장성호 수질변화 경향성 평가를 위한 Mann-Kendall 검정의 적용

오창열 · 박성천*† · 이용희* · 박인철* · 노경범**
광주광역시 환경생태국 생태하천수질과
*동신대학교 토목공학과
**목포대학교 창업지원단

Application of Mann-Kendall Test for Water Quality Assessment on the Jangseong Lake

Chang-Yeol Oh · Sung-Chun Park*† · Yong-Hee Lee* · In-Chul Park* · Kyong-Bum Roh**
Division of Ecological Stream & Water quality, Gwang-Ju Metropolitan City Hall
**Department of Civil Engineering, Dongshin University*
***Startup Assistance Foundation, Mokpo National University*

Abstract

Statistical analysis was accomplished based on theoretical background of seasonal Mann-Kendall tests about the targeted spot which is Jangseong lake and it was possible to decide the tendency in this paper.

As a result, we could know the fact trough results of trend analysis about hydrological variables and water quality item and the fact was that Jangseong Dam 1 and 2 station have not significant trend commonly according to time from 1996 to 2010. Likewise, we could check that both section showed acidic pH in common, and DO is decreasing and BOD, COD, TN and TP are also getting lower in water quality item. With this trend, it showed that water quality improvement countermeasure of Jangseong lake has positive effects on there and the water quality is gradually upgrading. In addition, it is considered that there is no need to prepare particular water quality betterment step about these two places from now on.

Therefore, quantitative water quality data could be analyzed by conducting statistical trend analysis about observed water quality while accumulating these data over the long-term period until present. It is judged that analysis of water quality change using non-parametric statistical technique on the basis of above would be helpful to scientific and systematic research which is preparing more effective management of water quality and concern of water quality change for the future. It is considered that the prediction of water quality change would be conducted easier based on these research results.

Keywords : Non-parametric statistical technique, Mann-Kendall tests, BOD, TN, TP

†Corresponding author E-mail: psc@dsu.ac.kr

1. 서 론

우리나라는 계절적으로 하천수량이 크게 변화하기 때문에 하천 수질 조사 시 동일 지점의 조사 시기에 따른 수질의 연중 변화폭이 크게 나타나고 있다. 이러한 특성으로 수질 자료를 연평균 값으로 수질변화의 추세를 판단하는 것은 일정한 변화 추세를 정확히 감지하기가 어렵다. 또한, 1990년대 초반부터는 수질이 급속히 악화되고 그 변동성이 강하게 나타남에 따라 추세분석에 많은 어려움을 가중시키고 있다. 더불어 지속적으로 수질측정을 하면서 결측된 자료와 검출한계 이하의 값들이 발생하였으며, 일반적인 모수통계 방법을 이용하여 수질변화 경향을 분석하는 것은 적합하지가 않다.

그러나 수체내 다양한 반응기작으로 나타나는 수질을 효과적으로 관리하기 위해서는 현재 우리나라의 수질 상태를 정확히 파악하고 원인규명을 하는 것도 중요하지만 과거 수질이 어떻게 변해왔는지 또한 앞으로 어떻게 변할 것인지 예측하는 것도 중요하다[1,2].

최근에 국내에서는 1990년도 이후부터 수질 측정자료가 잘 축적되어 왔으며, 이러한 자료들을 이용하여 시간에 따른 수질 변화 경향을 파악하는 것이 비로소 가능해졌다[3]. 그러나 이러한 자료들을 바탕으로 한 비모수적 통계기법(Non-parametric Statistical Method)을 적용한 수질분석연구는 활발히 진행되지 않고 있다.

이를 바탕으로 장기간에 걸쳐 지속적으로 수질데이터를 모니터링 하면서 장기간 관측된 수질에 대한 통계적 경향분석을 실시함으로써 정량적으로 수질데이터를 분석할 수 있게 되었다[4-6].

