



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2007年 8月

博士學位 論文

酸性降下物 및 山林地域 流出水가
住岩湖 水質에 미치는 影響

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 南 鍾

酸性降下物 및 山林地域 流出水가
住岩湖 水質에 미치는 影響

Effects of Acid Deposition and Runoff from the
Forest Area on Water Quality of the Juam Lake

2007年 8月 24日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 南 鍾

酸性降下物 및 山林地域 流出수가
住岩湖 水質에 미치는 影響

指導教授 申 大 允

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함

2007年 4月

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 南 鍾

金南鍾의 博士學位 論文을 認准함

委員長	漢陽大學校	教授	<u>柳 在 根</u>
委員	朝鮮大學校	教授	<u>崔 炯 一</u>
委員	朝鮮大學校	教授	<u>鄭 京 勳</u>
委員	木浦海洋大學校	教授	<u>申 溶 植</u>
委員	朝鮮大學校	教授	<u>申 大 允</u>

2007年 6月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vii
List of Appendixes	ix
ABSTRACT	x
제1장 서론	1
제1절 연구의 필요성	1
제2절 연구의 목적	4
제2장 이론적 고찰	6
제1절 주암호 유역의 개황	6
1. 주암호 유역의 현황	6
2. 주암호 유역 오염원별 총 발생 및 배출부하량	6
제2절 비점오염원	9
1. 비점오염원의 국내·외 연구현황	9
2. 비점오염원의 유출특성 및 유출부하형태	18
3. 비점오염부하량 산정방법	23
제3절 산림지역의 강우 유출의 특성	28
제4절 부식질	29
1. 자연유기물의 개요	29
2. 자연유기물의 분류 특성	30
제3장 연구 내용	33
제1절 산성강하물의 성상 및 질소강하원단위 조사	33
1. 산성강하물의 성상분석	33
2. 주암호유역의 질소강하원단위 조사	34
3. 산림지역의 질소발생부하량	34

제2절 산림지역의 비점오염원단위 및 오염부하량 산정	35
1. 주암호 유역의 산림지역별 식생도 작성 및 산림구조 조사	35
2. 주암호 유역 산림지역 유출수의 유량 및 수질조사	37
3. 주암호 주요하천 및 계류수의 수질 조사	37
4. 산림지역의 비점오염부하량 산정	37
제3절 산림지역유출수와 주암호의 부식질 특성	39
제4절 산림기원 비점오염물질과 주암호 조류의 상관성	39

제4장 조사 및 분석방법

제1절 조사기간 및 대상	40
1. 조사기간	40
2. 조사지역	40
3. 조사지점	42
제2절 분석방법	44
1. 현장 수질조사	44
2. DOC	44
3. 클로로필-a	44
4. UV ₂₅₄	44
5. 수용성 음이온 및 양이온	44
6. 조류 측정	45
7. 유량조사	45

제5장 결과 및 고찰	47
제1절 주암호유역 산성강하물의 성상 및 질소강하량	47
1. 산성강하물의 성상	47
2. 산성강하물에 의한 주암호 질소부하량	50
3. 산림지역 유출수의 성상과 질소부하량	59
제2절 산림지역 비점오염부하량 산정	77
1. 주암호 유역의 현존식생 및 산림구조	77
2. 산림지역 유출수 및 유입하천의 수질 특성	85
3. 산림지역의 비점오염부하량 산정	131
제3절 산림지역 유출수와 주암호의 부식질 특성	143
1. 산림지역 유출수 및 유입하천수의 부식질 특성	144
2. 주암호소수의 부식질 특성	154
3. 토양 부식질과 주암호소수의 분자량 분포 비교	156
제4절 산림기원 비점오염원물질과 주암호 조류의 상관성	158
1. 산림지역 유출수 및 주요 하천의 조류 특성	158
2. 주암호의 조류분포 특성	167
3. 산림지역 유출수와 주암호소수의 Chlorophyll-a 상관성	170
 제6장 결론	 176
참고문헌	178
Appendixes	187

List of Tables

Table 2-1. Production and emission loading in Juam basin	7
Table 2-2. Situated and effluent shape of contaminant at non-point source ..	20
Table 3-1. Location and geographical status of stand for forest structure investigation in Juam basin	36
Table 4-1. State of collection	41
Table 4-2. Location of investigation points	42
Table 4-3. Analytical methods on each item	46
Table 4-4. Analytical condition of ion-chromatography	46
Table 5-1. Concentration of solution element for acid deposition	48
Table 5-2. Ion concentration of deposition to the Juam basin	51
Table 5-3. Nitrogen emission inventory of deposition to the Juam basin ..	53
Table 5-4. Forest area in the Juam basin	57
Table 5-5. Nitrogen loading classified by forest tree types to the Juam basin	58
Table 5-6. Year average value of ion concentration classified by forest area	67
Table 5-7. NO_3^- -N emission inventory of classified by forest	69
Table 5-8. Nitrogen loading classified by forest the Juam basin	71
Table 5-9. Forest area in the Juam basin	77
Table 5-10. Outlook of stand for forest structure investigation of Juam basin	79
Table 5-11. Importance percentage by canopy of stand for pine forest structure investigation in Juam basin	80
Table 5-12. Importance percentage by canopy of stand for oak forest structure investigation in Juam basin	82
Table 5-13. Importance percentage by canopy of stand for pine-oak forest structure investigation in Juam basin	84
Table 5-14. Variation of pH by cloudless sky	86
Table 5-15. Variation of water temperature by cloudless sky	87
Table 5-16. Variation of flow	88
Table 5-17. Variation of BOD concentration by cloudless sky	91
Table 5-18. Variation of COD_{Mn} concentration by cloudless sky	94

Table 5-19. Variation of COD _{Cr} concentration by cloudless sky	96
Table 5-20. Variation of T-N concentration by cloudless sky	101
Table 5-21. Variation of T-P concentration by cloudless sky	104
Table 5-22. Variation of flow by first rainfall	107
Table 5-23. Variation of BOD by first rainfall	109
Table 5-24. Variation of COD _{Mn} by first rainfall	110
Table 5-25. Variation of COD _{Cr} by first rainfall	112
Table 5-26. Variation of solid concentration by first rainfall	113
Table 5-27. Variation of solid concentration by first rainfall	114
Table 5-28. Variation of T-N by first rainfall	116
Table 5-29. Variation of T-P by first rainfall	117
Table 5-30. Variation of flow by second rainfall	119
Table 5-31. Variation of BOD by second rainfall	121
Table 5-32. Variation of COD _{Mn} by second rainfall	122
Table 5-33. Variation of COD _{Cr} by second rainfall	123
Table 5-34. Variation of solid concentration by second rainfall	125
Table 5-35. Variation of T-N by second rainfall	127
Table 5-36. Variation of T-P by second rainfall	128
Table 5-37. Outflow rate classified by forest type in according to rainfall event	130
Table 5-38. Average flow and weighted average concentration by cloudless sky	131
Table 5-39. Pollutant loading by cloudless sky	132
Table 5-40. Days of cloudless sky and precipitation, rainfall for investigation period	133
Table 5-41. Unit pollutant loading factor classified by forest type for cloudless sky	134
Table 5-42. Pollutant loading classified by forest type for cloudless sky	135
Table 5-43. Amount of precipitation, number of days with precipitation and rainfall intensity for rainfall	136
Table 5-44. Weighted average concentration of flow for rainfall	136
Table 5-45. Flow classified by area for rainfall	137
Table 5-46. Unit pollutant loading factor of non point source for rainfall	139

Table 5-47. Pollutant loading of non point source in the Juam basin	141
Table 5-48. Pollutant loading of non-point source as forest area for some others documents	142
Table 5-49. UV ₂₅₄ , DOC and SUVA of forest area	145
Table 5-50. UV ₂₅₄ , DOC and SUVA for valley stream	148
Table 5-51. UV ₂₅₄ , DOC and SUVA of river	151
Table 5-52. UV ₂₅₄ , DOC 및 SUVA of the Juam lake	155
Table 5-53. Soil humus and Apparent molecular weight distribution of Juam lake ...	157
Table 5-54. Variation of algae for forest area	161
Table 5-55. Algae distribution for rivers	163
Table 5-56. Variation of Chlorophyll-a for area	165
Table 5-57. Variation of Chlorophyll-a for forest and the Juam lake	172

List of Figures

Fig. 2-1. Production and emission loading in Juam basin	8
Fig. 2-2. Conceptualization of pollutant	19
Fig. 2-3. Character of inflow loading according to pollution source at non point source	22
Fig. 4-1. Division of the Juam basin	40
Fig. 4-2. Points of investigation	43
Fig. 5-1. Variation of ion concentration in acid deposition	49
Fig. 5-2. Variation of nitrogen emission inventory to the Juam basin	54
Fig. 5-3. Variation of ion concentration to mixed forest area	60
Fig. 5-4. Variation of ion concentration to broad-leaved tree area	62
Fig. 5-5. Variation of ion concentration to herbage area	63
Fig. 5-6. Variation of ion concentration to conifer area	65
Fig. 5-7. Variation of ion concentration to valley stream	72
Fig. 5-8. Variation of ion concentration to the Songgwang stream	74
Fig. 5-9. Variation of ion concentration to the Dongbok stream	75
Fig. 5-10. Variation of ion concentration to the Boseong River	76
Fig. 5-11. Existing vegetation in Juam basin	78
Fig. 5-12. Precipitation in investigation period	89
Fig. 5-13. Variation of flow by month	89
Fig. 5-14. Variation of BOD concentration by cloudless sky	92
Fig. 5-15. Variation of COD _{Mn} concentration by cloudless sky	95
Fig. 5-16. Variation of COD _{Cr} concentration by cloudless sky	97
Fig. 5-17. Variation of solid concentration by cloudless sky	99
Fig. 5-18. Variation of T-N concentration by cloudless sky	102
Fig. 5-19. Variation of T-P concentration by cloudless sky	105
Fig. 5-20. Accumulative precipitation & rainfall intensity by first rainfall	106
Fig. 5-21. Variation of flow by first rainfall	108
Fig. 5-22. Variation of BOD by first rainfall	109
Fig. 5-23. Variation of COD _{Mn} by first rainfall	111
Fig. 5-24. Variation of COD _{Cr} by first rainfall	112

Fig. 5-25. Variation of SS by first rainfall	114
Fig. 5-26. Variation of solid concentration by first rainfall	115
Fig. 5-27. Variation of T-N by first rainfall	116
Fig. 5-28. Variation of T-P by first rainfall	118
Fig. 5-29. Accumulative precipitation and rainfall intensity by second rainfall ..	120
Fig. 5-30. Variation of flow by second rainfall	120
Fig. 5-31. Variation of BOD by second rainfall	121
Fig. 5-32. Variation of COD _{Mn} by second rainfall	122
Fig. 5-33. Variation of COD _{Cr} by second rainfall	124
Fig. 5-34. Variation of SS by second rainfall	126
Fig. 5-35. Variation of solid concentration by second rainfall	126
Fig. 5-36. Variation of T-N by second rainfall	127
Fig. 5-37. Variation of T-P by second rainfall	129
Fig. 5-38. Variation of SUVA for forest effluence	146
Fig. 5-39. Correlation of UV ₂₅₄ and SUVA for forest effluence	147
Fig. 5-40. Correlation of UV ₂₅₄ and SUVA for valley stream	149
Fig. 5-41. Correlation of UV ₂₅₄ and SUVA for rivers	152
Fig. 5-42. Variation of SUVA for rivers	153
Fig. 5-43. Apparent molecular weight distribution	157
Fig. 5-44. Algae distribution of effluence classified by forest type for the Juam basin ..	159
Fig. 5-45. Development of algae distribution and dominant species for forest area ..	162
Fig. 5-46. Correlation of DOC and Chlorophyll-a	166
Fig. 5-47. Algae distribution of the Juam lake	168
Fig. 5-48. Development of algae distribution and dominant species for the Juam lake, 2005 ..	169
Fig. 5-49. Variation of chlorophyll-a for forest and the Juam lake	171

List of Appendixes

App. 1. Ion concentration of runoff from mixed area	189
App. 2. Ion concentration of runoff from broad-leaved area	190
App. 3. Ion concentration of runoff from herbage area	191
App. 4. Ion concentration of runoff from conifer area	192
App. 5. Valley stream of Dae-Heung valley	193
App. 6. Valley stream of Songgwang temple	194
App. 7. Valley stream of Kachi valley	195
App. 8. Songgwang tributary	196
App. 9. Dongbok tributary	197
App. 10. Bosung tributary	198
App. 11. Variation of solids concentration in survey point under cloudless sky	199
App. 12. Dominant algae and cell number in Juam Lake (2005)	202

ABSTRACT

Effects of Acid Deposition and Runoff from the Forest Area on Water Quality of the Juam Lake

Kim Nam-Jong

Advisor : Prof. Shin Dae-Yewn Ph.D.

Department of Environmental Bioengineering,
Graduate School of Chosun University

Atmospheric pollutants were regarded as non-pointed source pollutants, since nitrogen compounds such as ammonium and nitrate among atmospheric pollutants influence on soil and water quality. It is significant to measure precipitation amount and estimate nitrogen precipitation unit, because chemical composition and precipitation amount within Juam basin are different from other areas.

Outflow characteristics of rainfall in forest area varied according to topography, geological features, species of trees, shape of forest trees and humic deposit. Therefore the area of forest zone near Juam lake by forest types was examined and outflow amount from forest zone was estimated through examining rainfall outflow rate by forest types.

Rainfall by time, outflow by forest types, area of survey zone and water quality of runoff were investigated and unit pollutant loading factor by forest types was calculated. Non-pointed pollutant loading of forest zone near Juam lake estimated on the basis of those values could be applied as

basic data to establish the countermeasure for management of Juam basin.

We accomplished a comparative study on the water quality of runoff from forest zone by forest tree types (broad-leaved, conifer, mixed and herbage area), water form valley, 3 major streams flowed to Juam lake and main stem of Juam lake. And the relationship between pollutants from forest area and water quality of water from valley, stream and Juam lake was investigated.

Conclusions of this study were as follows:

- (1) Annual soluble cation amount among precipitation materials was $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, and annual average concentration of each cation was Na^+ 96.84 $\mu\text{eq/L}$, which occupied about 35% of whole cation, Ca^{2+} 74.71 $\mu\text{eq/L}$, Mg^{2+} 58.05 $\mu\text{eq/L}$, NH_4^+ 53.94 $\mu\text{eq/L}$ and K^+ 19.92 $\mu\text{eq/L}$. Annual soluble anion amount was $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$, and annual average concentration was SO_4^{2-} 73.63 $\mu\text{eq/L}$, which occupied about 35% of whole cation, Cl^- 56.48 $\mu\text{eq/L}$ and NO_3^- 10.84 $\mu\text{eq/L}$.
- (2) Nitrogen precipitation amount of Juam basin was 78,714 kg/month(August, 2005), 44,763 kg/month(February, 2005) and 40,897 kg/month(April, 2005) in the order of high amount and 11,960 kg/month(September, 2004), 12,972 kg/month(October, 2004), 14,907 kg/month(December, 2004), and 16,125 kg/month(November, 2005) in the order of low amount. The difference between the highest and the lowest month was about 6.5 times. The share rate of nitrogen loading by forest tree types was 58.13% in conifer, 23.29% in mixed and 18.49% in broad-leaved area. Monthly average nitrogen loading of Juam basin during one year from September, 2004 was 31,879 kg/month and annual loading was 382,547 kg/year.

- (3) Water quality analysis results of runoff by forest tree types were as follows.
- Annual BOD, COD_{Mn} and COD_{Cr} concentration of runoff in conifer area was high, and particle and biological recalcitrant compounds were flowed highly.
 - SS, T-N and T-P concentration was high in runoff from broad-leaved area, and biological degradable compounds was flowed.
 - Water quality of water from valley was maintained good under non-rainfall and could be utilized as fresh drinking water. Through water quality standard investigation, a countermeasure establishment was necessary to secure a good quality of drinking water
 - BOD, COD_{Mn}, and COD_{Cr} concentration of Bo-sung river was higher 1.5 times than other 2 streams, and because of high T-N, and T-P concentration in Songgwang stream, the management for this was necessary.
- (4) Unit pollutants loading factor of non-pointed pollutants was the highest in broad-leaved area as SS 160.7 kg/ha/ year, BOD 9.8 kg/ha/year, COD_{Mn} 14.2 kg/ha/year, COD_{Cr} 200.8 kg/ha/year, T-N 6.248 kg/ha/year, and T-P 0.178 kg/ha/year, while was the lowest in conifer area as SS 29.5 kg/ha/year, BOD 6.0 kg/ha/year, COD_{Mn} 7.9 kg/ha/year, COD_{Cr} 80.6 kg/ha/year, T-N 2.263 kg/ha/year, and T-P 0.122 kg/ha/year.
- (5) Non-pointed pollutants loading by forest tree types was the highest in conifer area as BOD 127.10ton/year, COD_{Mn} 167.67ton/year, COD_{Cr} 1,699.95ton/year, T-N 47.74ton/year and T-P 2.57ton/year, while SS loading was the highest in broad-leaved as 1,078.60ton/year.

(6) The physico-chemistry characteristics of humics are below.

- The SUVA(Specific Ultra-violet Absorbance) of forest tree types was in the order of an conifer, broad-leaved tree, herbage and mixed area.
- The SUVA of rivers was in the order of Bo-sung river, Songgwang stream and Dong-bog stream.
- Middle and high molecular compounds were rich in soil, while low and middle molecular compounds were in Juam lake.
- Humic materials in soil and Juam lake had similar structure characteristics, and aliphatic and aromatic compounds were detected in soil humics but not aliphatic compounds in Juam lake.

7) The correlation coefficient between DOC and Chlorophyll-a was significant ($R^2 = 0.714$). Although the upperstream and downstream of Juam lake were affected by non-point source of forest reigons, SUVA in Juam lake was low probably due to decomposition and transformation of the outside origin substances inflowed.

제1장 서론

제1절 연구의 필요성

우리나라에서는 수질오염물질을 처리하여 수역을 정화하고 국민건강을 증진시키기 위하여 1967년 서울 중랑구에 분뇨처리장 설치를 기점으로 분뇨, 산업폐수, 하수, 축산분뇨 등 점오염물질 저감시설을 설치하고 최근에는 3차 처리시설을 도입하여 방류수를 재이용하거나 무방류시스템까지 적용하고 있다. 그러나 주요 하천의 목표 수질에 도달되지 않아 그 동안 도외시하여 왔던 비점오염물질을 포함하는 수질오염총량제를 추진하고 있다.

수질오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 분류된다.

점오염원은 가정, 공공기관, 공장, 축산시설, 양식장과수원, 폐기물 매립지 및 골프장 등이다. 이와 같은 점오염원에서는 인간의 생활 및 경제활동으로 인하여 연중 지속적으로 다양한 오염물질이 배출된다. 점오염원에서 발생하는 오염물질은 분뇨·하수처리시설, 산업폐수처리시설 및 축산폐수처리시설 등에서 적정하게 처리되고 있다.

비점오염원은 대기환경, 산림지역, 농업지역, 도시지역, 유속이 느린 하천 등으로 구분된다. 비점오염원은 면으로 분포하는 오염원으로서 오염물질이 대부분 강수 시 유출되며, 토지이용률에 따라 오염부하량이 달라진다.^{1,2)} 비점오염물질은 강수의 유출에 의하여 발생되기 때문에 일시적이고 오염성분이 다양하며 농도가 불규칙하여 발생 및 운송 메커니즘을 명확하게 규명하기 어렵고 수질을 모니터링하기 어렵다.³⁻⁷⁾

특히 우리나라는 국토의 65% 이상이 산림지역이며, 대부분 하천이 산에서 발원하고 있어서 산림지역이 하천에 미치는 영향이 양적·질적으로 매우 크다.

비점오염원에서 하천수와 호소수의 부유물질 50%정도가 유입되고, 호소수 영양물질의 80% 이상이 유입되는 점을 고려하면 비점오염원이 수질에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다. 미국, 일본 등 임업선진국에서 1970년대 중반부터 점오염원 관리만으로는 하천수의 목표수질을 유지할 수 없음을 깨닫고, 산림지역, 농업지역 등 비점오염원에서 유출되는 물질의 성상 및 오염부하량 등을 파악하여 비점오염물질부하량을 삭감함으로써 오염하천을 복원하고 목표수질을

유지한 사례가 있으므로,^{8~11)} 비점오염물질부하량을 감소시키기 위한 체계적이고 과학적인 유역관리기술이 필요하다.

또한 건성침착물과 관련한 강우현상, 토양 및 지형, 토지이용도 등 수문학적 특성에 따라 유출특성이 다양하여 변화의 예측과 부하량 산정 등의 관리가 매우 어렵다.¹²⁾ 이에 따라 최근 들어 산성강하물이 지표수에 미치는 영향, 대기질소 강하물이 육상생태계에 미치는 영향 및 산성강하물의 화학적 성분의 조사 및 산림 내 강우에 의한 산성 강하물의 영향을 평가하는데 다양한 비점오염원 관리에 대한 시도가 이루어지고 있다.^{13~16)}

그 동안 석탄, 석유, 가스 등 화석연료의 사용, 화학비료의 사용, 수목의 성장 등의 영향으로 산림지역의 부식질이 증가하고, 공업화에 따른 대기오염이 증가하여 비점오염에 대한 관리가 필요한 시점이다.

산림지역 표토에는 낙엽, 낙지(落枝) 등이 분해된 부식질 토양층이 두텁게 형성되어 있어서 강수를 많이 저장할 수 있다. 산림지역 계류수를 산원수(山源水)라고도 부르는데, 이는 산림이 강수를 저류한 후 계류를 통해 흘러보내 저수지나 하천에 물을 공급하는 수자원의 원천이기 때문이다.^{17,18)}

산림지역 계류수에 대한 국민적 관심이 증가함에 따라 계류수의 성상 및 발생량, 부식질이 수계 및 인체에 미치는 영향뿐만 아니라, 비점오염원 관리정책을 수립하기 위한 연구가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 산림지역 계류수의 수질에 대한 연구는 초보적인 단계이므로 장차 광범위하고 종합적인 조사연구가 필요하다.^{19,20)}

산림지역에서 강우시 유출되는 오염물질은 대기권-생물권-토양권-수권으로 연결되는 물질이동 계통에 따라 계류수를 오염시킨다. 유출부하량은 평상시에는 미미하지만 강우 강도가 강하거나 장마철과 같이 연속강우가 지속될 때에는 지표면의 부식질과 토사가 일시에 유출됨으로써 오염부하량이 폭발적으로 증가하게 된다.

우리나라에서 비점오염원에 대한 연구는 초보적 단계로서 산림지역에 강하하는 대기오염물질을 측정하여 대기오염이 하천 및 호소에 미치는 영향을 파악하고, 산림지역의 임목형태별 유출수의 유량과 수질을 측정, 분석하여 오염원단위를 산정하여 유역관리대책을 수립하는 것은 중요한 의미가 있다.

주암호는 1992년 12월 완공되어 담수된 이후 지금까지 점오염원 배출량을 삭감하기 위해 유역에 보성, 문덕, 복내, 송광하수처리시설 등을 설치하고,

유역내의 대단위 축산단지를 이주시켰으나 주요 하천의 수질개선효과는 미미하다.

주암호 상류 산림지역에서 강우시 유출되는 오염물질은 대부분 정화될 시간적, 공간적 여유도 없이 하천을 경유하여 호소에 유입됨으로써, 탁도, 색도 및 COD를 증가시키고, 난분해성 물질은 조류번식에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 산림지역에서 유출된 자연유기물질(Natural Organic Matter)은 인체에 유해한 소독부산물을 생성하고, 조류취, 풀냄새, 흙냄새 등 이취미를 유발하여 정수처리시 약품사용량을 증가시키고 여과지 역세척 주기를 짧게 하여 정수처리 비용을 증가시키는 요인이 되고 있다.^{21~23)}

또한 부유쓰레기 유입량 증가 및 호수 생태계 파괴 등으로 심화 되고 있으며, 매년 여름철 집중호우 이후 담수율이 높아졌을 때 주암호의 COD를 상승시키고, 조류의 대증식에 의한 녹조현상으로 호수경관의 훼손이 야기된다. 나아가 상수원 오염으로 인하여 수돗물 수질에 대한 신뢰도가 저하되면 시민들이 수돗물 음용 및 사용을 기피하는 사회적 문제를 일으킬 수도 있다.

매년 5~11월중에 조류가 대량 번식되는 등 상수 원수에 악영향을 미치고 있으나, 이에 대한 원인 규명을 위한 연구가 필요하다.

제2절 연구의 목적

대기오염물질은 대기의 유동현상과 이화학적 작용으로 끊임없이 지표에 침착된다. 특히 비, 눈 등 강수현상이 발생할 경우에는 평상시보다 훨씬 많은 대기오염물질이 침착된다.

이와 같은 강하물 중에는 토양생태계 뿐만 아니라 수생생태계에 영향을 미치는 화학적 성분들이 포함되어 있다. 그 중 암모늄염과 질산염은 수용성물질로서 토양에서 서식하는 식물과 미생물에 쉽게 흡수되지만, 폐쇄수역에 유입되면 부영양화를 일으키는 영양물질로 작용하게 된다.^{24~27)}

대기오염물질 중에 포함된 암모늄염과 질산염 등 질소화합물이 토양 및 수질에 영향을 미치기 때문에 대기오염물질을 비점오염물질로 구분하고 있으며, 주암호 유역은 강하물의 화학적 조성과 강하량이 다른 지역과 상이할 것으로 예상된다. 따라서 주암호유역의 비점오염원에 대한 명확한 해석을 위해서는 산성강하량과 질소강하원단위 산출이 선행되어야 한다.

산림지역 강우의 유출 특성과 화학적 조성은 지형, 지질, 수종 및 임목형태(훈효림지역, 활엽수림지역, 초본지역 및 침엽수림지역), 부식질 퇴적 정도 등에 따라 다르다.^{28~31)}

강수시간에 따른 강우량, 임목형태별 유출량, 조사대상지역 면적, 유출수의 수질 등을 조사하여 임목형태별 발생원단위를 산출하고, 이를 토대로 주암호유역의 산림지역 비점오염물질 부하량을 산정하여 유역관리 대책 수립에 활용하고자 한다.

또한 임목형태별 유출수의 수질과 계류수, 하천수 및 주암호 수질을 분석하여 이화학적 성상을 비교할 필요가 있을 것으로 판단된다.

따라서 산림지역 임목형태별 유출수의 수질과 계류수, 주암호로 유입되는 3개 주요 하천의 하천수 및 주암호 수질을 비교·분석하여 산림지역에서 유출되는 오염물질과 계류수, 하천수 및 주암호 수질의 상호 관련성을 알아보고자 한다.

산성강하물과 산림지역 유출수가 주암호 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 다음과 같이 구분하여 연구하였다.

첫째, 주암호 유역 산성강하물의 화학적 성상을 분석하고, 대기오염에 의한 주암호 질소강하원단위 및 질소강하량을 산출한다.

둘째, 산림지역의 비점오염원단위 및 오염부하량을 산정한다.

셋째, 산림지역의 유출수와 주암호의 부식질 특성을 파악한다.

넷째, 주암호 유역 산림기원 비점오염물질과 주암호에 서식하는 조류번식간의 상관성을 규명한다.

제2장 이론적 고찰

제1절 주암호 유역의 개황

1. 주암호 유역의 현황

주암호는 전라남도 보성군 웅치면 제암산에서 발원한 보성강과 제 1지류인 동복천 및 송광천 등이 유입되는 인공호로서, 섬진강 수계의 보성강 중류(순천시 주암면)에 위치하고 있다. 주암호는 조절지댐인 상사호와 도수터널로 연결되어 있는 다목적 댐이다. 최대 저수용량은 457백만톤이며, 전남권의 생활용수, 공업용수, 발전용수, 농업용수로 사용되고 있다.

주암호 유역의 면적은 약 1,144.6km²이며³²⁾, 상류에 위치한 보성강댐(275km²)과 동복댐(187km²)의 면적을 제외하면 682.6km²이다. 보성강 유역의 면적은 주암호 면적의 약 70%이며, 유역면적 중 산림이 74%이고, 농경지는 18%이다. 주암호의 길이는 약 40km이며, 표면적은 33km², 평균수심은 47m이다.

주암호는 여름철에 장마와 태풍으로 인한 집중강우의 영향을 많이 받으며, 북부지방에 비해 연평균 기온이 2℃ 정도 높다. 수온은 연중 4℃ 이상으로 겨울에 결빙되지 않으며 온대 1순환 호수이다. 주암호 유역은 광주·전남지역의 생활용수를 69만톤/일을 제공하고 있으며, 여수산단의 공업용수로 45만톤/일, 보성강 하천유지용수로 10만톤/일을 공급하고 있다. 상사호의 경우 발전수량으로 110만톤/일을 공급하고 있어 다목적댐으로서의 역할을 담당하고 있다.

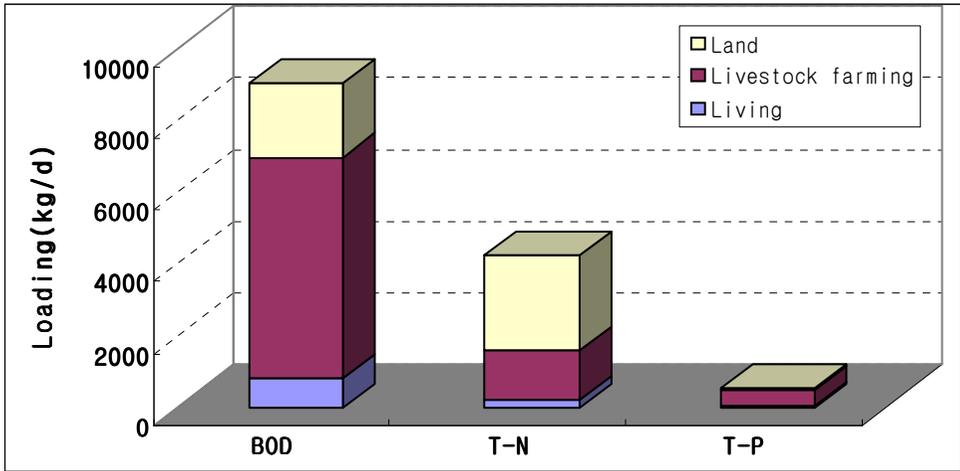
또한, 유역주변의 홍수조절기능뿐만 아니라 최근 레저의 선호도가 높아짐에 따라 휴양지로서의 역할을 추가로 담당하고 있다.

2. 주암호 유역 오염원별 총 발생 및 배출부하량

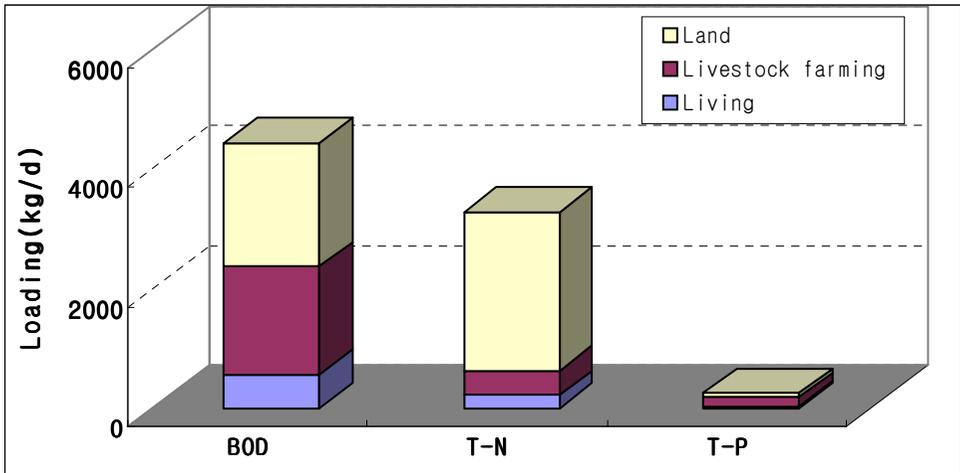
주암호 유역의 오염물질 발생부하량 및 배출부하량을 Table 2-1과 Fig. 2-10에 나타내었다. 오염물질 총 발생부하량은 BOD(Biochemical oxygen demand) 9,021.01kg/d, T-N(Total nitrogen) 4,228.56kg/d, T-P(Total phosphorus) 549.16kg/d이며, 총 배출부하량은 BOD 4,439.54kg/d, T-N 3,282.21kg/d, T-P 251.08kg/d로 조사되었다.³³⁾ 이중 BOD와 T-N은 생활, 축산, 및 토지계중 토지계에서 각각 2,063.77kg/d, 2,651.99kg/d로 높게 나타났으며, T-P는 축산계에서 149.04 kg/d 로 높게 나타났다.

Table 2-1. Production and emission loading in Juam basin(unit : kg/d)

Item	BOD		T-N		T-P	
	Production loading	Emission loading	Production loading	Emission loading	Production loading	Emission loading
Total	9,021.01	4,439.54	4,228.56	3,282.21	549.16	251.08
Living	789.31	553.88	214.09	208.28	25.16	32.7
Livestock farming	6,167.93	1,821.89	1,362.48	421.94	454.66	149.04
Land	2,063.77	2,063.77	2,651.99	2,651.99	69.34	69.34



(a) Production loading



(b) Emission loading

Fig. 2-1. Production and emission loading in Juam basin.

제2절 비점오염원

1. 비점오염원의 국내·외 연구현황

가. 국내연구현황

수질은 물리적, 화학적 및 생물학적 작용이 상호 연관되어 복합적으로 나타난다. 즉, 어떤 물의 수질은 물리적, 화학적 및 생물학적 성분들의 작용으로 결정되며, 그 구성 성분들은 균형을 유지하고 있다.

자연수의 수질은 재해나 인간의 활동에 따라 영향을 받게 되는데 평소 산림 지역에서 강우시 유출되는 SS농도는 그리 높지 않지만, 산불, 벌채 등과 같은 인간 활동에 의해 생태계가 파괴될 경우 유출농도가 급격히 증가하게 된다. 이러한 측면에서 수질오염은 인간의 행위에 의해 발생된 수질악화를 의미하며, 폭우나 화산 폭발과 같은 자연현상에 의해서도 발생할 수 있다.

지금까지 산림지역은 청정수역이므로 특별한 수질관리대책이나 수질평가기준을 수립할 필요가 없고, 인간의 간섭 및 개발행위를 최소화하면 가장 양호한 수질이 유지될 것이라는 생각에서 산림지역의 자연보호 및 시설규제 등과 같은 소극적 방법으로 일관하여 왔다.

이러한 결과는 인간을 제외한 동·식물로 구성된 어떤 대단위 지역의 자연생태계를 무한정 방치할 경우 이 지역에서 유출되는 오염물질의 부하량이 수계의 자정용량이고, 하천에서 모든 오염물질이 분해될 것이라고 단정한데서 출발한 것이다.

많은 학자들은 이와 같은 가정은 자연계에서 유기물이 과잉 생산되고 난분해성 물질이 만들어지는 것을 전혀 고려하지 않은 오류라고 판단하고, 이러한 오류를 인간의 활동에 의해서 최소화하는 것이 인간의 올바른 역할이라고 보고 있다.

산림의 수원함양기능 및 수질정화기능의 증진 및 보전을 위한 일련의 체계적인 사업이 필요하며, 이를 위해서는 산림토양의 물리적 특성과 강수로부터 수목의 잎과 가지 및 토양층을 통과하고 계류수로 도달하는 산림유출수가 수질형성 과정에 대한 체계적이고 통합적인 연구가 시급하다.^{34,35)}

일반적으로 산림토양은 강수를 저류하고 맑게 걸러주며, 산림지역 계류수는 맑은 상태를 유지하여 하류의 하천이나 호소에 유입됨으로써 수질을 좋게

하는데,³⁶⁻³⁹⁾ 강수 등에 수반되어 침착되는 대기오염물질은 빗방울에 의해 씻겨 내려와 산림토양을 산성화하고 계류수질을 악화시킨다.

한 등⁴⁰⁾은 양이온의 용탈정도는 대기의 습도와 온도, 잎의 형태적인 특성, 강수의 pH 등에 따라 큰 영향을 받는다고 보고하였다. 산림생태계의 유입으로서 임외강우의 용존원소는 수관이나 퇴적유기물층을 통과할 때에 양적으로 변화하면서 아래쪽의 광물질 토양층으로 이동한다. 이때 토양수의 용존원소량에 영향을 줌과 동시에 식물에 의한 흡수나 흡착·치환을 받으면서 하층으로 이동하여 계류수에 용존되어 산림계 밖으로 유출한다.⁴¹⁾

김 등⁴²⁾과 박영대⁴³⁾는 소나무림에서 수간류와 수관통과우의 pH는 임외우(林外雨)보다 낮았는데 이는 소관과 수피에 침착된 산성물질의 세탈 및 유기산에 의한 결과라고 보고하였다. 또한 김 등⁴⁴⁾과 이종규 등⁴⁵⁾은 대기오염지역과 비오염지역 강우의 이온특성을 수관통과우와 수간류로 분석하였다.

아직까지 우리나라에서 삼림사업에 따른 산림의 수질정화기능을 평가한 연구는 미진하며, 이를 근거로 한 강수 후 계류수에 도달하기까지의 물순환과정을 평가하는 수질평가기준도 확립되어 있지 않다.

관행농업지역과 친환경농업 시범지역에서 농업의 관리방법에 따른 수질오염원 부하량을 산정, 비교평가하고 이들 지역에서 토양유실 방지와 수질보전을 위한 최적영농관리방안(BMP; Best Management Practice)을 검토하기 위하여 연구진들은 지난 수년간 Runoff Field Monitoring System을 구축하여 시험을 수행하였다.

Field Plot Monitoring System을 춘천 강원대학교 포장, 대관령, 양평군 지제면, 평창 상안미 1리 등에 설치하고 경운, 비료, 지표피복, 작물, 유기물 등의 처리를 하여 토사유출량, 유출수질, N-P-S 부하량, 토양, 생육 및 수량 등을 분석하였다.

농림부가 주관하는 친환경농업의 일환으로 연구된 한강 수계 상류인 춘천 지역에서 비점오염원으로부터 토양유실과 수계의 질소부하량을 조사 산정하였다. 조사결과 토양유실은 주로 경사지 밭에서 일어났으며, 질소부하는 토양유실과 비료에 주로 기인하고 있음을 알 수 있었다.

토양침식은 다량의 강수에 동반해서 발생하는데, 강우의 타격으로 분리된 토양 입단이 유거수를 따라 이동되는 과정에서 점토입자나 유기물 등에 흡착되어있는 양분도 동시에 유실된다.

또한, 토성의 경우에는 입자의 구성 비율에 따라 토양표면의 세류침식이나 강우의 토양침투에 많은 영향을 미친다.⁴⁶⁾

낙동강유역에서 영농활동에 의한 비점오염원 발생량을 소유역별, 토지이용별로 분석·평가하고 지역특성에 맞는 비점오염원 최적관리방안을 제시하고 제도적 관리방안을 마련함으로써 낙동강 수질개선에 기여하기 위한 연구를 수행하였다.

토지이용 특성별 비점오염원 유출특성은 논/밭 지역에서 유출물질 중에서 유기물질의 비율이 매우 높으며, 영양물질인 질소와 인의 유출량도 산림지역의 유출량보다 월등히 높다. 농경지역이 축산활동과 비료, 농약 등의 유출에 기인하여 오염물질의 유출정도가 매우 심각하므로 비도시지역 중 농경지역의 비점오염원에 대한 적정관리가 시급히 이루어져야 한다.

한국환경정책·평가연구원에서는 비점오염원 제도적 관리방안 연구⁴⁷⁾로 우리나라 도시지역에서 유출되는 비점오염원 유출특성 분석과 관리방안을 제시하였다.

나. 국외연구현황

(1) 미국

미국에서는 1972년 수질정화강령을 제정한 이래 도시와 산업체에서 배출되는 수질오염 물질을 획기적으로 감소시켰으며, 이를 계기로 산림지역 등 여러 비점오염원에서 유출되어 강과 계류에 도달하는 오염물질에 대한 관심이 높아지게 되었다.

미국에서 산림이 수질에 미치는 영향에 대한 조사연구는 1980년대 말부터 1990년대 초까지 이루어졌으며,⁴⁸⁻⁵⁰⁾ 그리고 Gaber 와 Hutchinson 등⁵¹⁾은 강수가 수목의 잎이나 가지, 줄기를 타고 흘러내리면서 발생하는 양이온의 용탈과 이온교환으로 유출수질이 크게 달라진다고 하였다. 또한, Anderson⁵²⁾은 수간류는 수간으로부터 거리에 따른 토양의 화학적 성질에 영향을 미친다고 하였으며, Parker⁵³⁾는 수관통과수와 수간류의 화학적 조성에 영향을 미치는 인자는 강수량, 오염원과 거리, 수령, 토양의 비옥도라고 하였다. Amezaga⁵⁴⁾는 강우가 수간층을 통과하여 용탈되는 양상은 강우의 화학적 성질, 수목의 구조, 생리적 특성에 따라 달라지며, 산성 강하물의 중화능력은 침엽수보다 임분이 우수하다고 보고하였다. 많은 학자들이 토양침식과 이로 인한 수질의 영향에 대하여 각별한 관심을 가졌다. 그 예로, USDA의 임업책임자 이었던 Gifford Pinchot는 “토양의 유실은 미국의

발전에 손실을 주는 가장 위험한 요소 중의 하나이다. 펜실바니아 남부 고지대에 있는 토양(3,000평방마일)이 산림훼손으로 인해 지표가 노출되고 침식. 붕괴되어 가고 있으며, 이와 같이 유실된 토양이 하상에 퇴적되어 매년 막대한 비용을 들여 제거해야 할 상황이다. 더욱이 과도한 개발로 인한 초본식물의 절멸은, 침식으로 인한 표층토의 유실, 산림파괴 그리고 물 공급에 상당한 악영향을 미치게 된다.” 고 토양침식에 따른 계류수의 수질오염에 대하여 경고하였다.

일정 시험유역에 대한 초기단계의 연구는 홍수와 하류의 수원공급에 대한 연구 및 산림벌채가 유출량 및 유출시간에 미치는 효과에 대하여 이루어졌다. 그 후 비로소 수질과 양이온 순환과의 관계가 중요한 관심사로 대두되었다. 또 다른 많은 산림지역을 대상으로 수질과 관련된 연구들이 진행되었으며, 이러한 연구들을 통하여 산림지역 관리가 계류수질에 미치는 잠재적 영향에 대한 이해가 증가되었다.

유역관리에 대한 연구를 가장 잘 수행하고 있는 Coweeta 수문연구소는 Coweeta 산림지와 농지가 침식되어 발생한 토사가 계류에 유입된 후 어류 생태계에 미치는 영향 및 계류에 유입되는 침식토사의 공급과 유출, 그리고 이로 인한 계류의 수질오염에 대한 연구가 수행되었으며, 1936년에는 16개의 계류수질 관측시설을 갖추고 이들에 관한 보다 지속적이고 세부적인 연구를 수행하고 있다.

이 지역 강우의 평균 pH는 4.6으로 산성우였으며 강수에 포함되어 있는 각종 화학성분 중 양이온의 약 90%는 나트륨, 칼슘, 마그네슘이고, 음이온의 75%는 중탄산염이며, 강우량에 따라 차이가 크다. 산성우는 산림토양을 거치면서 중화되고, 계류수로 유출되는 부유퇴적물의 연간유출량은 약 260kg/ha나 되는 것으로 분석되었다.

북 Carolina와 Tennessee의 Great Smoky Mountain 국립공원에서는 공원 내에 위치한 계류 28곳에서 수질변화를 지속적으로 조사하고 있으며, 조사결과를 분석하여 수질오염의 원인을 규명하기 위한 연구가 오래 전부터 수행되어 왔다.

특히 고도에 따른 계류수중의 질산성질소의 농도변화에 대한 연구결과, 질산성질소 농도는 해발 500m에서 0.5mg/L, 1,500m에서는 4.9mg/L이었다.

또한, 벌채면적에 따른 질산성 질소 농도는 산림면적의 25% 미만 벌채한 지역과 75%이상 벌채한 지역을 비교하였을 때 벌채면적이 넓은 지역에서 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 벌채 후 2차림이 형성되는 유령림에서 질산성질소

생산량이 많다는 사실을 규명한 것이며, 장기적으로는 산림벌채에 따른 임지의 양이온 유출 및 순환, 그리고 이로 인한 계류의 수질오염에 관한 연구가 진행되고 있다.

Tennessee 강의 Walker Branch 유역관리는 1967년에 오염되지 않은 계류수의 가치기준을 설정하고, 자연 생태계에서 화학적 성분의 순환을 파악하며, 자연에서 경관에 미치는 인간의 활동에 의한 영향을 예측하기 위한 모델을 만들기 위하여 시작되었다.

유역관리 결과 강수의 pH는 평균 4.0~4.2로서 강한 산성을 나타내고 있으나 수관에서 칼슘과 칼륨이 수소이온을 고정시킴으로써 산도를 낮추는 역할을 한다는 사실을 규명하였고, 또한 수관이 질산성질소의 50%를 걸러주는 역할을 함으로써 계류수가 중성 수질을 나타낸다고 보고하였다. 현재는 산성우 지역의 계류수질 개선과 관계된 산림의 기능에 관한 연구와 산림의 양이온 순환이 계류수질에 미치는 영향을 조사하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이와 관련하여 유역의 산림벌채에 따른 양이온 유출 및 강수유출 관계의 모델링과 현지실험을 병행하고 있다.

남 Carolina의 Santee 시험림은 테다소나무의 천연림으로 구성되어 있고, 유역을 7ha씩 20곳으로 분할하여 관리하고 있다. 계류와 관리유역 사이에는 20m 폭의 완충수림대 (buffer strip, buffer strip woods zone)를 남기고 시험유역에 불을 낸 바 있다. 이 불로 인하여 약 10~40kg-N/ha가 소실된 것으로 조사되었는데, 32개의 조사구에서 지중수를 조사한 결과 산불에 의한 지중수의 영향은 관찰되지 않은 것으로 보아 계류수질을 철저하게 보전하는 경우 산불이 지중수질에 미치는 영향은 미미하다는 사실을 규명하였다. 이와 같이 이 시험림에서는 수림대에 의한 계류수질오염 방지효과, 산불에 의한 지중수 오염 동향 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

계류수의 오염은 벌채 등에 의해 침식된 토사가 유입되어 부영양화를 일으킨다는 점이다. 또한 계류를 통과하는 임도에서 발생하는 침식토사도 계류수질을 오염시키고 있다. 따라서 미국 남동부 지역의 산림유역관리는 임도개설 등과 같은 지표교란으로 인한 침식토사의 발생을 억제시킴으로써 계류수질을 보전할 수 있다는 명제 아래 연구를 진행하고 있다.

EPA에서는 도시유출과 합류식 하수관거 계통에 관련된 유출량과 수질의 변화를 동시에 모의할 수 있도록 개발된 SWMM(Storm Water Management Model) 모델 및 GUI(Graphic User Interface) CHI(Computational Hydraulic Int.)에서 개발된 PCSWMM 2002를 이용하여 온천유역 비점오염물질의 발생량을 조사하였다.

또한, Clean Lake Program의 일환으로 Section 319 National Monitoring Program을 운영하고 있다. 시범유역에서 유출량과 수질을 측정·분석하고 있으며, 유역의 수문 특성, 토지이용과 오염부하의 상관관계, 주요 오염원 지역 규명, 유역 최적관리기법에 따른 수질변화 평가, 관리기관의 역할과 정책 설정, 경제적이고 효율적인 유역 계측방법 설정 (계측위치 선정 및 측정망 설계 방법, 샘플링 주기, 자동 계측기기, 자료 분석방법 표준화, 수질자료 DB화) 등을 연구하고 각 시범지구에 대한 연구 결과와 경험을 공유하고 있다.

또한 미국 EPA는 호소 및 저수지 복원 가이드라인, 소규모 마을의 오수처리 방법, 도시유출수 비점오염 최적관리기법 등 유역에서의 영양염류 저감방안에 대한 보고서를 출간하였다.

(2) 일본

일본은 1970년 공해문제가 대두된 이후 수질오탁방지법을 중심으로 점오염원을 규제하였으나, 수질오염의 개선이 미비하여 비점오염의 중요성을 인식하고 다양한 관리기법을 도입하고 있으며 학술적인 차원에서 발생, 유출, 영향 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 일본의 비도시지역은 농림수산성에서 산지와 소하천에서 발생하는 토사유출을 중심으로 관리되고 있으며 국토교통성에서 치산, 치수 차원에서 비점오염관리를 하고 있다.

시가현(滋賀縣)의 우끼분(浮舟)지구 수질개선사업 오염원 관리대책은 농업 비점오염원 저감과 관련이 있다. 농업용수를 자동으로 뿌려주는 자동 물 공급 장치를 설치하여 필요이상의 용수사용을 피함으로써 농업배수량을 감소시켜 비점오염원 발생량을 줄이고, 정화시설을 설치하여 배수간선의 물을 처리하고 방류수를 다시 농업용수로 재이용하고 있다. 정화시설은 비와호(琵琶湖) 유역에서 COD 부하량 중 13%에 이르는 농업지역의 부하율을 줄이기 위해 설치한 것으로 유입수로→자동제진기→개수로→인공여재정화시설(점촉산화시설, 산기시설)→개수로→수초재배섬→깊은 습지→얕은 습지→깊은 습지→수초재배섬(3개소)→수로→비와호로 유입되도록 구성되어 있다.⁷⁾

이바라키현(茨城縣)의 남동부에 있는 가스미가우라(霞ヶ浦)호는 유역 내 양돈장과 호수 내 양식장으로 엄청난 영양물질이 호수로 유입되어 여름철 녹조가 심각한 상태였다. 이를 해결하기 위해 국토교통성이 쓰찌우라(土浦)에 3400㎡의 바이오파크(bio-park)를 만들어 하루 1만 톤의 호수 물을 이곳에 흘려보냄으로써 정화하고 있다. 정화식물의 흡수율 유지를 위해 주기적으로 어린 식물로 교체 작업을 하고 있으며, 이를 통해 부유물질 70%, 질소와 인은 20~40% 정도 제거하고 있다.

한편, 가스미가우라호 및 쓰찌우라 항구는 콘크리트로 호안정비가 되어 있어 주변부 식생환경이 열악한 상황이었다. 이에 인공부도를 설치하고 부유체 위에 수생식물을 식재하여, 수질 정화 및 경관개선을 도모하고 파도를 소멸하여 호안을 보전하는데 활용하고 있다. 한편 지류인 세미이가와에는 폭 40m의 갈대 식생대를 조성하여 약 20%의 질소, 인을 제거하고 있다.⁵⁵⁾

오키나와 현은 토사유출을 저감하기 위해 발생 전후 대책을 조례에 포함하였다.⁵⁶⁾ 조례내용은 크게 산지에서 시행되는 토목공사에서 기인하는 토사와 경작지에서 발생하는 토사의 관리로 나눌 수 있다. 이 지역에서는 1,000㎡ 이상의 특정 사업을 시행하는 경우, 유출방지시설기준과 관리기준에 준하여 시설을 마련하고 관리하도록 한다. 3,000평방미터 미만의 농지나 방목지의 개량 혹은 조성사업을 시행할 경우, 사업 시행일의 부근 기상도, 나지 상황도, 유출방지 대책상황도 및 발생하는 적토의 운반, 제거, 처분에 관계하는 계획서 및 사업 완료 후 시설관리에 관한 계획서를 제출하도록 하고 있다. 두 경우 모두 제거된 적토는 다시 오염의 원인이 되지 않도록 적절히 처리하도록 하고 있다.

산림지역에서 수분이나 양분은 수목을 매개로 순환하는데, 산지에 강한 오염 물질은 수관에 계류로 유입되는 과정을 거치게 된다.

板本 康⁵⁷⁾과 大類 清和 등^{58,59)}은 수간류는 식생분포에 영향을 미칠 수 있으며, 수관통과우 및 수간류의 pH, 전기전도도, 용존물질의 농도, 이온수지를 비교하고, 임외우가 산림지를 통과하여 계류로 집수되는 과정에서 유출수에 포함되는 물질의 농도 변화를 추적함으로써 산림의 수질정화기능을 평가할 수 있다고 하였다.

더욱이 같은 환경조건에서 대기오염의 영향을 받는 수목의 용탈 특성은 잎 표면에서 이러한 대기오염의 영향을 감소시킬 수 있는 중화능력과 잎 조직내의 완충능력에 따라 좌우되고 생장시기에 따라 계절변이를 보여 주는데, 이 차이는

佐左 등⁶⁰⁾은 수종과 佐藤冬樹 등⁶¹⁾은 수간의 요철에 따라서 다르다고 하였다.

산림사업에 따른 수질변동에 대하여 相澤州平⁶²⁾은 수간류의 pH가 높은 활엽수를 침엽수로 바꾸면 수간류의 낮은 pH로 인해 토양이 산성화되므로 활엽수는 대기 오염에 의한 산림토양의 산성화를 억제시킨다고 보고하였다.

(3) 영국

영국의 경우는 비점오염원관리체계가 확립되어 있거나 구체적인 제도적 기반이 마련되지 못하고 있다. 일반적으로 영국의 비점오염은 주로 농업에서 기인하는 것으로 알려져 있다. 인의 경우 농업에 의한 비점오염원의 기여도는 초기 부하량의 36~44%를 차지하며, 질소의 경우 잉글랜드와 웨일즈 지역에서는 유입 수체내 질소부하량의 45%가 토지유출수에서 기인된다.⁶³⁾

이에 따라, 영국은 수자원법(Water Resources Act, 1991)에서 ‘질소취약지역’을 지정하여 운영하고 있으며, 토지에 대한 잠재적 오염물질 살포를 최소화함으로써 발생원에서 오염부담을 감소시키고, 토양에서 수체로 오염물질의 이동가능성을 감소시키기 위한 노력을 병행하고 있다.

잠재적인 오염물질의 살포를 줄이기 위해 작물별 비료요구량과 적정 살포시기에 관한 연구와 무기비료, 가축분뇨, 살충제를 살포되는 기본물질로 하여 인공비료보다는 자연비료의 사용을 최대화하기 위한 기술개발에 힘쓰고 있다. 무기비료와 살충제는 효과가 있는 한도 내에서 최소량을 사용하도록 하며 분뇨의 사용은 토양의 화학적 물리적 용량을 고려하여 사용하도록 지도하고 있다. 비료의 사용량을 줄이기 위해 액상비료를 파종기간에 종자에 뿌리거나 주입하는 등의 기법을 적용하고 있으며 작물의 성장시기를 고려하여 살포하는 것을 권장하고 있다.

해충 예보시스템을 구축하여 일부 해충에 대해서는 효과적으로 대응하고 있다. 그러나 농부들의 친환경농법에 대한 낮은 인식과 해당 토양 영양상태 및 요구량, 작물의 해충상황 등에 대한 충분한 정보 부족 등이 여전히 문제로 남아있다.

한편, 입자상의 인과 살충제의 유출을 억제하기 위해 경장비를 사용하고 싹이 난 후 줄을 조성하는 등의 방법을 통해 토양압축을 줄임으로써 상대적인 강우 침식을 완화하고, 강우유출수가 직접 농지로 유입되지 않도록 하며 최소경작, 순환경작, 등고선 경작 등의 경작기법 등을 이용하고 있다. 이 같은 경작방법을 통해 실제로 기존보다 60%이상의 침식저감 성과를 거둘 수 있었다.

수체로의 이동을 감소시키는 방법으로 식물에 의한 물리적 흡착 및 흡수를 통해 오염물질을 제거하는 방법에 관심을 많이 두고 있다. 이를 위해 직접 식생조성을 하거나 취약지역내 ‘비경작지역’을 두어 하천에서 일정 거리 내에 경작행위를 금하는 등의 완충지역을 조성하고 있다.

질소취약지역의 비점오염원 관리를 위해서 유럽에서는 농업에 의한 비점오염원, 특히 지하수를 많이 이용하는 국가의 경우 질산성 질소의 규제에 큰 관심을 기울이고 있다. 질산염에 대한 EC(European Communities)규칙은 농업오염원으로부터 유발되는 질산염에 의한 수질오염의 감소와 예방에 관한 것이다.

EC Directive(Council Directive 80/778/EEC)는 EC 회원국에 대해 최대 허용 질산염 농도로 50mg/L를 설정하고 있다. 그리고 질산염 지침(Nitrates Directive : Council Directive 91/676/EEC)에서는 1993년 12월까지 회원국에게 질산염오염에 의해 영향을 받는 유역, 음용수 용도로 사용되는 지표수, 50mg/L이상의 질산성 질소를 함유하고 있는 지하수, 부영양상태인 해역이나 지표수체에 대해 “취약지역(Vulnerable Zones)”의 지정을 의무화 하였다.⁶⁴⁾

영국 농림수산성(MAFF ; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food)은 1990년에 상수원의 질소농도가 EC 한계치를 넘거나 넘을 우려가 있는 곳에 대해 질산염오염취약지역을 시범으로 설정하였고, MAFF는 1994년에 더 많은 지역으로 확대하였다. 수자원법(Water Resources Act, 1991)에 의해 ‘질소취약지역’으로 지정되어 있는 곳은 잉글랜드와 웨일즈에만 72개 지역이 있으며, 해당 지역에는 다음의 기본조건의 이행을 조건으로 농업생산의 잠재적 손실에 대해 연간 헥타르(ha)당 £55~65의 보상금을 지급하고 있다.

2. 비점오염원의 유출특성 및 유출부하형태

가. 비점오염원의 유출특성

비점오염원(non-point source)은 점오염원(point source)에 상대되는 말로 점오염원 이외의 오염원으로 정의한다. 일반적으로 인간 활동에 의한 오염물질의 배출원을 점오염원이라 하고, 그 외의 오염원을 비점오염원이라고 분류하지만, 인간 활동 범위가 불분명하고 자연생태계에 직접, 간접적으로 미치는 영향이 광범위하기 때문에 비점오염원을 명확하게 정의하기 어렵다.

뿐만 아니라 점오염원에서 배출된 물질이 수로, 지표면 등에 침적되어 있다가 강우시 유출될 경우, 그것을 점오염물질이라고 할 것인지 또는 비점오염물질이라고 할 것인지에 대해서도 논란의 소지가 있다.

최근에는 오염원에서 배출되는 물질의 인위적 처리 가능성에 따라 점오염원과 비점오염원을 구분하기도 한다. 인위적으로 처리할 수 있는 산업시설, 사람의 분뇨 및 생활하수, 축산시설 등은 점오염원이라 하고, 처리하기 어려운 논, 밭, 임야, 거주지 토지 등은 비점오염원으로 구분한다.

그러나 소규모 가축사육장, 인구밀도가 적은 농촌지역의 생활하수와 산림지역과 같이 인위적으로 통제하기 어려운 지역의 오염원은 점오염원이지만 비점오염원으로 취급하기도 한다. 즉, 비점오염원은 광의적이고, 공공수역에 직접 영향을 미치기 때문에 「오염물질이 어느 특정지점이 아닌 면(面)에 분포되어 있어서 처리시설에서 처리하기 어렵고, 강우, 강설, 바람 등 외부 부하에 의하여 수계(水系)로 유출되는 것」이라고 정의할 수 있다.

산림지역은 대표적인 비점오염원이다. 산림지역에서 강우시 유출되는 오염물질은 조사유역면적, 조사지점 등에 따라 상이하게 나타나므로, 오염원의 특성에 따라 일정한 단위지역에서 유출되는 오염물질의 양을 파악하기 위해서 오염원을 구분할 필요가 있다.

오염물질의 유출개념⁶⁵⁾을 Fig. 2-2와 같이 나타낼 수 있다.

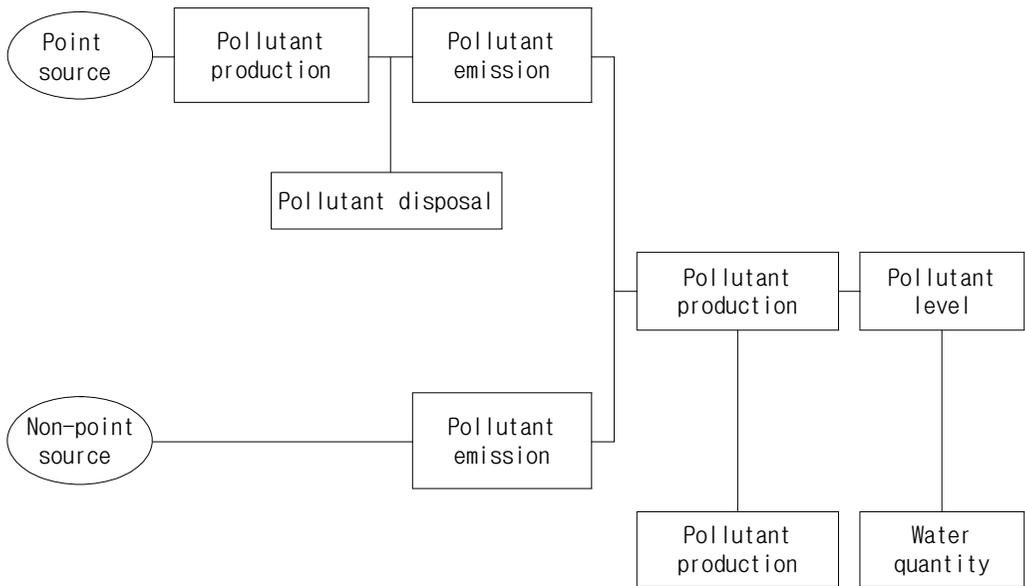


Fig. 2-2. Conceptualization of pollutant.

가정, 산업체 등 점오염원은 오염물질발생량에서 처리시설의 오염물질처리량을 빼면 오염물질 배출량이 구해지는데. 이 값이 바로 하천, 호소에 유입되는 오염물질 유달량이고, 이를 기초로 하천이나 강, 호소 등의 수질오염을 예측할 수 있다.

그러나 산림지역과 같은 비점오염원에서 발생하는 오염물질량을 정확히 계산하기는 어려우므로, 오염물질배출량을 조사함으로써 계류수, 하천, 강, 호소의 수질오염을 예측할 수 있다. 즉, 오염물질이 발생원으로부터 자연계로 유출되는 과정은 배출원에 따라 상이하므로 이들 오염물질의 특성을 명확히 파악해 둘 필요가 있다.

