

중량식 강설량계 개발과 관측

이 부 용

대구가톨릭대학교 환경과학과

(2007년 12월 17일 접수; 2008년 12월 2일 수정; 2009년 1월 23일 채택)

Development of Weight Type Snowfall Gauge and Observation

Bu-Yong Lee

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

(Manuscript received 17 December, 2007; revised 2 December, 2008; accepted 23 January, 2009)

Abstract

We need water equivalent unit data of snowfall for the purpose of forecast and hydrology related research area. This study developed new method of automatic recording snowfall as weight unit. The instrument designed for measuring weight of snowfall by stain-gauge loadcell. Field test of instrument carried out at Daegwallyeong Obs. Station from 22 Jan. to 22 Feb. 2007. During observation period there is 15.3 cm snow depth and 16.0 mm of accumulated water equivalent depth at Daegwallyeong Obs. Station on 13 to 14 Feb. 2007. But the instrument of this study recorded 22.1 mm of water equivalent depth. It is not easy to explain difference between Daegwallyeong and this study. Because this study is only one case of comparison of snow measurement and there is very little amount of snow observation research. The density of snowfall calculated from 0.09 to 0.15 g/cm³ from the observation data of 13 to 14 Feb. 2007. There is high relation between radar echo and snowfall amount measured by weight unit. It can supports forecast of snowfall and development of numerical model for forecast.

Key Words : Observation, Precipitation, Snow, Snow gauge, Snow density

1. 서 론

수자원은 강수현상으로 주어지며, 그 강수량 관측 방법으로 액체의 경우에는 우량계로 고체의 경우에는 우설량계 또는 적설계로 관측을 하고 있다. 우리나라에서는 1441년 세종대왕 때 측우기의 발명으로 강우의 객관적 관측이 이루어졌다. 그때 제작된 측우기는 지금의 우량계와는 높이와 직경에 있어 다소 차이가 있으나, 그 원리나 구조에 있어서는

지금의 우량계, 우설량계와 같은 구조를 가지고 있어 강수량을 객관적으로 관측할 수 있었다는 점에 있어 매우 큰 의의를 가지고 있다.

강설 관측에는 적설판, 초음파 적설계를 이용하여 관측을 하고 있으나, 최근에는 기온의 영향을 거의 받지 않는 레이저식 적설계의 설치 운영이 증가하고 있다. 일반적인 적설 관측 방법으로는 강설에 대해서 적설상당수량을 알 수 없어 우량 관측과 같은 방법인 전도형 우량계에 히터를 붙여 강설을 녹여 관측을 하고 있다. 중량 측정 방법을 사용하여 산림지역의 차단 강설량 관측에 대한 연구¹⁾는 있으나, 지면에 떨어지는 강설에 대해서는 중량 측정의

Corresponding Author : Bu-Yong Lee, Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Kyeongbuk 712-702, Korea
Phone: +82-53-850-3249
E-mail: bylee@cu.ac.kr

어려움으로 인해 진행이 되지 못하고 있다.

현재 우리나라에서 관측하고 있는 방법인 전도형 우량계에 히터를 붙여 강설에 대해 적설상당수량을 관측하는 경우 기기 표면 온도가 기온보다 상대적으로 높고, 바람의 효과로 인해 많은 강설이 증발하여 관측 오차를 발생할 수 있다. 적설판, 초음파 적설계, 레이저식 적설계의 경우엔 깊이만을 측정하여 다양한 밀도를 가지는 강설에서는 정확한 적설상당수량을 알 수 없는 단점이 있게 된다.

최근 폭설에 의한 교통과 여러 사회 분야에서 다양한 피해가 발생하기에 폭설에 대한 정확한 관측이 필수적이며 이에 관한 연구도 진행되고 있다²⁾. 적설상당수량 관측은 정량적인 강설량 예보에 있어서 가장 기초적인 자료이나 우리나라에서는 수동 관측되는 우설량계와 자동으로는 히타 부착 우량계만이 중량 정보를 제공할 수 있다. 본 연구는 적설관측에 기초가 되는 중량식 적설량계를 개발하고, 기존 강설관측에 있어 문제점으로 지적되고 있는 적설 관측의 정확도 향상과 적설상당수량을 정확하게 측정할 수 있는 중량식 적설 관측 장비를 제작하여 야외에서 관측을 통해서 장비의 성능과 관측 특성을 조사하여 레이더의 운영에 필요한 지상의 기초 관측 자료 지원과 아울러 도로관리 분야 등에 기여할 수 있는 중량식 적설계 개발의 기초 자료를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 자료 및 방법

