

## MBOD법에 의한 낙동강의 조류증식 제한인자 추정

송교욱\* · 서인숙 · 신성교 · 이석모 · 박청길

\*부산발전연구원 · 부산수산대학교 환경공학과  
(1995년 2월 24일 접수)

## Evaluation of Algal Growth Limiting Factor in the Nakdong River by MBOD Method

Kyo-Ook Song\* · In Suk Seo · Sung-Kyo Shin · Suk Mo Lee  
and Chung-Kil Park

\*Pusan Development Institute

Department of Environmental Engineering, National Fisheries University of Pusan  
(Manuscript received 24 February 1995)

### Abstract

The increase of population and industrial activities had brought into eutrophication in the Nakdong river. A remarkable acceleration of eutrophication brought about serious problems for water supply. Therefore, for the purpose of conservation of water quality in the Nakdong river it is necessary to control nutrients.

MBOD method was used to evaluate algal growth limiting factor and algal growth potential in the Nakdong river from June to August 1994. The modified biochemical oxygen demand(MBOD) depends on the amount of available inorganic nutrient and organic substrate during 5 day incubation in the dark at 20°C. The MBOD assay depends on inorganic nutrients such as P and N as well as reduced carbon and called the MBOD, the MBOD-P, and the MBOD-N, respectively.

The results of bioassay by MBOD(Modified BOD) method showed that the MBOD, MBOD-P and MBOD-N value were found to be in the ranges of 3.8~96.0 mgO<sub>2</sub>/l, 5.6~94.0 mgO<sub>2</sub>/l and 42.0~220 mgO<sub>2</sub>/l, respectively. And the bioassay value was found to be the highest in Koryong area and the lowest in Waekwan area throughout the Nakdong river. The variations of MBOD-P and MBOD-N value showed similar tendencies to the variations of phosphorus and nitrogen value, respectively. By MBOD method, the relationships of MBOD, MBOD-P and MBOD-N value were MBOD ≈ MBOD-P ≪ MBOD-N. The MBOD value was nearly equal to the MBOD-P value, and the MBOD-N value was 3 to 20 times more than the MBOD-P value, approximately. Therefore, in the Nakdong river, phosphorus was the limiting factor for algal growth during summer season. The algal growth potential as the concentration of chlorophyll-a in the summer was maximum 5 times more than standing crop as it.

Key Words : MBOD, MBOD-N, MBOD-P, Algal growth limiting factor, Algal growth potential

## 1. 서 론

낙동강은 중·상류 유역에 산재해 있는 대도시와 공단으로부터 하·폐수 유입부하량 증가에 따른 질소, 인의 과잉부하에 의해 조류가 대량번식하는 부영양화 현상이 심각한 실정이며, 이로인해 상수, 농림수산업을 위시하여 레크리에이션 영역에 이르기까지 여러가지 악영향을 초래하고 있는데 그중에서 이 수계를 이용하고 있는 1000만 인구에게 가장 큰 영향을 미치는 것은 상수도 문제이다. 부영양화가 상수도에 미치는 영향으로는 트리할로메탄(THM:trihalomethane)의 발생, 응집처리 효율의 저하, 조류발생에 의한 여과지나 스크린의 폐쇄, 이취미 유발과 철, 망간의 재용출에 따른 정수처리비의 증대 문제외에도 안전한 수도수에 대한 보건학적인 측면에서의 위해성 논란이 가장 크다하겠다.

최근 발생한 일련의 낙동강의 오염사고를 해결하기 위해 정부에서는 맑은물 공급대책의 일환으로 BOD 저감을 위한 2차 처리시설의 증설을 계획하고 있다. 그러나, 이러한 2차 처리만으로는 질소와 인의 근원적인 처리는 곤란할뿐 아니라 오히려 무기영양염류의 증가에 따른 조류의 대량번식으로 인해 자생유기물이 하류로 갈수록 급증할 것임에 틀림없다. 따라서, 부영양화 저감을 위한 효율적인 수자원 관리대책으로 그 원인물질인 질소와 인의 발생량을 줄이는 문제외에도, 낙동강 중, 하류수계의 부영양화 문제에 관련하여 수계내 조류 성장을 억제하는 제한영양염인자의 정확한 규명과 낙동강 수계의 조류증식잠재량을 밝히는 것이 더욱 중요하다.

부영양화는 일반적 지표생물조사, 용존산소 측정, 생물의 현존량 조사, 기초생산량 조사, 투명도 측정, 질소와 인 등의 영양염농도 측정을 통해 그 현상을 어느정도 파악할 수 있으나, 이러한 단일 항목에 대하여 정량적인 판정기준을 도입할 경우, 각 항목간 모순이 생길 가능성이 높다. 또한 단일 항목으로는 수역내의 부영양화에 따른 수질변화 등 각각의 현상과 그 지배인자들간의 정량적 관계를 현상화 시키기에는 곤란한 점이 많다. 이

에 OECD(1982)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 행해지고 있다(정우용, 1991). 그러나, 조류를 이용하는 방법은 시간이 많이 걸리고(약 2주-1개월), 표준종의 조류를 사용할 경우 배양 조건, 배지선정, 접종량 등의 문제로 고도의 숙련이 요구되는 어려움이 있다(中本 외, 1975).

