

지하수의 개발과 보전의 문제점 사례

배 상 근*

1. 서 론

산업의 발달과 더불어 물 수요가 급증하고 있으며 계절적으로 편기된 강우분포, 급한 하상경사, 노출된 기반암, 편협한 대수층의 발달 등의 요인으로 국지적이고 한시적 이기는 하나 물 부족현상이 나타나고 있다. 지하수는 물공급에 있어서 안정된 성격을 가지며 질 또한 양질이어서 지하수 개발의 효용성이 크며, 증가하는 물의 수요에 대처하기 위한 방안으로 지하수개발이 필요하다. 지하수의 개발에 대한 필요성에 따라 우리나라에서는 지하수개발량이 계속 증가하고 있으며 1994년에 637,000 개소의 우물에서 25.7억 m³의 지하수를 양수하였다. 이 양은 우리나라의 총 수자원 이용량에 비하면 적은 양이나, 지하수 양수 우물의 밀도와 사용량이 특정지역에 밀집되어 있을 때에는 지하수 문제가 발생할 수 있다.

실제로 여러지역에서 대규모 양수가 이루어지고 있고, 곳에 따라 지하수 개발에 따른 재해가 발생하고 있으며 장래에는 지하수 사용의 증가로 더 많은 지하수 재해가 발생할 수도 있을 것이다.

지하수의 유동은 대단히 느리기 때문에 지하수재해의 영향이 장기간 지속되어 회복하는데 많은 시간을 필요로 한다. 따라서 지하수재해가 발생하면 그에 대한 피해 정도가 클 뿐 아니라 환경에 미치

는 영향이 오래 지속되며 회복을 위하여 막대한 비용이 필요하나 많은 경비를 투입하더라도 완전한 회복은 거의 불가능하기 때문에 지하수문제가 발생되지 않게 미연에 예방하는 것이 가장 중요하다.

본 고에서는 우리나라, 일본 및 미국의 이미 발생하였던 지하수 개발과 보존의 문제점의 사례를 살펴 봄으로써 잘못된 지하수의 개발과 보존으로 인하여 앞으로 발생 할지도 모를 지하수 재해에 대하여 경각심을 고취시켜 이에 대비코자 한다.

2. 지하수위 저하

2.1 우리나라의 예

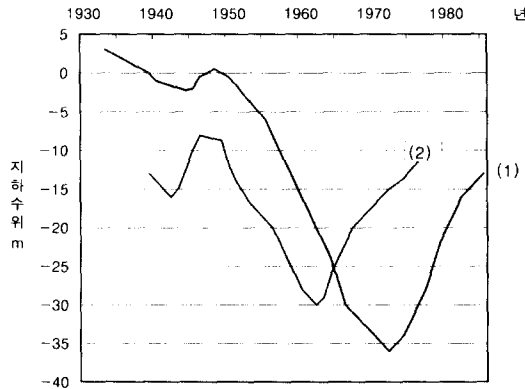
경남 창녕군 부곡면의 부곡온천 지역에서는 지하수 과잉양수로 인하여 1982~1987년까지 5년 동안에 지하수위가 145m 하강하였으며, 1988년에는 연간 134만m³의 지하수를 양수하였고 이로 인해 1989년에는 전년에 비해 지하수위가 17.8m 하강하였다. 1991년 5월 경기도 포천군 내촌면에서는 생수개발업체의 지하수 과잉양수로 지하수위가 저하하여 과수원의 사과나무 1,720그루가 고사하였다. 충북 청원군 미원면 지역은 먹는 샘물의 무분별한 지하수 개발로 상수원인 계곡물이 고갈되었다(건교부, 1996; 건기연, 1995). 경북 청송군 현서면 고평마을 등 5개 마을에서는 1991년부터 시행되고 있는 수자원공사의 지하도수로공사 때문에 지

* 계명대학교 공과대학 토목공학과 교수

하수와 하천수가 고갈되어 수백 ha의 과수원이 피해를 입고 있는 의혹이 있다(매일신문, 1996).

2.2 일본의 예

그림 1은 東京都 文京區에 있는 東京大學의 깊이 380m인 관측정과 大阪市 西區에 있는 관측정의 수위의 경년변화를 나타내고 있다. 본 그림으로부터 지하수 양수와 지하수위와의 관계를 알 수 있다.



