

정책연구2005-5

제주도의 빗물 활용에 관한 정책연구(II)

2005. 12

제주발전연구원

발 간 사

제주도가 국제적인 관광도시로 비약적인 발전을 이룩하면서 토지이용에도 큰 변화를 가져왔다. 도시지역의 확대, 초지 및 산림지역의 개발, 도로포장, 비닐하우스 시설 면적의 증가, 우수배제시설의 증가, 골프장 및 관광지구의 증가 등으로 유출율과 지하수 함양여건에 변화를 우려하지 않을 수 없게 되었다. 상기와 같은 개발사업의 진행은 지하수 함양지역 면적의 감소를 초래할 뿐만 아니라, 일시적으로 우수를 바다로 배제시켜 버림으로써 지하수 함양량의 감소를 초래하고, 지하수의 적정 개발량 규모가 줄어드는 현상을 초래하고 있다. 비록 이와 같은 문제는 제주도에만 국한된 문제라기보다는 지하수를 주된 용수원으로 이용하고 있는 모든 지역과 나라들이 지니고 있는 공통의 관심사이지만 제주도의 경우에는 지하수가 곧 제주의 생명과 같은 귀중한 자원이기 때문에 토지이용 변화가 지하수 함양량에 미치는 부정적 영향에 대해 결코 무관심할 수는 없는 일이다.

최근 들어 기상이변으로 강우일수는 줄어들고 강우량은 많아져 집중강우 및 게릴라성 호우로 인해 도로, 경작지, 주택 침수 등 홍수피해가 증가하고 있으며, 또한 토지이용 형태의 변화에 의해 불투수층 확대 등에 의한 지하수 저감 등 사회적 많은 문제점이 대두되고 있는 실정이다.

제주도인 경우 연평균 강우량은 1,975mm로 우리나라 최대의 다우지역 중의 한 곳이지만 투수성이 좋은 화산암류로 이루어져 지표수의 발달이 빈약한 관계로 생활 및 산업활동 등에 필요한 모든 용수를 전적으로 지하수에 의존하고 있다. 그러나 지하수의 과도한 개발·이용으로 인한 장애를 방지하고, 제한된 수자원인 지하수를 보전하기 위해 빗물 및 하수처리장 방류수 이용을 활성화하기 위한 기본 방향을 제시하였을 뿐만 아니라, 제주지역의 수문지질 특성에 적합한 지하수 인공함양의

긍정적인 효과에 대해 제시하였다.

또한, 제1 및 제2의 물 혁명은 모두 지하수를 수원으로 개발하고 있는데 반하여 하수처리장 방류수 재이용(제3의 물 혁명)은 ‘물 재이용’으로서 그 동안 추진해 온 수자원 개발 및 이용과는 완전히 개념이 다른 것이다. 방류수를 재이용함으로써 지하수 채수량을 그만큼 줄일 수 있어 지하수의 수량을 보전할 수 있을 뿐만 아니라, 극단적인 가뭄 시에도 농업용수 부족문제가 발생치 않음으로서 농업수익의 증대되는 효과가 기대되며, 방류수를 지하수 인공함양 용수로 활용하는 경우에는 지하수 부존량을 증대시켜 해수침투 방지 및 지하수 고갈 위험 제거 등의 효과를 거둘 수 있어 제주지역 전체의 사회적 편익이 크게 증대할 것으로 기대된다.

2005. 12

제주발전연구원

원장 고 부 언

<제목 차례>

I. 서 언	1
II. 수자원 개발 및 이용현황	3
2-1. 수자원 총량	3
2-2. 지하수 개발 및 이용현황	4
2-3. 용천수 개발 및 이용현황	8
2-4. 지표수 개발 및 이용현황	12
2-5. 상수도 시설 및 공급현황	13
III. 하수처리장 방류수 재이용	16
3-1. 하수처리장 방류수 재이용 사례	16
3-2. 미국의 방류수 재이용 현황	20
3-3. 싱가포르 『NEWater Factory』의 사례	38
IV. 빗물이용 활성화를 위한 정책방향	40
4-1. 빗물이용 활성화 정책방향	41
4-2. 빗물이용 활성화를 위한 제도	43
4-3. 행정적 측면의 지원 및 활성화	47
V. 지하수 인공함양	49
5-1. 지하수 인공함양의 개요	49
5-2. 제주도의 사례	57
5-3. 외국의 사례	60
VI. 결론 및 제언	66
참고문헌	69

〈표 차례〉

<표 1> 제주도의 물 수지(2002년 기준)	3
<표 2> 제주도의 지하수 개발현황(2005. 10월 현재)	5
<표 3> 제주도의 지하수 이용현황	7
<표 4> 지역별 용천수 분포 현황	8
<표 5> 지역별 용천수의 용출량	9
<표 6> 용천수의 용도별 이용현황	10
<표 7> 상수원으로 개발·이용 중인 용천수 현황(2004년말 현재)	11
<표 8> 제주도내에 시설된 대표적인 빗물이용시설 현황	12
<표 9> 상수도 시설 및 공급현황(2004. 12. 31 현재)	14
<표 10> 시·군별 상수도 시설 및 공급현황	14
<표 11> 2002년말 현재 전국 하수처리장 시설 현황	17
<표 12> 전국 하수처리장 방류수 재이용 현황	17
<표 13> 전국 하수처리장 방류수 재이용 용도별 현황	17
<표 14> INI스틸 인천공장 하수 재처리시설 처리 수질	18
<표 15> 하와이주의 방류수 재이용 현황(2002. 7 현재)	24
<표 16> 하와이주의 재처리수 이용에 관한 기준	28
<표 17> 동부 호놀룰루 하수처리장 방류수의 수질(2002. 7)	35
<표 18> 외국의 경제적 지원 사례	44
<표 19> 지하수 인공함양 방법별 주요 특징	52
<표 20> 인공함양정의 설치현황	58
<표 21> 제주도내에 시설된 지하수 인공함양정의 시설현황	58

<그림 차례>

<그림 1> 미국내 재처리수를 음용수(직접 또는 간접)로 사용하고 있는 지역 ..	21
<그림 2> 호노울리울리 방류수 재처리시설 위치도	30
<그림 3> 호노울리울리 방류수 재처리시설의 주요시설 배치도	31
<그림 4> R-1수 생산을 위한 처리공정도	32
<그림 5> NEWater Factory 방류수 재처리 공정	39
<그림 6> 지하수 인공함양 방법 모식도	51
<그림 7> 인공함양정의 설치기준	59
<그림 8> 오렌지카운티 Water Factory 21의 인공함양정 단면도	61
<그림 9> Water Factory 21의 처리공정	62

<사진 차례>

<사진 1> INI 스틸에 시설된 방류수 재처리시설 전경	19
<사진 2> 하수처리장 방류수를 저장해 놓는 탱크의 모습	33
<사진 3> RO공정으로 보내는 처리수 탱크와 모래여과지의 모습	33
<사진 4> UV소독처리 장치의 모습	34
<사진 5> RO수 생산을 위한 역삼투막 설비의 모습	34
<사진 6> 하수종말처리장으로 유입되는 하수의 모습	36
<사진 7> 활성슬러지조의 모습	36
<사진 8> 최종 침전조에서 염소소독을 하고 있는 모습	37
<사진 9> 최종 처리된 방류수의 모습	37
<사진 10> OR 생산을 위한 역삼투막 설비의 모습	63
<사진 11> 인공함양정	63
<사진 12> 연동식 비닐하우스 우수침투공법	65
<사진 13> 경작지를 대상으로 한 인공함양	65

1. 서 언

제주도의 수자원에 있어서 도시화 및 골프장 면적이 증가하면서 생활용수뿐만 아니라, 조경용수, 관광용수, 농업용수 등의 수요량은 늘어가는 반면, 이용가능한 수자원의 부족현상은 날로 심각하게 나타나고 있다. 최근 이상기후 현상으로 인하여 강우량이 지속적으로 증가하고 있으며 홍수시 강우가 집중되는 등, 기상이변으로 인하여 수자원 공급의 문제점이 점점 심각해지는 현상은 제주도만이 아니라 세계적으로 공통적으로 당면한 현실이며 이 현상은 점점 더 심해질 전망이다.

1993년 UN의 국제인구행동연구소(PAI)에 의하면, 우리나라는 물 부족 국가군으로 분류되며, 건설교통부의 수자원장기종합계획에 따르면 우리나라는 2006년부터 연간 4억 톤, 2011년부터는 연간 20억 톤의 수자원이 부족한 것으로 보고되고 있다. PAI의 계산법에 의하면, 물 압박(Water stress)이란 연간 물 공급이 1인당 1,700톤 이하로 떨어질 때를 나타낸 것이고 1인 당 물 공급량이 1,000톤 이하일 때를 물 부족(water scarcity) 국가로 분류하고 있다.

제주도인 경우도 PAI의 계산방식에 의하면 2020년 1인당 연간 물 이용 가능량이 3,781톤으로 물 풍요 국가군에 포함되지만 지하수 적정개발량을 기준으로 할 때에는 1,047톤으로 물 부족 국가군에 속할 우려가 높다.

지하수는 세계 부존 수자원 중에서 손쉽게 이용할 수 있는 담수자원의 90%를 차지하고 있으며, 전 세계적으로 15억 명이 먹는물을 지하수에 의존하고 있다. 주로 식량작물 관개에 사용되고 있는 농업용수는 전 세계 물 이용량의 75%를 차지하고 있으며, 공업용수는 약 20%이고, 나머지 5%는 생활용이다.

한편, 제주도가 국제적인 관광도시로 비약적인 발전을 이룩하면서 토지이용에도 큰 변화를 가져왔다. 도시지역의 확대, 초지 및 산림지역의 개발, 도로포장, 비닐하우스 시설 면적의 증가, 우수배제시설의 증가,

골프장 및 관광지구의 증가 등으로 유출율과 지하수 함양여건에 변화를 우려하지 않을 수 없게 되었다. 상기와 같은 개발사업의 진행은 지하수 함양지역 면적의 감소를 초래할 뿐만 아니라, 일시적으로 우수를 바다로 배제시켜 버림으로써 지하수 함양량의 감소를 초래하고, 지하수의 적정 개발량 규모가 줄어드는 현상을 가져 올 수 있다. 비록 이와 같은 문제는 제주도에만 국한된 문제라기보다는 지하수를 주된 용수원으로 이용하고 있는 모든 지역과 나라들이 지니고 있는 공통의 관심사이지만 제주도의 경우에는 지하수가 곧 제주의 생명과 같은 귀중한 자원이기 때문에 토지이용 변화가 지하수 함양량에 미치는 부정적 영향에 대해 결코 무관심할 수는 없는 일이다.

이러한 현실적인 문제에 대처하기 위한 대체 수자원으로서 빗물 및 하수처리장 방류수의 이용이 제시되고 있다. 현재 우리나라의 경우 빗물은 도서지역 및 산간 지방 등 상수도를 공급받을 수 없는 경우에만 일부 사용되고 있는 실정이다. 그러나, 미국, 독일, 일본, 호주와 같은 선진국에서는 빗물 및 하수처리장 방류수 이용을 모든 물 관리 방법 중에 가장 먼저 생각하여야 하는 방안의 하나로 집중적으로 연구되고 실행에 옮기고 있는 실정이다. 따라서 이미 빗물을 사용하고 있는 각 국가의 빗물이용사례와 이에 관련된 제도를 검토하여 제주도에 새로운 대체 수자원으로서의 빗물 및 하수처리장 방류수 이용을 확산시키기 위한 방안을 모색하고자 한다.

II. 수자원 개발 및 이용현황

2-1. 수자원 총량

물 수지는 물 순환과정에서 일어나는 강우, 손실(직접유출, 증발산), 지하침투 등의 규모를 결정하는 수문분석으로서 어느 한지역의 수자원 총량의 결정, 지하수 함양량 산정, 수자원 개발계획 또는 방재계획수립의 기초가 된다. 제주도과 같이 지표수의 발달이 빈약하여 지하수에 전적으로 용수를 의존하는 지역에서는 지하수 함양량 및 적정 개발량을 산정하기 위한 물 수지분석은 필수적이다. 제주도에서는 1993년에 이루어진 물 수지분석 결과를 2002년 시점에서 재평가를 실시하였으며, 그 결과는 (표 1)과 같다.

<표 1> 제주도의 물 수지(2002년 기준)

구 분	산업기지개발공사 (1981)	농어촌진흥공사 (1989)	한국수자원공사 (1993)	한국수자원공사 (2002)
총 강 우 량 (백만 m^3 /년)	3,385	3,516	3,388	3,609
직 접 유 출 량 (백만 m^3 /년)	703 (21%)	703 (20%)	638 (19%)	740 (20.5%)
증 발 산 량 (백만 m^3 /년)	1,104 (33%)	1,183 (34%)	1,256 (37%)	1,216 (33.7%)
지하수 함양량 (백만 m^3 /년)	1,542 (46%)	1,630 (46%)	1,494 (44%)	1,653 (45.8%)

제주도의 총강우량은 3,609백만 m^3 /년이다. 이는 연평균 강우량 1,975mm를 면적 강우량으로 환산한 것이다. 총강우량 중에서 직접유출을 통해 손실되는 양은 740백만 m^3 /년(20.5%)이고, 증발산량은 1,216백만 m^3 /년

(33.7%)이며, 지하수 함양량은 1,653백만 m^3 /년(45.8%)이다. 결국, 총 강우량 중 54.2%인 1,956백만 m^3 /년은 손실되고 있다. 2003년 분석치를 1993년 분석결과와 비교해 보면, 총강우량은 221백만 m^3 /년이 늘어났고 직접유출량 또한 102백만 m^3 /년이 증가하였으며, 증발산량은 40백만 m^3 /년이 감소하여 지하수 함양량이 159백만 m^3 /년 늘어났다. 이와 같이, 총강우량과 지하수 함양량이 증가하게 된 가장 큰 이유는 최근 10년간 강우량이 증가추세를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 1993년에 비해 중산간지역 강우자료가 많이 확보되어 이 지역의 강우특성이 반영되었기 때문이다. 그러나, 직접유출량은 1993년에 비해 102백만 m^3 /년 증가해 유출율이 1.2% 높아진 것으로 분석되었으며, 증발산량은 Penman-Monteith 공식 적용과 토지이용 현황이 반영되어 40백만 m^3 /년이 감소한 것으로 나타났다.

2-2. 지하수 개발 및 이용현황

2-2-1. 개발현황

제주도에서 이용목적으로 지하수 관정이 처음으로 개발된 것은 1961년의 일이다. 제주도는 정부와 USOM(Unite States Operations Mission; 미국 대외 원조기관)의 지원으로 1961년 초부터 중산간지대 심정굴착 가능성을 조사하기 시작했으며, 1961년 12월 13일 애월읍 수산리에서 지하 73m를 착정해 395 m^3 /일의 지하수가 개발되었는데, 이것이 제주도 최초의 지하수 관정이 되었다.

2005년 10월 현재 제주도 전체적으로 개발된 지하수 관정은 4,931공이며, 지하수 개발량은 1,569천 m^3 /일으로서 적정 개발량 대비 88.7%에 이르고 있다(표 2 참조).

<표 2> 제주도의 지하수 개발현황

(단위 : 공, 천m³/일)

구분		합계	생활용수	농수축산	공업·기타
합 계	공수	4,931	1,415	3,247	269
	개발량	1,569,457	657,558	871,046	40,853
제 주 시	공수	869	651	168	50
	개발량	295,476	229,202	58,212	8,062
서귀포시	공수	1,123	298	807	18
	개발량	241,333	103,992	135,396	1,945
북제주군	공수	969	251	604	114
	개발량	476,306	177,587	281,912	16,807
남제주군	공수	1,970	215	1,668	87
	개발량	556,342	146,777	395,526	14,039

※ 공수는 2005년 10월 현재 준공된 관정, 염지하수(1,093공 7,222천톤/일)

시·군별 관정 개발 실태를 보면, 남제주군 지역이 전체 관정의 40.0%인 1,970공이 개발돼 있고, 서귀포시 지역은 1,123공(22.8%), 제주시와 북제주군 지역은 각각 869공(17.6%)와 969공(19.7%)이다. 지하수 개발량은 남제주군 지역이 전체 개발량의 35.4%인 556천m³/일으로 가장 많고, 북제주군 476천m³/일(30.3%), 제주시 295천m³/일(18.8%), 서귀포시 241천m³/일(15.4%)이다.

용도별로 보면, 농축업용이 전체 관정의 65.8%인 3,247공을 차지하고 있으며, 생활용이 1,415공(28.7%), 공업 및 기타용이 269공(5.5%)이다. 생활용 관정은 제주시 지역이 651공으로 전체의 46.0%를 차지하고 있는 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 1,668공으로 전체의 84.7%를 차지하고 있어 시·군별 지하수 관정의 용도가 뚜렷하게 구분되고 있다. 용도별 지하수 개발량은 농축업용이 871천m³/일으로 전체의 55.5%

를 차지하고 있고, 생활용은 658천 m^3 /일(41.9%), 공업 및 기타용은 41천 m^3 /일(2.6%)이다. 생활용 지하수 개발량은 제주시 지역이 229천 m^3 /일(34.8%)로 가장 많은 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 396천 m^3 /일(45.5%)로 농축업용 지하수 개발량의 절반을 차지하고 있다.

