

## 국산 무기계 초미립자 주입재의 침투성 시험결과

### The Permeability of the Inorganic Ultra Fine Grouts of Korea

천병식<sup>1)</sup>, Byung-Sik Chun, 김진춘<sup>2)</sup>, Jin-Choon Kim, 이영근<sup>3)</sup>, Young-Keun Lee

<sup>1)</sup> 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

<sup>2)</sup> 한양대학교 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

<sup>3)</sup> 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

**SYNOPSIS** : In grouting procedure, the permeability of grout is a important parameter, but we have very little data available about it.

The Permeability of grout involves all the complexities of void of soil, viscosity of grout, pumping pressure and material. This paper describes the manner and degree that these affect the permeability of grout and proposes the stanardized test of estimating the permeability of grout. Especially, comparing the permeability of ordinary portland cement grout with that of ultra fine cement grout of Korea, the 4th developed in the world, we can conclude that the ultra fine grout is more permeable.

**KEYWORDS** : Permeability, Ultra fine cement, Grout(ing), Standardized test

## 1. 서론

주입공법은 1800년대 초반부터 구조물의 기초보강에 사용된 이후 새로운 주입재의 개발과 주입방법에 따라 현재 건설공사의 여러분야에서 지반개량을 목적으로 많이 활용되고 있으며, 특히 개착식 공사, 터널공사 및 댐기초 암반처리공사에서는 필수적인 공법으로 인식되고 있다.

국내에서는 1970년대 중반기부터 시작된 지하철 공사를 계기로 주입공법이 본격적으로 활용되기 시작 하였으나 본 공법에 대한 전문지식과 축적자료의 부족으로 인해 체계적인 이론적 토대없이 주로 경험에 의존하여 설계, 시공되었을 뿐 만 아니라 시공효과의 확인도 제대로 이루어지지 않은 사례가 많다. 따라서, 주입공사의 신뢰성을 향상시키기 위해서 세계적으로 새로운 주입재의 개발과 실용화가 꾸준히 진행 되어 왔으며, 그 대표적인 사례가 무기계 초미립자 주입재이다.

무기계 초미립자 주입재는 보통 마이크로시멘트라고 알려져 있으며, 1980년대초 일본에서 최초로 개발된 이후 프랑스, 독일 등에서 상품화에 성공하였다.

한편, 건설교통부(1996)의 건설기술연구개발사업의 일환으로 필자들에 의해서 1995년 10월부터 1997년 10월까지 만 2년에 걸쳐 「건설공사의 안전시공을 위한 지반보강 신기술 개발 및 실용화 연구」가 수행 되었으며, 본 연구를 통해서 국내에서도 세계에서 4번째로 무기계 초미립자 주입재가 개발되어 실용화 까지 완성되었다.

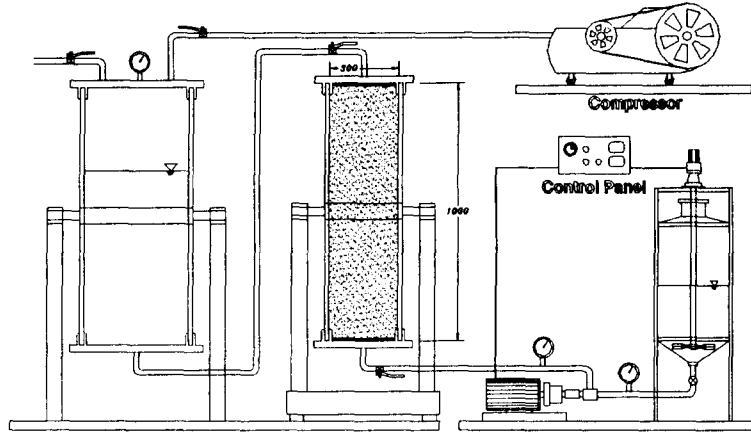
약액주입공법에 있어서 가장 큰 문제는 약액의 대상지반에 대한 침투성이다. 즉, 대상지반의 공극이나 주입재의 침성, 입경 등에 의해 주입이 되지 않는 경우가 발생하고, 주입성을 높이기 위해 주입조건에 대한 충분한 검토를 하지 않고 주입압을 너무 높이면 오히려 지반의 활렬파괴 및 지반의 변형을 일

으며 기설구조물에 대한 영향을 미치는 등 역효과를 나타낼 수도 있다.

