

이질재 편심압축실험에 의한 계면 파괴 인성치 산정

Determination of Interfacial Fracture Toughness by Bimaterial Eccentric Compression Test

김형균* 홍창우** 양성철*** 윤경구****
Kim, Hyung-Kyun Hong, Chang-Woo Yang, Sung-Chul Yun, Kyung-Ku

ABSTRACT

The test specimen proposed in this study, named the bimaterial eccentric compression specimen, is a rectangular prism of two dissimilar materials with a notch at their interface. Normalized energy release rates and phase angles were calibrated with the finite element method. The normalized energy release rate increases with notch ratio but decreases with E_2/E_1 , loading point, and phase angle. Bimaterial specimens consisting of mortar and ploymer as well as mortar and rock were prepared and tested to simulate fracture behavior at the interface. Test results have confirmed that initial notch has significant effect on the apparent interfacial toughness.

1. 서론

콘크리트 구조물의 설계는 일반적으로 부재에 결합이 없거나, 결합이 있더라도 매우 미세한 것으로 간주한 시험편을 사용하여 얻어진 강도 특성으로 규정하여 왔다. 그러나, 콘크리트 부재는 제작과정이나 공용중에 불가피하게 결합이나 균열이 내재하게 되고, 이 결합치수가 일정한계를 초과하거나 결합 또는 균열이 성장하게 되면 부재강도는 감소하게 된다. 따라서, 콘크리트와 같이 결합이나 균열이 내재된 부재의 역학적 거동은 그들의 개별적인 특성과 상호작용, 모르타르와 골재사이의 계면의 성질에 영향을 받기 때문에 응력과 결합 또는 균열의 치수를 모두 고려하여 평가하여야 한다. 그럼에도 불구하고 아직까지 설계는 파괴메커니즘을 바탕으로 하지 않고 있다. 또한 현행 ACI Design Code에는 기존의 강도파괴 개념으로는 이론적으로 설명하지 못하면서 경험적으로 사용하는 많은 식들이 있다. 이러한 이유로 미국 ACI 파괴역학 분과위원회에서는 현행 Design Code에 파괴역학 원리를 적용하려고 노력하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 결합 또는 균열이 존재하는 이질재료의 강도특성을 파괴역학적 개념으로 규명하기 위한 여러 가지 실험방법 중에 일반화된 크기효과 모델을 작 적용할 수 있는 편심압축실험을 실시하였다. 노치율, 탄성계수비, 하중작용점을 주요 변수로 하여, 유한요소 해석에 의하여 위상각을 측정하여 파괴인성값을 혼합모드 상태에서 고려할 수 있는지를 알아보고, 표준화된 에너지 해방율을 나타내었다. 또한, 이질재료 이루어진 시험편을 제작하여 최대하중값을 측정한 후 상호관계를 나타내었다.

* 정회원, 강원대학교 토목공학과 석사수료
** 정회원, 강원대학교 산업기술연구소 연구원
*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
**** 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수

2. 유한요소 해석

2.1 모델링

평면응력으로 가정을 하며, 단위하중으로 $P = 500 \text{ lbf}$ 이 사용되었다. 시편의 두께는 $d = 100 \text{ in}$, 길이는 $l = 400 \text{ in}$ 를 사용하였다. 두 재료의 포아손 계수는 같아서 $\nu_1 = \nu_2 = \nu = 0.15$ 로 가정하였고, 한쪽 재료의 탄성계수를 $3.0 \times 10^6 \text{ psi}$ 로 고정하고 탄성계수비에 따라 다른쪽 재료의 탄성계수를 증가하였다. 단부에 사용된 steel plate의 탄성계수는 $30 \times 10^6 \text{ psi}$ 와 $\nu = 0.30$ 을 사용하였다.

