

제 7주제

**낙동강 주요지점의 수질변동특성과  
새로운 평가 접근방법**

신 찬 기

[국립환경과학원 낙동강물환경연구소]



# 낙동강 주요지점의 수질변동 특성과 새로운 연구접근 방향

신찬기, 유재정

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

## 1. 서론

### 1.1 개요

낙동강은 중·상류지역에 대형도시 및 공단이 위치하고 있어 오염부하가 높고 하류에는 낙동강을 식수원으로 하는 인구가 밀집되어 있어 수질불안이 상존하는 지역이다. 중·상류 지역에서 배출한 오염물질은 하류지역의 식수오염으로 이용되기 때문에 낙동강의 수질문제는 지역간 갈등의 불씨가 되는 광역성을 띠고 있다. 따라서 낙동강에는 많은 수질대책이 시행되고 있으며, 그동안 많은 노력과 투자로 인해 낙동강은 수질현황과 그 변화 양상도 과거와는 많이 다르다.

환경부에서는 1991년 3월 페놀원액 유출사고 이후 1993년부터 “맑은 물 공급 종합대책”과 1996년 물관리 종합대책을 수립하여 2001년까지 총 16조 8천억원을 투자하였다. 이 중 낙동강 수계에 투자한 금액은 총 3조 1,912억원이며 이것은 하수처리장 35개소 건설에 1조 6,731억원이 투자되고, 하수도정비사업에 1조 1,887억원, 분뇨처리장 33개소 건설에 585억원, 산업단지폐수종말처리장 35개소 건설에 1,270억원, 축산폐수 공공처리장 8개 건설에 451억원, 그리고 오염하천정화사업에 988억원 등이 투자되었다. 1999년 12월에는 “낙동강수계물관리종합대책”이 수립되었고, 동대책에 따라 “낙동강수계물관리및주민지원등에 관한법률”이 2002.1월에 제정되었고 2004년 8월부터는 낙동강에 수질오염총량관리제를 시행하고 있어 낙동강 수질개선을 위한 과학적이고 종합적인 대책이 추진되고 있다.

낙동강에는 수질측정망 운영지침에 따라 상시 수질측정을 하는 지점이 총 391개소가 있으며, 이중 하천수 수질측정지점은 118개소가 있다. 이들 지점에 대한 조사횟수는 항목 및 지점에 따라 다른데, 년 1회부터 주요 지점에 대해서는 년 48회를 측정하고 있고, 또한 오염총량관리제를 위한 유량조사가 8일에 1회씩 수행되고 있어 낙동강에서 수리·수문 및 수질변화에 대해 상시 모니터링하고 있다.

본 원고에서는 낙동강 주요지점의 과거 17년간의 수질측정망 결과자료에 대해 간단한

통계분석 기법을 이용하여 수질변화추이를 분석하고, 현재 환경부에서 준비중인 상위 기본계획(안)과 연계한 낙동강 수질개선을 위한 정책접근방향을 나름대로 정리해보았다

## 1.2 주요내용

○낙동강에 대해서 그동안 추진한 물관리 대책 전후의 수질변화추이 분석

- “맑은물 공급 종합대책” 추진기간인 ‘93 ~ ‘97과 “물관리 종합대책”의 추진기간인 ‘00 ~ ‘05년 그리고 수질보전종합대책추진 이전의 ‘89 ~ ‘92년 등 3개의 시기로 구분하여 수질 현황을 분석함

○수질과 강우량 및 유량과의 상관성 분석

- 특정지점에서 강우의 영향을 파악하기 위해서는 그 지점의 영향권 수계 전체의 강우량과 유출시간, 유출율 등 많은 사항이 고려되어야 하므로 세밀한 경향파악은 어려우므로 년평균 자료를 이용하여 영향분석을 실시하였으며, ‘89년 ~ ‘05년까지의 17년의 년평균 수질과 강우량과의 상관성을 분석하였다.
- 유량증가가 수질에 미치는 영향을 알아보기 위해 ‘04년 8월(유량조사 시작시점)부터 ‘05년 9월까지의 수질 및 유량자료를 이용함(월 4회 정도 측정).

○주요구간(고령 ~ 남지 ~ 물금)의 수질현상 고찰

- 유량의 변화, 조류의 발생, 중간 유입부하의 영향 등이 수질현상에 미치는 영향을 분석하고, 수질예측 모의결과를 이용하여 평가하였다.

1.3. 낙동강 유역도

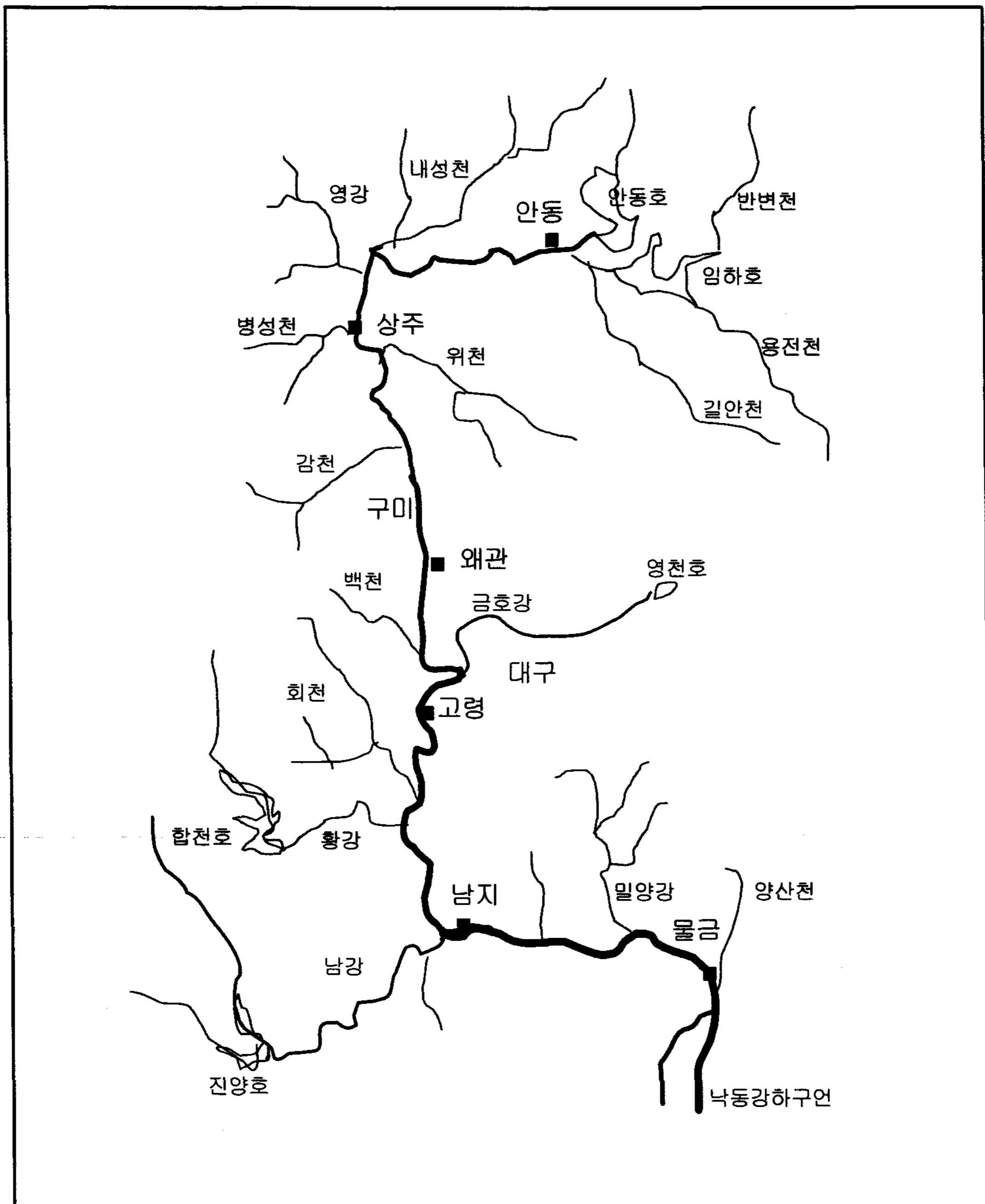


그림 1. 낙동강 유역도

## 2. 낙동강 주요지점의 연도별 수질변화 특성

### 2.1 생물화학적산소요구량(BOD) 농도변화

#### 1) 월별, 연도별 BOD 농도변화

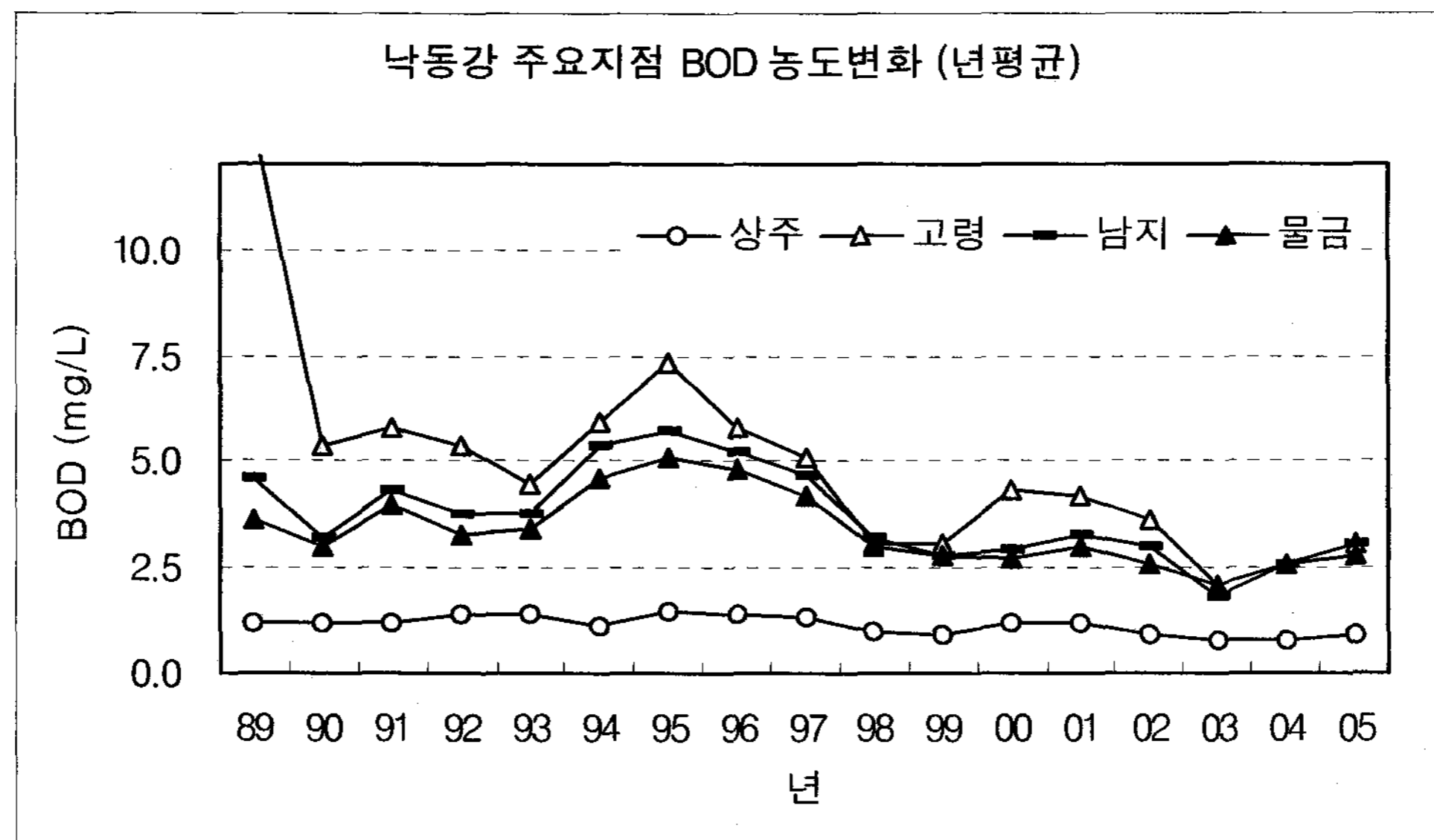
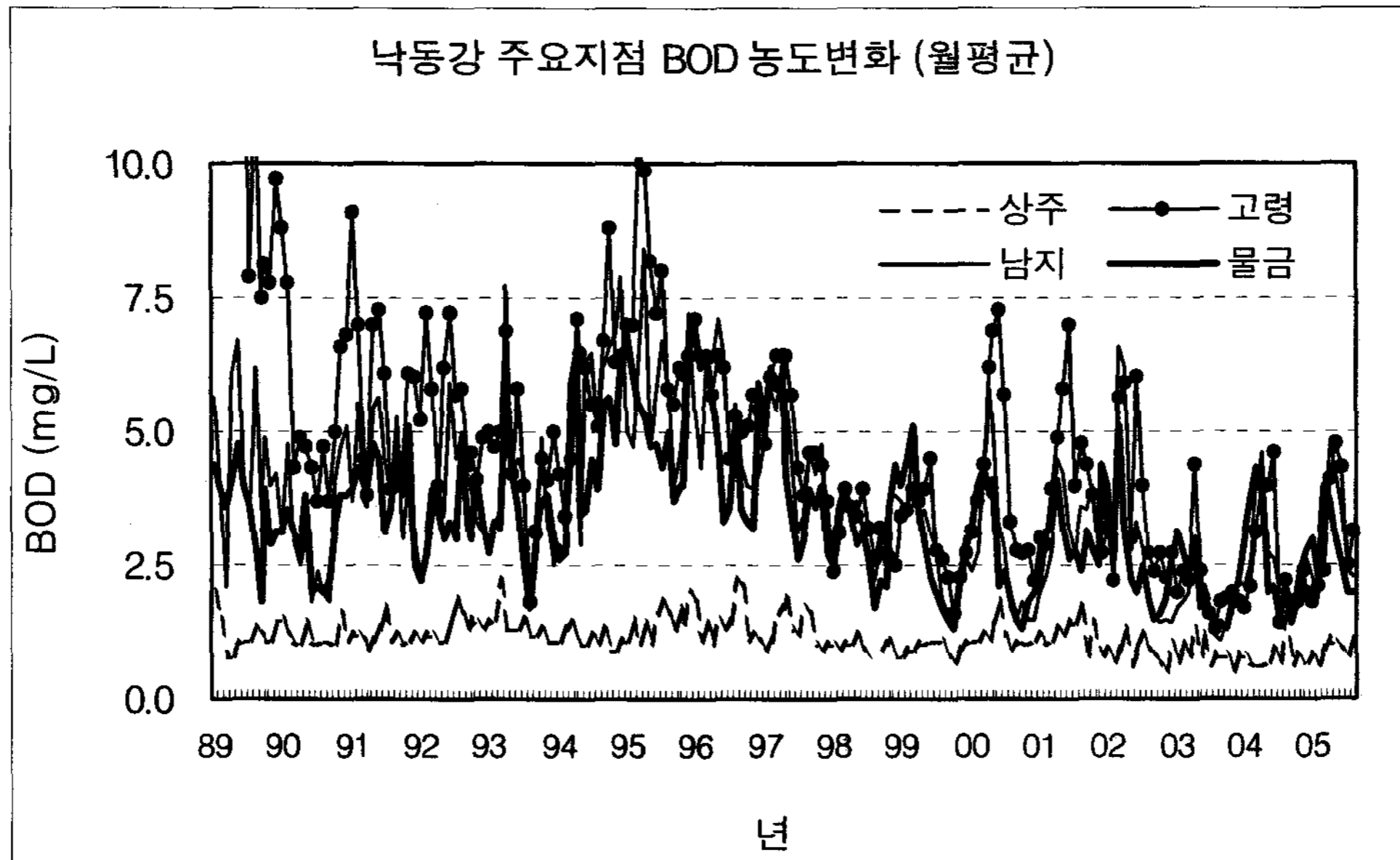


