

## D 정수장 소독부산물 예측모델 선정

김성준 · 이형원 · 황정석 · 원찬희<sup>†</sup>

전북대학교 환경공학과

### Predictive Model Selection of Disinfection by-products (DBPs) in D Water Treatment Plant

Sung-Joon Kim · Hyeong-Won Lee · Jeong-Seok Hwang · Chan-Hee Won<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

(Received 26 November 2009, Revised 11 March 2010, Accepted 14 March 2010)

#### Abstract

For D-WTP's sedimentation basin and distribution reservoir, and water tap the predictive models proposed tentatively herein included the models for estimating TTHM concentration in precipitated water, for treated water and for tap water, and the estimated correlation formula between treated water's TTHM concentration and tap water. As for TTHM-concentration predictive model in sedimentation water, the coefficient of determination is 0.866 for best-fitted short-term DOC×UV<sub>254</sub> based Model (TTHM). As for HAA<sub>5</sub>-concentration predictive model in sedimentation water, the coefficient of determination is 0.947 for the suitable UV<sub>254</sub>-based model (HAA<sub>5</sub>). In case of the predictive model in treated water, the coefficient of determination is 0.980 for best-fitted DOC × UV<sub>254</sub> based model (TTHM) using coagulated waters, while the coefficient of determination is 0.983 for best-fitted DOC×UV<sub>254</sub> based model (HAA<sub>5</sub>) using coagulated waters, which described the HAA<sub>5</sub> concentration well. However, the predictive model for tap water could not be compatible with the one for treated water, only except for possibility inducing correlation formula for prediction, [i.e., the correlation formula between TTHM concentration and tap water was verified as TTHM (tap water) = 1.162 × TTHM (treated water), while HAA<sub>5</sub> (tap water) = 0.965 × HAA<sub>5</sub> (treated water).] The correlation analysis between DOC and KMnO<sub>4</sub> consumption by process resulted in higher relationship with filtrated water, showing that its regression is DOC = 0.669 × KMnO<sub>4</sub> consumption - 0.166 with 0.689 of determination coefficient. By substituting it to the existing DOC-based model (HAA<sub>5</sub>) for treated water, the consequential model formula was made as follows;

$$HAA_5 = 8.35(KMnO_4 \text{ consumption} \times 0.669 - 0.166)^{0.701} (Cl_2)^{0.577} t^{0.150} 0.9216^{(pH-7.5)} 1.022^{(Temp-20^\circ C)}$$

**keywords** : Drinking water treatment plant, HAA<sub>5</sub>, Model selection, Speciation, TTHM

## 1. 서론

소독제와 반응하는 소독부산물 전구물질 사이의 상호관계가 너무 복잡하기 때문에 소독부산물 농도예측 모델은 경험적인 방법으로 접근하고 있다. 이러한 모델링 방법은 실험실내에서 소독부산물 농도를 예측하기 위해 원수의 수질을 변화시키거나 혹은 반응조건을 변화시켜 도출된 데이터를 통계학적인 분석법을 사용하여 관계식을 산출하고 있다. 그러나 파일럿 규모에서의 예측농도는 실규모에서의 농도와는 여러 가지 요인으로 인해 차이를 보이고 있다. 국내 정수장에서도 공정별 소독부산물 전구물질 모니터링을 하고 있고, 정수지 및 수도꼭지수의 소독부산물 농도를 분석해서 소독부산물의 체계적인 관리에 노력하고 있다. 또한 많은 연구자들에 의하여 국내 정수장의 소독부산물의 분포

조사 및 통계학적인 분석을 수행하여 이들의 상관관계를 규명하고 적절한 모델과 보정계수에 대한 연구가 진행되고는 있지만 원수의 수질상태에 따른 수도꼭지에서의 소독부산물에 대한 농도 예측은 매우 제한적이다.

따라서, 본 연구에서는 D 정수장의 소독부산물 생성인자를 공정별로 모니터링하고, 정수처리공정별 및 수도꼭지수의 소독부산물 농도를 실측하여 실험실 규모에서 만들어진 예측 모델을 D 정수장 실규모에서의 소독부산물 예측 모델 적용가능성 여부를 판단하고 가장 적합한 모델을 공정별로 선정하고자 한다.

## 2. 연구 방법

소독부산물 예측 모델은 실험실 규모에서의 data를 활용하여 만들어져 있는데 이러한 예측 모델이 실규모에 적용 가능 여부와 예측 모델의 적용가능성을 크게 세부분으로 나누어 살펴 보았다. 첫째, 원수를 활용한 예측 모델을 적

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
ksjdck@empal.com

용하여 침전수의 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도와 비교를 통해 원수 예측 모델의 적용 가능성을 조사하였고, 둘째, 응집수 예측 모델을 적용하여 정수의 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도를 비교하여 처리수의 예측 모델의 적용 가능성을 조사하였고, 셋째, 응집수 예측 모델을 적용하여 배급수관에서의 예측 모델 적용가능성을 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 침전수의 소독부산물 예측 모델 선정

원수를 사용한 예측 모델은 DOC 기반 모델 (Amy et al, 1998), UV<sub>254</sub> 기반 모델 (Zhu, 1996), DOC×UV<sub>254</sub> 모델 (Zhu, 1996), 단기 DOC, DOC×UV<sub>254</sub> 모델 (Chowdhury, 2000)을 이용하여 simulation 해보았다. 원수의 브롬농도가 정량한계 미만이어서 예측 모델에서 제외하였고 원수에 전염소를 투입하는 공정이므로 접촉시간을 D 정수장의 침전지 말단까지의 이론적인 체류시간인 4시간을 적용하였다. 적용된 식과 조건은 다음과 같다.

$$\text{TTHM} = 10^{-1.385} (\text{DOC})^{1.098} (\text{Cl}_2)^{0.152} (\text{pH})^{1.601} t^{0.263} \quad (1)$$

