

## 자정단계 기준 및 공간적 분석을 통한 연간 안양천 수질 실태 평가

이재성 · 잔 짓 · 윤성일<sup>1</sup> · 이광현 · 최승일 · 김태영<sup>†</sup>

한국과학기술연구원 물환경센터, <sup>1</sup>한국국제협력단 기후변화환경부

### Evaluating Annual Water Quality of Anyang-stream Using Spatial Analysis and Self-purification Criteria

Jae Seong Rhee, Janjit Iamchaturapatr, Seong Il Yoon<sup>1</sup>, Kwang Hyun Rhee,  
Seung Il Choi, and Tae Young Kim<sup>†</sup>

Water Environment Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 139-791, Korea

<sup>1</sup>Department of Climate Change & Environment, Korea International Cooperation Agency, Seongnam 461-833, Korea

Received March 11, 2011/Accepted March 25, 2011

The water quality of Anyang stream, the first tributary of Han River, was investigated from 2006 to 2010. The concentrations of nutrients and organic contents such as ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and chemical oxygen demand in water were measured by grab sampling analysis. Water samples were collected at the marked point for five years. According to pollutant levels, Anyang stream was divided into six zones. Spatial changes of annual water pollution were demonstrated using zone identification and strip analysis technology.

**Key words:** Anyang stream, annual pollution levels, spatial change, nutrients, organic content

#### 1. 서 론

우리나라는 지난 30년간 지속적인 경제성장을 우선 정책으로 산업화를 이루었다. 도시에 인접한 안양천은 도시하천 중 대표적 하천으로 주변도시들의 급격한 발전에 따른 도시인구 증가 및 도시산업의 확산으로 인하여 도시의 토지이용의 변화에 따른 주택의 증가, 불투수 면적 및 취수량의 증가, 기후변화, 발생하는 생활하수 처리시설의 용량부족, 하수관거의 미정비 등으로 인하여 생활하수가 안양천에 다량 유입됨으로써 하천 수질이 악화되고, 산업폐수가 방류수역인 안양천으로 유입됨으로써 안양천 하천 수질의 변화에 큰 영향을 미치고 있다<sup>1)</sup>. 향상된 삶의 질을 위해서 물이용을 위한 하천의 수로건설, 홍수 제어 기능이 크게 증대 되어왔다. 그래서 콘크리트 수로로 인해 하천의 직선화와 높은 유기물질 부하량의 도시유출수는 비점오염원 중 큰 비중을 차지하며, 도시화의 진행에 따른 비점오염원의

부하량도 매년 증가하고 있다. 강우 초기에 오염물질이 다량 유출되는 초기 유출 현상이 두드러진다<sup>18)</sup>.

안양천은 심각한 오염과 건천화를 보이고 있고, 가장 오염이 심하였던 당시 안양천의 수질은 1984년도(환경부측정)BOD가 193.3 mg/L이었고, 1992년도 BOD 66.7 mg/L 이었으나 안양천 살리기 사업이후 2004년도 측정결과 BOD4.8 mg/L로 수질 개선되었다<sup>3)</sup>. 그러나 하천의 단지 BOD측정으로 높아진 것으로 많이 향상되었다고 단언하기 힘들지만 하천이 가지는 자연적 수질 자정작용의 기능을 이해를 해야 할 것이다.

자연적으로 물이 흐르면서 용존산소가 녹아들어 빠른 유기물 분해를 통해 인위적인 화학약품이 전혀 쓰지 않는 자연의 기능이다<sup>17)</sup>. 그리고 하천의 주요기능은 이수, 치수의 기능과 역할만이 아니라 친수공간과 자연보전의 기능이 더욱이 관심이 더욱 증대되어가고 있다<sup>2)</sup>. 그러므로 하천의 자연적 기능 즉, 자정작용, 생태계서식처로서의 하천이 얼마나 제 기능을 하고 있는지

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-02-958-6831, Fax: 82-02-958-6831, E-mail: bamtoli85@hanmail.net

수질측정에 이어 각 항목의 비교 분석을 통해 하천의 자정능력을 알아보고자 한다. 그리고 외부 오염원에 의한 수질변화에 신속히 대처하기 위해서는 지속적인 현장조사를 통한 실태파악과 모니터링이 필요하며 현장관리 또한 이를 기반으로 이루어져야 할 것이다. 수질 오염도를 알아보기 쉽게 수질측정을 하는데 측정 가능한 항목으로 5가지 항목을 측정하고 자정단계에 따른 기준을 비교 분석하여 자정능력을 알아보고자 한다.

