

경제성 확보를 위한 빗물이용시설의 규모 산정 및 민감도 분석

Evaluation of Tank Capacity of Rainwater Harvesting System to Secure Economic Feasibility and Sensitivity Analysis

문정수 · 김하나 · 박종빈 · 이정훈 · 김이호*

Jungsoo Mun · Hana Kim · Jongbin Park · Junghun Lee · Reeho Kim*

한국건설기술연구원 수자원환경연구본부

(2012년 1월 19일 접수; 2012년 2월 20일 수정; 2012년 2월 22일 채택)

Abstract

Rainwater harvesting systems (RWHS), one of measures for on site rainwater management, have been promoted by laws, regulations and guidelines and have been increased. However, more evaluation of economic feasibility on RWHS is still needed due to seasonal imbalance of rainfall and little experiences and analysis on design and operation of RWHS. In this study, we investigated tank capacity of RWHS to secure economic validity considering catchment area and water demand, which is affected by building scale. Moreover, sensitivity analysis was performed to examine the effect of design factors, cost items and increase rate of water service charge on economic feasibility. The BCR (benefit cost ratio) is proportional to the increase in tank capacity. It is increased steeply in small tank capacity due to the effect of cost and, since then, gently in middle and large tank capacity. In case of 0.05 in the rate of tank volume to catchment area and 0.005 in water demand to catchment area, BCR was over one from the tank capacity of 160 m³ taking into account of private benefits and from the tank capacity of 100 m³ taking into account of private and public benefits. Sensitivity analysis shows that increase of water demand can improve BCR values with little cost so that it is needed to extend application of rainwater use and select a proper range of design factor. Decrease of construction and maintenance cost reduced the tank volume to secure economic validity. Finally, increase rate of water service charge had considerable impact on economic feasibility.

Key words : Rainwater harvesting system, tank capacity, economic analysis, sensitivity analysis

주제어: 빗물이용시설, 빗물저류조 용량, 경제성 분석, 민감도 분석

1. 서론

도시의 빗물은 주로 관거를 통한 배수 위주로 관리되어 왔으나 최근 강우 유출이 발생하는 현장에서 빗물을 저류, 이용, 침투 및 증발시키는 분산형 빗물관리가 활성화되고 있다. 환경부에서는 2001년

수도법 개정을 통해 종합운동장 등 지붕 면적이 넓은 시설에 대해서 빗물이용시설설치를 의무화하였으며, 2010년 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률을 제정하여 빗물이용시설의 의무화 대상을 공공청사까지 확대시켰다. 국토해양부에서도 2009년 저탄소

* Corresponding author Tel: +82-31-910-0304, Fax: +82-31-910-0291, E-mail: rhkim@kict.re.kr (R. H. Kim)

녹색도시 조성을 위한 도시계획수립 지침을 마련하여 도시 기본계획과 도시관리계획에서 분산형 빗물 관리시설 및 시스템의 도입을 적극 검토할 것을 명시하고 있다. 또한 2010년을 기준으로 서울시, 수원시 등 전국적으로 49개의 지자체가 빗물관리 관련 조례를 제정한 상태이다.

분산형 빗물관리는 물순환 개선 (김 등, 2005), 치수안전도 향상 (문 등, 2005) 및, 열환경 개선 (Kim et al., 2007) 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 우리나라에서는 빗물 저류 및 이용시설의 설치가 주를 이루고 있다. 빗물이용시설은 2009년을 기준으로 전국적으로 268개소에 설치되어 있으며, 저류조 용량은 3,071,255 m^3 으로써 서울시와 경기도 및 제주도에 주로 위치하고 있다 (환경부, 2009). 주로 지붕면을 집수면으로 활용하는 빗물이용시설에서는 강우유출수가 간단한 여과 등의 처리를 거쳐 저류되어 비교적 양호한 수질의 생활용수 확보가 가능하며, 주로 화장실용수, 정원용수, 청소용수 등 비음용수로 활용되고 있다 (Han and Mun, 2008).

우리나라는 여름철 강우의 집중으로 인해 공급 가능한 빗물 수량의 계절적 불균형이 심하고 시설의 설치 및 운영 경험과 이에 대한 다양한 분석 사례가 많지 않아 빗물이용시설 설치 시 경제적 타당성 검토에 대한 연구가 좀 더 이루어질 필요가 있다. 빗물이용시설에 대한 경제성 분석연구로는 호주 시드니에서 주거용 아파트에 빗물이용시설 시 지붕면적, 아파트 층수 및 물 사용량 등을 변화시키면서 편익-비용 비 (Benefit cost ratio: BCR)를 산출한 사례가 있으며 (Rahman et al., 2010), 미국 버지니아 (Virginia) 주에 위치한 7층의 상업용 건물인 Navy League Building에 설치한 빗물이용시설의 경제성 분석 결과 BCR이 0.72로 제시되었고 (Bill, 2008), 중국 베이징에 농업 관개용수 활용 목적으로 설치되어진 빗물이용시설에 대해 시설 규모 및 보조금 지급여부에 따른 경제성 분석을 실시한 사례

가 있다 (Liang et al., 2011). 국내의 경우 월드컵 경기장과 S 주상복합단지 등 빗물이용시설의 설치 및 운영 자료를 바탕으로 경제성 분석 실시하였으며 (홍 등, 2005; 문 등, 2009), 일정한 면적의 집수면적 하에서 빗물저류조 용량별로 계획사용수량에 따른 빗물이용 효율을 산출하고 경제성 분석을 실시하여 적정 저류조 용량을 검토한 사례가 있다 (김 등, 2008).

