

## 반변천 상류지역 토양성분의 유입이 임하호 탁도에 미치는 영향

### Effects of Soil Components Flowed from Upper Banbyun Stream on Turbidity of Imha Reservoir

서울원<sup>†</sup> · 김연정\* · 황해연\*\* · 김현택\*\* · 백승철\*\*\* · 김종식\*\*\*\*

Seo, Eulwon<sup>†</sup> · Kim, Younjung\* · Hwang, Haeyeon\*\* · Kim, Hyunmc\*\* · Baek, Seungcheol\*\*\* · Kim, Jongsik\*\*\*\*

#### Abstract

This paper analyzed elution and ingredients of soil components which consist of soil and rocks in 6 regions in Yeongyang and Cheongsong to identify substantial matters that cause muddy water in Imha reservoir. We identified that more than 80% of major ingredients in collected soil and rocks are vermiculite(V), illite(I), kaolinite(Ka), quartz(Q), feldspar(F). Sodium and calcium are eluted in large quantities from soil of Sanseong and Cheongki. When calcium is in contact with water, much ions are eluted rapidly. We confirmed these ions are alkali minerals rising pH. We consider clay components distributed in Yeongyang as major cause of muddy water and rising pH of Imha reservoir because its ingredient calcite easily is dissolved in rainwater and splits other mineral particles into  $\mu\text{m}$  sized particles.

**Keyword** : Soil Components, Muddy Water, Calcite, Imha Reservoir

#### 요 지

임하호의 고탁도 유발물질에 대한 근본원인물질을 규명하기 위하여 영양과 청송 6개 지역 시료에 포함되어 있는 토양 성분의 용출성과 성분을 분석하였다. 채취된 시료의 주성분을 분석해 보면 vermiculite(V), illite(I), kaolinite(Ka), quartz(Q), feldspar(F)가 전체의 80% 이상을 차지하고 있는 것으로 확인되었다. 산성과 청기지역의 토양에서는 Na와 Ca이 대량 용출되었으며, 특히 Ca는 수계와 접촉 시 이온의 용출이 급격히 이루어지며 이때 용출된 이온이 pH를 상승시키는 알칼리성 성분으로 확인되었다. 영양일대에 위치한 점토질 토양 중에는 calcite 성분이 포함되어 있어 강우 시 수분에 의해 쉽게 용해되며 이로 인하여 토양 입자들을 수  $\mu\text{m}$  크기로 분리시키는 작용을 수반하고 있어서 임하호의 고탁도 발생과 pH 상승의 주요 원인으로 작용할 것으로 사료된다.

**주요어** : 토양성분, 탁수, Calcite, 임하호

† 비회원, 안동대학교 생명과학과 교수 (E-mail : seo@andong.ac.kr)

\* 비회원, 안동대학교 화학과 대학원

\*\* 비회원, 안동대학교 생명과학과 대학원

\*\*\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\* 비회원, 안동대학교 생명과학과 교수

# 1. 서론

최근 탁수는 우리나라 수자원의 이용과 환경적 측면에서 사회적 문제로 대두되고 있다. 호수 및 하천의 탁수현상은 강우시 자연적으로 발생하는 현상이며, 강우종료 후 수일 내에 정화되는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 임하호의 경우, 2001년까지 최고 100~250 NTU의 탁도를 유지하던 것이 2002년, 2003년 두 해에 걸쳐 태풍 루사와 매미 발생 이후 탁도는 최고 1,221 NTU까지 상승하였고 동시에 연중 고탁도가 최근까지 지속되고 있는 실정이다(이용곤 등, 2005; 정선아 등, 2004). 이와 같은 현상은 임하호 일대의 지질학적 구조가 53% 이상의 세일, 실트암, 사암 및 화산쇄설물로 구성되어 있어 강우발생시 0.5~10 $\mu$ m의 탁수입자가 쉽게 형성되어 호수내로 유입되기 때문이며, 점토성 토양에 의해 발생된 입자들은 호수 내에서 쉽게 침전되지 않아 연중 고탁수를 유발시키는 또 하나의 원인으로 분석되고 있다(이근상 등, 2004).

