

## 월 유출량 예측 변수로서 지하수 함양량의 이용 Use of Groundwater recharge as a Variable for Monthly Streamflow Prediction

이 동 루\* / 윤 용 남\*\* / 안 재 현\*\*\*

Lee, Dong-Ryul / Yoon, Yong Nam / Ahn, Jae Hyun

### Abstract

Since the majority of streamflow during dry periods is provided by groundwater storage, the streamflow depends on a basin moisture state recharged from rainfall during wet periods. This hydrologic characteristics gives good condition to predict long-term streamflow if the basin state like groundwater recharge is known in advance. The objective of this study is to examine groundwater recharge effect to monthly streamflow, and to attempt monthly streamflow prediction using estimated groundwater recharge. The ground water recharge is used as an independent variable with streamflow and precipitation to construct multiple regression models for the prediction. Correlation analysis was performed to assess the effect of groundwater carry-over to streamflow and to establish the associations among independent variables. The predicted streamflow shows that the multiple regression model involved groundwater recharge gives improved results comparing to the model only using streamflow and precipitation as independent variables. In addition, this paper shows that the prediction model with the effect of groundwater carry-over taken into account can be developed using only precipitation.

*keywords* : groundwater recharge, long-term streamflow prediction, multiple regression analysis, groundwater carry-over

### 요 지

우리 나라 갈수기의 하천유출은 대부분 지하수에서 공급되는 유출이므로 홍수기 강우량에 의해 침투한 유역의 수분상태에 지배된다. 따라서, 홍수기의 지하수 함양량 추정을 통한 유역 상태 정보를 이용한다면 갈수기 월유출 예측을 만족스럽게 수행할 수 있는 수문학적 환경을 가지고 있다. 본 연구의 목적은 지하수 함양량에 의한 월유출량의 영향을 평가하고, 이를 다중회귀모형의 독립변수로 이용하여 장기 월유출량 예측을 시도하는 것이다. 해당 월의 유출량, 강수량, 선행 유출량과 강수량 및 지하수 함양량의 상관분석을 이용하여 다중회귀모형의 최적독립변수들을 평가하였다. 지하수 함양량을 독립변수로 포함한 모형에서 향상된 예측결과를 얻었다. 또한, 사전에 파악된 강수량과 지하수함량의 관계를 이용하여 지하수 유출 이월효과를 고려하면서 강수량만으로 유출 예측모형을 개발할 수 있음을 제시하였다.

**핵심용어** : 지하수 함양량, 장기유출예측, 다중회귀분석, 지하수 이월

\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원  
Senior Researcher, Division of water Resources and Environmental Eng., Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyeonggi 411-712, Korea (E-mail : dryi@kict.re.kr)

\*\* 고려대학교 토목환경공학과 교수  
Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

\*\*\* (주)건일엔지니어링 수자원부 차장  
Vice Director, Kunil Engineering Co., 891-44 Daechi-Dong, Seoul 135-280, Korea

## 1. 서 론

장기 유출량 예측은 일, 주, 또는 월 단위의 수문기상학적 인자를 이용한 수주, 수개월에서 일년까지의 예측을 말한다. 어떤 유역에서 장기예측은 기본적으로 하천유량, 융설량 및 토양습윤과 대수층의 지하수와 같은 유역의 상태와 미래의 기상학적 사상을 이용한다. 전자는 측정 가능하지만 후자는 불확실한 기상 예측에 의존한다. 장기예측은 기간이 길어질수록 정확도가 감소한다는 점에서 예측의 어려움이 있다. 이는 미래 유역 상태의 결정에서 현 상태의 영향이 점점 줄어들게 되고 신뢰성 있는 장기간의 기상 예측도 불가능하기 때문이다(Hirsch, 1981; Bender, 1994; WMO, 1982).

장기 유출예측 기법은 크게 회귀모형, 개념적 모형, 시계열 모형, 지하수 감수곡선 모형의 4가지가 있다(Hall, 1968; WMO, 1975, WMO, 1982). 또한 Alley(1985)는 개념적 모형과 시계열 모형의 절충 방법으로 물수지 모형을 제안하였다. WMO(1982)에서는 지하수가 하천유출을 지배하는 지역에서는 회귀모형에 의한 장기 유출예측이 가장 만족한 결과를 보여준다고 하였다. 또한 Garen(1992)은 회귀모형에 의한 유출 예측의 장점을 논하였다.

우리 나라는 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되기 때문에 홍수기와 갈수기가 뚜렷하며 홍수기에 지하로 함양된 지하수는 갈수기 하천유출의 공급원이 된다. 또한 이들 수문학적 특성은 일년 주기를 갖는다. 이런 특성으로 우리 나라 갈수기의 하천유출은 홍수기 강우량에 의한 유역상태에 지배된다. 그리고 이 기간은 일반적으로 무강우가 장기간 지속되고 강우량이 있어도 지하수 함양이 크지 않다. 따라서 우리 나라 갈수기의 장기 유출예측은 기상예측 요소의 비중을 줄일 수 있다. 또한, 홍수기의 지하수 함양량 추정 등에 의한 유역의 상태를 파악할 수 있는 정보를 이용한다면 장기 유출예측을 만족스럽게 수행할 수 있는 수문학적 환경을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 이상과 같은 우리 나라의 수문학적 특성을 이용하여 유역의 상태를 나타내는 지하수 함양량에 의한 해당 월유출량의 영향을 평가하고, 이를 다중회귀모형의 독립변수의 하나로 이용한 장기 월유출량 예측을 시도하는 것이다. 국내·외에서 연구된 다중회귀모형에 의한 유출량 예측은 유역의 상태로서 선행 유출량, 기상 조건으로서 강수량을 이용하여 왔으나(김태철 등, 1980, 1984; 윤용남 등, 1991; 土木研究所,

1979; Garen, 1992; Harris 등, 1961; Sharp 등, 1960; Snyder, 1962; WMO, 1982) 지하수 함양량을 적용한 연구결과는 없다. 본 연구에서는 다중회귀모형의 독립변수로서 유출량, 강수량뿐만 아니라 지하수 함양량을 고려하여 모형의 적합성을 비교·분석하였다.

