

# 직상류 계측유량경계조건과 분포형모형을 이용한 대규모 다목적댐 홍수유입량 산정

홍석현\* · 강부식\*\*

Hong, Sug-Hyeon\*, Kang, Boosik\*\*

## Flood Inflow Estimation at Large Multipurpose Dam using Distributed Model with Measured Flow Boundary Condition at Direct Upstream Channels

### ABSTRACT

The inflow estimation at large multipurpose dam reservoir is carried out by considering the water balance among the discharge, the storage change during unit time interval obtained from the observed water level near dam structure and area-volume curve. This method can be ideal for level pool reservoir but include potential errors when the inflow is influenced by the water level slope due to backwater effects from upstream flood inflows and strong wind induced by typhoon. In addition, the other uncertainties arisen from the storage reduction due to sedimentation after the dam construction and water level noise due to mechanical vibration transmitted from the electric power generator. These uncertainties impedes the accurate hydraulic inflow measurement requiring exquisite hydrometric data arrangement for reservoir waterbody. In this study, the distributed hydrologic model using UBC-3P boundary setting was applied and its feasibility was evaluated. Finally, the modeling performance has been verified since the calculated determination coefficient has been in between 0.96 to 0.99 after comparing with observed peak inflow and total inflow at Namgang dam reservoir.

**Key words** : Backwater effect, Distributed rainfall-runoff model, Multipurpose dam inflow, Uncertainty, Water stage-capacity curve

### 초 록

대규모 다목적댐 지점의 유입량 산정은 수위-저수용량곡선에 댐 축에서 측정된 수위를 적용하여 시간당 저수량변화를 계산한 후 방류량을 감안하여 산정하고 있으나, 이 방법은 태풍 등 대규모 홍수 시에는 급격한 유입량 증가로 인한 배수위 및 강한 바람 등의 영향으로 저수지내의 수위가 균일하지 않아 유입량 산정 시 오차 원인이 되고 있다. 이 외에 기존 수위-저수용량 곡선 방법에 의한 유입량 계산 시 문제점인 댐건설 이후 유입 퇴사로 인한 저수용량의 변화, 댐 지점에서의 수위관측의 불균일성 등 다양한 불확실성이 존재하므로 이에 대한 오차 규명이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 저수지 유입량 분석시 분포형 강우유출모형을 이용한 UBC-3P 기법을 적용하여 모형의 모의능력을 평가하였다. 최종적으로 기존 유역내 유입량 관측치와 비교한 결과 Peak유량과 Total유량에서 결정계수가 0.82~0.99 사이값을 나타내므로 댐 지점에서의 모형의 적합성을 확인하였다.

**검색어** : 배수효과, 분포형 강우-유출모형, 다목적댐 유입량, 불확실성, 수위-저수용량곡선

\* 정희원 · 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 (Dankook University · [daengul@gmail.com](mailto:daengul@gmail.com))

\*\* 정희원 · 교신저자 · 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Corresponding Author · Dankook University · [bskang@dankook.ac.kr](mailto:bskang@dankook.ac.kr))

Received May 7, 2015/ revised July 2, 2015/ accepted July 11, 2015

## 1. 서론

다목적댐 저수지에서의 정확한 유입량 산정은 저수지의 관리 및 운영 조작 상 필수적인 사항으로서 이수측면에서는 저수지의 물수지 분석, 치수측면에서는 홍수조절을 위한 의사결정 정보제공에 있어서 매우 중요한 의미를 갖고 있다. Korea Water Resources Corporation (이하 'KOWACO')는 90년대 후반 다목적댐에서의 유입량 산정에 있어서의 문제점을 인식하고 이의 해결을 시도하였다(KOWACO, 1999). 일반적으로 저수지 유입량은 일정시간 동안의 저수지수위변화를 관측하고 수위-용적곡선을 활용하여 산정하는 것이 일반적이다. KOWACO (1999)에서는 다양한 원인으로 인하여 발생하는 저수지 수위의 변동과 이를 통해서 발생하는 유입량 수문곡선 상에서의 상당한 진폭과 주기성분을 갖는 잡음(noise)을 문제점으로 지적하고 있었다. 또한 관측주기를 크게 설정하게 되면 음의 유입량 값이 발생할 수도 있음을 경고하였다. 이러한 문제점은 이후의 연구자들에 의해서도 공통적으로 지적되고 있다(Kim, 2003; Noh et al., 2008a, b, Noh and Shin, 2003, Park et al., 2009). 동 보고서를 통해서 저수지 유입량 산정식의 부적절성을 지적하고 구조적 대책으로 기존 수위계의 적정성을 검토하고, 복수의 수위계를 설치하여 다중 관측하는 방법을 제시하였고, 동시에 비구조적 대책으로 홍수기에 유입량의 이동평균과 역방향 이동 및 예측자-수정자 방법을 통해서 유입량의 평활화 기법을 제시하고 유입량 산정 알고리즘을 제시하였다. 하지만 제시된 기법은 상대적으로 잡음의 보정효과가 크게 나타나는 비홍수기를 대상으로 하였다.

오래전에 건설된 다목적댐의 경우 건설당시 여수로 수문의 수리모형실험결과가 남아있지 않은 경우가 많고, 수위-유량곡선의 신뢰성이 낮아 여수로의 실제방류량의 오차가 유입량 산정에 영향을 미치는 경우가 흔히 발생한다. 남강다목적댐의 경우 과거 남강댐 보강 설계 시에는 사천만 방수구가 Orifice로 설계되었으나, 공사시 월류형 Orifice로 구조변경 되어 이때 수위-유량곡선의 자료를 수정하였고 수리모형은 당초 원안에 대해서만 실시하여 보다 정확한 수위-유량곡선을 알 수 없기 때문에 여수로의 실제방류량을 정확히 산정하기 어렵고, 이에 따라 유입량자료의 신뢰성이 의문이 지적되는 경우가 있다. K-water (2008)는 남강댐 수력발전소 현대화 타당성 조사 및 기본계획에서 Tank 모형을 이용해서 관측유입량의 부정확성을 확인하고 이에 대한 보정방법을 제시하였다. Tank모형은 설계실무에서 흔히 사용하는 유출모형이긴하나 개념적 모형이고 주로 홍수량산정과 장기유출에 모두 사용될 수 있지만 따라서 매개변수의 정확한 검토가 어려운 모형이다.

