



이앙시기 및 담수심 변화에 따른 논벼 수요량 변화 분석

Analysis of Variance of Paddy Water Demand Depending on Rice Transplanting Period and Ponding Depth

조건호^a · 최경숙^{b,†}

Cho, Gun-Ho · Choi, Kyung-Sook

ABSTRACT

This study evaluated variations in the paddy rice water demand based on the continuous changing in rice transplanting period and ponding depth at the four study paddy fields, which represent typical rice producing regions in Korea. Total 7 scenarios on rice transplanting periods were applied while minimum ponding depth of 0 and 20 mm were applied in accordance with maximum ponding depth ranging from 40 mm to 100 mm with 20 mm interval. The weather data from 2013 to 2019 was also considered. The results indicated that the highest rice water demand occurred at high temperature and low rainfall region. Increased rice transplanting periods showed higher rice water demand. The rice water demand for 51 transplanting days closely matched with the actual irrigation water supply. In case of ponding depth, the results showed that the minimum ponding depth had a proportional relationship with rice water demand, while maximum ponding depth showed the contrary results. Minimum ponding depth had a greater impact on rice water demand than the maximum ponding depth. Therefore, these results suggest that increasing the rice transplanting period, which reflects the current practice is desirable for a reliable estimation of rice water demand.

Keywords: Rice water demand; transplanting period; ponding depth; effective rainfall; irrigation water supply

1. 서론

농업용수의 안정적인 확보와 효율적 이용을 위해서는 현장의 영농패턴 변화 요소가 반영된 신뢰성 있는 논벼 수요량 산정 방법 및 표준화된 물 관리 기준이 필요하다. 논벼 수요량 산정에 영향을 미치는 요소에는 이앙시기, 담수심, 침투량, 수로손실 등이 있으며, 이 중 이앙시기와 담수심은 논벼 수요량에 특히 큰 영향을 미치는 인자로서, 이앙시기는 논벼의 생육시기 중 가장 높은 논벼 수요량이 나타나는 기간에 해당하고, 담수심은 유효수량에 직접적인 영향을 주는 인자이다.

현재 논벼 생육기별 물 관리 방법은 농업용수개발 필요수량 산정기준 (KRC, 1980)에서 제안한 이앙시기를 적용하고 있으며, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구 (KRC, 1995)의 이앙용수 140 mm와 최소 담수심 20 mm, 최대 담수심 80 mm

의 기준을 적용하고 있다. 그러나 기존의 논벼 수요량 산정기준은 최적의 물관리 계획을 가정하여 적용한 것으로 실제 현장여건 및 영농방식 변화 요소 등을 고려하지 못하고 있으며 논벼 수요량과 실제 농업용수 공급량의 격차를 발생시키는 요인이 되고 있다 (Lee et al., 2006; Kim et al., 2005). 실제로 물관리 효율성 제고기술 연구보고서 (KICT, 2001)에 의하면 한강 및 낙동강 201개 양수장 지구에 대한 조사결과 논벼 수요량에 대한 농업용수 공급량의 비율이 17~190%로 변화폭이 크게 나타났으며, Lee et al. (2006)에서는 이동지구에서 논벼 수요량에 대한 농업용수 공급량의 비율이 1.6배 높은 것으로 나타났다. 특히 이앙기인 5월에는 논벼 수요량에 비해 실제 공급량이 5배 이상 되는 큰 차이를 나타내었다.

따라서 효율적인 논벼 수요량 산정 방법을 도출하기 위해 현장여건이 반영된 이앙시기와 담수심은 필수적으로 고려되어야 하는 요소이며, 이에 따라 국내에서도 효율적인 논벼 수요량 산정을 위해 이앙기 및 담수심이 논벼 수요량에 미치는 영향을 평가한 연구들이 진행되었다. Yoo et al. (2012)는 미래 기후변화 시나리오를 적용하여 설계기준상의 이앙시기 동안의 논벼 수요량 변화를 산정하여, 이앙시기의 기온과 강우변화에 따라 논벼 수요량이 최대 7.0% 증가하는 경향을 파악하였다. 또한, Lee (2012)는 미래 기후변화 조건에서 설계기준상의 이앙일은 고정하고 이앙시기를 10일 앞당긴 경우와 10일

^a Researcher, Department of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University

^b Professor, Department of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5731, Fax: +82-53-950-6752

E-mail: ks.choi@knu.ac.kr

Received: April 02, 2021

Revised: April 27, 2021

Accepted: April 27, 2021

늦춘 경우의 논벼 수요량 변화를 파악하여, 기존 수요량 보다 평균 16% 감소됨을 제시한바 있다. Sohn et al. (2002)은 최소·최대 담수심을 0~20 mm, 0~40 mm, 60~100 mm로 3가지 경우를 적용하여 논벼 수요량을 산정하여 0~40 mm 담수심 적용시 가장 작은 수요량이 산정되는 결과를 얻었다. 또한 Sohn et al. (2004)은 일별 최소·최대 담수심을 0~20 mm, 10~40 mm, 40~100 mm로 3가지 경우를 적용하여 논벼 수요량을 산정하여, 0~20 mm 대비 40~100 mm 담수심 적용시 최대 30% 감소되는 수요량 결과를 얻었다. Chung and Ahn (2000)은 일별 최소·최대 담수심을 30~40 mm로 알게 유지하여 설계기준상의 담수심에 비해 20%정도 감소된 수요량 결과를 도출하였다.

이와 같이 기존의 연구들은 미래 기후변화 조건에 설계기준 (KRC, 1980)상의 이양시기를 반영한 경우와 단순한 이양시기 변화 시나리오를 적용한 경우에 국한하여 진행되었기 때문에 농업환경 변화에 의한 현장 작부시기를 반영하지 못하는 한계가 있다. 또한 담수심의 경우 담수심 변화에 따른 논벼 수요량 변화만을 나타낸 경우로서, 최소 담수심과 최대 담수심이 논벼 수요량에 미치는 영향에 대해 세부적인 연구 수행은 진행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 실제 현장에서의 이양시기 변화를 반영한 논벼 수요량의 변화와 최소 담수심과 최대 담수심의 변화에 따른 물관리가 논벼 수요량에 미치는 영향에 대해 파악해 보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 논벼 수요량 산정

