

전력 사용량을 활용한 하천수 취수량 산정방법 연구

Research on estimation of water-intake using amount of electricity consumption by pumping

진환석*, 노영신**, 차준호***
Hwan Suk Jin, Youngsin Roh, Jun Ho Cha

요 지

하천수의 실시간 자료수집 목적으로 전력량계의 전력사용량 변화를 계측하여 양수량을 산정하는 것이 경제적인 자료수집방안이 될 것으로 판단되어 전력사용량의 실시간 계측 및 전송이 가능한 ‘전력량 전송시스템’을 개발하여 여주시(여주대교)~여주시(이포대교) 관측소 구간 내 농업용수 취수시설인 상백리 양수장에서 적용성을 평가하였다. ‘전력량 전송시스템’의 정상적인 자료수집을 판단하기 위해 실내실험을 수행한 결과 전송자료 648,000개 중 수집된 자료는 647,964개로 평균 오차율 0.01%를 나타내며 현장적용이 가능함을 입증하였다. 개발된 ‘전력량 전송시스템’을 상백리 양수장에 설치하여 6개월간 전력량 사용자료를 취득하였으며, CCTV를 이용하여 현장자료를 모니터링하였다. 서버전송자료와 현장전력량자료를 비교한 결과 누적전력량은 일치하였으며, ‘전력량 전송장치’를 이용한 전력사용량의 실시간 계측이 가능함을 확인하였다.

능서1 양수장에서 수집된 전력량 자료와 초음파유속계로 계측된 양수량 자료를 활용하여 전력량-양수량관계식을 개발하였다. 개발된 전력량-양수량관계식으로 환산된 유량을 초음파유속계 유량과 비교한 결과, 월별 오차는 최대 8.0%, 평균 4.0%로, 하천수 사용실적 보고량의 최대 24.4%, 평균 7.4%보다 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

초음파유속계를 이용한 양수량 산정방법은 수로내 유속과 수위변화를 직접 계측하여 정도 높은 유량산정이 가능하지만 초기설치비용 및 유지관리 비용이 소요되므로 모든 취수시설에 적용하는 것은 불가능하다. ‘전력량 전송시스템’은 기 설치된 전자식 전력량계를 활용하기 때문에 초기 설치비용이 저렴하며 실시간 자료수집이 가능한 장점이 있다. 따라서, ‘전력량 전송시스템’을 이용한 전력량자료의 수집과, 전력량-양수량관계식의 개발이 실시간 하천수 사용량 수집에 적용할 수 있는 가장 경제적인 대안으로 판단된다.

핵심용어 : 하천수, 취수량, 전력량, 전자식 전력량계, 전력량 전송시스템, 전력량-양수량관계식

1. 서 론

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 수자원 부존량 및 하천수의 사용량 파악이 매우 중요하다. 수자원 부존량은 댐·보등의 저수량과 하천의 유량이라 할 수 있고, 하천수 사용량은 사용목적에 따라 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 등으로 분류할 수 있다. 오늘날 계측기술의 발전으로 댐·보등의 저수량 및 하천유량은 10분단위의 실시간 자료가 생산되고 있으며, 사용량 중 생활용수, 공업용수의 경우 하천법령에서 명시한 바와 같이 사용량을 확인할 수 있는 계측시설을 설치하여 비교적 정도 높은 자료를 취득하고 있다. 하지만 농업용수의 경우 하천수 사용자의 취수 여건을 고려하여 유량계 외에 수문조작, 펌프의 양수시간(가동시간) 등의 간접적인 계측방법을 인정하고 있고, 사용자의 자발적인 보고에 의존함에 따라 자료의 객관성이 확보되지 않으며, 선사용 후보고 체계로써 실시간 물관리 자료로 활용이 곤란한 실정이다.(국토해양부, 2009)

국가하천에 위치하는 사용량 보고의무가 있는 농업용수 취수시설물 대부분은 펌프의 양수시간

* 정희원 · 한국수자원조사기술원 낙동강조사실 팀장 · E-mail : hsjin@kihs.re.kr
** 정희원 · 한국수자원조사기술원 낙동강조사실 실장 · E-mail : rohys@kihs.re.kr
*** 정희원 · 한강홍수통제소 수자원정보센터 실장 · E-mail : hcha@korea.kr

으로부터 취수량을 추정하는 것으로 파악되었다(건설교통부, 2007). 유량계가 설치되어 있지 않은 대부분의 시설물들도 전력량계는 설치되어 있기 때문에, 전력량계의 전력사용량 변화를 계측하여 양수량을 산정하는 것이 경제적인 자료수집 방안이 될 것으로 판단하여 전력사용량의 실시간 계측 및 전송이 가능한 ‘전력량 전송시스템’을 개발하고, 전력량과 양수량을 이용한 전력량-양수량 관계식을 개발하여 현장 적용성을 검증하였다.

