

한강수계 관개용 저수지의 공급량 조사

Surveying Water Supply from Irrigation Reservoirs in the Han River Basin

임 상 준* · 강 민 구*
Im, Sang Jun · Kang, Min Goo
박 승 우** · 박 창 언***
Park, Seung Woo · Park, Chang Eon

Abstract

The objectives of the research were to modify and validate a daily water balance model, DIROM, for irrigation reservoirs using field data, and to estimate daily water supply from the reservoirs in the Han river basin. Modified DIROM was applied to three test sites, and validated with field data. The relative errors between the simulated and observed water supply were less than 10 percent. Historical records on daily or ten-day's storage for 110 reservoirs from the twenty Farmland Improvement Associations, FIA were collected and used to estimate the daily water supply during 1993 to 1997. The results were applied to the other 723 reservoirs that are not owned by FIA. The five-year averaged annual water supply from the reservoirs was estimated to be 180 million m³/yr. Maximum yearly water supply was recorded to be 190 million m³/yr in 1996.

I. 서 론

저수지는 유역으로부터 유출되는 지표수를 이용하여 농업용수를 공급하는 수원공으로, 하천에 댐을 축조하여 하천 지표수를 저류하는 기능을 담당하고 있다. 우리 나라는 지형적으로 저수지를 건설하기 위한 적지의 확보가 비교적 용이하고, 농업용수개발사업의 지속적인 시행으로 많은 수의 저수지가 건설되어 있으며, 농업용수 공급량의 46%를 저수지에 의해 공급하고 있다(농림부,

1999).

저수지에 의해 공급되는 농업용수는 작물이 필요로 하는 필요수량과 관리 및 수로손실량의 합으로 이루어져 있다. 농업용 저수지는 관개지구에서 필요로 하는 농업용수를 일별로 공급하는 것이 아니라, 기상조건이나 저수량 등을 고려하여 관개계획(irrigation scheduling)을 수립하고, 이에 따라 공급량을 결정한다.

저수지의 실제 공급량은 용수로에서 직접적인 유량 측정을 통하여 얻을 수 있다. 그러나, 수계단

*서울대학교 대학원

**서울대학교 농업생명과학대학

***신구대학 토목과

키워드 : 농업용수, 공급량, 수정 DIROM 모형, 방류계수, 조용수량

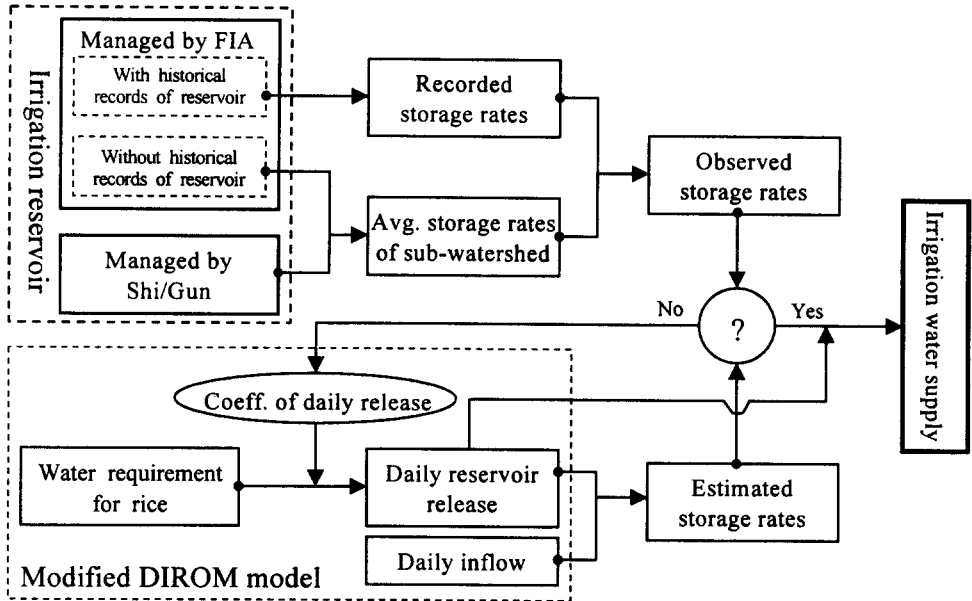


Fig. 1 Computational flowchart of daily water supply from reservoirs.

