

# CFRP 보강접수에 따른 철근콘크리트보의 음향방출특성

## Acoustic Emission Characteristics of RC Beams retrofitted by Carbon Fiber Reinforced Polymer

전수만<sup>\*</sup> 김선우<sup>\*\*</sup> 윤현도<sup>\*\*\*</sup> 서수연<sup>\*\*\*\*</sup> 최창식<sup>\*\*\*\*\*</sup> 최기봉<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Jeon, Su-Man Kim, Sun-Woo Yun, Hyun-Do Seo, Soo-Yeon Choi, Chang-Sik Choi, Ki-Bong

### ABSTRACT

In recent years, carbon fiber reinforced polymer(CFRP) has been widely used for reinforcement of damaged concrete structures. However, the fundamental mechanisms of load transfer and load-resistance for reinforced concrete beams retrofitted by CFRP are not fully understood. Acoustic emission(AE) technique was used to evaluate the characteristics of damage progress and the failure mechanism of reinforced concrete beams retrofitted by CFRP. In this study, three-point-bending test has been carried out to investigate the AE characteristics of four specimens. The results show that the AE technique is a valuable tool to study the failure mechanism of reinforced concrete beams retrofitted by CFRP.

### 1. 서론

최근에는 외부환경이나 사용여건에 따라 재료 내부에 결함이나 균열, 부식 등의 손상이 발생하여 성능이 저하된 구조물의 보강공법으로 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등 FRP계 신소재를 이용한 에폭시 접착공법이 많이 사용되고 있다. FRP계 보강재 중 탄소섬유를 사용한 CFRP(Carbon fiber Reinforced Polymer)는 높은 인장강도와 부식 및 열화에 대한 안정성을 갖고 구조물의 형상에 관계없이 간단하게 절단하여 사용할 수 있어 널리 사용되고 있으며 이에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다.<sup>1)-2)</sup> 그러나 보강 후 일정한 내력을 초과하게 되면 내부 손상 및 시트 파단 등으로 인해 취성적 거동을 보이게 되는데 이러한 보강된 콘크리트 부재의 미시적 결함을 조기 예측하고 나아가 구조물의 건전성 평가(Health monitoring)가 이루어지기 위해서는 콘크리트 부재 내부의 미시적 변형형태를 파악하여야 할 필요가 있다. 이러한 콘크리트 부재의 손상정도를 평가하기 위한 다양한 비파괴검사 중 최근에는 재료 내부의 손상에 의한 에너지 방출로 발생된 탄성파(Elastic wave)를 이용하는 음향방출(Acoustic emission, 이하 AE)기법이 많이 연구되고 있다. 이러한 AE기법은 주로 시험편 자체나 무근 콘크리트<sup>3)</sup> 및 철근콘크리트 부재<sup>4)</sup>의 손상평가에 주로 연구되어 왔으나 보수·보강된 콘크리트 구조물의 보강효과를 이해하고 이에 관한 미시적 변형형태를 파악하고자 하는 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 철근콘크리트 보에서 CFRP의 보강 접수에 따른 철근콘크리트 보의 파괴메커니즘 및 AE 신호특성을 비교·분석하여 보강재와 철근콘크리트 부재의 미시적 변형관계를 규명하고자 한다.

### 2. 실험

- \* 정회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정
- \*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 박사과정
- \*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- ]\*\*\*\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- \*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- \*\*\*\*\* 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

## 2.1 시험체 계획

본 연구에서는 CFRP 보강 접수에 따른 철근콘크리트 보의 AE 신호특성을 규명하고자 표 1과 같이 총 4개의 시험체를 계획 및 제작하였다. 계획된 시험체 상세 및 AE 센서 부착위치는 그림 1에 나타내었고, 주근 및 전단보강근으로 사용된 D13 및 D10의 기계적 특성은 표 2에 나타내었다.

