

ORIGINAL ARTICLE

## 가뭄대책 수립을 위한 군위군 경작지의 용수공급 평가와 부족지구의 선정

안승섭 · 박기범\*

경일대학교 토목공학과

### Evaluation of Water Supply and Selection of Deficient Districts in Gunwigun Farmland for Drought Response

Seung Seop Ahn, Ki bum Park\*

Department of Civil Engineering, Kyungil University, Gyeongsan 38428, Korea

#### Abstract

In this study, the capacity of supplying agricultural water to 13 districts was analyzed by calculating the necessary water supply for the arable land of Gunwi-gun and examining the capacity of supplying water to reservoirs, streams, pumping stations, collection sites, and groundwater wells in Gunwi-gun. As a result, among the 13 districts the second district was found to be short of water by  $1.2 \times 10^6$  tons/year. In general, local governments establish drought measures by selecting drought disaster risk zones. While selecting drought-risk areas, some water-poor areas that do not have water sources should be selected, even if the entire area has a sufficient water supply. The water-supply evaluation at the regional level was insufficient for locating areas without water sources, but most areas with water sources, such as streams, reservoirs, and pumping stations, were found to have no shortage of water. To locate water shortage areas without water sources, GIS analysis conducted a field survey of areas with a distance of 4 or less than that of water sources analyzed by GIS analysis. Sixty-nine sites in 13 districts were selected for the on-site survey and six areas of water shortage were identified in areas other than the second district.

**Key words** : Water supply, Agriculture drought, Drought hazard zone

#### 1. 서론

지구 온난화로 인한 기후의 변화로 빈번한 가뭄의 발생과 극한 홍수의 발생이 반복되고 있다. 농업에서는 기후의 변화로 인해 지역의 재배작물의 종류와 재배방식을 변화해야 되는 상황에 이르고 있다. 기후변화는 전국적 혹은 국지적으로 빈번하게 가뭄을 발생시키고 있으며,

농업용수의 부족사례는 매년 발생하고 있다. 빈번한 가뭄의 발생으로 인해 농작물을 재배하기 위한 농업용수의 확보와 가뭄대책수립은 중요한 일이 되고 있으나, 가뭄 재해의 특성상 가뭄이 해소되면 가뭄대책은 순위가 밀리게 되어 지속적인 대책의 수립이 어려운 현실이다.

2020년부터 우리나라의 재해분야의 최상위계획인 자연재해저감 종합계획에서 가뭄과 대설이 포함됨으로써

Received 22 October, 2020; Revised 5 November, 2020;

Accepted 12 November, 2020

\*Corresponding author: Ki bum Park, Department of Civil Engineering,  
Kyungil University, Gyeongsan 38428, Korea  
Phone : +82-53-600-5422  
E-mail : [pkb5032@kiu.kr](mailto:pkb5032@kiu.kr)

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가뭄에 대해서 행정단위구역의 재해저감 종합계획이 수립되어야 한다. 단위지구 단위의 용수공급의 평가는 행정구역내 용수공급시설과 수혜면적 등을 고려하여 저수지나 하천의 보와 같은 수원에 의한 경작지의 용수공급 능력의 평가와 수원의 위치에 따른 용수공급유무에 따른 가뭄발생 위험지구의 선정에 의하여 한다.

가뭄은 홍수와 더불어 주요한 자연재해의 하나로서 자연환경과 사회경제적으로 큰 부담을 주고 있다. 가뭄 분석에 대한 연구로는 가뭄의 발생확률, 지속특성, 평균 심도 또는 최대심도와 같은 여러 특성치에 대한 일관된 정량화를 위한 연구가 진행되었다(Kwak et al., 2013). 가뭄에 대한 그동안의 연구로는 코플라 함수를 활용한 이변량 가뭄빈도해석을 통해 우리나라 전국단위의 가뭄 위험도를 산정한 연구가 있었으며(Yu et al., 2016), 경북지역의 가뭄을 분석하기 위해 표준강수지수를 이용하여 가뭄의 취약도와 복원성에 대해 연구한 바 있다(Ahn et al., 2019). 가뭄위험의 구역을 정하는 연구로는 가뭄 위험도 노출지수를 강우분석에 의한 등급을 구분하여 가뭄위험지도를 작성한 바 있다(Park et al., 2012). Chang et al.(2004)은 위성영상을 활용하여 토양수분의 값을 분석하여 세부적인 분석과 가뭄지도를 작성한 연구가 있었다. Ahn et al.(2013)은 swat 모형과 modsim-dss 모형을 연계하여 금강유역의 농업용수 능력을 평가한 바 있으며, 저수지와 양수장 등의 공급시설 중심의 네트워크 모형을 이용하여 물수지 분석을 실시한 바 있다. Choi et al.(2013)은 제주도 지역의 농업용수 수요량 산정하여 농업용수시설에서의 공급가능량을 평가한 바 있다. 읍면 단위의 가뭄위험도를 선정하는 연구로는 취약성 평가지표를 이용하여 읍면단위의 가뭄위험도를 평가하여 제시한 바 있다(Shim et al., 2019). 선행된 많은 연구에서 가뭄의 심도와 크기 등을 분석한 연구와 가뭄의 영향과 범위에 대해 연구가 주로 이루어 졌다.

