농업용 저수지 설계를 위한 저수량 최적화 모형의 개발

Development of the Optimal Reservoir Storage Determination Model for Supplying Rural Water

정 하 우* · 박 태 선** · 최 진 용***
Chung, Ha Woo · Park, Tae Seon · Choi, Jin Yong

Summary

The optimal reservoir storage capacity is needed to be determined at the stage of reservoir planning. The reservoir storage capacity should be based on water balance between demand and supply, and meet the water deficity during the growing season. However, the optimal reservoir storage capacity should be determined considering benefit-cost analysis for the project.

In this study, Two models are developed. The one is the RSOM(Reservoir Storage Optimization Model), that is consisted by three submodels, MROPER(Modified Reservoir OPERation model), RESICO(REservoir SIze and the construction COst computation) model. And the other is the BECA(BEnefit-Cost Anaysis) model. For model application, three districts, Chungha, Ipsil and Edong were selected. The relative difference of B/C ratio between project planning data and estimation by RSOM is 17.9, 15.0 and 7.3% respectively, which may be applicable for water resources development feasibility planning.

I. 서 론

우리나라 수자원은 연평균 강수량이 1,274mm로 세계 평균 970mm의 약 130%에 달해 총량적으로는 풍부한 편이나, 인구 1인당 강수량은 연간 약 3,000m^{3}으로 세계 평균 34,000m^{3}의 8.8%에 지나지 않아 인구 1인당 수자원 부존량이 대단히 작은 나라에 속한다. 연도별 강수량도 최저 754mm에서 1,638mm로서 930mm의 연도별 편차를 보이고 있을뿐만 아니라 계절적 변동도 심하여 연강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 편중되어 있다. 이와 같이 우리나라는 수자원 부존량이 적고, 년도별 계절별 강수량의 심한 변동으로 용수의 안정적 공급에 어려움이 있을 뿐만 아니라 수자원 이용률도 낮은 실정이다.[8)]

한편, 수자원의 수요량은 인구증가, 경제개발의 고도화, 국민생활 수준의 향상에 따라 급격히 증가하고 있으며, 특히 물 수요량 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 농어촌용수는 농어민의 생활환경 개선, 농공단지 조성, 농어촌 휴양지 개발과 환경보존의 필요성 증대 등으로 종래의 단순한 농업용수에서 생활용수, 공업용수, 관광용

* 서울대학교 농업생명과학대학
** 농어촌진흥공사 농어촌용수사업처
*** 서울대학교 농업개발연구소

키워드 : 저수량 최적화, 저수지 설계, 수익-비용 분석

수, 환경용수 등을 포함하는 다양한 용수가 필요하게 되었으며, 기계화 영농과 직파재배 등의 영농법 변화에 따라 그 수요량도 증가하고 있다.

우리나라의 대표적 다목적 댐은 유역 연간 강우량의 약 80%를 저수하여 강수의 계절적 편중 뿐만 아니라 연도별 강수량 변화에 대응할 수 있을 정도로 물 이용 효율은 대단히 높은[1,9] 반면에, 대표적 농업용수용 댐인 동화댐, 대아댐, 성주댐, 경천댐, 하사댐은 연간 강우량의 30%를 저수하여 겨우 강수의 계절적 편중을 극복할 수 있는 정도로 상대적으로 물 이용 효율이 매우 낮은 실정이다.[2,4-7] 이는 농업용 저수지들을 계획할 때 대부분 유역의 유출량인 공급량과 수혜면적에서의 수요량을 이용하여 물수지분석과 빈도분석으로 10년빈도 한발시에도 용수를 공급할 수 있는 규모로 계획하며, 유역면적과 수혜면적의 비가 2~3배가 가장 적절한 것으로 설계[8]하기 때문이다. 이는 안정적인 용수확보라는 이유로 주어진 지점에서 수요량을 만족시키는 방향으로 설계하는 농업용 저수지 규모 결정 방법의 관행이라 할 수 있다.

이와같이 한정된 수자원으로 급격하게 증대되는 용수수요에 적극적으로 대응하기 위해서는 부족한 물을 보다 효율적이고 체계적으로 확보하기 위한 방안을 검토하여야 하며, 그 지역의 수요량과 공급량 사이의 균형을 기본적으로 만족시켜야 함은 물론이고, 필요한 각종 용수를 경제적인 측면에서 최적으로 확보될 수 있도록 계획하여야 한다.

따라서, 본 연구는 농어촌 용수 공급을 위한 저수지 설계에 있어 최적 저수량을 결정하기 위하여 저수량 산정 모형, 저수지 규모 및 사업비 산정 모형, 수익-비용 산정 모형을 개발하고, 이 모형들을 종합한 최적 저수량 산정 모형을 개발하여 그 응용성을 검토하는 데 목적이 있다.

