

대형증발계 증발량의 일 변화

이 부 용

대구가톨릭대학교 환경과학과

(2002년 8월 13일 접수; 2002년 10월 2일 수락)

Short-term Variation in Class A Pan Evaporation

Bu-Yong Lee

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Kyeongsbuk 712-702, Korea

(Received August 13, 2002; Accepted October 2, 2002)

ABSTRACT

A new method is used to estimate the amount of water evaporation from Class A Pan with higher precision and accuracy. The principle of method is to detect the weight change of a buoyant sinker resulting from a change in water level of Class A Pan. A strain-gauge load cell is used to measure the weight change. Field observation of evaporation was done at Pohang Meteorological Station from June 24 to August 4, 2002. By using this new method, it is possible to measure hourly evaporation accurately even under a strong solar radiation and wind disturbance, enabling a direct comparison of evaporation with other meteorological elements. At night, under low humidity and high wind speed conditions, more evaporation was recorded than during daytime. Maximum evaporation rates observed during this period exceed 1.0 mm/hour under the sunny and windy conditions with low humidity. To understand relationships between meteorological elements and latent heat flux at ground level, we suggest intensive field experiments using high accuracy evaporation recording instruments with hourly time interval.

Key words : environmental instrumentation, evaporation, buoyance force, water resource, water level, Class A Pan

I. 서 론

증발량 관측은 수자원 관리를 위한 물수지 연구 등에 매우 중요하게 인식되고 있으며, 우리나라와 같이 인구 1인당 연평균 강수량이 세계 평균의 11% 수준에 불과한 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 Assouline and Mahrer (1996)과 같이 실험적인 방법 또는 Bolsenga(1975)과 같이 수치해석적인 방법을 이용해 그 양을 추정하고

있다. 또 다른 방법으로는 전 세계적으로 사용되고 있는 대형증발계(직경 120 cm, 깊이 25 cm)를 이용하여 증발량을 측정하고 있다. 대형 증발계의 측정방법은 전날 09시 수심에서 당일 09시까지 24시간 동안의 수심차이로부터 구하는 방법을 사용하고 있는데, 여러 가지 수위 측정 방법들 중에서 후크게이지를 사용한 수동관측이 보편화되어 있다.

바람, 일사, 강수량, 온도, 습도 등과 같은 기상요소들의 관측시각은 매시간인데 반해 증발량만은 이들 요소와는 다르게 24시간에 1회 관측을 하고 있으며, 이러한 이유로 증발량 관측자료의 실시간 이용에 효율성

이 떨어지고 있으며, 1회 관측에 대한 정확한 이유에 대해 밝혀진 내용이 없다. 그리고 다른 자동관측 장비와는 달리 현재까지 증발기록계에 대한 검정 기준이 전 세계적으로 없고 제작사 성능 검사만 하고 있다. 다만 WMO에서는 수위 변화량 관측을 0.1 mm까지 할 것을 권고하고 있다. 이러한 관측 권고 사항을 만족하기 위한 국내 연구 개발의 시작은 이와 박(1997)이 있었으며, 그 후 본격적인 기록계 개발에 대한 연구로는 이(1998)이 있었다. 그리고 관측을 통한 매시간 증발량과 기상요소와의 관계에 대한 연구로는 캐나다의 McGinn and McLean(1995)가 있으며 국내에서는 이(2001)에 의해 시도되었다. 본 연구는 이(2001)에 의해 개발된 새로운 원리의 장비에 대해 보다 체계적인 실내 검정을 실시하였다. 야외에서 증발량 관측을 실시하여 기상요소와의 관계에 대해서도 알아보았다. 연구의 목적은 야외에서의 태양복사와 온도, 습도, 바람 등의 환경 조건에 따른 측정 성능을 검증하고, 매시간 증발량 관측의 타당성에 대해서 알아보는 것이다.

