

## 온실 빗물 저수조의 용량산정 방법

서찬주, 구자공<sup>†</sup>

중원대학교 신재생에너지학과

## Volume Estimation Method for Greenhouse Rainwater Tank

Chan Joo Seo, Ja-Kong Koo<sup>†</sup>

Department of Renewable Energy Engineering, Jungwon University

(Received: Nov. 19, 2015 / Revised: Apr. 22, 2016 / Accepted: Apr. 23, 2016)

**ABSTRACT:** Due to the temporal variation of inflow/outflow, the water tank is needed. For the calculation of water tank capacity, the absolute difference between cumulative amounts of supply(e.g., rainfall) and demand(e.g., watering) is used. No matter the (-) and (+) the absolute maximum capacity of the subtraction is calculated as the capacity. In this paper, using rainfall and watering of greenhouse facilities, it is proved that the non-linear supply or demand can be applied, and it is proved also that the greater non-linear variation case. And as the time interval for monitoring is decreased, the basin or tank volume are increased, with approximately 10 days as the critical monitoring interval for the annual natural rainfall event.

**Keywords:** Water tank capacity, Non-linear cumulative demand/supply, Monitoring time interval needed, Natural rainfall case

**초 록:** 저수조는 유입/유출량의 시간적인 편차 때문에 필요하다. 저수조 용량 산정하기 위해서 공급(예, 강수) 누적 량과 요구(예, 관수) 누적 량의 차이를 사용한다. (-)와 (+)영역의 상관없이 누적 량 차의 절댓값 최대치가 되었을 때 용량의 산정이 이루어진다. 본 논문에서는, 온실 시설물의 강수와 관수를 이용하여 비선형적인 공급이나 요구량에서도 이를 적용하여 용량을 산정하였고, 비선형적인 변화가 커졌을 시에도 적용 할 수 있음을 증명하였다. 그리고 모니터링에 대한 시간 간격이 작아짐에 따라서, 저수조 용량이 증가되며, 강수량의 경우에는 약 10일을 변곡점으로 증가폭이 감소됨을 보인다.

**주제어:** 저수조 용량, 비선형적 누적 유입/유출수, 자연 강우 경우 필요 모니터링 시간 간격

<sup>†</sup> Corresponding Author (e-mail: koo@jwu.ac.kr)

## 1. 서론

일반적인 물의 유입과 유출은 시간에 따라 그 양이 달라진다. 야간의 물 사용을 위해서 주간에 저장하는 경우나 겨울의 방류를 위한 여름 수량의 저장 등이 있을 것이다. 우리나라는 강수 형태가 여름에 집중되고 지역적으로 편차가 커서 효율적인 수자원 관리를 위해 많은 댐이나 저수지가 만들어 졌고 앞으로 계획 중이다. 저수조에서 살펴보면, 도심지에서는 집중 호우 시 물의 지하 침투가 원활하게 이루어지지 않아 하수도의 역류로 침수 피해가 발생되기도 하고 온실 시설 농가에서는 지역에 따라 지하수 고갈과 농업용수의 부족으로 인한 물 부족현상이 일어나고 있다. 이를 해결하기 위해 저수조를 이용한 빗물의 재이용<sup>1)</sup>이 조명되고 있다. 이것은 여름철 집중호우에 대한 완충장치 역할을 하고 화장실, 조경용수, 소방용수 등의 재사용으로 경제적 측면에도 많은 이득을 준다. 작물의 재배에 있어서도 물은 가장 중요한 부분을 차지하고 있는데 온실 시설 지붕에 떨어진 빗물을 모아 저수조에 저장하여 관수로 활용하는 방안<sup>2)</sup>이 실행되고 있다. 위와 같이 저수조는 빗물 이용 시설물을 이용하는데 있어서 중요한 요소이고, 먼저 그 크기를 결정하는 용량 산정이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 기존에 사용된 일반적인 저수조 용량 산정에 대해 살펴보고

온실 시설에서 강수와 관수 누적 량의 차를 이용한 용량 산정을 연구하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 저수지 용량 계산

누적 량의 차를 이용해서 용량 산정을 보이기 위해서 저수지 크기를 결정하는 방법을 보고자한다. 유입량에 관계된 요소로는 하수와 강우가 있고 유출량의 요소로는 증발과 관개가 있다고 할 때 저수지 용량을 알아본다.<sup>3)</sup>

[Table 1]은 월별 양을 나타내고 (-)부분은 유입량이 유출량보다 적을 때를 나타낸다. [Fig. 1]은 월별 누적 량을 나타낸 그래프로 11월부터 누적을 시작한다. 10월에 0m<sup>3</sup>가 되고 4월에 가장 큰 975,319 m<sup>3</sup>가 된다. 평균 수심을 6m라고 할 때 이 저수지의 면적은 162,553m<sup>2</sup>로 계획 할 수 있다.

