

수리권 전수조사 및 물수지 분석을 이용한 삽교천 유역의 시·공간적 물부족 평가

Evaluation of Spatio-Temporal Water Shortage in Sapgyo Catchment Employing Total Water Right Survey and Water Balance Analysis

박 정 은* / 김 영 석** / 김 정 곤*** / 고 덕 구****

Park, Jung Eun / Kim, Young Seok / Kim, Jeongkon / Koh, Deuk Koo

Abstract

The objective of this study was to evaluate spatio-temporal water shortage distribution in the Sapgyo catchment considering both permitted and non-permitted water rights obtained from the total water right survey conducted in 2010. The results showed that the agricultural water accounted for 98% of the total water uses with 83% being the non-permitted agricultural water uses. During the 11-year (2001~2011) simulation period, water shortage was shown only in the upper Gokgyo stream sub-catchment with the highest water stress from April to May in 2009, particularly because of the large demand for rice cultivation associated with low precipitation. As water shortage was not expected to happen when the permitted water rights were not considered, it was concluded that a proper management of non-permitted water rights would be urgent.

Keywords : river flow management, total water right survey, water balance analysis, K-ModSim, sapgyo catchment

요 지

본 연구의 목적은 삽교천 유역에서 하천수 사용 허가량 뿐만 아니라 허가외의 수리권을 모두 고려한 시공간적 물부족을 분석하는 것이다. 분석 결과, 전체 용수이용량 중 농업용수 이용량은 98%를 차지하고 있으며, 이중 허가외 농업용수의 비율이 83%로 해당유역에서 농업용수가 차지하는 비율이 매우 높은 것으로 나타났다. 2001~2011년간의 물수급에서는 삽교천 16개 표준유역 중 곡교천 상류에서만 물부족이 예측되었으며, 2009년 관개기 농업용수 사용으로 인한 물부족량이 가장 많은 것으로 분석되었다. 특히 강수량이 부족하고 이양용수가 많이 사용되는 4~5월에 집중되는 것으로 나타났다. 그러나 허가외 수리권을 제외하였을 경우에는 물부족이 발생하지 않아, 허가외 수리권 관리의 시급함을 알 수 있다.

핵심용어 : 하천수 관리, 수리권 전수조사, 물수지 분석, K-ModSim, 삽교천 유역

* 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 위촉선임연구원, 공학박사 (e-mail: jungeun.park@kwater.or.kr)
Senior Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

** 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 위촉연구원, 공학석사 (e-mail: wrkim@kwater.or.kr)
Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

*** 교신저자, 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 수석연구원, 공학박사 (e-mail: jkkm@kwater.or.kr)
Corresponding Author, Head Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

**** 한국수자원공사 K-water연구원 원장, 공학박사 (e-mail: dkkoh@kwater.or.kr)
R&D Executive Director, K-water Institute, K-water, Daejeon 305-730, Korea

1. 서론

우리나라는 기후, 지형조건 뿐만 아니라 지속적인 개발과 생활수준 향상, 여기에 기후변화 대비 등 잠재적인 물 수요 증가에 따른 효율적인 이수기 수자원 대책마련이 시급한 상황이다. 그러나 신규 수원 개발 적지의 부족, 수원지 주변지역에 대한 개발 제한, 상·하류 지역간의 수리권 갈등 등의 다양한 원인으로 인해 새로운 수자원 공급시설의 건설이 난관에 부딪히고 있다. 위와 같은 여러 요인들은 물공급의 안정성과 형평성을 저해하며, 결과적으로 물관리의 어려움을 야기시킨다.

이수부문 물 관리의 핵심은 수요에 대응하여 필요한 물을 확보하는 것과 개발된 수자원을 어떻게 합리적으로 이용하는 데 있다. 그러나 이에 앞서 지역별, 시기별 물 부족량 파악이 이루어져야 하며, 이를 위해서는 하천을 중심으로 이루어지는 물 이용량 파악 및 물수지 분석이 선행되어야 한다.

하천법에 의한 하천수 사용허가는 홍수통제소가 관계기관과의 협의 및 제반사항을 검토하여 허가여부를 판단하며, 하천법 제정 이전의 관습상의 수리권, 즉 기득수리권은 하천수 사용허가 범위에서 제외된다. 그러나 기득수리권에 의하여 하천으로부터 취수되는 용수는 대부분 농업용수로 사용되고 있으며, 총 용수 수요량 중 농업용수가 큰 비중을 차지하는 것으로 미루어볼 때 기득수리권을 포함한 허가외의 수리권의 관리가 시급하다고 하겠다.

또한, 수리권은 역사적 특색이나 관습 등에 따라 다양하게 발달되어 왔다. 미국에서는 강변수리권(Riparian rights), 점용수리권(Appropriation), 이 둘을 혼합한 형태가 존재하고 있으며, 각 주별 판례를 통해 관리되어왔다. 일본에서도 안정수리권, 풍수수리권, 잠정수리권 등 여러 형태로 분류되고 있다. 각국은 다양한 수리권에 기초하여 물관리를 수행하고 있으며 허가를 받고 사용하는 수리권을 중심으로 관행적으로 이루어진 기득수리권과 조화를 이루어 합리적인 수준에서 유익한 용도를 위해 물 사용이 이루어지도록 일관성 있는 원칙을 제도화하고 있는 추세이다. 우리나라에서는 물 배분 및 관리에 있어 다양한 수리권 갈등사태가 발생하고 있어 선진 외국의 수리권 관리를 벤치마킹하고(Cheon, 1999; Gwon, 2008) 법·제도를 개선하기 위한 연구가 주로 이루어지고 있는 실정이다(Choi, 2003; Gwon, 2008; Lee et al., 2009). 그러나 수리권은 하천법이 만들어지기 이전부터 존재한 권리로서 다양한 기관에 의해 관리되고 있고 일부는 체계적 관리가 부족하므로 전국적인 기초조사가 필요하다.

