

# 낙동강 수계 유출분석을 위한 강우-유출 모형의 매개변수 산정

Estimation and Analysis of Parameters for Rainfall-Runoff Model on the Nakdong River

맹승진\*·이순혁(충북대)·류경식(한국수자원공사)·송기현(농업기반공사)

Maeng, Seung Jin\*·Lee, Soon Hyuk·Ryoo, Kyong Sik·Song, Gi Heon

## Abstract

In this study, following works have been carried out : division of Nakdong River Basin into 25 sub basins, development of a technique to evaluate spatial distribution of rainfall and analysis of rainfall data of 169 stations, selection of control points, and selection of a hydrologic model(SSARR). The runoff analysis showed that the surface-subsurface separation and soil moisture index parameters are the most important two to the simulation result.

## I. 서 론

실시간으로 수자원을 관리할 때 유역 상·하류의 유출량을 정확하게 파악하는 것이 가장 중요한 요소라는 점을 감안하여 용수 수요량을 기간별로 추정하여 보다 정확한 유출해석을 가능토록 하도록 하여야 하나 용수수요자료의 신뢰성이 낮아 소유역별 자연유출량을 산정하고자 하였다. 이를 위해 본 고에서는 낙동강수계의 특성 분석, 낙동강수계 소유역 분할, 분석대상 년도별 강우관측소 선정과 SSARR 모형의 매개변수 초기 값을 선정하였다.

## II. 사용 수문자료

낙동강 유역의 우량관측은 1910년대부터 영양, 영주, 안동, 상주관측소 등을 시작으로 점차 그 시설을 보충하여 우량관측을 실시하여 오다 1960년대 들어와서는 경제성장에 수반되는 수자원 개발을 위한 수문자료 획득의 필요성에 의해서 수문관측소를 대폭적으로 증설하였다. 1999년 12월말 현재는 낙동강 유역내 우량관측소는 총 169개로 이중 건설교통부 관할 116개소, 수자원공사 40개소, 기상청 관할이 13개소이다.

수위관측소는 우량관측소와 마찬가지로 1910년대에 삼랑진, 밀양, 산청, 거룡강에서 관측을 개시한 후 1920년대에 들어와서 진동, 동천, 왜관, 안동 등에 차례로 수위관측소를 설치하여 관측을 시작하였으나 본격적으로 수위관측을 광범위하게 실시한 것은 1960년대 이후이다. 1999년 12월말 현재 낙동강 유역의 수위관측소는 총 92개소가 있고, 이중 건설교통부 관할이 54개소, 수자원공사 관할이 38개소이다.

강우량 분석은 수자원 기본계획을 수립하기 위한 가장 기본적인 자료가 되므로 가능한 장기간에 걸쳐 관측된 자료가 필요하다. 본 연구에서는 강수분석을 위하여 낙동강 유역내에 위치한 우량관측소와 낙동강 유역과 인접한 유역의 우량관측소 중에서 티센망을 구축하기 위하여 '83년부터 자료를 보유하고 있으며 각 지역의 강수특성을 대표할 수 있는 관측소를 선정하였다.

낙동강 유역에 대하여 연도별로 선정된 우량관측소를 대상으로 그림 1과 같은 티센망도를 작성하여 각 소유역 및 주요지점에 대하여 관측소별 티센지배면적비를 산정하였다.