그러나 2020년부터 자연재해 저감 종합계획에서 가뭄재해위험지구가 새롭게 추가됨에 따라 행정구역 단위에서 경작지 중심의 필요수량을 산정하여 용수공급시설과의 비교를 통해 용수공급의 과부족에 대한 평가를 할 수 있는 방법에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 군위군의 가뭄재해위험지구를 평가하기 위하여 지적도기반의 각 지구별로 경작지를 구분하고 현장조사를 통해 재배작물을 조사하였다. 그리고 군위군 관내 수리

시설물의 조사를 통해 용수공급능력을 산정하고 지역적 특성에 따라 수원의 유무에 따른 용수공급가능성을 판단한 후 용수원에서 일정거리가중치 이상의 지역은 지하수 이외에 용수원이 없으므로 이에 대해 용수공급이 불가능하다고 판단하여 위험지구로 선정하여 현장조사를 통해 용수가 부족한 지역을 선정하는 과정을 거치는 과정을 제시하고자 한다.

## 2. 연구대상 유역

본 연구의 대상유역은 경상북도에 위치한 군위군의 농업용수부족에 따른 가뭄 발생위험도를 평가하기 위해 군위군 지역을 수계중심으로 13개 지구로 구분하여 지구별 물수지 분석을 하였다. 군위군은 경상북도의 중앙에 위치하고 있으며, 관내로 위천이 관류하고 있으며, 군위댐이 위천 상류 본 과업에서 분류한 12지구에 위치하고 있다.

군위지역 경작지의 필요수량 산정은 한국농어촌공사에서 관계계획을 수립하기 위해 수정 Tank 모형을 이용한 유입량 및 관개 필요수량 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위 용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 내에서 구현이 가능한 프로그램인 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System)를 사용하였다. HOMWRS는 유역의 유입량은 수정 Tank 모형을 사용하고 관개 논 필요수량은 Penman 식을 적용하며, 밭 필요수량은 Penman-Monteith 식을 이용하여 산정한다(KRC).

본 연구의 대상유역은 경상북도 군위군이며 군위군의 배수구역을 기준으로 13개 지구로 구분하였으며, Fig. 1과 같으며, 각 지구의 경작지별 면적은 Table 1과 같다.

Fig. 2에 나타난 군위군의 최근 5년간의 경작지 변화를 살펴보면 지속적으로 경작지가 감소하고 있으며, 2014년 대비 2018년 4.2%의 경지면적이 감소하였다. 군위군에 위치한 저수지는 총 378개소이며, 양수장은 101개소, 집수암거는 15개소, 취입보는 166개소로 Table 2와 같이 조사되었다.

군위군의 13개 지구에 논과 밭의 경작지에서 재배되는 작물을 현장조사와 통계연보를 조사한 결과 대부분 사과와 자두, 마늘, 양파를 재배하고 있는 것으로 Table 3과 같이 조사되었으며, 논과 밭의 필요수량 산정에서

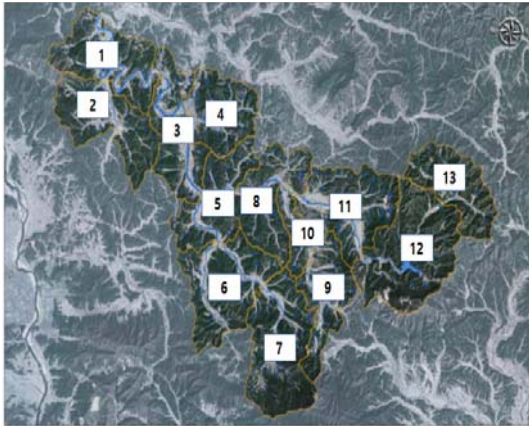


Fig. 1. Study Area.

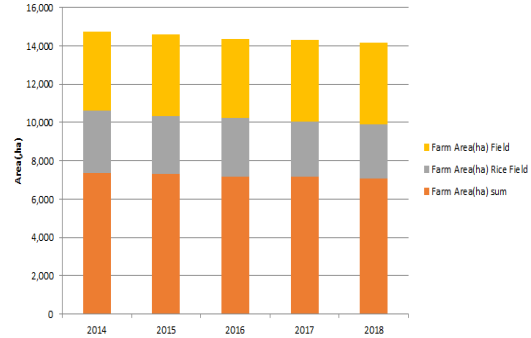


Fig. 2. Farm Area in Gunwi-gun.