그림 2. 낙동강 주요지점에서 BOD 농도변화

## 2) 수질보전 종합대책 전.후의 BOD 변화

낙동강 주요지점의 BOD농도는 감소추세가 뚜렷하며, 그동안의 수질보전 종합대책의 추진에 있어 개선효과는 BOD가 가장 강하게 나타나고 있음. 물금지점의 경우 대책을 추진하기 이전에는 매년 0.2mg/L 정도의 오염도가 상승하고 있는 추세이었으나, 수질보전 대책의 추진으로 감소추세가 지속되어 현재는 물관리종합대책의 목표 수질인 II급수의 수질을 보이고 있으며, 상주와 고령에서도 물관리 종합대책 목표수질을 거의 달성하고 있음

### 가. 상 주

'맑은물 공급 종합대책이 수립되기 이전인 '92년까지는 BOD가 평균 1.25 mg/L 이었고 매년 수질이 증가되는 추세이었으며 '99년까지는 BOD가 평균 1.23mg/L로서 미미하게 개선되었다, '00년 이후에는 BOD 0.97mg/L로서 수질이 개선되는 추세가 더욱 두드러지게 나타남. '05년 8월 현재 평균 BOD는 0.9 mg/L로서 상주지점의 목표수질인 I급수(BOD 1.0mg/L) 이내의 수질을 보이고 있음.

### 나. 고 령

'89년도 평균 BOD 농도는 13.0 mg/L이었으나 매년 수질이 개선되어 '92년도의 수질은 5.4 mg/L 이었고 '89년~ '92년까지의 4년간 평균농도는 5.7 mg/L 수준이었음. '93 ~ '99년까지의 BOD 평균농도는 4.97 mg/L로서 수질이 개선되는 추세가 지속되어 '99년도의 평균농도는 3.1 mg/L 수준이었음. '00 ~ '05년까지의 년 평균 농도는 2.1 ~ 4.3 mg/L의 분포를 보이고 6년간의 평균농도는 3.32 mg/L로 나타났고 감소추세이었음(-0.35 mg/L/년). '03년과 '04년도 평균 BOD는 2.1 mg/L 및 2.6mg/L로서 '물관리 종합대책에서 고령지점의 '05년도까지의 목표수질인 II급수(BOD 3.0mg/L) 이내의 수질을 보이고 있으며, '05년도 8월 현재 평균농도는 3.1 mg/L로서 목표수질을 미미하게 상회하였음. '03년, '04년도의 낮은 BOD농도는 평년보다 높은 강수량에 기인하는 것으로 판단되며, '05년도 8월까지의 갈수기에 오염도가 상승하여 목표수질에 근접한 것으로 판단됨.

### 다. 남 지

'89 ~ '92년까지의 4년간 평균 BOD는 3.98 mg/L 이었고 매년 수질이 개선되는 추세를 보였으며, '92년도의 평균수질은 3.8 mg/L를 나타냄. '94년도에서 '96년도까지 이상고온과 가뭄으로 인하여 5.7 mg/L까지 수질이 악화되었으나 '96년도 이후 개선되는 추세를 보여 이기간의 평균 BOD는 4.40mg/L를 나타내 94년 이전의 평균수질

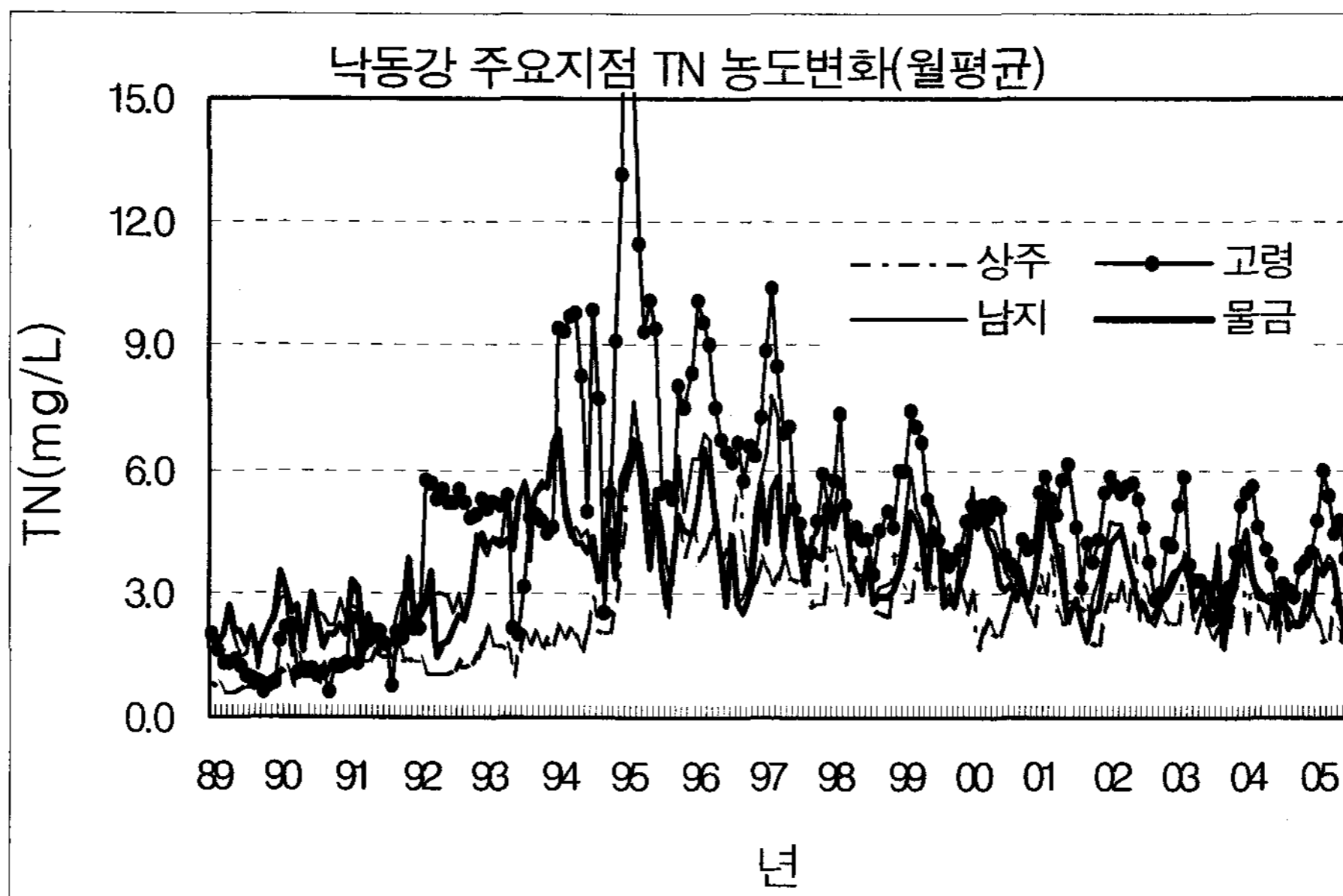
보다 높게 나타났으나 '99년도에 평균농도는 2.8 mg/L 을 보임. '00 ~ '05년의 년 평균 BOD 분포는 1.8 ~ 3.3 mg/L이었고 6년간 평균농도는 2.78 mg/L로 나타나 개선추세이었음. '05년 8월 현재까지의 평균 BOD는 3.1 mg/L 로서 물관리종합대책에서 남지지점의 '05년도까지의 목표수질인 II급수(BOD 3.0mg/L)를 약간 상회하고 있음

라. 물 금

'89 ~ '92년의 4년간 평균 BOD농도는 3.48 mg/L 이었고 매년 수질이 악화되는 추세를 나타냈으며 '92년도의 평균수질은 3.3 mg/L를 나타냄. 95년도에는 수질이 5.1 mg/L까지 상승하고 '89년부터 95년도까지의 평균 BOD 농도는 3.99 mg/L로 나타나 전체적으로는 '94년도 이후 수질이 개선되는 추세를 보였고 99년도의 평균농도는 2.8 mg/L 를 보이고 있었음.'94년부터 99년까지의 년도별 BOD 평균농도분포는 2.1 ~ 3.0 mg/L이었고 6년간 평균농도는 2.63 mg/L을 나타내 수질이 개선되는 추세이었음(-0.09 mg/L/년). 2005년 8월 현재 평균 BOD는 2.8 mg/L 로서 물관리 종합대책에서 05년도까지의 목표수질인 II급수(BOD 3.0mg/L) 만족하고 있음.