- (1) 東京大學 深井戸(深度 380m)
- (2) 大阪市 西區 觀測井
 - 동경대학 구내우물의 지하수위는 표고를 기준으로 한 깊이
 - 대판시관측정의 지하수위는 우물뚜껑으로부터의 깊이

그림 1. 日本 東京都와 大阪市の 관측정의 지하수위 변동

일본에서는 1920년대 후반부터 제 2차 세계대전까지 경제발전에 따른 지하수 이용이 증가함에 따라 지하수위는 저하하게 된다. 전쟁 중의 폭격으로 인한 생산시설의 파괴와 전쟁직후에는 일본의 패전으로 말미암아 생산활동이 정체하게 되어 지하수위는 일시적으로 상승한다. 그 후 급속한 경제부흥기를 맞게되며 지하수이용의 급증으로 지하수위가 급격히 저하한다. 지하수위 저하에 따른 각종재해가 발생하여 이에 대한 대책으로 표 1에서와 같이 지하수 이용에 관한 여러 가지 법령이 제정되어

표 1. 일본의 지반침하 관련년표

년	법률 사건 기타
1915	東京都 江東區에 심정호굴착시작 본지역에 7.5mm/년의 침하발생
1923	東京都 江東區의 이상침하 확인
1928	大阪市에 지반침하 발생
1930-31	東京都 江東區에 15~17cm/년의 극심한 침하발생
1933	大阪市에 이상침하 발견
1934	室戶台風에 의해 大阪市와 東京都의 지반침하지역이 침수, 대 피해발생
1939	지하수위 관측개시
1941-45	제2차 세계대전, 지반침하 일시정지
1950	지반침하 재발
1956	공업용수법 제정
1958	新潟平野에 극심한 지반침하발생
1960	東京都 江東地區에 工業用水道事業개시
1962	建築物用地下水의 採取의 規制에 關한 法律 공업용수법 개정
1964	新潟에 津波로 지반침하지역이 침수, 대 피해발생
1967	공해대책기본법 제정
1971	환경청 설치
1985	지반침하 방지등 대책요강 책정

지하수 양수규제가 실시되며 大阪市の 관측정에서는 1961년부터, 東京都의 관측정에서는 1971년과 1972년경부터 지하수위가 회복하게 된다(權根, 1992 : 植下, 1987).

2.3 미국의 예

지하수위 저하가 가장 심각한 문제로 대두되고 있는 지역은 Texas에서 South Dakota에 걸친 High Plains이다. High Plains는 45만 km²에 달하는 광대한 미 기복지로 지하수의 양수는 1940년경 남부의 Texas와 New Mexico에서 시작되어 1950년대에는 중부, 1960년대에는 북부로 확대되어 갔다. 1980년에는 17만 개소의 우물에서 222억 m³의 지하수를 양수하여 5.3만 km²의 밭에 관개하였다(Heimes 와 Luckey, 1983). 따라서 1945년 이후에 급격한 양수량의 증가는 급격한 지하수위의 저하를 초래하였다. 3cm이상 지하수위가 저하한 지역은 13만 km² 이상에 달하고 있다. Kansas주, New Mexico와 Oklahoma주의 일부에서는 30m 이상의 지하수위 저하가 나타났고 Texas에서는 60m의 지하수위 저하가 발생한 지역이 있다.

특집 : 지하수의 개발과 보전

이와같이 지하수위가 저하함에 따라 양수량이 감소되고 양수비용이 증가하게 되어 Texas주와 New Mexico주 등에서는 농사를 포기하는 농민이 속출하여 많은 농지가 버려지게 되었다. 사용하지 않는 토지는 황폐화되고 따라서 사막화의 가능성에 대한 우려도 있다. 이와같은 관개농업을 위한 지하수 양수에 의한 지하수위 저하 뿐만아니라 생활용수를 위한 지하수 양수도 인구의 증가에 따라 과잉양수를 초래하여 Arizona주의 Tucson과 Phenix 주변에서는 120m 이상 지하수위가 저하 하였으며, 그 밖의 지역에서도 30m 이상의 저하를 나타내었다.

