

정책연구 2004 - 12

제주도의 빗물 활용에 관한 정책연구

2004. 12

제주발전연구원

발 간 사

최근 들어 강수량은 이상기후에 의해 강우일수가 적어지고 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 강수량이 1,975mm에 달하는 우리나라 최대의 다우지역 중의 한 곳이지만 투수성이 좋은 화산암류로 이루어져 지표수의 발달이 빈약한 관계로 생활 및 산업활동에 필요한 용수를 전적으로 지하수에 의존하고 있다. 그러나 지하수의 과도한 개발·이용으로 인한 장애를 방지하고, 향후 지하수 함양량 감소, 토지이용 변화에 따른 침수 피해를 능동적으로 대처함과 아울러, 제한된 수자원인 지하수를 보전하고 풍부한 강우를 유익하게 이용하기 위해 환경친화적 빗물이용을 활성화하기 위한 기초조사를 실시한 내용을 정리한 것이다.

아울러, 제주지역의 수문지질 특성에 적합한 지하수 인공함양기법을 개발하여 지하수 인공함양의 긍정적 효과는 극대화시켜 나가고 부정적 영향은 최소화하기 위한 방안 마련을 위해 2차년도 사업이 마무리되는 시점에서는 본 사업의 목적과 취지에 부합되는 보고서가 출간될 수 있도록 노력할 것을 약속드립니다.

2004. 12

제주발전연구원

원 장 고 부 언

목 차

I. 서 언	1	
II. 제주도의 수자원 부존 및 이용현황	4	
2-1. 물 수지	4	
2-2. 유효지하수 함양량	5	
2-3. 지하수 적정 개발량	7	
2-4. 지하수 개발현황	9	
2-5. 지하수 이용현황	11	
III. 제주도의 빗물이용 여건	13	
3-1. 강우량 분포	13	
3-2. 강우의 수질조성	14	
3-3. 지역별 빗물 집수 가능량	18	
IV. 빗물이용 활성화를 위한 정책방향 및 제도	21	
4-1. 빗물이용 활성화 정책방향	21	
4-2. 빗물이용 활성화를 위한 제도	23	
V. 빗물이용 사례	28	
5-1. 국외 빗물이용 사례	28	
5-2. 제주도의 빗물이용 현황	39	
VI. 결론 및 제언	50	
참고문헌	53	
<table border="1"><tr><td>부 록</td></tr></table> 동경도 우수침투 지침	부 록	55
부 록		

표 목 차

〈표 1〉 제주도의 수문학적인 물 수지(2002년 기준)	4
〈표 2〉 제주도의 유효 지하수 함양지역을 고려한	7
〈표 3〉 제주도의 유역별 지하수 적정 개발량	8
〈표 4〉 제주도의 지하수 개발현황(2003. 12 현재)	9
〈표 5〉 제주도의 지하수 이용현황	11
〈표 6〉 제주도의 유역별 강우량 현황	13
〈표 7〉 제주도의 8개 지점에서 채수된 강우의 수질조성	16
〈표 8〉 제주도의 8개 지점에서 채수된 강우의 TDS 함량	17
〈표 9〉 제주도 8개 지점에서 채수된 강우 중의 Cl^- 농도	17
〈표 10〉 제주도의 지역별 및 표고별에 따른 연간 빗물 집수 가능량 분석결과	20
〈표 11〉 빗물이용시설 설치대상	25
〈표 12〉 빗물이용시설 또는 지하수인공함양시설 시설규모	26
〈표 13〉 공공시설 및 민간시설의 빗물이용 시설	28
〈표 14〉 빗물이용(저류) 시설의 저수용량	30
〈표 15〉 제주도내에 시설된 대표적인 빗물이용시설 현황	42
〈표 16〉 지하수 인공함양정 설치 현황	43

그림 목 차

〈그림 1〉 제주도의 등강우선도	14
〈그림 2〉 지하수 인공함양 방법 모식도	47
〈그림 3〉 지하수 인공함양연구를 위한 빗물 집수시설, 인공함양정 및 관측정 설치 모식도	48

사 진 목 차

〈사진 1〉 한국공항(주) 유리온실 빗물저장시설 설치 모습	40
〈사진 2〉 엘리시안 골프장내 빗물저류시설 설치공사 모습	40
〈사진 3〉 용수 저수지의 모습	41
〈사진 4〉 비닐하우스에 내린 빗물을 모으기 위한 집수시설의 모습	44
〈사진 5〉 지하수 인공함양정으로 빗물이 함양되고 있는 모습	45

1. 서 언

우리나라 최남단에 위치한 마라도에서는 최근까지도(2004년 6월 30일부터 1일 50톤 생산능력의 해수담수화시설이 본격적으로 가동되었음) 빗물을 받아 먹는물은 물론 생활용수로 사용하여 왔다. 이렇다할만한 수원이 없는 마라도의 주민들에게 빗물은 생명수나 다름없는 귀중한 원천(源泉)으로 이용되었다. 제주도 본 섬도 마라도와 같은 시절이 있었다. 1970년대까지만 하더라도 초가집 처마에 빗물을 받기 위해 놓아 둔 항아리를 어렵지 않게 볼 수 있었다. 또한, 제주도민들은 나무에 내리는 빗물까지도 받아 이용하기 위해 나무 밑에 항아리(‘춤향’이라고 함)를 받쳐두는 지혜도 발휘하였다. 이처럼, 제주의 역사와 문화에는 물로 인한 고통과 애환, 그리고 선조들의 지혜가 깊게 새겨져 있다.

과거 제주도에서 보편적으로 이루어졌던 빗물이용의 한 단면을 석주명의 『제주도 수필(1968)-제주도의 자연과 인문』이라는 책에서 엿볼 수 있는데, 그 책 97쪽에는 빗물이용과 빗물의 수질에 관해 다음과 같이 서술하고 있다.

“天水를 흔히 奉天水라고 한다. 한경면 산간부락인 저지리 같은 곳에 사는 富豪家에서는 50년 이상 저장된 봉천수가 적지 않다. 泉水는 저장한대도 夏節이면 1일에 변질하지만 이 天水는 저장하면 그 속에서 발생하는 蟲의 유무에 불구하고 3개월 이상만 되면 泉水 이상으로 정화되어 우량(優良)한 음료수로 된다고 한다. 貯藏甕은 청색보다는 흑색의 토기가 좋다고 한다.”

1970년 초부터 진행된 지하수 및 용천수 개발사업은 불과 30년 이라는 단기간에 제주의 물 문제를 완전히 해결하는 성과를 이룩하였다. 1989년을 기

점으로 상수도 보급률이 99.9%에 이르렀고, 제주의 물이용 문화를 상징해 주던 ‘물허벅’, ‘물구덕’, ‘춤향’, ‘물팡’과 같은 것들도 점차 사라져 지금은 박물관이나 민속촌에서 밖에 볼 수 없게 되었다. 게다가 과거에 이용되었던 봉천수, 연못, 우물 등도 거의 자취를 감추었고, 공공용 저수지도 3군데 밖에 남아 있지 않다.

지하수 관정개발은 제주의 물 문제를 단기간에 해결하는데 크게 기여하였으나 제주의 전통적인 물 이용문화를 급속하게 변화시켜 놓는 결과를 가져와 지금은 용도에 관계없이 지하수가 아니면 안 된다는 인식이 보편화 되어있다. 관광호텔, 골프장, 목욕탕, 공동주택, 업무용 빌딩, 식당, 1차산업 등 제주지역 사회의 거의 모든 산업 및 경제활동에서 지하수를 필요로 하였다. 그 결과, 1991년 12월 제주도개발특별법(2001년 ‘제주국제자유도시특별법’으로 법령이 바뀌었음)이 제정되기 이전에 이미 3,800여 개의 지하수 관정이 아무런 법적 규제도 받지 않고 개발되었다. 따라서, 제주도에서는 제주도개발특별법에 전국에서는 처음으로 지하수 굴착 및 이용허가제도, 지하수원수대금 부과제도, 지하수영향조사제도 등을 도입하여 무분별한 지하수 개발·이용 행위를 법적으로 관리하기 시작하였다.

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 가져올 수 있다. 비록 이와 같은 문제는 제주도에만 국한된 문제라기보다는 지하

수를 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. 따라서, 제주도에서는 2000년 제주도개발특별법을 개정하면서 지하수 인공함양정 설치에 관한 법적 제도를 마련하였고, 2002년에는 지하수 인공함양정 설치에 따른 시설비 지원제도를 만들어 시행하고 있다. 또한, 2004년도에는 일정규모 이상의 개발사업자에게 빗물이용시설 설치를 의무화하는 법적 근거와 시설 및 관리기준을 제정하여 시행하고 있다.

본 연구에서는 제주도의 빗물이용 여건을 비롯하여 빗물이용시설(빗물 저류시설과 지하수 인공함양시설을 포함한 용어임) 설치 현황과 빗물이용을 활성화하기 위한 정책의 방향, 그리고 현재 시행하고 있는 제도의 주요내용 등을 소개하고자 한다.

II. 제주도의 수자원 부존 및 이용현황

2-1. 물 수지

물 수지는 물 순환과정에서 일어나는 강우, 손실(직접유출, 증발산), 지하 침투 등의 규모를 결정하는 수문분석으로서 어느 한지역의 수자원 총량의 결정, 지하수 함양량 산정, 수자원 개발계획 또는 방재계획수립의 기초가 된다. 제주도와 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>에 제시된 결과는 유효 지하수 함양지역 면적을 고려하지 않고, 제주도 전체를 대상으로 수문학적 방법에 의해 실시한 물 수지분석 결과임을 밝혀둔다.

<표 1> 제주도의 수문학적인 물 수지(2002년 기준)

유역	강우량(mm)		총강우량 (백만 ³ m)		직접유출량 (백만 ³ m/년)		증발산총량 (백만 ³ m/년)		지하수함양량 (백만 ³ m/년)	
	'93	2002	'93	2002	'93	2002	'93	2002	'93	2002
합계	1,872	1,975	3,388 (100%)	3,609 (100%)	638 (18.8%)	740 (20.5%)	1,256 (37.1%)	1,216 (33.7%)	1,494 (44.1%)	1,653 (45.8%)
동부	1,963	2,077	960	1,028	129	160	326	306	505	562
서부	1,396	1,299	518	487	44	43	266	235	208	209
남부	2,164	2,339	1,050	1,150	285	328	336	348	429	474
북부	1,853	2,027	860	944	180	209	328	327	352	408

(자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3), 2003)

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. 유효지하수 함양량

제주도의 표고별 지하수 함양량을 보면, 해발 200m 이하 지역이 전체의 44%이고, 해발 200~600m의 중산간지역이 37.1%, 해발 600m 이상 지역이 18.9%를 나타내어 결국 해발 200m 이상 고지대 지역의 56%를 차지하고 있어 지하수 주함양지역이 되고 있다. 이에 반해 해발 200m 이하 지역 중 해안에 인접한 지역은 도로포장, 도시 및 취락 형성, 인공배수로, 비닐하우스 시설, 방파제, 내륙바다, 양식장 시설 등 토지이용이 집중적으로 이뤄지고 있어 지하수 함양기능보다는 직접유출 기능이 매우 우세하다. 만일, 이 지역에서 지하수 함양이 이루어진다고 하더라도 해안선에 인접해 있기 때문에 빠르게 바다로 유출되어 버릴 뿐만 아니라, 함양된 빗물이 상류 쪽으로 역류할 수 없기 때문에 내륙 쪽에서 개발해 이용할 수 없는 대상이 된다. 특히,

해안선에 가까운 지역에서 지하수는 담수-염수의 평형상태를 이루면서 부존하게 되므로 이 지역에서 지하로 침투한 빗물은 개발대상이 아니라, 담수-염수의 균형 유지용으로 관리되는 것이 바람직하다. 그렇지 않을 경우, 담수와 염수간의 균형이 파괴되어 바닷물이 담수 대수층으로 침입하는 '해수침투 또는 염수침입' 현상이 발생할 수 있다. 또한, 제주도는 다우년과 과우년 간의 강수량 차이가 1,500mm에 이를 정도로 매우 크게 발생하고 있어 지하수 함양량과 적정 개발량을 좀더 보수적인 방법에 의해 산정할 필요가 있다.

상기와 같은 점들을 고려하여 제주도에서는 2003년 지하수 함양량 및 재평가 과정에서 우리나라 최초로 '유효 지하수 함양지역 및 함양량' 개념을 도입하였다. 즉, 각 유역별로 해안선으로부터 직선거리 500m 이내의 109.3km² 지역을 지하수 함양지역에서 배제하였다. 따라서, 지하수 함양 배제지역이 감안된 제주도의 유효 지하수 함양지역의 면적은 1,719.0km²이다.

지하수 함양 배제지역을 고려한 제주도의 물 수지를 보면<표 2>, 총강우량은 3,427백만m³/년이고 직접유출량은 708백만m³/년, 증발산량은 1,138백만m³/년이며, 지하수 함양량은 1,581백만m³/년인데 이는 전술한 수문학적 물수지 분석에 의한 지하수 함양량보다 4.3% 감소한 것이다. 수문학적 물 수지분석결과와 비교할 때, 전체적으로 지하수 함양량은 197천m³/일(연간 72백만m³)이 감소하였는데, 유역별로는 지형경사가 완만한 동부유역이 92천m³/일으로 가장 많고, 강우량이 가장 적은 서부유역이 33천m³/일으로 가장 적으며, 남부 및 북부유역은 각각 40천m³/일과 32천m³/일이 감소하였다.