예를 들어, 어떤 수체에서 현재 좋은 수질상태를 보이고 있다고 해서 앞으로 계속 좋은 수질상태를 보인다는 보장은 없을 것이다. 그 수체에 대한 현재 상태를 파악하고 과거 어떠한 상태에서 지금까지 변해왔는지 원인진단을 하고 그에 대한 적절한 대책을 세워야 할 필요가 있다는 것이다[2,3,6,7].

Mann(1945)과 Kendall(1975)은 계절적 변동특성을 갖는 수질자료의 추이를 분석하기 위하여 계절 맨-켄달 검정법(Seasonal Mann-Kendall Test)을 제시한 이후 Dietz와 Kileen(1981)에 의해서 Mann-Kendall 통계치의 공분산이 제시되고, 계절적 변동 특성을 갖는 수질자료에 대해서도 적용이 가능하도록 확장되었다[4,8,9].

따라서 본 연구에서는 자료의 적합성 및 분석 가능한 자료를 바탕으로 장성호의 수질자료의 변동특성을 분석하고 수질개선 필요성을 파악하기 위하여 비모수적 통계기법인 Mann-Kendall Test를 사용하여 수질변화의 경향성을 분석하였으며, 장래 발생 가능한 경향성에 유용한 정보를 얻고 수자원 계획의 수립과 운영에 있어서 유용하게 쓰일 수 있도록 하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 연구방법

2.1. 대상지점 및 사용자료

본 연구에서는 수질자료의 변동특성 분석하기 위하여 영산강의 주요 지류인 황룡강 상류에 축조된 장성호를 대상으로 하였다.

장성호의 수질측정은 2개소(장성호1 및 장성호 2지점)에서 측정하고 있고 장성호 1지점은 전라남도 장성군 장성읍 봉덕리에 위치하고 있으며, 장성호 2지점은 전라남도 장성군 장성읍 용강리에 위치하고 있다.

장성호의 수질변화 특성을 분석하기 위하여 수문 및 수질자료인 강우량, 저수량, pH, BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD (Chem-ical Oxygen Demand), DO(Disolved Oxygen), TN(Total Nitrogen), TP(Total Phos phorus) 8가지 항목의 수질자료를 대상으로 분석하였다.

두 지점의 수질은 영산강유역환경청에서 측정을 진행하고 있으며, 측정 자료는 환경부 산하 국립환경과학원의 물환경정보시스템

(http://water.nier.go.kr)을 통해 수집·정리하였으며, 연구대상 자료의 기간은 1996년부터 2010년 12월까지이며, 자료의 총 수는 각 수질항목별 180개로 월평균 자료를 사용하여 적용하였다[10-13].

Fig. 1. Water quality monitering location of Jangseong lake.

Table 1. Data acquisition and data term

Item	No. of data	Period
Rainfall (mm)	180	1996/1 ~ 2010/12 : Monthly data
Storage (m^3)	180	
pH	180	
BOD(mg/L)	180	
COD(mg/L)	180	
DO(mg/L)	180	
TN(mg/L)	180	
TP(mg/L)	180	

2.2. 적용방법

계절 맨-켄달 검정법은 관찰치의 차이를 상대적인 크기로 계산하는 비모수 통계방법으로, 각 계절에 대해 켄달 검정을 독립적으로 시행한 후, 각 결과들의 가중합을 구하여 하나의 경향 분석 결과를 도출해 냄으로써 계절성을 배제하는 방법이다. 이 방법은 상관계수인 켄달의 타우(Kerxtall's tau)를 구하여 그 유의성을 검증함으로써 경향성의 유무를 파악하는 것이다. 또한 경향분석에 있어서 수온, 유입량, 강수량과 같은 외부 변수에 의해 유발된 수질 변이를 제거함으로써 경향분석의 효율을 높일 수 있다

