

제주도 남원읍지역 대용량 빗물이용시설의 적정규모 및 농업용수 공급 가능량 산정 연구

김민철 · 박원배* · 강봉래

제주연구원

A Study on the Appropriate Size of Large Rainwater Utilizing Facilities and Estimation of Agricultural Water Availability in Namwon eup, Jeju Island

Minchul Kim · Wonbae Park* · Bongrae Kang

Jeju Research Institute, Jeju Island 63147, Korea

ABSTRACT

Jeju Island is seeking reliable ways to secure alternative water resources using rainwater in order to conserve and manage its groundwater as sustainable water resources. The purpose of this study is to investigate the rainwater storage capability of small-size storage facilities installed at farmhouses in Ugwi and Wimi of Namwon-eup region. The rainwater outflows from the storage facilities in rain events were analyzed. The appropriate size of rainwater utilizing facilities are suggested to be about 5,800 m³ in Ugwi area and 4,900 m³ in Wimi area based on the calculation from the rainfall frequency and runoff amounts. If those facilities are put into operation in Ugwi and Wimi area, it is estimated approximately 32.3 and 11.5% of total agricultural water can be supplied by the facilities. Wimi area showed low rainwater usage because of less number of facilities relative to the size of farm areas and less intensive underground water usage. It is analyzed that more than 55% of agricultural water can be supplied by rainwater if 70 facilities without the rainwater facilities are connected to the rainwater utilizing facilities.

Key words : Jeju Island, Groundwater, Alternative water resources, Greenhouse, Rainwater utilizing facilities

1. 서 론

제주도의 수자원은 96% 이상 지하수에 의존하고 있으나 최근 유입 인구 증가와 개발사업, 고소득 특용작물 전환 등으로 용수수요량은 급증함에 따라 지속적인 지하수 개발이 이루어지고 있다. 특히, FTA(Free Trade Agreement) 체결에 따라 제주지역의 1차 산업 경쟁력을 높이기 위해 시설하우스 지원이 활발하게 진행 중이며, 2013년부터 2017년까지 시설하우스의 면적은 매년 3.7% 증가되고 있다(DATA.go.kr). 특히, 시설하우스에서 재배되는 감귤은 노지감귤 대비 9배 이상 물이 필요하므로 농업용수 수요

량은 계속적으로 증가되며, 이로 인해 공공 농업용 지하수 개발은 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다(JSSGP, 2013a). 그러나 2017년 말 제주도 지하수 허가량은 1,579천 m³/일로 지속이용가능량 1,768천 m³/일의 89.3%가 개발·이용되고 있어 농업용수 수요가 발생할 때마다 지속적으로 지하수를 개발·이용 할 경우 지하수를 지속이용가능한 자원으로 보전·관리하기에 한계가 있다(JSSGP, 2013b).

제주도에서는 이와 같은 환경변화에 대응하고 지하수를 보전·관리하기 위해 대체수자원으로서 빗물이용시설 설치를 지원하고 있다. 2017년 기준 도내에는 1,116개소의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 이중 95%(1,068개소)가 시설하우스에 설치되어 있다. 그러나 시설하우스에 설치된 빗물이용시설의 저류시설(물탱크)은 대부분 100~150 m³ 규모로 설치되어 있어 평균 시설하우스 면적을 감안할 때 약 20~30 mm의 강수가 발생하면 빗물이용시설은 가득차고, 이후 빗물은 도로, 배수로, 우수관을 통해 하천으로 유출된다(Park et al., 2012). 특히, 빗물이용시설을

주저자: 김민철, 위촉연구위원

공저자: 박원배, 선임연구위원; 강봉래, 위촉연구위원

교신저자: 박원배, 선임연구위원

Email: gwaterpark@jri.re.kr

Received : 2020. 02. 07 Reviewed : 2020. 02. 18

Accepted : 2020. 03. 20 Discussion until : 2020. 06. 30

통해 지표로 유출되는 빗물은 초기우수배제시설과 저류시설을 거치기 때문에 농업용수로 활용하기에 양호한 수질을 보이며(Lee et al., 2008), 빗물이용시설 외부로 유출되는 빗물을 집수하여 농업용수로 활용하기 위한 방안이 필요하다.

빗물을 효율적으로 활용하기 위한 방안으로 Kang et al.(2015)은 장기 강우사상과 빗물 집수면적을 고려하여 계획량을 달성할 수 있도록 저류시설의 규모를 결정하였고, Jung(2007)은 제주도 중산간 지역의 경우 빗물 이용 지하수 개발의 경우보다 경제적이며, 빗물을 공동으로 집수하고 한곳으로 저류시켜 농업용수로 공급할 경우 경제성이 높다고 평가 하였다. Park and Kang(2017)은 평상시 용천수와 빗물을 대규모 저수조에 공급하고, 가뭄발생시 이를 활용할 수 있는 방안이 필요하다고 제시하였다. 특히, 제주도에서는 부지면적이 6만 m² 이상인 골프장의 경우, 의무적으로 빗물이용시설을 설치하여 월간 용수이용량의 40%를 빗물로 사용하여야 하며(Park et al., 2011), 2019년 기준 도내 30개소의 골프장에서는 전체 물 사용량의 41.1~86.4%를 빗물로 이용하고 있다(JSSGP, 2018).

