

균열 주입부의 비파괴 검사에 의한 주입효과 판정에 관한 연구

Non-destructive Testing Methods to Evaluate the Effectiveness of Crack Repair Using Epoxy and Microcement

최홍식* 이시우** 이호범*** 송영철**** 방기성*****
Choi, Hong Shik Lee, Si Woo Lee, Ho Beom Song, Young Cheol Bang, Gi Sung

ABSTRACT

Development on non-destructive testing methods were performed to evaluate the effectiveness of crack repair for test beams induced a crack. Cracked beams are repaired with epoxy and microcement, and then they are tested by two methods, the ultrasonic pulse velocity method and the transfer function method. It is proved that the ultrasonic pulse velocity method is very valid for the evaluation of the effectiveness on epoxy repair, and the transfer function method is very applicable to evaluate the effectiveness on microcement repair.

1. 서 론

원전 격납건물 등 콘크리트 구조물은 공용기간에 따라 각종 물리·화학 및 환경적 요인에 의해, 콘크리트의 균열 및 강재의 부식 등이 발생하여 재료 물성의 변화 및 구조성능 저하가 일어나게 된다. 그러나 이러한 대형 콘크리트 구조와 같은 국가 중요시설물에서 성능저하나 구조적인 결함이 발생하였을 경우 전력공급에 막대한 영향을 발생시켜 이로 인하여 산업계 뿐 아니라 국민의 생명과 재산과 관련된 사회적 불안을 야기할 수 있으므로, 원자력발전소의 콘크리트 구조물은 체계적이고 지속적인 유지관리를 통하여 최적의 상태가 유지될 수 있도록 건전성이 확보되어야 하며, 열화 발생 시 보수 및 보강은 그 대상구조에 대한 정확한 손상의 규모와 내용에 대한 평가를 거쳐 보수방법 및 재료가 선정되어야 한다. 특히 보수재료의 경우 그 종류가 다양하고 사용량이 소량인 경우가 많아 현장에서 품질 시험을 통하여 그 내용물의 품질 확인은 물론 보수후의 성능개선 효과를 판정하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다.

* 정희원, 충청대학 건설환경시스템과 교수, 공학박사

** 정희원, 충청대학 건축학부 부교수, 공학박사

*** 정희원, 충청대학 건설환경시스템과 겸임교수, (주)쓰리텍 대표이사, 공학박사(주)

**** 정희원, 전력연구원 책임연구원, 공학박사

***** 정희원, 전력연구원 선임연구원

따라서 본 연구에서는 보수재료의 보수 후 성능개선 효과를 평가하기 위하여 실험용 공시체를 제작하여 인위적으로 균열을 유발한 후 균열의 깊이와 보수제의 종류에 따른 균열주입제의 주입효과 및 균열 추종성을 비파괴 검사에 의해 확인해 보고자 한다.

2. 실험

2.1. 사용재료

2.1.1 시멘트, 골재

본 실험에 사용한 시멘트는 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 골재는 체가름 시험을 통해 입도를 조절하여 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 19mm인 쇄석을 사용하였다.

2.1.2 균열주입제

본 실험에 사용된 균열주입제는 에폭시 수지계와 마이트로 시멘트계의 2종류를 사용하였다.

2.2. 배합계획

배합은 울진 #5, #6호기에 사용된 배합을 참고배합으로 하여 예비실험을 통해 결정하였으며, 실험배합표는 표 1과 같다.

표 1 실험배합표

최대골재 (mm)	물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량(kg/cu.m)					
			물	시멘트	굵은골재	잔골재	감수제	AE제
19	45	40	162	360	1059	707	1.44	0.0144

2.3 공시체의 제작

콘크리트의 배합은 혼합 후 시멘트 페이스트가 믹서의 내부에 남아 균일한 배합이 되지 않는 것을 막기 위해 기계식 믹서를 사용하지 않고 삽과 손을 사용하여 균일하게 혼합하였으며, 공시체는 균열주입제의 주입효과 및 균열 추종성을 평가하기 위한 각형 공시체는 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법) 규정에 의거하여 15×15×55cm 크기의 몰드에 2층으로 나누어 각층을 다짐막대로 고른 후 60회씩 다져서 제작하였다. 제작된 공시체는 양생실에서 24시간동안 양생 후 탈형하여 항온수조에서 23±2℃로 재령 28일까지 수중양생하였다.

3. 시험방법

3.1 균열의 유발

각형공시체의 균열은 KS F 2408에 의한 3등분점 하중법에 의한 콘크리트의 휨강도 시험방법에 의해 유도하였다.

3.2 균열주입제의 주입

균열주입제의 주입은 균열의 깊이에 따른 충전성을 확인하기 위하여 균열에 5cm, 10cm, 15cm 높이로 실링을하고 24시간이 경과한 후에 균열주입제의 주입을 실시하였다.