임하호 탁수문제는 관광자원의 폐허화를 비롯한 경제활동의 위축, 하류지역 정수장의 처리 비용 증가 등 수자원의 효용가치를 저감시키는 문제를 야기하고 있다(신재기 등, 2004). 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 낙동강 상류지역에 분포하고 있는 암석 및 토사가 임하호 탁수 현상에 미치는 영향을 조사하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으나(전홍진 등, 2004), 지질학적 특성을 고려한 근본적인 원인물질의 규명에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 임하호의 고탁도 유발 물질에 대한 근본 원인물질을 규명하기 위하여, 영양과 청송 일대 지역의 토양 성분의 특성을 비교 분석하였다. 또한 이와 같은 토양 성분이 수계에 유입되었을 경우, 반응성과 입자의 거동 상태를 조사함으로써, 탁수 발생 원인물질들이 수계에 유입 시 나타나는 화학반응과 부유입자

에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

# 2. 재료 및 방법

## 2.1 시료 채취

본 실험에 사용한 시료는 그림 1에서 보는바와 같이 임하호 탁수의 근원지로 생각되는 영양과 청송 지역의 산성, 금천, 청기, 임천, 입암, 부일 등 6개 지역의 절개지에서 채취한 시료를 대상으로 하였다. 시료 채취시 절개지 중심부에 위치한 토양 및 0.5~1 kg 정도의 암석을 각기 5개 샘플씩 취하였다. 각 지역에서 채취한 토양과 암석은 60 °C에서 8시간 건조하여 파쇄 후, 실험에 사용하였다.

## 2.2 방법

각 지역별 토양 성분이 수중에 유입시 미치는 영향을 조사하기 위하여 교반기가 부착된 300 ml Teflon 반응 용기를 이용하여 광물질의 용출 실험과 용출액이 입자에 미치는 Zeta-potential을 측정 하였다. 각각 3~5 mm 광물질 50 g과 증류수 250 ml을 혼합하여 100 rpm으로 반응기 내부의 물이 빠르게 순환될 수 있도록 함으로서 토양 및 암석 내 물질이 자연적으로 용출될 수 있도록 하였다. 이 반응기 내에서 각각의 토양 성분에 대하여 이온 용출을 conductivity로 확인 하였으며, 용출되어진 이온들에 의한 수중의 pH 변화는 pH meter를 이용하여 실시간 분석하였다. pH 변화가 더 이상 진행되지 않은 시점에서 상등액을 GF/C 여지로 필터 후, ICP/AES (Spectro, Flame Modula S)를 이용하여 무기원소를 분석하였다(최종명 등, 2005).

토양 성분 중에 pH 상승의 주요 원인이 되는 요인을 분석하기 위하여 시료를 산처리하여 비교 분석 하였다. 산성 지역의 토양과 암석을 25  $\mu$ m로

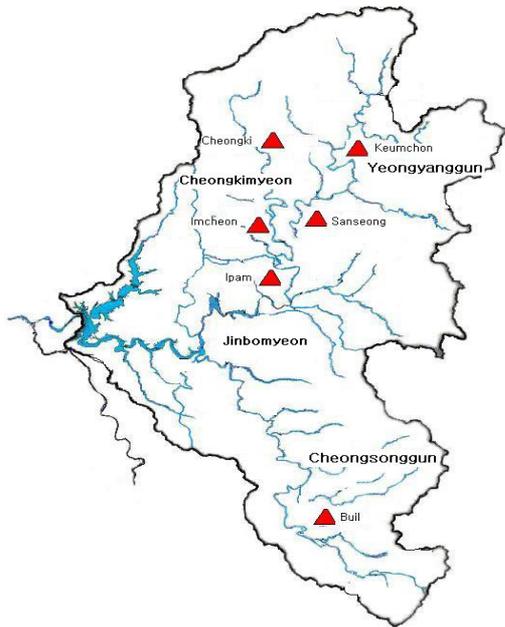


그림 1. 시료채취 지점

과쇄하여 10 g을 취한 후, 알칼리 성분을 제거하기 위해 0.1N HCl 200ml 하에서 8시간 산처리를 행하였다. 산처리한 시료는 증류수로 수차례 세척하였으며, 이때 시료의 pH가 6~7로 유지될 때 까지 시행하였다. 이와 같은 방법으로 처리된 시료는 XRD 분석을 통하여 알칼리 성분을 제거하기 전과 후의 성분상의 차이를 비교함으로써 pH상승의 원인 물질을 규명하였다(강성호 등, 2005).