2.1. 기존의 관측 방법

장비의 개발에 있어 기존의 장비에 대한 관측 특성을 살펴보면, 적설 관측 방법에는 깊이의 단위로 측정하는 방법과 적설의 무게를 측정하는 방법이 있다. 최근에는 무게 측정을 통한 적설상당수량을 관측하는 방향의 연구 및 개발이 진행되고 있다. 이에 적설 관측 방법에 따른 측정 원리들을 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1. 적설판에 의한 방법

관측자의 목측에 의해 행하여지는 것으로, 가로 및 세로 각각 50 cm × 50 cm 흰색의 목재 적설판에 쌓여 있는 적설을 설척으로 읽는 것이다. 현재 기상청에서 표준 기상 관측 방법으로 사용하고 있다. 정확한 측정이 가능하나, 관측자가 매시간 목측으로

관측을 해야 하는 것으로 자동 관측이 되지 않은 단점을 가지고 있다.

2.1.2. 초음파에 의한 측정방법

초음파 발신기에서 기준이 되는 적설면까지의 거리를 측정하는 원리로 공기 중 음파의 전달속도를 이용, 시간을 측정하여 적설 깊이를 계산하는 방법이다. 음파의 전달속도는 대기의 온도 분포와 상관이 있으며, 수직적인 바람에 의해서 교란을 받을 수 있다. 설면은 아주 밀도가 작은 형상을 하고 있어서 일부는 표면에서, 그리고 다른 일부는 설면 내부에서 반사가 되어 설면까지 거리 측정에 오차를 발생시키기도 한다.

2.1.3. 레이저에 의한 측정방법

레이저광이 적설면에 입사되어 반사되어 돌아오는 반사파의 시간을 측정하여 적설의 깊이를 계산하는 원리이다. 빛의 속도는 주변 환경에 영향이 없어 비교적 정확한 측정이 가능한 방법이다. 최근에 그 설치 관측소가 점차 증가하고 있는 추세이나 이 방법으로는 적설상당수량 측정은 되지 않는다.

2.1.4. 카메라에 의한 측정방법

카메라를 이용하여 적설이 쌓여 있는 깊이까지의 설척 눈금을 카메라로 측정하는 방식으로 강설에 의해 설척의 눈금이 가려진 경우 정확한 적설량을 파악할 수 없는 문제점을 가지고 있으며, 폭설시 영상에 노이즈 현상이 발생하여 관측할 수 없는 경우도 있다.

2.1.5. 중량에 의한 측정방법

부동액을 담은 그릇의 중량을 로드셀로 무게를 측정, 양으로 환산하는 방법으로 정확한 강설량을 측정할 수 있는 구조를 하고 있다. 이 방법의 경우 부동액의 무게에 강설의 무게가 더해져 로드셀에 부하가 가해지는 구조를 가지고 있어, 측정 범위가 좁아 과부하에 대한 단점이 있다. 그리고 다른 방법으로 직경 4 m 크기의 원형 중량식 자기설량계³⁾가 있으나 널리 이용되지 못하였다. 그러나 이들 방법들은 적설상당수량 관측이 가능한 방법이다.

2.1.6. 수위에 의한 측정법

부동액이 담은 그릇에 강설이 쌓일 때 강설이 부동액에 녹아 상승하는 수위를 측정하는 방법으로 수위 변화에 따른 부력의 변화량을 측정하여 강설

량으로 환산하는 측정 방법이다^{4,5)}. 이 방법의 경우 강설의 양이 증가함에 따라 부동액이 희석되어 결빙이 되는 단점이 있으며, 적설상당수량 관측이 가능하다.

2.2. 측정 범위 및 방법

적설 장비 개발에 있어 고려해야 할 점은 적설량 관측 범위이다. 최근 5년 간 우리나라최심적설은 2003년 3월 10일 대관령(D.K.R.)에서 148.9 cm를 기록하였으며, 대부분 지역의 경우에는 100 cm 이하였다. 적설의 평균밀도⁶⁾는 일반적으로 상부가 0.1 ~ 0.13, 하부는 압축을 받아 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.

