

한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사

Surveying the Daily Pumpage for Irrigating Paddy Rice in the Han River Basin

임 상 준* · 박 승 우**
Im, Sang Jun · Park Seung Woo
김 상 민* · 김 현 준***
Kim Sang Min · Kim Hyun Jun

Abstract

The objectives of this paper are to present a realistic methodology to estimate the daily water supply rates from irrigation pumping stations, to validate it with the field data, and to report the daily irrigation pumping rates from the Han river basin. Five-year historical pumping records were collected from seventy-three pumping stations in the Han river basin. And the daily pumping rates were estimated from the electrical consumption records. The pumping patterns from the stations were analyzed and the results were applied to ungauged pumping stations in the basin. The method was applied to five stations which were field monitored during the irrigation periods in 1998. The relative errors between the observed and simulated water pumpage ranged from 1.4 to 7.0 percent. This indicates that the proposed method is valid to apply for estimating the pumping rates for agricultural lands. During 1993 to 1997, the annual average water pumpage from the Han river and the tributaries were 350 million cubic meter. The annual water supply from the pumping stations varied from 973 to 1,377 mm in depth and the mean was 1,170 mm. The major factor affecting the annual variations was attributed to the rainfall during the growing seasons.

I. 서 론

양수장은 하천, 담수호, 저수지 등의 물을 양수하여 공급하는 수원공으로, 설치시 지형적인 영향을 적게 받으며, 취수량을 자유로이 조절할 수 있고, 저수지에 비하여 시설용지가 적고 수몰지 등

과 같은 환경적인 문제가 발생하지 않기 때문에 용수공급시설로 많이 이용되고 있다. 일반적으로, 양수장은 안정적 용수공급을 위하여 수원이 풍부한 본류 하천이나 하천의 하류에 많이 위치하고 있으며, 전기사용료 등의 관리비가 저수지에 비해 많은 단점이 있다(농림수산부, 1984).

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

*** 한국건설기술연구원 수자원환경부

키워드 : 양수량, 급수패턴, 필요수량, 관개용수, 한강수계

농업용수 공급을 위한 양수장은 크게 농지개량 조합 관리와 시·군 관리로 구분할 수 있으며, 수원공의 기능에 따라 주수원공과 보조수원공으로 나누어진다. 또한, 양수 특성에 따라 하천에서 직접 취수하는 1단 양수장과 1단 양수장의 물을 다시 양수하는 2단 혹은 3단 양수장으로 분류할 수 있다.

관개용수 양수량이란 관개를 위하여 양수장에서 취수하는 수량으로 정의할 수 있다. 이와같은 양수량을 조사하는 방법은 현장 측정 자료를 이용하거나(정운태 등, 1998), 경험식 등을 이용하여 간접적인 방법으로 추정할 수 있다(Mays, 1996; Solley 등, 1998). 그런데, 대부분의 농업용 양수장은 직접적으로 양수량을 측정하지 않으므로, 과거의 양수일지 등의 운영자료를 이용하여 간접적인 방법으로 공급량을 조사하여야 한다. 농지개량조합은 주요 양수장에 대하여 양수량, 전력사용량, 양수시간 등의 운영자료를 가지고 있으나, 소규모 양수장이나 시·군 관리 양수장은 이러한 운영자료가 없거나 일부 기간동안의 제한적인 자료만을 가지고 있는 것이 현실이다. 따라서, 임의의 수계에서 관개용수 양수량 조사는 양수기록에 의한 직접법과 이러한 과거의 운영자료를 이용하여 일별 공급량을 추정할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

과거 운영자료로부터 수계단위의 양수량을 추정하는 조사방법은 실제 관개지구에 대하여 시험양수장을 운영하고, 시간별 양수량 자료를 수집하여 추정된 양수량과 비교하여, 조사방법의 타당성과 추정된 결과의 정확도를 평가하여야 한다.

본 논문에서는 한강유역내의 양수장의 현황을 조사하고, 과거 운영자료로부터 일별 공급량을 추정하는 방법을 개발하였으며, 이 방법의 정확도 관리를 위하여 시험 양수장을 운영하고, 실측 양수량과 추정된 양수량을 비교하였다. 또한, 과거 운영자료를 이용하여 농지개량조합별, 행정구역별 양수량을 조사하였으며, 기상조건에 따른 양수량의 변화를 분석하기 위하여 조용수량과 양수량과의 관계를 비교하였다.

