

연구논문

오염총량관리지역내 소하천에 대한 BASINS 4.0 및 WinHSPF의 적용과 유전알고리즘을 이용한 매개변수의 보정

조재현 · 윤승진

관동대학교 보건환경학과

(2011년 11월 16일 접수, 2012년 2월 10일 승인)

Application of BASIN 4.0 and WinHSPF to a Small Stream in Total Water Pollution Load Management Area and Calibration of Model Parameter using Genetic Algorithm

Jae-Heon Cho · Seoung-Jin Yun

Department of Health and Environment, Kwandong University

(Manuscript received 16 November 2012; accepted 10 February 2012)

Abstract

Recently various attempts have been made to apply HSPF model to calculate runoff and diffuse pollution loads of stream and reservoir watersheds. Because the role of standard flow is very important in the water quality modelling of Total Water Pollution Load Management, HSPF was used as a means of estimating standard flow. In this study, BASINS 4.0 and WinHSPF was applied to the Gomakwoncheon watershed, genetic algorithm(GA) and influence coefficient algorithm were used to calibrate the runoff parameters of the WinHSPF. The objective function is the sum of the squares of the normalized residuals of the observed and calculated flow and it is optimized using GA. Estimates of the optimum runoff parameters are made at each iteration of the influence coefficient algorithm. The calibration results showed a relatively good correspondence between the observed and the calculated values. The standard flow(Q275) of the Gomakwoncheon watershed was estimated using the ten years of weather data.

Keywords : BASINS 4.0, WinHSPF, genetic algorithm, influence coefficient algorithm, calibration, standard flow.

I. 서론

수질오염총량관리제의 수질계산에 있어서 대상 유역내 하천 유량 자료의 수집이 필요하고, 그 중에서도 수질모형 적용의 기준이 되는 기준유량 산정은 수질모델링에 있어서 아주 중요한 부분이다. 유량자료가 많지 않은 소하천의 기준유량을 산정할 때는 비유량을 적용할 수도 있지만 일부 실측자료를 확보할 수 있을 때는 유역모형의 적용을 통해서 기준유량을 산정하는 것도 한가지 방법이다. 근래 들어 HSPF 모형을 이용해서 수질오염총량관리의 수계내 오염부하량과 유출량을 산정하려는 시도가 있어 왔다.

성동권 등(2002)은 HSPF 모형의 국내 활용의 첫 단계로서 GIS의 도형자료와 속성자료를 이용해서 HSPF의 입력인자의 초기값을 산정하는 방법에 대해 연구하였다. 장재호 등(2006)은 금강유역내 용담댐 유역의 2년간의 모니터링 자료를 이용하여 BASINS/HSPF모형을 보정하였다. HSPF의 유출량 보정은 민감도 분석 결과 총유출량과 침투유량에 대하여 변위가 큰 매개변수부터 차례로 보정하고, 수질에 대해서도 민감도가 큰 매개변수부터 보정하여, 유역의 오염부하 특성을 정량적으로 분석하면서 HSPF의 댐유역 오염관리에 대한 적용성을 검토하였다. 윤춘경 등(2007)은 남한강 상류유역에 WinHSPF 모형을 적용하여 오염부하량을 산정하고, 비교적 오염부하량이 많이 배출되는 상류소유역에 비점오염원 저감시설을 설치하였을 경우, 비점오염물질의 저감효과에 대해서 WinHSPF의 BMPRAC 모듈을 적용하였다. 전지홍 등(2009)은 PEST(Model-Independent Parameter Optimizer)를 이용하여 HSPF의 유출량을 보정하였고, 금강수계의 전주천을 대상으로 일별 유출량, 월별 유출량, 유황분석자료 등을 이용한 보정 결과를 분석하였다. 김경태 등(2009)은 HSPF를 이용해서 안양천 유역에 대한 수질오염총량관리제 적용을 위한 기준유량을 도출하고 오염부하량을 산정하였다. 송혜원 등(2009)은 경안천 유역에 HSPF를 적용해서 세가지 수질관리 시나리오에 대한 수질개선 효과를 예

측하였다. 이용은 등(2010)은 BASINS/ HSPF와 연계해서 비점유달부하량을 유형별로 산정하는 방법을 개발하고 동북천 유역에 적용해서 그 효용성을 평가하였다.

본 연구에서는 미국 EPA의 BASINS 4.0과 연동되어 실행되는 WinHSPF를 영산강 수계의 고막원천에 적용하였다(그림 1참조). 앞서 언급한 대부분의 연구에서는 유출량에 큰 영향을 주는 WinHSPF의 중요 매개변수를 시행착오법으로 수동보정하는 것이 일반적이었다. 그럴 경우 객관성이 부족하기 때문에 본 연구의 WinHSPF 적용에서는 유전알고리즘과 영향계수를 이용해서 WinHSPF의 최적매개변수를 선정하였다. 이를 바탕으로 수질오염총량관리제의 적용을 위한 기준유량을 산정하였다.

