

# 시계열 간섭 모형을 이용한 불법 오물 투기 실시간 탐지 알고리즘 연구<sup>†</sup>

문지은<sup>1</sup> · 송규문<sup>2</sup> · 김태윤<sup>3</sup>

<sup>123</sup>계명대학교 통계학과

접수 2010년 7월 18일, 수정 2010년 9월 13일, 게재확정 2010년 9월 25일

## 요약

수질오염의 요인인 불법 오물 투기는 사회적 이슈로 대두되고 있고 관련 감독기관이 해결해야 할 문제들 중의 하나이다. 따라서 불법 오물 투기를 막는 체계적인 관리, 감독이 시급한 상황이다. 이를 위해 최근 들어 관련기관들은 실시간으로 연속적으로 수질의 상태를 감지 할 수 있는 자동측정기를 하천에 설치하고 있다. 본 논문에서는 수질 자동측정기로부터 발생하는 실시간 데이터를 감시하여 이상 점을 탐지하게 하는 수질 감시 알고리즘을 제안한다. 특히 수질 자동 측정기로서 흔히 사용되는 화학적 산소요구량 자동측정 장치를 위한 수질 감시 알고리즘을 개발한다. 본 논문의 수질 감시 알고리즘은 기본적으로 시계열 간섭모형을 활용한다.

주요용어: 수질감시 알고리즘, 시계열 간섭모형, 화학적 산소요구량.

## 1. 서론

불법 오물 투기는 언론매체를 통해서 많이 접할 수 있는 사회적 문제들 중에 하나이다. 설, 명절 그리고 장마철 같이 감시가 소홀한 틈을 타서 투기 행위는 더 성황을 누리고 있다. 이런 은밀한 불법 행위가 나타나는 것은 오물 처리에 드는 막대한 처리 비용 때문이다. 불법 오물 투기는 우리나라 뿐 아니라 아시아, 유럽을 비롯한 대부분의 나라에서 겪고 있는 사회적인 문제들 중의 하나이다.

이러한 이유로 불법 행위를 보다 체계적으로 감시하고 예방할 수 있는 정책의 운영이 필요하다. 정부에서는 수질오염의 철저한 감시를 위해 낙동강, 한강, 영산강 등을 중심으로 국내 여러 하천에 수질의 오염정도를 나타내는 기준으로써 COD (Chemical Oxygen Demand, 화학적 산소 요구량)값을 이용한 COD자동측정 장치를 확대 설치하고, 환경사범 대책위원회의 구성과 4대강 환경 감시대를 발족하였다. COD는 수질 기준을 평가하는 환경지표로 용존산소를 소모하는 유기물 등과 수역자체에서 생산된 자생유기물의 양을 간접적으로 나타낼 수 있어 수질관리를 위해 유용하게 이용되고 있는 환경인자이다. 즉 산화제를 이용하여 단시간 내에 유기물질을 산화시키는 방법이다 (최현석 등, 2007). BOD (Biochemical Oxygen Demand)보다 단시간 내에 측정가능하다는 장점과 실시간 수질 오염 여부 확인

<sup>†</sup> 이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2009-0073872).

<sup>1</sup> 교신저자: (704-701) 대구광역시 달서구 신당동 1000번지, 계명대학교 통계학과, 박사 과정.  
E-mail: statisti1588@hanmail.net

<sup>2</sup> (704-701) 대구광역시달서구 신당동 1000번지, 계명대학교 통계학과, 교수.

<sup>3</sup> (704-701) 대구광역시달서구 신당동 1000번지, 계명대학교 통계학과, 교수.