<표 2> 제주도의 유효 지하수 함양지역을 고려한 물수지

유역	면적 (km ²)	강우량 (mm)	총강우량 (백만m ³ /년)	증발산량 (백만m ³ /년)	직접유출량 (백만m ³ /년)	지하수 함양량	
						(백만m ³ /년)	(천m ³ /일)
합계	1,719.0	1,975	3,427	1,138	708	1,581	4,329
동부	459.7	2,077	964	282	153	529	1,447
서부	349.4	1,299	455	217	41	197	539
남부	466.2	2,339	1,100	329	312	459	1,257
북부	443.7	2,027	908	310	202	396	1,086

(자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3), 2003)

2-3. 지하수 적정 개발량

‘지하수 적정 개발량(sustainable yield)’이란 수질과 양수량에 영향을 미치지 않는 상태에서 지속적으로 지하수를 양수할 수 있는 양을 의미한다. 이 개념은 지하수자원의 보호를 위해 하와이에서 처음으로 개발되었다. 지하수 개발은 산림자원의 경우처럼 자연 생태계 내에서 순환되는 생산물을 이용하는 것과 같기 때문에 ‘지속 가능한(sustainable)’이란 용어를 사용할 수 있다. 산림자원의 지속적인 생산이 이루어지도록 하기 위해서는 식재 또는 파종, 성장(생육), 수확, 자연고사(自然枯死)가 균형이 유지되도록 관리되어야 한다. 대수층의 경우에는 강우에 의한 지하침투 또는 다른 경로를 통한 지하침투가 input에 해당하는 것이고, 포화대에 지하수가 채워지는 것이 growth이며, 펌프나 다른 인위적인 수단에 의해 지하수를 끌어올리는 것이 harvesting, 지표 유출 또는 기저유출이 natural mortality가 되는 것이다(고기원, 2001).

제주도와 같이 사면이 바다로 둘러싸인 도서지역에서의 지하수 개발과 이용은 지하수 함양량, 저류량, 채수량, 유출량 간의 균형을 적절하게 유지하지 못하고 적정 개발량을 초과하는 과도한 지하수의 양수가 이루어지면, 지하수의 염수화라는 장애가 발생할 수 있다. 따라서, 지하수 개발·이용허가와 이

용량을 규제하는데 'sustainable yield' 개념이 필요한 것이다.

<표 3> 제주도의 유역별 지하수 적정 개발량

구 분	지하수 함양량 (천m ³ /일)		지하수 적정 개발량(천m ³ /일)		비 율 (%)		비 고
	'93년	2003년	'93년	2003년	'93년	2003년	
합 계	4,093	4,329	1,689	1,768	41	41	
동부유역	1,383	1,447	498	401	36	28	평형방정식 적용
서부유역	570	539	331	312	58	58	"
남부유역	1176	1,257	414	502	35	40	기저유출량 고려
북부유역	964	1,086	446	553	51	51	평형방정식 적용

(자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3), 2003)

제주도의 지하수 적정 개발량은 유역별 지하수 부존형태를 고려해 동부·서부·북부유역은 하와이주에서 개발한 평형방정식을 이용해 산정하였고, 남부유역은 기저유출량을 고려해 산정하였다. <표 3>은 2003년에 실시한 제주도의 유역별 지하수 적정 개발량 분석결과를 1993년 결과와 비교해 제시한 것이다. 제주도 전체적으로 볼 때, 지하수 적정 개발량은 지하수 함양량의 41%인 1일 1,768천m³/일으로서 1993년 결과와 비교해 1일 79천m³/일이 증가하였다. 유역별로 보면, 북부유역이 553천m³/일로서 가장 많고 서부유역이 312천m³/일로서 가장 적으며, 남부 및 동부유역이 각각 502천m³/일과 401천m³/일이다. 1993년 분석결과와 비교할 때, 북부 및 남부유역은 각각 107천m³/일과 88천m³/일이 늘어났지만, 동부 및 서부유역은 각각 97천m³/일, 19천m³/일이 감소하였다.

2-4. 지하수 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 395m³/일의 지하수가 개발되었는데, 이 것이 제주도 최초의 지하수 관정이 되었다.

2003년 12월 현재 제주도 전체적으로 개발된 지하수 관정(염지하수, 도서지역, 조사·연구용 제외)은 4,832공이며, 지하수 개발량은 1,495천m³/일로서 적정 개발량 대비 84.6%에 이르고 있다<표 4 참조>.

<표 4 > 제주도의 지하수 개발현황(2003. 12 현재)

(단위 : 공, 천m³/일)

구 분		합 계	생 활 용	농수축산	공업·기타
합 계	공 수	4,832	1,461	3,176	195
	개발량	1,495	627	815	53
제 주 시	공 수	864	697	127	40
	개발량	251	215	27	8
서귀포시	공 수	1,119	302	807	10
	개발량	239	102	136	2
북제주군	공 수	895	247	572	76
	개발량	442	165	258	20
남제주군	공 수	1,954	215	1,670	69
	개발량	563	146	395	23

※ 염지하수(968공), 도서지역(5공) 및 연구·조사용(77공) 제외

시·군별 관정 개발실태를 보면, 남제주군 지역이 전체 관정의 40.4%인 1,954공이 개발돼 있고, 서귀포시 지역은 1,119공(23.2%), 제주시와 북제주군 지역은 각각 864공(17.9%)와 895공(18.5%)이다. 지하수 개발량은 남제주군 지역이 전체 개발량의 37.7%인 563천 m^3 /일으로 가장 많고, 북제주군 442천 m^3 /일(29.6%), 제주시 251천 m^3 /일(16.8%), 서귀포시 239천 m^3 /일(16.0%)이다.

용도별로 보면, 농축업용이 전체 관정의 65.7%인 3,176공을 차지하고 있으며, 생활용이 1,461공(30.2%), 공업 및 기타용이 195공(4.0%)이다. 생활용 관정은 제주시 지역이 697공으로 전체의 47.7%를 차지하고 있는 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 1,670공으로 전체의 52.6%를 차지하고 있어 시·군별 지하수 관정의 용도가 뚜렷하게 구분되고 있다. 용도별 지하수 개발량은 농축업용이 815천 m^3 /일로 전체의 54.5%를 차지하고 있고, 생활용은 627천 m^3 /일(41.9%), 공업 및 기타용은 53천 m^3 /일(3.5%)이다. 생활용 지하수 개발량은 제주시 지역이 215천 m^3 /일(34.3%)로 가장 많은 반면, 농축업용은 남제주군 지역이 395천 m^3 /일(48.5%)로 농축업용 지하수 개발량의 절반을 차지하고 있다.

개발 주체별로 보면, 공공용 관정이 전체의 20.2%인 978공인 반면, 사설 관정은 3,859공으로 79.9%를 차지하고 있어 사설관정이 주를 이루고 있다. 공공용 관정의 개발량은 전체 지하수 개발량의 55.8%인 834천 m^3 /일으로서 관정 당 평균 개발량은 850 m^3 /일이며, 사설관정 전체 개발량은 661천 m^3 /일(44.2%)이고 공 당 평균 개발량이 170 m^3 /일에 불과해 사설관정 대부분이 소용량 관정임을 알 수 있다. 공공용 관정은 생활용과 농축업용이 대부분을 차지하고 있는 반면, 사설관정은 농축업용이 전체의 53.8%를 차지하고 있다.

2-5. 지하수 이용현황

4,583개의 지하수 관정을 대상으로 지하수 이용량을 조사한 결과<표 5>, 제주도 전체적인 1일 최대 지하수 이용량은 1,070천m³으로 적정 개발량 대비 63%, 지하수 개발량(허가량) 대비 72%로 분석되었다. 용도별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 생활용이 314천m³(29.3%)이고, 농축업용이 728천m³(68%)이며, 공업 및 기타용은 28천m³이다. 시·군별 1일 최대 지하수 이용량을 보면, 제주시 지역은 155천m³/일이고 서귀포시 170m³/일, 북제주군 331m³/일, 남제주군 414천m³/일이다. 제주시 지역은 전체 이용량의 81.3%(126m³/일)가 생활용인 반면, 북제주군 및 남제주군 지역은 전체의 76~78%가 농축업용이다. 공공용 관정의 지하수 이용량은 전체의 59%를 차지하고 있으며, 개발량 대비 이용량 비율은 77%이고, 공당 평균 이용량은 629m³/일로 분석되었다. 사설관정의 경우, 개발량 대비 이용량은 66%이고, 공당 평균 이용량은 112m³/일이다.

<표 5> 제주도의 지하수 이용현황

(단위 : 공, m³/일)

용도	구분	합계	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군
합계	관정수	4,881	892	1,112	913	1,964
	이용량	1,070,203	155,024	170,414	330,888	413,878
생활용	관정수	1,488	721	300	250	217
	이용량	314,123	125,777	42,557	70,286	75,502
농축업용	관정수	3,160	128	800	568	1664
	이용량	727,671	26,984	126,664	251,488	322,535
공업·기타	관정수	233	43	12	95	83
	이용량	28,410	2,262	1,193	9,114	1,5841

※ 염지하수(968공) 및 도서지역(5공) 제외

표고별 지하수 이용량을 보면, 해발 100m이하 지역이 총 이용량의 69.6%에 이르는 745천 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 229천 m^3 /일이고, 해발 200m 이상 지역은 전체의 9%인 96천 m^3 /일이다.

Ⅲ. 제주도의 빗물이용 여건

3-1. 강우량 분포

제주도는 우리나라에서 비가 가장 많이 내리는 지역 중의 한 곳이다. 해안 저지대에 위치한 기상청 관할 4개 기상대 및 기상관측소에서 측정된 30년 평균 강우량은 1,567mm이지만, 중산간 및 한라산 지역을 포함한 도 전역의 10년 평균(1993~2002) 강우량은 1,975mm로서 전국 평균치 1,283mm(건설교통부, 한국수자원공사, 2001)보다 무려 692mm가 더 많다.

그렇지만, 강우량의 지역적 편차가 커서 남부·동부·북부유역은 연간 2,027~2,339mm의 비가 내리지만 서부유역은 1,299mm에 불과하다(표 6 및 그림 1 참조). 또한, 표고에 따른 강우량의 차이도 매우 뚜렷하여 해발 200m 이하지역은 연간 1,651mm인 반면, 해발 200~600m의 중산간 지역은 2,184mm이고 해발 600m 이상지역은 2,784mm로서 해발 100m 당 연간 강우량은 약 273mm씩 증가하는 경향을 보인다(제주도, 한국수자원공사, 2003).

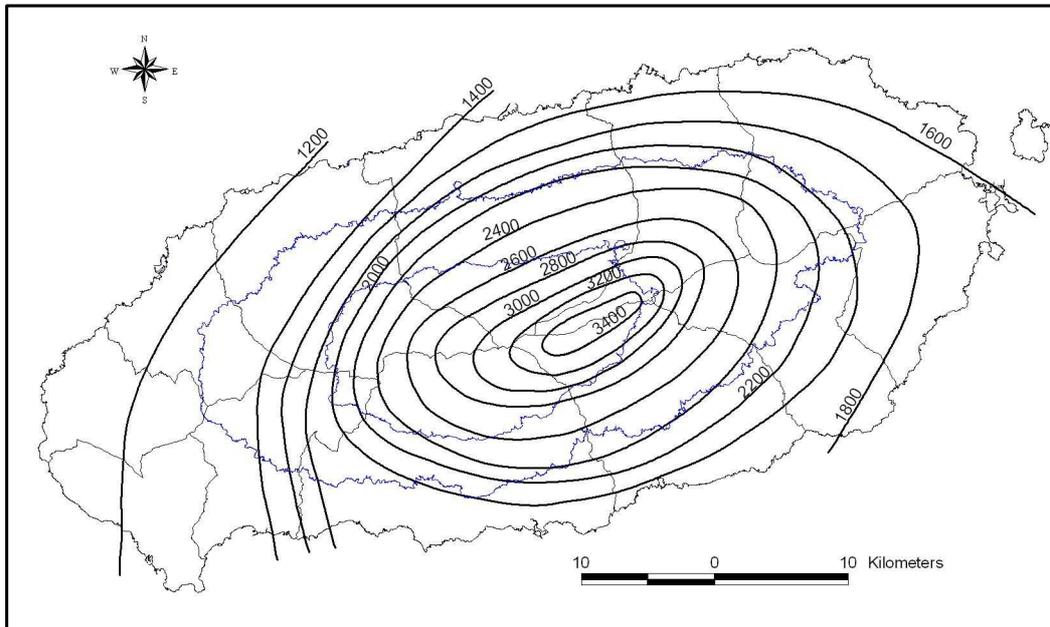
<표 6> 제주도의 유역별 강우량 현황

(단위 : mm)

유역	연평균 강우량		과우년 (1996년)	다우년 (1999년)
	최근 10년간 자료 (1993년~2002년)	전 기간 자료 (1923년~2002년)		
제주도 전체	1,975	1,972	1,419	2,945
동부유역	2,077	2,037	1,571	3,276
서부유역	1,299	1,293	1,022	1,844
남부유역	2,339	2,347	1,738	3,355
북부유역	2,027	2,046	1,215	3,047

(자료 : 제주도수문지질 및 지하수자원종합조사(3), 2003)

제주도의 유출발생 강우량은 1일 40mm로 분석되었으며(제주도, 한국수자원공사, 2003), 1일 40mm 이상 강우 발생 일수는 5.2~18.6일 범위이다. 또한, 1일 40mm 이상 내린 강우량은 연평균 강우량 대비 35~80.7%를 차지하고 있으나 전반적으로 40~100mm 강우 일수 및 강우량이 가장 많다.



