

콘크리트 충진 유리섬유 복합소재 튜브 합성압축부재의 구조적 특성분석

Structural Characteristics of Concrete Filled Glass Fiber Reinforced Composite Tube

이 성 우* 박 신 전** 최 석 환***

Lee, Sung Woo Park, Sin Zeon Choi, Sokhwan

ABSTRACT

Due to many advantages of advanced composite material, research on the composite compression member is initiated. In this paper structural characteristics of concrete filled glass fiber reinforced composite tubular member is studied. Experimental results shows that strength and ductility of composite compression member is considerably increased due to concrete confinement action of composite surface. Thus it can be anticipated that increased strength of concrete will be incorporated in the design of composite compression member.

1. 서 론

강재의 부식과 철근콘크리트의 열화로 인한 노후화는 구조물의 내구성 저하와 유지관리 비용의 상승을 유발하므로 이러한 문제를 원천적으로 해결할 수 있는 복합소재를 건설분야에 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진한 합성압축부재인 경우 섬유의 hoop방향 구속(confinement)효과로 압축강도가 크게 증가하는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁾.

본 논문에서는 경량 내부식 고강도 특성을 보유한 유리섬유를 이용하여 고부식 해양환경 하에서 기존의 재료인 콘크리트의 열화와 강재의 부식문제를 해결할 수 있는 복합소재 해상파일개발의 일환으로 섬유강화 복합소재 합성압축부재의 구조적 특성을 실험적으로 분석하였다.

2. 합성압축부재의 거동

콘크리트 압축부재에서 횡방향으로 배근된 띠철근이나 나선철근은 횡방향으로 콘크리트를 구속하게 되지만 콘크리트 덮개부는 구속되지 않으므로 종종 덮개부의 균열이나 박리가 발생하게 된다. 강관튜브에 콘크리트를 채운 압축부재인 경우 콘크리트는 횡방향으로 완전하게 구속되며 횡방향 구속으로 인한 압축강도가 상당히 증가한 후 더 이상 강도의 증가없이 연성이 크게 증가하게 된다⁽²⁾. 그러나 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진한 압축부재를 사용할 경우 강재에서와 같은 부식문제가 전혀 없어 내

*정회원, 국민대학교 토목환경공학부 교수

**준회원, 국민대학교 토목환경공학부 석사과정

***정회원, 국민대학교 토목환경공학부 전임강사

구성을 크게 증진시킬 뿐만 아니라 그림 1에서와 같이 고강도 특성으로 인해 횡방향 구속효과로 강도와 연성이 크게 증가하게 되어 추가적인 이점이 있다. 그림 2에는 구속이 없는 상태의 콘크리트 압축부재와 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진한 합성압축부재의 구속효과를 보여주고 있다. 유리섬유 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진한 합성압축부재는 내부식, 고내구성, 고강도 장점을 가지고 있어 요구되는 구조적 성능을 발휘할 수 있게 만들 수 있으므로 앞으로 기둥, 교각, 파일 등에 사용될 수 있는 새로운 압축부재로 개발될 수 있을 것으로 전망된다.

