

〈論 文〉

금강 하구호의 월 유입량 추정에 관한 연구
 A Study on the Monthly River-Inflow Evaluation
 of the Keumgang Estuary Reservoir

이 재 형*, 김 양 일**, 황 만 하***, 정 재 성****
 LEE Jea Hyong, KIM Yang Il, HWANG Man Ha and JUNG Jae Sung

Abstract □ The major objective of this study is to analyze the water balance of the Keumgang Estuary Reservoir in the Keum River basin. This basin is one of the catchment area which water utilization is very complicated. For the study of this area, this paper is to evaluate the monthly river-inflow of the Keumgang Estuary Reservoir. Here, two approach methods are proposed which can take care of the natural and the low flow. The results are as follows. The natural flow at the Keumgang Estuary Reservoir during the wet season was decreased to 8.4% and increased from 0.4% to 17.6% during the dry season by the effects of Deaehung Reservoir at the upper basin. The monthly fluctuation of the low flow during May-June varies to a great extent, when large amounts of irrigation water are required.

요 지 : 본 연구의 목적은 수자원 이용이 매우 복잡한 금강유역의 하류부에 위치한 금강하구호에 대하여 물수지를 분석함과 동시에 금강유역 전역의 용수수급 상황을 파악하는 것이다. 본 논문에서는 금강 하구호의 월 유입량을 추정하였으며, 월유출량은 자연유출과 저수유출에 대해 평가하였다. 연구결과, 상류의 대청댐으로 인해 금강 하구호 유입지점의 자연유출에 따른 유입량은 댐 건설전에 비해 홍수기인 7월에는 8.4% 감소하며, 홍수기를 제외한 10월부터 6월까지의 0.4~17.6%가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 저수유출에 따른 유입량의 월별 변동은 농업용수의 수요가 큰 5-6월에 비교적 크게 나타났다.

1. 서 언

1991년 대청댐 및 금강 하구둑을 포함한 금강 수역권의 총 용수 수요는 31.84억m³이며 이중 20.14억m³을 댐에서, 12.72억m³을 하천 및 지하수로 공급하고 있어 잉여 수자원이 1.02억m³밖에 안된다. 가용 수자원이 한정되어 있는 상황에서 용수 사용의 효율을 높이기 위해서는 댐 상류와 하류의 광역 상수도 및 유역의 용수 공급, 기준 갈수량 증대 등 여러 요구를 충족 할 수 있는 광역 개념의 저

수지 운영 방안에 대한 연구가 요구된다. 여러 요구를 충족시킬 수 있도록 광역적으로 저수지를 운영하기 위해서는 먼저 수계의 수자원 부존량에 대한 조사를 체계화하여 현황을 파악할 필요가 있다.

본 연구는 수자원 이용이 복잡한 금강유역의 하류에 있는 금강하구호에 대한 물수지 분석을 위해 금강 유역의 유출분석으로부터 하구호 유입지점의 월별 유출량을 추정하는데 있다. 하구호 유입지점의 유출량은 각종의 주기성분을 갖게 되며 일반적으로 저수지의 용량이 큰경우는 자연유출을 분석하여 利水計劃을 수립한다. 그러나 금강 하구호와 같

* / *** 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수/강사
 ** / **** 한국수자원공사 수자원연구소 소장/연구원

이 소규모 농업용 저수지에 대해서는 대부분의 홍수 유출성분은 利用할 수 없다. 본 연구에서는 자연유출에 따른 하구호 유입량 평가 뿐만 아니라 하구호 운영에 적절한 저수유출시의 유입량 평가에도 목적이 있다. 따라서 금강 하구호 유입지점의 월유입량은 첫째, 하구호 유역의 자연유출에 따른 유입량과 둘째, 하구호유역의 저수유출에 따른 유입량을 평가하여 산정하였다. 아울러 자연유출시의 유출량은 강수 및 증발 자료를 변환하여 계산하는 방법을 이용하였다.

2. 유역 현황 및 분할

2.1 유역 및 수문관측 현황

금강 유역은 한반도의 중서부에 위치하고 있으며, 동쪽의 낙동강 유역, 북쪽의 한강 유역, 북서쪽의 안성천 유역과 삼교천 유역, 남쪽의 만경강유역과 섬진강 유역, 서쪽의 황해로 둘러싸여 있다. 금강 유역의 상류에는 1980년 한국수자원공사에서 준공한 대청댐이, 하류에는 1990년 10월 농업진흥공사가 완공한 금강 하구언이 건설되어 있다.

금강 하구언 상류의 유역면적은 대청 다목적댐의 4,134km²를 포함하여 9,828km²이며 이중 실제 하구호의 유입량에 관계되는 면적은 하구호 유입지점과 하구언지점 사이의 면적 515km²를 제외한 9,313km²이다. 515km² 면적내에는 넓은 농경지와 소규모 저수지에 의해 유출량이 조절되고 있다는 이유로 농업진흥공사에서는 이 면적을 금강하구언의 유역면적으로 사용하고 있다(건설부, 1979, 1990, 농어촌진흥공사, 1983.3). 본 연구에서는 하구언 상류 유역 9,313 km²에서 대청댐 유역 4,134 km²를 제외한 유역을 하구호 유역이라 정의하고 그 면적은 5,179km²으로 한다.

금강 하구호 유역내의 기상 및 수문관측소로는 건설부의 15개소 강우관측소와 7개소의 기상관측소가 있다. 기상관측소중 기온 및 증발자료 등은 청주, 대전, 군산, 부여등 4개 관측소에서 측정하고 있다. 수위 관측지점으로는 수위자료와 이에 대한 수위-유량곡선을 보유한 규암, 공주, 석화, 부강, 회덕 등이다(건설부,1982,한국수자원공사,

1990).

