

# Data Driven Approach to Forecast Water Turnover

Sehyug Kwon<sup>†</sup>

Department of Statistics, Hannam University

## 데이터 탐색 기법 활용 전도현상 예측모형

권 세 혁<sup>†</sup>

한남대학교 통계학과

This paper proposed data driven techniques to forecast the time point of water management of the water reservoir without measuring manganese concentration with the empirical data as Juam Dam of years of 2015 and 2016. When the manganese concentration near the surface of water goes over the criteria of 0.3mg/l, the water management should be taken. But, it is economically inefficient to measure manganese concentration frequently and regularly. The water turnover by the difference of water temperature make manganese on the floor of water reservoir rise up to surface and increase the manganese concentration near the surface. Manganese concentration and water temperature from the surface to depth of 20m by 5m have been time plotted and exploratory analyzed to show that the water turnover could be used instead of measuring manganese concentration to know the time point of water management. Two models for forecasting the time point of water turnover were proposed and compared as follow: The regression model of CR20, the consistency ratio of water temperature, between the surface and the depth of 20m on the lagged variables of CR20 and the first lag variable of max temperature. And, the Box-Jenkins model of CR20 as ARIMA (2, 1, 2).

**Keywords** : Box-Jenkins Model, Data Driven Technique, Regression Model, Manganese Concentration, Water Turnover

### 1. 서 론

전도현상은 수심별 수온차이와 물의 밀도가 3.96도에서 1g/cm<sup>2</sup>로 가장 높다는 사실에 의해 바닥 층의 물과 수면의 물이 상하로 이동하는 현상이다. 상수원에서 전도현상이 발생하면 하부 오염물질(상수도 관리 기준 항목)의 상승으로 상수원 수질이 악화되어 수질 관리가 필요하게 된다. 상수원의 효율적인 수질 관리를 위하여 수심별 수온 차이의 물리적 현상에 의한 전도현상 시기를 예측하는 것은 중요하다.

수질 측정에 관한 연구는 QUAL2E, QUAL2K, WASP7 등 수질평가모형을 활용하거나 측정목적, 입지환경, 유입

량과 유출량 등을 고려하는 모형이나 방법론 중심의 연구 [8, 9, 10, 11], 그리고 관측지점의 수질 항목의 유사성을 측정하여 효율적인 관측지점 선정에 관한 연구[5, 7] 등 다양하게 진행되어 오고 있다. 그러나 전도현상에 의한 수질 변화에 대한 연구가 미미하여 김은혜 등[6]이 시뮬레이션 기법을 활용하여 팔당호 표층 수온 예측모형을 도출한 이후 관련 연구가 없으며, 외국에서는 Bertone et al.[1]이 데이터 탐색방법에 의한 망간농도 예측 연구가 있다.

상수원 수질 환경기준 항목 중 망간은 다른 환경기준과 달리 측정비용이 높아 정기적으로 측정 관리하는 것은 비경제적이다. 망간은 특성상 바닥에 가라 앉아 외부 요인에 의한 물리적 전도현상이 발생하지 않는 기간 동안은 측정 관리할 필요가 없다. 전도현상이 발생하는 시점을 예측하여 전도현상이 발생하는 기간 동안만 망간 농도를 측정 관리한다면 경제적인 수질관리가 가능하다.

Received 12 July 2018; Finally Revised 10 August 2018;

Accepted 13 August 2018

<sup>†</sup> Corresponding Author : wolfpack@hnu.ac.kr

많은 수량 유입, 빠른 유입 속도, 그리고 강한 바람과 같은 외부적 요인에 의해 바닥의 오염물질(망간)이 지표면으로 올라오는 전도현상은 지표면으로 상승한 오염물질은 바다로 가라앉는 기간이 짧고 예상 관리가 가능하므로 상수원 수질관리에 영향을 미치지 않는다.

수심별 수온 차이에 의한 수직적 혼합으로 발생하는 전도현상은 국내 기후 특성 상 수심별 수온 차이가 줄어드는 9월에 발생하여 다음 해 1월까지 지속된다[4]. 본 연구에서는 2015년~2016년 주암댐 수심별 망간농도, 수심별 수온, 기상상황을 실증분석 데이터로 활용하여 전도현상 발생 시점을 예측하는 모형을 연구·제안하였다.

실증분석 데이터 설명과 연구방법은 제 2장에 정리하였으며, 제 3장에는 수심별 수온 차이에 의한 전도현상 발생 시점과 수면 부근의 망간농도가 물관리 수준까지 상승하는 시점의 일치성을 탐색하는 과정을 기술하였다. 수면과 수심 20m 수온 일치도를 활용하여 전도현상이 발생하는 시점을 선형모형과 Box-Jenkins 시계열모형으로 추정하고 수면 부근의 망간농도가 물관리 수준까지 상승하는 실제 시점과 비교하였다. 연구의 결론과 한계는 제 4장에 기술하였다.