II. 측정방법

2.1. 기존의 측정 원리

수위 변동의 측정에 보편적으로 사용되는 센서는 압력식이 많이 사용되고 있으나, 시간의 경과에 따른 보정을 자주 해야하는 불편함과 센서 자체의 정확도에 대한 문제점으로 인하여 사용에 어려움이 있어 자동관측장비에 널리 사용되지 못하고 있다. 그러나 수위 변화를 일정한 고정점으로부터 수면까지 거리를 측정하는 장치로는 rotary encoder 나 potentiometer에 수면에 떠 있는 부이까지 줄로 연결하여 줄의 이동에 따른 회전 각도나 저항 값의 변화를 측정하여 이것으로부터 수위 변화량을 구하여 증발량을 산출하는 방식을 널리 사용하여 왔다. 전기적 출력 신호를 사용함으로써 자동관측에는 문제점이 없으나, 측정시의 줄의 이동과 회전축의 마찰력 등이 작용하여 측정 정밀도의 한계는 ± 0.5 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 사양서에 의해서 작성되었다. 이들 제품 중에서 가장 높은 분해능은 Italy MTX사와 Australia의 Unidata 제품으로 측정 정확도가 ± 0.5 mm로 제시되었다.

Table 1. The specifications of evaporation recording instruments

Country Company Model No.	Measuring Method	Accuracy (mm)	Resolution (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)
Australia Unidata Model 6531	Float (Potentiometer)	± 0.5	0.5 (250)

2.2. 측정 방법

본 연구에서는 이부용(1998), 이부용(2001)의 측정 원리인 부력추와 로드셀을 이용한 측정 방법을 사용하였으며, 최대 측정 범위는 230 mm로 제작하였다. 이 측정 방법은 수위 변화에 따라 원통형 부력추에 부력의 변화가 있게 하여 그 변화량을 힘의 크기로 측정할 수 있는 로드셀을 이용하여 전기적 신호로 변화시켜 측정하였다. 그리고 미세전압기록계를 이용하여 그 신호를 기록하였다. 이러한 구성은 마찰력이 전혀 작용하지 않는 측정 방법으로 증발량과 같은 미소 수위 변화량을 측정하는데 아주 적합한 방법이다. 기존의 측정 장비의 부이는 물의 표면에 위치하고 있으나, 본 연구에서 수위를 감지하는 부력추는 물 속에 잠겨져 있어서 온도의 변화에 따라 변화하는 물의 밀도 변화를 보정할 필요성이 없다. 또한 장기간 사용에 문제점이 없는 로드셀을 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 작게 하는 방법 등을 통해 외부 환경변화에 따른 기록계의 측정 오차를 최소화시켜 정확한 증발량을 측정할 수 있게 하였다.

2.3. 실험실 검정

검정 기준이 없는 증발기록계에 대해서 정확한 수위

를 검정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 수학적으로 명확하게 설명이 되는 수위측정 방법을 사용해야 한다. 본 연구에서는 이(2001)에서 사용한 것과 같이 정확한 단면적의 원형수조에서는 물의 질량과 깊이는 서로 비례한다는 원리를 이용하여 측정하였다. 원통형 수조는 직경 25 cm, 깊이 25 cm이며, 철재이다. 수조에서 정확한 단면적을 계산하고, 덜어내는 물의 양은 한국 CAS사의 MW-1200 모델의 디지털 저울을 이용하여 측정하였다. 부피 측정에 대한 정확한 신뢰성을 얻기는 어려우나, 무게 측정 방법은 정확한 측정값을 얻을 수 있기 때문에 이 방법을 선정하였다. 본 연구에서는 증발기록계에 대한 검정 기준이 없어 1일 평균 증발량보다 값이 큰 10 mm 구간에 대해 1 mm 간격으로, 그리고 증발이 아주 많을 경우를 대비해 100 mm 구간에 대해서도 10 mm 간격으로 실시하였다. 검정에서 오차는 Table 2, 3에서 보는 바와 같이 참 값에 대한 오