본 연구에서는 안양천 본류를 대상으로 총 7곳에서 2006, 2008, 2010년에 경시별 수질을 측정함으로써 안양천의 연간 수질의 변화 및 오염현황을 파악하고 그 결과를 바탕으로 향후 현장수질관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 특히 안양천의 유역별 수질 파악에 있어 지정된 오염도(환경부 ‘물 환경 정보시스템’ 중 일부 참조<sup>4)</sup>)를 참고하여 각각 지점별로 나눈 수역을 선정하고 이를 시료채취지점을 기준으로 구분된 안양천 내 6개 구간에 적용하여 해당 수역의 거리별 유역식별과 상관 분석을 효과적으로 제시하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료채취 및 측정

시료채취는 2006~2010년에 걸쳐 경시별로 6월, 10

월 하순에 걸쳐 2회 실시하였으며 시료채취지점 간 거리는 인터넷 지도를 활용하여 간접적으로 측정하였다. 지점의 선정은 채수 시의 오차를 최소화하기 위해 안양천 내 교량부근과 지류합류지점 등 총 7곳을 선정하여 동일지점에서 1m 깊이 이내의 표층수를 채취하였다. Table 1에 본 연구에서의 시료채취지점 및 장소, 지점 간 거리를 나타내었다. 모든 시료는 채수기를 이용하여 채취하였으며 1L 무균 폴리에틸렌 병에 채취하여 4°C 냉장 보관 후 실험실에서 분석하였다.

측정항목으로는 유기물 지표인 COD와 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 인산성 인 등 총 5개 항목을 측정하였으며 시료분석은 기존 수질공정시험법을 활용하였으며 질소의 경우(암모니아성 질소-Indophenol법, 아질산성 질소-Diazo법, 질산성 질소-Hydrazine sulfate로 아질산성 환원 후 Diazo법), 인의 경우(인산성 인-ascorbic acid 산화법), 유기물의 경우(알칼리 망간 산화법)을 이용하여 측정하였다<sup>5)</sup>.

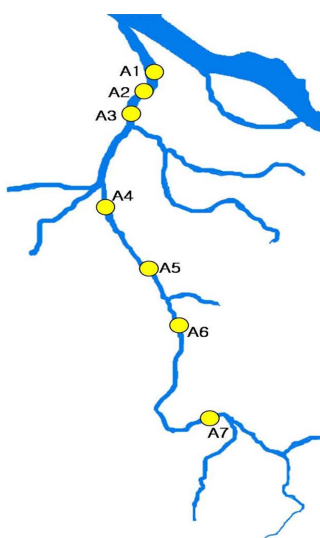
### 2.2. 수역구분 및 선정

본 조사에서 하천의 자정단계에 따른 수역 구분을 위해 채취지점A1에서 A2구간까지 구역 A1-2라고 하고 그 수역의 수질상태를 Table 2와 비교를 하여 구분한다.

Table 2에서 하천의 자정단계에 따른 수역구분을 위해 ‘안양천의 생태학적 수질오염 실태 분석(이양규·김

Table 1. Sampling sites and distances between each site

No.	Location	No.	Dis.(km)
A1	양 화 교	A1-2	1.1
A2	양 평 교	A2-3	1.0
A3	목 동 교	A3-4	4.1
A4	고 척 교	A4-5	1.6
A5	광 명 대 교	A5-6	2.5
A6	금 천 교	A6-7	8.7
A7	박 석 교		
비교1)	안양시 석수동 ~ 기아대교	안양천3	
비교2)	서울 구로구 고척동 ~ 고척교	안양천4	
비교3)	서울 양천구 목동 ~ 양화교	안양천5	
Note.			
A <sub>n,n+1</sub> : Distance from A <sub>n</sub> to A <sub>n+1</sub>			
비교 1,2,3) 환경부자료(물 환경 정보시스템)			



