

OC1 제주도 지하수의 오염저감기술에 관한 연구

고 건*, 양성기¹, 김봉상²

제주대학교, ¹토목해양공학과, ²(주)진산

1. 서 론

오늘날 산업구조의 발달과 인구의 증가, 농경지의 확대와 지하수의 무분별한 개발 및 과잉양수 등으로 다가오는 미래에 언제 닥쳐올지 모르는 물 부족현상과 지하수 오염 등에 보다 효과적으로 대처할 수 있는 방안들이 요구되고 있는 실정이다. 특히, 수량 확보 보다는 수질보호에 더 관심을 갖게 되면서 오염원이 배출되는 지점의 시설에 대한 규제도 중요하지만 취수정 자체에서 양질의 물을 취수해야함은 물론, 지표의 오염물질이 유입되어 대수층으로 연결되게 하는 굴착공 자체가 오염통로의 역할을 할 가능성이 있으므로 굴착관정에 대한 오염방지시설의 관리가 더욱 중요시되고 있다.

제주도는 지형지질의 특성상 지층의 투수성이 크고, 지표수의 발달이 미약하여 1970년대 초까지만 하더라도 물이 귀한 지역으로 인식되었으나, 그 이후부터 본격적으로 지하수가 개발되기 시작하여 제주도의 주 수자원으로서 자리매김하게 되었다. 따라서 지하수의 부존량이 많고 지하수를 가장 많이 사용하고 있는 제주도는 지하수를 보다 효율적이고 안전하게 이용할 수 있는 방법을 모색하여야 하겠다.

또한, 제주도 지역은 육지부의 충적층 및 화강암 지대 지하수를 기준으로 제시된 기존의 그라우팅 공법을 그대로 적용시키는 것은 무리가 따른다. 제주도의 지질은 대수층·저투수층이 반복적으로 분포될 뿐만 아니라, 공동구조 및 수많은 균열·절리를 포함한 제주도 화산지질구조에 적합한 오염방지시설의 공법을 연구·검토해야 할 필요성이 있다.

제주도는 화산지질의 특성상 투수성이 큰 지질구조를 하고 있어 오염물질이 지하에 유입하기 쉬운 조건이다. 지하수 개발 시 지표 및 지하오염물질의 유입 방지시설 미비와 기존 개발된 관정의 관리 소홀, 폐공의 방치 등으로 인해 지표로부터 오염 물질이 침투되기 쉬운 취약성이 있다. 이로 인해 지하부에 유동되고 있는 지하수는 동수구배를 따라 지하수를 급속히 오염시키고 있는 실정이다. 따라서, 지하수 굴착공의 오염방지 시설은 상부 보호공의 처리는 물론, 공별 공벽과 케이싱 사이를 통해 쉽게 오염물질이 유입되므로 이들 구간에 그라우팅을 실시하는 것이 오염물질 유입을 차단시키는 근본적인 방법이라 할 수 있다. 이들 오염방지 그라우팅의 공법은 댐·저수지·교량·건축물 등의 구조물에 적용되는 일반적인 보강 및 차수그라우팅의 등의 다양한 공법 중에서 극히 한정된 일부분에 해당되며, 지하수법상에 규정되고 있는 오염방지에 관한 그라우팅 공법 또한 가장 일반적인 공법에만 한정적으로 제시하고 있을 뿐이다.

제주도의 지하수 오염방지 시설에 사용되고 있는 기존 방법들의 문제점을 분석·검토하고, 지하수 개발과정에서 공벽 및 케이싱 주변으로 생기는 2차적인 오염경로를 차단시

키기 위한 지하수 오염방지 방법에 관하여 조사하였다. 이러한 연구·조사의 결과를 활용하여 제주도 지질조건에 적합한 지하수 오염방지 그라우팅 방법을 제시하고자 한다. 또한 오염방지를 위한 적절한 그라우팅의 시공 방법을 제시함으로써 오염원을 지표로부터 차단하거나, 오염물질의 유입을 최소화 또는 수질오염을 최대한으로 저감시키는 방안을 제시하여 지하수 자원을 안전하게 보호하는데 그 목적이 있다

