

농업용수 시험지구 운영을 통한 용수이용 효율성 제고

김진택 (농업기반공사 농어촌연구원)

요약

1. 서론
2. 계측시스템 구축
 - 2.1 시험지구 개요
 - 2.2 계측 목적
 - 2.3 계측기의 설치
 - 2.4 유량측정
 - 2.5 자료 수집 및 분석

3. 결론

참고문헌

요 약

국내의 경우 관개용수의 대부분은 벼생육을 위한 논외 관개용수로 사용되고 있다. 농업용수 이용은 약 $150\text{억m}^3/\text{year}$, 이는 하천유지수량을 제외한 전체 물이용량 $237\text{억m}^3/\text{year}$ 의 약 63%에 해당한다. 최근 물절약은 가장 중요한 사회, 경제적인 이슈 중의 하나로 인식되고 있다. 그러나, 국내의 경우 관개효율은 여전히 낮아 약 35%의 관개용수가 손실되는 것으로 추정되고 있다. 비록 관개에서의 물절약이 시급한 문제이기는 하지만 용수손실 원인에 따른 손실량에 대한 정량적인 연구가 행해지지 않았었다.

손실 원인에 따른 손실량을 계측하기 위한 시험지구로 경기 평택의 이동지구를 선정하였다. 시험지구의 주수원공으로는 유역면적 $9,440\text{ha}$, 관개면적 $2,027\text{ha}$ 인 이동저수지이며 상류유역에 미산 및 용덕저수지가 위치하고 관개지구내에 원암 및 은산양수장이 있다.

시험지구의 계측시설은 강우량 계측을 위하여 자기강우계를 설치하였고 저수위, 하천수위 및 용배수로의 수위 측정을 위하여 수위계를 설치하였다. 강우계는 4개소에 설치되었으며 수위계는 26개소에 설치되었다. 강우계는 지구내의 저수지 및 양수장 관리자 부근 4개소에 전도형 자기우량계를 설치하였다. 수위계 26개소 중에서 저수지의 저수위 계측지점이 3개소이며 하천수위 계측지점이 2개소 그리고 용배수로의 간선수로 시점부와 간지선 분기점 등의 주요지점에 21개소의 계측지점이 있다. 모든 계측지점의 계측기에는 자체 혹은 별도의 자료저장용 데이터로거가 부착되어 현장 계측자료를 저장하도록 설치되어 있다. 강우계는 전도형강우계(tipping bucket type)이며 수위계는 계측지점의 특징에 따라 여러종류의 수위계측기가 설치되었다. 예를들어 초음파수위계(ultrasonic-wave type), 부표식수위계(float type) 그리고 압력식수위계(pressure type)가 설치되어 있다. 현장 계측기의 전원은 한국전력 전원 혹은 태양전지 및 축전지를 사용하였다.

수위계측지점의 유량을 환산하기 위하여 계측지점의 단면조사와 유속측정을 통해서 수위-유량관계(rating curve)를 규명하였다. 시험지구의 관개효율 및 용수손실 규명 등에 관한 기본자료를 수집하기 위해서는 계측시스템의 운영은 장기간으로 지속 되어야 한다.

1. 서론

우리나라의 연평균강수량은 1,274mm이며 이는 세계평균 973mm 에 비해 1.3배에 해당한다. 연평균 수자원량은 1,260억 m^3 이며 1인당 강수량은 2,900 m^3 로 이는 세계 평균인 26,800 m^3 의 11%에 해당한다. 연강수량은 해에 따라 700mm에서 1,700mm의 범위이며 연중 강수량의 분포도 우기에 연강수량의 2/3가 집중하는 등 전기와의 차이가 크다.

1994년의 연간 물수요량은 약 301억 m^3 로서 농업용수가 50%, 생공용수가 29% 그리고 하천유지용수가 21%를 차지하고 있다. 농업 물이용량은 약 150억 m^3 /year이며 이는 하천유지용수를 제외한 전체 물이용량 237억 m^3 /year의 약 63%이다. 용수의 대부분은 하천이나 저수지를 통해서 공급되고 있으며 지하수는 겨우 8%이다. 표 1에서 보는 바와 같이 총 물필요량은 1982년에서 1994년까지 12년간 62% 증가하였고 1994년에서 2011까지의 17년간은 약 22% 증가할 것으로 추정되며 새로운 댐건설 같은 추가적인 용수공급이 없이는 2011년에는 용수 수요량이 공급량을 약 20 m^3 초과할 것으로 예상되고있다.