본 연구에서는 남원읍 의귀, 위미지역을 대상으로 시설하우스 및 빗물이용시설을 세부적으로 조사하고, 빗물 집수가능량과 강수-유출 분석을 통해 빗물을 효율적으로 이용할 수 있는 대용량 빗물이용시설의 규모를 산정하였다. 또한, 대용량 빗물이용시설 설치 시 농업용수로 공급 가능량을 정량적으로 산정하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 제주도의 시설하우스 및 빗물이용시설 분포 현황을 고려하여 연구대상지역을 남원읍 의귀와 위미지역으로 선정하였다¹(Fig. 1). 연구대상지역의 빗물이용시설 현황을 파악하기 위해 제주특별자치도 지하수 관리

조례에 의해 설치된 시설현황을 조사하고, 현장조사를 실시하여 빗물이용시설 운영 실태, 시설하우스 면적, 빗물 집수면적, 저류시설 규모 등을 조사하였다. 특히, 빗물 집수면적은 시설하우스 구조에 따라 도로나 하천으로 유출되는 경우도 있어 빗물 저류시설로 집수 가능한 유효면적을 조사하였다(Fig. 2).

농업용수 이용량은 공공 농업용 지하수 관정을 통해 농가로 공급된 양과 급수구역 내 설치된 빗물이용시설의 빗물 이용량을 기준으로 산정하였다. 공공 농업용 지하수 관정의 이용량은 2013~2017년 한국농어촌공사에서 조사한 지하수 이용량 자료를 활용하였으며, 빗물 이용량은 제주특별자치도 수자원관리종합계획(2013)에서 감귤, 한라봉, 만감류를 대상으로 현장조사를 통해 산정된 빗물이용량 조사 결과를 인용하였다(Table 1).

연구대상지역의 강수특성을 분석하기 위해 제주남원과 태풍센터 AWS의 9년간(2009~2017년) 자료를 활용하였으

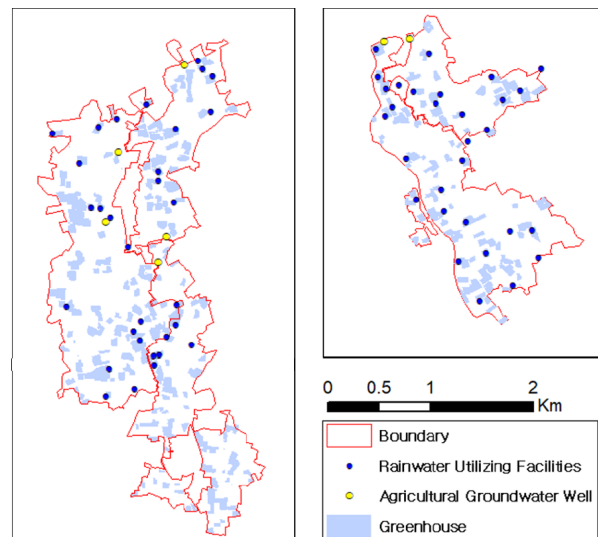


Fig. 1. Research area (right : Uigwi, left : Wimi).



Fig. 2. Rainwater collecting system and road drainage.

남원읍 지역의 시설하우스면적은 제주도 전체 시설하우스 면적의 26.4%를 차지하고, 빗물이용시설은 27.5%가 남원읍 지역에 설치되어 있다.

Table 1. Monthly average rainwater usage for respective crops(unit : m³)

Month	Mandarin	Hallabong	Late Maturing Species	Average
1	56.3	30	40.4	42.2
2	120	88.9	161.8	123.6
3	217.8	245.9	208.9	224.2
4	281.7	296.8	219.3	265.9
5	311.1	318.2	349.9	326.4
6	273.2	252.6	261.2	262.3
7	303.9	307.2	296.4	302.5
8	171.5	240.8	199.6	204
9	113.9	134.2	117.9	122
10	190.3	137.3	126.1	151.2
11	51	63.6	93.9	69.5
12	47	20.2	67.7	45
Average	178.1	178.0	178.6	178.2

Table 2. Greenhouse and rainwater collection area in research area

Area	Greenhouse (m ²)	Rainwater collection (m ²)	Ratio (%) of Rainwater collection
Uigwi	6,689.4	5,318.4	79.5
Wimi	6,315.7	4,582.9	72.5

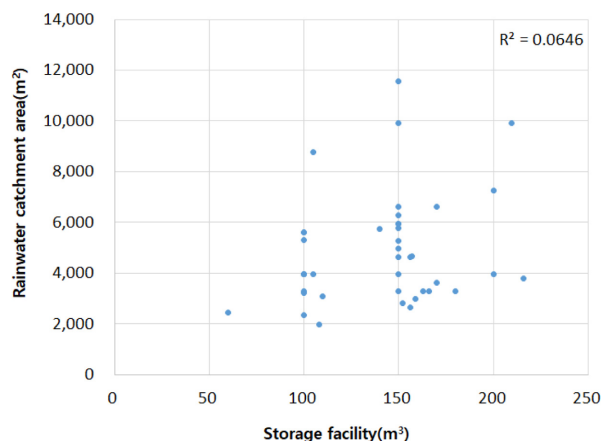
며, 현장조사 된 빗물 집수면적과 저류시설을 고려하여 빗물이용시설을 통해 외부로 유출되는 양을 산정하였다. 또한 대용량 빗물이용시설 규모에 따른 집수가능량과 강수-유출 사상에 따른 유출빈도 분석을 통해 연구대상지역에 적절한 대용량 빗물이용시설의 규모를 산정하고, 대용량 빗물이용시설 설치 시 농업용수로 공급할 수 있는 빗물의 양을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 빗물이용시설 운영 실태