산림지역 대기오염물질은 비강우시 식생의 엽면(葉面)에 부착되어 있다가 강수에 씻겨 내려가 산림토양을 거쳐 계류수에 유입된다. 이 과정에서 산림토양에 퇴적된 부식질도 강수에 침출되어 계류수에 유입된다. 결국 대기 중에 함유되어 있던 오염물질과 산림토양에 퇴적된 부식질은 강우, 강설 시 유출되어 계류수에 유입 된 후, 하천, 강, 호소에 합류되어 수질오염도를 높이는 결과를 초래한다.⁶⁵⁾

비점오염원 오염물질의 존재 및 유출형태를 Table 2-2에 나타내었다

Table 2-2. Situated and effluent shape of contaminant at non-point source

Effluence	Situation	Source
Direct inflow	Content of water or air	Rainfall, Dry deposition, Dust, Ground water, Spa water, etc
	Sedimentary on Surface ground	Forest, Road, Roof, Farmland, Grass, Grove, Park, Construction, Mine, etc
	Cling to leaves of plants	Forest, Farmland, Grass, Grove
Indirect inflow	Deposited at drainage	Stream, Drainage road

나. 비점오염원의 유출부하형태

호소, 하천 등에 유입되는 오염부하량은 오염원에서 처리 가능한 점오염원 부하량과 오염원에서 처리 불가능한 비점오염원 부하량으로 구분할 수 있다.

또 비점오염 부하는 도시지역 배출부하, 농촌지역 배출부하, 자연지역 배출부하, 직접유입부하 등으로 구분할 수 있다.

자연지역배출부하는 크게 모델지역배출부하와 개별부하로 구분하고, 모델지역 배출부하는 산림지역 배출부하, 초원지역배출부하, 기타지역 배출부하로, 개별 부하는 식생별 배출부하와 관개 등의 배출부하로 세분할 수 있다.

산림지역 오염물질 배출의 영향인자는 식생상태, 지리적 특성, 기상, 기타로 구분할 수 있다. 또 식생상태는 식생의 종류, 식생밀집도, 식생의 성장상태 등에 따라, 지리적 특성은 경사, 방위, 지형, 지질 등에 따라, 기상인자 및 기타 요인은 강우강도, 강우지속시간, 강우수질, 유달거리, 개발지역의 유무 등에 따라 영향을 미치는 정도가 달라진다.

비점오염원은 차집관리가 어렵고 강우의 영향이 크다. 최근 산업화에 따른 토지이용고도화로 불투수면 비율이 증가됨에 따라 비점오염물질이 급증하게 되어 하수처리시설 및 하수관거 정비 등 점오염원 중심의 수질정책에서 비점오염원 위주의 수질정책의 필요성이 증가되게 되었다. 또한 인공 댐 담수연한이 20~30년 이상 되고, 산업형태의 변화에 따른 대기오염의 증가, 그리고 산림지역의 부식질의 증가로 1990년 이후 토양정화기능이 상실됨에 따라 이들 오염물질이 호소에 직접 유입되고 있는 실정이다.

따라서 비점오염원 특성상 투자에 비해 실질적인 저감효과까지는 장기간 소요될 뿐만 아니라 저감시설 및 설치기준이 미흡함으로 도시지역, 농경지, 산림지역 등 토지이용형태별로 다양한 비점오염물질 저감시설을 시범적으로 설치 운영하여 저감효율을 분석하는 등 비점오염원의 장·단기적 관리대책의 수립이 필요하다.

비점오염원의 오염물질 유출부하특성을 Fig. 2-3에 나타내었다.

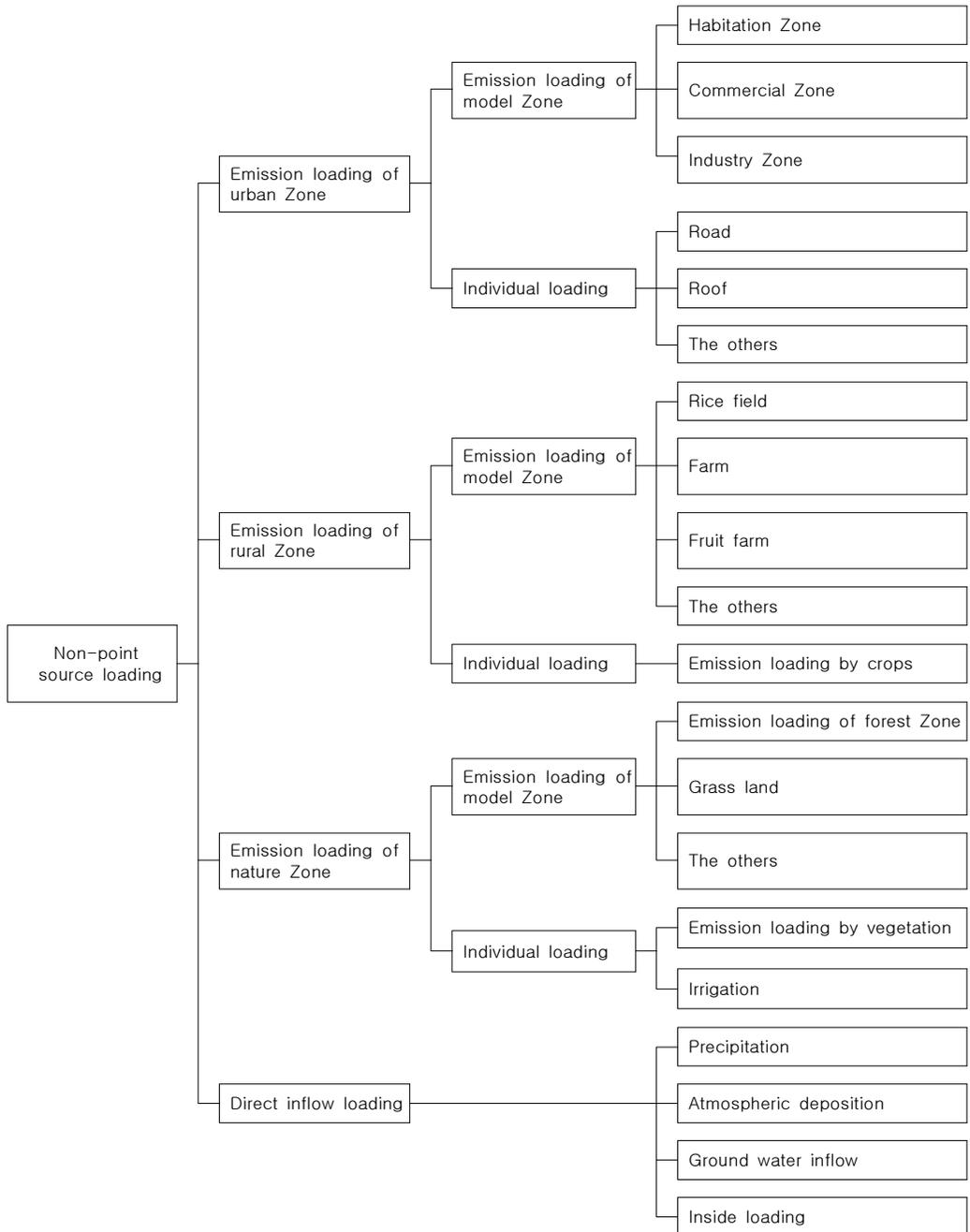


Fig. 2-3. Character of inflow loading according to pollution source at non-point source.

3. 비점오염부하량 산정방법

가. 비점오염원 유출특성파악을 위한 수질 및 수량조사

어떤 강우사상에 대해서 특정지역으로부터 오염물질 유출특성은 침투농도, 산술평균농도, 침투오염물질 부하량, 평균 오염물질 부하량 또는 총유출부하량 등으로 나타낼 수 있다. 그러나 대부분의 경우 강우시 발생하는 총부하량이 개개의 농도 또는 침투부하량보다 더욱 중요하다. 그 이유는 유출사상이 비교적 짧고, 강우 유출수가 유입되는 수체에서는 어느 정도의 혼합현상이 수반되므로 강우로 인한 유출수내 개개의 농도변화보다는 결국 총부하량의 반응이기 때문이다. 이와 같은 이유로 강우사상에 대한 평균농도 또는 유량가중 평균농도(EMC, event mean concentration)는 비점오염원 오염물질의 유출을 평가하는데 가장 적절한 인자로 인식되고 있으며, 가장 널리 이용되고 있다.⁶⁶⁾

우수유출수의 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해, 각 토지이용별로 유량가중평균농도(EMC) 및 지역평균농도(SMC : site mean concentration)를 산정하였으며, 이를 바탕으로 도시지역의 토지이용별로 비점오염물질 발생원단위를 산정한다.⁶⁷⁾

$$\begin{aligned} \text{유량가중평균농도} &= \frac{\text{강우사상별총오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별총강우유출량(m}^3\text{)}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=1}^n \text{유출량}_i} \end{aligned}$$

토지이용별 유량가중평균농도(EMC)에 강우기간의 유량을 누적시킨 것으로써 총누가오염부하량(kg)값을 산정하여, 이를 바탕으로 선정된 토지이용별 비점오염원의 단위유출량(kg/ha/day)을 나타낸다.

$$\text{총누가오염부하량(kg)} = \text{유량가중평균농도(kg/L)} \times \text{강우기간의 유량(L/event)}$$

$$\text{단위유출량(kg/ha/day)} = \frac{\text{누가오염부하량(kg)}}{\text{유역면적(ha)} \times \text{선행무강우일수(day)}}$$

나. 유출부하량 산정방안

기저부하를 위한 수질 및 유량은 강우직전의 Data를 활용하며, 여건상 이를 적용하기 어려울 경우는 강우 후 마지막 측정Data를 이용한다.

(1) 비강우시

단일 토지이용지역은 비강우시에 하천의 유량이 없는 건천지역으로써 강우시에만 하천의 유량이 있으며, 강우시 유출부하량이 비점오염 유출부하량과 같게 되는 것으로 가정하여 단위유출량부하(kg/ha)를 산정한다.

총누가오염부하량 = EMC × 유출량

$$EMC = \frac{\sum C_i \cdot Q_i}{\sum Q_i}$$

단위유출량부하(kg/ha) = 강우시 총누가오염부하량 / 배수구역면적

(2) 복합토지이용지역

복합토지이용지역중 상류지역은 강우전 또는 강우초기에 측정된 하천의 오염 부하량을 기저부하량으로 하고, 강우시에 우수유출과 비점부하가 가중되는 것을 가정하여 단위 유출량부하(kg/ha)를 산정한다.

① 강우전(기저부하)

- PFC = 강우전 또는 강우초기 측정농도(mg/L)
- 총유출량 = 하천유량(CMS) × 강우시간
- 기저부하 총누가오염부하(Kg) = PFC × 총유출량(m³)

② 강우시

$$EMC = \frac{\sum C_i \cdot Q_i}{\sum Q_i}$$

- 총유출량 = $\sum Q_i$ (강우시간 동안)
- 강우시 총누가 오염부하(Kg) = EMC × 총유출량(m³)

③ 단위유출량부하(kg/ha)

$$= (\text{강우시 총누가오염부하} - \text{기저부하 총누가오염부하}) / \text{배수구역면적}$$

다. 우수 유출량 산정개념

기저부하를 위한 유량은 강우전의 Data를 우선 활용토록하며, 여건상 이를 적용하기 어려울 경우는 강우후 마지막 측정Data를 이용한다.

(1) 강우시 측정유량(m³)

강우시 측정유량은 기저유량과 강우유출량의 합으로 나타낸다.

기저부하를 위한 유량은 강우전의 Data를 우선 활용한다.

① 강우시 측정유량(m³)

$$\cdot V1 = \frac{Q_1 + Q_0}{2} \times t_1$$

$$\cdot V2 = \frac{Q_2 + Q_1}{2} \times (t_2 - t_1)$$

② 기저유량(m³)

$$\cdot Vn1 = Q_0 \times t_1$$

$$\cdot Vn2 = Q_0 \times (t_2 - t_1)$$

③ 강우로 인한 유출량

강우로 인한 유출량은 강우시 측정유량에서 기저유량을 뺀 값이다.

$$\cdot V_{ne1} = \frac{Q_1 - Q_0}{2} \times t_1$$

$$\cdot V_{ne2} = \frac{(Q_2 - Q_0) + (Q_1 - Q_0)}{2} \times (t_2 - t_1)$$

(2) 기저유량

기저부하를 위한 유량은

$$\cdot V_{ne1} = \frac{Q_2 - Q_1}{2} \times t_1$$

$$\cdot V_{ne2} = \frac{(Q_3 - Q_1) + (Q_2 - Q_1)}{2} \times (t_2 - t_1)$$

$$= \frac{(Q_3 + Q_2)}{2} \times (t_2 - t_1)$$

라. 비점오염원 단위유출량 환산

상기에서 산정된 단위유출량부하(kg/ha)는 일년 동안 연속해서 비점오염원을 실측조사 할 수 없기 때문에 시료 채취한 기간에 대해 계산한 값을 연간으로 환산(kg/ha → kg/ha/년)하여 사용한다.⁶⁸⁾

Conversion method	Calculation
Application method of direct rainfall frequency	$L = N I a$
Valid rainfall	$L = I a (P_a / p_a)$
Outflow ratio	$L = I m (Q_m / q_m)$
Outflow-weighting concentration	$L = N [I a (Q_a / q_a)]$

Notes) L : Annual loading
 N : Annual outflow frequency
 I a : Average loading per effluent
 P a : Annual average valid flow
 p a : Average valid flow per effluent in sample
 Q m : Annual outflow
 q m : Outflow during survey period
 I m : Average outflow weighting concentration during survey period
 Q a : Average loading per effluent in a population
 q a : Average loading per effluent in sample

이중 유효우량비법의 경우에는 $L = I a (P_a / p_a)$ 로 단위유출량부하에 10년 평균 10mm 이상 연간 총강우량/실측기간의 강우량을 곱하여 구하고, 직접강우횟수 적용법은 $L = I a \cdot N$ 으로 단위유출량부하/유출수당에 총강우횟수/년을 곱하여 계산되어진다. 강우강도에 따라 강우횟수가 틀리며 너무 작은 강우강도에서는 유출이 미미함에 따라 강우량 10.0mm 이상만 적용한다.

제3절 산림지역의 강우 유출의 특성

산림지역에서 강우시 폭발적으로 배출되는 자연유기물은 토사와 함께 계류수 및 하천에 유입되어 유기물, 색도, 혼탁도를 증가시키고, 폐쇄성 수역의 부영양화와 바다의 적조를 일으키는 원인이 된다. 또 수도위생에 있어서는 상수원수의 조류 발생에 의한 이·취미 및 염소소독 부산물을 발생시킴으로써 상수처리비용을 증가시키고 국민 건강을 위협하고 있다.

산림지역 계류수의 수질은 하천이나 호소 등과 비교하여 폭이 좁고, 경사가 급해서 체류시간이 짧고, 강우나 주변 토지이용도, 하상구조성분 및 산림의 종류에 따라 많은 영향을 받는다. 계류수의 혼탁도는 임내 강우량에 따라 좌우되며 특히 겨울철 및 봄철 갈수기 강우에 의해 대기 중의 산성강하물이 일시에 유입되면 토양 양료가 용탈되어 토양이 산성화되고 Al^{3+} 등 고가금속이 용출되어 수생생태계에 악영향을 준다.

산림지역은 강우후 유출수를 통해 장기적으로 토양 침식물, 영양물질 등 유역 오염물질을 유출시키고, 산림지역의 식생, 수종형태, 토양과 모암의 형태 및 산림의 관리상태 등에 따라 오염물질 발생 및 유출특성이 달라지는 양상을 보인다. 유출수의 농도는 강우강도, 시간 강우빈도, 강우량 등에 따라 변하는 특성을 띄며, 식생형태에 따라 침엽수림은 활엽수림보다 강우유출수가 적게 발생하여 그에 따른 오염물질의 양이 적고, 활엽수림이 많이 식생하는 지역에서는 활엽수림의 질소고정 능력으로 질소유출량이 많은 특성을 보인다. 특히 우리나라의 산림 지질은 침식이 용이한 화강편마암으로 구성되어있고 산지의 경사도가 크며 7-9월의 강우집중도가 높은 반면 산림지역의 생태적 충실도가 낮아 침식이 용이하다.

그리고 관광지 및 위락지 개발, 산업용지, 광산, 도로로의 전용으로 산림면적은 1967년부터 매년 8,000ha씩 감소되고, 집중 강우시 용지로 개발과정인 산림 및 용지개발 후의 나지에서 오염물질이 유출되어 호소의 퇴적속도와 탁도 및 영양염류 부하량이 증가되어 산림피복지의 수심 배에 달한다.⁶⁹⁾ 따라서 산림유역 오염물질의 발생량을 줄이고 발생한 오염물질이 수체에 유입되지 않도록 차단하는 방법과 벌목, 산불 등 산림훼손 시 유역 오염물질의 발생을 최소화 하여야 한다. 미국, 일본 등 선진국들이 비점오염원을 관리하여 지표수의 목표수질을 달성한 사례를 거울삼아 수질을 정화하는 대책이 시급히 수립되어야 한다.⁷⁰⁾

제4절 부식질(humic acid)

1. 자연유기물의 개요

자연유기물(Natural Organic Matter : NOM)은 존재형태에 따라 입자성유기물(Particulate Organic Matter : POM)과 용존성유기물(Dissolved Organic Matter : DOM)로 분류되며, 하천과 호수의 총유기물의 대부분은 DOM로 존재한다.

그 밖의 유기물로는 휘발성유기물(Volatile Organic Carbon : VOC), 콜로이드 유기물(Colloidal Organic Matter : COM) 등⁷¹⁾이 있으며 자연수중에 존재하는 양은 약 10% 미만이다.

한편, 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon : DOC)는 해성 용존유기탄소(Biodegradable Dissolved Organic Carbon : B-DOC)와 난분해성 용존유기탄소⁷¹⁾(Refractory Dissolved Organic Carbon : R-DOC)로 분류할 수 있다.

B-DOC의 대부분은 수중 식물성플랑크톤 및 식물의 광합성활동에 의해 세포막 외로 배출되는 DOC(Excretion DOC : E-DOC)이다. 비교적 분자량이 작은 아미노산, 단당류, 유기산 등이라고 알려져 있고 배출된 후 단기간에 미생물에 의해 이용되므로 수중에서의 농도는 매우 낮게 나타난다. 또, R-DOC의 화학적 구조는 잘 알려져 있지 않지만 여러 가지 화합물이 합성된 고분자 humic substance라고 추정^{72,73)}하고 있으며 수중 DOC의 대부분을 차지한다.

용존유기탄소(DOC)는 주로 유역의 토양이 유출될 때 물에 유입되는 외부기원(allochthonous)물질이며, 식물의 부패로부터 유래⁷⁴⁾된다. 광물질 토양내의 humic substance는 전형적으로 cellulose와 lignin을 포함하는 식물의 부패로부터 더 많이 유래한다.

외부기원(allochthonous) humic substance가 강, 습지, 늪 등에서 주로 존재하는 반면에, 내부기원(autochthonous) humic substance는 깨끗한 호수에서 발견되며,⁷⁵⁾ 수생 식물과 동물의 분해로부터 유래한다.

Hemicellulose와 protein을 포함하는 규조류와 조류, protein과 chitinous substance를 포함하는 수생 동물은 수중 humic substance의 성분에 포함된다.

2. 자연 유기물(NOM)의 분류 특성

NOM은 소수성을 띠는 humic substance(humic acid, fulvic acid)와 친수성을 띠는 nonhumic substance(아미노산, 단백질, 생분해 가능한 화학종)로 구분된다. Humic substance는 소수성이 더욱 강하여 흡착, 응집에 의해 제거되기 쉬운 반면 nonhumic substance는 친수성이 강하여 흡착, 응집에 의해 잘 제거 되지 않는다. 지금까지는 humic substance가 소독부산물전구물질로 지목되어 왔지만, 최근에 humic substance 보다 그 함량이 적더라도 nonhumic substance도 DBPs(Disinfection By-Products)을 생성한다고 보고됨으로써 관심이 증가하고 있다. 또한 nonhumic substance는 생분해성 유기물(Biodegradable Organic Carbon : BDOC)의 비율이 높고 박테리아 성장에도 관여하며, 수중함량은 humic substance 보다 적은 편이다.

NOM은 물에 대한 친화력 및 분자량 특성에 따라서도 나눌 수 있다. 분자량 특성에 따른 분류는 실제로 specific molecular weight cutoff(MWC)로 알려져 있다. 과당, 단백질류, 지질, 페놀 화합물과 같은 고분자량의 착화합물과 아미노산, 설탕과 같은 낮은 분자량 화합물 또는 지방족 및 방향족 카르복실산, 알데히드 등의 산화부산물로 분류 가능하다.

Humic substance는 용해도에 따라 humic acid, fulvic acid 및 humin으로 분류할 수 있다. Humic acid는 염기에는 용해성이나 산과 에틸알코올에 불용성인 물질이고, fulvic acid는 산과 염기에 모두 용해성인 물질, humin은 산과 염기에 모두 불용성인 물질로 정의한다. 자연수중에 존재하는 humic substance의 대부분은 fulvic acid이다. 일반적으로, fulvic acid의 분자량은 1,000dalton 이하이고, humic acid는 1,000dalton 이상이다. Humic substance의 구조는 아직 밝혀지지 않았으나, carbonyl, phenolic, alcoholic, hydroxyl, methoxyl functional group을 가진 방향족 화합물⁷⁶⁾로 추정하고 있다.

Humic acid와 fulvic acid 분자는 복잡한 착화합물 구조로 제안되고 있으며, 여러 가지 특성이 보고되었다. 이것의 분자구조는 방향족 고리 구조인 단일체가 여러 개 모인 고분자 형태이고, 카르복실산(-COOH)과 같은 산성을 띠는 관능기의 고리에 공격하여 (-) 전하를 내어놓음으로서 -COO로 이온화된다. 자연수 중에서 fulvic acid 분자는 (-) 전하를 띠는 거대 분자 형태⁷⁷⁾이다.

상수원수 중의 NOM의 유래는 유기물질의 합성과 관능기 분포에 크게 영향을 미친다. 조류와 시안화 박테리아의 생질량에서 유래된 NOM은 주로 지방족으로서 lignin을 거의 함유하지 않고 방향족 화합물의 함량도 적다. 한편, 농경지 등의 토양에서 용출된 NOM중에는 lignin 함량이 크고, 방향족 화합물을 많이 함유하고 있다. 따라서, 토양에서 용출된 NOM은 수중의 NOM보다 방향족 화합물의 함량⁷⁶⁾이 많다.

Fulvic acid는 DOC의 46% 정도를 차지하며, hydrophilic acid는 fulvic acid에 비해 sugar와 amino sugar가 차지하는 비중이 높고, DOC의 25% 정도를 차지한다. Fulvic acid는 humic acid보다 전하밀도가 높고 분자량이 작으며, 카르복실 산도가 높아 응집제와 반응하여 불안정화 되기 힘들다. Humic acid는 fulvic acid보다 분자 크기가 크며 방향성이 높다. Humic acid의 구성 원자는 C, H, O, N, S, P 이고, 탄소 함량이 50% 이상이며, 이에 비해 fulvic acid는 산소함량이 많다. O, N, S 형태의 기는 금속염(철염, 알루미늄염등)과 함께 수처리시 ligand로 작용한다.

Abbt-Braun 등은 원소 분석과 분자량 실험 결과 fulvic acid의 분자식이 $C_{50}H_{65}O_{35}N$ (평균 분자량이 1,230)이라고 제안⁷⁸⁻⁸¹⁾하였고, Suwannee River는 fulvic acid의 분자식이 $C_{74}H_{72}O_{46}N_{0.7}$ (mol wt $\approx 1,700$)이라고 제안^{71,74)}하였다.

DOC와 같은 NOM의 surrogate 측정에 의해 제거나 변환에 대한 평가가 수행되고 있으나, NOM의 화학적 성분이나 반응성에 대해서는 상세하게 밝혀지지 않고 있다. 최근 NOM의 물리·화학적 특성을 규명하기 위한 연구가 진행되고 있다.

NOM의 화학적 특성과 수처리분야의 연구에 있어서는 humic substances가 가장 중요하게 다루어지고 있다. 그러나 Humic substances⁸²⁾의 이질적이고 불분명한 특성 때문에 아직까지 이러한 물질의 직접분석 방법은 제시되지 않았다. 최근까지 humic substances의 특성은 유기탄소성분을 나타내는 DOC와 같은 비특정 인자나 UV(Ultraviolet) 흡수능 및 THMs 생성능 등으로 설명하고 있다.

Humic substances의 분석학적 특성은 AMW(Apparent molecular weight)의 분포나 carboxylic acidities 또는 phenolic acidities와 같은 산성 혼합물로 표현⁸³⁾된다.

Humic substances의 특성을 나타내기 위한 분석방법에는 다음과 같은 것이 있다. 첫째 Humic substances의 농도를 나타내는 DOC 함유량으로 측정하는 방법, 둘째 흡광광도 분석법(spectrophotometric analysis)으로 UV 흡광도^{84,85}나 색도를 측정하며, 이는 humic substances의 특성을 평가하는 일차 지표로 이용, 셋째 Gel permeation chromatography와 X-ray scattering을 이용하여 humic substances 의 분자크기와 분포 측정 및 기타로 AOC(Assimilable organic carbon) 농도나 THMFP(Trihalomethanes formation potential)의 측정방법 등이 있다.

Humic substance는 자외선 영역의 파장에서 빛을 흡수하는 성질이 있어서 물 속에 용해되어 있는 용존유기물에 대한 자외선 흡수 유기물의 비율(UV₂₅₄/DOC)을 얻을 수 있다. NOM의 물리화학적 특성을 나타내는 SUVA는 UV₂₅₄/DOC×100(cm⁻¹/mg C)로 정의된다. 즉 DOC에 대한 254nm에서의 흡광도 비율을 SUVA라고 하며, 그 값이 4이상이면 DOC는 주로 소수성의 방향족 고분자 유기물이고, 반면에 SUVA가 4이하이면 DOC는 휴믹성분이 아닌 친수성 저분자 유기물이라고 간주^{86,87})한다. SUVA값은 용존유기물의 종류에 따라 달라진다. UV/DOC 비의 감소(불포화 정도의 감소)는 생분해성 DOC 제거와 상관관계가 매우 높고, 단순한 선형의 상관관계를 나타내지 않는다. 고분자 화합물 보다 저분자 화합물이 세포막을 통해 더 쉽게 전달되며, 오존 과정에서는 생분해성 저분자 화합물로 전환된다. NOM의 생분해성 정도는 UV/DOC 비와 1,000 dalton 이상의 유기물 함량에 반비례한다. 그리고, NOM의 평균 분자량이 증가함에 따라(DOC의 1,000 dalton 이상의 유기물 함량의 증가), UV/DOC비도 증가한다.

제3장 연구 내용

제1절 산성강하물의 성상 및 질소강하원단위 조사

1. 산성강하물의 성상분석

주암호 수질과 강수의 화학적 성상의 관련성을 조사하기 위하여 산림지역의 유출수, 계류수 및 유입하천수의 화학적 성상을 비교하였다. 채취지점은 송광천 상류 1지점으로 대흥마을 회관 옥상에 산성강하물 채취 장치를 설치하여 월별 채취하였고, 강우량은 강우계를 설치하여 강우시 빗물을 채수하여 분석하였으며, 순천의 주암관측소 자료를 활용하였다.

산성강하물 채취 장치는 빗물감지센서가 부착되어 있어 시료채취가 간단하고, 유지관리가 용이하게 제작하였다. 특히, 전원이 없는 산악지역이나 해양지역에서도 충전용 전지를 이용하여 측정이 가능하고 전력 소모량을 최소화하도록 고안하였다.

채취장치의 원리는 뚜껑에 2mm 이상의 빗방울이 빗물감지센서에 부착되었을 때 10초 후에 습성강하물 채취통 위로 이동하고, 비가 그쳐 센서가 건조하게 되면 10초 후에 습성강하물 채취통 위로 이동되어 습성 및 건성강하물을 채취한다. 또한 빗물감지센서에 눈이 부착될 경우 빨리 녹게 하거나 또는 눈, 비 등이 오다가 멈췄을 때 바로 뚜껑이 닫히도록 하기 위해 약간의 열을 가해 센서를 건조한 상태로 유지하였다.

산성강하물 채취 장치는 교류전원과 직류전원 중 어느 것이나 사용할 수 있도록 설계되었다. 전체조립도의 경우 습성 및 건성강하물을 분리하여 채취할 수 있고 빗물감지센서가 부착된 산성강하물 채취 장치이다.

여러 가지 외부의 환경요인으로부터 채취장치의 보호를 위하여 시중에서 판매되는 기성 L형강을 조립하여 (704mm × 204mm × 1500mm) 골격을 제작하였다.

채취장치의 주요 부품으로는 shaft roller, ball bearing, snap ring, guide plate, guide angle, 및 V pulley 등이 사용되었다.

강수 성분 분석 항목은 pH, 수용성 음이온(F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) 및 양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)이다.

2. 주암호유역의 질소강하원단위 조사

가. 산림지역의 질소강하원단위 조사

산성강하물 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도로부터 월별 질소강하원단위 및 연중 질소강하원단위를 산출하였다.

나. 주암호 유역의 질소강하부하량 조사

대기 중에서 주암호 산림지역에 연중 유입되는 질소강하부하량은 연간 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 강하량으로부터 산출한 질소 강하량에 호소 전체의 면적(호소 및 유역 면적의 합)을 곱하여 산출하였다.

3. 산림지역의 질소발생부하량

가. 산림지역의 질소성분 강하량 조사

산림지역의 연중 질소성분 강하량은 산림지역 연간 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 강하원단위의 합에 조사대상 산림지역의 면적을 곱하여 산출하였다.

나. 산림지역 유출수중의 수질 조사

산림지역에 강하된 질소성분이 산림 및 토양환경에서 변화하는 경로를 파악하기 위하여 조사대상 산림지역 4곳의 연중 질소성분 강하량을 산출하고, 유출수의 수질을 조사하였다.

다. 산림지역의 질소발생부하량

주암호 산림지역의 질소발생부하량은 임목형태별 질소발생원단위에 산림지역의 면적을 곱하여 산출하였다.

제2절 산림지역의 비점오염원단위 및 오염부하량 산정

1. 주암호 유역의 산림지역별 식생도 작성 및 산림구조 조사

조사대상 산림지역의 면적과 현존 식생을 파악하고, 산림에 의한 오염부하량과 유출량을 산정하기 위한 기본 자료로 활용하기 위해 주암호유역 산림의 현존 식생도를 문헌과 현지조사를 통해 침활혼효림, 활엽수림, 초본 및 침엽수림지역으로 구분하여 작성하였다.

가. 현존식생

주암호 유역을 대상으로 산림청의 임상도와 현지 보완조사를 통하여 침엽수림, 활엽수림, 침활혼효림, 죽림, 초지, 제지(무림목지), 경작지 등으로 구분하여 현존식생도를 작성하였으며, 식생 형태별 면적을 산출하였다.

나. 산림구조

주암호 유역의 주요 임상인 소나무림(3임분), 참나무림(2임분) 및 소나무-참나무 혼효림(2임분)을 대상으로 각각 총 7개 임분을 선정하여 산림구조를 조사 분석하여 Table 3-1에 나타내었다. 산림구조 조사를 위한 식생조사는 각 임분별 10m×10m 조사구를 5개씩 무작위로 설정하여, 각 조사구내 임목을 상층, 중층, 하층으로 구분하여 조사하였다. 수관층의 구분은 2m 이상의 수목을 상·중층으로 하였고, 그 중에서 상층 임관을 이루는 수목을 상층, 상층 임관 하부의 수목을 중층으로 하였다. 하층은 수고 2m 미만의 수목으로 하였다. 상층과 중층은 수종, 수고, 흉고직경 등, 하층은 수종, 수고, 피도 등을 조사하였다. 식생조사 결과 얻어진 자료에 의하여 식생층별 각 종의 중요도를 나타내는 척도로서 상대밀도, 상대빈도, 상대피도의 합을 3으로 나눈 상대중요치(importance percentage)를 적용하였다.

Table 3-1. Location and geographical status of stand for forest structure investigation in Juam basin

Stand		Location	Sea level (m)	Azimuth (°)	Slope (°)
Pine forest	Stand 1	Chunnam Suncheon city Songgwang-Myon Daeheung-Ri	310	260	28
	Stand 2	Chunnam Suncheon city Songgwang-Myon Usan-Ri	200	260	10
	Stand 3	Chunnam Hwasun-Gun Nam-Myon Bokkyo-Ri	210	100	8
Oak forest	Stand 1	Chunnam Suncheon city Songgwang-Myon Daeheung-Ri	380	330	12
	Stand 2	Chunnam Hwasun-Gun Nam-Myon Sasoo-Ri	290	280	12
Pine-oak forest	Stand 1	Chunnam Suncheon city Songgwang-Myon Daeheung-Ri	340	35	19
	Stand 2	Chunnam Suncheon city Songgwang-Myon Usan-Ri	190	310	16

2. 주암호 유역 산림지역 유출수의 유량 및 수질조사

산림지역 임목형태별 강우 유출수의 수질을 조사하였다.

주암호로 유입되는 주요 하천인 송광천, 동복천 및 보성강의 수질과 계류수를 월 1회 채취하여, 수질변화 특성을 조사하여, 청천 시의 변화 양상을 파악하였다. 또한 강우시의 강우유출량 및 강우시 산림지역 4개 지점의 유출수량 및 수질 특성을 조사하였고, 산림에서 유출되는 오염지표와 유입하천의 오염지표를 비교하여 산림에 의한 주암호 수질변화에 대한 영향을 파악하였다.

3. 주암호 주요하천 및 계류수의 수질조사

하천수는 주암호에 유입되고 있는 주요 하천인 보성강, 동복천 및 송광천에 각 1곳씩 조사지점을 선정하고, 계류수는 대흥리 산림유출수의 합류지점, 송광사계곡 및 까치골 3곳을 선정하여 수질 변화특성을 조사하고, 계절적 변화 양상을 알아보았다. 매월 2회 채취하였으며, 분석항목은 산림유출수와 같다.

4. 산림지역의 비점오염부하량 산정

산림지역의 임목형태별 발생부하량은 먼저 유량가중 평균농도와 유출량에 의한 발생부하량을 산정하고, 발생원단위는 발생부하량을 임목형태별 면적으로 나누어 산정하였다.

비점오염물질은 강수 초기에 집중적으로 발생되고 강수가 연속됨에 따라 유출되는 오염물질의 농도가 감소되는 경향이 있으므로 임목형태별로 강수시간에 따른 오염물질 유출 특성을 조사하였다.

본 연구에서 적용하는 실측에 의한 원단위 산정은 해당유역에서 강우시 최종유출지점의 유량변동을 고려한 유량가중평균농도와 유출계수를 도출하여 조사기간 중의 배출량을 계산하고, 연간 강우량 분포 및 빈도조사를 바탕으로 산림지역의 임목형태에 따른 오염물질별 원단위를 산정하였다.

비점오염원 부하는 여러 가지 요인에 따라서 배출되는 부하가 다르기 때문에 평균 농도를 도입하여 특정 강우 시기의 비점오염원의 평균 오염물질 농도로 나타낼 필요가 있다.

평균농도를 산정하는 가장 간단한 방법인 산술 평균농도로서 계산 될 수 있지만, 비점오염원 유출은 실시간으로 변화되는 유출량과 농도의 변화가 있고 시료채취가 일정 간격으로 이루어지지 않아 산술평균에 의한 평균농도로서는 대표성을 갖지 못하는 단점이 있다.

정확한 비점오염원의 원단위 산정을 위하여 강우시 비점오염원 유출수의 유출특성을 고려한 아래의 식과 같이 유량가중 평균농도를 이용하여 각 실측기간의 유출수 평균농도를 산정하였다. 2004년도에 조사한 산림지역 임목형태별 면적과 2004년부터 2005년까지 조사한 수질자료 등을 근거로 원단위를 산출하였다.

우수유출수의 비점오염물질 배출특성을 파악하기 위해 토지이용별 유량가중 평균농도(EMC:Event Mean Concentration) 및 지역평균농도(SMC:Site Mean Concentration)를 산정하였으며, 식(1) 및 (2)와 같다.⁸⁸⁾

$$\begin{aligned} \text{유량가중평균농도} &= \frac{\text{강우사상별총오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별총강우유출량(m}^3\text{)}} \\ &= \frac{\sum_{i=0}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=0}^n \text{유출량}_i} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{지역평균농도} = \text{특정지역 EMC 값의 평균} : \text{산술확률분포} \quad (2)$$

식 (1)에서 구한 유량평균가중 농도를 이용하여 다음 식으로 원단위를 산정하였다.^{89,90)}

$$\text{비점오염원 원단위(kg/ha/year)} = \sum C_i q_i / A \quad (3)$$

C_i : i 지점의 유량평균가중농도(mg/L)

q_i : i 지점 유출량(ton/year)

A : 유역면적(ha)

산림지역의 원단위는 강우시 유달가중 평균농도와 강우시 유출량을 곱하고 면적으로 나눈 다음, 환산인자 9.6(10년 평균강우량 1,389mm)을 적용하였다.

발생부하량은 발생원단위와 산림지역 면적의 곱으로 산정하였다.

제3절 산림지역 유출수와 주암호의 부식질 특성

산림지역 유출수와 주암호수의 부식질 특성을 비교 분석하여 산림유출수와 주암호수의 부식질의 상관성을 파악하였다.

부식질 특성은 DOC와 UV₂₅₄의 비(比)인 SUVA(Specific Ultraviolet Absorbance) 값과 분자량분포를 사용하였다.

제4절 산림기원 비점오염물질과 주암호 조류의 상관성

산림지역 유출수의 DOC와 Chl-a의 상관성과 조류분포특성을 조사하였으며, 주암호소수의 조류분포특성 및 산림지역 유출수와 주암호소수의 Chl-a의 상관성을 조사하였다. 조사항목으로는 pH, BOD, COD(COD_{Mn}, COD_{Cr}), TS, T-N, T-P, Chl-a, DOC, UV₂₅₄ 및 조류(녹조류, 남조류, 규조류 및 와편모조류)등의 농도를 비교·분석하여 주암호 산림지역 비점오염물질과 유출수, 계류수, 주요 유입 하천수 및 주암호 수질간의 조류의 상관성을 조사하였다.

제4장 조사 및 분석방법

제1절 조사기간 및 대상

1. 조사기간

비점오염원은 강우시 일시에 대량의 오염물질을 발생하는 특성이 있으므로 청천시와 강우시로 나누어 채취하였다. 채수일 강우현황을 Table 4-1에 나타내었다.

우리나라 계절 특성상 4계절의 변화를 관찰하기 위해서 2004년 5월 30일~2005년 11월 23일까지 18개월간 조사하였다. 청천시는 매월 1~2회 산림지역 4개 지점과 계류수 1곳의 유량과 수질을 분석하였다. 강우시는 산림지역 4개 지점 유출수의 유량 및 수질을 분석하고, 산림지역 유출수가 유입되는 송광천 지류의 수질을 분석하였다.

2. 조사지역

주암호 유역 산림지역중 상류에 댐이 설치된 보성강댐 및 동북천 유역을 제외한 전지역이다.



Fig. 4-1. Division of the Juam basin.

Table 4-1. State of collection

Date	Regular sampling	Rainfall sampling	Reference
2004.05.30	○		rain (28.7mm)
06.19	○		rain (82mm)
07. 2	○		cloudless
07.16	○		past two days rain (39+175mm)
07.29	○		past one day rain (338mm)
08.17	○		past seven days rain (27mm)
09.03	○		cloudless
09.17	○		rainfall from 9/15 (Total 105mm)
10.03	○		cloudless
10.31	○		cloudless
11.13	○		three days age rain (52mm)
11.28	○		two days age rain (9.5mm)
12.28	○		cloudless
2005.01.30	○		1/26(3.7mm)
02.18	○		2/14(7.2mm), 2/15(16.9mm) 2/16(2.5mm)
03.19	○		3/16(5.8mm), 3/17(18.3mm)
04.27	○		cloudless
05.20	○		5/17(48.2mm), 5/18(15.9mm)
06.06	○		6/1 (29.6mm)
07.02	○		rainfall from 6/28 (6.28~7.4)
07.27	○		7/26(2.9mm)
08.01~03		○	162.3mm during surveyed period
08.07~08		○	184.5mm during surveyed period
08.10	○		8/9(19mm) 8/10(2.7mm)
09.09	○		cloudless
10.14	○		cloudless
11.23	○		cloudless

3. 조사지점

조사지점의 선정은 산림지역의 오염유출특성 파악이 용이한 지점과 수질 및 유량의 측정이 용이한 지점을 기본원칙으로 총 10개 조사 지점을 선정하였다. 산림지역은 순천시 송광면 대흥리 지역 중 혼효림지역, 활엽수림지역, 초본지역 및 침엽수림지역 으로 구분하여 각각 1개소씩 4개지점, 계류수는 대흥리, 송광사 및 까치골 등 3개 지점을 선정하고, 하천수는 송광천, 동복천 및 보성강지류 각각 1개소씩 3개 지점을 선정하였다.

조사 지점의 경·위도상의 위치를 Table 4-2와 Fig. 4-2에 나타내었다.

Table 4-2. Location of investigation points

Division		Name of a place	Point
Forest	F1	Dae Heung Ri (mixed area)	East longitude 127° 14' 38.67" North latitude 34° 56' 00.83"
	F2	Dae Heung Ri (Broad-leaved tree)	East longitude 127° 14' 53.46" North latitude 34° 56' 06.97"
	F3	Dae Heung Ri (Herbage)	East longitude 127° 15' 12.32" North latitude 34° 56' 12.47"
	F4	Dae Heung Ri (conifer)	East longitude 127° 15' 26.36" North latitude 34° 56' 22.99"
Valley	V1	Dae Heung Ri (Join of forest)	East longitude 127° 14' 53.46" North latitude 34° 56' 12.47"
	V2	Songgwang temple	East longitude 127° 16' 33.15" North latitude 34° 00' 03.87"
	V3	Kachi valley	East longitude 127° 08' 53.69" North latitude 34° 58' 14.38"
Stream	S1	Songgwang triburary (E-ub bridge)	East longitude 127° 15' 50.67" North latitude 34° 58' 19.26"
	S2	Dongbok triburary (Jangjeon bridge)	East longitude 127° 06' 18.71" North latitude 35° 00' 55.50"
	S3	Bosung triburary (Youlbyon bridge)	East longitude 127° 09' 56.65" North latitude 34° 51' 42.91"

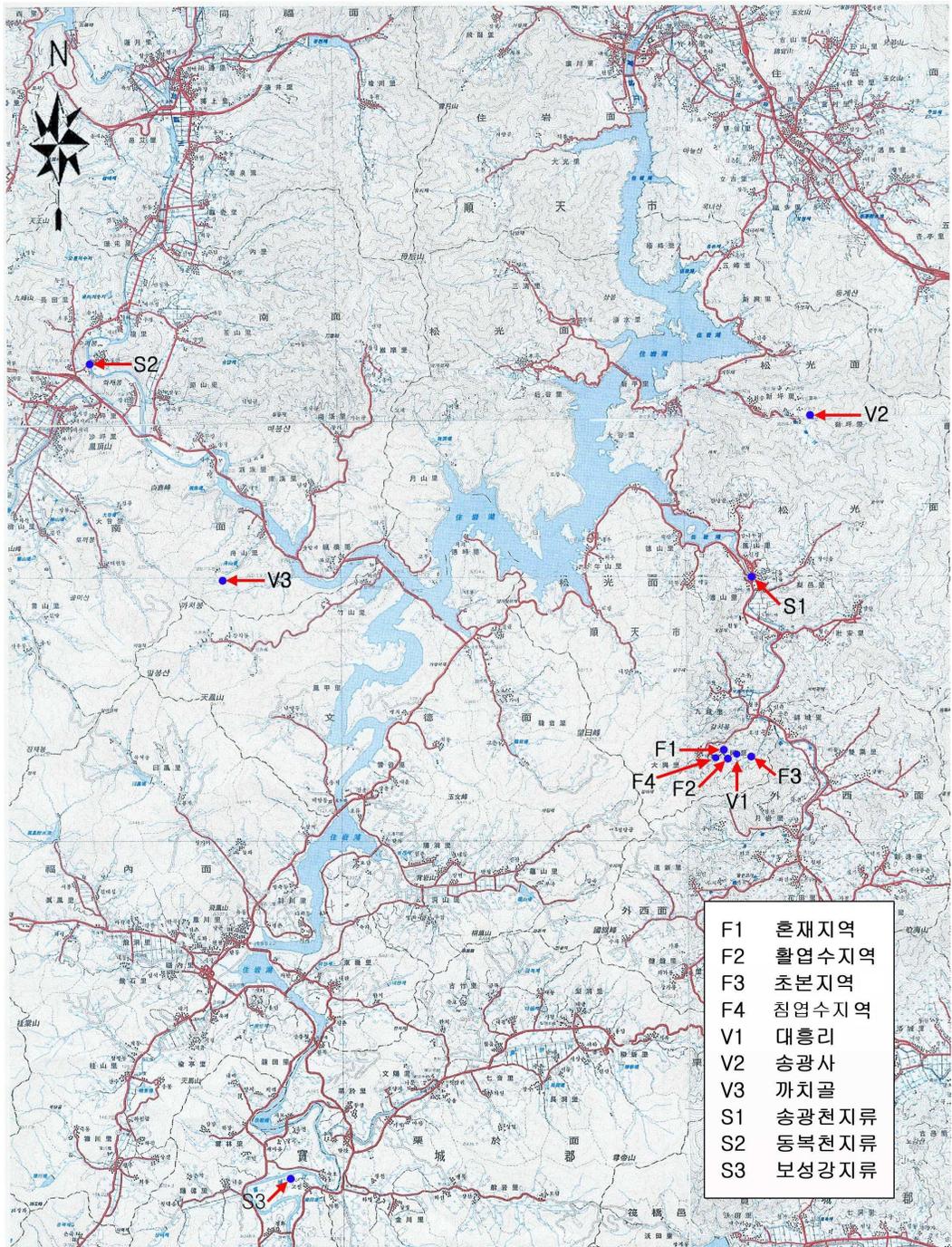


Fig. 4-2. Points of investigation.

제2절 분석방법

1. 수질조사

유량, 유속, 수온 및 pH를 현장에서 측정하였다. 수온과 pH는 TOA pH METER HM-14P를 사용하여 측정하였다.

시료채취는 무균질 채수병을 사용하였으며, 채취하고자 하는 물로 3회 이상 세척하였고, 성분변화를 막기 위하여 저온상자(Ice box)에 보관하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 항목에 따라 GF/F 여지로 여과한 후 여지와 여액을 냉동 보관하였다.

2. DOC(Dissolved Organic Carbon)

DOC는 시료를 550℃에서 3시간 동안 태운 GF/F 여지로 여과한 후, 여액을 TOC 분석기(Dohrmann DC-180)를 사용하여 분석하였다.

3. 클로로필-a

시료 1L를 GF/F 여지로 여과하고 여과지를 90% acetone으로 냉암소에서 24시간 동안 추출하였다. 추출용액을 원심분리하여 상층액을 분광광도계(Shimadzu, UV-160A)를 이용하여 파장 750, 665, 664, 647 및 630nm에서 흡광도를 측정하고 수질오염공정시험방법에 준하여 클로로필-a의 농도를 계산하였다.⁹¹⁾

4. UV₂₅₄

GF/F 여지로 시료를 여과하여 여액을 증장 1cm인 석영 cell에 옮겨 분광광도계(Shimadzu, UV-160A)를 사용하여 파장 254nm에서 흡광도를 측정하였다. 바탕 시험액은 3차 증류수를 사용하였다.

5. 수용성 음이온 및 양이온

수용성음이온과 양이온은 Ion chromatography(DX-120, Dionex사)로 분석하였다. 표준시약은 Aldrich사의 제품을 사용하였다.

수거한 강수 시료는 협잡물과 같은 큰 강하물이 dust Jar에 혼입된 경우에는 20 mesh체로 여과한 후 분석하였다. 시료 분석시 먼저 여액의 양을 메스실린더로

측정하여 이중 100mℓ을 분취한 후 여과지(Whatman No. 42, Whatman Inc.)로 여과하여 분석에 사용하였다.

이온크로마토그래피(Ion Chromatography : DIONEX, DX 120)를 사용하여 F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 의 이온성분을 분석하였다.

용리액 및 표준용액의 제조에는 18MΩ의 탈이온수를 사용하였다. 음이온 분석을 위한 용리액은 1.8mM Na_2CO_3 + 17mM $NaHCO_3$ 혼합용액, 컬럼은 AS4A-SC를 사용하고, 양이온 분석을 위한 용리액은 20mM MSA(Fluka Co.)를 각각 사용하였으며, 표준용액은 Fluka사의 표준용액(1,000ppm)을 이용하였다.

6. 조류 측정

조류측정기기는 독일에서 제작된 조류자동측정기(bbe Fluoroprobe)를 사용하였다. 남조류, 녹조류, 규조류 및 와편모조류에 대하여 측정하였다.

그 이외의 항목은 수질오염공정시험방법⁹²⁾에 준하여 실험하였으며, 각 분석항목별 분석방법 및 이온크로마토그래피 분석조건을 Table 4-3과 Table 4-4에 나타내었다.

7. 유량조사

유량측정 방법은 홍수, 평수, 저수시 등 유랑크기와 일반하천, 소하천 및 계류, 인공수로, 감조하천 및 결빙하천 등 하천의 형태에 따라 적절한 측정방법을 선택하여야 한다. 유량의 측정은 평수시에는 하천 횡단면과 유속측정에 의한 방법을 사용하였으며, 유량은 단위시간에 하천의 어느 횡단면을 통과하는 물의 양(Q) 즉, 유수단면적(A)과 유속(V)을 곱 ($Q=A \times V$)한 값을 사용하였다.

유수단면은 하천횡단을 실측하여 횡단간격별 수심측정에 의해 구하고, 유속은 유속계 등에 의한 횡단간격별 유속을 측정하여 유량을 산정하였다.

홍수시에는 보조수위표를 설치하여 수위를 관측하여 수리학적 방법에 의한 유량 해석을 행하였다.⁹³⁾

Table 4-3. Analytical methods on each item

Parameter	Analytical method
Flow	Calculated with survey flow and cross section of water way
Current	Survey with micro flow meter(AEM-1D) and rotary type flow meter(UC-3)
Water temperature	TOA pH METER HM-14P, on the spot
pH	TOA pH METER HM-14P, on the spot
DO	YSI MODEL 58 DO METER, on the spot
BOD	Winkler method azide modification(5-day BOD test)
COD _{Mn}	KMnO ₄ method(acid condition)
COD _{Cr}	K ₂ Cr ₂ O ₇ method(acid condition)
TS	Gravimetric method
T-N	UV-Vis spectrophotometric method
T-P	UV-Vis spectrophotometric method
DOC	UV-persulfate oxidation(Dohrmann, DC-180)
UV ₂₅₄	UV spectrophotometry(Shimadzu, UV-160A)
Anion, Cation	Ion chromatography(DX-500, Dionex)
Algae	bbe Fluoro probe

Table 4-4. Analytical condition of ion-chromatography

Division	Anion	Cation
Eluent	1.8mM Na ₂ CO ₃ + 1.7mM NaHCO ₃	20mM MSA (Methane Sulfonic Acid)
Flow rate column	2.0ml/mim AG4A-SC Guard Column AS4A-SC Separated Column	1.0ml/min CG12 Guard Column CG12 Separated Column
Suppressor	ASRS (Anion Self Regeneration Suppressor)	CSRS (Cation Self Regeneration Suppressor)
Detector output range	Conductivity Cell Detector 10μs	Conductivity Cell Detector 10μs

제5장 결과 및 고찰

제1절 주암호유역 산성강하물의 성상 및 질소강하량

1. 산성강하물의 성상

산성강하물을 월 1회 채취하여 월별 pH, 수용성 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 및 양이온(Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+)의 가중평균농도(WMM)를 Table 5-1에 나타내었다.

총 농도는 조사기간 중 2004년 9월~2005년 8월까지 중 1년 동안의 총합농도를 의미하며, 연평균은 이들의 평균값을 의미한다.

연간 양이온 함량은 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 순으로 높고, 각 이온성분의 연평균 농도는 Na^+ 96.84 $\mu\text{eq/L}$, Ca^{2+} 74.71 $\mu\text{eq/L}$, Mg^{2+} 58.05 $\mu\text{eq/L}$, NH_4^+ 53.94 $\mu\text{eq/L}$ 및 K^+ 19.92 $\mu\text{eq/L}$ 이었다.

연간 음이온 함량은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 순으로 높고, 연중 평균 농도는 SO_4^{2-} 73.63 $\mu\text{eq/L}$, Cl^- 56.48 $\mu\text{eq/L}$ 및 NO_3^- 10.84 $\mu\text{eq/L}$ 이었다. SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 등의 이온은 대기 중에 체류하는 동안 적운을 생성하고, HNO_3 , NH_3 등 수용성 가스를 포함하게 되므로 수용성이온에 의한 산성도가 증가한다.

양이온총량과 음이온총량이 차이가 있는 것은 음이온의 분석항목수가 적어 양이온보다 낮은 총량농도가 계산되었기 때문이다.

pH의 범위는 6.11~6.35의 범위를 나타내어 주암호유역 강하물의 산성도는 매우 낮았다. 강하물 중에 산성물질이 다소 포함되어 있기는 하지만 일년 중 pH 변화가 거의 없는 점으로 미루어 청정지역임을 알 수 있다. 이러한 현상은 주암호유역에 특별한 대기오염 배출원이 없고, 광주·순천·여수 등 도시지역 및 산업단지와 수십km 이상 떨어져 있어 영향이 적은 것으로 보여 진다.

이 같은 결과는 산성강하물이 단기간에 걸쳐 지표수의 산성화에 미치는 영향을 연구한 김 등¹³⁾과 권 등¹⁵⁾의 연구 결과와 비슷한 것으로 강하 물질은 대기중의 오염물질의 중력에 의하여 또는 강우에 씻겨 침강하는 입자상물질이기 때문에 일정한 지역에 대하여 침강하는 물질의 평균적 비율을 측정하는 것이 보통이며, 월별 강하 물질은 풍향, 풍속, 강우량 등 기상조건에 따라 크게 영향을 받을 수 있으므로 장기간에 걸친 측정을 통하여 그 경향을 정확히 파악할 필요가 있으며, 이를 토대로 향후 산성강하물에 의한 호소수질 관리의 자료로 이용되어야 할 것이다.

Table 5-1. Concentration of solution element for acid deposition
(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Date	Precipitation (mm)	pH	Total	Cation						Anion			
				Total	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻
04/06	315.0	6.12	377.27	295.74	94.35	23.59	40.00	92.00	45.80	81.54	31.83	3.87	45.83
04/07	719.0	6.23	438.64	355.06	109.13	31.79	75.83	86.00	52.30	83.58	43.94	3.39	36.25
04/08	419.0	6.21	408.34	348.09	85.65	22.05	77.50	94.00	68.89	60.25	30.14	1.77	28.33
04/09	384.2	6.22	303.72	253.54	66.52	18.46	45.00	78.00	45.56	50.18	27.04	2.10	21.04
04/10	19.0	6.13	385.64	293.84	89.13	27.44	47.50	92.00	37.78	91.79	44.79	2.42	44.58
04/11	78.7	6.32	311.47	239.28	59.13	23.59	52.50	58.50	45.56	72.20	40.28	1.29	30.63
04/12	31.8	6.21	423.37	298.45	90.30	19.29	54.30	89.00	45.56	124.92	57.00	2.02	65.90
05/01	9.7	6.22	590.14	408.06	112.20	20.27	98.70	108.00	68.89	182.08	89.60	3.18	89.30
05/02	36.7	6.12	721.26	409.06	183.04	19.74	32.50	131.00	42.78	312.20	110.14	57.10	144.96
05/03	24.6	6.23	387.14	225.13	92.17	22.56	ND	61.50	48.89	162.01	63.94	12.55	85.52
05/04	127.7	6.24	437.46	248.11	103.48	13.08	ND	66.00	65.56	189.35	82.99	8.03	98.33
05/05	101.5	6.32	401.95	237.09	101.74	18.46	ND	43.00	73.89	164.86	56.17	13.34	95.35
05/06	47.5	6.13	360.87	212.79	92.17	16.67	ND	39.50	64.44	148.09	52.14	10.05	85.90
05/07	220.7	6.33	327.20	195.46	88.70	18.21	ND	38.00	50.56	131.74	27.24	12.85	91.65
05/08	257.5	6.21	392.43	330.37	83.48	21.28	75.83	92.00	57.78	62.06	26.48	5.16	30.42
05/09	77.0	6.25	241.11	153.03	36.65	8.41	11.58	53.05	43.33	88.08	24.56	18.29	45.23
05/10	13.8	6.35	286.39	149.45	54.26	10.31	13.92	34.85	36.11	136.94	33.41	24.95	78.58
05/11	45.1	6.11	259.59	151.63	53.52	14.62	13.00	26.60	43.89	107.96	38.31	15.48	54.17
Annual average	111.6	6.22	420.22	279.26	96.84	19.92	58.05	74.71	53.94	140.96	56.48	10.84	73.63
Total	1,339.6	-	5,042.64	3,351.17	1,162.07	239.05	406.33	896.50	647.22	1,691.48	677.81	130.09	883.58
Max.	719.0	6.35	721.26	409.06	183.04	31.79	98.70	131.00	73.89	312.20	110.14	57.10	144.96
Min.	9.70	6.11	241.11	149.45	36.65	8.41	11.58	26.60	36.11	50.18	24.56	1.29	21.04

Note) ND : Not Detected

월별 이온농도변화를 Fig. 5-1에 나타내었다. 강하물의 이온량은 계절적으로 겨울에서 봄 사이에 높게 나타났으며, 이는 특히 봄철에는 황사 및 송화(松花) 가루 등이 강우와 함께 강하되어 영향을 미친 것으로 보인다. 여름 강우시에 낮은 농도를 보였다. 이는 강우에 의한 세정작용에 의하여 대기 중에 존재하는 오염물질이 적었던 것으로 판단된다.

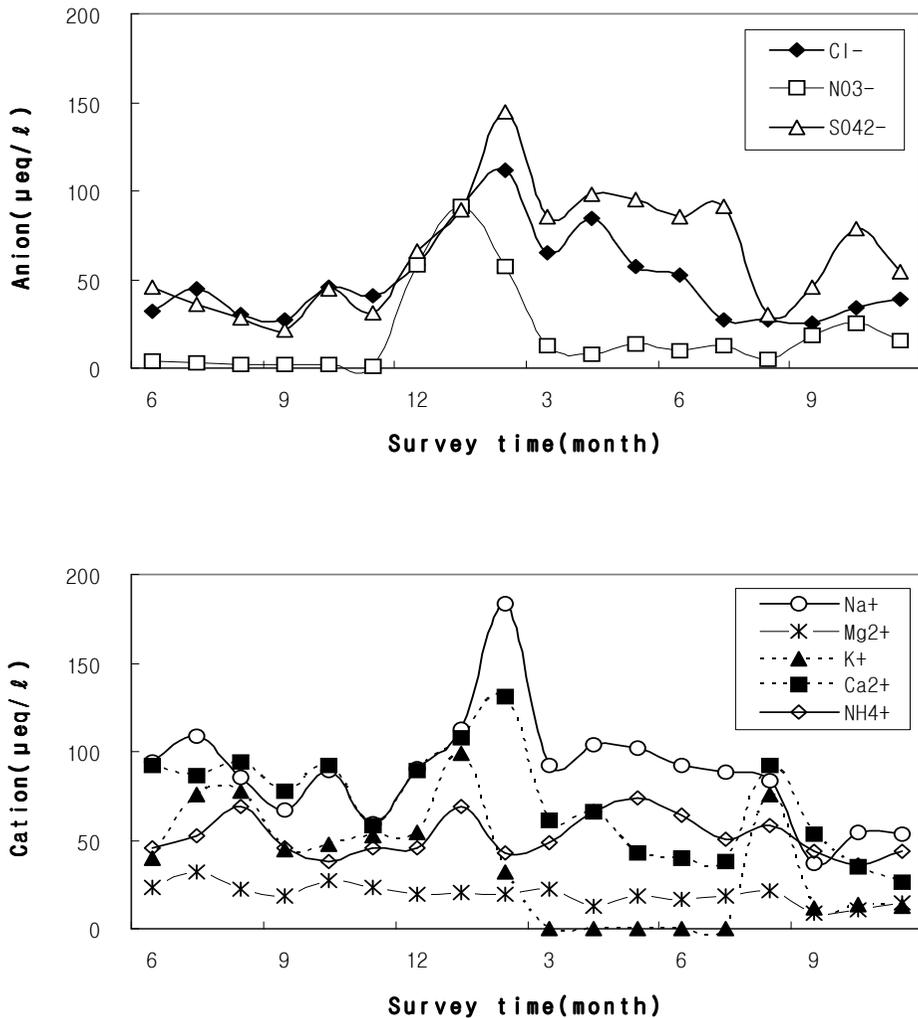


Fig. 5-1. Variation of ion concentration in acid deposition.

2. 산성강하물에 의한 주암호 질소부하량

가. 주암호 유역 수용성이온의 강하량

주암호 유역 수용성이온의 월별 강하량을 Table 5-2에 나타내었다. 수용성이온의 강하량이 많은 달은 2004년 8월(31.91kg/ha), 2004년 7월(22.93kg/ha), 2005년 8월(22.80 kg/ha), 2005년 2월(20.44kg/ha), 2005년 6월(16.37kg/ha), 2005년 4월(14.05 kg/ha)의 순이고, 적은 달은 2004년 9월(3.59kg/ha), 2004년 11월(5.34kg/ha), 2004년 6월(5.54kg/ha), 2005년 7월(6.72kg/ha)의 순으로 가장 많은 달과 가장 적은 달이 약 9배의 차이를 나타내었다.

수용성이온의 강하량은 7, 8월과 1~4월에 높고 9~12월에 낮게 나타났는데, 강수량, 연료 사용량 및 계절에 따른 영향이 큰 것으로 보인다.

2004년 9월부터 1년 동안 수용성 양이온의 강하량은 Na^+ (25.34kg/ha), Ca^{2+} (17.31kg/ha), NH_4^+ (11.42kg/ha), K^+ (8.74kg/ha), Mg^{2+} (5.10kg/ha) 순으로 높고, 수용성 음이온의 강하량은 SO_4^{2-} (38.83kg/ha), Cl^- (22.09kg/ha), NO_3^- (7.54kg/ha) 순으로 높게 나타났다.

2004년 9월부터 1년 동안 주암호 유역에 강하한 수용성 양이온의 양은 67.90 kg/ha, 수용성 음이온은 68.46kg/ha이며, 수용성이온의 총 강하량은 136.36kg/ha 이었다.

