

## 건축물 지붕과 연결된 빗물저류조의 적정 규모 결정에 관한 고찰 : 수원지역을 중심으로

노희성·안태진\*\*

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부

\*한경대학교 건설환경공학부

### A Discussion on Determination of Suitable Size of Rain Tank Connected to Building Roof in Suwon District

Huiseong Noh·Taejin Ahn\*\*

*Department of Hydro Science and Engineering Research, KICT, Korea*

*\*Department of Civil & Environmental Engineering, Hankyong National University, Korea*

(Received : 25 May 2022, Revised : 15 July 2022, Accepted : 15 July 2022)

#### 요약

본 연구에서는 수원지방에서 효율적이고 타당한 빗물저류조의 용량을 평가하기 위하여 수원강우관측소의 월평균강수량, 일강수량변동곡선 및 일강우일수를 분석하였다. 빗물저류조 용량별 연평균빗물사용량 및 일평균저수량은 빗물저류조내 유입되는 일강수량, 일수요량, 빗물저류조의 용량 등을 일단위 연속방정식에 적용하여 산정하였다. 빗물저류조 용량별 연평균빗물사용량, 이용효율, 저류조 사용일수, 저류조의 일평균저수량, 일별수요량 등을 감안하여 빗물저류조의 용량을 평가하면 물의 재이용 관련 법령에서 제시한 활용강우량 50.0mm 이상은 과도한 빗물저류조의 용량인 것으로 판단된다. 따라서 지역별로 타당하게 제시될 일별 수요량, 빗물사용량에 따른 빗물저류조 용량별 편익, 빗물저류조 용량별 설치비용 등을 감안하여 빗물 저류조의 활용강우량 즉 빗물저류조의 용량을 결정하는 것이 합리적임을 보여주었다.

핵심용어 : 빗물저류조, 빗물사용량, 일평균저수량

#### Abstract

In this study to estimate suitable size of rain tank in Suwon district, monthly rainfall, daily rainfall duration curve and daily rainy days have been analyzed. Annual rainwater consumption and daily average amount of storage with respect to size of rain tank have been calculated by applying continuity equations that take account of daily rainfall, daily consumptive use, storage of rain tank, It has been shown that above 50 mm of rainfall in the ordinance related to reclamation water may be inappropriate regulation if annual amount of rainfall captured, efficiency of utilized rainwater, number of days for utilized rain tank, daily average amount of storage and daily consumptive use have been considered. Thus, it has been shown that suitable size of rain tank should be determined considering reasonable daily consumptive use with respect to district, constructed cost of rain tank and benefit of rain tank constructed.

Key words : Rain Tank, Amount of Rainfall Captured, Daily Average Amount of Storage

\*To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil & Environmental Engineering, Hankyong National University, Korea  
E-mail: ahntj@hknu.ac.kr

• Huiseong Noh 283, Goyang-daero, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea / Senior Resercher(huiseongnoh@kict.re.kr)  
• Taejin Ahn (Engineering Building 3 #206) 327, Jungang-ro, Anseong-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea / Professors (ahntj@hknu.ac.kr)

## 1. 서 론

빗물저류조의 법적인 설치 근거인 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률(이하 물재이용법)』 시행령(2022.03.25.) 제10조제1항제1호 및 동법 시행규칙(2020. 2. 24) 제4조제1항제3호에 의하면 공공건축물의 지붕면적이 1,000 m<sup>2</sup> 이상인 경우 50.0 m<sup>3</sup> 이상의 저류조 (50.0 mm 활용강우량, 집수면적에 대한 저류용량)를 설치하여야 하도록 명시되어 있다. 또한 치수 기능을 부여한 설치근거인 『자연재해대책법(2021. 6. 28)』에 의하면 자연재해 예방 및 대비 차원으로 설치하는 우수유출저감시설인 우수저류지가 있으며, 동법에는 가뭄극복대책으로 빗물모으기 시설의 도입을 명시하고 있다.

Han et al.(2004)은 일물사용량 (0.5톤, 1톤, 2톤, 3톤, 4톤, 5톤 상정)과 빗물저류조 (0.2톤, 5톤, 10톤, 15톤, 20톤 상정)의 관계도를 빗물이용율, 상수도 대체율, 사이클수 및 빗물사용일수 사항에 관하여 정립하였으며 적용강우는 최근 5년간 서울지역의 평균강우량을 적용하였다. Kim et al. (2009)은 건축물에서 100 m<sup>2</sup> 지붕면적에 관하여 홍수관리를 감안하여 10 m<sup>3</sup>의 저류조의 용량(활용 강우량 100 mm, 저류조 용량/지붕면적)을 제시하고 우수관거에 직접 연결하는 것으로 제시하였다. Ahn과 Yoon (2013)은 도시지역에서 빗물 활용을 위한 빗물저류조의 용량 결정에 관한 방안으로 빗물 저류조 설치 대상 강우량은 이수 측면에서는 일우량, 치수 측면에서는 시우량을 적용하였다.

경기도 빗물저류조 설치 사례를 살펴보면 Suwon city (2010)는 집수면적 100,000 m<sup>2</sup>인 수원종합운동장에 빗물 10,000 m<sup>3</sup>(100 mm 활용강우량 = 빗물저류조의 용량/집수면적)을 저장할 수 있는 저류시설 6개소를 설치하여 저장된 빗물을 조경용수, 화장실 용수로 재활용한다. 수원 월드컵경기장의 경우 집수면적 425,000 m<sup>2</sup>에 빗물저류량은 24,500 m<sup>3</sup>(약 57 mm 활용강우량)로 가장 큰 규모를 나타내고 있으며 지면에서 집수된 빗물이 저류조를 통하여 하천으로 방류하도록 되어 있다. 그 외 학교건물, 아파트건물 등 지붕을 이용한 다양한 규모의 빗물관리 시설을 설치하여 조경용수, 화장실 용수, 잔디용수, 청소용수 등으로 빗물을 이용하고 있다. 또한 수원시 박지성축구센터는 지붕면적 1000 m<sup>2</sup>에 100 m<sup>3</sup> 저류조(100 mm 활용강우량), 성남시 풍성신미주아파트의 지붕면적 2,016 m<sup>2</sup>에 700 m<sup>3</sup> 저류조(347 mm 활용강우량), 성남시 판교한림아파트의 지붕면적 1,200 m<sup>2</sup>에 270 m<sup>3</sup> 저류조(225 mm 활용강우량), 고양시 화정중학교의 지붕면적 1,443 m<sup>2</sup>에 318 m<sup>3</sup> 저류조(229 mm 활용강우량), 고양시 DSD삼호의 지붕면적 98,819 m<sup>2</sup>에 1,600 m<sup>3</sup> 저류조(16 mm 활용강우량), 용인시 수지구 청사의 지붕면적 3,700 m<sup>2</sup>에 532 m<sup>3</sup> 저류조(144 mm 활용강우량), 안양시 경인교대의 지붕면적 16,167 m<sup>2</sup>에 2,600 m<sup>3</sup> 저류조(160 mm 활용강우량), 파주시 파주하우징내 지붕면적 2,500 m<sup>2</sup>에 274 m<sup>3</sup>(110 mm 활용가능량) 등이 있으며 최대 225 mm 활용 강우량이 있는 반면에 최소 16 mm 활용 강우량을 갖는 사례도 있다(Song et al, 2012).

