

Micro-Cement 그라우팅에 의한 연약지반 보강효과 개선사례(1)
A Case Study on the Improvement of Soft Ground by Using Micro-Cement Grouting(1)

천병식¹, BYUNG-SIK CHUN, 김진춘², JIN-CHOON KIM

- 1. 한양대학교 토목공학과, 교수 Professor, Dept. of Civil Engr., Han Yang Univ.
- 2. 쌍용양회(주) 중앙연구소, 선임연구원 Senior Researcher, Research Center, Ssangyong Cement Co. Ltd.

The general purpose of grouting is waterproofness and solidification of the ground by earth concreting that the cement milk pass through particles of soil or crack of rock. This report shows the fundamental properties of microcement compared with those of ordinary portland cement in a point of grouting. This paper is also an experimental study on the treatment of the weathered rock at the construction of Boryong earth filled dam site, south of Chungchung province, for ground improvement by super-fine cement generally used in advanced nations as the grouting material for ground improvement.

1. 서론

최근 토목공사에서는 지반의 안정성 확보를 위해서 각종 그라우팅 공법이 많이 사용되고 있다. 지하철에서 연약지반의 차수 및 보강, 댐 기초암반의 변형·침투수량의 억제·강화를 목적으로 보통포틀랜드시멘트밀크의 주입에 의한 기초처리가 일반적으로 적용되고 있다. 그러나 최근에는 공사지반의 지질에 파쇄대, 화강토, 미고결사암 등 불균질한 지층이 나타나는 경우가 많아지면서 일반시멘트만으로는 주입효과가 불충분하기 때문에 그라우팅 전용 마이크로시멘트를 사용함으로써 효과적인 주입시공이 가능하여 졌다.

즉, 댐건설, 도시토목공사 등에 사용되는 주입재는 환경보존, 강도, 내구성 측면에서 어떤 타재료보다도 수경성시멘트가 가장 우수하지만 지금까지 사용되어 왔던 시멘트계 주입재의 입경은 최대 100 μ m, 평균 15~20 μ m 정도로 그 적용범위에 한계가 있었다. 그러나, 근래에는 시멘트 생산 분야에도 분쇄·분급기술이 급속도로 발달하여 시멘트 입경이 최대 10 μ m, 평균 4 μ m 정도의 마이크로시멘트의 대량 생산이 가능해짐으로써 그라우팅 분야의 새로운 주입재로 각광받게 되었다. 그라우팅 공사에 전용으로 사용되는 마이크로시멘트의 종합적인 특성은 그림 1과 같고, 그림 2에서와 같이 침투성이 유기계의 용액형과 거의 같은 고침투성일 뿐 만 아니라 무기계의 특징인 내구성과 고강도성 등을 갖추고 있기 때문에 침투성 그라우팅재료로서는 가장 바람직한 재료라고 할 수 있다.

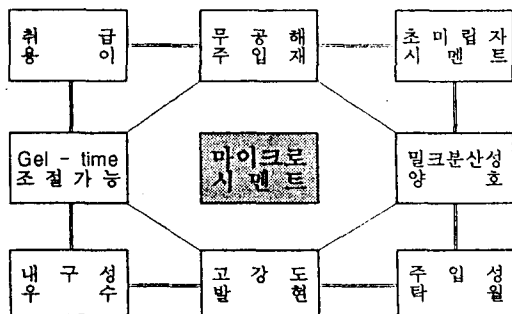


그림1. 마이크로시멘트의 특성

주입재	자갈층	모래층			실트층	점토층
		coarse	medium	fine		
현탁형	마이크로시멘트	[Horizontal bar spanning all columns]				
	보통시멘트	[Horizontal bar spanning coarse and medium columns]				
	벤토나이트	[Horizontal bar spanning coarse and medium columns]				
용액형	리그닌계	[Horizontal bar spanning all columns]				
	요소계	[Horizontal bar spanning all columns]				
	아크릴아미드계	[Horizontal bar spanning all columns]				
투입자입경(mm)		2	0.5	0.25	0.074	0.005
투수계수(cm/sec)		10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4} 10^{-5}

그림2. 침투성 주입재의 토질별 침투범위

본 논문에서는 선진외국에서 실용화 되어 댐 및 터널시공에 널리 사용되고 있으며, 국내에서도 개발중에 있는 마이크로시멘트를 이용한 주입재의 실험적 특성 및 보령댐 축조현장에서의 현장실험 결과를 소개한다.