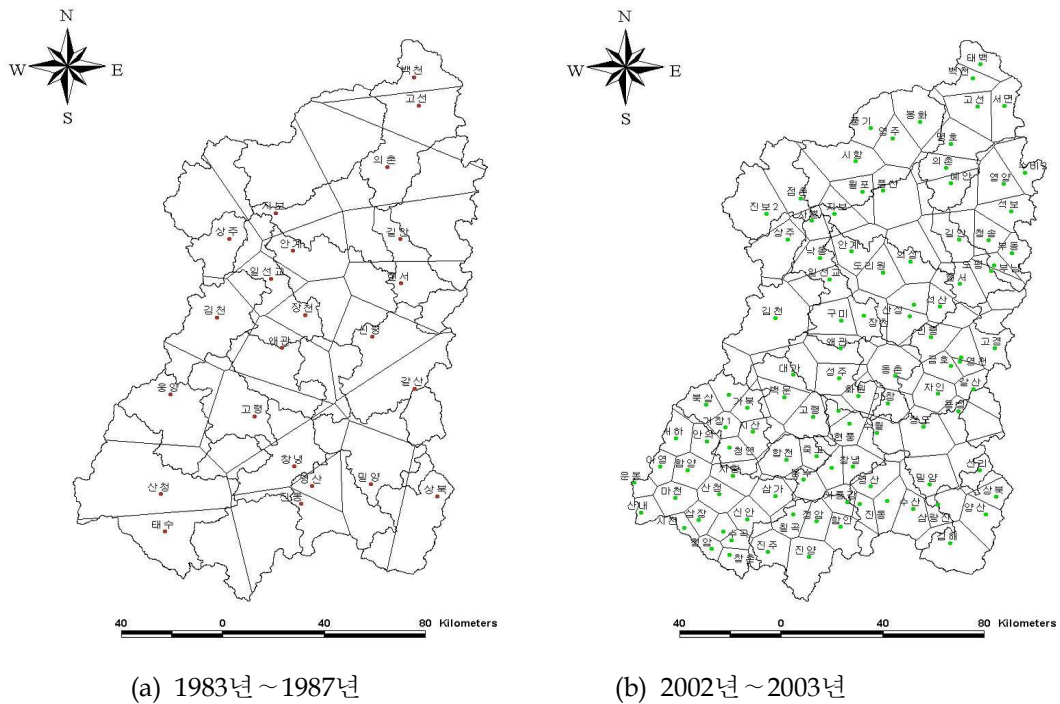


그림 1. 낙동강수계 Thiessen망도

낙동강의 주요 수위표지점등은 전문기관에서 유량측정 성과를 토대로 연도별로 수위-유량 관계식을 많이 개발하여 왔으므로 기존에 개발된 관계식 중에서 가장 적합한 관계식을 채택하는 것이 보다 합리적이고 타당할 것으로 판단되어 본 조사에서는 기 개발된 각종 관계식을 조사하여 비교 검토한 후, 유량환산 결과의 신뢰성이 있으면서 고수위와 저수위에도 모두 적용이 가능한 관계식을 채택하여 유출분석을 실시하였다.

### III. 소유역 분할 및 모식도

본 연구의 목적이 수계내 유출분석이고 최근 준공된 밀양다목적댐을 고려할 때 본 연구의 소유역 분할은 「수자원장기종합계획(건설교통부, 2001)」의 소유역분할을 기본으로 하되 밀양다목적댐의 상류 소유역을 추가하여 25개의 소유역으로 구성된 소유역 분할을 사용하기로 하였다.

본 연구에서 사용하기로 한 25개로 분할된 소유역 현황을 각 소유역의 고유번호와 면적, 주요시, 군 현황 등으로 구분하였으며 이와 같이 작성된 소유역 분할도와 모식도는 그림 2 및 3과 같다.

### IV. 결과 및 고찰

#### 1. 적용 모형

본 연구의 유출분석을 위해 적용성, 분석 타당성을 검토하여 SSARR 모형을 선정하였다. SSARR 모형은 미국 공병단의 북태평양지부에서 수자원시스템의 계획, 설계 및 관리를 위한 수학적 수문

모형으로 1956년 처음 개발된 이래, 1975년 유역 및 하도추적에 대한 기본 골격을 갖추었으며 (SSARR-4), 이후 Integrated Snowband 유역모형과 운영예보(operational forecasting) 기능이 추가 되어(SSARR-8) 현재에 이르고 있다.

