

# 내부그라우팅으로 미세균열이 보수된 철근콘크리트 시공이음부의 역학적 특성에 관한 연구

Mechanical Behavior of Construction Joints in Reinforced  
Concrete Structures Filled Internally with Cement Pastes

오 병 환\*                      김 세 훈\*\*                      이 근 희 \*\*\*  
Oh, Byung-Hwan              Kim, Se-Hoon                  Lee, Keun-Hee

## Abstract

Grouting internally with grout materials can repair the micro-cracks and micro-voids of construction joints more efficiently than injecting grouts from the surface of cracks. A new internal grouting method using perforated bundled-cables was developed in this study to enhance the structural integrity of the construction joints. The extensive experiments were performed to examine the mechanical behavior of construction joints which are repaired internally by the developed method. The tests were conducted for rectangular-shaped box wall structures and straight wall structures. The strength and permeability tests at grouted construction joints were conducted to evaluate the structural behavior of repaired construction joints. The present study indicates that the internal grouting method developed in this study enhances greatly the performance of construction joints and may be efficiently used for the leak-tight integrity of construction joints in concrete structures.

**Keywords** : construction joint, concrete structures, crack-repair, leakage control, perforated bundled cables

## 1. 서 론

기존에는 시공이음부에 발생된 균열을 외부로부터 압력을 주어 균열내부로 균열충진제를 주입하여 왔다.<sup>(1),(2),(3),(7)</sup> 이러한 외부로부터의 균열보수재료의

주입은 보수재료가 균열을 확실히 메웠는지는 확인할 방법이 없으며, 보수재료가 균일하게 주입되었는지 확인할 방법이 없다는 단점이 있다. 이와 반대로 시공이음부와 같이 균열이 발생할 위치에 미리 내부로부터 보수재료를 주입할 수 있는 구멍이 있는 케이블 장치

\* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

\*\* 서울대학교 토목공학과 박사수료

\*\*\* 정회원, 대도물산 대표이사

E-mail : civilcon@gong.snu.ac.kr 02-880-7350

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2003년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

가 되어 있을 때 내부로부터 압력그라우팅으로 보수 재료를 주입시키면 보수재료가 외부로 배어나오는 것을 통하여 보수재료가 균열 및 미세공극을 충전시킨 것을 확인할 수 있으며, 균열 전역에 걸쳐 보수재료가 주입된다.

본 논문에서는 이와 같이 내부로부터 균열보수재료를 주입할 경우 시공이음부의 역학적 성능 특성을 분석하여 실제 적용가능성을 검토하였다. 내부로부터 보수된 시공이음부의 역학적 성능을 검토하기 위해서 시공이음부를 가지는 사각형의 용기형태모형실험과 실물 벽체모형실험, 실제누수가 발생되고 있는 지하박스구조물의 현장적용실험을 수행하였다. 이러한 모형실험과 모형실험부재에서 채취된 시편들을 통하여, 내부로부터 보수된 시공이음부의 강도, 투수성, 누수제어 성능을 분석하였다.

본 연구에서는 내부로부터 보수재료를 주입시키기 위해서 미세공극 및 균열발생이 예상되는 시공이음부에 케이블 다발관을 미리 매설하여 콘크리트가 경화되고 수화열 및 건조수축 등에 의해 미세공극이나 균열

이 발생한 이후 유공케이블다발관을 통하여 시멘트계 열의 보수재료를 주입하여 미세공극과 미세균열을 충전보수하였다. 보수재료가 완전히 경화된 이후 시공이음부에서 코아시편을 채취하여 건전부의 코아시편과 강도 및 투수성 등을 비교검토하여 시공이음부의 역학적 성능을 비교 분석하였다.

## 2. 유공케이블다발관에 의한 시공이음부 내부의 미세공극 충전 방법

유공케이블 다발관은 균열이나 미세공극이 예상되는 콘크리트 내부에 타설시 미리 매설하여 균열이나 공극이 발생이후 그라우팅 밀크를 주입하여 미세균열이나 공극을 충전시키도록 고안되었다. 유공케이블다발관은 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 그라우트 배출공이 천공된 1개의 그라우트관과 그 외주면에 형상 유지용관 4개와 주입시 압력에 의해 개폐될 수 있는 연질수지 발포봉은 4개가 케이블로 구성되어 있고 외면은 스텐레스 강선으로 피복되어 있는 구조이다.