2.2 취수 현황

대청댐 하류에서 하구호까지의 하구호 유역의 유수점용은 이용 수원에 따라 대청권, 하구호권, 지류권으로 구분할 수 있다(건설부,1990). 대청권은 대청댐 직하류에서 금강하구호 유입부까지의 금강본류로 대청용수의 영향을 받는다. 하구호권은 규암부근에서 하구언까지 금강하류부로 이곳에 산재해 있는 취수, 양수장은 하구호의 수원을 이용한다. 지류권은 금강본류를 제외한 각 지류유역으로 금강본류 유출에 간접적인 영향을 준다.

대청권의 취수장으로는 홍삼종합공장, 부여조폐장, 동성집수암거 등 13개소가 있으며 지류권에는 미호천권에 풍년제지, 쌍용제지 등 4개소, 갑천권에 삼천 취수장 1개소, 논산천권에 논산성평 취수장 1개소가 있다. 그 중 갑천권의 삼천 취수장이 취수능력 0.1157m³/sec(10,000m³/day)로 규모가 가장 크고 미호천권의 동창판지 취수장이 취수능력 0.0017m³/sec(147m³/day)로 그 규모가 가장 작다. 대부분의 취수장이 0.01~0.1m³/sec인 취수능력을 가지고 있다. 규암상류 3~4km지점에 설치되어 있는 대청광역 상수도의 취수능력은 3.5879m³/sec이며 논산, 강경, 군산, 전주, 이리 등에 용수를 공급한다(한국수자원공사,1991).

금강유역내 200ha이상의 관개면적을 갖는 양수장은 모두 17개소로 대청권에는 양화, 대평, 왕진 등 5개소이다. 하구호권에는 현북, 정암1, 봉정 등 6개소, 미호천권에는 석화양수장 1개소, 강경천권에는 강경 제1단양수장 1개소, 금천권에는 송학양수장 1개소가 있다. 또한 길산천권에는 신포, 길산, 장상양수장 등 3개소가 있다.

하구호권내에는 논산 성평취수장을 제외하고는 모두 농업용 양수장이다. 그러나 대청권내에는 취수장과 양수장이 혼합되어 있다. 양수장 중 하구호권의 봉정양수장이 양수능력 12.0m³/sec로 규모가 가장 크고 미호천권의 석화양수장이 양수능력 0.404m³/sec로 규모가 가장 작다. 대부분의 양수장은 1.1m³/sec정도의 양수능력을 가지고 있다(농림수산부, 1987).

2.3 유역 분할

본 연구 대상인 하구호 유역에 대한 유출모형의 검증이나 모형에 대한 媒介變數의 추정 또는 평가를 위해서는 유량 측정자료가 필요하며, 또한 유량측정도 유출량 분석이 가능하도록 측정되어 있어야 한다. 이러한 조건을 적절하게 갖추고 있으며 장기간의 유량자료를 획득할 수 있는 관측소로 석화 수위관측소, 회덕 수위관측소, 공주 수위관측소, 규암 수위관측소가 선정되었다. 따라서 본 연

구에서는 이들 4개 수위표 지점을 유출량 분석을 위한 표본지점(Key Station)으로 선정하여 하구호유역을 분할하였다. 이에 따른 각 소유역은 그림 2.1과 같으며 각 유역별로 산정한 유역면적은 표 2.1에 나타내었다.

표 2.1 하구호 유역의 각 소유역별 유역면적

(단위 : km²)

대청유역	소유역					하구호유역
	석화	회덕	공주	규암	하구	
4,134.0	1,590.4	560.0	1,246.8	730.0	1,051.8	5,179.0