수자원장기종합계획 등의 기존 용수사용량 추정시에는

용수별 원단위를 사용하여 권역별 수요량을 예측하였다(Ministry of Construction & Transportation, Korea Water Resources Corporation, 2006). 이러한 원단위 방식은 장래의 여건변화를 고려하여 용수 수요량을 추정함으로써 국가 차원의 거시적인 수자원 공급방안을 마련하는데 효과적이거나, 일부 지역 또는 특정 시기에 발생하는 물 부족은 파악하기가 쉽지 않다. 우리나라는 상수도 보급시설이 잘 구비되어 있으나 실제 지역마다 또는 시기적으로 수문학적 가뭄이 비교적 빈번하게 일어나고 있으므로 물부족 발생에 지대한 관심을 기울일 필요가 있다.

본 연구의 목적은 2010년 국토해양부와 한국수자원공사가 시범 수행한 수리권 전수조사 자료를 활용하여 실질적인 물 사용량을 산정함으로써 하천의 물 부족 구간 및 시기를 파악하고, 물 부족이 자주 발생하는 중소규모 하천의 효율적인 물 이용 제고방안을 마련하는데 있다. 이를 위하여 삼교천 유역을 대상으로 수리권 전수조사 자료를 활용하여 표준유역별로 용수 사용량을 추정하고, 시·공간적 물 부족을 평가하기 위한 물수지 분석을 수행하였다.

2. 대상유역 및 연구방법

2.1 대상유역

삼교천은 유역면적 1,668.04 km², 유로연장 59.55 km으로 1개의 중권역과 16개의 표준유역으로 구성되어 있으며, 시가지 8.2%, 농경지 46.3%, 산지 39.8%, 기타 5.8%로 이루어진 농촌지역이다(Fig. 1). 삼교천유역은 금강권역에 속하는 단일수계로서 충청남도의 2개 시(아산 및 천안)와 5개 군(연기, 청양, 홍성, 예산, 및 당진)이 본 유역에 포함되어 있다. 수계로는 서해로 유입되는 삼교천 본류, 삼교천 우안으로 합류되는 삼교천 제1지류인 무한천과 곡교천의 3개의 국가하천과 95개의 지방하천으로 구성되어 있다. 본 유역에는 총 19개의 수위관측소가 있으며, 이중 수촌지점이 예당저수지와 삼교호 방조제 운영에 의해 배수 영향을 받지 않고 수위와 유량을 동시에 측정하며, 관측기간이 비교적 길어 안정적인 측정 자료를 제공하고 있다(Ministry of Construction & Transportation, Geum River Flood Control Office, 2006).

삼교천 유역에는 7개의 지방상수도 취수장이 있으며, 2009년 기준으로 유역 내 물 이용량 중 생활용수가 16.2%, 공업용수가 2.5%, 농업용수가 81.3%(1,334.5천 m³/일)로, 농업용수가 삼교천 유역 용수이용량의 대부분을 차지하고 있다. 수자원장기종합계획(2006~2020) (Ministry of Construction & Transportation, Korea Water Resources

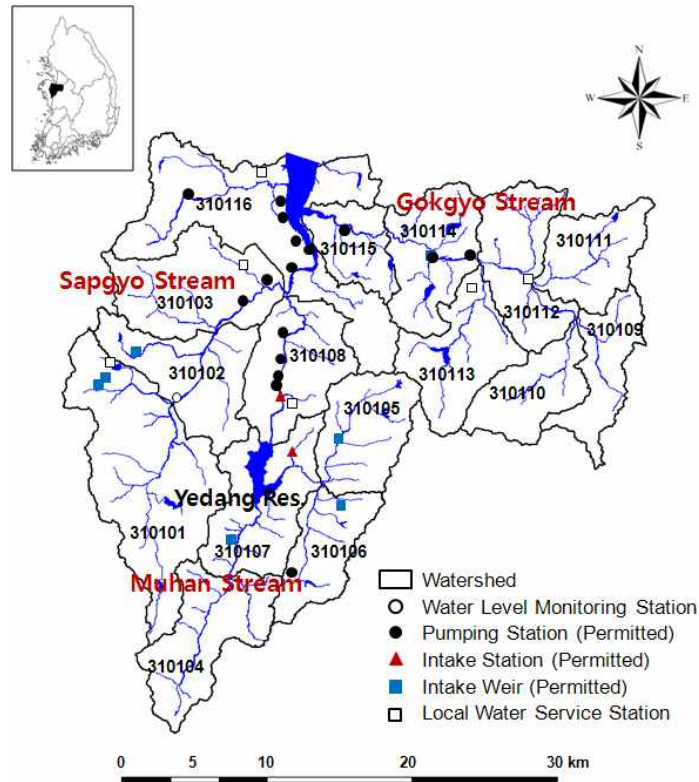


Fig. 1. Map of the Study Area with Standard Sub-catchment Boundaries and Key Features

Corporation, 2006)의 현재 상황을 반영한 2020년 기준수요 시나리오에서도 삼교천 유역의 농업용수 수요량은 총 용수수요량의 67%를 사용할 것으로 전망되어, 본 연구대상 지역 내 용수수요량의 대부분은 농업용수가 차지하고 있음을 알 수 있다.

2.2 연구방법

2.2.1 강우-유출모형

본 연구에서는 장기유출모형인 SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형을 이용하여 삼교천의 표준유역별 자연유량을 산출하였다. SSARR 모형은 미 공병단에서 1956년 처음 개발되었으며, 강설과 토양 수분이 고도에 따라 차이가 있다는 점에 착안하여 고도에 따른 강우량, 토양함수량, 기온에 따른 증발산량을 고려하여 유출 해석을 수행한다.

지표면에 도달한 강우와 용설량은 토양습윤지수(Soil Moisture Index, SMI)에 따라 토양수분과 유출량으로 나뉘며, 유출량은 다시 지하수 유입률(Baseflow Infiltration Index, BII)에 의해 직접 유출과 기저유출로 구분된다. 직접 유출은 지표수-복류수 분리비(Surface-Subsurface Saper-

tion, S-SS)에 따라 지표수 유출과 복류수 유출로, 기저유출은 회귀 지하수층(Lower Zone, LZ)에 의해 지하수 유출과 회귀 지하수 유출로 나뉘게 된다. 지표수, 복류수, 지하수, 회귀 지하수 유출량은 각각 독립적으로 하도로 유입되어 각 유출량의 합이 하천유출량으로 산정된다.