Table 1. A cropped area in Gunwi-gun

Units : ha

Districts	Rice Field	Field	Orchard	Forest	Sum
1	4,566.5	2,479.8	1,157.0	34,997.0	49,820.9
2	4,120.2	1,949.4	345.3	39,969.3	50,064.6
3	4,778.5	2,993.4	2,160.4	26,660.3	45,361.9
4	2,709.5	1,701.9	688.8	29,389.4	38,369.0
5	2,629.5	2,347.2	425.2	31,211.9	41,048.5
6	3,585.7	3,122.5	986.3	43,910.3	57,404.4
7	3,638.1	2,576.4	1,357.6	51,329.4	64,658.5
8	2,954.7	3,075.3	589.1	33,646.3	44,457.3
9	2,933.4	3,679.6	308.3	26,357.4	37,036.1
10	1,791.3	1,730.5	341.7	10,030.0	16,002.4
11	5,618.4	4,777.9	1,726.4	36,514.4	54,620.5
12	1,584.7	2,976.9	190.8	64,209.7	75,310.1
13	1,076.4	2,504.2	223.0	33,996.7	39,529.2
Sum	41,987.1	35,915.1	10,500.1	462,222.0	613,683.3

밭의 경우 작물별 면적비율을 산정하여 적용하였으며, 논은 이앙재배로 적용하였다.

### 3. 분석결과

군위군의 13개 지구 경작지의 필요수량을 산정하기 위해 HOMWRS를 이용하여 분석하였다. 분석을 위한 입력 자료에서 논 필요수량의 경우 삼투량은 5.90 mm/day, 수로손실 15%, 최대담수심 80 mm, 최소담수심 20 mm를 적용하였다. 논 필요수량산정은 Penman 법으로 적용하

였으며 각 시기별 작물계수는 Table 4와 같다. 밭 필요수량 산정을 위해 유효수분량은 40 mm를 적용하였다.

각 지구별 용수원에 대한 용수공급능력은 저수지, 양수장, 집수암거, 취입보, 지하관정의 자료를 저수지 자료는 군위군의 관내 자료를 이용하였으며, 양수장과 집수암거, 취입보의 자료는 수자원종합정보(www.wamis.go.kr)의 자료를 조사하였으며, 지하수 자료는 군위지역 지하수 기초조사(MOLIT, 2011) 자료를 활용하였다. 군위군 관내 저수지 수는 총 378개로 유효저수량의 자료만 제공되어

**Table 2.** A sources of water supply capacity

Classification		Frequency of drought					Sum
		1 year	3 year	5 year	7 year	10 year	
Reservoir	Number	256	49	16	19	38	378
	Benefitted area(ha)	1701	375	215	300	431	3022
Pumping stations	Number	46	18	1	3	33	101
	Benefitted area(ha)	460	109	34	22	213	838
Infiltration gallery	Number	5	2	-	1	7	15
	Benefitted area(ha)	24	4	-	2	10	40
Barrage	Number	64	13	3	29	57	166
	Benefitted area(ha)	553	65	37	382	200	1238
Well	Number	58	50	-	-	162	270
	Yield(m <sup>3</sup> /day)	17937	27678	-	-	61401	107016

**Table 3.** Cultivation area by crop

Units : ha

Year	Rice, Barely, Mixed grain etc	Vegetable	Special crops	Fruition	Sum
2014	54,812	82,932	346	7,861	145,951
2015	52,913	63,988	525	8,519	125,945
2016	52,874	66,481	360	9,775	129,490
2017	53,128	50,182	374	10,000	113,684
2018	52,521	55,586	484	9,425	118,016

**Table 4.** Crop coefficients(Rice)

Unit : mm

Classification	April	May	June	July	August	September
First 10days	0.00	0.56	0.75	1.09	1.53	1.42
Second 20days	0.56	0.56	0.95	1.17	1.58	1.32
Thirds 30days	0.56	0.56	1.06	1.39	1.47	0.00

있으며, 가뭄시 용수공급에 대비하기 위하여 갈수유입량 전량을 용수공급에 사용한다고 가정하여 위천기본계획 (Gyengsangbukdo, 2014)에서 Fig. 3과 같이 제시된 갈수량을 기준으로 회귀분석하여 유역면적에 따른 각 저수지의 갈수량을 산정하여 용수공급능력으로 평가하였다. 13개 지구에 대한 수원별 용수공급량은 Table 5와 같다. 4지구와 6지구는 양수장의 제원에 수혜면적은 있으나 양수량 자료가 없는 것으로 조사되었다. Fig. 4는 각 용수공급시설별 년간 용수공급가능량을 나타내었으며, 위천하천유량을 이용하는 취입보가 전체용수공급량의 90%를 차지하고 있는 것으로 분석되었으며, 저수지와 지하

수이용량이 5%로 각각 분석되었다. Fig. 5~ Fig.17은 각 지구의 논과 밭의 필요수량을 1973년부터 2019년까지 산정한 결과이다. Table 6의 지구별 필요수량은 각 지구별 평균값을 나타내었다.

