

비물집수리용체계의 모의모형에 대한 연구

조 명 봉

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《물자원을 적극 보호하고 효과적으로 리용하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제21권 193페이지)

물자원을 적극 보호하고 효과적으로 리용하는데서 중요한 문제의 하나는 현시기 물자원의 지속적개발리용의 관건적요소의 하나인 비물집수리용체계설계의 과학화수준을 높이는것이다.

론문에서는 비물집수리용체계설계에서 기초적인 문제인 비물집수리용체계모의모형에 대한 일반화된 연구결과를 서술하였다.

1. 연구문제설정

비물집수리용문제는 물자원의 합리적인 개발리용 특히 물자원의 지속적개발리용에서 중요한 문제의 하나로 주목되고있다.[3, 5-15]

비물집수리용은 물자원확보의 단순성 및 경제성측면과 함께 가물 및 큰물위험해소의 잠재적인 가능성을 가지고있는것으로 하여 어디서나 적용할수 있는 우월한 물자원개발리용방식이라고 할수 있다.

여기서 문제는 해당 비물리용지역의 자연지리적 및 기상수문학적특성에 맞게 비물을 효과적으로 모아 리용하기 위한 비물집수리용체계의 제반요소들을 과학적으로 규정하는것이다.

지금까지 국내외적으로 비물리용과 관련한 문제들이 적지 않게 연구되어왔다.[2, 3, 6-15]

비물집수와 리용에 대한 연구정형을 종합해보면 우선 도시주택 및 산업건물에 설치할수 있는 비물집수장치들과 수집한 비물을 저장하고 처리하기 위한 기술개발이 진행되고있다.

일부 나라들에서는 큰물 및 비물수집과 관련한 이론적 및 실천적방법론을 정립하고 현재 리용하거나 새로 건설되는 건물들에 비물집수장치들을 설치하도록 건설법규와 기준들을 갱신하고있다. 이와 함께 장마철기간 비물을 자원화하기 위한 기술들이 개발도입되고있다. 강하천주변에 자연적인 큰물저류지 또는 도시구역의 큰물저류지를 형성하여 큰물시기 큰물을 저장하고 큰물피해를 줄이고있으며 생활 및 관개, 생태용수로 리용하고있다.[1, 2, 13, 15]

비물리용의 다른 하나의 연구방향은 비물을 수집하여 관개용수를 보장하기 위한 연구와 그 응용이다. 여기서는 농업용수보장을 위한 비물집수구조물들을 크게 비물저류지, 비물집수못, 삼투못 또는 탱크 등으로 구분하여 적용하고있다.

일부 나라들에서 농민들의 편의를 도모할 목적으로 비물저류지건설을 위한 국토계획 작성에 지리정보체계를 비롯한 공간정보수집기술을 리용하여 비물집수구조물들의 적지들을 평가하여 봉사하고있으며 해당한 표준지도서들이 작성리용되고있다.[1, 2, 14, 15]

그러나 비물집수리용에 대한 선행연구에서는 자원으로서의 비물수집과 관련하여 일정한 기간(년간, 계절, 월 등)동안의 강수량과 물리용량을 정적으로 평가하고 그 차에 기초하여 혹은 일정한 통계량에 근거하여 비물집수리용체계의 주요요소들 특히 비물집수탱크나 저류지의 규모를 규정함으로써 비물집수리용체계설계의 기초이며 출발전제인 체계요소호상간의 정량적관계에 대한 해석에서도 여전히 정적이며 정밀하지 못한것 등 낮은 단계에 머물러있다.

점차 그 적용범위가 확대되고 보다 높은 정확도를 요구하고있는 비물집수리용체계의 설계에서는 그에 적응한 방법론 특히 이 체계의 운영과정을 임의의 시간척도에서 동적으로 해석할수 있는 모의방법을 받아들여야 한다.

여기서는 비물집수령역설정과 강수-류출과정분석, 물소비과정분석, 류출과 물소비과정의 련관분석, 집수정배치형식결정, 기술경제적효과성분석 등의 여러 단계들을 거치는 비물집수리용체계설계의 완성전공정에서 핵심으로 되는 비물집수령역-비물집수정-비물리용자간의 동적물바란스관계를 해석하는 비물집수리용체계모의모형과 그 응용가능성을 해명하기로 한다.