## 2. 지하수 함양 특성과 함양량 추정

이동률 등(1996)은 유출수문곡선에서 지하수 감수곡선을 분리하고, 이를 이용하여 우리 나라의 지하수 함양특성을 제시하였다. 그림 1은 낙동강 현풍지점의 1921~1922년의 일유출수문곡선과 지하수 감수곡선으로서 각 감수곡선은 감수시점( $G_{tb}$ )과 감수종점( $G_{te}$ )로 표시하고 있다. 지하수 감수곡선은 Barnes(1939)의 정의에 의해 구분된 것으로서 감수종점은 하천유출량이 강수량에 의해 증가되는 시점으로 정의된다. 지하수 함양은 각 지하수 감수종점 이후 강수량에 의해 직접 유출량과 중간유출량이 하천유출량의 대부분을 차지하는 지하수 함양기간을 지나 다시 지하수 유출이 시작되는 다음 감수곡선의 시점( $G_{tb}$ )사이에서 이루어진다. 지하수 함양량은 이전 감수곡선의 종점( $G_{te}$ )과 해당 감수곡선의 시점( $G_{tb}$ )에서의 유출량의 차이이며 이들에 대한 상세한 설명과 계산방법은 이동률 등(1996)에 제시되어 있다. 또한 이들은 우리 나라의 주요하천의 20개 수위관측소의 일유출수문곡선의 분석으로 지하수 함양은 일반적으로 3~5월, 7~9월에 발생하고 있음을 제시하였다. 본 연구에서는 그림 1에 나타난 것과 같이 3~5월 사이의 지하수 함양량을  $R_{3-5}(mm)$ , 7~9월 사이의 함양량을  $R_{7-9}(mm)$ 로 표시하였다.

## 3. 대상 지점 및 자료

본 연구의 대상지점은 낙동강의 현풍지점이며 자료는 현풍지점의 월유출량과 이에 영향을 주는 상류지역의 강우관측소의 월평균 강수량이다. 또한, 일유출수문곡선에서 산정한  $R_{3-5}$  및  $R_{7-9}$ 를 이용하였다. 이들 자료는 이동률(1995)의 논문에 상세히 수록되어 있다. 본 연구에서 적용하는 자료는 댐 또는 취수 등에 의해 인위적인 영향이 적은 자연상태의 자료이어야 하기 때문에 1940년 이전의 자료를 이용하였으며, 자료기간은 1918~1940년이다.

## 4. 지하수 함양량, 선행 유출량 및 강수량과 월유출량의 상관관계

다중회귀모형의 구성에 앞서 지하수 함양량, 선행 유출

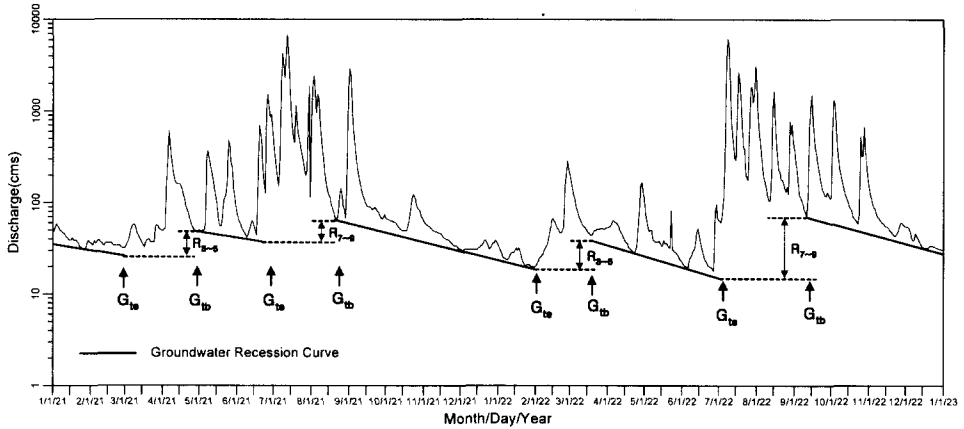


그림 1. 낙동강 현풍지점의 일유출수문곡선과 지하수 감수곡선

량 및 강수량과 해당 월유출량의 단순 상관분석에 의하여 각 월간의 유출 메카니즘을 파악하였다. 상관분석은 해당 월유출량( $Q_t$ )과 3~5월 및 7~9월 지하수 함양량( $R_{3-5}$ ,  $R_{7-9}$ ), 해당 월강수량( $P_t$ ), 1개월 및 2개월 선행 강수량( $P_{t-1}$ ,  $P_{t-2}$ ), 1개월 및 2개월 선행 유출량( $Q_{t-1}$ ,  $Q_{t-2}$ )에 대하여 각각 수행되었다. 이들 중 선행 유출량과 지하수 함양량은 유역의 상태를 나타내며, 강

수량은 기상학적 인자이다.

상관분석 결과는 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 해당 연도에 추정된  $R_{7-9}$ 와 9~12월 및 다음 연도 1~8월의 각 월유출량과 상관계수를 나타내며, 점선은 12개월 상관계수의 회귀선이다.  $R_{7-9}$ 은 7~9월의 강우량에 의하여 지하수로 함양된 양으로 이어지는 갈수기 하천 유출의 주 공급원을 나타내는 현재의 유역상태이다. 장

