

토지이용 변화를 고려한 제주도 권역별 미래 농업용수 수요량 추정

송성호^{1*} · 명우호¹ · 안중기¹ · 장종석¹ · 백진희² · 정차연²

¹한국농어촌공사 농어촌연구원

²한국농어촌공사 제주지역본부

Estimation of Regional Future Agricultural Water Demand in Jeju Island Considering Land Use Change

Sung-Ho Song^{1*} · Woo-Ho Myoung¹ · Jung-Gi An¹ · Jung-Seok Jang¹
Jin-Hee Baek² · Cha-Youn Jung²

¹Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

²Jeju Special Self-government Province Branch, Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT

In this study, the projected land use area in 2030 for major crop production was estimated in Jeju Island using land cover map, and corresponding agricultural water demand for 40 sub-regions was quantitatively assessed using the future climate change scenario (RCP 4.5). Estimated basic unit of water demand in 2030 was the highest in the western region, and the lowest in the eastern region. Monthly maximum agricultural water demand analysis revealed that water demand in August of 2030 substantially increased, suggesting the climate of Jeju Island is changing to a subtropical climate in 2030. Agricultural water demand for sub-region in 2030 was calculated by multiplying the target area of the water supply excluding the area not in use in winter season by the basic unit of water demand, and the maximum and minimum values were estimated to be 306,626 m³/day at Seogwipo downtown region and 77,967 m³/day at Hallim region, respectively. Consequently, total agricultural water demand in Jeju Island in 2030 was estimated to be 1,848,010 m³/day.

Key words : Land cover map, Agriculture water demand, Land use change, Climate change scenario, Jeju Island

1. 서 론

최근 전지구적인 문제로 대두되고 있는 기후변화 (climate change)는 인위적인 요인에 의해 기존의 기후변화 속도가 급격하게 증가하는 현상으로 정의될 수 있다. 이러한 기후변화는 강수량의 연평균 변화와 더불어 계절적인 분포의 변화를 가속화 시키고 있으며(IPCC, 2007), 강수량의 변화는 특히 농작물의 작부체계와 관련된 농업 활동에 민감한 영향을 미치게 된다(O'Brien et al., 2004; Kingwell, 2006).

강수량의 급격한 감소에 따른 가뭄은 홍수에 비해 점진적이고 예측이 가능한 수문학적 요인이지만, 발생 시에는 피해 범위가 광범위한 특징이 있다. 농업부문에서의 가뭄

영향은 단계적으로 발생되는데, 농작물 생산량 감소 및 생활용수 확보의 어려움으로 시작되어 농가의 자산 또는 토지의 매도 압력 등 사회적 영향으로 발전한다(Ribot, 1996). 따라서 농업 부문에서의 가뭄 피해를 최소화하기 위해서는, 정량적인 자료 분석을 통한 미래 가뭄의 시·공간적인 불확실성의 평가 및 대처 계획 수립이 매우 중요하다.

기후변화 가속화에 따른 강수량의 변화는 지하수 함양량 변화로 나타나는데, 수자원의 98% 이상을 지하수에 의존하는 제주도의 경우에는 우리나라의 내륙지역과 달리 다양한 기후변화 인자의 변동성에 매우 취약한 것으로 알려져 있다(Song and Choi, 2012). 이러한 특성을 반영하여 기후변화에 따른 수문학적 변동성 분석을 위해 제주도

*Corresponding author : shsong@ekr.or.kr

Received : 2018. 1. 16 Reviewed : 2018. 2. 8 Accepted : 2018. 2. 28

Discussion until : 2018. 4. 30

에 대한 가뭄지수(SPI와 PDSI) 추세 분석 결과, 북부지역과 서부지역이 남부지역에 비해 미래 가뭄에 취약한 것으로 분석되었다(Song et al., 2013). 이러한 결과는 Park et al.(2016) 등이 표준강수지수를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 분류의 결과에서도 일치되는 것으로 나타났다.

특히 제주도 서부지역의 경우에는 현재의 농업용수 체계를 그대로 이용하는 경우 가뭄 취약성이 급격하게 증가할 것으로 예측됨에 따라, 기존의 농업용수 공급 체계를 대신하는 적절한 활용 계획 수립이 필요하다. 이러한 계획 수립을 위해서는 미래 권역별 주요작물별 재배면적과 각 작물별 작부체계(cropping system) 및 작물계수(crop coefficient)를 이용하여 계산하는 필요수량 분석이 필수적이다.

이를 위하여 이 연구에서는 제주도를 40개 세부권역으로 구분한 후, 인공위성 기반의 토지피복도(land cover map)를 기초로 토지 분류별 변화 추세를 분석하여 주요작물 재배면적 변화를 추정하였다. 또한 세부권역별로 미래 기후 요소들의 효율적 분석을 위하여 해상도 1×1 km의 RCP 4.5 및 10×10 km의 A1B 기후변화 시나리오 자료를 이용하여, 권역별로 면적 강수량 및 순별 잠재증발산량을 계산한 후 2030년의 주요작물별 재배면적과 세분화된 작물계수를 포함한 권역별 농업용수 수요량을 정량적으로 평가하였다.

2. 분석 방법

이 연구에서 분석된 농업용수 수요량 변화는 제주도 12

개 행정구역을 대상으로 각각 2~6개의 소유역으로 분류한 총 40개의 세부권역을 대상으로 수행되었다(Fig. 1).

2030년의 농업용수 수요량 예측은 1980년 이후 매 5년 간격으로 인공위성 자료로부터 추출된 토지피복도를 이용하였는데, 이 중 분류항목이 세분화된 2000년대 이후의 토지피복도로부터 추출된 토지이용 변화(land use change) 중 농경지(밭, 시설재배지, 과수원 등) 면적을 대상으로 주요작물별 면적 변화를 추정하였다(Fig. 2). 이를 위하여 1단계에서는 토지피복도를 이용하여 2014년 까지 5년 간격으로 농경지 면적을 추정한 후, 2단계에서는 각 농작물별로 2014년까지의 면적 변화를 외삽하여 추정된 2030년 면적을 이용하여 2014년 대비 2030년의 면적 변화율을 계산하였다. 3단계에서는 각 농작물별 2014년의 실제 면적에 대하여 2단계에서 계산된 면적 변화율(land area change ratio)을 곱하여 2030년도 제주도 전체 농경지 면적을 계산하였다. 4단계에서는 토지피복도를 이용하여 1단계에서 추정된 2030년 농경지 면적에 대한 3단계에서 계산된 농경지 면적의 비율을 계산한 후, 토지피복도를 이용하여 추정된 2030년의 농경지 면적에 대하여 적용하여 40개 세부권역별로 각 농작물별 면적을 추정하였다.

이러한 결과를 토대로 미래 기후변화 시나리오(RCP 4.5 및 A1B)를 이용하여 2030년 까지(2017~2030년) 행정구역별로 계산된 순별 면적 강수량과 잠재증발산량 자료를 기초로 주요작물별 작물계수를 종합하여 40개 세부 권역별 농업용수 수요량을 추정하였다.

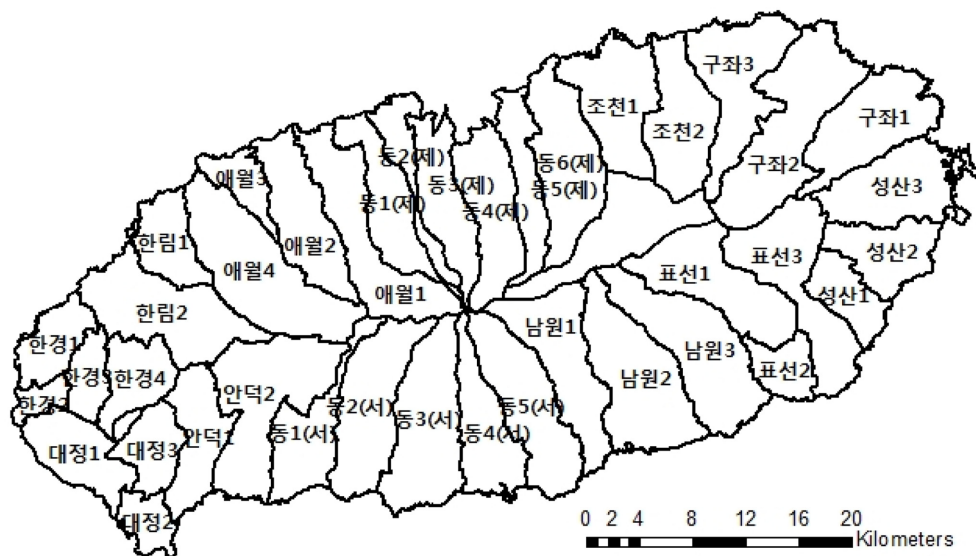


Fig. 1. Classification of 40 sub-regions for estimating future agricultural water demand in Jeju Island.