이를 방법에 비해 보다 간단하고 쉽게 수중의 제한영양염인자를 측정하기 위한 MBOD(Modified BOD)법이 中本(1973)에 의해 제안되었는데, 이 방법은 조류(독립영양생물)를 사용치 않고 세균(총속영양생물)의 활성을 이용하여, BOD 측정법에 준해서 수중의 제한인자를 도출시키는 방법이다. 이 방법을 여러 하천과 호소를 대상으로 적용시킨 결과 그 신뢰성과 편이성이 확인되었으며, 남미 브라질의 BROA호수와, 일본의 霞ヶ浦를 비롯하여 약 10년간 하천, 호소와 댐, 해양(中本, 1973 : 1977 : 1978 : 1983 ; 長島와 中本, 1978 ; 中本과 坂井, 1982) 등의 수질을 생물의 입장에서 해석하여 부영양화의 제한영양염인자를 산정하는 등 수질관리측면에서 많은 연구가 이루어졌다.

따라서 이러한 MBOD법에 기초한 본 연구는 부영양화 된 낙동강 수계의 조류증식 제한인자와 조류증식잠재량을 추정하여 낙동강 부영양화 저감 방안에 대한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. MBOD의 이론적 고찰

근래에는 부영양화를 조류증식잠재력측정법(algal growth potential : AGP), 조류배양시험 잠정법(provisional algal assay procedure : PAAP),

조류배양시험 회분법(algal assay procedure bottle test : AAP) 등 여러가지 생물검정법을 통해 생물학적 측면에서 평가하는 경향이 높아지고 있다(須藤 외, 1973 ; 森忠 외, 1975).

그러나, 이 방법들은 배양 중에 조류가 증식해 가면서 광, 탄산 등이 변화하기 쉬워 배양 중 환경조건을 일정하게 유지하는 것이 곤란하므로 양호한 재현성을 구하기 어렵다. 또 접종하는 조류를 활동이 양호한 상태로 항상 유지관리하기 위해서는 많은 노력과 고가의 장치가 요구되며, 조류체량을 측정하는 방법에 있어서도 클로로필량, 중량법, Coulter Counter 등에 의한 계수법 등 여러 방법을 제시하고 있다.

그래서, 이러한 단점을 없애고 간단한 BOD 측정원리를 응용하여 AGP 측정과 동일하게 생물의 입장에서 수질을 평가하는 방법인 MBOD법(Modified BOD)이 中本(1973)에 의해 고안되었다.

이 새로운 생물검정법은 수중의 미생물을 이용한 유기물량의 정량법으로서 널리 사용되고 있는 BOD 측정의 원리를 발전시켜서 'Liebig의 최소율'의 개념을 기초로 한 측정방법으로 AGP(algal growth potential)법보다 간단히 측정하는 방법이다. Odum이 밝힌 생물이 항상 요구하는 물질 중에서 최소한계에 가장 가까운 상태로 밖에 이용할 수 없는 필수물질이 그 생물의 성장제한물질로 되는 경향이 있다는 'Liebig의 최소율'의 법칙을 기초로 한 bioassay법의 개념은 Table 1과 같다.

Table 1. Estimation of nutrient concentrations by bioassays for enrichment

Bioassay	Enrichment*	Nutrient to be estimated**
BOD	N, P, Micro., -	av. Org.+Resp.
MBOD	-, -, -, Org.	av. In.+Resp.
MBOD-N	-, P, Micro., Org.	av. N+Resp.
MBOD-P	N, -, Micro., Org.	av. P+Resp.

\*Micro. : micro-nutrients ; - : no addition ; Org. : organic matter

\*\*Resp. : respiration accompanying with the growth  
av.Org. : available organic matter

av.In. : available inorganic nutrients

av.N : available nitrogenous nutrients

av.P : available phosphoric nutrients

MBOD 측정법은 BOD측정과 유사하지만, 무기물을 첨가하는 대신에 시수에 충분한 유기물(생물이 이용하기 쉬운 글루코즈)을 첨가해 산소변속에서 미생물의 성장·증식이 유기물에 의해 제한되지 않도록 한 뒤, 미생물이 수중의 생물이용가능한 영양물질이 부족해질 때까지 소비된 산소량을 측정해서, 수중에 존재하는 생물이용가능영양물질량을 산소소비량으로 추정하는 것이다. 이 bioassay법에서 얻은 값을 MBOD로 나타낸다.

