

## A Water Balance Analysis for Assessing Water Demand and Supply in Administrative Districts

Hyung San Kim<sup>#</sup>, Seung Jin Maeng<sup>+</sup>, Kyeong Soo Jeon, Dong Joo Kim, Hyeon Sik Kim

Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

### Abstract

Recently, a water supply and demand analysis based on floods and abnormal droughts situation due to climate change and global warming has been regarded as the most important method to predict capacity of future water supply. In this study, K-WEAP (Korea Water Evaluation And Planing System) model was used for water balance analysis in administrative districts in Geumho river basin. The results showed that, in case of domestic and industrial water, no water deficiency was expected even during the maximum dry-season. However, for agricultural water, the scenario-based estimation anticipated water deficiency at Pohang city, during the year 2016 (548,000m<sup>3</sup>), 2020 (547,000m<sup>3</sup>) and 2025 (497,000m<sup>3</sup>). These results can be used as a reference to set a new standard on future establishment of water resource plans.

**Key words:** K-WEAP model, water demand and supply assessment, water balance analysis

### 1. 서론

우리나라는 최근의 기후변화로 인해 국지성 호우의 발생빈도가 높아짐에 따라 기존 하천유역의 능력을 초과해 저지대를 비롯한 많은 지역에서 홍수가 발생하고 있으며, 연평균 총강우량의 변화량은 적으나 폭우의 빈도가 증가하고 있어 상대적으로 가뭄의 발생기간이 길어지고 있다(Kwon, 2013).

최근 10년간 가뭄 중 1994년에 발생한 가뭄의 경우, 전국 평균 강우량이 973mm로서 예년 평균의 76.4%로 특히 여름철(6월~9월) 강우가 적어 1995년 가뭄으로

이어져 영·호남지역의 우리나라 논 재배면적 총 1,115천ha 중 13.3%인 148천ha의 농경지에 피해를 입었다(MOLIT, 1995). 1990년 이후 남부지역을 중심으로 봄철에 만성적으로 가뭄횟수가 증가하고, 여름철에는 태풍과 집중호우가 빈번하게 발생함으로써 가뭄 및 홍수로 인한 피해가 늘어나고 있는 실정이다(K-water, 2002). 특히 2015년은 전국적으로 강수량이 평년에 비해 절반 수준에도 미치지 못해 소양강댐의 수위가 EL. 154.26m로 1973년 댐 준공 이후 역대 최저 수위를 기록하였다.

이러한 기상변화에 의한 물순환의 변동은 미래 가용

<sup>#</sup> The 1st author: Hyung San Kim, Tel. +82-42-870-7482, e-mail, [kamakim486@hanmail.net](mailto:kamakim486@hanmail.net)

<sup>+</sup> Corresponding author: Seung Jin Maeng, Tel. +82-43-261-2576, e-mail, [maeng@cbnu.ac.kr](mailto:maeng@cbnu.ac.kr)

수자원량을 변화시키고, 미래의 극심한 홍수 및 가뭄을 야기할 뿐만 아니라 수자원 환경에 큰 영향을 미칠 것이다(Kim, 2013). 이에 따라 우리나라는 1965년부터 수자원의 효율적인 배분 및 관리를 통하여 경제 발전과 국민 복지를 향상시키고, 가뭄·홍수 등 자연재해로부터 국민생활을 안전하게 보호하기 위해 K-WEAP(Korea Water Evaluation And Planing System) 모형을 활용하여 장기수자원계획 수립방향을 제시하고 있다.

수자원장기종합계획(2011)에서는 물수급계획을 위해 전국 용수수요 발생지역 및 4대강 유역을 감안하여 중권역 단위로 물수지 분석을 실시하여 용수수급 전망을 제시하고 있다. 그러나 물수지 분석시 전유역을 하나의 기준으로 설정할 때 해당 지자체의 물수지를 구체적으로 산정하기 어려우며(Jeong, 2003), 물부족의 지역적 분포와 특성을 이해하기 곤란하다. 이를 보완하기 위해서는 물수지 분석시 '소유역별 구분'이 절차상 우선시 되어야 하며 분석 기본 유역 단위에 따른 수자원 부족량을 비교·평가하는 연구가 필요할 것이라 판단된다.

기존의 수자원장기종합계획에서는 소유역 구분을 중권역 단위로 구분하여 물수지 분석을 실시하였으나, 본 연구에서는 행정구역단위로 세분화하여 물수지 분석을 실시하고자 한다. 또한 중권역단위 물수지 결과와 행정구역단위 물수지 결과 비교를 실시하여 분석 기본 유역 단위에 따른 물수급을 평가하였다. 본 연구를 통한 결과는 현재 수립되어 시행되고 있는 수자원계획에 대한 개선방안을 위한 기초자료로 활용될 것이며, 미래의 수자원계획을 수립하는데 있어 새로운 기준을 제시할 수 있는 근거자료로 활용되어질 것으로 판단된다.

## II. 이론적 특성 분석

물수지 분석을 위해서는 강우-유출 모형에 의한 자연유출량 설정이 우선되어야 하며, 산정된 자연유출량을 네트워크 모형에 적용하여 물수지 분석을 수행하여야 한다. 따라서 본 절에서는 강우-유출모형과 물수지 분석 모형에 대한 특성을 간략히 서술하고자 한다.

### 1. 강우-유출 모형

#### 1) 모형의 선정

장기 유출 모형으로는 NWSRFS-SMA(NWS River Forecasting System-Soil Moisture Account) 모형, SSARR 모형, TOPMODEL, TANK 모형 등이 주로 사용되고 있다. 그 중 TANK모형은 Sugawara가 최초 개발 이래로 지속적으로 보정이 이루어지고 있는 집중형 모형으로서 모형 매개변수의 수가 많고, 이들을 시행착오에 의해서 결정하므로 직감과 경험에 의존할 수밖에 없는 단점이 있지만 계산법이 명확하고 유출기구가 수문현상을 잘 재현한다는 점에서 모형의 객관성을 인정받고 있다(官原正巳, 1972). TANK 모형은 기존 선행된 수자원장기종합계획 수립시 적용되어 왔던 모형으로 지금까지 유출분석에 적용되며, 문제점과 다양한 방법들을 제시되는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 확정론적 수문모형 중 행정구역 중심으로도 적용이 가능하다고 사료되는 경험적으로 결정된 함수를 이용하는 개념적 모형인 TANK 모형으로 선정하였다.

#### 2) TANK 모형

TANK 모형은 일본의 Sugawara에 의해 최초로 제안된 모형으로 임의의 집수유역을 여러 개의 저류형 탱크로 모의하여 강우-유출 과정을 모형화 하였다(官原正巳, 1972). 하천유출과 관련된 일종의 개념적이고 종합형 모형으로 하천의 지배유역이 보다 복잡한 경우 유역전체를 하나의 일체형으로 가상하여 모형화하는 방법이 보다 효율적이므로 탱크모형의 이점을 최대한 이용할 수 있다. 주로 일본과 동남아 각국에서 널리 이용되고 있으며, 우리나라 저수지 물관리에 이용되는 유출 모형이다.

