

부력추를 이용한 지하수위 측정용 센서 개발

이부용 · 박병윤
대구효성가톨릭대학교 환경과학과
(1999년 7월 27일 접수)

Development of High Precision Underground Water Level Meter Using a Buoyant Rod Load Cell Technique

Bu-Yong Lee¹ · Byoung-Yoon Park¹

¹Dept. of Environmental Science, Catholic University of Taegu Hyosung, Kyungsan, 713-702, Korea
(Manuscript received 27 July 1999)

ABSTRACT

A new method was developed to measure underground water level with high reliability. The principle of new method was to detect a change of a buoyant force according to change in water level of underground water measured by the use of a strainage load cell. Field test of the instrument was carried out in Cheju Island. The results were as follows;

- 1) The present study provided a possibility to develop a new underground water level meter.
- 2) This new instrument accomplished high reliability at field test in Cheju Island.
- 3) There is possibility of development of water level meter which measure various range of water level to detect a weight change of a buoyant force.

Key words : Ground water level, mechanism, buoyant rod load cell technique

서 론

지하수는 지표수에 비해 수질과 수량이 양호하고, 지표수에 비해 비교적 근거리에서 쉽게 구할 수 있는 장점 때문에 농업 및 생활 용수로 많이 사용되고 있다(통계청, 1996). 특히 대부분의 지하수는 지표수와는 달리 기상현상의 강우에 대한 영향이 비교적 적어 갈 시기 농업 용수 공급 목적으로 많은 개발이 이루어지고 있다. 지하수에서 일반적인 측정 항목은 지하수위, 온도, 전기전도도, pH 등이며 그 환경적인 관심이 증대하고 있다(한, 1998). 이들 요소 중 지하수위는 지하수의 부존량과 양수량을 결정하는 중요한 측정요소이며, 해당 지하수 관정의 물리적 특성을 파악할 수 있다(김, 1993).

다양한 수위 측정 방법(이, 1995 ; Robert, 1989) 중에서 많이 사용되고 있는 것은 수압을 이용한 압력방

식이 많이 사용되고 있으며, 이들 센서의 대부분은 수압에 의존하고 있다. 그리고 장기간 사용할 때에는 자주 센서를 보정해야 하는 불편한 점이 있다. 깊은 관정의 경우 센서와 선의 무게만도 40kg이 넘어 수직으로 설치하여야 하는 지하수 관정에선 유지 관리하는데 많은 어려움이 있다. 설치 후에도 측정범위를 초월한 지하수위 상승에 의한 과도한 수압으로 센서가 파열하는 경우가 있어 설치 및 운용에 세심한 주의를 요구하고 있다.

본 연구에서는 기존의 지하수위 센서가 가지고 있는 과도한 중량과 과부하로 발생하는 센서의 파열을 해결할 수 있는 새로운 형태의 지하 수위 측정 센서를 개발하였으며, 실내에서 검정을 실시하여 그 성능을 알아보았다. 그리고 지하수에 대한 연구가 많은 제주도 지하수 관정에 설치하였으며(고, 1984), 측정된 자료를 통하여 개발된 지하수위 측정 센서의 활용 가능성에 대해 살펴보았다.

이론과 실험실 검증

1. 압력식 센서의 측정 원리

압력은 단위 면적당 힘으로 표시가 되며, 그 단위는 N/m^2 의 형태로 표시가 된다. 다른 형태로는 mmH_2O 의 형태로도 표시를 한다. 이러한 표시는 근본적으로 힘이라는 차원으로 동일하다. 이것은 물이 가지는 질량과 중력가속도가 곱해져 단위 면적당 힘이라는 형태로 표시되는 압력으로서 단위면적 위에 존재하는 물의 양으로 환산하여 지하수위를 결정하는 방법이다. 이 방법은 비교적 간단하게 지하수위를 측정할 수 있는 반면, 대기압의 영향을 받아 정확한 수위 측정에 있어서는 추가적으로 대기압을 보정해야 하는 번거로움이 있다. 그리고 센서의 구조는 원형의 소형 탄성판에 스트레인게이지를 부착하여 수압에 의한 스트레인게이지의 미세 변동량을 전기신호로 측정하는 원리로 되어있어, 탄성체의 노화 현상이나 충격으로 미세 변동 요인의 가능성이 있어 오차가 발생할 가능성이 높다.