2. 전력량 전송시스템의 개발 및 현장적용

2.1 전력량 전송시스템의 개발

상백리 양수장에 적용된 전력량 전송시스템은 그림1과 같이 전자식 전력량계(모델:NJ12-212-STD, 저압표준형(단상), 계기정수 1,000puls/kwh), Data Logger, CDMA로 구성하였다. 전자식 전력량계는 일정 전력사용량 마다 주기적인 펄스를 방출하므로, 그림2와 같이 전자식 전력량계의 펄스 출력값을 Data Logger에서 입력받아 매 10분단위로 CDMA를 이용하여 서버에 전송하는 ‘전력량 전송시스템’을 개발하였다.



그림1 전력량 전송시스템 설치현황

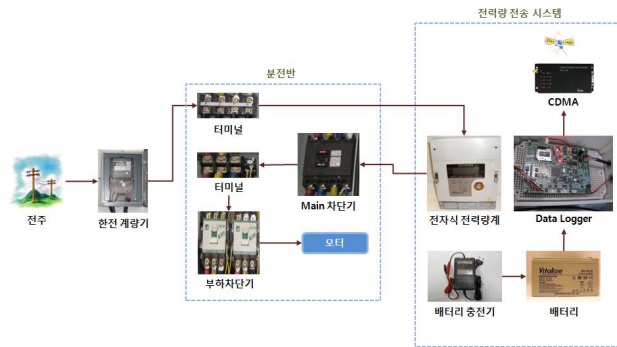


그림2 전력량 전송시스템 구성도

개발된 전력량 전송시스템의 현장 적용에 앞서 Data Logger의 정상적인 자료수집 여부를 판단하기 위해 실내실험을 진행하였다. 그림3 및 표 2와 같이 함수발생기를 이용하여 20Hz의 구형파 펄스를 발생시키고, Data Logger에서 자료를 수집하여 서버로 전송하는 실내실험을 진행하였다. 실험결과 함수발생기에서 9시간동안 발생된 펄스는 총 648,000개(1,200개/분)였고, 서버에 전송된 펄스는 647,964개로 평균오차율은 0.01%로 나타나 ‘전력량 전송시스템’의 안정성을 입증하였다.

