

대형증발계용 매시간 증발 기록계 개발에 관한 연구

이 부 용

대구가톨릭대학교 환경과학과
(2001년 8월 7일 접수; 2001년 10월 19일 채택)

A Study on the Development of Hourly Evaporation Recording Instrument for Class A Pan

Bu-Yong Lee

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Kyeonbuk 712-702, Korea
(Manuscript received 7 August, 2001; accepted 19 October, 2001)

A new method is developed to estimate the evaporation of water from a surface with high accuracy and resolution. The principle of new method is to detect a weight change of buoyant weight according to a change in water level of Class A Pan measured by the use of a strain-gauge load cell. Field test of evaporation recording new instrument was carried out at Suwon for 10 days of July 1999. It is possible in field observation to measure hourly evaporation amount by newly developed evaporation recording instrument in Class A Pan against strong solar radiation. Present study provide a possibility of domestic high accuracy instrument development below than 0.1mm water level measurement accuracy. If there is low humidity and high wind speed conditions which is possible to evaporate from water surface during night time. And it needs continuous study to understand between meteorological elements and latent heat effect at ground level by field observation study using high accuracy evaporation recording instrument.

Key words : Instrument, Evaporation, Buoyance force, Water level, Class A Pan

1. 서 론

최근 증발량 관측은 대기환경 열수지와 수자원 관리를 위한 물수지 연구 등에 매우 중요하게 인식되고 있으며, 특히 인구 1인당 연평균 강수량이 세계 평균의 11% 수준에¹⁾ 불과한 우리나라와 같은 물 부족 예상 국에서는 꼭 연구되어야 할 요소이다. 그 측정 방법은 자연 상태의 지표면이나 수면을 통해서 증발되는 양을 측정해야 하나 이것은 현실적으로 매우 어렵다. 그래서 대부분 실험적인 방법²⁾ 또는 수치해석적인 방법^{3,4)}을 통해서 그 양을 추정하고 있다. 또 다른 방법으로는 전 세계적으로 사용되고 있는 대형증발계(직경 120cm, 깊이 25cm)를 이용하여 증발량을 측정하고 있다. 대형 증발계의 측정방법은 전날 09시 수심에서 당일 09시까지 24시

간 동안의 수심차이로부터 구하는 방법⁵⁾을 사용하고 있는데, 여러 가지 수위 측정 방법⁶⁾들 중에서 후크게이지를 사용한 수동관측이 보편화 되어있다.

바람, 일사, 강수량, 온도, 습도 등과 같은 기상요소들의 관측은 대부분 매시간인데 반해 증발량만은 이들 요소와는 달리 1일 1회 관측을 하고 있으며, 그 정확한 이유는 밝혀진 것이 없다. 그리고 다른 장비와는 달리 현재까지 증발기록계에 대한 검정기준이 없는 것이 특징이다. 다만 WMO에서는 0.1mm까지 증발량 관측을 권고하고 있다. 그리고 기존에 1일 증발량 비교관측⁷⁾을 통한 연구는 있었으나 매시간 증발량 관측에 대한 연구는 시도되지 못하였다. 그 이유는 야외에서의 태양복사와 온도, 습도 등의 환경에 의한 측정 오차 및 관측기기의 정확도가 매시간 증발량 측정값 보다 크기 때문이다. 따라서 이러한 측정에 대한 문제의 해결없이는 매시간 증발량 관측⁸⁾은 현실적으로 불가능하다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하여 매시

Corresponding Author; Bu-Yong Lee, Dept. of Env. Science, Catholic University of Daegu, Kyeonbuk 712-702, Korea
Phone : +82-53-850-3249
E-mail : bylee@cuth.cataegu.ac.kr

간 증발량을 관측할 수 있는 고정화, 고정밀 증발량 관측기기를 개발하고, 수위의 농업과학기술원의 노장에서 매시간 증발량 관측을 통해 기기의 정확성과 기상관측요소와의 관계를 알아보았다.

열수지 및 물수지의 연구의 기초자료 생산에 도움을 주며, 현업 관측을 자동화하는 데 그 목적이 있다. 또한 활발하지 못한 장비의 국산화 개발에 초석이 되어 앞으로 새로운 원리의 장비 개발에도 도움을 주어 과거 시도되었던 장비의 국산화 개발⁹⁻¹¹⁾과 같은 연구를 활성화 하고자 한다.