2. 마이크로시멘트의 특성

2.1 시멘트의 품질

2.1.1 화학성분 및 입도

국내에서 생산되는 보통시멘트와 개발중에 있는 마이크로시멘트의 화학성분과 입도분포는 다음과 같다.

표 1. 화학성분

(단위:%)

시멘트종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
보통	20.4	5.8	3.1	62.6	3.6	0.13	0.77	1.9
마이크로	27.5	11.2	1.7	51.3	4.8	0.17	0.44	2.1

표 2. 입도분포

(단위:누적%)

종류	μm								
	1	2	4	8	12	16	24	64	MS
보통	4.9	7.3	14.3	27.1	37.0	45.3	62.3	96.0	18.2
마이크로	14.5	27.9	57.2	89.6	98.2	99.6	100	-	3.5

표 1로 부터 알 수 있듯이 마이크로시멘트는 화학성분에서 부터 보통시멘트와 차이가 뚜렷하다. 즉, 표 2와 같이 보통시멘트보다 초미립화 함으로써 초기에 수화반응이 지나치게 크면 작업성 확보가 어렵기 때문에 초기수화 속도를 조절할 수 있도록 성분이 조정된 시멘트이다. 한편, 마이크로시멘트는 입도가 보통시멘트보다 훨씬 작다. 따라서, 마이크로시멘트는 보통시멘트에 비해서 토립자사이 또는 암반균열 사이로 침투되는 비율(groutability ratio)이 커질 수 있다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

종류	비중	Blaine cm ² /g	응결(겔포아)			Flow (%)	압축강도(kg/cm ²)				
			W/C (%)	초결 min	종결 h:m		W/C(%)	1일	3일	7일	28일
보통시멘트	3.15	3180	25.0	170	7:30	106.2	48.5	96	195	278	368
마이크로시멘트	3.03	8420	30.5	260	9:30	108.5	51.5	103	295	295	588

표 3에서 마이크로시멘트는 보통시멘트에 비해서 2.5배이상 비표면적이 크기 때문에 수화반응이 활발해서 초기강도가 커지는 특성을 갖고 있으며, 고분말이면서도 보통시멘트와 동등이상의 유동성(Flow,%)을 발휘하는 장점을 갖고 있다.

2-2 주입재의 물리성능 분석

지하철 등 일반 연약지반 공사에서 가장 많이 사용되는 공법은 Gel-Time 조절이 용이하고 경제적인 반현탁형 물유리계 LW공으로서 본 연구에서 적용한 실험배합과 시멘트 종류별 주입재의 물리적 성능은 다음과 같다.

- LW공법(2액 1공정 시스템)의 A액 실험배합

W/C(%)	물(g)	시멘트(g)	비 고
200	6000	3000	7리터기준

- B액(물유리액) 실험배합 : 규산소다3호 3.5리터 + 물 3.5리터

표 4. 실험결과

종류	A액+B액/G Time(sec)	A액 초기 점도 (cps)	Bleeding 율(%) 30분후	침투성*			Homo-gel압축강도 (kg/cm ²)			
				시간 (sec)	재료분 리 (%)	Caking 발생	1일	3일	7일	28일
요구수준	60 ~90	10 이하	작을수록 양호	좌동	좌동	좌동	1일재령이후 1kg/cm ² 이상, 클수록 양호			
보통	64	12	약 40	90초과	70	다	1.2	2.3	4.6	15.7
마이크로	65	4	약 3	3	-	-	4.1	14.2	34.8	48.5

*.Sand Column Test ; φ10cm×H25cm, Sand F.M.=2.8, 펌푸흡인력=-5torr

표 4의 실험결과에서도 알 수 있듯이 보통시멘트는 침투성이 나쁘고 재료분리 경향이 크기 때문에 주입후 차수 및 지반강화 효과가 떨어질 가능성이 크지만, 마이크로시멘트는 일반적으로 요구되는 품질수준기준을 모든 항목에서 우수한 수준으로 만족하고있다. 특히, Homo-gel 압축강도 발현에서 큰 차이가 나는 것은 마이크로시멘트가 토립자사이 및 암반균열에 침투후 경화가 되면 보통시멘트를 사용한 경우보다 지반강화(earth concreting) 효과가 클 것으로 판단된다.