2.2 총질소(TN) 농도변화

1) 월별, 년도별 TN 농도변화





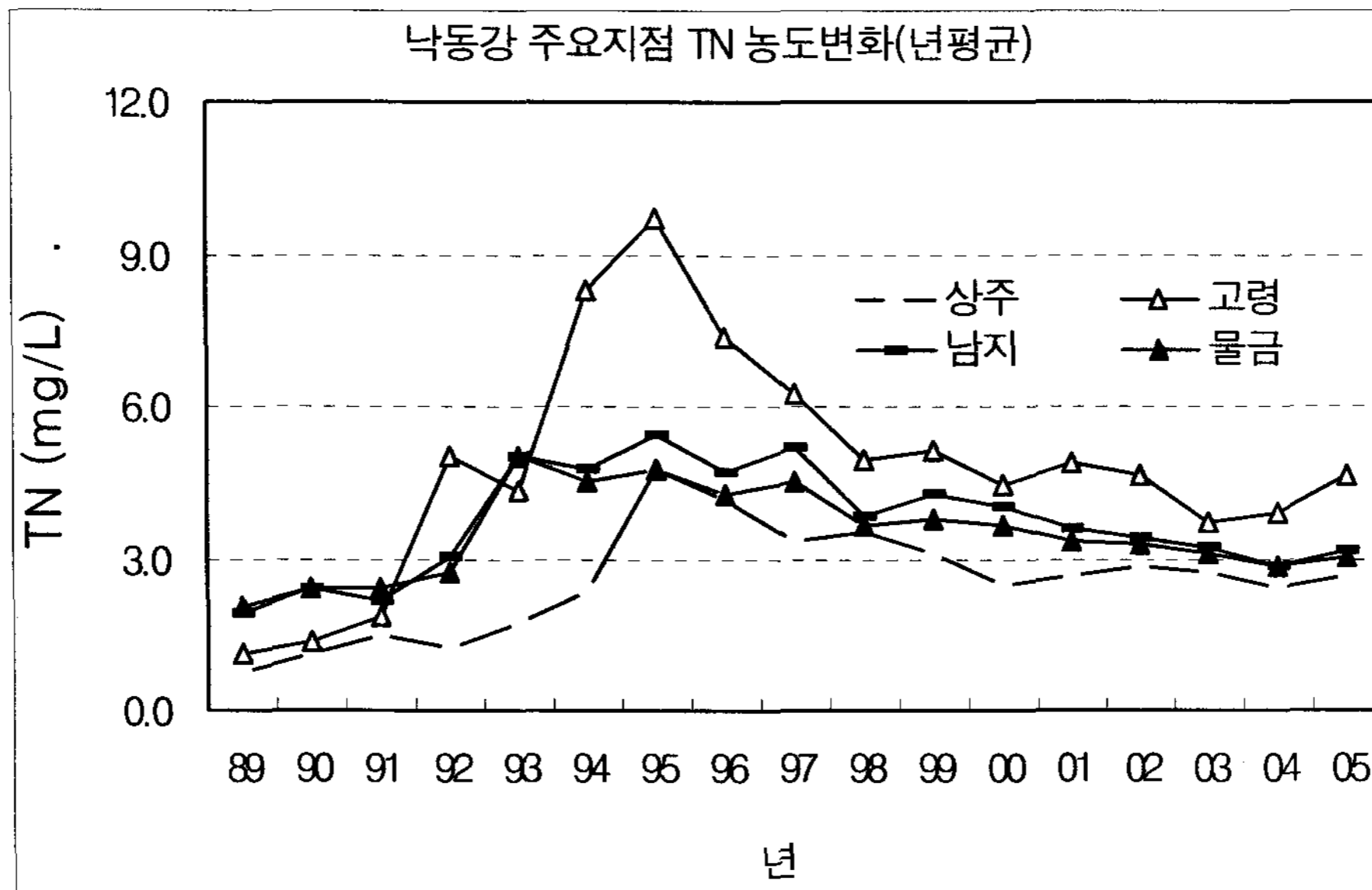


그림 3. 낙동강 주요지점에서 TN 농도변화

## 2) TN 농도변화 개관

중류의 대구지역 폐수가 유입되면서 TN의 농도는 급격히 상승하는 추세를 보이고 있으며, 특히 강우량이 적을 때에는 고령의 TN이 9.702 mg/L까지 상승하고 물금 지점도 5 mg/L을 초과하는 등 강우량과의 상관성이 매우 높게 나타났으며, 물관리종합대책시행이후 하.폐수처리공정등의 개선으로 물금지점에서 약 3.2 mg/L를 보이고 있음. 그러나 아직까지 고령지점은 4mg/L을 상회하고 있어 하.폐수의 고도 처리 필요성이 강조되고 있음.

### 가. 상 주

'89-'92년의 TN 평균이 1.16 mg/L 이었고 매년 수질이 증가되는 추세를 보였음. '93 ~ '99년의 TN의 평균농도는 3.28 mg/L로서 지속적으로 증가되는 추세였고 '99년의 평균농도는 3.10 mg/L 이었음. 00 ~ '05년의 TN 평균은 2.63 mg/L로서 증가추세는 다소 둔화되었으며 '05년도 8월까지 평균수질은 2.64 mg/L 를 나타내고 있음.

### 나. 고 령

'89년도 평균 TN 농도는 1.143 mg/L 이었으나 매년 증가하여 92년도 평균은 5.033mg/L으로 나타남. 이후에도 TN 농도는 계속 증가하여 95년도에 9.702 mg/L 까지 도달하였다가 99년에는 5.113 mg/L으로 감소하였음. '00 ~ '05년의 TN농도 범위는 3.702 ~ 4.850 mg/L이었고, 평균은 4.38mg/L이었으며, 대구지역 하수처리 공정개선으로 감소추세가 지속됨. '89년도에 TN 농도가 1.143 mg/L로 낮은 것은 이

때 강우량이 1,528 mm로서 비교적 많았기 때문이며, 92, 94, 95년 등 TN 농도가 높게 나타난 것은 이때 강우량이 적었기 때문인 것으로 판단이 된다.

#### 다. 남 지

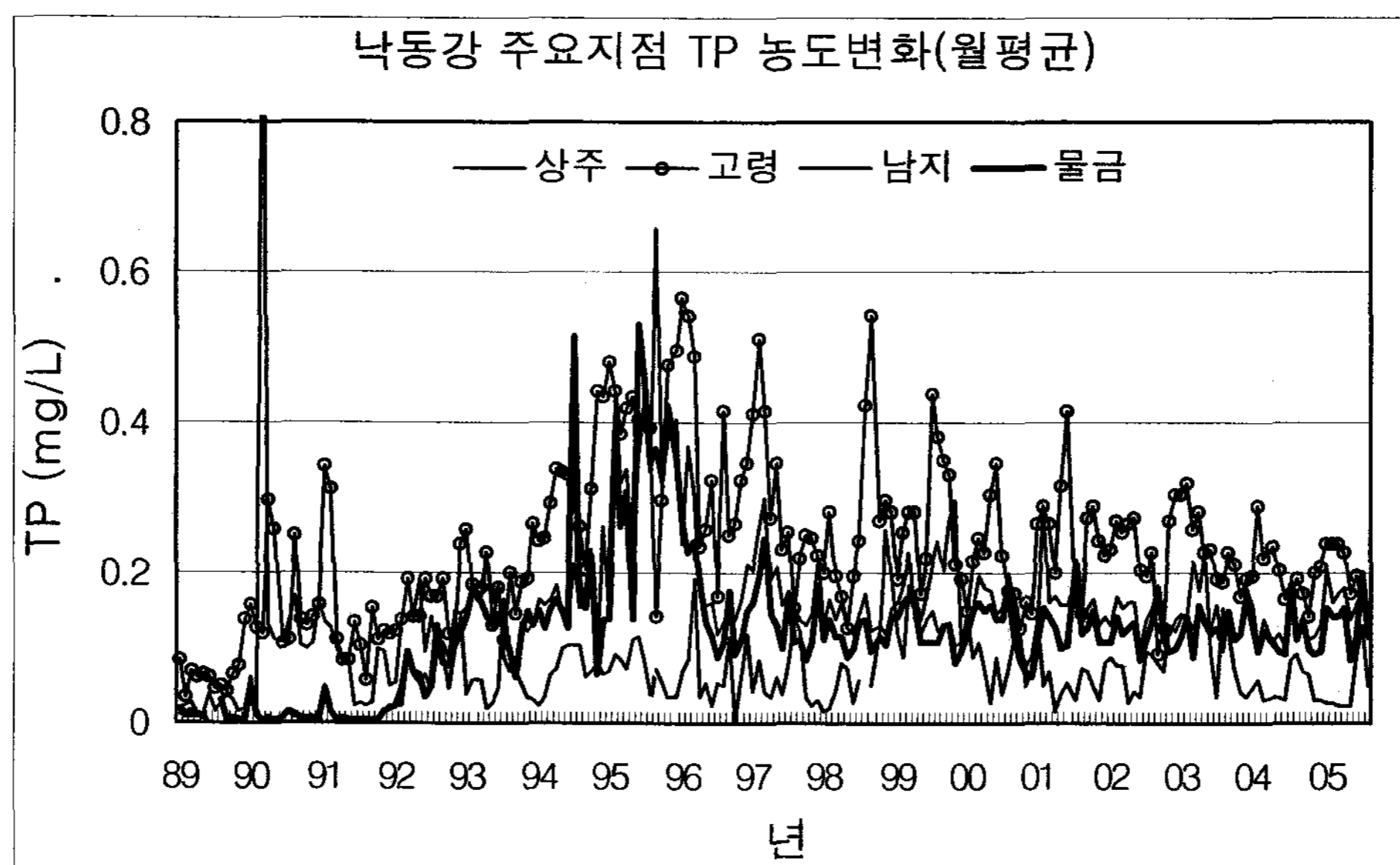
'89년도 평균 TN 농도는 1.904 mg/L 이었으나 매년 증가하여 92년도 평균은 3.010 mg/L으로 나타나 고령지점과 비슷한 추세를 보이고 있었음. 이후에도 TN 농도는 계속 증가하여 95년도에 5.421 mg/L까지 도달하였으나 동기간 전체 평균은 4.760 mg/L로서 감소추세로 나타남. '00 ~ '05년의 TN의 농도 감소추세로 나타나 04년에는 2.827 mg/L까지 감소하였음.

#### 라. 물 금

'89년도 평균 TN 농도는 2.015 mg/L 이었으나 매년 증가하여 92년도 평균은 2.710 mg/L을 보임. '93 ~ '99년의 증가추세는 이후에도 지속되어 93년도에 5.009 mg/L로 최고를 보이다가 이후 감소추세를 보여 99년도에는 3.784 mg/L을 보임. '00년에 3.666 mg/L를 보였으며 이후 계속 감소하여 05년 8월까지 평균은 3.021 mg/L로 나타남.

### 2.3 총인(TP) 농도변화

#### 1) 월별, 년도별 TP 농도변화



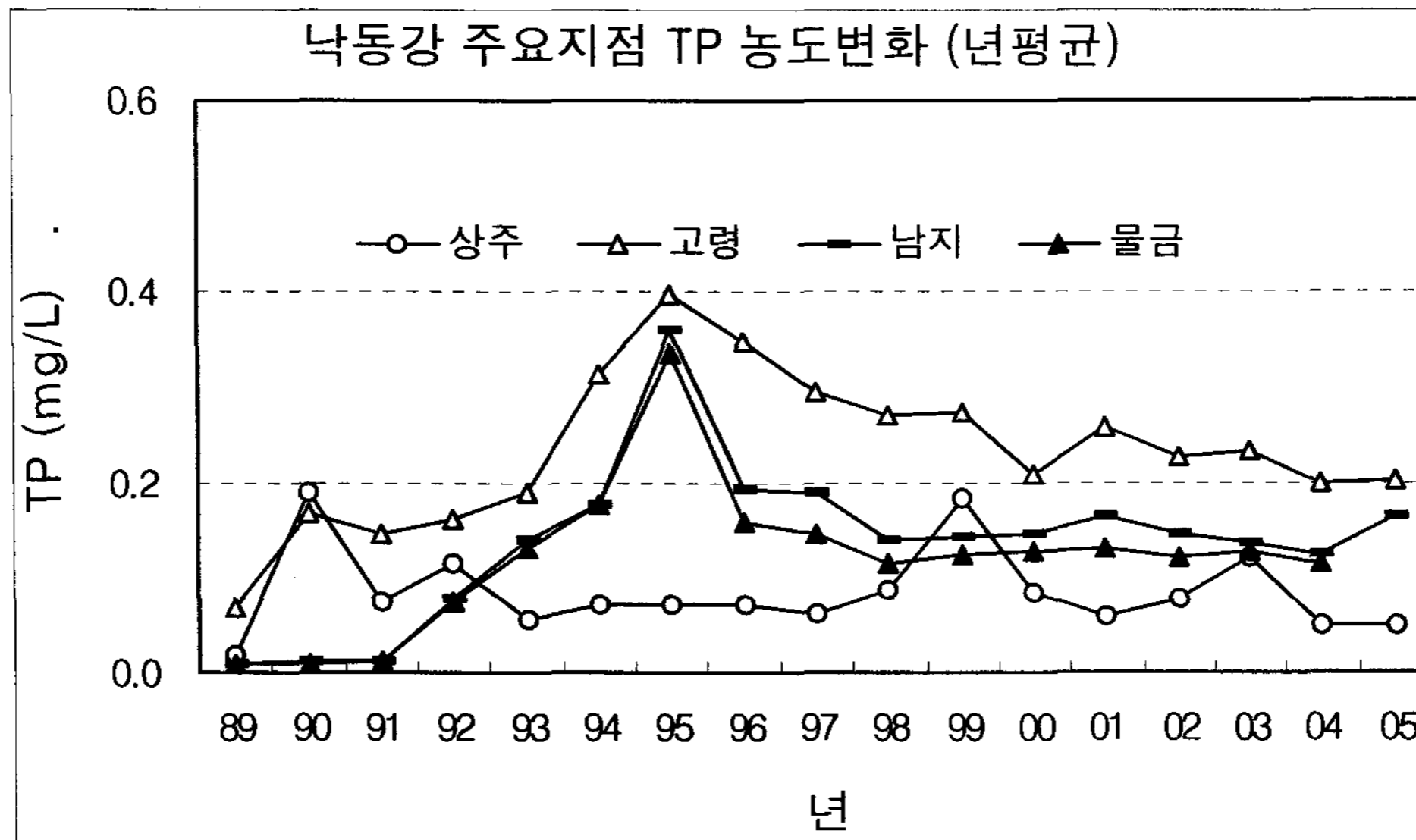


그림 4. 낙동강 주요지점에서 TP 농도변화

## 2) TP 농도변화 개관

낙동강 상류지역에서는 비점오염원 유출로 인해 강우와 함께 TP농도가 증가하는 등 전반적으로 뚜렷한 감소추세가 보이지 않고 있음. 중류지역에서는 대구지역 하수처리장의 영향으로 갈수기에 오염도가 상승하고 있으나 2002년 이후 하수처리공정의 개선으로 영양염의 감소추세가 나타나고 있음. 남지, 물금지점도 대구지역 오염부하 감소로 인해 감소효과가 나타나고 있는 등 낙동강에서는 전반적으로 TP의 농도가 감소하고 있는 추세임.