군위군 경작지의 용수공급평가를 위하여 필요수량을 산정하고 수원별 용수공급자료와 갈수량을 산정하여 용수공급능력을 평가한 결과 2지구 소보면 일부가 용수가 부족한 것으로 검토되었다. Fig. 18에 나타난 바와 같이 2지구는 현장조사 결과 위천 인근 지역을 제외하고는 대부분 사과재배를 하는 곳으로 조사된 지역이다.

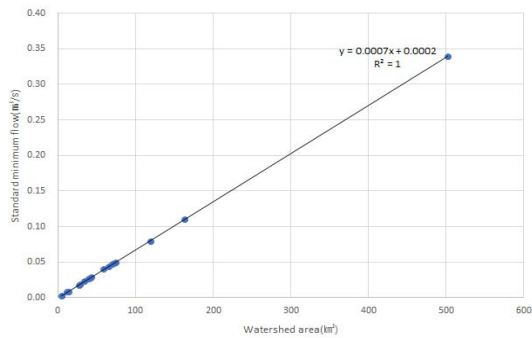


Fig. 3. Standard minimum flow-Watershed.

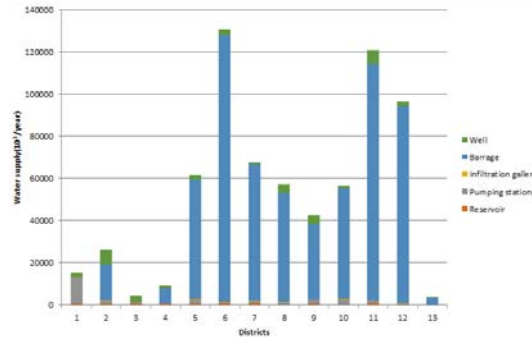


Fig. 4. Water supply each facilities.

Table 5. Water supply ability

Units : 10<sup>3</sup>/year

Districts	Reservoir	Pumping stations	Infiltration gallery	Barrage	Well	Sum
1	459	12,741	-	-	2,078	15,278
2	648	1,325	344	17,029	6,740	26,086
3	691	568	-	-	3,104	4,363
4	705	-	-	7,253	1,280	9,238
5	563	1,892	140	57,080	2,020	61,695
6	811	-	485	126,775	2,569	130,640
7	806	946	307	64,649	934	67,642
8	443	631	69	52,034	4,183	57,360
9	710	1,987	-	35,636	4,456	42,789
10	117	2,050	639	52,350	1,259	56,415
11	960	1,261	-	112,268	6,594	121,083
12	235	315	470	93,347	2,264	96,631
13	296	-	-	3,154	66	3,516
Sum	7,444	23,716	2,454	621,575	37,547	692,736

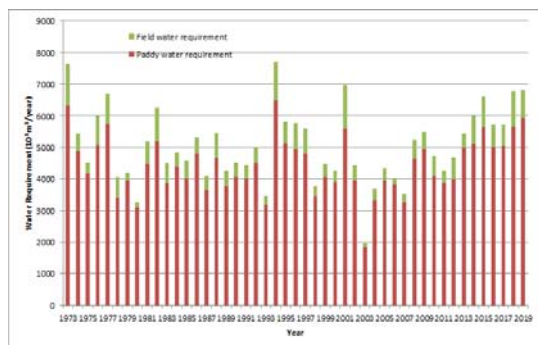


Fig. 5. Results of water requirement 1 district.

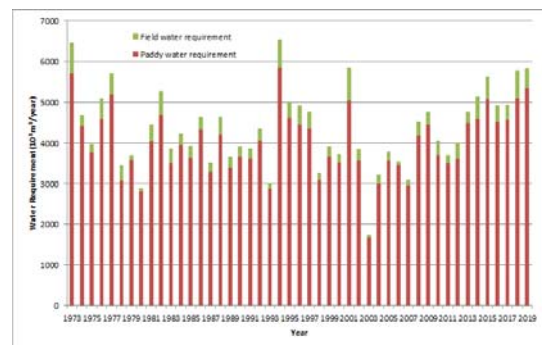


Fig. 6. Results of water requirement 2 district.