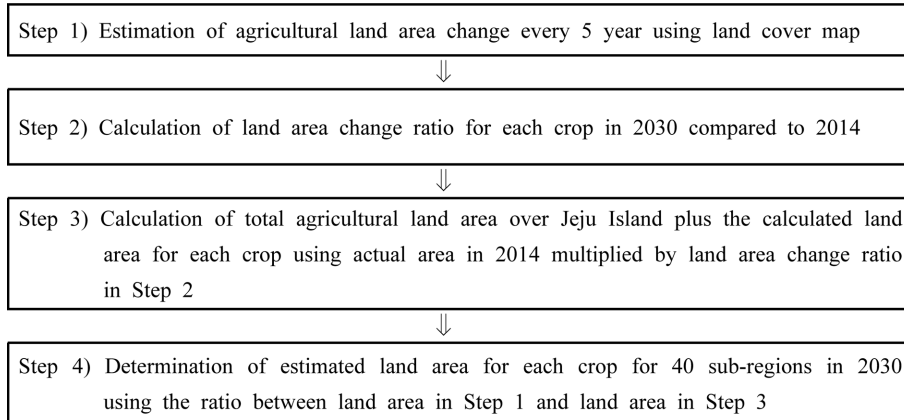


Fig. 2. Procedure of the determination of land area change for each crop in 2030.

Table 1. Classification systems of land cover map using category and their permeability

Large category		Middle category		Color code			Permeability
Name	Code	Name	Code	Red	Green	Blue	
Used area	100	Residential area	110	254	230	194	Impermeable
		Industrial area	120	192	132	132	Impermeable
		Commercial area	130	237	131	184	Impermeable
		Recreation area	140	246	113	138	Impermeable
		Trafficked area	150	247	65	42	Impermeable
		Public facilities	160	246	177	18	Impermeable
Agri-cultural land	200	Rice paddy	210	255	255	191	Permeable
		Dry field	220	247	249	102	Permeable
		Greenhouse	230	223	220	115	Both
		Orchard	240	184	177	44	Permeable
		The rest	250	184	145	18	Both
Forest	300	Broadleaf forest	310	51	160	44	Permeable
		Coniferous forest	320	10	79	64	Permeable
		Mixed forest	330	51	102	51	Permeable
Grass	400	Natural grassland	410	161	213	148	Permeable
		Artificial grassland	420	96	126	51	Permeable
Wetland	500	Inland wetland	510	180	167	208	Permeable
		Coastal wetland	520	153	116	153	Permeable
Barren	600	Natural barren	610	193	219	236	Permeable
		Artificial barren	620	159	242	255	Permeable
Water	700	Fresh water	710	62	167	255	Permeable
		Sea water	720	23	57	255	Permeable

2.1. 토지피복도

토지피복도는 지표면의 물리적 형태를 3가지 색상[적색(red), 녹색(green), 청색(blue)]의 비율로 구분된 분류코드를 이용하여, 실제 지표면을 일정한 기준에 따라 동질의 특성을 지닌 구역을 색상으로 구분하여 지도의 형태로 표현한 도면이다(MOE EGIS, 2017). 토지피복도는 2000년

이전까지는 Landsat TM 위성영상을 이용하여 지표면의 상태를 7개 분류항목[시가화·건조지역(used area), 농업지역(agricultural land), 산림지역(forest), 초지(grass), 습지(wetland), 나지(barren), 수역(water)]으로 나누는 대부분류 토지피복도(해상도 30 × 30 m)를 이용하였지만, 이후 최근까지는 Landsat TM과 SPOT 및 아리랑 위성영상을

이용하여 각각 22개와 41개 항목으로 나누는 중분류(5 × 5 m 해상도) 및 세분류 토지피복도(1 × 1 m 해상도)를 이용함에 따라 좀 더 정밀한 농경지 면적 추정이 가능하다.

토지피복도에서 제공하는 분류항목별 분류기준은 각 세분류별로 강수에 의한 지표 침투를 투수와 불투수 기준으로 나누어 제공하고 있다(Table 1). 이러한 분류에 의한 토지이용 변화는 해당지역의 수문순환에 직접적인 영향을 미치는데, 특히 도시화 지역의 증가는 불투수층의 증가로 이어져 강수의 지표유출 특성, 지하수 함양 및 증발산량의 변화를 통해 기후변화에 수반되는 수문순환의 왜곡으로 인간의 활동에 의해 영향을 미치게 된다.

2.2. 농업용수 수요량 예측

농업용수 수요량 예측에 필요한 작물별 필요수량은 10년 빈도 증발산값과 관개효율을 이용하여 산정이 가능하며, 10년 빈도 가뭄 시 필요한 작물별 최대 농업 수요량으로 정의된다. 따라서 10년 가뭄 시 농업용수를 공급할 수 있는 지하수 관정의 개발가능량 설계 또는 기존 시설물의 공급 능력을 평가하는데 사용할 수 있다.

작물의 필요수량은 작물이 정상적으로 생육하며 좋은 품질과 수확을 많이 낼 수 있는 상태에서 소비되는 수분

량으로, 작물에 영향을 미치는 수분량은 증발산량, 침투량, 모관상승량, 유효수량 등 다양하지만 발관개 계획 시에는 편의상 증발산량만을 계산하여 활용하고 있다(Chung et al., 2007). 제주도 발작물에 대한 필요수량과 작물계수 산정 사례는 당근과 감귤에 대한 토양수분감소법 추정 방식과, 토양수분센서를 이용한 감귤, 감자, 당근, 마늘, 양파, 양배추 등에 대한 소비수량 산정 방식이 대표적이다(RRI, 2005).

작물계수는 작물의 증산 및 토양을 통한 증발의 복합적 개념으로, FAO에서는 작물별 생육단계를 유년기, 영양 생장기, 생식 생장기 및 등숙기 등으로 구분한 후 각 단계의 증발량 차이에 의해 각 단계별로 다양한 작물계수를 제시한 바 있다. 이때 잠재증발산량 산정에 있어서의 빈도분석은 Gumbel-Chow 분포에 의한 (식 1)을 이용하여 계산된다.

$$X_T = \mu + K_T \cdot \sigma \tag{1}$$

여기서, X_T : 빈도별 순별 증발산량, μ : 순별 증발산량에 대한 평균, K_T : 빈도계수(frequency factor), σ : 순별 증발산량에 대한 표준편차이며, 빈도계수는 (식 2)를 이용하여 계산된다.

Table 2. Cropping systems for major crops in Jeju Island (JATI, 2003)

Crop	1 st year												2 nd year											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mandarin in greenhouse		H ¹⁾	F ²⁾										Ha ³⁾											
Mandarin in field				F								Ha												
Potato in autumn								S ⁵⁾					Ha											
								W																
Garlic								S					Ha											
Carrot								S					Ha											
								W																
Onion								S			P ⁶⁾		Ha											
Cabbage								S					Ha											
Radish									S				Ha											
Chinese cabbage									S				Ha											
Bean					S					Ha														

1): Heat, 2): Florescence, 3): Harvest, 4): Watering, 5): Sowing, 6): Planting

Table 3. Crop coefficients for estimating potential evapotranspiration in Jeju Island

