

연구논문

## 환경용량을 만족하는 청주시 도심지역의 개발한계 분석

이승철 · 하성룡

충북대학교 도시공학과

(2007년 11월 2일 접수, 2007년 11월 19일 승인)

### A Study on the Development Limit of Cheongju Downtown based on Environmental Carrying Capacity

Seung-Chul Lee · Sung-Ryong Ha

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Manuscript received 2 November 2007; accepted 19 November 2007)

#### Abstract

Even though the center of Cheongju city needs redevelopment because of a doughnut phenomenon, it has to be permitted within the environmental carrying capacity like a target water quality proposed on the Total maximum daily loads(TMDL) of Musim and Miho river watersheds. The aim of in this study is to identify the limit of redeveloping Cheongju downtown after analyzing its environmental carrying capacity using QUAL2E model.

As a result of modeling various scenarios, the water quality of Musin river was shown that BOD<sub>5</sub> is 2.3mg/L which is the target water quality in the double of existing development plan of the Cheongju downtown. The water quality of Miho river was BOD<sub>5</sub> 3.97mg/L which is less than the target water quality of Miho B watershed in the same condition.

Therefore, this means that the limit of redevelopment within the environmental carrying capacity of cheongju downtown was estimated to be the double of existing development plan.

Keywords : Doughnut phenomenon, Redevelopment, Environmental Carrying Capacity, Total Maximum Daily Loads(TMDL), QUAL2E

## 1. 서론

최근 우리나라는 유역단위 수질관리정책의 방법으로서 수질오염총량관리제(이하 오염총량제)를 낙동강수계를 시작으로 도입하여 시행하고 있다. 오염총량제는 총량관리단위 유역별 목표수질을 설정하고, 이를 달성할 수 있는 배출오염 물질의 양을 설정하여 관리하는 제도이다(국립환경과학원, 2006). 이 제도는 먼저 해당수계의 환경자료조사를 통해 수질 및 유량을 실측하고 해당 수계내의 오염원 현황을 조사하여 오염부하량 산정을 한다. 산정된 부하량은 수질모델을 통해 모의 및 예측이 이루어져 해당 수계의 목표수질 달성여부를 결정짓는다. 따라서 목표수질관리지점에서의 목표수질 달성여부가 해당 지자체들의 관심의 초점이 되고 있다.

청주시는 2005년 3월에 충청북도의 오염총량관리 기본계획이 승인되었고, 금강특별법 제11조의 규정에 의해 오염총량관리시행계획을 수립하였다. 청주에서 달성해야 할 목표수질 및 기준유량, 그리고 이들을 만족할 수 있는 오염량을 정의한 할당부하량은 무심A와 미호B, 두 지점이 설정되어 있다(충청북도 금강오염총량관리 기본계획, 2005). 무심A지점에는 기준유량 1.57m<sup>3</sup>/s와 목표수질 BOD<sub>5</sub> 2.3mg/L 및 할당부하량 312kg/day가 설정되어 있고, 미호B 지점에는 기준유량 11.25m<sup>3</sup>/s와 목표수질 BOD<sub>5</sub> 4.3mg/L 및 할당부하량 4180kg/day가 설정되어 있다(그림 1). 따라서 이는 청주시의 환경용량으로서 각 단위유역에 할당된 목표량 이상의 오염을 배출하지 않기 위해 노력해야한다.

그러나, 현재 청주에서는 2010년 까지 대단위의 개발계획이 진행 중에 있으며, 대다수가 청주시 외곽지역을 중심으로 예정되어 있다. 이로 인해 도심외곽지역으로의 인구 집중과는 반대로, 도심지역에서는 점차로 공동화현상이 진행 중이다. 도심공동화 현상을 해결하기 위해 기존 택지를 더욱 쾌적한 환경으로 조성하기 노력으로 상당수 도심지역의 기존택지의 재개발 계획이 예정되어 있다. 하지만 도심하천 유역은 주요 오염원인 인구밀도가 높고 토지이용 역시, 적극적으로 개발되어 있기 때문에