## 2. 데이터 및 연구방법

### 2.1 데이터 설명

1991년 축조된 주암댐은 전라남도 순천시 주암면에 위치하고 있으며 길이 330m, 높이 47m, 저수량 2.5억 톤으로 광주시, 나주시, 여수시, 광양시, 고흥군, 화순군에 하루 118만 톤 생활 및 농공업용수를 공급하고 있다. 본 연구에 사용된 데이터는 2015년~2016년 2년간 주암댐 수심별 망간농도, 수온과 기상현황 데이터이다.

망간농도 관측은 망간농도가 높은 기간에는(11월~1월) 매주 2회, 그렇지 않은 기간은 월 1~2회 단위로 오전 11시(물의 유입, 유출로 발생하는 전도현상을 통제 가능한 시점) 1회, 수면부터 바닥까지 5m 단위로 측정하였다. 수심별 수온은 1m 단위로 수심 29m까지 매일 측정하였다. 기상현황은 일별 데이터이며 평균기온, 최저기온, 최고기온, 평균풍속, 평균습도, 이슬점, 일조시간, 강우량을 수집하였다. <Table 1>은 실증분석 데이터를 정리한 표이다.

### 2.2 연구방법

상수원 수질관리를 위하여 일 단위로 오염물질(망간)을 측정(예측)값이 필요하나 망간농도는 2주 단위로 측정되어 일별 망간농도 예측하는데는 한계가 있다. 그러

<Table 1> Description of Empirical Data

| Variable                | Time Frequency                      | Location/Contents   |
|-------------------------|-------------------------------------|---|
| Manganese Concentration | 2 times a week<br>1~2 times a month | depth of surface~30m by 5m  |
| Water Temperature       | Daily                               | depth of 1~29m by 1m  |
| Climate Status          | Daily                               | Temperature(mean, min, max), Mean Humidity, Mean Wind Velocity, Dew Point, Duration of Sunshine, Amount of Rainfall |

나 매일 측정이 용이하지 않은 망간농도와 달리 수심별 수온, 기상현황 데이터는 매일 쉽게 측정(수집) 가능하므로 수온 차이에 의한 수직적 혼합에 의한 전도현상을 예측하고 이를 이용하여 하루 오염물질(망간)이 수면으로 올라오는 시점과 기간을 예측하였다.

수심별(수면, 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m) 망간농도의 시간도표 분석을 통하여 망간농도 상수원 기준값 0.3mg/l을 초과하는 시점과 기간을 탐색하였다. 수심별 수온 데이터의 일별 시간도표 분석을 통하여 수심별 수온 변동과 수심별 수온 차이가 줄어드는 시점을 탐색하였다. 수심별 수온과 기상상황 데이터의 상관분석을 통하여 수심별 수온과 수온 차이에 영향을 주는 기상현황 변인을 도출하였다.

수면 부근의 망간농도 수준이 기준값을 초과하는 기간과 수심별 수온의 차이에 의한 물리적 전도현상이 발생하는 시점의 일치 정도를 시간도표를 활용한 탐색적 기법으로 전도현상 발생 시점을 예측하여 망간농도 수질관리 시점 예측에 활용할 수 있는지에 대한 타당성을 검증하였다.

수면 망간농도 기준값 초과여부를 목표변수, 수면과 수심(5m, 10m, 15m, 20m) 수온 일치도를 예측변수로 하여 로지스틱 회귀분석을 실시하여 전도현상 발생 시점 예측을 위하여 어느 지점의 수온 일치도를 활용해야 하는지 결정하였다. 수심별 망간농도 기준값 초과하는 날의 수온 일치도의 최대값을 계산하여 수온 일치도로 전도현상 발생 시점을 예측하는 기준값을 도출하였다.

수면과 수심 20m 수온 일치도를 선형모형과 Box-Jenkins 모형을 적용하여 추정하고 위에서 구한 전도현상 발생 기준값을 활용하여 수온 차이에 의한 전도현상 발생 시점을 예측하였다. 두 예측모형의 효율성은 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 수온 일치도에 의한 전도현상 발생 예측시점과 실제 수면 부근 망간농도가 물관리 수준에 도달하는 시점 비교하였다[3].

$$MAPE = \sum_{t=1}^T \left( \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right) / T \times 100$$

### 3. 실증분석 결과

#### 3.1 망간농도 분석

2015년 1월 4일부터 2016년 10월 18일까지(11월~1월은 일주일 2회, 1월~10월은 한 달에 1~2회, 총 44일) 수면부터 수심 30m(바닥 포함)까지 5m 단위로 망간농도를 측정하였다. <Table 2>에는 수면에서 바닥까지 5m 단위로 측정된 망간농도의 기초통계량을 정리한 것이다. 댐의 수위가 낮은 기간에는 바닥 깊이가 수심 30m 이하인 경우도 있어 수심 30m 망간농도 관측치에는 결측값이 있었다. 수심 20m까지는 평균 망간농도 값이 품질 기준 값 0.3mg/l를 초과하고 있지 않으므로 일부 기간에만 망간농도 관리가 필요함을 알 수 있었다.