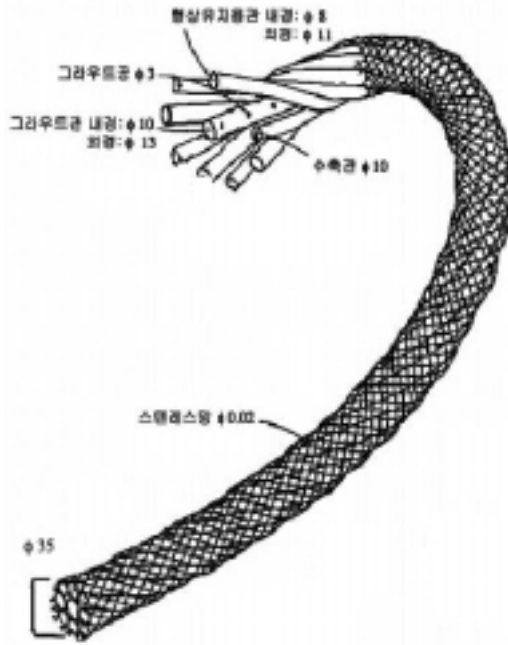


Fig. 1 그라우팅 다발관 구성

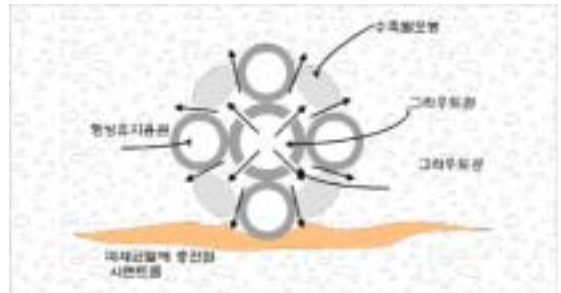


Fig. 2(a) 그라우팅 밀크가 압력으로 주입될 때 다발관 형상



Fig. 2(b) 그라우팅 압력이 중단되었을 때 다발관 형상

유공케이블다발관은 콘크리트를 타설할 때 다발관의 형상유지용관과 수축가능한 발포봉에 의해 그라우트관의 배출공은 콘크리트에 의해 막히지 않도록 보호받고 있는 상태에서 그라우팅 밀크가 다발관의 그라우트관의 배출공을 통하여 압력에 의해 밀려나오면 수축가능한 발포봉이 축소되고 그라우트 통로가 열리면서 그라우팅 밀크가 미세 공극 및 균열 층을 타고 미세한 공간으로 충전되고, 그라우팅 압력이 중단되면 수축관의 단면이 원상회복 되면서 형상유지용 관에 밀착되어 주입된 그라우팅 밀크의 역류를 차단하여 그라우팅이 완성되는 원리로 작동된다.(Fig. 2(a), Fig. 2(b))그라우트 밀크의 주입 확인은 시공이음부의 미세한 틈으로 그라우팅 밀크가 유출되면 충전이 완료된 것을 확인할 수 있다.

### 3. 시공이음부 역학 성능 평가 실험

#### 3.1 개요

유공케이블다발관으로 그라우팅된 시공이음부의 성능평가를 위해서 벽체모형 시험체와 용기형태 시험체를 제작하여 시험체의 건전부위와 시공이음부에서 코아시편을 채취하여 유공케이블다발관으로 그라우팅된 시공이음부의 강도와 투수성 및 지수성능을 평가하였다.

#### 3.2 시험체 제작

지하박스구조물의 시공이음부에서 발생할 수 있는 실제 균열폭에 대하여 내부로부터 균열의 보수 가능성

및 시공이음부의 역학적 성능을 평가하기 위해서 실제 시공되고 있는 지하박스구조물의 벽체를 모사할 수 있는 벽체시험체를 제작하였다. 시험체는 실제현장에서 사용되고 있는 콘크리트 배합을 사용하였으며 바닥슬래브와 벽체로 이루어진 지하박스 구조물을 모사하였다. 벽체시험체는 최적의 그라우팅 밀크의 배합을 검토하기 위하여 주입 밀크의 배합을 Table 2와 같이 달리하여 실구조물과 같은 크기로 3개가 제작되었다.

