

## MBOD법에 의한 만경강 수계의 조류성장잠재력 평가

김종구·김준우

군산대학교 공과대학 토목환경공학부

(2004년 1월 19일 접수; 2004년 9월 2일 채택)

### Evaluation of Algal Growth Potential in the Mangyeong River by MBOD method

Jong-Gu Kim and Jun-Woo Kim

Department of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-702, Korea

(Manuscript received 19 January, 2004; accepted 2 September, 2004)

The modified biochemical oxygen demand (MBOD) were conducted to evaluate the water quality and fertility in the Mangyeong river from november 2002 to april 2003. MBOD method was used to evaluate algal growth potentials and their limiting factors. MBOD depends on the amount of available inorganic nutrient and organic substrate during 5-day incubation in the dark condition at 20°C. The MBOD assay depends on inorganic nutrients such as phosphorus and nitrogen as well as reduced carbon as called MBOD, MBOD-P, and MBOD-N, respectively.

The concentration of pollutants were in the range of 3.08~48.36 mg/L for COD. The concentration of nutrients were in the range of 0.37~111.62 mg/L for dissolved inorganic nitrogen (DIN) and 0.00~1.03 mg/L for dissolved inorganic phosphorus (DIP). The results of MBOD bioassay showed that the MBOD, MBOD-P and MBOD-N values were 15~173 mg O<sub>2</sub>/L, 13~165 mg O<sub>2</sub>/L and 66~175 mg O<sub>2</sub>/L ranges, respectively. The MBOD values are found to be the highest in Iksan River and the lowest in Hari River throughout the Mangyeong River.

The relationships of MBOD, MBOD-P and MBOD-N in MBOD method were generally found in MBOD≒MBOD-P≒MBOD-N. But the result of Gosan was appeared to MBOD≒MBOD-N>MBOD-P. The MBOD-N value was higher 3 to 5 times than the MBOD-P value in the Gosan station.

The algal growth potentials expressed as the concentration of chlorophyll-a were maximum 20 times more than algal biomass in the water column.

Key Words : MBOD, MBOD-P, MBOD-N, Algal growth potential, Nutrient

#### 1. 서론

일반적으로 대부분의 하천의 경우에서와 같이 만경강에 있어서도 상류 지역의 수질은 비교적 양호하다 할 수 있으나 완주군 화산면을 기점으로 삼례읍, 김제시, 익산시, 그리고 전주시를 거치면서 생활하수, 공장폐수 및 농·축산폐수의 유입으로 인하여 수질오염이 심화되고 있는 실정이다. 농·축산폐수

발생량은 전체 폐수의 1%에 불과하지만 오염부하는 아주 크다. 축산폐수의 하천유입이나 농업비료의 유출로 인하여 이들에 포함되어 있는 유기물질, 질소, 인에 의한 하천의 부영양화는 용수의 질을 저하시킬 뿐만 아니라 농업용수로서의 기능마저 위협하고 있다.

특히, 질소와 인은 부영양화를 유발하는 주 원인 물질로 질소와 인의 확실한 처리가 없이는 무기영양염류의 증가에 따른 조류의 대량번식으로 인해 자생 유기물이 하류로 갈수록 급증할 것임은 틀림없는 사실이다. 따라서 부영양화 저감을 위한 효율적인 수자원 관리대책으로 부영양화의 원인물질인

Corresponding Author : Jong-Gu Kim, Department of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-702, Korea  
Phone : +82-63-469-1874  
E-mail : kjg466@kunsan.ac.kr

인과 질소의 발생량을 줄이는 문제 외에도 만경강 중·하류수계의 부영양화 문제에 관련하여 수계 내 조류 성장을 억제하는 제한 영양염 인자의 도출 및 조류성장 잠재력을 평가할 필요가 있다.

부영양화는 일반적 지표생물조사, 용존산소측정, 생물의 현존량 조사, 기초생산량 조사, 투명도 측정, 질소와 인 등의 영양염 농도 측정을 통해 그 현상을 어느 정도 파악 할 수 있으나, 이러한 단일 항목에 대하여 정량적인 판정기준을 도입할 경우 각 항목 간 모순이 생길 가능성이 높다. 또한 단일 항목으로는 수역내의 부영양화에 따른 수질변화 등 각각의 현상과 그 지배인자들 간의 정량적 관계를 현상화 시키기에는 곤란한 점이 많다. 이에 OECD<sup>1)</sup>에서는 부영양화도 판정항목(영양염 농도, 일차생산량-chl.a, 투명도, 생물지표종)간의 상관관계를 정량적으로 파악하려고 시도하였으나, 이들 항목만의 해석으로는 조류생산에 직접 영향을 미치는 수질이나 조류증식의 제한물질을 추정하기란 곤란한 점이 많다. 최근에는 이러한 화학적 분석법 외에 조류를 이용하여 조류증식의 제한인자를 추정하는 AGP(algal growth potential)법이 많이 사용되고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 조류를 이용하는 방법은 약 2주에서 1개월 정도의 시간이 걸리고, 표준종의 조류를 사용할 경우 배양 조건, 배지 선정, 접종량 등의 문제로 고도의 숙련이 요구된다<sup>3)</sup>.

이들 방법에 비해 간단하고 쉽게 수중의 제한 영양염 인자를 측정하기 위한 MBOD법<sup>4)</sup>이 제안되었는데 이 방법은 조류(독립영양생물)를 사용하지 않고 세균(종속영양생물)의 활성을 이용하여 BOD 측정법에 준해서 수중의 제한인자를 도출시키는 방법이다. 이 방법을 여러 하천과 호소를 대상으로 적용시킨 결과 그 신뢰성과 편이성이 확인되었으며<sup>2)</sup>, 남미 브라질의 BROA 호수와 일본의 霞ヶ浦(가스미가우라)<sup>5)</sup> 등지에서 MBOD법을 활용하여 약 10년간 하천의 수질을 생물의 입장에서 해석하여 부영양화의 제한 영양염 인자를 산정하는 등 수질관리측면에서 많은 연구가 이루어졌다. 국내 연구로서는 김<sup>6)</sup>이 MBOD법을 적용하여 영산강과 섬진강을 중심으로 오염 현황을 평가하였고, 송<sup>7)</sup>이 Qual2E 모델을 이용하여 낙동강을 상수원수 2급수 유지를 위한 최적 수질관리 방안에 대하여 평가하였으며, 서<sup>8)</sup>가 하계 낙동강을 중심으로 조류증식 잠재력을 평가한 바가 있다.

