

## 〈特輯 河川環境管理〉

## 수질측정망 최적설계기법에 관하여

—美워싱턴주의 수질측정망 설계기법을 중심으로—

오 경 두\*

## 서 론

비점오염원에 의한 수질오염(nonpoint source water pollution)이란 수질에 부정적인 영향을 초래하여 수자원의 유효적절한 이용을 저해할 수 있는 오염물질이 광범위한 지역에 흩어져 있는 오염발생원들로부터 지표면유출(runoff)이나 지하수의 유입, 또는 대기중으로부터의 낙진등에 의하여 하천이나 호수로 유입되는 것을 말한다. 비점오염원에 의한 수질오염을 야기시키는 대표적인 오염물질로서는 토사, 영양염류, 박테리아, 중금속, 유기물 등을 들 수 있다. 일반적으로, 비점오염원에 의한 수질오염은 수계내의 오염원의 다양성과 오염물질의 복잡한 유입기제로 인하여 수질악화를 야기시키고 있는 특정오염물질과 그 발생원을 식별하여 연관시키는 일이 현실적으로 대단히 어려운 실정이며 비점오염원에 의한 수질오염의 통제에 가장 큰 장애요소로 부각되고 있다. 어떠한 오염물질을 특정한 수질문제의 원인으로 규정하여 과학적으로 입증하기 위해서는 우선 가능성이 높은 오염발생원들을 찾아내어야하며 나아가서는 수질측정망을 설치운영하여 이러한 오염발생원들과 수질과의 관계를 통계학적으로 규명해야 한다.

미국 워싱턴주의 환경생태계 관리를 담당하고 있는 WDOE에서는 날로 심각해져가는 워싱턴주의 비점오염원에 의한 수질오염을 효율적으로 관리하기 위하여 워싱턴대학(U.W.)에 연구를 의뢰하게 되었으며 그 결과 여기에 소개하려하는 최

적수질측정망설계를 위한 컴퓨터화된 기법이 개발되었다. 이 기법은 워싱턴주의 Stillaguamish River 유역, Wilson Creek 유역, Moses Lake 유역에 대한 수질오염관리에 적용되어 그 유용성이 입증되었다. 여기에서는 이 기법에 대한 개략적인 소개와 스웨덴 Svarta River 유역의 수질측정망을 수정보완하기 위하여 적용되었던 케이스를 예로들어 설명하도록 하겠다.

## 2. 배경설명

무엇을 언제 어디서 어떻게 측정할 것인지를 결정하는 일을 수질측정망설계에 있어서 가장 핵심적인 사항들이라고 할 수 있다. 과거의 수질측정망설계가 막연하고 광범위한 목표를 설정함으로써 많은 예산과 노력의 낭비를 초래했던 일들이 비일비재하다. 근년에 이르러 통계학적인 분석기법과 최적화기법이 수질측정망 설계에 도입되게 된 것은 수자원관리의 효율성을 기하려는 노력의 일환이라 할 수 있겠다.

그동안 여러 학자들에 의하여 비점오염원의 통제 관리방법이 연구되어졌는데, 주변지역보다 훨씬 많은 오염물질을 발생시키고 있는 이른바 중요지역(critical areas)을 찾아내어 우선적으로 통제하는 것이 효율적인 접근방식이라는데 많은 학자들이 공감하고 있다. 이러한 중요지역에 대한 정보의 획득을 위하여 토지이용과 오염부하량의 관계에 대한 많은 연구가 실시되었으며 Universal Soil Loss Equation(USLE)도 이러한

\* 공학박사 육군사관학교 조교수

노력의 일환으로서 토사유출량을 결정하기 위해 개발된 모델이라고 할 수 있다. 특히 토사의 유출은 그 자체로써 수질문제를 야기시킬 뿐만 아니라 영양염류나 살충제 또는 중금속 등과 같은 다른 오염물질들의 운반체(carrier)로써 작용하기 때문에 비점원수질오염 관리에 중요한 고려요소가 되고 있다.

