

발광2극소자와 빛2극소자를 리용한 토양분석용 광전비색계제작에 대한 연구

박창수, 김동일, 리승국

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《협동농장들에서 눈짐작과 손짐작으로 물관리와 비료, 농약치기를 하는것과 같은 낡은 방법에서 벗어나 과학적인 측정과 분석에 기초한 선진적인 비배관리방법으로 전환하여야 합니다.》

농업생산을 결정적으로 늘이며 농사를 과학화하는데서 토양분석을 신속정확하게 진행하는것은 매우 중요한 의의를 가진다. 휴대용토양분석기는 장치적측면에서 토양분석용 광전비색계이다.

우리는 토양분석을 위한 빛변조방식의 휴대용광전비색계를 연구제작하고 측정의 정확도와 기구의 선형성, 상관결수를 측정하여 휴대용분석기구로서의 리용가능성을 평가하였다.

1. 토양분석용광전비색계의 설계원리

광전비색계는 다음과 같은 빛흡수법칙에 기초하고있다.[1, 2]

$$I = I_0 e^{-\varepsilon lc} \quad (1)$$

여기서 I_0 은 입사빛의 세기, I 는 투과빛의 세기, ε 은 몰흡수결수, l 은 빛행로길이, c 는 빛흡수물질의 농도이다. 흡광도 A 는 투과도 $T = I/I_0$ 와 다음과 같은 관계가 있다.

$$A = \lg(1/T)$$

식 (1)로부터 흡광도 A 는 다음과 같이 표시된다.

$$A = \varepsilon lc \quad (2)$$

몰흡수결수는 빛흡수물질에 고유한 상수이고 빛행로길이는 시료큐베트의 길이에 의하여 주어지는 일정한 값이므로 흡광도는 빛흡수물질의 농도에 비례한다. 광전비색계를 분석에 리용할 때에는 입사빛과 투과빛의 세기를 측정하고 이 값들에 기초하여 시료의 투과도와 흡광도를 계산한 다음 식 (2)를 리용하여 분석물질의 함량을 계산한다.

광전비색계의 가장 중요한 구성요소는 단색기이다. 프리즘이나 에돌이살창과 같은 분산성단색기를 리용하는 광전비색계를 분광광도계라고 하며 보통 빛거르개라고 부르는 비분산성단색기를 리용하는 광전비색계를 광도계라고 부른다.

분석에 응용되는 광전비색계의 설계는 광학체계의 구성에 따라 달라지며 이것에 따라 분석기들을 분류하고있다.[1, 3]

광전비색계의 광원으로는 일반적으로 월프람등과 백색발광2극소자가, 빛검출기로는 빛전자증배관과 빛2극소자가 리용되고있다.

토양속의 암모니아태질소와 가동성린, 칼리움의 정량분석은 일반적으로 분광광도법으로 실험실에서 진행하고있다.[3, 4] 이러한 분광광도계는 크기가 크고 원가가 비싸고 전별, 필지별에 따르는 토양시료의 다량분석에는 리용할수 없는 결함이 있다.[1, 2] 그러

므로 세계적으로 발광2극소자와 빛2극소자를 리용한 휴대용광전비색계의 연구와 제작이 활발히 진행되어 상품화된 소형광전비색계와 휴대용토양분석기들이 이미 적지 않게 출현하였다.[2-4] 그러나 휴대용광전비색계들은 장치를 소형화하기 위하여 회로가 간단한 직류신호처리회로를 리용하기때문에 전원과 전자요소들의 잡음, 증폭회로의 동작점표류, 전자요소들의 시간에 따르는 변화와 루설전류에 의한 전압과 전류의 요동이 측정값에 직접 영향을 미칠뿐아니라 환경빛의 영향을 심하게 받는다.

그러므로 우리는 발광2극소자를 광원으로, 빛2극소자를 검출기로 리용하고 임펄스변조방식으로 동작하는 토양시료분석을 위한 광전비색계를 휴대용으로 설계제작하였다. 임펄스변조방식의 신호처리에서는 신호의 성형-러파와 동기검파에 의하여 유효한 빛신호만을 얻어내고 잡음을 비롯한 기타 성분들을 제거할수 있다.

