma_M = \frac{M}{I}y \quad (2)$$

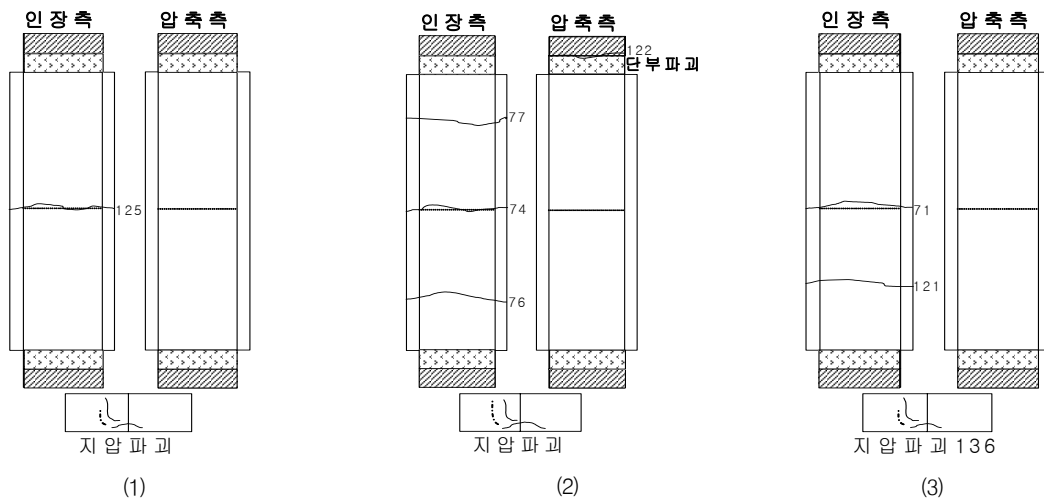
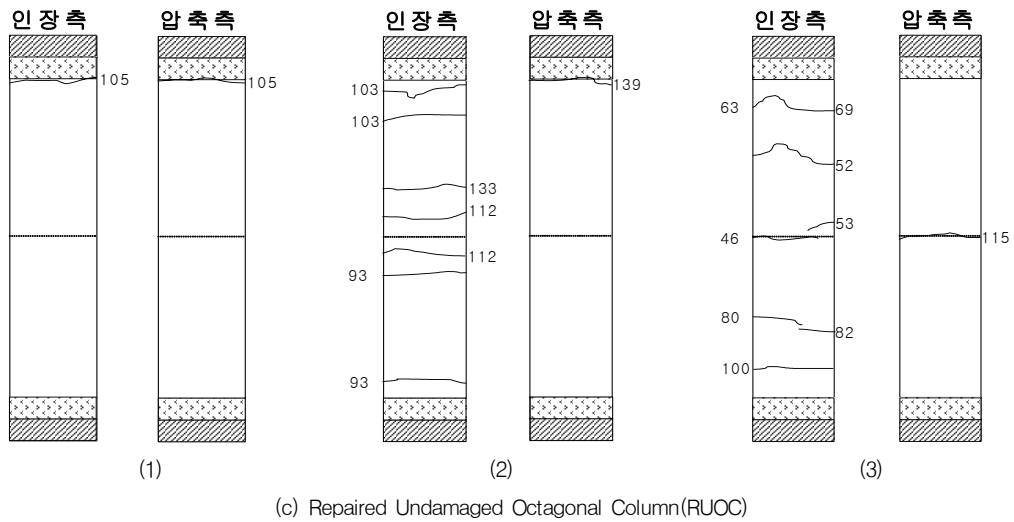
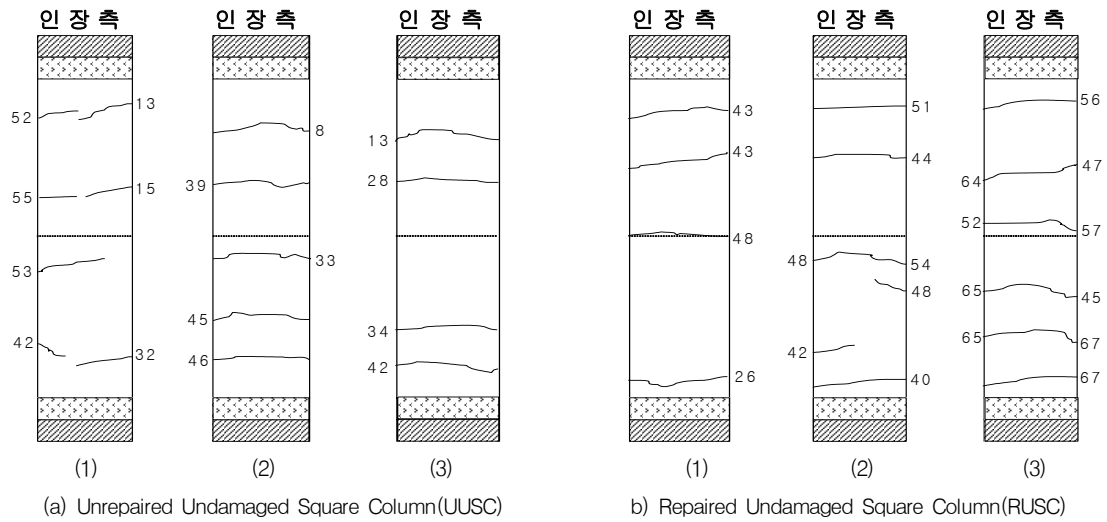
여기서, P는 축 하중, A는 시험체 총 단면적(사각형 단면적 또는 팔각형 단면적은 사각형단면적+(4×프리캐스트 사다리꼴 단면적)); M(=Pe)은 휨모멘트; e는 하중의 편심거리, I는 단면 2차모멘트, y는 부재 단면 깊이 즉, $\frac{h}{2}$ 이다. 변형률은 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ 식을 사용하여 계산 하였으며, 여기에서 L은 단부를 제외한 높이 886mm로 정하였으며 편심 e는 80mm이다. 곡률은 편심을 이용하여 $\frac{\epsilon}{e}$ 로 계산하였다. Table 4는 실험을 통해 얻은 최대처짐 및 최대하중을 토대로 계산한 최대 압축강도와 최대 휨강도를 보여주고 있다.

