

음향방출 특성을 이용한 콘크리트 부재종류 및 하중상태에 따른 균열손상 연구

Identification of Damage Characteristics for the Cracking of Concrete Structure Using Acoustic Emission

오병환* 권일범** 김응재*** 김광수****
Oh, Byung-Hwan Kwon, Il-Bum Kim, Eung-Jae Kim, Kwang-Soo

ABSTRACT

The purpose of the present study is to identify the damage characteristics of concrete structures due to cracking by employing the acoustic emission techniques. A comprehensive experimental study has been done. The cracking damages under tensile and flexural loadings have been identified and the bond damage between steel and concrete have been also characterized. It is seen that the amplitudes and energy level of AE events is found to be smaller for bond cracking damages and larger for tensile cracking damages. The characteristic equations of the AE events for various cracking damages have been proposed based on the present test data. The internal microcracks are progressively developed ahead of a visible actual crack and the present study clearly exhibits these damage mechanism for various types of cracking in concrete. The present study provides very useful data which can be used to identify the various types of cracking damages in concrete structures. This will allow very efficient maintenance of concrete structures through monitoring of internal cracking based on acoustic emission.

1. 서 론

최근들어 콘크리트 균열발생 및 전파거동 규명 연구에 큰 관심을 일으키고 있는 음향 방출(Acoustic Emission)기법은 내부의 미시적 변형이나 파괴거동의 규명에 뛰어난 특성을 가지며, 특히 결함의 실시간 계측이 가능하다는 점이 다른 비파괴 검사법과 구별되는 장점이다. 그러나 아직까지 이러한 음향방출 기법이 콘크리트 부재종류나 하중상태에 따라 콘크리트 내부에 발생하는 균열손상의 형태를 규명하지 못하였다.

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 한국표준과학연구원 방재기술연구센터 선임연구원, 공학박사

*** 금호건설주식회사

**** 정회원, 서울대학교 토목공학과 대학원

따라서 본 연구에서는 음향방출 기법을 이용하여, 콘크리트 부재에서 발생하는 하중 단계별 균열 손상의 특성을 규명하고, 인장 균열과 휨균열 그리고 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생했을 때의 각 균열 손상별 음향방출 특성을 규명하는데 주목적이 있으며, 이것은 실제 콘크리트 구조물에 발생하는 균열 손상에 대한 비파괴적인 모니터링 등에 아주 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 하중증가에 따른 콘크리트의 음향방출 특성 분석

2.1 개요

콘크리트의 미시적 변형 거동 및 음향방출의 특성을 분석하기 위하여, 길이 550mm, 단면 150×150mm의 콘크리트 보에 대해서 4 point bending 실험을 통하여, 음향방출 특성을 분석하였다.

본 실험에서 사용한 콘크리트강도는 가장 일반적인 240kg/cm²로 설정하였으며, 굵은골재의 최대 치수는 25mm를 사용하였고, 슬럼프는 12cm였다. 사용된 배합표는 다음과 같다.

Table 1. Mix proportions of concrete

W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight (kg/m ³)				
		water	cement	FA	CA	superplasticizer
45.0	38.0	158	351	681	1144	0.527

2.2 결과 분석

(1) 극한하중의 30%에서의 음향방출 특성

하중초기에는 구조체내의 재료적인 미소 불균질에서의 국부적인 응력집중 등으로 인해 소수의 미세균열이 발생하는 단계이다. 이때의 음향방출 특성은 낮은 AE event를 보이며, 상대적으로 미약한 에너지 신호와 작은 지속시간을 보인다.

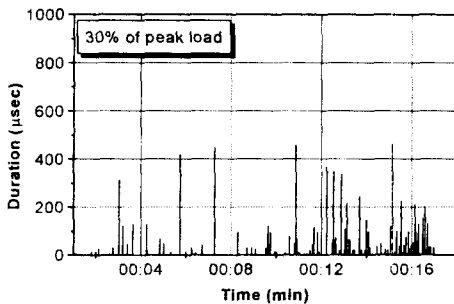


Fig. 1 Duration distribution of AE
(at 30% of peak load)

