

## 승기천 유역의 오염물 유출특성 및 수질관리방안 연구

서형준 · 정상원 · 박미옥 · 이병렬

인하대학교 환경공학과

### A Study on the Runoff Characteristics and Water Quality Management of Seung-Gi Stream Area

Hyung-Joon Seo · Sang-Won Chung · Mi-Ok Park · Byung-Ryul Lee  
Dept. of Environmental Engineering, Inha University

#### 요 약

본 연구는 인천광역시의 주요 하천인 승기천의 현재 오염현황과 특성, 오염원을 분석하고 승기천 회복방안 마련을 위한 기초자료를 얻기 위해 수행되었다. 승기천을 5 구간으로 나누어 10 회에 걸친 시료채취를 하였으며, 유량, pH, DO, SS, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, T-P, TKN 등과 Zn, Cd, Cu, Cr 원소의 농도를 측정하여 강우와 무강우시 승기천으로 유입되는 각 구간별 오염부하특성, 연간 오염부하량을 산정하였다. 남동공단이 밀집해 있는 하류구간으로 갈수록 구간별 유입부하가 매우 컸으며 전 구간에 걸쳐 하천 수질 환경기준을 크게 상회함을 알 수 있었고, 인천연안 오염에 큰 영향을 끼칠 것이 우려되었다. 이를 해결하기 위한 방안으로 승기 하수처리장 처리수, 승기 하수처리장 처리수의 URC(ultra rapid coagulation) 재처리수의 순환과 승기천으로 직접 유입되는 하폐수를 차집 처리하는 것을 가정하여 수질을 예측해 봄으로써 승기천의 하천으로서의 역할 회복 방안을 모색해 보았다.

ABSTRACT : This study was conducted to provide a basic information for recovery plan of Seung-Gi Stream which is a major stream of Incheon metropolitan area. Source and characteristics of pollutants were analyzed and studied. Samples were taken 10 rounds in 5 sections in Seung-Gi stream. Annual pollutants loads and sectional characteristics of pollutants loads were investigated regarding flow rate, pH, DO, SS, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, T-P, TKN and concentrations of Zn, Cd, Cu, Cr atoms which enter into Seung-Gi stream during rainy and dry season respectively. As one came close to the Nam-Dong Industrial Complex, sectional discharge loads were heavy and water quality was failed to meet the standard by "Environmental Standard of River Quality". As a result, heavy load of pollutants in Seung-Gi stream was considered to influence negatively the sea water quality of Incheon. Solution plans to solve problems are as follows. First, circulation of treated water at Seung-Gi WWTP(Wastewater Treatment Plant) and retreated water by URC(ultra rapid coagulation) process treat with that. Second, sewage and wastewater is gathered, make it disposed. After then, we circulate treated water. If solution plans be applied, we can predict water quality. Then we could grope for how make to recovery role of Seung-Gi stream as stream.

## 1. 서 론

하천으로 유입되는 오염물질은 그 발생원에 따라 점오염부하와 비점오염부하로 구분된다. 점오염원은 생활하수, 산업폐수 등이고 비점오염원은 유역이나 하상에 존재하는 면적 오염물질로써 산림, 초지 등의 토양계부하, 전답 등의 농지계부하, 하상퇴적물의 하천계부하, 노면 혹은 포장지역에서 배출되는 도시배수계부하가 여기에 포함된다[1].

최근의 많은 연구사례를 검토해 보면 분류식 관거에서 나온 우류수나 합류식 관거의 월류수는 방류수역으로 막대한 오염물질을 배출하고 있는 것으로 조사되고 있다. 특히 점오염원에 비해 비점오염원에서 강우시에 우수를 배개로 노면 및 토양 등에 축적되어 있던 오염물질이 일시에 배출되기 때문에 유입부하에 상당한 영향을 미치는 것으로 지적되고 있다[2].

본 연구에서는 승기천 유역 내 인구, 점오염원 등 관련자료와 실측지점을 선정하여 승기천 전체 구간별의 강우와 무강우시 오염부하량을 측정하고 요인을 파악하여 승기천의 수질개선대책수립에 있어서 중요한 기초자료로 삼는 것을 목표로 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 승기천

조사지점은 인천광역시 남동구와 연수구 사이를 흐르는 승기천으로 유로연장 10.33 km, 평균폭 3.25 km, 유역면적 33.58 km<sup>2</sup>에 달하며, 특히 지역주민의 친수공간으로서의 역할을 완전히 상실하였고 현재 생태학적으로도 매우 심각한 상태이다[3].

인천광역시 오염권역 구분의 제1권역인 승기천으로 하수가 유입되는 지역은 연수구, 남동구의 거의 모든 지역과 남구의 일부가 이곳에 포함된다. 그러나 승기하수처리장에서 하루처리 계획량 24 만톤으로 연수구 전체를 비롯한 대부분 지역의 하수를 차집해 처리함으로써 실제 승기천에 오염부하영향을 주는 지역은 남동공단이 주된 것으로 예상된다[4].

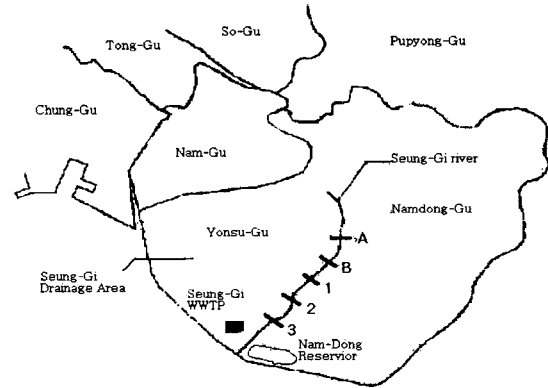


Fig. 1. Sampling points in Seung-Gi stream.

### 2.2 조사지점

시료채취는 승기천을 5 구간으로 나누어 강우와 무강우시 시행하였으며, Fig. 1에 시료채취지점을 나타내었다.

