

음향방출기법을 이용한 순환굵은골재 콘크리트의 타설방향에 따른 철근의 부착메커니즘에 관한 연구

Study on the Bond Mechanism of the Reinforcing Bars by Casting Direction of Recycled Coarse Aggregate Concrete using Acoustic Emission Method

전 수 만^{*}
Jeon, Su Man

윤 현 도^{**}
Yun, Hyun Do

유 영 찬^{***}
You, Young Chan

ABSTRACT

The objective of this study is to take the first step in creating a user-friendly health monitoring system for recycled aggregate concrete structure using acoustic emission(AE). Each specimen was a cube, the edge of which was 150mm. For pull-out tests, a steel rebar, 13mm in diameter, was embedded in the center of each specimen and casting directions(i.e., vertical and horizontal) were considered in this paper. The AE parameters were analyzed for damage levels(i.e. internal cracking stage, pull-out stage) of all specimens. Results from this study show that event, duration versus amplitude of a signal, showed a clear difference for different loading stages depending upon the concrete casting directions.

1. 서 론

최근 건축물의 노후화 및 재건축 수요의 증가로 인하여 철근콘크리트 구조물이 대량으로 해체되면서 많은 양의 건설폐기물이 발생하고 있고, 또한 자원고갈 및 환경적인 문제로 인한 천연골재의 수급에 어려움이 발생하고 있어 새로운 골재원으로써 순환골재의 중요성이 증대되고 있다. 따라서 최근 정부에서는 일정규모 이상의 건설공사에 대하여 순환골재 사용을 의무화하고 있으나 구조부재에 대한 적용은 미진한 실정이며 이는 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 설계기준에 대한 규정이 마련되어 있지 않으며 또한 관련 연구자료도 적어 기술자들에게 순환골재를 사용한 구조부재에 대한 구조적인 신뢰성이 결여되었기 때문이다. 따라서 건설현장에서 순환골재의 적극적인 사용을 유도하기 위해서는 순환골재 콘크리트의 품질성능, 내구성능 및 구조성능에 대한 다양한 연구자료를 근거로 한 기준정비가 요구된다. 특히 철근콘크리트 부재는 철근과 콘크리트가 일체로 거동하기 때문에 콘크리트와 철근의 상호작용이 구조부재의 거동에 영향을 끼치는 중요한 메커니즘(Mechanism)이며 순환골재 콘크리트와 같이 기존 콘크리트와 성질이 상이한 경우 이에 대한 규정이 요구되며 순환골재 콘크리트와 철근의 부착거동을 규명하기 위해서는 콘크리트와 철근 계면에서의 미시적인 손상특성에 대한 평가가 필요하다. 이에 최근 무근콘크리트¹⁾ 및 철근콘크리트 부재²⁾의 손상 발생시 내부에 발생하는 탄성과 특성을 근거로 손상발생 및 진전과정을 파악할 수 있는 음향방출(Acoustic emission, 이하 AE) 기법의 연구가 폭 넓게 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 AE 기법을 이용하여 순환굵은골재를 사용한 콘크리트의 타설방향에 따른 철근과의 부착거동 및 Edwards와 Yannopoulos³⁾등이 제안한 철근의 부착손상단계에 따른 AE 특성을 평가하여 향후 순환골재 콘크리트와 철근의 부착기구 규명을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시험체 계획

본 연구에서는 AE 기법을 이용하여 순환굵은골재 치환율 및 콘크리트의 타설방향을 변수로 철근의

* 충남대학교 건축공학과 석사과정

** 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사

본 논문에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았으며, 이에 감사드립니다.