2. 토양분석용광전비색계의 제작

1) 토양분석용광전비색계의 구성

토양분석용광전비색계의 제작에서 기본은 광전비색계를 어떤 형식으로 구성하겠는가 하는것이다. 우리는 토양분석용광전비색계를 그림 1과 같이 구성하였다. 이 광전비색계는 단속기와 같은 기계적요소가 없기때문에 광학체계가 간단하고 장치를 소형화할수 있으며 시료측검출기와 비교측검출기의 전기적신호의 차를 신호처리단에서 처리하기때문에 측정의 정확도를 높일수 있는 우점이 있다.

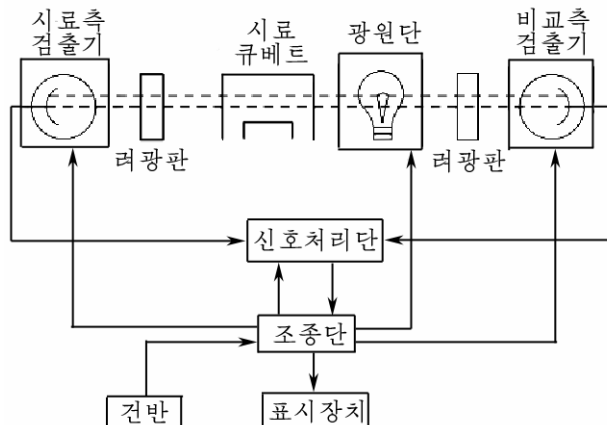


그림 1. 토양분석용광전비색계의 구성

그림 1에서 보는바와 같이 토양분석용광전비색계는 광원단과 빛검출단, 신호처리단과 조종단, 전반과 표시장치(액정), 2개의 러광판으로 구성되었다.

광원단은 660, 530, 490nm의 발광2극소자 3개와 정전류원, 절환회로로 구성된 임펄스 빛을 내보내는 임펄스광원이다. 적색발광2극소자(660nm, 자호 L-53SRC-E)는 직경 5mm인 투명한 형이며 빛세기 3 500mcd, 정방향전압강하 1.85V, 최대역방향전압 5V, 최대전류세기 20mA, 빛방출각 30°이다. 녹색발광2극소자(530nm, 자호 L-7113VGC-E)는 직경 5mm인 투명한 형이며 빛세기 4 500mcd, 정방향전압강하 1.8V, 최대역방향전압 5V, 최대전류세기 20mA, 빛방출각 25°이다. 청색발광2극소자(490nm, 자호 E-1L51-3B0A2) 역시 직경 5mm인 투명한 형이며 빛세기 1 800mcd, 정방향전압강하 3.45V, 최대역방향전압 5V, 최대전류세기 20mA, 빛방출각 15°이다.

빛검출단은 면적 5.8mm^2 , 등가잡음전력 $6.0 \times 10^{-15}\text{W/Hz}^{1/2}$, 암전류 0.003nA , 응답세기 0.19A/W , 용량 170pF 인 빛2극소자(자호 OSD5.8-7Q)와 빛-전기변환기, 증폭도절환회로, 예비임펄스성형-러파기로 구성되었다.

신호처리단은 차동증폭회로, 동기검파회로, 임펄스성형-러파회로, 정류회로로 구성된 임펄스신호처리회로이다.

조종부는 극소형조종기 PIC18F4620과 주변회로로 구성되어있으며 건반입력지령과 임펄스처리기의 신호에 따라 광원단과 빛검출단을 자동조종하고 측정과 계산을 진행하며 결과를 액정표시장치에 현시한다.

러광판은 필요한 경우에 발광2극소자가 내보내는 빛과장을 선택하고 반쪽을 일정하게 하기 위하여 광원과 검출기사이에 설치할수 있다.

2) 도양분석용광전비색계의 회로설계

현대전자회로설계는 원리회로도설계와 모의실험을 통하여 진행되며 이 두 과정의 호상작용을 거쳐 수정완성된 설계가 인쇄기판회로제작공정으로 넘어간다. 이것은 설계와 생산원가를 낮추고 반복설계와 재생산을 없애며 즉시 제품으로 완성될수 있게 한다.

