

# TANK MODEL에 의한 저수유출해석

이 관수\* 이 영석\*\* 정 일광\*\*\*

## 1. 서론

물수요의 증대에 따라 하천의 上·中流지역의 수자원의 효율적, 합리적인 이용관리와 이·치수계획수립을 위해서 저수유출량을 예측하고, 유역의 물수지를 과학적으로 검토하여 유출기구와 低水관리등을 통해 장기적인 유출특성을 연구하는 것은 중요한 과제이다. 장기유출해석법으로 유역의 低水유출량을 추정하는 유출모형에는 菅原(Sugawara)의 탱크모형(Tank model), Crawford와 Linsley의 SWM(Stanford watershed model)모형, 角屋의 보급능모형 및 水越野口에 의한 저류함수법의 응용 등이 있으며 이러한 수문모형의 선정은 하천의 유역특성에 따라 결정된다.

본 연구는 우리나라의 유역특성에 적합한 일유출량 模擬模型으로 菅原에 의해 제안된 탱크모형을 선정하였다. 유출기구의 물리적 개념을 잘 받아들인 菅原의 탱크모형은 일유출량을 추정하는데 있어 구조의 단순성과 적은 양의 입력자료가 요구된다는 점에서 실용적이지만, 多成分 비선형이기 때문에 많은 매개변수의 값을 試算에 의해서 결정해야 하는 난점을 갖고 있다. 이를 해소하기 위하여 본 연구에서는 섬진강유역의 유출해석에 필요한 최적매개변수를 추정함에 있어, 시간의 경과에 따른 유역특성의 변화와 기상조건의 변화로 일어나는 여러가지 수문학적인 시스템에 영향을 미치는 제반 주요인자들을 고려하도록, 탱크모형의 자동최적화로 신속 정확한 유황판단자료를 제공하고자 한다.

## 2. 유역유출모형의 기본이론

저수유출모형을 검토하기 위하여 일유출량 모의모형으로 선정된 탱크모형의 매개변수를 결정함에 있어, 모형의 단순성, 매개변수의 일관성, 매개변수 변화에 따른 결과의 예민성 등을 고려하여 자동검정 프로그램을 적용하였다.

---

\* 전남대학교 토목공학과 교수  
\*\* 광주대학교 토목공학과 조교수  
\*\*\* 목포전문대학 토목과 부교수

## 2.1 모형의 유출이론

물리모형인 탱크모형은 하천유역을 縱 혹은 橫으로 나열한 몇개의 저류용기의 조합으로 유출량을 계산하는 비선형모형의 대표적인 것이다.

그림.1은 유역특성을 잘 나타내는 저류용기의 조합으로 유역의 유출현상을 각 성분별로 개념화한 것을 나타낸다.

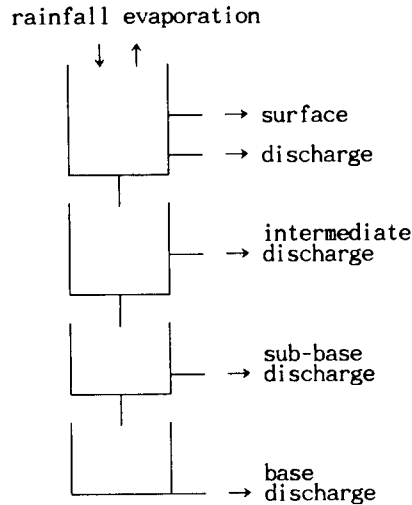


그림 1. 탱크 모형

표면유출과 홍수초기의 중간유출은 제1단 탱크에 의해 표현되고, 지표하로 침투된 강우는 지하유출을 형성하게 되며, 이 저감부의 중간유출성분은 제2단 탱크, 지하수유출성분은 제 3,4단 탱크에 의해 개념화되고 있다. 즉 유역에서 임의시각의 강우가 1단 탱크로 유입하여 1단 탱크내의 저류수가 점차 증가하면서 저류수중 일부는 측벽의 유출공으로 부터 표면유출이 이루어지고, 일부는 바닥의 침투공으로 부터 침투가 되어 하단탱크인 제2단 탱크로 유입이 된다. 이와같이 유출 및 침투 사상이 각 단의 탱크내에서 동일하게 발생하며 이러한 방법에 의하여 각단 탱크의 유출공에서 나오는 수량의 합계가 유출량이 된다.