을 위해 필수적으로 사용해야 할 지표로써 현재에는 COD자동 측정 장치로 인해 시간과 공간, 날씨와 접근성에 개의치 않고 연속적으로 수질을 감시할 수 있게 되었다

국내에서는 수질에 영향을 미치는 여러 가지 요인들과 수질의 개선을 위한 다양한방법들에 관한 논문을 많이 접할 수 있으나, 국외처럼 아직 환경에 대한 측정 장치와 서비스에 대한 연구는 부족하다. 하지만 수질의 COD자료를 이용하여 이상점을 탐지해내는 방법으로써 회귀함수모형과 밀도함수 모형을 적용하여 기계의 오작동을 탐지하는 논문들이 있다 (최현석 등, 2007).

본 논문에서는 ARIMA모형에 개입분석 모형이 더해진 가법모형의 형태를 띄고 있는 시계열 간섭 모형에 기반을 둔 실시간 수질 탐지 알고리즘 (Water Quality Monitoring Algorithm, WQMA)을 구축하고자 한다. 이 알고리즘은 시간의 흐름에 따라 실시간으로 들어오는 수질 자료를 감시하면서 갑작스런 수질의 이상점이 발생하면 경보를 주는 것으로 만약 수질 자료에 이상점이 발견된다면 즉각 신호를 보내 수질 오염 확산 방지에 도움을 줄 수 있을 것으로 본다 (박유성 등, 2005). 본 논문에서는 2005년 6월 1일부터 6월 30일까지의 매 2시간 간격으로 서울 근교 A하천의 COD자동 측정 장치로부터 관찰된 시계열 자료를 분석 자료로 하여 COD 변화 시점을 실시간 탐지 할 수 있는 알고리즘을 연구한다. 오물 투기는 아주 불법적으로 은밀하게 이루어지기 때문에 비가 올 때 또는 비가 오지 않을 때에도 투기를 즉각적으로 탐지해 낼 수 있어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 시계열 모형 내에 간단한 지시변수모형 (Indicator variable model)을 사용한다 (박인찬 등, 2009).

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 WQMA의 구축에 대해 설명한다. 제3장에서는 실제 데이터 분석을 행하며 제4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. WQMA 알고리즘

WQMA의 기본적인 아이디어는 수질의 정상적인 상태를 모형화하여 관찰되는 COD가 정상적인 모형에 적합하지 않은 경우 이상점으로 탐지하는 것이다. 이를 실행하기 위해 필수적인 단계는 수질의 정상적인 상태에 대한 데이터를 확보하는 것이다. 그러나 실제 상황에서는 오물 투기가 탐지되지 않은 경우가 자주 발생하므로 오물 투기가 없었던 정상 상태의 수질 자료를 얻기란 현실적으로 불가능하다. 여기서 정상 상태의 수질자료란, 투기 효과 등 인공적인 외부 효과가 제거된 자료를 말한다.

$\{Z_t : t = 1, 2, 3, \dots\}$ 을 COD 관측 값들의 수열이며 다음과 같은 시계열 간섭 모형 (time series intervention model)을 따른다고 가정한다.

$$\begin{aligned} Z_t &= f_0(t) + f_1(I_{R_{11}}(t), \dots, I_{R_{1p}}(t)) + f_2(I_{D_{21}}(t), \dots, I_{D_{2q}}(t)) + N_t + \epsilon_t \\ &= f_0(t) + f_1(t) + f_2(t) + N_t + \epsilon_t \end{aligned} \quad (2.1)$$

식 (2.1)에서  $f_0(t)$ 는 추세를 나타내는 함수,  $f_1(t)$ 는 강수 효과를 나타내는 함수로써  $I_{R_{11}}, \dots, I_{R_{1p}}$ 의 1에서  $p$ 는 각 강수 시점을 의미한다.  $f_2(t)$ 는 투기 효과를 나타내는 함수로서  $I_{D_{21}}, \dots, I_{D_{2q}}$ 의 1에서  $q$ 는 각 투기시점을 의미한다.  $\{Z_t : t = 1, 2, \dots\}$ 는 정상 (stationary) 시계열 모형,  $\epsilon_t$ 는 독립오차,

$$I_{R_{1i}}(t) = \begin{cases} 1 & t = R_{1i}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$I_{D_{2i}}(t) = \begin{cases} 1 & t = D_{2i}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

