

정밀 강설량계 개발을 위한 연구

이 부 용

대구가톨릭대학교 환경과학과

(2006년 11월 1일 접수; 2006년 12월 1일 수락)

A Study on the Development of a High Resolution Snow Gauge

Bu Yong Lee

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

(Received November 1, 2006; Accepted December 1, 2006)

ABSTRACT

This study proposes a new method for automatic recording of snowfall by a mass unit which is required in weather forecast and hydrology research. In this method the weight of a buoyancy bar submerged in a liquid is measured by a strain-gauge loadcell. Field test results of the strain-gauge loadcell showed good stability as well as high accuracy. Indoor tests of the instrument using a large tank of 120 cm diameter and 25 cm height connected to a small tank measured the liquid level with a good stability, showing a measurement error of less than 0.1 mm in a 100 mm range. This method of water depth measurement is very useful in measuring snowfall because it has no limitation on the funnel size of the instrument. In addition, an antifreezing solution instead of water used in the tank makes a heating system for melting snow unnecessary.

Key words : Observation, Precipitation, Snow depth measurement, Snow gauge

I. 서 론

수자원은 강우 및 강수현상에 의해 공급되며, 관측 방법으로는 우량계 강수량계와 적설계를 사용하여 관측을 하고 있다. 1441년 세종대왕 때 측우기의 발명으로 강우의 객관적 관측이 이루어 졌다. 그때 제작된 우량계는 지금의 우량계와는 높이와 직경에 있어 다소 차이가 있으나, 객관적인 관측을 하였다는 것에 큰 의의를 가지고 있다.

강설 관측에는 적설판 또는 초음파 적설계를 이용하여 관측을 하고 있고 다른 방법으로는 전도형 우량계에 히터를 붙여 강설을 녹여 강우량과 같은 방법으로 관측을 하고 있다. 그리고 중량 측정 방법을 사용한 산림지역의 강설 관측에 대한 연구가 있다(Eriksson

et al., 1997).

전도형 우량계에 히터를 붙여 강설을 관측하는 경우 표면 온도가 기온보다 상대적으로 높고, 바람에 의한 증발 효과로 많은 강설이 증발하여 관측에 오차가 발생할 수 있다. 적설판이나 초음파 적설계의 경우에는 강설의 깊이만을 측정하여 정확한 적설상당수량을 알 수 없는 문제점이 있게 된다.

특히 최근 폭설에 의한 도로망의 피해와 같은 강설 피해가 빈번한 상황에서 정밀한 강설량의 관측은 예보에 꼭 필요하며 이에 대한 연구가 진행되고 있다(Kwon *et al.*, 2006). 신적설에 대한 정확한 정보는 기상위성이나, 레이더를 이용한 강설예보에 중요한 정보가 될 수 있다.

본 연구에서는 기존의 강설관측에 있어 문제점으로

지적되고 있는 신적설 관측의 정확도와 적설상당수량을 정확하게 측정 할 수 있는 적설 관측 장비를 개발하는 것이 본 연구의 목표이다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기존의 측정 방법

적설관측 장비 개발에 있어 우선적으로 필요한 부분은 기존의 장비에 대한 관측 특성을 알아보는 것으로, 적설 관측 방법에는 깊이의 단위로 측정하는 방법과 적설의 무게를 측정하는 방법이 있다. 최근에는 무게 측정을 통한 적설상당수량을 관측하는 쪽으로 연구와 개발이 진행 되고 있으며, 그 관측 방법에 따른 측정 원리를 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1. 적설판에 의한 방법

50 cm×50 cm 흰색 목재의 적설판에 쌓여 있는 적설의 양을 적설판에 붙어 있는 설척을 관측자가 눈으로 읽는 것으로 기상청에서 가장 많이 사용하고 있는 관측방법이다. 정확한 측정이 가능하나, 자동관측이 되지 않는 것이 단점으로 지적되고 있다.

2.1.2. 초음파에 의한 측정방법

초음파가 발사되는 지점을 기준으로 적설면까지의 거리를 측정하는 원리로 음파의 전달속도를 이용하여 측정하는 방법이다. 소리의 전달속도는 온도에 비례하고, 바람에 의해서 교란을 받을 수 있다. 설면 표면에서의 반사와 일부는 설면 내부에서 반사가 되는 경우가 있어 정확한 설면 측정에 오차가 발생하는 경우도 있다.

