

관거 정비에 따른 하수발생특성 분석

Analysis of the wastewater characteristics variation in sewerage by rehabilitation

정시문 · 박인혁 · 박정하 · 하성룡*

Jung SiMon · Park InHyeok · Park JungHa · Ha SungRyoung*

충북대학교

(2007년10월31일 접수 ; 2009년 3월23일 수정 2009년 6월3일 채택)

Abstract

The study involved the measurement of flowrate and BOD in the Yeosu area and analyzed annual sewerage data by the I/I analysis technique which is common in Korea. The results of this study are as follows. The I/I for the Y-1 site before maintenance and after the completion of the whole process was reduced from 62% to 16.1% respectively with respect to maximum sewage flow per day. The average quality of water increased. The study measured the Y-2 site from a point of time corresponding to an 80% process rate and its I/I rate went up a little from 8.5% to 11.5%. At the Y-3 site, the I/I rate went up a little from 11% to 13.8%, while little change was noted in the average water quality. At the Y-4 site, the I/I rate was reduced from 43% to 16.9% and its average water quality went up. At the Y-5 site, the I/I quantity went up a little however its average water quality also went up largely. Therefore, it was concluded that the Y-5 site showed great improvement due to the sewer pipe maintenance.

Key words : Infiltration, Inflow, Sewer pipe maintenance

주제어 : 침입수, 유입수, 하수관거보수

1. 서론

국내의 하수도 시스템은 각 오염 발생원을 하수관거를 통하여 처리장으로 이송, 오염물질을 제거 한 후 해당 수역으로 방류하는 체계로 설계되어있다. 그러나 하수가 이송되는 도중 관로 경사의 부적절, 관 노후 및 접합 불량으로 인하여 각종 관리상의 문제를 유발한다. 특히, 지하수위가 상승하는 우기에는 하수관거 주변의 토양으로부터 각종 불명수(지하수, 상수도 누수, 지표수, 하천수 등)가 관로로 유입되어 하수의 수질(오염농도)을 현저히 저하시키는 결과를 초래하

고, 반대로 지하수위가 낮은 건기에는 관로내의 하수가 지하수층에 침투하여 지하수 오염의 원인으로 작용함과 동시에 하수처리장 유입 수 수질변화의 원인이 되기도 한다. 이러한 불완전한 오수이송시스템은 계획 유입량 이상의 초과 유입량을 수처리 시설로 이동시켜 처리장의 과부하를 불러일으키는 반면, 슬러지 처리시설은 여유용량을 발생시키는 등 처리효율의 저감을 불러온다.

상기한 구조적인 문제점으로 인하여 환경부에서는 2002년을 하수관거 정비 원년으로 설정하고 하수관거정비BTL사업, 한강수계 하수관거정비 사업, 댐 상류지역 하수도시설

* Corresponding author Tel:+82-43-275-3478, E-mail: simplet@chungbuk.ac.kr(Ha, S.)

확충 사업 등 하수도시설의 양과 질을 높여려는 노력을 경주하고 있다.(환경부, 2001) 앞선 연구에서 정(2002)은 처리 및 보수 비용을 고려한 하수관거 정비 최적화 모델을 제시하였고, 안(2004)은 실측된 지역자료를 중심으로 침입수/유입수와 합류식 하수관거의 월류수 발생특성을 분석하였다, 최(2005)는 하수관거의 침입수/유입수(I/I) 발생량과 하수관거 불량률간의 상관성을 규명하여 보고하였고, 박(2007)은 분류식과 합류식 하수관거의 유량과 수질을 측정, 분석을 통한 관거 내 침입수/유입수(I/I)를 조사하였다. 따라서 본 연구에서는 경기도 여주군을 대상으로 수행된 “한강수계 4공구<여주군> 하수관거 정비공사”에서 기초 사용역이 완료된 자료들을 중심으로 관거 내의 하수 발생특성을 분석 하여 향후 하수관거 정비 사업에 도움이 될 수 있도록 하였다.

