

매개변수 추정 및 보정과정의 개선을 위한 전문가 시스템의 개발

○ 이 범희* , 이 길성**

1. 서론

전문가 시스템의 목적은 특별한 주제에 대한 전문가의 의견과 조언을 사용자에게 제공하려는 것으로, 본 연구에서는 사용자가 접근하기 쉬운 형태로 전문가 시스템을 개발하여 SWMM(Storm Water Management Model)에 적용함으로써 매개변수의 추정 과정을 개선하였다. 이에 따라 본 연구에서는 Fig.1의 과정으로 연구를 수행하되, 선정된 대상 유역과 적용 모형의 특성을 파악한 후, 대상 유역에 관한 자료 수집과 기본 조사를 시행하였으며, 모형의 기본 이론과 구조 검토, 민감도 분석을 시행하였다. 지식의 구조적 표현과 제어·추론 방안을 선정하고 의사 결정 규칙을 수립하였으며 최종적으로 매개변수 개선을 위한 의사 결정 시스템을 개발·적용하였다.

2. 연구 동향 및 모형의 선정

“새로운 상황이나 환경에 대처하기 위하여 배우고, 이해할 수 있는 능력”을 知能이라 정의할 때(김 재희, 1988) 인공지능(Artificial Intelligence, AI)이란 컴퓨터에 지능을 부여하기 위하여 다방면으로 노력한 결과 이루어진 새로운 과학 분야를 말한다. 일반적으로 인공지능에 관한 연구의 시초로는 MIT대학의 John McCarthy가 최초의 인공지능 언어인 LISP를 만들었던 1960년경으로 보며, 1970년대 말 세계 최초의 상업용 인공지능 프로그램인 MYCIN과 PROSPECTOR 등을 개발하였다. 그러나 종합적이고, 체계적인 계획 수립과 평가가 이루어져야 하는 수공학 분야에서는 그 필요성의 증가에도 불구하고 국내·외를 통한 문헌 검토 및 실험적인 접근만이 시도되었을 뿐이며, 이러한 연구로 성기원(1990)은 지하수 오염 현상과 처리에 관한 전문가 시스템을, 강관원 등(1992)은 신경망이론을 하천 유출의 예측에 적용하였다. 외국의 연구 사례로는 오염원의 배출·혼합의 예측을 위한 전문가 시스템을 개발(Doneker와 Jirka, 1991)하고자 하였으며, Baffaut와 Delleur(1989)는 ESCALOS (Expert System for the Calibration of SWMM)라는 전문가 시스템을 KES(Knowledge Engineering System)라는 도구를 사용하여 간단한 유역 유출에 적용하였다.

2.1 지식의 구조적 표현

전문지식을 컴퓨터가 이해할 수 있는 언어로 변환하는 방법으로 전문가 시스템에서는 “사실”과 “규칙”의 두 가지 방법을 주로 사용하고 있다. Fig.2와 같은 형태로 문제들을 재구성하면, A를 해결하기 위하여 N이나 M 또는 F중의 하나를 해결하여야 하고(OR노드), N과 M을 해결하기 위하여 각각 B와 C, D와 E를 해결(AND 노드)하여야 하는 문제 구조로, 결국 A를 해결하기 위해서는 (1)B, C와 N을 해결하거나, (2)D, E와 M을 해결하거나, (3)F를 해결하여야 하는 3가지 경우(해)를 거쳐야 한다. 여기에서 AND노드는 아크로 연결하여 표시하였고, 이러한 구조를 “AND/OR 그래프”라고 부른다. 의사결정 과정에서 수행 가능한 규칙이 하나 이상인 경우 지식의 제어·추론 문제가 발생할 수 있는데, 앞의 예에서도 A문제를 해결하기 위한 가능 경로가 3개로, 이들 수행 가능 규칙들의 집합을 충돌 집합(conflict set)이라 하고 어느 경로를 선택할 것인가의 결정 기법이 연구되어 왔다. 문제의 해결 방향도 규칙(“A이면 B이다.”)에서 A를 알고 결론B를 추론해 내는 前向推論과 결론B를 얻기 위하여 조건A를 추론해 내는 後向推論으로 추론 목적과 문제 성격에 따라 결정할 수 있다.