### 2.2 빗물 시설물 용량 계산

[Table 2] 온실 시설물에서의 저수조 용량 계산은 다음과 같다.<sup>4)</sup> (R)은 강수량의 지역적인 편차가 있어서 범위를 정한 것이고, (f)는 토지 이용별 기초 계수의 표준 값에 의한 것이다.

Table 1. Reservoir capacity

Month	Amount(m <sup>3</sup> )	Sewage + Rainfall	Evaporation + Irrigation	Amount of change	Cumulative amount
1		277,738	4,550	273,188	610,171
2		238,925	8,288	230,637	840,808
3		204,525	81,380	123,145	964,954
4		162,350	150,986	11,364	975,319
5		125,625	271,428	-145,803	829,516
6		120,488	316,841	-196,353	633,162
7		124,488	367,334	-242,846	390,315
8		124,813	330,245	-205,432	184,883
9		122,438	272,023	-149,585	35,297
10		159,875	195,172	-35,297	0
11		196,575	68,690	127,885	127,885
12		236,825	27,727	209,098	336,983

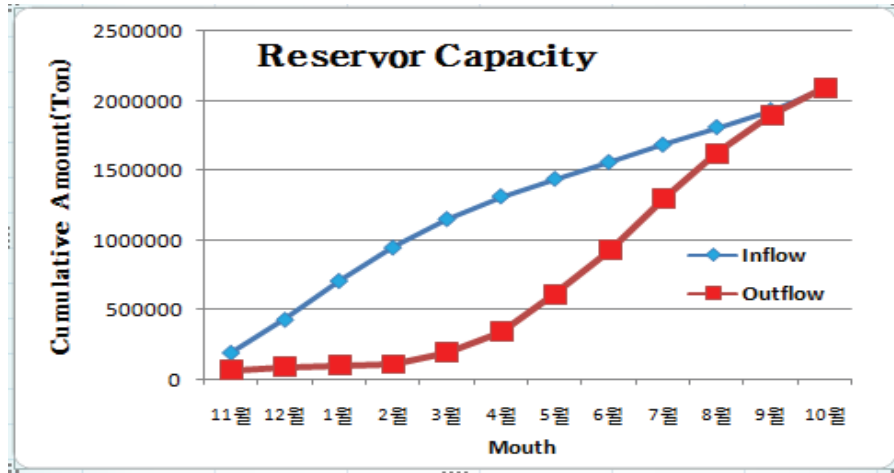


Fig. 1. Reservoir capacity using graphs.

Table 2. Tank capacity of rainwater cording to the area(1 ha = 10000m<sup>2</sup>), rural development administration

Greenhouse area	Rainwater tank capacity
0.1ha	72 ~ 108m <sup>3</sup>
0.5ha	360 ~ 540m <sup>3</sup>
1ha	720 ~ 1080m <sup>3</sup>
2ha	1,440 ~ 2,160m <sup>3</sup>

$$\text{저수조 용량}(Q) = \text{온실면적}(A) \times \text{유출계수}(f) \times \text{지역별 연강우량}(R) \times \text{저장지수}(s).$$

유출계수(f): 0.9, 지역별 연강우량(R): 1,000~1,500mm, 저장지수(s): 0.08(=30일/년365일) 적용

다른 방식<sup>5)</sup>으로는 빗물 이용률, 상수도 대체율, 사이클 수, 빗물 사용일수의 4가지를 저수조 용량 설계의 인자로 적용하였고, 빗물 저수조 용량/집수면적의 값의 변화에 따른 인자들을 변화 시켜 나타내었다.

### 2.3 누적 량의 차에 의한 용량 산정

본 논문에서는 저수조를 효과적으로 계산하기위해서 유입, 유출 누적 량의 차를 그래프로 나타내어 산출하고자 한다. 이를 보이기 위해 빗물을 이용한 온실 시설물을 이용하였다. 유입량은 온실 지붕에 떨어진 빗물의 양으로 하고 유출량은 식물 관수로 사용되는 관수량으로 정하였다.