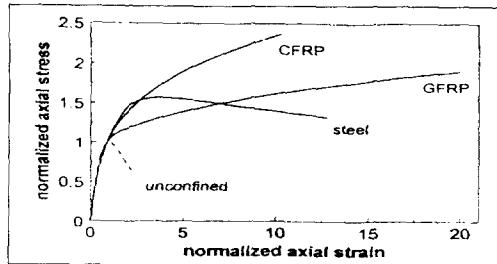


그림 2 합성압축부재의 축방향 응력-변형률 비교

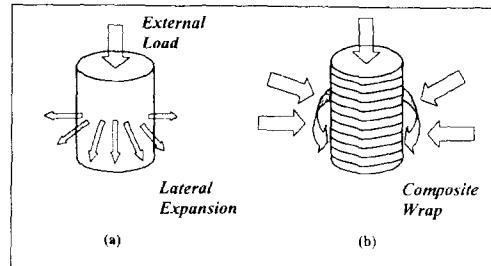


그림 3 합성압축부재의 구속효과

3. 복합소재 압축 공시체 제작

GFRP 복합소재 튜브는 사용된 섬유의 구조에 따른 구조적 성능을 평가하기 위하여 필라멘트 와인딩 공법과 다축 유리섬유 직포(multiaxial fabric)를 이용한 핸드레이업으로 제작하였다. 이 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진하여 양생시킨 후 합성 압축강도 공시체를 완성하였다. 압축강도 공시체의 치수는 $\Phi 100\text{mm}$ (내경) $\times 200\text{mm}$ 이며, 복합소재 튜브 제작에 사용된 섬유 및 수지는 표 1과 같다.

표 1 복합소재 튜브 제작에 사용된 섬유 및 수지

사용섬유/수지	용도	규격	제조사
난선유 매트	1st layer wrapping	450g/m ²	Owens corning
E glass Roving	필라멘트 와인딩	2200tex(g/km)	Vetrotex
E glass - Stitched Fabric	다축 유리섬유 직포	500g/m ² , 900g/m ²	MAX(동일산자)
불포화 폴리에스터	섬유 기저 재료	isophthalic type	Polycoat, Epovia

탈형을 위하여 이형제와 폴리에스터 필름으로 감싼 탄소강관 멘드릴에 단섬유 매트로 제1층을 만들고 이후 2축 필라멘트 와인딩기에 의해 55mm 폭으로 10가닥의 2200tex로 병을 소요의 두께로 와인딩하였다. 와인딩되는 섬유량을 결정하기 위하여 FW L500-3 복합재료 튜브의 경우, 단위무게 500g/m²인 다축 유리섬유 직포의 3 ply 적층에 상당하는 섬유무게를 기준으로 하여 편도 4회 와인딩하였다. 다축 유리섬유 직포를 이용하여 제작한 복합재료 튜브는 기준이 되는 다축 유리섬유 직포를 소요 섬유량에 따라 적층하여 제작하였다. 내부충진 콘크리트로는 설계기준강도 400kg/cm²인 콘크리트를 사용하였다. 각 압축공시체의 종류는 먼저 필라멘트 와인딩(FW)과 다축 유리섬유 직포를 사용한 핸드레이업(HL)에 대하여 유리섬유 직포의 적층수를 기준으로 구분하였다.

4. 합성압축부재 압축시험 결과

무근콘크리트 압축강도 공시체에 대한 강도시험결과 최대응력의 평균은 448kg/cm²이며, 이 때의 변형율은 0.0037~0.0041이 되었다. 필라멘트 와인딩으로 제작한 복합재료 튜브에 콘크리트를 충진한 압축

강도 공시체의 시험결과 복합소재 튜브의 구속효과에 의해 압축강도는 튜브의 두께에 따라 약 2.3배에서 4.8배 증가하는 것으로 나타났다. 필라멘트 와인딩으로 제작한 복합소재 튜브로 구속된 압축공시체의 응력-변형률 곡선을 그림 3에 도시하였다. 응력-변형률 곡선은 초기에는 무근콘크리트의 응력-변형률 곡선과 매우 유사한 양상을 보이며 무근콘크리트의 최대응력 극치에서 섬유량에 따라 대개 2차적인 선형성을 보이는 곡선이 나타난다. 최대하중에서 압축강도 공시체의 파괴양상은 실린더 중앙부의 로병이 끊어지기 시작하면서 전체적으로 확신되는 것을 알 수 있었으며 결과적으로 개개의 로병이 분리파괴되는 현상을 볼 수 있었다. 다축 유리섬유 직포로 제작한 복합소재 튜브에 콘크리트를 충진한 압축강도 공시체의 시험결과 축방향 최대응력은 무근콘크리트 압축강도 공시체에 대하여 약 2배에서 4배까지 증가하는 것으로 나타났고 최대 강도의 증가추세는 필라멘트 와인딩으로 제작한 실린더보다 더 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 다축 유리섬유 직포로 제작한 복합소재 튜브로 구속된 압축공시체의 응력-변형률 곡선은 그림 4와 같다. 최대하중에서 압축공시체의 파괴양상은 GFRP튜브의 취약부분인 길이방향 마무리면이 슬립(slip)에 의해 벌어지면서 충간분리파괴가 일어났다.