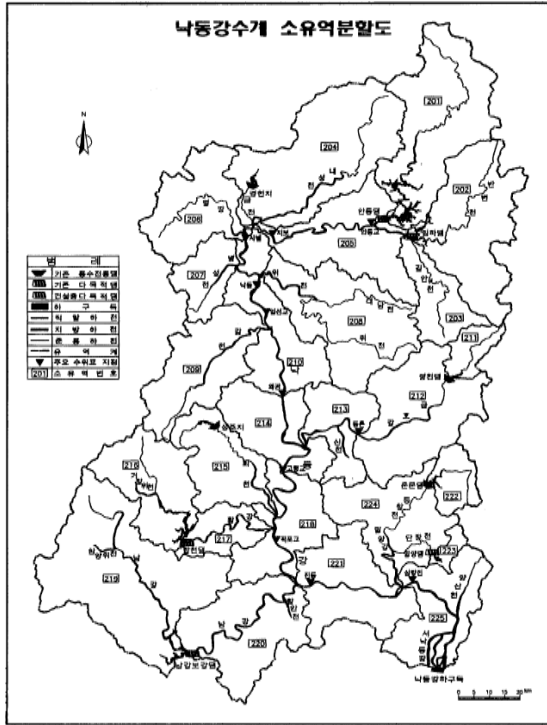


그림 2. 소유역분할도

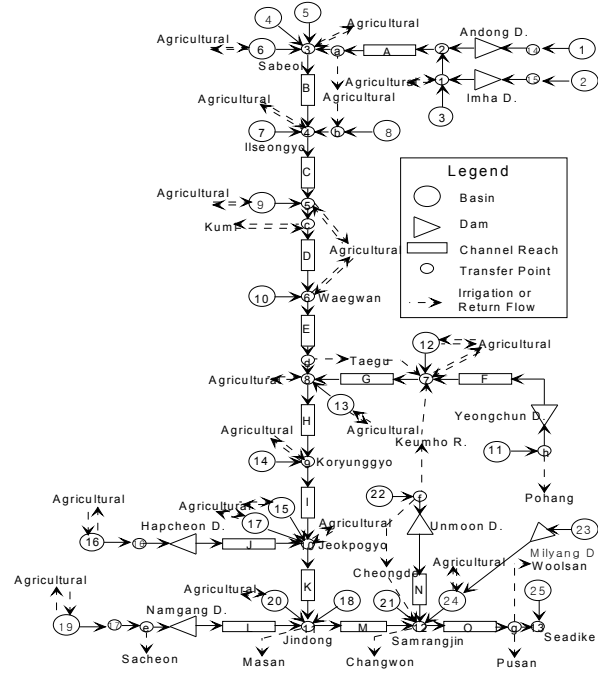


그림 3. 모식도

## 2. 입력자료

수문모형에서 설정되는 매개변수는 크게 물리적 매개변수(physical parameter)와 수문기상 매개변수(hydrometeorologic parameter) 및 내부처리 매개변수(process parameter)로 구분될 수 있다 (Fleming, 1977). 물리적 매개변수로는 유역면적에 대한 고도별 면적비와 저수지 특성자료, 수문기상 매개변수로는 강우자료, 고도별 강우 가중치, 강우강도별 ETI 가중치(EKE), 기온별 증발산 지수(ETP), SMI별 ETI 가중치(DKE), 고도별 ETI 가중치(ETEL), 월별 ETI 가중치(ETM), 최대 차단량(TINTMX) 및 기온자료, 내부처리 매개변수로는 토양습윤상태별 유출율(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP), 지표수와 복류수 분리(S-SS), BII의 저류시간(BIITS), 최대 BII(BIIMX)와 최대 지하수유출율(BFLIM), 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ) 및 이의 최대값(DGWLIM), 유역추적 매개변수, 하도추적 매개변수를 산정하였다. 또한, 소유역별 취수량 및 회귀수량을 입력자료로 활용하였다.

## 3. 매개변수의 매개변수 산정

### 가. 고도별 면적비

한 개의 소유역을 여러개의 밴드로 분할하는 IS 유역모형에는 고도별 면적비가 입력되어야 하는데 24개 소유역에 대한 고도별 유역면적과 고도별 면적비와 25개 소유역에 대한 고도별 유역면

적 및 고도별 면적비를 각각 구하였다.

#### 나. 저수지 특성자료

SSARR의 저수지 조작 기능 중 방류량이 설정되는 경우에 대해서만 모의하는데 본 연구에서는 소유역별 자연유출량을 산정하기 때문에 저수지 특성 자료는 입력하지 않았으나, 향후 시스템 구축을 할때는 낙동강수계내 수문이 있어 저수지 조작이 가능한 안동댐, 임하댐, 합천댐 및 남강댐의 4개 댐의 방류량과 자연 월류식 댐인 영천, 운문댐의 일 방류량자료를 입력하였다.

#### 다. 수문기상 매개변수의 구성

##### 1) 강우자료

본 연구에서 사용된 강우자료는 1983년부터 2003년까지의 소유역별 면적우량으로서 일자료를 사용하였다.