3.1.1. 시설하우스 면적과 빗물 집수면적

의귀지역의 시설하우스 면적은 평균 6,689 m²이며, 빗물 집수면적은 5,318 m²으로 유효 집수면적은 시설하우스 면적의 77.2%로 조사되었다. 위미지역의 시설하우스 면적은 6,316 m²이며, 빗물 집수면적은 평균 4,583 m²으로 유효 집수면적은 시설하우스 면적의 72.5%로 조사되었다 (Table 2). 빗물 집수 가능량 또는 계획량 등은 강수량과 빗물 집수면적에 크게 영향을 받는다(Kang, 2015). 실제 시설하우스 면적으로 빗물 집수량을 산정할 경우 시설하우스 면적과 빗물 집수면적에 차이에 따라 약 22.8~27.5%까지 오차를 범할 수 있으므로 시설하우스 면적과 집수 가능면적의 기준은 별도로 구분하여 조사·분석 되어야 할 것으로 판단된다.

**Fig. 3.** Correlation between rainwater catchment area and storage facility.

3.1.2. 빗물이용시설의 저류시설 규모

의귀지역에는 30개소의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 빗물이용시설의 저류시설 규모는 100~209 m³으로 평균 148 m³이다. 위미지역에는 31개소의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 저류시설의 규모는 60~216 m³으로 평균 136 m³이다. 빗물 집수면적과 저류시설의 관계를 검토하기 위해 상관성 분석을 실시한 결과, R²는 0.0646으로 저류시설은 빗물 집수면적을 고려하지 않고 설치되어 있는 것으로 분석되었다(Fig. 3). Park et al.(2012)은 빗물 집수면적은 넓지만 빗물저류시설은 작은 경우 외부로 유

출되는 양이 많아 빗물이용의 효과는 낮아지고, 도로 및 농경지의 침수 등과 같은 2차 피해가 발생되므로 빗물 집수면적을 고려하여 저류시설을 설치해야 한다고 제시한 바 있다. 특히, 시설하우스가 밀집된 남원읍지역에서는 집중호우 시 매년 동일한 지역에서 침수피해를 겪고 있는 것으로 조사되었다. 빗물을 활용한 농업용수 이용과 더불어 침수피해 방지를 위해서는 빗물이용시설 설치 시 재배 작물에 따른 용수이용특성과 빗물 집수면적 등을 고려하여 적절한 저류시설이 설치되어야 할 것으로 판단된다.

3.2. 농업용수 이용특성

의귀지역의 연 평균 농업용수 이용량은 총 311,551 m³이며, 이중 공공 농업용 지하수 이용량은 전체 농업용수 이용량의 79.4%, 빗물이용 비율은 20.6%로 조사되었다(Table 3). 공공 농업용지하수가 공급되는 농가 수는 151 개소로 1농가당 월평균 136.5 m³을 이용하는 것으로 조사되었으며, 농업용수를 가장 많이 사용하는 시기는 4~9월로 연간 지하수 이용량의 67.7%가 이 시기에 이용되고 있는 것으로 분석되었다.

위미지역의 연간 이용되는 농업용수는 715,763 m³으로 공공 농업용 지하수 이용량은 649,459 m³(90.7%)이고, 빗물이용량은 66,304 m³(9.3%)이다(Table 3). 위미지역의 총 농업용수 이용량은 의귀지역 농업용수 이용량 대비 2.3배 많은 것으로 조사되었으며, 위미지역은 의귀지역보다 면적이 1.8배 넓고, 급수농가는 3배 많음에 따라 공공 농업용 지하수 이용량이 많은 것으로 분석되었다. 반면, 빗물 이용시설은 두 지역에 유사하게 설치되어 있어 빗물이용

량은 비슷한 것으로 분석되었다.

3.3. 강수에 따른 유출량 산정

3.3.1. 연구대상지역 강수특성 분석

연구대상지역의 9년 평균 강수량은 2,488.8 mm로 최대 강수량을 보인 해는 2015년이며, 최소 강수량은 2013년으로 분석되었다. 태풍센터(AWS)의 9년 평균 강수량은 2,820.4 mm이며, 제주남원(AWS)은 2,157.2 mm로 전반적으로 태풍센터에서 매년 168~1,142 mm 이상 강수량이 많은 것으로 조사되었다(Table 4). 태풍센터의 해발고도는 244 m이며, 제주남원의 해발고도는 24.5 m로 고도에 따른 강수량 편차가 크게 나타나는 것으로 분석되었다(Jung and Yang, 2009). 연평균 강수일수는 평균 105일로 2010년과 2016년이 각각 124일, 122일로 가장 많고, 2017년과 2011년이 82일과 86일로 가장 적게 나타났다.

연구대상지역의 월평균 강수량은 207 mm이며, 4~9월에는 200 mm 이상 강수가 발생하고, 1월과 12월에는 71 mm와 105 mm로 월 강수편차가 크게 나타나고 있다. 강수일수 분석 결과, 6~9월에는 평균 10회/월 이상 강수가 발생하고, 1월과 11월은 각각 5.9일과 6.4일로 가장 적게 발생하고 있다. 3~10월의 1회 평균 강수량은 평균 27.6 mm로 분석되었다(Table 5).

연구대상지역의 농업용수 이용특성과 강수특성을 비교해 보면, 농업용수 이용 빈도가 높은 시기는 4~9월로 강수량이 많은 시기와 동일한 시점이기 때문에 빗물이용시설을 통해 유출되는 빗물을 집수하여 농업용수로 공급하기에 좋은 여건을 가지고 있는 것으로 확인되었다.