이다. 즉 위 지시변수는 비가 오거나 투기가 일어난 시점에 1이 되는 값을 갖게 된다. 또한 함수  $f_1(t)$ 는 자연적인 요인 (강수효과 등)에 의한 모형을 나타내는 함수이고, 함수  $f_2(t)$ 는 인위적인 요인

(오물투기 등)의 간섭모형을 나타내는 함수이다. 더 구체적으로  $f_1(t)$ 는 강수 효과를 나타내는 함수로서  $f_1(I_{R_{11}}(t), \dots, I_{R_{1P}}(t))$ 을 아래와 같은 단순모형으로 대체하여 사용하겠다.

$$f_1(I_{R_{11}}(t), \dots, I_{R_{1P}}(t)) = \alpha I_R(t) \tag{2.4}$$

$$I_R(t) = \begin{cases} 1 & t, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.5}$$

여기서 식 (2.3)과 식 (2.4)의 지시변수들의 차이는 식 (2.3)의 지시변수는 시점에 관한 지시변수이고 식 (2.4)의 지시변수는 상태 (일기)에 관한 지시변수이다. 물론 식 (2.4) 모형 대신 강수량을 포함한 좀 더 정교한 모형을 사용할 수도 있으나 본 연구에선 필요한 데이터 확보의 어려움 등으로 인해 위와 같은 단순모형을 사용한다. 주목할 점은 일반적으로 강우는 수질개선 효과를 가져 오며 오물투기는 수질 악화를 야기 한다.  $f_2(t)$ 는 다음과 같은 형태의 개입 모형을 취한다.  $t$ 시점에 개입이 일어난 경우의 개입 모형은 다음과 같다 (조신섭 등, 2003).

$$f_2(I_{D_{21}}(t), \dots, I_{D_{2q}}(t)) = \frac{\omega_1(B)B^{b_1}}{\delta_1(B)}I_{D_{21}}(t) + \dots + \frac{\omega_q(B)B^{b_q}}{\delta_q(B)}I_{D_{2q}}(t)$$

여기서  $f_2$ 는  $i = 1, \dots, q$ 에 대해서  $\omega_i(B) = \omega_{i0} - \omega_{i1}B - \omega_{i2}B^2 - \dots - \omega_{is}B^s$ ,  $\delta_i(B) = \delta_{i0} - \delta_{i1}B - \delta_{i2}B^2 - \dots - \delta_{ir}B^r$ ,  $b_i$ 는 개입효과에 대한 지연시간을 나타낸다. 물론  $B$ 는 후향 연산자 (backshift operator)이다 (박유성과 허명희, 2000). 본 연구에서 개입분석이 적용된 시계열 간섭모형을 사용하는 이유는  $Z_t$ 가 오물 투기 등 외부 사건에 의해 단기적으로 지속적인 영향을 받을 것으로 기대되기 때문이다.

본 연구에서 제안하는 WQMA는 다음과 같은 단계로 요약할 수 있다.

[단계 1] 주어진 혼련 데이터  $Z_1, \dots, Z_n$ 을 사용하여 식 (2.1)의 추정된 식을 구한다.

$$\widehat{Z}_t = \widehat{N}_t + \widehat{f}_0(t) + \widehat{f}_1(t) + \widehat{f}_2(t) \tag{2.6}$$