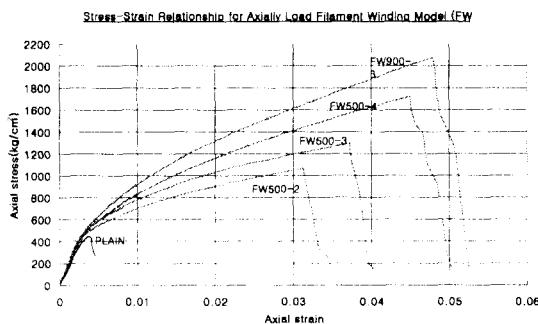


그림 3 필라멘트 와인딩 제작 합성압축부재의 응력-변형률 곡선

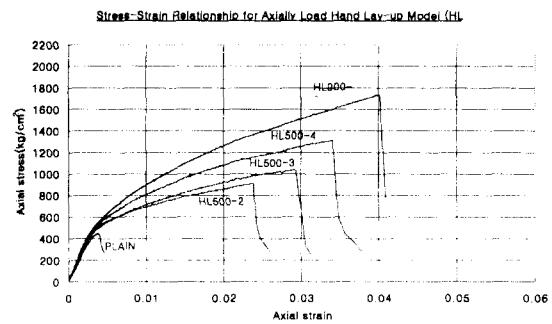


그림 4 다축 유리섬유 직포로 제작한 합성압축부재의 응력-변형률 곡선

5. 합성압축부재의 시험결과 분석

복합소재 튜브 합성압축부재의 파괴강도는 hoop방향 섬유량을 시험체의 두께비(t/D)와 섬유부피비 그리고 hoop방향 섬유부피비(α)로 분석하였다. 이때 그림 5와 같이 두께비(t/D)에 따른 파괴강도의 증가는 선형적이며⁽³⁾ 두께비(t/D)만 고려한 경우 필라멘트 와인딩 튜브에 의한 강도증가 기울기가 다축 유리섬유 직포를 사용한 튜브부재에 비해 큰 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 Hoop방향 섬유부피비에 따라 두께비(t/D)를 수정할 경우 그림 6과 같이 필라멘트 와인딩과 다축 유리섬유 직포로 제작한 튜브로 만든 합성압축부재에 대해 거의 같은 강도증가식을 얻을 수 있어 재작기법에 상관없이 복합소재 튜브의 합성압축부재 강도를 예측할 수 있었다. 그림 3과 그림 4에서 보이는 바와 같이 복합소재 튜브로 구속된 합성압축부재의 압축거동의 가장 큰 특징으로 콘크리트의 압축영역과 복합소재 튜브의 구속영역이라는 분명한 구분을 보인다^(4,5). 그림 7에서 보여주는 바와 같이 무근콘크리트의 압축파괴 변형률에 이르기 직전에서는 복합소재 튜브 자체의 압축하중 분담과 부분적인 구속효과로 약 15~25%의 응력증가를 보이며 복합소재 튜브

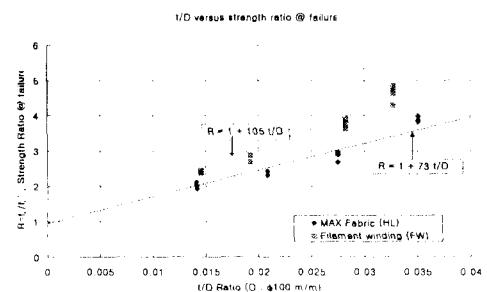


그림 5 두께비에 따른 파괴강도 증가추세
학회창립 10주년기념 1999년도 가을학술발표회 논문집 573

의 두께에 따른 응력증가의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있었다.

