



## The performance evaluation of dam management by using Granger causal analysis

Cho, Sung-Min<sup>a</sup> · Yoo, Myoung-Kwan<sup>b</sup> · Lee, Deokro<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>Ph.D student, Department of Public Administration, Sejong University, Seoul, Korea

<sup>b</sup>Research Professor, Research Institute for Government, Sejong University, Seoul, Korea

<sup>c</sup>Professor, Department of Public Administration, Sejong University, Seoul, Korea

Paper number: 20-097

Received: 15 October 2020; Revised: 12 January 2021; Accepted: 12 January 2021

### Abstract

This paper attempted to find implications for water resource management and water quality improvement by analyzing the causal relationship among discharge, water temperature and pollution index, which were expected to have a great effect on water quality with the rise of water temperature and precipitation change as the warming effect in recent years. For this purpose, the unit root test, cointegration test, and Granger causal test were carried out for 10 multi-purpose dams in Korean major water systems using time series data on discharge, water temperature, BOD, COD and DO. It was analyzed that the fluctuation of water temperature affected the pollution index more than the fluctuation of discharge volume. Also, Hapcheon dam and Chungju dam were the best water quality management dams based on the high causal relationship between water quality and discharge. The second rank was Daecheong dam. The third-ranking group were Yongdam and Andong dam, whose causal relationships between water quality and discharge were low. The last group were the remaining five dams.

**Keywords:** Global warming, Dam discharge & temperature, River pollution, Granger causality test

## 그랜저 인과분석을 통한 댐관리 성과평가

조성민<sup>a</sup> · 유명관<sup>b</sup> · 이덕로<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>세종대학교 행정학과 박사과정, <sup>b</sup>세종대학교 국정관리연구소 연구교수, <sup>c</sup>세종대학교 행정학과 교수

### 요 지

본 논문은 근래 급속하게 진행되는 온난화가 수온의 상승과 수량 변동을 수반하여 수질에도 큰 영향을 줄 것으로 전망됨에 따라 방류량 및 수온과 오염도 지수간의 인과관계 분석을 통해 효율적인 수자원 관리 및 수질 개선을 위한 시사점을 도출하고자 하였다. 이를 위해 우리나라 주요 수계의 10개 다목적댐을 대상으로 방류량 및 수온, BOD, COD, DO 등 오염도 지수에 대해 시계열 자료를 활용하여 단위근 검정 및 공적분 검정, 그랜저 인과분석을 실시하여 방류량 보다는 수온이 오염도 지수와 더 많은 인과관계가 있어 수온의 변동이 방류량의 변동보다 오염지수에 더 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 수질과 방류량의 인과관계가 높아 이에 따른 댐의 수량 및 수질관리가 가장 우수한 댐은 합천댐과 충주댐이었으며, 2순위 대청댐이었다. 다음으로 수질과 방류량의 인과관계가 낮은 3순위 그룹의 용담 및 안동댐, 4순위 그룹은 나머지 5개 댐으로 밝혀졌다.

**핵심용어:** 온난화, 댐 방류량, 수온, 하천 오염도, 인과관계 분석

\*Corresponding Author. Tel: +82-2-3408-3152  
E-mail: drlee@sejong.ac.kr (D. Lee)

### 1. 서론

온난화로 인해 지구촌 곳곳에 홍수, 가뭄, 폭우, 태풍 등의 자연재해가 일으키는 피해 규모와 강도가 갈수록 더 커지고 있다. 우리나라도 급격한 온난화가 진행되어 국지성 호우가 잦아지고 태풍의 강도 증가와 더불어 과거보다 가뭄이 더 빈번해지고 있다. 이는 세계적인 경제발전, 산업화, 도시화의 진전으로 대기 중의 온실가스 농도가 증가함에 따른 전지구적인 온난화에 기인한다(Solomon *et al.*, 2007). 우리나라도 급속한 산업화와 광범위한 도시화에 따른 하천의 오염도가 증가하면서 깨끗한 담수 자원이 점점 부족해지고 있으며 경제발전과 소득수준 향상으로 인해 물 수요가 증가하고 있다. 또한, 온난화에 따른 수온의 상승과 수량 변동은 수질에도 큰 영향을 줄 것으로 전망된다.

댐관리가 수질에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 방류량과 수질에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. Kim and Yoo (2004)는 팔당댐을 대상으로 시계열 모형을 통해 방류량이 BOD 및 COD 등 하천의 오염도 개선에 기여하는지의 효과를 분석한 결과 하천의 오염도는 방류량이 많은 8월 및 9월에 가장 낮았으며, 방류량이 적은 1월에서 5월까지 하천의 오염도가 가장 높은 것으로 밝혀졌다. 하천 유량과 수질 효과 개선과 관련해서는 전국 하천 중에 오염도가 제일 심한 것으로 알려진 낙동강과 영산강을 대상으로 연구가 많이 수행되었다. 먼저 낙동강에 대한 하천 유량과 수질간의 연구로 Kang (2009)는 서낙동강 댐의 수문 운영에 따른 하천내의 적절한 유속관리가 하류 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 분석되어 향후 비점오염 발생을 예측할 수 있는 모형을 통해 비점오염 저감책을 정립하였다. Lee (2017)은 낙동강 상류 지점의 장기 유량 곡선과 오염부하지속곡선을 작성하여 유량조건별, 분기별 수질오염도에 대한 새로운 평가 방법 적용 시 수질오염 총량 관리 제도의 유연성을 제고할 수 있다는 연구 결과를 얻었다. 영산강에 대한 연구는 상류댐의 독높이기 등을 통한 하천 유지유량 증대로 목표 수질 지점에서 수질개선 효과를 발견할 수 있었다(Ko and Kim, 2015). 수온과 하천 오염도간의 연구로는 지구 온난화에 의한 기온 상승은 하천 수온의 변화를 수반하여 기온이 1°C 상승할 경우 평균 수온은 0.61 ~ 0.84°C 상승하는 것으로 조사되었으며, 수온 상승경향은 낙동강(78.7%) > 한강(71.4%) > 영산/섬진강(44.8%) > 금강(38.5%) 순으로 나타났고, 수온의 상승은 하천 및 호소의 DO 및 COD의 증가, PH 상승 등의 경향에 영향을 주는 것으로 분석되었다(Han, 2010).