3. 보령댐 축조 현장 현장실험

3.1 배경

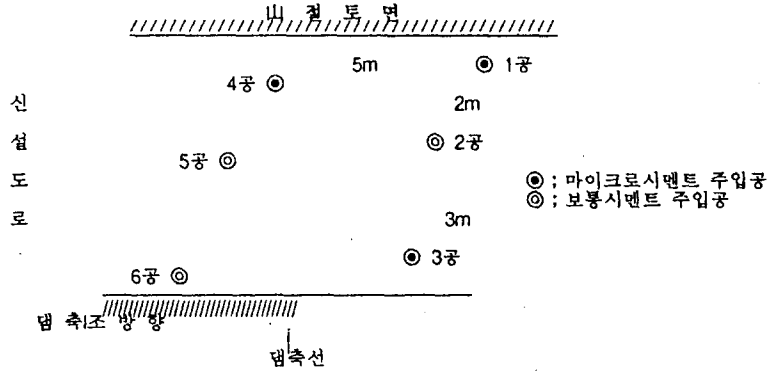
보령댐의 기초지반은 층리가 밀집되고 탄층이 현저한 불균질한 암반으로 보령조사되었고 이와 같은 지반에는 보통시멘트로는 효과적인 그라우팅이 어렵다고 판단되었다. 따라서 고침투성의 마이크로시멘트를 사용할 경우 차수 및 지반보강 효과가 어느정도 개선될 수 있는지 확인하기 위해서 탄층대가 협재된 지역에서 마이크로시멘트와 보통시멘트에 대해서 각 3공씩 Milk 그라우팅 시험을 실시하기로 하였다.

3.2 실험계획

3.2.1 실험위치 ; 실시실제 당시 조사된 시추조사결과 탄층이 협재된 위치에 6공을 선정한다.

3.2.2 주입재료 ; 보통시멘트와 마이크로시멘트를 사용한다.

3.2.3 주입공 배치



3.2.4 천공 ; 회전식 NX공(직경75mm) 보링기를 사용하여 탄층대가 협재된 위치까지 천공(7~12m)한다.

3.2.5 주입장치 ; 본법 차수그라우팅 시방에 준한다.

3.2.6 주입재 배합비 ; 시멘트와 물의 배합비는 1:10, 1:7, 1:5, 1:3 및 1:1 등으로 하며 각 경우의 배합기준은 다음과 같다.

표 5. 초기배합비

적용배합비 (중량비)		1 Batch(200리터)당 시멘트 및 물의 량	
시멘트	물	시멘트(kg)	물(kg)
1 : 10		19.4	194
1 : 7		27.3	191
1 : 5		37.6	188
1 : 3		60.3	181
1 : 1		151.8	152

표 6. 루전치별 초기배합

루 전 치 (Lu)	초기배합비 (C/W)
10 미만	1 : 10
10~20	1 : 7
20~30	1 : 5
30 이상	1 : 3

표 7. 주입압력이 상승되지 않을 경우 배합변경 기준

원배합비 (시멘트/물)	주입재 주입량	변경배합비
1 : 10	800리터/20분 이상	1 : 7
1 : 7	800리터/20분 이상	1 : 5
1 : 5	600리터/20분 이상	1 : 3
1 : 3	500리터/20분 이상	1 : 1
1 : 1	연속 400리터	1 : 0.5

3.2.7 주입압력 ; 차수 그라우팅의 주입압력은 심도에 따라 다음과 같이 실시한다.

