

하수관거 내 유량측정을 통한 생활용수의 회귀율 분석

The Analysis of Return Flow Ratio By Measuring Discharge of The Sewer Network

최계운*, 김영규**, 함명수***, 조형근****

Gye Woon Choi, Young Kyu Kim, Myeong Soo Ham, Hyoung Gen Jo

요 지

본 연구의 시험유역은 기존에 제시되고 있는 회귀율 분석에서 각 지역별 및 업종별 다양한 회귀율을 나타내고 있어 어느 일정한 값을 결정하기 어렵고, 또한 최근들면서 하수관거정비사업 등을 통하여 하수 차집 비율이 과거에 비해 매우 높아짐에 따라 기존에 제시된 회귀율과 하수관거사업에 의해 변화되는 회귀율을 비교 분석하기 위해 시험유역을 운영하였다. 물 사용량에 대한 회귀율의 정확성을 위하여 한강수계의 하남시를 대상으로 총 4개 지점에 대한 시험유역을 구성하여 생활용수의 회귀율 및 최근 환경부에서 중점적으로 추진하고 있는 하수관거 정비 사업에 따른 회귀율 변화에 대하여 계절별 회귀율을 제시하고 분석을 하였다.

핵심용어 : 회귀율, 물수지 분석

1. 서 론

물수지 분석에서 정확한 순물소모량을 계산하여 하천유량을 계산하기 위해서 용수의 하천으로의 회귀수 비율을 정확히 추정하는 것이 중요하다. 회귀수비율은 생활용수, 공업용수, 농업용수 회귀율로 구분할 수 있으며, 국내에서 연구된 기존 연구보고서 상에서는 대부분이 회귀율을 가정하여 물수지 분석을 수행해왔다. 회귀수비율을 추정함에 있어서 실측자료를 이용하는 것이 타당하나 국내에서는 연구된 사례가 많지 않으며, 그러나 연구된 결과도 특정 지역에서의 단기간 연구된 자료만이 있어, 다른 지역에 적용하기에 어려운 상황이다. 정확한 회귀율은 국가 하천의 가능유하량을 산정하는데 기본이 되기 때문에 지역적 특성과 계절적 변화를 고려한 회귀율의 산정이 필요하다.

2. 생활용수 회귀율

생활용수의 회귀수량은 생활용수로 공급된 용수 중에서 이용된 후 하천으로 방류되어 다시 이용될 가능성이 있는 용수로 생활용수 회귀율은 생활용수 공급량과 하천유입량의 비로 나타낼 수 있다.

$$\text{생활용수회귀율}(\%) = \frac{\text{하천유입량}}{\text{생활용수공급량}} \times 100$$

*정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : youngku@incheon.ac.kr

*** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : hamhem@incheon.ac.kr

**** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : hkwetech@hanmail.net

2.1 기존 보고서에 제시된 회귀율

기존 연구보고서에서 적용한 용수회귀율은 한강유역조사(1978)에서 생공용수 5%-19%으로 단계적으로 증가되도록 적용하였고, 수자원장기종합계획(1991-2011), 한강유역조사(1990), 21세기를 바라보는 수자원전망(1993), 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사(1996), 기존댐 용수공급능력조사(한강수계, 1997), 수자원 계획의 최적화 연구(III) (1999), 수자원장기종합계획(Water Vision 2020)(2001)에서는 모두 생공용수 회귀율에 65%를 적용하였다. 이와 같이 대부분의 보고서에서는 회귀율을 65%로 가정하여 동일하게 적용하였는데 전국을 대상으로 한 계획에서 지역적 영향을 고려하긴 어렵지만 계절적 영향 등을 고려한 회귀율의 적용은 가능하다. 기존에 사용된 회귀율의 경우 지역적 특징과 계절적 영향이 고려되지 않았기 때문에 정확한 생활용수의 회귀량을 산정할 수 없다고 사료된다.