2.2.2 수리권 전수조사

수리권 전수조사는 유역내 산재한 모든 이수시설을 대상으로, 이수 현황조사와 관련하여 문헌조사를 통한 허가수리권 조사와 미등록 수리권 현장 조사를 통해 이수 시설의 위치, 제원, 이용·관리 현황 등을 파악하고, 합리적인 하천수 사용을 유도하기 위한 수리권의 관리기반을 마련하고자 하는데 그 목적이 있다. 국토해양부와 한국수자원공사가 안성천, 삼교천 수계를 대상으로 수리권 현황에 대한 문헌 및 현장 전수조사를 2010년에 시범적으로 실시하였으며(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010), 나머지 수계에 대한 수리권 전수조사는 2013년에 완료될 예정이다.

수리권 전수조사는 홍수통제소에서 관리하는 하천수사용실적관리시스템인 RAS (River Water Use Management System)으로 허가수리권과 RAS에 등재되지 않은 수리

권 중 수자원공사, 농어촌공사, 지방자치단체에서 관할하는 허가외의 수리권, 그리고 기타 하천점용허가 및 하천수 허가대장에 등재되지 않은 미등재 수리권을 가진 하천 시설물을 대상으로 하였다. 수리권 전수조사는 유역내 이수시설을 총괄적으로 파악하여 하도구간별 하천수 사용량을 산정할 수 있는 기초자료를 제공함으로써 효율적인 하천수량 관리의 토대를 마련해주었다는 점에서 의미가 크다 하겠다. 삼포천 유역내 하천수 허가 및 허가외의 시설을 조사한 내용을 Tables 1 and 2에 각각 요약하였으며, 아울러 전체적인 분포현황을 Fig. 2에 나타내었다.

2.2.3 K-ModSim 모형

물수지 분석에는 1972년 미국 콜로라도 주립대학에서 개발한 MODSIM (MODified SIMyld)을 기본모델로 하여 한국 유역에 맞도록 개발된 범용 유역 물관리 모형인 K-ModSim이 이용되었다(Ministry of Science and Technology, 2007). K-ModSim은 일반화된 하천유역 네트워크 모형으로 유역내 용수 수요처, 하천, 저수지, 송수관 등의 물리적, 수문학적 요소들뿐만 아니라 유역 물관리의 법·제도적 요소를 반영하여 링크와 노드로 네트워크를 구축하고 네트워크 흐름 최적화 알고리즘을 이용하여 흐

름비용이 최소화되도록 유역 물 배분을 모의한다(Labadie et al., 1986; Law and Brown, 1989; Frevert et al., 1994).

K-ModSim 모형의 물수지 분석은 자연유량, 생·공·농업

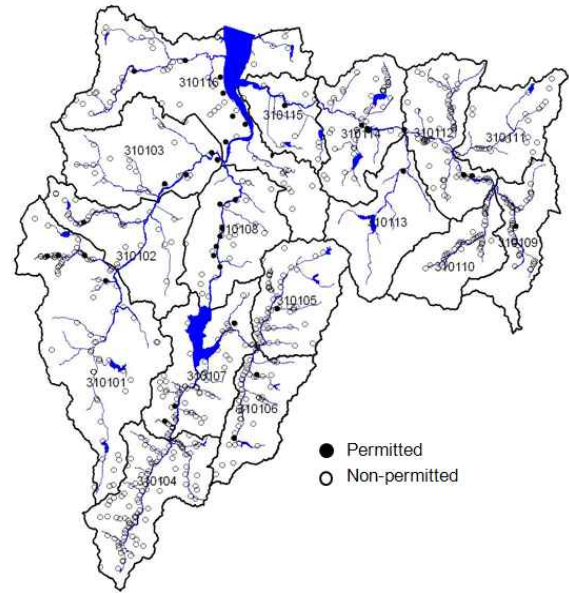


Fig. 2. Distribution of Permitted and Non-permitted Water Use Facilities in Sapgyo Catchment.

Table 1. Permitted Water Use Facilities in Major Streams of Sapgyo Catchment

Stream	Total		Intake Station		Pumping Station		Diversion Weir		Infiltration Gallery		Other Facilities	
	No.	VPW (m ³ /s)	No.	VPW (m ³ /s)	No.	VPW (m ³ /s)	No.	VPW (m ³ /s)	No.	VPW (m ³ /s)	No.	VPW (m ³ /s)
Sapgyo Stream	38	3.685	2	0.151	22	2.522	7	0.974	1	0.035	6	0.003
Gokgyo	9	1.793	-	-	6	0.783	1	0.974	1	0.035	1	0.001
Muhan	13	0.704	2	0.151	6	0.552	3	0.000	-	-	2	0.001
Sapgyo	16	1.188	-	-	10	1.187	3	0.000	-	-	3	0.001

VPW, Volume of Permitted Water; Data Source, Report on Total Water Right Survey (Anseong and Sapgyo Streams) (MLTM, K-water, 2010).

Table 2. Non-permitted Water Use Facilities in Major Streams of Sapgyo Catchment

Stream	Reservoir		Pumping Station		Diversion Weir		Infiltration Gallery	
	No.	Available Reservoir Capacity (m ³)	No.	Pumping Capacity (m ³ /s)	No.	Water Intake (m ³ /s)	No.	Yield (m ³)
Total	145	153,589	192	27.687	219	8.453	112	123,554
Gokgyo	45	18,408	52	2.625	87	2.911	65	67,310
Muhan	65	55,977	70	4.244	84	1.775	35	46,865
Sapgyo	35	79,204	70	20.818	48	3.767	12	9,379

Data Source, Report on Total Water Right Survey (Anseong and Sapgyo Streams) (MLTM, K-water, 2010).

용수 수요량, 유지유량, 광역상수도에 의한 송수량 등 우리나라 물수지 분석시 사용되는 대부분의 자료를 그대로 적용할 수 있는 장점이 있으므로, 본 연구에서는 K-ModSim 모형의 물수지 분석 기능을 활용하였다. 또한 용수수요에 대한 공급은 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지유량의 순으로 우선순위를 설정하여 공급되도록 하였다.