2. 연구내용

투수성이 좋은 제주도 지역은 육지부의 충적층 및 화강암 지대 지하수를 기준으로 제시된 기존의 지하수 오염방지공법(그라우팅 공법)을 그대로 적용시키는 것은 무리가 따른다. 제주도의 지질은 대수층·저투수층이 반복적으로 분포될 뿐만 아니라, 공동구조 및 수많은 균열·절리를 포함한 제주도 화산지질구조에 적합한 오염방지시설의 공법을 연구한 내용은 다음과 같다,

제주도 지하수의 수리수문학적 특성을 파악하기 위하여 일반적인 지질구조의 특성과 부존특성을 조사하고, 제주도의 수자원 및 지하수의 개발과 이용의 현황을 연구하였다. 또한, 제주도 지하수의 오염방지공법을 검토하기 위하여 그라우팅의 정의와 입지조건에 대한 항목과 공법에 따른 그라우팅의 분류를 주입그라우팅 공법에 따라 실시하였다. 또한 그라우팅시의 주입재와 시공기계의 선정 시 각종 장비들의 특성을 파악하고 그라우팅의 시공공정을 조사하고, 다음으로 그라우팅의 설계방법과 시공법에 의한 오염방지 규정을 검토하였다.

우리나라 지하수법에 의한 오염방지 관련 규정을 조사하기 위하여 건설교통부와 의 지하수법과 제주국제자유도시특별법에 의한 지하수법을 검토하였다. 이들 규정에 근거하여 시공시의 문제점을 파악하기 위하여 실제 6개 지점의 제주도내에서 시공현장에서 오염방지공법의 시공현황과 문제점을 파악하여 그 개선 방안을 도출하였다

3. 결과 및 고찰

수차례의 화산분출에 의해 형성된 제주도의 지층분포는 오염에 취약한 투수성지질구조가 많이 분포되고 있으며, 지하수개발·이용을 위해 굴착된 지하 심부에서도 암층 경계면의 클린커 구조, 균열 및 절리, 용암터널 등 오염경로 역할을 하는 구조들이 다수 형성되고 있다. 이런 지질구조로 인해 지표상부 또는 굴착공벽과 케이싱 사이에 오염방지 그라우팅 시설이 절실히 요구되는 것은 물론이며, 투수성이 매우 양호한 지질구조 및 균열·절리 구간을 통해 파쇄 된 부분의 그라우팅은 시공 상에 많은 어려움이 따르고 있다.

지하수 오염방지 그라우팅에 관한 기존 자료 및 실제 시공 예를 바탕으로 연구·조사한 결과, 제주도 지하수에 적합한 오염방지 시공 방법을 다음과 같이 제시할 수 있다.

그라우팅 대상구간 하단부까지 주입 파이프를 삽입하여 파이프 내로 그라우트재를 주입시켜 하부에서부터 상향식으로 압력이 주입되게 해야 한다. 본 공법은 기 적용되고 있지만, 제주도의 경우는 균열·절리 구간 및 스코리아층, 클린커층 등의 파쇄대 구간에서

낙석 될 가능성이 많으므로 상부에서 투하시키는 채움 공법은 반드시 피해야 하므로 상향식공법(트레미 방법)의 필요성이 크다고 할 수 있다. 따라서 주변공간 그라우팅시 트레미 방법을 엄격히 적용하여 시공토록 현장의 지도와 감독을 강화할 필요성이 있다.

지하심부에도 공동구간 및 대규모 균열·절리구간을 포함하고 있으므로, 투수계수가 높아 이들 구간에서 주입량이 과대하게 주입될 경우 주변으로 침투 된 그라우트재가 하부의 대수층을 차단시키는 결과를 초래할 우려가 있다. 따라서, 공 상태에 따라 지하수 법상에 제시되고 있는 물 : 시멘트 중량비 = 1:2보다는 물의 양을 감소시키고, 그라우트재의 입도가 큰 것을 혼합시켜 그라우팅을 실시해야 한다.