일반적인 월평균 시계열자료는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X = (X_1, X_2, \cdots, X_{12}) \tag{1}$$

$$X_i = (X_1, X_2, \cdots, X_{i,n}) \tag{2}$$

여기서, X는 X_1부터 X_{12}까지의 월평균 자료로 구성된 전체 시계열 자료이고, 각각의 월평균 자료 X_i는 n_i개의 매년 자료를 포함하고 있으며, 다음 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

여기서, 켄달 통계 추정치 Si는 i월에서의 관측치 간의 차이의 합으로 해당 월에서의 수질관측치를 X_{i1}, X_{i2}, …, X_{in}으로 표현하면 다음 식과 같이 정의 된다.

$$S_i = \sum_{k=1}^{n_i-1} \sum_{j=k+1}^{n_i} sgn(x_{ij} - x_{ik}) \tag{3}$$

$$sgn(X_{ij} - X_{ik}) \begin{cases} 1 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} > 0 \\ 0 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} = 0 \\ -1 & \text{if } X_{ij} - X_{ik} < 0 \end{cases}$$

여기서 sgn(X_{ij} - X_{ik})은 j시점과 k시점의 관측치 간의 차이를 1, 0, -1로 지시자(indicator)로서, 이들의 합인 S_i를 구한다. 이와 같이 계산된 각 월별 S_i 통계량을 모두 합산하여 전체 S 통계량을 구하게 된다.

Table 2. Table of Month average data

		Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Year	1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	·	·	·	·	·	·	·	·	X_{121}
	2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	·	·	·	·	·	·	·	·	X_{122}
	·	·											·
	·	·											·
	n	X_{in}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	X_{12n}
Statistic S		S_1	S_2	S_3	·	·	·	·	·	·	·	S_{11}	S_{12}

$$S=\sum_{i=1}^{12} S_i \tag{4}$$

또한, S에 대한 평균과 분산은 다음과 같이 정의되며, S_i는 $n_i \rightarrow \infty$ 에 대하여 정규분포를 나타낸다.

$$E[S]=\sum_{i=1}^{12} E[S_i]=0 \tag{5}$$

$$Var[S]=\sum_{i=1}^{12} Var[S_i]=\sum_{i=1}^{12}\frac{1}{18}[n_i(n_i-1)(2n_i+5)-\sum_{t_i}(t_i-1(2t_i+5)] \tag{6}$$

여기서, ni는 i월에서 관측치의 총 수이고, ti는 i월에서의 같은 관찰치의 수이다. 표준정규분포화에 의한 표준정규변량 Z는 다음 식과 같이 산정된다.

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S>0\\ 0 & \text{if } S=0\\ \dfrac{S+1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S<0\end{cases} \tag{7}$$

위의 식을 통하여 Z-value를 계산한 다음 p-value를 구하여 유의성을 검증함으로써 경향성을 판단하게 된다. 이 때 $p \geq \alpha$이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고 $p \leq \alpha$이면 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용하며, α는 검정에 대한 유의수준을 의미한다. 보통 95%를 신뢰구간으로 분석하고 양의 S값은 시간에 따라서 값이 증가하면 증가경향을 의미하고 음의 S값은 감소 경향을 의미한다[3,7,14].

3. 결과 및 고찰

3.1. 경향분석 결과

본 연구의 대상 입력 자료는 수문변수 Rainfall, Storage 두 가지 항목과 수질자료인 pH, DO, BOD, COD, TN, TP등 6가지 항목을 대상으로 통계분석을 실시하였다. 분석결과 맨 켄달 검정기법을 사용하여 나타낸 데이터를 지시자들인 +1, 0, -1로 표현해 지시자들의 합인 켄달 통계 추정치(Statistic S)로 나타낸 결과를 각 항목별로 Table 3~Table 9에 나타내었다. 또한 맨-켄달 통계치인 Z-value 값을 구하기 위하여 앞에서 나온 켄달 통계 추정치를 이용한 이론적 배경을 바탕으로 수치통계분석 프로그램을 이용하여 분석 한 결과를 Table 10, Table 11에 각각 나타내었다.

