

콘크리트 댐 기초 누수방지 보수그라우팅 사례

A Case Study of Remediation Grouting for Stopping Leakage of Concrete Dam Base

천병식¹⁾ Byung-Sik, Chun, 김진춘²⁾ Jin-Choon, Kim, 최영철³⁾ Young-Cheol, Choi

¹⁾ 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

²⁾ (주)한국지오테크, 대표이사, President, Korea Institute of Geo Technology Inc.

³⁾ (주)홍지기술산업(주), 상무이사, General Manager, Hongji Engineering & Construction Co., Ltd.

SYNOPSIS : Remediation grouting has been widely used for the rehabilitation of various civil works like hydraulic and traffic structures. Recently there were some cases of remediation grouting for repairing old dams in Korea. So this study will describe the case of remediation grouting of the concrete dam base located east-northern part of Seoul. We use Lugeon Test and Borehole Image Processing System(BIPS) for estimating the effectiveness of remediation grouting of this project. As the results of this study, we could find the lots of joints between the old concrete body and the weathered rock base. So the about 30% quantity of total cement grouts was injected at the boundary surface between concrete and rock base. And Lugeon Test and BIPS could be compared relatively because BIPS results could be presented quantitatively as well as qualitative analysis. Finally, we could find microfine cement was very effectively injected to the fine fissured concrete body compared with ordinary portland cement, but there was little injectability differences between microfine cement and ordinary portland cement at the large cracks or cavities were developed rock base.

Keywords : dam, remediation grouting, lugeon test, borehole image processing system(BIPS), permeability, microfine cement(MC). ordinary portland cement(OPC)

1. 서론

1.1 댐건설 현황

우리나라 댐의 역사는 삼국시대부터 역사적 기록을 찾아볼 수 있지만 근대적인 개념의 댐은 1961년 말 299개의 댐이 있었으며 1962년 이후 댐건설의 개화기를 맞는다. '댐건설 기술, 제도 및 조직정착을 위한 기반조성'에 의해서 1962년 이래 1991년에 이르는 동안에 관계용댐 425개, 생활공업용수댐 49개, 수력발전용댐 9개 및 다목적댐 18개 등 501개의 댐이 건설되었고, 이는 1991년말 현재 관리되고 있는 800여개의 댐 가운데 대부분 이 기간동안에 건설되어 국가 근대화 작업에 커다란 기여를 하였다.

미국 세계은행 댐부 Gupta부장의 자료에 의하면 1997년말 현재 세계적으로 대댐의 수는 약 38,000개가 있으며 그 중에서 반은 중국에 있다. 대댐의 건설은 1980년대에 연간 300개 이상 건설되면서 가장 활발하였으나 최근에는 연간 150개 정도가 건설되고 있는 침체된 상황이다. 이와 같이 댐 건설이 줄어드는 이유는 최근 국내에서도 제기되고 있는 바와 같이 댐 건설로 인한 환경파괴에 대한 우려가 세계적으로 높아지고 있기 때문이다. 최근 세계은행에서 댐에 관한 재정지원을 하고 있는 주요한 내용을 요약하면 ①신규댐에 대한 환경영향평가 프로젝트, ②기존 댐의 용수이용 확대를 위한 프로젝트(발전, 관개, 용수공급 등), ③기존 댐의 안전성 회복을 위한 보수·보강 프로젝트와 같이 3가지로 분류되고

있다. 즉, 댐 건설에 대한 세계적인 추세는 신규댐의 증가는 점차 줄어들지만 기존댐의 용도개발, 안전성 확보를 위한 보수공사에 많은 재원이 활용되고 있음을 시사하고 있다. 한편 우리나라에서도 물관리 종합대책의 일환으로 신규 다목적댐의 건설이 계속될 전망이지만, 기존 댐의 노후화에 따른 안정성 증진과 수자원의 효율적 관리를 위한 용도개발 차원에서 기존댐에 대한 보수·보강 사례가 증가하고 있다. 특히, 농업기반공사의 경우 관개용 신규댐의 건설과 기존댐의 보수를 위한 그라우팅만 향후 10년간 년평균 4,000억원의 예산이 집행될 것으로 추산하고 있으며 이는 관개용 중소형 댐에서 그라우팅의 비중이 상당히 크기 때문에 적합한 그라우팅기술의 적용과 관리가 중요할 것으로 판단된다.

