한강수계 논의 순별 단위용수량 변환계수

Conversion Factors for Ten-Day Irrigation Duties of Paddy Rice in the Han River Basin

강 문 성* · 박 승 우**
Kang, Moon Seong · Park, Seung Woo
김 현 준*** · 강 민 구*
Kim, Hyun Jun · Kang, Min Goo

Abstract

Seasonal water requirements by paddy rice is important to water budgeting for the water resources planning at a basin scale. This paper compares the water requirements resulting from different approaches for the Han River Basin. The demands from the drought years of 1967 and 1968 were found to be significantly less than the irrigation standards. This may result in significant underestimation of the basin-wide water demands. A conversion factor method is proposed to define seasonal irrigation demands. The factor is defined from the ratios of the standards for each growing stage to the drought year demands. The results were compared satisfactorily with those from the irrigation standards, and readily applicable to the water resources planning.

I. 서 론

우리 나라의 농업용수 사용량은 연평균 149억m^{3}으로 추정되며(한국수자원공사, 1991), 이중 논에서 사용되는 수량 혹은 논 용수량은 농업용수 전체의 약 87%인 129억m^{3}으로 5월부터 9월까지 단기간 동안 집중적으로 이용되고 있다(농어촌진흥공사, 1999).

논 용수량은 논벼의 생육과 영농관리에 필요로 하는 수량으로, 기상조건, 토양, 품종, 재배방식, 급수방식 등 여러 가지 인자들에 의하여 지배된다. 수리답의 경우는 논에서 필요로 하는 수량 즉 순용수량에 도수 중의 손실수량을 감안한 수량으로 구성되며, 이를 조용수량이라 한다. 본 논문에서의 단위용수량은 조용수량을 단위면적당 수량으로 나타낸 것을 의미한다.

소유역의 연도별 논의 단위용수량은 생육기간 중의 강우일수와 강우량에 따라 변한다. 본답 이앙기의 단위용수량은 우리 나라의 기후적 특성상 강우량이 많지 않은 시기이므로, 큰 차이가 없으

*서울대학교 대학원
**서울대학교 농업생명과학대학
***한국건설기술연구원

키워드 : 농업용수, 한강수계, 단위용수량, 변환계수

나, 6월부터 9월 중순까지 본답기의 단위용수량은 강우량의 연도별 편차로 인하여 상당한 차이를 나타낸다. 따라서, 농업수자원의 계획에서는 연도별 단위용수량을 구하여, 재현기간 10년의 한발을 극복할 수 있는 양으로 하고 있다(농림부·농어촌진흥공사, 1998).

연도별 단위용수량으로부터 산정된 10년 빈도 연단위용수량은 생육시기별(순별) 단위용수량의 빈도해석결과로부터 얻은 생육기간 중의 순별 단위용수량의 합과 다르다. 순별 단위용수량의 강우량 시계열 자료의 변이가 크기 때문에 그 산술적 합과 연도별 단위용수량의 확률분포해석으로부터 얻는 연단위용수량과는 차이를 나타낸다.

한편, 수계단위의 물수지분석에서는 순별 수요량과 공급량 자료가 필요하다. 수요량은 농업용수, 생공용수, 하천유지용수 등으로 구성되며, 공급량은 하천의 자연유량과 댐, 저수지 등 수자원으로부터 도수량 등으로부터 결정된다. 하천의 자연유량으로는 통상 갈수년의 유황자료를 적용하며, 통상적으로는 1967~68년의 유량을 적용하고 있다(한국수자원공사, 1996). 따라서, 수요량에서는 해당 연도의 기상조건으로부터 순별 논 단위용수량을 산정하여 적용하는데, 농업용수계획기준과 차이를 나타낼 수 있다.

따라서, 수계단위의 물수지분석에서 적용할 수 있는 합리적인 논의 순별 단위용수량 추정방법의 개발이 필요하다. 또한, 순별 10년 빈도 단위용수량의 합은 수요량 설계기준인 10년 빈도 연 단위용수량보다 과다하게 산정되기 때문에 이를 합리적으로 조정할 수 있는 변환계수(conversion factor)의 도입이 필요하다고 하겠다.

본 논문에서는 한강수계의 순별 단위용수량을 산정하기 위하여 소유역별 논의 단위용수량을 구하고, 재현기간별 단위용수량을 산정하며, 수자원계획에서 적용하는 1967~1968년의 순별 단위용수량을 추정하는 방법에 대하여 논의한다. 또한, 순별 단위용수량 산정을 위한 변환계수 산정방법을 제안하고, 농업용수 계획기준에 따른 10년 빈도 단위용수량과 제안된 변환계수를 이용하여 계산한 단위용수량을 비교하며, 수자원계획의 유황조건으로 적용하고 있는 1967~1968년의 순별 단위용수량 변환을 위한 변환계수를 제시하고, 그 결과를 논의한다.

Ⅱ. 연구방법

한강수계 소유역별 단위용수량은 농림부·농어촌진흥공사(1999)의 농촌용수 수요량 추정결과를 바탕으로, 재현기간 10년 가뭄의 극복이 가능한 연 소요량을 근거로 하고 있으므로 본 연구에서의 단위용수량도 이와 동일하게 적용하였다.