II. 모형의 개발

1. 기본이론

농어촌용수 개발을 위한 저수지 규모는 유역

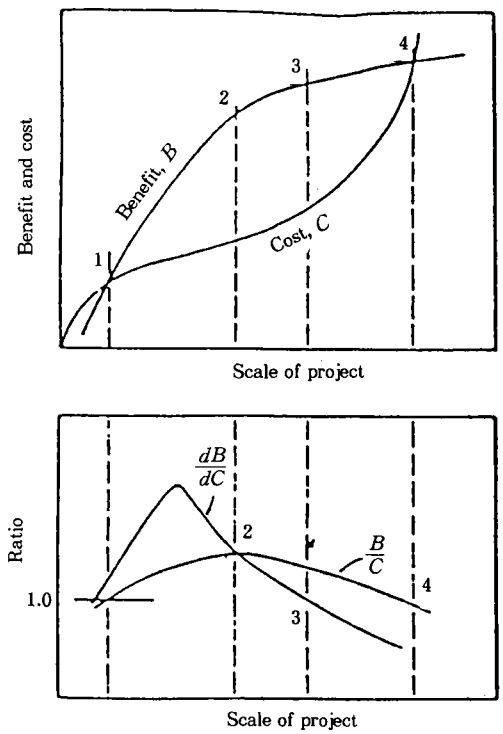

Fig. 1. Relationships between present value of benefit and cost for varying scales of project

공급능력과 수요량에 따라 따르다. 저수지 건설 예정지가 결정되면 유역의 공급능력이 정해지며, 이 때는 수요량의 변화에 따라 저수지 규모가 변하게 된다. 저수지 건설 예정지에 대한 최적저수량은 가장 경제적인 저수량을 말하는 데, 이는 Fig. 1의 2단계와 같이 수익-비용차가 가장 클 때의 저수량[12]이다. 저수지 건설 예정지가 결정된 후, 이 지점에서 공급수량 변화에 따른 B/C의 변화를 살펴보면 1, 2단계와 같이 공급규모가 작을 때에는 건설비의 변화가 작지만 유역 공급능력이 한계에 다다르면 필요 저수량의 급격한 증대로 3, 4단계와 같이 건설비가 급격하게 증가되어 B/C는 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 B/C의 비율이 가장 큰 최적 저수지 규모를 결정하는 모형을 개발하였다.

가. 최적 저수량 산정

농어촌용수용 저수지의 최적 저수량은 용수공급에 따른 수익-비용비, 즉 B/C가 최대일 때의 저수량이다. 이를 산정하기 위하여 식 (1)과 같이 목적함수를 구성하였으며, 가능영역 전체를 탐색하는 직접탐색법(direct search method)을 사용하여 최적치를 구하도록 하였다.

$$Max.\ F = B \div C \quad \cdots\cdots (1)$$

Subject to.

$$B = \sum_{j=1}^{n} \frac{B_j}{(1+i)^i}$$

$$C = \sum_{j=1}^{n} \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

여기서, F= 목적함수, B= 수익(천원), C= 비용(천원), i=이자율(할인율) 이며, B_j=j년도 농업, 생활 및 기타용수에 대한 수익, C_j= j년도의 건설비와 유지관리비로 개발규모, 즉 저수량에 따라 결정된다.

나. 저수량 산정

저수지의 저수량은 해당 지배측후소의 기상자료와 계획자료를 이용하여 물수지를 모의운영하여 결정하였다. 기상관측 전기간에 걸쳐 유역의 유출량과 급수대상의 수요량으로 물수지를 계산하여 연도별 물 부족수량인 필요저수량을 산정하고, 이를 빈도분석하여 유효저수량을 결정하였다.[3)]

1) 유출량

저수지의 유입량은 총 강수량 중에서 유역내에서 차단, 저류되어 증발산되거나 침투된 량 등의 손실을 제외한 유역의 유출량이다. 유역의 유출량은 실측에 의한 자료를 이용하는 것이 이상적이나 농어촌의 소규모 유역의 저수지 예정지는 실측자료가 거의 없고, 개발계획의 한시성으로 분석에 충분한 실측자료를 얻는 것이 곤란하다.

따라서, 유역의 유출량은 미계측 유역에서도 적용이 가능하고 농업용 저수지의 저수용량을 결정할 때 주로 사용되고 있는 식 (2)의 한국하천월 수수량 공식(梶山式)을 이용하였다.

$$C_0 = \sqrt{R^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서, C_0월 수수량(mm/월), R= 강우량(mm), f= 유역계수, E= 경정(更正)계수이다.

2) 농어촌용수 수요량

농업용수는 농어촌용수중 가장 큰 비중을 차지하는 용수로서 식 (3)으로 산정하였다.

$$Q_a = AB \times Q_a \quad \cdots\cdots (3)$$

$$Q_d = \frac{Q_f}{1 - L_c}$$

여기서, Q_a= 농업용수 수요량(mm), BA= 관개면적(ha), Q_d= 필요수량(mm/ha), Q_f= 순용수량(mm), L_c= 수로손실이다.

순용수량은 포장에 공급되어야할 수량으로 식 (4)와 같이 작물의 소비수량에서 포장에 내린 유효우량을 제외하여 계산하였다.

$$Q_f = U_c - P_{eff} \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서, Q_f= 순용수량(mm), U_c= 작물의 소비수량(mm), P_{eff}= 유효우량(mm)이다.

유효우량은 논의 경우 허용담수심을 60mm로 하고 일별소비수량, 전일의 담수심, 당일의 강우량을 가감하되 담수여력을 고려하여 식 (5)를 이용하여 구하였다.

$$P_{eff} = 60 - D_{t-1} - U_c + P_t \leq 60 \quad \cdots\cdots (5)$$

여기서, P_{eff}= 유효우량(mm), D_{t-1} = 전일담수심(mm), U_c = 작물의 일별소비수량(mm), P_t = 당일의 강우량(mm)이다.

작물의 소비수량은 식 (6)과 같이 벼의 경우 포장에서의 증발산량(evaportranspiration)과 땅속으로 스며드는 침투량을 합하여 계산하고, 밭작물이나 과수의 경우 증발산량으로 산정하였다.

$$U_c = ET + I(\text{PADDY}) \quad \cdots\cdots (6)$$

여기서, U_c=작물의 소비수량(mm), ET=증발산량(mm), I=침투량(mm)이다. 침투량은 토양의 투수성, 토층두께, 논배미간의 고저차, 지하수위, 배수로 수위 등에 따라 차이가 있다.