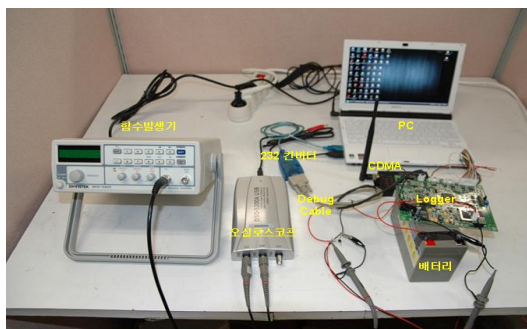


그림3. 함수발생기를 이용한 데이터 로거 카운트 실험 결과

표 1. 함수발생기 실내 실험 전송데이터 결과

Date & Time	펄스(갯수)		오차율 (%)	Date & Time	펄스(갯수)		오차율 (%)	Date & Time	펄스(갯수)		오차율 (%)
	함수 발생기	서버 전송			함수 발생기	서버 전송			함수 발생기	서버 전송	
11-23 19:30	12,000	12,000	0.00	11-23 22:30	12,000	12,001	0.01	11-24 01:30	12,000	11,991	0.08
11-23 19:40	12,000	12,000	0.00	11-23 22:40	12,000	12,000	0.00	11-24 01:40	12,000	12,000	0.00
11-23 19:50	12,000	12,000	0.00	11-23 22:50	12,000	12,000	0.00	11-24 01:50	12,000	12,000	0.00
11-23 20:00	12,000	12,001	0.01	11-23 23:00	12,000	12,001	0.01	11-24 02:00	12,000	12,000	0.00
11-23 20:10	12,000	12,000	0.00	11-23 23:10	12,000	12,000	0.00	11-24 02:10	12,000	12,001	0.01
11-23 20:20	12,000	12,000	0.00	11-23 23:20	12,000	12,000	0.00	11-24 02:20	12,000	12,000	0.00
11-23 20:30	12,000	11,991	0.08	11-23 23:30	12,000	12,001	0.01	11-24 02:30	12,000	12,000	0.00
11-23 20:40	12,000	12,000	0.00	11-23 23:40	12,000	12,000	0.00	11-24 02:40	12,000	12,000	0.00
11-23 20:50	12,000	12,000	0.00	11-23 23:50	12,000	11,990	0.08	11-24 02:50	12,000	12,001	0.01
11-23 21:00	12,000	12,000	0.00	11-24 00:00	12,000	12,000	0.00	11-24 03:00	12,000	12,000	0.00
11-23 21:10	12,000	12,001	0.01	11-24 00:10	12,000	12,001	0.01	11-24 03:10	12,000	11,990	0.08
11-23 21:20	12,000	12,000	0.00	11-24 00:20	12,000	12,000	0.00	11-24 03:20	12,000	12,000	0.00
11-23 21:30	12,000	12,000	0.00	11-24 00:30	12,000	12,000	0.00	11-24 03:30	12,000	12,001	0.01
11-23 21:40	12,000	12,000	0.00	11-24 00:40	12,000	12,000	0.00	11-24 03:40	12,000	12,000	0.00
11-23 21:50	12,000	12,001	0.01	11-24 00:50	12,000	12,001	0.01	11-24 03:50	12,000	12,000	0.00
11-23 22:00	12,000	12,000	0.00	11-24 01:00	12,000	12,000	0.00	11-24 04:00	12,000	12,001	0.01
11-23 22:10	12,000	11,990	0.08	11-24 01:10	12,000	12,000	0.00	11-24 04:10	12,000	12,000	0.00
11-23 22:20	12,000	12,000	0.00	11-24 01:20	12,000	12,000	0.00	11-24 04:20	12,000	12,000	0.00
최대오차	0.08			최소오차	0.00			평균오차	0.01		

2.2 전력량 전송시스템의 현장적용

전력량 전송시스템의 현장 적용성을 평가하기 위해 남한강 본류에서 농업용수를 취수하는 상백리 양수장을 대상지점으로 선정하였다. 그림 4는 상백리 양수장의 전력사용량을 도시한 것이며, 그림 5는 상백리 양수장의 서버전송 누적전력사용량과 현장 누적전력사용량을 비교한 것으로 서버전송데이터와 현장데이터는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

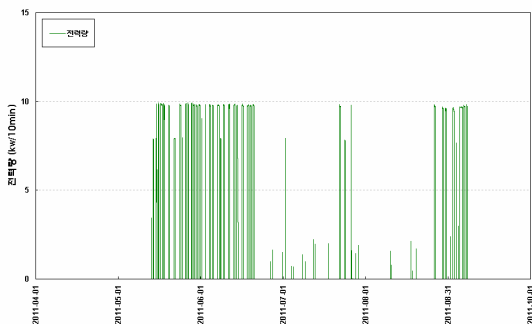


그림 4 상백리 양수장 전력사용량 현황

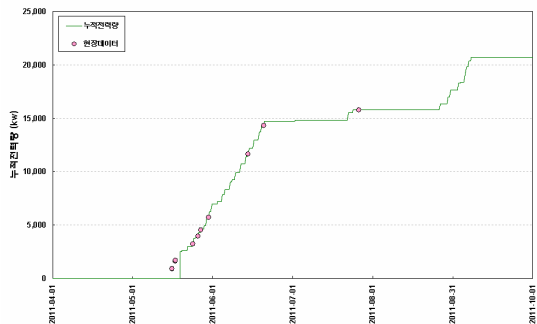


그림 5 상백리 양수장 누적전력량 현황

3. 전력량-양수량관계식

3.1 전력량-양수량관계식 개발

본 연구에서는 전력량자료와 양수량의 상관관계를 분석하기 위해 능서1 양수장에 초음파 유속계를 설치하여 그림 7 및 그림 8과 같이 10분단위 양수량 자료와 15분단위 전력량자료를 수집하였다. 수집된 유량자료와 전력량자료의 시간단위 일치를 위해 시간단위로 변환하여 전력량-양수량관계를 그림 9에 도시하였다. 시자료 비교에서 양수기 가동초기와 가동중단 시 전력사용량은 즉각적인 계측이 이루어지지만, 양수량의 경우 수로에 용수가 유입되는 시간과 수로에 용수가 완전히 소모되는 시간까지 시차가 발생하여 전력량-양수량관계의 산포가 크게 나타났다. 이러한 시차에 의한 산포를 상

왜하기 위하여 그림 10과 같이 시자료로 일자료로 변환하여 비교하였다.

