

Mann-Kendall검정과 Sen의 변화를평가에 의한 수문시계열의 변화경향분석

김 정 훈

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리 나라에는 크고작은 강하천들과 호수, 저수지들이 많아 물자원이 풍부한것만큼 물관리를 잘하면 나라와 인민의 물수요를 원만히 보장할수 있으며 큰물과 가물피해도 막을수 있고 조국강토의 풍치도 더 훌륭히 꾸릴수 있습니다.》

물자원은 사람들의 일상생활과 공업, 농업을 비롯한 경제부문들에서 없어서는 안될 귀중한 자원의 하나로서 그 의의가 더욱 커가고있다. 물자원에 대한 늘어나는 수요를 원만히 보장하고 나라의 경제발전에 보다 효과적으로 리용하기 위하여서는 물자원의 시공간적인 분포와 그 변동특성을 정확히 평가하고 그에 맞는 합리적인 물리용대책을 세우는 것이 중요한 문제로 제기된다.

본문에서는 하천흐름량계열의 변화경향분석에 리용되는 Mann-Kendall검정과 Sen의 변화를평가원리와 방법을 서술하였다.

1. Mann-Kendall검정에 의한 변화경향평가

Mann-Kendall검정방법은 비파라미터순위검정방법의 하나로서 기상수문시계열의 경향분석을 위하여 널리 적용되고있다. 최근의 많은 연구결과들은 Mann-Kendall검정방법이 다른 여러가지 통계검정방법에 비하여 강수량, 류출량과 같은 기상수문시계열의 특성을 더 잘 반영한다는것을 보여주었으며 그에 따라 정부간물자원협회와 세계기상기구와 같은 국제적인 학술기관들에서도 기상수문시계열의 변화경향분석에 이 방법을 적용할것을 권고하고있다.[1, 2, 4]

이 방법은 검정에서 순위에 의한 상대값들만을 리용하기때문에 분포에 무관계하고 표본값렬에 존재하는 특이값들에 크게 관계되지 않는 우점을 가지고있다.[3, 4]

Mann-Kendall검정에서 경향이 없다는 평가설은 유의한 경향이 있다는 대립가설과 함께 검증된다.

통계량 S 는 다음과 같이 계산된다.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

여기서 n 은 자료의 개수이고 x_i, x_j 는 각각 i 와 j 시점에서의 관측값이다. $\text{sgn}(x_j - x_i)$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

충분히 큰 자료를 가진($n>10$) 표본렬에 대하여 통계량 S 는 평균이 0인 정규분포에 따르며 분산은 다음과 같다.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (3)$$

m 은 비교되는 값들사이의 차가 0으로 되는 경우의 수이며 t_k 는 k 범위에 종속된 자료 수를 나타낸다. 검정통계량 Z 는 다음과 같이 추정된다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

만일 $|Z|$ 가 $Z_{(1-\alpha/2)}$ 보다 크면 평가설은 버린다. 여기서 α 는 유의수준으로서 가설검정에서의 턱값이다. 실제로 만일 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 $|Z| \geq 1.96$ 이면 시계렬의 경향은 유의하다. Z 가 정의 값을 가지면 증가, 부의 값을 가지면 감소경향을 나타낸다.

2. Sen의 변화를평가지표

Mann-Kendall검정에 의하여 시계렬에 유의한 경향이 있다는것이 판정되면 Sen의 변화를평가지표를 리용하여 단위시간동안의 변화의 크기를 평가할수 있다. 이 방법은 일반적으로 기상수문시계렬에서 장기적인 변화경향의 크기를 평가하는데 적합한것으로 하여 일반적인 선형회귀방법을 대신하여 널리 리용되고있다.

Sen의 변화를추정지표는 다음과 같다.

$$Q_k = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (i = \overline{1, n}) \quad (5)$$

$$S_n = \text{Median}(Q_k) \quad (k = \overline{1, N}) \quad (6)$$

여기서 x_i 와 x_j 는 각각 i 와 j 시점($i < j$)에서의 표본값, N 은 시계렬에서의 모든 자료쌍들의 개수, S_n 은 Sen의 변화를추정지표이다.