일본은 도시개발로 인해 증가하는 유출량을 사업지구내에서 전량 처리하는 우수유출 억제시설을 유역종합치수대책 및 자치단체 조례를 통해 적극적으로 설치하여 운영하고 있다. Tokyo city (1990)는 빗물이용율, 빗물저류조 용량/집수면적 및 빗물사용량/집수면적을 표시한 빗물저류조 용량 계획선도를 제시하여 빗물이용계획에 활용하고 있다. 활용강우량은 10.0 mm 이상으로 하고 있으며 이 경우 빗물이용율은 일수요량별로 약 37%에서 58% 범위에 있다. 빗물저류조 사례에 의하면 활용강우량은 개략적으로 30.0mm 이상이었다. 빗물관리 활성화를 위해 독일에서는 분산형 빗물관리를 위해 국가 자연보전법은 옥상녹화와 같은 분산형 수단들을 규정하고 있다. StormCon (2011)은 빗물저류조별 수요량별 빗물이용율에 관한 모노그램을 제시한 바 있으며 CIRIA(2001)은 다양한 형태의 빗물 수확을 위한 방안을 제시하고 있다. 독일 및 미국에서는 100 m<sup>2</sup> 지붕면적에 대한 빗물저류조의 용량은 약 4 m<sup>3</sup>로 활용강우량은 40.0 mm가 된다.

본 연구에서는 앞서 살펴본 선행연구를 바탕으로 수원지방 강우량 분석과 연계하여 빗물저류조의 용량별 빗물사용량과 비율, 빗물저류조의 사용일수, 빗물 저류조의 일평균 저수량과 저수율 등을 국내 상황을 고려하여 분석함으로써 현재 활용강우량 50 mm 이상의 빗물저류조 용량으로 규정한 것에 대한 평가와 함께 적절한 규모의 빗물저류조를 결정함에 있어 고려해야 할 사항을 제시하였다.

## 2. 수원지방의 강수량 양상

Table 1에는 기상청<sup>1)</sup> 수원기상대에서 1964년부터 2020년까지 연강수량을 수록하였다. 57년동안 연평균강수량은 1,308.9 mm이었으며 연최대강수량은 2,043.6 mm(1990), 연최소강수량은 751.1 mm(2015)이었다. Table 2에는 1964년부터 2020년까지 월별평균강수량을 나타내었으며 1월, 2월, 3월 및 12월의 평균강수량은 50mm 미만이었다. 월최대강수량은 7월의 350.5 mm, 월최소강수량은 1월의 22.1 mm로 월별편차는 상당히 커서 상당한 계절적 변동성을 보여주고 있다.

일강수량의 변동성을 평가하기 위하여 강수량변동곡선(precipitation duration curve)을 Table 3 및 Fig. 1과 같이 작성하였다. 1964년부터 2020년까지 57개년동안 일강수량 1.0 mm 이상인 일강수량을 분석하였다. 분석기간동안 일최대강수량 333.2 mm 기준으로 내림차순으로 정리하였으며, 강우일수는 4,528일이었고 연평균강우일수는 약 80일이었다(일강수량 0.1mm이상 강우일수는 6,182일). Table 3에서 보는 바와 같이 일강수량 50 mm는 약 7.5 % 초과백분율에 해당하는 일강수량으로 분석되었으며, 일강수량 20 mm는 약 24 %에 해당하는 일강수량이다. 일반적인 기대치인 50 % 초과백분율에 해당하는 강우량은 7.0 mm이었다.

1) 기상자료개방포털(<http://data.kma.go.kr>)

Table 1. Annual Precipitation for Suwon Rainfall Station (mm)

Year	Precipitation	Year	Precipitation	Year	Precipitation	Year	Precipitation	Year	Precipitation
1964	1869.9	1976	1046.1	1988	849.8	2000	1328.8	2012	1748.3
1965	1309.7	1977	1049.4	1989	1217.7	2001	1067.2	2013	1240.1
1966	1396.9	1978	1134.9	1990	2043.6	2002	1231.7	2014	1029.1
1967	1198.5	1979	1319.1	1991	1320.4	2003	1514.8	2015	751.1
1968	1570.8	1980	1187.0	1992	1129.4	2004	1217.0	2016	1023.4
1969	1428.4	1981	1331.4	1993	1162.9	2005	1427.7	2017	1328.6
1970	1646.4	1982	1067.4	1994	1045.6	2006	1362.7	2018	1293.1
1971	1324.8	1983	942.4	1995	1653.3	2007	1325.0	2019	915.8
1972	1775.2	1984	1172.8	1996	952.1	2008	1342.9	2020	1602.7
1973	1021.8	1985	1491.0	1997	1394.3	2009	1541.2		
1974	1189.3	1986	1141.1	1998	1626.9	2010	1470.6	Mean	1308.9
1975	1127.0	1987	1439.1	1999	1556.1	2011	1975.9		

Table 2. Mean Monthly Precipitation for Suwon Rainfall Station (1964 ~ 2020) (mm)

Month	Monthly precipitation	Month	Monthly precipitation	Month	Monthly precipitation
Jan.	22.1	May	90.1	Sept.	140.6
Feb.	28.3	June	122.3	Oct.	56.8
March	44.7	July	350.5	Nov.	51.7
April	82.8	August	293.2	Dec.	23.4

Table 3. Daily Rainfall Duration Analysis for Suwon Station (1964~2020)