현재까지 국내에서 이루어진 유입량 개선연구는 저수지 계측수위의 평활화 및 수위보간, 방류량 이동평균 등의 조합에 따른 댐유입량의 개선기법이 주로 제시되어 왔다(Kim, 2003; KOWACO, 1999,

Noh et al., 2008a, b, Noh and Shin, 2003). 하지만 Hwang et al. (2008)은 저수지 수면경사를 반영하기 위하여 용담댐을 대상으로 저수지 중방향을 따라 4개의 수위관측소를 통해서 계측한 수위값을 유입량산정에 활용하여 저수지의 수면경사를 고려하여 다지점에서의 저수지 대표수위값의 사용을 통하여 유입량산정의 개선을 이루고자 하였다. 이어서 Park et al. (2009)은 기존의 1cm단위의 계측한계를 넘어서 1mm단위의 계측을 통하여 유입량산정을 개선하고자 시도하였으나 홍수파의 유입 시 발생하는 배수곡선의 영향이 유입량산정에 미치는 영향을 배제하는 데는 한계가 있는 시도였다.

한편 외국에서는 수문모델링을 위하여 최근의 위성원격탐사로 확보된 통합공간정보의 활용이 활발해 지고 있다(Gupta, 2002). 이를테면 토지이용 및 강우모니터링(Li, et al., 2012), 지표면온도(Crow and Wood, 2003), 지표면 지질(Ticehurst et al, 2006), 토양수분(Vivoni et al, 2008), 식생(Bormann, 2007), 지형 및 수리학적 조도계수(Aberle and Smart, 2003) 등이 있다. 이들 기법들은 충분히 미래지향적 기법들이지만, 현재로서는 충분히 검증되지 못할 경우 상당한 오차를 나타낼 수 밖에 없는 한계를 보이고 있다. Sarmiento et al. (2010)는 TRMM의 수문관측자료와 GIS를 이용하여 필리핀 Magat저수지의 유입량을 산정하여 했으나 기법의 적용가능성에 만족할 수 밖에 없었다.

본 연구에서는 기존에 저수지 유입량산정기법으로 활용되어온 수위관측과 수위-용적곡선의 활용을 통한 유입량산정이, 강풍을 동반하거나 비정상성 부동류특성이 지배적인 홍수유입상황에서 상당한 불확실성을 수반할 수 있음을 지적하며 이를 개선하기 위한 수문학적 유입량 산정기법을 제시하고자 한다. 최근의 GIS기법과 시공간적 변동성분을 반영할 수 있는 분포형 강우-유출모형의 조합을 통하여 유입량산정의 개선에 효과적으로 적용되었다.

본 연구의 성과는 댐 유역면적에 비해서 상대적으로 저유역량이 적은 남강댐에 국한하여 비정상적인 홍수유입 상황 사에 문제점을 제기한 것이니만큼 타 수계 대응량 증소용량의 다양한 시나리오에 대해서 본 연구에서 제시한 동일한 문제점이 내포되는지 확인이 필요할 것으로 사료되며, 홍수기 특히 강풍을 동반한 태풍 등의 기상 상황 시 유역 내 강우량 대비 댐지점 유입량값의 적정치 분석에 대해서 보다 다양한 접근방법을 찾을 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 다목적댐 저수지의 유입량 산정 방법

저수지유입량의 산정은 유역 및 저수지의 규모, 기상수문학적 특성, 계측자료의 가용성, 유입량의 규모 등에 따라 여러 가지의 산정기법이 가능하다. 특히 평강수시 유입량 산정은 저수지 물수지 방정식의 활용이 대표적인 방법이 될 수 있다. 물수지방정식을 구성하는 경우 저수지의 수표면적이 수위에 따라 심한 변화를 보이는 경우에는 체적으로 구성하는 것이 유리하지만, 그렇지 않은

경우에는 간편하게 수심으로 구성하기도 한다. 단위시간당 저수지의 물수지방정식은 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V = W_I - W_O - (W_E + W_G) + W_R \quad (1)$$

여기서  $\Delta V$  : 저류량의 변화

$W_I$  : 지표수 유입량

$W_O$  : 방류량

$W_E$  : 저수지 수면 증발량

$W_G$  : 침투량

$W_R$  : 저수지 수표면에 발생하는 강우량

Eq. (1)로부터 시간  $t$ 까지의 저수지 유입량은 아래 Eq. (2)로부터 산정될 수 있다.

$$W_I(t) = \int_0^t w dt \quad (2)$$

$$= \int_0^t \frac{\partial V}{\partial t} dt + \int_0^t w dt + \int_0^t \frac{\partial (W_E + W_G)}{\partial t} dt - \int_0^t \frac{\partial W_R}{\partial t} dt$$

홍수기간중의 증발 및 침투량의 변화와 저수지 수표면의 강우량을 무시한다면 Eq. (2)는 Eq. (3)과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$W_I(t) = \int_0^t w dt = \int_0^t \frac{\partial V}{\partial t} dt + \int_0^t w dt \quad (3)$$

댐운영률로부터 여수로에서의 방류량을 알 수 있다고 가정한다면 결국 유입량은 저류량의 변화로부터 산정될 수 있고, 실제 현장에서의 저수지유입량은 저수지의 수위변화를 계측하고 수위-용적곡선으로부터 Eq. (3)의 우변을 계산하여 산정하는 방법을 사용하는 것이 일반적이다.

Eq. (3)의 주 입력요소는 강우, 지표수 유입량으로, 강우는 보통 저수지 주변과 인근에 위치한 관측소로부터 추정하며, 지표수 유입량은 지표유입량에 따라 상당한 차이가 있어 정확한 관측과 측정을 통해서 산정되어야 하지만 지표유입부에 수위관측소가 없거나 저수지로부터 상당한 거리상의 이격이 있을 경우 실제 저수지 유입량에 있어서 무시할 수 없는 오차가 발생하기도 한다. 또한 저수지 수면에서의 증발손실과 침투손실은 정확히 계측하기 어려운 수문량이기 때문에 결과적으로 저수지유입량은 강수량, 댐 지점에서의 계측수위변화와 저수지 수위-용적곡선을 이용한 저수지 저류량 변화 그리고 수문방류량 측정을 통해서 간접적으로 산정되고 있다. 미계측 소유역에 대한 점 유량의 지역화시에도 상당한 오차가 발생하게 된다. 또한, 홍수 시에는 바람 및 배수위 등의 영향으로

수위 변동에 따라 유입량이 음의 값을 보이기도 하다. 평상시 및 이주시 저수지 운영을 위한 유입량 산정시 많은 경우에는 발전방류나 취수 또는 증발만 고려하므로 장시간 동안 수위의 변화가 없는 경우, 유입량이 영이거나, 혹은 경우에 따라 음의 값으로 산정되기도 한다. 저수지 수위관측 오차를 유발하는 원인으로 수위 관측지점의 부적절성이 지적되고 있다. 우리나라 다목적댐에 설치된 대부분 수위계의 설치지점이 취수 등 특정목적에 의하여 특정구조물에 부착되어 설치됨에 따라 주변 발전설비의 기계적 진동이 계측수위에 직접영향을 미치고 있어 관측오차를 유발하고 있다.