위에서는 그 수가 너무 많고 광범위하여 현실적으로 불가능하므로, 저수율과 같은 과거의 운영자료를 이용하여 간접적으로 추정할 수 있다. 이를 위하여, 논벼의 조용수량으로부터 잠재 공급가능량을 계산하고, 과거의 실측 저수율 자료를 이용하여 공급량을 일별로 조정함으로써 실제적인 저수지 공급량을 추정할 수 있다.

김현영 등(1998)은 저수지의 일별 모의조작 모형을 개발하여 논벼의 필요수량으로부터 일별 방류량을 추정하였으며, 김병진 등(1994)은 저수지의 조작방법에 따른 공급량을 추정한 바 있다. 이제까지 수계단위의 저수지 공급량에 대한 연구는 거의 없었으나, 최근에 이르러 한국건설기술연구원의 하천수 사용실태 조사사업에 의해 5대강에 대한 물 사용량 조사가 실시되고 있다^{5),6)}. 미국에서는 USGS에 의해 1950년부터 5년 주기로 지표수와 지하수 취수량을 조사하고 있다^{7),8)}.

본 연구에서는 저수지에 의한 관개용수 공급량을 조사하기 위하여, 저수지의 일별 공급량 계산 모형을 구성하였으며, 이를 이용한 수계단위의 물 사용량 조사방법을 개발하고, 3개 시험저수지의

실측 자료를 이용하여 조사방법의 적용성 평가를 실시하였다. 또한, 한강수계내 농업용 저수지에 대하여 1993~1997년 5개년동안 일별 공급량을 계산하고, 농지개량조합별, 행정구역별로 구분하여 비교하였다.

II. 공급량 조사방법

1. 공급량 조사방법

저수지의 일별 공급량은 1993~1997년의 5개년 동안의 일별, 순별 혹은 임의기간의 저수율 자료를 이용하여 간접적으로 조사하였다. 농지개량조합^{주1)}은 관할 저수지의 운영·관리를 위하여 물관리 인원을 배치하고, 저수량, 저수율, 관개시간 등의 자료를 조사, 보관하고 있으며, 시·군에서는 가뭄대책 등을 위하여 특정기간에 대한 저수율 자료를 보유하고 있으나, 실제적으로 그 자료의 양은 매우 적은 실정이다.

주 1) 2000년 1월 농업기반공사로 통합

저수지 일별 공급량은 Fig. 1과 같이 저수지의 일별 모의조작모형에 의해 계산된 순별 단위의 저수율과 실측 저수율이 일치하도록 방류계수를 조정 한 후에, 일별 방류계수와 논벼의 조용수량으로부터 계산된 저수지의 잠재 공급량을 곱하여 일별로 계산하였다.

2. 수정 DIROM 모형

과거 저수율 자료로부터 공급량을 조사하기 위한 모형은 김현영 등(1989)이 개발한 저수지 일별 모의조작 모형인 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)을 수정하여 이용하였다.

수정 DIROM 모형은 유입량 및 조용수량으로부터 저수량을 추정하고, 실측 저수율 자료에 의한 방류계수를 이용하여 일별 공급량을 계산하는 모형으로, 저수지 물수지 요소들의 관계는 다음과 같은 연속방정식으로 표시할 수 있다. 아래의 식 (1)에서 저수지 수면에 강하하는 강수량, 저수지 수면으로부터의 증발량, 지중 침투량 및 제방 침투량 등은 그 량이 상대적으로 크지 않고, 실제적인 조사가 어려우므로 무시하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - R_t - O_t \dots\dots\dots(1)$$

여기서, S=저수량(storage, m³), I=일별 유입량(inflow, m³), R=일별 공급량(water supply, m³), O=물넘이 월류량(overflow, m³)이며, 아래 첨자는 시간간격으로 일별 단위이다.

