

제주도 밭작물의 농업용수 재이용 타당성 평가

Feasibility Study of Wastewater Reuse for the Vegetable Farming in Jeju

성충현* · 강문성**† · 장태일* · 박승우** · 이광야*** · 김해도***

Seong, Choung Hyun* · Kang, Moon Seong**† · Jang, Tae Il* · Park, Seung Woo** · Lee, Kwang Ya*** · Kim, Hae Do***

ABSTRACT

The objective of this study is to assess the feasibility of wastewater reuse for the vegetable farming. The study region, about 250 ha in size, is located on the west coast of Jeju, Korea. Major agricultural products of the study area are the cabbage, broccoli, garlic and onion. To confirm the feasibility of wastewater reuse, the drought duration and the water requirement analysis were conducted respectively. The average annual precipitation of the study region (1,121 mm) was smaller than that of Jeju island (1,975 mm). The drought duration for a ten-year return period in October through November was more than 20 days. The water requirement for irrigation was calculated by the FAO Penman-Monteith method which took into account the cultivated crops, planting system, and meteorological conditions of the study region. The water requirement for a ten-year return period was estimated 4.7 mm/day and the water demand for irrigation was 4,584 m³/day. As a result, the irrigation water for the crops was insufficient during their breeding season, especially in October through November. Thus, the result indicated that the study region required the alternative water supply such as wastewater reuse during the non-rainy season. As drought continues to place considerable stress on the availability of fresh water supplies in the study region, irrigation with reclaimed wastewater will play an important role in helping to meet future water demands.

Keywords: Wastewater reuse; vegetable farming; FAO Penman-Monteith; drought duration

I. 서 론

제주도의 강수량은 연평균 1,975 mm로서 전국평균의 1.5배에 이르나, 현무암, 화산쇄설성 퇴적층으로 이루어진 지질 특성상 평상시의 강수는 일시에 바다로 유출되거나 지하로 침투되어 대부분의 하천이 건천이 되므로 지표수개발이 어려운 특징을 나타낸다. 1970년 최초로 암반지하수 부존이 확인된 이래 제주도의 대부분의 용수를 지하수로부터 공급받고 있다. 제주도의 지하수 개발은 크게 공공개발과 사설개발로 구분할 수

있다. 공공개발 지하수공의 이용량은 2003년 말 현재 1,043공으로 834 천m³/일이며, 사설 지하수공은 3,866공으로 개발량은 661 천m³/일이다 (Jeju, 2003).

평년기준 제주도 지하수 이용가능량은 645 백만m³으로서, 이는 일평균 1,768 천m³에 해당된다 (Jeju, 2003). 또한 JDI (2006) 자료에 따르면, 2005년 말 현재 제주도 지하수 개발량은 1,607 천m³/일로서 지하수 적정 개발량 대비 90.9%에 이르고 있으며, 제주도와 서귀포시의 신도시 개발지역에서의 도시 확장에 따른 사설 지하수개발공은 증가하는 추세이며, 일부 지역의 지하수 오염, 염분 농도 증가 등의 현상은 국지적으로는 지하수 개발이 한계에 이른 것으로 보고되고 있다. 그러나 제주도 장래 수자원 수요량은 2020년에 고수요 396 백만m³로서, 2006년 기준 15% 정도 증가할 것으로 예상되며, 전체 수자원 수요량 중 농업용수는 72%를 차지할 것으로 예상하고 있다 (MOCT, 2006).

한편, Jeju (2004)에 따르면 농지면적 59,167 ha의 84.5%

* 서울대학교 농업생명과학연구원

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부, 농업생명과학연구원 겸임연구원

*** 한국농촌공사 농어촌연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4582

Fax: +82-2873-2087

E-mail address: mskang@snu.ac.kr

2008년 12월 3일 투고

2008년 12월 31일 심사완료

2008년 12월 31일 게재확정

에 대하여 농업용수를 공급하도록 계획하고 있다. 농업용수 공급을 위해서는 향후 386 천m³/일의 추가 용수원의 개발이 필요하며, 이중 지하수 관정개발을 통해 129 천m³/일, 상수원 용도전환 등으로부터 141 천m³/일, 그리고 하수처리장 방류수 등 대체수자원개발을 통해 122 천m³/일의 공급이 필요하다고 보고하고 있다. 특히 하수처리장 6개소로부터 62 천m³/일의 재이용계획이 포함되어 있다.