본 연구대상인 만경강 수계는 현재 새만금 간척사업과 관련하여 사회적으로 많은 관심을 불러일으키고 있으나 그 관심도에 비하여 수계 부영양화와 관련된 연구는 매우 적은 편이다. 따라서 본 연구는 만경강 수계의 수질특성을 조사하고, MBOD법에 기초한 만경강 수계의 조류증식 제한인자 및 조류증

식 잠재량을 추정하여 수질특성과의 관계를 규명하며, 부영양화 정도를 평가함으로써 만경강 수계의 수질관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상수계의 특징

만경강은 전북 완주군 고산면 대아저수지에서 출발하는 고산천이 최상류이며 이후 완주군 비봉면 어우리 어우보부터 본류가 시작한다. 완주군 소양면에서 시작하는 소양천은 봉동읍에서 만경강 본류와 합류한다. 한편 완주군 구이면 구이 저수지에서 시작되는 삼천천이 전주시를 지나면서 전주천과 합류한 후 삼례읍 삼례교 지점에서 만경강의 중류로 합류하여 하류를 거쳐 서해 바다까지 흐르게 된다. 만경강은 전북지역의 총 수자원량 2,488백만<sup>3</sup>중 780.5백만<sup>3</sup>으로 31.4%를 차지하며 용수별 이용 현황은 생활용수 17.9%, 공업용수 11.1%, 농업용수 63%, 하천유지용수 8%로 각각 이용되고 있다<sup>9)</sup>.

### 2.2. 현장조사 및 수질분석

현장조사는 2002년 11월 14일부터 2003년 4월 15일까지 매월 중순에 Fig. 1에 나타난 바와 같이 5지점의 시료를 채취하였으며, 환경조사 지점의 특징은 다음과 같다. 지점 1은 전주천과 하수처리장 배수구에서 합류되는 100m 떨어진 지점으로 유속이 매우 느리며, 지점 2는 삼례읍 하리앞 지점으로 주변은 농지로 형성되어 있고, 지점 3은 삼례철교 아래로 지점 1과 지점 2가 합류하는 지점이다. 지점 4는 익산시 생활하수 및 축산 폐수의 영향을 받는 지점이다. 지점 5는 익산시 목천교 부근의 해수의 유입을 차단하는 제수문이 설치된 지점이다. 지점 1과 4는 지천이며, 지점 2, 3, 5는 본류에 해당된다.

수질조사는 총 6회에 걸쳐 이루어졌다. 일반항목으로 수온, 수소이온농도, 용존산소, 화학적산소요구량, 부유물질이 측정되었고, 영양염류로는 암모니아

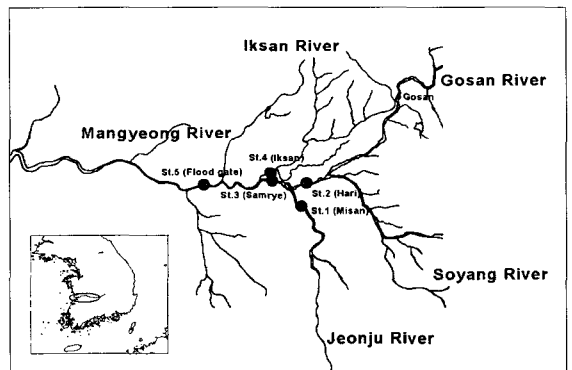


Fig. 1. Sampling stations in the ManGyeong River.

## MBOD법에 의한 만경강 수계의 조류성장잠재력 평가

질소, 아질산질소, 질산질소, 총질소, 인산인, 총인이 측정되었다. 생물조사로는 조류의 성장을 나타내는 클로로필 a 농도를 측정하였다. 분석법은 수질오염 공정시험법<sup>10)</sup> 및 그에 준하는 방법으로 행하였다.

### 2.3. MBOD법의 분석방법

MBOD법에 의한 Bioassay는 첨가배지의 적합여부를 시험한 후 첨가배지 농도를 결정하였는데, 첨가배지 농도는 Table 1과 같다. 여기에 사용한 측정장비는 회색오차를 줄일 수 있고 조작이 간편한 BOD manometer를 사용하였다.

MBOD는 수중의 생물이 이용가능한 무기염류량이 어느 정도인가를 알아볼 수 있는 방법으로 산소소비량으로 그 상대량을 나타낼 수 있다. MBOD-P는 MBOD법의 응용법으로 완전배지에서 인만을 제거한 배지를 첨가하여 시수 중의 인량의 상대값을 산소소비량으로 추정하는 것이다. 이 값의 의미는 생물이 이용가능한 인량을 나타내므로, 만약 생물의 성장이 인에 의해 제한된다면 MBOD와 MBOD-P는 일치할 것이다. MBOD-N은 MBOD법의 응용으로 완전배지 중에 질소만을 제거한 배지를 첨가하여 시수 중의 질소량의 상대값을 산소소비량으로 나타낸다. 이 수치가 가지는 의미는 생물이 이용가능한 질소량을 나타내므로 생물이 성장과 증식이 질소에 의해 제한된다면 MBOD와 MBOD-N은 일치하여야 한다.

MBOD 측정은 먼저 시수를 BOD manometer bottle에 채운 후 Table 1의 첨가액 중 Glucose 용액(12.5g/100ml)을 0.2ml/100ml(시수)의 비율로 첨가한다. 이때 시수 중의 Glucose 농도는 250ppm에 해당된다. 그리고 BOD 인큐베이터에서 20℃, 암소 조건으로 하여 5일간 배양한 후 용존산소 소모량을 측정하여 산정한다.

MBOD-P 측정은 시수를 BOD manometer bottle에 채운 후 Table 1의 첨가액 중 인을 제외한 영양

염 배지용액을 0.2ml/100ml(시수)의 비율로 첨가하고, BOD 인큐베이터에서 20℃, 암소 조건으로 하여 5일간 배양한 후 용존산소 소모량을 측정하여 산정한다.

MBOD-N 측정은 시수를 BOD manometer bottle에 채운 후 Table 1의 첨가액 중 질소를 제외한 영양염 배지용액을 0.2ml/100ml(시수)의 비율로 첨가하고, BOD 인큐베이터에서 20℃, 암소 조건으로 하여 5일간 배양한 후 용존산소 소모량을 측정하여 산정한다.