3.2. 수질측정 지점별 경향분석 결과

Table 3. Kendall Statistic estimates data of Rainfall and Storage estimates

Item	Rainfall			Storage		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-8	404.67	S1	-7	408.33
Feb.	S2	18	364.00	S2	-5	408.33
Mar.	S3	-10	407.33	S3	-3	408.33
Apr.	S4	9	408.33	S4	-9	408.33
May.	S5	21	408.33	S5	-17	408.33
Jun.	S6	-37	408.33	S6	-8	407.33
Jul.	S7	16	407.33	S7	-33	408.33
Aug.	S8	5	408.33	S8	11	408.33
Sep.	S9	-7	408.33	S9	9	408.33
Oct.	S10	-23	408.33	S10	-11	408.33
Nov.	S11	-33	408.33	S11	-23	408.33
Dec.	S12	-23	408.33	S12	-27	408.33
Sum		-72	4850.00		-123	4899.00

Table 4. Kendall Statistic estimates data of pH

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	28	283.33	S1	19	316.33
Feb.	S2	7	343.00	S2	-8	195.67
Mar.	S3	28	364.00	S3	22	343.00
Apr.	S4	21	283.33	S4	27	316.33
May.	S5	10	243.33	S5	9	283.33
Jun.	S6	31	399.67	S6	42	364.00
Jul.	S7	10	380.00	S7	17	399.67
Aug.	S8	-11	343.00	S8	-1	399.67
Sep.	S9	4	380.00	S9	24	364.00
Oct.	S10	13	283.33	S10	37	316.33
Nov.	S11	-8	343.00	S11	-6	364.00
Dec.	S12	31	343.00	S12	40	243.33
Sum		164	3,989.00		222	3,905.67

Table 5. Kendall Statistic estimates data of DO

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-3	408.33	S1	-8	407.33
Feb.	S2	4	380.00	S2	10	407.33
Mar.	S3	-14	407.33	S3	13	408.33
Apr.	S4	-29	343.00	S4	-18	364.00
May.	S5	-10	407.33	S5	-37	343.00
Jun.	S6	-39	408.33	S6	-32	407.33
Jul.	S7	-44	407.33	S7	-32	380.00
Aug.	S8	-66	380.00	S8	-51	343.00
Sep.	S9	-38	380.00	S9	-35	399.67
Oct.	S10	-60	407.33	S10	-68	407.33
Nov.	S11	-39	399.67	S11	-27	408.33
Dec.	S12	-37	399.67	S12	3	399.67
Sum		-375	4,728.33		-282	4,675.33

Table 6. Kendall Statistic estimates data of BOD

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-41	343.00	S1	-59	316.33
Feb.	S2	-36	380.00	S2	-42	283.33
Mar.	S3	-30	364.00	S3	-32	343.00
Apr.	S4	-41	391.67	S4	-45	343.00
May.	S5	-48	364.00	S5	-46	364.00
Jun.	S6	-49	399.67	S6	-29	316.33
Jul.	S7	-51	391.67	S7	-43	343.00
Aug.	S8	-53	343.00	S8	-61	399.67
Sep.	S9	-32	380.00	S9	-41	391.67
Oct.	S10	-23	316.33	S10	-30	364.00
Nov.	S11	-39	343.00	S11	-43	399.67
Dec.	S12	-15	283.33	S12	-23	380.00
Sum		-458	4,299.67		-494	4,244.00

Table 7. Kendall Statistic estimates data of COD

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-7	399.67	S1	11	399.67
Feb.	S2	16	364.00	S2	4	343.00
Mar.	S3	-1	343.00	S3	-11	343.00
Apr.	S4	18	380.00	S4	14	404.67
May.	S5	-17	399.67	S5	-35	391.67
Jun.	S6	-4	407.33	S6	-1	408.33
Jul.	S7	-17	399.67	S7	-5	408.33
Aug.	S8	-34	380.00	S8	-28	364.00
Sep.	S9	-15	408.33	S9	-7	343.00
Oct.	S10	-35	399.67	S10	-37	399.67
Nov.	S11	-31	343.00	S11	-36	407.33
Dec.	S12	-20	404.67	S12	-16	407.33
Sum		-147	4,629.00		-147	4,620.00