균열주입제는 에폭시 수지계의 경우 주제와 경화제의 비율을 1:1로 시멘트계의 경우 경화제와 마이

크로 시멘트의 비율을 1: 0.65로 혼합하여 사용하였으며, 실링 끝 부분에서 주입액이 흘러나오는 것으로 균열주입제의 충전이 완료된 것으로 하였다.

주입에 있어서 에폭시 수지계는 균열의 폭에 관계없이 주입이 쉽게 이루어졌으며, 균열 폭이 작을 경우 에폭시 수지의 모세관 현상에 의해 실제 깊이보다 깊게 충전되는 것으로 나타났다. 시멘트계는 에폭시 수지계와 같은 모세관현상은 발생되지 않았으며, 시멘트 입자의 침전을 막기 위해 교반을 충분히 하여 주입하여야 할 것으로 사료된다.

3.3 비파괴 시험방법

3.3.1 초음파법에 의한 방법

초음파 시간의 측정은 각형 공시체를 사용하여 실시하였으며, 초음파 시간 측정장치는 영국 C.N.S 제의 PUNDIT(Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester)를 사용하였다. 초음파 전달방법은 간접법 및 직접법을 이용하였으며, 주파수는 54KHz를 사용하였다.

초음파 전달시간의 측정방법은 먼저 교정용 기본바를 이용하여 측정장치의 교정을 행하고, 다음에 수신자와 발진자를 시험체의 측정위치에 놓고 초음파 전달시간을 측정하였다. 이때 시험체와 탐촉자의 접촉도를 높이기 위해 측정면에 구리스를 발라 일정한 힘으로 양면을 가압하였다.

초음파 측정용 탐촉자는 그림 1과 같이 간접법에 의한 방법으로 각형 공시체에 균열을 유발한 후 균열을 중심으로 탐촉자간 거리가 10cm가 되도록 좌우 2곳씩 배치하여 발진자로부터 세곳(10cm, 20cm, 30cm)에 대하여 실험을 실시하였다.

초음파 전달시간의 측정 시기는 각형 공시체에 균열을 유발한 후, 실링 후, 균열주입제의 충전 후 등으로 나누어 시간경과에 따라 각각 측정하였다.

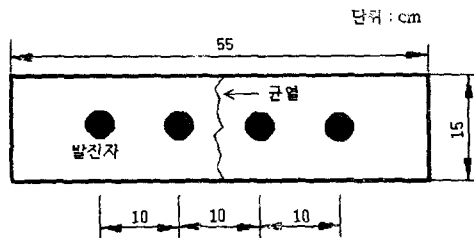


그림 1 간접법에 의한 초음파 전달시간 측정

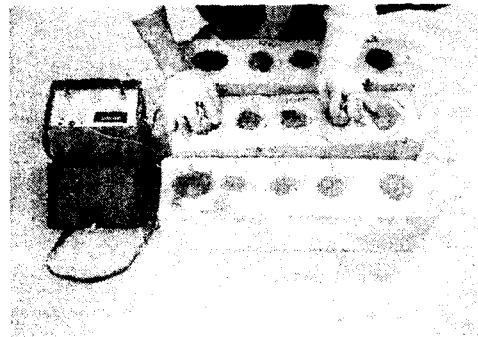
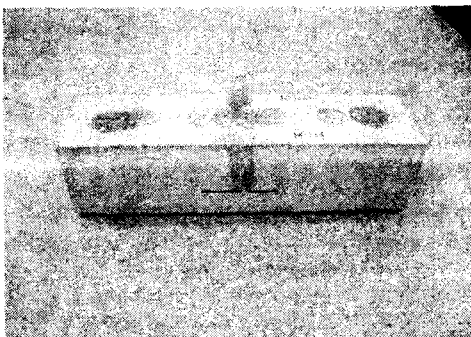


그림 2 초음파법에 의한 균열주입효과 판정실험

3.3.2 전달함수법에 의한 방법

시험체에 균열을 중심으로 한쪽에 가속도 센서를 부착하고 균열 보수된 시험체의 다른 한쪽에 임펄스 해머로 가진하여 얻어지는 진동 응답에 의해 주입 보수된 구조물의 주입효과 또는 건전성의 향상을 판별할 수 있는지 여부를 시험하는데 그 목적이 있다.

마이크로 시멘트계의 보수제를 주입한 시편은 균열폭이 큰 M/C (L)과 상대적으로 작은 M/C (S)로 구분하여 제작하였다.

