

## 중복간섭모형을 이용한 대구시의 4월 기온변화분석

### Analysis of Temperature Change in April at Taegu City by Applying Multiple Intervention Model

유철상\* / 이재수\*\* / 백경록\*\*\* / 김중훈\*\*\*\*

Yoo, Chulsang / Lee, Jae Soo / Paik, Kyung Rock / Kim, Joong Hoon

#### Abstract

In this study the average air temperature in April at Taegu city is analyzed and forecasted by applying an intervention model of stochastic analysis. As it is unavailable to get the data of carbon dioxide emission from a city in Korea, the points of intervention have been decided from the analysis of the data observed to be the years of 1947 and 1970. As a result of the study the mean temperature of April in Taegu city is shown to increase for a long time in the future and will also remain 0.015°C/year even after 70 years from now. Even though the air temperature changes in the future will vary depending on the future exhaustion of carbon dioxide, a significant increase of air temperature cannot be avoided if the emission of carbon dioxide continues at today's level.

*keywords* : Intervention model, Temperature rise, Air temperature of Taegu, Urbanization, Global warming

#### 요지

본 연구에서는 대구시의 4월 평균기온자료에 대해 간섭모형을 적용하여 온도변화의 양상이 어떠했는지를 분석하고 향후의 기온 변화를 예측해 보았다. 본 연구에서는 현재까지의 도시별 이산화탄소 배출량 변화를 정량적으로 추정하기 어려운 이유로 간섭의 시점을 시계열상에 나타난 시점으로 선정하였고 그 결과 간섭시점은 크게 1947년과 1970년인 것으로 분석되었다. 연구의 결과 대구시의 4월 기온은 향후 70년 이후에도 연간 0.015°C 정도의 비율로 상승할 것으로 나타나고 있다. 미래의 이산화탄소 배출량이 어떻게 변할 것인가에 따라 그 결과는 많이 달라질겠지만 만약 이산화탄소 배출량이 계속 현 상태를 유지한다면 상당한 기온의 상승이 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 간섭모형, 기온상승, 대구기온, 도시화, 지구온난화

\* 고려대학교 환경공학과 조교수

Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Korea University, Chungnam 339-700, Korea  
envchul@uger.korea.ac.kr

\*\* 전주대학교 토목환경공학과 조교수

Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Jeonju University, Jeonbuk 560-759, Korea

14 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University, Seoul 136 701, Korea

\*\*\* 고려대학교 토목환경공학과 부교수

Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University, Seoul 136 701, Korea

## 1. 서론

지구규모의 기온상승(지구온난화)은 산업혁명이후 이미 시작되었다고 할 수 있으며 최근에 들어서는 그 영향으로 인해 집중호우나 가뭄과 같은 이상기상이 빈번히 발생하는 것으로 알려지고 있다(윤용남 등, 1999a, b). 기온상승은 전체적인 수문순환에 영향을 주어 홍수, 가뭄과 같은 극치사상의 발생에 영향을 줄 뿐만 아니라 해면 수위를 상승시켜 해안 및 하천환경을 변화시키고 아울러 해수면 온도를 상승시켜 열대 저기압(태풍 등)의 발생을 촉진할 수도 있다(오재호 1999). 지구온난화는 이와 같은 큰 규모의 영향뿐만 아니라 국지적으로 도시의 용수 수요량, 증발량 등과 같이 수자원의 변화를 유발하기도 한다 따라서 국지기온의 변화 분석 및 예측은 미래의 안정적인 수자원관리를 위해서도 아주 중요한 의미를 갖는다.

최근의 기온상승의 주원인은 이산화탄소의 과다배출로 인한 온실효과때문이라고 알려져 있다 그러나 이산화탄소의 증가량은 산업혁명이후 현재까지 약 200여 년동안 약 30% 정도(이제수, 2000)로서 상대적으로 공업화가 느리며 인구밀도가 낮아 이산화탄소의 배출량의 증가가 완만한 농촌 및 소도시 지역에서 기온상승의 뚜렷한 변화를 찾는다든 것은 용이한 일이 아니다. 반대로 대도시 지역은 급격한 도시화로 인해 상대적으로 많은 이산화탄소의 배출이 있어왔고 아울러 지역적인 열섬효과 등으로 인해 상대적으로 뚜렷한 온도변화 경향을 찾아볼 수 있다

본 연구에서는 상대적으로 뚜렷한 변화경향을 나타내는 도시지역 기온변화를 이산화탄소의 배출량에 의한 간섭의 영향으로 가정하여 분석해 보고 또 예측해 보는 것을 목적으로 한다. 대상 지점으로는 국내의 대도시 지역 중 결측치가 없이 장기간의 자료가 잘 보존되어 있어서 자료의 확보와 분석이 용이한 지역일 뿐만 아니라 우리나라에서 여름철 기온이 가장 높은 지역인 대구시를 대상으로 하였다. 대구시는 1900년대 중반이후 급격히 공업화가 이루어진 지역으로 타 지역에 비해 상대적으로 이산화탄소의 배출이 급격히 증가한 지역이므로 지구온난화의 영향과 더불어 특히 지역적인 원인으로 인한 장기간의 기온변동이 큰 지역으로 판단된다. 대구시는 국내 24개 지역에 대해 1972년~1984년까지의 기온변화 경향을 조사한 결과에서도 기온 상승률이 가장 큰 지역임이 이미 밝혀진 바 있다(이제수, 1988).

