

CFRP로 전단보강된 철근콘크리트 보에서 음향방출 특성을 이용한 균열 위치추정

Acoustic Emission Technique for Crack Source Location of Reinforced Concrete Beams Strengthened in Shear with CFRP

이영오* 김선우** 윤현도*** 서수연**** 최창식***** 최기봉*****
Lee, Young-Oh Kim, Sun-Woo Yun, Hyun-Do Seo, Soo-Yeon Choi, Chang-Sik Choi, Ki-Bong

ABSTRACT

This study was conducted to develop the crack location technique for CFRP reinforced concrete beam using AE method. To experimentally prove the crack source location made of four reinforced concrete beams strengthened in shear with CFRP. The results compared the real cracking location with the source location has perceived by AE monitoring, before it is appeared the primary crack by visual observation. So, This study used by a basic data in constructing the system of the failure warning at application.

1. 서론

건축물이 노후화됨에 따라 구조물의 손상과 붕괴가 심각한 문제로 야기되고 있으며, 이로 인하여 콘크리트 구조물의 안전성 확보를 위한 연구에 많은 관심이 모아지고 있다. 특히 철근콘크리트구조물의 경우 내부의 손상이 더 큰 문제로 야기되고 있어, 콘크리트 내부의 변형특성 및 미시적 파괴손상 기구를 파악하여야 할 필요가 있다. 이에 따른 대안으로 여러 가지 비파괴 검사들이 사용되고 있는데, 그 중 음향방출(Acoustic emission, 이하 AE)기법은 재료 내부의 손상에 의해 발생된 탄성과 특성을 근거로 미시적 변형이나 파괴거동의 규명에 유용한 기법으로 잘 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 CFRP(Carbon fiber reinforced polymer)로 전단보강된 철근콘크리트보를 제작하여 CFRP의 보강효과에 따른 AE 신호에 의한 음원위치 추정을 통해 균열과 AE 신호특성과의 적합성을 평가하고, 부재내의 손상 진전 및 균열의 위치추정을 하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획 및 보강방법

본 연구에서는 CFRP로 전단보강된 철근콘크리트 보의 AE 신호특성에 따른 균열 위치를 추정하기 위하여 보강 형태를 변수로 CFRP를 무보강한 기준시험체 RCB, 밀면을 한 겹 보강한 BCF-1 시험체, 밀면과 측면 일부를 보강한 BCF-0.4S 시험체, 밀면과 측면 전체를 보강한 BCF-1.0S 시험체등 총 4개의 시험체를 계획하였으며 시험체 일람 및 시험체 상세는 그림 1과 표 1에 각각 나타내었으며, 보강형태에 따른 보강방법은 그림 2에 나타내었다.

* 정희원, 충남대학교 건축공학과, 석사과정

** 정희원, 충남대학교 건축공학과, 박사과정

*** 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

**** 정희원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정희원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

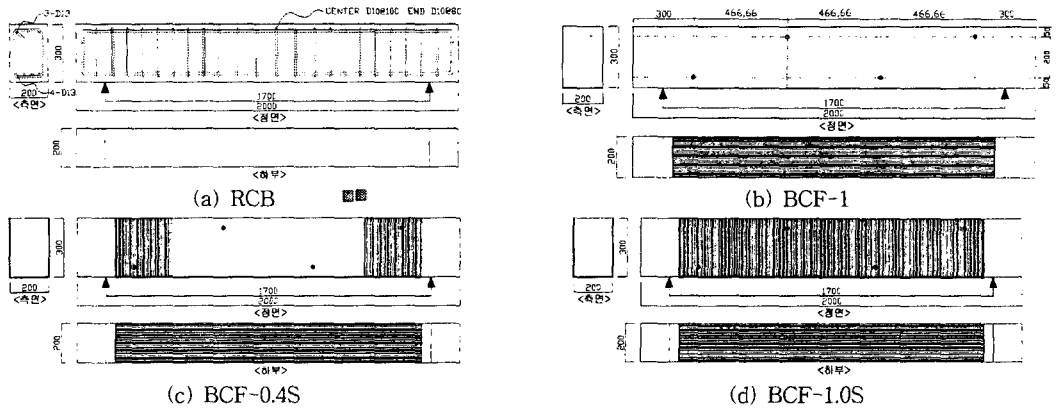


그림 1 시험체 상세

표 1 시험체 계획

시험체명	단면(b×d) (mm)	길이 (순경간) (mm)	보강형태	콘크리트 설계기준압축강도 (f_{ck} , N/mm ²)
RCB	200×270	2,000 (1,700)	무보강	35
BCF-1			밀면	
BCF-0.4S			밀면+측면일부	
BCF-1.0S			밀면+측면전체	