II. 연구방법

1. BASINS와 WinHSPF 모형 개요

BASINS(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)는 국가나 지역의 공공기관 등에서 수계와 수질관련 연구를 수행하는데 활용할 수 있는 일종의 다목적 환경분석시스템이다(U.S. EPA, 2010). BASINS는 환경정보의 검토를 용이하게 하고, 환경시스템의 분석을 지원하고, 환경관리대책을 검토하기 위한 틀을 제공하기 위한 목적으로 미국 EPA에서 개발하였다. BASINS는 수계단위의 환경 및 생태관련 연구를 지원하고, 단순한 분석도구로부터 복잡한 분석도구까지 다양한 형태의 분석을 지원한다. 또한 Total Maximum Daily Loads(TMDLs)의 개발을 지원하는 체계도 갖추고 있다. TMDLs를 개발하기 위해서는 점오염원과 비점오염원을 통합하는 수계단위의 접근이 필요하다. BASINS는 다양한 오염물질에 대한 수계단위의 점원 및 비점원 오염분석을 지원함과 동시에 여러 가지 관리 대안을 검토할 수도 있다.

수계단위 환경평가를 위한 과거의 전통적인 접근 방법에서는 자료준비, 정보요약, 지도와 도표준비, 각종 모델의 적용과 해석 등과 같은 여러 가지 개별

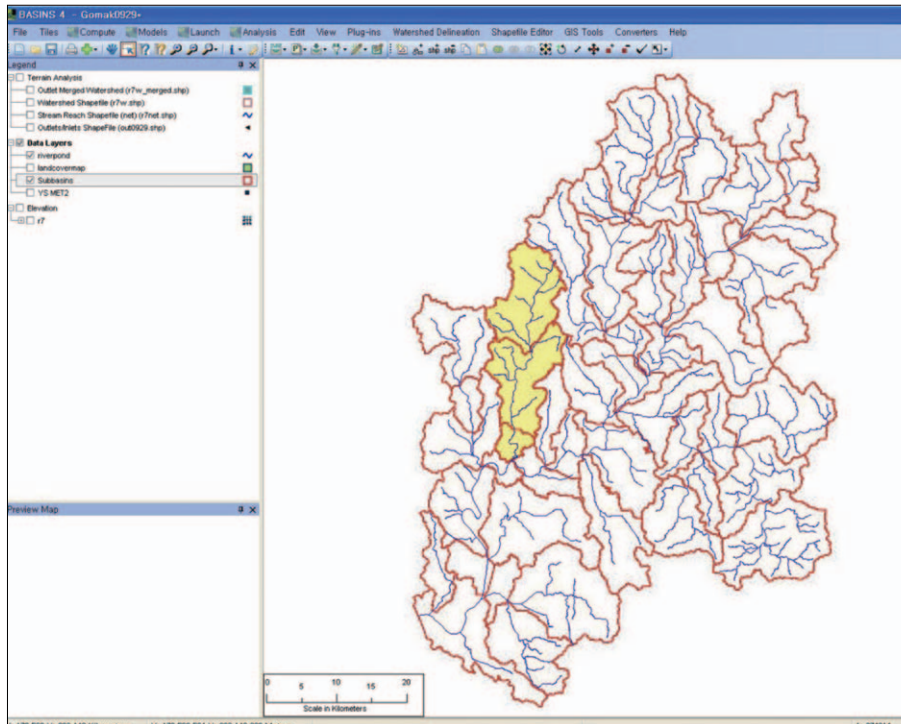


그림 1. 영산강 및 고막원천 유역도

적인 단계가 필요하였고, 이러한 각 단계는 여러 가지 분석도구와 컴퓨터시스템을 이용해서 수행되기 때문에 통합과 조화가 부족하고 많은 시간이 소요되었다. 여러 가지 핵심 자료와 분석도구를 BASINS 라는 시스템의 한 지붕 안에서 활용하므로 효과적으로 수계 및 수질관련 연구를 수행할 수 있게 해준다.