2.1.3. 레이저에 의한 측정방법

레이저에 의한 측정 방법은 레이저광이 적설면에 반사되어 돌아오는 반사파를 측정하는 원리이다. 광속은 주변 환경에 따라 속도의 변화가 없고, 바람에 의한 영향이 전혀 없어 비교적 정확한 측정이 가능한 방법이며, 최근에 그 설치 장소가 점차 증가하고 있는 추세이다. 이 방법은 적설 깊이 측정은 가능하나 적설상당수량 측정은 되지는 않는다.

2.1.4. 중량에 의한 측정방법

로드셀을 이용하여 부동액이 담은 그릇의 중량을 측

정하는 원리로 정확한 적설량을 측정할 수 있는 구조를 하고 있으며, 고체인 적설을 액체화하여 관측을 하는 경우와 부동액 없이 직접 측정하는 경우가 있다. 액체화하여 관측하는 경우에는 부동액을 사용하여 관측에 이용하고 있다. 이 구조의 경우 강설량이 늘어나면 로드셀에 부하가 증가하는 구조를 가지고 있어, 과부하가 되지 않게 설계를 해야 하는 단점이 있다. 그러나 이 방법은 적설상당수량 관측이 가능하다.

2.2. 측정 범위 및 방법

적설 장비 개발에 있어 고려해야 할 점은 적설량 관측 범위이다. 최근 5년간 우리나라 최심적설은 2003년 3월 10일 대관령에서 148.9 cm를 기록 하였으며, 대부분 지역의 경우에는 100 cm 이하였다. 강설의 평균밀도는 상부가 0.1-0.13 하부가 0.3-0.5 정도로 차이가 있어 정확한 값에 대해 추정은 어렵지만 상하부의 전체적인 평균값으로 밀도를 0.2 정도로 추정하면 적설 150 cm에 30 cm 즉 300 mm 강수량으로 환산이 된다.

따라서 본 연구에서는 강설을 깊이로 측정하는 방법을 사용하여 300 mm 범위의 수위 변화를 측정할 수 있는 센서를 설계하고, 야외에서는 온도에 따른 센서의 특성조사와 실내에서는 검정을 하였다.

강수량 환산 관측에는 Lee(1999)에 의한 수위 측정

Table 1. Specification of loadcell

Rated Load	1 kgf
Rated Output	1.0000 mV/V \pm 10%
Input Resistance	400 \pm 20 Ω
Output Resistance	350 \pm 3.5 Ω
Recommended Excitation	10 V
Max. Excitation	15 V
Zero Balance	< 5.0%
Insulation Resistance	> 2000 M Ω
Cable	ϕ 5.4 mm, 10 m
Compensated Temp. Range	-10°C~40°C
Operating Temp. Range	-20°C~70°C
Thermal Zero Shift	< 0.014% R.O./10°C
Thermal Sense Shift	< 0.014% R.O./10°C
Non-Linearity	< 0.020% R.O.
Hysteresis	< 0.020% R.O.
Non-Repeatability	< 0.010% R.O.
Creep(30min)	< 0.020% R.O.
Safety Overload	< 150% R.L.

방법을 적용하였으며, 측정에는 장기간 안정성과 신뢰성이 있는 로드셀을 사용하였다.

2.3. 센서 특성

2.3.1. 로드셀의 규격

본 연구에는 사용한 로드셀은 한국 CAS사의 BCL-1L(SCA) 주문 사양의 모델로 그 특성은 Table 1과 같다. 케이블은 10 meter 길이의 4선식으로 제작하였다. 최대측정 중량은 1 kg이며, 온도 보상 범위는 -10°C~40°C이다. 동작 온도 범위는 -20°C~70°C 범위로 로드셀 부분에 대해서 외부 환경에 대해서 적절한 보호 장치를 한다면 적설 관측 장비로서의 사용에 문제가 없는 것으로 사료되었다. 그리고 온도 10°C 변화에 대한 영점 보상과 출력 감도 보상에서도 0.014%의 작은 값으로 강설량 센서 제작에 적합하다.

