

## 우수이용 시스템의 설계기법

### Design Technique of Rainwater Utilizing System

전 인 배\* / 송 시 훈\*\* / 지 흥 기\*\*\* / 이 순 탁\*\*\*\*  
Jun, In Bae / Song, Si Hoon / Jee, Hong Kee / Lee, Soontak

#### Abstract

The purpose of this study is to improve inefficient use of rainwater in island area where it uses rainwater to supply the domestic water and to propose rainwater utilizing system that is most appropriate to the characteristics of precipitation in Korea. To accomplish these purposes, Cheju island was chosen as a study area and the design for the roof area and tank size of rainwater utilizing system was based on the result of the relationship between the actual precipitation and domestic water data which was used in the analysis by run theory to use run theory.

Since the result of the analysis indicated that the designed rainwater catchment system was operated stably in Cheju island, the same result is expected in other island too. Therefore, if this system is executed together with the roof rehabilitation work of island area, it will bring positive effects on both the improvement of residential environment and the security of domestic water.

*keywords* : rainwater, rainwater utilizing system, run theory, roof area, tank size

#### 요 지

본 연구는 우수를 생활용수로 활용하고 있는 도서지역의 재래적인 우수이용방법을 개선하고 안정적으로 생활용수를 공급할 수 있는 우수이용 시스템을 개발하는데 연구의 목적이 있다. 이를 위하여 연구의 대상지역으로는 제주도 지역을 선정하고 실제 강우 및 생활용수의 관계를 run이론을 이용하여 규명하고 그 결과를 우수이용 시스템의 집수면적과 탱크크기를 설계하는 기법을 제시하였다.

실제에 적용해 본 결과, 설계된 우수이용 시스템이 제주도지역에서 안정적으로 운영이 되는 것으로 나타났으며, 이는 제주도 뿐만 아니라 다른 도서지역에서도 본 시스템의 적용이 가능한 것으로 판단되었다. 따라서 본 시스템을 도서지역의 지방개발사업과 연계시켜 시행할 때, 도서지역의 주거환경개선과 용수확보를 병행할 수 있는 효과가 기대된다.

**핵심용어** : 우수, 우수이용 시스템, run 이론, 생활용수, 집수면적, 탱크크기

- 
- \* (주) 인영엔지니어링 수자원부  
Inyoung Engineering Co., 1048-2 Hogye-Dong, Anyang 431-080, Korea  
(Email : fulnbada21c@yahoo.co.kr)
  - \*\* 영남대학교 대학원 토목공학과 박사과정  
Doctorial Candidate Dept. of Civil Engineering, Yeungnam University  
(Email : p9824101@chunma.yu.ac.kr)
  - \*\*\* 영남대학교 토목도시환경공학부 교수  
Professor, School of Civil, Urban and Environmental Engr., Yeungnam University  
(Email : hkjee@yu.ac.kr)
  - \*\*\*\* 영남대학교 토목도시환경공학부 교수  
Professor, School of Civil, Urban and Environmental Engr., Yeungnam University  
(Email : leest@yu.ac.kr)

# 1. 서론

우리나라의 남서해에 위치한 제주도, 우도, 추자도, 홍도 등과 같이 하천이 발달되지 않고 지하수의 취수가 불가능할 뿐만 아니라 저수지 건설이 불가능한 도서지역에서는 오래 전부터 주로 우수를 생활용수로 이용하고 있다. 그러나 우수의 생활용수 이용방법에 대한 연구가 아직까지도 미흡하고 표준화되어 있지 않아서 지금까지의 영세한 우수이용방법을 개선하여 우수를 합리적이고 효율적으로 이용할 수 있는 새로운 기법과 시스템의 개발이 시급한 실정이다.

미국에서는 일찍이 지붕에서 물을 받아 탱크에 저류시킨 우수를 음용수가 아닌 다용도로 가정에서 사용해 왔으며, 공공건물에서 집수한 우수를 소방용수로 이용하기 위해 공공의 탱크를 건설하자는 법률이 New York시에서 통과되었고 실제로 1817년까지 New York시에서는 이러한 용도의 탱크 40여 개를 건설한 바 있다. 특히 Hawaii에서 우수집수 시스템은 일찍이 실용화가 되기 시작하여 지금까지도 용수공급원으로 이용하고 있다. Davis와 Yamanaga(1968)는 Hawaii, Kona지역에서 지붕으로부터 집수한 우수를 가정이나 축산농가에 공급하여 생활용수나 축산용수로 사용하고 있다고 소개한 바 있다. Wentworth(1959)는 평균강우량, 강우량의 변동, 가족의 규모 그리고 1인당 사용수량 사이의 상관관계를 통해서 집수면적과 저류탱크의 크기를 결정하는 설계방법을 제시하였고, Chin(1965)은 Hawaii, Kona의 Hualoa 근처에서 아스팔트 노면을 집수판으로 사용하는 실험결과를 발표한 바 있다. 그러나 많은 곳에서 중소규모의 용수공급 시스템이 증가되는 용수요를 충족시키기에는 빈번하게 재현되는 가뭄으로 인해서 많은 어려움을 겪고 있어, 최근 우수이용 시스템은 새로운 대체수자원의 확보수단으로 많은

관심을 가지게 되었다. 그래서 Fok(1979, 1980) 등은 도시화된 지역에서 중앙집중형인 소규모의 공공 용수공급 시스템을 연구하여 이를 보급해왔다.