이때 벽체의 철근배근은 실제 지하박스구조물의 시공현장에서 적용되고 있는 일반적인 철근배근을 이용하였다. 또한 시공중 벽체 구조물에서 균열발생가능성을 이론적으로 검토하기 위하여 벽체내부에 온도계이지, 무응력계, 유효응력계, 철근변형률계이지 등을 매설하여 시간에 따른 변화값을 계측하였다. 슬래브와 벽체에 타설된 콘크리트는 실제 현장에서 지하 철근콘크리트 박스 구조물의 시공 시 사용되고 있는 배합을 사용하였으며 배합특성은 28일 압축강도가 270kg/cm<sup>2</sup>, 슬럼프 15cm이며 배합표는 아래 Table 1과 같다. 벽체시험체의 시험변수는 Table 2와 같다. 또한 벽체 시험체의 기하학적 특성은 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

또한 실제 수두가 작용하는 균열에서 유공케이블다발관에 의해 내부로부터 균열이 보수된 시공이음부의 방수성능을 시험하기 위해서 용기 형태의 시험체를 제작하였다. 시험체는 2 단의 수평시공이음부와 2개의 수직시공이음부를 가지며, 실제 물을 담을 수 있는 형태로 제작되었으며 시공이음부에 그라우팅을 실시한 이후 용기에 물을 채워 그라우팅으로 인한 방수 성능을 평가하였다.

Table 1 벽체 시험체 배합표

구분	물-시멘트비	단위시멘트량 (kgf/m <sup>3</sup> )	단위수량 (kgf/m <sup>3</sup> )	잔골재량. (kgf/m <sup>3</sup> )	굵은골재량 (kgf/m <sup>3</sup> )
보통시멘트	0.45	387	175	815	989

Table 2 벽체 시험체의 시험변수

부재 번호	왼쪽길이(m)	오른쪽길이(m)	높이(m)	중방향 철근비	그라우팅 밀크의 물/시멘트 비(w/c)
1	10	10	1.2	0.38%	50%
2	5	15	1.2	0.38%	70%
3	10	10	1.2	0.76%	90%

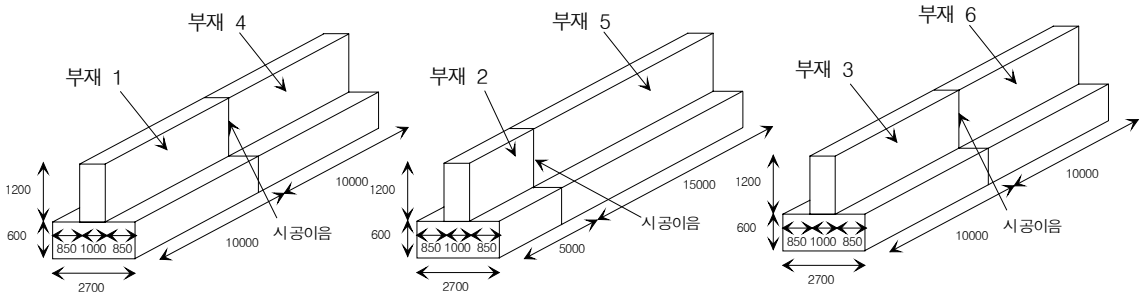


Fig. 3 벽체모형 시험체의 전체 입체도, [단위 mm]

또한 시공이음부의 코어를 채취하여 수평, 수직 이음부의 강도, 투수성을 분석하였다.

제작된 시험체의 형상과 특징은 Fig. 4, Table 3에 나타난 바와 같다. 시험체는 벽체두께 40cm(A형), 80cm(B형)의 두 개의 모형으로 제작되었다. 시험체는 바닥판, 1단수평벽체, 두 개의 1/2수직벽체로 구성되었으며, 각 시공이음부에는 시공순서에 따라 다발관을 매설하였다. 40cm 두께의 시험체(A모형)는 다발관을 1줄 설치하였으며, 80cm 구조물(B모형)은 2줄을 배치하였다. 다발관은 한줄 설치시에는 벽체의 중앙부에 배치시켰으며, B모형은 양 콘크리트표면에서 20cm 떨어진 위치에 다발관을 한줄씩 배치하였다.

시험체의 시공이음부는 기존에 타설된 콘크리트 표면을 특별한 쪼아내기(chipping)를 하지 않아 균열이 쉽게 발생하도록 제작하였다.

