

주근이 겹침이음된 철근콘크리트 보의 골재종류에 따른 음향방출특성

Effects of Aggregate Types on Acoustic Emission Characteristics of R/C Beams in Lap Splice

이원석* 이영오* 김선우** 윤현도*** 최창식**** 최기봉*****

Lee, Won Suk Lee, Young Oh Kim, Sun Woo Yun, Hyun Do Choi, Chang Sik Choi, Ki Bong

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the emission of acoustic signals from three reinforced concrete beams at cracking and failure processes. Acoustic emission(AE) characteristics of reinforced concrete beams were investigated during the entire loading period. AE technique was used to evaluate the characteristics of damage process and the failure mechanism of reinforced concrete beam with natural and recycled aggregates. The influences of different aggregate in concrete on AE characteristics were investigated as well.

1. 서 론

최근 사회기반시설의 유지관리에 대한 중요성이 대두됨에 따라 이와 관련된 기반시설의 효율적인 관리체계 구축 및 시설물의 건전성 평가를 위한 다양한 기법이 모색되고 있다. 이 중 특히 음향방출(Acoustic emission, 이하 AE)기법은 재료 내부의 손상에 의한 에너지 방출로 발생된 탄성과 특성(Elastic wave characteristics)을 근거로 재료 내부의 손상발생 및 진전과정을 파악할 수 있어 금속재료의 피로균열 및 산업 구조물의 진단 및 상태평가 등에 주로 적용되어져 왔다. Shah와 Maji(1988)¹⁾ 등이 콘크리트의 파괴기구를 규명하기 위하여 콘크리트 손상 평가에 AE 기법이 적용되기 시작하였다. 그러나 AE 기법을 철근콘크리트 건설 구조물의 건전성 평가에 적용하기 위해서는 단일재료인 콘크리트의 파괴 특성과 AE 신호에 대한 분석^{2,3)}이 아니라 철근과 콘크리트가 복합적으로 사용된 철근콘크리트 부재로 연구범위를 확대하여 AE 신호와 철근콘크리트 부재의 거동 특성의 상관성에 대한 규명이 요구된다. 또한 건설공사의 발주자에 대해서는 일정규모 이상의 공사에 한하여 순환골재의 사용을 의무화하는 「건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」(2004. 12)이 제정되어 순환골재의 사용에 따른 구조부재의 성능에 관한 연구가 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 주근이 겹침이음된 철근콘크리트 보에서 사용된 골재의 종류에 따른 전반적인 거동 특성 및 균열진전 과정에 따른 AE 신호 특성을 분석하고 철근콘크리트 보의 미시적인 손상 및 파괴 특성을 비파괴적으로 평가하여 향후 철근콘크리트 건설 시설물의 온라인 모니터링 및 기존 시설물의 건전성 평가 시스템 구축을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시험체 계획

본 연구에서 순환골재의 구조부재에 대한 적용 가능성을 평가하기 위해 사용 골재를 변수로 하여 주근이 겹침이음된 철근콘크리트 보의 균열 및 파괴양상을 비교·평가하고, AE의 신호특성을 분석하

*정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

**정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

***정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

****정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

*****정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*****정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문은 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004 건설핵심기술연구 개발사업(과제번호 04-핵심기술-C02-02)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

표 1 시험체 일람표

시험체명	폭×깊이(유효깊이) (mm)	길이(순경간) (mm)	설계기준강도 f_{ck} (N/mm ²)	주근인장강도 f_y (N/mm ²)	인장철근비(A_s, ρ) (mm ² , %)	전단보강근비 (pitch, ρ_s (%))
C30-1.0L _d	170×300 (270)	2120(1820)	30	429	D13 3ea (381, 0.83)	D6@80 0.416
RS30-1.0L _d						
RG30-1.0L _d						

* C30-1.0L_d : C: 천연굵은골재+천연잔골재, RS : 천연굵은골재+천연잔골재(50%)+순환잔골재(50%), RG : 순환굵은골재 + 천연잔골재
30 : 콘크리트 설계기준 압축강도(f_{ck} , N/mm²), 1.0L_d : 규준에 의한 표준이음길이(L_d=470mm)

표 2 사용골재의 물리적 성질

사용골재	비중	흡수율 (%)	조립율
천연굵은골재	2.65	1.39	6.02
천연잔골재	2.56	1.42	2.84
순환굵은골재	2.54	1.86	6.74
순환잔골재	2.47	3.64	2.89



그림 1 골재의 입형 및 형상

여 부재의 손상과 AE 관계를 실험적으로 규명하고자 하였다. 이를 위하여 천연골재, 순환잔골재, 순환굵은골재를 적용한 총 3개의 시험체를 계획하였으며, 이에 대한 시험체 일람 및 사용골재의 물리적 성질은 표 1, 2와 같고 골재의 입형 및 형상은 그림 1과 같다.