A, B 구간은 승기하수처리장에서 차집을 함으로 인해 유량이 거의 없는 상태이므로 1일 1회 채취하고, 1, 2, 3 구간은 주변 공단, 상가, 주택가로부터 유입되는 하수로 인해 어느 정도의 유량을 유지하고 있으므로 무강우시는 일정 기간 3 ~ 4 시간 간격으로 채취하고 강우시는 강우 시작부터 1 ~ 3 시간 간격으로 무강우시의 평균수위를 되찾을 때까지 채취하였다. 조사구간은 A 구간 : 농산물도매시장 ~ 승기교, B 구간 : 승기교 ~ 선학교, 1 구간 : 선학교 ~ 연수교, 2 구간 연수교 ~ 남동대교 상류철교, 3 구간 남동대교 상류철교 ~ 동춘교로 설정했다.

### 2.3 조사기간

조사기간은 2000년 5월 19일부터 2001년 2월 5일까지 강우시와 무강우시로 구분하여 측정하였고 강우시 5회, 무강우시 5회의 시료채취를 연구자료로 삼았다. Table 1에 채취일시와 기간, 강우량을 나타내었다. 이때 강우량은 직접 측정하지 않고 인천기상대의 자료를 이용하였으므로 실제 현장에서 느끼는 강우량과는 다소 차이가 있었다.

Table 1. Sampling Date, Duration and Rainfall

	Rainy 1st	Rainy 2nd	Rainy 3rd	Rainy 4th	Rainy 5th
Date	2000.5.19~5.20	2000.8.4~8.5	2000.8.31~9.1	2000.10.2~10.3	2000.11.16~11.17
Duration	24 hr	34 hr	30 hr	14 hr	24 hr
Rainfall	5.9 mm	26.1 mm	50.8 mm	0.6 mm	10.1 mm

	Dry 1st	Dry 2nd	Dry 3rd	Dry 4th	Dry 5th
Date	2000.6.7~6.8	2000.7.18~7.19	2000.10.19~10.20	2001.1.16~1.17	2001.2.5~2.6
Duration	24 hr	24 hr	24 hr	24 hr	24 hr

이런 이유로 시간별 강우량이 아닌 누적강우량을 이용하였으며, 이는 인천지역의 경우 평탄한 지역에 해당하며 관측소 1 개당 600 ~ 900 km<sup>2</sup>의 범위를 측정할 수 있기 때문이다[5].

2.4 측정 및 분석

승기천에서는 시료채취시 퇴적물이 혼입되지 않도록 유의하였으며, 채수 지점의 수질을 대표할 수 있도록 유심근처에서 채취하였다. 채수 후 수질변화를 최소화하기 위하여 4 ℃로 보관하여 실험실로 운반하였고 시간에 따른 변화가 큰 항목(pH, DO)에 대해서는 채수 즉시 분석하였다. 유량의 현장관측시 유속계의 유속값을 보장할 수 있는 수심을 확보할 수 없었기 때문에 표면유속을 측정하였으며, 공정시험법에 나와있는 기준을 통해 평균유속 산정시 계수 0.75를 곱하였고, 실험방법은 Standard Methods와 공정시험법을 따랐다[6, 7].

분석측정항목은 각 시간대별 유량과 pH, DO, SS, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, Total Kjeldahl Nitrogen(TKN), Total Phosphorus(T-P), 중금속(Zn, Cd, Cu, Cr)의

농도를 측정하여 그로부터 각 오염물질의 부하량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 무강우시 유입부하

무강우시 승기천에 미치는 각 구간별 연간 오염도를 알아보기 위해서 구간별 연간 유입부하량으로 표현하기로 하였다. 유량가중평균농도(C), 연간 무강우 일수(d), 일 평균 유량(Q)을 곱하여 이를 산정하였다.

$$\text{연간 유입부하량} = C \times d \times Q \quad (1)$$

무강우시 유입부하 산정을 위한 기간을 2000년 3월 1일부터 2001년 2월 28일까지로 정했으며, 기상청 자료를 이용하여 5mm 이상의 강우일수를 제외한 무강우일은 319 일이었다. 식 (1)을 이용하여 전체 부하량과 각 구간의 부하량을 구했고, 전구간과 후구간의 차를 구해 각 구간의 유입부하량을 Table 2 에

Table 2. Sectional Annual Pollutants Discharge Load in Seung-Gi Stream during Dry Season

	SS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TKN	T-P	Zn	Cd	Cu	Cr
1 section	93.2	256.0	350.7	39.6	9.4	0.4	0.01	0.6	0.2
2 section	137.0	264.4	408.3	59.7	12.6	2.6	0.09	2.0	3.0
3 section	144.5	270.8	512.0	63.9	15.6	3.0	0.08	1.7	3.4
Total	374.7	791.2	1271	163.2	37.6	6.0	0.18	4.3	6.6

(Cr : T-Cr, unit : ton/year)

나타내었다.

각 구간별 유입 부하는 구간누적부하에서 전구간 누적부하의 차를 이용하여 그 구간만의 유입부하를 산정하였으며, 구간별 특성을 알고자 하였다.

BOD5의 경우 전구간에서 비슷하나 그 외의 경우는 하류구간으로 갈수록 구간 유입부하량이 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 중금속의 경우 2, 3 구간에서 급격히 증감함을 보였다. 이는 2, 3 구간에 밀집되어 있는 남동구 남동 제 1, 제 2 공단으로부터의 오염물 유입부하로 인한 것으로 판단되었다.

### 3.2 강우시 유입부하

강우시 승기천의 오염물 유입 부하를 산정하기 위해서 무강우시와 같이 기간을 2000년 3월부터 2001년 2월까지로 정했으며, 5mm/d 이상의 강우를 유효 강우로 정하고 누적강우량과 유출계수와의 관계, 누적강우량과 총유출부하량과의 관계는 다음 식 (2) 와 Table 3을 이용하였다. 이는 1999년 RRC 연구과제인 '승기천 유역의 강우 및 무강우시 오염물 유출특성'에서 구한 것으로 본 연구 결과와 큰 차이를 보이지 않아 그대로 적용하였다[8].

$$C = 0.0038 \times P^{0.9948} \quad (2)$$

C : 유출계수

P : 강우량

Table 3. Relative Equation between Cumulative Rainfall and Total Discharge Load

	Relative equation	R <sup>2</sup>
SS	Load = 0.0742 · Rainfall - 1.0975	0.9331
BOD <sub>5</sub>	Load = 0.0098 · Rainfall - 0.0599	0.9704
COD <sub>Cr</sub>	Load = 0.0276 · Rainfall - 0.1650	0.9783
TP	Load = 0.0004 · Rainfall + 0.0029	0.8958
TKN	Load = 0.0042 · Rainfall - 0.0433	0.9530

(unit : Load(ton/km<sup>2</sup>), Rainfall(mm))

식 (2) 를 이용하여 각 강우량에 따른 유출계수를 구하고 기간내의 강우빈도를 이용해 승기천의 유출유량을 계산해내고 이를 Table 4 로 나타내었다. 식을 이용한 총유출유량은 5,407,937m<sup>3</sup> 이며, 여기서 2000년 8월 25일의 137.1mm의 강우량은 태풍의 영향으로 큰 강우가 3일전부터 있어 실제 부하에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되어 계산에서 제외했다.