Month	Mandarin in field ²⁾	Mandarin in greenhouse (Hallabong) ¹⁾	Mandarin in greenhouse ¹⁾	Garlic ¹⁾²⁾	Cabbage ¹⁾²⁾	Onion ³⁾	Carrot ¹⁾	Potato in autumn ¹⁾	Radish	Chinese cabbage ³⁾	Water melon ³⁾	Barley	Bean ³⁾
Jan. First	0.30	0.10	0.18	0.38	0.28	0.15	0.46		0.81			0.73	
Jan. Middle	0.30	1.29	1.37	0.38	0.39	0.15	0.29		0.81			0.95	
Jan. Last	0.30	1.29	1.13	0.38	0.43	0.15	0.30		0.81			0.95	
Feb. First	0.36	0.93	1.38	0.41	0.35	0.20	0.32					0.95	
Feb. Middle	0.36	1.27	1.08	0.41	0.35	0.20	0.57					0.95	
Feb. Last	0.36	0.99	0.43	0.41	0.45	0.20						0.95	
Mar. First	0.44	0.80	0.21	0.60	0.31	0.45						0.73	
Mar. Middle	0.44	0.68	0.25	0.60	0.46	0.45						0.45	
Mar. Last	0.44	0.73	0.43	0.60	0.40	0.45						0.45	
Apr. First	0.51	0.87	0.60	0.84		0.20					0.33	0.32	
Apr. Middle	0.51	0.89	0.44	0.84		0.20					0.47	0.32	
Apr. Last	0.51	0.73	0.44	0.84		0.20					0.44	0.32	
May First	0.43	1.12	0.32	0.88		0.20					0.45		0.32
May Middle	0.43	0.78	0.72	0.87		0.20					0.75		0.41
May Last	0.43	0.64	0.32	0.84		0.20					1.04		0.50
Jun. First	0.50	0.23	0.25	0.83		0.30					0.85		0.52
Jun. Middle	0.50	0.28	0.25			0.30							0.54
Jun. Last	0.50	0.35	0.27			0.30							0.72
Jul. First	0.47	0.58	0.32										0.90
Jul. Middle	0.47	0.38	0.17										0.90
Jul. Last	0.47	0.38	0.25										0.90
Aug. First	0.80	0.33	0.20										0.90
Aug. Middle	0.80	0.39	0.11		0.57		0.50						0.90
Aug. Last	0.80	0.69	0.16		0.57		0.50	0.50					0.90
Sep. First	0.80	0.29	0.10	1.02	0.57	0.32	0.50	0.50					
Sep. Middle	0.80	0.27	0.38	0.73	0.57	0.32	0.50	0.50	0.32	0.32			
Sep. Last	0.80	0.46	0.15	0.73	0.57	0.32	0.50	0.65	0.32	0.32			
Oct. First	0.56	0.23	0.59	0.39	0.57	0.40	0.49	0.85	0.45	0.45			
Oct. Middle	0.56	0.46	0.55	0.83	0.70	0.40	0.58	0.83	0.59	0.59			
Oct. Last	0.56	0.35	0.19	0.96	0.70	0.40	0.57	1.07	0.74	0.72			
Nov. First	0.59	0.11	0.37	1.07	0.70	1.10	0.58	0.84	0.90	0.86			
Nov. Middle	0.59	0.36	0.28	1.06	0.92	1.10	0.73	0.65	0.90	0.86			
Nov. Last	0.59	0.31	0.30	0.78	0.77	1.10	0.66	0.69	0.90	0.86			
Dec. First	0.31	0.14	0.21	0.45	0.71	0.70	0.66	0.69	0.81	0.86		0.32	
Dec. Middle	0.31	0.51	0.16	0.45	0.48	0.70	0.68	0.69	0.81	0.86		0.32	
Dec. Last	0.31	0.16	0.17	0.45	0.31	0.70	0.53	0.69	0.81			0.52	

References: 1) RRI (2005), 2) RRI (2015), 3) Choi et al. (2013)

$$K_T = - \left[0.45 + 0.779 \ln \left\{ - \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

여기서, T : 재현기간(return period)이다.

이 연구에서는 두 가지 시나리오의 격자망 일치를 위하여 RCP 시나리오의 일별 강수량 및 기온(최대, 최소, 평균)과 A1B 시나리오의 상대습도 자료를 이용하였으며, 각

행정구역 및 세부권역별로 2017년 이후 2030년까지 미래 순별 잠재증발산량을 계산하였다. 이를 토대로 농업용수 수요량 계산을 위한 농작물별 작부체계는 JATI(2003)에서 제시한 자료를 이용하였으며(Table 2), 제주도 주요작물별 작물계수는 Choi et al.(2013)이 제시한 결과를 기초로 마늘, 감자의 작물계수는 RRI(2005; 2015) 결과를 추가적으로 적용하였다(Table 3).

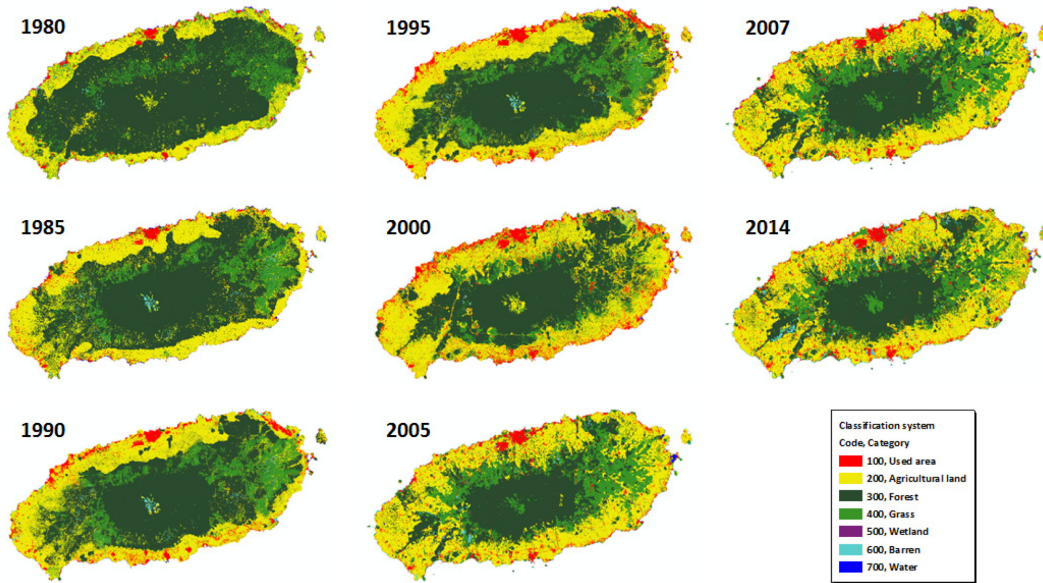


Fig. 3. Land cover map of Jeju Island (1980~2014).

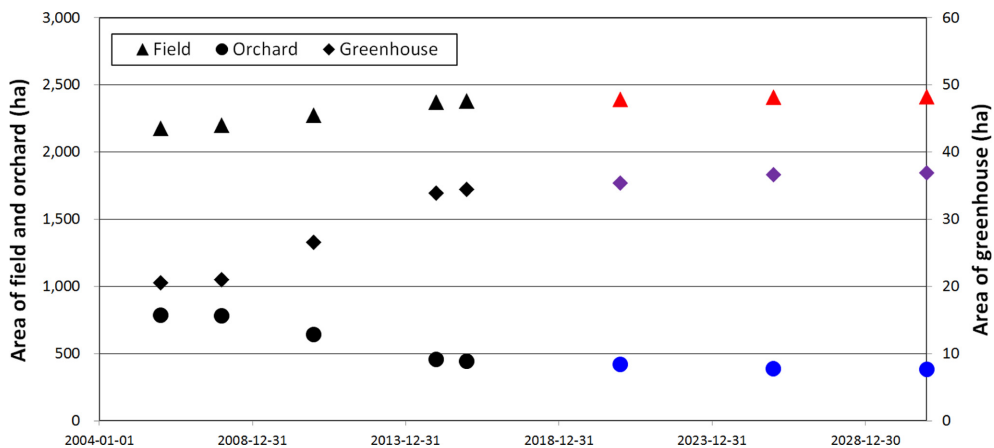


Fig. 4. Trend analysis of land use change for Seongsan3 sub-region using land cover map.

3. 연구결과

3.1. 토지피복도를 이용한 2030년 농경지 면적 추정

이 연구에서는 1980년 이후 중분류 기준의 토지이용 변화를 파악하기 위하여, 토지피복도를 5년 단위로 40개 세부권역별로 분석에 사용하였다(Fig. 3). 각 분류항목별 면적은 ArcGIS 10.4 프로그램을 이용하여 7개 대분류 및 22개 중분류 기준의 분류항목별 면적 변화량을 5년 단위로 추출하였다. 추출 결과 전체적으로 산림지역의 면적 감소가 가장 크게 나타난 반면 초지, 시가화·건조지역, 밭, 시설재배지 등의 면적 증가가 큰 것으로 나타났다.

중분류를 이용한 농경지 면적은 22개 중분류 기준의 분

류항목 중 밭(논 포함), 시설재배지, 과수원 면적을 대상으로 40개 세부권역별로 연도별 변화 추세를 이용하여 계산하였으며, Fig. 4는 세부권역 중 성산3권역을 대상으로 면적 변화가 수렴되는 부분에 대하여 최소자승법을 이용하여 2020, 2025, 2030년에 대하여 각 세부권역별로 밭, 시설재배지 및 과수원의 면적을 추정한 결과이다.

