



## Analysis on the Correlation between Hydrological Data and Raw Water Turbidity of Han River Basin

Jeong, Anchul<sup>a</sup> · Kang, Taeun<sup>b</sup> · Kim, Seongwon<sup>a</sup> · Jung, Kwansue<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

<sup>b</sup>Division of Field Engrg. for the Environment., Hokkaido Univ., Sapporo 060-8628, Japan

Paper number: 15-069

Received: 4 September 2015; Revised: 15 October 2015 / 2 November 2015; Accepted: 2 November 2015

### Abstract

A correlation analysis between raw water turbidity at two wide-area water treatment plants and hydrological data was conducted for efficient water supply, design and management of water treatment plant. Both correlation analysis and principal component analysis were conducted using hydrological time series data such as inflow discharge, outflow discharge, and rainfall at dam basin of intake station of wide-area water treatment plants. And, forecasting of change in turbidity was conducted using regression equation for turbidity prediction. The raw water turbidity of two water treatment plants was strongly related to time series of discharge. The raw water turbidity of Chungju water treatment plant is strongly related to outflow discharge at Chungju dam (0.708). Whereas, the raw water turbidity of Wabu water treatment plant is strongly related to inflow discharge at Paldang dam (0.805). Similar trends between turbidity forecasting result using regression equation and calculation result using estimation equation on Korea water supply facilities standard were obtained. The result of this study can provide basic data for construction and management of water treatment plant.

**Keywords:** Raw Water Turbidity, Principal Component Analysis, Correlation Analysis, Regression Analysis

## 한강수계의 수문자료와 원수탁도의 상관관계 분석

정안철<sup>a</sup> · 강태운<sup>b</sup> · 김성원<sup>a</sup> · 정관수<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>충남대학교 공과대학 토목공학과, <sup>b</sup>홋카이도대학교 공과대학 환경필드공학과

### 요 지

원활한 용수공급과 정수장의 효율적이고 경제적인 설계·유지·관리를 위해서 한강수계에 위치하고 있는 두 광역정수장의 원수탁도와 수문자료간의 상관관계를 분석하였다. 광역정수장의 취수원인 댐의 유입유량, 방류량, 강우를 수문자료로서 활용하였으며, 상관관계 분석을 위해서는 상관분석과 주성분분석 기법을 이용하였다. 또한, 탁도변화를 예측할 수 있는 회귀식을 제안하여 탁도 변화 예측을 수행하였다. 충주정수장의 원수탁도는 충주댐의 방류량(0.708)과 외부정수장의 원수탁도는 팔당댐의 유입량(0.805)과 높은 상관성이 높은 것으로 확인되었다. 상관성이 높은 시계열자료를 이용하여 제안한 회귀식의 탁도 예측치는 상수도시설기준에서 제시하고 있는 원수탁도 산정방법을 이용한 경우와 유사한 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과는 장래의 원수탁도를 예측하여 추가적인 정수장 건설 및 기존 정수장의 효율적인 유지·관리를 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 원수탁도, 주성분분석, 상관분석, 회귀분석

\*Corresponding Author. Tel: +82-42-821-5675  
E-mail: ksjung@cnu.ac.kr (K. Jung)

## 1. 서론

과거의 국내 수자원관리는 양적인 측면을 우선시 고려함에 따라 다목적댐을 중심으로 안정적인 용수공급과 홍수조절에 맞추어 운영되어 왔다. 그러나 국가의 경제성장과 더불어 국민들의 생활수준 향상을 통해 수자원관리의 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면까지 중요한 사항으로 자리매김하게 되었다.

일례로 소양호 저수지는 2005년까지 30 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 이상의 방류가 연중 1~2개월 정도였고, 최고 탁도도 79 NTU 정도였으나, 태풍 예위니아의 영향으로 방류수 최고 탁도가 328 NTU를 기록하였으며, 고탁수 조 기배제중심의 댐 운영에도 불구하고 2006년 7월에서 2007년 2월까지 약 8개월간 탁수가 지속된 바 있다. 또한 낙동강유역의 임하댐의 경우 2001년 이전까지는 30 NTU 이상의 탁수발생일수(방류수기준)가 1~3개월 이내였고, 최고 탁도는 248 NTU를 기록하였다. 그러나 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인한 탁수의 농도가 30 NTU 이상의 고탁도의 방류를 10개월 이상 지속하였고, 또한 이때의 최고탁도는 1,221 NTU까지 기록되었다. 특히 2003년 태풍 매미때에는 탁수발생이 315일간 지속되었다(Yum et al., 2008).

이러한 탁수의 발생은 저수지와 하천에서의 수질의 악화로 이어지며, 또한 수질의 악화로 인한 생태계와 자연경관의 훼손, 그리고 이러한 탁수를 저감하기 위한 수처리비용의 증가로 이어진다. 또한 국내의 강우 특성상 강우가 여름철에 집중되는 특성을 보이고 있으며 이에 따라 홍수기의 탁수의 발생가능성을 배제할 수 없다. 따라서 댐 유역에서는 이러한 홍수기 탁수발생에 대하여 사전에 대비책을 마련해야 한다. 댐의 저수를 수원으로 하는 일반적인 용수공급은 수원으로부터 취수, 도수, 정수, 송수, 배수, 급수 순으로 이루어진다. 이 중에서 정수단계는 목적에 맞게 원수의 수질을 정화하는 단계이며, 각 정수장에서 이루어진다. 정수장의 설계 및 운영은 원수의 수질 수준에 따라서 변화하며 설계규모의 과대 또는 과소 산정으로 인한 시간적, 경제적 손실을 초래할 수도 있다. 그러므로 정수장 신설전의 원수에 대한 수질 예측은 정수장의 유지·관리를 위해서 선행되어야 하는 필수 사항 중 하나이다.

