

FRP bar를 주근으로 사용한 콘크리트 휨부재의 압축축 콘크리트 구속에 따른 거동

Behavior According to Confinement of Compressive Concrete on Flexural Members Reinforced with FRP Bars

서 대 원*

Seo, Dae-Won

한 범 석**

Han, Byum-Seok

신 성 우***

Shin, Sung-Woo

Abstract

The use of FRP bar as reinforced concrete beams is considered as one of the most prominent solution that may overcome the corrosion of reinforcing steel bars. However, in the case of FRP reinforced concrete, both the reinforcing and the reinforced materials are brittle. For this reason, ductility of structures with FRP reinforcement is much less than that of structures with steel reinforcements. In this study, a method has been suggested to provide a meaningful quantification of ductility for concrete beams reinforced with FRP bars. This paper shows which the confinement to the compression concrete by the spiral can increase the ductility of FRP over-reinforced concrete beams.

요 지

FRP bar는 높은 인장강도와 경량의 재료로 철근부식문제를 해결할 수 있는 대안으로 대두되고 있다. 그러나 FRP와 콘크리트 모두 취성적인 재료로 철근콘크리트보다 낮은 연성을 갖게 되며, 갑작스러운 파괴를 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 FRP 보강근을 사용한 휨부재의 압축축을 나선형 보강근으로 구속하여 거동을 개선하고자 하였으며, 구조실험을 통하여 파괴모드의 개선 및 연성증가를 확인할 수 있었다.

Keywords : Concrete Beam, Confined effect, Fiber reinforced polymer(FRP), FRP bars

핵심 용어 : 콘크리트 보, 구속효과, FRP, FRP 보강근

* 학생회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

** 정회원, 동부건설(주) 기술지원실, 공학박사

*** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

E-mail : dwseo@hanyang.ac.kr 031-400-4023

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2008년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근콘크리트는 재료상의 많은 장점과 경제성으로 인해 현재 건설되는 구조물들에 가장 많이 사용되는 구조로서 내구성이 우수한 재료로 인식되어져 왔으나, 철근의 부식에 의한 성능저하 및 안전성에 문제가 발생할 수 있는 것으로 보고되고 있다.⁽⁵⁾ 이러한 철근의 부식은 유효단면의 손실에 의한 내력의 감소와 철근 마다 손상에 의한 부착력의 저하로 인한 안전성 문제를 야기시키며, 내구수명을 현저히 저하시키고 유지보수비용의 증가를 가져온다.

이와 같은 철근부식문제를 해결하기 위해 에폭시 코팅철근, 콘크리트 피복두께의 증가, 콘크리트 수밀성 강화 및 방청제의 사용 등 다양한 기술이 개발 및 제안되어져 왔으나 근본적인 철근부식의 해결책이라고 보기 어렵다. 그러나 최근 철근의 대체재로 대두되고 있는 FRP bar는 섬유와 레진을 혼합하여 만든 복합재료로 철근에 비해 경량, 고내구성, 높은 인장강도, 비자기성과 같은 보강재로서 많은 장점들을 갖고 있으며, 보강재료로 사용할 경우 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 노후화 방지 및 내구수명증가를 기대할 수 있다. 그러나 이러한 많은 장점에도 불구하고, 국내 건설분야에서는 FRP 복합재료를 시트(sheet)재를 이용한 보수·보강재료로 제한적으로 사용하고 있는 실정이다. 그 이유는 많은 장점에도 불구하고 초기비용이 고비용이고, FRP 재료의 취성적 거동과 낮은 탄성계수 등으로 인하여 건설분야에서 철근대체재로 사용가능하기 위해서는 많은 연구 및 검토가 요구되기 때문이다.