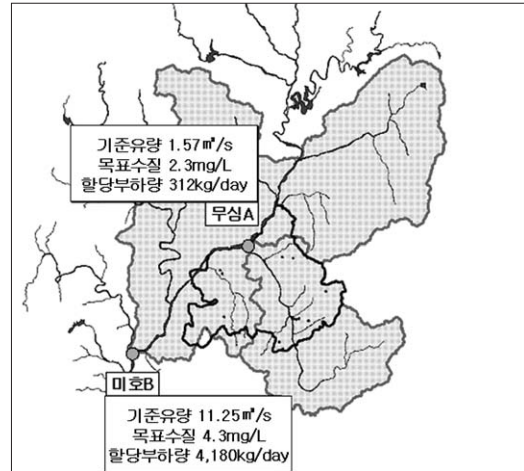


그림 1. 청주시에 설정된 환경용량

도심지역의 개발은 오염부하량의 급증을 유발하는 문제가 있다. 도심공동화문제와 오염총량제의 목표수질 달성여부의 두 가지의 큰 문제점에 봉착해 있는 청주시로서는 개발과 환경보전의 적절한 조화가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 오염총량제에서 제시하는 오염배출부하량 산정방법을 바탕으로 청주시의 시행계획을 수립하고, 무심천의 중류부근에 위치한 청주시도심의 오염배출 특성을 분석하여 도심의 개발로 인한 오염원의 증가가 청주를 둘러싼 무심천 및 미호천에 영향을 미치는 정도를 수질모델링을 사용하여 보다 과학적이고 합리적인 방법으로 분석하고자 한다. 본 연구를 통해 지역의 환경용량을 고려한 바람직한 개발계획 방향을 제시하고, 추가적인 개발을 함에 있어 환경용량의 한계 내에서 오염총량제를 이행할 수 있는 적절한 대안을 마련할 것으로 기대한다.

## II. 연구방법

### 1. 청주시 유역의 오염부하량 산정

무심천 유역의 오염부하량을 산정하기 위해 유역현황자료, 수문자료, 기상자료 및 오염원별 오염원 조사를 수행하였으며, 수집된 오염원자료를 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2004)을 바

탕으로 산정하였다. 오염부하량은 오염원의 배출과정을 그대로 반영하도록 발생부하량에서부터 배출부하량까지를 오염원별로 산정하였다. 배출과정에서의 오염부하량 산정을 돕고자 청주시지역의 하수처리구역을 선별하여 유량 및 수질측정을 하였다. 행정구역단위의 오염원 정보를 유역단위로 배분하여 유역별 배출부하량을 산정한다. 오염원정보를 유역단위로 배분함에 있어서 공간정보를 이용한 배분이 보다 효과적이나(배명순, 2006), 아직까지는 단순면적비로 배분하는 것이 일반적이라 본 연구에서는 단순면적비로 배분하였다.

## 2. 수질예측모델의 구축 및 적용을 통한 청주시 삭감계획 수립

본 연구에서는 하천수질예측모형인 QUAL2E를 사용하여 무심천 및 미호천유역을 모델화하였다. QUAL2E를 이용하여 목표지점에서의 수질기준 달성을 평가한 연구로는 박재로 등(2006)과 황대호 등(2001)이 진행한 연구가 있었다. 정확한 모델구축을 위해 기본적으로 실측자료를 우선하였으며, 실측수질측정 자료가 없는 소유역의 경우는 개선된 유달계수산정법(Ha and Bae, 2003; 2004; 2006)을 통해 무심천에 배분, 적용하였다. 모델구축은 무심천유역의 경우 총 8개의 구획(Reach)으로 나누었으며, 소구간(Element)는 500m 등간격으로 나누었다. 청주시의 경계지점을 시점으로 선정하여 미호천 합류전 무심A 지점을 종점으로 하여 하나의 일체형 모델을 구축하였다. 미호천유역의 경우는 총 24개의 Reach로 나누었고, 소구간은 1km 등간격으로 나누었다. 미호천모델의 시작지점은 구암천 합류전 실측지점으로 선정하였으며 금강합류점에 위치한 미호B 지점을 모델의 종점으로 선정하였다.

구축된 모델을 바탕으로 모델의 신뢰성을 검증한 후 2010년의 목표수질을 달성하는지의 여부를 분석하였다. 목표수질을 넘어서는 부분은 삭감계획의 기준이 되었다. 오염부하량 현황 및 추이, 도시개발계획, 도로개설, 하수도정비 기본계획 등 유역에서 배출되는 오염부하의 특성을 고려하여 효율적인 수질개선 투자계획(환경기초시설확충, 하수관저정비)

등의 삭감계획을 수립하였다.

## 3. 도심지역 추가개발부하량 산정 및 수질예측

청주시 도심지역에서의 재개발로 인한 추가적인 오염부하량 산정을 위해서는 여러 가지 제약조건이 존재하였다. 아직까지 추가개발계획에 대한 정확한 자료가 제시되지 못하였기 때문에 본 연구에서는 개발계획의 성격 및 추가개발계획으로 인해 증가할 수 있는 오염원에 대하여 한계설정이 필요하였다.