**Table 2.** Criteria for identifying the water quality zones using self-purification stage of river-stream

a. Marson-Kolkwartz 4지대				
구분	강부수성 수역	$\alpha$ -중부수성 구역	$\beta$ -중부수성 수역	빈부수성 수역
화학적 과정	환원, 부패현상 심함	수중, 저니에서 산화과정 발생	산화과정 활발	산화, 무산화의 완성된 단계
DO	2 mg/L	2~6 mg/L	6~8 mg/L	9 mg/L이상
BOD	10 mg/L이상	5~10 mg/L	2.5~5 mg/L	2.5 mg/L이하
COD	10 mg/L	4~10 mg/L	2~4 mg/L	2 mg/L이하
NH <sub>4</sub> -N	0.2 mg/L	-	0.1~0.2 mg/L	0.1 mg/L 이하
NO <sub>3</sub> -N	1.0 mg/L	0.7~1.0 mg/L	-	0.7 mg/L 이하
b. Wipple의 4지대				
	분해지대	활발한 분해지대	회복지대	정수지대
DO	거의 없음	매우 낮음	점차 증가 → 포화될 정도로 증가	오염이전으로 원상회복
BOD	높음	저감	급속 저감	오염이전으로 낮아짐
영양물		NH <sub>4</sub> -N 증가 PO <sub>4</sub> -P 증가	NO <sub>2</sub> -N 증가 NO <sub>3</sub> -N 증가	

갑진, 2000)' 수질오염 기준을 보면<sup>6)</sup> COD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 평균농도를 이용해서 각 구간별 비교하여 구분을 했다. 그리고 환경부 자료를 참고 하여 변화추이를 비교를 했다.

수질의 주요오염원 및 부영양화에 영향을 주는 영양염 N,P 특히 질소(NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), 인(PO<sub>4</sub>) 그리고 화학적 산소요구량으로 수질오염정도를 측정할 수 있고 그것을 이용하여 자정단계를 나누는 기준으로 사용하여 수질의 정도를 평가하며 자정작용이 어느 정도 진행되었는지 파악하고자 한다.

Marson-Kolkwartz의 4지대와 Wipple의 4지대를 연계하여 강부수성 수역,  $\alpha$ -중부수성 구역,  $\beta$ -중부수성 수역, 빈부수성 수역은 각각 분해지대, 활발한 분해지대, 회복지대, 정수지대로 각각 비교하여 적용할 수 있다. 활발한 분해지대에서는 유기물의 분해를 통해서 DO가 감소하고 NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P의 농도가 증가한다. 유기성 질소가 산화를 해서 암모니아성 질소가 증가되고, 인이 분해되어 인산성인이 증가 한다. 산화과정에서 DO가 소모가 되고 BOD도 같이 감소된다. 회복지대에서는 암모니아성 질소의 질산화과정의 아질산성 질소, 질산화의 최종산물인 질산성 질소가 생성된다. 소모된 DO도 자정작용을 통해 DO도 많이 회복이 되는 시기이다. 하천의 자정작용을 보면 용존산소가 많은 영향을 주고 질산화를 하기 위해서는 많은 산소가 필요하다<sup>14)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 조사지점별 연간 수질측정결과

안양천의 지점별 연간 수질측정결과를 Fig. 1을 통해 알 수 있듯이 안양천 본류의 경우 2008년은 2006년에 비해 NH<sub>4</sub>-N의 평균농도가 1.2 mg/L 상승하였고 2010년에 들어 농도가 0.9 mg/L 감소하였다. 환경부 자료와 비교하면 농도변화의 추이는 비슷한 것을 알 수 있다.

NO<sub>3</sub>-N의 평균농도의 경우는 2008년에 들어 감소하다 2010년에 증가하는 모습을 볼 수 있다. 안양천의 NO<sub>3</sub>-N 평균농도는 NH<sub>4</sub>-N 평균농도보다 높은 경향을 보였다. 이는 초기 유입된 유기성 질소가 암모니아성 질소로 분해된 뒤 시간이 지남에 따라 불안정한 아질산성 질소를 빠르게 거쳐 안정한 형태인 질산성 질소로 산화되는 특성에 기인한다<sup>5,15)</sup>. 질산화 과정에 의해 분해된 질소화합물은 점점 감소되는데 이런 현상은 자연하천의 자정작용으로 볼 수 있다. 그리고 계절에 영향 즉, 온도에 따라서 높으면 아질산성 질소보다 질산성 질소가 되기 쉽다<sup>12,16)</sup>.