2. 조사지점 및 연구방법

2.1 대상지 현황 및 특성

본 연구의 대상지역은 여주처리구역 3개 처리분구(남한강, 소양천, 삼한) 대신 처리분구, 흥천 처리분구이다. 행정구역별로 살펴보면 여주군, 대신면, 흥천면 3개 지역이다. 남한강 처리분구는 총 면적 87.7ha이며, 소양천은 19.03ha, 삼한 4.70ha, 대신은 40.91ha, 흥천은 14.1ha이다. 지역 별 인구수는 각각 7,673명, 3,683명, 612명, 1,893명, 632명 이다.(2004 통계연보)

남한강(Y-1) 지점은 타 처리분구(북내면)에서 발생하는 하수량과 남한강 처리분구 내에서 발생한 하수를 차집하여 여주 하수종말 처리장으로 보내는 지점이다. 소양천(Y-2) 지점은 여주를 일대로 주거지와 상업지가 혼재된 지역적 특성을 갖고있다. 삼한(Y-3) 지점은 집단 취락지의 형태를 띤 소규모 처리 분구로, 인근 아파트의 하수가 차집되는 지점이다. 대신(Y-4) 지점은 대신 하수처리장 전단부에 위치한 지점으로 대신 처리구역내 유량이 합류되어 처리장으로 이송되는 지점이다. 흥천(Y-5) 지점은 흥천 면소재지로 저밀도 주거지역과 일부 상업지역으로 이루어진 곳이다.

2.2 건기시 I/I 분석 방법

침입수(infiltration) 정량화 기법은 특정 하부 시스템의 분석보다는 전체 하수도시스템으로의 침입수량을 산정하는 방향으로 발전되어 왔다. 침입수 산정방법의 선정은 가용한 자료와 현장 특성에 따라서 선택적으로 사용할 수 있다. 분석의 결과로써 제시되는 침입수량은 엄밀한 의미에서 침입수(infiltration)와 유입수(inflow)를 포함하는 것이나 일반적으로 하수도 시스템에서 발생하는 오수 외 유량은 대부분

침입수가 차지하고 있다. 침입수/유입수의 평가방법으로 국내에 소개된 물 사용량 평가법(Water-use Evaluation), 일최대 최소 유량 평가법 (Maximum-Minimum Daily Flow), 일 최대 유량 평가법 (Maximum Daily Flow Comparison), 야간 생활 하수 평가법 (Nighttime Domestic Flow Evaluation) 을 사용하였다.(국립환경연구원, 2001; 임성호, 2001;)

본 연구에서는 상기한 4가지 분석결과의 평균값 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 2가지 방법의 산술평균값을 최종 분석결과로 채택하였다.

2.3 우기시 I/I 분석 방법

강우침투수(Rainfall Dependent Infiltration, RDI)와 강우유입수(Storm Water Inflow, SWI)는 하수관거의 과부하 측면에서 매우 큰 비중을 차지하는 설계 외 유량으로서 그 유입원에 따라 구분된다.

일반적으로 강우시 침투수/유입수의 총량을 산정하는 방법은 강우시 유량을 모니터링하여 기 측정된 기저유량에서 제하는 방법을 사용하며 강우침투수의(RDI) 경우 한 관거를 사이에 두고 상류, 하류 양단의 유량을 측정하여 특정 관거 내에 존재하는 유량을 측정하는 Flow Isolation을 사용한다.

3. 분석결과

3.1. 계측기간 하수특성 분석 결과

관거 정비 사업전과 관거 정비 사업 완료 후 12개월 간 모니터링을 통하여 수집된 자료를 바탕으로 수질 및 유량을 분석하였다. 평균수질 수질 분석결과는 Fig. 1~5와 같이 나타내었다.