따라서 이러한 수위에 있어서의 정밀계측의 어려움과 강풍 및 홍수류의 유입에 따른 배수곡선의 형성을 수리학적으로 정밀하게 산정해 내는데 있어서의 현실적인 한계를 극복하고자 본 연구에서는 분포형 강우-유출모형을 이용하여 수문학적으로 댐유입량을 산정하고 기존의 수위 관측방법으로 산정된 유입량에 대해 비교분석을 시행하여 유입량 관측기법의 적정성을 규명하고자 한다.

### 3. 대상유역 및 수문학적 유입량산정 모형의 구축

#### 3.1 대상유역

다목적댐의 홍수유입량에 대해서 실제 값에 근접한 산정치출도를 높이고자 남강댐 유역을 대상유역으로 본 연구를 수행하였다.

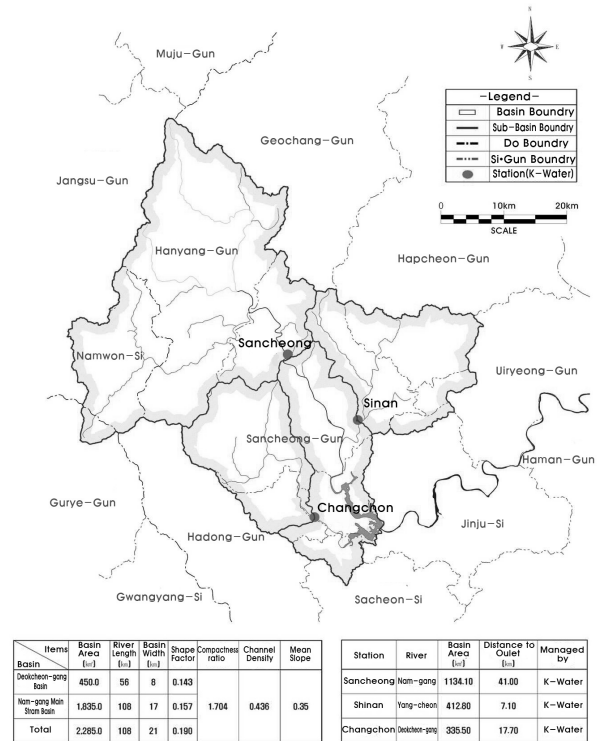


Fig. 1. Subbasins and Major Gauging Stations Map of Namgang Dam Watershed

남강댐과 저수지의 위치도는 Fig. 1과 같다. 남강댐이 위치하고 있는 남강은 낙동강의 제1지류이며, 유역면적이 3,466km<sup>2</sup> (남강댐 : 2,285km<sup>2</sup>)로서 낙동강 유역면적 23,859km<sup>2</sup>의 14.5%에 해당하며, 유로연장은 108km이고 유역의 평균 폭은 약 21km, Horton의 형상계수는 0.19이다.

### 3.2 강우 유출모형의 구축

본 연구에서는 출구 잔유역에 대하여 물리적기반의 분포형 강우-유출모형을 구축하였다. 분포형 모형의 특징으로는 유역을 격자체계를 기반으로 구성하므로 격자의 크기에 따라 정밀도를 갖는 모형의 구축이 가능하고, 각 격자로 세분 지점별로 물리적 특성이나 매개변수를 입력하게 되므로 유역의 공간적인 변화를 적절히 반영할 수 있다. 본 연구에서 활용한 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형은 *Vieux and Associates*에서 개발한 분포형 강우-유출 모형으로 레이더강수 및 강우계이지를 이용하여 강수입력이 가능하게 하였고, 하도추적 및 지표면 유출은 kinematic wave를 이용하고, 수치해석 기법은 공간적으로는 유한요소법을 사용하며, 시간적으로 음해적 유한차분법을 사용한다. 또한, 이 모형은 댐으로 유입되는 상류 지천(정확한 관측이 동반된)에서의 관측유입량을 경계조건으로 적용하여 분석이 가능하며, 격자기반의 분포형 수문 모형으로서 모든 매개변수 산정을 토양도, 토지피복도, 지형도로부터 직접 GIS 처리하여 일괄 입력할 수 있도록 함으로써 매개변수 산정 과정에서 경험식의 사용을 배제하고자 하였다.

#### 3.2.1 대상호우 및 관측자료

대상호우는 과거 10년(2002~2011년)간의 호우사상 중 일우량 관측량이 150mm이상 되는 특급호우사상 7개를 채택하였다. 이 중 관측자료의 신뢰성 확보와 기 개발된 수위-유량관계곡선식의 개발정도에 따라 6개 강우사상을 선정하였으며, 총 9개 관측소를 대상으로 티센의 면적가중을 고려하여 Table 1과 같이 시강우 자료를 수집하였다. 또한, 남강댐 지점의 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형 적용을 위해서 댐 상류측 수위관측소의 관측치를 이용하여 댐지점에서의 유입량 산정을 위한 경계조건으로 활용하였으며, 이들 적용 수위관측지

Table 1. Rainfall Events for Model Calibration and Verification

#	Event	Period
1	MEAMI	2003.09.11 05:00~09.15 12:00
2	EWINIAR	2006.07.08 16:00~07.26 22:00
3	USAGI	2007.08.05 24:00~08.09 17:00
4	2009 Storm	2009.07.07 03:00~07.17 09:00
5	2010 Storm	2010.07.10 20:00~07.17 19:00
6	2011 Storm	2011.06.23 18:00~06.27 02:00

점을 다음 Table 2와 같이 정리하였다.

#### 3.2.2 지형자료 구축

국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 30m×30m DEM을 남강유역의 유역면적을 고려하여 실제 하도망형상과 유사한 하도망을 갖도록 시행착오를 통해 격자크기를 420m로 하고 격자의 개수는 231 × 262로 총 28,574개로 재구성하였으며, DEM의 함몰부(sink)와 평탄지(flat area)를 전처리하고 흐름방향, 흐름 누적수, 하천망, 경사도를 생성하였다. 또한 하도폭의 결정은 기수립된 기본계획을 바탕으로 구간별로 직접 입력하였다.