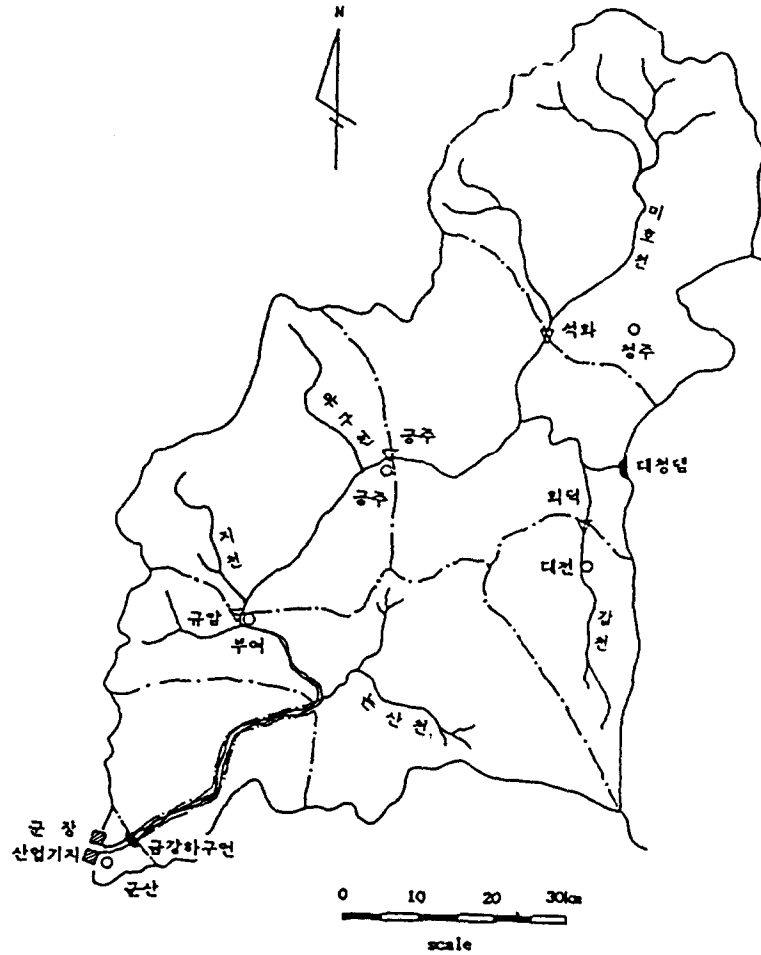


그림 2.1 대청댐 하류의 금강 하구호 유역도

3. 하구호 지점의 유입량 산정

3.1 자연 유출에 따른 유입량

자연유출에 따른 하구호의 월 유입량 산정은 간단한 입력 자료와 모형의 구조를 단순화한 집중형 유출모형을 이용한다. 이에 대한 대표적인 모형으로는 T-모형, P-모형, abcd-모형 등이 있다. T-모형은 1955년 Thornthwaite와 Mather에 의해 제시된 모형으로 유역의 토양구조, 유역의 크기 및 형상, 지하수 특성에 의한 매개변수를 포함하여 강수량과 잠재 증발산량, 토양 습윤용량, 저류량의 관계로부터 유출량을 산정하는 방법이다. P-모형은 1965년 Palmer에 의해 제시된 방법으로 이는 토양습윤의 저류상태를 두개의 층으로 구분하여 상층의 수분이 완전히 제거되지 않으면 하층의 수분은 변동하지 않는다는 가정하에 가뭄지수(Drought Index)를 이용하여 유출을 두층의 습윤용량에 의해 발생된다고 하였으나 이경우에 습윤용량과 하천유출사이의 지체가 고려되지 않는 단점이 있다(Alley, 1984). abcd-모형은 1981년 Thomas에 의해 제시된 모형으로 강우량과 저류량과의 합을 유역의 가용수량(Available Water)으로 정의하여 이로부터 직접유출과 지하수 유출을 a, b, c, d변수로 규정하여 유출량을 산정하는 방법이다. 이러한 연구로 김원석 등(1991)은 국내 20개 하천 유역에 대하여 Thomas 월유출모형의 미계측 유역에 대한 적용 가능성을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 필요한 자료가 적고 계산과정이 보다 간단한 Thomas의 abcd모형을 이용하였으며 이 방법의 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 유역의 가용수량 W_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$W_i = P_i + S_{i-1} \quad (3.1)$$

여기서 P_i 는 i 기간의 강우량이며, S_i 는 토양습윤에 따른 저류량이다. 그 다음, 상태변수로 Y_i 를 i 기간 동안의 실제 증발량 E_i 와 i 기간 동안의 최종 토양 습윤 저류량을 나타내는 S_i 와의 합으로 나타

낸다.

$$Y_i = E_i + S_i \quad (3.2)$$

Y_i 는 다음식과 같이 가용수량 W_i 의 비선형 함수로 주어진다.

$$Y_i(W_i) = (W_i + b)/2a - \left\{ \left[(W_i + b)/2a \right]^2 - W_i b/a \right\}^{0.5} \quad (3.3)$$

이 식은 $Y_i \leq W_i$ 이며 $Y(0) = 1.0$, $Y(\infty) = 0.0$ 이고 Y_i 의 상한치는 b 이다.

Y_i 를 실제 증발산과 i 기간 동안의 최종 토양습윤 저류량으로 분배하기 위해서, 증발에 의한 토양 습윤 저류량의 손실율을 다음과 같이 토양습윤 저류량에 비례한다고 가정한다.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{PE}{b} S \quad (3.4)$$

여기서 PE 는 잠재 증발산량(Potential Evapotranspiration)이다. 따라서 계산초기의 토양습윤 저류량은 다음식으로 나타내어진다.

$$S_i = Y_i e^{(-PE_i/b)} \quad (3.5)$$

가용수량 W_i 와 Y_i 의 차이는 직접 유출 DR_i 와 지하수 보충량인 GR_i 의 합으로 표시되며, 이들의 분배는 매개변수 c 로 할당된다. 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$GR_i = c(W_i - Y_i) \quad (3.6)$$

$$DR_i = (1-c)(W_i - Y_i) \quad (3.7)$$

지하수 유출량은 dG_i 로 표시되며, 여기서 d 는 모형의 매개변수이고 G_i 는 i 기간에서의 지하수 저류량이며 물수지 관계로부터 다음과 같이 계산된다.

$$G_i = [GR_i + G_{i-1}]/(1+d) \quad (3.8)$$

따라서 하천으로의 유출량(Q_i)은 다음식과 같다.

$$Q_i = DR_i + dG_i \quad (3.9)$$

따라서 이 모형은 a, b, c, d인 4개의 변수를 가지게 되며 각각의 변수는 정도에 따라 물리적 의미를 가지고 있다. 변수 a(0 < a ≤ 1)는 토양이 완전히 포화에 이르기 전에 일어나는 유출정도이며 W < b에서는 1.0보다 작다. 변수 b는 증발산과 토양 습윤 저류량의 합의 상한치이며, c는 지하수로의 유입정도를, d는 지하수 보충량으로부터의 유출성분을 의미한다.

상기에 언급된 월유출 모형을 통해 하구호의 유입량을 산정하기 위한 대상구역의 모식도를 나타내면 그림 3.1와 같다. 계산절차는 먼저 수위-유량관계 곡선식으로 부터 산정된 각 수위표 지점의 유출량에 각종 용수 이용에 따른 유출손실을 고려하여 순수 유출량을 재산정한다. 이로부터 각 해당구역

의 평균 강우량 및 잠재 증발산량을 입력으로하는 월 유출모형인 abcd모형을 적용하여 각 소구역의 유출량을 산정한 다음 이를 합산하여 하구호구역의 유출량을 산정함으로써 하구호의 유입량으로 한다. 분석지점에 대한 월유출량은 대상지점의 일수위기록에 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 일유량으로 환산하여 산정하였다(건설부, 1982, 1990, 한국수자원공사 1990). 이를 위한 수위-유량 관계곡선의 선정은 해당년 기간에 작성된 곡선을 우선적으로 고려하였으며, 수위에 따른 유량의 결과를 검토하여 기본적으로 타 곡선과 현저히 다른 형태로 유량이 계산되는 곡선은 제외하였다(이진원 등, 1992). 이와 같은 기준에 의하여 수위-유량 관계곡선을 선정하여 1969년부터 1990년까지 22년간 각 지점의 월 유출량을 산정하였다.