표 1 시험체 계획

시험체명	순환골콘크리트 치환율(%)	28일압축강도 f_{ck} (N/mm ²)
A0V*	0	37.05
A0HU		
A0HL		
A100V	100	29.17
A100HU		
A100HL		

* A: Recycled Aggregate
0, 100 : Replacement ratio(%)
V, HU, HL : Casting direction

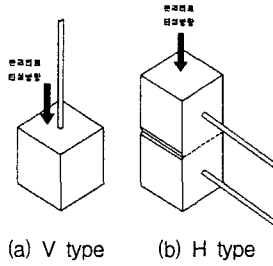


그림 1 타설 방향을 고려한 시험체 제작방법

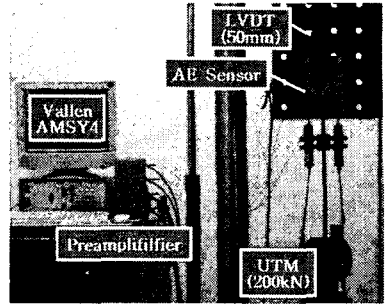


그림 2 가력방법 및 시험체 설치상황

표 2 사용골재의 물리적 성질

사용골재	입경 (mm)	절건 밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위 용적중량 (kg/l)
천연골콘크리트	25	2.61	0.63	1.509
순환골콘크리트	20	2.49	3.0	1.557

표 3 콘크리트의 배합조건

순환골콘크리트 치환율(%)	f_{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/cm ³)					
				W	C	S	NG	RG	AD
0	27	43.6	46	132	392	823	960	0	2.94
100	27	43.6	46	132	392	825	0	888	2.94

부착과피에 따른 손상메커니즘을 규명하기 위하여 표 1에 나타난 바와 같이 시험체를 계획·제작하였다. 시험체는 150×150×150mm인 콘크리트 입방체로 동일하게 하였으며 D13철근을 수직으로 입방체의 중심축에 설치하였다. 또한 그림 1과 같이 타설 방향을 변수로 하여 실제 시공시의 수직근을 묘사한 V type, 수평근을 묘사한 H type을 각각 제작하였다. H type의 경우 타설방향을 철근과 수직으로 하여 상·하부 두개의 시험체(HU, HL)를 동시에 타설한 후 분리하였다. 사용된 순환골재의 물리적 특성 및 이를 이용한 콘크리트 배합은 표 2 및 3에 각각 나타내었다.

2.2 실험방법

그림 2에 나타난 바와 같이 200kN 용량의 만능재료시험기(UTM)로 가력하여 철근이 콘크리트 입방체로부터 완전히 뽑혔다고 판단되는 변위 8mm에 이를때까지 지속적으로 AE 신호를 측정하였다. 이때 시험체에 발생하는 탄성파(AE신호)는 시험체 측면에 부착된 100~900kHz의 광대역 AE센서(SE900, DECI 사)로 측정하고 이를 예비 증폭기(Preamplifier, Vallen system)에 의해 신호를 20dB 증폭시킨 후, AE 본체(Vallen AMSY4)에 보내지며 본체에 입력된 신호 중 외부인자의 영향을 배제하기 위해 진폭이 40dB 이상인 신호만을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 부착응력-슬립관계

그림 3은 실험시 도입된 하중과 철근부착면적에 의해 산정한 철근의 부착응력-슬립 관계를 타설방향에 따라 시험체별로 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 철근을 수평으로 배치하고 철근과 수직방향으로 콘크리트를 타설한 H type 시험체들은 V type 시험체에 비해 비교적 낮은 부착응력을 보였으며, 슬립량 또한 2배 정도 많이 발생하였다. H type 시험체 중 상부콘크리트 시험체인 HU type 시험체가 하부콘크리트 시험체인 HL type에 비해서 더 낮은 부착응력을 보였으며, 특히 A100HU 시험체에서 다른 시험체와 상이한 낮은 부착강도를 보였다. H type 시험체에서 타설 후 상·하부 철근에서 보이는 응력 차이는 콘크리트를 타설하고 다짐을 한 상태에서 일정시간이 경과하게 되면 경화 전에는 굵은골재의 침하현상이 일어나게 되며, 이로 인해 굵은골재가 하부 시험체로 편중되었기 때문인 것으로 판단된다.

