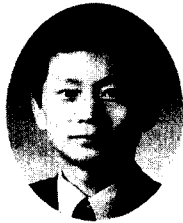


# 음향방출 특성을 이용한 콘크리트 부재종류 및 하중상태에 따른 균열손상 연구

Identification of Damage Characteristics Due to  
Cracking of Concrete Structures Using Acoustic Emission



오 병 환\*

Oh, Byung-Hwan



김 응 재\*\*

Kim, Eung-Jae



김 광 수\*\*\*

Kim, Kwang-Soo



유 성 원\*\*\*

Yoo, Sung-Won

## ABSTRACT

The damage in concrete structures generally starts with microcracking and thus it is important to find and explore these microcracks in concrete in order to ensure appropriate safety and serviceability. 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 Acoustic Emission(AE) events are found to be relatively small for bond cracking damages and large 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 useful data which can be used to identify the various types of cracking damages in concrete structures. This will allow efficient maintenance of concrete structures through monitoring of internal cracking based on acoustic emission.

**Keywords** : cracking damage, acoustic emission, nondestructive test, tensile cracks, flexural cracks, bond cracks between steel and concrete, damage mechanism.

\* 정희원, 서울대학교 토목공학과 교수

\*\* 금호건설주식회사 연구원

\*\*\* 정희원, 서울대학교 토목공학과 박사수료

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2000년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

콘크리트 구조물은 구조물의 특성상 초기 또는 사용중에 발생하는 부재 각 부분의 내부 결함 및 손상도를 평가하기 위해서는 종래의 파괴적인 방법의 적용에 큰 제약을 받기 때문에 비파괴적인 기술 개발이 요구된다. 특히, 콘크리트 자체가 가지고있는 복잡한 재료 특성 때문에 종래의 강부재등에 사용하는 기술들로서는 부재 내부의 재료 특성을 외부로부터 모니터링 하는데 많은 어려움이 있다. 최근들어 콘크리트 균열발생 및 전파거동 규명 연구에 큰 관심을 일으키고 있는 음향방출(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.

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. 콘크리트에서의 음향방출 특성

### 2.1 음향방출 특성

음향방출(Acoustic Emission)은 응력을 받는 재료 내에서 갑작스런 내부구조 변화에 의해서 발생하는 탄성파이다. 즉, 콘크리트의 손상 및 파괴 과정에서 미소 균열이 발생, 전파하면서 순간적으로 방출되는 탄성파를 말하며, 가청 및 비가청 주파수 성분이 복합된 것으로서 일반적으로 에너지 수준은 매우 낮으나 균열이 생성, 발전,

파괴시의 에너지 수준은 상대적으로 매우 높아진다. 음향방출은 소성 변형, 위상 변화, 균열의 생성과 발전, 파괴시에 특히 뚜렷이 나타난다.<sup>1)</sup>

음향방출신호는 크게 돌발형과 연속형 신호가 있으며, 연속형 신호는 재료내에서 소성변형등이 일어날 때 발생하며, 돌발형 신호는 재료내의 균열의 발생이나 성장등 불연속이 생길 때 발생하며 콘크리트에서 균열이 생성됐을 때 발생하는 신호의 형태이다. 따라서, 연속형은 예비 증폭기의 잡음 수준의 증가 모양과 유사한 형태를 가지는 반면, 돌발형은 잘 정의된 순간 사상수로 나타난다. 따라서, 본 실험 연구에서는 콘크리트의 균열발생과 관련된 돌발형신호가 영향을 주게 된다.<sup>2),3)</sup>

음향방출 기법은 다른 비파괴 기법과 비교하여 다음과 같은 특징이 있다. 음향방출 신호는 외부에 의한 신호가 아니라 재료 자체내에서 발생하는 신호만을 취득하게 되며, 다른 기법이 이미 내재된 불연속의 존재여부를 찾는 데 비해 음향방출 기법은 균열등 손상의 움직임을 감지할 수 있는 장점을 가지고 있다. 가장 중요한 장점은 구조물에 하중 재하시 비파괴적으로 심층적인 조사가 가능하다는 점이다. 즉, 국부적인 결함을 알아보기 위하여 구조물 전체를 조사할 필요없이 몇 개의 센서를 가지고 구조적으로 중요한 손상이 예상되는 영역을 조사 및 평가할 수 있다.