이 계산 결과에 의해 본 연구에서는 강설을 무게로 측정하는 방법으로 근본적인 구조는 기존의 저울과 같은 구조이며, 적설량을 적설상당수량으로 환산할 수 있도록 가로 및 세로 각각 520 mm의 스텐 받침판 아래에 중량을 측정할 수 있는 로드셀을 설치하였으며, 로드셀에 가해진 적설 중량은 아날로그 신호로 변환되어 datalogger에 저장되게 된다. 적설판의 최대 높이는 115 mm로 야외에 설치하기에 적합한 높이이다. 최대 적설상당 수량으로 환산할 때 300 mm까지 측정할 수 있게 하였다. 적설 내부에서 적설 중량을 측정하는 구조로 장비가 적설로 덮인 경우에는 장비의 온도 변화가 거의 없어 상태에서 안정적으로 관측을 할 수 있다. 센서에서 출력되는 아날로그 신호는 Campbell Sci 사의 CR10 datalogger를 이용하여 관측하였다.

2.3. 센서 특성

본 연구에는 사용한 로드셀은 한국의 카스(CAS)사 BC-60 모델로 그 특성은 Table 1과 같다. 측정 중량은 60 kg이며(safety overload 감안 시 최대 90 kg) 온도 보상 범위는 -10 ~ 40°C, 그리고 동작 온도 범위는 -20 ~ 70°C이다. 따라서 적합한 장치를 이용하여 외부환경에 의한 로드셀 부분의 영향을 줄일 수 있는 것으로 판단, 적설 관측 장비로서의 사용에 문제가 없는 것으로 사료된다. 그리고 온도 10°C 변화에 대한 영점 보상과 출력 감도 보상에서도

Table 1. Specification of loadcell

Item	Range
Rated Load	60 kgf
Input Resistance	420 ± 20 Ω
Output Resistance	350 ± 3.5 Ω
Recommended Excitation	10 Volt
Max. Excitation	15 Volt
Compensated Temp. Range	-10°C ~ 40°C
Operating Temp. Range	-20°C ~ 70°C
Combined Error	0.03 %
Repeatability	0.01 %
Creep(30 minute)	<0.030 % R.O.
Safety Overload	< 150 % R.L.

0.028과 0.015%의 작은 값으로 강설량 센서 제작에 적합한 것으로 사료되었다.

2.4. 관측

2.4.1. 관측 장소

본 연구의 관측지점은 강원도 평창군 도암면 횡계리 279-10의 대관령기상대(북위: 37° 40' 37.75", 동경: 128° 43' 05.90")로 평창군, 홍천군, 강릉시에 걸쳐 있는 강원중부산간과 강원남도내륙에서 평창군에 속하는 지역을 관찰하고 있는 곳으로(Fig. 1 참조) 해발고도는 772.4 m인 우리나라에서 가장 높은 기상관측소이다. 동절기에는 북동기류의 영향으로 대설현상이 잦은 대관령 기상관측소를 본 연구



Fig. 1. Observation site.

의 대상지역으로 선정하였다.

2.4.2. 관측 기간

관측은 대관령 기상대에서 2007년 1월 22일부터 2월 22일까지 1달 간 지속되었다. 본 연구에서는 기존의 적설이 없고 비교적 짧은 시간에 많은 강설 현상이 나타난 Fig. 2와 같이 남부지방에 저기압이 지나가는 기압배치를 가진 2007년 2월 13~14일의 관측 자료를 포함하는 2월 12일 00 LST에서 2월 19일 00 LST까지를 분석하였다. 특히 강설 기간에는 지상 관측 자료와 레이더 관측 자료를 같이 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 대관령 기상대 노장에 장비를 설치하여 적설을 관측하고 있는 모습을 나타낸 것으로 그림의 중앙부와 우측에 눈 속에 있는 사각 판이 본 연구에서 개발된 장비인 중량식 적설계이다(이하 BYL : Bu-Yong Lee의 고안). 사진의 좌측은 본 연구의 관측 기간 중 초음파 적설계의 설치 공사로 인하여 노장의 일부가 훼손된 모습이 보이고 있다. Fig. 4는 2월 12일 00 LST에서 2월 19일 00 LST까지 연속 관측된 7일간의 자료를 나타내었다. 실선으로 나타낸 BYL 자료는 적설을 강수량 단위로 환산한 값(mm)로 나타내었으며, ▲의 표시로 나타낸 ACC (Accumulated Precipitation)의 값은 대관령 기상대에서 우설량계로 관측한 값(mm)로 나타내었다. 마지막으로 x로 표시된 관측 값은 관측자에 의해 관측된



Fig. 3. Photograph of field installation.