### 3.3 현장적용실험

내부로부터 균열을 보수하는 다발관 그라우팅 공법의 누수제어 성능을 검증하기 위해서 시공중 균열로 인한 누수 문제가 심각하게 제기된 인천국제공항 1단계지역 철도노반시설 ○○ 공구에 다발관 그라우팅 공법을 적용하여 그 효용성을 검증하였다. 다발관 그라우팅 공법이 적용된 구간은 신공항의 매립구간의 지하박스 구조물 시공현장으로 시공중에 부등침하가 지속적으로 발생하여 연속적으로 타설한 박스구간에 횡방향 균열이 심각히 발생하는 구간이다.

본 공법이 적용된 구간은 지반의 부등침하로 인한 박스의 횡방향 균열을 막기 위해서 지연이음부(Delay

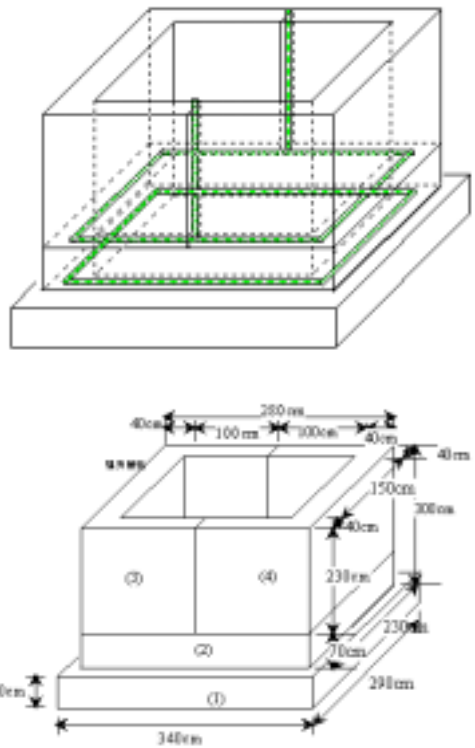


Fig. 4 벽체두께 40cm의 용기 시험체

Table 3 방수 성능 시험을 위한 구조물 변수

	A 모형	B 모형
벽체두께	40cm	80cm
다발관케이블	1줄	2줄
바닥슬래브두께	40cm	60cm
최고작용수두(m)	3m	

Joint)를 두어 부등침하로 인한 균열발생을 방지하는 개선된 신축이음공법을 적용하였다. 다발관은 지연이음부(Delay Joint)와 기존의 벽체사이의 시공이음부에 설치되어 지연이음부(Delay Joint)가 완전히 경화된 이후 다발관 내부에 시멘트풀 계열의 보수재료를 주입하여 누수가 발생하고 있는 시공이음부의 누수제어 성능을 분석하였다.(Fig. 5, Fig. 6, Table 4)

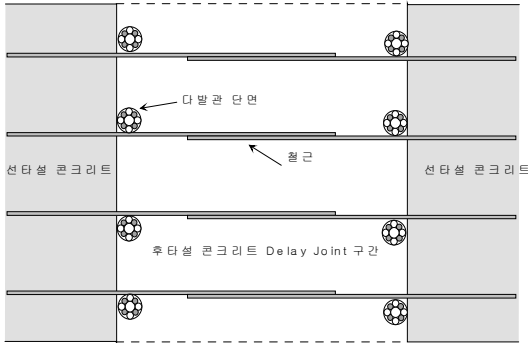


Fig. 5 벽체의 다발관 설치 중단면도



Fig. 6 콘크리트 타설 전의 Delay Joint 벽체 및 슬래브 시공이음부에 설치된 다발관

### 3.4 강도평가 실험

내부로부터 보수된 시공이음부의 역학적 성능 평가를 위하여 시멘트풀이 완전히 양생된 이후 용기형태시험체와 벽체모형시험체의 시공이음부와 이음부가 없는 건전한 부위에서 코아를 채취하여 코아 시편을 제작하였다. 코아시편을 이용하여 압축강도 평가 실험을 수행하여 건전부위 강도값과 시공이음부 시편의 강도값을 비교 분석하였다. 압축강도시험은 KS F 2405 콘크리트의 압축강도시험의 규정에 따라 수행하였다. 실험시편은 10×20cm 코아시편이며, 시편은 시험전까지 20±2℃의 항온수조에 수중양생 시킨 후 최대용량 200t의 압축 시험기로 측정하였다.

### 3.5 투수성평가 실험

본 연구에서는 염소이온 투과시험[ASTM C1202-91와 AASHTO T259]5,6,8,9)의 방법에 의거하여 내부로부터 보수된 시공이음부의 투수성을 분석하였다.