### 2.2 콘크리트의 미시적 파손메카니즘

콘크리트 구조체가 극한하중의 약 30%정도 하중을 받을 때는 변형이 선형적으로 증가하는 단계로 요소내의 과도영역(transition zone)에서 아주 미소한 미세 균열이 발생하기 시작한다. 이때의 미세균열은 임의로 분포되는 경향을 보인다. 즉, 하중 초기에는 시험편내 미소 불균질에 의해서 국부적인 응력집중으로 인해서 소수의 미세균열이 발생하는 단계이다. 그리고 극한하중의 약 50%에 도달하였을 때 이 과도영역(transition zone)의 미세 균열의 개수나 길이, 폭등이 증가하는 단계이다. 콘크리트 내부의 골재

부분과 paste 부분의 경계면에서 발생하는 부착(bond)균열이 대부분을 차지한다. 이때의 부착균열은 골재의 형상에 따라서 다른 방향으로 진전된다. 다음 단계로 극한하중의 80%에서는 매트릭스(matrix)에서의 균열이 발생하기 시작하는 단계이다. 극한하중의 50%일 때 발생하기 시작한 부착균열이 콘크리트내의 매트릭스안으로 전파되면서, 균열이 하나나 여러 개의 주균열로 생성되는 구간이다. 즉, 하중이 작용하는 방향으로 주균열이 성장하기 시작한다. 극한하중에 도달하면, 매트릭스와 과도영역(transition zone)의 균열이 서로 연결되면서, 응력과 변형률이 급격히 증가하는 단계이다. 먼저 주균열이 비교적 안전하게 전파되다가 이것이 임계길이(critical length)에 도달하면서 파괴에 이르는 구간이다. 이때의 균열은 작용응력이 최대인 부분에서 발생하게 되며, 완전 파단에 이르기까지 균열이 성장하여 전파된다.<sup>13)</sup>

### 2.3 하중 증가에 따른 콘크리트의 음향방출 특성 분석

#### 2.3.1 개요

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

Table 1 Mix proportions of concrete

W/C (%)	S/A (%)	unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
		water	cement	FA	CA	superplasticizer
45.0	38.0	158	351	681	1144	0.527

본 실험에서 사용한 콘크리트강도는 가장 일반적인 240kg/cm<sup>2</sup>로 설정하였으며, 굵은골재의 최대 치수는 25mm를 사용하였고, 슬럼프는 12cm였다. 사용된 배합표는 Table 1과 같다.

음향방출 특성을 파악하기 위하여, 시험체에 총 6개의 AE센서를 보의 중앙부를 중심으로 배치하였으며, 150kHz 공진형 센서를 사용하였다. 예비중폭으로 40dB을 하였고, Threshold는 40dB로 하여 음향방출 신호를 취득하였으며, 시편 모습은 다음과 같다.

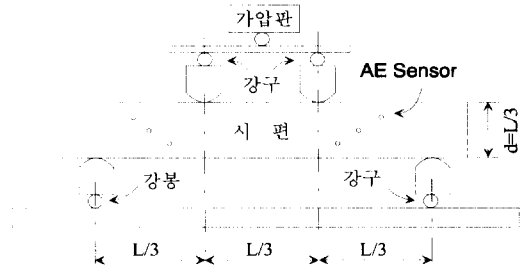


Fig. 1 Schematic diagram of test arrangement for beam

#### 2.3.2 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.

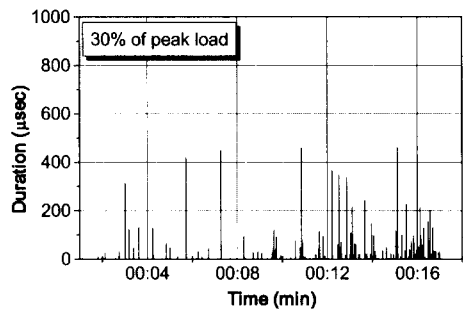


Fig. 2 Energy distribution of AE at 30% of peak load

Fig.2와 3은 실험시편에서 측정된 극한하중의 30%에서의 음향방출의 에너지와 지속시간분포를 나타낸 것이다. 여기서 실험에서 얻어진 극한하중은 6t이다.