Table 8. Kendall Statistic estimates data of TN

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-51	408.33	S1	-53	408.33
Feb.	S2	-35	408.33	S2	-35	408.33
Mar.	S3	-33	408.33	S3	-41	408.33
Apr.	S4	-33	408.33	S4	-25	408.33
May.	S5	-49	408.33	S5	-55	408.33
Jun.	S6	-43	408.33	S6	-31	408.33
Jul.	S7	-39	408.33	S7	-15	408.33
Aug.	S8	-11	408.33	S8	7	408.33
Sep.	S9	-31	408.33	S9	-15	408.33
Oct.	S10	-57	408.33	S10	-43	408.33
Nov.	S11	-55	408.33	S11	-51	408.33
Dec.	S12	-47	408.33	S12	-53	408.33
Sum		-484	4,900.00		-410	4,900.00

Table 9. Kendall Statistic estimates data of TP

Site	Jangseong Lake 1			Jangseong Lake 2		
Month	Statistic S		var[S]	Statistic S		var[S]
Jan.	S1	-28	407.33	S1	-39	399.67
Feb.	S2	14	407.33	S2	23	399.67
Mar.	S3	-26	380.00	S3	-16	407.33
Apr.	S4	4	404.67	S4	9	399.67
May.	S5	-56	407.33	S5	-75	408.33
Jun.	S6	-35	408.33	S6	-31	399.67
Jul.	S7	-12	407.33	S7	-18	407.33
Aug.	S8	-37	399.67	S8	-31	399.67
Sep.	S9	-4	343.00	S9	-21	399.67
Oct.	S10	-10	407.33	S10	-14	407.33
Nov.	S11	-16	407.33	S11	-1	408.33
Dec.	S12	-30	404.67	S12	-41	408.33
Sum		-236	4,784.33		-255	4,845.00

Table 10. Z-value Kendall Statistic of Jangseong lake 1 station

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S>0\\ 0 & \text{if } S=0\\ \dfrac{S+1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S<0\end{cases}$$

Rainfall	-72 + 1/4850.0$^{0.5}$ = -1.02
Storage	-123 + 1/4899.0$^{0.5}$ = -1.74
pH	164 - 1/3989.0$^{0.5}$ = 2.59
DO	-375 + 1/4728.3$^{0.5}$ = -5.44
BOD	-458 + 1/4299.7$^{0.5}$ = -6.97
COD	-147 + 1/4629.0$^{0.5}$ = -2.15
TN	-484 + 1/4900.0$^{0.5}$ = -6.90
TP	-236 + 1/4784.0$^{0.5}$ = -3.40

Table 11. Z-value Kendall Statistic of Jangseong lake 2 station

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S>0\\ 0 & \text{if } S=0\\ \dfrac{S+1}{(VAR[S])^{1/2}} & \text{if } S<0\end{cases}$$

Rainfall	-72 + 1/4850.0$^{0.5}$ = -1.02
Storage	-123 + 1/4899.0$^{0.5}$ = -1.74
pH	222 - 1/3905.7$^{0.5}$ = 3.54
DO	-282 + 1/4675.3$^{0.5}$ = -4.11
BOD	-494 + 1/4244.0$^{0.5}$ = -7.57
COD	-147 + 1/4620.0$^{0.5}$ = -2.15
TN	-410 + 1/4900.0$^{0.5}$ = -5.84
TP	-255 + 1/4845.0$^{0.5}$ = -3.65

각 수질측정 지점별 경향성을 계절 맨-켄달 검정법을 통해 분석하는데 있어서 우선 가설검정은 유의수준 0.05를 가정하여 시행하였다.