소비수량중 증발산량은 토양수분, 기온, 습도, 온도, 일사량, 바람 등의 기상조건에 좌우된다. 본 연구에서는 식 (7)과 같이 수정 Blaney & Criddle[11]에 의하여 계산하였다.

$$ET = 2\backslash 5.4 \times K \cdot f = 25.4 \times K \times \frac{P \cdot t}{100} \quad \cdots (7)$$

여기서, ET = 순별 엽수면 증발량(mm), K = 작물 생육기에 대한 소비수량 경험계수, P = 주간시간 백분율(%), t = 월 평균온도(℃)이다.

한편, 생활용수는 가정에서 사용하는 음용수뿐만 아니라 문화생활 등에 필요한 용수 등을 포함하며, 인구증가, 생활수준의 향상, 생활양식의 도시화 등에 따라 식 (8)과 같이 1인당 소비수량과 급수 대상 인구로부터 구하였다.

$$Q_m = U_m \times P_{op} \quad \cdots\cdots (8)$$

여기서, Q_m =생활용수 수요량, U_m =1인 1일 급수량, P_{op} = 급수 대상 인구이다.

급수대상 인구는 계획기준년 인구와 생활용수 보급률에 의하여 달라진다. 농어촌지역의 계획기준년 인구는 농어촌용수 이용합리화계획에 따라 인구 감소 지역은 현재인구를 사용하고, 인구 증가 지역은 대상지역이 농어촌 지역으로 작은 규모의 도시에 적용가능한 방법인 등차급수적 추정법을 사용하였다.[10]

3) 저수량 계산

저수지의 필요저수량은 식 (9)와 같은 물수지 계산을 이용하여 구하였다. 즉, 저수지로 유입되는 유역의 유출량과 통관으로 방류되는 용수공급 수량, 여수토 월류량, 수면 증발량 등의 수문인자를 기초로하여 계획시 시설물의 경제적 안정성이 요구되는 시간간격(순별 또는 일별)에 따라 물수지를 계산함으로써 저수에 필요한 수량을 구하는 것이다. Fig. 2는 물수지 분석을 위한 개념도이다.[11]

$$S_t = S_{t-1} + R_t - (D_t + O + E_t) \quad \cdots\cdots (9)$$

여기서, S_t =t일의 저류량, S_{t-1} =t-1일의 저류량, R_t = t일의 유입량, D_t = t일의 용수공급량, O_t =t일의 여수토 월류량, E_t =수면 증발량이다.

한편, 이와같이 일정 시간간격으로 계산한 필요저수량을 이용하여 계획저수량을 결정하기 위해서는 부족이 발생할 확률을 고려하는데, 가장 일반적으로 사용하는 것이 빈도분석에 의한 수문량의 결정이다. 농업용수개발사업의 경우는 10년빈도 한발시에도 공급가능한 규모로 계획되며, 식 (10)과 같이 자료의 평균, 표준편차 및 빈도계수를 이용하여 계산하였다.[3]

$$X_t = \overline{X} + K_t \sigma_{n-1} \quad \cdots\cdots (10)$$

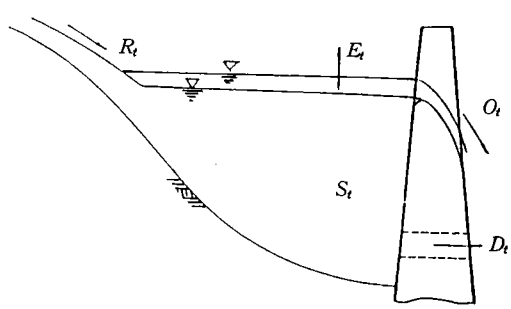

Fig. 2. Schematic diagram of reservoir water balance

여기서, X_t=t년빈도 초과확률값(ha-m), $\overline{X}$=산술평균값(ha-m), σ_{n-1}=표준편차, K_t=빈도계수이다.

다. 저수지 규모 및 사업비 산정

저수량이 산정되면 이에 대한 저수지 제당의 길이와 높이를 구하고, 제체의 높이에 따라 취수시설, 가배수시설, 물넘이 시설의 길이를 결정하였으며, 결정된 각 시설의 규모에 따른 건설사업비를 산정하고, 연차별 투자비용을 결정하였다. 저수지 제당 높이와 길이는 산정된 저수량에 대하여 저수지 내용적 곡선(reservoir elevation-storage curve)과 종단도를 이용하여 구하였다. 한편, 제당위치와 높이, 길이가 결정되면 취수시설, 여수토방수로, 가배수시설, 도로 등은 길이가 약간 달라질 뿐 시설물 단면크기는 변하지 않으므로 개략공사비를 산정할 수 있도록 제당높이와 저수량 자료만을 이용하여 계산하도록 하였다.

농업용수용 저수지 건설비용은 직접비와 간접비가 있다. 직접비는 댐축조나 수로건설에 소요되는 순공사비이며, 간접비는 측량설계비, 공사감독비, 관리비와 같이 순공사비에 일정비율을 곱하여 산정하는 요율사업비와 용지매수비, 예비비가 있다. 수원시설의 순공사비는 설계실적 자료를 이용하여 작성한 기본조사 공사비 산출요령(RDC, 1996)을 이용하였으며, 도표는 함수식으로 재구성하였다. 저수지 직접 건설비는 저수량에 따라 결정되는 각각의 수원시설의 규모를 이용하여 계산하였으며, 식 (11)과 같다.

$$C_d = C_{le}+C_{sp}+C_{in}+C_{by}+C_{ro}+C_{fn}+C_{ch}+C_{ot} \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서, C_{le}=제체 축조, C_{sp}=여수토방수로, C_{in}=취수시설, C_{by}=가배수시설, C_{ro}=도로시설, C_{fn}=기초처리, C_{ch}=용수로, C_{ot}=기타시설 등의 순공사비이다.

