

측정 분해능이 0.1mm인 우량계의 개발에 관한 연구

이 부 용
대구효성가톨릭대학교 환경과학과
(1999년 6월 24일 접수)

A Study on the Development of Raingage with a Resolution of 0.1mm

Bu-Yong Lee

Dept. of Environmental Science, Catholic University of Taegu Hyosung, Kyungsan, 713-702, Korea
(Manuscript received 24 June, 1999)

A new method is developed to measure rainfall with high accuracy and resolution. The principle of new method is to detect a weight change of a buoyant weight according to a change in water level of raingage measured by the use of a strain-gage load cell. Field test of the method was carried out on 30 September 1998, when there was heavy rainfall with total amount of 189.60mm. The results are as follows:

- 1) In spite of heavy rainfall, this new method showed the total error of only 1.5% against the total amount of 189.60mm.
- 2) This new mechanism accomplished high accuracy and resolution at field test in heavy rainy day.
- 3) The present study provided a possibility to develop a new raingage with an 0.01mm in rainfall measurement.

Key word : rain, raingage, mechanism, water depth

1. 서 론

우량을 객관적으로 측정할 수 있었던 장비는 측우기로 1441년 세종대왕 때 발명되었다. 그리고 세계 최초로 이 장비를 이용하여 전국적인 관측 망을 구성하여 관측한 기록이 있다.¹⁾ 이 측우기는 현재 관측에 사용중인 우량계와는 직경과 높이에 있어 차이가 있다. 그러나 객관적인 방법으로 우량을 관측하였다는 것에 큰 의의가 있다. 오늘날까지 다양한 형태의 우량계가 개발되었다.^{2,3)} 그 중 0.5mm급의 전도형 우량계가 자동 및 현업관측용으로 가장 많이 사용되고 있다. 그 이유는 구조가 간단하며 비교적 강우량을 정확하게 측정할 수 있다는 것과 자동관측이 용이하다는 장점이 있기 때문이다. 이러한 고전적인 우량관측 기술과는 달리 원격 측정 기술의 하나인 기상레이다 측정 기술은 강우의 실시간 공간 분포를 알 수 있게 되었다. 그러나 미소량의 강우량을 실시간으로 측정할 수 있는 지상관측용 우량계가 없어 레이다 관측 자료의 실시간 활용에 많은 문제점이 있었다. 따라서 실시간 관측지원을 위해 최소한 측정 분해능 0.1mm급 우량계 개발의 필요성이 제기 되었다. 이웃 일본의 경우 이러한 필요성에 의해 0.1mm급 회전형 수정 우설량계를 개발하여 사용하고 있다.⁴⁾ 우리 나라에서도 기상 관측장비 국산화를 위한 개발에 연구를 시작하였으나, 지속되지 못하고 3개년만으로 마친 경우가 있었다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 이제까지 개발되지 못한 0.1mm이하의 분해능과 안정성을 가진 강우량 측정 메커니즘을 개발하여 이를 실내에서 검정을 하고, 검정한 메커니즘을 야외에서 원통형 우량계와 비교관측을 통해, 본 연구에서 개발한 메커니즘의 실용 가능성을 살펴보고자 한다.

2. 측정 결과 및 고찰

2.1. 강우량의 물리량

우량계는 원통형으로 되어있으며, 그 깔때기 내부 직경은 0.2m(20cm)로 단면적은 314cm²이다. 원통의 가장자리는 정확한 단면적을 계산할 수 있게 날카로운 edge형으로 되어있어 경계 면에 떨어지는 강우는 둘로 나누어 지도록 되어 있다. Table 1은 강우량에 따른 부피와 무게의 물리량을 표시하였다. 강우의 밀도를 1g/cm³로 가정하였을 때 강우량 100mm를 부피로 환산하면 3140cc가 되며, 무게로는 3140g이 된다. 그리고 0.1mm의 강우는 314g 또는 314cc가 된다. 따라서 0.1mm이하의 강우량을 측정할 경우 측정 분해능 중 부피 분해능이 314cc, 무게 분해능이 314g이하가 되어야만 가능하게 된다.

