

산지유역에서의 최적용수공급방안에 관한 연구

김 지 학 · 박 기 범*

충주대학교 토목공학부, *안동과학대학 건설정보과
(2006년 9월 9일 접수; 2006년 10월 20일 채택)

A Study of Optimal Water Supply Planning in Mountainous Area

Ji-Hak Kim and Ki-Bum Park*

Department construction & Urban engineering, Chungju national university, Chungju 380-702, Korea

*Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-820, Korea

(Manuscript received 9 September, 2006; accepted 20 October, 2006)

In this study used tank model and specific discharge to calculate low-flow of mountain basin and supply data that need in water resources plan. Low-flow is calculated by specific discharge and area ratio method as resulted that calculate storage of low-flow by tank model was construed that showed all similar aspect. In judged to help in water resources plan establishment calculating low-flow using model to supplement uncertainty of observed data in that calculate of low-flow ungauged mountain area. It shows by economical and realistic plan until 12 years after development that run parallel and use economic performance analysis result valley flow and groundwater. But wide area water services and Chungju dam since 12 years onward was expose that is economic.

Key Words : Optimal water supply plan, Mountainous area

1. 서 론

우리나라의 수자원은 강우의 계절별, 연도별, 지역적 편차가 심하며 국토의 65% 이상이 산지로 이루어져 수자원의 확보가 유리하지는 않은 실정이다. 특히 대도시지역의 편중된 수자원 공급문제에서 아직도 정부의 용수공급손질이 미치지 못하는 지역이 상당부분 차지하고 있다. 특히 산지유역의 경우 지하수나 일부 하천수를 이용하여 간이상수도 시설로 용수공급을 하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 산지소유역의 하천의 경우 수위나 강우 유량등 기초적인 수문자료의 계측망이 아직 충분치 않아 용수공급계획을 수립하기 위한 자료를 획득하기에는 어려움이 많은 것이 사실이다. 이러한 유역의 수자원 계획을 수립하기 위해서는 모형에 의한 유출해석으로 유출량을 산정하여 수자원 계획에 이용하고 있다. 따라서 수자원 계획을 수립하기 위해 강우-유출에 의한 수자원량의 추정이 우선되어야 하며 추정

된 유량자료를 이용하여 용수공급계획을 수립할 수 있을 것이다.

유출분석의 목적은 하천유량과 유황을 정량적으로 파악함으로써 수자원의 최적이용과 관리 그리고 계획수립을 위하여 하천유량을 양적으로 비교함으로써 개발과 이용에 따른 효과를 분석하기 위함이다. 우리나라에서 이용되고 있는 대표적인 장기유출 모형으로는 탱크모형과 SSARR, 비유량법 등이 있다. 특히 탱크모형은 장단기 유출해석의 공용성을 가진 방법으로 1972년 Sugawara에 의한 유출해석법이 발표되면서 실용화가 널리 이루어진 상태이다.

저수유출에 의한 연구로는 먼저 기존댐 용수공급 능력조사 보고서(낙동강수계, 금강수계)¹⁾에서 낙동강과 금강유역의 각 소유역 저수유출량 산정에 있어 탱크모형을 이용하였으며, 이상호 등(2005)²⁾은 소양강댐과 충주댐 유역에 있어 용설을 고려한 탱크모형을 적용하였다. 양해근 등(2005)³⁾은 섬진강유역의 오염총량 관리를 위한 유량의 산정에 있어 비유량법에 의한 유출량의 산정결과를 실측자료와 비교하여 적용성을 검토하였다. 박선화(2005)⁴⁾, 박기범 등(2006)⁵⁾은 충주댐 유역의 산지계곡 유역의 용수공급에 있어 동달천 유역의 저수유출량을 산정하였다.