2.2 시험체 설치 및 측정방법

시험체의 지점은 단순지지 조건으로 회전 또는 이동이 가능하도록 특수 제작하여 사용하였다. 또한 보의 전체적인 수직 처짐량을 측정하기 위하여 보 지지부에 설치된 앵글 위에 변위계를 고정하여 보의 순수한 처짐량을 측정하였다. 또한 균열발생 등 철근콘크리트 보의 손상에 따른 AE 신호특성을 측정하기 위하여 보 인장축 하부 및 인장철근 이음부에 그림 2 같이 AE 센서를 총 3개 설치하여 실험 종료시까지 AE 신호를 측정하였으며 측정상황은 그림 3에 나타난 바와 같다.

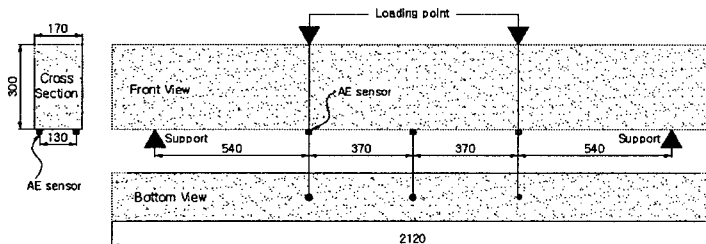


그림 2 AE 센서 부착위치 (Unit : mm)

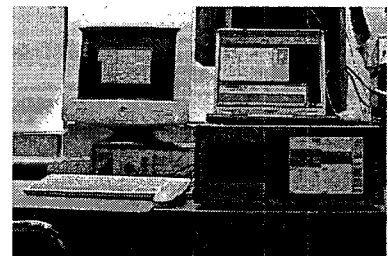


그림 3 AE 측정상황

3. 주근이 겹침이음된 철근콘크리트 보의 거동 및 음향방출특성

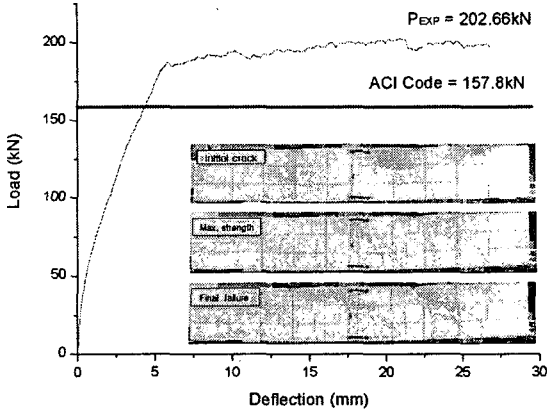
3.1 하중-처짐 관계

그림 4는 각 시험체의 보 중앙부 처짐과 오일잭(Oil jack)으로부터 도입된 하중의 상관관계를 비교하여 나타낸 것으로 사용된 골재종류와 무관하게 초기강성 뿐만 아니라 최대내력 및 최대내력 이후 연성적인 특성을 보이는 대등한 거동을 나타내고 있다. 또한 그림 4에 나타난 바와 같이 ACI 규준식에 의해 표준정착 길이로 이음된 모든 시험체는 현행 ACI 규준식을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 이상과 같은 결과를 근거로 본 연구에서 사용한 조건의 순환골재를 구조체에 적용시 정착/이음된 철근콘크리트 보에 천연골재를 사용할 경우와 대등한 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

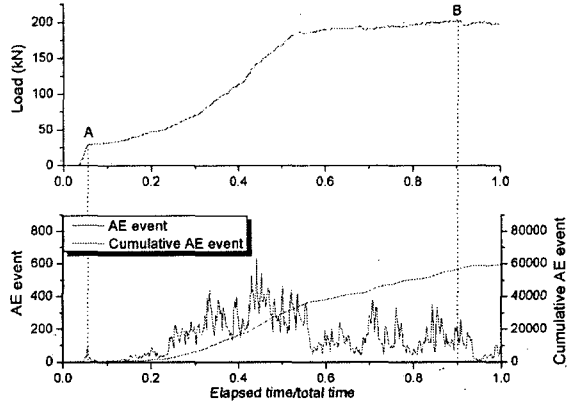
3.2 손상에 따른 AE 방출특성

재료내부에서 균열에 의해 발생하는 탄성파를 이용한 AE 기법은 철근콘크리트 보에서 재하된 하중에 의해 균열과 같은 손상을 온라인 모니터링을 위한 유용한 방법으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 AE 기법을 골재의 종류에 따른 철근콘크리트 보의 손상 및 미세한 파괴기구를 AE 신호 특성을 이용하여 분석하고자 하였다.