만일 N 이 홀수인 경우

$$S_n = Q_{\frac{N+1}{2}} \quad (7)$$

N 이 짝수인 경우

$$S_n = \frac{1}{2}(Q_{N/2} + Q_{N/2+1}) \quad (8)$$

3. 계 산 실 험

하천흐름량계렬의 변화는 크게 두가지 요인 즉 자연지리적인자와 인간활동의 영향에 의하여 일어나게 된다. 자연지리적인자는 강수량, 기온, 식물피복, 지형 등의 변화를 반영하며 인간활동의 영향은 수력발전소, 저수지를 비롯한 수리구조물건설과 관개와 같은 류역의 물순환동태를 변화시키는 여러가지 형태의 인간활동에 의하여 초래된다.

이러한 요인들가운데서 주로 자연지리적인자 특히 기후인자의 변화에 따르는 하천 흐름량계렬의 변화를 고찰하기 위하여 인간활동의 영향이 적게 미치고 식물피복이나 지형상태의 변화가 적은 rz지점의 1951년—2010년월평균흐름량계렬을 선택하여 분석하였다.

관측지점에서의 년평균흐름량에서의 변화와 함께 각이한 기간(1월—3월, 4월—6월, 7월—9월, 10월—12월)의 평균흐름량의 변화경향성도 평가하였다. 아래의 표에서 Z는 Mann-Kendall검정통계량이다. 변화률은 10년을 단위로 평가하였으며 계산된 Z값의 유의수준이 0.1이상인 경우에는 믿음확률이 떨어지는것으로 하여 따로 변화률을 평가하지 않았다.

표. 각이한 분석기간에 따르는 Mann-Kendall검정결과와 변화률

지표	분석기간				
	년평균	1월—3월평균	4월—6월평균	7월—9월평균	10월—12월평균
Z	-1.81	-1.55	-0.18	-1.89	-0.70
유의수준	0.07	0.12	0.86	0.05	0.49
변화률	-1.1			-4.00	

표를 통하여 알수 있는바와 같이 연구지점에서 분석기간에 통계적으로 유의한 경향은 년평균흐름량계렬과 7월—9월기간의 평균흐름량계렬인 경우에만 나타났는데 특히 7월—9월기간평균흐름량계렬의 감소경향은 매우 뚜렷하다. ($\alpha=0.05$, $Sn=-4m^3/(s \cdot 10y)$) 이것은 연구지점에서 7월—9월기간의 류출의 기본형성요인인 장마철강수량이 계통적으로 감소하였으며 결과 년평균흐름량도 계통적인 감소하였다는것을 보여준다. 년평균흐름량은 10년에 $1.1m^3/s$ 정도 감소하였다. 년평균흐름량이 감소한것은 주로 7월—9월기간의 류출량감소에 따른것으로서 연구지점에서 년류출량의 60%이상이 7월—9월기간에 형성되는 류출특성에도 부합되는것이다. 다른 시기(1월—3월, 4월—6월, 10월—12월기간)에는 통계적으로 유의한 경향이 나타나지 않았다. 이것은 연구지점의 집수면적이 작은데로부터 자연조절능력이 작고 류출이 주로 강수에 의하여 형성되기때문이라고 볼수 있다.

맺 는 말

Mann-Kendall검정방법과 Sen의 변화률평가방법은 수문시계렬의 변화경향평가에 유용하게 쓰일수 있으며 그 결과도 류출현상의 물리적특성에 잘 부합된다.

앞으로 이러한 방법들에 대한 보다 깊은 연구를 통하여 물자원의 시공간적변화에 대한 평가를 과학화하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Azadeh Arbabi Sabzevari et al.; J. Earth Syst. Sci., 124, 2, 335, 2015.
- [2] Gao Qi et al.; Sci. Total Environ., 557, 331, 2016.
- [3] Jew Das et al.; India. Hydrol. Process, 63, 7, 1020, 2018.
- [4] Qi Wei et al.; Hydrol. Res., 48, 4, 1058, 2017.

Trend Analysis in Hydrological Time Series by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimator

Kim Jong Hun

In this paper, Mann-Kendall Test and Sen's slope estimator were investigated to evaluate a significant trend and its magnitude observed in the hydrological time series, with the case study on river discharge at the ㄱ station.

Keywords: trend analysis, hydrological time series, significance level