

수문정보를 이용한 유량배분 분석

Water Balance Analysis using Hydro-informatics

배명순*, 하성룡**, 박정하***

Myoung Soon Bae, Sung Ryong Ha, Jung Ha Park

요 지

수질오염총량관리제에서 단위유역 할당부하량은 지자체의 개발용량과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 상·하류 지역간의 첨예한 관심거리가 되고 있다. 총량관리제는 기준유량과 목표수질에 대한 기준배출부하량의 달성을 목적으로 하고 있기 때문에 합리적이고 과학적인 기준유량 및 목표수질의 설정이 무엇보다 중요하다. 또한 합리적인 수질모델링을 필요로 하는데, 유량배분은 모델링 과정에서 중요한 영향을 미치며, 지역의 기준배출부하량을 결정하는 결정적인 요소 중의 하나이다. 기존의 유량배분은 대부분 관측지점을 기준으로 한 단순한 면적비 유량배분기법(SAWA; simple area-based water-balance analysis)에 의존해왔다. 그러나 SAWA는 특정유역의 토지피복, 토양, 지형경사 및 강우분포 등의 수문학적 특성을 고려하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 즉, 동일한 면적의 유역이라도 이러한 수문 특성인자에 따라 유출되는 유량이 달라지는 현상을 고려하지 못하고 있다. 이는 곧 지역의 기준배출부하량의 신뢰성에 영향을 미치기 때문에 지역간 분쟁의 소지가 될 수 있다. 본 연구는 기존의 유량배분 방법인 SAWA가 가지는 한계점을 극복하고자 강우분포 및 토지피복의 수문학적 특성을 이용한 유량배분기법(HIWA; hydro-informatical water-balance analysis)의 개발을 목적으로 수행되었다. 강우분포와 토지피복이 하천유량에 미치는 영향을 분석하고 공간정보화 한 후 지형정보체계(GIS)의 수문분석 기법을 이용하여 유량을 배분하였다. ARC/INFO의 KRIGING 보간법을 이용하여 구축한 등강우분포도와 토지피복에 따른 유출특성을 분석하여 강우유출 해석을 위한 가중지형정보를 생성하였다. 연구는 2003년 10월-2004년 3월의 미호천수계 및 수질오염총량관리단위유역 말단지점의 실측자료를 이용하였으며, 연구결과 기존의 SAWA보다 본 연구에서 제안한 HIWA가 유량배분의 정확도를 높일 수 있음이 입증되었다.

핵심용어 : 유량배분, 총량관리, 유역관리, 지형정보체계

1. 서 론

우리나라는 2004년을 시점으로 낙동강, 금강 및 영산·섬진강수계에 대하여 수질오염총량관리제가 본격적으로 시행되었다. 수질오염총량관리제는 기존의 농도규제가 가지고 있는 한계점을 해결하고, 유역단위로 기준배출부하량을 설정하여 지역의 환경친화적 개발을 유도하기 위하여 도입된 수질정책이다. 제1차 수질오염총량관리제 기간은 2004년부터 2010년이며, 이 기간동안에는 총량관리제의 초기단계라는 점과 기술적·행정적 정착을 위하여 대상물질을 BOD₅로 한정하고 있다. 낙동강을 시발로 하여 광역시·도별 목표수질 및 기본계획과 시행계획이 수립 중에 있다.

현재 총량관리제를 위한 많은 시간과 노력의 준비에도 불구하고 시행 초기단계에서의 기술적·행정적으로 극복해야 할 한계점이 드러나고 있다. 총량관리제에서 설정된 기준배출부하량은 지자체의 개발용량과 직결되기 때문에 상·하류 지역간의 첨예한 관심거리가 되고 있다. 총량관리제는 기준유량과 목표수질에 대한 기준배출부하량의 달성을 목적으로 하고 있기 때문에 합리적이고 과학

* 정회원·충북개발연구원 연구위원 · E-mail : bms1409@hanmail.net
** 정회원·충북대학교 도시공학과 교수·E-mail : simplet@chungbuk.ac.kr
*** 비회원·충북대학교 도시공학과 박사과정·E-mail : daly2@hanmail.net

학적인 기준유량 및 목표수질의 설정이 무엇보다 중요하다. 또한 세밀히 조사된 오염원 자료와 합리적인 수질모델링을 필요로 하는데, 유량배분은 모델링 과정에서 중요한 인자로 작용하며, 지역의 기준배출부하량을 결정하는 결정적인 요소 중의 하나이다. 기존의 유량배분은 대부분 관측지점을 기준으로 한 단순한 면적비 유량배분기법(SAWA; simple area-based water-balance analysis)에 의존해왔다. 그러나 SAWA는 특정 유역의 토지피복, 토양, 지형경사 및 강우분포 등의 수문학적 특성을 고려하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 즉, 동일한 면적의 유역이라도 이러한 수문 특성인자에 따라 유출되는 유량이 달라지는 현상을 고려하지 못하고 있다. 이는 곧 지역의 기준배출부하량의 신뢰성에 영향을 미치기 때문에 지역간 분쟁의 소지가 될 수 있다.