<그림 1> 제주도의 등강우선도(1993~2002년 연평균 강우량)

3-2. 강우의 수질 조성

빗물을 이용하는데 있어 가장 중요한 항목 중의 하나가 빗물의 수질상태이다. <표 7> 내지 <표 9>는 2000년 9월부터 2001년 4월까지 제주도의 8개 지점에서 월별로 강우시료를 채취해 수질분석을 실시한 결과를 요약한 것이다. 해안지역 강우의 모든 주요 성분이 중산간 및 고지대에서 채취된 강우 보다 높은 농도를 나타내고 있다. 양이온 중에서는 Na^+ 가, 음이온 중에서는 Cl^- 이 비교적 채취지점에 따라 큰 변화를 보이는 것으로 보아 해풍에 의한 영향 때문인 것으로 보인다. 수질유형 역시 해안지역의 시료들은 Na-Cl유형을 보이고 중산간 및 산악지역의 시료들은 Ca-Cl유형을 보인다.

수질성분의 평균치를 보면, pH는 5.6을 나타냈고, 칼슘 3.3mg/l, 마그네슘 0.6mg/l, 나트륨 3.9mg/l, 칼륨 0.6mg/l, 중탄산염 4.2mg/l, 염소이온 7.3mg/l, 황산염 6.4mg/l, 질산염 1.2mg/l이다.

TDS(Total dissolved solids)는 중간값 기준으로 각 지점에서 9~30 mg/l의 값을 나타냈으며 전체 중간값은 14.2 mg/l이다. 대체로 겨울철에 높은 값을 보여주고 있으며, 지역적으로는 큰 차이가 없다. 월별로는 3월에 모든 지점에서 가장 높은 TDS 값을 보였다.

Cl⁻은 TDS와 대체로 비슷한 경향을 보여주며, 3월에 농도가 가장 높았다. 표고별로는 해안지역의 한 지점을 제외하고는 표고와 Cl⁻의 농도는 별다른 상관관계를 가지지 않고 일정한 값을 보여준다. 8개 지점 강우의 Cl⁻농도 중간값은 3.0 mg/l이다.

<표 7> 제주도의 8개 지점에서 채수된 강우의 수질조성

(단위: mg/ℓ)

월	항목	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻
2000 년9월	평균	5.0	1.3	0.3	1.4	0.1	2.0	3.4	2.3	1.2
	최대	5.9	4.9	0.6	4.2	0.4	11.0	7.8	3.1	2.2
	최소	3.6	0.3	0.1	0.6	0.0	0.0	1.0	1.3	0.0
10월	평균	5.6	1.0	0.3	0.9	0.3	1.0	2.8	2.7	1.3
	최대	6.7	2.4	0.8	2.5	1.1	5.0	4.9	4.1	2.9
	최소	4.0	0.4	0.1	0.3	0.1	0.0	1.5	1.6	0.0
11월	평균	5.1	0.8	0.4	1.7	0.5	1.0	3.2	3.4	0.6
	최대	7.0	1.4	0.7	4.7	2.6	6.0	8.5	7.5	1.0
	최소	4.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	2.1	2.3	0.4
12월	평균	5.5	5.7	0.7	5.4	0.9	9.7	10.6	7.8	1.2
	최대	5.9	24.0	1.3	10.7	2.7	55.0	18.7	12.8	1.4
	최소	4.8	0.9	0.4	3.4	0.3	0.0	5.6	4.5	0.8
2001 년1월	평균	5.5	4.5	1.0	7.1	0.7	7.9	12.7	7.6	0.8
	최대	6.9	24.0	2.0	15.4	2.7	55.0	29.4	12.8	1.4
	최소	4.8	0.7	0.4	3.4	0.2	0.0	5.6	4.5	0.6
2월	평균	5.5	1.9	0.4	2.3	0.3	1.3	3.8	5.5	0.9
	최대	6.5	4.7	0.7	4.4	0.6	5.0	8.9	11.8	1.3
	최소	4.7	1.0	0.2	1.4	0.2	0.0	1.5	2.8	0.6
3월	평균	6.2	8.4	1.6	11.1	1.3	5.8	19.6	18.0	3.4
	최대	6.6	13.7	2.5	18.8	2.1	13.0	33.8	35.0	8.4
	최소	5.8	4.8	0.8	4.8	0.6	0.0	7.8	9.6	0.0
4월	평균	6.2	2.5	0.3	1.3	0.3	4.6	2.1	4.0	0.4
	최대	6.6	6.0	0.7	3.3	0.9	16.0	5.8	7.2	1.5
	최소	5.8	0.5	0.1	0.5	0.0	0.0	0.9	2.2	0.0
전체 평균	평균	5.6	3.3	0.6	3.9	0.6	4.2	7.3	6.4	1.2
	최대	6.5	10.1	1.2	8.0	1.6	20.8	14.7	11.8	2.5
	최소	4.7	1.1	0.3	1.8	0.2	0.0	3.3	3.6	0.3

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(1), 2001, 제주도>

<표 8> 제주도의 8개 지점에서 채수된 강우의 TDS 함량

(단위: mg/ℓ)

지 점	중산간 및 한라산 고지대 지역						해안지역		중간값
	성판악	논고교	서귀포시 입석동	어리목	한 발 저수지	YMCA 수련원	서귀포시 서흥동	제주시	
2000년 9월	8.2	11.2	22.0	7.7	8.7	6.3	6.7	17.8	8.5
10월	6.5	8.6	7.4	18.5	8.9	9.4	7.4	15.5	8.3
11월	10.6	7.8	9.1	16.4	9.0	10.0	6.5	23.6	9.6
12월	108.0	37.7	-	16.1	19.5	21.2	-	48.4	29.5
2001년 1월	-	22.7	24.0	-	-	22.5	21.8	61.8	22.7
2월	15.8	8.7	13.4	10.6	16.7	14.4	17.8	32.5	15.1
3월	35.4	44.0	63.0	61.0	101.9	55.2	98.9	92.9	62.0
4월	8.3	4.5	4.9	29.8	24.1	15.6	9.3	27.6	12.4
평균	27.6	18.1	20.5	22.9	27.0	19.3	24.1	40.0	-
중간값	10.6	10.0	13.4	16.4	16.7	15.0	9.3	30.1	14.2

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(1), 2001, 제주도>

<표 9> 제주도 8개 지점에서 채수된 강우 중의 Cl⁻ 농도

(단위 : mg/ℓ)

년 월	중산간 및 한라산 고지대 지역						해안지역		중간값
	성판악	논고교	서귀포시 입석동	어리목	한 발 저수지	YMCA 수련원	서귀포시 서흥동	제주시	
2000년 9월	2.5	3.3	1.0	2.7	3.5	3.2	-	7.8	3.2
10월	2.6	1.8	1.5	4.3	2.6	3.0	1.9	4.9	2.6
11월	2.4	2.2	2.2	2.1	2.6	3.3	2.6	8.5	2.5
12월	15.2	12.0	-	5.6	5.6	6.7	-	18.7	9.4
2001년 1월	-	8.8	9.3	-	-	8.7	8.4	29.4	8.8
2월	2.7	1.5	1.9	2.8	5.0	2.8	4.9	8.9	2.8
3월	7.8	12.4	18.2	16.6	26.1	14.9	33.8	26.6	17.4
4월	1.0	0.9	1.0	1.6	2.2	2.1	2.3	5.8	1.8
평균	4.9	5.3	5.0	5.1	6.8	5.6	9.0	13.8	6.9
중간값	2.6	2.7	1.9	2.8	3.5	3.2	3.8	8.7	3.0

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(1), 2001, 제주도>

3-3. 지역별 빗물 집수 가능량

전술한 바와 같이, 제주도는 지역별 및 표고별에 따라 강우량이 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서, 빗물을 집수하기 위한 시설의 면적(지붕면적)에 따라서 연간 집수 가능한 빗물의 양에서도 지역별로 차이를 나타낼 수 밖에 없기 때문에 지역별 및 표고별로 연간 집수 가능한 빗물의 양을 파악하는 것은 빗물저류시설이나 지하수 인공함양시설을 설치하는데 좋은 기초자료로 활용할 수 있다.

〈표 10〉은 제주도의 지역별 및 표고별로 집수면적에 따른 빗물 집수 가능량을 분석한 것이다. 표고는 해발 200m 이하지역, 해발 200~600m, 해발 600m 이상지역으로 구분하였고, 집수면적은 100㎡(약 30평)에서부터 30,000㎡(약 9,000평)까지 구분하였다. 또한, 강우량은 1993년~2002년까지 10년간 연평균 강우량을 적용하였으며, 다음과 같은 공식을 적용하여 집수 가능량을 산출하였다. 여기서, 0.9는 지붕의 유출계수인데, 일반적으로 지붕의 유출계수가 0.85~0.95인 점을 고려하여 0.90을 채택한 것이다.

$$\text{연간 빗물 집수 가능량(㎡)} = \text{연평균 강우량(mm)} \times \text{지붕면적(㎡)} \times 0.9/1,000$$

지붕면적이 1,000㎡(약 303평)일 경우, 연간 집수 가능한 빗물의 양은 1,000~3,000㎡의 범위이고, 20,000㎡(약 6,000평)일 때에는 20,000~60,000㎡가 가능한 것으로 분석되었다. 지역별로 보면, 서부지역이 강우량이 적은 관계로 집수 가능량이 작은 반면, 동부지역이 가장 많다. 또한, 표고별로 보면 해발 200m 이하의 해안지역보다는 중산간 및 한라산 고지대로 갈수록 많아지고 있다.

제주도내 농가에 시설된 비닐하우스의 면적이 대체로 10,000㎡(약 3,000평)인 점을 고려할 때, 이들 비닐하우스에 지하수 인공함양정을 설치하면, 1개소 당 연간 10,000~30,000㎡의 빗물을 지하로 침투시킬 수 있다. 따라

서, 제주도내의 비닐하우스 200곳에서 지하수 인공함양정을 설치해 운영할 경우, 연간 2,000,000~6,000,000m³의 지하수가 인위적으로 증량되는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 이들 비닐하우스에 빗물저류시설을 갖추어 농업용수로 이용하는 경우에는 그 만큼 지하수 취수량을 줄일 수 있어 지하수체의 평형유지에도 도움을 줄 수 있다.

<표 10> 제주도의 지역별 및 표고별에 따른 연간 빗물 집수 가능량 분석결과

지역	표 고 (m)	연평균 강우량 (mm)	지붕면적에 따른 빗물 집수 가능량(m ³)											
			100m ²	200m ²	300m ²	500m ²	1,000m ²	1,500m ²	2,000m ²	3,000m ²	5,000m ²	10,000m ²	20,000m ²	30,000m ²
동 부	EL.200 이하	1,822	164	328	492	820	1,640	2,460	3,280	4,919	8,199	16,398	32,796	49,194
	EL.200~600	2,507	226	451	677	1,128	2,256	3,384	4,513	6,769	11,282	22,563	45,126	67,689
	EL.600 이상	3,268	294	588	882	1,471	2,941	4,412	5,882	8,824	14,706	29,412	58,824	88,236
서 부	EL.200 이하	1,214	109	219	328	546	1,093	1,639	2,185	3,278	5,463	10,926	21,852	32,778
	EL.200~600	1,414	127	255	382	636	1,273	1,909	2,545	3,818	6,363	12,726	25,452	38,178
	EL.600 이상	2,042	184	368	551	919	1,838	2,757	3,676	5,513	9,189	18,378	36,756	55,134
남 부	EL.200 이하	1,986	179	357	536	894	1,787	2,681	3,575	5,362	8,937	17,874	35,748	53,622
	EL.200~600	2,358	212	424	637	1,061	2,122	3,183	4,244	6,367	10,611	21,222	42,444	63,666
	EL.600 이상	2,865	258	516	774	1,289	2,579	3,868	5,157	7,736	12,893	25,785	51,570	77,355
북 부	EL.200 이하	1,609	145	290	434	724	1,448	2,172	2,896	4,344	7,241	14,481	28,962	43,443
	EL.200~600	2,175	196	392	587	979	1,958	2,936	3,915	5,873	9,788	19,575	39,150	58,725
	EL.600 이상	2,680	241	482	724	1,206	2,412	3,618	4,824	7,236	12,060	24,120	48,240	72,360

Ⅳ. 빗물이용 활성화를 위한 정책방향 및 제도

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 이용방안이 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(빗물 저류 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)을 직접적으로 이용하는 것이 아니라, 지하로 침투시켜 지하수의 수량을 증대시킴으로써 지하수위 하강현상을 중지시키거나 하강속도를 둔화시켜 지하수를 안정적으로 채수할 수 있도록 해줌과 아울러, 해

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

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

4-2. 빗물이용 활성화를 위한 제도

4-2-1. 법률적 근거

제주도는 빗물이용을 활성화하기 위해 2004년 1월 29일 개정된 제주국제자유도시특별법 제33조의2에 다음과 같은 법률적 근거를 마련하였다.