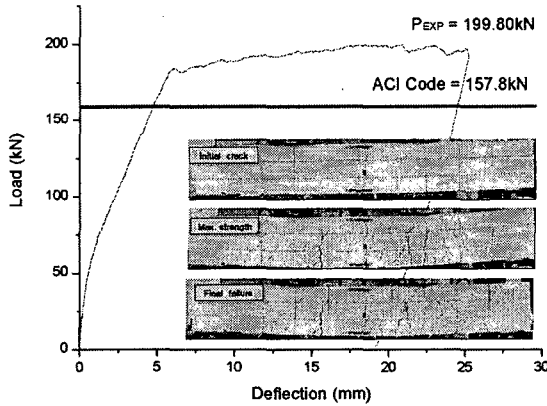
그림 5는 AE 이벤트(Event)수와 골재종류에 따른 철근콘크리트 보의 하중-경과시간 관계를 비교하여 나타낸 것이다. AE의 신호 발생수와 하중-경과시간 관계 곡선은 상관성이 높은 것으로 나타났으며 철근콘크리트 보의 주요한 손상을 AE이벤트 특성으로부터 예측 가능한 것으로 평가되었다. 철근콘크리트 보의 하중-시간 관계와 AE 이벤트-시간 관계는 모든 시험체에서 유사한 경향을 보였다. 하중이 증가되어 주근의 항복 시점에 이를 때까지 현저하게 신호가 증가되며 항복시점에 이르러 신호는



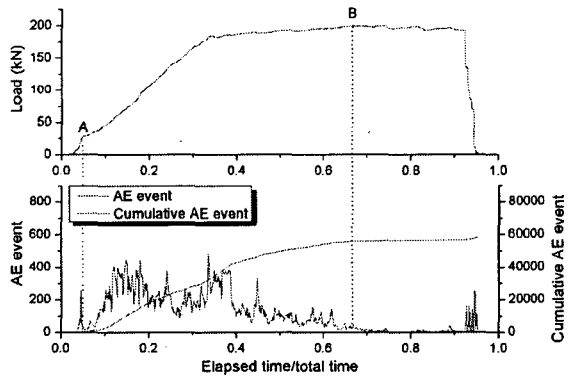
(a) C30-1.0L_d



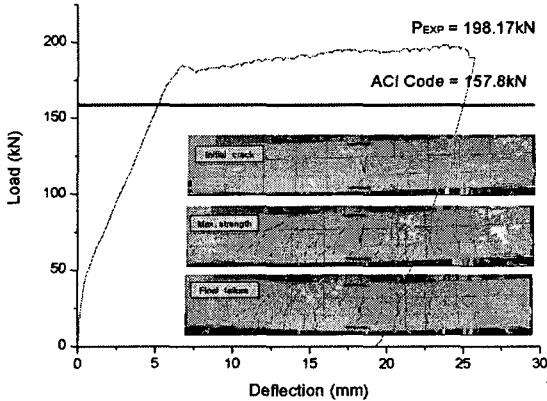
(a) C30-1.0L_d



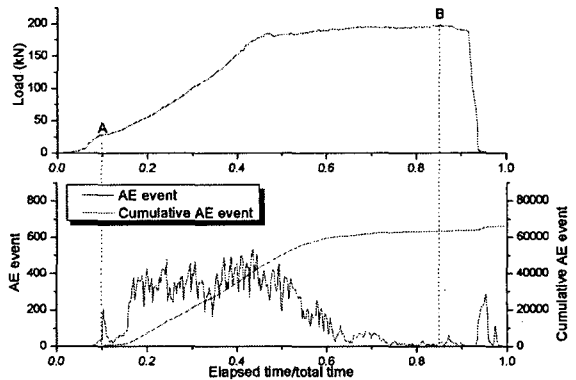
(b) RS30-1.0L_d



(b) RS30-1.0L_d



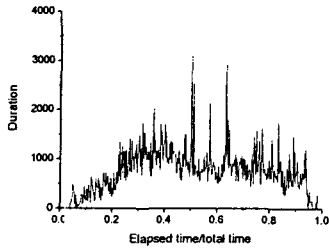
(c) RG30-1.0L_d



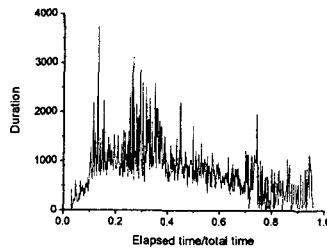
(c) RG30-1.0L_d

그림 4 하중-처짐 관계곡선

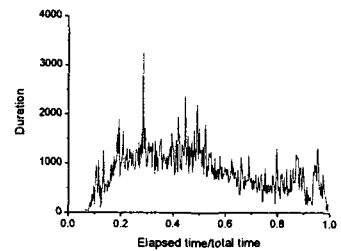
그림 5 하중-AE 이벤트 관계곡선(A:초기균열, B:최대내력)