통계학적인 관점에서 볼 때, 수질측정망의 설계는 다음의 사항들을 그목적으로 한다.

- 측정하려는 항목에 대한 평균값과 분산을 산정한다.
- 측정하려는 변수가 시간적으로 또는 공간적으로 변화하였는지의 여부를 탐지 또는 식별한다.

미국 전력연구소(Electrical Power Research Institute)가 발전소 냉각수의 하천생태계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 개발한 DESIGN 알고리즘은 수질측정망 설계에 통계학적인 기법과 최적화 기법을 도입한 전형적인 예라고 할 수 있겠다. DESIGN 알고리즘은 ANOVA 기법과 Modified Gradient Search 기법을 사용하여 수질측정망 운용에 필요한 소요경비와 획득된 정보의 통계적인 power(생태계의 변화가 실제로 발생하였을때 그 사실을 탐지할 수 있는 확률,  $1 - \beta$ , 여기서  $\beta$ 는 Type II error)간의 교환가치의 비교평가(tradeoff study)를 통하여 경제적이고 효율적인 수질측정망을 설계할 수 있도록 한다.

### 3. 수질측정망 설계의 개념적 모델

여기에 소개된 수질측정망 설계기법은 비점오염원에 의한 수질오염의 영향이나 생태계의 변화를 효율적으로 탐지식별할 수 있도록 개발되어진 컴퓨터화된 기법이다. 이 기법의 개념적인 흐름도(flowchart)가 그림 1에 제시되어 있다.

수질측정망 설계의 첫번째 단계는 왜 수질측정망을 운용하려하는지에 대한 구체적인 시행목표를 정의하는 일이며 이에 따라 수질측정망 설계를 위한 수계분석의 수준이 결정되어진다. 수계분석은 수계내 수질오염문제의 성격을 분석하는

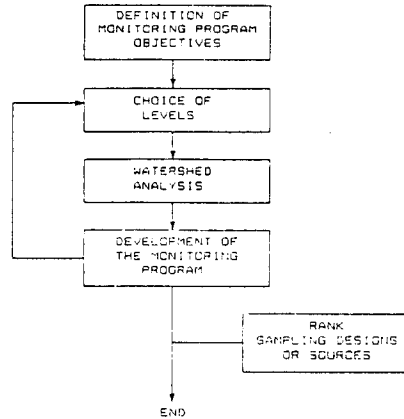


그림 1. 수질측정망 설계의 개념적 모델

과정으로써 그 결과에 따라 수질측정망 운용의 목표에 부합되는 설계안을 개발하게 되는 것이다.

#### 가. 수질측정목표

수질측정망 설계의 첫 단계는 수질측정을 실시하려는 목표를 구체적이고 명확하게 정하는 일이다. 수질측정망 운용형태는 그 운용목적에 따라 세가지 유형으로 구분할 수 있다.

- 예비점검 차원의 수질측정 : 특정시점에 수질문제가 존재하는지의 여부를 결정하거나 기초 자료를 획득하기 위하여 실시한다.
- 환경역학적 차원의 수질측정 : 특정 변수의 시간적 또는 공간적 변화여부를 탐지식별하기 위하여 실시한다.
- 법규시행 차원의 수질측정 : 수질기준이 준수되고 있는지 여부를 확인하기 위하여 또는 시행중인 수질관리 방안의 효과를 평가하기 위하여 실시한다.

#### 나. 수계분석 수준

시간적 경제적 제한요소와 수질측정 목표를 고려하여 다음의 세단계중 적절한 수계분석 수준을 결정한다.

- 1단계 : 저렴한 비용과 짧은 기간소요
- 2단계 : 1단계와 3단계의 중간 수준에 해당
- 3단계 : 철저한 분석을 필요로 하며 많은 비

용과 오랜 기간소요

어느 수준의 수계분석을 선택할 것인지는 가용한 자원과 수질측정망 운용 목표에 따라 달라지게 된다. 예를 들어, 수질측정망 운용 목표가 특정시점에 수질오염문제가 존재하는지의 여부를 결정하는 것이라면 1단계수준으로써 가능할 것이다. 그러나, 만일 범규시행 차원의 수질측정을 하려 한다면 2단계 내지는 3단계 수준의 수계분석이 요구될 것이다.