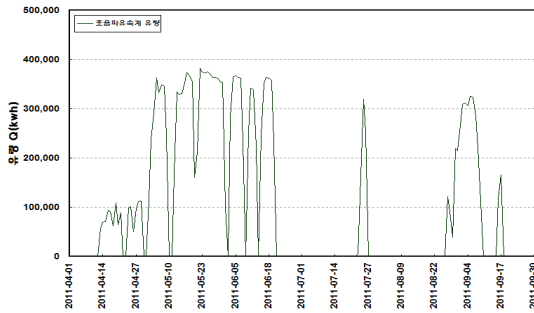


그림 7 초음파유속계 유량자료 현황

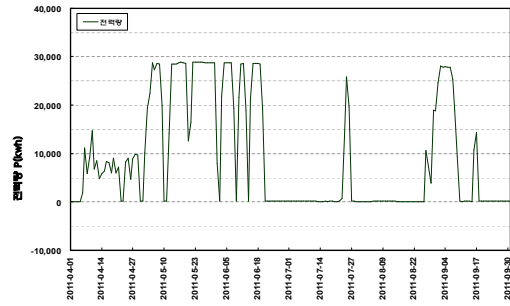


그림 8 전력량자료 현황

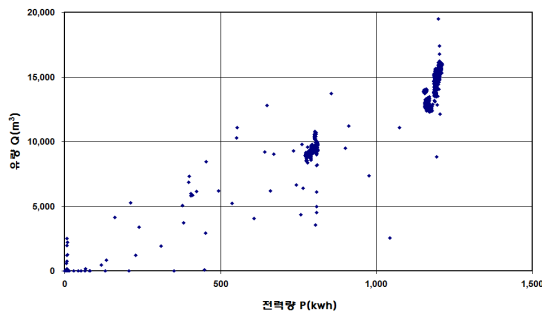


그림 9 능서1 양수장 전력량 및 양수량비교(시자료)

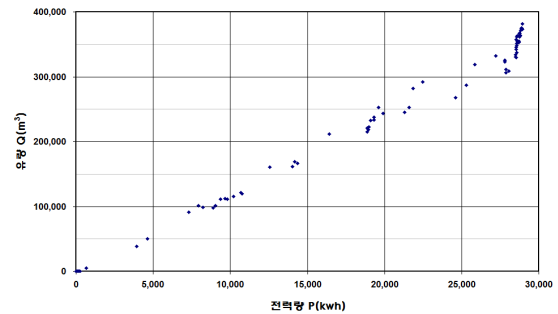


그림 10 능서1 양수장 전력량 및 양수량비교(일자료)

전력사용량을 이용한 양수량 산정은 식 (1)과 같이 표현할 수 있으며, Q 는 유량(ton), P 는 전력량(kWh), a 는 여유율($0.1 \sim 0.35$), η 는 펌프의 효율($55 \sim 85\%$), H 는 전양정이다.

$$Q = \frac{P}{1+a} \times \frac{\eta}{9.8} \times H \quad (1)$$

펌프의 효율은 노후화에 따라 결정되며, 전양정은 흡입수위 및 토출수위의 등의 손실수두 변화로 발생하고, 여유율 또한 정확한 값을 산정하기는 불가능하기 때문에, 식 (2)와 같이 여유율, 효율, 전양정을 단순화 하여 전력량자료 P 에 대한 계수로 산정하였다. 그림 11과 같이 전력량은 양수량에 대한 1차 선형관계로 나타나 전력량-양수량관계식을 개발하였다.

$$Q = A \times P \quad \therefore A = \left(\frac{H}{1+a} \times \frac{\eta}{9.8} \right) \quad (2)$$

