

## 친환경 도시에서의 자원활용에 관한 연구 - 빗물의 다목적 활용을 위한 빗물저장조의 운전방법 -

정 용 현  
부경대학교 환경공학과  
(2003년 3월 4일 접수; 2003년 3월 22일 채택)

## Study on Utilizing Resources in Environment-friendly City - Operation method of rain storage tank for using rainwater as multipurpose -

Yong-Hyun Chung

Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea  
(Manuscript received 4 March, 2003; accepted 22 March, 2003)

Ecological society and energy conservative systems has become a subject of world wide attention. To examine the technologies of such systems as resource recycling society, this study is proposed for using rainwater as energy source and water resources in urban area. Useful informations for planning of utilizing rainfall as energy source, water resources, emergency water and controlling flood are discussed with model systems in urban area. It is calculated that the rate of utilizing rainwater, amounts of utilizing rainwater, substitution rate of supply water, amounts of overflow rainwater according to rain storage tank volume. By applying the past weather data, The optimum volume of rain water storage was calculated as 200m<sup>3</sup> which mean no benefits according to the increase of storage tank volumes. For optimum planing and control method at the model system, several running method of rainwater storage tank was calculated. The optimum operating method was the using weather data as 3hours weather forecast.

Key words : Resource recycling, Rainwater, Energy saving, Water saving, Rain storage tank

### 1. 서 론

급세기 들어 지구 규모의 환경문제는 인간 활동에 많은 제약을 요구하고 있다. 이는 과거 기준에 대하여 근본적인 재고를 요구하고 있는 것으로, 최근에는 지구 규모의 환경문제로 이산화탄소 저감 대책과 연관된 경제활동의 면에서부터 삶의 방식까지 다양한 변화를 요구하고 있다. 특히 삶의 질과 연관된 측면에서 보면, 일방적으로 자원을 소비하는 자원소비형 도시에서 물 및 에너지 자원을 절약하는 친환경 도시로의 전환이라는 새로운 기준이 요구되고 있다.<sup>1)</sup>

한편, 도시 내에서의 빗물이나 미활용 에너지에 대한 연구에 나타났듯이 도시에는 여러 가지의 활용 가능한 자원이 존재하고 있으나, 그 활용 시스템에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 지속 가능한 도시에서 요구되는 자원 절약형의 도시를 구축하기 위하여 물 대사계와 열대사계를 유기적으로 결합하는 등의 새로운 자원절약형의 궁리들이 요구되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

빗물의 경우, 과거 도시에서는 흘려보내는 것에 지나지 않았으나, 최근에는 도시기능의 재고에 따라 홍수조절용으로 빗물의 저장과 더불어 재활용, 비상용수, 열원수로 활용하려는 시도는 자원순환형 사회로의 전환에 대한 하나의 시도로 생각되어지고 있다.<sup>3~7)</sup>

따라서, 수자원 절약의 목적으로 만들어진 빗물 활용 시스템과 열 시스템의 결합에 대한 효과를 평

Corresponding Author : Yong-Hyun Chung, Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea  
Phone : +82-51-620-6430  
E-mail : chungyh@mail1.pknu.ac.kr

가하기 위하여 시스템에 대한 시뮬레이션 프로그램을 작성하였으며, 작성된 시뮬레이션 프로그램과 실험결과를 비교 평가하여 프로그램의 타당성을 확인하였다.<sup>8)</sup>

본 연구에서는 지난 연구에서 개발된 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 빗물저장 탱크의 다양한 활용을 위한 빗물저장조의 다목적 운용방법 및 최적설계에 대한 평가를 실시하였다.

## 2. 빗물 활용 시스템

### 2.1. 다목적 활용 개념

절수 목적의 빗물 활용 시스템은 빗물 집수 시스템, 빗물저장탱크, 빗물 이용시스템 등으로 구성되어 있다. 또한 빗물이라는 것은 유한하면서 간헐적이므로 필요에 따라 상수나 지하수 등으로 추가적인 공급이 필요하다. 또한 빗물을 공조기의 열원으로 이용하여 활용하기 위해서는 열 이용시스템을 추가할 필요성이 있다. 그리고, 빗물의 열원 활용에 따른 수온의 변화가 일어나기 때문에, 이를 위한 재생시스템이 필요하다. 그 외에도 이러한 시스템의 활용 성능을 높이기 위한 방법으로 빗물을 저장하는 것 외에도 분수나 연못, 인공수로 등을 만들어 경관수로도 이용하는 등의 빗물의 다목적활용에 대한 관심을 기울이는 것도 중요한 시점이다.