제주도 판포지구는 제주도내 대표적인 소우지역으로서, 지형적 영향으로 9~11월에는 강수량이 작은 반면에 용수 수요량이 급증하여 매년 물부족 문제가 심각하다. 이 지역은 제주시 서부환경사업소가 가까이 위치하고 있어 하수를 재이용하는데 유리할 뿐만 아니라 지하수 개발이 한계에 이르러 대체수자원 개발이 요구되고 있는 지구이다.

한편, 하수재이용의 실용화 사업을 위하여, 수자원프런티어사업단의 <농업용수재이용시스템적용 연구>에서는 논벼, 밭작물(채소류) 등에 대한 작물재배시험 및 수질, 토양, 생태환경 영향과 보건위생 위험도 등에 대한 종합적이고 체계적인 연구를 수행 중에 있으며, 농업용수 재이용시범사업을 통해 적용성을 확인하고 있는 실정이다. 하수재이용은 높은 적용성과 함께 환경피해를 최소화하는 방안이 모색되고 있고, 안전성의 확보를 위한 방안 등에 관하여 Kang et al. (2004, 2007), Jang et al. (2008), Kim et al. (2008), Scott et al. (2001) 등의 국내의 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

본 연구의 목적은 제주도 서부(판포) 하수처리장 방류수의 농업용수 재이용 가능성 여부를 분석하기 위하여, 1) 대상지구의 작물 및 용수수급 현황을 조사 분석하고, 2) 과우일수와 필요수량을 산정함으로써, 대상지구의 특성을 고려한 하수처리수의 농업용수 재이용의 타당성을 평가하는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구

대상지구는 제주시에서 서쪽으로 약 40 km 떨어진 해안가에 위치하고 있으며, 한라산을 중심으로 제주도의 서쪽에 위치하고 있다. 대상지구는 제주시 한경면 판포리에 위치한 서부하수처리장 일대의 지하수 관개지역으로서 면적은 약 250 ha 이다.

현지조사 결과 대상지구는 제주도의 대표적인 소우지역으로 전통적으로 보리, 콩 등의 작물이 재배되어 온 지역이었다. 그러나, 현재는 농가소득이 높은 양파, 마늘, 브로콜리, 양배추 등의 밭작물을 주로 재배하고 있는 것으로 조사되었다. 한편, 해안가 근처 일부 필지에서는 관개문제로 인해 선인장이 재배

Table 1 Agricultural products of the study area

First crop	Cabbage	Onion	Garlic	Broccoli	Green Onion	Total
Second crop	Cabbage	Sesame	Sesame	Bean	Barley	
Area(ha)	62.5	62.5	50.0	37.5	37.5	250.0
Ratio(%)	25.0	25.0	20.0	15.0	15.0	100.0

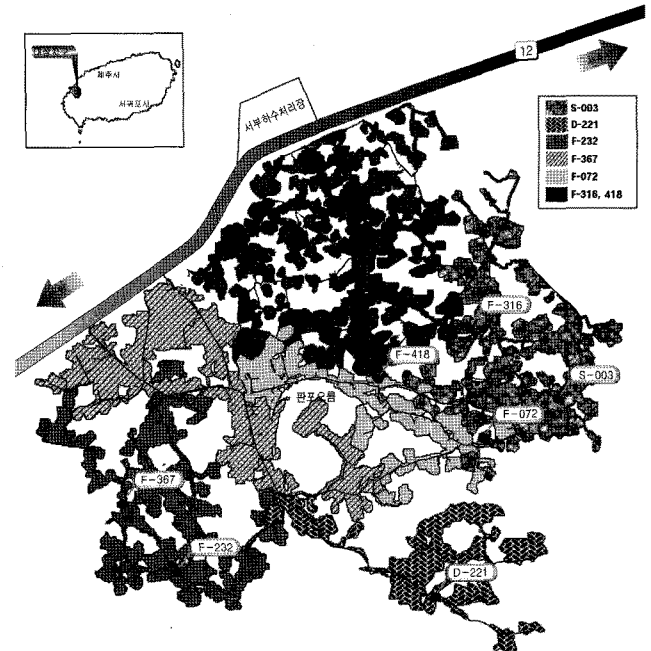


Fig. 1 Irrigation area of the well in the study region

Table 2 Capacity and irrigation area of the well

Well	Capacity (m ³ /day)	Irrigation Area (ha)
F-367, R-025	1,379	42.20
F-232	800	40.00
D-221	1,000	24.20
F-072	800	23.70
S-003	1,051	41.60
F-316, F-418	1,873	72.70
Total	6,903	244.40

되고 있다. Table 1은 대상지구의 작물재배현황을 나타내고 있다.