### 가. 상 주

'89년도에는 강우량이 비교적 많았으며 평균 TP 농도는 0.019 mg/L이고 이 시기의 전체 평균농도는 0.100 mg/L이었으며, 매년 수질이 증가되는 추세에 있었다. 93 ~ '99 년의 TP의 평균농도는 0.086 mg/L로서 농도가 지속적으로 증가되는 추세였고 '99년의 평균농도는 0.183 mg/L 로 나타남. 단, '94 ~ '96년의 가뭄이 심할 때에도 TP농도는 평균치보다 낮은 0.072 mg/L를 보이고 있어 상류에서의 TP의 농도는 비점오염원의 강우유출이 중요한 원인이 되고 있음을 나타내 주고 있다. '00 ~ '05 년의 평균농도는 0.074 mg/L로서 감소추세로 전환하여 05년도의 8월까지 평균은 0.050 mg/L을 보이고 있음.

### 나. 고 령

'89년도의 평균 TP 농도는 0.067 mg/L 이었으며 이시기의 평균농도는 0.135 mg/L로

서 이시기에는 매년 증가추세를 보여 '92년도 평균은 0.162 mg/L를 나타냄. 이후에도 증가추세는 계속되었으며 이 기간동안 TP농도는 범위는 0.189 ~ 0.398 mg/L이었고 평균은 0.298 mg/L 이었다. 상류지역과는 대조적으로 강우량이 적었던 '94 ~ '96년도에는 0.313 ~ 0.398 mg/L 의 분포를 보여 평년보다 훨씬 높은 TP 농도를 기록하였다. '00 ~ '05년의 TN농도 범위는 0.199 ~ 0.257 mg/L이었고, 평균은 0.221 mg/L이었으며, 대구지역 하수처리 공정의 개선으로 전체적으로는 감소하고 있는 추세로 변함. '04년도 평균은 0.202m/L 를 나타냄.

#### 다. 남 지

'89년도 평균 TP농도는 0.009 mg/L 이었으나 매년 증가하여 '92년도 평균은 0.079 mg/L 로 나타남. 95년도에 TP가 0.361로 최고농도를 보였고 이후에는 감소추세로 변하여 99년도 평균은 0.143 mg/L를 보임. '00 ~ '05년의 고령지점의 TP농도 감소 추세에 따라 TP의 감소추세가 지속되었고 04년도에 0.125 mg/L까지 감소하였으나 05년도 8월까지의 평균이 0.165 mg/L를 나타내고 있어 다소 상승하는 경향이 있음

#### 라. 물 금

'89년도 평균 TP 농도는 0.009 mg/L 이었으나 매년 증가하여 92년도 평균은 0.075 mg/L 를 나타냄. '93년에도 0.132 mg/L를 보였고 '95년도에 0.337 mg/L 로 최고의 농도를 보였으나 이후에는 감소하여 '99년도에는 0.125 mg/L 를 나타냄. 전체적으로는 이시기에 -0.012 mg/L/년의 감소추세를 보임. '00년에 0.127 mg/L를 보였으며 이후 감소추세를 보여 04년 평균은 0.114 mg/L로 나타남.

### 3. 수질 변화원인 고찰

#### 3.1 수질과 강우량과의 상관성 비교

낙동강 유역은 우리나라 연평균 강우량에 못 미치는 낮은 수준이며 하천경사는 상류는 급하고 하류는 완만한 하도특성, 다목적댐의 낮은 저수용량, 갈수기의 유지용수 부족 등 열악한 유역특성을 가지고 있다. 수질환경은 강우의 영향을 크게 받기 때문에 이러한 강우조건은 낙동강 수질에 미치는 영향이 매우 크다. 조사기간 중 태백에서 부산까지 17개 관측소에 나타난 년평균 강우량은 805 ~ 1,870 mm의 범위를 보였으며 전체 평균은 1,330 mm으로 년도별 강우량의 기복이 심하여 최저 강우량을 보인 '94년도는 최고의

강우량을 보인 '03년도에의 절반수준도 되지 않아 갈수기와 풍수기의 수질특성을 보다 쉽게 비교할 수 있었다. '94 ~ '96년의 3년간은 가뭄이 심하였으며 이기간 평균 강우량은 893mm밖에 되지 않았으며, 이시기에는 BOD 농도도 매우 높게 나타나고 있었고 전반적으로 낙동강의 수질이 악화되어 있었다. 그러나 2003년도에는 1,870mm의 많은 비가 내려 BOD 농도는 '94 ~ '96년의 절반이하로 나타났으며 이러한 추세는 '04년까지 지속되었는데, 이것은 전년도에 지표면에 퇴적되었던 비점오염물질의 유출이 많았던 것에 기인하는 것으로 보인다.

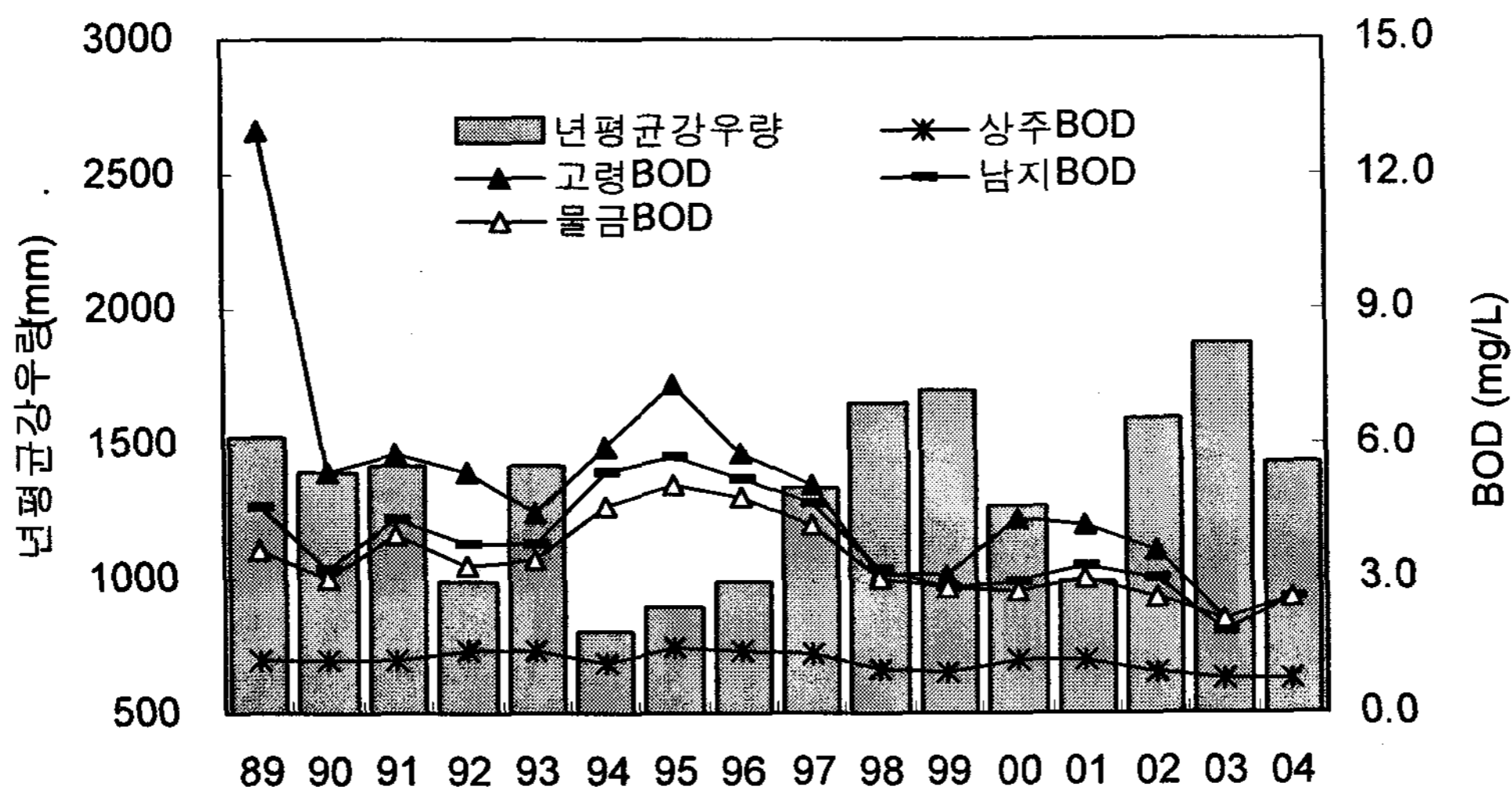


그림 5. 낙동강수계 년평균 강우량과 주요지점 BOD 농도의 변화

상주 등 주요 4개지점의 강우량과 BOD와의 상관성은  $-0.68 \sim -0.79$ 로서 높게 나타났다. 영양염류는 BOD보다 강우와의 상관성이 보다 낮는데, 주요 4개 지점에서 TN의 경우 강우와 상관성이  $-0.18 \sim -0.61$ 로 나타났고, TP의 경우에는  $+0.26 \sim -0.43$ 으로 나타났다. 특히 농촌지역인 상류의 상주에서는 강우와의 상관성이 낮았으며, 특히 TP의 경우 강우량과 함께 오히려 증가되는 현상이 나타나고 있었다. 이러한 낮은 상관성은 영양염류의 농도가 강우유출과 상관성이 높아 비점오염원으로서 하천에 유입되기 때문이다.

### 3.2 유량증가가 수질변화에 미치는 영향 고찰

유역에 강수량이 증가하면 하천유량이 증가하여 오염물질 농도가 변하게 된다. 오염물질 희석작용, 수중생물의 현존량의 변화, 유지용수 증가에 의한 정화능력 증가 등은 하천 오염도 감소 요인으로 작용하며, 농업·축산지역, 또는 도시지역의 지표면에 축적되어 있던 오염물질이 강우와 함께 수역에 유출, 처리장 유입 관거의 월류수에 등은 오염도의

증가요인으로 작용한다. 강우에 의한 수질영향은 강우빈도, 강우지속시간 및 노면 퇴적량 등의 영향을 받으나 일반적으로 초기우수에 의해서는 수질오염도가 상승한다. 여기서는 낙동강수계 고령 지점에 대해 수질측정망의 수질측정자료(48회측정/년)와 유량측정자료(낙동강수계 오염총량관리 기준유량 산정을 위해 지난 '04년 8월부터 낙동강수계 41개 단위유역 말단지점에 대해 8일 간격으로 측정)를 이용하여 고찰해 보고자 한다. 조사 시기는 '04년 8월부터 '05년 9월까지이다.