Corresponding Author : Ki-Bum Park, Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-820, Korea
Phone: +82-53-851-3600
E-mail: pkb5032@naver.com

본 연구에서는 산지유역에 용수공급문제를 해결하기 위하여 먼저 유출량의 산정이 선행되어야 하므로 장기유출모의를 위하여 동달천 유역과 유역내의 3개 소유역지점에 대하여 저수유출 모의를 하였고 적합성을 비교하기 위하여 탱크모형과 비유량법, 그리고 면적비에 의한 유출량을 비교 검토하였으며, 현지조사를 통한 용수공급방안의 수립과 경제성 검토를 실시하여 현지 여건에 적합한 최적의 용수공급방안을 제시하였다.

2. 유출량 산정 이론

2.1. 탱크모형

탱크모형은 일본의 Sugawara가 1961년 처음 개발한 모형으로서 주로 일본과 동남아 각국에서 널리 이용하고 있다. 본 모형은 지하수층 구조를 모형화한 것과 같이 연직방향으로 연속된 일련의 탱크로 유역모형이 구성된다. 각 탱크는 바닥과 측벽에 1개 이상의 유출구가 있어 첫번째 유입된 강수는 측벽 유출구로 유출(지표수 유출)되거나 바닥유출구를 통해 두번째 탱크로 침투된 후 측벽 유출구로 유출(복류수 유출) 또는 하부 탱크로 침투되어 유출(지하수 유출)되기도 한다. 건조한 유역에서는 토양의 비균질성을 반영하기 위하여 서로 특성이 다른 탱크열을 병렬배치하는 경우도 있다. 본 모형은 Black-Box적 성격 때문에 탱크모형의 구조와 매개변수가 결정되기 위해서는, 탱크모형에 숙련된 경험자가 필요하며 저수지 추적이 포함되어 있지 않은 단점이 있다. 저수지 물관리에 이용되는 탱크모델의 구성은 직렬 4단 탱크로 구성된다. 일반적으로 하천 유역의 저수유출 예측을 위한 탱크모형의 각 단별 유출과정은 다음 Fig. 1과 같이 구성되며, 강우량은 최상단 탱크로 유입하여 저류수가 점차 증가하면서 저류수 중에서 일부는 유출공으로부터 유출이 이루어지고 일부는 저면의 침투공으로 침투가 되어 하단 탱크인 제2단 탱크로 유입된다. 이와 같이 유출 및 침투현상은 각 단의 탱크내에서 동일한 과정으로 이루어진다. 또한 증발량은 최상단 탱크로부터 증발되며, 최상단 탱크내에 저류수가 부족할 경우 순차적으로 하단 탱크로부터 증발이 발생하게 된다. 각 탱크의 유출성분은 먼저, 제1단 탱크의 1, 2유출공의 지표면 유출, 제2단 탱크의 중간유출 및 제3, 4단 탱크의 기저유출로 구분되며, 하천유출은 지표면유출, 중간유출 및 기저유출 성분의 합으로 이루어진다. 다음으로, 기저유출 해석의 경우 탱크모델의 매개변수는 각 탱크의 측면 유출공의 유출계수, 저면 침투공의 침투계수 및 각탱크의 저류형태인 저류고 등으로 구성되며, 이들 매개변수는 하천의

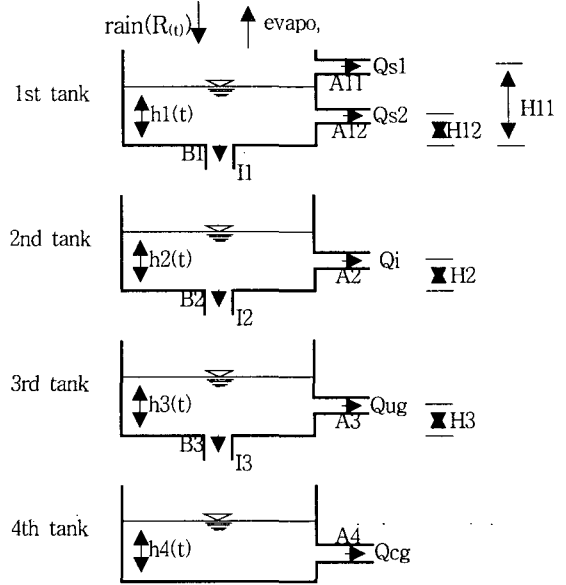


Fig. 1. Low-flow simulation process by Tank model.