<Figure 1>은 수면, 수심 5m, 10m, 20m에서의 망간농도(mg/l) 시간도표이다. 망간농도 2015년 8월 24일 기준값을 초과한 후 1월 11일까지 기준값 아래로 떨어진 날도 있으나 물관리 수준의 망간농도를 유지하고 있다.

2016년에는 10월 4일에 처음 망간농도가 물관리 수준을 초과하였으나 11월 4일전까지는 수심 15m 이상 층에서는 망간농도가 기준값을 초과하지 않고 있다. 11월 4일 수심 5m~20m 구간에서 망간농도 물관리 기준값을 일시적으로 초과한 후 12월 3일 수심 15m, 12월 11일 수심 10m, 12월 17일 수심 5m, 12월 29일 수면까지 망간농도가 기준값을 초과하고 있음이 탐색되었다. 그 이후 2016년 2월 2일까지 망간농도는 상수원 물관리가 필요 기준값 이상을 유지하고 있었다. 수온 차이에 의한 물리적 현

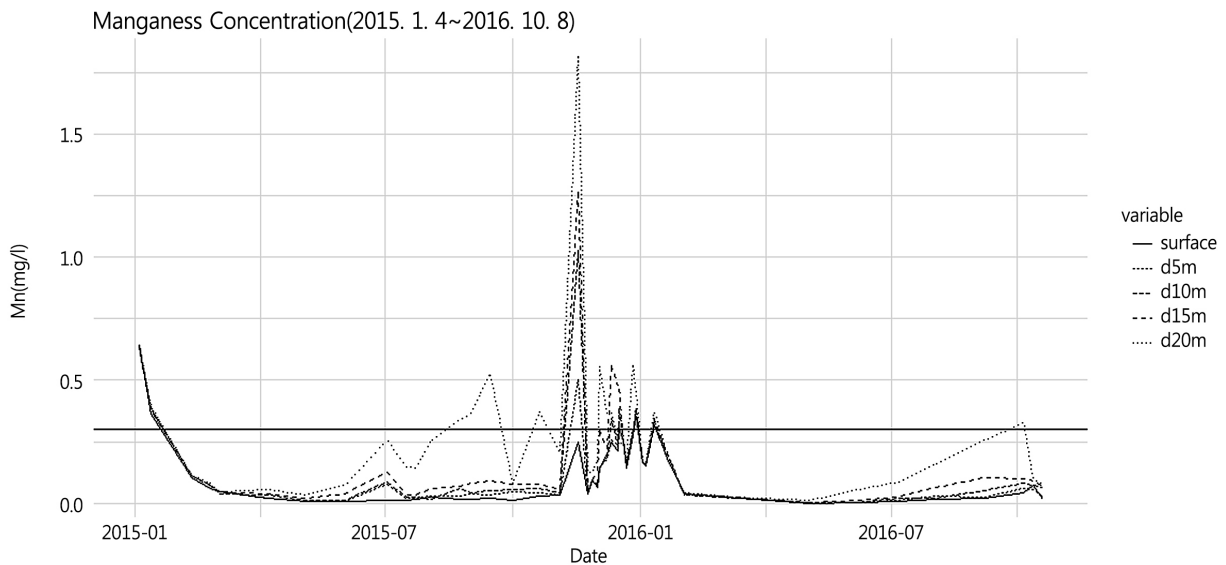
<Table 2> Elementary Statistics of Manganese Concentration (mg/l)

| Depth   | n  | Min   | Mean  | Max  | SD    |
|---------|----|-------|-------|------|-------|
| surface | 44 | 0     | 0.114 | 0.64 | 0.136 |
| 5m      | 44 | 0     | 0.128 | 0.64 | 0.146 |
| 10m     | 44 | 0.002 | 0.149 | 1.03 | 0.193 |
| 20m     | 44 | 0.010 | 0.263 | 1.82 | 0.288 |
| 30m     | 40 | 0.053 | 1.718 | 5.68 | 1.881 |
| floor   | 44 | 0.086 | 1.984 | 5.68 | 2.029 |