시험 시편은 3.2절의 모형시험체의 그라우팅된 시공이음부에서 코아시편을 채취하여 5cm 두께로 절단하여 상대습도 95%이상은 유지시킨 이후 투과시험을 수행하였다. 실험시 시편은 Applied Voltage Cell에 고정시키고 회로 구성을 한다. Fig. 7은 염소이온 투과시험의 직류회로를 설명하고 있다. 전류를 측정하는 방법으로는 기지의 저항체를 회로에 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있는데 이때에 사용되는 저항으로는 콘크리트 시편에 적용되는 전압에 영향이 적도록 하기 위하여 가능한 작은 저항을 사용하는데 본 실험에서는 0.2Ω을 사용하였다.

Table 4 현장실험에 적용된 그라우팅 밀크 배합 특성

주입 장소	주재료	비중	배합비 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W/C (%)	시멘트	물	방수제	팽창혼화제	
바닥판	1,2단	1종 보통시멘트	3.15	45	1,303	586	26	13
	바닥판 최저층표면	고탄성 우레탄	-	주제+경화제 = 1:1 혼합 주입				
벽체, 슬래브	시공이음부	마이크로 시멘트	2.95	45	1,267	570	25	13
	Delay Joint 외측표면	고탄성 우레탄	-	주제+경화제 = 1:1 혼합 주입				

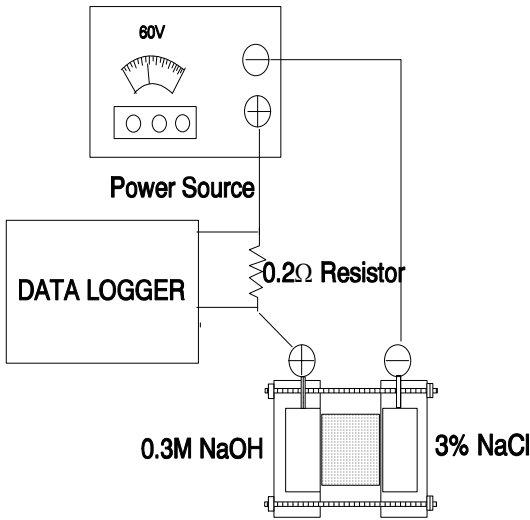


Fig. 7 염소이온 투과시험의 장치도

실험방법은 A.V.Cell의 (-)전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+)전극쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운다. 실험시 용액의 초기 온도는 20~25°C의 범위에 있어야 하고 시험중에는 대기의 온도를 20~25°C를 유지하도록 한다. 또한 시험중 용액의 온도는 90°C이하가 되도록 한다.

시험중 30분마다 0.2Ω에 걸리는 전압을 Data logger로 측정하여 기록한다. 측정된 전압값은 다음 식에 의하여 전류치로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.2} \quad (1)$$

여기서, I = 전류(amperes, A)

V = 전압(volts, V)

R = 저항(ohms, Ω)

염소이온 투과시험은 6시간 동안 30분간격으로 전압값을 측정하며 측정된 전압을 전류를 환산하여 다음 식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 산정한다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서 Q = 회로를 통과한 전하량(C)

I = 실험시작후 n분이 경과하였을 때의 전류(A)

투수성 실험은 시멘트폴의 접착능력을 평가하기 위하여 원형공시체의 투수성 실험과 3.2절의 제작된 모형시험체의 시공이음부와 건전부의 코아시편을 포함한다. 시멘트폴의 접착성능을 평가를 위한 시편은 N시리즈와 S시리즈로 나누어진다. S시리즈는 5cm의 원형공시체를 반원형으로 쪼개어 반원형의 시편 사이를 보통포틀랜드 시멘트폴로 접착시켰으며 w/c 비는 50%이다. 원형공시체 시편은 N series로 표현하였다.

실제 보수된 시공이음부의 투수성을 검토하기 위해서 3.2절의 모형시험체의 그라우팅, 양생 이후 시공이음부와 건전부위에서 코아를 채취하고 투수시편을 제작하였다.

용기형태 시험체의 그라우팅 시멘트폴의 w/c는 100%이며, 벽체모형 시험체의 그라우팅 시멘트폴의 w/c는 50%, 70%, 90%로 나누어진다. 자세한 시험변수는 Table 5와 같다.