II. 양수량 조사방법

관개용수 양수량은 용수로에 적산유량계 등을 설치하여 직접 조사하거나, 전력 사용기록이나 양수시간 등으로부터 간접적으로 추정할 수 있다. 한강 수계에서 유량측정을 실시하고 있는 양수장은 일부에 지나지 않으나, 대부분의 양수장은 양수시간 혹은 전력사용량 등의 자료를 보유하고 있으므로, 이들 양수장의 일별 양수량은 과거의 운영자료를 이용하여 조사할 수 있다.

과거 양수장 운영자료는 크게 양수량, 전력사용량 및 가동시간 등으로 구분할 수 있다. 신평양수장 등 규모가 큰 양수장은 일별로 운영일지를 작성하여 양수량, 전력사용량 및 가동시간 등을 기록하고 있다. 그러나, 소규모 양수장은 월별 전력사용량 자료만을 보유하고 있거나 자료가 없는 경우가 많다. 양수장 세원자료를 이용하여 전력사용량과 가동시간을 양수량으로 환산하며, 과거 운영자료로부터 직접 얻어진 양수량을 양수기록 양수량(recorded water pumpage)으로 정의하였다. 과거 운영자료가 없는 양수장의 양수량을 추정하기 위해 양수기록으로부터 얻어진 양수장별 연간 양수량과 관개면적과의 상관관계를 유도하여 연도별 연간양수량을 추정하였다. 연간 양수량은 기상조건에 따라 연도별로 변화하며, Fig. 1은 1997년의 연간 양수량-관개면적 관계를 보여주고 있다.

추정된 연간 양수량은 연도별/소유역별 급수패턴을 이용하여 일별 양수량으로 분배하였다. 급수패턴이란 양수장의 일별 운영실적을 나타내는 것으로, 연간 양수량에 대한 일별 양수량의 비율 의미한다. 급수패턴은 강우량과 같은 기상조건에 따라 변화하며 연도별/지역별로 각각의 급수패턴을 가지게 된다. Fig. 2는 충주농지개량조합 관리 양수장의 과거 운영자료를 이용하여 구한 급수패턴을 나타내고 있다. 과거 운영자료가 없는 양수장의 일별 양수량은 Fig. 2와 같은 급수패턴을 이용하여 연간 양수량으로부터 일별 양수량을 추정할 수 있다. 이와 같이 과거 운영자료가 없는 양수장

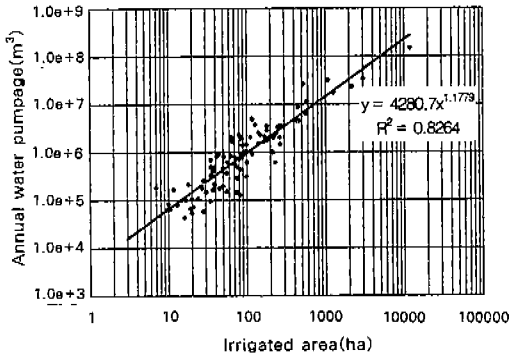


Fig. 1. Relationship between irrigated area and annual water pumpage for 1997

의 양수량을 추정하기 위해 운영자료가 있는 양수장의 자료를 이용하여 추정된 양수량을 추정양수량(estimated water pumpage)이라 정의하였다.

수집된 양수장 관련자료로부터 수계내 전체 양수장에 대한 연도별/소유역별 양수량을 추정하는 과정은 Fig. 3과 같다.

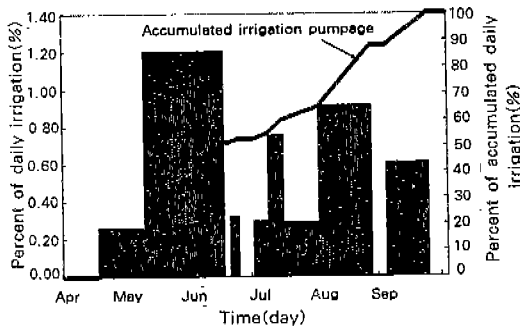


Fig. 2. Daily irrigation pumpage pattern for 1996 (Ch'unjju FIA)