표 8. 주입중 심도별 주입압력표

단 계	심 도 (m)	최대허용압력 (kg/cm ²)
1	0~5	5
2	5~10	10
3	10~15	15
4	15~20	20
5	20~25	25
6	25 이상	25

*. 최대 허용압력 범위 내에서 현장상태에 따라 조정 가능

표 9. 검사공의 수압시험 최대 적용 압력표

단 계	심 도 (m)	최대허용압력 (kg/cm ²)
1	0~5	3
2	5~10	5
3	10~15	7
4	15~20	8
5	20~25	10
6	25 이상	10

*. 검사공의 위치 및 검사도는 주상도를 참조하여 결정

3.2.8 주입효과 판정 ; 검사공의 코아상태 및 수압시험 결과를 종합하여 비교검토한다.

3.3 시험 그라우팅 결과

3.3.1 천공 및 수압시험

보통시멘트 및 마이크로시멘트를 주입하기 위한 각 3개공에 대해서 천공을 하고 수압테스트를 한 결과는 다음과 같다.

표 10. 천공 및 수압테스트 결과

공 No.	천공깊이 (m)	탄층깊이 (m)	탄층대루전치 (Lu)	암층대루전치 (Lu)
1	7.5	4.8~5.7	8.7	-
2	11.4	8.8~10.7	0.1	36.7
3	7.0	4.8~5.5	1.2	33.3
4	11.9	9.8~11.6	0.2	-
5	7.0	5.1~6.0	4.0	-
6	11.5	9.5~11.3	0.1	17.5

표 10으로부터 탄층대 수압시험결과 공1 및 5를 제외하고는 Lu<3 으로 절리가 거의 없는 주입이 불필요한 암층대로 판단되며 실제로 주입을 시도한 결과 거의 주입이 되지 않았다. 한편, 공2,3 및 6의 수압시험결과 모두 Lu>10으로 투수성이 큰 암층대로 보통시멘트와 마이크로시멘트를 각 공별로 주입하였다.

3.3.2 주입시험 결과분석

표 11. 탄층대에서의 실험결과

공 No.	탄층깊이 (m)	Step장 (m)	루전치(Lu)	주입 시멘트	주입량(kg)	단위주입량 kg/m
1	4.8~5.7	3.0	8.7	마이크로	114.7	38.2
5	5.1~6.0	2.5	4.0	보통	2.3	0.9

표 12. 일반 암층대에서의 실험결과

공 No.	암층깊이 (m)	Step장 (m)	루전치(Lu)	주입 시멘트	주입량(kg)	단위주입량 kg/m
2	0.5~4.5	4.0	36.7	보통	1508.4	377.4
3	0.5~4.5	4.0	33.3	마이크로	2458.6	614.9
6	3.0~9.5	6.5	17.5	보통	416.2	64.0

탄층대에서의 수압시험결과 10루전이하로 큰 절리는 거의 없고 미세한 절리만 존재하는 암층일 것으로 추정되며 실제로 탄층대의 코아 관측결과에서도 큰 절리는 거의 없었다. 탄층대의 주입실험결과 마이크로시멘트를 주입한 공1은 38.2kg/m, 보통시멘트를 주입한 공5는 0.9kg/m 정도로 마이크로시멘트의 주입량이 40배이상 컸다. 따라서 미세한 절리만 발달되어 있어서 주입이 어려운 저반일수록 보통시멘트와 같이 입자가 굵은 시멘트보다는 마이크로시멘트를 사용하는 것이 주입성 측면에서 훨씬 유리하다는 것을 알 수 있다.

일반 암층대에서 수압시험결과 공2 및 3은 30루전이상으로 층리가 집중된 암반층으로 판단되며, 주입시험 결과 일반 암층대에서의 목표 주입량인 평균 50kg/m보다 훨씬 낮은 양이 주입되었다. 공2와 3의 단위 주입량으로부터 알 수 있듯이 절리가 집중적으로 발달되어 있는 주입범위에서는 보통시멘트도 주입이 잘 되고 있지만 마이크로시멘트가 보통시멘트에 비해서 주입량이 1.6배이상 컸기 때문에 마이크로시멘트로 그라우팅하는 경우 루전치와 배합비 관계를 적절히 조정해서 시공성을 개선할 수 있고, 주입공 간격을 넓힘으로써 그라우팅의 경제성을 개선할 수 있다고 판단된다. 한편 공6의 루전치는 17.5로 일반 암층에서 볼 수 있는 평균적인 수준이었으며 보통시멘트를 주입한 단위주입량이 50kg/m이상으로 양호한 편이었지만, 만약 공6에서 마이크로시멘트를 주입했다면 100kg/m이상(64×1.6배) 주입이 되었을 것으로 추정된다.