## 2.2 사용 재료 및 실험방법

본 연구에서 사용된 보강용 CFRP는 두께 0.12mm의 fabric type으로 Sika사의 HW Hex-230C 제품을 사용하였고, 접착용 에폭시 수지는 Sikadur-330을 사용하였으며 각각의 물리적 특성은 표 3 및 4에 각각 나타내었다. 또한 그림 2에 나타낸 바와 같이 2,000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 3점 가력하였으며 보강재가 파단 및 박리되어 보강효과를 상실할 때까지 총 4개의 AE 센서를 사용하여 지속적으로 AE 신호를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 CFRP로 휨보강된 철근콘크리트 보의 파괴양상 및 거동특성

시험체별 최종파괴 형태를 살펴보면 무보강 시험체는 초기 휨균열 이후 하중이 증가함에 따라 인장철근 항복 후 콘크리트의 압괴에 의하여 파괴되는 전형적인 휨파괴 양상을 보였고 CFRP를 1겹 보강한 BCF-1 시험체는 보강재가 파단과 동시에 탈락되었으며 BCF-2 시험체는 보강재가 일부 파단되었으며 콘크리트 부재 사이의 계면이 분리되었다. 특히 BCF-3 시험체의 경우 보강재의 파단 없이 인장측 콘크리트 피복의 일부가 박리되는 현상을 나타내었다. 그림 3은 각 시험체의 하중-처짐 관계곡선을 나타낸 것으로 CFRP로 보강된 시험체에서 보강 접수에 따라 최대내력이 증가하다가 CFRP의 파단 및 콘크리트 계면과의 박리로 인해 급격히 내력이 감소되어 이후에는 RCB 시험체와 유사한 거동을 나타내었다.

표 1 시험체 계획

시험체명	단면(b×d) (mm)	길이(순경간) (mm)	CFRP 보강접수	콘크리트 설계기준 압축강도, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )
RCB	200×270	2,000(1,700)	-	35
BCF-1			1겹	
BCF-2			2겹	
BCF-3			3겹	

표 2 철근의 기계적 특성

종류	항복강도 (N/mm <sup>2</sup> )	극한강도 (N/mm <sup>2</sup> )
D13	526.5	637.3
D10	351.4	431.6

표 3 보강재의 물리적 특성

종류	단위면적 중량(g/m <sup>2</sup> )	두께 (mm)	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kN/mm <sup>2</sup> )	최대 변형률(%)	섬유밀도 (g/cm <sup>2</sup> )
HW Hex-230C	220	0.12	4,182	2,346	1.7	1.78

표 4 에폭시의 물리적 특성

종류	밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (kN/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )
Sikadur -330	13.1	4.59	콘크리트 파괴

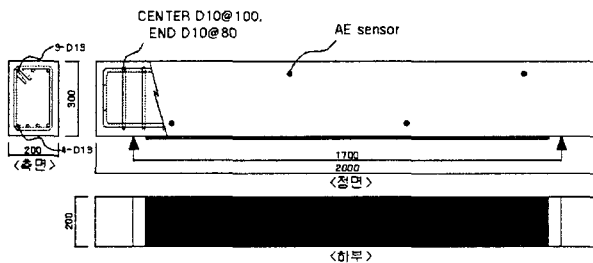


그림 1 시험체 상세 및 AE 센서 부착위치(Unit:mm)

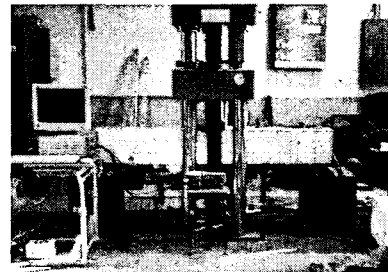


그림 2 가력 및 AE 측정상황

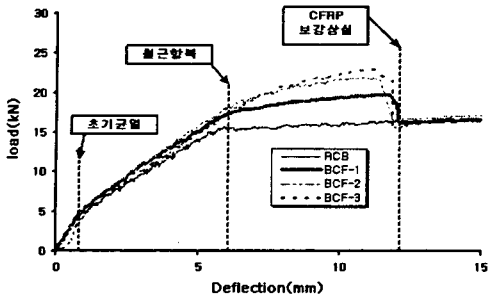


그림 3 하중-처짐 관계곡선

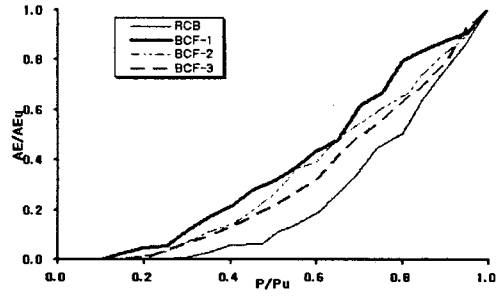
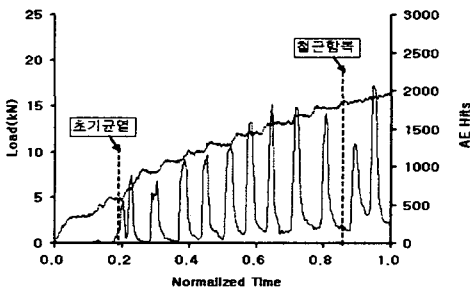
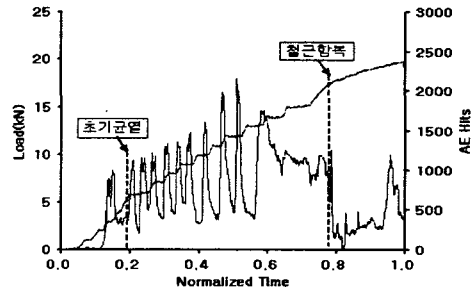