### 2.4. 조류증식 잠재량 추정방법

종래의 경우 여러 종류의 녹조류를 이용해 조류의 잠재적 증식량(AGP : algal growth potential)을 측정하였지만, 생물검정에 사용 외는 조류는 광합성 생물이므로 광조건을 유지시키는 것이 중요하다. 또한 조류의 증식에 따라 수중의 탄산이 소모되므로, pH 등의 환경적 요인의 변화가 발생하여, 배양조건을 일정하게 유지하기는 곤란하다. 그러나, 본 MBOD법에 의한 AGP의 추정은 시수 중에 존재하는 미생물 자체를 공시중속영양생물로 사용하므로 배양이 용이할 뿐 아니라 BOD분석 정도의 능력만 갖추면 용이하게 AGP의 추정이 가능하다.(中本信忠, 1977)

中本은 여러호소의 영양염과 chl-a와의 관계를 이용하여 잠재조류증식량을 추정하였다. 일본의 小島大地 菅平넬호 등의 표층수 중의 chl-a와 입자상인(POP)의 관계는 chl-a : POP ≃ 1 : 1 이고, 입자상질소(PON)와의 관계는 chl-a : PON ≃ 1 : 10로 관측되었다. 화학분석에 의한 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)과 생물이 이용 가능한 인량에 의존하는 산소소비량(MBOD-P)과의 관계는 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P : MBOD-P ≃ 1mg P : 500mgO<sub>2</sub>이고, 화학분석에 의한 총무기질소(TIN)와 생물이 이용가능한 질소량에 의존하는 산소요구량(MBOD-N)과의 관계는 TIN : MBOD-N ≃ 7~10mgN : 500mgO<sub>2</sub>이었다. 이와 같이 수중 영양염 농도와 MBOD와의 관계, 식물플랑크톤중의 인, 질소와 Chl-a와의 관계로부터 조류증식 잠재량을 추정 가능하다.

$$\text{Chl-a} : \text{P} : \text{N} : \text{O}_2 \approx 1000\mu\text{gChl-a} : 1\text{mgP} : 10\text{mgN} : 500\text{mgO}_2$$

Table 1. Stock solution for bioassay

| Bioassay | Stock solution(100ml)  |
|----------|--|
| MBOD     | Glucose 12.5g  |
| MBOD-N   | CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O 4.375g, FeCl <sub>3</sub> 62.5mg, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 2.065g, Glucose 12.5g, MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O 12.5g           |
| MBOD-P   | CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O 4.375g, FeCl <sub>3</sub> 62.5mg, KNO <sub>3</sub> 23.75g, Glucose 12.5g, MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O 12.5g                          |
| BOD      | CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O 4.375g, FeCl <sub>3</sub> 62.5mg, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 2.065g, KNO <sub>3</sub> 23.75g, MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O 12.5g |

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수질현황

만경강 수계의 수질특성을 조사하기 위해 2002년 11월 14일 부터 2003년 4월 17일까지 총 6회에 걸쳐 본류 5개지점에서 표층수를 채수하여 분석하였고,

월별, 지점별 농도변화는 Table 2와 같이 나타났다.

COD의 농도 분포는 3.08~48.36mg/L를 보이고 있다. 지점별로 익산교 지점에서 16.62~48.36mg/L로 평균 30.90mg/L이었는데 하천수 수질환경기준 5등급이었고, 미산교 지점에서는 10.96~21.18mg로 평균 15.67mg/L 5등급이었고, 삼례철교 지점에서는 6.54~28.40mg/L로 평균 12.12mg/L 수질기준 3~5등급이었고, 수문 지점에서는 7.68~13.26mg/L로 평균 9.49mg/L 3~5등급이며, 마지막으로 하리교 지점에서는 3.08~13.20mg/L로 평균 5.11mg/L 수질환경기준 2~5등급으로 나타났다. 전반적으로 하리교 지점을 제외한 모든 정점에서 환경기준치인 3.0mg/L보다 2배 이상 높게 나타나고 있는데 이는 만경강

수역이 각종 생활하수, 산업폐수, 분뇨처리수, 축산폐수 등의 영향으로 인하여 오염도가 가중되고 있는 수역임을 잘 보여주고 있으며 특히, 대규모 축산단지가 위치하고 있는 익산천에서 최고의 COD 농도를 보이는 것으로 나타났다. 이후 하류역으로 갈수록 COD 농도가 감소하였다.

총무기질소의 월별 농도변화는 Table 2 및 Fig. 2에 나타난 것처럼 0.373~111.616mg/L의 범위로 지점별로 큰 차이가 나타났다. 지점별 농도변화는 미산교 지점에서 10.80~15.97mg/L로 평균 12.43mg/L, 하리교 지점에서는 0.37~2.27mg/L로 평균 1.40mg/L, 삼례철교 지점에서는 2.09~11.09mg/L로 평균 6.75mg/L, 익산교 지점에서는 3.47~111.62mg/L로 평균

Table 2. The analysis results of water quality at Mangyeong River (n=6, range, mean)