청주시 도심지역에서 추가적으로 이루어질 개발계획은 도심공동화를 해결하고자 하는 목적 하에 이루어지므로, 주상복합단지 및 공동주택이 주로 개발될 것이며, 재개발의 형식으로 이루어 질 것으로 예측하였다. 개발로 인해 오염을 유발할 수 있는 요인으로는 인구증가로 인한 물사용량의 변화와 개발로 인한 토지지목 변경이 있으나, 본 연구에서와 같이 도심지역에서는 토지지목의 변화로 인한 비점오염의 증가를 고려하기 힘든 한계가 있다. 따라서 개발로 인한 도심지역의 오염원은 인구의 변화를 주요오염원으로 선정하였다. 현재 도심지역의 개발계획에 대한 명확한 현황자료가 없으므로 추가개발계획은 2010년까지 현재 청주시에 승인된 개발계획을 바탕으로 계획인구를 예측하였다. 도심지역이라 할 수 있는 소유역(무심A05, 무심A10, 무심A11유역)에 있는 개발계획을 따로 정리하여, 추가개발로 인한 계획인구의 경우는 기존 계획인구의 1.5배(1.5P), 2배(2.0P), 3배(3.0P)를 추산하였다. 청주시 도심지역의 개발로 추가되는 인구를 각각 다르게 주고 오염부하량을 산정하여 각각의 에 따라 개발계획으로 인해 무심천의 수질에 얼마나 영향을 주는지 기 구축된 모델을 통해 수질예측을 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 오염부하량 산정 및 오염원별배출특성

#### 1) 목표년도 최종배출부하량 산정

무심천 유역의 2004년 오염원 자료를 바탕으로 기존배출부하량을 산정하였고, 오염원의 장래예측을

통해 2010년 자연증감부하량을 산정하였으며, 2010년 까지의 개발계획을 바탕으로 개발부하량을 산정하여 최종적으로 단위유역별 2010년 최종배출부하량을 산정하였다. 충청북도 금강오염총량관리 기본계획(충청북도, 2005)에서 제시된 할당부하량을 바탕으로 삭감목표부하량을 산정하였다. 산정된 부하량의 자세한 정리는 표 3에서 총괄로 나타내었다.

간략하게 정리하면, 청주시 도심이 위치한 무심A 유역의 목표수질인 BOD<sub>5</sub> 2.3mg/L를 만족하는 할당부하량은 3,699kg/day이며, 산정된 2010년 최종배출부하량은 4,120kg/day이고, 따라서, 삭감목표량은 421 kg/day로 산출되었다. 미호B유역은 할당부하량이 3,979 kg/day, 최종배출부하량이 7,285kg/day로써 삭감목표부하량은 3,306kg/day로 산정되었다.

### 2) 도심지역 오염원별 배출특성

청주시 도심지역에 해당하는 무심A유역의 오염배출특성을 알아보기 위해 오염원별 배출부하량을 산정하고 배출특성을 살펴본 결과, 무심A유역은 생활계부하량이 전체 배출부하량의 53~60%를 차지하고 있다. 이중에서 대부분의 점오염은 미호B유역에 위치한 청주하수종말처리장으로 이송되며, 비점오염부하량이라고 할 수 있는 개별배출부하량과 누수 및 월류부하량만이 무심천으로 배출되고 있다. 정확한 배출경로별 오염부하량을 산정하기 위해 청주시 하수처리구역별 주요지점에서 유량 및 수질 측정된 결과를 바탕으로 처리구역별 누수율을 산출하여 표 1과 같은 결과를 얻었다. 도심지역의 하수는 무심천 처리구역을 통해 차집되고 있으며, 7.2%에 해당하는 하수가 누수 되고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 청주 도심지역에 삭감계획이 필요할 경우에는 누수율을 줄이는 방안이 고려되어야 한다.