Table 1 Total water demands and supply in Korea

(unit: 100mil. m^3 /year)

Classification	Year					
	1982		1994		2011(in plan)	
Total Water need	186	(100%)	301	(100%)	367	(100%)
- Municipal use	29	(15%)	62	(20%)	87	(24%)
- Industrial use	11	(6%)	26	(9%)	45	(12%)
- Agricultural use	115	(62%)	149	(50%)	152	(41%)
- River maintenance use	31	(17%)	64	(21%)	83	(23%)
Total Water supply	199	(100%)	325	(100%)	347	(100%)
- River	133	(67%)	172	(53%)	170	(49%)
- Groundwater	15	(8%)	26	(8%)	29	(8%)
- Dam	51	(25%)	127	(39%)	148	(43%)
Excess(supply-need)	13		24		-20	

물부족은 절박한 사회문제중의 하나가 되고있으며 이 문제를 극복하는 방법으로서 공 급 확대와 수요 절감이 있겠다. 그러나 새로운 댐의 건설을 통한 공급 증대는 댐적지 부족, 환경보전 욕구 증대 같은 문제로 점점 더 어려워지고 있다. 그러므로 수요 절감 방법 들이 강하게 요구되고 있다.

생공용수의 수요가 관개용수에 비해 우선하는 추세에 따라 이러한 수요 절감 요구들이

농업용수 이용에 초점을 둘 가능성이 커지고 있다. 농업용수의 수요를 절감하기 위한 관개 지역을 줄이거나 물생산성이 높은 새로운 품종 개발을 제외한 유일한 방법은 관개효율을 높이는 것이다.

우리나라의 농업용수 관개효율은 여전히 낮은 상태에 있는 것으로 추정되고 있다. 기존의 연구에 의하면 관개시스템에서의 관개효율이 65% 이하인 것으로 추정하고 있다. 비록 관개에 있어서 물절약이 긴급한 사안이 되고 있지만 손실 원인별 손실량에 대한 정량적인 분석이 미흡한 실정이다. 경지, 관개조직 및 유역단위에서의 물수지산정방법을 이용하여 관개효율을 규명하는 연구는 필수적이다. 이러한 연구 없이는 시스템 혹은 유역단위의 잠재 물생산성을 평가할 수 없다. 현장 측정자료에 근거한 관개효율 평가하기 위하여 경기 평택의 이동저수지 관개지구를 선정하였으며 강우계 및 수위계 등 필요한 현장시설을 설치하였다.

2. 계측시스템 구축

2.1 시험지구 개요

이동지구는 우리나라의 농업용수 관리를 담당하고 있는 농업기반공사의 지역물관리 조직인 평택지사가 관할하는 관개지구 중의 하나이다. 시험지구는 경기도 평택, 용인 안성 일원에 위치하고 있으며 수원공으로는 저수지 3개소와 양수장 2개소가 있으며 관개면적 2,833ha에 관개하고 있다. 주수원공인 이동저수지는 유역면적과 관개면적 2,447ha이며 용덕 및 미산저수지는 규모가 적은 관개용저수지로서 관개면적이 187ha와 199ha 이며 이동저수지의 상류유역에 위치하고 있다. 양수장 2개소는 보조수원공으로써 용수간선에서 높은 지대의 간지선으로 급수하기 위해서 사용되고 있다.

Table 2 Details of reservoirs in Idong irrigation districts

Classification		Reservoirs		
		Idong	Yongdeok	Misan
Area (ha)	Watershed	9,348	1,240	439
	Benefit	2,447	187	199
Effective storage (1,000m ³)		17,200	1,003	1,698
Embankment (m)	Height	17.5	13.0	25.0
	Length	660	299	251
Type of spillway		Tainter gate	Free overflow	Free overflow

2.2 계측 목적

관개용수의 손실을 줄이는 적절한 방법들을 통해서 관개효율을 개선할 수 있다. 이를 위해서는 손실의 원인이 규명되어야 하고 구조적 및 비구조적인 대책방안들이 마련되고 적용되어야 한다. 이러한 방안들의 시행에는 많은 예산이 소요되므로 경제성평가 또한 검토되어야 한다. 대책방안의 시행 이후에는 시행전후의 관개효율을 비교 분석하여 방안들의 물질약 효과가 검증되어야 한다.

