

록색지붕과 지붕온실이 결합된 록색건물설계에서 비물저장탱크용적결정방법

김철우, 김성일

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지금 세계적으로 물문제가 심각한 문제로 제기되고있습니다. 우리 나라에서도 지각 변동이 있어 그런지 물줄기들이 점차 적어진다고 합니다. 우리는 지금부터 물을 아껴써야 하며 물원천을 적극 보호하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제21권 194페이지)

오늘날에 와서 지붕록화, 지붕온실(건물지붕위에 있는 온실), 지붕에서의 농작물재배, 지붕비물수집체계와 태양빛발전체계의 구축 등 지붕을 다기능적으로 효과있게 리용하는 것은 세계적인 추세로 되고있다.

전지구적인 기후변화로 인한 강수량의 감소, 오수와 폐수에 의한 물오염에 대처하여 세계적으로 물자원리용에서 비물자원의 개발리용이 매우 중요시되고있다.[1-3] 특히 록색지붕들로부터의 비물수집은 자연환경을 파괴하지 않는것으로 하여 물리용방법의 하나로 주목되고있다.

선행연구[7]에서는 록색지붕들이 큰물위험의 감소, 지붕의 유효수명연장, 도시열섬완화, 에네르기효율과 공기질 및 생물다양성의 개선 등 수많은 환경적리익을 가져다준다는 데 대하여 서술하였다.

선행연구[4, 5]에서는 록색지붕을 형성하는 목적이 도시의 물부족현상을 해결하고 큰 물피해를 감소시키기 위한데 있다고 하였다.

론문에서는 록색지붕과 지붕온실이 결합된 통합지붕건물의 비물수집체계설계에서 가장 중요한 문제의 하나인 비물저장탱크용적결정방법에 대하여 서술하였다.

1. 비물저장탱크용적결정모형

비물수집체계설계에서 선차적으로 해결하여야 할 문제는 비물리용대상의 물수요량과 비물수집가능량사이의 관계를 고려하여 필요한 비물저장탱크용적을 결정하는것이다.

비물수집가능량을 모형화하기 위하여 강수량을 기본변수로 설정한다. 그것은 강수량이 비물수집체계의 전망공급량에 직접적영향을 주기때문이다. 강수량은 지역의 일강수량 자료를 직접 리용할수 있으며 이 변수를 모형화할 때에는 대표적인 시계렬자료를 리용한다.

비물수집체계의 물바란스모형에 기초하여 지붕온실과 지하의 비물저장탱크의 저수량 변화모의모형은 다음과 같이 작성할수 있다.

① 지붕온실의 비물저장탱크의 저수량변화모의모형

비물저장탱크에로의 류입량은 온실의 지붕에서 수집할수 있는 비물량과 온실비물저장탱크의 여유용적을 비교하여 최소값으로 규정된다.

$$R^{gh} = \min \left\{ \begin{array}{l} P \cdot A^{gh} \cdot \varphi^{gh} \\ V_c^{gh} - V_{(t-dt)}^{gh} \end{array} \right. \quad (1)$$

여기서 P 는 강수량(m/d), A^{gh} 는 온실집수면적(m²), φ^{gh} 는 온실의 지붕류출결수, V_c^{gh} 는 온실비물탱크의 저장용적(m³), $V_{(t-dt)}^{gh}$ 는 $(t-dt)$ 시간에 온실비물저장탱크의 물량(m³), dt 는 계산시간구간이다.

온실비물탱크로부터의 방출량은 온실에서 재배하는 농작물의 관개에 필요한 용수와 온실비물저장탱크의 물량을 비교하여 최소값으로 규정한다.

$$Y^{gh} = \min \begin{cases} D_y^{gh} \\ V_t^{gh} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 D_y^{gh} 는 온실관개용수량, V_t^{gh} 는 t 시각에 온실비물저장탱크의 물량(m³)이다.

따라서 임의의 시각에 온실비물탱크의 물량은 다음과 같다.

$$V_t^{gh} = V_{(t-dt)}^{gh} + (R^{gh} - Y^{gh}) \cdot dt \quad (3)$$

그리고 온실비물탱크에서 넘쳐나는 비물량은 다음과 같다.

$$O^{gh} = P \cdot A^{gh} \cdot \varphi^{gh} - R^{gh} \quad (4)$$

② 지하의 비물저장탱크의 저수량변화모의모형

비물저장탱크에로의 류입량은 온실의 지붕을 제외한 지붕록지와 지붕걸음길에서 수집할 수 있는 비물량(온실비물저장탱크에서 넘쳐나는 물량포함)과 지하비물저장탱크의 여유용적을 비교하여 최소값으로 규정한다.