2-2-2. 지하수 이용현황

4,881개의 지하수 관정을 대상으로 지하수 이용량을 조사한 결과<표 3>, 제주도 전체적인 1일 최대 지하수 이용량은 1,191천 m^3 으로 적정 개발량 대비 67.4%, 지하수 개발량(허가량) 대비 77.8%로 분석되었다. 용도별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 생활용이 545천 m^3 (45.8%)이고, 농축업용이 543천 m^3 (45.6%)이며, 공업 및 기타용은 103천 m^3 이다. 시·군별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 제주시 지역은 237천 m^3 /일이고 서귀포시 193천 m^3 /일, 북제주군 316천 m^3 /일, 남제주군 445천 m^3 /일이다. 제주시 지역은 전체 이용량의 79.3%(188천 m^3 /일)가 생활용인 반면, 북제주군 및 남제주군 지역은 전체의 54~55%가 농축업용이다.

공공용 관정의 지하수 이용량은 전체의 59%를 차지하고 있으며, 개발량 대비 이용량 비율은 77%이고, 공당 평균 이용량은 629 m^3 /일로 분석되었다. 사설관정의 경우, 개발량 대비 이용량은 66%이고, 공당 평균 이용량은 112 m^3 /일이다.

표고별 지하수 이용량을 보면, 해발 100m이하 지역이 총 이용량의 70.0%에 이르는 884천 m^3 /일을 차지하고 있어 해안 저지대 지역에서 지하수의 집중적인 이용이 진행되고 있음을 알 수 있다. 해발 100~200m 사이 지역은 전체 지하수 이용량의 21.4%인 250천 m^3 /일이고, 해발 200m 이상 지역은 전체의 9%인 107천 m^3 /일이다.

<표 3> 제주도의 지하수 이용현황

(단위 : 공, m³/일)

구 분		계	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군
계	공 수	4,881	878	1,120	930	1,953
	일평균	423,002	85,207	75,897	104,001	157,896
	일최대	1,190,630	237,123	192,649	315,570	445,288
생활용수	공 수	1,456	697	303	242	214
	일평균	205,793	69,926	33,370	41,315	61,182
	일최대	545,381	187,963	96,221	107,720	153,477
농수축산	공 수	3,230	140	807	612	1,671
	일평균	204,792	13,137	42,055	57,464	92,134
	일최대	542,552	31,773	93,980	172,514	244,285
공업기타	공 수	195	41	10	76	68
	일평균	12,417	2,144	472	5,222	4,579
	일최대	102,696	17,387	2,448	35,336	47,526

※ 공수는 2004년까지 준공된 관정, 관측공 99공 제외

2-3. 용천수 개발 및 이용현황

2-3-1. 용천수 현황

제주도의 해안변과 고지대에 분포하고 있는 용천수는 지하의 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 지하수를 말한다.

도 전체적으로 용천수는 911개소에 이르는데, 해발 200m이하의 저지대에 전체의 92.3%에 달하는 841개소가 분포하고 있으며 중산간지대에 49개소, 해발 600m이상의 고지대에도 21개소가 분포하고 있다(표 4). 지

역별로는 북제주군에 398개소로 가장 많은 용천수 분포하고 남제주군에 203개소, 서귀포시에 168개소, 제주시에 142개소가 분포하고 있다.

<표 4> 지역별 용천수 분포 현황

(단위 : 개소)

시 군 별	합 계	저지대 (200m 이하)	중산간지대 (200~600m)	고지대 (600m이상)
합 계	911	841(92.3%)	49(5.4%)	21(2.3%)
제 주 시	142	111	23	8
서귀포시	168	151	12	5
북제주군	398	378	14	6
남제주군	203	201	-	2

자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도

제주도가 1998~1999년 사이에 용출량(701개소 측정)을 측정한 결과에 의하면, 1일 평균 용출량은 1,083,363m³이고 최대 용출량은 1,608,342 m³으로 시기에 따라 용출량의 변화가 크게 나타나고 있다(표 5 참조). 1일 평균 용출량과 최대 용출량을 한국수자원공사(1993)의 측정결과와 비교할 때, 1일 평균 용출량은 26,766m³이 적은 반면, 최대 용출량은 498,213m³이 많은 것으로 조사되었다.

<표 5> 지역별 용천수의 용출량

지 역 별	제주도 조사('98~'99)			한국수자원공사('93)	
	측정 개소	용출량(m ³ /일)		측정 개소	용출량 (m ³ /일)
		평 균	최 대		
합 계	701	1,083,363	1,608,342	403	1,110,128
제 주 시	105	288,118	417,607	51	229,560
서귀포시	147	272,032	421,509	61	310,508
북제주군	296	367,161	523,405	197	362,140
남제주군	153	156,052	245,821	94	207,920

자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도

2-3-2. 용천수 이용현황

도내에 분포한 용천수 중 수량고갈·위치멸실·주변훼손된 200개소를 제외한 711개소의 이용현황을 보면(표 6), 상수원으로 이용되는 용천수가 28개소이고, 생활용 218개소(30.6%), 농업 및 생활용 122개소(17.2%)이며, 이용하지 않는 것은 339개소(47.7%)이다. 상수원으로 이용되는 용천수는 제주시와 서귀포시에 편중(22개소)되어 있고, 생활용은 북제주군 지역이 115개소로 가장 많았다. 농업용은 서귀포시와 북제주군지역이 80개소이며, 미이용 용천수는 북제주군과 남제주군지역(249개소)에 편중되어 있으며, 제주시와 서귀포시에는 각각 39개소와 51개소이다.

용천수를 상수원으로 이용하기 위한 개발사업은 1953년 금산수원을 시작으로 추진되어 강정, 이호, 외도, 삼양, 옹포, 서림, 어승생(Y계곡 및 구구곡) 등 20개소의 용천수가 상수원으로 개발되었다(표 7).

<표 6> 용천수의 용도별 이용현황

(단위 : 개소)

시 군	합 계	상수원	생활용	농업용	생활/ 농업용	기타 (수산용)	미이용	고갈/ 멸실	주변훼손
합 계	911	28	218	103	19	4	339	182	18
제 주 시	142	12	28	19	11		39	32	1
서귀포시	168	10	35	44	7		51	20	1
북제주군	398	4	115	36		3	141	88	11
남제주군	203	2	40	4	1	1	108	42	5

자료 : 제주의 물 용천수, 1999, 제주도

2004년말 현재 상수원으로 이용 중인 용천수는 총 19개소에 207,200 m³/일의 시설용량을 갖추고 1일 평균 106,993m³을 먹는물로 공급하고 있다. 상수원으로 개발된 용천수는 전체 평균 용출량의 약 19.1% 정도이며, 이들 19개소 용천수는 제주도 상수도 전체 시설용량의 44.8%를 차지하고 있을 뿐 아니라, 전체 급수량의 57.1%를 차지하고 있다. 지역별로 보면, 제주시 지역은 금산수원을 비롯하여 삼양 1,2,3수원·이호수원·외도수원·용담수원 등 6개소에 133,950m³/일이 개발되어 있고, 서귀포시 지역에는 강정수원·돈내코수원·천제연수원 등 7개소에 37,850 m³/일이 개발되어 있어 용천수를 이용한 상수원은 주로 제주시와 서귀포시에 편중되어 있다. 특히, 제주시의 경우에는 용천수 상수원이 상수도 시설용량의 70.5%를 차지하고 있다. 북제주군의 경우 옹포수원(20,000m³/일)이 개발되어 있고, 남제주군은 서림수원·선돌수원·성판악수원에서 1일 19,000m³/일이 개발되어 있다.

<표 7> 상수원으로 개발·이용 중인 용천수 현황(2004년말 현재)

지역별	용천수명	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	개발년도
합 계	19개소	207,200	106,993	
제주시	Y계곡물 (선녀폭포물 포함)	21,450	8,474	1967~1970
	외 도	14,000	4,044	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 1971~1972 • 2차 : 1978
	이 호	10,000	6,078	<ul style="list-style-type: none"> • 1985~1988
	삼 양	55,000	29,168	<ul style="list-style-type: none"> • 1수원 : 1979~1982 • 2수원 : 1983~1984 • 3수원 : 1992~1995
	금 산	18,500	10,161	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 1953~1957 • 2차 : 1991~1992
	용 담	15,000	13,912	1994~1997
서귀포시	강 정	25,000	10,864	
	약근천	8,000	-	
	돈내코	800	266	
	서 흥	1,000	290	
	중 문	1,200	1,044	
	상 예	1,700	1,058	
	호 근	150	-	
북제주군	용 포	20,000	10,020	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 1986~1990 • 2차 : 1990~1997
남제주군	성판악	200	-	1967
	선 돌	200	-	1966
	서 립	15,000	11,614	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 1963 • 2차 : 1990~1993 • 3차 : 1996~1999

2-4. 지표수 개발 및 이용현황

1970년대까지만 하더라도 제주도에서 빗물이용은 보편화되어 있었으나 지하수 개발이 성행하면서 빗물을 이용하는 사례는 점점 감소하였다. 그렇지만, 아직도 감귤원을 비롯한 비닐하우스 시설 등에서는 빗물 저장시설을 만들어 빗물을 이용하고 있지만 정확한 현황에 대해서는 파악이 되어 있지 않다. 지표수를 이용하기 위한 시설로는 저수지 시설과 골프장의 저류조 시설에 대해 소개하고자 한다.

<표 8> 제주도내에 시설된 대표적인 빗물이용시설 현황

구 분	명 칭	시설규모	용 도	비 고
빗물이용 시설	서귀포 월드컵경기장	500m ³	화장실용수, 조경용수	수도법
	한국공항(주) 유리온실	4,500m ³	농업용수	
저수지	용수저수지	335,000m ³	"	공공용
	수산저수지	724,000m ³	"	"
	광령저수지	76,000m ³	"	"
	제동목장 저수지	160,000m ³	축산용수	사설
골프장 저류지	클라운 골프장	91,920m ³	조경용수	
	핑크스 골프장	66,800m ³	"	
	해비치리조트 골프장	113,000m ³	"	
	나인브릿지 골프장	102,000m ³	"	
	레이크힐스 골프장	153,306m ³	"	
	캐슬렉스 골프장	122,490m ³	"	
	엘리시안 골프장	236,000m ³	"	
	신안 골프장	100,000m ³	"	
	라운 골프장	106,220m ³	"	
	로드랜드 골프장	70,172m ³	"	
	스카이힐	151,329m ³	"	
	봉개프라자	113,305m ³	"	
	블랙스톤	177,000m ³	"	
	샤인빌	44,688m ³	"	

저수지는 공공용 저수지와 사설저수지로 나눌 수 있는데, 용수·수산·광령저수지는 공공용 저수지로서 총 저수용량은 1,153천 m^3 이며, 수혜면적은 130ha 정도이다. 사설 저수지는 남제주군 표선면 가시리에 위치한 제동목장 내에 시설된 저수지로서 2개소에 총 저수용량은 160천 m^3 이다.

골프장에서 발생하는 지표수와 그린에 살수한 물을 재순환 사용하기 위해 시설한 ‘골프장 저류시설’이다. 2005년 10월 현재 빗물이용시설은 2개소 5,000 m^3 이고, 저수지는 공공용과 사설 저수지를 합해 4개소 1,295천 m^3 이며, 골프장 저류시설은 14개소 1,648천 m^3 으로서 총 시설규모는 2,948천 m^3 이다(표 8 참조).

빗물이용시설은 서귀포 월드컵경기장에 500 m^3 규모와 한국항공(주) 유리온실에 4,500 m^3 가 시설되어 있다. 서귀포 월드컵경기장의 빗물이용시설은 지붕면적이 19,770 m^2 이기 때문에 2001년 9월 28일 개정된 수도법 제11조의3의 규정을 적용받아 설치한 시설이며, 화장실용수와 조경용수 등으로 사용하고 있다. 한국공항(주) 유리온실은 남제주군 표선면 가시리 소재 제동목장 부지 내에 위치해 있는데, 1,500 m^3 규모의 빗물저류시설 3기와 집수시설 등을 설치하였다. 현재 이곳에서는 연간 약 22,000 m^3 의 빗물을 파프리카 재배에 직접 이용하고 있으며, 약 28,000 m^3 은 배수시키고 있다.

2-5. 상수도 시설 및 공급현황

2004년말 현재 제주도의 상수도 시설용량은 총 462,378 m^3 /일이고, 1일 평균 급수량은 187,286 m^3 이다(표 9). 총 인구 557,235명 중 557,200명에게 상수도가 보급되어 상수도 보급률이 전국에서 가장 높은 100.0%이다. 1인 1일당 급수량은 336 l 로서 전국평균(361 l)보다는 적지만 프랑스(300 l)나 독일(233 l)보다는 많은 편에 속한다.

수원별로 살펴보면, 용천수가 185,750m³/일(16개소)로 전체 시설용량의 40.2%를 차지하며, 지하수 253,018m³/일(198개소), 담수시설 및 저수지 등 2,160m³/일(8개소)이다.

<표 9> 상수도 시설 및 공급현황(2004. 12. 31 현재)

구 분	지구수 (개소)	총인구 (인)	급수인구 (인)	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	비 고
합 계	237	557,235	557,200	462,378	187,286	
용 천 수	16	294,520	294,520	185,750	104,636	
지 하 수	198(14)	244,356	244,356	253,018	72,134	
어승생수원	1	13,048	13,048	21,450	9,294	
담 수 시 설 및 저 수 지	8	5,311	5,276	2,160	1,222	

시·군별 상수도 시설 및 공급현황을 살펴보면 다음과 같다(표 10). 제주시는 인구 및 각종 시설의 밀집으로 인하여 상수도의 대량 소비가 이루어지고 있는 지역으로서 1일 227,500m³/일(도 전체의 49.2%)을 공급할 수 있는 시설이 갖춰져 있으며, 1일 급수량은 도전체 급수량의 56.2%인 105,232m³/일을 차지하고 있다. 서귀포시의 상수도 시설용량은 84,100m³/일이고, 1일 급수량은 30,437m³/일이며, 북제주군의 상수도 시설용량과 1일 급수량은 각각 80,448m³/일, 29,714m³/일이며, 남제주군은 각각 70,330m³/일, 21,903m³/일이다. 1인 1일 당 급수량은 도 전체적으로는 평균 336ℓ이지만 시 지역(제주시, 서귀포시)은 354ℓ 와 362ℓ 이고, 군 지역인 북제주군과 남제주군은 각각 290ℓ 와 297ℓ 이다.

<표 10> 시·군별 상수도 시설 및 공급현황

구분	계	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군
총인구 (인)	557,235	296,990	84,070	102,342	73,833
급수인구 (인)	557,200	296,990	84,070	102,307	73,833
보급률 (%)	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0
시설용량 (m ³ /일)	462,378	227,500	84,100	80,448	70,330
급수량 (m ³ /일)	187,286	105,232	30,437	29,714	21,903
1일1인 급수량(ℓ)	336	354	362	290	297

Ⅲ. 하수처리장 방류수 재이용

3-1. 하수처리장 방류수 재이용 사례

사람들은 하수를 더럽고 유해한 것으로만 인식하고 있으나 하수의 99%는 물로 이루어져 있기 때문에 재이용을 할 수 있는 좋은 대체수자원이라고 할 수 있다. 특히, 환경보전에 대한 주민의식이 높아지면서 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증가하고 있고, 예기치 못한 잦은 이상가뭄과 세계적인 물 부족위기에 대한 경고가 이어지면서 중수도시설의 확대 필요성이 꾸준히 제기되고 있는 실정이다. 이와 더불어 국내외적으로 오·폐수처리기술이 급속히 발전하면서 하수를 먹는 물로 이용하더라도 전혀 손색이 없을 정도로 깨끗하게 처리할 수 있는 수처리 기술이 크게 향상되어 있다. 하수처리장 방류수 재이용 실태를 살펴봄과 아울러, 미국을 비롯한 외국의 방류수 재이용 사례에 대한 검토를 통하여 제주지역에 적합한 방류수 재이용 방안모색에 활용하고자 한다.

3-1-1. 우리나라의 하수처리장과 재이용현황

2002년말 기준 전국에 가동 중인 하수종말처리장은 모두 201개소이며, 2001년과 비교할 때 13개소가 증가하였다(표 11). 2002년 말 현재 201개소의 시설용량은 총 19,976천 m^3 /일이며, 이 중 연간 6개월 이상 가동된 190개소에서 1일 처리되는 하수량은 16,819천 m^3 이다

전국 하수처리장에서 발생하는 방류수 재이용현황을 보면(2002년), 연간 총 하수유입량 61억 m^3 중 4.2%인 2.62억 m^3 이다(표 12). 2002년도에 재이용된 하수방류수 중 64.3%는 하수처리장내에서 화장실용수, 세정용수, 냉각용수, 희석용수, 기타용수(환경학습장, 소포용수 등) 등으로 사용되었고, 나머지 35.7%는 하수처리장 외에서 공업용수, 농업용수, 환경용수(하천유지용수) 등으로 사용된 것으로 조사되었다(표 13).