지금까지 빗물이용시설의 경제성 평가 연구는 설계인자가 고정된 개별 시설 또는 일정한 규모를 가정한 집수면을 대상으로 실시되어 왔으나, 건축물의 규모를 고려한 평가 및 민감도 분석이 미흡한 상태이다. 본 논문에서는 물수지에 근거한 모형을 활용하여 빗물공급 가능량을 산정하는 방법을 통해 경제성 확보가 가능한 빗물이용시설의 집수면적, 저류조 용량 및 계획 사용수량에 대해 살펴보았다. 또한, 경제성에 대한 빗물이용시설 설계 인자, 비용항목 및 수도요금 증가율의 민감도 분석을 통해 경제성 확보를 위한 설계 방안과 효율적 운영 방안을 제안하였다.

2. 연구 방법

2.1 빗물이용량 선정

빗물이용시설은 기본적으로 Fig.1과 같이 구성되며, 빗물공급 가능량을 산정하기 위한 빗물이용시설의 주요 설계 인자로는 강우자료, 집수면적, 저류조 용량 및 계획 사용수량 등이 있다.

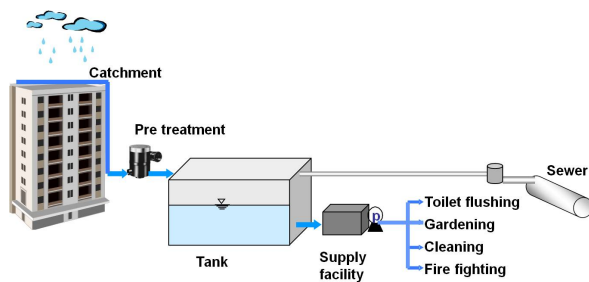


Fig. 1. Rainwater harvesting system

본 연구에서는 빗물공급 가능량 모의를 위해 RainCity™ 모형을 이용하였다(김 등, 2011). RainCity™ 모형은 빗물관리 시에 일반적으로 사용되는 대표 시설 조합에 대한 빗물이용시설의 설계와 효과 분석을 하기 위한 프로그램으로써, 대상 집수면에서의 유입량과 유출량의 차이는 저류량의 변화율과 같다는 Mass-balance 이론에 근거하며, 주요 관계식은 식 (1) ~ (3)과 같다.

$$Q_t = 10^{-3} \times C \times I \times A \quad (1)$$

$$S_t = S_{t-1} + (Q_t - Q_{out}) - D_t \quad (2)$$

$$Q_{out} = Q_d + Q_{ov} \quad (3)$$

여기서, Q_t : 유입량(m^3/h), C : 유출계수, I : 강우강도 [mm/h], A : 집수면적 [m^2], S_t : 현재 저류량(m^3), S_{t-1} : 이전시간 저류량(m^3), Q_{out} : 유출량(m^3), Q_d : 방류량(m^3), Q_{ov} : 월류량(m^3), D_t : 사용수량(m^3)

대상 시설에서의 물수지 관계로부터 저류용량의 크기에 따라 빗물이용률, 상수대체율을 산정하여 적정 용량과 빗물공급 가능량을 모의 할 수 있다. 빗물이용률 및 상수대체율은 기본식은 식 (4) 및 (5)와 같다.

$$\text{빗물이용률}(\%) = \frac{\text{빗물급수량}(m^3)}{\text{집수가능량}(m^3)} \times 100(\%) \quad (4)$$

$$\text{상수대체율}(\%) = \frac{\text{빗물급수량}(m^3)}{\text{총급수량}(m^3)} \times 100(\%) \quad (5)$$

RainCity™ 모형을 사용하여 빗물 사용수량의 예측 및 다양한 시설조합에 대한 모의가 가능하고 경제적인 시설조합과 규모를 산출할 수 있다. 또한, 선택한 시설조합에 대한 물수지 및 경제성 분석이

가능하며 모의 순서는 Fig. 2와 같다.