상수도시설기준(KWWA, 2010)에서는 계획 배출수 처리량을 산정하기 위해서 계획처리량 산정식을 제시하고 있으며, 이 때 계획원수탁도가 입력인자로서 요구된다. 또한, 경험식으로 설계기준 산정방법을 원수탁도를 이용하여 연간평균탁도의 4배와 95% 확률탁도로 제시하고 있다. 이는 일본(JWWA, 2012)의 정수장설계에서 배출수 처리시설의 설

계인자와 동일하다. 미국(AWWA, 2012)에서도 계획처리량 산정식을 제시하여 계획 배출수 처리량을 산정하고 있으며, 모든 산정식은 원수탁도를 입력자료로 한다. 이처럼 국내와 미국, 일본 등에서 배출수 처리시설 규모 결정인자로서 원수탁도를 사용하고 있으나, 어느 정도 기간에 대해서, 얼마만큼의 원수탁도가 허용되는지에 대한 명확한 기준은 아직까지는 없는 것으로 조사되었다. 이러한 불분명성을 해결하기 위해 많은 연구자들이 수질모의모형을 이용하는 방안(Frederick and Wu, 2010; Hu et al., 2012; Elfimov and Khakzad, 2014; Lee et al., 2015)이나 확률론적 모형(Rajae et al., 2009; Yang et al., 2014) 및 모니터링을 수행한 연구(Ziegler et al., 2014) 등을 통해 문제해결을 시도하고 있다.

그 중에서 모니터링을 통한 원수탁도 산정방법은 가장 간편하고 정확하다. 하지만 이를 위해서는 적어도 2~3년의 시간이 소요될 것으로 판단되기 때문에 국내와 같이 물수요가 지속적으로 증가하는 곳에서는 적절하지 못할 것으로 판단된다. 수치해석모형을 이용하는 방법도 연구가 되고 있지만 다양한 입력자료가 요구되고, 수치모형의 차원이 증가할수록 상당한 계산시간을 요구한다는 단점이 있으며 실제 측정자료가 없으면 신뢰성이 상당히 낮아지기 때문에 매우 신중한 접근이 필요하다. 이에 비해서 확률론적 모형은 실시간으로 관측되는 강우 및 유량 등의 자료만을 이용하여 상당히 높은 정확도의 예측값을 빠르게 산정할 수 있다는 장점이 있다. Rajae et al. (2009)의 경우, 인공신경망(Artificial neural networks)과 뉴로퍼지(Neuro-fuzzy) 및 다중선형회귀분석을 이용한 사례로서, 미국의 Little Black River와 Salt River의 부유사 농도를 일단위로 모의하였으며 그 결과, 다중선형회귀분석에 비해 인공신경망 및 뉴로퍼지로 모의한 경우가 관측값에 근사하게 추정할 수 있다는 점을 제시하였다. 또한, Choi et al. (2008)은 탁도에 영향을 주는 인자 중 강우강도와 강우지속시간을 대상으로 상관분석 및 회귀분석 등 통계학적 기법을 적용하는 연구를 수행했다. 이 연구에서는 강우특성에 따른 하천의 탁도예측을 위한 회귀식을 도출하였고 강우에 따른 하천의 탁도와 유의미한 상관성이 있음을 제안하였다.

현재 우리나라는 용수공급을 위해서 댐의 활용도가 크며, 물수요가 꾸준히 증가하고 있으나 추가적인 댐 건설이 어려운 상황이다. 따라서 시간적, 경제적인 면을 고려하여 기존 댐의 용수공급능력을 극대화하는 것이 가장 이상적인 용수공급방안일 수 있다. 하지만 정해진 제원을 이용한 공급능력의 극대화는 한계가 있다. 그러므로 용수공급량의 증가를 위해서는 정수장의 추가 건설이 이루어질 필요가 있으며, 추가로 건설할 정수장의 설계·유지·관리를 위해서 상기에 제시한 확률

론적 방법의 원수탁도 변화에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 한강에 위치한 광역정수장 두 곳의 10년치 원수탁도 및 강우, 댐의 유입·유출 유량 시계열자료를 이용하여 상관분석과 주성분분석을 수행하여 상관관계를 분석하고, 회귀분석을 이용하여 강우 및 유입·유출 유량의 변화에 따른 원수탁도 변화를 예측할 수 있는 회귀식을 도출하였다. 이를 통해, 장래의 원수탁도를 예측하여 추가적인 정수장 건설 및 기존 정수장의 효율적인 유지·관리를 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 대상유역 및 자료구축

### 2.1 대상유역

한강유역 용수공급의 주 취수원은 광동댐, 충주댐, 횡성댐, 팔당댐이다. 그 중에서 팔당댐의 경우에는 총 8개의 정수장으로 도수되어 정수한다. 본 연구에서는 충주댐을 취수원으로 하는 충주정수장과 팔당댐을 취수원으로 하는 외부정수장을 중심으로 분석을 수행하였다. 한강유역에 설치되어 운영 중인 204개 강우관측소의 티센망(Thiessen network)을 구축한 결과, 취수원인 충주댐과 팔당댐은 충주 강우관측소와 팔당댐 강우관측소 구역에 포함되는 것으로 나타났다(Fig. 1).