3. 지하수 오염

3.1 우리나라의 예

제주도 동부 해안지역은 지하수 과잉양수로 인하여 해안에서 6km 내륙까지 염수침입이 일어나고 해안에서 1km 지점까지의 염도는 1000ppm 이상을 나타내었다. 충북 보은군 회남면 폐광지역에서 11년간 지하수를 식수로 사용한 주민 41명 중 27명이 이따이 이따이병 증세를 보였다. 서울시내 399개 약수터에 대한 수질검사 결과 15.5%인 66개소가 음용기준에 부적합하였다. 부산시 남구 대연 2동에 위치하는 천지산 체육공원의 지하수를 마신 주민 15명이 장티푸스증세를 보였다. 경기도 한탄강 유역내 550여 폐수배출업소로부터 무단 방류된 폐수에 의하여 회천읍 봉양리 지역의 지하수에 폐유가 함유된 것이 발견 되었다. 고농도 화공약품과 유류가 운반도중 교통사고로 연평균 60건인 90만 l 가 누출되는 것으로 추정되며, 이로 인하여 토양과 지하수가 오염되고 있다. 서울 난지도 등의 쓰레기 매립장에서 발생하는 침출수로 인하여 주변 지하수가 오염되고 있다. 1988년 경기도 시흥시 소래지역 공동주택 단지에서 오염된 지하수를 음용수로 사용하여 주민복통이 발생하였다.

1993년도에 260개 지역 774개 지점에 대한 지하수수질 조사결과 조사대상의 17%인 132개 지점에서 음용수수질기준을 초과하였다. 1994년도에

실시한 770개지점에 대한 조사결과는 조사대상의 13%인 99개 지점의 지하수수질이 음용수수질기준을 초과하였다. 1995년도에는 1546개 지점의 지하수수질을 조사하였으며 그 중 10.1%인 156개지점의 지하수가 지하수수질기준을 초과하여 많은 지역에서 지하수가 오염되어 있음을 나타내었다. 조사결과를 보면 도시 및 농촌지역의 지하수에서는 질산성질소가 높게 나타났으며 공단지역에서는 질산성질소는 물론 트리클로로에틸렌 등의 특정유해물질도 검출되었으며 서울, 부산, 대구 등 대도시에서는 지하수오염이 진행되고 있다(환경청, 1994-1996).

3.2 일본의 예

표 2에는 일본의 지하수 오염 사례와 지하수오

표 2. 일본의 지하수오염 관련년표

년	법령종류	사건기타
1948	農藥取締法 水質汚濁防止小委員會(資源調査會)	
1951	水産資源保護法	
1953		水俣病
1955		이따이이따이病, 水稻普及率上昇
1957	水道法	
1958	下水道法·工場排水の規制에 關한 法律 工業用水域의 水質의 保到에 關한 法律	本州製紙江戸川事件 渡良瀬川鐵毒事件
1959	트리클로로에틸렌生産急增	
1964	毒物 및 劇藥取締法 改正	
1965		테트라클로로에틸렌 生産增加, 洗濯業急增
1966	水道水の 水質基準改正	
1967	公害對策基本法	
1969	파라치온, 메틸파라치온, TEPP 使用禁止	
1970	水質汚濁防止法·廢棄物の 處理 및 清掃에 關한 法律 農用地的 土壤의 汚染防止 等に 關한 法律	
1971	DDT, BHC 使用禁止	
1973	化學物質의 審査 및 製造 等の 規制에 關한 法律	
1974	水質基準에 水銀, 카드뮴 追加	
1975		地盤凝固劑 問題化 6가크롬 汚染表面化
1982		트리클로로3物質問題化
1983	淨化槽法	
1984	트리클로로에틸렌 等の 水道水暫定水質基準	
1986	化學物質의 審査 및 製造 等の 規制에 關한 法律改正	
1987	公害防止協定	
1989	水質汚濁防止法 改正	