제33조의2 (빗물이용시설등의 설치·운영)

- ①도조례가 정하는 일정규모 이상의 골프장, 관광단지 또는 토지의 형질변경이 수반되는 시설물 등을 설치하고자 하는 자는 빗물의 효율적 활용과 지하수 함양량(涵養量)의 증대를 위하여 빗물이용시설 또는 지하수인공함양시설(이하 "빗물이용시설등"이라 한다)을 설치·운영하여야 한다.
- ②도지사는 제1항의 규정에 의하여 빗물이용시설등을 설치하는 자에 대하여 도조례가 정하는 바에 따라 그 시설비의 일부를 보조할 수 있다.
- ③빗물이용시설등을 설치하여야 하는 시설물 설치행위의 범위, 빗물이용시설등의 시설규모 및 관리기준 그 밖에 빗물이용시설등의 설치·운영에 관하여 필요한 사항은 도조례로 정한다.

또한, 제주도에서는 2004년 7월 30일 개정·공포된 제주국제자유도시특별법 시행조례에 법에서 위임된 사항을 다음과 같이 규정하였다.

제45조의2(빗물이용시설등의 설치대상 등)

- ①법 제33조의2제1항에서 “도조례가 정하는 일정규모 이상의 골프장, 관광단지 또는 토지의 형질변경이 수반되는 시설물 등”이라함은 별표 9의3과 같다.
- ②도지사는 법 제33조의2제2항의 규정에 의하여 별표 9의3의 빗물이용시설등의 설치대상중 권장대상에 대하여 예산의 범위 안에서 시설비의 일부를 보조할 수 있다.
- ③제1항의 규정에 의하여 빗물이용시설등을 설치하고자 하는 자 또는 그 설치공사를 준공한 자는 별지 제15호 서식에 의한 신고서에 다음 각호의 1의 구분에 따른 서류를 첨부하여 도지사에게 설치신고 또는 준공신고를 하여야 하며 (준공일부터 7일 이내), 도지사가 그 신고를 수리한 때에는 별지 제16호 서식에 의한 신고필증을 교부하여야 한다.
 - 1. 설치신고시 첨부해야 할 다음 각목의 서류
 - 가. 설치예정위치를 표시한 지적도 또는 임야도
 - 나. 토지를 사용·수익할 수 있는 권리를 증명하는 서류
 - 다. 빗물이용시설 설치 및 이용계획서
 - 라. 원상복구계획서
 - 2. 준공신고시 첨부해야 할 다음 각목의 서류
 - 가. 설치위치를 표시한 지적도 또는 임야도
 - 나. 준공도면 및 시설내역 등을 포함한 준공보고서
 - 다. 그 밖에 시설공사 진행단계별 사진 등 필요한 사항
- ④법 제33조의2제3항의 규정에 의한 빗물이용시설등의 시설규모는 별표 9의4와 같다.
- ⑤법 제33조의2제3항의 규정에 의한 빗물이용시설등의 시설 및 관리기준 등 설치·운영에 필요한 사항은 도지사가 따로 정한다.

<표 11> 빗물이용시설 설치대상(별표 9의3)

구 분	시설의 종류	설 치 대 상
의 무 적 설치대상	빗물이용시설 또는 지하수인공함양저류지	가. 체육시설의설치·이용에관한법률시행령 별표1의 규정에 의한 골프장 중 부지면적이 6만제곱미터 이상인 골프장 나. 관광진흥법 제2조제1호의 규정에 의한 관광사업 중 용지면적이 10만제곱미터 이상인 사업 다. 관광진흥법 제2조제6호 및 제7호의 규정에 의한 관광지 및 관광단지 조성사업 라. 온천법 제7조제1항의 규정에 의한 온천개발사업 중 사업계획면적이 10만제곱미터 이상인 사업
권장대상	빗물이용시설 또는 지하수 인공함양정	가. 농·축·임·수산산업용 비닐하우스 또는 온실 나. 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장 등

- 비고 : 1. “빗물이용시설”이라 함은 빗물을 조경용수·청소용수·농업용수·공업용수 등으로 이용하기 위한 빗물저류·저장시설로서 지표수저류시설과 빗물저장시설로 구분한다.
2. “지하수 인공함양 저류지”라 함은 빗물을 한 곳으로 모아 지하로 침투시키기 위한 저류 또는 침투시설로서 제주도지사가 고시한 시설기준에 적합한 시설을 말한다.
3. “지하수 인공함양정”이라 함은 시설물 또는 건축물의 지붕에 떨어지는 빗물을 집수해 지하로 침투시키기 위한 굴착정(掘鑿井)으로서 제주도지사가 고시한 시설기준에 적합한 시설을 말한다.
4. “의무적 설치대상”이라 함은 사업시행자가 부지여건·시설물 배치계획 등을 감안하여 빗물이용시설이나 지하수 인공함양저류지 중 1개 종류이상의 시설을 의무적으로 설치·운영하여야 하는 대상을 말한다.
5. “권장대상”이라 함은 법제33조의2제2항의 규정에 의하여 시설비의 일부를 보조할 수 있는 대상을 말한다.

<표 12> 빗물이용시설 또는 지하수인공함양시설 시설규모(별표 9의4)

구 분	시설의 종류	시 설 규 모
의무적 설치대상	빗물이용시설	•저류시설 용량(톤) 일최대 용수수요량×0.2×연평균 무강우 일수(250일)
	지하수인공함양저류지	•저류지 시설용량(톤) 부지면적×연평균 강우량×지하수 함양율×0.10
권장대상	지하수 인공함양정	•인공함양정 1공 이상(굴착구경 250mm 이상)
	빗물이용시설	•지붕면적과 연평균 강우량을 고려한 적정 규모

- 비고 : 1. 빗물이용시설 또는 지하수 인공함양 저류지 시설은 1개소 이상 개별시설할 수 있으나 합산한 양은 별표상의 산식에 의한 시설용량 이상이어야 한다.
2. 골프장의 저류시설(pond)은 빗물이용시설로 간주하며, 시설용량에 포함한다.
3. “부지면적”은 녹지공간을 포함하는 당해 사업의 총 부지면적을 말한다.
4. “연평균 강우량” 및 “지하수 함양율”은 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3) 보고서의 것을 적용한다.

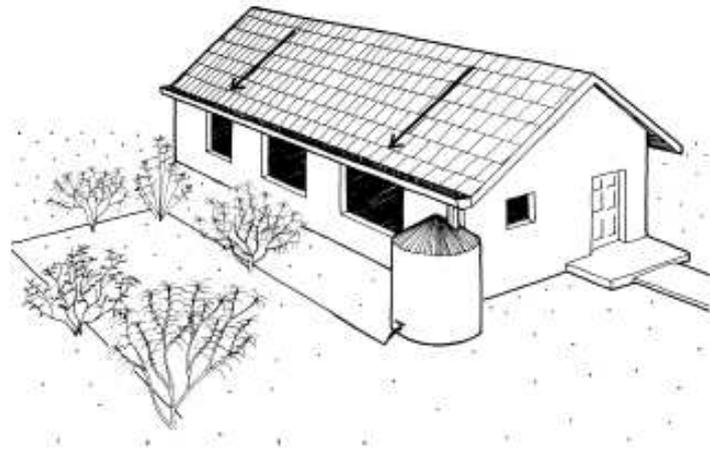
4-2-2. 시설기준

제주국제자유도시특별법 시행조례(제45조의 제5항)에서 빗물이용시설등의 설치 및 관리에 관한 필요한 사항을 규정으로 만들어 시행하도록 규정함에 따라 제주도에서는 ‘제주도 빗물이용시설등의 설치 및 관리기준’을 의견수렴 과정을 거친 후 2004년 9월 8일자로 고시(제주도고시 제2004-33호)하고, 시행 중에 있다. 이 시설기준에서는 대형 및 소형 빗물저류시설의 설치에 관한 사항을 비롯하여 지하수 인공함양정의 설치 및 관리 등에 관한 사항을 구체적으로 규정하고 있다.

4-2-3. 시설비의 지원

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 관리기준에서는 권장대상에서 대해서는 시설비의 100분의 70이내에서 보조할 수 있도록 하였다. 또한, 부정한 방법으로 보조금을 과도하게 지급받은 경우 등에 대해서는 보조금의 일부 또는 전액을 환급조치 할 수 있도록 규정하고 있다.



V. 빗물이용 사례

5-1. 국외 빗물이용 사례

5-1-1. 일본

일본은 1980년 이후부터 도시 생태계의 복원과 아울러 빗물이 새로운 수자원으로 인식되면서 빗물을 용수로 활용하는 다양한 기술과 제품들이 개발되고 있다. 공공시설과 민간시설에 설치된 빗물이용시설수는 <표 13>와 같다.

<표 13> 공공시설 및 민간시설의 빗물이용 시설

구 분	0.5m ³ 이상		0.5m ³ 미만의 소규모 탱크	
	빗물이용 시설수	저류용량(m ³)	빗물이용 시설수	저류용량(m ³)
공공시설	1,371	211 천m ³	574	87 m ³
민간시설	2,217	133 천m ³	3,725	720 m ³
계	3,498	344 천m ³	4,299	807 m ³

다양한 빗물이용 사례 중에서 동경도 스미다구(墨田區)와 카가와현(香川) 다카마츠시(高松市)의 빗물 이용현황 등에 대해 소개하고자 한다.

(1) 스미다구청

스미다구는 1982년 빗물이용을 시작하여 구의 건축물 및 공공건축물에 적극적으로 빗물이용을 도입하는 것은 물론, 민간에게서 건축되는 건축물에 대해서도 조성제도를 도입하여 홍수의 방재와 빗물이용을 장려하고 있다. 스미다 구청은 1990년 완공되어 일본 내에서 13번째로 빗물을 이용한 공공기관으로 구청건물 지하에 빗물 저류시설을 설치하여 화장실 용수 및 정원용수 등으로 사용하고 있으며, 지붕집수면적은 5,000m²이다. 특히 옥상녹화를 위한

정원용수의 경우는 일사량이 많은 여름철에는 실내온도를 낮춰 에너지 절감의 효과도 함께 보고 있다. 또한 홍수기에 빗물이 하수도로 한꺼번에 유입되는 현상을 방지하기 위해 평상시에는 지하 저류조 용량(1,000m³)의 반인 500m³은 홍수방지용 저류조로 비워두고 있으며, 지진 등의 재해발생시에 소방용수와 비상 음용수로도 활용하고 있다. 한편, 1998년에는 화장실의 연간 사용수량의 약 36%에 해당하는 약 4,660m³을 빗물로 사용했다.

(2) 다카마츠시(高松市)

다카마츠시의 기후는 세토나이식 기후로 연간 강수량은 대략 1,100mm이며 전국 평균과 비교하면 2/3 정도밖에 되지 않아 계속되는 가뭄의 피해를 입어왔다. 이러한 이유로 대형 빗물저류지 개념의 저수지를 만들어왔다. 현재 도심부에만 1,300개가 있다.

그러나 평상시에는 물론 장마철에도 이상 가뭄에 의해 다카마츠시는 시민생활에 심각한 영향을 주었다. 1973년 '다카마츠 사막'으로 불려졌던 대규모 가뭄으로 55일간의 단수가 있었으며, 최악의 사태로 8월 1일부터 시작된 제 3차 급수제한으로 오전 5시부터 오전 8시까지의 불과 3시간밖에 급수할 수 없는 기간이 38일간 계속되었으며, 응급급수를 위해 자위대의 출동을 요구한 사태가 됐다.

다음해 현민(縣民) 대망의 카가와(香川) 용수의 통수에 의해 물부족에서 해방되었다고 생각했지만 1994년 서일본 전체를 습격한 기록적인 가뭄으로 조아키호(早明浦)댐도 바닥을 나타내고, 다시 한번 이상 가뭄에 재난이 덮쳐 총 69일간의 시간 단수가 있었다.

따라서, 다카마츠시에서는 계속되는 가뭄을 교훈으로 삼아, 1996년 3월에 「다카마츠 물문제에 관한 기본지침」을 책정하여, 절수형 도시 조성을 위하여 각종 시책을 실시했다. 공공시설에 적극적인 빗물 탱크와 빗물 저류조를 설치하는 한편, 동일하게 규격화된 시설을 설치하여 민간에게도 여러 방면으로 보조금을 지급하고 있다. 이러한 시설은 빗물 유출제어 효과는 물론, 저류

한 빗물을 살수 등에 이용되어 절수와 침투에 의한 지하수 함양에도 효과를 나타내고 있다. 빗물이용 시설의 저수용량은 <표 14>와 같다. 또한, 다카마츠 시에서는 1996년부터 시 시설에 빗물 탱크와 빗물 저류시설의 설치를 하여 2001년도 말 현재, 58개 시설(저류용량 : 662.1m³이 운영되고 있다.