관개효율의 정량적인 측정은 앞에서 언급한 절차들을 위해서 필수조건이다. 관개효율에 관한 자료를 수집하기 위해서는 적절한 시설장비들이 검토된 계획에 따라 설치되고 최소한 3~4년 이상의 장기간동안 세심한 노력으로 운영되어야 한다. 이동시험지구의 현장계측 시설들은 이러한 목적을 위하여 계획, 설치되었다.

관개시스템의 전체 관개효율 (E_p)은 수원공에서 공급한 수량에 대하여 작물이 사용한 수량 분으로 정의될 수 있다. 관개효율(irrigation efficiency, E_p)은 세가지 요소로 구분할 수 있는데 송수효율(conveyance efficiency, E_c), 포장수로효율(field channel efficiency, E_b)과 포장 적용효율(field application efficiency, E_a)이다. 송수효율 E_c 는 수원공에서 공급한 수량에 대하여 포장 블록의 취입부에 도달한 수량의 비율이며 포장수로효율 E_b 는 포장 블록의 취입부에 도달한 수량에 대하여 각 포장의 취입부에 도달한 수량의 비율로 정의되며 포장 적용효율 E_a 는 포장의 취입부에 도달한 수량에 대한 작물소비 수량 비율로 정의된다. 송수효율과 포장수로효율을 조합하여 분배효율(distribution efficiency, E_d)로 나타내기도 하며 분배효율은 $E_d = E_c \times E_b$ 로 나타낼 수 있다.

이동시험지구의 계측시스템은 위에 언급한 각각의 관개효율들을 정량적인 측면에서 분석하는데 필요한 기초자료를 생성하는데 그 목적이 있다. 이동시험지구는 저수지와 양수장 그리고 여러 형태 및 구성의 용배수로로 구성되어있기 때문에 여러 조건에서의 관개효율들에 대한 자료들을 얻을 수 있을 것으로 예상하고 있다. 시험지구의 계측은 우리나라에서 일반적으로 행해지는 관행의 물관리 방식하에서 3~4 년 동안 계속될 것이다. 그런 후에 물관리자동화시스템과 같은 여러 다양한 지구 물관리 상황하에서 운영될 것이다.

2.3 계측기의 설치

2000년에 시험지구 설치계획이 마련되었으며 계측지점의 여건을 감안하여 계측기의 종류와 형식이 선정되었다. 모든 계측기에는 데이터로거(data logger)가 부착되어 현장계측값을 기록, 저장하도록 하였다. 계측기는 강우량, 저수지 수위, 하천 수위 및 용배수로 수위를 계측하도록 설치되었다. 강우계는 4개소에 설치되었으며 수위계는 26개소에 설치되었다. 수위계측지점 26개소는 저수지의 저수위 계측이 3개소이며 하천수위 계측이 2개소 그리고 용배수로의 수위계측이 21개소이다

1) 강우계

강우계는 시험지구의 유역과 관개지역에 그림1과 같이4개소에 설치되어있다. 2개는 유역에 설치되었으며 1개는 이동저수지에 그리고 1개는 관개지구의 중간지점인 은산양수장에 설치되어있다. 강우계는 전도형 자기우량계이며 계측단위는 0.2mm 이며 건전지로 작동된다.

계측된 강우자료는 다음과 같은 분석에 활용될 수 있을 것이다.

- 계측지점 강우량(point rainfall)과 시험지구 면적강우량(area rainfall)의 편차
- 기상관측소 자료와 계측지점 자료의 편차
- 논에서의 물수지 산정을 위한 유효강우량