2030년의 작물별 재배면적 추정 작업을 위하여, 2014년 수자원장기종합계획 수립 당시 이용된 노지감귤, 시설감귤, 미늘, 양파, 양상추, 무우, 가을감자, 보리, 당근 및 휴경지 면적과 각 작물별로 2000년 이후 2014년까지의 4가지 추세분석 결과를 이용하여 2030년 추정된 작물별 면적 변화율을 계산하였다(Table 4). 이때 노지감귤과 시설

Table 4. Estimated ratio of cultivation area for each crop in 2030 compared to 2014

Area (ha)	Garlic	Onion+Welch onion	Cabbage	Radish	Sweet melon	Potato in Autumn
Estimation in 2030	3,103	1,936	2,270	4,079	169	1,436
Actual value in 2014	3,512	884	3,702	4,009	229	2,272
Ratio	0.88	2.19	0.61	1.02	0.74	0.63

Area (ha)	Bean+Mung bean	Dry-field rice	Barley	Carrot	Chinese cabbage
Estimation in 2030	6,697	203	1,108	1,436	485
Actual value in 2014	5,853	458	1,125	1,567	266
Ratio	1.14	0.44	0.98	0.92	1.82

Table 5. Estimated cultivation area for each crop in 2030 using estimated ratio of cultivation area

Major crops		Garlic	Onion+Welch onion	Cabbage	Radish	Sweet melon	Potato in Autumn	Bean+Mung bean	Dry-field rice	Barley	Carrot	Chinese cabbage	Land not in use
Jeju	Area (ha)	3,089	1,935	2,258	4,088	170	1,432	6,671	199	1,102	1,441	484	27,044
Jeju city	Area (ha)	1,027	1,565	2,019	1,352	169	593	4,764	119	824	1,189	273	15,803
Downtown	Area (ha)	8	9	4	46	0	11	334	2	196	0	4	3,472
	Ratio	0.002	0.002	0.001	0.011	-	0.003	0.082	0.000	0.048	-	0.001	0.850
Hallim	Area (ha)	124	324	658	20	9	7	364	20	172	0	53	1,491
	Ratio	0.038	0.100	0.203	0.006	0.003	0.002	0.112	0.006	0.053	-	0.016	0.460
Aewol	Area (ha)	78	207	927	175	141	20	410	7	95	0	151	3,013
	Ratio	0.015	0.040	0.177	0.033	0.027	0.004	0.078	0.001	0.018	-	0.029	0.577
Gujwa	Area (ha)	298	265	12	829	0	527	2,495	7	70	1,189	15	3,127
	Ratio	0.034	0.030	0.001	0.094	-	0.060	0.282	0.001	0.008	0.135	0.002	0.354
Jocheon	Area (ha)	81	35	4	71	19	2	499	3	17	0	0	2,310
	Ratio	0.027	0.012	0.001	0.023	0.006	0.001	0.164	0.001	0.006	-	-	0.760
Hankyung	Area (ha)	438	725	414	211	0	26	662	80	274	0	50	2,390
	Ratio	0.083	0.138	0.079	0.040	-	0.005	0.126	0.015	0.052	-	0.009	0.454
Seogwipo city	Area (ha)	2,062	370	239	2,736	1	839	1,907	80	278	252	211	11,241
Downtown	Area (ha)	2	0	2	12	0	3	7	2	1	0	10	3,444
	Ratio	0.001	-	0.001	0.003	-	0.001	0.002	0.001	0.000	-	0.003	0.989
Seongsan	Area (ha)	622	0	39	1,909	0	135	193	12	5	229	29	1,305
	Ratio	0.139	-	0.009	0.426	-	0.030	0.043	0.003	0.001	0.051	0.006	0.291
Pyosun	Area (ha)	0	0	7	430	0	66	349	1	1	20	3	2,179
	Ratio	-	-	0.002	0.141	-	0.022	0.114	0.000	0.000	0.007	0.001	0.713
Namwon	Area (ha)	0	0	0	31	0	4	10	0	0	1	0	866
	Ratio	-	-	-	0.034	-	0.004	0.011	-	-	0.001	-	0.950
Anduk	Area (ha)	157	8	35	49	1	124	1,073	3	103	0	20	2,163
	Ratio	0.042	0.002	0.009	0.013	0.000	0.033	0.287	0.001	0.028	-	0.005	0.579
Daejung	Area (ha)	1,281	362	156	305	0	507	275	62	168	2	149	1,284
	Ratio	0.281	0.080	0.034	0.067	-	0.111	0.060	0.014	0.037	0.000	0.033	0.282

감귤(한리봉, 보통은주)의 면적은 제주도장기종합계획수립 시 제시된 면적을 이용하였다.

2014년도 행정구역별 농경지 면적에 대하여 Table 4에서 계산된 작물별 면적 변화율을 곱하여, 2030년 기준의 각 행정구역별로 작물별 재배면적을 산출하였다(Table 5).

이후 Table 4에서 재배작물별 면적 비율로 계산된 전체 면적과 토지피복도를 이용하여 추정된 2030년 농경지 면적(Table 6)의 비율을 계산한 후, 최종적으로 2030년 기준 40개 소권역별로 재배작물별 실제 면적을 산출하였다(Table 7).

Table 6. Estimated cultivation area for each sub-region in 2030

Large area	Small area	Area (ha)				Large area	Small area	Area (ha)					
		Total	Field	Green-house	Orchard			Total	Field	Greenhouse	Orchard		
Jeju	Total	78,389	54,237	4,477	19,675								
Jeju city	Total	39,497	31,074	1,203	7,220	Seogwipo city	Total	38,892	23,162	3,274	12,456		
	Subtotal	7,838	4,567	115	3,156		Subtotal	9,974	3,602	1,042	5,331		
	Jeju1	1,332	826	27	479		Seogwipo1	1,607	824	77	706		
	Jeju2	710	413	21	276		Seogwipo2	1,626	569	116	942		
Downtown	Jeju3	775	593	6	176	Downtown	Seogwipo3	2,572	893	451	1,229		
	Jeju4	1,397	889	4	503		Seogwipo4	1,678	591	96	991		
	Jeju5	1,166	500	12	654		Seogwipo5	2,490	725	303	1,463		
	Jeju6	2,459	1,346	45	1,069		Subtotal	5,814	4,860	186	768		
	Subtotal	4,201	3,628	131	442		Seongsan	Seongsan1	1,784	1,461	49	273	
Hallim	Hallim1	1,985	1,845	55	85			Seongsan2	1,892	1,600	65	227	
	Hallim2	2,216	1,783	76	357			Seongsan3	2,138	1,799	72	268	
	Subtotal	8,086	6,597	238	1,250			Subtotal	5,113	3,402	482	1,229	
	Aewol1	1,931	1,502	54	375		Pyosun	Pyosun1	1,499	1,122	94	283	
Aewol	Aewol2	2,301	1,767	79	454			Pyosun2	1,512	639	320	553	
	Aewol3	1,081	830	24	227			Pyosun3	2,103	1,641	69	393	
	Aewol4	2,772	2,497	81	194			Subtotal	7,387	2,690	1,199	3,498	
	Subtotal	8,279	8,131	62	86			Namwon	Namwon1	1,415	429	214	772
Gujwa	Gujwa1	2,670	2,621	41	8				Namwon2	2,821	957	475	1,390
	Gujwa2	3,682	3,629	8	46				Namwon3	3,151	1,305	509	1,336
	Gujwa3	1,927	1,882	14	32			Subtotal	4,724	3,382	160	1,182	
	Subtotal	5,014	3,468	180	1,365		Anduk	Anduk1	1,944	1,334	78	532	
Jocheon	Jocheon1	3,087	1,997	128	963			Anduk2	2,780	2,047	82	650	
	Jocheon2	1,926	1,472	52	402			Subtotal	5,879	5,227	205	448	
	Subtotal	6,080	4,683	477	920		Daejung	Daejung1	3,157	2,995	56	106	
	Hankyung1	2,097	1,856	122	119			Daejung2	1,320	1,260	25	35	
Hankyung	Hankyung2	854	660	174	21			Daejung3	1,402	971	124	307	
	Hankyung3	1,533	1,192	73	269								
	Hankyung4	1,596	975	109	512								

3.2. 행정구역별 농업용수 원단위 산정

잠재증발산량은 작물별 재배 시기에 따른 다양한 용수 소비량 특성을 반영하기 위하여 순별로 산정하는데, 일반적으로 일별 기상자료를 이용하여 Penman-Monteith 식에 의해 계산된 순별 기준작물증발산량(reference crop evapotranspiration, ETo)을 이용한다(Allen et al., 1998). 작물별 원단위 수요량을 추정하기 위해서는 계산된 순별 기준 작물증발산량에 작물계수를 곱하여 순별 작물증발산량(ETc)을 산정한 후, 이로부터 연도별 최대 작물증발산량을 결정한다. 따라서 읍면별 농업용수 원단위 수요량은 읍면 평균 작물계수에 순별 기준 작물증발산량을 곱하여 읍면의 순별 작물증발산량을 산정하고, 이로부터 연도별 최대 작물

증발산량을 결정하는 과정을 거치게 된다. 최종적으로 읍면별 평균 작물계수는, 작물별 면적에 해당 작물계수를 곱하여 구한 값을 전체 재배면적으로 나누어 산정한다.

