



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

공공시설에서 빗물저류시설 설치
도입효과 검토 연구



2007년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

건 축 공 학 과

이 호 덕

공 학 석 사 학 위 논 문

공공시설에서 빗물저류시설 설치
도입효과 검토 연구

지도교수 임 영 빈

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2007년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

건 축 공 학 과

이 호 덕

이호덕의 공학석사 학위논문을 인준함

2006년 11월 30일



주 심 공학박사 이 수 용 (인)

위 원 공학박사 김 영 찬 (인)

위 원 공학박사 임 영 빈 (인)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	2
2. 이론적 고찰	4
2.1 빗물이용시설	4
2.1.1 기본 구성 및 기준	4
2.1.2 저류조 용량 산정	6
2.2 빗물이용시설의 도입효과	8
2.2.1 치수적 효과	10
2.2.2 이수적 효과	11
2.2.3 환경보전 효과	12
2.3 빗물이용시설의 이용실태	13
2.3.1 국외 사례	13
2.3.2 국내 사례	16
2.4 빗물이용시설의 관련 법 규정	17
2.4.1 빗물이용시설의 설치	17
2.4.2 빗물이용시설의 설치대상	17
2.4.3 빗물이용시설의 설치기준	17
2.4.4 국내 빗물 관련 조례	18

3. 빗물저류조의 설치	19
3.1 수경설비의 개요	19
3.1.1 공사개요	19
3.1.2 적용현장의 빗물이용시설	21
3.2 빗물저류조의 시스템 개요	26
4. 빗물저류조의 평가 및 도입효과	28
4.1 강수량 분석	28
4.2 사용수량의 결정	33
4.3 저수용량의 산출	35
4.3.1 빗물 집수량	35
4.3.2 빗물저류조의 용량	37
4.4 빗물이용시설의 도입 효과	40
4.5 절수 비용 평가	42
5. 결 론	44
참고문헌	46
Abstract	48
감사의 글	49

표 목 차

표 2.1 빗물저류·침투시설 기본 구성	5
표 2.2 간편법에 의한 우수저류용량 산정	6
표 2.3 빗물 이용 시설 예상 도입효과	9
표 2.4 국외 빗물 이용실태	15
표 2.5 국내 빗물 이용실태	16
표 3.1 빗물이용시설 개요	20
표 4.1 최근 10년간 부산지역의 강수량(단위: mm)	29
표 4.2 최근 10년간 울산지역 강수량(단위: mm)	30
표 4.3 최근 10년간 부산·울산지역 평균강수량(단위:mm)	32
표 4.4 빗물 이용시설의 사용 수량의 산출	34
표 4.5 토지이용별 기초유출계수 표준치	35
표 4.6 토지이용도별 총괄 유출계수 표준치	36
표 4.7 빗물이용률 및 상수대채울 데이터시트	40
표 4.8 빗물 이용 계획 개요표	41
표 4.9 절수 비용 평가의 결과	43

그 림 목 차

그림 1.1 연구의 흐름도	3
그림 3.1 적용 현장 조감도	20
그림 3.2 빗물 이용 계통도	21
그림 3.3 기계실 전경	22
그림 3.4 기계실 상세도면	22
그림 3.5 펌프 1의 계통도	23
그림 3.6 펌프 2의 계통도	23
그림 3.7 펌프 3의 계통도	24
그림 3.8 정화연못	25
그림 3.9 어린이 수공간 배치도	25
그림 3.10 정화연못 배치도	25
그림 3.11 기본구조	26
그림 3.12 크로스웨이브 평면도 및 측면도	27
그림 4.1 최근 10년간 부산지역 강수량	29
그림 4.2 최근 10년간 울산지역 강수량	31
그림 4.3 최근 10년간 부산·울산지역 평균 강수량	32
그림 4.4 빗물 저류조 용량계획 선도(고양시)	37
그림 4.5 빗물 유입경로	38
그림 4.6 빗물 저류조 용량계획 선도	38

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업발달과 인구증가에 따른 환경문제와 물 부족이 세계적인 이슈가 되면서 최근 대부분 국가는 생태적인 도시개발과 함께 물 순환에 대한 활발한 논의를 진행하고 있으며 단순한 물 절약 시점에서 벗어난 통합적이고 친환경적인 수자원 이용을 위한 노력이 필요하게 되었다. 이에 따른 빗물의 활용은 지하수원을 보존함과 동시에 환경에 대한 영향을 최소화할 수 있으며 이러한 환경 친화적 빗물이용계획은 다른 기술요소의 통합으로 물 자원을 절약하고 환경오염을 최소화하여 환경부하를 감소시키는 역할을 할 수 있을 뿐 아니라 비용절감효과도 기대할 수 있다.

자연계에서 일어나는 수문현상은 유출뿐 아니라 침투·저류 및 증발산을 통한 자연적인 물 순환이 이루어지며 그 과정에서 자연적인 정화가 이루어지게 되는데 국내의 “수도법”에서는 물 절약, 홍수 방지, 친환경 조성 등을 위한 물 관리 방법으로 운동장 또는 체육관으로서 지붕 면적이 2,400m² 이상이고, 관람석수가 1,400석 이상인 시설물에는 빗물 이용시설을 설치 운영하도록 규정하고 있으며 빗물을 모으는 집수시설, 이물질을 처리할 수 있는 처리시설, 일정기간 저장할 수 있는 저류시설, 사용하는 곳으로 운반할 수 있는 배수시설과 관리기준은 “수도법 시행규칙”에 정해 두고 있다.

최근 친수공간에 대한 요구도가 늘어남에 따라 빗물을 분수나 폭포용수 등으로의 활용용도가 증가함에 따라 본 연구에서는 공공시설 내 수경설비의 설치에 따른 빗물 저류시설에 관한 이론적 고찰을 통한 환경 친화적인 수자원 활용계획의 개념을 정립하여 공공시설에서 빗물 저류조의 사용으로 인한 빗물의 도입효과와 이에 따른 상수비용의 절약 정도를 분석하고 이를 근거로 빗물의 재활용 방안을 검토하고자 하며 또한 향후 건축물의 빗물이용시설 도입 시 기초자료로

의 활용 가능성을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

국내의 “발전소주변지역지원에관한법률”에 의하면 원자력 발전소 기준 반경 5 km를 기준으로 한 동일 행정구역에는 용지비용을 제외한 발전소 건설비용의 1.5 %를 소득증대사업, 공공시설사업, 육영사업과 같은 기본지원사업과 전기요금 보조, 기업유치지원 등의 특별지원 사업으로 구분하여 지원하도록 하고 있으며, 이에 따라 ○○○ 지역 협력시설내 수경시설에 빗물 저류시설 설치를 하였으며 이를 대상으로 하여 빗물저류시설의 상수절약에 따른 비용의 절약효과와 활용방안에 관한 연구의 방법 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 빗물이용시설의 개념 및 일반적인 종류에 대한 현황조사 및 분석, 이와 관련된 법제화 및 국내·외 설치 현황에 대해 알아보았다.

둘째, 빗물이용시설의 실제 적용사례를 바탕으로 시설의 개요 및 사용수량을 조사·분석하여 빗물저류조의 용량을 산정하였다.

셋째, 본 시설에서 빗물이용시설의 도입에 따른 효과의 분석과 상수절약으로 인한 비용의 절약 정도에 따른 평가를 수행하였다.

다음의 그림 1.1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.

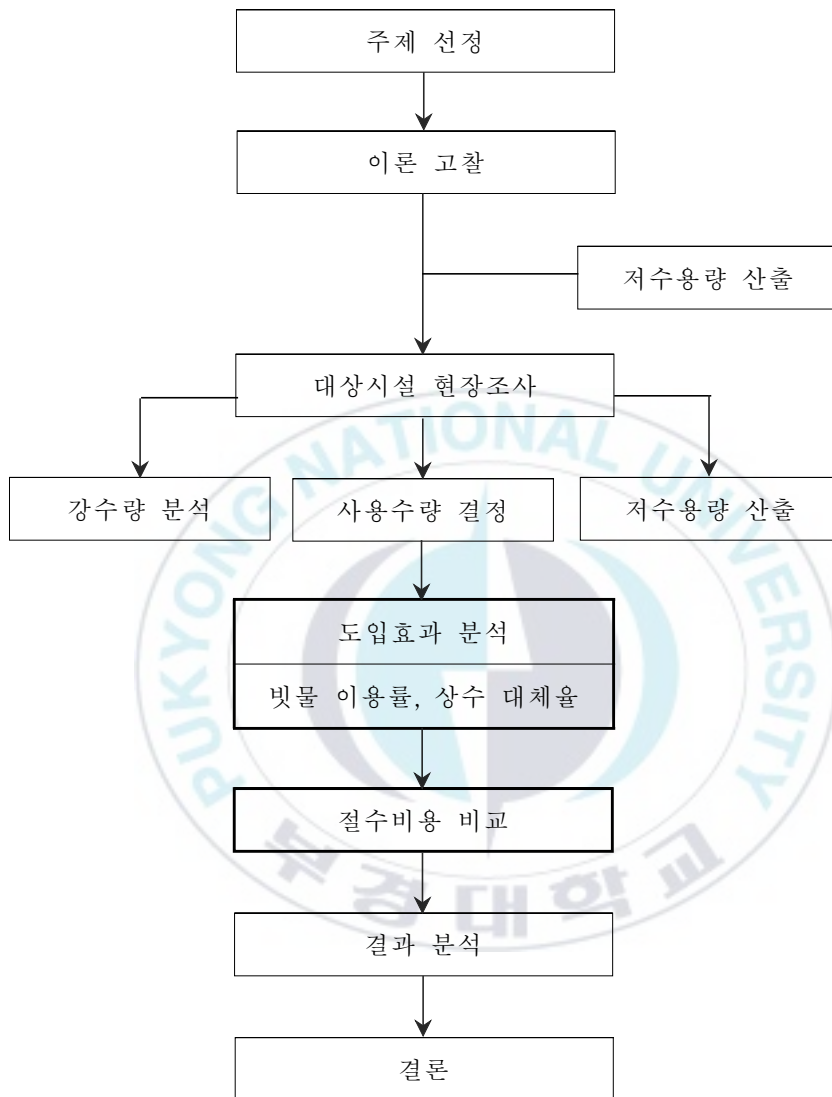


그림 1.1 연구의 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 빗물이용시설

수도법에는, “빗물이용시설이라 함은 빗물을 모아 생활용수, 조경용수, 공업용수 등으로 이용할 수 있도록 처리하는 시설을 말하고 있다. 즉, 빗물을 옥상이나 지붕, 바닥으로 통해 집수하여 이용하는 시설”을 말한다. 빗물이용시설의 종류에는 전량 이용형, 초기빗물 배제형, 저류 조절형, 이용·침투형 등이 있다.