[Fig. 2]는 1981~2010년까지 서울의 평균 월 강

수량<sup>6)</sup>을 사용했으며 채소의 소비지를 서울로 정하였다. 온실 시설 설치 장소는 서울시 근교로 가정하여 서울시 강수량을 취하였다. 여름철의 강수량은 저수조 필요성의 주된 이유이고 강수량이 관수량보다 많아지는 시점이다. [Table 3]은 작물에 따른 관수량<sup>7)</sup>을 나타낸다. 작물에 따른 1회량과 일일 관수 주기의 최소, 평균, 최대를 나타내고 있다. 작물의 선정은 상대적으로 관수량이 작고 본 논문에 적합한 멜론과 셀러리를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 멜론에서 누적 관수량/유입수가 선형적 일 때 용량 산정

온실 지붕의 면적을 10a(1000 m<sup>2</sup>) 로 산정하고 평균 강수량에 곱해서 월별 유입량을 계산하여 누적 적산 량을 나타내었다. 멜론의 재배 기간은 3개월로 1년 4모작으로 하였고 [Table 3]에서 1회 관수량과 관수 주기의 평균값을 이용해서 월 유출량을

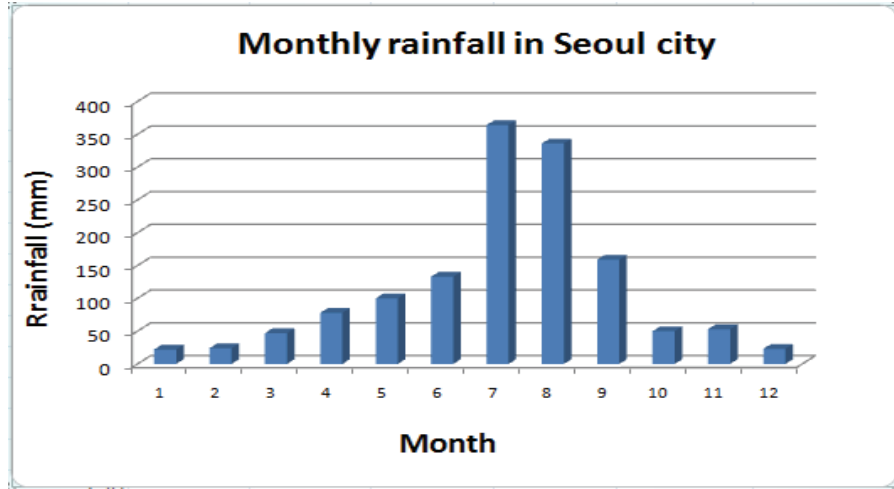


Fig. 2. Rainfall of Seoul city.

Table 3. Watering amount per one time and watering period

The crop	1 pipe quantity(mm)			Watering cycle(day)		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max
Tomato	3	18	44	1	3	7
<b>Melon</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>
Cucumber	4	24	52	0.3	3	8
Peppers	10	25	35	2	3	4
Eggplant	5	11	17	1	1.5	2
<b>Celery</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

산출하였고 누적 적산량을 나타내었다. 점적 관수 방법을 사용하여 월 115톤을 누적 적산량으로 나타내었다.

[Table 4]는 월별 강수 누적량(A)과 관수 누적량(B)을 나타낸 것이다. (A-B)의 누적량이 저수조 용량이 된다. 값이 (-)일 때는 강수 누적량이 관수

누적량보다 적을 때를 나타낸다. 값이 (+)일 때는 강수 누적량이 관수 누적량이 보다 많을 때를 나타내고 저수조에 저장되는 빗물의 양이 된다. [Fig. 3]을 보면 강수량이 관수량보다 아래 존재할 때가 (1)영역이고, 반대로 위에 있을 때가 (2)영역이 되며 7월을 경계로 교차하고 있다. 이와 같이 누적 적산

Table 4. Cumulative amount of rainfall(A) and watering amount(B) & subtraction(mellon)

Month	Amount(Ton)	Monthly rainfall(A)	Mellon watering(B)	Cumulative amount(A-B)
1		22	115	-93
2		46	230	-184
3		93	345	-252
4		171	460	-289
<b>5</b>		<b>271</b>	<b>575</b>	<b>-304</b>
6		404	690	-286
7		768	805	-37
8		1103	920	183
<b>9</b>		<b>1262</b>	<b>1035</b>	<b>227</b>
10		1312	1150	162
11		1365	1265	100
12		1388	1388	0