2.2. 기존의 측정방법

기존의 우량측정 방법은 크게 두 가지 원리로서, 사이편형 우량계와 같이 강우를 부피로 측정하는 방식과 전

Table 1. Weight and volume of water according to rainfall amount

Rainfall amount(mm)	Weight(g)	Volume(cc)
100	3140	3140
10	314	314
1	31.40	31.4
0.1	3.14	3.14
0.01	0.314	0.314

도형 우량계, 일본의 수정 우설량계와 같이 무게로써 우량을 측정하는 방식으로 나눌 수 있다. 사이편형 우량계는 20mm를 한 단위로 배수가 일어나며, 비교적 정확한 측정을 할 수 있는 반면 자동관측장비에 자료를 직접 기록할 수 없는 문제점이 있다. 전도형 우량계의 경우 0.5mm의 분해능으로 미세 강우량을 측정하기 어려우며, 수정 우설량계의 경우 0.1mm 강우량을 측정하는 수차형 메커니즘 전체 무게 변화를 측정해야 한다. 그리고 이 메커니즘은 강우량 20~30mm 마다 90° 씩 회전시켜 배수를 하는 복잡한 구조를 가지고 있다.

2.3. 새로운 측정 방법

기존의 우량 측정 방법은 부피와 무게의 변화로써 우량을 측정하는 방법을 하고 있다. 본 연구에서는 기존의 문제점을 개선하는 방안으로 부력에 의한 물체(이하: 부력추)의 무게 변화 원리를 응용하였다. 부력추는 직경 61mm, 길이 260mm 크기의 원통형이며, 그 소재는 나이트론이다. 물속에 잠겨 있는 부력추는 잠겨 있는 부피만큼의 부력을 받아 무게 감소가 일어나는 아르키메데스의 원리를 이용한 것으로 수위 변화에 따른 부력추 무게 변화를 수위로 환산하여 측정하는 방식을 이용하였다.^{8,9)} 그리고 그 부력추의 무게 변화를 측정하는 데는 신뢰성이 입증된 스트레인게이지식 로드셀을 이용하였다.¹⁰⁾ 본 연구에서 사용한 스트레인게이지식 로드셀은 자동관측 장비와 호환성이 있어 자동관측이 용이하게 이루어진다.

수위 변화에 따른 부력추 무게 변화량을 측정할 경우, 수면에 요동이 있으면 측정에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차를 최소화하기 위한 방법으로 수면파가 부력추에 직접 영향을 주지 않게 직경 101.6mm 스텐파이프를 설치하고 그 내부에 본 연구에서 개발된 우량 측정 메커니즘을 설치하였다. 오차를 줄이는 또 다른 방법으로 5초 동안 20개의 자료를 이동 평균하여 수위를 측정하였으며, 측정 도중 0.05mm이상의 강우량 값이 순간적으로 입력될 경우 오차로 인정하여 자료를 제거하는 방법을 사용하였다. 그러나 그 값이 연속적으로 입력될 경우에는 참값으로 처리하는 판단 논리를 적용하였다.

2.4. 실험실 검증

제작된 메커니즘은 배수 없이 1회 최대 250mm의 강우량을 측정 할 수 있게 제작하였다. 실험실에서 전 구간에 대한 검증은 못하고 0에서 9mm 구간에 대해서만

메커니즘을 검증하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. The values measured by new rain gage mechanism

No.	Method	True depth(mm)	Measured depth(mm)
1		0.00	0.00(0.00)
2		1.00	1.02(+0.02)
3		2.00	2.00(0.00)
4		3.00	3.03(+0.03)
5		4.00	4.00(0.00)
6		5.00	4.99(-0.01)
7		6.00	5.97(-0.03)
8		7.00	6.97(-0.03)
9		8.00	7.97(-0.03)
10		9.00	8.97(-0.03)

메커니즘의 검증에서 미소 강우량 변화를 직접 측정할 수 있는 방법이 없어서 간접적인 방법으로 수조에서 매회 수위 변동량을 1mm씩 하강하게 하는 방법을 사용하였다. 수위 1mm에 해당하는 91.8g씩의 물을 수조에서 추출하여 수위 변화가 있도록 하였다. 무게의 측정에는 CAS사의 MW1200 디지털 저울을 이용하였으며, 검증 결과를 살펴보면 수위 변화 9mm에 대해 0.03mm의 측정 오차가 나타났다. 사용된 디지털 저울은 최대 측정 한계는 1200g, 분해능과 정확도는 각각 0.1g이다.