본 연구에서는 식 (1)의 물수지 요소를 다음과 같은 방법으로 추정하였다.

① 유입량(I)은 수정 Tank 모형을 이용하여 추정하였으며, 수정 Tank 모형의 매개변수는 유역의 토지이용상태로부터 매개변수를 추정하기 위하여 제안된 회귀관계식²⁾을 이용하여 결정하였다.

② 공급량(R)은 저수지에 의해 공급되는 일별 용수량으로 아래의 식과 같이 잠재 공급량과 방류계수를 이용하여 일별로 계산한다.

$$R_t = R_c(t) \times R_p \dots\dots\dots(2)$$

여기서, R_c(t)=일별 방류계수이며, R_p=저수지의 순별 잠재 공급량(mm)이다. 일별 방류계수는 실측 저수율과 계산된 저수율이 일치하도록 공급량을 조절하는 변수로서, 관계계획이나 저수지 조작방식에 따라 달라지게 된다. 방류계수는 순별 구간별로 일 단위로 계산되며, 아래와 같다.

$$R_{c,max} = \frac{S_{obs}}{S_{est}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\sum_{t=1}^{10} R_c(t) = R_{c,max}$$

여기서, R_{c,max}=순별 저수량 비이며, S_{obs}=순별 실측 저수량(m³), S_{est}=순별 추정 저수량(m³)이다.

저수지의 공급 가능량, R_p는 일별 조용수량을 순별단위로 누가하여 식 (4)와 같이 계산한다.

$$R_p = 10 (REQ_{10} + TS) (1 + L/100) \cdot A \dots\dots\dots(4)$$

여기서, TS=이양용수량으로 140 mm를 적용하였으며, REQ₁₀=10일간의 관개지구 순용수량(mm)이며, A=관개면적(ha), L=시설관리손실량(%)으로 15%를 적용하였다. 논벼의 순별 순용수량, REQ₁₀는 증발산량과 침투량 및 유효우량으로부터 식(5)와 같이 계산된다.

$$REQ_{10} = \sum_{t=1}^{10} (ETP_t \times K_c + F_t - Re_t) \dots\dots\dots(5)$$

여기서, ETP=잠재증발산량(mm)으로 Penman 식에 의해 계산하며, K_c=논벼의 작물계수, F=침투량(mm)이며, Re=유효우량(mm)이며, t=시간간격으로 일 단위이다.

③ 물넘이 월류량(O)은 저수지 물넘이를 넘어 하천으로 월류하는 량이다.

농지개량조합에서 관리하는 저수지는 각각의 저수지별로 수정 DIROM 모형을 적용하여 방류계수를 조정하고, 일별 공급량을 추정하였으며, 시·군 관리 저수지는 소유역별로 관개면적과 저수량을

모두 합하여 1개의 가상 저수지를 구성하여 수정 DIROM 모형을 적용하였다. 저수를 자료가 없거나 부족한 농지개량조합 관리 저수지는 동일한 소유역내에 위치하고 있는 저수지의 평균 저수율 자료를 이용하여 일별로 방류계수를 조정하였다. 시·군 관리 저수지의 경우에도 저수를 자료가 없으므로 소유역별 평균 저수율 자료를 이용하였다. 기상자료는 한강수계에 대하여 티센망을 구성하고, 소유역별 기준 기상관측소를 선정하여, 이들 기상관측소의 일별 기상자료를 이용하였다.

III. 조사방법의 평가

1. 시험저수지

본 연구에서 개발된 조사방법의 평가를 위하여 Table 1과 같이 한강수계의 용당, 금성 및 도척 등 3개 저수지를 선정하여 통관의 일별 유량을 측정하여 공급량을 측정하였으며, 공급량 조사방법에 의해 계산된 추정치와 비교하였다. 시험저수지에는 통관 하류의 용수로에 수위계를 설치하여 시간별 수위자료를 얻었으며, 현장 유속측정에 의한 수위-유량 관계식을 이용하여 일별로 공급량을 측정하였다. 측정기간의 강우량과 기상자료는 Table 1과 같이 인접지역의 기상관측소의 일별 자료를 이용하였다.