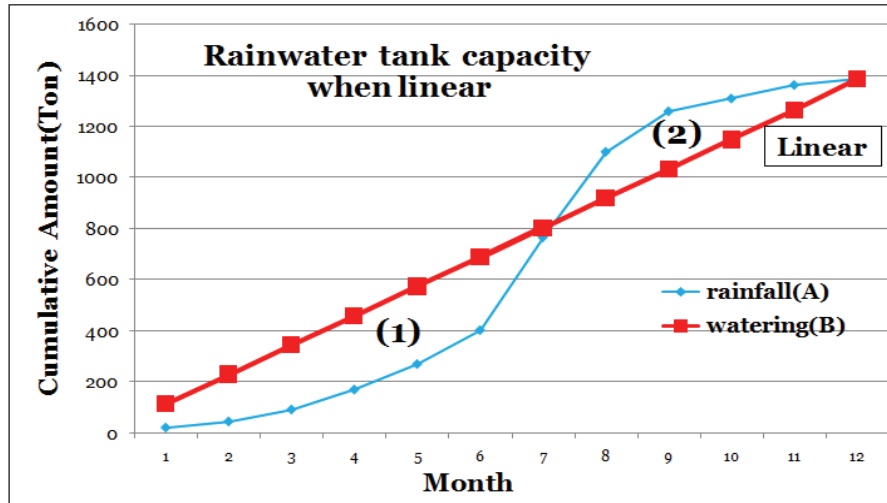


Fig. 3. When linear, rainwater tank capacity(mellon).

량 차이의 최대치를 통해 저수조의 용량의 설정이 가능하다. 위의 경우는 누적 강수량에 대한 작물 관수량의 변화가 선형적으로 변화할 때를 나타낸 것이다. 저수조의 용량은 누적량의 차이가 최대치일 때 304톤으로 결정된다. (-)와 (+)의 관계는 3.2에서 설명하기로 한다.

### 3.2 멜론에서 누적 관수량/유입수가 비선형일 때의 용량 산정

작물의 관수에 있어서 광도는 계절에 따라 달라진다. 광도와 증발량은 비례하여 변화하므로 증발

량을 관수량에 보정해주어야 한다. 그 보정 값에 있어서 11, 12, 1, 2월은 관수량의 0.5배로 하고 3, 4, 9, 10월은 1.0배로 5, 6, 7, 8월은 1.5배의 가중치를 두어 관수량을 조절했을 때 전체 관수량의 크기는 같지만 계절에 따른 관수 편차가 나타난다. 누적 관수량은 [Fig. 4]에서 보는 바와 같이 선형에서 비선형으로 바뀌었다. 저수조의 용량도 변화하였다. 누적 강수량은 평균량이므로 일정하지만 누적 관수량은 온도에 따른 증발량이나 1년 작물의 모작 수 등에 따라 변화할 수 있어 비선형으로 변화하는 것이 타당하다. (1)과 (2)의 영역은 누적 량 차이의 최

Table 5. Cumulative amount of rainfall(A) and watering amount(B) & subtraction(mellon)

Month	Amount(Ton)	Monthly rainfall(A)	Mellon watering(B)	Cumulative amount(A-B)
1		22	58	-36
2		46	115	-69
3		93	230	-137
4		171	345	-174
5		271	518	-247
6		404	690	-286
7		768	863	-95
8		1103	1035	68
9		1262	1150	112
10		1312	1265	47
11		1365	1323	43
12		1388	1388	0