2.2.4 유역내 농업용 저수지를 고려한 물수지 네트워크 구성

농업용 저수지는 일반적으로 농업용수를 공급하는 단일목적으로 설치된 대표적인 농업용 수리시설이다. 우리나라의 농업용 저수지는 대부분 1940~1960년대에 축조되고 지형적인 여건과 농경지 분포가 매우 영세하여 저수지 규모가 작은 실정이다. 그러나 소유역별로 중소규모의 농업용 저수지가 많이 있는 경우, 이들 저수지에 의한 저류효과를 무시할 수 없다. 또한 유역 내 산재한 농업용 저수지는 댐의 입지가 부족한 지역에서 기존의 소규모 농업용 저수지의 재개발을 통해 농업용수 공급뿐만 아니라 지류 중소하천의 건천화를 방지할 수 있는 주요한 수자원 확보방안으로 검토될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 농촌지역의 주요한 용수공급시설인 농업용 저수지의 공급능력을 고려하여 물수지 분석

을 수행할 수 있도록 삼교천 수리권 전수조사에서 위치가 파악된 144개 농업용 저수지를 대상으로 표준유역별 확보 가능한 하천수량을 산정하였다. 삼교천 유역 내 저수지 중 농어촌공사에서 관리하는 40개의 저수지가 전체 유효저수량의 91.4%를 차지하고 있으며, 예당저수지의 경우 전체 유효저수량의 50.8%를 차지하고 있다. 여러 개의 작은 저수지를 하나의 큰 저수지로 가정하면 각 저수지의 운영방식을 고려하는 데는 한계가 있지만, 원활한 분석을 위하여 An et al. (2009)의 방법에 따라 표준유역별로 속해있는 총 저수지의 유효저류량과 유역면적을 합산하여 하나의 합성저수지로 가정하여 분석하였다. 단, 예당저수지는 독립적으로 입력하였으며, 삼교천방조제는 삼교천 유역의 최하류에 위치하고 있어 저류량을 고려하지 않았다.

본 연구에서는 저수지를 전량 농업용수로만 사용한다고 가정하였다. 또한 소규모 농업용 저수지의 운영은 관행적 경험에 의존하므로 운영 방식에 대한 정보가 부족하고 표준유역별 하나의 가상저수지로 통합하여 적용하였으므로 합성저수지의 운영방식을 설정하는데 어려움이 있다. 따라서 저수지 운영방식은 평상시에는 저류되고 농번기시 물 부족이 발생하는 경우 용수를 공급한다고 설정하였다. Table 3에 삼교천 유역의 표준유역별 저수지 분포 및 현황에 대하여 나타내었다.

Table 3. Agricultural Reservoir Data in Sub-catchments of Sapgyo Catchment

Sub-catchment		No. of Reservoirs	Irrigation Area (km ²)	Reservoir Area (km ²)	Reservoir Capacity (1,000 m ³)
Index	Name				
310101	Upper Sapgyo Stream	14	11.89	1.99	5,041
310102	Guman	3	2.59	0.39	1,238
310103	Middle Sapgyo Stream	2	0.43	0.09	113
310104	Upper Muhan Stream	35	8.01	0.66	2,820
310105	Hwasan Stream	4	2.85	0.29	1,595
310106	Sinyang Stream	10	4.24	0.45	1,782
310107	Yedang Dam	10	76.50	11.12	47,424
310108	Lower Muhan Stream	8	6.33	0.48	2,417
310109	Upper Gokgyo Stream	1	0.03	0.00	5
310110	Pungseo Stream	2	0.18	0.02	12
310111	Cheonan Stream	12	1.83	0.52	1,914
310112	Middle Gokgyo Stream	12	3.67	0.48	1,150
310113	Onyang Stream	4	11.44	1.16	6,998
310114	Kangcheong	9	12.91	1.86	6,389
310115	Lower Gokgyo Stream	3	2.20	0.60	1,432
310116	Sapgyo Seawall	15	92.00	23.01	71,206
Total		144	237.11	43.13	151,536

3. 결과 및 토의

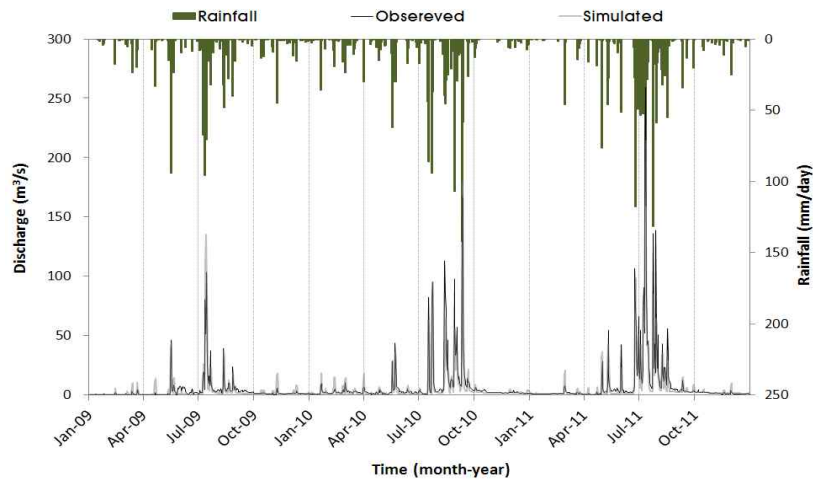
3.1 강우-유출모형의 보정·검증 및 표준유역별 자연유량 산정

본 연구에서 SSARR 모형의 보정은 주요 매개변수인 토양 흡윤 상태별 유출률(SMI), 침투량별 지하수 유입률(BII), 지표수-복류수 분리비(S-SS)를 기반으로 하였으며,