우리는 회로리론에 기초하여 원리회로도설계를 진행하고 설계된 회로에 대한 모의실험을 통하여 회로에 내재하는 문제점들을 찾고 원리회로도설계를 수정하는 방법으로 설계를 완성하였으며 모의실험결과에 기초하여 연산증폭기와 저항, 콘덴샤 등 모든 전자요소의 값을 정밀하게 선정하였다.

광전비색계의 핵심부는 장치전체에 대한 조종과 상사-수자변환, 측정과 수값계산, 초기자료와 검량선의 기억, 외부와의 통신을 진행하는 조종단이다. 조종단은 64kB 의 읽고쓰기 가능한 프로그램가능고정기억기와 $3\ 968\text{B}$ 의 자료기억을 위한 자유기억기(RAM), 1kB 의 전기적으로 지우고 쓸수 있는 고정기억기(EEPROM)와 같은 기억기들과 16통로의 10bit 상사-수자변환기, 2개의 포착비교임펄스너비변조(CCP)모듈, 2개의 만능동기비동기(USART)모듈을 비롯한 주변기구들과 5개의 포구와 40개의 다리를 가진 극소형조종기(자호 PIC18F4620)와 4×4 건반, $128 \times 64\text{pixel}$ 그래프표시가능한 액정표시장치(GLCD, 자호 KNY12864-J3)로 구성되어있으며 건반으로 시료질량, 시료체적, 분취체적 등의 수값을 임의로 입력할수 있고 각종 선택과 지령을 줄수 있으며 영문자와 우리 글자는 물론 그래프, 그림, 수식도 현시할수 있게 설계하였다.

광원부의 설계에서 광원으로부터 나오는 빛임펄스의 주파수를 어떤 값으로 선택하는가 하는것은 잡음과 외부환경빛의 간섭을 작게 하고 측정값의 요동을 감소시키는데서 매우 중요하다. 전자회로구성에서 기본요소인 연산증폭기의 잡음전압, 전류스펙트르는 대체로 $1.5\text{kHz} \sim \text{수MHz}$ 에서 가장 작으며[5] 이 대역에서는 60Hz 의 고조파잡음의 영향도 약하기때문에 광원이 1.5kHz 의 임펄스빛을 내보내도록 설계하였다.

우리는 극소형조종기에 내장된 2개의 10bit 분해능의 포착비교임펄스너비변조모듈을 리용하여 임펄스신호를 발생시켰다.

광원단회로를 그림 2에 보여주었다.

그림 2에서 LED1, LED2, LED3은 적색, 녹색, 청색발광2극소자이고 R_1, R_2, R_3, R_4 는 전류조절저항기이다. 쌍극성3극소자 Q_1, Q_2, Q_3 의 기초극에는 극소형조종기의 포착비교임펄스너비변조모듈로부터 임펄스신호가 공급되고있다.

빛검출단은 빛검출기, 빛-전기변환회로와 절환회로, 예비임펄스성형-러파회로로 구성된 예비증폭기로서 기본기능은 신호대잡음비를 높이는것이다. 그러므로 신호를 필요

이상으로 크게 증폭하는것보다도 신호의 증폭도는 35dB정도로 하고 신호대잡음비를 측정에 필요한 수준으로 높이는것을 목적으로 하였다.