BASINS는 GIS의 활용을 통해서 토지이용, 점오염원 배출, 취수 등의 여러 정보를 사용자가 선택한 축척으로 표시하고 통합할 수 있다. BASINS는 다양한 측면의 환경 분석을 가능케 하는 서로 연관된 요소들의 집합체로서 구성된다. BASINS의 요소들은 새로운 프로젝트를 구축하기 위한 데이터베이스, 대축척과 소축척 수계특성을 망라하는 수계특성보고서, 자료를 정리하고 평가하는 기능, 배수구역분할(watershed delineation) 기능, HSPF와 SWAT 등의 수계 부하량과 오염물질 수송에 관한 모형 등을 포함하고 있다. 특히 본 연구에서 적용한 BASINS 4.0은 예전의 version과는 달리 소

스가 공개된(open-source) MapWindow GIS를 기반으로 개발되었고, 예전과 같이 ArcView 3.x와 ArcGIS 9.x로부터 자료를 불러들이고 보낼 수도 있다.

HSPF는 대상 수계의 수문과 전통적인 오염물질과 독성 유기오염물질의 수질을 모의하는 종합적인 패키지이다. HSPF는 수계 규모의 ARM(Agricultural Runoff Management)과 NPS(Nonpoint Source) 모형을 1차원 하천의 오염물질 거동을 포함하는 유역 규모의 분석 도구로 통합한 것이다. 하천수리와 퇴적물-화학물질의 반응과 함께 토지 및 토양 오염물질 유출 과정을 통합해서 모의할 수 있다. HSPF모형을 효과적으로 사용할 수 있도록 모형의 매개변수를 추정하는 HSPEXP, 입출력자료관리 시스템인 WDMutil, HSPF 호환모형인 WinHSPF, 결과를 시각적으로 보여주기 위한 GenScn 등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다(김경태 등, 2009). 전통적인 HSPF 모형은 수계의 물리적인 그리고 물환경 특성을 표현하기 위한 입력자료를 생

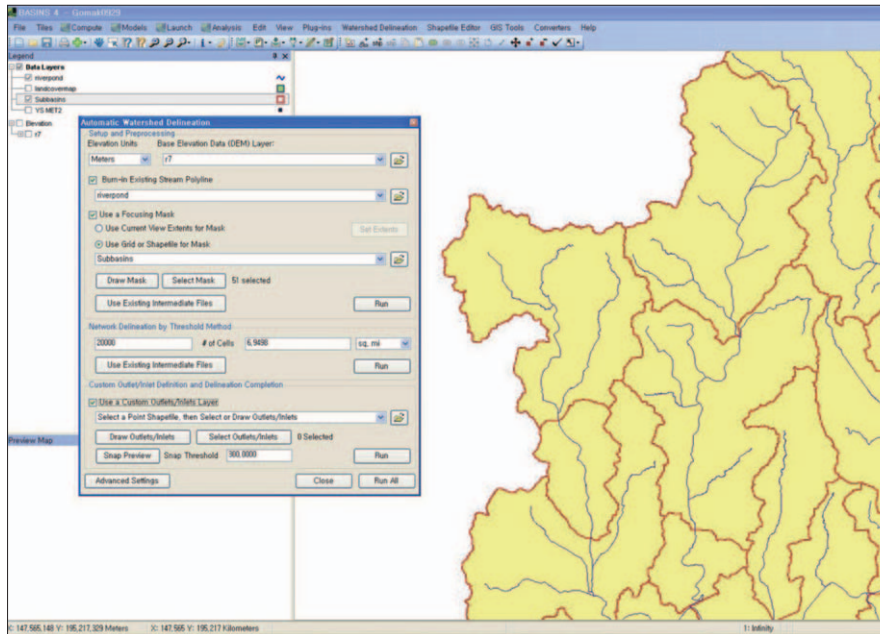


그림 2. Automatic watershed delineation 과정

성하는 과정에서 text editor를 사용하기 때문에 복잡한 대형하천에 적용할 때는 많은 시간과 노력이 소요된다. WinHSPF는 Window 환경에서 HSPF를 구동할 수 있는 인터페이스를 제공하므로 입력 자료의 생성과 수정을 효율적으로 할 수 있고 모델링과정을 시각적으로 보여줄 수 있다.

2. BASINS의 적용

영산강유역의 수치지도로부터 ArcView GIS를 이용해서 영산강유역의 DEM을 작성하였고, 환경부로부터 토지피복도를 제공받았다. 기존에 설정된 영산강의 소배수구역도와 수계도를 기초로 해서 open source GIS software인 MapWindow에 기반을 두고 개발된 BASINS 4.0의 Automatic delineation 기능을 이용해서 BASINS와 WinHSPF 구동에 필요한 배수구역도와 수계도의 Layer를 작성하였다(그림 2 참조). 이 과정에서 소유역별 경사도와 유역면적 등의 공간정보를 도출하였다. 또한 기상자료의 입력을 위해 WDM file을 작성하고, 환경부로부터 제공받은 토지피복도를 이용해서 대상 유역의 토지이용도를 작성하였다.