Thomas 월유출모형의 유출량을 상기 실측유량에 접근시키기 위해서는 각종 용수이용량을 산정하

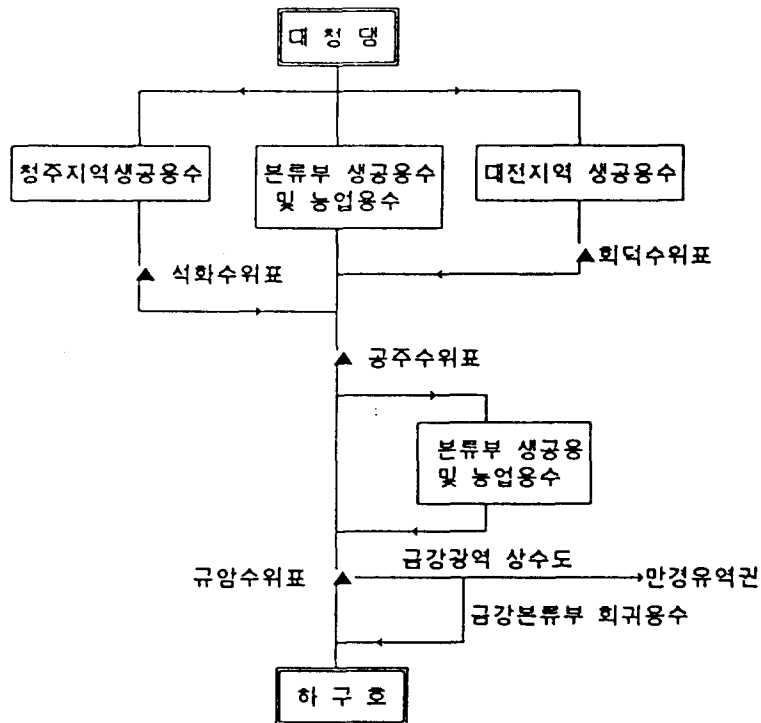


그림 3.1 금강하구호 유입지점의 유출량 산정을 위한 모식도

여야 한다. 이를 위해 각 유역의 농업용수 사용량과 생공용수 사용량 및 대청댐의 방류량, 청주 및 대전의 생공용수 공급량은 기존의 실적자료를 이용하였다(한국수자원공사, 1990). 또한 각 유입 지점에 이르기까지 소모되는 손실을 산정하기 위해 일반적으로 적용되는 생공용수의 회귀율 0.65를 적용하며, 농업용수는 삼투량(5mm/일)의 50% 및 수로 및 조작손실량의 70%가 회귀되는 것으로 하였으며, 하천내 수면 증발량은 본류부의 각 구간별 하천 단면자료를 이용하여 수로의 수면적을 계산한 다음 인접 측후소의 계기증발량과 금강유역 년평균 소형 증발접시의 증발계수 0.68을 곱하여 수면증발량을 산정하였다(농어촌진흥공사, 1983).

강우-유출해석에서 유역평균 우량은 Thiessen법을 이용하여 산정하였으며, 유역의 잠재증발산은 관측된 자유수면 증발량 또는 계산된 잠재 증발량으로부터 구하는데 Pan 증발량과 Thornthwaite 방법에 의해 계산된 잠재 증발량의 관계를 비례하는 것으로 가정하여 추정하였다. 이를 위해 대상유역내 대전, 청주, 부여, 군산측후소의 69년부터 90년까지의 월평균기온자료로 부터 계산된 월별 잠재 증발량과 계기증발량의 관계를 분석하였으며 이를 정리한 결과는 표 3.1과 같다.

표 3.1 계기증발량(X)과 잠재증발량(Y)의관계

지 점	관 계 식
청 주	$Y=1.10910X-31.8860$
부 여	$Y=1.15815X-37.4959$
군 산	$Y=1.22295X-51.9818$
대 전	$Y=1.07174X-30.8141$

이로 부터 Thomas모형의 유출계산에 필요한 매

개변수값은 위 산정된 유출량과 계산유출량과의 차이를 최소로 하는 매개변수 최적화 기법(Rosenbrock, 1960)을 이용하여 산정하였으며, 이에 필요한 목적함수(Objective Function)는 다음과 같이 구성하였다.

$$\text{Min } U = \sum_{i=1}^N [\epsilon_i - \epsilon_{i-1}]^2$$

여기서, ρ 와 θ 는 모형의 매개변수이며, $\epsilon_i = L_n(\hat{R}_i/R_i)$ 으로 \hat{R}_i 와 R_i 는 각각 i월의 계산유출량과 위 산정된 유출량을 나타낸다. 매개변수 ρ 는 월간 유출량의 자기상관성을 고려하기 위해 도입된 변수로 그 범위는 0.3-0.5이며(Alley, 1984), 매개변수 $\theta_{(a,b,c,d)}$ 의 초기조건은 각 소유역에 대해 0.99, 140, 0.25, 0.2로 설정하였다. 유출량 계산시점에서 필요한 토양수분 저류량(S_0)과 지하수대 저류량(G_0)은 위 계산 결과로 부터 매년의 12월 자료를 평균하여 이용하였다. 각 매개변수의 산정결과는 표 3.2에 게재하였으며, 표에서 나타난 바와 같이 도시유역이 상대적으로 많은 회덕소유역에서는 다른 소유역에 비해 b값이 큰편에 속하며 d값은 가장 적은 0.1725으로 지하 유출성분이 낮다. 석화소유역에서는 a값이 0.991로 포화유출이 되기전에 유출이 일어나는 정도가 큰 편에 속하며 공주소유역에서는 c값이 0.550으로 지하수로의 유입이 다른 유역에 비해 크다. 하구호유역과 가장 인접한 규암소유역에서는 포화유출이 되기전에 유출이 일어나는 정도와 증발량과 토양습윤 저류량의 합이 각각 0.941, 139.8로 위 소유역중에서 가장 적은 것으로 나타났다.