간접공사비는 직접건설비인 순공사비에 일정요율을 곱하여 산정하는 비용과 용지매수보상비, 예비비 등이 있다. 농어촌용수개발의 경우 용지매수보상비는 지구별 보상대상면적과 지가에 결정된다. 한편, 예비비는 산출기준에 따라 측량설계비를 제외한 전체비용의 10%로 계산하였다.

건설기간은 농어촌용수 개발사업 대부분이 국가사업으로 국가 예산형편에 따라 달라지지만, 기술적으로 건설규모와 제당 성토다짐 등을 고려하면 2~5년정도가 적당하며, 이에 따라 연차별 투자비를 배분하였다.

라. 수익-비용 산정

농업용수 수익은 관개로 인해 농업소득이 향상되는 것을 평가하는 것이다. 저수지가 있을 때와 없을 때의 농가소득차인 농가수지(farm budget)를 조사하여 산출하였다.[2] 농업용수 공급에 의한 수익은 작부체계 개선을 통한 생산량 증가와 영농조건 개선에 의한 생산비 절감 등이 있다. 생산량 증가 및 생산비 절감에 대한 순수익은 사업시행전후의 재배면적의 변화와 수량을 조사하여 조수익을 산정하고, 생산비를 감하여 산정하였다.

생활용수와 공업용수 공급에 따른 수익은 대체시설로 동일량의 용수를 공급하는데 드는 비용이다. 농어촌용수개발사업에 포함하여 개발되는 생·공용수는 원수만 확보하고 이용시설은 별도의 사업으로 추진되므로 생·공용수 수익은 공급수량에 원수(原水)가격 68.01원/m^3을 곱하여 산정하였으며 하천유지수는 수익산정을 실시하지 않았다.

비용은 건설사업비에 따른 연차별 투자비용과 유지관리비를 합하여 산정하였다. 건설기간 중에는 연차별 투자비용이 지출되는 것으로 계산하고, 건설이 완료된 이후에는 유지관리비가 일정하게 지출되는 것으로 계산하였다.

이자율(interest rate)은 자금의 시간적 가치의 측정단위이며, 종종 자본의 사회적 기회비용으로 이용된다. 계획의 입안이나 평가에는 미리 정해진 이자율로 복리계산법을 적용하였다. 우리나라에서는 8~10%가 관례적으로 적용되어 왔으나,[2]

농업용수개발사업의 경우 독립적인 재원으로 단일목적을 위하여 투자되므로 사업지구의 우선순위를 책정하기 위한 사업평가에는 농업용수개발사업비의 이자율에 해당하는 5.5%를 기회비용으로 인정하는 경향이 있어, 5.5%를 기준으로 하였다. 평가기은 시설물의 내용년수에 따라 정해지는데 저수지의 경제수명은 60년을 관례적으로 적용하고 있다. 연도별 수익-비용은 등가비교를 위하여 이자율로 할인하여 현재가치(net present worth)로 환산하였다.

2. 모형의 구성

본 연구에서는 프로그램 언어인 FORTRAN 77을 이용하여 농어촌용수용 저수지 계획시 경제분석을 고려한 최적 저수량 산정 모형을 개발하였으며, 1개의 주모형과 3개의 부모형으로 구성하였다. 주모형은 최적 저수량 산정 모형(Reservoir Storage Optimization Model, RSOM)이며, 부모형은 ROPER의 입출력을 수정한 수정 저수량 산정(Modified Reservoir OPERation, MROPER) 모형, 저수지 규모 및 사업비 산정(REservoir SIze and cost COmputation, RESICO) 모형, 수익-비용 분석(BEnefit-Cost Analysis, BECA) 모형이다.

RSOM은 각종용수 수급계획에 대한 저수량과 수익-비용 분석을 통하여 최적저수량을 결정하는 모형이다. MROPER 모형은 주모형인 RSOM에 적합하도록 농업진흥공사에서 개발한 ROPER의 입출력항을 수정한 모형이다. ROPER는 유역면적, 수혜면적, 급수인구 등의 계획자료와 기상자료를 이용하여 저수지 유입량, 용수 수요량, 물넘이 월류량, 수면증발량을 계산하고, 순별 물수지 계산에 따라 연도별 필요저수량을 계산하여 한발에 따른 빈도분석으로 유효저수량을 산정하는 모형이다.

RESICO 모형은 입력자료와 저수량을 이용하여 물량과 비용을 산출하도록 개발된 모형이다.

BECA 모형은 농업용수, 생활용수 등의 수익을 계산하고, 계산된 수익과 건설사업비, 유지관리비를 저수지 사용기간 동안 연도별로 할인율을 적용하여 현가비용(net present worth)으로 환산하여 수익-비용관계를 산정하도록 개발하였다.

