

모르터와 콘크리트의 균열검출을 위한 음향방출기법의 적용

Application of Acoustic Emission Technique for Detection of Crack in Mortar and Concrete

진 치 섭* 신 동 익** 장 종 철***
Jin, Chi Sub Shin, Dong Ik Chang, Jong Chel

ABSTRACT

Concrete structures generally have cracks, so for the safety and durability of structures, studies to detect cracks using nondestructive tests have been treated in great deal. In order to assure the reliability of concrete structure, microscopic fracture behavior and internal damage progress of concrete under the loading should be fully understood. The purpose of this study predicts location of initial crack and measures direction of crack propagation for on-line monitoring before the crack really grows in structures by using two-dimensional Acoustic Emission(AE) source location based on rectangular method with three-point bending test. This will allow efficient maintenance of concrete structure through monitoring of internal cracking based on AE method.

1. 서 론

내하력 평가를 중심으로 한 종래의 안전성 평가는 국부적인 결함 탐지를 외관 조사에 의존하기 때문에 내부 균열의 발견 및 발달 양상 파악에 미흡한 문제점이 있다. 이런 점에서 고체 내부의 미세균열 발생시 발생하는 탄성과 방출을 이용한 음향방출(Acoustic Emission)기법은 재료 내부의 미세적 변형이나 파괴거동 규명에 뛰어난 특성을 가지고 있어, 광범위한 부분에 대해 외관 조사시 드러나지 않는 재료 내부 결함을 검출할 수 있다. 또한, 음향방출기법은 구조물의 사용 중에 검사할 수 있어 결함의 실시간 계측이 가능하다는 점이 다른 비파괴 검사법과 구별되는 장점이다^{1),2)}. 최근 들어 토목 분야에서도 음향방출에 대한 연구가 계속 진행 중이지만, 음향방출 기법을 이용하여 각 하중 단계별로 나타나는 재료 내부의 미세적 파괴 특성 형태를 충분히 규명하지는 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 음향방출 기법을 이용하여, 3점 휨 하중을 받는 모르터와 콘크리트 부재의

* 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사수료, 구조기술사

*** 정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정

하중 단계별 미시적 파괴 특성을 음향방출 변수와 비교·분석하여, 재료 내부의 미세균열이 외형상 거시 균열로 진행되기 전의 균열 전파 거동과 파괴 징후를 명확히 하고, 또한 음향방출 위치추정 실험결과를 토대로 실제 콘크리트 구조물의 내부 결함을 찾는 데 이용하여 유지관리 및 보수·보강 등에 적용을 하려고 한다.

2. 시험편 제작 및 실험 방법

2.1 시험편 제작

본 실험에 사용된 모르터와 콘크리트 배합표는 각각 표 1, 표 2와 같다. 모르터 압축강도 실험은 50.8 mm 입방체 몰드를 이용하여 KS L 5105 규준에 의해 실험하였으며, 콘크리트 압축강도 실험은 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 몰드를 이용하여 KS F 2405 규준에 의해 실험하였다. 또한, 휨 강도 실험은 KS F 2408 규준에 의해 실험하였다. 실험 결과는 표 3과 같다.

표 1 모르터 배합표

단 위 량 (kg/m ³)			
W/C (%)	사용수량 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재 (kg)
53.9	251	466	1050

표 2 콘크리트 배합표

굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	s/a (%)	단 위 량 (kg/m ³)			
				물	시멘트	잔골재	굵은골재
19	10±1.0	40.5	44.6	196	484	733	908

표 3 모르터와 콘크리트 강도

재 료	실 험	7일 강도 (kgf/cm ²)	28일 강도 (kgf/cm ²)
모르터	압축강도	171.3	249.7
	압축강도	267.0	301.6
	휨강도	57.2	63.8

미시적 변형 거동 및 음향방출 특성을 분석하기 위해 모르터 보와 콘크리트 보를 각각 3개씩 제작하여 실험을 수행하였으며, 모르터 시험편은 각주형으로서 230×25×75 (mm) 크기이고, 콘크리트 시험편은 440×100×100 (mm) 크기로 정하였다. 또한, 중앙부 균열을 유도하기 위해 시험편 중앙에 높이 10 mm의 노치를 삽입하였다. 음향방출 특성을 파악하기 위해 시험편 중앙부를 중심으로 4개의 음향방출 센서를 50 mm 간격으로 4각형 방법(rectangular method)으로 배치하였으며, 3점 휨시험시

가해지는 변위제어 속도는 0.1 mm/min으로 하였고, 음향방출 센서는 R15 공진형 센서를 사용하였으며, 주위의 전기적, 기계적 잡음을 제거하기 위하여 문턱전압값 레벨은 40dB로 정하였다. 시험형상은 그림 1, 그림 2와 같다.