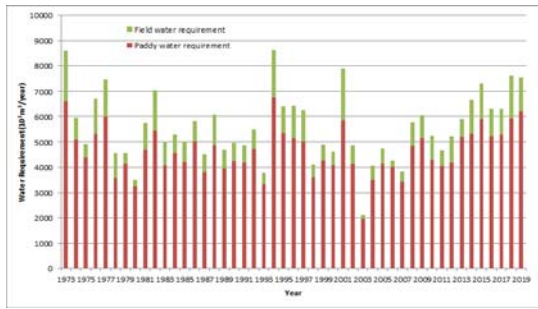


Fig. 7. Results of water requirement 3 district.



Fig. 8. Results of water requirement 4 district.

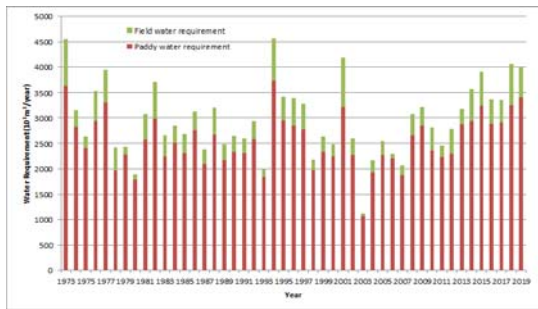


Fig. 9. Results of water requirement 5 district.

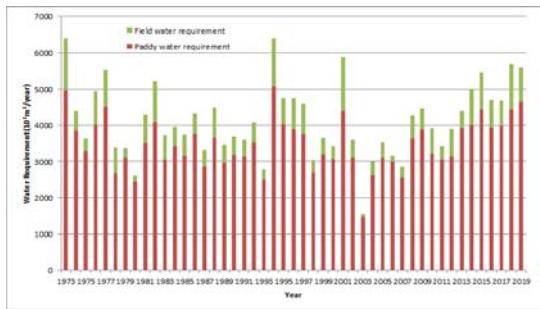


Fig. 10. Results of water requirement 6 district.

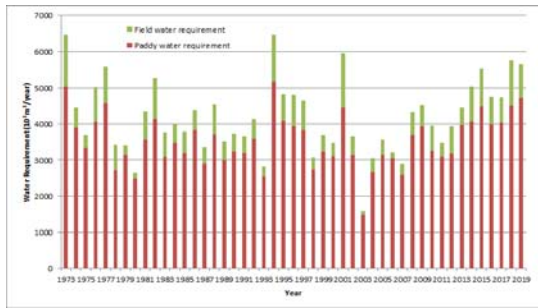


Fig. 11. Results of water requirement 7 district.

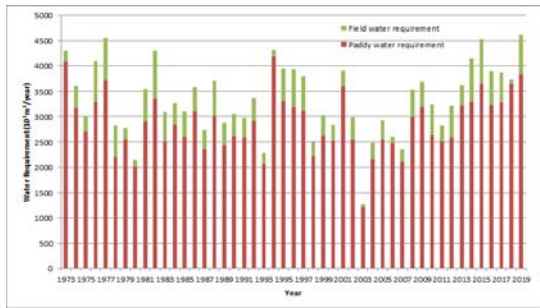


Fig. 12. Results of water requirement 8 district.

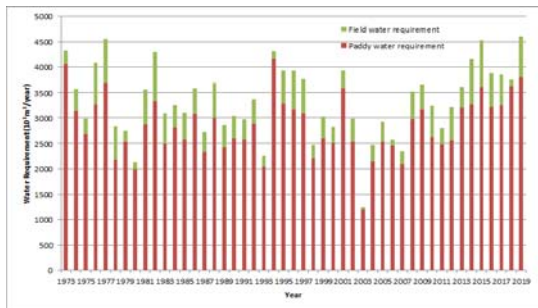


Fig. 13. Results of water requirement 9 district.

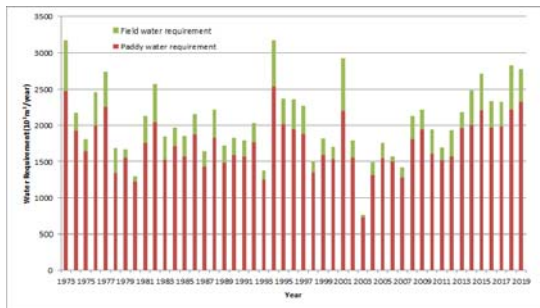


Fig. 14. Results of water requirement 10 district.