4. 경제성과 시공성 검토

4-1 주입효과를 개선하기 위한 방법

암반균열에 대한 주입시공의 효과는 균열의 크기와 연속성 등 지질조건에 의해서 크게 좌우되지만 같은 조건이라면 주입효과를 높이기 위한 방법으로 일반적으로 ①주입공 간격을 좁히는 방법, ②주입재의 유동성을 좋게 하는 방법, ③빈배합의 시멘트밀크를 주입하는 방법, ④ 주입재 입자를 미립화하는 방법 등이 검토될 수 있다.

방법 ①을 사용하는 경우 주입목표(예:목표 루전치)를 달성하기 위해서 공간격이 좁아져야 하기 때문에 천공수가 급격히 늘어나고 주입시공비가 대폭 상승하게 된다. 방법 ②는 시멘트밀크에 일반적으로 벤토나이트를 시멘트중량비로 약 10%정도 첨가해서 시멘트입자의 유동성을 좋게함으로써 시멘트입자를 멀리까지 운반시켜 주입효과가 크도록 하는 방법으로 약간의 재료비 상승과 시공성 저하가 예상되지만 지금까지 가장 일반적으로 사용되고 있다. 방법 ③은 물-시멘트비가 10:1 이하의 빈배합으로 주입공 치수가 커질수록 효과가 있지만 주입에 소요되는 시간이 많이 걸리고 시공성이 떨어지는 경향이 있다.

위 ①~④의 주입공사 방법에 대해서 주입재 특성, 주입시간, 평균루전치, 단위시멘트량·루전치비, 경제성 및 공기 등을 비교검토하여 가장 효과적인 주입시공방법을 선택하기 위해서 그라우팅 테스트를 실시하여 주입효과를 비교검토한 예(日本 郡馬縣, 都平川 중력식 콘크리트댐, 높이 70m, 1987년 시공)를 소개하면 다음과 같다.

표 13. 주입방법별 주입효과 분석표

방 법	입경 소→대	점성 소→대	Bleeding율 소→대	28일강도 대→소	제품가격 저→고	주입시간 단→장	평균 루전치, Lu	평균단위주입량 kg/m	시멘트량·루전치比 C/Lu	주입 시공기간	경제성	종합 평가
1) 공간격을 줄임	②	④	③	②	① 1배	① 3시간	8차공, 12.5	8차공에서 10.8	0.83	②	④	2위
2) 주입재의 유동성개선	②	③	①	③	②	②	6차공, 13.0	6차공에서 13.1	0.78	②	③	3위
3) 빈배합밀크주입	②	②	③	②	①	③	6차공, 11.7	6차공에서 18.3	1.56	③	②	4위
4) 마이크로시멘트사용	①	①	②	①	③ 5배	④ 6시간	6차공, 6.3	6차공에서 56.5	5.40	①	①	1위

표 13로부터 개선목표 루전치 10이하를 얻기위해서 ①~③의 방법으로는 6~8차공까지 주입을 하여도 복표 주입량(일반적으로 50kg/m)을 달성하기 어렵지만 마이크로시멘트를 사용하는 경우에는 6차공에서 목표를 충분히 달성함으로써 마이크로시멘트의 주입성이 우수함을 알 수 있다. 또한, 단위길이당 주입시멘트량과 단위루전치당 주입시멘트량도 마이크로시멘트를 사용하는 경우가 가장 컸으며 이것은 침투성이 우수하기 때문에 시공성도 우수해진다고 할 수 있다.

결론적으로 마이크로시멘트를 사용하면 천공차수가 줄어들기 때문에 시공비가 절감되고 주입시공 공기가 단축될 수 있으므로 가장 효과적인 주입시공 방법이라고 할 수 있으며, 실제로 道平川댐 그라우팅에 마이크로시멘트를 적용한 것으로 보고되고 있다.