PO<sub>4</sub>-P의 평균농도의 경우 2008년에는 2006에 비해 0.22 mg/L 감소하였고 2010년에는 그전 감소량보다 많은 0.71 mg/L 정도 감소하였다. 환경부 자료와 비교 하여도 비슷한 수치를 얻을 수 있다. COD의 평균농도의 경우는 2010년에 급격한 감소를 보였다. 환경부 자

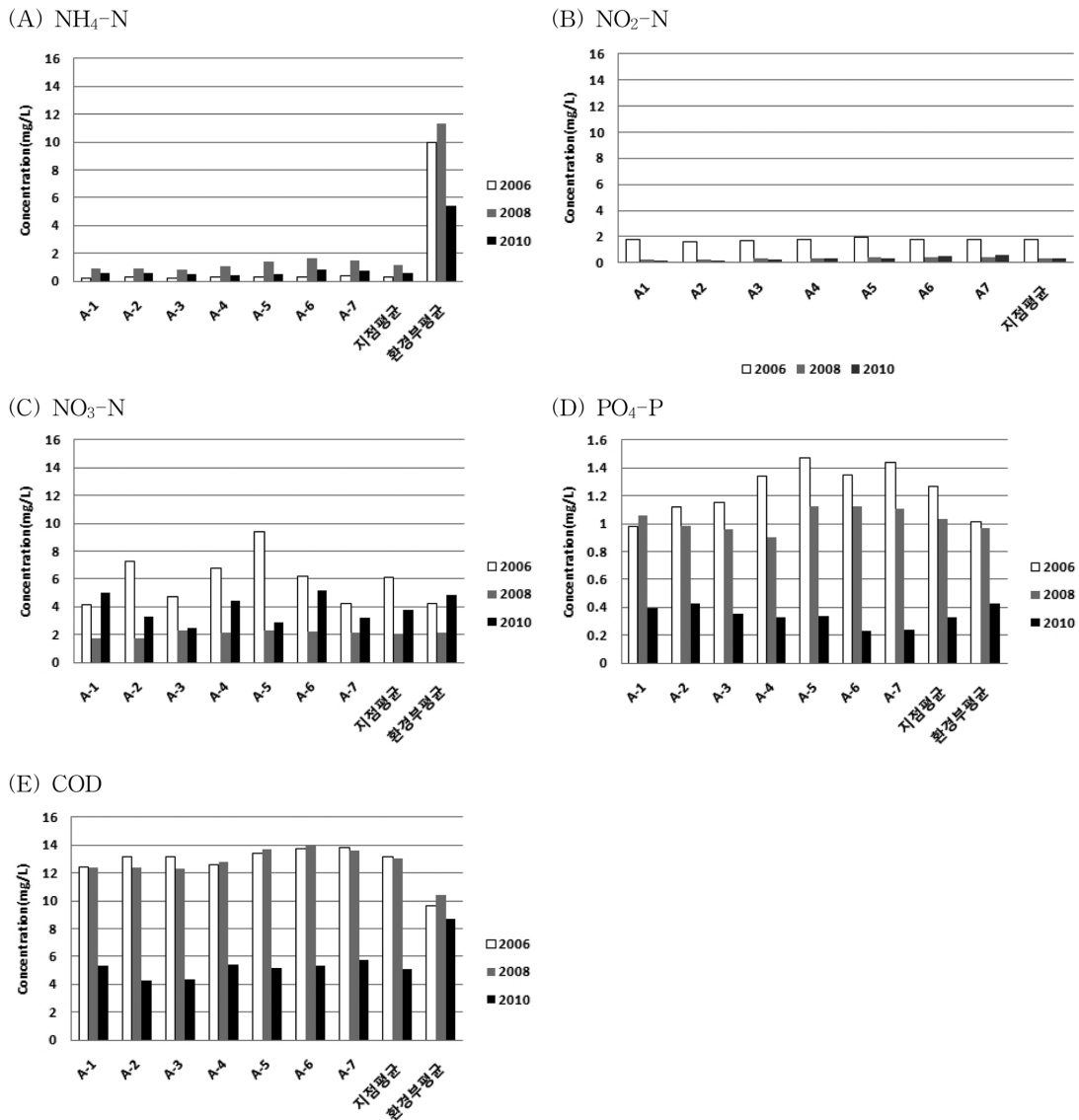


Fig. 1. Annual water quality levels at each sampling site between 2006 and 2010.