국내의 논벼 수요량은 필지용수량에 유효우량을 제외한 용수공급과정 중에 발생하는 수로손실 등이 포함된 시설관리용수량을 합한 용수량을 기준으로 한다 (MAF, 1982). 즉 논벼 수요량은 설계기준 (MAF, 1982)에서의 조용수량을 의미하며, 필지용수량은 논벼 증발산량에 논토양에서 발생하는 침투량과 논벼의 재배관리용수량을 합하여 산정한다. 재배관리용수량은 작부시기를 모대정지기, 순수모대기, 이양기, 본답기로 구분하여 논벼의 생장시기에 따라 다르게 적용한다. 즉, 모대정지기에는 못자리 용수로, 이양기에는 이양 용수로써 적용된다. 식 (1)은 논벼 수요량 산정식을 나타내며, 식 (2)에서 (5)는 모대정지기, 모대기, 이양기, 본답기의 작부시기에 따른 필지용수량 산정식을 각각 나타낸다 (KRC, 1995).

$$IWD = (PWD - ER) \div (1 - \frac{L}{100}) \quad (1)$$

$$PWD_{np} = (I + NW / D_{nw}) \quad (2)$$

$$PWD_n = (ET_c + I) \times (A_{nw} / A) \quad (3)$$

$$PWD_t = [(ET_c + I) \times (A_{nw} / A)] + [(ET_c + I + TW / D_{tw}) \times (A_{tw} / A)] \quad (4)$$

$$PWD_g = (ET_c + I) \times (A_{tw} / A) \quad (5)$$

여기서, IWD (Irrigation Water Demand)는 논벼 수요량 (mm), PWD (Paddy Water Demand)는 논벼 필지용수량 (mm), ER는 유효우량 (mm), L는 시설관리용수 (%), I는 침투량 (mm), NW는 못자리용수=재배관리용수 (mm), D_{nw}는 못자리 일수 (day), ET_c는 논벼 증발산량 (mm), A_{nw}는 못자리 면적 (ha), A는 관개면적 (ha), TW는 이양용수 (재배관리용수) (mm), D_{tw}는 이양일수 (day), A_{tw}는 이양면적 (ha), np는 모대정지기 (day), n는 모대기 (day), t는 이양기 (day), g는 본답기 (day)를 의미한다.

본 연구에서는 논벼 수요량에서 논벼 증발산량은 수정 Penman 공식 (Doorenbos and Pruitt, 1997)을 적용하였으며 작물계수의 경우 KRC (1997)에서 제안한 중부 및 남부 지역별로 구분된 작물계수를 적용하였다. 논토양 침투량과 시설관리용수량은 농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편 (MAF, 1998)에서 제안한 필지단위의 침투량 5 mm/day과 콘크리트수로 5~7%, 토공수로 10~25%의 손실률을 각각 적용하였다. 못자리 및 이양 용수량은 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구 (KRC, 1995)에서 제안한 140 mm를 적용하였으며, 못자리 면적은 전체 논벼 재배면적에 5%를 차지하는 것으로 가정하였다. 작부시기는 농업용수개발 필요수량 산정기준 (KRC, 1980)에서 제안한 시기를 적용하였다.

또한 강수량 중 작물이 이용 가능한 유효우량은 식 (6)에서 식 (8)에 나타난 논에서의 일별 담수심법을 사용하여 산정하였으며, 최소 및 최대 담수심은 설계기준 (KRC, 1995)에서 제시한 20 mm, 80 mm를 각각 적용하였다.

$$ER_t = RF_t \text{ for } SR_t = 0 \quad (6)$$

$$ER_t = RF_t - SR_t \text{ for } SR_t > 0 \quad (7)$$

$$PD_t = PD_{t-1} + WR_t + RF_t - ET_d - I_t - SR_t \quad (8)$$

여기서, ER은 유효우량 (mm), RF는 강수량 (mm), SR은 논에서 유출량 (mm), PD는 담수심 (mm), WR은 재배관리용

수량 (mm), ET_c 는 증발산량 (mm), I 는 침투량 (mm), t 는 당일 (day), $t-1$ 는 전일 (day)을 의미한다.

2. 논벼 이앙시기 및 담수심 적용

본 연구에서는 논벼 이앙시기의 변화에 따른 논벼 수요량의 변화를 파악하기 위해 기존의 논벼 이앙시기 (KRC, 1980)와 최근에 현장 설문을 통해 조사된 이앙시기를 적용하여 수요량 변화를 파악해 보고자 하였다. 본 연구에서 적용한 최근의 이앙시기는 논벼 수요량 산정방법 현행화 연구 (KRC, 2020)에서 수행한 전국쌀전업농중앙연합회 소속 농업인 120명을 대상으로 한 설문결과와 농촌진흥청 (RDA, 2020)에서 2013~2019년까지 7년간 이앙시기 현장조사한 결과를 반영하였다.

Table 1은 논벼 수요량 산정에 적용되는 기존의 작부시기이자 논벼 생육기간을 나타내며, Table 2는 전국쌀전업농중앙연합회 소속 농업인 대상 설문결과 (KRC, 2020)와 농촌진흥청의 7년간 이앙시기 현장조사 결과 (RDA, 2020)를 나타낸다. 설문조사를 통해 나타난 이앙기간 중 큰 차이를 보이는 자료를 제외하기 위해 이앙기간의 초기 및 말기를 기준으로 각각 2%, 5%, 10% 미만인 해당하는 결과는 제외한 후 이앙시기를 도출하였다.

기존의 논벼 이앙시기는 이앙일수가 20일으로서, 이 기간 동안의 이앙용수량은 140 mm가 적용된다. 이는 이앙시기 동안 평균적으로 7 mm/day의 이앙용수가 관개면적에 공급되는 것을 의미하는 것으로써, 새로 반영된 이앙시기에 대해서도

동일비율로 이앙용수를 공급하는 것으로 적용하였다. 이앙시기를 제외한 모대정지기, 모대기, 본답기를 포함한 전체 작부시기도 동일한 기간으로 적용하였다.