### 2. 물수지 모형

#### 1) 모형의 선정

우리나라에 실시된 초기 물수지 분석은 1977년 건설교통부에서 소개된 방법으로 주로 절차 중심언어를 사용한 전산 프로그램으로 수행되었다. 절차언어 중심 분

석 방법의 단점을 개선하고자 물수급 분석을 위한 네트워크형 모형이 도입되었다(Kim, 2013).

네트워크 모형은 복잡한 유역과 용수공급 시스템을 노드와 링크로 구성되는 네트워크로 도식화하고 네트워크 알고리즘으로 최적화함으로써 수자원계획에 필요한 하천수 공급량, 소유역별 물부족량 계산과 이를 이용하여 용수공급 우선순위 조정, 신규 수자원개발 규모를 결정할 수 있다(Ahn, *et. al.*, 2006).

수자원계획 도구로 국·내외에서 여러 가지 방법이 제시되어 왔으나, 여러 방법들 중 수자원의 계획과 분석의 모든 절차를 종합적으로 가능하게 해주는 도구는 흔치 않다. 본 연구에서는 용수수급 네트워크와 공급우선순위시스템을 기반으로 선형계획법에 의해 모의되며, 수자원장기종합계획(2011)에서 이용된 통합수자원 평가계획 모형인 K-WEAP(Korea Water Evaluation And Planing System) 모형을 선정하여 물수지 분석을 실시하고자 하였다.

## 2) K-WEAP 모형

K-WEAP 모형은 한국건설기술연구원과 SEI-B(Stockholm Environment Institute, Boston Center)와의 공동연구로 기존의 SEI-B에서 개발된 WEAP에 기반을 두고 개발되었으며 우리나라의 특성에 맞는 모의형태개선 및 평가방법개선, 한글화 등을 통한 재개발로 국내 적용성을 높인 통합수자원계획모형이다. K-WEAP 모형의 모태가 되는 WEAP은 초기 SEI(Stockholm Environment Institute)의 지원에 의하여 1988년에 개발이 시작되어 현재에 이르기까지 20년 이상 지속적으로 연구 개발되고 있는 수자원계획 전문 모형이다(Water Evaluation And Planning, 2016). 그 동안 USACE-HEC(US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center)의 지원으로 많은 부분이 보완되었고 지금은 UN, World Bank, USAID(United States Agency for International Development)와 Global Infrastructure Fund of Japan 등 많은 세계기관으로부터 지원을 받고 있으며 미국과 멕시코 중

국, 중앙아시아, 아프리카, 이집트, 이스라엘, 인도 등 세계 여러 지역에 적용되고 있다.

물수지 분석의 기본 원리를 기반으로 운영되는 K-WEAP 모형은 분석대상 지역으로 도시지역과 농업 지역, 단일소유역이나 복잡한 하천유역의 물수요-공급 시스템에 적용할 수 있다. 또한, K-WEAP 모형은 용수 목적별 수요량분석, 물절약, 수리권과 배분 우선순위, 지하수와 하천유량모의, 저수지운영, 수력발전, 오염물질 추적, 생태계 필요수량분석과 같은 광범위한 부분의 실무문제들을 다룰 수 있다.

## III. 대상유역 및 연구방법

### 1. 대상유역 개황

본 연구에서는 우리나라에서 강우량이 상대적으로 작게 발생하는 낙동강 중·상류 유역 중 금호강 유역을 분석대상으로 선정하였다. 금호강 유역은 낙동강유역 동쪽인 동경 128°26'38"~129°12'25", 북위 35°42'5"~36°14'15" 사이에 위치한 유역이며, 동쪽으로는 태화강 유역과 북쪽으로는 임하댐 중권역, 위천 중권역과 접하며, 서쪽으로는 낙동구미 중권역과 남쪽으로는 밀양강 중권역과 인접하고 있다. 대상유역의 유역면적은 2,092.42km<sup>2</sup>, 유로연장은 118.99km, 유역평균폭은 17.55km, 형상계수는 1.32이고, 유역형태는 수지상이며, 평균고도는 EL. 235.35m이다(WAMIS, 2015). 금호강 유역도는 <Figure 1>과 같다.

### 2. 물수지 분석을 위한 유역 분할

금호강 유역은 경상북도 영천시, 경산시, 포항시, 칠곡군 및 대구광역시, 경주시를 포함한다. 영천시는 905.07km<sup>2</sup>로 유역의 43.25%, 대구광역시는 516.75km<sup>2</sup>로 유역의 24.70%, 경산시는 394.92km<sup>2</sup>로 유역의 18.87%, 포항시는 145.54km<sup>2</sup>로 유역의 6.96%, 칠곡군은 128.88km<sup>2</sup>로 유역의 6.16%를 차지한다. 경주시 면적은 1.26km<sup>2</sup>로 전체 유역의 0.06%로 용수사용량이 미비하여 본 연구 대상유역에서 제외하였다.

