〈논 단〉

우리나라 地下水 開發의 必要性

鮮于仲皓*

1. 序 論

옛부터 우리의 조상은 거의 모든 음료수를 地下水로부터 얻어왔다. 마을의 중심부에는 항상 우물이 있어 그 마을의 생활중심이 되었으며 식용수의 대부분은 이 우물로부터 공급을 받아왔다. 개울이나 하천의 주변에서도 물론 허드렛 물은 直接 河川이나 개울물을 사용하였으나 식용수만큼은 一次 정수가 되어지고 거의 일정한 온도를 지니고 있는 우물물에 의존하였다. 이러한 생활 습관은 사회기반시설이 확충되어 중앙공급식으로 바뀌면서 서서히 바뀌어졌고 또한 주위 환경의 관리 소홀로 인하여 地下水가 오염되어 이들의 사용이 타부시 되기 시작한 때문이기도 하다.

이러한 農耕社會에서 뿐만 아니라 近代의 産業社會에서도 地下水의 價値는 점점 증가하며 그의 중요도가 점점 더 인식되기 시작하였다. 지하수는 용도가 다양해지므로 인하여 그의 長點이 매우 많다는 것을 알게되었으며 몇가지를 열거한다면 다음과 같다.

i) 貯留에 必要한 特別한 施設을 要하지 않는다.

ii) 거의 침전물이 없으며 증발이 없다.

iii) 水質과 水溫이 거의 一定하다.

iv) 넓게 分布되어 있어 特別한 運送手段을 必要로 하지 않는다.

이와같은 地下水의 長點으로 因하여 地下水는 많은 地域과 많은 사람에 의하여 開發되어 使用되고 있다. 첫째의 長點은 貯留에 대한 施設은 特別히 必要하지 않고 단지 퍼올리기 위한 펌프와 管이 必要할 뿐이다. 이는 近來 地上의 財産價値가 크게 오르고 있고 또 地表水 開發에 따르는 가장 어려운 財産權의 問題를 惹起시키지 않고 開發을 할 수 있다는 長點을 갖고 있기 때문에 쉽게 接近할 수 있다.

두번째는 年中 침전물이 없고 증발이 없기 때문에 水資源管理가 容易할 뿐만 아니라 特殊處理 裝置가 必要하지 않다는 것이다. 또한 水質과 水溫이 年中 거의 一定하다는 것은 工業用水 또는 냉각수로 利用하기 容易하기 때문에 工業用水로 使用하거나 또는 農業用水로 使用하기 適合하다고 할 수 있다. 마지막 長點으로서는 比較的 地下水는 넓게 分布되어 있다는 것이다. 地表水를 利用하는데는 貯留와 運送이라는 큰 制約條件이 따르게 되는데 地下水는 넓게 分布되어 있어 必要한 곳에서 直接 開發하여 使用할 수 있는 長點이 있어 地下水를 開發하는데 所要되는 費用이 地表水를 使用하는데 所要되는 費用보다 훨씬 經濟的인 境遇가 더 많다.

特히 農業用水와 牧畜을 위한 用水일 境遇 地下水의 效用價値는 더욱 높아지며 外國의 使用例를 보더라도 이를 證明할 수 있다. 이러한 長點에도 不拘하고 地下水에 쉽게 接近하기 어려운 것은 地下水를 使用하기 위하여서는 優先 調査가 先行되어야 하며 또한 開發이 되어야 한다는 點이다. 地表水는 쉽게 接近이 可能하며 또한 水量, 貯留方法, 運送手段 등이 쉽게 判斷지어지는 長點이 있어 水資源開發에 있어서 地表水가 優先하고 있다.

그러나 地下水는 이러한 直接利用의 對象이기도 하지만 地下水를 차지하고 있는 地下水層(대수層)을 地下空間 利用의 次元에서 使用되기도 한다. 地下空間은 매우 一定한 温度의 물을 維持하기가 쉬우므로 여름에 태양열이나 Heat Pump를 使用하여 냉방으로 因한 열을 利用하여 加熱된 물을 地下의 대수層에 貯留하였다가 이를 겨울에 暖房用으로 使用한다.

*참여회원, 서울大學校 工科大學 土木工學科 敎授

또한 겨울에 使用된 물은 냉각된 狀態에서 地下 帶水層에 貯留시키므로서 이를 여름에 냉방용으로 使用하게 한다. 이러한 地下水의 熱에너지의 利用은 Heat Pump등의 熱利用機器의 發達에 따라 促進되어 지고 있으며 앞으로 技術的 問題가 解決된다면 많은 利用이 있을 것으로 기대된다.

이러한 地下空間의 利用뿐만 아니라 地下水는 地下石油 비치기지 建設에 必須的이다. 地下石油 비치기지는 地下에 大規模空間을 만들어 原油를 備値하는바 原油가 암반의 공극이나 절리를 通하여 流出되지 않기 위하여서는 地下水의 壓力이 必要하며 따라서 적절한 地下水位의 維持가 必要하게 된다. 이 기지의 建設中뿐만 아니라 竣工後에도 地下水의 Monitoring은 가장 重要한 過程中에 하나이며 地下水의 과도한 使用이나 地下水位의 저하는 면밀히 調査되도록 한다.

점차로 地下水의 重要度가 增加하는 것은 우리 주위의 모든 資源을 最大로 效率的으로 活用하여야 하기 때문이기도 하다. 그러나 때로는 地下水의 水質이 惡化되거나 또는 鹽分을 많이 包含하고 있기 때문에 實際로 使用하지 못하는 例도 종종 볼 수 있다.

地下水를 開發하여야 하는가, 하지 말아야 하는가에 대한 論爭은 資源의 效率的 利用인 觀點과 經濟的 觀點으로 大別할 수 있다. 資源의 效率的 利用面에서의 地下水 開發은 後世들에게 남겨 줌으로서 緊急한 狀況에서 지금보다 더 높은 價値로서 利用될 수 있지 않겠느냐 하는 論理를 가지고 있다. 그러나 地下水의 경우에는 다른 一般資源과 달리 地下水는 地表로 부터 補完되는 것이기 때문에 적절히 使用하는 것은 後世들에게 아무런 影響을 주지 않는다.