Table 5-2. Ion concentration of deposition to the Juam basin
(Unit : kg/ha/month)

Date	Precipitation (mm)	Total	Cation						Anion			
			Total	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Total	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
04/06	315.0	5.54	3.52	1.23	1.04	0.27	0.52	0.47	2.02	0.14	1.24	0.64
04/07	719.0	22.93	15.50	5.31	3.64	1.93	2.63	1.99	7.43	0.44	3.68	3.30
04/08	419.0	31.91	23.31	6.67	6.37	3.15	2.91	4.20	8.60	0.37	4.61	3.62
04/09	384.2	3.59	2.55	0.76	0.77	0.27	0.36	0.41	1.04	0.06	0.50	0.47
04/10	19.0	6.41	3.94	1.30	1.17	0.36	0.68	0.43	2.46	0.10	1.36	1.01
04/11	78.7	5.34	3.32	0.92	0.79	0.43	0.62	0.56	2.02	0.05	1.00	0.97
04/12	31.8	7.24	3.86	1.32	1.13	0.41	0.48	0.52	3.37	0.08	2.01	1.29
05/01	9.7	13.78	7.02	2.28	1.91	1.04	0.70	1.09	6.76	0.17	3.78	2.81
05/02	36.7	20.44	7.73	3.71	2.31	0.34	0.68	0.68	12.71	3.12	6.14	3.45
05/03	24.6	10.82	4.51	1.87	1.09	ND	0.78	0.78	6.31	0.69	3.62	2.00
05/04	127.7	14.83	5.90	2.60	1.44	ND	0.56	1.29	8.93	0.54	5.16	3.22
05/05	101.5	8.03	3.33	1.49	0.55	ND	0.46	0.84	4.70	0.53	2.91	1.27
05/06	47.5	16.37	6.83	3.07	1.14	ND	0.94	1.68	9.54	0.90	5.97	2.68
05/07	220.7	6.72	2.81	1.30	0.48	ND	0.45	0.58	3.91	0.51	2.79	0.61
05/08	257.5	22.80	16.10	4.73	4.53	2.24	2.04	2.56	6.70	0.79	3.59	2.31
05/09	77.0	8.02	3.45	0.92	1.16	0.15	0.36	0.85	4.57	1.24	2.37	0.95
05/10	13.8	8.53	2.79	1.10	0.61	0.15	0.35	0.57	5.74	1.36	3.33	1.05
05/11	45.1	7.23	2.89	1.09	0.47	0.14	0.50	0.70	4.34	0.85	2.29	1.20
Average	111.6	11.36	5.66	2.11	1.44	0.73	0.73	0.95	5.71	0.63	3.24	1.84
Annual deposition	1,339.6	136.36	67.90	25.34	17.31	5.10	8.74	11.42	68.46	7.54	38.83	22.09
Max.	719.0	31.91	23.31	6.67	6.37	3.15	2.91	4.20	12.71	3.12	6.14	3.62
Min.	9.70	3.59	2.55	0.76	0.47	0.14	0.35	0.41	1.04	0.05	0.50	0.47

Note) ND :Not Detected

나. 주암호 유역의 질소강하원단위

주암호 유역의 월별 질소강하원단위를 Table 5-3에 나타내었다.

2004년 9월부터 1년 동안 주암호 유역의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 강하량은 8.89kg/ha/year 로 조사되었다. 월별 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 강하원단위는 2005년 8월(1.99kg/ha), 2005년 6월(1.31kg/ha), 2005년 4월(1.00kg/ha), 2005년 1월(0.85kg/ha)에 크고, 2004년 9월(0.32kg/ha), 2004년 10월(0.34kg/ha), 2004년 12월(0.41kg/ha), 2004년 11월(0.43kg/ha)에 작았으며, 가장 큰 달과 작은 달의 차이는 약 6배이었다.

계절적으로는 여름철(6~8월)에 크고 가을철(9~12월)에 작는데, 강수량, 농경지 비료 사용, 지역의 축산시설 및 계절에 따른 영향이 큰 것으로 보인다.

2004년 9월부터 1년 동안 주암호 유역의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하량은 1.64kg/ha/year 로 조사되었다. 월별 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하원단위는 2005년 2월(0.71kg/ha), 2005년 6월(0.20kg/ha), 2005년 8월(0.18kg/ha), 2005년 3월(0.15kg/ha)에 크고, 2004년 9월, 11월 및 2005년 1월(0.01kg/ha), 2004년 10월(0.02kg/ha)에 작았으며, 가장 큰 달과 작은 달의 차이는 약 14배이었다.

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하원단위는 강수량, 화석연료 사용, 농경지 비료 사용, 지역의 축산시설 및 계절에 따른 영향이 큰 것으로 보인다.

연간 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하량의 변화추이를 비교해 보면 출현시기가 같거나 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 출현시기가 늦어짐으로써 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 으로 전환된다고 사료된다. 또 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 감소는 광화학산화물의 생성과도 관련된다.

주암호 유역의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하원단위는 1.64kg/ha/year 이고, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 강하원단위가 8.89kg/ha/year 이므로 질소강하원단위는 두 값을 합한 10.53kg/ha/year 이다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 강하원단위는 6~8월에 크고 9~12월에 작으며, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 강하원단위는 2~8월에 크고 9~1월에 작은 것으로 조사되었다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 으로 전환된다고 추정되며, 질소강하원단위는 강수량, 대기의 광화학반응, 화석연료 사용, 농경지 비료 사용, 지역의 축산시설 및 계절 등에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다.

Table 5-3. Nitrogen emission inventory of deposition to the Juam basin
(Unit : kg/ha/month)

Date	Precipitation (mm)	Total Nitrogen of deposition	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
04/06	315	0.39	0.36	0.03
04/07	719	1.65	1.55	0.10
04/08	419	3.35	3.27	0.08
04/09	384.2	0.33	0.32	0.01
04/10	19	0.36	0.34	0.02
04/11	78.7	0.44	0.43	0.01
04/12	31.8	0.41	0.41	DF
05/01	9.7	0.86	0.85	0.01
05/02	36.7	1.24	0.53	0.71
05/03	24.6	0.75	0.60	0.15
05/04	127.7	1.12	1.00	0.12
05/05	101.5	0.78	0.66	0.12
05/06	47.5	1.51	1.31	0.20
05/07	220.7	0.56	0.45	0.11
05/08	257.5	2.17	1.99	0.18
05/09	77	0.94	0.66	0.28
05/10	13.8	0.76	0.45	0.31
05/11	45.1	0.73	0.54	0.19
Average	111.6	0.88	0.74	0.14
Annual deposition	1339.6	10.53	8.89	1.64
Max.	719.0	3.35	3.27	0.71
Min.	9.7	0.33	0.32	0.01

Note) DF : Detecting Failure

다. 질소강하원단위와 강수량의 상관성

주요호 유역의 월별 질소강하원단위와 강수량을 Fig. 5-2에 나타내었다.

월별 질소강하원단위의 변화추이는 9월 이후 급격히 감소하여 12월까지 작았으나, 1~4월에는 2배 정도 큰 값을 나타내었다. 9월 이후 질소강하원단위가 작아진 것은 농경지에 투입한 질소질 비료의 영향이 줄어들고, 기온이 낮아짐에 따라 토양에 서식하는 질산화미생물과 질소고정미생물 등의 활동이 감소되었으며, 바람에 의한 확산과 눈에 의한 세정작용 등 대기정화작용이 상승되었기 때문이라고 판단된다.

또 7월과 8월에 강우횟수와 강우량이 많음에도 불구하고 질소강하원단위가 매우 큰 것은 농경지에 비료를 투입하고, 가정에서 퇴비를 생산하며, 미생물들의 활동이 가장 왕성한 시기이기 때문이다. 이러한 사실은 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 강하원단위가 급격히 증가한 것이 이를 뒷받침한다. 또 정량적으로 명확히 규명되지는 않았지만, 자연현상의 하나로서 장마철 번개에 의해서 많은 양의 질소가 순식간에 산화되어 강수에 용해된다.

질소강하원단위는 강수량이 많은 달에 크게 나타남으로써 습성침착이 질산성 질소의 강하량에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

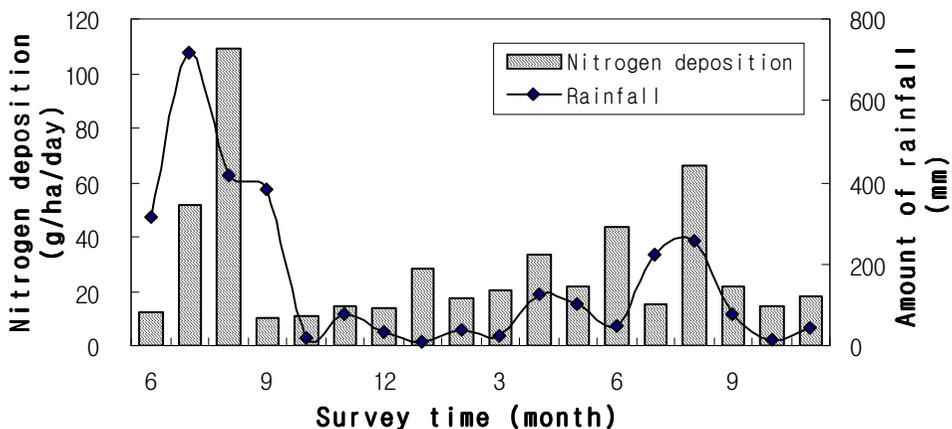


Fig. 5-2. Variation of nitrogen emission inventory to the Juam basin.

미국의 경우에는 일리노이주를 중심으로 중동부지역의 질소 강하량이 높게 나타나는 것으로 알려져 있으며, 그 양이 5~9 kgN/ha/year까지 이르는 것으로 보고되고 있다.⁹⁴⁾ 유럽의 경우도 5 kgN/ha/year 이상의 질소 강하에 노출된 지역이 광범위하게 분포하는 것으로 파악되고 있다.⁹⁵⁾

서울과 춘천의 경우 29~32 kgN/ha/year의 고농도 질소강하물질이 팔당호로 유입되는 대기 질소 강하물의 양은 0.49~5.2 kgN/ha/year 정도로 추산되고 있다. 이러한 강하량은 질소 강하가 육상생태계에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 서구 선진국과 비슷한 정도의 강하량을 나타내고 있다. 황해의 경우에도 대기로부터 유입되는 질산과 암모늄 양이 강에서 유래하는 것보다 2~10배가량 더 많은 것이다. 또한 전 지구적인 NO_x 강하량 추정에 의하면 미국 중동부, 유럽과 더불어 우리나라를 포함한 극동 아시아가 1980년대부터 17 kgN/ha/year의 고농도 강하지역이 나타나고 있으며 2020년경에는 그 면적이 더욱 확대되어 질소 강하량은 더욱 증가할 것으로 예측되고 있다.¹⁴⁾

일반적으로 삼림을 비롯한 육상생태계는 질소가 제한요인이기 때문에 대기 강하로 첨가된 질소는 비료로써 작용하여 식생의 일차 생산성을 증가시킬 수 있다.

그러나 질소첨가가 장기적으로 고농도로 계속된다면 토양과 식생에 여러 가지 악영향을 미치고 물과 다른 영양소 등이 제한 요인으로 작용하여 결국에는 삼림의 쇠퇴를 가져올 수도 있다.

이러한 배경에서 '질소포화(nitrogen saturation)'가설이 제시되었다. 이론에 따르면, 첨가된 질소는 처음에는 식물의 일차 생산성은 증가하는 양상을 보이지만, 시간이 지남에 따라 과잉의 질소, 특히 잉여 암모니아의 경우는 질산화(nitrification)과정을 거쳐 질산으로 전환되고 이 과정에서 여러 가지 질소 기체(예, 아산화질소, 산화질소 등)가 발생하며, 이동성이 큰 질산은 지하수나 지표수를 통해 호소나 하천과 같은 수체로 이동하게 된다.

육상 생태계에서 토양 미생물과 식물이 일반적으로 질소 결핍(혹은 질소제한) 상태라고 오랫동안 알려져 있고 따라서 질소 첨가는 미생물의 활성 및 식물 생장에 양의 영향을 미칠 것으로 생각되어 왔다.

실험실과 야외실험의 결과 질소 무기화 속도와 낙엽분해율은 양의 상관관계를 보이는 것⁹⁶⁾으로 보고되었다. 그러나 이러한 상식과 달리 일정량 이상의 과잉 질소첨가가 토양 내에서 유기물 분해에 장기적으로는 부정적인 영향을 미친다⁹⁷⁾고 하였다. 토양내의 유기물 분해속도를 결정하는 것은 주로 난분해성 물질인 리그닌이나 부식질 물질이므로 그러한 미생물 군집의 변화는 유기물 분해속도를 장기적으로 감소시킬 수 있으며, 실제로 질소의 첨가가 삼림저층에서 분해되고 있는 낙엽 속의 페놀산화효소의 활성을 저해하여 낙엽 분해율이 감소하고, 질소 첨가가 토양에서 요소분해효소(urease)활성을 저해한다고 알려져 있다. 이러한 영향 등을 고려해볼 때, 단기적으로는 질소의 첨가가 유기물 분해 및 토양내의 영양소 순환을 빠르게 진행시킬 수 있으나, 장기적으로는 영양소 순환속도를 감소시키는 효과를 가져 올 수도 있는 것으로 대기중의 질소강하물이 육상 및 수생생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다고 본다.

라. 산성강하물에 의한 주암 본댐 산림지역의 질소강하량

주암호 유역의 현존식생 면적은 Table 5-4와 같이 36,650.93ha로 조사되었다. 이 중 침엽수림 21,093.65ha, 활엽수림 6,709.99ha, 혼효림 8,451.05ha 및 죽림 214.95ha, 초지 34.24ha, 무림목지43.63ha으로 조사되었다.

주암호 유역의 산림지역의 임목형태별 질소강하량을 Table 5-5에 나타냈으며, Table 5-3의 월별강하량에 Table 5-4의 임목형태별 면적을 곱하여 계산하였다.

2004년 9월부터 1년 동안 주암호 유역의 월평균 질소부하량은 31,879kg/month이며, 연중 부하량은 382,547kg/year로 조사되었다.

질소부하량이 많은 달은 2005년 8월(78,714kg/month), 2005년 6월(54,755kg/month), 2005년 2월(44,763kg/month), 2005년 4월(40,897kg/month)의 순이며, 강하량이 적은 달은 2004년 9월(11,960kg/month), 2004년 10월(12,972kg/month), 2004년 12월(14,907kg/month), 2005년 11월(16,125kg/month)의 순으로 가장 많은 달과 적은 달의 차이는 약 6.5배이었다.

질소부하량은 강수량, 화석연료 사용, 농경지 비료 사용, 대기의 광화학반응, 지역의 축산시설, 토지 이용 및 계절에 따른 영향이 큰 것으로 보인다.

질소부하량의 임목형태별 점유율은 침엽수림지역 58.13%, 혼효림지역 23.29%, 활엽수림지역 18.49%, 초본지역 0.09%로 조사되었다.

이는 畝地直道 등⁹⁸⁾이 茶園용수를 휴답에 관개하여 1ha당 연간 2.377kg의 질소가 제거 되었다는 조사결과와 일치하며, 앞으로 토지이용 및 임목 형태별로 탄소와 질소의 동태조사를 실시하여 질소정화 용량을 명확히 하여야 한다.

비점오염원으로서 대기로부터 호소나 하천에 유입되는 산성강하물에 의한 질소성분의 부하량을 정확히 산출하기 위해서는 산성강하물을 장기간 측정할 뿐만 아니라 산성강하물의 발생메커니즘, 유동 특성, 계절적·지역적·지화학적·생물화학적 특성 및 수계에서의 작용 등을 면밀히 조사할 필요가 있다.

Table 5-4. Forest area in the Juam basin (unit : ha)

Group	Conifer forest	Broad-leaf forest	Mixed forest	Bamboo	Grass	Meadowland and farmland
Total	21,093.65	6,709.99	8,451.05	214.95	34.24	147.5
	36,650.93					

Table 5-5. Nitrogen loading classified by forest tree types to the Juam basin
(Unit : kg/month)

Classification	Mixed area (F1)	Broad-leaf area (F2)	Herbage area (F3)	Conifer area (F4)	Total
04/06	3,318	2,634	13	8,282	14,248
04/07	13,950	11,076	57	34,818	59,901
04/08	28,322	22,487	115	70,691	121,616
04/09	2,785	2,211	11	6,952	11,960
04/10	3,021	2,399	12	7,540	12,972
04/11	3,755	2,982	15	9,373	16,125
04/12	3,471	2,756	14	8,665	14,907
05/01	7,291	5,789	30	18,198	31,308
05/02	10,425	8,277	42	26,019	44,763
05/03	6,413	5,091	26	16,006	27,536
05/04	9,524	7,562	39	23,772	40,897
05/05	6,555	5,205	27	16,362	28,148
05/06	12,751	10,124	52	31,827	54,755
05/07	4,765	3,784	19	11,894	20,462
05/08	18,331	14,555	74	45,754	78,714
05/09	7,976	6,333	32	19,907	34,248
05/10	6,374	5,060	26	15,908	27,368
05/11	6,197	4,920	25	15,468	26,610
Average	7,424	5,895	30	18,530	31,879
Total	89,088	70,735	361	222,363	382,547
%	23.29	18.49	0.09	58.13	100
Max.	28,322	22,487	115	70,691	121,616
Min.	2,785	2,211	11	6,952	11,960

3. 산림지역 유출수의 성상과 질소부하량

가. 유출수의 수용성 이온성분

산림지역은 강우시 일시에 많은 양의 유기물과 무기물 등을 호소나 하천으로 유입시키고 있으며, 유출수에는 양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)과 음이온(Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) 등 다양한 이온들이 용존되어 있다. 이는 강우와 토양층의 부식질 및 모암의 풍화에 기인하는 것으로 알려져 있다. 또한 산림지역의 강우는 계층 구조가 발달하고 수관층으로 뒤덮인 산림에서는 강우차단과 증발산에 의해 강우량의 20%가 없어지게 된다. 또한 빗방울은 직접 지표면에 도달하는 것이 적고 대부분은 수간류(樹幹流)로 되어 지표면에 도달하기 때문에 물리적인 충격에 의한 토양침식을 방지할 수 있다.

한편 수간류(樹幹流)는 앞이나 나무껍질 표면의 물질을 용탈·흡착하여 빗방울에 함유된 산성강하물의 제거에도 공헌하며, 토양의 단립구조는 토양에 수분을 유지하고 서서히 지하로 침투하여 지하수맥을 형성해서 임지(林地)의 급격한 유실을 막는 것으로 알려져 있다.⁹⁹⁾

조사지점 유출수의 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})과 양이온(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})의 월별 농도를 Fig. 5-3과 Fig. 5-6에 나타내었다. 조사지점 유출수의 월별 이온 농도표는 <부록 1~4>에 나타내었다.

유출수중 평균적인 이온농도는 양이온 $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 순으로, 음이온 $Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ 순으로 나타났다.

산림지역은 양이온성분이 음이온성분보다 변화폭이 컸으며, 조사기간 동안 증가하는 추세를 보였다. 각 이온의 농도는 계절적으로 가을철에 증가하는 경향을 보였다.

(1) 훈효림지역 유출수의 수용성이온 농도변화

훈효림지역 유출수의 월별 수용성이온의 농도변화를 Fig. 5-3 과 <부록1>에 나타내었다.

훈효림지역의 음이온 유출 특성은 11월~3월 무렵의 농도가 높았다. 특히 NO_3^- 의 경우 2, 3월에 평상시 농도보다 높은 농도를 보였다. 2, 3월에 음이온 유출량이 많은 것은 Table 5-1에 나타낸 산성강하물의 음이온의 양이 1~4월에 높게 나타나는 것에서 알 수 있듯이 겨울철 화석연료 사용량의 증가, 기류에 의한 다른

지역으로부터의 유입 및 식물 등 토양생태계의 이온물질 이용률의 저하와 관련이 있다고 판단된다.

양이온 물질도 음이온과 마찬가지로 10월 이후 차츰 증가하여 Mg^{2+} 을 제외한 모든 성분이 3월에 최고값을 보였는데, 이러한 원인은 Table 5-1에 나타난 산성강하물의 음이온의 양이 1~4월에 높게 나타나는 것에서 알 수 있듯이 기류에 의한 풍송염의 유입, 나대지로부터 대기 중에 알칼리 및 알칼리토류 금속의 유입, 도시 및 공업지역의 대기오염물질 유입, 황사현상, 토양생태계의 이온물질 흡수력 저하 및 이용률의 저하 등 다양한 요인이라고 판단된다.

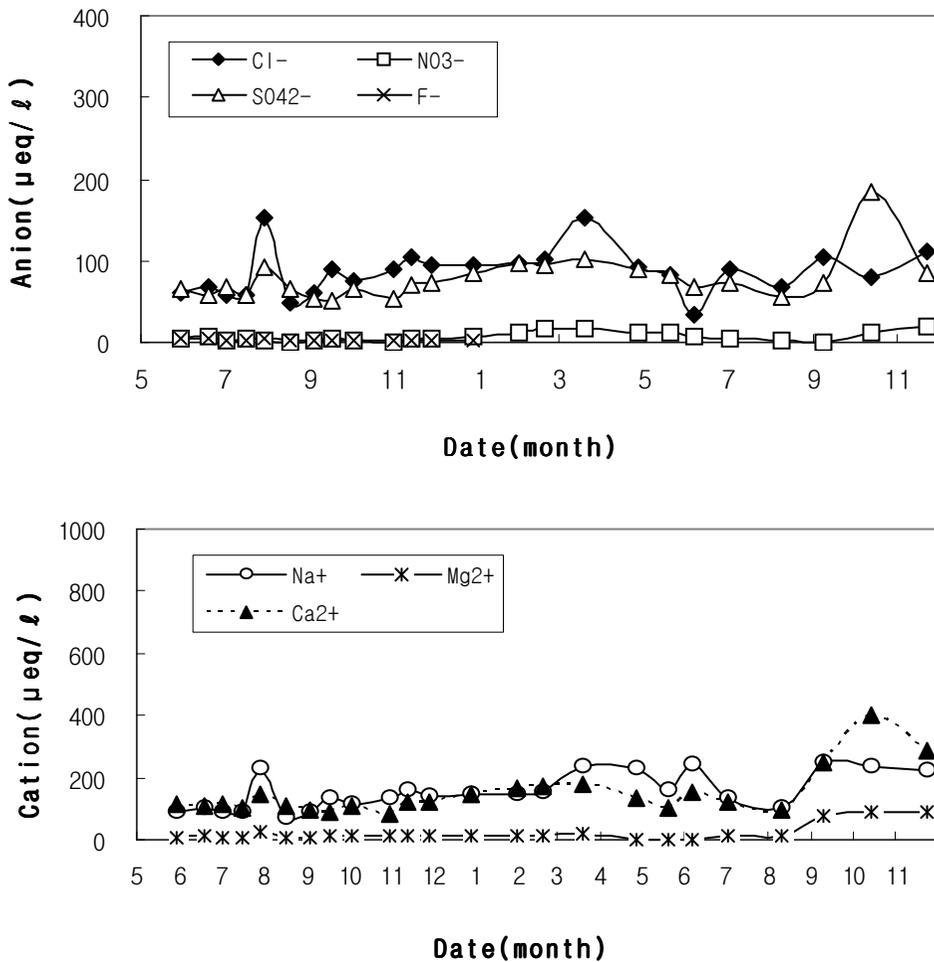


Fig. 5-3. Variation of ion concentration to mixed forest area.

(2) 활엽수림지역 유출수의 수용성이온 농도변화

활엽수림지역 유출수의 월별 수용성이온의 농도변화를 Fig. 5-4와 <부록 2>에 나타내었다. 활엽수림지역 유출수의 수용성이온 유출 특성은 저농도 기간(6월 중순~7월 중순), 중농도 기간(7월말~10월말) 및 고농도 기간(11월 중순~6월 초순)으로 구분된다. 최고값을 나타내는 시기가 늦으며(6월말~7월 초순), 최고값을 나타낸 직후 2~3배 낮은 저농도 기간에 돌입하고, 월평균 최고농도와 최저농도의 차이가 크다는 점이다.

총이온 농도는 저농도 기간에 285.25~335.46 $\mu\text{eq/L}$, 중농도 기간에 294.04~383.05 $\mu\text{eq/L}$, 고농도 기간에 411.26~644.46 $\mu\text{eq/L}$ 이었다.

저농도 기간이 짧고 연중 총이온 유출농도가 침엽수림지역보다 약 1,900 $\mu\text{eq/L}$ 정도 적은 점으로 미루어 볼 때 활엽수의 이온이용률이 침엽수보다 높은 것으로 추정된다. 이는 NO_3^- 의 유출량이 생물활동이 활발한 여름철에는 0.13 $\mu\text{eq/L}$ ~4.05 $\mu\text{eq/L}$ 범위이고, 생물활동이 취약한 겨울에는 10.53~23.92 $\mu\text{eq/L}$ 이기 때문이다.

한편 활엽수림지역 유출수의 고농도 시기가 다른 지역보다 늦게 나타난 이유는 낙엽이 이온을 흡착하기 때문에 유출이 저지되다가 흡착력이 상실됨과 동시에 유출농도가 2배 이상 급격히 높아진 것으로 보여 진다.

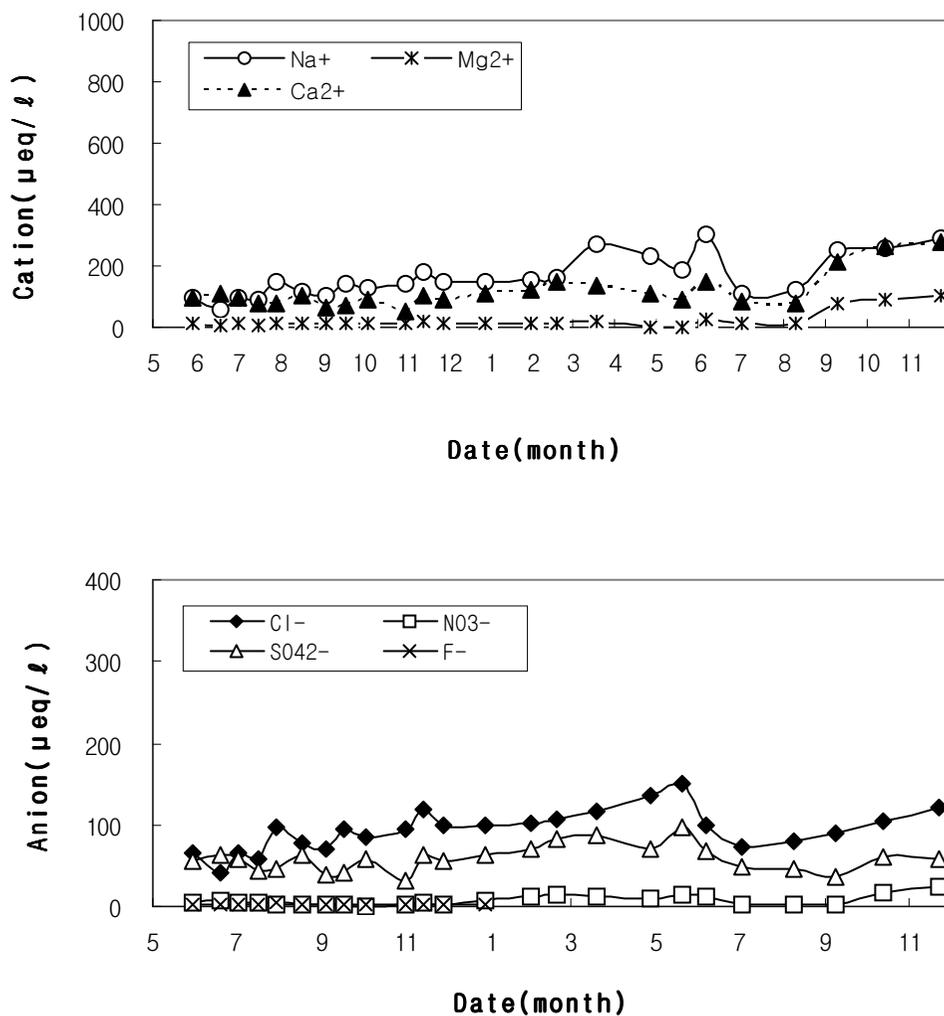


Fig. 5-4. Variation of ion concentration to broad-leaved tree area.

(3) 초본지역 유출수의 수용성이온 농도변화

초본지역 유출수의 월별 수용성이온의 농도변화를 Fig. 5-5와 <부록 3>에 나타내었다.

초본지역은 산림 벌채이후 초지가 조성된 지점을 선정하였으므로 다른 지역에 비해 조사 시기가 다소 늦었다. 따라서 2004년 5월부터 10월 03일까지의 자료가 없어 10월 31일 이후의 자료를 분석하였다.

초본지역 유출수의 수용성이온 유출 특성은 2, 3월에 최고농도로 유출되어 6월초까지 높은 농도가 유지된다는 점이다. 6월 이후로는 초본식물의 물질이용률이 증가함에 따라 유출수의 수용성이온농도가 현저히 감소한 것으로 보인다.

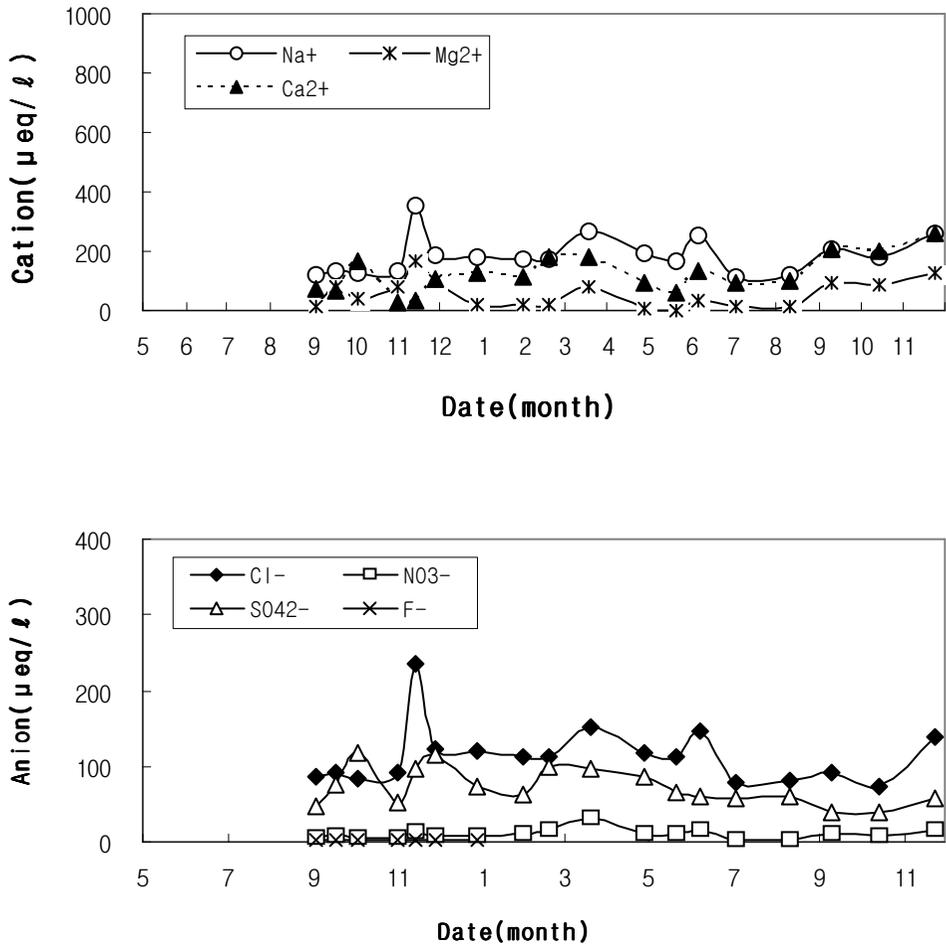


Fig. 5-5. Variation of ion concentration to herbage area.

(4) 침엽수림지역 유출수의 수용성이온 농도변화

침엽수림지역 유출수의 월별 수용성이온의 농도변화를 Fig. 5-6과 <부록 4>에 나타내었다.

침엽수림지역 유출수의 수용성이온 농도변화의 특징은 고농도 기간이 11월부터 4월까지이고 저농도 기간은 6월부터 10월까지로 나타났다.

Cl^- 음이온의 총 농도 및 Na^+ 농도가 11월에 최고 농도를 보이고, Ca^{2+} 농도 또한 비슷한 경향을 보였는데 11월에 강수량이 약간 많은 것과 견주어 볼 때 강수가 해양기원성분인 Cl^- , Na^+ 및 Ca^{2+} 과 관련성이 높고 음이온의 총 농도와 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다.

Mg^{2+} 농도는 1월에 급격히 증가하여 11월까지 87.4~225.58 $\mu\text{eq/L}$ 로 유출되어 연평균 농도인 74.89 $\mu\text{eq/L}$ 보다 1~3배 높게 나타났고, SO_4^{2-} 농도는 11월부터 6월까지 높은 농도로 유출되었다. 이와 같은 Mg^{2+} 및 SO_4^{2-} 농도의 증가현상은 겨울철 화석연료 사용으로 SO_2 증가, 해안 공업지역에서 대기오염물질인 H_2SO_4 mist와 해양입자가 반응하여 생성된 MgSO_4 의 유입 영향을 들 수 있겠고, 또한 기류의 장거리 이동에 따른 외부 오염물질의 유입영향이 큰 것으로 보인다.

특히 3, 4, 5월에 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 의 농도가 갑자기 높아진 것은 황사의 영향에 따른 육지기원성 물질의 증가로 사료되나 같은 기간에 양이온의 양과 대응하여 음이온 양이 증가하여야 함에도 그렇지 않는 것으로 보아 향후 분석되지 않은 음이온 양의 조사가 필요하다.

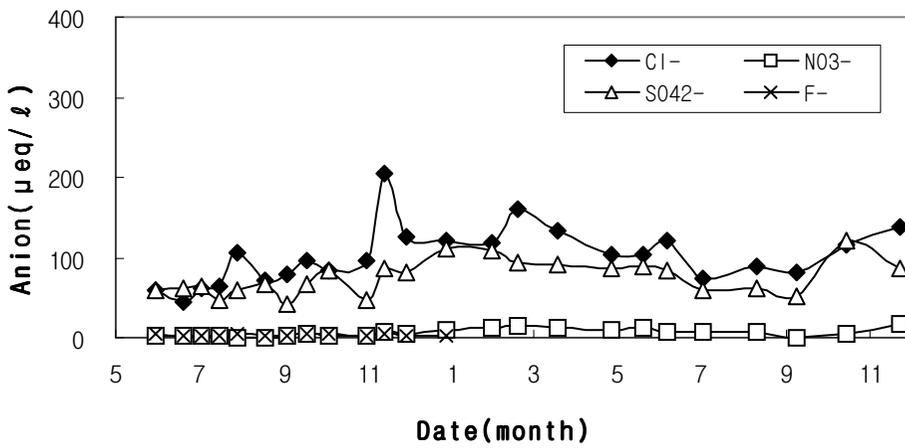
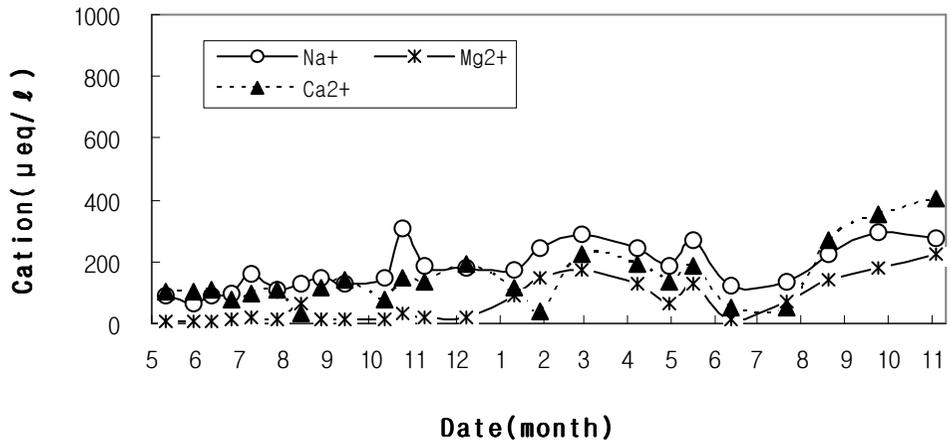


Fig. 5-6. Variation of ion concentration to conifer area.

(5) 산림지역 임목형태별 연중 수용성이온의 농도 비교

산림지역 임목형태별 수용성이온의 연평균농도를 Table 5-6에 나타내었다.

수용성이온의 임목형태별 총 음이온평균농도는 186.2 $\mu\text{eq/L}$ 이고, 총 양이온 평균농도는 321.5 $\mu\text{eq/L}$ 로 나타났다. 이온별로는 Na^+ 173.5 $\mu\text{eq/L}$, Mg^{2+} 34.7 $\mu\text{eq/L}$, Ca^{2+} 은 113.4 $\mu\text{eq/L}$, Cl^- 105.1 $\mu\text{eq/L}$, SO_4^{2-} 73.1 $\mu\text{eq/L}$, NO_3^- 8.00 $\mu\text{eq/L}$ 로 나타났다.

이온별로는 침엽수림지역과 초본지역에서 Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} 농도가 높은 것으로 나타났다.

산림지역 유출수에서 산성강하물 중에 포함되어 있던 NH_4^+ 은 검출되지 않았다. 이는 대기중으로 발산, 생태계에서 질산염으로 산화 또는 이용되거나, 토양 및 부식질의 흡착 등이 원인이라고 보여 진다.

연평균 NO_3^- 농도는 8.0 $\mu\text{eq/L}$ 로, 임목형태별로는 초본지역(10.3 $\mu\text{eq/L}$), 침엽수림지역(7.5 $\mu\text{eq/L}$), 혼효림지역(7.4 $\mu\text{eq/L}$), 활엽수림지역(6.8 $\mu\text{eq/L}$)순으로 높게 나타났다.

침엽수림지역의 토양이 다른 산림지역에 비해 산성화되어 있는 것으로 알려져 있어, 토양 및 부식질과 산성비에 관한 세심한 연구가 필요하다고 보이며, 약 20여년 동안 퇴적된 부식질의 이온 흡착용량이 한계에 도달하고, 토양생태계의 이온 이용 및 분해체계가 차츰 정립되는 과정에서 염화물과 황산염의 유출량이 많다는 것을 뒷받침하고 있다.

Table 5-6. Year average value of ion concentration classified by forest area

Area	Anion(μeq/L/month)				Cation(μeq/L/month)			
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Total	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total
Mixed area (F1)	88.7	7.4	73.9	170.0	154.9	13.8	126.0	294.7
Broad-leaved area(F2)	101.8	6.8	61.4	170.0	168.6	14.1	100.7	283.4
Herbage area(F3)	116.3	10.3	79.9	206.5	179.9	48.9	105.7	334.5
Conifer area(F4)	113.7	7.5	77.1	198.3	190.4	62.0	121.1	373.5
Average	105.1	8.0	73.1	186.2	173.5	34.7	113.4	321.5

나. 산림지역의 임목형태별 질소 발생원단위

산림지역의 임목형태별 질소 발생원단위를 Table 5-7에 나타내었다.

유출수중의 이온농도와 유량을 근거로 산출한 값이다. 시료채취일의 개황을 Table 4-1에 나타냈으며, 조사지점의 면적은 혼효림지역 28.7ha, 활엽수림지역 31.64ha, 초본지역 19ha, 및 침엽수림지역 16.4ha이다.

산림지역의 임목형태별 질소 발생원단위의 산정기간은 초본지역을 포함하여 비교하기 위해 2004. 09~2005. 08까지 기간의 발생원단위를 산출하였다.

산림지역의 임목형태별 질소 발생원단위는 초본지역 1.63g/ha/day, 혼효림지역 1.31 g/ha/day, 활엽수림지역 1.26g/ha/day, 및 침엽수림지역 0.82g/ha/day 순으로 크게 나타났다.

활엽수림지역의 질소발생원단위가 침엽수림지역보다 0.44~0.6g/ha/day 높게 나타난 점은 일반적으로 활엽수의 질소함량이 침엽수보다 높기 때문에 활엽수림 지역의 질소부하량이 많은 것으로 보여 진다.

침엽수림지역의 유출수의 배출량이 가장 낮게 나타난 것은 침엽수림지역내에서 NO₃⁻이온의 흡착 즉 식물, 미생물 및 토양의 이용이 높은 것으로 판단되며, 초본지역에서 배출량이 높게 조사되었다. 이는 초본지역에서의 NO₃⁻의 이용률이 매우 낮아 유출수에서 높게 배출되는 것으로 판단된다.

초본지역의 질소 발생원단위가 다른 지역보다 작을 것으로 예상하였으나

더 크게 나타난 것은 대상지역을 벌채하여 퇴적된 부식질이 왕성하게 분해되는 기간이고 주변에 수목이 없어 유출량이 많아졌기 때문으로 여겨진다. 원래 초본지역은 식생대의 하부에 조성하여 산림지역에서 유출되는 각종 유기물 및 이온물질들을 분해하는 정화기능을 가지고 있으나, 벌채한 후 잔가지와 부식층을 제거하지 않아 오히려 반대 현상이 나타난 것으로 보인다.

산림지역 임목형태별 질소 발생원단위에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 대기 강하물에 의한 질소 강하원단위를 보다 정확하게 구하고, 산림지역의 수증·수령 및 식생밀도, 생태계의 물질 이용률, 부식질의 퇴적 및 분해속도, 토양 및 부식질의 이온 흡착능력 등 다양한 영향인자들을 고려하여 평가하고 장기간의 자료를 근거하여 산출하는 것이 중요하다고 본다.

계절별로는 겨울부터 여름철(1~5월과 7, 8월)에 높고 가을철(9~12월)에는 낮으며, 월별 질소 발생원단위는 2004년 8월 및 6월에 각각 72.33 및 56.04 g/ha/day로서 높고, 2004년 8월 및 2005년 9월 2월에 각각 0.76 및 1.79 g/ha/day로서 낮게 나타났다.

6~9월까지 4개월은 2004년과 2005년 2회씩 측정하였는데, 2005년 7월 및 8월에는 각각 21.93 및 72.33으로 높고, 2004년 7월 및 8월에는 각각 2.82 및 0.76 g/ha/day로 낮게 나타났다 이는 같은 계절이라도 해마다 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

이상의 실험결과 산림식생의 영향에 따라 특징적으로 형성되는 산림토양은 생성에 관여하는 생태학적 인자가 산림이기 때문에 그 유기물질의 공급주체는 수목(樹木)의 낙엽·낙지(落枝)가 되며 산림특유의 토양 미생물이나 소동물의 서식(Biotope)이 가능토록 한다. 지표면의 차이에 따라 빗물이나 흐르는 물중에 질소나 인의 정화작용이 다르게 나타난다. 나아가 산림의 정화기능은 빗물이나 흐르는 물에 함유된 질소나 인을 식물이 흡수하거나 토양 중의 미생물 분해에 의해 제거되기 때문에 조림시 임목형태별 유출수가 호소수질에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 또한 지표면의 차이는 토사유출량에 영향을 미친다.¹⁰⁰⁾

한편 독일에서는 댐호 생태계의 보전·관리에 대하여 집수역의 토지이용관리를 위한 수원보호지구의 설정^{101, 102)}이나 댐 유입구에 예비 저수지를 설치하여 응집 여과법이나 먹이망(food web)의 관리 등으로 유입하천에 의한 질소·인의 부하를 삭감^{103~106)}하는 적극적인 방안도 검토되어야 한다.

Table 5-7. NO_3^- -N emission inventory of classified by forest
(Unit: g/ha/day)

Date	Precipitation (mm)	Total deposition	Mixed Tree (F1)	Broad-leaved tree (F2)	Herbage (F3)	Conifer (F4)
04.06	315.0	24.36	9.12	12.88	NC	2.36
07	719.0	2.82	0.86	1.48	NC	0.48
08	419.0	0.76	0.18	0.57	NC	0.01
09	384.2	15.54	2.23	3.56	3.17	1.21
10	19.0	23.03	0.16	0.32	1.23	0.21
11	78.7	18.75	0.88	0.70	1.50	0.21
12	31.8	19.74	0.29	0.32	0.06	0.07
05.01	9.7	45.82	0.71	0.68	0.07	0.17
02	36.7	41.17	0.68	0.19	2.70	1.57
03	24.6	39.36	1.11	1.23	1.58	0.35
04	127.7	51.61	0.81	0.56	2.65	0.43
05	101.5	31.01	1.95	1.78	0.35	0.42
06	47.5	56.04	0.41	0.19	1.03	0.02
07	220.7	21.93	5.77	4.88	4.58	2.88
08	257.5	72.33	0.77	0.70	0.60	2.29
09	77.0	1.79	DF	0.73	1.24	DF
10	13.8	6.30	1.58	2.49	1.88	0.35
11	45.1	13.69	1.33	0.66	1.92	9.78
Annual Average	111.6	36.36	1.27	1.31	1.69	1.23
Total	1339.6	436.33	19.04	19.69	25.42	18.44
Max.	719.0	72.33	9.12	12.88	5.94	9.78
Min.	9.7	0.76	0.06	0.02	0.06	0.01

Notes) NC : Not collected, DF : Detecting Failure

다. 주암호 산림지역의 질소부하량

주암호 산림지역의 월별 질소부하량을 Table 5-8에 나타내었다.

주암호 본 댐 산림지역의 연간 질소부하량은 13.46ton이며, 부하량의 임목 형태별 점유율은 침엽수림지역 46.90%, 혼효림지역 30.02%, 활엽수림지역 22.93% 및 초본지역 0.15%로 조사되었다.

질소 발생원단위가 큰 초본지역, 활엽수림지역 및 침엽수림지역의 면적대비 오염부하량이 큰 것을 알 수 있다.

하천주변 등의 수변지역의 산림은 임지 생산력은 높으나 질소부하량 등이 높게 나타났다. 따라서 생물다양성의 확보, 하천유역 생태계의 보전 관점에서 자연 식생으로 되돌려야 할 것이다. 인공림지대에서는 급경사지의 수변 외에도 식림이 이루어지는 것이 일반적이나 인공림의 벌채 후 재 조림의 경우 원래의 수변식생으로 복원하는 것이 바람직하다. 또한 그 과도기적인 조치로서 간벌할 때는 수변에 한하여 강도간벌(強度間伐)을 하여 하층식생의 발달을 촉진하고 나아가 활엽수 등의 혼교비율을 높일 수도 있다. 한편 원래의 수변식생을 완전하게 잃어버리고 자연으로 회복이 곤란한 경우는 수변림 구성종의 인공식재시 초지의 인공조성도 검토할 필요가 있다.¹⁰⁰⁾

이와 같은 결과는 이 등¹⁰⁷⁾의 토지이용별 강우시 비점오염 물질의 유출특성에 대한 연구결과와 비교할 때 유사한 연구결과를 보였다. 특히, 농경지의 경우 질소부하량 및 인의 부하량이 산림지역의 6.5배 이상인 것으로 나타나 경작시 일어나는 표토의 교란, 식생의 제거, 휴경기 동안의 토양방치 등을 예방하고, 농경지를 초지화 함으로써 질소 및 인의 오염부하량을 감소해야 할 것으로 판단된다. 특히 경작지의 경우는 호소의 탁수를 유발하는 것으로 알려져 있다.⁵⁷⁾

Table 5-8. Nitrogen loading classified by forest the Juam basin

Division	Mixed tree (F1)	Broad-leave d tree (F2)	Herbage (F3)	Conifer (F4)	Total
N-unit loading (g/ha/day)	1.31	1.26	1.63	0.82	5.02
Forest area(ha)	8,451.05	6,709.99	34.24	21,093.65	36,288.93
Percentage(%)	23.29	18.49	0.09	58.13	100
N-loading (kg/yr)	4,040.87	3,085.92	20.37	6,313.33	13,460.49
Percentage(%)	30.02	22.93	0.15	46.90	100

라. 계류수 및 하천수의 수용성 이온 농도

(1) 계류수의 수용성이온 농도변화

대흥계곡 유출수의 연중 수용성이온 농도변화의 특징은 수질항목들의 최고치가 주로 11월에 집중되고, 3월, 6월에 농도가 높게 나타났다. 연평균 이온농도가 581.24 $\mu\text{eq/L}$ 로서 까치골(561.52 $\mu\text{eq/L}$) 및 송광사계곡(466.78 $\mu\text{eq/L}$)에 비해 높게 나타났다. 이는 대흥계곡은 송광사계곡이나 까치골에 비하여 농지로부터 유입되는 오염물질의 영향을 받고 있기 때문인 것으로 판단된다.

송광사계곡 유출수의 연중 수용성이온 농도변화의 특징은 11월~3월까지가 고농도, 4월~7월은 저농도 기간으로 나타났다. 주변에 오염물질이 없고 수량이 풍부한 송광사계곡은 이온농도가 다른 2곳의 계류수 보다 낮게 나타났다.

까치골 계류수의 수용성이온 농도변화 특징은 총이온 농도가 갈수기인 11월부터 3월까지 높은 농도로 나타났고, 양이온의 경우 6월~11월 역시 고농도로 나타났으나 같은 시기에 음이온은 연평균농도보다 낮은 값을 보였다.

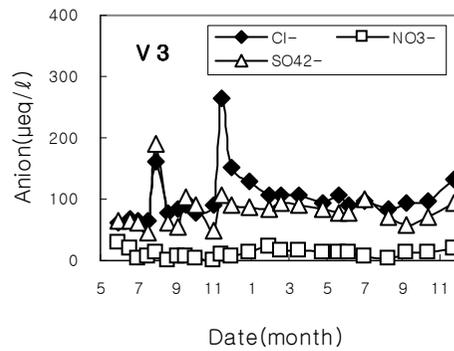
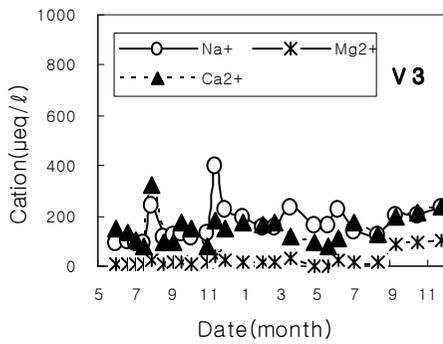
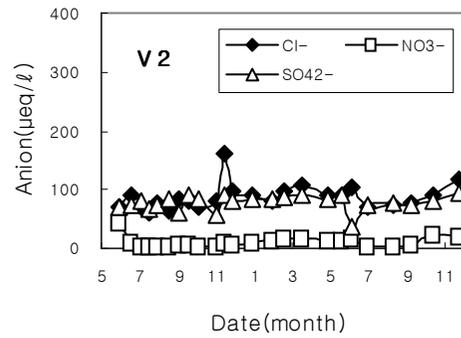
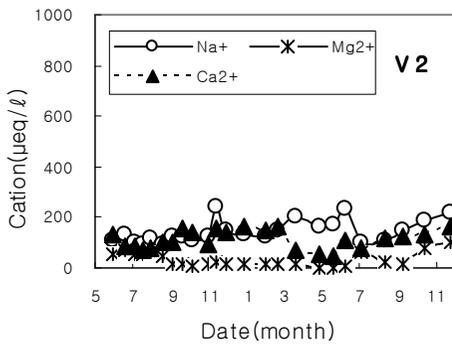
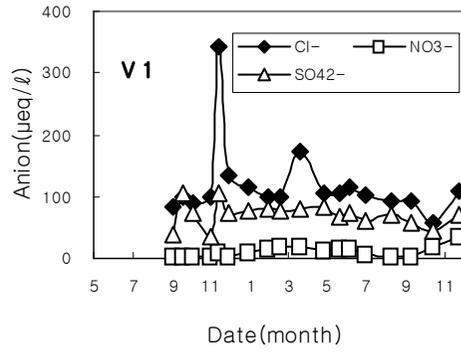
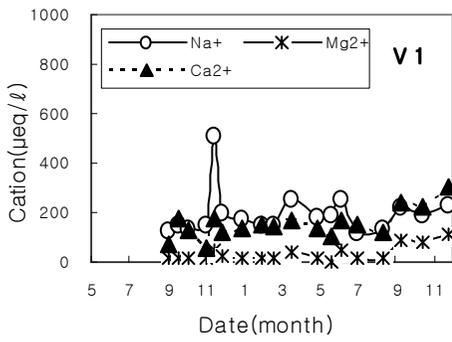


Fig. 5-7. Variation of ion concentration to valley stream.

(2) 송광천의 수용성이온 농도변화

송광천의 연중 수용성 양이온 및 음이온 농도변화를 Fig. 5-8과 <부록 8>에 나타내었다.

송광천은 토지이용도가 낮고 유출속도가 빠른 소규모 하천이기 때문에 이온 농도가 다른 하천에 비해 가장 낮게 나타났다.

그러나 월평균 NO_3^- 농도가 다른 하천에 비해 가장 높게 나타난 것은 수년 전 하상에 하수차집관거를 설치하는 과정에서 하상이 교란되어 생태계가 파괴되고, 콘크리트에서 유출되는 독성물질로 인하여 생물이 정상적으로 성장하지 못한 데 원인이 있다고 본다.

송광천의 월평균 수용성이온농도는 11~5월이 다소 높게 나타났다. 이 시기에 농도가 높게 나타난 이유는 겨울철에 수온이 낮고, 햇볕 조사 시간이 짧아서 하천에 서식하는 생물의 물질이용률이 낮아 유역에서 유입되는 오염물질 농도가 급속히 증가되기 때문이다.

수용성이온 중에서는 Na^+ , Ca^{2+} 등의 양이온과 Cl^- , SO_4^{2-} 농도가 높게 나타났다.

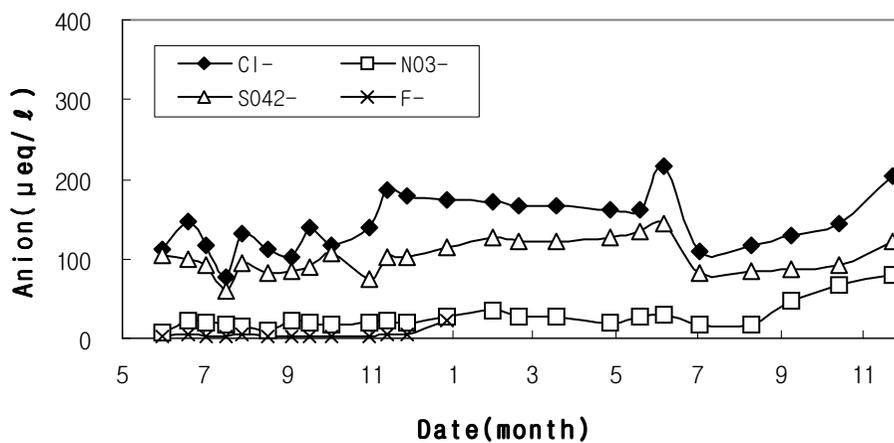
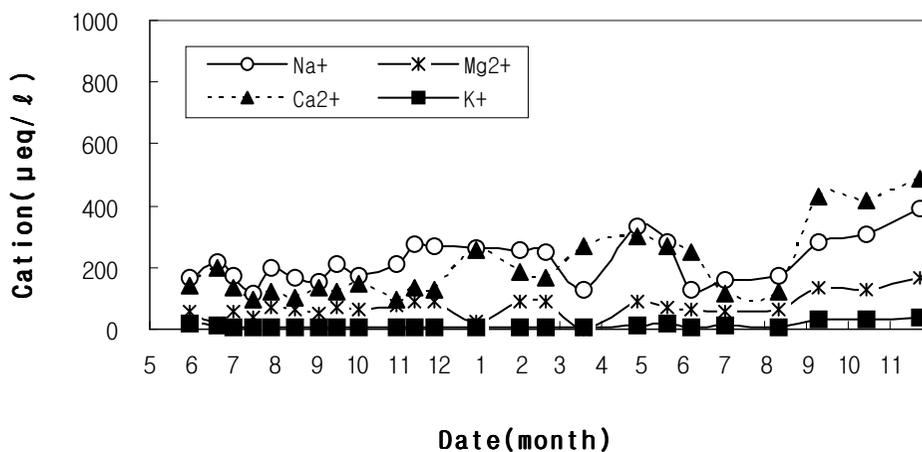


Fig. 5-8. Variation of ion concentration to the Songgwang stream.

(3) 동북천의 수용성이온 농도변화

동북천의 연중 수용성 양이온 및 음이온 농도변화를 Fig. 5-9와 <부록 9>에 나타내었다.

동북천의 연중 수용성이온 농도변화의 특징은 수질항목들의 최고치가 주로 11월에 집중되고, 연평균 이온농도가 1,094.25 $\mu\text{eq/L}$ 로서 보성강(831.96 $\mu\text{eq/L}$) 및 송광천(808.92 $\mu\text{eq/L}$)에 비해 약 1.3배 높으며, 고농도 기간이 11월부터 5월까지이고, 나머지 기간은 저농도 기간으로서 6개월씩 기간이 같다는 점이다.

지형적으로 내륙 깊숙이 위치해 있기 때문에 해양기원성 이온보다는 육지기원성 이온성분의 농도가 다른 하천에 비해 높은 편이다.

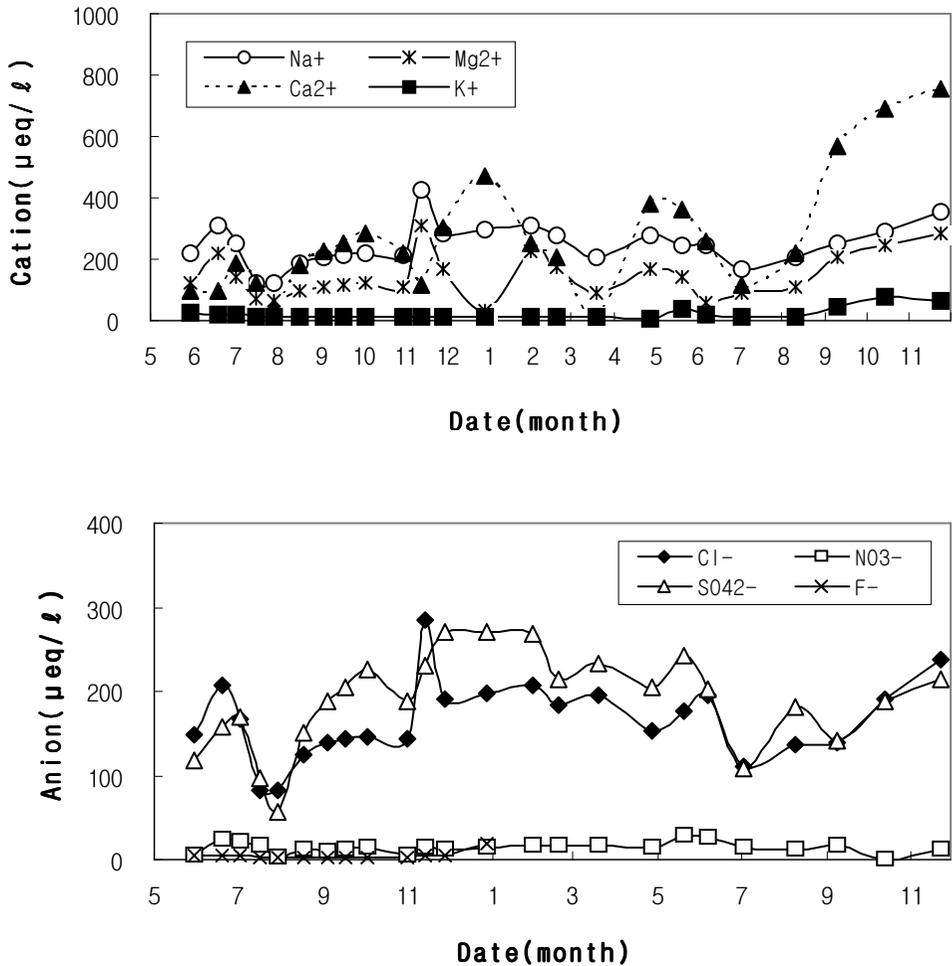


Fig. 5-9. Variation of ion concentration to the Dongbok stream.

(4) 보성강의 수용성이온 농도변화

Fig. 5-10과 <부록 10>에 보성강의 연중 수용성 양이온 및 음이온 농도변화를 나타내었다.

보성강의 연중 수용성이온 농도변화의 특징은 7월부터 9월 사이의 저농도 기간과 나머지 고농도 기간으로 구분된다는 점이다. 즉 저농도 기간이 짧고 항목들의 최고농도가 나타나는 시기가 전체 고농도 기간에 분산되어 있다.

보성강 K^+ 의 연평균 농도는 $20.87 \mu\text{eq/L}$ 로서 동복천($16.82 \mu\text{eq/L}$)과 송광천($10.50 \mu\text{eq/L}$)에 비해 높게 유지되고, 해양기원성 성분들의 농도가 높게 나타난 것은 바다가 가깝기 때문에 나타난 현상이라고 사료된다.

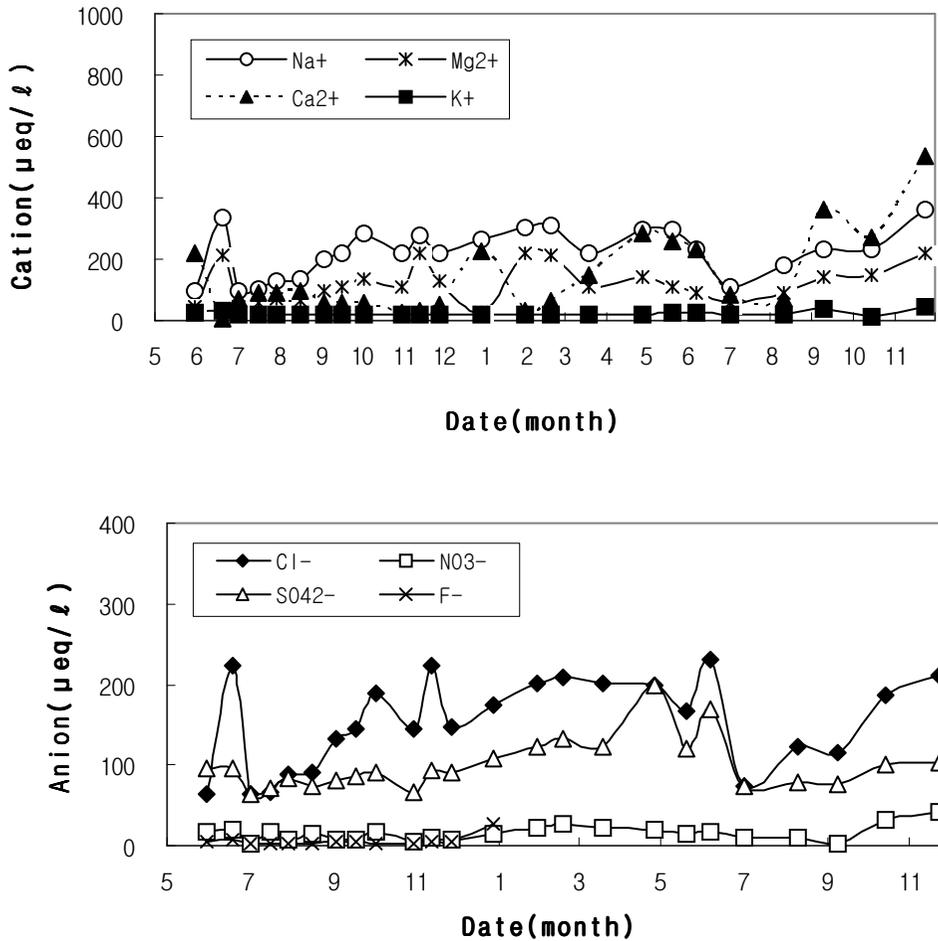


Fig. 5-10. Variation of ion concentration to the Boseong River.