2. 측정방법

2.1. 기존의 측정 방법

증발량과 같이 아주 미소한 수위 변동의 측정에 사용된 것으로는 압력식 수위센서로, 현장에서 자주 보정해야 하는 것과 센서의 정확도에 대한 문제점으로 인하여 자동관측기기의 사용에 어려움이 있어 보편화되지 못하였다. 그러나 일정한 고정 점으로부터 수면까지 거리를 측정하는 방식으로 rotary encoder나 potentiometer에 부이를 연결하여 회전 각도나 저항의 변화 값으로부터 수위 변화량을 구하는 방식은 널리 사용되어 왔다. 측정에는 전기적인 신호를 사용함으로써 자동관측에는 문제점이 없으나, 측정시의 줄의 이동과 회전축의 마찰력 등이 작용하여 측정 정밀도의 한계는 $\pm 0.5\text{mm}$ 밖에 되지 못하는 단점이 있다.

Table 1은 현재 사용되고 있는 증발기록계로 제작국, 제작회사, 모델명, 측정방법, 정확도, 분해능을 표시하였다. 이 표에 사용된 자료는 제작사에서 제공한 catalog에 의해서 작성되었다. 이들 제품 중에서 가장 높은 분해능은 Italy MTX사의 EVA series로 0.5mm였으며, 측정의 정확도도 $\pm 0.5\text{mm}$ 로 제시되었다.

Table 1. The specification of evaporation recording instruments

Country Company Model No.	Measuring Method	Accuracy (mm)	Resolution (mm) (Full Scale)
U.S.A. NOVA 255-100	Folat (Potentiometer)	± 1.25	0.76 (254)
Italy MTX EVA series	Float (Optic Encoder)	± 0.5	0.5 (100)
Japan EKO MW-030	Float (Potentiometer)	± 1.0	- (100)

2.2. 측정 방법

기존의 측정원리로는 마찰력이 작용하여 0.1mm 이하의 수위 변화 측정은 불가능하며, 수위 변화가

없어도 수온 변화만으로도 수위 변화가 있어 온도 변화에 따라 보정을 해야 하는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 부력추와 로드셀을 이용한 측정 방법을 사용하였으며, 최대 측정 범위는 240mm로 제작하였다. 이 방법은 수위 변화에 따라 부력의 변화가 있게되는 원동형 부력추와 부력의 변화를 힘의 크기로 측정하는 로드셀로 구성하여 마찰력이 전혀 작용하지 않는 새로운 원리의 측정 방법이다. 부력의 변동량은 밀도와 부피의 곱으로 표현되므로 온도 변화에 따른 수위 변화를 보정할 필요성이 없는 방법이다. 부력을 이용한 수위측정 원리는 1999, 2000, 2001년 한국, 미국, 일본에서 각각 발명특허를 획득하였다. 또한 장기간 사용에 문제점이 없는 로드셀¹²⁾을 사용하여 자동 관측 및 수위측정의 정확도를 높였다. 그리고 외부로부터 유입되는 에너지를 차단하기 위해 내부에 단열재를 사용하여 태양복사 에너지를 차단하였으며, 측정부의 열용량을 증대시켜 외부 온도 변화에 따른 내부 온도 변화를 최소화시키는 방법 등을 통해 외부 환경변화에 따른 기록계의 측정 오차를 최소화시켜 매시간 증발량을 측정할 수 있게 하였다.

2.3. 실험실 검증

증발기록계에 대한 검증 기준이 없을 뿐만 아니라 정확한 수위 변화를 측정 할 수 있는 방법과 만들 수 있는 방법은 쉽지 않다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 직경 25cm, 길이 25cm의 원동형 수조 속에 증발기록계를 넣어 정확한 수면의 면적을 계산하였다. 정확한 면적 계산은 원동형 수조의 면적에 기록계의 단면적을 빼서 구하였으며, 수위 변화에 해당하는 양을 CAS사의 MW-1200 모델의 디지털 저울에서 측출한 물의 무게를 측정하여 검정을 실시하였다. 본 연구에서는 증발기록계에 대한 검증 기준이 없어 1일 평균 증발량보다 값이 큰 10mm 구간에 대해서만 실시하였다. 검증에서 오차는 Table 2에서 보는 바와 같이 참 값에 대한 오차가 -0.03mm로 나타났다. 이 값은 관측에서 요구되는 측정의 정확도 0.1mm이하를 만족하여 1회의 검증으로 마쳤다. 이 측정오차는 Table 1에 제시한 기존의 장비가 가질 수 없는 높은 정확도 및 정밀도를 나타내었다. 기록계의 신호 출력은 Campbell사의 21X data logger 장비를 사용하여 측정하였다.