#### 다. 수계분석

수계분석의 목적은 다음의 세가지로 요약될 수 있다.

- 수계내의 오염발생과 연과 되어질 수 있는 수계의 제반 특성과 오염발생가능성이 높은 지역들을 파악한다.

- 수계내의 각 지역에 대한 오염부하량을 산정한다.

- 극심한 수질의 악화가 예상되는 지점이나 오염물질의 유입이 심각한 지점을 찾아낸다.

수계내의 제반 특성이나 오염발생의 소지가 높은 지역에 대한 조사는 수계분석에 소요되는 자료를 획득하기 위하여 반드시 필요한 절차로써 다음과 같은 방법으로 실시한다.

1) 해당 유역에 대한 지도나 기존의 연구보고서를 이용하여 수계내의 토지이용, 토양분포, 수문학적 특성, 지형분포 등에 대한 자료를 획득한다.

2) 수계내에서 지표면유출(runoff)이 발생할 가능성이 높은 지역이나 토양이 노출된 지역을 찾아낸다. 이러한 지역들은 종종 오염발생량에 있어서 주변지역들을 훨씬 초과하는 경우가 많으므로 특별한 관심을 기울일 필요가 있다. 이러한 지역들로는 벌목지역, 건설현장, 농경지, 골재채취지역, 상업중심지, 산업시설이 들어선 지역, 주요 고속도로 등을 들 수 있다

다음단계는 컴퓨터 스프레드시트(spreadsheet)기법을 사용하여 수계내의 각 지역에 대한 오염부하량을 산정하는 일이다.

1) 10 × 10격자(grid system)를 유역지도 위에 설정한다.

2) 격자의 각 방안(cell)에 대한 오염발생량을 산정한다. 요구되어지는 분석수준에 따라 map overlay기법이나 오염발생량을 추정할 수 있는 모델을 사용한다.

3) 그래픽 패키지를 이용하여 유역내의 각 방안에 대한 오염발생량을 3차원 히스토그램으로 나타낸다.

4) 실제 하천으로 유입가능한 오염부하량을 산정한다.

만일 수계내의 토지이용에 변화가 생기거나 새로운 정보가 입수되었을 때에는 해당되는 방안(cells)에 새로운 데이터를 제입력함으로써 간편하게 수계분석을 할 수 있다.

다음 단계로 점오염원과 비점오염원의 상대적인 오염부하량의 크기와 유입지점을 결정하기 위하여 Stick Model을 적용한다. 이 모델에서 하천은 일련의 일직선 구간으로 표시된다. Stick model적용절차는 다음과 같다.

1) 하천으로 유입되는 점오염의 목록을 작성하고 이들의 유입지점과 부하량을 파악한다.

2) 비점오염원으로부터의 오염물질이 지속성(conservative)인지 아닌지를 결정하여 만일 지속성 물질일 경우 각 방안의 중앙지점으로부터 하천에 유입되는 것으로 간주하고 비지속성(nonconservative)일 경우 방안내의 전 지역으로부터 균일하게 유입되는 것으로 간주한다.

3) 지류는 동산 점오염원으로 취급한다.

4) 점오염원과 비점오염원의 유입지점과 오염부하량은 각각 다른 색(color)과 패턴을 사용하여 히스토그램으로 나타낸다.

5) 비지속성 오염물질에 대해서는 적절한 하천수질모델(예를 들어 BOD와 용존산소의 관계에 대해서는 Streeter-Phelps Equation, Fecal Coliform에 대해서는 Exponential Dieoff)을 적용한다.

6) 수질기준을 초과하거나 심각한 수질악화가 예상되는 지점을 결정한다.