본 연구는 기존의 유량배분 방법인 SAWA가 가지는 한계점을 극복하고자 강우분포 및 토지피복의 수문학적 특성을 이용한 유량배분기법(HIWA; hydro-infomatical water-balance analysis)의 개발을 목적으로 수행되었다. 강우분포와 토지피복이 하천유량에 미치는 영향을 분석하고 공간정보화 한 후 지형정보체계(GIS)의 수문분석 기법을 이용하여 유량을 배분하였다. ARC/INFO의 KRIGING 보간법을 이용하여 구축한 등강우분포도와 토지피복에 따른 유출특성을 분석하여 강우유출 해석을 위한 가중지형정보를 생성하였다.

2. 연구방법

2.1 단순 면적비 유량배분기법(SAWA)

기존에 사용되어 온 SAWA는 식(1) 및 (2)와 같이 유량관측지점의 유량 Q_0 를 유역면적 A_0 로 나눈 단위면적유량 U_0 를 구한 후, 유량을 구하고자 하는 유역의 면적 A_i 를 곱하여 해당유역의 유량을 산출하는 방법이다. SAWA는 계산방법이 간단하며 유역 전체의 강우분포가 동일한 작은 규모의 수계를 대상으로 할 경우가 적합하다. 또한, 강우 유출에 영향을 미치는 토지피복, 지형경사 및 토양특성 등의 수문인자가 유사한 지역에 적합하다는 한계점을 가지고 있다.

$$U_0 = Q_0/A_0 \quad (\text{m}^3/\text{sec}/\text{Km}^2) \quad (1)$$

$$Q_i = A_i \times U_0 \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (2)$$

2.2 강우의 공간분포 특성

하천의 유량은 강우량에 가장 큰 영향을 받기 때문에 넓은 지역을 대상으로 유량을 배분할 경우는 강우의 공간적 분포를 고려해야 한다. 대상 유역이 동일한 강우분포를 가진다고 볼 수 없을 정도로 광범위하고 토지이용이 다양할 경우는 SAWA에 의한 강우의 공간분포해석은 한계점을 가지고 있다. 이는 지역발전과 밀접한 관계를 가진 수질오염총량관리에 적용될 경우 지역간 갈등을 초래할 수 있다. 강우의 공간적 분포를 해석하기 위한 방법은 일반적으로 산술평균법, 티센(Thiessen)의 가중법 및 등강우곡선법이 있다. 산술평균법은 지형이나 강우관측소의 분포상태, 밀도 등을 고려하지 못하므로 비교적 평야지역에서 강우분포가 균일하고 유역면적이 약 500Km² 미만인 지역에 적합하다. 티센의 가중법은 가장 널리 사용되고 있는 방법으로 강우관측소의 분포상태나 밀도는 고려하나 지형적인 조건은 고려하지 못하므로 산악효과가 비교적 적고 유역면적이 약 500~5,000Km²인 지역에 적합하다. 등강우곡선법은 산악효과와 강우관측소의 공간분포 특성을 고려할 수 있으므로 보다 광범위한 유역에 적용될 수 있으나 다른 방법에 비해 분석하기가 어렵다는 단점이 있다. 최근에는 GIS의 KRIGING 보간법을 이용하여 등강우곡선을 그릴 수 있는 기법이 개발되어 활발히 이용되고 있다. 본 연구에서는 ARC/INFO의 KRIGING 기능을 이용하여 등강우분포도를 구축하였다.