따라서 資源의 效率的인 利用이라는 點에서 可及的 많이 開發되어야 하고 使用되어야 한다. 資源을 使用하지 않고 잘 保全하여 後世에 남겨주는 것도 한가지 方法이기는 하겠으나 이는 一生동안 後世를 위해 貯蓄만 하고 自己를 爲해서는 전혀 쓰지 않는다는 論理나 마찬가지이다. 따라서 地下水인 境遇에는 앞으로 일어날 수 있는 事態를 豫見하여 이를 對備하고 效率的으로 使用하므로서 結果的으로 資源을 좀더 效率的으로 使用하는 것이 될 것이다.

經濟的 觀點에서 地下水 開發이 現時點에서 이루어져야 하는가 또는 後代로 남겨 놓아야 하는가이다. 아직까지 地表水의 開發이 經濟性이 있기 때문에 地下水開發은 뒤로 미루어질수 있으나 물의 供給費用이 높은데도 不拘하고 地下水를 開發하지 않을수는 없다. 즉 需要가 增加하고 水資源이 限定되어 있다면 自然히 물 供給의 費用은 增加하게 마련이다. 結局 供給과 需要의 均衡은 맞추어져야하고 地下水는 開發되어 適正한 費用으로 물의 供給이 이루어져야하는 論理가 成立한다.

2. 地下水란 무엇인가

지하수란 지층 또는 암석의 간극 또는 절리, 쇄파대등에 存在하고 있는 물을 말한다. 이 지하수의 根源은 降水이며 물의 순환 과정의 한 부분으로서 유출에 기여하기도 하며 또는 지하수 층에 그대로 존재하기도 한다.

지하수층은 자유수면을 가진 지하수층과 압력을 받는 지하수 층으로 구분되며 자유수면을 갖는 경우는 대수층의 하부경계는 불투수층이나 상부의 수면은 대기압에 접하여 있으며 강우로부터의 침투로 인하여 직접 涵養된다. 압력을 받는 지하수층은 상부에 점토 또는 실트등의 불투수층이 있어 지하수층 자체가 압력을 받고 있는 경우를 말한다.

이러한 지하수 층에서 지하수를 비교적 자유스럽게 취수할 수 있는 층 또는 지하수가 자유스럽게 움직일 수 있는 지질층을 대수층(Aquifer)이라 부르며 일반적으로 이 대수층의 투수계수는 10^{-3}cm/sec 보다 클때를 말한다.

지하수의 부존성을 말할 때는 지하수층으로 부터 취수 가능성의 정도를 나타내는 것으로 이를 量的으로 표시할 때 지하수의 포장량 또는 부존량이라 한다. 즉 지하수를 지하 공극 물질의 공극에 차여져 있는 물을 말하지만 반드시 공극율이 크다고 하여 채수의 양이 큰 것은 아니다. 실트나 점토는 공극율이 50~70% 이상이 되나 실트나 점토의 공극으로 부터 채수할 수 있는 물의 양은 극히 적은 부분으로서 불과 몇 %에 지나지 않으므로 실제로 실트나 점토로 구성되어 있는 지하수층은 좋은 대수층이라고 말할 수 없으며 보통 불투수층으로 분류한다.

반면 모래나 자갈층은 공극율이 20~30%에 지나지

않으나 이중 15~20%가 可用地下水로서 이들은 좋은 地下水層(좋은 帶水層)을 형성한다. 대체적으로 지하수의 賦存性은 대수층의 우열에 관계되고 이는 地層의 透水性(有效공극율)과 涵養條件에 따라 다르게 된다.

우리나라에서 물 자원으로서 개발대상이 되는 지하수는 주로 자유수면을 가진 대수층 또는 충적층에 부존되어 있는 지하수를 말한다. 이 자유수면을 가진 지하수는 비교적 수량이 많고 지하 10m 이내에서 얻을 수 있으며 주로 하천 연안이나 언덕형의 하상지층에 분포되어 있는 것이 특징이다. 암반의 절리나 파쇄되어 존재하는 지하수는 수량도 적을 뿐만 아니라 찾기도 어렵기 때문에 비용이 많이 들고 利用면에는 다소 문제가 있다.

3. 우리나라 물 需給現況과 地下水開發의 必要性

우리나라의 總水資源 賦存量은 韓國水資源公社에서 1990에 發表한 水資源長期綜合計劃에 의하면 年平均降雨量 1,274㎜에 1,267億㎥이다. 이중 55%의 流出이 發生하여 이 流出量 697億㎥중에서 댐供給量 87億㎥, 河川水 利用量 145億㎥, 地下水利用量 17億㎥이 使用되고 있다. 즉 總賦存量 1,267億㎥중 20%에 該當하는 249億㎥이 利用되고 있으며 또한 地下水 利用量은 1.3%에 該當하는 17億㎥에 이른다. 이는 總供給量 280億㎥에 대하여 6%水準에 머물고 있어 美國이나 日本에 비하여 地下水 使用이 매우 낮은 것으로 나타났다. 〈表1〉은 各 流域別 地下水의 利用現況을 나타낸 것으로서 낙동강, 섬진강, 안성천, 만경강, 형산강등은 現在에도 많은 물이 不足한 것으로 나타내고 있어 대체 供給源의 開發이 時急한 것으로 보인다. 〈表1〉에서 보인 물需給狀況은 總量的인 計算이므로 順別(季節別) 또는 地域別로 細分한다면 물不足에 대

表1 水系別, 用途別, 供給源別 用水需給 現況(1988)

(단위 : 백만㎥)