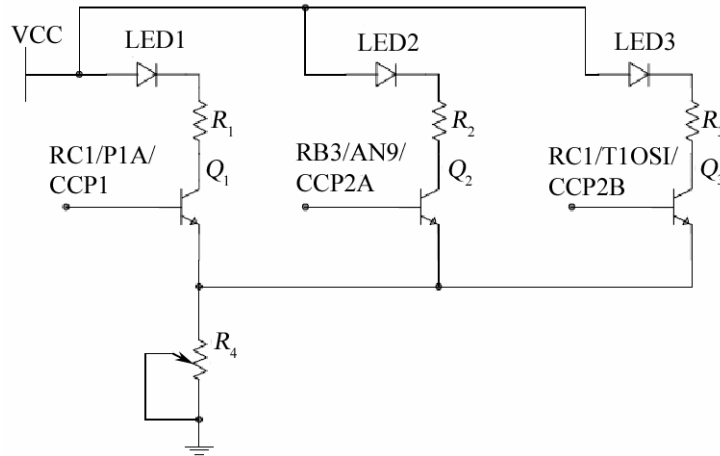


그림 2. 광원단회로

예비증폭기에서 가장 핵심적인 요소는 입구단 즉 빛신호에 의하여 발생되는 빛2극소자의 빛전류를 증폭하는 회로이다.[5, 6] 그것은 입구단에 의하여 상사전자회로전체의 성능이 결정되기때문이다. 입구단을 빛전류자체를 증폭하는 전류증폭회로로 구성하는 경우에는 빛통신과 같은 고속빛전송에 널리 리용된다.[7] 여기서는 고속빛신호처리가 목적이 아니므로 빛전류를 전압으로 변환하여 증폭하는 전류-전압변환기형태의 증폭회로로 입구단을 설계하였다.

빛2극소자는 내부저항이 $10M\Omega$ 이상으로 매우 크기때문에 빛2극소자의 신호증폭회로는 개별적인 저잡음마당효과3극소자나 입구에 마당효과3극소자를 가진 저잡음연산증폭기로 회로를 구성하는것이 일반적이다. 빛2극소자의 동작속도를 높이고 잡음을 감소시키며 빛신호에 대한 선형응답범위를 넓히기 위하여 빛2극소자에 편기전압을 걸어주어 이음용량을 감소시키는 경우도 있다.[7]

연산증폭기(U)를 리용하여 구성한 빛신호증폭회로에서 빛2극소자는 빛기전력방식으로 동작시킬수도 있고 빛전도방식으로 동작시킬수도 있다. 빛기전력방식으로 동작하는 빛2극소자에서 회로(그림 3의 ㄱ))의 출구전압은 입사빛세기 I 에 비례하고 빛전도방식으로 동작하는 빛2극소자에서 회로(그림 3의 ㄴ))의 출구전압은 입사빛세기에 비례한다.[6]

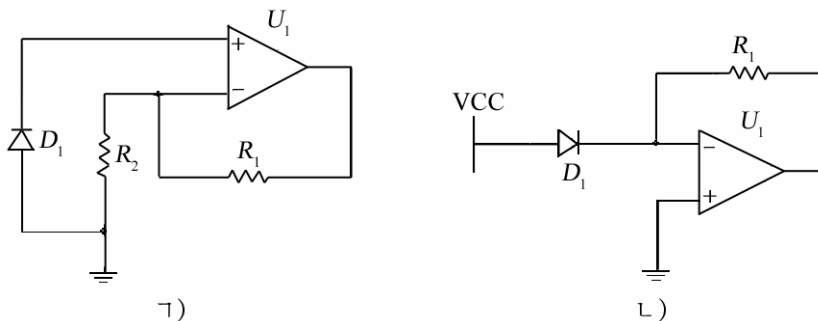


그림 3. 빛기전력방식의 증폭회로(ㄱ))와 빛전도방식의 증폭회로(ㄴ))

이것을 식 (3)과 (4)에서 보여주었다.

$$V_o = V_T \times \ln[S(\lambda) \times I_0 / i_s + 1](1 + R_2 / R_1) \quad (3)$$

$$V_o = -R_1 \times I_0 \times S(\lambda) \quad (4)$$

여기서 i_s , $S(\lambda)$ 는 각각 빛2극소자의 역방향포화전류와 스펙트르감도이고 I_0 은 입사빛의 세기, $V_T=26\text{mV}$ 이다.

그림 3의 ㄱ)의 빛기전력방식으로 동작하는 증폭회로에서는 신호처리를 위해 지수증폭기와 같은 특수한 증폭기들이 필요하며 이런 증폭기들에 리용되는 연산증폭기의 온도 안정성이 실제적인 동작에서 문제로 제기된다.[16] 따라서 그림 3의 ㄴ)와 같은 빛전도방식의 증폭회로를 리용하여 증폭회로를 구성하였다.