### 2.2 원수탁도자료 구축

원수탁도와 강우, 댐 유입유량 간의 상관관계 분석을 수행하기 위해서 충주정수장과 외부정수장의 원수탁도 자료를 2003년부터 2012년까지 총 10년 동안 시계열자료로 구축하였다(Fig. 2). 10년의 시계열자료에서 두 정수장 모두 2006년

도에 최고 탁도가 발생한 것으로 나타났으며, 정수장별 최고 탁도는 충주정수장이 543.3 NTU, 외부정수장이 480.2 NTU 인 것으로 나타났다. 반면에 평균 탁도는 충주정수장이 8.051 NTU, 외부정수장이 9.702 NTU으로 나타났다. 상수도시설 기준(KWWA, 2010)에서 경험식으로서 제시한 연평균 탁도의 4배는 충주정수장은 18.663~61.645 NTU, 외부정수장은 17.180~78.957 NTU 범위 내에서 분포하였으며, 95% 확률 탁도는 충주정수장이 27.12 NTU, 외부정수장이 34.63 NTU 였다. 따라서 95% 확률탁도를 중심으로 연평균 4배 탁도가 0.50~2.28배까지 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 경험식 선택에 따라서 정수장의 과소 및 과대 설계 우려가 있음을 의미한다.

### 2.3 수문자료 구축

오염물질의 유출은 일반적으로 강우 시 지표 유출수와 함께 유출되기 때문에 배출량의 변화가 크고 예측이나 정량화가 어려운 것이 일반적이다. 또한, 기상조건, 지질 및 지형, 토지 이용도, 식생상태 등의 영향을 받아 인위적으로 조정하기 어려운 실정이다. 하천에서의 유사이송량은 유출-유사량 관계 곡선을 산정해 사용하는 것이 일반적이며, 따라서 유사량은 유출량과 높은 상관성을 갖게 된다. 또한 탁도는 유사량과 높은 상관관계를 가지며, 유량-유사량의 관계보다 유사량·탁도 관계가 상대적으로 더 높은 상관관계를 보이는 것을 검증한 연구결과도 있다(Ellison, 2010). 따라서 본 연구에서는 원수탁도와 수문자료간의 주성분분석을 수행하고, 탁도와 같은 그룹으로 분류되는 수문자료를 대상으로 상관관계를 분석하였다. 충주정수장 원수탁도의 통계분석을 위해서 사용된 수문자료는 충주댐의 유입량과 방류량, 강우량, 수온, pH, 수위, 알카리도, 전기전도도를 이용하였다. 외부정수장 원수탁도의 통계분석을 위해서는 충주정수장 원수탁도 통계분석을 위해 사용한 동일 수문자료 항목과 색도, 냄새를 추가로 사용하였다. 강우자료는 수원인 충주댐과 팔당댐이 포함되어있는 티센망의 충주 강우관측소와 팔당댐 강우관측소 자료를 이용하였다. Fig. 3은 각 댐의 유입 유량에 대한 수문곡선을 나타낸 것이다.

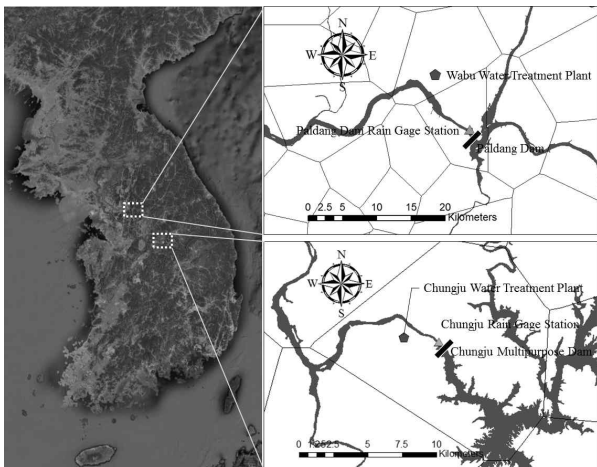
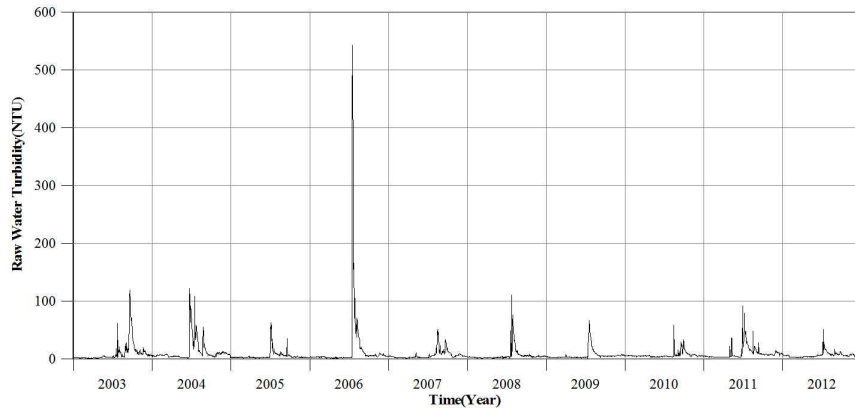