지하수의 개발과 보전의 문제점 사례

표 3. 일본의 오염물질과 오염원에 의한 지하수 오염사례

1937			大牟田市(赤痢)	
1941	立川市			
1947		立川市(가솔린 1947~1958)		
1953			茂原市(윌스)	
1954			愛媛縣(赤痢)	
1956				焼津市(파라치온)
1957		福岡縣(4에틸鉛)		豊田市(파라치온) 靜岡縣(파라치온)
1958				清水市 (사탕, 파라치온)
1959	武雄市			
1960			靜岡市(赤痢)	
1961	川越市·勝田市	桶川市(4에틸鉛)	伊予市(赤痢)	
1963	大宮市			
1964	上尾市			藤枝市(파라치온)
1965	埼玉縣		札幌市	
1966			東村山市(赤痢)	福岡縣 (클로로피크린)
1967	諫早市	昭島市(게로신) 冲繩縣(燃料)	茨城縣(A型肝炎)	
1968	山形市			福岡市 (클로로피크린) 甘木市 (클로로피크린)
1969	江南市		福岡縣(A型肝炎)	福岡縣(農藥名種)
1970	名古屋市·岡谷市 入王子市·東京都 横滨市			宮崎縣(農藥名種)
1971	東京都	福岡縣(石油) 岐阜縣(가솔린)		冲繩縣(PCP) 直方市 (鹽酸나트륨)
1972	足利市·甲府市 久留米市	館林市(가솔린)		
1973	千葉市·東京都	野田市(가솔린) 立川市(JP4) 大宮市(重油) 野田市(重油)		
1974	小山市	勝浦市(灯油) 福岡市(重油)		宮崎縣(EDB)
1976	華津市·松戸市 狛江市		青森縣(A型肝炎)	
1977	川崎市·稻城市		上尾市(A型肝炎) 上福岡市 (急性盲腸炎) 佐賀縣(A型肝炎)	
1978	埼玉縣·入王子市 稻城市	福岡縣(醤油) 福岡縣(燈油)		西都市 (클로로피크린)
1979			北海道登別市 (A型肝炎)	徳島縣(PCP) 掛川市(비제핀)
1980	横滨市			
1981	千葉市·松戸市	仙台市(가솔린)		埼玉縣(BHC 등) 福岡縣 (클로로피크린)
1982	府中市	仙台市(醤油)	和歌山縣(赤痢) 札幌市(細菌)	延岡市(클로로딘)
1983	千葉市·兵庫縣	平戸市(石油)	福岡縣(A型肝炎)	富山縣 (클로로피크린)
1984	知多市·東京都			
1985	豊濱市·三鷹市		熊本縣(細菌)	
1986	熊本市	富山縣(A重油)		
1987	千葉縣			群馬縣(PCNB)
1988				久留米市(農藥)

염과 관련되는 사항을 연도별로 나타내고 있고 표 3은 오염물질과 오염원 관련 지하수 오염사례를 나타낸 것이다.

1950년대 이전까지는 적리를 비롯한 수계전염병에 의한 오염이 주된 것이었다. 수도의 보급에 의하여 수계전염병의 발생은 1970년 이후는 급감하나 A형 간염의 발생이 두드러진다. 1950년대에는 반상균의 문제가 발생하며, 1950~60년대는 공장 배수 등에 의한 수질오염이 심각하게 되며, 제지공장의 폐수에 의한 지하수오염이 두드러진다. 농약 관계의 오염도 많으나 초기에는 우물구조의 결함으로 인한 오염의 경우가 많았다.

1960년대에는 세탁기의 보급과 더불어 합성세제 ABS에 의한 오염예가 보고되기 시작해서, 심층지하수 오염도 보고되고 있다.

1960년대에는 도금관련 지하수 오염이 빈번하여 독물 및 극약취급법의 개정이 이루어 졌으나, 1970년도에 지하수 오염이 다발하게 되며 1975년경 도금관련 지하수 오염이 가장 많이 발생하게 된다. 도금관련 지하수 오염은 최근에도 빈번히 발생되고 있다.

1969년에 파라치온 등이, 1971년에 DDT, BHC가 사용금지됨에 따라 1970년대 전반은 화재나 자동차 사고에 의한 지하수 오염이 많이 발생한다.

오염물질에 의한 지하수 오염은 공장폐수로부터 흘러나오는 중금속류에 의한 것이 가장 많다. 그중 대부분은 도금공장 배수로 인한 6가 크롬으로 1960년대부터 문제가 되기 시작해서 1970년도에는 발생빈도가 높아졌다. 최근에도 도금관련 지하수 오염은 끊이지 않고 있다.

