

터널 콘크리트 구조물의 보수를 위한 무기계 균열주입기술의 표준화 연구

Standardization of Injection System by Inorganic Material for Crack Repair of Tunnel Concrete Structures

배기선*

Bae, Kee-Sun

곽수정**

Kwak, Su-Jung

백종명***

Baek, Jong-Myeong

Abstract

This study is to establish a standardization of injection system by inorganic material for crack repair of tunnel concrete structures. For this various surveys and experiments were carried out as followed. The first we surveyed capability of injection and crack pattern of concrete structures in site, and second we analyzed the relationship between crack width and volume of injection, and decided pressure and volume of injection. Finally we evaluated the relationship between crack width and volume of injection with kind of concrete structures, and between required time for injection and crack width with thickness of structure. From these surveys and experiments, we cleared the relationship between crack patterns and injection technologies such as volume, pressure of injection and required time for injection with kind of structure.

요 지

본 논문은 터널 콘크리트 구조물의 보수를 위한 무기계 균열주입기술의 표준화에 관한 연구이다. 본 연구를 위하여 균열보수공사가 필요한 터널 라이닝 및 박스 구조물을 선정하여, 균열폭에 따른 주입량, 주입시간 및 주입압력, 주입압력과 주입시간, 구조물 규모에 따른 주입량, 구조물별 균열 위치에 따른 주입량, 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계에 관하여, 현장 조사와 시험평가를 수행하여 구조물의 종류 및 균열의 크기에 따른 균열보수재의 주입압력, 주입량 및 주입시간 등을 명확히 파악하였다.

Keywords : Concrete structure, Repair, Crack, Injection system, Standardization

핵심 용어 : 콘크리트 구조물, 보수, 균열, 주입기술, 표준화

* 정회원 : (주)리폼시스템 기술본부장, 공학박사

** 정회원 : (주) 한미기초, 공학박사, 기술사

*** 정회원 : 서울메트로 기술연구실 차장, 기술사

E-mail : sbshin@inha.ac.kr 032-860-7552

•본 논문에 대한 토의를 2006년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트 구조물의 사용에 따른 균열의 발생, 이에 따른 누수문제 및 노후화가 날로 증가하는 추세에 있으나 이러한 구조물의 유지보수를 위하여 막대한 비용이 소요되고 있으나 보수는 물론이고 이에 대한 품질관리를 할 수 있는 기준이 부족하여 곤란을 겪고 있는 실정에 있다. 특히 균열보수에 있어서 에폭시, 우레탄 등의 유기계재료가 사용되어 왔으나 보수효과가 미진하여 새로운 개념의 균열보수재의 적용의 필요성이 다각적으로 요구되는 상황에 있다.^{(1)~(4)}

따라서 본 연구에서는 콘크리트구조물의 균열을 보수에 있어서 무기계의 균열보수재의 적용 및 품질관리의 표준화자료를 확보하기위하여 보수재에 대한 실제의 평가자료를 이용하여 균열폭에 대한 주입량, 주입시간 및 주입압력, 주입압력과 주입시간, 구조물 규모에 따른 주입량, 구조물의 균열 위치에 따른 주입량, 구조물 두께와 주입시간의 관계 등을 평가 분석하였다.

본 연구를 통해서 구조물 보수공사와 관련하여 보수비용의 산출 및 하자보수공사에 적용하기 위한 균열 및 누수 보수공사에 대한 기초적인 표준화 방안을 작성하여, 원활한 시공관리와 철저한 품질관리가 가능토록하며, 이를 통해 결과적으로 구조물의 내구성 증진 및 지하철, 철도 등 운행선 구간의 안전을 도모하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

2. 본 문

2.1 연구 개요

연구개요는 Table 1과 같이 균열에 관한 현장조사와 이러한 결과를 바탕으로 한 분석을 통하여 구조물의 종류 및 조건을 고려한 실험에 의한 결과를 분석하고 정리하였다.

본 조사 대상 구조물 보수에 사용된 무기질계균열보수재(주성분:마이크로시멘트)의 배합비는 주체와 경화제의 비율이 2:1이며, 점성도는 1000CPS정도의 재료를 사용하였다.