이미 캐나다, 미국, 일본 등에서 구조부재에 FRP bar를 철근대체재로 사용하기 위한 많은 연구가 진행되어져 왔으며,⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾ 국내에서도 FRP bar를 사용한 콘크리트 부재의 거동특성에 대한 실험연구가 연구자들에 의해 수행되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그러나 이러한 연구들은 주로 FRP bar를 사용한 콘크리트 부재와 철근 콘크리트 부재와의 거동 차이에 대한 검토가 주로 이루어졌으며, FRP bar의 취성적 특성에 의한 갑작스러운 파괴에 대하여 거동을 개선하기 위한 연구는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 FRP bar를 사용한 콘크리트 부재의 취성적 파괴를 막기 위한 방안으로 제안된

압축측 콘크리트의 구속철근을 사용하여 구조실험을 수행하였으며, 취성적 파괴의 개선효과를 검토하였다.

2. FRP bar를 사용한 휨부재

2.1 설계개념

철근을 주근으로 사용하는 기존의 철근콘크리트 부재에서는 일반적으로 균형보강비 이하로 설계되어 콘크리트의 압축파괴 이전에 철근이 항복하도록 한다. 철근의 항복은 연성을 확보할 수 있게 하고 부재파괴의 징후를 나타내어주는 효과가 있다.

그러나 FRP 보강근의 높은 인장강도에 비해 낮은 탄성계수, 그리고 뚜렷한 항복점과 소성구간이 없는 선형 탄성적인 특성으로 인하여 FRP 보강근을 사용한 구조부재의 설계시에는 철근 콘크리트와는 다른 검토가 필요하다.

2.2 파괴모드

기존 실험연구에서 FRP 보강근의 취성적인 특성은 갑작스러운 파괴를 발생시키며, 이러한 파괴는 안전에 큰 문제가 될 수 있음을 보고하고 있다.⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ FRP bar를 사용한 휨부재의 파괴형태는 콘크리트의 압축파괴에 의한 파괴, 인장측 FRP bar의 파단으로 구분할 수 있다. Fig. 1은 FRP bar를 사용한 휨부재 단면의 이론적응력변형분포를 나타낸 것이다. 이러한 FRP 보강 콘크리트 부재의 파괴모드는 FRP bar의 보강비에 따라 결정된다. FRP bar는 항복을 하지 않으므로, 균형보강비는 설계인장강도에 의해 계산되며, 식(1)과 같다.

$$\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_{fu}} \frac{E_f \epsilon_{cu}}{E_f \epsilon_{cu} + f_{fu}} \quad (1)$$

여기서, E_f =FRP bar의 탄성계수, f_{ck} =콘크리트의 압축강도, f_{fu} =FRP bar의 극한강도, 그리고 ϵ_{cu} =콘크리트의 극한변형률(0.003)이다.

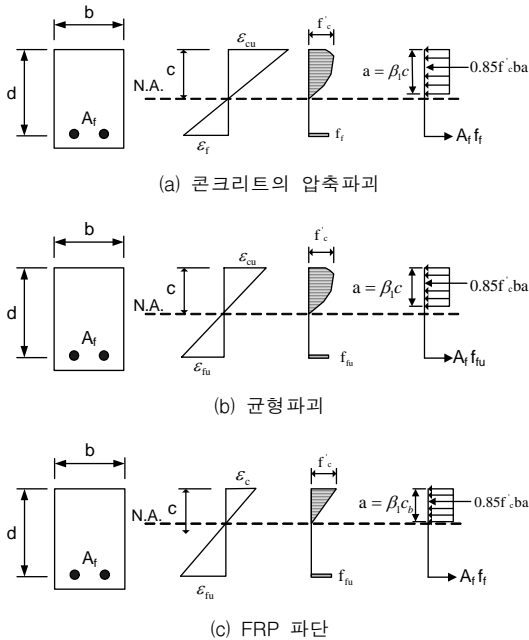


Fig. 1 FRP bar를 사용한 휨부재의 응력, 변형 분포⁽⁶⁾

요구강도와 사용성을 만족한다면 균형보강비 이상 혹은 이하의 배근이 모두 사용가능하지만 균형보강비 이하에서의 FRP bar파단에 의한 부재의 인장파괴는 매우 갑작스러운 파괴를 발생시키며, 상대적으로 균형보강비 이상이 배근된 부재에서 제한적인 소성거동이 나타나므로, 부재의 갑작스러운 파괴를 막기 위하여 균형보강비 이상의 배근을 기존연구들에서는 권장하고 있다.⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾

3. 구조실험

3.1 실험체 계획

앞서 언급한 바와 같이 이전 실험연구들에서 균형보강비 이상의 배근을 권장한다. 그러나 상대적으로 콘크리트의 압축파괴가 소성거동을 보이기는 하지만, 결과적으로 균형보강비 이하에서의 FRP의 파단에 의한 인장파괴나 균형보강비 이상에서의 압축측 콘크리트의 압축파괴는 모두 취성적 파괴이다. 따라서 본 연구에

서는 FRP bar를 사용한 부재의 거동을 개선하기 위한 방법으로 압축측의 콘크리트를 구속하는 보강근을 추가로 사용하여 콘크리트의 압축파괴 이후에 내력의 급격한 손실을 방지하고자 계획하였다. 최종파괴가 압축측 콘크리트 파괴로 발생하도록 균형보강비 이상으로 실험체가 계획되었으며, 보강근의 인장강도에 따라 두 종류의 보강근이 계획되었으며, 균형보강비에 대해 $1.89 \rho_{fb}$, $2.04 \rho_{fb}$, $2.36 \rho_{fb}$ 의 세 종류의 보강비를 계획하였다. 이는 이전 연구⁽¹⁾에서 $1.5 \rho_{fb}$ 이하의 실험체에서는 FRP 파단과 콘크리트의 압축파괴가 같이 발생하는 경우가 관찰되었기 때문에 $1.5 \rho_{fb}$ 이상의 보강비로 계획하였다. 실험체의 상세는 Fig. 2, Table 1과 같다.

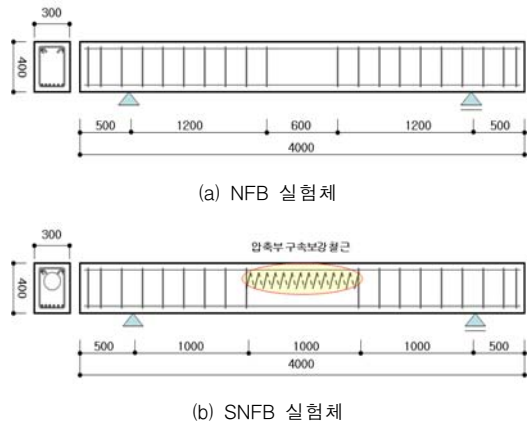


Fig. 2 배근상세 (unit : mm)

Table 1 실험체 상세

실험체명	크기 (b×d×l)	보강근의 종류	콘크리트강도 (MPa)	전단스팬비 (a/d)	보강비 (ρ, %)	ρ_f / ρ_{fb}
FB-8	300 × 400 × 4000 (mm)	GFRP (Type 1)	300	3.8	0.96	2.04
SFB-8						
NFB-4	300 × 400 × 4000 (mm)	GFRP (Type 2)	300	3.8	0.48	1.89
SNFB-4(1)						
SNFB-4(2)						
NFB-5						
SNFB-5(1)	300 × 400 × 4000 (mm)	GFRP (Type 2)	300	3.8	0.60	2.36
SNFB-5(2)						

3.2 재료

사용된 콘크리트는 설계기준강도 30MPa의 일반레디믹스트 콘크리트를 사용하였으며, 28일 압축강도 시험결과 36MPa, 탄성계수 25GPa를 나타내었다. 주근에 사용된 FRP 보강근은 국내기술로 개발된 제품으로 Fig. 3과 같이 콘크리트와의 부착강도 확보를 위해 나선형 표면을 가진 형태로서 재료성질은 Table 2에 나타난 바와 같이 인장강도는 일반적인 철근보다 매우 강한 705, 1050MPa인데 비하여, 탄성계수는 철근의 약 25% 수준이었다.⁽³⁾ 압축측 콘크리트를 구속한 보강근은 D6 철근을 나선형으로 가공하여 보의 중앙부에 설치하였다.