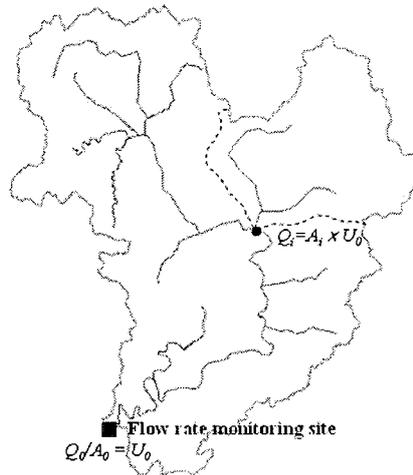


그림 1. 단순면적비 유량배분

2.3 토지피복 특성과 하천유량

토지피복은 동일한 조건하에서 강우에 의한 지표유출에 큰 영향을 미친다. 유역의 토지피복 특성은 강우유출 형태나 하천의 유량변화에 영향을 준다. 강우기간 동안에는 불투수층이 지배적인 유역에서의 유량이 투수층이 지배적인 유역에서의 유량보다 빨리 증가하고 더 많은 양을 보이지만, 강우사상이 끝난 후에는 지표 또는 지하로 침투되었던 물이 유출됨으로 투수층이 지배적인 유역에서의 하천유량이 더 많게 된다. 일반적으로 하천의 수질은 강우 후 유량이 안정된 시기에 측정하며, 이 때는 투수층이 지배적인 유역이 불투수층이 지배적인 유역보다 하천의 유량이 많게 된다. 따라서 유역의 투수능은 하천의 유량을 좌우하는 변수로 작용하며 이를 정량적으로 표현하는 방법 중의 하나가 토지피복에 따른 유출계수이다. 많은 경험적인 연구에서 토지피복에 따른 유출계수의 범위를 정의하고 있다. 강우사상이 끝난 후의 하천유량에 대해서 유출계수는 하천유량과 역의 상관성을 갖게 된다.

$$Q \propto R \times (1 - k), \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3)$$

여기서 Q 는 유역 출구에서의 유량(m^3/sec), R 은 유역내의 강우량(mm), k 는 토지피복에 따른 유출계수이다. 즉, 강우 후 표면유출이 끝난 시점에서의 하천유량은 강우량 R 과 투수계수($1-k$)의 곱에 비례한다.

2.4 GIS를 이용한 유량배분 과정

식(1)에서 유역면적 A_0 는 DEM(digital elevation model)자료를 이용한 GIS의 수문분석기능 중 FLOW_ACCUMULATION을 이용하여 구할 수 있으며, 소유역 말단의 흐름누적값(AV; accumulation value)으로 표현된다. 즉, 유량관측지점에서의 총 흐름누적값 AV_0 는 식 (1)의 A_0 , 소유역 말단의 흐름누적값 AV 는 식 (2)의 A 와 같다. 따라서 식 (1), (2)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_0 = Q_0 / AV_0 \quad (m^3/sec/Cell) \quad (4)$$

$$Q_i = AV_i \times U_0 \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (5)$$

본 연구에서는 SAWA 관계식인 식(4), (5)의 한계점을 보완하기 위하여 FLOW_ACCUMULATION 분석시 강우분포와 토지피복을 고려한 가중지형정보를 이용하였다.

$$\text{Flow_Accumulation} = \text{flowaccumulation}(\text{DEM}) \quad (6)$$

$$\text{Flow_Accumulation} = \text{flowaccumulation}(\text{DEM}, \text{Weight_Grid}) \quad (7)$$

식(6)은 모든 지점(Cell)에 동일한 강우와 동일한 유출계수를 적용한 경우이며, 식(7)은 강우에 영향을 미치는 인자를 지형정보로 변환하여 생성한 가중지형정보를 적용한 방법이다. 식(7)에 의해 산출한 유량관측지점에서의 총 흐름누적값을 WAV_0 , 소유역 말단의 흐름누적값을 WAV_i 라 하면, 식 (4), (5)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_0 = Q_0/WAV_0 \quad (\text{m}^3/\text{sec}/\text{Cell}) \quad (8)$$

$$Q_i = WAV_i \times U_0 \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (9)$$

이때 가중흐름누적치는 그림 2와 같은 공간분석 과정을 통하여 계산하였다. 강우자료로부터 구축한 공간강우분포(R^*)와 토지피복에 따른 유출특성 공간정보(K^*)를 식 (3)에 적용하여 가중공간정보를 구축하였다. 가중공간정보와 DEM 자료를 입력정보로 하여 FLOW ACCUMULATION 공간분석을 실시하여 각 유역별 가중흐름누적치를 계산하였다.