농촌용수 수요량 추정에서는 수리불안전답, 비관개전 등 수요량의 추정이 곤란한 것에 대하여, 순용수량 평균을 적용하고 있으며, 이는 수자원장기계획에서 반영하고 있는 수리답 원단위의 70%와 비슷한 값에 해당된다. 기존의 건설교통부 방법과 농림부·농어촌진흥공사(1999)에서 제시한 용수 수요량은 큰 차이가 없는데, 그 이유는 농업용수 원단위 수요량은 25% 내외의 손실율을 감안하고 있으며, 재현기간 10년의 용수수요량을 구하는 것이므로, 평년의 경우에 비하여 높은 값에 해당되기 때문에, 순용수량을 적용하는 경우라도 큰 차이가 없기 때문이다. 다만 본 연구에서는 수리답에 대한 단위용수량만을 대상으로 하였다.

단위용수량을 구하는 방법에는 10년 빈도에 해당되는 계획기준년을 선정하여 구하는 방법과 전체 관측자료로 10년 빈도에 해당되는 값을 확률계산하는 방법이 있다(농림부·농어촌진흥공사, 1999). 본 연구에서는 두가지 방법을 모두 사용하여 비교하였다.

수자원장기계획에서는 기준 유황을 1967년과 1968년도 가뭄 사상을 적용하고 있는 데, 단위용수량의 경우는 재현기간 10년의 용수 수요량을 기준으로 하기 때문에 기준 유황과는 상황이 다르다. 따라서, 본 연구에서는 농업용수 수요량의 추정방법을 고려하여 순별 단위용수량의 해석이 가능하도록 하였다.

1. 유역 현황 및 기상자료

가. 유역 현황

한강 수계는 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도, 충청북도, 경상북도 등 6개 시 · 도에 걸쳐 이루어져 있으며, 유역면적이 23,009.3km², 본류의 하천연장은 총 481.7km이고, 직할하천 705개 7,256.67km, 지방하천 12개소 552.80km이며, 준용하천 678개 5,890.37km이다.

한강유역의 토지이용은 농경지가 전체 유역의 14.1%인 3,242.44km²이며, 이중에서 논이 7.8%인 1,794.62km², 밭이 1,447.82km²로 6.3%에 해당하고 있으며, 임야는 17,117.72km²으로 74.4%를 차지하고 있다.

나. 기상자료

한강수계 논용수 수요량을 산정하기 위한 기상관측소는 한강권역의 주요 기상관측소인 서울, 수원, 춘천, 청주 그리고 강릉 등을 선정하였다. 선정된 기상관측지점을 기준으로 Thiessen 망을 구축하였으며, 구축된 Thiessen 망을 토대로 각각의 소유역별 지배관측소를 결정하여 해당되는 지배지역의 기상자료를 이용하였다. Table 1은 주요 기상관측소의 현황과 본 연구에서 사용한 기상자료 기간을 나타내고 있다.

Table 1. Weather stations and data used for estimation of the water requirement

No.	Station	Location			Period of data used	Code No. of subwatershed
		Latitude (Deg.)	Longitude (Deg.)	Height* (m)		
101	Chunchon	37° 54′	127° 44′	74.0	1967-1996	105, 106, 108~113
105	Gangneung	37° 45′	128° 54′	26.0	1961-1996	101, 102
108	Seoul	37° 34′	126° 58′	85.5	1961-1996	115
119	Suwon	37° 16′	126° 59′	36.9	1964-1996	107, 116
131	Cheongju	36° 38′	127° 26′	59.0	1967-1996	103, 104

* Height of observation field above mean sea level

2. 소유역의 구분 및 경지면적 전망

가. 소유역의 구분

한강 권역은 한강과 안성천 유역을 포함하며, 수자원장기계획에서는 한강 유역은 15개 소유역으로, 안성천 유역은 1개 소유역으로 각각 구분하는 것이 보통이다. 한편, 건설교통부(1998)에서는 한강유역 농업용수 사용량 조사에서 한강 수계를 23개 소유역으로 구분하여 각각의 소유역별 경지면적 등의 자료를 구축한 바 있다.

본 연구에서는 Table 2에서와 같이, 코드번호 101~115의 15개 소유역 분할방식과 코드번호 116인 안성천 유역을 포함하여 한강수계의 농업용수 수요량 추정을 실시하였으며, 시군별 읍면동별 유역의 구분은 23개 소유역 구분의 기준을 적용하여 환산하였다.

나. 수리답 면적 전망

시군별 수리답 면적은 농림부 · 농어촌진흥공사(1999)에서 제시한 계획기준년도 2011년까지 한강

Table 2. Irrigation paddy area for sub-watersheds (Unit : ha)

Code No.	1997	2001	2006	2011
101	836	884	915	929
102	2,755	2,908	3,036	3,097
103	4,855	5,066	5,335	5,552
104	10,475	11,087	11,487	11,648
105	4,212	4,452	4,707	4,870
106	6,182	6,536	6,884	7,107
107	24,030	25,539	26,675	27,456
108	1,414	1,495	1,572	1,592
109	2,571	2,650	2,674	2,695
110	2,013	2,128	2,239	2,310
111	4,348	4,593	4,832	4,984
112	1,581	1,613	1,617	1,637
113	1,741	1,795	1,785	1,800
115	14,035	14,648	15,008	15,347
116	27,514	29,151	30,028	30,560
Total	108,563	114,544	118,793	121,585

수계의 시군별 연도별 수리답 면적의 예측결과를 사용하였으며, 이를 본 연구에서 구분한 소유역별로 수리답 면적의 추정치를 나타내면 Table 2에서와 같다.

