

콘크리트 구조물 균열에 에폭시 주입의 표준화를 위한 기초적 연구

A Basic Study on the Standardization of Epoxy Injection on Concrete Structure Crack

백 종 명* 장 석 재**
Baek, Jong-Myeong Jang, Seog-Jae

Abstract

Repairing concrete structures depended on only technician' experience without quality test standards would have problems. For solving those problems, this paper has analyzed the relations between injection quantity and crack width, injection time and crack width, injection pressure and crack width, injection pressure/time and crack width, injection quantity and structure size, injection quantity and individual crack position, injection time and crack width/structure thickness. The data gained from this analysis would be helpful for systematic quality control of repairing concrete structures.

요 지

현재 콘크리트 구조물의 보수에서 품질의 검사 기준이 없는 상태에서, 단순한 경험에 의한 보수는 문제점을 가지고 있다. 이 문제점을 개선하기 위하여 이 논문은 균열폭과 주입량, 균열폭과 주입시간, 균열폭과 주입압력, 균열폭과 주입압력과 주입시간, 구조물 규모와 주입량, 구조물 별 균열 위치와 주입량, 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간과의 관계를 분석하였다. 분석한 결과에서 얻은 자료는 콘크리트 구조물의 보수에 대한 체계적인 품질관리에 도움이 될 것이라 생각한다.

Keywords : Injection Quantity, Injection Time, Injection Pressure, Crack, Repair

핵심 용어 : 주입량, 주입시간, 주입압력, 균열, 보수

* 정희원, 서울지하철공사 기술연구실, 토목품질시험기술사
** 정희원, 한국철도기술공사 부설연구소, 토목품질시험기술사

E-mail : sjhan4@hanmail.net 02-3489-2823

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2006년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트 구조물의 사용에 따른 균열의 발생 및 노후화가 날로 증가하는 추세에 있어, 이에 따라 유지보수 차원에 막대한 예산이 투입되고 있으나 보수에 대한 품질상태를 검사할 수 있는 기준 설정이 없는 상태로 단순한 경험에 의존하여 보수하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 구조물 균열에 대한 에폭시 수지 주입의 보수에 대한 실측자료를 이용하여 균열폭에 대한 주입량, 균열폭에 대한 주입시간, 균열폭에 대한 주입압력, 균열폭에 대한 주입압력과 주입시간, 구조물 규모에 따른 주입량, 구조물별 균열 위치에 따른 주입량, 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계를 검토함으로써 에폭시 수지 주입의 주입압력, 주입시간, 주입량 등에 대한 체계적인 품질관리를 기대할 수 있을 것이다.

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

2. 구조물 현황

본 연구에 조사 대상 구조물의 현황은 아래 Table 1의 내용과 같다.

3. 현장 조사

3.1 시공 현황

구조물 위치별 박스 구조물과 터널 라이닝 구조물에서 발생한 균열에 대한 현장의 보수 상황은 보수 진행 또는 완료 단계에서 조사하였으며, 조사한 결과는 다음과 같았다.

균열 면의 주입제는 에폭시 수지로 균열 면에 완전히 충진할 수 있도록 계획을 하였으며, 주입구 간격은

Table 1 구조물 현황

구 분	내 용
대상 구조물	3호선(○○~○○, ○○~○○), 4호선(○○~○○)
구조물 형태	박스 구조물, 터널 라이닝 구조물
적용 균열폭	0.3mm, 0.5mm, 0.7mm

20cm로 배치하여 시공하였다. 또한 각 주입구의 주입 여건은 인접 주입구에서 주입액이 유출되면, 유출되는 주입구는 주입을 하지 않고 다음 주입구에 주입을 하거나, 인접 주입구에서 주입액이 유출되지 않으면 임의로 다음 주입구에 주입을 하고 있었다. 주입구의 최대 토출 압력 및 분당 최대 토출량이 기준에 적합하게 사용하는 곳과 적합하지 않게 사용하는 곳도 있었으며, 주입기기에 토출압 및 토출량 측정 게이지가 부착된 것을 사용하는 곳과 부착되지 않은 것을 사용하는 곳도 있었다. 주입방식은 1.0shot 방식을 사용하는 곳도 있었다.