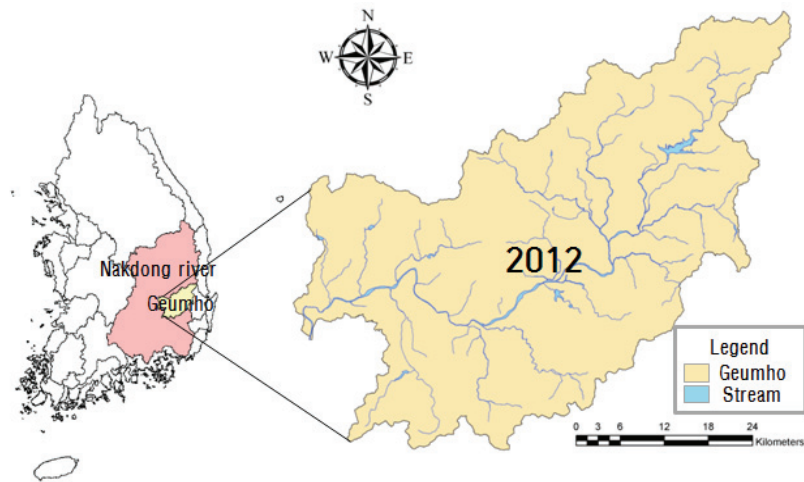


Figure 1. Geumho basin



Figure 2. Geumho basin division

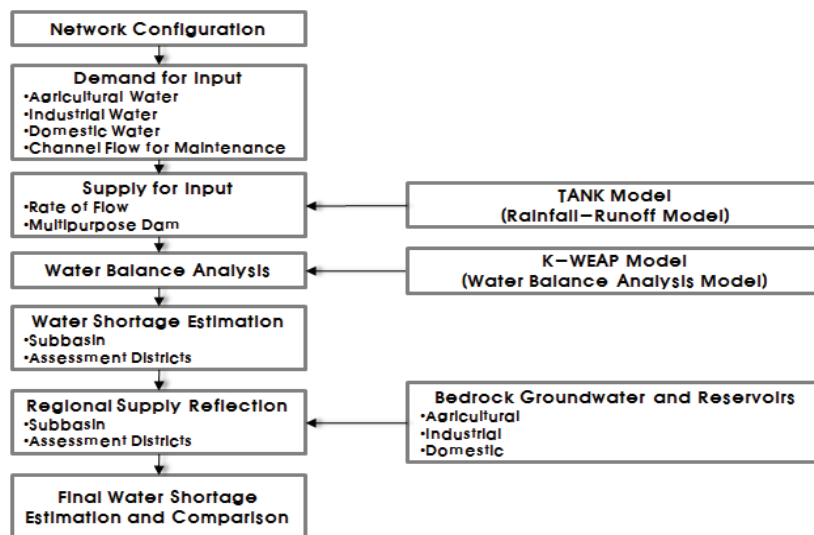


Figure 3. Study flow chart

본 연구에서는 금호강 유역의 용수 수요량에 따른 물 수지 분석의 적용을 위하여 행정구역에 따라 5개 행정 구역으로 분할하였으며, 분할된 유역도는 <Figure 2>와 같다.

### 3. 연구방법

본 연구에서는 행정구역으로 세분화시킨 금호강 유역의 물수지 분석을 위해 <Figure 3>의 절차에 따라 연구를 수행하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 용수 공급량 산정

#### 1) 중권역별 자연유출량 산정

기상청, 국토교통부 및 한국수자원공사는 낙동강수계 내에서 기상관측을 시행하고 있다. 본 연구에서는 대상유역의 유출량 산정을 위해 국가 수자원관리종합정보 시스템(Water Management Informaion System,

WAMIS)에서 강수량 자료를 수집한 후, 수문특성조사를 위해 전국유역조사 통계·분석보고서(MOLIT, 2013)에서 제시된 티센계수에 의해 면적평균 강수량을 산정하고 강우-유출모형인 토양수분 저류구조 TANK모형을 활용하여 1966~2014년 총 49년 기간의 자연유출량 자료를 모의하였다. 토양수분 저류구조 TANK모형의 매개변수는 수자원장기종합계획(MOLIT, 2011)에서 활용되어지는 SCE-UA 알고리즘에 의해 추정하였으며, 매개변수 추정이 어려운 지역은 매개변수 지역화방법을 적용하여 기 추정된 6개 지점들로부터 선정하여 적용시켰다. 그 결과는 <Table 1> 및 <Table 2>와 같다.

자연유출량은 <Table 2>에 제시된 매개변수와 중권역별 유역평균 강수량, 증발산량을 이용하여 산정하였으며, 1967~2014년의 중권역 유역별 연 평균 유출률은 <Table 3>과 같다.

본 연구의 대상유역을 대상으로 1967~2014년 기간의 연평균 유출률을 분석한 결과 <Figure 4>와 같다.

Table 1. Parameter estimation for each subbasin

Parameter Subbasin	A2	A1	A0	B1	B0	C1	C0	D1	HA2	HA1	HB	HC
Andong	0.67317	0.10000	0.15672	0.11301	0.19500	0.03999	0.02564	0.00040	40	15	0	0
Imha	0.74103	0.10000	0.10000	0.19999	0.18111	0.03875	0.02202	0.00018	40	15	0	0
Hapcheon	0.40428	0.10072	0.16176	0.09599	0.18413	0.01194	0.03923	0.00063	40	15	0	0
Namgang	0.58523	0.11407	0.08869	0.05716	0.04237	0.00363	0.00147	0.00024	40	15	0	0
Miryang	0.68935	0.11909	0.15827	0.19999	0.13356	0.04000	0.01969	0.00023	40	15	0	0
Yoengcheon	0.73965	0.10000	0.15000	0.19595	0.17464	0.03946	0.02242	0.00025	40	15	0	0

\* A2 : 1st upper tank runoff coefficient, A1 : 1st lower tank runoff coefficient, A0 : 1st tank infiltration coefficient, B1 : 2nd tank runoff coefficient, B0 : 2nd tank infiltration coefficient, C1 : 3rd tank runoff coefficient, C0 : 3rd tank infiltration coefficient, D1 : 4th tank runoff coefficient, HA2 : 1st upper tank runoff height, HA1 : 1st lower tank runoff height, HB : 2nd tank runoff height, HC : 3rd tank runoff height

※ Source : Water resources plan, 2011

Table 2. Parameter estimation of basin according to middle watershed units

Basin	Subbasin	Middle watershed units
Nakdong river	Andong	2001, 2013, 2401
	Imha	2002, 2008, 2403
	Hapcheon	2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017, 2019, 2020, 2022, 2101, 2301, 2302, 2501
	Namgang	2016, 2018, 2503, 2504
	Miryang	2021
	Yoengcheon	2012, 2402

※ Source : MOLIT, 2011

Table 3. Annual average flow rate of basin

Middle watershed units	Rainfall* (mm)	Flow rate* (%)	Middle watershed units	Rainfall* (mm)	Flow rate* (%)	Middle watershed units	Rainfall* (mm)	Flow rate* (%)
2001	1,106.7	52.8	2012	1,052.6	58.1	2101	1,097.0	50.6
2002	979.0	57.8	2013	1,205.8	55.2	2201	1,250.5	60.4
2003	1,036.9	50.8	2014	1,138.6	52.8	2301	1,383.6	53.4
2004	1,160.4	51.4	2015	1,270.7	51.3	2302	1,465.2	52.9
2005	1,219.0	51.4	2016	1,267.3	60.8	2401	1,081.1	55.2
2006	1,162.5	51.2	2017	1,174.2	52.6	2402	1,044.3	51.8
2007	1,077.0	53.5	2018	1,477.7	58.8	2403	1,111.4	56.1
2008	1,006.1	58.8	2019	1,362.2	53.4	2501	1,559.2	53.1
2009	1,002.0	50.8	2020	1,197.0	52.5	2502	1,783.6	52.2
2010	1,075.7	52.0	2021	1,185.7	58.5	2503	1,641.7	60.9
2011	1,033.5	52.4	2022	1,353.9	54.5	2504	1,399.5	60.0

\* Average value of data (1967~2014)

