

漢江水系の 用水 需要-供給體系 分析： 回歸水量에 관한 基礎研究

沈淳輔¹⁾, 金萬植²⁾, 高德九³⁾, 金東必⁴⁾

1. 서 언

수계내의 회귀수량은 각 유역 구간별 용수사용으로 발생되는 하천수의 감소량인 순물소모량에 따라 달라질 수 있으며, 지역 및 사용목적 등에 따라 그 변화폭이 상당히 클 것이다. 특히, 회귀수량이 순수 회귀수에 지하수가 포함되어 공급수량보다도 더 많은 경우가 발생할 수도 있을 것이다. 따라서 정확한 회귀수량의 산정을 위해서는 광역적인 용수요량과 공급량 및 하천유입량등의 정밀한 계측이 필요하다.

그러나 회귀율 산정을 위한 기존의 유역내 조사자료가 빈약한 것이 국내의 현실이고, 외국의 경우도 이에 대한 기존의 자료나 문헌을 찾아보기가 쉽지 않은 실정이다. 또한 외국의 경우에 따라 그 추정방식과 양적인 기준을 그대로 적용하는 것은 우리나라와는 물소비 양상이 상이하여 설사 기존의 자료가 있다하더라도 우리나라에 적용하는 것은 무리일 것으로 판단된다.

본 연구에서는 수계내 회귀수량의 산정을 위한 연구의 기초단계로서 우선 기존의 국내의 회귀수량산정 사례 및 기 제시되었던 추정방식을 열거, 제시하므로써 상대적인 우위 비교가 가능하도록 하고, 장차 이에 대한 연구의 방향을 제시하고자 한다.

2. 회귀수량 산정방법에 대한 검토

- 1) 1971년 미국 콜로라도 주립대학교의 연구논문에 의하면 생활용수의 회귀율을 70%, 공업용수에 대해서는 90%로 발표하고 있다. (산업기지개발공사, 1986; 한국수자원공사, 1990)
- 2) 1974년 부산직할시에서 하수 및 배수 기본계획 조사기간중 실측된 바에 의하면 350ha의 산업지구에 대한 회귀율은 67%에 상당하는 것으로 보고된 바 있다. (산업기지개발공사, 1986; 한국수자원공사, 1990)
- 3) 농지개량사업 설계기준 계획-관계편 (농수산부, 1983)에서는 광역용수량의 추정에 있어서 상류지역으로 부터의 환원수량 Q_2 는 다음과 같이 계산할 수 있는 것으로 밝히고 있다.

$$Q_2 = Q_1 - ET - (G_2 - G_1)$$

여기서 Q_1 , Q_2 는 지표수의 유입 및 유출량, ET 는 증발산량, G_1 , G_2 는 각각 지하수의 유입, 유출량을 의미한다. 유입량 Q_1 에 대한 유출량 Q_2 의 비 Q_2/Q_1 을 환원율 r (유입량이 용수만인 경우 용수환원율)라고 하면 환원율은

1) 忠北大學校 土木工學科 教授

2) 忠北大學校 大學院 土木工學科 博士過程 修了

3) 韓國水資源公社 水資源研究所 先任研究員

4) 忠北大學校 大學院 土木工學科 碩士過程

$$r = \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{ET + (G_2 - G_1)}{Q_1}$$

과 같이 계산될 수 있는데 유출량 $Q_1 \geq 0$ 이므로 환원율은 0보다 크다. 일반적으로 $\{ET + (G_2 - G_1)\} < Q_1$ 이므로 $0 \leq r \leq 1$ 가 된다.

위 보고서에서 환원률 r 는 실제 조사결과에 의해 용수부족지대에서 대체로 35%, 일반적인 지역에서 45~65%이며, 지하용출수가 있는 지구에서는 100%이상에 달하기도 하는 것으로 밝히고 있다.