그 다음으로는 연료계의 유기화합물로 가솔린, 증유에 의한 지하수 오염이 많다. 증유에 의한 지하수 오염에 비해서 주유소의 연료탱크로부터의 누출에 의한 지하수 오염사고 레는 비교적 적으나 東京都내의 4329개소의 주유소에 대한 1976년의 소방청의 조사결과에 의하면 전체의 12%의 주유소에서 가솔린의 누출이 확인된 것(太三, 1976)과 미국의 발생상황(田瀬, 1986) 등을 고려하면 주유소로부터의 지하수 오염은 보다 더 심각하다고 여겨진다. 3번째는 적리 등 미생물에 의한 지하수 오염이다. 상수도의 보급과 더불어 수계질환의 발생

특집 : 지하수의 개발과 보전

이 급감하였으나, 근년에는 집단적으로 발생하고 있다.

농약과 제약공장관련의 지하수오염은 대단히 넓은 지역에서 발생하고 있고 지하수 오염사례는 대단히 많다(田口, 1995).

질소비료시비와 가축의 분뇨 기원이 주된 원인인(大橋 등, 1994) 질소에 의한 지하수 오염은 단지 오염 뿐만아니라 음용수기준 이상의 질소를 계속 섭취하면 유아의 경우는 혈행장애와 호흡장애를 일으키며, 성인도 위와 식도암이 발생 할 수 있는(McFarland, 1988)등 생명의 위기에 직면하는 중대한 문제를 야기할 수 있음으로 각별히 유의해야 한다. 그러나 1982년도에 실시한 일본 환경청의 지하수 오염실태조사(環境廳, 1983)에 의하면 천정호의 11%가 질소의 음용수기준을 초과하고 있어(鶴卷, 1992) 심각한 문제를 초래하고 있다. 1983년도에 실시한 조사(環境廳, 1984)에의하면 지하수오염이 전년도 보다 더욱 악화되어 있음을 나타내었다. 早川(1988)에 의하면 전국적인 규모로 농약과 관련해서 지하수가 오염되고 있는 실정이다.

전국 80개소에 염수화가 발생하였다(村下, 1982). 토목공사시에 사용한 지반응고제에 의한 지하수 오염이 여러장소에서 문제가 되었다(田瀬, 1988).

3.3 미국의 예

미국의 이용가능한 천층 지하수의 약 2%가 오염되어 있다고 추정된다(Lehr, 1982). Cohen (1992)은 미국내의 수도수원정 94600개소 중 질소와 농약이 동시에 검출된 우물은 7.1%에 달한다.

표 4에 지하수 오염관련 년표를 나타내었다. 유해 폐기물의 부적절한 관리에 기인하는 지하수 오염이 1970년대에 각지에서 발생되어 지하수오염대책이 환경문제의 가장 중요한 문제의 하나가 되었다. 따라서 1976년에 RCRA와 TSCA 등의 법률이 제정되었다. 그 후 버려지거나 관리하지 않은 유해폐기물 처분장으로 부터의 지하수 오염(Wis-

표 4. 미국의 지하수오염 관련년표

년	법률 사건 기타
1902	Reclamation Act
1947	Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act
1948	Water Pollution Control Act
1954	Atomic Energy Act
1969	National Environmental Policy Act(NEPA) Council on Environmental Quality의 設立
1970	Environmental Protection Agency(EPA)의 設立
1972	Federal Water Pollution Control Act Coastal Zone Management Act Federal Environmental Pesticide Control Act
1974	Marine Protection, Research and Sanctuaries Act Safe Drinking Water Act Hazardous Materials Transportation Act
1976	Resource Conservation and Recovery Act Coastal Zone Management Act Federal Land Policy and Management Act
1977	Toxic Substance Control Act Clean Water Act Surface Mining Control and Reclamation Act
1978	Uranium Mill Tailings Radiation Control Act Water Research and development Act Federal Pesticide Act
1979	Hazardous Liquid Pipeline Safety Act
1980	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
1981	Silicon Valley의 地下水汚染問題
1983	最初の National Priorities List(NPL)에 406地点이 掲載
1984	Office of Ground-Water Protection가 EPA 內에 設立 Hazardous and Solid Waste Amendments Ground-Water Protection Strategy가 發表
1985	Office of Underground Storage Tank가 EPA內에 設立
1986	Superfund Amendments and Reauthorization Act

consin D.N.R, 1986)에 대처하기 위하여 1980년에 유해폐기물 처분장의 정화를 목적으로 한 총액 16억 \$의 신탁기금을 마련하여 수퍼펀드라고하는 CERCLA가 1983년에 직접위험성이 있는 406지점을 NPL로 지정하였다. 1986년 CERCLA를 강화하여 개정된 SARA가 제정되었다(Wisconsin D.N.R, 1989).