III. 조사결과

1. 시험 양수장

양수장 운영자료로부터 양수량을 추정하는 조사방법의 평가를 위하여 Table 1과 같이 한강수계의 농지개량조합(Farmland Improvement Associations, FIA)에서 관리하고 있는 5개의 시험양수장

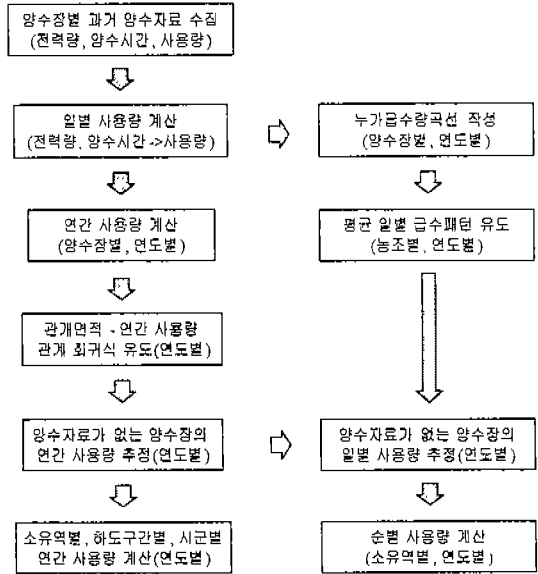


Fig. 3. Computational flowchart of irrigation pumpage

을 선정하였다. 선정된 시험양수장은 신곡, 행주, 영천, 능서1, 가금 양수장이며 신곡 및 행주양수장은 한강 하류의 본류에서 취수하는 대규모 양수장이며, 영천양수장은 제1지류인 곡릉천에서 취수하고 있다. 또한, 능서1양수장과 가금양수장은 남한강에서 취수하는 양수장이다.

시험양수장의 양수량 조사를 위하여 압력식 수위계를 설치하여 시간별 수위를 측정하였으며, 관개기간동안 프로펠러 유속계를 이용하여 수위별 유량을 측정하였다. 현장계측을 통해 얻어진 수위-유량 관계식으로부터 일별 양수량을 조사하였으며 이렇게 계산된 양수량을 실측양수량(observed water pumpage)으로 정의하였다. Table 1은 양수장별 수위-유량 관계식을 나타내고 있으며, 결정계수(R^2)는 0.9693~0.9998의 범위를 보이고 있다.

시험양수장 관개지역의 조용수량 산정을 위해 Thiessen 망을 이용한 Table 2의 기상관측소 기상자료와 강우자료를 이용하였다.

Table 1. Stage-discharge relationship

	Stage - Discharge relationship	R ²
Shingok	$Q = 3.3253H^{1.5264}$	0.9987
Hangjoo	$Q = 2.9349H^{1.3989}$	0.9998
Youngcheon	$Q = 1.8399H^{2.2594}$	0.9871
Nyungseo(I)	$Q = 0.6868H^{7.5324}$	0.9693
Gagyum	$Q = 0.4848H^{1.2477}$	0.9971

2. 양수기록 양수량과 실제 양수량의 비교

양수장의 양수기록으로부터 계산한 양수기록 양수량과 압력식 수위계를 설치해 실측한 실측 양수량을 비교한 결과와 이 기간동안의 조용수량을 산정한 결과는 Table 2와 같다. Table 3의 결과는 조사기간 동안의 누가치를 정리한 것으로 강우량은 예년에 비하여 대체적으로 많았으며, 유효우량의 증가로 인하여 조용수량은 적게 나타났다. 특

히 서울 기상관측소에 인접한 신곡, 행주, 영천 양수장의 경우 관개기간동안 강우량이 1,888에서 2,000mm로 예년에 비해 매우 높은 값을 보이고 있다. 실측 양수량은 강우량이 적은 가금양수장이 1,043mm가 가장 많고 영천양수장이 431mm로 가장 작으며, 양수기록 양수량도 실측 양수량과 비슷한 경향을 보였다. 가금양수장은 실측 양수량과 양수기록 양수량의 차이가 연간 64mm로 가장 큰 차이를 보이며, 신곡양수장은 8mm로 가장 근사한 값을 나타냈다. 연간 양수량의 상대오차는 1.4~7.0%로 평균 4.2%로 나타났으며, 일별 양수량에 대한 RMSE(Root mean square error)는 0.61~2.62mm로 5개 양수장의 평균은 1.55mm이었다.

