

Auto Injector Grouting을 이용한 콘크리트 균열 보강효과

오세욱[†] · 윤일로 · 조홍동^{*}

경북대학교 이공대학 토목공학과 · *큐버 솔루션
(2008. 6. 16. 접수 / 2008. 8. 11. 채택)

The Effects of Reinforcing in Concrete Crack by AIG Method

Se-Wook Oh[†] · Il-Ro Youn · Hong-Dong Cho^{*}

Department of Civil Engineering, a College of Science and Engineering, Kyungpook University

^{*}Direct of Cuber Solution Co.

(Received June 16, 2008 / Accepted August 11, 2008)

Abstract : Auto injector grouting method as low pressure injected by using epoxy and Boyle's law is very excellent method in economical efficiency and construction work because injected process can be dealt with collectively. For estimation of filling capacity purpose of this study compared the Auto injector method with the piston injector method. In this study, the tests allow for width of crack, injected angle of epoxy resin and injected method were performed using concrete block specimen making artificial crack. The results of test, filling efficiency of epoxy by Auto Injector grouting method verify to better than the piston injector method and uniaxial strength increased about 11% than standard specimen.

Key Words : auto injector grouting method, boyle's law, filling capacity, piston injector method, concrete crack, uniaxial strength

1. 서론

콘크리트 구조물의 균열은 다양한 원인에 의해 발생하며, 콘크리트의 타설부터 양생과정 그리고 구조물의 사용기간 중에 계속적으로 발생할 수 있다. 이렇게 발생한 균열은 작게는 구조물의 외관을 손상시키고 크게는 균열이 콘크리트의 내부로 발달함에 따라 내부의 철근을 부식시키는 원인이 되며, 구조물의 내력을 저하시킬 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물에 발생하는 균열에 대해 주의가 요구되며 균열 정도가 심한 경우에는 이에 대한 보수·보강 대책이 강구되어야 한다¹⁾.

기존 콘크리트 구조물에 대한 보수공법으로는 수지계 및 시멘트계 재료들을 이용한 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 등 여러 공법들이 적용되고 있다²⁾. 그러나 구조물의 보수를 위해서는 균열의 형태 및 보수·보강의 목적에 따라 공법을 달리 적용하게 된다³⁾. 일반적으로 콘크리트 구조물에서 발생된 균열의 진전과 균열 발생 후의 철근, PC강재, 철골

등에서의 녹의 진행을 막고 균열폭의 증대를 방지하기 위한 보수방법으로 주입공법이 주로 사용되며 균열 정도가 심한 경우에는 주입공법에 의한 전처리 단계를 거친 후 보강을 실시한다⁴⁾.

이러한 주입공법은 균열 부위에 점성이 낮은 우레탄 혹은 에폭시 수지계 재료나 시멘트계 재료를 주입하여 미관, 방수성 및 내구성을 향상시킬 목적으로 사용되며 주입하는 압력에 따라 크게 저압주입공법과 고압주입공법으로 분류할 수 있다. 대개 균열 폭이 0.25mm 이상 되는 큰 균열과 깊은 균열의 경우는 저압주입공법을 적용하고, 균열 폭이 0.25 mm 이하인 균열은 고압주입공법을 적용한다. 저압주입공법의 대부분은 흔히들 말하는 주사기를 이용한 주입공법 즉, 인젝션 그라우팅 공법을 지칭한다. 인젝션 그라우팅 공법은 주입량 점점이 용이하고 균열 속 깊이 주입할 수 있다는 장점이 있지만, 균열부위에 좌대를 부착하는 경우 주입구가 막히는 현상이 발생되고, 균열부위 실링제가 완전히 경화하는데 약 24시간이 소요되기 때문에 바로 다음 공정을 이어나갈 수 없다. 또한 많은 작업을 단번에 시행하기 때문에 에폭시가 균열부위에 완전히 주