**라. 수질측정망의 설계**

수계분석의 결과는 수질측정망의 설계중점을 제시해준다. 가장 먼저 고려되어야 할 사항은 하천수질에 지배적인 영향을 미치는 요인이 점오염원에 의한 것인지 또는 비점오염원에 의한 것인지를 결정하는 일이다. 만일 수계분석의 결과 점오염원이 지배적인 수질오염원이라면 수질측정망의 중점은 법규시행의 차원에서 점오염원들로부터의 폐수방출이 수질기준을 준수하고있는지 여부를 결정하는 일이 될 것이다. 만일 모든 점오염원들로부터의 폐수방출이 수질기준을 벗어나지 않는데도 수질의 악화가 심각할 경우 비점오염원에 대한 조사가 고려되어야 할 것이다. 수계분석결과 비점오염원이 수질악화의 주된 요인으로 밝혀졌다면 예비점검 차원이나 환경역학적 차원의 수질측정망의 설계가 고려되어야 할 것이다.

일단 수계내의 오염물질 유입지점과 수질악화가 우려되는 지점들이 결정되고나면 DESIGN 알고리즘을 이용하여 수질측정망을 설계한다.

**4. 스웨덴 Svarta River 유역 수질측정망 설계**

스웨덴 Svarta River에 대한 수질측정활동은 1955년부터 시작되었다. 그 당시의 수질측정망 운용의 주요목표는 점오염원들이 수질에 미치는 영향을 평가하는데 국한되어 있었다. 1960년대 중반과 1970년대 중반 사이에 스웨덴 정부는 폐수처리시설(3차 처리)에 막대한 투자를 하였으며 그 결과 점오염원으로부터의 오염부하량은 현저히 감소되었다. 그러나, 점오염원으로부터의 오염부하량이 현저히 감소된 후에도 수질오염은 여전히 문제가되고 있는데 이는 하천으로 유입되는 오염물질의 상당량이 비점오염원들로부터 발생되어졌을 것이라는 추측을 가능케한다.

**가. Svarta River 유역**

스웨덴 남부에 위치한 Svarta River의 원류는 Nassjo에서 기원하여 Lake Roxen으로 유입된

다. Svarta River 유역의 총면적은 약 3,440km<sup>2</sup>이다. 이 연구는 Svarta River 유역 중 Lake Sommen에서 Lake Roxen에 이르는 II, III 지역(면적 1,520km<sup>2</sup>)에 대하여 실시되었다(그림 2).

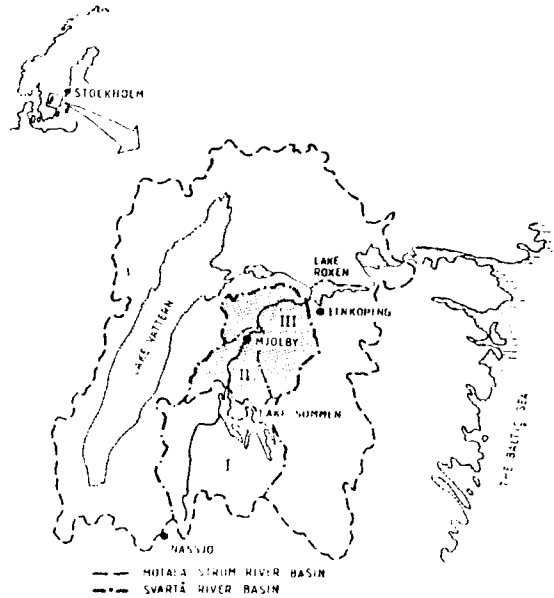


그림 2. Svarta River 유역

이 지역의 연평균 강수량은 약 600mm이며 토지이용은 농경지, 산림임업지와 몇개의 소도시들로 구성되어있다. 이들 도시중 가장 규모가 큰 것은 Mjölby(인구 17,000)와 Boxholm(인구 4,000)이다.

**나. Svarta river의 기존 수질측정망**

최초의 Svarta River 수질측정망은 1955년 개발되었다. 그 당시에는 대부분의 도시폐수와 산업폐수들이 근교의 하천으로 직접 방출되었다. 이들 점오염원으로부터의 폐수유입으로 인한 지표수오염은 근처의 도시들에 대한 상수공급에 커다란 위해요소로 등장하게 되었다. 이러한 연유로 초기의 수질측정 노력은 박테리아와 용존산소에 집중되었다.