실험은 보수된 공시체의 상부 균열부위를 경계로 한 쪽 편 중앙 일정점에 진동 응답을 수신하기 위해 적절한 sensor(대역폭이 high frequency span을 갖고 있지 않은 것)를 선택하여 fixed response로 한다. sensor가 위치한 반대편 즉 균열부위를 가로지른 일정점을 대형 impulse hammer(Dytran 5803)와 적절한 tip(중간 soft)을 이용하여 가진하고, 이를 1:1로 수신한다. Dynamic Stiffness는 거리와 상관된 값을 갖는다. 즉 먼 거리일수록 그 크기가 증가된다. 이는 먼 거리에 대한 계측결과는 가진점과 수신점 간의 존재하는 강성량에 따라 그 값이 변화되기 때문이다. 본 실험에서는 가진점과 수신점간의 동일한 위치가 되도록 하여 계측 실시하였다.

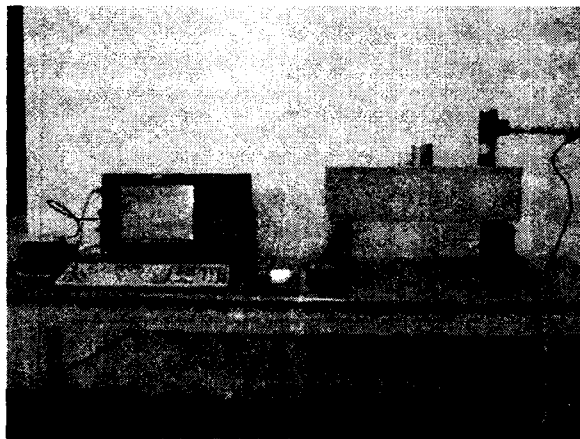


그림 3 전달함수법에 의한 균열주입부의 충전도 실험

4. 실험결과 및 분석

4.1 초음파법에 의한 방법

표 4는 초음파법의 간접법에 의한 초음파 전달시간의 측정결과이며, 그림 3은 탐촉자 간격에 따른 재령별 초음파 전달시간을 간접법에 의해 측정된 것이다.

각형 공시체에 균열을 유발 후 균열주입제 주입 전 초음파 전달시간을 측정된 결과 발진자로부터 10cm 거리에서는 20 μ s 정도의 값을 나타냈으나 20cm 에서는 균열에 의한 불연속면으로 인하여 그 값이 40 μ s 정도 크게 뛴 60 μ s 정도의 값을 나타내었다. 그리고 30cm에서는 다시 80 μ s 정도의 정상적인 경향을 나타냈다.

4.1.1 에폭시 수지계를 주입한 경우

주입전후 전달시간의 상대적 회복률이 표면에 5cm까지 주입한 경우는 26.5%로, 10cm, 또는 15cm

까지 주입된 경우의 각각 40.4%, 35.5%에 비하여 약 10% point 이상의 차이를 보이는 것으로 나타났으며 이를 통하여 건전부와의 상대적인 비를 통하여 보수효과의 상대적 비교가 가능한 것으로 나타났다.

4.1.2 시멘트계를 주입한 경우

주입전후 전달시간의 상대적 회복률이 표면에 5cm까지 주입한 경우는 37.6%로, 10cm, 또는 15cm까지 주입된 경우의 각각 31.5%, 35.2%와 비슷하게 나타났으며, 이는 모재와 주입재가 동일한 재질이므로 표면과의 전달시간의 감소가 거의 발생하지 않으므로 보수부의 내부특성이 표면과 전달시간에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