Table 4. Estimated Quantity of Discharge Runoff by Runoff Coefficient

Rainfall (mm)	coefficient	Times	Discharge runoff(m <sup>3</sup> )
5	0.0188	16	50,616
10	0.0375	10	126,085
15	0.0562	5	141,547
20	0.0748	3	150,758
25	0.0934	1	78,429
30	0.0112	0	0
35	0.1306	2	306,903
40	0.1491	0	0
50	0.1862	2	625,172
60	0.2232	1	449,697
70	0.2602	2	1,223,159
80	0.2972	0	0
90	0.3341	1	1,009,688
100	0.3710	1	1,245,846

승기천의 강우시 각 강우량에 따른 SS, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, TKN, T-P의 총배출량을 식 (2) 와 Table 3, Table 4 를 이용하여 다음 Table 5 와 같이 계산하였다.

### 3.3 전체 부하량

승기천의 강우시와 무강우시를 고려한 연간 총 오염유입량을 계산하면 Table 6 과 같다.

Table 5. Total Pollutants Discharge Quantity by Rainfall

Rainfall(mm)	Times	SS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TKN	T-P
5	16	0	0	0	0	2.6
10	10	0	12.8	37.3	0	2.3
15	5	2.6	14.6	41.8	3.3	1.5
20	3	38.9	13.7	39.0	4.1	1.1
25	1	25.4	6.2	17.6	2.1	0.4
30	0	0	0	0	0	0
35	2	100.7	19.0	53.8	7.0	1.1
40	0	0	0	0	0	0
50	2	175.5	28.9	81.6	11.2	1.5
60	1	112.6	17.7	50.1	7.0	0.9
70	2	275.1	42.0	118.7	16.8	2.1
80	0	0	0	0	0	0
90	1	187.4	27.6	77.9	11.2	1.3
100	1	212.3	30.9	87.1	12.6	1.4
Total	44	1130.6	213.5	604.8	63.0	16.4

(unit : ton)

Table 6. Annual Total Pollutants Discharge Load in Seung-Gi Stream

SS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TKN	T-P
1505.3	1004.7	1875.8	226.2	54.0

(Duration : 2000. 3~2001. 2, unit : ton)

Table 6 의 연간 전체 오염부하량을 살펴보면 SS의 경우는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, TKN, T-P와 다르게 무강우시보다 강우시의 영향을 크게 받으며 이는 1년 중 44 일의 강우일수에 연중 SS 전체부하의 75.1 %가 유입되는 것으로 알 수 있다. 반면 BOD<sub>5</sub>의 21.3 %, COD의 32.2 %, TKN의 27.9 %, TP의 30.4 %가 강우시 유입되었다.

### 3.4 구간별 침투 유량과 침투 부하량의 관계

강우시 침투 유량과 각 오염물 유입의 침투량간의 시간지체 현상은 유역면적, 지반구조와 그 면적비율에 영향을 받는다고 알려져 있다.

본 연구의 5 회에 걸친 강우시 시료채취 중 2000년 10월 2일을 제외한 나머지 시료채취에서 비슷한 경향을 보였다. 2000년 10월 2일의 경우 누적강우량이 0.6 mm, 시간당 최대강우강도 0.4 mm (이상

기상청 자료 인용)로 강수량이 매우 적은 것을 고려해 볼 때 강우시 승기천에서 볼 수 있는 침투 유량과 침투 부하량의 관계는 특별한 인자가 적용되지 않는 한 비슷하다고 예측하였다. 1 구간은 침투 유량이 강우 시작 후 1 ~ 2 시간 후 나타난 것에 비해, 2, 3 구간은 2 ~ 3 시간 후에 나타났다. 침투 부하량은 1 구간이 침투 유량이 나타나기보다 조금 앞선 시간 또는 비슷한 시간에 나타났으며, 2, 3 구간은 침투 유량과 비슷한 시간에 나타났으며 조금 늦게 나타나는 경향을 보이기도 했다. 이는 승기천으로의 직접 유입과 그로 인한 짧은 유입 시간을 갖는 1 구간과 주변수로로 통해 유입되어 비교적 긴 유입시간을 갖는 2, 3 구간의 주변현황의 차이에 의한 것으로 여겨진다.

### 3.5 승기천의 구간별 오염부하

승기천의 무강우, 강우시 시간에 따른 구간별 오염 농도를 측정하고 각 구간의 오염도에 미치는 영향정도를 판단하기 위해서 하류구간의 부하량에서 상류구간의 부하량을 감하여 구간별 부하량을 산정하였다. 부하량 산정은 다음과 같이 계산하였으며 Q<sub>i</sub> 와 C<sub>i</sub> 는 실측 농도와 유량이다.

$$\text{오염부하량} = C_i \times Q_i \quad (3)$$

다음은 각 오염물질에 대한 무강우, 강우시 시료채취 중 각각 2000년 7월 18일과 2000년 11월 16일의 경우를 예를 들어 특성을 나타내었다.