<표 11> 2002년말 현재 전국 하수처리장 시설 현황

구 분	2002	2001	2000	2001년 대비		
				계	신 설	증 설
처리장수 (개소)	201	184	172	13	13	(5)
시설용량 (천m ³ /일)	19,975.85	19,229.75	18,399.93	829.3	369.3	460.0
도시수	122	112	106	12	12	(5)

자료 : 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과, 2003, 환경부

<표 12> 전국 하수처리장 방류수 재이용 현황 (단위 : 천m³/년)

연도별	하수유입량	재이용현황		재이용내역		
		재이용량	재이용율	계	처리장내	처리장외
2001	5,884,974	173,559	2.95%	173,559 (100%)	116,406 (67.1%)	57,153 (32.9%)
2002	6,128,780	261,926	4.27%	261,926 (100%)	193,067 (64.3%)	68,859 (35.7%)

자료 : 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과, 2003, 환경부

<표 13> 전국 하수처리장 방류수 재이용 용도별 현황

연도별	구 분	재이용 용도별										
		계	청소수	세척수	공업용수	냉각용수	회석용수	농업용수	하천유지	식수대살수	중수도	기타용수
2001	재이용수량 (천m ³ /년)	173,559	7,491	62,729	492	19,268	6,982	19,934	35,523	1,204	500	19,436
	비율(%)	100	0.03	34.30	0.28	10.78	3.97	11.43	20.42	0.69	0.29	10.92
2002	재이용수량 (천m ³ /년)	261,926	13,004	101,086	-	21,302	8,582	10,206	58,653	1,170	800	15,159
	비율(%)	100	5.0	38.6	-	8.1	3.3	3.9	22.4	0.4	0.3	5.8

자료 : 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과, 2003, 환경부

3-1-2. 가좌하수처리장 방류수 재이용 사례

인천광역시 동구에 소재한 INI스틸 인천공장은 연간 365만^{m³} 이상의 상수도를 냉각용수로 사용하고 약 40억원에 달하는 비용을 상수도 요금으로 지출하여 왔다. 이처럼 과도한 상수도 요금 부담과 가뭄 시 용수 부족 문제를 해결하기 위하여 INI스틸에서는 인천시 가좌동 하수종말처리장의 방류수를 재처리하여 공업용수로 이용하기 위한 프로젝트를 추진하였다(폐수재활용 공정개발 실험보고서, 2001, 미래환경기술(주)).

우선적으로 하수처리장 방류수를 공업용수로 재이용하는데 필요한 방류수의 수질성상 분석, 수질조건을 만족시키기 위한 단위공정의 선정, 최적의 조합공정 선정 등을 위해 실내 실험과 Pilot Plant를 운영하고 있다. INI스틸에 설치된 방류수 재처리시설은 다음과 같은 3단계로 구성되어 있다.

- ① 전처리 공정 : 부유물질 제거를 위해 응집처리 후, 디스크 드럼 필터(Disk Drum Filter)를 이용해 여과처리
- ② 와류식 다층여과(V-Filter) : 콜로이드 같은 미세부유물질 제거를 위해 미세모래를 이용한 와류식 다층여과처리
- ③ 역삼투막(Reverse Osmosis): 무기염류 등 제거를 위한 고도처리

<표 14> INI스틸 인천공장 하수 재처리시설 처리 수질

항 목	철강용수	방류수	DDF	V-FILTER	RO	적합성
PH	6.5~7.5	6.8	6.8	-	7	적합
SS(mg/ℓ)	5 이하	20	20	<6	ND	적합
COD(mg/ℓ)	6 이하	11	11	1이하	ND	적합
EC(μs/cm)	300 이하	1219	1219	-	40	적합
Cl(mg/ℓ)	50 이하	456	456	-	13	적합

자료 : 폐수재활용 공정개발 실험보고서, 2001, 미래환경기술(주)

이와 같은 재처리시설의 단계별 수질은 <표 14>과 같이 최종 처리단계인 RO 처리수에서는 SS, COD 등이 검출되지 않고 있다.

INI스틸은 2002년 9월 인천광역시와 가좌하수종말처리장으로부터 1일 16,000m³의 방류수를 이용하는데 필요한 제반사항에 대해 협약을 체결하였고, 2002년 11월에 1일 12,000m³의 공업용수를 생산할 수 있는 재처리시설 공사를 완료하여 현재 가동 중에 있다(사진 1).

하수처리장 방류수를 재처리하기 위한 설비를 비롯하여 가좌하수종말처리장에서 방류수를 공장까지 송수해오는데 필요한 배관공사(직경 500mm, 연장 1.5km) 등에 총 76억원이 투자하였다. INI 스틸은 방류수를 공업용수로 재이용함으로써 연간 약 34억 5천만원의 상수도 요금을 절약하는 효과를 얻고 있으며, 연간 재처리시설 운영에 13억 44백만원이 소요되어 생산단가는 m³ 당 305원이며, 투자비 회수기간은 2.13년으로 전망하고 있다.



<사진 1> INI 스틸에 시설된 방류수 재처리시설 전경

3-2. 미국의 방류수 재이용 현황

3-2-1. 방류수의 이용용도

미국은 수자원보호, 용수의 효율적인 이용, 대체수자원 확보라는 관점에서 오래전부터 하수처리장 방류수 재이용을 추진해 왔으며, 방류수의 이용은 지역에 따라 다소 차이가 있지만 다음과 같이 6가지 용도로 분류할 수 있다.

- ① 농업용수 및 조경용수
- ② 산업용수(냉각수, 보일러 용수, 공정수)
- ③ 지하수 함양 및 해수침입 방지용수
- ④ 레크리에이션(호수, 연못 및 습지 보충수, 하천 유지용수)
- ⑤ 생활용수(소화용수, 수세식 화장실 용수, 청소용수)
- ⑥ 음용수 : 지하수 또는 지표수와 혼합, 직접 음용수로 사용

3-2-2. 방류수 재이용의 특징

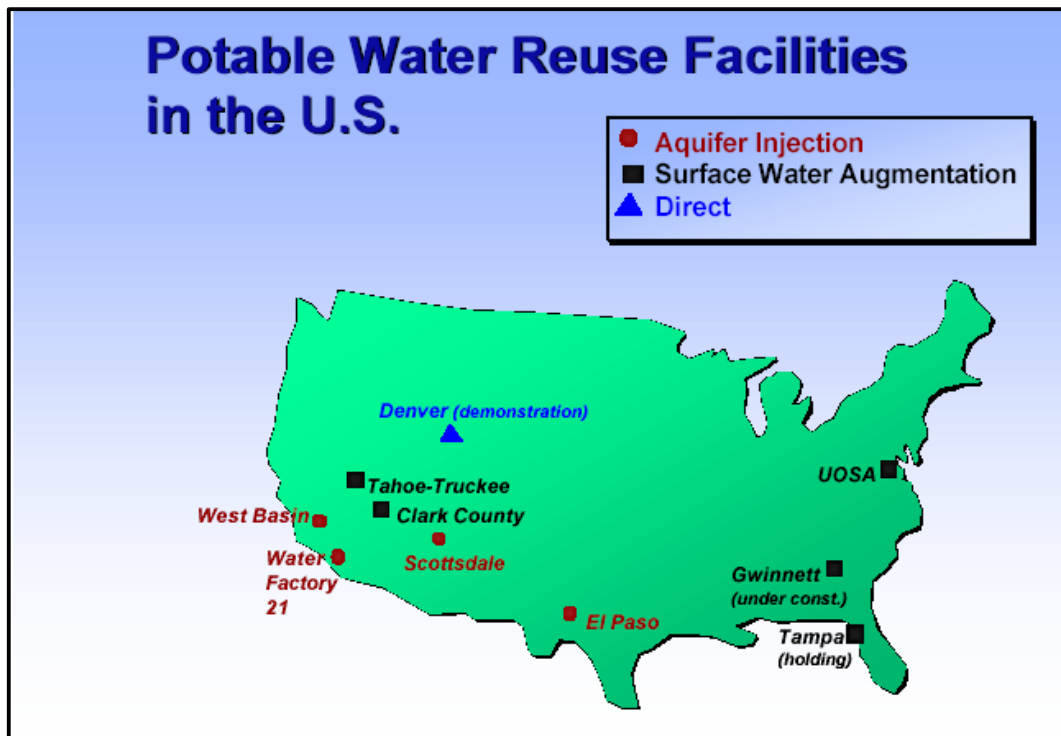
첫 번째는 주로 하수처리장 방류수를 고도처리 하여 광역적으로 재이용하고 있는데, 이는 다른 용수 공급원을 확보하기 어려운 지역에서 주로 이루어지고 있다. 1960년 콜로라도주 콜로라도 스프링스시에서는 재처리된 방류수를 골프장, 공원 및 공동묘지에 사용하기 시작하였고, 플로리다주 세인트 피터버그시에서도 1977년부터 하수처리장 방류수를 200마일이 넘는 관로를 시설해 공원, 골프장, 학교 운동장, 냉각용수 등으로 재이용해 오고 있다.

두 번째 특징은 방류수의 재이용은 주로 농업용수(관개용), 공원 및 골프장용수 등과 같이 비음용수로서 재이용하고 있다. 1995년 미국 지질조사소에서 발간한 미국 물 사용량 통계에서 보면(USGS Circular 1200, 1998), 미국 전역에서 1일 사용되고 있는 방류수는 3,856천 m^3 이며, 캘리포니아주가 전체의 33%에 이르는 1일 1,262천 m^3 을 사용하였고, 플

로리다주는 23%인 892천 m³의 방류수를 재이용하였다. 또한, 캘리포니아주 물 재이용기획단(Recycled Water Task Force)에서 발간한 자료에 의하면, 2000년 1년 동안 495,264천 m³(1일 1,357천 m³)의 방류수를 재이용하였다.

세 번째 특징은 해수침투 방지 등 지하수 보호 및 환경용수로도 방류수를 재이용하고 있는데, 캘리포니아주 오렌지카운티의 Water Factory 21에서는 1976년부터 재이용수를 지하수로 함양시켜 오고 있다.

마지막으로, 미국에서는 방류수를 재처리하여 음용수로 재이용하기 위한 연구가 덴버, 템파, 엘파소 등에서 수년간 지속되고 있다(그림 1 참조).



<그림 1> 미국내 재처리수를 음용수(직접 또는 간접)로 사용하고 있는 지역

3-2-3. 하와이주의 사례

(1) 배경

하와이주는 제주도처럼 화산활동에 의해 형성된 섬으로 이루어져 있으며, 용수의 대부분을 지하수에 의존하고 있다. 1975년 오아후섬 전체의 물 이용량(1,779천m³/일) 중 90%인 1,600천m³/일이 지하수였고, 전체 지하수 이용량의 51%가 사탕수수 관개용수로 사용되었다. 1975년에 수립된 '오아후섬 장기 수자원계획'에 의하면, 2000년경에 오아후섬의 물 사용량은 지하수 적정 개발량을 초과한 2,157천m³/일에 이를 것으로 예측되어 지하수자원을 대체할 수 있는 수원개발이 시급한 과제로 대두되었다. 하수처리장에서 발생하는 방류수는 재처리 과정을 거치면 농업용수로 사용할 수 있는 가장 좋은 대체수자원으로 평가되었고, 1971년부터 1975년까지 하수처리장 방류수를 농업용수 및 골프장 관개용수로 재이용하기 위한 기초연구가 하와이대학교 수자원연구센터에 의해 본격적으로 이루어졌다. 이 연구에서는 재처리수의 수질에 대한 현장 및 실험실 연구, 처리수 중의 바이러스 함량 및 토양 속으로 침투된 물 중의 바이러스 함량, 처리수가 사탕수수의 생산량과 품질에 미치는 영향, 지하수 오염에 미치는 영향 등에 대한 연구가 집중적으로 이루어 졌다. 1977년에는 오아후섬 중부지역에 위치한 Mililani 하수처리장 부지에 방류수의 재이용을 위한 재처리시설이 설치되었다.

또한, 근래에 들어오면서 비옥한 농경지였던 오아후섬 에바(Ewa) 지역이 주거지역, 상업지역, 공업지구로 활발하게 개발이 진행되고 있다. 이 같은 개발사업의 진행은 지하수 함양량 감소와 지하수 채수량 증가를 가져왔고, 그 결과 기존 관정의 염분도가 증가하는 현상이 발생해 하와이주 토지 및 자연자원국에서는 에바지역에 신규 지하수 관정허가 및 기존 관정 갱신허가를 제한하는 조치를 취하였다. 또한, 에바지역에 건설된 골프장에서는 관개용수로 저염지하수(brackish water)를 퍼 올려 사용하고 있고, 신규 택지개발로 상수도 수요량이 증가하였을 뿐만 아니

라, Campbell공업단지 내의 많은 공장시설들에서도 대량의 담수소비가 이루어지고 있어 이를 대체할 용수개발이 필요한 실정이다. 하와이주에서 하수처리장 방류수의 재이용은 한정된 지하수자원을 보전·보호할 뿐만 아니라, 미래에 닥쳐올 물 부족을 대비한 대체수자원 개발프로그램의 일환으로 착수되었다.

(2) 하와이주의 방류수 재이용 현황

2002년 7월 현재 하와이주에는 총 43개소에서 1일 70,675m³의 하수처리장 방류수를 이용하고 있다(표 15 참조). 지역별로는 마우이섬이 22개소·13,497m³/일이고 오아후섬이 8개소·39,633m³/일, 카우아이섬이 7개소·12,096m³/일, 하와이섬이 6개소·5,499m³/일이며, 주 이용용도는 농업용수, 골프장 관개용수, 조경용수(공원, 운동장, 고속도로변 등), 공업용수 등이다. 이들 시설 중 오아후섬의 Honouliuli 재처리시설과 마우이섬의 Kihei 재처리시설은 대표적인 광역순환방식의 시설이다.

(3) 하와이주의 하수처리장 방류수 재이용에 관한 기준

하와이주정부(보건국)에서는 방류수 재이용이 날로 증가하고 있음에 따라 하와이주행정법 제11장 62편에 근거하여 방류수 재이용에 관한 기준을 제정해 시행하고 있다. 하와이주 보건국(DOH)은 1993년 11월 'Guidelines for the Treatment and Use of Recycled Water'을 마련해 적용해 오다가 지난 2002년 5월에 개정하였다. 이 기준은 전체 10편으로 이루어져 있으며, 방류수의 재이용으로 인하여 초래할 수 있는 공중의 보건과 대수층 또는 지표수에 미치는 악영향을 방지하기 위한 구체적인 사항들을 규정해 놓고 있는데, 주요내용을 보면 다음과 같다.

- 제2편 : 기준에서 사용되는 용어에 대한 정의
- 제3편 : 재처리수의 사용과 수질기준
- 제4편 : 오·폐수 처리시설의 공정

<표 15> 하와이주의 방류수 재이용 현황(2002. 7 현재)

지역별	공 급 자 (시설운영자)	이 용 자	용 도	공급가 격 (원/m ³)	이용량 (m ³ /일)	수질 등급
하와이섬 (6개소)	Heeia Wastewater Reclamation Facility	Kona & Alii 골프장	골프장 관수	동력비	1,700	R-2
	South Kohala Wastewater Corporation	Mauna Kea 골프장	골프장 관수	221	756	R-2
	Mauna Lani Resort WWRf	Mauna Lani 리조트 및 골프장	골프장관수, 육묘	동력비	945	R-2
	Punaluu Water & Sewer	Sea Mountain 골프장	골프장 관수	63	45	R-2
	Kealahou WWRf	Swing Zone 골프연습장	골프연습장 관수	무 료	113	R-2
	West Hawaii Utilities Company	Waikoloa Beach 리조트 및 골프장	골프장 관수	95	1,890	R-2
카우아이섬 (7개소)	Lihue WWRf (카우아이군)	Kauai Lagoons 리조트	골프장 관수	무 료	5,670	R-2
	Poipu WWRf	Kiahuna 골프장	골프장 관수	무 료	945	R-2
	Waimea WWRf (카우아이군)	KiKiaola 토지회사	농업용수	무 료	945	R-2
	Hyatt WWRf	Poipu Bay 리조트 골프장	골프장 관수	무 료	756	R-2
	Princeville Utilities Company	Princeville Makai 골프장	골프장 관수	44	2,268	R-2
	Grove Farm Development (Lihue-Puhi WWRf)	Puakea 골프장	골프장 관수	무 료	756	R-1
	Wailua WWRf (카우아이군)	Wailua 골프장	골프장 관수	무 료	756	R-2

<표 15> 계 속

지역별	공 급 자 (시설운영자)	이 용 자	용 도	공급가격 (원/m ³)	이용량 (m ³ /일)	수질 등급
마우이섬 (22개소)	Manele Bay Resort WWRF	Challenge at Manele	골프장 관수	무 료	604	R-1
	Kihei WWRF	Monsanto Seed Corn	농업,조경. 화장실 세정수	63, 174	945	R-1
	Kihei WWRF	Piilani 쇼핑센터	조경용수	174	113	R-1
	마우이군/ Lanai Water Company	Experience at Koele	골프장 관수	무 료	907	R-1
	Kihei & Lahaina WWRF	Goodfellow Brothers Construction Co.	먼지 방지용	174	189	R-1
	Kihei WWRF	Haggai Institute	조경용수	142	76	R-1
	Maui 파인애플사	HC & S Seed Cane	농업용수	174	756	N/A
	Lahaina WWRF(마우이군)	Kaanapali 리조트 및 골프장	골프장 및 조경용수	51	3,780	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Kalama 공원	조경용수	174	756	R-2
	Kihei WWRF(마우이군)	Piilani North 공 원	조경용수	174	95	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Kihei 소방서	조경용수	174	23	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Kihei 도서관	조경용수	174	38	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Kihei 초등학교	조경용수	174	113	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Lokelani 중학교	조경용수	174	113	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Micro Gaia사	Algae Domes 냉각용수	174	302	R-1
	Kahului WWRF(마우이군)	Kanaha 문화공원	조경용수	174	19	R-2
	Lahaina WWRF(마우이군)	Dick Pacific Construction사	먼지 방지용수	174	113	R-1
	Kaunakakai WWRF (마우이군)	Mauna Loa고속도 로	조경용수	174	19	R-2
	Pukalani WWRF	Pukalani 골프장	골프장 관수	동력비	869	R-2
	Kihei WWRF(마우이군)	Roiac 건설회사	먼지 방지용수	174	227	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	Elleair 마우이 골프장	골프장 관수	동력비 (110원)	3,402	R-1
	Kihei WWRF(마우이군)	하아이주 운송국	먼지방지 및 도로청소	174	38	R-1