본 연구에서는 현재 설계기준상의 최소 및 최대 범위를 확대 적용한 담수심 변화가 논벼 수요량에 미치는 영향을 파악하기 위해 다양한 담수심을 적용해 보았다. 여기에는 최소 0~20 mm, 최대 40~100 mm로 하여, 0~40 mm, 0~60 mm, 0~80 mm, 0~100 mm, 20~40 mm, 20~60 mm, 20~80 mm, 20~100 mm의 8개 담수심 조건이 포함된다. 담수심 변화를 제외한 인자들은 기존의 설계기준을 적용하였다

3. 농업용수 공급량 산정

본 연구에서는 논벼 수요량과의 비교를 위해 농업용 저수지에서 실제 농경지에 용수 공급한 농업용수 공급량을 저수지 저수율을 이용하여 산정하였다. 농업용 저수지의 금일과 전일의 저수율의 차에 해당 저수지의 유효저수량을 곱하여 농업용수 공급량을 산정하였으며, 식 (9)에 나타낸 바와 같다 (Kim et al., 2020).

$$IWS = \left(\frac{S_{t-1} - S_t}{100} \right) \times \frac{E}{A} \times C \quad (9)$$

여기서, IWS (Irrigation Water Supply)는 공급량 (mm), S 는 저수지 저수율 (%), E 는 유효저수량 ($10^3 m^3$), A 는 관개면적 (ha), C 는 단위환산계수 (100), t 는 금일 (day), $t-1$ 는 전일 (day)

Table 1 Rice cropping period suggested by KRC (1980)

Region	Stage of transplanting paddy cultivation			
	Nursery preparation	Nursery	Transplanting	Growing
Central	17 April to 20 April	20 April to June 1	20 May to 10 June	1 June to 10 September
Southern	27 April to 30 April	30 April to 10 June	1 June to 20 June	10 June to 20 September

Table 2 Currently surveyed rice transplanting periods (KRC, 2020; RDA, 2020)

Cumulative rice planting performance	Survey year	Transplanting period	Days of transplanting	Source
2~98%	2013~2019	7 May to 19 June	44	RDA
	2020	5 May to 24 June	51	KRC
5~95%	2013~2019	11 May to 14 June	35	RDA
	2020	9 May to 19 June	42	KRC
10~90%	2013~2019	15 May to 09 June	26	RDA
	2020	13 May to 13 June	32	KRC

을 의미한다.

4. 연구 대상지구

본 연구를 위해 한국농어촌공사 관할 100만톤 이상 주수원 공 저수지 중 비교적 농업용수 공급량 자료가 신뢰할 만한 4곳을 대상지구로 선정하였으며, 금사, 중흥, 창평, 구성지구가 포함된다. Fig 1은 본 연구의 대상지구 및 관련되는 기상관측소의 위치를 각각 나타낸다. Table 3은 본 연구의 대상지구에 대한 상세 정보를 나타낸다. 본 연구에서는 앞서 언급한 최근 이양시기 적용에 고려된 현장조사 기간을 반영하여

2013년부터 2019년까지 7개년 치의 기상자료와 공급량 자료를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기상 특성

본 연구 대상지구의 기온과 강우의 변화를 분석한 결과는 Fig 2 와 Fig. 3에 각각 나타내었다. 연구기간동안 대상지역의 연평균 기온은 12.4℃, 논벼 생육기간 평균 기온은 20.6℃로 나타났다. 연도별 논벼 생육기간 평균 기온은 7년 동안 대부분 지역에서 2016년에 가장 높은 기온으로 20.4~21.6℃ 범위의 평균 21.3℃를 보였으며, 2014년에 가장 낮은 기온으로 20.3~20.5℃ 범위의 평균 20.3℃를 보였다. 7년 전체 기간 동안 평균 기온 최고치와 최저치는 1.2℃ 차이를 나타내었다. 대상지구별로는 구성지구와 창평지구에서 가장 높은 21.1℃와 가장 낮은 20.0℃의 평균 기온을 각각 나타내었다.

대상지구의 연평균 강우량과 논벼 생육기간 평균 강우량은 1,134.8 mm 및 840.9 mm로 각각 나타나, 논벼 생육기간 강우량이 평균적으로 연평균 강우량 대비 74.1%를 차지하였다. 연도별 논벼 생육기간 평균 강우량은 7년 동안 2015년에 가장 적은 444.5~531.5 mm 범위의 평균 501.0 mm를 나타내었으며, 2018년에 가장 많은 1,033.8~1,228.7 mm 범위의 평균 1,114.1 mm를 나타내었다. 7년 전체 기간 동안 최대 강우량과 최저 강우량과는 685.8 mm 차이를 나타내었다. 대상지구별 생육기간 평균 강우량은 구성지구에서 가장 많은 885 mm를, 금사지구에서 가장 적은 796 mm를 각각 나타내었다.

Fig. 4는 대상지구의 논벼 생육기간 동안의 기온, 강우량, 유효우량의 월별 변화를 나타낸다. 연구기간 동안 월별 평균 기온은 4월 12.3℃, 5월 18.0℃, 6월 22.1℃, 7월 25.3℃, 8월 25.4℃, 9월 20.3℃로 각각 관측되었다. 강우량은 4월 99.1 mm, 5월 77.0 mm, 6월 94.3 mm, 7월 297.5 mm, 8월 191.7 mm, 9월 121.0 mm로 각각 나타났으며, 유효우량은 4월 21.8 mm, 5월 65.6 mm, 6월 73.8 mm, 7월 168.9 mm, 8월 140.3

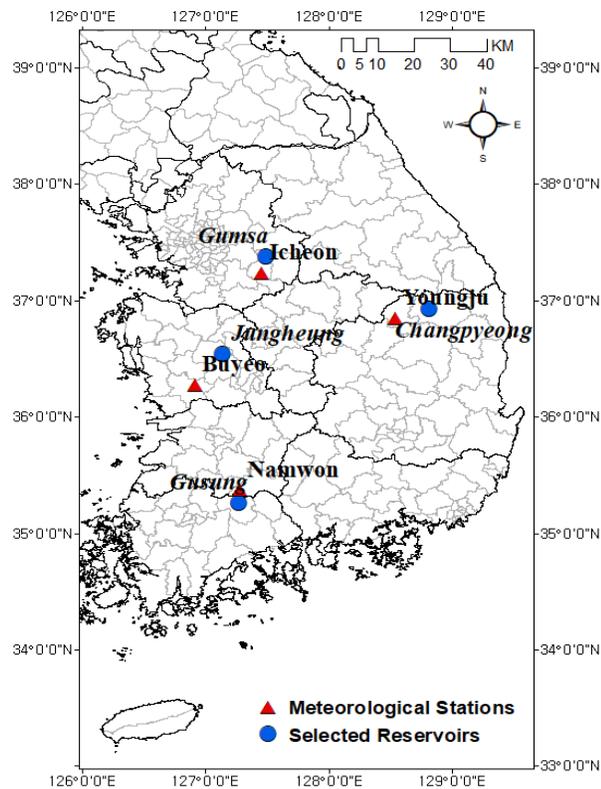


Fig. 1 Locations of the selected study areas and meteorological stations

Table 3 Characteristics of the study areas

Region	Reservoir name	Watershed area (ha)	Irrigated area (ha)	Effective water storage (10 ³ m ³)	Unit of water storage (mm)	Meteorological station
Central	Gumsa	794.0	178.9	3,713.0	2,075.5	Icheon
Southern	Jungheung	920.0	275.0	2,680.0	974.5	Buyeo
	Changpyeong	1,850.0	186.8	2,733.0	1,463.1	Youngju
	Gusing	1,461.0	594.9	4,805.0	807.7	Namwon

