

양수장 용수공급 논 지대의 물수지

Water Balance in a Paddy Field with Pumping Irrigation System

정운태* · 이근후 · 이인영 (경상대)

Cheong, Un Tae · Lee, Keun Hoo · Lee, In Young

Abstract

To investigate the water balance in a paddy rice field with the pumping station for irrigation water supply, flow measurements and analysis on various components of water balance were carried out. The investigated area is 103.7 ha, and the irrigation water was supplied for 102 days during the total irrigation period starting from June 1.

It was found that the consumption rate was increased as the growing stage was progressed. The variation of evapotranspiration rate was shown same tendency as the consumption rate, while no apparent tendency was found in infiltration rate upon different growing stages. And the ground water input to the area was predominant during the early stage of growing period, while ground water output from the study area was predominant at the end of the growing stage. The range of return flow rate, the ratio of total outflow to total inflow in every decad, was 57.6 to 85.7%. These values are slightly higher than reported values from the other investigation projects.

I. 서론

21세기가 되면 우리 나라도 물 부족 국가에 속하게 된다고 한다. 건설부의 “수자원 장기종합 계획”에 따르면 총용수수요는 1991년에 282억 m³, 10년 후인 2001년에는 370억 m³로 약 16.8%의 증가가 예상되어 2000년이 되면 한발시에는 용수수요가 가용수자원량을 초과하게 되어 물 부족현상이 심각한 지경에 이르게 됨을 알 수 있다.

따라서 물을 필요로 하는 각 부문간의 물 사용 경쟁은 갈수록 심화되어 농업용수의 입지는 점점 좁아지고 있는 형편이다. 우리 나라의 농업이 전체 산업에서 차지하는 비율의 감소 추세 때문이다. 이런 상황을 극복하기 위해서는 새로운 용수의 개발을 도모함은 물론, 농업용수의 효율적 이용으로 개발수요를 저감시킬 수 있는 방안을 반드시 강구하여야 할 것이다.

이러한 견지에서 논에서의 물수지를 구명하는 것은 그 의의와 기대효과가 매우 크다고 하겠다. 즉, 한 필지의 논으로부터 침투하여 배수로에 흘러나오는 물 또는 물관리 상 배수로에 버려진 물은 다시 이용될 수 있는 기회가 있고, 이 물이 실제로 이용되는 지역에서는 다시 이용되는 만큼의 수량이 절약되기 때문에 그만큼 적은 용수만을 공급하여도 된다. 따라서, 물수지를 조사하여 농업용수의 개발과 이용에 활용하게 되면 우리 나라 수자원 확보와 효율적 이용에 기여할 것이다.

그러나 우리나라에서는 물 수지 조사가 체계적으로 되어 있지 않으며, 기록에 대한 관리 역시 철저하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 경상남도 진주시 근교의 마성지구를 선정하여 농업용수의 물 수지를 분석하여 효율적이고 경제적인 물 관리방법이나 합리적인 농업용수 계획을 수립하는데 기여할 자료를 제공하고자 하였다.

II. 조사지구

1. 위치 및 지형

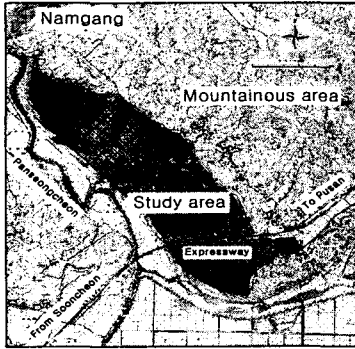


Fig. 1 . Tophography of study area

조사대상지역은 동경 128° 13' 35" ~ 128° 14' 43", 북위 35° 11' 30" ~ 35° 12' 26 " 사이에 위치하며 행정구역상으로는 경상남도 진주시 사봉면 마성리에 속한다.