3. 논 단위용수량 산정 방법

논벼의 일별 단위용수량은 식(1)과 같이 계산한다.

$$UR_t = [NDT_t + TR_t]\ (1 + \frac{CL}{100}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기서, UR_t는 논벼의 일별단위용수량(mm), NDT_t는 순용수량(mm), TR_t는 이앙용수량(mm), CL은 손실율(%)을 나타낸다. 이앙용수량(TR_t)는 140mm, 손실율(CL)은 20%를 적용하였으며, 순용수량(NDT_t)는 식(2)와 같이 계산한다.

$$NDT_t = ET_t + I - RE_t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

여기서, ET_t는 실제증발산량(mm), I는 침투량(mm), RE_t는 유효우량을 나타낸다. 침투량은 5 (mm/day)를 적용하였으며, 유효우량은 논의 물수지 분석을 이용하여 계산하였고(김현영, 1988), 실제증발산량(ET_t)는 식(3)과 같이 FAO 수정 Penman식으로부터 계산한다.

$$ET_t = K_c \times C\ [\,W \cdot R_n + (1 - w) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

여기서, W는 기온과 관련된 가중치, R_n은 순일사량(mm/day), f(u)는 풍속함수, (ea-ed)는 증기압차(mb), C는 주야의 기후차에 의한 보정계수, K_c는 작물생육시기에 따른 작물계수를 나타낸다. 주야의 기후차에 의한 보정계수(C)는 주야간 동일하게 1.0을 적용하였으며, 작물계수(K_c)는 지역별 특성을 고려하여 적용할 수 있으나 자료가 일부 지역에 국한되어 있으므로 Table 3과 같이 전국 평균값을 사용하였다.(농림부, 농어촌진흥공사, 1997)

Table 3. Penman crop coefficient

Month	4	5			6			7			8			9
	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E
K_c	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32

4. 재현기간별 단위용수량

단위용수량의 적정 확률분포함수를 선정하기 위하여 한강수계 5개의 주요 기상관측소를 대상으로 계산된 연도별 단위용수량의 자료에 대해 적합도 검정을 실시하였다. 적합도 검정은 VTFIT(Richard Cooke, 1993) 프로그램을 사용하였으며, 선정된 확률분포함수를 이용하여 빈도해석을 실시함으로서 재현기간별 연 단위용수량을 추출하였다.

5. 변환계수 작성 방법

논 단위용수량의 빈도해석에서는 연 단위용수량을 적용하므로 순별 수요량으로 환산하려면 별도의 빈도해석이 필요하게 된다. 그러나, 순별 수요량 빈도해석은 확률분포함수 적용의 한계를 초과하므로, 순별 용수량의 연 단위용수량에 대한 비를 구하여 적용하는 방법으로 한다.

즉, 주요 기상관측소별 순별 단위용수량과 해당 연도의 총 수요량에 대한 비를 구하여, 무차원화된 누가곡선을 그려서, 그 누가곡선의 평균을 구함으로써 순별 단위용수량 무차원도를 작성하였다.

본 논문에서 순별 단위용수량을 구하기 위한 변환계수 산정은 10년 빈도에 해당되는 계획기준년인 1967년과 1968을 선정하여 무차원도를 구하는 방법(1967년법, 1968년법), 전체 자료기간에 대한 각각의 순별 단위용수량과 연 단위용수량에 대한 비를 구한 후 평균하여 무차원도를 작성하는 방법(평균법), 그리고 전체 자료기간의 각각의 연도에 대한 순별 단위용수량 비를 구한후 해당 자료의 통계치를 이용하여 Monte Carlo Simulation (MCS)을 수행함으로써 순별 단위용수량 변환계수를 추정하는 방법(MCS법) 등을 이용하였다.

주요 측점별 평균법에 대한 순별 단위용수량의

신뢰구간은 다음 식(4)와 같이 나타내어진다.

$$CI = \bar{x} \pm z_{(1-\alpha/2)}\ \sigma_{\bar{x}} \quad \cdots\cdots(4)$$

여기서, CI는 신뢰구간, $\bar{x}$는 평균, z는 신뢰도 계수, 그리고 $\sigma_{\bar{x}}$는 표준오차이다.

순별 단위용수량은 순별 무차원도를 이용하여 주요 측점별 연 단위용수량을 곱하므로써 신뢰범위내에서 구할 수 있다.

또한, 순별 무차원도를 근간으로 Monte Carlo Simulation(MCS)을 수행한 후, 장래의 순별 무차원도를 추정하여 이를 연 단위용수량의 값과 곱하여 구할 수 있다. MCS기법은 주어진 입력 자료의 확률분포함수를 이용하여 출력 자료의 확률분포를 얻는 방법이다. 즉, 순별 단위용수량 자료의 확률분포함수로 선정된 정규분포함수를 이용하여 순별 정규분포함수를 따르는 순별 단위용수량을 모의한 것이다. 본 연구에서는 Box-Müller가 제안한 정규분포함수를 이용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$f_{x(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad \cdots\cdots(5)$$

여기서, $f_{x(x)}$는 확률밀도함수, x는 변수, σ_x는 표준편차, 그리고 μ_x는 평균이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 연 단위용수량

한강수계 논에서의 연도별 단위용수량은 한강권역의 주요 기상관측소를 대상으로 단위용수량 산정 모형을 이용하여 계산하였으며, 그 결과를 바탕으로 지배 기상관측소에 대해 소유역별로 구분하여 각각의 소유역에 대한 연 단위용수량로 결정하였다. Fig. 1은 모형을 구동시킨 결과로서 기상관측소별 자료기간에 대한 강우량(rain), 유효우량(EFR), 증발산량(EPT), 순용수량(NWR), 그리고