- 장기 유역 강우-유출모형
- 홍수유출모형

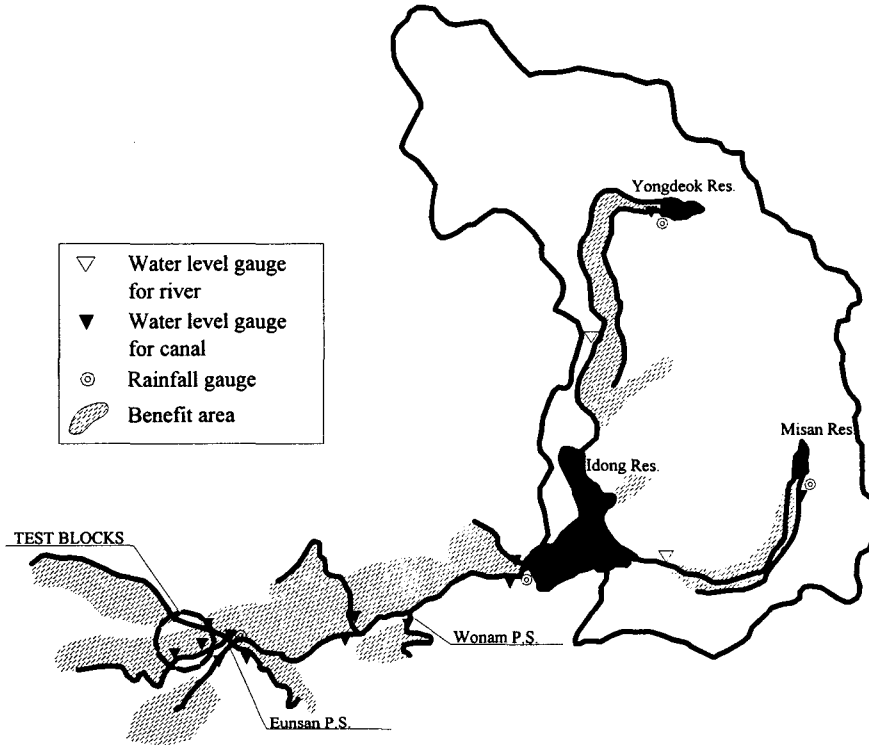


Fig. 1 Location map of gauges in Idong Irrigation district

2) 하천 수위계

하천 수위계는 이동저수지 유역으로부터 저수지로 유입되는 주요 하천에 2개소 설치되었다. 설치된 수위계는 초음파식 수위계로써 센서부가 교각에 설치되어 수면까지의 거리를 측정하여 수위를 측정하도록 설치되었다. 측정값의 현장 확인을 위하여 교각에 수위표를 설치하였으며 측정기의 전원은 1개소는 한국전력 220V 이며 1개소는 태양전지를 사용하고 있다.

측정된 하천수위자료는 다음과 같은 분석에 활용될 수 있을 것이다.

- 저수지 유입량과 저수지 물수지
- 장기 유출 모형
- 홍수 유출 모형
- 저수지 조작 모형

3) 저수지 수위계

저수지의 저수위를 계측하기 위해서 이동, 용덕 및 미산저수지에 각각 설치하였다. 이동과 용덕저수지 2개소는 초음파식 수위계를 설치하였고 미산저수지는 압력식 수위계를 설치하였다. 설치된 초음파식 수위계의 계측범위는 0.00m에서 8.00m이며 정도는 3mm이고 압력식 수위계는 0.0m에서 15.00m이며 정도는 설정범위의 0.15%이다. 이동과 미산저수지의 수위계는 한국전력의 220V 전원을 사용하고 있으며 용덕저수지 수위계는 태양전지를 전원으로 사용하고 있다.

계측된 저수위자료는 다음과 같은 분석에 활용될 수 있을 것이다.

- 저수지의 물수지
- 저수지 조작 모형
- 홍수 제어 조절 모형

4) 용수로 수위계

관개지구 관개용 수로의 수위를 측정하기 위하여 주로 수로의 시점부에 수위계를 설치하여 관개구역별로 관개량을 측정할 수 있도록 하였다. 계측지점의 해당 관개구역은 40ha에서 2,027ha 범위를 보이고 있다.

설치된 수위계는 계측지점의 현장여건에 적정하게 선정되었으며 초음파식, 부표식 및 압력식 수위계로 다양하게 설치되어있다. 초음파식 수위계의 계측범위는 0.00m에서 3.00m이며 2mm 정도를 가지고 있으며 압력식은 0.00m에서 3.00m의 계측범위에 정도는 계측수위의 0.2%이고 부표식은 0.10m에서 3.00m의 계측범위와 10mm의 정도를 나타내고 있다.

계측된 수로 수위자료는 다음과 같은 분석에 활용될 수 있을 것이다.

- 각 수로별 공급 수량
- 각각의 관개효율
- 수로 특성에 따른 용수 손실
- 저수지 물수지
- 저수지 조작 모형

5) 포장의 지거 수위계

관개지구내 2개 포장 블록을 선정하여 수위계를 설치하여 포장수로효율과 포장적용 효율을 분석할 수 있도록 하였다. 포장 블록에 설치된 수위계는 그림과 같다. 관개지거의 유입량과 유출량을 측정하기 위하여 2개의 용수지거 시점과 종점에 수위계를 각각 설치하였

다. 또한, 경지에서 배수량을 측정하기 위해서 배수지거 3개소에 수위계를 설치 하였으며 이들 수위계는 콘크리트 개거 단면에 설치하였다.