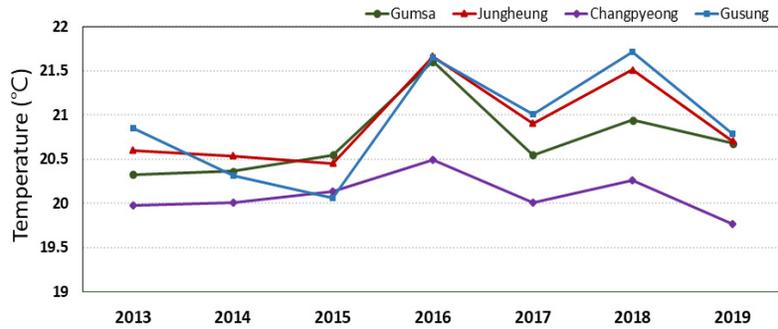


Fig. 2 Variation of temperatures during the rice growing season

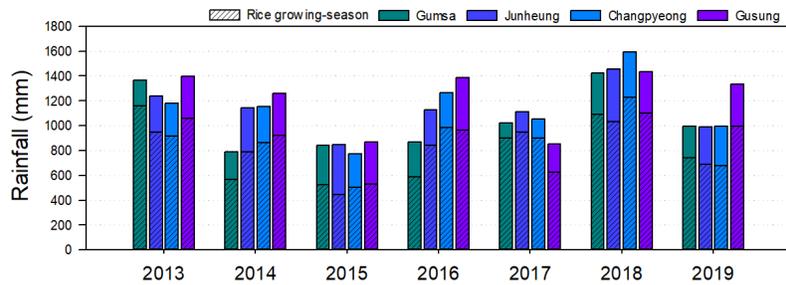


Fig. 3 Comparison of annual and rice growing season's rainfalls

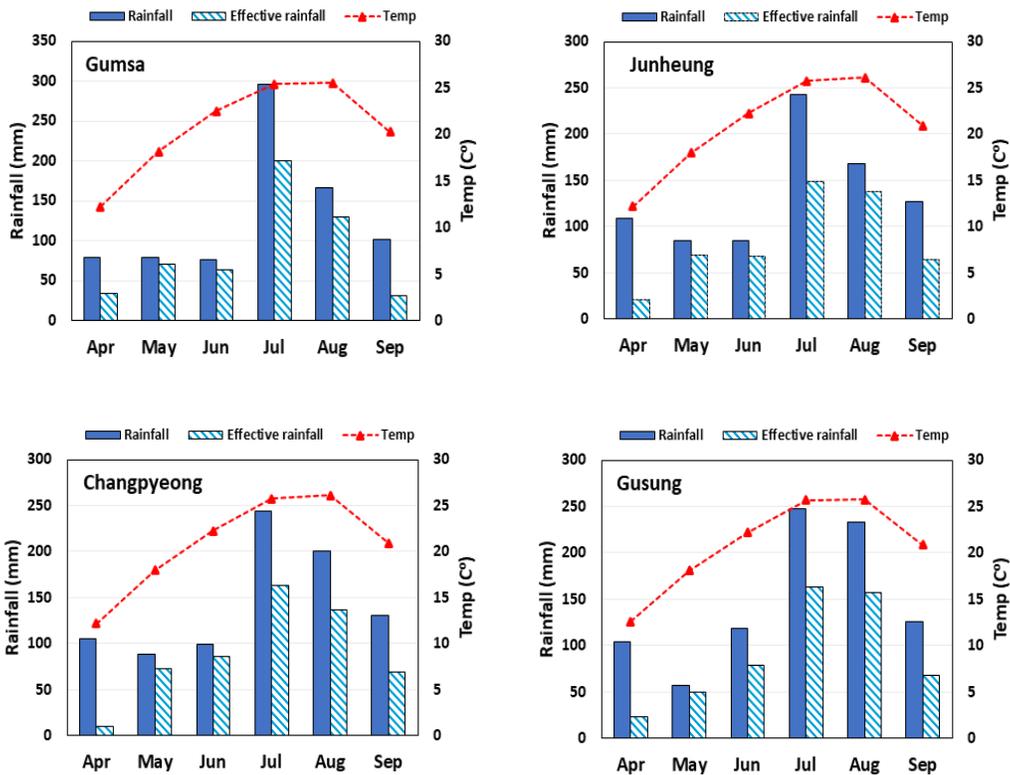


Fig. 4 Comparison of monthly mean temperature, rainfall and effective rainfall during rice growing season

mm, 9월 57.5 mm로 각각 나타났다. 강우량 대비 유효수량은 평균적으로 4월 21.9%, 5월 85.1%, 6월 78.3%, 7월 65.5%, 8월 73.2%, 9월 47.5%를 차지하였다.

전체기간동안 기온과 강우량 및 유효수량의 변화 양상은 비슷한 경향을 보였다. 논벼 생육기간 중 7월과 8월에 가장 높은 평균 기온이 관측되었으며, 강우량과 유효수량은 7월이 최다 우량을 나타내었다. 강우량 대비 유효수량의 비율은 이앙기가 포함된 5~6월이 가장 크게 나타났는데, 이는 논벼가 성장하는데 필요한 수량이 많은 이앙기에서 강우량의 생육에 기여한 비율이 높아 유효수량 비율이 상대적으로 크게 나타난 것으로 사료된다.

2. 이앙시기 변화에 따른 논벼 수요량

다양한 이앙시기별 이앙기간 동안의 수요량을 Table 4에 표시하였다. 기존 이앙시기를 적용한 경우 241.8~307.9 mm 가 소요되나, 최근 이앙시기를 적용한 경우 260.7~581.7 mm 로, 이앙일수의 증가에 따라 수요량이 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 다만 대상지구 중 구성지구에서 5.13~6.13 (32일)의 이앙시기를 적용한 경우, 5.15~6.09 (26일)로 이앙기간이 줄어든 경우 보다 적은 수요량을 나타내었는데, 이는 두 기간의 유효수량 기여율에 따라 나타난 현상으로, 5.13~6.13 (32일) 기간 동안의 유효수량이 5.15~6.09 (26일) 기간 동안의 유효수량에 비해 크게 기여한 현상으로 파악되었다.