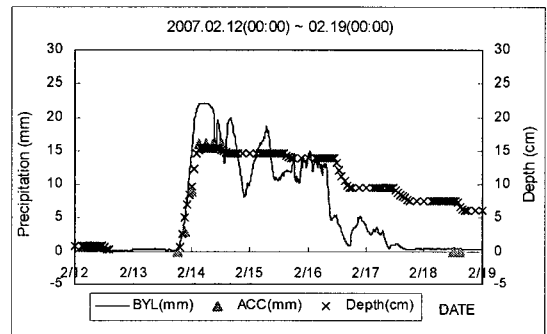


Fig. 4. Observation data of during 12 Feb. to 19 Feb. 2008.

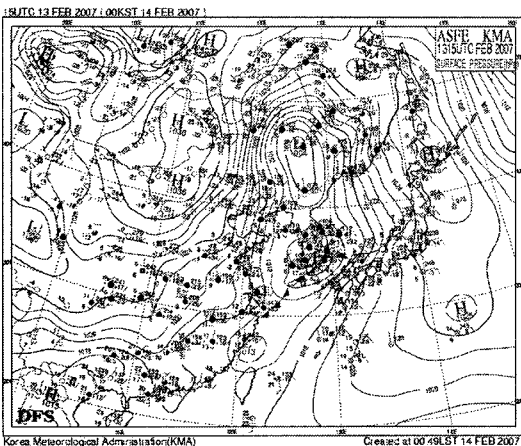


Fig. 2. Surface Chart for 00:49 LST 13 FEB. 2007.

적설 심도의 값(cm)로 나타내었다. 본 관측 기간 중에는 적설이 지면에서 완전히 소멸된 후 적설이 쌓였다가 소멸되는 전 과정을 볼 수 있었다. 특징으로는 강설이 쌓여지는 동안에는 비교적 관측 자료가 안정적인 형태의 누적곡선을 나타내었다. 그리고 ACC와 BYL의 두 장비의 관측 자료에서는 다소의 차이가 있었는데, 이는 관측 방법이 서로 다른 결과로 추정된다. 강설이 끝난 후부터는 관측 자료가 불안정한 형태로 나타났다. 이유는 강설 초기 적설은 아주 부드러운 유체와 같은 성질을 가져 균일한 압력으로 힘이 작용하게 되나 일단 온도가 영하로 떨어지게 되면 강설은 고체로 성질이 변화되어 적설 중량 측정 면과의 접촉이 초기강설과 같이 정확하게 이루어지지 않기 때문에 이러한 측정오차가 발생한 것으로 추정된다.

적설의 시작은 Table 2에 나타난 바와 같이 13일

Table 2. Observation data of D.K.R and BYL(18 LST 13 Feb. to 05 LST 14 Feb. 2007)

Time	Acc. Precip. (mm)	BYL (mm)	Snow Depth (cm)	Density D.K.R. (g/cm ³)	Density BYL (g/cm ³)
18:00	0.0	0.2	0.0	-	-
19:00		0.8	0.6		0.13
20:00		2.5	2.6		0.09
21:00	3.0	4.4	5.0	0.06	0.09
22:00		7.0	7.0		0.10
23:00		11.6	8.5		0.14
24:00	9.0	15.0	9.7	0.09	0.15
01:00		19.1	12.4		0.15
02:00		21.1	14.7		0.14
03:00	16.0	21.9	15.2	0.11	0.14
04:00		22.1	15.3		0.14
05:00		22.1	15.3		0.14

18 LST부터 시작되었으며, 19 LST까지 0.6 cm의 아주 적은 적설량으로부터 시작되었으며, 14일 04 LST에 그쳤다. 이 시간 동안 우설량계에 의한 적설은 16 mm, BYL에 의해서는 22.1 mm, 그리고 적설심도 값은 15.3 cm를 각각 기록하였다.

관측일 중 적설이 가장 많았던, 13일 20 LST에서 14일 01 LST까지의 기상레이더 영상을 Fig. 5의 a에서 d까지 4 장으로 나타내었다. 이때 대관령 기상관측소의 24 시간 지상기상 관측 자료도 Fig. 6~8에 각각 나타내었다.