Table 1. Test reservoirs characteristics and data used

Reservoir	FIA	Irrigated area (ha)	Meteorologic station	Data used
Yongdang	Chungju	1,115.0	Chungju	4/14/98 - 9/22/98
Gyumsung	Eumsung	168.0	Icheon	5/1/98 - 9/5/98
Dochuk	Gwangju	195.2	Icheon	5/1/98 - 9/10/98

2. 시험저수지의 공급량 비교

시험저수지의 관할 농지개량조합으로부터 1998년의 저수율 자료를 수집하였으며, 이러한 실측 저수율 자료와 수정 DIROM 모형의 저수율이 일

치하도록 관개기간 동안의 방류계수를 일별로 조정하였다. 시험저수지의 일별 공급량은 방류계수를 이용하여 식 (2)로부터 추정하였으며, 이를 실제 공급량과 비교하면 Table 2와 같다.

Table 2에서와 같이 1998년의 조사기간 동안 용당저수지의 실제 공급량은 646mm이었으며, 농지개량조합의 저수율 자료를 이용하여 추정한 공급량은 667mm로 나타났다. 금성저수지의 경우 실제 공급량과 추정한 공급량은 각각 534mm, 483mm이었으며, 도척저수지는 실제 공급량이 652mm이었고 추정된 공급량이 635mm이었다.

Table 2에 의하면 시험저수지의 공급량이 대체적으로 적게 나타나고 있는 데, 이는 이양기가 조사대상에서 일부 제외되어 있으며, 저수지의 설계시에 계획된 관개면적을 이용하여 단위면적당 관개수심을 계산하였기 때문이다. 대부분의 저수지 관개지구에서는 설계시에 계획된 전체 관개면적에 대하여 관개용수를 공급하지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 하류구간에 취입보를 설치하거나 양수기 등을 이용하여 관개용수를 재이용하고 있으며, 이에 따라 실제적인 관개면적은 설계시에 계획된 관개면적보다 줄어 들게 된다.

Table 2. Comparisons of water supply from the selected reservoirs

Reservoir	Rainfall (mm)	Water supply (mm)		
		Obs.	Est.	RMSE ¹⁾
Yongdang	1,186.8	646.0	667.0	3.0
Gyumsung	1,372.3	534.0	483.0	4.3
Dochuk	1,373.3	652.0	635.0	5.5

1) RMSE : Root mean square errors for daily water supply

일별 공급량에 대한 RMSE(root mean square error)는 Table 2와 같이 3.0~5.5mm의 범위를 보이고 있으며, 순별 공급량을 비교하면 Fig. 2와 같다. Fig. 2는 시험저수지의 실측 공급량과 추정된 공급량을 순별로 비교한 것으로, 용당저수지의 순별 공급량에 대한 R²는 0.925이었으며, 금성저수지와 도척저수지의 R²는 각각 0.779, 0.551로 나타났

다. 한편, Fig. 3은 용당저수지의 실제 공급량과 추정 공급량을 순별로 나타내어 비교한 것으로, 강우량과 논벼의 생육단계에 따라 공급량이 시기적으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

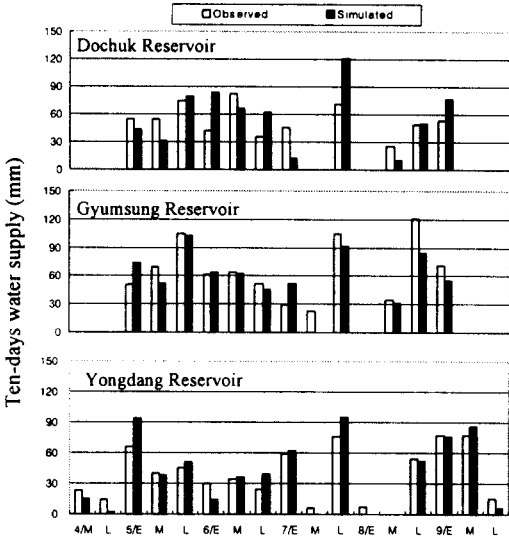


Fig. 2. Comparisons between observed and estimated water supply from the selected reservoirs.