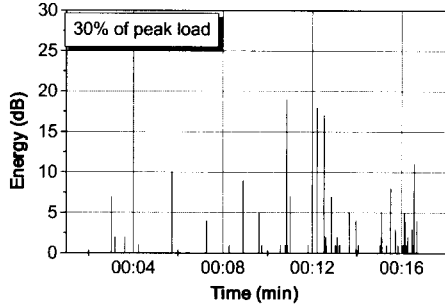


Fig. 3 Duration distribution of AE at 30% of peak load

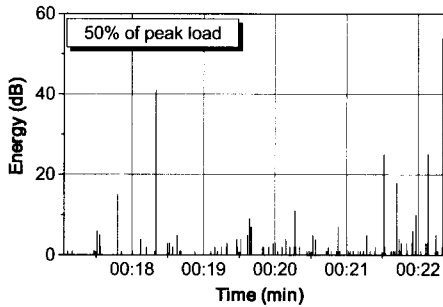


Fig. 4 Energy distribution of AE at 50% of peak load

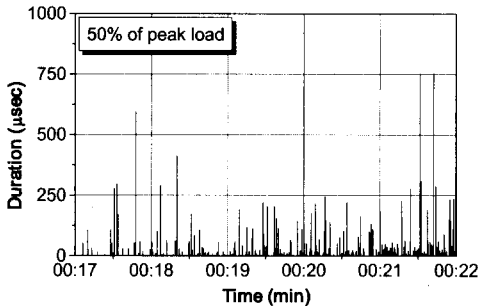


Fig. 5 Duration distribution of AE at 50% of peak load

## 2) 극한하중의 50%에서의 음향방출 특성

점진적으로 하중이 증가함에 따라 AE event 가 다소 증가하며 이때의 에너지와 지속시간도 증가하는 경향을 보이는데 이는 내부의 부착균열이 조금씩 진전됨으로 인해 발생하는 신호로 분석된다. 에너지는 약 60dB이하로 극한하중의 30%일때에 비해서 거의 두배 가까운 에너지의 증가를 보인다.(Fig.4) 이때의 지속시간은 600  $\mu\text{sec}$  이하의 값을 나타낸다.(Fig.5) 이때는 외형상 일정한 주균열이 생성되지 않고 내부에 임

의로 분포되는 미세균열 형상을 보인다.

## 3) 극한하중의 80%에서의 음향방출 특성

이 하중단계에서는 콘크리트내의 미세균열이 더욱 진전되기 시작하는 단계로서 많은 음향방출 신호가 발생하고 이에 따라 에너지도 증가한다. 그러나 에너지 크기나 지속시간의 절대값 증가보다는 음향방출의 수가 훨씬 많아지고 있음을 Fig. 6과 7로부터 알 수 있다.

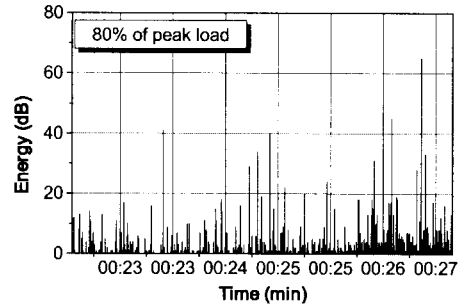


Fig. 6 Energy distribution of AE at 80% of peak load

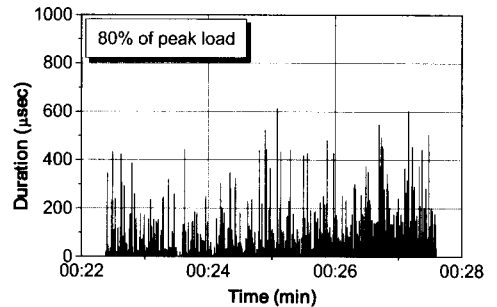


Fig. 7 Duration distribution of AE at 80% of peak load

## 4) 극한하중에서의 음향방출 특성

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.