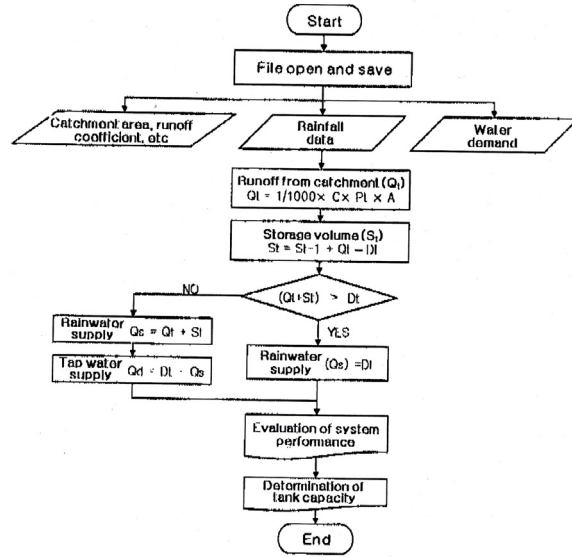


Fig. 2. Flow chart of simulation using RainCity™

빗물공급 가능량 모의를 위한 설계 인자로 서울 지역의 10년간 (2001~2010) 일강우 자료를 사용하였으며, 집수면은 건축물의 지붕면을 활용할 경우를 가정하고 면적은 0~10,000 m^2 의 범위로 하였다. 빗물저류조 용량은 집수면적(A)에 대한 저류조 용량(V)의 비를 단위 저류조 용량 (V/A)으로 정의하고 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙(환경부, 2011)에서 제안하는 0.05로 하여 0~500 m^3 의 범위로 하였으며, 단위 저류조 용량의 범위 0.03~0.09를 추가로 적용하여 분석하였다. 계획 사용수량은 집수면적(A)에 대한 일일 계획 사용수량(D)의 비를 단위 계획 사용수량 (D/A)으로 정의하고 0.001~0.05의 범위로 하였다.

2.2 경제성 분석

경제성 분석은 사업의 실행을 위해 투입되는 비용과 사업을 통해 발생하는 편익의 비교를 통해 경제적 측면에서의 사업 타당성을 판단하기 위해 실시한다. 비용과 편익을 분석하는 방법에는 현재까지

법, 비용편익 비율법, 내부수익률법 등이 있으며, 본 연구에서는 여러 가지 사업의 객관적 비교가 가능한 편익-비용비 (benefit cost ratio, BCR) 방법을 이용하였다 (심, 2000). 편익의 현재 가치가 PV_B (Present value of benefit)이고 비용의 현재 가치가 PV_C (Present value of cost)일 때 BCR은 식(6)과 같다.

$$BCR = \frac{PV_B}{PV_C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (6)$$

여기서, B_t : 연도별 편익, C_t : 연도별 비용, r : 할인율

빗물이용시설의 비용 항목은 설치비와 유지관리 비로 나눌 수 있다. 콘크리트 빗물저류조 설치 시 빗물이용시설의 설치비를 Table 1에 나타내었으며, 유지관리비는 김 등 (2008) 및 문과 한 (2009)의 연구를 참고로 하여 설치비의 2 %로 적용하였다. 시설의 내구년수는 35년으로 가정하였다.

Table 1. Cost for RWHS construction and management

Capacity (m ³)	Construction (thousand won)			Operation & management (thousand won/year)
	Tank	Plumbing, etc.	Sub total	
10	8,273	1,011	9,284	186
20	11,212	1,305	12,517	250
50	19,906	2,175	22,081	442
100	34,821	3,666	38,487	770
300	67,184	6,902	74,086	1,482
500	92,280	9,412	101,692	2,034

편익 산출을 위한 빗물이용량은 저류조 용량 0~500m³ 범위에서 단위 저류조 용량 0.05 및 단위 계획 사용수량 0.005 조건에서 산출하였다. 편익항목은 상하수도 요금과 물이용 부담금 절감을 통한 사

적 편익과 상수도 생산원가 절감 및 댐관련 비용의 절감 등에 의한 사회적 편익으로 나눌 수 있다. 사회적 편익은 서울특별시 자료를 기준으로 하여 상수도요금 570원/m³, 하수도요금 380원/m³, 물이용부담금 160원/m³을 적용하였다 (서울특별시 상수도사업본부). 사회적 편익 산출을 위해서는 수돗물 요금 현실화율 87.5%를 고려한 생산원가 651원/m³과 댐건설, 지원 및 관리비 절감액 135원/m³에 물가상승률을 반영한 161원/m³을 적용하였다 (환경부, 2004). 경제성 분석을 위한 할인율은 5.75%를 적용하였고, 물가상승률은 2004년에서 2010년까지의 평균 3.2%/년을 적용하였으며 (한국은행 경제통계시스템), 수도요금 증가율은 2001년에서 2010년까지의 연평균 증가율 4.1%를 적용하였다 (환경부, 2010).