Table 1 연구개요

주요 평가 항목	세부 평가항목	평가내용
현장 조사	주입성능	균열폭 별 주입시간과 주입량의 관계
	구조물의 종류별 균열성상 평가	박스형 구조물 및 터널 라이닝 구조물별 균열폭 별 균열깊이 및 길이의 평가
	자료분석	균열폭에 대한 주입량의 추정 균열폭에 따른 주입압력과 주입량 결정
실험 및 평가	균열보수재의 주입량평가	구조물별 균열폭에 따른 주입량의 평가
	균열보수재의 주입시간 평가	구조물 두께 및 균열폭과 주입시간과의 관계

2.2 현장조사

2.2.1 균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량 조사

균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량의 조사를 위한 대상 구조물은 지하철 구조물로서 형태는 박스 구조물과 터널 라이닝 구조물 형태이며, 이러한 구조물에서 조사된 균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량은 Table 2와 같다.

Photo 1은 무기질계 균열보수재의 주입전 단면과 주입 후 주입효과에 대한 유효성 확인으로 코아 채취에 위한 주입 상태 검사(화살표 부분이 균열보수재의 주입상태를 나타냄)를 보여주고 있다.

2.2.2 콘크리트 균열 깊이의 조사

박스 구조물(두께 40~80 cm)과 터널 라이닝 구조물(두께 20 cm) 구간의 사전 균열깊이 측정은 외관조사를 기본으로 하며, 초음파를 이용한 Tc-To법을 적

Table 2 균열폭에 따른 실측주입시간, 주입압력, 주입량 비교

균열 폭 (mm)	주입 압력 (kgf/cm ²)	주입시간		주입량		비고
		(min.s ec/m)	(min.s ec/ea)	(kg/m)	(kg/ea)	
0.3	5.08	6.10	1.14	0.154	0.0308	ea(개소)는 20 cm간격 주입시를 말함
0.5	3.11	8.55	1.47	0.268	0.0536	
0.7	5.08	6.10	1.14	0.318	0.0636	



(a) 균열폭 측정

(b) 균열보수재 주입



(c) 균열 폭과 깊이에 의한 주입 확인

Photo 1 균열부위 무기질균열주입재의 주입 및 주입상태의 확인 상황

용하여 측정하였고, 측정결과는 상기 Table 3과 같이 박스구간의 경우에는 22~315 mm의 균열깊이를 나타냈으며, 터널 라이닝 구간에는 75~159mm의 균열깊이를 나타냈고, 박스 및 터널 라이닝 구조물 일부에는 관통 균열도 발생하였다.

조사된 균열은 비구조적인 균열로 대부분의 균열패턴이 양 측벽 하단으로부터 발견되어 있는 점을 고려해 볼 때 시공중의 수화열과 구속, 건조수축, 온도변화, 시공이음, 신축이음, 콜드 조인트의 시공불량, 주변 구조물과의 구속관계에 의한 원인으로 추정된다.

3. 평가 및 분석 결과

3.1 균열폭에 대한 주입량의 관계

균열폭에 의한 주입량은 균열폭이 커지면서 주입량은 증가하고 있으며, 이때 Table 2의 실측치로부터의

Table 3 균열깊이 및 균열깊이 측정결과

균열폭 (mm)	박스구간		터널라이닝구간	
	균열깊이 (mm)	균열깊이 (m)	균열깊이 (mm)	균열깊이 (m)
0.3	59	4.2	85	2.0
	90	3.5	관통	2.0
	68	3.0	113	2.5
	22	4.0	75	4.5
	∴	∴	∴	∴
0.5	85	5.5	159	3.0
	165	5.0	96	0.53
	315	1.5	84	3.0
	관통	3.0	120	2.5
	∴	∴	∴	∴
0.7	106	3.0	120	3.5
	100	4.0	66	2.0
	99	3.5	59	2.5
	155	3.5	135	2.8
	∴	∴	∴	∴

추세식은 Fig. 1의 $Q = 0.4091\delta + 0.0403$ 으로 나타낼 수 있다. 주입량 추세식을 이용하여 계산한 균열폭에 대한 주입량은 Table 4와 같다.