[†] To whom correspondence should be addressed.
osw@knu.ac.kr

입되기 이전에 인젝터 안에서 에폭시가 경화되어 남는 일이 발생하게 된다. 이는 정량의 에폭시가 주입되지 못함으로써 시공품질을 유지하는데 많은 문제점을 야기시킨다. 이러한 적절하지 않은 보수에 의해 재보수가 요구될 수 있으며 이에 따라 많은 경제적 손실을 초래하게 된다. 따라서, 기존 인젝션 그라우팅 공법의 단점을 보완하고 시공성과 경제성이 확보될 수 있는 공법의 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저압주입 공법으로 주로 활용되어오던 인젝션그라우팅 공법의 문제점을 보완하여 시공성 및 시공품질의 향상, 공기 단축 및 시공비의 절감을 목적으로 개발된 저압주입공법인 AIG(Auto Injector Grouting)공법을 기존의 저압주입공법과 비교·분석함으로써 그 성능의 효과를 검증하고자 하는데 목적이 있다. 이때, AIG공법은 일정 온도에서 일정량의 기체부피는 압력에 반비례한다는 보일의 법칙(Boyle's law)을 적용하였다.

2. 실험

2.1. 실험 공시체

실험 공시체의 내부에 40×30cm의 균열면을 인위적으로 만들었다. 인위적인 균열면은 콘크리트 타설시 0.25mm, 0.5mm의 강철판을 삽입하고 약 6~9시간이 경과한 후 콘크리트가 완전히 경화되기 전 강철판을 제거함으로써 균열을 형성시켰다.

AIG와 일반 주사기와의 성능을 객관적으로 비교·검토하기 위해 주입 각도, 균열 폭, 시공 방법 등을 실험 변수로 하여 무근 콘크리트에 대해 주입실험을 실시하였다. 각 실험 변수에 따른 에폭시 주입량(균열 길이에 따른 충전 길이)을 측정하여 AIG와 일반 주사기의 충전성을 비교하였으며 균열 폭에 따른 에폭시의 충전 정도와 성능을 알아보기 위해 일축 압축강도 시험을 실시하였다. 일반적으로

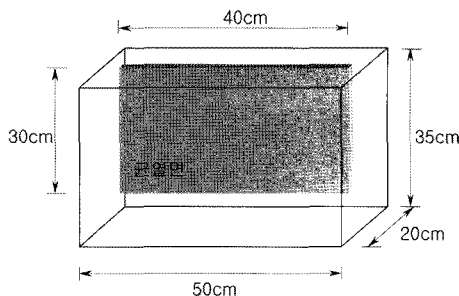


Fig. 1. A shape of specimen.

로 에폭시 주입시 고정판(좌대)의 간격을 감안하여 2개의 고정판(좌대)을 설치하여 에폭시를 주입하였다. 또한, 타설된 콘크리트의 일축압축 강도를 알아보기 위해 10×20cm 공시체 6개를 제작하였으며 코아 채취기의 최대 채취 길이와 압축 공시체의 직경을 고려하여 각 시험체 당 2개의 시편을 채취할 수 있도록 실험체의 단면을 50×20×35cm인 직사각형 형상으로 계획하였으며, 총 18개의 시험체를 제작하였다. 실험체의 코아 채취 위치는 실험체의 중앙부와 측면이며 각각 1개씩을 채취하여 공시체 크기에 맞게 제작한 후 강도 시험을 실시하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 주입각도

일반적으로 콘크리트 구조물은 주로 인장응력이 발생하는 부위에서 균열이 발생·진전한다. 균열 발생 부위는 보의 최대 정·부 모멘트부, 슬래브, 기둥, 벽체 등 거의 모든 구조물에서 발생한다. 그러나 이들 균열들이 반듯이 구조물에 치명적인 손상을 입히는 것은 아니다²⁾. 이들 균열은 대부분의 주입식 보수 공법을 이용하여 균열의 진전을 차단하고 균열로 인해 발생하는 철근 부식을 사전에 제거할 수 있다. 콘크리트 구조물에 주입식 보수공법을 적용할 경우 주로 콘크리트 구조물의 벽체, 상부 및 하부 슬래브, 보 부재의 최대 정·부 모멘트부 등 다양한 각도에서 보수가 실시됨으로 다양한 주입 각도에 따른 보수 공법의 적용성을 파악하는 것이 필요하다⁷⁾. 따라서, 본 실험에서는 현장에서 균열을 보수할 경우 놓이게 되는 주입 각도를 고려하여 에폭시 주입각도를 각각 0°(벽체주입), 90°(바닥주입), -90°(천정주입)등으로 구분하여 실험변수로 선정하였다.