2.3 민감도 분석

빗물이용시설의 경제성에 영향을 미치는 주요 인자들을 대상으로 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석을 위해 설계인자, 비용 및 수도요금의 증가율에 따른 BCR값을 산출하였다. 설계인자로 단위 저류조 용량과 단위 계획 사용수량에 대해 분석하였고, 비용으로는 설치비와 유지관리비에 대해 분석하였으며, 분석 범위들을 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Range of factors for sensitivity analysis

	Factors	Range	Remarks
Design	Catchment (V/A)	0.03 ~ 0.09	
	Rainwater demand (D/A)	0.001 ~ 0.05	
Cost	Construction (%)	60 ~ 120	compared to an estimated value
	Operation & management (%)	1 ~ 4	compared to construction cost
	Increase rate of water service charge (%)	4.1, 6, 8	

3. 결과 및 고찰

3.1 빗물이용량 산정 결과

단위 저류조 용량을 0.05로 일정하게 유지하면서 빗물저류조의 용량과 계획 사용수량을 증가시켰을 때 빗물이용량을 Fig. 3에 나타내었다. 빗물이용량은 빗물저류조의 용량에 선형으로 비례하며, 빗물저류조의 용량이 같을 경우에도 계획 사용수량에 따라 빗물이용량은 큰 차이를 보였다. 집수면이 2000 m²인 건물의 경우 100m³ 용량의 빗물저류조 설치를 통해 계획 사용수량이 2m³/일과 100m³/일에서 각각 연간 663m³ 및 2,296m³의 용수 확보가 가능하다. 계획 사용수량의 증가에 따라 빗물 공급량이 증가하는 결과는 김 등 (2008)이 제시한 동일 집수면에서 계획사용수량이 증가할수록 빗물이용률이 증가한다는 결과와 같게 나타났다. 집수면에서 발생하는 빗물양 대비 활용하는 빗물량의 비율인 빗물이용률은 단위 저류조 용량과 단위 계획 사용수량의 값이 같을 경우 빗물저류조의 용량이 증가해도 동일한 값을 보였다. 이에 따라 단위 저류조 용량 0.05에서 단위 계획 사용수량이 0.001, 0.003, 0.005, 0.01 및 0.05 일때, 빗물이용률은 각각 23.1, 44.2, 53.4, 63.2 및 79.8 %로 나타났다.

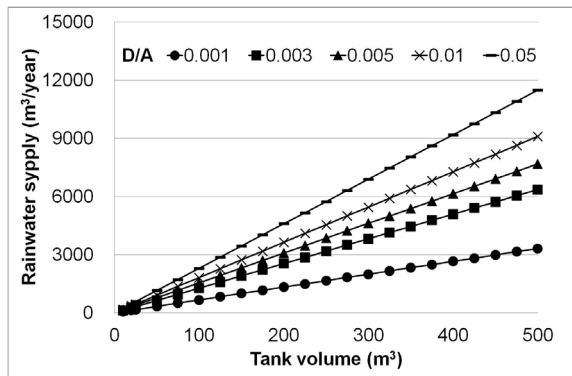


Fig. 3. Rainwater supply capacity in each tank volume according to D/A change at V/A = 0.05

다음으로 단위 저류조 용량 값의 변화에 따른 빗물이용량을 파악하기 위해 단위 계획 사용수량을

0.005로 고정시키고 단위 저류조 용량 값이 0.03, 0.05, 0.07 및 0.09일 때 저류조의 용량을 증가시키면서 빗물이용량을 산출하였다 (Fig. 4). 단위 저류조 용량 값이 작을수록 저류조 용량 대비 집수면 면적이 커지는 것을 의미하므로 빗물이용량이 증가되는 경향을 보였다. 단위 저류조 용량 값이 0.05 일때에 비해 집수면적이 약 67% 증가한 단위 저류조 용량 값 0.03에서 빗물이용량이 50%증가하는 것으로 나타났으며, 집수면적이 약 44% 감소한 단위 저류조 용량 값 0.09에서 빗물이용량이 40% 감소하였다.

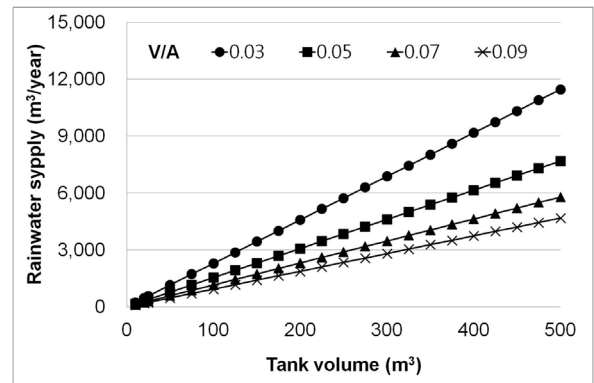
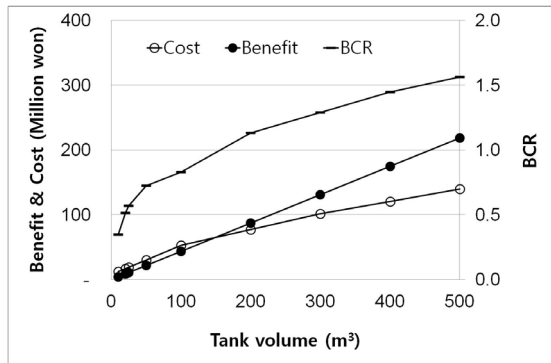