구 분	한 강	낙동강	금 강	섬진강	영산강	안성천	삽교천	만경강	동진강	형산강	기 타	제주도	총 계
총용수수요	6,108	6,261	2,970	1,081	1,149	733	524	678	424	365	4,389	177	24,859
생활용수	2,135	944	241	28	147	80	31	83	20	53	413	41	4,216
공업용수	1,010	407	147	56	48	79	27	41	8	91	4,472	10	2,396
농업용수	1,859	3,649	1,636	824	954	574	466	491	396	221	3,504	126	14,700
유지용수	1,104	1,261	946	173	0	0	0	63	0	0	0	0	3,547
총용수공급	3,746	3,725	1,517	688	790	436	341	417	255	247	3,859	177	16,198
하천수	3,387	3,306	1,364	641	729	382	294	386	232	183	3,531	0	14,435
지하수	359	419	153	47	61	54	47	31	23	64	328	177	1,763
과 부 족	-2,362	-2,536	-1,453	-393	-359	-297	-183	-261	-169	-118	-530	0	-8,661
댐 공 급	4,593	2,357	2,014	62	709	290	243	142	350	128	331	0	11,219
총 과 부 족	2,231	-179	561	-331	350	-7	60	-119	181	10	-199	0	2,558
댐	소양댐	안동댐	대청댐		담양댐	하구둑	하구둑	경천지	섬진강	영천댐	대암18		
	1,213	926	1,649		64	184	173	45	댐350	107	선암18		
공	충주댐	합천댐	하구둑		광주댐	고삼지	예당지	대아지		덕동지	사연36		
	3,380	599	365		26	30	70	53		21	회야44		
급		남강댐			장성댐	금광지		구이지			수어30		
		134			135	21		22			남양방		
능		하구둑			나주댐	이동지		동상지			조제55		
		648			109	34		22			청호38		
력		경천지			하구둑	신갈지					청천40		
		50			258	21					강릉26		
					동북댐						옥구26		
					117								

(자료 : 수자원장기종합계획 1990)

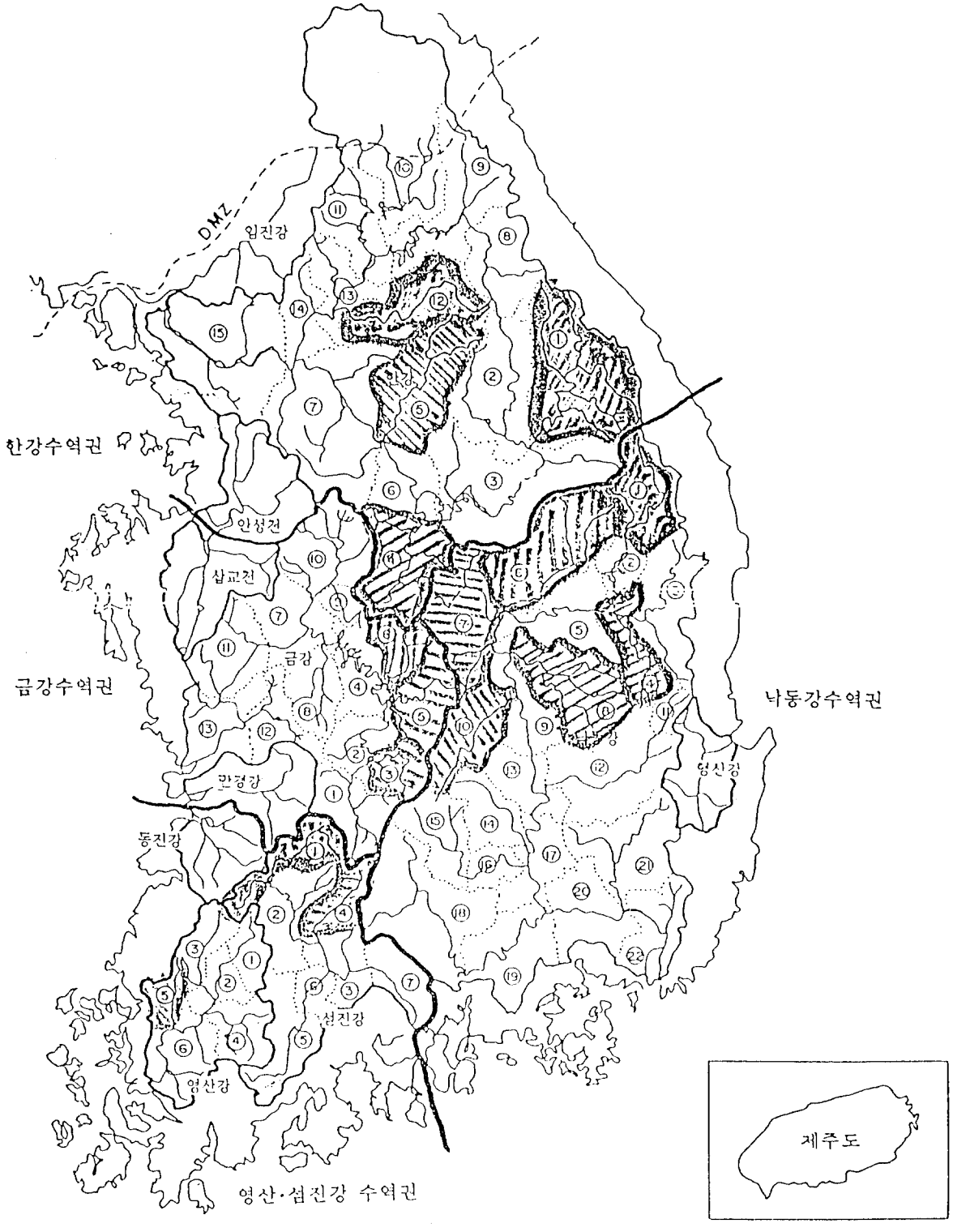

그림1 물不足이 豫想되는 小流域

表2 全國 用水需給計劃

(단위 : 백만㎥)