##### 2) 고도별 강우 가중치 (ELPP)

유역의 고도에 따라 강우량이 다소 차이가 나는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 Thiessen방법에 의해 산정된 유역평균 강우량은 유역을 단순한 평면으로 간주하여 산정된 것이므로 고도별 강우 가중치를 부여하여 이러한 가정을 보완할 수 있다. 건설부 보고서(1987)에 의하면 안동댐과 구미 및 대구지역에서 측정된 고도별 강우자료를 이용하기 위해 전체 소유역을 안동댐권역, 구미권역 및 대구권역 등 3개 권역으로 나누어 각 권역별 고도 보정계수를 하절기 및 동절기로 나누어 구한 바 있다. 여기서 보정계수라 함은 고도 1 m 증가에 따른 강우량 증가량(mm)이다.

각 소유역에서 관측소 평균표고에 해당하는 고도에서의 고도별 강우가중치를 100%로 하고 고도에 따른 강우가중치를 보정계수를 이용해 ELPP 도표로 부여하였다.

즉, 1번 소유역의 관측소 평균표고는 465 m이며 보정계수는 0.2478이므로 465 m에서의 강우가중치는 100이 되도록 400 m와 600 m에서의 강우가중치를 선형보간에 의해 각각 98.62와 102.87로 부여하였다. 한편 하절기의 강우량이 동절기에 비해 월등히 많기 때문에 보정계수는 하절기의 값으로 통일하였다.

##### 3) 강우강도별 ETI 가중치 (EKE), 기온별 증발산 지수 (ETP), SMI별 ETI 가중치 (DKE), 고도별 ETI 가중치 (ETEL)

SSARR 사용자 Manual의 변수설명부분 및 적용 예를 통하여 본 연구에 맞도록 설정하였으며 이를 표 1에 제시하였다.

##### 4) 월별 ETI 가중치 (ETM)

증발산량 산정시 월별 증발산량 보정치를 입력하게 되는 항목으로서 북위 35 에 위치하고 있는 낙동강 유역에 대한 값은 표 2와 같다.

##### 5) 최대 차단량 (TINTMX)

SSARR Manual을 참조하여 전형적으로 사용되어지는 0.5 cm를 사용하였다.

##### 6) 기온자료

본 연구에서 사용되어진 기온자료는 1966년부터 1999년까지의 월평균 기온자료로서 SSARR 모형에서는 화씨(°F)를 사용하여 입력하였다.

##### 7) 강설

SSARR 모형에서 IS유역 모형의 가장 큰 장점 중의 하나가 강설에 대한 모의이다. 강설에 대한 모의를 위해서는 강설량, 적설심, 적설선의 고동등 적설량과 관계된 자료 뿐 아니라 기온과 강우에 의한 융설자료 및 결빙자료 등 방대한 자료가 요구되는데, 낙동강 유역에서의 이러한 자료는 매우 미미한 실정이다. 낙동강수계의 연간 강설량은 강수량의 2.3 % 정도에 불과하며 1월 강수량

의 약 28 % 정도에 해당하는 적은 양이며 상당부분이 증발에 의해 손실되므로 강설에 의한 유출 기여율은 무시할 수 있을 정도로 적기 때문에 변수추정을 위한 현단계에서 강설에 대한 모의는 생략하였다.

표 1. EKE, ETP, DKE, ETEL

강우강도 (cm/日)	EKE (%)	기온 (°F)	ETP (cm/日)	SMI (cm)	DKE (%)	고도 (m)	ETEL (%)
0	100	20	0	0	0	0	100
2	50	30	0	3	50	400	100
3	20	40	0.10	6	90	800	110
5	10	50	0.20	9	100	1200	120
10	10	60	0.30	999	100	1600	130
999	10	80	0.45			2000	140
		100	0.60			9999	140
		999	0.75				

표 2. 월별 ETI 가중치

월	ETM(%)	월	ETM(%)	월	ETM(%)
1월	87	5월	121	9월	103
2월	85	6월	121	10월	97
3월	103	7월	123	11월	86
4월	109	8월	116	12월	85

라. 내부처리 매개변수의 구성

1) 토양습윤상태별 유출율(SMI-ROP)

SSARR모형에서 가장 민감한 변수 중 하나인 SMI-ROP 도표를 유역별로 산정하기 위하여 우선 초기치로서 한국수자원공사 보고서(1989)를 참조하여 유역별 SMI-ROP 도표를 결정하였다. 즉, 총 25개 소유역을 보고서에서 제시된 CN값에 따라 3개의 중유역으로 나누어 CN값이 62인 1번 소유역에서 9번 소유역까지는 SMI-a, CN값이 63인 10번 소유역에서 18번 소유역까지는 SMI-b, 그리고 CN값이 64인 19번 소유역에서 25번 소유역까지는 SMI-c 곡선을 각각 적용하였다.