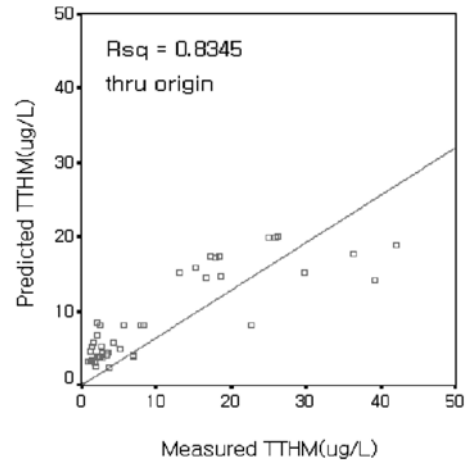
$$\text{TTHM} = 0.420 \times (\text{UV}_{254})^{0.482} (\text{Cl}_2)^{0.339} (\text{Temp})^{0.617} (\text{pH})^{1.609} t^{0.261} \quad (2)$$

$$\text{TTHM} = 0.283 \times (\text{DOC} \times \text{UV}_{254})^{0.421} (\text{Cl}_2)^{0.145} (\text{Temp})^{0.614} (\text{pH})^{1.606} t^{0.261} \quad (3)$$

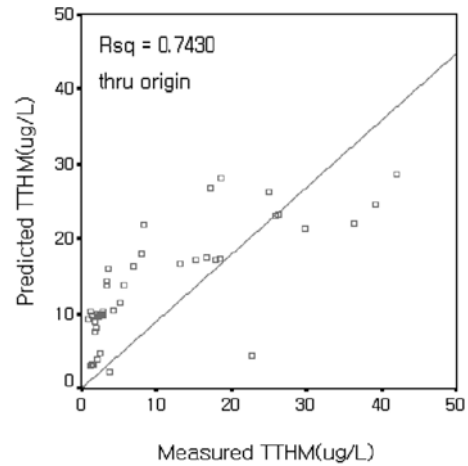
n = 53회

|               |                      |               |
|---------------|----------------------|---------------|
| 0.690 mg/L ≤  | DOC                  | ≤ 4.070 mg/L  |
| 0.0 mg/L ≤    | Cl <sub>2</sub> 주입농도 | ≤ 0.50 mg/L   |
|               | 반응시간 (hr)            | = 4.0 hr      |
| 7.0 ≤         | pH                   | ≤ 7.9         |
| 7.5 ≤         | 수온(°C)               | ≤ 26.9        |
| 0.0170 1/cm ≤ | UV <sub>254</sub>    | ≤ 0.0552 1/cm |

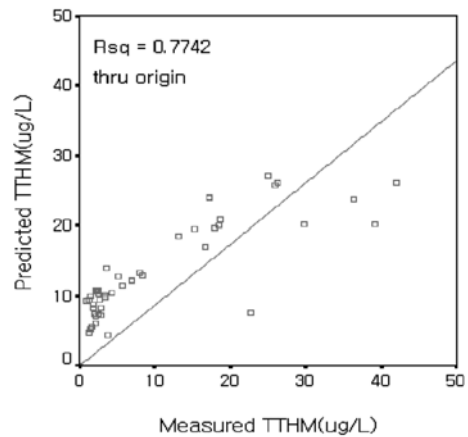
Fig. 1에서는 x 축은 침전수의 실측값이고 y축은 각각의 DOC 기반 모델, UV<sub>254</sub> 기반 모델, DOC×UV<sub>254</sub> 모델에 의한 원수데이터를 입력한 예측값을 나타내고 있다. 통계학적 수치인 R<sup>2</sup> (결정계수)은 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 모델 (TTHM)에서 각각 0.743, 0.834, 0.774 로 나타나고 있다. 결정계수 값이 0.5이상이라는 것은 이러한 모델을 적용하여 원수의 DATA를 입력하면 침전수의 TTHM 농도를 50% 이상 예측할 수 있다는 것을 나타낸다. 이 중에서 UV<sub>254</sub> 기반 모델의 결정계수가 0.834로 D 정수장의 침전수 예측 모델에 가장 적합하다. DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 모델(TTHM)의 접촉시간이 2~168 hr를 적용하여서 개발되었기 때문에 예측값들이 높게 나오므로 단기 DOC, DOC×UV<sub>254</sub> 모델(TTHM)은 접촉시간을 0.1~1 hr를 적용하여 개발되었다.



(a) Predicted DOC based TTHM



(b) Predicted UV<sub>254</sub> based TTHM



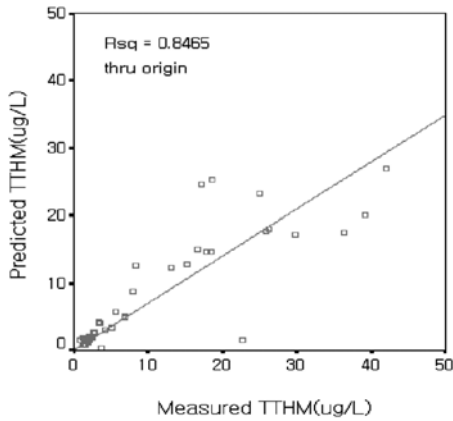
(c) Predicted DOC×UV<sub>254</sub> based TTHM

**Fig. 1.** Evaluation of (a) DOC, (b) UV<sub>254</sub>, (c) DOC×UV<sub>254</sub> based model (TTHM) for precipitated water.

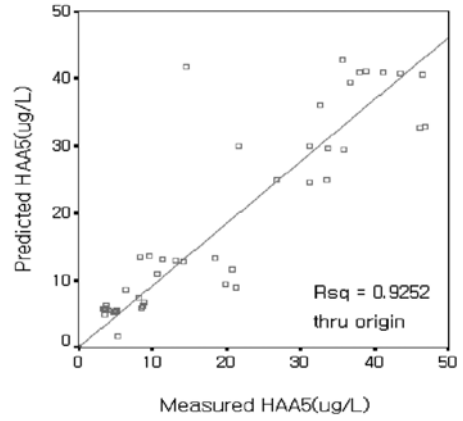
적용된 식은 다음과 같다.

$$\text{TTHM} = 0.00253 (\text{DOC})^{1.22} (\text{Cl}_2)^{0.442} (\text{Temp})^{1.34} (\text{pH})^{1.75} t^{0.34} \quad (4)$$