#### 3.2.3 토양자료 구축

환경부 토지피복도와 농업과학기술원 정밀토양도를 유역의 조도계수와 침투율을 산정하였다. 침투율 산정을 위해 한국토양총설(ATI, 1992)을 참고하여 정밀토양도 토성에 맞는 Green-Ampt 매개변수(Chow et al., 1988)와 토양심도를 선정하였다. 또한 토지피복 특성별 조도계수는 *Vieux* (2004)에 의해서 제안된 값을 적용

Table 2. Major Gauging Stations in Nam River Basin

#	Station	Area (km <sup>2</sup> )	Initial obs.	Managed by
1	Sancheong	1,158.6	1976.03.13	Kwater
2	Changchon	354.6	1994.11.01	Kwater
3	Sinan	390.5	1994.11.01	Kwater
4	Namgang dam	2,285.0		

Table 3. Soil Depth by Classes

Depth class	Soil Depth (cm)
Very shallow	0 ~ 20
Shallow	20 ~ 50
Moderately deep or Moderately shallow	50 ~ 100
Deep	100 ~ 150
Very deep	> 150

Table 4. Roughness Coefficient and Impervious Ratio by Land Cover Classes

Land cover class	Roughness coeff.	Impervious ratio
Water Area	0.030	1.000
Urbanization Area	0.015	0.742
Eroed Area	0.035	0.442
Wetland	0.050	0.241
Glassland	0.130	0.440
Forest	0.100	0.130
Farmland	0.035	0.391

하였으며, 불투수율은 Sagong et al. (2003)에 의해서 제안된 값을 적용하였다. 다만 농경지와 수역에 대한 불투수율을 직접적으로 제안하지 않아 농경지에 대해서는 논, 밭, 비닐하우스의 불투수율을 평균한 값을 적용하고, 수역의 경우 강우가 직접유출에 기여하는 것으로 가정하였다(Hong et al., 2006).

#### 4. 결과 분석 및 토의

##### 4.1 모형의 매개변수 보정

*Vflo*<sup>TM</sup> 모형과 같은 물리적 기반의 분포형 모형은 격자기반의 지형, 토지이용 및 토양정보를 이용하여 필요한 초기매개변수를 추정하고 격자형 또는 소유역별 강우자료로부터 유출을 모의하기 때문에 개념적 집중형 모형에 비하여 매개변수 보정과정을 최소화할 수 있다. 분포형 모형의 매개변수 보정은 모의하고자 하는 각 유역 출구지점에서 유출체적과 첨두유량이 관측치를 잘 재현할 수 있도록 격자별로 적용한다. Vieux and Moreda (2003), Vieux (2004)는 매개변수보정을 위해서 OPFA (Ordered Physics-based

Parameter Adjustment) 방법을 제시하였는데, 이 방법은 매개변수별 상호작용과 단계별 최적화를 진행하여 물리적이고 실질적인 매개변수의 적정 범위 내에서 보정이 이루어졌으며, 단계별 내용은 다음 Fig. 2와 같다.

본 연구를 위해서 남강댐 유역의 수위관측소 중 자료의 신뢰성 및 질이 우수한 수위관측소 3개소(산청, 신안, 창촌)로부터 수위-유량 관계식에 의해 환산한 관측유량과 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형의 매개변수 보정을 통해 계산된 유량을 대상강우사상별로 비교하였다. 또한, 관측유량과 강우유출해석의 결과로부터 첨두유량 오차의 백분율(QER)과 모형의 효율성 계수(NSE; Nash and Sutcliffe, 1970), 평균상대오차(MRE), 결정계수(R<sup>2</sup>) 등을 통하여 모형의 적합성을 평가하였고 이 결과는 Table 5에 정리하였다.

분포형 모형의 적합성 평가 결과 각 관측소별 유입량 관측치와 계산치는 2009년 집중호우시 산청관측소에서 오차를 제외하고 전체 호우사상별로 상당히 유사한 결과를 나타내고 있다. 2009년 집중호우의 경우에는 복합 강우 사상으로 호우기간동안 이상관측치가 존재하는 것으로 추정되며, 이로 인해 관측오차 범위가 크게 나타난 것으로 판단된다. 상기 모의 결과를 토대로 댐 유입량 분석 시 분포형 모형인 *Vflo*<sup>TM</sup>의 적용성을 확인할 수 있었으며, 산청, 신안, 창촌 유역의 매개변수를 세 지점과 남강댐사이 잔유역에 대한 매개변수로 활용하고, 세지점의 관측수문곡선을 경계조건으로 활용하여 잔유역에 대한 분포형 강우-유출해석을 통하여 댐 지점에서의 수문학적 유입량을 산정하고자 한다.

##### 4.2 매개변수 검증을 통한 댐 지점 유입량 산정

댐지점에서의 수문학적 유입량을 산정하기 위해서 분포형 강우-유출모형인 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형을 적용하였다. *Vflo*<sup>TM</sup> 모형은 상류지점에

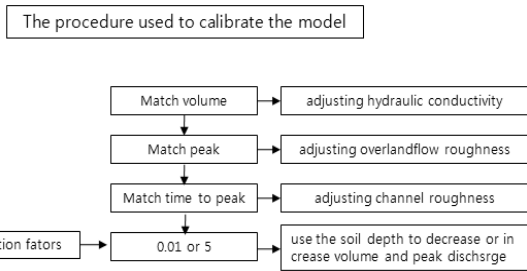
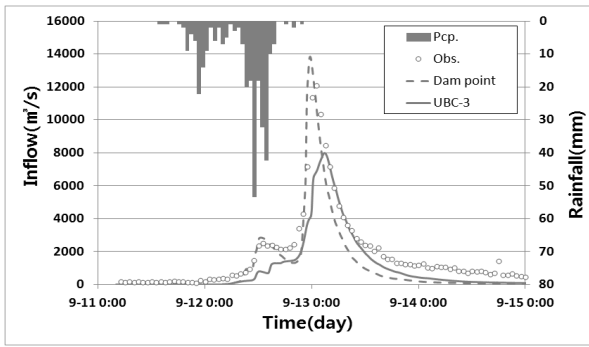