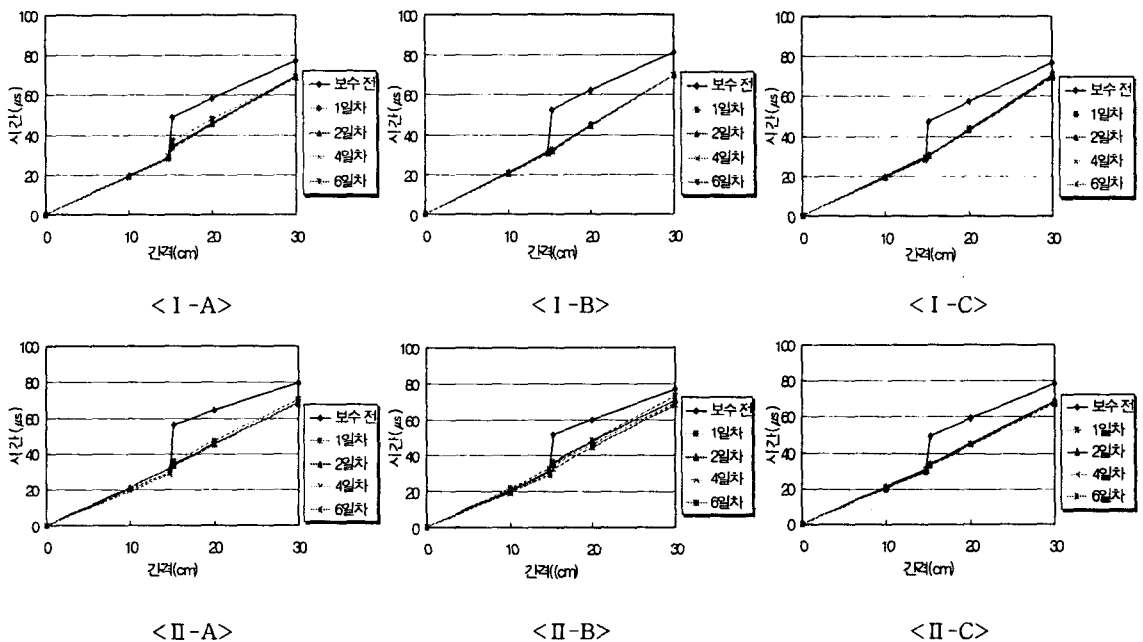


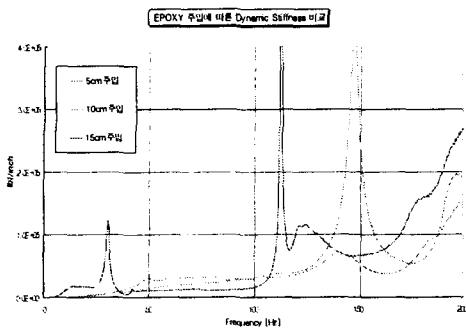
그림 4 초음파 전달시간(간접법)

4.2 전달함수법에 의한 방법

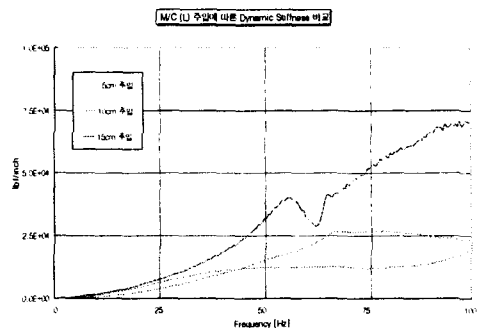
에폭시 주입의 경우 내부의 충전정도가 증가할수록 스프링 역할의 증대로 고진동수 영역내의 fundamental frequency가 낮은 진동수 영역으로 이동함을 통하여, 동일위치에서의 상대적 주입효과를 효과적으로 판정할 수 있는 것으로 나타났다.

0.4mm이상의 큰 균열에 마이크로 시멘트계의 주입재를 사용한 경우 강성의 증가로 인하여 D.C.~50Hz 대역 내에서는 Dynamic Stiffness의 차이로부터의 균열 보수 깊이에 따른 구분이 가능할 것을 판단된다.

0.2mm 이하의 미세균열에 마이크로 시멘트계의 주입재를 사용한 경우는 주입재의 보수에 따라 특별히 구별될만한 특성은 나타나지 않았으며 강성의 변화도 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.



에폭시주입시



마이크로시멘트 주입시

그림 5 Dynamic Stiffness 비교

5. 결론

보수재료의 보수 후 성능개선 효과를 평가하기 위하여 실험용 공시체를 제작하여 인위적으로 균열을 유발한 후 균열의 깊이와 보수제의 종류에 따른 균열주입제의 주입효과 및 균열 추종성을 초음파법과 전달함수법에 의해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초음파법에 의한 경우 에폭시 수지계 주입시 건전부와의 상대적인 비를 통하여 보수효과의 상대적 비교가 가능한 것으로 나타났으며,
- (2) 시멘트계를 주입한 경우 모재와 주입재가 동일한 재질이므로 표면과의 전달시간의 감소가 거의 발생하지 않으므로 보수부의 내부특성이 표면과 전달시간에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
- (3) 전달함수법에 의한 경우 에폭시 수지계 주입 시 내부의 충전정도가 증가할수록 고진동수 영역내의 fundamental frequency가 낮은 진동수 영역으로 이동함을 통하여, 동일위치에서의 상대적 주입효과를 효과적으로 판정할 수 있는 것으로 나타났다.
- (4) 시멘트계의 주입재를 사용한 경우 0.4mm이상의 큰 균열에서는 균열 보수 깊이에 따른 구분이 가능할 것을 판단되며, 0.2mm 이하의 미세균열에서는 강성의 변화가 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부, 시설안전기술공단, “콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문 시방서”, 1999. 12.
2. International Concrete Repair Institute, “Guide for Verifying Field Performance of Epoxy Injection of Concrete Cracks”, Concrete Repair Manual, 1999, pp.607~616.
3. Noel P. Mailvaganam and John J. Deans, “Repair of Cracks”, Repair and Protection of Concrete Structures, 1991, pp.287~303.
4. R.T.L Allen and S.C Edwards, “The Repair of Concrete Structures”, Blackie & Son Ltd., 1987.