지정된 관리지점의 상류에서 발생한 강우량, 증발산량 및 기타 기상자료들에 의해서 추정할 수 있다.

2.2. 비유량법

수자원 개발 및 이·치수계획의 수립을 위해서는 계획지점의 일유량의 변동상황을 파악할 수 있는 유황분석이 선행되어야 한다. 일반적으로 유황분석은 유역내 각종 용수를 사용하고 난 후 실측유량으로 분석하는 것이 타당하나 유역에서 이용할만한 실측자료가 부족한 경우에는 최대한 동일한 인접유역의 특성을 반영하여야 한다. 인접유역의 과거 순물소모량을 고려하여 자연유량으로 환산하고 이로부터 어느 지점의 면적 비유량법에 의해 산정된 유량을 자연유량으로 하여 분석한다.

일반적으로 비유량 산정법은 다음 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{A' \times R'}{A \times R} \times Q' \quad (1)$$

여기서 Q' 는 계획지점의 유출량이고, Q 는 기준지점의 유출량이며, A' 는 계획지점의 유역면적, A 는 기준지점의 유역면적 R' 는 계획유역의 연평균 강우량, R 은 기준지점의 유역연평균 강우량이다.

2. 분석대상유역의 개요

본 연구의 대상유역인 충주댐 상류의 동달천 유역은 유역면적이 53.7km²으로서 유로연장이 9.92km이다. 동달천 유역은 유역의 대부분이 산지로 되어

있으며, 연구대상 유역내의 한수면은 충청북도 제천시 남서부에 10개리로 이루어져 있고 북동부는 청풍면, 동부는 수산, 덕산면, 남서부는 충주시 동량면, 살미면, 남부는 충주시 수안보면에 접한다. 충주시 동량면과의 경계에 주봉산이 솟아있다. 1985년 10월에 완공된 충주 다목적 댐의 건설로 면을 구성하는 16개리 전역에 걸쳐 일부가 수몰되었다. 동달천내 3개의 계곡 소유역의 유역면적은 A1 유역(덕주골)이 5.25km², A2 유역(만수골)이 6.03 km² 그리고 A3 유역(고무서리골)은 2.46km²이다.

3. 분석결과 및 비교

3.1. 유출량 산정결과 및 비교

먼저 유출해석을 위하여 일강우 자료를 수집하였으며, 동달천 유역내의 덕주사 강우 관측소의 2000~2004년 자료를 이용하였다.

미계측 유역에서 탱크모형을 적용하기 위해서는 유사한 유역에서 적용된 자료의 수집에 필수적이다. 충주댐 유역에 사용된 4단 탱크모형의 매개변수를 조사하여 초기매개변수로 사용하였으며 동달천 유역과 동달천 내 산지계곡 소유역인 덕주골 만수골 그리고 고무서리골 유역에 대하여 탱크모형의 매개변수를 산정한 결과 다음 Table 4와 같다.

본 연구의 대상유역인 충주댐 상류유역의 동달천 유역과 동달천 내 3개의 소유역 A1, A2, A3유역의 유출량 산정결과를 요약하면 다음과 같다.

분석대상유역의 용수공급계획을 수립하는 데 이용할 수 있는 갈수유량을 산정한 결과, 동달천 유역이 0.196m³/s, A1, A2, A3 유역의 갈수량이 각각 0.019m³/s, 0.022m³/s, 0.009m³/s로 분석되었다.