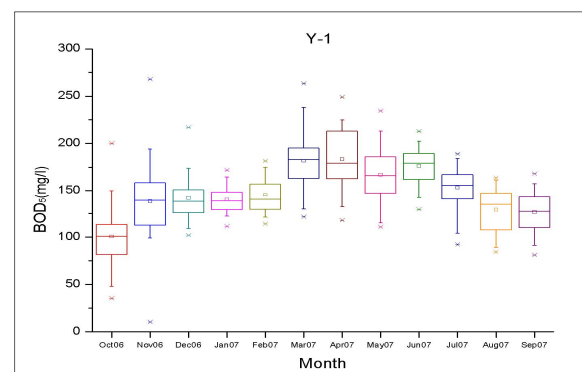


Fig. 1. 수질 분석 결과(Y-1)

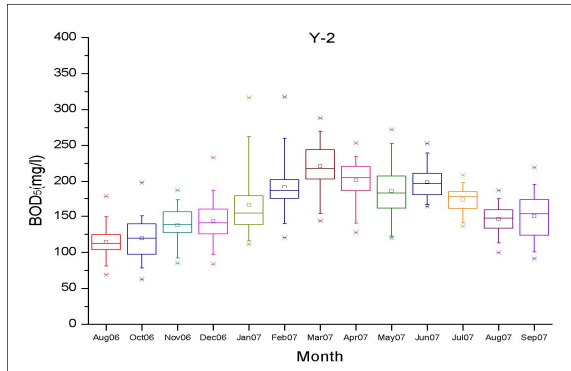


Fig. 2. 수질 분석 결과(Y-2)

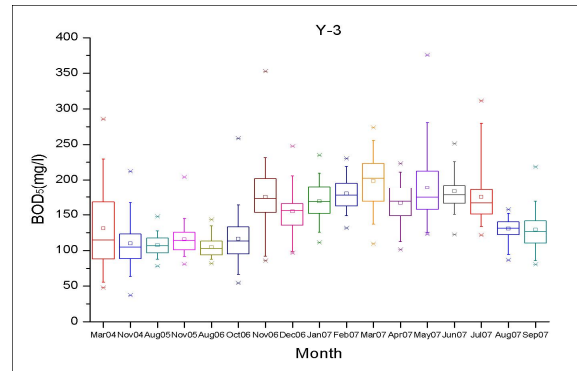


Fig. 3. 수질 분석 결과(Y-3)

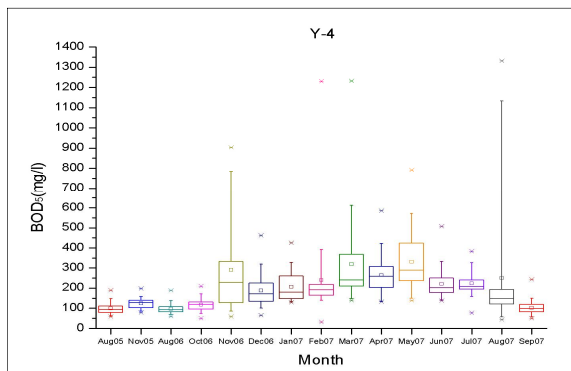


Fig. 4. 수질 분석 결과(Y-4)

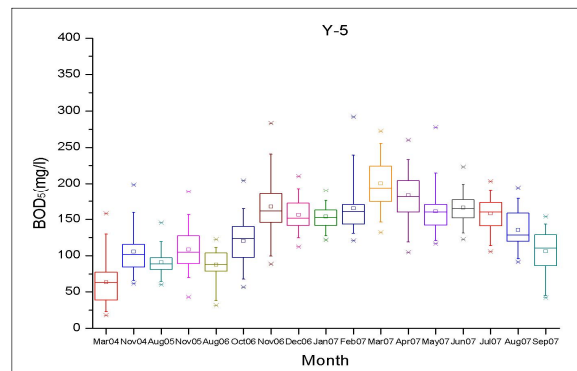


Fig. 5. 수질 분석 결과(Y-5)

수질 분석결과 관거 정비사업 기간인 2004년 3월부터 2006년 8월까지의 지점 별 평균 수질이 Y-1 83.6(BOD₅, mg/l), Y-2 119.6(BOD₅, mg/l), Y-3 113.3(BOD₅, mg/l), Y-4 105.4(BOD₅, mg/l), Y-5 91.2(BOD₅, mg/l) 이었고, 사업 완료 시점인 2006년 10월 부터 12개월간의 평균수질은 Y-1 150.6(BOD₅, mg/l), Y-2 172.3(BOD₅, mg/l), Y-3 165.5(BOD₅, mg/l), Y-4 228.9(BOD₅,

mg/l), Y-5 157.2(BOD₅, mg/l) 로 분석되어 관거 정비에 의한 I/I 의 감소 효과와 처리수질이 상승함을 확인 할 수 있었다.