- 4) 한강수계 소양강 및 충주다목적 댐 저수지 최적 연계운영방안 연구(2차) 보고서 (산업기지개발공사, 1986)와 한강유역 조사보고서 (한국수자원공사, 1990)에서는 위 1), 2)항의 보고서 자료를 바탕으로 생·공용수 급수량 또는 수요량에 대한 유역내 도시나 공업지역으로부터의 하천 회귀율을 65%로 가정한 바 있으며, 단 유역외의 도시로 공급된 용수는 회귀수가 없는 것으로 취급하였다.

한편 위 보고서들에서는 농업용수량 산정을 위하여 1972년의 낙동강유역 예비조사 보고서와 1977년에 발표된 낙동강유역 하구조사 기술보고서에 언급된 순물소모량의 개념을 도입하여 수리시설별, 전답별로 순물소모량을 계산하기 위한 방법을 제시하고 있는데 이 과정에서 회귀수량을 고려하였다. 하천으로부터 양수장이나 보시설에 의해 취수하는 수리안전답의 경우 다음과 같은 답소모량 계산을 위한 식을 제시하였는 바, 이 식의 역산을 통해서 회귀수량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

$$\text{답소모량} = \text{단위용수량} + \text{유효수량} - \text{회귀수량}$$

위 식에서 단위용수량 및 유효수량에 관한 구체적인 자료는 1982~1984년도의 농수산부·농업진흥공사의 농업용수개발 연구사업 보고서에 제시되어 있지만 본 보고서에서는 이의 수록을 생략하고자 한다. 한편 답소모량에 관해서는 위의 한국수자원공사 한강유역 조사보고서에 한강유역 및 안성천유역에 대해 연도별로 분석되어 제시된 바 있다.

그러나 위의 한국수자원공사 보고서는 회귀수량의 산정이 아닌 순물소모량 산정을 전제로 한 것으로서 농업용수의 회귀율은 여러 가지 경우에 대해 가정을 하고 있는 바, 관개답에 대해서는 삼투량의 50%와 관개손실의 70%가 하천으로 회귀되는 것으로 가정하였으며, 관개전의 경우는 관개손실량의 60%를 회귀율로 간주하고 있다. 따라서 실질적인 회귀수량을 계산하기 위해서는 유역내의 수리시설별, 전답별 면적과 토성에 관한 자료가 필요할 것이다. 실제적으로 이 보고서의 1991년 농업용수량 산정자료를 활용하여 회귀율을 추정분석한 결과 25% 정도로 나타나고 있다. 같은 방법으로, 1988년도에는 26.6%, 1996년도에는 23.8%, 2001년도에는 23.0% 등으로 추정되었지만, 이러한 방법은 수로손실등과 같은 외적 손실항이 포함되지 않은 것으로 실제적인 회귀율은 이보다 적을 것으로 사료된다.

- 5) 주암댐 계통 상수도 확장사업 기본설계보고서(광주직할시, 1989)에서는 연도별 일반적인 공업용수 사용율을 평균 27%로 계획하고 있어, 공업용수 공급량에 대한 하천으로의 회귀율은 대략 70% 정도인 것으로 분석되지만 이는 주로 process 용수만을 고려한 것으로 추정되며, 음료 및 식료품과 같은 제품제조에 사용되는 용수량을 포함한다면 실제 회귀율이 이보다 적을 것으로 사료된다.
- 6) 하천유역 물수지 시뮬레이션 모델 연구 보고서 (산업기지개발공사, 1988)에 의하면 충북대학교 건설기술연구소 수자원 연구팀이 1987년 6월 9일 부터 7월 17일까지 섬진강 유역에 대한 현지 유출량 실측결과에 의해 각 용수 목적별 회귀수량을 분석한 사실을 밝히고 있다. 위 보고서에 의하면 생·공용수의 경우 사용수량의 약 70%가 하천으로 환원되는 것으로 가정하였으며, 농업용수는 그 취수량의 약 15 %가 수로에서 손실되며, 수리시설의 조작에서도 약 25 %의 손실이 발생해 취수량의 약 40 %가 총손실량이 되며, 그 중 약 50 %가 하천으로 회귀되는 것으로 가정하여 전체 회귀수량은 20 %가 되는 것으로 연구·조사한 바 있다.