3.3 실험체 설치

실험체의 설치는 Fig. 4와 같이 단순지지 상태에서 600mm 가력지점간에 순수 휨만 발생하도록 2점가력 방식으로 하였으며, 가력은 10,000kN UTM을 사용하여 초기균열까지 하중제어 후에 변위제어 방식으로 실험을 수행하였다. 실험중의 데이터 측정은 하중의 증가에 따른 보의 처짐을 측정하기 위해 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 게이지는 Fig. 5와 같이 인장측 주근과 콘크리트 압축측 단면에 부착하여 변형을 측정하였다.



(a) Type 1 (b) Type 2
Fig. 3 FRP 보강근의 형상

Table 2 FRP 보강근의 재료역학적 성질

보강근	직경 (mm)	단면적 (mm ²)	탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)
Type 1	13	127	44	705
Type 2	13	127	50	1050



Fig. 4 실험체 설치

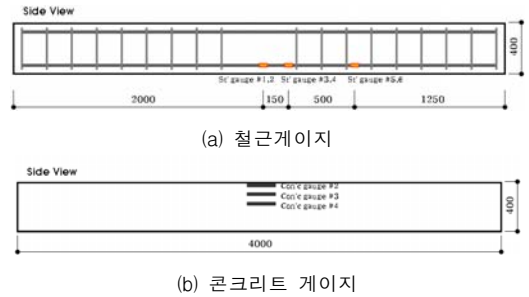


Fig. 5 변형측정을 위한 게이지 위치

4. 실험결과 및 분석

4.1 균열 및 파괴양상

Fig. 6은 각 실험체의 대표적인 최종파괴시의 균열 상황을 나타낸 것이다. 균형보강비 이상으로 배근된 모든 실험체는 중앙부에서 초기균열 발생이후에 균열이 가력점바깥으로 진전되는 양상을 보였다. 처짐이 크게 발생함에 따라 주근의 길이방향으로 균열이 발생하였다. 예측한바와 같이 최종파괴는 가력점 주변 콘크리트의 압축파괴로 최종 실험종료되었다. 균열양상에 있어서는 FRP 보강콘크리트 실험체(NFB)와 압축측 콘크리트를 구속 보강한 실험체(SNFB)간에 큰 차이는 발생하지 않았으나, 압축측을 구속한 SNFB 실험체들의 경우 처짐이 더 크게 발생함에 따라 주근의 변형이 크게 발생하여 길이방향으로 균열이 발생하며 콘크리트의 박리가 발생하였다. 보강근의 인장강도가 낮은 FB 실험체들에서는 휨균열이 경사균열로 진전되며 최종파괴에서 압축측 콘크리트의 파괴와 함께 전단 균열이 NFB 실험체들보다 진전되는 양상을 보였다.

Table 3 사용하중하에서의 보의 거동

실험체명	최대강도(kN)	최대변위(mm)	파괴모드
FB-8	371.0	63.0	압축파괴/전단파괴
SFB-8	300.3	81.4	압축파괴/전단파괴
NFB-4	329.1	55.8	압축파괴
SNFB-4(1)	317.2	74.1	압축파괴
SNFB-4(2)	325.5	55.6	압축파괴
NFB-5	380.1	61.9	압축파괴
SNFB-5(1)	344.6	69.1	압축파괴
SNFB-5(2)	327.6	79.4	압축파괴



(a) FRP 보강 콘크리트의 압축파괴

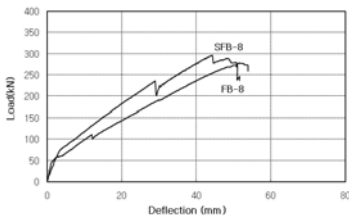


(b) 압축축을 구속한 FRP 보강 콘크리트의 압축파괴

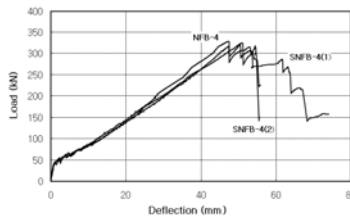
Fig. 6 최종파괴양상

4.2 처짐

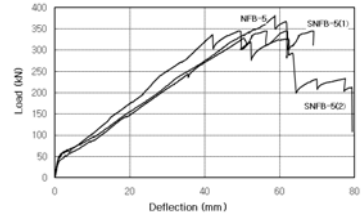
각 실험체의 하중-처짐관계를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 초기 및 최대 강도까지의 거동은 압축축을 보강한 SFB, SNFB 실험체들과 FRP bar만