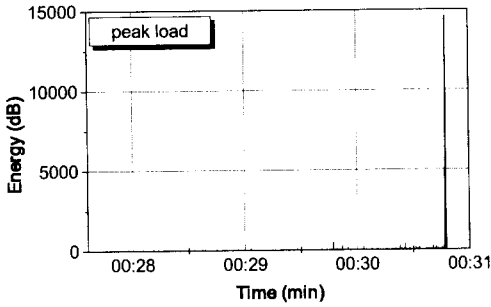


Fig. 8 Energy distribution of AE at ultimate load

### 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 활열인장시험과 휨시험, 부착강도시험을 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.<sup>22)</sup> 본 연구에서 규명될 손상유형별 음향방출 특성은 실제 철근콘크리트 부재에서 실측되는 음향방출 신호로부터 손상의 형태를 구분할수 있게 해줄것으로 사료된다.

#### 3.2 활열인장강도 실험

인장 균열이 발생하였을 때의 음향방출 특성을 파악하기 위하여 활열인장시험을 수행하였다. 본 실험에서 사용한 배합강도는 240kg/cm<sup>2</sup>로 설정하였으며, 굵은골재의 최대 치수는 25mm를 사용하였고, 슬럼프는 12cm이다. 실험시 사용된 콘크리트 배합은 Table.1과 같다.

음향방출 특성실험은 원형 공시체 양 면에 각

각 2개씩의 AE 센서를 부착하여 총 4개의 센서를 부착하였다. 이때 AE 측정을 위해, 150kHz 공진형 센서를 사용하였으며 시험편 모습은 Fig.9와 같다.

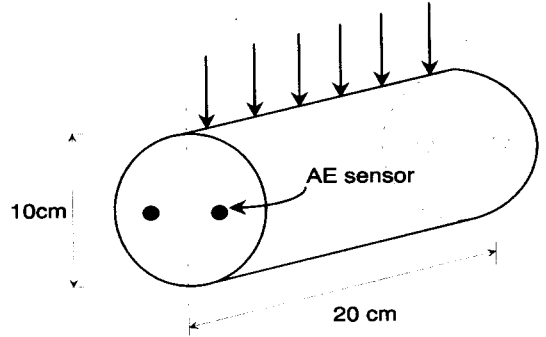


Fig. 9 Schematic diagram for AE measurement of splitting tensile test

#### 3.3 부착강도 실험

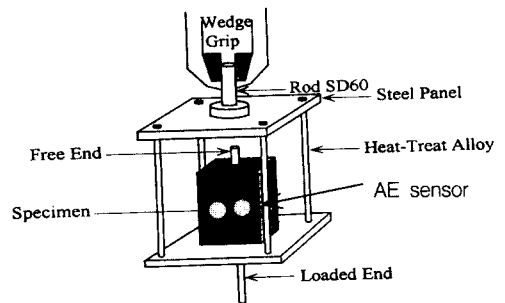


Fig.10 Test arrangement for AE measurement of bond test

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.

콘크리트 표면에 각각 2개씩의 AE 센서를 사용하여 총 8개의 센서를 부착하였다. 음향방출 신호 측정을 위하여, 150kHz 공진형 센서를 사용하였다. 시험체의 형상은 Fig. 10 과 같다.

### 3.4 실험 결과 및 분석

활열인장강도 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. 11에서 보듯이 인장균열이 발생할 때는 비교적 넓은 범위의 진폭 분포를 가지는데 비해, Fig. 12에서는 콘크리트와 철근사이의 손상이 발생할때 좁은 범위의 진폭 분포를 가지는 것을 알 수 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.