2.2 한강유역을 대상으로 실측된 회귀율

실측된 자료에 의한 회귀율 산정은 1997년 건설교통부에서는 낙동강(1997), 한강(1998), 영산강·섬진강(1999), 금강(1999) 등 우리나라의 4대 강에 대한 하천수 사용실태에 대한 조사를 실시하였으며 본 연구에 적용한 하남시가 한강수계 인 것을 감안하여 한강수계의 서울특별시와 춘천, 충주와 제천지역에 대하여 회귀율 분석을 조사하였다.

표 1. 하천수 사용 실태 조사보고서에 제시된 생활용수 회귀율

| 지 역 | | 단독주택 | 아파트 | 상가지역 | 거시적 회귀율 |
|-------|----|-------|-------|-------|---------|
| 한강 수계 | 서울 | 59.8 | 94.7 | 85.5 | 116.1 |
| | 춘천 | 76.8 | 74.7 | 80.0 | 89.4 |
| | 충주 | 85.0 | 87.7 | 72.6 | 67.1 |
| | 제천 | 88.0 | 86.2 | 76.4 | 82.7 |
| | 평균 | 77.40 | 85.83 | 78.63 | 88.83 |

(출처) 한강 수계 하천수 사용 실태 조사 및 하천유지유량산정 보고서-하천수 사용실태 조사(1998)

단독주택의 경우 한강수계의 서울지역에서 59.8%의 회귀율을 나타내고 있으며 전반적으로 아파트, 상가지역에 비해 낮은 회귀율을 나타내고 있다. 아파트의 경우 하수관로의 정비가 잘되고 있고 배출되는 곳이 한곳이기 때문에 단독주택보다 다소 높은 회귀율을 나타내고 있으며 전체평균으로 약 86%의 회귀율을 나타내고 있다. 상가지역의 경우는 편차가 심하지 않게 나타내고 있다. 지역 전체의 거시적인 회귀율은 평균 88.83%로 나타났지만 서울의 경우 116.1%의 회귀율을 나타내고 있다. 이는 하수관거의 정비 불량으로 인하여 침투 및 침루에 의한 영향이 상당히 크게 나타나는 것으로 판단된다.

2004년 건설교통부에서 한강유역을 대상으로 유역조사를 실시하면서 이수조사 보고서 상에서 회귀율을 실측하였는데 표본지역은 충주시와 과천·안양지역을 대상으로 하였다.

충주시 단독주택의 경우 월별 최소 66.1%에서 최대 98.7%까지 회귀율을 나타냈으며, 평균 84.3%로 나타났다. 아파트 지역의 경우 월별 90.8%에서 99.4%로 큰 변화폭이 없으며 단독주택보다 높은 회귀율을 나타내고 있다. 상가지역의 경우 81.4%에서 97.5%로 평균 88.4%를 나타났다. 충주시 전체에 대한 물이용량 및 하수량을 분석한 거시적인 회귀율의 경우 표본지역에서 측정한 회귀율보다 다소 높은 95.3%로 나타났다. 과천의 단독주택지역인 부림동과 중앙동의 경우 85.1%~96.8%, 77.1%~98% 등 월별 회귀율이 크게 차이나는 것으로 측정되었다. 그러나 안양의 아파트 지역의 경우 84.6%~105.3%(성원아파트), 92.2%~99.7%(경남아파트)로 나타나 높은 회귀율을 보이고 있다.

상가지역인 안양시 신라상가와 경남상가의 회귀율 조사에서 신라상가에서 55.2%~91.7%의 월별 큰 차이를 보이고 있는 반면 경남상가의 경우 83.1%~95.2%의 높으면서 일정한 회귀율을 나타났다. 그러나 과천시의 경우 하수관거의 부식 및 지하수 사용량의 정확성 부족으로 인하여 정확한 회귀율을 측정하지 못하였다.