MBOD법은 AGP와 동일하나, 측정방법은 반응을 종래의 AGP측정법과 역방향으로 진행시켜 측정하는 방법이다. 즉, 종속영양미생물인 세균이 성장증식하는데 충분한 탄수화물( $\text{CH}_2\text{O}$ )을 제공하고, 시수 중에 존재하는 무기영양염류를 이용해서 소비하는 산소량을 측정하는 것이다. 호기성 세균은 시수에 충분한 유기물을 제공하면 보통 산소가 존재하는 상태에서 시수 중에 존재하는 무기영양염류가 제한될 때까지 증식한다.

이와 같이 MBOD법의 전제조건은 조류와 미생물이 요구하는 영양물질의 필요량은 어느 생물에 대해서도 생체 구성원소 조성량과 일치하고 생물의 차이에 따라 이 구성원소 조성량에는 큰 차이가 없는 것을 원칙으로 하며, 이 원칙은 AGP에 의한 환경과 조류종의 차이에 따라서도 생체 구성원소 조성은 큰 차이가 없다고 하는 원칙과 동일하다.

종래의 BOD의 측정은 영양염류에 의해 제한되지 않는 조건하에서 원수중의 유기물을 이용해 미생물을 증식시켜서 소비하는 산소, 결국 유기물량에 비례하는 산소량(원수중에 유기물에 의존하는 산소량)을 측정하는 것이다. MBOD법에서는 각각 추정하려고하는 영양염류를 완전히 소모하도록 설정하고 그것에 의존하는 산소요구량을 추정하므로, 조건설정이 단순하고 BOD법과 동일하게 정량하기 때문에 생물검정으로 우수하다.

### 3. 조사방법

#### 3.1. 조사시기 및 대상지점

본 조사는 1994년 6월부터 8월까지 실시하였으

며, 대상지역은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 부산시 상수취수장인 물금을 기점으로 남강 합류지점인 남지, 황강 합류지점인 적포, 금호강 합류지점인 고령, 그리고 최상류지점으로 웨관의 총 5지점을 선정하였다.

### 3.2. 실험방법

#### 1) 전처리

시수를 Whatman GF/C 여지로 여과 후 여액을 화학분석법 및 MBOD법에 의하여 생물검정을 실시하였다.

#### 2) MBOD법의 조사항목별 분석 방법

MBOD법에 의한 bioassay는 中本이(1973) 실험한 방법을 근거로 하여 첨가배지의 적합여부를 시험한 후 첨가배지 농도를 결정하였는데, 첨가배지 농도는 Table 2와 같다. 여기에 사용한 측정장비는 회석조작이 필요없기 때문에 회석오차를 줄일 수 있고 조작이 간편한 BOD manometer를 사용하였다.

항목별 분석법을 간단히 요약하면 다음과 같다.

##### (1) MBOD

- ① 시수를 BOD manometer bottle에 채운다.
- ② Table 2의 첨가액 중 glucose 용액(25g/100 ml)을 0.2ml/100ml(시수)의 비율로 첨가한다. 이 때 시수 중의 glucose 농도는 500ppm에 해당된다.
- ③ 20°C, 5일간 암소에서 배양한 후 산정한다.

Table 2. Stock solution for Bioassay

Bioassay	Stock solution(in 100ml)
MBOD	Glucose 25g
MBOD-N	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O 8.75g, FeCl <sub>3</sub> 125mg, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 4.13g, Glucose 25g, MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 25g
MBOD-P	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O 8.75g, FeCl <sub>3</sub> 125mg, KNO <sub>3</sub> 47.5g, Glucose 25g, MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 25g
BOD	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O 8.75g, FeCl <sub>3</sub> 125mg, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 4.13g, KNO <sub>3</sub> 47.5g, MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 25g

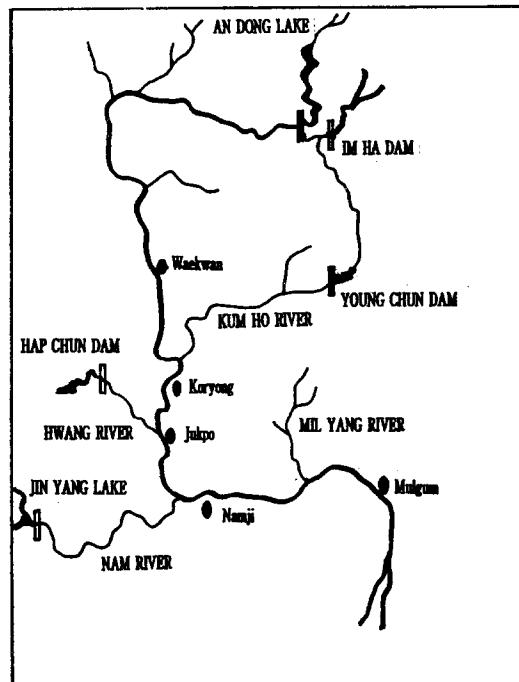


Fig. 1. Sampling stations in the Nakdong river.