토양 및 암석으로부터 용출되는 이온이 수계로 유입시 부유입자에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Zeta-potential analyzer (Matec, ESA-9800)를 사용하였다. 각각의 토양 및 암석을 증류수 500 ml에 50 g을 분산시키고 100 rpm으로 교반시켜 6시간 용출시킨 후 거름종이로 여과하였다. 여과된 용액 294 g에 Zeta-potential analyzer의 standard Silica solution (Ledux 50wt) 6g을 주입하여 주파수 1.16 MHz로 측정함으로써 토양 및 암석의 용출액이 입자의 하전력에 미치는 영향을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 토양 및 암석의 성분 분석

토양 및 암석에 함유된 주요 성분에 따라 수중에 유입시 나타나는 화학적 특성이 각각 다르게 나타나기 때문에 XRD(Rigaku, D/max-2000)를 사용하여 각 지역에서 채집된 토양 및 암석의 성분을 분석하였다(그림 2). 영양과 청송 6개 지역에서 채집된 시료의 주성분을 표 1에서 보는 바와 같이 vermiculite(V), illite(I), kaolinite(Ka), quartz(Q), feldspar(F)가 전체의 80% 이상을 차지하고 있는 것으로 확인되었으며 그 외에 산화금속 염들이 포함되어 있는 것으로 나타났다. 지역별로 quartz(Q)와 feldspar(F)는 지역마다 고루 분포되어 있으나 vermiculite(V), illite(I) 및 kaolinite(Ka)는 지역별로 차이를 보이고 있다(그림 2). 여기서 2Theta와 d-value는 광물질의 결정 구조를 풀기 위한 XRD data에 나오는 주요 정보로서 2Theta값은 결정구조의 X선 회절각도를 의미하며, d-value값은 원소와 원소간의 거리를 의미한다. 이와 같은 X선 회절각도와 d-value값으로 광물질의 결정구조를 파악하고 어떤 광물질인지 규명할 수 있다.

표 1. 시료성분의 XRD 분석

Mineral	2Theta	d-value
Vermiculite(V)	6.144	14.3734
Illite(I)	8.808	10.0312
Kaolinite(Ka)	12.432	7.1140
Quartz(Q)	26.592	3.3493
Feldspar(F)	27.888	3.1965

#### 3.2 Conductivity와 pH 변화

각 지역의 토양 및 암석 성분을 증류수에서 용출시켜 conductivity와 pH에 대한 시간별 변화를

조사하였다(그림 3, 4). 산성과 청기 지역의 시료에서는 시간의 경과에 따라 이온의 용출 속도가 증가하는 반면에 임천의 시료에서는 이온 용출속도가 다소 떨어지는 경향을 보여 주었으며, 금촌, 입암 및 부일지역의 시료에서는 거의 이온의 용출이 이루어지지 않았다(그림 3). 시간 경과에 따른 pH의 변화에서 산성과 청기지역의 시료 용출액에서는 pH가 9.0으로 상승하였으나 임천과 입암 지역의 시료에서는 pH 7.8로 큰 변화가 없었으며, 금촌과 부일지역의 용출액에서는 pH 6.3 정도로 거의 변화가 없었다(그림 4). Conductivity와 pH 변화의 상관관계로 볼 때 산성과 청기지역의 시료는 수계와 접촉 시 이온의 용출이 급격히 이루어지고 있으며 이때 용출된 이온이 pH를 상승시키는 알칼리성 성분으로 생각된다. 임천과 입암 지역의 시료는 미량의 이온 용출로 인해 pH 상승에 크게 기여하지 못하고 있으며, 금촌과 부일 지역의 시료에서는 이온의 용출이 거의 일어나지 않기 때문에 pH에 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

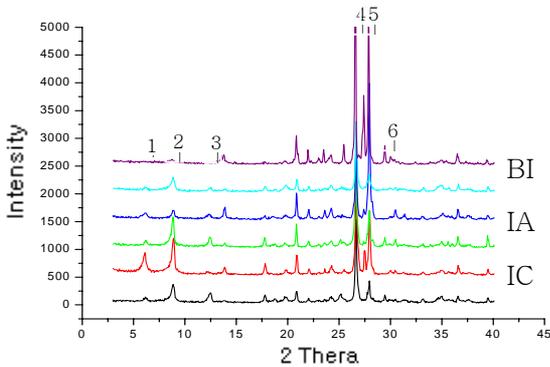


그림 2. 토양성분의 XRD 패턴.