2. 비물집수리용체계의 운영과정에 대한 모의모형

비물집수리용체계는 비물집수령역(류역)과 비물집수정(저류지, 못, 탱크 등), 비물리용대상(관개용수, 생활 및 생산용수, 생태용수 등)들을 기본요소로 하고 이것들이 집수 및 급수경로(수로, 관 등)를 통한 비물흐름으로 련결되는 하나의 물자원체계이다.(그림 1)

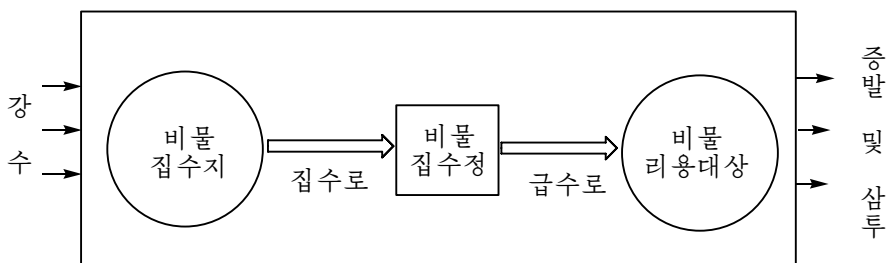


그림 1. 비물집수리용체계도식

이제 집수로와 급수로를 체계의 보조요소로 하면 비물집수리용체계의 운영과정에 대한 수학적모의모형은 비물집수정에서의 상태방정식 즉 비물집수정안의 물용적변화과정을 보여주는 물저장용적변화상태방정식에 의하여 표시할수 있다.

사실 비물집수리용체계의 운영과정을 보면 비가 내려 비물을 모아들이는 동시에 비물소비도 진행되는데 이 과정은 비물집수정의 저수용적변화상태를 동적으로 묘사하는 동적물바란스방정식으로 해석할수 있다.

$$\frac{dV(t)}{dt} = I(t) - O(t)$$

여기서 V 는 집수정의 물용적(m^3), I 는 집수되는 비물량(m^3/s), O 는 집수정에서의 방출량(m^3/s)이다.

$$I(t) = 10^{-3} S \cdot P(t) - 10^{-3} S \cdot \Delta P(t) - Q_P(t)$$

$$O(t) = 10^{-3} S_0 \cdot U(t) + Q_S(t) + Q_U(t)$$

$$Q_S(t) = \begin{cases} \frac{d[V(t) - V_{\text{sup}}]}{dt} & ; V(t) > V_{\text{sup}} \\ 0 & ; V(t) \leq V_{\text{sup}} \end{cases}$$

$$Q_U(t) = f(Q_{U\text{sup}})$$

$$Q_P(t) = f(Q_{P\text{sup}})$$

여기서 Q_S 는 집수정넘김물량(m^3/s), Q_U 는 급수로에서의 손실량(m^3/s), V_{sup} 는 집수정의 유효용적(m^3), $Q_{U\text{sup}}$ 는 급수로의 통수능력(m^3/s), Q_P 는 집수로에서의 손실량(m^3/s), $Q_{P\text{sup}}$ 는 집수로의 통수능력(m^3/s), f 는 수로물손실함수이다.

이제 집수정넘김물량과 집수로 및 급수로의 손실물량이 없다고 가정하면 다음의 식이 성립한다.

$$\frac{dV(t)}{dt} = 10^{-3} S \cdot P(t) - 10^{-3} S_0 \cdot U(t) - 10^{-3} S \cdot \Delta P(t) \quad (1)$$

여기서 V 는 집수정의 물용적(m^3), P 는 강수세기(mm/s), U 는 단위면적의 단위시간당 물소비량($\text{L}/(\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2)$) 또는 물수요대상의 단위시간당 물소비량($\text{L}/(\text{s}^{-1} \cdot \text{명}^{-1})$, $\text{L}/(\text{s}^{-1} \cdot \text{마리}^{-1})$, $\text{L}/(\text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1})$, ΔP 는 비물손실세기(mm/s), S 는 비물집수면적(m^2), S_0 은 비물소비면적(m^2) 또는 물수요규모(명, 마리, kg)이다.