대상지구의 관개용수는 지하수가 이용되고 있으며, 관개시스템은 관정에서 양수하여 저류조에 집수한 후 자연유하나 압력수로 관개파이프 라인을 통하여 각 필지까지 용수를 제공하는 방식으로, 각 필지에서는 스프링클러 관개가 주로 이용되고 있다. 한편, Fig. 1은 대상지구의 관정별 면적을 나타내고 있으며, Table 2는 관정별 채수량 및 면적을 보여주고 있다.

2. 과우일수

과우일수를 분석하기 위한 강수량 자료는 제주도내에서 관측 기간이 긴 기상청 산하 강수관측소 4곳 중 고산관측소 자료를 이용하였다. Fig. 2와 같이 고산관측소는 제주도를 기상청 산하 강수관측소를 기준으로 티센망 작성시 대상지구를 포함하고 있으며, 직선거리상으로도 약 6 km 정도 떨어진 곳에 위치하고 있어 대상지구의 기상특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 북부 지역인 제주와 고산 관측소의 경우 성산포와 서귀포에 비해 연평균 강우량이 400~700 mm 정도 적은 것으로 관측되었으며, 특히 대상지구를 대표하는 고산관측소의 평년강우량은 1,121 mm로 한라산의 지형적 영향으로 제주도에서 강우량이 가장 적은 곳이며, 9~11월에는 용수요량이 증가되어 물부족 문제가 발생하고 있다. 강수일수 분석을 위한 강수자료는 1974~2004년의 31년 동안의 일단위 강수량 자료를 이용하였다.

가뭄의 정도는 강수발생비율, 무강수일수, 토양수분을 기초로 하는 지표, 과우일수 등의 여러 가지 인자로 표현할 수 있다. SPI 지수법, Palmer 지수법 등이 우리나라에 소개되었으며, 최근에는 잠재증발산량을 고려한 토양수분을 적용하는 방법도 도입되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 대상지구의 강수량 자료로부터 과우일수를 산정하여 가뭄특성을 분석하였다.

과우일수는 기준일을 설정하여 무강수일 혹은 일정량 이하의 강수량을 갖는 일수를 포함하여 기상학적 가뭄을 나타내는 방법이다. 일반적으로 5 mm 이하의 일강수량 (미국에서는 6.4 mm 이하)은 수문 및 농업에는 아무런 영향을 미치지 않는 강수로 구분하고 있다. 즉, 과우일수는 5 mm 이하의 일강수량과 무강수일에 대하여 정의하는 것이 일반적인 방법이다 (Kim et al., 1996). 본 연구에서는 5 mm 이하의 일강수량을 포함한 무강수일을 순별로 계산하여 과우일수를 산정하였다.



Fig. 2 Meteorological stations and Thiessen network of the study region

3. 필요수량 산정

대상지구의 필요수량은 농업생산정비계획설계기준 (관계편) (MAF, 1998)에 제시된 방법을 이용하여 산정하였다.

증발산량 공식은 FAO Penman-Monteith (FAO, 1998) 식을 이용하였으며, 다음 식 (1)과 같다.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

여기서, ET_0 는 잠재증발산량 (mm/day), R_n 은 순일사량 (mm/day), $(e_a - e_d)$ 는 증기압차 (kPa), Δ 는 수증기압곡선, γ 는 습도상수, G 는 토양으로 흡수되는 열유동량이다.

기상자료는 고산관측소의 1988~2007년 일별 자료를 이용하였다. 일별 소비수량은 계산된 잠재증발산량 (ET_0)에 작물의 종류와 생육단계에 따라 작물계수를 적용하여 산정하였으며, 이를 바탕으로 10년 빈도 한발시의 계획 일소비수량을 결정하였다. 필요수량 (조용수량)은 대상지구의 관계방식에 따른 관계효율을 적용하여 산정하였다.