Fig. 1. Study Area, Han River Basin

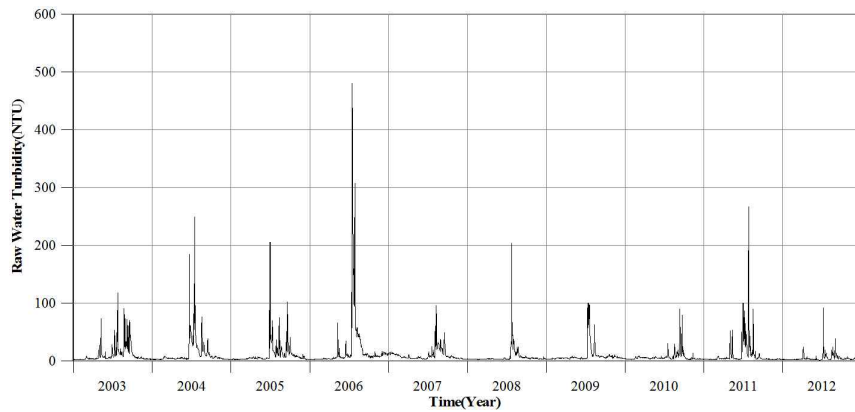
## 3. 상관관계 분석

### 3.1 주성분분석

주성분분석(PCA; Principal Components Analysis)은 서로 상관관계가 높은 여러 개의 변수들을 조합하여 그 변수들



(a) Chungju water treatment plant



(b) Wabu water treatment plant

Fig. 2. Time Series Data of Raw Water Turbidity

의 정보를 가능한 많이 함축하고 있는 새로운 인위적 변수를 만들어내기 위한 통계적기법으로서(Kottegoda and Rosso, 1997), 변수들의 상관행렬 또는 공분산 행렬의 고유값과 고유 벡터를 이용한 스펙트럴 분해(Spectral decomposition)를 이용하여 주성분이라는 새로운 변수를 생성한다(Kim et al., 2012).

주성분분석은 선형모형으로 나타낼 수 있으며, 일반적인 형태는 Eq. (1a)와 Eq. (1b)와 같다. 여기서  $Z$ 는 주성분(Principal component)을 나타내며,  $X$ 는  $n$ 개의 성분에  $m$ 개의 자료수를 갖는 기존자료의 행렬,  $A$ 는 고유값(eigenvalue)에 대한 고유벡터(eigenvector)를 의미한다.

$$Z = XA \tag{1.a}$$

$$\begin{bmatrix} Z_1 & \dots & Z_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{p1} & \dots & A_{pp} \end{bmatrix} \tag{1.b}$$

### 3.2 상관분석

두 확률변수 사이의 관련성을 자료를 이용하여 연구하는 통계적 분석방법을 상관분석(Correlation analysis)이라고 한다(Kim et al., 2006). 상관분석은 각 변수의 상관정도를 선형적인 관계로 나타내며, 일반적으로 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다. 여기서  $r$ 은 상관정도를 나타내는 상관계수이며, -1에서 1사이의 값을 갖는다. -1에 근접할수록 부적 상관관계가 강하다고 할 수 있으며, 1에 근접할수록 정적 상관관계가 강하다고 할 수 있다.  $X, Y$ 는 상관분석의 대상이 되는 확률 변수이고,  $Cov(X, Y)$ 는  $X$ 와  $Y$ 의 공분산,  $Var(X)$ 는 확률 변수  $X$ 의 표준편차이다.