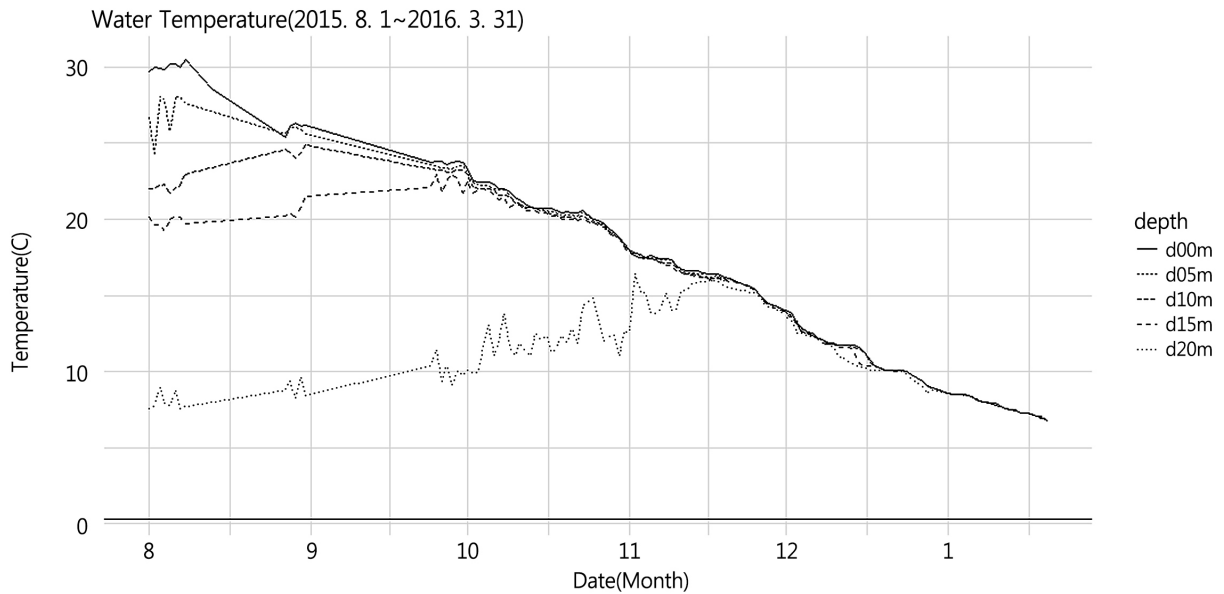
상에 의해 전도현상이 발생하여 바닥 오염물질이 수면 부근까지 상승하여 물관리가 필요한 최초 시점은 11월 4일로 판단할 수 있었다.

#### 3.2 수심별 수온 시계열분석

<Figure 2>는 망간농도가 수질관리 기준값을 초과한 2015년 8월 1일부터 2016년 1월 31일까지의 수심별(수면, 5m, 10m, 15m, 20m) 수온 데이터 시간도표이다. 9월 초 기상 기온이 낮아지면서 수심 10m까지 수온은 낮아지게 되고 9월 중순 수면에서 수심 15m까지 수온이 20도 부근에서 일치하기 시작하였다. 11월 초순부터는 수면 온도와 수심 20m 온도 차이가 16도에서 0.5도 이내로 일치하고 있었다. 이는 수면에서 수심 20m까지 망간농도가 물관리 기준값을 초과하는 시점과 일치하고 1월 말까지 수온 차이가 6도에서 0.5도 이내 차이로 일치하고 있었다.



<Figure 1> Manganese Concentration of the Surface and the Depth of (5m, 10m, 15m, 20m)



<Figure 2> Water Temperature(°C) of the Surface and the depth of (5m, 10m, 15m, 20m)

### 3.3 기상상황과 수온차이 상관분석

망간농도가 상수원 물관리 기준값을 초과하는 기간(제 3.1절 참고), 수면에서 수심 20m까지 수온이 0.5도 이내 일치하는 기간(제 3.2절 참고)을 활용하여 전도현상 예측을 위한 분석 대상 기간을 2015년 10월 초부터 2016년 1월 말까지 결정하였다. 수면과 수심별(5m, 10m, 15m, 20m) 수온 차이와 기상 상황(최저기온, 평균기온, 최대기온, 평균습도, 평균풍속, 최대풍속, 이슬점, 일조시간, 강우량) 상관분석 결과를 <Table 3>에 정리하였다.

<Table 3> Correlation Coefficients among the Difference of Water Temperature between the Surface and the Depth of (5m, 10m, 15m, 20m) and Weather Status

| variables       | (surf.-5m) | (surf.-10m) | (surf.-15m) | (surf.-20m) |
|-----------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| min temperature | -0.56***   | -0.674***   | -0.713***   | -0.708***   |
| avg temperature | -0.65***   | -0.759***   | -0.779***   | -0.775***   |
| max temperature | -0.68***   | -0.775***   | -0.775***   | -0.780***   |
| avg humidity    | -0.101     | -0.179*     | -0.200**    | -0.127      |
| avg wind        | 0.312***   | 0.348***    | 0.301***    | 0.239**     |
| max wind        | 0.343***   | 0.342***    | 0.282***    | 0.164*      |
| dew temperature | -0.55***   | -0.667***   | -0.694***   | -0.663***   |
| daylight hour   | -0.23**    | -0.224**    | -0.215**    | -0.237**    |
| Precipitation   | 0.063      | -0.013      | -0.062      | -0.113      |