Table 2. The values measured by new instrument

True depth(mm)	Measured depth(mm)
0.00	0.00 (0.00)
10.00	9.97 (-0.03)

3. 야외 관측

3.1. 장비의 설치

야외 관측은 일사량이 많고 온도가 높아 관측기기의 오차가 가장 크게 나타날 수 있는 1999년 7월 6일에서 동년 7월 16일 까지 수원에 있는 농업과학기술원의 노장에서 관측을 실시하였다. 관측자료의 기록은 매 10분마다 평균수위를 관측하였으며, 자료의 기록에는 검정에 사용한 것과 같은 21X data logger 를 사용하였다.

관측기기의 크기는 직경 101.6mm 길이 500mm의 원통형 스텐으로 내부에 로드셀과 부력추가 설치되어 있다. 신호선의 길이는 10m로 제작하여 야외에서의 장비를 용이하게 설치할 수 있게 하였다. 관측기기의 외부 원통형 스텐 통은 수면의 요동을 줄일 수 있는 기능을 가지고 있다. 관측 시에는 증발 기록계를 증발계 내부 중앙에 넣어 수위 변화를 관측하였다.(Fig. 1 참조) 중앙에 위치한 것은 바람이나 기타의 원인에 의해 일어날 수 있는 수위 변화 등에 의한 오차를 최소화하기 위한 방법이다.

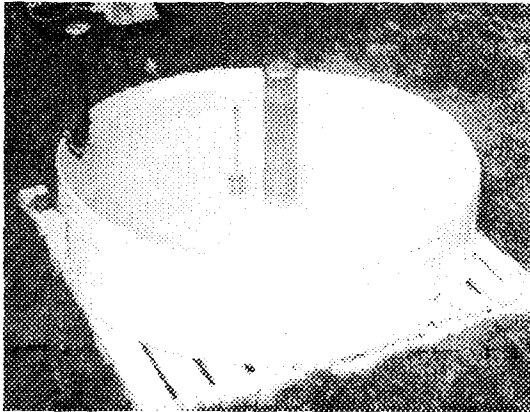


Fig. 1. Photograph of instrument in Class A Evaporation Pan

3.2. 관측 결과

10일간 계속된 관측에서 4일의 강수 일이 있었으며, 6일의 무 강수 일이 있었다. 이 기간의 자료 중에서 본 연구에서는 야간의 증발 특성을 잘 알 수 있었던 7월 6일 18:00 에서 8일까지 23:40 분까지의 무 강수 자료를 사용하였다. 8일 23시 40분 이후에는 강수가 있어 제외하였다. 그리고 증발량 계산의 예를 들면 10시의 관측값과 11시의 관측값 사이 1시간 동안의 수위차이로부터 1시간당 증발량을 구하였다. 이러한 계산을 관측 간격과 동일한 10분 간격으로 이동하면서 증발량 값을 구해 Fig. 2에 나타내었다.

관측 기간 중에는 비가 없었으므로 양의 증발량 값만이 있어야 정상적이다. 그림에서 볼 수 있듯이 이 기간 중에는 외부의 영향으로 나타날 수 있는 음의 값이 없으며, 양의 증발 값만이 있어 새로운 관측기기가 정상적으로 작동하였음을 알 수 있으며, 아주 미세한 수위 측정을 통해 이제까지 측정하지 못한 0.1mm 이하의 증발량을 정확하게 관측하였음을 알 수 있었다. 그러나 8일 14:00경에 주변의 값들은 0.3mm정도이나 14:00의 값은 0.5mm로 0.2mm정도 큰 값이 기록되어 있다. 이것에 대한 정확한 이유는 본 연구에서는 알 수가 없었으며, 앞으로 계속해서 그 원인을 밝혀야 할 연구 과제라고 생각합니다.