빛검출단(예비증폭기)회로를 그림 4에 보여주었다.

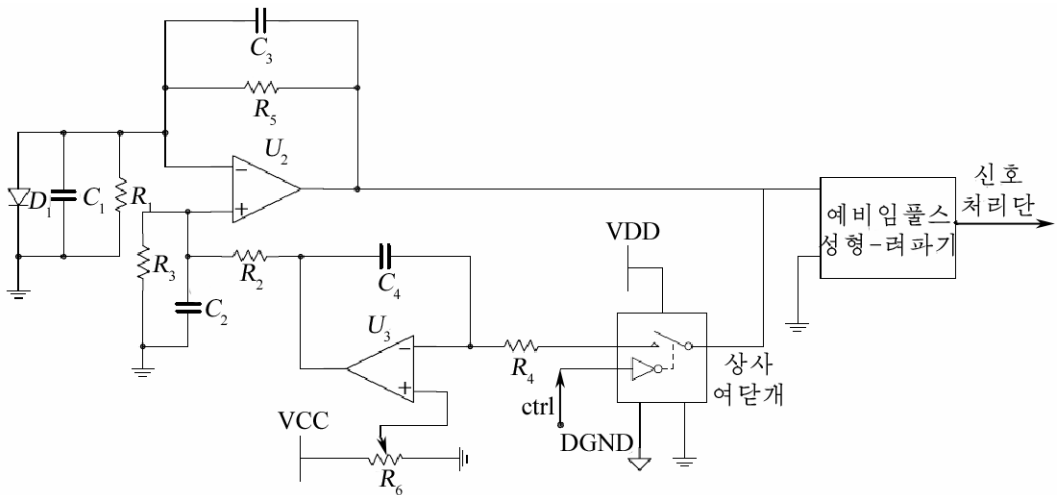


그림 4. 빛검출단회로

그림 4에서 D_1 은 빛검출기로 사용되는 빛2극소자, C_1 , R_1 은 분로저항, R_5 는 빛전류를 전압으로 변환하는 빛2극소자의 부하저항이며 C_3 은 R_5 와 함께 고주파를 제한하는 러파기로서 연산증폭기의 발진을 방지하는 역할을 한다. R_2 , R_4 는 전류제한저항, C_2 , R_3 , C_4 는 러파요소들이다. R_6 은 연산증폭기 U_3 의 비반전입구의 전압을 조절하는 저항이다. VDD 는 수자회로의 전원전압, $DGND$ 는 수자회로의 접지로서 상사회로의 접지와 분리시켰다. 이것은 잡음이 많은 수자회로를 상사회로와 분리시켜 두 회로들사이의 간섭을 감소시키기 위하여 필요하다.[15, 16] 상사여닫개는 내부에 상보형 금속산화물반도체소자를 형성시켜 만든 상사신호를 통과시키는 전용집적회로이다. VCC 는 상사회로의 전원전압, $ctrl$ 은 상사여닫개를 조종하기 위한 신호이다.

예비임펄스성형-러파기는 전원잡음과 환경빛에 대응하는 잡음, 1.5kHz이하의 주파수성분과 5kHz이상의 주파수성분을 제거하여 임펄스의 성형과 잡음러파를 수행한다. 이때 신호의 모양은 될수록 가우스분포함수에 가까와야 신호대잡음비가 개선된다.[5] 임펄스성형-러파회로는 본질에 있어서 미분회로와 적분회로로 구성되기때문에 임펄스의 미분과정에서는 반드시 부극성의 신호가 발생한다.

정극성과 부극성의 량극성신호를 처리하기 위해서는 +, -의 량극성전원으로 동작하는 연산증폭기들이 요구된다. 그러나 야외조건에서 토양분석이 가능한 휴대용장치는 축전지와 같은 단극성전원에서도 동작하여야 하므로 60Hz전원변압기나 여닫개식전원장

치를 리용하는것은 불편하다. 이것은 또한 장치의 소형화를 위해서도 필요한 조건으로 된다. 따라서 단극성전원에서조차 정확하게 자기 기능을 수행하는 임펄스성형-려파회로를 설계하여 예비임펄스성형-려파회로를 구성하였다.