1.2 댐 손상 유형별 보수대책

댐의 형식은 크게 필댐과 콘크리트댐으로 나눌 수 있고, 필댐에서의 손상은 대부분 기초 및 댐체내의 침투류 및 내부 침식에 의한 손상이며, 기타 전단저항의 부족, 변형, 인접구조물과의 접합부의 결함 및 표면손상 등이 있다. 한편 콘크리트댐에서의 손상은 혹독한 기상조건으로 인한 동해, 하상이 변화하고 토사의 이동이 증대하여 발생하는 마모, 시공이음부에서 노후화가 진행하여 누수량이 증대하는 손상 등이 대부분이며 이와 같이 다양한 손상유형별 대책 방법을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 주요 손상별 대책

손상유형	필 댐	콘크리트댐
누 수	<ul style="list-style-type: none"> • 차수벽 설치, • 불투수층 재료 포설 • 슬러리 트랜치 설치, • 시멘트계 그라우팅 공법, • 배수로 설치, • 감압정 설치, • 블랭킷 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 에폭시 그라우팅 공법, • 시멘트계 그라우팅 공법, • 차수막 공법, • 프리팩트 그라우팅 공법, • 지수판 설치
균 열	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트계 그라우팅 공법, • 토목섬유 부설, • 표면 차수벽 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 치환공법, • 탄소섬유 보강 공법, • 단면보강 공법, • 강재보강 공법, • 철판압착 공법, • 에폭시 그라우팅 공법
동 해	<ul style="list-style-type: none"> • 차수벽 설치 • 시멘트계 그라우팅 공법 	<ul style="list-style-type: none"> • 프리팩트 그라우팅 공법 • 패칭 공법
사면활동	<ul style="list-style-type: none"> • 저수지 수위저하, • 말뚝타설 공법, • 압성토 공법, • 사면복공, • 표면 차수벽 설치 	
변 위	<ul style="list-style-type: none"> • 치환 공법, • 시멘트계 그라우팅 공법, • 덧쌓기 공법, • 방파벽 설치 	
댐기초의 불안정	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트계 그라우팅 공법 • 시트파일 공법 	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트계 그라우팅 공법 • 배수공 설치
마 모		<ul style="list-style-type: none"> • 에폭시 몰탈 그라우팅 공법 • 철근 배근, • 레일 보강

표 1에서 볼 수 있듯이 댐손상 유형별로 적용하는 공법 중에서 그라우팅 기술을 이용할 수 있는 경우가 매우 많다. 실제로 거대한 댐체에서 누수와 같은 손상의 원인을 직접 대처하기가 어렵기 때문에 그라우팅에 의한 증상 완화조치가 가장 유용하게 적용되는 것으로 판단되며, 이와 같이 댐의 누수나 쓰레기 매립장의 침출수를 차단하기 위한 보수기술로서 특별히 보수그라우팅(remediation grouting)으로 불려지고 있다.

2. 실험개요

수도권에 전력을 공급하는 ○○댐에서 상당한 누수가 발생하고 있는 현장에 대한 원인을 분석하고

보강대책으로서 1999년 6~11월 사이에 그라우팅을 적용하였다. 본 논문에서는 본 현장의 일부구간에
서 보통시멘트와 마이크로시멘트를 비교 적용함으로써 주입재 종류별 보수·보강 효과를 검토하였으며
지질조사, 주입재 선정, 주입효과 평가방법 등에 관한 개요는 다음과 같다.