### 2.2. 공간 이용방법

빗물 이용시설은 이수, 치수, 비상용수의 다목적 기능을 동시에 달성하기 위하여 Fig. 1 a)와 같은 빗물 저장조의 크기가 필요하다. 그러나, 이러한 방법으로는 빗물 저장조 규모가 한없이 크게 되어, 도시에서 빗물 저장조의 활용을 확대 해나가는데 도움이 되지 못하는 요인으로 작용하고 있다. 보통은 Fig. 1 b)와 같이 빗물 저장조 전용량을 홍수조절용으로 하여 빗물이 유출되기 전에 일시적으로 저류하여, 유출시간을 늦추어 빗물의 집중을 완화시키는 방법이다. 또한 빗물의 일부를 물부족에 대응하기 위한 목적으로 잡용수로 활용하는 방안과 같이 처

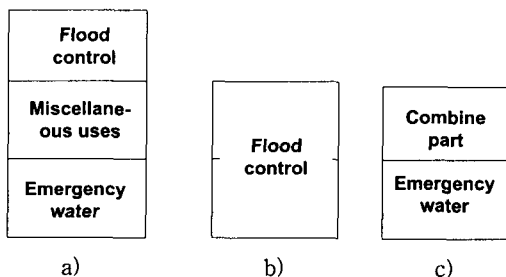


Fig. 1. Purposing of Rain storage tank.

음부터 빗물 이용을 목적으로 하여 빗물이용시설을 설치하는 경우로 나뉠 수 있다. 어느 역할에 중점을 둘 것인가는 빗물 저장조를 설치하고자 하는 목적에 따라 다르지만, 현재 이용되는 빗물활용시설은 주로 이수나 치수의 단일 목적으로 만들어지고 있다.<sup>6)</sup>

빗물의 다목적 이용을 위하여 빗물공간을 효율적으로 이용할 필요성이 대두되고 있다. 이는 Fig. 1 c)와 같은 방법으로 생각되어 질 수 있다. 예를 들면, 비상용수와 통합부(이수와 치수부를 같은 사용공간으로 한다)로 나누어 운용하면, 항상 소방용수 및 긴급시 생활수로 대응할 수 가 있으며, 또한 비상용수를 열원수로 활용할 수 가 있다. 그리고, 통합부는 빗물을 이용하면서 빗물을 저장하는 경우, 빗물의 열원수로 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 기상대의 예보 등을 이용하여, 저장된 물을 줄여 치수의 목적을 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.3. 최적인전을 위한 빗물저장조의 운용방법

#### 2.3.1. 보급수를 열원으로 이용하지 않는 경우

Fig. 2에서와 같이 빗물을 비상용수로 이용하는 경우에는, 빗물 탱크에 물을 항상 확보해 두어야 한다. 물은 다목적 이용으로 잡용수 및 열원수로 이용한다. 이 경우에는 빗물만으로 수면을 조절하지만 물이 기준 수위 이하로 내려가면 잡용수로의 이용은 중단한다. 이때 잡용수는 빗물저장조를 통하지 않고 직접 급수로 대응한다.

#### 2.3.2. 보급수를 열원으로 이용하는 경우

보급수를 열원으로 이용하지 않는 경우에는 보급수(상수)를 직접 잡용수로 사용하기 때문에 보급수의 열포텐셜을 활용하지 못하지만, Fig. 3과 같이 보급수를 열원으로 이용하는 경우에는 빗물 저장조에서 수위가 비상용수 기준 수위 이하로 되었을 경우, 보급수로 기준수위로 수면 조절을 행한다. 이 경우

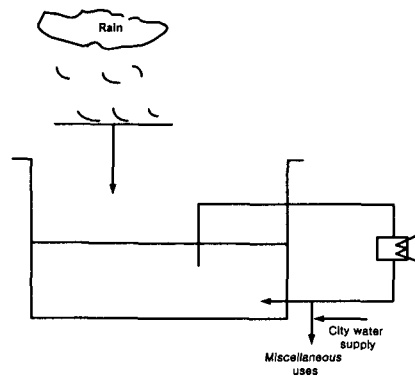


Fig. 2. Control method of supply water as not energy source at the rainwater storage tank.

보급수의 열포텐셜이 이용된다. 여기서는 보급 수에 대하여 2가지 경우의 보급 방법으로 계산하였다.

2.3.2.1. 기준 수면이 된 경우의 보급수 공급

보급수를 열원으로 활용하기 위하여 빗물 저장조의 수위가 비상용수 기준 수위 이하로 되었을 경우, 보급수로 기준수위로 수면 조절을 행한다.

2.3.2.2. 야간 운전 전에 저장조를 최고 수위로 공급

야간(22시-07시)에 냉방운전을 실시하는 것을 기준으로 하여, 냉방운전 전에 열적으로 유리한 보급수를 채워 두는 경우이다.

2.3.3. 기상예보를 이용하여 빗물저장조의 수위조절

기상예보로 빗물저장조의 홍수조절기능을 살리기 위하여 빗물 저장조에서 필요한 부분을 확보하는 방법으로, 여기에서는 강우 자료를 이용하여, 3시간 후의 강우량으로 빗물저장조의 통합부를 미리 줄이는 방법으로 계산을 실시하였다.