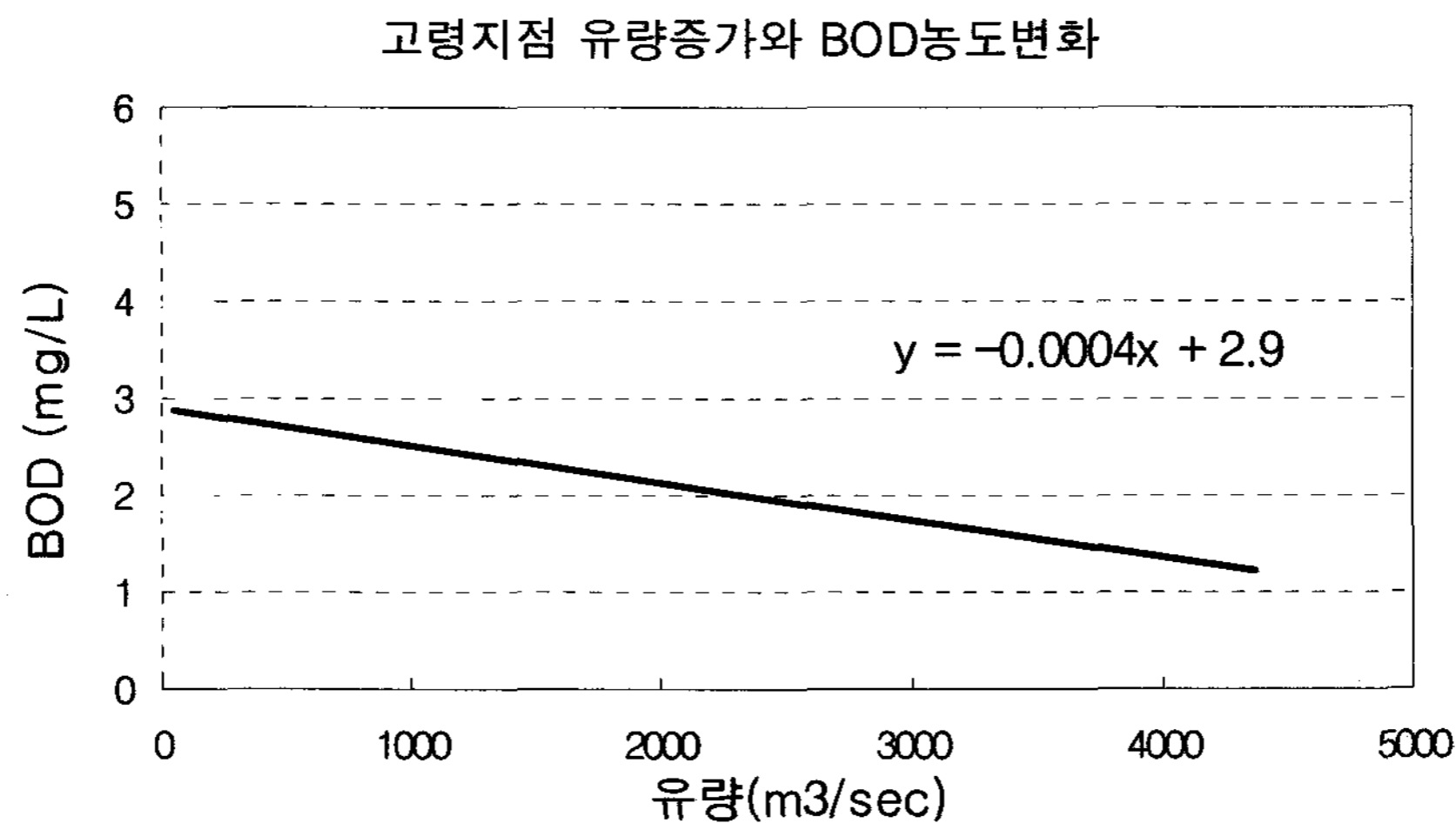


그림 6. 고령지점 유량증가와 BOD 농도변화

- 유량증가와 함께 BOD농도는 감소하고 있었으나 유량-BOD 상관계수는 -0.26으로 낮은 편이었다.
- 유량이 1,000 m³/sec 이상으로 높은 상태에서도 BOD 농도는 3 mg/L의 높은 농도를 나타내기도 하였으나 2,500 m³/sec 이상에서는 2 mg/L를 넘지 않았다. 높은 유량에서도 비교적 높은 BOD농도를 나타내고 있는 것은 비점오염원의 유출율과 관련이 있는 것으로 판단된다.
- 유량과의 상관성을 좀더 세밀하게 분석하기 위하여 600m³/sec 이하의 유량에서만 유량-BOD 상관계수를 계산한 결과 아래 그림과 같이 고령지점에서 유량이 300 m³/sec 를 초과하면 BOD 농도는 2.0 mg/L 이하를 나타내고 있었다. 이와 같이 300 ~ 600 m³/sec 의 범위에서 BOD 농도가 낮게 나타난 것은 초기우수의 영향이 지나고 난 이후의 수질을 반영하고 있는 것으로 추측할 수 있다. 실제 확인결과 '05년도 7월.12일에 유량이 2,548m³/sec 이고 BOD는 3.1mg/L로 나타나 초기 우수의 영향을 알수가 있고 다음주인 7월.20일의 측정에서 유량은 241.7 m³/sec로 낮아졌고 BOD 농도도 1.3mg/L로 낮아졌다. '05년 8월.5일에도 강우에 의해 유량은

2,353m<sup>3</sup>/sec 로 증가하고 BOD농도는 4.2 mg/L로 높아졌으며, 8월.16일 측정에서 유량은 341.3m<sup>3</sup>/sec 로 낮아지고 BOD 농도도 1.5 mg/L로 낮아졌다. 초기우수에 의한 하천 유량이 500m<sup>3</sup>/sec 정도 된적은 없었으며, 이 정도의 강우에 의해서도 비점 오염물질의 유출량이 충분한지는 확인할 수는 없었다.

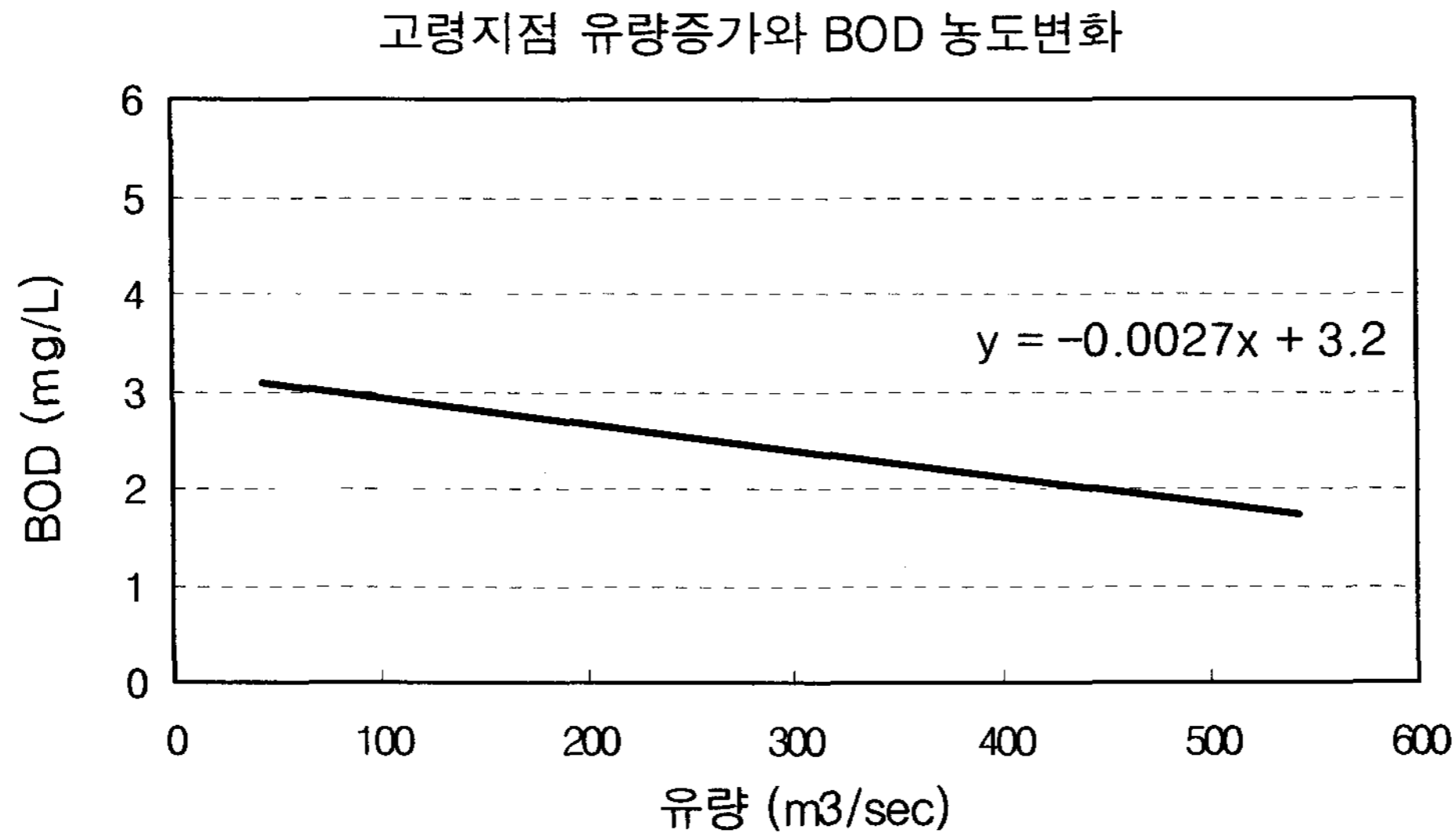


그림 7. 고령지점 유량증가와 BOD 농도변화(600 m<sup>3</sup>/sec이하)