4-2 보령댐에서 마이크로시멘트를 사용할 경우 그라우팅의 경제성과 시공성 평가

어떤 공사건 간에 주입공사를 하기전에 그라우팅 시험을 한 후 적당한 주입공 계획을 수립하여 시공을 착수하는 것이 원칙이지만 공사계획 단계에서 일반적으로 적용하는 주입공 간격은 보통시멘트를 사용하여 milk공법으로 댐의 기초처리를 하는 경우 2m가 일반적으로 적용되고 있다. 한편, 루전치가 10Lu·전후에서 마이크로시멘트를 사용하는 경우 방사상으로 주입되는 최대 주입간격은 4.75m, 평균 주입간격은 2.5m정도로 보고된 바 있다. 따라서, 마이크로시멘트의 고침투성을 이용하여 주입공 간격을 최대 30%까지 넓힐 수 있다고 가정하고 보령댐에서 시방대로 보통시멘트를 이용한 그라우팅 비용과 마이크로시멘트를 이용하여 천공간격을 10%, 20%, 30%까지 넓혔을 경우의 그라우팅 비용 및 시공성을 비교하면 다음과 같다.

4.2.1 보령댐 축조 그라우팅 개요

- Main Dam Crest Length ; 256.643m
- 기초지반 그라우팅축 길이 ; 약 300m로 가정
- 보통시멘트를 이용한 시방상의 그라우팅공 배치계획

Blanket 7열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 5열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 3열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 1열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Curtain 1열 ; 150공×@2m=300m , 공깊이 30~50m → 평균 40m 댐軸
Curtain 2열 ; 150공×@2m=300m , 공깊이 30~50m → 평균 40m
Blanket 2열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 4열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 6열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m
Blanket 8열 ; 100공×@3m=300m , 공깊이 5m

- 시공비 적용 단가 ; 천공비 → 12만원/1m, 주입재료비 → 5만원/보통시멘트1톤, 25만원/마이크로시멘트1톤

4.2.2 보령댐 축조 그라우팅 비용 절감

시공사에서 제공한 보령댐 축조 그라우팅 공사개요에 의해서 주입공 간격을 넓힘에 따라 공사비 변화는 다음과 같다.

표 14. 주입 천공간격과 시멘트 종류별 주입공사비 개략 산정치

	시멘트 종류	Curtain 그라우팅				Blanket 그라우팅				비용총액 ①+②+③+④	천공 길이 (m) ①+②
		공 수	천공길이 ①	천공비 ①	재료비 ②	공 수	천공길이 ③	천공비 ③	재료비 ④		
천공 간 격 변 화	시방간격 C:2m, B:3m	보통 150개/열 ×2열 = 300개	300개 ×40m/개 = 12000m	12000m× 12만원/m = 14억4천만원	50kg/m×12000m ×50원/kg = 3천만원	100개/열 ×8열 = 800개	800개 ×5m/개 = 4000m	4000m× 12만원/m = 4억8천만원	50kg/m×4000m ×50원/kg = 1천만원	19.6억원 (100%)	16000 (100%)
	시방110%간격 C:2.2m, B:3.3m	마이크로 136개/열 ×2열 = 272개	272개 ×40m/개 = 10880m	10880m× 12만원/m = 13억1천만원	50kg/m×10880m ×250원/kg = 1억4천6백만원	91개/열 ×8열 = 728개	728개 ×5m/개 = 3640m	3640m× 12만원/m = 4억4천만원	50kg/m×3640m ×250원/kg = 4천6백만원	19.4억원 (99%)	14520 (91%)
	시방120%간격 C:2.4m, B:3.6m	마이크로 125개/열 ×2열 = 250개	250개 ×40m/개 = 10000m	10000m× 12만원/m = 12억원	50kg/m×10000m ×250원/kg = 1억2천5백만원	83개/열 ×8열 = 664개	664개 ×5m/개 = 3320m	3320m× 12만원/m = 4억원	50kg/m×3320m ×250원/kg = 4천2백만원	17.7억원 (90%)	13320 (83%)
	시방130%간격 C:2.6m, B:3.9m	마이크로 115개/열 ×2열 = 230개	230개 ×40m/개 = 9200m	9200m× 12만원/m = 11억원	50kg/m×9200m ×250원/kg = 1억1천5백만원	77개/열 ×8열 = 616개	616개 ×5m/개 = 3080m	3080m× 12만원/m = 3억7천만원	50kg/m×3080m ×250원/kg = 3천9백만원	16.2억원 (85%)	12280 (77%)