2.1 지질조사

조사공과 시험주입을 위한 시험공을 합하여 총 23개소를 선정 시추조사를 시행한 결과 콘크리트층이
17.0~26.8m의 층후로 확인되었으며 콘크리트층 하부에 있는 경암층에 대한 굴진조사는 평균 25.5m에
달하였다. 경암층은 전반적으로 파쇄대로 형성되거나 절리가 많이 발달되어 있었다. 본 연구의 대상구
간은 16번공을 중심으로한 블록 10번에서 수행되었으며, 위치는 그림 1과 같다.

본 지질조사에서는 시추종료 24시간이 경과한 후 시추공내 지하수위를 측정하였는데 지하수위를 측
정한 결과 BH-1~8호공은 GL(-) 0.6~3.6m정도에 지하수위가 형성되어 있었으며, BH-10호공은 지표
하 6.2m하부에서 지하수위가 측정되었다. 한편, BH-9호공 및 BH-11~BH23호공에서는 피압을 받아

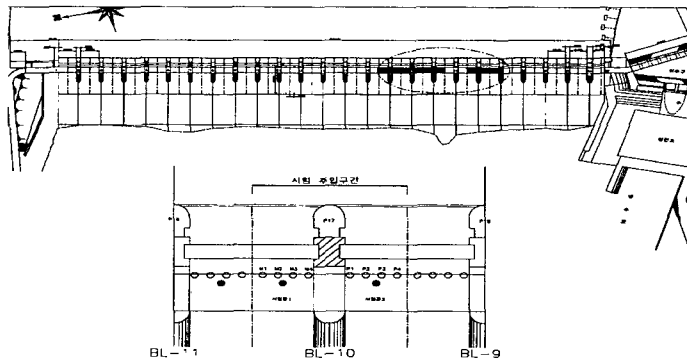


그림 1. 시험주입구간 위치도

지표위로 공내수가 분출되고 있었다. 이와
같이 피압을 받아 지하수가 분출되는 원인
은 댐의 콘크리트부나 저부 암반에 연장성
균열이 존재하고 이를 통하여 댐 저류수압
이 작용하여 발생하는 것으로 판단되며 연
장성 균열의 발달이 미미하거나 거의 없는
시추위치에서는 지하수위가 상승하지 않고
일정수위를 유지하는 것으로 판단된다. 피
압공에 대해서는 시추작업완료 20일 경과
후에 지하수위를 재측정하였는데 측정 결
과, BH-11, 12, 14, 15, 18호공은 과잉수압
이 소멸되어 안정적 수위를 유지하고 있었
으나 그 이외의 피압공은 지하수가 계속

분출되는 양상을 보이고 있었다. 따라서, 지하수위가 계속 분출되는 16호공 주위인 블록 10에서 고침투
성 마이크로시멘트와 보통시멘트를 이용하여 주입재 종류별로 시험주입을 실시하기로 결정하였다.

2.2 주입재 특성

그라우팅에 사용되는 각종 시멘트의 입자경은 대체로 1~100 μ m 사이에 분포하고 있으며 시멘트종류
별 입도특성은 그림 2와 같다. 시멘트계 주입재를 선정하는 규격화된 기준이 있는 것은 아니지만 일반
적으로 암반그라우팅의 경우 투수성 개량목표치가 3Lu이하인 경우 마이크로시멘트를 사용하고, 5Lu
이하인 경우 콜로이드시멘트, 10Lu이하인 경우 보통시멘트를 사용하는 사례가 많다. 한편, 본 연구의
시험구간인 블록 10의 조사공에서는 주입심도 18~30m구간에 5~8Lu의 누수가 발생하였다. 따라서 블
록 10의 왼쪽에 마이크로시멘트, 오른쪽에 보통시멘트를 적용하여 주입효과를 비교하였다.

2.3 실험계획

2.3.1 시추조사

굴진속도 및 채취된 코아상태를 관찰하여 수직 지층분포 상태를 확인하고 작업중에 작업수의 순환정
도, 누수 여부나 공동현상, 작업순환수의 색조변화 등을 유심히 관찰하여 암반내 변화를 추정한다. 채

취된 암코아는 심도별로 정리하여 코아상자에 보관한다.