현재까지 온난화와 관련하여 수자원의 수량 측면에서는 많은 연구가 진행되었지만 수자원의 질적 측면에 대한 연구는 상대적으로 적었으며, 수량과 수질을 동시에 다루는 연구는

더욱이 드물다. 온난화에 따른 수량 및 수질의 변화는 수자원, 수생태계, 지역 경제 등 다방면에 영향을 미치므로 이에 대한 심도 깊은 연구가 필요한 실정이다. 본 연구는 수자원의 효율적 관리를 위해 주요 수계에 치수를 위해 건설되어 있는 우리나라의 주요 댐을 대상으로 방류량 및 수온과 오염도간의 인과관계를 분석하여 효율적인 수자원 관리 및 수질 개선의 시사점을 도출하고자 하였다.

### 2. 연구의 설계

#### 2.1 자료 및 연구방법

본 연구에서는 댐의 방류량과 수온에 따른 하천의 오염도간에 어떠한 인과관계가 있는지를 규명하기 위해서 VECM 모형에 기반한 그랜저 인과 분석을 수행하였으며 장기간의 시계열간 인과관계를 파악하기 위해 다음의 세 단계로 수행하였다. 1번째 단계인 ADF (Augmented Dickey and Fuller) 단위근 검정은 모형내 변수의 원시계열이 불안정할 경우 각 변수들을 자연로그로 차분하여 안정적인 정보로 전환하였다. 2번째 단계는 단기적인 변동에도 불구하고 장기적으로 모형내 변수간 안정적인 관계를 가지는지를 공적분(cointegration)으로 검정하였다. 공적분 검정은 Johansen (1988, 1991) 및 Johansen and Juselius (1990)이 제시한 Johansen 공적분 검정법을 활용하였다. 3번째 단계는 앞서 2번째 단계에 변수 간에 공적분 관계가 있다면 벡터오차수정항을 반영한 정규화 그랜저 인과관계 검정을 수행하였다.

분석 대상 댐 선정은 저수량 기준으로 Table 1과 같이 상위 10개의 다목적댐을 선정하였다. 이중 화천댐은 수문 및 수질 통계자료가 존재하지 않아 남강댐으로 대신하였다. 댐의 방류량 및 수온, BOD, COD, DO 등 댐의 오염농도에 관한 표본기간은 2008년부터 2017년까지 10년간의 월 평균 자료를 이

Table 1. Korean multi-purpose dam ranking by water storage

Rank	Dam	Water storage (10 <sup>6</sup> ton)	Rank	Dam	Water storage (10 <sup>6</sup> ton)
1	Soyang river dam	2,900	7	Hapcheon dam	790
2	Chungju dam	2,750	8	Imha dam	595
3	DeaCheong dam	1,490	9	Seomjin river dam	466
4	Andong dam	1,250	10	Junam dam	457
5	Hwacheon dam	1,018	11	Namgang dam	392
6	Yongdam dam	8,150			

용하였다. 수문 자료는 수자원공사의 MyWater 사이트<sup>1)</sup>의 운영현황에서 댐/보 수문자료의 댐 현황 이전 자료의 일별 총 방류량을 월 평균한 통계자료를 이용하였다. 마찬가지로 수온 및 수질자료도 운영현황에서 댐/보 수질자료의 각 댐의 평균 일별 수질현황 통계자료를 활용하였다.

## 2.2 추정모형

본 연구에서는 방류량 및 수온과 BOD, COD, DO 등 하천의 오염농도에 어떠한 영향을 미쳤는지를 규명하기 위해 연구모형으로 VAR (Vector Auto Regression, 벡터자기회귀) 모형과 VECM (Vector Error Correction Model, 벡터오차수정) 모형을 활용하였다. 모형내 변수간 공적분 관계가 없다면 차분을 통해 안정적인 시계열로 변환 후 VAR 모형을 활용한 인과관계 검정을 수행하고 AFP 및 PP 검정단계에서 원시계열에서 단위근이 존재하고 Johansen 검정에서 공적분이 존재한다면 VECM 모형을 적용한 인과관계 검정을 하였다. 이것은 VECM 모형이 VAR 모형보다 변수의 특성을 잘 반영할 수 있기 때문이다.

본 연구에 활용된 VAR 모형은 Eqs. (1)~(5)에서와 같다. 여기서 DISCHARGE는 방류량을 의미하며, TEMP는 수온, BOD는 생물학적 산소요구량, COD는 화학적 산소요구량, DO는 용존산소를 의미한다.

$$\begin{aligned} \Delta LDISCHARGE_t &= \alpha_{10} \\ &+ \Sigma\alpha_{11}(i)\Delta LDISCHARGE_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{12}(i)\Delta LTEMP_{t-1} + \Sigma\alpha_{13}(i)\Delta LBOD_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{14}(i)\Delta LCOD_{t-1} + \Sigma\alpha_{15}(i)\Delta LDO_{t-1} + \epsilon_{1t} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta LTEMP_t &= \alpha_{20} + \Sigma\alpha_{21}(i)\Delta LDISCHARGE_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{22}(i)\Delta LTEMP_{t-1} + \Sigma\alpha_{23}(i)\Delta LBOD_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{24}(i)\Delta LCOD_{t-1} + \Sigma\alpha_{25}(i)\Delta LDO_{t-1} + \epsilon_{2t} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta LBOD_t &= \alpha_{30} + \Sigma\alpha_{31}(i)\Delta LDISCHARGE_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{32}(i)\Delta LTEMP_{t-1} + \Sigma\alpha_{33}(i)\Delta LBOD_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{34}(i)\Delta LCOD_{t-1} + \Sigma\alpha_{35}(i)\Delta LDO_{t-1} + \epsilon_{3t} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta LCOD_t &= \alpha_{40} + \Sigma\alpha_{41}(i)\Delta LDISCHARGE_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{42}(i)\Delta LTEMP_{t-1} + \Sigma\alpha_{43}(i)\Delta LBOD_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{44}(i)\Delta LCOD_{t-1} + \Sigma\alpha_{45}(i)\Delta LDO_{t-1} + \epsilon_{4t} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta LDO_t &= \alpha_{50} + \Sigma\alpha_{51}(i)\Delta LDISCHARGE_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{52}(i)\Delta LTEMP_{t-1} + \Sigma\alpha_{53}(i)\Delta LBOD_{t-1} \\ &+ \Sigma\alpha_{54}(i)\Delta LCOD_{t-1} + \Sigma\alpha_{55}(i)\Delta LDO_{t-1} + \epsilon_{5t} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta DISCHARGE_t &= a_1 + b_1 EC_{t-1} \\ &+ A(L)\Delta DISCHARGE_{t-1} + B(L)\Delta TEMP_{t-1} \\ &+ C(L)\Delta BOD_{t-1} + D(L)\Delta COD_{t-1} \\ &+ E(L)\Delta DO_{t-1} + \epsilon_{1t} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta TEMP_t &= a_2 + b_2 EC_{t-1} + F(L)\Delta DISCHARGE_{t-1} \\ &+ G(L)\Delta TEMP_{t-1} + H(L)\Delta BOD_{t-1} \\ &+ I(L)\Delta COD_{t-1} + J(L)\Delta DO_{t-1} + \epsilon_{2t} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta BOD_t &= a_3 + b_3 EC_{t-1} + K(L)\Delta DISCHARGE_{t-1} \\ &+ L(L)\Delta TEMP_{t-1} + M(L)\Delta BOD_{t-1} \\ &+ N(L)\Delta COD_{t-1} + O(L)\Delta DO_{t-1} + \epsilon_{3t} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta COD_t &= a_4 + b_4 EC_{t-1} + P(L)\Delta DISCHARGE_{t-1} \\ &+ Q(L)\Delta TEMP_{t-1} + R(L)\Delta BOD_{t-1} \\ &+ S(L)\Delta COD_{t-1} + T(L)\Delta DO_{t-1} + \epsilon_{4t} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta DO_t &= a_5 + b_5 EC_{t-1} + U(L)\Delta DISCHARGE_{t-1} \\ &+ V(L)\Delta TEMP_{t-1} + W(L)\Delta BOD_{t-1} \\ &+ X(L)\Delta COD_{t-1} + Y(L)\Delta DO_{t-1} + \epsilon_{5t} \end{aligned} \quad (10)$$