지형은 Fig. 1과 같이 전체적 형상이 "L"자 모양으로 되어 있으며, 지구 상·하류를 관통하는 장축의 길이는 약 2.3 km, 평균폭은 약 1 km로서 장축을 중심으로 북동측은 경사가 급한 산지로 되어 있고, 남서측은 낮고 평탄한 논지대이다.

2. 토양 및 면적

본 조사지구의 토양은 주로 미사질양토로 되어 있지만, 북서쪽에 세사양토와 자갈이 있는 양토로 이루어진 논도 일부 있다. 조사지구 논지대는 전형적인 하천연변의 논 토양으로 볼 수 있다.

조사지구를 포함한 전체구역의 총면적은 313.92 ha로서 이 중 138.38 ha가 논이며 46.39 ha가 밭이다. 논 면적 138.38 ha 중 본 조사연구를 위한 각종 측정과 물수지 분석의 대상이 되는 조사지구의 면적은 103.69 ha이다.

3. 기상

연평균기온은 13.0 °C로 여름철은 20.9 °C ~ 25.7 °C, 겨울철은 -0.2 °C ~ 2.0 °C로서 기온의 연교차가 심한 편이다. 연평균강수량은 우리나라 연평균강수량보다 260 mm 정도 많은 1,538 mm이고, 상대습도는 연평균 78% 정도로 다습하다.

4. 용·배수계통

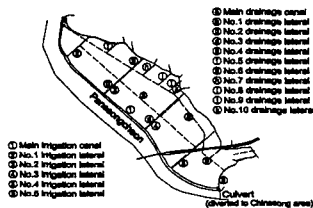


Fig. 2. Irrigation and drainage canal network

조사지역의 용·배수계통은 Fig. 2와 같다. 조사지역에 필요한 용수는 마성 양·배수장에서 공급을 한다. 설치된 양수기는 양수량 1.106 m³/s의 750 mm 구경 원심펌프 2대로서, 평상시에는 용수공급용으로, 홍수시에는 별도로 설치된 배수장의 전용 배수기 2대와 함께 총 4대의 배수기가 홍수배제용으로 사용된다. 양수된 용수는 1조의 용수간선과 5조의 용수지선에 의해 배분, 공급되고, 1조의 배수간선과 10조의 배수지선에 의해 배수 된다.

III. 조사방법

1. 조사항목 및 위치

조사항목은 관개량, 배수량, 증발산량, 감수심, 기상 등 5개 항목이다.

측정위치는 Fig. 3과 같으며, 기상자료는 진주기상관측소의 관측치를 이용하였다.

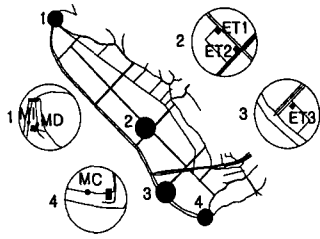


Fig. 3. Location of observation stations

2. 관개배수량 조사

지하수 유동량을 추정하기 위한 관개배수량의 측정은 강우가 없고 수리상태가 안정적인 평상시의 경우에만 실시하였다. 지구내로의 총양수량은 마성 양·배수장으로부터의 양수량이며, 지구외로 배출하는 유량은 배수간선 출구의 배수량과 용수간선 말단에 위치한 잠관을 통하여 진성지구로 분수되는 분수량을 더한 양이다. 따라서 본 지구내로 공급되는 임의시각의 관개량은 총양수량에서 분수량을 뺀 나머지 양이며, 지구내의 소비수량은 관개량에서 배수량을 뺀 양이 된다.