국내에서는 지금까지 이 분야에 관한 특별한 연구성과 없이 도서지역 등에서 극히 제한적이고 재래적인 방법으로 비과학적이고 영세한 형태로 이용되어 왔으나, 최근에 지흥기, 전인배(1999, 2000, 2001) 등에 의해서 이 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 우수이용 시스템의 집수면적과 탱크크기를 설계하기 위하여 갈수빈도분석, run 이론, 시계열 분석 등으로 강우와 생활용수량과의 관계를 규명하고 그 결과를 바탕으로 우수이용 시스템의 설계기법을 연구한 바 있으며, Bayes-Markov 기법을 이용하여 생활용수 및 강우량의 발생패턴을 분석하여 우수이용 시스템의 운영에 대한 안정성을 분석한 바 있다.

건기와 우기의 구분이 뚜렷한 우리나라의 기후현실에서 우기에는 강우를 저류시키고 건기에는 이미 확보된 용수를 활용할 수 있는 우수이용 시스템이 우리나라 실정에 맞는 유력한 대체 수자원으로서 개발의 필요성이 증대되고 있다. 따라서 본 논문에서는 먼저 수량적인 측면에서 우수이용 시스템의 운영에 큰 영향을 미치는 저류탱크(storage tank)의 크기와 집수면적(catchment area)을 결정하여 우리나라 실정에 맞는 최적의 안정적용수공급 시스템을 설계할 수 있는 기법을 개발하고자 한다.

## 2. Run이론을 이용한 가뭄해석 이론

최적의 우수이용 시스템을 설계하기 위해서는 강우량과 생활용수량의 관계 규명이 선행되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 run 이론을 이용하여 가뭄지수를 산정하고 이로 부터 갈수기의 물부족기간 및 부족량을 검토·분석하였다.

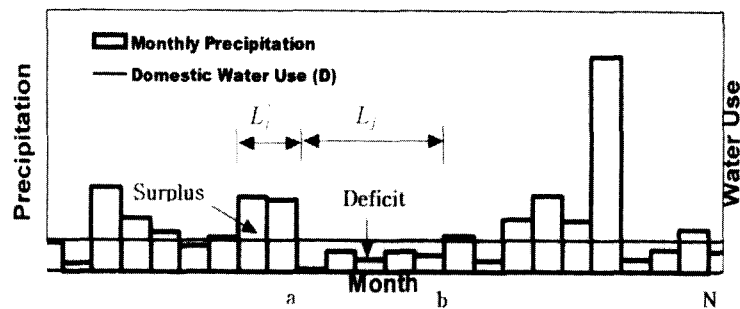


그림 1. Run-Length와 Run-Sum의 개념

## 2.1 Run 이론

지홍기와 이순탁(1977)은 우리나라의 일수문량을 대상으로 run-length와 run-sum의 특성을 연구한 바 있으며, 그 개념도는 그림 1과 같다. 여기서, 강우가 임의의 기간동안 일정한 생활용수 수요량(절단수준 ; truncation level) 이하로 내리거나 또는 초과하여 내릴 때, 일정한 생활용수량을 초과하는 강우의 지속기간을 positive run-length( $L_j^+$ )라 하고, 일정한 생활용수량 이하의 강우 지속기간을 negative run-length( $L_j^-$ )라 한다. 계절에 관계없이 연중 동일한 용수수요량을 소비한다고 가정하면  $L_j^+$ 에서 초과발생한 강우량을 positive run-sum( $S_j^+$ )이라 하고  $L_j^-$ 에서 부족이 발생한 강우량을 negative run-sum( $S_j^-$ )이라 한다.

$L_j^-$ 와  $S_j^-$ 를 이용하여 가뭄을 정의하기 위해서는 지속기간(duration), 누적부족량(cumulative deficit), 월평균부족량(average monthly shortage)과 같은 가뭄지수들이 정의되어야 한다. 이 세 가지 가뭄지수들을 run이론에서는  $L_j^-$ ,  $S_j^-$  그리고 negative run-intensity( $I_j^- = S_j^- / L_j^-$ )로 설명할 수 있다.