Fig. 6의 기온은 영하에서 영상으로 상승하였다가 강설이 끝난 14일 09 LST에는 영하로 기온이 급격히 하강하였다. 상대습도 또한 90%이상 지속되다가 기온과 같은 시각인 09 LST부터 급격히 낮아지

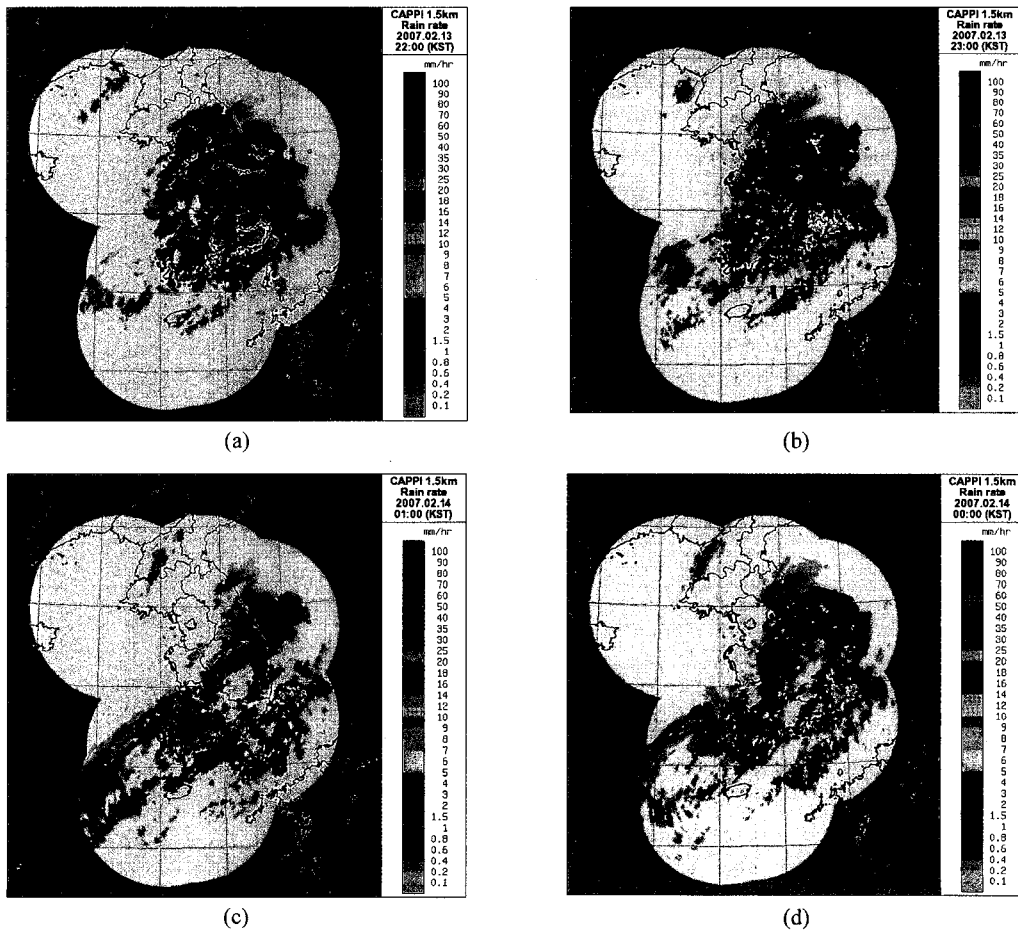


Fig. 5. Radar image (22 LST 13 Feb. to 01 LST 14 Feb. 2007).

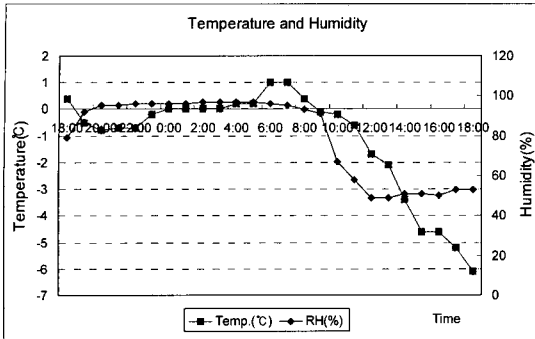


Fig. 6. Time series of temperature and humidity of D.K.R. (18 LST 13 Feb. to 18 LST 14 Feb. 2007).