* BCF-1 (0.4s, 1.0s) → 밀면보강 접수 (측면보강 범위)
↳ 보강방법에 따른 구분

표 2 보강재의 물리적 특성

제품명	두께 (mm)	인장강도 (N/mm ²)	탄성계수 (kN/mm ²)	최대 변형률 (%)	섬유밀도 (g/cm ²)
SW Hex-230C	0.12	4,182	234.6	1.7	1.78

표 3 에폭시의 물리적 특성

종류	밀도 (kg/L)	탄성계수 (kN/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)
접착제	1.31	4.59	콘크리트 파괴

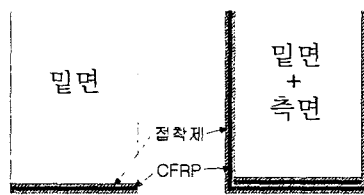


그림 2 보강형태

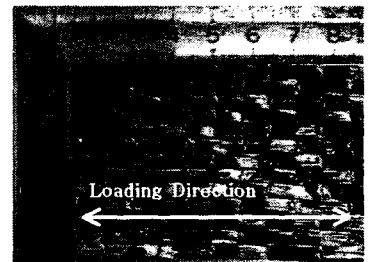


그림 3 CFRP 사진

2.2 사용재료

본 연구에서는 설계기준압축강도 35N/mm²의 콘크리트를 사용하였고, 인장철근에는 D13을, 전단보강근에는 D10의 철근을 사용하였으며, 전단보강에 사용된 CFRP는 Sika사의 SW Hex-230C를 사용하였다. 또한 인장방향의 응력에 저항할 수 있도록 섬유는 길이방향으로 부착하였으며, 보강재의 형상 및 치수는 그림 3에 나타낸 바와 같다. 보강재 및 에폭시의 물리적 특성은 표 2와 표 3에 각각 나타내었다.

2.3 시험체 설치 및 측정방법

본 연구에서는 CFRP로 전단보강된 철근콘크리트 보의 손상진전에 따른 AE 신호특성을 측정하기 위해, 2000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 3점 가력하였고, AE 신호는 삼각형 탐사기법(Triangular method)을 사용하여 측정하였다. 위치추정에 필요한 매질의 음파속도는 속도측정 표준방법인 연필심 붕괴시험(Pencil broken test)을 실시하여 측정하였으며, 측정에 사용된 AE센서(SE900, DECI사)

