

초미립자 시멘트의 지반 주입재로서의 특성 평가

Evaluation on the Physical properties of Ultra Fine Cement for Grouting Materials

박원춘* 문경주** 정종주*** 소양섭****
Park, Won-Chun Mun Kyoung-Ju Jung, Jong-Ju Soh Yang-Seob

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the physical properties of ultra fine-ground cement for grouting materials. This study investigates the compressive strength of cement paste, homogenized gel and solidified soil matrix with ultra fine-ground cement. Also It is estimated the injection properties of ultra fine-ground cement. From the test results, the compressive strength of ultra fine-ground cement is higher than that of portland cement. The injection properties are sufficient to apply silt-sand soil and minute-cracked rock bed. Also the properties of soil stability like water permeability coefficient are enough to be adapted various grouting specification.

1. 서론

일반적으로 지반 그라우팅(grouting) 공사에 사용되고 있는 주입재는 현탁액형과 용액형으로 나누어진다. 용액형의 약액으로는 물유리계와, Chrome-lignin계, Acyl-amide계, Urethane계 등의 고분자계로 구분되며 이들 약액은 점성이 낮고 입자가 없어 시멘트로는 기대할 수 없는 협소한 균열 깊숙이까지 주입 충전될 수 있으나 고분자계 약액은 주입으로 인한 공해문제로 특수한 목적 외에는 거의 쓰이지 않고 있으며 대부분 물유리계만 사용하고 있는데 이 역시 알칼리 용탈 작용으로 인한 3개월 이상의 장기재령 강도 약화로 차수효과가 감소되는 특성이 있기 때문에 오늘날에는 단독으로 시공되는 경우가 거의 없다. 현탁액형의 주입재는 다시 시멘트-밀크계, 시멘트-점토계, 점토계, 아스팔트계로 나눌 수 있는데 이 역시 단독으로 시공되는 경우는 적으며 주로 물유리와 시멘트 밀크를 혼합한 방식이 많이 시공되고 있다. 일반적으로 시멘트 밀크계에 사용되는 주입재는 분말도(粉末度)가 3,200내지 3,400cm²/g정도인 보통 포틀랜드 시멘트를 단독으로 사용하는 경우와, 보통시멘트와 벤토나이트를 혼합한 CB(Cement Bentonite) 주입재를 사용하는 경우가 있다. 그러나 보통시멘트와 CB 주입재는 평균 입경이 약 15~22 μ m(분말도 3,200 ~3,500cm²/g)정도이며, 이러한 주입재는 실트질을 포함한 사질토나 암반균열 등과 같이 공극이 미세한 지반의 경우 침투성이 떨어져 지반 그라우팅이 잘 이루어지지 않는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 시멘트 입자를 좀더 미립화하여 사용하려는 많은 시

* 정회원, 지오콘머테리얼(주) 상무이사
** 정회원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원, 공학박사
*** 정회원, (주)대보기술단 대표이사
**** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공학박사

도가 있어왔으며, 이에 본 연구는 초미립자 시멘트의 지반 그라우팅용 재료로서의 효과를 평가하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

지반그라우팅용 초미립자 시멘트는 현재 충북 G사에서 생산되고 있으며, 원재료는 1종 시멘트와 고로슬래그분말이며 일부 소량의 부원료가 첨가된다. 원재료는 KDS-90형 분급기에 의해 미분, 초미분, 조분으로 분급되고 조분은 입도를 증가시키기 위하여 고분말도 분쇄용 볼밀로 압송되어 진다. 볼밀에서 분쇄된 원재료는 다시 분급기로 공급되어 입도 분급되는 공정을 거치게 된다. 분급된 원료는 입도별로 사일로에 저장된 후 젤 타입의 구분에 따른 제품배합에 의해 계량 및 혼합되고 포장된다. 원재료인 시멘트와 고로슬래그 미분말 및 젤타입 구분에 따른 급결형(7~13초)과 완결형(40~100초) 제품의 화학성분을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of raw materials and ultra fine-ground cements

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ig.loss
1종 시멘트	24.47	7.04	2.08	50.82	2.49	1.33	0.08	0.29	0.09	0.18	1.31
슬래그 미분말	33.54	14.13	0.36	44.22	3.82	0.41	0.33	0.51	0.18	0.03	0.96
완제품(급결형)	21.33	5.59	2.03	50.43	2.81	1.15	0.42	0.22	0.11	0.14	2.50
완제품(완결형)	28.22	11.06	1.01	47.54	3.33	0.67	0.47	0.42	0.17	0.07	0.95

1종 시멘트와 초미립자 시멘트의 물리적 특성은 다음 Table 2와 같다. 일반시멘트에 대한 품질기준은 한국산업규격 KS L 5201로 제정하여 관리하고 있으나, 초미립자 시멘트에 관하여는 KS 규격이 제정되어 있지 않아 보통시멘트의 기준에 의거하여 물리적 특성을 평가하였다.