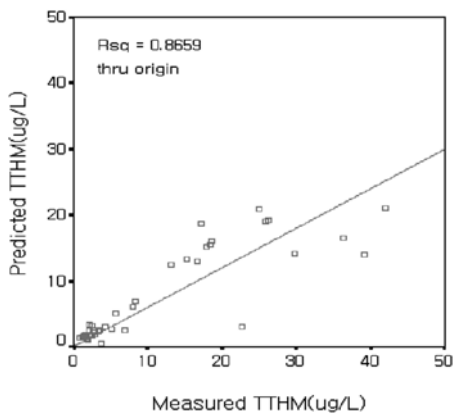
$$\text{TTHM} = 0.012 (\text{DOC} \times \text{UV}_{254})^{0.47} (\text{Cl}_2)^{0.48} (\text{Temp})^{1.10} (\text{pH})^{2.38} t^{0.35} \quad (5)$$



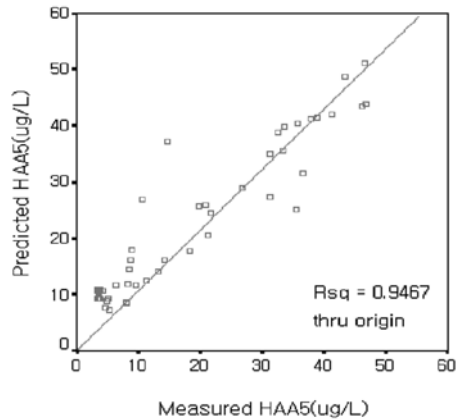
(a) Predicted short-term DOC based TTHM



(a) Predicted DOC based HAA<sub>5</sub>



(b) Predicted short-term DOC×UV<sub>254</sub> based TTHM



(b) Predicted UV<sub>254</sub> based HAA<sub>5</sub>

**Fig. 2.** Evaluation of Short-term (a) DOC, (b) DOC×UV<sub>254</sub> based Model (TTHM) for precipitated water.

Fig. 2에 나타난 것처럼 단기 DOC, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)의 결정계수 값이 각각 0.847, 0.866으로 나타나고 있다. DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)에 의한 예측값과의 결정계수보다 높게 나타나고 있다. 이는 전 염소를 투입하여 생성되는 소독부산물인 침전공정보다는 응집공정 이전에 형성이 되고 있다는 것을 간접적으로 나타내고 있다. 반응성 소독부산물 전구물질이 제거되기 전에 형성되어지는 것으로 생각된다. 그러므로 결정계수가 0.866으로 가장 높은 단기 DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)이 침전수의 TTHM 농도 예측에 가장 적합하다.

Fig. 3은 침전수의 HAA<sub>5</sub>와 예측 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>) 예측값과의 관계식과 결정계수 값을 보여 주고 있다. 여기에 사용된 모델식은 다음과 같다. 조건은 원수의 데이터로서 TTHM의 조건과 같다.

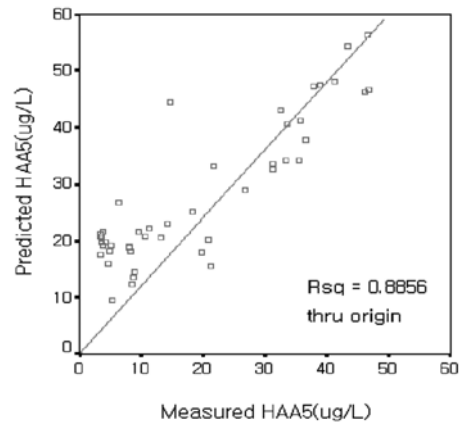
DOC 기반 모델 →

$$HAA_5 = 30.0(DOC)^{0.997}(Cl_2)^{0.278}(Temp)^{0.341}(pH)^{-0.799}t^{0.169} \quad (6)$$

UV<sub>254</sub> 기반 모델 →

$$HAA_5 = 373.3 \times (UV_{254})^{0.520}(Cl_2)^{0.34}(Temp)^{0.351}(pH)^{-0.788}t^{0.169} \quad (7)$$

DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델 →



(c) Predicted DOC×UV<sub>254</sub> based HAA<sub>5</sub>

**Fig. 3.** Evaluation of (a) DOC, (b) UV<sub>254</sub>, (c) DOC×UV<sub>254</sub> based model (HAA<sub>5</sub>) for precipitated water.

$$HAA_5 = 196.0 \times (DOC \times UV_{254})^{0.423}(Cl_2)^{0.188}(Temp)^{0.342}(pH)^{-0.797} \quad (8)$$

DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)과 침전수 HAA<sub>5</sub> 농도와 결정계수 값은 각각 0.925, 0.947, 0.886으로 TTHM 예측 모델보다 HAA<sub>5</sub> 예측 모델이 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이 중 결정계수 값이 0.947로 가장 높은 UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)이 침전수의 HAA<sub>5</sub> 농도 예측에 가장 적합하다.

3.2. 정수의 소독부산물 예측 모델 선정

정수에 대한 예측 모델의 적용은 3.1절에서 사용한 모델을 그대로 적용할 수 없다. 예측값이 높게 나타난다. 이는 원수와 정수의 소독부산물 전구물질의 반응성 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 그러므로, 정수 예측 모델은 응집수의 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델을 이용하여 예측 모델을 평가해 보았다. 공정별 소독부산물 발생 특성을 보면 여과공정에서의 TTHM 과 HAA<sub>5</sub>의 농도 증가는 무시해도 좋을 정도이다. 그러므로 정수지에서의 TTHM과 HAA<sub>5</sub>의 증가분은 정수의 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도에서 여과수의 농도를 각각 빼주면 된다. 이 증가분을 실측값으로 하고 응집수의 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델을 이용하여 여과수의 DOC, UV<sub>254</sub> 등의 데이터를 입력하여 나온 예측값의 결정계수를 이용하여 정수의 소독부산물 예측 모델의 적용 가능 여부를 판단하였다. 적용된 모델식과 조건은 다음과 같다.