##### (2) MBOD-P

- ① 시수를 BOD manometer bottle에 채운다.
- ② Table 2의 첨가액 중 인을 제외한 영양염 배지용액(CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 8.75g + FeCl<sub>3</sub> 125mg + KNO<sub>3</sub> 47.5g + Glucose 25g + MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 25g /100ml)을 0.2ml/100ml(시수)의 비율로 첨가한다.
- ③ 20°C, 5일간 암소에서 배양한 후 산정한다.

##### (3) MBOD-N

- ① 시수를 BOD manometer bottle에 채운다.
- ② Table 2의 첨가액 중 질소를 제외한 영양염 배지용액(CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 8.75g + FeCl<sub>3</sub> 125mg + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 4.13g + Glucose 25g + MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 25g /100ml)을 0.2ml / 100ml(시수)의 비율로 첨가한다.
- ③ 20°C, 5일간 암소에서 배양한 후 산정한다.

Table 3. Results of the different bioassays in each station

Date	St.	Bioassay( $\text{mgO}_2/\ell$ )		
		MBOD	MBOD-P	MBOD-N
June 25	Mulgum	29.2	28.0	135
	Namji	14.0	19.2	99
	Jukpo	11.2	14.0	134
	Koryong	50.4	46.0	151
July 11	Waekwan	11.6	6.0	103
	Mulgum	50.0	38.4	170
	Namji	48.4	46.6	138
	Jukpo	58.0	63.0	178
August 22	Koryong	96.0	94.0	220
	Waekwan	19.6	16.0	210
	Mulgum	30.4	19.0	83.2
	Namji	6.8	12.0	42.0
	Jukpo	4.0	5.6	62.0
	Koryong	71.0	78.0	180
	Waekwan	3.8	5.8	119

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. Bioassay 결과

BOD manometer를 이용하여 MBOD법에 따라 생물검정을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다.

###### 1) MBOD

MBOD는 수중의 생물이 이용가능한 무기염류 양이 어느정도인가를 알아볼 수 있으며, 산소소비량으로 그 상대량을 나타낼 수 있다. 조사기간동안 MBOD의 월별, 지점별 농도범위는 물금 29.2~50.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 36.5  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 남지 6.8~48.4  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 23.1  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 적포 4.0~58.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 24.4  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 고령 50.4~96.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 72.5  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 왜관 3.8~19.6  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 11.7  $\text{mgO}_2/\ell$ )의 범위로 금호강의 합류지점인 고령이 가장 높았고 오염부하가 거의 없는 왜관에서 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(中本, 1977).

###### 2) MBOD-P

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 거의 일치하게 된다.

지점별, 월별 변화를 보면 물금에서 19.0~38.4  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 28.5  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 남지 12.0~46.6  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 25.9  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 적포 5.6~63.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 27.5  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 고령에서 46.0~94.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 72.7  $\text{mgO}_2/\ell$ ), 왜관 5.8~16.0  $\text{mgO}_2/\ell$ (평균 9.3  $\text{mgO}_2/\ell$ )의 범위로 나타났다. 지점별로는 MBOD의 경우와 마찬가지로 고령이 가장 높고, 왜관이 가장 낮았으며, 월별로는 7월이 가장 높았다.

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

Date	St.*	Bioassay	Growth limiting factor
June 25	Mulgum	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Namji	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Jukpo	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Koryong	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Waekwan	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
July 11	Mulgum	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Namji	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Jukpo	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Koryong	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Waekwan	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
August 22	Mulgum	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Namji	MBOD < MBOD - P < MBOD - N	micro-nutrients except P and N
	Jukpo	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Koryong	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P
	Waekwan	MBOD ≈ MBOD - P < MBOD - N	P

Station.

Table 5. Chlorophyll-a, bioassay value, growth limiting factor in each stations and AGP(algal growth potential) and nutrient concentrations evaluated by MBOD method in June

St.	Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	Bioassay value (mgO <sub>2</sub> /ℓ)			Growth limiting factor	AGP evaluated by MBOD method (mg Chl/m <sup>3</sup> )			Nutrients evaluated by MBOD method (mg/ℓ)	
		MBOD	MBOD-P	MBOD-N		MBOD	MBOD-P	MBOD-N	P ( )*	N ( )*
Mulgum	75.69	29.2	28.0	135	P	58.4	56.0	270	0.056 (0.034)	2.700 (2.880)
Namji	210.92	14.0	19.2	99.0	P	28.0	38.4	198	0.038 (0.004)	1.980 (2.021)
Jukpo	172.68	11.2	14.0	134	P	22.4	28.0	268	0.028 (0.014)	2.680 (2.789)
Ko-ryong	108.02	50.4	46.0	151	P	100.8	92.0	302	0.092 (0.072)	3.020 (4.087)
Wae-kwan	46.58	11.6	6.0	103	P	23.2	12.0	206	0.012 (0.007)	2.060 (2.214)

(\* measured value)

## 3) MBOD-N

MBOD-N은 MBOD법의 용용으로 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-N는 일치하게 된다.