표 1. 무심A유역 처리구역별 누수율산정

처리구역	누수율(%)	처리구역	누수율(%)
울량천	5.3	사직운천	8.2
명암천	2.7	발산천	2.8
월운천	2.4	수곡	6.7
영운천	2.5	무심천	7.2

## 2. 모델의 구축 결과 및 환경용량 산정

### 1) 모델의 구축 및 목표년도 모의결과

산정된 오염배출부하량과 실측수질을 바탕으로 유달계수를 산정하고, 수질 및 유량자료를 배분하여 무심천 및 미호천의 모델을 구축하였다. 구축된 모델은 갈수기의 평균 실측수질자료를 기준으로 검·보정을 실시하였으며, BOD<sub>5</sub>의 수질관련 반응계수들은 일반적인 범위 내에서 적용하였다. 그 결과, 모의된 수질결과가 오염총량관리기술지침에 명시되어 있는 실측수질과의 오차범위 20% 이내에 들도록 구축하였다.

구축된 무심천과 미호천 모델을 바탕으로 목표년도인 2010년도의 BOD<sub>5</sub> 수질예측을 실시한 결과, 무심천은 그림 2와 같이 무심A 수질목표관리지점의 BOD<sub>5</sub>는 2.38 mg/L로 예측되어 목표수질 2.3 mg/L를 상회하는 것을 알 수 있다. 미호천의 경우는 수질목표관리지점 미호B의 위치가 청주하수종

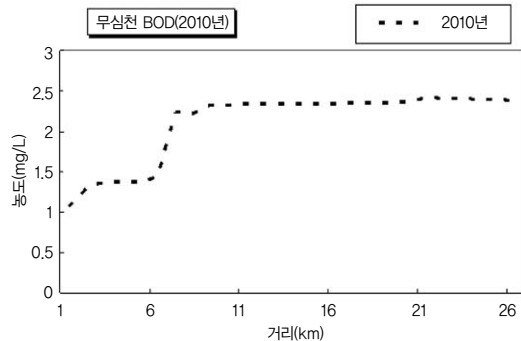


그림 2. 무심천 BOD<sub>5</sub> 예측(2010년)

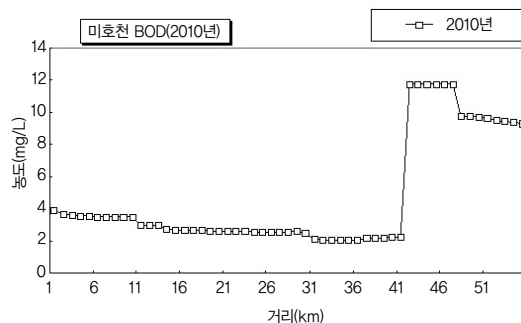


그림 3. 미호천 BOD<sub>5</sub> 예측(2010년)

말처리장 방류구에서 멀지 않은 하류에 위치하고 있기 때문에, 그 영향으로 그림 3과 같이 BOD<sub>5</sub>가 9.31 mg/L로 목표수질 4.3 mg/L를 크게 넘어서고 있음을 알 수 있다.

## 2) 삭감계획 수립 및 삭감부하량 산정

앞서 목표연도의 수질예측결과를 분석한 결과 무심A지점과 미호B지점 모두 삭감계획이 필요하므로 오염원별 배출특성에 따라 삭감계획을 수립하였다. 삭감계획은 오염원 저감시설 설치계획, 하수관거정비사업 그리고 비점오염 저감을 위한 최적관리기법(BMPs: Best Management Practices)대책을 적용하였으며 세부적인 사항은 다음과 같다.

### (1) 오염원 저감시설 설치계획

청주시 오염원 저감시설 설치계획은 청주하수종말처리장과 산업단지폐수종말처리장에 적용되며 청주하수종말처리장의 구체적인 하수처리계획은 그림 4와 같다. 청주하수종말처리장에는 이미 2009년까지 기존시설에 2차처리와 고도처리 및 여과처리를 통해 하수처리수의 수질을 BOD<sub>5</sub> 7.0mg/L로 처리하는 계획이 있었으나, 2010년 예상하수량

이 32만m<sup>3</sup>/day에 달할 것으로 예측됨에 따라 기존 용량 28만m<sup>3</sup>/day에 추가적으로 6만m<sup>3</sup>/day의 처리시설을 신설할 계획에 있다. 따라서 신설될 시설에서도 2차처리와 고도처리 및 여과처리를 통해 7.0mg/L를 유지할 수 있도록 하는 계획을 수립하였다. 청주산업단지폐수종말처리장 도 산업단지 내 입지업체수의 증가로 인해 1만m<sup>3</sup>/day의 증설계획이 있으며 방류수질을 BOD<sub>5</sub> 10mg/L 이하로 관리할 계획에 있다.