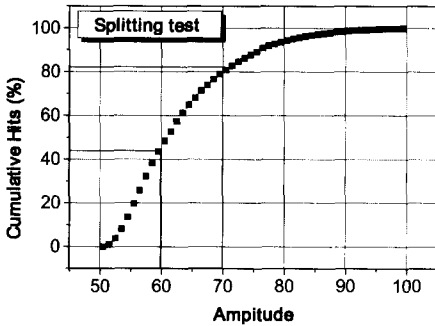


Fig. 11 Amplitude distribution of AE during splitting test

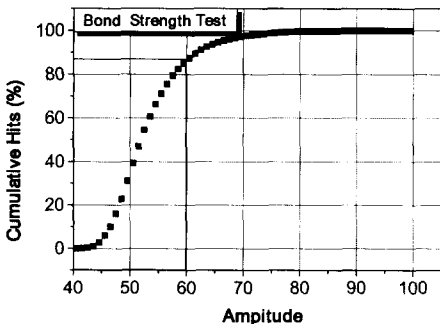


Fig. 12 Amplitude distribution of AE during bond strength test

철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생하는 경우, 이때는 철근 리브근처의 콘크리트가 파손됨으로써 음향방출 신호가 발생하기 때문에, 상대적으로 작은 진폭을 가지는 신호가 발생되는데 반해, 인장균열 발생시는 좀더 큰 진폭의 신호가 발생된다는 것을 보여주고 있다.

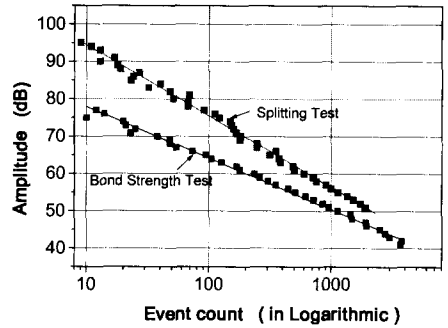


Fig. 13 AE event versus amplitude relation for various damage types

Fig. 13은 인장 균열과 그리고 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생하였을 때의 음향방출 신호의 진폭분포를 신호숫자로 도시한 것이다. 이 그림에서 보듯이 각 손상 유형별로 기울기가 다름을 알 수 있다. 즉, 진폭 분포를 반대수평면에 도시하였을 경우, 휨 균열과 인장 균열시의 기울기가 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생하였을 때의 진폭분포의 기울기 보다 그 절대값이 큼을 알 수 있다. 본 실험결과 인장 균열시 기울기가 가장 큰 값을 가지고, 철근과 콘크리트 사이의 부착손상이 발생하였을 때의 기울기 값이 가장 작은 값을 가지는 것으로 나타내고 있다.

## 4. 음원 추적 (Source Location)

### 4.1 균열 손상에 의한 음원추적 이론

본 연구에서는 2차원 평면 방법중의 하나인 Triangular 방법을 이용하여 속도를 미리 측정한 후 음향방출 신호가 각각의 센서에 도달하는 시간차를 이용하여 발생원의 위치를 추정하였다. 콘크리트에서는 감쇠가 심하므로 센서의 간격을

20~30cm 이내로 제한했는데<sup>6)</sup> 본 실험에서는 30cm 간격으로 센서를 배치하였다.

#### 4.2 균열 발생원 추적 결과

##### 1) 하중초기단계

이 때는 내부의 미세부착 균열의 증가등으로 인한 손상이 대부분이기 때문에 무근콘크리트 보에서 외형상 일정한 주균열이 형성되지 않고 내부 손상에 의한 음원이 임의로 분포되는 경향을 보이므로 육안으로 관찰이 가능한 균열은 나타나지 않고 있다.

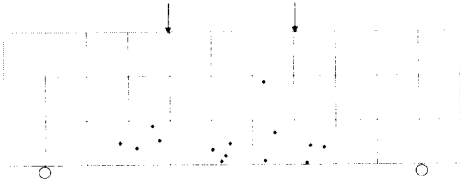


Fig. 14 AE source locations at initial small load

##### 2) 하중증가단계

이때는 극한하중의 약 80% 정도가 되는 단계로 높은 수준의 에너지가 발생하는 단계이다. 이 때는 하중 초기 단계에서 발생한 음원들이 일정한 주균열로 형성되기 시작하는 단계이다. 음향방출 기법을 통한 음원추적 결과 역시 보 중앙 하단의 우측부에서 일정한 경향을 보이는 음원이 많이 발생함을 알 수 있다. 즉, 주균열이 형성됨을 알 수 있다. 이때 발생한 균열의 위치와 실제 육안으로 확인한 균열상이 거의 정확하게 일치함을 알 수 있다. 임의로 분포되는 균열들이 주균열로 발전하면서 보의 상단까지 진전됨을 알 수 있다.