| Item                                    | Misan Bridge         | Hari Bridge          | Samrye Railway      | Iksan Bridge          | Flood Gate          |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Temp (°C)                               | 6.0~18.5<br>12.8     | 4.8~18.0<br>10.7     | 5.0~19.0<br>10.7    | 5.3~17.0<br>10.2      | 4.8~19.0<br>10.1    |
| pH                                      | 7.14~8.07<br>7.86    | 7.47~7.64<br>7.60    | 7.35~7.95<br>7.78   | 7.75~8.22<br>8.04     | 7.66~7.89<br>7.84   |
| DO (mg/L)                               | 6.49~9.63<br>8.03    | 11.69~15.79<br>13.17 | 8.38~14.10<br>11.36 | 2.69~10.36<br>6.12    | 9.13~12.51<br>10.17 |
| COD (mg/L)                              | 10.96~21.18<br>15.67 | 3.08~13.20<br>5.11   | 6.54~28.40<br>12.12 | 16.62~48.36<br>30.90  | 6.90~13.26<br>9.49  |
| TSS (mg/L)                              | 6.8~15.2<br>12.7     | 2.4~5.8<br>3.6       | 5.0~13.2<br>7.8     | 17.2~70.0<br>36.6     | 8.4~22.6<br>14.9    |
| VSS (mg/L)                              | 6.4~14.2<br>10.1     | 0.2~3.8<br>2.4       | 3.8~7.2<br>5.3      | 11.0~68.0<br>28.4     | 5.0~9.0<br>6.1      |
| Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )              | 3.60~12.16<br>6.32   | 2.31~7.67<br>3.89    | 4.83~21.25<br>9.38  | 7.66~30.93<br>18.47   | 0.10~13.63<br>7.89  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)  | 6.29~11.33<br>8.75   | 0.00~0.15<br>0.04    | 1.72~7.31<br>4.74   | 2.03~110.16<br>46.29  | 1.51~7.73<br>4.00   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)  | 0.07~0.39<br>0.26    | 0.00~0.01<br>0.01    | 0.04~0.22<br>0.11   | 0.01~0.25<br>0.10     | 0.03~0.15<br>0.09   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)  | 0.51~4.57<br>3.42    | 0.21~2.22<br>1.35    | 0.33~3.74<br>1.90   | 0.18~1.78<br>1.19     | 0.41~3.67<br>2.19   |
| Org-P (mg/L)                            | 10.80~15.97<br>12.43 | 0.37~2.27<br>1.40    | 2.09~11.09<br>6.75  | 3.47~111.62<br>47.58  | 1.99~11.42<br>6.29  |
| T-N (mg/L)                              | 12.62~28.51<br>19.30 | 1.53~3.60<br>2.59    | 6.67~10.75<br>9.39  | 34.13~149.11<br>86.01 | 7.40~13.13<br>10.16 |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L) | 0.41~1.03<br>0.61    | 0.00~0.05<br>0.01    | 0.20~0.42<br>0.32   | 0.12~0.92<br>0.55     | 0.19~0.48<br>0.33   |
| DIP (mg/L)                              | 0.11~0.50<br>0.29    | 0.00~0.05<br>0.02    | 0.04~0.18<br>0.10   | 0.09~3.33<br>1.22     | 0.00~0.17<br>0.08   |
| T-P (mg/L)                              | 0.64~1.24<br>0.90    | 0.00~0.10<br>0.03    | 0.25~0.60<br>0.42   | 0.69~3.64<br>1.77     | 0.22~0.61<br>0.41   |

MBOD법에 의한 만경강 수계의 조류성장잠재력 평가

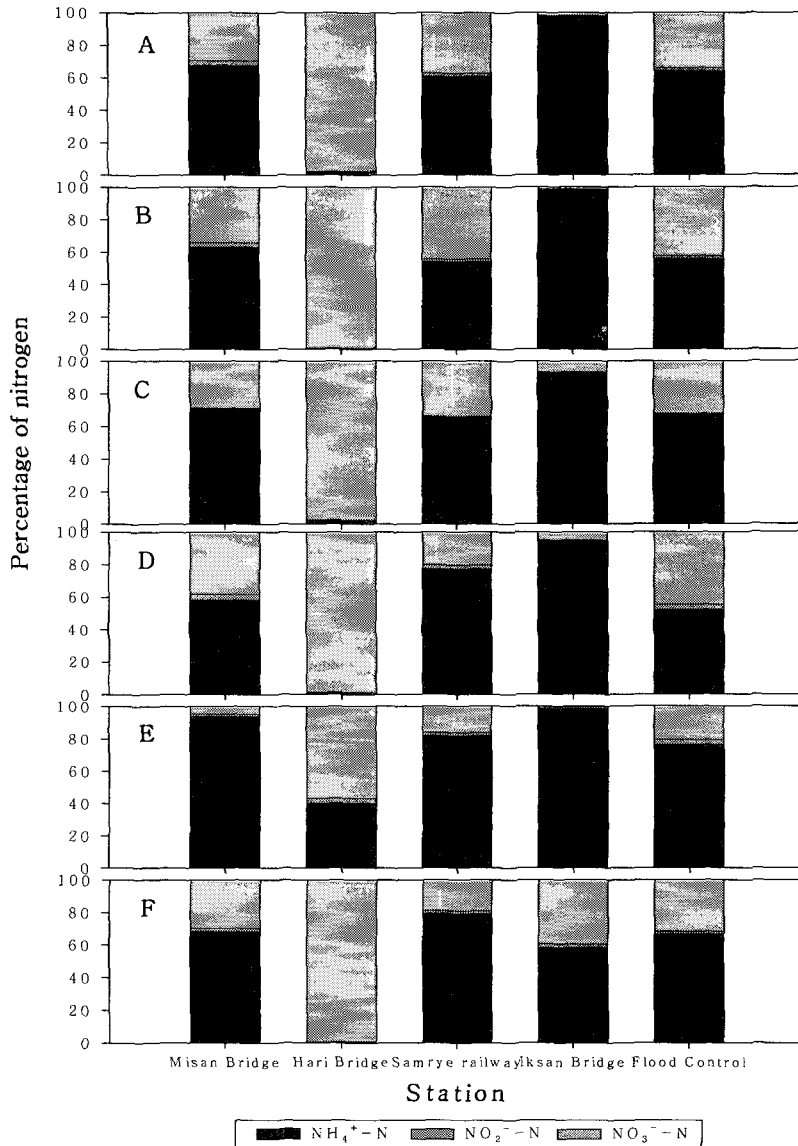


Fig. 2. The proportion of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N for inorganic nitrogen at each station. (A: Nov. 14, B: Nov. 30, C: Dec. 27, D: Feb. 5, E: Mar. 15, F: Apr. 17)

47.58mg/L, 수문 지점에서는 1.99~11.42mg/L로 평균 6.29mg/L 범위를 나타내었다.

총무기질소에 대한 각 질소의 점유비는 Fig. 4에 나타내었다. 지점별 농도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N : NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N : NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 비율은 미산교 지점에서 70.46% : 2.19% : 27.35%, 하리교 지점에서 7.70% : 0.86% : 91.44%, 삼례철교 지점에서 70.00% : 1.70% : 28.30%, 익산교 지점에서 90.52% : 0.51% : 8.97%, 수문 지점에서는 63.87% : 34.24% : 39.60%로 나타났다. 하리교 지점을 제외한 모든 정점에서 암모니아질소가 높은

비율로 나타내는데, 이는 전주천의 생활하수와 하수처리장의 배출수, 익산천의 축산폐수로 인한 오염이 심화된 상태라 볼 수 있다.

