

노치가 있는 콘크리트 보에서 균열검출을 위한 음향방출기법의 적용

Application of Acoustic Emission Technique for Detection of Crack in Notched Concrete Beams

진치섭 *

Jin, Chi-Sub

이래철**

Lee, Nae-Chul

신동익***

Shin, Dong-Ik

권성진****

Kwon, Sung-Jin

Abstract

Concrete micro-cracks that are grown while the structures are under construction or in service, propagate gradually or rapidly by external forces and environmental effects. As described above, almost 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. The purpose of this study is to evaluate characteristics of AE signals detected from notched concrete beams bending test with different loading using one of nondestructive test, Acoustic Emission (AE) method. Furthermore this study predicts the 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 AE source location based on rectangular method with three-point bending test. This will allow efficient maintenance of concrete structures through monitoring of internal cracking based on acoustic emission method.

Key words : Acoustic Emission, AE source location, Bending test, Nondestructive test

1. 서론

콘크리트는 토목구조물의 주된 재료로서 강재에 비하여 안전성, 내진, 진동문제등 여러 가지 잇점 때문에 그 사용이 날로 증가하고 있다. 그러나 콘크리트는 시멘트와 잔골재 및 굵은골재로 만들어진 혼합재료이기 때문에 시멘트 및 골재의 관

리상태, 배합조건, 타설 및 양생조건 또는 온도나 습도 등의 영향에 의하여 미세 균열을 가지게 되는 데 이 미세 균열은 외력 또는 환경에 의하여 점차로 또는 급속하게 성장한다. 이러한 미세 균열은 콘크리트 구조물의 안전도, 노후화에 따른 내구성, 사용수명 등에 영향을 미칠 뿐만 아니라 균열의 성장으로 인한 구조물의 붕괴를 초래하게

* 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 에스큐 엔지니어링 기술연구소장, 기술사

*** 부산대학교 토목공학과 박사과정, 기술사

**** 부산대학교 토목공학과 석사과정

● 본 논문에 대한 토의를 2000년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2000년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1. 콘크리트 배합표

	Gmax (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m ³)				
					시멘트	물	잔골재	굵은골재	AE감수제
Con 1	13	12±1.0	50	51	390	195	838	841	-
Con 2	13	10±1.0	33	48	583	192	677	767	1.165

Con 1 : 강도수준 430kgf/cm²인 콘크리트 보
 Con 2 : 강도수준 710kgf/cm²인 콘크리트 보

된다.

이와 같이 실제로 사용되고 있는 콘크리트 구조물 내에는 균열이 존재하는 경우가 많고, 따라서 비파괴 검사를 이용한 균열 검출에 대한 학문 분야의 필요성이 인식되게 되었다.

본 연구에서는 비파괴 검사기법의 하나인 AE(Acoustic Emission)법^{(1),(2)}을 이용하여 노치가 있는 콘크리트 보의 휨재하 시험시 강도수준 변화에 따른 콘크리트 부재 내부에 발생하는 AE 신호특성을 평가하고 비교하였다. 또한 노치가 있는 콘크리트 보의 혼합모드 상태에서 3점 휨시험을 실시함으로써 2차원 AE 발생원 위치추정기법을 이용하여 시험편이 파괴되기 훨씬 이전에 노치 선단 주변의 AE 발생원 위치를 확인함으로써 시험편의 균열발생위치를 예측하고, 시험편의 파괴까지 진행되는 균열의 진행과정을 실시간 동안 계속하였다.

본 연구결과를 이용하면 콘크리트 구조물의 파괴를 미리 예측하고 균열의 진행경로를 알 수 있으므로 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수, 보강 등에 적용이 가능할 것으로 보인다.

2. 시험편 제작 및 실험방법

2.1 시험편 제작

시험편을 제작하기 위하여 설계기준강도가 430kgf/cm²인 콘크리트 보와 710kgf/cm²인 콘크리트 보를 제작하였다. AE감수제는 Pozzolite No. 84-K를 사용하였다. 콘크리트의 배합은 Table 1과 같다.