구분 \ 년도	1991	1996	2001	2006	2011	비 고	
총용수공급	28,237	30241	32,986	34,921	37,015	• 기완공댐	11,464
생활용수	4,892	5,919	7,068	7,685	8,199	충주댐	3,380
공업용수	2,509	2,783	3,052	3,365	3,663	소양강댐	1,213
농업용수	15,094	15,797	16,430	17,119	17,770	안동댐	926
유지용수	5,742	5,742	6,436	6,752	7,383	합천댐	599
용수공급	18,282	18,599	19,451	20,129	20,320	남강댐	134
하천수	16,425	16,466	17,044	17,443	17,358	낙동강하구둑	648
지하수	1,857	2,133	2,407	2,686	2,962	대청댐	1,649
과부족	-9,955	-11,642	-13,535	-14,792	-16,695	금강하구둑	365
댐공급	12,618	13,954	15,368	15,432	17,260	섬진강댐	350
총과부족	2,663	2,312	1,833	1,640	565	담양댐	64
						광주댐	26
						장성댐	135
						나주댐	109
						영산강하구둑	258
						• '91년 완공댐	1,154
						주암댐	489
						임하댐	497
						운문댐	168
						• '95년 완공댐	546
						남강댐보강	439
						보령댐	107
						• '96년 완공댐	790
						횡성댐	138
						부안댐	43
						마산금호만 방조제	350
						밀양댐	59
						4개 농업용댐	200
						• '97년 완공댐	650
						용담댐	650
						• '93년 완공댐	223
						적성댐	134
						탐진댐	89
						• 2001년 완공댐	541
						영월댐	541
						• 2002~2011 신규개발 수량	1,892

1) 총과부족은 10대강, 기타지역 및 제주도의 합이다.

2) 과부족=총과부족-댐공급

3) 용수공급=총용수수요-과부족

(자료 : 수자원장기종합계획 1990, 한국수자원공사)

한 심각성은 더욱 加重되어 질 것으로 判斷된다.

〈그림1〉은 앞으로 2001年까지 小流域別 물不足現況이 심각하여지는 地域을 나타낸 그림이다. 河川 本流에 位置하고 있는 流域은 本流로부터 취수가 可能하기 때문에 比較的 물供給을 쉽게 解決할 수가 있으나 根源的으로 물의 絶對量이 不足하거나 上流地域은 水源의 함양이 절실하게 必要로 한다. 〈그림1〉은 주로 중부산악地域에서 물이 모자라는 것을 알 수 있으며 섬진강이나 영산강에서는 絶對量이 모자라는 경우라 할 수 있다.

漢江流域에서는 달천, 홍천강, 영월의 上流地域등에서 물不足現狀이 發生할 것으로 豫測되며 낙동강과 금강流域에서는 水源地域에서 물不足現狀이 發生할 것으로 豫測된다. 〈表2〉는 앞으로 2011年까지의 總量基準의 물需給計劃이며 이중 地下水의 供給이 現在 18億㎥/年에서 2011年에는 29億㎥/年으로 增加되어야 함을 보여주고 있다.

이러한 地下水의 供給增加가 있더라도 〈그림2〉에서 나타낸 地域에서의 물不足問題는 解決되지 않을 것임에 따라 이러한 地域에 대해서는 本格的인 地下水開發事業이 實施되어야 함을 잘 알 수 있다. 우리나라의 地下水賦存量은 미미한 것으로 一般的으로 認識되어 있으나 實際로는 막대한 양이 저류되어 있고 開發만 效率的으로 實施한다면 우리나라의 물問題는 解決될 수 있을 것으로 豫見된다.

4. 地下水 賦存量

地球上의 지하수 부존량을 정확히 산정한다는 것은 不可能한 일이며 또한 지하수를 지표하 어느 깊이까지 산정하여야 하는 것도 어려운 문제이다. Nace (1960)에 의하면 지구표층에는 약 8×10^9㎦의 지하수가 있으며 이중 약 반인 4×10^9㎦이 지표로부터 800m 이내의 지층에 존재한다고 발표한 바 있다.

이 量은 지구상의 河川이나 호수, 저수지등을 포함한 모든 담수 저수량의 35배에 해당하며 南·北極에 있는 氷河의 1/3에 해당하는 많은 量이다. 이중에서 실제로 사용되고 있는 지하수량을 산정하기는 매우 어려우나 선진국 대열의 국가에서는 전체 사용량의 約 20%가 지하수에서 공급되고 있다. 日本의 경우에 〈表3〉에서 나타낸 바와같이 年間 총사용량 891억㎥중 15.6%인 139억㎥이 地下水에서 供給되고 있다.

日本은 비교적 地表水가 풍부하므로 農業用水도 대부분을 地表水로 供給하고 있으나 工業用水는 35%를 地下水에서 양수하여 供給하고 있음을 알 수 있다. 日本의 年平均降水量은 温水年에는 1,401㎜/年, 平水年에는 1,749㎜/年으로서 總水資源賦存量은 3,034억㎥/年에서 4,349억㎥/年에 달하고 있다. 이중 使用量은 總賦存量의 20%~29%에 이르고 있다.

美國의 경우에는 降雨에 의한 水資源賦存量은 6兆㎥/年으로 評價되고 있으며 이중 1/3에 該當하는 2兆㎥/年이 地表水의 地下水를 補完한다고 推定된다. 이중 使用量은 約 6,000억㎥/年이며 地下水에서 양수되어 使用되는 水量은 이의 約 20%에 該當하는 1,195억㎥/年이다〈表4〉.

美國은 地域的으로 물의 分布가 不均衡을 이룬 곳이 많아 국부적으로 地下水가 全體 使用量의 70%가 되는 곳도 있으나 平均的으로는 20% 程度이다. 그러나 특히 農業用水의 使用은 平均 38%에 이르고 있어 地下水에 대한 存在度가 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 地下水 賦存量은 地下 800m (2,500ft)以內에 140×10^{12}㎥이라고 推定되고 있으며 이중 使用量은 0.119×10^{12}㎥/年으로 큰 全體 賦存量에 비하여 比重을 차지하고 있는 것은 아니나 국부적으로 揚水가 치우쳐 있어 地下水位의 下降이 매우 심각한 狀態에 이르고 있다.