Table 3. Agricultural water usage in research area

(unit : m³)

Month	Uigwi			Wimi		
	Groundwater	Rainwater	Total	Groundwater	Rainwater	Total
1	9,438	1,267	10,705	37,419	1,309	38,728
2	13,665	3,707	17,372	41,425	3,831	45,256
3	16,054	6,726	22,780	42,489	6,950	49,439
4	28,514	7,978	36,492	62,064	8,244	70,308
5	27,260	9,792	37,052	57,888	10,118	68,006
6	29,565	7,870	37,435	67,685	8,132	75,817
7	24,884	9,075	33,959	62,680	9,378	72,058
8	29,218	6,119	35,337	80,006	6,323	86,329
9	27,221	3,660	30,881	65,646	3,782	69,428
10	17,232	4,537	21,769	45,958	4,688	50,646
11	14,935	2,085	17,020	47,389	2,155	49,544
12	9,400	1,349	10,749	38,811	1,394	40,205
Total	247,386	64,165	311,551	649,459	66,304	715,763
Average	20,616	9,872	30,488	54,122	10,201	64,323

Table 4. Annual precipitation characteristics in research area

Year	Jeju-namwon (mm)	Hurricane Center (mm)	Average (mm)	Precipitation days
2009	2016.5	2441.0	2228.8	100
2010	2434.5	3158.5	2796.5	124
2011	1600.0	2300.0	1950.0	86
2012	2399.5	3542.0	2970.8	115
2013	1334.5	2179.0	1756.8	89
2014	2531.0	3262.0	2896.5	115
2015	2759.5	3315.5	3037.5	107
2016	2472.0	3150.5	2811.3	122
2017	1867.0	2035.0	1951.0	83
Average	2157.2	2820.4	2488.8	105

Table 5. Monthly precipitation characteristics in research area

Month	Precipitation (mm)	Frequency	Average precipitation once (mm)
1	71.3	5.9	12.1
2	139.6	8.2	17.0
3	199.8	7.6	26.4
4	297.2	9.0	33.0
5	213.0	7.9	27.0
6	314.9	11.0	28.6
7	279.8	11.0	25.4
8	356.3	12.7	28.1
9	231.8	10.2	22.7
10	169.8	5.8	29.4
11	110.6	6.4	17.2
12	104.7	8.9	11.8
Total	2,488.7	104.6	-
Average	207.4	8.7	-

3.3.2. 빗물이용시설을 통한 유출량 산정

연구대상지역의 빗물 집수면적과 저류시설 규모를 고려하여 강수 발생 시 빗물이용시설의 저류시설을 가득채운 후 외부로 유출되는 시점의 강수량을 산정한 결과, 의귀지역은 27.9 mm, 위미지역은 29.6 mm로 분석되었다. 의귀지역은 위미지역보다 빗물 집수면적이 넓기 때문에 비교적 적은 강수량에도 저류시설을 가득 채우고 저류용량을 초과하는 빗물은 외부로 유출되는 것으로 분석되었다.

빗물이용시설을 통해 외부로 유출되는 유출량은 의귀지역 163,836 m³/년, 위미지역 139,133 m³/년으로 분석되었다. 월별 강수특성에 따라 3~10월에 저류시설 외부로 유출되는 빈도가 높고 유출량이 많으며, 특히, 4월과 6~8월에는 월 15,000 m³ 이상 유출되는 것으로 분석되었다 (Table 6).

3.4. 대용량 빗물이용시설 적정규모 및 농업용수 공급가능량 산정

3.4.1. 의귀지역

대용량 빗물이용시설은 시설규모가 커질수록 집수가능량은 증가하지만, 증가분은 감소하게 되므로 시설규모에 따른 집수가능량을 검토하였으며(Kang et al., 2015), 강수-유출 빈도 분석을 통해 대용량 빗물이용시설의 적정규모를 산정하였다.

의귀지역에 대용량 빗물이용시설을 1,000~15,000 m³ 규모로 증가 하였을 때 빗물 집수량은 로그함수 형태로 증가되는 경향을 보였다(Fig. 4). 특히, 시설규모가 1,000~6,000 m³까지는 증가분이 10,000 m³ 이상으로 급격히 상승하고 있으나, 시설규모가 7,000 m³ 이상부터는 증가분이 10,000 m³ 이하로 감소되고, 시설규모가 10,000 m³ 이상부터는 증가분이 5,000 m³ 이하로 감소되는 것으로 분

Table 6. Runoff and frequency through rainwater utilizing facilities

Month	Uigwi		Wimi	
	Runoff (m ³)	Frequency	Runoff (m ³)	Frequency
1	2,290	0.7	1,876	0.7
2	6,774	1.6	5,656	1.4
3	14,093	2.3	11,990	2.2
4	22,331	4.0	18,929	3.9
5	14,748	2.8	12,461	2.7
6	22,618	3.4	19,297	3.3
7	19,967	2.7	17,148	2.4
8	26,327	3.9	22,526	3.6
9	13,185	2.9	11,077	2.6
10	12,334	1.9	10,527	1.7
11	4,918	1.1	4,107	1.1
12	4,251	1.0	3,540	1.0
Total	163,836	28.2	139,133	26.6