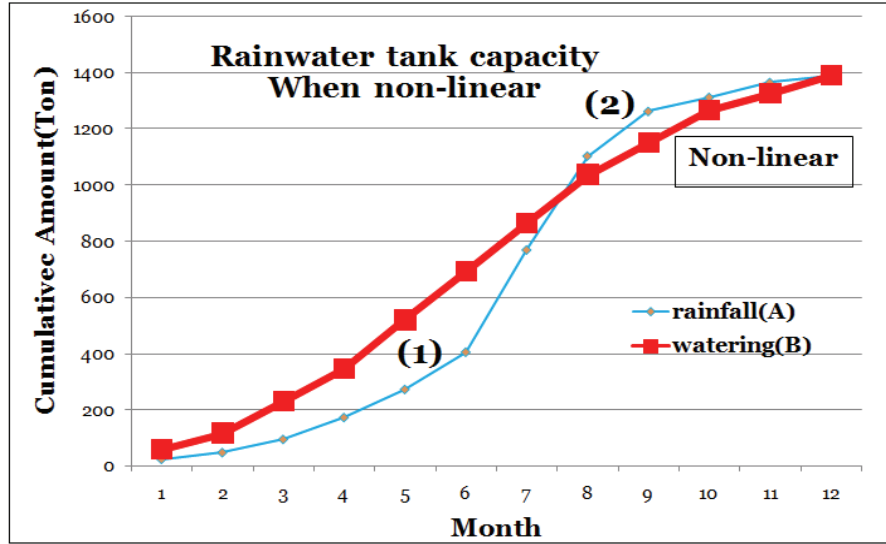


Fig. 4. When non-linear, rainwater tank capacity(mellon).

대치를 나타내는 것으로 저수조 용량이 된다. (2)의 영역이 누적 강수량에서 누적 관수량을 뺀 값이어서 빗물의 남은 양이 되어 저수조 용량이라 생각할 수 있겠으나 (1)영역의 용량만큼 저수조를 만들어 물을 채워 넣고 작물 재배를 시작한다면 1년 동안의 물의 추가 공급 없이 작물의 관수가 이루어 질 것이다. (-)부분인 (1)의 영역이 실질적인 저수조 용량이 된다. 이 경우는 누적 강수량에 대한 작물 관수량의 변화가 비선형적으로 변화할 때를 나타낸 것으로 저수조 용량은 (-)와 (+)값에 상관없이 절댓

값이 최대치인 286톤으로 결정된다.

### 3.3 셀러리에서 누적 관수량/유입수가 비선형일 때의 용량 산정

누적 관수량/유입수가 선형적, 비선형적일 때를 멜론의 경우를 살펴보았다. 셀러리에서는 비선형적인 변화의 폭이 심한 경우에도 적용됨을 보이기 위해서 계절에 따른 증발량과 작물의 성장기에 따른 관수량의 변화에 가중치를 두어 살펴보하고자 한다. 셀러리의 재배기간은 1월부터 5월과 7월부터 11월

Table 6. Cumulative amount of rainfall(A) and watering amount(B) & subtraction(celery)

Month	Amount(Ton)	Monthly rainfall(A)	Mellon watering(B)	Cumulative amount(A-B)
1		22	38	-16
2		46	91	-45
3		93	196	-103
4		171	391	-220
5		<b>271</b>	<b>684</b>	<b>-413</b>
6		404	684	-280
7		768	797	-29
8		1103	955	148
9		1262	1060	202
10		1312	1255	57
11		1365	1353	12
12			1353	35

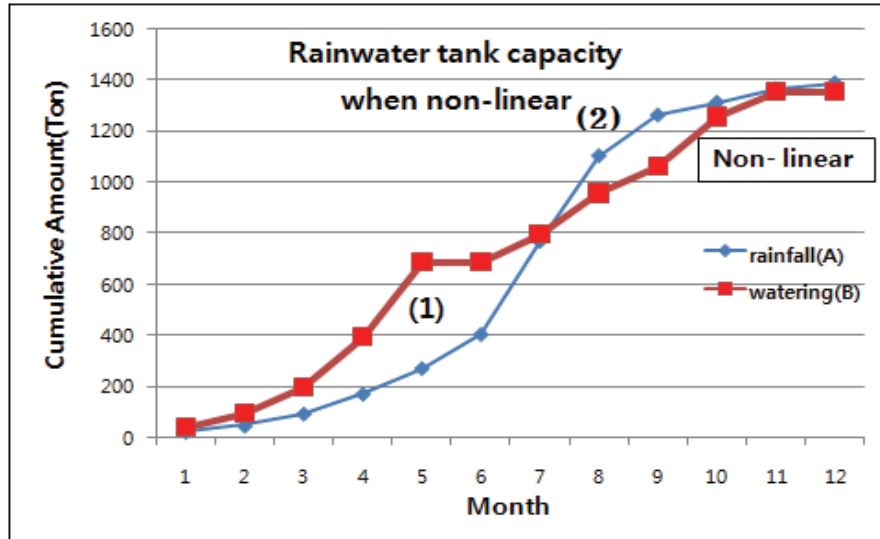


Fig. 5. When non-linear, rainwater tank capacity(celery).