2.3.2 BIPS를 이용한 공내영상촬영

시험구간의 4개 측정공에서 공내영상촬영 (Borehole Image Processing System ; BIPS, 일본 Raax사 제품)으로 주입전후의 암반상태를 조사한다. BIPS는 그림 3과 같이 현장System과 실내System으로 나눌 수 있고, 주입재의 침투 상태를 주입량 등고선도를 작성하여 판독할 수 있다.

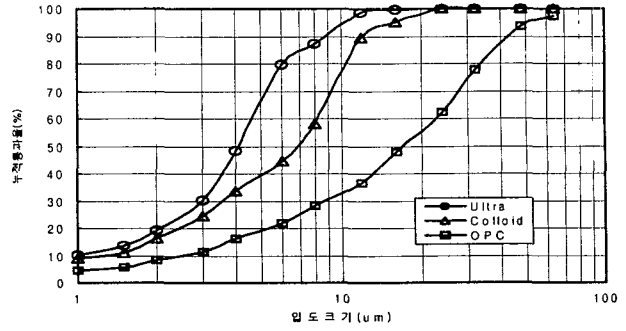


그림 2. 시멘트계 그라우트의 입도 분포

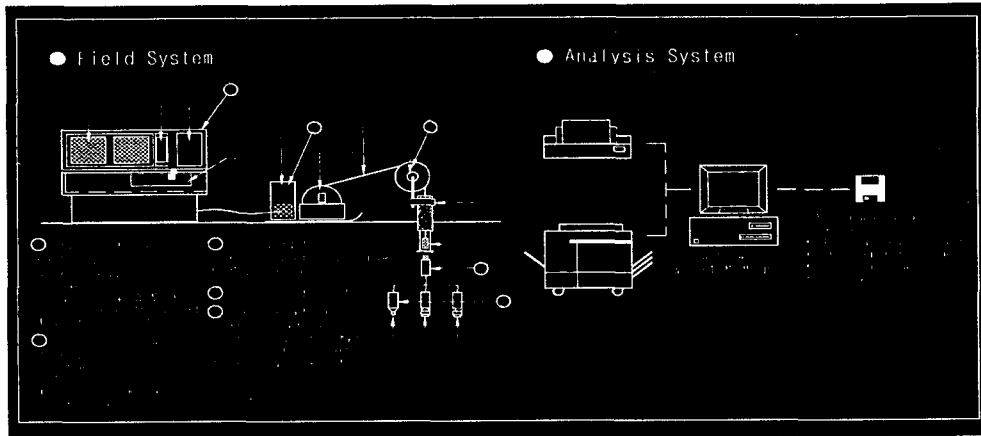


그림 3. BIPS System 구성도

2.3.3 Lugeon Test

암반의 투수성을 평가하기 위하여 시추공에 단계적인 주입압력을 가하며 압력에 따른 물의 주입량을 측정, 주입압력과 주입량의 관계에서 Lugeon치를 구한다. Lugeon Test는 댐 기초암반의 투수성을 조사하여 그라우팅계획 및 주입방법의 타당성을 검토하고 그에 따라 적절한 주입대책을 강구하기 위하여 실시하며 시험개요는 그림 4와 같다.