압축강도 측정은 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 사용하여 430kgf/cm² 강도 콘크리트는 재령 145일, 710kgf/cm² 강도 콘크리트는 재령 160일에 실시하였다.

콘크리트 시험편은 길이가 840mm, 높이가 100mm, 두께가 100mm, 노치 길이가 50mm이며 각각 3개씩 제작하였다.

2.2 실험방법

시험편의 탄성과 속도를 측정하기 위해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 연필심을 부러뜨려 각각의 센서에 도달하는 신호의 시간차를 디지털 오실로스코프를 이용하여 측정하였다.

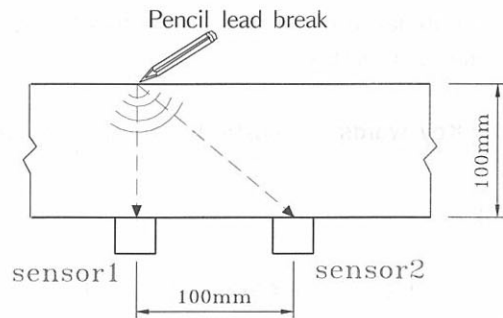


Fig. 1 파속 측정

그 결과 430kgf/cm² 강도 콘크리트의 파속은 4,300m/sec이었고 710kgf/cm² 강도 콘크리트의 파속은 4,500m/sec이었다.

실험은 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 콘크리트 시험편에 rectangular 방법으로 센서를 부

착하고 혼합모드 상태에서 3점 휨시험을 실시하였다.

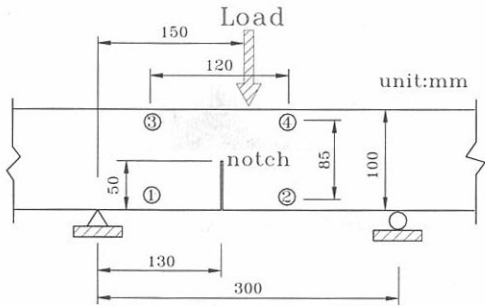


Fig. 2 시험체의 형상과 센서의 위치

Fig. 3 은 실험장비의 개요도를 나타낸 것으로 먼저 UTM(Tinius Olsen co. Super "L")을 사용하여 변위제어를 수행하면 콘크리트 시험편 내부의 국부적인 변형에 의해 AE 발생원이 발생하는 데 각각의 센서들이 감지하여 예비 증폭기(1220A)에서 40dB(A) 증폭된 후 AE 본체(MISTRAS 2001)에서 다시 40dB(A) 증폭되어 AE 발생원을 분석하고 AE 발생원 위치추정을 실시한다.^{(3),(4)}

3점 휨시험에서 가해지는 변위제어 속도는 0.1mm/min으로 하였고 AE 센서는 R15 공진형 센서를 사용하였으며 주위의 전기적, 기계적 잡음을 제거하기 위하여 문턱전압값 레벨은 40 dB(A)로 정하였다.