Table 4. The statistical characteristics for the estimated results from the model

Station	Item	EPT[1]	ERF[2]	NWR[3]	GWR[4]
Chunchon	Mean	601.2	505.7	710.8	888.6
	STD[5]	43.0	103.7	120.9	151.1
	Skewness	0.0	0.2	-0.2	-0.2
Gangneung	Mean	612.2	435.1	811.0	1,013.8
	STD	49.6	94.5	127.4	159.2
	Skewness	0.8	0.5	0.3	0.3
Seoul	Mean	637.2	525.0	716.3	895.4
	STD	55.7	117.3	142.8	178.5
	Skewness	1.9	-0.1	0.4	0.4
Suwon	Mean	598.8	502.1	710.0	887.5
	STD	38.4	118.1	125.7	157.2
	Skewness	0.4	0.1	0.1	0.1
Cheongju	Mean	652.8	498.7	778.8	973.5
	STD	51.3	106.9	140.5	175.6
	Skewness	0.5	0.7	-0.5	-0.5

1)Evapotranspiration, 2)Effective rainfall, 3)Net water requirement, 4)Gross water requirement, 5)Standard deviation

단위용수량(GWR)의 연도별 변화를 보여주고 있다.

Table 4는 각각의 산정결과에 대한 통계자료를 나타내고 있다. Table 4에서와 같이 각 기상관측소별 증발산량의 평균은 598.8~652.8mm의 값을 보였으며, 표준편차는 38.4~55.7mm의 값을 보였고, 왜곡도 계수는 0.0~1.9의 범위를 보임으로서 증발산량은 대칭형 분포이거나 오른쪽으로 왜곡된 경향을 보였다. 유효우량의 평균치는 435.1~525.0mm의 범위를 나타내었으며, 표준편차는 94.5~118.1mm의 값을 보였다. 단위용수량의 평균값은 강릉이 1013.8mm로서 최대값을 보였고, 수원이 887.5mm로서 최소값을 나타내었으며, 표준편차는 151.1~178.5mm의 범위를 보였고, 춘천과 청주가 왼쪽으로 왜곡된 형태이고 나머지 측점은 오른쪽으로 왜곡된 형태를 보였다.