개소 당 주입량은 추세 곡선식을 이용한 계산치와 실측치를 비교한 결과이며, 균열폭 0.3 mm와 0.7 mm에서 개소 당 주입량은 실측치가 계산치에 비해 작게 나타났으며, 이 원인은 주입압과 주입시간의 차로 인한 것으로 생각된다. 또한 균열 폭 0.5 mm에서의 개소 당 주입량은 실측치가 계산치에 비해 크게 나타났다. 그 이유는 저압 및 저속 주입에서 주입시간이 길어지면서 나타나는 현상으로 주입관리에 가능한 주입압을

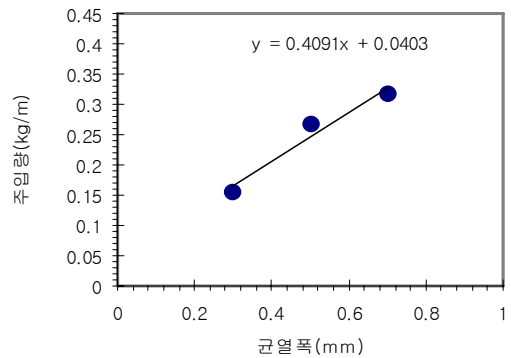


Fig. 1 균열폭과 주입량의 관계

Table 4 균열폭과 주입량의 관계

균열폭 (mm)	균열주입재의 주입량			
	계산치		실측치	
	kg/m	kg/개소	kg/m	kg/개소
0.1	0.0812	0.0162	-	-
0.2	0.1221	0.0244	-	-
0.3	0.1630	0.0326	0.1540	0.0308
0.4	0.2039	0.0407	-	-
0.5	0.2448	0.0489	0.2680	0.0536
0.6	0.2857	0.0571	-	-
0.7	0.3266	0.0653	0.3180	0.0636
0.8	0.3675	0.0735	-	-
0.9	0.4084	0.0816	-	-
1.0	0.4494	0.0898	-	-

낮게 하고 주입시간을 충분하게 설정하여 주입함으로써, 주입관리에 대한 품질관리를 할 수 있음을 시사한다.

3.2 균열폭, 주입량과 주입압력의 관계식

1995년 W. J. Baker⁽⁵⁾에 의하면 1개의 균열폭에 있어서 주입압력과 주입량의 관계는 다음과 같다.

$$P_0 - P = \frac{6\nu Q}{\pi\delta^3} \ln \frac{R}{r_0} + \frac{3 \times W \times Q^2}{20 \times \pi \times g \times \delta^3} \left(\frac{1}{\gamma^2} - \frac{1}{R^2} \right) \quad (1)$$

위 (1)식을 간략히 하면 (2)식과 같다.

$$P = \frac{6\nu Q}{\pi\delta^3} \ln \frac{R}{r_0} \quad (2)$$

여기서, P : 주입압력(kgf/cm^2)

ν : 뉴턴 유체의 동점성 계수

δ : 개구폭(균열폭)

R : 침투반경(20 cm)

r_0 : 주입공의 반경(2 cm)

Q : 주입량

상기 균열폭과 주입량의 추세곡선으로부터 도출된 $Q = 0.4091\delta + 0.0403$ 식을 적용하여, 현장 여건에 맞는 간략한 식으로 정리하면 (3)식과 같다.

$$P = \frac{6\nu(0.4091\delta + 0.0403)0.5Rd}{0.01\pi\delta} \ln \frac{R}{r_0} \quad (3)$$

여기서, P : 주입압력(kgf/cm^2)

ν : 동점성 계수

δ : 균열폭

R : 침투반경(20 cm)

r_0 : 주입공의 반경(2 cm)

d : 구조물의 두께

상기 (3)식은 암반 균열 부에 주입되는 식으로서, 암반의 균열(절리)은 연속성이 있으나, 콘크리트구조물의 균열은 진행 상태에 따라 균열 깊이가 제한이 되어 있으므로, 주입량에 따른 주입압력을 변형하여 적용하였다. 아래의 표5에서 주입압력을 계산한 결과 1.410~7.753kgf/cm²이었고, 평균 주입압력은 2.766 kgf/cm²으로 실제 적정 주입압력보다 낮게 계산되었으며, 균열폭이 클수록 주입압력이 작아지는 결과가 나타났다.