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X) Var(Y)}} \tag{2}$$

### 3.3 회귀분석

회귀분석(Regression analysis)은 어떤 하나의 변수 값을,

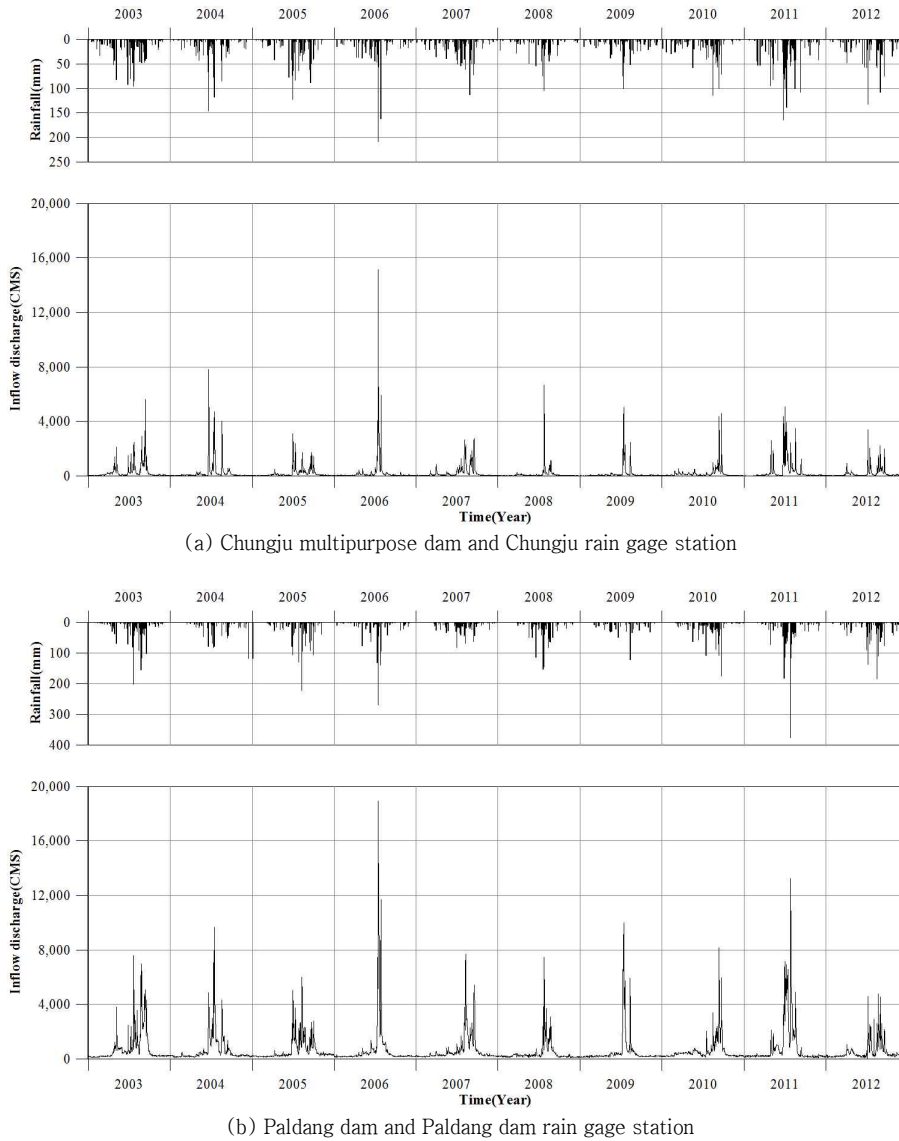


Fig. 3. Time Series Data of Rainfall and Inflow Discharge

다른 변수들의 값들을 이용하여 예측/제어하고 싶은 경우에 이용되는 분석 방법이다(Jeong and Lee, 2010). 회귀분석은 독립변수의 개수와 독립변수와 종속변수의 관계에 따라서 단순회귀(simple regression), 곡선회귀(curvilinear regression), 중회귀(multiple regression), 다항회귀(polynomial regression), 비선형회귀(nonlinear regression)로 분류된다. 본 연구에서는 독립변수와 종속변수가 선형관계일 때 주로 사용되는 단순회귀분석과 중회귀분석을 이용하여 분석을 수행하였다. 단순회귀분석과 중회귀분석의 일반적인 형태는 Eq. (3), (4)와 같으며, 여기서  $x$ 는 종속변수,  $y$ 는 독립변수,  $\alpha, \beta$ 는 회귀계수(regression coefficients),  $\epsilon$ 은 오차를 나타내는 확률변수이다.

$$Y = \alpha + \beta x_1 + \epsilon \tag{3}$$

$$Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \tag{4}$$

#### 4. 분석결과

정수장의 원수탁도와 수문자료간의 상관관계를 분석하기 위하여, 상관분석과 주성분분석을 수행하였다. 또한 상관관계 분석결과를 바탕으로 회귀분석을 수행하여, 원수탁도를 예측할 수 있는 회귀식을 제안하였다. 총 10년간의 원수탁도

와 수문 시계열자료 중에서 2003년부터 2010년까지인 8년간의 자료는 주성분분석 및 상관분석, 회귀분석을 수행하는데 이용하였으며, 그 후 2011년부터 2012년까지 2년간의 자료는 제한한 회귀식의 검증을 위해서 사용하였다.

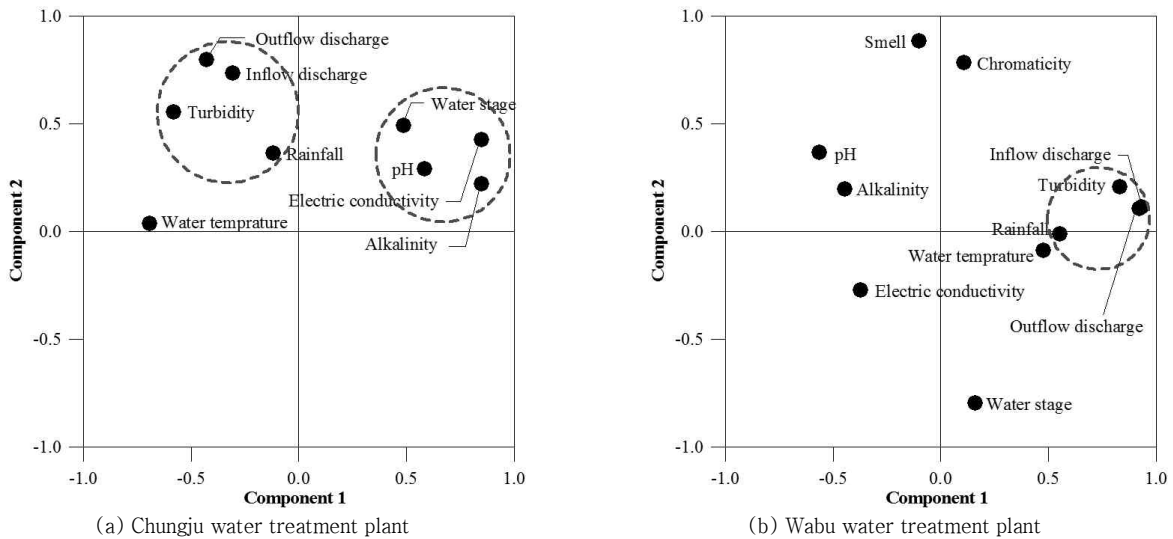
**4.1 상관관계 분석결과**

충주정수장의 원수탁도와 8개 항목의 수문자료를 주성분 분석을 한 결과, 2개의 주성분이 전체자료의 약 59.0%를 설명하는 대표성분으로 나타났다. 주성분분석 결과를 도식화하면 충주정수장의 원수탁도와 8개의 수문자료를 2개의 그룹으로 구분할 수 있는데, 그 중에서 원수탁도와 상관관계가 가장 큰 강우량과 충주댐의 유출량과 방류량에 대해서 상관분석을 수행하였다(Fig. 4(a)). 상관분석 수행결과, 모든 상관계수

의 유의확률이 0.01보다 작게 산정되어 통계적으로 유의하며, 충주정수장의 원수탁도는 충주댐의 방류량과 가장 큰 상관관계를 가지는 것으로 나타났다(Table 1).