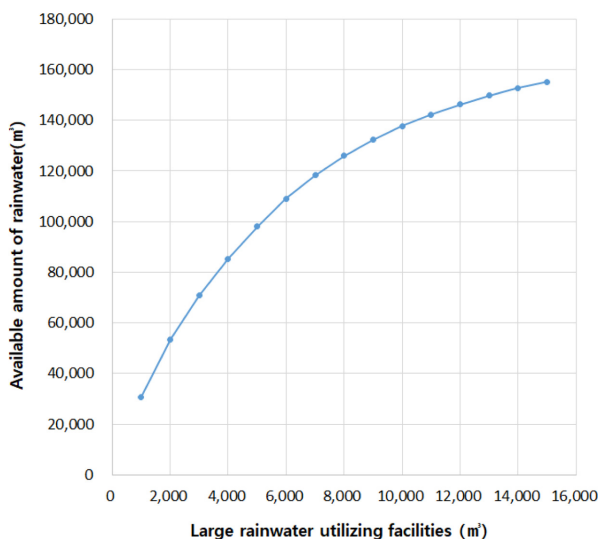


Fig. 4. Available amount of rainwater according to the scale of large rainwater utilization facilities in Uigwi.

석되었다. 2009~2017년 강수-유출 특성을 분석한 결과, 의귀지역에서는 시설하우스에 설치된 빗물 저류시설을 통해 총 257회 유출이 발생되었다. 특히, 80 mm 미만의 강수 시 유출빈도는 196회로 전체 유출빈도의 76.2%이며, 80 mm 이상 강수 빈도는 비교적 낮은 것으로 분석되었다. 27.9~35 mm 강수 시에는 유출빈도가 48회로 가장 높고, 35~40 mm와 40~50 mm 범위에서는 각각 39회, 60~70 mm는 30회 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 유출량은 강수량이 60~70 mm 범위일 때 가장 많은 174,705 m³이고, 70~80 mm에서 152,422 m³, 110~120 mm에서

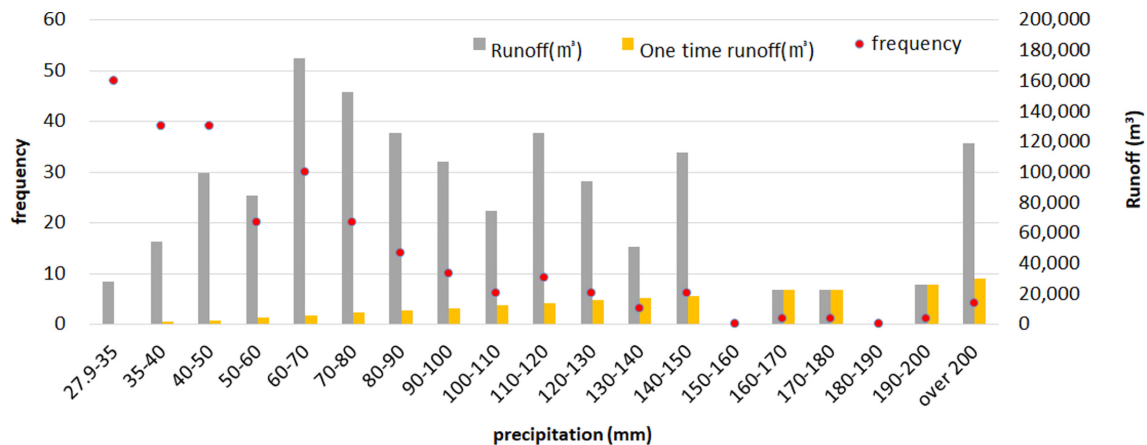
125,933 m³으로 분석되었다. 특히, 강수량이 27.9~35 mm의 범위일 때 9년간 유출빈도가 48회로 가장 많았으나 이 시점의 유출량은 27,712 m³으로 총 유출량 1,474천 m³ 대비 1.88% 수준이며, 강수 발생 시 1회 평균 유출량은 577 m³으로 매우 적은 유출특성을 보였다. 반면, 강수량 60~70 mm 범위에서는 유출량이 가장 많으면서도 유출빈도가 30회로 비교적 높고 강수발생 시 1회 평균 유출량은 5,823 m³으로 분석되었다(Table 7). 결과적으로 대용량 빗물이용시설 규모에 따른 집수가능량과 강수에 따른 유출빈도 분석결과에 의하면, 의귀지역에서 빗물을 효율적으로 집수하고 활용하기 위해서는 약 5,800 m³ 규모의 대용량 빗물이용시설이 적정한 것으로 분석되었다(Fig. 5).

3.4.2. 위미지역

위미지역의 대용량 빗물이용시설 또한 시설규모를 증가하였을 때 빗물 집수량은 로그함수 형태로 증가되었으며, 시설규모가 1,000~5,000 m³까지는 증가분이 10,000 m³ 이상인 것으로 분석되었다(Fig. 6). 시설규모가 6,000 m³ 이상부터는 증가분이 10,000 m³ 이하로 감소되었으며, 시설규모가 10,000 m³ 이상부터는 증가분이 5,000 m³ 이하로 감소되었다. 위미지역에서는 시설하우스에 설치된 빗물 저류시설을 통해 총 242회 유출이 발생되었으며, 의귀지역과 동일하게 80 mm 미만의 강수 시 유출빈도가 높은 것으로 분석되었다. 빈도분석 결과에 의하면, 35~40 mm, 40~50 mm 강수 시 유출빈도가 39회로 가장 많고, 29.6~35 mm는 33회 60~70 mm는 30회로 분석되었다. 유출량은 60~70 mm 범위에서 148,207 m³으로 가장 많고, 70~