### (2) 하수관거정비사업

하수관의 불량시공으로 인해 발생하는 침입수 및 유입수(Infiltration/Inflow, I/I)와 누수는 오염의 배출과 하수처리장의 처리효율에 문제를 야기 한다. I/I는 관거의 불량부위를 통해 관거내로 지하수나 우수가 유입되는 것을 의미하며(환경부, 1998), 현재 하수관거에서의 I/I와 누수의 방지를 위한 하수관거정비사업이 진행 중에 있다. 따라서 현재 사업이 진행 중에 있는 하수관거정비사업을 통해 I/I와 누수 문제를 해결할 수 있는 삭감계획을 수립하였다.

### (3) 비점오염 저감을 위한 최적관리기법 대책

청주시는 하수처리시설 및 관거정비를 통한 점오

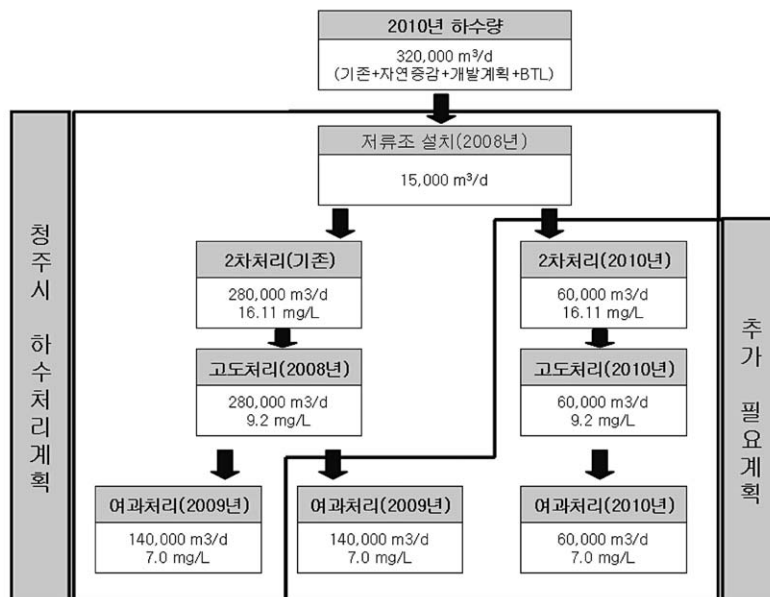


그림 4. 청주하수종말처리장의 삭감계획

염원 관리만으로 더 이상 무심천의 수질개선을 기대할 수 없는 실정에 있으므로 비점오염원의 관리가 필요하다. 특히 무심천이 도시중심부를 관통하고 있고 유원지 및 하상도로 등으로 이용되고 있어 이에 대한 비점오염원 저감시설의 설치가 시급한 실정이다. 따라서 무심A유역은 BMPs 대책을 통해 비점오염을 삭감할 수 있는 계획을 마련하였다.

#### (4) 삭감부하량 산정

삭감계획 수립결과, 하수종말처리장, 하수관거정비사업 및 비점오염저감을 위한 BMPs설치 사업을 통한 삭감부하량은 표 2와 같이 산정되었다. 하수종말처리장은 미호B18 소유역에 위치하고 있기 때문에 하수처리장 증설, 고도처리 및 I/I 삭감계획 등 하수처리계획에 의한 삭감부하량은 미호B 유역에서만 산정되었다.

### 3) 삭감계획에 의한 수질예측결과

삭감계획에 의한 수질예측을 실시하였으며, 삭감계획은 점오염을 삭감한 후에 비점오염을 삭감하는 순으로 고려하였다.

무심A유역의 수질예측결과는 그림 5과 같이 예측되었다. 먼저 하수관거정비사업을 통한 누수량을 삭감만을 고려할 경우, 무심A 목표수질관리지점의 BOD<sub>5</sub>는 2.35mg/L로써 2010년 2.38mg/L에 비하여 0.03 mg/L의 저감효과를 보였고, 비점오염저감을 위한 BMPs 대책까지 고려해야 BOD<sub>5</sub> 2.29mg/L를 보임으로써 목표수질 2.3mg/L을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

미호B유역의 수질예측결과는 그림 6과 같으며, 산업단지폐수종말처리장과 하수관거정비사업을 통한 삭감계획만을 반영할 경우는 BOD<sub>5</sub> 8.47mg/L이며, 추가적으로 하수종말처리장의 증설계획을 반영하여 처리량을 늘리면서 방류수질을 10mg/L로 유