료에서는 2008년의 평균농도가 증가하다 2010년에서 감소하는 모습을 볼 수 있다<sup>6)</sup>.

하류로 갈수록 농도가 높아지는 것이 보이는데, 자정 작용에는 하천의 흐름 속도와 넓이의 관계가 있다 폭이 좁은 곳은 하천의 흐름이 빠르고 폭이 넓은 곳은 흐름이 늦어져 자정작용에 영향을 준다<sup>13)</sup>.

하류로 갈수록 폭이 넓어져 흐름이 느려져 자정작용이 느려지고 강우 유출수에 의해 유량이 증가함에 따라 오염물질의 농도도 증가하는 경향이 보이는데<sup>19)</sup>, 하천의 하류방향으로 흐르면서 농도의 축적과 강의 흐름

속도에 자정작용은 영향을 받는다.

### 3.2. 수역구분에 따른 연간 오염도 변화

안양천의 총 7개 구간(시료채취지점 기준)과 오염도별 수역구분을 토대로 안양천 내 연간 수질 변화를 살펴 보았다. 각 구간별 대표 값은 입구지점과 말단지점 간의 측정값의 평균을 구하여 적용하였다.

측정한 농도의 각 구간의 평균값을 Table 2를 적용하여 Fig. 2에 그 구간의 개수를 나타내고, 각 항목의 기준을 그림으로 나타내었다. NH<sub>4</sub>-N의 경우 0.1 mg/L