일반적으로 N개월에서 M개의 negative run이 있다면  $L_j^-$ 의 평균( $\bar{L}_N^-$ ), 표준편차( $L_S$ ), 최대부족량( $\max S_N$ )이고 용수부족이 연속적으로 일어나는 최대 지속기간( $\max L_j^-$ )은 주어진 강우 시계열의 발생특성을 설명하는 중요한 가뭄지수이며, 다음 식 (1a)~(1d)를 이용하여 평균, 표준편차, 최대부족량, 최대지속기간을 구할 수 있다.

$$\bar{L}_N^- = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M L_j^- \quad (1a)$$

$$L_S = \left[ \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (L_j^- - \bar{L}_N^-)^2 \right]^{1/2} \quad (1b)$$

$$\max S_N = \max(S_1, \dots, S_M) \quad (1c)$$

$$\max L_N = \max(L_1, \dots, L_M) \quad (1d)$$

## 2.2 가뭄지수법

지금까지 가뭄지수를 설정하는데 있어서 정상만 신현민(1999) 등은 그 기준은 Palmer 가뭄지수, Phillips 가뭄지수, Rouhani 가뭄지수, Kendall 가뭄지수 및 run 이론에 의한 가뭄지수 등 여러 가지의 가뭄지수를 사용하고 있으나 어떤 방법이 가장 정확하다거나 표준 방법이라는 기준은 아직 설정되어 있지 않다. 하지만 가뭄지수는 가뭄정도의 변화를 충분히 반영할 수 있어야 하고 지나치게 민감하거나 지나치게 둔감하게 반응하지 않아야 한다. 이와 같은 관점에서 볼 때, 목적에 일치되는 적절한 가뭄지수 산정방법의 선택이 중요한 변수로 작용하게 된다.

따라서 본 연구에서는 가뭄지수의 산정을 통한 용수 부족기간의 결정은 강우부족이 아닌 용수공급의 부족에 초점을 맞추어 분석하였으며, 이 때의 용수공급의 부족은 강우보다 용수 수요 및 공급의 관계에 더욱 민감하게 영향을 받게 된다. 그러므로 절단수준을 취하여 공급량과의 관계를 파악하여 용수부족량과 negative run-intensity 등의 가뭄심도를 산정하는 run 이론에 의한 산정 방법이 적합하다고 판단된다.

## 3. 우수이용 시스템의 구성

우수이용 시스템은 그림 2와 같이 강우를 집수하는 집수 시스템(catchment system), 집수된 우수를 저장하는 저류 시스템(storage system) 그리고 저류된 우수를 가정으로 보내주는 공급 시스템(supply system)

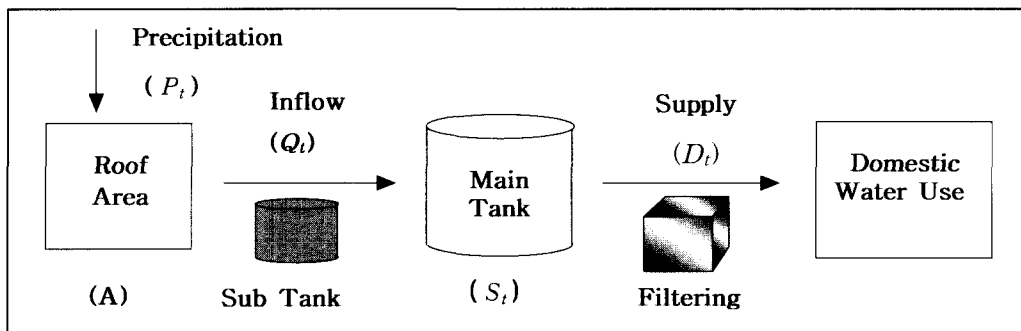


그림 2. 우수이용 시스템

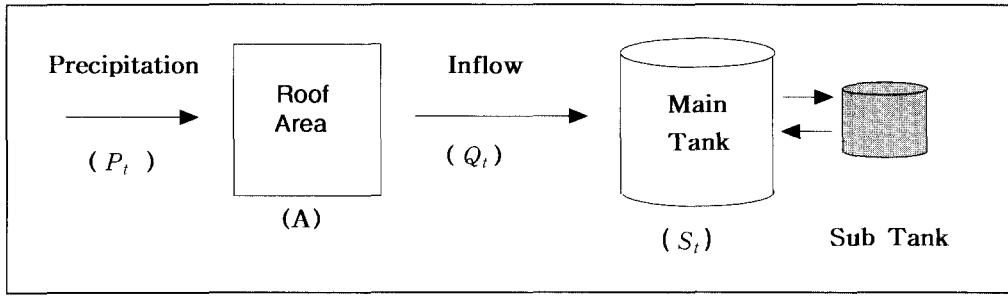


그림 3. 우수저류 시스템

으로 구분하였다.

우수이용 시스템은 주탱크와 부탱크로 구분하고 우수를 각 가정의 지붕을 이용하여 집수한 물은 저류탱크에 저류하여 가정용수로 활용할 수 있게 만든 시스템이다. 그러나 초기 강우가 지붕을 통하여 유입될 때 발생하는 오염물을 분리·저류시키기 위하여 부탱크(sub tank)를 설치하고 잡용수로 이용할 수 있게 하였으며, 저류 시스템에서 공급 시스템으로 용수를 공급하기 전에는 여과기(filter)를 설치하여 깨끗한 용수를 공급할 수 있게 구성하였다.