3. 계산방법

본 연구에서는 열 활용 빗물저장 시스템의 물 절약 효과와 에너지 절약효과를 통하여 빗물저장조의 운용방법에 따른 비교를 실시하였다.

3.1. 물 절약 계산

빗물 집수 시스템은 유출계수, 수사용량을 설정하면 수량 계산은 기본적인 것으로 계산은 1시간 간격으로 연간 계산을 실시하였다. 초기 설정치의 임의성을 없애기 위하여 반복 계산으로 정상해를 구하였다. 빗물 이용량, 익수량 등을 구하고 상수 대체율 등을 계산하였다. 한편, 수량계산에서는 경관수로 등에서 증발에 의한 손실을 무시하였고, 정원수용

물 등에 의하여 빗물저장 탱크에 들어오는 수량도 무시하였다.

빗물저장량에 대한 수식은 매우 기본적인 것으로 이에 사용된 수식은 다음과 같이 고려하였다.

빗물저장조의 용적 결정, 빗물 이용율, 상수 대체율, 익수량 등은 다음과 같이 정의하였다.

빗물이용량 : 빗물을 잡용수 등으로 사용한 량.

빗물 이용율 : 빗물 이용량 / 집수량

빗물 익수량 : 집수량 - 우수이용량

상수보급량 : 잡용수량 - 우수이용량

빗물 집수량 : 집수면적 × 유출계수 × 강수량

상수 대체율 : 빗물이용량 / 전사용량 (상수보급수량+빗물이용량)

3.2. 경관수로에서 수온변화

3.2.1. 수온 변화식

수식이 알아 흐름방향이외의 온도분포는 무시하였다. 흐름방향의 확산도 무시하면 수온  $\theta_w$ 는 식(1) 따라 변화함을 알수 있다.

$$C \cdot \rho \cdot d \cdot \left( \frac{\partial \theta_w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial \theta_w}{\partial x} \right) = Q_s + Q_b \quad (1)$$

3.2.2. 외부와의 열교환

수면에서의 열 수지량은 다음과 같다.

$$Q_s = (1-\alpha) \cdot I + \epsilon \cdot R_2 - \epsilon \cdot \sigma \cdot (273 + \theta_w)^4 - h_a \cdot (\theta_w - \theta_a) - 1.5 \cdot h_a \cdot (e_w - e_a) \quad (2)$$

$$R_2 = \sigma (273 + \theta_w)^4 (0.51 + 0.076 \sqrt{e_a}) \quad (\text{Brunt의式})^9 \quad (3)$$

한편, 식2의 우변 제5항 계수 1.5의 차원은  $[W/m^2 \cdot hPa]$ 이다.  $R_2$ 는 장파 방사량이고, 실측결과의 해석에는 실측치를 이용했다. 기상대 자료를 이용한 시뮬레이션에서는 식3을 사용했다.

3.2.3. 경관수로바닥에서의 열교환

경관수로 바닥에서의 열수지량  $Q_b$ 은 다음과 같다.

$$Q_b = h(\theta_{es} - \theta_w) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = a_e \cdot \frac{\partial^2 \theta_e}{\partial Z^2} \quad (5)$$

$Z = 0$  (경관수로바닥)

$$-k_e \cdot \frac{\partial \theta_e}{\partial Z^2} = h \cdot (\theta_w - \theta_{es}) \quad (6)$$

$Z = D$  (충분히 깊은 지중)

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial Z} = 0 \quad (7)$$

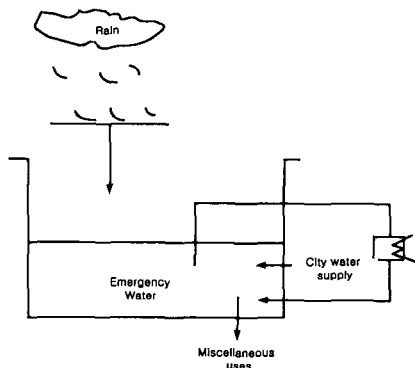


Fig. 3. Control method of supply water as energy source at the rainwater storage tank.

3.3. 연못에서의 수온변화

엄밀히 말하면 연못에서도 온도분포가 있으나, 1

용량계의 완전혼합모델 근사식으로 연못의 수온을 계산하였다.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q_w}{V} \cdot (\theta_i - \theta) + \frac{H_i}{C \cdot \rho \cdot H} \quad (8)$$

$$H_i = Q_s + Q_b \quad (9)$$

3.4. 빗물 저장조에서의 수온변화

빗물저장 탱크의 열응답은 완전혼합조 모델<sup>10)</sup>을 이용하였으며, 빗물의 유입 및 중수로서의 사용은 각조에 균등하게 배분하였다. 식10, 11의 차분식에서  $\theta_{i+\Delta t}$ 를 구하였다.  $V_i$ 는 분할한 하나의 수조용량이다. 강우시의 온도는 습구 온도로 가정하였다.<sup>11)</sup>