차가 아주 적게 나타났다. 10 mm 구간에 나타난 값은 관측에서 요구되는 측정의 정확도 0.1 mm 이하를 만족하고 있으며, 측정 구간에 대한 오차도 0.6%로 아주 작은 오차를 나타내었다. 그리고 100 mm 구간에 대해서도 0.18 mm로 0.18%의 오차만이 있어서 제작된 수위 기록계의 정확성에 대해서 신뢰성을 확보하였다. 기록계에서 나오는 출력 신호는 미세전압기록계(모델 21X, Campbell Scientific, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다. 구간에 따라서 값의 변화가 있는 것은 물의 무게 측정에 대한 오차와 부력추가 완벽한 직선을 유지하지 못함에 따른 오차로 생각이 되며, 그 외에도 수위 하강 시 물의 점성에 의해 수면의 모양이 완벽하게 같지 않은 영향도 있는 것으로 사료된다. 그러나 이러한 오차에 대한 연구는 다음의 연구에서 하고자 한다.

III. 아의 관측

Table 2. The values measured by new instrument 10 mm full scale

True Depth	Measured Depth	Difference
0.00	0.00	0.00
1.00	1.02	+0.02
2.00	2.00	0.00
3.00	3.00	0.00
4.00	3.98	-0.02
5.00	4.96	-0.04
6.00	5.94	-0.06
7.00	6.94	-0.06
8.00	7.95	-0.05
9.00	8.93	-0.07
10.00	9.94	-0.06

Table 3. The values measured by new instrument 100 mm full scale

True Depth	Measured Depth	Difference
00.00	0.00	0.00
10.00	9.99	-0.01
20.00	20.00	0.00
30.00	29.95	-0.05
40.00	39.93	-0.07
50.00	49.93	-0.07
60.00	59.96	-0.04
70.00	69.92	-0.08
80.00	79.89	-0.11
90.00	89.83	-0.17
100.00	99.82	-0.18

3.1. 장비의 설치

아의 관측은 2002년 6월 24일에서 동년 8월 4일 까지 포항 송도 해변에 위치한 포항 기상대 노장에 설치되어 있는 대형증발계 내부에 설치하여 관측을 실시하였다. 관측은 매 1분 마다 수위를 측정하여 매 10분 마다 평균수위를 기록하였다. 자료의 기록에는 검정에 사용한 것과 같은 21X 미세전압기록계를 사용하였다.

관측기기의 크기는 직경 101.6 mm 길이 500 mm의 원통형으로 내부에 로드셀과 부력추가 설치되어 있다. 신호선의 길이는 10 m로 제작하여 야외에서의 장비를 용이하게 설치할 수 있게 하였다. 관측기기의 원통형 통은 바람에 의해 일어 날 수 있는 수면의 요동을 줄일 수 있는 기능을 가지고 있다. 관측 시에는 증발 기록계를 증발계 내부에 넣어 수위 변화를 관측하였다 (Fig. 1 참조). 증발계 내부에서 관측하는 이유는 외부로 호스를 연결할 필요성이 없기 때문에 누수에 대한 부담을 줄일 수 있는 장점이 있다.

3.2. 관측 결과

42일간의 계속된 관측기간 중 강수일이 22일 무강수일이 20일이 있었다. 우리나라 하계의 날씨로는 강수일수가 아주 많은 편이었다. 본 연구에서는 증발의 특징이 잘 나타날 수 있는 7월 29일에서 8월 3일까지 맑은 날이 계속된 관측자료에 대해서만 다루고자

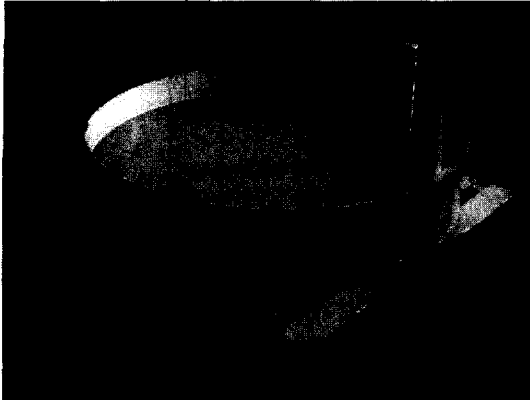


Fig. 1. Photograph of instrument in Class A Evaporation Pan at Pohang Meteorological Station