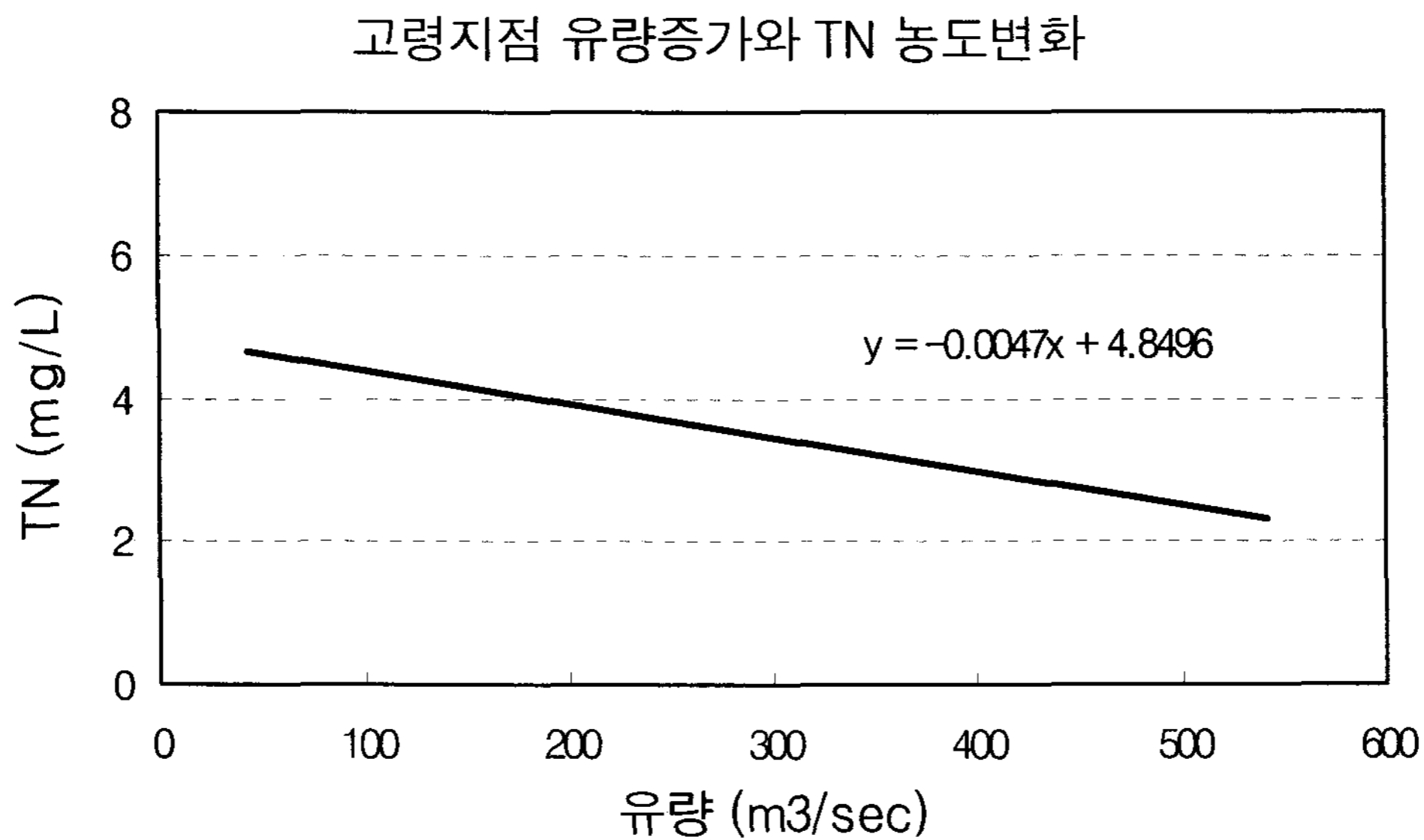


그림 8. 고령지점 유량증가와 TN 농도변화

고령지점 유량증가와 TP 농도변화

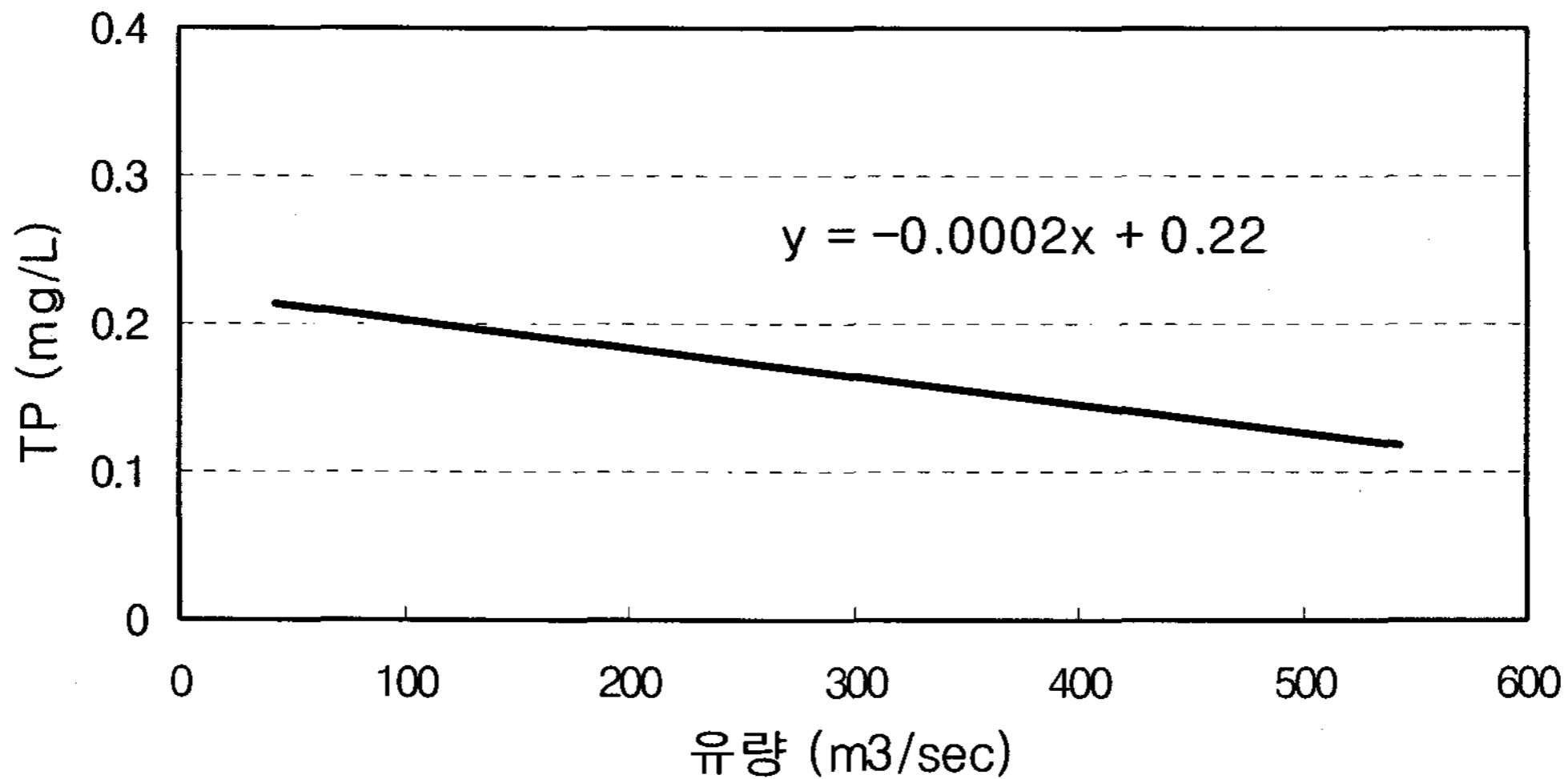


그림 9. 고령지점 유량증가와 TP 농도변화

고령지점에서 유량증가가 TN농도변화에 미치는 영향을 조사한 결과 BOD의 경우와 같이 유량이 600 m<sup>3</sup>/sec 이상을 고려할 때에는 -0.17로 나타났으나 500m<sup>3</sup>/sec 이하만 고려할 때에는 -0.58로 나타나 음의 상관관계가 보다 뚜렷했다. BOD의 경우와 같이 유량이 300m<sup>3</sup>/sec 을 초과할 때에는 3.4 mg/L를 초과하지 않았다. 아래 그림과 같이 유량 증가와 TP농도 변화와의 상관계수는 -0.32이고 600 m<sup>3</sup>/sec 이하의 유량에서는 -0.44로 나타났다. 그러나 유량이 300 ~ 600 m<sup>3</sup>/sec 의 범위에서도 0.150 mg/L 이상의 농도를 보여 BOD나 TN의 농도 변화 패턴과 다르게 나타났다.

### 3.3 구간별, 항목별 농도변화 및 특성 비교

수역에 도달한 오염물질은 희석, 이동, 확산, 침전 등 물리적인 작용과 산화, 환원, 가수분해 등 화학적인 작용 및 생물에 의한 생산과 분해 등 변환과정을 거치게 된다. 오염물질은 하류로 유하할 수록 자정작용에 의한 오염도 감소가 일반적이거나 낙동강은 조류에 의한 하천내 생물의 1차생산 작용이 활발하여 오염도가 상승하기도 한다. 여기서는 상류 지역에서 하류지역으로 유하하면서 오염도의 변화상태를 상호 비교하고 오염도의 변동특성을 고찰함에 있어, 특히 물금지점과 고령지점간의 수질역전현상(하류의 농도가 상류보다 높은 현상)을 보다 정밀하게 원인을 고찰하고자 한다. 조사는 낙동강수계 고령 ~ 남지, 고령 ~ 물금, 남지 ~ 물금 등 낙동강 주요 3개 구간에 대해 수행하였다.



가. 구간별, 항목별 농도 변화특성 고찰

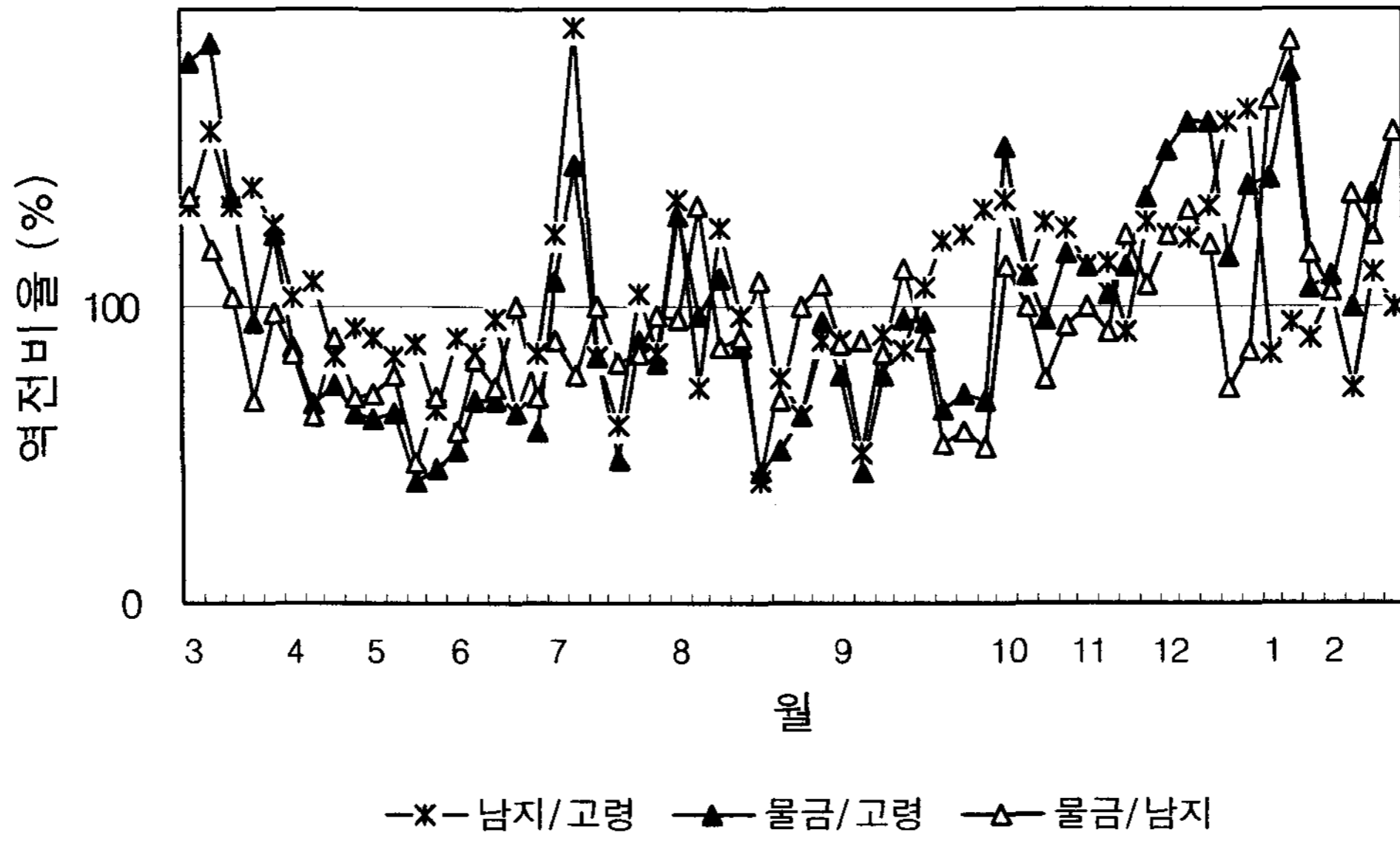


그림 9. 낙동강 주요지점에서 BOD 역전비율(월별로 정리한 그림)

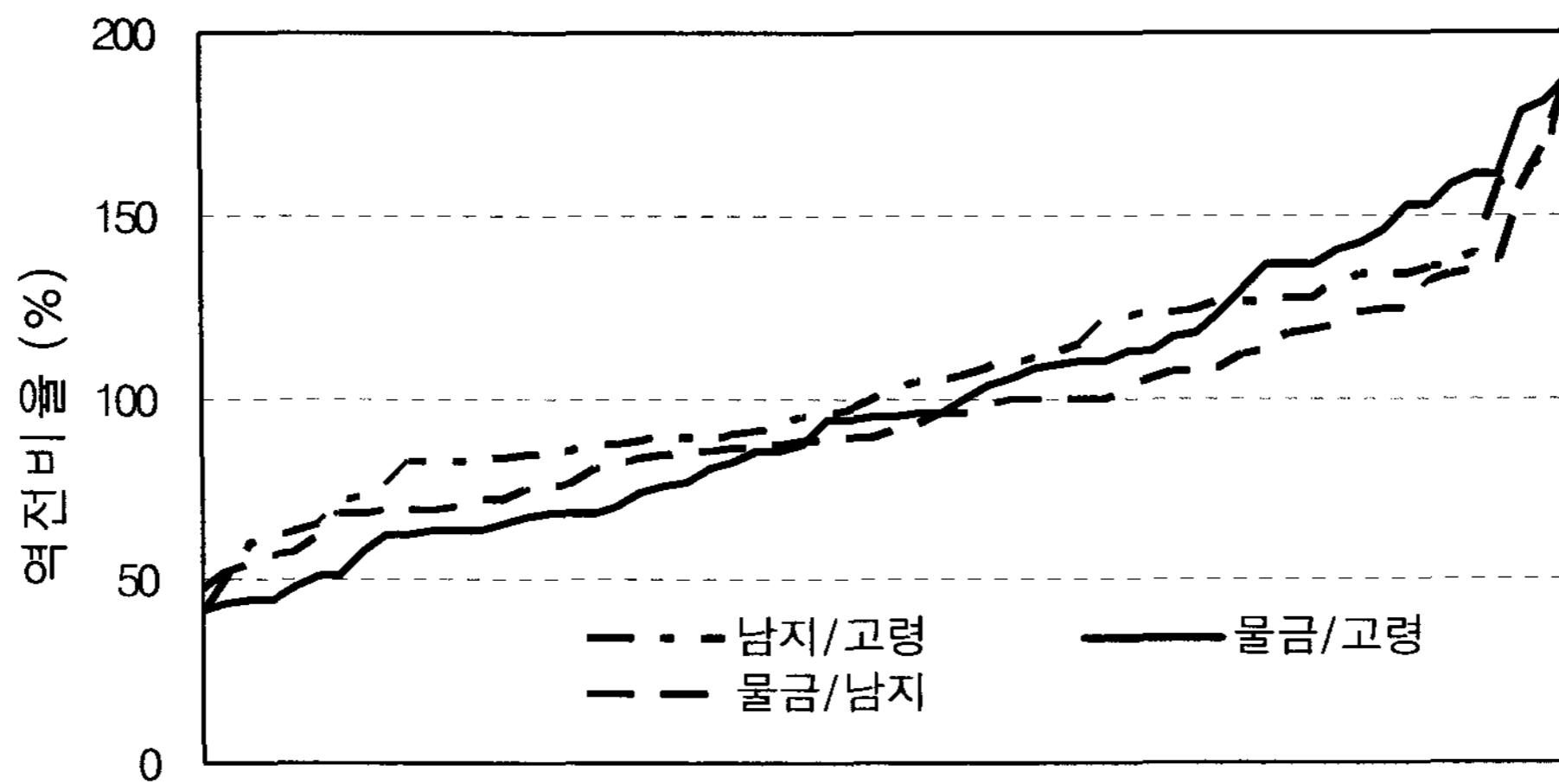


그림 10. 낙동강 주요지점에서 BOD 역전비율(올림차순으로 정렬한 그림)

- 동일 시점에 있어서 고령, 남지, 물금 등 낙동강 주요 3개 지점의 BOD 농도를 비교한 결과 표18 와 같다. 조사대상 기간동안 평균 BOD는 고령이 2.72, 남지는 2.70, 물금은 2.45mg/L 로 하류로 갈수록 약간의 감소가 있었으나 거의 비슷한 수준을 보이고 있었다. 동일 시점에 있어서 구간별 BOD 농도를 상호 비교하면 상하 수질역전 현상이 매우 빈번하게 나타나고 있는 것을 볼수 있다.
- 물금/고령(물금농도를 고령 농도로 나눈 백분율)의 경우 BOD 역전비율은 41.3 ~ 187.5%의 범위를 보였고(100% 이상이 역전에 해당), 평균값은 99.2%, 중앙값은

94.7%로 나타났으며, 전체 45% 이상이 역전을 하고 있었다. 이러한 현상은 고령 ~ 남지, 남지 ~ 물금에서도 비슷하였다.