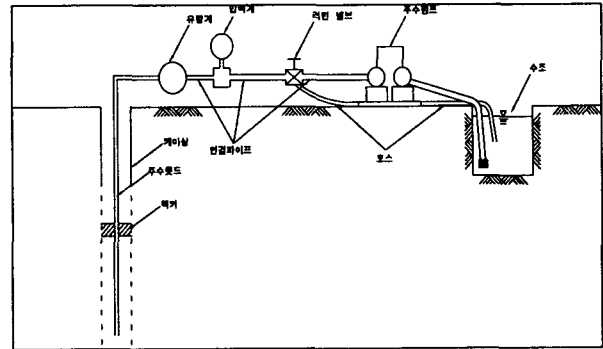


그림 4. Lugeon Test 모식도

3. 실험결과 및 분석

3.1 주입전 실험결과

3.1.1 Borehole Image Processing 성과

댐체 및 기반암에 분포하는 균열의 발달정도 및 방향성과 풍화정도 등을 파악하여 댐체의 안정성 여부 및 연장균열에 의한 양압력 해소방안을 강구하기 위하여 시험구간에서 세밀한 공내영상촬영(BIPS)을 실시하였다. 전 구간에서 나타나는 암반의 풍화정도는 신선 내지 약간풍화의 정도를 보이나 일차구조인 엽리면을 따라 발생한 절리 등의 영향으로 암반의 코아회수율과 R.Q.D가 암질에 비해 현저히 떨어졌다. 공내촬영 결과, 각 구간별 지층특성을 요약하면 불연속면과 편리의 방향성은 표 2와 같다.

표 2. BIPS촬영 결과 요약표

종 류 BL번호	Primary str.		Open crack, Hair crack		파쇄대(m)
	주방향	부방향	주방향	부방향	
BL-7	-	-	077/35	117/37, 273/20	17.2~18.0, 26.3~27.2
BL-9	126/82	-	125/73	-	촬영된 전구간
BL-10	127/35	-	128/37, 159/35	193/24	촬영된 전구간
BL-11	121/41	089/24	119/48, 110/23	300/61	21.3~21.7, 29.3~29.5 33.4~33.6, 35.3~35.5

3.1.2 Lugeon Test 성과

댐 기초암반의 투수성, 특히 투수도가 큰 Zone의 분포를 조사하여 그라우팅 계획 및 주입방법의 타당성을 검토하고 그에 따라 적절한 주입대책을 강구하기 위하여 시험공에 대해서 3m스텝으로 Lugeon Test를 실시하였으며, BL-10에 대한 시험결과를 요약하면 표 3과 같다.

표 3으로부터 15~18m구간의 콘크리트도 약간의 투수가 발생하고 있으며 내부에 상당한 균열이 진전되어 있는 것으로 추정된다. 한편, 18~30m구간의 경암에서는 투수량이 비교적 크고 파쇄대 및 open joint가 발달되어 있는 것으로 추정된다.

표 3. BL-10의 Lugeon Test 성과표

시험구간(m)	지층종류	투수계수(cm/sec)	Lugeon
9.0~12.0	콘크리트	1.052E-06	0.09
12.0~15.0	콘크리트	7.850E-06	0.6
15.0~18.0	콘크리트	3.348E-05	2.7
18.0~21.0	콘크리트~경암	9.768E-05	8.0
21.0~24.0	경 암	7.355E-05	6.0
24.0~27.0	경 암	6.122E-05	5.0
27.0~30.0	경 암	9.789E-05	8.0

3.2 보수그라우팅

3.2.1 시공방법

본 현장의 누수를 차단하기 위한 보수그라우팅의 시공방법은 그림 5와 같이 맨젯튜브를 삽입한 더블팩커법을 적용하였다.

그림 5에서 첫번째는 시공현장에 가장 가깝고, 전력 및 용수 공급이 원활하며, 배수가 용이한 곳에 플랜트를 설치한다. 두번째는 유압식 보링기를 사용하여 이중관 룯드의 내관으로 천공수를 보내어 계획심도까지 천공하고 공내를 압력수로 청소한다. 세번째는 폴리에틸렌 파이프류인 맨젯튜브를 삽입한 후 seal제 주입하고 맨젯튜브 주변을 충전시켜 토사와 지하수 유입을 차단시킨 후 더블팩커를 설치한다. 네번째는 주입심도와 암질에 따라 과잉주입암이 되지 않는 범위에서 유효압력을 유지하면서 약액을 주입하며, 주입방식은 2중관 주입방식 중 1.0shot방식으로 1step (50cm)씩 상향 주입하였다.