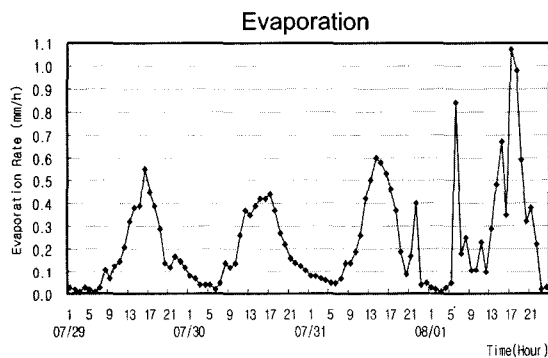


Fig. 2. Observation of evaporation data July 29 00:00 to August 1 24:00(LST), 2002

한다.

Fig. 2에 표시된 증발량 자료는 매 정시에서 앞 1 시간 전의 수심과의 차이로부터 구한 자료이다. 그 결과 첫 3일은 0.6 mm/hour 이하의 자료를 기록하였으나, 마지막 날은 약 1.1 mm/hour를 나타내었다. 그리고 증발량은 한낮에 많고, 야간에는 적은 일반적인 증발량 분포 곡선과 같은 모양을 나타내었다. 그리고 8월 1일의 자료는 다른 날과는 달리 증발량의 시간적인 변화량이 크게 나타났다.

3.3. 인접 지역의 기상자료

관측자료의 특성을 알아보기 위해 관측소 노장의 자료인 포항기상대 일기상 통계표 자료 중 증발량과 밀접한 관련이 있는 기상요소인 기온, 습도, 일사, 풍속, 풍향의 자료를 Fig. 3~7에 나타내었다. 관측기간 중 기온은 21~35°C의 변화가 있었으며, 일 변화의 경향

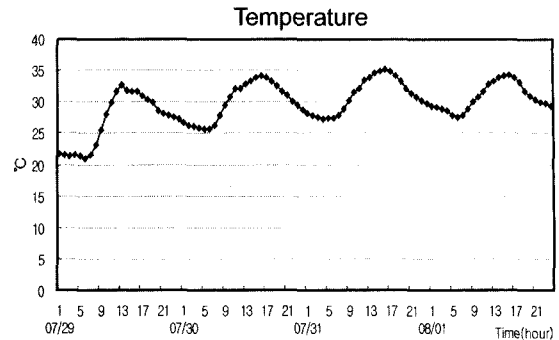


Fig. 3. Same as Fig. 2, but for temperature

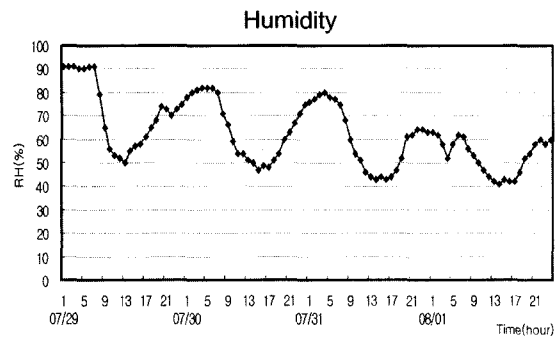


Fig. 4. Same as Fig. 2, but for humidity

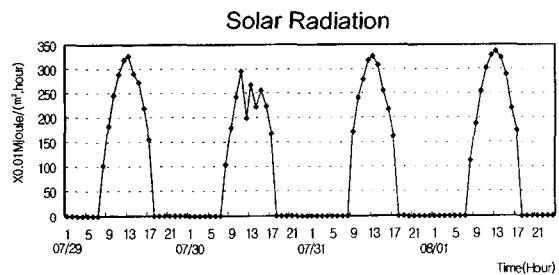


Fig. 5. Same as Fig. 2, but for solar radiation

은 점차 줄어들고 있었으며, 습도는 50~90%의 범위로 습도 또한 낮아지는 경향을 가지고 있었다. 그리고 8월 1일 새벽 4시경에는 순간적으로 낮은 습도를 나타내었다. 최대 일사량은 약 3~3.5 MJ/(hr·m²)를 나타내었으며 그 모양은 종 모양으로 아주 맑을 날씨에 나타나는 모양이 관측이 되었다. 풍속은 관측기간 중 최대 5.5 m/s가 되었으며, 최저는 0 m/s 까지 관측되었다. 그리고 풍속은 증가하는 경향과 함께 변화가 크