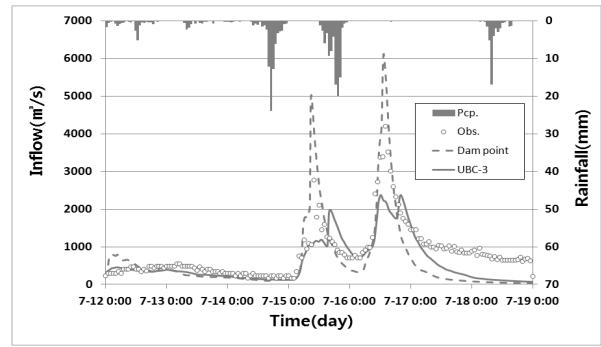
Fig. 2. Parameter Calibration Processes

Table 5. Modeling Performance for Simulated Results

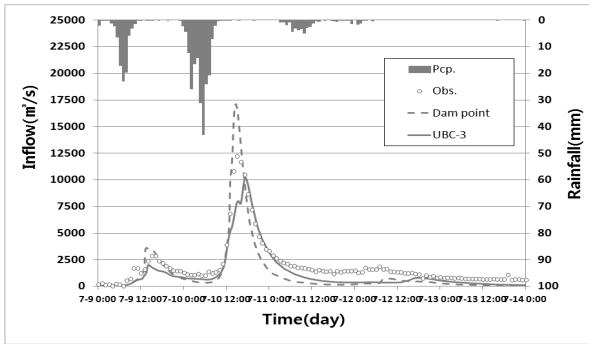
OBS	EVENT	MAEMI	EWINIA	USAGI	2009 Storm	2010 Storm	2011 Storm	MEAN
	Sancheong	QER(%)	0.21	0.16	0.44	0.17	0.48	0.17
NSE		0.91	0.63	0.75	-0.19	0.93	0.85	0.56
MRE		0.30	0.51	0.49	0.58	0.48	0.34	0.46
R <sup>2</sup>		0.97	0.81	0.87	0.52	0.96	0.96	0.80
Sinan	QER(%)	0.78	0.17	0.27	0.23	0.17	0.68	0.38
	NSE	0.89	0.88	0.64	0.95	0.86	0.84	0.84
	MRE	0.38	0.28	0.70	0.22	0.36	0.44	0.37
	R <sup>2</sup>	0.94	0.94	0.71	0.98	0.92	0.93	0.91
Changchon	QER(%)	0.24	0.004	22.59	0.96	12.14	0.43	6.06
	NSE	0.43	0.94	0.66	0.69	0.78	0.89	0.7
	MRE	0.58	0.33	0.51	0.37	0.45	0.34	0.42
	R <sup>2</sup>	0.77	0.97	0.83	0.89	0.88	0.96	0.88



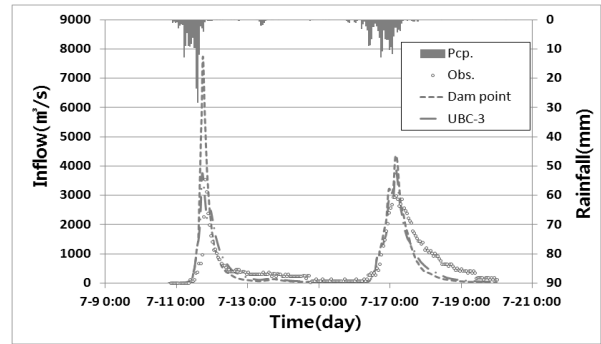
(a) MAEMI



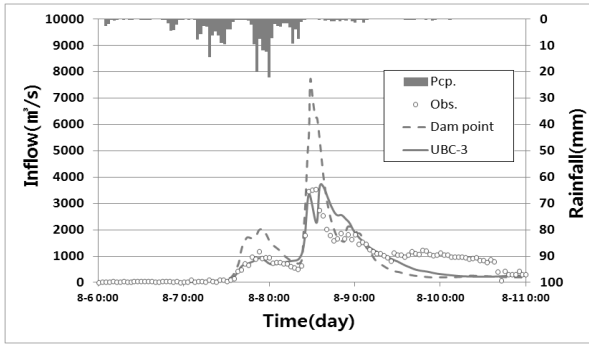
(a) 2009 Storm



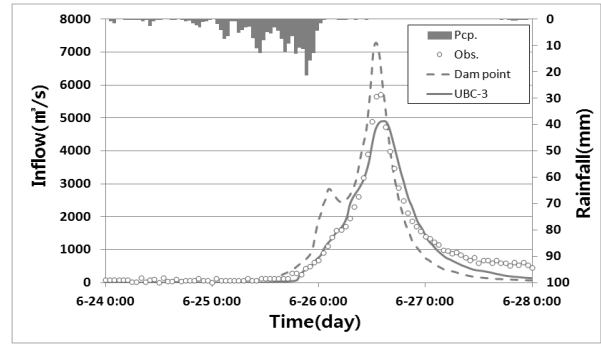
(b) EWINIA



(b) 2010 Storm



(c) USAGI



(c) 2011 Storm

Fig. 3. Observed and Simulated Inflow for Typhoon

Fig. 4. Observed and Simulated Inflow for Local Storm

있는 관측치를 경계조건으로 설정하여 하류지점의 유출량(댐 기준 유입량)을 산정할 수 있으므로, 본 연구에서는 전항에서 검증한 상류 3개지점 관측치를 경계조건으로 활용하여 하류부 댐지점의 유입량을 분석하는 방법(UBC-3P, Upstream Boundary Condition - 3 Point)을 적용 하였으며, 그 결과는 다음 Figs. 3-4와 같다.

댐 지점에서의 유입량 분석 결과 첨두유량과 총유입량에서 실제 관측값과 금회 산정값에서 절대오차 비율은 첨두유량의 경우 20.8%, 총유입량의 경우 25.7%로서 관측값과 산정값이 20%이상의 상당한 편차를 보이고 있음을 알 수 있었다. 태풍사상의 경우 평균 24.6%, 국지호우의 경우 평균 21.9%의 편차를 보여 일단 강우사상의 종류에 따른 편차의 차는 크지 않았다. 첨두유량과

총유입량을 강우사상의 종류별로 구분하여 분석해보면, 첨두유량의 경우 태풍사상이 19.0%, 국지성호우사상이 22.6%이고, 총유입량의 경우 태풍사상이 30.1%, 국지성호우사상이 21.2%로 나타났다. 이상의 분석내용을 정리하면 다음 Table 6과 같다. 전체적으로 볼때 태풍과 국지성호우간, 첨두와 총유출간의 편차가 비슷하게 나왔다고 볼 수 있으나, 총유출의 경우 태풍과 국지성호우간의 차이는 8.9%로서 가장 크게 나타났다.

### 4.3 유입량 분석

댐 지점에서의 유입량 분석 결과 실제 관측치와 금회 분석치에서 오차 비율이 첨두유량의 경우 20.8%, 총유출의 경우 25.7%로서

Table 6. Dam Inflow analysis Result for Namgang Dam

OBS \ EVENT		MAEMI	EWINIA	USAGI	Local Convective Storm			Absolute Mean	
					2009	2010	2011		
Rainfall		251.7	328.2	226.1	382.8	311.8	219.9		
Flow	Peak (m <sup>3</sup> /s)	Obs	12,082.0	12,214.0	3,534.0	4,211.0	3,543.0	5,711.0	
		Cal	7,982.6	9,958.2	3,692.6	2,377.2	3,902.2	4,906.2	
		% Error	-33.93	-18.47	4.49	-43.55	10.14	-14.09	20.78
	Vol (m <sup>3</sup> )	Obs	600.2	857.5	354.5	694.5	509.0	345.7	
		Cal	356.6	538.7	309.7	461.2	426.0	298.1	
		% Error	-40.59	-37.18	-12.64	-33.59	-16.31	-13.77	25.68

\* % Error : ((Cal-Obs)/Obs)×100(%)

Table 7. Validation of Gauged and Hydrological (Peak) Inflows at Namgang Dam Site