RUSC의 최대하중이 UUSC보다 약간 더 크게 측정된 이유는 CFS의 적층각도를 90°로 보강하였으므로 시험체는 횡구속력이 최대화되지만, 휨 모멘트에 대해 보강효과는 최소화되었기 때문이라고 판단된다. RUSC와 RUOC의 최대하중을 비교해보면 RUOC의 최대하중이 RUSC의 최대하중에 비해 2배~3배 더 큰 것을 확인할 수 있다. 그러나 RUOC와 RDOC는 비슷한 최대하중값을 보여주고 있다. 이 결과는 CFS의 적층각도를 90°로 보강했을 경우 사각형 단면에서의 보강효과는 크지 않지만, 단면을 팔각형으로 변형시킨 후 CFS를 보강하면 보다 큰 강도증진효과를 얻을 수 있음을 검증 할 수 있었다. 이는 단면의 형상이 원형에 가까워질수록 강도 증진효과가 크기 때문이다. 이러한 단면형상의 변화에 따른 CFS 보강 방법을 적용한 사각형 RC부재는 하중저항능력이 월등히 증가한다는 것을 보여주고 있다.

3.1 파괴형상

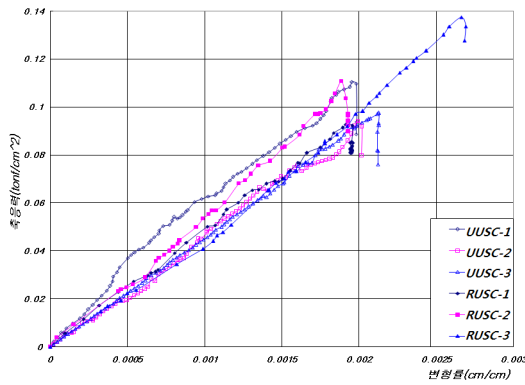
Fig. 5(a)와 5(b)에서는 UUSC와 RUSC의 유사한 파괴형상을 보여주고있으며, 그 이유는 [90/90]으로 CFS를 보강할 경우 RUSC의 휨과 압축에 대한 저항력이 크게 향상되지 않았기 때문이다. UUSC와 RUSC시편의 인장측 파괴형상을 각각 나타내고 있는 Fig. 5(a)와 5(b)에서는 균열이 전반적으로 인장면에서 시작하여 전파되는 양상을 볼 수 있었다. 인장균열 역시 고강도 콘크리트 기둥에서 흔히 관찰되는 취성적인 파괴형상을 가진것으로 나타났다. UUSC, RUSC, RUOC, RDOC의 파괴형상은 각각 Fig. 5(a), 5(b), 5(c), 5(d)에서 보여주고있다. RUOC의 경우에는 인장측과 압축측에서 모두 균열이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