### 3.5.1 Suspended Solids(SS)

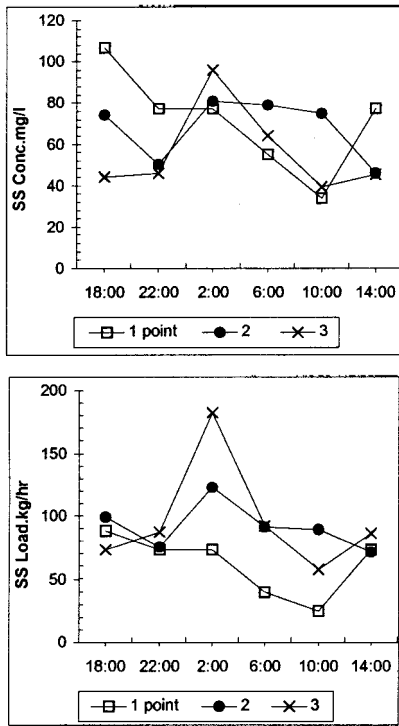


Fig. 2 Changes of sectional SS concentration and load in Seung-Gi stream during dry season sampling at Jul.18, 2000.

Fig. 2 의 2000년 7월 18일의 무강우시 시료채취에서 SS의 농도는 35 ~ 110 mg/l이며, 총 5 회의 무강우시 시료채취의 평균은 35 ~ 290 mg/l로서 하천수질환경기준 IV ~ V 등급에 해당한다. 각 구간의 시간대별 부하량은 시료채취 전반을 통해 2, 3 구간이 1 구간에 비해 부하량이 높았으며, 상가와 공단에 비하여 전·답의 분포가 비교적 큰 1 구간은 낮 시간 동안 부하량이 높고 야간에 낮을 때 비해 남동공단의 영향을 많이 받는 것으로 예상되는 2, 3 구간의 경우는 야간시간대에 높은 부하량을 보였다. 이를 다른 시료채취 자료와 비교해 보면 무강우시 승

기천의 특성이라 표현하기보다는 시료채취일의 2, 3 구간의 주변 공장에서 일시적 방류라고 보았다. 이는 새벽 2시 ~ 6시에 나타난 2 구간의 Cu 농도 최고 0.8547 ppm, 3 구간의 Cr 농도 최고 2.45 ppm, Zn 농도 0.9151 ppm 의 분석과 더불어 추측할 수 있었다.

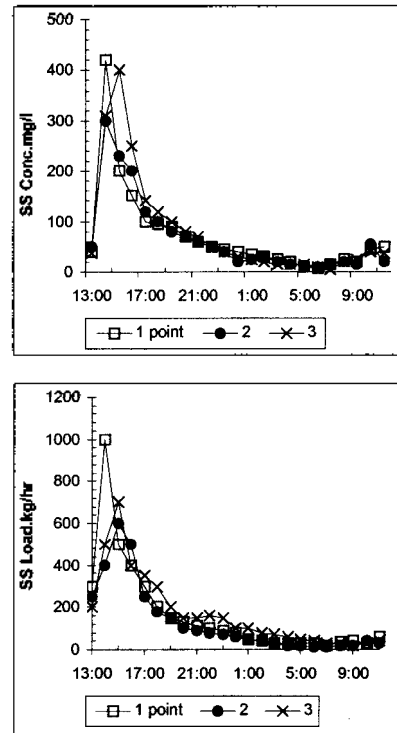


Fig. 3. Changes of sectional SS concentrations and load in Seung-Gi stream during rainy stream sampling at Nov.16, 2000.

Fig. 3 의 2000년 11월 16일의 강우시 시료채취에서 SS의 부하량은 강우시작 2 시간 후 1 구간과 3 시간 후 2, 3 구간에서 각각 침투부하량을 나타내었으며, 그 값도 1 구간에서 가장 높았고 2, 3 구간이 비슷한 값을 보였다.(Fig. 3) 이는 승기천 주변의 토지분포와 관련이 깊으며 전·답과 밀접해 있는 1 구간에 강우초기 많은 양의 토사 유입으로 인해 그 값이 높은 것으로 보였다. 강우의 영향으로부터 벗어나면서 각 구간의 부하량은 비슷한 값을 보였으나 유입 면적이 넓은 1 구간에서 다소 높은 값이 나타났다. 각 구간의 면적을 실측할 수 없었으나 1 구간의 면적이 2, 3 구간에 비해 확연히 큼을 지도를 통해 알 수 있다.

3.5.2 BOD<sub>5</sub>

Fig. 4 의 무강우시 승기천의 BOD<sub>5</sub> 농도는 30 ~ 210 mg/l 로서 하천수질환경기준 V (BOD 10 이하)에 크게 미치지 못하며 오염의 심각성을 나타내고 있다. BOD<sub>5</sub>는 SS와 비슷한 경향을 보였으나 다른 무강우시 자료에는 공단의 영향을 많이 받는 것으로 예상되는 2, 3 구간에서 공단가동시간인 낮 시간대에 큰 부하량을 보이기도 했다.

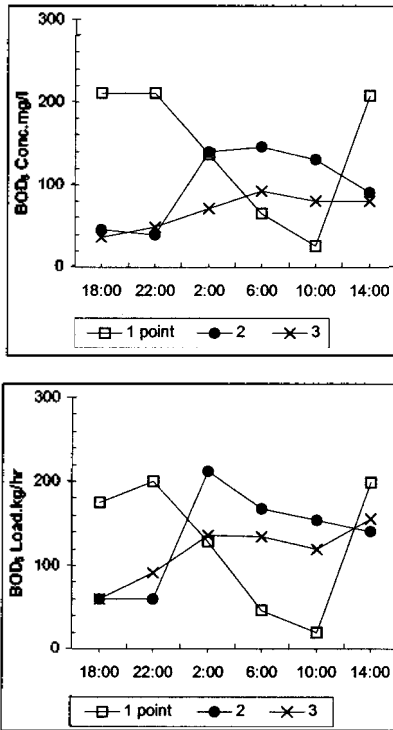


Fig. 4. Change of sectional BOD<sub>5</sub> concentration and load in Seung-Gi stream during dry season sampling at Jul.18, 2000.

Fig. 5 의 강우시 구간별 BOD<sub>5</sub>의 부하량은 1 구간에서 강우시작 2 시간 후 첨두부하량을 나타내고 2, 3 구간에서는 강우시작 3 시간 후 첨두부하량을 나타내면서 급속히 감소하다가 강우의 영향으로부터 벗어난 것으로 보이는 오전 9 시경부터는 무강우시에 볼 수 있는 구간별 특성을 나타내었다.