풍부한 地下水層으로 잘알려진 Ogallala Aquifer는 北部 Texas에서 South Dakoda의 남부에까지 연결되어 있는 廣大한 대수층으로서 이 地下水資源은 거의 消費되지 않을 것으로 判斷되어 왔다. 그러나 과도한 使用은 地下水層의 두께가 1930年에 58ft에 달하던 것이 1980年에 8ft로 줄어들어 앞으로 地下水 揚水에 대한 規制가 되지 않으면 앞으로 심각한 물不足問題가 發生될 것이 豫想된다.

Canada의 경우에는 廣大한 國土에 비하여 人口密度가 매우 낮은 關係로 地下水의 使用量이 隣接國家 美國에 비하여 매우 낮다. 總물의 使用量은 約 365億㎥/年이며 이중 4%에 該當하는 14億㎥/年이 年間 地下水로부터 供給을 받고 있다. 특이한 것은 목축을 위한 물使用量중 87%가 地下水에 存在하고 있음은 地

表3 日本의 地下水 使用量(資料 : 日本의 水資源)

(單位 : 億㎥/年)

	全體 물 使用量	地下水 使用量
生活用水	152	36
工業用水	154	54
農業用水	585	37.5
其他		11.6
合計	891	139

表4 美國의 물使用量

(單位 : 億㎥/年)

	全體 물 使用量	地下水 使用量
農業用水	2,270	876
工業用水	661	146
都市用水	496	173
其他	3,000	—
合計	6,427	1,195

表水가 풍부함에도 불구하고 地域的인 不均衡, 또는 물의 運送에 過度한 費用이 所要되기 때문인 것을 알 수 있다.

우리나라 地下水賦存量에 대하여서는 正確한 調査가 이루어지지 않았기 때문에 確實히는 알 수 없으나 外國의 암의 특성을 參考하여 判斷하면 대개 1兆3千億㎥(農振公推算)에서 1兆8千億㎥(韓國水資源公社 推定)이라고 할 수 있으며 이중 年間 補充量(Recharge Amount)은 매우 推定하기 어려운 狀態이다.

美國(Cheremisinoff 1988)에 의하면 地上으로 떨어지는 降水量중 2/3는 증발산에 의하여 다시 대기로 귀환되며 나머지 1/3이 河川이나 地下水로 貯藏된다고 한다. 또한 이중 地下水에 補充되는 量은 이중 約 10%에 지나지 않는다고 하므로 實際로 總降雨量의 3% 程度만이 降雨에 의한 地下水 補充量이라 할 수 있다.

또한 Walton(1970)에 의하면 美國 中部地域의 地下水 補充量은 年間 總降雨量의 약 5.0% 정도이며 최대기록은 10%를 초과하지 않는것으로 보고하고 있다. 따라서 이들의 비율은 대개 연간 총강우량의 3.0%~10.0%로 추정할 수 있으며 이를 체적으로 환산하면 年間 보충량(涵養量)은 60억~120억㎥/年으로 추정할 수 있다.

現在 우리나라 地下水의 賦存量은 〈表5〉에 나타낸 바와같이 約 1兆8千億㎥으로 되어있으나 實際로 地下水層을 크게 해치지 않고 使用할 수 있는 물의 量은 앞에서 記述한 60億~120億㎥이라 할 수 있다. 이것도 現在 多目的 Dam에서 供給하는 總供給 量이 年間 100億㎥을 넘지 못하고 있는 現實을 볼때 地下水 開發이 앞으로 우리나라 물不足問題를 解決할 수 있는 가장 좋은 方法임을 알 수 있다. 더우기 앞으로 地上의 財產價値가 社會發展에 따라 높아질 것을 勘案한다면 地表水의 開發보다는 地下水의 開發이 가장 現實 可能한 代案임에는 틀림없다.

5. 제주도 지하수 특성

(1) 水 文

濟州道는 四面이 海岸과 接하여 있고 漢拏山을 頂點으로 高山地帶를 形成하여 氣溫의 垂直的 變化가 甚하고 漢拏山을 中心으로 南과 北의 氣溫差가 甚하여 南部地域은 겨울에도 温和한 氣候를 보인다.

本道는 海洋 및 漢拏山의 影響으로 地域的으로 不規則한 降雨量을 보여 北部 및 西部地域은 東部 및 南部地域에 比하여 相對的으로 降雨量이 적으며, 高度에 따라서도 差異가 커서 中山間地域이 海岸低地帶보다 600~700㎜ 程度 많은 것으로 觀測되는데, 이는 季節風과 漢拏山의 地形特性에 따른 影響때문으로 思料되며, 따라서 高山地域에서는 더 많은 降雨量이 豫想된다. 지금까지 觀測된 各 地域別 月平均 降雨量은 〈表6〉과 같다. 이표에서 보는바와 같이 지역에 따라 2571㎜에서 1239㎜로 크게 변하고 있으나 우리나라 평균 강우량보다는 훨씬 많은 값을 나타내 주고 있다.

濟州道의 河川은 漢拏山과 東西長軸을 中心으로 北流하는 河川과 南流하는 河川으로 分類되고 東西地域에서는 河川이 거의 形成되어 있지 않은 것이 特徵으로서, 地形의 勾配가 甚한 中央部에 30餘個의 河川이 密集되어 發達, 分布하고 있다. 北流하는 河川은 比較的 直線的이고 南流하는 河川은 曲流川을 이룬다.