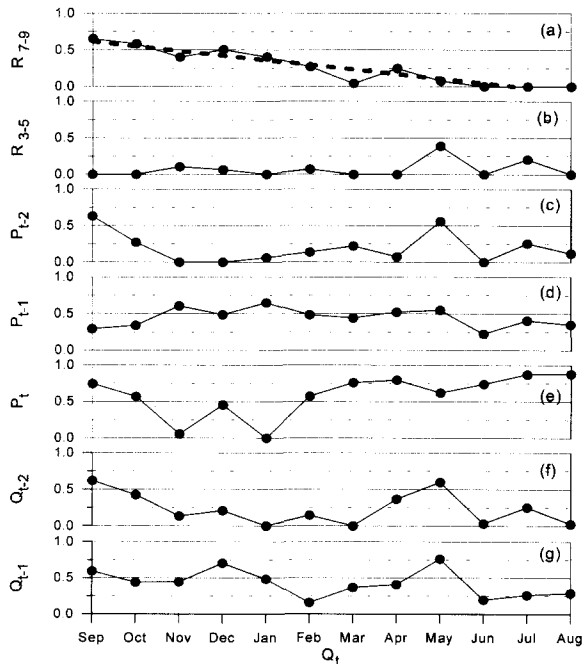


그림 2. 현풍의 지하수 함양량, 강수량 및 선행 유출량과 월유출량의 상관관계

기간 유출예측에서 현재의 유역의 상태 영향은 시간이 갈수록 감소될 것이다. 그림 2(a) 점선의 상관계수 감소는 이를 잘 보여주고 있다. 즉,  $R_{7-9}$ 이 월 유출량에 미치는 영향이 9월에 가장 크고 기간이 지나면서 점점 감소하고 있다. 단,  $R_{7-9}$ 의 영향이 얼마나 장기간 지속되는 가는 해당유역의 수문지질학적 특성에 의존할 것이다.  $R_{7-9}$ 의 영향은 회귀선의 기준으로 볼 때 9월에서 다음 연도 4월까지 0.70~0.25의 상관계수를 보여주고 있고, 이는 이때까지 월유출량의 변동을  $R_{7-9}$ 로 적어도 약 6~50% 이상을 설명할 수 있다는 것을 말한다. 또한,  $R_{7-9}$ 은 강수량이 많은 다음 연도의 6~8월 월유출량과 0에 가까운 상관계수를 보임으로써 거의 영향을 끼치지 못하고 있음을 알 수 있다. 그림 2(b)에서는 3~5월의 지하수 함양량  $R_{3-5}$ 와 각 월유출량과의 상관계수를 보여주고 있는데,  $R_{3-5}$ 는 5월의 월유출량에 가장 큰 영향을 주고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나, 홍수기인 6-9월과 이후의 기간에서는 월유출량에 거의 영향을 주고 있지 않다.

그림 2(c)~2(e)는 해당 월강수량( $P_t$ ), 1개월 및 2개월 선행 강수량( $P_{t-1}$ ,  $P_{t-2}$ )과 해당 월유출량의 상관계수를 나타내고 있다. 이 중에서 해당 월강수량( $P_t$ )의 경우는 각 월유출량에 가장 큰 영향을 주는 변수로서 11~1월을 제외하고 0.50~0.80이상 상관계수를 보여주고 있어 해당 월 강수량으로 유출량 변동의 25~64%를 설명할 수 있다. 그러나, 11, 1월 유출량은 각 월 강수량( $P_t$ )과 상대적으로 낮은 상관성을 보이고 있어 선행 유출량과 지하수 함양량의 이월영향이 가장 큰 수문학적 특성을 보여주고 있다. 1개월전 강수량( $P_{t-1}$ )과 해당 월유출량과 관계는 갈수기간인 11~5월까지 높은 상관관계를 보이고 있으나, 2개월전 강수량( $P_{t-2}$ )은 해당 월유출량에 큰 연관성을 보여주고 있지 않다.

그림 2(f)~2(g)는 각 월유출량과 1개월 및 2개월 선행 유출량( $Q_{t-1}$ ,  $Q_{t-2}$ )과의 상관계수를 도시한 것이다. 각 월유출량( $Q_t$ )과 1개월전 월유출량( $Q_{t-1}$ )의 상관계수는 9-1월과 5월에 0.40이상을 보이고 있어 선행 유출량의 이월영향이 크나 6-8월은 0.25이하의 낮은 상관계수로 나타나 이 기간의 선행유출량의 이월영향은 적게 나타난다. 특이한 것은  $Q_{t-1}$ 과 11~4월 유출량의 연관성이 같은 기간의 기상학적 요소인  $P_{t-1}$ 보다 작은 것으로 나타난다는 것이다.  $Q_{t-2}$ 와  $Q_t$ 의 관계는 11-3월과 6-9월 기간에 낮은 상관계수를 보여주고 있다.

이상과 같은 분석을 통해 9-5월의 각 월유출량은 선행 강수량과 유출량, 해당 월강수량, 지하수 함양량의 영향이 복합적으로 작용하고 있으나, 6-8월의 각 월유출량은 해당월의 강수량이 지배적임을 알 수 있다. 또한 7-9월 지하수 함양량( $R_{7-9}$ )은 3-5월 지하수 함양량( $R_{3-5}$ )에 비해 각 월유출량과 높은 상관관계를 보였으며, 각 월유출량에 가장 영향을 주지 않는 변수는 2개월전 강수량( $P_{t-2}$ )인 것으로 나타났다.

## 5. 지하수함양량 이용의 적합성을 평가하기 위한 대상 다중회귀모형

다중회귀모형에 의해 구성되는 월유출 예측모형은 독립변수로 예측시점 이전의 강수량, 유출량, 용설량 등과 상관분석 또는 개념적인 판단에 의한 각 변수들에 가중치를 취한 합으로 이루어진 새로운 지수를 이용하며 일반적으로 식 (1)과 같은 형태를 갖는다 (Sharp 등, 1960; Harris 등, 1961; Snyder, 1962; 土木研究所, 1979; Garen, 1992). 본 연구에서는 다중회귀모형인 식 (1)에 지하수 함양량을 새로운 독립변수로 추가하여 지하수의 이월특성을 나타낼 수 있는 식 (2)와 같은 유출 예측모형의 적용성을 검토하고자 하였다.

$$Q_t = a_0 + a_1 Q_{t-1} + a_2 Q_{t-2} + a_3 P_t + a_4 P_{t-1} + a_5 P_{t-2} \quad (1)$$

$$Q_t = a_0 + a_1 Q_{t-1} + a_2 Q_{t-2} + a_3 P_t + a_4 P_{t-1} + a_5 P_{t-2} + a_6 R \quad (2)$$

여기서,  $Q_t$ ,  $Q_{t-1}$ ,  $Q_{t-2}$ 는 t, t-1, t-2월의 월유출량(mm),  $P_t$ ,  $P_{t-1}$ ,  $P_{t-2}$ 는 t, t-1, t-2월의 월강수량(mm), R는 지하수 함양량(mm)이다. 지하수 함양량(R)은 3-5월( $R_{3-5}$ ), 7-9월( $R_{7-9}$ )에 발생한 것을 고려하였다.

회귀모형의 적정성을 평가하기 위한 기준으로는 다음과 같은 조건들이 있다(Farnum 등, 1989).