4. 용수공급 시설의 결정

본 연구대상 유역인 충주댐 동달천 상류 3개 소유역의 현장조사와 주민의견을 조사하여 용수공급 시설의 결정에 참고하였으며, 실제 유량의 흐름 상태를 파악하기 위하여 Fig. 6~Fig. 11에 나타난 바와 같이 2002년도에 현지 유량측정을 실시하였으며, 또한 현지 주민의 의견을 조사한 결과 저수유출 계산상으로는 유량의 부족이 발생하지 않으나 실제 갈수기에는 계곡수의 취수가 어려운 실정이며 과거 10년간 년평균 1개월 정도의 계곡수 취수가 불가능한 것으로 조사되었다. 또한 동절기의 경우 결빙과 유량의 부족으로 취수가 제한되어 년평균 2~3개월 이상 계곡수의 취수가 불가능한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 앞서 분석한 저수유출량으로는 충분히 잠재적 유량이 존재하는 것으로 판단되어 대상유역의 용수공급가능 시설에 따른 분석을 실시하였다.

대상유역에서 가능한 용수공급시설로는 다음 Table 10과 같은 방안이 제시되었다. Plan 1은 계곡수를 전량 취수하는 방안이며, Plan 2는 지하수를 전량 취수하는 방안, Plan 3은 계곡수와 지하수를

Table 1. Basin characteristics at dongdalchun

Basin area(km ²)	River length(km)	Average height(EL. m)	Average slope(%)
53.7	9.92	505.74	51.81

Table 2. Yearly precipitation at the Dukjusa

(Unit : mm)

Year	2000	2001	2002	2003	2004
Precipitation	1219.0	970.5	1442.5	1765.0	1630.8

Table 3. Evaporation of the Chungju station

(Unit : mm)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Evapo.	32.1	39.8	69.6	109.0	135.1	138.0	116.0	115.6	90.9	67.8	39.2	30.0

Table 4. Parameters of the tank model in this study (Height of runoff and initial storage coefficients)

Parameters	H11	H12	H2	H3	S1	S2	S3	S4
Study area	45	25	10	10	0	10	35	80
Parameters	A11	A12	B1	A2	B2	A3	B3	A4
Study area	0.30	0.15	0.28	0.09	0.080	0.0070	0.0060	0.0016

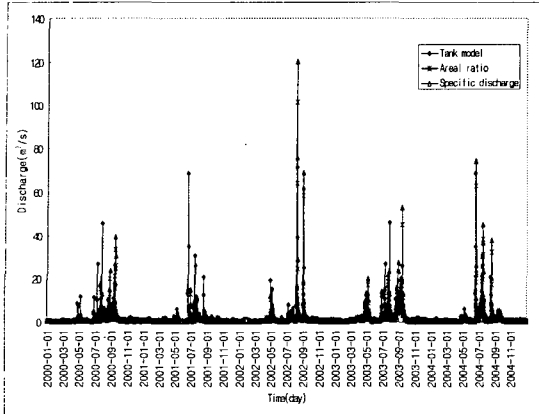


Fig. 2. Comparison of flow at the dongdalchun.

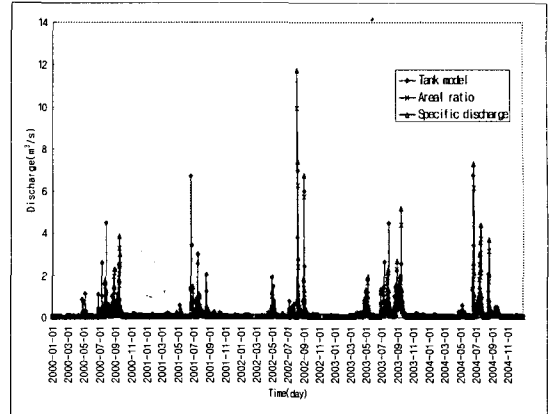


Fig. 3. Comparison of flow at the A1.