이에 대한 낙동강 지점별, 월별 변화를 살펴보면, 물금 83.2~170 mgO<sub>2</sub>/ℓ (평균 129.4 mgO<sub>2</sub>/ℓ), 남지 42.0~138 mgO<sub>2</sub>/ℓ (평균 93.0 mgO<sub>2</sub>/ℓ), 적포 62~178 mgO<sub>2</sub>/ℓ (평균 124.7 mgO<sub>2</sub>/ℓ), 고령 151~220 mgO<sub>2</sub>/ℓ (평균 183.7 mgO<sub>2</sub>/ℓ), 왜관 103~210 mgO<sub>2</sub>/ℓ (평균 144.0 mgO<sub>2</sub>/ℓ)의 농도범위를 나타냈다. 지점별로는 고령이 가장 높았고, 월별로는 7월이 가장 높았다.

Table 6. Chlorophyll-a, bioassay value, growth limiting factor in each stations and AGP(algal growth potential) and nutrient concentrations evaluated by MBOD method in July

St.	Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	Bioassay value (mgO <sub>2</sub> /ℓ)			Growth limiting factor	AGP evaluated by MBOD method (mg Chl/a/m <sup>3</sup> )			Nutrients evaluated by MBOD method (mg/ℓ)	
		MBOD	MBOD-P	MBOD-N		MBOD	MBOD-P	MBOD-N	P ( ) <sup>*</sup>	N ( ) <sup>*</sup>
Mulgum	116.40	50.0	38.4	170	P	100	76.8	340	0.077 (0.064)	3.400 (2.882)
Namji	124.34	48.4	46.6	138	P	96.8	93.2	276	0.093 (0.058)	2.760 (2.650)
Jukpo	98.84	58.0	63.0	178	P	116	126	356	0.126 (0.076)	3.560 (4.007)
Ko-ryong	89.59	96.0	94.0	220	P	192	188	440	0.188 (0.113)	4.400 (3.947)
Wae-kwan	108.87	19.6	16.0	210	P	39.2	32.0	420	0.032 (0.019)	4.200 (2.977)

(\* measured value)

Table 7. Chlorophyll-a, bioassay value, growth limiting factor in each stations and AGP(algal growth potential) and nutrient concentrations evaluated by MBOD method in August

St.	Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	Bioassay value (mgO <sub>2</sub> /ℓ)			Growth limiting factor	AGP evaluated by MBOD method (mg Chl/a/m <sup>3</sup> )			Nutrients evaluated by MBOD method (mg/ℓ)	
		MBOD	MBOD-P	MBOD-N		MBOD	MBOD-P	MBOD-N	P ( ) <sup>*</sup>	N ( ) <sup>*</sup>
Mulgum	70.82	30.4	19.0	83.2	P	60.8	38.0	166.4	0.038 (0.015)	1.644 (0.560)
Namji	63.35	6.8	12.0	42.0	except P & N	13.6	24.0	84.0	0.024 (0.012)	0.840 (0.698)
Jukpo	196.02	4.0	5.6	62.0	P	8.0	11.2	124	0.011 (0.004)	1.240 (1.671)
Ko-ryong	127.01	71.0	78.0	180	P	142.0	156.0	360	0.156 (0.106)	3.600 (3.937)
Wae-kwan	53.20	3.8	5.8	119	P	7.6	11.6	238	0.012 (0.004)	2.380 (1.775)

(\* measured value)

#### 4.2. 조류 증식 제한인자 추정

MBOD법에 의한 bioassay 값과 증식제한인자와의 관계를 월별, 지점별로 구분하여 Table 4에 나타내었다.

조사기간동안 전 조사구간을 통해 Bioassay 법에 의한 MBOD, MBOD-P, MBOD-N의 상관관계는  $MBOD = MBOD - P \ll MBOD - N$ 의 순으로 대체적으로 MBOD와 MBOD-P가 일치하였고,

MBOD-N은 이를 값에 비해 3~20배정도 높게 나타났다. 여기서 MBOD와 MBOD-P의 값이 거의 같은 것은 독립영양생물이 성장, 증식하는데 '인'이 제한되어 성장이 중지되었음을 의미하며, 상대적으로 질소가 충분함을 나타내는 것이다. 그러므로, 하계철 낙동강 수계는 '인'제한형 하천임을 알 수 있다.