2.5. 야외 비교관측

야외 비교관측은 강우량 관측에서 가장 오차가 많이 발생할 수 있는 조건인 바람이 강하고, 집중 호우의 가능성이 있는 날을 선정하였다.^{11,12)} 이와 같은 조건의 날은 1998년 9월 30일 09시 50분에서 10월 1일 07시 50분까지 태풍 예니가 우리 나라를 통과하면서 강한 바람과 많은 비를 동반한 날 이었다. 09시 50분에서 14시 35분까지는 매 15분 간격으로 관측을 하였으며, 그 후 15시 10분에서 18시 40분까지는 30분, 20시부터는 관측 간격을 1시간으로 넓혔다. 관측은 대구효성가톨릭대학교 제2 자연대학 건물과 생물관 사이에서 실시하였다. 이날 비교 관측 우량계로는 원통형 우량계 2개를 사용하였다. 하나는 일정 시각마다 저수병에 모아지는 강우를 디지털 저울로 측정된 무게로 강우량 값을 구하였다. 나머지 한 개의 우량계는 9월 30일 09시 50분에서 10월 1일 아침 07시 00분까지 모여진 전체 우량 무게(total rainfall)를 측정하여 비교관측우량계(ref. raingage)에 의해 관측된 강우량 값에 대한 신뢰성을 알아보았다.

새로운 우량 관측방법은 제작된 우량 관측 메커니즘(이하; Lee type)을 아르키메데스 우량통 내부에 설치하여 강우에 의해 상승하는 수위를 측정하고 그 값을 디지털 인디케이터(digital indicator)에 강우값을 표출하게 하였으며, 관측자가 그 값을 기록하였다. 관측시간 동안에 모아

진 총 강우량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Total amount of rainfall in observation period(Sept. 30, 09:50 LST ~ Octo. 1, 07:00 LST, 1998)

Lee type(mm)	Ref. raingage(mm)	Total rainfall(mm)
186.45	189.24	189.60

관측시간 21시간 10분 동안 계속해서 관측된 총 강우량 (total rainfall)은 189.60mm를 기록하였으며, 일정시각마다 강우를 관측한 우량계(ref. raingage)에서는 189.24mm의 강우를 기록하여 두 경우에 대한 차이가 전체강우량에 대해 0.2%이하(0.36mm)의 아주 작은 차이가 있었다. 이것은 일정시각마다 관측한 것과 연속적으로 관측한 것과는 서로 잘 맞은 것이다. 이것으로부터 일정 시각마다

강우를 관측한 자료가 신뢰성이 있음을 알 수 있었다.

2.6. Ref. raingage와 Lee type의 관측 결과 비교

관측된 자료를 Table 4에 나타내었다. 관측간격 30분에 대해 가장 많은 강우량을 기록한 시각은 15시 40분에서 16시 10분까지로 28.14mm 였으며, 이를 시간당 강우량으로 환산을 하면 56.28mm에 해당하는 대단히 많은 강우량이다. 그리고 오차가 가장 많이 난 시각도 같은 시각인 15시 40분과 16시 10분으로 0.71, 0.69mm의 오차를 나타내었다. 그렇지만 그 외의 시각에 있어서는 0.3mm이하의 작은 오차만을 나타내었다. 전체 관측기간 중에 발생한 오차량 2.79mm는 총 강우량 대비 약 1.5%에 해당하는 적은 양으로 본 연구에서 개발된 우량계 메커니즘은 아주 우수한 신뢰성이 있다고 할 수 있다. 또한 미세 강우량에 대해서도 민감하게 반응하여 전체 33회 중 관측오차가 0.1mm이하의 경우가 19회로 전체 관측횟수의