3.2 실측 자료 조사

3.2.1 균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량 조사

주입 시공한 대상 구조물은 3호선(○○~○○, ○○~○○), 4호선(○○~○○) 구간으로 구조물 형태는 박스 구조물과 터널 라이닝 구조물이며, 이 대상 구조물에서 조사된 균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량은 아래 Table 2의 내용과 같다.

Table 2 균열폭에 따른 주입시간, 주입압력, 주입량 조사 (단위 : m)

균열폭 (mm)	주입시간 (min,sec)	주입압력 (kgf/cm ²)	주입량 (kg/m)	주입량 (kg/ea)	비고
0.3	6min 10sec	5.08	0.154	0.0308	개소(ea)는 20cm간격 주입시를 말함
0.5	8min 55sec	3.11	0.268	0.0536	
0.7	6min 10sec	5.08	0.318	0.0636	

Table 3 균열깊이 및 균열길이 측정결과

균열폭 (mm)	박스구간		터널라이닝구간		비고
	균열깊이 (mm)	균열길이 (m)	균열깊이 (mm)	균열길이 (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	
	⋮	⋮	⋮	⋮	

3.2.2 콘크리트 균열 깊이의 조사

박스 구조물(두께 40~80cm)과 터널 라이닝 구조물(두께 20cm) 구간의 사전 균열깊이 측정은 외관조사를 기본으로 하며, 초음파를 이용한 Tc - To법을 적용하여 측정하였고, 측정에 따른 결과는 Table 3과 같이 박스구간의 경우에는 22~315mm의 균열깊이를 나타냈으며, 터널 라이닝 구간에는 75~159mm의 균열깊이를 나타냈고, 박스 및 터널 라이닝 구조물 일부에는 관통 균열도 발생하였다.

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

4. 자료의 분석

4.1 균열폭에 대한 주입량의 관계

4.1.1 균열폭과 주입량의 계산치 및 실측치의 비교
 균열폭에 의한 주입량은 균열폭이 커지면서 주입량은 증가하고 있으며, 이때 실측치로부터의 추세 곡선식은 $Q = 0.4091\delta + 0.0403$ 식으로 나타낼 수 있다.

Table 4 균열폭에 대한 주입량

균열폭 (mm)	주입량 계산치		주입량 실측치		비고
	kg/m	kg/ea	kg/m	kg/ea	
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	-	-	

상기 주입량 곡선식을 이용하여 계산한 균열폭에 대한 주입량은 아래와 같다.

개소 당 주입량은 추세 곡선식을 이용한 계산치와 실측치를 비교한 결과이며, 균열 폭 0.3mm와 0.7mm에서의 개소 당 주입량은 실측치가 계산치에 비해 작게 나타났으며, 이 원인은 주입압과 주입시간에 차로 인한 것으로 생각된다. 또한 균열 폭 0.5mm에서의 개소 당 주입량은 실측치가 계산치에 비해 크게 나타났다.

그 이유는 저압 및 저속 주입에서 주입시간이 길어지면서 나타나는 현상으로 주입관리에 가능한 주입압을 낮게 하고 주입시간을 충분하게 줘 주입함으로써, 주입관리에 대한 품질관리를 할 수 있음을 나타냈다.

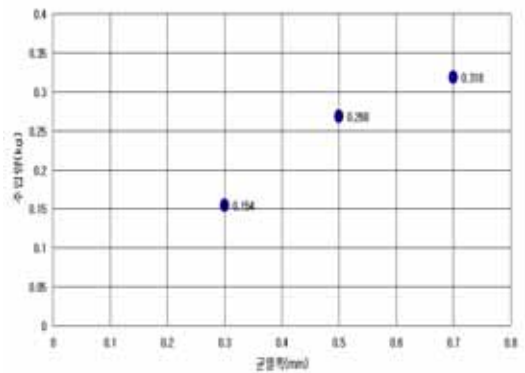


Fig. 1 균열폭과 주입량의 관계

4.1.2 균열폭과 주입량의 곡선식
 균열폭과 주입량 실측치의 관계 곡선은 다음 Fig. 2와 같다.