Rank	% of time	Daily rainfall (mm)	Rank	% of time	Daily rainfall (mm)	Rank	% of time	Daily rainfall, mm
1	(max)	333.2	362	8.0	49.2	1,811	40.0	10.0
45	1.0	125.9	407	9.0	45.5	2,264	50.0	7.0
91	2.0	96.0	453	10.0	42.2	2,717	60.0	5.0
136	3.0	82.0	679	15.0	31.0	3,170	70.0	3.2
181	4.0	72.2	906	20.0	24.0	3,622	80.0	2.0
226	5.0	64.1	1,132	25.0	18.0	4,076	90.0	1.5
272	6.0	57.5	1,358	30.0	16.0	4,528	100	1.0
317	7.0	52.5	1,586	35.0	13.0			

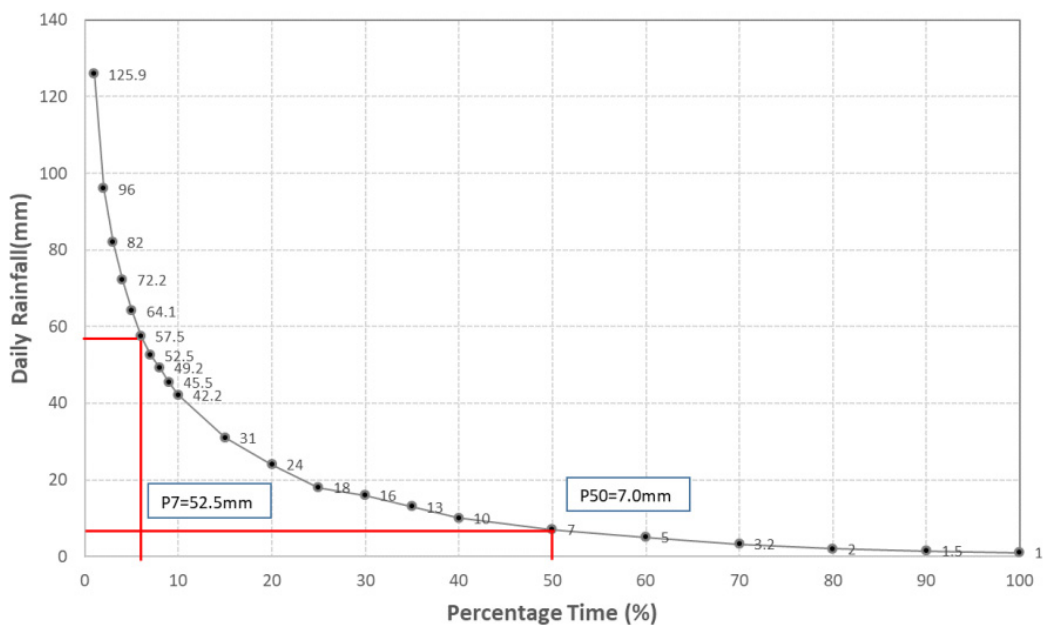


Fig. 1. Daily Precipitation Duration Curve for SuWon Station (1964~2020)

이는 연평균 강우일수 80일 중, 50 mm이상 발생하는 연평균 일강우일수는 약 6일, 20 mm 미만 발생하는 연간 강우일수는 약 60일이고, 7.0 mm보다 작은 강우가 발생하는 평균강우일수는 연간 약 40일로 강우변동성이 상당함을 알 수 있다.

일강우량의 변동성을 보다 구체적으로 분석하기 위하여 연

최대강수량, 연최소강수량, 연평균강수량 등을 포함하는 연도를 선정하였다, 즉 1990년(최대), 1992년, 1999년, 2011년, 2012년, 2014년, 2015년(최소), 2017년(평균), 2018년(평균) 및 2019년이다. Table 4에는 선정된 연도별, 일강수량 범위별 누가일강우량(amount of cumulative rainfall, ACR), 연강수량에 대한 누가일강우량의 비율 및 누가강우

Table 4. Amount of Cumulative Precipitation and Number of Days for Cumulative Precipitation for given Rainfall Range (Suwon Station)

Rainfall(mm)	1990	1992	1999	2011	2012	2014	2015	2017	2018	2019	Mean
1 ~ 20	626 (31%) (75)	457 (40%) (73)	307 (20%) (52)	360 (18%) (47)	426 (24%) (63)	309 (30%) (55)	456 (61%) (65)	401 (30%) (63)	363 (28%) (59)	342 (37%) (55)	405 (30%) (61)
20 ~ 30	818 (40%) (82)	619 (55%) (80)	472 (30%) (59)	503 (25%) (53)	504 (29%) (66)	420 (41%) (59)	568 (76%) (70)	452 (34%) (65)	484 (37%) (64)	550 (60%) (63)	539 (39%) (66)
30 ~ 40	922 (45%) (85)	655 (58%) (81)	643 (41%) (64)	740 (37%) (60)	610 (35%) (69)	518 (50%) (62)	630 (84%) (72)	590 (44%) (69)	520 (40%) (65)	589 (64%) (64)	642 (47%) (69)
40 ~ 50	1,107[a] (54%)[b] (89)[c] V20[d]	696 (62%) (82)	816 (52%) (68) V20	887 (45%) (63) V20 V30	795 (45%) (73)	737 (72%) (67) V20 V30	630 (84%) (72) V20 V20	590 (44%) (69)	567 (44%) (66)	677 (74%) (66) V20 V30	750[a] (54%) (72) V20 V20
50 ~ 60	1,227 (60%) (91) V30 V40	752 (67%) (83) V20	874 (56%) (69) V30 V40	1,055 (53%) (66) V40 V50 V60	900 (51%) (75) V20 V30	737 (72%) (67) V20 V30	686 (91%) (73) V30	640 (48%) (70)	620 (48%) (67)	727 (79%) (67)	822 (60%) (73) V30
60 ~ 70	1,283 (63%) (93) V50	885 (78%) (85) V30 V40	936 (60%) (70)	1,123 (57%) (67)	900 (51%) (75)	796 (77%) (68)	751 (100%) (74) V40 V50 V60	773 (58%) (72) V20 V30	815 (63%) (70) V20 V30	727 (79%) (67)	899 (65%) (74) V40
70 ~ 80	1,439[a] (70%)[b] (94)[c] V60[d]	960 (85%) (86) V50	1,013 (65%) (71) V50 V60	1,195 (60%) (68)	974 (56%) (76) V40	796 (77%) (68)	751 (100%) (74)	925 (70%) (74) V40 V50 V60	967 (75%) (72) V40 V50 V60	727 (79%) (67)	975 (71%) (75) V50 V60
80 ~ 100	1,528 (75%) (95)	960 (85%) (86)	1,277 (82%) (74)	1,277 (65%) (69)	1,332 (76%) (80) V50 V60	796 (77%) (68)	751 (100%) (74)	1,093 (82%) (76)	1,063 (82%) (73)	808 (88%) (68) V40 V50	1,089 (79%) (76) V70 V80 V90
100 이상	2,044 (100%) (97)	1,129 (100%) (87) V60	1,556 (100%) (76)	1,976 (100%) (74)	1,748 (100%) (82)	1,029 (100%) (70) V40 V50 V60	751 (100%) (74) V40 v50 v60	1,328 (100%) (78)	1,293 (100%) (75)	915 (100%) (69) V60	1,377 (100%) (78) V100
Average precipitation (mm)	2,043.6	1,129.4	1,556.1	1,975.9	1,748.3	1,029.1	751.1	1,328.6	1,293.1	915.8	1,377
Number of days for above 50mm of rainfall	8	5	8	11	9	3	2	9	9	3	7