<표 15> 계 속

지역별	공 급 자 (시설운영자)	이 용 자	용 도	공급가격 (원/㎡)	이용량 (㎡/일)	수질 등급
오아후섬 (8개소)	Honouliuli WWRF	Ewa District	조경용수 및 골프장 관수	363	15,120	R-1
	Honouliuli WWRF	Campbell 공업단지	공업용수	1,263~ 1,579	3,780	RO
	East Honolulu WWRF	Hawaii Kai 골프장	골프장 관수	313	756	R-1
	Laie WWRF	Hawaii Reserves/ Brigham 대학	농업용수	347	1,096	R-1
	Kanehohe만 해병기지	Kanehohe만 해병기지	골프장 및 조경용수	무 료	1,134	R-2
	Kuilima 리조트 WWRF	Links at Turtle Bay	골프장 관수	무 료	605	R-2
	호놀룰루시, 미육군	Waialua Diversified Agriculture	농업용수	무 료 (육군에서 7년간 9백만불지급)	17,010	R-2
	Waiawa Correction Facility WWRF	Waiawa Correction Facility	농업 및 조경	무 료	132	R-2

- 제5편 : 재처리수 공급 또는 배분에 관한 시설기준
- 제6편 : 처리시설의 설계 및 공사에 대한 보고서 작성
- 제7편 : 처리시설의 사용승인에 관한 사항
- 제8편 : 재처리수 재이용계획에 관한 보고서 작성
- 제9편 : 재처리수 재이용계획의 승인에 관한 사항
- 제10편 : 처리시설과 재처리수 이용에 따른 관리

이 기준에서는 재처리수(recycled water)를 ‘오·폐수를 처리시설에 의해 목적하는 용도로 유익하게 이용할 수 있는 수준까지 처리된 물’로

정의하고 있으며, 이 기준에서 정하는 하와이주의 재처리수 분류와 기준은 다음과 같다(표 16 참조).

- ① R-1 : 여과 및 소독과정을 통해 바이러스성 및 박테리아성 병원균이 없도록 처리된 물이며, R-1은 고수질을 가지는 물로서 잔디, 골프장, 공원, 초등학교 운동장, 도로변, 주택지 등 사람의 출입이 빈번한 장소에도 사용이 가능하다.
- ② R-2 : 이 물은 생물학적인 2차 처리와 소독처리를 거친 물로서 R-1보다는 다소 수질이 낮기 때문에 R-2의 사용은 보다 제한적이며, 주의를 필요로 하고, 골프장, 공원, 초등학교, 주택지 등에서는 관리자에 의해 관개용으로 사용할 수 있고, 공동묘지와 고속도로변 조경용수로도 사용이 가능하다.
- ③ R-3 : 이 물은 소독과정을 거치지 않은 2차 처리된 방류수로서 수질이 가장 낮은 물이고, 이 물은 사람의 출입이 적은 농업용수로만 사용할 수 있으며, 조경이나 잔디관개용으로는 사용할 수 없다.

하와이주에 시설돼 운영하고 있는 43개소의 재처리시설을 전술한 수질기준에 따라 분류하면, R-1수 이용시설이 21개소로서 전체의 49%이고, R-2수 이용시설은 20개소(47%)이며, Honouliuli 재처리시설에서는 역삼투막방식의 처리공정을 통한 고수질의 RO수를 생산해 농업용수로 공급하고 있다.

<표 16> 하와이주의 재처리수 이용에 관한 기준

사용처 또는 용도	R-1	R-2	R-3
관개용수 S : 분사, D : 물방울 및 지면, U : 지중, A : 분사·물방울·지면·지중 B : 버퍼와 함께 분사, N : 금지, / : 또는			
<ul style="list-style-type: none"> • 골프장 조경용수 • 고속도로 및 공동묘지 조경용수 • 곡물(구근류 포함)의 식용부와 접촉해도 되는 작물 재배용수 • 공원·초등학교 교정·운동장·거주지 주변 조경용수 • 도로변 및 중앙분리대 조경용수 • 제한된 공공 노출지에서 비식용 채소 재배용수 • 잔디농장 관수용수 • 판매용 관상식물 재배용수 • 관개수와 접촉하지 않고 지상에서 식량작물 재배용수 • 젓소 및 그 외 동물 방목지 용수 • 비식용 사료식물·수염뿌리식물·종자 곡물 재배용수 • 식량작물을 수확하는 과수원 및 포도밭 용수 • 관수하는 동안 식량작물을 수확하지 않는 과수원 및 포도밭 용수 • 식량작물을 수확하지 않는 목재와 나무 재배용수 	A	U/B	N
저류지 공급 수 A : 허용, N : 금지			
<ul style="list-style-type: none"> • 제한된 레크리에이션 저류지 용수 • 어류 부화장이 있는 분지 용수 • 장식용 분수대가 없는 조경용 저류지 용수 • 장식용 분수대를 갖춘 조경용 저류지 용수 	A	N	N
기타 용도 A : 허용, N : 금지			
<ul style="list-style-type: none"> • 화장실 및 소변기 세척용수 • 상업용 및 공공용 세탁소 용수 • 도로절단 공사를 하는 동안 톱날 냉각용수 • 장식용 분수대 용수 • yard, lot, 보도 청소용수 	A	N	N

<표 16> 계 속

사용처 또는 용도	R-1	R-2	R-3
• 오수관로 청소용수	A	A	N
• 지표면 청소용 고압분사기 용수	A	N	N
• 작업자가 노출돼 있지 않은 공장내 공정용수	A	A	N
• 작업자가 노출돼 있는 공장내 공정용수	A	N	N
• 냉각탑, 증발 응축기, 분무기, 수증기 또는 물방울 방출기가 없는 냉각기 또는 에어컨 용수	A	A	N
• 냉각탑, 증발 응축기, 분무기, 수증기 또는 물방울 방출기를 갖춘 냉각기 또는 에어컨 용수	A	N	N
• 공업용 보일러용수	A	A	N
• 골재세척 또는 콘크리트 제조용수	A	A	N
• 도로 및 지면 비산방지 용수	A	A	DU
• 길거리 청소용수	A	A	DU

(4) 호놀룰리우리 방류수 재처리시설(오아후섬)

오아후섬 서남부 에바지역에 있는 Honouliuli Wastewater Treatment Plant(WWTP)는 호놀룰루시가 운영하는 하수처리장로서 약 307km² 지역에서 발생하는 하수를 차집해 처리하고 있다. 이 처리장은 1984년 11월 운영을 시작했으며, 당초에는 94,600m³/일의 하수 처리능력을 갖추어 1차 처리 후 Mamala만 서쪽 심해를 통해 방류했고 그 이후 143,800m³/일 규모로 시설을 확장하였다. 하수처리는 전처리, 1차 처리, 2차 처리, 방류수 스크리닝, 고형물 처리, 냄새제거 등의 공정으로 이루어지고 있다.

이 처리장에서의 방류수 재이용 과정을 살펴보면, Honouliuli WWTP의 2차 처리시설은 하와이주 보건국과 호놀룰루시 간에 1993년 체결된 하와이주 보건국 협약에 의해 시설되었다. 이 협약의 주된 목적은 호놀룰루리 하수처리장에 2차 처리시설을 설치하여 하수를 재이용하는 것

이며, 1996년에 호놀룰룰리 하수처리장에 2차 처리시설이 설치되었고, 1998년부터 약 7,500m³/일을 재이용하기 시작하였다.

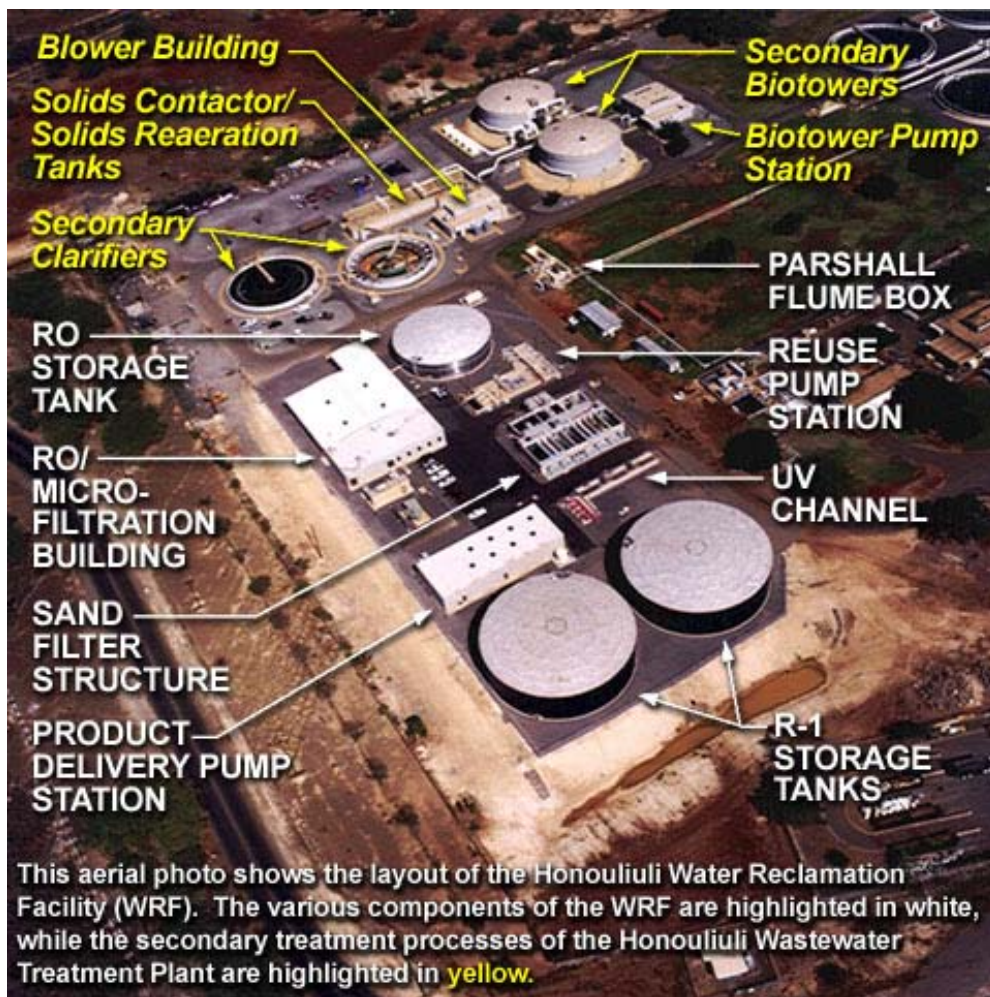


<그림 2> 호놀룰룰리 방류수 재처리시설 위치도

또한, 1995년 연방정부 환경보호청(EPA), 하와이주 보건국(DOH), 호놀룰루시 간에는 309 Consent Decree로 알려진 협약에 합의하였는데, 이 협약은 호놀룰루시정부가 하수처리장의 시스템을 개선하는 것을 이행토록 하고 있다. 이에 따라 호놀룰루시 정부에서는 2001. 7월까지 하수처리장 방류수를 재이용할 수 있는 시설을 설치해야 했는데, 1998년

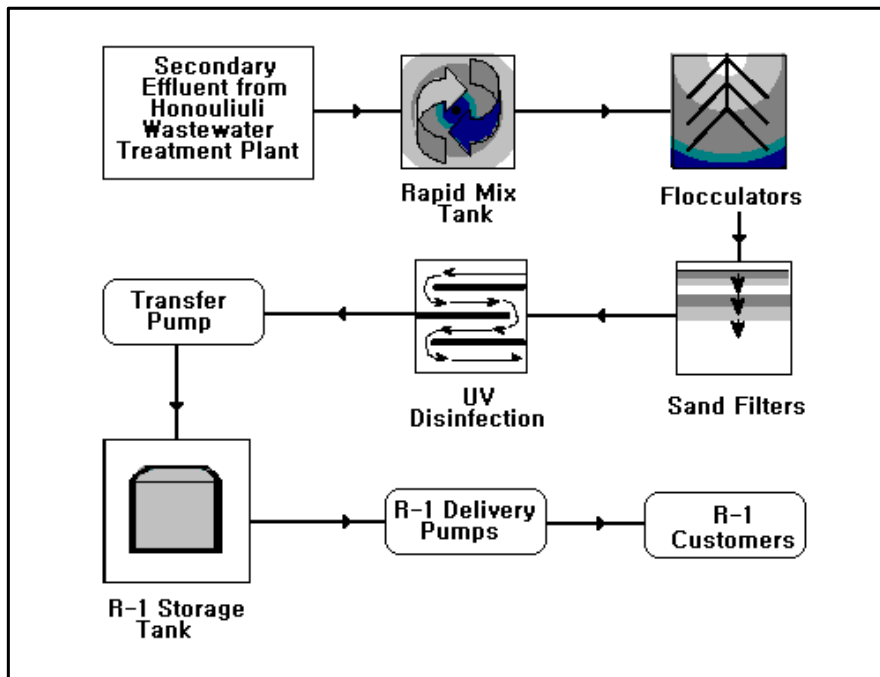
1월 공사에 착수하여 2000년 여름에 준공하였고, 8월부터 가동하기 시작하였다(그림 3).

방류수 재처리시설은 Honouliuli 하수처리장 부지에 설치되었으며, 약 577억원이 소요되었고, US Filter Operating Services에서 시공하였다.



<그림 3> 호노울리울리 방류수 재처리시설의 주요시설 배치도

방류수 재처리시설은 재사용 펌프장, 모래여과 시설(급속 혼합조와 응집조), 자외선 소독장치, 마이크로여과 및 역삼투막 설비동, 저장탱크, 공급펌프장으로 구성돼 있다(그림 3, 사진 2~5 참조). 1일 45,400m³/일의 방류수를 처리할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 이 시설에서는 농업용으로 적합한 R-1물과 공업용으로 사용할 수 있는 역삼투막 처리수(RO)를 생산하고 있다. R-1수는 1일 37,800m³ 생산할 수 있는데, 이 물은 현재 골프장(West Loch, Ewa Villages, Hawaii Prince, Coral Creek 등), 조경, 농업용으로 사용하고 있다(그림 4).



<그림 4> R-1수 생산을 위한 처리공정도



<사진 2> 하수처리장 방류수를 저장해 놓는 탱크의 모습



<사진 3> RO공정으로 보내는 처리수 탱크와 모래여과지의 모습



<사진 4> UV소독처리 장치의 모습



<사진 5> RO수 생산을 위한 역삼투막 설비의 모습

(5) 동부 호놀룰루 하수종말처리시설(오아후섬)

동부 호놀룰루하수종말처리장은 오아후섬의 동남쪽 Koko화산 근처에 위치해 있으며, Hawaii Kai 지역에서 발생하는 하수를 1일 약 15,600m³ 처리하고 있다. 하수종말처리장이 입지해 있는 이 지역 일대에는 담수지하수가 부존하고 있지 않고, 오직 저염지하수 밖에 개발할 수 없기 때문에 처리장에 인접해 있는 Hawaii Kai 골프장에서는 방류수를 골프장 관개용수로 1일 약 500~700m³ 정도 사용하고 있다(사진 6~9 참조). 이 처리장에서는 생물학적 처리공정에 의해 하수를 처리하고 있는데, 유입수와 방류수의 수질은 다음과 같다(표 17 참조). BOD의 경우, 193mg/ℓ의 농도를 갖는 유입수를 5.8mg/ℓ 수준으로 처리해 96.8%의 제거율을 보이고 있고, SS는 292mg/ℓ의 하수를 6.2mg/ℓ 수준으로 처리해 97.6%의 제거율을 나타내고 있다.