기존의 이앙일수 대비 이앙기간 증가에 따라 수요량은 20

일에서 26일로 적용시 23.4 mm인 9.2% 증가, 32일로 적용시 39.5mm인 14.6% 증가, 36일로 적용시 79.6 mm인 30.3% 증가, 42일로 적용시 127.8 mm인 48.3% 증가, 44일로 적용시 155.4 mm인 58.9% 증가, 51일로 적용시 220.3 mm인 83.8%로 증가하였다.

Table 5는 이앙시기 변화에 따른 생육기간 전체의 논벼 필지용수량, 수요량 및 농업용수 공급량을 나타낸다. 기존의 이앙시기를 적용한 경우 필지용수량은 1,253.5~1,433.9 mm로 평균 1318.9 mm, 논벼 수요량은 844.5~1,096.6 mm로 평균 976.7 mm 산정되었다. 최근 이앙시기를 적용한 경우 논벼 필지용수량은 이앙기간을 20일에서 26일로 적용시 38.45 mm인 2.9% 증가, 32일로 적용시 61.85 mm인 4.6% 증가, 36일로 적용 시 85.1 mm인 6.4% 증가, 42일로 적용시 132.9 mm인 10.0% 증가, 44일로 적용시 144.6 mm인 10.9% 증가, 51일로 적용시 226.7 mm인 17.1%로 각각 증가하였다. 논벼 수요량은 이앙기간을 20일에서 26일로 적용시 52.3 mm인 5.4% 증가, 32일로 적용시 59.0 mm인 5.8% 증가, 36일로 적용시 85.3 mm인 6.4% 증가, 42일로 적용시 108.3 mm인 9.6% 증가, 44일로 적용시 119.3 mm인 10.3% 증가, 51일로 적용시 158.3 mm인 16.2% 증가하였다.

따라서 이앙기간이 증가할수록 논벼 생육기간 전체 수요량도 비례하여 증가함을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 영농의 현장여건 변화를 조사하여 논벼 수요량의 변화를 파악한 Nam et al. (2018)의 연구결과와 유사한 경향을 나타낸다. 다

Table 4 Comparison of IWDs according to the rice transplanting periods reflecting current practices (unit: mm)

Transplanting periods		Gumsa (5.21~6.10)		Jungheung (6.01~6.20)		Changpyeong (6.01~6.20)		Gusung (6.01~6.20)		Average
Standard		307.9		241.8		245.9		252.6		262.0
5.15~6.09	mm ^{*a)}	314.1	6.2	260.7	18.9	248.8	2.9	318.2	65.6	23.4
	% ^{**b)}		2.0		7.8		1.2		26.0	9.3
5.13~6.13	mm ^{*a)}	380.1	72.2	287.6	45.8	254.8	8.9	283.9	31.3	39.5
	% ^{**b)}		23.4		18.9		3.6		12.4	14.5
5.11~6.14	mm ^{*a)}	403.5	95.6	337.1	95.3	282.0	36.1	344.1	91.5	79.6
	% ^{**b)}		31.0		39.4		14.7		36.2	30.3
5.9~6.19	mm ^{*a)}	478.5	170.6	329.6	87.8	372.1	126.2	379.5	126.9	127.8
	% ^{**b)}		55.4		36.3		51.3		50.2	48.3
5.7~6.19	mm ^{*a)}	513.1	205.2	387.2	145.4	377.8	131.9	391.7	139.1	155.4
	% ^{**b)}		66.6		60.1		53.6		55.1	58.8
5.5~6.24	mm ^{*a)}	581.7	273.8	458.5	216.7	410.9	165.0	478.4	225.8	220.3
	% ^{**b)}		88.9		89.6		67.1		89.4	83.7

*a): Differences of IWDs between the standard and the surveyed transplanting periods

**b): Ratio of IWD compared the surveyed period to the standard period

만 앞서 이앙기간 수요량에서 언급한 바와 같이, 일부 대상지 구에서는 생육기간 전체 수요량에서도 유효수량의 영향으로 이앙기간이 증가되었음에도 불구하고 수요량은 낮게 나타나

는 경우가 있었는데, 창평과 구성지구가 여기에 속한다. 이앙시기 변화에 따른 논벼 수요량을 농업용수 공급량과 비교 분석한 결과, 이앙시기를 5월 11일~6월 14일 (35일)로

Table 5 The variation of PWD, IWD and IWS according to transplanting periods during the rice growing season at the study sites (unit: mm)

Reservoir	Transplanting period	Days of transplanting	PWD	IWD (A)	IWS (B)	B-A	% ^{**b)}
Gumsa	5.21~6.10 ^{*a)}	20	1,433.9	1,096.2	1207.0	+ 110.8	90.8
	5.15~6.09	26	1,478.4	1,181.6		+ 25.4	97.9
	5.13~6.13	32	1,504.8	1,192.2		+ 14.8	98.8
	5.11~6.14	35	1,524.2	1,204.3		+ 2.7	99.8
	5.9~6.19	42	1,578.3	1,237.9		- 30.9	102.6
	5.7~6.19	44	1,595.3	1,245.7		- 38.7	103.2
Jungheung	6.01~6.20 ^{*a)}	20	1,268.5	976.0	1173.5	+ 197.5	83.2
	5.15~6.09	26	1,298.7	998.4		+ 175.1	85.1
	5.13~6.13	32	1,323.7	1,043.2		+ 130.3	88.9
	5.11~6.14	35	1,341.9	1,064.2		+ 109.3	90.7
	5.9~6.19	42	1,380.3	1,067.2		+ 106.3	90.9
	5.7~6.19	44	1,389.5	1,087.3		+ 86.2	92.7
Changpyeong	6.01~6.20 ^{*a)}	20	1,253.5	844.5	1263.0	+ 418.5	66.9
	5.15~6.09	26	1,304.2	918.4		+ 344.6	72.7
	5.13~6.13	32	1,325.7	904.1		+ 358.9	71.6
	5.11~6.14	35	1,348.9	947.4		+ 315.6	75.0
	5.9~6.19	42	1,400.3	991.3		+ 271.7	78.5
	5.7~6.19	44	1,414.5	999.3		+ 263.7	79.1
Gusung	6.01~6.20 ^{*a)}	20	1,319.7	990.4	1138.2	+ 147.8	87.0
	5.15~6.09	26	1,348.1	1,018.2		+ 120.0	89.5
	5.13~6.13	32	1,368.8	1,003.7		+ 134.5	88.2
	5.11~6.14	35	1,401.3	1,032.4		+ 105.8	90.7
	5.9~6.19	42	1,448.3	1,043.9		+ 94.3	91.7
	5.7~6.19	44	1,454.8	1,052.2		+ 86.0	92.4
Average	6.01~6.20 ^{*a)}	20	1,318.9	976.7	1195.4	+ 218.6	81.9
	5.15~6.09	26	1,357.3	1,029.1		+ 166.2	86.3
	5.13~6.13	32	1,380.7	1,035.8		+ 159.6	86.8
	5.11~6.14	35	1,404.0	1,062.0		+ 133.3	89.0
	5.9~6.19	42	1,451.8	1,085.0		+ 110.3	90.9
	5.7~6.19	44	1,463.5	1,096.1		+ 99.3	91.8
	5.5~6.24	51	1,545.6	1,135.1	+ 60.3	95.1	