2. 재현기간별 단위용수량

재현기간별 연 단위용수량을 추정하기 위하여 확률분포함수를 이용하였다. 연 단위용수량의 확률분포함수를 선정하기 위하여 10개의 확률분포함

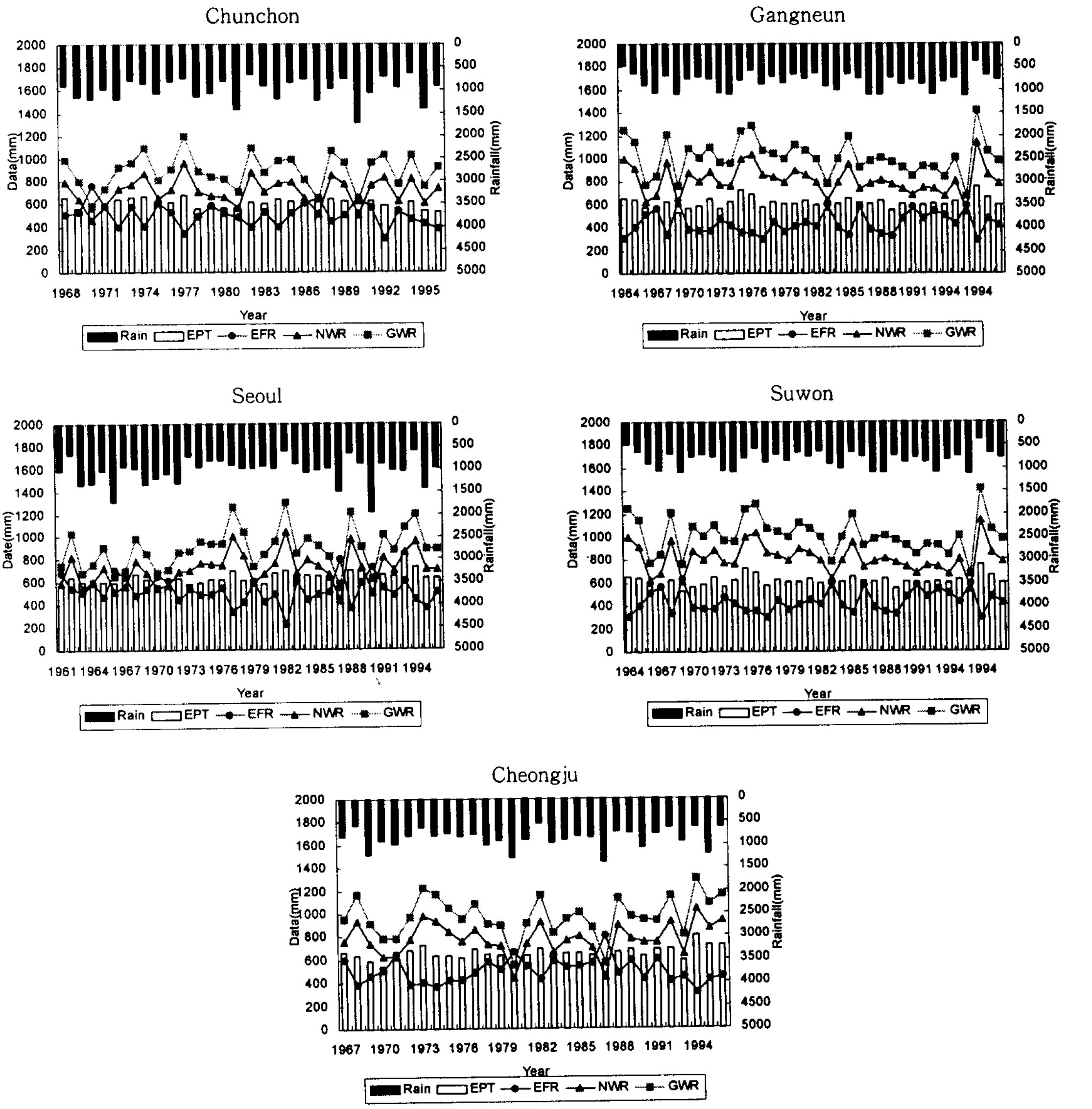

Fig. 1. The estimated results from the model

수에 대하여 5개 기준 측점별로 적합도 검정을 실시하였다. 적합도 검정 결과, 춘천과 수원 측점은 Log Pearson type Ⅲ, 강릉과 서울은 Gaussian 분포, 그리고 청주 측점은 Gamma 분포의 확률분포함수가 선정되었으며, 이를 바탕으로 재현기간별 연 단위용수량을 추정하였다.

Fig. 2는 각각의 측점에 대하여 선정된 확률분포함수를 도시한 것으로서, 선정된 각각의 확률분포함수가 측점별 단위용수량의 분포를 잘 나타내고 있음을 보여주고 있다.

한강수계의 기준 관측소별 재현기간별 단위용수량을 추정한 결과는 Table 5에서와 같다. Table 5에서와 같이 한강수계의 10년 빈도 단위용수량은 5개의 기준 측점별로 1,081~1,227mm의 범위를

보였으며, 산술평균값은 1,147mm, 그리고 각 측점의 면적을 고려한 면적대비 가중평균값은 1,117mm로 나타났다.

이상의 한강수계 논의 단위용수량의 면적대비 가중 평균값인 1,117mm는 수자원장기계획에서 적용한 1,018~1,030mm에 비하여 8% 정도의 큰 값을 보였다.

그런데 수자원장기계획의 1,030mm는 한강수계의 재현기간별 평균과 비교하면 5년 빈도 정도에 해당되는 단위용수량 값이었다. 한편, 서울, 수원, 춘천 등 한강하류 지점의 단위용수량은 재현기간 5년의 경우 1,028mm, 재현기간 10년에서는 1,098mm 등의 값을 보였는데, 이 값을 적용하는 경우 수자원장기계획의 단위용수량은 5년 빈도에 해당되는 값임을 알 수 있었다.

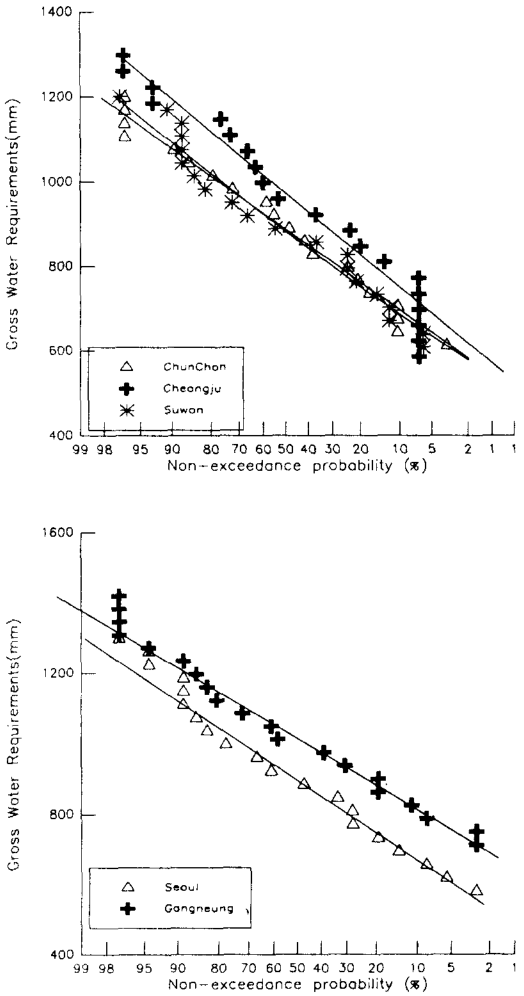

Fig. 2. Probability distributions of gross water requirements.

Table 5. Irrigation duties for return period

Station	Applied frequency dstribution	Irrigation duties for return period(mm)				
		Mean annual	2 yrs	3 yrs	5 yrs	10 yrs
Chunchon	LPT*	889	895	961	1,021	1,081
Gangneung	Gaussian	1,014	1,014	1,081	1,146	1,215
Seoul	Gaussian	895	895	971	1,043	1,121
Suwon	LPT*	888	884	953	1,020	1,093
Cheongju	Gamma	974	961	1,046	1,131	1,227
Arithmetic mean		932	930	1,002	1,072	1,147
Area-weight mean		908	903	974	1,043	1,117

* LPT : Log Pearson type Ⅲ

3. 순별 논 단위용수량

한강수계의 순별 논 단위용수량은 관측소별 순별 단위용수량의 평균 백분율을 변환계수로 하여 년간 단위용수량을 곱하여 계산하는 평균법과 MCS을 이용하여 신뢰구간내에서의 순별 변환계수를 모의발생시켜 년간 단위용수량을 곱하여 구하는 MCS법을 이용하여 해당 지역 기상관측소의 순별 용수량을 산정하도록 하였다.