수문학분야에서의 류출결수(ϕ)개념을 적용하면 비물손실세기는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta P(t) = (1 - \phi) \cdot P(t) \quad (2)$$

그러면 식 (1)은 다음과 같이 변형된다.

$$\frac{dV(t)}{dt} = 10^{-3} S \cdot \phi \cdot P(t) - 10^{-3} S_0 \cdot U(t) \quad (3)$$

근사풀이를 위하여 Δt 시간구간에서 선형변환하면 식 (3)은 다음과 같이 된다.

$$V_2(t) - V_1(t) = 10^{-3} S \cdot \phi \cdot \frac{P_2(t) + P_1(t)}{2} \Delta t - 10^{-3} S_0 \cdot \frac{U_2(t) + U_1(t)}{2} \Delta t \quad (4)$$

만일 강수량과 물소비량이 Δt 시간동안의 루적값($P^*(t)$, $U^*(t)$)으로 주어진다면 식 (4)는 다음과 같이 된다.

$$V_2(t) - V_1(t) = 10^{-3} S \cdot \phi \cdot P^*(t) - 10^{-3} S_0 \cdot U^*(t) \quad (5)$$

여기서

$$P^*(t) = \int_{\Delta t} P(t) dt \quad (6)$$

$$U^*(t) = \int_{\Delta t} U(t) dt \quad (7)$$

또는 근사적으로

$$P^*(t) = \frac{P_2(t) + P_1(t)}{2} \Delta t \quad (8)$$

$$U^*(t) = \frac{U_2(t) + U_1(t)}{2} \Delta t \quad (9)$$

여기서 첨수 1과 2는 Δt 시간구간의 초기와 말기순간을 표시한다.

식 (4)과 (5)의 오른변의 첫째 항과 둘째 항은 각각 Δt 시간동안의 유효강수량과 물소비량이다.

식 (3) 또는 식 (5)의 풀이에 의한 비물집수리용체계의 모의과정해석은 강수과정과 물소비과정에 따라 집수정의 물용적이 변하는데 일정한 기간(보장년도)을 모의분석주기로 할 때 물용적변화특성에 따르는 비물집수리용체계의 구성요소들의 호상관계를 밝히는데 있다.(그림 2)

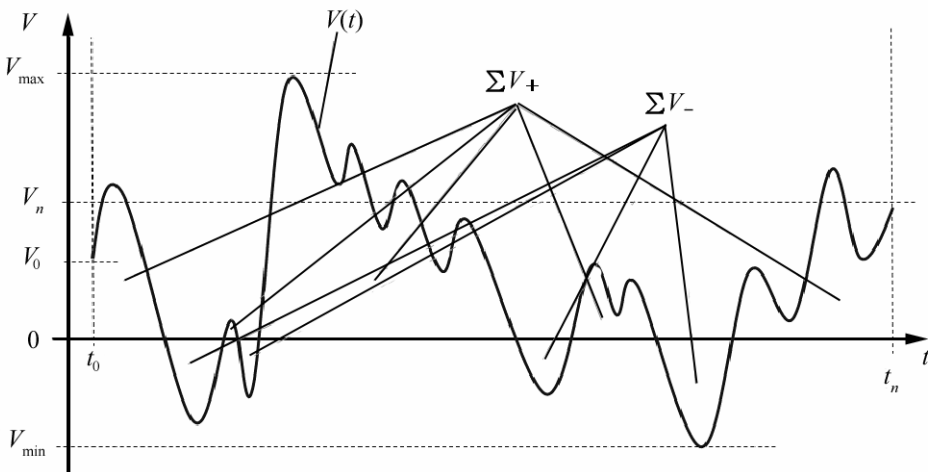


그림 2. 집수정의 물용적변화과정

그림 2에서 t_0 과 t_n 은 보장년의 시작점과 끝점이고 V_0 은 초기물용적(보통 령을 취함), V_{\max} 는 보장년간 집수정의 물용적최대값, V_{\min} 는 보장년간 집수정의 물용적최소값이며 $V(t)$ 는 식 (3)의 풀이에 의한 집수정의 물용적변화과정선이다. 한편 ΣV_+ 와 ΣV_- 는 각각 비물에 의한 물수요보장량과 물부족량(보장못하는 량)이다.