그림.2에서 탱크내의 저류고를  $h$ , 유출고를  $Y$ , 그리고 침투고를  $Y_0$ 라면

$$\begin{aligned} Y &= a ( h - c ) \\ Y_0 &= b \cdot h \end{aligned} \tag{1}$$

가 되며  $a, b$ 는 각각 유출공, 침투공의 계수이다.

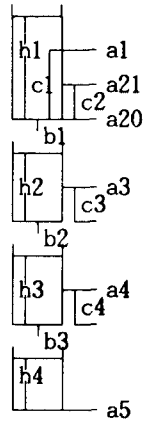


그림.2 탱크모형의 매개변수

## 2.2 매개변수 결정의 자동화

탱크모형의 매개변수를 자동적으로 구하는 방법으로서 hydrograph의 비교법과 유황곡선의 비교법이 있다. hydrograph의 비교법은 수렴속도가 빠르고 정도가 높으나 건조기후나 자료가 충분하지 못한 곳에는 부적합하다. 반면에 유황곡선비교법은 수렴속도가 낮고 정도는 떨어지지만 수렴의 안정성은 있으므로, 유량자료의 신뢰성이 약하고, 우량관측지점이 적고, 기록년수가 짧은 경우에도 양호하다.

본 연구는 수문자료가 빈약한 유역을 대상으로 유황곡선비교법을 이용하여 매개변수산출의 자동화를 시도하였으며, 신뢰성이 있는 저수유출예측을 위하여 각 탱크별 유출일에 따라 5개의 부분기간으로 정하고, 이에 대한 추정유량과 실측유량을 비교하였다. 각 부분기간별  $I(I=1, \dots, 5)$ 에 있어서 추정유량과 실측유량의 비를 만들고 판정기준  $RQ(I)$ 와  $RD(I)$ 를 감쇄율과 유출비율에 따라 정한다. 여기서 결정된 판정기준  $RQ(I)$ 와  $RD(I)$ 에 의존하여 유출을 및 침투율을 feedback방식으로 수렴시켜 얻는다. 추정유량, 실측유량의 합을 각각 만들어 그의 비를 취하면 다음과 같다.

$$RQ(I) = \frac{\sum_{NO} \sum_I QE(NO)}{\sum_{NO} \sum_I Q(NO)}, \quad (I=1, 2, \dots, 5) \quad (2)$$

여기서, NO : 실측 및 추정유량을 크기 순으로 나열한 경우의 순위를 나타내는 변수.

$RD(I)$ 는 I번째 구간에서 유황곡선의 경사의 비로서 간단히 하기위하여 구간의 左半分, 右半分에 대한 각각 합의 차를 사용하여 다음과 같이 구하였다.

$$RD(I) = \frac{\sum_{NY} ( \sum_{IL} QE(NO) - \sum_{IR} QE(NO) )}{\sum_{NY} ( \sum_{IL} Q(NO) - \sum_{IR} Q(NO) )}, \quad (I=2,3,4) \quad (3)$$

평가기준으로 hydrograph에 관해서의 평균자승오차로서 兩者의 평균을 추정유량의 오차평가(CRE)로 한다.

$$CRE = ( MSEQ + MSELQ ) / 2 \quad (4)$$

여기서, MSEQ : 시간지연의 불규칙 변동을 고려한 평균자승오차

MSELQ : 유량의 對數에 있어서 시간지연의 불규칙 변동을 고려한 평균자승오차

유황곡선에 관해서의 평균자승오차는

$$MSEDC = ( \sum (QE(NO) - Q(NO))^2 / \sum 1 )^{1/2} / \bar{Q} \quad (5)$$

$$MSELDC = ( \sum ( \log QE(NO) - \log Q(NO) )^2 / \sum 1 )^{1/2} \quad (6)$$

여기서, MSEDC : 유황곡선에 있어서 평균자승오차를 평균유량으로 나눈 값

MSELDC : 유량對數의 유황곡선에 있어서 평균자승오차

식(5), (6)의 평균을 유황곡선에 관한 오차평가(CRDC)로 한다.