가. 순별 단위용수량 변환계수

각 측점에 대한 순별 자료를 빈도분석하여 각각의 순별 10년빈도 단위용수량을 구하여 합한 결과, 춘천은 1,505mm, 강릉은 1,639mm, 서울은 1,588mm, 수원은 1,520mm, 그리고 청주는 1,647mm로서 평균 1,578mm의 값을 보였다. 이는 연 자료를 이용한 단위용수량 평균인 1,147mm보다 37%정도 높은 값으로서, 시기별로(순별) 단위용수량을 빈도해석하여 각각의 순별값을 합산하여 연 단위용수량으로 사용할 경우 연 단위용수량 자료를 근거로 빈도해석한 값보다 큰 값을 나타내므로 단위용수

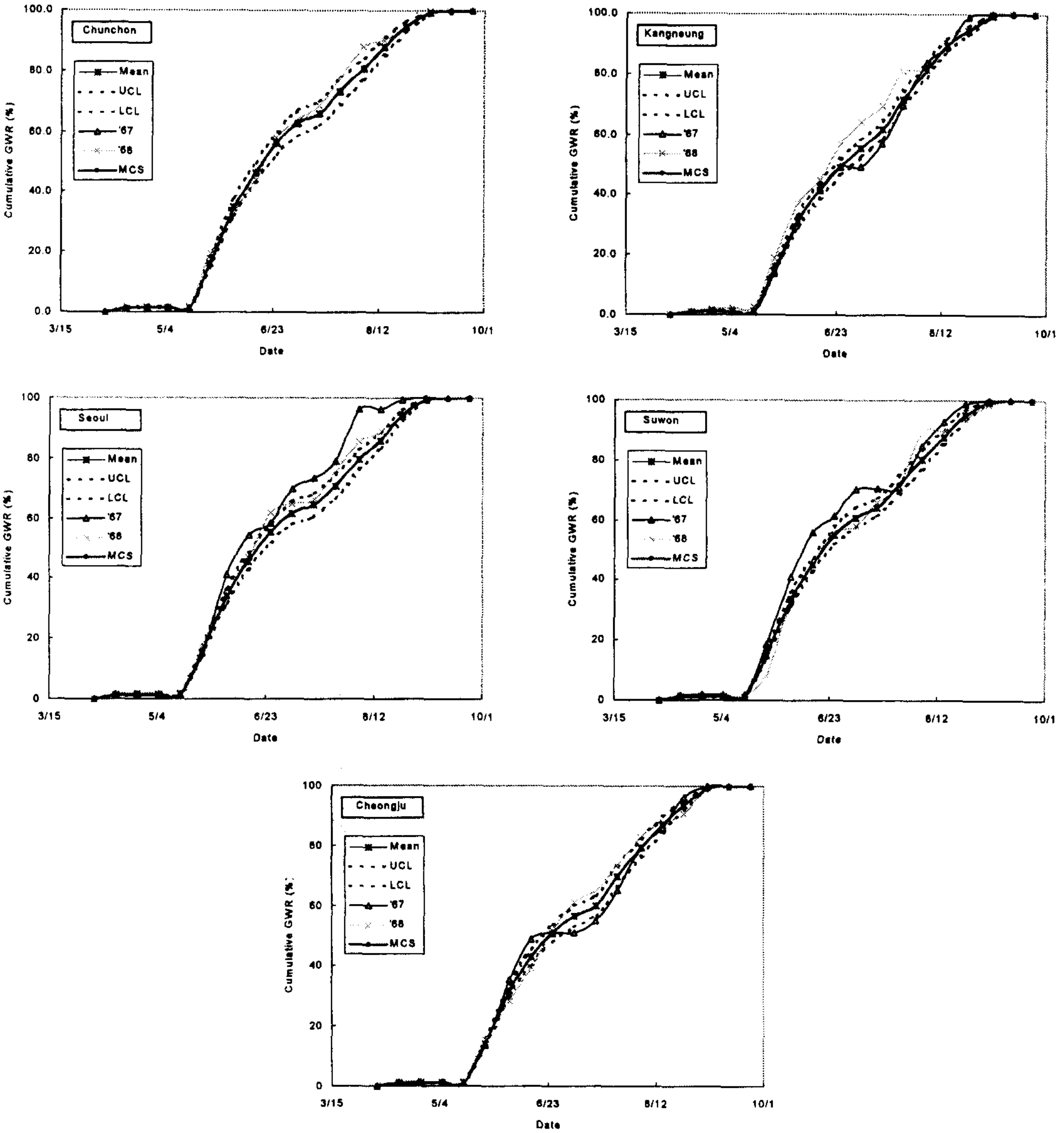

Fig. 3. Conversion factor and confidence interval curve

량으로 적용하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서, 순별 단위용수량을 계산하기 위해서 변환계수를 이용하였다.