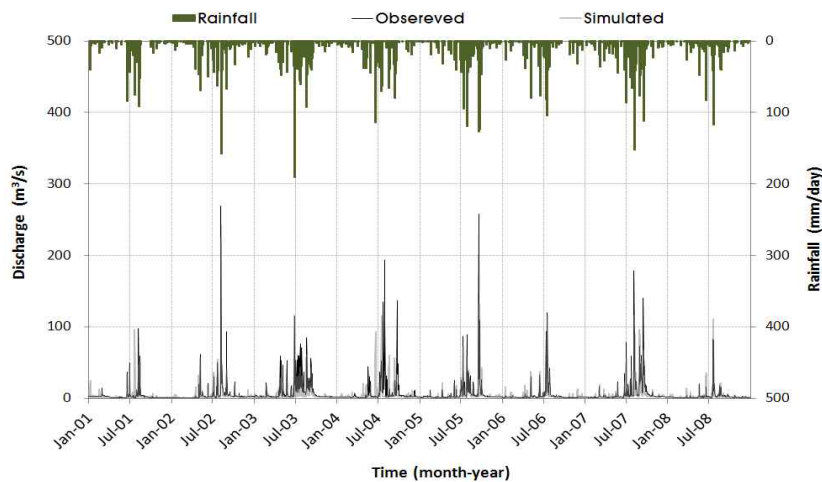
전체 모의 기간인 2001~2011년까지 기간 중 관측 자료가 보다 양호한 2009~2011년까지에 대하여 유출모형의 매개변수를 추정하는 보정기간으로 활용하였으며, 유출모형 보정된 매개변수들을 적용하여 2001~2008년까지의 8개년에 대하여 모형의 검증을 실시하였다. Table 4에 SSARR 모형의 보정된 주요 매개변수 값들을 요약하였으며, Fig. 3에 수촌 수위관측지점을 대상으로 검·보정 기간에 대하여

Table 4. Calibration Results of SSARR Model for Sapgyo Catchment

Parameters		Estimated Values						
SMI-ROP	SMI	0	1	2	3	4	10	100
	ROP	47	57	61	61	89	100	100
BII		0	1	1.5	2	2.5	3	100
		34	20	11	10	10	10	10
S-SS		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
		0	0.06	0.39	0.89	1.39	1.89	2.39



(a) calibration : 2009~2011년 year



(b) verification : 2001~2008 year

Fig. 3. Comparison of Observed and Simulated Discharges at Suchon Monitoring Station

관측유량과 모의유량을 비교하였다. Fig. 4에서는 수촌지점에서 보정기간 동안 관측-모의 유출량의 적정성을 검토를 하였으며 R^2 값이 0.86으로 연중 유출량을 양호하게 모의하고 있음을 알 수 있다. 검증기간에는 R^2 값이 0.54로 다소 낮게 나왔으며, 이러한 결과는 매개변수 보정의 한계와 함께 부정확성과 유량관측 값과 용수이용 자료에 기인한다고 판단된다. SSARR 모형을 이용하여 표준유역별로 산정한 11개년(2001~2011년) 동안의 일별 자연유량은 표준유역별 물수지를 모의하는데 사용되었다.

3.2 수리권 전수조사 자료를 이용한 표준유역별 용수이용량 산정

Tables 1 and 2에 제시된 바와 같이, 삽교천 내 하천수 허가사용량 중 양수장과 취수보가 95%를 차지하여 허가 사용량의 대부분을 구성함을 알 수 있다. 하지만 하천내 유량을 파악하기 위해서는 허가량이 아닌 실제 용수사용량이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 하천수를 사용하는 허가시설물의 용도 및 관리기관에 따라 생활용수, 공업용수, 농업용수로 구분하고, 실취수량 보고 자료를 이용하여 용수용도에 따른 각 취수시설의 하천수 사용량을 도출한 후, 표준유역별로 용수 사용량을 합산하였다. 생·공용수의 회귀수는 해당유역내 설치된 하·폐수종말처리장을 통한 방류량으로 대체하였으며, 농업용수의 회귀율은 수자원장기종합계획과 하천수사용허가를 위한 물수지분석시 사용되는 35%로 적용하였다.

허가이외 하천수 사용량은 허가시설과 마찬가지로 시설물의 관리기관에 따라 용도를 구별하였으며 삽교천 유

역내 모든 허가이외 시설물의 관리기관은 농어촌공사와 지자체로써 검토되었다. 허가이외시설물은 사전조사와 현장조사를 병행하여 조사한 “수리권 시범조사(안성천·삽교천수계)보고서”를 인용하였다(Tables 1~2). 조사된 시설물은 농업용수로 사용을 하고 있기 때문에 허가이외 시설에서 사용하는 하천수는 전량 농업용수로 이용한다고 가정하였다. 하천수 사용시설물 중 관거와 집수암거는 타 유수사용시설에 비해 상당히 낮은 기여율을 갖고 있어 양수장과 취수보만의 시설용량을 고려하여 용수사용량을 추정하였다. 허가이외 시설물의 경우 실취수율 자료가 없으므로 동일 유역내 하천수 허가시설의 용도별 취수율과 같다고 가정하였으며, 회귀율은 허가시설과 동일하게 35%로 적용하였다.

농업용수는 관개기(4~9월)에만 사용되며, 생·공용수 사용량은 홍수통제소에서 하천수사용실적관리시스템(RAS)으로 관리하는 허가수리권이므로 연중 일정하다고 가정한다. Table 5에 수리권 전수조사 자료를 이용한 용도별 하천수 사용량 산정결과를 표준유역 단위로 나타내었다. 삽교천에서 사용되는 총 용수량은 2,209천 m^3 /일로 이중 농업용수가 차지하는 비율이 98%로 압도적인 비율을 차지하고 있으며, 이중 허가이외 농업용수의 비율이 83%를 차지하고 있다. 이는 농업용수 이용량보다 38% 많은 수치로, 허가이외 농업용수 사용량 관리가 필요함을 반영한다.