Fig. 4. Rainwater supply capacity in each tank volume according to V/A change at D/A = 0.005

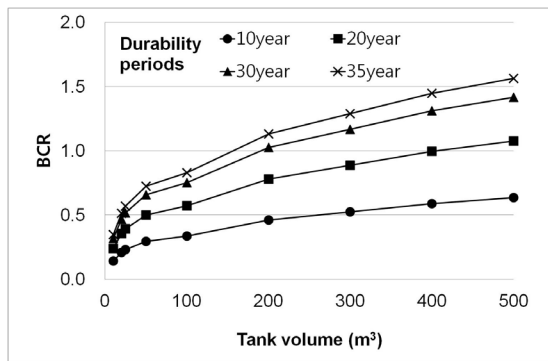
3.2 비용편익 분석 결과

빗물이용 시 수도요금 절약을 통한 사적편익을 고려하여 경제성을 분석한 결과를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 편익 산정을 위한 빗물이용량은 집수면적 0에서 10,000m²의 범위에서 단위 저류조 용량 0.05 및 단위 계획 사용수량 0.005일 때를 기준으로 하였으며, 시설의 내구년수는 35년으로 하여 분석하였다. 저류조의 용량이 비교적 작은 50m³이하에서는 저류조의 용량 증가에 따라 BCR값이 가파르게 증가하는 경향을 보였으며, 160m³이상부터 BCR값이 1 이상이 되어 경제성 확보가 가능한 것으로 나타났다. 내구년수를 10년, 20년, 30년 및 35년으로 하여

경제성을 분석한 결과를 Fig. 5(b)에 나타내었다. 내구년수 10년에서는 저류조의 용량이 증가해도 BCR이 1이하로 산출되었으며, 내구년수 20년과 30년에는 각각 저류조 용량 400m³과 200m³ 정도에서부터 BCR값이 1이상으로 나타나 경제성이 확보되는 것으로 나타났다.



(a) Cost, Benefit and BCR

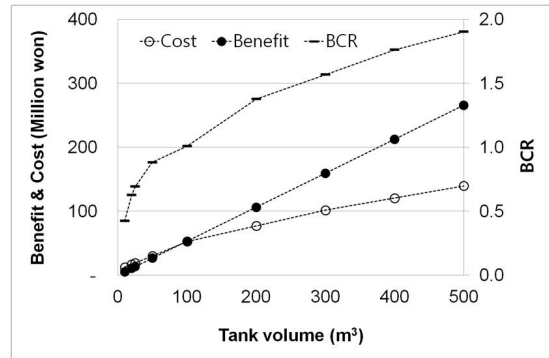


(b) BCR by durability periods

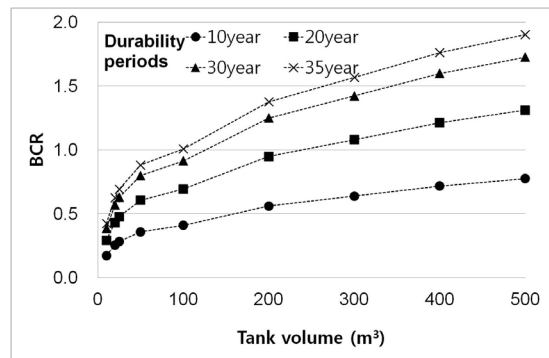
Fig. 5. Results of BC analysis in each tank volume considering private benefits

빗물이용 시 수도요금 절약을 통한 사적편익과 함께 상수도 생산원가 절감 및 댐 관련 소요비용 등 사회적 편익까지 고려하여 경제성을 분석한 결과를 Fig. 6(a)에 나타내었으며, 내구년수에 따른 경제성 분석 결과를 Fig. 6(b)에 나타내었다.

편익 산정을 위한 빗물이용량 산정 조건 및 시설의 내구년수는 사적 편익 분석 시와 같게 하였다. 저류조 용량 100m³ 이상부터 BCR값이 1 이상이 되어



(a) Cost, Benefit and BCR



(b) BCR by durability periods

Fig. 6. Results of BC analysis in each tank volume considering private and public benefits

사적 편익 고려 시 160m³ 보다 작은 저류조 용량에서부터 경제성 확보가 가능하였다. 내구년수 20년과 30년에는 각각 저류조 용량 약 230m³과 120m³ 정도에서부터 BCR값이 1이상으로 나타나 경제성이 확보되는 것으로 나타났다. 김 등 (2008)은 집수면적 1000m² 및 계획수량 5m³/d 일 경우 저류용량 24m³ 이하에서 경제성이 확보되는 것으로 보고 하였으나, 본 연구에서는 같은 설계조건에서 50m³의 저류용량일 경우 BCR이 0.88로써 1이하의 값을 나타내고 있다. 이러한 차이는 김 등 (2008)의 경제성 분석에서 편익 산정 시 상수도요금 상승률이 미반영 되어 편익이 실제보다 작게 산정된 영향으로 보이며, 그 외에도 강우 조건, 저류조 재질에 따른 비용 및 유지관리비의 차이 등이 영향을 미친 인자로 판단된다.