어떤 시계열자료를 발생시키는 확률구조에 대한 외부의 개입을 간섭이라고 하면 간섭에 의해 시계열자료의 형태가 급격한 변화를 보이거나 간섭시점이후로 시계열자료가 상승 또는 하강하는 형태로 변화하는 것을 간섭시계열자료라 한다(최병선, 1995). 기온상승은 최근의 인간에 의한 인위적인 간섭에 의해 발생된 결과라고 볼 수 있으므로 간섭모형에 의해 분석하기에 적절하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 특히 대구시의 월평균기온자료 중 4월의 자료에 한정하여 분석을 수행하였는데, 이는 4월 자료가 다른 월의 자료나 연평균자료에 비해 그 변화폭이 상대적으로 커서 간섭의 영향을 쉽게 파악할 수 있기 때문이다.

## 2. 간섭모형

간섭분석(intervention analysis)이란 인간에 의한 인위적인 간섭이나 자연현상에 의한 간섭이 어떤 시계열의 평균수준에 끼친 영향을 분석하는 것을 말한다. 이렇게 간섭으로 인해 시계열의 평균수준이 달라진 시계열을 모형화한 것을 간섭모형이라고 한다. 간섭모형은 Box와 Tiao(1975)에 의해 처음 제안되었으며 같은 해에 Hipel 등(1975)이 나일강의 Aswan 댐을 건설함으로써 유량에 끼치는 영향을 분석하는데 사용함으로써 수자원분야로 도입된 기법이다. 간섭모형은 환경에 끼치는 영향을 분석하는 데에 특히 많이 쓰이고 있다.

간섭모형을 적절하게 구축하기 위해서는 간섭이 있기 전과 있는 후의 자료가 모두 필요하다. 아직 일어나지 않은 간섭이 미래에 일어날 경우 그 영향을 예측하는 것은 불가능하다. 간섭모형을 수식으로 표현하면 식 (1)과 같은 형태로 표현된다.

$$y_t - \mu_y = f_t + N_t \quad (1)$$

식 (1)에서  $y_t$ 는 반응된 시계열,  $t$ 는 특정시간,  $\mu_y$ 는 전체  $y_t$ 시계열의 평균을 의미하며 간섭이 있는 후의 시계열은 전체시계열에 비하면 매우 짧은 기간에 해당하므로 간섭이 있기 전의 시계열의 평균으로도 볼 수 있다. 또한  $f_t$ 는 동태모형(dynamic model)이며  $N_t$ 는 잡음항모형이다. 결국, 간섭모형은 동태모형과 잡음항모형이 결합된 형태로 나타난다고 할 수 있다.

잡음항모형은 흔히 말하는 '백색잡음'이 아니라 간섭의 효과를 매제한 시계열의 특성을 나타내는 모형으로서 간섭전후에 동일한 특성을 가진다고 보고

ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average)모형을 이용해 식 (2)와 같이 효과적으로 설명될 수 있다.

$$N_t = \frac{\theta(B)}{\phi(B)} \quad (2)$$

여기서  $\phi(B)$ 는 AR(Autoregressive)연산자이고  $\theta(B)$ 는 MA(Moving Average)연산자이다.

어떤 모형을 구축함에 있어서 그 원인과 결과가 모두 주어지는 경우가 많다. 예를 들어 하천유량에 미치는 강우의 영향을 모형으로 구축한다면 이 두 자료가 모두 주어졌을 때 이를 이용해 적절한 변환함수를 만들어 그 관계를 설명할 수 있을 것이다. 그러나 기온 자료와 같은 단변량시계열의 경우는 간섭의 영향을 대표할 수 있는 다른 시계열이 없다. 따라서 이러한 경우는 간섭의 발생유무를 정량적으로 대표할 수 있는 가상적인 시계열이 있다고 생각하는데 이러한 시계열을 간섭시계열(intervention series)이라고 한다.

간섭시계열에는 2가지 종류가 있는데 계단간섭시계열(step intervention series)과 순간간섭시계열(impulse intervention series)이 그것이다. 계단간섭시계열은 하천에 댐이 건설된 경우와 같이 간섭이 일어난 시점 즉, 댐이 건설된 시점 이후로 계속해서 영향이 가해지는 경우에 적용이 되는 반면 순간간섭시계열은 하천에 오염물질을 순간적으로 방류한 경우와 같이 그 간섭이 지속적이지 아니하고 순간적인 것인 경우에 적용이 된다. 계단간섭시계열을 1차 차분하면 순간간섭시계열이 되는 특성이 있다.