위의 자료들을 정리하면 대부분의 지역은 80%내외의 회귀율을 보이고 있는 것을 나타났는데 이는 기존의 수장원장기종합계획(2001)의 생활용수 회귀량인 65%보다 많이 회귀되는 것으로 나타났다.

3. 시험 유역 조사

본 연구에서 이용된 시험유역은 한강수계 하수관거 정비사업의 일환으로 시행되고 있는 ○○시를 대상으로 하였고 조사기간은 계절별 총2회로 여름과 겨울에 측정하였으며 여름철의 경우 2006년 8월15일부터 9월14일까지 측정되었고 겨울철의 경우 2006년 12월 한 달간 측정되었다. 그리고 회귀율 분석에 사용된 인구수는 현지조사와 통계연보자료를 병행하여 산정하였고 상수사용량은 실제 상수사용량 및 보급률을 근거로 산정하였다.

3.1 시험유역 현황

본 연구가 적용된 대상유역인 하남시는 경기도 중동부에 위치하며 동으로 한강을 경계로 남양주시, 북으로는 구리시, 서로는 서울시, 남으로는 성남시 및 광주시와 접해 있으며 특히, 서쪽에는 수도 서울의 강동구, 송파구와 접한 위성도시로써 급격적인 발전으로 도시의 면모를 갖추고 있다. 2004년 상수도 보급률은 91.9%, 하수도 보급률은 69.8%이고 2005년 상수도 보급률은 91%, 하수도 보급률은 73.3%이다.

3.2 지점현황

시험유역의 유량을 측정하는 지점은 총 7개 지점으로 유량계 설치지점은 4지점이며 보조 측정지점으로 3곳을 추가 측정하였다. 고정식 지점에는 산곡5, 산곡6, 덕풍10, 초이2지점이 있으며 보조지점에는 산곡2, 신장2, 춘궁3지점이 있다.

3.2.1 측정(고정)지점

측정위치는 그림 1에 나타난 것과 같으며 산곡5지점은 43번 국도와 산곡천을 중심으로 좌우측에 자연취락이 형성되어 있으며, 주택, 소규모공장, 창고 등이 산재되어 있다. 현재 신설관로 공사가 상당량(처리분구별 40~90%) 진행되었다. 산곡6지점의 목표 미달 시 원인분석 및 대안 수립을 하기 위한 유량계 설치지점이다. 산곡6지점은 산곡천을 중심으로 좌우측에 아파트 단지 및 자연취락이 형성되어 있으며 산곡천수계의 유량을 측정하기 위한 유량계 설치 지점으로 오수관거 신설이 거의 완료상태(공정률90%)에 있다. 덕풍10지점은 덕풍천 종류에 위치하며 관거 미보급지역으로 춘궁1, 2, 3 처리분구 및 덕풍10 처리분구에서 발생하는 유량을 계측할 수 있는 지점이다. 일부지역을 제외하고는 관거공사가 마무리 되었고 덕풍천수계의 유량을 측정하기 위한 유량계 설치지점이다. 초이2지점은 자연취락단위로 주로 단독주택 및 창고로 형성된 지역이며 관거 미보급지역으로 초이천 수계의 유량을 측정하기 위한 유량계 설치지점이다.

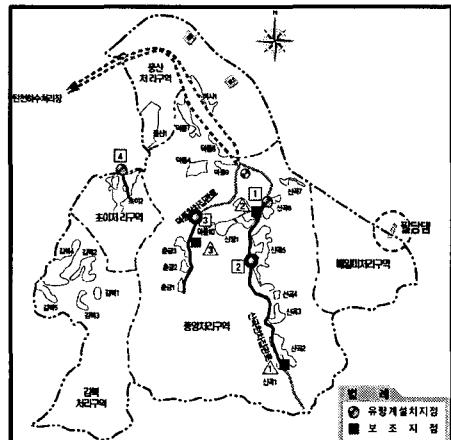


그림 1. 유량측정 지점

3.2.2 보조지점

보조지점은 고정식 지점에서의 상류 유역이나 시험유역의 유량을 배제하기 위한 지점으로 측정된 결과는 고정식 지점의 유량을 보정하기 위해 선정하였다. 산곡2지점은 3번 국도와 산곡천을 중심으로 좌우측에 자연