*a): Standard rice transplanting period

**b): Ratio between IWD and IWS

적용한 경우 수요량과 공급량의 차이가 가장 적은 금사지구를 제외한 그 외 지역에서는 모두 이앙시기를 5월 5일~6월 24일 (51일)로 적용한 경우 수요량과 공급량의 차이가 가장 적게 나타났다. 따라서 실제 현장의 농업용수 공급량을 기준으로 볼 때, 5월 5일~6월 24일 (51일)의 이앙시기를 적용하는 것이 가장 적합할 것으로 사료된다.

한편 대상지구별 생육기간 논벼 수요량이 차이를 기상인자 특성에 의해 분류해 보면, 대상지구 중 기온이 전반적으로 높고 강우량이 가장 적게 나타난 금사지구에서 평균적으로 가장 높은 수요량을, 기온이 가장 낮고 전반적으로 높은 강우량이 나타난 창평지구에서 평균적으로 가장 낮은 수요량을 나타내었다.

Fig. 5는 대상지구의 논벼 생육기간동안의 강우량, 수요량 및 공급량의 월별 변화 경향을 나타낸다. 전반적으로 대상지구의 강우량, 수요량 및 공급량 간의 월별 변화 패턴이 유사하게 나타났다. 강우량이 증가함에 따라 수요량과 공급량이 줄어들고, 강우량 감소에 따라 수요량과 공급량이 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 월별 수요량과 공급량의 변화 패턴도 대체적으로 유사하게 나타났다.

수요량과 공급량의 차이가 많이 나타나는 5월 이앙기의 경

우에는 최근 현장여건 및 물이용 형태 변화를 기존의 수요량 산정에서 반영하지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 파악되며, 이는 과거와 달리 최근에는 기계이앙에 의한 전면 이앙재배를 실시하는 현장여건과 무상공급에 따른 농업인 물이용 형태에 따른 대량 용수공급 실적이 기존 수요량 산정 결과에 비해 많았기 때문에 나타난 현상으로 파악된다. 또한 8월에 공급량이 증가하는 것은 7월 중간 낙수 이후 8월 물대기에 따른 일시적 수요 증가에 따라 나타난 현상으로 사료된다.

한편 지구별 공급량 경향은 중부지역에 속하는 금사지구의 경우 5월 이앙기로 인해 공급량 최대치가 5월에 나타났으며, 남부지역에 속하는 중흥 및 창평지구는 6월 이앙기로 인해 공급량 최대치가 6월에 나타났다. 다만 구성지구는 다른 지구와 달리 6월 이앙기 보다 8월에 공급량이 최대치를 나타내었는데, 이러한 현상은 구성지구의 8월 강우패턴이 다른 지역에 비해 편중되는 경향을 가지며 극한 강우사상이 빈번하게 나타나 현장 물 관리 단계에서 농업용수를 다소 풍부하게 공급한 것이 원인으로 사료된다.

논벼 생육기간 중 4월부터 7월초 중간낙수기까지를 기준으로 한 공급량 대비 이앙시기별 수요량을 비교 분석한 결과에서도, 5월 5일~6월 24일 (51일) 이앙시기를 적용한 경우 가장

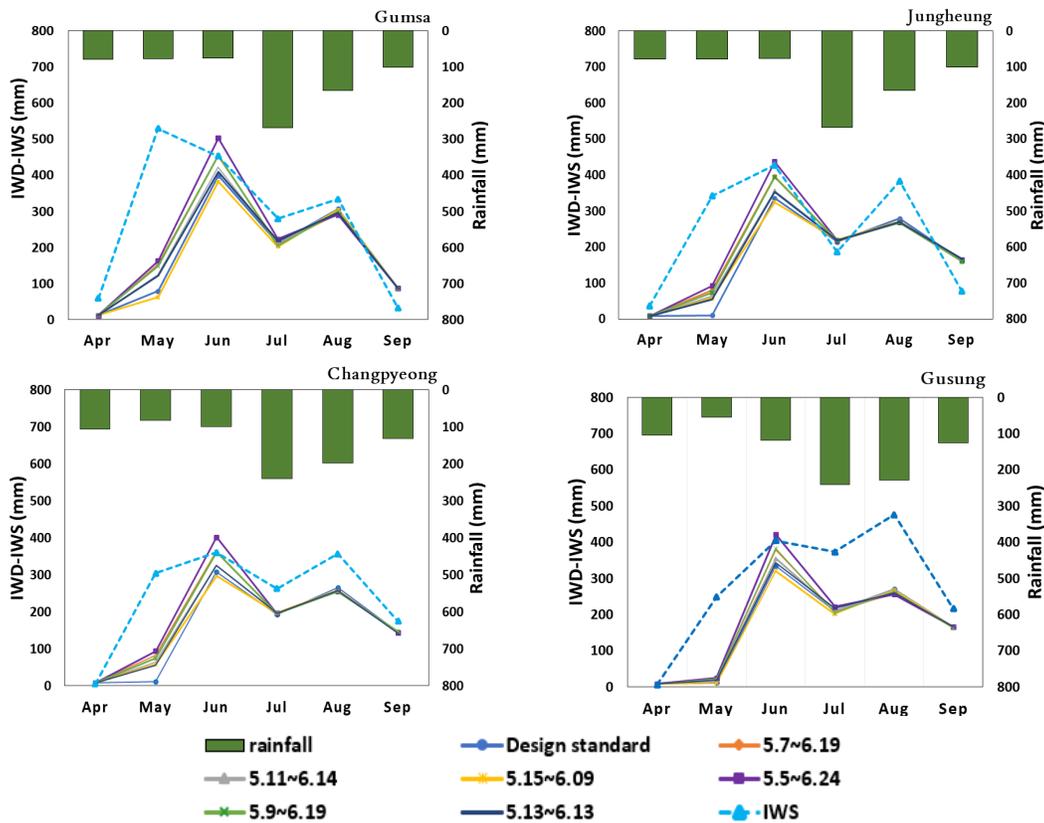


Fig. 5 Comparisons of monthly IWD and IWS according to rice transplanting periods