2) 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP)

BII-BFP 도표 역시 한국수자원공사 보고서(1989)를 참조하여 SMI와 동일하게 전체 소유역을 3개로 나누어 각각 BII-a, BII-b, BII-c 곡선을 적용하였다.

3) 지표수와 복류수 분리(S-SS)

S-SS 도표 역시 SMI와 BII 경우와 동일하게 산정하였고 그 결과는 표 3과 같다.

4) BII의 저류시간(BIITS)

BIITS의 범위는 대략 30 hr ~ 60 hr이며(SSARR Manual pp. 22 참조) 본 연구에서는 40 hr로 취하였다.

5) 최대 BII(BIIMX)와 최대 지하수유출율(BFLIM)

SSARR Manual pp. 21-22을 참조하여 BIIMX는 3 cm/일로 취하였고, 계산시간간격과 밀접한 관계가 있는 매개변수인 BFLIM은 계산시간간격이 커질수록 작아지는 경향을 보이게 되며 일유출 모의시의 전형적인 값은 0.13 cm/hr 정도의 값을 갖는다.

6) 지하수 중 회귀지하수가 차지하는 비율(PBLZ) 및 이의 최대값(DGWLIM)

PBLZ 값은 통상 50 % 정도로 하며 DGWLIM 값은 0.1 cm/hr로 취하였다(SSARR Manual pp. 23 참조).

표 3. 소유역별 S-SS 분리 도표

Input Rate (cm/hr)	Surface Comp.(cm/hr)		
	S-SS-a	S-SS-b	S-SS-c
0.0	0.00	0.00	0.00
0.5	0.25	0.19	0.15
1.0	0.75	0.68	0.57
1.5	1.25	1.18	1.07
2.0	1.75	1.68	1.57
2.5	2.25	2.18	2.07
3.0	2.75	2.68	2.57

#### 7) 유역추적 매개변수

SSARR모형에서의 유역추적은 지표수, 복류수 및 지하수 각각에 대한 추적 및 IS유역모형에서 추가되는 회귀지하수 등 4가지 흐름장에 대한 추적이 독립적으로 이루어지게 된다. 각 흐름장은 여러개의 가상적인 선형저수지로 구성되어 있다고 가정하고 이에 대한 저수지 추적을 시행하게 되는 것이다. 각 흐름장에서의 매개변수로는 가상저수지의 수효와 저류시간이 있으며 각 매개변수는 유역면적과 유로연장 및 도달시간 등을 참고하여 산정하였다.

#### 8) 하도추적 매개변수

하도추적에서도 유역추적과 마찬가지로 연속된 가상저수지의 추적 방법이 사용되는 바, 가상저수지의 수효와 저류시간이 매개변수가 된다. 유역추적과 다른 점은 가상저수지의 저류시간  $T_s$ 가 다음 식에 의해 결정되는 것이다.

$$T_s = \frac{KTS}{I^n}$$

여기서  $KTS$  는 시행착오적 방법에 의해 결정되는 상수이고  $I$  는 유입량,  $n$  은 -1과 1 사이의 값을 갖는 계수이다.

이렇게 구한 도달시간에 해당하는 유량을 실측 유량-도달시간관계(건설부, 1987)를 참조하여 저류시간을 비롯한 각종 매개변수를 제시하였는데 이는 추후 민감도분석을 통해 보정될 것이다. 이때  $n$  값은 0.20으로 고정하였다.

## V. 결론

본 연구에서는 수계별 한정된 수자원의 효율적 관리를 위한 댐 상·하류 유출을 고려한 종합적인 수자원관리방안 수립의 필요성이 대두됨에 따라, 저수기 댐 상·하류의 수계주요지점에 대한 하천유출상황을 모의할 수 있는 모형을 개발하는데 있다. 본 연구의 중심이 되는 수문모형의 기본모형인 SSARR 모형을 검토한 결과는 다음과 같다. 적용대상 유역은 낙동강수계로 하였으며 소유역 분할은 총 25개로 구분하였다. 강우관측소의 선정과 Thiessen 계수의 산정은 최근에 한국수자원공사에서 새로 추가한 강우관측소를 위주로 강우관측소를 대상으로 하였다. SSARR 모형의 입력자료를 물리적 매개변수, 수문기상 매개변수 및 내부처리 매개변수로 구분하여 구축하였다.