本道의 河川은 瀑雨가 있은 直後에는 河川水가 急

表5 우리나라의 地下水 有效賦存量

(億㎥)

流 域	충 적 층	풍 화 층	화성암류	변성암류	퇴적암류	計
한 강	49.9	84	1,170.4	1,798.3	1,325.4	4,428.0
낙 동 강	59.4	84	580.1	644.8	4,683.5	6,051.8
금 강	29.7	25.2	717.7	524.4	132.2	1,429.2
영 산 강	9.5	12.6	262.0	15.9	245.1	545.1
섬 진 강	6.5	16.8	265.6	277.2	243.8	809.9
안 성 천	7.2	7.6	156.5	61.0	20.2	252.5
만 경 강	7.5	5.5	149.6	46.0	35.2	243.8
삽 교 천	7.2	5.5	144.7	68.6	0.0	226.0
동 진 강	0.6	3.9	147.0	0.0	0.8	165.5
형 산 강	3.5	3.9	53.6	1.7	240.3	303.0
제 주 도	5.3	6.9	235.3	0.0	0.0	247.5
기 타	62.5	67.2	851.8	900.0	2,092.5	3,974.0
計	254.6	323.1	4,734.3	7,337.9	9,026.2	18,676.3

表6 地域別 月平均 降雨量

(單位 : ㎜)

區分	해안저지대				중산간지대		비 고
月	제 주	서귀포	성 산	대 정	어승생	제 동	
1	60.19	55.35	70.91	37.05	89.04	98.05	
2	69.92	70.12	85.5	56.77	91.3	210.82	
3	68.76	106.16	104.79	74.75	112.8	153.12	
4	90.45	188.26	148.45	114.63	121.6	193.81	
5	84.98	200.46	145.73	119.13	135.62	151.98	
6	169.87	279.03	246.38	200.19	384.38	329.41	
7	218.22	289.16	299.11	213.35	463.4	343.84	
8	236.64	218.32	281.85	165.13	640	416.53	
9	217.17	153.01	193.99	103.25	243.16	241.77	
10	79.57	73.57	106.99	61.01	164.7	139.07	
11	73.02	80.63	87.93	52.27	53.6	136.27	
12	59.53	43.94	59.52	41.76	71.4	90.94	
計	1,428.32	1,758.01	1,831.15	1,239.29	2,571	2,505.61	

*제 주 1924~1987(64년간) 자료
서귀포 1961~1987(27년간) 자료
성 산 1973~1987(15년간) 자료
대 정 1973~1987(15년간) 자료
어승생 1983~1987(5년간) 자료
제 동 1975~1987(13년간) 자료

(자료 : 제주도 수자원개발 예비 타당성 조사 연구보고서 1988, 한국수자원공사)

斜面을 따라 一時的으로 흐르나 平常時에는 물이 없는 乾川을 이루는데, 이는 本道의 地質이 火山岩과 火山碎屑物 等으로 構成되어 있기 때문에 地表水가 地下로 浸透하기가 容易하기 때문이다. 年中 河川水가 흐르는 河川은 7~8個로서 이들은 海岸가까이에서 湧出하는 湧出水에 依하여 形成되며 그 中 南海岸에서는 瀑布를 이룬다(正房, 天地淵).

高地帶에는 海岸地域에 發達하는 河川과 樣相을 달리하는 河川이 있는데, 이들은 粗面岩 또는 粗面岩質安山岩과 같은 不透水性岩石으로 이루워진 部分에서 湧出하는 湧出水에 根源을 두고 있다. 그러나 이들 河川水는 海岸까지 繼續 흐르지 못하고 다시 乾川으로 變한다.

現在까지 調査된 資料에 依하면 50㎜以上의 集中豪雨가 있을 時 河川水가 流下하는 것으로 알려지고 있다. 따라서 河川으로 流出되는 流出量은 降雨量이 많은 夏節期(6~9月)에 集中되는 傾向을 보이고 있다. 流路 延長이 比較的 길고 流域面積이 넓은 主要河川의 現況과 流出量을 整理하면 〈表7〉과 같다.

(2) 地下水 賦存 形態

本道는 火山岩地域으로서 地下水 賦存 形態는 本道 特有의 地形地質條件에 依하여 特異한 樣相을 갖는다. 本道에서는 陸地의 古期 火成岩이나 堆積岩地域에서와 같은 冲積層에서의 地下水는 期待할 수 없으며 火山岩의 透水性에 따라 獨特한 賦存形態를 보인다.

本道의 主地下水源은 降雨로서 地表面이나 溪谷을 따라 流下하다가 節理面이나, 龜裂 또는 火山碎屑層을 通하여 地下로 浸透하여 地下水로 涵養된다. 그러나 이들은 火山岩地域인 本道의 地質構造 特性에 依하여 制約을 받아, 地下下部에서 均質 帶水層에 賦存되어 連續性있는 地下水面을 形成하지 못하는 것으로 나타났다.

上位地下水 賦存條件은 地下水 供給源이 上位에 存在하여야 하고 이를 廣範圍하게 包藏할 수 있는 不透水層이 반드시 下位에 存在하여야 한다.

지금까지 調査된 資料에 依하면 上記條件을 갖는 地域으로는 西歸浦層과 城山層이 分布하는 地域으로서 西歸地域과 南元 西部 및 北濟州地域의 中山間地帶 一部에서 確認되었으며, 地質構造에 따라 流路가 地表面에 露出될 때에는 海岸低地帶가 아닌 比較的 高地帶에서 湧出하기도 한다.

上位地下水로부터 湧出되는 湧出水는 漢拏山 頂上附近의 高山地域과 北濟州 및 南濟州地域에 發達하고 있으며 量的으로 많은 湧出地點은 南濟州地域에 位置한다(天帝淵, 天地淵, 正房, 江汀川 等). 北濟州地域의 上位地下水 湧出地點으로는 御乘生, 靈室, 九九溪谷, 甕浦川 等이 代表的이다.

基低地下水는 一般的으로 淡水와 海水가 平衡關係를 이루고 있다는 지하수 부존 특성으로 존재한다.