1966년 질소와 인과 같은 영양염류에 대한 측정이 추가되었는데 이는 그당시 호수와 하천들이 부영양화현상을 나타내게됨에 따라 이들 영양염류에 대한 관심이 고조되었기 때문이다. 1975년

에는 또다시 10개의 측정항목이 추가되었고 측정 횟수도 년 1내지 3회에서 년 4회로 증가되었다. 1980년 6개의 측정항목(유량, TP, TN, O<sub>2</sub>, Organic Carbon, BOD)에 대한 측정횟수를 년 4회에서 12회로 증가되었다.

이러한 수질측정망의 변천이 효율적인 수질측정망 개발을 위한 노력을 반영한 것이기는 하지만 비점오염원들에 대한 충분한 고려가 되어있지 않은 상태이며 수질측정망 운용의 경제성 및 효율성이라는 측면에서 더욱 개선될 여지가 있는 것으로 판단된다.

#### 다. 수질측정망 설계기법의 적용

##### 1) 수질측정 목표

Svarta River 유역에 대한 연구의 근본목적은 기존의 수질측정망을 수정보완하여 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원들이 수질에 미치는 영향까지도 파악통제할 수 있도록 하는데 있다. 이를 위하여 다음과 같은 목표들이 설정되었다.

가) 농경지로부터 유출된 토사와 영양염류가 수질오염을 유발시키고 있는지의 여부를 결정한다.

나) Mjolby에서 지표면유출시 하천으로 유입되는 도시 오염물질들이 수질에 미치는 영향을 평가한다.

다) 점오염원들과 비점오염원들로 부터의 오염부하량을 산정비교한다.

측정되어질 항목의 선정은 수질측정목적에 의해 결정된다. 농경지로부터의 오염물질 유입을 평가하기 위하여 TSS와 TP, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N을 측정하기로 했다. Mjolby로 부터의 오염물질 유입을 평가하기 위하여 위의 항목에 납(Pb)을 추가하기로 했다.

##### 2) 수계분석

이 연구에서는 1단계 수준의 수계분석을 하였으며 시간과 자금의 제약상 현장탐사와 항공탐사는 생략되었다. 수계내의 제반 특성과 오염발생 가능성이 높은 지역에 대한 조사는 기존의 연구 보고서와 각종 지도들(지형도, 지질도, 경계/

토지이용도 등)로 부터 획득되었다.

이미 언급된 바와 같이 유역의 연평균 강수량은 약 600mm정도이고 계절적으로 사계가 뚜렷하다. 가을우기와 해빙기인 봄에는 유량이 크게 증가하며 여름과 겨울동안은 유량이 현저히 감소한다. 토양은 대부분 glacial 또는 postglacial clay이고 북부와 동부쪽은 fine silt, Lake Gommen 근처는 glacial fluvial과 모래와 자갈이 혼합된 퇴적층이고 구성되어 있다. Svarta River의 표고는 Lake Roxen 근처에서 해발 33m이며 Lake Sommen 근처에서는 해발 146m이다. 수계 내에서 가장 높은 지대의 표고는 해발 243m에 이른다. 수계의 북부와 동부는 주로 농경지이고 남부와 서부는 대부분 산지이며 하천유역을 따라 농작물 재배가 이루어지고 있다.

도시주거지역은 Mjolby, Boxholm, Skanninge, Mantorp와 Vikingstad에 집중되어 있다. 이 지역에 가장 많이 재배되고 있는 농작물은 호밀, 밀, 보리 등의 곡물류이며 그외에도 감자와 딸기도 많이 재배되고 있다. 대부분의 산림지역은 복재생산에 이용되고 있는데 식수후 80년 주