[a] Amount of cumulative rainfall (m<sup>3</sup>, mm), [b] Amount of cumulative rainfall/annual precipitation(%), [c] Number of days for cumulative rainfall [d] Size of rain tank

일수(number of days for cumulative rainfall)을 나타낸 것이며 누가강우량은 1.0 mm미만 일강우량은 모두 포함하였으나, 누가강우일수 산정에서는 제외하였다.

연강수량이 최대인 1990년 강우양상을 살펴보면 총강우일수 97일 중 일강우량이 20.0 mm미만 강우일수가 75일이며, 이 경우 누가강우량은 626.0 mm로 연강수량 2043.6 mm의 약 31 %에 이른다. 강우일수 75일은 일강우량 1.0 mm미만 강우일수 27일은 포함되지 않았다. 1990년에 일강우량 50.0 mm이상 발생한 일수는 8일이었으며 내린 강우량은 937 mm(연강수량의 약 46.0 %)으로 상당한 부분을 차지하고 있다.

연강수량이 최소인 2015년 강우양상을 살펴보면 총강우일수 74일 중 일강우량이 20.0 mm미만 강우일수가 65일이며, 이 경우 누가강우량은 456.0 mm로 연강수량 751.1 mm의 약 61 %에 이른다. 강우일수 65일은 일강우량 1.0 mm미만 강우일수 27일은 포함되지 않았다. 2015년에 일강우량 50.0 mm 이상 발생한 일수는 단 2일이었으며 내린 강우량은 121.1 mm(연강수량의 약 16 %)이었다.

선정된 10개년에서 관하여 강우량 범위별 누가강우량의 평균을 살펴보면, 일강우량 20.0 mm 미만 발생한 누가강우량은 405.0 mm이며 연평균강수량 1,377.0 mm의 약 30%에 이른다. 일강우량 20.0 mm미만 강우일수는 61일로서 Table 3의 57개년 일강수량 자료로 분석한 강수량변동곡선에 의한 분석 결과인 60일과 유사한 결과이다. 한편 일강우량 50.0 mm 미만 발생한 누가강우량은 750.0 mm로 연평균강수량 1,377.0 mm의 약 54%에 이른다. 또한 일강우량 50.0 mm이상 발생한 평균일수는 7일이었으며 Table 3의 57개년 일강수량 자료로 분석한 강수량변동곡선에 의한 분석결과인 6일과 유사한 결과로서 연간 평균강우일수 80일(강우량 1.0 mm미만 강우일수는 미포함)에 비하면 10%미만의 확률로 발생하고 있다.

Table 4에서 나타낸 V20, V30, V40, V50 및 V60은 각각 빗물저류조의 용량(m<sup>3</sup> 또는 mm)을 나타내며 다음 절에서 기술하고자 한다.

### 3. 빗물저류조의 적정 용량 평가

#### 3.1 빗물저류조의 용량별 빗물 이용량 분석

빗물저류조의 용량별 빗물 사용량(이용율) 및 일평균 저수량(저수율)을 산정하기 위하여 연도별 일강수량 자료를 수집하고 빗물저류조내 강우기간에 적용한 일별 연속방정식은 다음과 식 (1)과 같다.

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

여기서  $PV_t$ 는 t일에 발생한 강우량(mm)에 의한 강우체적(m<sup>3</sup>),  $S_{t-1}$ 는 t-1일의 빗물저류조의 저류량(m<sup>3</sup>),  $D_t$ 는 t일의 수요량(m<sup>3</sup>),  $Q_t$ 는 t일의 빗물저류조로부터 월류량(m<sup>3</sup>),  $S_t$ 는 t일의 빗물저류조의 저류량(m<sup>3</sup>)이다. 건축물 지붕의

유출계수는 일반적으로 적용하는 1.0로 산정하였다.

식 (1)을 적용하여 빗물저류조의 용량별 빗물사용량 및 이용율)을 연간 단위로 산정하였다. 계산을 용이하게 위하여 건축물 지붕면적(집수면적)은 1,000 m<sup>2</sup>를 적용하였으며 빗물저류조의 용량은 20 m<sup>3</sup>(V20), 30 m<sup>3</sup>(V30), 40 m<sup>3</sup>(V40), 50 m<sup>3</sup>(V50), 60 m<sup>3</sup>(V60), 70 m<sup>3</sup>(V70), 80 m<sup>3</sup>(V80), 90 m<sup>3</sup>(V90) 및 100 m<sup>3</sup>(V100)을 상정하였다. 각 저류조 용량을 저류조 용량(m<sup>3</sup>)/집수면적(m<sup>2</sup>)으로 표시하면 20 m<sup>3</sup>(20 mm), ..., 100 m<sup>3</sup>(100 mm)로 되어 저류지 용량(m<sup>3</sup>)과 활용강우량(저류지 용량/집수면적, mm)은 동일한 의미가 된다. 연속방정식 적용시 강우 첫날은 수요량을 적용하지 않고, 일강우량이 상정한 저류조 용량보다 작을 경우 첫날은 모두 저류하는 것으로 하였고 일강우량이 저류조 용량 보다 많을 경우는 월류시키는 것으로 하였다, 본 분석에서 적용한 수요량은 일 10 m<sup>3</sup>로 하였으며 선정된 10개년 동안 연속방정식을 적용하여 빗물저류조의 용량별 빗물사용량(amount of utilized rainwater, AUR), 연강수량에 대한 빗물사용량 비율(AUR/annual precipitation)은 Table 5와 같다. 또한 빗물사용량 (AUR)/빗물저류조의 용량(size of rain tank)는 빗물저류조를 이용하는 회수를 의미하는 지표가 된다.