그러나 계산상의 평균 주입압력에 비하여 현장에서 얻어진 실제적인 결과에 의하면 3.0~3.5kgf/cm²이 주입압력에서 가장 주입이 잘되는 것으로 확인이 되었기 때문에 상기 (3)식은 참고용으로 사용하고, 주입압력이 주입량에 영향을 미치는 인자이긴 하지만 주입량에 절대적 변수가 되지 못하는 것으로 나타났다.

Table 5 주입량추세식에 의한 균열폭과 주입량, 주입압력의 비교표

균열폭 (mm) \ 구분	주입량 (kg/ea)	주입압력 (kgf/cm ²)
0.1	0.0162	7.753
0.2	0.0244	4.229
0.3	0.0326	3.024
0.4	0.0407	2.467
0.5	0.0489	2.115
0.6	0.0571	1.880
0.7	0.0653	1.712
0.8	0.0735	1.586
0.9	0.0816	1.488
1.0	0.0898	1.410
평균	-	2.766

3.3 균열폭, 주입시간, 주입압력과의 관계

균열폭과 주입시간의 관계, 균열폭과 주입압력과의 관계를 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 2의 균열폭과 주입시간의 관계에 따르면 균열폭 0.5mm에서 주입시간이 가장 길게 나타나고 있음을 알수 있다. Fig. 3의 균열폭과 주입압력의 관계에 의하면 Fig. 2의 결과와는 상반적으로 균열폭 0.5mm에서 주입시간이 가장 길게 나타나고 있음을 알수 있다.

이러한 Fig. 2 및 Fig. 3의 결과를 복합적으로 고찰해 보면 상대적으로 균열폭 0.5mm에서 주입시간이 길어지면서 주입압력이 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 실제의 구조물에서 발생된 균열을 바탕으로 평가된 결과이므로 그 원인의 추정은 용이하지 않으나 추정되는 여러 가지 원인중에서 균열폭 0.5mm의 조건에서 균열보수재의 주입 저항성 또는 균

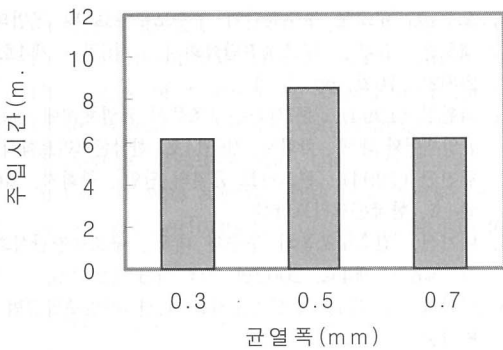


Fig. 2 균열폭과 주입시간의 관계

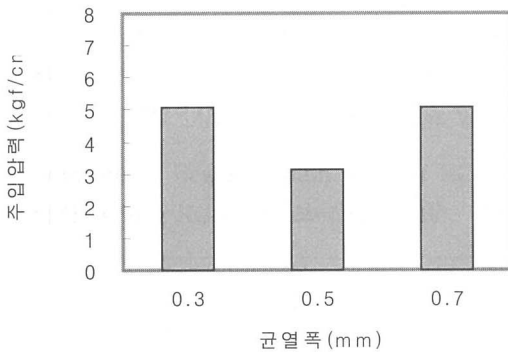


Fig. 3 균열폭과 주입압력의 관계

열부위 내부관로의 마찰저항성의 변화가 가장 큰 지배적인 원인 된다고 생각된다.

물론 균열부의 특성, 균열보수재의 점성 및 유동성 등을 변수로 다각적인 실험에 의해서 규명이 가능할 것으로 사료된다.

3.4 구조물별 균열폭에 따른 주입량과의 관계

구조물별 균열 위치에 따른 주입량의 관계는 Table 6과 같이 콘크리트터널박스의 상부슬랩 및 벽체의 균열에 따른 주입량의 차이는 미소한 것으로 나타났으며, 주입량은 균열의 폭에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 또한 구조물 규모에 따라 주입량의 관계를 박스 구조물과 터널 라이닝 구조물 벽체를 비교해 보면 균열폭 0.3mm에서는 박스 구조물보다 터널 라이닝 구조물의 주입량이 작으며, 0.5mm 및 0.7mm에서는 터널 라이닝 구조물에서 주입량이 많아지는 경향을 띠고 있다. 이런 주된 이유는 터널 라이닝의 경우 구조물 두께가 얇고, 균열의 깊이가 관통되어 있는 점에 기인한다고 생각된다.