그랜저 인과관계 분석은 각 변수들 간의 쌍방의 추세를 확인하는 방법으로 ‘Granger-인과’한다는 가설을 포함하고 있어 본 연구에서는 별도의 가설을 수립하지 않았다. 본 연구 중반부의 공적분 검정의 결과로 10개의 모든 댐에서 공적분이 포함되어 있는 것으로 확인이 되었으므로 본 연구에서는 VECM 모형을 활용하여 다음의 Eqs. (6)~(10)을 통해 그랜저 인과 검증방정식을 정립하였다. 여기서 L은 시차연산자,  $a_1 \sim a_5$ 는 상수항,  $b_1 \sim b_5$ 는 장기균형점에서 이탈시 장기균형점으로 복귀속도(조정계수)를 의미한다.  $\epsilon_{1t} \sim \epsilon_{5t}$ 는 백색잡음(White Noise) 오차항을 의미하며  $A(L) \sim Y(L)$ 은 시차다항식으로 단위근의 특성근이 있는 안정적인 다항식이다.

## 3. 연구결과

### 3.1 단위근 검정

연구모형의 변수들의 시계열 자료가 불안정 할 수 있다. 이러한 불안정한 시계열 자료에 대해 전통적인 회귀분석을 수행할 경우 실제 변수가 어떠한 상관관계가 없음에도 불구하고 밀접한 상관관계가 있는 것처럼 보이는 허구적인 회귀(spurious regression)가 나타날 수 있다(Stock and Watson, 1989). 따라서 모형의 변수 간 인과관계 분석이전 단계에서 안정적인 시계열 자료 확보를 위한 단위근 및 공적분 검정이 필요하다. 본

1) [https://www.water.or.kr/realtime/sub01/sub01/dam/hydr.do?seq=1408&p\\_group\\_seq=1407&menu\\_mode=2#tab-contentArea](https://www.water.or.kr/realtime/sub01/sub01/dam/hydr.do?seq=1408&p_group_seq=1407&menu_mode=2#tab-contentArea)

연구에서는 통상적으로 단위근 검정에 사용되는 ADF 검정 및 PP (Phillip Perron) 검정을 수행하였다. ADF 검정 및 PP 검정을 통해 변수에 단위근이 존재한다는 귀무가설을 통계적 유의수준에서도 유의함을 찾지 못해 기각하지 못할 시 자연로그로 전환하는 차분을 통해 안정적인 시계열 자료로 전환시킨다.

Tables 2 ~ 4는 10개 댐의 단위근 검정 결과로, 합천댐과 안동댐은 원시계열에서 단위근이 존재하지 않는 것으로 판명되었으며, 충주댐, 임하댐, 섬진강댐, 남강댐 등 4개 댐의 ADF 검정에서는 원시계열에 단위근이 존재하지 않았으나, PP 검

정에서는 수준변수들에서 단위근이 존재하는 시계열임이 판명되었으며 각 변수들에 단위근이 존재한다(유의수준  $p > 0.05$  및  $0.1$ )는 귀무가설을 기각하지 못해 방류량, 수온, DO, BOD, COD 변수의 원시계열에서 자연로그로 재 치환한 차분을 통해 PP 검정을 수행하였다. 소양강댐, 대청댐, 용담댐, 주암댐 등 4개의 댐의 ADF 및 PP 검정은 수준변수들에서 단위근 존재하는 불안정한 시계열로 밝혀져 각각 1차 차분을 실시하여 안정적인 시계열을 확보하여 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각하였다.

**Table 2.** Result of the ADF & PP test for Hapcheon and Andong dam

	Hapcheon dam				Andong dam			
	ADF test Level		PP test Level		ADF test Level		PP test Level	
	t	p	t	p	t	p	t	p
Discharge	-4.21	0.0076	-3.93	0.0166	-3.98	0.0146	-3.47	0.0515
Temperature	-6.50	0.0000	-3.25	0.0843	-7.29	0.0000	-3.26	0.0829
BOD	-5.39	0.0002	-5.53	0.0001	-3.27	0.0814	-3.44	0.0554
COD	-7.11	0.0000	-7.12	0.0000	-5.81	0.0001	-5.81	0.0001
DO	-5.34	0.0003	-3.74	0.0266	-7.57	0.0000	-3.33	0.0705