와부정수장의 원수탁도와 10개 항목의 수문자료를 이용하여 주성분분석을 수행한 결과, 2개의 주성분이 전체자료의 약 54.6%를 설명하는 대표성분으로 나타났다. 주성분분석 결과를 도식화하면 와부정수장의 원수탁도는 강우량 및 팔당댐의 유입량, 방류량과 상관관계가 높아 하나의 그룹으로 구분할 수 있다(Fig. 4(b)). 주성분분석을 통해서 같은 그룹으로 분류된 수문자료에 대해서 상관분석을 수행하였다. 그 결과, 와부정수장의 원수탁도와 팔당댐 유입량이 가장 큰 상관성을 나타내는 것으로 나타났다(Table 2).

한편, Chung et al. (2011)에 의하면 탁수모델링에서 하천



**Fig. 4.** Result of Principal Component Analysis

**Table 1.** Correlation Analysis Result at Chungju Water Treatment Plant

	Turbidity	Inflow discharge	Outflow discharge	Rainfall
Turbidity	1.000			
Inflow discharge	0.400	1.000		
Outflow discharge	0.708	0.646	1.000	
Rainfall	0.131	0.484	0.247	1.000

**Table 2.** Correlation Analysis Result at Wabu Water Treatment Plant

	Turbidity	Inflow discharge	Outflow discharge	Rainfall
Turbidity	1.000			
Inflow discharge	0.805	1.000		
Outflow discharge	0.793	0.988	1.000	
Rainfall	0.226	0.418	0.416	1.000

을 통과하는 부유사 부하율이 유량에 의해 변동된다는 가정 하에 유량과 부유사 농도의 멱함수 관계를 부유사 농도 산정을 위해 빈번히 적용되고 있다고 제시하고 있다. 이러한 가정의 성립으로 인해서 충주정수장과 외부정수장의 원수탁도가 강우량보다는 유량에 큰 상관성을 나타낸 주된 이유라고 판단된다. 반면에 충주정수장은 방류량, 외부정수장은 유입량이 상관관계가 가장 크게 산정되었다. 일반적으로 저수지의 탁도는 저수지로 유입되는 유량과 가장 큰 상관성을 보일 것이라고 추측할 수 있지만, 본 연구대상 지역인 충주정수장의 경우, 충주댐 취수장에서 취수된 원수를 정수하고 있으며, 충주댐 취수장의 위치가 충주댐 하류 4km 좌안에 위치하고 있다. 외부정수장의 경우에는 팔당2 취수장에서 취수된 원수를 이용하고 있으며, 팔당2 취수장의 위치는 팔당댐의 상류 1km 좌안에 위치하고 있다. 따라서, 이러한 지역적 차이를 고려해보면 취수장의 위치에 따른 지형과 하천흐름의 영향도 무시할 수 없을 것으로 판단된다.

4.2 회귀분석 결과

정수장의 원수탁도 시계열자료와 상관성이 높은 것으로 확인된 시계열자료를 이용하여 회귀분석을 수행하고, 원수탁도 예측을 위한 회귀식을 제안하였다. 충주정수장과 외부정수장의 원수탁도 자료가 각각 가장 큰 상관성을 나타낸 충주댐 방류량과 팔당댐 유입량 자료를 이용하여 회귀분석을 수행한 결과는 Table 3과 같다.

각 정수장의 원수탁도 회귀분석에서 Durbin-Watson 통계량은 1.058과 1.298로서 1.0~3.0의 범위 내에 존재하여 잔차의 독립성 가정을 만족한다. 또한 분산분석의 F값에 대한 유의확률이 0.05보다 작으므로, 회귀모형이 유의함을 알 수 있다. 다중공선성 검증을 위하여 VIF (Variance inflation factor)를 확인한 결과, 두 경우 모두 10미만임에 따라 다중공선성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 따라서 두 경우의 회귀분석은 모두 유의한 수준에서 이루어졌으며, 각각의 R<sup>2</sup>가 0.519와 0.681로 나타났다. 도출된 회귀식은 Eq. (5), (6)과 같고, 여기서 는 원수탁도, X는 Eq. (5)의 경우에는 충주댐의 방류량, Eq. (6)은 팔당댐의 유입량을 의미한다.

$$Y = 2.492 - 0.009X \tag{5}$$

$$Y = -2.728 + 0.015X \tag{6}$$

회귀분석을 통하여 도출된 회귀식을 이용하여 원수탁도 예측을 수행한 결과, 원수탁도 변화추세를 잘 반영하는 것으로 나타난 반면에 정수장 설계 및 운영을 위한 최대 원수탁도는 과소 추정하는 경향을 나타내었다(Fig. 5). 회귀식을 이용한 예측치와 실측치를 비교하기 위하여 평균제곱근오차 (RMSE; Root Means Square Error), 절대최대오차(MAE; Maximum Absolute Error), 상대최대오차(MRE; Maximum Relative Error)를 이용하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 상대최대오차와 절대최대오차는 제한한 회귀모형이 원수탁도를 과대추정하면서 발생하는 것으로 나타났다.