$$C \cdot \rho \cdot V_{i+\Delta t} \cdot \theta_{i+\Delta t} = C \cdot \rho \cdot V_i \cdot \theta_i + C \cdot \rho \cdot Q_w \cdot \theta_{in} \cdot \Delta t + C \cdot \rho \cdot \frac{Q_r}{n} \cdot \theta_r \cdot \Delta t - C \cdot \rho \cdot Q_w \cdot \theta_{i+\Delta t} \cdot \Delta t - C \cdot \rho \cdot \frac{Q_{use}}{n} \cdot \theta_{i+\Delta t} \cdot \Delta t \quad (10)$$

$$V_{i+\Delta t} = \left( V_i + \frac{Q_r}{n} - \frac{Q_{use}}{n} \right) \cdot \Delta t \quad (11)$$

3.5. 매설송수관에서의 수온변화

$$A \cdot \rho \cdot C = \frac{\partial \theta_w}{\partial t} + G_w \cdot C \frac{\partial \theta_w}{\partial x} = h_p \cdot S \cdot (\theta_{ps} - \theta_w) \quad (12)$$

지중 및 매설관 열전도식

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial t} = a_e \cdot \left( \frac{\partial^2 \theta_e}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta_e}{\partial r} \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial \theta_p}{\partial t} = a_p \cdot \left( \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta_p}{\partial r} \right) \quad (14)$$

경계조건

$r = r_a$  (관내면의 반경)에서

$$-k_p \cdot \frac{\partial \theta_p}{\partial r} = h_p \cdot (\theta_w - \theta_{ps}) \quad (15)$$

$r = r_b$  (관바깥면의 반경)에서

$$k_p \cdot \frac{\partial \theta_p}{\partial r} = k_e \cdot \frac{\partial \theta_e}{\partial r} \quad (16)$$

$r = D$ 에서

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial r} = 0 \quad (17)$$

3.6. 에너지 절약량 계산

빗물수조의 에너지 절약량은  $\Delta E$ 로 계산하였다. 각각의 공기 열원 및 수열원의 COP를 COPa 및 COPp로 두었다. 공기를 열원으로 하는 에너지 소비

량에 대하여 물을 열원으로 이용하는 경우에 대한 에너지 절약량으로 식18)에 따라서 계산하였다.

$$\Delta E = Q_{load} \left( \frac{1}{COP_a} - \frac{1}{COP_w} \right) \quad (18)$$

단,  $Q_{load}$ 는 냉수측의 이용열량이다.

4. 모델시스템의 성능평가 및 조건

4.1. 빗물활용 시스템

빗물활용 시스템을 Fig. 4에 나타냈다. 이는 지구환경관련 연구시설로 친환경 기술을 갖추고 있으며, 빗물 다목적 활용 시스템이 운용되고 있어 대지면적 약12000평에 내린 빗물을 빗물 저장 탱크에 저류한 후, 빗물을 중수로 활용함과 동시에 냉동기용의 냉각수, 경관수로의 순환수로 사용하고 있는 시스템이다. 경관 시스템은 냉각수로 사용한 물의 방열 재생 시스템을 겸하고 있으며, 재생 시스템 재원은 실개천( 길이, 150m, 폭 2m, 깊이 0.1m), 연못 (용적 500m<sup>3</sup>, 수심 0.6m)이고, 빗물 저장조의 용적은 400m<sup>3</sup>이며 순환유량은 105m<sup>3</sup>이다. 재생시스템에서의 수온계산을 위하여 수면사출율은 0.99, 일사반사율 0.06, 초기온도는 15℃로 하였다.

4.2. 물수지 계산조건

대상 시스템의 물사용 실적은 실측치이며, 연간 실사용량은 15452m<sup>3</sup>으로 보통의 사무실 물사용 실태와 비교하면 여름철 물 사용량이 많다. 이는 녹지에 대한 물주기가 원인으로 생각되어 지고 있다. 또한, 빗물 집수면적은 5000m<sup>2</sup>으로 설정하였으며, 빗물 유출계수는 0.2로 설정하였다. 빗물저장조의 용적은 400m<sup>3</sup>으로 1/2는 비상용으로 항상 기준수위를 유지하는 것으로 생각하여 계산을 실시하였다. 빗물에 대한 자료의 경우 오사카관구 기상대의 월별강우량을 이용하였다<sup>12)</sup>. 1961년에서 90년 말까지의 평균치를 기준으로 하여 비가 많았던 93년도의 강우

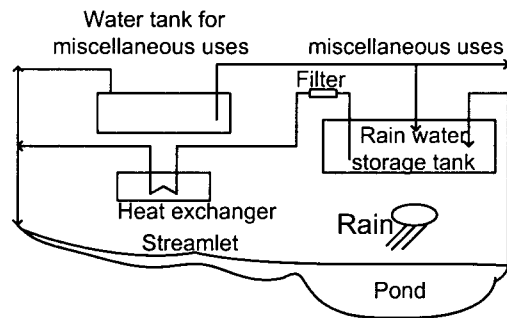


Fig. 4. Rainwater using system.