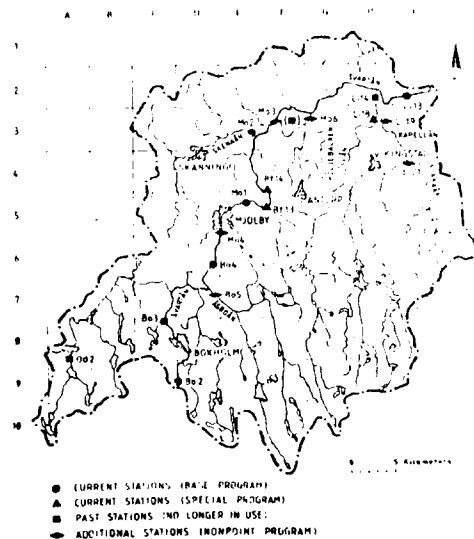


그림 3. Svarta River의 연구대상 지역

기로 목재를 생산하고 있다.

10 × 10격자를 사용하였으며 격자의 방안

USLE가 사용되었으며 TP, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N 부하량은 해당 지역의 토지사용을 고려한 potency

표 1. USLE TSS 부하량 Matrix(TSS. tons/year)

Sediment loading (Y(s) R K LS C P A Sd)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1 ... 0	0	0	0	0	11	184	362	727	0	0
2 ... 0	0	0	384	564	319	1,011	1,262	1,648	991	0
3 ... 0	0	0	632	438	606	1,549	1,116	1,220	399	0
4 ... 0	0	0	634	619	527	906	815	1,156	935	60
5 ... 0	0	0	527	714	473	630	496	761	633	499
6 ... 0	93	181	845	949	734	392	1,047	546	213	
7 ... 25	34	387	479	333	210	199	252	405	0	
8 ... 43	122	257	28	284	39	55	138	74	0	
9 ... 123	35	14	27	57	72	18	33	9	0	
10 ... 85	2	0	8	16	251	9	0	0	0	

Sum = 32,929 tons TSS

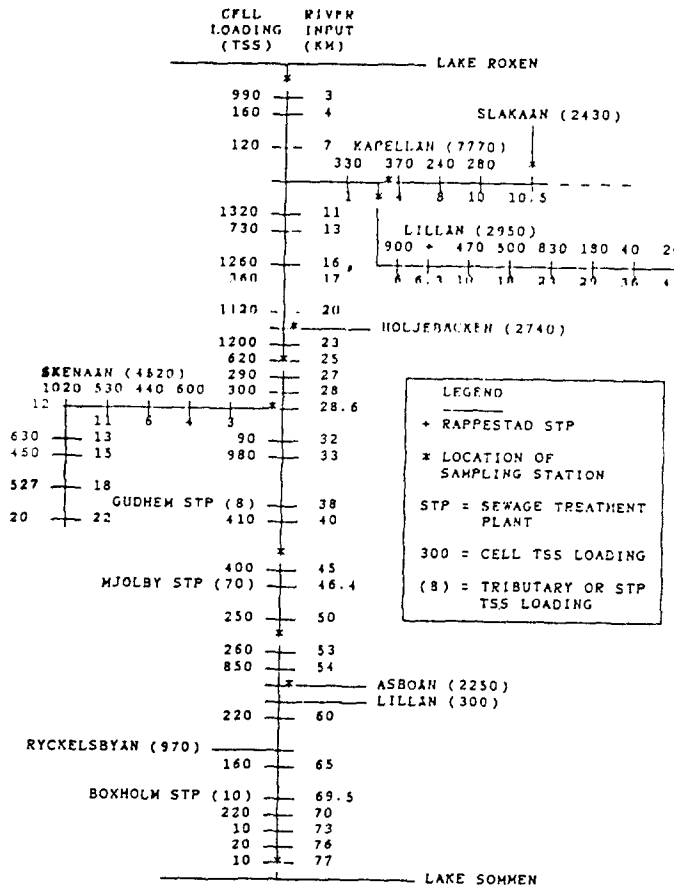


그림 4. Svarta River의 TSS 부하량 Stick model

(cell)의 크기는 25km<sup>2</sup>를 나타낸다(그림 3).