한편, Table 3은 증발산량 계산시 적용한 대상지구 재배작물의 생육기별 작물계수를 나타낸 것으로, FAO (1998)의 보고서를 바탕으로 대상지역 작물의 생육시기를 반영하여 재산정한 것이다. 관계효율의 농업생산정비계획설계기준 (MAF, 1998)을 참고하여 적용하였다.

Table 3 Crop coefficients for the four growth stage

Crop	Plant date	Lengths of crop development stages					Crop coefficient		
		Init.	Dev.	Mid	Late	Total	C_{ini}	C_{mid}	C_{end}
First Cabbage	Oct.~Feb.	50	60	50	30	190	0.70	1.05	0.95
Second Cabbage	Feb.~Oct.	40	60	50	20	170	0.70	1.05	0.95
First Onion	Sep.~May	20	40	160	40	260	0.70	1.05	0.80
Second Sesame	Jun.~Aug.	10	20	30	10	70	0.35	1.10	0.25
First Garlic	Sep.~May	30	40	160	40	270	0.70	1.00	0.70
Second Sesame	Aug.~Oct.	10	20	30	10	70	0.35	1.10	0.25
First Broccoli	Sep.~Feb.	40	60	50	20	170	0.70	1.05	0.95
Second Bean	May~Aug.	30	30	40	20	120	0.50	1.05	0.90
First Green onion	Aug.~Oct.	20	30	20	10	80	0.70	1.05	0.95
Second Barley	Nov.~May	50	60	60	40	210	0.30	1.15	0.25

III. 결과 및 고찰

1. 과우일수 분석

제주도 가뭄피해 현황을 보면 94년 당시 밭 65,294 ha 중

에서 가뭄피해를 받는 지역이 8,722 ha (두류 2,258 ha, 채소류 6,464 ha)로 약 13.4%의 밭이 가뭄피해를 받았으며, 제주도의 밭농업 특성상 며칠만 무강수일수가 지속해도 가뭄에 취약한 양상을 보이는 것으로 보고되고 있다. 특히, 타지역에 비해 연평균 강수량이 700 mm 이상 부족한 서부지역인 한경면 일원의 경우는 2~3년 주기로 상습적인 가뭄현상이 발생하

고 있으며, 주요재배작물인 마늘, 양파, 양배추 등의 파종 및 생육기에 강수가 없을시 심각한 물부족 현상이 발생하고 있다.

순별 과우일수를 분석한 결과 평균 6~24일의 변화를 나타냈으며, 대상지구의 주요작물인 마늘, 양파, 양배추 등의 용수 수요량이 큰 9~11월의 과우일수는 10~21일의 범위로서 과우일수가 10일을 초과하는 것으로 나타났다. Table 4는 과우일수의 확률빈도 분석 결과를 나타내고 있다. 10년 빈도 한발시의 과우일수는 연중 9~43일의 범위로 나타났으며, 특히 가을 밭작물의 용수수요량이 큰 9~11월의 10년 빈도 과우일수는 18~42일의 범위를 보임으로서, 한달 이상의 과우일수가 나타나기도 하였다.

Table 4 Drought frequency by means of drought duration (unit: days)

Days	Return period		Probability distribution	Remarks				
	5 year	10 year						
Jan.	First	21.8	25.6	G	G: Gaussian (Normal)			
	Middle	22.2	28.2	L				
	Last	23.2	28.7	L				
Feb.	First	19.4	21.8	W		L: LogPearson TypeIII		
	Middle	15.5	18.9	Gu				
	Last	15.0	18.0	L				
Mar.	First	12.8	15.3	Gu			W: Weibull	
	Middle	12.7	15.7	Gu				
	Last	13.9	16.8	Gu				
Apr.	First	12.2	15.3	L				Gu: Gumbel
	Middle	11.4	14.0	L				
	Last	8.2	9.6	Gu				
May	First	12.9	15.8	Gu				
	Middle	16.4	20.8	L				
	Last	13.1	15.6	Gu				
Jun.	First	10.4	11.7	W				
	Middle	8.2	9.3	W				
	Last	11.0	15.4	L				
Jul.	First	11.9	14.7	Gu				
	Middle	15.7	20.0	Gu				
	Last	14.9	17.5	W				
Aug.	First	10.7	14.0	L				
	Middle	10.8	13.9	L				
	Last	13.1	17.2	L				
Sep.	First	13.9	18.2	L				
	Middle	17.9	21.7	W				
	Last	22.4	29.4	L				
Oct.	First	26.7	35.2	L				
	Middle	22.5	28.8	L				
	Last	18.8	24.1	L				
Nov.	First	18.7	21.9	G				
	Middle	23.9	32.0	L				
	Last	31.2	42.2	L				
Dec.	First	34.2	43.3	Gu				
	Middle	34.1	39.7	G				
	Last	26.4	33.3	L				