* 정희원 한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 연수연구원

** 정희원 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

2.2 모형의 선정

전문가 시스템의 개발 도구로 매개변수의 추정에 가장 적합한 CLIPS(C Language Integrated Production System)(Giarratano, 1993)를 선정하여 시스템을 구성하였다. 이는 1984년 NASA의 Johnson Space Center에서 처음 개발되고, 1993년에 버전 6.0이 개발되어 사용 중이다. 특히, CLIPS는 많은 수학적 함수들을 내장하고 있으며, 추론 기구를 C로 구현하였고 기능을 사용자가 자유롭게 수정할 수 있도록 소스(source)파일을 제공하고 있어 C 및 기타 언어(PASCAL 등)와의 통합이 쉽도록 구성되었다. C와 같은 절차적 프로그래밍 방식이며 LISP와 같은 목적 지향적(object-oriented)프로그램으로 이식성(portability)·확장성(extensibility) 및 활용성(capability)이 우수하다는 장점도 지니고 있다. 도시 유출·수질 모의모형으로는 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy사가 개발한 SWMM(Huber와 Dickinson, 1988)을 선정하고, 도시유출·오염 모의가 동시에 가능한 RUNOFF블록을 사용하였다.

2.3 추정 규칙의 구성

SWMM은 수질 모의가 유량 모의 결과를 바탕으로 계산되므로 유출 매개변수에 대한 추정후 수질 매개변수를 추정하였다. 이를 위하여 각 매개변수들의 의미, 적용 가능 범위 및 거동 특성을 각종 문헌을 통하여 정리한 후, 민감도를 분석하였다. 각 변수들을 적용 범위 내에서 반복적으로 개선하되, 매개변수들의 추정은 모의 및 관측 값과의 차이가 일정 범위 이내로 접근하는 경우 종결하는데 이의 한계값(criteria)들로서는 다음의 값들을 사용하였다. 즉, N개의 경우 사상에 대하여,

- (1) 부피의 비교 : 관측유출체적 V_m 과 모의유출체적 V_s 의 부피를 비교

$$\text{Volume difference} = \frac{1}{N} \sum \frac{V_m - V_s}{V_m} \quad (1)$$

- (2) 첨두값의 비교 : 관측 첨두량 P_m 과 모의 첨두량 P_s 의 첨두값을 비교

$$\text{Peak difference} = \frac{1}{N} \sum \frac{P_m - P_s}{P_m} \quad (2)$$

- (3) 첨두시간의 비교 : 관측 첨두량 P_m 과 모의 첨두량 P_s 의 첨두발생 시각, T_m , T_s 를 비교

$$\text{Time difference} = \frac{1}{N} \sum (T_m - T_s) \quad (3)$$

이러한 수치 비교를 통하여 추정 과정의 진행 및 매개변수들의 민감도를 검토하는 기준으로 사용하였다. 수질 요소의 매개변수 추정 과정에서는 앞에서 제시한 3개의 한계값 이외에도 측정부하량(L_m)과 모의 부하량(L_s)의 차이를 비교하는 방법을 사용하였다.

$$\text{Load difference} = \frac{1}{N} \sum \frac{L_m - L_s}{L_m} \quad (4)$$

3. 대상 유역의 현황 및 특성

본 연구에서는 도시화로 인하여 발생하는 유출 및 수질 변화를 효율적으로 모의할 수 있는 전문가 시스템을 개발하기 위하여 안양천 유역을 연구 대상으로 선정하였다. 이는 특히 경기도의 7개 시(안양시 등)와 서울시의 7개 구(관악구 등)를 포함하는 등 주변 도시들이 급격히 발전하고 있어 도시 형태의 변화에 따른 수문·수질 현상의 변화를 살펴볼 수 있는 좋은 대상으로 선정하였다. 안양천에서의 유출·수질 자료는 각각 건설부(1982, 1983)와 서울시정개발연구원(1993)의 자료를, 하도의 단면 및 종단면도 자료는 서울시정개발연구원(1993)과 영등포구청(1991)의 자료를 사용하였다. Fig.3과 같이 분할된 소유역에 적용하였으며, 모의 항목으로는 유출의 경우 첨두유량과 총유출량을, 비점오염 부하량의 경우는 SS, BOD, T-P, S-P, TKN, NO₂-N, NO₃-N 등 7개 항목이 도시 유출수의 특성을 잘 나타내 주는 항목으로 알려져 있으나, 서울시정개발연구원(1993)의 수질 자료 중 측정 자료가 없는 S-P를 제외하고, DO를 포함한 7개 항목에 대하여 모의하였다.