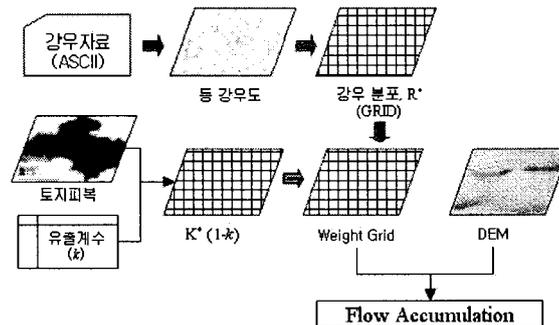


그림 2. 공간분석 과정

3. 결과 및 토의

3.1 연구 대상지역 및 범위

본 연구는 금강수계 중 미호천수계(그림 3)를 대상으로 실시하였으며, 유량 자료는 제1차 수질 오염총량관리제 기본계획 수립을 위해 실측한 자료를 사용하였다. 강우분포도는 기상청 강우자료를 ARC/INFO의 KRIGING 보간법을 이용하여 분석하였다(그림 4).

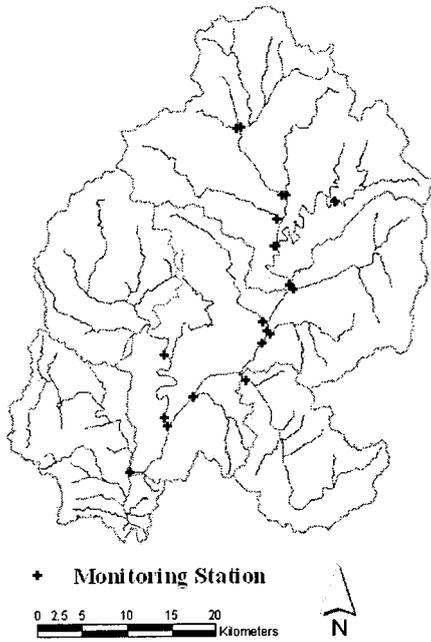


그림 3. 미호천수계 실측지점

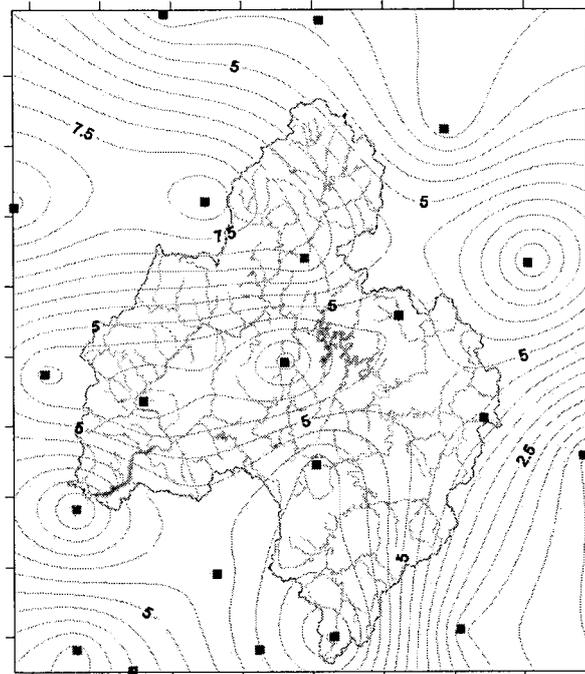


그림 4. 금강수계 강우분포 분석

3.2 가중공간정보 생성

토지피복 정보는 LandSat TM 위성영상을 분석하여 구축하였으며(그림 5), 가중흐름누적분석을 위한 지형가중정보는 그림 6과 같다.