이를 위하여 기후변화 시나리오(RCP 4.5)로 제공된 일별 강수량 및 기온(평균, 최대, 최소) 자료와 A1B 시나리오로 제공된 상대습도 자료를 이용하여, FAO에서 제공된 ETo Calculator 프로그램을 이용하여 증발산량을 계산하였다(FAO, 2018). 이 후 행정구역별 주요작물별로 단위 재배면적에 대한 순별 작물증발산량의 연최대 값의 10년 빈도 증발산량을 계산한 후, 일반적인 스프링클러의 관개 효율인 0.7~0.9의 평균값인 0.8로 나누어 권역별로 주요 작물별 원단위 수요량을 계산하였다(Irmak et al., 2011).

Table 7. Estimated cultivation area for each crop in sub-regions in 2030

Large area	Small area	Area (ha)							
		Total	Mandarin in field	Mandarin in greenhouse (Hallabong)	Mandarin in greenhouse	Garlic	Onion	Cabbage	Radish
Jeju	Total	78,389.2	19,675.4	2,686.7	1,790.2	3,292.5	1,985.0	2,558.0	4,357.3
Jeju city	Total	39,497.1	7,219.7	722.9	480.0	1,002.1	1,562.1	2,295.0	1,326.3
	Subtotal	7,838.2	3,156.1	68.9	45.9	8.9	10.1	4.5	51.4
	Jeju1	1,332.0	478.6	16.1	10.8	1.6	1.8	0.8	9.6
	Jeju2	709.7	275.7	12.7	8.4	0.8	0.9	0.4	4.6
Downtown	Jeju3	775.0	175.8	3.6	2.4	1.2	1.3	0.6	6.7
	Jeju4	1,397.0	503.3	2.7	1.8	1.7	2.0	0.9	10.0
	Jeju5	1,165.7	654.1	6.9	4.6	1.0	1.1	0.5	5.6
	Jeju6	2,458.9	1,068.6	26.9	17.9	2.6	3.0	1.3	15.1
	Subtotal	4,200.6	441.6	78.5	52.3	138.8	362.6	736.4	22.4
Hallim	Hallim1	1,984.9	84.7	32.9	21.9	70.6	184.4	374.5	11.4
	Hallim2	2,215.7	357.0	45.6	30.4	68.2	178.2	361.8	11.0
	Subtotal	8,085.5	1,250.4	143.2	94.8	98.5	261.4	1,170.7	221.0
	Aewol1	1,931.1	374.7	32.7	21.6	22.4	59.5	266.6	50.3
Aewol	Aewol2	2,300.9	454.2	47.7	31.6	26.4	70.0	313.6	59.2
	Aewol3	1,081.0	227.3	14.1	9.4	12.4	32.9	147.3	27.8
	Aewol4	2,772.5	194.2	48.7	32.2	37.3	99.0	443.2	83.7
	Subtotal	8,279.1	85.6	38.8	23.7	274.3	243.9	11.0	763.0
Gujwa	Gujwa1	2,670.1	8.1	25.6	15.6	88.4	78.6	3.6	245.9
	Gujwa2	3,681.7	45.6	4.7	2.9	122.4	108.8	4.9	340.5
	Gujwa3	1,927.3	31.9	8.5	5.2	63.5	56.4	2.6	176.6
	Subtotal	5,013.6	1,365.5	107.8	72.0	92.4	39.9	4.6	81.0
Jocheon	Jocheon1	3,087.3	963.0	76.5	51.1	53.2	23.0	2.6	46.6
	Jocheon2	1,926.3	402.4	31.3	20.9	39.2	16.9	1.9	34.4
	Subtotal	6,080.0	920.5	285.7	191.3	389.2	644.2	367.8	187.5
	Hankyung1	2,097.4	119.3	72.9	48.8	154.3	255.4	145.8	74.3
Hankyung	Hankyung2	854.0	20.6	104.1	69.7	54.8	90.7	51.8	26.4
	Hankyung3	1,532.9	268.6	43.5	29.1	99.0	163.9	93.6	47.7
	Hankyung4	1,595.7	512.0	65.2	43.6	81.0	134.1	76.6	39.0
Seogwipo city	Total	38,892.1	12,455.7	1,963.8	1,310.2	2,290.4	423.0	263.0	3,049.0
	Subtotal	9,974.3	5,330.9	624.5	417.1	2.1	-	2.1	12.4
	Seogwipo1	1,607.3	706.4	45.9	30.7	0.5	-	0.5	2.8
Downtown	Seogwipo2	1,626.3	941.7	69.3	46.3	0.3	-	0.3	2.0
	Seogwipo3	2,572.3	1,228.7	270.3	180.5	0.5	-	0.5	3.1
	Seogwipo4	1,678.1	991.3	57.4	38.3	0.3	-	0.3	2.0
	Seogwipo5	2,490.3	1,462.8	181.6	121.3	0.4	-	0.4	2.5
	Subtotal	5,814.3	767.9	112.1	74.2	675.1	-	42.3	2,071.9
	Seongsan1	1,783.7	272.9	29.7	19.7	203.0	-	12.7	623.0
Seongsan	Seongsan2	1,892.1	227.1	39.3	26.0	222.2	-	13.9	682.0
	Seongsan3	2,138.4	267.9	43.1	28.6	249.9	-	15.7	766.8
	Subtotal	5,113.3	1,229.2	289.3	193.0	-	-	7.8	478.7
	Pyosun1	1,498.9	283.2	56.2	37.5	-	-	2.6	157.9
Pyosun	Pyosun2	1,511.5	552.9	191.7	127.9	-	-	1.5	89.9
	Pyosun3	2,102.8	393.1	41.4	27.6	-	-	3.8	230.9
	Subtotal	7,387.3	3,498.2	719.4	479.3	-	-	-	91.5
	Namwon1	1,415.4	772.1	128.7	85.7	-	-	-	14.6
Namwon	Namwon2	2,821.4	1,389.7	285.1	189.9	-	-	-	32.5
	Namwon3	3,150.5	1,336.4	305.7	203.6	-	-	-	44.4
	Subtotal	4,723.9	1,181.7	95.7	64.7	142.1	7.2	31.7	44.4
Anduk	Anduk1	1,943.9	531.7	46.5	31.4	56.1	2.9	12.5	17.5
	Anduk2	2,780.0	650.0	49.2	33.2	86.0	4.4	19.2	26.9
	Subtotal	5,879.1	447.8	122.7	82.0	1,471.1	415.7	179.2	350.3
	Daejung1	3,157.1	106.1	33.5	22.4	843.0	238.2	102.7	200.7
Daejung	Daejung2	1,320.3	34.9	15.0	10.0	354.8	100.2	43.2	84.5
	Daejung3	1,401.7	306.8	74.2	49.5	273.4	77.2	33.3	65.1

Table 7. Estimated cultivation area for each crop in sub-regions in 2030 (continued)