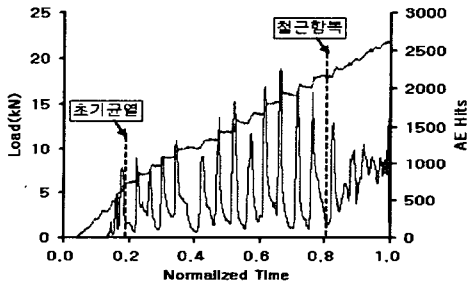
그림 4 손상진전에 따른 누적 AE 이벤트수



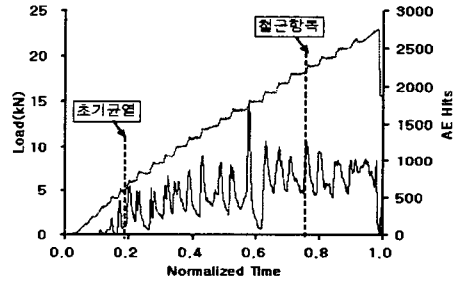
(a) RCB



(b) BCF-1



(c) BCF-2



(d) BCF-3

그림 5 하중-AE Hit수 관계곡선

### 3.2 AE 신호특성

그림 4는 각 시험체의 단계별 손상진전에 따른 누적 AE 이벤트 수를 최대하중 시의 누적 AE 이벤트 수로 무차원화시킨 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 보강하지 않은 RCB 시험체는 인장철근 항복 후 콘크리트의 압괴에 의해 AE 이벤트수가 다소 급격히 증가하였고 이에 비해 CFRP를 보강한 시험체는 하중의 진전과 동시에 이벤트 값이 비교적 완만하게 증가되었다. 이는 CFRP가 보에 작용되는 응력을 재분배하여 응력이 집중되는 것을 방지하였기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5는 CFRP가 파단 및 박리될 때까지의 하중과 AE Hit수의 관계를 나타낸 곡선으로 그림 5(b)의 CFRP를 1겹 보강한 BCF-1 시험체의 경우 초기균열 이후 일정한 AE Hit수의 증가와 함께 비교적 고른 분포를 보이는 것으로 보아 보강재가 철근의 항복 이전부터 철근과 함께 인장력을 부담하고 철근의 항복시점을 지나서 지속적인 인장력을 받은 후 파단과 동시에 탈락된 것으로 판단된다. 또한, 그림 5(c)의 CFRP를 2겹 보강한 BCF-2 시험체는 보강재가 철근의 항복 시점부터 인장력을 부담하여 AE Hit수가 고른 분포를 나타내는 것으로 판단되며 그림 5(d)의 CFRP를 3겹 보강한 BCF-3 시험체의 경우 철근항복 전과 비교해 이후 비교적 일정한 AE Hit수를 나타내었다. 이는 3겹 보강의 영향으로 보강재의 인장강도가 지나치게 높아져서 철근콘크리트 보와 일체저동을 하다가 콘크리트의 인장파괴로 인하여 보강재는 파단 되지 않고 피복 콘크리트의 일부가 박리되는 것으로 판단된다.