2. 새로운 측정 원리

기존 압력 센서가 가지는 대기압에 대한 영향과 장비의 무게를 줄이기 위해 새로운 측정방법을 사용하였다. 그 원리는 다음과 같다. 물속에 잠겨 있는 물체는 잠겨 있는 부피에 해당하는 물의 무게 만큼 무게가 감소한다는 아르키메데스의 원리를 적용하였다. 지하수위 변화에 따라 잠겨 있는 부피 변화가 있게 길이 30m, 직경 6mm의 부력추를 사용하였다. 부력추의 재질은 유리섬유강화플라스틱이며, 그 상부에 스테인레스 줄로 연결하여 무게의 변화를 측정할 수 있는 스트레인게이지식 로드셀에 연결하여 설치하였다. 부력추는 물의 밀도보다 크므로 지하수위의 상승 하강에도 이동은 없고, 단지 무게의 변화만이 있게된다.

본 연구에서는 이 무게 변화를 부력의 변화에 의한 것으로 두고 수위로 환산하여 지하 수위를 측정하였다. 그 구조는 그림 1과 같이 아주 간단한 구조로 구성되어 있다. 설치하는 관정의 지하 수위가 다른 경우에는 선의 길이를 조절하여 설치하며, 부력추는 측정하고자 하는 수위 변동 범위에 따라 그 길이가 정해진다. 장비 전체의 무게는 3kg정도로 기존 장비에 비해 아주 가볍다. 그리고 수위 상승에 따른 부력추는 부력을 받아 최초의 설치무게에서 감소되는 구조를 하고 있다. 따라서 기존 장비가 수위 상승에 따라 부하가 증가 하는것과는 달리 본 연구에서 사용된 측정

법은 반대로 부하가 감소하여 기존의 과부하 발생을 근본적으로 해결한 구조이다. 압력이 아닌 부력 변동량을 측정하는 구조는 대기압과는 상관이 없어 대기압에 대한 보정이 필요없다.

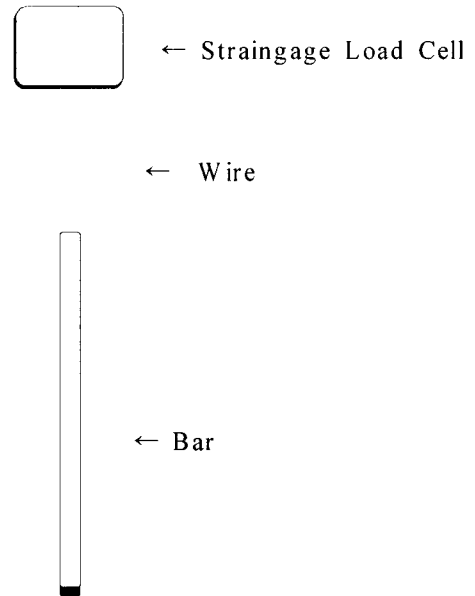


Fig. 1. Diagram of underground water level meter.

Table 1. The specifications of strainage load cell

Rated Load(R.L.)	1 kgf
Rated Output(R.O.)	1.0mV/V
Input Resistance	402 Ohms
Output Resistnace	350 Ohms
Recommend Excitation	10 Volt
Maximum Excitation	15 Volt
Compensated Temp. Range	- 10 to + 40°C
Safe Temp. Range	- 30 to + 70°C
Temp. Effect on R.O.	<0.026% R.O./10°C
Nonlinearity	<0.02% R.O.
Hysteresis	<0.02% R.O.
Repeatability	<0.02% R.O.
Creep(30min)	<0.02% R.O.
Safe Overload	150% R.L.

3. 스트레인 게이지식 로드셀

본 연구에서 부력추 무게 변화를 측정하는데는 안정성과 신뢰성이 입증된 스트레인게이지식 로드셀을 이용하였다(이와 박, 1997). 이 제품은 인가전압에 대한 출력전압의 형태로 신호가 나오는 브릿지 회로를 가지고 있기 때문에 datalogger를 이용한 자동관측이 아주 용이한 장점이 있으며, 하나의 구조체로 되어 있

어 마찰과 운동부가 없어 정확한 측정에 아주 적합한 구조를 하고 있다. 본 연구에 사용한 스트레인게이지식 로드셀의 특성을 표 1에 나타내었다. 로드셀의 온도 최대 온도 보상 범위가 -10에서 +40℃로 지하수 관정 내부와 같이 1년 중 온도 변화가 적은 환경에서 사용하는 데는 문제점이 없는 것으로 생각되며, 비선형, 이력현상, 재현성, 포행동의 각종 오차발생 요인들이 출력값에 대해 0.02%이하의 비교적 적은 값들로 사용하는 데는 문제점이 없는 것으로 사료되었다.