대기온도, 풍속, 이슬점, 일조시간이 수면부터 수심 20m 온도 차이 매우 유의한 음의 영향을 미친다. 수면과 수심별 온도 차이가 줄어드는 가장 큰 영향을 주는 변인이 온도이며, 최대 온도가 가장 유의한 변인이다. 선형모형에 의해 수심별 수온의 일치에 의한 전도현상 발생 시점을 예측하려면 유의한 독립변인들의 예측값이 필요하다. 기온에 대한 예측값은 풍속, 이슬점, 일조시간에 비해 정확하고 수집 가능하고 기온 중 가장 수온 일치에 영향을 주는 최대기온은 평균풍속과 상관계수 -0.55, 최대풍속 -0.45, 이슬점 0.87, 일조시간 0.27로 매우 유의한 상관관계를 가지므로 향후 수심별 수온 일치에 의한 전도현상 예측모형 도출 시 기상변인으로 최대기온만을 활용하였다.

<Table 4>는 수심별 수온차이와 당일부터 이전 3일 간 최대온도의 상관계수를 정리한 것이다. 수심 15m까지의 수온 차이를 줄이는데 하루 전 최대온도가 당일 최대온도보다 큰 영향을 주며 수심 20m는 2일 전 최대온도의 영향이 가장 높았다.

<Table 4> Correlation Coefficients among the Difference of Water Temperature between the Surface and the Depth of (5m, 10m, 15m, 20m) and Maximum Temperature with Day Lags

| variables       | (surf.-5m) | (surf.-10m) | (surf.-15m) | (surf.-20m) |
|-----------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| max temperature | -0.68***   | -0.78***    | -0.78***    | -0.78***    |
| Lag 1           | -0.69***   | -0.79***    | -0.80***    | -0.80***    |
| Lag 2           | -0.60***   | -0.75***    | -0.76***    | -0.81***    |
| Lag 3           | -0.55***   | -0.69***    | -0.73***    | -0.80***    |

### 3.4 전도현상 예측모형

<Figure 3>은 2015년 1월부터 2016년 1월말 기간 동안 망간농도가 측정된 23일 동안의 수면, 수심(5m, 10m, 15m, 20m)에서의 망간농도와 수온, 그리고 수면 수온과 수심별 수온 일치수준에 대한 시간도표이다. 수면과 수심별(예 : 20m) 수온 일치도(Consistency Ratio), CR20은 다음 식에 의해 계산하였다.

$$CR20 = \left| \frac{\text{수면온도} - \text{수심 20m 수온}}{\text{수면온도}} \right|$$

2015년 1월에 망간농도가 수면에서 수심 20m 구간에서 기준값을 초과하고 있는 기간의 수온은 6도이다. 2월부터 수면, 수심 5m의 온도가 급속히 상승하여 수온차이에 의한 전도현상이 발생하지 않아 8월 중순까지는 수심 20m까지의 망간농도는 기준값을 초과하지 않는다. 8월 24일부터 수심 20m 망간농도가 기준값을 초과(수면수온 26.4도)하고 그 후 수면 부근 수온이 낮아짐에 따라 수면과 수심 20m 수온 차이가 줄어드는 10월 중순부터 수심 20m 이상 전 수심 층에서 망간농도가 기준값을 초과하게 현상이 나타나고 있었다.