$\widehat{f}_0$ 는 일반적으로 평균 추정으로 가정되나 추세제거가 필요한 경우 이루어진다.  $\widehat{f}_1$ 은 알려진  $p$ 개의 강수시점 ( $R_{11}, \dots, R_{1p}$ )의 데이터를 사용하여 모형 (2.4)의  $\alpha$ 을 추정한다.  $\widehat{f}_2$ 의 추정은 실제로 투기가 이루어진 시점을 알지 못하므로 이상점으로 판단되는 시점 ( $D_{21}, \dots, D_{2q}$ )들을 사용하여 개입분석모형으로 추정한다. (자세한 추정기법은 박유성과 김기환 (2004) 혹은 이정형과 조신섭 (1997) 등에 자세히 기술되어 있다) 마지막으로  $\widehat{N}_t$ 는 다음과 같은 ARIMA 모형을 사용하여 추정한다 (이상열, 2006).

$$\widehat{N}_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q}$$

이때  $\epsilon_t$ 는  $N(0, \sigma^2)$ 을 따른다. 이들 모형이 추정된 후 식 (2.6)에서 투기 효과인  $\widehat{f}_2(t)$ 가 제거된 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\widehat{Z}_t^{(N)} = \widehat{N}_t + \widehat{f}_1(t) + \widehat{f}_0(t) \tag{2.7}$$

[단계 2] 혼련용 자료  $Z_t$ 로부터 투기효과  $\widehat{f}_2(t)$ 와  $\widehat{Z}_t^{(N)}$ 을 뺀 잔차들을 구한다.

$$e_t = Z_t - \widehat{f}_2(t) - \widehat{Z}_t^{(N)} \quad (t = 1, \dots, n) \tag{2.8}$$

$e_1, e_2, \dots, e_n$ 을 이용하여  $e$ 의 분포  $F_e$ 을 추정한다.  $F_e$ 의 추정은 다음과 같다.

$$\widehat{f}_e(x) = F_e(x, \widehat{\theta}) \tag{2.9}$$

여기에서  $F_e\theta$ 는 적절한 모수 (혹은 비모수) 모형과 필요한 모수이다.

[단계 3] T시점에서 새로운 관찰값  $Z_T$ 가 관찰되었을 때 추정 잔차

$$e_T^{(1)} = Z_T - \hat{Z}_T^{(N)} \quad (2.10)$$

을 계산 한다. 그때 식 (2.9)의  $\hat{f}_e$ 에 의해 얻어진 분포에 의해  $p$ 값 즉,  $p(T)$ 을 구하여 T시점에서  $p(T) \leq E_W$  ( $E_W = 0.05$ )일 때 오물 투기가 되었다는 경고를 한다.

여기서 주목할 점은 식 (2.8)의  $e_t$ 는 관찰 데이터에서 모든 외부 효과를 제거하여 계산되나 식 (2.10)의  $e_T^{(1)}$ 은 관찰 데이터에서 추세 및 자연적 효과만을 제거하여 계산된다는 점이다. 즉  $e_t$ 와  $e_T^{(1)}$ 의 차이가 바로 인공적 효과인 투기효과  $\hat{f}_2$ 인 관계로 투기효과에 대한 탐지가 가능하게 되며 이러한 사실이 본 논문에서 제안하는 WQMA의 핵심이다. 또한 이 알고리즘의 한계는 실제 데이터에 의해 모든 투기시점  $D$ 들을 알기 어려우며 그에 따라 데이터에서 이상점으로 보이는 시점들을 판단하여 알고리즘을 실행해야 한다는 점이다.

### 3. 실제 COD값에 의한 실험

#### 3.1. 자료 설명

본 논문의 분석에 사용되는 자료는 서울 근교에 있는 A하천의 특정 지역 B에 설치된 COD자동 측정 장치로부터 관찰된 COD값이다. 관측 기간은 2005년 6월 1일에서 6월 30일까지 매 2시간 간격으로 측정되어 있다. 원 자료로부터 기계 작동 중지 등에 의해 유실된 값과 중복되는 값, 음의 값들은 제외시키고 남은 총 240개의 자료  $Z_1, \dots, Z_{240}$  중 처음 200개의 자료  $Z_1, \dots, Z_{200}$ 을 훈련용 자료로, 남아있는  $Z_{201}, \dots, Z_{240}$ 까지 40개 자료는 모형을 테스트하기 위한 평가용 자료로 사용한다. 훈련용 자료  $Z_1, \dots, Z_{200}$ 의 시도표 (time plot)는 그림 3.1과 같다.