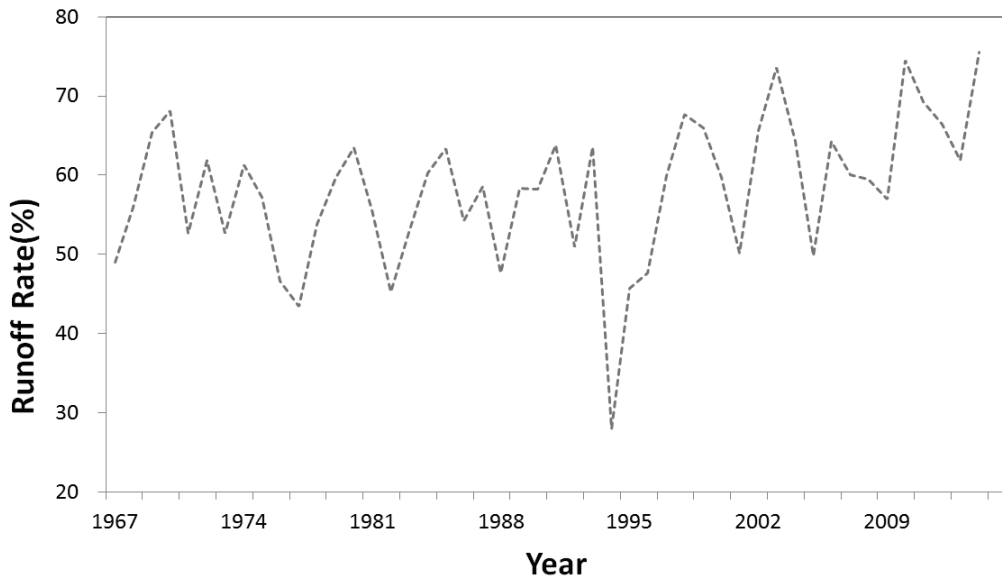


Figure 4. Annual average flow rate of Geumho river basin

〈Table 3〉에서와 같이 낙동강 유역 중 최대 유출률인 60.9%를 나타내는 유역은 2503유역이며, 최소 유출률인 50.6%를 나타내는 유역은 2101유역으로 분석되었다. 본 연구의 대상유역인 금호강(2012) 유역의 유출률은 58.1%로 낙동강 수계에서 8번째로 큰 유출률을 나타내고 있다.

〈Figure 4〉를 살펴보면 최대 가뭄년인 1994년 유출률은 28.0%로 분석기간(1967~2014년) 평균 유출률인 58.1%보다 30.1% 적게 산정되었다. 또한, 1967~1994년 기간 동안의 유출률 변화폭이 비교적 일정하나, 1994년 이후에는 가뭄 주기가 점점 짧아지고 변화폭이 급격하게 변화하는 경향을 보였다.

2) 기타 공급원

농업용 저수지로부터 공급되는 유량의 경우 금호강 유역 내 한국농어촌공사 및 시군에서 관리하고 있는 농업용 저수지 현황을 시군별로 정리한 후, 한국농어촌공사 댐 운영규정에 따라 농업용수 공급은 각 저수지의 유효저수량을 시군별 용수 공급량으로 설정하였으며, 결과는 〈Table 4〉와 같다.

암반 지하수량은 지하수조사연보(MOLIT, 2004)를 이용하여 각 행정구역별 이용량을 산정하였으며, 결과는 〈Table 5〉와 같다.

Table 4. Irrigation Reservoirs in Geumho river basin

Division	Basin area (ha)	Maximum water surface area (ha)	Available reservoir storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
Daegu	24,996	178	6,067
Pohang	1,489	14	352
Yeongcheon	47,413	1,800	31,872
Gyeongsan	36,110	730	26,559
Chilgok	8,627	121	5,507
Total	118,635	2,842	70,358

Table 5. Groundwater use in Geumho river basin

Province/City	District	Agricultural (m <sup>3</sup> )	Industrial (m <sup>3</sup> )	Domestic (m <sup>3</sup> )
Gyeongbuk Province	Gyeongsan	8,778,335	23,357,792	12,788,914
	Yeongcheon	10,676,264	8,083,433	15,503,453
	Chilgok	176,806	4,969,453	3,921,352
	Pohang	1,907,046	10,642,674	3,748,498
Total		21,538,451	47,053,352	35,962,217
Daegu City	Nam-gu	20,141	-	1,230,333
	Dalseo-gu	110,224	1,484,576	1,961,569
	Dalseong-gu	2,134,733	5,273,121	2,763,510
	Dong-gu	270,027	559,069	2,220,728
	Buk-gu	592,565	9,711,250	4,004,801
	Seo-gu	5,430	1,010,738	814,733
	Sueong-gu	104,286	75,018	3,066,816
	Jung-gu	-	159,120	1,013,585
Total		3,237,406	18,272,892	17,076,075

2. 용수 수요량 산정

수자원장기종합계획에서 2016, 2020, 2025년을 대상으로 고수요, 기준수요, 저수요로 구분하여 중권역 단위로 용수수요량을 제시하고 있다. 제시된 수요량을 사용하여 물수지 분석을 실시한 결과를 통해 물 부족량에 대한 물수급 대책방안을 제시하고 있다.

본 연구에서는 수자원장기종합계획에서 중권역 단위로 제시하고 있는 2016, 2020, 2025년 기준수요 자료를 활용하여 대상유역 내 행정구역별 수요처의 생활, 공업 및 농업용수 수요량을 산정하였으며, 그 결과는 <Table 6> 및 <Table 7>과 같다.

Table 6. Domestic and industrial water supply according to scenario

Division	Domestic water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			Industrial water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
	2016	2020	2025	2016	2020	2025
Geumho river	288,594	279,270	272,905	121,531	141,168	166,724
Daegu	237,609	229,932	224,692	100,061	116,228	137,27
Pohang	0,292	0,282	0,276	0,123	0,143	0,169
Yeongcheon	15,208	14,717	14,381	6,404	7,439	8,786
Gyeongsan	34,004	32,906	32,156	14,32	16,634	19,645
Chilgok	1,480	1,433	1,400	0,623	0,724	0,855

Source : MOLIT, 2011

Table 7. Agricultural water supply according to scenario

Division	Agricultural water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
	2016	2020	2025
Geumho river	261,644	262,137	258,539
Daegu	64,655	64,777	63,888
Pohang	18,210	18,244	17,994
Yeongcheon	113,242	113,455	111,898
Gyeongsan	49,412	49,505	48,826
Chilgok	16,125	16,156	15,934

Source : MOLIT, 2011

3. 물수급 네트워크 구축

본 연구에서는 앞서 추정된 장래 물수요량 자료와 수도권비기본계획(MOLIT, 2009)에서 제시된 계획현황에 따른 광역상수도를 통한 물공급 체계를 이용하여 네