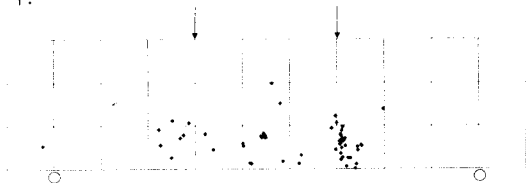


Fig. 15 AE source location at increased load

##### 3) 극한하중단계

극한하중에 도달함에 따라 갑작스런 파괴가 일어나는 단계이다. 이때는 하중 증가 단계에 비하여 매우 많은 음원들이 발생하는데, 이 음원들은 거의 대부분이 육안으로 확인한 균열상 위에 위치함을 알 수 있다. 이때의 균열은 보의 상부까지 진전되어 갑작스런 파괴에 이르게 된다. 극한하중의 80%일 때 형성된 보의 중앙 하단의 우측부에서 주균열이 진전되어 파괴에 이르게 되었다.

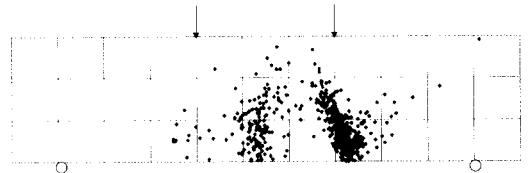


Fig. 16 AE source location at ultimate load

### 5. 철근콘크리트 보에서의 음향방출 특성 분석

#### 5.1 실험개요

본 실험에서는 보는 바와 같이 길이 2400cm, 높이 250cm의 철근콘크리트 보에 대해 음향방출 특성 실험을 수행하였다. 하중재하 방법은 Stroke Control을 이용하였으며, 하중속도는 0.2mm/min로 하였다. 실험체에 대해서 센서는 각각 6개씩 배치하였으며, 각 센서는 30cm간격으로 하였다. 음향방출 측정은 PAC사의 (SPARTAN 2000)을 이용하였으며, 파형 및 주파수 분석을 위하여 디지털 오실로스코프(LeCroy 9354A)를 이용하였다.

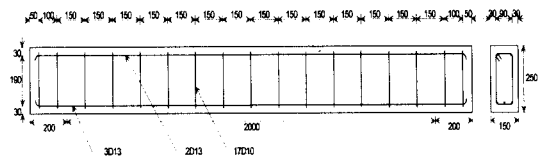


Fig. 17 Schematic diagram for beam (unit:mm)

## 5.2 철근 콘크리트 보의 손상유형별 음향방출 특성

위 실험 결과를 실제 철근 콘크리트 보의 분석에 적용하여 각 하중 단계별로 발생하는 음향방출 특성을 통하여 각 균열 특성을 분석하였다.

### 5.2.1 초기하중 단계

초기 하중 재하시에는 휨균열에 의한 철근 콘크리트 보의 중앙에 휨균열이 발생하게 된다. 이때의 음향방출 특성을 분석하여 보면 아래 그림과 같은 유형의 음향 방출 진폭 분포가 나오게 된다. 즉 앞에서의 실험을 통하여 구해진 휨 균열과, 인장 균열의 진폭분포와 같은 유형의 진폭분포를 가짐을 알 수 있다. 아직까지 이 하중 단계에서 철근과 콘크리트 사이의 부착손상에 의한 신호는 거의 없음을 알 수 있다.