4. 전문가 시스템의 구성 과정

매개변수의 효율적 추정을 위하여 SWMM의 유출·수질 모의 특성을 살펴보고 모의 결과에 영향을 미치는 매개변수들의 거동을 정리하였다. 과거의 여러 연구들을 살펴보면, 각종 매개변수들의 변화에 따른 모의 결과의 변화와 유역 거동을 검토한 예들이 제시되었으며(Nix, 1994), 본 연구에서는 이들을 바탕으로 매개변수들의 개선 방향을 결정하려 하였다. 이에 따라 각 영향 인자들의 최적치를 산정하고, 이를 기준으로 각 인자들의 민감도를 분석하였다. 본 연구에서는 이러한 매개변수들의 거동 특성을 통해 전문가 시스템의 지식 베이스를 구성하고, 관측 결과로부터 매개변수들을 개선할 수 있는 합리적 산정 법칙의 구성 근거를 제시하였다. 민감도 분석은 각 인자들의 중요성을 체계적으로 파악하는 과정으로 적정 매개변수들을 시행착오법에 의하여 추정하고, 각 인자들의 변화가 모의치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 적정 매개변수들을 기준으로 각각 $\pm 10\%$ 씩 단계적으로 변화시키면서 침투유량 및 총유출량의 변화를 기준 값과 비교하였다(Fig.4, Fig.5). 이에 따르면, 최소 침투 용량, 투수 지역 지표 조도 계수의 증가에 따라 침투유량 및 총유출량은 감소하나, 유역 경사, 불투수면적, 유역폭의 증가에 따라서는 증가하는 형태를 보여주며, 이외에 불투수지역의 지표 조도 계수 및 하도 경사에 대한 변화에는 상대적으로 민감하지 못한 것으로 나타났다. 유출 수질에 영향을 미치는 인자들로서는 오염물의 축적 한계량, 축적 지수, 오염부하율과 쓸림 지수, 쓸림 계수 등과 함께 선행 건기 일수를 선정하여 분석하였다. 이에 따른 각 대상 유역 별 침투수질 및 총부하량의 민감도 분석 결과를 Fig.6, Fig.7에 정리하면 침투수질 및 총부하량 모두가 축적 계수 및 쓸림 계수, 선행 건기 일수 등의 증가에 대하여 선형적으로 증가하는 경향을 보여주나, 축적 지수 및 쓸림 지수에 대해서는 지수적으로 증가·감소의 형태를 보여주었다. 그러나, 축적 한계량의 변화에 의한 영향은 거의 없었으며, 이를 바탕으로 유출 및 수질 관측 자료로부터 모형의 매개변수들을 효과적으로 추정할 수 있는 전문가 시스템의 결정 법칙들을 Table 1 및 2에서와 같이 체계화시킬 수 있었다. 한 예로, 모의된 강우시 오염부하량이 측정값보다 작은 경우(total loads are small), 이를 조정하기 위해서는 축적 계수 및 지수, 선행 건기 일수의 값을 증가시키되 쓸림 지수는 감소시키므로써 모의 결과를 개선시킬 수 있음을 제시하였다.

유출 및 수질 매개변수들의 추정 규칙들은 크게 4개의 집단으로 나누어 구성할 수 있었으며, 이들은 각각 (1)상태의 평가, (2)개선 방향의 선정, (3)매개변수의 개선 방법 및 (4)매개변수 추정 상태의 검토와 추정 과정의 종료 등으로 구분하였다. 즉, (1)번 부분은 관측 값과 모의 값의 차이 비교와 한계 값들을 이용하여 현 상태를 평가하는 부분이다. 예를 들면,

```
Rule 3 : evaluate of p "p = peakcriteria" :
    if p gt 0.1 then peaks = peak_are_too_low
```

의 경우 침투한계치의 값이 0.1보다 크면 실제 침투모의값이 관측 값보다 매우 작음을 의미하는 것으로서 침투모의값을 증가시킬 수 있도록 매개변수를 개선시켜야 한다.