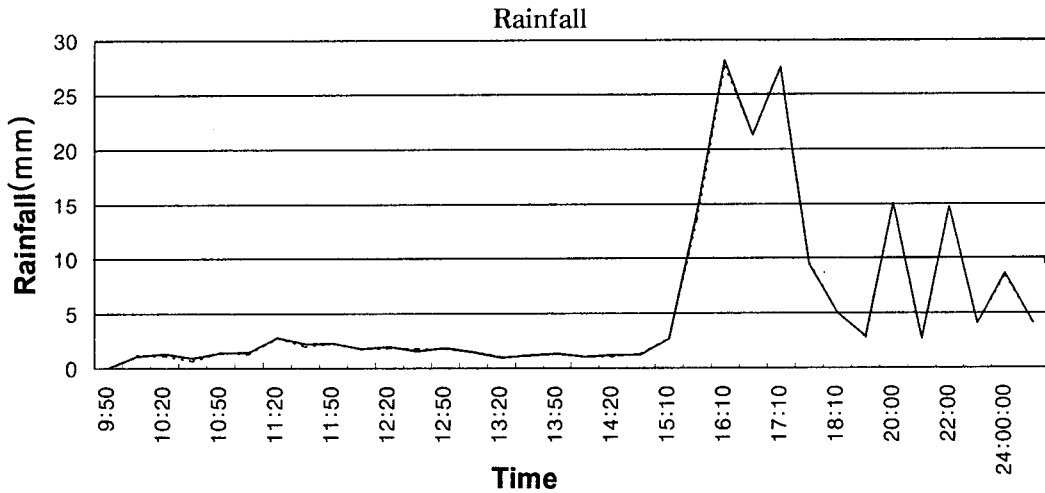


Fig. 1. The solid line and dotted line represent the rainfalls by reference and Lee type raingages, respectively.

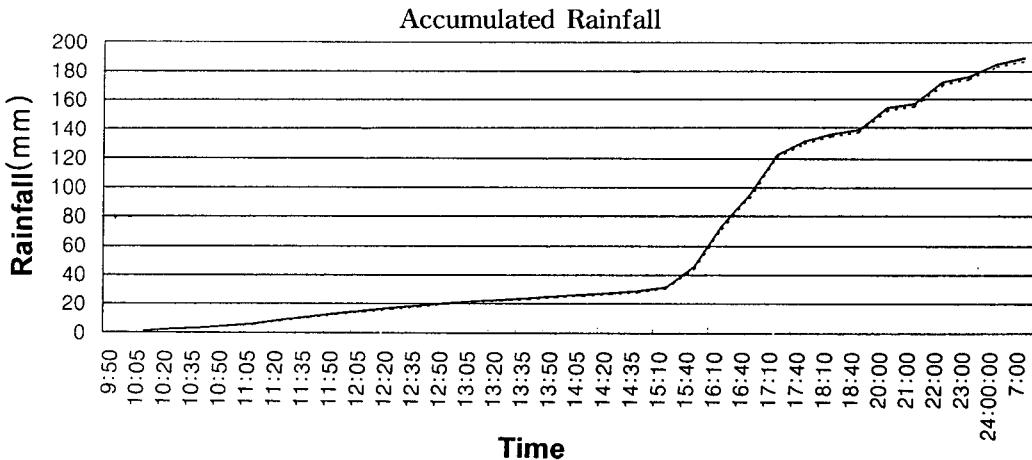


Fig. 2. Same as Fig. 1 except for accumulated rainfall.

60%에 해당되어 0.1mm 이하의 우량관측의 가능성을 충분히 보여주었다. 이러한 자료의 특성을 쉽게 살펴보기 위해 시간별 관측값을 비교하여 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에 나타난 시각별 관측값을 살펴보면 전 구간에 걸쳐서 두 개의 우량계에서 관측한 값들이 거의 일치함을 알 수 있으며, 단지 10시 20분, 15시 40분 경에 두 개의 우량계에서 관측한 값의 차이가 있음이 보인다. 두 관측값에 대한 보다 세밀한 관계를 알아보기 위해 두 우량계에서 관측된 강우량 누적 값을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 살펴보면 Fig. 1과 마찬가지로 15시 40분 경에 차이가 난 만큼 관측이 끝날 때까지 지속됨을 볼 수 있고, 누적 값은 실제 우량값 보다 다소 작게 평가하는 경향이 나타났다. 이러한 경향성에 의해 나타난 오차 값은 무시할 정도로 작은 값이지만, 계속적인 연구로 더 출일 필요성이 있는 것으로 사료되었다.