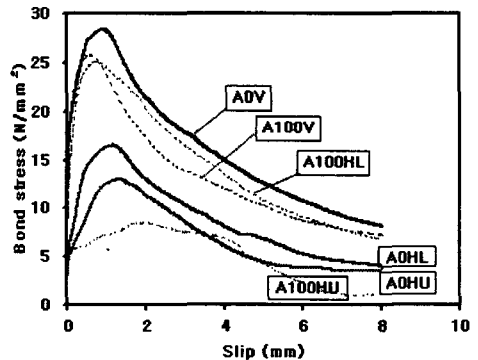


그림 3 부착응력-슬립관계 곡선

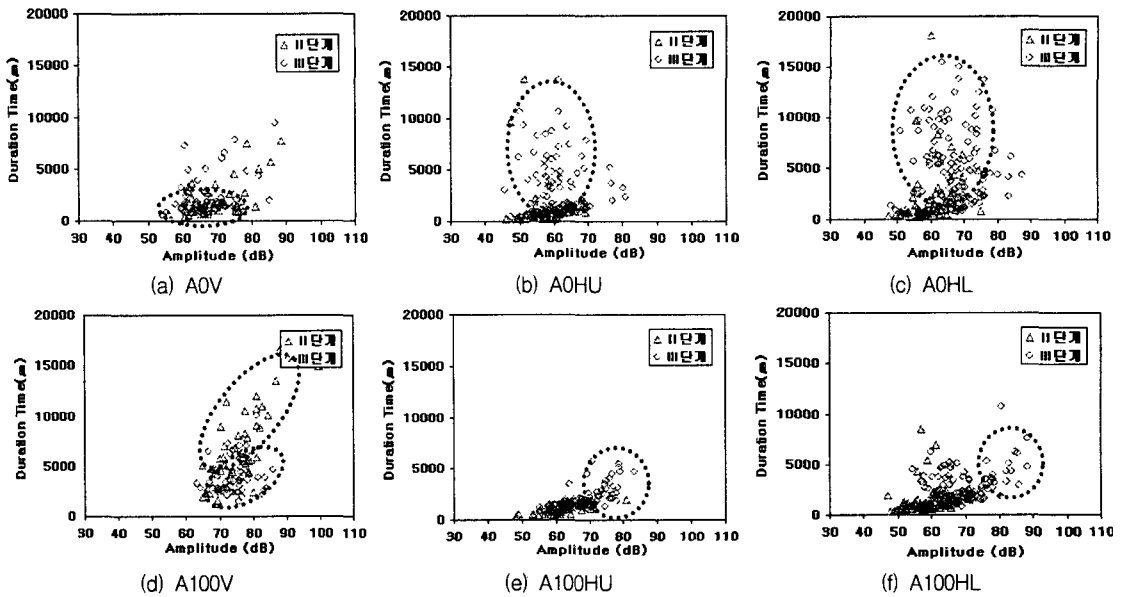


그림 4 지속시간과 진폭 관계

3.2 지속시간(Duration time)과 진폭(Amplitude) 관계

콘크리트 내부에 매립된 철근의 부착거동에 따른 손상단계 중 본 연구에서 사용한 순환균은골재의 영향은 지압응력 및 조깅균열이 발생하는 II, III단계이며, 따라서 본 연구에서는 II, III단계의 손상메커니즘에 대하여 주로 다루고자 하였다. 그림 4는 각 시험체의 내부에서 방출된 AE 신호의 지속시간과 진폭의 관계를 나타낸 것이다. 그림 4(a)~(c)에 나타난 바와 같이 천연균은골재만을 사용한 A0V, A0HU, A0HL 시험체의 AE 신호특성은 II, III단계에서 각각 8000 μ sec, 10000 μ sec, 15000 μ sec 이하의 지속시간을 보이는 등 콘크리트의 타설방향에 따라 서로 상이한 특성을 나타내었다. 이는 철근과 콘크리트의 부착메커니즘에 영향을 미치는 II, III단계에서 균은골재가 철근 주위에 고르게 분포되어 있는 V type 시험체에 비해 균은골재가 철근의 한쪽 편에 편중되거나[HL type] 또는 양생시 균은골재의 침하현상[HU type]이 발생하는 H type의 시험체가 철근 주변의 응력을 균등하게 분배하지 못하여 높은 지속시간을 나타내는 것으로 판단된다. 특히 상부콘크리트인 A0HU 시험체에서는 진폭 80dB 이상의 AE 신호가 나타나지 않는 등 균은골재 침하에 의한 진폭 감소현상을 보였다. 그림 4(d)~(f)는 순환균은골재를 사용한 시험체의 AE 신호특성을 나타낸 것이다. 