(2)번 부분은 평가 내용 및 사실 등으로부터 개선 방향을 선정하는 부분으로서 앞에서 평가된 상태의 개선을 위하여 매개변수의 증가 혹은 감소 내용을 결정하는 부분이다. 예를 들면,

```
Rule 10 : impervious_area_percentage_has_to_be_increase :
    if impervious_area_percentage lt 81 and
       volumes = volumes_are_too_small or
       peaks = peaks_are_too_low
    then
       action = impervious_area_percentage_has_to_be_increased
```

의 경우, 유출량이 너무 적거나, 침투 발생 시간이 너무 늦는 경우 불투수 면적을 증가시키는 방향으로 개선시킬 것을 제안하는 부분으로, 이때 불투수조건을 0 - 90 % 이내의 범위로 변화시킬 때, 각 매개변수의 변화 값을 10 %로 개선하는 방법을 뒤에서 사용하고 있으므로 첫 번째 조건으로 81 %보다 작아야 함을 규정하였다.

(3)번 부분은 매개변수의 개선 방법으로 기존의 매개변수에 대하여 변화의 요구가 있는 경우 기존의 매개변수에 대하여 10 % 씩 증가 혹은 감소시키는 방법을 사용하였다. 이의 예로서,

```
Rule 24 : to adjust impervious_area_percentage :
    if action = impervious_area_percentage_has_to_be_increased
    then
       imp_area_new = imp_area + (0.1*imp_area)
```

는 불투수면적의 증가가 요구되는 경우 새롭게 추정되는 불투수면적은 기존의 값에 대하여 10 %가 증가된 값을 사용하였다. (4)번 부분은 매개변수 추정 상태의 검토와 추정 과정의 종료 부분으로, 각 한계치의 상태를 파악하여 조건을 만족하는 매개변수들의 추정 상태 여부를 검토하게 되고 유출량, 침투시간, 침투값 및 오염부하량의 조건을 모두 만족하는 경우 추정이 완료되었음을 제시하는 기능을 하게 된다. 이상의 규칙들과 함께 본 연구에서 구성한 전문가 시스템은 목표 상태(매개변수들의 적절한 개선 상태)에 도달하기 위하여 필요한 선행 조건들을 단계적으로 해결하여야 하는 후향 생성 시스템(backward production system)을 이용하였다.

도시 유출 및 수질 모의 모형과의 결합을 위한 전문가 시스템을 구성하기 위하여 본 연구에서는 앞에서 제시하였던 추정 규칙들을 바탕으로 구성된 4개의 집단 외에 초기치의 입력 과정을 추가하여 ESPE(Expert System for Parameter Estimation)를 구성하였다(이 범희, 1998). 즉, 초기치의 선정시 강우 및 증·발산 등 Hydrometeorologic parameter의 경우에는 관측 자료들을, 유역의 면적 및 기온기 등 Physical parameter의 경우에는 지리정보체계 등으로부터 취득한 자료를 사용하였으며, 침투 및 수질 반응, 유역의 반응과 같은 Process parameter의 경우에는 그 유역의 특성을 사용자가 판단하여 매개변수의 존재 범위 내에서 선정하였다. 구성된 전문가 시스템을 사용하여 Table 3에 제시한 유역별 강우·유출 관측자료에 대하여 적용하였으며, 수질 모의는 1993년 4월 27일의 강우·수질 관측 자료(서울시정개발연구원, 1993)들을 사용하여 적용하였다. 이는 Fig.8, Fig.9에 제시한 바와 같이 유출 사건에 관한 매개변수 추정 결과는 매우 근사한 결과를 보이나, 수질 모의에 대한 적용 결과는 DO 및 BOD의 모의에서 침투값의 발생 시간이 더디게 추정되는 결과를 보여주고 있어 이의 보완이 필요하다. 다만, 이외의 수질 요소들에 대한 추정 결과들은 그 침투치의 모의가 다소 과장되게 추정됨에 반하여 경향들은 매우 근사함을 보여주었다.