4. 실험실 검정

본 연구에서 제작된 지하수위 측정용 센서를 검정하기 위해 직경 20cm 깊이 100cm의 아크릴 원통을 제작하여 수위 변화에 의한 센서의 출력 신호를 살펴 보았다. 최대 30m를 측정할 수 있는 센서에 대해 검정하였는데, 전 구간에 대해서는 하지 못하고 실험실의 한계로 90cm 범위 구간에 대해서만 실시하였다.

Table 2. Test data of underground water level meter

True Value (cm)	1st (cm)	2st (cm)	3st (cm)	4st (cm)	5st (cm)	Average (cm)	CV (%)
10	10.1	9.8	9.8	10.3	10.0	10.0	0.33
20	19.8	19.9	19.9	20.1	19.7	19.9	0.67
30	29.9	29.9	29.9	29.8	29.8	29.9	1.00
40	39.7	39.9	39.7	40.5	40.1	40.0	1.33
50	50.0	49.7	50.0	50.0	49.9	49.9	1.67
60	60.1	59.8	59.8	60.0	60.3	60.0	2.00
70	70.2	70.1	70.2	70.4	70.1	70.2	2.33
80	79.9	79.6	80.0	80.2	80.1	79.9	2.67
90	89.9	89.6	89.6	90.5	90.2	90.0	3.00

Table 3. Aquifer characteristics of observation station

Name	Well No.	Ground Level(m)	Total Depth(m)	Natural Level(m)	Dynamic Water Level(m)	Yield (m ³ /Day)
Sinsan	D-109	68.28	122	59.3	65.5	1550
Yeondong	D-167	156.13	170	95.0	145.0	1000
Hachon	D-31	50.00	80	39.6	39.9	1598

검정 방법은 원통에 물을 가득 넣은 다음 일정량을 배수하여 미리 정한 정확한 10cm 구간 마다 측정하였다. 센서에서 나오는 출력 신호는 Campbell사의 21X datalogger를 사용하였으며, 90 cm까지의 1회 검정에는 약 80분이 소요되었다. 센서의 특성을 면밀하게 알아보기 위해 총 5회를 실시하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다. 검정 구간에서는 참값에 대해 ±5mm이하의 측정 오차가 나타났을 뿐 아주 정밀한 측정 값을 나타내었다.

야외 비교관측

1. 관측 장소와 기간

제작된 센서의 성능을 알아 보기 위해 지하수에 대한 연구가 많이 진행되어 있는 제주도를 선정하여 관측을 실시하였다. 관측은 98년 2월 17일에서 2월 28일까지 11일간을 공변 D-31(하천)에서 기존의 장비와 비교 관측을 실시하였으며, 2월 28일에서 3월 28일까지 공변 D-109(신산), 공변 D-167(연동)에서 비교 관측을 실시하였다. 그리고 다시 98년 5월 11일부터 6월 10일 까지 1달간 공변 D-31에서 비교관측을 하였다.

지하수위 측정에 활용한 관측공의 특성은 표 3과 같다. 가장 깊은 곳은 자연수위 95.0m인 연동이고 가장 얕은 곳은 자연수위 39.6m인 하천이다.

2. 하천에서의 비교관측

지하수 공변 D-31은 해안가 부근으로 조수의 영향을 받는 곳에 위치하고 있어 지하수위가 조수의 영향을 받아 정현함수 형태의 수위 변화를 나타내고 있다. 이곳에서 기존의 압력식 센서 자료와 비교관측이 가능하였다. 그 자료를 그림 2에 나타내었다. 관측기간은 98년 5월 11일에서 5월 18일간의 자료로 두 그림

에서 살펴보면 기존의 압력식 관측장비인 Pressure와 본 연구에서 개발된 Lee type과는 서로 변화의 pattern이 비교적 잘 일치하였다. 두 관측 자료가 평행하게 되어있는 것은 관측 초기에 입력되는 초기값의 문제이며, 관측 장비의 문제는 아니다. 그러나 16일에서 18일 사이에는 압력 방식의 장비인 Pressure는 계속적으로 그 변화의 크기를 유지하는데 비해 Lee type은 변화의 폭이 점점 감소하는 모양을 나타내어 관측값 사에서 다소 차이가 나타났다.