그림 2에서 알수 있는바와 같이 비물을 최대한 리용할수 있는 집수정의 가능한 규모는 V_{\max} 이다. 이 경우는 비물리용대상의 규모에 비하여 비물집수지가 상대적으로 작은 경우이다. 즉 물요구량은 대단히 큰데 비하여 비물집수면적이 제한되어있는 경우이다. 이 경우에는 부득불 비물만으로는 물수요를 보장하지 못하는 경우가 있게 된다.

만일 비물만으로 물수요를 원만히 보장하려고 할 때에는 비물집수지의 면적을 늘일수 있는 조건이 구비되거나 초기 집수정의 물용적이 일정하게 보장되어야 한다.(그림 3,4)

마찬가지로 집수정의 물용적변화과정에 의해 비물집수리용체계의 제반요소들의 호상

관계와 비물리용의 정상가동을 담보하는 문제점들을 전면적으로 해결하자면 V_{\min} , V_{\max} , V_0 , V_n , ΣV_+ , ΣV_- 들과 S , S_0 , V_c (집수정의 규모, m^3)들의 호상인과관계를 설정하고 체계모의와 그 분석을 진행하여야 한다.

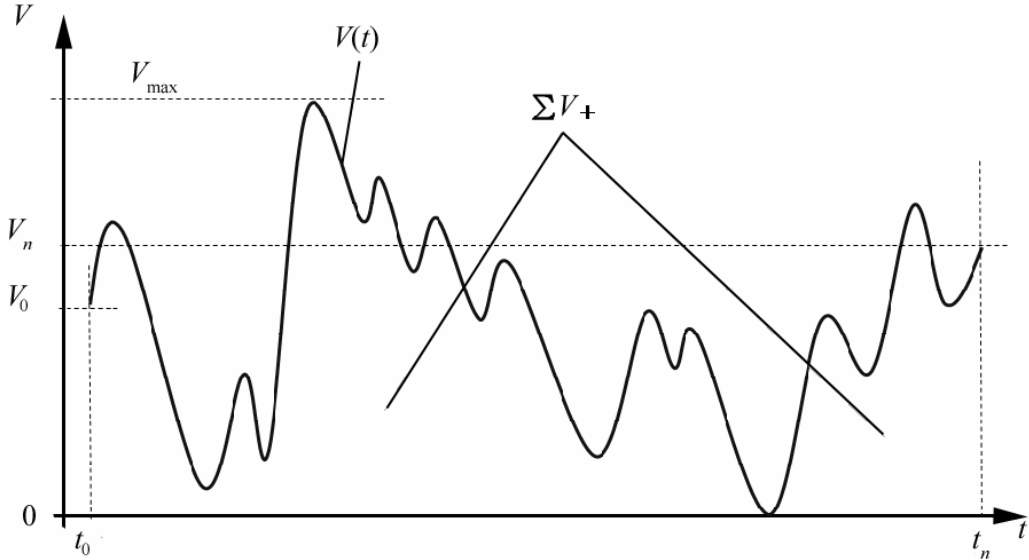


그림 3. 초기물용적으로 물부족을 제거한 경우 집수정물용적변화과정 ($V_{\min}=0$)