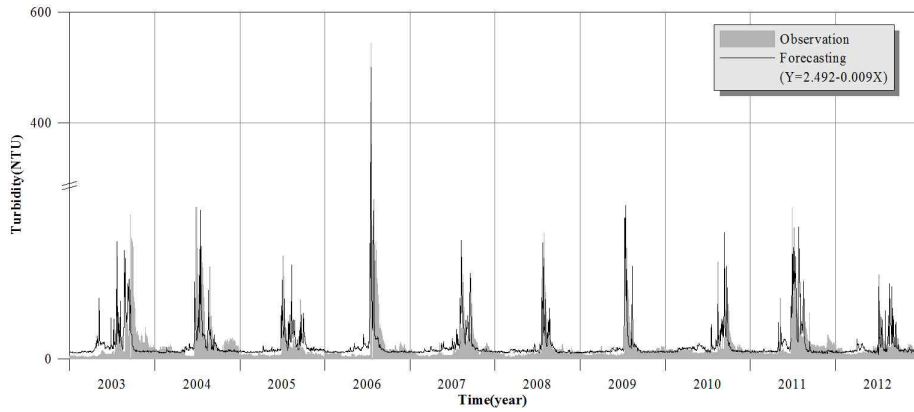
회귀분석을 이용하여 산정된 원수탁도 시계열자료에 대한 각 정수장 원수의 95% 확률탁도는 충주정수장이 28.24 NTU, 외부정수장이 67.53 NTU였으며, 연평균 탁도의 4배는 충주정수장의 경우에는 15.650~44.583 NTU, 외부정수장은 38.454~94.393 NTU였다. 실측값을 이용해 계산한 95% 확률탁도는 충주정수장이 1.12 NTU, 외부정수장이 32.90 NTU 차이가 있었으며, 연평균 탁도의 4배 계산 결과는 충주정수장이 32.73%, 외부정수장이 9.45% 감소된 범위를 제시하였다. 정수장 설계를 위한 기존의 원수탁도 경험식이 가지는 확실성 여부를 배제한다면, 이러한 결과는 기존 경험식이 제시하는 원수탁도 범위 내에 분포하므로 정수장 설계시 설계인자로 사용되는 원수탁도를 검토하는 방안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

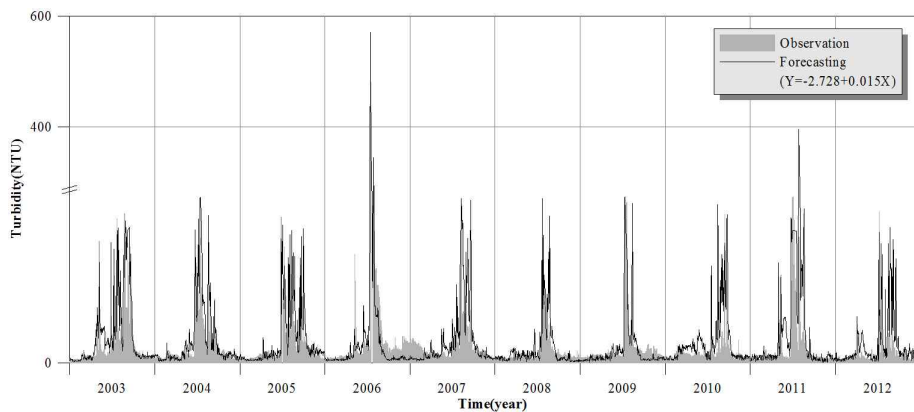
본 연구에서는 장래의 원활한 용수공급과 정수장의 효율적이고 경제적인 설계·유지·관리를 위해서 수원의 탁도와 수문자료간의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석을 위해서 상관분석과 주성분분석 기법을 이용하였으며, 회귀분석

Table 3. Result of Regression Analysis

Water treatment plant	Dependent variable	Independent variable	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson statics	ANOVA		Variance inflation factor
					F	p-value	
Chungju	Turbidity	Outflow discharge	0.519	1.058	3145.157	0.000	1.000
Wabu	Turbidity	Inflow discharge	0.681	1.298	6242.971	0.000	1.000



(a) Chungju water treatment plant



(b) Wabu water treatment plant

Fig. 5. Forecasting Result of Raw Water Turbidity using Regression Model

Table 4. Comparison of Raw Water Turbidity between Observation and Forecasting

Water treatment plant	RMSE (NTU)	MAE (NTU)	MRE (%)
Chungju	14.98	202.75	33.21
Wabu	22.81	355.69	20.80

을 통해 제안된 회귀식을 이용하여 탁도 변화 예측을 수행하였다. 본 연구를 통하여 최종적으로 아래와 같은 결론에 도달할 수 있었다.

- 1) 상수도시설기준(KWWA, 2010)에서 정수장설계를 위해 원수탁도가 입력값으로 사용되며, 원수탁도를 계산하기 위해서 제시되고 있는 두 가지 경험식은 연구대상지역에서 최대 약 1.7배까지 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이것은 경험식의 선택에 따라서 정수장의 비효율적인 설계 및 유지·관리의 우려가 있음을 의미한다. 따라서 제시된 경험식의 철저한 평가와 실무에서의 혼란을 방지하기 위한 기준이 수립되어야 한다고 판단된다.
- 2) 원수탁도와 수문자료간의 상관관계를 분석한 결과, 유량

자료와 큰 상관성을 보였으나 충주정수장은 방류량과 외부정수장은 유입량과 가장 큰 상관성을 보였다. 충주정수장은 충주댐 취수장, 외부정수장은 팔당2 취수장에서 취수되는 원수를 이용하고 있다. 충주댐 취수장은 충주댐을 기준으로 하류에 위치하고 있으며, 팔당2 취수장은 팔당댐 저수지 내에 위치하고 있다. 이러한 취수장의 위치적 차이가 상관관계에 영향을 주는 것으로 추측되며 추후, 이러한 요소들까지 고려하여 원수탁도와 수문자료간의 상관관계를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- 3) 회귀식을 이용하여 탁도 예측을 수행한 결과, 95% 확률탁도가 상수도시설기준(KWWA, 2010)에서 제시하고 있는 경험식과 실측치를 이용하여 계산한 탁도 중에서 연평균 4배 탁도의 범위 내에 존재하면서, 95% 확률탁도와 최대



