

# 우수이용 시스템 시뮬레이션

## Simulation of Rainwater Utilizing Systems

류시광<sup>1)</sup>, 허창환<sup>2)</sup>, 지홍기<sup>3)</sup>, 이순탁<sup>3)</sup>

### 1. 서론

우리나라는 하천수가 총 수자원량의 14%에 불과함에도 불구하고 90%이상 하천수등의 지표수에 의존하고 있는 실정으로 장기간의 가뭄이나 하천의 오염이 발생할 경우에는 용수의 공급이 어렵게 된다. 현재 농어촌 지역에서 강우가 발생하는 시기에 각 가정마다 임의로 항아리나 대형물통 등을 이용하여 우수를 저류시켜 사용하고 있으나 갈수기에는 생활용수 공급에 어려움을 겪고 있어 이에 대한 대체수자원으로서 우수의 생활용수 이용방법, 해수의 담수화 방안 그리고 기존의 상수도 이용방안이 이들 지역의 용수공급의 대안으로 제시되고 있다.

그러나 우리나라의 도서지방 및 농어촌지역에서 상수도 시설의 설치는 지형적인 제약으로 사실상 불가능하고 해수담수화 시설의 설치는 건설비용 및 유지관리비용의 부담이 커서 결과적으로 주민들에게 큰 부담을 주게 될 것으로 예상되고 있다. 그러므로 우수를 용수원으로 활용한 시스템을 개발한다면 저비용으로 지속적인 용수원을 확보할 수 있으며, 용수의 공급과 수요를 한 시스템내에서 해결할 수 있는 효율적인 시스템 개발이 가능할 것으로 기대된다. 그리고 우수이용 시스템은 주로 상수도 보급률이 낮은 농어촌 지역에 설치되어 이 지역의 지붕 개량 및 주거환경개선사업과 연계시킴으로써 경제적인 효과가 기대되며, 용수확보의 효과는 물론 환경개선효과를 병행하게 된다.

따라서 본 연구에서는 시스템 표준화 작업의 일환으로 본 시스템의 시뮬레이션을 통해 자연 상태를 정확하게 구현함으로써 시스템 구성요소 중 수량적인 관점에서의 집수 및 저류기술을 연계한 집수면적과 저류용량을 설계하는 기술을 개발하고자 한다.

### 2. 우수이용 시스템 시뮬레이션의 구성

우수이용 시스템을 그림 1과 같이 강우시 우수를 모으는 집수 시스템, 집수된 우수를 저장하는 저류 시스템, 치수적인 목적으로 잉여 저류수를 자연으로 환원시키는 침투 시스템, 저류된 우수를 가정으로 보내주는 공급 시스템 그리고 활용 시스템으로 구분하였다.

표 1 우수이용 시스템의 시뮬레이션 단계

1 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우발생 패턴과 용수수요에 따른 시스템의 안정성</li> </ul>
2 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우발생 패턴 및 계절별 용수수요에 따른 시뮬레이션</li> </ul>
3 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수량확보를 위한 보조시스템 구축</li> </ul>

- 1) 영남대학교 대학원  
 2) 충주대학교 강사  
 3) 영남대학교 토목도시환경공학부 교수

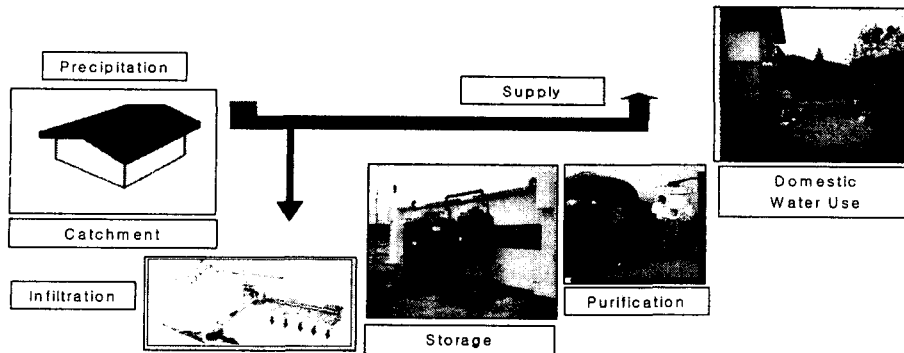


그림 1 우수이용 시스템

그림 1의 우수이용 시스템은 주탱크와 부탱크로 구분하고 우수를 각 가정의 지붕을 이용하여 집수한 유출수는 저류탱크에 저류하여 가정용수로 활용할 수 있게 만든 시스템이다. 그러나 초기 강우가 지붕을 통하여 유입될 때 발생하는 대기 및 집수면의 오염물을 분리·저류시키기 위하여 부탱크(sub tank)를 설치하여 잡용수로 이용할 수 있게 하였으며, 저류 시스템에서 공급 시스템으로 용수를 공급하기 전에는 수처리 장치를 설치하여 용수사용목적과 용수수질기준에 근거한 양질의 용수를 공급할 수 있게 구성하였다.