- 1) 종속변수를 가능한 적은 독립변수로 나타낼 수 있는 간단한 모형
- 2) 종속변수에 대한 독립변수의 유용성 검정을 위한 통계적인 F-검정을 만족하는 모형
- 3) 모형 독립변수의 회귀계수가 통계적인 t-검정을 만족하는 모형

표 1. 대상 다중회귀모형

모형	다 중 회 귀 식
A	$Q_t = a_0 + a_1Q_{t-1} + a_2P_t + a_3P_{t-1}$ (3)
B	$Q_t = b_0 + b_1Q_{t-1} + b_2P_t + b_3P_{t-1} + b_4R$ (4) (9-4월일 때 R은 R <sub>7-9</sub> , 5-8월일 때 R은 R <sub>3-5</sub> )
C	$Q_t = c_0 + c_1Q_{t-2} + c_2Q_{t-1} + c_3P_t$ (5)
D	$Q_t = d_0 + d_1P_{t-1} + d_2P_t + d_3R$ (6) (9-4월일 때 R은 R <sub>7-9</sub> , 5-8월일 때 R은 R <sub>3-5</sub> )

- 4) 결정계수(R<sup>2</sup>)가 높은 모형
- 5) 잔차(residual)의 검정을 만족하는 모형

4절의 다중회귀모형의 변수간 상관분석에서 식 (2)의 종속변수, Q<sub>t</sub>에 독립변수, Q<sub>t-2</sub>, Q<sub>t-1</sub>, P<sub>t</sub>, P<sub>t-1</sub>, R이 가장 상관성 높은 변수로 분석되었고 P<sub>t-2</sub>는 큰 상관성이 없었으며, R의 경우는 7-9월의 지하수 함양량(R<sub>7-9</sub>)이 높은 상관관계를 보이고 있다. 식 (2)에서 P<sub>t-2</sub>를 제외하고 월유출 예측을 위하여 가능한 적은 수의 독립변수를 이용하여 검토할 모형은 표 1의 식 (3)~(6)의 4개 모형이다. 본 연구에서는 최적월유출모형의 개발목적이 아니고 지하수함양량을 예측변수로써의 이용의 적정성을 검토하는 것이므로 회귀모형기법에서 일반적으로 이용하는 최적변수결정 과정은 수행하지 않았다.

### 6. 다중회귀모형의 평가

표 1의 모형 A, B, C 및 D를 현풍지점의 자료에 적용하여 회귀계수를 산정하였다. 이들 모형의 적합성을 평가하기 위하여 각 다중회귀모형의 결정계수(R<sup>2</sup>), RMSE(root mean square error), 모형의 F-검정 결과, 실측 및 모형에 의한 계산치, 그리고 회귀계수의 t-검정 결과를 표 2~4에 나타내었다. 모형 E에 대한 설명은 7장에서 기술하였다.

표 2의 4개 모형에 대한 적용결과에서 모형의 각 월 F-통계치에 해당하는 확률은 0.0001로 유의수준 0.05보다 상당히 작아 5개 모형에서 이용한 독립변수와 월유출량은 높은 선형관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 모형 C의 결과는 다른 3개 모형보다 작은 F-통계치를 가지고 있어 상대적으로 낮은 선형관계를 가지고 있으며, 갈수기인 11월~2월은 모형 D가 다른

모형보다 높은 선형관계를 보여준다.

표 2에서 모형 E를 제외한 4개 모형의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 각 월에서 거의 비슷한 결과를 보여주고 있으나 11월~2월의 갈수기 기간은 다른 기간에 비하여 낮은 결과를 보이고 있다. 특히 11월과 1월은 다른 기간보다 가장 낮은 결과를 보여준다. 이는 상관분석에서 파악된 것처럼 해당 월의 강수량과의 상관관계가 거의 없었던 결과를 반영하고 있다. 따라서 이 두 기간의 유출량은 지하수 이월영향을 가장 많이 받는 기간으로 이를 고려한 선행강수량, 선행유출량, 지하수 함양량을 고려한 모형 중 모형 D가 11월과 1월의 유출을 가장 잘 설명해 주고 있다.

상관분석의 결과에서 11~4월에는 선행강수량이 선행유출량보다 각 월의 유출량과 더 높은 상관성을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이 결과는 선행유출량을 이용한 모형 C가 강수량을 이용하는 다른 모형의 결과에 비해 낮은 결정계수를 갖는 것으로 나타났다. 4개 모형 중 모형 B는 다른 모형보다 하나의 독립변수를 더 가지고 있다. 사실, 결정계수는 새로운 변수가 모형에 추가될 때 수학적으로 증가한다(Farnum 등, 1989). 그러나 모형 B의 결정계수는 다른 모형에 비하여 큰 차이가 없다. 따라서 모형의 적정조건인 가능한 적은 독립변수의 이용조건에서 다른 3개 모형보다 좋은 모형이라 할 수 없다.

표 2의 RMSE는 4개 모형 모두 거의 비슷하게 나타났다. 또한 표 3의 실측 및 4개 모형의 계산치에 의한 평균치도 거의 차이가 없고, 각 모형간의 결과도 차이가 없었다. 그러나 표 3에서 표준편차는 각 모형의 결과가 거의 같지만 실측치와 모형들의 의한 계산치는 약간의 편차를 보여주고 있다. 이 편차는 각 모형이 설명하고 있지 않은 부분으로 모형의 결정계수가

표 2. 현풍지점 다중회귀모형의 통계치

월	결정계수(R <sup>2</sup> )					RMSE(mm)					F-통계치				
	모형 A	모형 B	모형 C	모형 D	모형 E	모형 A	모형 B	모형 C	모형 D	모형 E	모형 A	모형 B	모형 C	모형 D	모형 E
9	0.72	0.82	0.79	0.72	0.81	24.2	19.7	20.6	23.8	19.7	23.5	30.3	35.7	24.4	40.2
10	0.64	0.72	0.66	0.70	0.71	8.7	7.7	8.4	7.8	7.8	16.3	17.9	18.2	22.1	22.5
11	0.44	0.50	0.26	0.57	0.51	3.9	3.7	4.4	3.4	3.6	7.2	6.7	3.3	11.8	9.2
12	0.81	0.83	0.80	0.65	0.57	1.9	1.8	1.9	2.5	2.8	37.7	32.8	37.8	16.8	12.2
1	0.45	0.51	0.30	0.55	0.51	4.7	4.5	5.3	4.2	4.4	7.9	7.4	4.2	11.9	9.9
2	0.58	0.64	0.38	0.62	0.62	3.8	3.6	4.6	3.6	3.6	11.7	11.0	5.4	14.2	14.0
3	0.85	0.87	0.79	0.89	0.86	4.3	4.1	5.1	3.9	4.1	50.1	42.2	32.6	62.4	54.6
4	0.90	0.92	0.77	0.92	0.92	7.2	6.5	11.0	6.4	6.3	82.7	79.6	30.3	108.0	110.3
5	0.80	0.85	0.78	0.78	0.84	9.8	8.7	10.4	10.1	8.7	39.5	39.8	34.2	36.3	52.9
6	0.72	0.73	0.72	0.69	0.69	12.5	12.5	12.5	13.1	13.1	21.6	16.3	21.7	18.6	18.9
7	0.92	0.92	0.87	0.93	0.93	32.2	32.7	41.7	31.8	32.2	120.6	88.1	67.9	124.2	120.9
8	0.77	0.76	0.74	0.77	0.76	34.5	34.8	36.2	34.6	34.6	30.6	22.5	27.0	30.4	30.2