**Table 3.** Result of the ADF & PP test for Soyang river, Daecheong, Yongdam and Juam dam

		ADF test				PP test			
		Level		Test1		Level		Test1	
		t	p	t	p	t	p	t	p
Soyang river dam	Discharge	-4.00	0.0140	-8.79	0.0000	-4.24	0.0072	-16.43	0.0000
	Temperature	-4.82	0.0013	-4.64	0.0022	-2.81	0.1985	-4.66	0.0021
	BOD	-3.24	0.0864	-10.67	0.0000	-3.24	0.0859	-10.67	0.0000
	COD	-3.03	0.1308	-8.64	0.0000	-3.03	0.1329	-8.74	0.0000
	DO	-2.65	0.2571	7.19	0.0000	-2.89	0.1722	-7.19	0.0000
Daecheong dam	Discharge	-3.77	0.0249	-9.49	0.0000	-3.77	0.0249	-9.49	0.0000
	Temperature	-2.82	0.1973	-9.16	0.0000	-2.82	0.1973	-9.16	0.0000
	BOD	-6.09	0.0000	-6.90	0.0000	-6.09	0.0000	-6.90	0.0000
	COD	-3.32	0.0720	-7.73	0.0000	-3.33	0.0700	-7.76	0.0000
	DO	-6.60	0.0000	-6.70	0.0000	-3.23	0.0878	-4.93	0.0009
Yongdam dam	Discharge	-3.34	0.0685	-8.48	0.0000	-3.40	0.0606	-8.56	0.0000
	Temperature	-1.44	0.8336	-10.95	0.0000	-3.15	0.1027	-3.65	0.0334
	BOD	-3.96	0.0153	-9.03	0.0000	-3.96	0.0153	-9.47	0.0000
	COD	-3.59	0.0385	-7.61	0.0000	-3.66	0.0324	-11.06	0.0000
	DO	-5.52	0.0001	-5.93	0.0000	-3.13	0.1079	-6.11	0.0000
Juam dam	Discharge	-2.98	0.1443	-8.39	0.0000	-3.03	0.1322	-8.44	0.0000
	Temperature	-2.10	0.5280	-6.95	0.0000	-3.18	0.0976	-4.16	0.0091
	BOD	-5.05	0.0006	-8.46	0.0000	-5.05	0.0006	-16.78	0.0000
	COD	-4.25	0.0069	-9.24	0.0000	-4.27	0.0065	-9.27	0.0000
	DO	-7.11	0.0000	-8.55	0.0000	-3.38	0.0632	-6.22	0.0000

**Table 4.** Result of the ADF & PP test for Chungju, Imha, Seomjin river and Namgang dam

		ADF test		PP test			
		Level		Level		PP test1	
		t	p	t	p	t	p
Chungju dam	Discharge	-3.72	0.0283	-3.62	0.0359	-9.89	0.0000
	Temperature	-6.57	0.0000	-2.79	0.2039	-5.90	0.0000
	BOD	-6.39	0.0000	-6.38	0.0000	-46.28	0.0001
	COD	-3.27	0.0813	-3.42	0.0579	-8.71	0.0000
	DO	-4.56	0.0029	-3.87	0.0194	-8.12	0.0000
Imha dam	Discharge	-4.06	0.0116	-3.43	0.0568	-8.43	0.0000
	Temperature	-7.14	0.0000	-3.06	0.1236	-4.74	0.0017
	BOD	-4.65	0.0022	-4.68	0.0020	-10.07	0.0000
	COD	-4.02	0.0131	-4.12	0.0099	-10.57	0.0000
	DO	-3.74	0.0274	-5.02	0.0007	-12.26	0.0000
Seomjin river dam	Discharge	-5.39	0.0002	-3.24	0.0861	-6.39	0.0000
	Temperature	-5.90	0.0000	-3.11	0.1116	-5.54	0.0001
	BOD	-3.96	0.0151	-4.03	0.0126	-9.60	0.0000
	COD	-4.61	0.0024	-4.64	0.0022	-10.65	0.0000
	DO	-6.55	0.00	-3.31	0.0730	-5.98	0.0000
Namgang dam	Discharge	-5.39	0.0002	-5.47	0.0002	-12.56	0.0000
	Temperature	-6.39	0.0000	-3.06	0.1246	-4.57	0.0027
	BOD	-3.42	0.0576	-3.42	0.0576	-7.62	0.0000
	COD	-3.60	0.0383	-3.66	0.0325	-8.16	0.0000
	DO	-5.66	0.0001	-3.77	0.0248	-8.66	0.0000

### 3.2 공적분 검정

공적분 검정은 단위근이 존재하는 불안정한 원시계열 자료에 대해 차분을 통해 안정적인 시계열을 전환하는 과정에서 원시계열 데이터 사이에 장기적인 정보를 잃을 우려가 있으며 불안정한 자료라 하더라도 장기적인 안정관계가 존재할 수 있다. 변수들 간 공적분이 존재하지 않으면, 단위근이 존재하는 변수에 대해 차분을 통해 안정적인 자료로 변환 후 VAR 모형 기반의 그랜저 인과 검정을 실시하고, 반면에 변수들 간 공적분이 존재하면 VECM 모형 기반의 그랜저 인과 검정을 실시한다. 방류량, 수온, BOD, COD, DO에 대한 단위근 검정결과 대부분의 변수에서 단위근이 존재하는 것으로 확인되어 모든 변수들을 대상으로 공적분 관계 검정을 수행하였다. 공적분 검정 방법은 현존하는 가장 우수하다고 인식되는 요한슨 공적분 검정(Johansen's Cointegration Test)를 활용하였다.

먼저, Table 5와 같이 소양강댐의 Trace Test는 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 5%의 통계적 유의수준에서 모두 기각하여 모든 변수에 공적분이 있음이 확인되었으며, Maximum Eigen Test 결과에서는 1개의 변수(At most 2) 5%

의 통계적 유의수준에서 귀무가설을 기각하지 못했을 뿐 나머지 4개의 변수에서는 공적분을 발견할 수 있었다. 안동댐과 주암댐의 Trace Test는 5%의 통계적 유의수준에서 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 모두 기각하여 모든 변수에 공적분이 있음이 확인되었으며, Maximum Eigen Test 결과에서는 1개의 변수(At most 3)를 제외한 나머지 4개의 변수에서는 공적분을 찾을 수 있었다. 임하댐의 Trace Test는 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 1%의 통계적 유의수준에서 모두 기각함으로써 모든 변수에 공적분이 존재하는 것이 알 수 있었으며, Maximum Eigen Test 결과에서는 1개의 변수(At most 1)를 제외한 나머지 4개의 변수에서는 공적분을 관찰할 수 있었다. 대청댐과 남강댐은 Trace Test에서 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 5%의 통계적 유의수준에서 모두 기각하여 모든 변수에 공적분이 있음이 확인되었으며, Maximum Eigen Test 결과는 2개의 변수(대청댐: At most 2, 3, 남강댐: At most 1, 2)에서 5%의 통계적 유의수준에서 귀무가설을 기각하지 못했고 나머지 3개의 변수에서는 공적분을 발견할 수 있었다.