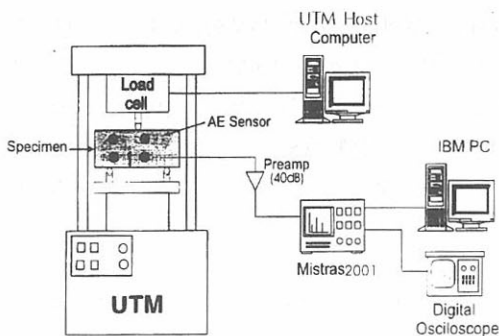


Fig. 3 실험장비의 개요도

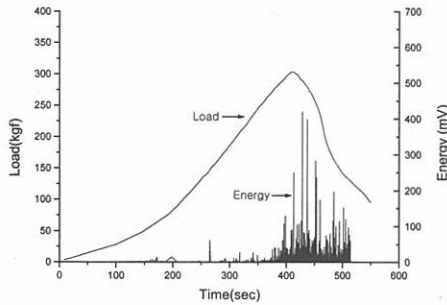
3. 실험결과 및 분석

3.1 강도수준 변화에 따른 음향방출 파라미터의 비교

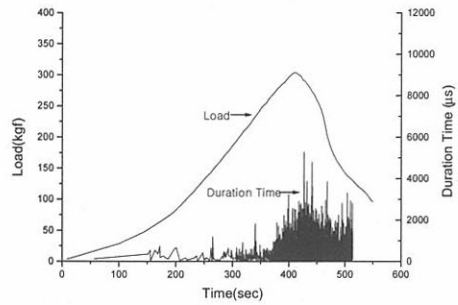
강도수준이 다른 콘크리트를 사용한 시험편에서 AE 센서를 시험편 정면에 부착하고 3점 휨시험을 실시하여 하중의 변화에 따른 AE 센서 4번의 AE 파라미터의 특성을 나타내었다.

하중이 변화함에 따라 초기하중단계에서는 골재 부분과 페이스트 부분의 경계면에서 발생하는 미세부착균열의 증가 등으로 인한 국부적인 응력 집중에 의해 미약한 에너지와 작은 지속시간을 가진 AE 신호들이 소수 발생하였다. 최대하중단계에 도달하면 부착균열이 콘크리트 내의 매트릭스 안으로 전파되면서 주균열이 생성되고 진전되어 시험편이 파괴에 이르면서 가장 높은 에너지와 가장 큰 지속시간을 보이는 AE 신호가 발생한다.⁽⁵⁾ 최대하중단계에서 주균열로 인한 시험편이 파괴에 이르렀지만 최대하중 이후의 단계에서는 균열면의 상당부분은 균열 이후에도 서로 맞물려 있어서⁽⁵⁾ 균열은 계속 진행되어 AE 신호가 발생하는 데 이때 발생한 AE 신호는 최대하중단계의 AE 신호보다는 낮은 에너지와 작은 지속시간을 가진 AE신호가 발생한다.

강도수준 변화에 따른 AE신호를 비교해 보면 Fig. 4에서는 430kgf/cm² 강도 콘크리트는 최대하중 이후 하중의 감소가 완만히 이루어지는 반면에 Fig. 5에서 710kgf/cm² 강도 콘크리트는 최대하중 이후 하중의 감소가 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 또한 시험편 파괴시 710kgf/cm² 강도 콘크리트가 430kgf/cm² 강도 콘크리트보다 높은 에너지와 큰 지속시간을 가진 신호가 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 강도수준이 큰 710 kgf/cm² 강도 콘크리트가 430kgf/cm² 강도 콘크리트보다 취성이 크기 때문이다.

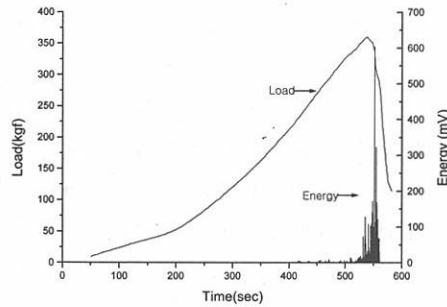


(a) Load and Energy vs Time

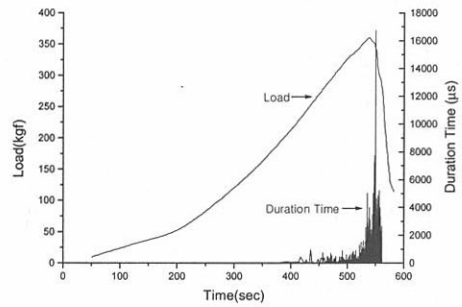


(b) Load and Duration time vs Time

Fig. 4 Con 1 (430kgf/cm² 강도)



(a) Load and Energy vs Time



(b) Load and Duration time vs Time

Fig. 5 Con 2 (710kgf/cm² 강도)

3.2 음향방출 발생원 위치추정

노치가 있는 콘크리트 보에 3점 휨시험을 실시하고 2차원 AE 발생원 위치추정기법인 rectangular 방법으로 균열의 발생과 진행과정을 실시간 동안 계측하였다. Fig. 6 과 Fig. 7 은 음향방출기법을 이용하여 각 하중 단계별 위치추정을 실시한 결과를 나타내었다.