3.3 민감도 분석 및 경제성 향상 방안 고찰

빗물이용시설의 주요 설계인자인 집수면적과 계획 사용수량 변화 시 사적편익을 고려한 BCR을 산출하여 Fig. 7과 8에 나타내었다. 집수면적이 증가하는 경우인 단위 저류조 용량 0.03에서는 저류조 용량 약 40m³에서 BCR이 1이상이 되었으며, 집수면적이 감소하는 경우인 단위 저류조 용량 0.09에서는 저류조 용량이 500m³ 이상이 되어야 BCR이 1이상이 되었다. Fig. 8에서 단위 계획 사용수량이 0.001로써 가장 작은 경우에는 분석범위의 저류조 용량에서는 BCR이 1 이하였으며, 단위 계획 사용수량이 0.05로써 큰 경우에는 저류조 용량 약 40m³에서도 BCR이 1이상으로 나타났다. 계획 사용수량은 저류조 용량을 증가시키는 방법에 비해 비용증가가 거의 없이도 BCR값을 높일 수 있는 설계인자이므로, 빗물의 활용처를 늘리고 설계 시 적정범위의 값을 사용하는 것이 중요하다.

빗물이용시설 설치 시 비용 요소인 설치비와 유지관리비의 변화에 따른 BCR을 산정하여 Fig. 9와 10에 나타내었다. 설치비를 20% 및 40% 감소시켰을 경우 BCR이 1이 되는 저류조 용량은 100m³ 및 30m³으로 감소하였으며, 20% 증가 되었을 경우 BCR이 1이 되는 저류조 용량이 220m³으로 증가하였다. 설치비는 저류조의 재질, 시공여건 및 시스템 구성의 최적화 정도에 영향을 받기 때문에 기술개발,

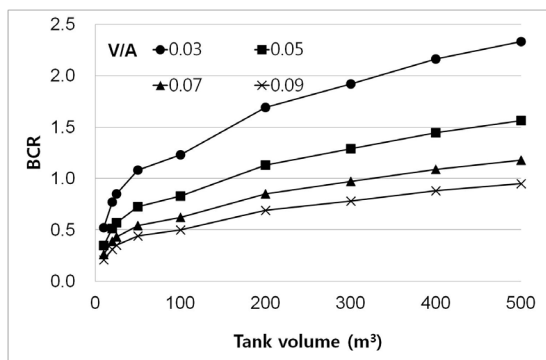


Fig. 7. BCR values in each tank volume according to V/A

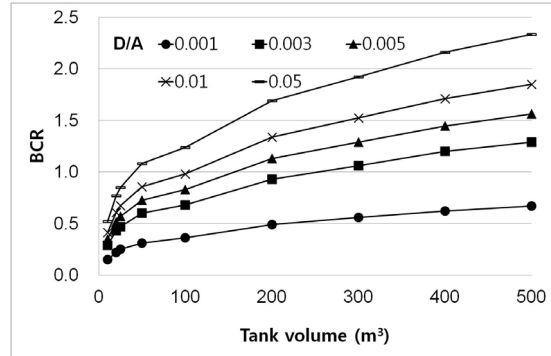


Fig. 8. BCR values in each tank volume according to D/A

설계 기법의 개선 및 시설의 확대 등이 이루어질 경우 시설의 경제성 향상에 기여할 수 있다. 유지관리비를 연간 설치비의 2%에서 1%로 낮출 경우 BCR이 1이 되는 빗물저류조의 용량이 160 m³에서 120 m³으로 감소되었으며, 3% 및 4%로 높일 경우 200m³ 및 270m³으로 증가하였다.

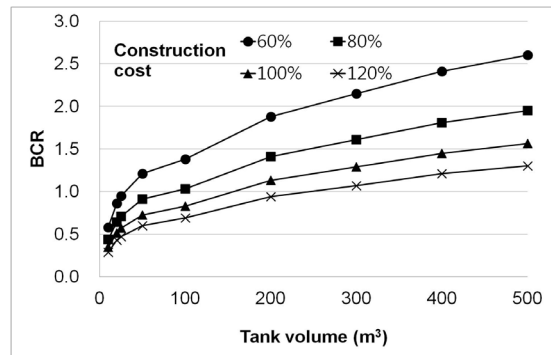


Fig. 9. BCR values in each tank volume according to initial construction cost

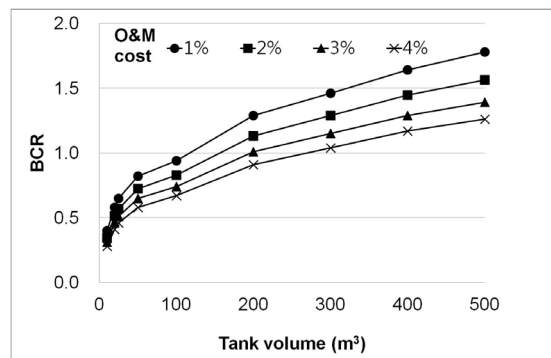


Fig. 10. BCR values in each tank volume according to operation and management(O&M) cost