3.3 삽교천 유역의 표준유역별 시·공간적 물수급 평가

Fig. 5는 K-ModSim 모형을 이용한 물수지 네트워크

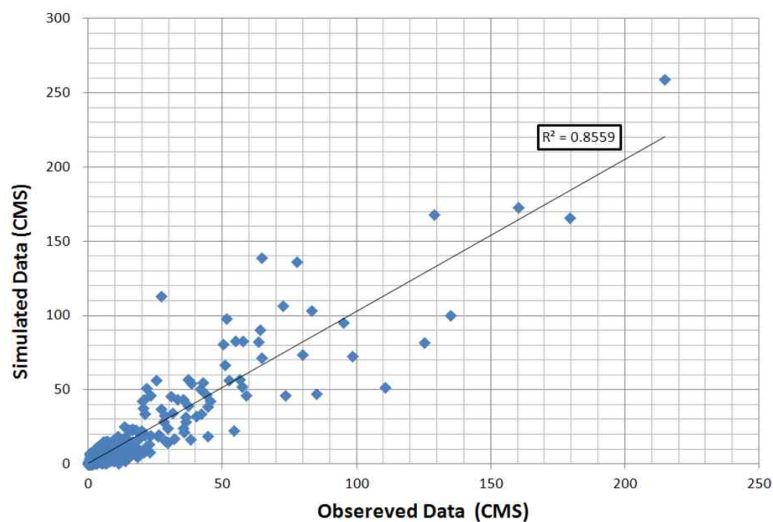


Fig. 4. Linear Fit of Observed and Simulated Discharges at Suchon Monitoring Station for Calibration Period (2009~2011)

Table 5. Summary of Water Uses in Sub-catchments based on Total Survey of Water Right Data
(Unit: 1,000 m³/day)

Sub-catchment		Water Use			
		Domestic Permitted	Industrial Permitted	Agricultural Permitted	
Index	Name	Permitted	Permitted	Permitted	Non-permitted
310101	Upper Sapgyo Stream	-	-	43.26	207.27
310102	Guman	-	-	34.30	164.33
310103	Middle Sapgyo Stream	-	-	44.12	211.42
310104	Upper Muhan Stream	-	-	7.28	34.91
310105	Hwasan Stream	-	-	17.4	83.38
310106	Sinyang Stream	-	-	7.48	59.88
310107	Yedang Dam	3.02	-	31.75	80.35
310108	Lower Muhan Stream	10.02	1.04	31.36	161.22
310109	Upper Gokgyo Stream	-	-	11.88	56.94
310110	Pungseo Stream	-	-	5.07	24.28
310111	Cheonan Stream	-	-	5.84	279.94
310112	Middle Gokgyo Stream	18.06	-	6.28	48.12
310113	Onyang Stream	-	-	7.52	43.11
310114	Kangcheong	-	8.29	31.50	159.24
310115	Lower Gokgyo Stream	-	-	18.41	88.21
310116	Sapgyo Seawall	-	-	28.09	134.61
Total		31.1	9.33	331.54	1,837.21

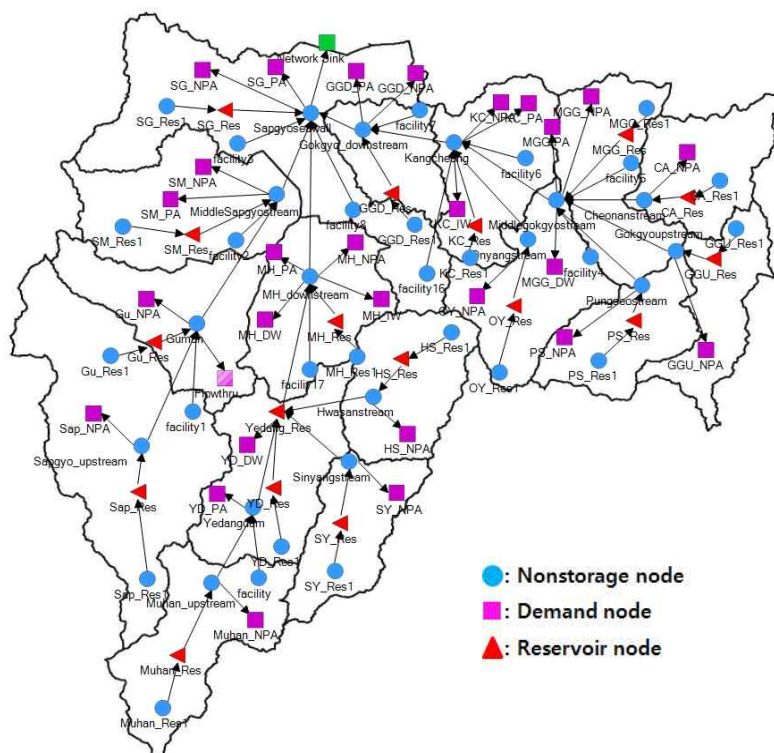


Fig. 5. Water Balance Network Based on Total Water Right Survey Data in Sapgyo Catchment

를 도시한 그림으로, 비저류 노드를 이용한 유입량, 수요 노드를 이용한 용도별 용수요구량, 저수지노드를 이용한 저수량을 고려하여 표준유역별 물수지 네트워크를 설계하였다. 보령댐과 대청댐 등으로부터 유입되는 유역의 하천수 유입량 및 지방상수도 취수량은 유역 내에서 사용된 후 하수처리장을 통해 방류되므로 회귀량으로 합산하였다. 또한 용수 수요에 대한 하천수 공급 순서는 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지유량의 순으로 공급되도록 하였다. 생·공·농업용수 수요량 공급시에는 허가이외시설보다 허가시설의 공급이 우선시 되도록 하였으며, 하천유지유량의 경우 삼교천 유역내 현 고시지점은 없으나 「자연·사회 환경 개선을 고려한 권역별 하천유지유량 평가 산정 및 확보방안(금강권역)」(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)에서 수촌 지점에 대해 산정된 하천유지유량 결과를 적용하여 물수지 분석을 수행하였다.

K-ModSim을 이용하여 2001~2011년 동안의 삼교천 유

역의 물수지를 분석한 결과, 해당유역에서 연간 총 347백만 m³의 하천수가 필요하며, 2009년의 물부족량이 73만 m³으로 가장 크게 나타났다. 물부족량은 삼교천 유역 16개 표준유역 중 곡교천 상류 표준유역(310109)에서만 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 곡교천 상류 표준유역의 용수이용량은 유역의 총 용수이용량의 약 3.1%만을 차지하고 있으므로 용수이용량이 물부족을 야기한다고는 판단하기는 힘들며 유역내 수자원 공급량에 영향을 받는 것으로 분석된다.