트워크를 구축하였다. 구축한 결과 각 요소별로 하천(39개), 도수(105개), 저수지(29개), 수요처(87개), 취입수로(109개), 회귀수(48개), 하천유지유량(19개) 등으로 구성되었으며, <Figure 5>는 금호강 유역에 대해

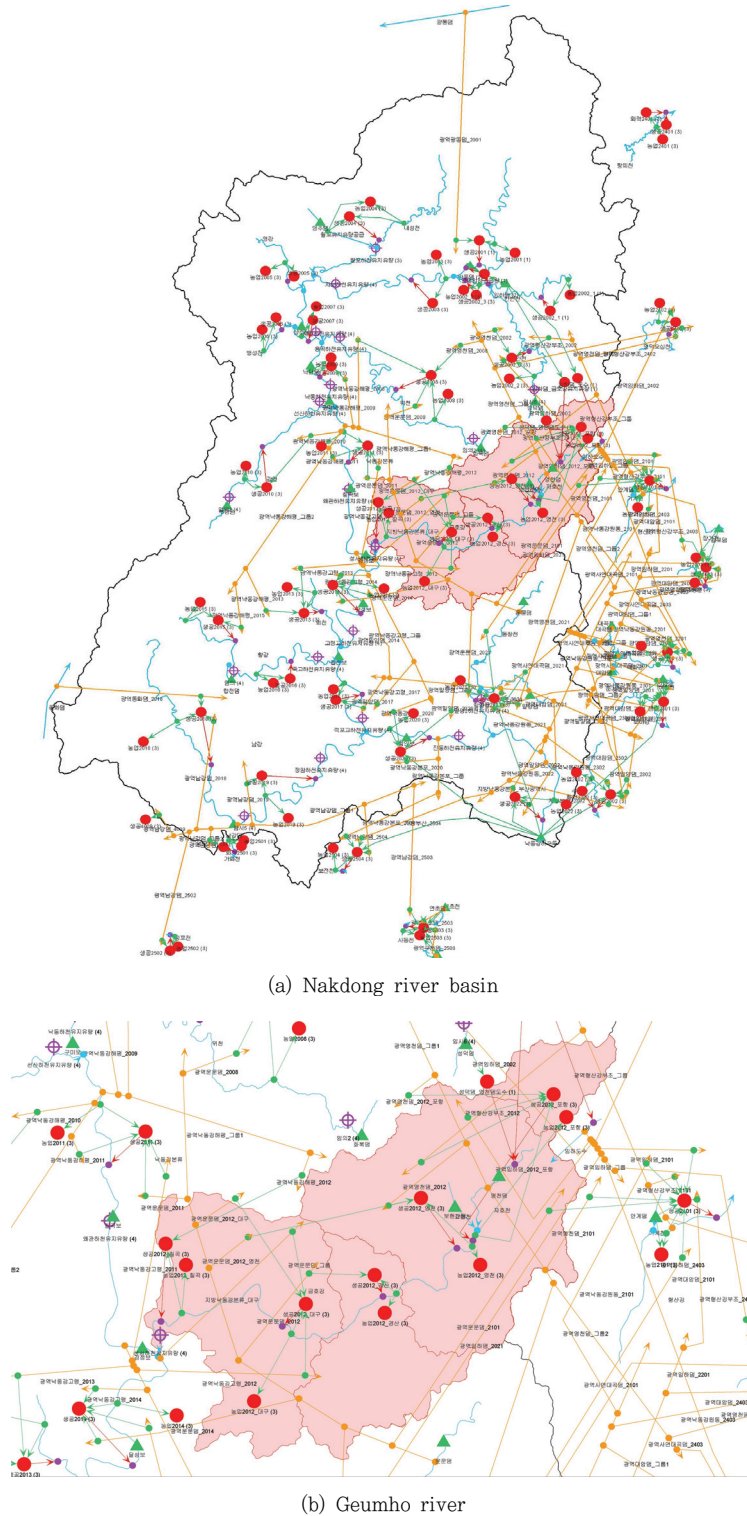


Figure 5. Construction K-WEAP model for water balance analysis

K-WEAP 모형을 이용하여 구축된 물수급 네트워크 현황을 나타내고 있다.

4. 물수지 분석

1) 행정구역 단위 적용에 따른 물수지 분석 결과 본 분석에서는 기준수요 2016년, 2020년, 2025년 수요 시나리오별로 추정된 장래 생활, 공업, 농업용수 수요량을 바탕으로 자연유출량, 다목적 댐 등, 물 공급 시설물 등을 고려하여 물수급 전망을 위한 물수지 분석

모형인 K-WEAP 모형에 반순단위(5일간격) 분석계산 단위로 1967년~2014년(48개년) 기간의 분석을 실시하였다.

최종적인 물수지 분석을 위하여 물수지 분석 결과 중 최대 물부족량이 발생한 1995년 위주로 월별 물 부족량을 산정하였다. 1995년에 발생한 월별 물부족량을 우선적으로 생·공 암반 지하수를 고려하여 최종 생공용수 물부족량을 산정하였으며, 최종 농업용수 물부족량은 농업 암반 지하수를 고려한 후 물부족이 발생되어지는

Table 8. Industrial and domestic water balance analysis according to scenario

Division		Amount of demand (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Amount of available supply (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Spare capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
2016	Geumho river	410,124	526,135	116,011
	Daegu	337,670	373,019	35,349
	Pohang	415	14,796	14,381
	Yeongcheon	21,612	44,619	23,007
	Gyeongsan	48,324	82,707	34,383
	Chilgok	2,103	10,994	8,891
2020	Geumho river	420,438	536,372	115,934
	Daegu	346,160	381,509	35,349
	Pohang	425	14,806	14,381
	Yeongcheon	22,156	45,140	22,984
	Gyeongsan	49,540	83,870	34,330
	Chilgok	2,157	11,048	8,891
2025	Geumho river	439,630	555,897	116,267
	Daegu	361,962	397,311	35,349
	Pohang	445	14,827	14,382
	Yeongcheon	23,167	46,228	23,061
	Gyeongsan	51,801	86,386	34,585
	Chilgok	2,255	11,146	8,891

Table 9. Agricultural water balance analysis according to scenario

Division		Amount of demand (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Amount of available supply (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Spare capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
2016	Geumho river	158,153	234,512	76,359
	Daegu	39,077	43,035	3,959
	Pohang	11,008	10,461	-548
	Yeongcheon	68,454	103,602	35,148
	Gyeongsan	29,868	61,984	32,115
	Chilgok	9,746	15,430	5,684
2020	Geumho river	159,188	235,592	76,403
	Daegu	39,333	43,319	3,986
	Pohang	11,080	10,533	-547
	Yeongcheon	68,901	104,060	35,159
	Gyeongsan	30,065	62,185	32,120
	Chilgok	9,810	15,494	5,684
2025	Geumho river	158,184	235,878	77,694
	Daegu	39,084	43,393	4,309
	Pohang	11,010	10,513	-497
	Yeongcheon	68,466	104,265	35,799
	Gyeongsan	29,876	62,275	32,399
	Chilgok	9,748	15,432	5,684

월에 농업용 저수지의 유효저수량을 반영하는 방법으로 농업용수 물부족량을 산정하였다. 최종적으로 산정된 물부족량은 <Table 8> 및 <Table 9>와 같다.