합천댐과 섬진강댐은 Trace Test에서 공적분이 존재하지

Table 5. Johansen's cointegration test for Korean 10 dams

	Soyang river dam		Andong dam		Juam dam		Imha dam		Daecheong dam	
	Trace Test	Max-Engen Test	Trace Test	Max-Engen Test	Trace Test	Max-Engen Test	Trace Test	Max-Engen Test	Trace Test	Max-Engen Test
Hypothesized No. of CE (s)	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.
None*	0.0000	0.0053	0.0000	0.0064	0.0000	0.0001	0.0000	0.0282	0.0000	0.0000
At most 1*	0.0002	0.0709	0.0000	0.0027	0.0000	0.0094	0.0001	0.0894	0.0000	0.0017
At most 2*	0.0009	0.0312	0.0014	0.0211	0.0008	0.0272	0.0006	0.0431	0.0052	0.0631
At most 3*	0.0086	0.0410	0.0206	0.1233	0.0090	0.0584	0.0036	0.0356	0.0278	0.0769
At most 4*	0.0187	0.0187	0.0120	0.0120	0.0115	0.0115	0.0066	0.0066	0.0428	0.0428
	Namgang dam		Hapcheon dam		Seomjin river dam		Chungju dam		Yongdam dam	
None*	0.0000	0.0108	0.0000	0.0111	0.0000	0.0068	0.0000	0.0079	0.0000	0.0002
At most 1*	0.0024	0.1609	0.0000	0.0280	0.0000	0.0071	0.0006	0.0772	0.0001	0.0009
At most 2*	0.0069	0.2484	0.0002	0.0256	0.0000	0.0046	0.0036	0.1479	0.0334	0.0513
At most 3*	0.0065	0.0337	0.0015	0.0273	0.0016	0.0134	0.0062	0.1243	0.2623	0.3250
At most 4*	0.0168	0.0168	0.0027	0.0027	0.0086	0.0086	0.0020	0.0020	0.1938	0.1938

\* Significance level 5%

않는다는 가설을 1%에서, Maximum Eigen Test 결과는 모든 변수가 5%의 통계적 유의수준에서 모두 기각하여 모든 변수에 공적분이 존재함을 확인 할 수 있었다. 충주댐의 Trace Test는 5%의 통계적 유의수준에서 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 모두 기각하여 모든 변수에서 공적분을 발견할 수 있었으며, Maximum Eigen Test에서는 2개의 변수(None, At most 4)가 5%의 통계적 유의수준에서 유의함이 나타나 공적분을 발견할 수 있었다. 용담댐은 Trace Test에서 5%의 통계적 유의수준에서 3개의 변수(None, At most 1, 2)가 공적분이 존재하지 않는다는 가설을 기각하여 공적분을 발견할 수 있었으며, Maximum Eigen Test에서는 2개의 변수(None, At most 1)가 5%의 통계적 유의수준에서 유의함을 보여 공적분을 관찰할 수 있었다.

3.3 그랜저 인과성 검정

그랜저 인과관계 검정은 Granger (1969)가 제시한 인과 분석방법으로 x가 원인변수이고 y가 결과변수인 인과관계의 분석에서 y 및 x의 과거 정보를 더하는 조건부 평균 예측으로 y의 현재 정보의 추정오차를 저감하거나 더 잘 해석 할 수 있다면 ‘x는 y를’ ‘그랜저인과’ 한다고 규정하며 x는 y로의 인과방향성이 존재한다고 할 수 있다. 그랜저 인과관계 검정은 한 변수가 다른 변수를 추정하는데 도움이 되지 않으면 두 변수 사이에는 인과관계가 존재하지 않으며 상호독립적인 변수가 된다. 그랜저 인과검정에서는 x, y 변수를 예측하기 위한 알맞은 정보를 보유한 시계열 변수를 가진다고 가정한다.

우리나라의 10개 주요 댐에 대하여 Tables 6 ~ 13과 같이 그랜저 인과성 검정을 수행하였다. 우리나라는 계절의 변화에 따른 수온 및 방류량의 차이가 심하여 시차를 3개월로 한정하여 인과관계 분석을 수행하였다. 먼저, 소양강댐은 Table 6과 같이 댐의 방류량과 오염도 간에는 COD 변수에 대해서만 5% 및 10%내의 통계적 유의수준에 모든 시차(1 ~ 3)에서 인과관계를 보인 반면에 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD (유의수준 1%) 및 COD (유의수준 5% 및 10%)가 모든 시차에서, DO (유의수준 5%)는 1개월 차에만 인과관계가 나타났다. 그밖에 BOD가 방류량에, DO가 수온과 방류량에 인과관계를 보였지만 본 연구에서는 댐의 방류량 및 수온과 오염도간의 인과관계 분석이 목적이므로 오염도가 방류량과 수온에 영향을 미치는 인과관계와 함께 BOD, COD, DO 등 댐의 오염도 변수간의 상호 인과 인과관계의 유무에 대해서는 큰 의미를 부여하지 않기로 한다.

충주댐은 Table 7과 같이 방류량과 오염도 간에는 BOD 변수에 대해서만 10%내의 통계적 유의수준에 1, 3개월 차에서 인과관계를 보인 반면에 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD (유의수준 5%) 및 COD (유의수준 1%)가 2, 3개월 차에서, DO (유의수준 10%)는 1개월차에만 인과관계를 찾을 수 있었다. 대청댐은 Table 8과 같이 방류량과 오염도 간에는 COD (유의수준 5% 및 1%)와 DO (유의수준 1%)는 각각 2, 3개월차 및 모든 시차에서 인과관계를 나타냈으며 댐의 수온과 오염도 간에는 COD (유의수준 5% 및 10%)와 DO (유의수준 1%)가 모든 월차에서 인과관계를 보였다.