나. 이상 수질현상의 원인

(1) 구간별 조사시점, 유하시간, 구간거리 등의 고찰

- 구간별 비교에 이용된 수질데이터는 조사시점이 동일기간 이내라 하더라도 지점별 일주일 이내에서 시차가 존재하며, 또한 오염물질이 상류에서 하류까지 이동하는데는 상당한 시간이 소요되므로 역전비율을 판단하기 위해서는 보다 긴 기간의 평균이 보다 유용할 수 있다. BOD의 월별 평균을 이용한 역전비율 계산결과는 그림 11과 같다.

표 6. 구간별 거리 및 유하시간 (낙동강물환경연구소 조사결과, 2001년)

구 분	대구-고령교	고령교-남지교	남지교-물금
거리(km)	12.4	68.9	59.6
유하시간(day) (최고유속)	1.1	3.6	7.4
유하시간(day) (평균유속)	1.5	4.9	10.2

(2) 월평균 농도에 의한 비교결과

아래 그림은 월평균을 이용해 수질역전현상을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 BOD 월평균 농도의 비교에서는 4월에서 9월까지는 수질역전이 일어나지 않았으며, 10월 이후 3월까지는 대부분 수질 역전이 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 10월 이후 3월까지는 하천의 수질에 영향을 주는 다른 인자가 있음을 알 수 있다.

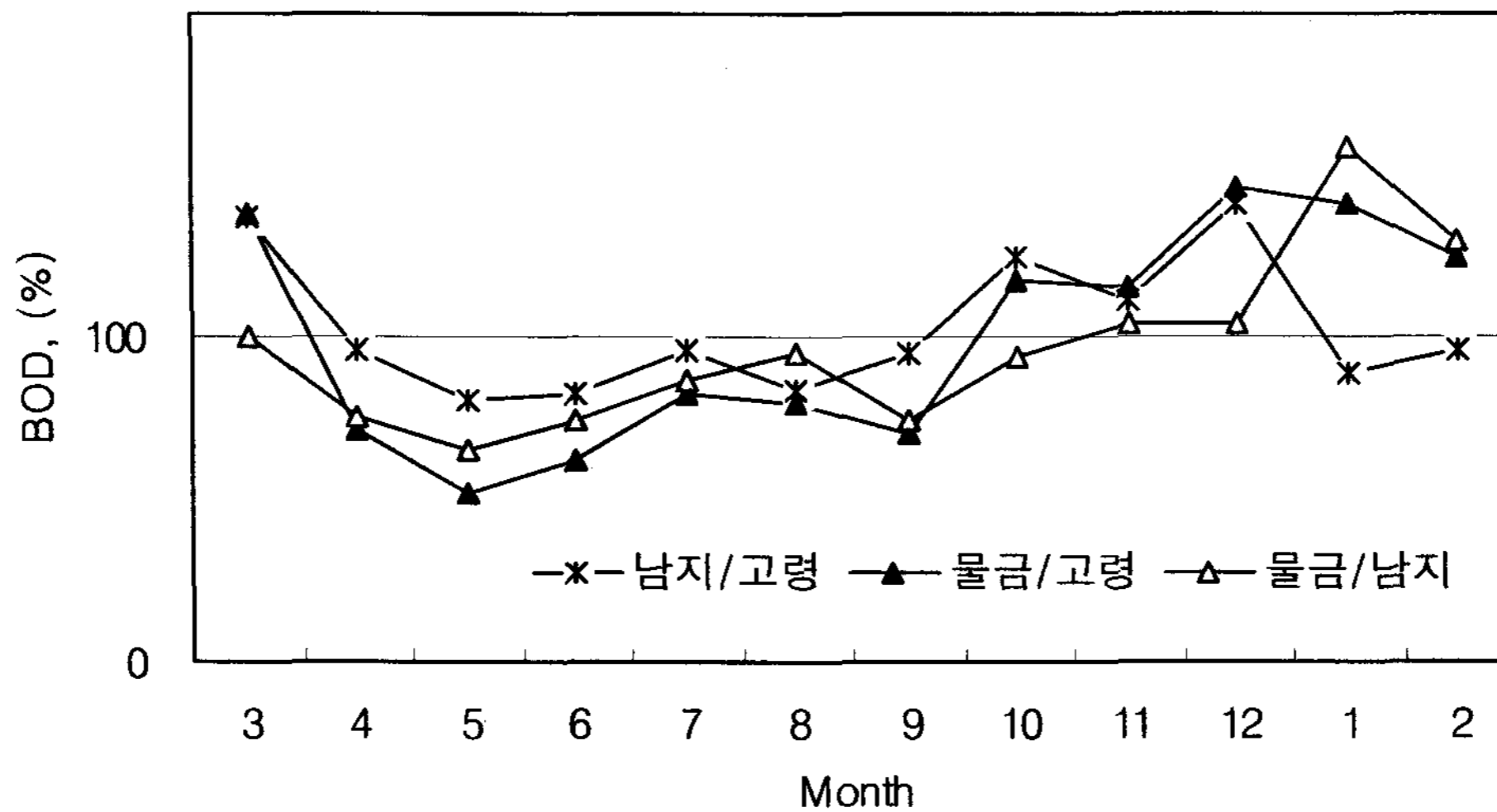


그림 11. 낙동강 주요지점에서 BOD 역전비율(월평균을 이용한)

(3) 지점별 유량과 수질역전비율과의 상관성

- 지점별 월 4회정도의 수질 및 유량 측정값을 이용하여 고령 ~ 물금지점에서의 BOD역전비율과 유량과의 상관성을 조사한결과는, 고령지점 유량과의 상관성은 -0.10으로 나타났으며 물금지점의 유량과는 0.13으로 매우 낮게 나타났다. 동 구간에서 TN역전비율과 고령유량과의 상관성은 0.41, 물금지점의 유량과의 상관성은 0.22로 나타났고, TP 역전비율은 고령유량과는 0.93으로 매우 높은 상관성을 나타냈고, 물금지점의 유량과는 0.37를 나타냈다.
- 이와 같이 BOD의 역전비율은 유량과의 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. TN은 BOD보다는 높은 유량과의 상관성을 나타내고 있었으나 그 정도는 대단히 낮았고, 고령 ~ 물금구간에 있어서 TP 농도의 역전현상은 고령유량과 높은 양의 상관성을 보이고 있었다.
  - 이것은 고령지점이 유량증가와 함께 물금지점의 TP 농도 상승을 의미하는 것보다 고령지점의 TP 농도의 감소가 원인이었던 것으로 확인이 되었다.

(4) 조류발생과 수질현상과의 상관성

- 물금지점에 대한 BOD 역전비율과 조류(algae) 발생과의 상관성을 파악하기 위하여 Chl.a 농도와 및 조류(algae)의 cell 수를 조사하였다.
- Chl.a는 조사기간 동안 29.0 ~ 138.9 mg/m<sup>3</sup>의 분포를 보였고 BOD 역전비율과는 0.62의 상관계수를 보였다. 조류 cell수는 조사기간 동안 7,277 ~ 51,546 cells/m<sup>3</sup>의 분포를 보였으며, BOD 역전비율과는 상관계수가 0.74로 나타나 좋은

상관성을 보이고 있었다.

- 또한 시기별 평균값을 비교해 보면, BOD 역전이 발생한 10월에서 3월까지의 조류 cell 평균은 29,196 cells/m<sup>3</sup>을 보였고 4월에서 9월까지의 평균은 7,186 cells/m<sup>3</sup> 보여 BOD 역전이 일어난 시기가 그렇지 않은 시기보다 4.1배의 높은 조류 cell수를 보이고 있었다.
- 따라서 물금지점의 조류발생은 물금지점의 BOD 상승의 원인으로 작용을 하고 이것이 수질역전에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

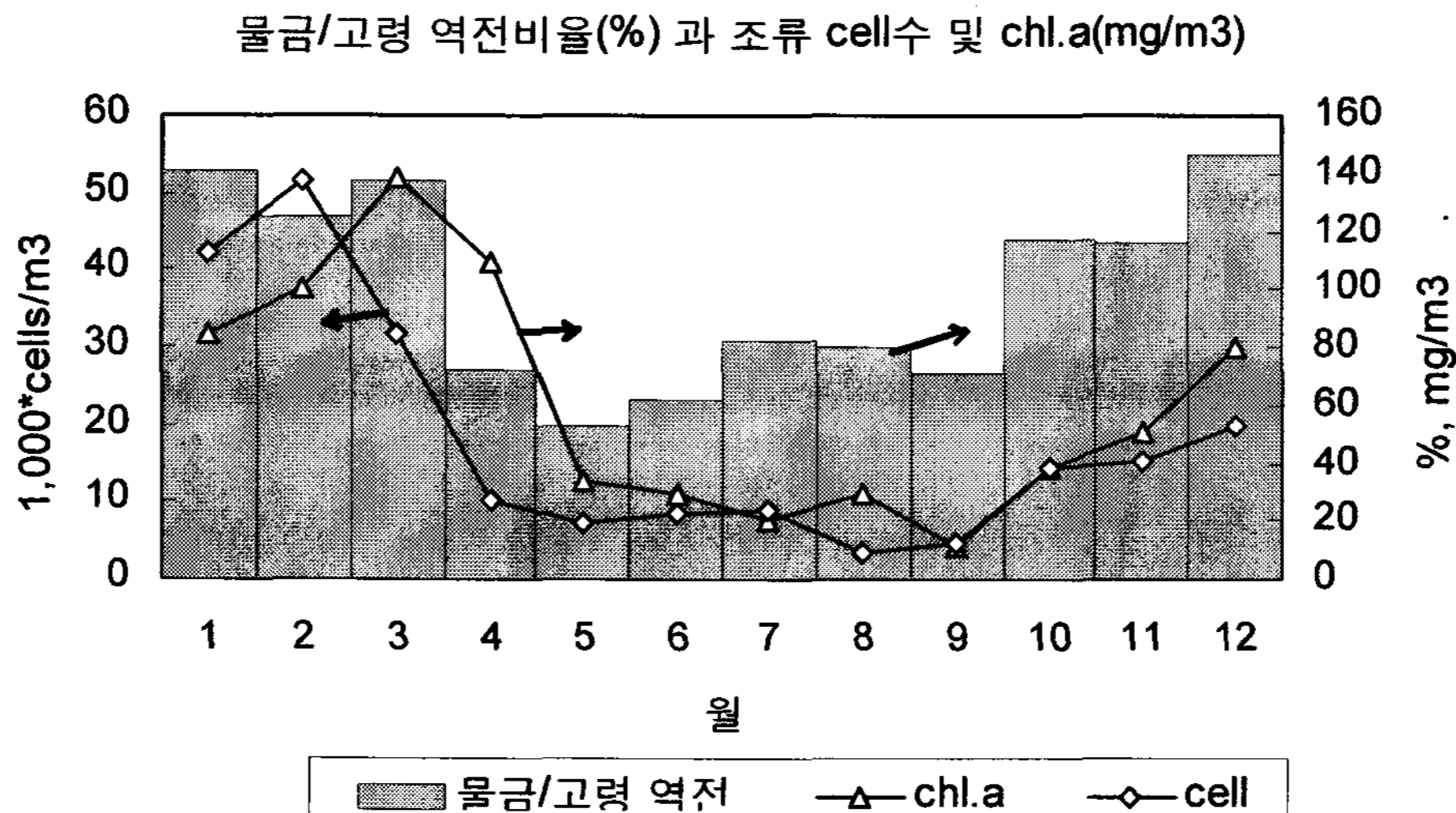


그림. 26. 물금지/고령 역전비율과 조류 cell 수 및 chl.a

(5) 중간 유입지천의 수질오염물질 유입영향 평가

- 고령교 ~ 물금지구간의 BOD 수질역전 현상을 분석하기 위해 중간 유입오염원인 회천, 황강, 남강, 밀양강 등의 BOD부하량을 조사하였다. 조사기간은 2004년 8월부터 2005년 8월까지의 1년간이며, 오염총량관리를 위한 유량 및 수질조사 결과를 이용하여 BOD 부하량을 구하였다. 고령지점의 수질과 유량은 고령교로부터 약 27km 하류에 있는 낙본G 지점으로 하였다. 조사기간 동안 BOD 농도분포와 유량 및 BOD 부하량을 비교하면 다음 표와 같다.

표 7. 낙동강 하류 주요 유입지천의 유달부하량과 부하비율 비교

구분	BOD 범위 (최소-최대)	BOD 평균 (mg/L)	유량평균 (m <sup>3</sup> /sec)	유달부하량 (kg/day)	부하량 비율(%)
낙본G	1.3-5.6	3.0	136.5	33,914	66.7
회천A	0.3-3.2	1.0	8.5	728	1.4
황강B	0.3-2.8	0.9	51.7	4,784	9.4
남강E	1.2-5.0	2.6	39.2	8,966	17.6
밀양B	0.7-2.9	1.4	22.6	2,507	4.9
계			261.5	50,899	100

- 상기 표와 같이 고령교 ~ 물금구간의 중간에 위치한 남강 등 주요지천의 BOD 유달부하량은 전체 부하량의 33.3% 차지하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 고령교 물금의 중간 유입오염물질에 의한 영향도 BOD역전비율에서 차지하는 비율이 상당히 높다고 하겠다.