이 방법을 이용하여 김명숙(1983)은 영산강과 섬진강이 '인'제한형 하천임을 밝혔으며, 김좌관(1994)

Table 8. Chlorophyll-a, bioassay value, growth limiting factor in each stations and AGP(algal growth potential) and nutrient concentrations evaluated by MBOD method in summer

St.	Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	Bioassay value (mgO <sub>2</sub> /ℓ)			Growth limiting factor	AGP evaluated by MBOD method (mg Chl/m <sup>3</sup> )			Nutrients evaluated by MBOD method (mg/ℓ)	
		MBOD	MBOD-P	MBOD-N		MBOD	MBOD-P	MBOD-N	P ( ) <sup>*</sup>	N ( ) <sup>*</sup>
Mulgum	87.6	36.5	28.5	129.4	P	73.0	57.0	258.8	0.057 (0.038)	2.588 (2.107)
Namji	132.9	23.1	25.9	93.0	P	46.2	51.8	186	0.052 (0.027)	1.860 (1.790)
Jukpo	155.8	24.4	27.5	124.7	P	48.8	55.0	249.4	0.055 (0.031)	2.494 (2.822)
Ko-ryong	108.2	72.5	72.7	183.7	P	216.4	145.0	367.4	0.145 (0.097)	3.674 (3.990)
Wae-kwan	69.5	11.7	9.3	144.0	P	23.4	18.6	288.0	0.019 (0.010)	2.880 (2.322)

(\* measured value)

은 회동호가 '인'제한형 호소임을 밝힌 바 있다.

#### 4.3. 조류증식 잠재량 추정

中本(1973)은 여러 호소의 영양염과 Chl.a와의 관계를 이용하여 잠재조류증식량을 추정하였다. 여러 호소들의 Chl.a와 입자상인(POP)은 Chl.a : POP ≈ 1 : 1이고, 입자상질소(PON)와는 Chl.a : PON ≈ 1 : 10으로 관측되었다. 화학분석에 의한 인산인( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)과 생물이 이용가능한 인량에 의존하는 산소소비량(MBOD-P)과의 관계는  $\text{PO}_4^{3-}$ -P : MBOD-P ≈ 1 mgP : 500 mgO<sub>2</sub>이고, 화학분석에 의한 총무기질소(TIN)와 생물이 이용가능한 질소량에 의존하는 산소요구량(MBOD-N)과의 관계는 TIN : MBOD-N ≈ 7~10 mgN : 500 mgO<sub>2</sub>이었다. 이와 같이 수중 영양염 농도와 MBOD와의 관계, 식물풀량크론 중의 인, 질소와 Chl.a와의 관계에서, 다음 관계가 도출되어진다.

$$\text{Chl.a} : \text{P} : \text{N} : \text{O}_2 \approx 1000 \mu\text{g} \quad \text{Chl.a} : 1 \text{ mg P} : 10 \text{ mg N} : 500 \text{ mg O}_2$$

위 관계비를 이용하여 여름철 낙동강 수계별 조류의 잠재증식량을 구하였다. 수중 영양염 농도와 bioassay 값을 이용하여 구한 결과를 Table 5~7에 나타내었고, 그 평균값을 Table 8에 나타내

었으며, 조류의 현존량과 잠재증식량(AGP)을 Fig. 2에 나타내었다.

조사기간중 낙동강의 여름철 평균 클로로필량은 46.58~210.92 mg/m<sup>3</sup>정도로, 수온이 급상승하고 가뭄과 하천 정체현상 등으로 조류가 성장하기에 가장 알맞은 조건이었다. 시수 중에 잔존하는, 생물이 이용가능한 영양물질로부터 추정되는 조류의 잠재증식량은 MBOD로부터 7.6~192 mg/m<sup>3</sup>, 생물이 이용가능한 인으로부터 추정된 조류의 잠재증식량은 MBOD-P로부터 11.2~188 mg/m<sup>3</sup>, 생물이 이용가능한 질소로부터 추정된 조류의 잠재증식량은 MBOD-N으로부터 84.0~440 mg/m<sup>3</sup>이었다. 따라서 현재 수중에 존재하는 무기인으로부터 추정되는 조류증식 잠재량은 Chl.a 농도로 현존량 보다 27%~134%까지 증가될 것으로 예측된다. 그리고 무기인의 존재량이 현재보다 상대적으로 많이 존재할 경우 이때는 무기질소가 제한인자로 작용하게 되어 현재수중에 존재하는 무기질소로부터 추정되는 조류증식 잠재량은 Chl.a 농도로 현존량 보다 140%~400%까지 급증할 것으로 예측되었다.

#### 4.4. MBOD-P와 MBOD-N의 관계

시수 중에 생물에 이용되지 않고 수중에 잔존하

는 생물이 이용가능한 인에 의존하는 산소소비량(MBOD-P)과 생물이 이용가능한 질소에 의존하는 산소소비량(MBOD-N)의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 그럼 중의 점선은 산소요구량에서 구한 생물학적 당량관계를 나타내고, 이 점선을 따라 Y축은 시수중에 존재하는 생물이 필요로 하는 영양물질 중에서 생물이 이용가능한 질소량이 생물이 이용가능한 인량보다 많음을 나타낸다. 역으로 이 점선을 따라 X축은 생물이 이용가능한 질소량보다 생물이 이용가능한 인량이 시수중에 많이 존재하는 것을 나타내는 범위이다.