간섭시계열을 분석하는 데에는 일반적으로 여섯 가지 기본적인 동태모형을 바탕으로 한다(Box와 Tiao, 1975). 이 여섯 가지 동태모형들은 간섭시점인  $T$ 까지는 0의 값을 보이고 간섭시점에서 계단간섭이나 순간간섭입력을 받아서 시점  $T+1$ 에서부터 반응을 나타낸다.

본 연구에서는 이산화탄소 배출량의 증가라는 간섭으로 인해 기온상승이 일어나는 것으로 가정하였다. 이 과정에서 기온은 간섭시점을 기해 순간적으로 상승하는 것이 아니라 점차적으로 상승하는 것이므로 간섭시점으로부터 계단입력이 가해져 그 이후로 기온이 지속적으로 상승하다가 점차 그 상승폭이 완만해 지면서 어떤 값에 수렴하는 동태모형(Box와 Tiao(1975)에서 동태모형 (b)라 부름) 또는 간섭시점에서부터 기온이

산술적으로 무한히 증가하는 동태모형(Box와 Tiao (1975)에서 동태모형 (c)라 부름)을 그 대상모형으로 삼을 수 있을 것이다. 본 연구의 대상시계열은 아직 간섭에 의한 영향이 끝나지 않은 시계열이기 때문에 동태모형 (b)와 동태모형 (c) 중 어느 것이 이 시계열에 맞는지를 판단하는 것은 불가능하다고 할 수 있다.

하지만 지구가 가진 자정능력을 생각한다면 어떤 간섭으로 인해 기온이 무한히 상승한다기 보다는 어느 정도 상승된 값에서 수렴하여 새로운 평형상태를 이룬다고 보는 것이 더 적절하다고 판단했기 때문에 본 연구에서는 동태모형 (b)를 사용하여 기온상승을 모의하였다. 동태모형 (b)는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$f_t = \frac{\omega B}{1 - \delta B} S_t^{(T)} \quad (3)$$

여기서  $B$ 는 후진연산자,  $S_t^{(T)}$ 는 계단입력함수이고  $T$ 는 간섭시점이며  $\omega$ 와  $\delta$ 는 동태모형을 구성하는 미지의 매개변수이다. 이 동태모형의 차분방정식을 풀어서 다시 쓰면 계단입력이 가해질 경우 다음과 같은 함수형태로 풀이된다.

$$f_t = 0 \quad (t \leq T) \quad (4)$$

$$f_t = \frac{\omega(1 - \delta^{t-T})}{1 - \delta} \quad (t > T) \quad (5)$$

이 동태모형은 시간이 무한대로 갈수록  $\omega/(1 - \delta)$ 에 수렴하게 되며 수렴하기 위해서는  $\delta < 1$ 을 만족해야만 한다. 동태모형 (b)는 그림 1과 같은 형태를 띈다.

이러한 동태모형을 식 (1)에 대입하면 시계열은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$y_t - \mu_y = \frac{\omega B}{1 - \delta B} S_t^{(T)} + N_t \quad (6)$$

### 3. 대상자료의 특성

대구시에는 1907년 1월 8일부터 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온자료가 보존되어 있으며 그 시계열은 그림 2와 같다. 그림에서 살펴볼 수 있는 것처럼 이 시계열은 뚜렷한 계절성을 보이고 있으며, 아울러 9개월 이동평균(moving average)에서 살펴볼 수 있듯이 점차적으로 기온이 증가하는 추세(trend)가 있음을 판

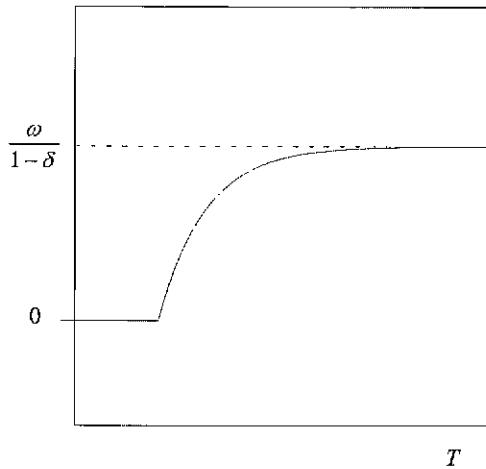


그림 1. Box와 Tiao의 동태모형 (b)

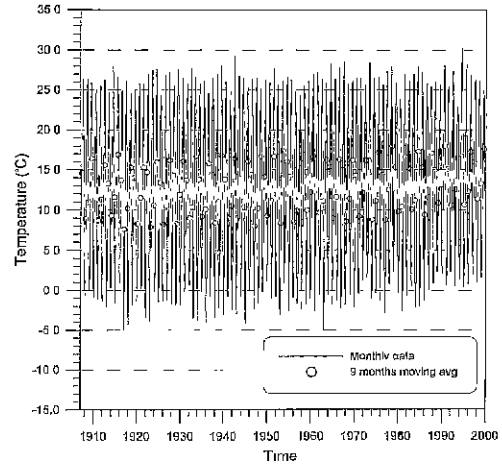


그림 2. 대구시 월평균기온 시계열과 이동평균

단할 수 있다.