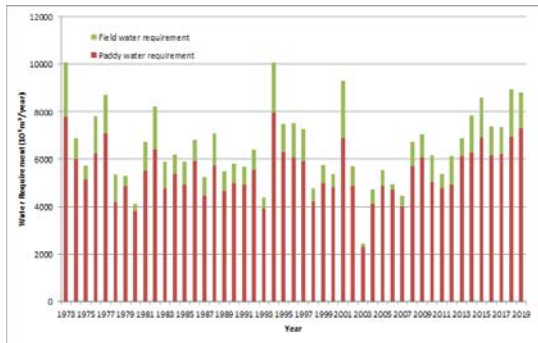


Fig. 15. Results of water requirement 11 district.

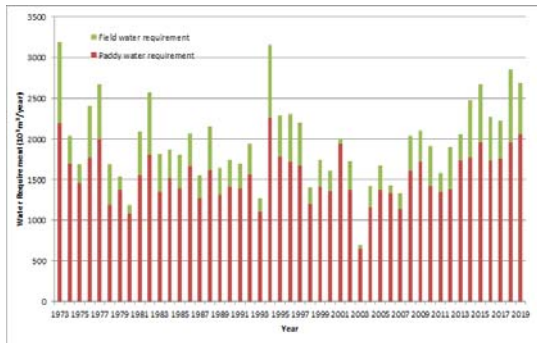


Fig. 16. Results of water requirement 12 district.

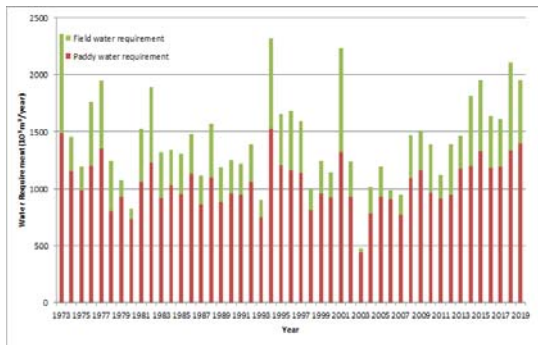


Fig. 17. Results of water requirement 13 district.

Table 6. Comparison of water requirement and water supply

Units : ha

Districts	Farm area	Benefitted area	Water requirement (10 <sup>3</sup> /year)	Water Supply (10 <sup>3</sup> /year)	Excess or Deficiency (10 <sup>3</sup> /year)
1	820.3	613.6	5,048.2	15,278	10,229
2	641.5	418.0	4,348.0	26,086	21,738
3	993.2	462.7	5,581.0	4,363	-1,218
4	510.0	315.9	3,027.6	9,238	6,210
5	540.2	327.6	2,973.1	61,695	58,721
6	769.5	569.8	4,141.2	130,640	126,498
7	757.2	515.8	4,191.7	67,642	63,450
8	661.9	436.2	3,426.1	57,360	53,933
9	692.1	507.2	3,418.4	42,789	39,370
10	386.4	240.5	2,054.9	56,415	54,360
11	1212.3	458.6	6,516.2	121,083	114,566
12	475.2	260.8	1,985.9	96,631	94,645
13	380.4	89.0	1,435.6	3,516	2,080
Sum	8,840.2	5,215.7	48,147.9	692,736	644,582



Fig. 18. Field survey at 2 district.

Table 7. Distance weight

Weight	Reservoir Distance(m)	River Distance(m)
5	0~200	0~200
4	200~400	200~400
3	400~600	400~600
2	600~800	600~800
1	800~1000	800~1000

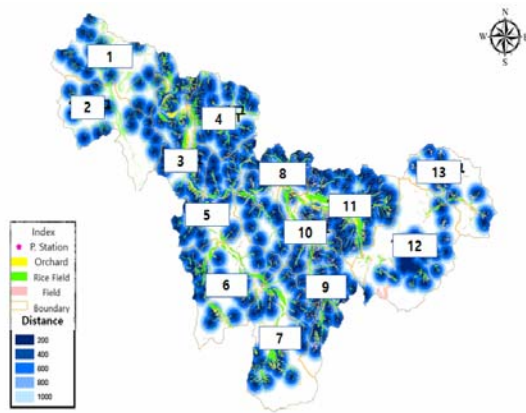


Fig. 19. Distance weighted at reservoirs.

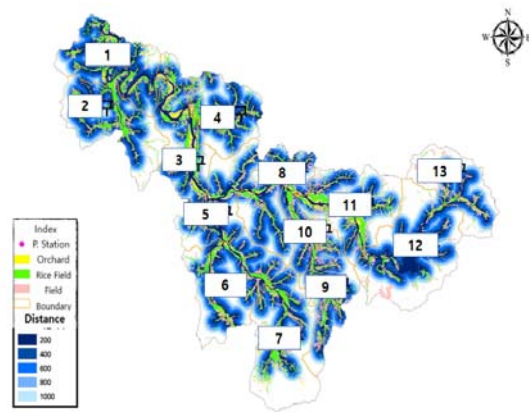


Fig. 20. Distance weighted at rivers.