전량 이용형은 가장 간단한 방식으로 지붕에서 집수된 빗물을 필터(filter)를 거쳐 저류조에 저장한 후 조경용수, 화장실용수 등으로 이용하는 방식으로 빗물을 저류조에 완전히 채워진 상태에서 일부를 월류(Overflow)하게 하는 시스템이다.

초기빗물 배제형은 양질의 빗물을 사용하기 위해 초기강우에 포함되어 있는 미세입자나 고형물 등을 하수관거로 배제시킨 후 양질의 빗물을 집수하는 방식이다. 강수량이 많은 경우에도 여분의 빗물을 하수관거로 배제하게 된다.

저류 조절형은 저류조의 용량을 증가시킨 시스템으로 조절판을 이용해 저류용량의 조절이 가능하다. 전량 이용형을 변형한 방식이다.

이용·침투형은 빗물이용시설과 함께 지하로 빗물을 침투하는 시설을 설치하여 이용하지 않는 빗물을 땅속으로 침투시키는 방식이다. 도시의 물순환 체계를 고려한 방식이다.

2.1.1 기본 구성 및 기준

빗물저류침투시설은 표 2.1과 같이 구성된다.

표 2.1 빗물저류·침투시설 기본 구성

시설 종류	주요 구성 시설
집수 시설	• 집수면(지붕, 옥상면, 베란다 등)

	• 루프드레인 • 집수관, 빗물받이
저류 시설	• 빗물저류조(FRP, 콘크리트, 강판 등)
침투 시설	• 침투트렌치 • 침투통 • 침투측구 등
처리시설	• 초기빗물처리장 • 침사조, 침전조 • 여과조(모래여과, 막여과 등) • 소독장치
급수 시설	• 급수조 • 급수펌프 • 상수보급설비 • 급수관 • 용도별 사용설비 등

집수시설은 옥상면, 빗물받이, 루프드레인 등이 주로 사용되며, 저류조로의 횡인관(橫引管)이 필요하며 개별 설계시에는 빗물 유출수량, 수압 등의 설계조건 및 안전성을 확인할 필요가 있다. 저류시설은 저류용량에 따른 우수의 정수압을 견디며, 외부 오염물질의 유입이 없도록 안전하게 저장하는 시설이다. 침투시설은 침투측구·침투통·침투트렌치·투수성포장 등에 의해 강수를 지표 혹은 지표 아래 곳에서 불포화 지층을 통해 분산·침투시키는 시설이다. 처리시설은 일반적으로 침사조, 침전조, 여과조, 소독장치 등으로 구성되며, 용도별 적정 수질에 부합되도록 빗물을 처리하는 시설이다. 급수시설은 급수조, 급수펌프, 용도별 사용설비 등으로 구성되어 있으며, 특히 급수관은 상수 등의 다른 계통과 오염(誤飲) 등의 방지 대책을 철저히 할 필요가 있다.

2.1.2 저류조 용량 산정

건축물 빗물이용시설의 저류용량은 해당 건물의 구조, 부지 등의 조건에 따라 용량이 제한되는 경우가 있으나 집수량과 사용수량에 따라 적당한 이용률과 상수

대체율을 갖도록 크기를 결정하게 된다. 빗물 저류용량을 결정하는 방법은 연간 일정한 사용량이 예상되는 일반 주택에 적용하는 간편식법, 년중 다양한 용수 소비형태를 갖는 도시지역 중·대형 건축물에서의 시뮬레이션 방법, 강우특성과 사용수량, 빗물저류용량과의 관계를 기 모의하여 해당 지역별로 도표화한 용량계획선도에 의해 결정하는 방법이 있다.

1) 간편식법

간편식법은 일반주택 뿐만 아니라 우수이용 계획수립 초기에 시설물 규모를 대략 검토할 경우에도 사용하며, 표 2.2와 같다.

표 2.2 간편법에 의한 우수저류용량 산정

구분	빗물 저류용량 산정	비고
집수면적에 따라	집수면적(m^2) $\times$ 0.05 이상	우리나라(수도법)
	집수면적(m^2) $\times$ 0.1	일본, 대만
사용수량 및 집수가능량 관계에 따라	• 집수가능량 > 사용수량인 경우 : 필요저류조용량(m^3) = 사용수량(m^3/일) × 최대 연속 무강우 일수(일) • 집수가능량 < 사용수량인 경우 : 필요저류조용량(m^3) = 일최대강수량(m) × 집수면적(m^2)	일본 (다소 과다결정됨)
	사용수량과 우수집수량 중 작은값 $\times$ 6 %	독일

2) 시뮬레이션법

시뮬레이션 방법은 강수량에 따른 집수면 유출량, 저류량, 사용수량 간의 관계로부터 가장 효율적인 빗물이용률과 상수대체율을 제공하는 저류조 용량을 결정하는 방법으로서 그 기본식은 다음과 같다.

$$\text{현재 저류량(m}^3\text{)} = \text{집수면 유출량(m}^3\text{)} + \text{전일 저류량(m}^3\text{)} - \text{사용수량(m}^3\text{)}$$

저류용량 모의에 이용되는 강수량 데이터는 빗물이용시설이 도입되는 건축물이 위치하는 지역의 10~30년간 연평균 강수량과 가장 편차가 적은 해의 일강수량 자료를 이용하여 산정한다.

3) 저류용량계산선도

저류용량 계획선도법은 집수면적, 빗물이용률, 사용수량 간의 관계를 시뮬레이션 기법으로 기 모의하여 해당 지역별로 도표화한 그래프로서, 연간 사용량이 다양한 경우 복잡한 시뮬레이션 과정 없이 간편하게 저류용량 및 집수면적을 결정할 수 있다.



2.2 빗물이용시설의 도입효과

빗물이용시설은 쾌적한 환경을 창조함으로써 방재, 친환경을 실천하는 것을 목적으로 한다. 빗물이용시설의 적용범위는 크게 유역단위, 주거단지단위, 기타 공원 및 도로, 그리고 개별 건축물 단위로 나뉘어진다.¹⁾ 이 중 개별 건축물 단위의 빗물 저류의 경우는 건축물 옥상면을 이용하여 빗물을 집수하고 지하에서 저류하여 화장실 세정용수, 건물 주변 조경용수 등 이수목적으로 활용하고 저류시설과 침투시설을 연계하여 적용함으로써 지하수 함양 및 빗물 유출을 저감시키는 방안 등이 있다. 다음 표 2.3은 빗물 이용시설 및 그 예상 도입효과²⁾에 대하여 정리한 것이다.



1) 김이호, 이상호, 지속가능한 도시개발을 위한 빗물이용활성화 방안, CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW/SSANGYONG, 2004

2) 김이호, 한무영, 왕창근, 임창수, 환경학, 에코썸, 환경바이오, 평산에스아이, 수자원의 지속적 확보기술개발사업 : 우수 저류 및 활용 기술 개발 : 21세기 프론티어연구개발사업, 2004.06

표 2.3 빗물 이용 시설 예상 도입효과

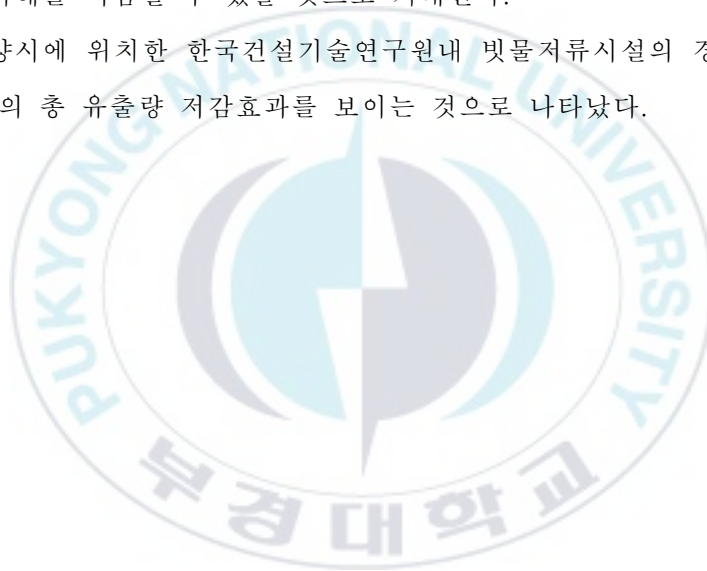
목적	예상효과	저류시설	
		적용시설	대상지역
치수적 효과	유수지	유역단위	매우 큼
	방재조절지		매우 큼
	건식저류지		매우 큼
	습지		큼
	건축물저류	개별건축물	큼
	운동장저류	주거단지	매우 큼
	주차장저류		큼
	공원 및 도로 지하저류		매우 큼
이수적 효과	건축물저류	개별건축물	매우 큼
	운동장저류	주거단지	매우 큼
	주차장저류		큼
	공원저류		큼
환경보전 효과	습지	유역단위	매우 큼
	생태연못		매우 큼
	건축물저류	개별건축물	큼
	운동장저류	주거단지	큼
	주차장저류		매우 큼
	공원 및 도로 지하저류		큼

2.2.1 치수적 효과

빗물 저류 및 침투를 통해 빗물의 유출을 억제하여 홍수 피해를 예방 할 수 있고, 빗물의 지하 침투를 통해 지하수위를 유지하고 건기시 가뭄에 대비할 수 있는데 이를 치수적 효과라 한다.

최근의 내수배제 위주의 치수대책은 비상시 시설 미가동으로 인한 피해가 가중될 수 있으므로 보다 근본적인 치수대책이 요구되고 있다. 빗물저류침투시설은 유역 내에서 호우 시 유출된 빗물을 저류·침투시켜 유출을 저감할 수 있으므로 홍수 시 침수 피해를 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

경기도 고양시에 위치한 한국건설기술연구원내 빗물저류시설의 경우 강우시 연간 10~30 %의 총 유출량 저감효과를 보이는 것으로 나타났다.



2.2.2 이수적 효과

빗물의 저류 및 침투를 통해 수원의 분산화를 통해 용수 공급의 안정성을 높임으로써 수자원 자립도를 향상시킬 수 있고, 상수 대체를 통해 수돗물을 절약하고, 상하수도요금을 절감할 수 있으며, 가뭄 등 비상시에 발생하는 물 부족 문제를 개선할 수 있는데 이를 이수적 효과라 한다.