- 7) 농어촌용수의 개발 및 최적 이용모형화 연구 (농림수산부·농어촌진흥공사,1991~ 1992)의 보고서와 허 (1992)의 연구에서는 각종 용수의 회귀율을 산정하기 위한 공식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$R_j = \sum f_j \times D_j$$

여기서 f : 용수목적별 회귀율
 D : 목적별 취수량
 j : 용수목적을 나타내는 첨자

위 연구들에서는 양(1991), 건설기술연구원(1990)과 농림수산부·농어촌진흥공사(1990)의 연구결과를 바탕으로 생·공용수의 회귀율을 70~80%로 추정하고 있으며, 논용수의 회귀율은 45~65%정도로 가정하고 있다.

한편 축산용수에 대한 회귀율을 산정하기 위한 공식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$RFR = 1 - \frac{REQ_L}{N \times ARQ}$$

여기서 RFR : 회귀율
 N : 사육두수
 ARQ : 두당소비수량

이 방법에 의해 회귀율을 계산하기 위해서는 축산 관련자료로 부터 가축사육두수별 필요 용수량과 지구별 가축사육두수를 파악하여야 할 것이다. 또한 실제의 현지조사를 통해 생활용수의 경우 배출량이 250리터/일/인으로 조사된 결과를 제시하기도 하였는데, 생활용수 급수량은 인구수에 따라 1988년도 기준 190~378리터로 추정하고 있으므로 이들을 대비하여 계산하면 회귀율을 구할 수 있을 것으로 사료된다.

- 8) 농어촌 용수이용 합리화계획 자료정보 데이터베이스 구축(농림수산부·농어촌진흥공사,1991~1992)의 보고서와 한(1993)은 1977년 UNDP NEDECO의 낙동강하구 조사보고서의 자료를 인용하여 생·공용수의 회귀율을 65%로 가정하였으며, 축산용수의 경우도 65%가 하천으로 환원되는 것으로 보고 회귀율을 추정하고 있다. 농업용수의 경우는 전 관개기간을 통해 침투량의 50%가 하천으로 회귀되는 것으로 가정하였는데, 농경지로 부터의 회수량은 경지의 면적과 토성에 따른 침투농자료로 계산할 수 있는 것으로 제시하고 있다.
- 9) 농어촌용수 환경관리에 관한 연구(농림수산부·농어촌진흥공사, 1992) 보고서에서는 경기도 이천군 마장면, 호법면에서의 조사를 통해 음료 및 식료품 제조공장의 경우 용수량은 4000톤/일, 폐수 배출량 1910톤/일로서 하천으로의 회귀율은 약 48% 정도인 것으로 조사하여 밝힌 바 있다.
- 10) 일본의 경우 武田育郎 등(1990)은 논 지역에서의 오탉물질과 유출부하량 산정을 위한 연구를 통해 관개기 및 비관개기의 논에서의 물수지를 측정한 결과는 대단위 논지대에서 이루어진 것으로 관개량에 대한 유출량의 비를 회귀율로 간주할 수 있을 것으로 사료되는 바, 농업용수의 경우 관개기간중에는 46~66%의 회귀율을 나타내고 있다. 한편 三野 徹 등(1984)은 용수시스템의 재편성과 광역용수량의 결정을 위한 연구를 통해 용수분배의 효율을 극대화하기 위한 방법론을 개발하고, 이를 실제 포장에 적용한 결과로 부터 논으로부터 수로로의 회귀율을 60%로 하였을 때 최적화가 이루어졌음을 밝히고 있다.

3. 결 어

본 연구의 목적은 대상유역인 한강수계 본류에 대한 회귀수량 산정을 위한 연구의 초기 단계로서 기존의 국내외 회귀수량산정의 사례 및 기 제시된 추정방식을 열거, 제시하여 비교·검토하고, 장차 이에 대한 연구의 방향을 제시하고자 한다.