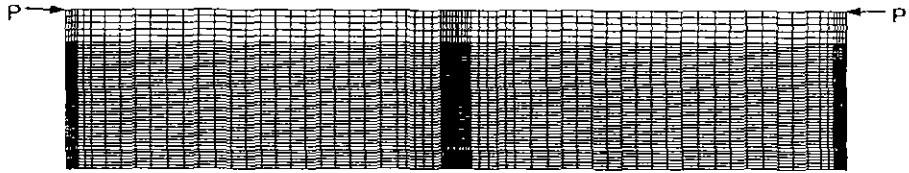


Figure 1. Modeling

2.2 에너지 해방율과 위상각

유한요소법을 통하여 얻어진 J값을 G값으로 사용하고 $b = 1 \text{ in}$, $d = 100 \text{ in}$, $P = 500 \text{ lbf}$, $E'_1 = E_1 / (1 - \nu^2) = 3 \times 10^6 / (1 - 0.15^2)$ 을 사용하면 일반화된 에너지 해방율($GE'_1 b^2 d / P^2$) 값을 얻을 수 있고, 위상각은 $\psi^* = \psi - \epsilon \ln(\frac{r}{r_f}) + \beta = \arctan(\frac{\Delta u_2^0}{\Delta u_1^0}) - \epsilon \ln(\frac{r}{r_f}) + \arctan(2\epsilon)$ 으로 나타낼 수 있다.

Fig 2에서는 표준화된 에너지 해방율과 위상각의 관계를 나타내었다. 하중작용점과 탄성계수비, 위상각이 증가함에 따라 표준화된 에너지 해방율이 감소하고, 노치율이 증가함에 따라 표준화된 에너지 해방율이 증가함을 볼 수 있다. 또한, Fig 3에서는 phase angle(ψ^*)이 노치율(α)과 하중작용점(λ)에 상대적으로 많은 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

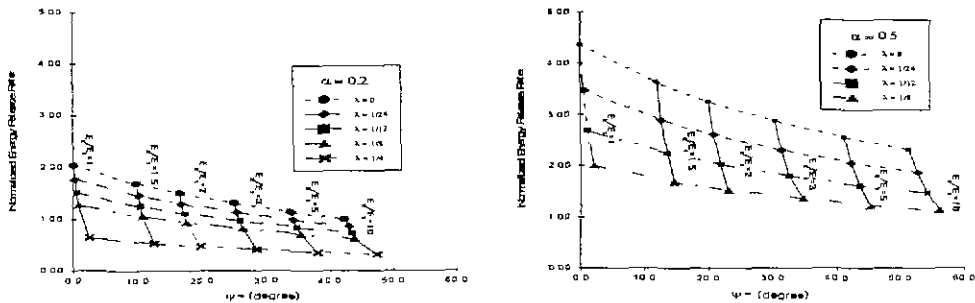


Figure 2. Normalized energy release rate vs ψ^* ($\alpha = 0.2, 0.5$)

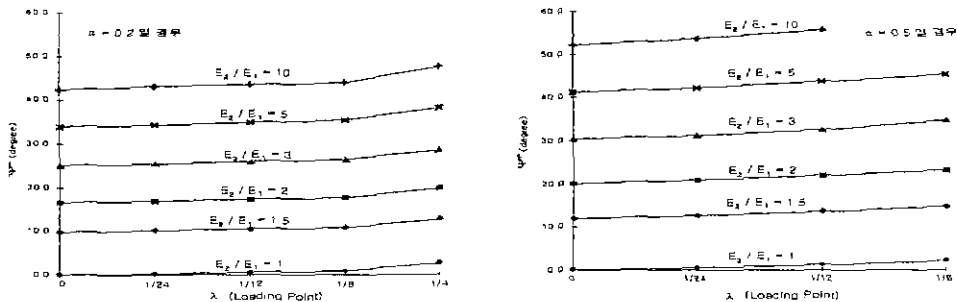


Figure 3 phase angle(ψ^*) vs loading point(λ) ($\alpha = 0.2, 0.5$)