(a) FB-8



(b) NFB-4



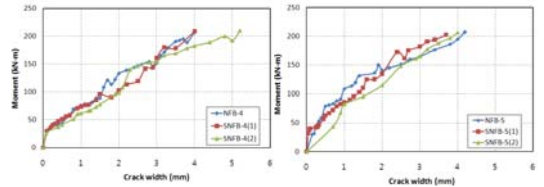
(c) NFB-5

Fig. 7 하중-처짐 관계

을 사용한 FB, NFB 실험체들간에 큰 차이가 발생하지 않았으나, 압축축 콘크리트의 압축파괴가 발생한 이후 FRP bar만을 사용한 실험체들에서는 곧 최종파괴가 발생하였으나, 압축축을 나선형 철근으로 구속한 SNFB-4, SNFB-5 실험체는 압축축 콘크리트의 압축파괴이후 급격한 파괴가 발생하지 않고 일정내력을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 압축축의 나선형 철근이 압축축 연단의 콘크리트의 파괴이후에 구속된 압축축의 콘크리트의 파괴를 지연시키기 때문에 FRP 보강콘크리트의 거동을 개선시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

4.3 균열폭

Fig. 8은 실험체의 모멘트와 균열폭의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 균열폭은 압축축구속의 여부와 관계없이 큰 차이가 없었다. 압축축의 구속효과는 콘크리트 압축축 연단의 압축파괴 이후에 보강근에 의해 구속된 콘크리트가 압축파괴되는 것을 지연시키는 효과가 있었기 때문에 휨균열의 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다.



(a) NFB-4

(b) NFB-5

Fig. 8 모멘트-균열 관계

4.4 주근 및 콘크리트의 변형률

Fig. 9는 하중의 증가에 따른 콘크리트와 FRP 보강근의 변형을 비교한 것이다. 압축측을 구속한 실험체(SFB, SNFB)와 FRP bar를 주근으로 사용한 다른 실험체들과 큰 차이는 발생하지 않았으나, 탄성계수 44 GPa의 Type 1 FRP bar를 주근으로 사용한 FB 실험체에서는 보강근의 변형의 차이가 크게 나타났다. 이는 압축측을 구속한 SFB 실험체가 예측과는 달리 최종파괴형태가 전단균열이 크게 진전되어 균열 폭이 FB 실험체보다 크게 발생함에 따라 측정위치에서의 변형이 작게 나타난 것으로 추측된다. 콘크리트의 압축측 파괴에 의해 파괴된 NFB 실험체들에서는 콘크리트 압축측의 구속이 주근 및 콘크리트의 변형에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4.5 연성

기존의 철근 콘크리트부재에서 연성은 부재의 에너지 흡수능력을 평가하는데 사용되는 지표로서 항복변위(곡률)와 극한변위(곡률)의 비를 말한다. 그러나 FRP bar를 사용한 콘크리트 부재의 경우 파괴시까지 선형적인 거동을 보이므로 기존의 연성에 대한 정의를 적용하기 어렵다. 따라서 FRP bar를 사용한 부재의 연성 혹은 변형능력을 정의하기 위해서는 새로운 정의가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 FRP bar를 사용한 부재의 연성을 평가하기 위하여 Jeager 등⁽¹⁰⁾에 의해 제안된 변형도계수(deformability factor)에 의한 방법과 Naaman, Jeong⁽¹¹⁾에 의해 제안된 에너지에 의한 연성비, 처짐에 의한 연성비를 사용하여 FRP

bar를 사용한 보를 압축구속한 경우(SFB, SNFB)와 압축구속하지 않은 경우(FB, NFB)로 구분하여 비교하였으며, FRP bar를 사용한 부재의 변형능력을 평가하기 위한 각 방법들의 적정성을 평가하였다.