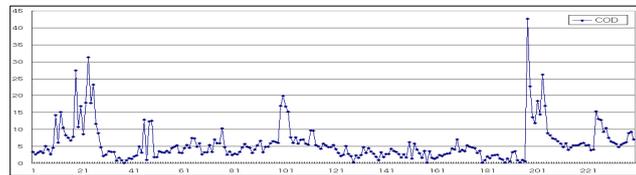


그림 3.1 훈련용 자료의 시도표

#### 3.2. 모형 추정과 적합

2장에서 언급한 세 단계에 따라 모형을 추정 한다. 그림 3.1에서 알 수 있듯이 COD값이 갑자기 증가하는 몇 개의 이상점이 관찰된다. 갑자기 COD증가를 보이는 시점  $t=18, 23, 45$ 에서 많은 양의 투기가 있었다고 가정하고, 시점  $t=43, 44, 45, 46, 49$ 에는 많은 양의 비가 왔었다는 것을 확인 했다. 따라서 시점  $t=45$ 에서는 비가 오는 동시에 많은 양의 오물 투기가 있었다고 가정된다. 또한 특별한 추세를 없는 것으로 보여  $f_0(t) = \mu$ 로 간주하였다. 이러한 정보들을 토대로 WQMA의 모형 (2.6)을 적합시키

면 다음과 같은 시계열 간섭 모형이 최종적으로 산출된다.

$$\widehat{Z}_t = 4.70 + 0.62Z_{t-1} + 0.20Z_{t-2} + \frac{40.63}{1 - 0.51B}I_{D_{197}}(t) + 17.50I_{D_{18}}(t) + 14.39I_{D_{23}}(t) + 9.69I_{D_{45}}(t) - 4.67I_R(t) \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서, t시점에서 비가 왔다면  $I_R(t)=1$ 이고 그렇지 않으면 0이다. 지시 변수  $I_{D_j}(t)$ 는 가정된 오물 투기시점 ( $t=197, 18, 23, 45$ )에서의 투기 간섭효과를 나타내는데 사용된다. 그러므로 식 (3.1)은 다음과 같은 식으로 다시 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{N}_t &= 0.62Z_{t-1} + 0.20Z_{t-2} \\ \widehat{f}_0 &= 4.70 \\ \widehat{f}_1(t) &= -4.67I_R(t) \\ \widehat{f}_2(I_t) &= 17.50I_{D_{18}}(t) + 14.39I_{D_{23}}(t) + 9.69I_{D_{45}}(t) + \frac{40.63}{1 - 0.51B}I_{D_{197}}(t) \end{aligned}$$

식 (3.1)로부터 관찰된 특성은 다음과 같다.

①  $t=197$ 에서의 오물 투기는  $t=18, 23, 45$ 와 격리된 효과가 나타나고 있다.  $t=18, 23, 45$ 에서는 그 시점에만 계수만큼의 값이 영향을 주는데 비해  $t=197$ 에서는 매 2시간이 지날 때 마다 그 후의 효과가 1/2씩 감소하고 있다.

② 비가 오면 COD의 값은  $-4.67 I_R(t)$ 에서와 같이 비가 온 시점에서 COD값이  $-4.67$ 만큼 떨어진다.

③ 강수 효과와 오물 투기 효과가 제거된 정상 상태에서는 AR(2)모형을 따른다.

WQMA의 [단계 1]에 의해 다음과 같은 모형을 추정해 낼 수 있다.

$$\widehat{Z}_t^{(N)} = \widehat{N}_t + \widehat{f}_0(t) + \widehat{f}_1(I_t) = 4.70 + 0.62Z_{t-1} + 0.20Z_{t-2} - 4.67I_R(t) \quad (3.2)$$

훈련용 자료의 COD ( $Z_t$ )와 추정된 최종 모형식 ( $\widehat{Z}_t^{(N)}$ )의 적합 정도를 알아보면 그림 3.2와 같다.