$$R^{ug} = \min \begin{cases} P \cdot A^{gr} \cdot \varphi^{gr} + P \cdot A^{rpw} \cdot \varphi^{rpw} + O^{gh} \\ V_c^{ug} - V_{(t-dt)}^{ug} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 P 는 강수량(m/d), A^{gr} 는 지붕록지면적(m²), φ^{gr} 는 지붕록지류출결수, A^{rpw} 는 지붕걸음길면적(m²), φ^{rpw} 는 지붕걸음길류출결수, V_c^{ug} 는 지하비물탱크의 저장용적(m³), $V_{(t-dt)}^{ug}$ 는 $(t-dt)$ 시간에 지하비물저장탱크의 물량(m³), dt 는 계산시간구간이다.

지하비물탱크로부터의 방출량은 지붕록지관개용수량과 정원록지관개용수량, 건물내부의 위생실수세용수량을 더한 값과 지하비물저장탱크의 물량을 비교하여 최소값으로 규정한다.

$$Y^{ug} = \min \begin{cases} D_y^{gr} + D_y^{gs} + D_y^{tf} \\ V_t^{ug} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 D_y^{gr} 는 지붕록지관개용수량, D_y^{gs} 는 정원록지관개용수량, D_y^{tf} 는 건물내부의 위생실수세용수량, V_t^{ug} 는 t 시각에 지하비물저장탱크의 물량(m³)이다.

임의의 시각에 지하비물탱크의 물량은 다음과 같다.

$$V_t^{ug} = V_{(t-dt)}^{ug} + (R^{ug} - Y^{ug}) \cdot dt \quad (7)$$

지하비물탱크에서 넘쳐나는 비물량은 다음과 같다.

$$O^{ug} = P \cdot A^{gr} \cdot \varphi^{gr} + P \cdot A^{rpw} \cdot \varphi^{rpw} + O^{gh} - R^{ug} \quad (8)$$

식 (1)–(8)에 의하여 지붕온실과 지하의 비물저장탱크의 저수량변화과정을 모의할수 있다.

일강수량과 지붕집수면적, 비물리용대상규모가 주어진 조건에서 비물저장탱크의 용적은 지붕구역에서의 유효류출량과 비물탱크로부터의 방출량에 관계된다.

비물리용부문의 물수요량은 상대적으로 일정하다고 볼수 있으므로 기본변량은 지붕구역에서의 유효류출량이다.

비물수집체계의 리용효율은 비물저장물과 비물리용물, 상수대체물로 평가할수 있다.

비물저장물은 비물집수면으로부터 집수할수 있는 비물의 량에 대한 비물저장량의 비율이다.

$$P_S = \frac{W_V}{W_C} \quad (9)$$

여기서 P_S 는 비물저장물, W_V 는 비물저장량, W_C 는 비물집수가능량이다.

비물리용물은 비물집수면으로부터 집수할수 있는 비물의 량에 대한 비물급수량의 비율이다.

$$P_U = \frac{W_S}{W_C} \quad (10)$$

여기서 P_U 는 비물리용물, W_S 는 비물급수량, W_C 는 비물집수가능량이다.

상수대체율은 전체 사용물량에 대한 비물급수량의 비율이다.

$$P_V = \frac{W_S}{W_T} \quad (11)$$

여기서 P_V 는 상수대체율, W_T 는 전체 사용물량이다.

식 (9)–(11)에 의하여 지붕온실과 지하의 비물저장탱크의 각이한 용적에 따르는 비물수집체계의 효율을 분석하고 그 결과에 따라 합리적인 저장탱크용적을 결정할수 있다.

2. ㄹ지역에서 비물저장탱크용적결정

ㄹ지역에서 대상건물의 조건을 보면 지붕의 총면적은 500m²이며 그중 지붕온실이 120m², 지붕록지가 200m², 걸음길이 180m²이다.

온실의 지붕은 유리이며 지붕처마에 수채관을 설치하고 온실의 내부에 비물저장탱크를 건설하여 온실의 지붕에 떨어지는 물이 수채관을 통해 직접 온실의 비물저장탱크에 들어가도록 설계되어있다. 기타 지붕록지와 지붕걸음길구역에 떨어지는 비물은 건물의 량쪽에 2개의 집수관을 설치하여 지하비물저장탱크에 들어가도록 되어있다.

대상건물의 마당에는 총 700m²의 정원록지가 조성되어있다.