제2절 산림지역 비점오염부하량 산정

1. 주암호 유역의 현존식생 및 산림구조

가. 현존식생 유형별 면적 및 식생도

주암호 유역의 식생 유형별 면적과 현존식생도를 각각 Table 5-9와 Fig.5-11에 나타내었다. 식생 유형별 면적은 침엽수림 21,093.65ha, 활엽수림 6,709.99ha, 침활혼효림 8,451.05ha, 죽림 214.95ha, 초지 34.24ha, 무림목지인 제지 43.63ha, 경작지 103.42ha로서 총 36,650.93ha이었다. 침엽수림은 소나무림, 리기다소나무림, 잣나무림, 낙엽송림, 기타 침엽수림 등으로 구분되었으며, 활엽수림은 참나무림, 밤나무림, 활엽수혼효림 및 활엽수인공림 등으로 구분되었다.

Table 5-9. Forest area in the Juam basin

Group	Vegetation	Area(ha)	Percentage(%)
Conifer forest	<i>P. densiflora</i>	11,265.45	30.7
	<i>Pinus rigida</i>	6,962.95	19.0
	<i>Pinus koraiensis</i>	381.54	1.0
	<i>Cinara laricicola</i>	40.61	0.1
	<i>Pinus densiflora</i>	2,443.10	6.7
	sub total	21,093.65	57.5
Broad-leaf forest	<i>Quercus</i>	377.36	1.0
	<i>Castanea crenata</i> var	467.71	1.3
	mixed broad-leaf	4,974.85	13.6
	artificial forest	890.07	2.4
	sub total	6,709.99	18.3
Mixed forest	mixed needle broad-leaf forest	8,451.05	23.1
Bamboo	bamboo	214.95	0.6
Grass	grass	34.24	0.1
Meadowland	meadow without forest	43.63	0.1
Farmland	farmland	103.42	0.3
Total		36,650.93	100.0

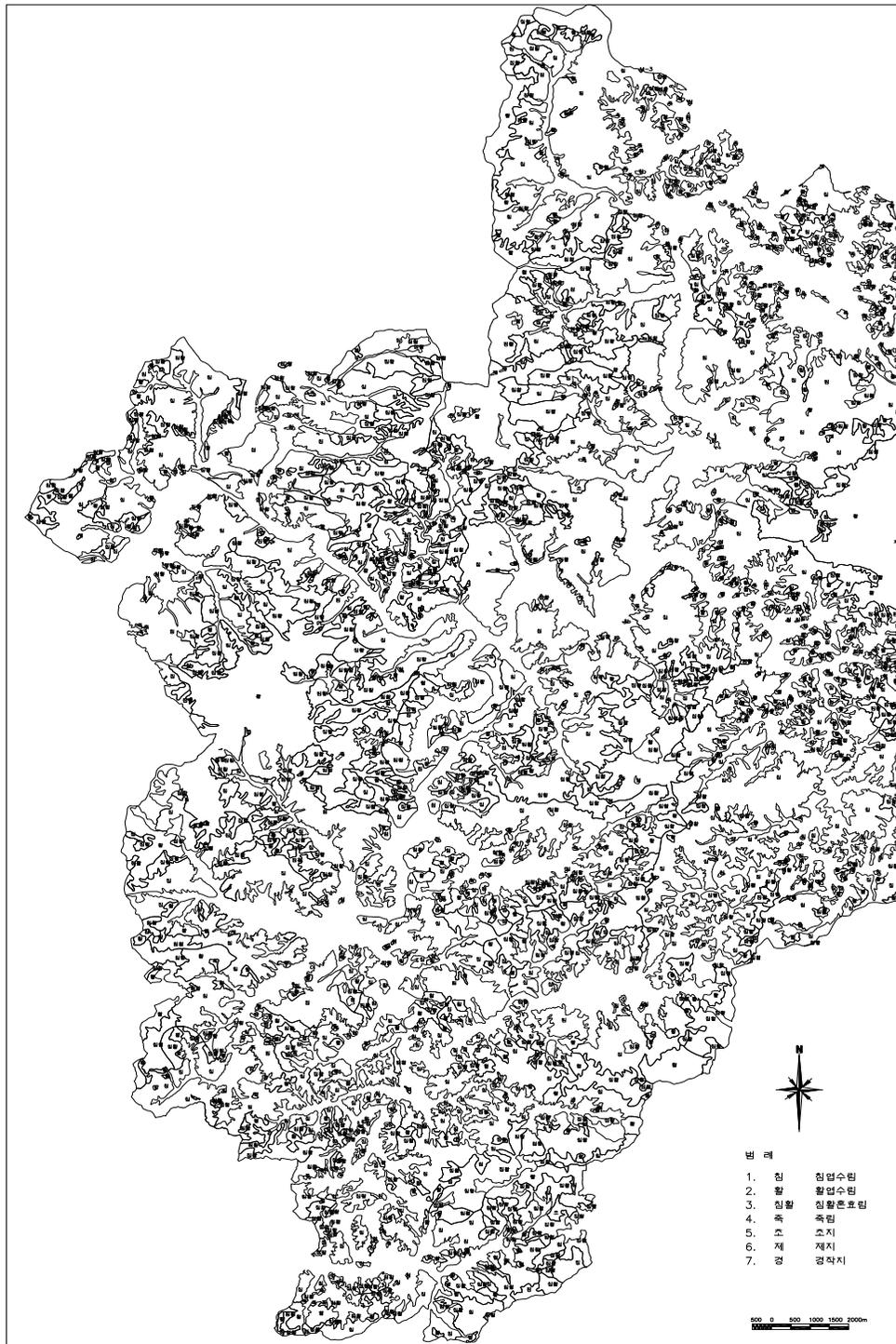


Fig. 5-11. Existing vegetation in Juam basin.

나. 산림구조

주암호 유역 산림구조 조사 임분의 개황은 Table 5-10과 같다.

주암호 유역의 주요 임상인 소나무림, 참나무림, 소나무-참나무림을 전체적으로 볼 때, 상층목의 밀도는 610~1,550본/ha이었으며, 임분별 평균수고와 흉고직경은 각각 11.8~14.8m, 12.6~26.7cm이었다. 임목밀도와 흉고직경의 종합적인 표현인 흉고 단면적은 14.42~37.70㎡/ha이었다. 중층의 임목 밀도는 1,050~3,250본/ha이었으며, 하층은 11,000~23,400본/ha이었다.

Table 5-10. Outlook of stand for forest structure investigation of Juam basin

Classification		Pine grove			Oak grove		Pine-oak grove	
		Stand 1	Stand 2	Stand 3	Stand 1	Stand 2	Stand 1	Stand 2
Upper	Density (tree/ha)	1,200	1,550	910	650	1,100	610	850
	Average height(m)	13.5	12.8	11.8	14.8	13.2	12.7	13.4
	Average diameter at breast height(cm)	20.0	14.6	23.1	23.9	12.6	26.7	19.7
	Breast height cross section(㎡/ha)	37.70	25.95	37.39	29.22	14.42	34.14	26.16
Middle	Density(tree/ha)	3,200	1,050	3,250	2,900	3,050	2,950	2,350
	Average height(m)	5.7	4.1	3.7	5.8	5.8	5.4	4.7
	Average diameter at breast height(cm)	3.9	2.1	2.2	3.1	2.3	2.9	2.4
	Breast height cross section(㎡/ha)	5.47	0.42	1.39	2.54	1.57	2.38	1.18
Lower	Density(tree/ha)	11,000	23,400	21,800	14,600	15,400	13,200	18,400
	Average height(m)	1.5	1.5	1.4	1.2	1.3	1.5	1.2

주암호 유역 소나무림 산림구조 조사 임분의 수관층별 상대중요치를 Table 5-11에 나타내었다. 소나무림은 3개 임분 모두 상층에서 소나무가 단일 우점종이었다. 임분 1의 중층에서는 굴참나무, 노각나무, 쇠물푸레, 철쭉꽃 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 철쭉꽃, 진달래 등이 우점종이었다. 임분 2의 중층에서는 상수리나무, 진달래, 고욤나무, 노린재나무 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 진달래가 우점종이었다. 임분 3의 중층에서는 노간주나무, 청대팻집나무, 노린재나무, 쇠물푸레 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 진달래가 우점종이었다.

Table 5–11. Importance percentage(%) by canopy of stand for pine forest structure investigation in Juam basin

Species of trees	Stand 1			Stand2			Stand 3		
	Upper	Middle	lower	Upper	Middle	lower	Upper	Middle	lower
<i>P. densiflora</i>	100.0	8.7	–	100.0	–	–	100.0	8.6	–
<i>Q. aliena</i>	–	1.7	–	–	–	–	–	–	–
<i>Q. variabilis</i>	–	16.9	–	–	–	–	–	–	–
<i>Q. mongolica</i>	–	2.1	–	–	–	–	–	–	–
<i>Q. serrata</i>	–	2.6	–	–	–	16.7	–	2.2	12.9
<i>Q. acutissima</i>	–	–	–	–	24.9	1.3	–	2.0	1.8
<i>R. trichocarpa</i>	–	2.7	6.6	–	3.0	1.2	–	–	–
<i>S. koreana</i>	–	12.9	–	–	–	–	–	–	–
<i>J. rigida</i>	–	4.6	3.9	–	4.4	1.2	–	23.3	0.8
<i>S. japonica</i>	–	5.0	–	–	–	–	–	–	–
<i>C. laxiflora</i>	–	7.1	–	–	4.4	–	–	–	–
<i>F. sieboldiana</i>	–	12.2	12.1	–	–	–	–	12.6	15.5
<i>R. mucronulatum</i>	–	1.7	21.0	–	14.8	44.4	–	0.9	45.5
<i>R. schlippenbachii</i> Max	–	18.8	45.0	–	–	–	–	–	2.0
<i>P. macropoda</i> Hara	–	3.0	–	–	3.0	–	–	29.8	0.8
<i>L. erythrocarpa</i>	–	–	5.4	–	–	–	–	–	–
<i>L. obtusiloba</i>	–	–	1.7	–	–	–	–	–	3.1
<i>S. china</i>	–	–	4.5	–	–	13.9	–	–	11.8
<i>D. lotus</i>	–	–	–	–	14.8	–	–	–	–
<i>S. chinensis for. pilosa</i>	–	–	–	–	20.2	–	–	17.9	1.3
<i>L. bicolor</i>	–	–	–	–	3.0	7.3	–	–	–
<i>L. maximowiczii</i>	–	–	–	–	7.7	–	–	–	–
<i>S. paniculata</i>	–	–	–	–	–	2.2	–	–	–
<i>I. kirilowii</i>	–	–	–	–	–	6.1	–	–	4.5
<i>F. rhynchophylla</i>	–	–	–	–	–	1.2	–	–	–
<i>C. coreana</i>	–	–	–	–	–	4.5	–	–	–
<i>V. erosum</i>	–	–	–	–	–	–	–	2.7	–
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Notes) *P*: *Pinus* *Q*: *Quercus* *R*: *Rhus* *S*: *Stewartia* *J*: *Juniperus* *S*: *Styrax* *C*: *Carpinus*
F: *Fraxinus* *R*: *Rhododendron* *P*: *Pseudo* *L*: *Lindera* *S*: *Smilax* *D*: *Diospyros*
S: *Symplocos* *L*: *Lespedeza* *I*: *Indigofera* *C*: *Corylopsis* *V*: *Viburnum*

주암호 유역 참나무림 산림구조 조사 임분의 수관층별 상대중요치를 Table 5-12에 나타내었다. 참나무림의 상층은 임분 1에서는 굴참나무가 단일 우점종이었으며, 임분 2에서는 굴참나무, 졸참나무, 갈참나무, 상수리나무가 혼효하고 있었다. 임분 1의 중층에서는 때죽나무, 청대팻집나무, 개울나무 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 진달래와 국수나무가 우점종이었다. 임분 2의 중층에서는 개울나무, 졸참나무, 때죽나무가 우점종이었으며, 하층에서는 진달래, 쇠물푸레, 조록싸리 등이 혼효하고 있었다.

주암호 유역 소나무-참나무림 산림구조 조사 임분의 수관층별 상대중요치를 Table 5-13에 나타내었다. 소나무-참나무림의 상층은 임분 1에서는 소나무와 굴참나무가 혼효하고 있으며, 임분 2에서는 소나무와 상수리나무가 혼효하고 있었다. 임분 1의 중층에서는 때죽나무, 노각나무, 서어나무, 청대팻집나무 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 진달래, 쇠물푸레 등이 혼효하고 있었다. 임분 2의 중층에서는 때죽나무, 개울나무, 갈참나무 등이 혼효하고 있으며, 하층에서는 국수나무, 졸참나무, 조록싸리 등이 우점종이었다.

Table 5-12. Importance percentage(%) by canopy of stand for oak forest structure investigation in Juam basin

Species of trees	Stand 1			Stand 2		
	Upper	Middle	lower	Upper	Middle	lower
<i>Q. variabilis</i>	100.0	14.9	-	34.6	-	-
<i>Q. serrata</i>	-	-	1.0	35.0	23.2	5.0
<i>Q. aliena</i>	-	-	-	10.4	-	1.7
<i>Q. acutissima</i>	-	-	-	20.1	4.0	-
<i>S. japonica</i>	-	17.6	-	-	16.3	1.4
<i>P. macropoda</i> Hara	-	13.1	-	-	-	-
<i>R. trichocarpa</i>	-	18.8	-	-	37.3	6.8
<i>S. koreana</i>	-	0.9	-	-	-	-
<i>R. schlippenbachii</i> Max	-	1.2	6.3	-	-	-
<i>S. chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	-	5.2	2.8	-	-	-
<i>P. sargentii</i>	-	2.9	1.5	-	-	-
<i>V. erosum</i>	-	6.7	3.1	-	-	5.3
<i>Z. schinifolium</i>	-	0.9	-	-	-	2.3
<i>Z. serrata</i>	-	16.1	-	-	-	-
<i>L. obtusifolium</i>	-	1.6	1.0	-	-	1.3
<i>S. incisa</i>	-	-	28.8	-	-	22.4
<i>R. mucronulatum</i>	-	-	30.8	-	-	26.0
<i>F. sieboldiana</i>	-	-	2.9	-	-	-
<i>S. china</i>	-	-	3.6	-	-	3.4
<i>C. heterophylla</i> var	-	-	3.0	-	-	1.0
<i>L. bicolor</i>	-	-	1.8	-	-	-
<i>D. glabrata</i>	-	-	1.8	-	-	-
<i>Rosa multiflora</i>	-	-	0.8	-	-	-
<i>Euonymus alatus</i>	-	-	3.6	-	-	-
<i>Akebia quinata</i>	-	-	4.8	-	-	-
<i>S. suffruticosa</i>	-	-	0.8	-	-	-
<i>Euonymus alatus</i>	-	-	1.8	-	-	-
<i>L. maximowiczii</i>	-	-	-	-	2.9	12.7
<i>Acer ginnala</i>	-	-	-	-	6.5	-

Species of trees	Stand 1			Stand 2		
	Upper	Middle	lower	Upper	Middle	lower
<i>Sorbus alnifolia</i>	–	–	–	–	9.9	–
<i>Smilax sieboldii</i>	–	–	–	–	–	1.2
<i>C. japonica Thunberg</i>	–	–	–	–	–	1.4
<i>L. cyrtobotrya</i>	–	–	–	–	–	1.7
<i>J. rigida</i>	–	–	–	–	–	0.8
<i>L. erythrocarpa</i>	–	–	–	–	–	1.4
<i>Celtis sinensis</i>	–	–	–	–	–	1.0
<i>A. brevipedunculata var</i>	–	–	–	–	–	1.7
<i>R. crataegifolius</i>	–	–	–	–	–	1.4
Total	100	100	100	100	100	100

Notes) Q : Quercus S : Styrax P : Pseudo R : Rhus S : Stewartia R:Rhododendron
S : Symplocos P : Prunus V : Viburnum Z ; Zanthoxylum Z : Zelkova
L : Ligustrum S : Stephanandra R : Rhododendron F : Fraxinus
S : Smilax C : Corylus L : Lespedeza D : Deutzia S : Securinega
L : Lespedeza C : Callicarpa J : Juniperus A : Ampelopsis R : Rubus

Table 5–13. Importance percentage(%) by canopy of stand for pine–oak forest structure investigation in Juam basin

Species of trees	Stand 1			Stand 2		
	upper	middle	lower	upper	middle	lower
<i>P. densiflora</i>	56.7	–	–	62.2	–	–
<i>Q. variabilis</i>	35.3	18.1	–	–	–	–
<i>Q. acutissima</i>	8.1	–	–	37.8	1.2	–
<i>Q. serrata</i>	–	0.9	1.4	–	4.0	16.7
<i>Q. aliena</i>	–	–	–	–	16.7	6.3
<i>S. koreana</i>	–	15.3	8.8	–	–	–
<i>P. macropoda</i> Hara	–	12.5	3.2	–	2.4	–
<i>R. trichocarpa</i>	–	10.0	5.5	–	19.8	5.3
<i>S. japonica</i>	–	20.2	7.8	–	34.5	2.5
<i>S. chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	–	2.0	8.5	–	1.7	–
<i>C. laxiflora</i>	–	13.7	1.7	–	–	–
<i>C. crenata</i> var	–	1.6	–	–	–	–
<i>P. sargentii</i>	–	2.1	–	–	2.8	–
<i>L. obtusiloba</i>	–	2.4	9.5	–	–	–
<i>R. mucronulatum</i>	–	1.2	13.0	–	2.9	3.8
<i>F. sieboldiana</i>	–	–	19.3	–	–	–
<i>S. china</i>	–	–	4.2	–	–	2.1
<i>V. erosum</i>	–	–	9.4	–	–	–
<i>L. bicolor</i>	–	–	2.7	–	2.9	–
<i>R. schlippenbachii</i> Max	–	–	5.2	–	–	–
<i>Z. schinifolium</i>	–	–	–	–	3.5	–
<i>L. erythrocarpa</i>	–	–	–	–	5.2	–
<i>Albizia julibrissin</i>	–	–	–	–	2.6	–
<i>S. incisa</i>	–	–	–	–	–	38.3
<i>L. maximowiczii</i>	–	–	–	–	–	12.5
<i>I. kirilowii</i>	–	–	–	–	–	6.7
<i>Euonymus alatus</i>	–	–	–	–	–	1.8
<i>R. crataegifolius</i>	–	–	–	–	–	2.5
<i>L. obtusifolium</i>	–	–	–	–	–	1.5
Total	100	100	100	100	100	100

Notes) Q : Quercus S: Styrax P : Pseudo R : Rhus S : Stewartia R : Rhododendron
S : Symplocos P : Prunus V : Viburnum Z ; Zanthoxylum Z : Zelkova
L : Ligustrum S : Stephanandra R : Rhododendron F : Fraxinus
S : Smilax C : Corylus L : Lespedeza D : Deutzia S : Securinega
L : Lespedeza C ; Callicarpa J : Juniperus A : Ampelopsis R : Rubus

2. 산림지역 유출수 및 유입하천의 수질 특성

가. 청천 시 유량 및 수질

(1) pH 및 수온

청천 시 조사지점의 pH변화를 Table 5-14에 나타내었다. pH는 전체적으로 시료에 관계없이 7.0~9.0 사이에 분포하는 약 알칼리성이었다. 혼효림지역의 pH는 6.12~9.04 범위로 평균 7.91, 활엽수림지역의 pH는 6.41~8.96 범위로 평균 7.80, 초본지역의 pH는 6.61~8.56 범위로 평균 7.54, 침엽수림지역의 pH는 6.83~8.83 범위로 평균 7.68이었으며, 산림지역의 pH는 혼효림지역의 pH가 가장 높게 조사되었다.

대흥계곡의 pH는 6.43~8.22 범위로 평균 7.52, 송광사계곡의 pH는 6.34~8.70 범위로 평균 7.88, 까치골의 pH는 6.43~8.75 범위로 평균 7.73, 송광천지류의 pH는 6.49~8.74 범위로 평균 7.85, 동북천지류의 pH는 5.70~9.20 범위로 평균 7.99, 보성강지류의 pH는 6.50~9.12 범위로 평균 7.95로 조사되었다.

Table 5-15는 청천 시 조사지점의 수온 변화를 나타내었다. 수온은 1월, 2월 4℃전후 범위, 3월에 10℃부근의 온도변화를 보였으며, 6월부터는 20℃이상의 온도 변화를 나타내었다.

혼효림지역은 1.0~23.1℃ 범위로 평균 12.8℃, 활엽수림지역은 1.2~23.0℃ 범위로 평균 13.2℃, 초본지역은 0.5~25.6℃ 범위로 평균 14.0℃, 침엽수림은 1.6~25.0℃ 범위로 평균 14.0℃로 산림지역의 온도변화는 초본지역이 온도가 다른 산림지역보다 높게 나타나는 특성을 보였으며, 이는 다른 산림지역보다 외부의 온도변화에 민감함을 볼 수 있었다. 산림지역의 온도변화는 초본지역이 온도가 다른 산림지역보다 높게 나타나는 특성을 보였으며 이는 다른 산림지역보다 외부의 온도변화에 민감함을 볼 수 있으며, 산림이 우거진 지역의 유출수 수온이 더 낮았다. 계류수중 대흥계곡은 2.0~24.0℃ 범위로 평균 13.9℃, 송광사계곡은 0.2~24.3℃ 범위로 평균 12.7℃, 까치골은 1.2~24.6℃ 범위로 평균 13.3℃로 조사되었고, 유입하천수중 송광천지류는 0.5~29.5℃ 범위로 평균 15.8℃, 동북천지류는 2.5~32.6℃ 범위로 평균 17.2℃, 보성지류는 1.4~30.5℃ 범위로 평균 17.2℃로 조사되었다. 산림지역과 계류수의 년 평균온도 12.8~14℃ 유입하천의 연평균온도 15.8~17.7℃로 조사되었다.

Table 5-14. Variation of pH by cloudless sky

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	8.17	8.07	NC	7.89	NC	8.63	8.04	7.92	7.78	7.80
6/19	7.42	7.82	NC	7.63	NC	8.62	8.46	7.87	8.64	8.32
7/02	7.28	7.90	NC	7.12	NC	8.50	8.65	7.62	8.63	8.27
7/16	7.68	7.96	NC	7.64	NC	8.00	8.45	8.11	9.20	7.80
7/29	7.79	8.20	NC	8.60	NC	7.79	8.33	8.73	8.83	8.72
8/17	7.68	7.96	NC	7.64	NC	8.00	8.45	8.11	9.20	7.80
9/03	8.19	7.94	6.71	7.68	6.68	7.99	8.51	8.41	8.84	7.94
9/17	7.39	7.58	6.61	7.50	6.43	7.83	7.77	7.68	7.72	7.82
10/03	8.59	8.96	7.12	8.83	7.86	8.53	8.75	8.74	8.54	8.27
10/31	8.10	7.50	7.81	7.58	7.67	7.65	7.68	7.86	8.71	7.65
11/13	7.72	7.78	8.02	7.98	7.80	7.67	7.99	7.84	8.51	8.24
11/28	9.04	8.72	8.56	8.20	8.22	8.29	7.88	8.21	8.95	8.24
12/28	8.33	8.13	8.21	8.11	8.19	8.21	7.95	8.06	8.43	8.22
05/1/30	8.38	8.12	8.30	7.69	8.22	8.70	7.92	7.27	8.30	8.70
2/18	8.30	8.07	8.01	7.83	7.97	8.01	7.80	7.78	7.88	8.28
3/19	6.82	6.90	6.90	7.30	6.99	7.50	7.50	7.33	7.94	7.98
4/27	7.85	7.82	7.68	7.49	7.41	7.82	7.75	8.58	7.98	7.95
5/20	7.80	7.68	7.50	7.51	7.48	7.91	7.66	7.50	7.58	7.75
6/06	7.65	7.49	7.27	7.45	7.41	7.85	7.64	8.07	7.59	9.12
7/02	7.59	7.48	7.44	7.31	7.46	7.65	6.43	7.01	6.44	6.50
7/27	7.69	7.60	7.51	7.44	7.44	7.63	7.06	8.17	7.33	7.42
8/10	7.11	7.00	7.05	7.05	7.11	6.77	7.45	7.01	7.16	7.14
9/09	7.86	7.60	7.20	6.83	7.20	7.13	7.74	7.01	7.26	8.59
10/14	6.12	6.41	7.10	6.89	6.61	6.34	7.10	6.49	5.70	7.00
11/23	6.24	6.47	6.65	7.41	6.75	7.40	7.25	7.03	6.38	7.25
Annual average	7.91	7.80	7.54	7.68	7.52	7.88	7.73	7.85	7.99	7.95
Max.	9.04	8.96	8.56	8.83	8.22	8.70	8.75	8.74	9.20	9.12
Min.	6.12	6.41	6.61	6.83	6.43	6.34	6.43	6.49	5.70	6.50

Note) NC : Not collected

Table 5-15. Variation of water temperature by cloudless sky (Unit : °C)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	18.7	19.2	NC	19.2	NC	17.4	17.6	21.5	22.2	22
6/19	20.5	21.4	NC	19.8	NC	19.2	21.4	20.6	21.2	20.8
7/02	19.9	19.8	NC	21.1	NC	18.7	18.7	22.6	25.1	18.8
7/16	18.9	19.5	NC	19.6	NC	18.6	18.0	21.6	22.9	21.6
7/29	21.3	22.1	NC	25.0	NC	22.4	23.7	27.3	32.6	26.8
8/17	23.1	23.0	NC	22.9	NC	24.3	24.6	25.2	30.3	27.3
9/03	18.4	18.8	19.4	19.8	20.2	19.5	21.1	21.3	24.5	23.1
9/17	17.8	17.7	18.8	19.0	19.6	18.1	18.0	24.8	21.3	22.6
10/03	14.7	13.7	14.3	15.0	15.2	11.9	15.2	15.7	22.0	18.6
10/31	14.2	14.0	14.0	13.8	14.1	14.3	13.1	16.8	17.2	19.4
11/13	8.7	10.2	10.4	10.3	10.5	9.4	9.4	10.4	11.8	11.2
11/28	9.2	9.3	8.5	8.9	8.5	8.0	8.2	8.6	11.3	14.0
12/28	1.3	1.4	0.7	1.6	2.0	0.3	1.4	1.0	2.5	1.4
05/1/30	1.0	1.2	0.5	1.8	2.1	0.2	1.2	0.5	2.7	1.7
2/18	2.8	3.8	2.4	3.8	3.3	2.8	3.8	5.3	5.0	6.1
3/19	7.9	10.0	11.2	10.4	9.5	6.5	10.0	11.7	13.0	13.2
4/27	13.0	15.2	13.8	17.4	14.9	12.8	13.8	17.1	21.0	21.6
5/20	15.6	16.6	19.1	17.7	16.7	15.2	18.1	19.5	23.3	23.0
6/06	19.3	19.3	23.0	19.7	21.3	20.1	19.1	26.7	25.2	28.2
7/02	19.3	19.6	21.3	20.2	19.5	19.6	18.3	21.2	21.5	24.2
7/27	22.8	22.4	25.6	23.7	24.0	23.6	22.3	29.5	30.2	30.5
8/10	18.9	18.6	21.1	20.7	21.2	21	20.1	22.3	23.1	24.3
9/09	20.5	20.0	19.9	20.2	19.8	19.9	20.6	22.9	25.0	25.7
10/14	16.0	17.5	17.1	17.7	17.5	17.2	16.3	18.4	21.2	21.6
11/23	6.5	8.2	7.5	7.9	8.2	6.2	8.6	8.7	6.6	7.8
Annual Average	12.8	13.2	14.0	14.0	13.9	12.7	13.3	15.8	17.2	17.7
Max.	23.1	23	25.6	25.0	24.0	24.3	24.6	29.5	32.6	30.5
Min.	1.0	1.2	0.5	1.6	2.0	0.2	1.2	0.5	2.5	1.4

Note) NC :Not collected

Table 5-16. Variation of flow

(Unit : m³/day)

Date	F1	F2	F3	F4	V1
04/5/30	24.1	33.6	NC	11.4	NC
6/19	2,732.4	4,763.7	NC	1,032.4	NC
7/2	245.2	808.7	NC	93.4	NC
7/16	1,375.2	3,274.5	NC	736.2	NC
7/29	404.5	1,786.7	NC	299.6	NC
8/17	324.5	904.8	NC	35.7	NC
9/3	314.7	1,077.2	98.0	22.9	1,927.0
9/17	2,134.0	4,089.0	1,042.0	1,121.0	8,427.0
10/3	176.1	326.2	192.0	207.6	2,103.0
10/31	302.9	794.7	419.0	242.7	1,875.4
11/13	222.8	652.6	274.2	72.5	2,482.9
11/28	603.6	173.2	76.4	82.7	2,322.7
12/28	76.8	100.2	10.5	14.5	675.6
05/1/30	126.6	137.3	8.6	27.5	606.4
2/18	83.6	30.3	224.8	201.3	1,690.2
3/19	133.4	218.4	66.1	50.8	1,311.6
4/27	148.1	121.1	344.9	80.8	4,152.8
5/20	333.5	299.7	46.0	62.2	2,823.4
6/6	99.0	39.2	96.1	4.4	823.0
7/2	3,153.9	3,276.1	2,989.7	783.8	48,375.6
7/27	429.2	251.2	32.8	26.5	3,283.5
8/10	567.3	604.6	343.6	650.3	22,949.1
9/9	380.8	327.1	169.3	88.9	7,448.4
10/14	250.3	62.7	76.8	73.3	1,948.0
11/23	136.9	104.5	101.1	125.4	1,959.1
Average	239.7	267.0	150.8	89.4	2,430.7
Max.	3,153.9	4,763.7	2,989.7	1,121.0	48,375.6
Min.	24.1	30.3	8.6	4.4	606.4

Note) NC : Not collected

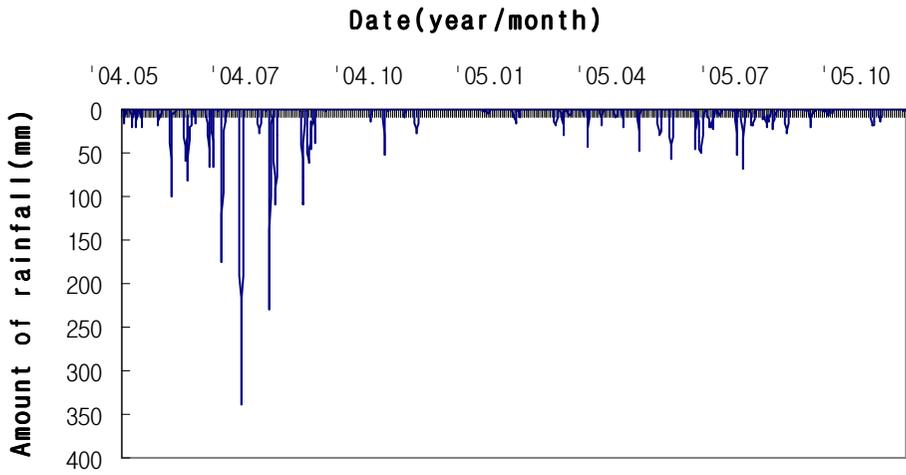


Fig. 5-12 Precipitation in investigation period.

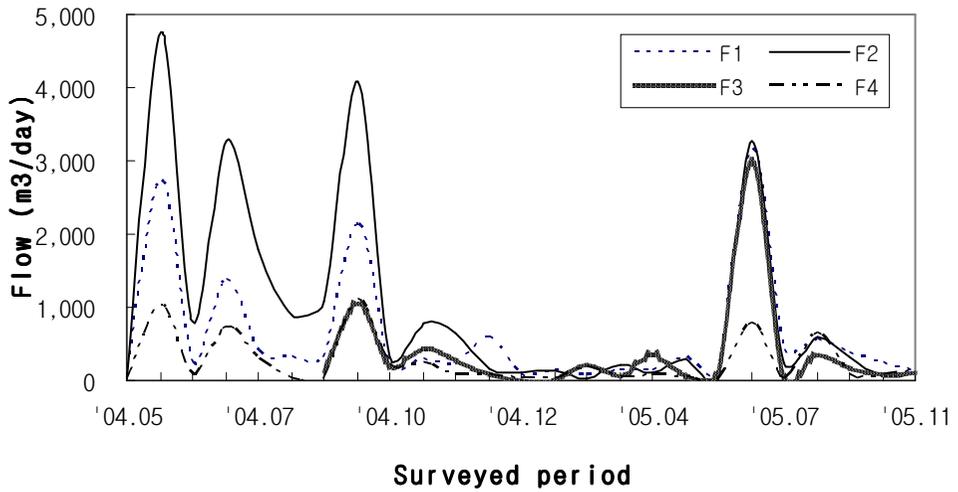


Fig. 5-13. Variation of flow by month.

(2) BOD 농도 변화

청천시 조사지점의 BOD 농도변화는 Table 5-17과 Fig. 5-14에 나타내었다. BOD농도는 월별 큰 차이가 없었으며, 강우기에 증가하는 경향을 보였다.

산림지역의 BOD 농도 변화는 혼효림지역 0.8~9.8mg/L 범위로 평균 2.3mg/L, 활엽수림지역은 0.4~12.6mg/L 범위로 평균 2.5mg/L, 초본지역은 0.5~5.2mg/L 범위로 평균 2.1mg/L, 침엽수림지역은 0.8~10.4mg/L 범위로 평균 3.3mg/L로 조사되었다.

대흥계곡은 0.7~6.8mg/L 범위로 평균 1.3mg/L, 송광사계곡은 0.6~8.0mg/L 범위로 평균 1.6mg/L, 까치골은 0.4~8.2mg/L 범위로 평균 1.8mg/L, 송광천지류는 0.4~10.2mg/L 범위로 평균 1.8mg/L, 동북천지류는 0.4~10.4mg/L 범위로 평균 1.7mg/L, 보성강지류는 1.0~10.7mg/L 범위로 평균 3.9mg/L이었다.

조사기간 동안 산림지역의 BOD변화는 감소하는 경향을 보였으며, 계류수는 일정한 농도를 유지하였다. 그러나 유입 하천은 보성강지류가 가장 높은 BOD 농도를 보였으며 특히 강우시에 농도가 높게 나타났다. 이는 주암호의 유역의 산림중 보성강유역의 비율이 매우 높은 것과 상관성이 있는 것으로 판단된다.

Table 5-17. Variation of BOD concentration by cloudless sky

(Unit : mg/L)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	4.4	3.2	NC	3.6	NC	3.2	1.4	3.2	4.1	3.4
6/19	9.8	10.6	NC	10.4	NC	8.0	8.2	4.6	5.2	5.2
7/02	2.0	1.2	NC	1.8	NC	2.2	2.0	3.2	3.2	2.7
7/16	4.0	2.8	NC	3.7	NC	1.8	1.4	1.4	2.0	2.7
7/29	1.4	0.4	NC	0.8	NC	1.4	0.4	0.5	0.4	1.0
8/17	2.7	5.4	NC	3.8	NC	1.2	1.2	1.6	2.4	3.8
9/03	2.4	5.3	2.4	5.4	1.6	1.4	1.2	5.6	6.2	10.7
9/17	8.8	12.6	5.2	8.4	6.8	4.8	6.2	10.2	10.4	10.2
10/03	1.8	2.4	2.4	2.0	1.8	1.2	1.4	3.0	1.6	3.8
10/31	2.6	5.2	3.2	5.8	0.8	1.6	1.6	2.4	2.0	9.2
11/13	4.6	3.0	3.2	5.8	1.8	2.2	1.8	2.0	2.8	9.2
11/28	2.4	5.0	3.4	6.2	1.0	1.4	1.2	2.4	1.8	8.6
12/28	2.3	4.1	3.2	4.8	0.8	1.4	1.3	2.1	1.7	3.4
05/1/30	0.9	1.4	0.5	1.7	0.7	1.4	1.6	2.2	1.9	1.0
2/18	3.2	2.0	2.6	4.8	1.3	0.7	3.6	1.8	1.7	2.5
3/19	1.4	1.3	1.2	1.5	1.1	2.2	1.1	0.7	1.6	1.3
4/27	2.0	1.5	0.9	2.3	1.2	1.7	2.1	0.7	1.7	1.5
5/20	1.3	1.2	2.6	1.0	1.4	1.6	1.5	1.8	1.0	3.0
6/06	3.1	1.3	0.8	1.9	1.7	1.8	1.4	1.1	1.9	4.4
7/02	1.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.6	0.7	0.4	0.9	1.9
7/27	2.4	0.9	1.1	1.3	1.5	1.2	1.2	0.9	1.0	2.3
8/10	2.5	5.2	3.4	4.8	0.8	1.1	1.2	2.1	2.2	3.7
9/09	2.1	2.9	2.6	3.8	1.8	2.2	4.2	1.8	1.1	1.1
10/14	1.8	3.2	2.4	4.3	1.2	1.5	1.1	3.7	1.9	4.8
11/23	0.8	2.1	2.0	1.9	4.7	1.5	1.2	1.4	1.7	1.2
Annual Average	2.3	2.5	2.1	3.3	1.3	1.6	1.8	1.8	1.7	3.9
Max.	9.8	12.6	5.2	10.4	6.8	8.0	8.2	10.2	10.4	10.7
Min.	0.8	0.4	0.5	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	1.0

note) NC : Not collected

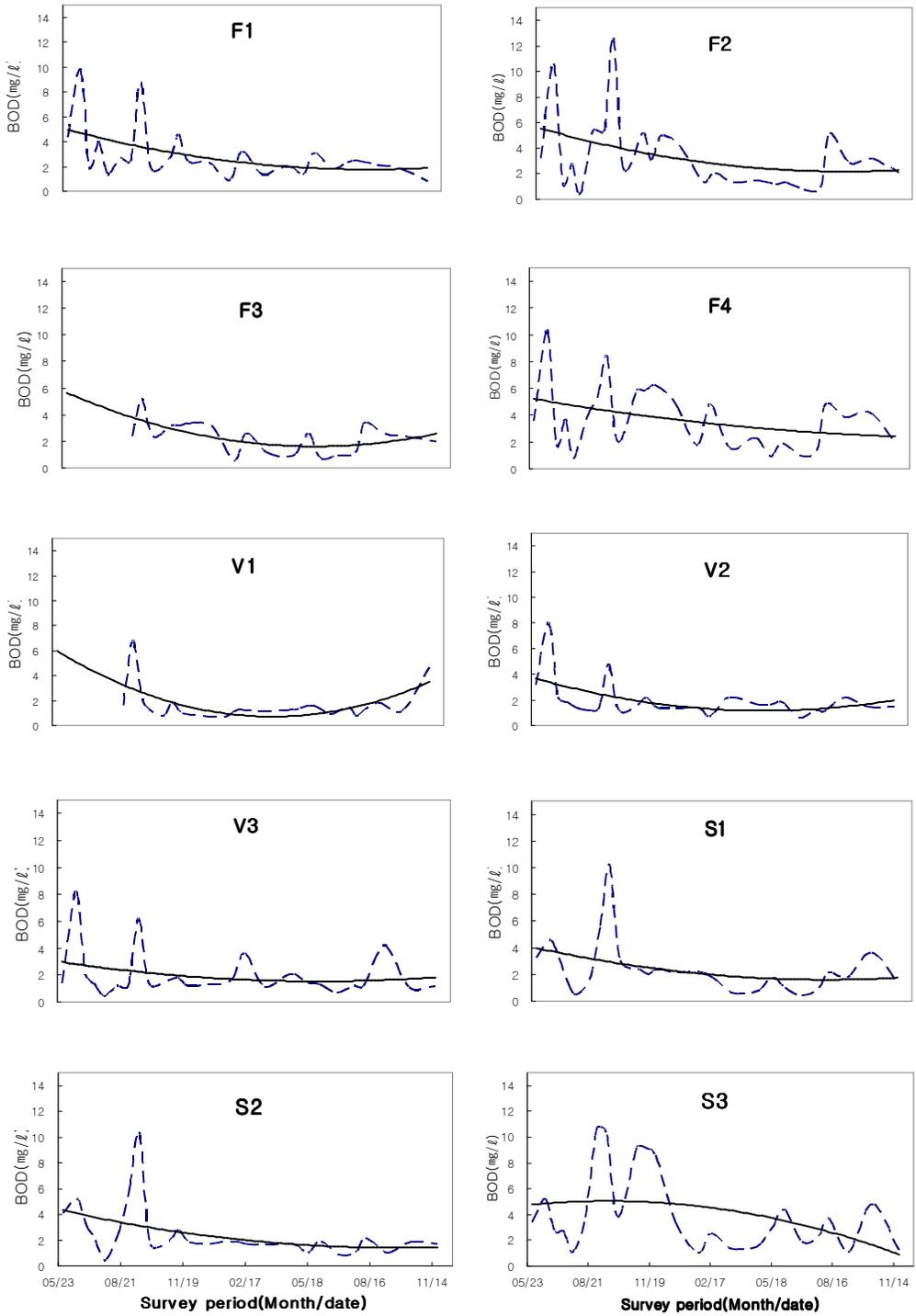


Fig. 5-14. Variation of BOD concentration by cloudless sky.

(3) COD_{Mn} 및 COD_{Cr}

청천시 조사지점의 COD_{Mn} 농도 변화를 Table 5-18과 Fig. 5-15에 나타내었다.

훈효림지역은 1.4~11.4mg/L 범위로 평균 2.9mg/L, 활엽수림지역은 1.2~13.2mg/L 범위로 평균 2.9mg/L, 초본지역은 0.4mg/L~6.4mg/L 범위로 평균 2.7mg/L, 침엽수림지역은 0.6~10.6mg/L 범위로 평균 3.5mg/L, 대흥계곡은 0.6~7.4mg/L 범위로 평균 1.2mg/L, 송광사계곡은 0.5~7.8mg/L 범위로 평균 1.2mg/L, 까치골은 0.4~8.8mg/L 범위로 평균 1.4mg/L, 송광천지류는 0.7~9.7mg/L 범위로 평균 2.7mg/L, 동복천지류는 0.6~10.2mg/L 범위로 평균 2.5mg/L, 보성강지류는 1.8~11.7mg/L 범위로 평균 5.4mg/L이었다.

Table 5-19와 Fig. 5-16에 청천 시 조사지점의 COD_{Cr} 농도 변화를 나타내었다.

훈효림지역은 2.5~22.5mg/L 범위로 평균 8.0mg/L, 활엽수림지역은 2.2~39.5mg/L 범위로 평균 7.9mg/L, 초본지역은 2.5~28.5mg/L 범위로 평균 7.9mg/L, 침엽수림지역은 0.7~42.7mg/L 범위로 평균 11.2mg/L로 나타났으며, 계류수의 농도 범위는 대흥계곡은 1.1~32.5mg/L 범위로 평균 3.6mg/L, 송광사계곡은 1.4~28.1mg/L 범위로 평균 3.6mg/L, 까치골은 2.0~33.9mg/L 범위로 평균 3.8mg/L, 유입하천수의 COD_{Cr} 농도는 송광천지류는 1.3~26.4mg/L 범위로 평균 6.8mg/L, 동복천지류는 1.1~30.5mg/L 범위로 평균 6.9mg/L, 보성강지류는 2.5~38.8 mg/L 범위로 평균 13.9mg/L 로 보성강이 가장 높은 것으로 조사되었다.

COD_{Cr}의 농도는 COD_{Mn}의 농도 보다 2~3배가 높게 나타난 것을 볼 수 있었다.

Table 5-18. Variation of COD_{Mn} concentration by cloudless sky
(Unit : mg/L)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	5.8	3.6	NC	3.8	NC	2.4	3.8	5.6	5.0	5.8
6/19	11.4	12.2	NC	10.6	NC	7.8	8.8	5.4	5.8	6.2
7/02	3.6	3.6	NC	2.4	NC	2.4	3.6	3.2	2.6	3.4
7/16	4.8	4.2	NC	3.6	NC	2.4	2.2	3.6	3.4	4.4
7/29	2.8	3.4	NC	7.3	NC	2.2	1.8	3.0	3.6	2.8
8/17	3.0	6.6	NC	4.6	NC	1.2	3.4	2.2	1.4	3.4
9/03	2.9	5.8	2.4	6.0	1.7	1.4	1.6	5.4	6.8	9.2
9/17	10.4	13.2	4.3	9.8	7.4	5.2	6.2	9.7	10.2	11.7
10/03	1.6	2.7	2.6	1.8	1.7	1.2	1.2	3.4	2.0	3.6
10/31	2.5	4.6	2.9	6.0	1.2	1.6	1.4	1.8	2.3	9.7
11/13	5.3	2.9	2.9	6.2	2.1	2.6	2.3	2.2	3.1	8.6
11/28	2.5	4.6	2.9	6.0	1.2	1.6	1.4	1.8	2.3	9.7
12/28	2.4	3.1	2.5	5.1	1.1	1.4	1.2	1.5	2.1	8.5
05/1/30	2.5	1.9	2.2	1.8	0.8	0.8	1.1	0.7	0.6	2.0
2/18	1.8	4.4	2.8	3.8	0.6	0.8	1.8	6.9	0.7	3.4
3/19	2.8	1.2	3.2	2.6	0.8	0.8	1.2	2.0	2.6	2.8
4/27	4.0	1.2	1.4	2.4	1.0	0.8	1.2	4.4	1.6	3.2
5/20	3.2	2.6	6.4	0.6	2.2	1.1	1.9	3.2	4.2	4.6
6/06	1.4	2.2	2.6	3.5	1.6	0.9	1.4	4.0	5.0	5.5
7/02	1.7	1.8	3.1	2.7	2.0	1.0	1.4	2.3	2.7	4.2
7/27	5.8	3.8	1.8	2.8	0.9	1.1	1.2	2.8	3.5	3.4
8/10	1.6	3.0	1.6	2.6	1.8	1.9	1.4	2.8	3.0	1.8
9/09	2.4	2.4	0.4	2.4	0.6	0.5	0.4	1.0	2.2	4.6
10/14	2.6	1.9	1.0	1.2	0.8	1.0	0.7	2.0	2.0	2.9
11/23	1.9	1.7	1.2	1.0	1.2	2.24	1.6	3.1	2.7	2.0
Annual Average	2.9	2.9	2.7	3.5	1.2	1.2	1.4	2.7	2.5	5.4
Max.	11.4	13.2	6.4	10.6	7.4	7.8	8.8	9.7	10.2	11.7
Min.	1.4	1.2	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	1.8

Note) NC :Not collected

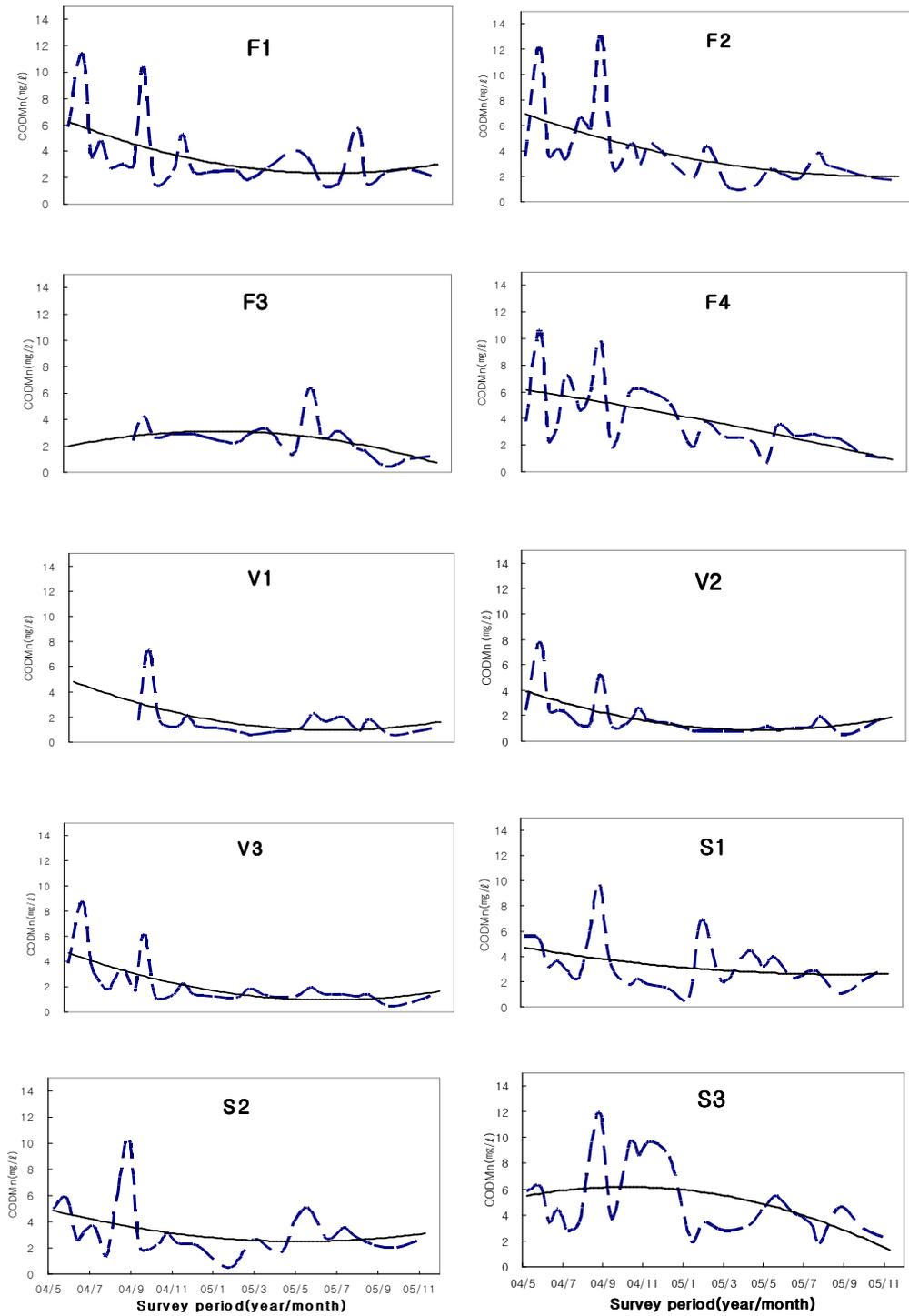


Fig. 5-15. Variation of COD_{Mn} concentration by cloudless sky.

Table 5-19. Variation of COD_{Cr} concentration by cloudless sky
(Unit : mg/L)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	18.2	11.8	NC	14.3	NC	10.8	14.2	16.4	18.6	17.3
6/19	17.5	24.3	NC	20.7	NC	14.8	19.2	16.2	13.8	18.7
7/02	12.4	11.7	NC	8.9	NC	7.2	14.8	10.6	11.3	11.2
7/16	17.4	12.3	NC	14.4	NC	8.3	10.6	13.6	14.2	15.2
7/29	8.4	22.3	NC	42.7	NC	28.1	24.2	14.3	22.2	27.6
8/17	14.0	6.0	NC	10.0	NC	6.0	14.0	10.0	20.0	16.0
9/03	7.8	12.3	13.4	11.9	8.6	2.9	4.1	15.4	18.2	22.3
9/17	16.5	39.5	28.5	26.9	32.5	26.7	33.9	26.4	30.5	36.5
10/03	5.8	7.9	9.6	7.2	6.5	4.0	5.8	12.8	8.4	12.4
10/31	8.0	15.6	12.2	22.8	4.8	6.6	5.5	8.6	12.0	31.8
11/13	16.6	9.5	10.7	23.3	7.4	11.7	8.6	6.4	11.5	28.9
11/28	7.3	15.6	13.6	24.0	5.4	6.7	5.3	7.4	10.1	38.8
12/28	6.8	9.4	10.5	22.0	4.2	3.6	3.2	5.1	9.6	10.3
05/1/30	4.5	3.4	4.0	3.2	1.4	1.4	2.0	1.3	1.1	3.6
2/18	3.2	7.9	5.0	6.8	1.1	1.4	3.2	12.4	1.3	6.1
3/19	5.0	2.2	5.8	4.7	1.4	1.4	2.2	3.6	4.7	7.2
4/27	7.2	2.2	2.5	4.3	1.8	1.4	2.4	7.9	2.9	7.5
5/20	3.6	2.9	7.2	0.7	2.5	1.6	2.2	3.6	4.7	7.4
6/06	2.5	4.0	4.7	6.3	2.9	1.8	2.5	7.2	9.0	9.9
7/02	3.1	3.2	5.6	4.9	3.6	1.8	2.5	4.1	4.9	7.6
7/27	10.4	6.8	3.2	5.0	1.6	2.0	2.2	5.0	6.3	7.5
8/10	2.9	5.4	2.9	4.7	3.2	3.4	2.5	5.0	5.4	3.2
9/09	22.5	14.7	13.7	14.7	6.4	3.1	4.9	6.9	7.8	8.8
10/14	4.5	2.5	2.5	1.0	1.5	2.0	2.9	2.5	2.0	5.4
11/23	6.5	9.5	4.0	7.0	6.0	5.0	2.0	5.5	29.4	2.5
Annual average	8.0	7.9	7.9	11.2	3.6	3.6	3.8	6.8	6.9	13.9
Max.	22.5	39.5	28.5	42.7	32.5	28.1	33.9	26.4	30.5	38.8
Min.	2.5	2.2	2.5	0.7	1.1	1.4	2.0	1.3	1.1	2.5

Note) NC :Not collected

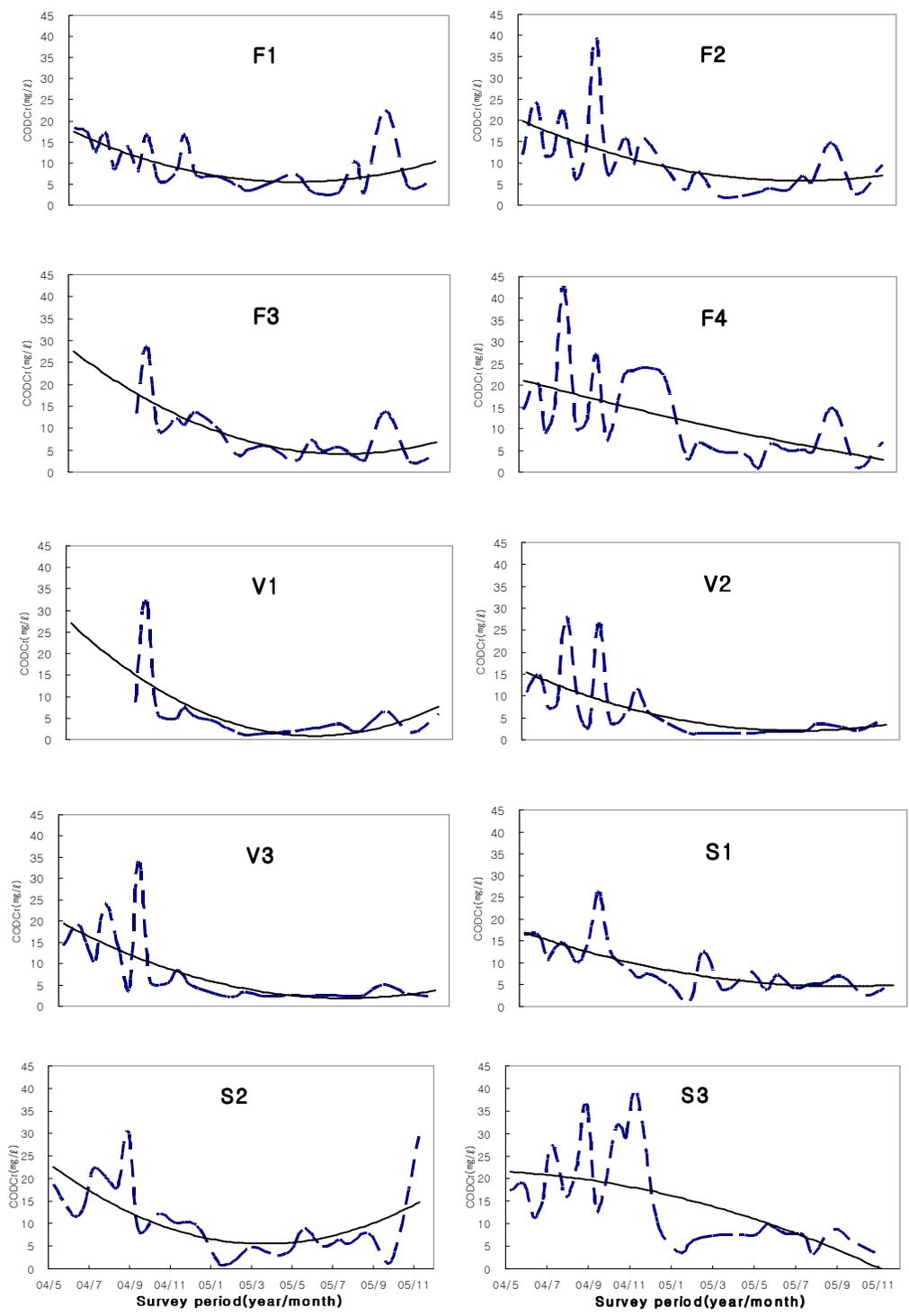


Fig. 5-16. Variation of COD_{Cr} concentration by cloudless sky.

(4) 고형물질의 특성

고형물질의 함량을 용존성 고형물질, 부유성 고형물질로 구분하여 조사하였다. 전 지점에서 고형물질의 농도는 용존성 고형물질의 함량이 부유성 고형물질 보다 더 높게 조사되었다. 산림지역의 유출수와 계류수는 청천 시에는 부유성고형물 함량이 매우 낮아 투명도가 높았다.

Fig. 5-17과 <부록11>에 조사기간 동안 고형물질 분석결과를 나타내었다. 산림지역 중 혼효림지역은 21.0~517mg/L 범위로 평균 43.0mg/L, 활엽수림지역은 21~463.0mg/L 범위로 평균 48.9mg/L, 초본지역은 21~73.0mg/L 범위로 평균 48.9mg/L, 침엽수림지역은 13~432mg/L 범위로 평균 57.1mg/L로 나타났다. 계류수중에는 대흥계곡은 20.0~71.0mg/L 범위로 평균 45.0mg/L, 송광사계곡은 14.0~529.0mg/L 범위로 평균은 29.7mg/L, 까치골은 14.0~127.0mg/L 범위로 평균 38.4mg/L로 나타났다.

유입하천수중 송광천지류가 14~114mg/L 범위로 평균은 55.6mg/L, 동북천지류는 17~86mg/L 범위로 평균 50.7mg/L, 보성강지류는 10.0~105.0mg/L 범위로 평균 61.1mg/L이었다.

고형물중 부유성고형물은 혼효림지역이 26.5%, 활엽수림지역이 26%, 초본지역이 17.9%, 침엽수림지역이 18.4%로 나타났다. 계류수중 대흥계곡이 11.7%, 송광사계곡이 18.8%, 까치골은 16.2%로 나타났다. 유입하천수의 부유성고형물은 송광천지류가 14%, 동북천지류가 15.9%, 보성강지류가 79.1%로 나타났다.

용존성고형물은 혼효림지역이 73.5%, 활엽수림지역이 74%, 초본지역이 82.1%, 침엽수림지역이 81.6%로 나타났다. 계류수중 대흥계곡이 88.3%, 송광사계곡이 81.2%, 까치골은 83.8%로 나타났다. 유입하천수의 부유성고형물은 송광천지류가 86%, 동북천지류가 84.1%, 보성강지류가 79.1%로 나타났다.

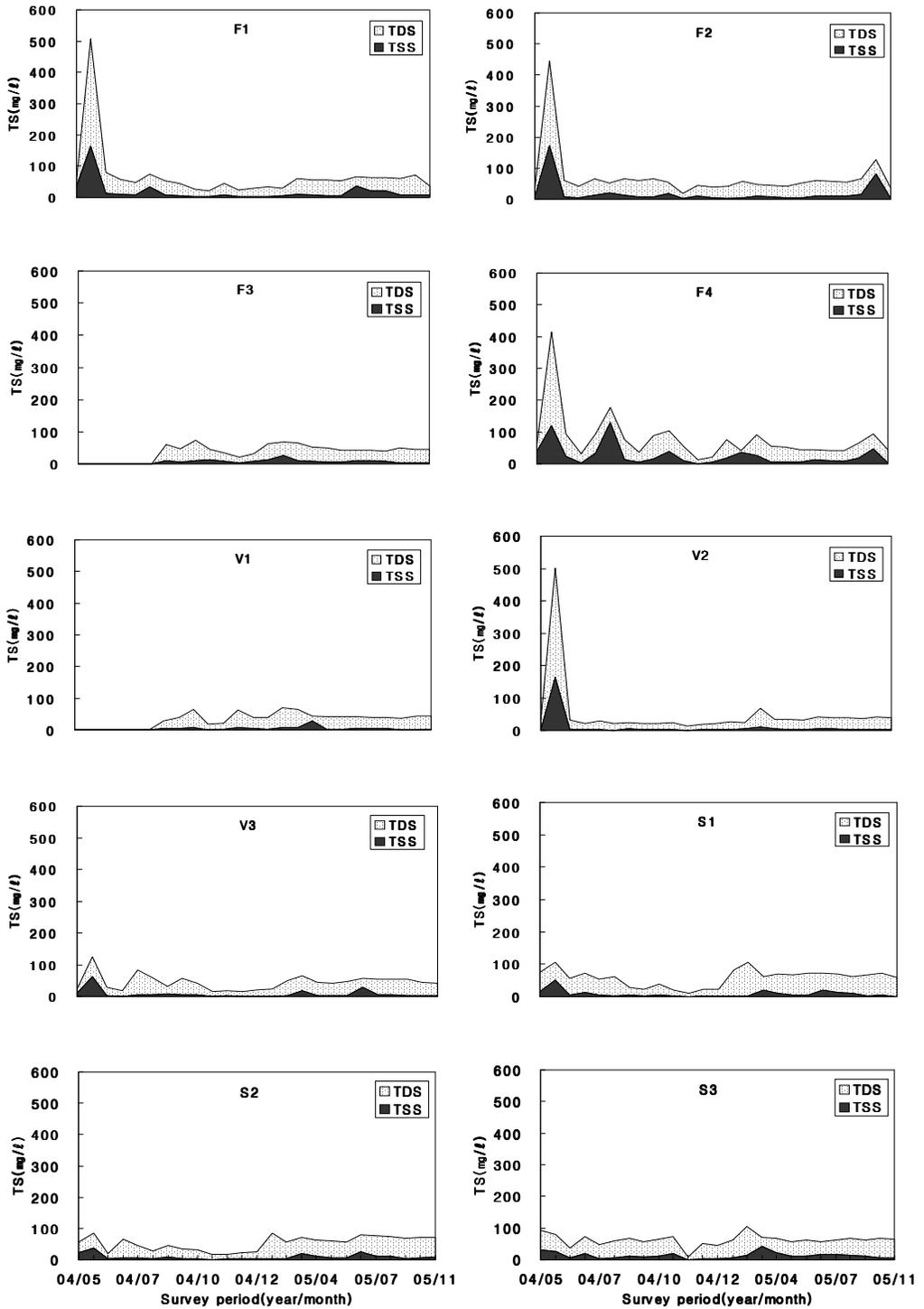


Fig. 5-17. Variation of solid concentration by cloudless sky.