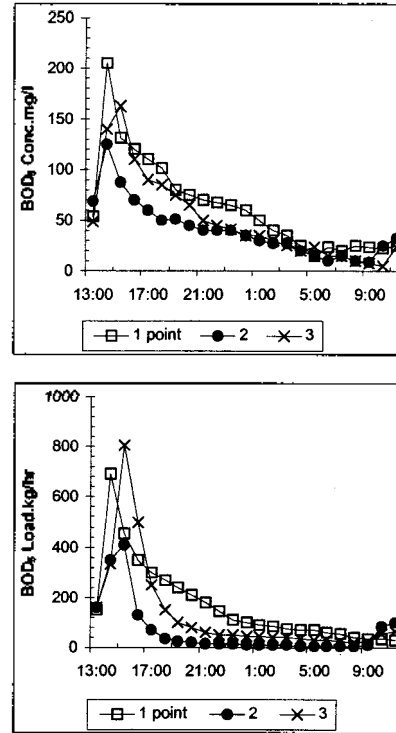


Fig. 5. Change of sectional BOD<sub>5</sub> concentration and load in Seung-Gi stream during rainy season sampling at Nov.16, 2000.

3.5.3 COD<sub>Cr</sub>

Fig. 6 의 무강우시 승기천의 COD<sub>Cr</sub> 농도는 100 ~ 550 mg/l 로 매우 높은 값을 보였으며 SS, BOD<sub>5</sub> 와 비슷한 경향을 나타내었다. 각 구간의 유입면적을 고려하면 단위 면적당 유입되는 오염부하량은 2, 3 구간이 높다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7 의 강우시 1, 2, 3 구간의 COD<sub>Cr</sub> 첨두부하량은 1881 kg/hr, 900 kg/hr, 1483 kg/hr 로 급속히 증가했다가 감소하는 경향을 보이며 강우의 영향으로부터 벗어난 것으로 보이는 오전 9시경부터 무강우시의 특성을 나타내기 시작하며 이 시간 이후로 1 구간에 비하여 2, 3 구간에서의 COD 부하량이 다시 증가하는 것으로 보아 2, 3 구간에 밀집해 있는 공단의 가동시간과 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

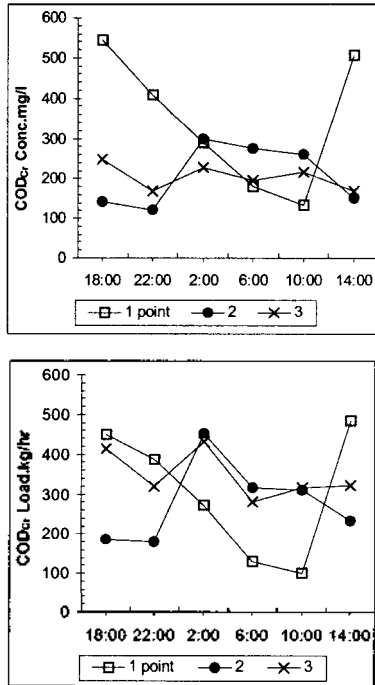


Fig. 6. Changes of sectional  $COD_{Cr}$  concentration and load in Seung-Gi stream during dry season sampling at Jul.18, 2000.

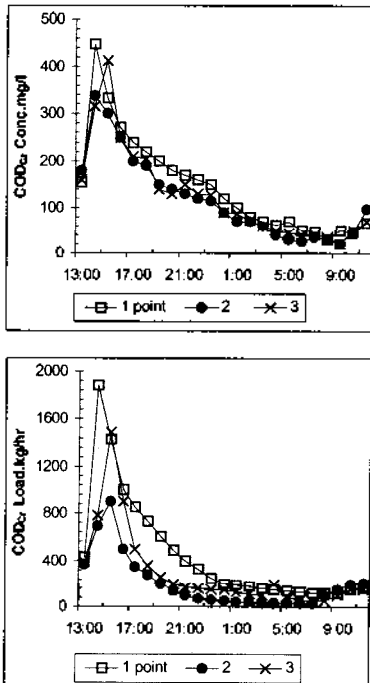


Fig. 7. Changes of sectional  $COD_{Cr}$  concentration and load in Seung-Gi stream during rainy season sampling at Nov.16, 2000.

### 3.5.4 Total Kjeldahl Nitrogen(TKN)

Fig. 8 의 무강우시 승기천 전체의 TKN 농도는 20 ~ 45mg/l 이며, 구간별 오염부하를 살펴보면 무단방류가 있었던 것으로 여겨지는 새벽 2시경을 제외하고는 공단의 가동시간과 가정하수의 유입시간대에 증감의 변화를 보였다. 다른 오염물질과 비교해 볼 때 전체적으로 1 구간에서의 TKN 유입부하량이 2, 3 구간보다 적었다.

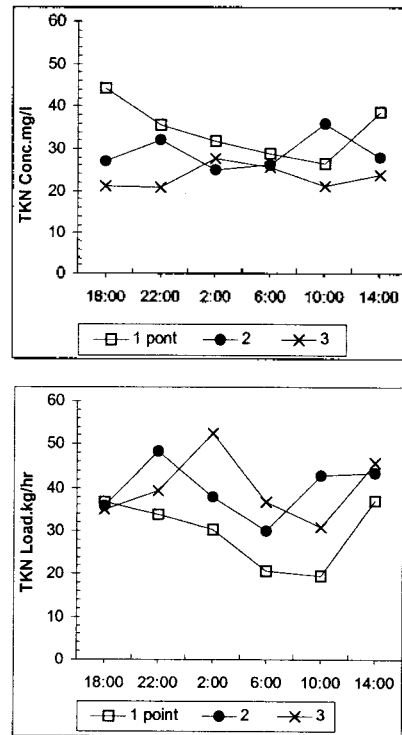


Fig. 8. Changes of sectional TKN concentration and load in Seung-Gi stream during dry season sampling at Jul.18, 2000.

Fig. 9 의 승기천의 강우시 TKN 부하량 변화는 1 구간은 강우시작 2 시간 후, 2, 3 구간은 강우시작 3 시간 후 첨두부하량이 나타났으며 그 후로 급격히 감소하는 경향이 나타났다. 첨두부하량이 나타난 후 2 구간에서의 TKN 유입량이 적고 일정했으며, 1, 3 구간은 그에 비해 2 ~ 20 배 높게 나타났으며 강우의 영향으로부터 벗어난 오전 9 시부터 무강우시의 오염부하량 특성을 보였다.