표 3.2 각 소유역의 매개변수

유역	기간	a	b	c	d
회덕소유역	69-90년	0.9535	171.500	0.0000	0.1725
석화소유역	69-90년	0.9910	140.200	0.2500	0.2600
공주소유역	69-90년	0.9910	141.500	0.5500	0.2100
규암소유역	69-90년	0.9410	139.800	0.5600	0.2100
하구소유역	-	0.9691	148.250	0.3875	0.2131

이로부터 하구호 유입지점의 유출량을 산정하기 위해서는 규암소유역의 유출지점과 하구호유입지점 사이의 미계측 유역인 하구 소유역에 대한 매개변수가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 각 소유역에서 산정된 매개변수를 산술평균하여 이용하였다. 이는 하구소유역의 유출량을 산정함에 있어 각 유역의 특성을 고려하는 명확한 기준을 설정하기 어려울 뿐만 아니라 각각의 산정된 변수들의 분산이 실제 하구소유역의 유출량 크기에는 미미하게 작용하고 있기 때문이다. Thomas의 abcd모형으로 계산된 각 소유역의 월유출량으로부터 하구호 유입지점의 월 유출량을 산정한 결과는 표 3.3과 같다.

각 유역의 유출 특성을 비교해 보기 위해 월 유

출량을 해당 소유역 면적으로 나누어 유출고를 산정한 결과는 표 3.4과 같다. 표에서 나타난 바와 같이 비교적 강우량이 큰 회덕 및 공주유역의 월평균 유출고는 다른 유역에 비해 전반적으로 크게 나타나고 있으며 석화유역은 하구 유역의 평균유출고보다 적다. 소유역의 년평균 유출고는 각각 회덕소유역 866.2mm, 석화소유역 645.1mm, 공주소유역 730.4mm, 규암소유역 740.8mm, 하구소유역 697.5mm, 하구호유역 714.9mm로 년평균 강우량이 제일 큰 회덕유역이 유출고에서도 제일 크게 나타났으며, 강우량이 적은 석화 유역의 유출고는 하구호 유역의 유출고 보다 약 69.8mm 정도 적게 나타나고 있다.

3.3 하구호 유역의 월유출량(단위 : MCM)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1969	268.9	225.6	155.1	528.9	412.8	138.2	873.9	1453.7	759.1	254.5	212.3	179.1	5461.98
1970	148.8	197.2	132.7	174.2	169.4	188.6	584.8	538.1	825.4	368.5	178.1	147.2	3652.92
1971	149.4	166.0	188.9	137.8	128.2	516.4	1048.7	481.9	298.8	148.5	119.3	100.4	3484.33
1972	111.4	117.7	527.5	175.6	230.5	100.0	342.5	876.1	305.3	168.4	243.5	158.8	3357.42
1973	304.7	158.5	104.2	258.2	184.7	343.4	196.2	313.2	151.0	103.0	91.5	81.3	2289.94
1974	81.2	109.7	181.3	438.0	512.2	131.0	1114.6	418.1	188.2	151.0	120.4	108.4	3554.21
1975	93.4	79.4	179.0	383.1	228.7	114.9	800.5	474.3	528.4	180.2	144.1	138.1	3344.08
1976	112.6	286.2	133.2	231.1	87.7	99.5	148.0	1098.0	153.9	120.2	103.9	111.2	2685.47
1977	84.5	67.6	79.9	469.8	133.5	100.4	550.7	257.8	166.4	78.8	84.4	99.3	2173.09
1978	83.5	96.6	147.9	66.0	41.7	545.2	906.0	100.39	196.6	192.2	135.5	126.6	3541.49
1979	119.6	211.4	252.0	234.1	220.3	960.5	483.4	756.7	558.4	215.2	158.3	140.1	4309.88
1980	159.5	124.9	148.5	483.4	498.6	916.2	1209.4	839.5	275.1	298.8	189.2	195.2	5348.26
1981	184.6	147.5	154.6	114.8	77.6	157.4	993.2	872.6	50.41	203.0	160.2	135.9	3705.34
1982	123.8	106.2	166.2	91.4	220.4	64.1	262.1	652.3	102.3	87.8	248.1	178.3	2302.99
1983	115.7	133.8	260.9	391.3	143.4	281.2	596.1	499.4	431.1	148.5	127.2	104.3	3232.98
1984	89.9	78.1	70.8	213.1	98.9	267.3	715.9	684.5	523.6	162.7	171.2	141.2	3217.27
1985	129.3	141.6	242.4	152.0	308.1	123.7	725.3	847.8	940.8	555.2	351.5	297.5	4815.32
1986	220.3	176.2	200.3	133.7	185.2	406.4	821.1	759.6	393.9	249.2	175.0	208.7	3929.54
1987	280.1	255.4	180.3	150.4	127.8	240.4	1962.6	1941.7	349.1	300.4	260.7	205.0	6253.84
1988	170.6	141.4	136.4	134.6	96.0	78.5	978.3	270.8	121.5	94.3	78.5	67.2	2368.07
1989	93.7	175.5	248.4	80.8	64.0	263.0	890.3	433.6	691.9	176.4	182.1	139.2	3438.90
1990	219.9	363.4	269.9	221.7	210.7	794.1	989.8	622.1	761.6	20.5	175.9	150.9	4985.25
평균	152.1	161.8	189.1	239.3	199.1	310.9	781.5	731.6	419.4	202.8	168.7	146.1	3702.39
최대	304.7	363.4	527.5	528.9	512.2	960.5	1962.6	1941.7	940.8	555.2	351.5	297.5	6253.84
최소	81.2	67.6	70.8	66.0	41.7	64.1	148.0	257.8	102.3	78.8	78.5	67.2	2173.09

표 3.4 각 소유역의 월평균 유출고

(단위 : mm)