Fig. 3은 한강수계 주요 관측소별 단위용수량의 방법별 변환계수를 나타내는 것으로서 평균법과 그에 해당하는 순별 신뢰구간의 상한치(UCL)와 하한치(LCL), MCS법, 그리고 기준년도의 순별 단위용수량 변환계수(1967년법, 1968년법)를 무차원으로 표시하여 보여주고 있다. 순별 단위용수량의 신뢰구간은 정규분포함수로부터 95%의 신뢰성을 가지고 단위용수량의 순별 평균값을 포함하고 있는 것을 의미한다. 또한, MCS법에 의해 추정된

순별 단위용수량의 누가치를 평균하여 도시하고 있는데, 평균법과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

기준년도인 '67, '68년도의 변환계수와 각각의 추정 변환계수의 평균치를 비교할 때, 비슷한 경향을 보여주고 있으며, '67년의 순별자료가 신뢰구간에서 많이 벗어나는 것과는 달리 '68년 순별 단위용수량 변환계수는 춘천과 강릉 측점에서 신뢰구간을 벗어나긴 했으나 대부분 신뢰구간내에서 그 경향을 따라가고 있음을 알 수 있다.

나. 기준년도 순별 단위용수량

순별 단위용수량 방법별 변환계수를 적용하여 기준년도인 '67~'68년도의 순별 단위용수량을 주요 기상관측소별로 구하였다.

기준년도 순별 단위용수량에 대해 평균법과 MCS법에 의해 얻어진 단위용수량을 비교한 결과는 Table 6에서와 같다. 평균법과 비교한 결과, 주요 기상관측소별로 결정계수 R2의 값은 0.68~0.88의 범위를 보였고, RMSE의 경우는 19.44~31.22mm의 값을 보였으며, RMAE는 0.27~0.48의 범위를 보였다. MCS법과 비교한 결과는 상기에 비교한 결과보다 전체적으로 근접한 값을 보였으며, 주요 기상관측소별로 R2의 값은 0.68~0.89의 범위를 보였고, RMSE의 경우는 18.87~28.84mm의 값을 보였으며, RMAE는 0.26~0.48의 범위의 값을 나타내었다.

Table 6. The results of comparison for each method

Method	Item	Seoul		Chunchon		Cheongju		Gangneung		Suwon	
		'67	'68	'67	'68	'67	'68	'67	'68	'67	'68
Mean	R^2*	0.726	0.877	0.881	0.826	0.789	0.809	0.769	0.801	0.682	0.815
	RMSE** (mm)	27.91	20.27	19.44	22.94	28.36	27.43	31.22	25.47	28.48	24.69
	RMAE***	0.48	0.27	0.30	0.28	0.34	0.27	0.36	0.30	0.45	0.36
MCS	R^2	0.732	0.881	0.889	0.843	0.840	0.816	0.812	0.782	0.679	0.823
	RMSE (mm)	27.65	19.91	18.87	21.83	25.47	26.24	28.84	26.55	28.58	24.25
	RMAE	0.48	0.26	0.29	0.28	0.32	0.27	0.31	0.26	0.45	0.35

* Coefficient of determination, **Root mean square error, ***Relative mean absolute error

4. 한강수계 수리답 수요량 추정

한강수계 10년 빈도 수리답 수요량은 소유역별로 지배 관측지점에 대해 변환계수를 이용하여 산정한 순별 단위용수량에 소유역별 수리답 추정 면적을 곱하여 구한 후 각각의 소유역별 수요량을 순별로 합하여 추정하였다.

본 연구에서의 순별 단위용수량은 이앙재배만을 고려한 값이므로, 수요량 산정시에는 담수직파와 건답직파 재배면적에 따른 수요량 증가분을 추가하여 계산하였다. 즉, 직파재배는 이앙재배에 비하여 건답직파의 경우 10% 내외, 담수직파는 30% 내외의 용수수요가 증가하므로(농림부 · 농어촌진흥공사, 1997) 각각의 재배방식에 따른 수요량의 증가분을 고려한 것이다. 한편, 순별 수요량의 추정에 있어서는, 이앙재배의 묘대기와 이앙기 일수가 35일, 담수직파의 담수재배관리기가 40일, 그리고 건답직파의 경우 재배관리기가 최대 30일임을 고려하여(농림부 · 농어촌진흥공사, 1999) 4월 상순~5월 상순까지 직파재배에 따른 수요량 증가분을 균등 분배하여 계산하였다.

추정 연도에 대한 건답 및 담수 직파재배 면적은 Table 7에서와 같으며, 추정면적은 연도에 따라 계속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

Table 7. Direct sowing area in the Han River basin

(Unit : ha)

Item	1997	2001	2006	2011
Dry field	818	5,872	12,190	18,508
Submerged field	2,134	7,846	14,986	22,126

한강수계의 추정 연도에 따른 순별 수리답 수요량은 Fig. 4에서 보여주고 있으며, Table 8은 한강수계 수요량의 총량을 보여주고 있다. Table 8에서와 같이, 한강수계의 수리답 면적과 수요량은 1997년에서 2011년까지 각각 109~122 천ha의 범위와 1,220~1,329 백만m^3의 범위로서 꾸준히 증

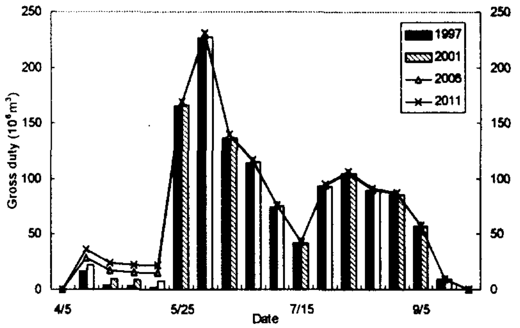

Fig. 4. Estimation of ten-day irrigation water supply of paddy rice

가하는 추세를 보여주고 있다. 본 연구와 농림부·농어촌진흥공사(1999)에서 추정한 수리답 수요량과 비교할 때, 본 연구에서 산정한 수리답 수요량이 1997년의 경우는 3.9%, 2001년은 7.4%, 2006년은 9.1%, 그리고 2011년에는 9.6% 정도 과소하게 평가되었다. 이는 기상조건, 소유역별 수리답 면적의 차이, 작물 필요수량 산정시 조건과 시설관리 용수량의 적용 유무 등에서 비롯된 것으로 생각된다.