기온의 증가추세여부를 더 분명히 판단하기 위해 시계열을 월별로 나누어 분석해보면 그림 3과 같이 나타난다. 월별로 분석한 결과를 보면 연평균기온을 비롯하여 전체 월평균기온자료가 모두 상승추세를 보이고 있음을 알 수 있는데 특히 이러한 경향은 11월~5월, 즉 겨울과 봄에 걸쳐 더 심하게 나타나는 것을 알 수 있다.

월별로 상승추세가 얼마나 다르게 나타나는지를 살펴보기 위해 연평균기온 및 매월별 평균기온자료에 대해 선형회귀분석하여 그 기울기와 상관계수를 표 1에 정리해 보았다. 이 표에서 기울기가 큰 경우일수록 기온이 상승하는 정도가 큼을 나타내며 상관계수가 클수록 기온의 상승경향이 유의하다고 할 수 있다.

전술한 대로 기온이 상승하는 경향은 겨울과 봄에 걸쳐 가장 두드러지게 나타나고 있으나 그 중에서도 4

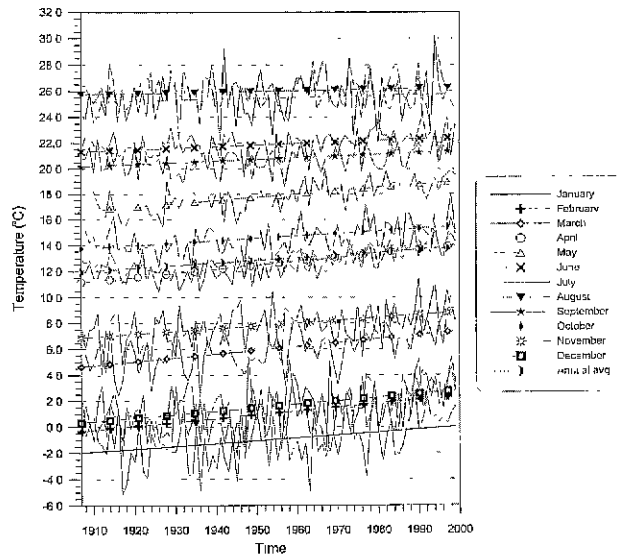


그림 3. 대구시 월평균기온 시계열의 월별 분석

표 1. 매월별 선형회귀식의 기울기와 상관계수

월	1 월	2 월	3 월	4 월	5 월	6 월	7 월
기울기( $\times 10^{-3}$ )	21.463	29.665	29.669	30.448	25.536	12.333	7.195
상 관 계 수	0.3173	0.4694	0.5451	0.6993	0.6454	0.3314	0.1249
월	8 월	9 월	10 월	11 월	12 월	연평균	
기울기( $\times 10^{-3}$ )	6.095	12.961	19.103	21.274	27.057	20.022	
상 관 계 수	0.1353	0.3695	0.4651	0.4093	0.4303	0.7049	

월 기온의 상승경향이 연중 가장 크다는 것을 알 수 있다. 4월은 기온과 상관계수 모두 연중 가장 큰 시기로써 기온의 상승정도도 가장 크며 기온이 상승한다는 사실도 가장 유의하게 받아들여질 수 있다. 기온의 변화량 자체가 민감하게 변하는 변량이므로 4월의 경우보다 변화폭도 작고 변화여부도 유의하지 않은 다른 시기의 자료를 이용해 분석하면 얼마나 간섭의 효과가 보일 것인지 의문이 가는 것이 사실이므로 다른 시기의 자료를 이용해 분석하거나 또는 다른 시기의 자료와 연결해 계절형 모형으로 분석하는 것은 적절하지 않다고 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 4월의 기온 자료를 대상으로 이후의 분석을 수행하고자 한다.