Table 3 Water level gauges at main and secondary irrigation canals

Name	Type of gauge	Type Of Canal	Power supply	Location	Benefit area (ha)
Yongdeok	U	L	B	Beginning of main canal of Yongdeok Reservoir	193
Misan	U	C	B	Beginning of main canal of Misan Reservoir	150
Idong	U, F, P	C	D	Beginning of main canal of Idong Reservoir	2,027
Bang-a	U	C	B	Beginning of Bang-a secondary canal	120
Weonam	U	C	B	Beginning of canal from Wonam pumping station	50
Namsa 1	F	L	S	Middle of Jinwi main canal just after turnout to Namsa secondary canal	1,595
Namsa 2	F	C	S	Beginning of Namsa secondary canal	95
Jinwon	U	C	S	Beginning of Jinwon main canal from Eunsan pumping station	1,020
Eunsan 1	U	L	S	Middle of Jinwi main canal just after Eunsan pumping station	235
Eansan 2	U	L	B	Beginning of Eunsan secondary canal from Eunsan pumping station	40
Fifth 1	F	C	S	Middle of Jinwi main canal just after turnout to Fifth secondary canal	110
Fifth 2	F	C	S	Beginning of Fifth secondary canal	125
Fifth 3	P	E	B	Middle of Fifth secondary canal	80

Notes) Type of gauge: U - Ultrasonic type, F- Float type, P - Water pressure type
 Type of canal: C - Concrete flume, L - Concrete lining, E - Earth canal
 Power supply: S - Single single-phase current of 220V, B - Battery recharged from solar cells.



Fig. 2 Rainfall gauge in Misan reservoir

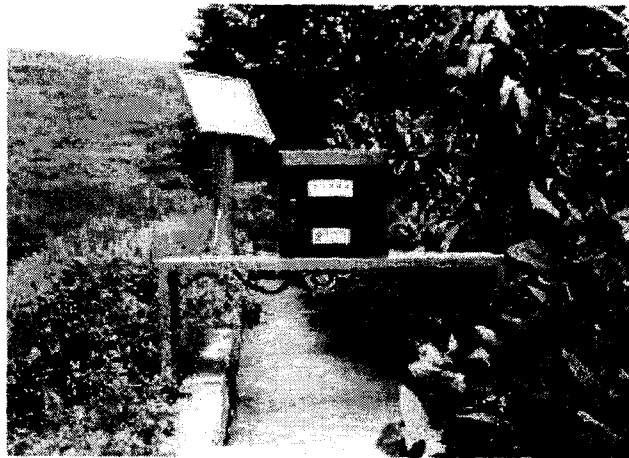


Fig. 3 Water level gauge in irrigation canal

계측된 포장의 지저 수위자료는 다음과 같은 분석에 활용될 수 있을 것이다.

- 각 수로별 공급 수량
- 각각의 관개효율
- 수로 특성에 따른 용수 손실
- 저수지 물수지
- 저수지 조작 모형

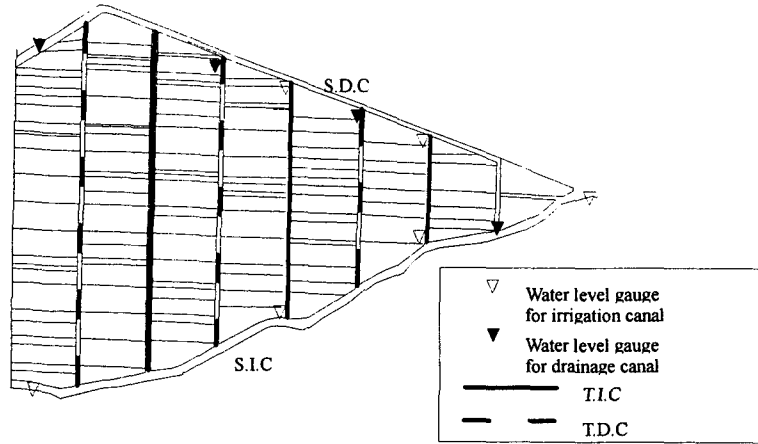


Fig. 4 Location map of gauges in test blocks

2.4 유량측정

관개효율을 평가하기 위해서는 관개기간에 공급된 용수량이 계측되어야 한다. 수위계로 계측된 수위자료는 계측지점의 수위-유량관계곡선을 통해서 유량으로 환산될 수 있다. 각각의 계측지점에 대해서 이러한 수위-유량관계곡선을 구하기 위해 유속계 혹은 버켓팅 방법으로 유량을 측정하였으며 유도된 수위-유량관계는 매년 계속적으로 갱신되어야 할 것이다.