3. 증발산량 및 침투량 조사

소비수량을 알아보기 위하여 감수심과 증발산량을 측정하였다. 감수심은 N형감수심계 6조를 제작, 설치하여 측정하였고, 증발산량은 바닥이 있는 라이시미터에 의한 증발산 측정장치 3조를 제작, 설치하여 측정하였다. 측정시각은 매일 오전 9시로 하였다. 한편, 토양의 침투량은 감수심에서 증발산량을 감하여 계산 하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 관개배수량

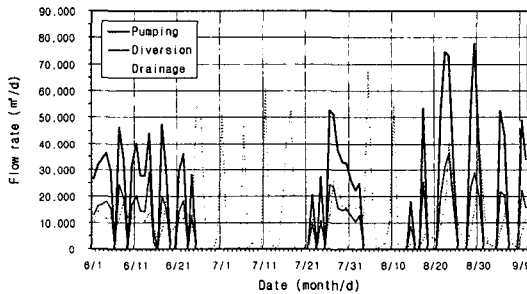


Fig. 4. Variation of water supply and drainage amounts during the irrigation period (1997)

1997년도의 관개기간인 6월 1일부터 9월 10일까지 102일 동안 용수간선 및 배수간선을 통한 유량의 변동상황을 조사한 결과는 Fig. 4 및 Table 1과 같다.

6월 상, 중순에는 비교적 강우량이 적고 양수회수가 많아 1일 최대양수량은 47,000 m³(45.3 mm)이었고 진성지구로의 1일 최대 분수량은 약 35,000 m³(33.8 mm), 1일 최대 배수량은 14,000 m³(13.5 mm)이었다. 6월 하순에서 7월 상, 중순에 이르는 기간은 장마기로서 관개 및 분수량은 없었고 강우에 의한 유출수 만이 발생하였다.

Table 1. Irrigation and drainage depths in each ten day period(1997)

Unit : mm

Period	Pumping	Diversion	Irrigation	Drainage	Rainfall	
Jun	F	260	135	125	116	28.8
	M	216	112	104	96	36.5
	L	90	44	46	153	167.9
Jul	F	0	0	0	98	140.0
	M	0	0	0	173	247.3
	L	270	122	148	135	0.0
Aug	F	45	22	23	190	226.8
	M	69	33	36	22	4.9
	L	387	171	216	179	0.0
Sep	F	173	77	96	53	5.5
Total (mm)	1,510	716	794	1,215	857.7	

7월 하순에는 거의 매일 양수하므로써 최대 양수량은 1일 53,000 m³(51.1 mm), 분수량은 29,000 m³(28.0 mm), 배수량도 낙수기가 겹치는 상황으로 인하여 급격히 증가한 26,000 m³(25.1 mm)이었다.

8월 상순에는 227 mm의 많은 강우량으로 양수장 가동이 2회에 그쳤다. 8월 하순과 9월 중순에는 1회당 양수장 가동시간을 길게 하여 연속 36시간 이상을 양수하기도 하였다. 이 때 1일 최대 양수량은 77,000 m³(74.3 mm)였으며, 배수량도 크게 증가하여 최대 40,000 m³(38.6 mm)에 달하기도 하였다.

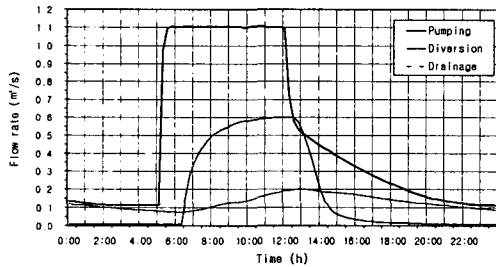


Fig. 5. An example of time variation of irrigation and drainage amount in a day (1997. 6. 12)

리고 침투량은 총 373 mm이었다. 감수심은 생육 시기별로 5.9~9.8 mm/d의 변화를 보이며, 생육 후기로 갈수록 그 값이 커졌다. 증발산량은 3.2~5.8 mm/d의 변화를 보이며 역시 생육 후기에 컸다. 침투량은 실측기간 중 2.5~4.6 mm/d로 변화하고 평균치는 3.2 mm/d이었다.

1회의 양수에 따른 지구내 유량의 변동상황을 알아보고자 대표적으로 6월 12일의 유량 변동상황을 그린 것이 Fig. 2이다.