기존의 회귀수량 산정방법이나 기준에 관한 자료를 수집하는 가운데 연구자의 관점에서 가장 아쉬운 점은 아직 국내에 체계적인 실측조사의 사례가 없고, 대부분의 국내 연구는 외국의 연구결과나 1977년 외국기관이 낙동강유역 하구조사 기술보고서에 제시된 자료를 바탕으로 가정에 의해 용수별 회귀율을 가정하고 있는 실정이다.

그러나 외국의 자료는 우리나라에서의 물소비 양태와는 매우 큰 차이가 있을 것으로 우리나라에서의 독특한 용수이동형태를 파악하기 위한 연구가 필요한 것이 현실이다. 또한 용수의 하천회귀에 영향을 미치는 인자는 매우 다양할 것으로 짐작할 수 있다. 생활용수의 경우 인구수만이 아니라 그들의 생활수준 및 양식, 그리고 상하수도 시설등도 회귀수량에 미치는 영향이 매우 클 것이며, 공업용수의 경우는 그 양상이 보다 더 다양하여 업종별 용수의 회귀율은 매우 큰 폭의 차이를 보일 것으로 판단된다. 또한 농업용수의 경우도 수리시설 및 물관리 방법, 작물의 품종 및 소비수량 등에 따라서도 회귀율이 매우 다양할 것으로 예상되므로 종전과 같이 일률적인 회귀율을 적용한다는 것은 용수 수요예측에 있어서 커다란 오류를 발생시킬 소지가 있다고 생각된다.

뿐만 아니라 용수의 취수원이 하천만이 아닌 지하수, 또는 지류상류의 저수지일 경우에 대해서도 충분한 고려가 이루어져야 할 것이다.

따라서 장차의 용수 수요예측이나 유역의 물수지계산을 위한 기초적인 자료로서 각종 용수별 하천 회귀율에 관한 연구가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 판단되었는 바, 특히 대표적인 경우를 선정하여 장기간의 실측을 실시할 필요가 있는 것으로 사료된다.

4. 참 고 문 헌

1. KOWACO, 1991, Development of Monthly Operation Rules Considering Reliability Levels for Reservoir Systems Operation, *Water Resour. Res. Institute*, Korea Water Resources Corporation, Taejon, KOREA.
2. Young, Y. K., 1967, Finding reservoir operation rules, *J. Hydr. Div.*, ASCE, 93(6), 297-321.
3. 武田育郎, 國松孝男, 小林鎮太郎, 丸山利輔, 1991, 水系におけ水田群の汚濁物質の收支と流出負荷量-水田群からの汚濁負荷流出に関する研究(II)-, 日本農業土木學會 論文集, 153號, 63-72.
4. 建設部/産業基地開發公社, 1986, 全國水資源利用現況 및 需要展望調査.
5. 農漁村用水開發企劃團, 1989, 農漁村用水利用合理化計劃(基本構想)
6. 産業基地開發公社, 1986, 全國水資源利用現況 및 需要調査報告書.
7. 産業基地開發公社, 1988, 漢江流域 물收支 시뮬레이션 모델 研究報告書.
8. 서울大學校 農業生命科學大學 農業開發研究所, 1992a, 農漁村用水利用合理化計劃資料情報 데이터베이스 構築 研究II, 農林水産部/農漁村振興公社 研究報告書.
9. 서울大學校 農業生命科學大學 農業開發研究所, 1992c, 農漁村用水環境管理에 관한 研究I, 農林水産部/農漁村振興公社 研究報告書.
10. 韓國建設技術研究院, 1990, 水資源長期綜合計劃('91-2011), 韓國水資源公社 報告書.
11. 韓國水資源公社, 1989, 漢江流域水利施設物資料電算化報告書.
12. 韓國水資源公社, 1990, 漢江流域調査報告書.
13. 韓國水資源公社, 1990, 漢江河川維持流量調査 研究報告書.
14. 三野徹, 丸山利輔, 1983, 用水系統の再編成と廣域用水量の決定について, 日本農業土木學會 論文集, 108號, 7-17.
15. 韓國水資源公社, 1993, 忠州댐 및 昭陽江댐 連繫運營 Hydro-Scheduling 模型開發, 研究報告書.