3. 실험

3.1 배합설계

본 연구에서는 암석과 시멘트 모르타르로 접합된 시편을 콘크리트에서의 골재와 매트릭스 계면으로 이상화하고자 하였으며, 접착력이 우수한 폴리머 모르타르와 시멘트 모르타르로 접합된 시편을 만들어 계면에서의 부착력을 높이고자 하였다. 화강석은 강원도 춘천시 사북면 소재의 춘천석을 사용하였으며, 폴리머는 A사 제품인 Polycoat-N을 사용하였다. 모르타르는 28일 압축강도를 270 kg/cm²를 목표로 하여 배합설계 하였다.

f_c	W/C (%)	W (kg)	C (kg)	Fine Aggregate(kg)	수지종류	배 합 비		경화촉진제
						수 지	세 골 재	
270 kg/cm ²	45	281	622	1310	Polycoat-N	17 %	82.9 %	수지량의 1%

Table 1. Mix Proportions of Cement and Polymer Mortar (in m³)

3.2 실험방법

시편의 폭(d)은 5cm, 10cm, 15cm로 변화시켰으나, 두께(b)는 모든 폭에 대하여 7cm로 고정하였다. 하중작용점은 1/24, 길이는 시편 폭의 3배로 하였다. 세 종류의 노치가 다른 시편을 만들며 0.15, 0.3, 0.45로 변화시켰다. 또한, 같은 모양의 시편을 3개씩 제작하여 실험결과상의 오차를 피하고자 하였다. 시편은 장방형의 암석과 시멘트 모르타르 시편을 각기 다른 모울더에 안착하고 계면에서의 노치를 모사하기 위해 아크릴판으로 노치길이 만큼 부착하고 남은 모울더 공간을 모르타르와 폴리머 모르타르로 채운후 진동을 이용한 다짐을 하였다. 실험하기 3일 전에 수중에서 시편을 꺼낸 후 시편 단부를 그라인더를 이용하여 면처리하였고, 시편이 건조된후에 steel plate에 epoxy를 사용하여 부착하였다. 3일 후 정밀 측정이 가능한 Instron을 사용하여 실험하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 시편 크기에 의한 영향

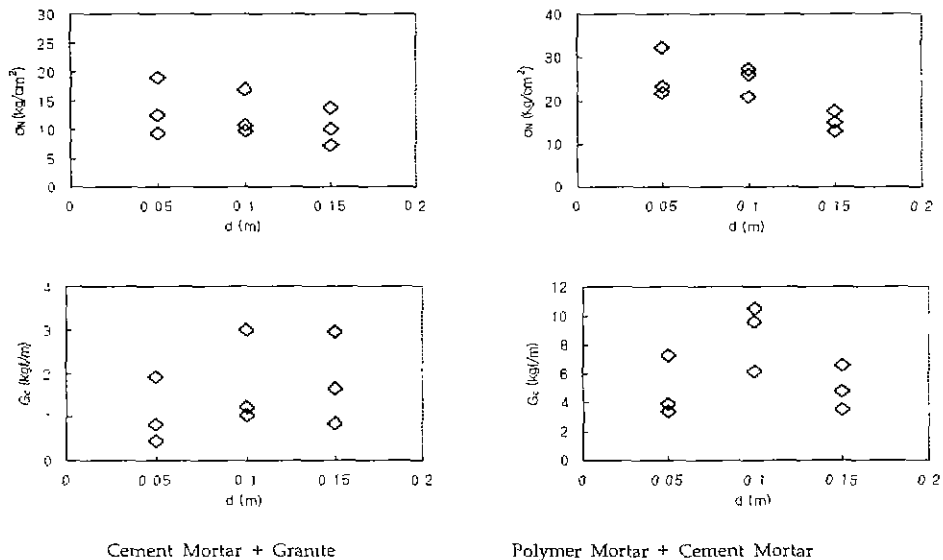


Figure 4 σ_N vs d and G_c vs d ($\alpha=0.45$ 일 경우)

시편크기가 증가함에 따라 σ_N 이 감소함을 알 수 있다. 또한 시편의 크기가 증가함에 따라 G_c 가 증가함을 볼 수 있다. 그러나, 시멘트 모르타르와 화강석으로 된 이질재료는 데이터가 분산되어 보이는 하나 시편크기가 증가함에 따라 G_c 도 증가함을 보이지만, 시멘트모르타르와 폴라머 모르타르로 된 시편은 형상을 보이지 않았다. 이것은 실험시 부주의와 노치민감성 때문이라고 사료된다.