자료로 계산하였다.

#### 4.3. 에너지 계산조건

에너지 절약 평가를 위해서 사용된 열원온도에 대한 COPa 및 COPw의 값을 Fig.5에 나타냈다. 이는 현재 사용되는 히트펌프의 평균적인 값을 활용하였으며, 기계적인 성능 개발에 따라 값의 변화가 가능하다<sup>13)</sup>. 냉수 측의 이용열량은 축열조를 가지고 있는 대상시스템의 평균치로 326kW의 일정 값을 냉방기간에 설정하였다. 또한, 재생시스템에 대한 운용에서 열 재생을 위한 경관수로의 역할과 생물 막에 의한 자연정화를 촉진하기 위하여 빗물을 순환하고 있으므로 순환펌프 동력은 고려하지 않았다. 또한, 열 교환기에 의한 순환동력 증가도 빗물운용방법에 따른 각각의 운전조건에서 무시하였다.

#### 5. 결과 및 고찰

빗물저장조의 운용과 이에 따른 효과를 알아보기 위하여 물 절약과 치수, 비상용물 및 열원으로 이용하는 경우를 대상으로 하였다. 또한, 최대의 에너지 절약 포텐셜을 살리는 빗물저장조의 운용 방법을 찾기 위하여, 빗물저장조의 운용방법과 이에 따른

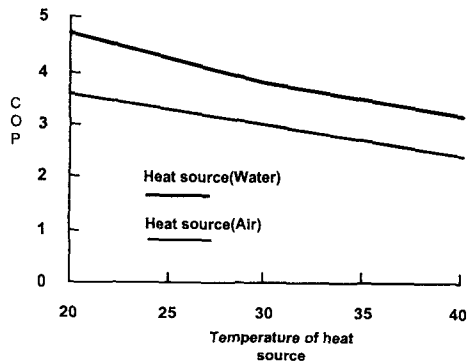


Fig. 5. COP according to Temperature of heat source.

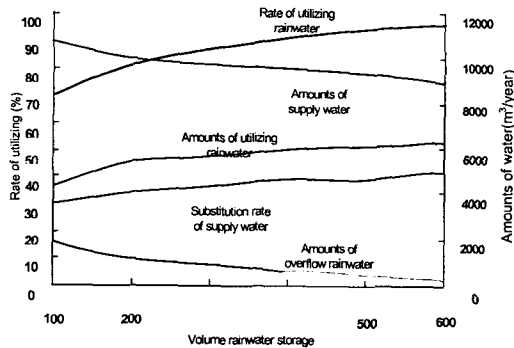


Fig. 6. The rate of utilizing percent of rainwater according to rain storage tank volume.

수면 조절 운용방법에 대한 에너지 절약량 및 절수량을 계산하였다.

#### 5.1. 물절약에 따른 상수대체율

Fig.6에 빗물저장조의 크기에 따른 각각의 이용율 및 연간수량에 대하여 나타냈다. 빗물저장조의 용적 200m<sup>3</sup>에서 각 요소의 기율기 변화를 확인할 수 있으며, 그 이상으로 빗물 저장조의 크기를 증가하더라도 저장조의 증가에 비해 상수 대체율은 그다지 증가하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 대상모델에서의 빗물 저장조는 200m<sup>3</sup> 정도로 설계하는 것이 경제적으로 판단된다.

#### 5.2. 각 운용방법에 따른 에너지 절약량 및 절수량의 예측

2.3절에서의 빗물 저장조의 각 운용방법에 따른 에너지 절약량 및 절수량의 예측 결과를 Table.1에 나타냈다. 계산 조건으로 경관수의 방열 재생시스템의 유무, 보급수 온도 16°C, 27.8°C를 설정하여 계산 대상 기간은 수사용량과 비가 많은 시기인 8월로 하였다. 기상 자료는 오사카 기상자료를 이용하였으며, 빗물의 온도는 습구 온도로 계산하였다. Fig.7에서는 전력 절약량 및 절수량을 빗물저장조의 운용방법에 따라 재생시스템을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우를 기준으로 하여 계산한 결과를 비율로 표시하였다. 여기서 보면 보급수 공급패턴의 차이로 2.1), 2.2)의 비교에서는 전력 절약량 및 절수량이 trade-off 관계가 있음을 알 수 있다. 기상예측에 의한 운용방법인 3)이 경우에는 2.2)와 같은 보급수 공급패턴으로 계산하였다. 한편, 강우를 예측하여 치수용으로 공간 확보를 위하여 배수한 물은 60m<sup>3</sup>이었으며, 절전량에서 보면 빗물저장조의 운용방법 2.1)이 1)보다 절전 되었으며, 이는 보급수에 의한