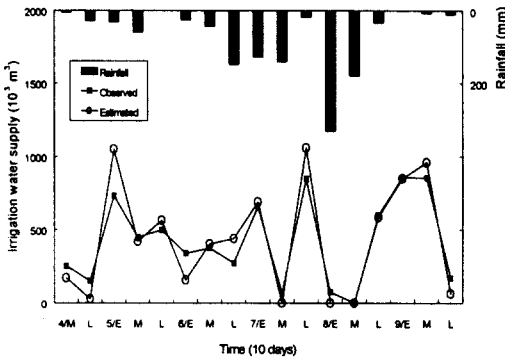


Fig. 3. Observed and simulated water supply from Yongdang reservoir.

IV. 저수지 공급량

1. 한강수계의 저수지 공급량

한강수계의 농업용수 공급을 위한 저수지는

1998년 현재 전체 833개이며, 관리주체에 따라 농지개량조합관리가 110개이며, 시·군 관리는 723개이다. 농지개량조합 관리 저수지는 주수원공만을 대상으로 조사하였으며, 시·군 관리 저수지는 주수원공과 보조수원공의 구분이 불확실하므로, 소류지 등 모든 저수지를 포함하여 조사하였다. 저수지로부터 농업용수를 공급받고 있는 관개면적은 농지개량조합 관리가 16,079ha로서 전체의 64.7%를 차지하고 있으며, 시·군 관리는 8,790ha로 조사되었다.

한강수계의 저수지 공급량을 조사한 결과는 Table 3과 같으며, Fig. 4는 이를 도시한 것이다. 관리주체별, 연도별 공급량을 비교해 보면, '93~'97년의 5개년 평균 공급량은 180.8백만 m^3 /yr이며, 이 중에서 농지개량조합 관리 저수지의 전체 공급량은 127.4백만 m^3 /yr으로 한강수계내 전체 공급량의 70.4%를 차지하고 있다. 연도별 저수지 공급량은 '93년의 경우 167.0백만 m^3 /yr으로 가장 적게 나타

Table 3. Irrigation water supply from reservoirs in the Han river basin

Subject	No	Irrigated area (ha)	Annual water supply ($10^6 m^3$)					Avg.
			1993	1994	1995	1996	1997	
FIA	110	16,079	118.4	131.8	123.6	132.8	130.2	127.4
Shi·Gun	723	8,790	48.6	56.8	51.4	58.2	52.1	53.4
Total	833	24,868	167.0	188.6	175.0	191.0	182.3	180.8

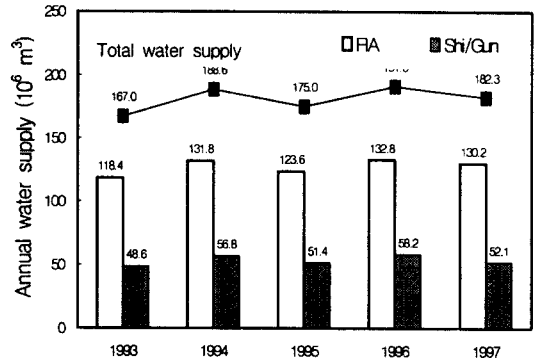


Fig. 4. Trends of annual water supply from reservoirs in the Han river basin.

났으며, 1996년은 191.0백만 m³/yr의 수량을 관개를 위하여 방류한 것으로 조사되었다.