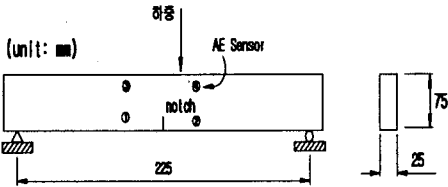


그림 1 모르터 시험형상

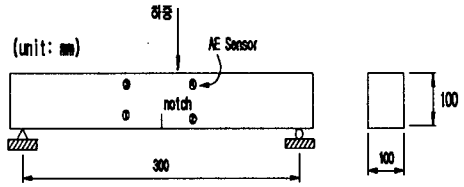


그림 2 콘크리트 시험형상

그림 3은 실험장비의 개요도를 나타낸 것으로 실험 진행 과정은 먼저 UTM(최대하중 : 60,000 kgf)을 사용하여 변위제어를 수행하면 모르터와 콘크리트 시험편 내부의 극부적인 변형에 의한 음향방출 발생원이 발생하는 데 이 때 각각의 센서들이 감지하여 예비 증폭기에서 40dB로 잡음을 제거 후, 음향방출 발생원 분석 및 발생원 위치추정을 실시한다^{2),3)}.

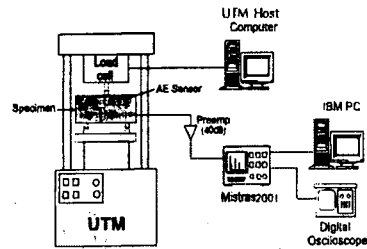


그림 3 실험장비의 개요도

3. 실험결과 및 분석

3.1 모르터와 콘크리트의 하중증가에 따른 음향방출 특성 분석

그림 4와 그림 5는 3점 휨시험을 실시하여, 모르터와 콘크리트 시험편의 각각 하중 변화에 따른 음향방출 신호 특성을 나타낸다.

(1) 극한 하중의 80% 이하에서의 음향방출특성

단계 I은 비교적 탄성영역의 초기단계로 하중의 증가로 인한 골재 부분과 페이스트 부분의 경계면에서 발생하는 미세부착균열의 증가로 인해 미약한 에너지 신호와 작은 지속시간을 가진 음향방출 신호가 발생한다.

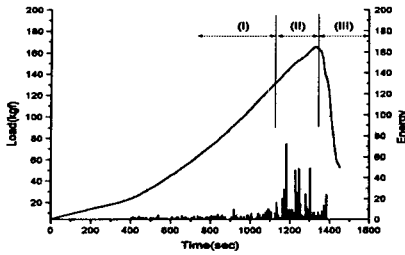
(2) 극한 하중의 80% 이상에서의 음향방출특성

단계 II에 이르면 시험체 내의 미세부착균열이 콘크리트 내의 매트릭스 안으로 전파되면서 주균열이 생성되고 진전되어⁴⁾ 시험편이 파괴에 이르면서 가장 높은 에너지와 가장 큰 지속시간을 보이는 음향방출신호가 발생한다. 특히 단계 II에서 콘크리트는 모르터와 달리 큰 음향방출 신호특성을 보이는 데 이는 굵은 골재의 유·무로 인한 신호특성으로 보여진다.