현재 상수 일변도의 용수공급 체계에서는 침수 시에 정전 등으로 인해 물공급이 중단될 수 있으며, 개발 정도 및 지역 규모에 따라 보급률에 차이가 있다. 2005년 현재 지역규모별 상수도 보급수준을 보면 전국 90.1 %, 7개 특별시, 광역시가 98.8 %, 시지역이 97.3 %, 읍지역이 82.5 %, 면단위 농어촌지역이 35.2 %로 차이가 있음을 알 수 있다.³⁾

빗물은 도시지역의 경우 소방 용수, 화장실 용수, 조경 용수 등으로 활용하여 수원을 분산화하고, 미 급수 지역의 경우 부족한 용수를 충당할 수 있으므로 용수 공급에 안정성을 높일 수 있다.

빗물을 활용하면 그 사용수량 만큼의 상수를 절약할 수 있을 뿐만 아니라, 활용장소와 인접한 곳에서 집수하여 사용할 수 있으므로 관로 등의 부대경비를 절약할 수 있다.

4인 가정에서 상수 사용수량의 20 %를 빗물로 이용하게 되면 1인 1일 급수량 365ℓ, 평균수도요금 550.7원을 적용할 경우, 연간 271,659원을 절약할 수 있다.⁴⁾

빗물을 활용하여 태풍, 홍수로 인한 단수 시에 부족한 물을 공급할 수 있으며, 가뭄 시 생활용수 및 음용수로의 활용도 가능하다.

3) 환경부, 2004 상수도통계, 2005

4) 환경부, 2004 상수도통계, 2005

2.2.3 환경보전 효과

빗물 저류 및 침투를 통해 빗물의 유출을 억제하여 홍수 피해를 예방할 수 있으며, 빗물의 지하 침투를 통해 지하수위를 유지하고 건기시 가뭄에 대비할 수 있는데 이를 환경보전 효과라 한다.

이는 빗물 이용을 통해 강우 시 오염된 초기빗물을 처리하고, 저류·침투를 통해 오염물질의 유출을 저감할 수 있으므로 유역 내 산재해 있는 비점오염원의 유출을 감소하여 환경보전 효과를 거둘 수 있음을 나타낸다.

한영해 외²⁾의 연구⁵⁾에 의하면 식물이나 토양을 소재로 한 자연형태의 빗물 저류 및 침투 시설을 개발하여 이용 할 경우, 빗물을 지하로 침투시킴으로써 자연상태의 물순환체계를 복원시켜 지하수 함양, 식생에 수분 공급, 토양을 활성화 시킴으로써 생물서식기반을 개선시킨다. 빗물이 토양층을 스며드는 과정에서 토양의 정화능력을 충분히 이용하여 빗물의 자연정화를 유도할 수 있으며 침투된 빗물은 강우가 끝나고 나서 식물에 의해 증발산을 유도함으로써 총체적으로 물 순환에 기여할 수 있다고 제시하고 있다.

5) 한영해, 이태구, 황희연, 도시지역의 물순환체계 구축을 위한 화단형 침투·저류시스템 개발, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제6권 제1호

2.3 빗물이용시설의 이용실태

2.3.1 국외 사례

일본은 용수의 공급과 빗물유출 제어를 위해 1985년 도쿄돔 건설 후 빗물이용시설이 전국적으로 확산되고 있으며, 주로 도심지역의 빗물이용에 많은 관심을 쏟고 있다. 용수공급 이외에도 홍수제어 효율의 증대, 수자원보전, 하천오염의 감소, 지하수의 함양, 배수관망시스템의 건설경비 절감 등의 효과를 위한 것이다. 또한 화재진압과 비상시 물 공급에 대비하기 위해서도 빗물을 사용하기도 하며 환경, 교육 측면에서도 빗물의 이용을 장려하고 있다. 1985년 도쿄돔이 건설된 이래로 물의 공급과 유출 제어를 위해 빗물이용이 효과적이라는 생각이 전국적으로 확산되었다. 1995년 일본서부에서 발생한 대지진으로 급수체제의 마비로 물 부족현상이 발생하면서 빗물이용에 대한 관심이 더욱 크게 증가하였다. 그 외에 스마다시청과 스모경기장인 코쿠기칸 등에서 빗물을 이용해서 화장실용수, 조경용수, 냉각수로 이용하고 있다.

시설 도입사례로는 도쿄돔과 스미다시 시청(5000m² 집수면적과 1000m³ 지하저류조 보유. 화장실용수의 43.7 %를 빗물로 대체), 스모경기장인 코쿠기칸(8400m² 집수면적과 1000m³ 저장조 보유. 화장실용수나 건물 냉각수로 빗물 활용) 등이 있다.

미국은 태평양이나 카리브해의 섬 지역에서 빗물이 많이 이용되고 있다. 그 중 처음으로 빗물이용시설을 설치한 곳은 캘리포니아였는데 급격한 물 수요의 증대와 물 생산비용의 증가, 그리고 1976~1977년의 가뭄으로 인해 빗물이용에 대한 관심이 증가하였다. 이외에도 오하이오, 애리조나, 플로리다, 켄터키, 뉴멕시코, 펜실베이니아, 텍사스, 버지니아 등에서 빗물을 이용하고 있다. 하와이의 경우 고지대의 수위를 이용해서 110개 가구에서 250m³의 빗물을 이용하고 있다. 시카고에서는 낮은 지세로 인한 침수피해를 방지하기 위해서 1972년에 TARP(Tunnel and Reservoir Plan: 터널과 저류지 계획) 실시하여 대규모 지

하저류조를 조성하였다. 지하저류조의 설치로 연간 방류 부하량이 약 15 %로 감소되었으며 시카고 지구의 침수피해가 거의 해소되었다. 그로 인해 시카고 주민들은 총 60억 달러의 이익을 본 것으로 평가되고 있다.

독일은 기업주도형으로 100여 개의 업체가 빗물이용기술을 개발하였고, 빗물 이용은 학교, 세차장, 또는 산업용으로 범위가 확대되고 있으며, 2010년까지 유출되는 빗물의 24 %를 활용하려고 하고 있다. 대부분의 도시가 지하수를 원수로 사용하고 있으나 제한된 지하수를 보존하기 위해 적극적으로 빗물이용을 추진하고 있다. 공해와 대기오염으로 인해 빗물을 음용수로 사용하고 있지는 않지만 화장실용수, 조경용수, 세차용수 등으로 사용하고 있다. 그리고 빗물이용 시설을 침투정과 함께 사용함으로써 도시홍수의 예방과 하수처리에 부하를 감소의 효과를 얻고 있다.

도입 사례로는 뮌헨 레오폴츠 거리, 베를린의 소니센터, 하노버의 엑스포 호수(전시장 지표면에서 유출된 빗물을 처리해서 저류하고 화장실 용수 및 조경 용수로 사용, 박람회 기간 동안 5000톤의 수돗물 절약), 코블렌츠의 기술대학(100톤 규모 저류조 설치, 화장실 용수, 조경용수로 사용)이 있다.

호주에서는 시드니 올림픽 경기 때 수자원을 최대한 활용하기 위해 이중급수 시설을 설치하여 이용하고 있다. 홈부쉬베이에서는 유출되는 빗물이나 하수를 현장에서 처리하여 공원이나 과수원등에서 관개용으로 재사용. 매년 전체 물 수용량의 50 %인 500,000m³ 정도의 상수도 절감효과를 거두고 있음이 알려져 있다.

표 2.4는 국외 빗물 이용실태를 정리한 것이다.

표 2.4 국외 빗물 이용실태

구분	도입배경	내용
일본	• 1985년 : 도쿄돔 건설 • 1995년 : 서부 대지진	• 도심지역에서의 빗물이용 • 용도 : 화재진압, 비상시 물 공급
미국	• 1976~1977년 : 가뭄 • 캘리포니아 (처음 도입)	• 섬지역 빗물이용(태평양, 카리브해)
독일	• 지하수 보존	• 기업주도형(100여개 업체) • 2010년 : 빗물의 24% 활용 계획
호주	• 시드니 올림픽 경기 : 이중급수시설 설치	



2.3.2 국내 사례

우리나라의 경우 섬 지역에 물 공급 시스템이 갖추어져 있지 않으므로 빗물을 이용하거나 지하수를 개발하여 사용하고 있다. 제주도에서는 자체 정수시설을 갖추어 빗물을 과수원이나 허드렛물로 이용하고 있다.

학교에서의 빗물이용은 경기도내 16개 초·중·고에서 빗물이용시설을 설치, 사용하고 있다. 주로 청소용수, 정원 용수 등으로 이용하고 있으며, 학생들에게 환경의 중요성도 알릴 수 있는 좋은 교육 자료가 되고 있다. 경기도 의왕시의 갈피 중학교에 60m³ 규모의 빗물저장탱크 2기가 설치되어 있어 조경용수 및 청소용수로 사용되고 있다. 강원도 인제에 위치한 노도부대에서는 2002년 6월에 빗물이용시설을 설치하여 세면용수, 청소용수, 정원용수, 세차용수 등 여러 가지 용도로 사용하고 있다. 서울대학교의 대학원 기숙사에는 200m³ 규모의 빗물이용시설이 설치되어 있다. 지붕에서 모아진 빗물을 중수도설비와 연계하여 기숙사의 화장실 용수와 조경용수로 사용하고 있다.

국내 월드컵 경기장 중 인천, 수원, 대전, 전주, 제주, 대구에서 지붕면이나 운동장 바닥, 부지 면에서 유출되는 빗물을 집수하여 주로 잔디살수용수, 조경용수, 화장실용수, 소방용수 등으로 사용하고 있다. 표 2.5는 국내의 빗물 이용실태를 정리한 것이다.

표 2.5 국내 빗물 이용실태

구분	섬 지역	학교	월드컵 경기장
내용	- 물 공급 시스템이 갖추어져 있지 않음 - 빗물, 지하수 사용	- 경기도내의 16개 초·중·고 - 대학 기숙사 - 용도 : 청소용수, 정원용수, 학생환경교육 자료	- 지하수 보존. - 집수장소 : 지붕면, 운동장 바닥, 부지면 - 용도 : 잔디살수용수, 조경용수, 화장실용수, 소방용수

2.4 빗물이용시설의 관련 법 규정

우리나라에서도 빗물 이용의 필요성을 인식하여 2001년 수도법 개정안이 나오면서 빗물이용시설의 설치를 의무화 하도록 하고 있다.