Large area	Small area	Area (ha)							
		Water melon	Potato in autumn	Land not in use	Bean	Dry-field rice	Barley	Carrot	Chinese cabbage
Jeju	Total	210.7	1,485.2	30,381.5	6,674.1	204.5	1,152.6	1,370.4	547.1
Jeju city	Total	209.8	555.8	16,990.9	4,752.3	114.4	858.8	1,094.4	312.7
Downtown	Subtotal	-	12.3	3,881.0	373.3	2.2	219.1	-	4.5
	Jeju1	-	2.2	702.3	67.6	0.4	39.6	-	0.8
	Jeju2	-	1.1	350.8	33.7	0.2	19.8	-	0.4
	Jeju3	-	1.6	504.0	48.5	0.3	28.5	-	0.6
	Jeju4	-	2.4	755.6	72.7	0.4	42.7	-	0.9
	Jeju5	-	1.3	424.9	40.9	0.2	24.0	-	0.5
	Jeju6	-	3.6	1,143.3	110.0	0.7	64.5	-	1.3
Hallim	Subtotal	10.1	7.8	1,668.6	407.4	22.4	192.5	-	59.3
	Hallim1	5.1	4.0	848.7	207.2	11.4	97.9	-	30.2
	Hallim2	4.9	3.8	819.9	200.2	11.0	94.6	-	29.1
Aewol	Subtotal	178.1	25.3	3,805.0	517.8	8.8	120.0	-	190.7
	Aewol1	40.5	5.8	866.4	117.9	2.0	27.3	-	43.4
	Aewol2	47.7	6.8	1,019.4	138.7	2.4	32.1	-	51.1
	Aewol3	22.4	3.2	478.8	65.2	1.1	15.1	-	24.0
	Aewol4	67.4	9.6	1,440.4	196.0	3.3	45.4	-	72.2
Gujwa	Subtotal	-	485.1	2,878.2	2,296.5	6.4	64.4	1,094.4	13.8
	Gujwa1	-	156.3	927.7	740.2	2.1	20.8	352.7	4.5
	Gujwa2	-	216.5	1,284.4	1,024.8	2.9	28.8	488.4	6.2
	Gujwa3	-	112.3	666.1	531.4	1.5	14.9	253.3	3.2
Jocheon	Subtotal	21.7	2.3	2,634.6	569.1	3.4	19.4	-	-
	Jocheon1	12.5	1.3	1,516.7	327.6	2.0	11.2	-	-
	Jocheon2	9.2	1.0	1,117.9	241.5	1.5	8.2	-	-
Hankyung	Subtotal	-	23.1	2,123.6	588.2	71.1	243.5	-	44.4
	Hankyung1	-	9.2	841.9	233.2	28.2	96.5	-	17.6
	Hankyung2	-	3.3	299.1	82.9	10.0	34.3	-	6.3
	Hankyung3	-	5.9	540.4	149.7	18.1	62.0	-	11.3
	Hankyung4	-	4.8	442.1	122.5	14.8	50.7	-	9.2
Seogwipo city	Total	0.9	929.4	13,390.6	1,921.8	90.1	293.7	276.0	234.4
Downtown	Subtotal	-	3.1	3,561.4	7.2	2.1	1.0	-	10.3
	Seogwipo1	-	0.7	815.1	1.7	0.5	0.2	-	2.4
	Seogwipo2	-	0.5	562.7	1.1	0.3	0.2	-	1.6
	Seogwipo3	-	0.8	882.8	1.8	0.5	0.3	-	2.6
	Seogwipo4	-	0.5	584.4	1.2	0.3	0.2	-	1.7
	Seogwipo5	-	0.6	716.5	1.5	0.4	0.2	-	2.1
Seongsan	Subtotal	-	146.5	1,416.3	209.5	13.0	5.4	248.5	31.5
	Seongsan1	-	44.1	425.9	63.0	3.9	1.6	74.7	9.5
	Seongsan2	-	48.2	466.2	68.9	4.3	1.8	81.8	10.4
	Seongsan3	-	54.2	524.2	77.5	4.8	2.0	92.0	11.6
Pyosun	Subtotal	-	73.5	2,425.6	388.5	1.1	1.1	22.3	3.3
	Pyosun1	-	24.2	800.1	128.1	0.4	0.4	7.3	1.1
	Pyosun2	-	13.8	455.6	73.0	0.2	0.2	4.2	0.6
	Pyosun3	-	35.4	1,169.9	187.4	0.5	0.5	10.7	1.6
Namwon	Subtotal	-	11.8	2,554.7	29.5	-	-	3.0	-
	Namwon1	-	1.9	407.3	4.7	-	-	0.5	-
	Namwon2	-	4.2	908.4	10.5	-	-	1.0	-
	Namwon3	-	5.7	1,239.0	14.3	-	-	1.4	-
Anduk	Subtotal	0.9	112.2	1,957.9	971.3	2.7	93.2	-	18.1
	Anduk1	0.4	44.3	772.5	383.2	1.1	36.8	-	7.1
	Anduk2	0.5	68.0	1,185.4	588.0	1.6	56.4	-	11.0
Daejung	Subtotal	-	582.3	1,474.6	315.8	71.2	192.9	2.3	171.1
	Daejung1	-	333.7	845.0	181.0	40.8	110.6	1.3	98.4
	Daejung2	-	140.4	355.6	76.2	17.2	46.5	0.6	41.3
	Daejung3	-	108.2	274.0	58.7	13.2	35.8	0.4	31.8

Table 8. Basic unit of water demand for each crop (unit: m³/day/ha)

Region	Mandarin in field	Mandarin in green-house (Hallabong)	Mandarin in green-house	Garlic	Onion	Cabbage	Radish	Water melon	Potato in Autumn	Bean	Dry-field rice	Barley	Carrot	Chinese cabbage	
Jeju city	Downtown	55.90	56.97	39.65	55.17	35.16	36.89	29.40	58.62	40.59	66.19	66.18	27.45	32.39	31.21
	Hallim	55.10	56.89	43.27	57.64	46.26	39.86	38.55	57.92	48.93	64.57	64.85	31.25	33.25	37.84
	Aewol	55.67	56.65	39.43	54.74	34.84	36.70	29.21	58.21	40.42	65.78	65.50	26.62	32.22	30.68
	Gujwa	53.11	59.34	39.69	55.45	33.30	35.18	27.00	58.27	37.11	62.48	62.79	27.86	30.85	29.20
	Jocheon	55.58	56.95	39.51	54.93	34.89	36.70	29.23	58.55	40.44	65.99	65.92	26.84	32.22	30.81
	Hankyung	55.06	56.73	43.14	57.67	46.26	39.84	38.52	57.71	48.93	64.28	64.42	31.33	33.24	37.97
Seogwipo city	Downtown	53.08	58.57	39.06	57.25	34.64	35.45	29.55	59.25	42.11	61.14	60.22	28.70	30.95	31.21
	Seongsan	52.11	59.26	39.07	55.31	33.21	34.69	27.05	57.79	37.71	60.05	58.22	27.64	30.42	29.30
	Pyosun	51.63	58.99	39.07	54.95	32.41	34.41	26.42	57.65	37.01	59.64	58.16	27.16	30.18	28.72
	Namwon	52.86	58.31	38.99	57.09	34.38	35.35	29.45	59.07	42.06	60.92	60.01	28.51	30.85	30.94
	Anduk	53.28	58.30	39.04	57.29	34.63	35.51	29.55	59.21	42.15	61.33	60.37	28.65	31.01	31.21
	Daejung	54.14	56.75	42.90	57.74	46.21	39.59	38.50	57.38	48.83	62.65	61.23	31.02	32.96	37.95

계산 결과 2030년에 예측된 제주도의 전반적인 작물별 원단위 수요량은 서부지역에서 최대값이 나타나는 반면 동부권역에서 최소값이 나타나는 것으로 분석되었다(Table 8). 세부적으로는 마늘의 경우 대정읍에서 57.74 m³/day/ha로 가장 높은 반면 애월읍에서는 54.74 m³/day/ha로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 양파, 양배추, 무, 가을감자, 당근은 각각 한림읍과 표선면에서 최대값(46.26, 39.86, 38.55, 48.93, 33.25 m³/day/ha)과 최소값(32.41, 34.41, 26.42, 37.01, 30.18 m³/day/ha)으로 분석되었다. 이러한 권역별 작물별 원단위 수요량 차이는 작물의 재배기간과 작물계수 차이에 따라 작물의 최대증발산량이 나타나는 시기와 증발산량이 다르기 때문으로 판단된다.

3.3. 세부권역별 농업용수 월별 최대 수요량 산정

세부권역별 2030년 농업용수 수요량 예측은 1차적으로 해당권역의 기상대로부터 예측된 과거 기상자료(2001~2016년)와 기후변화 시나리오(RCP 4.5)로부터 계산된 미래 기상자료(2017~2030년)를 이용한 순별 강수량 및 잠재증발산량을 이용하였다. 세부권역별 월별 최대 수요량(m³/day/ha)은 10년 빈도의 월별 원단위 수요량 계산 결과로, 이는 앞서 언급된 (식 1)과 (식 2)로부터 계산된 빈도별 월별 수요량(= 빈도별 잠재증발산량/적용 효율)을 이용하였다(Table 9).

계산 결과 2013년의 제주특별자치도 농업용수 관리계획(JSSGP, 2013)에서와 달리 8월에 최대 농업용수 수요량이 나타나는 권역이 증가(제주 동권역, 애월권역, 한경

권역, 구좌권역, 서귀포 동권역, 남원권역, 표선권역)되는 것으로 분석되었으며, 이러한 결과는 기후변화 시나리오에 의해 2030년에 제주도가 아열대 기후로 점차 심화됨에 따른 영향으로 판단된다. 서부지역의 대정권역 및 한림권역과 동부지역의 성산권역의 경우에는 현재의 농업용수 최대 수요량과 유사한 9월~11월 기간 중 농업용수 수요량의 최대치가 나타남에 따라, 이들 지역의 경우에는 감귤을 포함한 과수에 비해 마늘을 포함한 양배추, 양파, 당근, 감자, 무, 보리 등의 재배면적이 지속적으로 유지됨에 따른 결과로 판단된다.