1) 초기하중단계

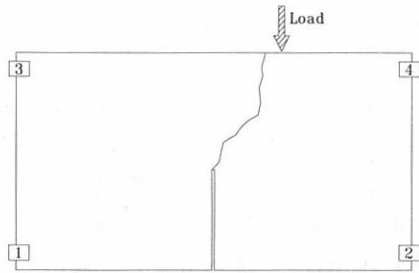
시험편내의 미소 불균질에서 국부적인 응력집중에 의해 노치선단 부분에 소수의 AE 발생원이 나타났다. 육안으로 관찰이 가능한 균열은 발생하지 않았다.

2) 최대하중단계

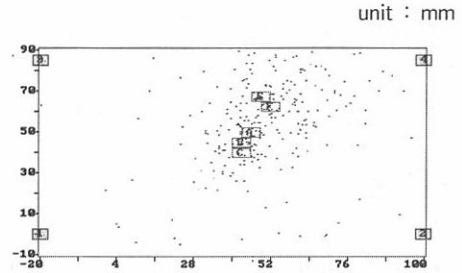
주균열이 생성되고 진전된다. 최대하중에 도달함에 따라 시험편의 파괴가 일어난다. 주균열은 노치선단에서 보상단의 하중작용방향으로 진전되었다. 음향방출 발생원 위치추정 결과는 초기하중 단계에 생성된 노치선단부분의 소수 AE 발생원이 생성되는 반면에 노치선단에서 보 상단의 하중 작용방향으로 에너지가 높은 다수의 AE 발생원이 나타났다. 이때 육안으로 실제균열 관찰이 가능한 데 위치추정의 결과와 일치함을 알 수 있다.

3) 최대하중이후 단계

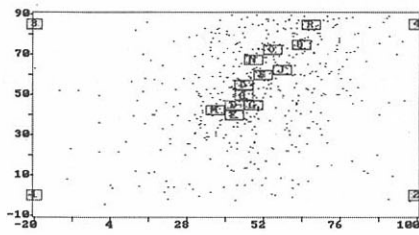
주균열로 인한 시험편이 파괴에 이르렀지만 균열면의 상당부분은 균열 이후에도 서로 맞물려 있



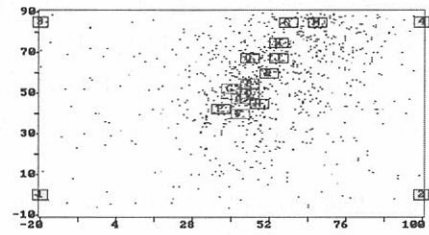
(a) 실험결과균열



(b) 초기하중 : 275kgf

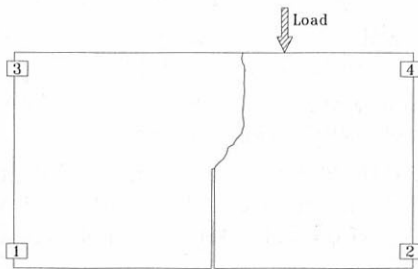


(c) 최대하중 : 304kgf

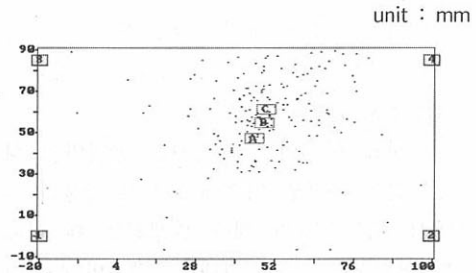


(d) 최대하중이후 : 250kgf

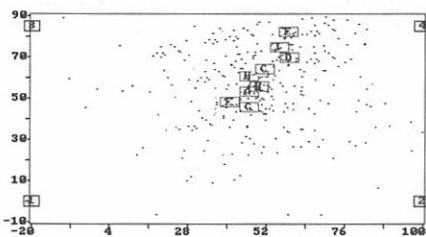
Fig. 6 Con 1 (430kgf/cm² 강도)의 균열 형상과 각 하중 단계별 AE 발생원 위치추정