$$\text{DOC 기반 모델} \rightarrow \text{TTHM} = 3.296(\text{DOC})^{0.801}(\text{Cl}_2)^{0.261,0.264}t^{1.1560}(\text{pH}-7.5)1.0263^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (9)$$

$$\text{UV}_{254} \text{ 기반 모델} \rightarrow \text{TTHM} = 75.7 \times (\text{UV}_{254})^{0.593}(\text{Cl}_2)^{0.332,0.264}t^{1.1560}(\text{pH}-7.5)1.0263^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (10)$$

$$\text{DOC} \times \text{UV}_{254} \text{ 기반 모델} \rightarrow \text{TTHMs} = 23.9 \times (\text{DOC} \times \text{UV}_{254})^{0.403}(\text{Cl}_2)^{0.225,0.264}t^{1.1560}(\text{pH}-7.5)1.0263^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (11)$$

n = 53회

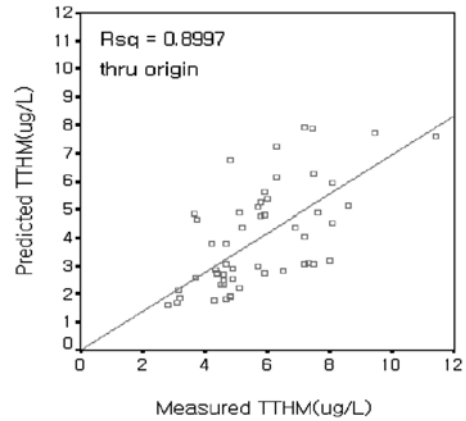
|             |   |                       |   |             |
|-------------|---|-----------------------|---|-------------|
| 0.430 mg/L  | ≤ | DOC                   | ≤ | 2.329 mg/L  |
| 0.7 mg/L    | ≤ | Cl <sub>2</sub> 주입 농도 | ≤ | 1.2 mg/L    |
| 2.29 hr     | ≤ | 반응시간 (hr)             | ≤ | 4.0 hr      |
| 6.90        | ≤ | pH                    | ≤ | 7.61        |
| 7.4         | ≤ | 수온(°C)                | ≤ | 26.8        |
| 0.0170 1/cm | ≤ | UV <sub>254</sub>     | ≤ | 0.0552 1/cm |

Fig. 4는 정수 예측 모델은 응집수의 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델과 정수지에서의 TTHM 형성농도와의 관계식과 결정계수 값을 보여 주고 있다. 결정계수 값은 각각 0.899, 0.977, 0.980으로 나타나고 있다. DOC × UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)의 결정계수 값이 0.980으로 정수의 예측 모델에 가장 적합하다.

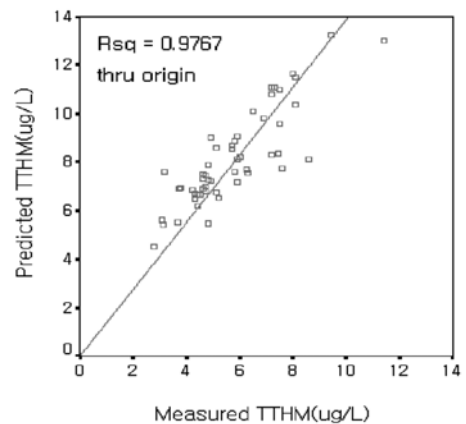
Fig. 5에서는 HAA<sub>5</sub>의 응집수의 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델의 관계식과 결정계수 값이 나타나 있다. 적용된 식은 다음과 같다.

$$\text{DOC 기반 모델} \rightarrow \text{HAA}_5 = 8.35(\text{DOC})^{0.701}(\text{Cl}_2)^{0.577,0.150}t^{0.9216}(\text{pH}-7.5)1.022^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (12)$$

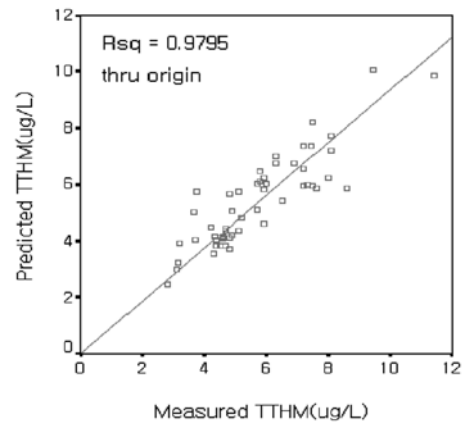
$$\text{UV}_{254} \text{ 기반 모델} \rightarrow \text{HAA}_5 = 89.4 \times (\text{UV}_{254})^{0.447}(\text{Cl}_2)^{0.696,0.150}t^{0.9216}(\text{pH}-7.5)1.022^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (13)$$



(a) Predicted DOC based TTHM



(b) Predicted UV<sub>254</sub> based TTHM

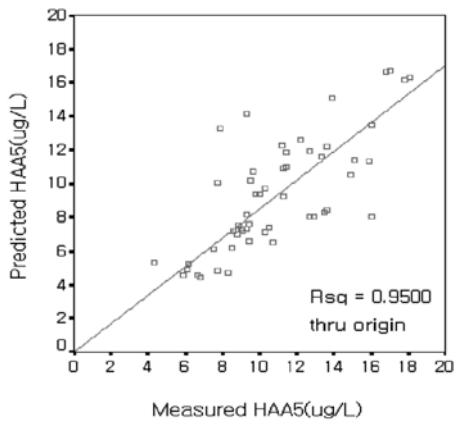


(c) Predicted DOC×UV<sub>254</sub> based TTHM

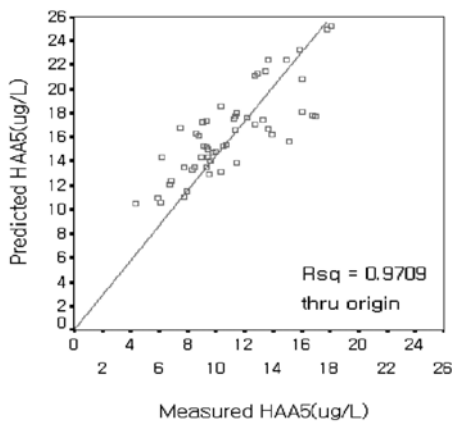
Fig. 4. Evaluation of (a) DOC, (b) UV<sub>254</sub>, (c) DOC×UV<sub>254</sub> based model (TTHM) for treated waters.