그림 4(d)에 나타난 A100V 시험체의 AE신호는 II 단계에서 진폭 60~90dB, 10000 μ sec 이상의 지속시간을 보여 III단계의 조깅균열 발생시 보다 큰 값을 보였으며, 또한 천연콘크리트 및 타설방향이 다른 H type 시험체와 상이한 신호특성을 나타내었다. 이는 순환골재 표면의 부착모터로 인해 철근의 부착거동시 작용하는 지압응력 저항단계에서 많은 손상이 발생하였음을 의미하며, 이로 인해 최대내력까지의 강도 및 변위 증가량이 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 그림 4(e)의 A100HU 시험체는 진폭 50~80dB 범위의 5000 μ sec 이하의 지속시간을 보였으며, 그림 4(f)의 A100HL 시험체에서는 진폭 50~90dB 범위의 8000 μ sec 이하의 지속시간을 나타내어 천연골재를 사용한 시험체에서처럼 상부콘크리트에 비해 하부콘크리트에서 높은 지속시간을 보였다. 이는 철근의 리브에서 콘크리트로 응력이 전달되는 과정에서 순환균은골재를 사용한 콘크리트가 저항하는 과정에서 진폭의 범위가 넓고 낮은 지속시간을 갖는 AE 탄성파가 발생한 것으로 판단된다.

3.3 부착응력과 진폭관계 및 2차원 위치추정

그림 5는 각 시험체별 부착응력-변위를 최대부착응력 및 그 때의 변위로 무차원화시켜 진폭과의 변화특성을 비교하여 나타낸 것이다. 또한 이를 철근과 콘크리트 부착면에서의 조깅균열 시점부터 최대 부착응력까지인 III단계에서의 2차원 추정위치별 진폭특성을 각 시험체별로 비교하여 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 천연골재를 사용한 시험체에서는 타설방향에 관계없이 철근과 콘크리트의 부착면 주변에서 대부분의 AE 신호가 측정되었으나, 상부콘크리트 및 하부콘크리트에서는 타설방향에 따