유역	구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계(mm)
①	평균	30.5	35.9	44.0	56.5	46.3	75.0	199.0	185.5	97.7	36.7	21.2	27.9	866.2
	최대	66.3	94.2	165.3	122.8	115.2	207.8	497.6	467.0	288.4	106.9	64.4	50.1	
	최소	15.2	12.7	14.7	16.1	7.5	9.9	30.1	62.0	15.4	13.9	12.7	12.2	
②	평균	23.0	24.8	31.8	40.9	30.8	56.8	149.0	147.0	73.3	27.0	20.9	19.0	645.1
	최대	70.3	74.4	90.3	113.9	106.7	238.1	354.6	356.7	259.8	100.9	41.6	42.4	
	최소	7.9	6.7	7.8	8.3	6.3	6.1	30.6	23.0	13.0	10.0	8.0	6.6	
③	평균	33.2	34.2	37.7	45.5	39.3	59.3	140.5	130.7	85.0	49.7	40.9	34.4	730.4
	최대	61.2	70.4	92.8	91.9	95.1	177.2	340.5	334.2	176.2	121.4	74.1	62.2	
	최소	13.3	16.0	15.5	13.9	10.5	15.0	21.8	43.5	24.3	20.2	18.0	14.8	
④	평균	36.2	36.4	39.0	47.6	42.8	59.4	138.5	129.3	84.6	51.9	44.3	37.8	747.8
	최대	56.2	68.2	73.6	89.2	101.9	158.7	338.7	340.1	150.9	105.4	84.8	65.1	
	최소	19.2	18.4	17.8	14.4	10.5	18.7	25.7	49.0	29.1	21.1	20.5	19.7	
⑤	평균	29.0	31.4	36.5	48.6	41.7	58.2	148.8	129.7	76.3	36.3	32.8	28.2	697.5
	최대	57.2	58.3	115.7	126.9	105.1	177.4	425.6	425.3	218.4	101.1	93.3	73.2	
	최소	11.4	11.3	14.4	11.1	6.3	14.5	26.2	42.9	16.0	11.5	11.1	12.2	
⑥	평균	29.4	31.2	36.5	46.2	38.4	60.0	150.9	141.3	81.0	39.2	32.6	28.2	714.9
	최대	58.8	70.2	101.9	102.1	98.9	185.5	379.0	374.9	181.7	107.2	67.9	57.5	
	최소	15.7	13.0	13.7	12.7	8.0	12.4	28.6	49.8	19.7	15.2	15.2	13.0	

참고 : ① 회덕 소유역(560.km²), ② 석화 소유역(1590.4km²), ③ 공주 소유역(1246.8km²),
 ④ 규암 소유역(730.km²), ⑤ 하구 소유역(1051.8km²), ⑥ 하구호 유역(5179.0km²)

표 3.5 하구호 유입지점의 월 유입량

(단위 : MCM)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1969	310.1	537.0	209.7	1178.7	712.8	186.2	1802.8	2651.7	1777.2	438.2	278.9	258.1	10341.3
1970	201.6	355.9	304.9	428.2	317.0	284.2	1844.2	1291.5	2065.7	531.3	288.0	234.8	8147.2
1971	241.5	309.0	367.0	242.5	241.0	826.9	2118.2	1116.9	756.0	240.6	168.8	150.8	6779.2
1972	185.6	232.0	940.5	518.5	616.5	217.9	855.4	1527.8	618.2	258.7	485.1	320.3	6776.6
1973	56.0	256.0	153.5	497.2	377.0	384.9	322.9	845.9	308.3	226.5	170.0	131.1	4233.5
1974	112.3	184.7	372.5	793.9	1010.1	172.0	2153.3	574.3	318.3	229.2	131.5	127.1	6179.3
1975	101.4	86.7	247.3	615.3	479.9	203.5	1822.8	668.5	773.6	238.9	198.3	171.8	5608.0
1976	126.0	417.5	195.9	257.3	161.6	258.9	175.3	1687.5	284.8	134.1	111.9	138.5	3949.3
1977	93.1	72.4	132.7	864.0	210.6	134.6	577.8	678.8	216.4	91.1	107.0	118.0	3296.4
1978	126.9	134.6	260.4	138.8	93.7	1037.7	1764.7	1504.5	300.3	234.8	178.8	156.9	5931.9
1979	155.0	356.3	408.4	425.6	410.5	1258.3	681.6	1395.8	1101.7	285.1	225.7	207.3	6911.2
1980	204.8	191.2	258.3	923.5	789.5	1248.6	2149.3	1298.6	352.1	403.5	257.1	265.4	8341.9
1981	294.6	310.7	293.3	250.7	112.6	236.0	1427.6	1189.7	937.3	529.0	332.5	267.8	6181.6
1982	225.4	188.3	261.8	215.6	405.3	161.0	287.2	708.1	234.2	170.6	307.2	308.4	3473.1
1983	169.8	173.2	462.7	653.9	509.0	403.0	981.0	831.4	746.2	325.2	218.0	228.8	5702.3
1984	165.8	113.4	107.2	285.4	420.3	571.7	1126.8	996.6	1129.6	424.6	435.6	304.7	6081.8
1985	188.5	194.9	513.8	319.6	554.5	405.8	1259.3	1629.3	1999.1	934.7	528.1	536.5	9064.2
1986	422.0	368.1	401.4	322.4	350.3	745.9	1435.9	1147.1	735.7	416.5	403.8	384.7	7133.7
1987	429.3	437.6	470.8	382.6	347.8	438.7	2747.0	3467.6	1134.6	445.8	376.4	326.2	11004.3
1988	311.1	282.3	237.2	225.6	188.0	186.2	1379.6	679.3	222.0	154.0	110.7	98.9	4074.9
1989	128.1	212.4	323.3	172.9	203.2	526.8	1620.9	955.6	1146.6	354.9	343.4	265.7	6253.8
1990	325.2	462.9	455.6	452.5	615.3	1180.0	1742.3	1035.8	986.8	345.0	281.7	266.8	8149.8
평균	230.8	267.1	335.4	462.0	414.8	503.1	1376.2	1267.4	824.8	336.9	269.9	239.5	
최대	560.2	537.0	940.5	1178.7	1010.1	1258.3	2747.0	3467.6	2065.7	934.7	528.1	536.5	
최소	93.1	72.4	107.2	138.8	93.7	134.6	175.3	574.3	216.4	91.1	107.0	98.9	