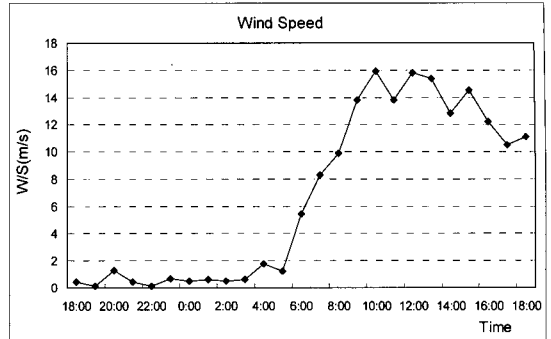


Fig. 7. Time series of wind speed of D.K.R. (18 LST 13 Feb. to 18 LST 14 Feb. 2007).

는 경향을 나타내었다. Fig. 7의 바람은 강설이 있는 동안에는 풍속 1~2 m/s의 북풍이 지속되었다가 강설이 끝난 뒤에는 풍속이 16 m/s까지 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 8의 풍향은 강설 중에는 북풍이 우세하다가 강설이 끝난 뒤에는 서풍으로 풍향이 변화되어 나타났다. 이것으로부터 본 연구 기간의 강설은 바람이 약하고 안정된 기상 상태에서 내렸으며 그 후 기상 상태는 급변하였음을 알 수 있었다.

Table 2의 본 연구 BYL 관측 자료를 보면 13일 21 LST에서 24 LST 사이에는 10.6 mm를 기록하여 시간당 3.5 mm의 강수량에 해당하는 강설이 있었고, 대관령기상대에서 관측된 강설량(Acc. Rain)은 6.0 mm로 시간당 2.0 mm를 기록하였다. 그리고 Fig. 5의 a~d 에서 제시한 바와 같이 22 LST부터 01 LST 사이에 대관령 부근으로 강한 예고가 존재하였음을 알 수 있다. 동시에 대관령기상대 또한 5.0 cm에서 9.7 cm로 4.7 cm가 증가하였다. 즉 이 시간 동안에 대관령 부근에서는 시간당 1~4 mm/h 정도의 강설 강도를 가지는 예고가 상공에 있음을 알 수 있다. 적설관측은 그 위치가 조금만 이동되어도 관측 자료에 많은 차이가 나타나는 경우가 있어, 한 지점의 값만으로는 비교하기에 다소 무리가 있지만 본 연구의 관측 장비에서 관측된 시간당 적설자료와 비교하여 연구할 가치가 있는 것으로 사료된다. Table 2의 13일 24 LST에서 14일 03 LST사이 자료에서 대관령기상대 관측 자료는 7.0 mm를 기록하였으며, 본 연구는 6.9 mm를 기록하여 거의 같은 값을 나타내었다. 앞의 3시간과 비교 할 때 두 관측자료

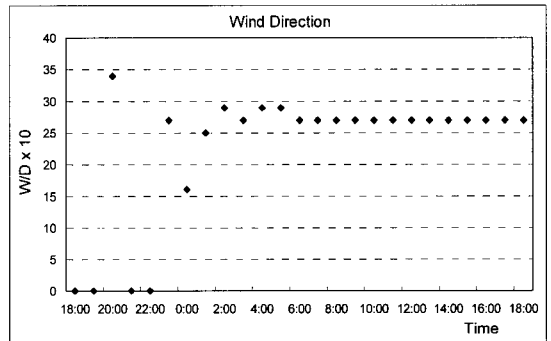


Fig. 8. Time series of wind direction of D.K.R. (18 LST 13 Feb. to 18 LST 14 Feb. 2007).

간의 차이의 해석은 계속 진행될 연구에 의해서 밝혀 질 것으로 사료된다.