물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행령 및 시행규칙에 의하면 건축물 집수면적에 대한 저류용량은 50 mm 이상으로 하여야 하는 규정은 집수면적이 1,000 m<sup>2</sup>일 때 50 m<sup>3</sup>의 저류량과 상당하는 의미이다. Table 5에 의하면 일반적으로 연강우량이 클수록 저류지용량별 빗물사용량 및 비율은 작아지고 연강우량이 작을수록 빗물사용량 및 비율은 커진다. Table 5와 같이 연강수량이 최대인 1990년의 빗물저류조의 용량별 빗물사용량 및 빗물사용량의 비율을 살펴보면 저류조 용량 20.0 m<sup>3</sup>(V20)인 경우, 빗물사용량은 1,060(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 52%를 활용하는 것으로 분석되었다. 저류조 용량 50.0 m<sup>3</sup>(V50)인 경우, 빗물사용량은 1,232(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 60%를 활용하였다. 이것을 Table 4의 강우량 범위별 누가강우량의 크기에 비교하면 저류조용량 20m<sup>3</sup>(V20)의 빗물사용량은 일강우량 40 mm~50 mm의 누가강우량 범위에 들고, 저류조 50m<sup>3</sup>(V50)의 빗물사용량은 일강우량 60 mm~70 mm의 누가강우량 범위에 있다.

Table 5와 같이 연강수량이 최소인 2015년의 빗물저류조의 용량별 빗물사용량 및 빗물사용량의 비율을 살펴보면 저류조 용량 20.0 m<sup>3</sup>(V20)인 경우, 빗물사용량은 625(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 87%를 활용하는 것으로 분석되었다. 저류조 용량 50.0 m<sup>3</sup>(V50)인 경우, 빗물사용량은 694(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 92%를 활용하여 대부분의 연강수량을 활용하였다. 이것을 Table 4의 강우량 범위별 누가강우량의 크기에 비교하면 저류조 용량 20m<sup>3</sup>(V20)의 빗물사용량은 일강우량 40 mm~50 mm의 누가강우량 범위에 들고, 저류조 50 m<sup>3</sup>(V50)의 빗물사용량은 일강우량 60 mm~70 mm의 누가강우량 범위에 있어 거의 연강수량을 활용하고 있다.

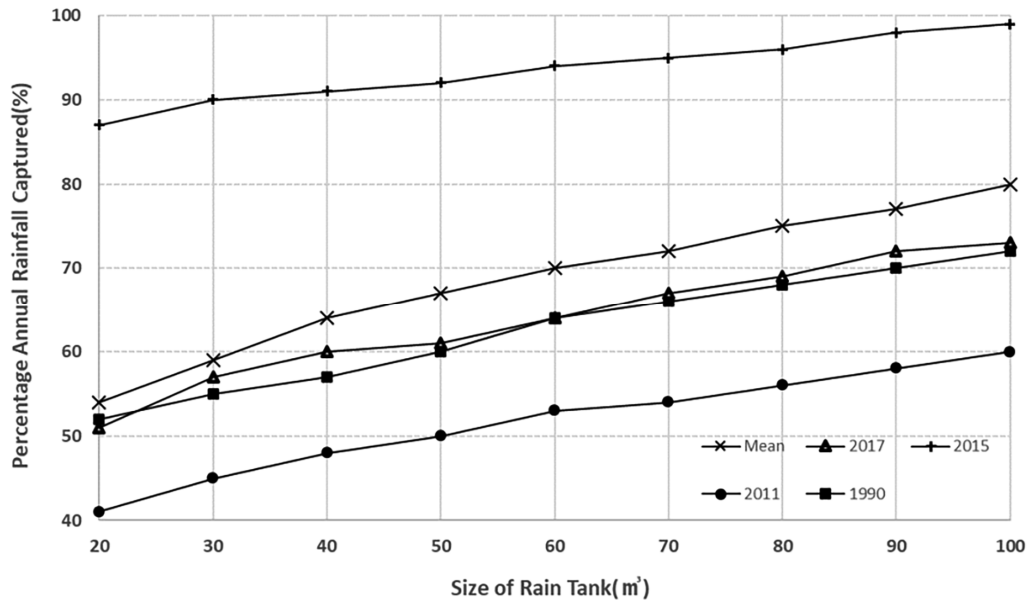


Fig 2. Percentage annual rainfall captured with respect to size of rain tank (Suwon station)

Table 5. Amount of Utilized Rainwater and Ratio of Utilized Rainwater to Annual Precipitation (Suwon station)

	Size of rain tank (m³,mm)	1990	1992	1999	2011	2012	2014	2015	2017	2018	2019	mean	
Amount of utilized rainwater (AUR) (m³, mm)	V20	1,060[a] (52%)[b] [53][c]	751 (68%) [38]	727 (47%) [36]	801 (41%) [40]	829 (48%) [42]	623 (61%) [31]	625 (87%) [33]	672 (51%) [34]	657 (51%) [33]	621 (68%) [31]	737 (54%) [37]	
	V30	1,129 (55%) [38]	837 (74%) [28]	841 (54%) [28]	880 (45%) [29]	887 (51%) [30]	725 (71%) [24]	674 (90%) [22]	752 (57%) [25]	737 (57%) [25]	722 (79%) [24]	818 (59%) [27]	
	V40	1,174 (57%) [34]	902 (80%) [23]	899 (58%) [23]	946 (48%) [24]	969 (55%) [24]	802 (78%) [20]	684 (91%) [17]	794 (60%) [20]	817 (63%) [20]	772 (84%) [19]	876 (64%) [22]	
	V50	1,232 (60%) [25]	952 (84%) [19]	941 (61%) [19]	984 (50%) [20]	1,055 (60%) [21]	858 (83%) [17]	694 (92%) [14]	812 (61%) [16]	883 (68%) [18]	792 (87%) [16]	920 (67%) [19]	
	AUR/ annual Precipitation (%)	V60	1,308 (64%) [22]	996 (88%) [17]	971 (62%) [16]	1,035 (53%) [17]	1,117 (64%) [19]	898 (87%) [15]	704 (94%) [12]	853 (64%) [14]	957 (74%) [16]	811 (89%) [14]	965 (70%) [16]
		V70	1,350 (66%) [19]	1,016 (90%) [15]	991 (64%) [14]	1,064 (54%) [15]	1,175 (67%) [16]	934 (91%) [13]	714 (95%) [10]	890 (67%) [13]	992 (77%) [14]	832 (91%) [12]	996 (72%) [14]
	AUR/ Size of rain tank	V80	1,390 (68%) [17]	1,031 (91%) [13]	1,011 (65%) [13]	1,106 (56%) [14]	1,235 (71%) [15]	964 (94%) [12]	724 (96%) [9]	921 (69%) [12]	1,034 (80%) [13]	851 (93%) [11]	1,027 (75%) [13]
		V90	1,430 (70%) [16]	1,042 (92%) [12]	1,031 (66%) [11]	1,146 (58%) [13]	1,277 (73%) [14]	995 (97%) [11]	734 (98%) [8]	951 (72%) [11]	1,067 (83%) [12]	872 (95%) [10]	1,055 (77%) [12]
V100		1,463 (72%) [15]	1,051 (93%) [11]	1,043 (67%) [10]	1,286 (60%) [12]	1,308 (75%) [13]	1,104 (99%) [10]	744 (99%) [7]	976 (73%) [10]	1,081 (84%) [11]	902 (99%) [9]	1,096 (80%) [11]	
Annual precipitation (mm)		2,043.6	1,129.4	1,556.1	1,975.9	1,748.3	1,029.1	751.1	1,328.6	1,293.1	915.8	1,377	