본 연구에서는 국내에서 최초로 개발되어 실용화에 성공한 마이크로시멘트와 약액주입공사 현장에서 사용되고 있는 기존의 보통포틀랜드시멘트를 이용하여 사질토의 입도 및 다짐상태에 따라서 침투성을 비교평가하였다. 대상토질은 사질지반으로 굵은모래와 가는모래로 구분하였으며, 각각 느슨한 상태, 중간상태, 조밀한 상태로 조정하였다. 또한, 침투성 평가용 시험장치는 문헌적으로 조사된 선행연구자들의 시험장치를 참조하여 자체적으로 제작하였다.

## 2. 시험장치

침투성 시험을 위한 참고모델은 三木五三郎(1978), 小野田키메코(주)의 有間一浩, 早稻田대학의 森麟(1987), 清水建設(주)의 平井孝典 등이 제안하여 사용한 침투성 시험장치를 참조하여 그림 1과 같이 시험장치를 설계 제작하였다.



(Unit : mm)

그림 1. 침투성 시험장치 개념도

시험장치는 주입재를 교반할 수 있는 교반기, 주입재를 일정한 압력을 유지하면서 주입할 수 있는 주입펌프, 주입상황을 육안으로도 관찰할 수 있도록 아크릴로 만든 직경 30cm×높이 100cm의 대형 토조, 일정한 외부압력을 가압할 수 있는 컴프레서 등으로 구성되어 있다.

## 3. 시험방법

대상지반의 입도분포, 비중, 건조밀도, 공극비, 투수계수 등의 특성시험을 실시하고 토조에 시료를 투입한다. 대상지반과 유사한 밀도와 공극을 유지하도록 각 대상시료의 조건별로 몰드체적에 대한 중량을 산정하여 바이브레이터 또는 다짐봉으로 시료토를 다진다. 가급적 다짐효과에 편차가 생기지 않도록 시료토를 약 20cm씩 5층으로 나누어서 적절히 다짐하며, 각 층은 방사상의 원형으로 다짐한다. 시료는 가득 채워 주입시 주입압에 의해 위로 뜨지 않도록 한다. 주입관은 토조의 밑에 연결하고 일정한 압력으로 가압하여 주입한다. 지하수위에 의한 수압 등 외부의 압력은 컴프레서를 이용해서 일정하게 유지시켜주며, 본 시험에서는 0.5kg/cm<sup>2</sup>를 가압하였다. 이와 같은 작업을 대상시료토, 주입재 및 주입압력을 변화시키면서 반복적으로 시험하였다.

## 4. 시험결과

대상시료토는 굵은모래와 가는모래로 나누었으며 입도분포, 비중, 건조밀도, 공극비, 투수계수 등의 특성시험을 수행한 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1. 대상시료의 토질특성

대 상 시 료			비중 (Gs)	건조단위중량 ( $\gamma_d$ )	공극율 (%)	투수계수 (cm/sec)	입도분포 특성		
							D <sub>10</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>max</sub>
사 질 토	굵은 모래	느슨한 상태	2.5	1.38	44.8	$3.00 \times 10^{-1}$	0.5	0.6	2.0
		중 간 상 태		1.54	38.4	$1.04 \times 10^{-1}$			
		조밀한 상태		1.71	31.6	$8.15 \times 10^{-2}$			
	가는 모래	느슨한 상태	2.69	1.46	45.7	$6.50 \times 10^{-2}$	0.25	0.3	0.85
		중 간 상 태		1.62	39.8	$3.20 \times 10^{-2}$			
		조밀한 상태		1.73	35.7	$8.90 \times 10^{-3}$			

약 5m정도의 지하수위를 고려(Compressor 이용)하여 0.5kg/m<sup>2</sup>의 압력을 가압한 상태에서 주입재는 마이크로시멘트와 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, W/C는 200, 250, 300%로, 주입압은 1.5, 3, 5kg/m<sup>2</sup>로 변화시켜가며 침투거리를 측정하고 주입상태를 관찰하였다. 주입조건에 따른 침투길이는 표 2와 같다.