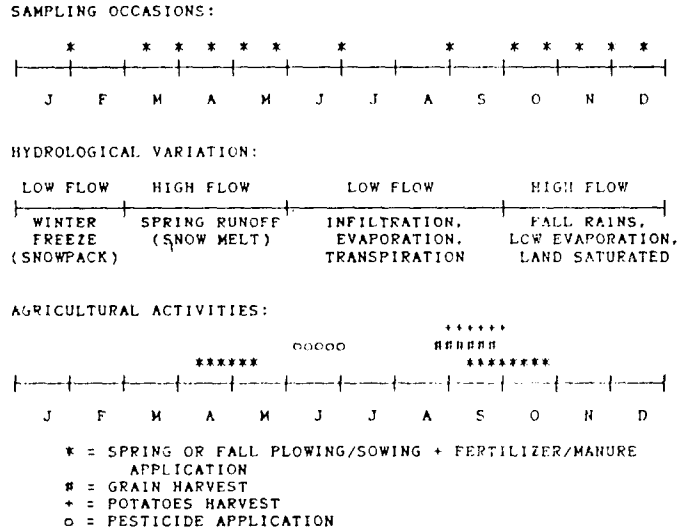
각 방안에서의 TSS부하량을 산정하기 위하여

factor를 TSS 부하량에 적용하여 산정하였다.

USLE로 부터 산정된 TSS 부하량을 살펴보면

수계의 북부지역(H2, F3, G2, H3, H4, G3)에 가장 많은 오염부하량을 나타내고 있다(표 1).

동 등의 변화 등에 영향을 받게된다. 오염부하량은 연중 변화하게되며 특히 지표면유출 및 유량과



· 그림 5. Svartha River 유역의 수문현상과 영농활동 패턴

유역으로 부터의 연간 총 TSS 부하량은 33,000톤에 이르는 것으로 산정되었으며 TP와 NO<sub>3</sub>-N은 각각 51톤과 435톤으로 산정되었다. 그림 4는 Svartha River와 그 지류들에 대한 TSS 유입지점과 부하량을 나타내고 있다.

### 3) 수질측정망의 설계

산정된 오염부하량이 유역전체 부하량의 5% 이상일 경우에 그 유입지점에 수질측정지점을 설치하였다. 이와 같은 기준에 의하여 Svartha River 지류상에 6개의 지점(Li19, M02, Li18, M06, Li21, B05)이 선정되었다. 만일 10%를 기준으로 했다면 M06(8%), M02(7%), B05(7%), 는 제외되었을 것이다. Mjolby로부터 유입되는 오염부하량을 산정하기 위한 목적으로 Lake Sommen 하구부분(B02)과 Lake Roxen 유입부(Li13)에 수질측정지점을 선정하였다. 그리고 Skenaan으로부터의 저류가 합류되는 지점 하류(M03)에 또 하나의 측정지점을 선정하였다.

수질측정빈도의 결정은 수계내의 수문학적 특징과 자연적인 요인들, 계절에 따른 오염발생할

직접적인 상관관계에 있다. 따라서 측정빈도를 유량과 계절적인 오염생량의 변화를 고려하여 측정빈도수가 높은 시기와 낮은 시기로 분리하는 것이 보다 효율적인 수질측정방법이라고 할 수 있겠다. 수문현상은 해마다 약간씩 차이는 있으나 기본적인 패턴은 일정하다(그림 5).

겨울동안에는 빙점이하의 저온이 계속됨으로써 적설은 녹지않게되고 지표면유출은 거의없는 상태이다. 봄에는 기온상승에 따라 겨울동안 쌓였던 눈이 녹게되어 유량은 최고수준에 도달한다. 여름 몇개월 동안은 높은 증발율과 토양침투로 말미암아 갈수기를 형성하게되며 가을 우기에는 토양의 수분이 포화상태가되고 증발이 감소하여 유량은 다시 최고수준으로 증가한다. 수계내의 농업활동도 역시 해마다 그 양상이 일정하다. 봄(4-5월)에 비료를 시비하고 파종하여 8월말에서 9월 사이에 곡물류를 수확하고 9월에서 10월 사이에 감자수확을 한다. 농약의 살포는 농작물의 성장이 왕성한 초여름(6월)에 대부분 실시되고 있다. 효율적인 수질측정을 위해서는 지표면유출과 오염발생량이 많은 봄과 가을에 집중적

인 수질측정이 이루어져야 하겠다. 이러한 점을 고려하여 선정된 수질측정시기가 그림 5에 제시되어 있다.