### 3. 우수이용 시스템 시뮬레이션 모형

#### 3.1 DDP모형

그림 2는 연구대상 지역의 월강우자료를 이용하여 집수면적별로 유출량을 계산하고 이 값으로부터 저류탱크에 유입되는 유입량 시계열 자료를 만들었으며, 가구당 일평균 용수량을 월평균 용수량으로 계산하여 절단수준으로 취하고 이로부터 Run이론에 의한 가뭄지수를 결정하는 과정을 나타내고 있다.

가뭄지수에는 용수부족 지속기간, 용수 누가 부족량, 월평균 부족량 등으로 나타낼 수 있으나 본 시스템의 집수면적과 탱크크기를 설계할 경우에는 시계열 자료에서 가장 가뭄이 심각한 시기 및 심도를 정량적으로 판단할 수 있는 가뭄지수인 최대 용수부족기간과 최대 용수누가 부족량을 설계에 이용하였다.

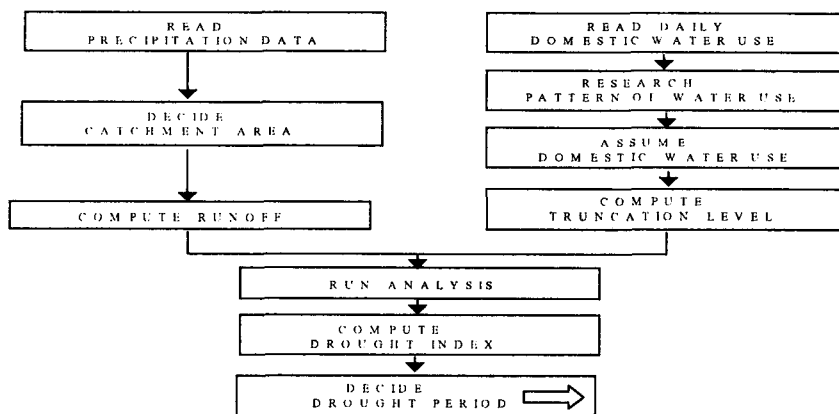


그림 2. DDP 모형을 단순화한 순서도

#### 3.2 DOS모형

그림 3은 최적의 우수이용 시스템을 설계하기 위한 과정을 나타내고 있다. 기존의 지붕에 대한 집수면적과 가구당 1일 생활용수량으로부터 저류탱크의 크기를 가정한다. 그리고 DDP 모형에 의하여 결정한 용수부

즉기간의 강우자료를 이용하여 집수면에서의 유출량을 추정하고 그 결과를 본 시스템에 직접 적용하여 생활 용수량과의 관계에서 저류탱크의 저류량 변화를 분석하였다.

초기에 가정한 탱크의 크기가 본 시스템을 안정적으로 운영할 수 있는지에 대하여 탱크의 저류량 변화를 파악하여 저류량이 한번이라도 0이 되는 불만족스러운 경우가 발생하면 탱크의 크기를 단계적으로 조정하여 다시 본 시스템을 모의하였다. 이러한 반복된 과정에서 최초로 탱크저류량이 0인 경우가 발생하지 않는 안정적인 시스템의 운영이 가능하게 될 때의 탱크크기를 집수면적에 대한 최적의 탱크크기로 결정하였다.

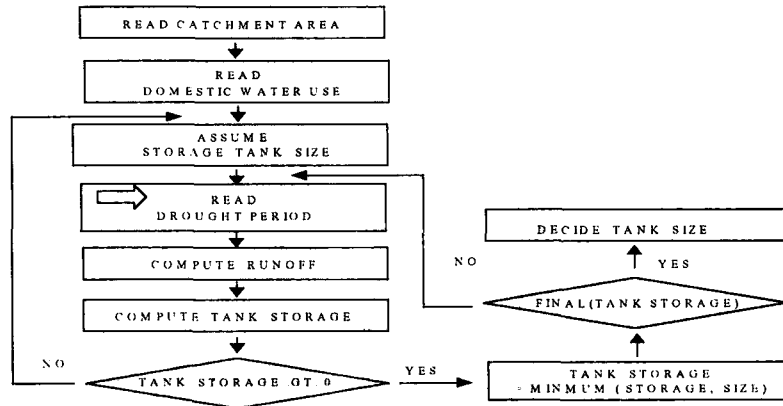


그림 3. DOS 모형을 단순화한 순서도

#### 4. 우수이용 시뮬레이션 모형의 적용

본 연구의 대상지역은 제주도 지역을 선택하여 적용함으로써 이 지역은 본 시스템의 도입이 매우 절실하고 강우 및 용수의 기초자료가 비교적 풍부한 지역이다.