<표 14> 빗물이용(저류) 시설의 저수용량

(단위 : m³)

구 분	1997	1998	1999	2000	2001	2002
빗물탱크(1m ³ 미만)	22.1	13.2	43.6	27.6	17.9	8
빗물저류조(1m ³ 이상)	44	233	299	218.9	84	19
불용정화조	19.5	36	27	33	37.5	63
합 계	85.6	282.2	369.6	279.5	139.4	90

5-1-2. 독일

1998년 10월 독일의 베를린에서는 빗물이용시스템이 대규모 도시 재개발 계획인 다임러크라이슬러 포츠담 플라츠의 일부분으로 도입되었는데, 이 시스템은 도시 홍수를 조절하고 상수도를 절약하며 더 좋은 지역적인 기후조건을 유지하기 위한 목적에서 설치되었다. 19개 빌딩의 지붕(면적 32,000m²)에 떨어진 빗물이 3,500m³의 지하 저류조에 집수되어 저장된다. 이 빗물은 화장실 용수나 옥상녹화를 포함한 조경용수로 사용되거나 또는 인공 연못에 물을 공급하는데 사용된다.

베를린의 Belss-Luedacke-strasse 부지에 있는 다른 빗물 프로젝트에서는 약 7,000m²에 이르는 지붕면적으로부터 모아진 빗물이 분류식 우수관으로 방류되는데 면적이 4,200m²인 거리, 주차장과 골목길로부터 유출된 빗물과 함께 160m³ 용량의 빗물 저류조로 옮겨진다. 이 물은 여러 단계를 거쳐 처리되어 화장실용수나 정원용수로 사용된다. 이 시스템은 초기 유출수에 포함된 다량의 오염물질은 하수도의 빗물관에서 우수관으로 배출되어 하수처리장에서

적절히 처리되도록 설계되어 있다. 이러한 시스템을 사용함으로써 지역적으로 내린 빗물의 58%가 모아질 수 있는 것으로 추정된다. 10년간의 시뮬레이션을 통해 빗물의 사용으로 인해 절약할 수 있는 음용수의 양은 일년에 약 2,430m³ 정도로 추정되며, 따라서 비슷한 양의 지하수를 쓰지 않고 보존할 수 있게 되었다.

특히, 독일의 경우는 다른 나라와 달리 대부분의 도시에서 지하수를 원수로 사용하고 있어 가장 적극적으로 빗물이용을 추진하고 있는 나라다. 독일에서 빗물이용을 활성화하고자 하는 주된 이유는 빗물이용량을 늘려 제한된 수자원인 지하수를 보전하고자 하기 때문이다. 또한, 독일의 상수도 요금은 2002년을 기준으로 톤당 평균 1.83유로달러다. 덴마크가 1.79유로달러로 두 번째로 높으며 다음으로 네덜란드, 영국, 프랑스 순이다. 독일은 이렇듯 높은 요금체계를 갖고 있음에도 불구하고 지속적인 요금상승이 이루어지고 있는데 베를린의 상수도 요금은 2004년 1월 현재 2.17유로달러로 전년 대비 15%가 상승하였다. 독일의 평균 상수도 소비량이 120ℓ/일(44m³/년)이라는 점을 고려한다면, 베를린 시민 한 사람은 1년 동안 약 100유로달러를 상수도 요금으로 지불해야 한다. 이처럼 독일의 경우 톤당 상수도 요금이 세계에서 가장 비싼 국가이기 때문에 상수도의 절수를 통한 지하수 보전을 위해 빗물이용을 적극적으로 권장하고 있다. 전국적으로 20만 개 이상의 빗물이용 시설을 설치하여 운영하고 있으며, 2010년에는 유출되는 빗물의 24%를 회수하여 활용할 계획이다. 빗물이용 시설의 경우 1990년대에는 대규모 빌딩을 위주로 설치되었으나, 최근에는 주거단지 단위나 개별 주택을 대상으로 활발히 추진되고 있다.

독일에서 빗물관련시설물을 설치할 때에는 건축법, 음용수 수질법, 지역공동체의 하수처리법 등을 고려해야 한다. 빗물이용을 위한 시설물은 독일의 표준규격(DIN-Nomen)에 적합하면 설치 운영할 수 있다. 이를 위해서는 우선, 빗물이용시설물을 설치할 때에는 가정용 하수배출시설물의 자격요건을 충족시켜야 하며, 빗물이용시설물은 일정규모까지는 허가취득이 필요없지만 AVVV WasserV(법조항)이나 Trinkwasser- Nachspeisung과 관련된 법조항에 의

거하여 지자체나 용수담당기관에 그 시설물을 신고해야 한다. 또한 수질보전 법과 관련된 허가취득의 의무사항이 없으며 빗물이용시설물의 모든 책임은 시설운영자가 지며, 음용수로 사용하지 않도록 하고 있다.

2001년 5월 새로 개정된 “음용수 관리법”에서는 빗물의 관리 및 이용을 위한 법적 규정을 포함하고 있다. 즉 빗물이나 재사용하는 물이 건물 청소나 조경용수, 화장실용수로 어떠한 제한 없이 사용할 수 있도록 하였고, 가정 내에서보다 적극적으로 빗물을 활용할 수 있도록 제도적 장치를 마련하였다.

법적 개정과 더불어 독일공업규격에서 빗물이용과 관련하여 계획, 시공, 운용, 관리를 위한 기술에 대해 설명하고 가정용, 상업용, 공업용, 그 외 공공기관에서 빗물을 사용할 수 있도록 설명하고 있다. 이처럼 독일에서는 빗물이용을 위한 법적 규정 및 공업규격을 마련하고 있으며 이와 더불어 빗물침투시설의 설계 및 시공에 관한 규정(ATV-A138)과 옥상녹화 계획·설계 및 시행에 관한 기준 등을 마련하고 있다.

현재 독일에서 빗물과 관련된 중요한 법률은 다음의 네 가지다.

- ① 빗물 관련 구성요소들의 필요조건들에 관한 자세한 정보를 담고 있는 빗물 집수시스템에 관한 독일산업규격인 ‘DIN 1989-1 : 2001-’
- ② 빗물을 상수보급 용수로 사용하기 위한 법적체계 및 내용을 설명하는 음용수법(Drinking Water Act)
- ③ 침투시설들의 건설과 계산을 위한 ‘ATV guideline A138’
- ④ 지붕녹화의 계획, 수행, 관리에 관한 지침 ‘Guideline for the planning, execution and care of roof planting(National natural conservation law)’

주요 법률에서 보듯이 독일에서 빗물관련 시설물을 설치할 때에는 관련법을 준수하여야 한다. 그러나 시설물이 독일의 빗물이용 표준규격(DIN-Normen)에 적합하다면 신고만으로도 설치·운영할 수 있다. 이를 충족하기 위한 요건들은 다음과 같다.

- ① 빗물이용 시설물 설치시 가정용 하수배출시설물 설치 요건을 충족하여야 함.

- ② 빗물이용 시설물은 일정규모까지 허가취득이 필요 없음
- ③ 수질보전법과 관련된 허가취득의 의무가 없음
- ④ 빗물이용 시설물 설치시에 상수관과의 직접 연결을 금지함.
- ⑤ 빗물 저장조에 상수관을 연결시킬 경우 역류방지장치를 설침함.
- ⑥ 빗물이용 시설물의 유입, 유출부는 표시해야 함
- ⑦ 빗물이용 시설물은 시설운영자가 모든 책임을 짐.

이와 같이 빗물이용 시설물을 설치할 때에는 가정용 하수배출 시설물의 자격요건을 충족시켜야 하며, 빗물이용 시설물은 일정 규모까지는 허가취득이 필요 없지만 관련 법규정에 의거하여 지자체나 용수담당 기관에 그 시설물을 신고하여야한다. 그러나 빗물이용 시설물은 시설운영자가 모든 책임을 지며 음용수로 사용하지 못하도록 하고 있다.

독일은 지하수를 상수원으로 이용하고 있는 관계로 지하수의 근원이 되는 빗물을 효율적으로 활용하기 위한 법적 기준이나 제도를 상당히 엄격하게 규정, 관리하고 있다. 또한, 빗물을 친환경적으로 이용, 저류하기 위해 단지나 주택건설시 지붕 녹화 및 투수층 확대방안을 건설계획 단계에서부터 설계에 반영하도록 법적으로 규제하고 있다. 다른 한편으로는 빗물이용을 활성화하기 위한 제도적 방안으로 세계 최고의 상수도 요금체계를 유지할 뿐만 아니라 빗물을 배제할 경우 유출부담금을 부과함으로써 빗물이용을 적극적으로 활용하도록 유도하고 있다.

5-1-3. 미국

서부개척시대만 해도 당연히 빗물이용을 하던 미국은 현대에 들어 중앙 집중식 상수도체계가 보급되면서 빗물의 이용이 거의 사라져 왔다. 반면에 태평양이나 카리브해의 섬 지역 및 오하이오(Ohio), 애리조나(Arizona), 캘리포니아, 플로리다, 켄터키, 뉴멕시코, 펜실베이니아, 텍사스, 버지니아 등 건조지역을 중심으로 빗물이 일반적으로 사용되고 있다. Lyed(1992)에 의한 전국적인 조사에 따르면 현재 약 200,000개 정도의 빗물 이용 시스템이 소규모의 지역사회나 가정용으로 사용되고 있다고 한다.

미국의 경우 최근에 환경에 대한 관심이 높아지고, 기존 수자원이 고갈되면서 관계당국의 빗물저장에 대한 관심을 증가시켰고 많은 도시들이 빗물이용에 대한 기술을 적극적으로 개발하고 있다. 그 중 가장 처음으로 활발하게 빗물 저장설비의 설치를 지원한 곳은 캘리포니아였는데 이곳에서 1970년대에 빗물 이용에 대한 관심이 증대된 이유는 급격한 물 수요의 증대와 물 생산비용의 증가, 1976~1977년의 심한 가뭄 때문이었다.

괌, 카롤린 군도, 마셜군도, 푸에르토리코 등의 많은 섬지역에서는 빗물을 이용하는 것이 일반적이며 특히, 대체수자원이 부족한 작은 섬들의 경우에는 빗물 의존도가 더 크다.

인구 110,000명의 버진 군도(Virginia Islands)에서는 신축 건물을 지을 경우 지붕 유출수를 저류할 수 있는 저장조를 설치할 것을 법으로 규정하고 있다. 이때 그 용량은 1㎡의 지붕 면적당 400ℓ를 필요로 하는데 주로 저장조는 지하에 매설되며 그 크기는 대략 5~100㎡ 용량을 갖는다. 버진 군도의 섬에 상주하는 인구는 얼마 되지 않지만 일년에 180만 명의 관광객을 유치하는 곳이기 때문에 보다 많은 용수를 공급하기 위해 포장된 언덕을 이용하여 빗물을 모으기도 한다.

하와의 경우 농업지역이나 상수관로 시스템을 놓기 어려운 지역의 경우 빗물을 많이 사용한다. 호놀룰루의 탄탈루스산(Tantalus mountains)에 사는 100여 가구의 경우 음용수를 포함한 모든 가정용수로 빗물을 사용한다. 그런

데 빗물의 미생물학적 수질 검사에 따르면 18개 가정의 빗물 탱크에서 채수된 빗물이 대부분 미국의 음용수 수질 기준을 만족시키지 못했다고 한다 (Fujioka and Chinn, 1987). 그러나 실제로 건강에 문제를 일으킨 주민은 없었다.

1970년대 후반에 가뭄으로 인해 하와이의 몇몇 카운티(County)에서 물 부족을 겪게 되었고 이러한 문제를 해결하기 위해 지방자치단체에서는 건물 내 자체 수원 공급 방안을 갖추지 못하면 건축 허가를 보류하도록 하였다. 그러나 이러한 방식은 일시적인 위기 대처방안 밖에 되지 못하므로 최근에는 지속적인 물 부족문제 해결을 위한 접근이 시도되고 있다.

건조지역에 해당하는 텍사스에서도 중앙 집중식 수도 공급체계가 갖추어지기 전에는 빗물을 이용하는 것이 일반적이었으나 수도시스템의 도입으로 빗물 이용 시설이 많이 사라졌다. 그러나 빗물이용에 대한 관심이 다시 부각되고 있는데 이는 기존의 수도와 지하수 수질에 대한 불신이 증대하고 있고 빗물을 이용하는 것이 보다 경제적이라는 생각이 확산되고 있기 때문이다. 특히 미국 지하수는 경도가 높는데 비해 빗물은 광물과의 접촉이 거의 없으므로 연수라는 점이 장점으로써 부각되고 있다. 세탁에도 유리하고 따로 연수화 공정이 필요 없기 때문에 사용에 더욱더 경제적이라는 것이다.