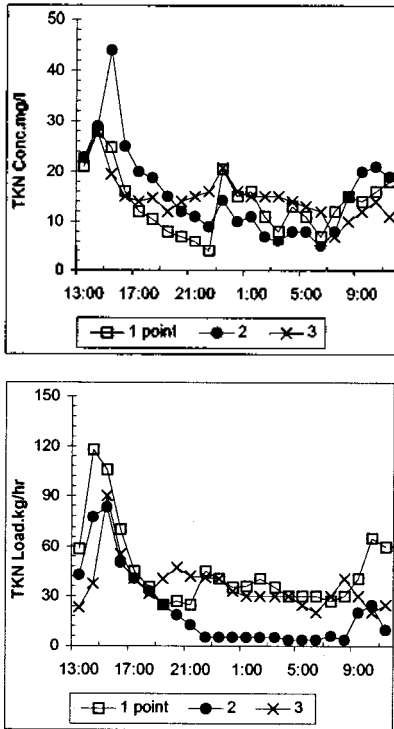


Fig. 9. Changes of sectional TKN Concentration and load in Seung-Gi stream during rainy season sampling at Nov.16, 2000.

### 3.5.5 Total Phosphorus(T-P)

Fig. 10 의 송기천의 무강우시 T-P 농도는 4 ~ 7 mg/l 로 전 구간이 비슷한 경향을 보였으며, 1, 2, 3 구간 순으로 부하량이 많아졌고, 구간별 증감의 변화를 보인 시간대는 공단 가동시간과 주택가로부터 하수유입 시간대와 일치하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 11 의 송기천의 강우시 T-P의 부하량 변화를 살펴보면 다른 오염물질과 마찬가지로 침투부하량이 나타나는 시기는 1 구간에서는 강우시작 후 2 시간 후, 2, 3 구간에서는 3 시간 후였다. 침투부하량은 3 구간에서 20.5 kg/hr 로 가장 높았고, 2 구간에서 10 kg/hr 로 가장 낮았으며 전체적으로 낮은 부하량을 보였다. 강우의 영향을 벗어나 무강우시와 같은 특성이 나타나는 시간은 오전 7 시로, 오전 9 시를 전후해서 나타나는 다른 물질에 비해 강우의 영향으로부터 좀더 빠르게 벗어나는 모습을 보였다.

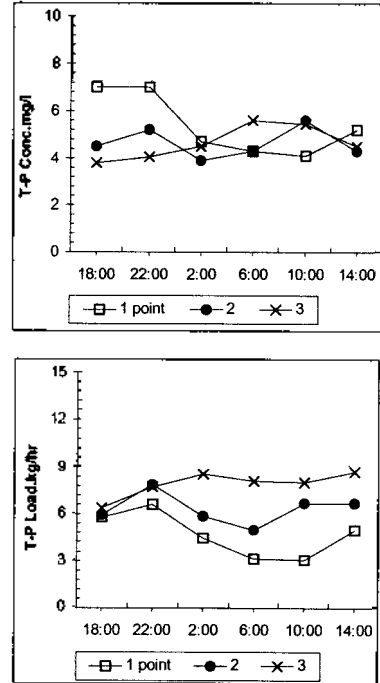


Fig. 10. Changes of sectional T-P concentration and load in Seung-Gi stream during dry season sampling at Jul.18, 2000.

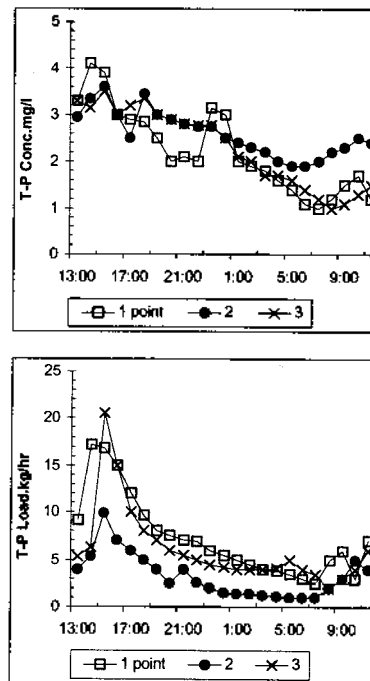


Fig. 11. Changes of sectional T-P concentration and load in Seung-Gi stream during rainy season sampling at Nov.16, 2000.

### 3.5.6 중금속

본 연구에서 측정 분석한 중금속은 Zn, Cd, Cu, Cr 이며, 하천수질환경기준에 의하면 Cd 는 0.01 mg/l 이하, Cr6+ 는 0.05 mg/l 이하를 기준으로 하고있다. 그러나 10 회에 걸친 시료채취동안 대부분의 구간, 시간에 기준농도를 초과하고 있어 오염의 심각성이 나타났다. 앞에서 예들 든 2000년 7월 18일 시료채취의 경우 무단투기가 의심되는 2, 3 구간의 새벽 2 시의 경우 중금속농도가 매우 높게 나타났으며, 이는 하천수 기준허용 농도의 Cd 의 경우 최대 10 배, Cr 의 경우 최대 50 배에 해당하는 것이다.(연구에서 측정된 Cr 은 T-Cr 으로 다소 차이가 있을 수 있다.) 2000 년 11 월 16 일 무강우시를 살펴보면 Cd 은 대부분 허용기준농도 이하였고, Cr 의 경우 1.1 ~ 0.04 mg/l 이었으나 유량이 매우 큰 것을 고려하면 매우 많은 중금속이 유입된다는 것을 알 수 있다.

### 3.6 관리방안

본 연구 기간 중 분석된 승기천 각 구간 SS, BOD<sub>5</sub>, 중금속의 오염농도와 하천수질환경기준을 비교하면 연구기간 중 모든 구간에서 그 기준값을 크게 넘어서 오염정도가 매우 심각함을 알 수 있었다.