Table 2. Physical properties of ultra fine-ground cement

시험항목	단위	KS 규격	OPC	UFC
분말도(비표면적)	cm ² /g	2,800이상	3,200±300	6,500±500 8,500±500
응결시간 (길모아)	초결	분	60이상	220±50
	종결	시간	10이하	6:40±1:00
압축강도	3일	kgf/cm ²	130이상	200±20
	7일	kgf/cm ²	200이상	300±30
	28일	kgf/cm ²	290이상	380±30
입도분포	평균입경	μm	-	-
	최대입경	μm	-	-
초기 점도	w/c 200%	cps	-	-
블리이딩	w/c 200%	%	-	-
화학성분	SO ₃	%	3.5이하	2.0±0.5
	강알칼리량	%	3.0이하	1.5±0.5

2.2 초미립자 시멘트계 주입재의 강도 측정

2.2.1 시멘트 페이스트 압축강도

1종 시멘트와 초미립자 시멘트를 W/C 50%의 페이스트를 만들어 큐빅(5×5×5cm)몰드로 공시체를 성형한 후 압축강도를 측정하였다.

2.2.2 호모겔 공시체 압축강도

보통시멘트와 초미립자 시멘트를 W/C 200%로 제조한 현탁액과 규산소다와 물을 1:1의 비율로 약액을 혼합하여 큐빅(5×5×5cm)몰드로 호모겔 공시체를 성형한 후 압축강도를 측정하였다.

2.2.3 점토성분 시료토 공시체 압축강도

보통시멘트와 위의 초미립자 시멘트계를 W/C 100%로 제조한 현탁액과 점토성분이 많은 시료토(단위용적중량 1245kg/m³, 함수비 55%)에 1:4의 비율로 혼합하여 원주형(Φ10×20cm)몰드로 공시체를 성형한 후 압축강도를 측정하였다.

2.3 초미립자 시멘트의 현장적용 주입효과

초미립자 시멘트계 주입재의 실제 주입효과를 평가하기 위하여 지반보강공사 실시 후 현장투수시험과 표준관입시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 초미립자 시멘트계 주입재의 강도

시멘트 종류에 따른 주입재의 강도 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 페이스트 강도실험에서 초미립자 시멘트는 1종 시멘트에 비하여 초기강도뿐만 아니라 장기강도에서도 매우 우수한 강도를 발현하였다. 지반 주입재로서 가장 중요한 성능인 호모겔 강도는 1종 시멘트에 비하여 약 2~5배에 가까운 높은 강도를 발현하였는데 주입재와 물유리가 반응한 고결체는 수중에서 겔의 용탈현상에 의해서 수축변형이 발생하여 강도가 저하하고 투수계수가 커지므로 지반보강 효과가 급속히 떨어질 수 있다. 이와 같은 고결체의 성능 저하를 개선하기 위해서는 1종 시멘트보다는 경화발현 속도가 큰 초미립자 시멘트를 사용하는 것이 매우 효과적임을 확인할 수 있다. 점토성분이 많은 시료토의 고결시험에서도 초미립자 시멘트를 사용한 경우 초기 및 장기재령에서 약 50% 이상의 강도가 역시 향상됨을 알 수 있다.

Table 3. Compressive strength of OPC and ultra fine-ground cement

구 분		시멘트 페이스트		호모겔		점토성분 시료토 고화	
		OPC	UFC	OPC	UFC	OPC	UFC
압축강도 (kgf/cm ²)	3일	192	325	4.7	25.5	38	63
	7일	287	545	9.3	35.2	59	92
	28일	389	652	19.8	42.8	84	125

3.2 현장적용 주입효과

초미립자 시멘트계 주입재의 실제 주입효과를 평가하기 위하여 실제 지하철 및 고속철도 건설현장에 각각 적용하여 시험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 시험결과 초미립자 시멘트로 주입 후 투수시험 및 표준관입시험 결과치는 주입전에 비하여 크게 개선됨을 확인할 수 있다. 일반적으로 주입재가 지반이나 균열에 침투하기 위해서는 입자크기가 흙 입자사이 및 암반균열 간극에 쉽게 주입될 수 있을 정도로 작아야 한다. 균열의 주입에 관하여 Mitchell, J. K는 주입재 최대입경 3배 이내의 균열에 주입 가능하다고 제안하였다. 1종 시멘트의 최대입경은 약 100 μ m, 초미립자 시멘트계 주입재의 최대입경은 약 10 μ m 정도이므로, 1종 시멘트의 주입 가능한 균열 폭은 최저 300 μ m, 마이크로 시멘트계 주입재는 30 μ m정도가 된다고 할 수 있다. 그러므로 지반 그라우팅 시 1종 시멘트로는 미세한 균열이 발생