$$\text{DOC} \times \text{UV}_{254} \text{ 기반 모델} \rightarrow \text{HAA}_5 = 41.6 \times (\text{DOC} \times \text{UV}_{254})^{0.328}(\text{Cl}_2)^{0.585,0.150}t^{0.9216}(\text{pH}-7.5)1.022^{(\text{Temp}-20^\circ\text{C})} \quad (14)$$

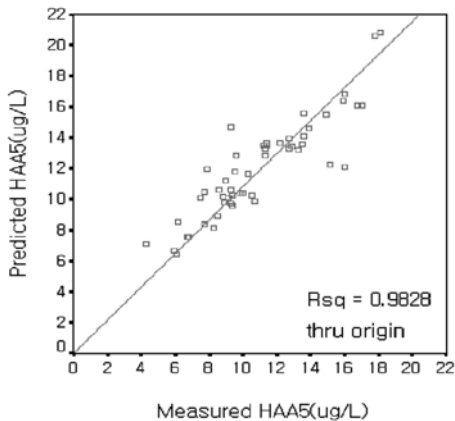
결정계수 값은 각각 0.950, 0.971, 0.983으로 모두 적용이 가능하게 나오고 있다. 이 중에서 응집수의 DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)이 결정계수값이 0.983으로 가장 적합한 모델로 나타났다.



(a) Predicted DOC based HAA<sub>5</sub>



(b) Predicted UV<sub>254</sub> based HAA<sub>5</sub>

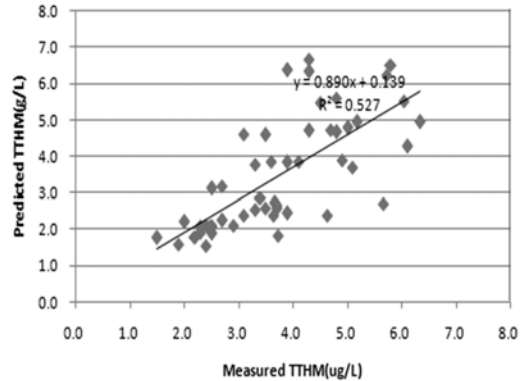


(c) Predicted DOC×UV<sub>254</sub> based HAA<sub>5</sub>

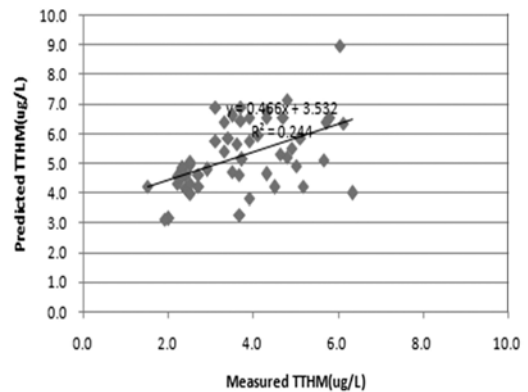
**Fig. 5.** Evaluation of (a) DOC, (b) UV<sub>254</sub>, (c) DOC×UV<sub>254</sub> based model (HAA<sub>5</sub>) for treated waters.

**3.3. 수도꼭지수의 소독부산물 예측 모델 선정**

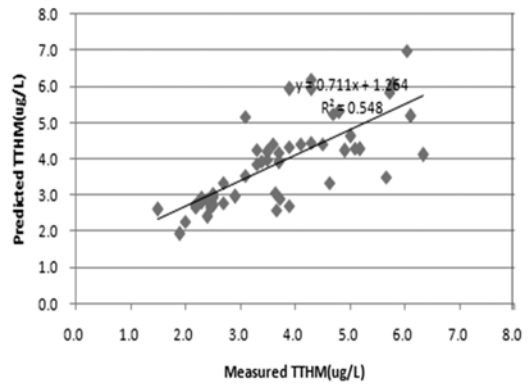
급수구역의 말단에 채수지점 한 곳을 선정하여 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도를 측정하였다. 급수구역의 말단이기 때문에 접촉시간이 가장 길어서 다른 지점의 수도꼭지수는 그 지점 이하의 소독부산물 농도를 나타낼 것이라는 가정을 하였다. 예측 모델은 정수의 DOC, UV<sub>254</sub> 등을 3.2절에서 사용한 응집수의 DOC, UV<sub>254</sub>, DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델을 사용하였다. 급수관에서 형성되는 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도는 수



(a) Predicted DOC based TTHM



(b) Predicted UV<sub>254</sub> based TTHM



(c) Predicted DOC×UV<sub>254</sub> based TTHM

**Fig. 6.** Evaluation of (a) DOC, (b) UV<sub>254</sub>, (c) DOC×UV<sub>254</sub> based model (TTHM) for tap waters.

도꼭지수에서 정수의 각각의 농도값을 빼어 주어 그 값을 측정값으로 하였다.

Fig. 6에서 나타난 것처럼 결정계수 값이 0.527, 0.244, 0.548로 수도꼭지수 예측 모델로 적용하기엔 무리가 있었다. 위에서 소독부산물 생성인자를 정수와 수도꼭지수 두개를 비교한 결과 물리화학적 생성인자 및 NOMs의 지표항목이 거의 변화가 없었다. 이러한 점에 착안하여 정수의 TTHM 및 HAA<sub>5</sub> 농도와 수도꼭지수의 각각의 농도의 선형적인 관계식을 유도하였다.