$$CRDC = ( MSEDC + MSELDC ) / 2 \quad (7)$$

RQ(I), RD(I)에 대한 평가를 CRQD라 하면 종합평가는 다음 식과 같다.

$$CR = CRE + CRDC + CRQD / 4 \quad (8)$$

### 2.3 우량에 대한 보정계수

유역평균우량을 추정하기 위해서는 4 - 11월의 월별 추정유량과 실측유량의 월합계를 구하여 지점별(K) 우량을 탱크모형에 따라 유량으로 변환, C(K,M)을 다음식과 같이 구한다.

$$C(K,M) = \sum_M Q(N) / \sum_M QE(K,N) \quad (M=4, \dots, 11) \quad (9)$$

또한,

$$\log C(K,M) = \log CP(K) + \log CM(M) + D(K,M) \quad (10)$$

에 있어서  $\sum_{M=4}^{11} \log CM(M) = 0$  으로 가정하면

$$\log CP(K) = \sum_{M=4}^{11} \log C(K,M) / 8 \quad (K = 1, \dots, NP) \quad (11)$$

이며

$$\log CM(M) = \sum_{K=1}^{NP} (\log C(K,M) - \log CP(K)) / NP, (M = 4, \dots, 11) \quad (12)$$

$$D = ( \sum_{K,M} (D(K,M))^2 / (8 * NP) )^{1/2} \quad (13)$$

여기서, C(K,M) : 계절변화 보정계수  
 CP(K) : 우량지점 변화계수  
 CM(M) : 계절 변화계수  
 D(K,M) : 오차항

### 3. 유출량 계산

#### 3.1 유역의 개요

본 연구에서 대상으로 하는 유역은 섬진강 유역으로서 松亭수위표 지점을 기준으로 유역 면적은 4271.91 Km<sup>2</sup>이고 유로연장은 180.8 Km 이다. 高山峻嶺으로 둘러싸인 본 유역은 상류부의 하천 연안과 계곡에 소규모의 농경지가 산재하여 있고 중류부는 평야가 약간 발달되어 있을뿐 타 유역에 비하여 광활한 평야는 없는 실정이다. 또한 섬진강 유역내의 본류 상류부에 섬진강댐, 보성강 상류에 보성강댐, 동북댐과 주암댐으로 인하여 유출량이 변하고 있다. 그림.3은 우량, 수위관측소와 댐 위치이다.