4.5.1 변형도(Deformability method)

Jeager 등⁽¹⁰⁾에 의해 제안된 변형도계수는 식(2)와 같이 세 가지 계수들로 정의된다.

$$D.F. = \phi_m \times \Delta \quad (2)$$

여기서, ϕ_m 은 모멘트 계수(Moment Factor)를, Δ 는 처짐계수(Deflection Factor)를 나타내며, 다음 식(3), (4)에 의하여 구할 수 있다.

$$\phi_m = \frac{M_u}{M_{0.001}} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_{0.001}} \quad (4)$$

여기서, M_u =극한모멘트, $M_{0.001}$ =콘크리트 압축측 연단 변형이 0.001일 때 모멘트, Δ_u =극한상태에서의 처짐, $\Delta_{0.001}$ =콘크리트 압축측 연단 변형이 0.001일 때 처짐 이다.

Table 4는 식(2)에 의해 구한 각 실험체의 변형도계수를 나타낸 것으로 압축측이 구속된 실험체들(SFB, SNFB)이 변형도계수가 2~118%까지 높게 나타났으며 압축측의 콘크리트를 구속하는 보강근이 연성증가에 효과적인 것으로 판단된다. 또한 인장강도 705 MPa의 Type 1 FRP bar를 사용한 FB 실험체

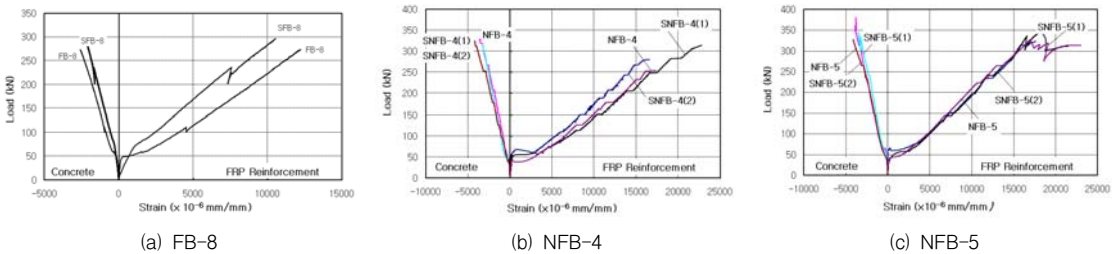


Fig. 9 FRP 보강근과 콘크리트의 하중-변형관계

보다 인장강도 1050 MPa의 Type 2 FRP bar를 사용한 NFB 실험체들이 변형도가 크게 나타남으로 보강근의 인장강도의 증가에 따라, 연성이 증가하는 것으로 판단된다. 또한 동일한 보강근을 사용한 SNFB-4와 SNFB-5를 비교하면 인장보강근의 보강비의 증가에 따라 변형계수가 증가하는 것으로 판단된다.

4.5.2 에너지법(Energy Methods)

Namman, Jeong⁽¹¹⁾에 의해 제안된 연성지수 u_E 는 식(5)와 같으며, 부재의 탄성에너지와 총에너지간의 비를 사용하여 구할 수 있다.

$$u_E = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{tot}}{E_{el}} + 1 \right) \quad (5)$$

여기서, E_{tot} =부재의 총에너지로 하중-변위곡선에 의해 구한 면적, E_{el} =탄성에너지, 그리고 E_{inel} =비탄성에너지이다. 에너지량은 Fig. 10과 같이 구할 수 있으며, 탄성에너지를 구하기 위한 S 는 식(6)과 같이 가중평균된 값을 사용한다.