##### 4.1 DDP모형을 이용한 용수부족기간의 결정

제주도 지역의 월강우자료를 이용하여 집수면적(100, 200, 300, 400, 500m<sup>2</sup>)별로 집수면에서 유입되는 월유입량을 환산하고 가구별 일평균 용수량(100, 200, 300, 400, 500ℓ/day)을 월평균 용수량으로 환산하여 절단수준으로 취하고 이로부터 Run이론에 의한 가뭄지수를 결정하였다. 제주도지역은 1987, 1988, 1995, 1997년말에 각각 생활용수 부족이 크게 발생했하였으며, 특정 집수면적과 용수량의 관계에서 시스템을 운영할 경우에 발생하는 용수 부족기간인  $\max L_r$ 의 일강우 자료를 우수이용 시스템의 설계를 위한 모의에 사용하였다

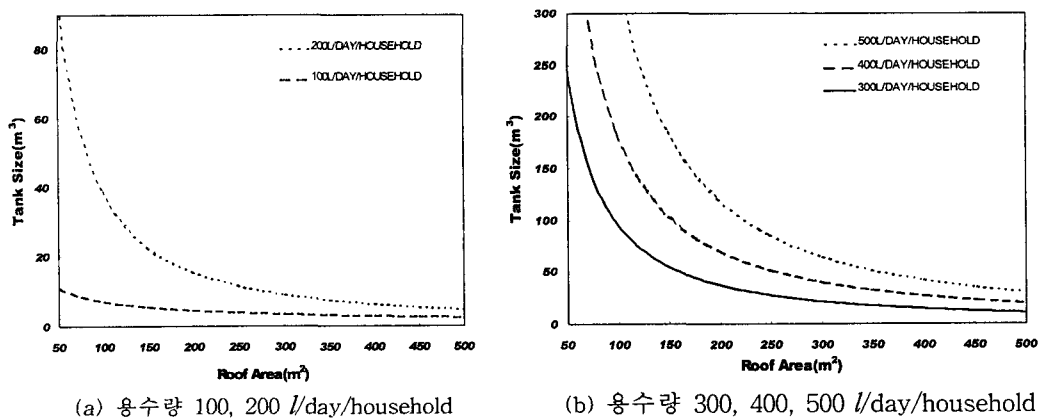


그림 4. 우수이용 시스템의 설계

#### 4.2 DOS 모형을 이용한 최적 시스템의 설계

집수면적의 크기에 따른 유출량과 일평균 용수량과의 관계로부터 DDP모형을 이용하여 최대 가뭄지속기간을 결정하고 그 결과를 DOS모형을 이용하여 집수면적별 최적의 탱크크기를 결정하였다. 그림 4(a) 및 그림 4(b)는 용수량(100, 200, 300, 400 및 500( $\ell$ /day/household))의 규모에 따른 집수면적과 탱크크기를 나타내고 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 제주도지역의 강우량 자료와 세대별 생활용수량 자료를 이용하였으며 이 지역의 생활용수를 안정적으로 공급할 수 있는 최적의 우수이용 시스템을 설계하기 위한 2개의 모형을 제시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 용수부족기간 결정 모형인 DDP모형은 여러 가지의 가뭄지수 산정방법 중 강우부족이 아닌 용수공급의 부족을 반영하고 있는 Run이론을 이용하여 가뭄지수를 산정하였으며, 가뭄지수 중 가뭄지속기간이나 용수부족량을 분석하여 용수부족기간을 결정할 수 있는 모형으로서 제주도지역에 적용한 결과 1987, 1988, 1995, 1997년말이 크게 용수량이 부족한 기간으로 분석되었다.

2) 최적 시스템 설계 모형인 DOS모형은 용수부족기간 결정 모형에서 분석한 용수부족기간과 기존의 지붕면적을 이용하여 모의함으로써 최적의 탱크크기를 설계할 수 있는 모형으로서 제주도지역에 적용한 결과 집수면적이 200 $m^2$ 인 경우 1일 가구당 생활용수량이 100, 200, 300, 400, 500 $\ell$  일 때 저류탱크의 크기는 8, 17, 40, 70, 120 $m^3$ 인 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 논문은 환경부 한국환경기술진흥원이 추진하는 "2002년 차세대 핵심환경기술개발사업"의 자유공모과제(과제번호:02-22-66) 연구수행 결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### 6. 참고문헌

1. 지홍기, 이순탁 (1977), 일수문량의 Run-Length 및 Run-Sum의 Simulation, 한국수문학회지, 한국수문학회, 제10권, 제1호, pp. 79-94
2. 전인배, 송시훈, 지홍기, 이순탁(2002), 우수이용시스템의 설계기법, 한국수자원학회 논문집 제34권 제6호, pp. 587~596
3. 전인배, 허창환, 지홍기 (2002), 도서지역의 우수집수 시스템 개발, 대한상하수도학회 논문집 제16권 제2호 pp. 190~198.
4. South Australian Water Corporation (1996), "Rainwater Tank", South Australian Water Corporation.
5. 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.