표 3. 현풍지점 월유출량 실측치와 다중회귀모형에 의한 계산치 비교

월	월평균유출량(mm)						표준편차(mm)					
	실측치	모형에 의한 계산치					실측치	모형에 의한 계산치				
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
9	62.1	62.1	62.1	62.1	62.1	62.1	43.1	36.5	39.0	38.4	36.7	38.8
10	20.9	20.9	21.7	20.8	20.8	20.8	13.7	10.9	10.9	11.2	11.5	11.5
11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	4.9	3.3	3.5	2.5	3.7	3.5
12	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	4.1	3.7	3.8	3.7	3.3	3.1
1	8.2	8.2	8.2	8.3	8.2	8.3	6.0	4.0	4.3	3.3	4.4	4.3
2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	5.6	4.2	4.5	3.5	4.4	4.4
3	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	10.5	9.8	9.9	9.4	9.9	9.8
4	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.6	21.8	20.7	21.0	19.2	21.0	21.0
5	27.8	28.3	23.7	23.7	22.9	23.7	22.5	18.3	18.5	18.1	18.0	18.5
6	23.5	23.8	23.7	23.7	22.9	23.7	22.5	18.7	18.9	18.8	18.6	18.4
7	147.7	149.8	149.5	143.4	149.2	144.8	110.9	102.9	103.4	103.4	104.4	105.2
8	95.0	95.8	92.8	92.7	95.8	92.7	67.6	57.5	59.5	50.5	57.6	59.2

클수록 그 편차는 작다. 이상과 같은 RMSE, 실측치와 관측치의 평균, 표준편차의 분석으로 상대적으로 좋은 모형의 선정이 어렵지만 모형의 적은 독립변수의 이용조건, F-검정, 결정계수의 분석으로 모형 A, D가 적정 모형으로 평가된다.

다음은 t-검정을 통하여 모형 A, D에서 이용하고 있는 특정 독립변수와 다른 독립변수들을 함께 이용하고 있는 모형에서 그 변수를 모형에 포함할 때 종속변수의 예측을 향상시킬 수 있는가를 검정하기 위하여 표 4에 모형 A, B, C, D의 회귀계수, 회귀계수의 t-

통계치, t-통계치의 확률을 나타내었다. t-검정의 결과는 다른 모형보다 상대적으로 좋은 모형 A, D에 대해서만 제시하였다. 모형 E와 변수 TR에 대한 설명은 7장에 기술하였다.

회귀계수의 t-검정에서 유의수준 0.05일때 t-통계치의 확률이 0.05보다 작은 변수는 회귀계수가 0이라는 귀무가설이 기각되어 모형의 종속변수 예측에 큰 영향을 준다. 모형 A에서 유역의 상태를 나타내는 변수는  $Q_{t-1}$ 이고, 모형 D에서는  $R_{7-9}$ ,  $R_{3-5}$ 이다. 앞에서 기술하였듯이 갈수기 유출량은  $P_t$ 가 없다면 이들 변수들이

표 4. 현풍지점의 다중회귀모형의 회귀계수 및 t-통계치

월	변수	모형 A			모형 D			모형 E		
		회귀 계수	t-통계치	t-확률	회귀 계수	t-통계치	t-확률	회귀 계수	t-통계치	t-확률
9	Constant	-28.766	-1.543	0.1340	-32.047	-2.029	0.0521	-63.306	-4.795	0.0001
	Q <sub>t-1</sub>	0.120	1.030	0.3120	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.538	5.632	0.0001	0.519	5.449	0.0001	0.400	5.018	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.101	0.967	0.3417	0.122	1.564	0.1290	0.012	0.182	0.8568
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.272	1.346	0.1892	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.117	3.975	0.0004
10	Constant	-5.418	-1.214	0.2350	-6.905	-1.717	0.0971	-17.379	-3.061	0.0048
	Q <sub>t-1</sub>	0.055	1.005	0.3234	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.312	5.920	0.0001	0.281	5.742	0.0001	0.305	6.521	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.070	1.719	0.0967	0.069	2.506	0.0183	0.067	2.460	0.0203
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.153	2.760	0.0101	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.025	2.836	0.0084
11	Constant	2.954	1.484	0.1495	0.298	0.149	0.8825	-3.279	-0.975	0.3384
	Q <sub>t-1</sub>	0.084	1.770	0.0881	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.077	1.831	0.0782	0.098	2.575	0.0158	0.110	2.567	0.0161
	P <sub>t-1</sub>	0.081	2.935	0.0067	0.100	4.614	0.0001	0.111	4.748	0.0001
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.066	3.427	0.0020	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.008	2.628	0.0140
12	Constant	0.900	1.068	0.2948	1.508	1.318	0.1986	-1.194	-0.577	0.5684
	Q <sub>t-1</sub>	0.404	7.038	0.0001	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.128	5.910	0.0001	0.088	2.957	0.0064	0.082	2.374	0.0250
	P <sub>t-1</sub>	0.000	0.020	0.9840	0.085	3.669	0.0011	0.102	3.849	0.0007
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.054	3.910	0.0006	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.007	2.781	0.0098
1	Constant	1.900	0.867	0.3928	0.338	0.191	0.8497	-1.417	-0.524	0.6040
	Q <sub>t-1</sub>	0.152	0.670	0.5079	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.053	1.150	0.2596	0.046	1.133	0.2665	0.038	0.892	0.3798
	P <sub>t-1</sub>	0.159	3.269	0.0028	0.169	4.999	0.0001	0.164	4.518	0.0001
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.061	2.657	0.0127	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.007	1.944	0.0617
2	Constant	-1.419	-0.703	0.4881	-2.010	-1.059	0.2992	-3.980	-1.673	0.1063
	Q <sub>t-1</sub>	0.255	2.055	0.0500	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.185	3.894	0.0006	0.190	4.227	0.0003	0.158	3.415	0.0021
	P <sub>t-1</sub>	0.143	3.424	0.0021	0.137	3.521	0.0016	0.130	3.356	0.0024
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.056	2.785	0.0099	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.008	2.754	0.0106
3	Constant	-7.098	-3.372	0.0023	9.612	-4.409	0.0002	-10.884	-3.833	0.0007
	Q <sub>t-1</sub>	0.297	1.859	0.0743	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.327	11.349	0.0001	0.336	12.702	0.0001	0.327	11.765	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.199	3.384	0.0023	0.261	5.639	0.0001	0.230	4.588	0.0001
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.064	3.105	0.0046	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.008	2.401	0.0238
4	Constant	21.805	6.295	0.0001	-9.612	-7.608	0.0001	31.202	-7.023	0.0001
	Q <sub>t-1</sub>	0.081	0.643	0.5259	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.424	13.063	0.0001	0.336	14.087	0.0001	0.416	14.544	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.381	6.247	0.0001	0.261	9.918	0.0001	0.404	9.771	0.0001
	R <sub>t-9</sub>	-	-	-	0.064	2.825	0.0088	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.015	2.941	0.0066
5	Constant	-20.828	-3.483	0.0016	-24.036	-4.098	0.0003	-31.647	-6.286	0.0001
	Q <sub>t-1</sub>	0.227	1.512	0.1414	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.371	6.805	0.0001	0.406	7.977	0.0001	0.251	3.912	0.0005
	P <sub>t-1</sub>	0.160	1.885	0.0695	0.273	5.019	0.0001	0.134	2.267	0.0310
	R <sub>t-5</sub>	-	-	-	-0.105	-0.512	0.6123	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.115	3.298	0.0026
6	Constant	-18.097	-2.304	0.0298	-19.385	-1.885	0.0711	-23.078	-2.313	0.0292
	Q <sub>t-1</sub>	0.289	1.685	0.1044	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.285	8.006	0.0001	0.277	7.182	0.0001	0.281	7.500	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	-0.052	-0.509	0.6152	0.079	1.128	0.2699	0.042	0.453	0.6547
	R <sub>t-5</sub>	-	-	-	-0.019	-0.071	0.9438	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.023	0.568	0.5754
7	Constant	-139.361	-7.936	0.0001	-153.333	-6.951	0.0001	-123.402	-4.649	0.0001
	Q <sub>t-1</sub>	-0.254	-0.656	0.5173	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.893	17.790	0.0001	0.892	18.037	0.0001	0.891	17.782	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.653	5.204	0.0001	0.631	6.381	0.0001	0.591	6.080	0.0001
	R <sub>t-5</sub>	-	-	-	0.709	1.123	0.2705	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	-0.051	-0.714	0.4808
8	Constant	-101.099	-4.390	0.0001	-100.419	-4.209	0.0002	-118.481	-4.039	0.0004
	Q <sub>t-1</sub>	0.076	0.759	0.4542	-	-	-	-	-	-
	P <sub>t</sub>	0.712	7.176	0.0001	0.713	7.171	0.0001	0.713	7.157	0.0001
	P <sub>t-1</sub>	0.217	1.942	0.0623	0.291	4.918	0.0001	0.293	4.927	0.0001
	R <sub>t-5</sub>	-	-	-	0.362	0.661	0.5139	-	-	-
	TR	-	-	-	-	-	-	0.041	0.597	0.5550