안동댐은 Table 9와 같이 방류량과 오염도 간에는 COD 변수에서 10%의 통계적 유의수준에서 1개월 차에만 유의한 것으로 나왔으나, 댐의 수온과 오염도 간에는 10%의 통계적 유의수준 하에서도 유의함을 보이지 않아 모든 변수 간에 아무런 인과관계를 찾을 수 없었다. 임하댐의 방류량과 오염도 간에는 DO 변수에서 10%의 통계적 유의수준에서 3개월 차에 유의한 것으로 나타났으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD (유의수준 10%, 5%, 1%)와 DO (유의수준 1%)가 모든 시차에서 인과관계를 발견할 수 있었다.

합천댐은 Table 10과 같이 댐의 방류량과 오염도 간에는 10%의 통계적 유의수준 하에서도 유의함이 나타나지 않아

모든 변수 간에 아무런 인과관계가 없는 것으로 분석되었으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD (유의수준 1% 및 5%)와 DO (유의수준 1%)가 모든 시차에서, COD (유의수준 10%)는 1개월 차에만 인과관계가 나타났다.

섬진강댐은 Table 11과 같이 방류량과 오염도 간의 인과관계가 COD 변수에서 10%의 통계적 유의수준에서 2개월 차에 유의함을 찾을 수 있었으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD (유의수준 5%) 및 COD (유의수준 10%)가 2, 3개월 차에서, DO (유의수준 1%)는 1, 3개월 차에 인과관계를 보였다. 주암댐은 Table 12와 같이 방류량과 오염도 간의 인과관계가 DO 변수에서 5% 및 1%의 통계적 유의수준에서 모든 시차에서 유

**Table 6.** Test result of the Granger causality test for Soyang river dam

		Temp ⇒ BOD	BOD ⇒ Discharge	Discharge ⇒ COD	Temp ⇒ COD	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Temp	DO ⇒ Discharge
Lags1	F	9.46	2.76	6.66	5.87	4.48	10.20	0.01
	P	0.0033*	0.1021	0.0126**	0.0187**	0.0388**	0.0023	0.9140
Lags2	F	6.33	3.79	3.39	3.86	1.84	7.09	0.18
	P	0.0034*	0.0291**	0.0413**	0.0273**	0.1681	0.0019*	0.8333
Lags3	F	4.52	3.53	2.31	2.44	2.06	7.01	2.94
	P	0.0070*	0.0215**	0.0879***	0.0750***	0.1172	0.0005*	0.0420**

F:F-statistic, P:Prob, \* P > .01, \*\* P > .05, \*\*\* P > .1

**Table 7.** Test result of the Granger causality test for Chungju dam

		Temp ⇒ BOD	Discharge ⇒ BOD	Temp ⇒ Discharge	COD ⇒ Temp	COD ⇒ Discharge	Temp ⇒ COD	DO ⇒ Discharge	Temp ⇒ DO
Lags1	F	0.00	2.83	0.51	5.16	2.30	2.67	2.99	3.16
	P	0.9495	0.0977***	0.4776	0.0269**	0.1343	0.1078	0.0893***	0.0806***
Lags2	F	0.85	1.70	2.90	7.94	2.68	7.94	6.61	1.12
	P	0.4313	0.1918	0.0634***	0.0010*	0.0779***	0.0010*	0.0028*	0.3315
Lags3	F	3.35	2.30	2.55	4.23	4.07	5.13	5.74	1.66
	P	0.0262**	0.0882***	0.0659***	0.0097*	0.0116**	0.0036*	0.0019*	0.1871

F:F-statistic, P:Prob, \* P > .01, \*\* P > .05, \*\*\* P > .1

**Table 8.** Test result of the Granger causality test for Daecheong dam

		Temp ⇒ Discharge	Discharge ⇒ Temp	Discharge ⇒ COD	Temp ⇒ COD	COD ⇒ Discharge	Discharge ⇒ DO	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Discharge	DO ⇒ Temp
Lags1	F	2.00	0.05	0.23	5.22	0.44	10.49	17.93	0.04	0.08
	P	0.1629	0.8190	0.6301	0.0262**	0.5057	0.0020*	9.E-05*	0.8277	0.7680
Lags2	F	2.21	2.08	3.04	3.38	2.91	5.94	7.92	4.52	1.58
	P	0.1199	0.1340	0.05	0.0414**	0.0630***	0.0047*	0.0010*	0.0154**	0.2145
Lags3	F	5.25	4.42	4.47	2.34	2.16	5.95	6.36	3.68	3.58
	P	0.0032*	0.0078*	0.0074*	0.0841***	0.1038	0.0015*	0.0010*	0.0181**	0.0202**

F:F-statistic, P:Prob, \* P > .01, \*\* P > .05, \*\*\* P > .1

**Table 9.** Test result of the Granger causality test for Andong and Imha dam

		Andong dam				Imha dam			
		Temp ⇒ Discharge	Discharge ⇒ Temp	BOD ⇒ Discharge	Discharge ⇒ COD	Temp ⇒ BOD	Temp ⇒ Discharge	Temp ⇒ DO	Discharge ⇒ DO
Lags1	F	7.19	4.69	3.96	3.68	3.49	1.17	17.00	0.86
	P	0.0097*	0.0345**	0.0514***	0.0601***	0.0670***	0.2832	0.0001*	0.3577
Lags2	F	3.29	5.64	4.07	1.91	4.22	1.03	10.38	1.06
	P	0.0451**	0.0061	0.0228**	0.1579	0.0199**	0.3636	0.0002*	0.3514
Lags3	F	1.86	3.03	2.92	1.67	6.03	2.29	6.65	2.73
	P	0.1473	0.0379	0.0431**	0.1853	0.0014*	0.0898***	0.0007*	0.0537***

F:F-statistic, P:Prob, \* P &gt; .01, \*\* P &gt; .05, \*\*\* P &gt; .1

**Table 10.** Test result of the Granger causality test for Hapcheon dam

		Temp ⇒ BOD	BOD ⇒ Temp	Temp ⇒ Discharge	Discharge ⇒ Temp	Temp ⇒ COD	COD ⇒ Temp	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Discharge
Lags1	F	6.65	10.13	3.31	3.45	3.83	6.97	7.20	1.63
	P	0.0125**	0.0024*	0.0739***	0.0683***	0.0553***	0.0107**	0.0095*	0.2068
Lags2	F	4.67	0.99	1.45	3.45	1.60	1.64	11.95	2.56
	P	0.0134**	0.3759	0.2423	0.0388**	0.2096	0.2023	5.E-05*	0.0867***
Lags3	F	7.25	0.27	3.21	2.47	1.52	0.74	5.72	1.60
	P	0.0004*	0.8451	0.0307**	0.0723***	0.2200	0.5293	0.0019*	0.1994