2.2.2. 균열폭

콘크리트 구조물에 발생하는 균열은 균열의 수가 문제가 되는 것이 아니라 균열폭이 과연 어느 정도의 폭으로 발생하는가가 중요한 관건이 된다³⁾. 따라서, 본 실험에서는 균열폭을 실험변수로 채택하였으며 일반적으로 인젝션 그라우팅 공법이 시공 가능한 균열폭은 0.2~1.0mm이다⁶⁾. 따라서, 본 실험에서는 일반적으로 콘크리트 구조물에 발생하는 균열폭인 0.25mm, 0.5mm를 균열폭에 대한 실험 변수로 선정하였다.

Fig. 2는 일반주사기에 의한 주입방법과 오토인젝터에 의한 주입방법을 보여주고 있다.

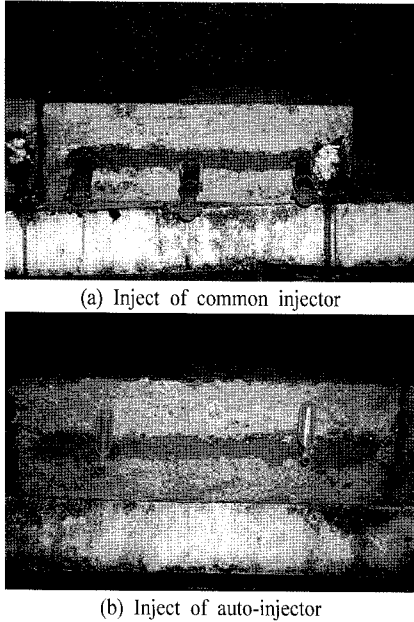


Fig. 2. Inject of epoxy resins.

Table 1에 각 실험체명과 실험변수에 따른 주입 방향과 균열폭을 나타냈었다. 총 18개의 실험체를 사용하여 실험을 실시하였으며 이를 바탕으로 결과를 비교·분석하였다.

2.2.3. 주입성능비교

주입 성능을 육안으로 관찰하기 위해 콘크리트 양생 후 0.25mm, 0.5mm의 균열면이 형성된 균열 부위에 대해 길이 약 35cm의 코아를 채취하여 균열부위에 대한 에폭시의 주입길이를 측정하였다. 모든 실험체의 코아 채취시 실험체의 중앙부와 측면부 두 곳의 코아를 채취하여 주입길이의 평균값을 취하였다. 이를 통해 각 보수공법별 주입효과를 비교하였다.

2.2.4. 압축강도 시험

에폭시의 충전 정도를 파악하고 에폭시의 성능을 간접적으로 파악하기 위해 균열이 포함된 에폭시 주입 원주형 공시체에 대해 압축강도를 측정하였다^{8,9)}. 균열이 포함된 에폭시 주입 실험체에서 채취한 코아를 원주형 공시체와 같은 크기인 10×20cm로 절단하여 균열을 포함한 에폭시 주입 원주형 공시체를 제작하였다. 타설시 제작한 기준 원주형 공시체와 코아에서 채취한 균열이 포함된 원주형 공시체에 대해서 압축강도 시험을 실시하여 강도변화를 측정하고 비교 분석하였다.