32.90 NTU 차이가 나는 것으로 나타났다. 따라서 탁도를 예측하여 정수장의 설계 및 유지·관리에 활용하는 것은 정수장 설계를 위한 원수탁도 산정에 있어서 검토 방안으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 수문인자 외에도 다양한 유역특성 인자를 활용한 통계분석을 수행하고, 하천의 탁도 변화에 지배적인 영향인자를 추정하고자 한다. 이를 통해, 탁도 모니터링을 전혀 수행되지 않은 미계측 유역에서 정수장을 건설하고자 할 때 사용되는 입력값인 원수탁도를 추정하여 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 이를 위한 초기연구로써 장래의 원수탁도를 예측하여 추가적인 정수장 건설 및 기존 정수장의 효율적인 유지·관리를 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2014년도 충남대학교 자체연구과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- AWWA(American Water Works Association) (2012). *Water treatment plant design(5rd edition)*.
- Choi, H.K., Kim, J.O., Oh, K.H., and Park, S.J. (2008). "A study on the development of river turbidity by the rainfall properties in the watershed of highland-agriculture." *Journal of KOSHAM*, KOSHAM, Vol. 8, No. 3, pp. 123-128.
- Chung, S.W., Lee, J.H., Lee, H.S., and Maeng, S.J. (2011). "Uncertainty of discharge-SS relationship used for turbid flow modeling." *Journal of KWRA*, KWRA, Vol. 44, No. 12, pp. 991-1000.
- Elfmov, V.I., and Khakzad, H. (2014). "Evaluation of flow regimes of turbidity currents entering Dez reservoir using extended shallow water model." *Water Science and Engineering*, ELSEVIER, Vol. 7, No. 3, pp. 267-276.
- Ellison, C.A., Kiesling, R.L., and Fallon, J.D. (2010). "Correlating streamflow, turbidity, and suspended-sediment concentration in Minesota's Wild Rive river." *Proceedings of 2nd Joint Federal Interagency Conference*, Las Vegas, USA.
- Frederick, N.F., and Wu, C.W. (2010). "Reducing the impacts of flood-induced reservoir turbidity on a regional water supply system." *Advances in Water Resources*, ELSEVIER, Vol. 33, pp. 146-157.
- Hu, P., Cao, Z., Pender, G., and Tan, G. (2012). "Numerical modelling of turbidity currents in the Xiaolangdi reservoir, Yellow river, China." *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, Vol. 464-465, pp. 41-53.
- Jeong, D.K., and Lee, B.H. (2010). "Development of urban flood water level forecasting model using regression method." *Journal of KWRA*, KWRA, Vol. 43, No. 2, pp. 221-231.
- JWWA(Japan Water Works Association) (2012). *Design guideline of water supply facility*.
- Kim, G.B., Son, Y.C., Lee, S.H., Jeong, A.C., Cha, E.J., and Ko, M.J. (2012). "Understanding of surface water-groundwater connectivity in an alluvial plain using statistical methods." *The Journal of Engineering Geology*, The Korean Society of Engineering Geology, Vol. 22, No. 2, pp. 207-221.
- Kim, W., Kim, J., Park, B., Park, S., Song, M., Lee, S., Lee, Y., Jeon, J., and Jo, S. (2006). *Presence Statistics*, Youngji publishers.
- Kottegoda, N.T., and Rosso, R. (1997). *Statistics, probability, and reliability for civil and environmental engineers*. McGraw-Hill, United State of America.
- KWWA(Korea Water and Wastewater Works Association). (2010). *Water supply facilities standard*
- Lee, H.W., Kim, E.J., Park, S.S., and Choi, J.H. (2015). "Effects of climate change on the movement of turbidity flow in a stratified reservoir." *Water Resources Management*, Springer, Vol. 29, No. 11, pp. 4095-4110.
- Rajae, T., Mirbagheri, S.A., Kermani, M.Z., and Nourani, V. (2009). "Daily suspended sediment concentration simulation using ANN and neuro-fuzzy models." *Science of the Total Environment*, ELSEVIER, Vol. 407, pp. 4916-4927.
- Yang, T.M., Fan, S.K., Fan, C., and Hsu, N.S. (2014). "Establishment of turbidity forecasting model and early-warning system for source water turbidity management using back-propagation artificial neural network algorithm and probability analysis." *Environ Monit Assess*, Springer, Vol. 186, pp. 4925-4934.
- Yum, K.T., Ban, Y., and Kim, Y. (2008). "Current turbid water management and improvement direction at reservoir in Korea" *Water for future*, KWRA, Vol. 41, No. 7, pp. 35-42.
- Ziegler, A.D., Benner, S.G., Tantasirin, C., Wood, S.H., Sutherland, R.A., Sidle, R.C., Jachowski, N., Nullet, M.A., Xi, L.X., Snidvongs, A., Giambelluca, T.W., and Fox, J.M. (2014). "Turbidity-based sediment monitoring in northern Thailand: Hysteresis, variability, and uncertainty." *Journal of Hydrology*, ELSEVIER, Vol. 519, pp. 2020-2039.