까지 경작하였다. 6월과 12월은 작물을 거둬들인 후의 휴작 기간이다. 작물의 재배 기간에 다른 가중치는 초기 1개월은 최소 관수 값을 적용했고 중기 2개월은 평균 값, 말기는 관수량이 많아지므로 최댓값을 적용하였다. [Fig. 5]는 누적 관수량의 변화 폭이 크며 예상하기 어려운 형태이다. 그래프에서 저수조의 용량은 절댓값의 크기가 큰 413톤으로 결정할 수 있다. 유입이나 유출수의 양을 결정하는 요인은 여러 가지가 있을 수 있다. 그 요인들이 많아진다 할지라도 누적 량들의 차를 이용하게 되면 손쉽게 알아낼 수 있다.

3.4 관측 시간 간격에 따른 저수조 용량의 변화  
위 연구에 있어서 누적 관수량의 시간 간격은 30일이다. 시간 간격의 변화에 따라 저수조 용량의 크기가 어떻게 달라지는지 알아보려고 한다. 그 크기를 4가지 간격으로 나누었고 3.2의 자료를 토대로 연구 하였다.

[Fig. 6]은 [Fig. 4]의 (1)부분인 4~6월까지 기간을 3, 10, 30, 90일 단위로 나누어 저수조 용량의 변화를 살펴보고 [Fig. 7]도 [Fig. 4]의 (2)부분으로 7~9월까지 이와 동일하게 하였다. 그래프에 나타난 날짜는 용량의 최대치로 되어가는 6월과 9월

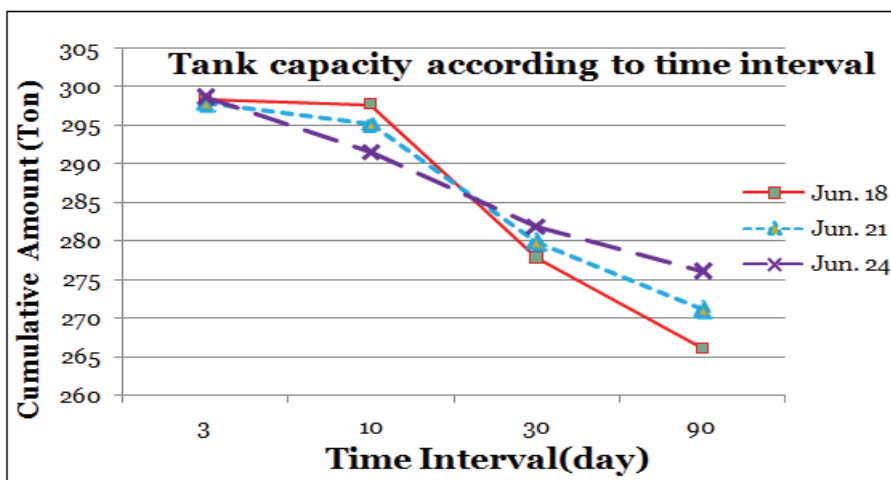


Fig. 6. Tank capacity according to the interval of time(June).

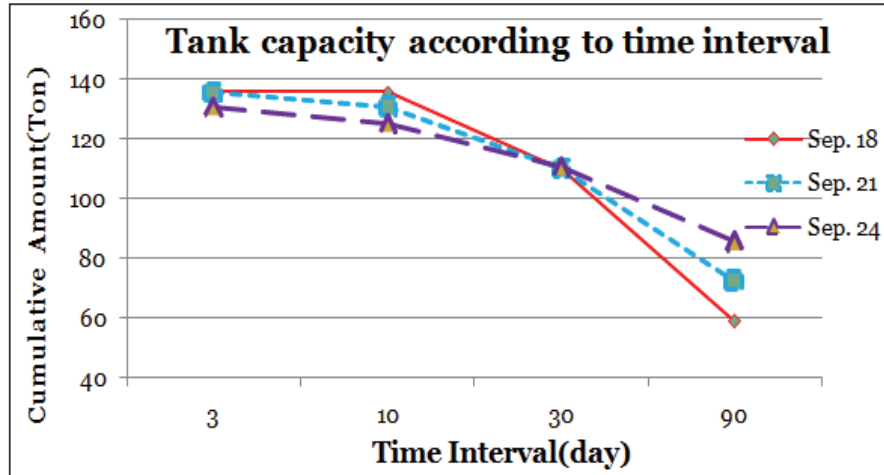


Fig. 7. Tank capacity according to the interval of time(September).