Table 1. Tests of series

specimen	Injected method	Angle of Injection	Wide of crack
0.25 I-D	일반 주사기 (Injector)	-90°	0.25mm
0.50 I-D			0.50mm
0.25 I-H		0°	0.25mm
0.50 I-H			0.50mm
0.25 I-U		+90°	0.25mm
0.50 I-U			0.50mm
0.25 A-D1	자동 인젝터 (Auto Injector)	-90°	0.25mm
0.50 S-D1			0.50mm
0.25 S-D2			0.25mm
0.50 S-D2			0.50mm
0.25 S-H1		0°	0.25mm
0.50 S-H1			0.50mm
0.25 S-H2			0.25mm
0.50 S-H2			0.50mm
0.25 S-U1		+90°	0.25mm
0.50 S-U1			0.50mm
0.25 S-U2			0.25mm
0.50 S-U2			0.50mm

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 50×20×35cm의 무근 콘크리트 실험체에 인위적인 균열(폭 0.25mm, 0.5mm)을 형성시켜 각 주입 공법에 따른 에폭시의 충전 정도(주입 깊이)와 간접적인 에폭시의 성능을 분석하기 위해 실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

3.1. 주입성능 비교

각각의 실험체에 대해서 주입방법에 따른 주입성능을 비교·평가하였다. 일반 주사기(I)와 오토인젝터(S)를 이용하여 아래서 주입(D), 수평주입(H), 위에서 주입(U)한 경우에 에폭시 충전깊이는 Table 2와 같다.

총 18개의 실험체 중에서 3개의 실험체를 제외한 모든 실험체에 완전 충전이 이루어졌다. 0.25mm의 균열 폭을 가지는 실험체는 아래서 주입한 일반 주사기를 제외한 거의 모든 실험체에서 완전 충전이 이루어졌으며 0.5mm의 균열 폭을 가지는 실험체에서는 아래서 주입한 일반 주사기와 오토인젝터를 제외한 모든 실험체에서 완전 충전이 이루어졌다.

0.25mm의 균열 폭을 가지는 실험체의 경우, 주입재의 성능을 살펴보면 먼저, 균열폭 0.25mm인

Table 2. The comparison of inject depth by injected method

specimen	Depth of injection		Remark
	Center	Side	
0.25 I-D	24.1cm	23.7cm	부분충진
0.25 I-H	30cm	30cm	완전충진
0.25 I-U	30cm	30cm	“
0.25 S-D1	30cm	30cm	“
0.25 S-D2	30cm	30cm	“
0.25 S-H1	30cm	30cm	“
0.25 S-H2	30cm	30cm	“
0.25 S-U1	30cm	30cm	“
0.25 S-U2	30cm	30cm	“
0.5 I-D	23.25cm	23.75cm	부분충진
0.5 I-H	30cm	30cm	완전충진
0.5 I-U	30cm	30cm	“
0.5 S-D1	27.75cm	28cm	부분충진
0.5 S-D2	30cm	30cm	완전충진
0.5 S-H1	30cm	30cm	“
0.5 S-H2	30cm	30cm	“
0.5 S-U1	30cm	30cm	“
0.5 S-U2	30cm	30cm	“

* D : 아래서 주입(-90°), H : 수평 주입(0°), U : 위에서 주입(+90°)

경우 주입 방향에 관계없이 거의 모든 실험체에서 완전 충전되는 것으로 나타났다. 그러나 일반 주사기를 이용하여 아래서 주입(-90°)하는 경우 중앙부에서는 24.1cm, 측면에서는 23.7cm의 주입 길이를 보여 오토인젝터에 비해 상대적으로 낮은 충전율을 보였다. 이는 일반 주사기의 경우, 수동으로 주입할 뿐만 아니라 고무줄의 압력에 의해 균열부위에 에폭시가 저압으로 장기간 주입됨으로 균열을 충분히 충전하기 전에 에폭시의 경화가 시작된 것으로 판단된다. 그러나 오토인젝터의 경우, 자체적으로 압력 조절이 가능하고 아래서 주입할 경우 고압으로 주입함으로 일반 주사기보다 충전율이 상대적으로 향상된 것으로 판단된다. 따라서, 보의 인장부, 슬래브의 하부 등에 주입 압력을 조절할 수 있는 오토인젝터로 시공할 경우 기존 인젝터보다 향상된 충전율을 나타낼 것으로 판단된다.