Fig. 4는 서울 기상관측소의 강우량과 신곡양수장의 실측 양수량과 양수기록 양수량의 일별값을 비교한 결과를 보여주고 있다. 강우량을 살펴보면 7월 31일부터 8월 15일까지 16일간 1194.5mm의

Table 2. Characteristics of test pumping station

Pumping station	FIA	Irrigated area (ha)	Motor power (hp)	No. of pumps	Pumping capacity (m ³ /s)	Meteorological station
Shingok	Hangang	11,920.0	1,050	5	38.33	Seoul
Hangjoo	Koyang	2,998.7	400	5	10.31	Seoul
Youngcheon	Paju	460.0	125	3	1.02	Seoul
Nyungseo(I)	Yuju	1,633.0	600	4	5.40	Ichon
Gagyum	Chungju	148.3	60	2	0.59	Chungju

Table 3. Recorded and observed water pumpage by test pumping station

Pumping station.	Test period	Rainfall (mm)	GDW* (mm)	Water pumpage (mm)			
				Observed	Recorded	RMSE	RE** (%)
Shingok	5/15/98-9/15/98	1,888	686	592	584	1.85	1.4
Hangjoo	4/23/98-9/16/98	2,000	696	769	744	0.61	3.3
Youngcheon	4/22/98-9/1/98	1,946	632	431	445	1.29	3.2
Nyungseo(I)	5/10/98-9/4/98	1,330	521	767	713	1.39	7.0
Gagyum	5/1/98-9/4/98	1,136	778	1,043	979	2.62	6.4
Mean		1,660	663	720	693	1.55	4.3

* Gross duty of water for paddy rice

** Relative error for annual water pumpage

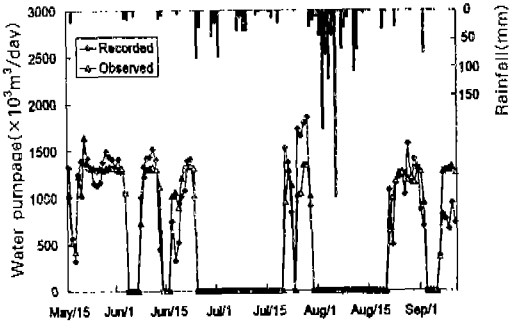


Fig. 4. Irrigation water pumpage at Shin-Gok Pumping Station (1998)

집중호우가 발생했으며, 8월 8일에는 332.8mm의 호우가 발생했다. 양수기록 양수량은 7월 30일 1,852천m³으로 가장 많으며, 실측 양수량은 5월 20일 1,648천m³으로 가장 많은 값을 나타냈으며, 7월 27일 양수기록 양수량과 실측 양수량의 차가 664천m³으로 가장 큰 차이를 보였다. 많은 양의 비가 내렸던 8월 1일부터 8월 24일까지 양수기록

과 실측치 모두 양수량이 없었던 것으로 나타났으며, 6월 25일부터 7월 22일까지의 기간에도 양수량이 없었던 것으로 조사되었다.

3. 양수기록 양수량과 추정 양수량의 비교

운영자료가 없는 양수장의 양수량을 추정하기 위해 양수기록으로부터 얻어진 관개면적-연간 양수량의 관계와 일별 급수패턴을 이용해 추정 양수량을 산출하는 방법의 검증에 대해 양수기록이 있는 양수장을 대상으로 양수기록과 추정치를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 양평농조와 충주농조에 속한 구미, 천서, 교평, 용관의 4개 양수장을 대상으로 1993년부터 1997년까지의 양수량을 비교하였다. 4개 양수장의 평균 관개면적은 270.1ha이며, 5개년 평균 양수량은 양수기록의 경우 1,087mm, 추정치의 경우 1,178mm로 추정치가 91mm 더 많다. 연도별로는 1993년의 상대오차가 9.1%로 가장 근사한 값을 보이며 5개년 평균 상대오차는 16.6%

Table 4. Recorded and estimated water pumpage (1993~1997)