2.3.2. 로드셀의 특성

설계된 장비의 야외 관측 특성을 나타낸 것이 Fig. 1이다. 센서 신호의 기록에는 Campbell Sci 사의 CR10X datalogger를 사용하였다. Fig. 1의 경우에는 장비의 외부 표면에 대해 단일 처리를 하지 않아 주변 온도에 영향을 받을 수 있게 설치 한 것이다. 이때의 특징은 장비가 주변의 온도 변화의 영향을 받아 일변화의 변화 양상이 잘 나타나고 있었으며, 일변화 값의 크기는 약 0.3 mm 해당하였다. 6일간의 범위에서 creep 특성에 의한 것으로 약 0.2 mm에 해당하는 값이 되었다.

Fig. 2는 동일한 센서에 대해서 주변에서 센서로 유입되는 열에 대한 영향을 줄이기 위해 센서 표면을 야외용 은박 매트로 단일 처리를 한 것으로 일 변화의 값이 단일처리를 하기 전보다는 양호한 약 0.1

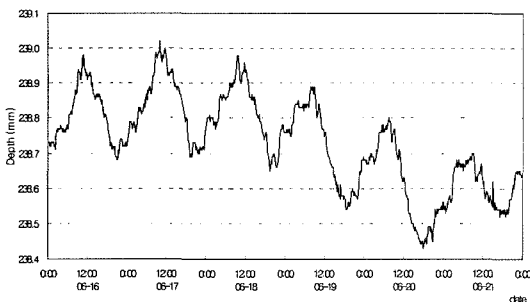


Fig. 1. Time series data of loadcell without environment protect.

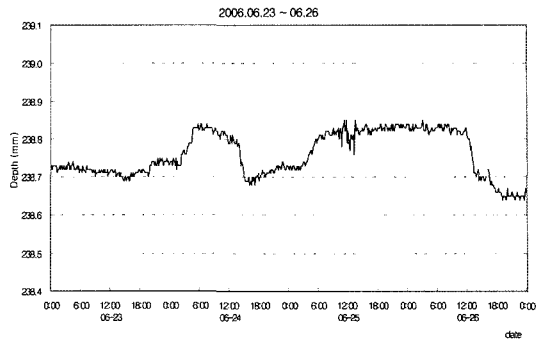


Fig. 2. Time series data of loadcell with environment protect.

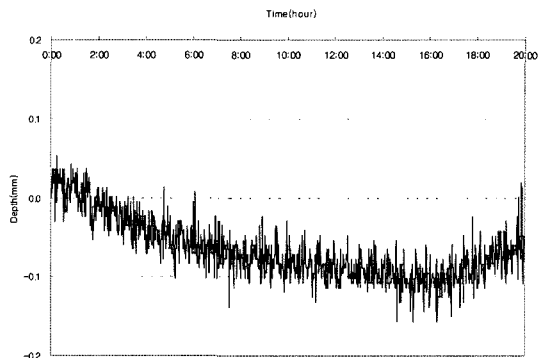


Fig. 3. Time series of depth difference at -20°C in the cold chamber.

mm 정도의 일변화 값을 나타내었다. 이 값은 관측에서 요구되는 0.1 mm의 관측 정도를 보장 할 수 있는 정확도로 적설 관측 장비에 사용될 센서의 성능을 충분히 가진 것으로 볼 수 있다.

Fig. 3은 장비가 사용될 야외 환경에 대한 테스트를 위해 -20°C 조건에서 장비를 넣어서 24시간이 지난 후 그 다음 20시간 동안의 자료 나타낸 것이다. 이렇게 한 것은 장비가 상온에서 저온의 환경에 바로 노출이 되면 장비 내부에 있는 로드셀 센서 body가 온도 평형을 이루지 못해 출력값의 변동이 있게 된다. 이때 불안정 상태의 자료가 발생할 수 있어, 이를 제거하기 위해 24시간이 지난 후의 자료를 사용하였다. 강수량 환산 값으로 약 0.1 mm 정도만의 변화가 있어 -20°C의 환경에서도 관측에는 문제가 없는 것을 알 수 있었다. Fig. 3에서 출력 값이 매끄럽지 못한 것은 냉동장치의 진동이 장비 내부에 있는 로드셀로 전달되어 충격에 의해 발생한 진동 잡음으로 야외 환경 설치 시에는 진동이 없어 이러한 잡음은 사라질 것이다.