본 연구에서 개발된 우량계는 관측에서 가장 오차가 크게 발생할 가능성이 있는 태풍 내습일에 아주 우수한 관측 결과를 나타내어, 현업 우량관측 및 자동관측장비를 이용한 우량 관측 자동화에 충분한 가능성을 보였다.

3. 결 론

본 연구에서 개발된 우량관측용 메커니즘은 실내에서 점정하고 태풍이 내습한 날에 야외에서 비교 관측을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 오차 발생의 가능성이 큰 태풍일에 총 강우량 189.60mm에도 불구하고 개발된 메커니즘은 1.5%이하의 아주 적은 오차만이 발생되어 현업관측에 사용할 수 있는 기기의 성능을 보였다.

2. 개발된 우량측정 메커니즘은 0.1mm이하의 강우값을 실내에서만뿐만 아니라 야외 비교 관측에서도 우수한 성능으로 관측을 수행하여 분해능 0.1mm이하의 우량관측이 실현되었다. 3. 0.01mm의 분해능은 현재의 강우 강도계가 가지는 강우 분해능 0.0083mm에 근접하는 값으로 강우 강도계로의 개발 가능성을 보였다.

감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) Wada, 1911, Korean Meteorological Observatory, Quart, J. Roy. Meteorol. Soc., 37, 83~86.
- 2) Knowles Middleton, W. E., 1969, Invention of the Meteorological Instruments, Johns Hopkins Press, 362pp.
- 3) Knowles Middleton, W. E., Meteorological Instruments, University of Toronto Press, 286p.
- 4) 渡邊清光, 1991, わかる氣象器械, 律村書店, 221~224.
- 5) 기상청, 1987, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구(I).
- 6) 기상청, 1988, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구(II).

Table 4. Observation data of rainfall

Obs. Time	Lee type	Ref. Raingage	Difference
(1998.10.30.)	(mm)	(mm)	(mm)
09:50			
10:05	1.18	1.08	0.1
10:20	1.12	1.3	-0.18
10:35	0.64	0.92	-0.28
10:50	1.45	1.39	0.06
11:05	1.28	1.43	-0.15
11:20	2.78	2.79	-0.01
11:35	1.96	2.22	-0.26
11:50	2.28	2.26	0.02
12:05	1.71	1.76	-0.05
12:20	1.81	1.95	-0.14
12:35	1.73	1.55	0.18
12:50	1.76	1.84	-0.08
13:05	1.47	1.45	0.02
13:20	1.01	0.97	0.04
13:35	1.12	1.17	-0.05
13:50	1.32	1.33	-0.01
14:05	1.04	1.05	-0.01
14:20	1.06	1.19	-0.13
14:35	1.27	1.22	0.05
15:10	2.75	2.66	0.09
15:40	13.51	14.22	-0.71
16:10	27.45	28.14	-0.69
16:40	21.31	21.29	0.02
17:10	27.44	27.48	-0.04
17:40	9.51	9.47	0.04
18:10	5.06	5.03	0.03
18:40	2.73	2.87	-0.14
20:00	14.86	15.08	-0.22
21:00	2.68	2.63	0.05
22:00	14.62	14.76	-0.14
23:00	4.16	4.04	0.12
24:00	8.31	8.62	-0.31
07:00	4.07	4.08	-0.01
Total(mm)	186.45	189.24	-2.79

- 7) 기상청, 1989, 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화 개발 연구(III).
- 8) 이부용, 1998, 증발 기록계 개발에 관한 연구, 대구효성가톨릭대학교 연구논문집, 57, 239~243.
- 9) 이부용, 박병윤, 1997, 증발량 자동관측 방법에 관한 연구, 대구효성가톨릭대 응용과학연구소논문집, 6(1), 151~154.
- 10) 이부용, 박병윤, 1997, 0.1mm급 우량계 개발에 관한 연구-LOAD CELL특성에 관하여-, 대구효성가톨릭대 응용과학연구소논문집, 5, 93~97.
- 11) 기상청, 1987, 지상 기상 관측 지침, 11-3pp.
- 12) 소선섭, 이천우, 1986, 기상관측법, 교문사, 149pp.