<표 17> 동부 호놀룰루 하수처리장 방류수의 수질(2002. 7)

구 분	유 입 수	방류수	제거율(%)
일평균 처리량(m ³)	-	15,600	-
BOD(mg/ℓ)	193	5.8	96.8
SS(mg/ℓ)	292	6.2	97.6

자료 : East Honolulu Wastewater Treatment Plant, 2002. 7



<사진 6> 하수종말처리장으로 유입되는 하수의 모습



<사진 7> 활성슬러지조의 모습



<사진 8> 최종 침전조에서 염소소독을 하고 있는 모습



<사진 9> 최종 처리된 방류수의 모습

3-3. 싱가포르 『NEWater Factory』의 사례

싱가포르는 640km²의 면적에 약 390만명(1999년)이 거주하고 있으며, 부존 수자원 부족으로 100여 년 전부터 말레이시아로부터 물을 수입해 사용하고 있다. 싱가포르는 1961년까지 말레이시아의 Mount Pulai · Tebrau · Scudai 강으로부터 1일 약 325천m³의 물을 수입해 사용해 왔고, 현재는 1962년 양국간에 체결된 협정에 의해 1일 946천m³의 물을 말레이시아의 Johor강과 Linggui 저수지로부터 수입해 사용하고 있으며, 싱가포르는 1,200갤론(4.5m³) 당 \$0.01(약 12원)의 물 값을 말레이시아에게 지불하고 있다(<http://www.uswaternews.com>). 특히 싱가포르는 인구증가, 생활수준의 향상, 국제적인 금융·무역·휴양도시로의 성장 등으로 인하여 물 사용량이 1950년 142천m³/일(인구 100만명)이었던 것이 2003년 현재에는 1,400천m³/일로 급격하게 증가하였다. 이러한 급격한 물 수요증가에 대처하기 위한 방안으로서 싱가포르 당국은 해수의 담수화, 하수처리장 방류수 재이용 등의 시책을 추진해 오고 있으며, 싱가포르 국민들은 물 부족문제를 수처리 기술로 해결할 수 있다는 신념을 가지고 있다.

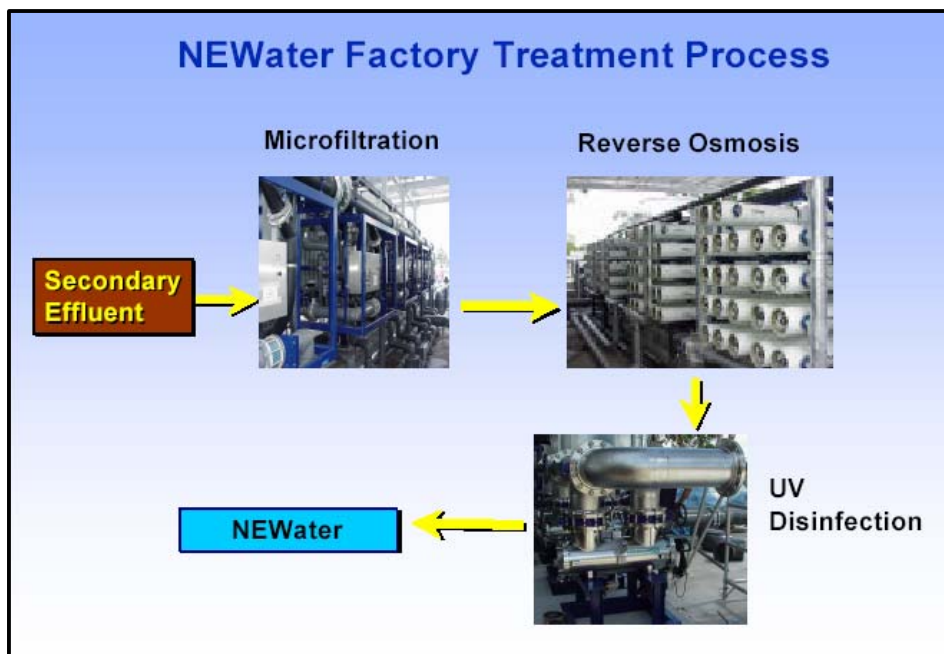
싱가포르 Public Utilities Board(PUB)와 Ministry of the Environment (ENV)에서는 공동으로 1998년부터 “싱가포르 방류수 재처리연구” 프로젝트를 추진하였고, 이 연구결과에 의해 설치된 방류수 재처리시설을 “NEWater Factory”라 부르고 있다(<http://www.pub.gov.sg/NEWater>). 이 연구의 목적은 Bedok 및 Kranji 하수처리장에서 배출되는 방류수를 재처리하여 저수지의 물과 혼합해 음용수의 원수로 사용(간접적인 음용수 이용)하는데 있다.

이 계획에 따라 1일 10,000m³ 처리규모의 Demonstration Plant가 Bedok하수처리장에 설치되었는데, 이에 소요된 비용은 총 78억원이다. 또한, Public Utilities Board(PUB)에서는 웨이퍼 조립공장 등에서 비음

용 공업용수로 사용하기 위한 재처리수를 생산해 내기 위해 Bedok 및 Kranji 하수처리장에 1일 72,000m³ 생산능력을 갖춘 “NEWater Factory”를 2001년 11월에 준공하고, 2003년 현재 웨이퍼 조립단지를 비롯하여 Woodlands에 재처리수를 공급하고 있다. “NEWater Factory”에서는 하수처리장에서 배출되는 방류수를 미세여과(0.3mm) ⇒ Microfiltration(0.2 μ m) ⇒ 역삼투막(RO) ⇒ UV소독의 처리공정을 통해 세계보건기구(WHO)와 미국 환경보호청(US EPA)이 정하는 먹는물 수질기준에 적합하도록 처리하고 있음(그림 5).

NEWater Factory로 공급되는 유입수(방류수)는 하수처리장에서 2차 처리된 처리수이며, 수질은 다음과 같음.

- BOD : 10mg/ℓ
- TSS : 10mg/ℓ
- 암모니아성질소 : 6mg/ℓ
- TDS : 400~1,600mg/ℓ
- TOC : 12mg/ℓ



<그림 5> NEWater Factory 방류수 재처리 공정

IV. 빗물이용 활성화를 위한 정책방향

유엔 주도의 세계환경회의인 “지구정상회의”가 남아프리카공화국에서 개최되어 지구를 살리기 위한 많은 의제가 논의된 바 있으며, 주요 의제중의 한 가지가 물 문제이었다. 이는 현재 세계인구의 40%가 물 부족에 시달리고 있는 가운데, 2000년 60억명의 세계인구가 2050년 93억명으로 증가될 것으로 전망되면서 그에 따른 물 부족이 더욱 가중될 것으로 예상되고 있기 때문이다.

이처럼 세계적으로 물 부족이 심각한 문제로 대두되는 가운데, 우리나라도 물 부족국가로 분류되어 있다. 우리나라의 연 평균 강수량은 1,274mm로 세계의 연 평균 강수량 973mm보다 1.3배 많지만 높은 인구밀도로 인하여 연 평균 1인당 강수량은 2,755mm으로 세계의 연 평균 1인당 강수량(22,096mm)의 12.5%에 불과한 실정이다. 이는 우리나라는 국토면적의 70%가 지면경사 20%이상으로서 일단 비가 내리면 단시간 내에 하천으로 흘러들고, 아울러 연간 697억^m의 수자원 부존량을 보유하고 있음에도 불구하고 하천의 유량변동이 매우 심하여 70%정도가 홍수로 유출되어 바다로 유입되는 등의 지형적 특성을 갖고 있기 때문이다. 이에 정부는 안정적인 수자원 확보 및 홍수조절을 위한 다목적 댐 건설, 취수원 다변화를 위한 다양한 용수원 확보 추진, 광역 상수도 정비 등과 같은 수자원관리대책을 수립·시행하여 왔다. 그러나 빗물이 하나의 유효한 수자원임에도 불구하고 지방자치단체의 빗물의 효과적인 이용에 대한 인식이 부족한 실정이다.

이에 본 장에서는 수자원이 부족한 여건 속에서 새로운 수자원으로 이용가치가 드높아지고 있는 빗물이용의 최근 동향, 선진사례 소개 등을 통하여 기본적인 정책방향을 논하고자 한다.

4-1. 빗물이용 활성화 정책방향

제주도는 모든 용수를 지하수에 전적으로 의존하고 있어 지하수를 단순한 물이 아닌 생명수로 인식하고 있다. 그러나, 제주도는 대륙과 격리된 도서지역인 관계로 이용 가능한 지하수의 수량이 제한적이기 때문에 지하수의 체계적 관리는 물론 지하수를 대체할 수 있는 수자원 이용 방안이 필요하다. 이러한 측면에서 빗물이용 활성화는 제주도의 지하수 보전정책의 한 축으로 다루어져야 하는 중요한 사항이다. 제주도의 빗물이용 활성화를 위한 정책은 크게 2가지 방향에서 접근하고 있다. 즉, 첫 번째 방향은 빗물의 직접적 이용(빗물저류 및 저장시설)을 위한 정책이고, 둘째 방향은 빗물의 간접적 이용(빗물의 인공함양)을 위한 정책이다.

4-1-1. 빗물의 직접적 이용 정책

이 정책은 빗물을 저류 또는 저장할 수 있는 시설을 만들고, 빗물이나 지표수를 용수로 직접 이용하는 것으로서 전통적인 빗물이용 방식을 활성화시켜 나가는 것이다. 우선적으로 고수질을 필요로 하지 않는 농업용수, 조경용수, 청소 및 살수 등의 잡용수를 빗물 및 지표수를 이용하도록 함으로써 지하수에 편중된 물이용 집중도를 다원화시켜 지하수의 수량적 보전을 도모해 나가고자 하는 것이다. 이를 위해 제주도에서는 공공용 저수지 건설을 적극적으로 추진함과 아울러, 빗물 저류시설(저장시설)의 설치를 제도화 하고 있다.

4-1-2. 빗물의 간접적 이용 정책

이 정책은 빗물(지표수)를 직접적으로 이용하는 것이 아니라, 지하로 침투시켜 지하수의 수량을 증대시킴으로써 지하수위 하강현상을 중지시키거나 하강속도를 둔화시켜 지하수를 안정적으로 채수할 수 있도록 해

증과 아울러, 해수침투로부터 연안지역 대수층을 보호하고, 가용할 수 있는 지하수량을 증대시켜 지하수 이용을 더 확대할 수 있다(Bouwer, 1978; Todd, 1980; Asano, 1985).

지하수 채수량이 **증가와 토지이용의 변화**에 따른 함양량 감소는 지하수위 하강이나 해안지역 해수침투 등과 같은 부작용을 발생시킬 수 있는데, 이러한 지하수 장해에 가장 적극적으로 대응할 수 있는 방법이 지하수의 인공함양이라 할 수 있다. 특히, 제주도의 경우 비닐하우스를 이용한 시설농업이 증가하고 있어 비닐하우스에 떨어지는 빗물을 인공함양시킬 수 있는 좋은 여건을 갖추고 있다. 또한, 해발 600m 주변의 고지대 지역의 경우, 홍수시 하천 유출수에는 탁도가 매우 낮아 대규모의 인공함양사업도 가능한 것으로 분석되고 있다.

지하수 인공함양기법은 댐이나 저수지와 같은 전통적인 지표수 저수 방식과 비교할 때 ① 증발량이 무시할 수 있을 정도로 지극히 적으며, ② 사람이나 동물에 의한 2차적인 오염에 취약하지 않으며, ③ 지표수의 수질저하에 의한 조류번식이 일어나지 않으며, ④ 지반침하 발생을 예방할 수 있으며, ⑤ 지하수 채수비용을 경감시킬 수 있으며, ⑥ 강우량의 계절적 변동에 따른 지하수 저류량 감소 및 장기간 지하수 이용에 따른 수량 감소 문제를 최소화할 수 있으며, ⑦ 전체적으로 이용 가능한 지하수량을 증량시켜 주는 등의 많은 장점들을 지니고 있다(Fox, 1999).

4-2. 빗물이용 활성화를 위한 제도

빗물의 이용에 있어 가장 절실한 부분이 법규의 개정을 통한 빗물 이용의 활성화이다. 우리나라의 경우 대부분의 사람들은 수도요금¹⁾이 싸기 때문에 수돗물이외의 대체 수자원의 경제성이 떨어져 그 사용을 기피하고 있다. 그러나 빗물 이용은 수도요금 절감이라는 개인적인 측면에서의 효과 이외에 대체수자원의 확보라는 사회적인 측면에서의 이익을 창출할 수 있다. 그러나 상수도 및 지하수 원수대금 가격이 현저히 저렴한 우리나라의 현실을 고려할 때 법에 의한 일방적인 강제는 무의미할 수도 있다. 따라서 빗물 이용을 통해 발생할 수 있는 사회적 편익을 빗물을 사용하는 이들에게 환원시켜야 하며 그 방법으로서 빗물 이용시설을 설치하는 이들에게 설치비용에 대한 보조금을 지급하거나 상수와 하수 비용의 절감에 따른 인센티브를 줄 수도 있고 또한 빗물 이용 관련 설비를 생산하는 업체에도 적절한 지원을 함으로서 빗물의 저류, 침투 및 활용을 위한 기술을 개발시켜 나가야 할 것이다.

4-2-1. 외국의 빗물이용 시설설치에 대한 지원

빗물이용 시설설치에 대한 경제적인 지원형태를 보면, 직접적인 보조금 지원과 상하수 요금 감면, 정부주도 시설물 설치, 용자형태, 세금 감면 등을 지원하고 있다(표 18 참조).

빗물배출의 부과금 적용사례를 보면, 독일의 베를린시인 경우 빗물을 하수도시스템으로 배출하는 경우 분리요금제로 하수처리비용 부과금 1.61유로달러를 부과하고 있고, 포장면적 1m²에 대하여 매년 1.28 유로달러를 부과하고 있다. 또한 함부르크시는 빗물과 합류된 하수의 처리에 대한 부과금은 톤당 2.58 유로달러이며 수돗물 소모량에 따라 부과하고 있다.

<표18> 외국의 경제적 지원 사례

지원 형태	시행국	지원내용	근거
직접적 보조금 지원	대만	스테인레스강, 철강 콘크리트, 강화벽돌 자재의 경우 1000NT\$(대만 달러)개·톤의 보조금 지원	빗물저장시설 추진계획 집행요점
	일본	빗물 저장조 시스템, 빗물 침투설비, 정화조를 빗물 저장조로 전환시켜 사용하는 시스템의 세 분야에 대해 해당 또는 일정 부피당 지역별로 다른 보조금 지급	
	독일	물공급이 과도한 지역의 경우 빗물이용 장치에 보조금을 지원하지 않으나 공급할 수 있는 수량의 상한선에 도달한 지역은 빗물이용 장치를 설치하는데 보조금 지원	
		베를린 생태 도시 계획국과 건물 주거생활 및 교통 행정국으로부터 50%, 그밖에 50%는 베를린 공공주택회사 “GSW”의 소유주들 지원	베를린 계획
미국	중수도 또는 두 가지의 혼합된 형태의 사용에 대해 50%(최대 \$3000)의 정부보조금지원 텍사스주 오스틴은 빗물 집수시스템의 설치 비용중 30%(한도 \$500) 보조	California Water Conservation Tax Law	
상하수 요금 감면	독일	하수도 비용을 하수량과 빗물 유출량으로 분리함으로서 빗물을 사용했을 경우 빗물 유출량에 대한 비용을 감소시킬 수 있도록 규정	
정부 주도 시설물 설치	중국	간수 지방정부는 빗물 모을 수 있는 장소 1개, 저장조 2개 만들어주고 농작물 경작할 토지 1곳 제공	빗물모으기 프로젝트 121
	태국	재정적 운영과 건설에 해당 마을 사람 포함하고, 교육·기술·조사·행정비용 정부가 지원(기술적인 제공, 빗물 향아리 제작방법 제공, 향아리 구입 원조)	Jar program
부수입 권장 형태	필리핀	카피즈 지방에서 저장조 시설비용과 영농비용으로 미화 200달러정도의 자금대출 등	
용자 형태	일본	주택금융공고 등이 정책용자기술기준에 있는 것의 건설을 목적으로 하는 용자 시행	주택 마스터플랜
		일본 정책 투자은행에서 수자원의 유효활용과 우수의 유출억제, 오탃부하의 저감을 꾀하는 건축물의 정비사업을 대상으로 용자(용자비율 50%)	에코빌 정비사업
세금 감면	일본	잡용수 이용을 행하기 위한 시설을 설치한 경우, 배수처리시설은 16%, 배수처리시설과 동시에 설치된 우수저류조는 12%의 소득세, 법인세 의 특별상각	우수저류·이용 침투시설 정비촉진세제(조세특별조치법 제11조, 제43조)
		대도시 지역 등에 있어서 200m ³ 이상의 우수를 저류하여 이용 또는 침투시키는 건축물 등의 설치시 소득세, 법인세에서 5년간 1할 증가의 할증 상각	우수저류·이용 침투시설 정비촉진세제(조세특별조치법 제14조, 제47조)

4-2-2. 국내 빗물이용에 따른 지원대상 확대

시범사업 확대와 경제성 검토를 통해 빗물이용시설의 보급이 활성화된다고 고려해볼 때, 설치비용의 지원 대상을 일차적으로 공공기관에 우선 지원하고 향후 민간시설에 지원하는 것이 바람직하다고 판단된다. 공공기관 중 학교를 대상으로 경기도에서는 이미 10개 지역 16개 학교의 빗물저수조 및 부대시설 설치(빗물 자료관 등), 교육자료 제작 등 총 사업비 2억4천만원(교당 1,500만원)을 지원하였으며, 앞으로도 빗물이용시설의 운영비 지원과 추가적으로 빗물이용 시범학교를 각 지역교육청당 1개 학교씩 지원할 계획에 있다.