표 2. 삭감계획에 의해 산정된 소유역별 삭감부하량

단위유역	소 유 역	삭감계획에 의한 삭감부하량 (kg/일)				
		하수종말처리장	I/I 삭감	누수량 삭감	비점오염원 삭감	총 합
무심A	무심A03	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0
	무심A04	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0
	무심A05	0.0	0.0	1.3	7.0	8.3
	무심A07	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0
	무심A08	0.0	0.0	2.9	5.0	7.9
	무심A09	0.0	0.0	1.0	5.0	6.0
	무심A10	0.0	0.0	6.9	5.0	11.9
	무심A11	0.0	0.0	13.4	5.0	18.4
	무심A12	0.0	0.0	243.4	5.0	248.4
	무심A14	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0
	무심A16	0.0	0.0	85.1	5.0	90.1
	무심A18	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8
	무심A19	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0
소 계	0.0	0.0	354.0	65.8	419.8	
미호B	미호B16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미호B18	3097.4	714.6	0.0	0.0	3812.0
	미호B20	0.0	0.0	596.6	0.0	596.6
	미호B22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미호B30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	소 계	3097.4	714.6	596.6	0.0	4408.6
총 합	3097.4	714.6	950.6	65.8	4828.4	

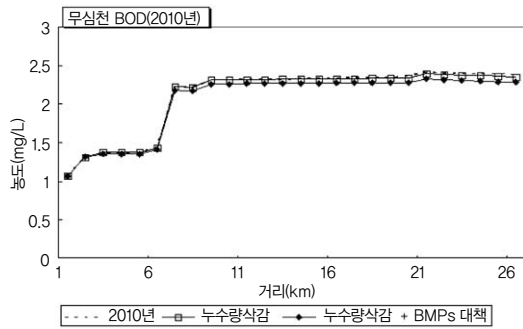


그림 5. 삭감계획 반영 후 무심천 BOD<sub>5</sub> 예측(2010년)

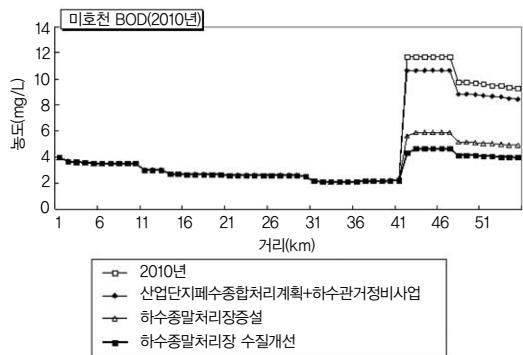


그림 6. 삭감계획 반영 후 미호천 BOD<sub>5</sub> 예측(2010년)

지하는 경우에는 BOD<sub>5</sub> 4.91mg/L의 수질예측을 보인다. 목표수질을 만족하지 못함에 따라 하수종말처

리의 방류수질을 7mg/L로 고도처리를 할 경우에 BOD<sub>5</sub> 3.97mg/L로 목표수질을 만족하게 된다.

이와 같은 결과를 바탕으로 청주시의 부하량 총괄 표를 표 3과 같이 작성하였으며, 청주시에서는 무심 A구역에서 2kg/day, 미호B구역에서 1,129kg/day의 개발여유 용량을 가지게 되었다.

### 3. 도심지역 추가개발부하량산정 및 수질예측결과

#### 1) 도심재개발로 인한 개발배출부하량 산정

청주시 도심지역에서의 재개발계획은 토지지목의 변화는 없이 인구만 변동하기 때문에, 부하량 산정 및 수질예측에 앞서 ①오염원 변화의 주요인자는 인구로 한정, ②개발로 인한 토지이용의 변화 없음, ③삭감계획의 충실한 이행, ④목표연도까지 동일한 하수관거의 누수율 적용 등의 전제조건을 제시하였다.

2010년까지 청주시 도심지역의 기존의 개발계획 인구는 소유역별로 무심A05구역 5,706명, 무심A10구역 3,000명 그리고 무심A11구역 4,5226명으로 공동주택 택지개발사업 및 시설개선사업이 주를 이루었다. 본 연구에서는 현재 재개발계획에 대한 명확한 현황자료가 없으므로, 기존의 도심지역 개

표 3. 청주시 부하량 총괄표

(단위: BOD<sub>5</sub>, kg/일)

단위구역	기준년도 배출부하량	지역개발할당부하량		최종년도 배출부하량	할당 부하량	삭감 목표량	삭감계획량		잔여용량
	A	자연증가 B	개발부하량 C				D(A+B+C)	F(A+B-E+C)	
무심A	3,407	497	216	4,120	3,699	421	420	3	2
							423		
미호B	6,590	255	440	7,285	3,979	3,306	4,409	26	1,129
							4,435		
합 계	9,997	752	656	11,405	7,678	3,727	4,858		1,131