2. 필요수량 산정 결과

증발산량 공식을 적용하여 1988~2007년까지 일별 증발산량을 계산하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다. 일별 증발산량 중 연최대값은 3.84~4.81 mm/day의 범위를 보였다. Table 5은 연최대 증발산량을 대상으로 빈도분석을 실시한 결과를 나타내고 있다. 빈도분석시 확률분포는 Gaussian (Normal) 분포를 적용하였으며, 관개조직 설계시 적용하는 10년 빈도 한발시의 증발산량은 4.7 mm/day인 것으로 나타났다.

Table 6은 대상지구의 필요수량에 따른 급수면적을 나타내고 있다. Table 6에서와 같이, 관개효율을 고려한 10년 빈도

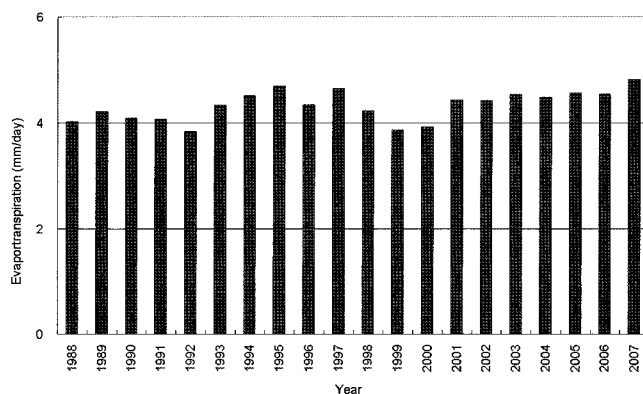


Fig. 3 Annual maximum evapotranspiration

Table 5 Evapotranspiration for return period

Return period (year)	Evapotranspiration (mm/day)	Return period (year)	Evapotranspiration (mm/day)
2	4.4	30	4.9
3	4.5	50	5.0
5	4.6	100	5.0
10	4.7	200	5.1
20	4.8	-	-

Table 6 Irrigation area for the water requirement with ten-year return period

Well	Water amount (m ³ /day)			Area (ha)	
	Water requirement	Groundwater uptake	Shortage	Irrigation	No irrigation
F-367, R-025	2,333	1,379	954	24.9	17.3
F-232	2,212	800	1,412	14.5	25.5
D-221	1,338	1,000	338	18.1	6.1
F-072	1,310	800	510	14.5	9.2
S-003	2,300	1,051	1,249	19.0	22.6
F-316, F-418	4,020	1,873	2,147	33.9	38.8
Total	13,514	6,903	6,611	124.8	119.6

한발시의 대상지구 전체 필요수량은 13,514 m³/day 로 산정되었으며, 기존 지하수 관정으로부터 취수되는 양을 제외하면 6,611 m³/day의 관개용수가 부족한 것으로 나타났다. 즉, 10년 빈도 한발시 관개용수의 부족으로 인하여 대상지구 경지 중 약 49%인 119.6 ha의 면적이 관개용수 공급을 받지 못하는 것으로 나타났다. 따라서, 대체수자원 개발 등을 통해 부족한 관개수량을 확보해야 할 것이다.

3. 하수재이용을 위한 제안

과우일수와 필요수량을 산정한 결과에서 보듯이, 10년 빈도 한발시 관개용수의 부족으로 몽리구역의 약 49%에 대해서 부족한 관개수량을 확보해야 하는 것으로 나타났다.