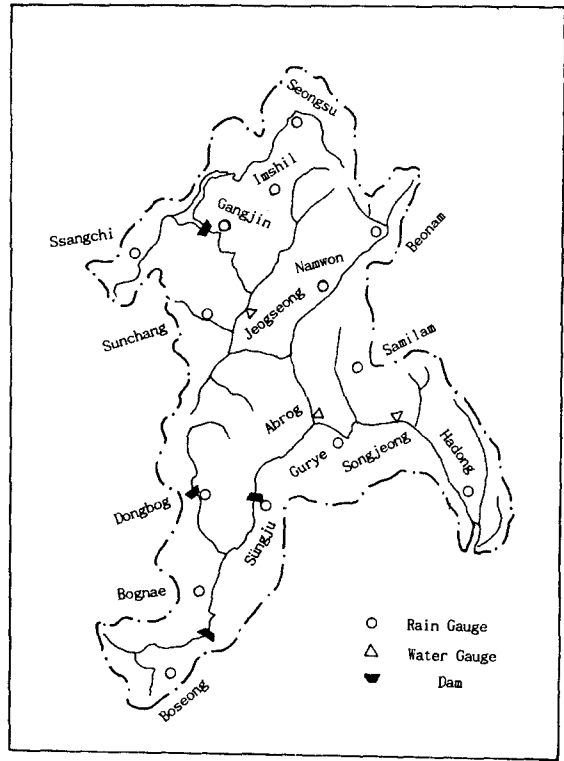


그림.3 섬진강유역의 관측소 현황

#### 3.2 모형의 구성과 입력자료

탱크의 구성은 그림.2에서 보는 바와 같이 4단직렬로써 유출공의 수는 1단탱크의 경우 3孔, 나머지 탱크는 각각 1孔씩으로 한다. 여기서 1단 유출공의 數가 나머지 탱크의 유출공 數보다 많은 것은, 홍수유출 부분이 시간에 따라 급격한 변화를 보이는 반면, 중간 및 저수유출부분은 그 변화가 완만하기 때문이다. 탱크모형에 필요한 입력자료는 강우와 유출시각의 지체시간, 유출 기간동안 유역의 증발산량, 모형계수의 초기치(그림4) 및 실측유량자료 등이다.

각 입력자료별로 보면 강우자료는 일유출 해석인 경우 일단위 강우량이며, 우량관측소가 多數일 경우 Thiessen의 가중계수를 사용하였다. 지체시간은 일유량에 1일의 지연을 주었으며 증발산량은 월별평균값을 이용하였다. 실측유량자료는 일수위를 수위-유량곡선식을 이용하여 유량으로 환산하고 이를 유출고(mm)로 바꾸어 사용하였다.

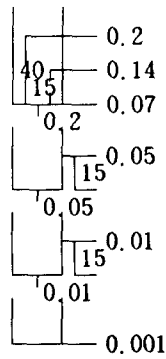


그림 4. 출발모델

4. 적용결과

섬진강유역의 송정수위표지점에서 상류유역에 대한 최적 매개변수를 구하기 위해 탱크모형의 자동화에 의하여 변수를 보정한 결과 가장 적합한 계수는 다음 표1과 같다.

표 1. 계산결과 ( 송정수위표 지점 )

유출 계 수	침 투 계 수	유출 공 높 이			
a1	0.105	b1	0.519	c1	40
a20	0.169	b2	0.620	c2	15
a21	0.210	b3	0.023	c3	15
a3	0.042			c4	0
a4	0.002				
a5	0.003				

그림 5,6은 유황곡선비교법에 의한 자동화 프로그램으로 부터 얻었던 탱크모형에 의한 일유량과 월유량값을 그래프화한 것이다.

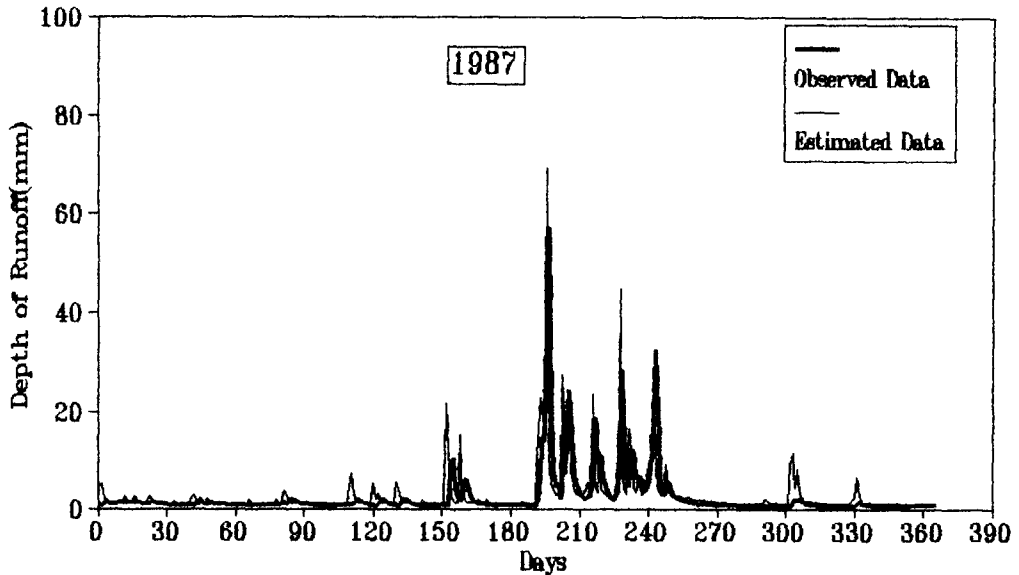


그림.5 자동화에 의한 HYDROGRAPH(일유량)