5-1-4. 영국

영국은 1995년 심각한 가뭄에 시달리면서 물에 대한 인식의 전환이 이루어졌다. 극심한 가뭄으로 상수보급 회사들의 수도물 보유량이 바닥나면서 인구 증가에 대한 자원고갈의 경조이 되었다. 이 사건으로 영국국민들은 깨끗한 물이 더 이상 무한자원이 아님을 깨닫게 되었으며, 그 이후 수도회사들은 재활용수의 잠재적 이용가능성에 대해 본격적으로 조사하기 시작하였다. University of Cranfield에서 개최되었던 빗물이용에 관한 국제 컨퍼런스에 British Water사(사) 등 수도회사들의 적극적인 참여가 있었다. 이 컨퍼런스의 주된 주제는 일본, 독일, 프랑스, 영국에서의 빗물 이용과 그 시스템에 대

한 현재의 기술상황에 관한 것들이었다.

런던은 연간 평균 강우량이 613mm로 세계의 다른 도시들보다 적다. 1,100만이 넘는 인구는 런던의 수자원을 효율적으로 활용해야만 한다는 것을 말해 준다. 템즈워터 사(社)는 사용 가능한 빗물의 55%를 이미 사용하고 있다. 인구증가와 독신자의 증가, 그리고 날씨의 변화로 물소비량은 점점 증가하고 있다. 템즈워터사는 물소비량을 조절할 뿐만 아니라 새로운 수자원을 개발하는 “twin-track” 수자원 정책을 채택하였다. 빗물의 효율적인 이용이 포함된 수자원 재활용의 연구가 이 정책의 가장 중요한 부분을 차지한다.

영국 최고의 수도보급회사인 “템즈 워터”사는 영국에 새로 생긴 밀레니엄 돔을 빗물이용과 다른 방법의 재활용수를 비교하기로 하였다. 특히 연구원들은 사용자들의 반응을 관찰하였고, 여러 시범적인 물절약 도구들을 사용하여 그 효율성도 체크하였다.

밀레니엄 돔은 320m의 직경을 가지고 있는 50m 높이의 구조물로서 지붕은 플라스틱으로 코팅된 강화 유리섬유로 건설되었으며 12개의 100m 높이의 격자형 철제 돛대에 의해 지지된다. 빗물은 화장실 용수로 하루 필요한 양인 500m³의 20%를 보충해 주었다. 100,000m³의 지붕에서 모아진 물은 식물정화시스템을 거쳐 연못에 저장되고 남은 양은 템즈강으로 흘러 들어간다. 밀레니엄 돔은 오염된 지하수를 처리하는데 이용되어 왔던 역삼투 방식과 멤브레인 방식에 의한 필터시스템을 핵심적인 처리 기술로 활용하고 있다.

5-1-5. 태국

1980년부터 태국은 가정용 빗물 집수 시스템을 개발하여 큰 성과를 보여왔다. 특히 태국의 wi-프로그램(Jar Program)은 세계적으로 잘 알려진 가정용 빗물 집수 저장조 설치 프로젝트로써 태국정부에 의해 주도되었는데 1980년대 중반이후 2m³ 부피의 철근 콘크리트로 된 빗물 저장조가 가정용으로 수백만 개나 건설되었고 약 11m³의 철망시멘트(ferro cement) 탱크의 경우 매우 폭넓게 이용되어 태국의 북동부 지역에서 수천 개의 탱크가 설치되어 있다 (Traitongyoo, 1987).

태국은 1980년대에 다양한 철망시멘트로 된 빗물 저장탱크를 개발하여 설치한 결과 태국의 동북부 산악지대를 비롯한 농업 지역의 주민들이 보다 쉽게 음용수를 공급받을 수 있게 되었다. 이 지역에는 큰 하천이 없는 데다 바다가 용기해 생성된 토지라 지하수는 염분농도가 높아 음용수로 적합하지 않다. 따라서 옛날부터 빗물을 이용해 왔고 가정용 빗물 이용 시스템 사용에 있어 매우 선도적이라고 할 수 있다. 더욱이 2m³의 태국식 자(Thai Jar)의 개발은 빗물의 활용에 있어 더욱더 커다란 효과를 불러 일으켰다.

이 프로그램을 통해 겨우 5년 사이에 약 1,000만개의 빗물 저장 용기(jar)가 만들어졌다는 사실에서 알 수 있듯이 그 결과가 매우 경이적이다. 이 프로그램은 1985년 11월에 국가주도의 위원회가 설립되면서 공식적으로 시작되었는데 설치·계획에 있어서 재정적인 운영과 건설에 마을 사람들을 동원하였고, 교육, 기술, 조사 및 행정적인 비용에 대해서는 정부가 지원했다.

이러한 방법은 수백만의 프로젝트 수혜자들로부터 자율적인 노동과 자금 회전이라는 형태의 지원을 끌어내 성공적인 프로젝트가 되었다. 이러한 마을 단위의 자원 활용을 통해 프로그램 초기에 6백만 개의 빗물 저장용기를 제작하는데 132억 달러가 들것으로 예상했던 비용이 단지 2,500만 달러밖에 들지 않았다(Wirojanagud et al, 1990).

태국에서의 이와 같은 빗물 이용 시설의 보급 프로그램이 신속하게 성공적으로 이루어진 데는 다음과 같은 이유가 있다.

- 실제로 피부로 와 닿는 물에 대한 필요성과 빗물에 대한 선호도가 높았다.
- 국가 경제가 성장단계에 있었으며 풍부한 인적 자원이 있었다.
- 값싼 시멘트를 이용할 수 있었고 숙련된 기술자가 있었다.

이러한 빗물 이용 시설의 보급이 태국에서 비록 성공적으로 이루어졌다고는 하지만 모든 지역에서 그런 것은 아니다. 태국의 남부지역의 경우 다른 대체 수자원이 다양하게 이용 가능한데다가 빗물에 대한 선호도가 비교적 낮아 빗물이용 시설의 보급이 저조한 것으로 조사되었다(John Gould et al, 1999).

5-2. 제주도의 빗물이용 현황

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. 따라서, 이 글에서는 소규모 빗물이용시설은 제외하고, 규모가 큰 시설과 지하수 인공함양정 중심으로 소개하고자 한다.

5-2-1. 빗물이용시설

제주도내에 시설된 빗물이용시설은 크게 3가지 유형으로 분류할 수 있다. 즉, 건축물의 지붕에 내리는 빗물을 저류(저장)시설에 집수시켜서 이용하는 '빗물이용시설'과 지표수를 저류시켜 사용하기 위한 '저수지', 그리고 골프장에서 발생하는 지표수와 그린에 살수한 물을 재순환 사용하기 위해 시설한 '골프장 저류시설'이다. 2004년 10월 현재 빗물이용시설은 2개소 5,000m³이고, 저수지는 공공용과 사설 저수지를 합해 4개소 1,313천m³이며, 골프장 저류시설은 10개소 1,162천m³으로서 총 시설규모는 2,480천m³이다(표 15 참조).

빗물이용시설은 서귀포 월드컵경기장에 500m³ 규모와 한국항공(주) 유리온실에 4,500m³가 시설되어 있다. 서귀포 월드컵경기장의 빗물이용시설은 지붕면적이 19,770m²이기 때문에 2001년 9월 28일 개정된 수도법 제11조의3의 규정을 적용받아 설치한 시설이며, 화장실용수와 조경용수 등으로 사용하고 있다. 한국항공(주) 유리온실은 남제주군 표선면 가시리 소재 제동목장 부지내에 위치해 있는데, 2002년부터 6,100평(20,160m²)의 유리온실에서 파프리카(paprika)를 재배하고 있다. 당초 지하수 관정을 개발하여 파프리카 재배에 필요한 용수를 해결하려 하였으나 이 지역이 연간 2,500mm 이상 비가 내리는 다우지역이어서 유리온실에 내리는 빗물로도 필요한 용수를 충분히 해결할 수 있을 것으로 분석되어 1,500m³ 규모의 빗물저류시설 3기와 집수시설

등을 설치하였다. 현재 이 곳에서는 연간 약 22,000m³의 빗물을 파프리카 재배에 직접 이용하고 있으며, 약 28,000m³은 배수시키고 있다.



<사진 1 > 한국공항(주) 유리온실 빗물저장시설 설치 모습



<사진 2 > 엘리시안 골프장내 빗물저류시설 설치공사 모습



<사진 3 > 용수 저수지의 모습

저수지는 공공용 3개소와 사설 1개소가 있는데, 총 시설 규모는 1,313천^m이며 농업용수와 축산용수로 이용하고 있다. 특히, 공공용 저수지는 1960년대 초반에 논농사에 필요한 물을 공급하기 위해 시설되었으나 1980년대에 접어들면서 농업형태가 밭작물과 시설농업 중심으로 변화됨으로써 관수시설 부족으로 이용률이 낮았으나 최근 밭작물 용수로 이용하기 위한 시설개수 공사가 진행되고 있다.

2003년 10월 현재 제주도 내에는 운영 중인 골프장이 13개소가 있으며, 1995년 이전에 건설된 3개소를 제외한 10개소 골프장에 총 1,162천^m의 빗물저류시설이 시설되어 있다. 골프장은 다른 업종과는 달리 물을 다량 이용할 수 밖에 없는 특성을 지니고 있기 때문에 제주도에서는 1995년부터 골프장을 허가할 때 빗물이용시설을 시설하도록 하였고, 2004년 7월 30일부터는 일최대 용수수요량의 20%를 빗물로 사용하도록 하고 있다.

<표 15 > 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	742,000m ³	"	"
	광령저수지	76,00m ³	"	"
	제동목장 저수지	160,000m ³	축산용수	사설
골프장 저류지	크라운 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	"	

※ 공사가 진행 중인 골프장 저류지는 제외한 것임

5-2-2. 지하수 인공함양정 설치

제주도내에는 감귤을 비롯하여 채소 및 화훼재배를 위한 비닐하우스와 유리 온실이 많이 설치되어 있는데, 이들 지역에 집중호우가 내리면 주변 농경지 및 도로가 침수되는 문제가 발생하여 주민들이 빗물 처리에 많은 애로를 겪어 왔다. 또한, 도시지역의 확대·도로개설 구간의 증가·초지개간 면적의 증가 등에 의한 지하수 함양면적이 점진적으로 감소하고 있어 장기적으로는 빗물을 지하로 침투시키기 위한 방안이 필요하였다. 따라서, 제주도에서는 비닐하우스나 유리온실 시설에 의한 농경지 침수문제를 해결함으로써 주민의 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 제도화 하였다.

지하수 인공함양정 시설은 지하수 오염방지를 위해 시설기준에 적합하게 설치하여야 하며, 함양정 착정심도는 자연수위 상부 비포화대로 한정시키고 있다. 지하로 주입하는 물은 비닐하우스나 건축물의 지붕에 내린 빗물을 지면과 접촉하지 않고 곧장 주입토록 함으로서 지하수의 질과 양을 동시에 보전할 수 있도록 하고 있다.

<표 16> 지하수 인공함양정 설치 현황(2004. 6. 30일 현재)

구 분	합 계		준 공		시 공 중	
	개 소	함양량 (천m ³ /년)	개 소	함양량 (천m ³ /년)	개 소	함양량 (천m ³ /년)
계	59	488	57	459	2	29
2002년까지	24	190	24	190	-	-
2003년	24	205	24	205	-	-
2004년	11	93	9	64	2	29

〈표 16〉는 2003년 6월 현재까지 설치된 지하수 인공함양정 현황이다. 총 59개소가 설치되어 있으며, 이들 시설을 통해 연간 약 490,000m³의 빗물이 지하수로 함양되고 있다.



<사진 4> 비닐하우스에 내린 빗물을 모으기 위한 집수시설의 모습



<사진 5> 지하수 인공함양정으로 빗물이 함양되고 있는 모습

5-2-3. 지하수 인공함양 연구사업의 추진

지하수관리는 법적·제도적·기술적인 수단과 방법에 의해 대수층의 수질과 수량을 적절하게 유지함으로써 지하수를 지속 가능한 자원으로 관리하는 연속적인 행위라고 할 수 있다. 지하수의 개발과 이용을 법률로 강제하는 것이 전통적인 지하수 관리방법이라고 한다면, 지하수의 개발과 이용을 법률로 강제함과 동시에 인위적으로 이용 가능한 지하수의 양을 늘리는 수단을 병행하는 것은 적극적인 지하수 관리방법이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 제주도가 지하수 인공함양을 제도적으로 뒷받침하고, 이에 필요한 연구를 진행하고 있는 것은 선진 지하수관리기법이라 할 수 있다.

지하수의 인공함양은 지하수위 저하 및 해수침투 방지 등을 위한 현실적 문제해결을 위해 추진할 수 있지만 지하수의 이용적 측면에서는 대수층의 지니고 있는 기능을 최대한 활용할 수 있다는 점에서 큰 장점이 있다. 즉, 대수층은 ①용수공급 기능(water supply function), ②송수기능(pipeline

function), ③광상기능(mining function), ④여과기능(filter-plant function), ⑤에너지원 기능(energy-source function), ⑥저류기능(storage function) 등 여러가지 기능을 지니고 있다. 따라서, 지속적으로 지하수를 인공함양시키는 경우에는 상기와 같은 대수층의 지니고 있는 제거능을 유지 또는 향상시켜 양질의 지하수를 지속적으로 이용할 수 있는 여건이 조성되게 된다.