박스 구조물의 경우에는 구조물의 크기에 따라 다소 주입량 증감에 영향을 미치겠지만, 주입량의 주된 증가의 원인은 균열폭의 증가라고 생각된다.

3.5 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간과의 관계

균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계를 파악하기 위하여 2.5.~6.0 kgf/cm²의 일정한 저압 주입에 의해서 균열폭 및 구조물 두께에 따라 평가하여 Fig. 4과 같은 결과를 얻었다.

Table 6 구조물별 균열 위치에 따른 주입량 비교표

균열폭 (mm)	박스의 주입량 (kg/m)		터널 라이닝의 주입량(kg/m)	
	상부슬랩	벽체	상부	벽체
0.3	0.179	0.185	0.120	0.112
0.5	0.250	0.247	-	0.288
0.7	0.300	0.308	-	0.327

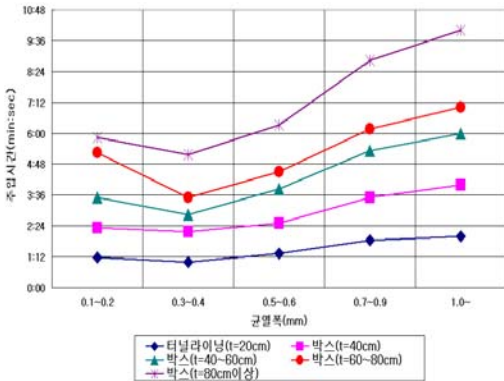


Fig. 4 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간과의 관계

주입시간에 있어서는 구조물 종류에 상관없이 구조물 두께 및 구조물 균열폭의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다.

한편 균열폭 0.1~0.2mm의 경우 0.3~0.4mm 보다 주입시간이 더 큰 결과를 나타나고 있는데 이러한 주된 원인은 미세 균열인 0.2mm이하 에서는 균열폭이 너무 작아 균열주입제에 주입저항이 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 균열보수에 대한 품질상태를 검사할 수 있는 기준 설정이 없는 상태에서, 구조물 보수 공사가 필요한 터널 라이닝 및 박스 구조물을 선정하여, 균열폭에 따른 주입량, 주입시간 및 주입압력, 주입압

력과 주입시간, 구조물 규모에 따른 주입량, 구조물별 균열 위치에 따른 주입량, 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계에 관하여, 현장 조사와 시험평가에 의해서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 무기계 균열보수제의 주입에 있어서 가능한 주입압력을 낮게 하고 주입시간을 충분하게 확보하는 것이 주입공사의 품질을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.
- 2) 주입시간이 많을수록 주입량이 증가하므로 주입공사의 경제성 및 주입효과의 확보차원에서 m당 8분 주입이 가장 적절하다는 결과를 얻었다.
- 3) 균열주입제의 주입시간은 구조물 두께 및 균열폭의 증가에 따라 증가하였고 균열폭이 0.5~0.7mm 전후에서 적절한 주입을 할 수 있었다.

참고문헌

1. 오상근, “구조물 누수진단과 누수보수재료 및 공법의 새로운 접근”, 구조물진단학회지, 제6권, 제4호, 2002년 10월, pp. 5~11.
2. 최완철 (1994), “콘크리트 구조물의 균열체계에 따른 균열제어와 대책”, 학회지, 제6권4호, 한국콘크리트학회.
3. 김진근 (1994), “콘크리트 균열의 원인”, 학회지, 제6권4호, 한국콘크리트학회.
4. 배기선, “건축구조물의 누수와 대책”, 구조물진단학회지, 제6권, 제4호, 2002년 10월, pp. 12~20.
5. 천병식 (1997), “건설기술자를 위한 지반주입공법”, 원기술.

(접수일자 : 2006년 7월 24일)