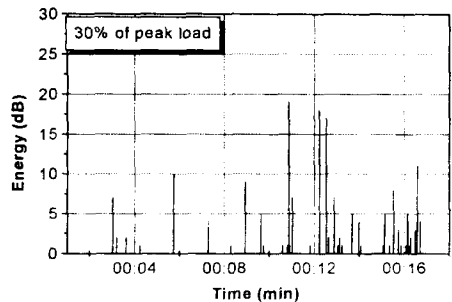


Fig. 2 Energy distribution of AE
(at 30% of peak load)

Fig.1과 2는 실험시편에서 측정된 극한하중의 30%에서의 음향방출의 에너지와 지속시간분포를 나타낸 것이다. 여기서 실험에서 얻어진 극한하중은 6t이다.

(2) 극한하중의 80% 및 극한하중에서의 음향방출 특성

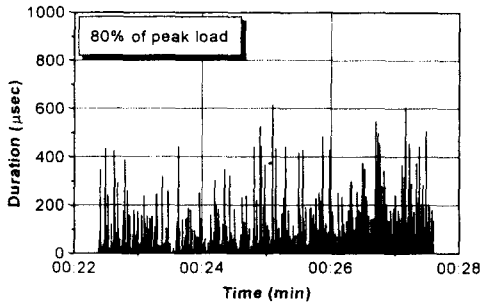


Fig. 3 Duration distribution of AE (at 80% of peak load)

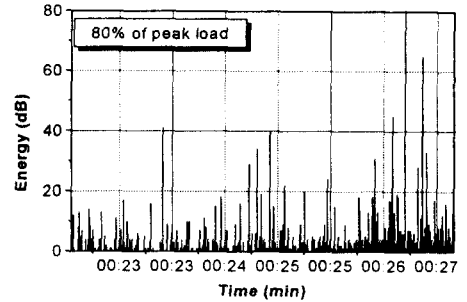


Fig. 4 Energy distribution of AE (at 80% of peak load)

최대 하중에 도달하면서 균열진전과 동시에 급격한 AE event의 증가를 가져온다. 균열은 휨모멘트가 최대인 부분에서 발생하며, 골재의 파단에 의한 신호도 발생한다. 무근 콘크리트의 경우 균열의 생성과 동시에 파괴에 이르기 때문에 갑작스런 파괴를 가져온다. 이때의 에너지와 지속시간의 관계는 거의 유사한 경향을 보인다. 즉 주균열이 생성되어 갑작스런 파괴에 이르기 때문에 에너지와 지속시간도 역시 갑작스런 증가를 보이게 된다.

3. 손상유형별 음향방출 특성 분석

3.1 개요

인장 균열시 음향방출 특성과 휨 균열시의 음향방출 특성 그리고 철근과 콘크리트 사이의 부착부위에서의 균열손상이 발생하였을 때의 각각의 음향방출 특성을 규명하기 위하여, 각각의 경우에 대해서 활열인장실험과 휨실험, 부착강도실험을 수행하였다. 각 손상유형별 음향방출 특성을 파악하기 위하여 손상시 발생하는 신호의 진폭분포를 분석하였다. 콘크리트에서의 음향방출 신호의 감쇠는 매우 심하며, 음향방출 신호의 진폭은 감쇠에 의하여 60cm 전과 후에 약 60%가 줄어드는 것으로 나타났다. 본 연구에서 규명될 손상유형별 음향방출 특성은 실제 철근콘크리트 부재에서 실측되는 음향방출 신호로부터 손상의 형태를 구분할수 있게 해줄것으로 사료된다.

3.2 활열인장강도 및 부착강도 실험

인장 균열이 발생하였을 때의 음향방출 특성을 파악하기 위하여 활열인장실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용한 배합강도는 240kg/cm²로 설정하였으며, 굵은골재의 최대 치수는 25mm를 사용하였고, 슬럼프는 12cm이다. 실험시 사용된 콘크리트 배합은 Table.1과 같다. 음향방출 특성실험은 원형 공시체 양 면에 각각 2개씩의 AE 센서를 부착하여 총 4개의 센서를 부착하였다.