균열 폭이 0.5mm인 경우, 대부분의 실험체에서 완전 충전이 이루어 졌다. 그러나, 아래서 주입(-90°) 시 일반주사기의 주입 길이는 평균 23.5cm, 오토 인젝터의 주입 길이는 평균 27.9cm으로 측정되어 각각 78.3%, 93%의 충전율을 나타내었다. 아래서 주입하는 경우 일반 주사기와 오토 인젝터 모두 완전 충전은 이루어지지 않았으나, 0.5 S-D2 실험체

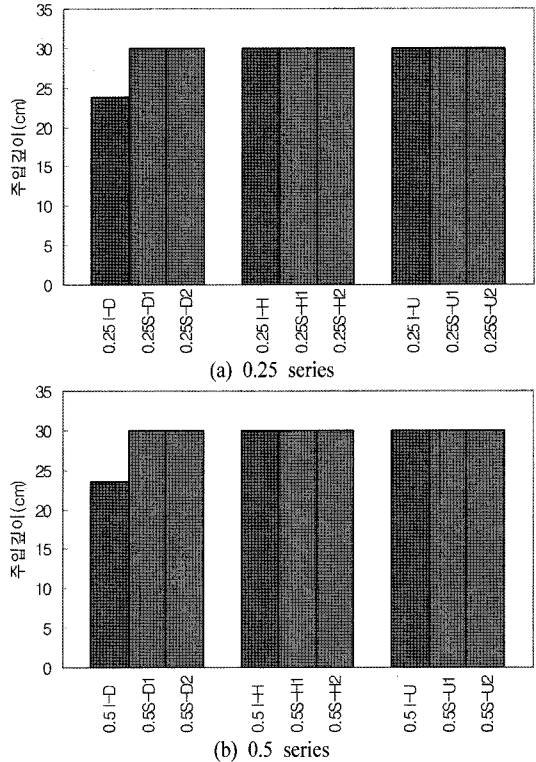


Fig. 3. The comparison of inject depth by injected angle.

의 경우에는 완전 충전이 이루어 졌다. 따라서, 슬래브의 하부 등을 인젝터 주입공법으로 주입할 경우, 균열 폭에 대한 충분한 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

주입각도에 따른 일반 주사기와 오토인젝터와의 충전깊이 비교는 Fig. 3과 같다. 일반주사기와 오토인젝터에 의한 주입시 수평주입과 위에서 주입한 경우에는 두 경우 모두 완전히 충전되었지만 아래서 주입한 경우는 오토인젝터에 의한 주입효과가 우수하게 나타났다.

3.2. 압축강도 시험 결과

균열부위의 에폭시 주입에 따른 압축강도 및 파괴양상의 변화를 알아보기 위해 압축강도 시험을 수행하였다. 실험수행을 위한 시편은 에폭시가 주입된 부분의 코어를 채취한 후 10×20cm의 크기로 연마하여 제작하였다.

3.2.1. 압축강도 시험 결과

기준공시체 및 에폭시가 주입된 공시체에 대한 압축강도 결과는 다음과 같다.

Table 3. Results of uniaxial compression test

Specimen	Ultimated load (kN)	Uniaxial compression (MPa)	Strength ratio (%)
기준공시체	132	16.81	-
0.25 S-D1	129	16.42	0.98
0.25 S-U1	162	20.63	1.23
0.5 S-D1	160	20.37	1.21
0.5 S-D2	147	18.72	1.11
0.5 S-H2	157	20.00	1.19
0.5 S-U1	127	16.17	0.96

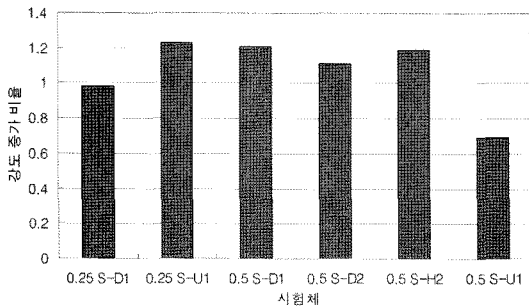
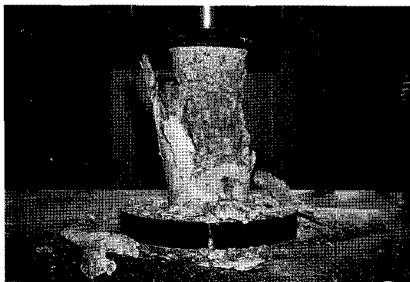
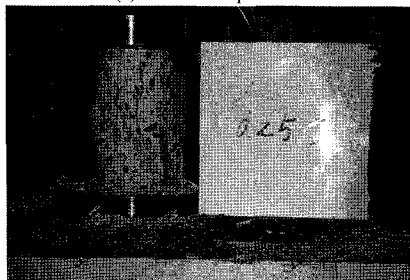