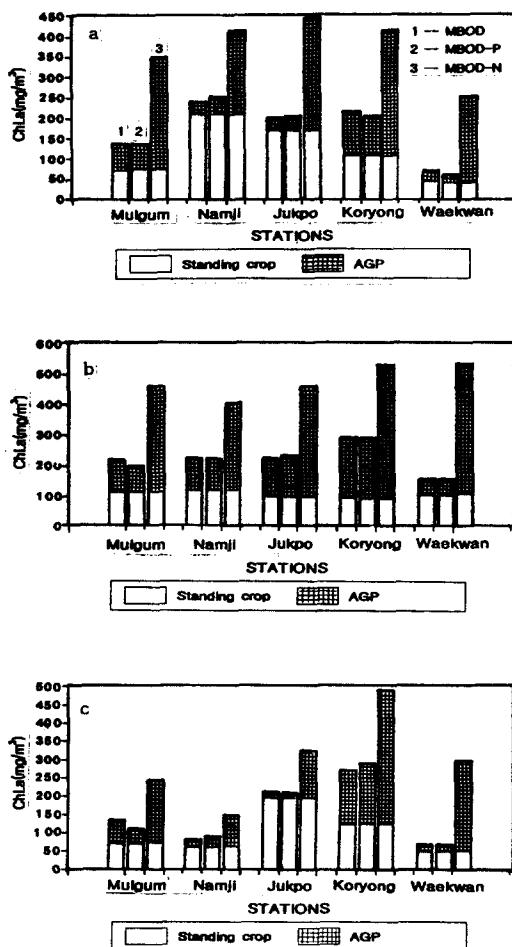


Fig. 2. Standing crop and AGP evaluated by MBOD method. (a) : June, (b) : July, (c) : August.

낙동강은 점선을 따라 Y축면으로 넓어져 생물이 필요로 하는 양적 균형은 생물이 이용가능한 질소량이 생물이 이용가능한 인량보다 많음을 나타내고 있다.

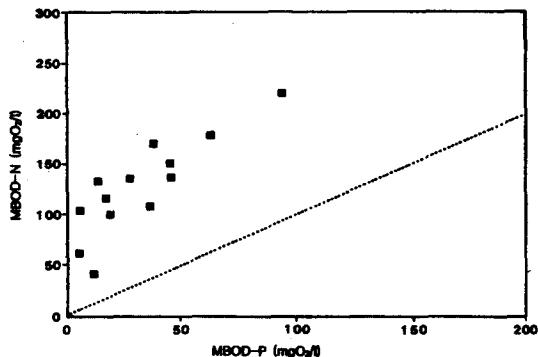


Fig. 3. The relationship between MBOD-N value and MBOD-P value in the Nakdong river.

#### 4.5. 영양염 농도 및 Chl.a와 MBOD와의 관계

수중의 영양염 농도와 MBOD의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 그리고, 수중 총무기질소와 MBOD-N도 정의 상관관계가 있고 상관계수도 0.72로 비교적 높다. 그러므로, 수중의 영양염을 Bioassay로 평가 가능함을 할 수 있다.

#### 5. 결 론

낙동강 중, 하류수계의 부영양화와 관련하여 수계내 조류성장을 억제하는 제한영양염 인자를 밝히고 조류증식잠재량을 추정하기 위해 '94년 6월부터 8월까지 조사를 실시하였다. 낙동강 중, 하류수계에서 채취한 시수를 MBOD법에 의한 생물검정을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) MBOD법에 의해 생물검정을 실시한 결과 MBOD는 3.8~96.0 mgO<sub>2</sub>/l, MBOD-P는 5.6~94.0 mgO<sub>2</sub>/l이며, MBOD-N은 42.0~220 mgO<sub>2</sub>/l