취락이 형성되어 있으며, 주택, 소규모공장, 창고 등이 산재되어 있는 관거 미보급지역으로 산곡5지점의 실 측정값에서 사업체외 관거 측정값을 차감하기 위한 보조지점이다. 인버트에 경사가 있어 와류현상이 발생하는 것에 대해 경사를 최소화하여 유량계측에 오류가 발생하지 않도록 하였다. 신장2지점은 장택지개발지구 인근의 일부 분류식이 보급된 지역으로 좌우측에 자연취락과 아파트 단지로 구성되어 있는 지역으로 산곡6 지점의 실 측정값에서 사업체외 관거 측정값을 차감하기 위한 지점이다. 춘궁3지점은 덕풍천 중류에 위치하며 자연취락단위로 주로 단독 주택으로 형성된 주거지역이고 덕풍10지점의 실 측정값에서 사업체외 관거 측정값을 차감하기 위한 보조지점이며 산곡2지점과 마찬가지로 하수관거정비공사 공정률 진행에 영향을 받지 않는 지점이다. 기존 조사 시에 비해 유량이 2배정도 늘어난 경향을 보이고 있다.

4. 실험결과 분석

4.1 여름철 회귀율 분석

각 처리 분구에서 측정된 상수사용량 및 하수발생량 자료를 바탕으로 지점별 회귀율을 분석하였다. 측정 기간 동안 총 7곳의 지점에 유량계를 설치하여 유량을 분석한 결과 표 2와 같은 결과를 나타냈다. 시험유역 조사 결과 덕풍 10지역이 73.9%의 회귀율을 나타내고 있으며 초이2지역 또한 69.6%의 회귀율을 나타내고 있다. 그러나 시험유역의 면적이 넓은 산곡6지역의 경우 47.9%의 회귀율을 나타내고 있어 다른 지역 및 기준의 결과보다 낮은 결과가 나타났다. 또한 시험유역 전체에 대한 평균 회귀율은 56.4%를 나타나는 것으로 분석되었다. 산곡5지역의 경우 관거공사로 이하여 발생된 하수량을 분리 배출시키고 있는 관계로 상류인 산곡2지점 보다 적은 유량이 발생되고 있어서 마이너스 유량이 나오는 관계로 회귀율 분석에서 제외하였다.

표 2. 회귀율 결정

| 조사지점 | 상수사용량 (m ³ /day) | 평균하수발생량 (m ³ /day) | 회귀율 |
|---------|--------------------------------|----------------------------------|-------|
| 초이2 지역 | 218.5 | 152.0 | 69.6% |
| 덕풍10 지역 | 510.7 | 377.5 | 73.9% |
| 산곡6 지역 | 1,405.2 | 673.5 | 47.9% |
| 합 계 | 2134.4 | 1203.0 | 56.4% |

4.2 겨울철 회귀율 분석

각 처리 분구에서 측정된 상수사용량 및 하수발생량 자료를 바탕으로 지점별 회귀율을 분석하였다. 측정 기간 동안 총 7곳의 지점에 유량계를 설치하여 유량을 분석한 결과 표 3과 같은 결과를 나타냈다. 시험유역 조사 결과 덕풍10지역이 89.0%의 회귀율을 나타내고 있으며 초이2지역도 68.2%의 회귀율을 나타내고 있어 기존에 사용되어 오던 65% 회귀율보다 높은 회귀율을 나타내고 있다. 그러나 시험유역의 면적이 넓은 산곡6 지역의 경우에는 74.9% 회귀율을 나타내고 있다. 또한 시험유역 전체에 대한 평균 회귀율은 76.8%를 나타나는 것으로 분석되었다.