또한, 철근과 콘크리트사이의 부착슬립등에 의한 손상을 파악하기 위하여 부착강도 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 15×15×15cm의 입방형 공시체를 제작 사용하였으며, 철근의 지름은 D19인 철근을 사용하였다. 활열인장강도 실험때와 동일한 조건으로 실험을 수행하기 위하여 동일한 강도의 배합을 사용하였다.

3.3 실험 결과 및 분석

할열인장강도 실험과 부착강도 실험을 통하여, 인장균열과 콘크리트와 철근 사이의 부착손상이 발생하였을 때의 음향방출 특성을 진폭분포를 중심으로 분석하였다. 각 손상별 진폭 분포를 보면, 휨 균열 발생시 진폭분포와 인장 균열 그리고 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생했을 때의 각각 진폭 분포가 다른 양상을 보임을 알 수 있다.

Fig.5에서 보듯이 인장균열이 발생할 때는 비교적 넓은 범위의 진폭 분포를 가지는데 비해, Fig.6에서는 콘크리트와 철근사이의 손상이 발생할때 좁은 범위의 진폭 분포를 가지는 것을 알수 있다. 즉, 인장 균열시 진폭이 약 70dB 이하가 80% 이상의 진폭이 분포하는데 비해서, 철근과 콘크리트 사이의 부착슬립이나 인발등 손상이 발생했을 때는 60dB에서 약 90% 이상을 차지함을 알 수 있다.

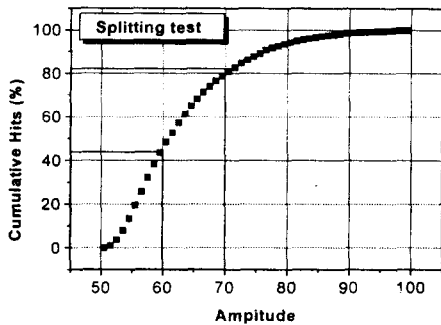


Fig. 5 Amplitude distribution of AE during splitting test

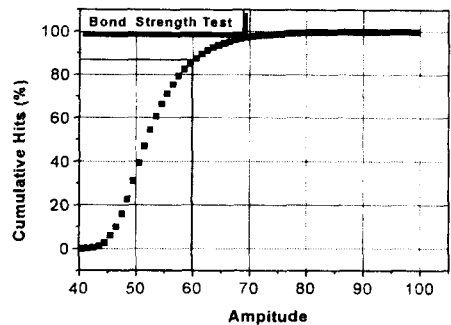


Fig. 6 Amplitude distribution of AE during bond strength test

4. 결론

본 연구에서는 철근 콘크리트 부재의 인장 균열, 휨균열, 부착 파괴등 다양한 손상 유형에 대한 음향방출 특성을 진폭 분포를 통하여 분석하여 각 손상 유형별로 자기 다른 분포특성을 갖는다는 것을 규명하였다. 또한 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생했을 때는 상대적으로 작은 진폭을 가진 탄성파가 발생하며, 인장균열시에는 높은 진폭을 가진 탄성파가 발생한다. 즉, 인장 균열시 약 70dB 정도까지 80% 이상의 진폭이 분포하는데 비해서, 철근과 콘크리트 사이의 슬립이나 인발등 부착손상이 발생했을 때는 60dB까지 약 90% 이상을 차지한다. 이는 철근의 리브사이의 좁은 면적의 콘크리트가 부착균열 손상시 발생하는 탄성파이며, 따라서 상대적으로 작은 진폭을 가지는 탄성파가 발생하는 것으로 사료된다.

5 참고문헌.

1. Reymond, M., Raharinaivo, A., and Brachet, M., "Characterization of Concrete Damages by Acoustic Emission Analysis", J. Acoustic Emission 2(3) July 1983, pp 159-168
2. Uomoto, T. (1987), "Application of Acoustic Emission to the Field of Concrete Engineering", J. Acoustic Emission, 6(3), pp 137-144
3. Ohtsu, M. (1988a), "Diagnostics of Cracks in Concrete Based on Acoustic Emission", Nondestructive testing, ed. H. S. Lew, SP-112, ASTM, Philadelphia, pp.63-82.
4. Berthelot, J. and J. Robert (1987) "Modeling concrete damage by acoustic emission" J. Acoustic Emission, 6, pp 43-60