Table 5 염소이온투과시험 시편변수

변수명	시험체제작방법
N1, N2, N3	일반원형공시체
S1, S2, S3	일반공시체 반원으로 절단이후 접착
PV1, PV2, PV3	방수시험체 수직시공조인트
PH1, PH2	방수시험체 수평시공조인트
PN1, PN2, PN3	방수시험체 일반부
WA1, WA2	벽체시험체, w/c비 50%의 시멘트폴을 주입한 시공조인트
WB1, WB2	벽체시험체, w/c비 70%의 시멘트폴을 주입한 시공조인트
WC1, WC2	벽체시험체, w/c비 90%의 시멘트폴을 주입한 시공조인트
WN1, WN2	벽체시험체 일반부

## 4. 실험 결과 분석

### 4.1 시공이음부의 강도

압축강도 시험 결과를 정리하면 Fig. 8, Fig. 9, Table 6과 같다. Fig. 8은 용기형태 시험체의 코아채취시편의 압축강도 실험 결과이며, Fig. 9는 벽체시험체의 코아시편의 압축강도이다.

Table 6에서 알 수 있듯이 시공이음부의 압축강도는 건전부위의 압축강도의 약 81%정도에 해당하여 균열이 발생한 시공이음부를 시멘트풀로 보수한 상태

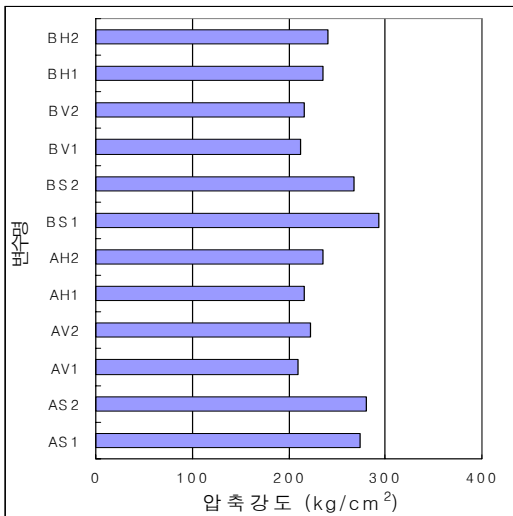


Fig. 8 용기형태 시험체의 시공이음부 코아시편의 압축강도 비교

Table 6 건전부위와 그라우팅된 시공이음부의 압축강도 비교

	용기형태 시험체		벽체시험체	
	건전부위	시공이음부	건전부위	시공이음부
압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	278	223	291	241
건전부위/시공이음부(%)	80.3		82	

의 압축강도는 비교적 양호한 것을 알 수 있다.

### 4.2 시공이음부의 투수성

시멘트풀로 접착한 투수시편의 투수성 결과를 Table 7, Fig. 10에 나타내었다. 결과값은 Table 7, Fig. 10에서 보는 바와 같이 시멘트풀로 이음부를 접착시킨 시편과 접합부가 없는 콘크리트 시편의 투수성은 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