### 3.1 우수집수 시스템

집수면에 의해서 집수된 우수의 양은 집수면의 크기나 재료의 재질에 의해 변화하게 된다. 이 때 집수면적 A는 집수면이 바닥에 투영된 면적으로 나타낸다. 따라서 집수면(A)으로부터 임의의 t월에 얻어지는 유입량  $Qt(m^3/month)$ 는 강우에 의해서 집수면으로부터 저류탱크로 임의의 t월에 유입할 수 있는 유출량을 나타내고 있으며, 이 때 집수면적  $A(m^2)$ , t월의 강우량  $P_t(mm/month)$  및 유출계수 C를 곱해서 식(2a)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_t = KCAP_t \quad (2a)$$

여기서, K는 단위 환산계수이고 C는 우수가 집수면의 재질, 증발 등에 의해서 발생하는 손실을 고려한 유출계수로서 지붕은 일반적으로 0.75를 취하고 있다.

### 3.2 우수저류 시스템

우수이용 시스템은 그림 3과 같이 구성되고, 이 시스템의 설계에서 저류탱크의 크기는 용수공급 능력에 가장 큰 영향을 미친다. 결국 이 시스템의 효율을 극대화시키기 위해서는 저류탱크에 대한 최적의 크기 그리고 배치장소를 선정해야 한다. 효율을 최대화할 수 있는 배치장소는 유입지점과 공급지점에서 가장 가까운 곳에 위치해야 하고 높은 위치에 설치하여 펌프 등의 이용을 최소화해야 한다.

만약 탱크의 크기 V가 일정하고 원통형 저류탱크의 설계에서 최적의 규격을 만들기 위하여 표면적을 A, 탱크의 높이를 H, 탱크의 직경을 D라고 한다면 탱크의 크기를 식(2b)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad (2b)$$

위의 식(2b)와 같은 원통형 저류 시스템에서 저류탱크의 구조가 최적의 규격이 될 수 있는 경우는 직경과

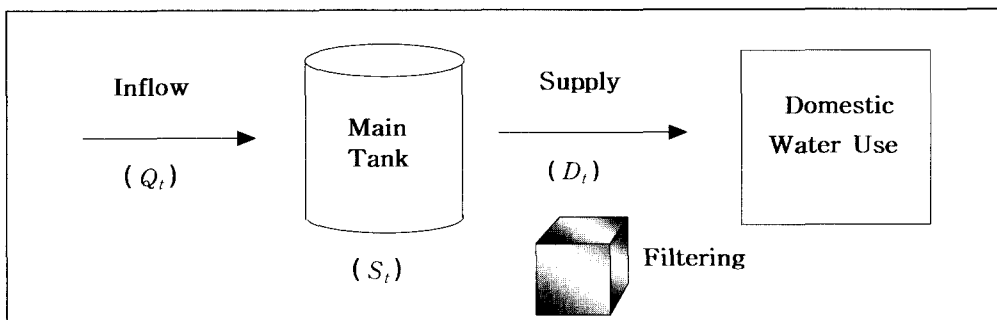


그림 4. 우수공급 시스템

높이가 동일한 경우이다.

### 3.3 우수공급 시스템

우수공급 시스템은 그림 4와 같이 저류된 우수를 가정에서 생활용수로 활용할 수 있게 공급하는 시스템이다. 우수집수탱크에서 저류량의 시간에 따른 변화를 파악하기 위해 집수면(A)으로부터 임의의 t월에 얻어지는 유입량  $Q_t(m^3/month)$ 와 t월의 최초 저류량  $S_{t-1}(m^3)$ 을 합하여 t월에 유입된 총유입량을 구하고 t월 30일 동안의 우수 수요량  $D_t(m^3/month)$ 의 차를 구함으로써 t월말에 남은 탱크의 저류량  $S_t(m^3)$ 를 식(2c)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$S_t = \min [ \max [ (S_{t-1} + Q_t - D_t), 0 ], T ] \quad (2c)$$

## 4. 우수이용 시스템의 적용 및 설계

### 4.1 적용지역 및 생활용수 패턴 결정

본 연구의 대상지역은 도서지역인 제주도를 선택하였으며, 이 지역은 인근에 8개의 유인도가 있어서 본 시스템의 도입이 매우 절실하고 강우 및 용수의 기초자료가 비교적 풍부한 지역이다.

한편 이 지역의 강우자료는 제주측후소에서 1973년 1월부터 2000년 12월까지의 28년간 관측된 월강우량 및 일강우량을 이용토록 하였다. 그리고 표 1은 제주에서 조사된 생활용수의 월별 변동지수를 나타내고 있으며, 생활용수의 수요량이 가장 많은 달은 7, 8월이고 가장 적은 달은 1, 2월로서  $\pm 5\sim 6\%$ 의 변동성을 가지고 있는 것으로 조사되었다.

그러나 관개용수 등은 계절적으로 수요가 큰 반면에 생활용수 및 공업용수 등은 연중 일정한 양의 안정된 우수공급을 필요로 하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 월별 변동율만을 고려하고 시간의 변화에 대해서는 일정하다고 가정하였다.