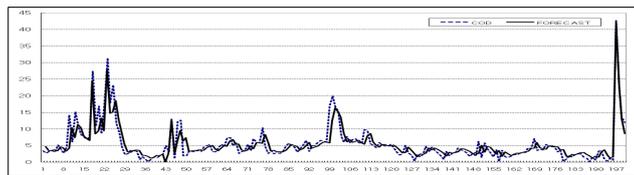


그림 3.2 훈련용 자료와 예측 값의 비교

[단계 2]의  $e_t = Z_t - \widehat{f}_2(t) - \widehat{Z}_t^{(N)}$ 을 이용하여  $t=1, 2, \dots, 200$ 의 잔차를 계산한다. 그리고 그 잔차에 대응하는 p값을 구하면 그림 3.3과 같다.

이 잔차들이 백색잡음을 따르고 있는지 확인한 결과는 표 3.1과 같다.

표 3.1에서 시차란, 현재와 6시점 이후, 12시점 이후, ... 이런 방법으로 계속비교 해 보았을 때 p값이 0.05보다 모두 크므로 잔차들이 독립임을 알 수 있다. 즉 그림 3.2와 그림 3.3에서 보이는 것과 같이 적합 후 잔차들이 백색잡음을 보이고 있고, 훈련용 자료와 시계열 간섭 모형 (WQMA)을 이용한 모형식이 잘 적합된 것을 알 수 있다.

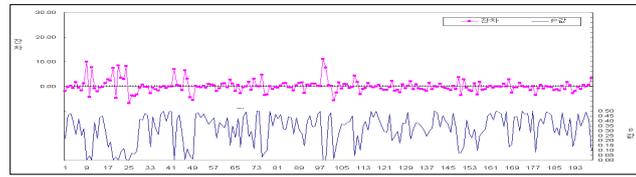


그림 3.3 훈련용 자료의 잔차와 p 값

표 3.1 훈련용 자료 잔차들의 백색잡음

시차	검정통계량 (카이제곱)	p 값
6	4.54	0.3381
12	8.77	0.5540
18	14.31	0.5753
24	18.49	0.6764
30	22.59	0.7531
36	25.33	0.8587
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

### 3.3. 모형의 실행 및 평가

최종 모형을 이용하여 40개의 예측값을 계산한다. 그리고 실제 남아있는 데이터 40개와의 잔차를 계산한다. 구하는 잔차는 다음과 같다.

$$e_T^{(1)} = Z_T - \hat{Z}_T^{(N)} (T = 201, \dots, 240).$$

그때 대응되는 p값 즉,  $p(T)$ 가  $p(T) \leq E_w$  ( $E_w = 0.05$ )일 때 오물 투기가 되었다는 경고를 준다. 40개 평가용 자료의 잔차와 p값 비교는 그림 3.4와 같다.

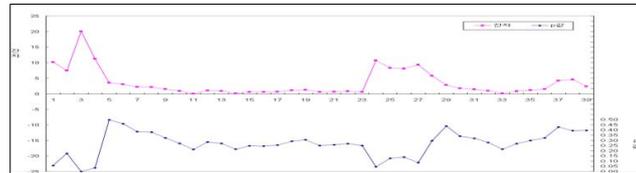


그림 3.4 40개 테스트 자료의 잔차와 p 값

그림 3.4와 같이 WQMA가 세 개의 시점  $t=201, 203, 224$ 에서 p값이 0.05보다 낮기 때문에 경고를 주었다. 실제 COD자료의 시도표와 비교해 보면 시점  $t=203$  과  $t=224$ 에서 COD값이 갑자기 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 시점  $t=201$  에서 경고를 준 이유는 시점  $t=197$  에서 투기된 효과가 그 후에도 영향을 미친 결과라 여겨진다.