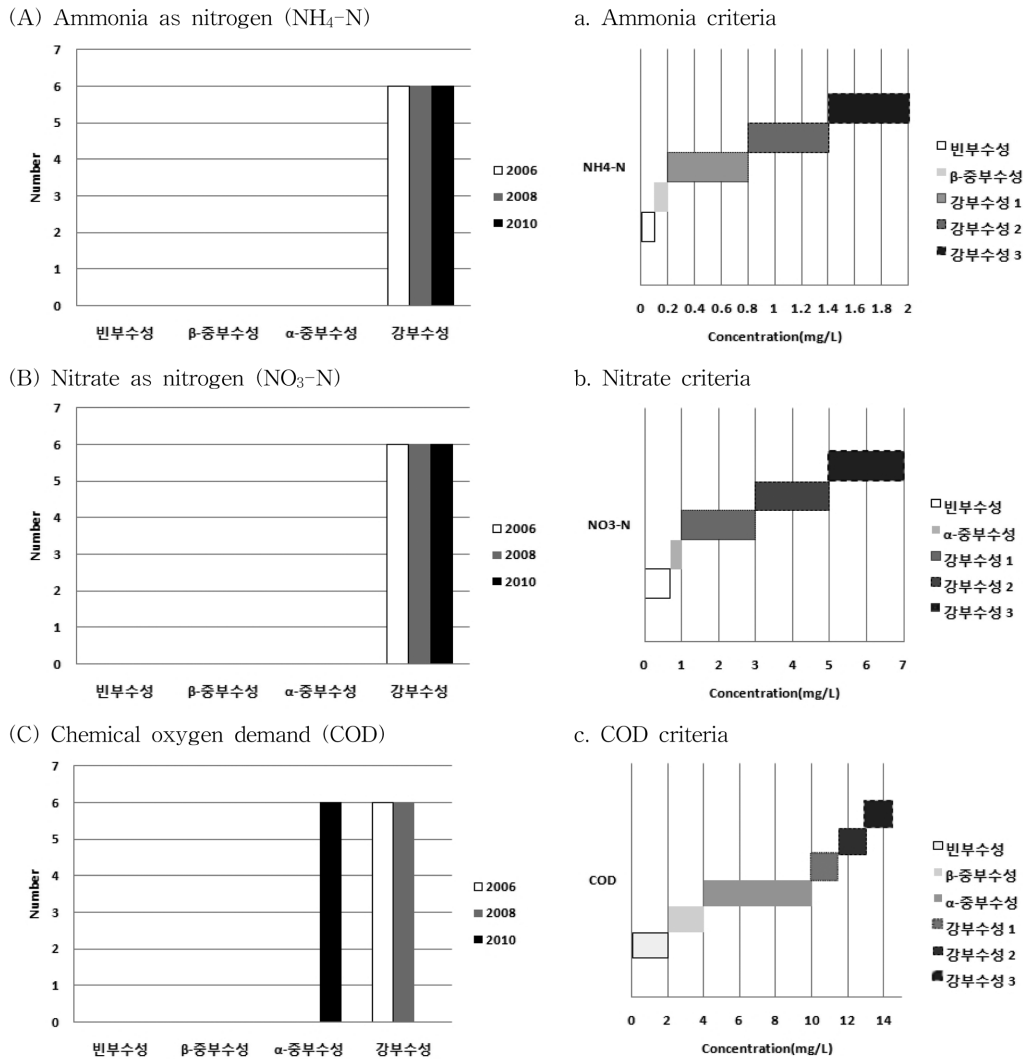


Fig. 2. Changes in number of water quality zones based on self-purification stage of river-stream.

이하면 빈부수성 수역, 0.1~0.2 mg/L이면  $\beta$ -중부수성 수역, 0.2 mg/L 이상이면 강부수성 수역이고 그 수역을 세분화 하여 0.2~0.8 mg/L이면 강부수성1, 0.8~1.4 mg/L이면 강부수성2, 1.4~2 mg/L이면 강부수성3으로 나눈다. 이 범위를 각 채수지점을 구간으로 나눈 유역에 적용해 보면 모두 다 강부수성 수역인 것을 알 수 있다. 더 세분화 한 기준을 보면 수질 농도의 변화를 알 수 있다. 하천의 자정능력이 아직 발휘하기 전 단계라는 것을 알 수 있다. 하지만, 2006~2010년까지 평균농도는 점점 감소하는 추세다. 그러므로 자정단계에 접어들면서 더 좋은 수질을 기대해 볼 수 있다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우 0.7 mg/L 이하면 빈부수성 수역, 0.7~1.0 mg/L이면  $\alpha$ -중부수성 수역, 1.0 mg/L 이상이면 강부수성 수역이고 그 수역을 세분화 하여 3 mg/L 이하이면 강부수성1, 5 mg/L 이하이면 강부수성2, 7 mg/L 이하이면 강부수성3으로 나눈다. COD의 경우 2 mg/L 이하면 빈부수성 수역, 2~4 mg/L이면  $\beta$ -중부수성 수역, 4~10 mg/L이면  $\alpha$ -중부수성 수역, 10 mg/L 이상이면 강부수성 수역이고 그 수역을 세분화하여 11.5 mg/L 이하이면 강부수성1, 13 mg/L 이하이면 강부수성2, 14.5 mg/L 이하이면 강부수성3으로 나눈다.

강부수성 수역은 Wipple의 4지대에 분해지대로 분류

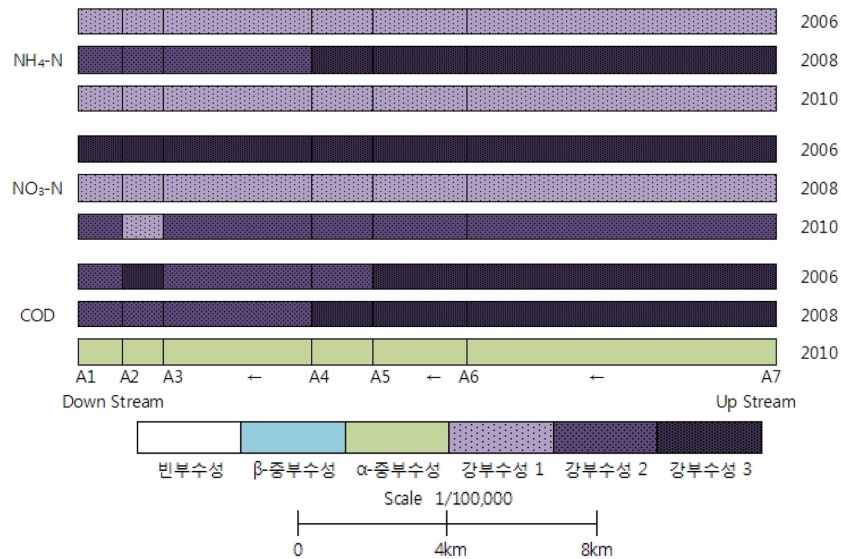


Fig. 3. Spatial changes of water quality of anyang stream based on self-purification capacity between 2006 and 2010.