EVENT \ OBS		Absolute Values (m <sup>3</sup> /s)			Deviation from Regression line for Gauged Inflows (%)	Deviation from Regression line for Hydrological Inflows (%)
		Gauged	Hydro	Regression		
Typhoon	MAEMI	12,082.0	7,982.6	6,931.6	74.3	15.2
	EWINIA	12,214.0	9,958.2	9,815.7	24.4	1.5
	USAGI	3,534.0	3,692.6	4,915.7	28.1	24.9
	Mean				42.3	13.9
Local Convective Storm	2009 Storm	4,211.0	2,377.2	2,956.4	42.4	19.6
	2010 Storm	3,543.0	3,902.2	3,393.8	4.4	15.0
	2011 Storm	5,711.0	4,906.2	4,625.6	23.5	6.1
	Mean				23.4	13.6

Table 8. Validation of Gauged and Hydrological (Volume) Inflows at Namgang Dam Site

EVENT \ OBS		Absolute Values (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			Bias of Gauged Inflows (%)	Bias of Hydrological Inflows (%)	Runoff ratio (%)	
		Gauged	Hydro	Regression			Gauged	Hydro
Typhoon	MAEMI	600.2	356.6	346.7	73.1	2.9	84	50
	EWINIA	857.5	538.7	487.3	76.0	10.5	109	69
	USAGI	354.5	309.7	224.6	57.9	37.9	65	56
	Mean				69.0	17.1		
Local Storm	2009 Storm	694.5	461.2	261.1	166.0	76.6	82	54
	2010 Storm	509.0	426.0	274.6	85.4	55.1	68	57
	2011 Storm	345.7	298.1	219.8	57.3	35.6	62	54
	Mean				102.9	55.8		

1) Deviation from Regression line for Gauged Inflows(%)

2) Deviation from Regression line for Hydrological Inflows(%)

다소 차이가 있음을 알 수 있었으며, 분석 결과에 대한 보다 객관적인 비교를 위해서 유역내 주요 유입지류에 위치한 유량 관측지점의 본 연구에서 적용한 강우사상별로 유역면적 비유량을 확인하여 유역면적별 상관성을 분석하였다. 유역면적에 대한 침투유량과 총유량에 대한 회귀분석은 댐지점을 제외한 상류관측소에 대하여 수행하였으며, 댐지점에서의 회귀식값을 관측값 및 산정값과 비교

하여 타당성을 확인하고자 하였다. 면적에 대한 비유량값이 저수지 유입량에 대한 절대적 기준이 될 수는 없지만 기준 관측값과 금회 산정값간의 상대적 신뢰성을 판정할 수 있는 기준으로는 의미있는 시도가 될 수 있다. 분석에 이용한 유역내 관측소별 유량과 상관성분석 결과는 다음 Tables 7 and 8, Figs 5 and 6과 같다.

침투유량과 총유출 모두 태풍과 국지성호우사상을 막론하고

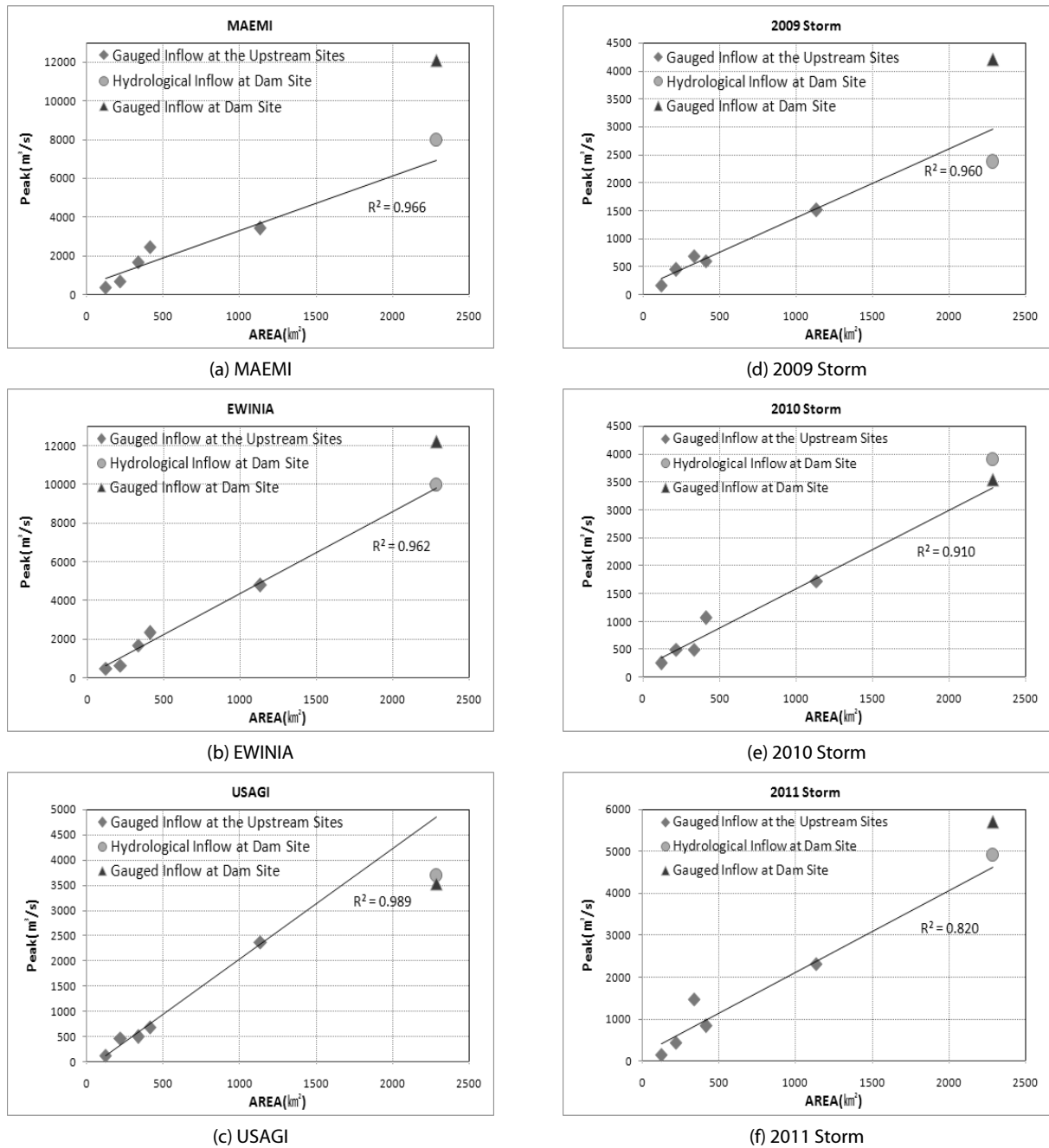


Fig. 5. Verification of Peak Inflow for Namgang Dam

금회 산정한 수문학적 유입량이 기존 계측값보다 비유량으로부터의 편차가 작게 나타나고 있었다. 수문학적 유입량의 첨두유량의 경우 태풍사상에서 13.9%, 국지성호우사상에서 13.6%의 편차를 보임으로서, 기존계측값의 42.3%와 23.4%보다 뚜렷이 작게 나타났다. 마찬가지로 총유출의 경우에도 태풍사상에서 17.1%, 국지성호우사상에서 55.8%의 편차를 보임으로서, 기존 계측값의 69.0%와 102.9%보다 뚜렷히 작게 나타나고 있었다. 이러한 결과

는 호우사상에 대한 저수지 홍수유입량을 산정함에 있어서 수문학적 기법이 기존의 수위계측을 활용하는 방법에 비하여 효과적일 수 있다는 고무적인 결과로 보여진다.