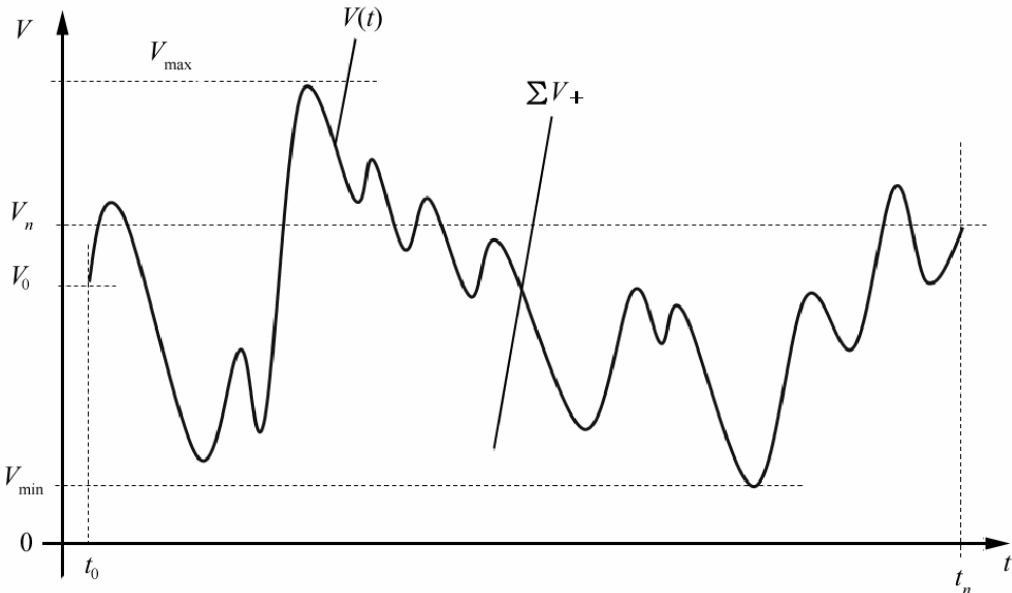


그림 4. 초기물용적으로 물여유를 조성한 경우 집수정물용적변화과정 ($V_{\min}>0$)

한편 실천에서는 $P(t)$ 와 $U(t)$ 가 해석적으로 주어지지 않기때문에 이것들의 불련속값들을 리용하기 위하여 식 (4) 또는 식 (5)로 표시되는 집수정의 물용적변화과정을 모의한다.

3. 비물집수리용체계모의모형의 응용실례

앞에서 언급한 비물집수리용체계모의모형을 π 지구에서의 합리적인 비물집수정 규모 결정과정을 실패로 검토분석하였다.

이 지구에서 비물리용대상은 남새밭과 남새온실, 양묘장이며 비물집수지로는 산경사면과 온실지붕, 양묘장구역의 도로포장면 등이다.

비물집수정대상별로 확정된 조사자료는 표 1과 같다.

표 1. 비물집수정대상별조사자료

No.	구분	비물집수지 면적/m ²	비물관개 면적/m ²	류출계수(φ)	비물집수지류형
1	남새밭1	12 000	9 720	0.6	산경사면
2	남새온실1	1 000	1 000	0.9	박막지붕면
3	양묘장	3 420	9 720	0.8	도로포장면
4	남새밭2	11 500	4 860	0.5	산경사면
5	남새온실2	2 000	2 000	0.9	박막지붕면

강수과정은 연구대상지 주변의 4개 지점의 관측자료를 공간보간하여 얻은 1980년—2010년의 30년간 일별강수량분석결과를 리용하였으며 물소비과정은 온실에서 연간 4모작의 남새재배공정을 고려한 분석결과를, 남새밭에서는 양배추와 가을배추를 기본으로 하는 연간 2모작의 남새재배공정을 고려한 분석결과를, 양묘장에서는 창성이깔나무와 단풍나무를 기본으로 하는 나무모재배공정에 대한 분석결과를 리용하였다.[4, 5]

설계보장률은 연간 비물리용관계의 특성을 고려하면서도 년강수량계렬에 기초하여 90%로 설정하였다. 설계보장률에 대응한 보장년도의 대상별에 따르는 비물집수리용체계모의결과는 표 2와 같다.