그림 6은 경과시간에 따른 에너지와 지속시간의 관계를 나타낸 곡선으로 초기균열 이후에는 전체적으로 비교적 일정한 지속시간과 작은 에너지 증가율을 보이고 점진적으로 시간이 지남에 따라 철근의

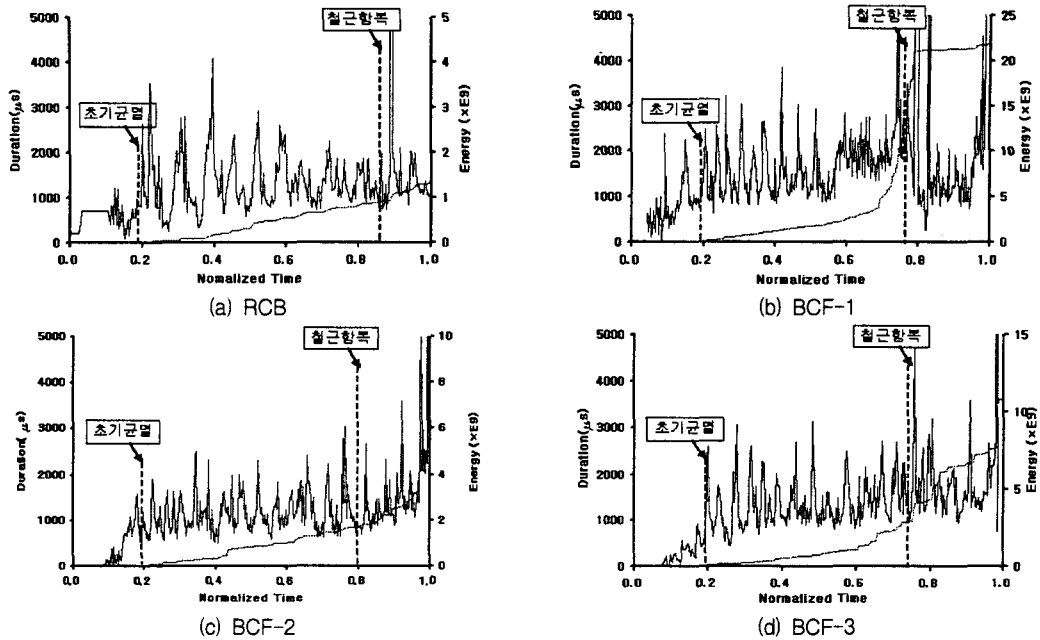


그림 6 에너지와 지속시간 관계곡선

항복 및 보강재의 파단 및 박리 시점에서는 급격한 균열의 증가 및 진전으로 인해 지속시간 및 에너지도 급격한 증가를 보였다. 그림 6(b)의 BCF-1 시험체는 철근항복 시점 이전과 이후에 증가 및 감소하는 것으로 보아 보강재가 철근항복 시점 이전부터 영향을 미치는 것으로 판단되고 그림 6(c)의 BCF-2 시험체는 비교적 고른 분포를 보이다가 철근항복 이후에 에너지가 점차적으로 증가한 후 정착용 에폭시의 파단으로 인해 보강재가 분리되는 시점에서 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 그림 6(d)의 BCF-3 시험체는 철근이 항복된 후 보강재의 파단 없이 일부 콘크리트 피복이 박리되는 시점에서 지속시간 및 에너지가 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 CFRP로 휨보강된 철근콘크리트 보의 음향방출특성을 CFRP 보강 겹수에 따라 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CFRP의 보강 겹수에 따라 철근콘크리트 보의 휨내력은 증가하는 것으로 나타났으나, 보강재 파단 후 하중저하는 더욱 심각해지는 것으로 나타났다.
- 2) CFRP의 보강 겹수에 따른 AE 신호특성을 분석한 결과, CFRP의 인장응력 부담 범위가 철근 항복시점을 전·후로 해서 각기 다르게 나타났으며 각 시험체의 파괴형태별로 다르게 나타났다.
- 3) 연구 결과, CFRP로 보강된 시험체에 휨거동 특성과 AE 신호특성은 잘 일치하는 것으로 보아 AE기법을 사용하여 보수·보강된 구조물의 손상추정이 가능할 것으로 판단되며, 다양한 보수·보강된 구조물의 파괴특성에 대한 연구가 더욱 필요한 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 박중열, 황선일, 조홍동, 한상훈, "CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 거동 특성", 한국구조물진단학회 논문집, Vol.7, No.3, 2003, pp125~131
2. 김성수, 윤승조, 김연동, 이우진, "CFRP로 보강된 RC보의 구조내력에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, Vol.18, No.43, 2002, pp27~34
3. 한상훈, 이용중, 조홍동, 김동규, "음향방출을 이용한 무근콘크리트 보의 균열발생원 탐사기법", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.13, No.2, 2001, pp107~113
4. 이원석, 이영오, 김선우, 윤현도, 최창식, 최기봉, "주근이 접착이음된 철근콘크리트 보의 골재종류에 따른 음향방출특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.17, No.2, 2005, pp247~250