表7 主要河川 現況

하천명	유로연장 (㎞)	유역면적(㎢) EL<400m	400<EL800	800<EL1200	1200m<EL	계	유출량 (10^6㎥/Y)
한 천	16.0	11.1	12.5	5.4	5.5	34.5	21.1
화북천	15.7	16.1	13.5	7.4	1.4	38.4	21.6
송 천	6	18.2	9.1	—	—	27.3	8.3
효돈천	15	18.2	13.5	9.4	11.1	52.2	40.6
강정천	50.7	12.3	9.9	12.1	6.4	40.7	32.4
악근천	26.4	9.8	6.9	3.3	0.5	20.5	14.1
창고천	21	11.1	16.5	3.4	—	31.0	21.7
계		96.8	81.9	41.0	24.9	244.6	159.8

*降雨量 및 直接流出量은 表6,.3, 6.4參考

(자료 : 제주도 수자원개발 예비 타당성 조사 연구보고서 1988.12, 한국수자원공사)

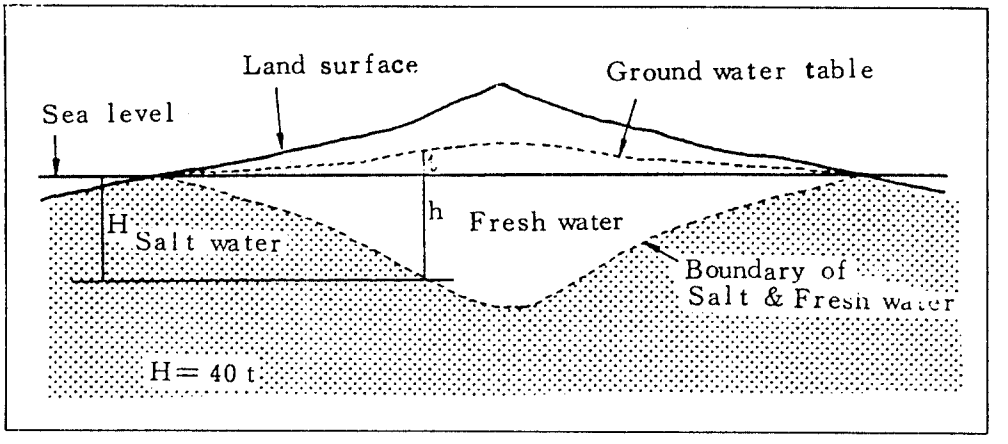

그림2 Diagram of Ghyber-Herzberg Relation between Fresh and Saline Water

淡水와 海水와의 關係는 Ghyben-Herzberg原理로 說明되는데 이는 淡水와 海水의 比重差에 依하여 海水準面 下部의 lens 두께는 海水準面 上部 두께의 40배가 된다는 原理이다.

本道의 基低地下水는 全地域에서 形成되는 것은 아니며 局部的으로 適用되지 않는 地域도 나타난다. 本道의 地下水 賦存形態는 2가지로 分類할 수 있으며, 全般的인 賦存形態는 北部地域과 南部地域에서는 地下水位가 높으며 西部地域과 東部地域에서는 相對的으로 낮은 것으로 나타난다. 특히 東部地域에서는 年間 降雨量과 地形 및 分布 岩石의 生成 時期 等이 西部地域과 類似하면서도 西部地域에서는 淡水 lens가 두껍게 나타나는데 比하여 東部地域에서는 얇은 薄層을 이루고 있다.

이와같이 地域에 따라 地下水의 賦存은 岩石의 分布狀態 및 地質構造에 따라 帶水性이 相異한 複雜性을 갖고 있으며 帶水層을 이루는 要因에 依하여 큰 制約을 받고 있다고 하겠다.

지금까지 調査 및 開發된 資料에 依하면 南部地域에서 地下水位는 높으나 採水量이 적은 것은 南部地域에 分布하는 西歸浦層과 粗面岩 및 粗面岩質安山岩에 依하여 上位地下水의 流動이 制約을 받아 淡水體의 形成이 貧弱하기 때문인 것으로 생각된다.

(3) 地下水 産出狀態

本道의 地下水는 地質構造 및 岩石分布에 따라 우물 및 湧出水形態로 産出되며 이들의 分布狀態를 살펴보면 數個所의 湧出地點을 除外하고는 거의 모두 海岸低地帶에 散在하여 있다. 이들 大部分은 海水準面과 거의 同一한 標高에서 熔岩間의 接觸面이나 構造帶를 따라 湧出되고 있다.

大部分의 湧出地點은 南部 및 北部의 海岸地域에 集中되어 있으며 東部와 西部地域에서는 數個地域에만 湧出水가 發達되어 있다.

이와같이 地下水 賦存形態와 産出狀態가 不均衡을 이루고 있는 것은 그 地域의 地層分布 및 地質構造와 現地形 및 古地形의 影響에 依한 것으로 보인다. 東部地域과 西部地域은 넓고 平坦한 地形을 이루며 同一熔岩層이 넓게 分布하여 熔岩間의 接觸面이 地表面에 露出되지 않으므로 接觸面을 따른 上部流動地下水의 流出이 적어 湧出水의 發達이 貧弱한 것으로 思料된다. 南部地域과 北部地域은 接觸面이 地表로 露出되어 이들 接觸面을 따라 流動하는 地下水가 地表에 露出되는 機會가 많아 湧出水의 發達이 큰 것으로 判斷된다.

6. 우리나라 지하수 개발 방안

이제까지 우리나라의 지하수개발에 대한 정부차원의 노력은 70년대초반부터 농업진흥공사의 주관하에 이루어진 농업용수공급용 지하수개발사업을 대표적으로 들 수 있는데, 개발대상의 대부분이 중적층에 부존된 지하수였으며 암반지하수의 개발은 80년대초에

이르러 착수되었다.

실질적으로 우리나라의 암반내에 부존된 심층지하수의 개발은 정부 차원이라기 보다는 민간주도로 이루어져 온 것으로 보아야 할 것이다.

이렇게 오늘날 암반지하수 개발에 대한 정부차원의 노력이 미열하였던 원인은 "우리나라의 기반암에는 지하수가 거의 부존되어 있지 않는다"라는 그릇된 고정개념과 국토 전반에 대한 지하수의 부존과 이용에 대한 현황파악이 제대로 이루어지지 않고 있다는 점 및 지하수 개념에 대한 이해부족 등에서 비롯된 것으로 집약될 수 있을 것이다.