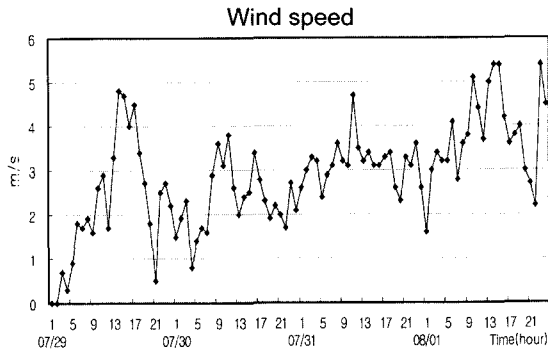


Fig. 6. Same as Fig. 2, but for wind speed

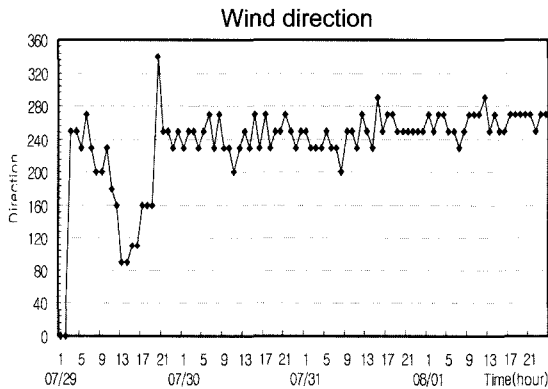


Fig. 7. Same as Fig. 2, but for wind direction

게 나타나는 특징이 있었다. 풍향은 큰 변화 없이 주로 서풍 계열의 바람이 관측기간 동안 지속되었다.

3.4. 기상 자료와의 관계

Fig. 2의 자료에서 야간 증발량은 시간당 0.1 mm 내외를 나타내는 반면, 주간에는 최대 1.1 mm 까지 아주 많은 증발량을 나타내고 있다. 관측된 자료 중 8월 1일 새벽 6시경에는 0.84 mm/hour의 증발량을 기록하여 나머지 3일의 주간 최대 값보다 큰 값이 관측되었다. 이러한 자료는 Fig. 4의 습도 자료에서 보면 이 시간대에 습도가 갑자기 낮아졌으며, Fig. 6의 풍속 값도 전 시간에 비해 증가한 것을 볼 수 있다. 낮은 습도와 강한 바람이 증발량을 갑자기 증가시킨 이유를 찾을 수 있다. 7월 31일 22시 야간 증발량 자료와 풍속자료를 살펴보면 같은 경향이 있음을 알 수 있다. 따라서 야간의 증발량도 주간 보다 클 수 있다는 사실을 보인 중요한 관측이라고 볼 수 있다. 주간의 관측자료는 8월 1일이 다른 날에 비해 상대적으로 큰 값을

나타내고 있는데 이는 낮은 습도와 풍속의 큰 변동에 따른 결과로 많은 증발량과 아울러 시간에 따른 큰 변화량을 알 수 있다. 그러나 자료의 명확한 해석을 위해서는 야외에서 연구를 계속할 필요성이 있다. 또한, 자료 해석을 위해서는 기상요소의 관측 시각을 기존 1시간 간격에서 10분 이하로 좁혀 측정할 필요성이 있다.

본 연구에서는 나타나지 않았으나, 풍속 자기지를 살펴보면 처음 3일의 자료는 순간 최대 풍속이 7 m/s 이내였으나, 마지막 날인 8월 1일은 순간 최대 풍속이 11 m/s를 기록하였다. 그러나 Fig. 6의 자료에서는 평균풍속이 최대 5.5 m/s로 나타나 자기지와 평균 풍속 간에는 많은 차이가 있기 때문에 그 차이를 고려해야 할 것이다. 그리고 순간 최대 풍속이 크면 그에 따른 확산도 크질 수 있기 때문에 증발에 있어도 다른 날과는 다른 증발 모습이 관측이 되었다. 따라서 증발량과 기상요소와의 관련성에 대한 연구에 있어서는 평균적인 자료만으로는 충분한 해석을 할 수 없는 경우가 발생하기 때문에 10분이나 그 이하의 관측 시간이 요구된다.