이날의 총 양수시간은 7시간이었고 양수량은 1.1 m³/s로 균일하였다. 이것은 양수기가 완전 가동되었을 경우의 공칭 양수량과 동일한 값이다. 총 양수량은 27,720 m³(26.7 mm)이었다.

2. 증발산량 및 침투량

Table 2는 마성지구에 설치한 감수심계 및 증발산계의 관측결과이다. 마성지구의 관개기간 중 감수심은 총 813 mm, 증발산량은 총 440 mm, 그

Table 2. Evapotranspiration and infiltration depths in each ten day period (1997)

Period	Water Consumption (mm)	ET (mm)	Infiltration (mm)	Pan evaporation (mm)	
Jun	F	68.0	35.9	32.1	44.7
	M	85.0	39.0	46.0	59.1
	L	59.0	32.0	27.0	38.3
Jul	F	81.0	53.0	28.0	27.0
	M	84.0	50.0	34.0	28.0
	L	83.0	58.0	25.0	45.5
Aug	F	80.0	46.0	34.0	31.2
	M	78.0	43.4	34.6	30.9
	L	98.0	52.6	45.4	46.3
Sep	F	97.0	29.8	67.2	48.1
Total (mm)	813.0	439.7	373.3	318.1	

3. 기 상

관개기간중 기온은 평균 22.4 °C로서 평년의 22.1 °C와 거의 같았다. 관개 초기인 5, 6월은 평년보다 약간 높은 편이었다. 관개기간 중 총강우량은 1,035 mm로서 평년의 같은 기간 중 강우량 1,115 mm 보다 100 mm 정도 작았다. 5월과 7월 중에는 평년에 비해 30 mm 및 80 mm 씩 각각 많았다. 일조시간은 757시간으로서 평년의 595시간에 비해 27%가 더 많았다. 전반적으로 1997년도 진주지역의 기상상태는 예년과 비슷한 양상을 보였으며, 영농에 피해를 줄 만한 심각한 기상재해는 없는 평년 수준의 해이었다.

4. 물수지 분석

1) 물수지 이론식

어느 논지대에 대한 물수지식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$(R + G_1 + D_1) - (ET + G_2 + D_2) = \Delta S \quad (1)$$

$$\therefore D_1 - D_2 = ET - R + (G_2 - G_1) + \Delta S$$

여기서, R : 강수량(mm), ET : 증발산량(mm), G_1, G_2 : 지하수의 유입유출량(mm),

D_1, D_2 : 지표수의 유입유출량(mm), ΔS : 저류량의 변화(mm)

지금 물 관리가 안정되고, 강우가 없는 경우를 생각하면 $\Delta S = 0, R = 0$ 이 되어 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$D_1 - D_2 = (G_2 - G_1) + ET \quad (2)$$

증발산량 ET 는 거의 일정한 값을 보이므로 광역 용수량의 대소는 그 지역의 지하수 유동량 $G_2 - G_1$ 에 좌우 된다.

환원가능율 r_1 은 유입량 D_1 에 대한 유출량 D_2 의 비로서

$$r_1 = \frac{D_2}{D_1} = 1 - \frac{(ET + (G_2 - G_1))}{D_1} = \frac{D_1 - (ET + (G_2 - G_1))}{D_1} \quad (3)$$

실제의 환원율은 환원가능량 $D_1 - ET$ 와 실제의 유출량 D_2 와의 비를 말하며 다음과 같다.

$$r_2 = \frac{D_2}{(D_1 - ET)} \quad (4)$$

Table 3은 마성지구에서 $G_2 - G_1$ 를 추정기 위하여 식(2)를 이용한 무강우시의 순별 물수지를 분석한 결과이다.