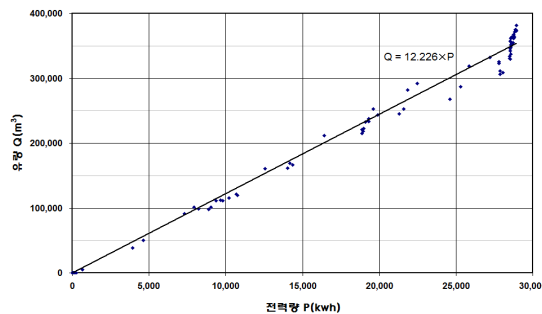


그림 11 능서1 양수장 전력량(P)-양수량(Q)관계

· 지 점	· 능서1양수장
· 적용범위(kWh)	· $0 < P \leq 30,000$
· P-Q관계	· $Q = 12.226P$
· 이용자료연도/자료수	· 2011/183
· 비교	· 전기간

3.2 전력량-양수량관계식 검증분석

개발된 전력량-양수량관계로 산정된 유량의 적절성을 검증하기 위해 표 2와 같이 능서1 양수장의 2011년 초음파유속계 유량 및 하천수 사용실적 보고량과 비교하였다. 초음파유속계 유량과 전력량-양수량관계 산정유량의 월별 최대오차는 8.0%, 평균오차는 4.0%로 나타났으며, 초음파유속계 유량과 하천수 사용실적 보고량의 월별 최대오차는 24.4%, 평균오차는 7.4%로 나타났다. 전력량-양수량관계 산정유량은 표준화된 시스템에 의해 산정된 유량값으로 월별 최대 및 평균오차율이 초음파유속계 유량값과 비교하여 적절히 산정되었고, 하천수 사용실적 보고량은 수기로 기록되기 때문에 사용자마다 가동시간 기록 기준이 주관적이고, 기록 누락 또는 데이터 유실 등의 원인으로 월별 최대 및 평균 오차율이 크게 산정되었다.

표 2 능서1 양수장 계측방법별 유량비교

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	총량
초음파유속계 유량(기준)	660,603	8,931,818	5,140,673	737,876	685,117	2,747,126	18,903,213
전력량-양수량관계	702,235	8,762,618	5,090,276	735,505	730,312	2,966,083	18,987,029
하천수 사용실적 보고량	607,500	8,709,120	5,073,840	758,160	908,820	2,886,840	18,944,280
오차율 (%)							
전력량-양수량관계	6.3	1.9	1.0	0.3	6.6	8.0	4.0
하천수 사용실적	13.5	0.6	0.3	3.1	24.4	2.7	7.4

4. 결과

‘전력량 전송시스템’을 이용하여 전력사용량 자료를 실시간으로 수집한 결과 실내실험 오차 0.01%로 나타나 전력량 전송시스템의 현장 적용이 가능함을 확인하였다. 능서1 양수장에서 전력량-양수량 관계식을 개발하여 양수량을 산정한 결과, 초음파유속계 유량 대비 최대오차 8.0% 평균오차 4.0%로 나타났고, 하천수 사용실적 보고량은 최대오차 24.4%, 평균오차 7.4%로 나타났다.

초음파유속계를 이용한 양수량 산정방법은 수로내 유속과 수위변화를 직접 계측하여 정도 높은 유량산정이 가능하지만 초기설치비용 및 유지관리 비용이 소요되므로 모든 취수시설에 적용하는 것은 불가능하다. ‘전력량 전송시스템’은 기 설치된 전자식 전력량계를 활용하기 때문에 초기설치비용이 저렴하며 실시간 자료수집이 가능한 장점이 있다. 따라서, ‘전력량 전송시스템’을 이용한 전력량자료의 수집과, 전력량-양수량관계식의 개발이 실시간 하천수 사용량 수집에 적용할 수 있는 가장 경제적인 대안으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2007) “하천수 사용 관리체계 개선(I)”
2. 국토해양부 (2008) “하천수 사용 관리체계 개선(II)”
3. 국토해양부 (2009) “하천수 사용 관리체계 고도화 보고서”
4. 차준호, 원유승, 하태민, 조용식. (2010) “합리적인 하천수 사용을 위한 물관리시스템 개발.” 한국방재학회 학술발표회
5. 국토해양부 (2011) “수문조사보고서”
6. 국토해양부 (2012) “수문조사보고서”
7. 노영신, 송재현, 차준호 (2018) “하천수 사용량 실시간 계측을 위한 시험유역 운영” 한국수자원학회 물과 미래 Vol. 51 N0 2. 2018 pp. 24 31.