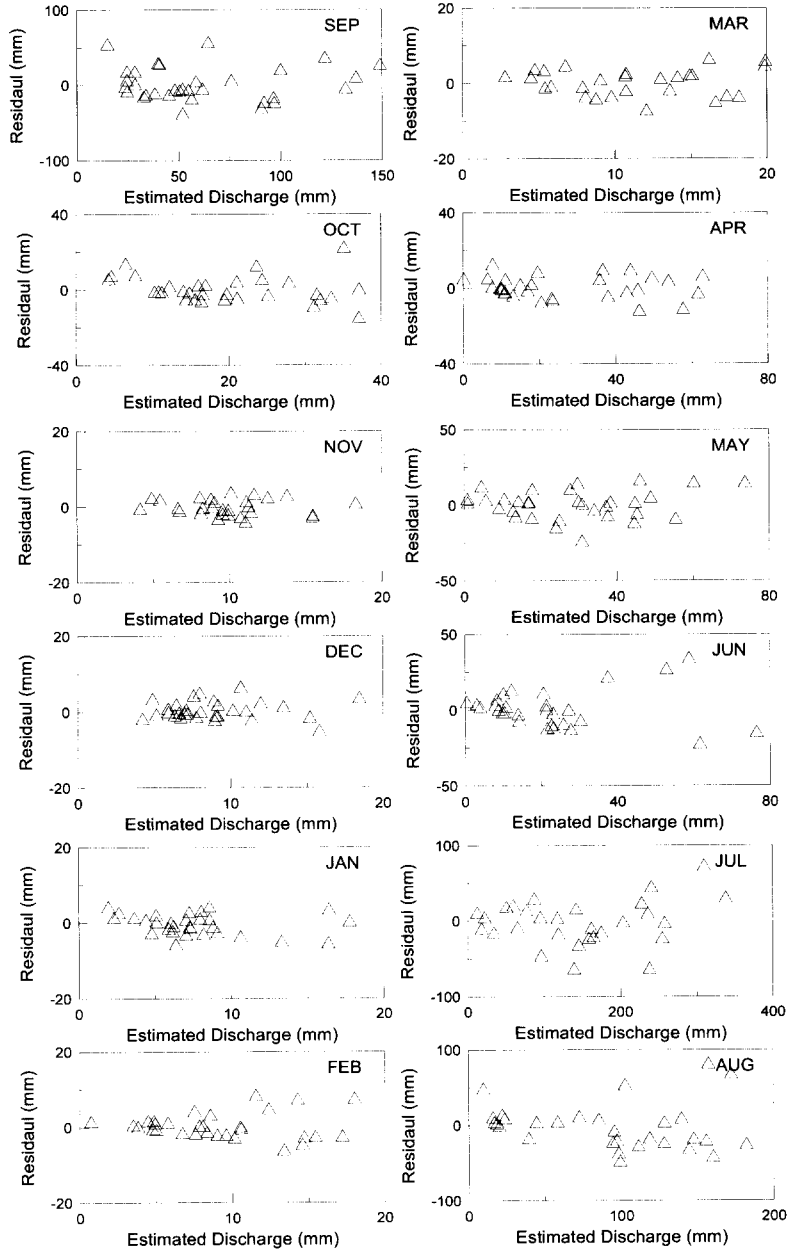


그림 4. 현풍 지점의 월유출 예측모형에 의한 추정치와 잔차

$Q_t$ 을 지배할 것이다.  $t$ -검정의 결과는 이들 두 변수에서 갈수기 유출량 예측에 어느 변수가 적합한지를 평가할 수 있다.