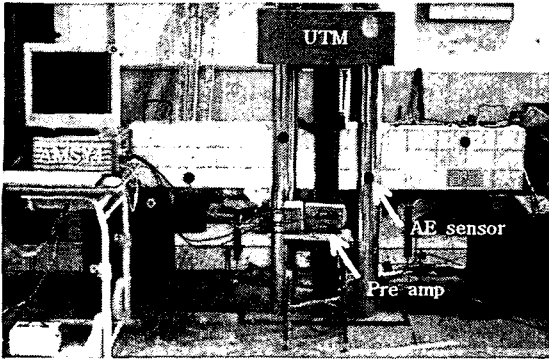


그림 4 시험체 설치상황

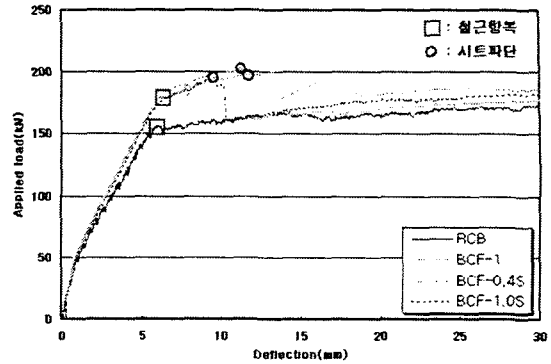


그림 5 하중-처짐

는 100~900kHz의 광대역 센서를 사용하였다. 측정된 신호를 프리앰프(Pre-amp, 20dB, Vallen system)에서 증폭시킨 후, Vallen사의 AMSY4를 사용하여 분석하였으며, 외부인자의 영향을 배제하기 위해 진폭이 40dB 이상인 신호만을 측정하였다. AE 신호는 보강재가 파단 될 때(최대내력)까지 측정하였으며, 시험체 및 AE 센서의 설치상황은 그림 4에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 휨거동 특성

그림 5는 보 중앙부 처짐과 UTM으로부터 도입된 하중의 상관관계를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 초기균열 이전까지는 모든 시험체에서 유사한 거동을 보였으며, 이후 CFRP로 보강된 시험체의 강성이 무보강된 RCB 시험체에 비해 다소 높게 나타났다. 시트파단까지의 최대하중은 전단부를 40% 보강한 BCF-0.4S 시험체의 최대내력이 가장 크게 나타났으며, 철근항복이후 보강재가 보강능력을 상실할 때까지 가장 큰 변형능력을 나타내었다.

3.2 AE 신호 특성에 따른 위치추정

AE 신호를 이용하여 시험체 내부에 발생하는 미세균열의 위치를 추정한 데이터와 실험시 육안으로 관측된 균열 및 최종파괴양상을 그림 6에 나타내었다. 초기균열시까지의 AE 신호는 응력이 크게 작용하는 시험체 중앙부에 집중되었으며, 이후 상부와 양단부로 진행되는 등, AE 신호는 실험에서 나타난 균열 패턴 및 휨거동 시험체의 변형거동과 유사한 경향을 나타내었다. RCB시험체는 CFRP로 보강된 시험체의 유사한 시점에서 비교하기 위하여, BCF-0.4S 시험체의 보강재 파단시 변위(12mm)를 나타내었으며, AE 신호에 따른 위치 추정 및 균열도는 그림 6(a)에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 철근항복시 보강한 시험체 보다 균열 개수가 적었으며, 12mm 처짐시 외부 균열이 다른 시험체 보다 상부로 깊이 진전되었다. 또한 균열이 다른 시험체보다 상부로 깊이 진전되었으며, 균열폭은 대체적으로 큰 편이었다. 그림 6(b)에 나타난 바와 같이 BCF-1 시험체에서는 RCB 시험체 보다 전체적으로 균열이 많이 발생되었으며, AE 신호 또한 많이 측정되었다. 측면 일부를 보강한 BCF-0.4S 시험체의 경우 RCB, BCF-1 시험체 보다 AE 신호가 많이 측정되었으며, 중앙부의 AE 신호는 시험체 중앙부의 응력 집중으로 인해 내부에 발생한 균열로 판단된다. 또한 철근항복이후 시험체 하부 인장철근 주변에서 AE 신호가 측정되었는데, 이는 시트파단 시기까지 철근과 콘크리트의 부착력 감소로 인해 인장철근 주변에서의 AE 신호가 급격히 증가하였다. RCB, BCF-1, BCF-0.4S 시험체에서 비추어 볼 때 BCF-1.0S 시험체의 경우 측면 전체 보강에 따라 단부 보다 중앙부에 AE 신호가 다수 측정되었으며 BCF-0.4S 시험체와 유사하게 상부로 깊숙이 진전된 AE 신호가 나타났고, 단부 전체 보강 효과에 따라 AE 신호가 BCF-0.4S 시험체 보다 적게 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 음향방출 기법을 이용하여, CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 하중 단계에 따른 미시적