기준수요시나리오별 생활용수, 농업용수, 공업용수별 물수지 분석을 수행한 결과를 살펴보면 생공용수의 경우 최대갈수기에도 물 부족이 발생하지는 않는 결과를 얻었지만 농업용수의 경우는 포항시에서 2016년 548,000m<sup>3</sup>, 2020년 547,000m<sup>3</sup>, 2025년 497,000m<sup>3</sup>으로 기준수요시나리오 전체에서 물 부족이 발생하였다. 농업용수는 일부 농업용 저수지를 이용하고 하천 및 지하수를 이용하긴 하지만 최대갈수기에 하천유량이 그만큼 줄어들고, 특히 농업용수의 경우 주로 농번기(4월~6월)에만 물이용량이 많기 때문에 월별로 물 부족이 발생하였다.

2) 단위구역 및 행정구역별 물수지 분석 결과비교  
물수지 네트워크 구축에 따른 물 부족량을 비교하여 기존의 선행 물수급 전망 방법론의 개선점과 본 연구에서 적용된 방법론의 적절성을 파악하고자 중권역 단위 네트워크에 의한 물수지 분석 결과는 수요량 산정 시 활용되어진 인구비 및 면적비를 이용하여 행정구역별 물부족량을 산정하고 행정구역 단위 네트워크에 의한 물수지 분석 결과와 비교를 실시하였다. 그 결과는 <Figure 6> 및 <Figure 7>과 같다.

생공용수 물수지 분석 결과를 비교하여 본 결과 대구광역시, 칠곡군을 제외한 모든 지역에서 중권역 단위 물부족량이 행정구역 단위 물부족량보다 크게 산정되었다. <Figure 6>과 같은 결과는 중권역 단위 네트워크는 한 개의 수요처로 연결된 광역상수도 공급 가능량이 회귀되어 행정구역별 회귀수를 고려되지 않는 반면 행

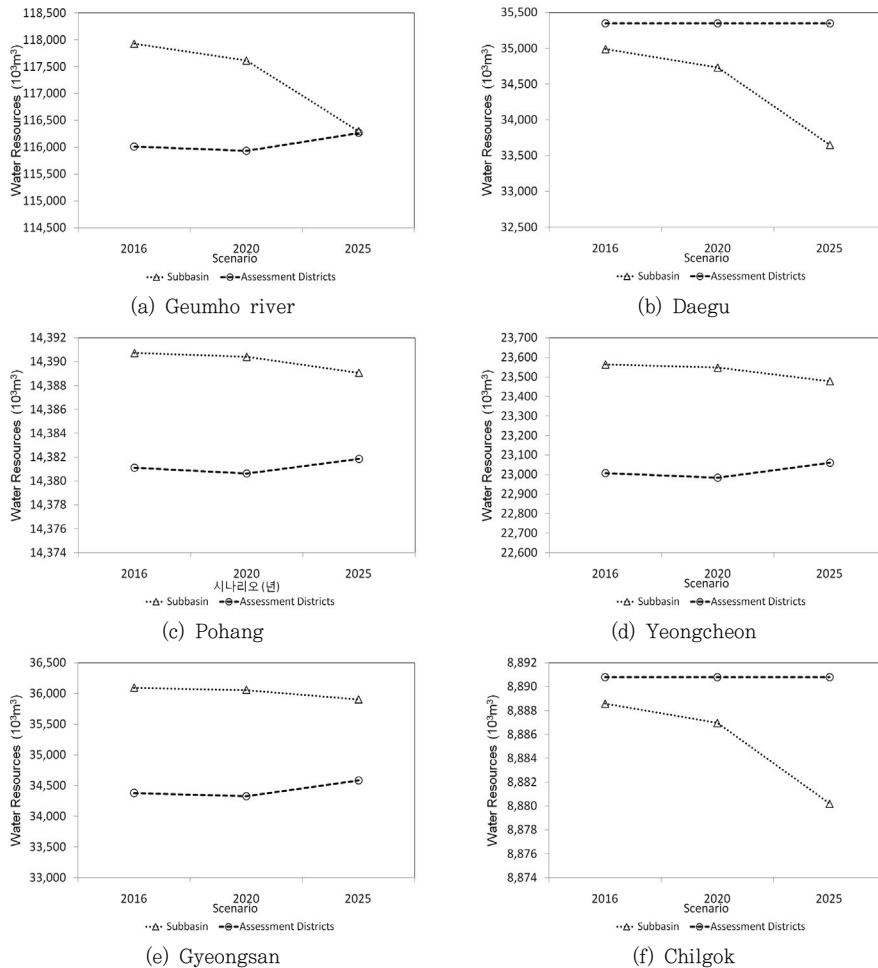


Figure 6. Comparison of domestic and industrial water balance analysis for unit basin