[a] Amount of utilized rainwater (AUR) (m³, mm), [b] AUR/annual Precipitation(%), [c] AUR/Size of rain tank

연강수량이 평균인 2017년의 빗물저류조의 용량별 빗물 사용량 및 빗물사용량의 비율을 살펴보면 저류조 용량 20.0 m³(V20)인 경우, 빗물사용량은 672(m³, mm)로서 연강

수량의 51%를 활용하는 것으로 분석되었다(Table 5). 저류조 용량 50.0 m³(V50)인 경우, 빗물사용량은 812(m³, mm)로서 연강수량의 61%를 활용하였다. 이것을 Table 4의 강

우량 범위별 누가강우량의 크기에 비교하면 저류조용량 20 m<sup>3</sup>(V20)의 빗물사용량은 일강우량 60 mm~70 mm의 누가강우량 범위에 들고, 저류조 50 m<sup>3</sup>(V50)의 빗물사용량은 일강우량 70 mm~80 mm의 누가강우량 범위에 있다.

Table 5와 같이 10개년 분석한 것을 평균한 빗물저류조의 용량별 빗물사용량 및 빗물사용량의 비율을 살펴보면 저류조 용량 20.0 m<sup>3</sup>(V20)인 경우, 빗물사용량은 737(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 54%를 활용하는 것으로 분석되었다. 저류조 용량 50.0 m<sup>3</sup>(V50)인 경우, 빗물사용량은 920(m<sup>3</sup>, mm)로서 연강수량의 67%를 활용하였다(Table). 이것을 Table 4의 강우량 범위별 누가강우량의 크기에 비교하면 저류조용량 20 m<sup>3</sup>(V20)의 빗물사용량은 일강우량 40 mm~50 mm의 누가강우량 범위에 들고, 저류조 50 mm의 빗물사용량은 일강우량 70 mm~80 mm의 누가강우량 범위에 있다.

Table 4에서 보는 바와 같이 선정된 10개년간 연도별 누가강우량과 저류조 용량 20m<sup>3</sup>의 빗물사용량 737 mm을 비교하면 10개년 모두 30 mm~40 mm 일강우량에 해당하는 누가강우량의 평균치 642 mm 이내에 있으며 누가강우량의 평균치 750 mm는 40 mm~50 mm 일강우량에 해당하는 누가강우량 범위에 있다. 2015년 연강수량 최소인 경우 저류조 용량 40 m<sup>3</sup>(V40), 50 m<sup>3</sup>(V50), 60 m<sup>3</sup>(V60)의 빗물사용량은 일강우량 60 mm~70 mm의 누가강우량 범위에 있어 동일한 성능을 보여주고 있다. 2017년 연강수량이 평균치인 경우 40 m<sup>3</sup>(V40), 50 m<sup>3</sup>(V50) 및 60 m<sup>3</sup>(V60)의 빗물사용량은 일강우량 70 mm~80 mm의 누가강우량 범위에 있어 동일한 성능을 보여주고 있다.

또한 선정된 10개년간의 평균치를 살펴보면 저류조 용량 50 m<sup>3</sup>(V50), 60 m<sup>3</sup>(V60)의 빗물사용량은 일강우량 70 mm~80 mm의 누가강우량 범위내에서 동일한 성능을 보여주고 있다. 동일한 관점에서 볼 때, 저류조 용량 70 m<sup>3</sup>(V70), 80 m<sup>3</sup>(V80), 90 m<sup>3</sup>(V90)의 빗물사용량은 일강우량 80 mm~100 mm의 누가강우량 범위내에서 동일한 성능을 보여

주고 있다. Fig. 2은 빗물저류조 용량별 빗물사용량의 비율은 나타나고 있으며 연강수량이 최소인 2015년이 가장 높은 비율을 보여 주고 있다.

### 3.2 저류조 용량별 운영 효율

Table 6 ~ Table 8에는 2015년(연최소강수량, 751.1 mm), 1990년(연최대강수량, 2,043.6 mm) 및 2017년 (연평균강수량, 1,328.6 mm)에 빗물저류조 용량별 빗물사용량, 일평균저수량 및 저수율에 관하여 분석한 결과를 나타내었다. 3.1절의 식 (1)을 적용하였으며, 계산을 용이하게 위하여 건축물 지붕면적(집수면적)은 1,000 m<sup>2</sup>을 적용하였다. 빗물저류조의 용량은 20 m<sup>3</sup>(V20), 30 m<sup>3</sup>(V30), 40 m<sup>3</sup>(V40) 및 50 m<sup>3</sup>(V50)을 상정하였다. 분석은 단일강우사상 또는 연속강우사상의 누가강수량이 20.0mm 미만인 경우와 이상인 경우 및 전체 강우사상으로 구분하여 저류조 사용일수, 빗물사용량, 일평균저수량(저수율)을 산정하였다.