Table 3. Water balance during the non-rainy period (1997)

Unit : mm

Period		D_1	D_2	$D_1 - D_2$	ET	$(G_2 - G_1)$	Observation date
Jun	F	144	110	34	35.9	-1.9	6.10
	M	126	108	18	39.0	-21.0	6.11~15
	L	158	91	67	32.0	35.0	6.22, 24
Jul	F	0	0	0	53.0	-53.0	—
	M	0	0	0	50.0	-50.0	—
	L	209	165	44	58.0	-14.0	7.24~30
Aug	F	116	151	-35	46.0	-81.0	8. 1~ 2
	M	270	186	84	43.4	40.6	8.17
	L	305	213	92	52.6	39.4	8.21~24
Sep	F	239	139	100	29.8	70.2	9. 4~ 5, 9~10

Table 3의 결과를 보면 마성지구의 지하수 유동량 $G_2 - G_1$ 은 시기별로 차이는 있으나 주변의 산지 및 하천으로부터 지하수의 유입이 이루어지고 있음을 보여 준다. 특히, 7월 상순 및 중순의 장마기와 8월 상순의 중간낙수기에는 외부로부터의 지하수 유입이 매우 큼을 알 수 있다. Table 3에서 추정된 $G_2 - G_1$ 값을 사용, 관개기간 전기간의 물수지를 분석한 것이 Table 4이다.

마성지구 물수지의 특성은 지하수 유입량이 비교적 많다는데 있다. 관개 초기 및 장마기의 경우 순별로 14~81 mm의 지하수 유입이 있었다. 특히 폭우와 낙수기가 겹친 8월 상순의 경우 일 평균 8.1 mm의 지하수 유입이 있었던 바, 이는 반성천과 산지로부터의 지하수 유출이 증대되었던데 기인한 것으로 분석된다. 저류량의 변화를 보면 7월 상·중순의 장마기에 증대하고 관개 후기에 이르르면 감소하고 있음을 보이고 있다. 마성지구의 물수지는 결론적으로 하천 연변의 저평지 논에서 흔히 볼 수 있는 전형적인 물수지 양상을 보이고 있는 것으로 판단된다.

Table 4. Result of water balance analysis (1997)

Unit : mm

Period		D_1	D_2	$D_1 - D_2$	R	ET	$(G_2 - G_1)$	ΔS
Jun	F	125	116	9	28.8	35.9	-1.9	3.8
	M	104	96	8	36.5	39.0	-21.0	26.5
	L	46	153	-107	167.9	32.0	35.0	-6.1
Jul	F	0	98	-98	140.0	53.0	-53.0	42.0
	M	0	173	-173	247.3	50.0	-50.0	74.3
	L	148	135	13	0.0	58.0	-14.0	-31.0
Aug	F	23	190	-167	226.8	46.0	-81.0	94.8
	M	36	22	14	4.9	43.4	40.6	-65.1
	L	216	179	37	0.0	52.6	39.4	-55.0
Sep	F	96	53	43	5.5	29.8	70.2	-51.5
Total		794	1,215	-421	857.7	439.7	-35.7	32.7

2) 환원가능율

수리상태가 비교적 안정된 시기인 무강우시의 물수지를 분석하여 식(3)에 의한 환원가능율을 산출한 것이 Table 5이다.

Table 5. Estimated return-flow rates in each ten day period (1997)

Unit : mm

Period		Irrigation	Drainage	Return-flow rate (%)	Observation date	Note
Jun	F	14.4	11.0	76.4	6.10	
	M	12.6	10.8	85.7	6.11~15	
	L	15.8	9.1	57.6	6.22, 24	
Jul	F	—	—	—	—	Rainy season
	M	—	—	—	—	Rainy season
	L	20.9	16.5	78.9	7.24~30	
Aug	F	11.6	15.1	130.2*	8. 1~ 2	
	M	27.0	18.6	68.9	8.17	
	L	30.5	21.3	69.8	8.21~24	
Sep	F	23.9	13.9	58.2	9. 4~ 5, 9~10	

배수량의 관개량에 대한 비율로 표시되는 환원가능율은 시기별로 다른 값을 보인다. 전체적으로는 최대가 8월 상순의 130.2%, 최소치는 6월 하순의 57.6%이다. 8월 상순의 환원가능율이 매우 높은 것은 이 시기가 중간낙수기이어서 많은 필지의 논들이 배수를 실시한데 기인한 것

으로 분석된다. 대체로 생육 전반기에 높은 값을 보이고 있고 후반기에 이르르면 약간 낮은 환원가능을 값을 보인다. 8월 상순을 제외한 전 관개기간 평균 환원가능율은 70.5%이었다.