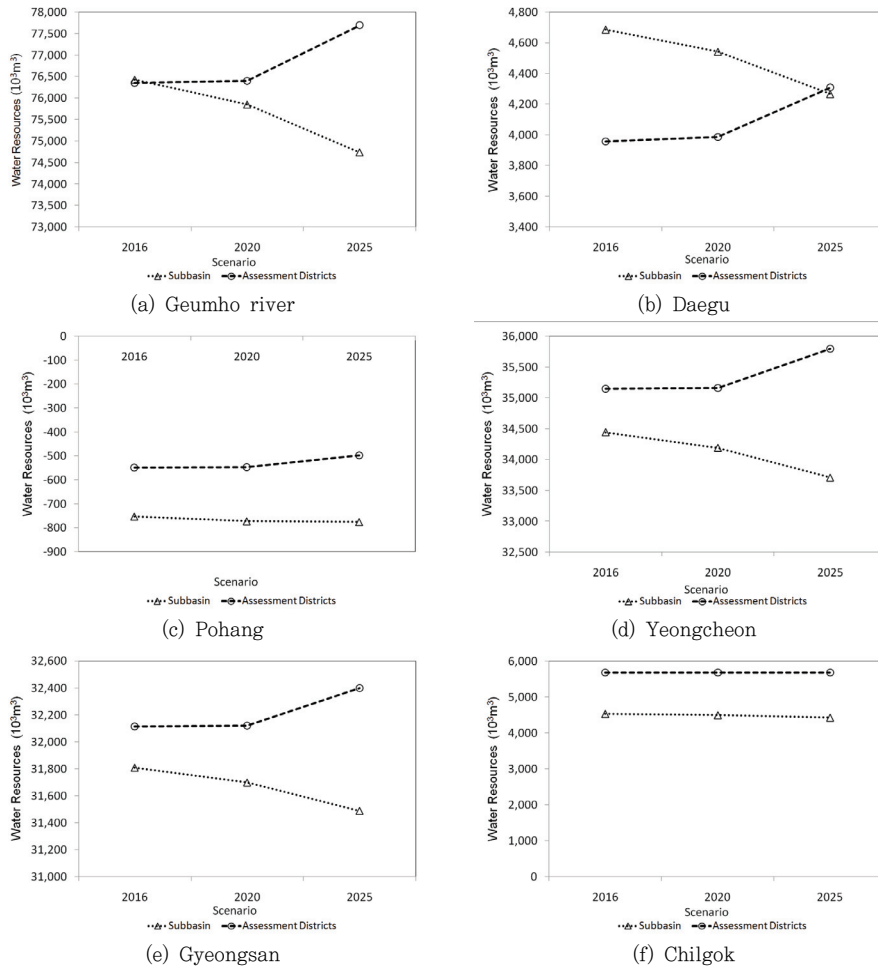


Figure 7. Comparison of agriculture water balance analysis for unit basin

정구역 단위 네트워크는 각 행정구역별 회귀지점이 연결되어 상하류에 위치한 행정구역간의 회귀수량이 고려되어진 결과라 판단된다.

농업용수 물수지 분석 결과를 비교한 결과는 중권역 단위 물부족량이 행정구역 단위 물부족량보다 적게 산정되었다. <Figure 7>과 같은 결과는 중권역 단위 네트워크 구성 시 한 개의 수요처로 연결된 광역상수도 공급 가능량이 행정구역별로 분산되어 공급되어져 물부족량이 달리 산정되는 것으로 판단된다.

### 5. 물수급 평가를 위한 고찰

이수부문 물관리의 핵심은 수요에 대응하여 필요한 물을 확보하는 것과 개발된 수자원을 어떻게 합리적으로 이용하느냐가 관건이다(Park, et. al., 2013). 수자원장기종합계획에서는 중권역 단위로 추정된 수요량에

대한 물수지 분석을 실시하여 중권역별 물수급 대책, 치수대책, 하천환경계획 등 미래 수자원 정책방향을 제시하고 있다.

본 연구의 결과는 수요처와 공급체계를 고려한 네트워크 구축에 의해 좌우된다고 판단되어진다. 결과를 기존 수립된 연구와 비교해 보면 금호강 유역을 중권역 단위로 네트워크를 구축할 경우 회귀수량이 해당유역으로 회귀하지 않고 직하류 유역으로 유사되는 것으로 분석되어 과대 또는 과소 산정되고 있다.

따라서 물수지 분석을 수행하여 물수급 계획을 수립하기 위해서는 명확한 분석 기본 유역 단위의 확립이 필요할 것으로 판단되며, 물수급 전망을 수행하기 위한 자연유량 등과 같은 공급조건과 함께 장래 용수수요 추정 자료가 필요할 것이며, 이러한 물수급 평가를 위한 분석은 가뭄재해의 특성상 정확한 발생시기와 지속기

간에 대해서는 제시할 수 없으나 미래에 발생할 수 있는 가뭄에 대한 하나의 방법론으로 제시될 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 결론

본 연구에서는 금호강 유역을 대상으로 기존의 선형 물수급 전망 방법론의 개선점과 본 연구에서 적용된 방법론을 적용한 결과를 비교함으로써 본 연구결과에 대한 적절성을 파악하고자 하였다. 이상의 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

물수지 분석 시 입력 자료로 사용되어지는 유출량은 물수급 계획에 보편적으로 사용되고 있는 강우-유출모형인 토양수분 저류구조 탱크모형에 의해 유출량을 산정하였으며, 물수급 평가를 위한 물수지 모형으로는 우리나라의 특성에 맞는 재개발로 국내 적용성을 높여 수자원장기종합계획에서 사용되고 있는 K-WEAP 모형을 선정하여 분석하였다.

물수급 네트워크는 낙동강수계 유역 간 물 이동이 매우 빈번하게 이루어지고 매우 복잡하게 이루어지고 있어 낙동강수계의 물 공급 체계를 포함하여 기본적으로 수자원 단위지도의 중권역 단위로 설정하되, 중권역 번호 2012인 금호강 유역만 행정구역 단위로 네트워크를 구축하였으며, 1967년~2014년(48개년)의 기간 동안의 분석을 실시하여 물수지 분석 결과 중 최대 가뭄년인 1995년을 위주로 월별 물부족을 계산하였다. 그 결과 생공용수의 경우 최대갈수기에도 물부족이 발생하지 않았으나, 농업용수의 경우 포항시에서 목표연도별 2016년에는 548,000m<sup>3</sup>, 2020년에는 547,000m<sup>3</sup>, 2025년에는 497,000m<sup>3</sup> 물부족량이 발생하는 것으로 분석되었다.

단위유역별 물수지 분석 결과를 비교한 결과 대구광역시, 칠곡군을 제외한 지역은 중권역 단위 물부족량이 행정구역 단위 물부족량보다 크게 산정되며, 농업용수 물수지 분석 결과를 비교한 결과는 중권역 단위 물부족량이 행정구역 단위 물부족량보다 적게 산정되었다. 이

러한 결과는 한 수요처로 연결되었던 광역상수도가 행정구역별로 나뉘어 네트워크가 구성되면서 광역상수도가 여러 행정구역으로 일부분 산재되며, 이에 따른 회귀수량의 증감에 따른 결과라 판단된다.