Table 1. Amounts of energy saving and water saving according to control method of rainwater storage tank

Control Method	Water Saving (m3)	Energy Saving(kWh)			
		Recycling System		Without Recycling System	
		Supply Water 16°C	Supply Water 27.8°C	Supply Water 16°C	Supply Water 27.8°C
1)	670	3704		93	
2.1)	670	4211	3795	1175	414
2.2)	280	4893	3792	1456	470
3)	280	4900	3800	1479	482

에너지절약 포텐셜의 시간적 유효 활용에 기인하는 것으로 판단된다. 빗물저장조의 운용방법 3)이 2.2)보다 절전되는 것은 빗물의 에너지 절약 포텐셜에 의한 것으로 생각된다. 따라서, 절전 면에서 보면 빗물저장조의 운용방법 3)이 최적의 운전방법으로 판단된다. 단, 강우 예측이 맞지 않을 경우에는 절수 및 절전 효율이 올라가지 않으므로 확실적인 평가가 필요하다. 또한, 홍수방지 기능의 면을 고려한다면 최적 운전방법이 바뀔 수도 있다.

5.3. 빗물시스템의 최적 설계

빗물 저장조 운용에서 2.1의 방법을 이용하여, 대상모델에 대한 열부하 변화 및 재생시스템의 재원

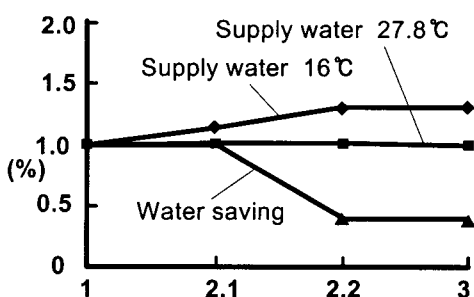


Fig. 7. The rates of energy efficiency and water saving according to control method of rain-water storage tank.

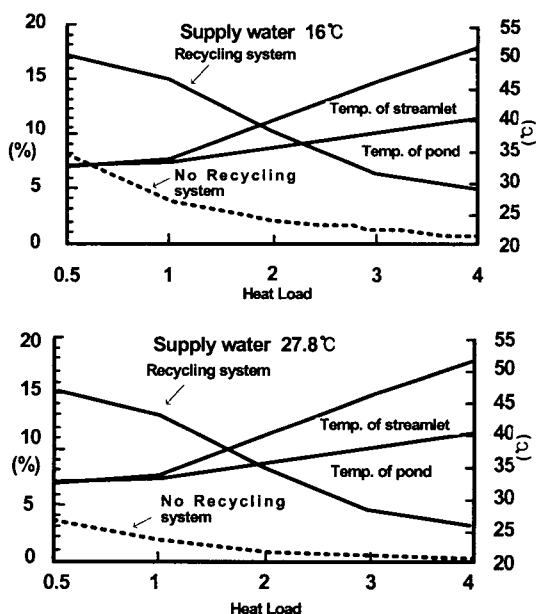


Fig. 8. Percents of energy saving and the temperature of according to supply water at the model system.

을 달리하여 절전량을 기준으로 최적성을 고찰하였다.

5.3.1. 열부하 변동에 따른 절전량

대상모델의 열부하 Q(325kW)에 대하여, Q/2, 2Q, 3Q, 4Q로 열부하를 변화 시켰을 때의, 절전비율(절전량×100 / 공기 열원에 의한 전력소비량)과 실개천, 연못에서의 상한온도를 표시하였다. Fig.8에서 열부하의 증가에 따라, 절전비율은 낮아지고 재생시스템에서의 온도는 올라간다. 또한 보급수를 16°C로 한 경우, 대상모델에서의 절전 비율은 약 15%이고, 재생시스템에서의 최대 온도는 약 34°C였다.

5.3.2. 재생시스템 면적에 의한 절전량의 비교

대상모델은 실개천과 연못이 재생시스템으로 설계되었다. 재생시스템으로 실개천과 연못 가운데 어느쪽이 유리한가를 판단하기 위하여, 실개천만 존재하는 경우와 연못만 존재하는 경우로 나누어 각각의 면적을 바꾼 결과를 Fig. 9에 나타냈다. 실개천과 연못의 역할에서 본질적으로 큰 차이가 나타나지 않는 것은 수로의 유속이 크지 않으며 온도도 큰 변화가 없는 것으로 생각되면 실용상으로 각각의 전열은 거의 동일한 것으로 판단된다. 이는 실개천과 연못의 합계 표면적으로 재생기능이 결정되는 것으로 생각된다.