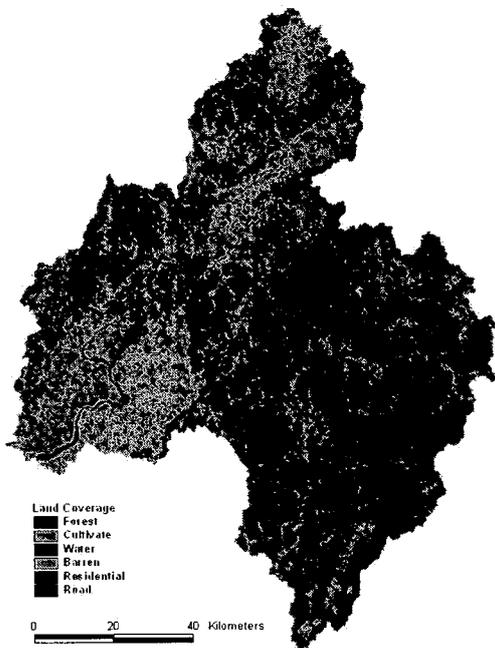


그림 5. 금강수계 토지피복도

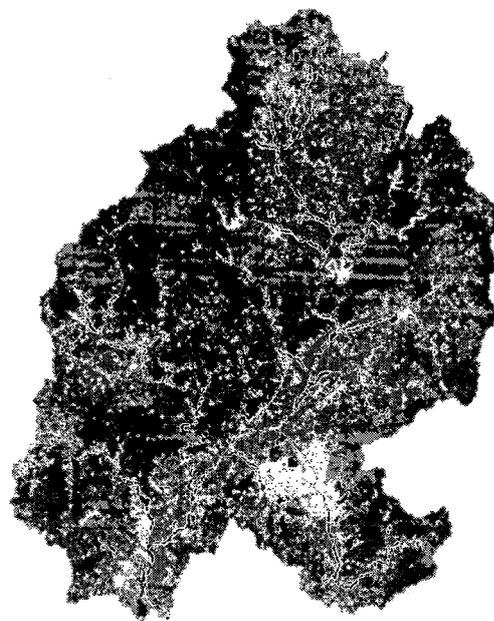


그림 6. 강우분포특성을 고려한 지형가중정보

표 1. SAWA와 HIWA의 유량배분결과 RMSE 오차분석

측정지점	유량(2003.10, m ³ /sec)			유량(2004.3, m ³ /sec)		
	실측값	SAWA	HIWA	실측값	SAWA	HIWA
M1	1.580	1.126	1.066	0.807	1.006	0.562
M2	0.101	0.371	0.266	0.008	0.331	0.157
M3	2.576	1.963	1.905	1.240	1.752	1.108
M4	0.937	0.834	1.189	0.509	0.743	0.688
M5	0.758	1.219	1.263	0.371	1.086	0.803
M6	0.544	0.736	0.921	0.456	0.656	0.689
M7	-	-	-	0.680	1.153	1.258
M8	5.059	4.097	4.719	2.353	3.653	3.000
M9	6.364	5.664	6.680	2.932	5.049	4.571
M10	1.128	1.649	1.859	1.234	1.482	1.757
M11	0.484	0.789	0.779	0.606	0.704	0.874
M12	10.694	9.138	10.947	4.437	8.158	8.577
M13	2.240	1.680	2.062	1.716	1.469	2.786
M14	2.251	3.110	3.101	1.643	2.771	2.331
M15	2.902	3.554	4.319	1.718	3.166	3.594
M16	18.646	18.619	18.646	16.923	16.897	16.923
RMSE		0.588	0.490		0.866	0.853

3.3 유량배분 결과 분석

표 1은 미호천 수계의 관측지점에 대한 실측유량과 SAWA 및 HIWA에 의해 계산된 유량배분 결과이다. 유량배분분석은 2003년 10월과 2004년 3월의 자료를 이용하여 분석하였다. 관측지점 중 M7은 2003년 10월에는 건천으로 유량이 측정되지 않았다. 실측유량과의 RMSE 분석결과 2003년 10월에는 약 16.7%, 2004년 3월에는 1.5%의 정확도 향상을 가져왔다.

4. 결론

본 연구는 단순 면적비에 의한 유량배분 기법의 한계점으로 인한 수질모델링 및 부하량 산정 오차를 최소화하고자 유역의 강우패턴과 토지피복 특성을 고려한 유량배분을 목적으로 수행되었다. 강우분포 특성을 고려하기 위한 격자형 강우분포 공간정보와 토지피복에 따른 유출특성을 고려하기 위한 격자형 유출특성 공간정보를 결합하여 가중지형정보를 도출하였다. 또한, 지형정보체계(GIS)의 수문분석 기능을 이용하여 유량을 배분하였다. 2003년 10월과 2004년 3월의 실측자료를 기준으로 분석한 결과 SAWA보다 각각 16.7% 및 1.5%의 정확도 향상을 가져왔다.

참 고 문 헌

1. 환경부(2004). 국립환경연구원, 수질오염총량관리 업무편람.
2. 윤용남(2002). 공업수문학, 청문각.
3. ESRI(1995). Using GRID with ARC/INFO.
4. Bae M.S. and S.R. Ha(2005). GIS-based influence analysis of geomorphologic properties on pollutant wash-off in agricultural area, *Water Sci. & Tech.* 51(3-4), pp.301-307.