그러나, 지하수의 인공함양은 비포화대를 구성하고 있는 지질의 물리적 특성과 대수층의 수리적 특성에 따라 인공함양량과 함양효과(회수율)에서 큰 차이를 나타낼 수 있다. 또한, 인공함양을 시키고자 하는 물의 종류(빗물, 지표수, 하수 재처리수 등)에 따라 대수층의 수질변화를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라, 인공함양 방법에 따라서도 함양량과 수질이 영향을 받을 수 있다. 따라서, 상기와 같은 인공함양에 따른 긍정적 효과와 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 그 지역에 가장 적합한 인공함양기법을 개발하는 것이 필요하다.

일반적으로 적용되고 있는 지하수 인공함양 방법(그림 2 참조)으로는 함양지법, 비포화대 주입정법, 직접 주입정법의 3가지로 구분할 수 있으며(Fox, 2000), 각각의 방법이 지니고 있는 장단점은 다음과 같다.

① 함양지(涵養池, recharge basin) 방법

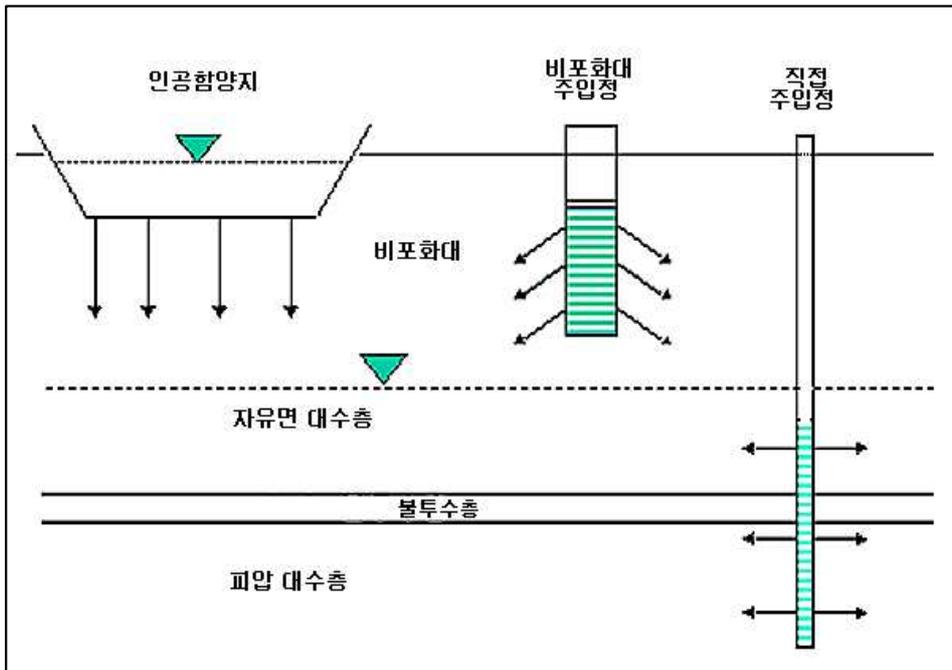
이 방법은 인위적으로 함양지를 만들거나 또는 자연적인 지형을 이용해 물을 지하로 침투시키는 방법으로서 가장 일반적이고 광범위하게 채택하고 있으며, 특별한 고도의 기술을 필요로 하지 않는 대신 넓은 면적을 필요로 하는 것이 단점임.

② 비포화대 주입정(vadose zone injection well) 방법

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

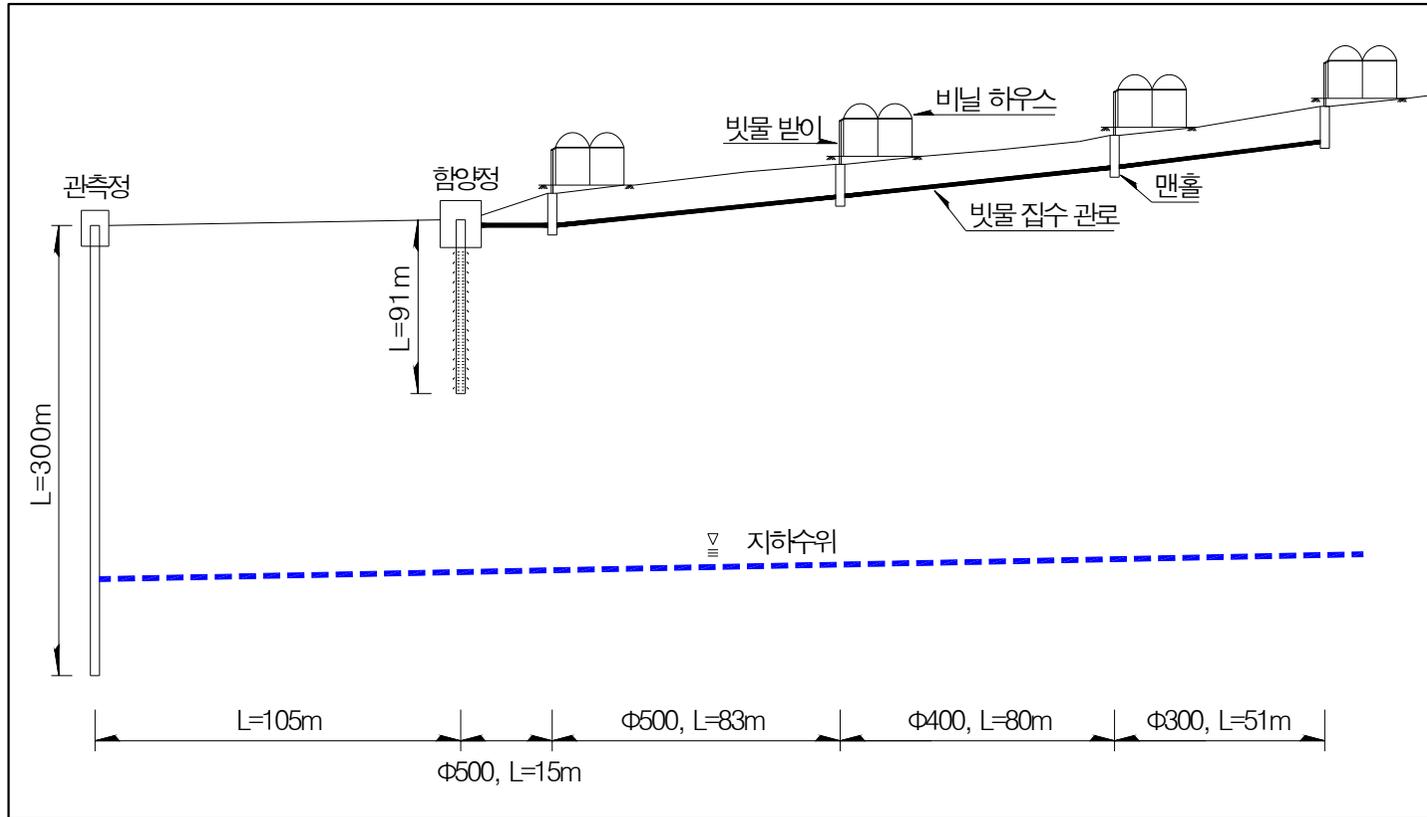
③ 직접 주입정(direct injection well) 방법

피압대수층 속으로 물을 직접 주입시키는 방법으로서 주입시키는 물을 고도처리해야 함.



<그림 2> 지하수 인공함양 방법 모식도

제주도에서는 제주지역의 지질특성에 적합한 지하수 인공함양기법을 개발하여 지하수 인공함양을 적극적으로 장려함과 아울러, 대규모 인공함양사업을 추진하는데 기본정보를 얻기 위해 2004년도부터 지하수 인공함양연구에 착수하였다. 첫해인 2004년도에는 북제주군 애월읍 봉성리에 위치한 제주도농산물원종장에 인공함양정 1개소(구경 300mm, 착정심도 91m)와 관측정 1개소(구경 150mm, 착정심도 300m)를 설치하였다(그림 3 참조). 이 연구는 농산물원종장에 시설된 비닐하우스 중 4개동(4,000평)에 내리는 빗물을 한 곳으로 모아 함양정으로 침투시키면서 필요한 연구를 수행하고자 계획하였다. 연구 대상지역은 연평균 강우량이 1,500mm 정도 되며, 연간 침수 가능한 빗물의 양은 약 20,000m³ 가량 된다. 따라서, 연간 20,000m³ 정도



<그림 3> 지하수 인공함양연구를 위한 빗물 집수시설, 인공함양정 및 관측정 설치 모식도

의 빗물이 함양정을 통해 지하수로 함양될 수 있다. 이 연구에서는 빗물의 수질조성을 비롯하여 관측정과 주변 지역에 이미 개발된 지하수 관정의 수질, 강우사상별 빗물 함양량 및 관측정에서의 반응(수위, 수온, 전기전도도 등), 지하수 중의 동위원소 조성의 변화, 대수층의 수리성에 기초한 빗물(함양수)의 확산범위 및 속도 등을 지속적으로 연구할 계획이다.

2005년도부터는 해발 600m 주변 고지대 지역 하천을 대상으로 홍수시 하천 유출수의 탁도, 부유물질 함량, 홍수유출 발생시간에 따른 수질변화, 강우량별 홍수유출량 등에 대한 조사를 실시하여 고지대 지역에서 홍수시 하천 유출수를 인공함양시킬 수 있는 적절한 방안을 연구해 나갈 계획이다.

VI. 결론 및 제언

오늘날 지하수는 전 세계적으로 『고갈, 염수화, 오염』이라는 3대 위기에 직면해 있다. 중국 허난성(Henan province)의 경우, 1975년에서 1987년 사이에 75,000km² 지역의 지하수위가 0.75~3.68m 하강하였다(IWMI, 2000). 또한 중국의 46개 도시지역에서 과다하게 지하수를 개발·이용한 결과 지하수위가 큰 폭으로 하강하고 있다고 중국지질조사소가 2003년 11월 발표하였다. 세계물관리연구소(International water Management Institute)는 세계적으로 처해 있는 지하수의 위기에 대응하기 위해서는 지표수의 인공함양, 빗물의 인공함양, 지하수 함양지역의 조림사업, 도시지역에서의 적극적인 빗물이용 등이 필요하다고 강조하였다(IWMI, 2000).

제주도라고해서 중국과 같은 심각한 상황이 발생하지 않으리라는 법은 없다. 그 같은 문제가 발생하고 나면, 사회적 혼란은 물론 치유하는데 엄청난 대가를 치러야 하기 때문에 무엇보다도 예방이 필요한 것이다. 지하수가 유일한 수자원인 제주도에서 지하수의 고갈, 염수화, 오염은 곧 제주의 생명력을 상실하는 것과 다를 바 없는 것이기 때문에 빗물의 직접적 및 간접적 이용을 정책화하고, 적극적으로 추진해 나가고 있는 것이다.

빗물이용시설이나 지하수함양시설을 설치해 지하로 빗물을 인위적으로 침투 시키거나 빗물을 시설물 관리에 활용함으로써 ① 지하수를 지속 가능한 자원으로 안정적으로 이용할 수 있고, ② 지하수 함양량 감소문제가 해소되며, ③ 하류지역으로 일시에 배출되는 유출량을 감소시켜 농경지 침수, 도로유실, 주택침수 등의 수해를 방지할 수 있으며 ④ 저류된 빗물이나 지표수를 시설물 관리에 사용함으로써 지하수 취수량을 줄임은 물론 지하수 취수에 따른 비용이 절감되며, ⑤ 상수도 사용량을 줄임으로써 수돗물 생산비용을 절감시켜 예산운용에 여유가 생기게 되는 등의 여러 가지 효과를 기대할 수 있다.

제주도의 빗물이용은 이제 시작단계이다. 따라서 문제점과 미흡한 점이 많을 수 밖에 없을 것으로 생각한다. 따라서, 제주도에서는 현재 시행하고 있는

제도의 문제점과 미비점을 지속적으로 개선·보완시켜 법률적 및 제도적으로 성숙한 빗물이용 사회를 만들어 나갈 것이다.

이제까지 빗물은 내리면 하수도 등을 통하여 하천, 바다로 흘러드는 존재정도로만 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. 아울러 빗물이용시설의 보급 확대를 위한 몇 가지 안을 제언하는바 정책적으로 수행하는 게 바람직하다.