4.2 노치율에 의한 영향

하중작용점이 같고 크기가 같은 시편의 계면파괴에너지와 초기균열길이와의 관계를 Fig 5에서 볼 수 있다. 초기 균열길이가 증가함에 따라 G_c 가 감소하였고, 공칭강도(σ_N)도 감소하였다.

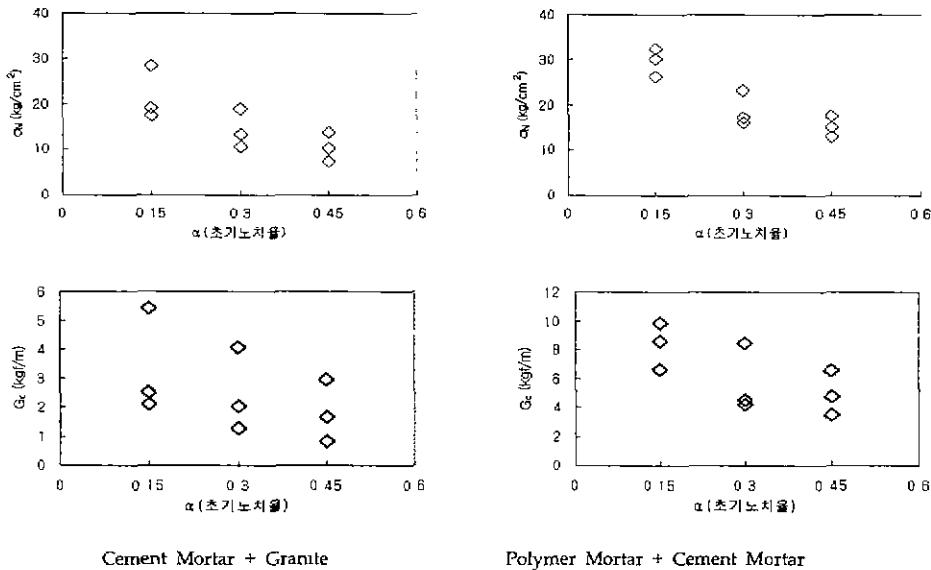


Figure 4. σ_N vs α and G_c vs α (d=15cm일 경우)

5. 결론

본 연구에서는 구조물에 파괴역학 원리를 적용하기 위하여 일반화된 크기효과법칙에 잘 적용할 수 있는 편심압축실험을 제안하였다.

- 1) 표준화된 에너지해방율은 하중작용점과 탄성계수비, 위상각이 증가함에 따라 감소하고, 노치율이 증가함에 따라 증가한다.
- 2) 위상각(ψ^*)은 노치율(α)과 하중작용점(λ)에 상대적으로 영향을 받지 않아 전단모드를 충분히 반영하지는 못하지만, 인장모드에 큰 지배를 받는 구조물에 편심압축실험에 의한 파괴역학 원리를 잘 적용할 수 있으리라 생각된다.
- 3) 공칭용력(σ_N)은 시편 크기가 증가하거나, 초기 노치율이 증가하면 작아진다. 임계에너지 해방율(G_c)은 대체적인 형상만 파악할 수 있어, 앞으로 많은 실험이 수행되어야 된다고 사료된다.

참고문헌

- 1) Jorge B. Soares and Tianxi Tang, "Bimaterial Brazilian specimen for Determining Interfacial Fracture Toughness", Engineering Fracture Mechanics Vol.59, No.1, pp.55-71, 1998
- 2) "파괴역학을 이용한 콘크리트 포장체의 해석", 한국도로공사, 1998년도 연구보고서
- 3) 이광명, 안기석, 이희근, 김태근, "계면파괴인성과 콘크리트 역학적 성질의 상관관계", 콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol.10, No.1, pp.359-364, 1998