5. 적용 및 검토

전문가 시스템을 이용한 매개변수의 추정 과정을 계산의 진행 과정을 통하여 정리하면, Table 4, 5와 같이 각 한계치들의 크기가 정해진 범위 이내로 수렴되는 과정들을 제시할 수 있었다. 결과적으로 유출 매개변수의 추정에서는 사람이 직접 추정한 매개변수와 유사한 결과를 제시하였으나, 수질 매개변수의 추정에서는 T-P의 경우 그 결과가 다소의 차이를 보이고 있는데 이는 수질 매개변수의 추정을 위한 비교 한계치가 오염 침투치 및 부하량의 두 가지 현상에만 의존하는 관계로 정보가 부족한 결과와 함께, 계산 과정에서 발생되는 오차 원인들을 각 매개변수들에게 합리적으로 배분할 수 있는 기법의 부족으로 인한 원인으로 보인다. 그러나 모형이 복잡해져 감에 따라 풍부한 경험을 가진 전문가 이외에는 그 이해가 어려웠음을 고려한다면 숙달되지 않은 사용자가 많은 변수들을 이해하고, 모형의 적용을 통하여 유출 및 수질 모의에 대한 타당한 결과 및 계산 시간의 단축 등 매개변수 추정 방안의 개선책을 제시할 수 있었다는 점에서 큰 성과를 제시할 수 있었으며, 앞으로의 연구를 통하여 보다 효율적인 전문가 시스템의 구성이 가능할 것이다.

6. 참고문헌

- 강 관원, 박 찬영, 김 주환 (1992). "패턴 인식 방법을 적용한 하천 유출의 비선형 예측." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제25권, 제3호, pp. 105-113.
- 건설부 (1982). 안양천 유역종합 치수대책조사(II) 보고서.
- 건설부 (1983). 안양천 유역종합 치수대책 보고서.
- 김 재희 (1988). 인공지능의 기법과 응용. 교학사.
- 서울시정개발연구원 (1993). 도시하천 수질관리 방안을 위한 연구(안양천을 중심으로), 시정연 93-R-15.
- 성 기원 (1990). 오염된 지하수처리와 추적을 위한 엑스퍼트 시스템의 개발. 석사학위논문, 서울대학교.
- 영등포구청 (1991). 안양천 및 도림천 제방보강공사 실시설계 보고서.
- 이 범희 (1998). 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발. 박사학위논문, 서울대학교.
- Baffaut, C., and Delleur, J.W. (1989). "Expert system for calibrating SWMM." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 115, No. 3, pp. 278-298.
- Doneker, R.L. and Jirka, G.H. (1991). "Expert systems for mixing-zone analysis and design of pollutant discharges." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 117, No. 6, pp. 679-697.
- Giarratano, J.C. (1993). *CLIPS user's guide*. Software Technology Branch, L. B. Johnson Space Center.

Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988). *Storm water management model, Version 4: user's manual*. U.S. Environmental Protection Agency.
 Nix, S.J. (1994). *Urban stormwater modeling and simulation*. Lewis Publishers. pp. 92-109.