일반적으로 갈수기를 10~4월로 보고 이들 기간에서 종속변수인 월유출량에 미치는 영향을 살펴보면 모형

A에서는  $Q_{t-1}$ 가 영향을 주는 월은 12월과 2월에 불과하다. 그러나 모형 D에서는 10월에서 4월까지 일관된 영향을 주고 있다. 또한  $Q_{t-1}$ 와 같은 기간에 발생하는  $P_{t-1}$ 의 경우도 10월~4월까지 일관된 유의적인 영향을 주고 있다. 이는 갈수기 유출량 예측에  $Q_{t-1}$ ,  $P_{t-1}$ ,  $P_t$



의 변수보다  $R$ ,  $P_{t-1}$ ,  $P_t$ 의 변수 이용이 적절함을 보여 준다. 따라서 모형의 적용상 선행유출량에 관한 정보를 알 필요없이 단지 강수량으로 월유출량을 예측할 수 있는 장점이 있다. 이상과 같은 현풍지점의 결과로 볼 때 4개 모형 중 모형 D를 적정모형으로 선정할 수 있다. 또한 모형 A는  $P_{t-1}$ 와  $Q_{t-1}$ 가 서로 상관성이 크기 때문에 다중공선성(multicollinearity)문제를 야기하여 모형 매개변수의 통계적 검정력을 약화시킨다.

모형의 마지막 적정기준으로 회귀모형의 가정, 즉 종속변수의 일정분산성(constant variance), 무작위성(randomness) 또는 독립성(independence) 그리고 모집단의 정규분포(normal distribution)를 만족하는가를 분석해야 한다. 이는 잔차분석에 의해 수행된다. 현풍지점에 모형 D를 이용하여 각 월의 유출량을 추정하고, 모형에 의한 유출량 추정치와 잔차 즉, 실측치와 추정치의 차를 분석하였다. 실측치와 추정치는 그림 5와 6에 제시하였다. 표 4에 제시된 모형 D의 매개변수의 경우 일부변수의 계수의 유의성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 최적 모형의 선정에 주안점을 두기보다는 선정된 모형의 비교평가 및 적정변수의 선정에 주안점을 두고 있으므로 이들 계수들을 모두 이용하였다. 그림 3은 모형 D를 이용해서 작성된 현풍 지점의 결과로서 각 월별 잔차가 평균 0을 주변으로 무작위하게 분포되어 있고 아무런 경향을 보이지 않아 회귀모형의 가정을 만족하고 있다.

### 7. 독립변수로서 강수량만을 이용한 월유출 예측모형의 평가

앞에서 선정된 월유출모형인 모형 D의 독립변수는 선행강수량( $P_{t-1}$ ), 예측 월강수량( $P_t$ )과 지하수함양량( $R$ )이다. 따라서 1개월 또는 수개월 전 유출량 예측을 위해서는 예측 월의 강수량 예측과 지하수 함양량을 추정해야 한다.

이동률(1995)은 전국 20개 수위관측지점에 대한 매년  $R_{3-5}$ 와  $R_{7-9}$ 를 추정하였으며, 표 9와 같은 선행 강수량에 따른 지하수 함양량의 관계식을 제시하였다. 표 5의 식들의 각 계수들은 해당 지역의 수문지질학적 특성을 나타내며, 이들 식은 유역내 각 지점에 대하여 적용하여도 무리가 없는 것으로 제시되고 있다.

강수량 예측은 기상학적 요소이지만 지하수 함양량은 유역의 상태를 나타내는 지표로 본 연구에서는 표 5와 같은 유역별 선행 강수량에 따른 지하수함양량( $R_{3-5}$ ,  $R_{7-9}$ )을 강수량( $P_{1-5}$ ,  $P_{6-9}$ )의 함수로 나타냈기

표 5. 유역별 강수량과 지하수 함양량 관계 (이동률 등, 1996)

유역	관계식
한강	$R_{3-5} = 0.1558P_{1-5} - 12.11$ $R_{7-9} = 0.1562P_{6-9} - 54.13$
낙동강	$R_{3-5} = 0.1392P_{1-5} - 11.84$ $R_{7-9} = 0.1662P_{6-9} - 58.78$
금강	$R_{3-5} = 0.1529P_{1-5} - 17.80$ $R_{7-9} = 0.1699P_{6-9} - 56.99$
섬진강	$R_{3-5} = 0.1618P_{1-5} - 29.25$ $R_{7-9} = 0.1021P_{6-9} - 37.14$
영산강	$R_{3-5} = 0.1279P_{1-5} - 19.27$ $R_{7-9} = 0.1275P_{6-9} - 44.52$

\*  $P_{1-5}$  : 1-5월의 총강수량,  $P_{6-9}$  : 6-9월의 총강수량

때문에 모형 D에 의한 월유출모형은 단지 강수량을 독립변수로 이용한 간단한 모형으로 구성할 수 있다. 즉, 식 (6)의 모형 D에 지하수함양량( $R$ )항에 표 5의 낙동강유역의 지하수함양량 추정식을 대입하면 현풍지점은 식 (8)과 (9)과 같은 월유출예측모형을 얻을 수 있다. 따라서 식 (8)과 (9)는 유역상태를 고려하면서 예측기간의 강수량에 의한 가용수자원을 평가할 수 있다.

$$Q_t = d_0 + d_1P_{t-1} + d_2P_t + d_3(0.1662P_{6-9} - 58.78), \quad \text{9월-4월} \quad (8)$$

$$Q_t = d_0 + d_1P_{t-1} + d_2P_t + d_3(0.1392P_{1-5} - 11.84), \quad \text{5월-8월} \quad (9)$$

한편, 지하수 함양량을 고려한 식 (8)과 (9)의 모형은 식 (10)과 같은 모형 E의 형태임을 알 수 있다.

$$\text{모형 E} : Q_t = e_0 + e_1P_{t-1} + e_2P_t + e_3TR \quad (10)$$

여기서, 9월-4월 유출량 예측일 때 TR은 표 5에 제시된 함양량 추정식으로 9월-4월 유출량 예측일 때 6-9월 총강수량( $P_{6-9}$ ), 5월-8월 유출량 예측일 때 1-5월 총강수량( $P_{1-5}$ )의 함수가 된다. 따라서 유출수문곡선에서 직접 추정된 지하수 함양량( $R$ )을 독립변수로 이용하여 회귀분석한 모형 D는 모형 E와 같이 실측강수량  $P_{1-5}$ ,  $P_{6-9}$ 를 직접 독립변수로 이용한 것과 같은 결과를 얻을 수 있다. 식 (10)의 모형 E 회귀분석 결