관측유입량과 수문학적 유입량을 대상으로 유출율을 분석한 결과, 관측유입량은 태풍 Ewinia에서 109%를 보이고 있었고, 태풍 Maemi와 2009년 국지호우사상에서 80%를 상회하는 높은 유출율을 보이고 있어 불안정한 수치를 보이고 있다. 흔히 대유역의



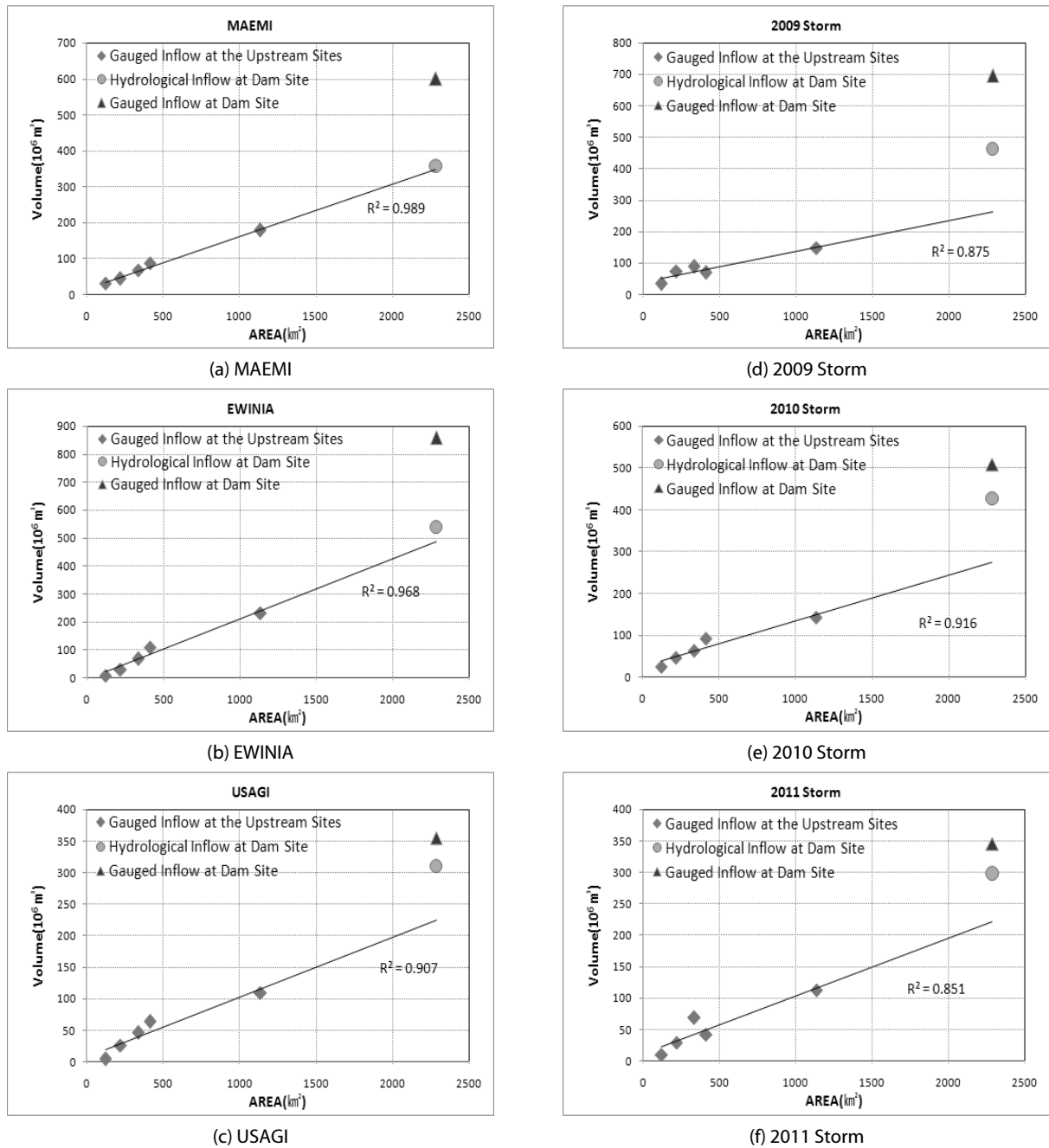


Fig. 6. Verification of Total Inflow for Namgang Dam

홍수 시 유출율은 80%를 초과하지 않는다고 알려져 있고, 남강댐의 경우 과거 탱크모형을 이용한 유출을 산정 시 평균 62.9%의 유출율을 보인바 있다(K-water, 2008). 본 연구에서 제안한 수문학적 유입량산정 결과 유출율은 56.7%를 보이고 있어 관측유입량의 평균유출율인 78.3%에 비하여 현실적인 결과로 보여진다.

절대적 기준이 되는 관측유입량의 개선을 목적으로 수행된 본

연구에서, 비유량법이나 유출율법과 같은 간접적 기법을 통하여 개선안에 대한 검증은 시도할 수밖에 없었다. 금회 연구에서는 비교적 최근에 발생한 이상홍수를 대상으로 총6개의 강우사상을 활용하였지만 향후 좀 더 다양한 많은 강우사상에 대하여 검증이 이루어진다면 상황에 맞는 효과적인 활용이 기대된다.