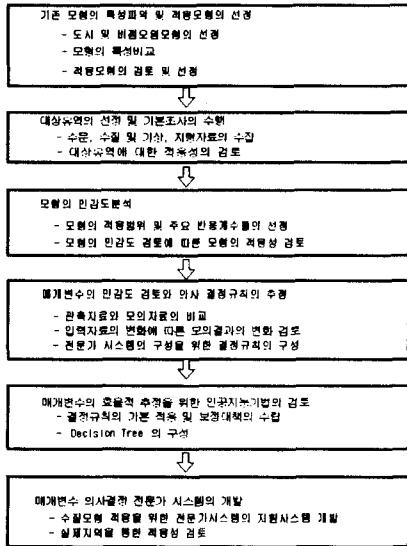


Fig. 1 Research Process of ES Construction

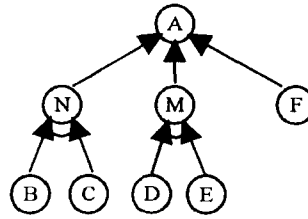


Fig. 2 AND/OR Graph

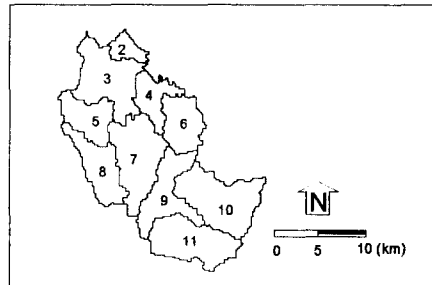


Fig. 3 An-Yang Basins

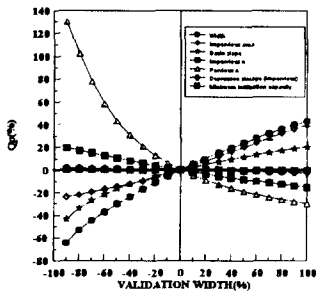


Fig. 4 Sensitivity Analysis of SWMM, Peak Discharge (Basin No. 5+8)

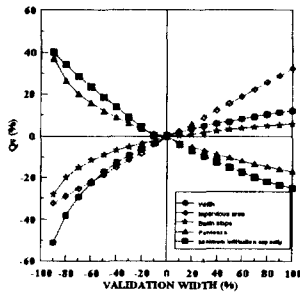


Fig. 5 Sensitivity Analysis of SWMM, Runoff Volume (Basin No. 10)

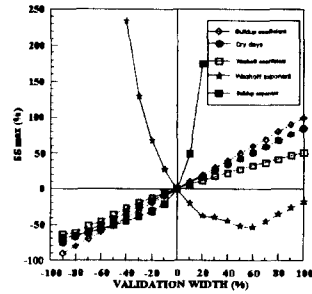


Fig. 6 Sensitivity Analysis of SWMM, Peak Concentration (SS)

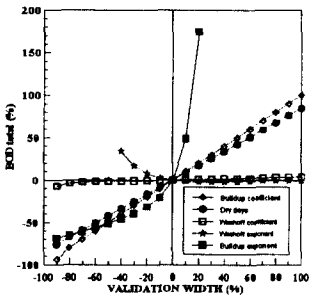


Fig. 7 Sensitivity Analysis of SWMM, Total Load (BOD)

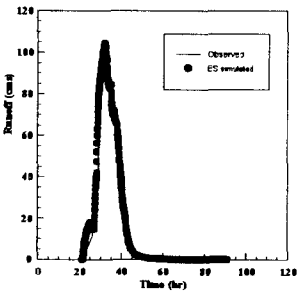


Fig. 8 Comparison of the Hydrograph (Basin No. 5+8)

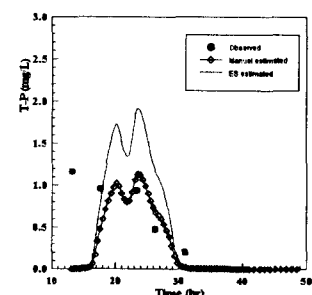


Fig. 9 Comparison of the Pollutograph (T-P)

Table 1 Strategies for Parameter Improvement on the Hydrological Appearances

Parameters Appearance	Impervious Area Percentage	Char-Width	Basin Slope	Channel Slope	Dep. Storage Impervious	Dep. Storage Pervious	Impervious -n	Pervious -n	Max. Infiltration Capacity	Min. Infiltration Capacity
Volumes are too big	▼	▼	▼	-	△	-	-	△	-	▼
Volumes are too small	△	△	△	-	▼	-	-	▼	-	△
Peaks are too high	▼	▼	▼	-	-	-	-	△	-	▼
Peaks are too low	△	△	△	-	-	-	-	▼	-	△
Peaks are too soon	-	▼	▼	▼	-	-	△	△	-	-
Peaks are too late	-	△	△	△	-	-	▼	▼	-	-

△ : Increase ▼ : Decrease - : No effect
 Cha-width : characteristic width Dep. Storage Impervious : Depression Storage in Impervious Area
 Dep. Storage Pervious : Depression Storage in Pervious Area Impervious-n : Manning's n in Pervious Area
 Pervious-n : Manning's n in Pervious Area

Table 2 Strategies for Parameter Improvement on the Contaminational Appearances.