Jejudo (2004)에서 대상지구가 위치한 환경면은 농업용수원 확보계획으로 지하수관정 정비 및 개발로부터 5 천m³/일, 상수원 용도 전환으로부터 3 천m³/일, 하수처리장 방류수 등 대체수자원개발을 통해 6 천m³/일, 저수조 증설을 통해 5 천m³/일 등을 계획하고 있다.

하수재이용을 위해서는 재이용 용도별로 수질기준 (또는 권고기준 등)을 충족하여야 하며 이를 통한 안전성의 확보가 중요하다. 농업용수 재이용 수질기준은 재배작물의 종류, 관개방식 등에 따라 구분하여 적용하는 것이 일반적이다. 작물 및 관개방식을 제한하는 것은 하수재이용에 따른 인체 보건위생의 안전성을 확보하고, 작물재배환경을 보호하며, 환경피해 등을 최소화하기 위한 것이다.

작물생육저해인자로는 나트륨흡착비, 염류농도 등과 붕소 등이 있는데, 작물생육에 영향을 주지 않는 전기전도도의 한계치는 대략 700 μS/cm이며, 그 이상에서는 염분에 예민한 작물에서는 생육장애와 수확량의 감소를 나타내게 된다. 대상지구의 대표적인 작물인 브로콜리는 전기전도도 (EC)가 2,800 μS/cm 까지는 염해를 입지 않다가, 3,900 μS/cm이 되면 작물의

10%가 염해를 입고, 14,000 μS/cm이 되면 작물이 모두 염해를 입게 되어 수확을 할 수 없는 것으로 알려지고 있다. 또한, 콩 및 당근, 상추, 양파와 같은 채소류는 염해에 취약한 작물로서 전기전도도가 700~800 μS/cm을 초과하면 작물의 피해가 발생하는 것으로 보고되고 있다 (Stephen, 2002).

영양물질 등은 투수성이 높은 토양에 급수할 경우 지하수위까지 쉽게 스며들게 되므로, 발관개에서도 중요한 수질인자가 되기도 한다. 보건위생인자는 대장균수, 원충란, 바이러스 등과 같이 수인성 병원체 또는 기생충 알 등이다. 생체로 섭생하는 채소류의 경우 대장균수 (지표생물)는 엄격히 통제되어야 하며, 이는 WHO의 재이용수질 권고에서도 제시하는 기준이며 세계 많은 나라에서 채택하는 기준이다. 그밖에 중금속 성분들도 재이용수질기준에서 고려하는 데, 토양오염 등으로 인한 위험성을 낮추는 요소와 식물 독성 등에 대한 기준으로 제시하고 있다.

해안가에 취락이 발달한 대상지구의 특성상 여러 경로를 통하여 염도가 높은 하수가 많이 발생하게 되며, 하수처리장의 방류수를 채취하여 분석한 결과, 하수방류수의 염도는 시기 및 조위에 따라 1,500~3,500 μS/cm 정도로 범위로서 내륙지방에 비해 비교적 높은 편이었다. 따라서, 하수방류수를 농업용수로 재이용하기 위해서는 하수방류수의 염도를 조절하여 작물이 염해 피해를 입지 않도록 주의가 필요하다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 제주판포지구의 농업용수 재이용타당성을 검토하기 위해 과우일수를 분석하고, 대상지구의 작물재배에 따른 필요수량을 추정하였으며, 연구 결과를 바탕으로 대상지구의 하수재이용의 타당성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대상지구의 과우일수 분석과 용수수요량 추정을 위한 기상자료의 수집을 위해 관측기간이 비교적 긴 제주도의 기상청 산하 기상관측소를 대상으로 티센망을 구축하여 대상지구의 기상특성을 잘 반영하고 있다고 판단되는 고산관측소를 선정하였다.
- 2) 1974~2004년의 일강수량자료로부터 순별과우일수를 분석한 결과 대상지구의 용수수요량이 큰 9~11월의 과우일수는 10~21일로 10일 이상의 과우일수가 나타났다. 순별과우일수를 바탕으로 10년 빈도 한발시의 과우일수를 분석한 결과 연중 9~43일의 범위로 분석되었고, 9~11월에는 18~42일로서 한달 이상의 과우일수가 나타나는 것으로 분석되었다.
- 3) 대상지구의 필요수량을 추정하기 위해 대표적인 증발산량 공식인 FAO Penman-Monteith 공식을 이용하여 1988~2007

년의 기상자료와 대상지구의 작물종류 및 재배형태 등을 고려하여 일별 증발산량을 추정하였다. 이로부터 10년빈도 한발시의 증발산량은 4.7 mm/day로 계산되었다.