장성호1의 측정지점에서는 각 수문변수 및 수질항목들의 원농도에 대해 계절 맨-켄달 검정을 실시한 결과, 강우량의 Z-value 통계량은 -1.021이고 p-value가 0.308이 계산되었으며, 귀무가설을 채택하여 감소하는 경향이 통계적으로 유의하지 않아 경향이 없다고 판단하였다. 또한 저수량에 대한 Z-value 통계량은 -1.743이고 p-value가 0.082로 마찬가지로 귀무가설을 채택하여 감소하는 경향이 통계적으로 유의치 않아 경향이 없다고 판단하였고, pH수질자료는 원농도에 대해 계절 맨-켄달 검정을 시행한 결과, 앞에 항목들과는 달리 Z-value 통계량은 2.591이고, p-value는 0.010이므로 유의수준 0.05보다 작아 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하여 증가하는 경향이 있다고 판단하였다.

DO항목과 BOD, TN에서는 각각 DO는 Z-value 통계량이 -5.441, p-value가 0.000이며, BOD는 Z-value 통계량이 -6.969이고 p-value가 0.000, TN은 Z-value 통계량이 -6.900이고 p-value가 0.000 으로 세 항목에서 다 현저하게 감소하는 경향이 뚜렷하다고 판단하였다. 그리고 COD항목은 Z-value 통계량이 -2.146, p-value가 0.037로 약간 감소하는 경향이 있으며 TP항목도 Z-value 통계량이 -3.398이고 p-value가 0.001로 나와 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

종합적으로 판단해 볼 때 장성호 1지점은 수문변수 항목인 강우량, 저수량 두 항목에 대해서는 유의한 경향성을 보이지 않고 있음을 알 수 있었다. 또한 수소이온농도 지수인 pH는 산성을 나타내고 DO는 낮아지고 있으며, BOD와 COD그리고 TN, TP가 낮아짐에 따라 장성호 1지점의 수질은 점점 개선되어 가고 있음을 보여주고 있다.

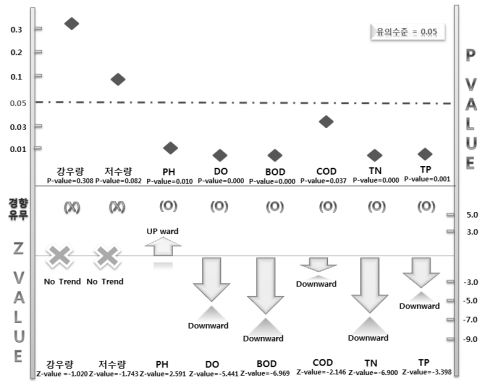

Fig. 2. Result of trend analysis for Jangseong lake 1 station.

장성호 2지점의 경우에서도 각 수문 변수 및 수질항목들의 원농도에 대해 계절 맨-켄달 검정을 실시한 결과, 강우량의 Z-value 통계량은 -1.020이고 p-value가 0.308로 장성호 1지점과 같이 귀무가설을 채택하여 감소하는

Table 12. Trend data of water quality for Jangseong lake 1 station

Water quality	Range	Statistic S	Z value	P value	Trend
Rainfall(mm)	0～645	-72	-1.021	0.308	No Trend
Storage(m^3)	30.98～98.42	-123	-1.743	0.082	No Trend
pH	6.10～9.60	164	2.591	0.010	Upward
DO(mg/L)	3.80～14.10	-375	-5.441	0.000	Downward
BOD(mg/L)	0.30～4.10	-458	-6.969	0.000	Downward
COD(mg/L)	1.30～8.80	-147	-2.146	0.037	Downward
TN(mg/L)	0.396～6.198	-484	-6.900	0.000	Downward
TP(mg/L)	0～0.998	-236	-3.398	0.001	Downward