말경을 3일 단위로 나누어 나타낸 것이다. 위에서 보면 시간 간격이 길어질수록 저수조 용량은 작아짐을 볼 수 있다. 시간 간격이 3배씩 증가하는 반면 용량의 변화는 어떤 규칙성을 가지고 감소하지는 않는다. 시간 간격이 3일과 90일 때의 용량 차이는 [Fig. 6]에서 약 30톤, [Fig. 7]에서는 약 60톤을 나타낸다. 이 차이는 상당한 것이며 보다 정확한 저수조 용량을 측정하기 위해서는 시간 간격을 되도록 줄여야 한다. 단위가 10일 이후에 급격하게 기울기가 변화함을 본다면 10일보다 큰 단위를 중심으로 측정하는 것이 합리적으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구는 온실 빗물 저수조를 효과적으로 산정하기 위해서 강수 누적량과 관수 누적량의 차를 이용하였다. 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 강수나 관수 누적량이 선형적/비선형적으로 변화할 때 누적량과의 차의 절댓값이 최대치일 때 저수조 용량을 산정할 수 있다.
2. 계절이나 생장 기간 등에 따른 여러 가지 요인이 적용되어 비선형적인 변화의 폭이 커지더라도 저수조 용량을 산정할 수 있음을 증명하였다.
3. 모니터링에 대한 시간 간격이 작아짐에 따라

서, 저수조 용량이 증가되며, 강수량 경우에는 약 10일을 변곡점으로 증가폭이 감소됨을 보인다.

4. 저수조 용량 산정의 기본 이론은 입력 누적량에서 출력 누적량의 차를 이용하여 산출하는 것이다. 이는 저수조 용량 산정에만 국한되지 않고 저장 용량의 크기를 결정해야 하는 균등조(Equalization Basin), 전력 스마트그리드(Smart Grid) 설계나 금융 분야 등에서도 실용적으로 적용되리라 본다.

#### References

1. [김미영, 이경환, 방가성, 박주석, “제주도의 자연재해 경감을 위한 분산형 빗물 관리 방안”, 빗물 학회지] Kim, M. Y., Lee K. H., Bang, G. S. and Park, J. S., “Decentralized Rainwater Management Plan for Mitigation of Natural Disaster in Jeju Island, Korea” Society of Rain Masters 1(1), pp. 57~63. (2007).
2. [박원배, 문덕철, 고기원, “제주 지역 빗물 이용 시설의 효율적 개선 방안 연구”, 지하수 토양 환경] Park, W. B., Moon, D. C. and Koh, G. W., “Study on Efficient Improvement Method of Rainwater Utilization Facilities in Jeju Island, Jeju Special-Govering Province Water Resource Headquarter” Journal of Soil and Groundwater Environment 17(6), pp. 1~8. (2012).



3. [고광백, 김영관, 윤주환, 임재명, 한무영 공역, 폐수 처리 공학 2, 동화 기술] Go, K. B., Kim, Y. G., Yoon, J. H., Lim, J. M. and Han M-Y., "Wastewater engineering Treatment and Reues" Metcalf & Eddy, Trans, 4th ed., pp. 1550~1569. (2003).
4. [우종규, 전종길, 백이, 노미영, 손정의 "온실용 빗물 재활용 장치 이용효과", 농촌 진흥청] Woo, J. S., Jeon, J. G., Baek, Li., Rno, M. Y. and Son, J. Y., "Effect Using of Greenhouse Rainwater Recycling Devices" Rural Development Administration (2010)
5. [박성원, 김상래, 곽동희, "빗물이용 시설에서 빗물 저장조 용량산정 방법에 관한 연구", 빗물 학회지] Park, S. W., Kim, S. R. and Kwak, D. H., "Rainwater Research Center, Seoul National Univercity" Society of Rain Masters 1(1), pp. 96~102. (2007).
6. [서울특별시 대기 환경 정보, 강수량 통계], Seoul Air Quality Information, Rainfall statistics(<http://cleanair.seoul.go.kr/climate.htm?method=year> 2015. 10. 20, Accessed)
7. [서울시 농업 정보 센터, 채소의 1회 관수량과 관수 주기] Seoul City, Agricultural Technvlogy Center, Watering amount per one time and watering period(<http://agro.seoul.go.kr/> 2015. 10. 22, Accessed)