조사기간 중 측정된 인산인 분포는 Table 2에 나타난 것처럼 0.00~1.03mg/L의 범위로 나타났다. 지점별 농도변화는 미산교 지점에서 0.44~1.03mg/L로 평균 0.61mg/L, 하리교 지점에서는 0.00~0.05mg/L로 평균 0.01mg/L, 삼례철교 지점에서는 0.20~0.42mg/L로 평균 0.32mg/L, 익산교 지점에서는 0.12~0.92mg/L로 평균 0.55mg/L, 수문 지점에서는 0.19

~0.48mg/L로 평균 0.33mg/L 범위를 나타내었다. 수환경중의 인은 질소와 함께 1차 생산력을 결정하는 중요한 요인이며, 질소는 생물학적 고정이나, 대기중의 방전, 공업적 질소고정 등에 의해 자연수 및 지표수에 유입될 수 있으나, 인은 자연계에서 순환되지 못하고 세제, 분뇨, 우수, 기타의 오폐수에 의해 하천수에 유입되어지는 것이 통상적인 예라고 볼 수 있다<sup>11)</sup>. 따라서 본 조사에서 나타난 인의 측정결과에 있어서 하리고, 삼례철교, 수문 지점에 비해 미산교, 익산교 지점에서 큰 증가를 보인 것은 전추천에서 유입되는 가정하수와 공업단지에서 배출되는 산업폐수가 부분적으로 유입되었기 때문으로 사료되며 인근 농가의 축산폐수에서 유출되는 비료성분의 영향 때문에 인함량이 높다는 것을 나타내는 결과로 사료된다. 이와 같은 원인에 의거하여 볼 때 상기에서 지적한 질소 함량이 높은 시료에서 총 인의 함량이 높은 시료가 많았는데 그 원인이 동일하기 때문으로 판단된다<sup>12)</sup>.

3.2. Bioassay 결과

BOD manometer를 이용하여 MBOD법에 따라 생물검정을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다. 그리고, 생물검정법과 화학분석법으로 구한 영양염류 농도와 월별, 지점별 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

3.2.1. MBOD

MBOD의 월별, 지점별 농도 범위는 미산교 지점에서 130~150 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 136.33 mg O<sub>2</sub>/L, 하리고 지점에서는 16~40 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 27.17 mg O<sub>2</sub>/L, 삼례철교 지점에서는 110~145 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 128.50 mg O<sub>2</sub>/L, 익산천 지점에서는 131~173 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 150.17 mg O<sub>2</sub>/L, 수문 지점에서는 107~156 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 129 mg O<sub>2</sub>/L의 범위를 가지며, 익산천 지점에서 평균 150.17 mg O<sub>2</sub>/L로 가장 높고, 오염부하가 거의 없는 하리고 지점에서 가장 낮았다. 이 MBOD는 유기물을 충분히 가한 경우, 생물이 이용가능한 무기영양염류에 상당하는 값이므로 독립영양생물인 조류에의 적용에는 화학분석으로 측정된 무기영양염류에 비해 더욱 참된 잠재적 이용가능물질의 총량을 나타낸다고 생각된다<sup>13)</sup>.

3.2.2. MBOD-P

지점별, 월별 변화를 보면 미산교 지점에서 120~152 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 130 mg O<sub>2</sub>/L, 하리고 지점에서는 13~52 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 30.17 mg O<sub>2</sub>/L, 삼례철교 지점에서는 102~135 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 122 mg O<sub>2</sub>/L, 익산천 지점에서는 131~165 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 147.67 mg O<sub>2</sub>/L, 수문 지점에서는 106~155 mg

Table 3. Results of the different bioassay in each station

| Date           | Station    | Bioassay(mg O <sub>2</sub> /L) |        |        |
|----------------|------------|--------------------------------|--------|--------|
|                |            | Misan                          | MBOD-P | MBOD-N |
| November<br>14 | Misan      | 135                            | 125    | 132    |
|                | Hari       | 16                             | 18     | 66     |
|                | Samrye     | 128                            | 120    | 127    |
|                | Iksan      | 152                            | 140    | 151    |
|                | Flood Gate | 121                            | 112    | 130    |
| November<br>30 | Misan      | 135                            | 128    | 135    |
|                | Hari       | 37                             | 33     | 124    |
|                | Samrye     | 110                            | 102    | 135    |
|                | Iksan      | 165                            | 165    | 168    |
|                | Flood Gate | 107                            | 106    | 132    |
| December<br>27 | Misan      | 150                            | 152    | 150    |
|                | Hari       | 40                             | 45     | 123    |
|                | Samrye     | 138                            | 135    | 132    |
|                | Iksan      | 136                            | 136    | 140    |
|                | Flood Gate | 124                            | 125    | 138    |
| February<br>5  | Misan      | 135                            | 120    | 145    |
|                | Hari       | 15                             | 20     | 105    |
|                | Samrye     | 120                            | 115    | 125    |
|                | Iksan      | 131                            | 131    | 138    |
|                | Flood Gate | 125                            | 120    | 130    |
| March<br>15    | Misan      | 130                            | 127    | 130    |
|                | Hari       | 39                             | 52     | 134    |
|                | Samrye     | 145                            | 135    | 138    |
|                | Iksan      | 173                            | 162    | 175    |
|                | Flood Gate | 156                            | 155    | 152    |
| April<br>17    | Misan      | 133                            | 128    | 137    |
|                | Hari       | 16                             | 13     | 67     |
|                | Samrye     | 130                            | 125    | 139    |
|                | Iksan      | 144                            | 152    | 162    |
|                | Flood Gate | 141                            | 139    | 163    |

O<sub>2</sub>/L로 평균 126.17 mg O<sub>2</sub>/L의 범위를 나타냈다. 지점별로는 인의 경우 익산천 지점에서 가장 높고, 하리고 지점에서 가장 낮았다.