RUOC(1)과 RUOC(2)시험체는 모두 최대하중에 도달할 때 코핑부의 균열에 의해 파괴가 발생하였고, 그 이유는 단면형상을 변형시키는 과정에서 사다리꼴 부재가 부착될 때 발생하는 극한 불연속성때문이라고 판단된다. 그러나 RUOC(2)시험체는 RUOC(1)보다 복부에 더 많은 균열이 발생하였다. 이유는 RUOC(1)은 인장측 연결부에서 먼저 파괴가 발생하였기 때문에 RUOC(2)와 약간의 차이가 난 것으로 판단된다. RUOC(3)시험체는 Fig. 5(c)에서 보여주는 바와 같이 매우 안정적인 파괴형상을 보이고 있다. 세 개의 시험체의 평균 압축강도는 15.7MPa로 나타났다.

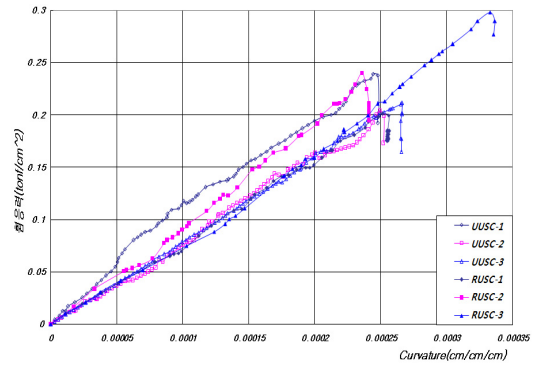


(d) Repaired Damaged Octagonal Column(RDOC)

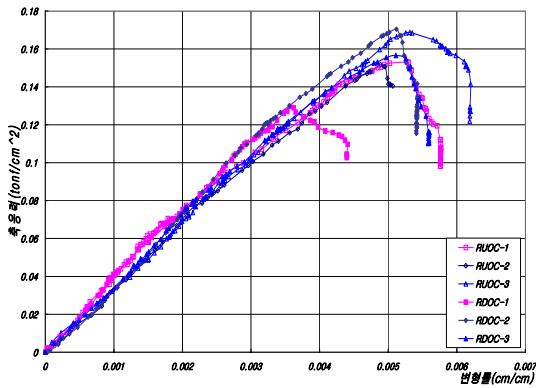
Fig. 5 Failure pattern of columns



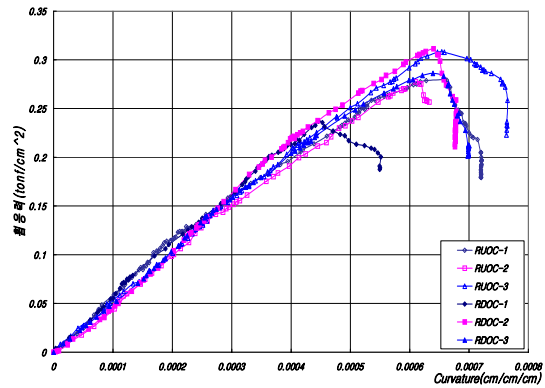
(a) Axial stress versus strain of UUSC and RUSC