적은 차이를 나타내어 전체 생육기간 뿐만 아니라 이양기를 포함한 중간낙수 전까지의 기간에서도 51일간의 이양시기를 적용하는 것이 가장 적합한 것으로 파악되었다.

3. 담수심 변화에 따른 논벼 수요량

담수심 변화에 따른 논벼 수요량의 변화를 Fig. 6에 표시하

였다. 본 연구에서 적용한 8개의 담수심 조건에서 최소 및 최대 담수심이 0~40 mm일 때 1,016.1 mm, 0~60 mm일 때 986.1 mm, 0~80 mm일 때 948.4 mm, 0~100 mm일 때 907.1 mm, 20~40 mm일 때 1119.2 mm, 20~60 mm일 때 1055.4 mm, 20~80 mm일 때 1008.5 mm, 20~100 mm일 때 969.7 mm의 수요량이 각각 산정되었다.

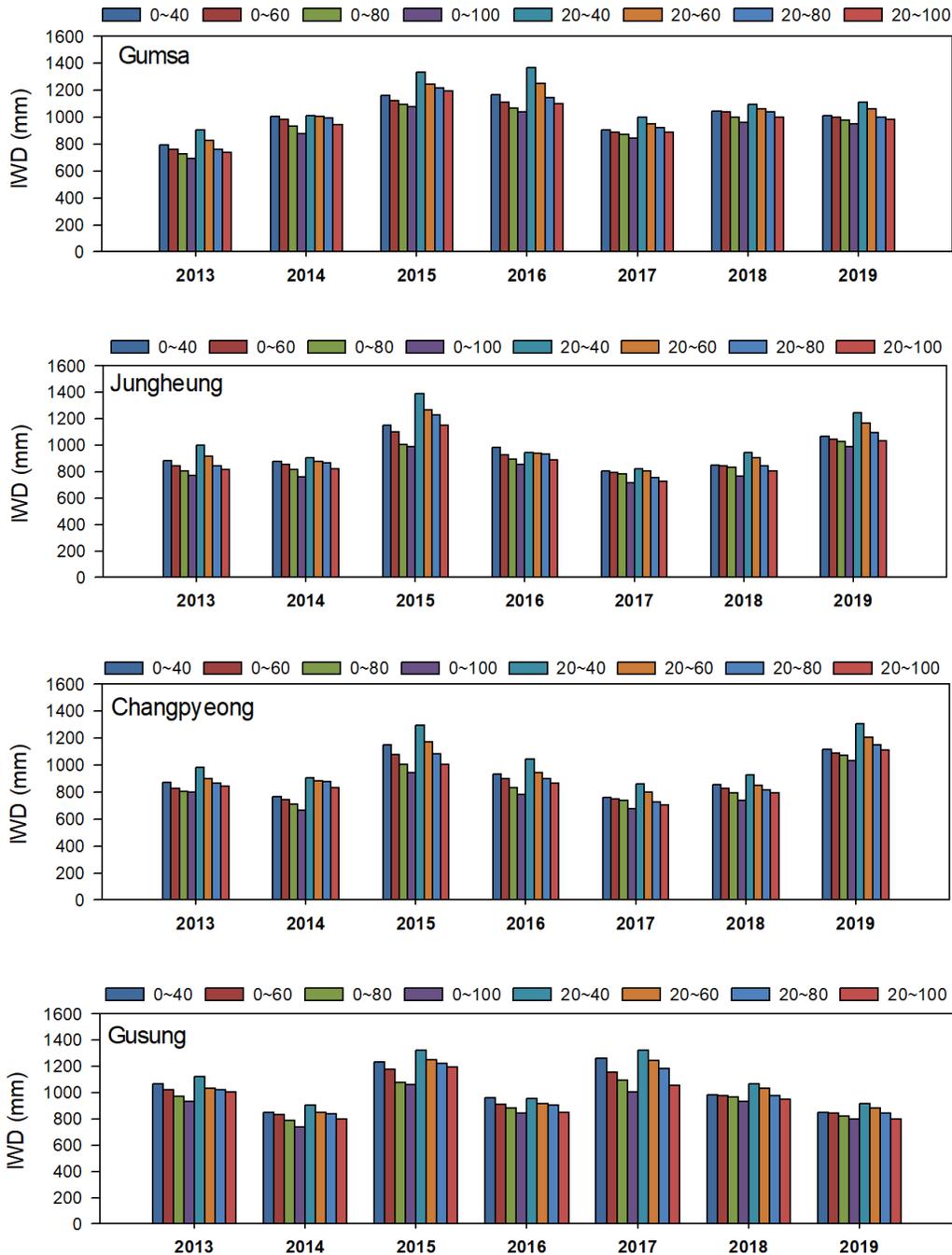


Fig. 6 Variation of IWD depending on ponding depth

논벼 수요량은 최소 담수심이 0 mm에서 20 mm씩 증가할 때마다 평균적으로 7.1% 증가하였으며, 최대 담수심이 100 mm에서 20 mm씩 감소할 때마다 평균적으로 4.4% 증가하였다. 따라서 수요량은 최소 담수심의 증가에 따라 증가하는 비례관계를 가지는 반면, 최대 담수심의 증가에 따라 감소하는 반비례관계를 가졌다.