(6) 수질예측모델링 결과의 검토

- 수질예측모형에 의한 수질예측을 위해서는 대상구간의 수질·수문 자료, 오염물질 발생 및 유출부하량, 유달부하량과 유달율, 각종 수질매개변수 등이 필요하다.
- 낙동강 본류 안동에서 하구언까지 1차원 수질 예측모형인 QUALII E 이용하여 모형의 보정 및 검정을 실시하고 장래 수질을 모의한 결과는 그림 ○○와 같다. 유량은 갈수기 유량을 적용하였으며, 안동교 지점의 유량을 19 m<sup>3</sup>/sec으로 하였다.
  - 그림에서 172km 위치에서 금호강이 유입되며, 182.4km 위치는 고령교, 황강은 230km, 남강은 252km, 물금은 316km 위치이다.
  - 모의결과 안동지점에서는 BOD가 약 1.3mg/L 정도이며, 금호강이 유입된 이후의 고령교 지점에서는 4.4 mg/L, 남지교에서는 4.0 mg/L, 물금지점에서는 2.6 mg/L로 예측이 되었다.
- QUALII E 모형에서는 부영양화에 의한 하천의 1차생산을 고려하지 않았기 때문에 물금지점은 고령지점의 수질의 약 60% 수준을 보이고 있다. 이러한 결과는 “낙동강수계 물관리종합대책”에서의 QUALII E를 이용한 모의 결과에서도 비슷하여 물금지점은 고령지점의 74% 수준을 보이고 있다.
  - 그러나 부영양화에 의한 조류의 1차생산을 고려한 HSPF 모형의 수질모의결과에서는 물금지점이 고령지점보다 BOD가 2.3% 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 BOD

농도는 물금지점은 고령지점의 BOD와 비교하여 조류의 영향을 고려하면 수질이 거의 비슷한 수준을 유지할 것으로 예상할 수 있으며 이것은 수질역전 현상에 대한 조류의 영향 고찰결과와 잘 일치한다.

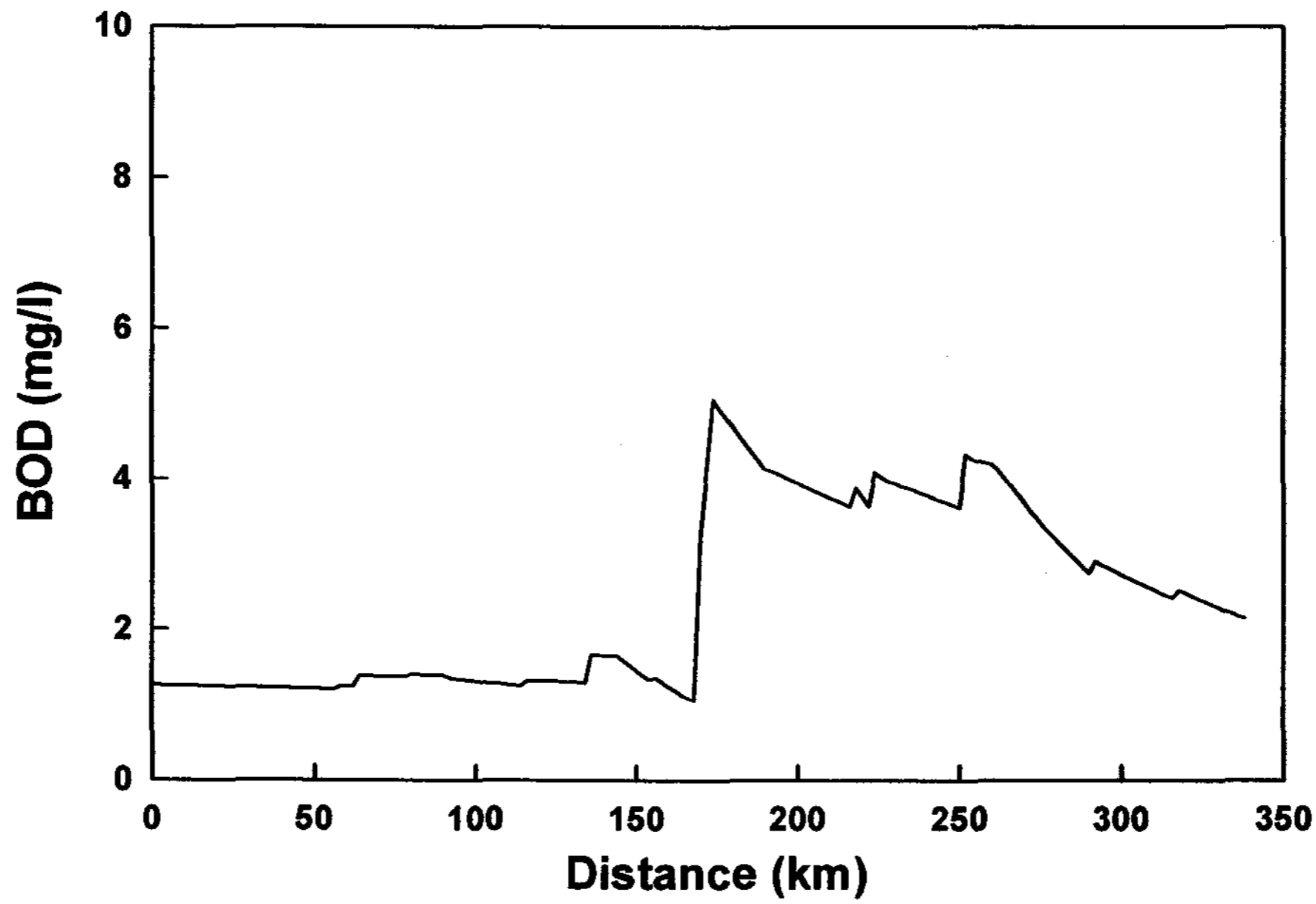


그림 27. QUALIE를 이용한 수질예측 모의결과

표 8. 안동 ~ 물금지간 수질예측 모의결과

모형종류	모형수행자	안동	왜관	고령	남지	물금지	비고
QUALIE	<sup>1)</sup> 낙동강물환경연구소	1.3	1.6	4.4	4.0	2.6	갈수량
“	<sup>2)</sup> 정동일	1.2	2.2	5.4	4.4	4.0	저수량
HSPF	<sup>3)</sup> 알콘연구소	0.85	2.0	5.06	4.87	5.18	저수량

<sup>1)</sup> 낙동강물환경연구소, “낙동강유역 오염원관리 모형개발에 관한 연구, 2002.12

<sup>2), 3)</sup> 정부합동, 낙동강수계 물관리종합대책(시안), 1999.11

## 4. 앞으로의 새로운 연구접근 방향

앞으로 낙동강 수질오염총량관리와 관련된 연구 및 환경기초조사사업의 향후 연구방향은 물환경관리기본계획(2006 - 2015)이라는 상위계획과 연계되는 과제를 중점 반영할 계획이며 그 초안을 소개하면 다음과 같이 요약할 수 있다

### 4.1 수생태 건강성 평가분석 분야

#### 가. 수생태계 건강성 평가기반구축

- 수질환경기준의 적용성 검토 및 목표수질달성도 평가
- 물환경모니터링 체제정비 방안 연구
- 원격탐사를 이용한 수질모니터링체계 시범구축
- 하천생태계 서식처 평가지침개발
- 하천생태계 측정망 운영
- 하천생태 건강성평가지표 개발
- 호소환경 및 생태조사

#### 나. 수생태계 보전 및 복원

- 수생태계 보전 및 복원개념 정립연구
- 생태손상도 평가분석
- 수변생태현황조사 및 복원계획 수립
- 활용목적상실 호소 및 하천 실태파악 및 활용방안 마련
- 생태공학적 수질환경개선기법 개발
- 생태유량 산정 및 확보방안 연구

### 4.2 수계 유해물질 위해성 평가분석 분야

#### 가. 수계 위해성 평가기반 구축

- 수계별 잠정관리 유해물질 실태조사
- 산업폐수가 공공수역에 미치는 생태독성영향도 조사
- 상수원수의 안정성 및 위해성 평가

#### 나. 유해물질 거동해석 및 관리기반 구축

- 수계별 물질 거동인자 조사 및 예측시스템 개발
- 생물경보시스템을 이용한 배출원 감시 효율화 방안 연구
- 광산유출수 영향 및 광해방지사업효과 분석
- 수중미생물에 의한 유해화학물질의 분해기작 및 거동 연구

### 4.3. 유역환경 평가분석 분야

#### 가. 오염부하해석 및 수환경 예측

- 물환경기초자료 관리시스템 정비
- 주요 비점오염원 유출 장기모니터링
- 비점오염원관리지역 지정방안에 관한 연구
- 가축분뇨 자원화물의 유출특성 및 저감방안 연구
- 수질관리를 병행한 댐관리 최적화방안 및 관리지침 작성
- 실측유량 및 수질자료의 검보정 시스템 개발
- 하수관거유입 오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석
- 임하댐의 탁수관리방안 연구

#### 나. 통합유역 환경관리

- 호소전이대의 저류조 설치효과분석 및 다원적공법 적용방안연구
- 하구환경조사 및 하구보전종합계획 수립 연구
- 연안환경조사 및 개선대책 연구
- 비점오염원 저감을 위한 BMP 개발
- 간척담수호 수질개선 연구

#### 다. 친환경적 물순환 관리

- 유역의 불투수율 조사 및 제고방안 연구
- 상수원 상류지역의 토양 및 지하수 오염실태 조사
- 활용목적 상실호소 실태파악 및 활용방안 연구
- 형산강, 태화강 의 유지용수 확보방안 연구

#### 라. 유역관리체제 구축

- 물관리 연구네트워크 구축 및 운영
- 상수원 상류지역의 경제활성화 방안 연구

### 4.4 수질오염총량관리 선진화 분야

#### 가. 수질오염총량관리 조사 연구

- 제2차 총량관리 시범적용연구
- 제2차 총량관리 이행평가지침(안)작성연구
- 제3차 총량관리 목표설정 및 시행방안 연구
- 제1차 총량관리 계획 종합평가



- 제3차 총량관리 시범적용연구
- 나. 수질오염총량관리 제도지원
  - 연안수역 수질총량관리방안 연구
  - 단위유역별 오염부하량 할당에 의한 목표수질 달성방안
  - 오염원 증감예측기법 개발
  - 수질오염물질 배출권거래제도 타당성 검토
  - 수질총량관리대장 행정업무 연계시스템 개발
  - 오염물질배출량 상시감시체계 구축방안

## 5. 결 론

본 원고에서는 낙동강 주요지점의 과거 17년간의 수질측정망 수질측정자료를 이용하여 수질변화추이를 분석하고, 수질변화에 영향을 주는 강우, 유량 및 생물학적 요인에 대해 고찰해 보았으며 낙동강 수질은 각종 물관리종합대책 추진이후 BOD등 유기오염물질은 크게 향상되고 있는 추세이다. 그러나 특정지점의 경우는 COD 등 오염물질이 크게 개선되지 않은 것으로 나타나는 등 보다 새로운 평가체계가 필요할 것으로 사료된다

환경부에서는 2015년까지 물고기가 뛰놀고 아이들이 먹 감을 수 있는“생태적으로 건강한 하천과 유해물질로부터 안전한 물환경 조성”을 위한 물환경관리 기본계획을 수립하고 있다. 본 기본계획에서는 생태적으로 건강한 하천과 유해물질로부터 안전한 물환경 조성을 목표로 하고 있다.

따라서, 본 원고에서는 현재 환경부에서 준비 중인 상위 기본계획(안)과 연계한 낙동강 수질개선을 위한 정책접근방향을 나름대로 정리해보았으며 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 낙동강 수질오염 사전예방정책으로 국가에서 배출허용총량을 지역별로 할당하는 오염물질 총량관리제도의 본격시행과 조기정착을 들 수 있겠으며. 둘째 물환경관리 기본계획안에서 최우선시 하는 생태적으로 건강한 물환경을 조성하기 위해 기존 하천 배후습지 및 유수지를 습지보호구역, 생태계보전지역에 준하여 관리할 수 있도록 관련 법령 정비와 유역전문가의 적극적인 참여가 필요 할 것으로 사료된다. 셋째 상수원 주변지역에 수변구역을 지정하거나 토지를 매수하여 수변생태벨트로 조성하는 것을 검토해보아야 하며, 넷째 구미공단, 대구염색공단 등 산업단지의 유해물질로부터 안전한 물환경을 조성하기 위해 수생태 영향독성물질자료 확보 및 D/B화가 필요하며 산업체폐수관리의 선진

화가 추진되어야 할 것으로 사료된다. 다섯째 낙동강 하구의 공간적 이용을 세분화 하고 하구 오염총량관리제 시행과 연계된 수역별 목표수질을 설정하는 등 낙동강하구환경 통합관리체계를 구축할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. “수질측정망운영지침”, 환경부(2005)
2. “물환경관리 기본계획(안)”, 환경부(2005)
3. “수질환경기준 개선방안”, 환경부(2000)
4. “수질종합평가방법 개발을 위한 조사·연구 종합계획”, 국립환경연구원(2003)
5. “물환경종합평가방법 개발 조사·연구(I) 최종보고서”, 환경부·국립환경연구원(2004)
6. “수질환경기준 선진화방안 공청회 보고서”, 한국환경정책·평가연구원(2005)