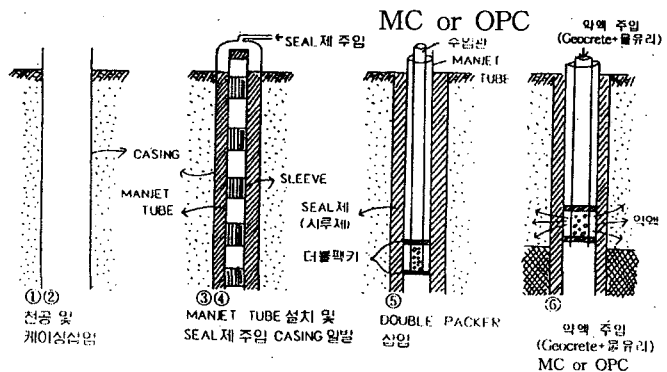


그림 7. 보수그라우팅 시공도

3.2.2 주입재 배합비

시멘트현탁액이 지층중에서 여과되고 남은 시멘트가 공극이나 균열에 충전되어 경화되면서 차수와 지반보강 효과가 발현된다. 한편, 현탁액의 물비가 커지면 충전후 잔여공극이 많아지기 때문에 가급적 물비를 낮추는 것이 유리하지만 물비를 낮추면 점성이 커져서 주입성이 급격히 떨어진다. 따라서 주입성을 떨어뜨리지 않기 위해서 어느정도 물비를 유지하고 화학적인 분산을 유도하는 것이 일반적이다. 본 시험대상 구간은 투수성이 10Lu 이하로 현탁액 입자의 주입이 용이하지 않을 것으로 판단되기 때문에 주입재의 물시멘트비를 「3:1→2:1→1:1→2:1→3:1」 순으로 변화시키면서 시공하였으며 대표적인 표준배합비는 표 4와 같이 하였다.

표 4. 현탁액의 표준배합비

물시멘트비 (중량비)	마이크로시멘트		보통시멘트		비 고
	물(kg)	시멘트(kg)	물(kg)	시멘트(kg)	
1 : 1	747	747	759	759	MC비중 ; 2.95 OPC비중 ; 3.15
2 : 1	855	428	863	432	
3 : 1	898	302	904	302	

3.2.3 주입압력

그라우팅의 압력은 재하하중, 대상지반의 성질, 그라우팅 속도, 그라우트의 지속시간 등에 의해 달리 적용해야 하는데 주입압이 전토포압(r_h)의 1.3~2.4배 이상일 경우 지반파괴를 일으키는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다. 따라서 주입시공시에는 과잉주입압이 되지 않도록 주의하여야 하고, 본 시험현장에서는 주입심도에 따라 표 5와 같이 최대 허용압력을 제한하였으며 현장상태에 따라 조정하였다.

표 5. 심도에 따른 최대 허용주입압

심도(m)	최대 허용압력(kg/cm ²)
0~5	5
5~10	10
10~15	15
15~20	20
20~25	25
25이상	25

3.3 주입효과 확인

주입효과의 확인 방법으로는 주입후의 ①주입전·후의 Lugeon Test, ②Borehole Image Processing에 의한 시멘트 주입상태 확인을 통해서 마이크로시멘트와 보통시멘트의 주입효과를 비교하였다.

3.3.1 Lugeon Test

시공구간에 대한 그라우팅후 차수효과를 확인하기 위하여 실시한 수압시험 결과, Lu치는 0.1~0.9로서 누수부에 대한 그라우팅 주입효과는 양호한 것으로 나타나고 있으며, 블럭별 시공전 루전치와 시공후 루전치를 비교하면 다음 표 6과 같다.

표 6. 시공전·후 Lugeon Test 결과

Block No.	굴진심도(m)	시공전 주요누수구간	시공전 Lu치	시공후 Lu치
7	33	18~33m	5~9	0.1~0.2
9	33	6~12m, 19~33m	4~41	0.4~0.9
10	30	18~30m	5~8	0.1~0.9
11	47	24m 하부	6~9	0.2~0.3

한편, 주입재종류별 주입효과 비교검토를 위해서 시험 주입한 BL-10구간에 대한 주입심도별로 주입량을 비교하면 표 7과 같다.