표 14에서 알 수 있듯이 마이크로시멘트를 사용하면서 천공간격을 10%, 20%, 30% 넓히는 경우 ①각각 1%, 10%, 17%씩 공사비 절감이 가능하고 ②천공길이도 각각 0%, 17%, 23%씩 감소하기 때문에 천공축조 비용 기여할 뿐만 아니라 마이크로시멘트를 사용하는 경우 ③일체의 침가제가 사용되지 않기 때문에 시공성 측면에서도 유리하다고 판단된다.

5. 결론

실험실적 결과에서도 마이크로시멘트의 주입특성이 우수함을 확인할 수 있었으며, 보령댐 축조현장에서 실험한 결과에 의하여 마이크로시멘트의 주입성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 공1과 공4의 탄층대에서 수압시험 결과 투전치가 10이하로 주입이 어려운 지층이었지만 마이크로시멘트가 보통시멘트 보다 40배이상 침투성이 양호하였다. 따라서, 미세균열이 많아서 주입이 어려운 지층일수록 초미분말이면서 밀크의 분산성이 좋은 마이크로시멘트의 주입효과가 크다고 판단된다.

2) 공2 및 3의 암층대에서 수압시험을 실시한 결과 투전치가 30이상으로 암반절리가 집중되어 있는 유사한 지층으로 추정되고 마이크로시멘트와 보통시멘트 모두 주입이 잘 되었으며 마이크로시멘트가 보통시멘트 보다 2배정도 주입이 잘 되었다. 따라서, 층리가 발달되어 있는 일반 암층대에서도 마이크로시멘트의 주입량이 보통시멘트보다도 많기 때문에 투전치 수준별로 주입재 배합비를 적절히 높은 배합으로 조정함으로써 시공성을 개선할 수 있고 마이크로의 고침투성을 이용하여 주입공 간격을 넓힐 수 있기 때문에 시공비 절감도 가능할 것으로 판단된다.

3) 실제로 보령댐 그라우팅에 마이크로시멘트를 사용하여서 천공간격을 10%, 20%, 30% 넓히는 경우 각각 1%, 10%, 17%씩 공사비 절감이 가능하고 천공길어도 각각 9%, 17%, 23%씩 감소하기 때문에 공기단축에 크게 기여할 뿐 만 아니라 마이크로시멘트를 사용하는 경우 첨가제가 사용되지 않기 때문에 시공성 측면에서도 유리하다고 판단된다.

4) 본 실험연구의 주목적은 탄층대가 형성된 복잡한 지형에서 마이크로시멘트와 보통시멘트간의 그라우팅효과를 비교 파악하기 위하여 실시되었지만 공1과 4를 제외하고는 탄층대의 투전치가 3이하로 주입이 불가능한 암층이었기 때문에 계획대로의 그라우팅을 실시할 수 없었다. 따라서 그라우팅효과를 정확하게 평가하기 위해서는 차후 일반 암층대에서 체계적인 그라우팅 시험이 필요하다고 본다.

사 사

본 실험 연구는 '94년 보령댐 축조현장에서 실시된 것임을 밝히며 현장실험을 할 수 있도록 배려하여 주신 한국수자원공사와 쌍용건설 현장 관계자들과 심심한 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 1) 千柄植, "建設技術者를 위한 地盤注入工法", 園技術, 1995
- 2) 千柄植, "基礎地盤改良工法", 建設研究社, 1990
- 3) 草野一人, "藥液注入工法ハンドブック", 吉井書店, 平成4年
- 4) 島田俊介 外 2人, "最先端技術の藥液注入工法", 理工圖書, 平成3年
- 5) William J. Clarke et al., "Ultrafine Cement Tests and Drilling Warm Springs Dam", ASCE Geotechnical Engineering Division, April, 1993
- 6) 日本 道平川ダム建設事務所, "道平川ダムのコンソリデ-ショングラウティングについて", ダム技術, No.42, pp.58~64, 1990