Fig. 4. Results of uniaxial compression test.

실험결과, 기준 공시체의 압축강도는 16.81MPa으로 나타났으며 균열이 포함된 시험체의 압축강도는 16.17~20.63MPa의 범위를 가지는 것으로 측정되었다. 평균 압축강도는 약 18.72MPa로 기준공시체에 비해 0.96~1.23배의 강도 증가율을 보였다.



(a) Standard specimen



(b) Specimen of injected epoxy

Fig. 5. A scene of uniaxial compression tests.

파괴시의 파괴양상을 살펴보면, 하중이 증가함에 따라 시험체에서 발생한 미세 균열은 주로 사방향과 하중 가력 방향으로 성장하여 주균열로 발전하였다. 그러나 에폭시가 충전된 부분에 도달한 균열은 에폭시를 통과하지 못하고 콘크리트와 에폭시의 경계면을 따라 발달하여 파괴되는 양상을 나타내었다. 즉, Fig. 4에서와 같이 시험체는 기존의 균열에 의한 영향을 받고는 있지만 시공된 에폭시가 균열을 차단할 뿐만 아니라 하중분담 역할도 하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 기준 공시체 및 에폭시가 주입된 공시체의 압축강도 시험에 따른 파괴양상을 나타낸 것이다.

4. 결론

오토인젝터의 성능평가에 관한 연구를 통해 지금까지 많이 사용되어온 일반 주사기와의 주입효과에 대한 성능비교 및 공시체의 파괴실험을 통한 파괴양상을 관찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 0.25mm, 0.5mm의 균열폭을 갖는 부재에 대해서 일반 주사기와 오토인젝터와의 에폭시 충전효과를 주입각도에 따라 비교해본 결과 아래에서 위로 주입하는 경우 일반 주사기에 비해 우수한 주입효과를 확인할 수 있었으며 그 외의 수평주입과 위에서 아래로 주입하는 경우는 일반 주사기와 동일한 주입효과를 확인할 수 있었다.

2) 에폭시가 주입된 공시체에 대한 압축강도시험을 수행한 결과, 기준공시체에 비해 0.96~1.23배의 강도 증가율을 보여 에폭시에 의한 보강효과를 확인하였다.

참고문헌

- 1) 金鎮根, “콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호, pp. 6~16, 1994.8.
- 2) 추영수 역, “콘크리트의 균열조사”, 보수·보강지침, 건설도서, pp. 29~106, 1996.
- 3) 최재진, “콘크리트 품질문제의 유형과 대책”, 한국레미콘공업협회, pp. 6~16, 1988.
- 4) 김우, “세계 여러나라 콘크리트시방서의 균열제단에 대한 규정”, 콘크리트학회지, 제6권4호, pp. 30~36, 1994.8.
- 5) ACI Committee 224, “Control of Cracking in Concrete

- Structures”, ACI Manual, pp. 140~148, 1988.
- 6) ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete”, ACI Manual, pp. 515~526, 1989.
 - 7) PCA, “Note on ACI”, 318-95, pp. 69~80, 1996.
 - 8) G. S. Springer, B. A. Sanders and R. W. Tung, “Environmental Effects on Glass Fiber Reinforced Polyester and Vinylester Composites”, IBID, vol. 14, pp. 213~232, 1980.
 - 9) J. L. Christian, W. E. Witzell, and B. A. Stein, “Environmental Effects on Advanced Composite Materials”, ASTM STP 602, pp. 61~69, 1976.