Fig.10에서 보급수의 온도를 달리하고 열부하를 Q, 2Q로 한 경우, 재생시스템의 합계 면적에 대한 절전량비를 표시하였다. 열부하가 Q의 경우에는 재생시스템 면적에 대한 절전비율이 한계효용저감법칙에 따르고 있으므로 재생시스템을 크게 하여도 큰 효과는 없는 것으로 판단된다. 열부하가 2Q의 경우에, 재생시스템의 최적 면적은 클수록 효율이 상승하는 곡선형으로 나타나고 있다. 이는 대상모델의 현재 재생시스템에서 냉각수의 온도를 충분히 낮출 수 없어, 현재의 대상모델에서의 처리 열부하는 Q정도가 적당한 것으로 생각된다.

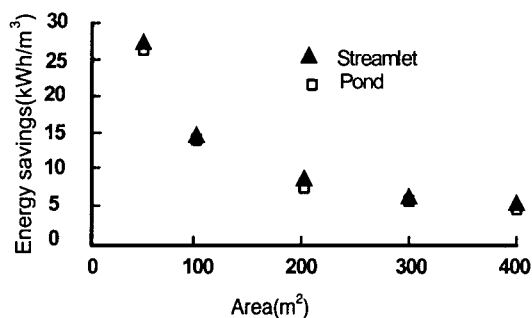


Fig. 9. Energy savings according to each recycling system areas.

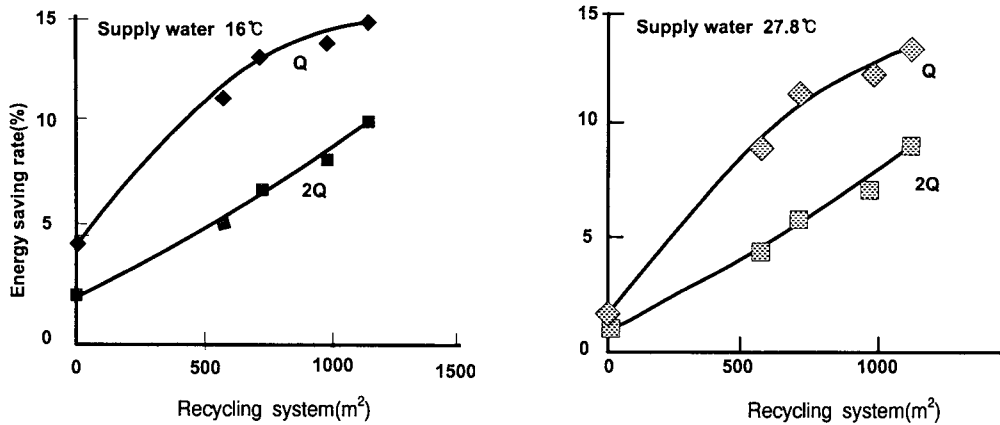


Fig. 10. Energy saving rates according to total recycling system areas.

## 6. 결론

빗물 활용 시스템은 빗물 집수 시스템, 빗물저장탱크, 빗물 이용시스템 등으로 구성되어 있다. 이에 따라 빗물을 잡우수 활용하여 물절약의 효과가 기대된다. 또한, 빗물의 냉각용 열원수로 이용하는 경우에는 환경면에서 현열 부하를 저감할 수 있으며, 시스템운용에 따라 절전의 효과가 기대된다. 따라서, 대상모델에 대한 저장조의 절수, 비상용수, 열원수 등의 다목적 활용에 의한 운용 및 설계에 관한 결과는 다음과 같다.

- 1) 대상모델에서, 빗물저장조의 크기에 따른 각각의 이용율에 의하면, 적정한 빗물저장조의 용적은 200m<sup>3</sup>이었으며, 그 이상으로 빗물 저장조 크기가 증가하더라도 그다지 효과가 없음을 알 수 있다. 한편, 재생시스템이 존재하는 경우에는 공기열원 운전에 비해 11% 정도의 에너지절약 효과를 확인할 수 있었다.
- 2) 빗물 저장조의 각 운용방법에 따른 에너지 절약량 및 절수량의 예측 결과, 기준 수면이 된 경우에 보급수를 공급하는 방법과 야간 운전 전에 저장조를 최고 수위로 공급하는 방법의 비교에서 전력 절약량 및 절수량이 trade-off 관계가 있음을 알 수 있었다. 기상예측에 의한 빗물저장조의 운용방법이 절전 면에서 보면 최적의 운전방법으로 판단된다. 단, 강우 예측에 따라 절수 및 절전 효율이 변화가 있을 수 있으므로 강우에 대한 확률적인 평가가 필요하다.
- 3) 빗물시스템의 최적 설계를 위하여 대상모델에 대한 열부하 변화 및 재생시스템의 재원을 달리하여 절전량을 기준으로 최적성을 고찰한 결과, 보급수를 16°C로 한 경우, 대상모델에서의 절전 비율은 약 15%이고, 재생시스템에서의 최대 온

도는 약 34°C였다. 재생시스템으로 실개천과 연못 가운데 어느쪽이 유리한가를 판단한 결과, 실개천과 연못의 역할에서 본질적으로 큰 차이가 나타나지 않았으며, 이는 실용상으로 각각의 전열은 거의 동일한 것으로 판단된다.