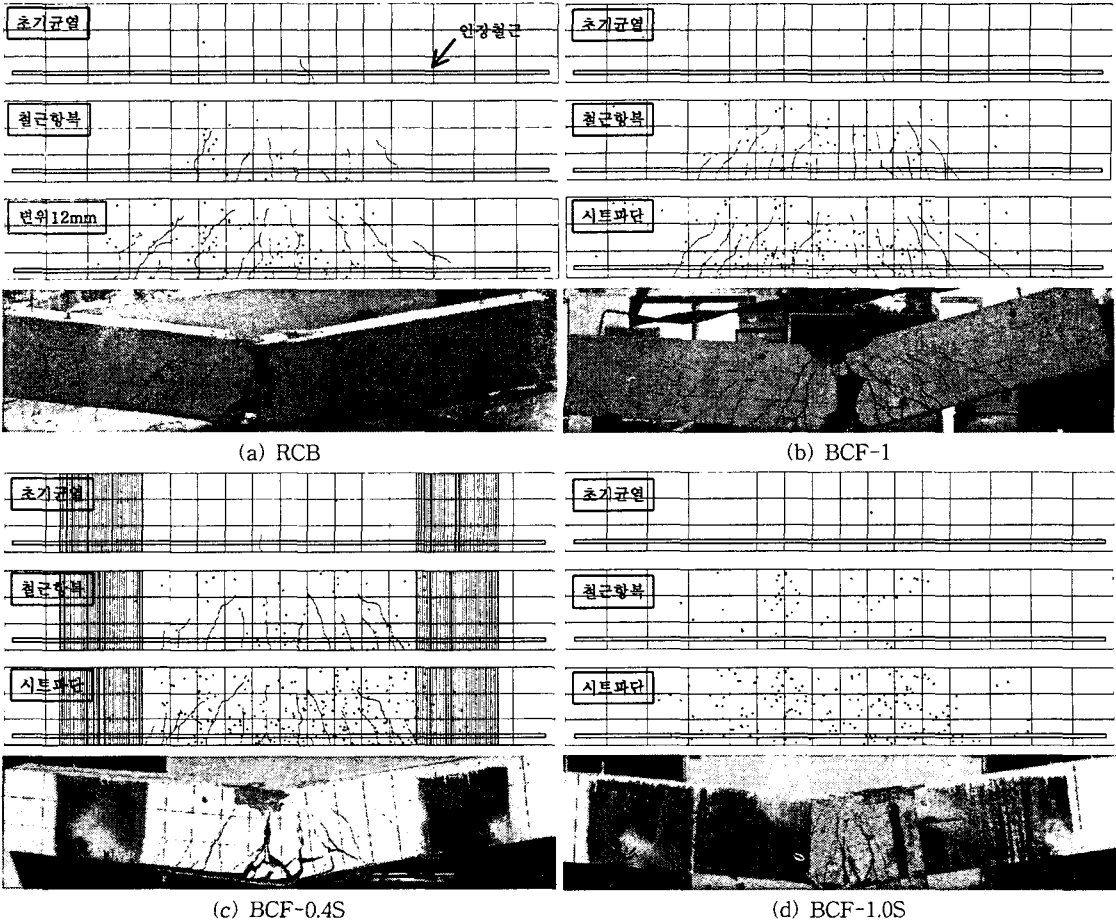


그림 6 균열 위치추정

파괴 특성을 AE신호로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 각 시험체의 균열과 AE 신호특성은 보강형태에 따라 유사한 패턴을 보였으며, 이를 이용하여 보수 보강된 구조물의 내부 손상 및 보강재와의 미시적 파괴특성 규명에 있어, 본 연구에서 사용한 AE 기법의 적용가능성이 높을 것으로 판단된다.
- (2) 연구결과 보강된 구조물에서의 손상 및 AE 신호특성은 높은 상관관계를 나타냈으나, 다양한 보강기법 및 상세를 갖는 구조물에 대한 폭넓은 연구 및 자료 구축이 필요하다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한상훈, 이웅중, 조홍동, 김동규, "음향방출을 이용한 무근콘크리트 보의 균열 발생원 탐사기법", 한국콘크리트학회 논문집 V.13 No. 2, 2001, pp107~113
2. Jin-Kyung Lee, Joon-hyun Lee(2002), "Nondestructive evaluation on damage of carbon fiber sheet reinforced concrete", Composite Structures 58, 139-147
3. 박중열, 황선일, 조홍동, 한상훈, "CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 거동 특성", 한국구조물진단학회 논문집, vol.7, No.3, 2003, pp125~131