할 수 있는데 분해가 시작되는 단계이다. 이 단계에서 농도의 분포를 자세히 알기 위해 세분화하여 나타내 보았다. 연도마다 각 자정단계를 나누는 구간의 개수를 나타내 보았다. 그 옆의 그림은 각 단계의 농도의 범위를 나타낸 것이다. 그 범위 안에 속하면 그 자정단계에 접어든 것이다. 자정단계에 따른 수역구분의 경우 강부수성을 중심으로 단계별 큰 변화는 없었으나 평균농도는 감소하는 경향을 보여 수질이 점차적으로 나아지고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 각 유역별 수질의 공간적 변화를 앞선 Table 1의 구간별 실제 거리를 적용하여 직선형의 밴드(band)형태로 구분한 것으로서 유역식별을 보다 용이하게 하고자 하였다. 하천의 자정단계에 따른 수역구분을 해보면 COD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N의 경우 상류에서 하류까지 비교적 동일하게 나오고 있다. 이는 강부수성 수역으로 아직 자정작용이 활발하게 일어나고 있다는 것으로 보기는 힘들다. 따라서 이를 위한 안양천 중상류 부근에서의 환경기초시설의 증설, 정화사업 등의 관리조치가 시급히 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

도심하천인 안양천의 지난 5년간의 오염도 변화를 확인하기 위하여 총 7곳의 현장실태조사를 실시하였다. 측정 수질지표로는 유기물의 경우에는 COD, 영양성분

의 경우에는 NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P의 측정결과를 기준으로 하였으며 채취 구간별 거리와 수역구분을 토대로 측정결과를 식별이 용이한 밴드형태로 나타내어 각 구간별 오염도의 공간적 변화를 확인할 수 있게 하였다.

광명대교 지점에서 상대적으로 다른 지점보다 농도가 높는데 광명대교 상류에 석수하수처리장의 방류수와 생활하수에 의한 오염의 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 총 7곳의 수질조사 중에 암모니아가 환경부자료와 차이가 보인다. 본 논문에서는 년 2회(6월, 10월) 채취하고 환경부는 매월 채취한 자료의 연평균 값으로 채취 시점에서 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 항목 중에 암모니아성 질소와 질산성 질소 성분의 차이가 있다. 수계에 존재하는 무기질소(inorganic nitrogen)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 성분의 순으로 오염이 증가하므로 실제 환경오염시료를 분석한 결과, 채취한 모든 시료에서 암모니아성 질소의 농도에 비해 질산성 질소의 농도가 더 높은 것으로 보아 채취한 시료는 질산화 과정이 최종단계까지 이르렀고 오염물질이 분해되고 있는 과정이라는 것을 알 수가 있다<sup>9)</sup>.

현장실태조사를 한 결과 안양천 구간에서는 자정작용의 기능을 기대하기는 어렵다. 하지만 2010년의 COD 부분에서 강부수성수역에서 α-중부수성 수역으로 바뀌었다. 이는 점점 안정적인 단계로 접어들고 있다는 것을 볼 수 있다.

현재 이러한 안양천의 오염방지와 수질개선을 위해 안양시에서는 ‘안양천 살리기’ 종합계획을 수립하여 습지복원, 자연 천으로서의 정비 사업이 이루어지고 있다. 하지만, 이런 노력이 효과를 보려면 안양천의 수질에 관한 지속적인 모니터링과 오염원의 제어에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 본다<sup>10,11)</sup>.