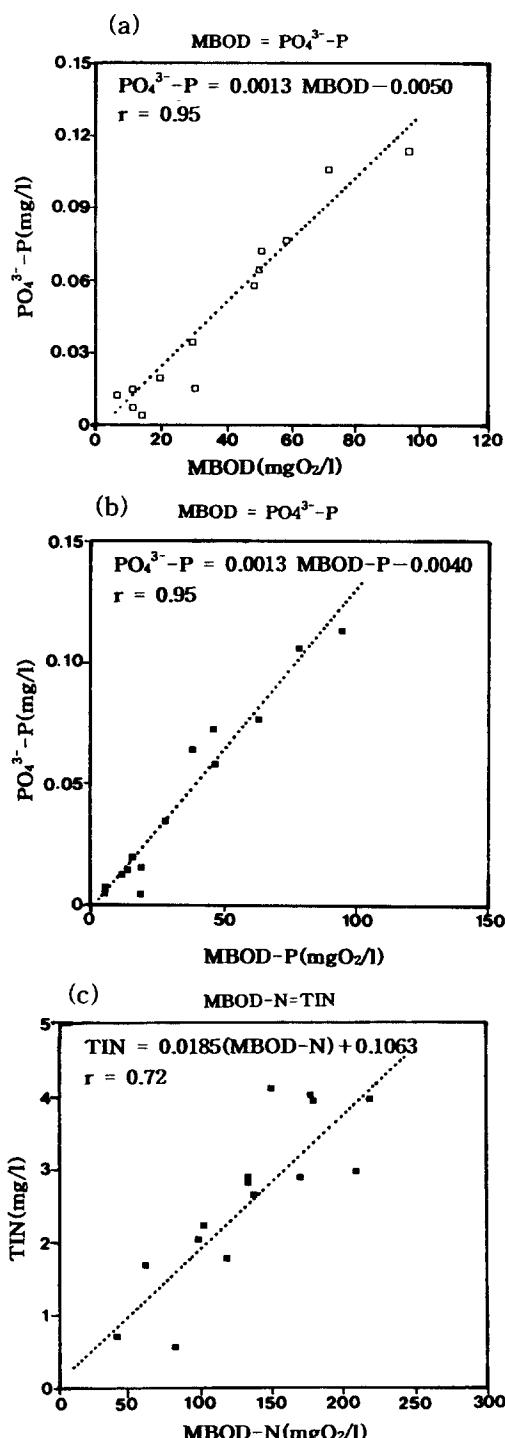


Fig. 4. The relationship between MBOD value and nutrient.  
 (a) : MBOD & PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, (b) : MBOD-P & PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, (c) : MBOD-N & TIN.

의 범위로 고령이 가장 높고 왜관이 가장 낮았다.

2) Bioassay법에 의한 MBOD, MBOD-P, MBOD-N의 상관관계는 MBOD=MBOD-P<<MBOD-N의 순으로 나타났고, 대체적으로 MBOD와 MBOD-P가 일치하였으며 MBOD-N은 3~20배 정도 높게 나타났다. 그러므로 하절기 낙동강 중, 하류수계에 있어 조류증식의 제한인자는 인임을 알 수 있어 하계 낙동강은 인제한형 하천임을 알 수 있었다.

3) 수중의 인산인과 MBOD와의 상관성( $r^2=0.95$ )이 매우 좋으며, 인산인과 MBOD-P와의 상관성( $r^2=0.95$ )도 매우 좋았다. 이 두 관계식이 매우 유사한 것으로 보아서 수중의 인산인이 생물의 성장에 중요한 인자로 작용함을 알 수 있다.

4) MBOD법으로 조류증식잠재량을 구한 결과, 전수계에 걸쳐 Chl.a가 현존량의 최고 5배까지 일시 증식할 가능성이 예측되므로, 낙동강 수계의 부영양화를 방지하기 위해서는 증식제한인자인 인의 제어가 필요하다.

## 참고문헌

- 김명숙, 1983, MBOD법에 의한 하천의 수질평가 -영산강과 섬진강을 중심으로-, 한국환경 위생학회지, Vol. 9, No. 1, 49-62.
- 김좌관, 1994, 중소 인공호의 수질예측을 위한 변형 2상자 동적 모형 개발, 서울대학교 박사학위논문.
- 정우용, 1991, 호수환경조사법, 259-281.
- 森忠洋, 須藤隆一, 大竹久夫, 岡田光正, 1975, 都市下水の2次處理水が示す藻類生産の潜在能力, 下水道協会誌, Vol. 12, No. 133, 34-42.
- 須藤隆一, 森忠洋, 岡田光正, 1973, 藻類培養試験による富營養化の評價, 用水と廃水, Vol. 15, No. 1, 107-116.
- 長島英二, 中本信忠, 1978, 賯水池における流入, 流出水の水質評價 - MBOD法による測定, 用水と廃水, Vol. 20, No. 7, 60-64.

- 中本信忠, 1973, 多目的ダムと水質汚染, 青と緑, 第  
2卷, 12月號, 25-29.
- 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), 建設省関東地方建設局 霞ヶ浦  
工事事務所.
- 中本信忠, 1977, 従屬營養細菌の生長を利用した  
AGPの測定, 用水と廢水, Vol. 19, No. 6,  
87-94.
- 中本信忠, 1978, バ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, 下水道協会誌,  
Vol. 15, No. 172, 35-42.
- 中本信忠, 坂井正, 1981, MBOD法による河川, 湖沼  
の水質評價, 用水と廢水, Vol. 23, No. 11,  
68-78.
- 中本信忠, 1983, 水中の生物利用可能營養物質量の  
新しい水質評價法, 水道協会雑誌, Vol. 52,  
No.591, 13-28.
- OECD, 1982, Eutrophication of Waters, OECD.