Table 7. Rainwater runoff frequency and runoff in Uigwi

Precipitation (mm)	Frequency	Runoff (m ³)	One time runoff (m ³)
27.9-35	48	27,712	577
35-40	39	54,553	1,399
40-50	39	99,243	2,545
50-60	20	84,533	4,227
60-70	30	174,705	5,823
70-80	20	152,422	7,621
80-90	14	125,945	8,996
90-100	10	106,725	10,673
100-110	6	74,502	12,417
110-120	9	125,933	13,993
120-130	6	94,007	15,668
130-140	3	50,913	16,971
140-150	6	112,794	18,799
150-160	0	0	0
160-170	1	22,595	22,595
170-180	1	22,874	22,874
180-190	0	0	0
190-200	1	25,986	25,986
over 200	4	119,060	29,765
Total	257	1,474,502	-
Average	14	77,605	-

**Fig. 5.** Runoff and frequency through precipitation in Uigwi.

80 mm는 130,818 m³, 110~120 mm는 109,928 m³으로 분석되었다. 특히, 유출빈도는 강수량이 35~40 mm, 40~50 mm의 범위에서 가장 높게 나타나고 있으나 총 유출량은 39,749~78,807 m³으로 9년간 총 유출량 1,252천 m³ 대비 3.17~6.29% 수준인 것으로 확인되었다(Table 8). 반면, 강수량 60~70 mm 범위에서는 유출량이 가장 많으면서도 유출빈도도 높은 것으로 분석되었으며, 강수발생 시 1회 평균 유출량은 4,940 m³으로 분석되었다. 이상의 결

과에서 볼 때 위미지역에서 빗물을 효율적으로 집수하고 활용하기 위해서는 약 4,900 m³ 규모의 대용량 빗물이용 시설이 적정한 것으로 분석되었다(Fig. 7).

3.5. 대용량 빗물이용시설 설치에 따른 빗물 공급 가능량 산정

3.5.1. 의귀지역

의귀지역에 5,800 m³ 규모의 대용량 빗물이용시설 설치

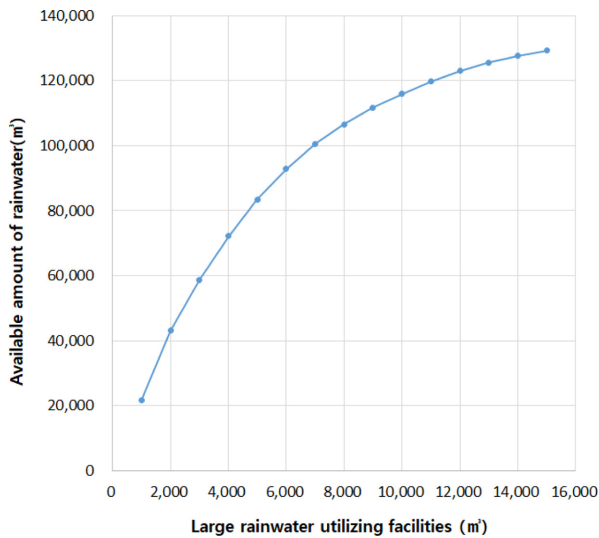


Fig. 6. Available amount of rainwater according to the scale of large rainwater utilization facilities in Wimi.

시 연간 빗물 공급 가능량은 100,341 m³이며, 의귀지역 내 농업용수 이용량(311,551 m³/y)의 약 32.2%으로 분석되었다. 의귀 지역에 설치된 빗물이용시설 30개소의 빗물 이용량과 대용량 빗물이용시설에서의 빗물 공급 가능량을 합산하여 연구지역 농업용수 이용량과 비교한 결과, 의귀 지역은 전체 농업용수 중 52.8%를 빗물로 공급이 가능할 것으로 분석되었다(Table 9). 의귀지역 기존 농가에 설치된 빗물이용시설의 빗물이용률은 전체 농업용수 이용량의 20.6%이지만, 대용량 빗물이용시설 설치에 따라 빗물이용률은 2.5배 증가될 것으로 분석되었다.

3.5.2. 위미지역

위미지역에 4,900 m³ 규모의 대용량 빗물이용시설 설치

시 빗물 공급 가능량은 연간 82,479 m³으로 위미지역 내 농업용수 이용량(715,764 m³/y)의 약 11.5%이다. 위미지역에 설치된 빗물이용시설 31개소의 빗물 이용량과 대용량 빗물이용시설에서의 공급 가능량을 합산하여 전체 농업용수 이용량과 비교한 결과, 의귀지역은 20.8% 정도가 빗물로 공급이 가능할 것으로 분석되었다(Table 10). 위미지역은 의귀지역보다 총 농업용수 이용량이 2.3배 정도 많지만 농가에 설치된 빗물이용시설은 의귀지역 30개소, 위미지역 31개소로 거의 같기 때문에 위미지역의 총 농업용수 이용량 대비 빗물 공급 가능 비율은 의귀지역에 비해 낮게 산정되었다.

3.6. 시설하우스 연계를 통한 빗물 활용 극대화 방안

위미지역과 같이 지하수 이용량은 많지만 농가에 설치된 빗물이용시설 수가 적어 빗물 이용률이 낮은 지역이거나, 빗물 이용을 극대화하기 위해서는 빗물이용시설이 설치되지 않은 시설하우스와 연계하는 방안 마련이 필요하다. 따라서 위미지역을 대상으로 농가에 설치된 빗물이용시설과 빗물이용시설이 설치되지 않은 시설하우스를 연계하여 빗물 공급 가능량을 산정하였다.