### 4.2 Run이론에 의한 용수부족기간의 결정

제주측후소에서 관측된 전기한 월강우자료를 이용하여 집수면적(100, 200, 300, 400, 500 $m^2$ )별로 집수면

에서 유입되는 월유입량을 환산하고 이 값으로부터 유입량 시계열 자료를 만들었다. 그리고 가구당 일평균 용수량(100, 200, 300, 400, 500  $\ell/day$ )을 각각 월평균 용수량으로 환산하여 절단수준으로 취하고 이로부터 run이론에 의한 가뭄지수를 결정하였다.

$L_j^-$ 는 용수부족 지속기간(month),  $S_j^-$ 는 용수 누적부족량( $m^3$ ),  $I_j^-$ 는 월평균 부족량으로서 누적부족량과 지속기간의 비로 나타내며, 이들 각각의 값은 가뭄지속기간 동안 가뭄의 심도를 나타낸다. 그리고  $\max L_j^-$ 는 용수부족이 연속적으로 일어나는 최대기간(month)을 나타내고 있으며,  $\max S_j^-$ 는 용수부족이 연속적으로 일어날 경우의 최대 부족량( $m^3$ )을 나타내고 있다.

따라서 표 2는 run 이론을 이용하여 산정한 제주도의 가뭄지수를 나타낸 결과이며, 표 2에서 산정한 가뭄지수는  $L_j^-$ ,  $S_j^-$ ,  $I_j^-$ ,  $\max L_j^-$  및  $\max S_j^-$ 가 있다. 그러므로 본 시스템의 집수면적과 탱크를 설계할 경우에는 시계열자료에서 가장 가뭄이 심각한 시기 및 심도를 정량적으로 판단할 수 있는 가뭄지수인  $\max L_j^-$ 와  $\max S_j^-$ 를 설계에 이용하였다.

이러한 가뭄지수의 변동경향은 용수량과 집수면적의 변화에 대하여 동일하게 반응을 하며, 용수량의 증가에 비례하고 집수면적의 증가에 반비례하는 일반적인 특징을 가지고 있다.

한편 가뭄지수는 집수면적이 작은 시스템일수록 용수량의 증가에 따라 큰 폭으로 상승하고 집수면적이 큰 시스템일수록 용수량의 증가에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 따라서 용수량 증가에 따른 집수면적별 가뭄지수는 큰 편차를 나타내는 것으로 분석되었으며, 용수량이 큰 시스템일수록 집수면적의 감소에 따른 가뭄지수가 큰 폭으로 상승하고 용수량이 작은 시스템일수록 집수면적의 감소에 큰 영향을 받지 않는 경향을 나타내고 있다. 즉, 집수면적의 감소에 따라 용수량별 가뭄지수는 크게 변화하는 것으로 분석되었다. 그리고 가뭄의 시기 및 심도는 가뭄지속기간과 용수부족량에 의해서 판단하게 되지만 가뭄의 피해는 용수부족량보다 가뭄지기간에 의해서 더 큰 영향을 받게 된다.

표 1. 제주도 지역의 월별 생활용수 변동지수

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
변동지수	97	96	97	99	100	102	105	106	103	100	98	97

표 2. Run 이론에 의한 제주지역의 가뭄지수

집수 면적 (m <sup>2</sup> )	용수량 (// day)		100	200	300	400	500
	가 뭄 지 수						
100	L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	58	137	206	242	271
	S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	85.7	829.3	2,771.8	6,359.5	1,269.9
	I <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> /month)	1.48	6.05	13.46	26.28	46.85
	max L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	4	8	10	10	21
	max S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	4.1	23.3	47.9	74.9	167.2
200	L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	16	58	95	137	179
	S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	17.2	171.5	590.9	1,658.5	3,372.8
	I <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> /month)	1.08	2.95	6.22	12.11	18.84
	max L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	2	4	5	8	8
	max S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	2.2	8.1	24.4	46.6	70.6
300	L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	7	29	58	88	109
	S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	7.3	70.2	257.2	652.3	1,313.8
	I <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> /month)	1.0	2.4	4.4	7.4	12.1
	max L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	1	2	4	5	6
	max S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	1.8	5.5	12.2	29.2	45.5
400	L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	5	16	38	58	83
	S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	4.3	34.5	138.1	342.9	679.1
	I <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> /month)	0.86	2.16	3.63	5.91	8.18
	max L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	1	2	3	4	4
	max S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	1.5	4.5	9.3	16.2	25.2
500	L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	3	10	23	40	58
	S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	2.1	21.0	81.9	209.9	428.7
	I <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> /month)	0.71	2.10	3.56	5.25	7.39
	max L <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(month)	1	1	2	3	4
	max S <sub>j</sub> <sup>-</sup>	(m <sup>3</sup> )	1.0	4.1	7.1	13.1	20.3

표 3. Run 이론에 의해서 분석된 용수부족 기간

용수부족 개월수 (개월)	부 족 기 간 (년 월)	용수부족 개월수 (개월)	부 족 기 간 (년 월)
1	1997. 10	11	1988. 8 - 1989. 6
2	1988. 10 - 1988. 11	21	1996. 7 - 1998. 3
3	1988. 10 - 1988. 12	23	1996. 7 - 1998. 5
4	1995. 11 - 1996. 2	45	1974. 9 - 1978. 5
5	1987. 9 - 1988. 1	49	1974. 8 - 1978. 8
6	1987. 9 - 1988. 2	59	1974. 8 - 1979. 6
8	1999. 10 - 2000. 5	71	1987. 9 - 1993. 7
10	1982. 9 - 1983. 6		