대상건물의 지붕록지는 20cm두께의 록색지붕으로 설계되어있고 식물종은 우리 나라 토착종인 금잔디가 심어져있다. 금잔디는 벼파에 속하는 여러해살이식물로서 더운 계절형잔디이다. 잔디의 푸른 기간은 260d정도이며 잔디밭을 형성하기 쉽고 관상적가치가 높다.

대상건물에서 지붕록지의 류출특성을 보면 재배기질의 깊이가 20cm일 때 비물흡수량은 47~50L/m²이다. 즉 대상건물의 지붕록지구조는 47~50mm의 비물을 보존할수 있으며 따라서 약 50mm이상의 비가 내릴 때에만 비물류출이 일어난다는것을 알수 있다.

우리는 37년간(1980년–2016년)의 일강수량관측자료를 리용하여 대상건물의 지붕록지

의 년평균류출결수를 얻었다. 지붕록지의 37년간 년도별류출결수를 계산한 결과 지붕록지의 류출결수는 최소값 0.01(2000년)로부터 최대값 0.25(2007년)사이에서 변하며 37년간 평균값은 0.12이다.

이 지역의 년평균강수량은 958mm이며 년최소강수량은 543.6mm(2000년), 년최대강수량은 1 712.2mm(2007년)이다. 온실의 지붕재질이 유리이므로 지붕온실구역의 류출결수는 최대값인 0.95로, 걸음길구역은 0.81로 선택한다.[6]

지붕록지의 류출결수계산결과와 비록지구역의 류출결수들에 기초하여 연구대상건물 지붕의 비물저장가능량을 37년간의 년중 0mm이상의 모든 비가 내린 날들에 대하여 계산하였다. 이 기간에 연구대상건물지붕에서 년도별총비물저장가능량을 계산한 결과 연간 지붕의 비물저장가능량의 최소값은 $141\text{m}^3/\text{y}$ (2000년), 최대값은 $532\text{m}^3/\text{y}$ (2007년)이며 평균값은 $273\text{m}^3/\text{y}$ 이다.

연구대상건물의 일평균비물수요량에는 지붕온실의 농작물(부루, 쑥갓, 오이, 도마도 등)생육에 필요한 일관개량과 비가 내리지 않는 기간에 지붕 및 정원록지에 필요한 일관개량, 건물내부의 위생실수세물량이 포함된다. 하루 위생실수세물량은 500L/d로 규정하였다. 정원 및 지붕구역의 류형별관개면적과 관개량은 표와 같다.

표. 정원 및 지붕구역의 류형별관개면적과 관개량

구분		관개면적/ m^2	단위면적일관개량/ $(\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$	일관개량/ $(\text{L} \cdot \text{d}^{-1})$
지붕류형	온실	120	3	360
	록지	200	3	600
정원	록지	700	3	2 100

표에서 보는바와 같이 지붕온실에서는 매해 1월 1일부터 12월 31일까지 매일 360L/d의 관개용수량이 요구된다.

정원 및 지붕록지에서 매해 잔디의 푸른 기간인 3월초부터 11월말까지 2 700L/d의 관개용수량이 요구된다. 결국 하루물수요량은 정원 및 지붕록지관개기간에는 3 060L/d, 비관개기간에는 360L/d이다.

지붕구역의 일비물저장량과 일비물수요량에 의하여 37년간의 매해 지붕온실과 지하의 비물저장탱크용적변화를 모의하였다. 합리적인 저장탱크용적을 결정하기 위하여 4개의 탱크용적(5, 10, 15, 20m^3)을 가정하고 지붕온실과 지하비물저장탱크의 비물저장률, 비물리용률, 상수대체률들을 평가하였다.

비물저장용적변화모의는 37년간(1980년—2016년)의 일비물저장가능량과 일비물수요량자료에 기초하여 지붕온실과 지하의 비물저장탱크로 갈라서 진행하였다.

지붕온실의 비물저장률은 비물저장탱크용적이 5m^3 일 때 59.69%, 10m^3 일 때 67.35%, 15m^3 일 때 72.47%, 20m^3 일 때 76.96%이다. 이때 비물리용률은 각각 5m^3 일 때 59.58%, 10m^3 일 때 67.24%, 15m^3 일 때 72.34%, 20m^3 일 때 76.53%이다. 상수대체률은 각각 5m^3 일 때 47.12%, 10m^3 일 때 53.04%, 15m^3 일 때 56.96%, 20m^3 일 때 60.17%이다.

비물저장탱크용적이 5m^3 일 때 비물저장률이 59.69%이고 20m^3 일 때 76.96%이므로 비물저장용적이 15m^3 커져도 비물저장률은 약 17%밖에 증가하지 않는다.