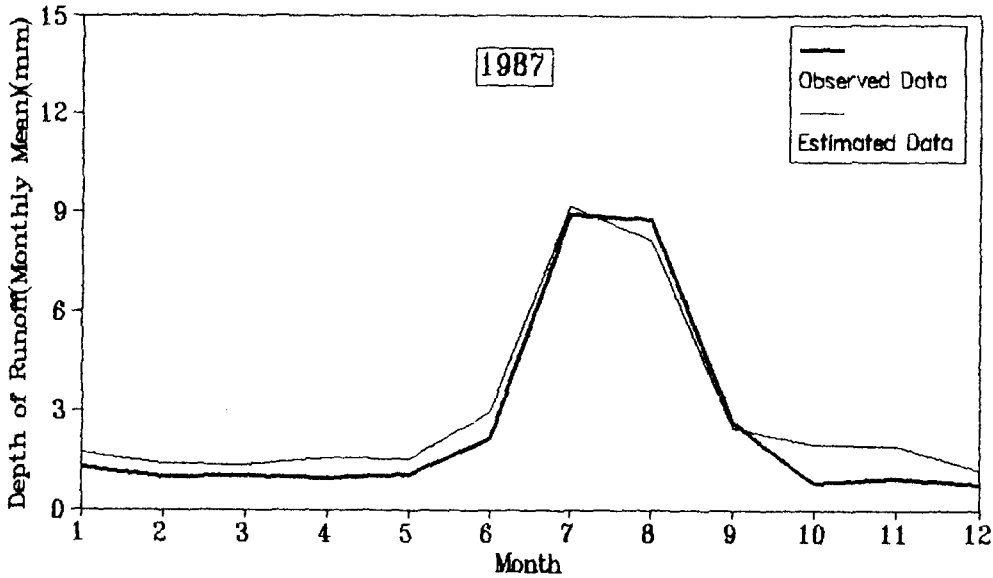


그림.6 자동화에 의한 HYDROGRAPH(월유량)

## 5. 결론

일강우 자료를 이용하여 섬진강유역의 송정수위표 지점에서 탱크모형으로 유출량을 산출한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유황곡선비교법을 이용한 탱크모형의 자동화에 의한 매개변수는 기록년수가 짧은 자료에도 불구하고 어느정도 수렴치에 접근함을 알 수 있었다.
2. 우량지점계수는 수렴에 매우 민감하여 Computer program에 의존하여 계수를 구하기에는 아직은 취약성이 있으므로 더욱 연구가 필요하다.
3. 탱크모형에 의한 추정치를 구하기 위해서는 유역내 물리적 인자(용설, 관개용수, 댐방류량 및 유역의 유출량 등)의 새로운 고려가 시도되어야 할 것으로 사료된다.

## 參 考 文 獻

1. M.Sugawara, et. al., Tank Model with Snow Component, Research notes of the National Research Center for Disaster Prevention, No. 65, 1984
2. Chow V.T., Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, 1964
3. 李寬洙, 河川流出모델과 長期流出解析에 관한 研究, 高麗大學校, 博士學位論文, 1984
4. 官原正己, 流出解析法, 共立出版株式會社, 1972
5. 高島康夫, 降雨의 長期流出解析について, 日本土木學會論文報告集, 第336號, 1983
6. M.Sugawara, et. al., Method of Automatic Calibration of Tank Model (First Report), Rep.17, Nat. Res. Center for Disaster Prev., Japan, 1977
7. 建設部, 漢江洪水統制所, 落東江 洪水豫警報 및 低水管理 프로그램開發2次報告書, 1986