되어 있는 암반지역과 실트질 사질지반까지 주입되기는 어렵다고 판단되며 입경이 작은 초미립자 시멘트계 주입재가 적절하리라 판단된다.

Table 4. Test results of water permeability and standard penetration in field

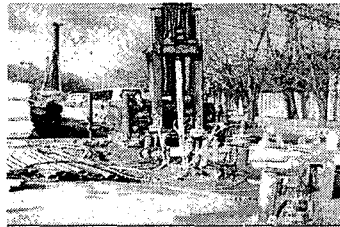
측정심도	지층명	투수시험 결과치(K=cm/sec)		표준관입시험 결과치		비고
		주입 전	주입 후	주입 전	주입 후	
G.L-5.0m	매립층	3.02×10^{-4}	6.26×10^{-5}	18 / 30	27 / 30	7~10일 양생 (지하철 ○○공구)
G.L-7.5m	풍화토층	3.31×10^{-4}	6.22×10^{-5}	19 / 30	50 / 29	
G.L-10.0m	풍화토층	5.38×10^{-4}	5.82×10^{-5}	12 / 30	48 / 30	
G.L-15.0m	풍화암층	2.14×10^{-4}	4.39×10^{-5}	50 / 10	50 / 7	
G.L-3.0m	매립층	-	-	0 / 30	11 / 30	8~10일 양생 (지하철 ○○공구)
G.L-6.0m	충적층	6.51×10^{-4}	1.76×10^{-5}	5 / 30	18 / 30	
G.L-10.0m	풍화토층	3.33×10^{-4}	8.94×10^{-6}	49 / 30	50 / 30	
G.L-16.0m	풍화토층		9.72×10^{-6}	49 / 30	50 / 26	
G.L-17.0m	풍화암층	2.41×10^{-4}	7.42×10^{-6}	50 / 8	50 / 8	
G.L-6.5m	연암파쇄대	1.49×10^{-3}	1.20×10^{-5}			고속철도 ○○공구
G.L-8.5m	연암파쇄대	1.40×10^{-3}	2.40×10^{-5}			
G.L-12.0m	연암파쇄대	6.29×10^{-4}	1.31×10^{-5}			
G.L-14.0m	연암파쇄대	4.11×10^{-4}	1.34×10^{-5}			

Note) 주입장치 : 믹싱가이드와 역류방지밸브가 부착된 주입선단장치

시멘트 : 분말도 8000cm²/g 이상(지하철 ○○공구), 6000cm²/g 이상 (고속철도 ○○공구)



지하철 ○○공구 지반보강공사



지하철 ○○공구 지반보강공사



고속철도 ○○공구지반보강공사

Photo 1. Views of grouting using ultra fine-grained cement

5. 결론

이상으로 비표면적 6,500±500cm²/g 및 8,500±500cm²/g인 초미립자 시멘트를 볼밀과 분급기를 이용해 제조하여 강도특성과 주입성능을 평가해 보았으며 실험 및 현장적용을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 초미립자 시멘트의 호모젤 강도는 1종 시멘트에 비하여 약 2~5배에 가까운 높은 강도를 발현하며 지반 주입재로 사용될 경우 주입된 고결토의 강도 역시 향상된다.
- 2) 초미립자 시멘트는 일반시멘트에 비해 미세한 균열이 발생되어 있는 암반파쇄대와 실트질 사질 지반까지 침투되는 지반주입재임을 확인하였으며, 지반보강효과가 매우 우수하다.

본 연구에 이어 향후 초미립자 시멘트의 콘크리트에의 이용을 연구하려한다. 초기 고강도를 발현하면서도 콘크리트의 유동성을 저하시키지 않으며, 장기강도의 증진에도 크게 기여하는 초미립자 혼합시멘트의 개발이 초고층빌딩의 건설에 유용한 고강도 콘크리트에 필수적인 재료가 될 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

- 1) 천병식(1996), "최신 지반주입-이론과 실제", 원기술, pp. 69-173.
- 2) 토목공법연구회(1999), 그라우팅편람.