4. 적절한 간섭시점결정

동태모형 (b)를 적정 동태모형으로 결정하였으므로 다음 단계로서 간섭시점을 결정하여 구체적인 모형을 구축해야 할 것이다. 먼저 분석대상으로 결정한 대구시의 4월 기온의 시계열을 보면 그림 4와 같다

간섭모형을 구축하기 위해서는 제일 먼저 간섭이 일어난 시점을 확실히 알아야 한다. 이 모형에서 원래 월평균기온은 어떠한 추세도 갖지않는 정상시계열로 가정하고 간섭때문에 기온상승이 일어났다고 본다. 이산화탄소의 배출량이 급격히 증가한 시점이 간섭이 일어난 시점이 되겠지만 이산화탄소 배출량은 어느 시점을 기준으로 한꺼번에 증가하여 그 영향이 계속되었다고 하기보다는 점진적으로 증가해 왔기 때문에 그 시점은 보는 바에 따라 매우 다르게 바뀔 수 있다. 또한 이산화탄소 배출량의 증가가 댐에서 물을 막는 것처럼 직접적이고 순간적으로 기온상승을 유발하는 것이 아니라 대기중에서 복잡한 과정을 거쳐서 기온을 상승시키는 것이며 밤 지구적 현상이기 때문에 특정지역의 이산화탄소 배출량의 증가시점을 그대로 간섭의 시점으로 볼 수도 없다.

따라서 본 연구에서는 간섭의 시점을 시계열에서 찾아내는 방법을 택했다. 역사적으로 대구시뿐만 아니라 우리나라 전체의 이산화탄소 배출이 증가하기 시작한 것은 대략 1920년대부터로 볼 수 있다. 비록 공업화의 정도는 미약했지만 인구의 증가로 인한 각종 화석연료(숯, 석탄, 석유 등)의 사용이 늘어났고 이후에도 인구 증가로 인해 이산화탄소 배출량은 꾸준히 늘다가 1960년대에 들어서 공업화가 이루어지면서 다시 한번 이산화탄소 배출의 증가율이 높아졌고 1980년대부터는 급속도로 불어날 차량대수로 인해 또다시 이산화탄소 배출의 증가율이 높아졌다. 따라서 본 시계열은 수많은 간섭이 연속적으로 중복된 형태로 보는 것이 적절할 것이다.

간섭이전에는 어떠한 추세도 없다고 가정한다면 최초의 간섭시점까지 선형회귀식의 기울기는 0이 될 것이다. 이를 이용하여 간섭시점을 임의로 1910년부터 1년씩 옮겨가면서 가정하여 시행착오적으로 선형회귀식

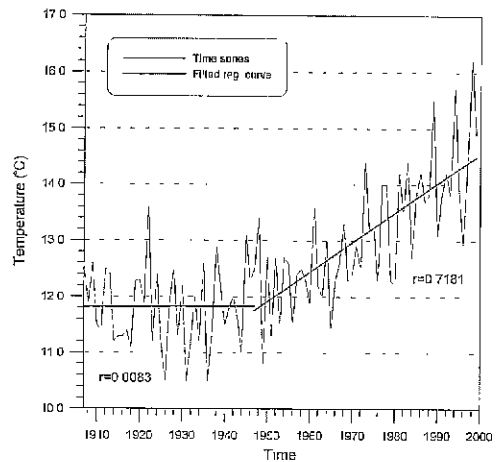


그림 4. 대구시 4월 평균기온 시계열

의 기온기를 구해본 결과 1947년까지는 회귀식의 기온기가 거의 0에 가까웠지만 이후로 점차 증가하는 현상을 보였다. 따라서 본 연구에서 첫번째 간섭시점을 1947년으로 정하게 되었다. 그림 4에서 알 수 있듯이 1947년 이전과 이후로 나누어 시계열의 회귀식을 구해본 결과 1947년이 적절한 간섭시점임을 육안으로도 판단할 수 있다.

1947년 이후로는 기온이 꾸준히 증가하는 성향을 보이지만 그 증가율은 일정하지 않고 시간에 따라 빈화해 왔다. 본 연구에서 적용한 동태모형 (b)를 이용해 1947년을 유일한 간섭시점으로 놓고 후술한 과정에 의해 매개변수를 추정한 결과  $\delta$  값이 1.01945를 보여주었다.  $\delta$  값이 1보다 크게 나온다는 의미는 간섭에 의해 기온이 상승하면서 어떤 값에 수렴하지 않고 발산한다는 것을 의미하며 1개의 간섭시점을 가진 동태모형(b)로는 설명할 수 없음을 뜻한다. 다시 말해 기온의 증가율은 커지기도 하고 작아지기도 하면서 계속 변해왔지만 1947년 이후로도 새로운 간섭이 있어서 장기적인 경향으로 볼 때는 기온의 증가율이 커지고 있음을 말하는 것이며 이렇게 증가되는 경향에 맞추어 매개변수를 추정한 결과  $\delta$  값이 발산하는 결과를 가져왔다고 볼 수 있다.

따라서 제대로 된 모형을 구축하기 위해서는 1947년 이후로도 최소 1개 이상의 간섭이 있었다고 보고 간섭모형을 중복하여 적용하는 것이 필요하다. 이것이 2개의 간섭이 중복된 모형으로 가정한 배경이며 3개 이상의 간섭을 중복시키는 것은 뚜렷한 간섭시점이 나타나지 않아 적용할 수 없었다.

뚜렷한 간섭시점이 나타나지 않는 원인의 하나로 Lamb(1982)의 연구에서 밝혀진 바와 같이 1960년대의 북반구 평균기온 저온화 현상을 들 수 있을 것이다. 대구시의 기온변화는 지역적인 특성을 보임과 동시에 1960년대의 북반구에서의 기온변화에 대한 일반적인 경향과도 일치하고 있음을 그림 5에서 확인할 수 있다. 그림 5는 대구시의 매년 4월 평균기온과 연평균기온 및 이들의 5년 이동평균을 그린 것으로 연평균기온뿐만 아니라 4월 평균기온에서도 1960년대의 저온화 현상의 영향을 받았음을 뚜렷하게 보여주고 있다.

이처럼 1960년대의 저온화 현상으로 인해 기온의 증가율에 특정한 변화경향이 보이지 않고 증가율이 증감을 되풀이함에 따라 뚜렷한 간섭시점이 나타나지 않는 어려움이 있어서 1947년 이후의 제 2의 간섭시점을 찾기 위한 방법으로 자료를 1차 차분하는 방법을 택했

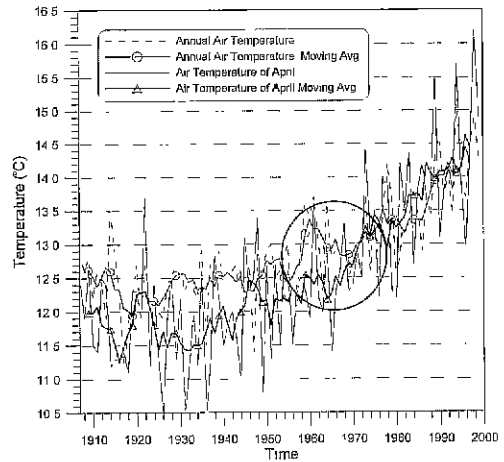


그림 5. 1960년대 북반구 저온화 현상의 대구기온에 대한 영향

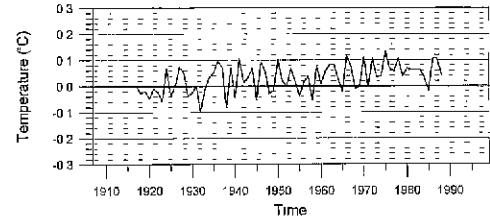


그림 6. 1차 차분한 시계열의 이동평균

다. 자료를 차분하면 추세를 없애주면서 동시에 차분하여 만들어지는 시계열은 '차분하기 전의 시계열이 가진 추세의 기온기'에 해당하는 변량을 갖는다. 따라서 기온기가 유의할 만큼 변한 시점이 있다면 그 시점 전후의 차분한 시계열의 값이 달라질 것이다.

기온자료의 경우 이 기온기의 값이 매우 작고 미세하게 나타나므로 1차 차분한 시계열의 이동평균(moving average)을 구하여 비교해 볼 필요가 있다. 1차 차분한 시계열의 21개월 이동평균을 구하여 그림 6에 나타내었다. 기온기의 변화치체가 매우 미세하면서도 연속적으로 나타나므로 그림 6과 같이 이동평균을 구해 세로축을 확대해서 보아도 명백히 기온기가 변하는 시점을 판단하는 것은 쉽지 않다. 그러나 이 그림에서 1920~1930년대의 기온기와 1980~1990년대의 기온기는 확실한 차이가 있음을 알 수 있다. 최초의 간섭시점으로 이미 결정된 1947년 이후로 기온기가 진동을 보이면서 점진적으로 증가하므로 결정하기가 쉽지는 않으나 1970년 이후로는 거의 모든 변량이 0이

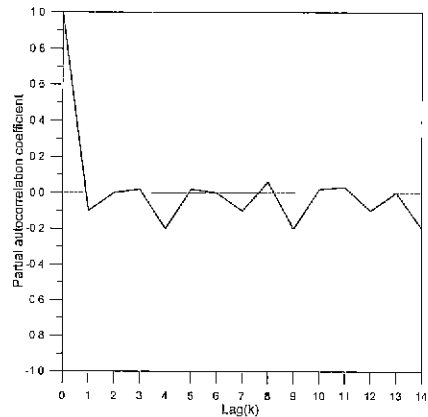
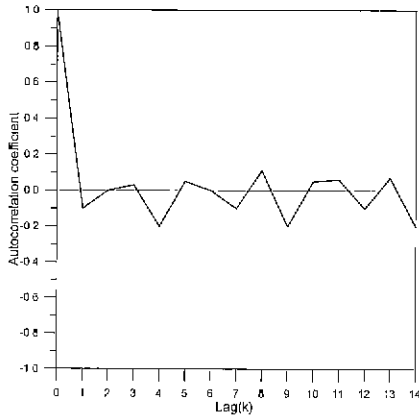


그림 7. 간섭이 있기 전 시계열의 ACF 및 PACF

상의 값을 보이는 점에 착안하여 2번째 간섭시점으로 1970년을 선정하였다. 또한 1970년은 북한구 평균기온 저온화 현상이 끝나는 시점과도 거의 일치한다. 결론적으로 본 연구에서는 1947년과 1970년을 간섭시점으로 하는 동태모형 (b)가 중복된 시계열로 보고 대구시의 4월 기온을 분석하기로 하였다.

### 5. 모형의 적용

본 연구에서 사용하는 동태모형(b)가 2개 중복된 시계열은 식 (6)을 응용하여 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$y_t - \mu_y = \frac{\omega_1 B}{1 - \delta_1 B} S_{t1}^{(T)} + \frac{\omega_2 B}{1 - \delta_2 B} S_{t2}^{(T)} + N_t \quad (7)$$

여기서 2개의 계단입력함수는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$S_{t1}^{(T)} = 0 \quad (t \leq 1947) \quad (8)$$

$$S_{t1}^{(T)} = 1 \quad (t > 1947) \quad (9)$$

$$S_{t2}^{(T)} = 0 \quad (t \leq 1970) \quad (10)$$

$$S_{t2}^{(T)} = 1 \quad (t > 1970) \quad (11)$$

간섭시계열모형을 추정하기 위해서는 제 1단계로 간섭시점 이전의 시계열자료를 이용해서 잡음항모형을

식별하고 제 2단계로 간섭시점 이전과 이후 모든 관찰 점들로 구성된 전체 시계열자료를 이용해서 잡음항모형과 동태모형을 동시에 추정한다(최병선, 1995).

잡음항은 간섭전후에서 동일한 특성을 가진다고 보고 1907~1947년 사이의 자료를 이용해 ARMA(Autoregressive Moving Average)모형을 구축한다. 1907~1947년 사이의 자료를 이용해 구한 ACF(Autocorrelation Function) 및 PACF(Partial Autocorrelation Function)는 그림 7과 같다. 그림 7과 같은 ACF 및 PACF를 통해 이 시계열의 잡음항은 우선 ARMA(0,0)에 가깝다고 판단할 수 있다. 그러나 좀 더 정확한 잡음항모형의 선정을 위해 작은 가능성이라도 보이는 ARMA모형을 모두 적용하여 매개변수를 추정해 각각의 경우에 대해 AIC(Akaike's Information Criterion)값과 BIC(Bayesian Information Criterion)값을 구해보았으며 그 결과는 표 2와 같다.

그 결과 예측한 대로 ARMA(0,0)의 경우가 AIC, BIC값이 모두 가장 작게 나와서 가장 적절한 모형임을 보여주고 있다.

잡음항의 차수가 결정되었으므로 이제 전체시계열자료를 모두 이용해서 잡음항모형과 동태모형을 동시에 추정한다 이 과정은 통계package인 SAS(SAS Institute Inc., 1989-1996)에서 실시하였으며 추정된 매개변수는 표 3과 같다.

이렇게 추정된 매개변수를 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 중복간섭모형을 이용해 구한 대구시 4월 기온의 변화식을 얻을 수 있다.

표 2. 잡음항의 적정치수결정

모형	AIC값	BIC값	비고
ARMA(0,0)	213.032	225.586	
ARMA(1,1)	224.311	241.887	
ARMA(1,0)	213.092	228.157	
ARMA(4,0)	214.649	229.714	AR1 ~3항을 0으로 고정
ARMA(4,0)	214.769	232.345	AR2, 3항을 0으로 고정

표 3. 매개변수 추정결과

매개변수	$\mu_y$	$\omega_1$	$\delta_1$	$\omega_2$	$\delta_2$
추정값	11.773	1.223	-0.845	0.106	0.976

$$y_t = 11.773 + \frac{1.223B}{1+0.845B} S_{t1}^{(7)} + \frac{0.106B}{1-0.976B} S_{t2}^{(7)} + N_t \quad (12)$$

여기서  $N_t$ 는 ARMA(0,0)을 따른다.