특히 Table 2 에서 나타내었듯 승기천은 아래구간으로 갈수록 승기천으로 유입되는 오염부하가 커졌으며 이는 승기천 주변상황과 매우 관련이 있다고 추측되었다. 1 구간에 비해서 2, 3 구간은 주변의 주택가, 상가 특히 남동공단에 의한 유입으로 승기천의 오염도를 크게 악화시키고 있었다.

이에 본 연구에서는 승기하수처리장으로 차집되는 일일평균 24만 ton의 처리수중 일부를 승기천 상류로 재순환하여 승기천 회석 효과를 통해 구간별 오염부하를 줄이는 방법을 기존의 하수처리 공법 연구를 도입시켜 가정하여 방안을 모색해 보았다.

#### 3.6.1 하수처리장 처리수의 재순환

무강우시 승기천으로부터 차집하여 승기하수처리장에서 처리하는 일일평균유량은 24만 ton이며 그 중 일부를 상류로 재순환시켜 승기천의 회석 효과를

얻는 방법이다. 승기하수처리장 처리수의 연중 평균 농도를 Table 7 에 나타내었고, 이중 5만 ton, 10 만 ton을 재순환한다고 가정하였으며, 승기천의 무강우시 유량이 2 만 ~ 4 만 ton 임을 고려해 그 이상의 순환은 승기천 수위상승과 주변 생태계 변화의 원인이 될 수 있기에 배제하였다. 하수처리장 처리수의 재순환을 이용한 승기천의 구간별 회석정도는 Table 8 에 나타내었으며, 하천수질환경기준과 차이를 비교해보기 위해 SS, BOD<sub>5</sub>를 산정해보았다.

Table 7. Treatment Water Quality at Seung-Gi WWTP

	SS	BOD <sub>5</sub>	CODMn	T-P	TN
Concentration (mg/l)	8.5	16.6	13.9	2.0	29.4

Table 8. Sectional Concentration of Seung-Gi Stream caused by Recirculation of Treatment Water

Recirculation(ton/day)	Section	SS	BOD <sub>5</sub>
50,000	1	23.2	46.1
	2	31.6	57.3
	3	40.3	66.2
100,000	1	17.1	33.8
	2	22.7	41.6
	3	28.9	50.2

(unit : mg/l)

승기하수처리장 처리수 재순환의 결과 최대 10 만 ton의 순환시에도 SS를 제외하고는 모든 지역에서 하천수질기준에 크게 못 미치는 것으로 추정되었으며, 이는 승기천 오염의 심각성과 처리수의 농도 자체가 하천수질기준에 크게 못 미치는데 기인한다고 보았다.

#### 3.6.2 Ultra Rapid Coagulation(URC) 처리수의 재순환

승기 하수처리장의 처리수를 ultra rapid coagulation(URC) 공법을 사용하여 처리한 후 승기천 상류로 순환한다는 가정을 하였다. 이 방법을 적용하게 되면 승기 하수처리장 처리수의 수질이 더욱

낮게 되어 회석 효과가 더 크리라 예상된다. URC의 처리효율은 동두천 하수처리장의 처리수를 이용한 URC pilot plant의 실험 결과 평균값을 이용하였으며, 이를 이용해 승기 하수처리장 처리수의 수질을 더욱 낮추었으며, 그 계산 값은 Table 9 에 나타내었다.

Table 9. Water Quality after treatment using URC Process

	SS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	T-P	TN
Removal rate (%)	90.4	89.2	55.5	94.7	22.5
Inflow water (mg/l)	8.5	16.6	13.9	2.0	29.4
Treatment water(mg/l)	0.8	1.8	6.2	0.11	22.8

URC를 거친 처리수 5만 ton, 10만 ton을 승기천 상류로 재순환하면 승기천의 구간별 오염농도는 다음 Table 10과 같이 산정 할 수 있으며, 승기 하수처리장 처리수를 URC 공법을 이용해 수질을 크게 낮추더라도 하천수질기준에는 미치지 못하고 있음을 보여주었다.

Table 10. Sectional Concentration of Seung-Gi Stream caused by Recirculation of Treatment Water by URC Process

Recirculation(ton/day)	Section	SS	BOD <sub>5</sub>
50,000	1	17.7	35.6
	2	26.8	48.0
	3	36.0	58.8
100,000	1	10.7	21.5
	2	16.8	30.2
	3	23.4	38.4

(unit : mg/l)

### 3.6.3 구간 차집을 통한 승기천의 수질 개선

재순환수를 이용한 승기천 회석의 정도를 알아 보았으나 그 결과값이 하천수질 기준에 미치지 못함을 앞에서 보이며, 이는 승기천 자체 오염부하가 매

우 높음으로 인해 회석의 한계가 있음을 알 수 있었다. 이에 현재 승기천으로 유입되는 일부지역의 차집을 승기천 전지역 차집으로 가정해 보았다. 전지역의 차집이 시행될 경우 특히 남동공단에 의한 오염원이 제거 될 수 있으며 무단 방류로 인한 오염부하증가와 이로 인한 서해연안오염증가를 막을 수 있다. 차집을 시행할 경우 경제적 부담이 발생하나 승기하수처리장의 처리수를 URC 공법을 통해 재처리한다면 그 수질은 Table 9 와 같으며, 이를 승기천으로 재순환시 승기천은 하천수질환경기준에 도달할 수 있으며 승기천 주변을 친수공간으로 활용할 수 있으리라 예상된다.

그러나, 승기천 구간 차집을 시행하는 경우에도 강우시에는 유입유량이 문제가 된다. 특히 강우 시작 후 2 ~ 4 시간 후에 나타나는 침투 유량의 경우 전량차집이 어려워 일부 By-pass를 해야 하며, 이는 강우지속 시간, 강우강도 등과 밀접한 관계가 있다.