또한, ‘빗물관리시설설치및이용촉진에관한법률’의 배경은 수도법에서 찾을 수 있다. 수도법 제11조의3(빗물이용시설의 설치)에서는

- ① 종합운동장·실내체육관 등 지붕면적이 넓은 시설물중 대통령령이 정하는 시설물을 신축(대통령령이 정하는 규모 이상으로 증축·개축 또는 재축하는 경우를 포함한다)하고자 하는 자는 빗물이용시설을 설치·운영하여야한다.
- ② 빗물이용시설의 시설기준 및 관리 그 밖에 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.
- ③ 국가 및 지방자치단체는 빗물이용시설을 설치한 시설물의 소유자에 대하여 그 빗물이용시설의 설치비용을 지원할 수 있으며, 지방자치단체는 조례가 정하는 바에 따라 수도요금을 경감할 수 있다.

고 규정하고 있다.

현재 중수도의 경우, 중수도 사용량에 대하여 수도요금의 일부(10~65%)를 감면해 주고 있다.

제주도에서는 제주국제자유도시특별법 시행조례(제45조의 제5항)에서 빗물이용시설등의 설치 및 관리에 관한 필요한 사항을 규정으로 만들어 시행하도록 규정함에 따라 제주도에서는 ‘제주도 빗물이용시설등

의 설치 및 관리기준'을 의견수렴 과정을 거친 후 2004년 9월 8일자로 고시(제주도고시 제2004-33호)하여 시행 중에 있다. 이 시설기준에서는 대형 및 소형 빗물저류시설의 설치에 관한 사항을 비롯하여 지하수 인공함양정의 설치 및 관리 등에 관한 사항을 구체적으로 규정하고 있다.

제주도에서는 2000년 지하수 인공함양정을 설치할 수 있는 법률적 근거를 제주도개발특별법(현 제주국제자유도시특별법) 및 동법 시행조례에 마련하여 시행하기 시작하였고, 2001년에는 동법 조례를 개정하여 지하수 인공함양정을 설치한 자에 대해서 시설비를 예산의 범위 안에서 보조할 수 있도록 하였다. 또한, 2004년 동법 개정 때에는 법에 시설비를 지원할 수 있는 근거를 마련하였을 뿐만 아니라, 시행조례에서는 권장대상의 빗물이용시설에 대해 시설비를 보조할 수 있도록 구체화하였고, 전술한 제주도 빗물이용시설등의 설치 및 관리기준에서 권장대상에 대해서는 시설비의 100분의 70이내에서 보조할 수 있도록 하였다. 또한, 부정한 방법으로 보조금을 과다하게 지급받은 경우 등에 대해서는 보조금의 일부 또는 전액을 환급조치 할 수 있도록 규정하고 있다.

빗물이용시설의 보급확대를 위하여 법규상에서 정하고 있는 수도요금 감면 등을 포함하여 다양한 경제적 인센티브 제도의 적용방안을 강구한다. 참고로, 일본 동경都의 墨田區는 “빗물이용설치조성제도”를 두고 있다. 빗물이용을 위한 저류조를 구내에 설치하는 주민에게 저류조 규모에 따른 조성금액을 정해놓고 있다. 특히, 개인용도의 소규모 저류조에 대해서도 조성제도를 정함으로써 개인단위 빗물이용시설의 보급이 확대되고 있는 실정이다. 따라서 제주도도 빗물이용시설을 설치하여 빗물을 이용하는 것은 공익에 기여하는 것이므로 이에 상응하는 보상이 있어야 하며, 현재 제주도 빗물이용시설등의 설치 및 관리기준에서는 권장대상의 빗물이용시설에 대한 시설비 보조뿐만 아니라 권장대상 이외의 시설에 대해서도 확대하여 빗물이용량을 증대시키기 위한 인센티브 제도도 마련해야 할 것이다.

4-3. 행정적 측면의 지원 및 활성화

4-3-1. 행정에 빗물이용시설 업무도입 및 시범사업 시행

현행 수도법에 명시된 빗물이용 관련 의무화 조항을 건축법에도 명문화하고 공공기관인 경우 건축물 설계입찰시 빗물이용시설에 대해서는 설계점수를 추가로 부여하는 방안을 마련할 필요가 있다. 또한, 현재 빗물관련 법규조항이 환경부 관할의 수도법에 있기 때문에 건축과정에서 빗물이용 시설을 반영해야 하는데 건축담당부서 및 건축회사들의 빗물이용 시설에 대한 마인드 부족으로 도입하기 어려운 실정이다. 따라서, 빗물이용시설을 도입한 건축물에 대해서 친환경인증제를 도입하면, 빗물이용시설의 확대 보급에 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

현재까지 우리나라에서 빗물이용설비가 도입된 곳은 월드컵경기장이며, 이 월드컵 경기장에 빗물이용 시설이 도입된 것은 주로 잔디살수목적이며, 골프장 조경용수로 활용하기 위한 저류조 등에 불과하다.

따라서, 빗물이용을 홍보하고 활성화하기 위해서는 시범적 빗물이용시설의 설치가 필요할 것으로 판단된다. 빗물이용효과를 대중들에게 널리 홍보하기 위해 이러한 시범사업의 실시대상으로는 학교, 공원시설, 공공건물(도청, 시청, 군청 등) 등이 적합하다. 특히, 초등학교, 중학교 등에 설치하면 자라나는 청소년들에게 물의 소중함을 일깨우고 수자원으로서의 빗물의 가치를 재인식시키는 교육적 효과도 클 것으로 기대된다.

4-3-2. 교육 및 홍보

빗물이용을 활성화하기 위해서는 시민단체와 언론매체가 국가의 제도적 지원을 받아 빗물이용의 이점을 널리 홍보하는 것이 필요하다. 지금까지 빗물은 내리면 하수도 등을 통하여 하천, 바다로 흘러드는 존재 정도로만 생각하여 왔다. 제주도를 비롯한 일부 도서지방에서 빗물을 받아 다양한 용수로 사용하고는 있지만 아직까지 빗물의 가치를 제대로

인식하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 물 부족시대에 있어 빗물은 개인적 차원의 절약뿐만 아니라 사회적 필요성에 의해서도 효과적으로 이용되어야 하며, 또 하나의 수자원이라는 빗물의 가치에 대한 인식전환이 필요한 것이다. 따라서, 구체적이고 실현 가능한 대안 제시 차원에서 빗물이용의 이점을 시민들에게 널리 홍보하고 빗물이용을 활성화하기 위하여 **정부의 지원 하에** 민간단체들이 참여할 수 있도록 이들 단체의 교육이 필요하며, 이를 위한 홍보자료의 출판 및 배포가 요구되고 있는 실정이다.

V. 지하수 인공함양

5-1. 지하수 인공함양의 개요

5-1-1. 인공함양의 장점

지하수는 빗물이 자연적으로 땅속으로 침투해 생성되는 순환 자원이며, 빗물이 땅속으로 침투해 지하수의 수량을 보충해 주는 것을 “지하수 함양”이라고 한다. 지하수 함양량은 유역의 투수성(토양 및 암석)을 비롯하여 강우량, 면적, 토지이용, 하천발달 상황 등 여러 가지 요인에 좌우된다. 지하수 채수량이 증가하고, 토지이용의 변화에 따른 함양량 감소는 지하수위 하강이나 해안지역 해수침투 또는 지반침하 등과 같은 부작용을 발생시킬 수 있다. 중국 화북(華北)지역의 경우, 1980년대 이후 지속된 지하수 과다채수로 인하여 약 4만km²에 이르는 지역의 지하수위가 평균 10m(심한 곳은 90m 이상 하강) 낮아졌으며, 해안지역에는 해수침투현상이 발생하고 있다(중앙일보, 2002. 9. 4).

이와 같은 현상들은 비록 중국에 국한된 문제가 아니라 일본, 대만, 미국, 멕시코 등 세계 여러 나라에서 발생하고 있어 이들 나라에서는 지하수 인공함양을 통합 수자원계획의 중요한 한 축으로 설정해 시행해 오고 있다. 지하수 인공함양은 지하수위 하강현상을 중지시키거나 하강속도를 둔화시켜 지하수를 안정적으로 채수할 수 있도록 해준과 아울러, 해수침투로부터 연안지역 대수층을 보호하고, 지반침하와 같은 지질재해를 방지하며, 가용할 수 있는 지하수량을 증대시켜 지하수 이용을 더 확대하기 위한 목적으로 시행하고 있다(Bouwer, 1978; Todd, 1980; Asano, 1985).

지하수 인공함양의 장점(Asano, 1999)으로는 첫째, 지하수 인공함양 비용이 지표수 저류시설 건설비 보다 저렴하다. 둘째, 함양된 물은 대수

층을 따라 자연적으로 분배가 이루어지므로 송수관 등 용수배분을 위한 시설을 최소화할 수 있다. 셋째, 저수지나 댐에 저류된 지표수는 증발에 의한 수량 감소, 사람이나 동물에 의한 오염, 해조류 등에 의한 불쾌감(맛·냄새) 문제 등이 발생하는데 반해 지하수는 이러한 문제가 거의 발생하지 않는다. 넷째, 저수지는 많은 부지가 필요할 뿐만 아니라, 환경적 영향 및 주민반대 등으로 용지 확보에 어려움을 겪는데 반해 지하수 인공함양은 이러한 문제가 거의 없다는 것의 장점이다.

5-1-2. 지하수 인공함양의 방법

일반적으로 적용되고 있는 지하수 인공함양 방법으로는 함양지법(涵養池, recharge basin), 비포화대 주입정법(vadose zone injection well), 직접 주입정법(direct injection well)의 3가지로 구분할 수 있다(Fox, 2000; 그림 6 참조).

- 함양지(涵養池, recharge basin) 방법

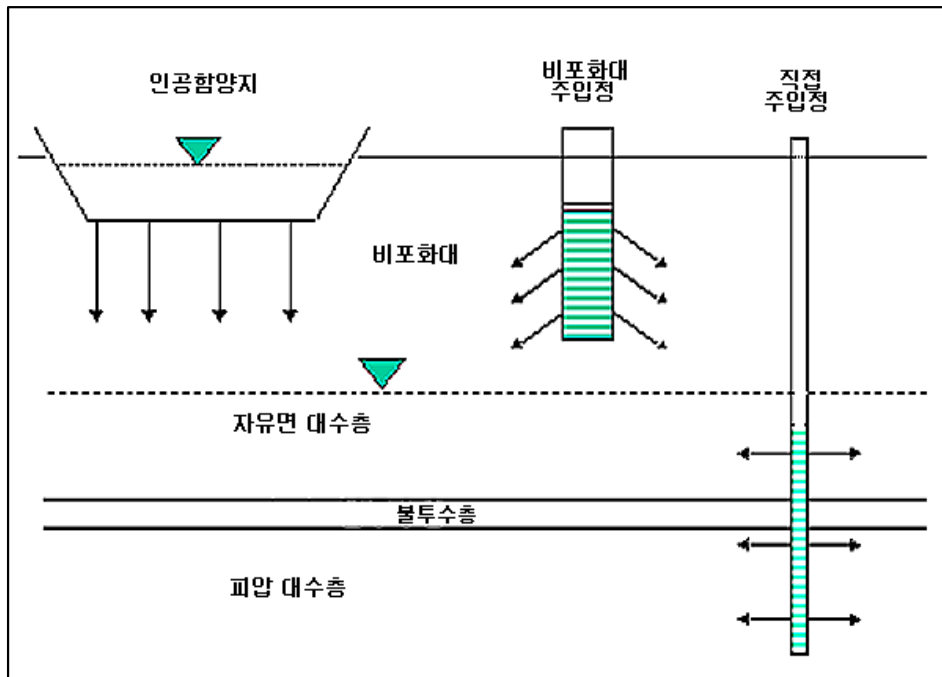
이 방법은 인위적으로 함양지를 만들거나 또는 자연적인 지형을 이용해 물을 지하로 침투시키는 방법으로서 가장 일반적이고 광범위하게 채택하고 있으며, 특별한 고도의 기술을 필요로 하지 않는 대신 넓은 면적을 필요로 하는 것이 단점임.

- 비포화대 주입정(vadose zone injection well) 방법

이 방법은 비포화대에 주입정을 설치해 물을 지하로 침투시키는 방법으로서 제주도에서 제주국제자유도시특별법 규정에 근거해 시행하고 있는 **인공함양법이다.**

- 직접 주입정(direct injection well) 방법

피압대수층 속으로 물을 직접 주입시키는 방법으로서 주입시키는 물을 **고도 처리해야 하는 것이 단점이다.**



<그림 6> 지하수 인공함양 방법 모식도

이상과 같은 3가지 인공함양 방법 중 함양지법이나 비포화대 주입정법은 충분한 저류능력을 가진 자유면 대수층에 설치하는 것이 바람직하며, 직접 주입정법은 자유면 대수층이나 피압대수층으로 물을 직접 주입시킬 수 있는데, 자유면 대수층을 이용하지 못하는 경우에는 몇 개의 대수층으로 동시에 주입시키는 것이 좋다. 그러나 직접 주입정법은 주입정 설치에 따른 비용이 많이 소요될 뿐 아니라, 주입수를 사전에 고도처리 해야만 하며, 유지관리에도 고도의 기술을 필요로 한다. 함양지법에 의한 인공함양에 소요되는 주된 비용은 토지확보와 함양지로 물을 끌어오는데 필요한 운송시설 설치비용인데, 이러한 이유로 인하여 범람원이나 습지와 같은 위치에 함양지를 시설하는 경우가 많다.

위와 같은 인공함양 방법별 함양능력을 보면(Fox, 2000), 함양지법인 경우 하루에 약 3,000평 당 1,000~2,000m³을 함양시킬 수 있고, 비포화대 주입정법으로 함양시키는 때에는 관정 1개소 당 하루에 1,000~3,000

m³의 물을 지하로 침투시킬 수 있으며, 직접 주입정의 경우는 관정 당 1일 2,000~6,000m³을 함양시킬 수 있다(표 19 참조).

< 표 19> 지하수 인공함양 방법별 주요 특징

구 분	함양지 방법	비포화대 주입정방법	직접 주입정 방법
대수층 유형	자유면 대수층	자유면 대수층	자유면, 피압대수층
함양수 전처리	간단한 처리	고형물 제거	고도처리
설치비용(\$)	토지 및 관로	관정 당 25천~75천	관정 당 500천~1,500천
함양능력	1,000~2,000 m ³ /ha/일	1,000~3,000 m ³ /관정/일	2,000~6,000 m ³ /관정/일
유지관리	건조 및 찌꺼기 제거	건조 및 소독처리	소독 및 역세
수 명	100년 이상	5~20년	25~50년

자료 : Peter Fox, 2000

지하수 인공함양에 방류수 재처리수를 사용하고자 할 때에는 미생물학적인 수질, TDS 등 총 광물질 함량, 독성을 갖는 중금속이 존재 여부 및 농도, 안정유기물질의 농도 등에 대해 사전에 검토하고, 충분히 제거한 후 이용하여야 함(Asano, 2000).

5-1-3. 인공함양이 지하생태계에 미치는 영향

대수층 내에서 미생물의 활동은 대수층의 산화환원 포텐셜(redox potential)과 밀접하게 관련된다. 용존산소를 포함하고 있는 대수층은 호기성으로 간주되며, 지표수와 같이 높은 산화환원 포텐셜을 나타내고, 산소분자는 결핍되어 있지만 질산염과 같은 화학적 산소를 포함하고 있는 대수층은 무산소(anoxic) 환경으로서 중간정도의 산화환원 포텐셜을 나타낸다.

지하수 인공함양이 지하 생태계에 미치는 영향은 대수층의 산화환원 포텐셜, 지하수 함양에 사용되는 물의 유형(수질), 인공함양 방법 등에 따라 달라지며, 지하수 인공함양에 앞서 미생물학적 및 지구화학적 상호작용에 대한 조사를 수행하지 않고서는 이에 대한 예측은 사실상 불가능하다. 미생물학적으로 수질을 저하시킬 수 있는 유기물을 함유한 물을 인공함양에 이용하는 경우, 함양된 물로 인하여 산소분자의 결핍을 초래한다. 인공함양지 방법으로 지하수를 함양시킬 때, 토양(함양지 바닥)과 물의 경계면에서 매우 활발한 호기성 미생물의 활동이 진행되어 산소를 소비하게 되므로 인공함양지 하부는 무산소 또는 혐기성 상태가 되고, 그 물이 지하로 침투하게 된다.

방류수 재처리수에는 일반적으로 질산염 형태의 질소성분이 미량이나마 포함되어 있을 수 있기 때문에 그 물을 지하로 인공함양시키면 대수층은 무산소 상태로 된다. 방류수에 남아 있는 소량의 질산염은 혐기성 상태의 발전을 방해하며, 혐기성 상태는 지하수의 수질에 바람직하지 않은 영향을 미칠 가능성이 있다. 지하수 인공함양에 의한 영향으로 대수층은 혐기성 상태로 발전할 수 있으며, 함양이 이루어지기 이전의 혐기성 상태가 지속될 수 있으며, 지하수 함양에 사용된 물중에 산소가 결핍되어 있거나 질산염이 포함되어 있는 경우, 무산소 또는 호기성 상태의 대수층은 혐기성 상태로 될 가능성이 있다. 인공함양지를 주지적으로 건조시켜 토양(함양지 바닥)의 통풍성을 좋게 해 흡착된 암모니아를 탈질시키지 않은 상태로 방류수 또는 수질이 나쁜 지표수를 함양용수로 사용하는 경우 위와 같은 상황이 쉽게 일어날 수 있다. 만약, 대수층이 자연적으로 혐기성 상태라고 한다면, 혐기성 상태로 발전시키는 생물지구화학적 메카니즘은 대수층 전체에 걸쳐 우세하게 진행되며, 혐기성 상태의 대수층으로 산소 또는 질산염이 유입되면 생물지구화학적 경로를 통해 산소 또는 질산염이 빠르게 소비가 이루어져 대수층은 혐기성 상태를 유지한다.