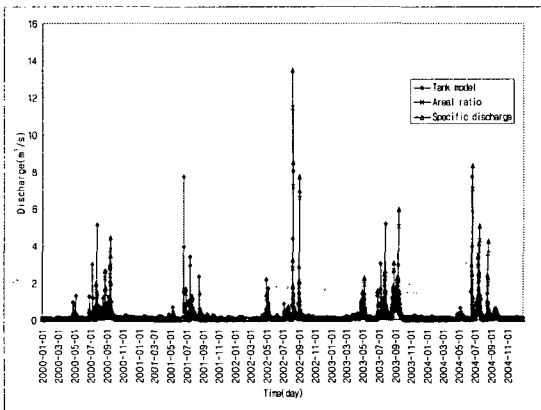


Fig. 4. Comparison of flow at the A2.

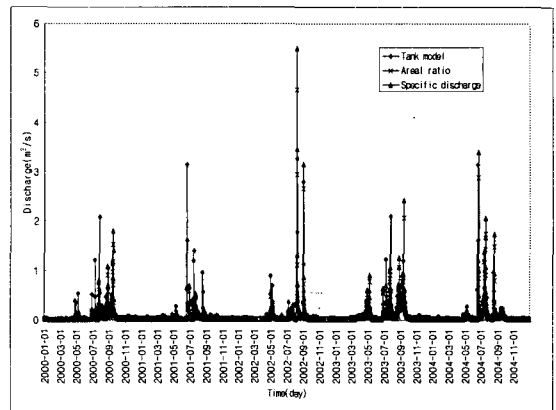


Fig. 5. Comparison of flow at the A3.

Table 8. Characteristics of runoff by tank model(2000~2004)

(Unit : m³/s)

Classifications	Dongdal chun	A1	A2	A3
Max	71.484	6.989	8.027	3.275
Average	1.989	0.194	0.223	0.091
Standard dev.	4.739	0.463	0.532	0.217
Variation	22.459	0.215	0.283	0.047

병행하는 방안, Plan 4는 충주댐에서 도수하는 방안, Plan 5는 광역상수도를 설치하는 방안이다. Table 10에서 제시된 값은 각 Plan의 공사비와 유지관리비, 물값등을 단위화한 것으로 경제성 검토에 이용하였다.

본 연구에서 각 Plan에 대한 사용년수에 따라 비용분석을 실시한 결과 Plan 1과 Plan 2의 경우 초기 투자비용과 유지비용등이 경제적이거나 단독으로는 용수공급이 불가능한 상태이며, Plan 4와 Plan 5의 경우 초기투자비의 과다와 현실적으로 설치에 오랜

시간이 소요되는 점에서 어려움이 있는 것으로 판단된다. 따라서 Plan 3의 경우 계곡수와 지하수 모 든 시설에 대해서 설치할 경우이나 계곡수와 지하수 이용의 최적 용수공급배분안을 설정할 경우 안정적인 용수공급원의 확보와 경제적으로 유리하다는 결론을 얻었다. 그러나 장기적으로 사용년이 12년이 경과되어서는 유지비용이 가장 고가인 상태로 되어 장기적으로는 Plan 4가 유리한 것으로 분석되었다.

산지유역에서의 최적용수공급방안에 관한 연구

Table 9. Results of Runoff analysis(Tank model)

(Unit : m³/s)

	Dongdal chun	A1	A2	A3
Drought flow	0.196	0.019	0.022	0.009
90%	0.417	0.041	0.047	0.019
80%	0.537	0.052	0.060	0.025
Minimum flow	0.572	0.056	0.064	0.026
70%	0.617	0.060	0.069	0.028
60%	0.722	0.071	0.081	0.033
Normal flow	0.849	0.083	0.095	0.039
50%	0.859	0.084	0.097	0.039
40%	1.030	0.101	0.116	0.047
30%	1.295	0.127	0.145	0.059
Abundant flow	1.544	0.151	0.173	0.071
20%	2.034	0.199	0.228	0.093
10%	3.792	0.371	0.426	0.174