2.4.1 빗물이용시설의 설치

“수도법 제11조 3항”에 따르면 종합운동장, 실내체육관 등과 같이 넓은 지붕면적을 차지하는 시설물 중에서 대통령이 정하는 시설물을 설치하고자 하는 자는 빗물이용시설을 설치, 운영하도록 규정하고 있다. 그리고 빗물이용시설의 시설기준, 유지관리 기타 필요한 사항은 환경부령으로 정하도록 하였다. 또한 국가 및 지방자치단체의 빗물이용시설은 설치비용을 지원할 수 있으며 조례에 따라 수도요금을 경감할 수 있다고 정하고 있다.

2.4.2 빗물이용시설의 설치대상

“수도법 시행령 제15조 3항”에 따르면 대통령이 정하는 시설물은 운동장 또는 체육관으로서 지붕 면적이 2,400㎡ 이상이고, 관람석수가 1,400석 이상인 시설물로 정하고 있다.

2.4.3 빗물이용시설의 설치기준

“수도법 시행규칙 제4조 3항”에 따르면 빗물을 모으는 집수시설, 이물질을 처리할 수 있는 처리시설, 일정기간 저장할 수 있는 저류시설, 사용하는 곳으로 운반할 수 있는 배수시설과 관리기준을 정해두고 있다.

2.4.4 국내 빗물 관련 조례

1) 서울특별시 I (관련법규 : 서울특별시 빗물저수조 설치지침)

서울특별시는 2005년부터 대지면적 5000㎡ 이상인 학교, 공원, 주차장, 광장(지하시설 제외)과 물 사용량이 많은 대형 건축물에서는 대지면적 2000㎡ 이상으로서 연면적 3000㎡ 이상인 경우 건축허가 및 사업 승인시 빗물저수조 설치를 권장하고 있다. 지침에는, 빗물저수조 설치 기본 방침 및 저수조의 설치대상, 용량 산정기준, 설치기준 등을 언급하여 빗물이용시설의 설치를 확산시키고자 하였다.

2) 서울특별시 II (관련법규 : 서울특별시 건전한 물순환 회복을 위한 빗물이용에 관한 조례)

서울특별시에서는 물순환의 자연적 기능을 회복하여 도시기능이 지속발전적으로 유지되고 환경과 공생하며 시민이 물과 친밀한 관계를 가질 수 있도록 건전한 물순환 체계를 구축하는 것을 목적으로 빗물이용에 관한 조례지침을 제정할 예정이다. 시설의 설치대상은 재개발이나 신개발 지역에 적극적으로 설치하며, 지하수를 보전하기 위한 방안으로 빗물이용을 제시하고 있다. 서울시는 이러한 빗물 관련 조례 및 지침을 통해 빗물이용시설의 설치를 적극 권장하고 있다.

3) 경기도 의왕시 (관련법규 : 의왕시 빗물이용시설 설치 조례)

경기도 의왕시는 자체 조례를 통해 빗물이용시설을 설치하는 경우 설치비용의 지원과 수도요금의 감면 등을 통해 빗물이용시설의 설치를 권장하고 있다. 빗물이용시설 설치시 해당 빗물이용시설을 설치한 시설물 등에 부과되는 상수도 요금 중 빗물 사용량에 해당되는 수도요금의 100분의 10내지 100분의 65를 감면해준다.

3. 빗물저류조의 설치

3.1 수경설비의 개요

3.1.1 공사개요

본 연구의 적용 현장은 부산광역시 기장군 장안읍에 위치한 ○○○지역협력시설내의 수경설비로서 기존 공간과 연계하여 대상 공간 및 시설의 이용자에게 감동과 휴식 그리고 엔터테인먼트를 제공하며, 정화연못을 통하여 깨끗한 수질의 보존성을 높이고 생태 연못에 식재된 수생식물을 활성화하여 어린이 수 공간에 자연 정화된 다량의 물을 공급한다. 또한 스포츠센터 옥상의 빗물을 빗물통제실을 통하여 저류조에 직접 저장하여 사용하고 빗물통제실에 설치된 숲의 여과를 빌어 한층 더 깨끗한 수질을 확보 할 수 있으며 수경시설과 연계한 외부행사 유치로 지역 홍보 효과를 극대화하게 된다.

- 스포츠센터 옥상의 빗물을 빗물통제실을 통하여 저류조에 직접 저장하여 사용함.
- 빗물 통제실에 설치된 숲의 여과를 빌어 한층 더 깨끗한 수질의 확보.

빗물이용시설의 개요는 표 3.1과 같고, 그림 3.1은 적용 현장의 조감도이다.

표 3.1 빗물이용시설 개요

적용현장	○○○ 지역협력시설
위 치	부산광역시 기장군 장안읍
대지면적	20,574.99(평)/68,014.49(m ²)
건축면적	1,807.01(평)/5,973.58(m ²)
연 면 적	2,804.09(평)/9,269.76(m ²)
지붕면적	2,394(m ²)



그림 3.1 적용 현장 조감도

3.1.2 적용현장의 빗물이용시설

사용 가능한 빗물은 우선 스포츠 센터 동의 옥상에서 모아지고, 모아진 빗물은 빗물통제 시스템을 거쳐 빗물 저류조에 담수 된다. 저류조의 빗물이 급수에 충분할 만큼의 양이 되면 정화 연못, 생태 연못, 거울 못 및 어린이 수공간의 급수를 빗물로 바꿔 사용하게 된다. 적용 현장에 설치된 빗물이용시설로 인해 240m³ 이상의 물 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

그림 3.2는 적용된 빗물이용시스템에서의 전반적인 빗물의 흐름을 나타낸다.

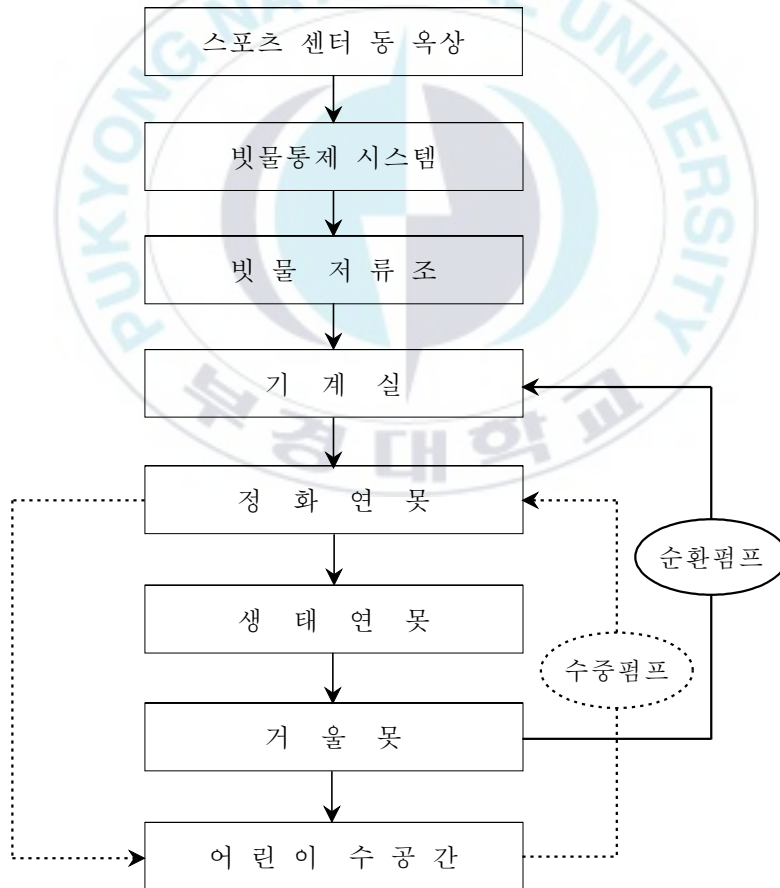


그림 3.2 빗물 이용 계통도

그림 3.3은 빗물의 원활한 순환을 위해 계획된 펌프가 설치되어 있는 기계실의 전경을 나타내고, 그림 3.4는 기계실의 상세평면도를 나타낸다.

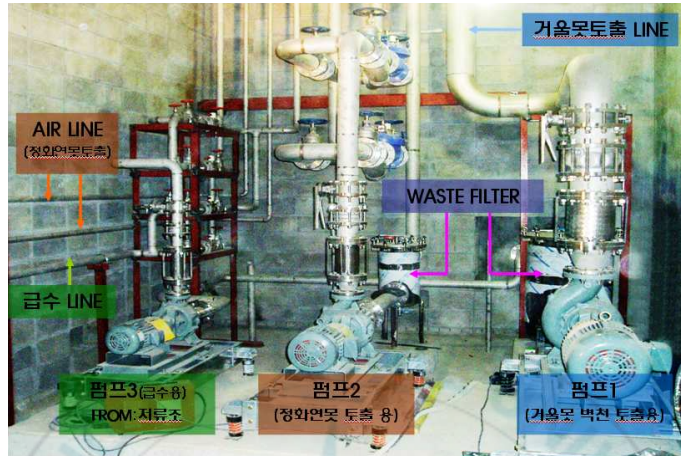


그림 3.3 기계실 전경

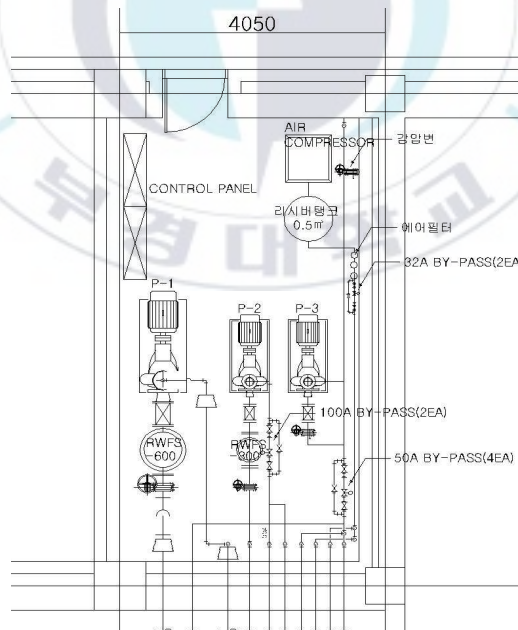


그림 3.4 기계실 상세도면

빗물 저류조에서 공급되는 빗물은 3 대의 펌프에 의해 빗물이용 수경시설인 거울 못, 벽천, 정화연못, 생태연못, 어린이 수 공간으로 공급된다. 그림 3.5, 그림 3.6, 그림 3.7은 펌프별 계통도를 나타낸 것이다.