3.4. 권역별 농업용수 수요량 산정 결과

농업용수 수요량은 원단위 수요량을 토지피복도를 이용한 2030년 세부권역별 농작물별 면적으로부터 계산된 급수대상 면적(area for water supply)에 곱하여, 행정구역별로 계산하였다(Table 10). 이때 급수대상 면적은 농경지 면적에서 Table 7에서 제시한 겨울철 휴경지 면적을 제외하여 적용하였다. 본 분석 결과에 따르면 2030년 농업용수 원단위 수요량은 공간적으로 차이가 크게 나타났으며, 이 중 제주동지역, 조천읍 및 서귀포동지역이 각각 51.4, 48.8, 47.8 m³/day/ha로 높은 반면 성산읍, 한경면 및 한림읍지역이 각각 25.1, 29.5, 30.8 m³/day/ha로 낮은 것으로 분석되었다. 농업용수 수요량은 급수 대상면적이 가장 넓은 서귀포동지역이 306,626 m³/day로 가장 크게 나타난 반면 급수 면적이 상대적으로 적은 한림읍지역이 77,967 m³/day로 가장 낮게 분석되었다. 결과적으로 40개의 세부

Table 9. Estimated monthly maximum agricultural water demand for each sub-region

Region	Sub-region	Monthly maximum agricultural water demand (m ³ /day/ha)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Downtown	Jeju1	3.88	5.08	7.04	9.87	11.40	13.02	15.46	23.87	15.95	9.32	7.30	3.39
	Jeju2	4.32	5.57	7.71	10.85	12.39	13.94	16.44	25.51	17.32	10.17	7.90	3.65
	Jeju3	2.78	3.60	4.67	6.39	7.94	9.27	11.57	16.91	10.12	5.99	4.79	2.40
	Jeju4	3.40	4.71	6.68	9.38	10.88	12.82	15.17	23.64	15.78	9.08	7.19	3.31
	Jeju5	4.71	6.68	10.00	14.29	15.74	18.38	20.84	33.99	24.47	13.94	10.91	4.75
	Jeju6	4.24	5.72	8.18	11.58	13.08	15.04	17.50	27.67	19.15	11.08	8.66	3.91
Hallim	Hallim1	5.92	6.49	8.20	5.02	7.94	8.23	8.80	15.98	12.39	13.16	14.94	8.77
	Hallim2	6.58	7.40	9.60	7.68	10.29	10.80	11.84	20.45	16.56	15.29	16.09	8.91
Aewol	Aewol1	4.41	4.99	7.00	6.97	9.74	10.01	10.82	19.43	14.39	11.04	10.22	5.75
	Aewol2	4.59	5.14	7.16	7.23	10.00	10.15	11.03	19.65	14.55	11.14	10.26	5.75
	Aewol3	4.30	4.99	7.08	7.14	9.88	10.34	11.15	20.01	14.92	11.23	10.38	5.80
	Aewol4	3.95	4.14	5.46	4.24	7.25	7.07	7.44	14.41	10.03	9.19	8.96	5.48
Gujwa	Gujwa1	3.48	3.27	1.82	2.29	10.36	10.67	17.00	21.26	8.52	9.46	8.65	5.52
	Gujwa2	3.33	2.94	1.68	2.10	10.20	10.77	17.07	21.46	8.73	9.47	8.75	5.54
	Gujwa3	3.39	3.12	1.85	2.35	10.38	10.86	17.15	21.61	8.90	9.57	8.78	5.54
Jocheon	Jocheon1	3.90	4.55	6.72	9.76	13.57	14.38	17.85	25.05	15.06	9.09	7.46	3.35
	Jocheon2	2.87	3.20	4.79	6.98	11.21	11.91	15.35	20.20	10.65	6.62	5.66	2.58
Hankyung	Hankyung1	6.88	6.73	8.58	8.03	11.75	11.63	10.78	13.88	12.49	13.11	15.24	8.18
	Hankyung2	11.45	11.20	10.76	11.38	15.90	11.48	12.18	15.13	12.06	14.44	14.61	8.14
	Hankyung3	7.00	7.27	9.72	9.97	13.30	13.69	13.38	18.80	16.66	15.10	16.42	8.45
	Hankyung4	8.23	8.92	11.72	13.26	16.18	16.36	17.06	25.55	21.93	18.03	17.80	8.72
Downtown	Seogwipo1	4.37	6.16	9.02	12.52	12.76	13.60	14.06	24.65	20.50	13.27	8.61	3.34
	Seogwipo2	5.97	8.36	12.08	16.76	17.10	18.01	18.65	32.61	27.08	17.57	11.32	4.39
	Seogwipo3	8.27	10.57	12.83	17.63	18.95	16.58	17.81	29.59	23.89	16.99	10.17	4.38
	Seogwipo4	5.65	8.07	11.95	16.60	16.84	18.14	18.71	32.93	27.43	17.61	11.44	4.41
	Seogwipo5	7.47	10.01	13.47	18.60	19.34	18.99	19.93	34.19	28.11	18.86	11.81	4.70
Seongsan	Seongsan1	8.89	4.31	5.96	9.11	11.55	10.49	7.02	12.23	18.66	18.92	17.73	9.34
	Seongsan2	8.89	4.31	5.96	9.11	11.55	10.49	7.02	12.23	18.66	18.92	17.73	9.34
	Seongsan3	9.06	4.29	5.70	8.74	11.27	9.99	6.40	11.07	17.95	18.80	17.68	9.41
Pyosun	Pyosun1	4.65	3.84	4.65	6.52	9.27	8.67	11.39	16.54	10.92	8.98	7.03	3.65
	Pyosun2	8.93	10.14	11.09	15.52	19.15	14.58	17.43	26.82	19.61	14.75	9.69	4.89
	Pyosun3	3.92	2.92	3.93	5.54	8.21	8.30	10.94	16.00	10.46	8.48	6.93	3.56
Namwon	Namwon1	8.19	10.46	13.43	18.57	19.54	18.14	19.41	32.69	26.61	18.56	11.43	4.76
	Namwon2	8.34	10.45	12.90	17.81	18.98	16.86	18.23	30.29	24.48	17.51	10.62	4.57
	Namwon3	7.73	9.53	11.52	15.89	17.08	14.81	16.12	26.56	21.38	15.57	9.40	4.13
Anduk	Anduk1	3.87	5.11	7.04	9.60	15.02	15.68	20.17	27.83	15.37	10.79	7.47	3.20
	Anduk2	3.37	4.45	6.16	8.39	14.20	14.91	19.61	26.36	13.64	9.65	6.82	2.96
Daejung	Daejung1	7.06	6.52	10.29	13.25	17.13	16.55	5.48	10.02	22.88	24.51	24.33	12.31
	Daejung2	7.08	6.51	10.25	13.19	17.10	16.46	5.32	9.76	22.70	24.47	24.31	12.32
	Daejung3	9.62	9.62	12.89	16.76	20.24	18.34	11.43	19.11	26.57	25.24	23.39	11.50

권역별 농업용수 수요량으로부터 계산된 제주도 전역의 농업용수 수요량은 1,848,010 m³/day(제주시와 서귀포시가 각각 835,495 m³/day와 1,012,515 m³/day)로 평가되었다.

이러한 결과는 내한성이 강한 콩 및 보리 등 곡류를

포함한 2020년 제주도 농업용수 수요량 예측 결과(10년 빈도 수요량)인 1,622,342 m³/day와 비교하여 약 23만 m³/day가 증가된 결과로(JSSGP, 2013). 이러한 차이는 2030년의 경우 급수 대상면적이 넓은 지역의 농업용수 원

Table 10. Estimation results of agricultural water demand for each sub-region in 2030