표 2. 주입조건에 따른 침투길이

대 상 시 료			보통 포틀랜드시멘트									마이크로시멘트									비고		
			주입압(kg/cm <sup>2</sup> )									주입압(kg/cm <sup>2</sup> )											
			1.5			3			5			1.5			3			5					
			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)					
			200	250	300	200	250	300	200	250	300	200	250	300	200	250	300	200	250	300			
굵은 모래	느슨한 상태		12	12	16	13	15	22	33	36	48	○	○	○	○	○	○	○	○	○	수압		
	중 간 상 태		4	5	6	5	5	10	12	13	15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.5		
	조밀한 상태		×	×	×	×	×	×	5	6	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	kg/cm <sup>2</sup>		
가는 모래	느슨한 상태		×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	고려		
	중 간 상 태		×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	조밀한 상태		×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

범례 × : 주입 불가 ○ : 100% 침투주입 ■ : 실험실시

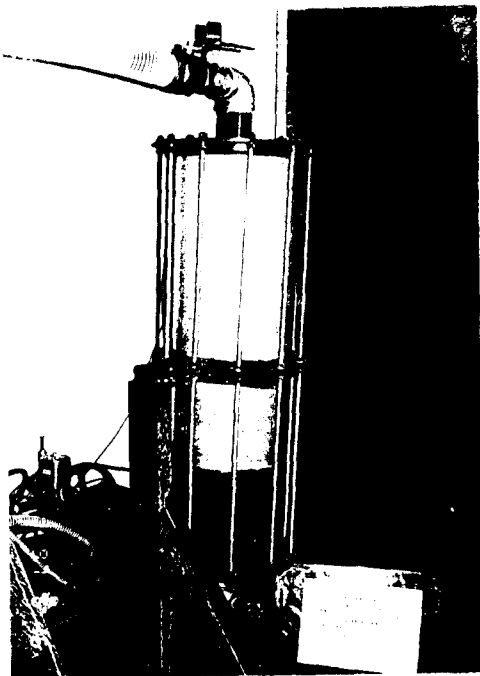


사진 1. 침투성 실험장면(보통 포틀랜드시멘트)

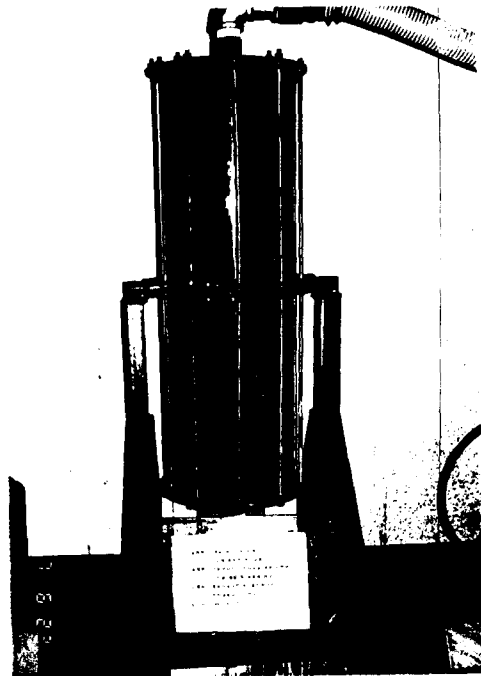


사진 2. 침투성 실험장면(마이크로 시멘트)

보통포틀랜드시멘트를 이용하여 침투성 평가실험을 수행한 결과, 주입관 끝부분에서 케이크가 발생하여 가는모래에서는 전혀 침투주입이 되지 않았다. 한편 굵은모래에서는 느슨한 상태에서조차 일부 침투주입되다가 주입구 부근에서 케이크가 발생하여 침투주입되지 않았다. 다만, 굵은모래에서 W/C가 높아짐에 따라 공극율 및 투수계수가 커짐에 따라 침투성능이 다소 개선되었으나 본 시료도에서는 그 영향은 그다지 크지 않은 것으로 관찰되었다. 오히려 주입압이 높아짐에 따라 주입효과가 보다 현저히 개선되는 경향을 보였는데 느슨한 상태의 굵은 모래에서 전체 몰드길이의 약 50%까지 침투되었다. 쌍용 마이크로시멘트를 사용하여 주입시험을 수행한 결과 본실험에서 정한 주입조건에 상관없이 모두 침투주입이 가능한 것으로 관찰되었다.