## 4. 결론

본 연구에서는 시계열 모형을 사용하여 하천오염물질 투기를 감시하는 수질감시 알고리즘(WQMA)을 개발하고 이를 실제 데이터에 적용하였다. 본 연구에서 개발된 WQMA는 어느 정도 정확도를 보이는

것으로 판단된다. 앞서도 언급하였다시피 WQMA를 포함한 수질감시 알고리즘 구축에 있어 겪게 되는 가장 큰 문제는 필요한 정보를 갖고 있는 데이터를 얻기가 쉽지 않다는 점이다. 예를 들어 투기가 이루어진 경우의 수질 관련 데이터를 정확하게 얻기가 어렵다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 다양한 상황 하에서 실제 실험을 통해 데이터를 얻을 수 있으나 이 경우 불가피하게 많은 비용이 발생할 것으로 예측되며 이에 대한 대안으로써 컴퓨터 모의 실험데이터를 생성하는 방안 등이 있을 것으로 보인다. 본 연구는 현재 조건하에서 획득 가능한 데이터를 통해 WQMA를 구축하여 적용한데 그 의의가 있으며 컴퓨터 모의실험 등의 데이터를 사용하는 문제는 추후 연구할 예정이다.

### 참고문헌

- 김해경, 이명순 (2005). <경제 및 금융자료를 위한 시계열분석>, 경문사, 서울.
- 박유성, 김기환 (2004). <SAS/ETS를 이용한 시계열 자료 분석 I>, 자유아카데미, 서울.
- 박유성, 박경화, 최성환 (2005). 시계열을 이용한 빠른 분산 변화점 탐지. <한국데이터정보과학회지>, **16**, 289-300.
- 박유성, 허명희 (2000). <시계열 자료 분석>, 자유아카데미, 서울.
- 박인찬, 권오진, 김태윤(2009). 시계열 모형을 이용한 주가지수 방향성 예측. <한국데이터정보과학회지>, **20**, 991-998.
- 박철용, 김현일 (2009). 최적 시계열 모형에 기초한 오준주의보 날짜 예측. <한국데이터정보과학회지>, **20**, 293-299.
- 이상열 (2006). <시계열분석의 원리>, 자유아카데미, 서울.
- 이정형, 조신섭 (1997). <SAS/ETS를 이용한 경제 시계열 분석>, 자유아카데미, 서울.
- 조신섭, 황선영, 이금희 (2003). <시계열 분석>, 한국방송통신대학교출판부, 서울.
- 최현석, 송규문, 김태윤 (2007). COD측정 기계의 오류 탐지 알고리즘 연구. <한국데이터정보과학회지>, **18**, 847-857.

# Real time detection algorithm against illegal waste dumping into river based on time series intervention model<sup>†</sup>

Ji Eun Moon<sup>1</sup> · Song Kyu Moon<sup>2</sup> · Tae Yoon Kim<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Keimyung University

Received 18 July 2010, revised 13 September 2010, accepted 25 September 2010

## Abstract

Illegal waste dumping is one of the major problems that the government agency monitoring water quality has to face. One solution to this problem is to find an efficient way of managing and supervising the water quality under various kinds of conditions. In this article we establish WQMA (water quality monitoring algorithm) based on the time series intervention model. It turns out that WQMA is quite successful in detecting illegal waste dumping.

*Keywords:* COD, time series intervention model, WQMA.

---

<sup>†</sup> This paper was supported by the National Research Foundation of Korea in 2009.

<sup>1</sup> Corresponding author: Doctor of philosophy student, Department of Statistics, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea. E-mail: statisti1588@hanmail.net

<sup>2</sup> Professor, Department of Statistics, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea.

<sup>3</sup> Professor, Department of Statistics, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea.