

## 수질오염총량관리를 위한 오염원 예측기법 개발 - 생활계 오염원 인구 예측 -

박준대<sup>†</sup> · 박주현 · 이수웅 · 정동환 · 류덕희

국립환경과학원 환경총량관리연구부 수질총량과

## Development of Prediction Techniques of Water Pollution Sources for the Management of Total Maximum Daily Load - Population Prediction of Pollution Sources from Human Living -

Jundae Park<sup>†</sup> · Juhyun Park · Suwoong Lee · Donghwan Jeong · Doughee Rhew

Water Pollution Cap System Division, Environmental Cap System Research Department, National Institute of Environmental Research  
(Received 8 June 2007, Accepted 16 July 2007)

### Abstract

It is necessary to predict future water pollution sources in the establishment of Total Maximum Daily Load (TMDL) plan for watershed management. There are some difficulties and limits in estimating the pollution sources accurately since the prediction method is not firmly established. This study reviewed the existing methods of prediction and developed a technique which is able to predict future water pollution sources more reasonably & accurately with the consideration of regional characteristics. The characteristics were obtained by analyzing the change pattern of pollution sources by region and incorporated in the technique. A distinctive feature of the technique is to eliminate the influences of land use change included in the pollution source data of a region. The technique has been applied and tested. The test result showed the improvement on the prediction accuracy. A computer program was also developed for the easy application of the technique.

**keywords** : Change pattern of pollution sources, Elimination of increment, Land use change, Prediction technique, Regional characteristic, Total maximum daily load (TMDL)

### 1. 서론

수질오염총량관리를 위한 기본계획 및 시행계획 수립이나 도시기본계획을 수립하기 위해서는 수질오염원에 대한 현황조사 및 장래전망이 필수적이다(최 등, 1986; USEPA, 1997).

수질오염총량관리를 위한 오염원조사 및 장래예측의 정확성은 수계구간의 목표수질 설정과 그에 따른 해당지역의 개발부하량 및 삭감부하량 할당에 직접적으로 연관될 뿐만 아니라 오염부하량 관리목표에 따른 삭감수단의 규모와 삭감시설들의 투자시기를 결정하는데 있어서도 매우 중요하다. 오염원 지표의 예측이 잘못되면 각종 삭감계획이 과다 혹은 과소 수립됨으로써 수질개선을 위한 자원의 효율적 이용을 저해하게 된다. 이처럼 미래의 오염원이 증감하는 현상을 파악하고 원인을 찾아내는 일련의 과정은 오염원 증감에 따라 요구되는 관리계획과 정책적 수단을 위해 불가피한 것이다.

오염원은 지역에 따라 자체적인 동적변화 인자 또는 주

변 환경요인에 의하여 끊임없이 변화하기 때문에 장래 오염원을 정확하게 예측하기 위해서는 지역별 오염원 변화의 요인이 되는 인자들의 속성 및 변화과정을 이해하여 그 변화특성들이 적절하게 반영되어야 한다(안, 1997; UCWR, 1995; 이 등, 1991; 유 등, 1992). 오염원 변화를 알아내기 위해서는 주변 환경적 요소를 면밀히 검토함으로써 오염원 변화의 신호를 찾아낼 수 있다. 그러나 이러한 오염원 예측에는 여러 가지 어려움이 따르는데 오염원 예측에서 감안되어야 하는 환경적 요소 등에 대한 가정의 설정이나 예측에 필요한 자료의 수집과 분석상의 어려움을 비롯하여 자료의 계량화 문제, 예측방법의 한계성, 예측전문가의 주관적 요소 및 예측절차의 자기 제한적 요소 등에 대한 어려움이 있다. 예로서 기존방법에 의한 과거추이 분석은 자료 속에 내재되어 있는 영향요인 등을 판별하지 못함으로써 장래 예측시에 왜곡된 결과를 초래하게 되며 이와 같은 원인들에 의해 예측의 정확도나 효용성이 달라진다.

본 연구에서는 수계내의 지역별 특성을 고려하여 보다 과학적이고 합리적인 방법으로 오염원의 변화를 예측할 수 있는 기법을 개발함으로써 오염총량관리제도의 시행과정 중에 실용적으로 적용할 수 있는 표준화된 오염원 예측기법을 제시하고자 한다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
parkjd@me.go.kr

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 오염원 예측방법 검토 및 분석

기존의 오염원 예측방법을 검토하고 오염원 예측 오류 및 예측시 발생하는 문제점을 분석하였다. 오염총량관리에서 나타나고 있는 기존 예측방법을 보면 과거 오염원 자료의 공간적 분석단위가 최소 행정구역 단위인 동·리 지역 단위와 일치하지 않고 있으며, 또한 과거 오염원 자료는 인위적인 개발행위로 인한 오염원 증감량이 내재되어 있어 오염원 예측시에 문제점이 발생할 수 있다.

### 2.2. 오염원 변화유형 및 특성분석

오염원 예측시에 지역특성을 반영할 수 있도록 도시지역, 도시·농촌 혼합지역 및 농촌지역에 대한 오염원 변화유형 및 특성을 분석하였다. 분석에 사용된 자료는 충청북도 및 전라남도 수질오염총량관리 기본계획 수립시 조사된 자료를 이용하였다(충청북도청, 2005; 전라남도청, 2005). 오염원으로는 생활계의 대표적인 오염원인 인구를 대상으로 하여 지역별 인구증감을 변화 및 자연증감과 개발증가에 대한 인구 변화유형을 분석하고 이에 따른 자연증감 범위와 개발영향 판별조건을 분석하였다.

### 2.3. 오염원 예측방법 표준화

오염총량관리를 위한 오염원 예측기준을 설정하고 오염원 예측기준에 따라 지역별 특성을 고려하여 보다 합리적이고 적정하게 오염원을 예측할 수 있는 절차 및 방법을 개발하였다.

오염원 예측기법을 실제 업무에 적용할 수 있도록 컴퓨

터 프로그램을 작성하였으며, 기존 예측방법과 예측결과를 비교·검토하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 기존 오염원 예측방법 및 예측상의 문제점

오염총량관리를 위한 기존 오염원 예측과정에서 나타난 주요 문제점은 크게 두 가지를 들 수 있는데 오염원조사 기초단위인 동·리 지역단위와 공간적 예측단위가 일치하지 않는다는 점과 개발로 인하여 과거 오염원자료 속에 내재된 오염원 증감률이 오염원 예측시에 영향을 미친다는 점을 들 수 있다.

오염총량관리계획에서는 오염원 기초조사단위인 동·리 지역단위로 예측하게 되어 있으므로 시·군 전체지역의 오염원 변화율을 일괄적으로 적용시킬 경우, 개별 동·리 지역의 오염원 변화율과 일치되지 않을 수 있다. 다음 Fig. 1에서 보는 바와 같이 광역적인 추이를 살펴보면 오염원이 증가하거나 감소하거나 전체지역에 대하여 하나의 변화유형으로 나타난다. 그러나 소유역이나 개별 동·리 지역단위의 추이를 보면 지역에 따라서 증가하는 지역도 있으며 감소하는 지역도 존재할 수 있다. 또한 오염원이 증가하거나 감소하는 경우에도 그 증감률은 광역적인 증감율과는 전혀 다른 양상으로 나타날 수 있다(정, 1997).

어느 지역에서 개발행위가 이루어지지 않은 경우에는 자연적인 증감률에 따라 오염원 변화유형이 나타나지만 개발행위가 이루어진 경우에는 해당지역의 오염원 증감률이 급격하게 변화하여 자연적인 오염원 변화유형과는 전혀 다른 양상으로 나타나게 된다(안, 1997). 다음 Fig. 2는 과거 오

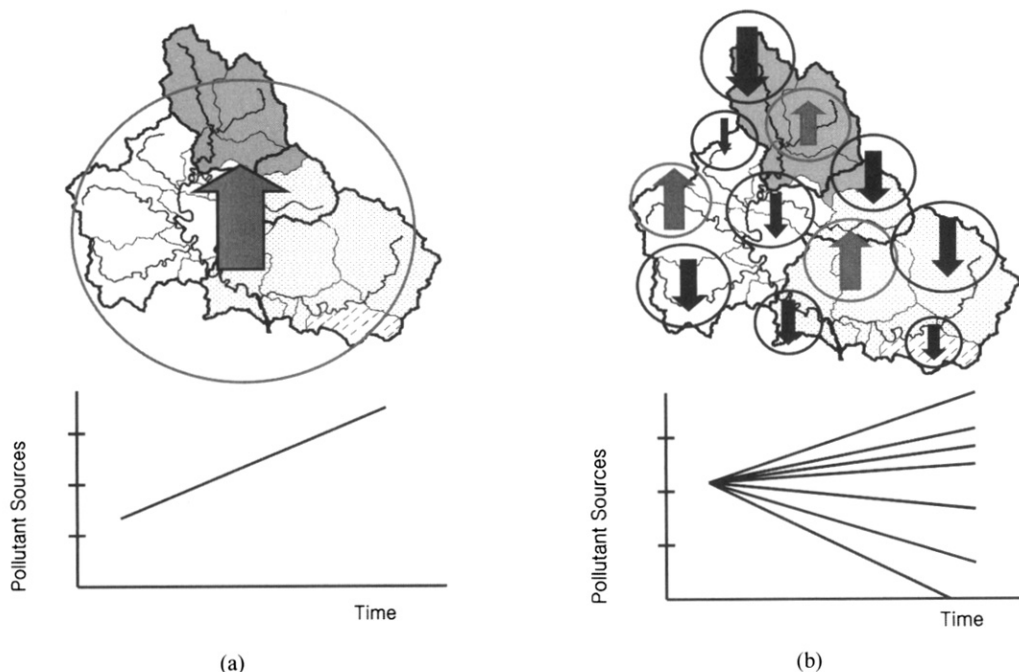


Fig. 1. Conceptual representation of prediction errors caused by analyzed watershed scale : (a) Large river basin was analyzed indicating increase tendency; (b) Smaller watershed scale leading to various tendencies.

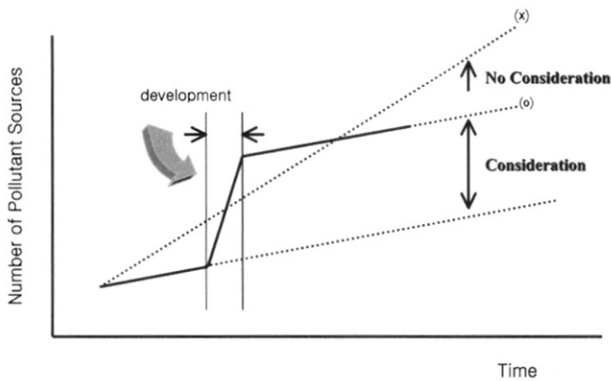


Fig. 2. Comparison of conceptual prediction results depending on consideration of land use changes.

염원자료 속에 개발영향이 내재되어 있는 경우에 실제 나타날 것으로 예상되는 오염원 변화와, 기존 예측방법에 의하여 예측한 장래 오염원 예측결과를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 자연증감에 의한 장래 오염원 예측시 오염원 예측의 근거자료가 되는 과거 추이자료에 개발부하량이 포함되어 있을 경우에는 오염원이 과다예측되게 된다.

### 3.2. 오염원 변화유형 및 변화특성

오염원 변화는 지역적 특성에 따라 그 양상이 다르게 나타날 수 있으며, 가장 큰 변화요인으로는 지역개발 여부이다(경, 1993; 서 등, 2000; 오 등, 2001). 즉, 동일한 지역 내에서도 개발이 이루어지느냐 이루어지지 않느냐에 따라서 오염원 변화양상이 크게 달라질 수 있다. 그러므로 오염원 예측과정에서는 이와 같은 변화양상이 적절하게 반영될 수 있도록 해야 한다(최 등, 1991; 김, 1992).

어느 지역에서 개발증가가 이루어지면 개발년도를 기준으로 하여 개발영향이 나타난다. 그러나 과거의 모든 개발 현황자료를 오염원자료에 직접 적용하여 개발증가 여부나 개발증가로 인하여 증감율이 변화되는 연도를 판별하는 것은 사실상 불가능하다. 그러므로 과거 오염원자료를 대상으로 오염원 변화특성 즉, 개발영향 변화인자들에 대한 속성을 분석함으로써 개발영향 여부를 판별할 수 있다.

과거 추이분석 기간동안의 연차별 오염원 증감율은 지역 또는 연도에 따라 “+”와 “-”로 나타난다.

오염원 증감율이 “+”인 지역에서는 개발이 있을 경우 일반적으로 나타날 수 있는 자연증감율에 비해 증감율 상승이 급격하게 이루어지므로 연차별 증감율 자체로도 개발영향 판별이 용이하다.

그러나 오염원 증감율이 “-”인 지역에서는 개발에 의한 증감율 상승이 이루어진 경우에도 연차별 증감율은 여전히 “-”를 나타내는 경우가 있기 때문에 연차별 증감율 자체만으로는 개발영향 여부를 판별하는 것이 어려운 경우가 있다. 왜냐하면 오염원 증감율이 “-”인 지역의 자연증감율은 그 지역 자체의 감소요인에 의한 것 뿐만이 아니라 일시적인 외부전출에 의한 감소요인이 복합되어 나타나고 있기 때문이다. 따라서 이러한 지역에서는 개발이 이루어지지 않더라도 외부 전출요인이 없다면 자연적으로 오염원 감소

추세가 완화되어 증감율 상승이 이루어지기도 한다. 그러므로 오염원 증감율이 “-”인 지역에서는 이와 같은 외부전출요인을 포함한 자연증감율의 범위를 파악하는 것이 필요하며, 이것은 연차별 증감율 상대차이(이하 “증감율 상대차이”라 한다. 증감율 상대차이=당해년도 증감율 - 직전년도의 증감율)로 구할 수 있다. 즉, 개발이 이루어지지 않는 기간 동안의 증감율 상대차이로서 자연증감율을 파악하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 도시지역의 개발영향을 판별하기 위하여 도시지역을 오염원 증감율이 “+”인 지역과 오염원 증감율이 “-”인 지역으로 구분하고, 오염원 증감율이 “+”인 지역에서는 「연차별 증감율」을 개발영향 판별인자로 설정하였으며, 오염원 증감율이 “-”인 지역에서는 「증감율 상대차이」를 개발영향 판별인자로 설정하였다.

본 연구에서는 오염원 변화특성이 다르게 나타날 수 있는 지역으로서 “도시지역”, “도시·농촌 혼합지역” 및 “농촌지역”에 대하여 그 변화특성을 분석하였다. 도시지역에 대한 오염원 변화유형을 파악하기 위해 오염총량관리 오염원 예측방법 검토대상 지역 중 도시지역의 특성을 잘 나타낼 수 있다고 판단되는 충북 청주시에 대한 오염원 변화유형을 분석하였다. 청주시 연차별 인구증감율은 전체지역의 경우 1.9~2.1%의 범위로서 비교적 매년 일정한 증감율을 보이고 있으나 최소 행정단위인 동 크기로 보면 최소 -7.4%에서 최대 78.6%까지 연도 및 지역에 따라 큰 차이를 나타내고 있다.

청주시의 개발영향을 판별하기 위해 도시 전체지역을 오염원 증감율이 “+”인 지역과 오염원 증감율이 “-”인 지역으로 구분하고 이 지역을 다시 미개발지역과 개발지역으로 분류하여 개별 동 크기 지역에 대한 연차별 증감율과 증감율 상대차이를 분석하였다.

오염원 증감율이 “+”인 지역의 연차별 증감율을 분석한 결과, 미개발지역에서는 0.0~0.7%의 증가율을 나타내고 있는 반면, 개발지역에서는 2% 이상으로 그 범위가 매우 넓게 나타나고 있다. 이와 같은 결과로 보아 오염원 증감율이 “+”인 지역에서는 약 2% 정도의 연차별 증감율이 개발이 이루어지는 경계점으로 판단할 수 있을 것으로 본다.

한편, 오염원 증감율이 “-”인 지역의 증감율 상대차이 분석결과, 증감율의 상대차이가 미개발지역에서는 3.7% 이하 및 개발지역에서는 4.1% 이상으로 나타나고 있으므로 이와 같은 결과로 보아 오염원 증감율이 “-”인 지역에서 약 4% 정도의 증감율 상대차이가 자연증감 범위와 개발영향 범위의 경계점이 되는 것으로 판단된다(Table 1).

우리나라 도시지역 중 특이한 형태의 하나는 도시와 농촌이 혼합되어 있는 형태이다. 이와 같은 지역에서는 지역 전체가 동일한 특성을 나타내고 있는 것이 아니라 지역에 따라 각기 다른 특성을 나타낼 수가 있다.

도시·농촌 혼합지역에 대한 오염원 변화유형을 파악하기 위해 도시·농촌 혼합지역의 특성을 잘 나타낼 수 있다고 판단되는 지역인 전남 나주시 지역에 대한 오염원 변화유형을 분석하였다. 나주시의 연차별 인구증감율은 나주시

**Table 1.** The range of yearly increase & decrease rate, and relative difference of population in Cheongju city

Region	Sector	Discriminator	Non - developed area (natural change)	Developed area (development increments)
Urban area (Cheongju city)	Pollution increase area	Yearly increase & decrease rate (%)	0.0 ~ 0.7	2.0 ~ 78.6
	Pollution decrease area	Relative difference (%)	-2.7 ~ 3.7	4.1 ~ 19.8

전체지역의 경우 -2.8 ~ -1.4%의 범위를 나타내고 있으나 각 개별 동·리 지역의 경우에 있어서는 연차별 증감율이 최소 -5.8%에서 최대 33.7%까지 나타나고 있으며, 도시지역에서는 차이가 크며, 농촌지역에서는 비교적 차이가 적게 나타나고 있다.

나주시의 개발 동 지역에서는 개발이 이루어진 연도에 대부분 높은 증가율을 나타내고 있으며, 개발이 이루어지지 않은 연도와 증가율 차이가 뚜렷하게 구별된다.

나주시의 오염원 증가율이 “-”인 지역에서는 개발이 이루어지지 않은 경우에도 자연증가에 의한 변동이 3.9%까지 나타나고 있으며, 개발이 이루어진 지역에서는 증감을 상대 차이가 6.8% 이상으로 나타나 개발에 의한 영향이 작용하고 있음을 알 수 있다(Table 2).

농촌지역인 담양군의 연차별 인구증감율은 담양군 전체 지역의 경우 -2.1 ~ -3.2%의 범위로서 1.1%의 연차별 증감을 차이를 나타내고 있으나 각 개별 리 지역의 경우에 있어서는 연차별 증감율이 최소 -0.6%에서 최대 5.5%까지 나타나고 있다. 담양군의 개발지역에서는 개발이 이루어진 연도에도 그 규모가 작아 개발에 의한 영향이 나타나지 않고 있으며 미개발 지역과 마찬가지로 대부분이 감소추세를 나타내고 있다.

담양군에서는 오염원 증가율이 “+”인 지역이 없으므로 연차별 증감율은 분석하지 않았으며, 오염원 증가율이 “-”인 지역에서는 개발이 이루어지지 않은 경우에 자연증가에 의한 변동이 3.2%까지 나타날 수 있음을 알 수 있다(Table 3).

### 3.3. 오염총량관리 오염원 예측기법 및 적용방안

#### 3.3.1. 오염원 예측기법

##### 3.3.1.1. 개발영향소거 오염원 예측절차

오염원 예측기준에 따라 개발영향을 소거함으로써 오염원 예측이 합리적이고 적정하게 이루어질 수 있도록 본 연구에서는 다음과 같이 오염원 예측절차를 정립하였다.

##### ① 오염원자료 처리 및 분석

해당지역의 개발영향기준 설정 및 연차별 개발영향을 판별하기 위하여 과거 5년간의 동·리 지역별 오염원자료에 대한 연차별 증감을 및 증감을 상대차이를 분석한다.

##### ② 개발영향기준 설정

개발영향기준은 오염원 증가율이 “+”인 지역에서는 「연차별 증감율」을 기준으로 하였으며, 오염원 증가율이 “-”인 지역은 「증감율 상대차이」를 기준으로 하여 설정하였다. 청주시, 나주시 및 담양군 세 지역의 자연증감 범위 및 개발영향 판별조건 분석 등 특성분석자료에 근거하여 Table 4와 같이 개발영향기준을 설정하였다. 이 기준은 지역특성이 각기 다른 도시지역, 도농 혼합지역 및 농촌지역의 지역특성 분석결과로부터 도출된 값으로서 개발영향 여부를 판별할 수 있는 경계값을 나타낸 것이다.

##### ③ 동·리 지역별 개발영향 판별

연차별 증감율과 증감을 상대차이 등 개발영향 판별인자를 개발영향기준과 비교하여 해당년도에 개발증가가 포함되어 있는지의 여부를 판별한다. 해당년도의 연차별 증감율 및 증감을 상대차이가 개발영향기준 이상인 경우에는 개발영향이 있는 것으로 판별한다.

**Table 2.** The range of yearly increase & decrease rate, and relative difference of water pollution source in Naju city

Region	Sector	Discriminator	Non - developed area (natural change)			Developed area (development increments)		
			Urban	Rural	Whole	Urban	Rural	Whole
Mixed area (Naju city)	Pollution increase area	Yearly increase & decrease rate (%)	-	-	-	11.1 ~ 33.7	-	11.1 ~ 33.7
	pollution decrease area	Relative difference (%)	- 2.7 ~ 2.4	- 3.5 ~ 3.9	- 3.5 ~ 3.9	6.8	- 2.1 ~ 3.5*	6.8

\* the value of whole period in the developed area

**Table 3.** The range of yearly increased & decreased rate, and relative difference of population in Damyang county

Region	Sector	Discriminator	Non - developed area (natural change)	Developed area (development increments)
Rural area (Damyang county)	Pollution source increase area	Yearly increase & decrease rate (%)	-	-
	Pollution source decrease area	Relative difference (%)	- 4.5 ~ 3.2	- 3.0 ~ 1.8*

\* the value of whole period in the developed area

**Table 4.** The criteria on the influences of development

Region	Discriminator	The range of natural variation	Criteria on the influences of development
Pollution source increase area	Yearly increase & decrease rate	below 2.0%	above 2.0%
Pollution source decrease area	Relative difference	below 4.0%	above 4.0%

④ 동·리 지역별 개발증가량 산정

개발영향이 있는 것으로 판별된 연도의 개발증가량(자연증가량 이외의 개발영향에 의한 순 증가량)을 산정한다.

⑤ 동·리 지역별 개발증가량 소거

해당연도의 오염원으로부터 개발증가량 즉, 개발영향을 소거하여 순 자연증가에 의한 오염원을 산정한다.

⑥ 동·리 지역별 순 자연증가율에 의한 오염원 예측

자연증가 오염원을 기초로 등차급수식이나 등비급수식 또는 선형회귀식을 적용하여 자연증가를 추이분석에 근거한 최종 목표년도까지의 오염원을 연차별로 예측한다.

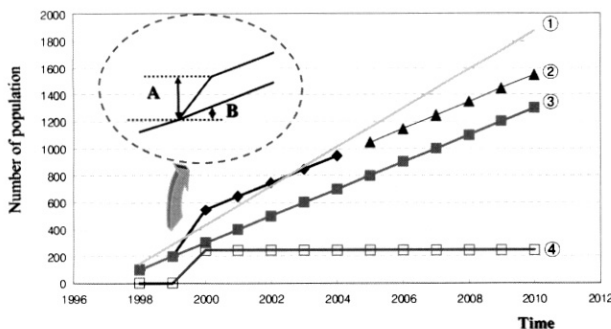
⑦ 동·리 지역별 최종오염원 예측량 산정

순 자연증가율에 의한 오염원 예측결과에 개발증가량을 다시 더하여 최종 오염원 예측량으로 한다.

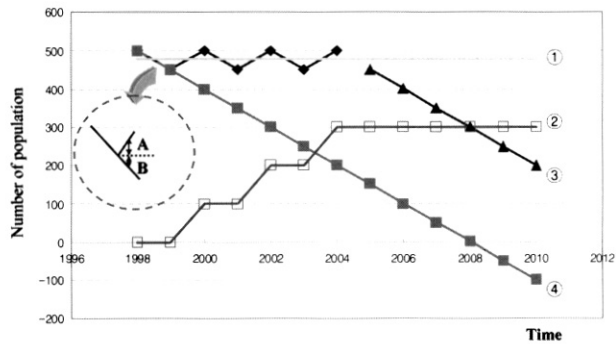
다음 Fig. 3은 오염원 증감율이 “+”인 지역에서 개발영향 소거법을 이용하여 장래 오염원을 예측하는 과정을 도해한 예시이다.

Fig. 3에서 과거 추이분석의 근거가 되는 오염원자료는 1998년부터 2004년까지의 자료이며 2000년에 개발이 1회 이루어진 경우로 가정하였다. 만일 개발영향을 고려하지 않고 장래 예측을 한다면 ①값이 예측될 것이다. 그러나 실제 예측되어야 하는 값은 ②값이다. 그러므로 개발영향을 고려하여 장래 예측을 하기 위해서는 2000년도의 개발영향(개발증가량) ④값을 소거해야 하는데 이는 2000년도의 실제 총 증가량 A에서 2000년도의 자연증가량 B를 빼면 된다. 이와 같이 하여 장래 예측을 하면 ③값과 같이 예측되며, 이 예측값에 앞에서 소거한 개발증가량 ④값을 더하면 최종 오염원 예측량 ②값이 된다.

다음 Fig 4.는 오염원 증감율이 “-”인 지역에서 개발영향



**Fig. 3.** The diagram on the prediction of population with and without the consideration of land use changes in the increased region : ① predicted result without consideration; ② predicted result with consideration; ③ predicted result on natural state; ④ development increment; A-actual increment in the year; B-natural increment in the year.



**Fig. 4.** The diagram on the prediction of population with and without the consideration of land use changes in the decreased region : ① predicted result without consideration; ② development increment; ③ predicted result with consideration; ④ predicted result on natural state; A-actual increment in the year; B-natural increment in the year.

소거법을 이용하여 장래 오염원을 예측하는 과정을 도해한 예시이다.

Fig. 4에서 과거 추이분석의 근거가 되는 오염원자료는 1998년부터 2004년까지의 자료이며 2000년, 2002년, 2004년에 개발이 총 3회 이루어진 경우로 가정한 것이다. 만일 개발영향을 고려하지 않고 장래 예측을 한다면 ①값이 예측될 것이다. 그러나 실제 예측되어야 하는 값은 ③값이다. 그러므로 개발영향을 고려하여 장래 예측을 하기 위해서는 2000년, 2002년, 2004년도의 개발영향(개발증가량) ②값을 소거해야 하는데 이는 각 해당연도의 실제 총 증가량 A에서 자연증가량 B를 빼면 된다. 이와 같이 하여 장래 예측을 하면 ④값과 같이 예측되며, 이 예측값에 앞에서 소거한 개발증가량 ②값을 더하면 최종 오염원 예측량 ③값이 된다.

3.3.1.2. 개발영향소거 오염원 예측식

개발영향소거 오염원 예측절차에 따라 각 과정에 대한 목적성분들의 분석값을 산출하기 위해서 예측식을 작성하였다.

① 개발영향 판별식

개발영향 판별식은 해당연도의 오염원 속에 내재된 개발에 의한 영향 즉, 개발증가량이 포함되어 있는지, 아닌지의 여부를 판별하는 식으로서 연차별 증감을 산정식과 증감을 상대차이 산정식으로 구성되어 있다.

연차별 증감율은 다음 식 (1)과 같이 산정한다.

$$R_i = \frac{P_{(i+1)} - P_i}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $R_i$  :  $i$ 년도의 증감율  
 $P_i$  :  $i$ 년도의 오염원  
 $P_{(i+1)}$  :  $(i + 1)$ 년도의 오염원

증감율 상대차이는 다음 식 (2)와 같이 산정한다.

$$R_{\Delta i} = R_i - R_{(i-1)} \quad (2)$$

여기서,  $R_{\Delta i}$  :  $i$ 년도의 증감율 상대차이  
 $R_i$  :  $i$ 년도의 증감율  
 $R_{(i-1)}$  :  $(i - 1)$ 년도의 증감율

다음 식 (3)과 같은 논리식으로 개발영향을 판별하며, 이 논리식을 만족할 경우에 개발영향이 있다고 보는 것이다.

$$R_i \geq 2 \text{ 또는 } R_{\Delta i} \geq 4 \quad (3)$$

② 개발증가량 산정식

개발증가량 산정식은 해당년도에 포함된 개발증가량(자연증가량 이외의 개발영향에 의한 순증가량)을 산정하는 식으로서 다음 식 (4)와 같다.

$$ip = a_i - P_{(i-1)} R_{n(i-1)} \quad (4)$$

$$a_i = P_i - P_{(i-1)}$$

여기서,  $ip$  :  $i$ 년도의 개발증가량(순유입량)  
 $a_i$  :  $i$ 년도의 실제증가량  
 $P_i$  :  $i$ 년도의 오염원량  
 $P_{(i-1)}$  :  $(i - 1)$ 년도의 오염원량  
 $R_{n(i-1)}$  :  $(i - 1)$ 년도의 자연증감율

개발영향을 소거하였을 경우의 당해년도 자연증감 변화율은 전년도 자연증감 변화율을 적용한다. 전년도 자연증감율이 없는 경우에는 다음 기간동안의 연차별 증감율 중 최소값과 개발영향기준인 2% 중 작은 값을 적용하여 산정한다.

③ 개발영향 소거식

개발영향 소거식은 개발이 이루어진 연도의 개발증가량을 소거하여 순수한 자연증감율에 의한 추이가 분석되도록 오염원 자료를 보정하는 식으로서 다음 식 (5)와 같다.

$$P_{ic} = P_i - ip \quad (5)$$

여기서,  $P_{ic}$  :  $i$ 년도의 보정된 오염원량

④ 최종 오염원 예측량 산정식

개발영향소거법에 의한 오염원 예측식은 등차급수식이나 등비급수식 또는 선형회귀식 등 일반화된 수학적 예측식으로 장래 오염원을 전망한 후, 앞에서 소거한 개발증가량을 더하여 최종 오염원 예측량을 산정하는 식이다.

· 등차급수 최종예측량 산정식은 다음 식 (6-1)과 같다.

$$P_n = P_o + na + ip, a = \frac{P_o - P_t}{t} \quad (6-1)$$

여기서,  $P_n$  :  $n$ 년 후의 최종오염원량  
 $P_o$  : 현재의 오염원량  
 $n$  : 계획년수  
 $a$  : 연평균 오염원 증가량  
 $P_t$  : 현재로부터  $t$ 년 전의 오염원량

· 등비급수 최종예측량 산정식은 다음 식 (6-2)와 같다.

$$P_n = P_o \times (1+r)^n + ip, r = \left(\frac{P_o}{P_t}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (6-2)$$

여기서,  $r$  : 연평균 오염원 증가율

· 선형회귀 최종예측량 산정식은 다음 식 (6-3)과 같다.

$$Y = aX + b + ip \quad (6-3)$$

$$a = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{N\sum X^2 - \sum X \sum X}$$

$$b = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{N\sum X^2 - \sum X \sum X}$$

3.3.2. 오염원 예측기법 적용방안

3.3.2.1. 오염원 예측프로그램 작성

개발영향소거법에 의한 오염원 예측식은 통계연산 프로그램인 마이크로 소프트 엑셀 프로그램으로 작성하였다. 프로그램 명칭은 Development-Eliminated Source Prediction(DESP)라 명명하였다.

3.3.2.2. 개발영향소거 오염원 예측기법의 적용성

개발영향소거 오염원 예측기법인 DESP를 청주시, 나주시 및 담양군에 적용한 결과, Table 5에서 보는 바와 같이 미개발지역에서는 기존 예측방법의 예측결과와 동일하였으나, 개발지역에서는 실측치와 예측치의 차이가 약 절반으로 감소하여 기존 예측방법에 비하여 정확성이 향상된 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 오염원 예측방법을 검토하여 오염원 예측상에 나타난 문제점을 분석하고 도시지역, 도시·농촌 혼합지역 및 농촌지역에 대한 지역별 오염원 변화유형을 분석함으로써 지역특성을 반영하여 보다 합리적이고 적절하게 오염원을 예측할 수 있는 기법을 개발하였으며, 본 연구결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 기존 오염원 예측과정에서 나타난 주요 문제점은 과거

**Table 5.** Comparison of the predicted results between the existing method & this technique

Region		Observed population (2004)	Predicted population (2004)		Difference (%) between observed & Predicted population	
			Previous method	This study	Previous method	This study
Cheongju-si	Non developed area	265,128	258,474	258,478	- 2.51	- 2.51
	Developed area	360,180	371,577	366,205	3.14	1.67
Naju-si	Non developed area	61,653	59,984	60,026	- 2.71	- 2.64
	Developed area	37,636	39,144	36,691	4.01	- 2.51
Damyang-gun	Non developed area	50,303	48,931	48,966	- 2.73	2.66

오염원자료의 공간적 분석단위에 관한 문제점과 과거 오염원자료 속에 포함된 내재적 영향인자에 관한 문제점이 있는 것으로 나타났다.

- 2) 오염원 변화유형은 지역개발 여부 등 지역특성에 따라서 지역별로 다르게 나타나고 있으며, 또한 개발이 이루어진 지역에서도 개발형태나 규모에 따라서 연도별로 오염원 변화유형은 매우 다양한 양상으로 나타나고 있다.
- 3) 과거 오염원자료 속에 내재된 개발영향을 소거하여 동·리 지역단위별로 오염원 예측이 적정하게 이루어질 수 있도록 다음과 같이 오염원 예측절차를 정립하고 각 과정에 대한 목적성분들의 분석값을 산출하기 위해서 각 계산과정들을 수식화하여 개발영향 판별식, 개발증가량 산정식, 개발영향 소거식 및 최종 오염원 예측량 산정식을 작성하였다.
  - ① 오염원자료 처리 및 분석
  - ② 개발영향기준 설정
  - ③ 동·리 지역별 개발영향 판별
  - ④ 동·리 지역별 개발증가량 산정
  - ⑤ 동·리 지역별 개발증가량 소거
  - ⑥ 동·리 지역별 순 자연증가율에 의한 오염원 예측
  - ⑦ 동·리 지역별 최종 오염원 예측량 산정
- 4) 개발영향소거법에 의한 오염원 예측기법을 실제 업무에 용이하게 적용할 수 있도록 컴퓨터 프로그램을 작성하였다.
- 5) 개발영향소거 오염원 예측기법인 DESP를 적용한 결과, 미개발지역에서는 기존 예측방법의 예측결과와 동일하였으나, 개발지역에서는 기존 예측방법의 예측결과에 비하여 정확성이 향상되었다.

### 참고문헌

김인, 우리나라 중소도시의 기능과 도시체계분석 및 육성방안에 관한 연구, *대한국토·도시학회지*, **27**(3), pp. 47-78 (1992).

서종국, 김문현, 도시인구구조예측의 대안적 기법, *대한국토·도시학회지*, **35**(4), pp. 47-55 (2000).

안건혁, 수도권 인구예측에 관한 연구, *대한국토·도시학회지*, **32**(6), pp. 7-22 (1997).

오재화, 김우혁, 김종완, 인구추정을 위한 계량모형의 정립에 관한 연구, *조선대 건설기술연구*, pp. 113-126 (2001).

유상혁, 도시인구분석 및 예측에 관한 연구, 대전직할시를 중심으로, *한남대학교 지역개발대학원* (1992).

이양재, 박양호, 박병주, 우리나라 중소도시 유형별 특성 파악을 위한 연구 -군집분석과 판별분석을 이용하여-, *대한국토·도시학회지*, **26**(3), pp. 2-55 (1991).

진라남도청, 전라남도 영산강 오염총량관리 기본계획 (2005).

정순관, 인구규모 및 특성변화에 따른 도시정책의 과제, 광주광역시를 중심으로, *대한국토·도시학회지*, **32**(5), pp. 103-118 (1997).

정하길, 대전도시계획의 변천과 특성에 관한 연구, *한남대학교 지역개발대학원* (1993).

최봉문, 강병기, 도시기본계획에 나타난 토지이용계획지표의 특성에 관한 연구, *대한국토·도시학회지*, **26**(2), pp. 39-61 (1991).

최종석, 신현산, 강정구, 인구예측모형에 관한 연구, *Chungnam Journal of Science*, **13**(1), pp. 17-41 (1986).

충청북도청, 충청북도 금강 오염총량관리 기본계획 (2005).

Universities Council on Water Resources (UCWR), Issue NO.100, *Integrated watershed management-A new paradigm for water management* (1995).

USEPA, *Technical Guidance manual for Developing Total maximum Daily Loads* (1977).