표 4. 도심지역 재개발계획 시나리오에 따른 계획인구와 배출부하량 산정

소유역	기존도심지역 개발계획인구(명)	도심지역 재개발 이후 계획인구(명)			배출부하량(kg/day)			
	P	1.5P	2P	3P	P	1.5P	2P	3P
무심A05	5,706	8,559	11,412	17,116	13.2	19.8	26.4	39.6
무심A10	3,000	4,500	6,000	9,000	1.2	1.8	2.4	3.5
무심A11	45,226	67,840	90,452	135,675	83.3	124.9	166.4	249.8
합 계	53,932	80,899	107,864	161,791	97.7	146.5	195.2	292.9

발계획인구(P)를 기준으로 재개발로 인한 추가계획 인구를 예측하였다. 예측인구별 수질예측 시나리오는 기존 도심지역 개발계획인구의 1.5배(1.5P), 2배(2.0P), 3배(3.0P)의 경우에 대하여 설정하였으며, 현실적으로 3.0P 이상의 인구유입은 청주시에서 수용하기 어려운 문제가 있었다. 시나리오별 계획인구 및 배출부하량의 산정결과는 표 4에 정리하였다.

### 2) 시나리오별 수질예측결과

청주시 도심재개발을 통해 계획인구가 기존개발 계획인구의 1.5배(1.5P), 2배(2.0P), 그리고 3배(3.0P)로 증가시킨 후, 무심천의 수질목표관리지점 무심A지점에서의 수질을 예측한 결과는 그림 7과 같다. 1.5P, 2.0P 및 3.0P, 각각의 조건에서의 BOD<sub>5</sub>농도는 2.29mg/L, 2.3mg/L, 2.31mg/L값을 보였으며, 2.0P 조건에서 무심A지점의 목표수질 2.3mg/L을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 도심재개발로 인한 무심천의 수질의 변동폭이 매우

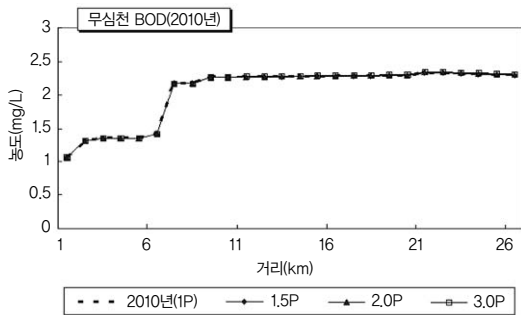


그림 7. 도심지역 재개발 시나리오별 무심천 BOD<sub>5</sub> 예측 (2010년)

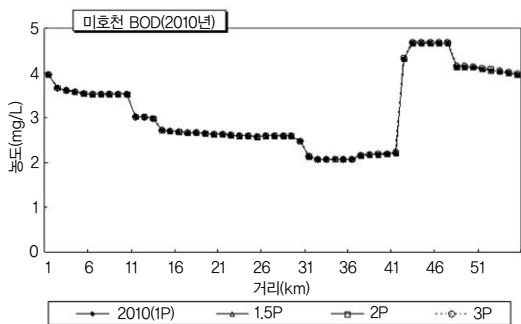


그림 8. 도심지역 재개발 시나리오별 미호천 BOD<sub>5</sub> 예측 (2010년)

작음을 알 수 있다. 그 이유는 오염배출경로 분석에서 알 수 있듯이, 도심지역에서 발생한 하수가 차집관로를 통하여 하수종말처리장으로 대부분 이송되기 때문에 직접적으로 무심천으로 배출되는 오염이 적기 때문이다.

미호천에서의 수질예측결과는 그림 8과 같으며, 1.5P와 2.0P의 추가개발까지는 BOD<sub>5</sub>농도가 3.97 mg/L값을 보였다. 이는 도심지역 재개발로 인한 하수발생량이 청주하수종말처리장의 처리용량인 34만 톤/일을 넘기지 않기 때문에 고도의 하수처리를 통해 미호천의 수질에 크게 영향을 끼치지 못했기 때문이다. 그러나 3.0P의 조건에서는 하수종말처리장의 처리용량을 넘어서기 때문에 일부 하수가 미처리배제가 되기 때문에 BOD<sub>5</sub>농도가 3.99mg/L로 증가하였다. 그러나 미호B지점에 설정된 목표수질 4.3mg/L이내에서 만족하는 결과를 보였다. 비록 3.0P의 조건에서도 미호천은 목표수질을 만족하지만, 하수종말처리장의 처리용량을 넘어서기 때문에 도심지역 재개발을 통해 기존 개발계획인구의 2배(2.0P)를 유입시킬 수 있는 개발의 범위가 청주시의 도심지역 한계허용개발범위가 된다.