따라서 본 연구에서는  $\max L_j^-$ 가 발생하는 기간과  $\max S_j^-$ 가 발생하는 기간을 비교분석하였으며, 그 결과  $\max S_j^-$ 가 발생하는 용수부족 기간과  $\max L_j^-$ 에서  $\max S_j^-$ 와 동일한 용수부족 개월 수의 용수부족 기간이 일치하는 것으로 분석되었다. 표 3은  $\max L_j^-$ 와  $\max S_j^-$ 의 값에 따라 결정한 용수부족 기간을 나타내고 있으며, 제주도는 1987, 1988, 1995, 1997년말에 각각 생활용수 부족이 크게 발생했음을 알 수 있었다. 특정 집수면적과 용수량의 관계에서 시스템을 운영할 경우에 발생하는 용수 부족기간인  $\max L_j^-$ 의 일강우 자료를 우수이용 시스템의 설계를 위한 모의에 사용하였다.

#### 4.3 우수이용 시스템의 최적설계기법

우수이용 시스템의 최적설계는 제주도 뿐만 아니라 일반 도서지역에서도 강우자료에 의해서 기존의 지붕면적에 대한 최적의 탱크크기를 결정할 수 있어야 하며, 이 때 우수이용 시스템을 설계하는 순서는 그림 5와 같다.

첫째, 본 시스템의 모형화는 run이론을 이용하여 용수부족기간을 결정하는 프로그램이 필요하다. 용수부족기간을 결정하기 위해서는 특정 집수면적과 용수량에 대하여 그 지역의 일강우 자료를 모의하여  $L_j^-$ ,  $S_j^-$ ,  $I_j^-$ ,  $\max L_j^-$  및  $\max S_j^-$  등의 가뭄지수를 산정하고  $\max L_j^-$ 과  $\max S_j^-$ 가 발생한 기간을 용수부족

기간으로 결정한다.

둘째, 우수이용 시스템을 모형화하기 위하여 기존의 지붕에 대한 집수면적과 일평균 생활용수량으로부터 탱크의 크기를 가정한다.

셋째, run이론에 의해서 결정한 용수부족기간의 강우자료를 이용하여 집수면적에서의 유입량을 추정하고 그 결과를 본 시스템에 직접 적용하여 탱크의 저류량 변화를 분석한다.

넷째, 초기에 가정한 탱크 크기가 본 시스템을 안정적으로 운영할 수 있는지, 탱크의 저류량 변화를 파악하여 불만족스러운 경우에는 크기를 단계적으로 조정하여 다시 시스템의 운영을 시뮬레이션한다. 이러한 반복된 과정에서 최초로 안정적인 시스템의 운영이 가능하게 될 때에 비로소 집수면적 및 최적 탱크크기를 결정한다.

#### 4.4 우수이용 시스템의 설계결과 비교

집수면적의 크기에 따른 유출량과 일평균 용수량과의 관계로부터 run이론을 이용하여 표 3과 같이 최대 가뭄지속기간을 결정하고 그 결과를 시뮬레이션하여 집수면적별 최적의 탱크크기를 결정하였다. 그림 6 및 그림 7은 용수량(100, 200, 300, 400 및 500( $\ell$ /day/household))의 규모에 따른 집수면적과 탱크크기를 나타내고 있다.