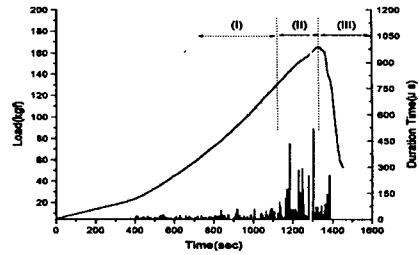
(3) 극한 하중에서의 음향방출특성

단계 III에서는 주균열로 인한 시험편이 파괴에 이르는 데, 콘크리트 시험편인 경우 극한하중 이후 단계에서는 균열면의 상당부분은 균열 이후에도 서로 맞물려 있어서^{4),5)} 균열은 계속 진행되어 파단되지만, 모르터 시험편인 경우 균열의 생성과 동시에 갑작스런 파괴를 가져온다. 이 때 발생한 음향방출

신호는 극한하중 단계보다는 낮은 에너지와 작은 지속시간을 가진 음향방출 신호가 발생한다.

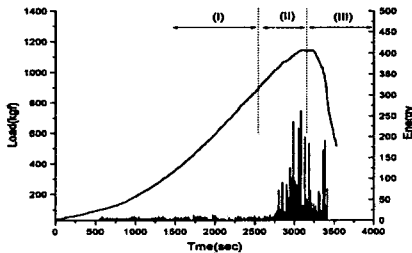


Load and Energy vs Time

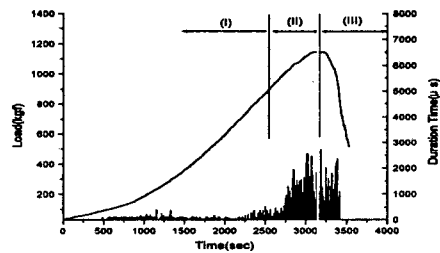


Load and Duration time vs Time

그림 4 모르터의 하중단계별 특성



Load and Energy vs Time



Load and Duration time vs Time

그림 5 콘크리트의 하중단계별 특성

표 5와 표 6은 모르터와 콘크리트 각각의 단계 I, II, III에서 발생하는 신호들의 음향방출 파라메타 값을 나타낸다.

표 5 모르터의 각 단계별 변형거동에 대응하는 음향방출 특성 분류

단 계	Energy	Duration Time (μ s)	Frequency (kHz)
단계 I	0~16.62	0~100	100~500
단계 II	0~72.21	0~520	100~500
단계 III	0~23.76	0~251	100~500

표 6 콘크리트의 각 단계별 변형거동에 대응하는 음향방출 특성 분류

단 계	Energy	Duration Time (μ s)	Frequency (kHz)
단계 I	0~20	0~200	100~500
단계 II	0~262	0~2699	100~500
단계 III	0~191	0~2362	100~500

3.2 2차원 음향방출 발생원 위치추정

(1) 하중초기단계

시험편 내의 미세부착 균열 증가로 인한 손상이 대부분을 차지하는 데, 이 때 외형상 일정한 주균열로 형성되지는 않는다. 그러나 국부적인 응력집중에 의해 노치선단 주위에 소수의 음향방출 발생원이 발생한다(그림 6, 그림 7 참고).

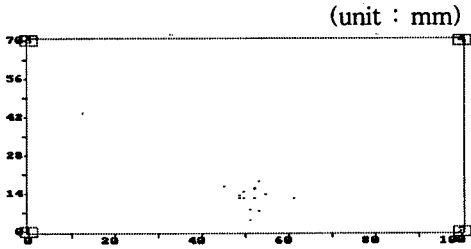


그림 6 모르터 초기하중 (132.6 kgf)

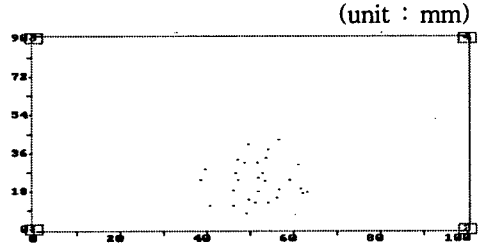


그림 7 콘크리트 초기하중 (916.4 kgf)

(2) 하중증가단계

하중초기에 발생한 음향방출 발생원들이 일정한 주균열로 형성되기 시작하는 단계이다. 즉, 임의로 분포된 균열들이 노치선단부를 중심으로 보 상단의 하중 작용 방향으로 진전됨을 보였다. 이 때 실제 균열 관측이 가능하다(그림 8, 그림 9 참고).