혐기성 상태의 대수층에서는 황산의 농도가 높아지고, 철(Fe)과 망간(Mn)의 농도는 감소하는 경향을 나타내는데, 이러한 경향은 지하수의 수질에 부정적 영향을 **미친다**. 특히, 철이나 망간처럼 농도가 감소하는 원소들은 산소 또는 소독제와 같은 강산화성물질에 노출되면 환원화합물 형태로 바뀌어 침전되게 되고, 막힘현상(foul)을 초래할 수 있다. 그런 까닭에 일반적으로 혐기성 대수층으로부터 퍼 올린 지하수는 공급처로 보내기 이전에 환원물질의 제거를 위한 **처리가** 필요하다. 산소 또는 염소와 같은 강산화성 물질이 혐기성 대수층으로 유입되면, 함양수와 혐기성 대수층간의 접촉면에서 환원화합물들이 빠르게 산화가 진행되어 대수층에 침전 및 응집이 발생한다.

5-1-4. 지하수 인공함양에 의한 토양과 지하수 오염

지하수 인공함양은 기존의 오염상태 및 함양수와 토양간의 지구화학적 상호작용에 영향을 미쳐 결국은 지하수의 수질에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 토양에서 오염물질의 자연적 이동은 수 십 년 또는 수 백 년에 걸쳐 진행되기 때문에 지하수의 오염위험이 훨씬 감소하지만 만약 인공함양지가 오염된 토양 상부에 만들어졌다면, 토양에 존재하던 오염물질들이 지하수로 빠르게 이동하여 지하수오염을 일으키는 결과를 초래할 수 있기 때문에 이와 같은 위험이 있는 경우에는 토양정화법에 의해 오염물질을 제거시킨 후 인공함양지를 시설하거나, 아니면 인공함양을 하지 않는 것이 좋다. 또한 인공함양지 주변에 오염된 토양이 존재하는 경우, 측방흐름 또는 지하수위 상승에 의한 영향으로 지하수가 오염될 수 있기 때문에 방류수를 함양수로 이용했던 미국 아리조나주 Mesa지역의 경우, 지하수 상부에 있는 오염된 토양을 증기추출법(vapor extraction)에 의해 성공적으로 정화처리하였기 때문에 지하수의 수질에 부정적인 영향이 생겨나지는 않았다.

지하수 인공함양은 국지적인 지하수의 수리구배 및 흐름패턴에 영향을 미칠 수도 있기 때문에 인공함양 시설 주변지역의 지하수 오염상황을 반드시 고려해야 한다. 인공함양 프로젝트는 오염된 지하수를 상수원 관정이 위치한 지역으로 이동시켜 오염시킬 수도 있어 인공함양 위치 및 계획은 현재의 여러 가지 상황을 심층적으로 검토해야 할 것이다. 토양, 대수층 물질, 함양수간의 지구화학적 상호작용은 최종의 지하수 수질을 결정하는데, 미국 캘리포니아주 오렌지카운티의 경우, TDS 농도가 낮은 물(방류수)를 함양수로 사용한 결과, 몇 년 후 본래 대수층을 구성하고 있던 물질과 접촉하여 함양수와 대수층 구성물질과의 평형이 이루어져 함양된 지하수의 TDS농도가 현저하게 높아지는 현상이 발생하였음. 이는 혐기성 대수층의 경우에서처럼 함양된 지하수가 원래 지하수의 수질을 개선하지 못하였음을 나타내 주는 것이다. 원래의 지하수보다 높은 TDS를 갖는 물을 함양수로 사용하는 경우, TDS는 안정적이고 상호작용을 통해 원래의 대수층 물질과 함께 침전하지 않기 때문에 높은 농도의 TDS가 유지된다.

나트륨 농도가 높고 칼슘농도가 낮은 함양수를 사용하는 경우, 점토와 이온교환반응에 의해 칼슘은 용존 나트륨으로 치환되는데, 점토가 양수정으로 확산 이동하지 않는 한 수질에는 별다른 영향을 미치지 않는다. 순수한 토양과 농업활동의 영향을 현저하게 받은 토양과의 지구화학적인 상호작용의 영향에 의해 지하수 오염이 단기간 내에 발생할 수 있다. 건조지역에 비포화대의 토양은 수년 동안 많은 물과 접촉이 이루어지지 않기 때문에 토양 표면에 농축된 염류와 광물질은 함양수에 의해 빠르게 용존이 일어나고 지하로 침투하게 된다.

5-1-5. 간접적 음용수로의 재이용

간접적 음용수로의 재이용(indirect potable reuse)란 고도처리 한 방류수를 지표수나 지하수로 흘려보낸 후 취수하여 음용수로 이용하는 형

태의 재이용을 말하며, 직접 음용수로의 재이용(direct potable reuse)란 고도처리된 방류수를 파이프라인을 통해 음용수로 공급하는 형태의 재이용을 말한다. 세계적으로 도시지역이 안고 있는 급박한 문제 중의 하나가 인구는 급증하고 있는데 반해 공급 가능한 수자원의 절대량은 감소하고 있는 것이며, 이러한 상황이 이어지면서 사용한 물(used water)과 새로운 물(new water)에 대한 구분이 사라지고 있다. 이처럼 물에 대한 개념의 변화가 일어남에 따라 미국상수도협회를 비롯한 수자원환경연합과 같은 전문기관에서는 간접적 음용수로 방류수를 재이용하는 과정에서 나타날 수 있는 위해와 이득에 대한 평가기술을 개발하고 기술적 지원을 해 오고 있다. 미국에서 방류수를 고도처리 하여 간접적 음용수로 재이용하고 있는 대표적인 사례는 다음과 같이 7개소이다.

- ① 캘리포니아주 오렌지카운티의 Water Factory 21
- ② 버지니아주 Upper Occoquan Sewage Authority
- ③ 콜로라도주 덴버 Potable Water Demonstration Project
- ④ 캘리포니아주 Montebello Forebay 지하수 함양 프로젝트
- ⑤ 플로리다주 Tampa 수자원복구 프로젝트
- ⑥ 캘리포니아주 샌디에고 수자원 재정수처리 프로젝트
- ⑦ 텍사스주 Hueco Bolson(El Paso) 지하수 함양 프로젝트

5-2. 제주도의 사례

제주도내에는 감귤을 비롯하여 채소 및 화훼재배를 위한 비닐하우스와 유리온실이 많이 설치되어 있는데, 이들 지역에 집중호우가 내리면, 주변 농경지 및 도로가 침수되는 문제가 발생하여 주민들이 빗물 처리에 많은 애로를 겪어왔다. 또한, 도시화·도로개설·초지개간·골프장 건설 등에 의한 지하수 함양면적이 점진적으로 감소하고 있어 장기적으로는 빗물을 지하로 침투시키기 위한(함양량 증량 또는 유지) 방안이 필요하다. 따라서, 제주도에서는 비닐하우스나 유리온실 시설에 의한 농경지 침수문제를 해결함으로써 주민 애로사항을 해소함과 아울러, 지하수 함양면적 감소에 따른 함양량 감소문제를 적극적으로 해결하기 위해 2000년 1월 28일 개정된 제주도개발특별법(현행 제주국제자유도시특별법)에 「지하수 인공함양정 설치」를 국내에서는 최초로 제도화하여 시행하고 있다. 지하수 인공함양정 시설은 상부보호시설 등 지하수오염을 방지하기 위한 시설기준에 따라 설치하여야 하며, 지하로 주입하는 물은 비닐하우스나 건축물의 지붕에 내린 빗물을 지면과 접촉하지 않고 직접 지하로 주입토록 함으로서 지하수의 質과 量을 동시에 보전·관리할 수 있도록 하고 있다.

5-2-1. 관련규정

- 제주국제자유도시특별법 제34조(지하수오염방지명령 등에 관한 특례)
- ① 누구든지 오·폐수 등 지하수를 현저하게 오염시킬 수 있는 물질을 동굴·함몰지·지질구조상 투수성이 양호한 지역으로 방류시키거나 지하로 주입·배수·처리하여서는 안 된다. 다만, 지하수 함양량을 증대시키기 위한 인공함양정의 설치 등 도조례로 정하는 사항에 대하여는 그러하지 아니하다.
- 동법 시행조례 제56조(지하수인공함양정의 설치 등)

① 법 제34조제1항 단서의 “지하수함양량을 증대시키기 위한 인공함양정(人工涵養井)의 설치 등 도조례로 정하는 사항”이라 함은 다음 각 호의 경우를 말한다.

㉠ 건물이나 구조물의 지붕 또는 옥상에 떨어지는 빗물을 지하로 침투시키기 위한 함양정의 설치

㉡ 지하수의 인공함양연구를 위한 함양정의 설치

② 도지사는 제1항의 규정에 의한 지하수 인공함양정을 설치한 자에게 소요비용의 일부를 예산의 범위 안에서 보조할 수 있다.

5-2-2. 설치현황 및 설치기준

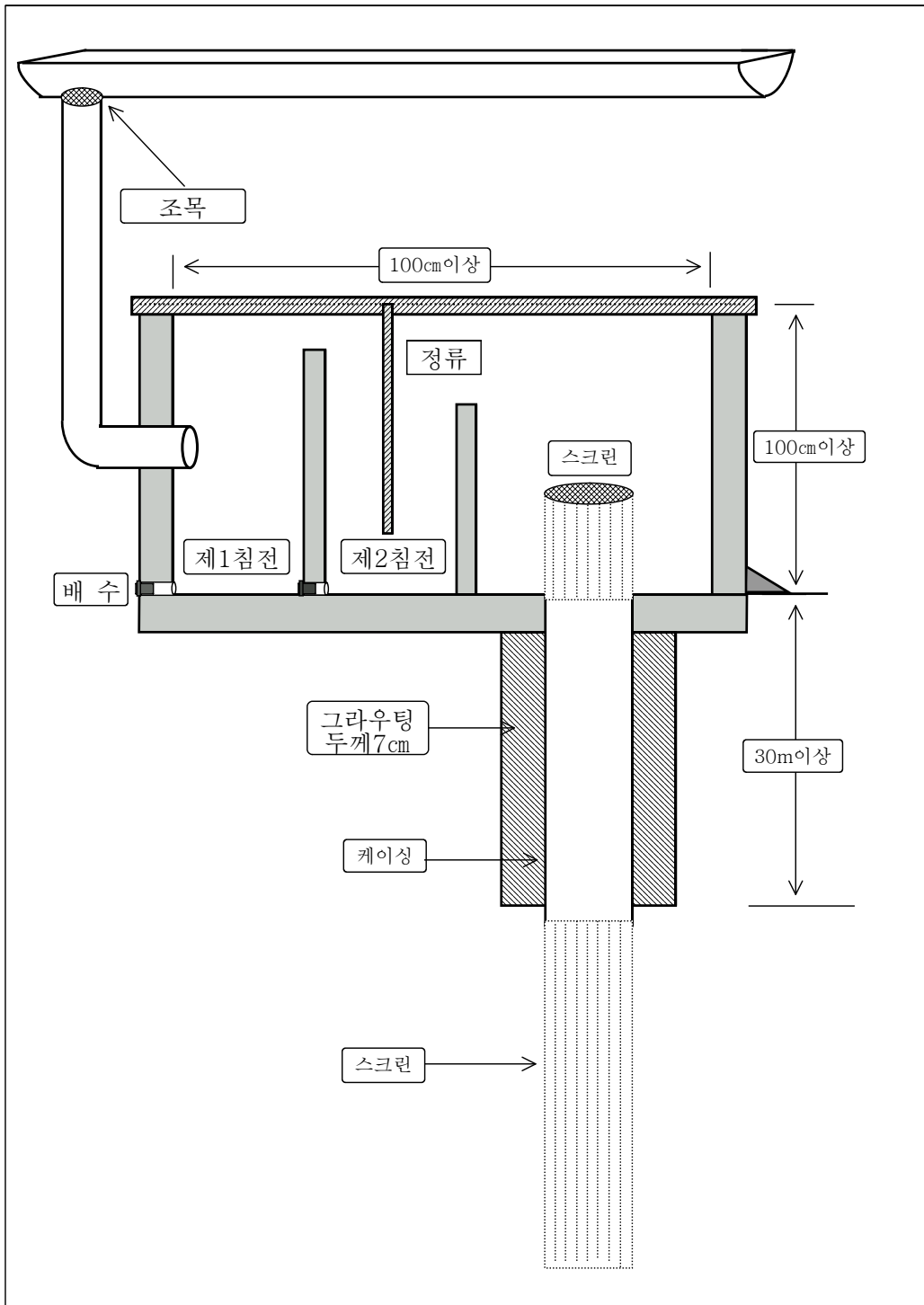
이 제도가 도입된 이후 제주도내에는 65개의 인공함양정 중 57개소가 설치되었고(표 20, 표 21 참조), 연간 함양량은 473천톤이며, 2003년부터 시설비의 30%(약 110만원)씩 제주도에서 비용을 보조해주고 있다.

<표 20> 인공함양정의 설치 현황

구분	설치허가		준공		
	개소(공)	함양량(천톤/년)	개소(공)	집수면적(톤)	함양량(천톤/년)
계	65	545,515	63	270,409	507,272
2001년	8	66,398	8	38,809	66,398
2002년	16	123,600	16	65,400	123,600
2003년	23	198,738	23	101,056	198,738
2004년	10	83,792	10	45,106	83,792
2005년 10월	8	72,987	6	20,038	38,243

<표 21> 제주도내에 시설된 지하수인공함양정의 시설 현황

구분	설치신고		준공		시공중		예산지원	
	개소	함양량(천톤/년)	개소	함양량(천톤/년)	개소	함양량(천톤/년)	개소	금액(천원)
계	65	546	63	511	2	35	39	73,359
2004년까지	57	473	57	473	-	-	33	33,039
2005년	8	73	6	38	2	35	6	40,320



<그림 7> 인공함양정의 설치기준

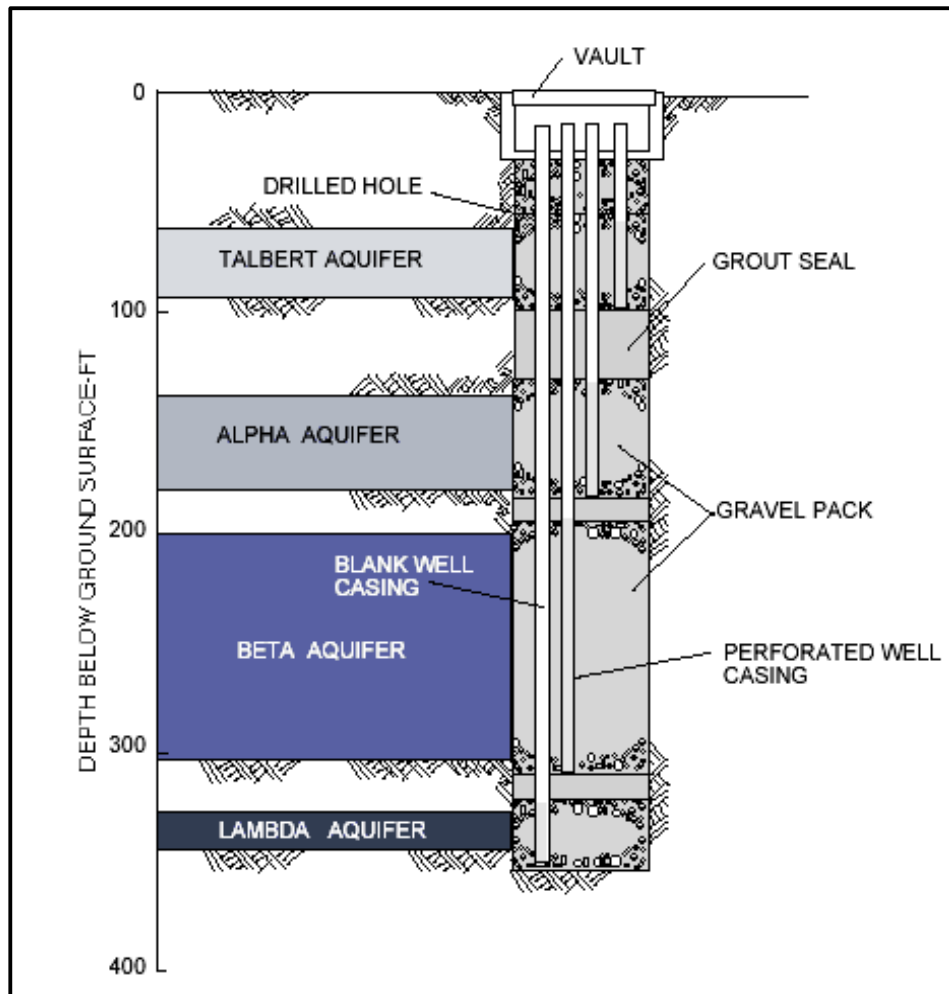
5-3. 외국의 사례

5-3-1. 미국 캘리포니아주 오렌지카운티

캘리포니아주 남부에 위치한 Orange County는 2,067km²의 면적에 298만명(2003년 1월 현재)이 거주하고 있으며, 연평균 강우량이 330~380mm 밖에 안 되기 때문에 지표수의 발달이 미약하여 대부분의 용수를 지하수에 의존하고 있다(http://www.ocwd.com/_html/wf21.htm). 지하수를 농업용수로 사용하기 위해 과도한 채수가 진행된 결과, 1956년에 지하수위가 해수면 아래로 하강하여 해안에서 8km 내륙 지역까지 해수가 침투되어 지하수가 염수화 되는 일이 발생하였다. 이에 대한 대책으로서 담수를 대수층에 강제로 주입하는 방법(Costal Barrier Project)이 시행되었지만 효과를 거두지 못하자 해안으로부터 약 3.2km 떨어진 지점에 7개의 관정을 뚫어 해수가 포함된 지하수를 퍼 올려 바다로 배출시키는 사업을 전개함과 동시에 6.4km 떨어진 내륙에 23개의 인공함양정을 183m 간격으로 설치, 담수를 주입해 해수침투를 방지하기 위한 계획이 마련되었다. 함양용수로는 하수처리장 방류수를 재처리(고도처리)한 것과 심정(deep well)에서 채수한 지하수를 혼합해 사용하는 것으로 최종 결정하고, 함양용수를 생산해 내는 고도처리 시설을 'Water Factory 21'로 명명하였으며, 1976년 10월부터 방류수를 재처리하여 지하수 인공함양을 시작하였다(그림 8 참조).