4.2 균열폭에 대한 주입시간의 관계

균열폭과 주입시간의 관계를 파악하기 위해서 품질 관리 기법중의 하나인 산포도를 이용하여 분석하였다. 분석 결과 Fig. 3에서와 같이 균열폭과 주입시간의 관계에서는 상관 관계가 없는 무상관 관계로 나타났다.

균열폭에 대해 실측한 단위 m당 주입시간은 0.3mm와 0.7mm에서는 6분 10초(370초)이며, 개소 당 주입시간은 1분 14초(74초)로 조사되었고, 0.5mm에서는 단위 m당 주입시간이 8분 55초(535초)이고, 개소 당 주입시간은 1분 47초(107초)로 나타났다.

4.3 균열폭에 대한 주입압력

4.3.1 균열폭과 주입압력의 관계

균열폭과 주입압력의 관계도 품질관리 기법중의 하나인 산포도를 이용하여 분석하였다. 분석 결과 Fig. 4에서와 같이 균열폭과 주입압력에서의 관계는 상관 관계가 없는 무상관 관계로 나타났다.

4.3.2 균열폭, 주입량과 주입압력의 관계식

1995년 W. J. Baker에 의하면 1개의 개수폭에 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 다음과 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

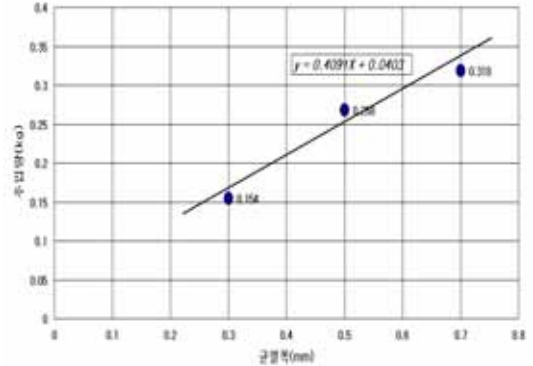


Fig. 2 균열폭과 주입량의 관계식

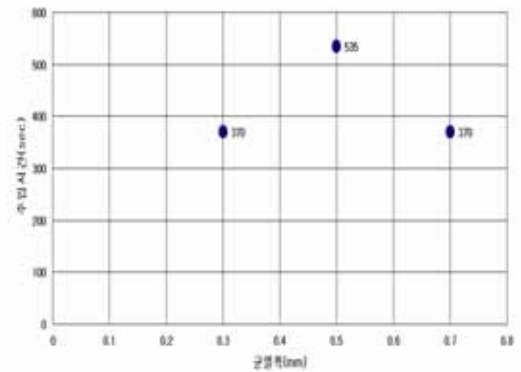


Fig. 3 균열폭과 주입시간의 관계

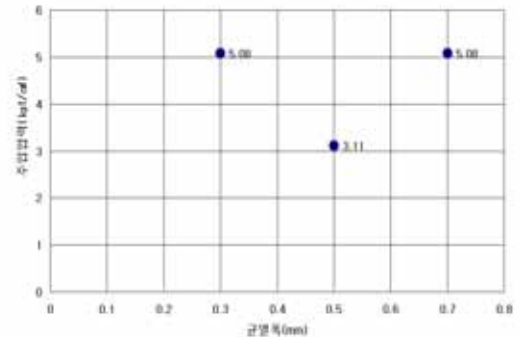


Fig. 4 균열폭과 주입압력의 관계

상기 Fig. 2의 균열폭과 주입량의 추세 곡선으로부터 도출된 $Q = 0.4091\delta + 0.0403$ 식을 적용하여, 현장 여건에 맞는 간략식을 정리하면 다음 (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, 구조물의 균열은 진행 상태에 따라 균열 깊이가 제한이 되어 있으므로, 주입량에 따른 주입압력을 변형하여 적용하였다.

다음 Table 5에서 주입압력을 계산한 결과 1.410~7.753kgf/cm²이었고, 평균 주입압력은 2.766kgf/cm²으로 실제 적정 주입압력보다 낮게 계산되었으며, 균

Table 5 간략식을 이용한 균열폭에 대한 주입량과 주입압력의 비교표

균열폭 구분(mm)	주입량 (kg/ea)	주입압력 (kgf/cm ²)	비고
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	

열폭이 클수록 주입압력이 작아지는 결과가 나타났다.