## 5. 결론

남강댐 유입량 분석을 위해서 비교적 최근에 발생한 태풍 등 6개의 주요 호우사상에 대해서 물리적 기반의 분포형모형을 적용하였으며, 분석방법은 상류 주요 유입지점 3개 관측지점 관측치를 경계조건으로 설정하는 UBC-3P 기법을 적용하였다. 댐 지점에서의 유입량 분석결과 관측치와 모형에 의한 모의결과치가 다소 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, 원인과 결과에 대한 내용을 토대로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 분포형 모형인  $Vflo^{TM}$ 의 적용성 검토를 위해서 남강댐 유역 상류측 주요 유입지점의 수위관측소 관측유입량과 모형의 분석치를 모형의 효율성계수(NSE: Nash and Sutcliffe, 1970)등을 이용하여 검증한 결과 2009년 집중호우시 산청관측소 음의 값 오차를 포함해도 3개 관측소에서 각각 평균 0.56, 0.84, 0.70의 값을 나타내어 하천지점에서는 분포형 모형을 이용하여 산정된 수문학적 유입량이 관측유입량과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나  $Vflo^{TM}$ 모형의 적용성을 확인할 수 있었다.
- (2) 댐 지점에서의 유입량을 호우사상별 강우총량과 비교 분석한 결과 강우총량 대비 100%를 상회하는 값을 나타내고 있는 바, 이는 댐 지점에서의 유입량 관측치 값이 다수의 오류를 포함하고 있음을 알 수 있으며, 이는 댐지점의 유입량 관측이 저수지에서의 수위-용적곡선에 의해 산정되는 용적의 변화량과 더불어 수문 및 여수로 등을 통해서 방류되는 방류량과의 합에 의해 산정되는 만큼, 수문조작에 의해 방류되는 양은 참값이라고 가정하더라도 저수지내 수위관측의 오차가 유입량 산정에 있어서 불확실성을 수반하는 주요인자가 되는 것으로 판단된다.
- (3) 태풍을 포함한 6개의 강우사상별로 분포형모형인  $Vflo^{TM}$ 를 이용한 UBC-3P 기법을 통해서 댐 지점에서의 유입량을 분석한 결과 첨두유량과 총유입량에서 실제 관측값과 금회 산정값에서 절대오차 비율은 첨두유량의 경우 20.8%, 총유입량의 경우 25.7%로서 관측값과 산정값이 20%이상의 상당한 편차를 보이고 있음을 알 수 있었다. 전체적으로 볼 때 태풍과 국지성호우간, 첨두와 총유출간의 편차는 비슷하게 나타났다.
- (4) 남강댐 유역 내에 주요 지천에 위치한 수위표 지점의 관측유량을 통하여 면적비유량법에 의해 본 연구의 분석방법인 UBC-3P 방법에 의한 댐 상류지점에서의 유량산정값을 분석한 결과 첨두유량과 총유량에서 결정계수가 0.82-0.99 사이값을 나타냄으로서 상류지점에서의 홍수유출모형의 매개변수 보정은 성공적으로 이루어진 것으로 판단된다. 첨두유량과 총유출 모두 태풍과 국지성호우사상을 막론하고 금회 산정한 수문학적

유입량이 기존 계측값보다 비유량으로부터의 편차가 뚜렷이 작게 나타나고 있어 수문학적 유입량산정이 효과적인 수 있음을 확인하였다.

## References

- Aberle, J. and Smart, G. M. (2003). "The influence of roughness structure on flow resistance in mountain streams." *Journal Hydraul. Res.*, Vol. 41, No. 3, pp. 259-269.
- Agricultural Technology Institute (1992). *Enlargement Korea Land Review Soil Survey No.13*, pp. 283-290. Rural Development Administration.
- Bormann, H. (2007). "Sensitivity of a soil-vegetation-atmosphere transfer scheme to input data resolution and data classification." *Journal of Hydrology*, Vol. 351, pp. 154-169.
- Chow, V. T., David, R. Maidment and Larry, W. M. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill.
- Crow, W. T. and Wood, E. F. (2003). "The assimilation of remotely sensed soil brightness temperature imagery into a land surface model using Ensemble Kalman filtering: A Case Study Based on ESTAR Measurements During SGP97." *Advances in Water Resources*, Vol. 26, No. 2, pp. 137-149.
- Gupta, H. (2002). *Integrated Spatial Data of a Watershed for Planning. Symposium on Geospatial Theory.*
- Hong, J. B., Kom, B. S. and Yoon, S. Y. (2006). "Evaluation of accuracy of the physics based distributed hydrologic model using  $Vflo^{TM}$  Model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 6B, pp. 613-622.
- Hwang, E. H., Kwon, H. J., Lee, G. S. and Lee, E. R. (2008). "Tracking of water level curve for improvement of dam inflow-measurement in Youngdam." *Proceedings of Korea Water Resources Association 2008*, Gyeongju, Korea, pp. 2233-2237 (in Korean).
- Kim, D. I. (2003). "Study on the development of a sustainability assessment strategy for integrated watershed management." *Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST). CE-Theses\_Master.*
- Korea Water Resources Corporation (1999). *Improvement research report of reservoir inflow calculation method* (in Korean).
- K-water (2008). *Report on feasibility study and preliminary planning for modernization of Namgang hydropower system* (in Korean).
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). "Flow forecasting through conceptual models part I - a discussion of principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282-290.
- Noh, J. K. and Shin, S. C. (2003). "Improvement of multipurpose dam inflow estimation scheme using water level interpolation and discharge moving average." *Proc. Proceedings of 2003 Korea Water Resources Association Annual Conference*, pp. 238-241 (in Korean).
- Noh, J. K., Lee, H. K. and Lee, T. S. (2008b). "Comparison study on korean and american case for improving calculation of dam inflow." *Proceedings of 2008 Korea Water Resources Association Annual*

- Conference*, Gyeongju, Korea, pp. 689-694 (in Korean).
- Noh, J. K., S, K. S., Kim, Y. H. and Lee, J. N. (2008a). "Evaluation on improvement of multipurpose dam inflow using measured discharges upstream." *Proceedings of 2006 Korean Society of Civil Engineers(KSCE) Annual Conference*, pp. 597-600 (in Korean).
- Park, J. C., Kim, N. and Ryu, K. S. (2009). "Improvement of esyimation date by measurement of water level in reservoir." *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 18, pp. 309-314.
- Sagong, H. S., Jung, H. Y. and Hwang, S. M. (2003). "Analysis land package tracking using IKONOS satellite imagery." *Journal of the The Korean Association of Geographic Information Studies Conference*, pp. 157-166.
- Sarmiento, C. J. S., Ayson, R. J. V., Gonzalez, R. M. and Castro, P. P. M. (2010). "Remote sensing and GIS in inflow estimation: The Magat Reservoir, Philippines Experience." *Proceedings of ISPRS TC VII Symposium - 100 Years ISPRS*, Vienna, Austria, July 5-7, 2010.
- Ticehurst, J., Cresswell, H., McKenzie, N. and Glover, M. (2006). "Interpreting soil and topographic properties to conceptualise hillslope hydrology." *Geoderma*, Vol. 137, pp. 279-292.
- Vieux, B. E. (2004). *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Kluwer Academic Publishers.
- Vieux, B. E. and Moreda, F. G. (2003). "Ordered physics-based parameter adjustment of a distributed model." *Water Science and Application Series*, Vol. 6, American Geophysical Union, pp. 267-281, ISBN 0-87590-355-X.
- Vivoni, E. R., Gebremichael, M., Watts, C. J., Bindlish, R. and Jackson, T. J. (2008). "Comparison of ground-based and remotely sensed surface soil moisture estimates over complex terrain during SMEX04." *Remote Sens. Environ.*, Vol. 112, No. 2, pp. 314-325.