- 4) 대상모델의 재생시스템이 처리할 수 있는 열 부하를 알아보기 위하여, 처리하고자 하는 열 부하를 재생시스템의 합계 면적에 따라 절전량의 비를 표시한 결과, 현재 대상모델에서의 처리 열 부하는 325kW 정도가 적당한 것으로 생각되었으며, 다목적 빗물 저장조 설계시 열부하와 재생시스템의 적절성에 대한 판단 근거로 활용할 수 있다.

## 기호설명

$C$	: 비열	[J/(kg · °C)]
$\rho$	: 밀도	[kg/m <sup>3</sup> ]
$d$	: 수심	[m]
$\theta_w$	: 수온	[°C]
$t$	: 시간	[s]
$u$	: 유속	[m/s]
$Q_s$	: 수면열수지량	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_b$	: 바닥면 전열량	[W/m <sup>2</sup> ]
$a$	: 일사반사율	[-]
$I$	: 수평면전일사량	[W/m <sup>2</sup> ]
$R_2$	: 천구에서의 장파장방사	[W/m <sup>2</sup> ]
$\epsilon$	: 수면사출율	[-]
$\sigma$	: 스테판볼츠만 정수	[W/(m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> )]
$h_a$	: 수면에서의 열전달율	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$\theta_a$	: 외기온	[°C]
$e_w$	: 포화수증기압력	[hpa]
$e_a$	: 공기중의 수증기압력	[hpa]
$h$	: 바닥에서 연전달율	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$\theta_e$	: 지중온도	[°C]

## 정 용 현

$a_e$ : 토양의 열확산계수	[m <sup>2</sup> /s]	$Q_r$ : 빗물집수량	[m <sup>3</sup> /s]
$z$ : 수직방향좌표	[m]	$n$ : 빗물저장조의 분할수	[-]
$k_e$ : 토양의 열전도율	[W/(m·K)]	$\theta_r$ : 빗물온도	[°C]
$Q_w$ : 유량	[m <sup>3</sup> /s]	$Q_{use}$ : 수사용량	[m <sup>3</sup> /s]
$V$ : 체적	[m <sup>3</sup> ]	$A$ : 관내면적	[m <sup>2</sup> ]
$\theta_i$ : 유입온도	[°C]	$G_w$ : 질량유량	[kg/s]
$\theta$ : 유출온도	[°C]	$S$ : 관의 내면길이	[m]
$H_t$ : 물에 작용하는 전열수지량	[W/m <sup>2</sup> ]	$h_p$ : 관의 열전달율	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$V_t$ : t시간에서의 빗물저장조의 체적	[m <sup>3</sup> ]	$\theta_p$ : 관속의 온도	[°C]
$\theta_t$ : t시간에서의 빗물저장조의 수온	[°C]	$a_p$ : 관의 열확산계수	[m <sup>2</sup> /s]
$\theta_{in}$ : 빗물저장조에 유입온도	[°C]	$k_p$ : 관의 열전도율	[W/(m·K)]

## 참 고 문 헌

- 1) 環境廳, 2000, 日本環境百書.
- 2) 水野稔, 1997, 都市基盤システムの統合に関する研究, 文部省科學研究基盤研究, 4-11.
- 3) 西村愼司, 1998, 雨水利用を考慮した調整池計畫, 17(14), 57-61.
- 4) 給排水衛生設備委員會, 1998, 雑用水の用度擴大, 空氣調和・衛生工學會シンポジウム.
- 5) 町田秀, 1996, 火災時における行政の水對策, 建設設備士.
- 6) 空氣調和・衛生工學會, 1987, 雨水利用マニュアル.
- 7) 김갑수, 김영란, 박배경, 이상희, 이익주, 김호섭, 1998, 우수저류 침투시설에 의한 도시 홍수발생량 저감에 관한 연구, 대한환경공학회, 98년도 추계학술대회 논문초록집, 7-8.
- 8) 鄭用賢, 水野 稔, 1997, 雨水貯留水の熱的活用システムに関する研究, 空氣調和・衛生工學會論文集, 66, 35-44.
- 9) 新井正, 西澤利榮, 1974, 水溫論, 共立出版, 27-45.
- 10) 空氣調和・衛生工學會蓄熱システム研究委員會, 1981, 空氣調和・衛生工學會蓄熱システム研究委員會報告書, 7-16.
- 11) 佐渡公明, 1983, 河川水の熱收支に関する基礎的研究, 土木學會論文報告集, 330, 69-79.
- 12) 國立天文臺, 1999, 理科年表.
- 13) 金地孝行, 水野稔, 中村安弘, 龜谷茂樹, 下田吉之, 百瀨敏成, 1994, 都市未利用エネルギー活用可能性評價のため熱源器機性能モデルの検討, 空氣調和・衛生工學會近畿支部研究會論文集, 47-50.