그러나 계산상의 평균 주입압력보다 실제 적정 주입압력은 3.0~3.5kgf/cm²에서 가장 주입이 잘되는 것으로 나타났기 때문에, 상기 (3)식은 참고용으로 사용하고, 주입압력이 주입량에 영향을 미치는 인자이긴 하지만 주입량에 절대적 변수가 되지 못하는 것으로 나타났다.

4.4 균열폭에 대한 주입압력과 주입시간의 관계

상기 4.2 및 4.3항의 경우 균열폭은 주입압력과 주입시간에 무상관의 관계로 나타났다. 그러나 주입압력과 주입시간의 관계는 Fig. 5에서와 같이 주입압이 증가함에 따라 주입시간은 감소를 하고, 주입압이 감소함에 따라 주입시간이 증가하는 관계를 갖고 있다.

이렇게 균열폭에 대한 주입압력과 주입시간은 밀접한 상관 관계를 가지고 있으며, 주입압력 또한 주입량에 영향을 미치는 요인이다.

저압 주입시에는 주입시간이 길어지며 균열내부까지 주입이 수월하여 주입량도 증가하고, 고압 주입시에는 초기 주입량은 많으나 전체적으로 주입량이 줄어들어 부분적인 공극이 나타날 수 있다.

그러나 주입압력에 따른 균열부위의 주입에 있어, 균열폭에 알맞은 주입제(에폭시 수지)의 선정은 점성

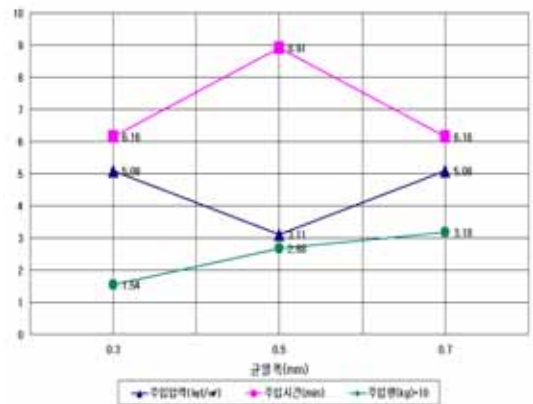


Fig. 5 균열폭에 대한 주입압력 · 주입시간 · 주입량의 관계

도에 관계가 있으므로, 각 현장에서는 해당 균열에 알맞은 점성을 가지며 주입압력이 3.0~3.5kgf/cm²에서 저압 주입시 가장 주입이 잘되는 주입제를 선택하여 사용하도록 한다.

본 조사 대상 구조물 보수에 사용된 에폭시 수지의 배합비는 주제와 경화제의 비율이 2:1이며, 에폭시 수지의 점성도는 5000(CPS)이하의 주입제를 사용하였다.

실제 주입은 주입압력이 3.11~5.08kgf/cm²을 넘지 않는 범위 내에서 시공관리가 이루어져야 하며, 최적 주입은 3.0~3.5kgf/cm²의 저압 주입으로 나타났으며, 단위 m 당 주입시간은 8분 주입이 가장 이상적이고, 개소 당 주입시간은 1분 36초 이상이 가장 적절한 것으로 나타났다.

4.5 구조물 규모에 따른 주입량의 관계

구조물 크기에 따라 주입량의 변화는 박스 구조물과 터널 라이닝 구조물로 구분하여 비교한 결과, 다음과 같다.

균열폭이 0.3mm에서는 박스 구조물보다 터널 라이닝 구조물의 주입량이 작게 주입되는 것으로 나타났고, 0.5mm 및 0.7mm에서는 터널 라이닝 구조물에서 주입량이 더 커지는 경향을 띠고 있다.

이러한 주된 이유는 터널 라이닝의 경우에는 구조물 두께가 작고 균열의 깊이가 방수층까지 연결되었을 가능성이 있는 것으로 예상할 수 있다.

박스 구조물의 경우에는 구조물의 크기에 따라 다소 주입량 증감에 영향을 미치겠지만, 주입량의 주된 증가의 원인은 균열폭의 증가에 따라 증가하고 있는 것으로 나타났다.