이상의 결과는 현재 수립되어 시행되고 있는 수자원 계획에 대한 개선방안을 위한 기초자료로 활용되어 질 것이며, 향후 기상이변으로 인한 미래 가용수자원량에 대응하는 미래의 수자원계획을 수립하는데 있어 새로운 분석 기준을 제시할 수 있는 자료로 유용하게 활용될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ahn, Sang Jin, Byong Man Choi, Hyun Gu Kwak, and Hyuk Ho Kim. 2006. An Application of River Basin Network Flow Model for Optimum Water Allocation Planning. *Journal of Korea Water Resources Association*. 365-369.
- Jeong, Jong Ho. 2003. *Water Resources Design Practice*. Gumisegwon, Inc.
- Kim, Cho Rong. 2013. Water Balance Projection in the Korean Peninsula Reflecting Climate Change Information. Ph.D. Dissertation. Seoul National University.
- Kim, Gil Ho, Seung Pyo Sun, Kyu Dong Yeo, and Hung Soo Kim. 2012. A Study on Variability of Small Hydro Power Generation Considering Climate Change. *KSCE Conference*. 932-935.
- Kwon, Jin Joo. 2013. Improvement of the Classification Standard of Drought Index for the Korean Peninsula. Master's thesis. Seokyeong University.
- K-water. 2002. *Report of Drought Management Comprehensive Countermeasures*.
- Lee, Chi Yeol. 2002. A Study on the Forecast of Long-term Rainfall-runoff Using Rank Model. Master's thesis. Honam

- University.
- Lim, Jang Hyeok. 2013. Variability Analysis of Long-term Discharge in Jeonbuk Province Under Climate Change. Master's thesis. Chonbuk University.
- MOLIT. 1995. *Report of Drought Survey*.
- MOLIT. 2004. *Annual Report of Groundwater Survey*.
- MOLIT. 2009. *Water Supply Maintenance Basic Plan*.
- MOLIT. 2011. *Report of Long Term Water Resources General Plan (2011 ~2020)*.
- MOLIT. *Appendix I for Statistics And Analysis by Watershed Survey in Korea (2012, 2013)*.
- Park, Jung Eun, Young Seok Kim, Jeong Kwon Kim, and Deuk Koo Koh. 2013. Evaluation of Spatio-Temporal Water Shortage in Sapgyo Catchment Employing Total Water Right Survey and Water Balance Analysis. *Journal of Korea Water Resources Association*. 46(10): 1005-1016.
- 官原正巳. 1972. 流出解析法. 共立出版.
- WAMIS. <http://www.wamis.go.kr>.
- KMA. <http://www.kma.go.kr>.
- WEAP : Water Evaluation And Planning. <http://www.weap21.org>
- Korean References Translated from the English*
- 건설교통부. 1995. 가뭄기록조사 보고서.
- 국토해양부. 2004. 지하수조사연보.
- 국토해양부. 2009. 수도정비기본계획.
- 국토해양부. 2011. 수자원장기종합계획(2011~2020) 수립을 위한 연구보고서.
- 국토교통부. 2013. 2012년 전국유역조사 통계·분석보고서 부록 I.
- 권진주. 2013. 국내 가뭄지수 분류기준의 개선방안 제시. 서경대학교 석사학위논문.
- 김길호, 선승표, 여규동, 김형수. 2012. 기후변화에 따른 소수력 발전량의 변동성에 관한 연구 -안흥 소수력 발전소를 중심으로-. 대한토목학회 정기학술대회논문집. 932-935.
- 김초롱. 2013. 기후변화 정보를 반영한 미래 한반도 물수급 전망. 서울대학교 석사학위논문.
- 박정은, 김영석, 김정곤, 고덕구. 2013. 수리권 전수조사 및 물수지 분석을 이용한 삼교천 유역의 시·공간적 물부족 평가. 한국수자원학회논문집. 46(10). 1005-1016.
- 안상진, 최병만, 곽현구, 김혁호. 2006. 유역의 최적 용수배분계획 수립을 위한 Network 모형의 적용. 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 365-369.
- 이치열. 2002. Tank 모형을 이용한 장기 강우-유출 예측. 호남대학교 대학원 석사학위 논문.
- 임장혁. 2013. 기후변화에 따른 전라북도 장기유출량 변동성 평가. 전북대학교 산업기술대학원 석사학위 논문.
- 정종호. 2003. 수자원설계실무. 구미서관.
- 한국수자원공사. 2002. 가뭄관리 종합대책 수립연구 보고서. 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr>.
- 기상청. <http://www.kma.go.kr>

Received: Mar. 31, 2016 / Revised: Apr. 21, 2016 / Accepted: Apr. 25, 2016

## 행정구역 중심의 물수급 평가를 위한 물수지 분석

국문초록 최근 우리나라뿐 아니라 세계 여러 국가에서 지구온난화와 기상이변의 이유로 홍수 및 이상가뭄이 빈발하고 있다. 기상변화에 의한 물순환의 변동은 미래 가용수자원량을 변화시킨다. 본 연구에서는 금호강 유역을 대상으로 기존 수자원장기종합계획에서 제시하고 있는 중권역 단위 물수지 분석을 행정구역단위로 세분화하여 수자원장기종합계획에서 사용했던 물수급 네트워크 모형인 K-WEAP 모형에 의한 물수지 분석을 실시하였다. 또한, 중권역 단위 물수지 분석 결과와 행정구역단위 물수지 분석 결과를 비교하여 분석 단위에 따른 물수급 평가를 실시하였다. 그 결과, 생공용수의 경우 최대 갈수기에도 물부족이 발생하지 않았지만 농업용수의 경우는 포항시에서 2016년에는 548,000m<sup>3</sup>, 2020년에는 547,000m<sup>3</sup>, 2025년에는 497,000m<sup>3</sup> 물부족량이 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 물수급 전망 방법론을 적용한 경우와 비교했을 때와 상이한 산정결과를 보여주었다. 본 연구에서 제시할 분석 방법은 미래의 수자원계획을 수립하는데 있어 새로운 분석 기준을 제시할 수 있는 자료로 활용될 것이다.

주제어 : K-WEAP 모형, 물수급 평가, 물수지 분석

- Profiles **Hyung San Kim** : Obtained a doctor of engineering degree in “Estimating probable annual maximum daily streamflow on climate change” (February, 2015) from Chungbuk National University, currently he is working as a researcher at the Korea Water Resources Corporation(kamakim486@naver.com).
- Seung Jin Maeng** : Obtained a doctor of agriculture degree in “Estimation of design flood by the determination of best fitting order of LH-Moments” (February, 2002) from Chungbuk National University, currently he is working as professor in Chungbuk National University. The main areas of research are statistical hydrology, development of rainfall-runoff model, and area of hydrological data measurement, current activities include director society of agricultural engineering, the editorial board member in Journal Korea Water Resources Association(maeng@chungbuk.ac.kr).
- Kyeong Soo Jeon** : Obtained a master of agriculture degree in “Water Balance Analysis for Water Demand and Supply Assessment of Administrative Districts” (February, 2016) from Chungbuk National University, currently he is working as researcher in Chungbuk National University(kangssoo@cbnu.ac.kr).
- Dong Joo Kim** : Obtained a master of agriculture degree in “Derivation of Design Flood by L-Moments and LH-Moments in GEV distribution” (August, 2000) from Chungbuk National University, currently he is studying doctor degree in Chungbuk National University(cop7042@ekr.or.kr).
- Hyeon Sik Kim** : Obtained a doctor of agriculture degree in “Development and Application of Watershed Sediment Transport Process Using Distributed Rainfall-Runoff Model” (August, 2015) from Chungbuk National University. Currently working at the K-water national drought information center(hyeonsik@kwater.or.kr).