표 7. 구간별 주입재별 주입량

(단위 : kg)

심도 (m)	BL-10 ; 마이크로시멘트					BL-10 ; 보통시멘트				
	M1	M2	M3	M4	계(%)	P1	P2	P3	P4	계
0~5	160	160	160	120	600(4)	120	80	80	200	480(5)
5~10	240	360	280	80	960(7)	280	160	200	280	920(9)
10~15	680	480	560	200	1,920(15)	400	200	200	360	1,160(11)
15~20	760	680	760	280	2,480(19)	360	280	400	560	1,600(15)
20~25	1,120	1,180	1,200	560	4,060(31)	1,120	900	400	1,020	3,440(34)
25~30	1,100	760	820	480	3,160(24)	680	440	780	760	2,660(26)
계	4,060	3,620	3,780	1,720	13,180(100)	2,960	2,060	2,060	3,180	10,260(100)

표 7로부터 콘크리트와 기반암 경계부인 20~25m 구간에서 주입량이 전체의 30%이상, 기반암 구간인 25~30m 구간에서 약 25% 내외의 주입량을 보이고 있다. 또한 주입재별 주입량을 비교해 볼 때 전체적으로 마이크로시멘트가 보통시멘트 주입량의 128%가 주입되었다. 이를 지층별로 세분하면 댐체 콘크리트 하부 균열 분포구간의 주입량은 마이크로시멘트가 보통시멘트보다 약 155~165% 정도 많이 주입되었으며 댐체와 암반 접합부 누수구간이나 암반부에서는 마이크로시멘트가 약 118%정도 추가 주입된 상태로 본 시험구간과 같이 미세절리나 미세균열이 발달한 지반조건에서 마이크로시멘트의 확산범위는 보통시멘트보다 효과적인 것으로 나타나고 있다. 또한 시험구간에서 주입 후 수압시험을 통하여 나타난 결과를 구간별로 정리하면 표 8과 같다.

상부부터 15m까지는 1 Lu이하로 불투수층이었으며 보통시멘트 주입 후 개량된 암반의 투수정도는 0.1~1.0 Lugeon 정도이었고 마이크로시멘트로 개량된 암반의 투수정도는 0.02~0.4 Lugeon 으로 나타났다. 즉, 마이크로시멘트가 보통시멘트의 주입 성과보다 약 25%~40% 정도 수밀하게 나타났다. 따라서 본 보수그라우팅 결과를 요약해 볼 때 미세균열이 발달한 콘크리트 댐체나 미세절리가 분포하는 암반에서는 보통시멘트보다 마이크로시멘트의 주입효과가 우수하며 또한 시공후 수압시험 결과를 비교해 볼 때 주입재의 간극내 흡착 수밀도도 마이크로시멘트가 우세한 결과를 보이고 있다.

표 8. 주입효과 확인 수압시험 결과.

주입심도(m)	시공전 Lu	시공후 Lu	
		보통시멘트	마이크로시멘트
0~3	-	-	-
3~6	-	-	-
6~9	-	-	-
9~12	0.086	0.038	0.020
12~15	0.641	0.157	0.031
15~18	2.734	0.099	0.155
18~21	7.976	0.170	0.253
21~24	6.006	0.630	0.380
24~27	4.999	0.739	0.220
27~30	7.994	0.944	0.361

3.3.2 Borehole Image Processing

Lugeon Test와 같은 결론은 주입량에 대한 borehole image processing 결과를 등주입량선으로 표시한 그림 6, 7에서도 확인할 수 있었다. BL-10은 좌·우 폭이 16m, 주입공 간격이 2m로서 지층내부의 균열 및 공극에 충분히 주입되었다고 가정하고 주입된 시멘트량을 등고선으로 표현한 것이다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 마이크로시멘트는 주입심도 18m이하의 콘크리트층에도 상당히 많은 시멘트가 주입된 것으로 판독된다. 즉, 미세균열이 많이 발달된 지층에서는 마이크로시멘트를 사용함으로써 충분히 많이 주입할 수 있다고 판단된다. 반면, 균열 또는 공극이 많이 발달된 20m 이하의 지층에서는 마이크로시멘트와 보통시멘트의 주입량에 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