새롭게 추가 되는 시설하우스의 빗물 집수면적은 위미지역 현장 조사 시 산정된 시설하우스 1개소 당 평균 집수 면적 4,582.9 m²를 적용하였다. 또한 추가로 설치되는 대용량 빗물이용시설 규모는 앞에서 분석된 4,900 m³을 적용하였다. 이와 같은 가정 하에 현재의 빗물이용시설과 같은 시설하우스 30개소를 연계할 경우 146,627 m³, 두 배 이상인 70개소를 연계할 경우 245,439 m³의 빗물을 추가적으로 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

기존 빗물이용시설 30개소를 통해 이용되는 빗물의 양 66,304 m³과 빗물이용시설 30개소에서 유출되는 빗물을

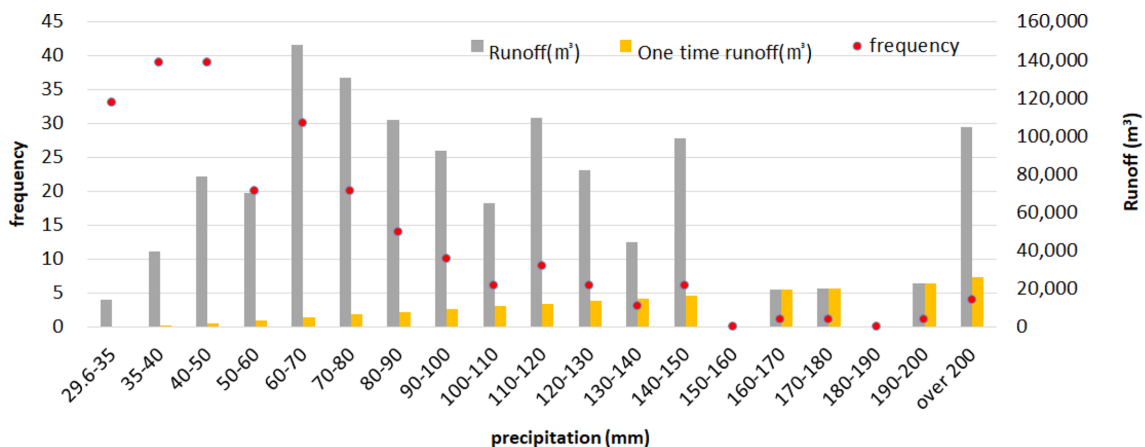


Fig. 7. Runoff and frequency through precipitation in Wimi.

Table 8. Rainwater runoff frequency and runoff in Wimi

Precipitation (mm)	Frequency	Runoff (m ³)	One time runoff (m ³)
29.6-35	33	14,437	437
35-40	39	39,749	1,019
40-50	39	78,807	2,021
50-60	20	70,367	3,518
60-70	30	148,207	4,940
70-80	20	130,818	6,541
80-90	14	108,713	7,765
90-100	10	92,580	9,258
100-110	6	64,868	10,811
110-120	9	109,928	12,214
120-130	6	82,236	13,706
130-140	3	44,599	14,866
140-150	6	98,964	16,494
150-160	0	0	0
160-170	1	19,874	19,874
170-180	1	20,123	20,123
180-190	0	0	0
190-200	1	22,893	22,893
over 200	4	105,034	26,258
Total	242	1,252,196	-
Average	13	65,905	-

Table 9. Amount of rainwater available and utilization rate of rainwater in Uigwi

Month	Existing rainwater usage (m ³)	Available amount of rainwater (m ³)	Groundwater usage (m ³)	Total agricultural water usage (m ³)	Rainwater utilization Rate (%)
1	1,267	1,856	7,582	10,705	29.2
2	3,707	5,058	8,607	17,372	50.5
3	6,726	9,348	6,706	22,780	70.6
4	7,978	14,093	14,421	36,492	60.5
5	9,792	9,747	17,513	37,052	52.7
6	7,870	13,817	15,748	37,435	57.9
7	9,075	10,386	14,498	33,959	57.3
8	6,119	14,020	15,198	35,337	57.0
9	3,660	8,352	18,869	30,881	38.9
10	4,537	6,828	10,404	21,769	52.2
11	2,085	3,251	11,684	17,020	31.3
12	1,349	3,586	5,814	10,749	45.9
Total	64,165	100,341	147,045	311,551	-
Average	5,347	8,362	12,254	25,963	52.8

대용량 빗물이용시설에서 집수하여 이용가능한 양 82,479 m³, 빗물이용시설이 설치되지 않는 시설하우스 30 개소를 연계하여 대용량 빗물이용시설을 추가 설치하는 경우 공급이 가능량은 146,627 m³으로 위미지역에서 빗물로 공급 가능한 양은 총 295,410 m³으로 산정 되었다.

이와 같은 분석 결과를 위미지역 전체 농업용수 이용량과 715,764 m³과 비교해 보면 41.3%의 농업용수를 빗물로 공급 가능하며, 시설하우스 70개소를 연계할 경우에서 총 394,222 m³으로 농업용수 이용량의 55.1%를 빗물로 공급이 가능한 것으로 분석되었다(Table 11).