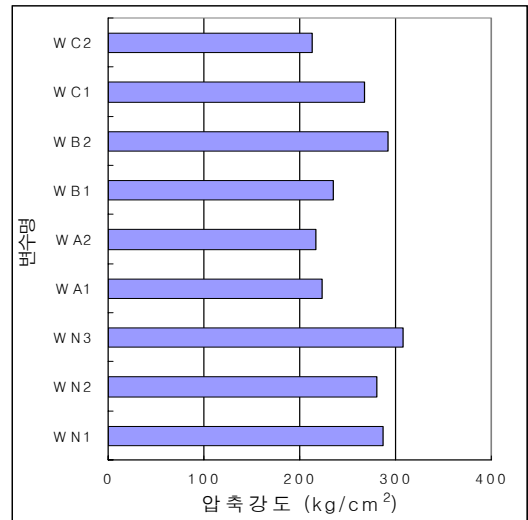


Fig. 9 벽체시험체의 시공이음부 코아시편의 압축강도 비교

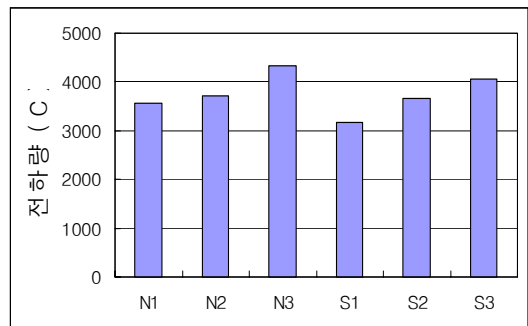


Fig. 10 시멘트풀로 접착한 투수시편의 염소이온투과성 실험결과

Table 7 시멘트풀로 접착한 투수시편의 염소이온투과성 실험결과

시편	N1	N2	N3	N4	N5	N6
통과된 전하량	3552.4	3722.1	4343.1	3179.6	3662.2	4062.1

Table 8 용기모형시험체의 시공이음부 염소이온투과시험 결과

시편	PN1	PN2	PV1	PV2	PV3	PH1	PH2
통과된 전하량	2538.5	2646.9	7901.5	6500.2	6890.2	6500	6612.5

Table 9 벽체모형시험체의 시공이음부 염소이온투과실험 결과

시편	WN1	WN2	WA1	WA2	WB1	WB2	WC1	WC2
통과된 전하량	2873.3	2640.6	5252.0	4525.0	5468.1	6816.0	7678.0	7826.0

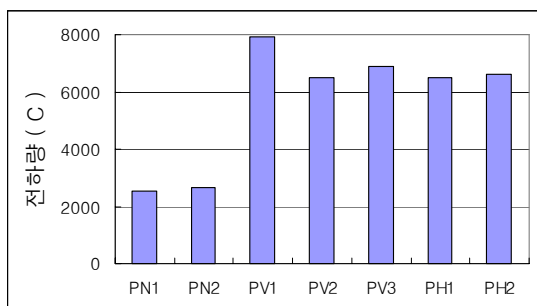


Fig. 11 용기모형시험체의 시공이음부 염소이온투과시험 결과

이것은 시멘트풀을 접착제로 사용할 때, 시공조인트에 시멘트풀의 침투가 확실히 보장된다면, 시멘트풀이 균열로 인한 누수를 충분히 막을 수 있음을 보여주고 있다.

실제 다발관에 시멘트풀을 주입시켜 균열을 메운 시공조인트에서 코어를 채취하여 투수시험을 수행한 결과는 Table 8, Table 9, Fig. 11, Fig. 12와 같다. Table 8, Fig. 11은 용기모형 시험체의 시공이음부에서 채취한 코어의 투수시험 결과이며, Table 9, Fig. 12는 실제 벽체모형의 시공이음부에서 채취한 코어의 투수시험 결과이다. 용기모형 시험체의 실험결과를 살펴보면 건전부위에 비해 수직이음부와 수평이음부에서 더 큰 전하량을 보여주고 있다.

벽체시험체의 염소이온 투과 실험결과를 살펴보면 그라우팅 재료의 w/c 비가 증가할수록 통과전하량이 커짐을 알 수 있다.

그라우팅 성능을 향상시키기 위해서는 그라우팅 재료의 품질이 중요한 영향을 미치며, 특히 시공이음부 균열폭보다 그라우팅 재료의 입자가 충분히 미세하여 공극을 잘 충전할 수 있도록 해야한다. 일반적으로 균열의 주입재로 사용되기 위해서는 주입재의 입자크기

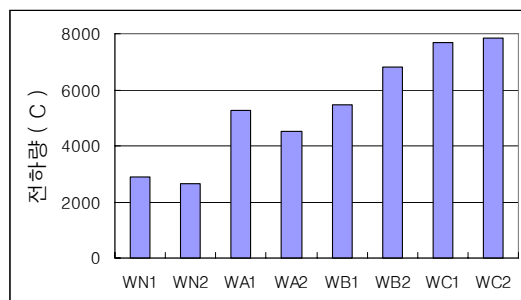


Fig. 12 벽체모형시험체의 시공이음부 염소이온투과실험 결과

가 균열폭의 1/3이하는 되어야 제대로 주입가능하다고 할 수 있다. 실험에 사용된 보통포틀랜드 시멘트의 입자크기는 평균입경이 20 $\mu$ m정도이며, 최대입자크기는 100 $\mu$ m정도이다. 이에 반해 측정된 시험체의 균열폭은 0.05~0.2mm(50~200 $\mu$ m)으로 시멘트의 입자가 원활하게 주입되기에는 다소 작은 값을 알 수 있다4). 따라서, 주입재를 고분말 시멘트(평균입경 : 4 $\mu$ m, 최대입경 : 20 $\mu$ m)로 대체하면 더욱 성능이 향상될 것으로 예상된다. 실제 3.3절의 현장에서 고분말 시멘트를 사용한 결과 지수성능이 우수한 것으로 나타났다.