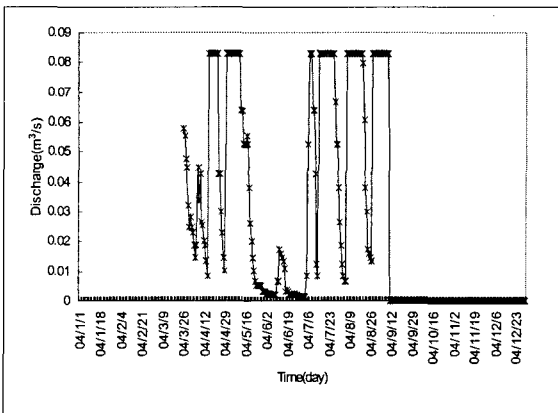


Fig. 6. Observed flow data at A1.



Fig. 7. Discharge observed at A1.

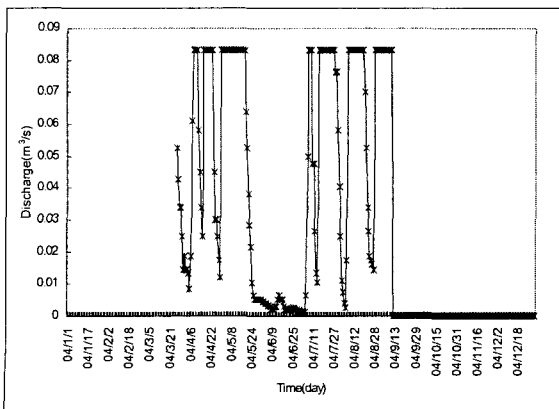


Fig. 8. Observed flow data at A2.

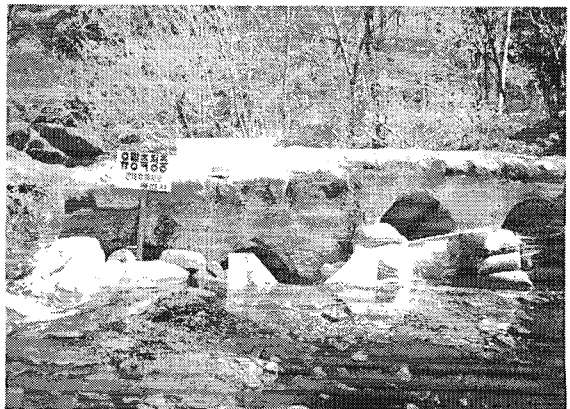


Fig. 9. Discharge observed at A2.

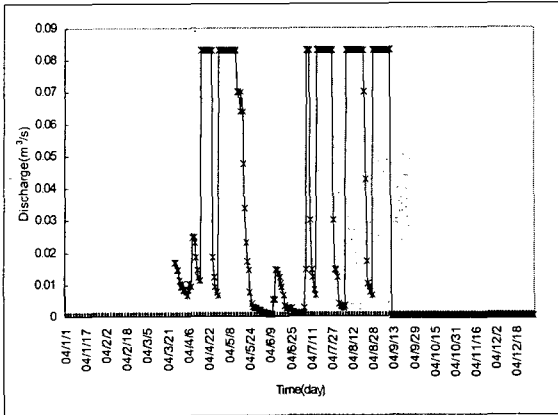


Fig. 10. Observed flow data at A3.



Fig. 11. Discharge observed at A3.