1. 제도의 엄격한 시행을 위한 행정적 노력과 지도·감독의 강화이다. 제주도 빗물이용시설등의 설치 및 관리기준에 대해 2004년 7월 30일 조례가 공포되어 2004년 9월 8일자로 시설기준이 고시되어 시행 중에 있다. 이 제도에 대해 엄격하게 시행하기 위해서는 행정적으로 지도·감독을 강화하고, 특히, 빗물 이용시설을 이용하는 도민에 대해서는 인센티브 제도를 도입하고 정기적으로 수질검사를 제주도가 시행하는 등 도민에게 적극적으로 홍보한다.
2. 제도의 엄격한 시행을 위한 행정적 노력과 지도·감독의 강화이다. 제주도 빗물이용시설등의 설치 및 관리기준에 대해 2004년 7월 30일 조례가 공포되어 2004년 9월 8일자로 시설기준이 고시되어 시행 중에 있다. 이 제도를 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.
3. 빗물 이용시설 설치대상의 확대. 지금까지 빗물이용시설은 대형사업, 토지 이용변경을 수반 사업장 또는 건축물 중심으로 이루어져 왔다. 특히, 수도법에 의하면 종합운동장, 실내체육관 등 지붕 면적이 2,400㎡이상

이고, 관람객 수가 1,400석 이상인 시설물을 신축하거나, 이 규모 이상으로 증축, 개축 또는 재축하는 시설물에 대해서는 빗물이용시설을 설치·운영에 대해 의무화하고 있다. 그러나, 빗물이용시설의 보급 확대 및 축진을 위해서는 아파트 단지, 공공기관 청사, 공공단체에서 시행하는 신·개축의 건축물, 학교, 공원 등을 우선적으로 규정을 새롭게 도입하여 빗물 이용시설 설치 대상을 확대할 필요가 있다.

4. 시설비 보조금액의 지원 및 범위 확대. 시설비 보조금액은 총공사비의 70%이하의 보조금을 지원하고 있는데, 빗물 이용시설을 활성화 하고 제주도의 생명수인 지하수를 지키기 위해서는 총공사비100%를 지원하여 홍보 및 유도하는 것이 바람직하다.
5. 다량으로 지하수를 이용하는 업체에 대한 의무적 빗물 이용량 할당제를 도입함. 제주도에서 지하수를 다량으로 이용하고 있는 골프장, 관광단지·지구 등에 대해서는 의무적으로 빗물 이용량에 대해서는 할당제를 도입할 필요가 있다. 예를 들어 골프장인 경우 관개 용수사용량을 일 용수량의 20% 이상 빗물을 사용하는 것을 의무화 한다. 따라서 빗물 저장시설 용량을 증설해야 하며, 지금까지 지상에 설치하던 빗물 저장시설을 지하 저장시설로 전환시켜 증발산량을 억제한다. 특히, 클럽하우스, 콘도시설 등에 내린 강우를 지하 저장탱크로 유도하여 재사용할 수 있도록 한다.
6. 대규모 인공함양에 관한 조사·연구가 필요함. 사회가 발전함에 따라 토지이용의 변화와 지구온난화현상에 따른 기상 이변, 지하수 사용량의 증가, 오염원의 산재 증가로 인해 제주도의 생명수인 지하수가 위협을 받고 있는 것은 사실이다. 따라서, 이러한 위협을 극복하기 위해서는 체계적으로 인공함양에 대한 사전 조사·연구가 필요하며, 프로그램을 수립할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수 관리, 제주도광역수자원관리본부
- 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 절약
방안
- 환경부, 2003, 빗물이용시설 보급확대를 위한 정책방안 연구
- Asano T. 1985, Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers,
Boston, MA
- 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
- 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, New York

부 록

동경도 우수침투 지침

동경도 우수침투 지침

제1 목적

이 지사는 도민의 건강과 안전을 확보하는 환경에 관한 조례(평성12년(2000년) 동경도 조례 제215호) 제141조제1항의 규정에 기초로 지하수의 보전을 도모하기 위해 우수를 지하로 침투시키기 위한 방법에 대해서 정하는 것을 목적으로 한다.

제2 지하로 침투를 추진하는 우수

지하로 침투를 추진하는 우수는 다음에 기술하는 우수로 한다.

1. 건물 지붕 등으로부터 물 받지 등을 통해 모인 우수
2. 식재가 없는 정원 운동장 등의 나지에 내린 우수
3. 주차장 등의 포장이 되어있는 장소 등에 내린 우수

제3 지하로 침투를 추진하는 지역

우수가 지하로 침투를 추진하는 지역은 다음에 기술하는 지역을 제외한 지역으로 한다.

1. 지반의 우수침투 능력이 낮고, 침투효과를 기대할 수 없는 지역(지하수위가 높은 지역, 지반의 낮은 지역 등)
2. 우수를 지하로 침투시키는 것에 의해 방재상의 지장이 발생할 우려가 있는 지역(사태 우려가 있는 지역 급경사지로 붕괴 위험이 있는 지역 등)

제4 우수의 침투방법

우수가 지하로 침투함에 있어서 지하수 오염 방지 관점으로부터 확수법(지표면 또는 지표 가까운 지층을 통해서 우수를 자연적으로 지하로 침투시키는 방법을 말함.)을 이용해 다음에 기술하는 우수침투시설 등에 의해 이루어지는 것이다.

1. 우수침투구
2. 우수침투트렌치
3. 투수성포장
4. 우수침투측구
5. 투수지(透水池)
6. 지표면의 녹지화

제5 우수침투시설의 구조 등

우수침투시설의 구조 등은 다음과 같다.

1. 우수침투구(雨水浸透柵)

집수기능과 투수기능을 공유하는 것처럼 유공 또는 다공성 투수구, 그 주변의 쇄석(碎石)충진층, 쇄석충진층 외벽을 투수시트로 덮고, 부사(敷砂), 연결관(집수관 등) 등으로 구성하고 필요에 따라 막힘방지를 위해 쓰레기 제거 필터 등을 설치한다.
2. 우수침투트렌치

침투기능과 통수기능을 공유하는 것처럼 유공 또는 다공성 투수관 그 주위를 쇄석이 충진층으로 덮고, 쇄석충진층 외벽을 투수시트로 덮고, 부사 등으로 구성하고 투수관에 대해서는 경사지게 한다. 또한 우수침투트렌치는 집수기능의 확보 등을 도모하기 위해 우수침투구와 병행을 원칙으로 한다.
3. 투수성포장

표층(공극율이 큰 포장재), 노반(路盤; 쇄석 등), 필터층(敷砂) 등으로 부터 구성되는 것으로 한다.
4. 우수침투측구(雨水浸透側溝)

지표면 설치의 유공U자구, 부사 등으로 구성, 경사지게 설치하는 것으로 한다.
5. 투수지(透水池)

우수조정지 등의 우수저류시설의 밑바닥에 우수침투구 등 및 퇴사지를 설치해서 구성한다.

6. 지표면의 녹지화

지표면으로부터 우수의 유출율을 감소시키고 침투량 증대를 도모하기 위해 잔디 등 적당한 식물을 식재하는 것으로 한다.

제6 우수침투시설 등의 규모

1. 우수침투시설 등의 규모는 종합적인 우수대책에 토대로 기준 등이 있는 경우를 제외, 연간 강수량 80%정도(강우강도가 1시간당 10mm 정도)의 우수를 확실하게 지하로 침투시키는 것을 목표로 설정하는 것으로서 침투 대상 면적 설치장소의 상황 및 우수침투시설 등의 침투능력에 대응하여 복수시설의 설치나 각종시설의 조합을 검토하고 선택하는 것으로 한다.
2. 지반의 침투능력 기타 우수침투시설 등 규모의 설정에 필요한 사항은 원칙으로서 기존자료에 토대로 파악하는 것으로 한다.
3. 우수침투시설 등 침투능력을 초과하는 강수에 대해서는 부지내의 배수설비로 배제할 수 있도록 배수관등을 설치하는 것으로 한다.

제7 우수침투시설의 시공순서 및 시공상 유의사항

우수침투시설의 시공순서 및 유의사항은 다음에 기술하는 것과 같다.

1. 우수침투구, 우수침투트렌치, 우수침투측구 및 투수지

(1) 표준적인 시공순서

- a. 굴착공
- b. 부사공(敷砂;필터)
- c. 투수시트공(저면 및 측면)
- d. 쇄석의 충전공(저면)
- e. 투수구, 투수관 등의 설치공
- f. 쇄석의 충전공(측면 및 상면)

- g. 투수시트공(상면)
- h. 원상태로 덮는다(매립해서 원래 상태로 덮는다)

(2) 시공상의 유의사항

- a. 설치위치는 침투수에 의한 영향을 피해 건물의 기초로부터 일정 거리를 둔다.
- b. 설치에 있어서 토압을 받는 장소를 피하고 그렇지 않고 설치하는 경우에는 충분한 강도를 갖는 재질의 투수구, 투수관 등을 선정하는 것으로 한다.
- c. 굴착 전압등에 있어서 토양의 교란, 과전압 등을 피해 산지의 침투능력이 손실되지 않도록 한다.
- d. 시공완료 후 해당시설에 대해 청소를 한다.

2. 투수성 포장

(1) 표준적인 시공순서

- a. 노상공(路床)
- b. 부사공
- c. 노반공(路盤)
- d. 표층공

(2) 시공상 유의사항

- a. 대형차가 주차장 등의 가중을 크게 받는 장소의 표층(포장재)에 대해서는 충분한 강도를 유하는 재료를 선정하는 것으로 한다.
- b. 노상에 대해서는 토양교란, 과전압등을 피하고 동시에 필터층(敷砂)에 노상토가 혼입되지 않도록 한다.
- c. 시공완료 후 투수성 포장 표면의 청소를 한다.

제8 우수침투시설 등의 유지관리

우수침투시설 등의 침투능력을 유지하기 위해 다음과 같이 관리한다.

1. 우수침투구 등에 대해서는 정기적으로 쓰레기 제거 필터 점검 및 청소를

하고 연 1회정도 침투구 밑바닥에 있는 니질등의 제거를 한다.

2. 투수성포장에 대해서는 고압수, 산수, 브러싱 등에 의해 정기적으로 표층을 세척하여 표층의 막힘 방지를 도모한다.

제9 기타

지하수를 양수하는 자는 우수침투가 적절하지 않는 지역에 있어서 지하수에 대신하여 우수이용이 가능하다고 판단될 경우는 지하수의 보전을 도모하기 위해 우수저류시설 등의 우수이용을 위한 설비를 만들고 지하수의 양수량을 삭감하는 노력을 한다.

東京都 雨水浸透 運用에 있어서(유의사항)

1. 지침의 적용대상자

지하수 양수는 예를들어 규제를 준수하더라도 환경에 영향을 주는 행위이기 때문에 양수시설의 설치자에 대해서 환경확보조례 제142조제2항에 있어서 우수지하침투의 추진에 노력해야한다고 규정했다. 또한 이들 이외의 경우에도 본 지침을 참고로 침투시설을 설치하는 것이 바람직하다.

따라서 본 지침의 적용대상자는 다음과 같다.

- ① 양수기의 출력이 300W(1마력은 0.75Kw)를 넘는 양수시설의 설치자.
(환경확보조례시행규칙 제29조제2항)
- ② ①이외의 자로써 우수침투시설을 설치하려고 하는 자.

2. 침투대상으로 하지 않는 우수

침투를 추진하는 우수는 지침 제2에 기술되어 있지만 이들 우수에 있어서도 강우면이 오염되어 있거나 오염물질이 매립되어 있기 때문에 침투수가 오염되고 그 결과 지하수를 오염시킬 우려가 있는 우수는 대상으로부터 제외한다.

3. 지하침투를 실시해서는 안되는 지역

지침제3에 지하침투를 실시하는 것이 적절하지 않는 지역이 기술되어 있지만 구체적인 예는 다음과 같다.

- ① 침투효과를 기대할 수 없는 지역 : JR 京浜東北선의 동측은 대체로 충적저지와 매립지이기 때문에 이 조건에 해당된다. 이들 이외에도 움푹 팬 땅, 구하도 등의 형태로 부분적으로 해당하는 지역이다.
- ② 방재상 지장이 있는 지역 : 「급경사지의 붕괴에 의한 재해의 방지에 관한 법률」 및 「사태 등 방지법」에 의해 물의 침투를 조장하는 행위가 금지되어 있는 구역 그 밖에 계단상의 조성등 방재상 배려가 필요한 구역 등이 해당한다.

4. 우수침투방법

본 지침에서는 지하수질의 보전 등의 관점으로 확수법을 채용한다. 이 방법은 침투능력은 높지 않지만 안전성을 높게 유지관리가 용이하고 토양에 의한 수질정화 기능도 기대할 수 있다. 이것에 대해서 정호(井戶)법은 직접 지하수 대수층에 우수를 투입하는 것이고 침투속도는 크지만 환경보전상은 바람직하지 않다.

5. 지하침투를 실시할 수 없는 지역에 있어서 우수이용

지침제3에 서술한 지하침투를 실시할 수 없는 지역에 있어서 지하수를 양수하는 자는 본 지침의 취지에 감안하여 가능한 우수이용을 추진하고 지하수 양수량을 삭감하여 지하수의 보전에 노력한다.

(참고문헌)

- 개별주택에 있어서 우수침투의 안내(S62 동경도환경보전국)
- 우수침투시설기술지침안 조사계획편, 구조시공관리편(H7 우수저류침투기술협회)

연 구 진

연구책임	박 원 배	제주발전연구원 책임연구원
연구자문	양 성 기	제주대학교 해양과학부 교수
	고 기 원	제주도광역수자원관리본부 연구실장

제주도 빗물 활용에 관한 정책연구

인 쇄 일 2004. 12
발 행 일 2004. 12
발 행 인 고 부 언(제주발전연구원장)
발 행 처 제 주 발 전 연 구 원
인 쇄 처 재승인쇄정보출판사 (☎ 722-6353)

ISBN 89-88021-71-1 93530