1981년 California주의 Silicon Valley에서 대량의 유기용제의 누출이 발생하여 많은 피해를 내었고 커다란 사회문제화 되었으며, 오염된 지하수의 정화에 7000만 \$이 사용되었으며 그 후 토양오염의 처리에만 2000만 \$이 필요하다고 한다. 따라서 현재 지하수 오염문제 중에서 가장 관심이 있는 사항 중의 하나가 지하저장 탱크로 부터의 누출문

제이다. 전국에 150만 이상의 유해 석유화학물질 용의 지하저장 탱크가 이용되고 있으며, 그 중 15~40만 개소에서 누출되고 있다고 여겨지고 있다. 또한 주유소의 지하저장탱크로부터의 누출이 심각한 상황이며, 1984년에 RCRA를 수정한 HSWA가 수립되었다. 겨울에 사용하는 열화물에 기인하는 지하수 오염이 문제가 된다(Wilcox, 1986).

비료, 제초제, 살충제 등에 의한 농업과 관련한 지하수 오염은 매년 급격히 증가하고 있다.

1985년 현재 23개 주에서 17종류의 농약이 지하수에서 검출되어 수 천본의 우물이 폐쇄되는 등 농약에 의한 지하수 오염문제가 점점 심각해져 가고 있다(Krider, 1986).

Wisconsin주에는 1988년 현재 3962개소의 등록된 쓰레기매립장(Wisconsin D.N.R, 1990)이 있다. 이들 중 150여개소의 쓰레기매립장은 지하수오염의 염려가 없이 운영되고 있으나 200여곳의 쓰레기매립장에서는 지하수오염의 우려가 있어 지하수 Monitoring이 필요하다. 700개소 이상의 쓰레기매립장에서는 지하수오염이 시작되고 있다. 방치되고 있는 약 2700개소의 쓰레기매립장에서 흘러나오는 오염물질로 지하수오염이 가속되고 있다. 또한, 지하수오염이 발생된 후에서나 발견되는 몰래 매립한 쓰레기매립장이 무수히 많다(Wisconsin N.R.M, 1989). 본주에는 7700개소에 달하는 많은 지점에서 저류탱크로부터 가솔린 등의 오염물질이 누유되고 있어(Wisconsin D.N.R., 1994) 본주의 지하수 오염대책이 시급한 실정이다(EPA, 1990)

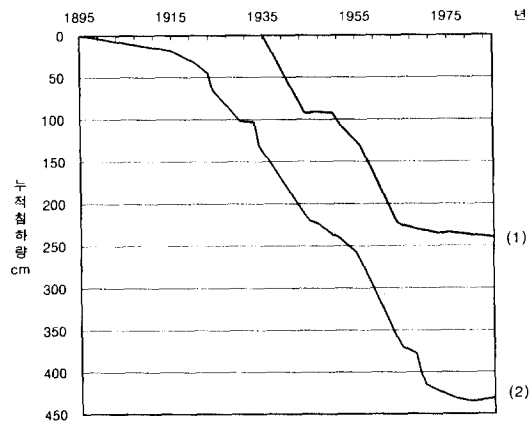
4. 지반침하

4.1 우리나라의 예

경기도 과천시 부림동 주공아파트 7단지에서 지하철공사로 인하여 아파트건물 뒷편의 지반이 10cm정도 침하하였다. 1991년 5월 경기도 포천군 내촌면의 과수원지반이 인근 생수업체의 지하수 과잉양수로 30cm정도 침하되었다.