(a) C30-1.0L_d

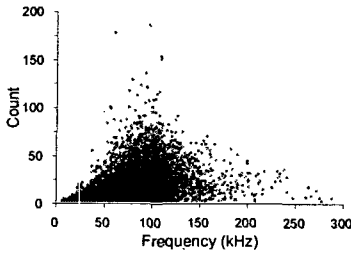


(b) RS30-1.0L_d

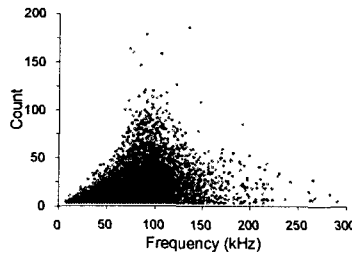


(c) RG30-1.0L_d

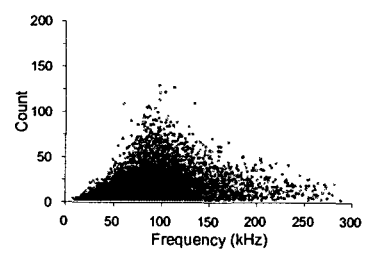
그림 6 지속시간-경과시간 관계 곡선



(a) C30-1.0L_d



(b) RS30-1.0L_d



(c) RG30-1.0L_d

그림 7 카운트-주파수 관계 곡선

감소되는 경향을 보였다. 초기 휨균열 발생시 이벤트 수는 천연골재 보에 비하여 순환골재 보에서 현저히 크게 나타났다. 또한 그림 6에 나타난 바와 같이 골재의 종류와 관계없이 경과시간에 따른 지속시간(Duration)이 유사한 경향을 나타내었으나, 카운트-주파수 관계에서는 그림 7에 나타난 바와 같이 RG30-1.0L_d 시험체에서 다른 시험체와 상이하게 다소 높은 주파수치를 나타내었다. 그러나 전반적인 AE 신호는 모든 시험체에서 거의 대등하게 발생되었다.

4. 결론

본 연구에서는 정착/이음된 철근콘크리트 보에서 사용된 골재의 종류에 따른 전반적인 거동 특성 및 손상에 따른 AE 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 골재종류에 따른 정착/이음된 철근콘크리트 보의 거동은 본 연구범위 내에서 강성, 최대내력 및 연성 등에서 거의 대등한 성능을 보이고 있으며, 현행 ACI 규준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 사용된 고품질 순환골재를 천연골재로 대체하여 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 철근콘크리트 보에서의 초기균열 및 최대내력시점 등 손상진전 및 상태에 따라 AE 이벤트 수는 다르게 나타났으며, 이러한 AE의 특성을 이용하여 철근콘크리트 보의 미시적 손상 및 파괴진전에 관한 비파괴적 평가가 가능할 것으로 판단되었다.
- 3) AE 측정결과, 골재의 종류와 관계없이 경과시간에 따른 지속시간은 유사한 경향을 나타내었으나, RG30-1.0L_d 시험체에서는 주파수 200kHz 이상의 범위에서 다소 높은 수치를 나타내었다. 이는 순환 굵은골재의 맞물림 작용이 천연골재와 상이한 특성을 보이기 때문으로 사료된다.

참고문헌

1. A.K. Maji, S.P. Shah(1988). "Process Zone and Acoustic Emission Measurement in Concrete", Experimental Mechanics
2. Bing Chen, Juanyu Liu(2003), "Experimental study on AE characteristics of three-point-bending concrete beams", Cement and Concrete Research 34, pp.391-397.
3. Keru Wu, Bing Chen, Wu Ya(2001), "Study of the influence of aggregate size distribution on mechanical properties of concrete by acoustic emission technique", Cement and Concrete Research 31, pp. 919-923.
4. 한국콘크리트학회(2004), "콘크리트의 재활용", 한국콘크리트학회(KCI SP2)
5. 구조물의 건전도 평가 시스템 개발:2-3 보수/보강된 구조물의 건전도 평가 기술 1차년도 보고서(2005년)