F:F-statistic, P:Prob, \* P &gt; .01, \*\* P &gt; .05, \*\*\* P &gt; .1

**Table 11.** Test result of the Granger causality test for Seomjin river dam

		Temp ⇒ BOD	Temp ⇒ Discharge	Discharge ⇒ Temp	Discharge ⇒ COD	COD ⇒ Discharge	Temp ⇒ COD	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Discharge	DO ⇒ Temp
Lags1	F	1.49	4.10	1.13	0.29	0.55	1.65	8.02	11.03	0.99
	P	0.2265	0.0478**	0.2916	0.5864	0.4585	0.2037	0.0064*	0.0016	0.3221
Lags2	F	4.55	1.72	0.81	2.80	2.76	2.89	4.08	6.56	0.86
	P	0.0151**	0.1880	0.4478	0.0702***	0.0721***	0.0644***	0.226	0.0029*	0.4276
Lags3	F	2.87	6.79	4.51	1.93	2.93	2.42	4.54	6.08	3.03
	P	0.0457**	0.0007*	0.0072*	0.1364	0.0428**	0.0765***	0.0069*	0.0014*	0.0376**

F:F-statistic, P:Prob, \* P &gt; .01, \*\* P &gt; .05, \*\*\* P &gt; .1

**Table 12.** Test result of the Granger causality test for Juam dam

		Discharge ⇒ Temp	BOD ⇒ Discharge	BOD ⇒ Temp	Temp ⇒ COD	Discharge ⇒ DO	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Temp
Lags1	F	2.94	4.42	3.17	4.69	6.20	12.21	0.23
	P	0.0918***	0.0400**	0.0324**	0.0346**	0.0158**	0.0009*	0.6325
Lags2	F	2.32	2.09	1.56	4.85	8.03	6.89	1.13
	P	0.1078	0.1334	0.2182	0.116	0.0009*	0.0022*	0.3288
Lags3	F	1.61	1.61	3.17	3.60	5.77	4.34	2.94
	P	0.1985	0.1975	0.0324	0.0197**	0.0018*	0.0086*	0.0421**

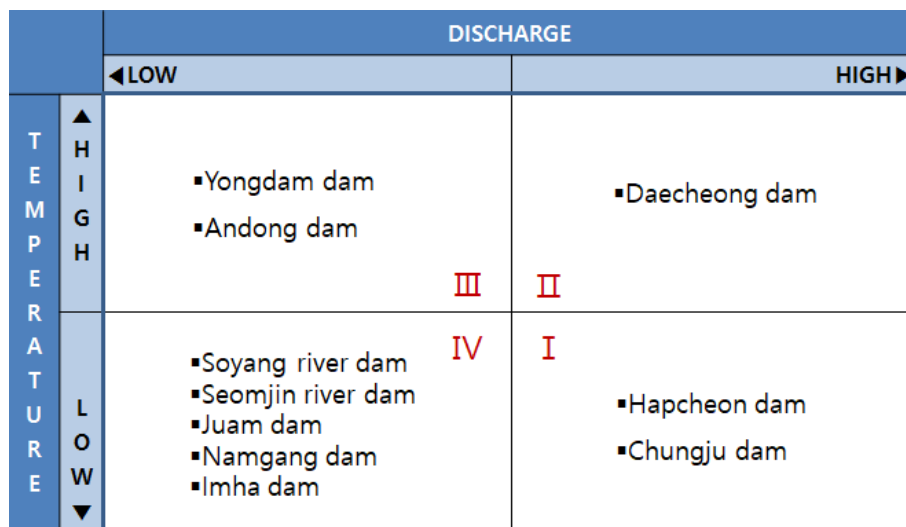
F:F-statistic, P:Prob, \* P &gt; .01, \*\* P &gt; .05, \*\*\* P &gt; .1



**Table 13.** Test result of the Granger causality test for Yongdam and Namgang dam

		Yongdam dam					Namgang dam			
		Temp ⇒ Discharge	Discharge ⇒ DO	Temp ⇒ DO	DO ⇒ Temp	DO ⇒ Discharge	Discharge ⇒ BOD	Temp ⇒ BOD	Temp ⇒ COD	Temp ⇒ DO
Lags1	F	3.75	1.45	9.48	3.84	2.92	3.20	8.96	4.75	3.82
	P	0.0577***	0.2336	0.0032*	0.0550**	0.0929***	0.0790***	0.0041*	0.0336**	0.0555***
Lags2	F	2.23	4.27	9.27	0.58	1.59	2.58	7.18	4.40	2.91
	P	0.1174	0.0191**	0.0004*	0.5584	0.2118	0.0853***	0.0018*	0.0171**	0.0630
Lags3	F	1.52	3.17	5.24	3.22	3.81	3.44	5.33	3.67	1.41
	P	0.2203	0.0322**	0.0032*	0.0303**	0.0154**	0.0236**	0.0029*	0.0183**	0.2484

F:F-statistic, P:Prob, \* P > .01, \*\* P > .05, \*\*\* P > .1



**Fig. 1.** Water quality improvement effect according to discharge and water temperature of dam

의함이 나왔으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 COD(유의수준 5%)가 1, 3개월 차에서, DO(유의수준 1%)는 모든 월차에서 인과관계를 찾을 수 있었다.

용담댐의 방류량과 오염도 간의 인과관계가 DO 변수에서 5%의 통계적 유의수준에서 2, 3개월 차에 유의한 것으로 나타났으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 DO 변수가 1%의 통계적 유의수준에서 모든 월차에서 인과관계를 찾을 수 있었다. 남강댐은 Table 13과 같이 방류량과 오염도 간의 인과관계가 BOD 변수에서 10% 및 5%의 통계적 유의수준에서 모든 시차에 유의함을 보였으며, 댐의 수온과 오염도 간에는 BOD(유의수준 1%) 및 COD(유의수준 5%)가 모든 시차에서, DO(유의수준 10%)는 1, 2개월차에 인과관계를 보였다.