2. 농지개량조합별 저수지 공급량

한강수계의 농지개량조합은 총 20개이며, 이 중에서 저수지를 주수원공으로 이용하고 있는 곳은 충주농지개량조합을 포함하여 18개소이다. 한강 및 서울농지개량조합은 양수장을 이용하여 농업용수를 공급하고 있으며, 저수지에 의한 관개는 실시하지 않고 있다.

농지개량조합별 저수지의 개소수와 관개면적, 연도별 공급량은 Table 4와 같다. 농지개량조합 중 저수지 개소수는 홍천농지개량조합이 18개로

가장 많으며, 관개면적은 충주농지개량조합이 3,345ha로 가장 크게 나타났다. 농지개량조합의 저수지 공급량은 1993~1997년의 조사기간 동안 연도별로 차이를 보이고 있으며, 연도별 전체 공급량은 평균 127.4백만 m³/yr이었다. 충주농지개량조합의 연도별 공급량은 평균 24.5백만 m³/yr으로 전체 공급량의 19.2%를 차지하고 있으며, 홍천, 음성 농지개량조합이 각각 16.5백만 m³/yr, 14.8백만 m³/yr을 사용하였다.

3. 행정구역별 저수지 공급량

한강수계에는 강원도, 경기도, 충청북도, 경상북도 등 4개 도의 43개 시·군에 833개의 저수지가

Table 4. Irrigation water supply of FIA's reservoirs

Province	FIA	No.	Irrigated Area(ha)	Annual water supply (10 ³ m ³)					
				1993	1994	1995	1996	1997	Average
Gyeonggi-do	Gwangju	2	331.8	2,866	2,453	2,585	2,916	2,714	2,707
	Yangpyeong	7	813.4	7,350	7,023	6,629	7,565	7,041	7,121
	Yeosu	3	503.6	3,645	3,517	3,774	3,875	4,136	3,790
	Icheon	4	684.9	4,621	4,948	4,673	5,152	4,930	4,865
	Paju	1	194.4	1,252	1,674	1,477	1,748	1,446	1,519
	Heungan	4	590.6	5,821	5,187	5,053	5,863	6,192	5,623
	Suha	2	99.0	1,325	1,408	1,291	1,367	1,329	1,344
	Giho	3	749.0	5,630	6,598	5,868	6,660	6,018	6,155
	Sub-Total	26	3,966.7	32,509	32,808	31,349	35,146	33,808	33,124
Gangwon-do	Wonju	10	1,182.1	9,090	11,409	10,086	11,139	11,932	10,731
	Chuncheon	7	754.3	6,952	7,102	6,936	8,784	7,103	7,376
	Pyeongjeong	2	71.9	642	656	562	706	781	670
	Hongcheon	18	1,555.9	14,832	17,850	15,306	17,688	16,649	16,465
		Sub-Total	37	3,564.2	31,515	37,018	32,891	38,318	36,465
Chungcheongbuk-do	Goesan	11	1,583.0	10,557	11,896	10,757	11,596	10,875	11,136
	Eumsung	14	2,387.1	13,874	16,297	14,595	15,181	14,301	14,850
	Jecheon	9	899.0	6,657	6,857	6,100	6,166	5,348	6,226
	Chungju	10	3,345.2	21,229	24,489	25,819	23,843	27,070	24,490
	Chungwon	2	225.4	1,445	1,784	1,523	1,791	1,708	1,650
	Boeun	1	108.0	642	629	599	717	630	643
	Sub-Total	47	8,547.7	54,403	61,951	59,394	59,293	59,932	58,994
	Total	110	16,078.6	118,427	131,776	123,634	132,757	130,205	127,360

Table 5. Irrigation water supply by reservoirs located on a province

Province	No. of reser.	Irrigated area (ha)	Annual water supply (10 ³ m ³)					Average
			1993	1994	1995	1996	1997	
Gangwon-do	323	7,757.4	52,856	61,528	55,167	64,555	58,302	58,482
Chungcheong buk-do	304	10,277.8	63,795	73,032	69,224	70,562	70,622	69,447
Gyeongsang buk-do	18	148.1	783	992	862	1,021	922	916
Gyeonggi-do	188	6,684.8	49,626	53,073	49,802	54,832	52,484	51,963
Total	833	24,868.1	167,060	188,625	175,055	190,971	182,331	180,808