Pumping station	FIA	Irrigated area (ha)	Water pumpage (mm)						
				1993	1994	1995	1996	1997	Mean
Kumi	Yang-p'yong	430.1	Recorded	1,002	1,026	925	1,056	1,082	1,018
			Estimated	1,000	1,365	1,198	1,339	1,259	1,232
			RE(%)	0.2	33.1	29.5	26.8	16.3	21.1
Chun seo	Yang-p'yong	235.6	Recorded	882	1,156	935	1,052	1,056	1,016
			Estimated	953	1,352	1,140	1,268	1,131	1,169
			RE(%)	8.1	17.0	21.9	20.5	7.1	14.9
Kyo p'yong	Yang-p'yong	247.6	Recorded	1,239	1,408	1,306	1,402	1,365	1,344
			Estimated	957	1,353	1,145	1,274	1,141	1,174
			RE(%)	22.8	3.9	12.4	9.1	16.4	12.9
Yong kwan	Ch'ung-ju	167.0	Recorded	880	1,061	802	1,099	1,008	970
			Estimated	927	1,345	1,108	1,230	1,064	1,135
			RE(%)	5.4	26.7	38.2	11.9	5.5	17.5
Mean		270.1	Recorded	1,001	1,163	992	1,152	1,128	1,087
			Estimated	959	1,354	1,148	1,278	1,149	1,178
			RE(%)	9.1	20.2	25.5	17.1	11.3	16.6

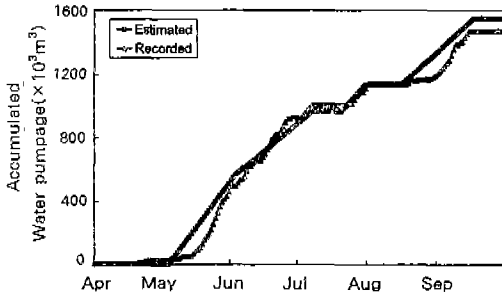


Fig. 5. Comparison of recorded and estimated water pumpage for 1993 (Yongkwon)

로 조사되었고, 양수장별로는 교평양수장의 5개년 평균 상대오차가 12.9%로 가장 작은 값을 보였다.

양수기록에 의한 양수량과 추정 양수량의 일별치를 비교하기 위하여 관개면적 167ha인 충주농조 관할 용관양수장의 1993년 누가 양수량을 비교한 결과는 Fig. 5와 같다. 양수기록 누가 양수량은 1,469천m³, 추정 양수량은 1,548천m³으로 추정 양수량이 79천m³이 더 많으며 추정 양수량의 경우 5월 초순과 8월 중순에 양수기록 양수량에 비해 더 많은 양수량을 보여 전반적으로 양수량이 높게 나타나고 있으나, 급수패턴은 대체로 비슷한 경향을 보이고 있다.

IV. 관개용수 양수량

1. 한강수계 관개용수 양수량

한강수계에서 농업용수 공급을 위한 양수장은 Table 5와 같이 전체 355개이며, 농지개량조합은 전체 양수장의 20.5%인 73개의 양수장을 관리 운영하고 있으며, 시·군에서는 소규모 양수장인

282개의 양수장을 관리하고 있다. 농지개량조합의 양수장은 수원공의 용도에 따라 주수원공과 보조수원공으로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 주수원공이며 1단 양수장만을 대상으로 하였다. 양수장에서 관개용수를 공급하는 면적은 전체 30,509.1ha이며, 이 중에서 농지개량조합 관리 양수장은 전체의 83.1%인 25,347.6ha에 농업용수를 공급하고 있다.

한강수계의 양수장으로부터 취수된 농업용수는 Table 5와 같다. 한강수계의 관개용수 양수량은 '93~'97년 5개년 평균 357백만m³이었으며, 농지개량조합 관리 양수장의 양수량은 306백만m³으로 전체 양수량의 85.8%를 차지하고 있다. 양수장의 연도별 공급량은 '94년에 420백만m³으로 최대였으며, '93년에는 297백만m³으로 가장 적은 양수장 공급량을 보였다. Fig. 6는 한강수계 양수장의 연도별 양수량 변화를 도시한 것이다.