유량분석결과 Table 1과 같이 건기시 평균유량의 경우 관거 정비 사업 전 Y-1 4,824.5m³/d, Y-2 570.9m³/d, Y-3 52.6m³/d, Y-4 558.7m³/d, Y-5 546m³/d이었고, 사업 후에는 Y-1 4,432.6m³/d, Y-2 935.0m³/d, Y-3 270.1

Table 1. 관거 정비사업 완료 후 대상지역 평균 유량 분석결과

단위 : (m³/d)

| 구분 | 지점 | 10월 | 11월 | 12월 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 우기 | Y-1 | 3,458 | 3,129 | 2,869 | 3,283 | 3,697 | 3,986 | 4,290 | 4,595 | 5,628 | 6,662 | 6,031 | 5,564 |
| | Y-2 | 705 | 755 | 809 | 856 | 903 | 818 | 1,152 | 1,486 | 1,123 | 759 | 1,053 | 800 |
| | Y-3 | 353 | 244 | 532 | 527 | 522 | 318 | 194 | 70 | 83 | 95 | 110 | 195 |
| | Y-4 | 414 | 755 | 990 | 671 | 352 | 827 | 1,002 | 982 | 1,033 | 1,206 | 1,443 | 1,756 |
| | Y-5 | 353 | 279 | 516 | 392 | 267 | 253 | 286 | 278 | 341 | 389 | 355 | 337 |
| 건기 | Y-1 | 3,362 | 3,112 | 3,168 | 3,178 | 3,416 | 3,616 | 3,784 | 4,519 | 4,156 | 4,129 | 4,877 | 4,631 |
| | Y-2 | 641 | 771 | 805 | 813 | 803 | 735 | 1,103 | 813 | 1,094 | 868 | 1,813 | 708 |
| | Y-3 | 66 | 198 | 584 | 582 | 340 | 98 | 67 | 80 | 99 | 179 | 178 | 194 |
| | Y-4 | 506 | 543 | 306 | 626 | 352 | 689 | 947 | 814 | 755 | 928 | 1,033 | 1,674 |
| | Y-5 | 343 | 228 | 223 | 253 | 214 | 290 | 291 | 368 | 367 | 409 | 420 | 3142 |

m³/d, Y-4 952.6m³/d, Y-5 337.1m³/d 로 분석되었다. 우기시 평균유량의 경우 Y-1 4,432.7m³/d, Y-2 934.9m³/d, Y-3 270.3m³/d, Y-4 952.6m³/d, Y-5 337.2m³/d 로 분석되었다. 유량의 경우 계절적 요인과 사업이 진행됨에 따라 늘어나게 되는 배수설비 접속수로 인하여 사업전과 사업후의 유량 증감효과를 명확히 판단하기에 어려움이 있다.

3.2 침입수 및 유입수의 해석

3.2.1 대상지역의 유입수량 분석결과

대상지역은 분류식, 합류식, 혼용 하수배제방식에서 분류식으로 전환된 특징을 갖고 있다. 강우 유입량 및 유출량을 추정하고자 12개월간 수집된 데이터를 이용하여 강우 유입수를 산정 하였으며, 산정에 앞서 유량데이터가 비정상적으로 측정된 일자는 배제하였다. 본 연구에서는 최근 연구된 강상강하지역의 문헌(2002)과 일본 상하수도학회의 연구결과(일본하수도협회, 2003)를 적용하여 강우 영향일수를 3일로 설정하였다. 또한 강우량이 5mm 이하는 지표면 유출이 거의 일어나지 않기 때문에 비강우로 보는 것이 바람직하지만, 대상지역을 분석한 결과 소량의 강우사상에도 유량변동이 일어나고 있어 강우사상이 있는 날은 모두 강우일로 간주하였다. Table 2는 강우유입수의 산정 결과이다.

3.2.2 물사용량 평가법

본 방법에서는 대상지역의 상수사용량 및 지하수사용량을 이용하여 물 사용량을 산정한 후 오수전환율을 반영하여 조사 지점별 건기 평균 유량값에서 차감하여 I/I량을 산정하였다.