Table 10. Comparison of Plans

Classifications	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4	Plan 5
Cost	6.90	5.90	12.80	10.0	22.90
Maintenance	0.70	0.70	1.40	0.72	0.38
Water rate	-	-	-	0.03	0.18

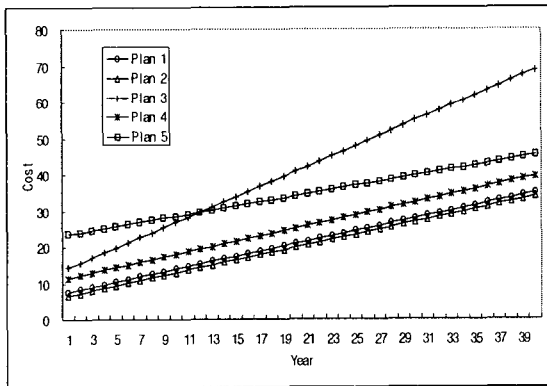


Fig. 12. Comparisons of Cost.

5. 결 론

본 연구의 대상유역은 충주댐 유역중에서 비교적 산지의 분포가 많은 농촌 유역이며, 특히 덕주골, 만수골, 고무서리골과 같은 유역은 유량계측 시설이 없는 미계측 유역으로 수자원 계획수립시 유출량 산정에 어려움이 있는 곳이다. 이러한 미계측 산지 소유역에 대하여 강우자료와 지형특성을 이용하여 기존의 유사한 유역이나 기수립된 모형의 매개변수를 이용하여 산지계곡 유역에 탱크모형을 구축하여 저수유출 해석을 실시하여 유출량을 산정함으로써 수자원계획 수립에 이용할 수 있도록 모형을 구축하였다. 탱크모형에 의하여 유출량을 산정한 결과

비유량법과 면적비에 의한 유량이 모두 비슷한 양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 미계측 산지 계곡의 유량을 산정하는 데 있어 실측한 자료의 부정확성을 탱크모형에 의해 모의하여 보완하여 유출량을 산정하여 수자원 계획수립에 도움이 될 것으로 판단되었다.

용수공급량의 분석에서 유출모형에 의해 산정된 유량이 산술적으로는 용수공급에는 문제가 없는 것으로 분석되었으나 현실적으로는 갈수기에 취수불능 기간이 10년동안 평균 1개월 이상이며, 동절기에 결빙등에 의해 취수가 불가능하여 용수공급원의 다원화가 필요한 것으로 판단되었으며, 용수공급원에 따른 경제성 분석을 실시한 결과 계곡수와 지하수를 병행하여 용수공급원으로 사용하는 것이 사용연한이 12년 까지는 경제성과 안정된 용수공급원을 확보하는 것으로 나타났으나 12년 이후에는 비경제적인 것으로 분석되어 장기적으로 충주댐에서 도수하는 방안이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구에서 산술적으로 모형에 의해 추정된 유량이 용수공급에는 충분한 것으로 나타나나 산지유역의 특성상 현실적으로 용수공급이 불가능한 기간들이 발생함으로써 현지 조건에 맞는 용수공급원의 다원화가 필요한 것을 알 수 있었으며, 단기간에는 지하수와 계곡수를 병행하여 이용하는 것이 바람직하나 장기적으로는 댐을 이용한 용수공급안이나 광역상수도과 같은 시설이 경제적으로도 유리하다고

판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 한국수자원공사, 1998, 기존댐 용수 공급능력조사(낙동강수계) 보고서, 356-365.
- 2) 이상호, 안태진, 윤병만, 심명필, 2003, 적실 및 용설 모의를 포함한 탱크모형의 소양강댐 및 충주댐에 대한 적용, 한국수자원학회지 논문집, 3(5), 851-861.
- 3) 양해근, 최희철, 김준하, 2005, 비유량법에 의한 하천유량의 산정, 대한지리학회지, 40(3), 274-284.
- 4) 박선화, 2005, 수자원개발에 관한 연구(농촌지역 계곡수 중심으로), 충주대학교 공학석사 논문, 25-31.
- 5) 박기범, 박선화, 김지학, 2006, 산지소유역 일유출량 산정, 한국환경과학회 춘계학술발표회논문집, 207-210.
- 6) 제천시, 한수면 일대 상수원 조사 보고서, 2002, 9, 21-57.