Table 6과 Fig. 6에 월별(4~8월) 물부족량을 연도별로 구분하여 제시하였다. 곡교천 상류 표준유역에서 발생하는 물부족은 유역 전체의 총 수요량 대비 0.11%에 불과하지만 이중 관개기(4~9월)에 발생하는 농업용수가 차지하는 비율이 98%로 압도적인 비율을 차지하였으며 이중 허가이외의 농업용수 비율이 83%로 분석되었다. 비관개기에는 물부족이 발생하지 않아 본 유역에서 농업용수 수요

Table 6. Comparison of Yearly Water Shortage in Upper Gokgyo Stream Sub-catchment considering Permitted and Non-permitted Water Uses (Unit: 1,000 m³/day)

Month	Demand of Water	Water Shortage											
		Permitted only	Both Permitted and Non-permitted										
			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Apr.	346,576	0	92.2	204.4	59.6	173.4	143.7	67.9	106.2	92.2	310.1	68.6	78.7
May	346,576		100.4	66.2	69.8	90.0	342.4	79.7	62.0	85.7	166.4	71.8	57.3
Jun.	346,576		57.4	83.0	67.3	201.3	51.8	72.4	72.1	77.9	218.2	93.9	56.9
Jul.	346,576		36.2	38.5	-	32.5	-	14.8	27.6	38.9	20.7	66.8	-
Aug.	346,576		16.0	16.2	-	50.1	-	40.4	-	4.4	16.2	25.9	-
Total		0	302.3	408.4	196.8	547.3	537.9	275.1	268.0	299.1	731.6	327.0	192.9

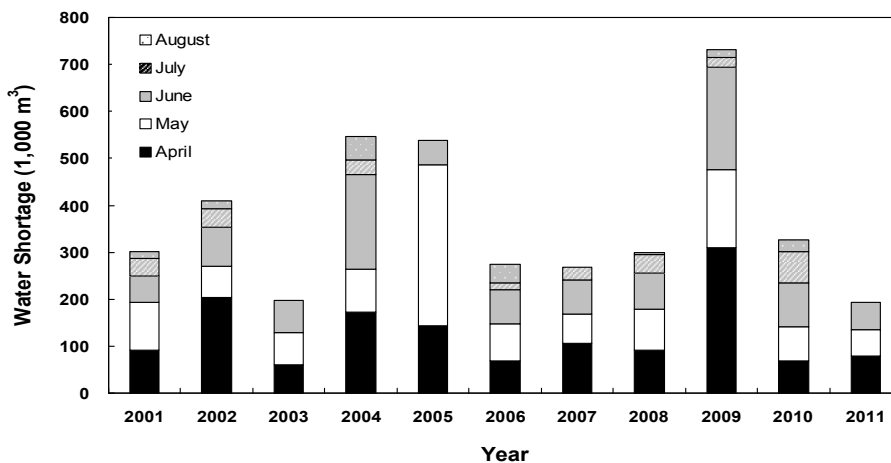


Fig. 6. Yearly Water Shortage in Upper Gokgyo Stream Sub-catchment (310109)

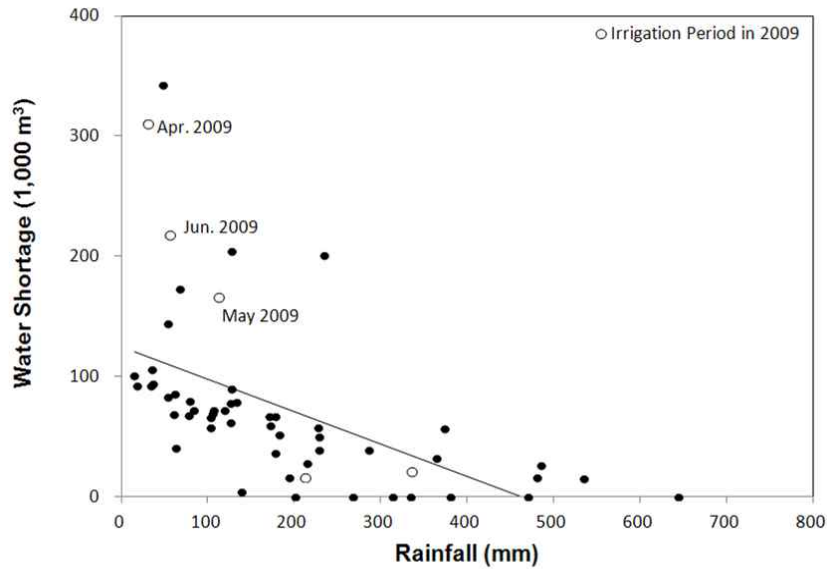


Fig. 7. Relationship between Water Shortage and Rainfall in Sapgyo Catchment

가 용수 부족에 미치는 영향의 대부분을 차지함을 확인할 수 있었다. 특히 농업용수 수요가 발생하는 4~5월의 물 부족량이 연간 총 물부족량의 평균 63%를 차지하여 상대적으로 큰 비율을 나타내었다.

농용수 사용량과 강수량은 기본적으로 반비례 관계에 있으며(Moon et al., 2009), 본 연구지역은 예당평야가 위치한 전형적인 논농사지역으로, Fig. 7에 제시한 바와 같이 물 부족량과 강수량은 반비례 관계를 보이고 있다고 판단할 수 있다. 가장 물부족량이 많았던 2009년 관개기의 경우 4~6월의 강수량과 높은 반비례 관계를 보이고 있으며, 특히 곡교천 상류 표준유역에는 타 표준유역에 비해 수량공급방안인 농업용 저수지가 매우 부족하여 물 부족이 발생하는 것으로 예상된다. 농업용수 사용은 일정 기간 동안 집중적으로 사용되며, 선행 강우량이나 재배 작물의 종류에 따라 사용량의 변화가 크다. 또한 같은 지역이라 하더라도 연별 사용량의 변이가 큰 것이 특징이다. 이와 같은 이유로 농업용수 실사용량을 파악하기가 쉽지 않으며, 관행수리권을 포함한 허가이외 수리권의 비율이 높아 농업용수 이용시설에 대한 통계자료의 축적이 절실히 필요하다.