군위군 내 다른 지구에서도 용수공급 평가에서는 지구전체기준으로는 용수 부족이 발생하지 않지만 국지적으로 용수부족한 지역이 있는 곳을 파악하기 위하여 현장탐문을 하였다. 군위지역의 농업용수 공급 특성은 용수원이 있는 곳에서는 용수부족이 발생하지 않으나 용수원이 없는 곳에 용수부족이 발생하는 지역이 많아 하천

과 저수지와 같은 용수원으로부터 거리가 먼 곳에 대한 지역을 GIS를 이용하여 거리가중치 분석을 하였다. 수원으로부터 거리에 대한 가중치를 Table 7에 나타낸 바와 같이 저수지와 하천에서 거리가중치를 1000 m의 거리를 200 m 간격으로 5점에서 1점씩 차감하여 가중치를 부여하여 점수화하여 경작지에 용수원으로부터의 거리가



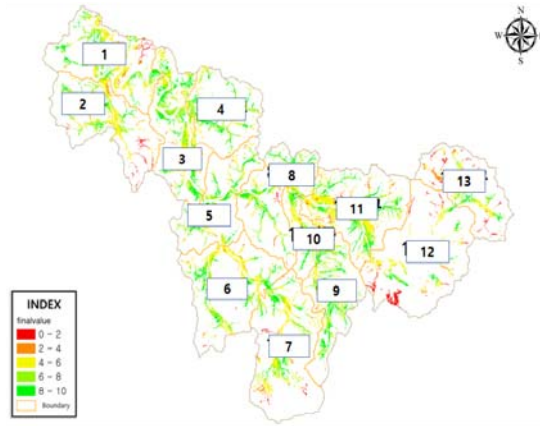


Fig. 21. Results of drought hazard zone.

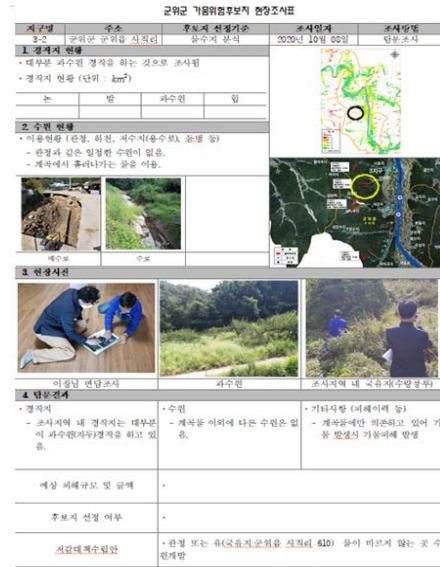


Fig. 22. Field survey at drought hazard zone.

중지 점수가 총 10점의 4점 이하 지역, 즉 저수지와 하천에서 거리가 600 m 이상 떨어진 경작지에 대해 가뭄위험지구를 선정하였다. 저수지와 하천의 거리가중치과 저수지와 하천을 중첩하여 4점 이하의 경작지는 붉은 색으로 Fig. 19에서 Fig. 21과 같이 나타내었으며, Fig. 22는 부족지구에 대한 현장 조사 표이다.

4. 분석결과의 고찰

본 연구에서는 군위군의 경작지에 대해 필요수량을 산정하고 군위군 관내 저수지, 하천, 양수장, 집수암거, 지하수 관정에 대한 공급능력을 조사하여 13개 지구에 대해 농업용수의 공급능력을 분석하였다. 그 결과 13개 지구중 전체적으로 용수가 부족한 지구는 2지구가 1,218 천 톤/년이 부족한 것으로 분석되었다.

일반적으로 지자체에서는 가뭄재해 위험지구를 선정하여 가뭄대책을 수립한다. 가뭄위험지구를 선정하기 위해서는 지구전체로 용수의 공급이 충분하더라도 용수원이 없는 일부 물부족 지구를 선정하여야 한다. 지구단위로 용수공급평가에서는 용수원이 없는 지역을 찾아내기에 부족함이 있어 군위지역의 경우 하천이나 저수지, 양수장과 같은 용수원이 있는 지역은 대부분 용수부족이

없는 것으로 현장 조사되었으며, 용수원이 없는 물부족 지구를 찾기 위해 용수원으로부터 거리 가중치를 주는 방식으로 GIS 분석을 통해 분석한 용수원으로부터 거리 가중치가 4이하인 지역을 현장조사 하였다. 현장조사 대상으로는 총 13개 지구의 69개소를 선정하여 조사한 결과 2지구의 지역에서 6개의 용수부족지구를 발굴하여 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 자연재해 저감 종합계획을 위한 가뭄 위험지구 선정에 있어 정량화된 분석절차와 과정에 대한 기존의 연구가 부족하여 지구별 필요수량을 산정하여 수원별 용수공급능력을 검토하고 거리 가중치를 부여한 점수를 이용하여 용수공급이 불가능한 지역을 선정하여 분석하였다.