향후 연구에서는 이러한 현장수질조사와 더불어 구간별 인구수, 오폐수 배출시설, 비점오염원 등과 같은 안양천 내 다양한 수질 오염원에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨지며 이를 바탕으로 안양천의 수질평가 및 관리를 위한 보다 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 서울의 거처 한강에 유입되는 지천을 한강수질에 큰 영향을 미치는 중요한 하천이다. 따라서 한강의 효과적인 수환경관리와 한강의 수질개선을 위해 안양천의 수질오염도 평가 및 예측이 절대적으로 필요하다<sup>20)</sup>.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원 기관고유과제(과제번호: 2E21643) 및 환경부 연구과제(과제번호: 2M26050)의 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 공기서, 박두호, 유진채, “안양천 수질개선에 대한 주민의 사회적 선호”, *한국수자원학회지*, **2008**, 41(3), 315-324.
2. 이삼희, 최정권, “안양천 도시하천 복원의 실행과 평가에 관한 연구”, *한국환경복원기술학회지*, **2007**, 10(1), 1-8.
3. 김명철, “도시하천의 생태복원사업; 안양천 살리기 사업의 추진과 성과”, *도시문제*, **2005**, 40(443), 24-34.
4. 환경부, “안양천수질의 연간 평균농도 자료”, *물 환경수질시스템*, **2010**.
5. 이재성, 이 원, 이수원, N.V. Tung, 장해중, “탄천에서의 부영양화 실태조사에 관한 연구”, *한국환경분석학회지*, **2002**, 5(4), 265-268.
6. 이양규, 김갑진, “안양천의 생태학적 수질오염 실태 분석”, *대한토목학회지*, **2000**, 20(3-B), 447-459.
7. P.O'Neill, **1993**, “Environmental Chemistry”, 2th ed., Chapman & Hall, London. UK.
8. 이명성, 이수원, 이재성, “현장측정기법을 이용한 한강의 부영양화 실태조사에 관한 연구”, *한국환경분석학회*

*지*, **2006**, 9(2), 114-118.

9. 이재성, 김영승, 정민우, 이희정, 이원, “Flow Injection Analys(FIA)를 이용한 수질오염측정에 관한연구”, *환경분석학회지*, **1998**, 1(1), 65-75.
10. 이재성, 이원, 장해중, 이현준, 이수원, N.V. Tung, “현장측정기법을 활용한 탄천 및 양재천 지류의 수질평가에 관한 연구”, *환경분석학회지*, **2003**, 6(2), 133-135.
11. 최운화, 김계옥, 장준호, “안양천 친수환경정비사업의 평가에 관한연구”, *지역사회발전학회논문집*, **2008**, 33(3), 115-133.
12. J.L. Bratli, A. Skiple and M. Mjeld, “Restoration of lake Borrevannet self-purification of nutrients and suspended matter through natural reed-belts”, *Water Science and Technology*, **1999**, 40(3), 325-332.
13. Ines Heidenwag, Uta Langheinrich, Volker Lüderitz, “Self-purification in Upland and Lowland Streams”, *Acta hydrochim, Hydrobiol*, **2001**, 29(1), 22-33.
14. A. D. Butler, “The Sanitary Significance of the Spokane river”, *Northwest Science*, **2008**, 4-10.
15. Arturo Elósegui, Xabier Arana, Ana Basaguren and Jesús Pozo, “Self-purification processes along a medium-sized stream”, *Environmental Management*, **1995**, 19(6), 931-939.
16. Von der Wiesche and Wetzel, “Temporal and spatial dynamics of nitrite accumulation in the river Lahn”, *Water Research*, **1998**, 32(5), 1653-1661.
17. I.J. Allan, B. Vrana, R. Greenwood, G.A. Mills, B. Roig and C. Gonzalez, “A ‘toolbox’ for biological and chemical monitoring requirements for the European Union’s Water Framework Directive”, *Talanta*, **2006**, 69, 302-322.
18. Fam S. Stenstorm M. K. Silverman H., “Hydrocarbons in urban runoff”, *Journal of Environmental Engineering Div.*, **1987**, 113(5), 1032-1046.
19. 강용태, 한상윤, 진종규, 양희천, 송근관, 조용현, “하천 유역내의 비점오염원 발생특성에 관한 연구”, *공동출제 학술발표회 논문집*, **2007**, Vol. 2007, 826-834.
20. 배경석, 박종태, 조기찬, 김혜경, 신재영, “증광천의 수서동물에 관한 생태학적 연구”, *환경보건학회(구 한국환경위생학회)*, **1997**, 23(2), 89-97.

꼼꼼한 교정을 부탁드립니다. 아울러 칼라인쇄가 필요한 그림은 추가비용이 들며 여부를 알려 주시기 바랍니다.

[칼라인쇄시 : 페이지당 약 16만원 정도이며, 정확한 견적은 출간되는 호의 목차가 정해진 이후에 알려드릴 수 있습니다.]