1. vermiculite(V), 2. illite(I), 3. kaolinite(Ka),
4. quartz(Q), 5. feldspar(F), 6. calcite(C), BI(부일), IA(입암), IC(임천), CK(청기), KC(금촌), SS(산성)

### 3.3 토양 용출액내 무기원소

각 지역의 토양에서 용출된 용출액의 무기원

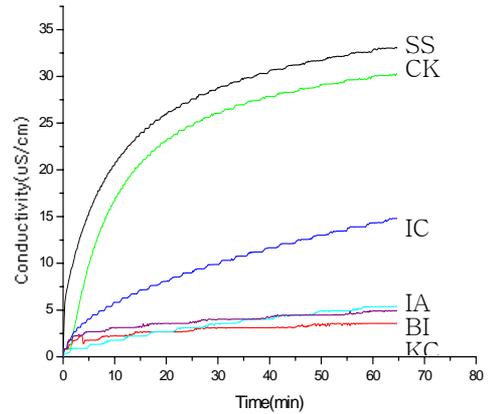


그림 3. 토양성분의 작용에 따른 전도도의 변화. BI(부일), IA(입암), IC(임천), CK(청기), KC(금촌), SS(산성)

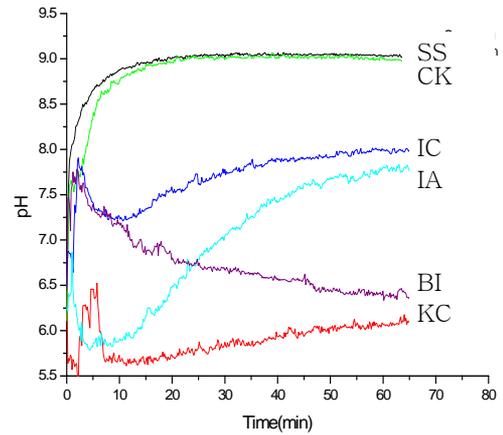


그림 4. 토양성분의 작용에 따른 pH의 변화. BI(부일), IA(입암), IC(임천), CK(청기), KC(금촌), SS(산성)

소를 분석하였다(그림 5). 대부분의 토양에서 Ca, Si, Na, K 성분이 용출되었으며, 특히 산성과 청기 지역 토양에서는 Na와 Ca이 대량 용출되었다. Na은 모든 토양에 균일하게 포함되어 있는 albite에서 용출된 것으로 생각되며, Ca은 각각의 토양마다 용출량이 다르므로 Ca이 함유되어 있는 특정 토양으로부터 용출된 것으로 사료된다.