(5) T-N 특성

청천시 조사지점의 T-N농도변화를 Table 5-20과 Fig. 5-18에 나타내었다.

T-N의 농도는 혼효림지역은 0.032~5.020mg/L 범위로 평균 0.451mg/L, 활엽수림지역은 0.021~5.788mg/L 범위로 평균 0.416mg/L, 초본지역은 0.134~1.115mg/L 범위로 평균 0.508mg/L, 침엽수림지역은 0.059~3.635mg/L 범위로 평균 0.387mg/L로 나타났으며, 계류수중 대흥계곡은 0.010~1.314mg/L 범위로 평균 0.460mg/L, 송광사계곡은 0.019~3.271mg/L 범위로 평균은 0.564mg/L, 까치골은 0.099~5.203mg/L 범위로 평균 0.391mg/L로 나타났다. 유입하천수는 송광천지류가 0.316~3.321mg/L 범위로 평균은 1.660mg/L, 동복천지류는 0.221~2.743mg/L 범위로 평균 0.841mg/L, 보성강지류는 0.168~5.092mg/L 범위로 평균 0.975mg/L 이었다.

전반적으로 T-N의 농도변화는 1월에서 3월로 가면서 감소되었으며, 이는 겨울 동안 유출량이 적고, 낙엽들의 흡착과 식물의 생장이 시작되면서 흡수된 것으로 보인다. 다시 4월부터 증가하여 5월에는 가장 높은 농도를 보였다. 3월부터 내리기 시작한 강우가 4월까지 누적 강우량이 100mm 이상이 되면서 산림에서의 유출이 증가되는 것으로 보인다. 그러나 강우의 영향이 커져 유출량이 많아진 6월, 7월에는 다시 낮아지는 경향을 보였다. 8월 10일 수질의 상승원인은 채수 중에 강우가 있었으며, 주요 유입하천수의 경우 10여일 동안 지속된 강우와 조류의 생성이 증가요인으로 판단된다.

T-P와 비교할 때 T-N의 경우는 산림으로부터 유출량이 있는 것으로 판단되며, 식물의 체내 질소성분의 흡수와 배출 또는 강우중의 질산성분 등의 원인에 의해 농도변화가 있는 것으로 사료된다.

Table 5-20. Variation of T-N concentration by cloudless sky

(Unit : mg/L)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	0.236	0.052	NC	0.139	NC	0.110	0.422	3.300	2.451	2.060
6/19	5.020	5.788	NC	3.635	NC	3.271	5.203	2.699	2.743	3.082
7/02	0.032	0.021	NC	1.577	NC	0.115	0.201	1.308	1.542	1.349
7/16	1.950	1.273	NC	1.621	NC	1.018	1.640	2.118	2.564	2.269
7/29	0.343	0.357	NC	0.410	NC	0.019	1.050	1.059	0.740	0.869
8/17	0.779	0.186	NC	0.095	NC	0.716	0.644	0.773	0.274	0.827
9/03	0.096	0.557	0.310	0.116	0.430	0.666	1.137	0.316	1.100	1.240
9/17	0.866	0.596	0.630	0.692	0.820	0.271	0.508	2.435	1.024	0.920
10/03	0.420	0.730	0.410	0.490	0.650	0.440	0.280	1.710	1.010	0.880
10/31	0.656	0.412	0.280	0.491	0.419	0.313	0.232	1.577	0.313	0.858
11/13	0.385	0.277	0.778	0.476	0.953	0.678	0.703	1.591	0.910	0.673
11/28	0.378	0.620	0.354	0.330	0.623	0.414	0.366	1.663	0.805	0.575
12/28	0.310	0.540	0.320	0.410	0.320	0.430	0.420	1.120	0.730	0.650
05/1/30	0.257	1.294	0.469	0.430	0.366	2.018	0.600	3.321	1.697	1.730
2/18	0.305	0.061	0.375	0.613	0.215	0.810	0.308	1.259	1.241	1.114
3/19	0.342	DF	1.067	DF	0.027	0.562	0.342	0.687	0.221	0.523
4/27	0.129	0.074	0.341	0.106	0.299	0.192	0.523	0.984	0.479	0.422
5/20	1.820	0.320	0.923	0.646	1.107	0.523	0.713	2.983	0.504	0.566
6/06	0.210	0.268	0.639	0.059	0.777	0.625	0.322	2.237	1.997	1.954
7/02	0.340	0.192	0.486	0.136	0.049	0.133	0.316	1.228	0.744	0.168
7/27	0.098	0.200	0.134	0.208	0.219	0.202	0.176	1.456	0.523	1.532
8/10	0.714	1.136	1.115	0.624	1.314	0.828	2.132	2.104	1.307	5.092
9/09	0.557	0.194	0.512	DF	0.010	0.120	0.099	0.991	0.555	1.202
10/14	0.127	1.209	0.347	0.487	0.245	0.250	0.486	1.299	DF	0.891
11/23	0.165	0.675	0.626	0.571	0.817	0.615	0.762	1.638	0.360	0.664
Annual average	0.451	0.416	0.508	0.387	0.460	0.564	0.391	1.660	0.845	0.975
Max.	5.020	5.788	1.115	3.635	1.314	3.271	5.203	3.321	2.743	5.092
Min.	0.032	0.021	0.134	0.059	0.010	0.019	0.099	0.316	0.221	0.168

Notes) NC :Not collected, DF : Detecting failure

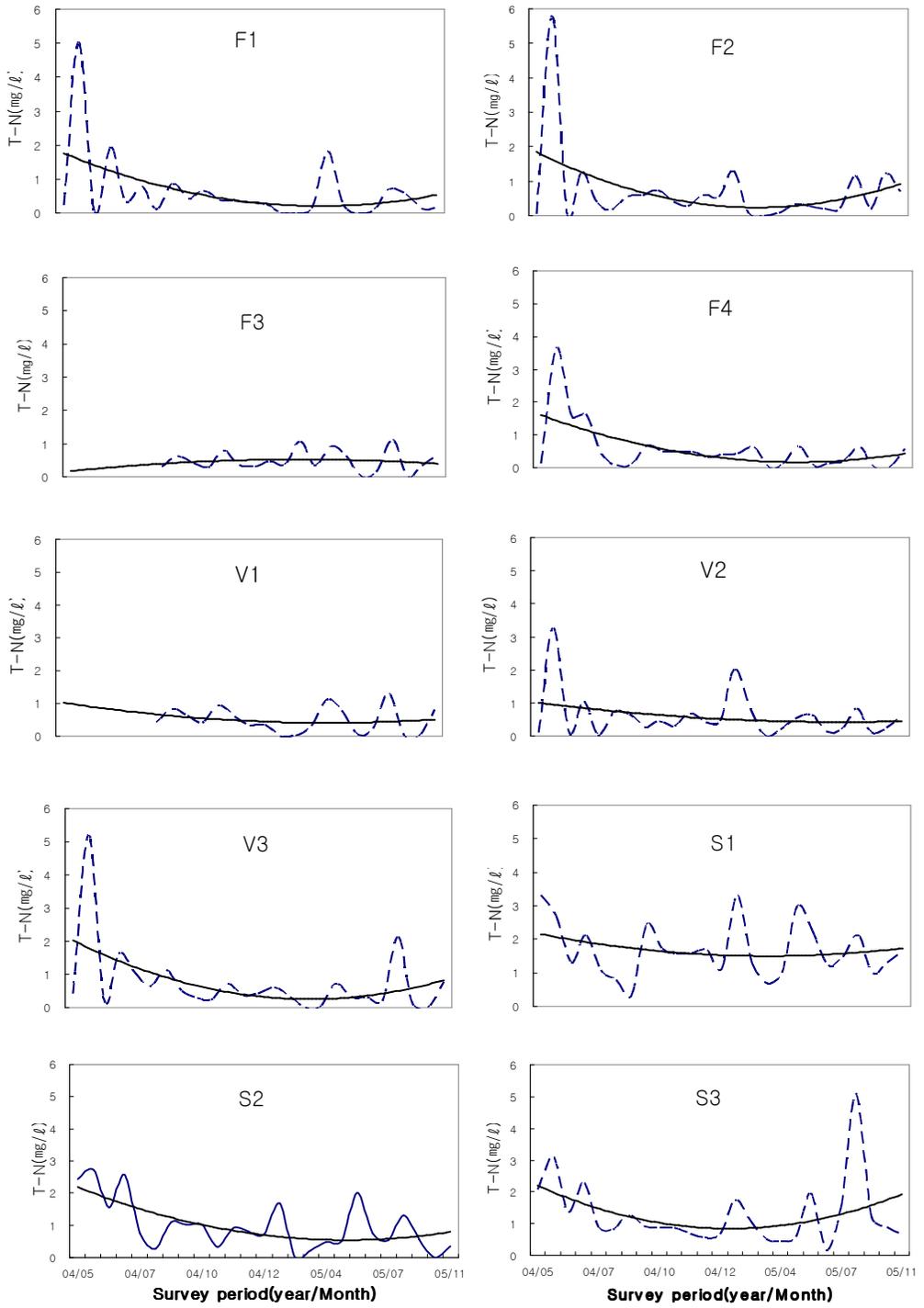


Fig. 5-18. Variation of T-N concentration by cloudless sky.

(6) T-P 특성

청천시 조사지점의 T-P농도 변화를 Table 5-21과 Fig. 5-19에 나타내었다. T-P농도는 혼효림지역은 0.005~0.884mg/L 범위로 평균 0.033mg/L, 활엽수림 지역은 0.010~0.909mg/L 범위로 평균 0.109mg/L, 초본지역은 0.009~0.496mg/L 범위로 평균 0.067mg/L, 침엽수림지역은 0.006~0.640mg/L 범위로 평균 0.040mg/L로 조사되었다. 누적강우량의 증가에 따른 계절적 변화가 작은 것이 특징으로 산림유출수의 T-P배출은 일정한 것으로 판단된다.

계류수중 대흥계곡은 0.007~1.523mg/L 범위로 평균 0.276mg/L, 송광사계곡은 0.005~0.563mg/L 범위로 평균 0.141mg/L, 까치골은 0.005~0.720mg/L 범위로 평균 0.118mg/L로 조사되었다. 대흥계곡의 T-P농도가 4월, 5월 급격히 높아진 것은 계류수 상류의 농지의 봄철 시비에 따른 유출로 판단된다.

유입하천수중 송광천지류는 0.014~1.430mg/L 범위로 평균 0.280mg/L, 동복천 지류는 0.013~0.279mg/L 범위로 평균 0.130mg/L, 보성강지류는 0.023~1.220mg/L 범위로 평균 0.126mg/L로 조사되었다. 봄철에 T-P의 농도가 높게 나타나, 시비에 의한 영향을 받는 것으로 추측되며, 보성강은 8월10일의 높은 농도는 강우에 의한 유출과 이로 인한 유입물질의 증가와 온도상승이 조류의 증가를 초래하여 조류 증가와 관련이 있는 것으로 판단된다.

Table 5-21. Variation of T-P concentration by cloudless sky (Unit: mg/L)

Date	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	0.016	0.320	NC	0.059	NC	0.013	0.396	0.734	0.030	0.275
6/19	0.113	0.171	NC	0.091	NC	0.298	0.213	0.350	0.240	0.371
7/02	0.025	0.039	NC	0.640	NC	0.138	0.720	1.430	0.241	1.220
7/16	0.022	0.027	NC	0.031	NC	0.022	0.033	0.142	0.026	0.221
7/29	0.066	0.228	NC	0.006	NC	0.367	0.006	1.040	0.013	0.105
8/17	0.884	0.012	NC	0.050	NC	0.235	0.017	0.021	0.013	0.023
9/03	0.013	0.031	0.069	0.063	0.072	0.394	0.123	0.107	0.148	0.054
9/17	0.107	0.205	0.142	0.041	0.101	0.077	0.005	0.144	0.050	0.187
10/03	0.054	0.091	0.060	0.086	0.064	0.102	0.193	0.131	0.201	0.267
10/31	0.041	0.014	0.046	0.020	0.082	0.095	0.047	0.299	0.152	0.295
11/13	0.018	0.014	0.024	0.076	0.082	0.462	0.240	0.126	0.256	0.044
11/28	0.045	0.084	0.053	0.091	0.059	0.092	0.224	0.128	0.192	0.256
12/28	0.040	0.010	0.043	0.060	0.056	0.030	0.230	0.110	0.060	0.128
05/1/30	0.041	0.018	0.496	0.011	0.507	0.133	0.237	0.155	0.066	0.048
2/18	0.064	0.909	0.010	0.053	0.189	0.025	0.046	1.112	0.090	0.099
3/19	0.011	0.039	0.041	0.039	0.007	0.039	0.058	0.014	0.018	0.099
4/27	0.010	0.099	0.011	0.010	0.967	0.563	0.093	0.118	0.183	0.124
5/20	0.020	0.011	0.022	0.015	1.523	0.102	0.117	0.192	0.146	0.163
6/06	DF	0.014	0.023	0.027	0.022	0.055	0.014	0.061	0.013	0.037
7/02	0.009	0.026	0.026	0.021	0.009	0.010	0.008	0.051	0.074	0.049
7/27	0.031	0.083	0.022	0.022	0.019	0.017	0.022	0.047	0.034	0.031
8/10	0.038	0.029	0.024	0.024	0.059	0.158	0.048	0.050	0.045	0.289
9/09	0.015	0.032	0.015	0.014	0.016	0.120	0.012	1.151	0.279	0.044
10/14	0.005	0.050	0.016	0.037	0.009	0.005	0.009	0.037	0.016	0.032
11/23	0.005	0.013	0.009	0.016	0.008	0.005	0.055	0.034	0.014	0.056
Annual average	0.033	0.109	0.067	0.040	0.276	0.141	0.118	0.280	0.130	0.126
Max.	0.884	0.909	0.496	0.640	1.523	0.563	0.720	1.430	0.279	1.220
Min.	0.005	0.010	0.009	0.006	0.007	0.005	0.005	0.014	0.013	0.023

Notes) NC :Not collected, DF : Detecting failure

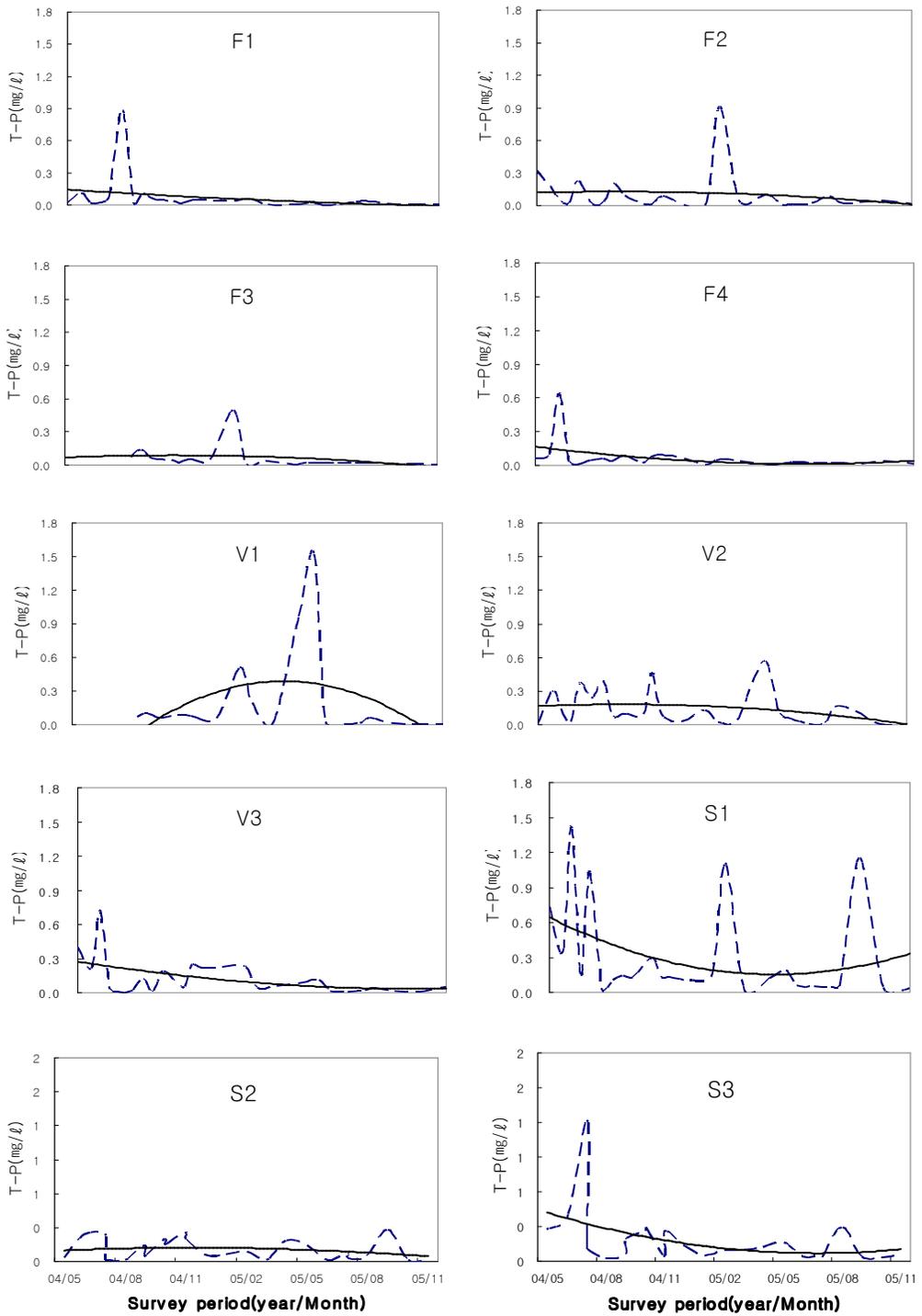


Fig. 5-19. Variation of T-P concentration by cloudless sky.

나. 강우시 유량 및 수질 특성

강우시 유량 및 수질측정은 산림지역 4개 지점과 계류수 1곳(대흥리) 및 송광천 지류 1곳을 1차(2005년 8월 1일~8월 3일) 13회, 2차(2005년 8월 7일~8월 8일) 10회 측정하였다.

(1) 1차 강우 유량 및 수질 특성

강우시 1차 측정은 2005. 8.1~8.3에 걸쳐 총 13회 실시하였으며, 조사시간동안 총 강우량은 총 102.5mm를 보였다. 채수는 강우 개시 후 청천시의 평균유량으로 조사되는 시간까지 채수하였다.

발생강우량에 따른 산림지역 유출수의 유량을 Table 5-22와 Fig. 5-21에 나타내었다. 평균유량의 범위는 혼효림지역 345.0~14,480.0 m^3/day 로 강우량에 따른 유출이 늦게 발생하는 특성을 보였고, 활엽수림지역은 283.2~19,637.0 m^3/day 로 강우량과 일치하는 유량변화를 보였다. 초본지역은 205.6~10,146.0 m^3/day 으로 초기 유출유량은 적으나 강우가 감소하자 유출량도 급격히 감소하는 경향을 보였다. 침엽수림지역은 194.3~7,704.7 m^3/day 의 범위로 유역면적이 적어서 유출량도 낮게 나타났으며, 혼효림지역과 비슷한 경향을 보였다.

산림지역의 유형별 유출 양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

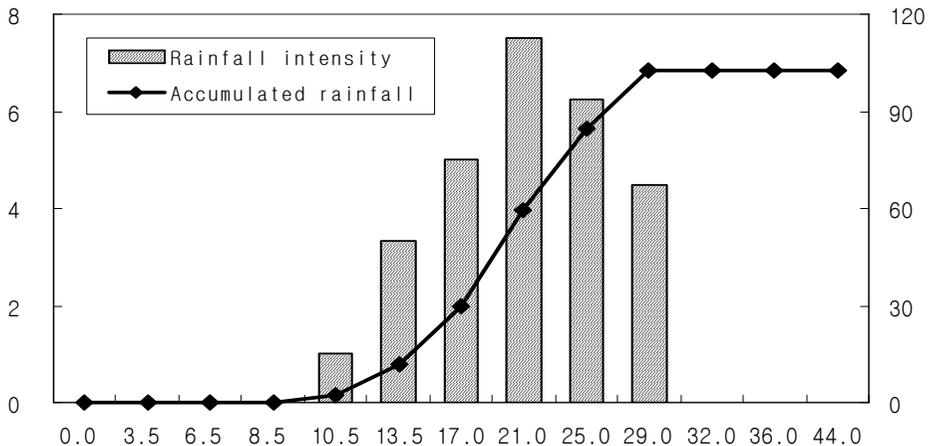


Fig. 5-20. Accumulative precipitation & rainfall intensity by first rainfall.

Table 5-22. Variation of flow by first rainfall

(Unit : m³/day)

Area Accum. time(hr)	Accumulation rainfall (mm)	Mixed Tree (F1)	Broad-leaved (F2)	Herbage (F3)	Conifer (F4)
0.0	0.0	954.1	869.8	356.5	804.1
3.5	0.0	901.2	724.5	231.5	307.9
6.5	0.0	834.5	562.3	210.8	335.7
8.5	0.0	767.4	341.4	407.2	248.7
10.5	2.0	805.9	563.9	715.9	531.4
13.5	12.0	2,118.1	5,315.5	2,708.0	2,899.5
17.0	29.5	10,986.4	12,890.0	5,950.8	4,821.6
21.0	59.5	17,977.7	19,637.0	7,592.4	7,704.7
25.0	84.5	14,680.0	17,844.9	10,146.0	6,863.4
29.0	102.5	13,225.0	12,301.6	7,428.2	5,047.9
32.0	102.5	8,900.0	7,052.4	1,472.6	3,414.5
36.0	102.5	1,701.0	1,057.0	523.6	475.2
44.0	102.5	345.0	283.2	205.6	194.3

Note) Accum. : Accumulation

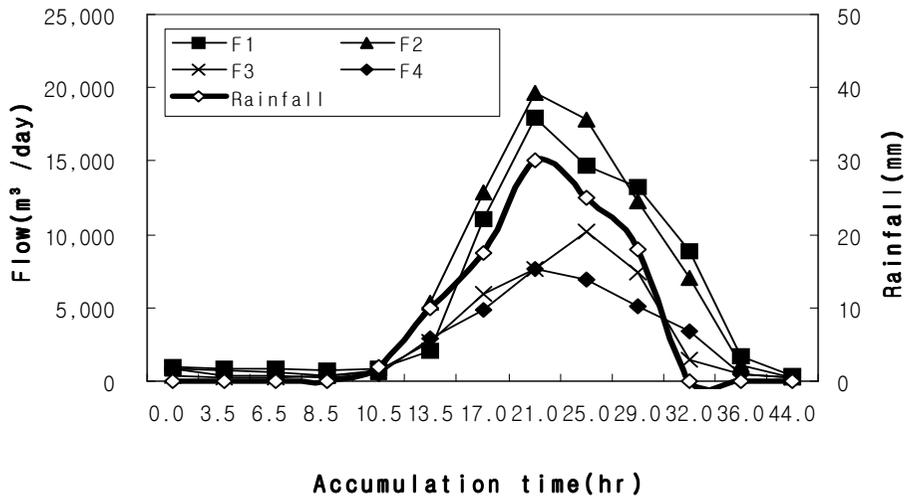


Fig. 5-21. Variation of flow by first rainfall.

1차 강우시 시간별 BOD농도변화를 Table 5-23과 Fig. 5-22에 나타내었다. BOD 농도는 혼효림지역 1.0~2.4 mg/L, 활엽수림지역 0.9~2.7 mg/L, 초본지역 0.2~1.9 mg/L, 침엽수림지역 0.5~3.2 mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.1~3.0 mg/L, 송광천 지류는 1.1~2.7 mg/L로 조사되었다.

선행강우로 인하여 수질의 변동이 크지 않았다. 최고 농도는 청천 시의 3배 이상을 나타내기도 하였다. Fig. 4-21을 보면 강우 초기의 수질은 지점별로 불규칙한 수질을 보였으나 최고 강우량 이후로 일정하게 낮아지는 경향을 보였다.

Table 5-23. Variation of BOD by first rainfall

(Unit : mg/L)

Accum. time(hr)	Area						Precipitation (mm)
	F1	F2	F3	F4	V1	S1	
0.0	1.4	1.9	1.1	1.6	1.0	1.3	0.0
3.5	1.1	2.1	0.9	1.8	1.2	1.7	0.0
6.5	1.1	1.9	0.2	1.0	0.2	1.1	0.0
8.5	1.0	1.3	0.6	1.9	0.7	1.8	0.0
10.5	1.6	1.8	0.8	2.3	1.4	2.0	2.0
13.5	1.3	1.7	0.8	2.5	1.2	2.1	10.0
17.0	1.7	2.2	0.9	2.8	1.5	2.5	17.5
21.0	2.4	2.7	1.9	3.2	3.0	2.7	30.0
25.0	1.6	1.3	1.7	2.4	1.9	2.3	25.0
29.0	1.1	1.5	1.4	1.8	1.4	1.8	18.0
32.0	1.2	1.6	1.3	1.8	1.2	1.9	0.0
36.0	1.1	1.4	0.2	1.1	0.4	1.1	0.0
44.0	0.7	0.9	0.3	0.5	0.1	1.1	0.0

Note) Accum. : Accumulation

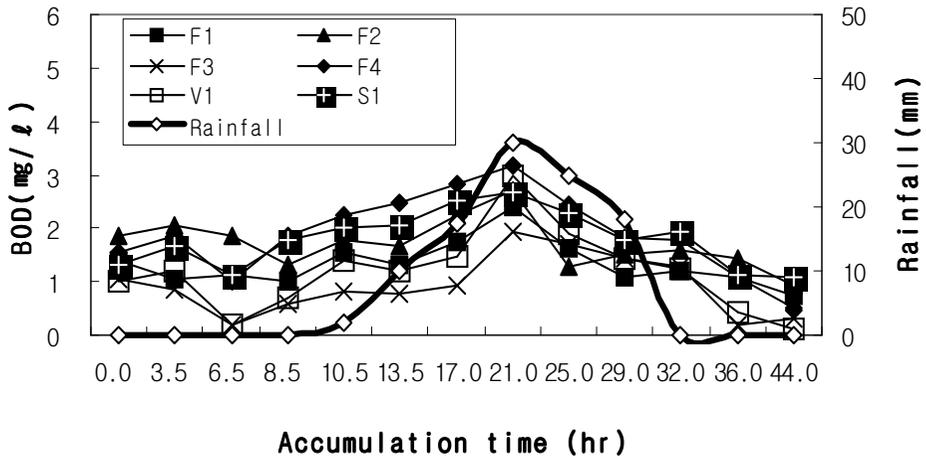


Fig. 5-22. Variation of BOD by first rainfall.

1차 강우시 시간별 COD_{Mn}농도변화를 Table 5-24와 Fig. 5-23에 나타내었다. COD_{Mn}농도는 훈호림지역 1.0~3.2mg/L, 활엽수림지역 1.2~3.0mg/L, 초본지역 0.3~3.2mg/L, 침엽수림지역 0.7~5.4mg/L로 조사되었고, 산림지역의 합류수인 대흥계곡은 0.3~4.3mg/L, 산림지역의 유출수가 유하하는 송광천지류는 1.3~3.6 mg/L로 조사되었다. 강우강도의 증가에 따라 유출수의 농도 증가를 보이며, 강우량이 감소함에 따라 농도도 감소하는 경향으로 보여 산림지역의 오염물질 유출은 강우시에 매우 높아 호소의 일시적인 유입을 제어 할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 보인다.

Table 5-24. Variation of COD_{Mn} by first rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	1.8	2.2	1.4	2.0	1.2	1.6	0.0
3.5	1.2	2.6	1.3	2.9	2.0	2.9	0.0
6.5	2.4	2.9	0.2	1.2	0.4	1.3	0.0
8.5	1.1	1.4	0.8	2.3	1.3	2.2	0.0
10.5	1.8	2.0	1.1	2.8	1.8	2.4	2.0
13.5	1.4	1.9	0.9	2.7	1.3	2.2	10.0
17.0	2.0	2.3	1.3	3.2	1.7	2.6	17.5
21.0	3.2	3.0	3.2	5.4	4.3	3.6	30.0
25.0	1.8	1.4	2.0	2.6	2.1	2.4	25.0
29.0	1.3	1.7	1.7	2.0	1.5	1.8	18.0
32.0	1.9	2.1	2.0	2.7	2.0	2.3	0.0
36.0	1.9	2.0	0.2	1.2	0.6	1.3	0.0
44.0	1.0	1.2	0.3	0.7	0.3	1.6	0.0

Note) Accum. : Accumulation

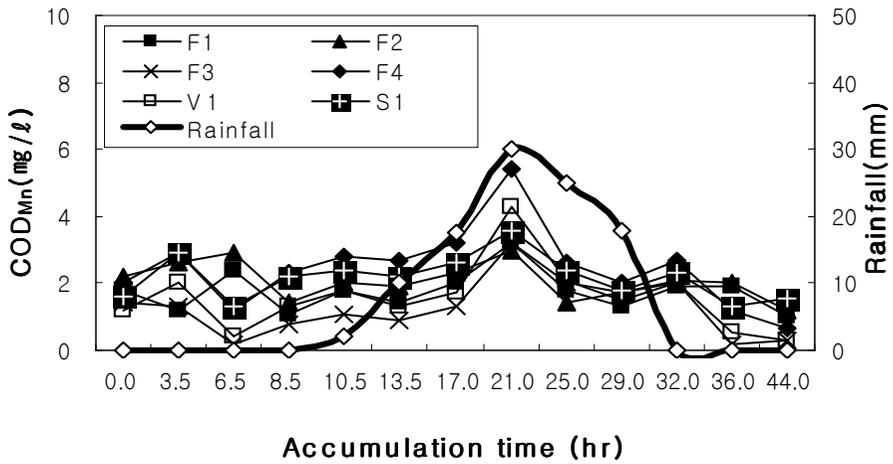


Fig. 5-23. Variation of COD_{Mn} by first rainfall.

1차 강우시 시간별 COD_{Cr} 농도변화를 Table 5-25와 Fig. 5-24에 나타내었다. COD_{Cr} 농도는 혼효림지역 15.4~22.6mg/L, 활엽수림지역 16.8~53.1mg/L, 초본지역 12.0~40.5mg/L, 침엽수림지역 17.9~33.3mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 14.2~35.7mg/L, 송광천 지류는 19.2~39.6mg/L로 조사되었다.

COD_{Cr} 농도는 COD_{Mn}의 농도보다 20~100배 정도의 큰 차이를 보여, 강우에 의한 난분해성물질의 유입이 큰 것을 볼 수 있었다. 난분해성물질이 호소내의 변화 과정에서 수체에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 판단되며, 강우시 수역내 비점오염원 기원 오염물질의 유입을 최소화하는 방안이 필요함을 보여주고 있다.

Table 5-25. Variation of COD_{Cr} by first rainfall

(Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	16.2	19.8	15.4	18.0	14.4	19.2	0.0
3.5	18.8	23.1	21.2	20.7	21.7	22.1	0.0
6.5	22.1	20.2	21.7	25.5	22.6	23.6	0.0
8.5	13.2	16.8	12.0	20.7	15.6	19.8	0.0
10.5	18.3	24.8	18.6	31.3	18.6	24.6	2.0
13.5	15.4	34.6	22.2	28.8	20.6	28.9	10.0
17.0	17.9	37.3	31.5	30.6	24.7	34.4	17.5
21.0	22.6	53.1	40.5	33.3	35.7	39.6	30.0
25.0	20.7	31.2	23.0	29.9	24.2	27.6	25.0
29.0	21.9	25.6	22.8	25.3	23.5	25.0	18.0
32.0	19.1	24.2	23.0	19.6	23.0	26.5	0.0
36.0	20.8	20.1	20.7	18.3	21.5	22.3	0.0
44.0	15.6	17.3	16.8	17.9	14.2	19.5	0.0

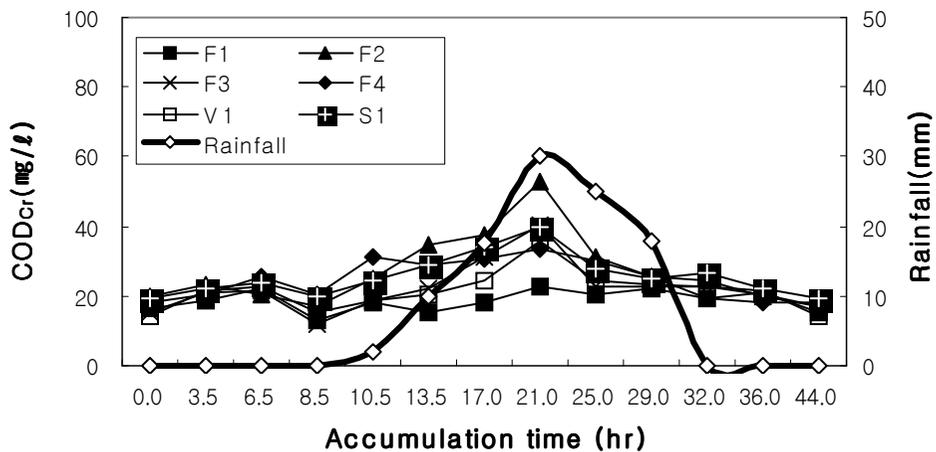


Fig. 5-24. Variation of COD_{Cr} by first rainfall.

1차 강우시 시간별 고형물농도 변화를 Table 5-26과 5-27, Fig. 5-25와 5-26에 나타내었다. 고형물 농도는 강우량이 높은 7~9회 채수시 높은 농도로 혼효림지역의 부유성 고형물이 13.5mg/L, 활엽수림지역은 46.0mg/L, 초본지역은 17.6mg/L, 침엽수림지역은 16.0mg/L이었고, 대흥계곡은 39.6mg/L, 송광천지류는 272.4mg/L로 나타났다. 송광천지류의 부유성 고형물 농도는 최고 강우강도보다 늦게 증가하는 것을 볼 수 있으며 이는 유하되는 시간의 영향인 것으로 사료된다. 선행강우로 인해 부유성 고형물의 강우량과의 상관성이 낮은 것으로 조사되었으며, 이러한 결과는 우기가 시작되어 초기강우에 의한 오염물질의 유입이 가장 높은 것으로 사료된다.

총 고형물의 분포는 용존성 고형물의 비율이 상대적으로 낮게 나타났다. 특히 산림 임목중에서는 활엽수 지역의 부유성고형물이 높게 조사되었다. 고형물질의 대부분은 강우가 유출되면서 토양이나 이외 불용성 고형물을 대량 포함하여 하천이나 호소로 유입된다는 것을 보여주며, 비점오염물질중 가장 많은 발생량으로 나타나는 토사 등 고형물질의 유입을 호소유입 전에 우선 차단하는 것이 선행되어야 한다. 이러한 불용성물질은 호소내에서 보유수량의 감소 및 수중 생태계를 방해하는 요소로 작용하게 된다.

Table 5-26. Variation of solid concentration by first rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1			F2			F3			F4			Precipitation (mm)
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	
0.0	41.6	4.8	36.8	45.2	6.3	38.9	22.5	1.6	20.9	22.4	3.6	18.8	0.0
3.5	49.0	5.6	43.4	57.0	9.5	47.5	36.0	3.6	32.4	49.0	6.0	43.0	0.0
6.5	53	13.5	39.5	63.0	11.2	51.8	47.0	4.4	42.6	42.0	3.2	38.8	0.0
8.5	42.3	5.2	37.1	44.9	4.0	40.9	23.5	2.4	21.1	22.4	4.0	18.4	0.0
10.5	46.8	7.0	39.8	45.9	6.9	39.0	30.6	4.6	26.0	25.0	3.8	21.3	2.0
13.5	45.9	6.9	39.0	49.6	7.4	42.2	32.7	4.9	27.8	42.3	6.3	36.0	10.0
17.0	65.2	9.8	55.4	92.6	13.9	78.7	40.2	6.0	34.2	59.3	8.9	50.4	17.5
21.0	56.2	9.2	47.0	87.6	19.2	68.4	46.3	2.0	44.3	47.2	3.6	43.6	30.0
25.0	87.0	13.5	73.5	160.0	46.0	114.0	51.0	17.6	33.4	84.0	16.0	68.0	25.0
29.0	34.0	6.0	28.0	41.0	14.8	26.2	43.0	2.0	41.0	19.0	5.6	13.4	18.0
32.0	83.0	2.6	80.4	156.0	10.4	145.6	47.0	3.2	43.8	19.2	3.6	15.6	0.0
36.0	50.0	3.1	46.9	59	5.2	53.8	45.9	2.9	43.0	18.2	1.2	17.0	0.0
44.0	43.2	2.4	40.8	46.3	4.2	42.1	33.6	2.8	30.8	18.1	1.2	16.9	0.0

Table 5-27. Variation of solid concentration by first rainfall (Unit : mg/L)

Accum. time(hr)	V1			S1			Precipitation (mm)
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	
0.0	56.1	1.6	54.5	58.2	3.6	54.6	0.0
3.5	53.0	3.6	49.4	55.0	7.2	47.8	0.0
6.5	59.0	10.8	48.2	61.0	6.8	54.2	0.0
8.5	45.2	4.4	40.8	56.2	5.6	50.6	0.0
10.5	49.8	7.5	42.3	60.1	9.0	51.1	2.0
13.5	50.2	7.5	42.7	69.5	10.4	59.1	10.0
17.0	68.2	10.2	58.0	265.3	39.8	225.5	17.5
21.0	72.3	8.4	63.9	102.6	50.0	52.6	30.0
25.0	96.0	39.6	56.4	573.0	272.4	300.6	25.0
29.0	67.0	4.0	63.0	120.5	55.4	65.1	18.0
32.0	92.0	2.3	89.7	54.3	7.6	46.7	0.0
36.0	56.3	2.2	54.1	62.0	6.5	55.5	0.0
44.0	44.2	2.0	42.2	55.2	5.4	49.8	0.0

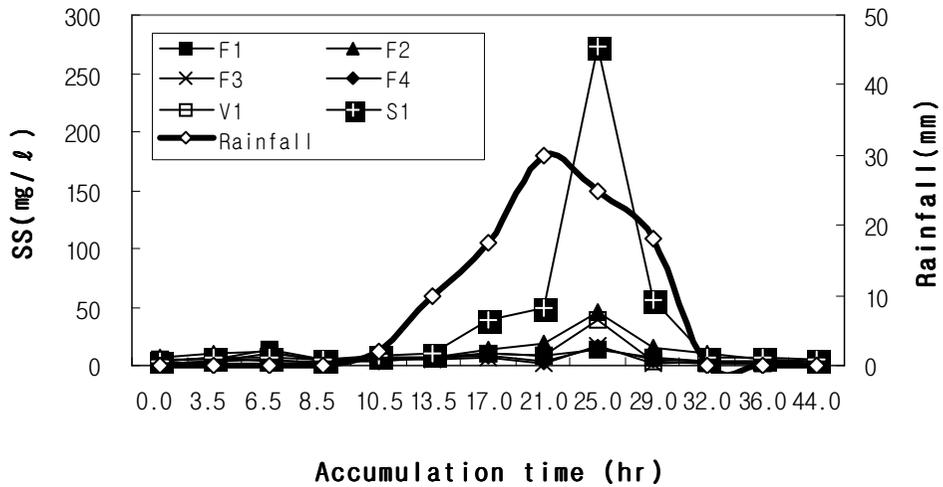


Fig. 5-25. Variation of SS by first rainfall.

고형물함량을 용존성과 부유성으로 나누어 Fig. 5-26에 나타내었다. 송광천 지류의 고형물량은 용존성물질의 농도가 산림지역보다 높았으며, 주변으로부터 강우시에 많은 양의 유입으로 농도가 매우 높게 높았다. 그러나 산림지역의 유출수는 고형물중 부유성 고형물의 농도가 높은 특징을 보여 강우시 유출되는 물질은 대부분이 토사 등의 불용성물질과 부유성물질로 조사되었다.

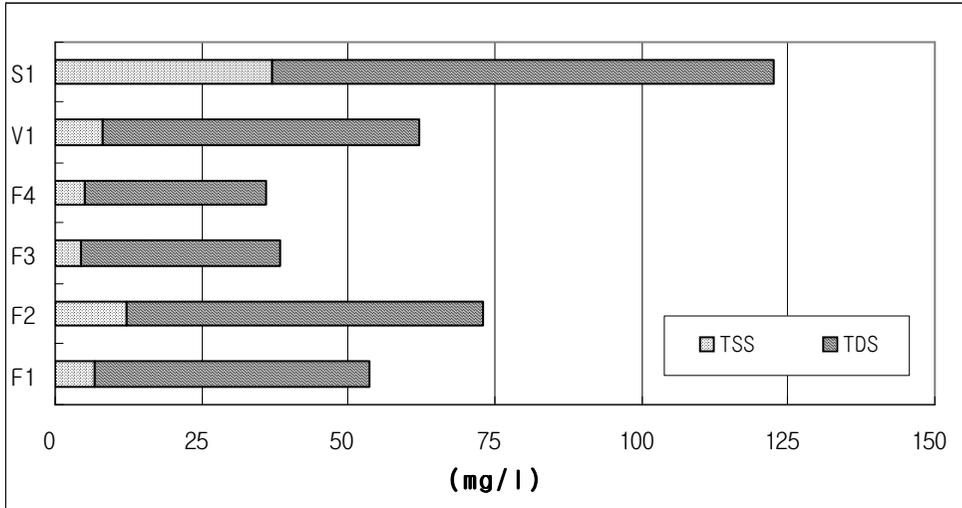


Fig. 5-26. Variation of solid concentration by first rainfall.

Table 5-28과 Fig. 5-27에 1차 강우시 T-N의 농도변화를 나타내었다. T-N농도는 산림지역의 유출수는 강우량과 비슷한 변화양상을 보였으며, 하천수의 농도변화는 강우량 발생 이후에 일정 유하시간 후 농도가 높아지는 특성을 보였다.

훈효림지역은 0.271~1.276mg/L, 활엽수림지역은 0.812~1.690mg/L, 초본지역은 0.252~1.198mg/L, 침엽수림지역은 0.188~1.409mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.411~1.470mg/L, 송광천지류는 0.487~2.050mg/L로 조사되었다.

Table 5-28. Variation of T-N by first rainfall

(Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.554	0.953	0.896	0.590	0.822	1.574	0.0
3.5	0.387	0.812	0.801	0.359	0.813	0.562	0.0
6.5	0.291	0.924	1.031	0.188	0.735	1.397	0.0
8.5	0.418	1.077	1.198	0.574	0.806	1.423	0.0
10.5	0.277	0.476	0.448	0.295	0.411	0.787	2.0
13.5	0.319	0.422	0.252	0.352	0.368	0.487	10.0
17.0	0.638	0.845	0.505	0.705	0.735	0.975	17.5
21.0	1.276	1.690	1.009	1.409	1.470	1.949	30.0
25.0	0.920	1.317	0.979	0.827	1.399	2.050	25.0
29.0	0.699	1.111	1.129	0.708	1.118	1.927	18.0
32.0	0.731	1.069	1.165	0.664	1.245	1.827	0.0
36.0	0.460	0.924	1.024	0.270	0.802	1.401	0.0
44.0	0.271	0.816	0.960	0.213	0.702	0.523	0.0

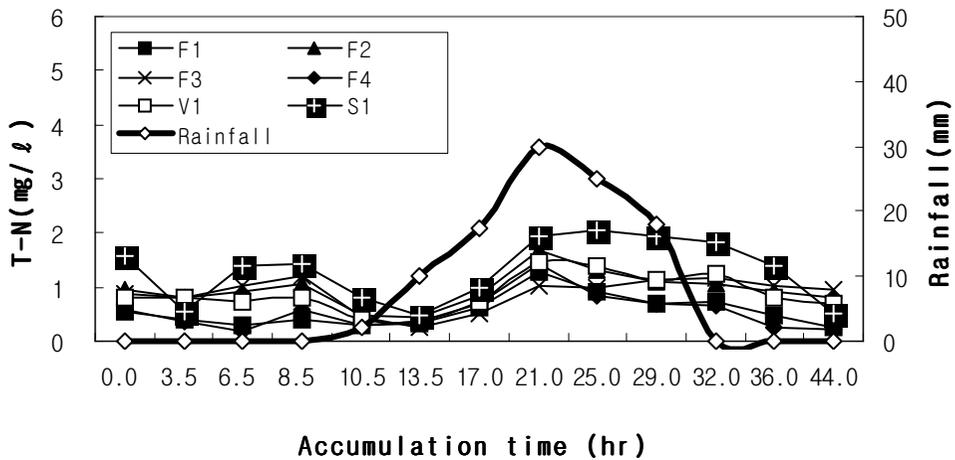


Fig. 5-27. Variation of T-N by first rainfall.

1차 강우시 T-P의 농도변화를 Table 5-29와 Fig. 5-28에 나타내었다. T-P의 농도는 강우 유출과의 상관성이 매우 낮게 나타났으며, 조사지점별로 큰 차이를 보이지 않았다. 청천 시 겨울철 유출농도 보다 낮은 농도를 보이는 경우도 있었다. 혼효림지역은 0.013~0.126mg/L, 활엽수림지역은 0.012~0.082mg/L, 초본지역은 0.012~0.068mg/L, 침엽수림지역은 0.017~0.116mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.011~0.116mg/L, 송광천지류는 0.040~0.197mg/L로 조사되었다.

이상의 결과는 북미 *Sequoia sempervirence* 산림의 평균수고(樹高)가 80~100m, 지상부 현존량 3,000t/ha, 일본의 대표적인 냉온대 낙엽 광엽수림 (너도밤나무 천연림)의 평균수고 25m, 현존량이 350t/ha에 달하여 다른 초지나 논밭 등의 육상 생태계에 비해 10배에서 100배 또는 그 이상이며^{108,109)} 이러한 산림 생태계는 육상 생태계 가운데 일정범위 이상으로 이루어진다.

Table 5-29. Variation of T-P by first rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.013	0.016	0.012	0.017	0.012	0.040	0.0
3.5	0.016	0.012	0.012	0.116	0.085	0.152	0.0
6.5	0.126	0.082	0.019	0.027	0.030	0.042	0.0
8.5	0.021	0.031	0.062	0.025	0.040	0.147	0.0
10.5	0.027	0.034	0.029	0.035	0.041	0.113	2.0
13.5	0.024	0.039	0.036	0.041	0.026	0.124	10.0
17.0	0.019	0.029	0.020	0.033	0.036	0.143	17.5
21.0	0.015	0.015	0.024	0.031	0.019	0.117	30.0
25.0	0.015	0.026	0.023	0.024	0.011	0.094	25.0
29.0	0.026	0.035	0.068	0.029	0.141	0.197	18.0
32.0	0.022	0.048	0.061	0.089	0.116	0.064	0.0
36.0	0.100	0.045	0.020	0.026	0.032	0.042	0.0
44.0	0.023	0.034	0.059	0.024	0.036	0.087	0.0

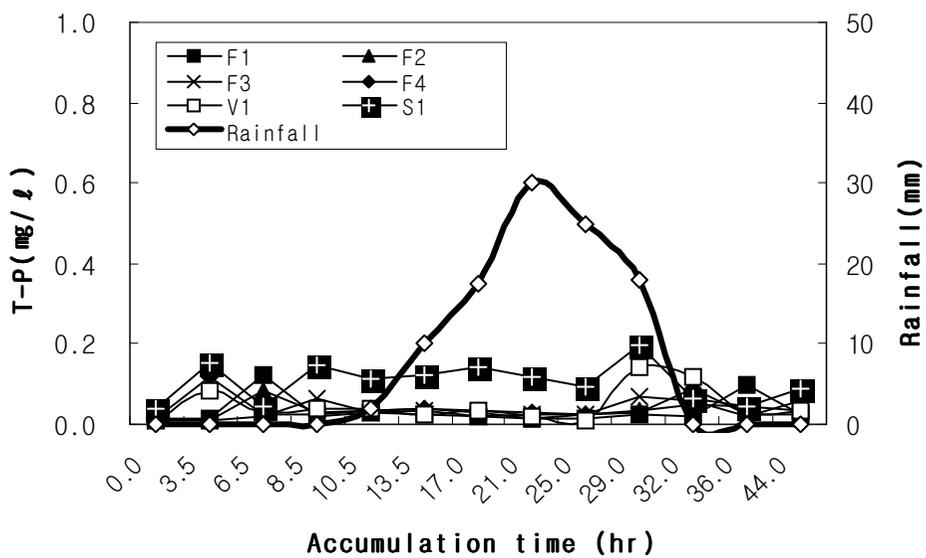


Fig. 5-28. Variation of T-P by first rainfall.

(2) 2차 강우 유량 및 수질 특성

2차 강우 측정은 2005. 8. 7~8. 8까지 총 10회 채취하여 분석하였으며, 그 결과를 Table 5-30과 Fig. 5-29와 5-30에 나타내었다. 초기유량이 높게 측정된 것은 계속된 강우로 인한 것이며, 청천 시의 평균유량이 되는 시간까지 측정하였다. 시료채취시간동안 총 누적강우량은 42.5mm이었다.

Table 5-30. Variation of flow by second rainfall (Unit : m³/day)

Accumulation time(hr)	Accumulation precipitation (mm)	Mixed Tree (F1)	Broad-leaved (F2)	Herbage (F3)	Conifer (F4)
0.0	0.0	743.5	950.6	267.2	235.6
3.0	2.0	863.3	1,455.2	282.7	265.0
7.0	16.5	5,767.8	3,968.0	4,215.2	2,511.2
11.0	26.5	6,664.1	5,050.0	3,135.0	2,204.2
15.0	35.5	4,881.9	4,140.0	3,231.9	2,116.6
18.0	38.5	1,956.2	3,510.4	1,208.4	869.9
20.0	41.0	2,066.4	2,956.0	1,368.0	959.4
22.0	42.5	1,188.2	1,614.6	786.6	543.2
26.0	42.5	956.30	864.20	1023.40	254.30
34.0	42.5	201.3	168.4	125.6	84.3

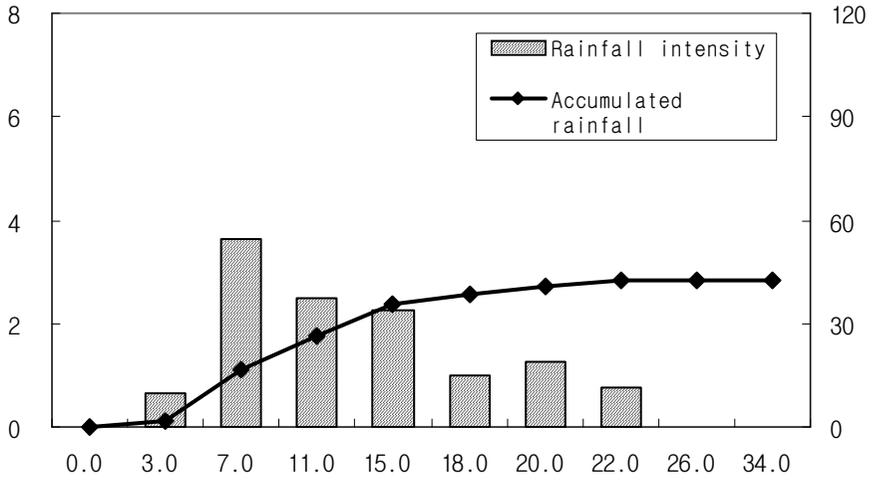


Fig. 5-29. Accumulative precipitation and rainfall intensity by second rainfall.

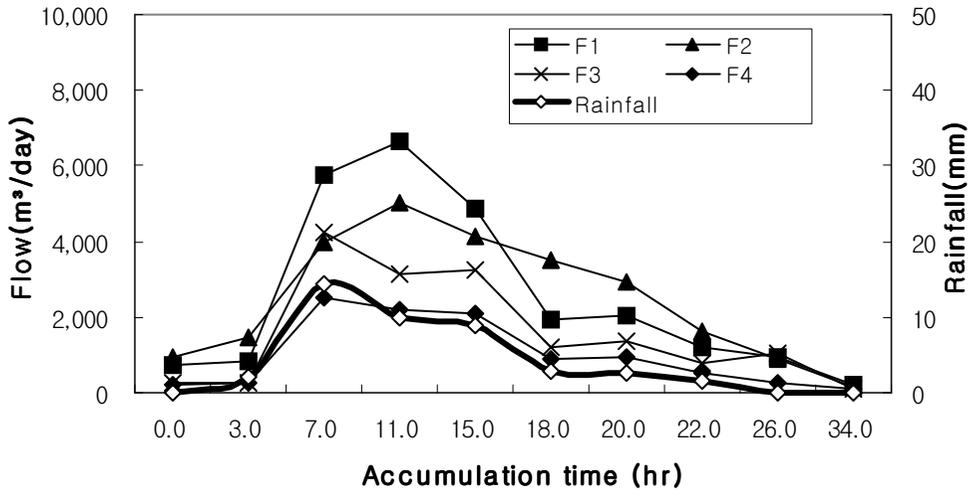


Fig. 5-30. Variation of Flow by second rainfall.

2차 강우시 BOD 농도변화를 Table 5-31과 Fig. 5-31에 나타내었다. BOD 농도는 훈효림지역 0.5~4.0mg/L, 활엽수림지역 0.6~5.2mg/L, 초본지역 0.4~1.7mg/L, 침엽수림지역 0.6~3.2mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.2~2.5mg/L, 송광천 지류는 0.9~2.9mg/L로 조사되었다.

Table 5-31. Variation of BOD by second rainfall (Unit : mg/L)

Area \ Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.5	0.6	0.4	0.6	0.2	1.3	0.0
3.0	0.5	0.7	0.5	0.8	0.2	1.1	2.0
7.0	0.6	0.9	0.8	0.7	0.3	0.9	14.5
11.0	2.5	2.2	1.2	2.0	0.9	1.5	10.0
15.0	4.0	5.2	1.7	3.2	1.1	DF	9.0
18.0	2.1	4.9	1.6	1.9	2.5	2.9	3.0
20.0	1.9	3.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5
22.0	1.5	2.1	1.1	1.6	1.3	2.0	1.5
26.0	1.0	1.9	0.9	1.1	0.9	1.8	0.0
34.0	0.9	1.6	0.4	0.7	0.5	1.6	0.0

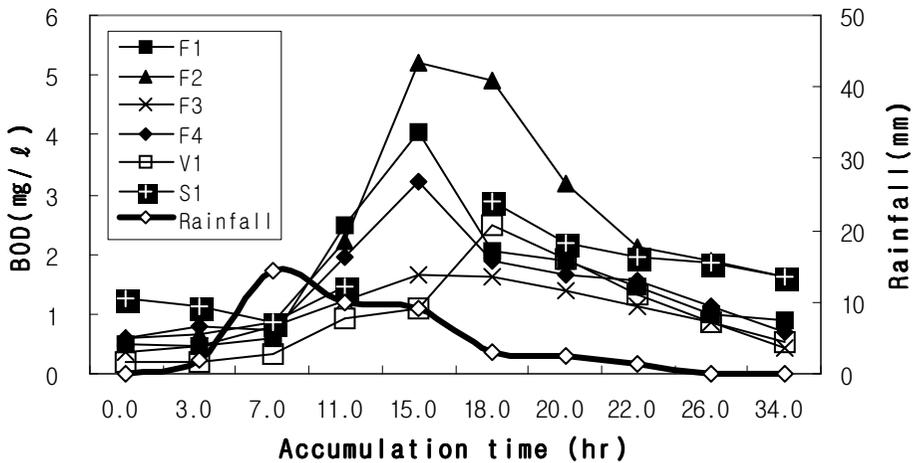


Fig. 5-31. Variation of BOD by second rainfall.

2차 강우시 COD_{Mn} 농도변화를 Table 5-32와 Fig. 5-32에 나타내었다. COD_{Mn} 농도는 훈효림지역 0.5~4.8mg/L, 활엽수림지역 1.0~8.5mg/L, 초본지역 0.6~2.1mg/L, 침엽수림지역 1.0~3.4mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.3~3.2mg/L, 송광천 지류는 1.0~3.4mg/L로 선행강우로 인하여 수질의 변동이 크지 않았다. 최고 농도는 청천 시의 3배 이상을 나타내기도 하였다.

Table 5-32. Variation of COD_{Mn} by second rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.8	1.0	0.8	1.0	0.3	1.7	0.0
3.0	0.5	1.4	0.6	1.6	0.4	1.6	2.0
7.0	0.8	1.1	1.5	1.0	0.5	1.0	14.5
11.0	3.0	4.7	1.1	3.6	1.2	1.8	10.0
15.0	4.8	8.5	1.9	3.4	1.3	DF	9.0
18.0	2.6	8.2	2.1	2.4	3.2	3.4	3.0
20.0	1.9	3.8	1.8	2.0	2.1	2.7	2.5
22.0	1.9	2.5	1.4	1.7	1.6	2.4	1.5
26.0	1.5	2.5	1.4	1.4	1.1	2.3	0.0
34.0	1.4	2.2	1.1	1.1	0.8	1.9	0.0

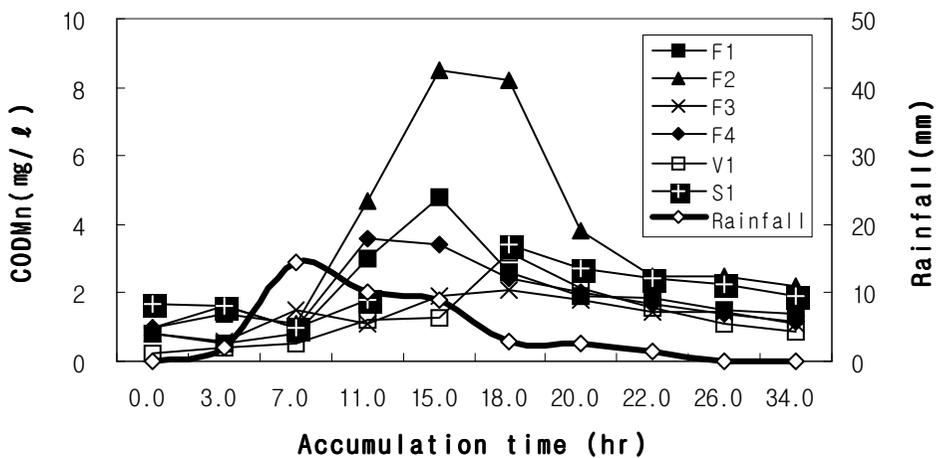


Fig. 5-32. Variation of COD_{Mn} by second rainfall.

2차 강우시 COD_{Cr} 농도 변화를 Table 5-33과 Fig. 5-33에 나타내었다. COD_{Cr} 농도는 혼효림지역 23.6~51.1mg/L, 활엽수림지역 21.8~60.1mg/L, 초본지역 14.2~45.6mg/L, 침엽수지역 18.2~47.2mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 18.0~65.2mg/L, 송광천 지류는 24.6~54.1mg/L로 조사되었다.

COD_{Cr} 농도는 COD_{Mn}의 농도보다 20~100배 정도의 큰 차이를 보여 강우에 의한 난분해성물질의 유입이 큰 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 강우시 비점오염원 기원 오염물질이 수역내에 유입되지 않도록 최소화하는 방안이 마련되어야 한다.

강우량의 감소에도 불구하고 COD_{Cr}의 농도는 쉽게 낮아지지 않았으며, 하류인 송광천지점은 계속적으로 높은 농도를 유지하였다.

Table 5-33. Variation of COD_{Cr} by second rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	32.0	37.6	32.0	40.0	37.0	44.4	0.0
3.0	28.9	34.2	28.5	37.3	34.5	39.1	2.0
7.0	45.3	33.7	43.3	33.7	45.3	41.6	14.5
11.0	47.1	40.0	45.6	42.4	62.6	54.1	10.0
15.0	51.1	60.1	45.3	47.2	65.2	DF	9.0
18.0	35.8	55.8	25.0	26.5	43.2	41.6	3.0
20.0	37.2	39.1	26.8	30.2	31.3	37.0	2.5
22.0	31.1	32.3	22.4	24.1	26.3	34.0	1.5
26.0	27.6	24.0	16.0	21.6	24.4	29.2	0.0
34.0	23.6	21.8	14.2	18.2	18.0	24.6	0.0

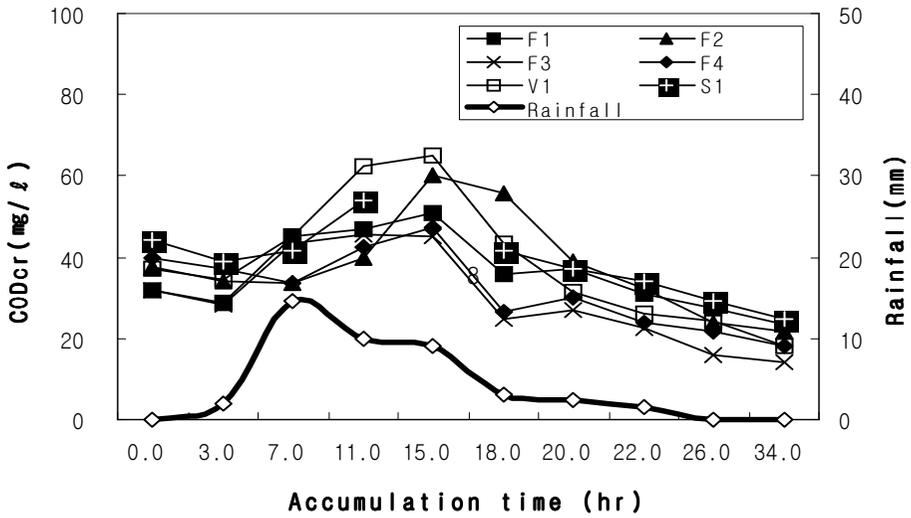


Fig. 5-33. Variation of COD_{Cr} by second rainfall.