균열 및 절리가 발달되고, 연·경이 교호될 뿐만 아니라 화산쇄설층 등의 미고결층 및 암반층이 교호되는 제주도 지질특성상 지하심부로 굴착할 경우 공극현상이 생길 가능성이 크며, 이에 따라 공 내에 설치된 케이싱이 치우쳐 공벽에 닿게 되는 현상이 발생되어 그라우팅을 실시하더라도 일정두께를 유지하기 어렵다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 그라우팅 시공 시 1차적으로는 내부 케이싱 설치 시공 중심에 설치되기 위한 centralizer를 케이싱에 부착시켜야 하고, 2차적으로는 그라우팅 두께를 두껍게 해야 한다. 따라서 채움그라우팅 구간을 재천공시 굴착장비의 오차나 개발관정의 현장 환경요소에 의해 수직으로 천공되지 않을 경우에 대비하여 현행 지하수법상의 규정인 채움그라우팅 7cm이상과 주변공간그라우팅 5cm이상을 각각 10cm이상과 7cm이상으로 더욱 강화할 필요성이 있다.

주입재의 과대 투입 및 필요이상 구간의 그라우팅 방지, 또한 공동구간의 차단을 용이하게 하기 위하여 주입재의 유동성 있는 선정이 필요하며, 이를 위해서는 무엇보다도 공벽상태를 확인해야 한다. 굴착공 상태를 정확히 확인하는 방법으로는 CCTV 검층을 통해서이며, 공동구간이 형성되거나 Hole이 붕괴되기 쉬운 제주도 지역에서는 그라우팅 시공 작업에 필수 요건으로 CCTV 검층을 실시하여야 할 것이다.

지하수 오염방지 시설의 시공은 오염물질의 유입을 차단시키는 것이 목적이며, 또한 이용대상이 되는 대수층 구간을 보호해야하는 것은 근본적인 문제이다. 따라서, 제주도의 그라우팅은 굴착공 상태에 따라 주입재의 선정 및 주입방법에서 어느 정도 유동적인 요소를 가질 수는 있다. 그러므로 지하수 개발현장에서 오염방지시설을 더욱 철저히 준수하도록 지도·감독할 필요성이 있다.

참 고 문 헌

건설교통부, 1999, 지하수 업무수행 지침서, 240~245p.

건설교통부, 1999, 지하수법령집, 133pp.

고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위논문, 325pp.

과학기술, 1995, 지하수 개발과 환경대책 총기술, 820~858p.

농어촌진흥공사, 1994, 토목지질실무지침서, 293pp.

농어촌진흥공사, 1997, 직무교육교재, 412pp.

- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 해양연구소논문집, 161~163p.
- 북제주군, 2002, 월림지구 발기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 119pp.
- 북제주군, 2002, 북촌2지구 발기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 117pp.
- 북제주군, 2002, 한원지구 발기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 125pp.
- 북제주군, 2002, 월림지구 농촌농업·생활용수사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 125pp.
- 서귀포시, 2002, 월평1지구 발기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 109pp.
- 송시대·고기원·윤선, 1996, 제주도 지하수의 함양과 오염에 미치는 습곡구조와 꽃자왈 지대에 관한 연구, 대한지하수환경학회 학술발표회논문집 68~69p.
- 일본 연약지반 대책 기술위원회, 1995, 토목건축시공자를 위한 실용연약지반대책공법 총 기술, 동화출판, 809pp.
- 토목공법연구회, 1996, 지반개량공법(조사·설계·시공), 창우출판, 257~258p.
- 토목공법연구회, 1995, 연약지반대책공법(조사·설계·시공), 창우출판, 243~244p.
- 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 588pp.
- 96응용지질 WORK SHOP, 1996, 대한지질공학회, 120pp.