여기서, 그림 6은 가구별로 일평균 용수량이 100, 200 $\ell$ 일 경우에 집수면적의 크기에 따른 탱크크기를

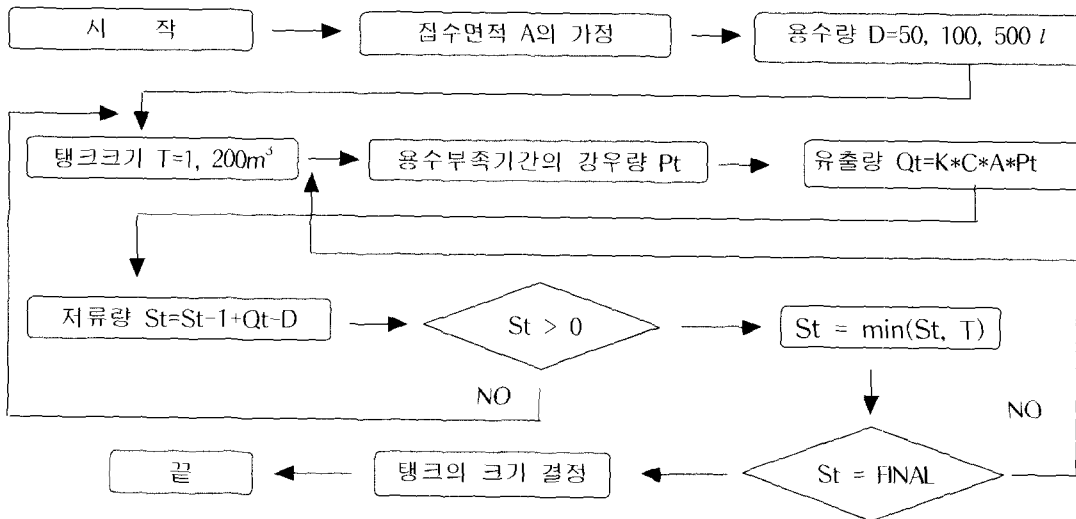


그림 5. 우수이용 시스템 모형의 설계순서도

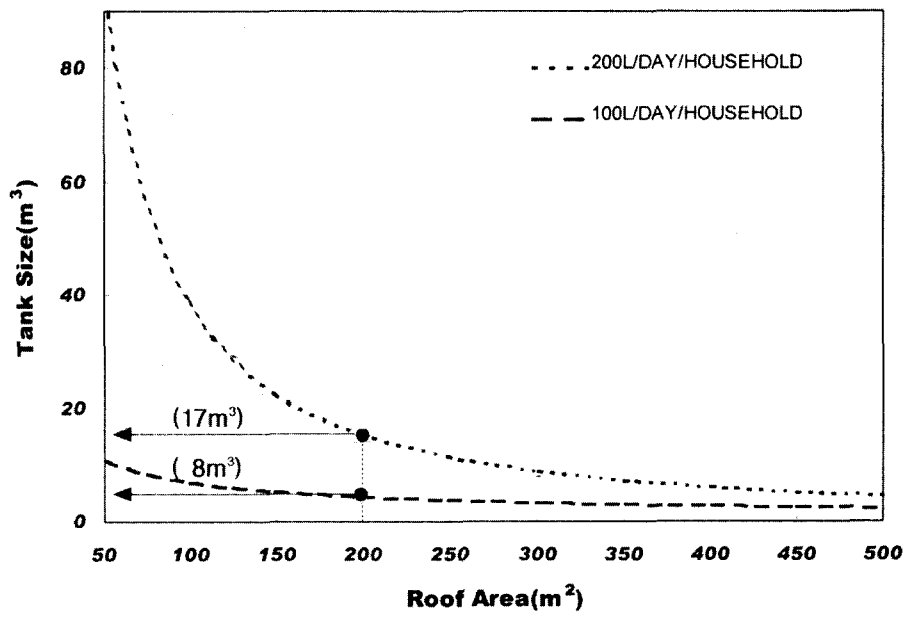


그림 6. 우수이용 시스템의 설계(용수량 100, 200 //day/household)

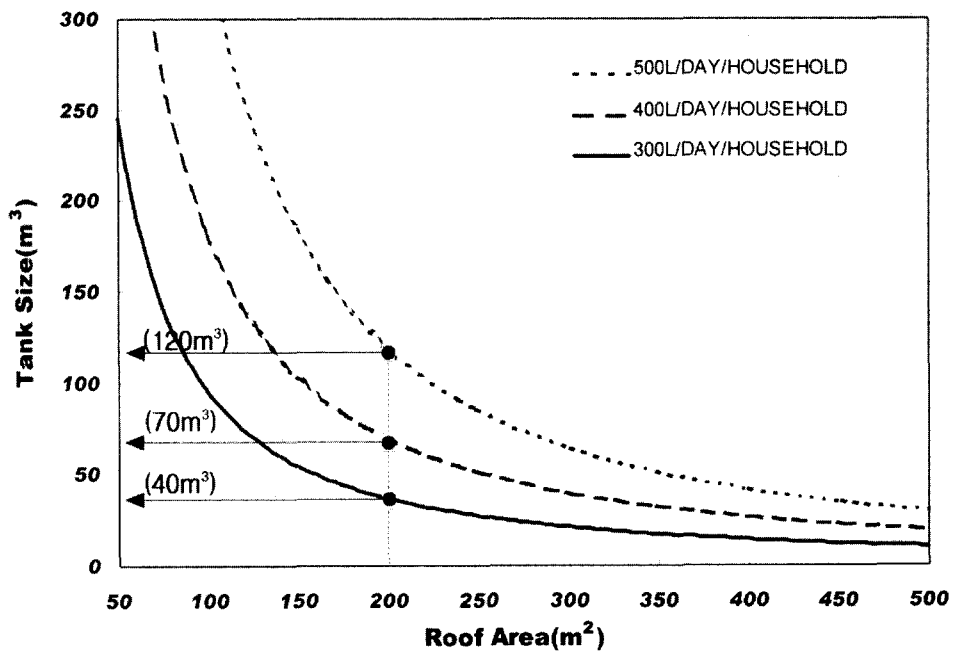


그림 7. 우수이용 시스템의 설계(용수량 300, 400, 500 //day/household)



나타내고 있으며, 그림 7는 일평균 용수량이 300, 400, 500 ℓ인 경우의 집수면적에 따른 탱크크기를 나타내고 있다. 이들 그림에서 집수면적 200m<sup>2</sup>인 가구의 경우 가구당 일평균 용수량이 100, 200, 300, 400, 500 ℓ로 변화에 따라 용수를 안정적으로 공급하기 위한 최적의 탱크크기는 각각 8, 17, 40, 70, 120m<sup>3</sup>인 것으로 나타났다. 집수면적이 300m<sup>2</sup>인 가구에서 가구당 일평균 용수량이 100, 200, 300, 400, 500 ℓ인 경우에는 최적의 탱크크기가 각각 6, 12, 24, 55, 70m<sup>3</sup>인 것으로 나타났다.