2차 강우시 부유물질과 고형물질의 농도변화를 Table 5-34와 Fig. 5-34, Fig. 5-35에 나타내었다. 고형물 농도 변화는 강우량이 높은 4~5회 채수시 높은 농도로 혼효림지역의 부유성 고형물이 26mg/L, 활엽수림지역 131.2mg/L, 초본지역 17.7mg/L, 침엽수림지역 36.2mg/L, 대흥계곡 31.2mg/L 및 송광천지류는 45.3 mg/L로 나타났다.

송광천지류는 1차 강우시 최고농도인 272.4mg/L보다 매우 낮은 값을 보였다. 청천시의 부유고형물 농도분포가 4.6~12.5mg/L와 비교하면 2~20배 이상의 큰 차이를 보였다.

총 고형물중 용존성 고형물의 농도가 높게 나타났지만, 활엽수림지역과 송광천지류는 부유성 고형물의 농도가 높게 나타났다.

Table 5-34. Variation of solid concentration by second rainfall
(Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1			F2			F3			Precipitation (mm)
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	
0.0	24.0	5.2	18.8	89.0	10.0	79.0	45.0	1.2	43.8	0.0
3.0	22.1	7.6	14.5	57.0	6.4	50.6	25.0	1.6	23.4	2.0
7.0	20.6	4.2	16.4	49.0	10.8	38.2	26.0	1.6	24.4	14.5
11.0	95.0	26.0	69.0	112.3	52.4	59.9	59.2	17.7	41.5	10.0
15.0	113.0	25.6	87.4	260.0	131.2	128.8	60.2	12.4	47.8	9.0
18.0	38.4	12.8	25.6	170.0	62.4	107.6	54.2	10.2	44.0	3.0
20.0	35.2	4.4	30.8	53.4	24.6	28.8	45.3	5.2	40.1	2.5
22.0	33.5	4.6	28.9	60.2	12.6	47.6	32.5	7.2	25.3	1.5
26.0	29.5	4.2	25.3	72.0	12.3	59.7	30.2	3.5	26.7	0.0
34.0	28.6	4.3	24.3	54.0	8.2	45.8	29.5	2.1	27.4	0.0
Area Accum. time(hr)	F4			V1			S1			Precipitation (mm)
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	
0.0	72.0	6.0	66.0	20.0	1.6	18.4	40.3	9.9	30.4	0.0
3.0	51.0	3.5	47.5	21.0	2.5	18.5	106.3	28.4	77.9	2.0
7.0	21.1	4.0	17.1	23.4	5.4	18.0	75.2	31.5	43.7	14.5
11.0	70.6	32.4	38.2	69.2	23.5	45.7	60.2	45.3	14.9	10.0
15.0	101.0	36.2	64.8	107.0	31.2	75.8	DF	DF	DF	9.0
18.0	60.4	20.0	40.4	30.1	5.6	24.5	97	34.2	62.8	3.0
20.0	55.3	15.9	39.4	28.6	3.6	25.0	82.3	30.6	51.7	2.5
22.0	51.3	15.2	36.1	30.8	3.2	27.6	56.2	30.1	26.1	1.5
26.0	46.2	8.5	37.7	27.5	2.7	24.8	52.1	27.3	24.8	0.0
34.0	38.4	6.7	31.7	26.1	2.6	23.5	42.3	25.3	17.0	0.0

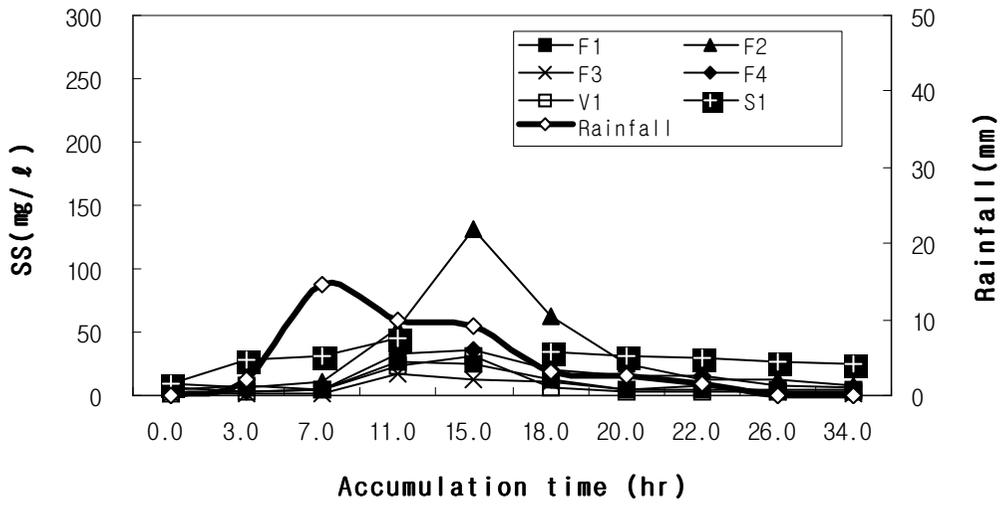


Fig. 5-34. Variation of SS by second rainfall.

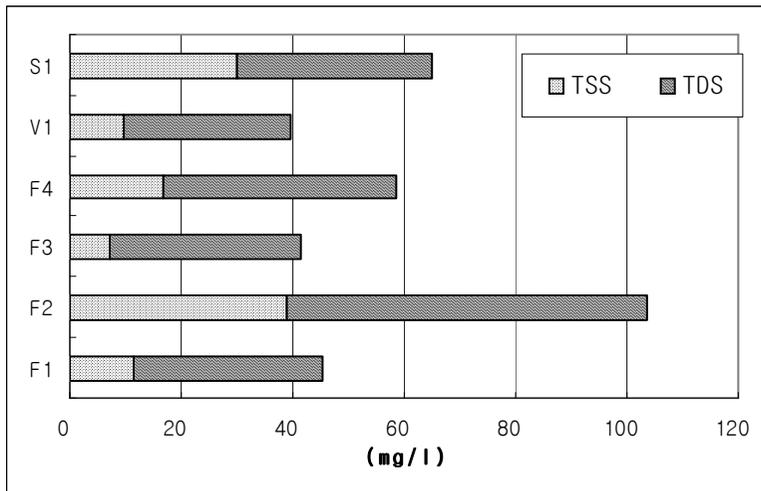


Fig. 5-35. Variation of solid concentration by second rainfall.

2차 강우시 T-N의 농도변화를 Table 5-35와 Fig. 5-36에 나타내었다. T-N농도는 훈효림지역이 0.131~1.197mg/L, 활엽수림지역이 0.689~1.666mg/L, 초본지역이 0.260~1.602mg/L, 침엽수림지역이 0.238~1.270mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡 0.140~1.430mg/L 및 송광천지류 1.070~2.326mg/L로 청천시의 농도보다 2배 이상 높게 나타났다.

또, 산림지역의 유출수는 강우량과 비슷한 변화양상을 보였으며, 하천수의 농도변화는 강우량 발생 이후에 일정 유하시간 후 농도가 높아지는 특성을 보였다.

Table 5-35. Variation of T-N by second rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.131	0.994	0.899	0.787	0.848	1.230	0.0
3.0	0.811	0.689	0.643	0.238	1.118	1.584	2.0
7.0	0.437	0.796	0.856	0.690	1.165	1.488	14.5
11.0	0.530	1.190	1.311	0.900	0.918	1.979	10.0
15.0	0.630	1.270	1.360	1.270	1.270	DF	9.0
18.0	1.197	1.666	1.602	0.992	1.430	2.326	3.0
20.0	0.905	1.230	1.191	0.420	0.830	2.009	2.5
22.0	1.043	1.150	0.680	0.550	0.390	1.503	1.5
26.0	0.905	1.065	0.620	0.420	0.260	1.370	0.0
34.0	0.530	0.810	0.260	0.320	0.140	1.070	0.0

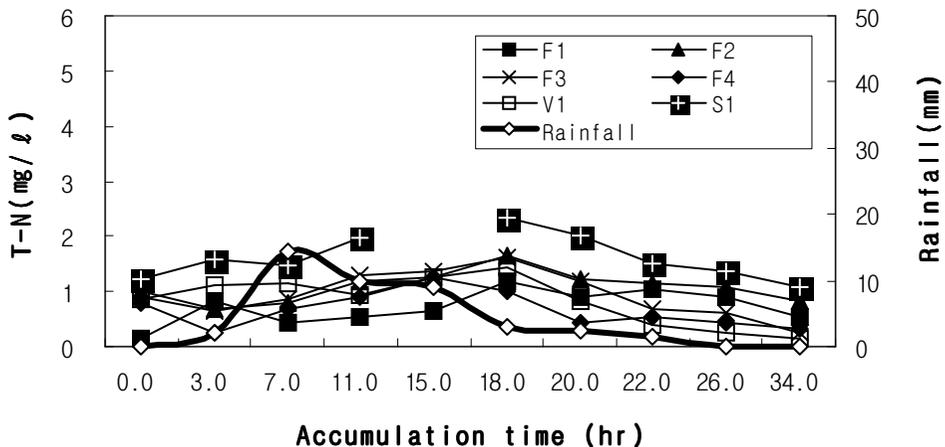


Fig. 5-36. Variation of T-N by second rainfall.

2차 강우시 T-P의 농도변화를 Table 5-36과 Fig. 5-37에 나타내었다. T-P는 혼효림지역이 0.021~0.262mg/L, 활엽수림지역이 0.031~0.117mg/L, 초본지역이 0.016~0.094mg/L, 침엽수림지역이 0.021~0.163mg/L로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡이 0.021~0.234mg/L, 송광천지류가 0.035~0.201mg/L로 1차 강우시와 강우량의 차이는 있지만 유출농도는 큰 차이가 없었다.

또한, 강우 유출과의 상관성이 적었다. 농도 변화범위는 조사지점별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 청천시 겨울철 유출 농도 보다 낮은 농도를 보였다.

Table 5-36. Variation of T-P by second rainfall (Unit : mg/L)

Area Accum. time(hr)	F1	F2	F3	F4	V1	S1	Precipitation (mm)
0.0	0.078	0.117	0.063	0.070	0.031	0.201	0.0
3.0	0.109	0.039	0.016	0.021	0.028	0.039	2.0
7.0	0.164	0.031	0.023	0.117	0.021	0.035	14.5
11.0	0.021	0.094	0.021	0.070	0.100	0.141	10.0
15.0	0.100	0.064	0.024	0.141	0.046	DF	9.0
18.0	0.262	0.040	0.022	0.063	0.234	0.148	3.0
20.0	0.063	0.094	0.039	0.044	0.021	0.141	2.5
22.0	0.037	0.086	0.094	0.163	0.035	0.086	1.5
26.0	0.036	0.098	0.020	0.084	0.021	0.113	0.0
34.0	0.032	0.052	0.022	0.040	0.035	0.086	0.0

Note) Accum. : Accumulation

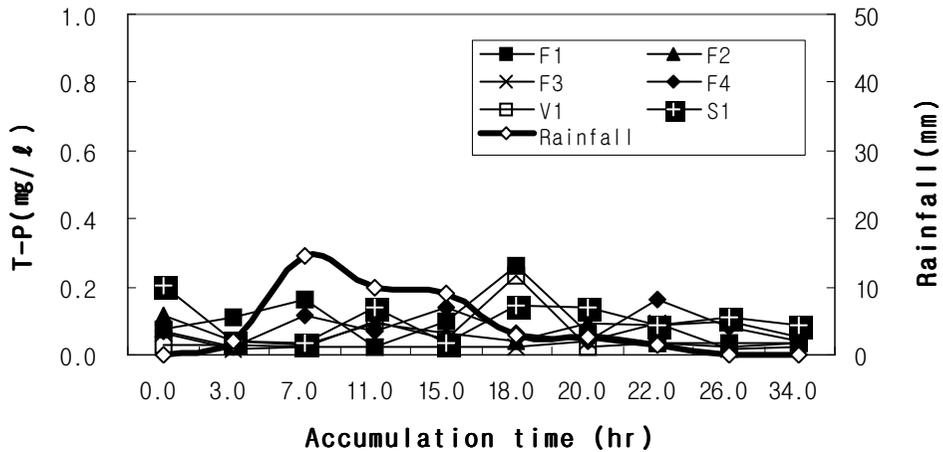


Fig. 5-37. Variation of T-P by second rainfall.

(3) 강우사상별 유출률

평균 유출률은 강우사상에 따라 1차 강우사상 30.1%, 2차 강우사상 24.8%로 박 등^{28,41,60})이 보고한 유출률 53%보다 낮게 나타났는데 이는 이 지역의 임목과 식생이 우리나라 평균치보다 양호한 지역이기 때문으로 생각된다. 임목형태별 유출률은 혼효림지역 30.7%, 활엽수림지역 28.7%, 초본지역 27.2% 및 침엽수림지역 23.2%로서 수원함양 측면에서는 침엽수림이 유리한 것으로 나타났다. 유 등³¹)이 사방지의 유출률 71.3%에 비해 낮은 유출률을 보여 삼림의 홍수경감효과를 나타내고 있는 것도 살펴볼 수 있다. 산림이 수원함양기능이 높기 때문이라고 판단되며 갈수기에도 계속 유출수를 생성하는 것으로 판단된다. 정확한 유출률의 해석을 위해서는 장기간 관찰이 필요하다고 사료된다.

주암호와 하천의 수질관리를 위해서 강우시 유량 및 수질의 자동측정 분석이 절실하며, 임목형태별 수원함양성에 대한 정밀조사 및 평가가 필요하다.

Table 5-37. Outflow rate classified by forest type in according to rainfall event
(Unit : %)

Division	Outflow rate by first rainfall	Outflow rate by second rainfall	Average
F1	32.6	28.8	30.7
F2	33.6	23.8	28.7
F3	28.0	26.4	27.2
F4	26.1	20.2	23.2
Average	30.1	24.8	27.5

3. 산림지역의 비점오염부하량 산정

가. 청천시 오염부하량

유량과 수질분석 자료를 토대로 산림지역의 임목형태별 평균유량과 각 오염물질의 가중평균농도를 Table 5-38에 나타내었다.

산림지역 각 지점에서의 청천시 평균 유량의 차이는 유역면적의 차이와 유형별 유출률의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

청천시의 임목형태별 평균유출유량은 혼효림지역 243.8m³/day, 활엽수림지역 315.0m³/day, 초본지역 148.5m³/day, 침엽수림지역 84.4m³/day로 나타났다.

가중평균농도가 전체적으로 침엽수림지역이 높게 나타난 것을 볼 수 있으며, 이는 유량이 다른 지역에 비해 매우 낮아 상대적으로 수질이 높게 나타난 것으로 판단되며, 유출수의 수위가 낮아 시료 채취시 바닥으로부터 상승된 오염물질의 영향도 있었다.

COD_{Mn}과 COD_{Cr}값의 차이는 초본지역이 가장 높게 나타나 난분해성물질의 유출이 높은 것을 알 수 있고, 혼효림지역의 차이가 낮게 나타난 것은 수종이 다양하게 존재하면 분해성이 높아지는 것으로 판단된다.

Table 5-38. Average flow and weighted average concentration by cloudless sky

Division	Flow (m ³ /day)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
F1	243.8	10.6	2.4	3.0	7.7	0.404	0.033
F2	315.0	9.3	2.8	3.2	8.5	0.451	0.063
F3	148.5	8.0	2.3	2.3	8.0	0.517	0.033
F4	84.4	19.0	3.4	3.4	11.0	0.449	0.044

평균유량과 가중평균으로 청천시 부하량을 계산하여 Table 5-39에 나타내었다. 임목형태별 부하량은 활엽수림지역이 높게 나타났으며, 초본지역이 낮게 나타났다.

Table 5-39. Pollutant loading by cloudless sky (Unit : kg/day)

Division	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P
F1	1.7	0.6	0.8	2.2	0.124	0.008
F2	2.7	0.8	0.8	2.6	0.110	0.012
F3	1.6	0.4	0.4	1.3	0.070	0.005
F4	2.0	0.3	0.3	1.1	0.043	0.004

Table 5-40에는 2004년 6월~2005년 11월까지의 청천일수, 강우일수 및 강우량을 월별로 제시하였다.

Table 5-41로부터 원단위 산정시 필요한 년 강우량 10mm이상이 내린 날짜를 환산계수로 이용하였다.

Table 5-40. Days of cloudless sky and precipitation, rainfall for investigation period

Date	Cloudless sky (day)	Precipitation(day) more than 10mm	Rainfall (mm)
04/6	25	5	315
04/7	24	7	719
04/8	25	6	419
04/9	23	7	384.2
04/10	31	0	19
04/11	27	3	78.7
04/12	30	1	31.8
05/1	31	0	9.7
05/2	27	1	36.7
05/3	29	2	24.6
05/4	26	4	127.7
05/5	28	3	101.5
05/6	26	4	47.5
05/7	23	8	220.7
05/8	22	9	257.5
05/9	27	3	77
05/10	31	0	13.8
05/11	27	3	45.1
Total	508	71	3051.4

부하량은 면적에 따라 차이가 있으므로 원단위를 계산하여 임목형태별로 비교하였다. Table 5-41은 청천시 부하량과 조사지역의 면적으로부터 임목형태별 원단위(kg/ha/year)를 나타낸 것이다.

SS는 침엽수림지역이 4.6kg/ha/year로 가장 높게 나타났고, 혼효림지역이 2.3 kg/ha/year로 가장 낮게 나타났다. BOD는 활엽수림지역이 1.0kg/ha/year로 가장 높았고, 혼효림지역, 초본지역은 0.7kg/ha/year로 가장 낮게 나타났다.

COD_{Mn}는 활엽수림지역과 혼효림지역이 1.0kg/ha/year로 가장 높았고, 초본지역이 0.7kg/ha/year로 가장 낮게 나타났으며, COD_{Cr}는 활엽수림지역이 3.1kg/ha/year로 가장 높았으며, 초본지역과 침엽수림지역이 2.6kg/ha/year로 낮게 나타났다. T-N은 혼효림지역이 0.164kg/ha/year로 가장 높고 침엽수림지역이 0.101kg/ha/year로 가장 낮았으며, T-P는 활엽수림지역이 0.014kg/ha/year로 가장 높고, 침엽수림지역이 0.009kg/ha/year로 낮은 값을 보였다. 활엽수림지역이 BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr} 및 T-P의 원단위가 높게 나타나 활엽수림지역에서 오염물질 배출량이 높은 것을 볼 수 있었다.

Table 5-41. Unit pollutant loading factor classified by forest type for cloudless sky (Unit : kg/ha/year)

Division	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P
F1	2.3	0.7	1.0	3.0	0.164	0.011
F2	3.3	1.0	1.0	3.1	0.132	0.014
F3	3.2	0.7	0.7	2.6	0.140	0.010
F4	4.6	0.8	0.8	2.6	0.101	0.009

Table 5-42는 청천시 오염원단위에 2004년도에 조사한 주암호 본 댐 유역의 임목형태별 전체 면적을 곱하여 청천시 부하량을 산정하였다.

주암호 유역의 임목형태별 면적은 혼효림지역이 8,451.05ha이고, 활엽수림지역은 6,709.99ha, 초본지역은 34.24ha, 침엽수림지역은 21,093.65ha로 조사되었으며, 부하량은 SS > COD_{Cr} > COD_{Mn} > BOD > T-N > T-P 순으로 높게 나타났다.

산림지역 비점오염물질 발생량은 SS물질의 배출이 가장 높고 T-P의 배출량이 매우 낮은 것으로 조사되었다. 원단위는 활엽수림지역이 침엽수림지역보다 높게 산정되었으나, 주암호유역의 산림형태가 침엽수림지역의 분포가 높아 오염 부하량은 더 낮은 것으로 볼 수 있다.

Table 5-42. Pollutant loading classified by forest type for cloudless sky
(Unit : kg/year)

Division	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P
F1	19,473.1	6,166.6	8,568.7	25,082.5	1,389.8	89.1
F2	21,872.8	6,483.4	6,776.3	20,984.5	884.1	93.5
F3	110.1	24.3	25.1	87.8	4.8	0.3
F4	98,001.7	17,072.1	16,288.8	54,848.2	2,125.5	200.1

나. 강우시 오염부하량 산정

2005년 8월 1~3일 7~8일 두 차례에 걸쳐, 실시간으로 조사된 유량과 수질 자료를 토대로 강우현상에 따른 유량변화와 오염부하량을 산정하였다. 산정방법은 조사시간별로 유량과 수질을 그래프에 그려 청천 시의 유량기준에 도달하는 시간까지는 강우에 의한 영향범위로 정하고 총 유량 및 총 부하량을 적분의 형식으로 구한 다음 강우의 영향을 받는 시간으로 나누어 시간당 유량 및 부하량을 계산하였다.

부하량 산정은 유량과 수질의 데이터를 토대로 산정하는 것이므로 유량의 변화폭이 너무 커서 강우량과 시간당 오염부하량의 유의성 있는 상관관계를 얻지 못한 것으로 판단된다. 계속하여 실 강우시 자료를 구축하여 이에 대한 상관성을 재검토 하는 등 고찰하여야 할 것으로 판단된다.

Table 5-43은 강우시 강우량과 강우 시간 및 강우강도를 나타낸 것으로 1차 강우시 총 측정시간 44시간 중 강우지속시간은 285시간으로 강우강도 4.5mm/hr를 나타내었고, 2차 강우시 총 측정시간 34시간 중 강우지속시간은 19시간으로 강우강도는 1.7mm/hr를 나타내었다.

Table 5-43. Amount of precipitation, number of days with precipitation and rainfall intensity for rainfall

Average Rainfall Intensity(mm/hr)		Total Amount of Precipitation (mm)		Number of Days with Precipitation (hr)	
1st Rainfall	2nd Rainfall	1st Rainfall	2nd Rainfall	1st Rainfall	2nd Rainfall
4.5	1.7	102.5	42.5	20.5	19

10년 평균 주암호의 강우량 값은 1,389mm를 적용하였다.

유달가중 평균농도는 다음과 같은 식을 이용하여 계산하여 Table 5-44에 나타내었다.

$$\text{유달가중 평균농도} = \frac{\sum \text{농도}(\text{mg/L}) \times \text{유량}(\text{m}^3/\text{day}) \times \text{강우 시간}(\text{hr})}{\sum \text{유량}(\text{m}^3/\text{day}) \times \text{강우 시간}(\text{hr})}$$

Table 5-44. Weighted average concentration of flow for rainfall
(Unit : mg/L)

Division	Area	SS	BOD	COD _{in}	COD _{cr}	T-N	T-P
First	Mixed Tree	9.6	1.8	2.1	21.0	0.912	0.019
	Broad-leaved tree	24.0	1.9	2.1	37.9	1.251	0.026
	Herbage	7.7	1.5	2.0	28.3	0.894	0.034
	Conifer	8.3	2.6	3.4	30.0	0.911	0.030
Second	Mixed Tree	16.8	2.2	2.6	45.2	0.616	0.100
	Broad-leaved tree	55.7	2.9	4.9	44.5	1.164	0.064
	Herbage	9.3	1.2	1.5	41.3	1.157	0.025
	Conifer	21.8	1.8	2.5	38.4	0.883	0.102

강우시 각 지점별 유출량은 다음과 같은 식을 이용하여 Table 5-45에 나타내었다.

$$\text{유출량} = \frac{\sum \text{유량} (\text{m}^3/\text{day}) \times \text{강우 시간}(\text{hr})}{\sum \text{총 강우 시간}(\text{hr})}$$

Table 5-45. Flow classified by area for rainfall (Unit : m³/day)

Division	Flow for 1st Rainfall	Flow for 2nd Rainfall
F1	11,217.0	4,432.8
F2	12,747.5	4,035.3
F3	6,392.7	2,690.0
F4	5,126.9	1,775.7

Table 5-46은 강우시 비점오염물질의 원단위를 나타낸 것으로 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{원단위} = \frac{(\text{1차 강우시 유달가중평균농도} \times \text{1차 강우시 유출량} + \text{2차 강우시 유달가중평균 농도} \times \text{2차 강우시 유출량}) \times f}{\text{면적}}$$

흔효림지역의 면적은 28.7ha, 활엽수림지역은 31.64ha, 초본지역은 19ha, 침엽수림지역은 16.4ha이며, f는 환산인자로서 10년 평균 강우량 1,389mm를 적용하였으며 약 9.6이다.

산림지역 비점오염원 원단위 활엽수림지역이 SS 160.7kg/ha/year, COD_{Mn} 14.2 kg/ha/year, COD_{Cr} 200.8kg/ha/year, T-N 6.248kg/ha/year, T-P 0.178kg/ha/year으로 가장 높게 나타났으며, 침엽수림지역이 SS 29.5kg/ha/year, COD_{Mn} 7.9kg/ha/year, COD_{Cr} 80.6kg/ha/year, T-N 2.263kg/ha/year, T-P 0.122kg/ha/year로 가장 낮게 나타났다.

SS의 원단위는 활엽수림지역이 가장 높은 160.7kg/ha/year로 조사되었으며 산림지역 평균은 72.05kg/ha/year로 나타났다. 국내 평균은 국립환경과학원에서 발표한 314.7kg/ha/year와 큰 차이를 보이는 것은 주암호유역 산림의 식생 및 경사 등의 입지적인 요인이 토사나 부유성물질의 유입을 차단하고 있음을 볼 수 있다. 또한, 국립환경과학원의 자료는 전국을 대상으로 하여 임야의 기준이 더 넓고 불량한 식생들도 포함하기 때문으로 판단된다.

BOD 원단위는 혼효림지역 9.8kg/ha/year로 가장 높고, 산림지역 평균은 8.35 kg/ha/year로 국내 평균보다 매우 높게 산출되었다. 이는 산림의 형성이 오래 되어 유출수중에 유기물질의 함량이 높은 것으로 판단되며, 이러한 유기물질이 일시적으로 대량 호소내로 유입되는 것을 차단하는 방안을 마련하는 것이 양질의 수질을 확보하는데 유리 할 것으로 판단된다.

COD 원단위는 활엽수림지역이 14.2kg/ha/year로 국내 평균의 9.3kg/ha/year 보다 높아 BOD 물질과 함께 주암호유역의 산림지역에서는 평균이상의 유기물질이 호소내로 유입되고 있음을 볼 수 있다. T-N은 활엽수림지역이 6.248kg/ha/year로 가장 높았고, 산림지역 평균은 4.32kg/ha/year로 국내 평균의 8.10보다 2배 정도 낮은 값을 보였다. 산림지역으로부터 호소에 유입되는 질소의 양은 타 지역보다 낮은 것을 알 수 있다. T-P 원단위는 혼효림지역이 0.219kg/ha/year로 가장 높았으며, 산림지역평균 원단위는 0.17로 국내 평균의 0.52kg/ha/year보다는 4배 정도 낮은 값을 보였다.

영양염류의 경우 산림지역으로 유출되어 호소에 유입되는 양은 낮은 값으로 주암호의 영양염류 제어 및 부영양화의 대책 방안은 농지에 의한 부하량 등의 관점에서 출발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

조사기간 중 강우시 농지로부터 유출되는 유출수가 포함된 시료의 T-P값은 높게 분석되는 것으로 볼 수 있었으며 산림지역의 유출수에서는 T-P의 배출이 가장 낮은 것을 볼 수 있었다.

Table 5-46. Unit pollutant loading factor of non point source for rainfall
(Unit : kg/ha/year)

Division	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P
F1	60.7	9.8	11.9	145.4	4.326	0.219
F2	160.7	11.1	14.2	200.8	6.248	0.178
F3	37.3	6.5	8.6	147.1	4.450	0.143
F4	29.5	6.0	7.9	80.6	2.263	0.122
Average	72.05	8.35	10.65	143.47	4.32	0.17
U.S.A (Cemola et al.)	97.8	5.11	ND	ND	3.10	0.10
Korea (Total Average)	314.7	3.5	9.3	ND	8.02	0.52
Exiting Research	4.0~1143.5	2.6~13.9	9.8~13.9	ND	0.95~16.1	0.04~0.91

Notes) ND : None Data

기존 조사된 원단위도 지역에 따라서 그 범위가 다양하며, 토지이용별로 원단위 값의 차이가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 현장조사 결과 동일한 토지이용 현황을 갖는 유역이기는 하나 조사지점별 우수 유출량과 오염부하가 크게 차이가 나는 것으로 나타났었다. 이는 조사 유역에서의 유역환경 특성인자인 경사도, 식생, 토양 등의 차이에 의한 것일 수도 있고, 소비수구역간 강우사상의 차이 등 여러 복합적인 요소에 영향을 받기 때문으로 판단된다. 따라서 모든 토지이용에 대한 획일적인 원단위를 산정하는 것은 매우 어려운 것으로 판단된다.

Table 5-47의 비점오염원 부하량은 Table 5-46의 비점오염물질 원단위에 주암호 유역의 임목형태별 총면적을 곱하여 나타내었다.

훈효림지역의 면적은 8,451.05ha, 활엽수림지역은 6,709.99ha, 초본지역은 34.24ha, 침엽수림지역은 21,093.65ha이다.

비점오염물질 부하량은 침엽수림지역이 가장 높았으며 BOD 127.10ton/year, COD_{Mn} 167.67ton/year, COD_{Cr} 1,699.95ton/year, T-N 47.74ton/year T-P 2.57ton/year로 나타났으며, SS는 활엽수림지역에서 1,078.60ton/year로 가장

높게 나타났다.

주암호 유역의 산림으로부터 발생하는 부하량은 연간 SS 2,214.49ton, BOD 284.36ton, COD_{Mn} 363.92ton, COD_{Cr} 4,280.91ton, T-N 126.38ton 및 T-P 5.63ton 으로 나타났다.

2002년 국립환경과학원의 전국오염원 조사자료와 수계오염총량관리기술지침의 원단위 및 배출계수 자료를 기초로 오염부하량을 산정한 결과¹¹⁰⁾와 비교하여 나타내면 다음과 같다

주암호의 BOD오염부하량¹¹¹⁾은 4055.26ton/year로 이중 토지이용에 의한 오염 부하량은 707.19ton/year이다.

산림지역만의 오염부하량 284.36ton/year로 산정하였으며, 이는 토지이용에 의한 오염부하량중 약 40.20%를 차지하는 것으로 주암호 전체 BOD 오염부하량 중에서는 약 7%에 해당하는 부하량이다.

주암호 유역 T-N 오염부하량은 1,401.38ton/year로 이중 토지이용에 의한 오염 부하량은 613.42ton/year이며 이중 산림지역 오염부하량은 126.38ton/year로 토지이용 부하량중 20.60%를 차지하고 전체 오염부하량 중에는 9.02%의 비율을 차지한다.

주암호 유역 T-P 오염부하량은 291.93ton/year로 이중 토지이용에 의한 오염 부하량은 106.55ton/year이며, 이중 산림지역 오염부하량은 5.63ton/year로 토지이용부하량중 5.29%를 차지하고 전체 오염부하량 중에는 1.93%의 비율을 차지한다.

산림지역 유출수는 전체 오염부하량중 BOD > T-N > T-P 순으로 기여율이 높은 것을 알 수 있다.

Table 5-47. Pollutant loading of non point source in the Juam basin
(Unit : ton/year)

구 분	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P
Basin of Juamdang contaminant load	ND	4055.26	ND	ND	1401.38	291.93
Land utilization contaminant load	ND	707.19	ND	ND	613.42	106.55
Forest area contaminant load	2,214.49	284.36	363.92	4,280.91	126.38	5.63
Mixed area (F1)	513.0	82.75	100.68	1,228.58	36.56	1.85
Broad-leaf area (F2)	1,078.60	74.29	95.27	1,347.34	41.93	1.20
Herbage area (F3)	1.28	0.22	0.30	5.04	0.15	0.005
Conifer area (F4)	621.61	127.10	167.67	1,699.95	47.74	2.57

Note) ND : None Data

Table 5-48은 문헌조사를 통한 산림지역비점오염원의 오염부하량을 나타낸 것이다. 산림지역 비점오염물질중 SS의 부하량이 가장 높은 것으로 보여, 최우선적으로 관리되어져야 할 항목으로 판단되며 관리방안 수립시 SS물질의 저감방안에 일차적인 기준으로 정하는 것이 합리적으로 사료된다. 또한 T-P의 부하량은 가장 낮게 배출되고 있어 주암호 인의 관리는 산림지역오염물질이 아닌 농지나 축산 등의 관리방안으로 제어하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 5-48. Pollutant loading of non-point source as forest area for some others documents (Unit : ton/year)

Basin	Contaminant load(non-point source ; forest area) (ton/year)				
	SS	BOD	COD _{Mn}	T-N	T-P
Buk Han River	222,890	2,272	4,790	837	67
Nam Han River	337,503	3,276	6,987	1,152	99
Gyong An Stream	14,529	155	324	60	4

제3절 산림지역 유출수와 주암호의 부식질 특성

수중의 유기물질은 비휴믹물질(Non-humic substance)과 휴믹물질(Humic substance)로 나눌 수 있다. Non-humic substance는 구조가 잘 알려져 있지 않으나 Hydrophilic acid와 단순한 형태의 Carbohydrate, Carboxylic acid, Amino acid, Hydrocarbon 등이다. 일반적으로 이러한 물질들은 미생물에 의해 쉽게 분해되며, 상대적으로 짧은 시간동안 존재한다.

그러나 휴믹 물질은 대표적인 자연유기물(NOM:Natural Organic Matter)이며 DOC의 30~50%를 차지한다. 착색된 고분자 전해질로 자연수 중에 DOC 농도로 0.5~4.0mg/L 존재한다.

NOM의 물리화학적 특성을 나타내는 SUVA는 $UV_{254}/DOC \times 100(m^{-1} \cdot L/mgC)$ 로 정의된다. 즉 DOC에 대한 254nm에서의 흡광도 비율을 SUVA라고 하며, 그 값이 3이상이면 DOC는 주로 소수성의 방향족 고분자 유기물로 구성되며, 반면에 SUVA가 4 이하이면 DOC는 휴믹성분이 아닌 친수성 저분자 유기물이라고 알려져 있다. 즉 용존유기물의 분광학적 특성과 용존유기탄소 농도를 이용하여 물속에 용해되어 있는 용존유기물 가운데 자외선 흡광도를 가지는 유기물이 차지하는 비율을 추정할 수 있는 UV_{254}/DOC 을 얻을 수 있으며 이를 SUVA값으로 하고 이 값이 높을 수록 부식질이 높은 것으로 판단한다.

즉, UV_{254}/DOC 는 용존유기물의 종류에 따라 달라지며, 외부기원 용존유기물은 주로 토양에서 유출되는 Humic acid와 같이 자외선 흡광도가 높은 방향족 유기물을 다량 함유하고 있으므로, 지방족 유기물이 대부분인 내부생산 용존유기물의 UV_{254}/DOC 보다 높게 나타난다. 그러므로 UV_{254}/DOC 를 사용하면 전체 용존유기물에서 내부생산 용존유기물의 비율을 추정할 수 있다. 즉, UV_{254}/DOC 비율이 높으면 전체 용존유기물에 대한 외부기원 용존유기물의 비율이 높다는 것을 의미한다. 용존유기물의 UV흡광도 측정은 미생물에 의해 비교적 분해가 어려운 방향족 및 불포화 지방족 물질을 정량화 할 수 있다.

1. 산림지역 유출수 및 유입하천수의 부식질 특성

가. 산림지역 유출수의 부식질 특성

Table 5-49는 조사기간 동안 산림지역의 UV_{254} , DOC, 및 SUVA 값이다. 유기물의 분자량 및 방향성과 상관성이 있는 SUVA값은 $0.372\sim 17.410m^{-1}\cdot L/mgC$ 로 나타났다. 혼효림지역은 $1.080\sim 16.325m^{-1}\cdot L/mgC$, 활엽수림지역은 $1.401\sim 15.771m^{-1}\cdot L/mgC$, 초본지역은 $0.578\sim 6.777m^{-1}\cdot L/mgC$ 및 침엽수림지역은 $0.372\sim 17.410m^{-1}\cdot L/mgC$ 로 조사되었다. 평균 SUVA는 산림지역모두 비슷하게 나타났으며, 침엽수림지역이 $3.816m^{-1}\cdot L/mgC$ 로 가장 높았고, 활엽수림지역 $3.799m^{-1}\cdot L/mgC$, 초본지역 $3.621m^{-1}\cdot L/mgC$ 및 혼효림지역이 $3.605m^{-1}\cdot L/mgC$ 순이었다.

Table 5-49. UV₂₅₄, DOC and SUVA of forest area

Division	Mixed area(F1)			Broad-leaf area(F2)			Herbage area(F3)			Conifer area(F4)		
	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)
04/5/30	0.042	1.486	2.826	0.053	1.492	3.552	NC	NC	NC	0.033	1.412	2.337
6/19	0.167	4.949	3.374	0.172	4.641	3.706	NC	NC	NC	0.175	4.540	3.855
7/02	0.215	1.317	16.325	0.182	1.154	15.771	NC	NC	NC	0.199	1.143	17.410
7/16	0.033	1.200	2.750	0.036	1.130	3.186	NC	NC	NC	0.065	1.423	4.568
7/29	0.030	1.524	1.969	0.044	1.204	3.654	NC	NC	NC	0.030	1.238	2.423
8/17	0.034	1.28	2.654	0.038	2.71	1.401	NC	NC	NC	0.030	1.30	2.315
9/03	0.052	1.538	3.381	0.074	1.488	4.973	0.044	0.943	4.666	0.079	1.545	5.113
9/17	0.067	1.805	3.712	0.072	1.530	4.706	0.069	1.247	5.533	0.088	1.773	4.963
10/3	0.040	1.284	3.115	0.055	1.338	4.111	0.042	0.845	4.970	0.037	1.214	3.048
10/31	0.043	1.142	3.765	0.059	1.079	5.468	0.044	1.042	4.223	0.041	0.978	4.192
11/13	0.051	1.142	4.466	0.048	1.079	4.449	0.047	1.042	4.511	0.042	0.978	4.294
11/28	0.056	1.052	5.323	0.041	0.928	4.418	0.053	0.782	6.777	0.043	0.795	5.409
12/28	0.053	0.984	5.386	0.032	0.945	3.386	0.023	0.998	2.305	0.037	0.634	5.836
05/1/30	0.012	0.613	1.958	0.016	0.940	1.702	0.011	0.632	1.741	0.011	0.676	1.627
2/18	0.039	1.270	3.071	0.085	1.869	4.548	0.047	1.169	4.021	0.071	1.437	4.941
3/19	0.018	0.766	2.350	0.023	0.631	3.645	0.041	1.261	3.251	0.021	0.351	5.983
4/27	0.018	0.779	2.311	0.028	0.605	4.628	0.037	1.093	3.385	0.023	0.709	3.244
5/20	0.024	1.309	1.833	0.031	1.192	2.601	0.042	1.292	3.251	0.022	0.739	2.977
6/06	0.054	1.172	4.608	0.064	1.346	4.755	0.059	1.680	3.512	0.025	0.698	3.582
7/02	0.039	0.961	4.058	0.047	0.755	6.225	0.054	1.172	4.608	0.081	1.353	5.987
7/27	0.046	0.702	6.553	0.031	1.161	2.670	0.025	0.537	4.655	0.024	0.812	2.956
8/10	0.043	1.023	4.203	0.037	1.243	2.977	0.024	0.948	2.532	0.025	0.894	2.796
9/09	0.019	1.76	1.080	0.035	2.488	1.407	0.014	2.423	0.578	0.021	5.644	0.372
10/14	0.026	2.263	1.149	0.043	1.843	2.333	0.021	1.591	1.320	0.023	1.975	1.165
11/23	0.026	1.746	1.489	0.048	1.43	3.357	0.03	1.439	2.085	0.026	0.669	3.886
Average	0.037	1.064	3.605	0.042	1.173	3.799	0.038	1.128	3.621	0.035	1.194	3.816
Max.	0.215	4.949	16.325	0.182	4.641	15.771	0.069	2.423	6.777	0.199	5.644	17.410
Min.	0.012	0.613	1.080	0.016	0.605	1.401	0.011	0.537	0.578	0.011	0.351	0.372

Note) NC :Not collected

Fig. 5-38에서 SUVA의 변화는 강우기가 시작하는 초기에 높게 나타나는 것을 볼 수 있었으며 이는 강우가 유출하면서 지표면의 부식질을 포함하기 때문으로 판단된다. 강우에 의한 부식질의 유출이 전 지점에서 높은 값을 보여, 강우시 발생하는 산림지역 비점오염원물질 중에는 부식질의 함량이 높아 이후 상수원으로 이용되는 주암호중의 부식질물질은 용존성유기물중 난분해성 물질로 정수처리에 어려움을 초래하고 있다.

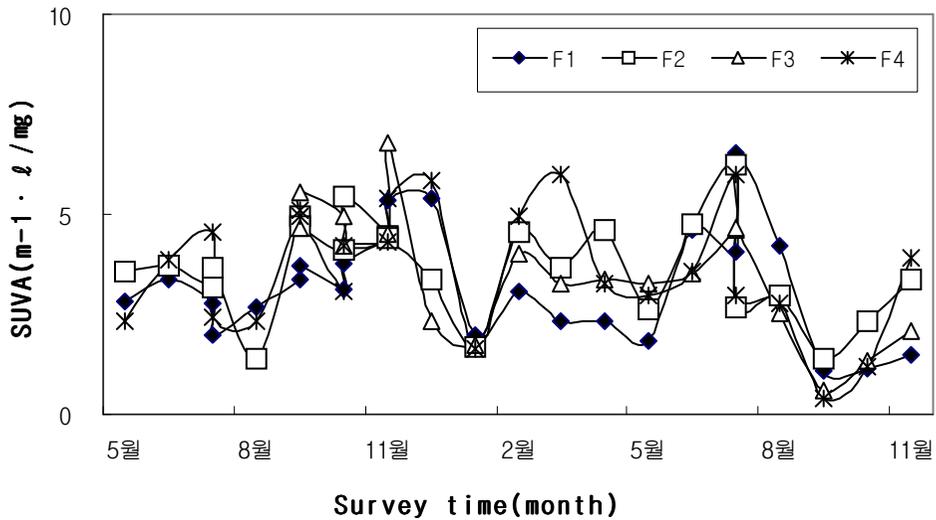


Fig. 5-38. Variation of SUVA for forest effluence.

산림지역 유출수중의 UV_{254} 와 SUVA의 상관관계를 Fig. 5-39에 나타내었다. 상관계수는 초본지역이 0.8401로 가장 높게 나타났으며, 혼효림지역이 0.6664, 활엽수림지역이 0.5265 및 침엽수림지역이 0.5984 순으로 나타났다.

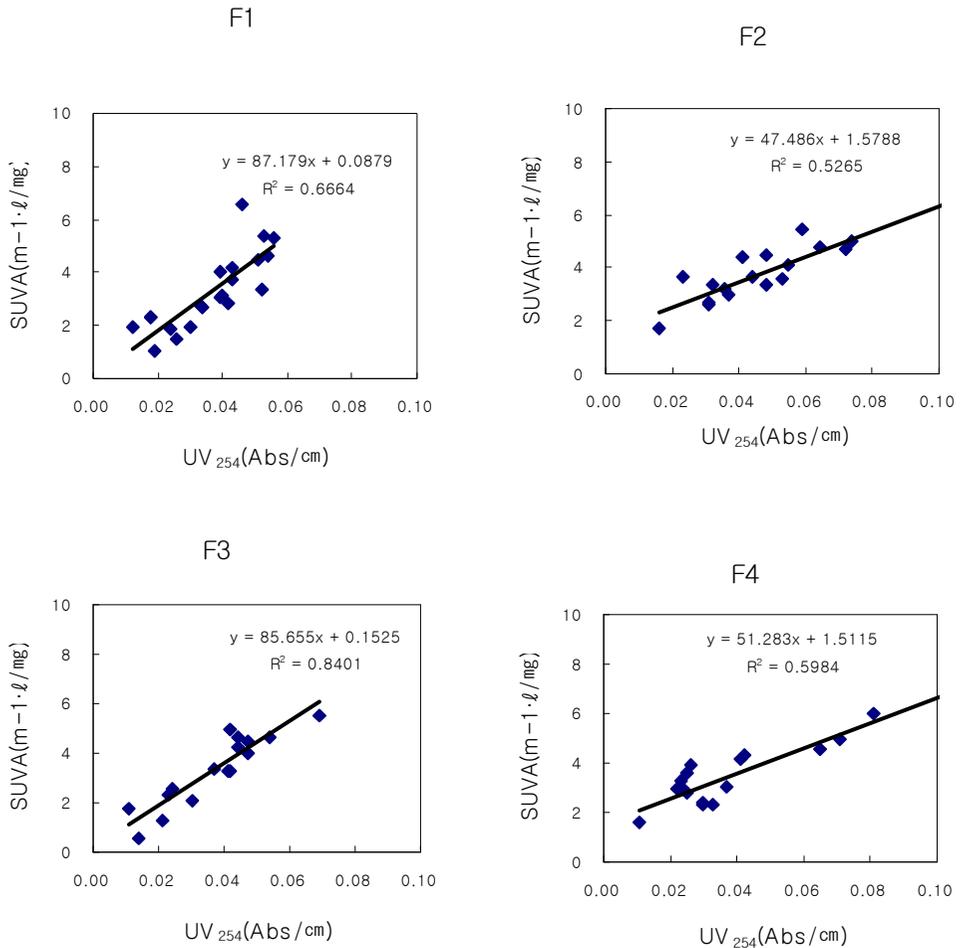


Fig. 5-39. Correlation of UV₂₅₄ and SUVA for forest effluence.

나. 계류수의 부식질 특성

계류수중의 UV₂₅₄, DOC 및 SUVA값을 Table 5-50에 나타내었다.

대흥계곡은 1.324~6.613m⁻¹·L/mgC, 송광사계곡은 0.932~9.756m⁻¹·L/mgC, 까치골은 1.196~12.665 m⁻¹·L/mgC로 조사되었다.

계류수의 SUVA값은 낮게 나타나 계류수의 생태에서는 부식질의 분해가 가능하거나 계속되는 일정한 유출이 지하수나 토양의 미생물에 의해 방향족화합물 등의 거대 소수성 분자물질이 분해 흡착되거나, 친수성 물질들만이 계류수에 포함되어 유출되는 것으로 사료된다.

Table 5-50. UV₂₅₄, DOC and SUVA for valley stream

Division	V1			V2			V3		
	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ ·L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ ·L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ ·L/mgC)
04/5/30	NC	NC	NC	0.032	1.268	2.524	0.079	2.220	3.559
6/19	NC	NC	NC	0.106	2.967	3.573	0.078	3.168	2.462
7/2	NC	NC	NC	0.108	1.107	9.756	0.144	1.137	12.665
7/16	NC	NC	NC	0.040	1.106	3.617	0.051	1.349	3.781
7/29	NC	NC	NC	0.024	1.122	2.139	0.045	1.523	2.955
8/17	NC	NC	NC	0.024	2.576	0.932	0.046	1.370	3.358
9/3	0.039	0.817	4.774	0.053	1.453	3.648	0.074	1.542	4.799
9/17	0.041	0.743	5.518	0.063	1.541	4.088	0.078	1.684	4.632
10/3	0.029	0.772	3.756	0.034	1.935	1.757	0.077	1.831	4.205
10/31	0.047	0.821	5.725	0.032	0.882	3.628	0.052	0.936	5.556
11/13	0.051	0.821	6.212	0.047	0.882	5.329	0.045	0.936	4.808
11/28	0.049	0.741	6.613	0.038	0.860	4.419	0.043	0.886	4.853
12/28	0.024	0.569	4.218	0.032	0.742	4.313	0.045	0.879	5.119
05/1/30	0.007	0.311	2.251	0.009	0.474	1.899	0.013	0.284	4.577
2/18	0.016	0.769	2.081	0.020	1.807	1.107	0.038	1.144	3.322
3/19	0.012	0.405	2.963	0.011	0.660	1.667	0.014	0.594	2.357
4/27	0.012	0.553	2.170	0.010	0.764	1.309	0.011	0.625	1.760
5/20	0.015	0.993	1.511	0.012	0.840	1.429	0.016	0.843	1.898
6/6	0.017	0.746	2.279	0.010	0.614	1.629	0.017	0.689	2.467
7/2	0.039	1.502	2.597	0.009	0.884	1.018	0.034	0.879	3.868
7/27	0.009	0.410	2.195	0.013	0.831	1.564	0.011	0.598	1.839
8/10	0.012	0.735	1.633	0.014	0.934	1.499	0.012	0.574	2.091
9/9	0.010	0.719	1.391	0.016	1.132	1.413	0.010	0.836	1.196
10/14	0.015	1.133	1.324	0.019	1.143	1.662	0.014	0.920	1.522
11/23	0.019	0.502	3.785	0.025	0.674	3.709	0.025	0.897	2.787
Average	0.023	0.724	3.173	0.020	0.949	2.265	0.029	0.836	3.328
Max.	0.051	1.502	6.613	0.108	2.967	9.756	0.144	3.168	12.665
Min.	0.007	0.311	1.324	0.009	0.474	0.932	0.010	0.284	1.196

Note) DF : Detecting Failure

UV₂₅₄와 DOC 대한 SUVA값의 상관관계를 Fig. 5-40에 나타내었다. 상관계수는 송광사 계곡 0.8261, 대흥계곡은 상관계수 0.7837, 까치골 계곡은 0.7484로 산림지역의 상관계수보다 높게 나타났다.

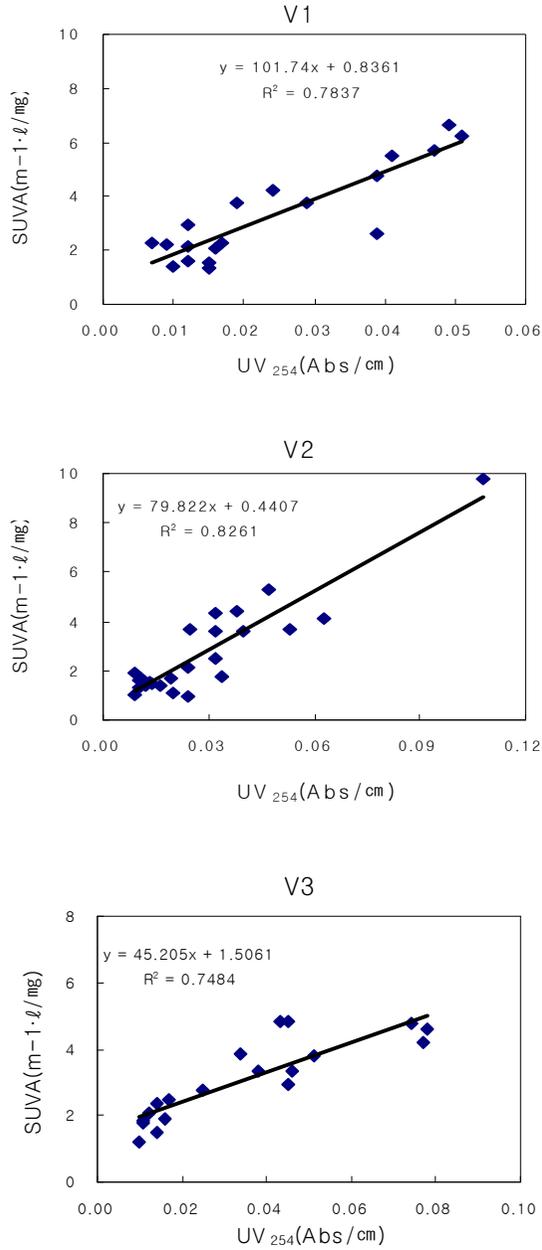


Fig. 5-40. Correlation of UV₂₅₄ and SUVA for valley stream.

다. 주요 유입하천의 부식질 특성

유입하천의 UV_{254} , DOC 및 SUVA값을 Table 5-51에 나타내었다. SUVA값은 송광천지류 1.619~9.621 $m^{-1}L/mgC$, 동복천지류 0.771~8.015 $m^{-1}L/mgC$ 및 보성강지류 1.584~11.504 $m^{-1}L/mgC$ 로 나타났다.

유입 하천수중에는 동복천 지류의 평균 SUVA값이 3.469 $m^{-1}L/mgC$ 로 가장 낮고, 송광천지류 3.990 $m^{-1}L/mgC$, 보성강지류가 4.967 $m^{-1}L/mgC$ 로 가장 높게 조사되었다. 보성강 지류는 주변 유역의 토지 이용현황이 산림이 가장 높은 70%이상인 것을 감안하면, 외부로부터 부식질의 유입이 가장 높은 지점으로 판단된다.

Table 5-51. UV₂₅₄, DOC and SUVA of river

Division	S1			S2			S3		
	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ L/mgC)
04/5/30	0.064	2.128	3.008	0.029	1.330	2.180	0.072	2.196	3.279
6/19	0.073	3.846	1.898	0.138	3.499	3.944	0.084	4.006	2.097
7/2	0.099	1.029	9.621	0.084	1.048	8.015	0.107	1.079	9.917
7/16	0.071	1.630	4.356	0.039	1.038	3.757	0.089	1.593	5.587
7/29	0.023	1.026	2.242	0.038	1.813	2.096	0.032	1.076	2.974
8/17	0.038	1.373	2.768	0.025	3.242	0.771	0.067	1.951	3.434
9/3	0.101	1.797	5.620	0.111	1.987	5.586	0.132	2.426	5.441
9/17	0.121	2.440	4.959	0.138	2.879	4.793	0.142	4.124	3.443
10/3	0.056	1.118	5.009	0.063	1.599	3.940	0.072	2.147	3.354
10/31	0.053	1.217	4.355	0.059	1.432	4.120	0.077	1.929	3.992
11/13	0.064	1.217	5.259	0.068	1.432	4.749	0.093	1.929	4.821
11/28	0.052	0.868	5.991	0.064	1.065	6.009	0.124	2.163	5.733
12/28	0.022	0.778	2.828	0.042	0.897	4.682	0.065	1.230	5.285
05/1/30	0.012	0.741	1.619	0.014	0.649	2.157	0.021	0.748	2.807
2/18	0.023	0.709	3.244	0.022	1.743	1.262	0.106	1.226	8.646
3/19	0.021	0.492	4.268	0.025	0.635	3.937	0.035	0.350	10.000
4/27	0.019	0.463	4.104	0.019	0.576	3.299	0.026	0.226	11.504
5/20	0.041	1.394	2.941	0.039	1.643	2.374	0.036	2.090	1.722
6/6	0.067	1.417	4.728	0.055	1.845	2.981	0.063	2.148	2.933
7/2	0.081	1.400	5.786	0.103	1.638	6.288	0.151	2.090	7.225
7/27	0.033	0.665	4.962	0.032	1.039	3.080	0.034	1.524	2.231
8/10	0.025	1.021	2.449	0.021	1.387	1.514	0.039	1.460	2.671
9/9	0.023	1.000	2.300	0.023	1.418	1.622	0.035	2.209	1.584
10/14	0.026	1.093	2.379	0.028	1.872	1.496	0.046	0.962	4.782
11/23	0.027	0.945	2.857	0.025	1.015	2.463	0.027	1.053	2.564
Average	0.039	0.967	3.990	0.043	1.267	3.468	0.065	1.565	4.967
Max.	0.121	3.846	9.621	0.138	3.499	8.015	0.151	4.124	11.504
Min.	0.012	0.463	1.619	0.014	0.576	0.771	0.021	0.226	1.584

UV₂₅₄와 DOC 대한 SUVA값의 상관관계를 Fig. 5-41에 나타내었다. 상관계수가 송광천지류 0.7706, 동북천지류 0.7392, 보성강지류가 0.768로 산림지역의 상관계수보다 높게 나타났다.

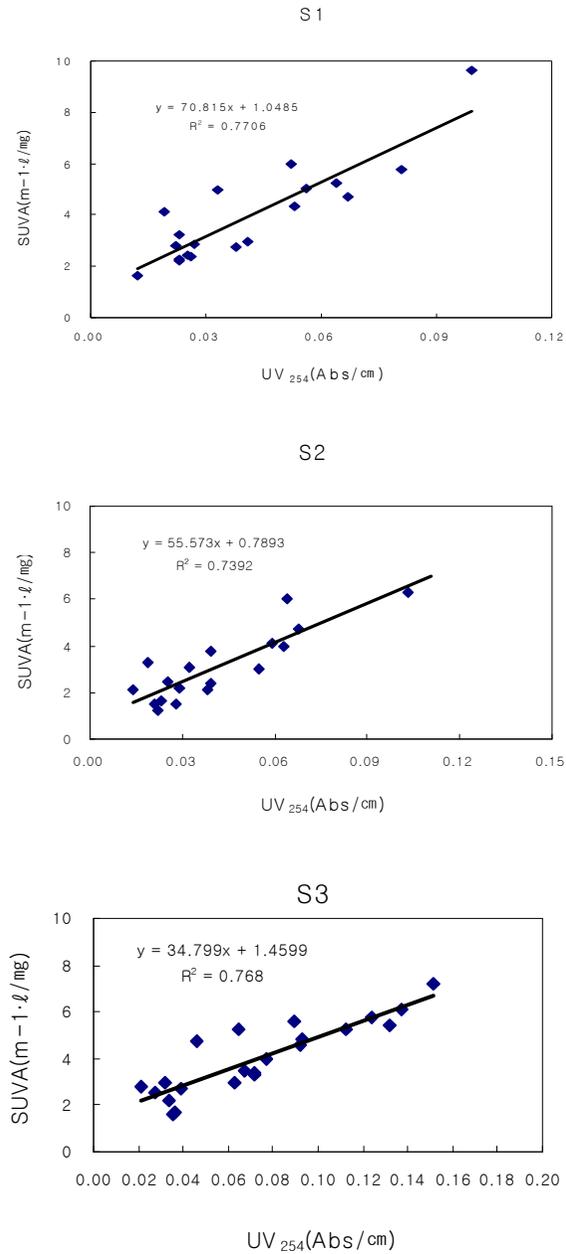


Fig. 5-41. Correlation of UV₂₅₄ and SUVA for rivers.

주요 유입하천의 SUVA의 농도변화를 Fig. 5-42에 나타내었다. 유입하천의 SUVA의 변화는 강우기에 높게 나타났으며, 겨울철에 낮아지는 경향을 보여 비점 오염물질의 유입으로 인한 증가로 판단된다. 보성강지류의 농도가 높은 것을 볼 수 있으며 10월까지도 농도가 높게 유지되었다.

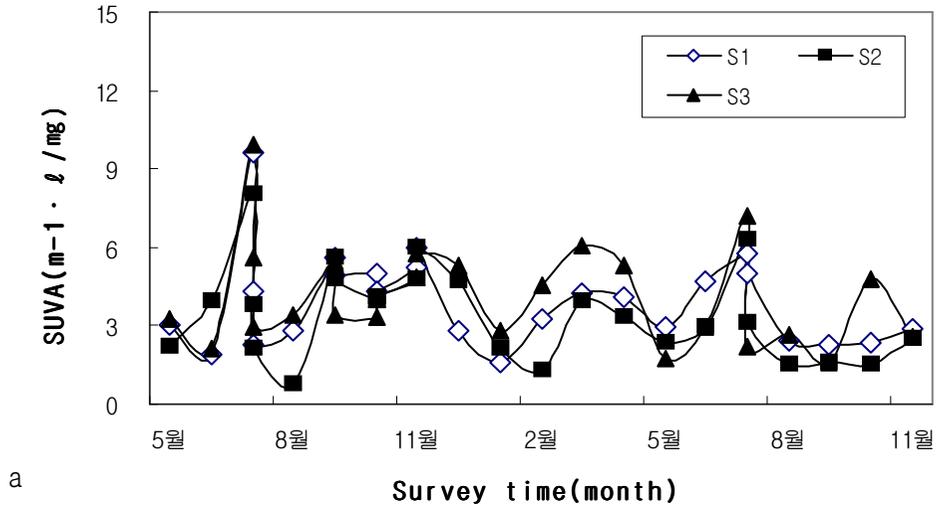


Fig. 5-42. Variation of SUVA for rivers.

2. 주암호소수의 부식질 특성

주암호의 호소 표층수의 DOC와 UV₂₅₄와의 관계를 Table 5-52에 나타내었다.

댐 앞에서 UV₂₅₄범위는 0.015~0.032cm⁻¹이었으며, 곡천교는 0.026~0.052 cm⁻¹, 문덕교는 0.013~0.082cm⁻¹, 복교는 0.038~0.085cm⁻¹로 나타났다.

주암호 상류 쪽으로 갈수록 강우기에 UV₂₅₄범위가 커지고 있음으로 볼 수 있다.

댐 앞의 SUVA는 0.98~2.31 m⁻¹·L/mgC로 전 지점에서 가장 낮은 값을 보였으며, 곡천교의 SUVA는 1.77~2.54m⁻¹·L/mgC로 나타났으며, 문덕교는 1.60~4.10 m⁻¹·L/mgC, 복교는 1.91~4.27m⁻¹·L/mgC이었다. 댐 앞의 SUVA가 0.98 m⁻¹·L/mgC로 가장 낮아 댐 앞의 표층 용존유기물은 내부생산 용존유기물의 비율이 높을 것으로 추측되며, SUVA가 가장 높은 값을 보인 복교와 문덕교의 용존유기물은 유역으로부터 유입된 외부기원 용존유기물의 비율이 높을 것으로 사료된다.

외부기원 용존성 유기물은 주로 강우시에 용존 되어 유역의 수체로 유입된 휴믹 물질로서, 상대적으로 자외선 흡광도가 큰 방향족 화합물이 대부분이다. 반면에 내부생산유기물은 수체 내부의 식물성플랑크톤과 동물성플랑크톤, 수생 식물의 분해, 배출, 퇴적물로부터의 용출에 의해 발생하며 지방족 화합물이 대부분이다.⁷¹⁾

이러한 결과에서 주암호 유역의 유입하천과 상류부분은 산림지역에서 유래하는 비점오염물질의 영향을 받고 있음으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 주암호의 SUVA값이 낮은 이유는 유입된 외부기원물질이 호소수내에서는 분해 및 변화를 가져오는 것으로 추측할 수 있다.

수체내의 COD가 부식물질의 영향이 아닌 식물성플랑크톤과 동물성플랑크톤, 수생 식물의 분해, 배출, 퇴적물로부터의 용출에 의해 발생한 지방족 화합물에서 기원한 것으로 보이는 것은 이러한 생태계에서 부식물질이 분해 및 이용되고 그로 인한 생체 부산물이 남아있는 것으로 추측된다.