이렇게 구축된 모형을 이용한 시계열의 예측은 먼저 입력변수를 예측할 기간만큼 외삽(extrapolation)하되 간접시계열은 모두 1의 값을 갖게 하고, 관측 값은 결측치로 비워두고 예측할 기간의 결측치를 모형을 이용해 채움으로써 수행된다. 본 연구에서는 2000~2019년의 20년에 해당하는 기간을 예측해 보았으며 그 결과는 표 4 및 그림 8과 같다

### 6. 결론

본 연구에서는 대구시의 4월 평균기온자료에 대해 간접모형을 적용하여 온도변화의 양상이 어떠했는지를 분석하고 향후의 기온을 예측해 보았다. 연구결과 대구시의 4월 기온은 상당 기간 계속해서 상승할 것으로 나타나고 있다. 그러나 이러한 결과는 모형의 구축과정에서 가정했던 조건 하에서 유의한 것으로 특히 간접의 시점에 영향을 받는다. 그러나 본 연구에서는 현재까지의 도시별 이산화탄소 배출량 변화를 정량적으로 추정하기 어려운 이유로 간접의 시점을 시계열상에 나타난 시점으로 선정하였고 그 결과 간접시점은 크게 1947년과 1970년인 것으로 분석되었다.

본 연구에서 적용한 간접모형의 특성상 시간이 지나면 대구지역의 4월 평균기온은 어떤 일정한 값에 수렴

표 4. 대구시 4월 평균기온 예측결과 및 95% 신뢰구간

연도	예상 4월 평균기온	하한계 기온	상한계 기온
2000	14.732	13.251	16.213
2001	14.783	13.302	16.264
2002	14.833	13.352	16.314
2003	14.882	13.401	16.363
2004	14.930	13.449	16.411
2005	14.976	13.495	16.457
2006	15.022	13.541	16.503
2007	15.066	13.585	16.547
2008	15.110	13.629	16.591
2009	15.152	13.671	16.633
2010	15.193	13.712	16.674
2011	15.233	13.752	16.714
2012	15.273	13.792	16.753
2013	15.311	13.830	16.792
2014	15.348	13.867	16.829
2015	15.385	13.904	16.866
2016	15.420	13.939	16.901
2017	15.455	13.974	16.936
2018	15.489	14.008	16.970
2019	15.522	14.041	17.003

하게 되어 있으나 본 연구의 결과로는 그 수렴속도가 매우 느려서 향후 70년 이후에도 연간 0.015℃정도의 비율로 기온이 상승할 것으로 나타나고 있다. 비록 본 연구가 상대적으로 온도의 변화가 가장 큰 4월의 기온을 대상으로 분석하였으나 다른 월이나 연평균 기온의



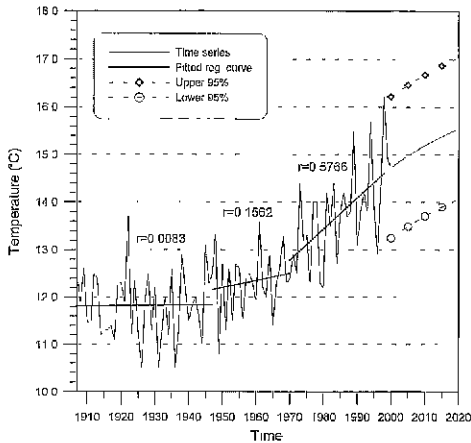


그림 8. 중복간섭모형을 이용해 예측한 대구시의 4월 기온변화

경우에 대해서도 비슷한 경향이 있을 것으로 판단된다. 예를 들어 연평균기온자료에 대해 같은 간섭모형을 적용한 결과에서는 4월의 기온자료에 비해 상대적으로 수렴정도가 약한 (즉, 보다 장기간의 증가) 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

이러한 기온의 증가 경향은 지역적인 영향에 지구온난화의 영향이 중첩된 결과로 해석된다. 지구온난화의 영향을 분리한 후 이러한 간섭모형을 적용한다면 지역적인 영향만을 따로 분리할 수 있으리라 판단되나 그러한 과정은 추가의 분석을 필요로 하므로 후후의 연구과제로 남기기로 한다.

### 참 고 문 헌

오재호 (1999) 기후학Ⅱ. 아르케, pp. 311~328.  
 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999a). "지구온난

화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 : 1. 연/월강수량의 변화에 따른 일강수량 분포의 변화분석." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp. 617~625.

윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999b). "지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 2 지구 온난화에 따른 일강수량 분포의 변화 추정." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp. 627~636.

이재수 (2000). 자연재해의 이해. 구미서관, pp. 11~14.

이재숙 (1988). 남한의 연 평균 기온 변동률에 관한 연구. 석사학위논문, 이화여자대학교, pp. 13~31.

최병선 (1995). 다변량시계열분석, 세경사, pp. 419~470.

Box G.E.P., and Tiao, G.C. (1975). "Intervention analysis with applications to economic and environmental problems." *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 70, No. 349, pp. 70~79

Hipel K.W., Lennox, W.C., Unny, T.E., and McLeod, A.I. (1975). "Intervention analysis in water resources." *Water Resources Research*, Vol. 11, No 6, pp 855~861.

Lamb H.H. (1982). *Climate, history and the modern world* Methuen, pp. 247~271

SAS Institute Inc. (1989-1996). *The SAS system for windows release 6.12.*

(논문번호:00-016/접수:2000.03.07/심사완료:2000.07.16)