따라서 용수량의 변화에 따른 집수면적과 탱크크기의 관계는 4.2절에서 언급한 바와 같이 가뭄지수가 집수면적이 일정할 경우 용수량의 증가에 비례하고, 용수량이 일정할 경우에는 집수면적의 감소에 비례한다고 분석한 결과와 동일한 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 제주지역의 강우량 자료와 세대별 생활용수량 자료를 이용하여 이 지역의 생활용수를 안정적으로 공급할 수 있는 최적의 우수이용 시스템을 설계하는 기법을 제시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 우수이용 시스템의 중요한 4가지 설계변수에는 강우량, 생활용수량, 탱크크기 그리고 집수면적이 있으며, 이들 변수 중에서 불확실성을 내포하고 있는 강우량의 발생특성을 run이론으로 분석하고 이로부터 제주지역의 가뭄지수를 추정하였다.
- 2) 추정된 가뭄지수는 집수면적이 일정할 경우 용수량의 증가에 비례하고, 용수량이 일정할 경우에는 집수면적의 감소에 비례하는 특성을 가지고 있으며, 산정된 가뭄지수 중에서  $\max L_j^-$ ,  $\max S_j^-$ 가 발생한 기간을 용수부족기간으로 결정할 수 있었으며, 이로부터 기존의 집수면적에 대한 최적의 탱크크기를 설계할 수 있었다.
- 3) 최적 탱크크기와 집수면적의 관계곡선은 가뭄지수의 경향성과 동일하며 제주도 지역의 경우 기존의 지붕면적과 용수량 자료를 이용하여 제주지역에 적용할 수 있는 지붕면적-저류탱크의 상관곡선을 유도하였으며, 이 관계곡선으로부터 최적의 탱크크기를 결정할 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 우수이용 시스템은 도서지역의 지붕계량사업과 연계시켜 시행할 때 도서지역의

주거환경개선과 용수확보를 병행할 수 있는 효과가 기대되며, 앞으로 우수이용 시스템의 안정적인 운영과 내한능력을 제고시킬 수 있는 시스템의 운영기법 등에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2001년도 농림기술개발사업의 자유공모과제 연구비에 의하여 지원되었으며, 지원당국에 깊이 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 지흥기, 이순탁(1977), "일수분량의 Run-Length 및 Run-Sum의 Simulation", 한국수문학회지, 한국수문학회, 제10권, 제1호, pp. 79-94.
- 전인배, 이증석, 지흥기, 이순탁(1999), "도서지역에서의 우수의 생활용수 이용방안에 관한 연구", 1999년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 185-188.
- 지흥기, 전인배, 송시훈, 이증석(2000), "우수이용 시스템의 적용에 관한 연구", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 861-866
- 지흥기, 김효준, 전인배, 이순탁(2000), "Bayes-Markov 기법에 의한 우수집수탱크의 설계", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.867-872
- 지흥기, 전인배, 송시훈, 이순탁(2000), "우수이용 시스템의 설계", 2000년도 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회
- 지흥기, 전인배, 송시훈, 이순탁(2001), "우수이용 시스템의 설계와 운영", 2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(1), 한국수자원학회, pp. 315-320.
- 정상만, 신현민(1999), "추계학적 방법에 의한 한발의 특성분석", 한국수자원학회 논문집, 제32권, 제2호, 한국수자원학회
- Wentworth, C.K. (1959), "Rainfall, Tanks, Catchment, and Family Use of Water", Rep. R13, Hawaii Water Authority, Honolulu, Hawaii.
- Chin, S.W. (1965), "Water-Supply Potential from an Asphalt-Lined Catchment near Holualoa, Kona, Hawaii", *Water Supply Paper No. 1809-P*, U.S Geological Survey.

- Davis, D.A., Yamanage, G. (1968), "The Water Resources of the Kona area, Hawaii", Department of Land and Natural Resources, State of Hawaii.
- Fok, Y.S., Murabayashi, E.T. and Fong, R.H.L. (1979), "Rainwater Roof-Catchment Cistern System for Residential Water Supply", *In III World Congress on Water Resources Proceedings*.
- Yu-Si Fok, Ronald H.L. Fong, Jack Hung (1980), "Bayes-Markov Analysis for Rain-Catchment Cisterns", Water Resources Research Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Texas Water Development Board in Cooperation with the Center for Maximum Potential Building Systems (1997), "Texas Guide to Rainwater Harvesting".
- (논문번호:01-065/접수:2001.08.21/심사완료:2001.09.17)