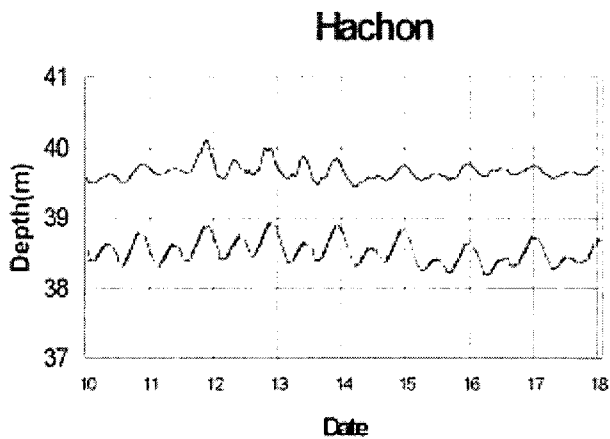


Fig. 2. Diurnal variation of the underground water level at Hachon (upper line : Lee type, lower line : Pressure)

3. 신산에서 관측

신산에서도 연동과 같이 기존 장비 없이 본 연구에서 개발된 장비로만 관측을 하였다. 관측자료는 98년 2월 28일에서 98년 3월 29일 까지의 자료를 그림 4에 나타내었다. 관측결과 이 관정은 강우의 영향이 많아

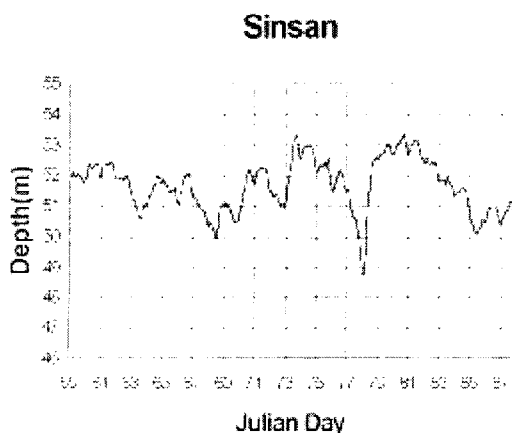


Fig. 3. Same as Fig. 2 except for Sinsan

수위 변동 폭이 큰 곳으로 사료되었으며 관측 기간 중의 변동폭이 약 4.5m에 달하였다. 최초 설치치(98년 2월 28일)과 2차 관측시 (98년 3월 29일) 두 경우 모두 실측으로 구한 값과 본 연구에서 개발된 장비와는 22cm정도의 수위 차이가 있었다. 이에 대한 원인은 설치 초기에 결정하는 초기값의 문제이다.

4. 연동에서의 관측

연동에서는 자연 수위 95m로 비교적 깊은 관정으로 본 연구에서 개발된 장비로만 관측을 하였다(그림 3). 제시된 자료는 98년 2월 28일에서 3월 29일 까지의 자료를 나타내었다. 관측기간 중에 지하 수위 변동은 약 2m 내외를 기록하였다.

실측으로 구한 값과 본 연구에서 개발한 장비에서 관측한 값 사이에는 약 1.5m의 측정 오차가 있었다. 이러한 문제점의 원인을 알아보기 위해 본 관정에 Video카메라를 내부에 넣어 촬영한 결과 관정 상부에서 수면으로 많은 물이 폭포처럼 떨어지는 낙수현상이 심하게 있었다. 떨어지는 물로 인해 수면에는 많은 기포가 존재하였으며, 수면에는 요동현상이 심하게 있었다.