그림 3.5 펌프 1의 계통도



그림 3.6 펌프 2의 계통도



그림 3.7 펌프 3의 계통도

펌프 1은 조경물탱크(78m³)내의 물을 거울못으로 공급하기 위한 용도이며, 펌프 2는 거울못의 물을 정화시키기 위하여 정화연못으로 순환시키는 목적으로 평소에는 가동을 하지 않으며 거울못에 물이 흐르지 않고 고여 있는 경우 녹조 및 오염을 방지하기 위한 순환용 펌프이다. 펌프 3은 빗물 저류조의 물을 정화연못과 생태연못, 거울못으로 공급하는 것으로 waste filter를 거침으로 인하여 1차적인 여과 역할과 동시에 공기실 역할도 병행하게 된다. 에어컴프레서는 정화연못으로 공기를 공급하여 수생식물의 성장을 촉진시킨다.

그림 3.8은 어린이 수공간과 정화연못의 계통도를 나타낸 것으로 어린수공간에서 정화를 필요로 하는 물이 정화연못으로 토출된 후(125A), 어린이 수공간 급수관(300A)으로 다시 보내지게 된다. 수중펌프로 토출되며 정화연못의 유공관을 통해 급수된다. 워터디텍터(수위감지기)를 설치하여 자동조절이 가능하다. 그림 3.9, 그림 3.10은 어린이 수공간과 정화연못의 배치도를 나타낸다.



그림 3.8 정화연못

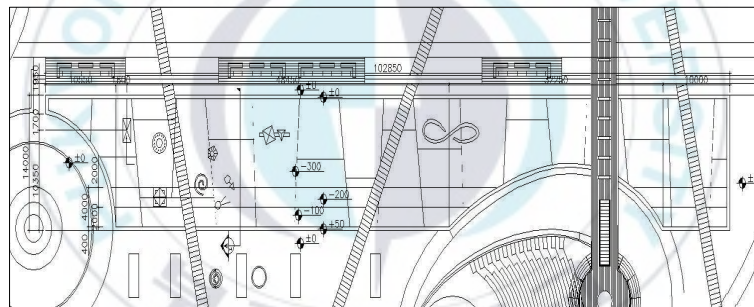


그림 3.9 어린이 수공간 배치도

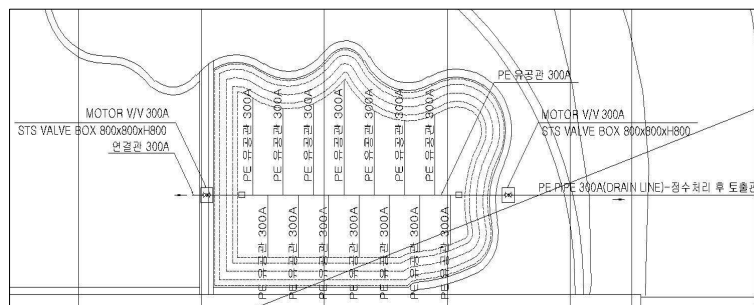


그림 3.10 정화연못 배치도

3.2 빗물저류조의 시스템 개요

현장에 적용된 빗물 저류조의 시스템은 폴리프로필렌 소재의 240m³ (11m×11m×2m) 규모로서 지상부 공간의 활용이 가능하며 지하저류에 의한 수질의 안정화를 이루며 부지조건에 맞는 다양한 규모와 형상이 가능하다. 시스템의 적용시 공사기간의 50 %이상을 단축시킬 수 있으며, 공사비용을 20~30 % 절감할 수 있다.

빗물을 저류함으로서 유출을 억제하고, 홍수 조정지의 역할을 병행할 수 있다. 특히 도시생활을 하면서도 환경, 조경, 생활의 쾌적함을 유지할 수 있도록 하기 위해 사용되는 amenity 용수로 사용되며, 방재·비축의 목적으로 활용이 가능하다.

본 연구에서 적용된 빗물저류시스템(크로스웨이브)의 기본구조는 그림 3.11과 같으며, 상세평면도 및 측면도는 그림 3.12와 같다.



그림 3.11 기본구조

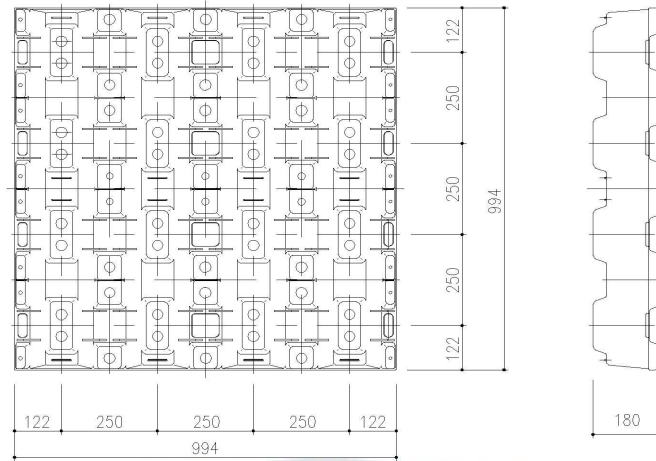


그림 3.12 크로스웨이브 평면도 및 측면도



4. 빗물저류조의 평가 및 도입효과

4.1 강수량 분석

연구 대상 시설이 위치하고 있는 부산광역시 기장군의 해안지역은 지리적으로 부산광역시와 울산광역시의 중간 지점으로 기상 관측소가 운영되고 있지 않아 빗물저류시설의 평가, 시설도입에 따른 효과분석 및 상수비용 절약의 정도에 관한 평가에 필요한 강수량에 관한 기상 데이터 확보가 곤란한 실정이다. 이에 따라 분석에 필요한 데이터 확보를 위하여 기상청에서 제공하는 부산지역과 울산지역의 최근 10년(1996년~2005년)간 강수량 데이터의 평균치를 사용하였다.

부산지역에서 관측된 강수량은 연도별, 월별 편차가 크게 나타나고 있다. 최근 10년간의 연평균 강수량의 최고는 1999년도에 2,386mm로 관측되었으며, 최저는 2000년도에 1,189mm로 관측되어 연평균 최고 강수량과 최저 강수량은 1,197mm의 차이를 나타내고 있으며 연평균 강수량의 10년간 평균치는 1,691mm로 관측되었다. 월평균 강수량의 최고는 7월이 325.9mm로 나타났으며, 최저는 12월에 27.6mm로 나타나 월평균 강수량은 298.3mm의 차이를 보이고 있다.

부산지역의 10년간 강수량 데이터는 표 4.1과 그림 4.1에 나타내었다.

표 4.1 최근 10년간 부산지역의 강수량(단위: mm)

구분	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	평균
1월	33.8	9.3	79.7	42.9	25.9	60.4	84.8	23.3	1.4	15.7	37.7
2월	6.9	18.1	91.9	35.6	0.0	53.3	12.3	51.6	77.5	36.8	38.4
3월	171.1	57.8	82.7	159.7	48.1	6.1	117.1	77.5	48.1	142.4	91.1
4월	115.9	93.8	259.7	80.2	65.4	42.4	384.8	232.0	215.0	118.9	160.8
5월	46.8	289.4	152.8	187.6	72.0	57.8	122.6	418.5	210.6	168.0	172.6
6월	327.1	286.1	447.0	278.2	93.7	274.9	76.0	355.0	189.1	145.0	247.2
7월	284.8	216.3	223.6	556.7	337.4	271.5	304.6	657.7	91.7	314.4	325.9
8월	140.4	235.1	335.8	582.9	325.2	144.7	696.3	278.0	249.0	210.8	319.8
9월	26.7	35.4	200.3	320.2	163.5	74.4	98.9	160.3	231.2	176.5	148.7
10월	42.3	0.4	136.3	130.5	42.4	144.2	96.8	2.5	14.8	21.5	63.2
11월	30.9	32.0	57.5	11.2	12.9	72.2	22.2	16.5	266.4	65.4	58.7
12월	28.4	90.0	2.5	0.0	2.7	28.7	79.8	14.4	26.1	3.0	27.6
합계	1,255	1,364	2,070	2,386	1,189	1,231	2,096	2,287	1,621	1,418	1,691

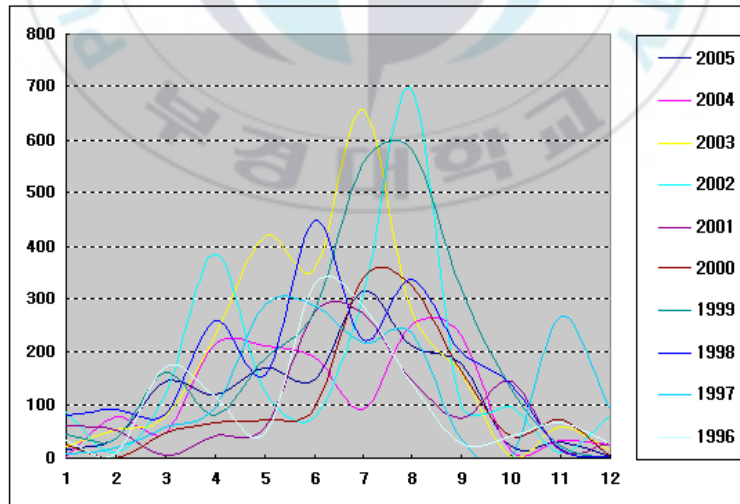


그림 4.1 최근 10년간 부산지역 강수량

울산지역에서 관측된 최근 10년간의 연평균 강수량의 최고는 2003년도에 1,864mm로 관측되었으며, 최저는 2001년도에 869mm로 관측되어 연평균 최고 강수량과 최저 강수량은 995mm의 차이를 나타내고 있으며 연평균 강수량의 10년간 평균치는 1,356mm로 관측되었다. 월평균 강수량의 최고는 8월이 270.1mm로 나타났으며, 최저는 12월에 21.9mm으로 나타나 월평균 강수량은 248.2mm의 차이를 보이고 있다.

울산지역의 10년간 강수량 데이터는 표 4.2와 그림 4.2에 나타내었다.