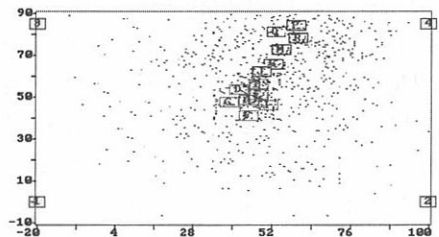
(a) 실험결과균열



(b) 초기하중 : 290kgf



(c) 최대하중 : 360kgf



(d) 최대하중이후 : 250kgf

Fig. 7 Con 2 (710kgf/cm² 강도)의 균열 형상과 각 하중 단계별 AE 발생원 위치추정

어서 균열은 계속 진전되어 시험편이 파단에 이르게 된다. 음향방출 발생원 위치추정결과, 최대하중단계와 마찬가지로 노치선단에서 보 상단의 하중작용방향으로 AE 발생원이 계속되었다.

4. 결 론

본 연구는 노치가 있는 콘크리트 보의 혼합모드 상태에서 3점 휨시험을 실시함으로써 강도수준 변화에 따른 콘크리트의 AE 파라미터 특성을 평가, 비교하였고 2차원 AE 발생원 위치추정의 하나인 rectangular 방법으로 균열의 발생과 진행과정을 실시간 동안 계측하여 다음의 결론을 얻었다.

1) 하중이 변화함에 따라 콘크리트 시험편의 미시적 변형거동과 AE 신호의 특성은 다음과 같다.

- (1) 초기하중단계에서는 골재와 페이스트 경계면에서 발생하는 미세부착균열의 증가 등으로 낮은 에너지와 작은 지속시간을 가진 AE 신호들이 소수 발생한다.
- (2) 최대하중단계에서는 주균열이 생성되고 진전되어 시험편이 파괴에 이르면서 가장 높은 에너지와 가장 큰 지속시간을 보이는 AE 신호가 발생한다.
- (3) 최대하중 이후의 단계에서는 균열면의 상당부분은 주균열 이후에도 서로 맞물려 있어서 AE 신호가 계속 발생하는 데 이때 발생한 AE 신호는 최대하중단계의 AE 신호보다는 낮은 에너지와 작은 지속시간을 가진 AE 신호가 발생한다.

2) 파괴시 710kgf/cm^2 강도 콘크리트가 430kgf/cm^2 강도 콘크리트보다 높은 에너지와 큰 지속시간을 가진 신호가 발생하여 710kgf/cm^2 강도 콘크리트가 430kgf/cm^2 강도 콘크리트보다 취성이 큰 것을 알 수 있다.

따라서 강도수준이 큰 콘크리트에서 높은 에너지와 큰 지속시간을 갖는 신호가 발생한다는 것을 알 수 있다.

3) 하중이 변화함에 따라 시험편의 균열발생 위치는 초기하중단계에서 예측되었고, 균열진전에 따른 AE 발생원 위치추정결과는 노치선단에서 보 상단의 하중작용방향으로 다수의 AE 발생원이 계속되었다. 이때 실제로 관찰된 실험결과균열과 AE 발생원 위치추정의 결과는 서로 일치함을 알 수 있었다.

4) AE기법은 외부균열이 발생하기 전의 위치와 균열의 진행과정을 실시간 동안 계측할 수 있으므로 이를 이용하면 콘크리트 구조물의 유지관리 및 균열의 보수, 보강 등에 적절하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. "Nondestructive Testing Handbook", 2nd ed., American Society for Nondestructive Testing, Vol. 5, 1987, pp.1~154
2. "음향방출시험", 한국비파괴검사학회, 1995
3. 이준현, 이진경, 장일영, 윤동진, "음향방출을 이용한 콘크리트 부재의 미시적 파괴특성의 On-Line Monitoring", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp.677~682
4. 이준현, 이진경, 장일영, 윤동진, "음향방출을 이용한 mortar 재료의 미시적 파괴거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제10권 6호, 1998, pp.203~211
5. Shah, S.P., Swartz, S.E., Ouyang, C., "Fracture Mechanics of Concrete", Wiley Interscience, 1995, pp.88~109

(접수일자 : 1999. 11. 29)