$$S = \frac{P_1 S_1 + (P_2 - P_1) S_2}{P_2} \quad (6)$$

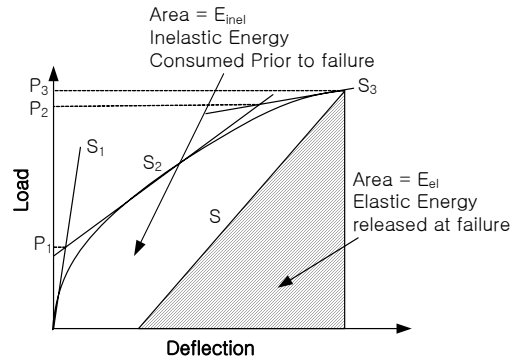


Fig. 10 탄성 및 비탄성 에너지

Table 4에 식(6)에 의하여 구한 각 실험체의 연성지수 u_E 를 구하여 나타내었으며, SNFB-4(2) 실험체를 제외한 압축측 콘크리트를 구속시킨 실험체들(SFB, SNFB)이 6~27% 더 높게 나타났다. SNFB-4(2) 실험체가 연성지수 압축측 보강이 되지 않은 NFB-4 실험체보다 낮게 나타난 것은 Fig. 7의 하중-변위곡선에서와 같이 최대하중 및 최대변위가 작게 나타났기 때문이다.

4.5.3 처짐에 의한 연성

본 연구에서 실험된 균형보강비 이상의 FRP bar가 보강된 휨부재의 경우 압축측 콘크리트의 파괴에 의해 최종파괴가 일어나므로, 인장파괴시의 갑작스러운 파

Table 4 실험체의 연성평가

Specimens	변형도 계수			에너지량에 의한 연성			처짐에 의한 연성			압축구속철근의 연성증진효과 (압축구속 실험체의 연성 / 기본실험체의 연성)		
	Moment Factor	Deflection Factor	Deformability Factor	E_{el} (kN-m)	E_{tot} (kN-m)	μ_E	δ_{crush} (mm)	δ_{ff} (mm)	u_{def}	D.F	μ_E	u_{def}
FB-8	2.48	3.89	9.63	5946.08	7132.88	1.10	50.97	51.6	1.01	-	-	-
SFB-8	2.23	4.84	10.78	5566.85	9174.02	1.32	44.2	53.9	1.22	1.12	1.20	1.20
NFB-4	2.79	3.62	10.12	6587.06	9808.66	1.24	47.5	55.1	1.16	-	-	-
SNFB-4(1)	3.49	6.33	22.08	7327.80	11987.08	1.32	47.5	74.1	1.56	2.18	1.06	1.34
SNFB-4(2)	3.28	3.17	10.39	7158.76	9181.93	1.14	51.1	54.6	1.06	1.02	0.92	0.92
NFB-5	4.22	4.85	20.48	9803.15	12361.94	1.13	58.8	61.8	1.05	-	-	-
SNFB-5(1)	3.27	6.65	21.79	8782.34	16445.79	1.44	42.1	69.1	1.72	1.06	1.27	1.63
SNFB-5(2)	3.22	6.79	21.87	8674.79	13177.57	1.26	50.6	79.2	1.56	1.07	1.12	1.49

단에 비하여 소성적인 거동을 나타내며, 이러한 특성을 이용하여 압축파괴시의 처짐값과 최대처짐값의 비를 사용하여 연성지수를 정의하여 각 실험체의 성능개선효과를 파악하였다. 정의된 처짐에 의한 연성지수는 식(7)과 같으며, 이를 Fig. 11에 기존의 철근콘크리트에 대한 연성지수와 비교하였다.

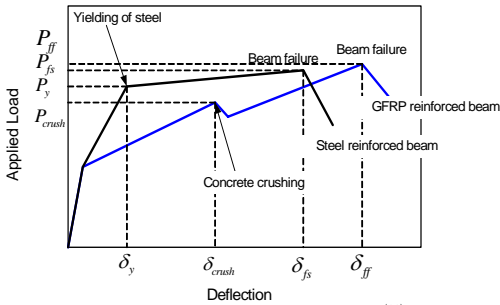


Fig. 11 처짐에 의한 연성지수⁽¹¹⁾

$$\mu_{def} = \frac{\delta_{ff}}{\delta_{crush}} \quad (7)$$

여기서, δ_{ff} =부재의 파괴시의 처짐이며, δ_{crush} =압축 콘크리트의 압축파괴시의 처짐이다.