## 5. 고찰

- 1) 본 시험을 수행한 결과 침투주입에 가장 큰 영향을 주는 요소는 토립자의 입경과 주입재 입자의 크기 즉, 토립자와 주입재의 기하학적 특성에 따라 좌우되는 것으로 판단된다. 이러한 근거는 실험결과, 마이크로시멘트와 보통포틀랜드시멘트의 뚜렷한 주입효과의 차이로 부터도 추정이 가능하다. 즉 주입재의 입경은 작은 것이 효과가 좋고, 대상토는 토질공학적 분류상 사질토라고 하더라도 세립분을 다소 포함하고 있으면 토립자가 만들어 내는 공극이 작아지기 때문에 주입효과가 떨어지리라고 판단된다.
- 2) 본 시험결과 보통포틀랜드시멘트는 투수계수(k)가  $10^{-1}$ 정도에서도 침투주입이 어려운 반면 마이크로시멘트는  $k=N \times 10^{-3}$ 범위에서도 무리 없이 침투주입 되는 것으로 나타났다. 또한 같은 대상시료도에서 투수계수가 높을수록 주입효과가 향상되는 것으로 나타났다.
- 3) W/C는 주입재의 점도와 관련된 것으로 W/C가 커짐에 따라 주입효과가 다소 개선되는 것으로 나타났다. 그러나 W/C가 낮아지면 개량강도가 떨어지는 것을 감안하여 주입목적에 맞게 적절한 배합을 정하는 것이 필요하다고 판단된다. 본 시험에 사용된 마이크로시멘트는 저점도의 특성을 가지고 있어 보통포틀랜드시멘트 보다 침투성이 좋은 것으로 추정된다.
- 4) 상대적으로 주목할 만한 것은 사질토에서 주입압을 높일수록 주입효과가 꾸준히 개선되는 경향을 보였다. 만약 주입압을 더 높인다면 주입성능이 개선되리라고 추정되는 데 시공장비의 능력, 대상지반 및 주변환경에 대한 철저한 조사과정을 거친 뒤 가능하면 주입압을 높이는 것이 주입효과가 좋으리라고 판단된다.
- 5) 본 시험에서 수압을  $0.5\text{kg/cm}^2$ 로 고려하여 침투성능 실험을 수행하였으며 무압상태의 시험결과와 비교해 본 결과 다소 주입효과가 감소되기는 하였지만 주입압을 높이면 개선될 것으로 판단된다. 다만, 고려한 수압이 다소 낮은 감이 있고 지하구조물의 심도가 점점 깊어지는 것을 고려하면 차후 더 높은 지하수위를 고려해 고압을 받는 상태에서 주입시험을 해 볼 필요가 있다.
- 6) 침투성 평가실험 장치를 이용하여 보통포틀랜드시멘트와 쌍용 마이크로시멘트의 주입성능을 비교해 본 결과 쌍용 마이크로시멘트의 주입성능이 더 우수한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 논문은 건설교통부의 '95 연구개발사업, "건설공사의 안전시공을 위한 지반보강 신기술 개발 및 실용화 연구(R&D/95-0084)"의 일부에 의해서 작성되었으며, 연구비의 지원에 감사의 뜻을 표한다.

## 참고문헌

1. 천병식(1995), "건설기술자를 위한 지반주입공법".
2. 三木五三郎(1978), "土質と注入施工", 土木學會關東支部 講演會 講演集, 日本下水道事業團, pp.31~39.
3. 森麟, 千柄植(1987), "砂質地盤における割裂發生機構", 日本土木學會論文集(III) No.388, III-7, pp.61~70.
4. 건설교통부(1996), "건설공사의 안전시공을 위한 지반보강 신기술 개발 및 실용화 연구", pp.56~67.