본 연구에서 가장 중요한 분석 중의 하나는 적설에 대한 밀도로 적설량에 의한 단위 면적당 질량과 적설심도에 의한 깊이로 계산 되는 물리량이다. 질량에 부피로 나누면 그 물질의 밀도를 알 수가 있게 되는 계산 방법이다. 이러한 과정으로 Table 2의 21, 24, 03 LST의 관측 자료를 대관령 기상대와 본 연구에서 관측 결과를 이용하여 각각 밀도를 계산한 결과 21 LST의 경우 대관령 기상대 관측 결과는 0.06 g/cm³의 적설 밀도를 나타낸 반면, 본 연구에서는 0.09 g/cm³의 적설 밀도를 나타내었다. 동시에 24 LST 및 03 LST 결과도 Table 2에 나타낸 바와 같이 대관령기상대 관측결과 및 본 연구의 관측 결과는 각각 0.09, 0.15 g/cm³와 0.11 g/cm³, 본 연구 0.14 g/cm³로 나타났다. 이는 현재 우리가 일반적으로 알고 있는 눈의 평균밀도 자료⁶⁾(상부가 0.1~0.13

g/cm^3 하부는 압축을 받아 $0.3 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ 정도)와 비교하면 어느 값이 더 신뢰성이 있는 지는 현장에서 직접 관측한 밀도 자료 없이는 비교가 어렵다. 눈의 밀도는 다양한 연구의 기초 자료로 활용할 수 있는 중요한 물리적인 요소이다. 본 연구에서 개발한 방법인 중량측정을 통한 적설상당 수량관측과 이를 통한 적설 밀도 계산은 자동으로 원활하게 산출될 수 있으며, 레이더 에코 자료와도 비교적 잘 일치하는 결과를 얻어 레이더 에코 자료의 검정과 도로 관리 분야 등에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

비교적 연구가 활발하지 못한 적설 관측 분야에 서 중량 측정 장비를 설계 제작하여 야외에서 관측한 결과 관측자에 의해 관측된 우설량과 3시간 구간으로 2번에 걸쳐 비교 관측한 결과 2월 13일 21 LST에서 00 LST의 자료에서는 다소의 차이가 있었으나, 2월 14일 00 LST에서 03 LST까지의 구간에서는 7 mm 강수량에 0.1 mm 만의 오차를 기록하여 관측자에 의한 우설량 관측과 본 연구에서 개발된 장비에 의한 관측의 가능성이 있다.

중량 값인 적설상당수량 관측 값과 레이더 에코 자료와 비교해 본 결과 비교적 잘 일치하는 의미 있는 결과가 도출되었다. 이에 대한 연구는 처음 시작되는 연구로 한계 지점의 관측 자료만으로 레이더 에코 자료와 비교하기에는 다소 무리가 있으나 충분히 연구할 가치가 있는 것으로 판단되었다.

강설 시작에서부터 강설이 그칠 때 까지는 적설 중량을 정확하게 측정을 하나 기온이 영하로 떨어져 적설이 얼음으로 변화하는 경우에는 측정에 불규칙한 오차가 발생하여 추후 연구에서 이에 대한

문제점을 개선하고자 한다.

본 연구에서 관측에 의해 산출된 적설 밀도 값은 시간에 따라서 일부 변화가 있었지만 대체로 0.09에서 0.15 g/cm^3 의 값을 나타내었으며, 적설이 그쳤을 때 최종 적설밀도 0.14 g/cm^3 로 기존의 자료에서 볼 수 있는 범위의 값인 상부 $0.1 \sim 0.13 \text{ g/cm}^3$ 하부 $0.3 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ 를 감안하면 충분한 타당성이 있다고 사료되며, 추후 지속적인 야외 관측과 관측자에 의한 우설량과 적설심도 관측과 강설시 현지 관측자의 수작업에 의한 적설의 밀도 관측을 병행할 필요성이 요구된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- 1) Eriksson M., Halldin S., Kellner E., Seibert J., 1997, New approach to the measurement of interception evaporation, American Meteor. Soc., 14, 1023-1035.
- 2) 권태영, 함동주, 이정순, 김삼희, 조구희, 김지연, 지준범, 김덕래, 최만규, 김남원, 남궁지연, 2006, 영동대설 예보지원시스템 개발, 대기, 16(2), 247-257.
- 3) 소선섭, 이천우, 김맹기, 2005, 기상관측법, 교문사, 239-240.
- 4) 이부용, 박병윤, 1999, 부력추를 이용한 지하수위 측정용 센서 개발, 한국농림기상학회지, 1(1), 36-40.
- 5) 이부용, 2006, 정밀 강설량계 개발을 위한 연구, 한국농림기상학회지, 8(4), 270-274.
- 6) 소선섭, 이천우, 김맹기, 2005, 기상관측법, 교문사, 244-245.