경향이 통계적으로 유의하지 않아 경향이 없다고 판단하였다. 저수량 또한 Z-value 통계량은 -1.743이고 p-value가 0.082로 마찬가지로 귀무가설을 채택하여 감소하는 경향이 통계적으로 유의치 않아 경향이 없다고 판단하였고, pH항목에서 수질 원농도에 대해 계절 맨-켄달 검정을 시행한 결과 앞에 항목들과는 달리 Z-value 통계량은 3.536이고, p-value는 0.001로 유의수준 0.05보다 매우 작아 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하여 비교적 뚜렷하게 증가하는 경향이 있다고 판단하였다. 또한 DO항목과 BOD, TN에서도 장성호 1지점과 마찬가지로 각각 DO는 Z-value 통계량이 -4.110이고 p-value가 0.000이며 BOD는 Z-value 통계량이 -7.568이고 마찬가지로 p-value가 0.000, TN은 Z-value 통계량이 -5.843이고 p-value가 0.000 으로 세 항목에서 다 현저하게 감소하는 경향이 뚜렷하다고 판단하였다. 그리고 COD항목은 Z-value 통계량이 -2.148이고 p-value가 0.032로 약간 감소하는 경향이 있으며 TP항목도 Z-value 통계량이 -3.649이고 p-value가 0.001로 나와 감소하는 경향이 있는 것으로 판단되었다.

장성호 2지점 또한 수문변수 항목인 강우량, 저수량 두 항목에 대해서는 장성호 1지점과 마찬가지로 유의한 경향성을 보이지 않고 있음을 알 수 있었으며, 수소이온농동 지수인 pH는 산성을 띠고 있고, DO는 낮아지고 있으며 BOD와 COD그리고 TN, TP가 낮아짐에 따라 장성호 2지점의 수질 또한 점점 개선되어 가고 있음을 보여주고 있다.

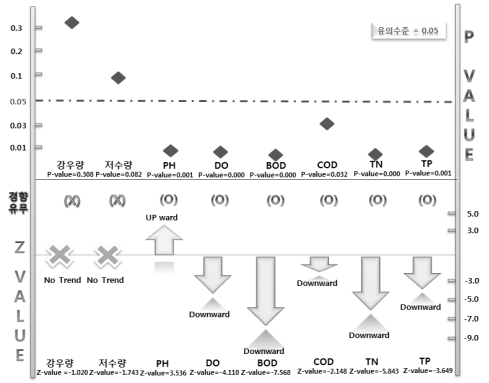

Fig 3. Result of trend analysis for Jangseong lake 2 station.

4. 결 론

본 연구에서는 장성호의 수질 자료에 적합한 경향분석 절차를 설명하고, 이를 이용하여 시간에 따른 수질 변화 경향을 살펴보았다. 특히 수문변수인 Rainfall, Storage 등 2개 항목과 수질의 가장 기본적인 항목인 pH, BOD, COD, DO, TN, TP 등 6가지 항목에 관하여 1996년부터 2010년까지 약 15년간의 월평균 자료를 분석함으로써 장성호 수질의 시간에 따른 경향을 파악할 수 있었다. 비모수적 통계기법인 계절 맨-켄달 검정 테스트의 이론

Table 13. Trend data of water quality for Jangseong lake 2 station

Water quality	Range	Statistic S	Z value	P value	Trend
Rainfall(mm)	0~645	-72	-1.020	0.308	No Trend
Storage(m^3)	30.98~98.42	-123	-1.743	0.082	No Trend
pH	6.4~9.70	222	3.536	0.001	Upward
DO(mg/L)	4.6~16.7	-282	-4.110	0.000	Downward
BOD(mg/L)	0.4~5.0	-494	-7.568	0.000	Downward
COD(mg/L)	1.2~8.6	-147	-2.148	0.032	Downward
TN(mg/L)	0.02~5.634	-410	-5.843	0.000	Downward
TP(mg/L)	0~0.512	-255	-3.649	0.001	Downward

적 배경을 바탕으로 한 통계분석을 실행한 결과, 대상 수질의 경향성의 유무를 확인할 수 있었으며 본 연구의 아래와 같다.