### 3.4 탁도 유발 원인 물질의 분석

pH 변화가 가장 큰 산성 지역의 토양을 산

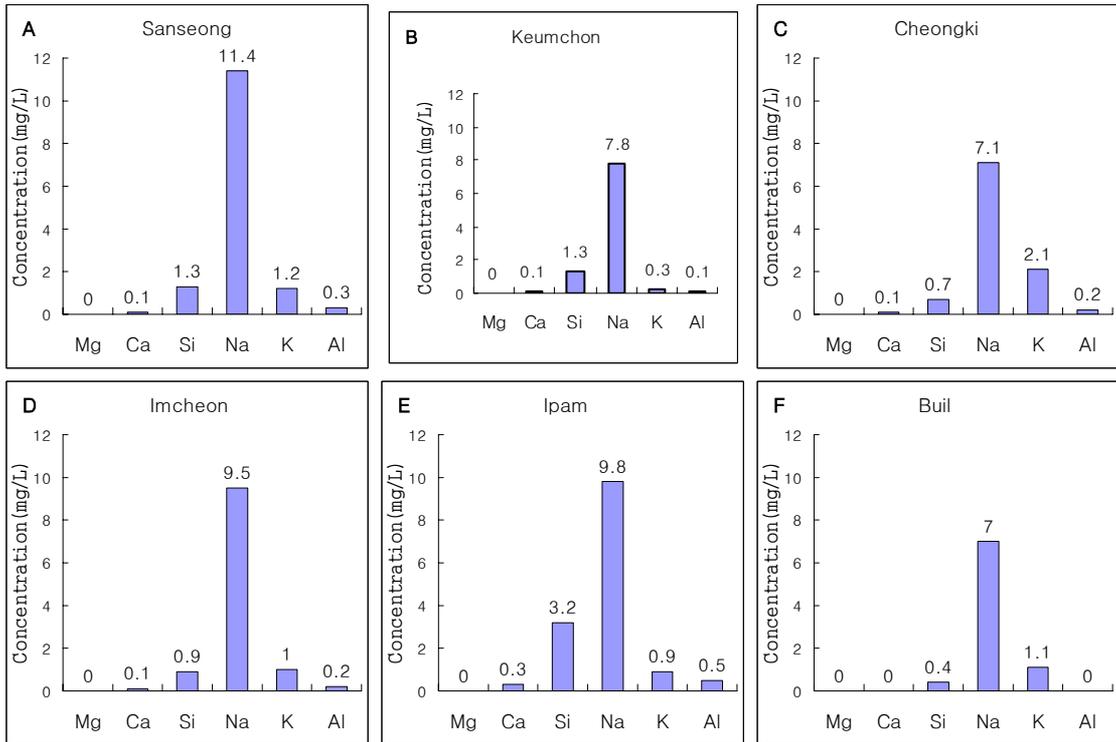


그림 5. 지역별 시료의 무기원소 용출 농도.

A : 산성, B : 금촌, C : 청기, D : 임천, E : 입암, F : 부일

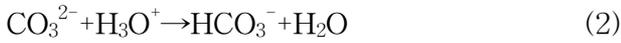
처리 전 · 후하여 XRD 패턴을 비교 조사하였다(그림 6). 그 결과 산 처리 전에 확인된 2 Theta(d-value) 29.424 (3.0331) · 43.200(2.0924) · 53.976(1.6974)의 peak가 산 처리 후 나타나지 않았다. 따라서 이와 같은 2 Theta와 d-value 값을 갖는 물질을 JCPDS card로 분석한 결과 calcite로 확인되었다. JCPDS Card는 XRD data가 입력되어 있는 data base로서 기존에 알려진 물질들을 XRD로 측정하여 2Theta값과 d-value값을 찾아서 모아둔 것이다. 모든 결정성 물질들에서(광물질 포함) 같은 결정성을 갖는 것은 같은 광물질임으로 어떤 시료를 XRD로 측정하여 2Theta값과 d-value값을 얻은 후 이 값을 JCPDS Card의 XRD data가 입력되어 있는 data base와 비교하여 광물질이 어떤 암석으로 이루어져 있는지 규명하는 것이다. 이러한 결과로 볼 때 영양일대 세일 암석에 포함되어 있는 calcite는 강우 등으로 인해 수분과 접촉

시  $Ca^{2+}$  이온으로 용출되며 이 결과 수질의 pH를 상승시키는 원인으로 작용하게 되는 것으로 사료된다. 또한 세일과 같은 점토성 광물 내의 calcite는 수분과 접촉 시 쉽게 용출되며 이와 동시에 점토질 내의 다른 광물질을 수 $\mu$ m 크기의 입자로 분리시키는 작용을 수반하고 있으며, 이것이 임하호 고탁도 발생의 주요 원인으로 작용할 것으로 생각된다.

### 3.5 토양 및 암석으로부터 용출된 이온이 입자의 Zeta-potential에 미치는 영향

토양 및 암석의 용출액에 Nano silica 입자를 분산시켜 Zeta-potential의 변화를 조사하였다(그림 7). 산성과 청기 지역의 토양 용출액은 다른 지역의 시료 용출액에 비하여 음(-)의 하전력이 상승하는 동시에 pH가 상승하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 calcite 내의

CaCO<sub>3</sub>가 용출되면서 아래와 같은 반응이 유도되어지기 때문에 사료된다.



결국 CaCO<sub>3</sub>로부터 이온화된 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>가 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 변화되는 과정에서 용출액의 pH는 상승되며, pH가 상승됨으로서 Zeta-potential 값 또한 음(-)의 하전력이 상승한 것으로 생각된다.