Table 5-52. UV₂₅₄, DOC 및 SUVA of the Juam lake

Division	Sampling point	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mgC/L)	SUVA (m ⁻¹ ·L/mgC)
March	Gate	0.026	1.46	1.76
	Gokchun bridge	0.029	1.63	1.77
	Munduck bridge	0.036	2.22	1.60
	Bok bridge	0.038	2.00	1.91
June	Gate	0.032	1.41	2.31
	Gokchun bridge	0.038	1.60	2.37
	Munduck bridge	0.013	3.55	3.66
	Bok bridge	0.085	2.67	3.19
July	Gate	0.015	1.50	0.98
	Gokchun bridge	0.046	1.82	2.52
	Munduck bridge	0.082	2.00	4.10
	Bok bridge	0.080	1.88	4.27
August	Gate	0.023	1.53	1.45
	Gokchun bridge	0.052	2.05	2.54
	Munduck bridge	0.077	1.97	3.90
	Bok bridge	0.049	1.63	3.02
September	Gate	0.030	1.68	1.80
	Gokchun bridge	0.041	1.89	2.17
	Munduck bridge	0.051	2.06	2.45
	Bok bridge	0.055	2.16	2.54
October	Gate	0.031	1.61	1.91
	Gokchun bridge	0.045	1.88	2.42
	Munduck bridge	0.055	2.18	2.55
	Bok bridge	0.066	2.46	2.69

3. 토양 부식질과 주암호소수의 분자량 분포 비교

토양환경에서 부식질(humic substance)은 유해성 유기화합물과의 반응 및 중금속 이온과의 착화합물 형성 등을 통하여 오염물질의 변환 및 이동에 중요한 영향을 끼친다. 부식질은 토양 구성성분인 점토 등과 결합하여 토양층을 따라 아래쪽으로 이동하며, 지하수의 흐름을 따라 측면으로 흐르게 된다. 강우시에는 토양유출로 인하여 하천이나 호소로 유입하게 된다.

UF 장치(stirred ultrafiltration cells 8400, Millipore, U.S.A.)와 MWCO(Molecular Weight Cutoffs)가 100K, 30K, 10K, 3K 및 0.5K dalton인 UF용 멤브레인 필터(Millipore, U.S.A)를 사용하여 토양 부식질과 주암호수의 겔보기 분자량 분포((Apparent molecular weight distribution) 특성을 알아보았다.

토양부식질과 주암호수의 겔보기 분자량 분포를 Table 5-53과 Fig. 5-43에 나타내었다.

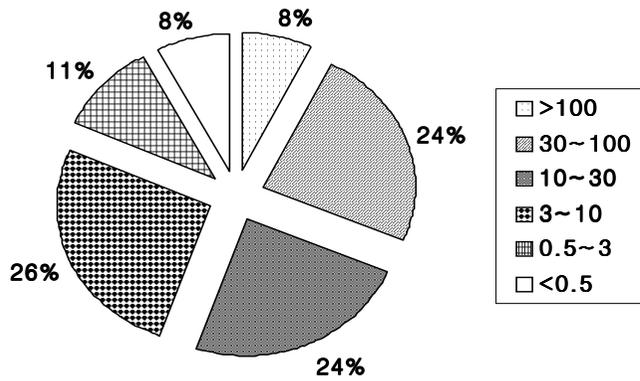
토양부식질의 분자량분포는 100KDa 이상 8%, 30~100KDa 24%, 10~30KDa 24%, 3~10KDa 28%, 0.5~3KDa 11%, 0.5KDa 이하가 8%로 고분자물질의 함량이 높게 분석되었고, 고른 분포를 가진 물질들로 구성되어 있었다.

주암호수의 분자량분포는 30KDa 이상의 고분자물질은 없었으며, 10~30KDa 12%, 3~10KDa 29%, 0.5~3KDa 45%, 0.5KDa 이하가 4%로 중·저분자물질로 구성되어 있었다. 특히 0.5~3KDa의 분자가 45%를 차지하고 있어 겔보기 분자량 분포 결과 주암호는 저분자 친수성 유기물 비율이 높을 것으로 보여 진다. 이러한 차이는 고분자영역의 물질들이 유하하는 과정에서 토양 흡착 및 미생물 분해에 의해 저분자화되어 수중으로 이동되는 것과 저분자물질이 고분자물질보다 수용성을 나타내기 때문으로 보여 진다.

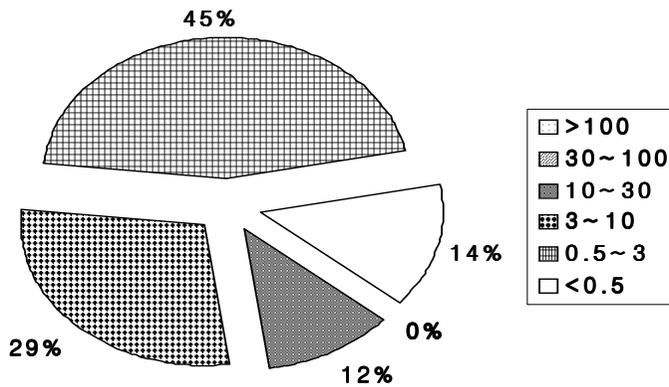
토양부식질에는 중·고분자 물질이 주암호수에서는 중·저분자 물질만 존재하는 것으로 나타나, 고분자물질의 유출·유하 및 호수 체류과정에서의 거동을 알아볼 필요가 있다고 판단된다.

Table 5-53. Soil humus and Apparent molecular weight distribution of Juam lake

Molecular weight(KDa)	Soil	Juam lake
>100	8%	0%
30~100	24%	0%
10~30	24%	12%
3~10	28%	29%
0.5~3	11%	45%
<0.5	8%	14%



a) Soil humus



b) Juam lake

Fig. 5-43. Apparent molecular weight distribution

제4절 산림기원 비점오염원물질과 주암호 조류의 상관성

1. 산림지역 유출수 및 주요 하천의 조류 특성

주암호에서는 조류가 이르면 5월~9월까지 번식하여 식수원으로서의 가치를 떨어뜨리고 있으며, 경제적 손실을 주고 있다. 이러한 조류와 산림에서 유출되는 비점오염원물질과의 상관성을 알아보기 위하여 산림유출수의 조류 종류 및 농도를 분석하였다.

Fig. 5-44는 주암호 유역의 산림지역의 임목별 유출수중 조류분포를 나타내었다. 주암호 유역 산림지역중 훈호림지역에서는 편모조류 35.3%, 녹조류 27.3%, 규조류 22.1%, 남조류 15.3%, 활엽수림지역에서는 편모조류 41.5%, 녹조류 23.7%, 남조류 17.6%, 규조류 17.3%로 조사되었다. 또한 초본지역에서는 편모조류 33.0%, 녹조류 30.8%, 남조류 13.7%, 규조류 22.5%, 침엽수림지역에서는 편모조류 41.7%, 녹조류 22.2%, 남조류 14.0%, 규조류 22.0%로 조사되었다.

서식하는 조류의 농도는 편모조류 > 녹조류 > 규조류 > 남조류 순으로 높게 나타났다. 산림지역의 유출수중의 조류서식 특성은 계절에 상관없이 녹조류와 규조류가 일정하게 유지되고, 편모조류가 8월 이후 증식되어 우점하는 것을 볼 수 있다.

임목형태별 특성은 훈호림지역은 4가지 조류가 골고루 서식하였으며, 활엽수림지역과 침엽수림지역에서는 편모조류의 농도가 다른 지역보다 높았으며, 초본지역은 녹조류가 다른 지역의 농도보다 높게 나타났다.

일반적으로 수체의 pH 6~9이면 CO_2 종이 HCO_3^- 의 형태로 변동되고 규조류, 녹조류가 우점하고, pH 9 초과시 CO_2 종은 CO_3^{2-} 로 변동되고 남조류가 우점한다.

산림지역 유출수의 pH는 Table 5-14에서 보듯이 연평균 7.8정도를 유지하고, 수체의 정체가 없기 때문에 규조류와 녹조류의 농도가 남조류 보다 높은 것으로 사료된다.

훈호림지역은 온도가 상승하면서 조류의 농도가 증가하는 경향을 보이다 10월 이후 다시 감소하여, 조류의 증식은 온도의 영향이 큰 것을 뒷받침하였다. 활엽수림지역은 조류의 농도가 다른 지역보다 낮게 유지되었으며, 8~10월까지 편모조류의 증가만이 눈에 띄었다. 초본지역은 녹조류의 농도가 높은 특징을 가지고

있었으며 10월 이후 조류농도가 다른 지역보다 높게 유지되는 특징을 보였다. 또한 10월 이후 다른 지역에서는 녹조류가 감소하고 남조류가 증가하는 경향을 보인 반면 녹조류가 증가하여 초본지역에서의 녹조류 번식의 조건이 적정한 것으로 판단되며, 이러한 부분의 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 판단된다.

산림유출수중의 조류서식특성은 편모조류가 높다는 것이 가장 큰 특징으로 보이며, 주암호의 편모조류의 우점이 이러한 유출특성과 관계가 있는 것으로 판단되며, 2003년 *peridinium*의 대량증식이 동북호의 유입으로 보고 있지만, 산림으로부터 유출되는 농도를 무시 할 수는 없는 것으로 판단된다. 더욱이 편모조류는 휴면포자를 형성하고 있기 때문에 증식조건이 적정해지면 일시적인 증식이 가능한 조류라는 점에서 산림으로부터 유출되어진 편모조류의 이동과 증식에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

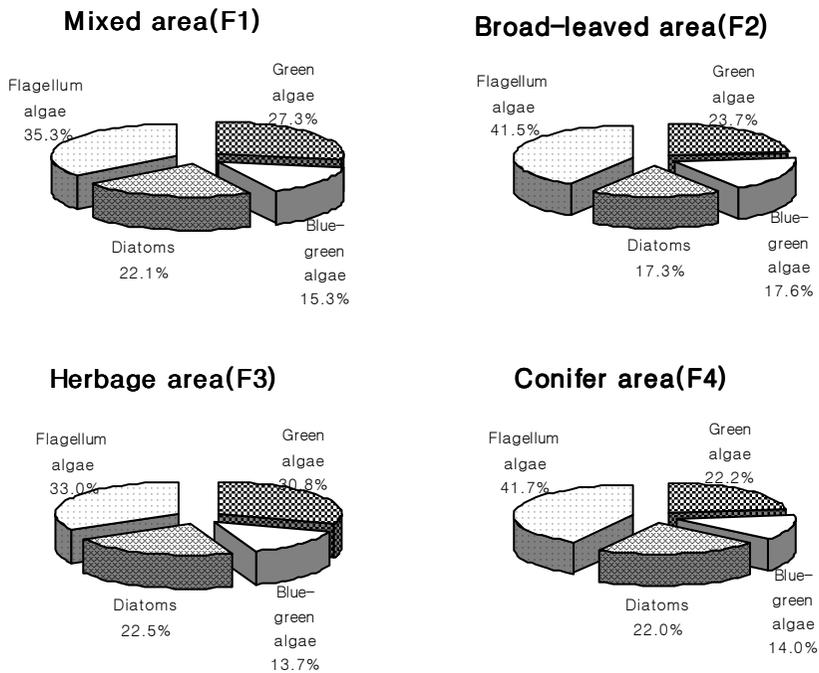


Fig. 5-44. Algae distribution of effluence classified by forest type for the Juam basin.

산림지역 유출수중의 조류 농도변화를 Table 5-54와 Fig. 5-45에 나타내었다. 혼효림지역에서는 녹조류 0.198~0.694 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.101~0.383 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.221~0.369 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.093~0.881 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 활엽수림지역에서는 녹조류 0.237~0.940 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.193~0.860 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.160~0.830 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.199~2.535 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 10월에 가장 높은 것으로 조사되었다.

초본지역에서는 녹조류 0.210~1.150 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.070~0.307 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.043~0.482 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.122~1.086 $\mu\text{g/L}$ 로 총 농도는 10월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 침엽수림지역에서는 녹조류 0.244~0.808 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.081~0.979 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.376~0.797 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.103~2.165 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다.

조류의 농도가 주암호보다 낮은 이유는 수체가 적고 지속적으로 이동되어 정체성이 짧고 물질의 농도는 낮고, 순환은 빠르기 때문에 조류의 증식시간이 짧아지기 때문으로 판단된다.

산림지역 유출수에서는 9, 10월에 조류 농도가 높아지는 것으로 조사되었다.

이는 주암호의 조류증식시기와 일치하는 경향을 보여 산림지역의 유출수와 주암호소내의 조류 증식에 연관성이 있음을 의미하는 것으로 보여 진다.

수체내 우점 조류 변동원인은 온도 및 광량의 변화에 따라 10 $^{\circ}\text{C}$ 미만에서는 주로 규조류가 우점하고, 10~20 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 규조류와 녹조류가 우점하며, 20 $^{\circ}\text{C}$ 초과에서는 주로 남조류가 우점한다. 또 수체내의 혼합특성 및 기상변동원인으로 수체 혼합이 좋고 불안정 할 때에는 운동성·부유성이 없는 규조류나 녹조류가 우점, 수체 혼합이 차단되면 운동성 편모조류나 부유성 남조류가 우점한다.

4월에는 규조류가 잘 증식하여 높은 밀도를 보이거나 남조류 밀도가 낮은 이유는 4월에 수온이 남조류에 불리하기 때문이다. 그렇지만 수온이 20 $^{\circ}\text{C}$ 이상이 되면 남조류가 갑자기 발생하여 8~9월에 최대가 되었다가 수온이 15 $^{\circ}\text{C}$ 이후로 내려가면 발생되지 않았다.

와편모조류와 규조류의 경우는 4~11월까지 수온범위에서 연중 활발한 증식을 나타내었다. 와편모조류는 남조류인 *Microcystis* 보다 약 1,000배 이상의 크기를 가지고 있다. 4월 및 11월에 Chlorophyll-a가 높은 이유는 와편모조류 증식 때문이고, 반면에 5~6월에 남조류 및 규조류가 대량증식하고 있음에도 불구하고 Chlorophyll-a 농도가 낮은 것을 알 수 있다.

Table 5-54. Variation of algae for forest area

(Unit : $\mu\text{g/L}$)

Division	Mixed area (F1)					Broad-leaved area (F2)				
	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flagellum algae	Total	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flagellum algae	Total
4/27	0.198	0.121	0.275	0.093	0.687	0.237	0.193	0.369	0.199	0.998
5/20	0.201	0.175	0.254	0.157	0.787	0.324	0.234	0.320	0.249	1.127
6/6	0.212	0.110	0.239	0.211	0.772	0.411	0.254	0.299	0.301	1.265
7/27	0.409	0.124	0.221	0.276	1.030	0.623	0.310	0.312	0.366	1.611
8/10	0.694	0.101	0.287	0.322	1.404	0.823	0.391	0.376	0.511	2.100
9/9	0.543	0.383	0.369	0.841	2.136	0.845	0.479	0.687	1.899	3.910
10/14	0.210	0.355	0.340	0.853	1.758	0.940	0.690	0.830	2.535	4.995
11/23	0.345	0.210	0.293	0.881	1.729	0.390	0.860	0.160	1.989	3.399
Division	Herbage area (F3)					Conifer area (F4)				
	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flagellum algae	Total	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flagellum algae	Total
4/27	0.210	0.114	0.403	0.122	0.849	0.244	0.111	0.413	0.103	0.871
5/20	0.255	0.157	0.339	0.165	0.916	0.292	0.105	0.376	0.166	0.939
6/6	0.297	0.189	0.347	0.232	1.065	0.354	0.100	0.388	0.220	1.062
7/27	0.338	0.245	0.299	0.299	1.181	0.401	0.081	0.349	0.254	1.085
8/10	0.450	0.277	0.043	0.328	1.097	0.429	0.072	0.421	0.344	1.267
9/9	0.466	0.307	0.265	1.086	2.124	0.612	0.421	0.772	1.960	3.765
10/14	0.470	0.255	0.482	1.040	2.246	0.808	0.365	0.797	1.445	3.414
11/23	1.150	0.070	0.474	0.615	2.309	0.402	0.979	ND	2.165	3.546

Note) ND : Not Detected

수중생태계의 부영양화는 식물플랑크톤의 급속한 증식을 유발하여 적조를 발생시키며, 이 같은 적조 원인생물 가운데 와편모조류는 독을 가지고 있는 종류가 많기 때문에 먹이사슬의 연결을 통해 최종 소비자인 인간에게까지 그 피해를 주고 있다. 조류의 생육환경은 호소, 저수지등의 정체수역 중 빛이 투과되는 유광층부에 서식하며, 계절에 따라 우점종이 바뀐다. 겨울·초봄·늦가을에는 주로 규조류, 일부 녹조류가 우점하고 늦봄에서 초가을까지는 주로 남조류, 일부 녹조류, 호소특징에 따라 와편모조류가 우점하는 경우도 있다.

와편모조류에는 수중 영양세포(vegetative cell)가 유성생식을 통해 휴면접합자(planozygote)를 만들며, 이는 편모가 없어 운동성을 상실하는 휴면포자(resting cyst or hypnozygote)로 되어 해저로 침강한 후, 다시 환경조건이 적합해지면

발아하여 영양세포로 수중으로 되돌아오는 생존전략을 지니는 종류가 많이 보고 되어 있다. 그러므로 수중 영양세포의 근간이 되는 휴면포자의 발아를 근원적으로 차단하기 위해서는 수중의 질소와 인의 농도를 낮추는 것이 시급할 것으로 사료된다. 그러므로 주암호에서의 *P. bipes* 휴면포자는 계절의 변화에 의한 수온과 빛의 증감에 따라 발아의 고저가 결정되며, 발아한 영양세포는 빛과 온도조건이 적정하면 이 시기에 이들 영양세포는 급속하게 증식하여 수중번성을 이루게 된다고 사료된다.

주암호는 하천을 막아 만든 호소이기 때문에 하천의 모양처럼 굴곡이 심하고, 계곡으로의 반입이 심한 편이다. 따라서 주요 유입하천이 없는 계곡부는 정체 수역이 될 수밖에 없다. 이러한 정체 수역에서 수온 및 영양염류 등의 조건이 맞으면 조류가 급격히 증식할 가능성이 크고, 이것이 인접한 수역으로 확산될 가능성이 크다.

남조류는 8~10월 기간중 우점종으로 출현하였으나 Chlorophyll-a 농도에 별로 영향을 미치지 못했다. 이와 같은 결과를 규명하기 위해서는 조류 발생이 빈번한 지점을 중심으로 정밀조사가 필요하다.

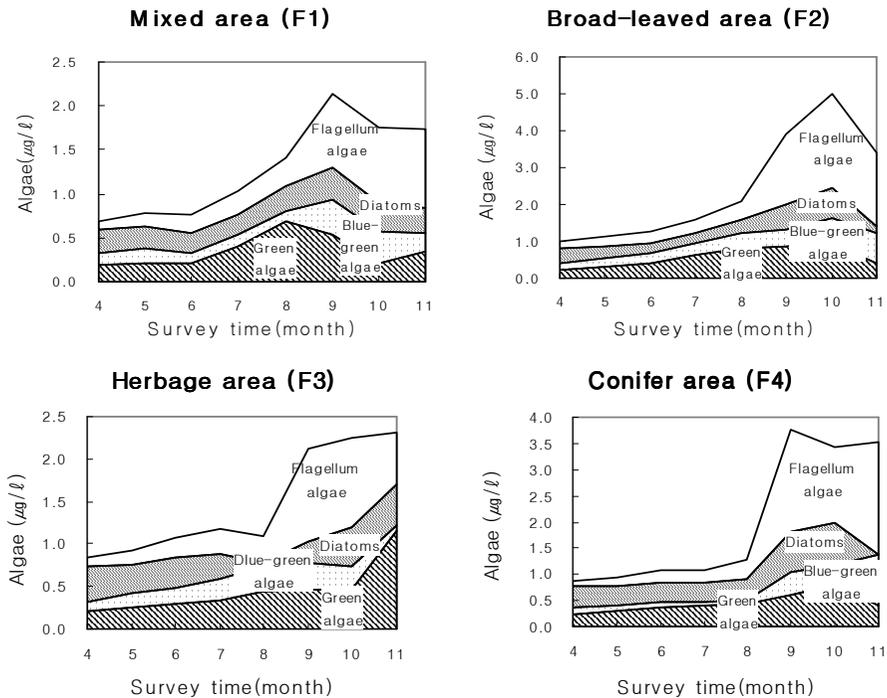


Fig. 5-45. Development of algae distribution and dominant species for forest area.

주요하천의 조류 농도변화를 Table 5-55에 나타내었다.

조사기간 동안의 평균 조류농도가 동북천이 2.021 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높고, 보성강지류가 1.85 $\mu\text{g/L}$ 송광천지류가 1.51 $\mu\text{g/L}$ 이었다. 이러한 결과는 Chlorophyll-a의 발생농도와 일치하는 경향은 보이지 않았다. 송광천지류에서는 녹조류 0.195~0.440 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.151~0.445 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.186~0.393 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.194~1.665 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 동북천지류에서는 녹조류 0.240~1.673 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.258~0.588 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.214~0.544 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.286~1.563 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 8월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 보성강지류에서는 녹조류 0.265~0.469 $\mu\text{g/L}$, 남조류 0.010~0.673 $\mu\text{g/L}$, 규조류 0.364~0.499 $\mu\text{g/L}$, 편모조류 0.323~1.490 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 주요 하천수에서는 8, 9월에 조류 농도가 높아지는 것으로 조사되었다. 이는 주암호 상류로부터 발생하는 조류현상의 단면을 나타내고 있으며, 동북천지류와 보성강지류의 녹조류가 남조류보다 높은 특징을 볼 수 있었다.

Table 5-55. Algae distribution for rivers

(Unit : $\mu\text{g/L}$)

Division	Songgwang tributary (S1)					Dongbok tributary (S2)					Bosungriver tributary (S3)				
	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flage llum algae	Total	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flage llum algae	Total	Green algae	Blue-green algae	Diatoms	Flage llum algae	Total
4/27	0.198	0.168	0.314	0.194	0.874	0.256	0.287	0.433	0.286	1.262	0.265	0.258	0.386	0.323	1.232
5/20	0.201	0.165	0.301	0.201	0.868	0.323	0.308	0.423	0.323	1.377	0.267	0.304	0.377	0.343	1.291
6/06	0.195	0.167	0.311	0.261	0.934	0.453	0.379	0.397	0.389	1.618	0.274	0.374	0.364	0.365	1.377
7/27	0.201	0.197	0.314	0.294	1.006	0.943	0.588	0.365	0.541	2.437	0.347	0.440	0.398	0.569	1.754
8/10	0.208	0.151	0.315	0.304	0.978	1.673	0.615	0.544	1.554	4.386	0.389	0.645	0.435	1.454	2.923
9/09	0.384	0.286	0.393	1.665	2.728	0.755	0.477	0.521	1.563	3.316	0.469	0.673	0.499	1.490	3.131
10/14	0.440	0.215	0.335	1.661	2.651	0.258	0.258	0.214	1.088	1.817	0.288	0.010	0.455	0.658	1.410
11/23	0.230	0.445	0.186	1.213	2.074	0.240	ND	0.274	0.939	1.453	0.308	0.163	0.370	0.806	1.648
Average	0.26	0.22	0.31	0.72	1.51	0.61	0.42	0.40	0.84	2.21	0.33	0.36	0.41	0.75	1.85

Note) ND : Not Detected

조사지점별 chlorophyll-a의 농도변화를 Table 5-56에 나타내었다.

산림지역 유출수의 chlorophyll-a 농도는 훈효림지역 0.4~20.3 $\mu\text{g/L}$, 활엽수림 지역 0.1~17.6 $\mu\text{g/L}$, 초본지역 0.4~1.2 $\mu\text{g/L}$, 침엽수림지역 0.2~6.8 $\mu\text{g/L}$ 로 훈효림 지역이 높게 나타났으며 초본지역이 낮았다.

계류수의 chlorophyll-a농도는 대흥계곡 0.4~1.2 $\mu\text{g/L}$, 송광사계곡 0.1~2.5 $\mu\text{g/L}$, 까치골 0.4~9.3 $\mu\text{g/L}$ 로 평균농도는 까치골 > 대흥계곡 > 송광사계곡 순으로 높게 나타났다.

유입지천의 농도변화는 송광천지류 0.1~20.1 $\mu\text{g/L}$, 동복천지류 0.4~28.5 $\mu\text{g/L}$, 보성강 0.5~26.4 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었으며, 평균농도가 동복천 > 보성강 > 송광천의 순으로 농도가 높게 나타났다. 유입지천의 농도변화는 7월 이후 농도가 증가하여 9월 이후부터 감소하는 경향을 보여 온도상승의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 갈수기인 1월~3월 증가하는 경향은 수량이 적어 Chlorophyll-a의 양이 상대적으로 높게 측정되기 때문이다. 강우기에 Chlorophyll-a의 농도가 낮은 것도 같은 이유에서이며 강우기가 지난 후 하천의 농도는 낮아지지만 호소의 농도는 오히려 상승하게 된다.

산림유출수와 계류수는 낮은 농도를 보였으나, 유입지천은 산림유출수보다 5~7배가 높았다. 이는 식물성플랑크톤의 성장인자 즉 빛, 온도 및 인등의 영양염이 유출수와 계류수는 충분히 함유하지 못하였기 때문으로 사료된다. 각종 식물의 증식에는 각종 영양염이 요구되지만 자연수중에는 대개 질소와 인이 부족하다. 호소의 영양염 조건에 의한 식물플랑크톤의 양 및 생산력의 차이가 수중의 질소와 인의 농도와 밀접¹¹²⁾하다고 하였다.

산림유출수와 계류수의 chlorophyll-a의 농도변화는 일정하게 변화하지 않아 일정한 연관성을 찾기는 어려웠다. 이는 온대지방의 호소에서는 식물플랑크톤이 주로 표면층에 집중 분포하기 때문에 표층의 생산량이 가장 높지만, 물리화학적인 조건에 따라 종의 출현이나 현존량의 변화폭이 매우 심하기¹¹³⁾ 때문으로 판단되며, 식물플랑크톤의 변화양상은 다양한 것으로 보인다.

Table 5-56. Variation of Chlorophyll-a for area

(Unit : $\mu\text{g/L}$)

Division	F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
04/5/30	2.2	0.5	NC	0.7	NC	0.3	0.8	2.5	3.1	2.4
6/19	20.3	17.6	NC	6.8	NC	2.5	9.3	10.8	13.9	5.6
7/02	2.3	DF	NC	DF	NC	DF	DF	2.0	3.7	1.7
7/16	0.4	0.8	NC	0.6	NC	0.2	1.2	2.7	2.9	1.8
7/29	0.5	0.9	NC	0.6	NC	0.1	1.0	3.5	3.5	2.2
8/17	0.5	0.1	NC	0.2	NC	DF	1.4	2.8	7.6	7.1
9/03	1.0	0.7	0.7	0.5	0.6	0.2	0.8	9.5	16.4	15.8
9/17	1.0	1.3	0.9	0.6	1.1	0.3	1.0	12.1	19.3	19.0
10/03	1.5	1.5	0.9	0.4	1.2	0.3	1.2	3.1	3.7	5.8
10/31	0.7	1.2	1.1	0.4	0.4	0.3	0.4	2.3	3.3	3.0
11/13	0.6	0.4	0.8	0.3	0.5	0.2	1.4	2.1	2.9	2.3
11/28	1.3	0.9	0.4	0.5	0.6	0.7	1.1	1.4	2.6	2.1
12/28	0.8	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9	0.5	1.7	1.4
05/1/30	0.9	0.8	0.7	0.5	0.9	0.2	0.8	0.1	0.4	0.6
2/18	1.0	1.3	0.6	0.9	1.1	0.3	1.2	3.5	5.3	5.8
3/19	0.7	0.7	0.6	0.8	0.6	0.4	1.1	13.2	19.4	18.6
4/27	0.9	0.9	0.7	0.8	0.5	0.6	1.0	6.5	9.5	9.1
5/20	0.8	1.1	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	4.9	7.2	7.3
6/06	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.5	1.1	20.1	28.5	26.4
7/27	0.6	1.2	0.7	0.5	0.9	0.3	1.2	4.5	7.6	7.2
8/10	1.5	1.6	1.2	1.1	0.8	0.7	0.9	0.3	0.7	0.6
9/09	0.9	1.1	0.8	0.5	0.7	0.6	0.9	4.2	6.7	6.4
10/14	0.8	0.7	1.0	0.6	0.6	0.7	1.0	3.1	5.6	5.2
11/23	0.5	1.2	0.6	0.5	0.6	0.3	1.1	0.3	0.8	0.5
Average	0.9	1.0	0.7	0.6	0.8	0.4	1.0	5.3	7.9	7.7
Max.	20.3	17.6	1.2	6.8	1.2	2.5	9.3	20.1	28.5	26.4
Min.	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4	0.5

Notes) DF : Detecting Failure, NC :Not collected

수중의 용존 유기물량이 오염물질의 가장 정확한 지표로 판단되어 식물성 플랑크톤과의 상관관계를 분석하였다.

Fig. 5-46에서 산림유출수중의 DOC와 Chlorophyll-a에 대한 상관관계를 볼 수 있다. DOC와 Chlorophyll-a상관계수는 $R^2 = 0.714$ 로 높게 나타났다.

DOC농도만으로도 Chlorophyll-a의 농도를 예측할 수 있으며, DOC와 식물성 플랑크톤의 높은 상관성은 유기물이 높은 농도에서 식물성플랑크톤의 번식도 왕성하다는 것으로 받아들여진다.

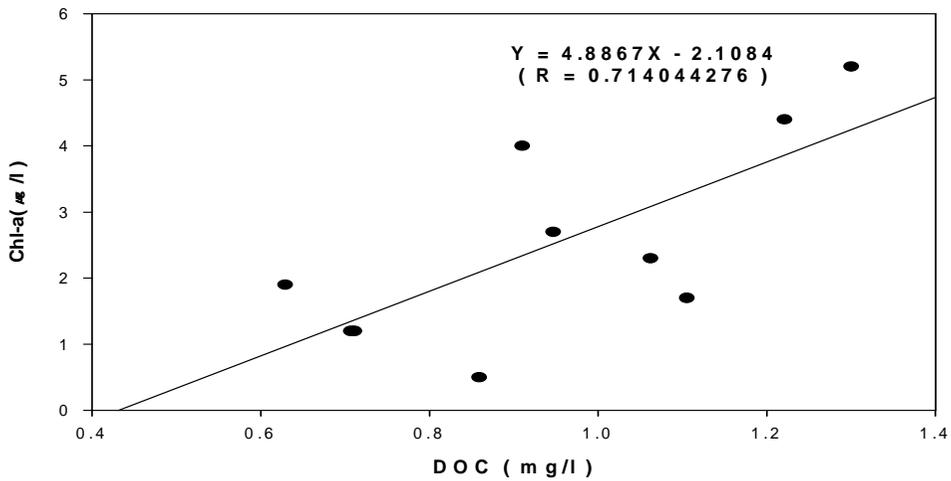


Fig. 5-46. Correlation of DOC and Chlorophyll-a.

Chlorophyll-a는 호소의 물리화학적 조건에 따라 매우 변화폭이 심하며 0.9~9.7% 까지 변화한다.¹¹⁴⁾ 총 생물량 역시 중 수준의 많은 분류학적 자료를 요구하지만 단순히 서로 다른 호소의 비교나 호소내의 경향 정도를 가능할 뿐이다.

2. 주암호의 조류분포 특성

주암호소의 댐 앞의 2005년도 조류의 발생빈도를 근거로 분포 비율을 Fig. 5-47에 나타낸 것이다. 2005년도 주암호소의 조류발생량을 <부록 12>에 첨부하였다.

주암호의 조류분포는 남조류 88.82%, 규조류 6.37%, 녹조류가 3.19% 기타조류 1.62%로 나타났다. 이는 산림지역의 유출수중의 조류분포 양상과 달랐으며, 예년의 주암호의 조류 분포양상과도 차이가 있는 것으로 나타났다.

주암호는 규조류가 전 계절에 걸쳐 분포하고 남조류가 여름에서 가을까지 우점하는 것으로 보고되었으나 2005년에는 남조류가 가장 우세한 빈도분포를 보였다. 하천이나 강의 하류를 막는 인공호의 건설은 우수(running water)의 물리, 화학적 변화는 물론 식물플랑크톤의 분포 현존량 및 군집의 천이를 요구함으로서 인위적으로 새로운 수중생태계를 형성하게 된다.^{115,116)} 우리나라처럼 온대성 호소는 추운 겨울에는 규조류가 높게 출현하는 반면, 늦은 여름에 남조류 또는 녹조류가 우점하는 특징을 나타낸다. 또한 호소의 영양조건이 호전될수록 남조류의 출현시기가 매년 빨라지며, 우점기간도 장기화된다. 특히 대부분의 남조류는 수온이 20℃ 이하에서 인(P)이 충분히 공급되고, N/P ratio가 낮은 조건을 갖는 호소에서는 여름철에도 algal bloom을 발생한다.^{117,118)}

2005년의 남조류의 우점은 주암호소의 질소 유입보다, 인의 유입이 높아졌음을 의미하기도 한다. pH가 6미만이면 CO₂동 변동이 없고, pH 6~9이면 CO₂종이 HCO₃⁻의 형태로 변동되고 규조류, 녹조류가 우점하고, pH 9 초과시 CO₂종은 CO₃²⁻로 변동되고 남조류가 우점한다. 영양원의 구성비율에 따라 N/P가 100미만인 경우 남조류 우점 가능성이 높다. 수체의 영양상태에 따라 빈영양상태일 경우 세포 크기가 작고 단세포성, 출현종이 다양하고 주로 규조류가 우점, 부영양상태일 경우 세포크기가 크거나 군체형성, 출현종이 단순하고 주로 남조류가 우점한다.

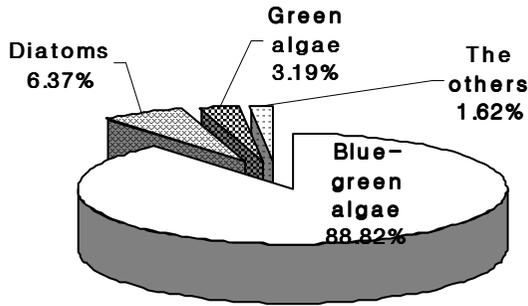


Fig. 5-47. Algae distribution of the Juam lake.

Fig. 5-48은 2005년 주암호의 월별 조류 우점종 발생추이를 보여 주고 있다. 주암호에서는 N/P 비(比)가 Redfield ratio인 16보다 크므로 질소가 조류 증식에 제한요소가 될 가능성은 낮다. 그렇지만 조류번성 시기에 무기질소의 농도가 낮아지는 것을 알 수 있는데 이럴 경우에는 질소가 제한영양소가 될 가능성이 있으며, 이는 질소고정 능력이 있는 남조류가 증식하기에도 좋은 환경이 될 수 있다. 일반적으로 호소에서 식물플랑크톤의 총 생물량과 총인(TP)간의 상관관계는 매우 높다.¹¹⁴⁾ 또한 호소가 부영양단계로 진행되면 될수록 TN/TP ratio는 작아지며, 이들 비율이 무게비가 5이하일 때, 질소부족으로 인한 질소고정 남조류의 우점현상이 일어난다. 수온 역시 식물플랑크톤의 현존량에 대해 높은 상관성을 보인다. McQueen 등¹¹⁸⁾은 실제적으로 TN/TP에 비해 온도에 더욱 의존적임을 확인하였고, 높은 질소수준에도 불구하고 질소고정 남조류의 높은 출현을 보고 하였다.

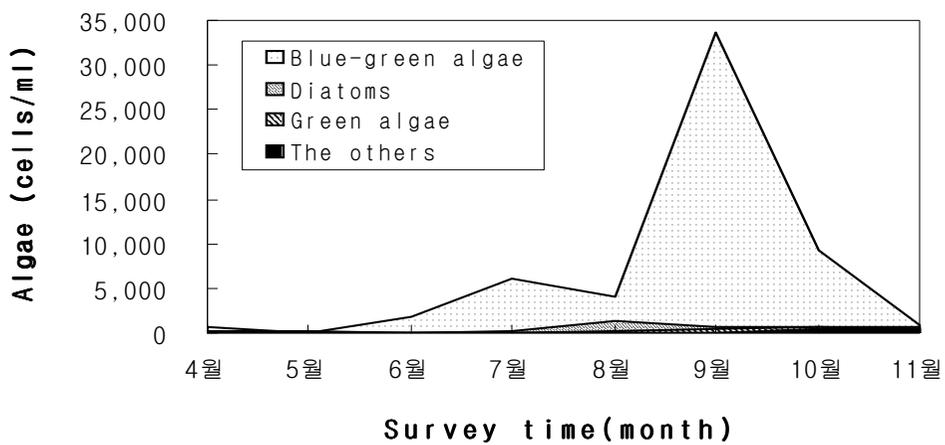


Fig. 5-48. Development of algae distribution and dominant species for the Juam lake, 2005.

3. 산림지역 유출수와 주암호소수의 Chlorophyll-a 상관성

산림지역 유출수중의 Chlorophyll-a와 주암호소수 Chlorophyll-a의 상관성을 알아보기 위하여 Fig. 5-49와 Table 5-57에 산림지역과 주암호소의 댐 앞 Chlorophyll-a의 농도변화를 비교하였다.

산림지역 중 혼효림지역에서는 0.5~20.3 $\mu\text{g/L}$, 활엽수림지역에서는 0.1~17.6 $\mu\text{g/L}$, 초본지역에서는 0.4~1.2 $\mu\text{g/L}$, 활엽수림지역에서는 0.2~6.8 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 주암호에서는 1.0~12.5 $\mu\text{g/L}$ 로 산림지역보다 주암호 댐 앞 지역에서 Chlorophyll-a의 농도가 2배 이상 높은 것으로 조사되었다. 산림지역과 주암호 댐 앞의 Chlorophyll-a 농도 변화 추세는 유사한 경향을 보였으며, 강우시와 온도가 상승하는 봄철에 농도가 높게 나타났다.

특히 9월중의 주암호 Chlorophyll-a의 농도가 산림유출수의 경향과는 달리 높은 농도를 보이는 것은 산림유출수와 하천으로부터 유입된 Chlorophyll-a가 호소에 유입되어 내부인자의 영향으로 증식한 것으로 판단되며, 이때에 주암호의 조류증식이 일어나는 영향도 Chlorophyll-a농도가 높게 유지된 원인으로 생각된다.

산림유출수와 주암호소의 연평균 Chlorophyll-a 농도의 차이는 2배정도로 나타났다. 주암호의 Chlorophyll-a의 농도가 예년의 농도보다 낮게 나타난 이유는 와편모조류가 남조류인 *Microcystis* 보다 약 1,000배 이상의 크기를 가지고 있기 때문이다.

따라서 4월 및 11월에 Chlorophyll-a가 높은 이유는 와편모조류 증식 때문이고, 반면에 5~6월에 남조류 및 규조류가 대량증식하고 있음에도 불구하고 Chlorophyll-a 농도가 낮은 것을 알 수 있다. 2005년에는 주암호의 녹조현상에 따른 조류예보 발령은 없었으며, 남조류가 우점을 보였다.

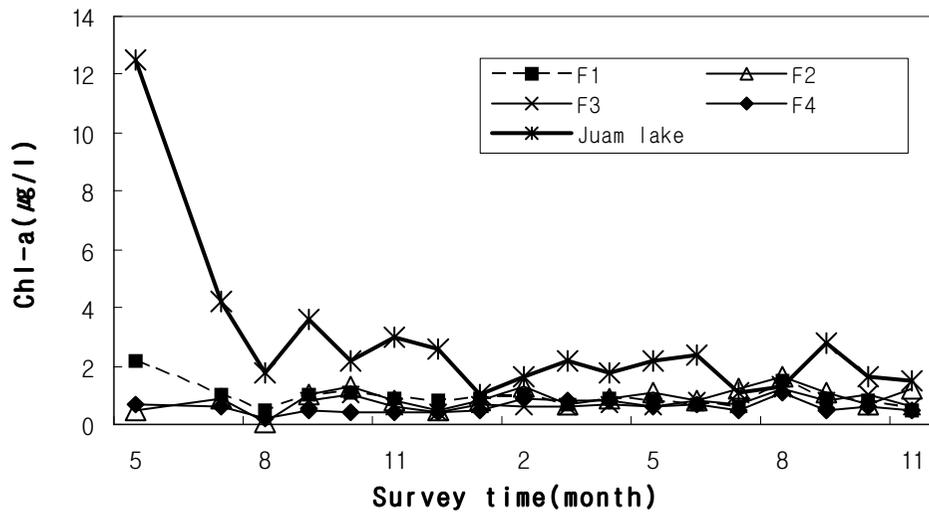


Fig. 5-49. Variation of Chlorophyll-a for forest and the Juam lake.

Table 5-57. Variation of Chlorophyll-a for forest and the Juam lake
(Unit : $\mu\text{g/L}$)

Division	Mixed area (F1)	Broad-leaved area (F2)	Herbage area (F3)	Conifer area (F4)	Juamdam
May	2.2	0.5	NC	0.7	12.5
June	20.3	17.6	NC	6.8	4.0
July	1.0	0.9	NC	0.6	4.2
August	0.5	0.1	NC	0.2	1.8
September	1.0	1.0	0.8	0.5	3.6
October	1.1	1.3	1.0	0.4	2.2
November	0.9	0.8	0.6	0.4	3.0
December	0.8	0.5	0.4	0.4	2.6
January	0.9	0.8	0.7	0.5	1.0
February	1.0	1.3	0.6	0.9	1.6
March	0.7	0.7	0.6	0.8	2.2
April	0.9	0.9	0.7	0.8	1.8
May	0.8	1.1	0.6	0.6	2.2
June	0.7	0.8	0.8	0.7	2.4
July	0.6	1.2	0.7	0.5	1.1
August	1.5	1.6	1.2	1.1	1.3
September	0.9	1.1	0.8	0.5	2.8
October	0.8	0.7	1.0	0.6	1.6
November	0.5	1.2	0.6	0.5	1.5
Average	0.9	0.9	0.7	0.6	2.3
Max.	20.3	17.6	1.2	6.8	12.5
Min.	0.5	0.1	0.4	0.2	1.0

Note) NC :Not collected

이상의 연구의 결과를 토대로 주암호소수의 비점오염원 저감방안으로 강우시 유입수와 호소수의 수질관리 및 체계적인 산림 수목 갱신 등이 필요하다고 판단된다.

첫째 강우 시 유입수와 호소수의 수질관리 방안이 중요하다.

산림은 토양의 공극을 보전하여 홍수조절과 강우완화 기능을 지니고 있을 뿐 아니라, 수질정화 기능으로 집중호우시 산림유역에서 유출되는 토사를 차단하여 하천이나 호소내로의 영양염 유입을 방지하는 기능을 가지고 있다. 토양의 침식으로 인해 호소의 퇴적물량의 퇴적은 호소의 유효담수량을 저하시킬 뿐 아니라 호소의 부영양화에 원인이 되고 있어 산림의 토양 유출을 방지하여야 한다.

산림의 토양유출 방지 방안으로는 우선 식생을 관리하여야 한다. 식물은 강우에 의한 침식력을 분산시켜 토양침식을 저감시키고 강우유출속도를 감소시키므로 토양침식물의 발생량이 줄어들게 된다. 또한 토양에 유기물질을 제공하여 토양 보호하는 간벌(間伐)사업과 가지치기 사업으로 토양표면의 식생을 유지하고, 빛을 좋아하는 수종의 식대와 다소 어두워도 사는 식물을 복층림으로 식재하는 방안을 들 수 있다. 토양의 침식량이 침엽수림은 많고 활엽수림은 적기 때문에 가능한 활엽수를 고려한 수종갱신을 한다. 활엽수의 낙엽은 지표수에 잘 유실되지 않으므로 저류능은 물론 정화능도 좋아진다.

다른 한편으로는 수변완충지역을 조성하는 것이다. 산림지역과 인접한 수체 사이의 수변을 따라 완충지역을 두는 방법으로 산림지역에서 유출되는 오염물질로부터 수질과 수중생태계를 보전하는데 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 산림으로부터 발생하는 토양 침식물과 영양물질 이동을 막고 제방의 안정성을 위해서는 충분한 양의 식생이 유지되어야 하며, 초목은 강우 유출량, 유출수내의 오염물질, 산림활동으로부터 발생한 토양침식물 등을 감소시켜준다. 수변관리지역의 효과를 올리기 위해서는 유역의 경사도, 토양종류, 강우, 수체의 특성, 바람에 대한 저항력 등을 고려하여 이 지역의 넓이를 결정하여야 하며, 일정 넓이에 대해 요구되는 나무의 수는 나무의 직경에 따라 달라진다.

상류 유역에 집중 강우가 내리면 상류 유역에 야적되어 있던 많은 쓰레기나 오염원 등의 협잡물의 유입에 대비하기 위해 상류 유역 쓰레기 야적 가능지역과 하천 제방구조 등에 대한 사전조사를 실시하고, 적절한 위치에 협잡물이 사전에 유입되지 않도록 방제시설을 설치하도록 한다. 하천의 합류지역에서 아래로 약 500m지점에 협잡물 차단시설을 설치하여 부유물이 하류 취수탑 주변 정체수역까

지 흘러 들어오지 않도록 대처할 필요가 있다.

강우량에 따라 탁류 띠의 유하거리가 달라지고 하류에 미치는 영향이 다르므로 초기강우 시 유입수의 오염부하 변화와 집중 강우시 중·하류 부근에서의 탁류 띠를 과학적으로 자동 감시할 수 있는 수질조사시스템과 수질자동측정장치, 온라인상의 자료관리 및 제어장치 등을 설치 운영하여, 강우량의 변화에 호소내 종합적인 수원관리가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 이러한 모든 저감방안의 효율적이고 적극적인 관리를 위해서는 지형, 강우특성 및 토지이용 상황 등을 감안하여 다양한 관리시설을 설치하고 시범사업을 실시하여 저감효율을 분석하는 등 우리나라 실정에 적합한 시설의 설계, 운영 및 유지·관리를 하는 방안을 마련하는 것이 중요하다.

둘째로 체계적인 산림 수목 갱신이 필요하다.

산림지역에서는 다른 토지 이용형태에 비해 비교적 적은 양의 오염물질이 발생한다. 그러나 산불, 벌채 등의 산림훼손 행위는 오염물질의 발생 및 유출량을 증가시킨다. 훼손된 산림이 있다면 무엇보다도 훼손된 식생을 복원하는 것이 중요하다.

침엽수림은 활엽수림보다 하천 유출량이 적게 발생하므로 강우유출수와 함께 발생하는 오염물질이 적으며, 질소고정 능력이 있는 활엽수가 많은 지역에서는 질소 유출량이 많다. 따라서 수질관리 측면에서 보면 유역내에는 활엽수보다 침엽수를 더 많이 식재하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

산림지역에서 유출되는 오염물질이 수계에 직접 유입되지 않게 산기저부에 완충지역을 조성하여 산림으로부터 발생하는 토양침식물과 영양물질의 이동을 막도록 20~30m 폭의 초지를 조성하는 방안과 댐 주변의 식생을 잡목이 아닌 경제림, 수변림, 수원함양림 또는 약용 및 기능성 수목 등을 선정하여 수종을 점차적으로 개량하되 난분해성물질 및 식생에 의한 부식질의 유출을 제어하는 방안을 함께 연구하여야 할 것이다.

또한, 식물이 밀식되면 낙엽생산량이 많으므로 산사태를 방지하고 토양에 햇볕이 들 정도로 계획적인 간벌 및 가지치기를 실시하여 산림토양의 정화능력을 증강시켜야 한다. 이때 수종개량이나 간벌 및 가지치기시 발생하는 나무는 퇴비 등 유기질 비료를 생산하여 화학비료와 농약대신 친환경적인 농사를 유도하고 난방보일러 등 땀감으로 사용하는 농가를 재정지원 하는 방안도 모색되어야 한다.

마지막으로 주암호 상류에 보성강과 동복천은 댐이 있으나, 송광천에는 없으므로 갈수기 건천을 방지하고 하천정화용량을 증가시키기 위해 송광천 상류에 하천유지용 댐 설치를 신중히 검토 할 필요가 있다.

제6장 결론

산성강하물 및 산림지역 유출수가 주암호 수질에 미치는 영향에 관한 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 강하물중 연간 수용성 양이온 함량은 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 순으로 높고, 각 이온성분의 연평균 농도는 Na^+ 96.84 $\mu\text{eq/L}$ 으로 양이온 성분의 약 35%를 차지하고, Ca^{2+} 74.71 $\mu\text{eq/L}$, Mg^{2+} 58.05 $\mu\text{eq/L}$, NH_4^+ 53.94 $\mu\text{eq/L}$ 및 K^+ 19.92 $\mu\text{eq/L}$ 이었다.

연간 수용성 음이온 함량은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 순으로 높고, 연중 평균 농도는 SO_4^{2-} 73.63 $\mu\text{eq/L}$ 으로 음이온 성분의 약 52%를 차지하고, Cl^- 56.48 $\mu\text{eq/L}$ 및 NO_3^- 10.84 $\mu\text{eq/L}$ 이었다.

2) 주암호 유역의 질소강하량은 2005년 8월(78,714kg/month), 2005년 6월(54,755kg/month), 2005년 2월(44,763kg/month), 2005년 4월(40,897kg/month)의 순으로 많았으며, 2004년 9월(11,960kg/month), 2004년 10월(12,972kg/month), 2004년 12월(14,907kg/month), 2005년 11월(16,125kg/month)의 순으로 적게 나타났다. 가장 많은 달과 적은 달의 차이는 약 6.5 배이었다.

- 질소부하량의 임목형태별 점유율은 침엽수림지역 58.13%, 혼효림지역 23.29%, 활엽수림지역 18.49% 등으로 조사되었다.
- 2004년 9월부터 1년 동안 주암호 유역의 월평균 질소부하량은 31,879kg/month이고, 연중 부하량은 382,547kg/year로 조사되었다.

3) 임목형태별 유출수의 수질분석 결과는 다음과 같다.

- 침엽수림지역 유출수의 연평균 농도가 BOD, COD_{Mn} , COD_{Cr} 항목이 높게 나타났고 입자성, 난분해성물질이 높게 유출되고 있었다.
- 활엽수림지역 유출수는 SS, T-N 및 T-P항목이 높았고, 분해성 물질이 유출되었다.
- 계류수의 수질은 비강우시에는 매우 양호한 수질을 유지하고 있어 식수원으로서도 가능하였다. 계류수에 대한 수질기준밀 조사가 이루어져 양질의 식수원 확보에 기여 할 수 있는 방안 마련이 필요하다.
- 하천별 수질은 보성강의 BOD, COD_{Mn} , COD_{Cr} 의 농도가 다른 2곳의 하천보다.

1.5배 높게 나타났고, 송광천은 T-N, T-P가 높아 이에 대한 관리가 필요하다.

- 4) 비점오염물질의 발생원단위는 활엽수림지역이 가장 높았으며 SS 160.7kg/ha/year, BOD 9.8kg/ha/year, COD_{Mn} 14.2kg/ha/year, COD_{Cr} 200.8kg/ha/year, T-N 6.248kg/ha/year, T-P 0.178kg/ha/year으로 나타났으며, 침엽수림지역이 가장 낮았는데 SS 29.5kg/ha/year, BOD 6.0kg/ha/year, COD_{Mn} 7.9kg/ha/year, COD_{Cr} 80.6kg/ha/year, T-N 2.263kg/ha/year, T-P 0.122kg/ha/year으로 나타났다.
- 5) 비점오염물질 부하량은 산림임목형태별로 침엽수림지역이 가장 높았으며 BOD 127.10ton/year, COD_{Mn} 167.67ton/year, COD_{Cr} 1,699.95ton/year, T-N 47.74ton/year T-P 2.57ton/year로 나타났으며, SS는 활엽수림지역에서 1,078.60ton/year로 가장 높게 나타났다.
- 6) 부식질 관련 이화학적 특성의 조사결과는 다음과 같다.
 - 임목형태별 SUVA값은 침엽수림지역 > 활엽수림지역 > 초본지역 > 혼효림지역 순이었다.
 - 하천별 SUVA값은 보성강 > 송광천 > 동복천 순이었다.
 - 분자량분포는 토양부식질중에 중·고분자 물질이 많고, 주암호소중에 저·중분자 물질이 많았다.
 - 토양부식질과 주암호소의 부식질은 유사한 구조특성을 보였으며, 토양부식질중에 지방족 및 방향족 화합물이 검출되었고, 주암호소에서는 지방족화합물이 불검출되었다.
- 7) 산림지역 유출수의 DOC와 Chlorophyll-a상관성과 조류분포 특성의 조사결과 DOC와 Chlorophyll-a상관 계수는 $R^2 = 0.714$ 로 높게 나타났다.
주암호 유역의 유입하천과 상류부분은 산림지역에서 유래하는 비점오염물질의 영향을 받고 있으나, 주암호의 SUVA값이 낮은 이유는 유입된 외부기원물질이 호소수내에서 분해 및 변화를 가져오기 때문인 것으로 추측된다.

참고문헌

1. 이시진, 포플린나무에 의한 비점오염원 처리를 위한 기초 연구, 한국폐기물학회지 18(2) : 203-21, 2001
2. 최지용, 우리나라 비점오염원 배출특성과 관리방안, 한국환경정책평가원 환경포럼 47 : 1~12, 1996
3. 국립환경과학원, 비점오염원 유출부하량 조사방법, 1998.
4. 황순진, 팔당상수원 수질 개선 방안에 관한 연구, 경기개발연구원, 1997
5. 신현석, 윤용남. 도시 소유역에서의 유출과 비점오염물 배출간의 상관관계 수립에 의한 NPS 오염물 배출량 산정, 한국수문학회지 26(4) : 85~95, 1993
6. 이현용, 안재환, 배철호, 김운지. 강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, 한국물환경학회지 17(3) : 313~326, 2001
7. 최지용, 민준식, 고은주, 다목적 댐 저수지의 비점오염실태 및 친환경적 관리방안 연구, 한국환경정책 평가연구원, 한국수자원공사 : 38, 2006
8. 村岡治兩·平田健正. 溪流水質から見た森林の浄化機能を關する研究(第4報) -水收支と物質收支. 國立公害研究報告書 116 : 75~97, 1988
9. 川添 強·吉本 衛. 林地肥培が溪水の水質に及ぼす影響. 日本試研報 314 : 39~57, 1981
10. 堤利夫. 森林の物質循環. 東京大學出版會. 東京 : 124, 1987
11. E. M THURMAN., Organic geochemistry of natural waters, 1985
12. 박운지, 김동욱, 한수철, 이상명, 이찬기, 강우시 비점오염물질의 유출특성, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집 1020, 2006
13. 김영관, 이동석, 김만구, 우경식, 산성강하물이 지표수의 산성화에 미치는 영향 I : 현장조사, 한국토양환경학회지 1(2) : 15~21, 1966
14. 강호정, 대기 질소강하물이 육상 생태계에 미치는 영향 및 국내 연구제안, 한국환경생물학회 19(4) : 232~238, 2001
15. 권오영, 윤오섭, 산성 강하물질의 화학적 성분에 관한 연구, 한국환경위생학회지 20(2) : 1994

16. 이충규, 김종갑, 산림내 강우에 의한 산성 강하물의 영향 평가, 한국생태학회지 21(5-1) : 449~459, 1998
17. 오종민, 신동엽. 산림유역에 유출되는 계류수질 특성. 한국수처리기술연구회 7(1) : 45~53, 1991
18. 박재현. 산림유역에 있어서 계류수질의 평가기준 정립에 관한 고찰. 자연보전 92 : 23~38. 1995
19. Binkley, D. and T.C. Brown, Forest Practices as non-point sources of Pollution in North America, Water Resources Bulletin 29(5) : 729~740, 1993
20. 우보명. 삼림환경이 수자원 함양에 미치는 영향에 관한 연구¹. 한국임학회지 82(3) : 283~291, 1993
21. 이용운, 성치남, 이병희, 정선용. 주암호 수질관리 전략 개발에 관한 연구, 한국수자원공사, 1998
22. 이용운, 정선용, 배상옥, 문양수. 주암호 조류 출현종 및 거동 분석, 환경영향평가 8(4) : 37, 1999
23. 배상옥, 이용운, 이성우, 정선용. 주암호 영양상태 및 인부하 분석. 한국환경영향평가학회 9(4) : 291~300, 2000
24. 홍희택, 양시영. 인공호수의 수질 변동 특성에 관한 연구, 전북대학교 공업기술연구소 공학연구 30 : 53~62, 1990
25. 김범철. 우리나라 호소의 부영양화 경향(1988~1994), J.KSWQ Dec, 1995
26. Forsberg, C., and S. O., Ryding, Entrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish Waste-receiving lakes. Arch. Hydrobiol., 1980.
27. 허순철, 녹조류 및 남조류의 증식 특성에 관한 연구. 석사학위논문, 1990
28. 박재철, 이현호. 유출량의 변화가 산지 계류수의 수질변화에 미치는 영향 -팔공산유역을 대상으로-. 한국임학회지 89(3) : 342~355. 2000
29. 김재수. 산림이 홍수량에 미치는 영향과 소류지역 증발산량 추정. 임연연보 35 : 69~78, 1987
30. 이종학, 김태훈, 이원규, 최경, 이천룡, 주진순. 산림의 유출조절에 관한 연구. 임연연보 38 : 98~111, 1989

31. 유택규, 이천. 임상별 유수유출량 조사, 임시시보 : 307~329, 1987
32. [http:// juam.kwater.or.kr](http://juam.kwater.or.kr)
33. 환경관리공단, 주암호등 상수원유역 토지의 친환경적 관리방안 최종보고서, : II-41, II-141-2, 2006.12
34. 정용호, 원형규, 김경하, 박재현, 류정환. 전기전도체가 산림유역내 계류수와 토양수질에 미치는 영향. 산림과학논문집 55 : 125~137, 1997.
35. 정용호, 박재현, 김경하, 이봉수. 전나무림, 잣나무림 유역에서 산림시업이 산림의 수질정화기능에 미치는 영향(Ⅰ). 한국임학회지 88(2) : 149~156, 1999
36. 박재현, 산림유역에 있어서 계류수질평가기준 정립에 관한 고찰(Ⅰ). 자연보존 92 : 23~38, 1995
37. 박재현, 산림유역에 있어서 계류수질평가기준 정립에 관한 고찰(Ⅱ). 자연보존 95 : 38~52, 1996.
38. 박재현, 우보명. 산림유역내 강수로부터 계류수질에 미치는 영향인자 분석. 한국임학회지. 86(4) : 489~501, 1997
39. 박재현, 우보명. 산림유역내 강수, 수관통과우, 토양수 및 계류수 수질의 화학적 특성. 한국임학회지. 87(1) : 62~73, 1998
40. 한심조, 이경준. 산성우에 의한 토양산성화에 대한 4개 수종의 완충능력과 수관으로부터 양료 용탈 변이. 한국임학회지 86(3) : 342~351, 1997
41. 이현호, 山地 물循環 素過程에 있어서 水質變化의 追跡分析에 의한 山林의 環境的 淨化機能의 計量化 研究. 韓國林學會誌 86(1) : 56~68, 1997
42. 김영걸, 류정환, 이충화, 전두식, 岡崎正規., 소나무림내의 임외수, 수관통과우, 수간류, 토양수 및 계류수의 수질 화학성. 산림과학논문집 60 : 117~125, 1999
43. 박영대, 경기도 광주지방 잣나무림, 낙엽송림, 활엽수림에서 수관통과우, 수간류, 토양수내 양료동태, 서울대학교 석사학위논문 : 54, 1997
44. 김종갑, 田中淳一·福岡義隆, 대기오염지역과 비오염지역 강우의 이온특성. Korean Journal of Ecology, 21(3) : 195~201, 1998
45. 이충규, 김우용, 김종갑, 수관통과우, 수간류 및 임외우에서 Al, Mn 및 Ni의 농도변화. 한국생태학회지 22(5) : 295~298, 1999

46. 이규승, 정덕영, 유병로, 고광용, 김훈, 문종필, 김기윤, 발 및 임야로부터의 오염물질 배출 특성조사(3년차 최종보고서), 금강수계관리위원회 국립환경과학원 금강물환경연구소 : 45~47, 2006
47. 최지용, 비점오염원 제도적 관리방안연구, 한국정책평가연구원:25,1998
48. EPA. Non-point pointers. U.S. Environmental Agency. Office of Water. EPA-841-F-004A. Washington. DC., 1996
49. U.S. EPA. Storm water Management for Industrial Activities ; Pollution Prevention Plans and Best Management Practices. Office of Water-EPA, 1993
50. U.S. EPA. Modeling of Non-point Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas, 1991
51. Gaber B.A. and T.C. Hutchinson., Chemical changes in simulated rain drops following contact with leaves of four boreal forest species. Canadian Journal of Bulletin 66 : 2445~2451, 1988
52. Anderson, T., Influence of stemflow and throughfall from common oak(*Quercus robur*) on soil chemistry and vegetation patterns. Canadian Journal of Forest Research 21 : 917~934, 1991
53. Parker, G.G., Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. Adv. Ecol. Research 13 : 57~133, 1983
54. Amezaga, I., A. Gonzalez, A. M. D., A. Echeandia and M. Onaindia. Atmospheric deposition and canopy interactions for conifer and deciduous forests in northern Spain Water, Air, Soil, and Pollution 97 : 303~313, 1997
55. 김남종, 유재홍, 김재규, 조옥상, 일본의 하천 자연정화시설 견학보고서, 환경부, 2003
56. 최지용, 이기종, 이지현, 유역관리를 통한 다목적댐 저수지의 효율적인 탁수관리방안, 한국환경정책·평가연구원, 한국수자원공사, 2005
57. 坂本 康. 樹冠通過雨および樹幹流の水量と水質の空間分布と時間變動. 水文·水資源學會誌 6(4) : 326~335, 1993

58. 大類清和·生原喜久雄·相場芳憲.
森林小集水域における溪流水質に及ぼす諸要因の影響. 日本林學會誌 76(5) :
383~392, 1994
59. 大類清和·相場芳憲·生原喜久雄, 森林小集水域での水質變化の過程.
水文·水資源學會誌 8(4) : 367~381, 1995
60. 佐左朋辛·長谷川浩一·特定樹種の樹幹流による土壤と酸性化抑制作用-ユリノキ
の場合-. 日本林學會誌 74(5) : 437~440, 1992
61. 佐藤冬樹·藤原滉一郎·駒崎里美., 森林内における降雨成分の動態
-簾舞試験地における調査例-. 北海道大學農學部演習林研究報告 46(4)
:829~846, 1989
62. 相澤州平, 樹幹流の土壤陽イオン交換における役割. 日本東北支誌 45 :
193~194, 1993
63. 이현동, 배철호, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물
환경학회지, 18 : 569~576, 2002
64. 이태관, 비점오염의 관리실태 및 대책에 관한 문헌적 연구, 환경과학총논
9: 1~10, 2004
65. 박재현, 정용호, 비점오염원의 유출특성 및 유출부하형태, 월간 임업정보
63 : 32~35, 1996
66. U.S. EPA "Results of the Nationwide Urban Runoff Program Volume I -
Final Report. Water Planning Division," U.S. Envir. Protection
Agency, Washington, DC. 1983
67. 환경관리공단, 영산강·섬진강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업
: 389~404, 2004.12
68. 환경부, 비점오염원조사 연구사업보고서, 1995.11
69. 국립환경과학원, 정책결정자를 위한 부영양화 관리방안 : 90~91, 2003.03
70. 이호범, 박찬오, 신대윤, 식생이 다른 산림유역 유출수의 특성, 대한환경공
학회 : 332~333, 2004
71. Thurman. E. M., Development in biogeochemistry : Organic geochemistry
of Natural Water, M. Nihoff and Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The
Netherlands.:497, 1985