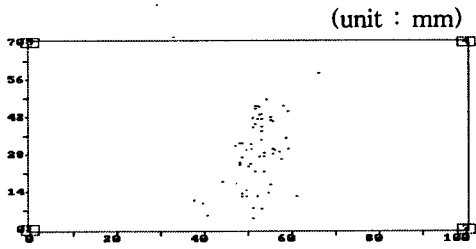


그림 8 모르터 최대하중 (165.8 kgf)

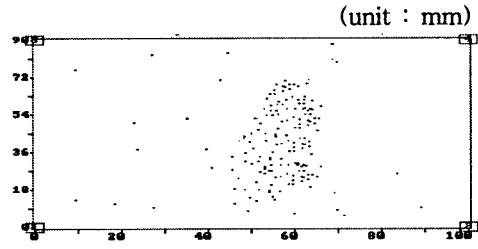


그림 9 콘크리트 최대하중 (1145.4 kgf)

(3) 극한하중단계

하중증가 단계에 비하여 매우 많은 음향방출 발생원들이 발생하는 데, 이 때 주균열이 진전되어 시험편이 파괴에 이르게 된다. 특히, 모르터는 극한 하중 이후 갑작스런 파괴가 발생하였지만, 콘크리트는 모르터와 달리 균열면의 상당부분은 균열 발생 이후에도 골재가 서로 맞물려 있어서 균열은 계속 진전되어 시험편이 파단에 이르게 된다(그림 10, 그림 11 참고)^{4,5)}.

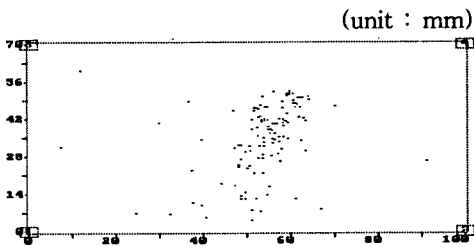


그림 10 모르터 극한하중 이후 (53.1 kgf)

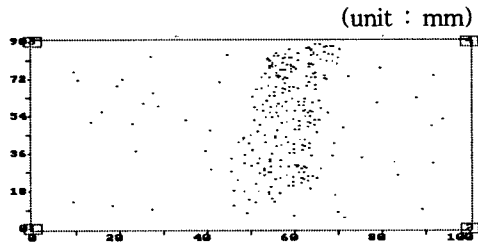


그림 11 콘크리트 극한하중 이후 (512.1 kgf)

6. 결 론

본 연구에서는 음향방출 기법을 이용하여, 3점 휨 하중을 받는 모르타와 콘크리트 부재의 하중 단계별 미시적 파괴 특성을 음향방출 변수와 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 하중단계별 음향방출특성 파라메타인 에너지값과 지속시간값은 극한하중의 80%이상(단계 II)에서는 다른 하중단계와 달리 높은 레벨의 신호특성을 보이는 데 이는 재료내부의 미세균열이 외형상 거시균열로 진행되기 전의 파괴징후로 생각된다.

(2) 콘크리트의 내부 균열 발생원 증가는 모르타에 비해 현저한 차이를 보이는 데 이는 골재 억물림(interlock)작용으로 인한 특성으로 평가된다.

(3) 음향방출 기법은 실시간 관측이 가능하고, 균열이 진전되는 동안 발생원 추적이 가능하므로 이를 이용하면 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수·보강 등에 적절하게 활용할 수 있다고 판단된다.

참고 문헌

1. "Nondestructive Testing Handbook", 2nd ed., American Society for Nondestructive Testing, Vol. 5, 1987, pp.1~154
2. "음향방출시험", 한국비파괴검사협회, 1995
3. 이준현, 이진경, 장일영, 윤동진, "음향방출을 이용한 콘크리트 부재의 미시적 파괴특성의 On-Line Monitoring", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp.677~682
4. Shah, S.P., Swartz, S.E., and Ouyang, C., "Fracture Mechanics of Concrete", Wiley Interscience, 1995, pp.88~109
5. 진치섭, 이래철, 신동익, 권성진, "노치가 있는 콘크리트 보에서 균열검출을 위한 음향방출기법의 적용", 한국구조물진단학회 제 3권 제 4호, 1999, pp.215~220