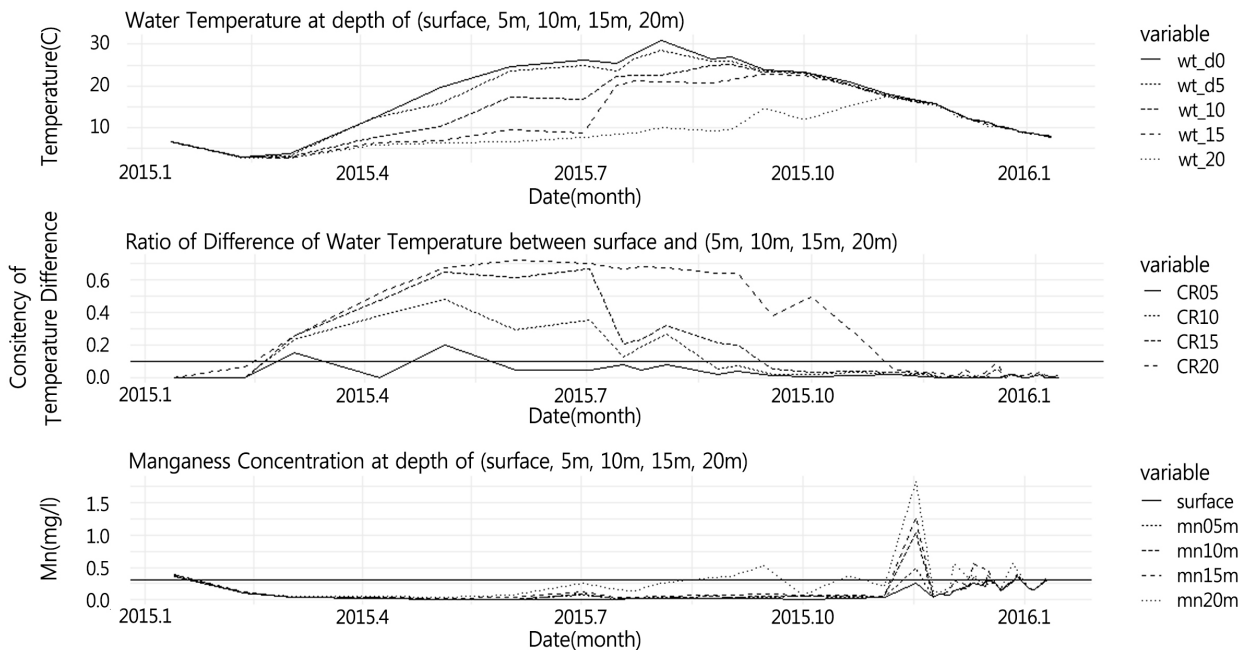
수면과 수심 15m 수온 일치도가 높아지는 9월 중순에도 수면부근까지 망간이 상승하는 전도현상은 발생하지 않음을 <Figure 3>에서 알 수 있다. 실제 수심별 수온 차이에 의한 전도현상으로 수면 부근까지 망간이 상승하려면

수심 20m 수온과 수면 수온의 일치도가 일정 값 이하가 되어야 함을 알 수 있었다. 수온 차이에 의한 물리적 전도 현상으로 수면 부근의 망간농도가 기준값(0.3mg/l)을 초과하는 11월 4일(이전 관측일 10월 20일) 관측에서 발생하였고 이 날 수면 망간농도는 0.25mg/l, 수심 5m는 1.03mg/l, 수심 10m는 1.27mg/l, 수심 15m는 1.27mg/l이었다.

수면과 수심별(5m, 10m, 15m) 수온차이를 예측변수로 하고 수심별(수면, 5m, 10m, 15m) 망간농도 기준값 초과 여부를 목표변수로 하여 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과 수면의 망간농도 기준값 초과여부에 수면과 수심 20m 수온 일치도만 유의수준 20%에서 유의하였다. 수면과 수심 20m 수온 일치도가 높아질수록(CR20 값이 낮아질수록) 수면의 망간농도가 기준값을 초과할 가능성은 높다.

$$(\text{수면망간농도} > 0.3)\text{여부} = 0.058 - 110.1 CR20$$

결론적으로 수면 부근의 망간농도가 기준값을 초과하는 시점은 수면과 수심 20m 수온 일치도에 의해 예측할 수 있음이 탐색되었다. <Table 5>는 수면, 수심 5m, 10m, 15m에서 망간농도가 0.3mg/l 초과하는 날의 수면과 수심별 수온 일치도(CR)의 최대값을 정리한 것이다. 수면과 수심 20m 수온 일치도가 0.022 이하에서 수면 망간농도는 기준값을 넘고 수심 10m까지 망간농도는 수면과 수심 20m 수온차이가 0.072 이하일 때 기준값(0.3mg/l)을 초과한다는 사실을 탐색할 수 있었다.



<Figure 3> Water Temperature, Ratio of Difference of Water Temperature Manganese Concentration(mg/l) at surface and depth of (5m, 10m, 15m, 20m)

<Table 5> Maximum of Consistency Ratios between the Surface and the Depth of (5m, 10m, 15m, 20m) when Manganese Concentration Goes over 0.3mg/l at the Surface and the Depth of (5m, 10m, 15m)

| Depth   | CR05  | CR10   | CR15  | CR20  |
|---------|-------|--------|-------|-------|
| Surface | 0.000 | 0.0128 | 0.013 | 0.022 |
| 5m      | 0.006 | 0.0182 | 0.045 | 0.072 |
| 10m     | 0.006 | 0.0182 | 0.045 | 0.072 |
| 15m     | 0.006 | 0.0182 | 0.053 | 0.097 |

위의 분석 결과 수면과 수심 15m까지 수온이 일치하여 전도현상이 발생하여도 바닥의 망간이 수면 부근으로 상승하지 않았다. 본 연구에서는 수온 차이에 의한 전도현상으로 인하여 수면 부근의 망간농도가 물관리 기준값까지 상승하는 시점을 예측하기 위하여 수면과 수심 20m 수온 일치도(CR20) 값을 예측하였고 수면 부근 망간농도가 수질관리 기준값을 초과하는 시점과 비교하였다.