표 4.2 최근 10년간 울산지역 강수량(단위: mm)

구분	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	평균
1월	32.5	10.9	119.6	30.6	24.0	59.4	49.6	26.7	10.7	36.5	40.0
2월	2.5	4.4	81.6	29.0	0.1	56.2	7.2	50.5	51.1	34.4	31.7
3월	160.1	25.4	51.6	122.3	58.5	9.4	86.5	40.4	20.5	102.9	67.8
4월	63.8	57.0	182.0	74.5	62.5	28.0	91.1	156.6	124.5	48.1	88.8
5월	42.0	172.9	166.5	157.1	49.2	55.9	112.9	352.8	104.0	52.6	126.6
6월	371.0	282.1	268.7	229.0	78.4	203.3	52.6	269.0	201.8	72.5	202.8
7월	116.8	188.5	194.5	296.3	165.4	121.6	326.6	469.8	102.0	148.1	213.0
8월	74.6	192.3	346.0	447.4	262.1	87.4	592.5	223.1	264.9	210.6	270.1
9월	26.8	50.0	259.6	367.3	217.0	94.5	99.9	145.2	273.6	392.2	192.6
10월	35.9	0.7	107.1	89.9	41.4	98.3	69.9	4.5	6.7	12.2	46.7
11월	61.7	151.6	18.5	21.5	67.5	13.2	3.5	114.5	64.7	24.5	54.1
12월	27.3	62.8	0.3	0.0	1.0	41.9	47.5	11.0	25.6	1.1	21.9
합계	1,015	1,199	1,796	1,865	1,027	869	1,540	1,864	1,250	1,136	1,356.1

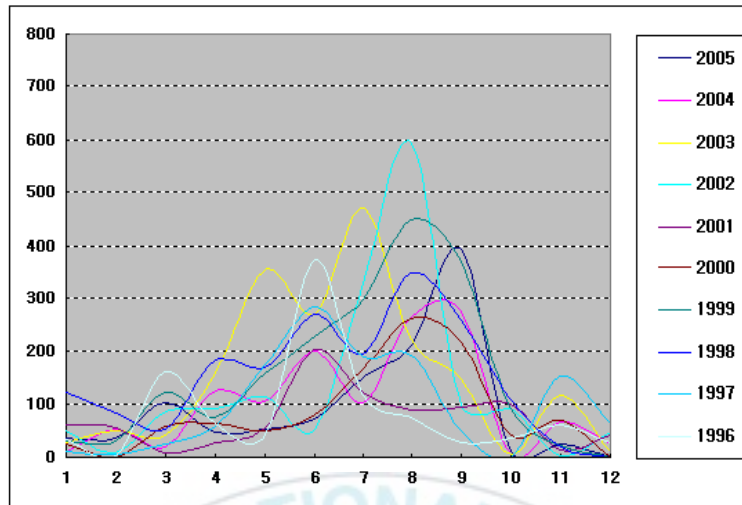


그림 4.2 최근 10년간 울산지역 강수량

부산과 울산지역에서 관측된 최근 10년간 연평균 강수량을 산술평균한 강수량의 최고치는 1999년 2,131.1mm, 최저치는 2001년 1,020.6mm로 나타났으며, 10년간의 연평균 강수량은 1,525.1mm로 나타났다. 월평균 강수량의 최고는 8월이 295.0mm, 최저치는 12월에 24.7mm로 나타났다.

부산과 울산지역의 10년간 강수량 데이터를 평균하여 표 4.3과 그림 4.3에 나타내었다.

표 4.3 최근 10년간 부산·울산지역 평균강수량(단위:mm)

구분	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	평균
1월	33.2	10.1	99.7	36.8	25.0	59.9	67.2	25.0	6.1	26.1	38.9
2월	4.7	11.3	86.8	32.3	0.1	54.8	9.8	51.1	64.3	35.6	35.1
3월	165.6	41.6	67.2	141.0	53.3	7.8	101.8	59.0	34.3	122.7	79.4
4월	89.9	75.4	220.9	77.4	64.0	35.2	238.0	194.3	169.8	83.5	124.8
5월	44.4	231.2	159.7	172.4	60.6	56.9	117.8	385.7	157.3	110.3	149.6
6월	349.1	284.1	357.9	253.6	86.1	239.1	64.3	312.0	195.5	108.8	225.1
7월	200.8	202.4	209.1	426.5	251.4	196.6	315.6	563.8	96.9	231.3	269.4
8월	107.5	213.7	340.9	515.2	293.7	116.1	644.4	250.6	257.0	210.7	295.0
9월	26.8	42.7	230.0	343.8	190.3	84.5	99.4	152.8	252.4	284.4	170.7
10월	39.1	0.6	121.7	110.2	41.9	121.3	93.4	3.5	10.8	16.9	55.9
11월	63.6	209.0	17.5	21.9	68.9	13.1	7.4	86.0	48.4	27.7	56.4
12월	27.9	76.4	1.4	0.0	1.9	35.3	63.7	12.7	25.9	2.1	24.7
합계	1,152.6	1,398.5	1,912.8	2,131.1	1,137.2	1,020.6	1,822.8	2,096.5	1,318.7	1,260.1	1,525.1

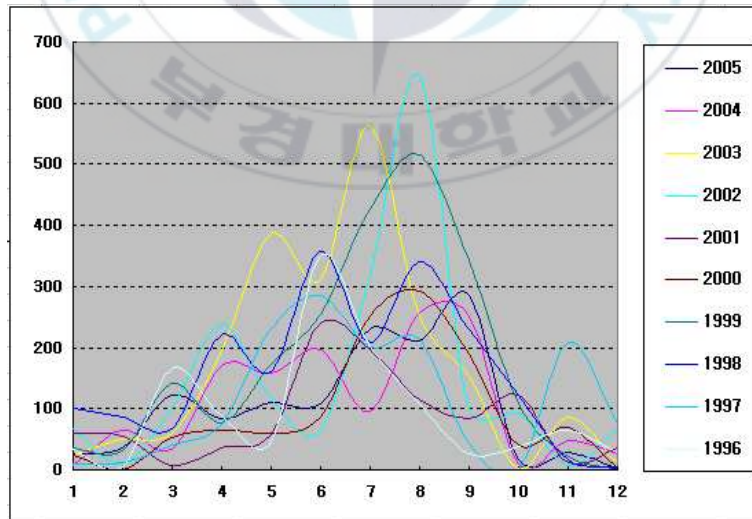


그림 4.3 최근 10년간 부산·울산지역 평균 강수량

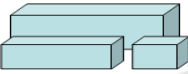
4.2 사용수량의 결정

최근 친수공간에 대한 요구도가 증가함에 따라 폭포, 분수, 벽천, 연못 등 수경시설에서의 물 사용량이 늘어나고 있다. 벽천이나 분수 등의 수경시설에 빗물을 사용할 경우에는 공기 중에 뿌리는 형태로 급수하여 순환시키는 경우가 많으므로 증발로 인한 손실량을 고려하여 사용수량을 결정하여야 하며, 또한 건축물 부지 내 식수(植樹)에 관수할 경우에는 증발량뿐만 아니라 식물 잎에서의 증발량도 고려하여 다음과 같이 산정한다.

$$\text{수경시설 보급수량} = (\text{순환사용량} \times \text{비산(飛散)율}) + \text{증발량} + \text{침투량} + (\text{역세수량} \times \text{역세여과운전시간}) + (\text{유지관리용수} / \text{유지관리간격})$$

대상에 적용된 빗물 이용시설에서 사용수량은 표 4.4에 나타난 산출근거에 의하여 각 시설의 체적으로 산출하였다. 정화연못에서 사용되는 수량은 26m³, 생태연못에서 사용되는 수량은 12m³, 거울 못에서 사용되는 수량은 21m³, 어린이수공간에서 사용되는 수량은 32m³로 계산되어 연구 대상에 적용된 빗물이용시설의 전체 사용수량은 91m³로 나타났다.

표 4.4 빗물 이용시설의 사용 수량의 산출

구 분	산출 근거		사용수량 (m³)
	이용시설형태	계산식(면적×높이)	
정화연못		$18.2\text{m} \times 11.5\text{m} \times 1.5\text{m} = 26\text{m}^3$	26
생태연못		$50.6\text{m}^2 + 281.0\text{m}^2 \times 0.7\text{m} \times 1/2 = 12\text{m}^3$	12
거울못		$1,057\text{m}^2 \times 0.2\text{m} = 21\text{m}^3$	21
어린이 수공간		$\{(58\text{m} + 14.1\text{m}) \times 4\text{m} \times 0.15\text{m}\} + (102\text{m} \times 9.2\text{m} \times 0.3\text{m}) = 32\text{m}^3$	32
합 계			91

4.3 저수용량의 산출

4.3.1 빗물 집수량

이용 가능한 빗물의 집수량(m^3)은 연간 강수량과 빗물의 유출계수로부터 다음의 식(1)으로 계산할 수 있다.

$$Q = A \times I \times C \cdots \cdots (1)$$

여기서, A : 집수면적(m^2)

I : 강수량(mm)

C : 유출계수

빗물집수량 산출에서 중요한 요소인 유출계수는 기후, 지세, 지질, 지표상황, 강우강도, 강우지속시간, 배수면적, 배수시설 및 주거형태 등의 영향을 받으며 이것에 따라 현저하게 변화한다. 유출계수는 하수시설기준과 하수 정비기본계획 보고서(1998)의 공종별 기초유출계수표준치를 이용하여 집수량을 산정한다. 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 유출계수는 “하수도시설기준”에서 제시된 것으로 토지이용별 기초유출계수의 표준치와 용도별 유출계수의 표준치로 구분되며 그 내용은 다음 표 4.5, 표 4.6과 같다.

표 4.5 토지이용별 기초유출계수 표준치

표면형태	유출계수	표면형태	유출계수
지붕	0.85~0.95	공지	0.10~0.30
도로	0.80~0.90	잔디수목이 많은 공원	0.05~0.25
기타불투수면	0.75~0.85	경사 완만한 산지	0.20~0.40
수면	1.00	경사 급한 산지	0.40~0.60

표 4.6 토지이용도별 총괄 유출계수 표준치

구분	유출계수
부지내에 공지가 아주 적은 상업지역 또는 주거지역	0.80
침투면이 야외작업장, 공지를 약간 가지고 있는 공장지역 또는 정원이 약간 있는 주거지역	0.65
주택, 공업단지 등의 중급 주택단지 또는 독립주택이 많은 지역	0.50
정원이 많은 고급 주택지나 밭 등이 일부 남아 있는 교외지역	0.35

집수 장소는 가능한 오염이 되어 있지 않는 빗물을 집수하기 위하여 원칙적으로 지붕면으로 하고 있으며 집수 면적은 지붕의 수평투영면적으로 하는데, 적용현장의 지역협력시설 지붕 수평투영면적은 2,394㎡이다.