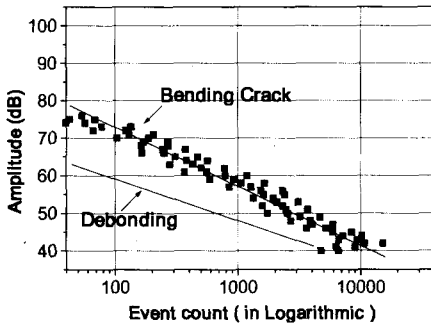


Fig. 18 AE characteristics of RC beam at initial load

즉, 초기의 철근 콘크리트 보의 거동 변화는 철근의 부착손상 보다는 콘크리트의 휨 균열에 의한 손상이 지배적임을 알 수 있다.

### 5.2.2 하중증가 단계

하중이 지속되는 구간에서는 휨균열에 의한 신호와 철근과 콘크리트사이의 부착손상에서 나오는 신호가 같이 나오게 된다. 이때의 음향방출 진폭분포를 분석하여 보면, 다음과 같은 결과가 나오게 된다. 초기에는 철근과 콘크리트 사이의 부착손상에 의한 신호가 적게 나오며 비해서 이 구간에서는 철근과 콘크리트 사이의 손상에 의한 신호가 많이 발생함을 알 수 있다.

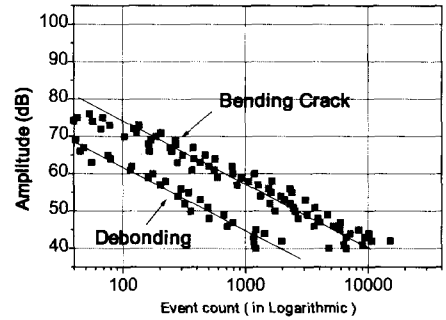


Fig. 19 AE characteristics of RC beam at increased load

본 실험연구 결과 실제 철근 콘크리트 보에서의 손상 유형을 음향 방출 신호의 진폭 분포를 통하여 구분할 수 있음을 보여주고 있다. 즉, 이러한 음향 방출기법을 통하여 각 하중 단계별로 발생하는 손상 유형에 대한 평가가 가능함을 알 수 있다.

## 5.3 음원 추적 결과

철근 콘크리트 보에서의 균열 발생에 의한 음원 추적의 결과는 다음과 같다. 이 그림에서 보듯이 실제 균열상과 거의 유사한 결과를 보여준다. 이러한 음향방출의 음원 추적 기법을 통하여, 실제 균열에 대한 위치 추정으로 구조물 내의 결함을 찾아내는 비파괴 시험에 이용될 수 있음을 알 수 있다.

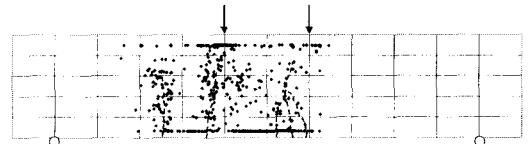


Fig. 20 AE source locations and cracking pattern for RC beam at ultimate load

## 6. 결 론

콘크리트내의 손상은 하중을 받음에 따라 미세 균열로 시작되며 이러한 미세균열은 하중 증가에



따라 성장하게 된다. 본 연구에서는 콘크리트의 각 하중 단계별로 발생하는 균열로 인한 손상의 형태를 음향방출 특성을 통하여 평가하였다. 하중에 따른 미시적 손상은 음향방출의 에너지와 지속시간 분석을 통하여 감지할 수 있으며, 특히 균열 발생시 에너지의 갑작스런 증가를 보이게 되므로, 이를 통하여 외형상 외부 균열이 발생하기 전의 콘크리트 내부손상과 국부적인 파괴를 감지하는 데 효율적이다. 본 연구로부터 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 철근 콘크리트 부재의 인장 균열, 휨균열, 부착 파괴등 다양한 손상 유형에 대한 음향방출 특성을 진폭 분포를 통하여 분석하여 각 손상 유형별로 각기 다른 분포특성을 갖는다는 것을 규명하였다.

(2) 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.

(3) 본 연구에서는 이러한 음향방출 특성을 실제적인 구조 부재에 대한 음향방출 적용 실험을 통하여, 진폭에 대한 음향방출 수의 분포는 균열 손상 유형별로 서로 다른 기울기 값을 가진다는 것을 규명하였다. 이러한 결과를 가지고 콘크리트 비파괴 검사로서의 적용 가능성과 그 효용을 분석하였다. 특히, 콘크리트의 손상이 각 하중 단계별로 구분된 양상을 판단하는 기준을 제시하였다.