2.5 자료 수집 및 분석

2.5.1 자료수집 절차

수문자료의 수집과 배포는 선정된 자료계측들의 감지, 기록, 전송, 변환에서 이들 자료의 편집, 저장, 검색, 활용하는 일련의 체계적이고 단계적인 절차를 거친다.

- ① 감지(sensing) : 현상 강도를 식별할 수 있는 신호로 변경
- ② 기록(recording) : 신호기록을 전자 혹은 출력
- ③ 전송(transmitting) : 신호기록을 중앙처리소에 전송
- ④ 변환(translation) : 신호기록을 전산, local data로 변환
- ⑤ 편집(editing) : 자료를 확인해서 오차와 여분의 정보를 제거
- ⑥ 저장(storage) : 컴퓨터저장 매체에 자료를 보관
- ⑦ 검색(retrieval) : 자료가 요구되는 다양한 형태로 복원

○ 자료의 편집

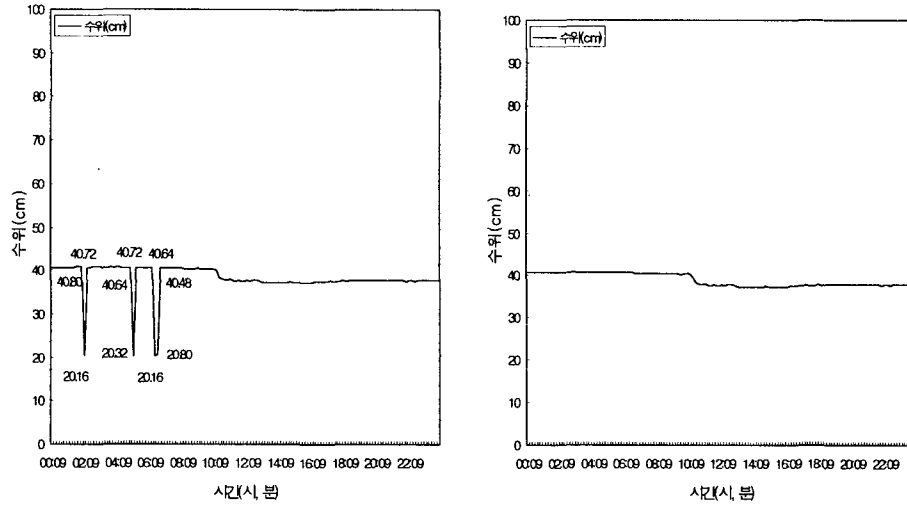


Fig.5 Edited water level data of Misan station

○ 강우량

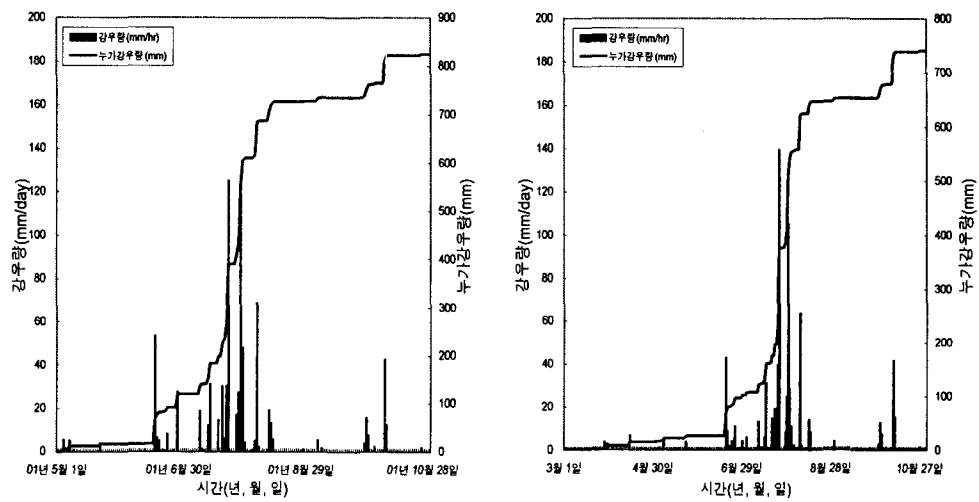


Fig.6 Accumulated and Storm event Rainfall

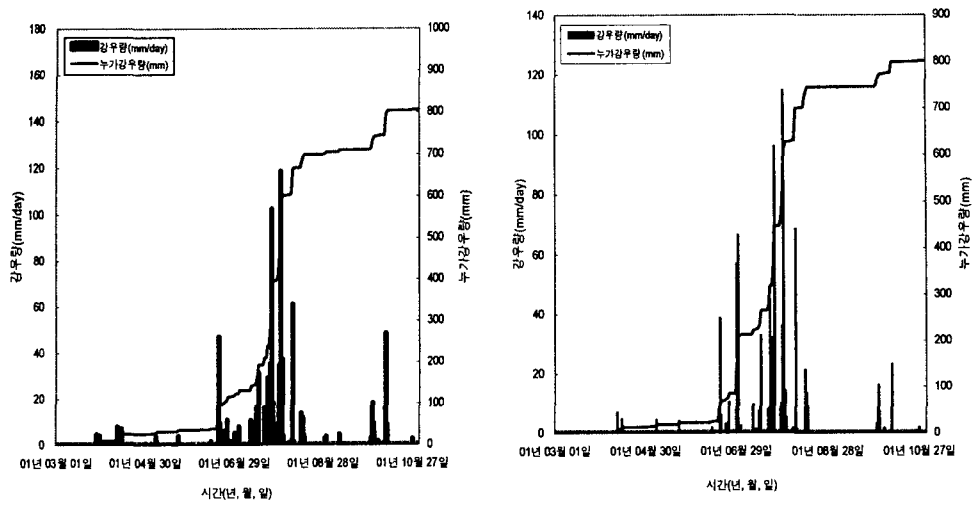


Fig.7 Accumulated and Storm event Rainfall

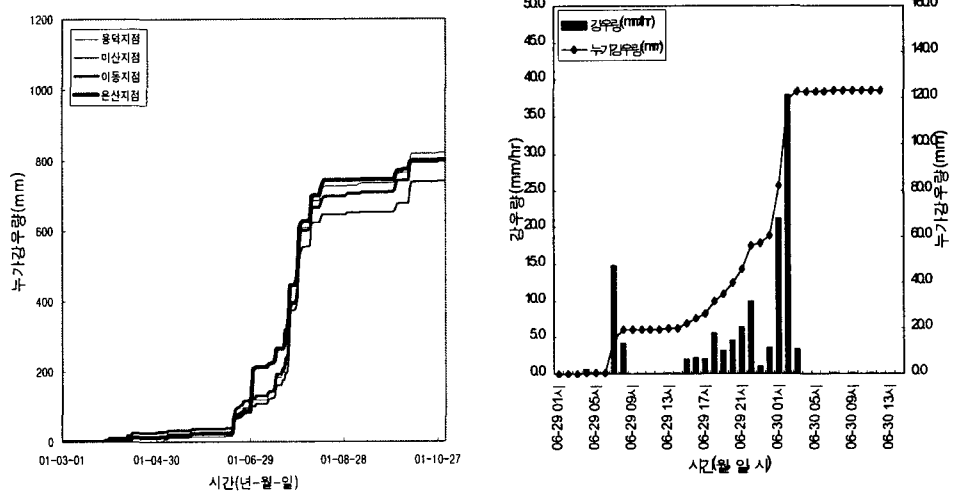


Fig.8 Accumulated and Storm event Rainfall data