Fig. 7을 살펴보면 정수와 수도꼭지수의 TTHM 농도는 강한 양의 상관관계를 갖고 있다. 정수와 수도꼭지수의 상

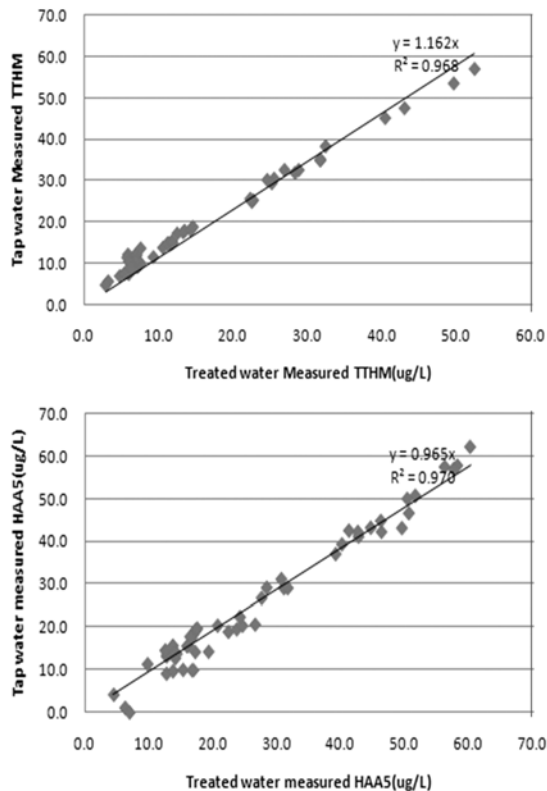


Fig. 7. Correlation equation between treated waters and tap waters.

대적인 농도를 분석하기 위해 원점을 지나는 관계식으로 나타내었다.  $y=1.162x$ 의 관계식이 나왔는데 정수의 TTHM 농도가 1이면 수도꼭지수의 TTHM 농도가 1.162임을 나타내고 있다. 결정계수도 0.968로  $y=1.162x$ 라는 식을 이용하여 96.8% 정확성을 갖는다는 의미이다. HAA<sub>5</sub>의 관계식은  $y=0.965x$ 로 나타나고 있다. Fig. 7에 나타난 것처럼 정수의 HAA<sub>5</sub> 농도보다 수도꼭지수의 HAA<sub>5</sub> 농도가 0.965배 작은 것으로 나타나고 있다. 결정계수도 0.970로 상당히 높은 상관관계를 갖고 있다.

#### 3.4. D 정수장의 소독부산물 예측 모델의 개발

D 정수장의 정수처리공정별 소독부산물 생성인자를 비교해 보았을 때 공정 중의 생성인자의 주요한 제한인자로는 DOC 농도, 염소투입량(전염소, 후염소), 접촉시간으로 나타나고 있다(신초롱 등, 2007). 이 중 DOC의 농도가 D 정수장의 소독부산물의 정수처리공정별 생성인자 중 가장 많이 영향을 주고 있다. 이는 신초롱 등(2007), 이동석 등(2004)의 연구 결과와 유사하다. 또한 이 결과는 예측 모델식의 지수의 크기를 통하여 확인할 수 있다. 가장 중요한 생성인자인 DOC 농도는 가장 대표적인 소독부산물 전구물질의 지표항목이며, 이러한 전구물질을 나타내는 지표항목은 DOC 이외에도 많은 지표항목들이 있다. 이들간의 상호관계는 유입원수의 특징이라 할 수 있다. 이런 점에 착안하여 유기물질간의 산점도와 상관계수를 토대로 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이에 상관성에 주목하였다. 유기물의 지

표항목인 DOC 농도 및 KMnO<sub>4</sub> 소비량과의 상관성을 분석하였다. 이 결과를 토대로 D 정수장의 예측 모델에 DOC 농도 대신 KMnO<sub>4</sub> 소비량에 의한 예측식을 개발하였다.

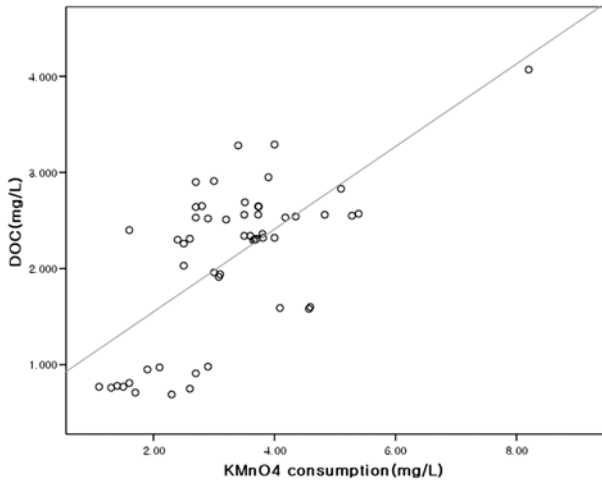
##### 3.4.1. DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량의 상관분석

DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량의 상관분석은 통계패키지인 Statistical Package for the Social Sciences(SPSS)를 이용하였으며 산점도를 이용하여 분포 형태를 파악하고 상관계수를 구하여 통계학적인 유의성을 분석하였다. 선형관계가 확인된 경우에 선형 회귀식을 산출하였다.