#### 4.3 현장적용실험을 통한 시공이음부의 누수제어 성능 검토

Delay Joint의 바닥판 콘크리트 타설 직후 후 다발관 그라우팅 공법을 적용하기 전에는 육안으로 확인하기 구별할 수 있는 누수가 발생하고 있었다. 이것은 Fig. 13에서 보는 바와 같이 특히 바닥판 시공이음부를 통해서 물이 흘러나오고 있는 상태였으며 펌프를 통하여 누수로 인한 물을 지속적으로 배출시키고 있는 상태였다.





Fig. 13 다발관 그라우팅 실시 전의 누수 상태

다발관에 그라우팅을 실시한 이후 바닥판 시공이음부의 누수는 멈추었다. Fig. 14는 바닥판 시공조인트를 통해서 일어나던 누수가 멈춘 상태를 보여준다. 이것은 다발관 그라우팅 공법이 균열 틈을 시멘트 풀로 확실히 충전시켜 훌륭한 방수효과를 발휘하고 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 개발된 시공이음부의 내부로부터 보수 재료를 주입하여 균열이나 미세공극을 충전하는 방법은 외부에서 압력에 의해 보수재료를 주입하는 방법보다 균열내부 깊이까지 보수재료를 주입할 수 있을 뿐만 아니라 균열전면에 걸쳐 균일하게 보수재료를 주입시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 실제 시공이음부에 미리 본 연구에서 개발한 유공케이블 다발관을 매설하여 균열발생이후 시멘트계열의 보수 재료를 주입하는 공법을 개발하였으며, 경화후의 역학 성능을 검토한 결과 주입재료를 무기질계의 특수 시멘트를 사용하지 않고 일반시멘트풀을 사용하여도 기대 이상의 강도와 내투수성을 가지는 것으로 나타났으며, 누수가 발생하고 있는 실제 지하박스구조물현장에 시공한 결과 누수제어 성능이 우수한 것을 검증할 수 있었다.

따라서, 콘크리트 지하박스구조물의 시공이음부나, 또는 건조수축이나 수화열 발생, 부등침하 등에 의해서 균열발생이 예상되는 위치에 미리 보수재료를 주입할 수 있는 유공케이블관을 매설하여 균열발생이후 내부로부터 균열을 보수하는 본 연구의 방법은 기존의



Fig. 14 다발관 그라우팅 이후 누수가 멈춘 상태

외부로부터 보수재료를 주입하는 방법의 시공 불확실성을 크게 개선시킬 수 있을 것으로 판단되며, 지하박스구조물 등의 구조물체성과 누수제어를 위하여 유효하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 일본 콘크리트 협회, 1980, "콘크리트의 균열조사, 보수·보강지침", 건설도서.
2. 김성욱 외, "RC 구조물 보수·보강에 관한 조사 연구", 한국건설기술연구원, 1997.12.
3. 대한건축학회, 1997, "콘크리트 구조물의 보수보강".
4. 건설교통부, 2001, "건축구조물 보수·보강공법의 성능 평가에 관한 연구".
5. 오 병환, 조 윤구, 차 수원, 정 원기, "전위차 부식측진법을 이용한 철근콘크리트의 내부식성 예측을 위한 새로운 기법 연구", 콘크리트학회 논문집, 제8권 제5호, 1996년 10월, pp.201-209.
6. 오 병환, 정 원기, 차 수원, 장 봉석, "콘크리트의 투수성 측정 및 초저투수성 콘크리트의 개발 연구", 콘크리트학회 논문집, 제8권 제5호, 1996년 10월, pp.189-200.
7. Stratton, F.W., Alexander, R., Nolting, W. "Cracked structural concrete repair through epoxy injection and rebar insertion", PB Rep [PB 291459] 61,1978.
8. ASTM C1202-91 "Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration",1991.
9. Oh, Byung Hwan, Cho, Y. K., Cha, S. W., "Determination of Corrosion Resistance and Durable Life of High Performance Concrete." Proceedings, CONSEC'98, Vol 3, pp. 1576-1585. 1998.

(접수일자 : 2002년 12월 17일)