## IV. 결론

본 연구는 청주시의 도심공동화문제 해결방안으로 추진 중인 도심재개발계획이 오염총량제에서 규정한 청주시의 환경용량 이내에서 이루어질 수 있도록 수질모델링을 이용하여 청주시 도심지역의 재개발을 통한 오염원의 증가가 무심천 및 미호천 수질에 미치는 영향을 분석하여 도심지역의 개발의 한계를 알아보았다.

무심천 유역의 오염배출특성은 차집관로를 통해 오수 및 폐수가 미호B 유역에 위치하고 있는 청주하수종말처리장에서 전량 처리되는 점과 비점오염부하량이 배출부하의 대부분을 차지하고 있는 점, 그리고 개발에 따른 오염원의 예측은 인구가 주요인자로 작용하는 점 등이 있었다.

2010년 기존 개발계획을 통한 청주시의 환경용



량 달성여부를 판단하기 위해 무심천과 미호천에 대해 수질모델링을 실시한 결과, 무심천은 무심A지점에서 BOD<sub>5</sub> 2.29mg/L, 미호천은 미호B지점에서 3.97mg/L로써 각각 0.01mg/L과 0.33mg/L의 여유가 있는 것으로 분석되었다. 이 결과를 바탕으로 청주시 도심지역에 추가적으로 인구를 기존개발계획인구의 1.5배(1.5P), 2배(2.0P), 3배(3.0P)로 증가할 경우에 대하여 수질예측을 실시하였으며, 그 결과 무심천에서는 2.0P의 조건에서 목표수질 BOD<sub>5</sub> 2.3mg/L을 만족하였으며, 미호천에서는 3.0P에서도 BOD<sub>5</sub> 3.99mg/L로 목표수질 4.3mg/L를 만족하는 결과를 보였다. 그러나 미호천에서 3.0P의 조건에서는 청주하수종말처리장의 하수유입량이 처리용량을 넘어서게 되는 문제가 있었다.

따라서 청주시 도심지역의 재개발은 인구기준으로 기존개발계획인구의 2배정도 까지가 청주시 도심지역의 한계개발범위가 됨을 알 수 있었다. 또한, 청주시 오염배출특성 상 도심지역의 개발에 비해 수질변동폭이 적은 특성을 고려했을 때, 도심지역에 한계범위를 넘어서는 개발이 이루어질 경우에 이를 제어할 수 있는 삭감계획 수립이 어려움을 알 수 있었다.

### 참고문헌

국립환경과학원, 2004, 수계오염총량관리기술지침, 국립환경과학원.  
국립환경과학원, 수질총량관리센터, 2006, <http://tmdl.nier.go.kr/>  
박재로, 이효범, 2006, 임진강유역의 목표수질 달성을 위한 최적유량 산정에 관한 연구, 대한

환경공학회 추계학술연구발표회논문집, 455-458.  
배명순, 하성룡, 2006, 분포형 공간정보를 이용한 유역단위 오염원정보 구축, 한국지리정보학회지, 9(4), 215-223.  
청주시, 2006, 청주시 수질오염총량관리 시행계획, 청주시.  
충청북도, 2005, 충청북도 금강오염총량관리 기본계획, 충청북도.  
환경부, 1998, 하수도 시설기준, 환경부.  
황대호, 김현용, 정효준, 이홍근, 2001, 영산강 하류부의 목표수질달성을 위한 BOD부하량 삭감을 산정에 관한 연구, 상하수도학회지, 15(4), 317-324.  
S. R. Ha and M. S. Bae, 2003, Nonlinear regression approach to Evaluate Nutrient Delivery coefficient in Trans-Boundary Watershed with Observation data Limited, *J. of Environmental Science and Engineering*, 5, 65-71.  
S. R. Ha and M. S. Bae, D. S. Kong, 2004, Nonlinear regression approach to evaluate Nutrient Delivery coefficient, 8th International Conference on Diffuse Pollution.  
M. S. Bae and S. R. Ha, 2006, Nonlinear regression approach to Evaluate Nutrient Delivery coefficient, *Water Science and Technology*, 53(2), 271-279.