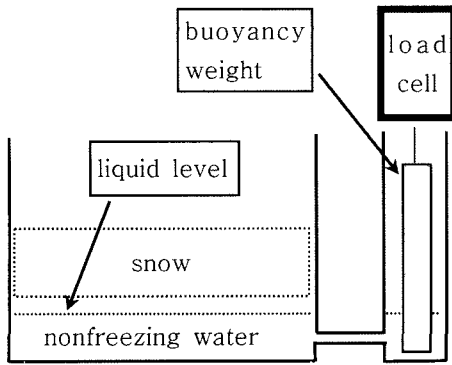


Fig. 4. Diagram of new snow gauge.

2.3.3. 강설량계의 구조

강설량계의 구조는 Fig. 4에 나타내었다. 두개의 원통을 호스로 연결한 것으로 왼쪽은 수수구에 해당 부분이고 오른쪽은 수위변화를 측정하는 부분이다. 수위 변화의 측정은 부력체가 받는 부력의 양에 따른 무게 변화를 로드셀에서 측정하는 방식을 사용하였다(Lee and Park, 1999). 이 방법은 수위가 상승할 경우에도 파부하가 발생하지 않으며, 적은 용량의 로드셀로 수위 변화를 정확하게 측정할 수 있는 방법이다. 또한 부력은 물체의 무게와 비례하므로 부동액 위에 쌓이는 강설의 무게에 따라 부동액의 수위는 정확하게 비례하여 상승하게 되므로 정확하게 강설을 측정할 수 있는 구조와 원리가 된다.

기존의 우설량계는 깔때기 모양의 수수구를 가지고 있으나, 본 연구에서 고안한 장비는 깔때기가 없는 완전 개방구조로 부동액에 적설이 녹아서 상승하는 수위 변화로부터 적설량을 강수량 환산으로 관측할 수 있게 한 구조이다. 수위는 물체의 무게와 비례하므로 부동액 위에 쌓이는 눈의 무게에 따라 부동액의 수위는 정확하게 비례하여 상승하게 되므로 강설을 정확하게 측정할 수 있는 구조가 된다. 그리고 수수구에 깔때기가 없기 때문이기에 기존의 강수량계에 부착되어 있는 히터와 같이 강설을 녹이는 부분이 필요하지 않아 전기 공급이 필요하지 않으며, 수수구의 크기에 제한이 없기 때문에 관측의 정확도를 높일 수 있는 장점이 있다. 그리고 수수구와 수위 측정부의 분리가 가능하여 환경에 영향을 받을 수 있는 센서 부분에 대해서 보호 장치를 할 수 있는 구조로, 정확한 관측을 지원할 수 있다. 적설량이 많은 지역의 경우 수수구 측면의 높이와 부력추의 길이를 신장하면 측정 범위를

넓힐 수 있는 구조를 하고 있어 다양한 측정 범위를 가진 관측 장비를 설계 제작할 수 있는 장점이 있다.

III. 결과 및 고찰

제작된 센서에 대해서 정확한 강수량 관측값으로 검정을 하기 위해서 직경 120 cm 깊이 25 cm 유리수조에 적설 관측용 수위 센서를 넣고 저울에 의한 중량 측정 방법으로 일정량의 물을 넣는 방법으로 우량계 검정에서 요구되는 100 mm 구간에 대해서 실시하였다(Fig. 5 참조). 검정시 수위변화의 표시는 로드셀 출력값 전용표시기(Druck사의 1010R)를 사용하였다. 사진의 우측에 흰색으로 보이는 부분이 로드셀 센서가 들어 있는 부분이며, 원통형 스텐통이 Fig. 4의 우측 수위 측정부에 해당한다. 사진의 후면에 있는 원통형

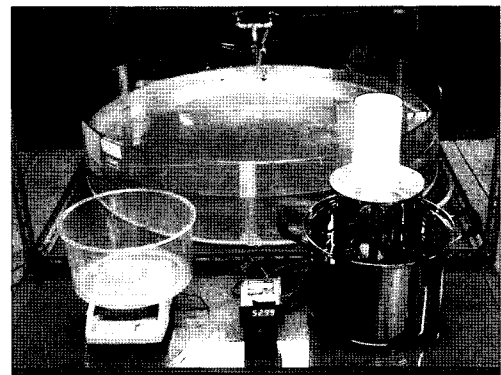


Fig. 5. Photo of calibration scene.