1) 장성호 1지점의 수질경향성 모의 결과, 수문변수인 강우량, 저수량 항목에서는 각각 p-value가 0.308과 0.082로 신뢰구간인 0.05를 초과함에 따라 통계적으로 유의한 경향을 보이지 않고 있는 것으로 확인되었으며, 수질항목에서 pH는 0.010, DO, BOD, TN은 0.000, COD는 0.037, TP는 0.001로 유의성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 유의성을 보이는 항목에서 pH는 산성을 띠고 있으며, DO는 낮아지고 BOD와 COD 및 TN과 TP도 낮아지는 경향에 따라 결과적으로 장성호 1지점의 수질은 시간이 지날수록 점점 향상되고 있는 것으로 나타났다.
2) 장성호 2지점의 수질경향성 모의 결과, 수문변수는 강우량, 저수량 항목이 각각 p-value가 0.308과 0.082로 장성호 1지점과 같은 수치로 분석되어 통계적으로 유의한 경향을 보이지 않고 있는 것으로 확인되었으며, 수질항목에서 pH는 0.001, DO BOD TN은 0.000, COD는 0.032, TP는 0.001로 유의성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 유의성을 보이는 항목에서 pH는 산성을 띠었고, DO는 낮아지며, BOD와 COD 및 TN과 TP도 낮아짐에 따라 결과적으로 장성호 1지점과 같이 시간이 지날수록 수질경향이 점점 향상되고 있는 것으로 확인되었다.
3) 장성호의 두 지점에 대한 현재까지 장기간에 걸쳐 지속적으로 수질데이터를 쌓으면서 관측된 수질에 대한 통계적 경향분석을 실시함으로써 정량적으로 수질데이터를 분석할 수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 앞으로의 수질변화 예측을 더욱 쉽게 할 수 있을 것이라고 기대되며, 앞으로도 이러한 연구가 활성화 되어서 경향분석 결과를 토대로 수중 생태계에 대한 지식과 수자원에 대한 정보가 뒷받침된다면 적절한 수질관리 대책을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. 백경원, 정용태, 한건연, 송재우(1996), 한강하류부 수질의 통계학적 해석, 한국수자원학회지, 제29권, 제2호, pp. 179-190.
2. 최한규, 백경원, 최용묵, 오기호(2002), 유량변동에 따른 소양강 유역 수질의통계학적 해석, 대한토목학회 논문집, 제22권, 제2호. pp. 117-124.
3. 김주화(2001), 비모수 통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 경향분석. 석사학위논문, 이화여자대학교
4. Kendall, M. G.(1975), Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
5. Gerald van Belle and Hughes, J. P.(1984), Nonparametric Tests for Trend in Water Quality, Water Resources Research, 20(1) : 127-136
6. Montgomery, R. H., and Reckhow, K. H.(1984), Techniques for Detecting Trends in Lake Water Quality, Water Resources Bulletin, 20(1), pp. 45-52.
7. 박선영(1999), 계절 맨-켄달 기법을 이용한 국내 주요 호수의 수질 경향분석. 석사학위논문, 이화여자대학교.
8. Hirsch R. M., Slack, J. R.(1984), A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence, Water Resources Research, 20(6), pp. 727-732.
9. Mann, H. B.(1945), Nonparametric Tests

Against Trend, Econometrica 13, pp. 245-249.

10. 한국수자원공사(1990-1997), 다목적댐 수질환경 연감.
11. 농림수산식품부 한국농어촌공사(2010), 농업용저수지 둑 높이기사업 사전환경성 검토서(영산강수계: 장성댐)
12. 국립환경과학원 물환경정보시스템(2011), http://water.nier.go.kr
13. 환경부(2001), 수질측정망 운영계획.
14. 이외숙, 임용빈, 성내경, 소병수(1992), 통계학, 경문사.