표 2. 설계보장률에 대응한 보장년도의 대상별에 따르는 비물집수리용체계모의결과

No.	구분	년강수량/m ³	비물집수량/m ³	년간물 요구량/m ³	집수정 규모/m ³		편차	
					새 방법	종전방법	m ³	%
1	남새밭1	9 600	5 760	6 804	2 890	5 760	—2 870	49.6
2	남새온실1	800	720	1 200	362	720	—358	49.7
3	양묘장	2 736	2 189	2 916	966	2 189	—1 223	55.8
4	남새밭2	9 240	4 620	3 402	1 235	3 402	—2 167	63.4
5	남새온실2	1 600	1 440	2 400	725	1 440	—715	49.6

표 2에서 보는바와 같이 종전방법[15]에서 집수정의 규모는 모든 경우에 다 커진다. 이것은 비물집수리용체계의 설계와 시공에서 불필요한 자금, 자재, 노력량비를 가져올수 있는 전제로 된다. 원인은 집수정의 용적결정에서 강수과정과 비물소비과정의 결합관계를 동적물바란스관계로가 아니라 일정한 분석기간 평균화된 정적물바란스관계로 해석하는

종전방법의 부족점에 있다. 물론 종전방법에서 연간 저수일수라는 개념을 적절히 적용하면 우의 차이를 어느 정도 줄일수 있으나 아직 그에 대한 객관적인 해석방법이 완성되지 못한 조건에서 기대하기는 어렵다.

론문에서 제기한 새 방법의 적용결과를 종전과 비교하면 실험연구의 경우에 집수정 규모를 50%이상 줄일수 있다는 결론이 나온다. 이것은 새로 제기한 방법의 이론적근거와 함께 실천적타당성을 충분히 보여주는것으로 된다.

맺는 말

론문에서 제기한 비물집수리용체계모의분석방법은 임의의 시간단위에 따르는 체계요소들사이의 동적물바란스모형에 기초하는것으로서 체계요소들의 규모를 필요한 정확도로 충분히 결정할수 있는 방법으로 된다고 말할수 있다. 앞으로 이 방법의 객관성과 정확성을 보다 높이자면 류출결수(ϕ)의 시공간적변화특성을 적절히 반영하기 위한 연구가 더 심화되어야 한다.

참고 문헌

- [1] 조명봉 등; 농업수리화, 4, 25, 주체103(2014).
- [2] 백정철; 농업수리화, 3, 15, 주체103(2014).
- [3] 김철우; 김일성종합대학창립70돐기념 전국부문별과학토론회논문집(지구환경 및 지질), 116, 주체105(2016).
- [4] 함경선; 온실재배공수첩, 농업출판사, 30, 109, 113, 주체103(2014).
- [5] 리소하 등; 온실나무모기르기, 농업출판사, 35~70, 주체94(2005).
- [6] S. K. Gupta; Modern Hydrology and Sustainable Water Development, Wiley-blackwell, 322~336, 389~402, 2011.
- [7] R. Quentin Grafton ; Water Resources Planning and Management, Cambridge University Press, 155~175, 2011.
- [8] Sun Tao Qin; IEEE, 8, 1099, 2006.
- [9] Yi-hong Zhou; IEEE, 7, 5020, 2007.
- [10] Fu Qiang; IEEE, 7, 5487, 2007.
- [11] D. Y. Miao et al.; Journal of Environmental Informatics, 24, 1, 11, 2014.
- [12] Shrir Prasad Aggarwal; Watershed Hydrology and Physical Processes in Watershed, India, 25~56, 2002.
- [13] Barry lewis; Farm Dams: Planning, Construction and Maintenance, National Library of Australia Cataloguing-in-Publication entry, 1~21, 2002.
- [14] S.K.Saha et al.; RS & GIS Application in Water Resources, IIRS, India, 125~155, 2007.
- [15] 吳佩玲 等; 農林學報, 63, 1, 25, 2014.

Study on the Simulation Model of Rainwater Harvesting System

Jo Myong Bong

In this paper, we have considered the research results generalized for the simulation model of the rainwater harvesting system.

The simulation analysis approach of rainwater harvesting system presented in this paper has a good ability to sufficiently determine the size of elements of the system.

Key words: rainwater harvesting system, simulation model, sustainable development