(b) Bending stress versus curvature of UUSC and RUSC



(c) Axial stress versus strain of RUOC and RDOC



(d) Bending stress versus curvature of RUOC and RDOC

Fig. 6 Test results

Fig. 5(d)는 RDOC(1), (2), (3)시편의 균열형상을 나타내고있다. RDOC시험체의 파괴는 RUOC의 파괴형상과 달리 모두 중앙부에서 파괴가 발생하였으며, RDOC의 균열형상은 압축파괴형태를 나타내고 있지 않았다. RDOC의 모든 시험체는 이미 파괴가 발생한 UUSC의 시험체들을 보수한 것이기 때문에 기둥의 단부가 대단히 취약해져서 최대강도에 도달하기 전에 조기파괴가 발생하였기 때문으로 판단된다. 특히, RDOC(2)시험체의 최종파괴형상은 압축축의 단부에서 발생한 것을 알 수 있었고, 세 시험체 모두에서 단부지압파괴가 발생하였으나 강도는 RUOC 시험체들과 거의 동일한 값인 15.7MPa로 나타났다. 위와같은 결과는 프리캐스트 사다리꼴부재를 이용하여 사각형의 기둥을 원형에 가까운 팔각형의 기둥으로 보강할 경우 구속효과를 극대화하여 강도보강효과를 나타낼 수 있었다. 또한 보강전후의 최대처짐과 최대강도를 비교해보면 알 수 있듯이 사각형기둥과 팔각형기둥은 같은 CFS로 보강을 하였음에도 불구하고 단면형상이 원형에 가까운 팔각형일 때, 더 큰 보강효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 축하중-축변형률 및 휨응력-최적 곡률관계

실험결과를 통해 얻은 축응력-축변형률과 휨응력-최적 곡률의 관계를 Fig. 6(a)~6(d)에서 보여주고 있다. RUSC는 UUSC에 비해 변형률과 곡률이 약간의 증가를 보였으나, 강도는 거의 비슷한 값을 나타내고있다. 따라서 사각단면을 가진 시험체의 CFS보강은 큰 보강효과를 확인할 수 없는 것으로 판단된다. 또한 압축부재에서 단면변형 및 보강 전후의 세장비의 결과를 살펴보면 축응력에서 2.0~6.9MPa의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 단면변형이 연성파괴거동 유도과 동시에 CFS보강을 통한 성능향상에 효과적인 것으로 판단된다. RUSC(3) 시험체의 축응력, 변형률, 휨응력, 곡률은 다른 두개의 시험체보다 30~40% 정도 더 증가된 값을 보이고 있다. 하지만 이것은 일반적인 경향이 아닌 것으로 판단된다. RUOC와 RDOC는 강도와 변위값에서 모두 비슷한 결과를 나타내고 있으므로 사각형단면을 팔각형단면으로 변형시키는 방법을 통해 손상된 기둥의 저하된 성능을 회복할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 RDOC(1)은 다른 RDOC 두개의

시험체 결과값에 비해 20%정도 낮은 강도를 나타내는 것으로 확인되었다. 또한 CFS로 보강하기 전 사각단면과 팔각단면의 결과를 비교해보면, 팔각단면은 사각단면에 비해 강도는 최대 70% 수준까지 증가를 보였고, 변형률은 최대 250% 수준까지 증가 하였다. 모든 시험체는 고강도 콘크리트(HSC)를 사용하였기 때문에 극한 취성과파괴거동을 보이고 있으나 팔각단면시험체는 사각단면시험체와 비교해 볼 때 약간의 연성거동을 나타내고 있다.

모든 실험결과를 최종적으로 요약해보면, 사각단면기둥은 팔각단면기둥을 변환하여 CFS로 보수·보강하면 보강 효과가 뛰어났으며, 고강도 콘크리트를 사용하였음에도 불구하고 RUOC는 약간의 연성과파괴거동을 보였고, 축응력 향상에따른 현저한 강도증진효과를 확인할 수 있었다. 따라서 손상된 사각기둥에 사다리꼴 프리캐스트 부재를 부착시켜 팔각기둥으로 단면형상을 변형시킨 후 CFS로 보강하면 강도성능회복과 동시에 연성과파괴를 유도할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 고강도 콘크리트를 사용하여 제작된 보강된 팔각단면기둥은 연성과파괴거동을 나타내며, 보강된 사각단면기둥보다 큰 강도증진 효과를 나타내는 것으로 확인되었다.

4. 결론

CFS로 보강된 콘크리트 기둥의 단면형상 변화에 따른 휨-압축 하중에 의한 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) CFS를 [90/90] 적층방법으로 보강한 사각형 단면형상을 가진 콘크리트 기둥의 보강 효과는 강도와 연성증진 효과를 보여주었다.
- (2) CFS로 보강하기 전 사각형 기둥과 팔각형 기둥의 결과를 비교해 보면, 팔각형 기둥은 사각형 기둥에 비해 강도는 최대 70% 수준까지 보강 증진효과를 보였고, CFS로 보강된 사각형 기둥과 비교하면 변형률은 최대 250% 수준까지 보강증진 효과를 보였다. 따라서 CFS보강을 통한 단면형상 변형은 압축하중에 대해 연성과파괴거동을 유도함을 보여주고 있다.
- (3) 파괴전 팔각형 단면과 파괴후 팔각형 단면을 가진 기둥을 CFS로 보강하여 비교해 보면, 두 부재의 최대강도와 변형률은 비슷한 결과를 보여주었으므로 사각형 기둥의 단면형상 변형을 통한 보강은 충분

한 보수·보강효과를 확보할 수 있음을 검증하였다.