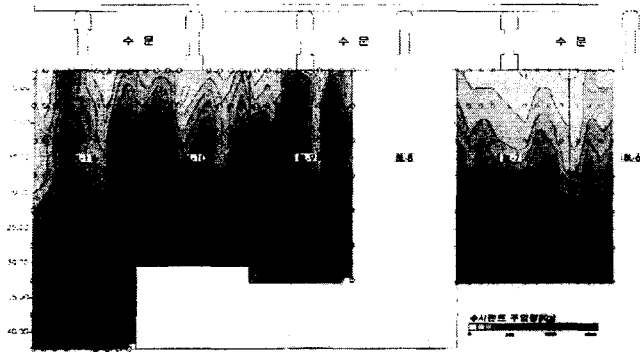


그림 6. BIPS를 이용한 주입량 등고선도

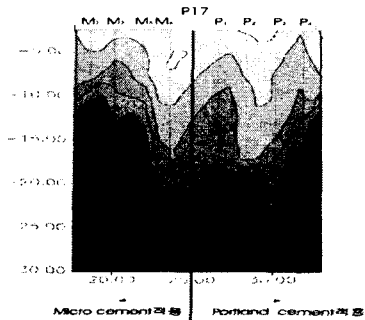


그림 7. BL-10의 등주입량 상세도

4. 결론

○○지역 콘크리트댐 기초의 누수를 차단하기 위한 보수그라우팅의 일부구간에서 마이크로시멘트와 보통시멘트를 적용하여 주입량 및 효과를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 주입심도 30m중에서 댐체인 콘크리트와 기반암의 연결부분인 심도 20~25m부근에서 전체주입량의 약 30%가 주입된 것으로 볼 때, 예상대로 댐체와 기반암의 연결부분에 취약한 공동이 많이 발달되어 있는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 주입효과를 평가하기 위해서 Lugeon Test와 BIPS를 이용한 결과 상호 보완적인 역할을 할 수 있음을 확인하였다. 즉, Lugeon Test는 정량적인 평가만 할 수 있는 반면에 BIPS는 정량적인 것과 정성적인 판단을 동시에 할 수 있기 때문에 경향성을 효과적으로 비교할 수 있었다.
- 3) Lugeon Test와 BIPS를 이용해서 주입재 종류별로 주입효과를 비교한 결과 미세한 균열이나 공극이 많은 지층에서는 침투성이 좋은 마이크로시멘트의 주입효과가 좋은 것으로 판단되며, 균열 또는 공극이 비교적 큰 지층에서는 마이크로시멘트를 사용하든 보통시멘트를 사용하든 큰 차이가 없는 것으로 판독되었다.

참고 문헌

- 1) 천병식(1998) ; “최신 지반주입 -이론과 실제-”, 원기술, pp. 69~147
- 2) 김진춘(1999) ; “지반개량용 초미립자시멘트의 주입특성에 관한 연구”, 한양대학교, 박사학위논문, pp. 1~3
- 3) 김여택(1995) ; “한국의 댐”, 대한토목학회, 연재기사(1월~12월)
- 4) 시설안전관리공단(1997) ; “댐안전을 위한 보수대책의 체계화 연구”, 연구보고서 HS-97-R5-001, pp. 17~41/87-90
- 5) 한국수자원공사(2000. 2) ; “우리나라의 수자원의 전망”, <http://www.kowaco.or.kr>
- 6) 임종석 외 4인(1996) ; “지반공학용어사전”, 도서출판엔지니어즈, pp. 210, 365
- 7) 김주범(1979) ; “댐의 누수원인과 처리”, 제 2회 댐건설 및 관리기술 세미나 논문집, 국제대담회의 한국위원회, pp. 39~45
- 8) 쌍용양회공업(주) 중앙연구소(1999) ; “암반기초 주입공사를 위한 마이크로시멘트 현장적용”, 보고서
- 9) C.V.J. Varma, A.R.G. Rao(1997) ; “Dam Safety Evaluation”, 2nd International Conference Proceeding, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 3~8