Table 6 ~ Table 8에서 보는 바와 같이 전체강우사상에 관하여 빗물저수량이 연평균강수량 보다 많게 산정된 것은 빗물저류조가 가득찬 후 일수요량 10.0m<sup>3</sup>을 소비하면서 빗물저류조가 완전히 비워질때까지의 빗물저수량(저류조 사용일수 포함)을 포함하여 산정함으로써 발생한 수치이다. 3개년 모두 20mm 미만 강우사상에 관하여 저류조 용량별 일평균저수량은 모두 5.0 %미만으로 저류조 활용 효율은 매우 낮은 것으로 산정되었으며 저류조 용량 50m<sup>3</sup>이나 20 m<sup>3</sup>의 차이는 유의미한 수치는 아닌 것으로 보인다. 전체 강우사상에 관하여 저류조 용량별 일평균저수량을 살펴보면, 2015년(연최소강수량)은 최대 9.9m<sup>3</sup> 미만, 1990년(연최대강수량)은 최대 18.9m<sup>3</sup> 미만 그리고 2017년(연평균강수량)은 최대 18.2m<sup>3</sup> 이내로 모두 20m<sup>3</sup> 이내로 나타났다. 이는 저류조 용량 50m<sup>3</sup>인 경우도 연간 저류조 사용기간(2015년 97일, 1990년 150일, 2017년 109일)내 저류조의 평균저수량은 약 10m<sup>3</sup>(약 20%) 정도로 상당히 낮은 효율임을 알 수

Table 6. Number of Days for Utilized Rain Tank and Mean Daily Storage of Rain Tank (Suwon, 2015)

Size of rain tank (m <sup>3</sup> )	Under 20mm of rainfall for single or continuous events			Above 20mm of rainfall for single or continuous events			Total rainfall events for given year		
	Number of days for utilized rain tank (1)	Amount of utilized rainwater (mm) (2)	Mean daily storage rain tank (m <sup>3</sup> ) (3)=(2)/(1) Mean daily efficiency =(3)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (4)	Amount of utilized rainwater (mm) (5)	Mean daily storage rain tank (m <sup>3</sup> ) (6)=(5)/(4) Mean daily efficiency =(6)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (7)=(1)+(4)	Amount of utilized rainwater (mm) (8)=(2)+(5)	Mean daily storage rain tank (m <sup>3</sup> ) (9)=(7)/(8) Mean daily efficiency =(9)/storage of rain tank (%)
50	50	144.5	2.9 5.8%	47	815.9	17.4 34.7%	97	960.4	9.9 19.2%
40	50	144.5	2.9 7.3%	46	669.3	14.5 36.2%	96	813.8	8.5 20.3%
30	52	172.5	3.3 11.0%	42	594.9	14.2 47.3%	94	767.4	8.2 25.6%
20	52	172.5	3.3 16.5%	38	486.6	12.8 64.0%	90	659.1	7.3 36.5%

Table 7. Number of Days for Utilized Rain Tank and Mean Daily Storage of Rain Tank (Suwon, 1990)

Size of rain tank (m³)	Under 20mm of rainfall for single or continuous events			Above 20mm of rainfall for single or continuous events			Total rainfall events for given year		
	Number of days for utilized rain tank (1)	Amount of utilized rainwater (mm) (2)	Mean daily storage rain tank (m³) (3)=(2)/(1) Mean daily efficiency = (3)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (4)	Amount of utilized rainwater (mm) (5)	Mean daily storage rain tank (m³) (6)=(5)/(4) Mean daily efficiency = (6)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (7)=(1)+(4)	Amount of utilized rainwater (mm) (8)=(2)+(5)	Mean daily storage rain tank (m³) (9)=(7)/(8) Mean daily efficiency = (9)/storage of rain tank (%)
50	37	174.0	4.7 9.4%	113	2,655.8	23.5 47.0%	150	2,829.8	18.9 37.8%
40	38	187.0	4.9 12.2%	108	2,161.1	20.0 50.0%	146	2,348.1	16.1 40.3%
30	38	187.0	4.9 16.3%	96	1,628.0	17.0 56.7%	134	1,815.0	13.5 45.0%
20	39	187.0	4.8 24.0%	85	1,038.6	12.2 61.0%	124	1,225.6	9.9 49.5%

Table 8. Number of Days for Utilized Rain Tank and Mean Daily Storage of Rain Tank (Suwon, 2017)

Size of rain tank (m³)	Under 20mm of rainfall for single or continuous events			Above 20mm of rainfall for single or continuous events			Total rainfall events for given year		
	Number of days for utilized rain tank (1)	Amount of utilized rainwater (mm) (2)	Mean daily storage rain tank (m³) (3)=(2)/(1) Mean daily efficiency = (3)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (4)	Amount of utilized rainwater (mm) (5)	Mean daily storage rain tank (m³) (6)=(5)/(4) Mean daily efficiency = (6)/storage of rain tank (%)	Number of days for utilized rain tank (7)=(1)+(4)	Amount of utilized rainwater (mm) (8)=(2)+(5)	Mean daily storage rain tank (m³) (9)=(7)/(8) Mean daily efficiency = (9)/storage of rain tank (%)
50	49	189.8	3.9 7.8%	60	1,797.7	30.0 60.0%	109	1,987.5	18.2 36.4%
40	49	189.8	3.9 13.0%	55	1,284.3	23.4 58.8%	104	1,474.1	14.2 35.5%
30	52	219.8	4.2 14.0%	50	907.9	18.2 60.7%	102	1,127.7	11.1 37.0%
20	52	219.8	4.2 21.0%	42	588.5	14.0 70.0%	94	808.3	8.6 43.0%

있다. 더구나 집중강우기간에는 상정된 일수요량 10.0m³은 현실적으로 감소될 것이고 수요량이 감소되면 당연히 연평균 사용효율은 낮아질 것이다.

### 4. 고 찰

물의 재이용 관련 법령에서 공공건축물의 지붕면적에 대한 활용강우량은 50mm 이상이 되어야 한다. 즉, 1,000 m²이 상인 경우 50.0 m³ 이상의 저류조를 설치하여야 하도록 명시되어 있다. 한편 경기도에서 설치한 빗물저류시설의 규모를 살펴보면 최대 225mm 활용 강우량이 있는 반면에 최소 16mm 활용 강우량을 갖는 사례가 있어, 설치된 빗물저류조 용량의 변동성은 매우 큼을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 빗물저류조의 용량을 결정하는데 있어

서 지침변경 시 고려할 만한 5가지 제안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

#### 제안 1. 월평균강수량

경기도내 강수량 자료는 Table 2와 같이 기상청 수원기상대에서 가장 긴 자료를 보유하고 있으며 1964년부터 2020년까지 1월(22.1 mm), 2월(28.3 mm), 3월(44.7 mm) 및 12월(23.4 mm)의 월평균강수량은 50mm 미만이어서 적어도 이 기간동안 및 빗물사용량 및 빗물저류조의 이용일수는 빗물저류조 용량 20 m³(V20)이나 50 m³(V50)의 차이는 크지 않을 것으로 판단된다.