- (4) 본 연구를 통해 CFS로 보강된 팔각형 고강도 콘크리트 기둥의 강도 및 연성 증진효과가 검증되었으므로 기존 노후구조물의 성능개선 및 보수·보강에 효율적일 것으로 판단된다. 또한 단기거동의 평가에 초점을 맞추어 연구를 진행하였으나 향후 장기 거동 등에 대한 연구를 통해 노후화된 구조물의 종류와 특징에 적합한 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김성배, 김장호, 남진원, 강석화, 변근주, "탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 구조물의 경계면 부착-슬립 모델", 한국콘크리트학회논문집, 20권 4호, 2008, pp.477-486.
2. 김성배, 김장호, 최홍식, 허권, "RC 구조물 보강을 위한 고성능 폴리우레아의 개발 및 적용성 평가", 대한토목학회 논문집, Vol.30 No.2A, 2010.03, pp.169-176.
3. 서수연, 윤현도, 최기봉, "탄소섬유로 휨보강된 RC보의 부착 손실에 대한 거동 특성", 콘크리트학회 논문집, 19권, 6호, 2007, pp.795-802.
4. 신성우, 이한승, "탄소섬유시트 보강공법에 사용되는 Epoxy 수지의 특성 및 국내외 동향", 한국구조물진단학회, 제2권. 3호, 1998.7, pp.24-36.
5. 심종성, 배인환, 박성재, "손상된 R/C보의 보강후 피로거동에 관한실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제16권, 제1-2호, pp.135-42, 1996.3.
6. 이대형, 김영섭, 정영수, "FRP로 보강된 콘크리트의 강도 및 변형률 예측", 콘크리트학회 논문집, 19권, 3호, 2007, pp. 253-263.
7. 조순호, "FRP 합성재료에 의하여 구축된 콘크리트의 응력-변형률 응답 예측", 콘크리트학회 논문집, 19권, 6호, 2007, pp.803-810.
8. 홍성남, 김태완, 박선규, 박종섭, 박영환, "프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP를 이용한 교각 두부 보강에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 19권, 5호, 2007, pp.595-602.
9. Arduini M. and Nanni A., "Behavior of Pre-cracked RC Beams Strengthened with Carbon FRP Sheets", Journal of Composites in Construction, 1997, 1, No.2, pp.63-70.
10. Bazant, Z. P., Kim, J. J. H., and Brocca, M., "Finite Strain Tube-Squash Test of Concrete at High Pressures and Shear Angles up to 70 Degrees", ACI Materials Journal, 1999, 96, No.5, pp.580-592.
11. Chai G. B., Banks W. M. and Rhodes J., "An experimental study on laminated panels in compression", Composite Structures, 1991, 19, No.1, pp.67-87.
12. Hassanen M. A. H and Raouf M., "Design Against Premature Peeling Failure of RC Beams With Externally Bonded Steel or Frp Plates", Magazine of