Table 8. Results of the probable irrigation water requirement

Method	Item	1997	2001	2006	2011
This study	Area(10^3ha)	109	115	119	122
	GWR(10^6m^3)	1,220	1,251	1,292	1,329
MAF*	Area(10^3ha)	110	110	115	124
	GWR(10^6m^3)	1,267	1,344	1,409	1,457

* Ministry of Agriculture and Forestry.

Ⅳ. 요약 및 결론

한강수계 논의 순별 단위용수량 변환계수를 제시하기 위하여 한강유역과 안성천 유역을 대상으로 주요 기상관측소에 대해 일별 단위용수량을 계산하고, 빈도해석을 통해 각각의 측점에 대해 재현기간별 연 단위용수량을 산정하였다. 이를 바탕으로 한강수계의 순별 단위용수량 변환계수를 산정하였고, 변환계수를 이용하여 순별 수리답 수요량을 추정하여 비교하였으며, 그 결과를 고찰하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 단위용수량 산정모형을 이용하여 주요 기상관측소에 대해 일별 단위용수량을 계산한 결과, 연도별 단위용수량의 평균값은 강릉이 1,013.8mm로서 최대값을 보였고, 수원이 887.5mm로서 최소값을 나타내었으며, 표준편차는 151.1~178.5mm의 범위를 보였고, 춘천과 청주가 왼쪽으로 왜곡된 형태이고 나머지 측점은 오른쪽으로 왜곡된 형태를 보였다.

(2) 연 단위용수량의 확률분포함수는 춘천과 수원 측점은 Log Pearson type Ⅲ, 강릉과 서울은 Gaussian 분포, 그리고 청주 측점은 Gamma 분포가 선정되었으며, 한강수계의 10년 빈도 단위용수량은 5개의 기준 측점별로 1,801~1,227mm의 범위를 보였고, 산술평균값은 1,147mm, 면적대비 가중평균값은 1,117mm로 나타났다.

(3) 한강수계의 순별 논 단위용수량 추정을 위해 관측소별 순별 단위용수량의 변환계수인 무차원도를 작성하였고, 이를 바탕으로 95% 신뢰구간을 설정하여 순별 변환계수를 모의발생시킬 수 있도록 MCS을 수행하여 순별 단위용수량을 계산하였으며, 각각의 산정 결과가 잘 일치하였다.

(4) 순별 단위용수량 변환계수를 적용하여 기준년도인 '67~'68년도의 순별 단위용수량을 주요 기상관측소별로 구하였으며, 기준년도 순별 단위용수량과 순별 단위용수량 변환계수에서 얻어진 단위용수량을 비교한 결과, 주요 기상관측소별로 R^2의 값은 0.68~0.88의 범위를 보였고, RMSE의 경우는 19.44~31.22mm로 나타났으며, RMAE는 0.27~0.48을 보였고, MCS 변환계수 평균값과 비교한 결과는 주요 기상관측소별로 R^2의 값은 0.68~0.89, RMSE는 18.87~28.84mm, RMAE는 0.26~0.48의 값으로 나타났다.

(5) 한강수계 수리답 수요량은 이앙재배 및 담수직파와 건답직파 등의 재배방식을 고려하여 계

산한 결과, 한강수계 수요량은 1997년에서 2011년까지 1,220~1,329 백만톤의 범위로서 꾸준히 증가하는 추세를 보였으며, 본 연구와 농림부·농어촌진흥공사(1999)에서 추정한 수리답 수요량과 비교할 때, 본 연구에서 산정한 수리답 수요량이 1997년의 경우는 3.9%, 2001년은 7.4%, 2006년은 9.1%, 그리고 2011년에는 9.6% 정도 작은 값을 보였다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1998, 한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정, 건설교통부·서울 지방국토관리청.
2. 건설교통부, 1996, 수자원장기종합계획(1997~2011).
3. 김현영, 박승우, 1988, 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생(Ⅱ), 한국농공학회지, 30(2), pp. 95~104.
4. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준, 관개편(기준 및 편람).
5. 농림부·농어촌진흥공사, 1997, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구.
6. 농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농업·농촌용수 종합이용계획(농촌용수이용합리화계획).
7. 농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서.
8. Maidment, D. R., 1992, Handbook of Hydrology, McGRAW-HILL.
9. Mays, L. W., 1996, Water Resources Handbook, McGRAW-HILL.
10. Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, 1992, Numerical Recipes in Fortran, The Art of Scientific Computing, Second Edition, Cambridge, KALA.
11. Richard Cooke, 1993, A Routine for Fitting Homogeneous Probability Density Functions -User Documentation, Virginia Polytechnic Institute.
12. Solley, W. B., R. R. Pierce, and H. A. Perlman, 1998, Estimated Use of Water in The United States in 1995, U. S. Geological Survey Circular 1200, USGS.