Large area	Small area	Agricultural land area (ha)	Area for water supply (ha)	Agricultural water demand (m ³ /day)	Basic unit of water demand (m ³ /day/ha)	Large area	Small area	Agricultural land area (ha)	Area for water supply (ha)	Agricultural water demand (m ³ /day)	Basic unit of water demand (m ³ /day/ha)	
Jeju	Total	78,389.2	48,007.7	1,848,010.1	38.5							
Jeju city	Total	39,497.1	22,506.2	835,495.1	37.1	Seogwipo city	Total	38,892.1	25,501.6	1,012,515.0	39.7	
	Subtotal	7,838.2	3,957.3	203,489.8	51.4		Subtotal	9,974.3	6,412.9	306,625.6	47.8	
	Jeju1	1,332.0	629.7	31,794.0	50.5		Seogwipo1	1,607.3	792.2	39,298.9	49.6	
	Jeju2	709.7	358.8	18,096.7	50.4		Seogwipo2	1,626.3	1,063.6	52,594.6	49.4	
Down-town	Jeju3	775.0	271.0	13,105.6	48.4	Downtown	Seogwipo3	2,572.3	1,689.6	75,498.4	44.7	
	Jeju4	1,397.0	641.4	33,024.9	51.5		Seogwipo4	1,678.1	1,093.7	54,788.7	50.1	
	Jeju5	1,165.7	740.8	39,504.0	53.3		Seogwipo5	2,490.3	1,773.8	84,445.0	47.6	
	Jeju6	2,458.9	1,315.6	67,964.6	51.7		Subtotal	5,814.3	4,397.9	110,271.9	25.1	
	Subtotal	4,200.6	2,532.0	77,966.8	30.8		Seongsan	Seongsan1	1,783.7	1,357.8	34,228.9	25.2
Hallim	Hallim1	1,984.9	1,136.2	32,810.7	28.9		Seongsan2	1,892.1	1,425.9	35,648.0	25.0	
	Hallim2	2,215.7	1,395.8	45,156.1	32.4		Seongsan3	2,138.4	1,614.2	40,395.0	25.0	
	Subtotal	8,085.5	4,280.5	144,158.0	33.7		Subtotal	5,113.3	2,687.7	98,871.4	36.8	
	Aewol1	1,931.1	1,064.8	37,464.1	35.2		Pyosun	Pyosun1	1,498.9	698.8	24,792.4	35.5
Aewol	Aewol2	2,300.9	1,281.5	45,143.1	35.2		Pyosun2	1,511.5	1,055.9	40,433.6	38.3	
	Aewol3	1,081.0	602.2	21,599.2	35.9		Pyosun3	2,102.8	933.0	33,645.4	36.1	
	Aewol4	2,772.5	1,332.1	39,951.6	30.0		Subtotal	7,387.3	4,832.6	213,643.6	44.2	
	Subtotal	8,279.1	5,401.0	177,094.1	32.8		Namwon	Namwon1	1,415.4	1,008.1	45,873.2	45.5
	Gujwa1	2,670.1	1,742.4	56,659.5	32.5		Namwon2	2,821.4	1,912.9	84,753.6	44.3	
Gujwa	Gujwa2	3,681.7	2,397.3	78,863.0	32.9		Namwon3	3,150.5	1,911.5	83,016.8	43.4	
	Gujwa3	1,927.3	1,261.2	41,571.6	33.0		Subtotal	4,723.9	2,765.9	127,379.5	46.1	
	Subtotal	5,013.6	2,379.0	116,208.7	48.8		Anduk	Anduk1	1,943.9	1,171.4	54,099.4	46.2
Jocheon	Jocheon1	3,087.3	1,570.6	77,335.6	49.2		Anduk2	2,780.0	1,594.6	73,280.1	46.0	
	Jocheon2	1,926.3	808.4	38,873.1	48.1		Subtotal	5,879.1	4,404.5	155,723.0	35.4	
	Subtotal	6,080.0	3,956.4	116,577.7	29.5		Daejung	Daejung1	3,157.1	2,312.1	82,779.7	35.8
	Hankyung1	2,097.4	1,255.5	33,118.4	26.4		Daejung2	1,320.3	964.7	34,552.0	35.8	
Hankyung	Hankyung2	854.0	554.8	14,209.8	25.6		Daejung3	1,401.7	1,127.7	38,391.3	34.0	
	Hankyung3	1,532.9	992.4	28,909.6	29.1							
	Hankyung4	1,595.7	1,153.6	40,339.9	35.0							

단위 수요량이 상대적으로 증가한 반면, 급수면적이 상대적으로 적은 지역의 농업용수 원단위 수요량이 감소됨에 따른 결과로 판단된다.

4. 결 론

최근의 기후변화 가속화는 수자원의 대부분을 지하수에 의존하는 제주도의 농업활동에 직접적인 영향을 미치고 있다. 특히 농업활동의 변화에 수반되는 주요작물별 재배 면적과 작물별 작부체계 변화는, 농업용수 필요수량에 대한 공급 체계 재편이 수반이 필수적이다. 본 연구에서는 제주도 전체를 40개 세부권역으로 구분한 후, 토지피복도

를 이용하여 주요작물 재배면적 변화를 추정하였다. 또한 미래 기후변화 시나리오를 이용하여 2030년의 주요작물별 재배면적과 권역별 농업용수 수요량을 정량적으로 평가하였다.

토지피복도를 이용하여 22개 중분류 기준의 분류항목별 면적 변화량을 5년 단위로 추출한 결과, 전체적으로 산림 지역의 면적 감소가 가장 크게 나타난 반면 초지, 시가지·건조지역, 밭, 시설재배지 등의 면적 증가가 큰 것으로 나타났다.

2030년에 예측된 제주도의 전반적인 작물별 원단위 수요량은 서부지역에서 최대값이 나타나는 반면 동부권역에서 최소값이 나타났다. 또한 기후변화 시나리오에 의해

2030년의 제주도가 아열대 기후로 변화함에 따른 영향으로, 8월에 최대 농업용수 수요량이 나타나는 권역이 증가하는 것으로 분석되었다.

2030년의 권역별 농업용수 수요량은 급수대상 면적에 원단위 수요량을 곱하여 계산하였는데, 농업용수 원단위 수요량의 공간적인 차이가 크게 나타나는 특성을 반영하여 최대와 최소값이 서귀포동지역과 한림읍 지역에서 각각 306,626 m³/day와 77,967 m³/day로 분석되었다. 2030년 제주도의 농업용수 수요량 예측값은 1,848,010 m³/day으로 2020년 제주도 농업용수 수요량 예측 결과와 비교하여 10년 경과 후에 약 23만 m³/day 증가되는 것으로 분석되었는데, 이는 2030년에 급수 대상면적이 넓은 지역의 농업용수 원단위 수요량이 증가한 반면 대상면적이 적은 지역에서 감소된 영향으로 판단된다.

References

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998, Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.
- Choi, K.J., Song, S.H., Kim, J.S., and Lim, C.W., 2013, Estimation of regional agricultural demand over the Jeju Island, *J. Environ. Sci. Int.*, **22**(5), 639-649.
- Chung, H.W., Kim, S.J., Kim, J.S., Noh, J.K., Park, K.W., Sohn, J.K., Yoon, K.S., Lee, K.H., Lee, N.H., Chung, S.O., Choi, J.D., and Choi, J.Y., 2007, Irrigation and Drainage Engineering, Dongmyungsa. 424 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2018, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/> [accessed 18.01.05]
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2007, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R.K. Pachuri and A. Reisinger, Eds., IPCC, Geneva, p.102.
- Irmak, S., Odhiambo, L., Kranz, W., and Eisenhauer, D., 2011, Irrigation Efficiency and Uniformity and Crop Water Use Efficiency, Biological Systems Engineering: Paper and Publication, p.451.
- JATI (Jeju Agricultural Technical Institute), 2003, Report on Agricultural Examination Research of Jeju Island, p.538.
- JSSGP (Jeju Special Self-Governing Province), 2013, Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Water Management Plan, p.182.
- Kingwell, R., 2006, Climate Change in Australia: Agricultural Impacts and Adaptation, Australasian Agribusiness Review, **14**, Paper 1. p.29.
- MOE EGIS (Ministry of Environment Environmental Geographic Information Service), 2017, <https://egis.me.go.kr/> [accessed 17.10.15]
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., and West, J., 2004, Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in Indis, *Glob. Environ. Change*, **14**, 303-313.
- Park, J.K., Lee, J.H., Yang, S.K., Kim, M.C., and Yang, S.C., 2016, Drought classification method for Jeju Island using standardized precipitation index, *J. Environ. Sci. Int.*, **25**(11), 1511-1519.
- Ribot, J.C., 1996, Climate Variability, Climate Change, and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics, Cambridge, New York, NY, Cambridge University Press. p.190.
- RRI (Rural Research Institute), 2005, Estimation of Irrigation Water Requirements for Upland Crops in Jeju, p.160.
- RRI (Rural Research Institute), 2015, Development of Basic Units with Uses of Groundwater Resources and an Estimation Program of Water Demand for Each Use in Jeju Island, Korea, p.359.
- Song, S.H. and Choi, K.J., 2012, An appropriate utilization of agricultural water resources of Jeju island with climate change(I), *J. Soil Groundw. Environ.*, **17**(2), 62-70.
- Song, S.H., Yoo, S.H., and Bae, S.J., 2013, Regional drought assessment considering climate change and relationship with agricultural water in Jeju Island, *J. Environ. Sci. Int.*, **22**(5), 625-638.