### 3.6.4 서해연안 오염부하저감

승기천의 구간차집과 유입오수의 URC 공법처리를 통해 서해연안으로 유입되는 오염부하의 제거 가능량을 산정해 보았다. 강우시 강우량 30 mm 까지 유입유량이 처리 가능하고 그 이상은 By-pass 한다는 가정과 전주 조촌천에서 시행한 URC pilot plant의 실험결과를 적용하여 Table 11 에 나타내었다.[9]

Table 11. Removal Quantity of Annual Pollutants Loads caused by URC Process

	SS	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	T-P	TKN
Removal quantity	805.0	667.0	1119.6	47.9	13.4

(unit : ton/year)

## 4. 결 론

승기천을 5개 구간으로 나누어 강우와 무강우시 총 10회의 측정자료를 토대로 구간별로 유입되는 각 오염물 농도와 부하량, 강우시와 무강우시에 나타나는 오염물의 유입과 변화정도를 알아보았고, 승기천의 기능을 회복하기 위한 방안을 모색해 보았으며

그 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 강우가 승기천의 연중 전체 오염 부하량에 큰 영향을 끼치는 것으로 보였다. 특히 강우시 SS 유입부하가 매우 크게 나타났으며, 이에 따라 강우시 유입수에 대한 처리가 시급함을 보이고 있었다.
- (2) 연간 총부하량은 SS 1505 ton, BOD<sub>5</sub> 1005 ton, COD<sub>Cr</sub> 1876 ton, TKN 226 ton, T-P 54 ton 으로 1999. 5 ~ 2000. 4 자료와 비교시 SS 총부하량이 2.5 % 증가하고 그 외 물질은 10 ~ 32 % 감소하였다.
- (3) 강우시에는 침투량이 나타나는 시간은 강우 시작 후 1 구간은 2 ~ 3 시간 후, 2, 3 구간은 3 ~ 4 시간 후 이었으며, 1 구간이 2, 3 구간에 비해 강우영향으로부터 2 ~ 3 시간 정도 빠르게 벗어나는 것으로 보였다.
- (4) 무강우시는 구간으로 유입되는 유입수의 성질에 따라 그 변화가 나타났다. 5 회외 무강우 시료채취에서 강우시와 같은 일반적 경향을 찾기는 어려웠으며, 전체평균유량과 오염농도를 통해 무강우시 연간 유입부하량을 산출하면 전체적으로 1, 2, 3 구간 순으로 그 양이 많으며, 중금속의 경우 공단의 영향을 많이 받는 것으로 예상되는 2, 3 구간에서 비슷하게 나타났다.
- (5) A, B 구간은 승기 하수처리장의 차집으로 인해 무강우시는 유량이 거의 없었으며 강우시의 영향은 부하량면에 있어서 그 양이 적게 산출되었다.
- (6) 1 구간은 넓은 유입면적을 가졌으나 타구간에 비해 유입수로의 대부분이 주택·상가쪽에 있고 대부분 승기 하수처리장에서 차집이 되는 관계로 유입유량이 적었다. 이 구간은 무강우시 오염부하량이 가장 적었으며, 특히 중금속의 양이 적었다. 반면 강우시 침투부하량이 나타나는 시간이 가장 빠르고 그 양도 가장 높게 나타났다.
- (7) 2 구간은 타구간에 비하여 구간면적이 적은데 비하여 유입수위가 많고, 특히 공단으로부터의 유입량이 많은 것으로 관측되었다. 무강우시

전체적인 농도가 높았으며 기름성분 유입, 야간의 중금속 농도 급증이 자주 발견되어 공단으로부터의 무단방류로 인한 오염이 매우 큰 것으로 추정되었다. 강우시 침투부하량이 가장 작았고 강우의 영향을 받는 동안의 부하량 역시 가장 낮았다.

- (8) 3 구간은 전구간에 걸쳐서 가장 많은 오염부하량이 나타났으나, 타구간에 비해 시간에 따른 오염 농도가 크게 변화하지 않음을 보였다.
- (9) 전구간에 걸쳐 승기천의 수질이 환경기준을 크게 상회하고 있어 승기천 회복을 위한 방안으로 승기 하수처리장의 처리수 재순환과 URC 공법을 통한 처리수 재순환을 고려해 보았으나 하천수질환경기준에 그 값이 못 미침을 보였다.
- (10) 승기천 오염유입구간을 차집해 처리하고 이를 재순환함으로써 승기천의 역할 회복과 하천수질환경기준을 기대 할 수 있었다.
- (11) 승기천 유입수를 URC 공법으로 처리시 서해연안으로 유입되는 오염부하량 중 SS 805 ton, BOD<sub>5</sub> 667 ton, COD<sub>Cr</sub> 1120 ton, T-P 48 ton, TKN 13 ton 제거 할 수 있을 것으로 사료된다.

이상과 같이 승기천을 통한 서해연안으로의 유입오염부하량이 매우 높아 이에 대한 시급한 방안이 필요함을 알 수 있었다. 또 승기천을 세부적 구간으로 나누어 유입원을 살펴본 결과, 공단, 주택가 등의 승기천 주위환경과 밀집정도에 큰 관련이 있으며 그로 인해 시간에 따른 유입부하량의 차이와 강우시 짧은 시간에 높은 유입부하량이 나타남을 알았다. 이러한 문제점의 해결방안으로 승기천으로 유입되는 하폐수를 차집처리하고, 하수처리장 처리수를 승기천 상류로 재순환함으로써 하천수질환경기준을 만족하고 하천으로서의 역할 회복과 서해연안 유입오염부하량의 저감효과를 기대할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년도 인하대학교 서해연안환경연구센터의 지원을 받아 수행되었고 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 환경부, 비점오염원 조사연구사업보고서(1995).
2. 방기용, 이준호, 유명진, "도시소유역에서의 비점 오염원 유출특성에 관한 연구", 한국수질보전학회지, 13(1), 79~100 (1997).
3. 조강현, "송기천 생태실태 조사결과 보고서", 장수천 및 송기천 회복을 위한 심포지엄(2000).
4. 인천광역시, 인천 앞바다 해양오염 영향인자 조사 및 해양환경 관리방안 연구(案).
5. World Meteorological Organization, "Hydrological network design-needs, problems and approach", WMO/IHD Report (12)(1969).
6. 동화기술편집부, 공정시험방법, 동화기술 (1999).
7. Lenore, S. Clesceri., Arnold, E. Greenber. and Andrew, D. Eaton., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., New York(1998).
8. 김종윤, "송기천 유역의 강우 및 무강우시 오염물 유출특성", (2000).
9. 윤태일, 박세진, 윤태광, 최대일, "초고속용집침전(URC)공법과 적용 방안", 서해연안환경연구센터 제 1회 Workshop 논문집, 141 ~ 163 (1999).