○ 저수위

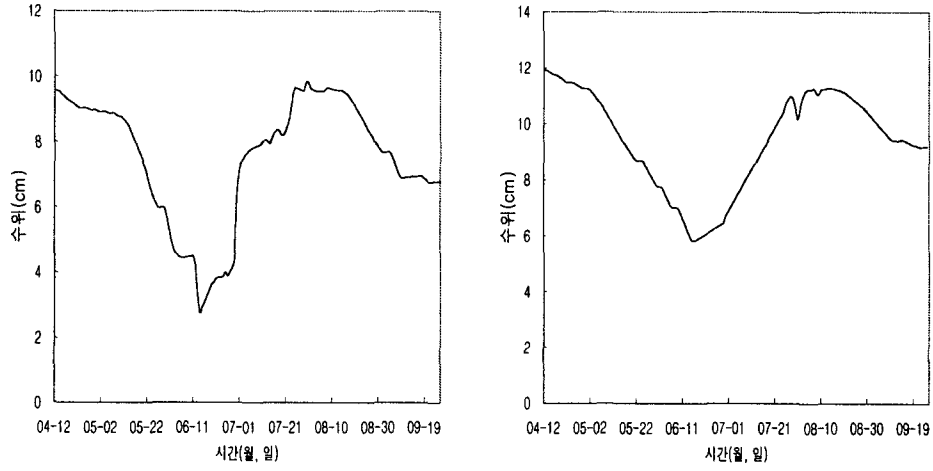


Fig.9 Water level of Yongduk and Idong reservoir

○ 하천 수위 및 수로수위

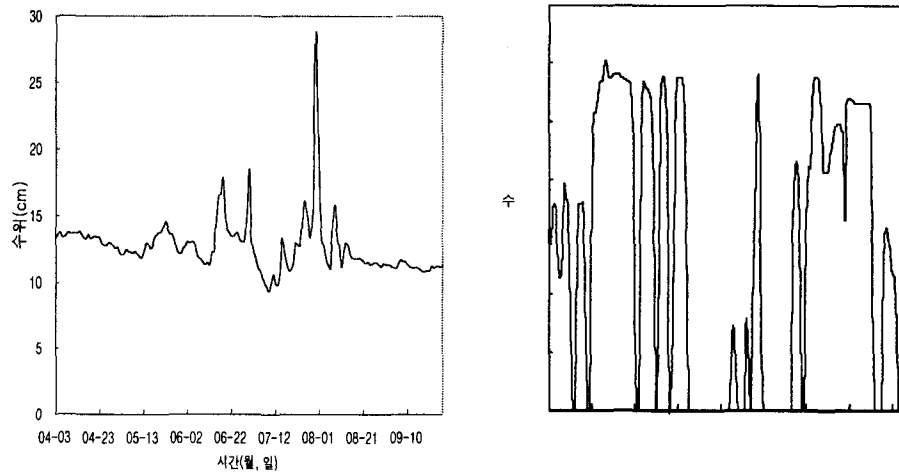


Fig.10 Water level of river and irrigation channel

3. 결론

용수 수요의 증가와 용수 공급 증대의 어려움으로 인하여 관개용수의 절약이 더욱더 요구되어질 것이다. 가까운 장래에 새로운 관개시설과 직파재배의 확대 등으로 관개농업지역의 증가는 완만할 것이므로 물절약은 더 중요한 문제가 될 것이다.

우리나라에서의 관개 효율은 비록 관개 수로가 잘 구축되어 있지만 약 60~65%에 이르는 것으로 추정되고 있으나 용수 손실 원인에 따른 정량적인 연구는 미흡한 실정이다. 물절약을 위한 새로운 관개방안이 관개시스템에 적용되었더라도 물절약 효과에 대한 평가가 불가능하다. 관개효율의 추정을 위한 용수 공급량 자료를 축적하기 위하여 2000년에 경기 평택의 이동저수지 관개지구를 시험지구로 선정하여 강우계와 수위계를 설치하였다. 2001년부터 더 정확한 계측을 위하여 본격적인 계측시스템 운영이 실시되고 있으며 향후 장기간 동안 자료를 축적할 계획이다. 축적된 현장 계측자료는 관행의 물관리 여건에서의 관개 효율 분석을 위해서 사용될 것이며 이후로도 계속해서 운영되어 여러 다양한 물절약 기술이 적용된 상태에서의 그 효과를 규명하는데 활용될 것이다.

참고문헌

- Bos, M.G., Replogle, J.A., and Clemmens, A.J., 1984. Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems. John Wiley & Sons, U.S.A.
- Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P., and Barker, R., 1998. Producing More Rice with Less Water from Irrigated Systems. *SWIM Paper 5*. International Water Management Institute. Sri Lanka.
- Korean Institute of Construction Technology, 2000. Report on Technology to Raise Water Management Efficiency. Ministry of Construction and Transportation. Korea
- Korea Water Resources Corporation, 1990. Long-term Plan of Water Resources. Korea Water Resources Corporation. Korea.
- Korea Water Resources Corporation, 1993. Prospect of Water Resources for 21 C. Korea Water Resources Corporation. Korea.