3. 유전알고리즘과 영향계수법을 이용한 매개변수 보정

본 연구에서는 영향계수법(전경수·이길성, 1993; Becker and Yeh, 1972; Cho and Ha, 2010)을 이용하여 WinHSPF의 매개변수를 자동보정하였다. 본 연구의 매개변수 최적화 과정에서는 새로 추정하고자 하는 매개변수 P_k 에 의한 계산유량의 상대오차 $E_{i,j}^k$ 를 Taylor급수로 전개하고 2차 이상의 항을 무시하면 (1)식과 같이 표현된다. WinHSPF를 적용하여 유량을 계산하고, 유량 매개변수의 변화에 따른 실측값과 계산값의 상대오차 변화량 즉 영향계수를 계산한다.

$$E_{i,j}^k = E_{i,j}^{k-1} + (P_1^k - P_1^{k-1}) \frac{\partial E_{i,j}^{k-1}}{\partial P_1^{k-1}} + \dots + (P_M^k - P_M^{k-1}) \frac{\partial E_{i,j}^{k-1}}{\partial P_M^{k-1}} \quad (1)$$

$$E_{i,j} = \frac{(O_{i,j} - C_{i,j})}{O_{i,j}} \quad (2)$$

여기서 i 는 유량 및 수질변수(유량 보정시는 1 적용), j 는 유량측정 시점, $O_{i,j}$ 는 측정값, $C_{i,j}$ 는 계산값을 나타낸다. 매개변수 최적화의 목적함수는 실측값과 계산값의 상대오차 제곱합을 최소화하는 것으로 하였다. 이 최적화문제는 유전알고리즘을 이용

해서 해석하고 현 단계에서의 최적 유량 매개변수를 추정한다. 단계별로 위의 과정을 반복 실행하여 각 차수별로 유량 매개변수를 추정하고, 상대오차 제곱합이 최소가 될 때의 유량 매개변수를 최적 매개변수로 결정한다.

WinHSPF의 매개변수 최적화에는 Carroll의 유전알고리즘(2004)을 이용하였다. Carroll의 프로그램에 유량 관측값, 영향계수 등을 입력할 수 있게 보완하고, 상대오차 제곱합이 최소화하는 적합도함수를 구성하고, Fortran compiler를 이용해서 실행하였다. 유전알고리즘에서는 Tournament selection으로 부모개체를 선택하고, Jump mutation과 Creep mutation이 함께 적용되었고, Uniform crossover와 Elitism을 적용하였다. 유전알고리즘의 매개변수로서 Jump mutation 확률은 0.01, Creep mutation 확률은 0.1, 교배확률은 0.5를 적용하고, 개체군수는 70, 세대수는 200으로 적용하였다.

기존의 우리나라에서의 HSPF 적용에 관한 문헌을 이용해서 보정 대상 매개변수를 1차 선정하고 이들 매개변수를 대상으로 각 매개변수의 최소와 최대 적용 범위에 대한 민감도분석으로 최종보정 대상 매개변수를 선정하였다. 최종 선정된 매개변수는 투수층의 LZSN, INFILT, KVARY, AGWRC,

DEEPFR, BASETP, UZSN, NSUR, INTFW, IRC와 불투수층의 NSUR 등의 11개이다. 보정에 사용한 유량은 환경부에서 수질오염총량관리를 위해 8일 간격으로 조사한 2009년과 2010년 2년간의 실측 유량자료이다.

III. 결과토의

1. WinHSPF 모형 구축

WinHSPF의 적용을 위한 기상자료로 광주기상대의 시간기상자료(강수량, 기온, 풍속, 일사량, 이슬점온도, 전운량)와 일기상자료(일최대기온, 일최저기온, 풍속, 전운량, 이슬점온도, 일사량, 증발량)를 수집하였다. 이 15가지 기상자료를 Excel을 이용해서 WDMutil에서 읽을 수 있는 txt file로 변환하고 WDM file에 저장하였다(그림 3 참조). 앞 절에서 작성한 배수구역도, 수계도의 layer와 기 작성된 토지이용도, 기상관측소 정보에 관한 layer, 기상자료의 WDM file을 준비하고 BASINS으로부터 WinHSPF를 구동하였다. WinHSPF project 작성을 위해서 General tab에서 배수구역도, 수계도, 기상관측소 등의 layer를 지정하고(그림 4 참조), Landuse tab에서 토지이용도의 layer를 지정하고