V. 결 론

양수장에 의해 관개용수가 공급되는 논 지대의 물 수지를 구명하기 위하여 각 물 수지 구성 요소에 대한 관측과 분석을 실시하였다. 조사구역의 면적은 103.69 ha로서 경남 진주시 사봉면 마성리에 위치하고 있다. 관개기간은 6월 1일부터 9월 10일까지 102일간 이었다.

전 관개기간 중의 총 양수 공급량은 1,510 mm (평균 15 mm/d)이었다. 기간 중의 강우량은 858 mm이었다. 양수량 중 716 mm (평균 7.2 mm/d)는 진성지구로 분수되어 조사지역에 대한 관개량은 794 mm (평균 7.9 mm/d)이었다. 배수간선으로부터의 총유출량은 홍수유출을 포함하여 1,215 mm (평균 12 mm/d)이었다.

총 소비수량은 813 mm로서 이 중 증발산량이 440 mm, 침투량은 373 mm 이었다. 기간 중 순별 소비수량의 변화는 생육시기별로 5.9~9.8 mm/d이었으며, 생육이 진전됨에 따라 소비량은 증가하였다. 증발산량은 생육기간이 지남에 따라 증가되었으며 3.2~5.8 mm/d의 변화를 보였다. 침투율은 2.5~4.6 mm/d의 변화를 보이며, 생육시기의 진전에 따라 침투율의 변화는 보이지 않았다.

관개기간 중(5월 1일부터 9월 30일 까지)의 이 지역에서의 기상 상태는 대체적으로 조사지역의 1997년 기상자료는 예년과 비슷하였다.

조사지역에서 지하수의 유입은 벼 생육 초기에 현저하였고, 지하수의 유출은 생육 후기에 현저함을 알 수 있다. 무강우 기간동안 지하수 흐름의 순별 평균값은 1.9~81.0 mm이었다. 이 값들은 강우일을 포함하는 전 관개기간에 대한 물수지 분석의 기초자료로 사용되었다.

조사지구에서 각 순별 유출량과 유입량의 비인 환원가능율의 범위는 57.6~85.7%이었다. 이 값은 이미 알려진 값들과 비교할 때 약간 높은 값이다.

참 고 문 헌

1. Ito Y., 1979, "Systems of water balance in the Abukuma basin", Jpn. Rep. N. R. I. A. E. B. 45, pp. 23~63.
2. Kaneko R., 1968, "Calculation of repeated use of irrigation water in sand and gravel lands", Jpn. Res. Agr. Eng. 26(5), pp. 251~255.
3. _____, 1969, "Studies on the groundwater flow by water balance method", Jpn. Res. Agr. Eng. 7, pp. 1~22.
- 4.金子良, 1987, 農業水文學, 共立出版, pp. 135~151, 196~217.
5. 農業振興公社, 1975, 農業用水反復利用調査, 試驗研究報告書 13, pp.133~181.
6. _____, 1976, 農業用水反復利用調査, 試驗研究報告書 14, pp. 75~147.
7. _____, 1977, 農業用水反復利用調査, 試驗研究報告書 15, pp. 59~137.
8. 安世永, 1989, 畝地帶의 물收支와 用水의 反復利用에 관한 研究, 慶尙大學校 博士學位論文
9. _____, 李根厚, 1990, 堤大川 流域 畝地帶의 물收支, 韓國農工學會誌 32(3), pp. 56~66.
10. _____, _____, 1991, 堤大川 流域 畝用水의 反復利用, 韓國農工學會誌 33(3), pp. 63~72.
11. 진주축후소, 1997, 순별기상관측상자료표