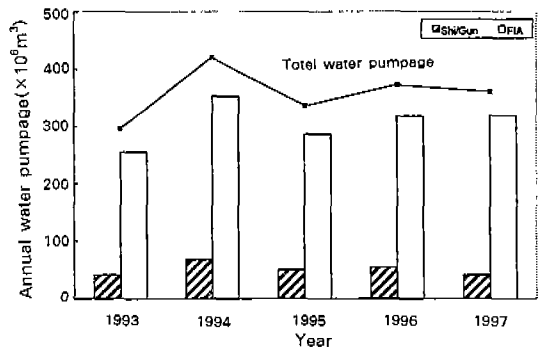


Fig. 6. Trends of annual water pumpage in Han river basin

Table 5. Annual water pumpage in Han river basin

Subject	No.	Irrigated area (ha)	Annual water pumpage ($\times 10^6 m^3$)					Mean
			1993	1994	1995	1996	1997	
FIA	73	25,347.6	255.0	352.7	286.2	317.8	319.0	306.1
Shi·Gun	282	5,161.5	41.7	67.5	49.7	54.4	40.8	50.8
Total	355	30,509.1	296.7	420.2	335.9	372.2	359.8	356.9

한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사

Table 6. Annual water pumpage by FIA's pumping stations

Province	FIA	No. of stations	Irrigated area (ha)	Annual water pumpage ($\times 10^6 m^3$)					
				1993	1994	1995	1996	1997	Mean
Seoul	Seoul	1	266.4	3.1	4.7	3.2	3.1	3.7	3.6
	Sub-total	1	266.4	3.1	4.7	3.2	3.1	3.7	3.6
Kyönggi-do	Koyang	1	2,998.7	30.4	39.9	30.0	33.7	34.3	33.7
	Kwangju	3	715.5	7.1	9.8	12.6	15.6	12.8	11.6
	Yangp'yöng	5	1,229.8	12.4	14.7	12.9	14.1	13.1	13.4
	Yöju	14	3,101.0	31.5	47.4	37.2	42.9	41.8	40.1
	Ich'ön	10	1,178.7	13.0	14.0	11.2	14.3	15.3	13.5
	P'aju	3	539.3	5.3	4.7	3.3	3.9	5.2	4.5
	Hangang	2	12,062.0	114.7	164.1	133.8	142.8	150.1	141.1
	Sub-total	38	21,825.0	214.4	294.6	241.1	267.3	272.6	258.0
Kangwon-do	Wonju	4	472.3	6.0	7.4	5.4	6.2	6.3	6.3
	Ch'unch'ön	1	77.0	0.7	1.0	0.8	0.9	0.7	0.8
	P'yöngjung	5	231.5	3.2	4.7	4.3	3.2	2.7	3.6
	Hongch'ön	1	41.8	0.3	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4
	Sub-total	11	822.6	10.2	13.7	10.9	10.8	10.0	11.1
Chu'ngch'öngbuk-do	Koesan	8	477.0	5.4	7.8	6.3	6.8	7.4	6.8
	Ümsöng	2	86.0	0.5	1.1	0.9	1.0	0.8	0.9
	Chech'ön	1	32.1	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3
	Ch'ungju	12	1,838.4	21.4	30.4	23.5	28.5	24.2	25.6
	Sub-total	23	2,433.5	27.4	39.8	31.0	36.6	32.6	33.5
Total		73	25,347.5	255.0	352.7	286.2	317.8	319.0	306.2

2. 농지개량조합별 관개용수 양수량

한강수계에는 Table 6과 같이 16개 농지개량조합에서 73개의 양수장을 관리하고 있다. 양수장의 개소수는 여주농지개량조합이 14개로 가장 많았으며, 관개면적은 한강 본류의 한강농지개량조합이 12,062ha, 고양농지개량조합이 2,998.7ha으로 전체

관개면적의 59.4%에 농업용수를 공급하고 있는 것으로 조사되었다.

농지개량조합별 양수장 공급량은 Table 6과 같다. 한강농지개량조합이 141백만 m^3 으로 전체 양수량의 46.1%를 차지하고 있으며, 여주농지개량조합에서 40백만 m^3 , 고양농지개량조합에서 33백만 m^3 을 각각 관개용수로 공급하고 있다.