반면, 전체 모의기간 동안 허가시설에 의한 용수사용량만 고려하였을 경우에는 삼교천 16개의 표준유역 전체에서 물부족이 발생하지 않았다. 기존의 물수지 분석에서는 허가이외 수리권에 의한 하천수 사용량을 고려하지 않았으므로 물부족을 과소평가할 가능성이 있다. 따라서 농업용수 사용량이 많은 지역에서 허가이외 하천수 사용물량

을 고려함으로써 지역별 물부족량을 보다 정확하게 파악할 수 있을 것이라 생각된다.

4. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 삼교천 유역에서 시공간적 물부족을 분석하는 것이다. 먼저 SSARR 모형을 이용하여 유역유출 모의를 실시하고, 그 결과를 활용하여 K-ModSim을 이용한 삼교천의 표준유역별 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석에서는 허가 하천수 이용량은 물론 허가이외 수리권까지 모두 고려하여 유역내 물이용 현황을 파악한 수리권 전수조사 자료를 이용하여 삼교천의 표준유역별 물수지 분석을 수행하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 2001년부터 2010년까지의 강우 및 유량 관측자료를 이용하여 수행한 SSARR 모형의 검보정 결과 보정 기간에는 R^2 값이 0.86으로 높았으나, 검정 기간에는 0.55로 다소 낮게 나타났다. 검정 기간동안에 R^2 값이 낮은 이유는 매개변수 보정의 한계와 함께 부정확성과 유량관측 값과 용수이용 자료에 기인한다고 판단된다.
- 2) 활용된 수리권 전수조사 자료는 하천수 사용 허가시설물과 문서화되지 않은 허가이외 시설물을 모두 조사함으로써 기존의 허가수리권 뿐만 아니라 기득수리권까지 포함하는 수리권 관리기반을 마련하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 허가이외 시설물에 의한 농업용수 사용량이 전체 하천수 이용량의 80%

이상을 차지하는 것으로 나타나, 기득수리권 관리가 시급한 것을 알 수 있다.

- 3) K-ModSim을 이용한 물수지 분석에서는 삼교천 16개 표준유역 중 곡교천 상류에서만 물부족이 예측되었으며, 2009년 관개기 농업용수 사용으로 인한 물부족량이 가장 많은 것으로 분석되었다. 특히 강수량이 부족하고 이양용수가 많이 사용되는 4~5월에 집중되는 것으로 나타났다. 곡교천 상류에서만 관개기 농업용수 사용에 의해 물부족이 발생하는 것으로 나타나, 삼교천 유역의 물 부족율이 매우 낮은 것으로 보아 유역내 물부족은 심각하지 않은 수준임을 알 수 있다.
- 4) 그러나 물부족 발생은 용수 이용량보다 유역내 수자원 공급량에 영향을 받는 것으로 분석된 바, 신규 수자원 확보가 점차 어려워지고 기후변화 등으로 인한 봄철 가뭄이 심화되는 상황에서 향후 물부족을 예방하기 위한 효율적인 수자원 활용방안이 필요할 것이다.

본 연구의 결과는 하도구간별 수자원 부족량을 파악함으로써 극심한 가뭄시 수리권조정이나 지류하천의 건천화 방지를 위한 우선순위 선정방안을 마련하는데 있어 기초연구자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

- An, S.R., Park, K.A., Shin, Y.H., and Kim, S.J. (2009). "Development of Assessment Technique for Hydrological Drought of Agricultural Reservoirs and Their Water Supply Capacity : For Geum River Basin." *2009 Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 825-843.
- Cheon, B.T. (1999). "A Study on Japanese River Law, the Water Rights System." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 32, No. 2, pp. 9-17.
- Choi, Y.H. (2003). "Water Rights : Form Law to Public Administration." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 36, No. 4, pp. 71-85.
- Frevert, D.K., Labadie J.W., Larson, P.K., and Parker, N.L. (1994). "Intergration of water right and network flow modeling in the Upper Snake River Basin." *Proceedings of the 21 st annual Conference, Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, Denver, Colo., USA.
- Gwon, H.J. (2008). "Foreign water rights case: USA California 州 private use of the river water rights and water rights." *Journal of water policy, economic, Korea Water Resources Corporation*, No. 10, pp. 103-120.
- Jeong, T.S., Gang, S.U., Ko, I.H., and Hwang, M.H. (2007). "Development and Validation of KModSim for the Decision Support System in Geum River Basin." *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Chapter 27, Article No. 3B, pp. 319-329.
- Labadie, J.W., Bode, D., and Pineda, A. (1986). "Netowrk Model for decision -support in municipal raw water supply." *Water Resources Bulletin*, Vol. 22, No. 6, pp. 927-940.
- Law, J., and Brown, M. (1989). "Development of a large network model to evaluate yield of a proposed reservoir." *Computerized Decision Support System for Water managers*, ASCE, New York.
- Lee, Y.G., Bak, S.G., and Lee, J.G. (2009). "Water disputes and the need for repair to relieve power formulations—a review of civilly repair ticket regulations." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, No. 42, No. 11, pp. 51-58.
- Ministry of Construction & Transportation, Geum River Flood Control Office. (2006). Sapgyocheon water flow measurement report, the Ministry of Construction & Transportation, pp. 15-16.
- Ministry of Construction & Transportation, Korea Water Resources Corporation. (2006). Water Vision 2020, the Ministry of Construction & Transportation, pp. 211-556.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2009). Natural and social environment, considering the improved regional instream flow assessment, estimating and procurement plan (geumgang region), Transport and Maritime Affairs, pp. 126-442.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2010). Water rights Pilot Survey (Anseongcheon:Sapgyocheon water) report, Ministry of Land, Transport and Maritime

Affairs, pp. 1-344.
 Ministry of Science and Technology. (2007). Development of Basin Water Management Technology, Ministry of Science and Technology, pp. 192-219.
 Moon, J.W., Yang, S.H., and Lee, D.R. (2009). "Analysis of the Relation between Weather Conditions and

Agricultural Water Use." *2009 Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 1688-1692.

논문번호: 12-113	접수: 2012.10.16
수정일자: 2013.07.19/08.23	심사완료: 2013.08.23