이와 같이 구성된 모형의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

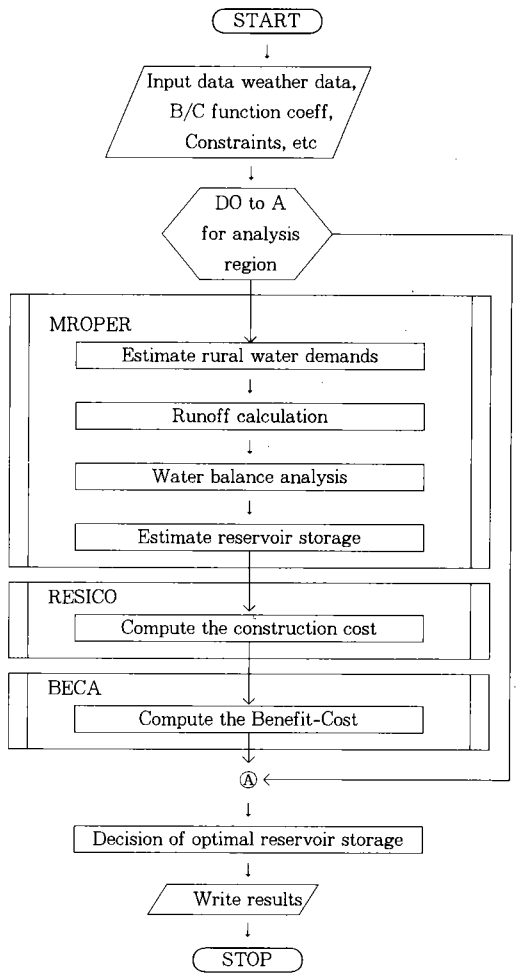

Fig. 3. The flow chart of the RSOM

Ⅲ. 모형의 적용

1. 지구의 선정

개발된 RSOM 모형의 적용을 위해 '96년 농림수산부, 농어촌진흥공사에서 조사된 농어촌용수

개발사업 중 저수지를 주수원공으로 하여, 농업용수, 생활용수 등을 공급하도록 계획된 지구로서, 경상북도 포항시에 위치한 청하지구와 경주시에 위치한 입실, 외동지구를 선정하였다.

저수량을 산정하기 위한 기상자료는 Thie-ssen 망에 의한 지배측후소 자료를 사용하였으며, 청하, 입실, 외동지구의 지배측후소는 각각 포항, 울산, 대구측후소이다.

기본계획에 의하면 청하지구는 유역면적이 360ha로 농업용수 수혜면적 200ha를 급수하도록 계획되어 있으며, 입실지구는 유역면적이 310ha로 농업용수 수혜면적 70ha와 생활용수 급수인구 6,880명을 급수하도록 계획되어 있고, 외동지구는 유역면적 5,410ha로 농업용수 수혜면적 950ha, 생활용수 급수인구 114,500명, 하천유지수 11,000m^3/일을 급수하도록 계획되어 있다. 대상지구의 저수지 시설들의 크기는 Table 1과 같다.

Table 1. Structure sizes of Chungha, Ipsil and Edong reservoir

Unit : m

Reservoir name	Spillway length	Intake tower		Bypass tunnel		Road	
		Diameter	Height	Radius	Heigth	Width	Length
Chungha	30	5.0	34.0	0.75	170	5.0	1,500
Ipsil	36	3.0	30.0	0.75	190	7.5	1,590
Edong	130	5.0	40.0	1.50	210	7.5	6,000

Reports of Chungha, Ipsil, Edong project planning for Rural water development, MAFF & RDC, 1996.

Table 2. Cropping types in agricultural water supply area

Unit : ha

Reservoir	Water supply condition	Rice, single cropping	Rice-other	Barley	Garlic	Facility cucumber	Facility lettuce	Red pepper	Facility straw berries
Chungha	no irrigation	148.49	5.51	2.05	–	–	1.28	2.18	–
	partial irrigation	49.00	1.00	–	–	–	–	1.00	–
	full irrigation	177.00	23.00	7.00	–	–	7.00	9.00	–
Ipsil	no irrigation	67.2	2.8	1.75	0.70	0.35	–	–	–
	partial irrigation	–	–	–	–	–	–	–	–
	full irrigation	58.80	11.20	2.10	4.90	4.20	–	–	–
Edong	no irrigation	497.12	22.88	21.32	1.56	–	–	–	–
	partial irrigation	310.46	119.54	116.53	1.29	0.86	–	–	0.86
	full irrigation	684.00	266.00	209.00	28.50	–	–	–	28.50

Table 3. Production of crops

Unit : kg/ha

Reservoir	Water supply condition	Rice, single cropping	Rice-other	Barley	Garlic	Cucumber*	Lettuce*	Red pepper	Straw berries*
Chungha	no irrigation	4,449	4,226	1,581	–	–	29,771	58,494	–
	partial irrigation	4,672	4,439	–	–	–	–	60,033	–
	full irrigation	5,685	5,400	1,611	–	–	22,345	64,136	–
Ipsil	no irrigation	4,835	4,700	1,459	14,372	55,769	–	–	–
	partial irrigation	–	–	–	–	–	–	–	–
	full irrigation	6,044	5,909	1,763	16,255	61,965	–	–	–
Edong	no irrigation	4,795	4,566	1,520	13,688	–	–	–	–
	partial irrigation	5,332	5,063	1,581	15,399	61,965	–	–	50,154
	full irrigation	5,976	5,976	1,642	18,821	69,255	–	–	55,941

Reports of Chungha, Ipsil, Edong project planning for Rural water development., MAFF & RDC, 1996.

* : Cultured in green house

Table 4. Market price cost of crops

Unit : Won/kg

Crop	Rice	Barley	Garlic	Cucumber	Lettuce	Red pepper	Straw berries
Price	1,343	608	1,711	729	680	1,791	1,929

Average income of agrolivestock products, Rural Promotion Office, 1991~1995.