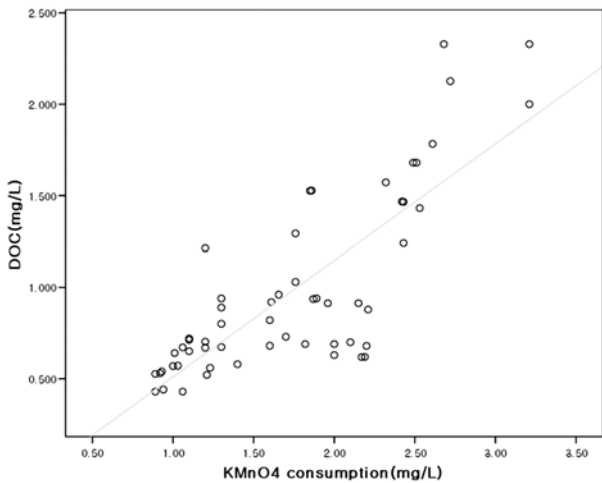
Fig. 8에서는 조사대상 기간동안의 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이의 산점도를 원수, 여과수, 정수에 대하여 나타냈다. 산점도를 통하여 분포형태를 파악하고 이상점을 찾아서 제외 시키고자 하였다. 원수에서는 약간의 양의 선형 분포를 보이고 있으며, 여과수에서는 강한 양의 선형 분포를 보이고 있다. 하지만 정수에서는 일정한 분포보다는 산재되어 있는 분포를 보이고 있다. Table 1, 2, 3에서는 SPSS를 통한 상관분석표를 원수, 여과수, 정수로 각각 나타내었다. Pearson의 상관계수를 분석하였으며, 유의확률(P value)은 상관분석한 귀무가설의 채택 및 기각을 결정하는 항목이다. 만약에 99% 신뢰수준에서 유의확률이 0.010보다 클 경우 귀무가설은 채택되고, 0.010보다 작을 경우 귀무가설을 기각한다. 여기에서 귀무가설이라는 것은 'DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이에 기울기는 0이다'라는 것이다. 즉, 둘 사이에는 관계를 설명할 수 없다는 뜻이다. 여기에선 유의 확률이 원수, 여과수, 정수에서 모두 0.000으로 귀무가설이 기각되어 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이에는 기울기가 0이 아니며 둘 사이의 관계를 설명할 수 있다. 따라서 상관계수의 결과가 유의하다. 원수, 여과수, 정수에서의 상관계수가 각각 0.662, 0.830, 0.540으로 나타나고 있다. 원수에서는 양의 상관관계를 보여주고 있으며, 여과수에서도 같은 상관관계를 나타내고 있음을 나타낸다. 정수에서의 상관계수도 유의한 결과를 나타내는 것으로 SPSS 분석결과는 나타나고 있지만, Fig. 8에 나타난 것처럼 일정한 상관관계를 갖고 있다고 말할 수 없다. 그러므로, 원수와 여과수에 대하여 선형회귀 분석을 통한 선형 회귀식을 산출할 수 있다. 하지만, 정수에 대하여는 선형 회귀식을 산출하여도 유의한 결과를 얻을 수 없다. 상관분석을 토대로 원수에서의 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이의 회귀분석식은  $DOC = 0.430 \times KMnO_4 \text{ 소비량} + 0.690$ 이며, 결정계수 값은 0.438로 분석되었다. 결정계수 값이 너무 낮아서 원수의 KMnO<sub>4</sub> 소비량으로는 DOC의 변화량을 설명할 수 없다. 여과수의 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이의 회귀분석식은  $DOC = 0.669 \times KMnO_4 \text{ 소비량} - 0.166$ 이며, 결정계수 값은 0.689로 분석되었다. 여과수에서는 KMnO<sub>4</sub> 소비량으로 DOC의 변화 정도를 68.9%의 정확도로 표현할 수 있다.

##### 3.4.2. KMnO<sub>4</sub> 소비량에 의한 정수 예측 모델의 평가

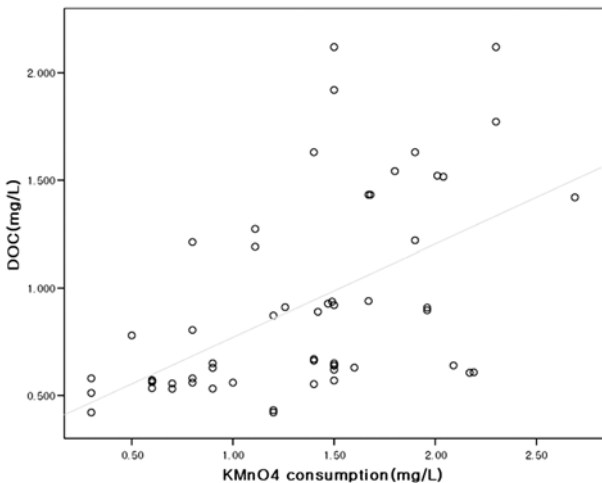
3.4.1에서의 상관분석 및 회귀분석을 통하여 여과수의 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이의 유의한 회귀분석식을 산출



(a)



(b)



(c)

**Fig. 8.** Relationship between DOC and KMnO<sub>4</sub> consumption for (a) raw water, (b) filtration water, (c) treated water.

하였다. DOC = KMnO<sub>4</sub> 소비량 × 0.669 - 0.166이라는 회귀식에 여과수의 KMnO<sub>4</sub> 소비량을 대입하여 DOC를 산출하고 응집수의 DOC 기반 모델(Amy et al, 1998)에 산출된 DOC 값을 입력하였다. 조사대상 기간 동안의 다른 변수는

**Table 1.** Pearson coefficient of correlation between DOC and KMnO<sub>4</sub> consumption for raw water

|     | DOC                                | KMnO <sub>4</sub> consumption |
|-----|------------------------------------|-------------------------------|
| DOC | Pearson coefficient of correlation | 1                             |
|     | P value                            | 0.000                         |
|     | N                                  | 53                            |

**Table 2.** Pearson coefficient of correlation between DOC and KMnO<sub>4</sub> consumption for filtration water

|     | DOC                                | KMnO <sub>4</sub> consumption |
|-----|------------------------------------|-------------------------------|
| DOC | Pearson coefficient of correlation | 1                             |
|     | P value                            | 0.000                         |
|     | N                                  | 53                            |

**Table 3.** Pearson coefficient of correlation between DOC and KMnO<sub>4</sub> consumption for treated water

|     | DOC                                | KMnO <sub>4</sub> consumption |
|-----|------------------------------------|-------------------------------|
| DOC | Pearson coefficient of correlation | 1                             |
|     | P value                            | 0.000                         |
|     | N                                  | 53                            |

정수 예측 모델을 평가 할때와 마찬가지로 그대로 입력하였다. 예측에 이용된 식과 조건은 다음과 같다.

$$TTHM = 3.296(KMnO_4 \text{ 소비량} \times 0.669 - 0.166)^{0.801}(Cl_2)^{0.261}t^{0.264}1.1560^{(pH-7.5)}1.0263^{(Temp-20^\circ C)} \quad (15)$$