먼저 군위군의 13개 지구에 대해 논과 밭의 필요수량을 1973년부터 2019년까지 산정하여 지구별 평균 필요수량을 산정하였으며, 각 지구에 용수공급이 가능한 시설물의 용수공급량과 비교하여 용수의 과부족을 검토한 결과 2지구가 용수가 부족한 것으로 나타났다. 용수공급 적정성을 판단하기 위해 현장조사를 통해 지구전체 용수의

부족은 발생하지 않지만 용수원과의 거리가 멀어 실제 용수공급이 되지 않는 경작지를 각 지구별로 저수지와 하천에서의 거리가중치를 이용하여 공간분석을 실시하여 각 경작지를 점수로 산정 하였다. 거리가중치 점수에서 합계가 4점이하인 즉 저수지와 하천에서 거리가 600 m 이상 거리가 떨어진 곳을 용수공급이 부족한 후보지역으로 69개소에 대해 현장조사를 실시한 결과 자체 용수원이 있는 곳을 제외하고 총 6개 지구에 대해 용수공급이 부족한 지역을 선정할 수 있었다.

본 연구에서 2020년부터 시행되는 자연재해 저감 종합계획에서 기뭇위험지구를 선정하기 위한 방법으로 전 지역을 현장조사하기에는 한계가 있어 필요수량산정과 공급시설에 대한 자료를 활용하여 용수공급 분석을 하여 용수공급의 과부족을 판단하고 균위군과 같이 수원이 있는 곳에서는 용수공급이 충분한 지역의 경우에는 용수 부족 발생가능성이 있는 지역을 찾는 방법으로 거리가중치를 활용한 용수공급이 부족가능성이 있는 후보지를 선정하여 기뭇재해위험지구로 선정할 수 있는 방법을 제시하여 실무적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- Ahn, S. R., Park, G. A., Kim, S. J., 2013, Assesment of agriculture water supply capacity using MODSIM-DSS coupled with SWAT, *Journal of the korean of civil engineering*, 33(2), 507-519.
- Ahn, S. S., Park, K., B. Yim, D. H., 2019, Analysis of drought characteristics in Gyeongbuk based on the duration of standard precipitation index, *Journal of environmental science international*, 28(10), 863-872.
- Chang, E. M., Park, E. J., 2004, Mapping of drought index using satellite imagery, *Journal of the Korean society for geospatial information system*, 12(4), 3-12.
- Choi, K. J., Song, S. H., Kim, J. S., Lin, C. W., 2013, Estimation of regional agriculture water demand over the jeju island, *Journal of environmental science*, 22(5), 639-649.
- Gyengsanbukdo, 2014, wichun basin river plan.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), HOMWRS User manual, 1-2.
- Kwak, J. W., Lee, S. D., Kim, Y., S. Kim, H. S., 2013, Return Period Estimation of Droughts Using Drought Variables from Standard Precipitation Index, *J. Korea water resources association*, 46(8), 795-805.
- Lee, J. H., Park, S. Y., Lee, J. W., Chung, I. M., 2020, Meteorological drought evaluation in chuncheon region, *Journal of environmental science international*, 9(5), 541-549.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2011, Gunwie gun groundwater basic research.
- Park, J. Y., Yoo, J. Y., Lee, M., W., Kim, T. W., 2012, Assesment of drought risk in korea: focused on data-based drought risk map. *Journal of the korean society of civil engineers*, 32(4b), 203-211.
- Park, J. K., Lee, J., H. Yang, S. K., Kim, M. C., Yang, S. C., 2016, Drought classification method for jeju island standard precipitation index, *Journal of environmental science international*, 25(11), 1511-1519.
- Shim, I. T., Hong, B. C., Kim, E. J., Hwang, T. M., 2019, Vulnerability assessment of drought small island areas in Korea. *Journal of korean society of water and wastewater*, 33(5), 341-351.
- www.wamis.go.kr.
- Yu, J. S., Yoo, J. Y., Lee, J. H., Kim, T. W., 2016, Estimation of drought risk through the bivariate drought frequency analysis using copula functions, *J. Korea water Resour. Assoc.*, 49(3), 217-225.

- 
- Professor. Seung-Seop Ahn  
Department of Civil Engineering, Kyungil University  
ahnss0@kiu.ac.kr
  - Professor. Ki-Bum Park  
Department of Civil Engineering, Kyungil University  
pkb5032@kiu.kr