Table 5. Production of crop types

Unit : 10^3Won/ha

Reservoir	Water supply condition	Rice, single cropping	Rice-other	Barley	Garlic	Cucumber*	Lettuce*	Red pepper	Straw berries*
Chungha	no irrigation	3,354	3,338	1,803	—	—	14,063	32,305	—
	partial irrigation	3,224	3,207	—	—	—	—	32,305	—
	full irrigation	2,723	2,702	1,534	—	—	13,551	31,598	—
Ipsil	no irrigation	3,393	3,384	1,553	5,683	31,205	—	—	—
	partial irrigation	—	—	—	—	—	—	—	—
	full irrigation	3,045	3,044	1,501	5,253	31,105	—	—	—
Edong	no irrigation	3,501	3,484	1,605	7,342	—	—	—	—
	partial irrigation	3,376	3,357	1,600	7,566	27,471	—	—	29,757
	full irrigation	3,140	3,140	1,555	7,037	25,236	—	—	27,416

* : Cultured in green house

Table 6. Summary of computation results by RSOM model

Reservoir	Planning reports			Model estimated			Difference (percent)
	Benefit	Cost	B/C	Benefit	Cost	B/C	
Chungh a	8,893,767	7,229,017	1.23	8,892,202	8,785,039	1.01	1.9
Ipsil	5,210,826	4,876,842	1.07	4,883,326	5,368,470	0.91	15.0
Edong	64,796,617	47,136,346	1.37	63,316,540	43,034,220	1.47	7.3

Reports of Chungha, Ipsil and Edong project planning for rural water develpment., MAFF & RDC, 1996.

경제분석을 위하여 필요한 사업시행 전후의 농업용수작부면적은 현지조사된 자료를 이용하였으며, Table 2와 같다.

각 작물별 주산물 생산량은 과거 5개년간 실적자료를 이용하여 추정하였으며, 버짚, 겨 등과 같은 부산물에 의한 수익은 주산물에 대한 일정 비율을 곱하여 산정하였다. Table 3은 추정된 작목별 생산량이다.

한편, Table 4는 본 모형의 농업용수 수익에 적용된 '95년도 전국 평균 주요 농산물 가격이다. 작물별 단위면적당 생산비는 관개에 따른 영농조건의 개선으로 노동력 절감, 투입물재의 감소 등을 고려하여 추정하였으며, 청하, 입실, 외동지구의 주요작물별 단위면적당 생산비는 Table 5와 같다.

2. 모형의 평가

모형의 적용성을 평가하기 위하여 기존 저수지 기본조사시 경제분석 결과와 모형에 의하여 계산된 B/C를 비교하였다. 저수량은 ROPER모형을 사용하여 값이 같도록 하였으며, 이를 이용하여 추정된 수익, 비용 및 B/C를 비교한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에서 살펴보면 당초 경제분석 결과와 모형에 의해 계산된 결과의 차이는 각각 17.9%, 15.0%, 7.3%로 나타났다. 오차가 나타나는 것은

지구여건이 회귀식으로 구성된 평균적인 여건과 차이가 나기 때문이며, 건설규모에 따라 건설 소요 물량을 산출하고 사업비로 환산하면 모형의 결과에 대한 정도를 높일 수 있지만 개발 계획 검토 단계에서는 본 모형의 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

3. 모형의 적용

가. 청하지구

청하지구는 농업용수만 공급하는 저수지 계획으로 모형에 의한 분석결과 Fig. 4와 같다. 160ha와 220ha 범위에서 급수계획시 5.5% 할인율을 적용한 B/C가 1.00이상으로 나타나고 있으며, 수혜면적이 190ha일 때 B/C가 1.03으로 가장 높게 나타나고 있다. 또한 160ha와 220ha 범위에서 급수계획시 B/C가 1.00이상이고, 수혜면적이 190ha일 때 B/C가 1.03으로 가장 높게 나타나고 있어, 당초 급수구역 전체인 200ha의 수혜면적을 공급하기 위하여 총저수량 252ha-m를 확보토록한 계획이 적절하였음을 알 수 있다. 이는 청하지구의 유역면적이 360ha이고 연평균 강우량이 1,091mm로 유역부존량 393ha-m의 64%를 저수하는 계획으로, 동화댐, 대아댐, 성주댐, 경천댐, 하사댐의 저수량이 연간 강우량의 30% 정도밖에 저수하지 않음을 감안할 때 대단히 큰 값이다.

Table 7. Summary of Chungha project analysis results by RSOM model

Item	Benefit area (ha)	Municipal water (capita)	B/C	Reservoir storage (ha-m)
Original plan	200	–	1.23	221.4
1st plan*	190	–	1.03	200.5
2nd plan**	220		1.00	297.8

*The highest B/C plan of the various cases.