압축 콘크리트의 구속은 균형보강비 이상의 배근된 부재에서 압축 연단의 압축파괴이후에 콘크리트의 파괴를 지연시켜 변형능력의 증진과 함께 상대적으로 안정된 파괴양상을 보이게 되며, Table 4와 같이 약 20~40%의 연성이 증가되는 것으로 나타났다. 변형도계수, 에너지법, 처짐에 의한 연성평가방법은 실험체들의 연성증가에 대한 지표로서 모두 사용가능하였으나 처짐에 의한 연성평가방법은 FRP bar를 사용한 부재에서 균형보강비 이상의 압축 구속을 유도한 경우에만 사용가능한 한계가 있으며, 에너지법, 변형도계수에 의한 방법은 파괴모드와 상관없이 사용할 수 있는 장점이 있었다.

5. 결론

1) FRP 보강근을 사용한 콘크리트 휨부재는 초기균열에 의해 강성이 저하된 이후 파괴시까지 선형적

으로 거동하는 이선형(bilinear) 거동을 나타내었으며, FRP 보강근의 인장강도 증가, 인장보강비의 증가에 따라 연성의 증가효과가 있었다.

- 2) 압축 구속을 한 FRP 보강 콘크리트(FRP RC) 휨부재는 압축 연단의 콘크리트 압축파괴 이후에 콘크리트의 구속효과로 일정내력을 유지하여 갑작스러운 파괴를 막는데 효과적인 것으로 나타났다.
- 3) FRP bar를 주근으로 사용한 실험체들의 변형도계수, 에너지, 처짐에 의한 연성의 평가에서 압축 구속을 한 실험체들의 연성증가를 지수화하여 적절히 평가할 수 있었으나 처짐에 의한 방법은 압축파괴시에만 사용가능하였으며, 에너지에 의한 연성계산은 압축파괴시의 내력의 저하 이후에 대한 평가가 적절치 않으므로 변형도계수에 의한 방법이 파괴모드와 관계없이 FRP bar를 사용한 부재의 연성평가에 보다 합리적인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 공공기술연구회 2004 정책사업 “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술개발”, 과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축연구센터(R11-2005-056-01003-0) 및 한국학술진흥재단(KRF-2006-511-D00405)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임

참고문헌

1. 이상호, 안상호, “FRP 봉을 주근으로 사용한 콘크리트 보 부재의 휨거동”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제21권 1호, 2005, pp. 67-74.
2. 신성우, 안종문, 한범석, 서대원, “FRP 보강근을 주근으로 사용한 콘크리트 보의 보강비 효과”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제21권 2호, 2006, pp. 19-26.
3. 한국건설기술연구원, “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술개발(3차년도)”, 2006.
4. Marchida, A., et al. “Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials”,

-
- Concrete Engineering Series Vol. 23, Japan Society of Civil Engineers, 1997.
5. American Concrete Institute(ACI) Committee 222, "Protection of Metals in Concrete Against Corrosion(ACI 222R-01)", ACI, 2001.
 6. American Concrete Institute(ACI) Committee 440, "Guide for design and construction of concrete reinforced with FRP bars(ACI 440.1R-03)", ACI, 2003.
 7. Houssam A. Toutanji and Mohamed Saafi, "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer(GFRP) Bars", ACI Structural Journal, Vol. 97, No. 5, 2000, pp.712-719.
 8. H. A. Abdalla, "Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (FRP) bars", Composite Structures, Vol. 56, 2002, pp. 63-71.
 9. Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS), "Reinforcing Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers", ISIS Canada, 2001.
 10. Jaeger, L. G., and Mufti, A., "Balanced Section, Ductility and Deformability in Concrete with Reinforcement", Research Report No.2 -1995, Industry's center for Computer-Aided Engineering, Technical University of Nova Scotia, Halifax, Canada, 1995, pp. 29.
 11. M. A. Rashid, M. A. Mansur, and P. Paramasivan, "Behavior of Aramid Fiber-Reinforced Polymer Reinforced High Strength Concrete Beams under Bending", Journal of Composites for Construction, March/April, 2005, pp. 117-127

(접수일자 : 2007년 7월 30일)