Table 10. Amount of rainwater available and utilization rate of rainwater in Wimi

Month	Existing rainwater usage (m ³)	Available amount of rainwater (m ³)	Groundwater usage (m ³)	Total agricultural water usage (m ³)	Rainwater utilization Rate (%)
1	1,309	1,487	35,932	38,728	7.2
2	3,831	4,209	37,216	45,256	17.8
3	6,950	7,746	34,743	49,439	29.7
4	8,244	11,566	50,498	70,308	28.2
5	10,118	7,992	49,896	68,006	26.6
6	8,132	11,430	56,255	75,817	25.8
7	9,378	8,592	54,088	72,058	24.9
8	6,323	11,533	68,473	86,329	20.7
9	3,782	6,754	58,892	69,428	15.2
10	4,688	5,611	40,347	50,646	20.3
11	2,155	2,616	44,773	49,544	9.6
12	1,394	2,943	35,868	40,205	10.8
Total	66,304	82,479	566,981	715,764	-
Average	5,525	6,873	47,248	59,647	20.8

Table 11. Possibility of securing rainwater according to greenhouse connection in Wimi

Greenhouse	Existing rainwater + Runoff rainwater usage (m ³)	Available amount of rainwater (m ³)	Groundwater usage (m ³)	Total agricultural water usage (m ³)	Rainwater utilization Rate (%)
30		146,627	420,354		41.3
50	66,304 + 82,479	206,115	360,866	715,764	49.6
70		245,439	321,542		55.1

4. 결 론

본 연구에서는 제주지역 대체수자원 확보 방안의 하나로 빗물을 효율적으로 활용하기 위해 남원읍 의귀, 위미지역의 빗물이용시설 및 시설하우스 현황을 조사하고, 강수 시 빗물이용시설을 통해 외부로 유출되는 빗물을 산정하였다. 또한 강수-유출 빈도분석을 통해 대용량 빗물이용시설의 적정한 규모를 산정하고, 대용량 빗물이용시설 설치 시 농업용수로 공급 가능한 빗물의 양을 산정하였다.

빗물 집수면적이 넓은 시설하우스 경우 농업용수 이용량이 많아지기 때문에 저류용량이 적을 경우 빗물이용 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 빗물이용시설 설치 농가의 재배작물에 따른 용수이용특성과 빗물 집수면적을 고려하여 저류시설 설계가 필요한 것으로 확인되었다.

연구대상지역에는 농업용수 이용량이 많은 4~9월에 비가 많이 내리므로 빗물 이용을 위한 최적의 조건을 갖추고 있으며, 강수-유출 분석 결과, 효율적으로 빗물을 활용할 수 있는 대용량 빗물이용시설의 규모는 의귀지역 약 5,800 m³, 위미지역 약 4,900 m³으로 분석되었다. 특히, 연구대상지역에 대용량 빗물이용시설을 설치할 경우, 의

귀지역은 100,341 m³/년, 위미지역은 82,479 m³/년을 농업용수로 공급가능한 것으로 분석되었으며, 이는 전체 농업용수의 52.8%(의귀), 20.8%(위미)를 차지한다.

위미지역의 경우, 농가면적, 지하수 이용량 대비 빗물이용시설이 적어 빗물이용률이 낮게 나타나며, 빗물이용시설이 설치되지 않은 시설하우스 70개소와 연계할 경우 연간 245,439 m³(전체 농업용수의 55.1%)의 빗물을 농업용수로 공급 가능한 것으로 분석되었다.

결과적으로 시설하우스 및 빗물이용시설이 밀집된 지역에 대용량 빗물이용시설을 설치할 경우, 추가적인 농업용수 확보가 가능하므로 원활한 농업용수 공급이 가능할 것으로 판단된다. 또한 빗물을 이용한 농업용수 공급비율이 50% 이상 상승 될 경우, 지하수 이용량은 감소하게 되므로 농업용수에서의 지하수 의존도를 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

References

JSSGP (Jeju Special Self-Governing Province), 2013a, Agricultural water management plan (2013-2022).

- JSSGP (Jeju Special Self-Governing Province), 2013b, Water resources management comprehensive plan (2013-2022).
- JSSGP (Jeju Special Self-Governing Province), 2018, Water resources management comprehensive plan (2018-2022).
- Jung, K.O., 2007, An Study on the economical efficiency of rainwater use in Jeju-Do area, *Regional Development Studies*, **2**, 239-247.
- Jung, W.Y. and Yang, S.K., 2009, Simulation on runoff of rivers in Jeju Island using SWAT model, *J. Environmental Sciences*, **18**(9), 1045-1055.
- Kang, T.U., Koo, Y.M., and Lee, S.J., 2015, A Study on Design Method and Effect Analysis of Rainwater Harvesting Facility for Efficient Use, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, **15**(2), 353-361.
- Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>.
- Lee, B.J., Moon, S.H., Kim, Y.C., Kim, G.P., Kang, B.R., Koh, G.W., and Park, K.H., 2008, Evaluation of the qualities of rain-water collected from the top of vinyl house : A Case Study in Jeju Island, *J. Korea Society of Water and Wastewater*, **22**(3), 315-322.
- Ministry of Environment, <https://egis.me.go.kr>.
- Ministry of the Interior and Safety, <https://DATA.go.kr>.
- Park, W.B., Kim, B.S., Yang, S.K., and Moon, D.C., 2011, The Characteristics of Water Usage in Jeju Golf Courses, *J. Environmental Sciences*, **20**(10), 1297-1308.
- Park, W.B., Moon, D.C., and Koh, G.W., 2012, A Study on Efficient Improvement Method of Rainwater Utilization Facilities in Jeju Island, *J. Soil Groundwater Environ.*, **17**(6), 1-8.
- Park, W.B. and Kang, B.R., 2017, Characteristics of Drought Occurrence and Mid- and Long-Term Countermeasures in Jeju, Jeju Research Institute, Policy Issue Brief, Vol. 271.