72. 박제철, 호수내 유기물의 거동과 생성, 첨단환경기술 6 : 93~101, 1997
73. De Haan, H., Effect of benzoate on microbial decomposition of fulvic acids in Tjeukemeer (the Netherlands), *Limnol. Ocenogr.* 22(1) : 38~44, 1977
74. Malcolm. R. L., Geochemistry of stream fulvic and humic substances, In *Humic Substances in Soil, Sediment, and water : Geochemistry, Isolation, and Characterization*. Edited by G. R. Aiken, D. M. McKnight, R. L. Wershaw and P. MacCarthy. New York : John Wiley and Sons, 1985
75. Steinberg. G. and V. Muenster, Geochemistry and ecological role of humic substances in lake water, In *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water, Geochemistry, Isolation , and Characterization*. Edited by G. R. Aiken, D. M. Mcknight, R. L. Wershaw, and P. MacCarthy. New York, John Wiley and Sons, 1985
76. Edward. J. B., S. Goel and R. M. Hozalski Removal of natural organic matter in Biofilters, AWWA Research Foundation and AWWA, 1995
77. Douglas M. Owen, Gary L. Amy, and Zaid K. Chwdhury, Characterization of natural organic matter and its relationship to treatability, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1993
78. Abbt-Braun, G., F. H. Frimmel and H. R. Schulten, Structural Investgations of Aquatic Humic Substances by Pyrolysis-Field Ionization Mass Spectrometry and Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry, *Water Research* 23(12) : 1579~1591, 1989
79. Bruchet. A. and D. Rybacki, Transformation of NOM during treatment : 149~153, 1996
80. Amy. G. L., M. R. Collins, C. J. Kuo and P. H. King, Comparing Gel Permeat-ion Chromatography and Ultrafiltration for the Molecular Weight Characterization of Aquatic Matter, *Jour. AWWA*, 79(1) : 43~49, 1987
81. Sierka. F. and G. Amy, Catalytic effects of ultraviolet light and/or ultrasound on the ozone oxidation of humic and trihalomethane precursors, *Ozone Sci. Eng* 7 : 47~55, 1985

82. Aiken. G. R., Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances : 363~385, 1985
83. Owen DM, et al, NOM characterization and treatability, J AWWA 1 : 46~63, 1995
84. Leenheer, J. A., Fractionation techniques for aquatic humic substances, Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Edited by G. Aiken. New York : Wiley-Interscience, New York, 1985
85. Thorn. K. A., C. Steelink and R. L. Wershaw, Methylation Patterns of Aquatic Humic Substances Determined by ¹³C NMR Spectroscopy Org. Geochem. 11 (13) : 123~137, 1987
86. 한강수질검사소, 팔당호 용존유기물 특성에 관한 연구, 1999
87. MacCarthy. P. and I. H. Suffet, Introduction : Aquatic humic substance and their influence on the fate and treatment of pollutants. In Aquatic Humic Substances Influence on Fate and Treatment of Pollutants. Edited by I. H. Suffet and P. MacCarthy, Washington, D. C., American Chemical Society, 1989
88. 최지용, 신창민, 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리 방안, 환경정책평가연구원 : 74, 2002
89. 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. 대한환경학회지 24(11) : 2019~2027, 2002
90. 한국건설기술연구원, 팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적 관리 방안, 2000
91. U.S, EPA, Standard method, APHA, AWWA, WEF, 19th, 1995
92. 환경부, 수질오염공정시험법, 2004
93. 영산강·섬진강 수계관리 위원회, 국립환경과학원 영산강물환경연구소, 영산강·섬진강 수계 유량측정망 운영결과 보고서, 2006
94. National Atmospheric Deposition Program:
<http://nadp.sws.uiuc.edu>
95. EMEP; <http://www.emep.int>

96. McClaugherty, C. A., Pastor, J., Aber, J. D., and Melillo, J.M.
Forest litter decomposition in relation to soil nitro-gen dynamics
and litter quality. *Ecology* 66:266-275.1985
97. Fog, K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of
organic matter. *Biol. Rev.* 63:433-462.1988
98. 宮地直道, 第16回 土-水研究會資料, 農業環境技術研究所 : 19, 1999
99. 太田猛彦, 田順平, 林業技術, 653, 7, 1996
100. 류재근, 정명숙, 박혜경, 황순진, 환경생태공학, 도서출판그루 : 65~99,
2006,
101. P-C. Storm, *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts*, Deutscher
Taschenbuch Verlag : 191, 1995
102. 小林康彦編著, 水道의의水源水質の保全, 技報堂出版, 1994
103. 國包章一, 第8回 日本水質汚濁研究協會 세미나-講演資料集 : 80, 1985
104. H.Benndorf,W.Such, *gwf-Wasser/Abwasser*, 136, 68, 1995
105. J.Benndorf, K.Putz, *Water Research*, 21, 829, 1987
106. W.Scharf *et al.*, *Ökologische Massnahmen an der Grossen
Dhünn-Talsperre*, Wupperverband, 1994
107. 이현룡, 안재환, 김운지, 배철호, 토지이용별 강우시 비점오염원 물질의
유출특성, 한국물환경학회지 제17권 제2호, 147~156, 2001
108. T.Fujimori, *J. Jpn. For. Soc.*, 59, 435, 1977
109. 依田恭二, 森林의 生態學, 築地書館, 1971
110. 국립환경과학원, 전국오염원조사 및 수계오염총량관리기술지침, 2002
111. 국립환경과학원, 주암호조류발생양상과 변동요인 조사연구(II), 2003
112. Vallentyne J.R. Freshwater supplies and pollution: effects of the
demophoril explosion on water and man. In N. Polunium (Ed), *The
enviromental future*. Mac Millan Press 181-211 1972
113. Reynolds, C. S. Walsby, A. E, Water blooms, *Biological Reviews of the
Cambridge Philosophical Society*, 50(4) : 437-481, 1975

114. K. H. Nicholls, P. J. Dillon, An Evaluation of phosphorus-Chlorophyll-Phytoplankton Relationships for Lakes, *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 63: 141-154, 1978
115. Reynolds, C. S. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge.
116. Sommer, U., Z. M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. The PEG-model of seasonal succession of plankton events in freshwaters. *Archiv fur Hydrobiologie* 106:436-440. 1986
117. Stockner, J.G. K.S. Shortreed. Response of *Anabaena* and *Synechococcus* to manipulation of nitrogen: phosphorus ratios in a lake fertilization experiment. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 1348-1361. 1988.
118. D. J. McQueen, D. R. S. Lean, Hypolimnetic aeration : An overview, *Water Poll. Res. J. Can.* 21: 205-217, 1986

Appendixes

App. 1. Ion concentration of runoff from mixed area (unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	90.55	9.05	117.73	217.34	60.37	5.37	64.63	5.47	135.84
6/19	100.39	10.04	110.63	221.06	66.93	6.84	58.50	5.89	138.16
7/02	88.52	8.85	115.87	213.24	59.01	3.56	67.65	3.05	133.28
7/16	88.06	8.81	101.92	198.78	58.70	5.05	57.96	2.53	124.24
7/29	227.62	22.76	149.56	399.94	151.75	2.63	91.17	4.42	249.96
8/17	72.76	7.28	109.21	189.24	48.51	1.16	65.08	3.53	118.28
9/03	91.65	9.16	94.17	194.99	61.10	3.40	54.42	2.95	121.87
9/17	135.89	13.59	88.19	237.67	90.59	3.79	50.79	3.37	148.54
10/03	113.75	11.37	107.94	233.06	75.83	1.79	65.15	2.89	145.66
10/31	135.89	13.59	85.40	234.87	90.59	1.13	52.81	2.26	146.80
11/13	158.15	15.82	121.71	295.68	105.44	5.92	69.92	3.53	184.80
11/28	140.96	14.10	121.72	276.77	93.97	3.79	73.06	2.16	172.98
12/28	143.39	14.34	146.14	303.86	95.59	7.67	84.42	2.24	189.91
05/1/30	145.82	14.58	166.85	327.25	97.21	11.55	95.77	ND	204.53
2/18	152.62	15.26	172.58	340.46	101.75	16.58	94.46	ND	212.79
3/19	238.70	20.83	179.00	438.53	153.24	17.06	101.17	ND	271.47
4/27	230.43	DF	136.50	366.93	93.15	11.24	89.08	ND	193.48
5/20	157.39	DF	99.00	256.39	81.32	11.98	81.81	ND	175.12
6/06	244.35	DF	150.50	394.85	34.08	8.40	66.75	ND	109.24
7/02	134.73	13.47	122.45	270.65	89.82	3.75	72.26	ND	165.83
8/10	100.10	10.01	97.19	207.30	66.73	2.78	56.76	ND	126.28
9/09	247.48	77.83	250.80	576.11	103.89	0.00	73.31	ND	177.20
10/14	238.00	91.00	403.45	732.45	81.01	12.95	185.25	ND	279.22
11/23	220.43	89.08	287.20	596.72	110.51	19.85	85.56	ND	215.92
Annual Ave.	167.41	15.80	139.84	323.05	91.62	7.40	76.91	ND	176.86
Total	2,343.75	221.21	1,957.76	4,522.72	1,282.62	103.65	1,076.73	ND	2,476.09
Max.	247.48	91.00	403.45	732.45	153.24	19.85	185.25	5.89	279.22
Min.	72.76	7.28	85.40	189.24	34.08	0.00	50.79	2.16	109.24

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 2. Ion concentration of runoff from broad-leaved area

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	97.65	9.76	98.46	205.88	65.10	3.92	56.81	2.84	128.67
6/19	60.59	6.06	112.56	179.22	40.39	6.11	62.29	3.21	112.01
7/02	98.37	9.84	98.24	206.44	65.58	3.74	57.02	2.68	129.02
7/16	88.44	8.84	78.25	175.54	58.96	3.97	44.52	2.26	109.71
7/29	145.35	14.54	78.91	238.79	96.90	2.39	46.06	3.89	149.25
8/17	115.18	11.52	104.22	230.92	76.79	1.42	62.75	3.37	144.33
9/03	104.41	10.44	66.10	180.95	69.61	3.37	38.06	2.05	113.09
9/17	141.97	14.20	69.68	225.85	94.65	3.05	40.35	3.11	141.16
10/03	127.35	12.74	92.10	232.18	84.90	0.13	58.82	1.26	145.11
10/31	141.97	14.20	52.33	208.50	94.65	1.76	31.96	1.95	130.31
11/13	179.96	18.00	104.42	302.38	119.97	4.05	62.23	2.74	188.99
11/28	147.63	14.76	90.69	253.08	98.42	3.05	54.92	1.79	158.18
12/28	150.61	15.06	109.57	275.24	100.41	7.15	62.66	1.82	172.03
05/1/30	153.59	15.36	125.50	294.45	102.39	11.24	70.40	ND	184.03
2/18	160.18	16.02	151.04	327.25	106.79	14.18	83.56	ND	204.53
3/19	271.74	19.17	136.50	427.41	117.41	12.68	87.17	ND	217.25
4/27	229.13	1.67	111.50	342.30	136.20	10.53	69.42	ND	216.15
5/20	187.39	DF	88.00	275.39	149.66	13.40	98.04	ND	261.11
6/06	302.17	23.33	148.00	473.51	98.37	11.23	67.21	ND	176.80
7/02	110.72	11.07	85.13	206.92	73.81	3.37	49.20	ND	126.38
8/10	120.52	12.05	80.00	212.57	80.35	2.61	47.06	ND	130.02
9/09	254.04	76.58	212.35	542.98	90.48	2.73	35.65	ND	128.85
10/14	259.48	89.08	265.05	613.61	105.13	17.18	61.21	ND	183.51
11/23	291.13	103.83	278.80	673.76	121.69	23.92	57.46	ND	203.07
Annual Ave.	181.22	17.86	113.37	312.44	103.84	7.01	62.73	ND	174.27
Total	2,537.02	250.00	1,587.13	4,374.15	1,453.81	98.09	878.28	ND	2,439.73
Max.	302.17	103.83	278.80	673.76	149.66	23.92	98.04	3.89	261.11
Min.	60.59	1.67	52.33	175.54	40.39	0.13	31.96	1.26	109.71

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 3. Ion concentration of runoff from herbage area (Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
6/19	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/02	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/16	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/29	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
8/17	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
9/03	117.42	11.74	71.34	200.51	84.99	5.52	46.73	3.58	140.81
9/17	136.61	78.90	67.52	283.03	91.07	7.74	75.50	2.58	176.89
10/03	127.06	43.30	164.21	334.57	84.70	5.11	116.50	2.79	209.11
10/31	136.61	76.80	29.22	242.62	91.07	5.61	52.27	2.68	151.64
11/13	352.61	167.90	34.97	555.47	235.07	12.71	96.92	2.47	347.17
11/28	185.20	102.40	109.88	397.48	123.46	7.74	114.48	2.74	248.42
12/28	178.75	17.88	126.81	323.43	119.17	7.79	72.19	3.00	202.15
05/1/30	170.07	17.01	111.90	298.98	113.38	11.56	61.92	ND	186.86
2/18	170.24	17.02	181.32	368.58	113.49	16.31	100.56	ND	230.36
3/19	263.48	82.50	178.00	523.98	151.18	32.37	96.13	ND	279.68
4/27	192.61	4.17	93.00	289.78	116.87	10.44	86.44	ND	213.75
5/20	164.78	DF	63.00	227.78	113.52	10.21	64.60	ND	188.33
6/06	250.87	35.83	133.00	419.70	145.63	14.53	59.94	ND	220.10
7/02	116.59	11.66	95.74	223.99	77.73	2.08	56.52	ND	136.33
8/10	122.89	12.29	98.65	233.83	81.92	2.37	58.89	ND	143.18
9/09	206.52	92.75	203.85	503.12	90.85	9.94	39.15	ND	139.93
10/14	183.09	88.92	200.00	472.00	72.45	7.42	38.35	ND	118.22
11/23	257.13	127.33	256.80	641.26	138.96	15.39	57.79	ND	212.14
Annual Ave.	188.45	48.68	115.97	353.09	118.43	10.63	76.89	ND	206.93
Total	2,638.27	681.50	1,623.55	4,943.32	1,658.06	148.77	1,076.49	13.68	2,897.01
Max.	352.61	167.90	256.80	641.26	235.07	32.37	116.50	3.58	347.17
Min.	116.59	4.17	29.22	200.51	72.45	2.08	38.35	2.47	118.22

Notes) NC :Not collected, DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 4. Ion concentration of runoff from conifer area (Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	F^-	Total
04/5/30	87.55	8.75	103.25	199.55	58.37	3.24	59.27	3.84	124.72
6/19	66.63	6.66	104.85	178.15	44.42	2.68	61.98	2.26	111.34
7/02	92.24	9.22	108.60	210.06	61.49	2.39	64.04	3.37	131.29
7/16	96.97	9.70	79.55	186.22	64.65	2.79	46.10	2.84	116.38
7/29	160.56	16.06	99.08	275.70	107.04	1.06	59.42	4.79	172.31
8/17	106.82	10.68	109.11	226.61	71.21	0.37	67.31	2.74	141.63
9/03	127.48	65.30	32.52	225.30	78.28	2.71	41.96	2.37	125.32
9/17	144.42	14.44	115.51	274.37	96.28	4.02	67.40	3.79	171.48
10/03	126.38	12.64	138.66	277.68	84.25	1.37	84.19	3.74	173.55
10/31	144.42	14.44	77.31	236.17	96.28	2.10	46.13	3.11	147.61
11/13	306.59	30.66	146.04	483.29	204.39	6.48	87.33	3.84	302.05
11/28	187.44	18.74	136.74	342.92	124.96	4.02	82.46	2.89	214.33
12/28	180.74	18.07	192.41	391.22	120.49	9.61	111.65	2.76	244.51
05/1/30	176.28	87.40	116.83	380.51	117.52	11.48	108.81	ND	237.82
2/18	240.72	149.70	41.09	431.51	160.48	14.69	94.52	ND	269.69
3/19	288.26	170.00	225.50	683.76	133.63	12.89	92.04	ND	238.56
4/27	240.43	126.67	194.50	561.60	104.14	9.98	86.81	ND	200.94
5/20	186.09	64.17	137.50	387.75	103.75	12.77	89.48	ND	206.00
6/06	266.52	126.67	185.00	578.19	121.35	8.52	83.96	ND	213.83
7/02	120.70	13.10	53.80	187.60	73.18	6.92	58.63	ND	138.73
8/10	132.04	72.10	50.02	254.16	88.03	6.63	61.11	ND	155.77
9/09	227.35	144.17	266.95	638.46	81.69	DF	50.90	ND	132.59
10/14	295.00	180.25	355.05	830.30	115.86	5.61	120.56	ND	242.03
11/23	275.17	225.58	405.00	905.76	137.35	17.61	86.15	ND	241.11
Annual Ave.	201.71	74.89	140.17	416.77	115.30	7.68	81.29	ND	205.43
Total	2,823.96	1,048.52	1,962.34	5,834.83	1,614.15	107.47	1,138.01	16.34	2,875.98
Max.	306.59	225.58	405.00	905.76	204.39	17.61	120.56	4.79	302.05
Min.	66.63	6.66	32.52	178.15	44.42	0.37	41.96	2.26	111.34

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 5. Valley stream of Dae-Heung valley

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	F^-	Total
04/5/30	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
6/19	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/02	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/16	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
7/29	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
8/17	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
9/03	126.08	12.61	68.26	206.96	84.06	4.10	38.46	2.74	129.35
9/17	150.80	15.08	174.58	340.46	100.54	4.74	104.46	3.05	212.79
10/03	132.80	13.28	125.27	271.35	88.54	4.06	74.42	2.58	169.60
10/31	150.80	15.08	56.87	222.75	100.54	2.27	33.83	2.58	139.22
11/13	514.82	51.48	174.40	740.70	343.21	10.89	105.21	3.63	462.94
11/28	200.58	20.06	121.09	341.73	133.72	4.74	72.54	2.58	213.58
12/28	175.06	17.51	136.73	329.29	116.70	9.60	76.88	2.63	205.81
05/1/30	149.54	14.95	148.07	312.56	99.69	14.45	81.21	ND	195.35
2/18	149.41	14.94	144.10	308.45	99.61	17.90	75.27	ND	192.78
3/19	255.65	38.33	166.00	459.99	172.56	18.68	78.54	ND	269.78
4/27	181.30	18.33	138.50	338.14	105.35	13.55	83.29	ND	202.19
5/20	192.17	DF	101.50	293.67	105.92	15.06	68.54	ND	189.52
6/06	259.13	44.17	170.00	473.30	115.27	16.71	73.81	ND	205.79
7/02	122.90	12.70	149.70	285.30	103.44	6.42	62.00	ND	171.86
8/10	138.44	13.84	121.42	273.71	92.30	4.42	71.46	ND	168.17
9/09	220.04	88.17	238.95	547.16	92.31	3.24	57.13	ND	152.68
10/14	188.87	81.25	225.40	495.52	56.54	18.56	44.08	ND	119.18
11/23	235.91	111.50	300.80	648.21	108.00	35.48	71.58	ND	215.07
Annual Ave.	203.05	27.91	142.33	371.29	126.37	10.14	72.44	ND	209.95
Total	2,842.65	362.84	1,992.61	5,198.10	1,769.14	142.00	1,014.13	14.00	2,939.27
Max.	514.82	111.50	300.80	740.70	343.21	35.48	105.21	3.63	462.94
Min.	122.90	12.61	56.87	206.96	56.54	2.27	33.83	2.58	119.18

Notes) NC :Not collected, DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 6. Valley stream of Songgwang temple

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	107.45	56.80	134.05	298.30	71.63	42.47	71.23	1.11	186.44
6/19	136.61	68.00	85.23	289.83	91.07	10.19	74.35	5.53	181.14
7/02	104.11	57.82	88.38	250.31	69.41	4.98	81.21	0.84	156.44
7/16	92.58	55.00	67.55	215.13	61.72	4.77	66.33	1.63	134.46
7/29	115.86	63.40	75.67	254.93	77.24	4.71	74.54	2.84	159.33
8/17	94.35	46.70	102.07	243.13	62.90	3.79	84.10	1.16	151.95
9/03	123.76	12.38	102.46	238.60	82.51	5.05	60.04	1.53	149.12
9/17	121.35	12.14	154.73	288.22	80.90	5.16	91.92	2.16	180.14
10/03	106.06	10.61	137.41	254.08	70.70	3.05	83.73	1.32	158.80
10/31	121.35	12.14	94.63	228.11	80.90	1.87	58.17	1.63	142.57
11/13	242.49	24.25	159.27	426.01	161.66	9.66	92.25	2.68	266.26
11/28	146.24	14.62	137.08	297.95	97.49	5.16	81.67	1.89	186.22
12/28	134.58	13.46	162.93	310.97	89.72	8.85	83.00	12.79	194.35
05/1/30	122.92	12.29	150.89	286.09	81.94	12.53	84.33	ND	178.81
2/18	145.73	14.57	160.92	321.23	97.15	16.55	87.06	ND	200.77
3/19	200.87	13.33	71.00	285.20	108.85	16.11	89.40	ND	214.35
4/27	163.48	DF	51.00	214.48	90.82	11.90	85.31	ND	188.03
5/20	171.74	DF	50.50	222.24	90.45	13.40	90.02	ND	193.87
6/06	231.74	10.00	106.00	347.74	102.87	16.15	36.54	ND	155.56
7/02	104.18	58.74	77.20	240.12	69.46	4.82	74.03	ND	148.31
8/10	113.15	23.74	119.76	256.65	75.44	4.67	78.69	ND	158.79
9/09	150.30	19.17	127.15	296.62	78.56	7.42	74.79	ND	160.77
10/14	184.13	77.92	136.05	398.10	91.24	23.35	79.83	ND	194.43
11/23	217.13	101.50	167.70	486.33	117.35	19.97	94.85	ND	232.17
Annual Ave.	153.92	18.91	114.70	284.82	92.57	9.44	78.50	ND	181.96
Total	2,154.83	226.91	1,605.74	3,987.49	1,296.02	132.14	1,098.99	20.32	2,547.46
Max.	242.49	101.50	167.70	486.33	161.66	42.47	94.85	12.79	266.26
Min.	92.58	10.00	50.50	214.48	61.72	1.87	36.54	0.84	134.46

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 7. Valley stream of Kachi valley

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation				Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	93.55	9.35	148.23	251.14	62.37	28.29	64.04	2.26	156.96
6/19	103.99	10.40	137.63	252.01	69.32	18.44	65.06	4.68	157.51
7/02	94.99	9.50	102.68	207.17	63.32	3.44	60.56	2.16	129.48
7/16	96.25	9.63	81.78	187.66	64.17	4.87	46.77	1.47	117.28
7/29	242.20	24.22	326.47	592.89	161.46	13.31	190.42	5.37	370.56
8/17	116.03	11.60	97.94	225.57	77.35	0.98	60.85	1.79	140.98
9/03	127.35	12.74	95.33	235.41	84.90	6.21	54.81	1.21	147.13
9/17	137.28	13.73	173.05	324.06	91.52	5.05	101.92	4.05	202.54
10/03	115.06	11.51	147.44	274.00	76.70	2.02	90.79	1.74	171.25
10/31	137.28	13.73	79.09	230.10	91.52	1.15	48.83	2.32	143.82
11/13	399.00	39.90	177.67	616.57	266.00	10.48	106.08	2.79	385.36
11/28	226.90	22.69	147.20	396.79	151.27	5.05	89.52	2.16	247.99
12/28	192.93	19.29	175.25	387.47	128.62	14.00	87.42	12.13	242.17
05/1/30	158.96	15.90	167.92	342.78	105.97	22.95	85.31	ND	214.24
2/18	157.90	15.79	169.50	343.19	105.27	16.23	93.00	ND	214.49
3/19	235.22	32.50	119.50	387.22	105.69	16.87	91.27	ND	213.83
4/27	163.04	DF	92.50	255.54	94.68	13.71	83.58	ND	191.97
5/20	165.65	DF	82.50	248.15	105.15	14.16	77.79	ND	197.11
6/06	229.57	24.17	112.00	365.73	91.66	11.73	78.83	ND	182.22
7/02	144.48	14.45	170.31	329.24	96.32	7.20	99.25	ND	202.77
8/10	126.89	12.69	122.11	261.68	84.59	4.08	72.53	ND	161.20
9/09	201.39	87.25	199.95	488.59	94.37	12.50	59.02	ND	165.89
10/14	201.30	94.25	215.00	510.55	97.63	13.63	69.63	ND	180.89
11/23	237.91	101.33	233.10	572.35	132.20	20.76	94.96	ND	247.91
Annual Ave.	189.59	25.82	140.21	351.93	114.13	10.87	83.09	ND	209.59
Total	2,654.26	309.86	1,962.94	4,927.06	1,597.81	152.12	1,163.24	21.13	2,934.30
Max.	399.00	101.33	326.47	616.57	266.00	28.29	190.42	12.13	385.36
Min.	93.55	9.35	79.09	187.66	62.37	0.98	46.77	1.21	117.28

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 8. Songgwang tributary

(Unit : µeq/L)

Division	Cation					Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	166.23	55.41	138.19	18.30	378.12	110.82	6.61	104.46	3.00	224.89
6/19	220.94	22.09	197.33	15.60	455.97	147.30	23.15	98.90	5.89	275.23
7/02	175.01	58.34	137.24	8.10	378.69	116.68	20.85	91.56	2.53	231.62
7/16	114.21	38.07	95.59	7.40	255.27	76.14	17.23	59.50	2.05	154.92
7/29	198.63	70.94	122.41	8.10	400.09	132.42	14.15	93.79	4.63	244.99
8/17	166.69	64.11	101.88	6.50	339.18	111.13	11.00	83.06	2.74	207.93
9/03	151.65	52.29	132.10	7.40	343.44	101.10	23.19	83.63	2.11	210.02
9/17	209.11	67.46	124.88	8.40	409.85	139.41	20.29	88.42	2.79	250.90
10/03	173.62	62.01	149.52	6.10	391.24	115.75	16.53	105.65	2.79	240.71
10/31	209.11	74.68	95.88	7.90	387.58	139.41	19.11	75.25	3.53	237.30
11/13	277.90	92.63	132.21	8.70	511.45	185.27	22.97	101.67	4.32	314.22
11/28	268.94	92.74	125.19	6.84	493.71	179.30	20.29	100.81	3.89	304.29
12/28	262.25	26.22	255.08	7.50	551.05	174.83	28.08	114.07	22.74	339.72
05/1/30	255.55	91.27	186.90	7.60	541.31	170.37	35.87	127.33	ND	333.57
2/18	248.58	88.78	166.95	6.90	511.21	165.72	28.16	121.31	ND	315.19
3/19	125.65	DF	270.00	7.40	403.05	165.75	27.21	121.96	ND	314.91
4/27	335.65	92.50	299.50	13.33	740.99	161.01	20.98	126.31	ND	308.31
5/20	284.78	70.00	267.00	19.74	641.53	161.18	28.32	133.81	ND	323.32
6/06	128.70	63.33	253.00	6.41	451.44	215.63	30.66	143.04	ND	389.34
7/02	162.62	55.78	118.41	11.10	347.92	108.41	17.41	81.62	ND	207.44
8/10	175.82	61.29	119.62	8.50	365.22	117.21	18.16	85.03	ND	220.41
9/09	281.78	134.00	432.10	28.97	876.86	128.48	47.08	86.15	ND	261.71
10/14	306.35	131.25	413.95	32.26	883.80	144.06	67.21	92.10	ND	303.37
11/23	390.30	168.92	487.20	40.38	1,086.81	203.30	79.63	121.54	ND	404.47
Annual Ave.	227.93	77.33	205.10	10.50	515.32	156.31	25.77	108.86	ND	293.60
Total	3,190.95	1,005.24	2,871.36	147.00	7,214.55	2,188.31	360.84	1,524.02	37.26	4,110.44
Max.	390.30	168.92	487.20	40.38	1,086.81	215.63	79.63	143.04	22.74	404.47
Min.	114.21	22.09	95.59	6.10	255.27	76.14	6.61	59.50	2.05	154.92

Notes) DF :Detecting Failure, ND :Not Detected

App. 9. Dongbok tributary

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation					Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	221.37	121.20	94.36	25.60	462.52	147.58	4.58	116.60	4.32	273.08
6/19	310.01	221.90	97.57	18.70	648.19	206.68	23.90	157.27	5.58	393.43
7/02	250.61	143.80	184.50	18.40	597.30	167.07	21.69	169.21	3.84	361.81
7/16	122.32	68.90	124.82	12.50	328.54	81.55	17.26	96.56	2.16	197.53
7/29	123.00	63.80	43.11	12.10	242.01	82.00	2.44	56.21	3.05	143.70
8/17	188.70	97.40	178.35	11.20	475.66	125.80	12.08	149.88	2.53	290.28
9/03	208.39	108.80	224.59	12.90	554.69	138.93	9.23	188.15	2.32	338.62
9/17	214.27	113.90	252.10	11.70	591.96	142.85	10.63	205.88	3.32	362.66
10/03	220.52	119.50	285.94	12.50	638.46	147.01	14.94	226.75	2.53	391.23
10/31	214.27	110.70	217.04	12.40	554.41	142.85	4.66	188.15	3.11	338.76
11/13	427.82	312.30	112.99	12.80	865.90	285.21	13.39	230.85	3.74	533.19
11/28	286.82	169.70	304.72	12.00	773.24	191.21	10.63	270.35	3.58	475.77
12/28	297.97	29.80	473.45	11.90	813.12	198.65	13.88	269.86	18.37	500.76
05/1/30	309.13	226.90	252.11	10.90	799.04	206.08	17.13	269.38	ND	492.59
2/18	274.35	175.90	208.68	11.70	670.63	182.90	15.74	213.19	ND	411.83
3/19	203.48	91.67	14.50	12.05	321.70	196.45	16.45	232.06	ND	444.96
4/27	274.35	166.67	380.00	8.97	829.99	152.96	13.39	203.81	ND	370.16
5/20	242.61	144.17	359.50	39.49	785.76	175.75	27.19	242.00	ND	444.94
6/06	243.91	59.17	258.00	19.49	580.57	194.20	25.95	201.46	ND	421.61
7/02	165.31	92.17	117.48	13.60	388.55	110.21	13.80	107.33	ND	231.33
8/10	203.79	106.70	218.35	12.70	541.54	135.86	10.65	181.30	ND	327.80
9/09	249.26	207.83	570.45	44.95	1,072.49	139.92	17.11	142.15	ND	299.17
10/14	293.35	246.25	691.95	75.31	1,306.86	189.46	ND	189.00	ND	378.46
11/23	353.91	281.33	754.20	65.41	1,454.86	238.34	12.15	214.15	ND	464.63
Annual Ave.	258.11	143.80	269.51	16.82	688.24	175.66	15.35	212.76	ND	406.01
Total	3,613.58	2,013.16	3,773.20	235.45	9,635.40	2,459.25	214.90	2,978.64	31.32	5,684.10
Max.	427.82	312.30	754.20	75.31	1,454.86	285.21	27.19	270.35	18.37	533.19
Min.	122.32	29.80	14.50	8.97	242.01	81.55	2.44	56.21	2.16	143.70

Note) ND :Not Detected

App. 10. Bosung tributary

(Unit : $\mu\text{eq/L}$)

Division	Cation					Anion				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Total
04/5/30	94.86	47.40	219.48	23.50	385.24	63.24	17.40	95.23	5.00	180.87
6/19	333.51	210.60	7.99	30.10	582.20	222.34	19.61	95.38	7.74	345.06
7/02	96.04	47.80	69.39	19.70	232.93	64.03	3.66	62.79	2.79	133.27
7/16	100.69	59.80	92.47	17.60	270.56	67.13	16.15	71.46	3.37	158.10
7/29	131.07	69.80	90.63	16.80	308.30	87.38	6.97	84.21	3.63	182.19
8/17	134.87	62.10	95.49	19.20	311.67	89.92	15.87	73.48	3.53	182.79
9/03	197.83	99.70	58.56	18.20	374.29	131.89	6.63	80.25	3.79	222.56
9/17	217.14	108.50	61.05	19.20	405.89	144.76	7.79	84.81	4.32	241.68
10/03	283.99	138.60	58.90	18.40	499.89	189.32	16.32	91.92	3.37	300.93
10/31	217.14	109.50	22.63	19.30	368.57	144.76	4.29	65.67	3.58	218.30
11/13	276.40	221.00	32.00	17.50	546.90	224.20	9.50	92.56	4.63	330.89
11/28	221.70	127.80	52.30	17.80	419.60	147.83	7.79	91.23	4.32	251.17
12/28	261.51	26.15	227.95	19.20	534.81	174.34	14.81	107.00	26.11	322.26
05/1/30	301.27	218.60	32.86	18.20	570.93	200.85	21.84	122.77	ND	345.45
2/18	311.15	210.50	66.27	17.60	605.52	207.44	27.16	132.85	ND	367.45
3/19	218.70	111.67	150.50	18.72	499.58	202.10	23.10	121.90	ND	347.10
4/27	299.13	143.33	283.00	16.67	742.13	198.50	19.80	198.90	ND	417.20
5/20	294.78	112.50	259.50	22.82	689.60	165.92	14.94	119.77	ND	300.62
6/06	234.78	87.50	230.50	27.95	580.73	230.79	16.19	168.13	ND	415.11
7/02	109.27	59.13	84.16	19.50	272.06	72.85	8.92	72.82	ND	154.59
8/10	183.28	90.10	71.70	18.40	363.48	122.19	10.10	79.51	ND	211.80
9/09	231.57	144.75	359.20	40.13	775.64	115.86	2.35	77.00	ND	195.21
10/14	232.35	147.75	272.30	15.10	667.50	185.38	31.48	100.75	ND	317.61
11/23	361.13	220.00	537.60	42.28	1,161.01	211.44	40.85	103.19	ND	355.48
Annual Ave.	246.05	128.65	137.96	20.87	533.53	171.21	14.08	110.14	ND	298.43
Total	3,444.66	1,801.13	1,931.48	292.18	7,469.46	2,396.93	197.12	1,542.03	42.00	4,178.08
Max.	361.13	221.00	537.60	42.28	1,161.01	230.79	40.85	198.90	26.11	417.20
Min.	94.86	26.15	7.99	15.10	232.93	63.24	2.35	62.79	2.79	133.27

Note) ND :Not Detected

App. 11. Variation of solids concentration in survey point under cloudless sky
(Unit: mg/L)

Division	F1			F2			F3			F4		
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS
04/5/30	55.0	38.0	14.0	37.0	9.0	25.0	NC	NC	NC	60.0	40.0	19.0
6/19	517.0	165.6	342.0	463.0	172.0	273.0	NC	NC	NC	432.0	121.2	293.0
7/02	84.0	12.0	67.0	63.0	8.5	51.0	NC	NC	NC	94.0	23.5	70.0
7/16	59.0	9.5	49.0	47.0	4.5	38.0	NC	NC	NC	36.0	3.5	29.0
7/29	57.0	7.5	41.0	73.0	12.5	54.0	NC	NC	NC	102.0	32.7	62.0
8/17	74.0	33.6	40.5	55.0	20.0	32.0	NC	NC	NC	181.5	131.0	45.5
9/03	49.0	9.0	43.0	63.0	12.5	52.0	61.0	11.0	49.0	76.0	13.5	61.0
9/17	47.0	5.0	41.0	63.0	9.0	52.0	52.0	6.0	42.0	40.0	6.0	30.0
10/03	24.0	2.5	23.0	69.0	7.0	59.0	73.0	10.0	63.0	92.0	16.5	71.0
10/31	21.0	3.0	19.0	59.0	18.8	37.0	45.0	12.8	31.0	97.0	40.4	63.0
11/13	47.0	9.0	37.0	21.0	3.0	16.0	31.0	9.0	26.0	51.0	11.6	42.0
11/28	24.0	2.0	21.0	40.0	10.0	34.0	21.0	3.0	19.0	13.0	1.1	11.0
12/28	28.2	3.2	25.0	39.2	4.6	34.6	30.5	7.5	23.0	19.8	4.8	15.0
05/1/30	35.0	2.8	32.2	41.0	3.6	37.4	64.0	14.4	49.6	76.0	17.2	58.8
2/18	28.0	6.5	21.5	58.0	5.2	52.8	69.0	27.2	41.8	42.0	36.8	5.2
3/19	61.0	9.6	51.4	48.0	10.2	37.8	65.0	11.2	53.8	90.0	26.1	63.9
4/27	57.0	7.7	49.3	44.0	7.3	36.7	53.0	7.0	46.0	55.0	5.0	50.0
5/20	55.0	4.2	50.8	42.0	5.1	36.9	51.0	5.7	45.3	53.0	5.8	47.2
6/06	53.0	4.8	48.2	52.5	5.7	46.8	42.0	6.3	35.7	45.5	6.4	39.1
7/02	67.0	37.0	30.0	59.0	11.5	47.5	43.0	10.5	32.5	45.0	13.0	32.0
7/27	65.0	21.6	43.4	57.0	11.5	45.5	41.0	9.5	31.5	43.0	10.2	32.8
8/10	64.0	20.3	43.7	56.0	10.2	45.8	40.0	8.2	31.8	42.0	8.9	33.1
9/09	61.4	8.8	52.6	64.8	16.8	48.0	49.6	1.6	48.0	65.6	17.6	48.0
10/14	70.5	7.2	63.3	129.1	80.4	48.7	45.7	2.4	43.3	93.3	46.0	47.3
11/23	38.2	7.2	31.0	36.4	2.4	34.0	44.0	2.8	41.2	44.6	1.6	43.0
Annual Ave.	43.0	6.6	36.5	48.9	8.4	40.2	48.9	9.6	39.5	57.1	15.3	42.1
Min.	517.0	165.6	342.0	463.0	172.0	273.0	73.0	27.2	63.0	432.0	131.0	293.0
Max.	21.0	2.0	14.0	21.0	2.4	16.0	21.0	1.6	19.0	13.0	1.1	5.2

Note) NC :Not collected

App. 11. Continue

(Unit: mg/L)

Division	V1			V2			V3		
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS
04/5/30	NC	NC	NC	33.0	3.0	27.0	29.0	11.0	13.0
6/19	NC	NC	NC	529.0	163.6	337.0	127.0	62.4	61.0
7/02	NC	NC	NC	31.0	3.0	28.0	34.0	3.5	24.0
7/16	NC	NC	NC	22.0	1.5	19.0	24.0	1.0	17.0
7/29	NC	NC	NC	29.0	3.5	24.0	87.0	6.0	77.0
8/17	NC	NC	NC	30.0	0.8	19.0	74.0	4.0	57.0
9/03	28.0	5.0	23.0	25.0	4.0	19.0	34.0	7.5	23.0
9/17	41.0	4.0	36.0	17.0	3.0	17.0	55.0	5.0	52.0
10/03	62.0	8.0	56.0	18.0	3.0	17.0	45.0	5.0	37.0
10/31	20.0	1.0	18.0	26.0	2.0	21.0	17.0	0.8	14.0
11/13	24.0	3.0	18.0	14.0	1.0	11.0	23.0	2.0	17.0
11/28	59.0	9.0	53.0	18.0	2.0	16.0	14.0	1.0	14.0
12/28	38.2	4.2	34.0	19.5	1.5	18.0	21.1	1.1	20.0
05/1/30	40.0	3.4	36.6	25.0	1.4	23.6	24.0	1.2	22.8
2/18	71.0	7.2	63.8	24.0	4.3	19.7	49.0	1.6	47.4
3/19	65.0	7.5	57.5	67.0	9.7	57.3	64.0	17.2	46.8
4/27	45.0	28.3	16.7	35.0	4.9	30.1	44.0	3.8	40.2
5/20	43.0	2.1	40.9	33.0	2.5	30.5	42.0	2.7	39.3
6/06	42.0	2.7	39.3	31.0	3.1	27.9	46.0	3.3	42.7
7/02	41.5	5.5	36.0	42.0	6.2	35.8	57.0	29.0	28.0
7/27	39.5	5.4	34.1	40.0	4.3	35.7	55.0	6.2	48.8
8/10	38.5	4.1	34.4	39.0	3.0	36.0	54.0	4.9	49.1
9/09	36.3	0.8	35.5	36.2	2.1	34.5	55.2	3.2	52.0
10/14	45.2	1.2	44.0	40.9	1.6	39.3	44.5	3.2	41.3
11/23	43.6	1.6	42.0	37.8	2.8	35.0	41.6	1.6	40.0
Annual Ave.	45.0	6.4	38.7	29.7	3.2	26.3	38.4	3.8	34.0
Min.	71.0	28.3	63.8	529.0	163.6	337.0	127.0	62.4	77.0
Max.	20.0	0.8	16.7	14.0	0.8	11.0	14.0	0.8	13.0

Note) NC :Not collected

App. 11. Continued

(Unit: mg/L)

Division	S1			S2			S3		
	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS	TS	TSS	TDS
04/5/30	75.0	16.0	59.0	60.0	24.0	33.0	103.0	32.0	61.0
6/19	114.0	52.4	54.0	86.0	37.2	47.0	81.0	26.0	53.0
7/02	61.0	5.5	52.0	24.0	1.5	17.0	39.0	4.5	32.0
7/16	77.0	13.0	60.0	68.0	7.0	57.0	84.0	20.0	53.0
7/29	56.0	4.5	49.0	47.0	4.5	41.0	54.0	4.2	43.0
8/17	71.0	1.6	61.0	31.0	4.0	24.0	64.0	6.0	53.0
9/03	32.0	4.5	24.0	46.0	9.5	36.0	69.0	12.0	55.0
9/17	21.0	2.0	21.0	36.0	4.0	29.0	57.0	8.0	48.0
10/03	41.0	5.0	34.0	34.0	3.0	27.0	68.0	12.0	54.0
10/31	20.0	2.0	19.0	17.0	1.2	16.0	67.0	20.8	53.0
11/13	14.0	1.0	9.0	17.0	2.0	14.0	10.0	1.2	8.0
11/28	29.0	3.0	19.0	25.0	2.0	22.0	54.0	4.0	47.0
12/28	23.3	2.3	21.0	25.4	2.4	23.0	46.2	3.2	43.0
05/1/30	84.0	2.2	81.8	86.0	2.6	83.4	62.0	4.3	57.7
2/18	106.0	2.0	104.0	58.0	3.4	54.6	105.0	14.8	90.2
3/19	62.0	20.2	41.8	72.0	19.6	52.4	72.0	43.0	29.0
4/27	69.0	11.0	58.0	63.0	10.0	53.0	67.0	24.0	43.0
5/20	67.0	4.4	62.6	61.0	6.3	54.7	56.0	10.9	45.1
6/06	72.0	5.0	67.0	57.0	6.9	50.1	62.0	11.5	50.5
7/02	72.0	21.0	51.0	79.0	25.5	53.5	58.0	17.5	40.5
7/27	70.0	12.1	57.9	77.0	11.6	65.4	63.0	16.4	46.6
8/10	63.	10.8	52.2	75.0	10.3	64.7	68.0	15.1	52.9
9/09	66.0	2.0	64.0	67.3	2.8	64.5	62.3	12.0	50.3
10/14	71.6	5.6	66.0	72.1	4.8	67.3	68.4	6.8	61.6
11/23	59.2	1.2	58.0	71.4	8.4	63.0	66.0	6.0	60.0
Annual Ave.	55.6	5.6	49.2	50.7	5.7	44.6	61.1	13.7	47.5
Min.	114.0	52.4	104.0	86.0	37.2	83.4	105.0	43.0	90.2
Max.	14.0	1.0	9.0	17.0	1.2	14.0	10.0	1.2	8.0

App. 12. Dominant algae and cell number in Juam Lake (2005)

Division	pH	DO (mg/L)	Chl-a (µg/L)	Appearance algae and cell numbers (cells/ml)								
				Dominant species and cell numbers, each of algae groups (cells/ml)							Total (cells/ml)	
				Blue-green algae		Diatoms		Green algae		Others		
05/04/13	8.1	11.3	0.3	DSA	Chroococcus (169) Oscillatoria (368)	DSA	Cyclotella (77) Nitzschia (30)	DSA	Ankistrodesmu s(11) Staurastrum (11)	DSA	Dinobryon (18) Peridinium (2)	749
				Nt	537	Nt	157	Nt	32	Nt	23	
05/04/19	7.5	11.1	1.7	DSA	Chroococcus (33)	DSA	Cyclotella (40) Navicular (6)	DSA	Ankistrodesmu s(7) Staurastrum (2)	DSA	Euglena (1) Peridinium (1)	101
				Nt	33	Nt	57	Nt	9	Nt	2	
05/04/26	7.7	11.0	0.9	DSA	ND	DSA	Cyclotella (33) Asterionella (23)	DSA	ND	DSA	Euglena (1) Trachelomonas (1)	84
				Nt	ND	Nt	82	Nt	ND	Nt	2	
05/05/02	7.6	10.4	1.0	DSA	ND	DSA	Cyclotella (18) Aulacoseira (9)	DSA	Eudorina (32) Staurastrum (2)	DSA	Euglena (1) Dinobryon (11)	81
				Nt	ND	Nt	34	Nt	34	Nt	13	
05/05/11	7.5	10.0	0.9	DSA	ND	DSA	Aulacoseira (20) Navicula (3)	DSA	ND	DSA	Euglena (2) Trachelomonas (2)	32
				Nt	ND	Nt	28	Nt	ND	Nt	4	
05/05/17	7.1	10.0	0.7	DSA	ND	DSA	Aulacoseira (29) Cyclotella (12)	DSA	Asterococcus (8)	DSA	Euglena (5)	73
				Nt	ND	Nt	59	Nt	9	Nt	5	
05/05/24	7.1	10.2	0.8	DSA	Chroococcus (6)	DSA	Melosira (4) Cyclotella (3)	DSA	Nephrocytium (16) Pandorina (8)	DSA	Dinobryon (1)	48
				Nt	6	Nt	8	Nt	33	Nt	1	
05/05/31	7.6	10.5	1.3	DSA	Chroococcus (44)	DSA	Aulacoseira (3)	DSA	Dictyosphae rium	DSA	Dinobryon (27)	109
				Nt	44	Nt	5	Nt	32	Nt	28	
05/06/07	7.7	8.9	1.2	DSA	Microcystis (1015) Aphanocapsa (58)	DSA	Melosira (4)	DSA	ND	DSA	Dinobryon (45) Euglena (2)	1148
				Nt	1,089	Nt	12	Nt	ND	Nt	47	

Notes) DSA : dominant species algae, Nt :total number, ND :Not Detected

App. 12. Continued

Division	pH	DO (mg/L)	Chl-a (µg/L)	Appearance algae and cell numbers (cells/mL)								Total (cells/mL)
				Dominant species and cell numbers, each of algae groups (cells/mL)								
				Blue-green algae		Diatoms		Green algae		Others		
05/06/14	7.7	8.6	1.3	DSA	Microcystis (4035) Chroococcus (6)	DSA	ND	DSA	ND	DSA	Euglena(3)	336
				Nt	4041	Nt	ND	Nt	ND	Nt	3	
05/06/22	8.1	9.0	1.2	DSA	Microcystis (1440) Chroococcus (36)	DSA	Cyclotella (18) Nitzschia (3)	DSA	unknown(3)	DSA	Trachelomonas (3)	248
				Nt	1476	Nt	21	Nt	3	Nt	3	
05/06/30	7.9	8.5	2.1	DSA	Microcystis (330) Aphanocapsa (75) Chroococcus (42)	DSA	Cyclotella (12) Nitzschia (15) Synedra (3)	DSA	Oocystis (12) unknown (24)	DSA	ND	207
				Nt	447	Nt	30	Nt	36	Nt	ND	
05/07/06	8	8.8	1.1	DSA	Anabaena (69) Chroococcus (6)	DSA	Cyclotella (150) Melosira (6)	DSA	Monoraphidium (6)	DSA	Peridinium (3)	4044
				Nt	75	Nt	156	Nt	6	Nt	3	
05/07/13	8.1	8.6	1.4	DSA	Microcystis (1440) Chroococcus (36)	DSA	Cyclotella (18) Nitzschia (3)	DSA	unknown (3)	DSA	Trachelomonas (3)	1503
				Nt	1476	Nt	21	Nt	3	Nt	3	
05/07/19	8.1	8.9	1.7	DSA	Microcystis (330) Aphanocapsa (75) Chroococcus (42)	DSA	Cyclotella (12) Nitzschia (15) Synedra (3)	DSA	Oocystis (12) unknown (24)	DSA	ND	513
				Nt	447	Nt	30	Nt	36	Nt	ND	
05/07/26	8.4	8.5	1.3	DSA	Anabaena (69) Chroococcus (6)	DSA	Cyclotella (150) Melosira (6)	DSA	Monoraphidium (6)	DSA	Peridinium (3)	240
				Nt	75	Nt	156	Nt	6	Nt	3	
05/08/03	8.2	8.9	1.8	DSA	Chroococcus (42)	DSA	Cyclotella (135) Synedra (3)	DSA	Scenedesmus (12) unknown (3)	DSA	Peridinium (9) Trachelomonas (3)	207
				Nt	42	Nt	138	Nt	15	Nt	12	
05/08/10	8.4	8.5	1.9	DSA	Microcystis (45) Chroococcus (18)	DSA	Cyclotella (462) Synedra (3)	DSA	Scenedesmus (45) Golenkinia (3)	DSA	Peridinium (3) Euglena (3)	582
				Nt	63	Nt	465	Nt	48	Nt	6	

App. 12. Continued

Division	pH	DD (mg/L)	Chl-a (µg/L)	Appearance algae and cell numbers (cells/ml)							Total (cells/ml)	
				Dominant species and cell numbers, each of algae groups (cells/ml)								
				Blue-green algae		Diatoms		Green algae		Others		
05/08/18	8.8	9.1	2.4	DSA	Microcystis (1380) Chroococcus (12)	DSA	Cyclotella (270) Synedra (3)	DSA	Sphaerocystis(72) Scenedesmus(24) Golenkinia (6)	DSA	ND	1,767
				Nt	1392	Nt	273	Nt	102	Nt	ND	
05/08/24	8.6	9.1	5.5	DSA	Microcystis (1047) Anabaena (516) Oscillatoria (99) Chroococcus (36)	DSA	Cyclotella (144) Melosira (39) Synedra (6)	DSA	Pandorina (48) Oocystis (30)	DSA	Cryptomonas(9)	1,974
				Nt	1698	Nt	189	Nt	78	Nt	9	
05/08/30	7.7	9.1	4.6	DSA	Microcystis (495) Anabaena (123) Chroococcus (120) Phormidium (120)	DSA	Cyclotella (144) Melosira (21) Synedra (9) Navicula (6)	DSA	Oocystis (30) Scenedesmus (24) Unknown (6)	DSA	Cryptomonas (18) Trachelomonas(3) Euglena (3)	1,215
				Nt	858	Nt	273	Nt	60	Nt	24	
05/09/08	7.5	7.0	4.9	DSA	Phormidium (3000) Anabaena (850) Microcystis (600) Chroococcus (18)	DSA	Cyclotella (45) Synedra (15) Navicula (3)	DSA	Scenedesmus (48) Unknown (6) Golenkinia (3)	DSA	ND	4,588
				Nt	4468	Nt	63	Nt	57	Nt	ND	
05/09/13	8.2	9.6	6.4	DSA	Phormidium (3500) Anabaena (1700) Microcystis (120) Chroococcus (12)	DSA	Melosira (39) Cyclotella (24) Rhizosolenia (6) Synedra (3) Navicula (3)	DSA	Scenedesmus (12) Staurastrum (6)	DSA	ND	5,425
				Nt	5332	Nt	75	Nt	18	Nt	ND	
05/09/20	8.5	9.3	5.2	DSA	Aphanocapsa (5000) Microcystis (3000) Phormidium (3000) Chroococcus (20)	DSA	Cyclotella (90) Melosira (40) Rhizosolenia (10) Synedra (10) Navicula (10)	DSA	Scenedesmus (40) Coelastrum (24) Staurastrum (20)	DSA	Euglena	11,274
				Nt	11020	Nt	160	Nt	84	Nt	10	

App. 12. Continued

Division	pH	DO (mg/L)	Chl-a (µg/L)	Appearance algae and cell numbers (cells/mL)								
				Dominant species and cell numbers, each of algae groups (cells/mL)							Total (cells/mL)	
				Blue-green algae		Diatoms		Green algae		Others		
05/09/27	8.0	8.5	5.4	DSA	Aphanocapsa (6000) Microcystis (3000) Phormidium (3000) Aphanizomenon (520) Anabaena (160) Chroococcus (140)	DSA	Cyclotella (180) Aulacoseira (72) Synedra (60) Rhizosolenia (10) Navicula (10)	DSA	Pandorina (160) Elakotothrix (40) Staurastrum (40)	DSA	Euglena	13442
				Nt	12810	Nt	332	Nt	240	Nt	60	
05/10/05	7.3	7.0	3.5	DSA	Aphanocapsa (2500) Phormidium (600) Microcystis (400) Aphanizomenon (400) Anabaena (160) Chroococcus (40)	DSA	Meolosira (120) Cyclotella (80) Synedra (40) Rhizosolenia (20)	DSA	Elakotothrix (80) Staurastrum (40)	DSA	Cryptomonas (140)	4620
				Nt	4100	Nt	260	Nt	120	Nt	140	
05/10/11	7.3	7.3	2.1	DSA	Microcystis (1000) Aphanocapsa (900) Phormidium (800) Aphanizomenon (300) Chroococcus (40)	DSA	Meolosira (80) Cyclotella (60) Synedra (40) Rhizosolenia (40) Navicula (20)	DSA	Elakotothrix (100) Scenedesmus (80) Eudorina (16)	DSA	Cryptomonas (40) Euglena (20)	3556
				Nt	3040	Nt	240	Nt	196	Nt	80	
05/10/18	7.4	7.6	2.1	DSA	Aphanizomenon (800) Microcystis (400) Anabaena (50) Chroococcus (20)	DSA	Cyclotella (42) Rhizosolenia (9) Synedra (3) Attheya (3)	DSA	Scenedesmus (48) Staurastrum (6)	DSA	ND	1381
				Nt	1270	Nt	57	Nt	54	Nt	ND	
05/10/27	7.6	8.7	1.3	DSA	Microcystis (600) Aphanizomenon (200) Anabaena (160)	DSA	Cyclotella (80) Nitzschia (40) Rhizosolenia (20) Synedra (10) Aulacoseira (10)	DSA	Elakotothrix (200) Scenedesmus (160)	DSA	Cryptomonas (120) Trachelomonas (10)	1610
				Nt	960	Nt	160	Nt	360	Nt	130	

App. 12. Continued

Division	pH	DO (mg/L)	Chl-a (µg/L)	Appearance algae and cell numbers (cells/mL)								
				Dominant species and cell numbers, each of algae groups (cells/mL)							Total (cells/mL)	
				Blue-green algae		Diatoms		Green algae		Others		
05/10/27	7.6	8.7	1.3	DSA	Microcystis (600) Aphanizomenon (200) Anabaena (160)	DSA	Cyclotella (80) Nitzschia (40) Rhizosolenia (20) Synedra (10) Aulacoseira (10)	DSA	Elakatothrix (200) Scenedesmus (160)	DSA	Cryptomonas (120) Trachelomonas (10)	1610
				Nt	960	Nt	160	Nt	360	Nt	130	
05/11/01	7.7	8.7	1.5	DSA	Microcystis (280) Aphanizomenon (60)	DSA	Cyclotella (80) Aulacoseira (80) Synedra (10)	DSA	Elakatothrix (90) Scenedesmus (40)	DSA	Cryptomonas (100) Trachelomonas (10)	750
				Nt	340	Nt	170	Nt	130	Nt	110	
05/11/09	7.5	8.4	1.3	DSA	Microcystis (100) Aphanizomenon (50) Chroococcus (40)	DSA	Cyclotella (70) Navicula (10) Synedra (10)	DSA	Eudorina (160) Elakatothrix (60) Scenedesmus (40)	DSA	Cryptomonas (40) Euglena (10)	490
				Nt	190	Nt	90	Nt	160	Nt	50	
05/11/16	7.6	9.2	1.9	DSA	Aphanizomenon (100) Microcystis (20)	DSA	Cyclotella (50) Stephanodiscus (20)	DSA	Elakatothrix (20) Chlorella (10) Chlamydomonas (10)	DSA	Cryptomonas (60) Phacus (10)	290
				Nt	120	Nt	70	Nt	30	Nt	70	
05/11/25	7.6	9.8	2.1	DSA	Aphanizomenon (250) Microcystis (50) Chroococcus (20)	DSA	Cyclotella (120) Melosira (120) Aulacoseira (50) Fragilaria (30) Stephanodiscus (20) Synedra (10) Nitzschia (10)	DSA	Scenedesmus (20) Krchneriella (18)	DSA	Cryptomonas (120) Euglena (20)	858
				Nt	320	Nt	360	Nt	38	Nt	140	

감사의 글

늘 부족한 저에게 배움의 길을 열어 주시고 마지막까지 슬한 나날을 밤샘하시고 열의와 정성으로 보살펴 주신 신대윤 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그간 논문을 쓰는 동안 힘을 주시고 지도해 주신 최형일 교수님, 정경훈 교수님, 목포해양대학교 신용식 교수님, 논문심사 내내 천리 먼 길도 마다 않으시고 문헌을 챙겨주시고 앞날의 희망을 열어 주신 류재근 박사님께 진심으로 감사를 드립니다.

곁에서 배려와 학문적으로 지도해 주신 정오진 교수님, 이성기 교수님, 전영남 교수님, 이인화 교수님, 김시욱 교수님께 감사드립니다.

항상 자신의 일처럼 챙겨 주신 문옥란 선생님, 대학원생실 학생들, 그리고 회산회(晦山會) 석·박사님들, 뒤늦게 공부하는 저를 응원해 준 구암회, 이사회, 친구들께도 깊은 감사를 드립니다.

늘 애정 어린 배려와 도움을 주신 박희정 청장님을 비롯한 국·과장님, 바쁜 업무에도 불구하고 자료정리를 도와주신 측정분석과 정수정 박사님, 김탁수, 홍석영, 홍선화, 심일섭, 이재웅, 정호운 연구사님, 상수원관리과 노문수, 이광성 계장님, 환경평가과 김윤호 계장님, 이영남 선생 그리고 직장 동료들께도 감사의 마음을 전합니다.

언제나 정으로 대해주시고 격려와 위로의 마음을 전해주시신 박명술 박사님, 류지영 박사님, 백계진 박사님, 문헌을 챙겨주신 환경관리공단 서성철 박사님, 송민중 박사님께도 감사의 마음을 전합니다.

죽림(竹林)이 어우러진 대마산 자락 竹林마을에서 농부의 아들로 태어나 앞뒷뜰에는 광주천과 영산강이 흐르는 지리적인 조건과 자연환경이 갖춰진 곳에서 어린 시절을 보냈고, 앞내, 뒷내에서 물고기를 잡고 친구들과 떡을 감았던 추억, 홍수 때는 영산강이 범람하여 소, 돼지며 가축 등이 떠내려가는 장면을 뒷동산에 올라가 보면서 안타까워 했던 기억을 떠올려 봅니다. 그러나 지금은 상류에 댐이 축조되어 하천유지 용수를 걱정해야 하는 상반되는 입장에 처해 있습니다.

음양(陰陽)은 둘이나 하나가 될 수 있고, 다시 나뉠 수도 있는 자연(自然)의 이치(理致)를 깨닫고, 늘 많고 적음을 조절할 줄 아는 지혜, 어떤 문제를 해결하기 위해서는 언제나 다른 편에서 바라보는 시각이 중요하다고 봅니다.

바로 해결 방안이 거기에 있기 때문입니다.

아버지께서 쟁기질하실 때 뒤에 따라 미꾸라지를 잡았던 시절이 그립고, 논 가장 자리의 둠벙에서 여러 수초와 물고기, 개구리가 모여 살던 모습을 바라보면서 자란 시절을 잠시 회상을 해보면 자연은 자연으로 돌려야하고, 자연의 모습을 되찾는 방법이 무엇인가를 생각해 볼 때인 것 같습니다.

지금으로부터 35년전 한때 철없던 저에게 묵묵하게 지혜와 정으로 이끌어 주셨던 아버님께서 집안 마당을 대빛자루로 쓰시면서 "남종아 공부해라! 니 머리에다 따 담으면 누가 뺏어가겠냐? 만약 내 말을 듣지 않으면 이 대빛자루로 니 눈을 쭈신다는 때가 올 것이다"라는 말씀을 늘 가슴에 묻고 한시도 잊은 적이 없었고, 석사학위를 받고 꼭 20년이 된 지금 당시 학위를 받았을 때 기뻐 하셨던 아버님, 어머니의 생전 모습을 생각해 보니 저절로 눈물이 납니다.

하나님께 감사를 드립니다.

履霜堅冰至라는 家訓이 의미하는 바를 깨닫고 지혜롭게 대처해 나가고 언젠가는 아들, 딸들이 성장하여 한때 아버지가 고민하셨던 현안 문제들을 해결하는데 작은 밑거름이 되었으면 하는 마음 간절합니다.

나를 항상 염려해 주시고 기도해 주신 형님들, 누님들께도 감사의 마음을 드립니다.

끝으로 항상 기도해 주고 웃음 가득한 나의 아내와 논문 작성에 늘 힘이 되어준 나의 아들 딸 번영, 지영, 준혁에게 한없는 사랑과 고마움을 전합니다.

2007년 8월

김 남 종

저작물 이용 허락서

학과	환경생명공학	학번	10341174	과정	박사
성명	한글: 김 남 종 한문: 金 南 鍾 영문: Kim Nam-Jong				
주소	광주광역시 북구 동림동 563				
연락처	E-mail : knjo805@me.go.kr				
논문제목	한글: 산성강하물 및 산림지역 유출수가 주암호 수질에 미치는 영향				
	영문: Effects of Acid Deposition and Runoff from the Forest Area on Water Quality of the Juam Lake				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2007년 8월 일

저작자: 김 남 종 (인)

조선대학교 총장 귀하