**The upper boundary plan at B/C aqual to 1.00.

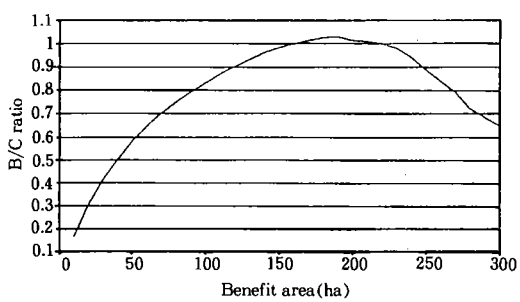

Fig. 4. Relationships between benefit area and B/C for varying scales of Chu-ngha project

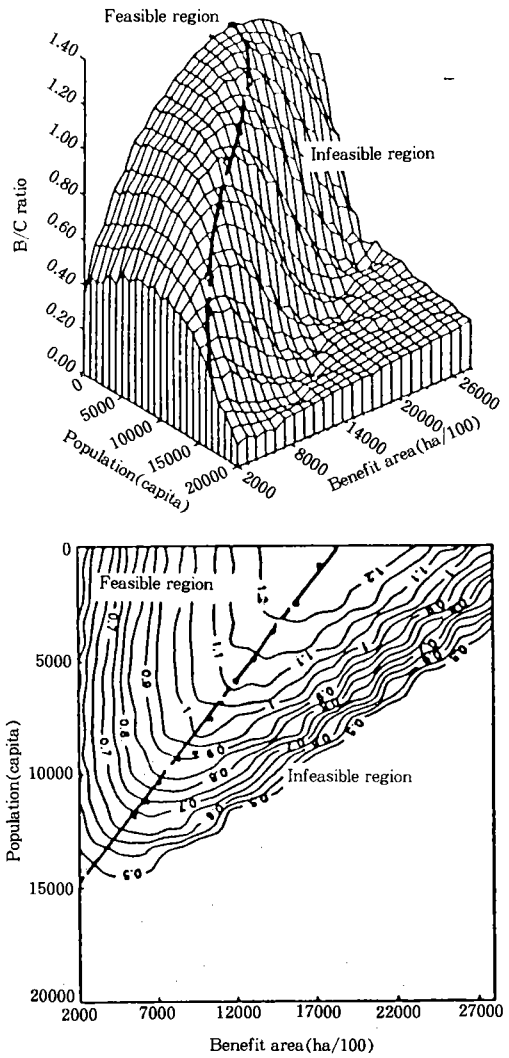

Fig. 5. Relationships between benefit area and B/C for varying scales of Ipsil project

Table 8. Summary of Ipsil project analysis results by RSOM model

Item	Benefit area (ha)	Municipal water (capita)	B/C	Reservoir storage (ha-m)
Original plan	70	6,880	1.07	65.1
2nd plan*	120	6,880	1.13	107.9
1st plan**	170	-	1.31	107.9

*The highest B/C plan including municipal water use of original plan.

**The highest B/C plan of the various cases.

나. 입실지구

입실지구는 농업용수와 생활용수를 병행하여 공급하는 지구로, 이설도로의 설치 표고의 제한으로 제당높이를 55m가 상한인 지구이다. 모형에 의한 분석결과는 Fig. 5와 같으며 요약하면 Table 8과 같다.

농업용수 전용으로 계획할 경우에는 90ha와 상한인 170ha범위에서 B/C가 1.0이상으로 나타나고 있으며, 생활용수와 병행하여 계획하면 농업용수 80ha일 경우는 생활용수 3,000명에서 6,500명 범위에서 B/C가 1.0 이상이고, 수혜면적 90ha이상이면 생활용수와 관계없이 B/C가 1.0이상으로 나타나고 있다. 한편, 생활용수 6,880명의 공급계획을 고정하고 농업용수 급수면적을 변화시켜 분석한 결과 생활용수만 공급할 때 B/C는 0.23이며, 농업용수를 90ha이상 계획하여야 B/C가 1.0이상으로 나타나고 있으며, 120ha일 때 B/C가 최고인 1.13으로 분석되었다. 농업용수의 규모가 커질수록 B/C가 높게 분석되었으며, 농업용수 170ha만을 공급할 때 B/C가 1.31로 가장 크게 나타났고, 저수량 제한(S_{max})인 107.9ha-m까지 계획하는 것이 경제적인 것으로 분석되었다. 입실지구는 분석결과 당초 농업용수 70ha, 생활용수 6,880명을 공급토록 한 계획보다는 가능한한 농업용수를 최대로 확보하는 것이 유리함을 알 수 있다. 즉, 연평균 강우량이 1,272mm로 당초 계획은 유역에 내린 총강우량 394ha-m의 16%에 불과한 65ha-m를 저수하도록 계획되었으나, 농업용수 170ha로 계획하여 제당높이 53m, 총강우량의 28% 정도인 107.9ha-m를 저수하도록 계획하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 생활용수 6,880명을 우선적으로 확보한다고 하더라도 농업용수 수혜면적을 120ha로 계획하여 저수량의 상한(S_{max})인 107.9ha-m까지 계획하는 것이 B/C가 1.13으로 가장 높게 나타나고 있어, 당초 70ha보다 50ha를 더 급수하도록 계획하는 것이 경제적인 것으로 사료된다.

다. 외동지구

외동지구는 당초 농업용수 950ha, 생활용수 114,500명, 하천유지수 1.10ha-m/일을 공급하

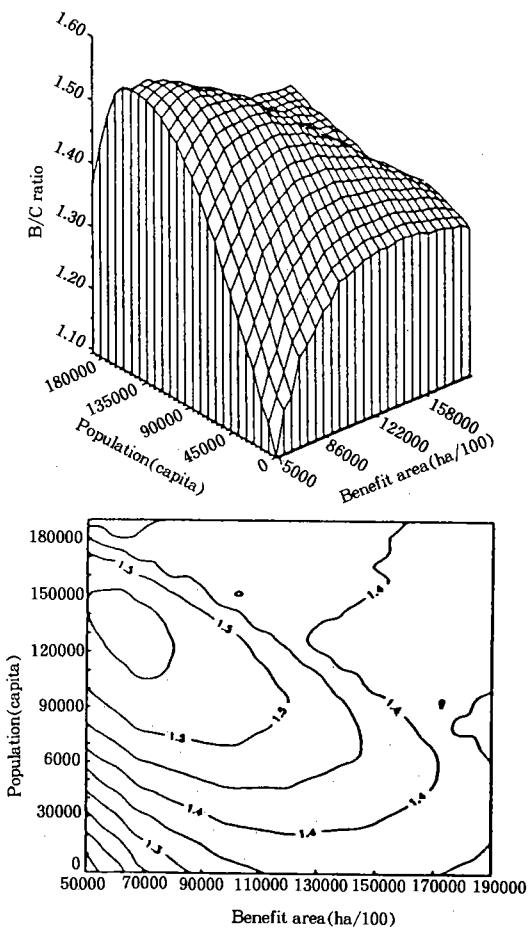

Fig. 6. Relationships between benefit area and B/C for varying scales of Edong project