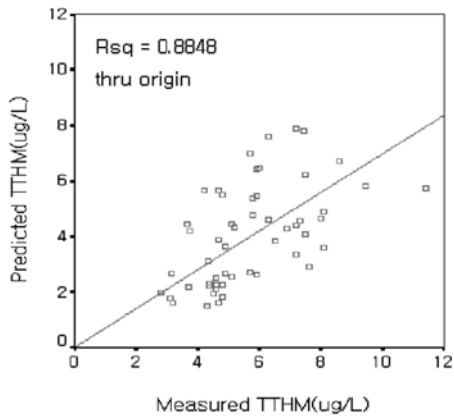
$$HAA_5 = 8.35(KMnO_4 \text{ 소비량} \times 0.669 - 0.166)^{0.701}(Cl_2)^{0.577}t^{0.150}0.9216^{(pH-7.5)}1.022^{(Temp-20^\circ C)} \quad (16)$$

n = 53회

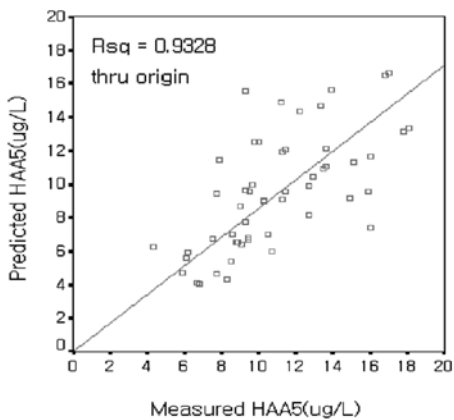
- 0.7 mg/L ≤ KMnO<sub>4</sub> 소비량 ≤ 3.6 mg/L
- 0.7 mg/L ≤ Cl<sub>2</sub> 주입 농도 ≤ 1.2 mg/L
- 2.29 hr ≤ 반응시간 (hr) ≤ 4.0 hr
- 6.90 ≤ pH ≤ 7.61
- 7.4 ≤ 수온 (°C) ≤ 26.8

위의 식에 대입하여 얻어진 예측값을 y축으로 하고 조사 대상 기간 동안의 정수의 실측값을 x축으로 하여 예측 모델을 평가해 보았다.

Fig. 9에서는 KMnO<sub>4</sub> 소비량 기반 모델(TTHM and HAA<sub>5</sub>)에 대한 결정계수 값이 나타나 있다. TTHM 및 HAA<sub>5</sub>에 대한 KMnO<sub>4</sub> 소비량 기반 모델의 결정계수는 각각 0.885, 0.933으로 나타나고 있다. TTHM에 대해서는 88.5%의 정확성을 갖고 있다. 또한 HAA<sub>5</sub>에 대해서는 93.3%의 정확성을 갖는다. 결정계수 값이 상당히 높다고 할 수 있다. 정수예측 모델인 응집수의 DOC 기반 모델(Amy et al., 1998)의 결정계수 값이 0.899였던 것과 비교하여 TTHM에 대하여 1.4% 정도의 상관성이 낮아졌다. HAA<sub>5</sub>에 대하여는 원래 95.0%의 정확성에 비교하여 1.7%



(a) Predicted KMnO<sub>4</sub> consumption based TTHM



(b) Predicted KMnO<sub>4</sub> consumption based HAA<sub>5</sub>

**Fig. 9.** Evaluation of KMnO<sub>4</sub> consumption based model (TTHM and HAA<sub>5</sub>) for treated water.

의 설명력을 잃었다. 두가지 경우 모두 실제 예측 모델로의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

침전수 TTHM 농도 예측 모델, 정수의 예측 모델, 수도꼭지수의 예측 모델, 정수의 TTHM 농도와 수도꼭지수의 관계식과의 상호 관계식을 도출하여 예측하여 보았다.

침전수 TTHM 농도 예측 모델은 결정계수가 0.866으로

가장 높은 단기 DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)이 적합한 것으로 판명되었다. 침전수 HAA<sub>5</sub> 농도 예측 모델은 결정계수 값이 0.947로 가장 높은 UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)이 가장 적합하였다. 정수의 예측 모델은 응집수를 이용하여 만들어진 DOC × UV<sub>254</sub> 기반 모델(TTHM)이 결정계수 값이 0.980으로 정수의 예측 모델에 가장 적합하다. 응집수의 DOC×UV<sub>254</sub> 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)의 결정계수 값이 0.983으로 정수의 HAA<sub>5</sub> 농도예측에 가장 적합한 모델로 나타났다. 수도꼭지수의 예측 모델은 정수에 사용하였던 예측 모델을 적용할 수 없었으며, 상호 관계식을 도출하여 예측이 가능하였다. 정수의 TTHM 농도와 수도꼭지수의 관계식은 TTHM(수도꼭지수) = 1.162 × TTHM(정수)이었다. HAA<sub>5</sub>(수도꼭지수) = 0.965 × HAA<sub>5</sub>(정수)로 관계식이 도출되었다.

또한, 공정별 DOC와 KMnO<sub>4</sub> 소비량 사이의 상관분석을 한 결과 여과수의 상관성이 높게 나왔으며, 그에 따른 회귀식은 DOC = 0.669 × KMnO<sub>4</sub> 소비량 - 0.166이며, 결정계수 값은 0.689로 분석되었다. 기존 처리수의 DOC 기반 모델(HAA<sub>5</sub>)에 산출식을 대입하여 다음과 같은 모델식을 개발하였다.

$$HAA_5 = 8.35(KMnO_4 \text{ 소비량} \times 0.669 - 0.166)^{0.701} (Cl_2)^{0.577} t^{0.150} 0.9216^{(pH-7.5)} 1.022^{(Temp-20^\circ C)}$$

#### 참고문헌

신초롱, 손진식, 정창호, 한지희(2007). 국내 정수장 유출수 소독부산물(THMs와 HAA<sub>5</sub>)의 상관관계 연구. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 202-208.

이동석, 민병섭, 박선구, 김정화, 류재근(2004). 정수장에서 소독부산물의 생성특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 55-62.

Amy, G., Siddiqui, M., Ozekin, K., Zhu, H. W., and Wang, C. (1998). Empirically based models for predicting chlorination and ozonation by-product: haloacetic acids, chloral hydrate, and bromate. *EPA Report CX*, 819579.

Zhu, H. W. (1996). Modeling the effects of coagulation on chlorination by-product formation. University of Colorado, Ph D thesis.