수면과 수심 20m 수온 일치도, CR20을 목표변수로 하고 제 3.3절 연구결과 최적의 예측변수인 최대온도를 당일부터 시차 3일 전까지와 수온 일치도 시차 1일~3일을 예측변수로 하여 추정된 선형모형 결과를 <Table 6>에 제시하였다. 분석대상은 기간은 2015년 10월 1일부터 2016년 1월 18일까지 데이터이다. 전날부터 3일 전 수온 일치도는 모두 유의하였고 최대온도는 시차 1일만 유의하였으며 결정계수는 89.5%였다(유의수준 5%). 수면과 수심 20m 수온 일치도에 미치는 영향정도는 최대온도보다 수온 일치도 시차 변수가 높았고 시차 2의 수온 일치도 영향력이 가장 높았다.

<Table 6> Regression Result of CR20 on Max Temperature, their Lag Variables and Lag Variables of CR20

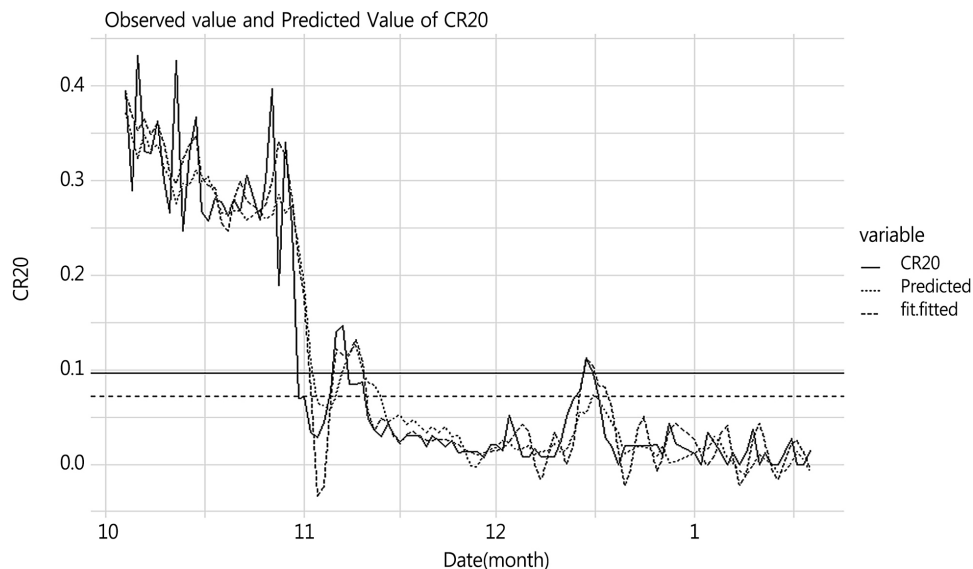
| Variables                | B      | stderr | STB   | T-value |
|--------------------------|--------|--------|-------|---------|
| intercept                | -0.024 | 0.010  | -     | -2.34   |
| Lag 1 of CR20            | 0.279  | 0.093  | 0.283 | 2.99    |
| Lag 2 of CR20            | 0.300  | 0.092  | 0.310 | 3.25    |
| Lag 3 of CR20            | 0.251  | 0.087  | 0.270 | 2.88    |
| Lag 1 of Max Temperature | 0.003  | 0.001  | 0.137 | 2.77    |

<Table 7> Fitted ARMA Results of First Difference of CR20

| Variables | AR1    | AR2    | MA1    | MA2    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Est.      | -0.119 | -0.486 | -0.480 | 0.898  |
| S.E.      | 0.0993 | 0.1223 | 0.0554 | 0.0718 |

CR20에 대한 모형추정을 위하여 Box and Jenkins 모형 [2]을 적용하였고  $ARIMA(2,1,2)$ 을 최적모형으로 추정하여 <Table 7>에 정리하였다(AIC = -368.1). 종속변수는  $CR20_t - CR20_{t-1}$ , 수면 수심 20m 수온 일치도 1차 차분 값이다. 선형모형의 MAPE는 57.3%, ARMA 모형은 62.2%로 선형모형의 예측력이 높았다.

<Figure 4>는 <Table 6>의 선형모형을 활용한 CR20 예측값(Predicted), <Table 7>의 시계열모형을 활용한 예측값(fit.fitted), 그리고 CR20 실측값에 대한 시간도표이다. 실선 참고선은 수심 15m 망간농도 0.3mg/l 기준값을 초과하는 경우 최대 CR20 값 0.097이며, 점선 참고선은 수심 5m~10m까지 망간농도가 기준값을 초과할 때 CR20 최대값 0.072이다(<Table 5> 참고).