3.2.3. MBOD-N

만경강 지점별, 월별 변화를 살펴보면, 미산교 지점에서 130~150 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 138.17 mg O<sub>2</sub>/L, 하리고 지점에서는 66~134 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 103.17 mg O<sub>2</sub>/L, 삼례철교 지점에서는 125~139 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 132.67 mg O<sub>2</sub>/L, 익산천 지점에서는 138~175 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 155.67 mg O<sub>2</sub>/L, 수문 지점에서는 130~163 mg O<sub>2</sub>/L로 평균 140.83 mg O<sub>2</sub>/L의 범위를 나타냈다. 지점별로는 익산천 지점에서 가장

MBOD법에 의한 만경강 수계의 조류성장잠재력 평가

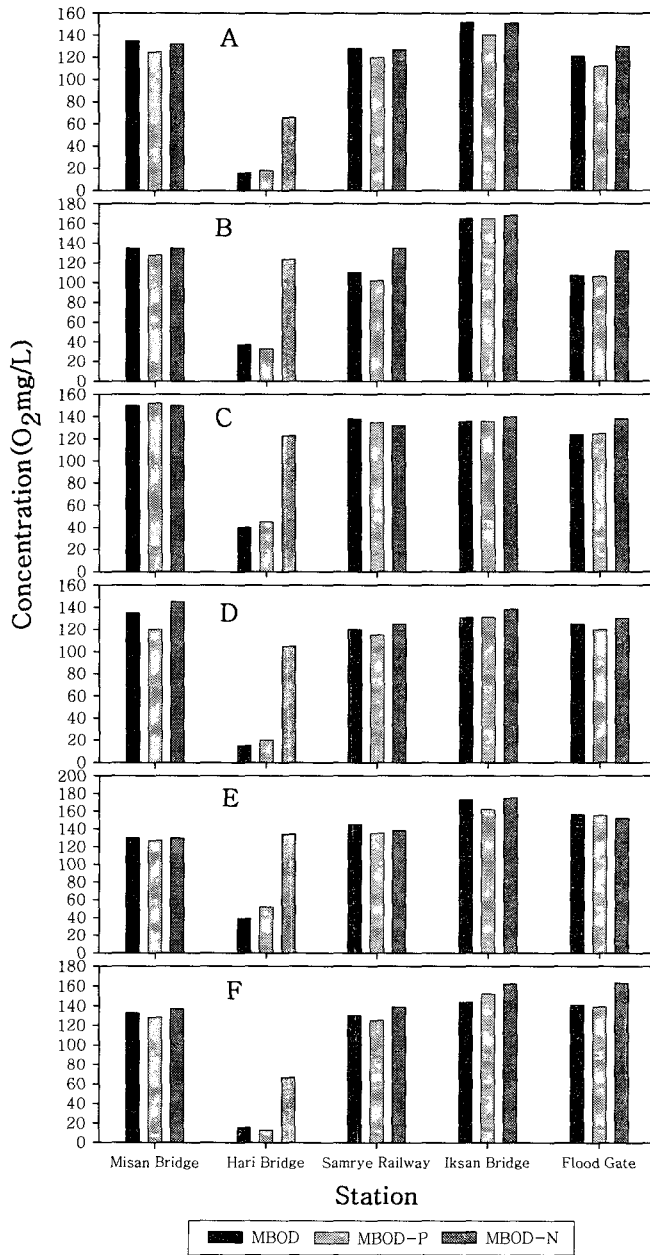


Fig. 3. Results of the different bioassay in each station.

(A: Nov. 14, B: Nov. 30, C: Dec. 27, D: Feb. 5, E: Mar. 15, F: Apr. 17)

높고, 하리고 지점에서 가장 낮았다.

3.3. 조류증식 제한인자 추정

MBOD법에 의한 Bioassay값과 증식제한인자와의 관계를 월별, 지점별로 구분하여 Table 4에 나타내었다. Bioassay법에 의한 MBOD, MBOD-P, MBOD-N의 상관관계는 하리고 지점을 제외한 대부분 지점에

서 MBOD ≃ MBOD-P ≃ MBOD-N로 나타났는데 만경강 수계는 자체적으로 인과 질소를 공급하는 요인이 많아 대부분 지점이 부영양화 상태였다. 하리고 지점에서만 MBOD와 MBOD-P가 일치하였고, MBOD-N은 3~5배 정도 높게 나타났다. 여기서 MBOD와 MBOD-P의 값이 거의 같은 것은 독립영양생물이 성장, 증식하는데 ‘인’이 제한되어 성

장이 중지되었음을 의미한다. 다시 말하면, 상대적으로 질소가 충분한 것으로 나타났다. 이 방법을 이용하여 김명숙<sup>7)</sup>은 영산강과 섬진강이 '인' 제한형 하천임을 밝혔으며, 서인숙<sup>9)</sup>은 낙동강이 '인' 제한형 호소임을 밝혔다.

이상 MBOD, MBO-P와 MBOD-N에서 구한 값을 이용하여 지점별 특징을 평가해 보면, 오염원이 없고 영양염 농도가 낮은 하리교에서 제한영양염 인자를 추정할 수 있었지만, 생활하수와 축산폐수의 영향을 받는 나머지 지점에서는 다량으로 함유된 질소와 인으로 인하여 MBOD, MBOD-P, MBOD-N 모두 높은 농도값을 나타내고 있어 제한영양염을 추정할 수 없었다. 이는 만경강 수계의 영양염 농도 수준이 서<sup>9)</sup>가 조사한 낙동강 수계의 영양염 농도보다 무려 10배 이상을 나타내고 있어 높은 영양염 농도에 기인한 결과로 5일간 BOD 배양에서 하천이

함유한 영양염만으로도 충분히 조류가 증식될 수 있다는 것을 의미한다.

3.4. 조류증식 잠재량 추정

MBOD법으로 추정된 각 지점에서의 산소소비량을 이용하여 조류에 대한 질소, 인 및 산소소비량의 관계로부터 조류의 잠재증식량을 구하여 Table 5에 나타내었다. 시수 중에 잔존하는 생물이 이용 가능한 영양물질로부터 추정되는 조류의 증식잠재량은 MBOD로부터 30~346 mg/m<sup>3</sup>, 생물이 이용가능한 인으로부터 추정된 조류의 증식잠재량은 26~330 mg/m<sup>3</sup>, 생물이 이용가능한 질소로부터 추정된 조류의 증식잠재량은 132~350 mg/m<sup>3</sup>이었고, 전 수계에 걸쳐 Chl-a가 현존량의 최고 20배까지 일시 증식할 가능성이 예측되었다.