#### 제안 2. 강수량변동곡선

Table 3에서 보는 바와 같이 일강우량 50 mm(지붕면적 1,000 m²의 저류조 용량 50 m³에 해당하는 강우량)는 약



7.5 % 초과백분율에 해당하는 일강우량으로 분석되었으며, 일강우량 20 mm는 약 24 %에 해당하는 일강우량이다. 일반적인 기대치인 50 % 초과백분율에 해당하는 강우량은 7.0 mm이었다. 연중 강수량의 변동성을 매우 심한 것을 알 수 있다.

### 제안 3. 강우일수

강수량변동곡선에 의하면 일강우량이 1.0mm 미만 발생한 강우일수를 무시한 연평균 강우일수 80일 중, 50 mm 이상 발생하는 연간 일강우일수는 약 6일, 20 mm 이상 발생하는 연간 강우일수는 약 20일이고, 7.0 mm보다 작은 강우가 발생하는 평균강우일수는 연간 약 40일로 강우변동성이 상당함을 알 수 있다.

### 제안 4. 연평균 빗물사용량 및 이용률

선정한 10개년간 연도별 누가강우량과 저류조 용량 20m<sup>3</sup>(V20)의 연평균 빗물사용량 737 mm(m<sup>3</sup>)은 연평균강수량 1,377 mm의 54%이고, 저류조 용량 50 m<sup>3</sup>(V50)의 연평균 빗물사용량은 920 mm(m<sup>3</sup>)로 연평균강수량의 67%이었다 (Table 5). 두 저류조 용량 차이에 의한 빗물사용량의 차이는 183m<sup>3</sup>/년이며 이를 상수도 요금으로 환산하면 131,760 원/년(1m<sup>3</sup>=720원, 2020 군포시)이 된다. 빗물저류조 용량 20.0 m<sup>3</sup>(V20)로도 일반적인 기대치인 연평균 빗물사용을 50%를 가능케하였다.

또한 선정한 10개년간의 평균치를 살펴보면 저류조 용량 50 m<sup>3</sup>(V50), 60 m<sup>3</sup>(V60)의 빗물사용량은 일강우량 70 mm ~80 mm의 누가강우량 범위에, 저류조 용량 70 m<sup>3</sup>(V70), 80 m<sup>3</sup>(V80), 90m<sup>3</sup>(V90)의 빗물사용량은 일강우량 80 mm ~100 mm의 누가강우량 범위에 있어 빗물사용량에 관한 동일한 성능을 보여주고 있다. Tokyo city (1990) 및 StormCon (2011)에 의하면 수요량이 커질수록 빗물사용량이 커지고 수요량이 작을수록 작아지는 것으로 제시하였으며 일본의 경우 빗물사용율은 58%이내 이었다.

### 제안 5. 빗물저류조의 이용효율

저류조 운영효율 분석에서 전체 강우사상에 관한 저류조 용량별 일평균저수량은 2015년(연최소강수량)은 최대 9.9 m<sup>3</sup> 미만, 1990년(연최대강수량)은 최대 18.9m<sup>3</sup> 미만 그리고 2017년(연평균강수량)은 최대 18.2 m<sup>3</sup> 이내로 모두 20 m<sup>3</sup> 이내로 나타났으며, 저류용량 저류조 용량 50m<sup>3</sup>이나 20 m<sup>3</sup>의 차이는 유의미한 수치는 아닌 것으로 보인다. 따라서 적어도 저류조 운영 효율 측면에서 보면 저류조 용량이 커질수록 과도한 시설 투자에 의한 과도한 유지관리 및 운영 비용을 부담될 수 있다는 사실이 유추된다. 이는 기존 빗물저류조의 운영 실적을 분석하게 되면 설치한 빗물 저류조의 용량별 운영 효율을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. Song et al (2012)는 경기도내 설치된 빗물저류조의 활용 강우량은 물재이용 관련 법령에서 제시한 50 mm이상의 경우보다 훨씬 큰 활용강우량을 도입한 것으로 보고하였다.

## 5. 결 론

본 연구를 통하여 효율적이고 타당한 빗물저류조의 용량은 1) 강우관측소의 월평균강수량, 2) 일강수량변동곡선 3) 일강우일수를 분석하고 4) 빗물저류조의 용량별 연평균 빗물사용량 및 이용률(일별 수요량 상정), 5) 빗물저류조의 이용효율을 평가하여 결정하여야 함을 알 수 있었다.

수원강우관측소에서 빗물저류조 용량별 빗물사용량, 저류조 사용일수, 저류조의 일평균저수량, 일별수요량(10 m<sup>3</sup>) 등을 감안하여 빗물저류조의 용량을 평가하면 물의 재이용 관련 법령에서 제시한 활용강우량 50.0 mm(저류조 용량 50 m<sup>3</sup>)이상은 과도한 빗물저류조의 용량인 것으로 판단된다. 따라서 지역별로 타당하게 제시될 일별 수요량, 빗물사용량에 따른 빗물저류조 용량별 편익, 빗물저류조 용량별 설치비용 등을 감안하여 빗물 저류조의 활용강우량 즉 빗물저류조의 용량을 결정하는 것이 합리적이라 할 수 있다. 빗물저류조 용량을 20 m<sup>3</sup>부터 상정하여 각 빗물저류조의 성능을 평가하여 결정함으로써, 일단 설치되면 반영구시설물이 되는 빗물저류조의 활용 효율을 제고할 수 있을 것이다.

## References

- Ahn, TJ, and JS Yoon (2013). Discussion on Size of Rain Tanks for Rainwater Management in Urban Area, SWGIC 2013.
- CIRIA C523 (2001) Sustainable Urban Drainage Systems, Best Practices Manual for England, Scotland and Northern Ireland
- Han, MY, MS Han and SR Kim (2004). A Consideration in Determining the Tank Size of Rain water Harvesting System in Buildings, J. of the Korean Society of Water Wastewater, Vol. 18, No. 2, pp. 89-109. [Korean Literature]
- Kim, YG, MY Han, YH Kim and JS Mun (2009). An Experimental Runoff Formula in Building Roof Area for On-site Rainwater Management. J. of Korean Water Resources Association, Vol. 42. No. 2, pp. 171-176. [Korean Literature]
- Song, MY, SJ Khang, HN Choi, DH Im, and KH Shin (2012). Supplementary Proposal to Promote Rainwater Utilization in Gyeonggi Province. [Korean Literature]
- StormCon (2011) StormWater Management, Sept. pp. 24 ~ pp. 40.
- SuWon city (2010). Comprehensive Plan for Natural Disaster in SuWon city. [Korean Literature]
- ToKyo city (1990). Plan and Design Criteria for Determining Storage of Rain Tanks.