표 3.6 하구호 유입지점의 대청댐유역 유출량율 (%)

기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
69-80년	24.8	35.6	40.2	46.3	47.6	34.4	43.0	44.5	43.9	29.3	27.7	28.2
81-90년	37.8	36.0	43.2	49.4	56.3	47.8	34.6	38.6	47.5	46.9	40.8	45.0

참고 : 율 (%) = 대청댐유역 유출량x100 / (하구호유역 유출량 + 대청댐 유역 유출량)

하구호의 유입량을 산정하기 위해 하구호유역의 유출량과 대청댐 유역의 유출량을 합산한 결과는 표 3.5이다. 여기서 대청댐 유역의 유출량으로 대청댐 건설(1980년) 이전에는 댐 지점의 유입량, 대청댐 건설 이후에는 대청댐의 방류실적을 이용하였다. 하구호의 유입량에 대한 대청댐 유역의 유출량 변화를 댐 건설 전후로 나누어 계산한 결과는 표 3.6에 게재하였다. 표 3.6에 나타난 바와 같이 대청댐 건설전의 대청댐 유역 유출량은 년평균 최저 24.8% 에서 최고 47.6%이었으나 대청댐 건설 후에는 최저 34.6%에서 최고 56.3%로 나타났다. 특히 홍수기인 7월에 하구호 유입지점의 대청댐유역 유출량은 43%에서 34.6%로 8.4%가 감소하였으며 홍수기를 제외한 10월-6월에서는 최고 17.6%가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상류의 댐 건설로 인해 하류부의 유출량은 댐건설 전보다 홍수기에는 감소하며 갈수기에는 증대하고 있음을 알 수 있다.

3.2 저수 유출에 따른 유입량

금강 하구호는 홍수 유출량의 저류능력이 미약하다(농어촌진흥공사, 1983). 이는 호우로 인해 지속성이 없는 홍수 유출량은 하구호에 저류되지 못함을 의미한다. 따라서 하구호의 용수계획에는 하구호 유역의 유출량중 홍수 유출을 배제한 지속적인 유출성분만이 유효하며 이는 관측된 유출 수문곡선으로부터 홍수성분을 제거하여 도출할 수 있다. 관측 유출수문곡선의 홍수성분을 제거하기 위해 본 연구에서는 수치필터방법(日野 등, 1985)을 이용하였다. 식(3.10)에서 $y(\cdot)$ 는 관측 유출량이고 $w(\cdot)$ 는 저주파 응답 함수이며, $y^{(1)}(\cdot)$ 는 홍수가 제거된 유출량이다.

$$y^{(1)}(t) = a \sum w(n) y(t-n\Delta t) \tag{3.10}$$

$$w(n) = \frac{c_0 \text{Exp}(-c_1 n/2) \sinh(\sqrt{c_1^2/4 - c_0} n)}{\sqrt{c_1^2/4 - c_0}}$$

$$, n \geq 0 (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$= 0, n < 0$$

여기서 $c_0 = (\delta/T_c)^2$, $c_1 = \delta^2/T_c$ 이며 δ 는 2.0-2.5 사이값을 갖는 상수, T_c 는 홍수 유출성분과 저수 유출성분을 분리하기 위한 분리시정수로서 유출수문곡선의 감수부 기울기의 역수이다. 계수 a 는 저주파 유출성분과 홍수유출성분과의 차이 $y^{(2)}(t)$ 가 다음 식이 만족하도록 설정한다.

$$y^{(2)}(t) = y(t) - y^{(1)}(t) \geq 0 \tag{3.11}$$

따라서 유출수문곡선의 분리시정수를 알면 식(3.10)으로부터 관측수문곡선의 홍수유출성분을 분리할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 분석 대상지점으로 관측기록이 비교적 풍부하고 간조영향이 없는 공주지점을 선택하였다. 1989년 건설부의 금강홍수예경보 프로그램 개발 보고서에서 제시한 감수부 유출곡선으로부터 공주지점의 분리시정수 T_c 를 산정하면 5.4 일이며 이에 대한 δ 는 2.01이다(日野 등, 1985). 이로부터 저수유출량은 1954년에서 대청댐 건설이전인 1980년까지의 공주지점의 일유출량 자료(이진원 등, 1992)로부터 홍수유출성분을 제거하여 산정하였으며, 산정된 월별 저수 유출량에 대한 각월의 평균 및 최대, 최소량을 표 3.7에 게재하였다. 표에 나타난 바와 같이 산정된 각월별 유출량의 변동은 하구호 유입지점의 월유출변동과 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 농업용수 관개기인 5-6월에 저수 유출량의 변동이 심함을 알 수 있으며 이는 수자원 이용계획등 물 배분 계획에 어려움을 주고 있음을 알 수 있다.