4) 대상지구 전체 필요수량은 13,514 m³/day로 산정되었다. 이는 기존 지하수 관정의 취수량을 고려하면 6,611 m³/day의 관개용수가 부족한 것을 나타내며, 대상지구 경지면적의 49 % 인 119.6 ha에는 관개용수 공급이 어려움을 나타낸다.

5) 본 연구의 결과로부터, 대상지구의 수자원여건과 장래 수요, 그리고 지하수 개발을 통한 용수수요 충족의 한계성 등을 고려할 때, 제주도 서부하수처리장의 하수처리수의 농업용수재이용 사업은 타당성이 높은 것으로 평가되었다.

대상지구의 경우는 서부하수처리장 2단계 사업에 따른 공단 폐수나 축산분뇨 등의 추가 유입으로 인한 중금속 처리 문제 등과 같은 하수재이용에 대한 보건위생 안전성, 심미적 저항감, 소비자의 수요 그리고 재배작물과 관개방식의 특성을 고려한 재배기술 등을 고려하여 경제적인 재이용시스템을 적용해야 할 것으로 사료된다. 또한, 대상지구와 같이 하수처리수를 가뭄시 일정기간에만 비상급수원으로 활용하는 채소농업의 경우는 안전성 확보뿐만 아니라 시설비와 운영비를 저감하는 방안이 필요할 것이다.

대상지구의 주 작물인 채소류 등은 엄격한 재이용수질기준을 충족시켜야하며, 보다 효율적이고 완벽한 소독시스템을 중심으로 하는 재이용시스템이 적용되어야만 할 것이다. 다만, 어떤 형식의 재이용시스템이 수질기준을 충족시키고, 보건위생위험성이 없고, 수확물의 소비자 인증이 가능한지를 면밀히 검토하고, 각각의 경제성과 장단점을 비교 검토하여 최적의 시스템을 구성하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구는 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보 기술 사업단의 연구비지원 (과제번호 4-5-3)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. FAO, 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56.
2. Jang, T. I., S. W. Park, and H. K. Kim, 2008. Environmental effects analysis of a wastewater reuse system for agriculture in Korea. *Water Science & Technology: Water Supply* 8(1): 37-42.

3. Jeju Development Institute (JDI), 2006. Using plan and development of regional agricultural water in Jeju (in Korean).
4. Jejudo, 2003. Comprehensive investigation geohydrology and groudwater resources III in Jeju (in Korean).
5. Jejudo, 2004. Establishment of comprehensive plan for Agricultural water in Jeju (in Korean).
6. Kang, M. S., S. W. Park, S. M. Kim, and C. H. Seong, 2004. Rice cultivation with reclaimed cropping management practices for wastewater reuses. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers (KSAE)* 46(1): 75-86 (in Korean).
7. Kang, M. S., S. M. Kim, S. W. Park, J. J. Lee, and K. H. Yoo, 2007. Assessment of reclaimed wastewater irrigation impacts on water quality, soil, and rice cultivation in paddy field. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substance & Envrionmental Engineering* 42: 439-445.
8. Kim, H. Y., Y. J. Suh, and S. H. Oh, 1996. Methodology for drought evaluation in Korea. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal (KCID)* 3(1): 20-31 (in Korean).
9. Kim, S. M., S. J. Im, S. W. Park, J. J. Lee, Brian L. Benham, and T. I. Jang, 2008. Assessment of wastewater reuse effects on nutrient loads from paddy field using field-scale water quality model. *Environmental Model Assess* 13: 305-313.
10. Ministry for Agriculture and Forestry, Korea (MAF), 1998. Large-scale comprehensive agricultural development project standard: Irrigation (in Korean).
11. Ministry of Construction and Transportation, Korea (MOCT), 2006. Water vision 2020 (in Korean).
12. Scott, C. A., J. A. Zarazua, and G. Levine, 2001. Urban-wastewater reuse for crop production in the water-short Guanajuato river basin, Mexico, Research Report 41. International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 35.
13. Stephen R., 2002. Irritation water salinity and crop production.