7일 새벽에는 시간당 증발량이 거의 0에 가까운 값이나, 7일 야간과 8일 새벽에는 시간당 증발량이 0.15mm를 초과하는 값이 나타났다. 그리고 관측기간 중 최대 증발량은 7월 7일 15시 50분으로 시간당 0.58mm를 나타내었다. 이 값으로부터 25°C의 증발 잠열¹³⁾ 583.2cal/gram으로 계산 할 경우 1시간 동안 증발에 의한 잠열에너지는 1.42 MJ/(hr·m²)로 계산할 수 있었다. 그리고 이 값은 대형증발계의 수위 변화로부터 직접 구한 증발 잠열에너지로 열수지 및 물수지 계산에 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

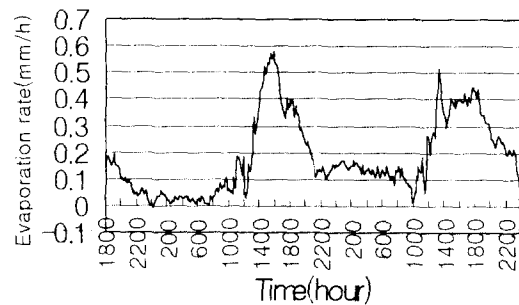


Fig. 2. Observation of evaporation data July 6 18:00 to July 8 23:40(LST), 1999

3.3. 인접 지역의 기상자료

관측자료의 특성을 알아보기 위해 같은 지역 내에서 공인된 기상 자료를 생산하는 수원기상대 관측자료 중 증발량과 밀접한 관련이 있는 기상요소인 기온, 습도, 일사, 풍속의 일기상통계표 자료를 Fig. 3~6에 나타내었다. 관측기간 중 기온의 변화는 21~30.5°C, 습도는 39~96%, 일사량은 최대 2.94 MJ/(hr·m²)를 나타내었으며, 최대 풍속은 7.2m/s가 관측되었다.