온실의 지붕처마에서 비물저장탱크으로 저절로 물이 흘러들게 해야 하므로 비물탱크 높이를 지하에서와 같이 높일수 없다. 따라서 온실면적과 비물탱크의 비례관계를 고려하면 5m^3 크기의 비물저장탱크를 설치하는것이 합리적이다.

지붕온실의 비물저장탱크용적이 5m^3 일 때 비물저장률과 비물리용률은 각각 59%이상

이며 나머지 약 41%는 지하저장탱크에 들어가는것으로 된다. 이 경우에 상수대체률은 47%이상이므로 만약 지붕온실에 비물저장탱크가 없다면 그만큼 양의 온실관개용수를 보 장하는데 많은 수도물과 양수전력을 소비해야 할것이다.

한편 지붕온실의 비물저장탱크에서 넘쳐나는 비물은 지하비물저장탱크에 들어가게 되며 이때 비물저장률은 비물저장탱크용적이 5m³일 때 63.01%, 10m³일 때 80.53%, 15m³일 때 88.66%, 20m³일 때 93.17%이다. 이때 비물리용률은 각각 5m³일 때 62.99%, 10m³일 때 80.51%, 15m³일 때 88.64%, 20m³일 때 93.14%이다. 상수대체률은 각각 5m³일 때 6.17%, 10m³일 때 7.66%, 15m³일 때 8.27%, 20m³일 때 8.51%이다.

이로부터 비물저장용적이 15m³ 커져도 상수대체률은 약 2.3%밖에 증가하지 않는다. 비물저장탱크용적이 20m³일 때 상수대체률은 8.51%밖에 되지 않지만 비물저장률과 비물 리용률은 각각 93%이상으로서 거의 모든 비물을 저장리용하게 된다.

지하에는 비물저장탱크를 건설하는데서 지붕보다 유리하므로 지하비물저장탱크는 20m³로 규정한다.

지붕온실과 지하의 비물저장용적에 따르는 비물저장률과 비물리용률들을 각각 대비 해보면 비물저장률들이 약간 큰 값을 가진다. 이것은 비물저장탱크가 만수되는 날이 얼 마 없다는것을 보여주는데 우리 나라의 강수특성을 보면 잘 알수 있다.

우리 나라는 봄과 가을에는 가물고 7, 8월에는 장마가 지는것이 특징이다. 우에서 연 급한바와 같이 연구지역의 지붕록지에서 비물류출은 일강수량이 50mm이상 되는 경우에 일어난다.

지붕온실과 지하의 비물저장용적에 따르는 상수대체률들을 각각 대비해보면 실례로 저장탱크가 20m³일 때 지붕온실저장탱크는 60.17%, 지하저장탱크는 8.51%로서 지붕온실 이 훨씬 크다. 그것은 온실의 물수요량이 지붕 및 정원록지의 물수요량보다 상대적으로 훨씬 적기때문이다.

맺 는 말

록색지붕과 지붕온실이 결합된 통합지붕에 의한 비물수집체계는 도시의 물부족문제 를 해결하고 큰물피해를 감소시킬뿐아니라 생태환경을 개선하고 건물의 에네르기소비를 감소시키는 매우 효과적인 방도로 된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Campisano et al.; Water Science & Technology, 67, 11, 143, 2013.
- [2] S. Angrill et al.; Int. J. Life Cycle Assess, 22, 398, 2016.
- [3] C. Pimentel Rodrigues et al.; Int. J. of Environment Science, 2, 366, 2017.
- [4] L. Liuzzo et al.; Water, 8, 18, 2016.
- [5] S. S. Cipolla et al.; Decentralized Water Management, 2, 2, 673, 2018.
- [6] T. Ugai; Procedia-Social and Behavioral Sciences, 216, 850, 2016.
- [7] T. M. Samant; Int. Adv. Res. J. in Science Eng. and Tec., 2, 10, 71, 2015.

**Determining Storage Volumes of Rainwater Harvesting Tanks
in Planning of Green Building with Green Roofs
and Greenhouses on Roofs**

Kim Chol U, Kim Song Il

We have focused on how to determine storage volumes of rainwater harvesting tanks which are one of the most important problems in designing a rainwater harvesting system for a roof building on which green roofs and greenhouses are integrated. To do tasks, we have analyzed rainwater storage volume, rainwater use efficiency and ratio of alternative use of surface water.

Keywords: green building, rainwater harvesting systems, rainwater harvesting tank