#### 4) 새로운 수질측정망에 대한 평가

획득된 정보의 질과 정보획득에 소요된 비용으로부터 수질측정망의 전반적인 효율성이 결정된다. 최적의 설계는 최소의 수질측정비용으로 소기의 목적을 달성할 수 있도록 수질측정망을 설계하는 것이다. 새로 설계된 수질측정망은 기존의 수질측정망과 다음과 같은 차이점을 갖고 있다.

- 수질측정지점 : 기존의 4개의 수질측정지점으로 구성된 기본수질측정망은 비점오염원으로부터의 오염물질 유입지점과 부하량을 평가하기에 미흡하다. 앞에서 정의했던 목표(가)를 달성하기 위해서는 최소 둘(Li18, Li19) 또는 최대 5개 측정지점(Li18, Li19, Li21, B05, M06)이 추가되어야 한다.

마찬가지로 목표(나)를 위해서는 Mjolby바로 상류지점(M04)에 또 하나의 측정지점이 추가되어야 한다. 새롭게 선정된 측정지점들은 점오염원과 비점오염원의 비교를 더욱 용이하게 할 것이다(목표(다)).

- 측정항목의 선택 : 수질측정망 운용목표에 부합되도록 측정항목을 결정해야 한다. 기존의 20여개의 항목에서 단지 6개의 항목(유량, TSS, TP, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, Pb)으로 줄였다. 측정항목의 선별적인 축소는 비용과 시간의 절약을 통하여 보다 효율적인 수질조사가 이루어 질 수 있도록 할 것이다.

- 측정빈도 : 측정빈도는 기존의 연가 6배지

12회에서 13회로 증가되었다. 측정빈도를 유출과 오염발생시기를 고려하여 이원화하였다. 계절적인 변화요인들을 고려하여 오염발생과 유출이 많은 시기에 집중적인 수질측정이 이루어지도록 하였다.

참고로, 여기에 소개된 컴퓨터화된 기법은 IBM-PC AT/XT 호환기종인 개인용컴퓨터(DOS version 3.1이상, 초소 256K 메모리)에서 사용할 수 있도록 개발되었다.

#### 참 고 문 헌

- Horner, R.R., Mar, B.W., Reinelt, R.E., Richey, J.S. and Lee, J.M. 1986. *Design of monitoring programs for determination of ecological change resulting from nonpoint source water pollution in Washington State*. Final Report, Washington State Department of Ecology, Olympia, WA., U.S.A.
- Mar, B.W., Lettenmaier, D.P., Horner, R.R., Richey, J.S., Palmer, R.N., Millard, S.P., MacKenzie, M.C., and Lund, J.R. 1986. *Sampling design for aquatic ecological monitoring. Final Report*, Project No. RP1729-1, electric Power Research Institute, vol 1-5, Palo alto, CA., U.S.A.
- Reinelt, R.E., Castensson, R., and Horner, R.R. 1987. *Modification of an existing monitoring program to address nonpoint source polluting*. Vatten 43:199-208.

→ 410면에서 계속

적용성의 제약을 따른 홍수량에측의 정도를 높이기 위하여 상태 및 변수의 초기추정과 시스템 및 관측잡음에 의한 상태와 변수의 추기공분산추정에 대하여 강우·유출모형의 추계학적 특성에 관한 연구와 강우에측모형과의 결합을 통하여 모형의

적용성을 높일 수 있는 연구가 추가되어야 한다. 그리고 저수지추적을 포함한 저수지 운영모형과 연계시켜 홍수시 실시간 저수지 운반방안을 통하여 수자원의 효과적인 관리와 운영을 할수 있는 연구가 필요하다.