Parameters Appearance	Dry Days	Buildup Limit	Buildup Coefficient	Buildup Exponent	Washoff Coefficient	Washoff Exponent
Total loads are too big	▼	-	▼	▼	-	△
Total loads are too small	△	-	△	△	-	▼
Max. concentration are too high	▼	-	▼	▼	▼	△
Max. concentrations are too Low	△	-	△	△	△	▼

△ : Increase ▼ : Decrease - : No effect

Table 3 Rainfall Data for Parameter Estimation and Verification

대상유역	Estimation			Verification		
	대상강우	총강수량(mm)	지속기간(시간)	대상강우	총강수량(mm)	지속기간(시간)
5+8번 유역	1983. 7.14. 07:00 - 7.14. 18:00	50.0	11	1982. 8.14. 07:00 - 8.15. 21:00	126.0	38
4+6번 유역	1982.11.27. 20:00 - 11.28. 18:00	104.0	22	1983. 7.14. 07:00 - 7.14. 18:00	51.0	11
10번 유역	1981. 8.25. 10:00 - 8.25. 23:00	112.0	13	1982. 7.28. 14:00 - 7.29. 06:00	114.0	16
11번 유역	1982. 7.28. 12:00 - 7.29. 01:00	117.0	13	1982. 8.20. 06:00 - 8.21. 06:00	98.5	24

Table 4 Estimation Results of Runoff Parameters

대상	반복계산 매개변수	Estimation Results							Man. Est.
		1	2	3	4	5	6	7	
11번 유역	p	0.178	0.122	0.070	0.023	0.019	-0.054	-0.083	-
	t	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	-
	v	0.197	0.177	0.158	0.139	0.121	0.104	0.087	-
	하도경사	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
	유역폭	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	9556
	불투수면적	20.00	22.00	24.20	26.62	29.282	32.210	35.431	23.9
	유역경사	0.200	0.220	0.242	0.266	0.293	0.322	0.354	0.238
	투수유역 n	0.160	0.144	0.130	0.117	0.105	0.094	0.085	0.130
	투수유역저류	0.270	0.243	0.219	0.197	0.177	0.159	0.143	0.150
	최소침투용량	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	1.500
	5번 소유역	p	-0.227	-0.146	-0.217	-0.138	-0.213	-0.134	-
t		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-	-
v		0.043	0.103	0.054	0.107	0.058	0.111	-	-
하도경사		0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	-	0.080
유역폭		8576	8576	8576	8576	8576	8576	-	8576
불투수면적		50.00	45.00	49.00	44.55	49.01	44.10	-	40.80
유역경사		0.200	0.180	0.190	0.178	0.196	0.176	-	-0.117
투수유역 n		0.160	0.176	0.158	0.174	0.157	0.172	-	0.075
투수유역저류		0.270	0.270	0.243	0.243	0.219	0.219	-	0.200
최소침투용량		3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	-	5.500

Table 5 Estimation Results of Water Quality Parameters

대상	반복계산 매개변수	Estimation Results							Man. Est.
		1	2	3	4	5	6	7	
SS	q_peak	-1.50	-0.85	-0.41	-0.10	-0.35	-0.05	-0.29	-
	q_load	-1.30	-0.29	0.18	0.44	0.22	0.46	0.25	-
	선형건기일수	5.000	4.500	4.050	3.645	4.010	3.609	3.969	3.000
	축적계수	1.000	0.900	0.810	0.729	0.802	0.723	0.794	1.000
	이송계수	20.00	18.00	16.20	14.58	16.04	14.43	15.88	26.52
	이송지수	10.00	9.000	8.100	7.290	7.290	6.561	6.561	5.000
T-P	q_peak	-27.69	-20.21	-15.23	-11.61	.....	-1.43	-0.33	-
	q_load	-6.66	-3.31	-1.72	-0.85	.....	-0.14	-0.04	-
	선형건기일수	5.000	4.500	4.050	3.645	.....	2.152	1.937	3.000
	축적계수	1.000	0.900	0.810	0.729	.....	0.431	0.387	1.000
	이송계수	1.000	0.900	0.810	0.729	.....	0.431	0.387	0.106
	이송지수	10.00	9.000	8.100	7.290	.....	4.305	3.873	5.500