또한 담수심 변화에 따른 수요량은 최대 담수심 보다 최소 담수심의 변화에 더 크게 영향을 받았다. 이는 통상적으로 최소 담수심일 때 수요량이 발생하고, 최대 담수심일 때 유출량이 발생하는데, 논벼 생육기간동안 일별 담수심의 변화가 최소 담수심에 도달하여, 수요량이 발생하는 일수가 최대 담수심에 도달하여 유출량이 발생하는 일수 보다 많기 때문에 발생한 결과로 사료된다. 따라서 논벼 생육기간 수요량이 크게 산정된 연도 일수록, 최소 담수심 변화가 수요량에 미치는 영향이 크게 나타났다.

이러한 결과는 최소 및 최대 담수심을 0~40 mm이내로 적용하여 논벼 수요량의 변화를 파악한 Sohn et al. (2002)의 연구결과와 유사한 경향을 나타낸 것으로서, 결론적으로 기존의 설계기준보다 최소 담수심은 낮게, 최대 담수심은 높게 하는 것이 유효수량의 증가와 논 유출량 감소에 의한 효율적인 용수 이용에 유리할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 이양시기 및 담수심의 변화가 논벼 수요량에 미치는 영향을 파악하기 위해 기존의 설계기준에서 제시하는 이양시기와 최근의 기후 및 영농패턴 변화에 의해 현장에서 적용되고 있는 이양시기를 반영하고, 다양한 최소 및 최대 담수심 조건을 적용한 경우에 대해서 논벼 수요량을 분석하였다.

기온 및 강우 조건에 따른 수요량은 논벼 생육기간 동안 평균 기온이 높고 강우량이 적은 경우 높게 산정되었으며, 평균 기온이 낮고 강우량이 많은 경우 낮게 산정되는 경향을 나타내었다. 기존의 이양시기를 포함한 7개 다양한 이양시기를 적용한 경우에는 대체적으로 이양일수가 증가할수록 이양용수가 증가하여 궁극적으로 수요량도 증가하였다. 대상지구 모두 강우량, 수요량 및 공급량 간의 월별 변화 패턴은 전반적으로 유사한 경향을 보였다. 농업용수 공급량을 기준으로 논벼 수요량과 차이를 가장 적게 나타낸 이양기간은 5월 5일~6월 24일 (51일)으로서, 이 기간을 적용할 경우 실제 현장에서의 수요량을 가장 잘 반영하는 것으로 사료되었다.

담수심과 논벼 수요량과의 관계에서는 최소 담수심 증가는 수요량의 증가를, 최대 담수심 증가는 수요량의 감소를 야기

하였다. 또한 최소 담수심의 변화가 최대 담수심의 변화에 비해 수요량에 미치는 영향이 평균적으로 더 크게 나타났는데, 이러한 경향은 수요량이 클 경우 더 두드러지는 현상을 보였다.

본 연구는 이양시기와 담수심 변화에 따른 논벼 수요량에 미치는 영향에 대해 분석한 것으로서, 논벼 수요량 결과가 이양시기와 담수심 변화에 민감하게 작용하는 것을 파악할 수 있었다. 따라서 신뢰성 있는 논벼 수요량 산정을 위해서는 농업현장 변화를 반영한 이양시기 조정과 유효수량 산정에 영향을 미치는 담수심에 대한 다양한 조건 설정이 필요하다.

그 외에도 본 연구에서 반영하지 못한 수로 노후화에 의한 송수손실량 증대, 육묘방법 변화에 의한 본답에서의 모대기간, 보조수원공 영향, 기후변화에 따른 전체 논벼 생육기간의 변화, 다양한 영농형태 등을 고려한 추가적인 연구를 통해 논벼 수요량 산정 방법 개선에 대한 종합적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2019학년도 경북대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Choi, K. J., 2020. Field survey report of paddy rice transplanting periods, Jeonju, Jeonla buk-do: Rural Development Administration (RDA) (in Korean).
2. Choi, K. S., 2020. Improvement of estimation methodology for the paddy rice water demand, 132. Naju, Jeollanam-do: Korea Rural Community Corporation (KRC) (in Korean).
3. Chung, S. O., and T. H. Ahn, 2000. Water saving irrigation method in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 2000(0): 108-113 (in Korean).
4. Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24*.
5. Kim, J. T., U. J. Joo, K. W. Park, and N. L. Jong, 2005. Estimation of the water requirement with the farming conditions in paddy field. *Korea Water Resources Association Conference* 1445-1449 (in Korean).
6. Kim, S., 2001. A study on the techniques for improving water management efficiency, 227-249. Goyang, Gyeonggi: Korea Institute of Construction Technology (KICT) (in Korean).

7. Kim, S. H., G. H. Cho, and K. S. Choi, 2020. Assessment of paddy rice evapotranspiration estimation methods based on comparisons of agricultural water supply. *Korea Water Resources Association Conference* 53(12): 1131-1142 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2020.53.12.1131.
8. Korea Rural Community Corporation (KRC), 1980. Design criteria of agricultural water development of water requirement paddy field, Naju, Jeollanam-do (in Korean).
9. Korea Rural Community Corporation (KRC), 1995. A study on the water requirement variation with the farming conditions in paddy field, 144-146. Naju, Jeollanam-do (in Korean).
10. Lee, T. S., 2012. Analyzing consumptive use of water and yields of paddy rice by climate change scenario and CERES-Rice.MS. diss., Seoul.: Seoul National University (in Korean).
11. Lee, Y. J., S. J. Kim, P. S. Kim, U. J. Joo, and Y. S. Yang, 2006. Study on the effective calculation method of irrigation water in a paddy fields area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(3): 11-20 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2006.48.3.011.
12. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1982. Design criteria of land and water development plan for agriculture: Dam, Sejong, Gyeonggi (in Korean).
13. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1998. Design criteria of land and water development plan for agriculture: Irrigation, 102-111. Sejong, Gyeonggi (in Korean).
14. Nam, W. H., H. J. Kwon, and K. S. Choi, 2018. Reevaluation of design frequency of drought and water supply safety for agricultural reservoirs under changing and farming methods in paddy field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(1): 121-131 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.1.121.
15. Sohn, S. H., and S. O. Chung, 2002. Effects of ponding depth treatment on water balance in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(2): 67-74 (in Korean).
16. Sohn, S. H., K. J. Park, and S. O. Chung, 2004. Analysis of water balance for ponding depth treatment in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(4): 13-21 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2004.46.4.013.
17. Yoo, S. H., N. Y. Park, S. H. Lee, Y. G. Oh, and J. Y. Choi, 2012. The impacts of climate change on paddy water demand and unit duty of water using high-resolution climate scenarios. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 15-26 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2012.54.2.015.