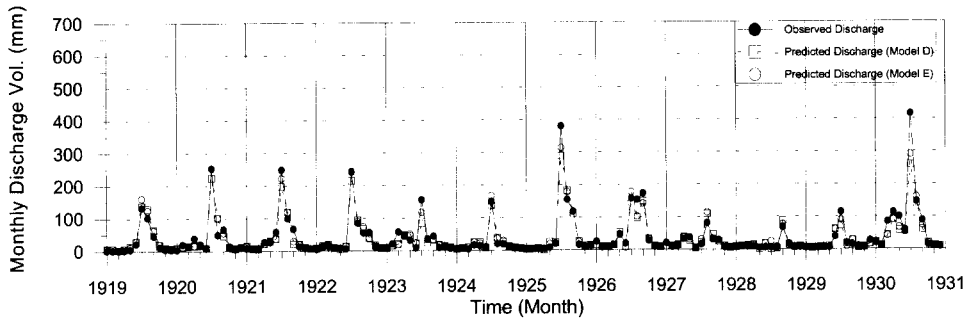


그림 5. 월유출예측모형에 의한 실측치와 예측치의 비교(현풍, 1919~1930년)

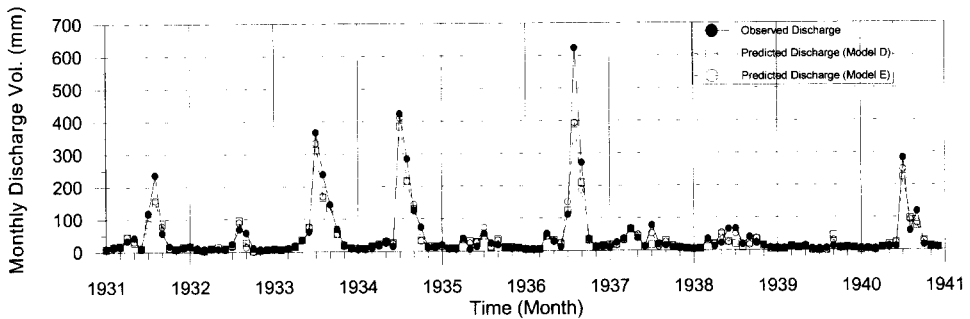


그림 6. 월유출예측모형에 의한 실측치와 예측치의 비교(현풍, 1931~1940년)

과를 표 2의 모형 A, B, C, D의 결과와 함께 표 2~4에 제시하였으며, 이들 결과는 실측자료에서 추정된 지하수 함양량을 이용한 회귀분석과 거의 비슷한 결과를 얻었다. 또한 모형 E의 t-통계치가 모형 E와 비슷함을 알 수 있다. 현풍지점에 적용한 모형 D와 E의 예측치와 실측치를 비교하기 위해서 그림 5와 6에 나타내었으며, 두 예측모형이 거의 비슷한 결과를 보여줄 수 있다.

모형 D와 E의 분석 결과는 결국,  $P_{1-5}$ ,  $P_{6-9}$ 를 독립변수로 이용함으로써 유역의 지하수 상태를 파악하고 이들의 이월영향을 고려하면서 단지 강수량을 이용한 유출예측모형을 개발할 수 있음을 보여준다.

## 8. 결 론

본 연구에서는 유역의 상태를 나타내는 지하수 함양량에 의한 해당 월유출량의 영향을 평가하고, 다중회귀모형에 의한 월유출량 예측의 독립변수로서의 이용을 시도하였다. 이 연구를 통하여 갈수기 유출예측을 위하여 유역의 상태를 나타내는 지표로서 선행유출량보다 지하수 함양량의 이용이 더 좋은 결과를 주고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 다중회귀모형에 의한

유출모형개발시 독립변수로서 선행 강수량과 유출량과 함께 지하수 함양량을 이용한다면 보다 양호한 최적모형을 구축할 수 있음을 제시한다. 또한, 기 개발된 강수량과 지하수 함양량의 관계를 이용하여 지하수 함양량의 추정 없이 강수량의 함수만으로 유출예측모형을 구성할 수 있음을 보였다. 장기 강수량의 예측이 이루어진다면 본 연구의 결과는 사전에 가용 수자원량을 예측하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김태철, 정하우 (1980). "다중회귀분석에 의한 하천 월유출량의 추계학적 추정에 관한 연구.", 한국농공학회지, 제22권, 제3호, pp. 75~87.
- 김태철, 박성우 (1984). "한국하천의 원유출량 추정을 위한 지역화 회귀모형.", 한국농공학회지, 제26권, 제2호, pp. 106~124.
- 윤용남, 원석연 (1991). "미계측 중소유역의 월유출량 산정을 위한 다중회귀모형 연구.", 한국수문학회지, 제24권, 제3호, pp. 71~81.
- 이동률 (1995). 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기 갈수량 예측, 박사학위논문,

고려대학교.

이동률, 윤용남 (1996). “우리라어나 지하수 함양량 추정과 분석.”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제16권, 제II-4호, pp. 321~334.

土木研究所 (1979). 漏水時の水管理に關する計劃學的研究, 土研資料 第1508号.

Alley, W.M. (1985). “Water balance models in one-month-ahead streamflow forecasting.”, *Water Resources Research*, 21(4), 597~606.

Barnes, B.S. (1939). “The Structure of discharge-recession curves.”, *Trans. Am. Geophys. Union*, 20, 721~725.

Bender, M., and S. Simonovic (1994). “Time-series modeling for long-range stream-flow forecasting.”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 120(6), 857~870.

Farnum, N.R, and Stanton, L.W. (1989). *Applied Quantitative Forecasting Methods*, PWS-KENT Publishing Company, Boston.

Garen, D.C. (1992). “Improved techniques in regression-based streamflow volume forecasting.”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 118(6), 654~670.

Hall, F.R. (1968). “Base-flow recessions-a review.”, *Water Resources Research*, 4(5),

973~983.

Harris, B., Sharp, A.L., A.E. Gibbs, and W.J. Owen (1961). “An Improved statistical model for evaluating parameters affecting water yields of river basins.”, *Journal of Geophysical Research*, 66(10), 3319~3328.

Hirsch, R.M. (1981). “Stochastic hydrologic model for drought management.”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 107(2), 303~313.

Sharp, A.L., A.E. Gibbs, W.J. Owen, and B. Harris (1960). “Application of the multiple regression approach in evaluating parameters affecting water yields of river basins.”, *Journal of Geophysical Research*, 65(4), 1273~1286.

Snyder, W.M. (1962). “Some possibilities for multivariate analysis in hydrologic studies.”, *Journal of Geophysical Research*, 67(2), 721~729.

WMO (1982). *Long-range water-supply forecasting*(Edited by Dyhr-Nielsen, M.), Operational Hydrology Report No. 20, WMO-No. 587.

(논문번호:01-019/접수:2001.02.27/심사완료:2001.04.13)