다음으로 빗물이용시설의 편익 요소인 수도요금의 상승률 변화에 따른 BCR값을 산출하였다. 본 분석 시 사용한 수도요금 증가율 4.1%는 2001년에서 2010년까지의 연평균 증가율로써, 이 기간 중 2001년~2007년까지는 연평균 생산원가의 증가율이 4.3%였으나 수도요금 증가율은 3.9%였으며, 2008년~2010년의 경우 생산원가의 연간 증가율은 2.0~4.2%였으나 수도요금 증가율은 -0.5~1.5%로써 더욱 낮은 수준을 유지했으므로 상수도 요금 인상에 대한 부담이 큰 상태이다 (Fig. 11). 이에 따라 2012년에 서울, 부산, 인천 등 전국 지자체의 상수도와 하수도 요금이 최대 30%까지 상승할 것으로 파악되고 있으며 (서울특별시, 2012; 부산광역시, 2011; 인천광역시, 2011), 향후 물부족의 심화 등 상수도 요금 증가 요인이 적지 않은 상태이다. 따라서 빗물이용의 경제성 분석 시 상수도 요금 증가율을 6% 및 8%까지 가정하여 분석한 결과를 그림 12에 나타내었다. 상수도 요금의 증가율이 4%에서 8%로 두 배 증가시 BCR도 2배 증가하여 BCR이 1이 되는 빗물저류조의 용량이 160 m³에서 20m³로 감소하였으며, 6%로 증가 시에도 50m³로 감소하였다. 문과 한(2009)의 연구에서도 상수도요금을 연 3~12% 증가시킬 경우 빗물이용시설의 투자비용 회수 기간이 42%정도 감소하는 것으로 보고하고 있으므로 상수도 요금의 증가율이 빗물이용시설의 경제성에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다.

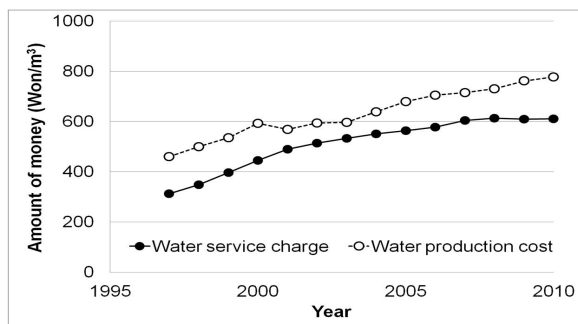


Fig. 11. Water service charge and water production cost from 1995 to 2010

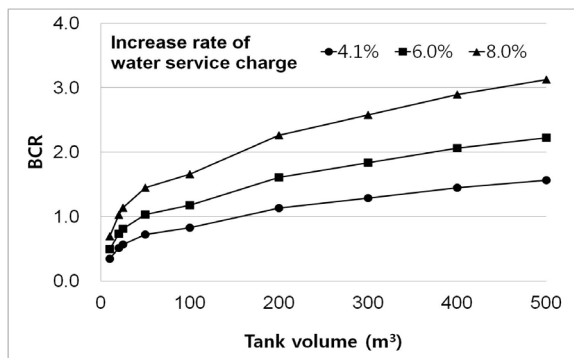


Fig. 12. BCR values in each tank volume according to increase rate of water service charge

4. 결론

현재까지 빗물이용시설의 경제성 평가는 개별 시설의 운영 결과 또는 일정한 면적을 가정한 집수면을 대상으로 한 빗물이용시설의 운영 모의 결과를 바탕으로 실시되어 왔다. 빗물이용시설이 다양한 규모의 건축물에 설치되는 경우 건축물 규모에 따른 경제성을 파악할 필요가 있으므로 본 논문에서는 건축물의 규모에 영향을 받는 집수면적의 변화와 계획 사용수량을 고려하여 빗물공급 가능량을 산출하였으며, 경제성 확보가 가능한 빗물저류조의 용량을 파악하였고, 설계인자, 비용 항목 및 수도요금 증가율이 경제성에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1) 건축물 빗물이용시설을 대상으로 서울지역의 강우자료, 집수면적 0-10,000 m², 단위 저류조 용량 0.03-0.09 및 단위 계획 사용수량 0.001-0.05 범위 값을 적용하고 RainCity™ 모형을 사용하여 빗물이용 가능량을 모의하였으며, 단위 저류조 용량 0.05, 단위 계획 사용수량 0.005 및 내구년수 35년 조건에서 저류조 용량 변화에 따른 상수도 요금 절감을 통한 사회적 편익과 수돗물 생산원가 절감과 댐관련 비용의 절감을 통한 사회적 편익을 적용한 BCR을 산출하였다.