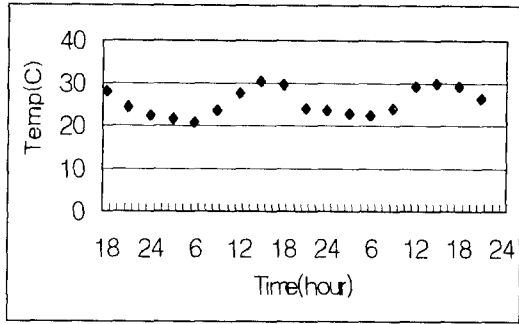


Fig. 3. Same as Fig.2, but for temperature

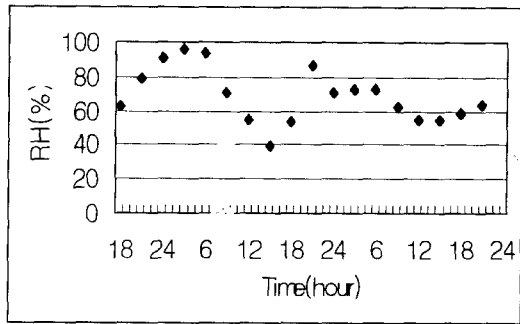


Fig. 4. Same as Fig.2, but for humidity

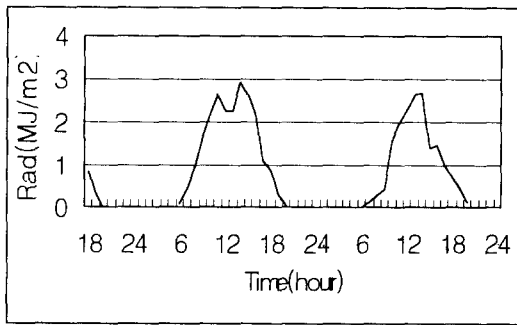


Fig. 5. Same as Fig.2, but for solar radiation

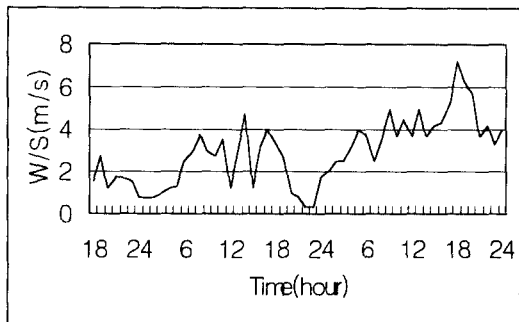


Fig. 6. Same as Fig.2, but for wind speed

3.4. 기상 자료와의 관계

Fig. 2에서 관측된 자료 중 야간의 증발량 자료를 살펴보면 분명한 특징이 있다. 7일 새벽에 비해 8일의 새벽에는 시간당 0.15mm에 가까운 증발량이 있다. 일반적으로 야간에는 증발량 값이 아주 적어야 함에도 불구하고 많은 양이 관측되었다. 이에 대한 해석으로 7일과 8일의 새벽에 대한 자료를 살펴보면 7일 새벽의 경우 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 습도의 값이 거의 100%에 가까운 값을 유지하고 있는 반면 8일의 새벽에는 습도의 값이 80%이하를 유지하고, 풍속 또한 2m/s 이상을 유지하고 있어 많은 증발이 있었던 것으로 사료되었다. 따라서 대기 중의 습도가 물의 증발에 직접적인 영향을 주고 있음을 볼 수 있었다.

Fig.3과 Fig.5의 자료에서 보면 일반적으로 알고 있는 증발의 특성으로 온도가 높고 복사량이 많은 낮에 많은 증발이 있음을 관측을 통해서 직접 볼 수 있었다. 그리고 계속적인 연구를 통해 실제 증발에 기여하고있는 기상학적인 인자들에 대한 상관성을 관측을 통해 규명할 필요성이 있다. 이러한 규명은 물수지 및 열수지가 기상인자에 어떠한 영향을 미치는 가에 대한 연구에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

로드셀과 부력추를 사용하여 마찰 없이 수위를 측정할 수 있는 새로운 원리의 수위측정 장비를 개발하여 1999년 7월 6일에서 7월 16일까지 10일간 수원에 있는 농업과학기술원 노장에서 대형증발계의 증발량을 자동 관측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 새로운 원리로 개발된 미소 수위 변화 측정 장비는 강한 일사에도 불구하고 기존의 관측 장비로는 불가능하였던 매 시간당 증발량을 0.1mm이하의 측정 정확도로 증발을 관측하였다.
- 2) 일반적으로 야간에는 증발이 없으나, 낮은 습도조건과 바람이 있을 경우 수면에서의 증발이 충분히 일어날 수 있음을 알 수 있었다.
- 3) 고 정확도의 국산 관측장비 개발 가능성이 충분히 있었으며, 개발된 새로운 수위 측정 장비를 통해, 지표면의 기상요소와 증발 잠열 효과와의 관계를 보다 명확하게 규명할 지속적인 야외 관측 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 국무총리실 수질개선기획단, 2000, 물관리 통계자료집, 6.
- 2) Assouline, S. and Y. Mahrer, 1996, Spatial and

- temporal variability in microclimate and evaporation over lake Kinneret : Experimental evaluation, American Meteor. Soc., 35, 1076~1084.
- 3) Bolsenga, S. J., 1975, Estimating energy budget components to determine lake Huron evaporation, Water Resour. Res., 11, 661~ 666.
 - 4) Hostetler, S. W. and P. J. Bartlein, 1990, Simulation of lake evaporation with application to modeling lake level variations of Harney-Malheur Lake, Oregon., Water Resour. Res., 26, 2603~ 2612.
 - 5) 소선섭, 이천우, 1986, 기상관측법, 교문사.
 - 6) Robert, G. S., 1989, Instrumentation, Levis Publishers.
 - 7) 이부용, 1998, 증발 기록계 개발에 관한 연구, 대구효성가톨릭대학교 연구논문집, 57, 239~243.
 - 8) 이부용, 박병윤, 1997, 증발량 자동관측 방법에 관한 연구, 대구효성가톨릭대 응용과학연구소논문집, 6(1), 151~154.
 - 9) 기상청, 1987, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구 (I).
 - 10) 기상청, 1988, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구 (II).
 - 11) 기상청, 1989, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구 (III).
 - 12) 이부용, 박병윤, 1997, 0.1mm급 우량계 개발에 관한 연구 -Load Cell 특성에 관하여-, 대구가톨릭대학교 논문집, 5, 93~97.
 - 13) Robert J. List, 1971, Smithsonian Meteorological Tables, 343.