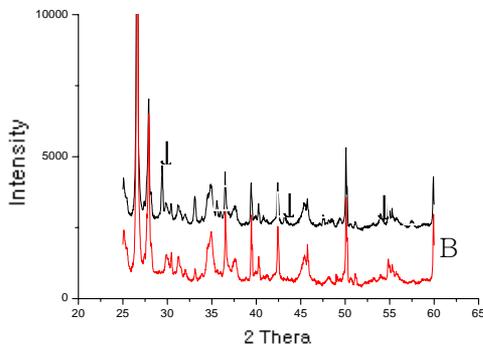


그림 6. 산성 지역 시료에 대한 산 처리 전, 후의 XRD 패턴(화살표는 calcite peak)  
A(산 처리 후), B(산 처리 전)

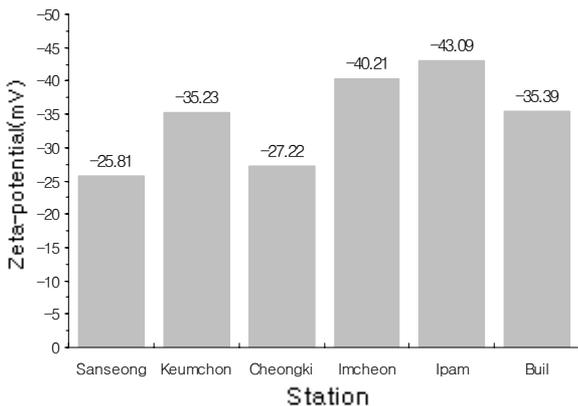


그림 7. 지역별 시료의 용출액에 대한 nano silica의 Zeta-Potential

#### 4. 결론

경상북도에 위치한 임하호 유역의 토양 및 암석을 대상으로 임하호 탁수 유발에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같다.

(1) 토양 및 암석의 주성분들은 vermiculite, illite, kaolinite, quartz, feldspar가 전체의 80% 이상을 차지하고 있었으며, 대부분의 지역에서 quartz와 feldspar를 다량 함유하고 있다.

(2) 다른 지역에 비하여 산성과 천기 지역의 토양 및 암석이 수중에서 많은 이온들을 용출하여 있으며, 이로 인하여 전도도와 pH를 상승시키는 효과가 나타나고 있다.

(3) 산성과 천기지역의 토양 성분 중 수중에서 전도도를 상승시키는 주요 무기원소는 Na와 Ca로 나타났으며, 호수 내에서 pH를 상승시키는 주요 무기원소는 Ca로 나타났다. 이러한 성분들이 산성지역의 토양 및 암석에서 알칼리 이온을 유발시키는 주요 원인으로 생각된다.

이상의 분석결과 임하호 일대에 분포하고 있는 점토성 광물질의 경우, calcite를 함유하고 있으므로 다른 토양 입자를 수 μm 크기로 분리시키는 작용을 수반하고 있어 임하호 고탁도 발생과 pH 상승의 주요 원인으로 작용할 것으로 사료된다.

(접수일 : 2006. 1. 19 심사일 : 2006. 1. 19 심사완료일 : 2006. 4. 12)

## 참고문헌

1. 강성호, 이상훈, 곽기석, 이주형, 정문경(2005), 용출 특성 규명을 통한 재생골재 환경성 평가, *대한환경공학회지*, Vol. 27, No.3 , pp. 293~301.
2. 신재기, 이혜숙, 정선아, 황순진(2004), 우리나라 담수생태계에서 탁수의 발생과 그 영향, *대한상하수도학회 한국물환경학회 공동추계학술논문집*, pp. 37~40.
3. 이근상, 조기성(2004.), 탁수자료를 이용한 GIS 기반의 토사유실량 평가, *한국지형공간정보학회지*, 제12권, 제4호, pp. 75~81.
4. 이용근, 김영도, 박기영, 김우구(2005), 임하호 탁도변화 분석을 위한 2차원 수치모의 수공학, *대한토목학회논문집*, 제 25권, 제4B호, pp. 257~266.
5. 전홍진, 권대국, 이근채, 김관휘, 이씨등, 이선주(2003), 임하호 탁수 유입특성 및 호소내 거동연구, *대한상수도학회 한국물환경학회 공동추계학술논문집*, pp. 201~204.
6. 정선아, 이혜숙, 신재기, 황순진(2004), 하천-저수지시스템에서 탁수의 입자 분포, *대한상하수도학회 한국물환경학회 공동추계학술논문집*, pp. 398~404.
7. 최종명, 강창수(2005), 조제과정에서의 무기염 조성에 따른 지효성 미량원소 복합제의 성분함량 및 용출 특성, *한국원예학회, 원예과학기술지*, Vol. 23, No. 1, pp. 110~115.