Table 6 균열에 따른 구조물별 주입량 비교표

균열폭 (mm)	주입량(kg/m)		비고
	박스(벽체)	터널 라이닝(벽체)	
0.3	0.185	0.112	
0.5	0.247	0.288	
0.7	0.308	0.327	

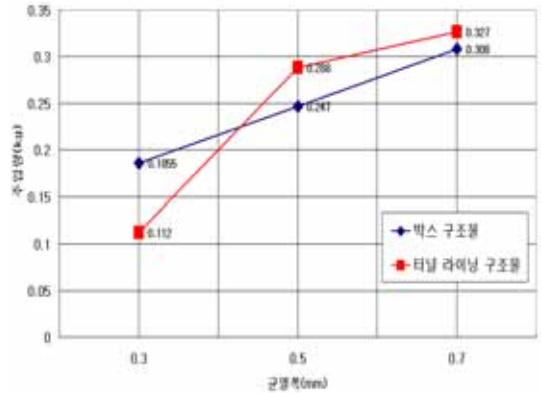


Fig. 6 균열에 따른 구조물별과 주입량의 관계

4.6 구조물별 균열 위치에 따른 주입량의 관계

구조물별 균열 위치에 따른 주입량의 관계에서는 박스의 천장 및 벽체의 균열에 따른 주입량의 차이는 미

Table 7 구조물별 균열 위치에 따른 주입량 비교표

균열폭 (mm)	박스의 주입량 (kg/m)		터널 라이닝의 주입량(kg/m)		비고
	천장	벽체	천장	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	

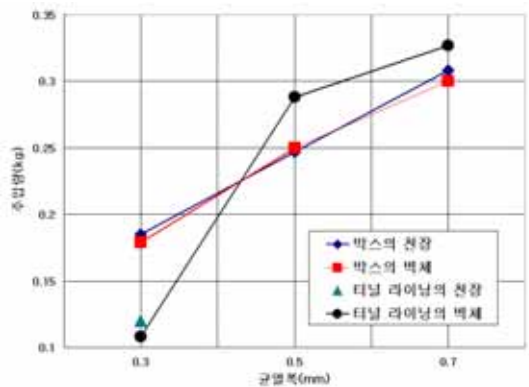


Fig. 7 구조물별 균열 위치에 따른 주입량과의 관계

소한 것으로 나타났으며, 터널 라이닝의 천장 및 벽체의 균열폭에 따른 주입량의 차이는 0.3mm에서는 박스의 경우에서와 같이 미소한 차이만이 발생하였고, 0.5 및 0.7mm의 균열은 터널 라이닝 천장에 없는 관계로 비교를 하지 못하였다.

전반적인 결과는 구조물의 균열 위치와 주입의 방향에 따른 주입량의 변화는 미소하였고, 주입량은 균열의 폭에 따라 증가하는 경로 나타났다.

4.7 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계

다음은 3.0~3.5kgf/cm²의 일정한 저압 주입으로 균열 폭 및 구조물 두께에 따라 실측한 주입시간을 Table 8과 Fig. 8에 나타내 보였다.

전반적인 주입시간의 경향은 구조물 종류에 상관없이 구조물 두께 및 구조물 균열폭의 증가에 따라 주입시간이 증가하는 경로 나타났다. 그러나 균열폭 0.1~0.2mm에서는 구조물 두께에 따라 다소의 차이는 있으나, 0.1~0.2mm와 0.3~0.4mm에서 주입시간의 경향은 감소 추세를 나타냈다. 이러한 주된 원인은 미세 균열인 0.1~0.2mm에서의 균열폭이 작아 주입하는 소요시간이 0.3~0.4mm의 균열폭보다 증가하는 경로 보이며, 구조적 문제가 없는 미세 균열에서 보수가 불필요함을 보이며, 또한 예폭시 수지 주입공법에서 수지의 점성도에 따라 다르지만 균열폭 0.3mm 전 후에서 적절한 주입을 할 수 있음을 결과에서 보여주고 있다.