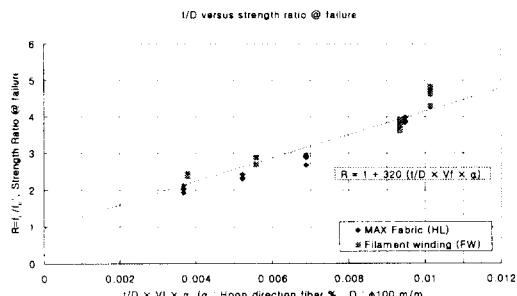


그림 6 수정된 두께비에 대한 파괴강도 증가추세

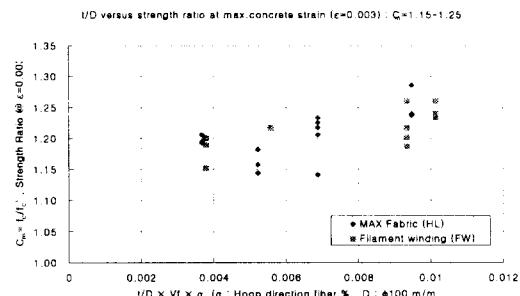


그림 7 $\epsilon = 0.003$ 의 합성압축부재의 강도증가

6. 결 론

본 논문에서는 유리섬유보강 복합소재 튜브에 콘크리트를 채운 합성압축부재의 파괴특성을 분석하였다. 파괴시 필라멘트 와인딩 복합재료 튜브 합성압축강도 공시체는 연속된 로빙을 사용하여 전체적으로 균일한 파괴거동을 볼 수 있으나 다축 유리섬유 직포로 제작한 경우 연결부가 구조적으로 취약하여 이 부분에서 파괴가 일어난다. 복합소재 튜브의 경우 콘크리트의 구속효과로 인하여 큰 강도증진을 가져오며 응력-변형률 관계는 무근콘크리트의 압축파괴영역과 복합소재 튜브에 의한 구속영역으로 확연히 구분되며, 최종적으로 연성파괴가 일어나 부재의 파괴시 유리하게 된다. Hoop방향 섬유비를 고려한 두께비에 대한 파괴강도 증가식은 필라멘트 와인딩과 다축방향 직포로 제작한 튜브로 만든 합성압축부재에 대해 거의 같은 일차식을 얻을 수 있어 제작방법에 상관없이 복합소재튜브 합성압축부재의 강도증가를 예측할 수 있었다. 콘크리트 최대 변형률 $\epsilon = 0.003$ 에서 콘크리트 강도증가가 15~25% 정도로 나타나므로 이를 콘크리트의 설계압축강도에 반영할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행하고 있으며 해양수산부의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) J. Kanatharana and L. W. Lu, "Strength and Ductility of Concrete Columns Reinforced by FRP Tubes," Second International Conference on Composites in Infrastructure, Tuscon, Arizona, Jan 1998, p.370-379.
- (2) M. R.Spoelstra and G. Monti, "FRP-Confining Concrete Model," Journal of Composites for Construction, Aug 1999, p.143-150.
- (3) M. N. Fardis and Khalili, H, "Concrete Encased in Fiberglass-Reinforced Plastics," Journal of ACI, Proceeding, Vol. 78, No. 6, 1981, p.440-446.
- (4) D. Lillistone, "Concrete-Filled Fibre Reinforced Plastic Circular Columns," Composite Construction- Conventional and Innovative, Conference Report, IABSE, Sep 1997.
- (5) C. P. R. Hoppel et al, Design and Analysis of Composite Wraps for Concrete Columns, CCM 95-15, Center for Composite Material, Delaware, July 1995.