4.2 일본의 예

일본의 지반침하 문제는 그림 2와 같이 東京都에서 1915년경부터 급격히 일어났다. 지반침하는 지하수양수에 의한 지하수위의 변화곡선과 같은 경향을 가지고 발생되었다. 즉, 제1차세계대전까지의 경제발전기, 1950년대 부터 1960년대에 걸친 경제 부흥기의 지하수개발이 우선된 시기, 1960년대 후반 부터 1970년대는 개발에 의한 지하수문제의 해결책을 모색한 시대, 1980년대 부터는 물환경 개선에 적극적으로 나선 시기등의 시대적 상황에 따라 지반침하량이 변화 하고 이에 대한 정책도 표1에서와 같이 변화였다. 표1에서 처럼 시행한 지반침하 대책에 힘입어 1970년대 부터 그림1에서와 같이 지하수면이 회복하게 되었다. 그러나 침하된 지반의 회복량은 극히 미약함을 나타내고 있다. 資源調査會(1974)에 의하면 1973년의 일본전국의 지반침하 상황은 전국에 걸쳐 분포하는 31개 都·道·府·縣의 46개 지역의 20,000km²에 달하는 지하수역에서 최소 누적침하량 2cm에서 최



(1) 大阪市 西淀川區 大野
(2) 東京都 江東區 龜戸7丁目

그림 2. 日本 東京都와 大阪市の 대표적 누적침하량

대 누적침하량 454cm에 걸쳐 발생되었다. 이로 말미암아 東京都 江東地域の 1961~1970년간의 10년간에 공공부문만의 지반침하대책 관련 경비로써

특집 : 지하수의 개발과 보존

약 740억엔이 지출되었다. 민간부문의 정확한 지출경비내역은 알 수 없으나 이를 합하면 보다 많은 피해 금액이 된다.

한편 1980년도의 지반침하 상황은 35개 都·道·府·縣의 54개 지역에서 발생되었으며 침하지역의 면적이 8580km²에 달하였으며 최대 침하량의 누적치는 동경에서 458cm 였다(資源調査會, 1983). 環境廳(1987)에 의하면 일본전국 47都·道·府·縣 중 36都·道·府·縣에 지반침하지역이 존재한다.

5. 결 론

물순환 과정속에 있는 수자원으로써의 지하수는 수질이 좋고 적은 비용으로 사용할 수 있기 때문에 가능하다면 많은 양을 사용하는 것이 수자원이용 측면에서는 도움이 될 것이다. 지하수를 양수하면 정도의 차이는 있겠으나 자연환경은 반드시 변화한다. 양수에 의하여 변화하는 환경의 정도가 적절한 것일까에 대한 정도의 크기를 정하는 것은 대단히 어렵다. 지하수는 지역적 특성에 많이 영향을 받으며 또한 그 대상이 어떤 문제에 대처하기 위한 것인가에 따라서도 다르기 때문에 일괄적으로 어떤량을 규정하는데는 무리가 많다. 그러나 일정규모 이상의 양수 즉, 과잉양수를 하게되면 지하수면의 저하가 크게되고 이로 말미암아 각종재해가 발생하게 되며 발생한 영향은 오래 지속된다. 또한 지하수보존의 잘못으로 지하수가 오염되면 그 피해는 돌이킬수 없게 된다. 이런 피해를 막기 위해서는 학자들의 노력과 법제도의 뒷바침 뿐만 아니라 지역주민의 지하수에 대한 인식 전환이 대단히 중요하다.

지금까지는 지하수개발에만 관심이 높아 개발에 의하여 초래되는 문제에 대해서는 고려를 소홀히 하였다. 지하수 개발과 보존의 문제점에 대하여 우리나라, 일본 및 미국에서 당면한 사례를 개략적으로 들었다. 일본과 미국은 몇 십년 전부터 지하수 환경의 파괴 때문에 발생한 제반문제가 해결해야할 당면한 대단히 중요한 관심사로 되어있으며, 막대한 예산을 들여 이에 대처하려고 노력하고 있으나 지역에 따라서는 지하수환경의 뚜렷한 개선이 나타