위치하고 있다. Table 5는 행정구역별 저수지 개소수와 관개면적, 연도별 공급량을 나타낸 것이다. 행정구역중 가장 많은 저수지가 위치하고 있는 도는 강원도로 323개가 위치하고 있으며, 관개면적은 충청북도가 10,278ha로 가장 크게 나타났다.

조사기간 동안 공급량을 비교해보면, 연도별로 각 행정구역이 차이를 보이고 있으나, 가장 큰 관개면적을 보인 충청북도가 평균 69.4백만 m³/yr으로 전체 공급량의 38.4%를 사용하였으며, 강원도와 충청북도의 사용량이 전체 공급량의 70.8%로 대부분을 차지하였다.

IV. 결 론

수계단위에서 관개용 저수지에 의한 농업용수 일별 공급량을 추정하기 위한 조사방법을 개발하였으며, 이를 이용하여 한강수계의 1993~1997년의 5개년에 대한 저수지 공급량을 일별로 조사하였다. 또한, 조사방법의 평가를 위하여 3개의 시험저수지를 운영하고 일별 공급량을 현장 계측하였으며, 이를 조사방법에 의해 추정된 공급량과 비교하여 조사방법의 적용가능성을 평가하였다.

본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 저수지의 관개용수 공급량을 추정하기 위하여 DIROM 모형을 수정하였으며, 과거의 저수율 자료를 이용하여 방류계수를 추정하고, 일별 공급량을 산정하였다.

② 공급량 조사방법을 평가하기 위하여 용당, 금성 및 도척저수지에 대한 실측 공급량을 현장 계측하여 비교한 결과, 연간 공급량의 상대오차는 -9.6~3.3%의 범위를 보였으며, 일별 공급량의 RMSE는 3.0~5.5mm로 나타났다.

③ 한강수계의 조사 대상 저수지는 농지개량조합 관리 저수지가 110개, 시·군 관리 저수지가 723개로 총 833개였으며, 1993년~1997년의 5개년 평균 전체 공급량은 180백만 m³/yr이었으며, 가장 많은 공급량을 보인 해는 1996년으로 190백만 m³/yr이었다.

④ 1993~1997년의 조사기간동안 농지개량조합 관리 저수지의 전체 공급량은 평균 127백만 m³/yr이었으며, 가장 많은 공급량을 보인 곳은 충주농지개량조합으로, 3,345.2ha의 관개면적에 대해서 평균 24백만 m³/yr을 공급하였다. 행정구역별 저수지 공급량은 충청북도가 평균 69백만 m³/yr으로 전체 공급량의 38.4%로 가장 큰 값을 보였다.

참 고 문 헌

1. 김병진, 박승우, 정하우, 1994, 기상예보를 고려한 관개용 저수지의 최적 조작 모형(Ⅲ), 한국농공학회지, 36(3), pp. 47~59.
2. 김현영, 박승우, 1988, 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생(Ⅱ), 한국농공학회지, 30(2), pp. 95~104.

3. 농림부, 농어촌진흥공사, 1999, 농업·농촌용수 종합이용계획.
4. 농림부, 농어촌진흥공사, 1998, 농업기반조성사업통계연보.
5. 정상욱, 오창준, 남효석, 1997, 저수지 농업용수 회귀율 조사, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 46~51.
6. 한국건설기술연구원, 1998, 한강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 건설교통부, 서울지방국토관리청.
7. Mays L. W., 1996, Water Resources Handbook, McGraw-Hill.
8. Solley, W. B., R. R. Pierce, and H. A. Perlman, 1998, Estimated Use of Water in the United States in 1995, U.S. Geological Survey Circular 1200. U.S.G.S., p. 71.