지점별로는 오염원이 없는 하리교가 30~80 mg/m<sup>3</sup>으로 평균 54 mg/m<sup>3</sup>의 가장 낮은 증식잠재력을 가

Table 4. The relationship among the results of the MBOD method and the growth limiting factor

| Date           | Station    | Bioassay               | Growth limiting factor |
|----------------|------------|------------------------|------------------------|
| November<br>14 | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
| November<br>30 | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | None                   |
| December<br>27 | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | None                   |
| February<br>5  | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
| March<br>15    | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
| April<br>17    | Misan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Hari       | MBOD ≐ MBOD-P ≪ MBOD-N | P                      |
|                | Samrye     | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Iksan      | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |
|                | Flood Gate | MBOD ≐ MBOD-P ≐ MBOD-N | None                   |



## MBOD법에 의한 만경강 수계의 조류성장잠재력 평가

진 반면, 전주시의 생활하수가 유입되는 전주천은 260~300 mg/m<sup>3</sup>으로 평균 273 mg/m<sup>3</sup>, 삼례철교는 220~290 mg/m<sup>3</sup>으로 평균 257 mg/m<sup>3</sup>, 축산폐수가 유입되는 익산천은 262~346 mg/m<sup>3</sup>으로 평균 300 mg/m<sup>3</sup>, 수문은 214~312 mg/m<sup>3</sup>으로 평균 258 mg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

따라서 만경강수계에서의 조류증식잠재력의 크기는 서<sup>9)</sup>가 낙동강을 대상으로 조사한 MBOD에 의한 조류증식잠재력인 7.6~192 mg/m<sup>3</sup> 보다도 훨씬 높은 조류증식잠재력을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 본 수질조사 결과에서 나타난 바와 같이 만경강 수계의 질소와 인의 농도 수준이 낙동강에 비하여 무려 10배 이상 높은 농도를 가지는 것에서 추론 가능하다.

### 3.5. 영양염 농도와 MBOD와의 관계

수중의 영양염 농도와 MBOD의 관계를 Fig. 4에

나타내었다. 수중의 인산인과 MBOD와의 상관성 ( $r=0.70$ )이 좋으며, 인산인과 MBOD-P와의 상관성 ( $r=0.71$ )도 좋았다. 이 두 관계식이 매우 유사한 것으로 보아서 수중의 인산인이 생물의 성장에 중요한 인자로 작용함을 알 수 있다. 그렇지만 수중 용존무기질소와 MBOD-N의 상관성( $r=0.47$ )은 매우 낮았는데 전주천의 생활하수 및 익산천의 축산폐수로 인한 대부분 지점에서 질소의 농도가 높았기 때문이라 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구는 만경강 수계의 부영양화와 관련하여 수계내 조류성장을 억제하는 제한 영양염인자를 밝히고 조류증식잠재량을 구하기 위해 2002년 11월부터 2003년 4월까지 조사를 실시하였다. 채취한 시수

Table 5. AGP(algal growth potential) evaluated by MBOD method

| Date           | Station    | AGP evaluated by MBOD method (mg Chl-a/m <sup>3</sup> ) |            |            |
|----------------|------------|---|------------|------------|
|                |            | MBOD  | MBOD-P     | MBOD-N     |
| November<br>14 | Misan      | 270( 8.08)  | 250( 8.08) | 264( 8.08) |
|                | Hari       | 32( 3.47)   | 36( 3.47)  | 132( 3.47) |
|                | Samrye     | 256(8.97)   | 240( 8.97) | 254( 8.97) |
|                | Iksan      | 304(17.34)  | 280(17.34) | 302(17.34) |
|                | Flood Gate | 242(10.86)  | 224(10.86) | 260(10.86) |
| November<br>30 | Misan      | 270( 3.94)  | 256( 3.94) | 270( 3.94) |
|                | Hari       | 74( 3.12)   | 66( 3.12)  | 248( 3.12) |
|                | Samrye     | 220( 5.08)  | 204( 5.08) | 270( 5.08) |
|                | Iksan      | 330(30.93)  | 330(30.93) | 336(30.93) |
|                | Flood Gate | 214(12.76)  | 212(12.76) | 264(12.76) |
| December<br>27 | Misan      | 300(5.43)   | 304(5.43)  | 300( 5.43) |
|                | Hari       | 80( 4.07)   | 90( 4.07)  | 246( 4.07) |
|                | Samrye     | 276(12.70)  | 270(12.70) | 264(12.70) |
|                | Iksan      | 272( 7.82)  | 272( 7.82) | 280( 7.82) |
|                | Flood Gate | 248( 6.32)  | 250( 6.32) | 276( 6.32) |
| February<br>5  | Misan      | 270( 3.60)  | 240( 3.60) | 290( 3.60) |
|                | Hari       | 30( 2.72)   | 40( 2.72)  | 210( 2.72) |
|                | Samrye     | 240( 6.79)  | 230( 6.79) | 250( 6.79) |
|                | Iksan      | 262( 7.66)  | 262( 7.66) | 276( 7.66) |
|                | Flood Gate | 250( 0.10)  | 240( 0.10) | 260( 0.10) |
| March<br>15    | Misan      | 260( 4.70)  | 254( 4.70) | 260( 4.70) |
|                | Hari       | 78( 2.31)   | 104( 2.31) | 268( 2.31) |
|                | Samrye     | 290( 4.83)  | 270( 4.83) | 276( 4.83) |
|                | Iksan      | 346(29.53)  | 324(29.53) | 350(29.53) |
|                | Flood Gate | 312( 3.67)  | 310( 3.67) | 304( 3.67) |
| April<br>17    | Misan      | 266(12.16)  | 256(12.16) | 274(12.16) |
|                | Hari       | 32( 7.67)   | 26( 7.67)  | 134( 7.67) |
|                | Samrye     | 260(21.25)  | 250(21.25) | 278(21.25) |
|                | Iksan      | 288(17.52)  | 304(17.52) | 324(17.52) |
|                | Flood Gate | 282(13.63)  | 278(13.63) | 326(13.63) |