Type	File	DSN	Scenario	Location	Constituent	Start	S/JD	End	E/JD
WDM	GW MET MODIFIED	11	OBSERVED	GWANGJU	PREC	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	13	OBSERVED	GWANGJU	ATEM	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	14	OBSERVED	GWANGJU	WIND	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	15	OBSERVED	GWANGJU	SOLR	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	16	COMPUTED	GWANGJU	PEVT	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	17	OBSERVED	GWANGJU	DEWP	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	18	OBSERVED	GWANGJU	CLOU	2009/1/1	54832.0416666667	2011/1/1	55562.0416666667
WDM	GW MET MODIFIED	19	OBSERVED	GWANGJU	TMAX	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	20	OBSERVED	GWANGJU	TMIN	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	21	OBSERVED	GWANGJU	DWND	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	22	OBSERVED	GWANGJU	DCLD	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	23	OBSERVED	GWANGJU	DPTP	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	24	OBSERVED	GWANGJU	DSOL	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	25	COMPUTED	GWANGJU	DEVT	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562
WDM	GW MET MODIFIED	26	OBSERVED	GWANGJU	DEVP	2009/1/1	54832	2010/12/31	55562

그림 3. 광주기상대 기상자료 WDM

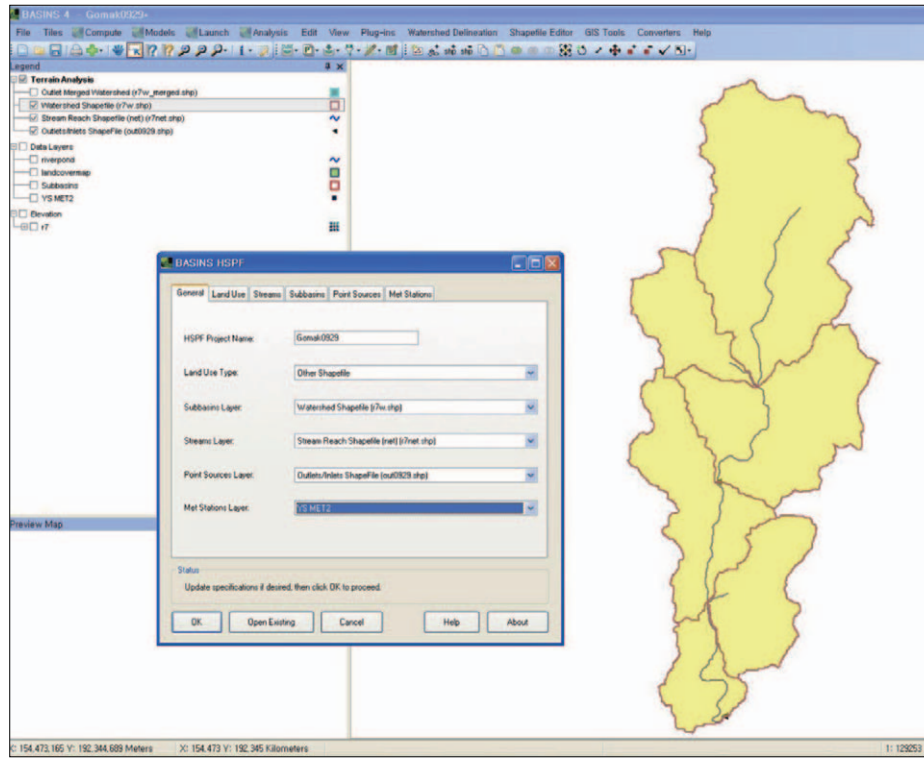


그림 4. BASINS로부터 WinHSPF project 구축을 위한 General tab의 설정