일반적으로 댐은 효율적인 수량 및 수질 관리가 주목적으로서 본 연구에서는 수량관리를 방류량으로 대신하여 수질 개선에 어떠한 영향을 주었는지를 분석하는 것이므로 Fig. 1과

같이 우리나라 10개 댐 중에서 수질과 수온과의 인과관계가 낮아 수온의 변수에 상관없이 방류량이 수질개선 효과에 인과관계가 큰 I 사분면의 합천댐과 충주댐이 수량관리가 가장 잘 되는 것으로 나타났으며, 다음으로는 수질과 수온과의 인과관계가 높으면서 방류량과의 인과관계도 높은 II 사분면의 대청댐이 2순위로 수량 및 수질 관리가 잘 되는 댐이라 할 수 있다. 반면에 수질과 수온의 인과관계는 높고 수질과 방류량의 인과관계가 낮은 III 사분면의 용담, 안동댐이 3순위 그룹의 수량 3번째 순위의 관리 수준을 보여 주었다. 마지막으로 수질과 수온의 인과관계도 낮고 수질과 방류량의 인과관계도 낮은 IV 사분면의 소양강, 섬진강, 주암, 남강, 임하댐 등이 4순위 그룹으로 수량관리가 앞서의 5개 댐과 비교하여 잘 안되고 있다고 할 수 있다. 따라서 방류량 관리를 통해 수질개선 효과를 극대화 할 수 있도록 댐의 정책적 관리가 필요하다.

## 4. 결론

본 연구에서 기후와 댐 관리가 수질에 미치는 영향을 연구하기 위해 단위근 및 공적분 검정, 그랜저 인과관계 분석을 실시하였다. 그 결과 소양강댐의 방류량은 COD 지수에 대해서만 모든 시차에서 인과관계를 보였고, 수온은 BOD 및 COD 지수에 모든 시차에서, DO 지수에 대해서는 1개월 차에만 인과관계를 나타냈다. 충주댐의 방류량은 BOD 지수에 대해서만 1, 3개월차에 인과관계를 보였고, 수온은 BOD에 3개월차, COD에 2, 3개월차, DO에 1개월 차에서 인과관계를 찾을 수 있었다. 대청댐의 방류량은 COD 지수에 2, 3개월 차에, DO는 모든 시차에서 인과관계를 나타냈고, 수온은 COD 및 DO 지수의 모든 시차에서 인과관계를 발견할 수 있었다. 안동댐의 방류량은 COD 지수의 1개월 차에서만 인과관계를 보였다. 용담댐의 방류량은 DO 지수에 대해 2, 3개월 시차에서만 인과관계를 나타냈고, 수온은 DO 지수에 대해서만 모든 시차에서 인과관계를 관찰할 수 있었다. 합천댐은 수온만이 오염지수와 인과관계를 보였는데, BOD 및 DO 지수에 대해 모든 시차에서, COD는 1개월 차에서만 인과관계를 찾을 수 있었다. 임하댐의 방류량은 DO의 3개월 차에서만 인과관계를 보였고, 수온은 BOD 및 DO 지수에 대해 모든 시차에서 인과관계를 발견할 수 있었다. 섬진강댐의 방류량은 COD 지수에만 2개월 차에서 인과관계를 나타냈고, 수온은 BOD 및 COD 지수에 2, 3개월 시차에서, DO는 모든 시차에서 인과관계를 볼 수 있었다. 주암댐의 방류량은 DO 지수에 대해서만 모든 시차에서 인과관계를 보였고, 수온은 COD 및 DO 지수에 대해 모든 시차에서 인과관계를 나타냈다. 남강댐의 방류량은 BOD 지수의 모든 시차에서 인과관계를 보였고, 수온은 BOD 및 COD의 모든 시차에서 DO는 1, 2개월 시차에서 인과관계를 찾을 수 있었다. 이를 종합하면 방류량 보다는 수온이 BOD, COD, DO 등 오염도 지수와 더 많은 인과관계를 나타내 방류량 보다는 수온의 변동이 오염도 지수에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 상위 10개댐을 대상으로 연구가 수행되었는데, 향후 4대강 사업에 따른 보철거 및 유지 이슈가 있는 유역을 중심으로 보다 다양한 연구 분석이 요구된다. 또한 본 연구에서는 방류량, 수온, BOD, COD, DO 등의 오염지수에 대해서만 인과관계 분석을 수행하였는데, 향후에는 강수량과, SS, T-N, T-P, PH 등의 변수와 지수도 확대하여 연구할 필요가 있다. 또한, 오염도에 영향을 미치는 인자로는 방수량과 수온 이

외에도 다양한 인자들이 존재하므로 이들에 대한 추가적인 연구와 댐의 수온과 오염도간의 시차로 인한 영향을 수문학적 으로 분석하는 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물 관리 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호 83079).

## References

- Granger, C.W.J. (1969). "Investigating casual relations by econometric models and cross-spectral methods." *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, pp. 424-438.
- Han, D.H. (2010). *Temporal and spatial analysis of water temperature and water quality assessment of streams and reservoirs in Korea*, Ph. D. dissertation, University of Seoul, pp. 1-240.
- Johansen, S. (1988). "Statistical analysis of cointegration vectors." *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, pp. 231-254.
- Johansen, S. (1991). "Estimation and hypothesis testing of cointegrating vectors in Gaussian vector autoregressive models." *Econometrics*, Vol. 59, No. 6, pp. 1551-1580.
- Johansen, S., and Juselius, K. (1990). "Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with application to the demand for money." *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 2, pp. 169-210.
- Kang, D.H. (2009). *A study on management of flow and water quality for Seonakdong river watershed using SWAT*. Master Thesis, Inje University, pp. 1-53.
- Kim, S.D., and Yoo, C.S. (2004). "Evaluation of the dam release effect on water quality using time series models." *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 20, No. 6, pp. 685-691.
- Ko, G.Y., and Kim, S.G. (2015). "Analysis of water quality improvement by instream flow increasing." *Journal of Korean Society for Environmental Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 18-25.
- Lee, G.D. (2017). *Evaluation of water quality by load and flow conditions using MOVE.2 Extention method in the Nakdong upstream*. Master's thesis, Yeongnam University, pp. 1-53.
- Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen, Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L. (2007). *Climate change 2007 the physical science basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Saint-Aubin, France.
- Stock, J., and Watson, M. (1989). "Interpreting the Evidence in Money-Incom Casuality." *Journal of Econometrics*, Vol. 40, pp. 161-182.