오렌지카운티가 함양용수로 하수처리장 방류수를 재처리하기로 결정한 이유로는 매년 18,503천m³(1일 50,690m³)의 방류수가 바다로 무의미하게 방류되어 재이용할 수 있는 수자원이 낭비되고 있고, 방류수를 재처리하여 이용할 경우, 콜로라도강과 주정부에 의존하고 있는 용수량을 감소시킬 수 있고, 극단적인 가뭄이나 비상사태가 발생해 콜로라도강과 주정부로부터 공급받는 수량이 감소하게 될 경우, 해수침입 방지를 위

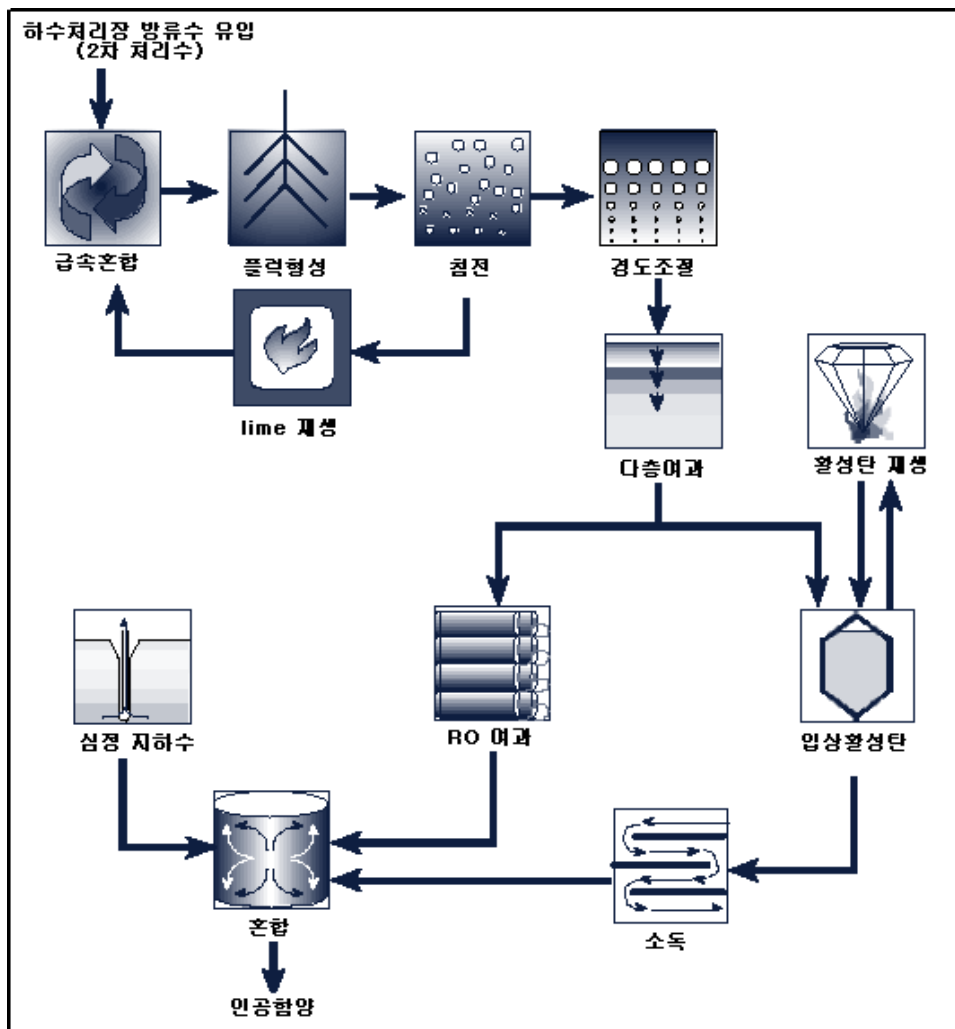
한 인공함양사업에 차질을 가져올 수 있지만 하수처리장 방류수는 거의 일정하게 공급할 수 있으므로 그러한 위험성이 없기 때문이다.



<그림 8> 오렌지카운티 Water Factory 21의 인공함양정 단면도

‘Water Factory 21’에서는 방류수를 역삼투막공정(RO)을 통해 1일 18,925m³과 활성탄처리공정을 통해 34,065m³을 재처리함과 아울러, 심정 (deep well)에서 32,550m³의 지하수를 퍼 올려 총 85,540m³의 물을 캘리포니아주의 음용수기준에 적합한 TDS 500mg/ℓ 이하 수준으로 혼합한

후 지하수로 함양시키고 있다(그림 9 참조). 총 건설비용은 약 250억 원이 소요되었고, 상기와 같은 처리를 통해 1일 85,540m³의 물을 지하로 함양시키는데 소요되는 비용은 1m³ 당 294~297원이다. 이와 같이 담수를 지하로 인공함양시킴으로써 담수 대수층으로 해수가 침투하는 것을 방지할 뿐만 아니라, 오렌지카운티에서 1일 채수하는 지하수량의 50%가 재충진되어 지하수 고갈을 막아주는 일석이조의 효과를 거두고 있다.



<그림 9> Water Factory 21의 처리공정



<사진 10> OR 생산을 위한 역삼투막 설비의 모습



<사진 11> 인공함양정

5-3-2. 일본 구마모토시의 사례

추진현황을 보면 1993년도부터 사업을 시작(당초에는 침수 및 수해방지 목적) 하였으며, 시설비의 90%, 1개소 당 11만엔 한도 내에서 시에서 보조하고 있다. 비닐하우스 우수침투조의 경우, 2002년 현재 24개소 설치, 23,912천엔 지원(연간 176천톤 함양)했고, 총 우수침투 시설수는 2,335개소이다. 최근에는 밭(당근)과 과거 논을 대상으로 인공함양 실험연구 중에 있으며, 당근 밭(연작에 다른 병충해 제거)의 경우, 1,500평에 1일 1,000톤 함양되고, 증발량은 **7mm 정도인 것으로 분석하고 있다.**

구마모토시의 지하수 인공함양 방법으로는 다음과 같다.

① 경작지 우수침투공법(심토과쇄형 함양공법)

통상 경작지에서는 경반층(이하 심토)이 표면하 0.2~0.3m 부근에 존재한다. 본 조사지역 깊이별 토양경도는 표토 0.2m 부근까지 심토가 존재하기 때문에 경작지에서 우수침투를 방해한다. 따라서 본 공법은 심토를 포함한 경작지 표층부를 과쇄해서 토양간극을 크게 하여 경작지로부터 우수의 침투와 심토과쇄 부분의 보수 능력을 증가시키는 것이다.

② 연동식 비닐하우스 우수침투공법

최근 농업의 경영내용의 변화에 동반하여 토지이용 상황도 변화하고 기존 경작지(밭)에 시설원예(비닐하우스)가 도입되고 있다. **종전 경작지는 지하수 함양원으로서 기능을 갖고 있고, 비닐하우스에 내린 강우는 배수로를 통해 하천으로 유출하고 있기 때문에 현재의 토지이용 상황은 지하수 함양이라는 관점에서는 마이너스 요인이 된다.** 본 공법은 표토 하부에 있는 적갈색 동층을 큰 모래 또는 모미카라 등으로 채워서 그 충전재의 간극에 비닐하우스로부터 우수를 일시 저류하면서 토양으로 침투시키는 **공법을 말한다.**

③ 함양지 침투공법

우수를 침투시키기 위해 연못(습지)을 인공적으로 조성하여 하천 및 배수로로부터 홍수시 또는 풍수시기의 하천 여유수량을 도수해서 지하

수 함양을 하는 방법이다. 더욱 흑돌층 및 붉은돌층의 정화기능을 이용해서 홍수시 현탁물질 등을 정화된 물을 지하수에 공급하려는 공법이다.



<사진 12> 연동식 비닐하우스 우수침투공법



<사진 13> 경작지를 대상으로 한 인공함양

VI. 결론 및 제언

빗물은 우리가 선입관을 가지고 있는 것과는 달리 그 수질적인 측면에 있어서 간단한 스크린 정도만 거치더라도 비음용수로 사용할 수 있어 훌륭한 수자원이 될 수 있다. 빗물의 이용은 이용자의 개인적인 이익을 위해서 뿐만 아니라 홍수예방, 가뭄방지, 하천의 보호, 상수도 시스템을 구축하기 위해 필요한 예산의 절약 등 사회적인 이익을 창출해 낼 수 있다.

빗물이용시설이나 지하수함양 시설을 설치해 지하로 빗물을 인위적으로 침투시킴으로써 첫째, 지하수를 지속 가능한 자원으로 안정적으로 이용할 수 있고, 둘째, 지하수 함양량 감소문제가 해소되며, 셋째, 하류 지역으로 일시에 배출되는 유출량을 감소시켜 농경지 침수, 도로유실, 주택침수 등의 수해를 방지할 수 있으며 넷째, 저류된 빗물이나 지표수를 시설물 관리에 사용함으로써 지하수 취수량을 줄임은 물론 지하수 취수에 따른 비용이 절감되며, 다섯째, 상수도 사용량을 줄임으로써 수도물 생산비용을 절감시켜 예산운용에 여유가 생기게 되는 등의 여러 가지 효과를 기대할 수 있다.

제주도의 물 사정은 매우 열악하였으나, 어수생저수지 건설(제1의 물 혁명)과 지하수 개발이 성공적으로 추진되면서 점차 역사 속으로 사라지게 되었고, 도 전역을 하나의 상수도공급체계로 구축하는 광역상수도 건설(제2의 물 혁명) 공사의 완공을 목전에 두고 있는 실정이다. 따라서, 제1 및 제2의 물 혁명은 모두 지하수를 수원으로 개발하고 있는데 반하여 하수처리장 방류수 재이용(제3의 물 혁명)은 ‘물 재이용’으로서 그 동안 추진해 온 수자원 개발 및 이용과는 완전히 개념이 다른 것이다. 방류수를 재이용함으로써 지하수 채수량을 그만큼 줄일 수 있어 지하수의 수량을 보전할 수 있을 뿐만 아니라, 극단적인 가뭄 시에도 농업용수 부족문제가 발생치 않음으로서 농업수익의 증대되는 효과가

기대되며, 방류수를 지하수 인공함양 용수로 활용하는 경우에는 지하수 부존량을 증대시켜 해수침투 방지 및 지하수 고갈 위험 제거 등의 효과를 거둘 수 있어 제주지역 전체의 사회적 편익이 크게 증대할 것으로 기대된다.

제주도에서는 현재 시행하고 있는 제도의 문제점과 미비점을 지속적으로 개선·보완시켜 법률적 및 제도적으로 성숙한 빗물이용 및 하수처리장 방류수 재이용 사회를 만들어 나아가야 할 것이다. 아울러 빗물이용 및 하수처리장 방류수 재이용에 대한 보급 확대를 위한 몇 가지 제언하고자 한다.

1. 제도의 엄격한 시행을 위한 행정적 노력과 지도·감독의 강화이다. 제도에 대해 엄격하게 시행하기 위해서는 행정적으로 지도·감독을 강화하고, 특히, 빗물 이용시설을 이용하는 도민에 대해서는 인센티브 제도를 도입하여 수질검사를 정기적으로 제주도가 시행하는 등 도민에게 적극적으로 홍보·계몽한다.
2. 빗물 이용시설 설치대상의 확대. 빗물이용시설의 보급 확대 및 촉진을 위해서는 아파트 단지, 공공기관 청사, 공공단체에서 시행하는 신·개축의 건축물, 학교, 공원 등을 우선적으로 규정을 새롭게 도입하여 빗물 이용시설 설치 대상 범위를 확대할 필요가 있다.
4. 시설비 보조금액의 지원 및 범위 확대. 빗물 이용시설을 활성화 하고 제주도의 생명수인 지하수를 지키기 위해 총공사비 100%를 지원하는 것이 바람직하다.
5. 대규모 골프장, 관광단지·지구 등에 대해서는 의무적으로 빗물 이용량에 대해서는 할당제를 도입할 필요가 있다. 골프장인 경우 관개 용수사용량을 일 용수량의 20% 이상 빗물을 사용하는 것을 의무화 한다. 특히, 클럽하우스, 콘도시설 등에 내린 강우를 하류지역의 수자원을 보호하기 위해 인공함양을 하기 위한 시설을 의무화 한다.

6. 하수처리장 방류수의 재이용하는 방안에 대한 연구가 지속적으로 필요하다. 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재처리(3차 처리 또는 고도처리)하여 농업용수·골프장 조경용수·공업용수·지하수 인공함양 용수 등 직접적 비음용 용수로 재이용을 함으로써 한정된 지하수자원을 보전하는 대체수자원으로 적극 활용할 수 있다. 그러나, 기본적으로 하수처리장은 대부분 해안지역에 위치하고 있으며, 재처리시설 설치, 송·배수 관로의 매설, 가압장 및 가압시설, 배수지, 및 저류조 설치, 지하수 인공함양 시설, 용지매입 등 초기투자비용 확보가 부담요인으로 작용하기 때문에 이에 대한 문제점인 사업비 확보와 생산원가의 적정선 유지에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수 관리, 제주도광역수자원관리본부
- 김갑수, 김영란, 2002, 중수도·빗물 처리기술 및 적용, 환경관리연구소
- 미래환경기술주식회사, 2001, 폐수재활용 공정개발 실험보고서
- 제주도, 1999, 제주의 물 용천수
- 제주도, 2001, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(1)
- 제주도, 한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3)
- 제주도광역수자원관리본부, 광주과학기술원(물재이용기술센터), 코오롱
건설(주) 기술연구소, 2003, 제주지역 하수처리장 방류수 재이용
방안 연구보고서(1)
- 제주도, 2004, 제주국제자유도시특별법령집
- 제주도광역수자원관리본부, 2004, 제주도지하수 관련 법령집
- 서울시정개발연구원, 2003, 빗물이용을 통한 도시침수 저감 및 수돗물
절약방안
- 환경부, 2003, 빗물이용시설 보급확대를 위한 정책방안 연구
- 환경부, 2003, 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과
- Asano T., 1985, Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth
Publishers, Boston, MA
- Asano T., 1999, Wasterwater Reuse for Non-Potable Applications :
An Introduction, Symposium on Efficient Water Use in
Urban Areas-Innovative Ways of Finding Water for Cities,
UNDP
- Bouwer, H. 1978, Groundwater Hydrology, McGraw-Hill Book Co.,
New York, New York

- Fox P. 1999, Advantages of Aquifer Recharge for a Sustainable Water Supply, Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas-Innovative Ways of Finding Water for Cities, UNDP
- People's Daily, 2003, China : Cities sinking due to excessive pumping of groundwater
- USGS, 1998, Estimated Use of Water in the United States in 1995, USGS Circular 1200
- T. Shah, D. Molden, R. Sakthivadivel, D. Seckler, 2000, The Global Groundwater Situation : Overview of Opportunities and Challenges, International Water Management Institute
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York

연 구 진

연 구 책 임	박 원 배	제주발전연구원 연구위원
공 동 연 구	김 태 운	제주발전연구원 연구실장
연 구 자 문	양 성 기	제주대학교 토목환경공학부 교수
연 구 자 문	고 기 원	제주도광역수자원관리본부 연구실장

제주도의 빗물 활용에 관한 정책연구(II)

인 쇄 일	2005. 12
발 행 일	2005. 12
발 행 인	고 부 언(제주발전연구원장)
발 행 처	제주발전연구원
인 쇄 처	경신인쇄사 (☎064-746-2044)

ISBN 89-88021-81-7 93530

□ 이 책에 실린 내용은 출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나
無斷 轉載나 複製는 금합니다.