Table 7. Annual water pumpage by administrative division

Administrative division	No. of stations	Irrigated area (ha)	Annual water pumpage ($\times 10^6 m^3$)					
			1993	1994	1995	1996	1997	Mean
Kangwon-do	141	3,090.2	28.3	43.3	32.5	34.4	27.4	33.2
Kyönggi-do	110	23,459.0	227.3	315.7	256.9	284.6	285.9	274.1
Seoul	1	266.4	3.1	4.7	3.2	3.1	3.7	3.6
Chu'ngch'öngbuk-do	103	3,713.4	38.1	56.5	43.3	50.1	42.8	46.2
Total	355	30,509.0	296.8	420.2	335.9	372.2	359.8	357.0

3. 행정구역별 관개용수 양수량

행정구역별 양수장의 개소수는 Table 7과 같이 강원도가 141개이며, 경기도, 충청북도가 각각 110개, 103개이고, 서울시에는 1개가 위치하고 있다. 양수장의 관개면적은 경기도가 23,459ha로 전체의 76.8%를 차지하고 있으며, 강원도와 충청북도가 각각 3,090ha, 3,713.4ha에 관개용수를 양수장으로 부터 공급하고 있다.

경기도는 '93~'97년 평균 274백만³으로 전체 양수량의 76.8%를 사용하고 있으며, 충청북도는 46백만³, 강원도는 33백만³의 관개용수를 사용하고 있다. Table 7에서 경기도의 양수장 공급량이 많은 것은 신곡양수장의 취수량이 다른 양수장에 비하여 대단히 많기 때문이다.

4. 필요수량과 양수량과의 관계

관개용수는 작물의 생육단계에 따라 사용량이 달라지며, 기상조건에 의해 지배된다. 이는 관개의 목적이 작물이 필요로 하는 수량 중에서 강우에 의해 공급되고 남은 부족수량을 보충하여 주기 때문이다. 필요수량은 논벼의 증발산량과 삼투량 및 유효수량으로부터 다음의 식 (1)과 같이 정의된다.

$$REQ(t) = ET_p(t) \times Kc + I - Re(t) \dots\dots\dots(1)$$

여기서, REQ=필요수량(mm), ETP=잠재증발산량(mm)으로 Penman식에 의해 기상자료로부터 추정할 수 있으며, Kc=논벼의 작물계수, I=포장삼투량(mm) 및 Re=유효수량으로 일 강우량과 논의 물꼬 높이와 상시관리 담수심 등에 따라 좌우된다. 논벼의 작물계수(Kc)는 실제 증발산량과

Table 8. Crop coefficient for paddy rice

	6			7			8		
	E	M	L	E	M	L	E	M	L
Kc	0.97	1.03	1.27	1.27	1.34	1.47	1.57	1.43	1.41

잠재증발산량의 비로 정의되며, 서울대학교 농업개발연구소(1986)에서 제시한 Table 8의 값을 이용하였다.

한강수계의 '93~'97년 5개년에 대한 조용수량과 양수량을 비교하면 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서와 같이 조사기간동안 평균 필요수량은 674mm이며, 양수량은 평균적으로 1,170mm로 나타났다. 연간 양수량을 연도별로 살펴보면 '93년에 973mm로 가장 적었으며, 강우량이 가장 적은 '94년에 1,377mm로 가장 많은 양수량을 보였다. 양수량과 필요수량의 관계로부터 조사된 연도별 손실율(Rate of loss)은 Table 9와 같이 조사기간 평균 42.5%로 나타났으며, 1995년 38.9%로 가장 작은 것으로 조사되었다.

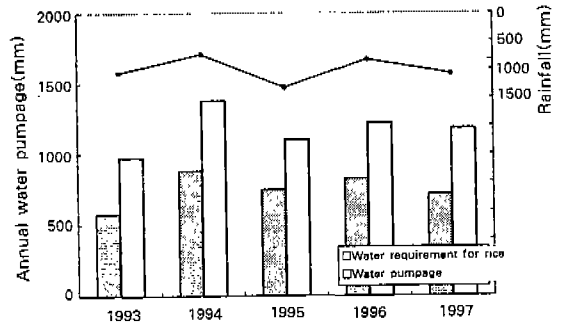


Fig. 7. Comparison of water pumpage with gross duty of water for paddy rice

Table 9. Rate of loss

	1993	1994	1995	1996	1997	Mean
Rainfall(mm)	1059.0	732.0	1324.0	825.0	1077.0	1003.4
Water requirement for rice(mm)	520.2	793.8	672.3	740.7	644.4	674.3
Water pumpage(mm)	973.0	1377.0	1101.0	1220.0	1179.0	1170.0
Rate of loss(%)	46.5	42.4	38.9	39.3	45.3	42.5