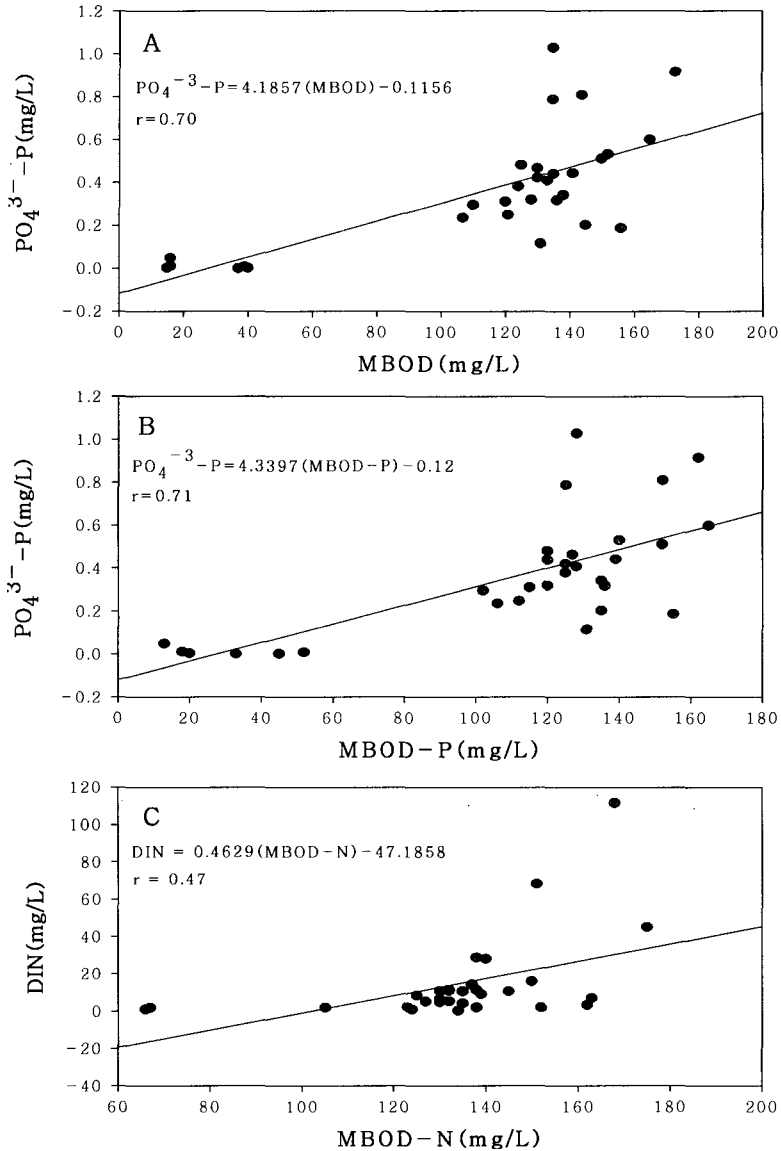


Fig. 4. The relationship between MBOD values and nutrients.  
(A:MBOD and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, B:MBOD-P and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, C:MBOD-N and DIN)

를 분석, 조사하여 만경강 수계의 영양상태를 판정하고, MBOD법에 의한 생물검정을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 만경강 수계는 각종 유기성 하수 및 축산폐수에 의한 익산천이 가장 심하게 오염되었으며, 고산천을 본류로 한 하리고 지점에서 가장 낮은 수치를 보였다. COD의 경우는 16.62~48.36 mg/L로 호소수 수질기준 5등급으로 측정되었다. 총무기질소인 DIN은 하리고 지점을 제외한 모든 정점에서 암모니아 질소가 높은 비율로 나타났는데 즉, 전추천의 생활하수와 하수처리장의 배출수, 익산천의

축산폐수로 인한 오염이 심화된 상태라 볼 수 있다. MBOD법에 의해 생물검정을 실시한 결과 MBOD는 15~173 mg O<sub>2</sub>/L, MBOD-P는 13~165 mg O<sub>2</sub>/L이며, MBOD-N은 66~175 mg O<sub>2</sub>/L의 범위로 익산천이 가장 높았고 고산천이 가장 낮았다. MBOD 결과로써 고산천을 제외한 모든 지점에서는 MBOD법으로 수질을 판정하기에는 적합하지 않았고, 고산천만 수질분석에 의한 영양염 농도 분포와 잘 일치하였다.

Bioassay법에 의한 MBOD, MBOD-P, MBOD-N

의 상관관계는 대체적으로  $MBOD \approx MBOD-P \approx MBOD-N$ 으로 나왔으나 고산천만  $MBOD \approx MBOD-N \gg MBOD-P$ 로  $MBOD-N$ 이 3~5배 정도로 높게 나타났다.

MBOD법으로 조류증식잠재량을 구한 결과, 전수계에 걸쳐 Chl.a가 현존량의 최고 20배까지 일시 증식할 가능성이 예측되므로, 만경강 수계의 부영양화를 방지하기 위해서는 주요염원인 생활하수와 축산폐수의 유입원을 차단함이 필요하다.

### 참 고 문 헌

- 1) OECD, 1982, Eutrophication of water.
- 2) 정우용, 1991, 호수환경조사법, 259-281pp.
- 3) 中本信忠, 中島拓男, 林秀剛, 1975, 霞ヶ浦生態學的研究Ⅲ, 利用可能營養物質の現在量, 第40回日本陸水學會大會講演.
- 4) 中本信忠, 1978, ベイオアッセイ法による水中の生物利用可能營養物質の推定, 下水道協會誌, 15(172), 35-42.
- 5) 中本信忠, 中島拓男, 林秀剛, 河野哲郎, 1975, 細菌わよび一次生産, 昭和49年度 霞ヶ浦生物調査報告書, 建設省關東地方建設局 霞ヶ浦工事事務所.
- 6) 김명숙, 1983, MBOD법에 의한 하천의 수질평가 -영산강과 섬진강을 중심으로-, 한국환경위

- 생학회지, 9(1), 49-62.
- 7) 송교욱, 1992, 낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링, 부산수산대학교 박사학위논문, 5-7pp.
- 8) 서인숙, 1995, MBOD법에 의한 하계 낙동강 수계별 조류증식잠재력 평가, 부산수산대학교 석사학위논문, 4-5pp.
- 9) 새만금연구사업단, 1999, 만경강 상류유역의 기초조사.
- 10) 환경부, 1998, 수질오염공정시험방법.
- 11) Kenneth, L. T., E. A. Laws and D. J. Burns, 1985, Growth rate variation in the N/P requirement ratio of phytoplankton, J. Phycol., 21(2), 323-329.
- 12) 김수원, 1994, 낙동강 유역의 다목적댐 건설이 수질환경에 미치는 영향과 대책, 수처리기술, 2(3), 115-131.
- 13) 中本信忠, 1997, 從屬營養細菌の生長を利用したAGPの測定, 用水と廢水, 19(6), 87-94.
- 14) 相崎守弘, 細見正明, 1981, 修正カルソン富營養化狀態指標の日本湖沼への適用とその他の水質項目の關係, 國立公害研究所研究報告書, R-23-81, 13-30.
- 15) Carlson, R. E., 1997, A Trophic State Index for Lakes, Limnology Oceano., 22(2), 361-369.