- Concrete Research, 2001, 53, No.4, pp.251-262.
13. Hwang S.-K., Yun H.-D., Park W.-S. and Han B.-C., "Seismic Performance of High-Strength Concrete Columns", Magazine of Concrete Research, 2005, 57, No. 5, pp.247-260.
 14. Jin L., Saadatmanesh H. and Ehsani M. R., "Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Columns by Glass-Fiber Composites", Infrastructure: New Material sand Method sofRepair, Proceeding softhe ASCE Materials Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 1994, pp.758-763.
 15. Karam G. and Tabbara M., "Corner Effects in Cfrp-Wrapped Square Columns", Magazine of Concrete Research, 2004, 56, No. 8, pp.461-464.
 16. Kim D. and Sebastian M., "Parametric Study of Bond Failure in Concrete Beams Externally Strengthened with Fiber Reinforced Polymer Plates", Magazine of Concrete Research, 2002, 5, No.1, pp.47-59.
 17. Lees J. M. and Burgoyne C. J., "Experimental Study of Influence of Bond on Flexural Behavior of Concrete Beams Pretensioned with Aramid Fiber Reinforced Plastics", ACI Structural Journal, 1999, 96, No.3, pp.377-385.
 18. Malek A. M. and Saadatmanesh H., "Analytical Study of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Web-Bonded Fiber Reinforced Plastic Plates or Fabrics", ACI Structural Journal, 1998, 95, No.3, pp.343-352.
 19. Malek A. M. and Saadatmanesh H., "Physical and Mechanical Properties of Typical Fiber and Resins", Proceeding softhe First International Conferenceon Compositesinthe Infrastructure, University of Arizona, Tucson, 1996, pp.15-17.
 20. Mander J. B., Priestley M. J. N. and Park R., "Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1998, 114, No.8, pp.1827-1849.
 21. Mander J. B., Priestley M. J. N. and Park R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1998, 114, No.8, pp.1804-1825.
 22. Mirmiran A. and Shahawy M., "Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites", Journal of Structural Engineering, 1997, pp.583-590.
 23. Sen R., Mariscal D. and Shahawy M., "Durability of Fiberglass Pretensioned Beams", ACI Structural Journal, 1993, 90, No.5, pp.525-533.
 24. Sen R., Spillett K. and Shahawy M., "Fabrication of Aramid and Carbon Fiber Pretensioned Beams", Concrete International, 1994, 16, No.6, pp.45-47.
 25. Saadatmanesh H., Ehsani M. R. and LI M. W., "Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps", ACI Structural Journal, 1994, 91, No.4, pp.434-447.
 26. Saatcioglu M. and Razvi S. R., "Strength and Ductility of Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1992, 118, No.6, pp.1590-1607.
 27. Scott B. D., Park R. and Priestley M. J. N., "Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and high Strain Rates", ACI Journal, 1982, 79, No.1, pp.13-27.
 28. Triantafillou N. P., "Strengthening of RC Beams with Epoxy-Bonded Fiber-Composite Materials", Material sand Structures, 1992, 25, pp.201-211.
 29. Woolson I. H., "Some Remarkable Tests Indicating Flow of Concrete under Pressure", Energ. News, 1905, 54, 18, pp.459-460.

(접수일자 : 2010년 5월 17일)
 (1차수정일자 : 2010년 7월 29일)
 (2차수정일자 : 2010년 8월 26일)
 (심사완료일자 : 2010년 8월 30일)

요 지

1970년대에 콘크리트를 기반으로 지어진 많은 구조물과 빌딩은 안전성과 사용성을 고려하여 무수히 많은 연구를 현재까지 진행해 왔으나, 설계강도 보다 낮은 최대강도를 보이고 있다. 현재 노후화된 콘크리트 구조물들에 대한 다양한 보수·보강 공법이 개발되어 적용되고 있지만 기존 연구들은 구조물의 특성에 대해서는 고려하지 않고, 단지 기존 부재와 보수 재료의 부착에 관한 연구와 기존 부재를 효과적으로 보강하기 위한 새로운 방법을 개발하는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 보수·보강 재료를 이용한 효율적인 강도증진 방법에 대한 연구, 보강 재료와 기존 부재 사이의 거동에 대해 부족했던 연구를 보완하고자 한다. 또한 고강도 콘크리트는 높은 압축강도를 발현하기 때문에 부재의 단면을 축소시킬 뿐만 아니라 구조물의 자중 또한 감소시킬 수 있으므로 거대한 구조물 건설에 사용되고 있다. 고강도 콘크리트의 사용이 점차 증가하는 추세이지만 고강도 콘크리트를 이용한 구조물의 보수·보강에 대한 방법 연구 역시 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 고강도 콘크리트 기둥에 대한 보수·보강 방법을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 사각단면 형상을 가진 기둥을 팔각단면으로 형상 변형을 통해 CFS로 보수·보강하여 단면 형상이 변함에 따른 효과를 파악하고, CFS로 보강된 고강도 콘크리트(HSC) 기둥의 강도 증대 효과와 파괴 거동에 대해 파악하고자 한다.

핵심 용어 : CFS, 단면형상 변화, 보수·보강, 표면부착, 고강도 콘크리트(HSC)