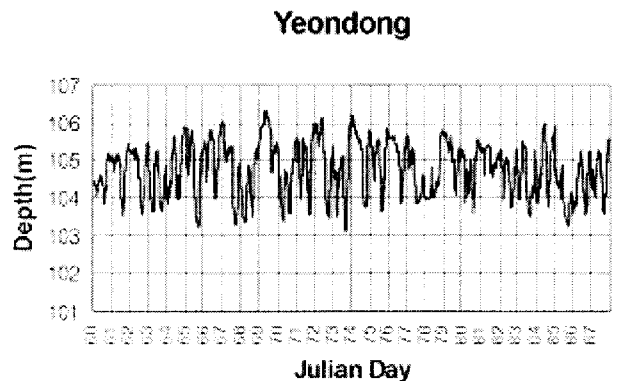


Fig. 4. Same as Fig. 2 except for Yeondong

5. 관측 결과

3곳에 걸쳐 관측을 한 결과 하천의 경우 기존의 장비와 비교적 잘 일치하는 형태를 나타내었다. 그러나 16일에서 18일 사이에 나타난 변동 폭의 감소에 대해서는 아직은 뚜렷한 해석을 할 수 없는 상태이다. 신산의 경우 두 번의 실측에서 거의 같은 값을 나타내어 수면이 깊지 않은 두 관측 공에서의 관측된 자료는 양호한 것으로 판단되나, 연동의 경우 1.5m 정도의

관측 오차에 대해서는 문제점이 있는 것으로 사료되며, 특히 Video관측 결과에서 나타난 바와 같이 낙수 현상이 있을 경우 부력추에 영향을 주어 많은 오차를 수반할 가능성이 있는 것으로 생각된다. 그러나 지하수 공 내부를 24시간 연속 감시할 수 없는 기술과 수위 변동을 절대값으로 정확하게 측정 기록하는 장비를 동원하지 못하는 문제점 때문에 정량적인 해석과 문제점 해결에 대해서는 접근을 할 수 없었다. 이에 대한 해결은 다음의 계속 연구로 돌리고자 한다.

짧은 기간의 관측에서 나타난 바와 같이 깊이 않은 두 곳의 자료에서는 본 연구에서 개발된 지하수위 관측장비의 활용가능성을 보여준 결과로 생각되며, 깊이 않은 대부분의 지하수 관정에 활용 가능성이 있었다. 그러나 정확한 장비의 성능을 알기위해선 지하수 공 내부의 물리적인 환경과 지하수위를 연속적으로 정확하게 관측 기록하는 장비의 동원이 꼭 필요함을 느꼈으며, 그와 더불어 장기간 현지관측과 자료의 분석이 있어야 할 것으로 사료되었다.

본 연구에서 사용한 측정법은 한국 발명특허 제 0228410, 0229502호에 등록되어있으며, 미국 특허 사정은 완료되어 등록 절차를 밟고 있다. 그리고 일본에 대해서는 특허 출원 상태로 심사 중에 있다.

결 론

새롭게 개발된 지하수위 측정방법을 이용하여 장비를 제작하고 실험실에서 검정한 결과 아주 우수한 결과를 보였다. 야외 관측에 있어서도 지하수 관정 내부에 낙수현상이 뚜렷하지 않고 그 지하수위가 깊이 않은 곳에서는 양호한 관측 결과를 얻어 본 연구에서 개발된 장비의 활용에 큰 문제점이 없는 것으로 사료되었다. 그러나 관정 내부에 낙수와 수면의 심한 요동이 있는 경우에는 그 측정값에 문제점이 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

개발된 장비는 대기압의 영향을 받지 않는 구조로 보정이 필요치 않으며, 단순한 구조로 장기간 정확한 관측을 수행할 수 있는 가능성이 보였다. 기존 장비의 문제점인 수위 상승에 의한 과부하의 문제점을 완벽하게 해결하였으며, 가벼운 장비의 무게로 지하수위 측정 및 장비의 운용이 아주 편리하게 되었다.

부력을 이용한 수위측정의 원리는 부력추의 크기 조절을 통한 다양한 범위의 수위를 측정 센서 개발 가능성을 보였으며, 수위 측정 장비의 국산화 개발에 가능성을 보여주었다.

사 사

이 논문은 1996년도 대구효성가톨릭대학교의 연구비에 의해 연구되었음.

인용문헌

- 고병윤, 1984: 제주도의 지하수 부존 형태와 지하수위 변동에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원 석사 학위논문, 53p.
- 김소구, 1993: 지하수 탐사법, 문연당, 329p.
- 이부용, 박병운, 1997: 0.1mm급 우량계 개발에 관한 연구-LOAD CELL특성에 관하여, 대구효성가톨릭대 응용과학연구소논문집, 5:93-97.
- 이성철, 1995: 정밀계측공학, 동명사, 412p.
- 한정상, 1998: 지하수환경과 오염, 박영사, 1071p.
- 통계청, 1996: 한국의 환경통계 평가 보고서, 통계청, 541p.
- Robert, G.S., 1989: *Instrumentation*, Levis Publishers, 295p.