따라서 앞으로의 지하수 개발은 종래의 임시방편적이고 보존적인 수자원이라는 개념에서 과감하게 벗어나 항구적인 대체수자원의 개발이라는 차원에서 개발일변도가 아닌 개발과 보전측면이 균형적으로 조화를 이루는 방향으로 추진되어야 한다는 발상의 전환으로부터 비롯하여 국가정책사업으로 시행되어야 할 것이다.

이러한 관점에서 볼때 향후 우리나라의 지하수 개발 정책은 아래에 제시한 기본방향과 전략에 따라 지속적으로 추진되어야 한다.

첫째, 전국을 대상으로 한 종합적인 지하수자원 조사가 실시되어야 한다.

우선, 전국토를 일관하여 유역단위 또는 행정구역 단위별로 지하수의 부존과 이용에 관한 실태조사를 실시하여 국가단위의 지하수자원의 종합개발과 이용계획 수립에 활용될 수 있는 기본현황자료가 제공되어야 하며, 후속절차로 각 단위 지역별로 개발의 시급성 또는 지하수 부존 특성이 갖는 지역적인 중요성 등을 감안, 조사의 우선 순위를 결정하여 년차적으로 소유역 또는 구역 단위별로 부분적인 정밀조사를 실시하여 동조사 결과로 부터 지하수 개발의 기술적·경제적인 타당성과 합리적인 개발방안의 제시가 이루어져야 된다.

둘째, 지하수 관련 자료에 대한 체계적인 관리가 이루어져야 된다.

현재 정부기관을 비롯하여 지방자치단체, 정부투자기관, 연구 및 학술단체 민간기업등에 분산, 관리되고 있는 국내외의 지하수에 관련된 제반자료를 체계적으로 수집, 정리하여 Data base화하고 지속적으로 집중운영관리해 나갈 수 있는 기술정보 관리체계가 구축되어야 한다.

셋째, 지하수와 연결한 지하수자원의 종합개발과 물관리의 제도화가 이루어져야 한다.

지표수와 지하수는 상호 보완적인 관계에 있기 때문에 국가적인 차원에서의 지하수 개발은 수자원의 종합개발이라는 측면에서 지표수자원의 개발과 연계하여 총체적으로 개발계획의 수립과 시행이 이루어져야 한다.

넷째, 지하수와 관련된 제반기술의 함양과 선진기술의 개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

지하수 관련 기술은 일반적으로 지하수 탐사로부터 개발 및 운영에 이르기까지 망라되는 제반기술로서, 이에는 수리지질학을 근간으로 하여 지질학, 지구물리학, 수문학, 환경 및 토목, 전기, 기계등의 공학분야에 이르기까지 다방면의 기술이 집약적으로 다루어진다. 따라서 이러한 분야들에 첨단기술의 도입과 적용이 시급히 필요하며 과감한 기술투자를 실시하여 획기적인 기술개발이 필요하다.

다섯째, 특수 수자원의 적극적인 개발과 활용도 제고를 유도하여야 한다.

온천수 및 광천수등의 특수지하수자원은 국민의 보건과 생활의 질적향상이라는 측면과 직결되기 때문에 국민의 복리증진 차원에서 적극적으로 개발을 유도해 나가는 한편, 관광 및 레져 등 부가적인 효과를 극대화하는 방향으로 추진되어야 할 것이다.

7. 끝맺음

우리나라의 경제발전이 지속적으로 이루어짐에 따라 인구의 팽창, 경제성장, 고도의 산업사회로 지향하며 이에따라 필수적으로 필요한 것이 물수요의 증가이다. 앞으로의 계획을 볼때 2001년까지 36억톤의 물이 추가로 필요하며 이 계획중 6억톤의 물이 추가로 지하수로 부터 공급받아야 할 실정이다. 그러나 우리나라의 실정으로 볼때 이에 대규모의 댐을 지을 수 있는 지점은 없으며 새로운 용수 공급원을 찾는다는 것은 거의 불가능 한 실정이므로 6억톤 이외에 추가로 상당한 수량을 지하수에 의존하지 않으면 안된다.

이러한 용수 수요의 공급원으로서 지하수는 매우 중요하나 이 자원을 우리는 선대로 부터 받은 대로 깨끗하고 충분한 양의 지하수를 후세에 넘겨 주어야 할 의무를 지니고 있기도 하다. 따라서 적절한 관리, 과도한 사용의 억제등, 최대한 보존하므로서 자연 환경을 파괴하지 않도록 하여야 할 것이므로 지하수의 개발과 보존의 양면성을 잘 조화하여야 한다.

8. 參考文獻

1. 韓國水資源公社, (1989), "日本의 水資源制度論" 韓國水資源公社.
2. 韓國水資源公社, (1991), "水資源關聯 法令改善研究," 報告書, 韓國水資源公社.
3. 韓國水資源公社, (1990), "水資源長期綜合計劃"('91~2011) 報告書, 韓國水資源公社.
4. 韓國水資源公社, (1988), "濟州道水資源 開發 豫備采當性 調査研究 報告書".
5. 韓楨相, (1990), "韓國地下水資源의 産出特性과 地下水水管理技術", International Seminar on The 21St Century Prospects for Policies and Technology for Water Quality Conservation, Seoul Korea.
6. 國土廳, "日本の水資源" 平成元年版, 國土廳長官房水資源副篇.
7. ASCE, (1972), "Groundwater Management" Mannuals and Reports on Engineering Practice No.40.
8. Bachmat, Yehuda, et al., (1980), "Groundwater Management: the use of Numerical Models", American Geophysical Union Water Resources Monograph No.5.
9. Cheremisinoff, Paul et al., edited, (1988), "Civil Engmeering Practice, 5/Water Resources/Environmental", Chapt.5, Water Use and Public Policy, Technomic Publishing Co.
10. Durenberger, David, (1988), May, "Two Views on Groundwater Strategy" Journal of Water Pollution Control Federation, vol.60, No.5.
11. Nace, R.L., (1962), "Water management, Agriculture, And Groundwater Supplies", USGS, Circular 415, U.S. Printing Office.
12. Walton, W, (1970), "Groundwater Resources Evaluation", McGraw-Hill.