(4) 진전되는 균열의 경우 그 발생위치 추적이 가능하고, 하중단계별로 구분 되는 파괴양상을 보이는 콘크리트의 고유한 특성을 고려하면, 콘크리트 구조물의 유지관리에 적절하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 표준과학연구원의 인위재해 방재기술사업중 "콘크리트 구조물의 비파괴진단 및 구조안전도 평가기술 개발 연구"의 과제번호 '98 MD 03-02-A-016 일환으로 연구되었으므로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. ASNT Handbook, 2nd ed., Vol. 5, Acoustic emission testing, R. K. Miller and Paul McIntire, Editors, ASNT (1987)
2. Achenbach, T. F. and Harris, J. G. "Acoustic emission from a brief crack propagation event", J. Appl. Mech., Vol.46, pp.107-112 (March 1979)
3. Rose, L.R.F. "The stress wave radiation from growing cracks", Int. J. Fracture, Vol.17, pp.45-60 (Feb 1981)
4. Stephen W. Hearn and Carol K. Shield "Acoustic Emission Monitoring as a Nondestructive Testing Technique in Reinforced Concrete" ACI Material Journal, Nov.-Dec., 1997, pp 510-519
5. 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
6. Uomoto, T. (1987), "Application of Acoustic Emission to the Field of Concrete Engineering", J. Acoustic Emission, 6(3), pp 137-144
7. 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.
8. Berthelot, J. and J. Robert (1987) "Modeling concrete damage by acoustic emission" J. Acoustic Emission, 6, pp 43-60
9. Uomoto, T. (1987), "Application of Acoustic Emission to the Field of Concrete Engineering", J. Acoustic Emission, 6(3), pp 137-144

10. 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.
11. Berthelot, J. and J. Robert (1987) "Modeling concrete damage by acoustic emission" J. Acoustic Emission, 6, pp 43-60
12. Matsuyama, K., Fujiwara, T., Ishibashi, A., and Ohtsu, M. "Field Application of Acoustic Emission for the Diagnosis of Structural Deterioration of Concrete" J. Acoustic Emission Vol.11, No.4 pp.s65-s73 1993.
13. Nilsen, A. U., and Monteiro, P. J. M., "Concrete: A Three Phase Material", Cement and Concrete Research, Vol.23, 1993, pp.147-151

### 요 약

콘크리트 구조물의 손상은 내부의 미세균열로 시작되며 따라서, 이러한 미세균열 발생을 감지하고 추적하는 것은 구조물의 안전성 확보와 유지관리에 있어서 매우 중요한 사항이 된다. 본 연구의 목적은 콘크리트 부재내에 발생하는 균열손상의 특성을 규명하기 위하여, 부재형태 또는 하중의 형태별로 나타나는 균열손상의 특성을 음향방출 기법(acoustic emission technique)을 이용하여 규명하는데 있으며, 이를 위하여 포괄적인 실험연구를 수행하였다. 균열손상은 콘크리트 구조물에서 대표적인 인장균열, 휨균열 그리고 철근과 콘크리트 사이의 부착균열 손상특성을 규명하고자 하였으며, 본 연구결과 이들의 손상특성이 각각 다르게 나타남을 밝혀내었다. 즉, 부착균열손상은 작은 진폭을 가진 탄성파가 발생하며 인장균열은 에너지와 진폭이 큰 음향방출 특성을 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이들 손상특성을 추정할 수 있는 특성식을 유도하여 제시하였다. 본 연구결과는 앞으로 콘크리트 구조물의 균열손상의 발생과정을 추적하고, 이들로부터 손상의 유형을 평가할 수 있는 유용한 자료를 제공하고 있으며, 앞으로 계측을 통한 구조물의 효율적인 유지관리에 기여할 수 있는 것으로 사료된다.

(접수일자 : 1999. 3. 27)