표 3.7 공주지점의 월별 저수유출량

(단위: m³/sec)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1954	15.5	11.2	17.8	60.3	47.4	48.4	217.3	137.9	78.8	65.9	6.3	6.8
1955	6.6	4.4	14.4	5.5	4.8	3.9	104.3	56.2	58.3	10.9	9.5	5.7
1956	4.6	4.3	42.1	68.9	23.9	110.9	195.3	30.3	106.2	21.2	4.6	4.3
1957	7.1	11.8	5.3	30.4	12.8	4.8	257.8	166.7	27.0	8.9	5.1	14.0
1958	33.7	28.6	16.1	31.7	39.2	4.6	163.4	186.8	287.2	47.2	52.1	20.7
1959	6.5	60.8	61.4	80.0	39.3	6.2	263.6	76.0	272.6	52.9	10.6	5.0
1960	9.9	5.5	9.3	11.9	22.6	16.0	173.7	27.1	38.8	28.7	6.4	13.0
1962	5.8	7.2	8.1	16.9	5.6	5.8	27.9	60.1	178.5	56.4	24.9	12.0
1963	11.2	12.2	13.6	50.4	37.0	171.0	266.0	77.7	61.5	39.6	23.2	24.8
1966	13.2	21.1	108.0	36.8	37.1	24.7	119.3	85.3	122.5	48.9	41.6	30.6
1967	18.5	23.1	39.4	57.0	13.0	10.7	85.2	52.6	79.4	30.1	23.1	41.7
1968	21.0	13.2	39.6	36.8	6.0	7.2	67.4	115.2	53.2	72.4	55.7	38.9
1969	22.7	81.6	54.8	102.4	141.2	27.7	135.5	303.8	188.2	72.0	51.1	57.3
1970	34.2	36.3	46.9	56.1	53.3	45.0	188.7	138.8	301.1	65.9	55.8	48.3
1971	38.2	46.3	59.1	43.6	32.1	41.1	316.8	166.9	80.1	57.6	36.4	32.5
1972	37.3	59.1	71.0	96.7	83.1	35.5	102.4	166.0	114.4	50.9	76.5	56.8
1973	64.2	56.9	39.2	53.0	58.5	34.8	51.0	92.6	60.4	61.1	54.8	51.4
1974	41.1	43.8	66.2	84.6	116.1	57.9	217.6	72.5	70.1	54.3	30.6	30.1
1975	25.5	25.7	42.9	54.4	77.0	40.6	181.2	90.1	147.7	60.1	51.6	41.8
1976	26.7	58.5	50.1	29.7	29.4	35.5	41.8	144.9	85.5	45.2	25.6	29.4
1977	51.1	24.9	27.5	76.4	50.4	20.4	83.8	55.4	45.3	8.3	5.4	11.8
1978	39.8	38.5	49.8	15.3	6.6	62.3	237.4	190.7	62.9	50.2	47.7	50.3
1979	40.2	50.6	57.0	64.1	61.1	121.5	123.8	169.9	125.1	61.6	55.8	52.0
1980	53.0	50.5	56.1	105.1	80.9	134.5	200.4	201.4	117.5	56.5	45.4	54.3
평균	26.2	32.3	41.5	52.8	44.9	44.6	159.2	119.4	115.1	46.9	33.3	30.6
최대	64.2	81.6	108.0	105.1	141.2	171.0	316.8	303.8	301.1	72.4	55.8	57.3
최소	4.6	4.3	5.3	5.5	4.8	3.9	27.9	27.1	27.0	9.3	4.6	4.3

4. 결 론

본 연구는 용수이용이 매우 복잡한 금강 유역의 금강 하구호 유입지점에 대한 월유입량을 추정하였으며, 월유입량은 자연유출과 저수유출에 따른 월유출량을 평가하여 도출하였다. 자연유출에 따른 유출량은 강수 및 증발 자료를 이용한 Thomas 월유출 모형으로부터 산정하였으며, 하구호 운영에 적절한 저수유출량은 수치필터에 의한 수문곡선 분리법으로부터 관측 유출수문곡선의 홍수성분을 제거하여 도출하였다.

산정결과 자연유출에 따른 유출량의 대부분은 홍수기인 6-9월에 유출되며 유출량의 변동폭 또한 비교적 크다. 아울러 금강 하구호 유입지점에서 대청댐 유역의 월유출량은 댐 건설전 24.8%~47.6%이었으나 댐 건설후 34.6%~56.3%로 홍수기인 7-8월을 제외한 전기간에서 증가하는 것으로 나타났다. 저수유출에서의 월 유출량 변동은 자연유출의 유출량 변동과 비슷한 경향을 보이고 있으나 농업용수 관계기인 5-6월에 그 변동이 더욱 심하게 나타났다. 따라서 금강하구호는 저수유출시 수자원 이용계획에 어려움이 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 금강하천정비 기본계획 및 부록, 1979.
2. 건설부, 금강유역 조사 보고서, 1979.
3. 건설부, 수위관측소 영점표고조사 보고서 및 부록, 1982.
4. 농어촌 진흥공사, 금강 1 지구-하구언 수문조사 보고서, 1983.3
5. 농림수산부, 수리 시설물 수원공 일람표, 1987.12
6. 한국 건설 기술 연구원, 장기 수자원 계획을 위한 유역 물수지 추정 방법 개발 (년유출량 추정방법 개발), 1989. 12
7. 건설부, 금강 홍수 예경보 프로그램 개발 보고서, 1989.
8. 한국수자원공사, 수문데이터 베이스(F/D), 1990. 6.
9. 건설부, 수자원 장기종합계획 (1991-2001), 1990. 5
10. 한국수자원공사, 대청다목적댐 관리연보, 1981-1991.
11. 김원석, 윤용남, 최영박, Thomas월유출모형의 미계측 유역적용에 관한 연구, 한국수 문학회지, 제 24 권, 제 4 호, pp.85-91, 1991.12.
12. 이진원등, "우리나라 주요하천의 유황분석", 제 34 회 수공학발표회 논문집, 1992. 7
13. Rosenbrock, H.H., An automatic method of finding the greatest of least value of a function, *Comput. J.*, 3, pp.175-184, 1960.
14. Calvo, J.C., An evaluation of Thornwaite's water balance technique in prediction stream runoff in Costa Rica, *Hydrological Sciences*, 31, 1, 3, 1986
15. Alley, W. M., On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models, *Water Resources research*, Vol 20, No.8, pp.1137-1149, 1984.8
16. Thornthwaite, C. W., and J.R. Mather, The water balance, *Publ. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol.*, 8(1),1-104,1955
17. Palmer, W. C., Meteorologic drought, *Res. Pap. U.S. Weather Bur.*, pp.45-58,1965
18. Thomas, H.A., Improved methods for National Water Assessment report, contract WR15249270, U.S. Water Resour. Counc., Washington, D.L., 1981
19. 日野 幹雄 長谷部 正彦 共著, 水文流出解析, 森北出版株式會社, p.150-169,1985.

〈접수: 2/19〉