Table 2. The test data of instrument

True Depth (mm)	Meas. Depth (mm)	Diff. (mm)
0	0.00	0.00
10	9.99	0.01
20	19.98	0.02
30	29.98	0.02
40	39.96	0.04
50	49.95	0.05
60	60.01	-0.01
70	70.03	-0.03
80	80.00	0.00
90	89.97	0.03
100	99.96	0.04

유리는 수수구에 해당하는 것으로(Fig. 4의 좌측 부분) 야외 측정시 부동액으로 채워져 관측을 하게 되는 것으로 본 연구에서는 우선 물을 사용하여 검정을 하였다. 100 mm 구간에 대해서 강설시 수위 상승과 동일한 효과를 내기 위해 10 mm씩 수위를 상승시키면서 실시하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 최대 오차는 50 mm 일때 0.05 mm로 0.1%의 오차가 나타났다. 이후 100 mm까지 측정에서 최대 오차는 0.04 mm에 불과하였다. 그리고 측정 분해능은 0.01 mm를 기록하여 아주 작은 강설에 대해서도 측정이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 측정값은 전도형 우설량계의 검정 오차인 5% 보다 적게 나타났다. 본 연구의 수위 측정원리의 관측장비는 야외에서 적설상당수량으로 0.1 mm 이하 분해능의 관측이 충분히 가능함을 보였다.

적 요

본 연구에서 고안 설계한 적설 관측용 수위 센서는 야외에서 일 변화량은 0.1 mm 내외의 적은 양의 오차를 기록하여 강설관측 센서로 적합한 것으로 판명되었으며, 실내 검정 결과 기상청에서 요구하고 100 mm의 강수 검정범위에 대해서 1% 이하의 신뢰성 있는 검정결과를 나타내어 강설량 관측에 적합한 것으로 판명되었다. 또한 -20°C의 테스트에서도 0.1 mm에 해당하는 아주 작은 변화 값을 타나내어 겨울철 야외 환경에도 적합한 것으로 판명되었다. 갈때기가 없으며 수수구의 크기에 제한을 받지 않는 새로운 강수 관측 구조는 적은 양의 강설관측이 가능하여 겨울철 예보에 필요한 레이다 영상과 위성 영상에 의한 강설 연구와 해석에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 적설상당수량 관측이 가능하여 수자원 분야의 연구에도 많은

도움이 될 수 있다.

부동액을 사용하므로 고체 상태의 강설에 대해서 직접 관측이 가능하여 강설 관측에 있어 문제점으로 지적이 되고 있는 신적설 관측의 어려움을 해결할 수 있으며, 추후 야외 관측용 모델을 제작하여 야외 환경에서 여타 장비들과 비교 실험을 통해서 성능을 검정하고 개선할 계획이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3102)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Eriksson, M., S. Halldin, E. Kellner, and J. Seibert, 1997: New approach to the measurement of interception evaporation. *American Meteorological Society* **14**, 1023-1035.
- Kwon, T. Y., D. J., Ham, J. S., Lee, S. H., Kim, K. H., Cho, J. E., Kim, J. B., Jee, D. R., Kim, M. K., Choi, N. W., Kim, and J. Y. Nam Gung, 2006: Development of Yeongdong heavy snowfall forecast supporting system. *Atmosphere* **16**, 247-257. (In Korean with English abstract)
- Lee, B. Y., 1999: A Study on the development of raingage with a resolution of 0.1 mm. *Korean Journal of Environmental Sciences Society* **8**, 419-422. (In Korean with English abstract)
- Lee, B. Y., and B. Y. Park, 1999: Development of high precision underground water level meter using a buoyant rod load cell technique. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **1**, 36-40. (In Korean with English abstract)