나지 않는 어려움에 직면하고 있다. 다행히도 우리나라의 지하수 문제는 이들 나라와 같이 심각하지는 않으나 수자원량은 제한 되어 있는 반면 용수 수요가 증가하고 있기 때문에 지하수개발에 대한 수요도 계속 증가할 것으로 여겨지며 따라서 지하수 문제가 보다 많이 증가할 잠재적 가능성이 높다. 지금부터 지하수문제에 대한 대책을 수립하여 일본과 미국이 겪은 것과 같은 지하수재해에 대한 경험을 하지 않도록 해야 한다. 지하수개발과 보존의 문제에 적절히 대처하기 위해서는 지표수와 지하수를 함께 고려한 수자원 종합계획을 수립하여야 한다. 합리적으로 수립된 수자원 종합계획이 법적인 뒷받침과 국민의 이해속에 원활히 수행되어 수자원의 개발과 보존이 이루어져야 한다. 외국의 사례를 거울삼아 지하수의 적절한 개발과 보존을 통하여 깨끗하고 풍부한 지하수를 후세에 물려줄 수 있도록 하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(1996). 참고자료.
- 매일신문(1996). 임하-영천댐 수로공사로 하천고갈, 5월 17일 자료.
- 한국건설기술연구원(1995). 참고자료.
- 환경처(1994). 환경백서.
- 환경처(1995). 환경백서.
- 환경처(1996). 환경백서.
- 大橋真人, 田瀬則雄, 檜山哲哉, 鈴木裕一(1994). “那須野原における地下水中の硝酸イオン濃度時空間變動について”. *ハイドロロジー*, 第24卷, pp. 221-232.
- 植下協(1987). “地盤沈下(1)”. *地下水學會誌*, 第29卷, 第4號, pp. 183-192.
- 梶根勇(1987). *地下水の世界*. 日本放送出版協會.
- 環境廳(1983). 昭和57年度地下水汚染實態調査結果.
- 環境廳(1984). 昭和58年度地下水汚染實態調査結果.
- 環境廳(1987). 環境白書.
- 田口雄作(1995). “窒素による地下水汚と水文學の課題”. *ハイドロロジー*, 第25卷, 2號, pp. 51-56.

- 田瀬則雄(1986). “アメリカの地下水問題(1)(2)”. 日本地下水學會會誌, 第28卷, pp. 43-52, pp. 79-88.
- 田瀬則雄(1987). “日本における地下水汚染の發生事例”. 日本水文科學會第1回秋季學術大會予稿集. pp. 42-43.
- 田瀬則雄(1988). “日本における地下水汚染の發生狀況”. ハイドロロジ- , 第18卷, 1號, pp. 1-13. 42-43.
- 鶴巻道二(1992). “淺層地下水の硝酸態窒素”. 地下水學會誌, 第34卷, pp. 153-162.
- 資源調査會(1974). 地下水の保全・使用に関する調査報告, 科學技術廳.
- 資源調査會(1983). 地下水の保全・使用に関する第2次調査報告, 科學技術廳.
- 早川哲夫(1988). “地下水質保全行政の現状と今後の動向”. かんきょう, 第13卷, 第2號, pp. 8-12.
- 村下敏夫(1982). “本邦における地下水の鹽水化”. 地質調査所月報, 第33卷, pp. 479-530.
- 太田時男(1976). エネルギー・システム, NHK ブックス269.
- Cohen, S.(1992). “Results of the National Drinking Water Survey : Pesticides, nitrates, and well characteristics”. *Water Well Journal*, Vol. 46, No. 8, pp. 35-38.
- EPA(U.S. Environmental Protection Agency) (1990). *National priorities list sites : Wisconsin*, EPA/540/4-90/049.
- Heimes, F.J., and Luckey, R.R.(1983). *Estimating 1980 groundwater pumpage for irrigation on the High Plains in parts of Colorado, Kansas, Nebraska, New Mexico, Oklahoma, South Dakota, Texas, and Wyoming*. U.S.G.S. Water Resources Investigations 83-4123.
- Krider J.N.(1986). “Agricultural irrigation and groundwater quality in humid areas of the United States”, *Proc. of 1986 Regional Meetings, U.S. Committee on Irrigation and Drainage*, pp. 181-189.
- McFarland, M.(1988). “Treating water containing nitrates”. *Water Well Journal*, Vol. 46, No. 8, pp 26-27.
- Wilcox, D.(1986). “The effects of deicing salt on water chemistry in Pinhook Bog, Indiana”, *Water Res. Bull*, Vol. 22, pp. 57-65.
- Wisconsin D.N.R.(1986). *Protecting Wisconsin from hazardous spills*.
- Wisconsin D.N.R.(1989). *Hazardous waste generation and management in Wisconsin*.
- Wisconsin D.N.R.(1990). *Registry of waste disposal sites in Wisconsin*.
- Wisconsin D.N.R.(1994). *Leaking underground storage tank list*.
- Wisconsin N.R.M.(1989). *Groundwater*. ☼