강수량은 대상지역과 근접한 지점의 10년간의 평균 강수량과 가장 오차가 적게 발생하는 해당 년도의 일 강수량 데이터로부터 이용 가능한 강수량을 산정하며, 특히 시설의 능력, 규격결정에는 시간 강수량데이터도 필요하게 된다. 집수량을 결정하기 위하여 적용한 강수량 데이터는 부산과 울산지역의 강수량데이터를 평균하여 얻어진 10년간의 평균 강수량인 1,525.1㎜에 가장 가까운 1997년 계획의 기준 년으로 정하고 1997년도의 연간 강수량인 1,398.5㎜를 빗물 집수량의 계산에 적용하였다.

집수면 재질에 따른 유출계수는 지붕인 경우 일반적으로 0.85~0.95의 범위이며, 대상시설에서 채용한 유출계수는 0.9로 하였다.

이로부터 본 연구의 적용 대상 시설의 집수면적에서 이용 가능한 빗물의 연간 집수량은 식(1)에 의하여 $2,394(\text{㎡}) \times 1,398.5(\text{㎜}) \times 0.9 = 3,013(\text{㎡})$ 으로 산정되었다.

4.3.2 빗물저류조의 용량

빗물 저류조의 용량은 집수면에 내린 강수량의 80% 이상을 이용하는 것을 기본으로 하여 결정하게 된다. 저류조의 용량은 그림 4.4와 같은 용량계획 선도⁶⁾를 이용하여 저류조 용량을 계산한다.

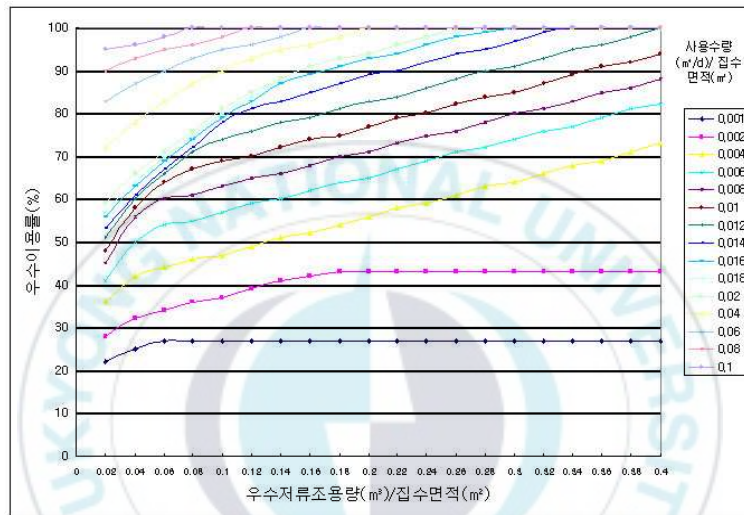


그림 4.4 빗물 저류조 용량계획 선도(고양시)

국내에서 빗물 저류조의 용량을 결정하기 위하여 사용하는 용량계획선도는 한국건설기술연구원의 우수저류활용연구센터에서 작성한 경기도 고양시의 용량계획선도가 유일하게 제시되어 있다. 본 연구에 적용된 부산과 울산지역의 연평균 강수량의 평균치에 가까운 계획년도의 강수량이 1,398.5mm로서 강수량 1,240mm를 기준하여 작성한 고양시의 용량계획선도를 적용하여 저류조 용량을 계산하였다.

그림 4.5는 빗물이용량의 산정이 용이하도록 필요한 요소들을 적용한 빗물의 유입경로를 나타낸 것이다.

6) 우수저류활용연구센터(<http://www.rainwater.or.kr>)

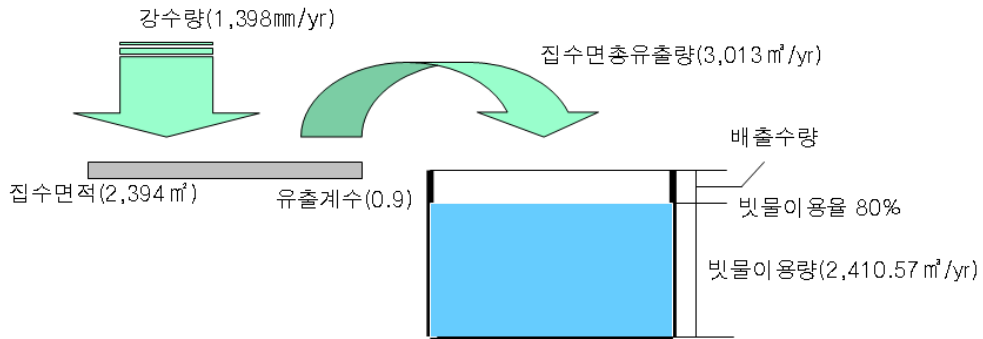


그림 4.5 빗물 유입경로

이미 계산되어진 집수면적($2,394\text{m}^2$)과 사용수량(91m^3)을 사용하여, 그림 4.4의 그래프에서 사용수량/집수면적비와 우수이용률 (80 %)의 교점을 구하고 교점의 X축 값과 집수면적을 곱하여 저류조의 용량을 산정한 결과 119.7m^3 로 계산되었다. 그림 4.6은 용량 산정 시 적용된 그래프를 나타낸다.

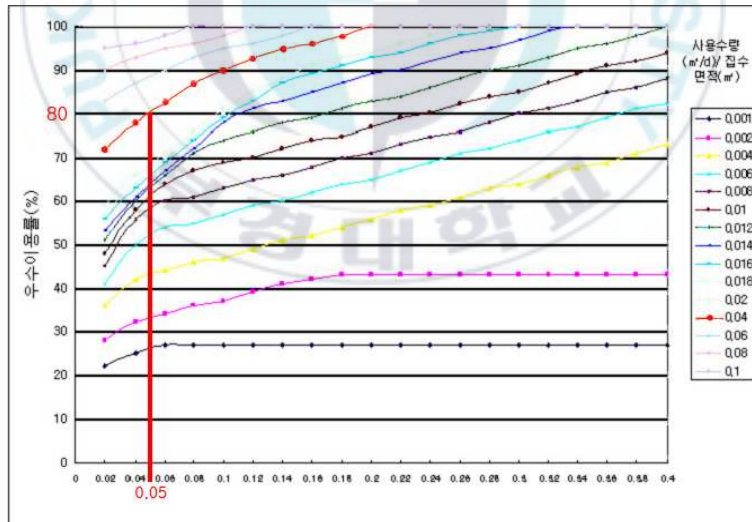


그림 4.6 빗물 저류조 용량계획 선도

실제 대상 시설에 설치된 빗물 저류조의 용량을 산출하기 위한 저류조의 높이

는 다음의 식(2)에 의해 산정한다.

$$H = 112.5(X - 1) + 180 \dots\dots\dots(2)$$

여기서, X : 저류조의 설치단수(19단)

따라서 저류조의 높이(H)는 $112.5(19-1)+180=2205\text{mm}$ 이다. 저류조의 저류용량은 다음의 식(3)으로 계산할 수 있다.

$$Q = H \times (A - a) \times 0.93 + B(H - 100) \times C \dots\dots\dots(3)$$

여기서, H : 저류조의 높이

A : 저류조의 면적

a : 맨홀면적

0.93 : 저류조의 저류효율

B : 맨홀내부면적

C : 맨홀 설치수량

따라서 크로스 웨이브를 19단으로 적층한 대상 빗물 저류조의 용량은 $2205 \times (121 - 2) \times 0.93 + 0.62(2205 - 100) \times 2 = 246.6\text{m}^3$ 으로 계산된다.

이는 빗물 저류조 용량계획선도에 의해 산정된 119.7 m^3 보다 51.46% 초과하는 용량이므로 대상시설에 설치된 저류조의 용량은 적절하다고 할 수 있다.

4.4 빗물이용시설의 도입 효과

실제 시설 운영을 통해 저류조 용량 결정시에 목표로 한 빗물 집수 가능량에 대한 빗물 급수량의 비율인 빗물이용률 및 전체 사용량에 대한 빗물 급수량의 비로서 상수대체율과의 차이를 계산하여 시설 운영 시 문제점을 해결할 수 있다.

빗물이용률과 상수대체율을 계산하기 위한 식(4), 식(5)는 다음과 같다.

$$\text{빗물이용률} = \frac{\text{빗물집수량}(\text{m}^3) - \text{배출수량}(\text{m}^3)}{\text{빗물유출량}(\text{m}^3)} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{상수대체율} = \frac{\text{빗물 급수량}}{\text{건물 전체사용수량}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

일반적으로 빗물이용률 및 상수대체율을 산정하기 위해서는 필요한 데이터를 먼저 데이터 시트로 작성하여야 하며, 빗물이용률 및 상수대체율을 산정하기 위한 데이터 시트는 표 4.7과 같다.

표 4.7 빗물이용률 및 상수대체율 데이터시트

평가항목	세부 항목		비고
빗물 이용률	총강수량 (mm/yr)	1,398.50	
	집수면 유출계수	0.90	
	집수면 총유출량 (m ³ /yr)	3,013.21	2,394×1,398.5×0.9
	빗물이용량 (m ³ /yr)	2,410.57	3,013.21×0.8
	빗물이용률 (%)	80.00	
상수 대체율	상수보급수량 (m ³ /yr)	16,826.75	16,917.75-91.00
	건물전체사용수량 ⁷⁾ (m ³ /yr)	16,917.75	46.35×365
	상수대체율 (%)	14.25	(2,410.57/16,917.75)×100

계산식과 데이터 시트를 이용하여 빗물 이용률을 80 %로 설정하였을 때, 본 연구에서 빗물이용시설의 상수대체율은 14.25 %로 나타났다.

빗물이용계획 책정이 가능하도록, 각 빗물 이용 자료를 정리하여 표 4.8과 같이 빗물 이용 계획의 개요표를 작성하였다.

표 4.8 빗물 이용 계획 개요표

구분		개요 등	비고
건축 개요	시설명	○○○ 원자력 지역협력시설	
	규모	지하1층, 지상3층	
	대지면적 (㎡)	6,806(20,575 평)	
	용도	문화 및 집회 시설, 운동시설	
계획대상지구		자연녹지지역	
계획대상년		2006	
강수량관측소		부산·울산기상청	
연간강수량	(mm)	1,398.50	
집수면적	(㎡)	2,394.00	대상시설지붕면적
저류조 용량	(㎡)	246.60	물의 밀도=1000kg/㎡
전체 물사용량	(㎡/day)	46.35	9269.76×5
전체 물사용량	(㎡/yr)	16,917.75	46.35×365
빗물 집수량	(㎡/yr)	3,013.21	2,394×1,398.50×0.9
빗물 이용가능율 (%)		80.00	설정목표율
빗물 이용가능량	(㎡/yr)	2,410.57	3,013.21×0.8
상수 대체율 (%)		14.25	(2410.57/16,917.75)×100

7) 화장실용수, 조경용수, 에어컨냉각용수, 청소용수, 소방용수, 샤워용수, 음수기, 수영장(650ton), 냉각탑 보급용수 등 포함.