V. 결 론

본 연구에서는 한강유역내의 양수장의 현황을 조사하고, 과거 양수기록으로부터 양수량을 산정하였으며, 농지개량조합별, 행정구역별 양수량에 대하여 고찰하였다. 조사방법의 정확도 관리를 위하여 시험양수장 운영을 통해 실제 양수량을 조사하여 양수기록과 비교하였으며, 양수기록과 추정치를 비교하였다. 기상조건에 따른 공급량의 변화를 분석하기 위하여 조용수량과 양수량과의 관계를 비교하였다.

본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 양수장은 관리주체에 따라 농지개량조합 관리 양수장과 시·군 관리 양수장으로 구분되며 각각의 자료를 취합, 보완하여 양수장 현황을 파악하였다. 양수기록이 없는 양수장의 연간 양수량을 조사하기 위하여 과거 자료가 있는 양수장으로부터 연도별 연간 양수량-관개면적의 관계를 유도하고, 농조별로 연도별 급수패턴을 유도하여 일별 양수량을 추정하였다.

② 양수량 조사방법의 평가를 위하여 양수기록 양수량과 실측 양수량, 양수기록 양수량과 추정 양수량을 비교하였다. 양수기록 양수량과 실측 양수량의 비교를 위하여 5개의 시험양수장을 선정하였고 선정된 시험양수장을 대상으로 '98년 실측 양수량을 조사하여 이를 양수기록 양수량과 비교한 결과, 일별 양수량의 RMSE는 0.61~2.62로 나타났다. 연간 양수량의 상대오차는 1.4~7.0%로 나타났다.

③ 양수기록 양수량과 추정 양수량의 비교를 위하여 4개의 양수장을 대상으로 '93년부터 '97년까지의 평균 양수량을 비교한 결과, 5개년 상대오차의 평균치는 12.9~21.1%로 나타났다.

④ 한강유역의 농업용수 공급을 위한 양수장의 개소수는 355개, 관개면적은 30,509ha이며, '93~'97년의 평균 양수량은 3억5천만 m^3 이며, 이중 85.8%에 해당하는 3억6백만 m^3 이 농지개량조합관리 양수장 공급량이다.

⑤ 행정구역별 사용량은 경기도가 274백만 m^3 으

로 전체 양수량의 76.8%를 차지하고 있으며, 충청북도는 46백만 m^3 , 강원도는 33백만 m^3 의 관개용수를 사용하고 있다.

⑥ 기상조건에 따른 양수량의 변화를 고찰한 결과, 조사기간동안 평균 필요수량은 674mm이며, 양수량은 평균적으로 1,170mm로 나타났다. 연간 양수량을 연도별로 살펴보면 '93년에 973mm로 가장 적었으며, 강우량이 가장 적은 '94년에 1,377mm로 가장 많은 양수량을 보였다.

⑦ 필요수량과 양수량의 관계를 파악하기 위해 손실율을 계산한 결과, 조사기간 평균 42.5%로 나타났다. 1995년 38.9%로 가장 작은 것으로 조사되었다.

본 연구는 1998년도 한국건설기술연구원 한강수계 하천수 사용실태 조사에 의해 수행된 연구결과와 일부임

참 고 문 헌

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1994~1998. 농업 기반조성사업통계연보.
2. 농림수산부, 1984. 농지개량사업계획설계기준 (양배수장편).
3. 정운태, 이근후, 이인영, 1998. 양수장 용수 공급 논 지대의 물수지, 한국농공학회 학술발표회발표논문집, pp. 1~7.
4. 정하우 외, 1984-1986. 작물소비수량 산정방법의 정립, 농림수산부, 농어촌진흥공사.
5. Mays, L. W., 1996. Water Resources Handbook, McGraw-Hill, New York, N. Y.
6. 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.
7. USGS, 1997. National Handbook of Recommended Methods for Water Data Acquisition, Chapter 11-Water Use, <http://h2o.usgs.gov/public/pubs/chapter11/>