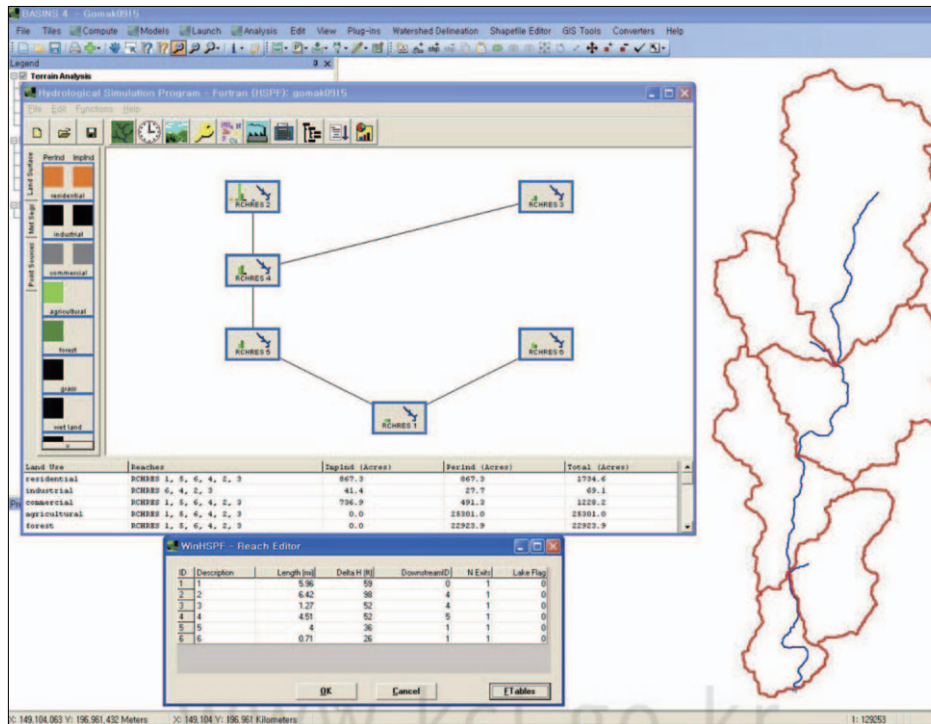


그림 5. WinHSPF reach editor

토지이용 분류를 설정하였다. BASINS에서의 WinHSPF project 작성의 마지막 단계로 기상자료 WDM을 인식시킨다. 이어서 HSPF UCI(User Control Input) file을 생성해서 그림 5와 같은 고막원천에 대한 WinHSPF project를 구축하였다.

WinHSPF에서는 reach편집(그림 5 참조), 계산 시간 입력, 토지이용편집을 선택적으로 수행하고, Control card editor를 이용해서 이 WinHSPF project에서 계산할 모듈(PERLND, IMPLND, RCHRES)의 매개변수를 선정한다. WinHSPF data editor에서는 각 모듈의 매개변수를 입력하였다. 이와 같이 WinHSPF의 입력자료를 준비하고 UCI를 실행해서 고막원천 하류의 총량관리를 위한 수질조사 지점의 유출량을 계산하였다.

2. 보정결과

본 연구에서는 앞서의 영향계수법과 Carroll의 GA를 통합한 Fortran 프로그램을 개발하였다. 이 GA 프로그램을 이용해서 고막원천의 유출량에 대한 보정을 수행해서 WinHSPF의 최적 매개변수를 추정하였다. 7차까지 반복계산하고 각 차수별로 WinHSPF 모형의 유량관련 최적 매개변수를 반복 추정하여 오차에 대해 분석한 결과를 표 1에 제시하였고, 결정계수(R^2), CV(RMSE), 상대오차제곱합의 세가지 항목에 대해서 오차분석을 하였다. 결정계수는 추정한 선형 모형이 주어진 자료에 적합한 정도를 재는 척도이다. CV(RMSE)는 실측값의 평균에 대하여 실측값과 계산값에 대한 RMSE의 변동계수를 계산한 것으로서 계산값의 정밀도를 나타내는 좋은 척도이다. 그리고 유량 측정값과 계산값의 절대 오차로 오차분석시에는 홍수 때와 같이 유량이 큰 시기의 소수의 유량자료의 오차가 전체 오차에 대해 큰 영향을 주기 때문에 이것을 방지하기 위해 유량 관측값과 계산값의 상대오차제곱합을 분석하였다.

$$CV(RMSE) = \left(\sum_{i=1}^n (C_i - O_i)^2 / n \right)^{1/2} / \bar{O}$$

Sum of the squares of the normalized residuals

$$= \sum_{i=1}^n ((C_i - O_i) / ((C_i + O_i) / 2))^2$$

표 1. 최적화 모형의 반복 적용차수별 상대오차 제곱합, 결정계수 그리고 CV(RMSE).

반복회수	상대오차제곱합	결정계수	CV(RMSE)
기본계산	65.32	0.30	2.56
GA 1차	48.58	0.84	1.86
GA 2차	47.41	0.53	2.28
GA 3차	38.49	0.83	1.92
GA 4차	30.32	0.80	2.08
GA 5차	30.48	0.83	2.00
GA 6차	27.55	0.84	2.05
GA 7차	28.80	0.85	2.02