표 3. 회귀율 결정

| 조사지점 | 상수사용량 (m ³ /day) | 평균하수발생량 (m ³ /day) | 회귀율 |
|---------|--------------------------------|----------------------------------|-------|
| 초이2 지역 | 229.9 | 156.8 | 68.2% |
| 덕풍10 지역 | 370.1 | 329.5 | 89.0% |
| 산곡6 지역 | 1286.8 | 963.7 | 74.9% |
| 합 계 | 1886.9 | 1449.9 | 76.8% |

4.3 계절별 회귀율 비교

시험 대상 지점의 계절별 회귀율 변화는 표 4와 같다. 초이2 지역은 겨울철이 여름철보다 회귀율이 1.4% 낮으며 덕풍 10 지역은 15.1% 증가된 것으로 조사되었다. 특히 산곡6 지점의 경우 27%로 증가되었다. 이는 시험 면적이 넓기 때문에 그 변화폭이 큼을 알 수 있다.

표 4 계절별 회귀율 비교

| 조사지점 | 여름철 회귀율(%) | 겨울철 회귀율(%) | 비고(겨울철-여름철) |
|---------|------------|------------|--------------|
| 초이2 지역 | 69.6 | 68.2 | 겨울철 1.4% 감소 |
| 덕풍10 지역 | 73.9 | 89.0 | 겨울철 15.1% 증가 |
| 산곡6 지역 | 47.9 | 74.9 | 겨울철 27% 증가 |
| 합계 | 56.4 | 76.8 | 겨울철 20.4% 증가 |

초이2지역이 겨울철에 증가하는 것으로 나타났지만 시험대상 지역 전체적으로는 겨울철이 여름철에 비해 20.4% 증가된 것으로 분석되어 겨울철이 여름철에 비해 회귀율이 높다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 동일한 시험유역에 대하여 기존자료의 활용과 실제 측정을 통하여 회귀율 변화를 분석하였다. 하남시의 3개 지점에 대하여 계절별 회귀율 분석을 실시하였고 여름철과 겨울철의 회귀율을 비교 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 계절별로 회귀율을 비교한 결과 여름철에는 56.4%로 측정되었고 겨울철에는 76.8%로 측정되어 계절에 따라 큰 차이가 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

둘째, 시험유역이 키짐에 따라 회귀율이 감소되는 것은 하수관거의 유로연장이 길어지면서 발생되는 손실로 판단되고 있으며 지속적인 관찰 및 시험유역의 하수관거 정비사업의 효과에 대하여 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 기존의 보고서에서는 회귀율을 65%로 지역에 상관없이 동일하게 가정하여 사용하였는데 본 연구의 결과 계절에 따라 그리고 지역에 따라 서로 다른 회귀율이 나타난다는 것을 확인하였다. 이는 기존보고서에서 회귀율을 결정하는데 잘못된 회귀율을 사용하였다고 사료된다. 이에 앞으로 지역적 특성과 계절적 영향을 고려하여 신뢰할 수 있는 회귀율을 산정하여 사용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(1998), 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서 - 하천유지유량 산정.
- 건설교통부, 한국수자원공사(1996), “수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본 조사”
- 건설교통부, 한국수자원공사(1997), “기준댐 용수공급능력조사”
- 건설교통부, 한국수자원공사(2004), “한강유역조사-이수조사보고서”
- 건설교통부, 서울지방국토관리청(1998), “한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정”
- 건설교통부, 한국수자원공사, 한구건설기술연구원(1999), “수자원계획의 최적화 연구(III)”
- 건설교통부, 한국수자원공사(2001), “수자원장기종합계획(water vision 2020)”
- 한국수자원공사(1993), “21세기를 바라보는 수자원전망”