오수 전환율은 대상지역의 특성에 맞도록 84%를 적용하였으며 분석결과는 Table 3에 나타내었다.

3.2.3 일 최대-최소유량 평가법

본 방법은 여주 사업지역에서 측정된 유량 데이터 중 강우사상이 발생하지 않는 건기시의 일 I/I량은 일정하며, 또한 일평균 산업폐수량도 일정하다는 가정하에 일유량 증가는

Table 2. 강우 유입수 산정

단위 : (m³/d)

| 지점 | Y-1 | Y-2 | Y-3 | Y4 | Y5 |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 강수량 (mm) | 345 | 371 | 377 | 366 | 1,297 |
| 강우시 유량 (연간) | 225,152 | 40,759 | 52,790 | 67,388 | 47,884 |
| 건기시 유량 | 3,626 | 934 | 256 | 665 | 217 |
| 유입 수량 (연간) | 70,802 | 3,102 | 4,129 | 38,766 | 17,271 |
| 강우 일수 (일) | 30 | 32 | 33 | 90 | 80 |
| 유입수 침투유량 (연간) | 5,394 | 710 | 370 | 683 | 225 |
| 평균 유입수 | 1,135 | 68 | 46 | 225 | 60 |

가정에서 발생하는 생활하수량에 기인하다는 원리를 적용하여 I/I량을 산정하였으며 분석결과는 Table 3에 나타내었다.

3.2.4 일 최대 유량 평가법

일 최대 유량평가법에 의한 I/I량 산정은 측정유량이 I/I량보다 더 낮은 양으로 측정되지 않는다는 원리를 적용한 방법으로서, 건기시 일최소 유량이 발생하는 시점에서 생활하수 발생량과 산업폐수 발생량이 없다는 가정하에 발생된 일최소 유량을 모두 I/I량(Q_{INI})으로 산정하는 방법이다. 분석결과는 Table 3에 나타내었다.

3.2.5 야간 생활하수 평가법

본 방법은 기본적으로 일최대-최소 유량평가법과 동일한

Table 3. I/I 산정방법 별 분석결과

| 구 분 | 물사용량 평가법 | | | | 일최대 최소유량 평가법 | 일 최대유량 평가법 | 야간 생활하수 평가법 |
|-----|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | 건기평균유량 (m ³ /d) | 물사용량 (m ³ /d) | 오수 전 환율(%) | I/I량 (m ³ /d) | | | |
| Y-1 | 3,623.70 | 3,851.00 | 84 | -227.3 | 948.1 | 2307 | 163.2 |
| Y-2 | 933.6 | 1,134.00 | 84 | -200.4 | 254.3 | 1142 | 39.5 |
| Y-3 | 255.7 | 184 | 84 | 71.7 | 95 | 391.3 | 19.9 |
| Y-4 | 665.4 | 606 | 84 | 59.4 | 276.2 | 2199 | 69.6 |
| Y-5 | 291.1 | 217 | 84 | 74.1 | 133.9 | 351.5 | 19 |

Table 4. 계측 지점의 평균 I/I량 산정결과

| 지점명 | 일최대 오수량 (m ³ /d) | 건기시 I/I량 (m ³ /d) | 강우시 I/I량 (m ³ /d) | I/I량 (m ³ /d) | 건기시 I/I 비율 | I/I 비율 |
|-----|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------|--------|
| Y-1 | 7,149.1 | 555.6 | 1,221.1 | 749.6 | 7.8% | 10.5% |
| Y-2 | 2,276.9 | 146.9 | 67.7 | 158.2 | 6.5% | 6.9% |
| Y-3 | 689.0 | 83.3 | 45.0 | 90.2 | 12.1% | 13.1% |
| Y-4 | 4,206.0 | 172.9 | 478.9 | 357.9 | 4.1% | 8.5% |
| Y-5 | 444.8 | 104.0 | 119.9 | 151.3 | 23.4% | 34.0% |

Table 5. 내륙지방의 계절 변동

| 구분 | 최고 기온 | 최저 기온 | 평균 기온 | 기간 |
|----|----------|----------|----------|-----------|
| 여름 | 7 | -2 | 3 | 11/25~3/5 |
| 겨울 | 26 | 17 | 21 | 6/10~9/10 |

*(유진호, 2002)

원리를 이용하여 I/I량을 산정하지만, 일최대-최소 유량평가법에서 고려되지 않은 야간활동인구에 의한 유량(Nighttime Domestic Flow : NDF)을 산정하여, 측정된 유량에서 일 최소유량을 제한 후 산업 폐수량을 차감하여 I/I량을(Q_{NDF})을 산정하는 방법이다.

3.2.6 평균 I/I 산정

본 연구의 I/I 분석은 물 사용 평가법, 일 최대-최소 유량평가법, 일 최대 유량 평가법, 야간 생활하수 평가법 등의 4가지 분석방법을 적용하여 분석하며, I/I 산정은 각 조사지점별 측정된 유량 및 수질데이터를 이용하여 각 분석방법에 따라 I/I량을 분석한 후 4가지 방법에 의해 도출된 분석 값에서 최대 및 최소값을 제외하고 나머지 2가지 방법의 평균값을 I/I량으로 산정하였다. 일 최대 오수량은 연간 일평균 유량 중 최대값을 적용하였다.

대상지역의 평균 I/I량을 산정한 결과 여주-1 지점은 555.6m³/일, 여주-2 지점은 146.9m³/일, 여주-3 지점은 83.3m³/일, 여주-4 지점은 172.9m³/일, 여주-5 지점은 104.0m³/일로 분석되었으며 구체적인 결과는 Table 4에 나타내었다.

3.3. 계절별 하수발생 특성 분석

대부분의 I/I 조사 시 수행되는 유량조사는 1~2개월 간의 유량자료를 위주로 분석하고 있어 계절적 영향을 고려하기 힘든 상황이다.(최계운, 2006), 따라서 본 연구에서는 모니터링을 통하여 수집된 연간 데이터를 이용, 계절별로 나누어 하수 발생특성을 분석하였다. 분석에 앞서 국내의 기후가

Table 6. 분석자료의 계절적특성

| 구분 | 봄 | 여름 | 가을 | 겨울 | |
|------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 평균 유량 (m ³ /d) | Y-1 | 3,973 | 4,387 | 3,701 | 3,218 |
| | Y-2 | 884 | 1,258 | 707 | 798 |
| | Y-3 | 82 | 152 | 153 | 426 |
| | Y-4 | 817 | 905 | 908 | 457 |
| | Y-5 | 316 | 399 | 304 | 229 |
| 평균 수질 (mg/l) | Y-1 | 180 | 154 | 127 | 144 |
| | Y-2 | 205 | 175 | 139 | 164 |
| | Y-3 | 188 | 163 | 144 | 171 |
| | Y-4 | 273 | 230 | 195 | 246 |
| | Y-5 | 183 | 153 | 135 | 160 |
| I/I (m ³ /d) | Y-1 | 961 | 863 | 682 | 536 |
| | Y-2 | 174 | 153 | 148 | 107 |
| | Y-3 | 10 | 17 | 26 | 200 |
| | Y-4 | 370 | 289 | 185 | 123 |
| | Y-5 | 124 | 161 | 84 | 79 |

변화하고 있는 점을 감안하여 비교적 최근에 연구된 기후변화에 대한 연구를 참조해서 1년을 4계절로 분할하였다.(유진호, 2002, 한국기상학회)

3.4. 수질농도(BOD5)와 I/I발생량과의 상관성분석

Fig. 6~10 은 Minitab(ver 14.12)을 이용한 상관분석

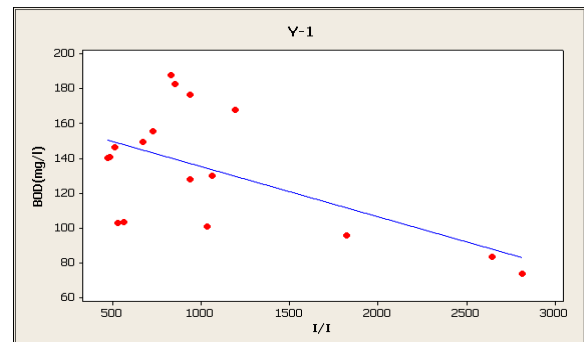


Fig. 6. Y-1 상관분석 결과

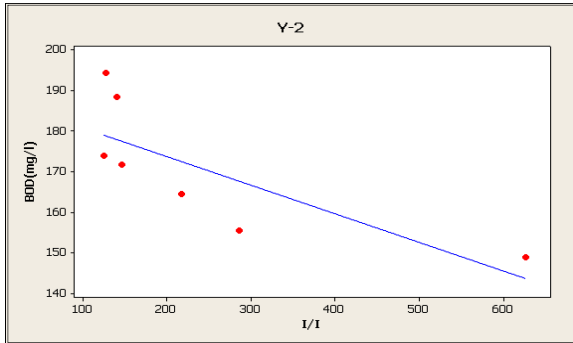


Fig. 7. Y-2 상관분석 결과

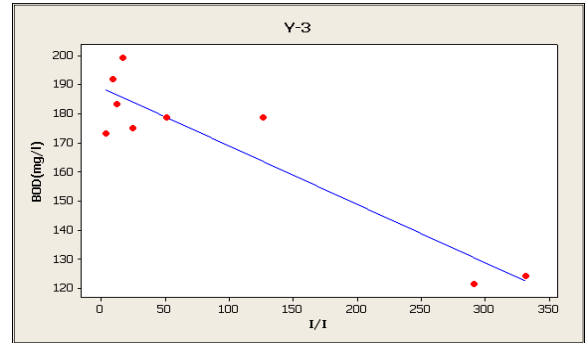


Fig. 8. Y-3 상관분석 결과

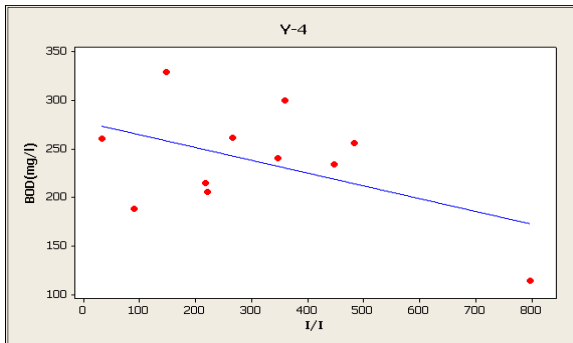


Fig. 9. Y-4 상관분석결과

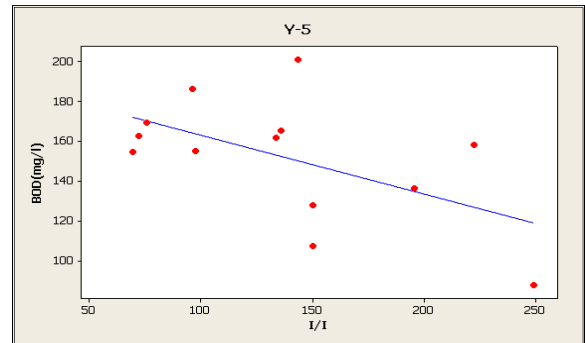


Fig. 10. Y-5 상관분석결과

결과이다. 상관분석 결과 피어슨 상관계수는 Y-1 지점의 경우 -0.578 , Y-2 지점 -0.775 , Y-3 지점 -0.930 , Y-4 지점 -0.494 , Y-5 지점은 -0.553 으로 나타났다. Y-4 지점을 제외한 나머지 4개 지점은 비교적 높은 음의 상관관계를 나타내어 I/I의 발생량이 많아 질 수록 수질 농도를 낮추는 데에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 경기도 여주군을 대상으로 하수관거 정비 사업 전과 사업후 1년간 수집된 장기적 모니터링 데이터를 이용하여 하수발생특성을 분석하였다. 결론은 다음과 같다.

- i) Y-1 지점은 타 처리구역에서 발생하는 하수량과 남한강 처리분구내에서 발생한 하수를 차집하여 여주 하수종말처리장으로 보내는 지점이다. 월별 하수발생특성 분석결과 8월 과 9월의 하수량이 가장 크게 분석되었으며, 건기하 하수량의 봄 계절의 침입수량 겨울에 비해 일 $435\text{m}^3/\text{d}$ 로 가장 크게 나타났다.
- ii) Y-2 지점은 여주읍 일대로 주거지와 상업지가 혼재된

지역적 특징을 갖고있다. 건기시 월별 하수 발생특성 분석결과 8월과 10월에 최대값과 최소값이 나타났고 $1172\text{m}^3/\text{d}$ 의 차이를 보였다. 또한 침입수량은 봄 계절에 $174\text{m}^3/\text{d}$ 로 가장 높게 나타났다.

iii) Y-3 지점은 집단취락지의 형태를 띤 소규모 처리 분구로, 인근 아파트의 하수가 차집되는 지점이다. 월별 평균 유량 분석값중 최대값과 최소값의 차는 $512\text{m}^3/\text{d}$ 로 나타났으며 평균 수질은 봄 계절에 가장 높게 나타났다.

iv) Y-4 지점은 하수처리장 유입부에 위치하고 있는 특징을 갖고 있다. 유량계측지점이 하수처리장에 유입부에 위치하고 있어 하수처리장 운영상황에 직접적으로 영향을 받고 있고, 하수관거로 다량의 토사가 유입되고 있어 원활한 유량계측이 이뤄지지 못한 지점이다. 월별 평균유량은 9월에 가장 높게 나타났으며 최소유량을 보인 시점과는 $1367\text{m}^3/\text{d}$ 의 차이를 보였다. 또한 평균 침입수량은 봄계절에 가장 크게 나타났다.

v) Y-5지점은 $216\text{m}^3/\text{d}$ 의 최대 최소유량의 차이를 보였고 여름 계절에 높은 침입수량을 보였다. 평균수질은 봄 계절에 183mg/l 로 가장 높게 나타났다.

vi) I/I의 발생량과 수질농도(BOD_5)간의 상관성을 분석

한결과 피어슨 상관계수는 Y-1 지점의 경우 -0.578, Y-2 지점 -0.775, Y-3 지점 -0.930, Y-4 지점 -0.494, Y-5 지점은 -0.553 으로 분석되어 I/I의 발생이 수질농도를 낮추는 데에 밀접한 관련이 있어 처리장의 처리효율을 떨어뜨린다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 류근관, (2005) 통계학, 법문사
2. 박명균 외 3명, (2006), 하수관거보수 순위결정을 위한 침입수/유입수량에 대한 정량/정성 분석의 실행 연구, *대한상하수도학회지*, Vol.20, No.1, pp 53-62
3. 박재성, (2007), 국내 하수관거 정비사업의 필요성 및 현황, *자연과문명의 조화*, Vol.55, No.6, pp 135-143
4. 송영일 외 3명, (2004), 광주시의 합류식 및 분류식 하수관거의 침입수/유입수(I/I) 조사, 한국 수처리 학회, *수처리기술*, Vol.12, No.1, pp 83-96
5. 정철권외 3명, (2002), 불명수 처리 및 관거보수 비용을 고려한 하수관거 정비 최적화 모델의 정비효과 평가, *대한환경공학회지*, Vol.24, No.12, pp 2089-2100
6. 충북대학교 학연산공동기술 연구원, (2006), 한강수계 제 4공구여주군 하수관거 정비공사
7. 최계운 외 2명, (2006), 하수관거 정비 ; 하수 관거 내 유량데이터 활용방안에 관한 연구, 대한상하수도 학회, *공동준계 학술발표회 논문집*, Vol.2006, No.0, pp1315-1316
8. 최승철외 2명, (2005), 하수관거 침투수/유입수(I/I)와 불량률과의 상관성 분석, *대한상하수도학회지*, Vol 19, No.2, pp 221-227
9. 환경관리공단, (2003), 양평군여주군 한강수계 하수관거 정비공사(제4공구) 실시설계보고서
10. 하수도 연구회, (2002), 차세대 하수관거 정비 특별 심포지움, *대한상하수도 학회*
11. American Sigma Inc(200), Flow Meter Models 910, 920, 930
12. ASCE(1994), Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation 2nd edition,