표 1에서 기본계산의 자료는 영향계수법과 GA로 반복 추정을 시작하기 전에 각 매개변수의 평균값으로 WinHSPF를 실행한 결과이다. 결정계수의 경우 7차 계산 결과가 0.85로 가장 크고 다음에 1차와 6차가 0.84로 계산되어 7차 결과와 근소한 차이를 보였다. CV(RMSE)는 1차의 값이 가장 작은 것으로 계산되었다. 반면 상대오차제곱합의 경우는 6차에서 가장 오차가 적은 것으로 계산되었다. 이 계산 과정에서 결정계수와 RMSE 등은 실측값과 계산값의 절대오차가 오차 최적화에 큰 영향을 주어서 홍수기와 같은 큰 유량일 때 오차가 크게 되고, 이 시기의 오차를 줄이는 방향으로 최적화가 진행된다. 따라서 고수위 때의 유량에 대해서 중점적으로 보정을 진행하게 되어서 상대오차제곱합의 결과와는 상이한 결과를 보인다. 이와 같은 점을 고려해서 본 연구에서는 실측값과 계산값의 평균에 대한 두 값의 절대오차로 최적화를 진행하므로 유량이 큰 시기나 작은 시기가 특별히 최적화문제의 목적함수에 큰 영향을 주지 않는 상대오차제곱합으로 최적화문제를 구성하였다. GA를 이용해서 7차까지 반복계산한 결과 중 6차의 상대오차제곱합이 가장 적고 이후에 7차에서는 근소하게 오차가 증가하므로 6차에서 결정된 최적 매개변수를 고막원천의 WinHSPF 모형의 최적 매개변수로 결정하였다. 표 2에는 본 연구에서 최적화하는 매개변수의 최소 최대값의 범위와 최종 추정된 매개변수를 나타내었다. 본 연구의 최적화모형을 적용해서 고막원천의 유량을 보정한 결과는 그림 6과 같다. 수질오염총량관리에서 적

표 2. 본 연구의 자동보정에서 적용된 WinHSPF 매개변수의 범위와 최종 결정된 값

Parameter	Definition	Units	Typical range		Possible range		This study		Final value	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max		
PWAT - PARM 2	LZSN	Lower zone nominal soil moisture storage	inches	3	8	2	15	3	8	7.01
	INFILT	Index to infiltration capacity	in/hr	0.01	0.25	0.001	0.5	0.01	0.5	0.013
PWAT - PARM 3	KVARY	Variable groundwater recession	1/inches	0	3	0	5	0	3	2.85
	AGWRC	Base groundwater recession	none	0.92	0.99	0.85	0.999	0.85	0.999	0.98
PWAT - PARM 3	DEEPFR	Fraction of GW inflow to deep recharge	none	0	0.2	0	0.5	0	0.2	0.10
	BASETP	Fraction of remaining ET from baseflow	none	0	0.05	0	0.2	0	0.05	0.018
PWAT - PARM 4	UZSN	Upper zone nominal soil moisture storage	inches	0.1	1	0.05	2	0.05	2	1.01
	NSUR	Manning's n (roughness) for overland flow	none	0.15	0.35	0.05	0.5	0.15	0.35	0.18
PWAT - PARM 4	INTFW	Interflow inflow parameter	none	1	3	1	10	1	10	1.06
	IRC	Interflow recession parameter	none	0.5	0.7	0.3	0.85	0.3	0.85	0.34
IWAT - PARM 2	NSUR	Manning's n (roughness) for overland flow	none	0.03	0.1	0.01	0.15	0.03	0.1	0.058

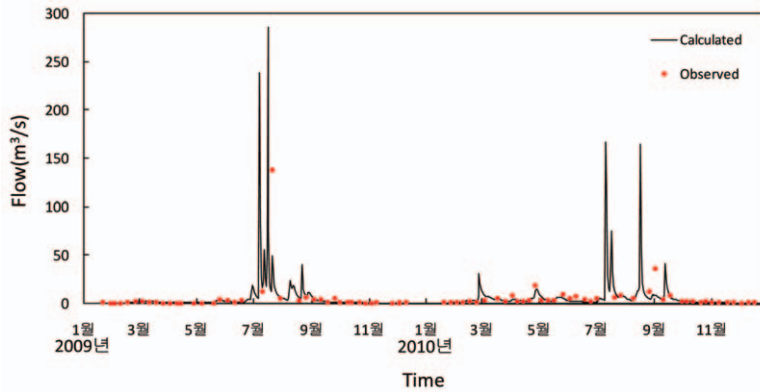


그림 6. 고막원천 유량보정 결과

용하는 기준유량은 저수량으로서 홍수시의 침투유량보다 저수량이 더욱 중요하기 때문에 저수기, 평수기때의 보정 결과는 적절한 것으로 판단된다.