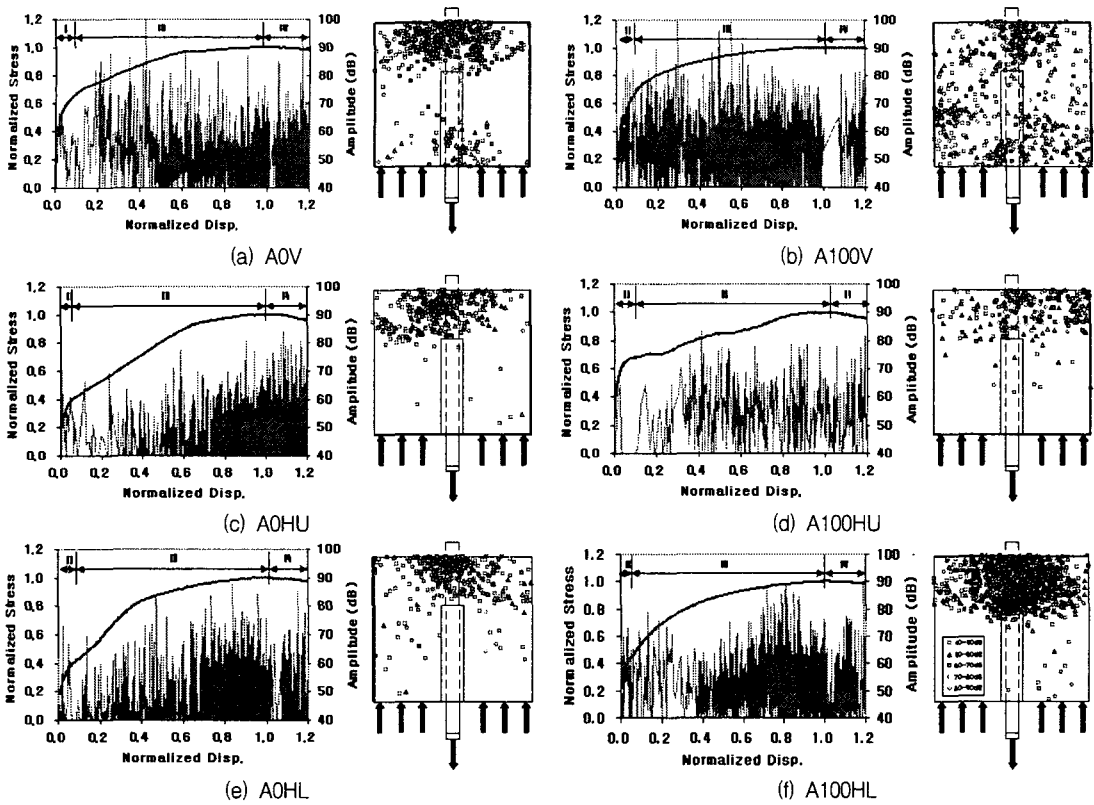


그림 5 무차원화한 부착응력-진폭 관계 및 2차원 위치추정(III단계)

라 AE 신호발생위치가 한쪽으로 편중되는 경향을 보였다. 한편 순환골재를 100% 대체한 A100V 시험체에서는 철근과의 부착면뿐만 아니라 가력판에서의 압축력에 기인한 것으로 추정되는 AE 신호가 콘크리트 전 구간에 걸쳐 측정되는 등 철근과의 부착거동에 따른 쪼갬균열 저항성능이 다소 저하되는 것으로 나타났으며, 또한 그림 3의 부착응력-슬립관계에서 나타난 바와 같이 A0V 시험체에 비해 강도가 저하되는 것으로 확인되었다. 수평타설한 A100HU 및 A100HL 시험체에서는 천연골재를 사용한 시험체에서와 마찬가지로 타설방향에 따라 측정된 AE 신호가 한쪽으로 편중되는 경향을 보였으며, 특히 하부 콘크리트인 A100HL 시험체에서 다른 시험체에 비해 40~70dB의 진폭을 갖는 신호들이 철근과의 부착면 뿐만 아니라 이외의 철근 주변에 분산되어 나타났다.

4. 결 론

철근과 콘크리트의 부착거동에 따른 손상단계 중 골재의 영향을 받는 II, III단계에서의 손상 및 AE 신호특성을 분석한 결과, 순환골재를 사용한 시험체에서 수직 및 수평 타설방향 모두 천연골재를 사용한 시험체와 상이한 지속시간 및 진폭 특성을 보였다. 또한, 탄성파의 전달속도를 이용한 2차원 위치추정 결과, 철근과 콘크리트가 직접 부착된 부위에 집중적으로 손상이 발생된 것으로 나타났으며, 타설방향에 따라 손상위치는 다소 상이한 특성을 보였다.

참고문헌

1. 한상훈, 이웅중, 조홍동, 김동규(2001), 음향방출을 이용한 무근콘크리트 보의 균열발생원 탐사기법, 한국콘크리트학회 논문집, 13(2), pp107~113
2. 이원석, 이영오, 김선우, 윤현도, 최창식, 최기봉(2005), 주근이 결합이음된 철근콘크리트 보의 골재종류에 따른 음향방출특성, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 17(2), pp247~250
3. Edwards AD, Yannopolous PJ(1979), Local bond-stress to slip relationships for hot rolled deformed bars and mild steel plain bars, ACI Journal, 76(3), 405-191