<Figure 4> Fitted values with Regression Model and ARMA Model and Observed Value of CR20

CR20 관측값이 전도현상 발생 기준값 0.072 이하로 최초 떨어진 날은 10월 31일이며, 선형모형에 의해 예측된 시점은 4일 늦은 11월 3일이었고 ARMA 모형의 예측 시점은 11월 2일이었다. 수면 부근 망간농도가 물관리 기준값(0.3mg/l)을 최초 초과한 시점은 11월 4일이었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 2015년, 2016년 주암호 실증 데이터를 활용하여 비용 측면에서 경제성이 낮은 망간농도 규칙적으로 측정하지 않고 매일 자동 수집되는 최대기온, 수심별 수온을 활용하여 수면의 망간농도를 상승시키는 전도현상 시점을 예측하는 모형을 제안하였다.

수면에서 수심 20m까지의 망간농도와 수심별 수온 차이 시계열 분석을 통하여 수면 부근의 망간농도 상승과 수면과 수심 20m 수온 일치가 동일한 패턴을 가짐을 데이터 기반 탐색적 기법을 통하여 보였다. 그리고 기상현황과 수심별 수온과의 상관분석을 통하여 수온차이와 상관관계가 가장 유의하고 정확한 예측값을 얻을 수 있는 일별 최대기온을 예측모형의 예측변수로 선택하였다.

수면과 수심(5m, 10m, 15m, 20m) 수온 일치도와 수면, 수심 5m, 10m, 15m에서의 망간농도 기준값 초과여부에 대한 분석 결과 수면과 수심 20m 수온 일치도가 0.072 이하이면 수온 차이에 의한 전도현상에 의해 수심 5m까지 망간농도를 기준값 이상으로 상승하고 있고 있음을 탐색하였다.

수면과 수심 20m 수온 일치도를 목표변수로 하고 수온 일치도의 1일~3일 시차 관측값, 전일 최대기온을 예측변수로 추정된 선형예측모형이 ARMA 시계열 예측모형에 비해 예측력이 높았다. 수면 부근의 망간농도가 물관리 수준까지 상승한 시점은 11월 4일이었고 선형예측모형에 의해 예측된 수면과 수심 20m 일치도가 0.072이하가 되는 최초시점은 11월 3일이었다. 실제 망간농도의 상승을 전도현상 예측모형에 의해 예측한 요일은 1일 차이밖에 나지 않아 제안된 예측모형은 신뢰성은 높다.

본 연구는 한계는 수면과 수온 일치도 계산 시 어느 지점을 선택할지, 기상상황 유의변인 결정은 상수원의 지리적, 위치적 특성에 의존한다는 것과 데이터 기반 탐색적 분석 결과이므로 연구·제안된 예측모형의 활용성이 제한적이라는 것이다.

#### Acknowledgement

This study has been supported by 2017 Research Fund of Hannam University, Korea.

#### References

- [1] Bertone, E., Stewart, R.A., Zhang, H., and O'Halloran, K., Data Driven Statistical Model for Manganese Concentration Prediction in Drinking Water Reservoirs, *20<sup>th</sup> International Congress on Modelling and Simulation*, 2013, Adelaide, Australia.
- [2] Box, G. and Jenkins, G., *Time Series Analysis : Forecasting and Control*, San Francisco : Holden-Day, 1970.
- [3] Casella, G. and Berger, R.L., *Statistical Inference*, 2<sup>nd</sup> Ed., Duxbury Publication, 1990.
- [4] Chapra, S.C., *Surface water-quality modeling*, McGraw-Hill, New York, 1997.
- [5] Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani N., Afridi, R.A., Baig, J.A., and Shah B.Q., Assesment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques : A case study, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, Vol. 72, pp. 3010-309.
- [6] Kim, E.H., Parl, S.S., Choi, Y.S., and Ahn, K.H., Modeling Study of Seasonal Temperature Variations and Hydraulic Turnover in the Paldang Lake, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Proceedings of Spring Conference, 2001, pp. 249-250.
- [7] Kwon, S.H and Oh, H.S., Construction of Observational Locations for Measuring Water Quality in the River Area, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 3, pp. 187-191.
- [8] Kwon, S.W. and Yoo, C.S., Evaluation of Water Quality Monitoring Network Using Entropy Method, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, 2001, Vol. 21, No. B, pp. 501-509.
- [9] Kyoung, M.S., Kim, S.D., Kim, H.S., and Park, S.K., Statistical Water Quality Monitoring Network Design of Kyung-An Stream, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, 2006, Vol. 26, No. 3B, pp. 291-300.
- [10] Park, S.Y., Wang, S.K., Choi, J.H., and Park, S.S., Design of a Water Quality Monitoring Network in the Nakdong River using the Genetic Algorithm, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 2007, Vol. 23, No. 5, pp. 697-704.
- [11] Wang, S.K., Na, E.H., and Park, S.S., Object-oriented Design for Water Quality Monitoring Networks in the Han River System, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 2005, Vol. 27, No. 5, pp. 453-460.

#### ORCID

Sehyug Kwon | <https://orcid.org/0000-0001-6195-9141>