3. 기준유량

앞서 조사된 1999년부터 2008년까지의 10년간의 기상자료(강수량, 기온, 풍속, 일사량, 이슬점온도, 전운량의 시간 기상자료와 일최대기온, 일최저기온, 풍속, 전운량, 이슬점온도, 일사량, 증발량의 일기상자료)와 이를 이용해 생성한 일증발산과 시간증발산의 time series 에 대한 WDM file을 작성하였다. 이렇게 작성된 WDM으로 고막원천의 10년간의 일유량을 계산하여 저수량을 산정하였다. 각 년도별 저수량은 최소 0.43 m³/sec에서 최대

0.93 m³/sec까지 분포하였고, 10년 평균저수량 즉 총량관리의 기준유량은 0.71 m³/sec였다. 이 값은 전라남도 영산강수계 오염총량관리 기본계획에서 제시된 고막원천의 저수량 추정치인 0.73 m³/sec 과 비슷한 값이다.

IV. 결론

BASINS 4.0과 연동되어 실행되는 WinHSPF의 PERLND, IMPLND, RCHRES block을 영산강수계의 고막원천에 적용하여 고막원천의 유출량을 계산하고, GA와 영향계수법을 이용해서 투수층의 LZSN, INFILT, KVARY, AGWRC, DEEPFR, BASETP, UZSN, NSUR, INTFW, IRC와 불투수

층의 NSUR 등의 11개 WinHSPF 매개변수를 보정하였다. 보정시 최적화문제의 목적함수는 유량 실측값과 계산값의 오차에 대한 상대오차제곱합을 최소화하도록 하였다. 결정계수와 RMSE 등은 실측값과 계산값의 절대오차가 오차 최적화에 큰 영향을 주므로 고수위 때의 유량에 대해서 중점적으로 보정을 진행하게 된다. 이에 본 연구에서는 유량이 큰 시기나 작은 시기가 특별히 최적화문제의 목적함수에 큰 영향을 주지 않는 상대오차제곱합으로 최적화문제를 구성하였고, 효과적으로 WinHSPF 모형을 보정할 수 있었다. GA와 영향계수를 이용해서 7차까지 반복계산하였고 6차에서 결정된 최적 매개변수를 고막원천의 WinHSPF 모형의 최적 매개변수로 추정하였다. 6차 결과의 결정계수도 상대오차제곱합과 유사하게 높게 나타났으나 CV(RMSE)는 전체 계산 중 중간 정도의 크기를 보였다. 따라서 본 연구의 영향계수법에 의한 계산에서는 상대오차제곱합과 CV(RMSE)의 각 차수별 패턴이 상당히 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 10년간의 기상자료로 작성된 WDM으로 고막원천의 10년간의 일유량을 계산하여 산정한 10년 평균저수량 즉 총량관리의 기준유량은 $0.71 \text{ m}^3/\text{sec}$ 였다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2010-0024879).

참고문헌

- 김경태, 정은성, 김상욱, 이길성, 성진영, 2009, 우리나라 오염총량관리제도의 적용 및 개선: 1. 안양천유역의 오염부하량 산정, 한국물환경학회지, 25(6), 972-978.
- 성동권, 최경식, 김태근, 조기성, 2002, HSPF모형의 유출량 산정모듈 입력인자 분석 및 GSIS를 이용한 인자 산정, 대한토목학회논문집, 22(3-D), 519-528.
- 송혜원, 이해원, 최정현, 박석순, 2009, 유역관리에 따른 수질개선 효과분석을 위한 HSPF 모델 적용, 31(5), 358-363.
- 윤춘경, 신아현, 정광욱, 장재호, 2007, BASINS/HSPF를 이용한 남한강 상류유역의 비점오염원 저감효율평가, 한국물환경학회지, 23(6), 951-960.
- 장재호, 윤춘경, 정광욱, 전지홍, 2006, BASINS/HSPF를 이용한 용담댐 유역의 오염부하량 산정, 한국육수학회지, 39(2), 187-197.
- 전경수, 이길성, 1993, 영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정, 대한토목학회논문집, 13(4), 163-176.
- 전지홍, 최동혁, 김정진, 김태동, 2009, 수질학적 관점에서의 수문모델 유출량 보정 방법 평가, 한국물환경학회지, 25(3), 432-440.
- Becker, L., Yeh, W. W. G., 1972, Identification of parameters in unsteady open channel flow, Water Resources Research, 8(4), 956-965.
- Carroll, D.L., 2004, <http://cuaerospace.com/carroll/ga.html>.
- Cho, J.H., Ha, S.R., 2010, Parameter optimization of the QUAL2K model for a multiple-reach river using an influence coefficient algorithm. Science of the Total Environment, 408(8), 1985-1991.
- U.S. EPA, 2010, Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources BASINS version 4.0 User's Manual, from: http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/BASINS4_index.cfm.