Table 9. Summary of Edong project analysis result by RSOM

Item	Benefit area (ha)	Municipal water (capita)	Stream preservation water(ha-m)	B/C	Reservoir storage (ha-m)
Original plan	950	114,500	1.1	1.37	2,935
1st plan*	700	125,000	–	1.56	1,290
2nd plan**	660	114,500	1.1	1.56	1,750

*The highest B/C plan of all alternative case.

**The highest B/C plan including municipal and stream preservation water use of original plan.

도록 계획된 지구이다. RSOM에 의하여 분석된 결과는 Fig. 6과 같다. Table 9은 분석결과를 요약한 것이다. 분석결과 농업용수 전용으로 계획할 때 500ha 이상이면 B/C가 1.0이상이었으며, 950ha일 때 B/C가 1.37로 가장 높게 나타났다. 한편, 다목적 개발시에는 농업용수 700ha, 생활용수 125,000명을 급수할 때 B/C가 1.56으로 높게 분석되었으며, 생활용수 114,500명과 하천유지수 1.10ha-m/일을 고정공급하고 농업용수변화를 고려하면 660ha일 때 B/C가 1.56으로 높게 나타나고 있다. 따라서 외동지구는 저수 용량을 2번째 계획인 유역 강우량의 31%에 해당하는 1,750ha-m로 계획하는 것과 몽리면적 950ha를 모두 관개하기 위해서 B/C는 작더라도 당초계획을 수용하는 것 중에서 선택하여야 할 것이다.

지구별 B/C를 비교하면 청하지구 1.03, 입실지구 1.31, 외동지구 1.56로 나타나, 외동지구의 사업여건이 가장 양호한 것으로 분석되었으며, 당초계획과 모형에서의 B/C를 비교하면 상대적인 차이가 각각 17.9%, 15.0%, 7.3%로 나타나 계획수립에 충분히 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 저수량 산정 모형(MROPER), 저수지 규모 및 사업비 산정(RESICO) 모형, 수익-비용 분석(BECA) 모형의 부프로그램을 개발하였으며, 이 부모형들을 이용하는 최적 저수량 산정 모형(RSOM)을 개발하였다. 개발된 모형을 적용하기 위하여 청하, 입실, 외동지구를 선정하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 농어촌 용수의 합리적인 계획을 위한 최적저수량 결정 모형 RSOM을 개발하였으며, 이는 용수수급에 따라 최대저수량 범위내에서 저수량을 산정할 수 있는 MROPER 모형, 저수량을 이용하여 내용적 곡선으로부터 제체의 높이를 구하고, 제체 높이-길이 관계 곡선으로부터 제체의 길이를 구하여 저수지 규모를 결정하고, 규모에 대한 건설사업비를 산정하는 RESICO 모형, 각종용수 공급에 따른 수익을 계산하고, 수익-비용(B/C)를 계산하는 BECA 모형으로 구성하였다.

2) 모형을 검토하기 위하여 청하, 입실, 외동지구의 B/C를 계산하여 비교한 결과 모형의 당초계획에 대한 차이가 각각 17.9%, 15.0%, 7.3%로 나타나 계획수립에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

3) 청하, 입실, 외동지구의 최고 수익-비용비(B/C ratio)는 1.03, 1.31, 1.56으로 외동지구가 가장 여건이 양호한 것으로 나타났다. 그리고 청하, 입실, 외동지구는 각각 유역강우량의 64%, 28%, 31%의 저수량을 확보하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 1967, 한국의 댐.

2. 농업진흥공사, 1977, 대아지구 농업용수개발사업계획서.
3. 농업진흥공사, 1980, 농업용수개발 소비수량 산정기준.
4. 농업진흥공사, 1982, 경천지구 농업용수개발사업계획서.
5. 농업진흥공사, 1983, 하사지구 농업용수개발사업계획서.
6. 농업진흥공사, 1986, 동화지구 농업용수개발사업계획서.
7. 농업진흥공사, 1987, 성주지구 농업용수개발사업계획서.
8. 김동규, 1969, 저수지의 유역대 몽리면적비의 연구, 한국농공학회지 제10권, 제2호, pp. 3-9.
9. 윤용남, 1991, 공업수문학, 청문각.
10. 정하우 외, 1991, 농어촌용수 이용합리화 계획 자료정보 데이터베이스 구축연구(Ⅰ).
11. 정하우, 박승우, 1985-1988, 저수지 물관리 연구(Ⅰ)-(Ⅳ), 농수산부, 농업진흥공사, 서울대학교 농업개발연구소.
12. Blaney, H.F. and W.D. Criddle, 1945, Determining water requirements in irrgated areas from climatological data. (processed) p.17.
13. O'Laoghaire, D., and Himmelblau, 1974, Optimal expansion of a water resources system, Academic, New York.