4.5 절수 비용 평가

대상 빗물이용시설에서 상수로 급수한 경우의 물 비용과 이를 빗물 급수로 대체하는 것에 따른 비용을 비교하여 시설의 도입 가능성을 검토할 수 있다.

건축물의 내구연한은 물리적 수명(Physical Life), 기능적 수명(Functional Life), 경제적 수명(Economic Life), 기술적 수명(Technological Life), 사회적 수명(Social & Legal Life)으로 구분되는데, 대상 시설의 내구연한은 건축설비 장비의 물리적 수명인 15년으로 설정하였다. 대상 시설을 15년으로 기준한 비용으로 연간 빗물보급수량에 대한 평균 상·하수도 요금을 적용하여 경제적 비용 효과 분석을 실시한 결과 연구 대상 시설에서 1년간 수경시설로서 이용할 수 있는 빗물의 양은 2,154.60m³으로 나타났으며, 이로써 상수도 용수 2,410.57m³를 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

절수 비용 평가에 필요한 상·하수도요금은 대상 시설이 행정구역상 부산광역시 기장군에 위치하고 있으므로 부산지역의 2004년도 평균 상·하수도요금⁸⁾을 적용하여 분석하였다.

빗물이용시설을 설치함으로써 절약되는 상수도 용수 2,410.57m³를 상수도 요금으로 환산한 요금은 $2,410.57\text{m}^3 \times 584.3\text{원} = 1,408,496\text{원}$ 으로 나타났으며 하수도 요금으로 환산한 요금은 $2,410.57\text{m}^3 \times 296.5\text{원} = 714,734\text{원}$ 으로 나타났다. 이로써 연간 상·하수도요금 2,123,230원을 절감할 수 있으며, 15년간 시설을 이용할 경우 31,848,450원 이상의 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 판단된다. 상수도 용수의 절약에 따른 절수 효과 분석의 결과를 나타내면 표 4.9와 같다.

8) 환경부, 환경부 상하수도국 수도정책과 2004 상·하수도통계, 2005, 상수도요금 ; 584.3원, 하수도요금 ; 296.5원

표 4.9 절수 비용 평가의 결과

구분	결과치	비고
빗물 이용량(m^3)	2,154.60	
상수도요금($\text{원}/\text{m}^3$)	584.30	2004년 상수도 통계
하수도요금($\text{원}/\text{m}^3$)	296.50	2004년 하수도 통계
합계($\text{원}/\text{yr}$)	2,123,230.00	$(2,410.57 \times 584.3) + (2,410.57 \times 296.5)$
합계($\text{원}/15\text{yr}$)	31,848,450.00	$2,123,230 \times 15$



5. 결 론

최근 친수공간에 대한 요구도가 늘어남에 따라 실제 시공된 공공시설내의 빗물이용시설인 수경설비를 대상으로 빗물 저류조의 설치로 인한 상수의 절약에 따른 절수 비용 평가와 빗물이용시설의 도입효과에 관한 연구를 진행한 결과는 다음과 같다.

(1) 빗물저류조의 용량 산출에 필요한 강수량 데이터는 부산과 울산지역의 평균치인 1,525.1mm에 가장 가까운 1997년을 계획의 기준 년으로 정하여, 1997년의 연간 강수량 1,398.5mm를 빗물 집수량의 계산에 적용하였다.

(2) 사용수량은 적용된 빗물이용시설을 구성하는 각 시설의 체적으로 계산하여 91m³로 산정되었으며, 이를 적용하여 빗물 저류조 용량 계획 선도에 의해 저류조 용량을 산정한 결과 119.7m³로 산정되었다. 이로써 실제 대상 시설에 적용된 빗물저류조의 용량인 246.6m³가 계산 결과보다 51.46 % 초과 설치되었음을 알 수 있다.

(3) 대상 빗물이용시설을 사용할 경우, 빗물 이용률을 80 %로 설정하게 되면, 이에 따라 상수대체율이 14.25 %로 나타나게 되므로 상수 사용량의 14.25 %를 절감 할 수 있다.

(4) 빗물이용시설을 통하여 수도 용수 2,410.57m³를 절수하게 되므로 연간 상·하수도요금 2,123,230원을 절감할 수 있으며, 15년간 시설을 이용할 경우에 31,848,450원 이상의 절감효과를 기대할 수 있다.

본 연구를 통하여 향후 빗물 이용 시스템의 도입시 기초자료로서의 활용 가능성을 제시하고 있다. 이를 위하여 우선 우리나라의 각 지역별 강수량 데이터의 분석을 통하여 용량 계획 선도의 작성이 필요할 것으로 보이며, 쉽게 적용 가능한 프로그램의 개발도 필요할 것으로 판단된다. 향후 경제 및 환경적인 측면에서 빗물이용시설이 확대되고, 빗물활용에 대한 다각적 연구가 수행되어야 할 것이다.



참고문헌

1. 김이호 외, 수자원의 지속적 확보기술개발사업 : 우수 저류 및 활용 기술 개발 : 21세기 프론티어연구개발사업, 2004.06
2. 김이호, 이상호, 지속가능한 도시개발을 위한 빗물이용활성화 방안, CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW/SSANGYONG, 2004
3. 한국건설기술연구원, 우수저류활용연구센터, 건축물우수침투저류시설지침(안), 2004
4. 나수연, 친환경 우수시스템 적용에 관한 사례연구-제주 중산간 지역의 다용도 복합 주택을 대상으로, 대한건축학회(계획계), 제22권 2호, 2006.2
5. 이일용, 한무영, 우리나라 강수량을 고려한 적정 빗물 저장조 용량산정에 관한 연구-서울을 대상으로, 한국물환경학회, 대한상수도학회, 2001
6. 한무영, 건물에서의 빗물이용사례, 그린빌딩(한국그린빌딩협의회지), 제6권 4호, 2005.12
7. 이원열, 정상민, 신덕, 이철현, 한무영, 공동주택단지에서의 빗물저수조 설치 및 활용방안 연구, 한국건축시공학회 논문집 제5권 4호, 2005.12
8. 홍원화, 배선행, 최미영, 대구 월드컵경기장 빗물이용시설 도입에 따른 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제21권 8호, 2005.8
9. 환경부, 상·하수도국 수도정책과 2004년 상수도 통계(STATISTICS OF WATER WORKS), 2005
10. 환경부, 상·하수도국 수도정책과 2004년 하수도 통계(STATISTICS OF WATER WORKS), 2005
11. 유태종, 빗물이용시설의 시공과 유지관리, 제2회 빗물모우기 국제 워크숍, 2003
12. 우수저류활용연구센터, <http://www.rainwater.or.kr/>, 2006.10
13. 후쿠오카현, 우수이용 manual, 1998.3

14. UNEP 한국위원회, 국회환경포럼, 지속 가능한 물자원 관리-세계지속가능발전 정상회의(WSSD 2002)준비 3차 세미나, 2002.7
15. 雨水貯留浸透技術協會, 雨水利用ヘンドクシク、1998
16. 雨水利用システム設計と實務, 空氣調和・衛生工學會、1997
17. 住宅・都市整備工團, 住宅團地にあける利用計劃・設計マニュアル (案), 1999
18. 住宅・都市整備工團, 雨水流出抑制施設, 1999
19. EneDir Ghisi, Diego Lapolli Bressan, Maurício Martini, Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil, Building and Environment, Volume 42, Issue 4, April 2007, Pages 1654-1666
20. Gail Rajgor, Revamped rainwater recycling, June 2006
21. Jeroen Mentens^a, Dirk Raes^a and Martin Hermy, Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?, Department of Land Management, Laboratory for Forest, Nature & Landscape Research, February 2005

A Study on the Effect of Application by Using of a Rainwater Storage Tank in Public Building

by Lee, Ho-Duk

Department of Architectural Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

This study is performed on the economical assessment by reduction of water supplies and effect of introduction rainwater reuse equipment on the be constructed rainwater reuse equipment in the public facilities on the basis of utilization and management of rainwater.

The rainwater storage capacity is determined by average precipitation on the reference region which is located public facilities and rainwater reuse usage in public facilities. The economical analysis of the rainwater reuse is evaluated by the ratio of water utilization rate to rainwater utilization rate and water rate.

The basic data and utilization of rainwater reuse system is presented by this papers. The rainwater reuse system is developed and is performed on the utilization of rainwater to solve economical and environmental problems.

감 사 의 글

오늘이 있기까지 늘 변함없이 따뜻한 지도와 격려로 학문의 길로 인도하여 주신 임영빈 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

이 논문이 완성되기까지 부족한 점을 지적해 주시고 본 논문을 지도 심사하여 주신 이수용 교수님과 김영찬 교수님, 박천석 교수님, 이재용 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 학문의 부족함을 채워주신 류종우 교수님, 조홍정 교수님, 신용재 교수님, 김기환 교수님, 조영행 교수님, 오장환 교수님, 홍성민 교수님, 노지화 교수님께 끝없는 존경과 감사를 드립니다.

이 논문이 완성되는데 협력과 성원을 아끼지 않으신 김동완 박사님, 정근주 박사님, 건축환경·설비연구회 조영준 회장님, 이병현 총무님, 김종배 전회장님, 오근숙 외 건축환경연구실 선·후배, 동기님들, 현장의 자료수집과 많은 조언을 주신 현대건설(주) 선·후배 여러분께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

2년여의 짧은 기간 동안 직장과 학업을 병행하는 일이 쉽지는 않았지만 그동안 저를 도와주신 많은 고마운 분들이 계셨기에 오늘이 있을 수 있었음을 항상 생각합니다. 그리고 좁은 지면에 그분들을 일일이 열거하면서 감사의 마음을 전하지는 못하지만 항상 감사드립니다.

저에게 항상 사랑으로 헌신하여 주신 부모님 이하 모든 가족들에게 감사드리며, 특히, 묵묵히 뒤에서 저의 부족한 점을 채워주고 내조해준 사랑하는 아내 김옥주와 아들 준우에게 고마움을 전합니다.

2006년 11월

이 호 덕