2) 단위 저류조 용량과 단위 계획 사용수량을 각각 0.05 및 0.005로 일정하게 유지할 때 빗물이용량은



빗물저류조 용량 증가에 선형으로 비례하였으며, 기울기는 일정한 단위 저류조 용량에 대해서는 단위 계획수량에 비례하고 일정한 단위 계획 사용수량에 대해서는 단위 저류조 용량에 반비례 하였다.

3) BCR 값은 빗물저류조 용량의 증가와 비례하였으며, 저류조 용량 50m³까지 설치비의 영향으로 가파르게 증가하다가 이후 완만한 증가 경향을 보였다.

4) 사적편익 고려 시 빗물저류조 용량 160m³ 이상, 그리고 사회적 편익까지 고려 시 100m³ 이상에서 BCR값이 1이상이 되어 경제성이 확보되는 것으로 나타났다.

5) 집수면적과 단위 계획 사용수량 증가 시 BCR이 1이상이 되는 저류조의 용량이 감소하여 소규모 저류조에서도 경제성이 확보되었으며, 계획 활용수량 증가는 비용증가 부담 없이 BCR을 높일 수 있는 설계 인자이므로 빗물의 활용처를 늘리고 적정 범위의 값을 사용할 필요가 있다.

6) 비용 요소인 설치비와 유지관리비의 감소로 경제성 확보가 가능한 저류조 용량의 기준이 감소하였으며, 향후 증가 요인이 적지 않은 수도요금의 증가율도 빗물이용시설의 경제성 향상에 영향을 미칠 것으로 나타났다.

7) 향후 보다 실제적인 경제성 평가가 이루어지기 위해서는 집수면과 환경의 영향을 받는 유출빗물의 수질 및 빗물 활용용도를 반영한 수처리 공정과 유지관리를 함께 고려해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

김이호, 이상호, 남숙현, 이정훈, 김하나 (2011) *RainCity™ 사용자 지침서*, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 서울.

김이호, 김영민, 이상호, 이정훈 (2005) MUSIC을 이용한 공동주택단지 우수저류침투시설 설계, *대한환경공학회 2005 춘계학술연구발표회 논문집*, pp.370-373.

김영민, 이상호, 이정훈, 김이호 (2008) Mass-balance 및 경

제성 분석에 의한 빗물저류시설 적정 규모 산정, *상하수도학회지*, 22(2), pp.233-238.

문정수, 한무영 (2009) S 주상복합단지 빗물이용시설의 경제성 평가, *대한건축학회논문집 계획계*, 25(12), pp.173-181.

문정수, 한명실, 기동원, 한무영 (2005) 하수관거 침수 방지를 위한 빗물 저류조 용량 설계, *2005년 공동주택학술발표회 논문집*, pp.420-423.

부산광역시 법무행정 서비스, <http://www.busan.go.kr/law/>
서울특별시 법무행정 서비스, <http://legal.seoul.go.kr/>
서울특별시 상수도사업본부, <http://water.seoul.go.kr/>

심명필 (2000) 수자원 경제성 분석 입문 (1), *한국수자원학회지*, 33(3), pp.111-120.

인천광역시 자치법규 정보 서비스, <http://legal.incheon.go.kr/>
한국은행 경제통계시스템, <http://ecos.bok.or.kr/>

홍원화, 배선현, 최미영 (2005) 대구월드컵경기장 빗물이용시설 도입에 따른 경제성 평가에 관한 연구, *대한건축학회논문집 계획계*, 21(8), pp.243-250

환경부 (2010) *상수도통계*.

환경부 (2009) *상수도통계*.

환경부 (2004) *중수도 활성화를 위한 제도개선 T/F팀 구성 운영보고서*

Bill Hicks, P.E. (2008) A Cost-Benefit Analysis of Rainwater Harvesting at Commercial Facilities in Arlington County, Virginia, Masters project, Duke University, Virginia, USA

Han, M.Y., Mun, J.S. (2008) Particle behaviour consideration to maximize the settling capacity of rainwater storage tanks, *Water Science & Technology*, 56(11), pp.73-79.

Kim, R.H., Lee, S.H., Lee, J.H. and Gee, J.S. (2007) Thermal Properties of Water-Absorbing and Surface Modified Porous Pavements, *Material Science Forum*, 691, pp.913-916.

Liang, Xiao and Meine Pieter van Dijk (2011) Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), pp.1100-1108.

Rahman, A., Dbais, J. and Imteaz, M. (2010) Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Multistorey Residential Buildings, *American J. of Engineering and Applied Sciences* 3(1), pp.73-82.