관측기간 중 증발량의 관측자료에서 음의 값이 나타나지 않은 것은 장비가 외부의 기상인자에 의한 측정에는 문제를 일으키지 않은 것으로 설명이 된다. 만약 측정에 바람의 영향이 있을 경우 한번은 상대적으로 낮은 수위 값을 관측하였고, 다음 시간에 그 보다는 높은 수위 값을 관측하게 된다. 이 때 그 두시간의 차이 값은 증발이 아닌 물의 유입의 형태로 관측되어 필연적으로 음의 값이 나타나게 된다. 그러나 본 관측 기간에서는 그러한 자료는 나타나지 않았다. 그리고 본 연구에서는 최소 0.01 mm의 측정값을 나타내어 관측의 정확성에 대해 추정할 수 있었다. 그러나 보다 면밀한 정확성 추정을 위해서는 지속적인 관측이 필요할 것으로 생각된다. 그리고 실제 증발량과 이에 기여하고있는 기상학적인 요소들 간에 상관성을 관측을 통해 밝힐 필요가 있다. 이러한 규명은 물수지 및 열수지에 기상인자가 어떻게 영향을 주는가 하는 연구에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

로드셀과 부력추를 사용하여 마찰 없이 수위를 측정할 수 있는 새로운 원리의 수위측정장비를 제작하여

2002년 6월 24일에서 8월 4일까지 42일간 포항기상대 노장에서 대형증발량을 자동으로 관측한 자료 중 맑은 날이 계속된 4일 간의 자료에서 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 미소 수위 변화 측정 장비는 강한 일사와 바람에도 불구하고 기존의 자동 관측 장비로는 측정이 불가능하였던 0.1 mm 이하의 증발량 측정이 가능하여 자동관측에 대한 신뢰성을 볼 수 있었다.
2. 야간 증발량은 일반적으로 주간 증발량에 비해 적은 것으로 알려져 있으나, 습도가 낮고 바람이 강할 경우 낮 시간 최대 증발량 보다 많을 수가 있음을 알 수 있었다. 따라서 야간 물 수지 연구에 대한 필요성이 있다.
3. 증발량과 기상요소와의 면밀한 연구를 위해서는 기존의 1시간 단위의 자료로 해석이 곤란한 부분이 있어, 증발량과 관련한 연구에서는 10분 이하로 기상요소를 관측할 필요성이 있다.
4. 증발량 관측도 다른 기상요소와 같이 매시간 자료를 생산할 수 있는 가능성을 제시하였으며, 지표면의 기상요소와 증발 잠열 효과와의 관계를 보다 명확하게 규명할 지속적인 야외 관측 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구를 위해 관측 노장과 기상 자료를 제공하여 주신 포항기상대 대장님과 직원들에게 감사를 드립니다.

인용문헌

- 이부용, 박병운, 1997: 증발량 자동관측 방법에 관한 연구, 대구효성가톨릭대 응용과학연구소 논문집, **6**(1), 151-154.
- 이부용, 1998: 증발 기록계 개발에 관한 연구. 대구효성가톨릭대학교 연구논문집, **57**, 239-243.
- 이부용, 2001: 대형증발계용 매시간 증발 기록계 개발에 관한 연구, 한국환경과학회지, **10**(5), 323-327.
- Assouline, S. and Y. Mahrer, 1996: Spatial and temporal variability in microclimate and evaporation over lake Kinneret : Experimental evaluation. *Journal of Applied Meteorology*, **35**, 1076-1084.
- Bolsenga, S. J., 1975: Estimating energy budget components to determine lake Huron evaporation. *Water Resources Research*, **11**, 661-666.
- McGinn, S. M. and D. J. McLean, 1995: Monitoring free-water evaporation at automated weather stations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **12**(6), 1363-1366.