Table 8 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간 비교표

구조물두께별(cm)	터널 라이닝	박스				
		20	40	40~60	60~80	80이상
0.1~0.2	1min	1min	1min	1min	2min	
	10sec	00sec	20sec	50sec	00sec	
0.3~0.4	2min	2min	2min	3min	4min	
	20sec	10sec	30sec	30sec	00sec	
0.5~0.6	3min	2min	3min	5min	6min	
	30sec	50sec	50sec	20sec	00sec	
0.7~0.9	5min	3min	4min	6min	7min	
	15sec	30sec	30sec	10sec	00sec	
1.0이상	5min	5min	6min	8min	10min	
	50sec	10sec	20sec	50sec	00sec	

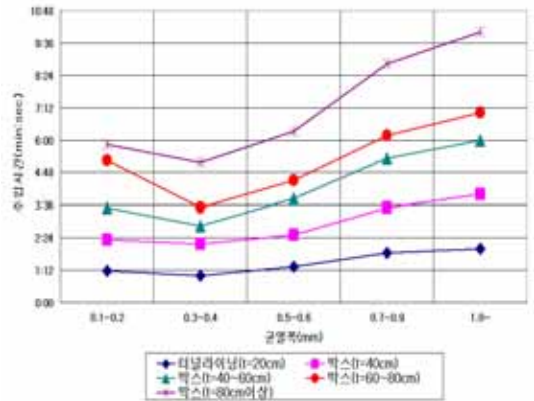


Fig. 8 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계

5. 결론

본 연구에서는 보수에 대한 품질상태를 검사할 수 있는 기준 설정이 없는 상태에서, 구조물 보수 공사가 필요한 지하철 3, 4호선 터널 라이닝 및 박스 구조물을 선정하여, 균열폭에 대한 주입량, 균열폭에 대한 주입시간, 균열폭에 대한 주입압력, 균열폭에 대한 주입압력과 주입시간, 구조물 규모에 따른 주입량, 구조물별 균열 위치에 따른 주입량, 균열폭 및 구조물 두께와 주입시간의 관계에 관하여, 현장조사와 자료분석을 통해 얻은 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 주입관리에 있어서 가능한 주입압력을 낮게 하고 주입시간을 충분하게 취 주입함으로써, 주입관리의 품질을 확보할 수 있다.
- 2) 주입시간이 많을수록 주입량이 증가하고, 경제적인 주입과 시설물의 완전한 밀착 주입을 위하여 단위 m²당 8분 주입이 가장 이상적이고, 개소 당 1분 36초 이상의 주입이 주입량을 만족할 수 있는 것으로 조사되었으므로, 매 주입구마다 2분 이상의 주입시간으로 주입하도록 한다.
- 3) 실제 주입에서는 주입압력이 3.11~5.08kgf/cm²를 넘지 않는 범위 내에서 시공관리가 이뤄져야 하고, 적정 주입압력은 균열폭과 깊이를 고려하여 3.0~3.5kgf/cm²로 저압 주입시 최적의 주입이 되었다.
- 4) W.J. Baker의 주입압력과 주입량의 관계식을 응용하여 추정식을 정립하였으나, 구조물에서는 균열

의 깊이가 제한되기 때문에 추정식은 참고용으로
이용하며, 주입압력이 주입량의 절대적 요인이 되
지는 못하였다.

- 5) 구조물 종류에 따른 주입량의 다소의 차이는 있으
나, 주입량의 주된 증감은 균열폭의 크고 작음에
따라 증감이 되는 걸로 나타났다.
- 6) 구조물의 균열 위치와 주입의 방향에 따른 주입량
의 변화는 미소하였다.
- 7) 구조물의 종류에 상관없이 전반적인 주입시간은 구
조물 두께 및 균열폭의 증가에 따라 증가하였고,
예폭시 수지 주입공법에서는 균열폭이 0.3mm 전
후에서 적절한 주입을 할 수 있는 걸로 나타났다.

참고문헌

1. 김진근, “콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회
학회지 제6권4호, 1994.8.
2. 최완철, “콘크리트 구조물의 균열체계에 따른 균열제
어와 대책”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호,
1994.8.
3. 변근주외, “콘크리트 구조물의 균열 평가 기법과 보수
보강”, 한국콘크리트학회 학회지 제12권6호, 2000. 11.
4. 한국콘크리트학회, “콘크리트표준시방서”, 기문당, 2003.
5. 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준”, 기문당, 2003.
6. 천병식, “건설기술자를 위한 지반주입공법”, 원기술,
1997.9.

(접수일자 : 2005년 2월 2일)