신호처리단은 예비증폭기의 출구신호증폭과 임펄스성형 및 잡음려파, 1.5kHz의 동기 검파를 진행하여 필요한 유효신호를 얻어낸 다음 이 신호를 조종부의 극소형조종기에 내장된 상사-수자변환기에 공급하는 기능을 수행한다.

동기검파는 임펄스변조된 빛신호에 대응하는 임펄스신호를 직류신호로 변환하여 잡음과 간섭신호를 제거하는 역할을 수행한다.[8] 신호처리부에서도 역시 단극성전원에서 임펄스의 성형-려파가 진행되도록 회로를 설계하는것이 중요하다.

신호처리단의 구성도를 그림 5에 보여주었다.

전원은 교류 80~250V에서 동작하는 임의의 정류기(교류-직류변환기)에서 35V이하의 직류전압(보통 8, 9, 12, 15, 24V 등)을 얻고 장치내부의 전압안정기에서 5V로 안정화하여 모든 회로들에 공급할수 있게 설계하였으며 정류기의 출구와 콘덴샤를 련결하는 전원접속구를 하나로 통일시켜 6~35V의 임의의 콘덴샤를 같은 접속구에 련결하여 사용할수 있게 하였다.

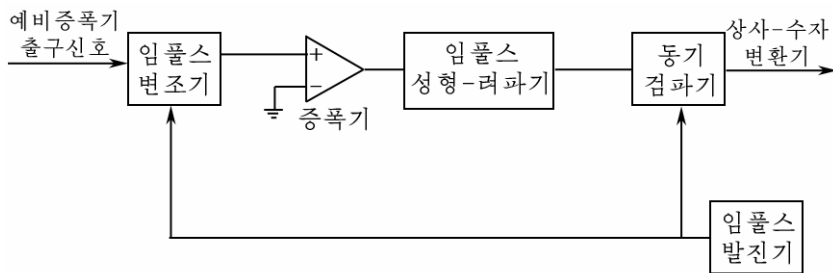


그림 5. 신호처리단의 구성도

3) 설계된 회로에 대한 모의실험

전자회로모의 프로그램들은 회로동작과정에서 발생할수 있는 여러가지 문제들을 구체적으로 파악하고 대책함으로써 설계의 정확성과 안정성을 높이고 보다 완성된 설계로 직접 제품을 생산할수 있게 하는데서 매우 중요한 역할을 놓고있다.

대표적인 모의실험프로그램들에는 Altium, Multisim, Proteus계열 등이 있다.[1, 9, 10, 11] 이 매개 프로그램들은 자기의 우결함을 가지고있으며 상사 및 수자회로, 출력전자회로, 여단개식전원회로, 극소형처리기와 수자신호처리기, 프로그램가능한 논리회로(FPGA, PLD)를 포함하는 모든 전자회로를 완전무결하게 설계하고 모의하지는 못하고있다. 중요하게는 단순하게 회로를 그려놓고 모의하는 경우에도 틀린 결과가 나오는 경우가 적지 않으므로 회로설계와 모의실험에서 충분한 사전연구가 필요하다.

따라서 토양분석용광전비색계의 회로들을 회로리론에 기초하여 설계하고 그것을 모의실험을 통하여 확증하였다. 상사회로는 Altium 13.2, Multisim 10.0으로 모의를 진행하고 극소형조종기와 상사-수자변환기, 건반, 액정표시장치와 그 주변회로들은 Proteus 8.3으로 모의하였다.

빛검출단의 입구에 있는 전류-전압변환기와 예비임펄스성형-려파기의 출구전압을 Multisim 10.0으로 모의한 결과를 그림 6에 보여주었다.

그림 6에서 보는바와 같이 임펄스의 주파수는 1.5kHz이고 충만도는 50%이다. 예비

임펄스성형-러파기의 출구전압은 임펄스가 성형-러파되어 모양이 변화되었다는것을 명백히 보여준다.

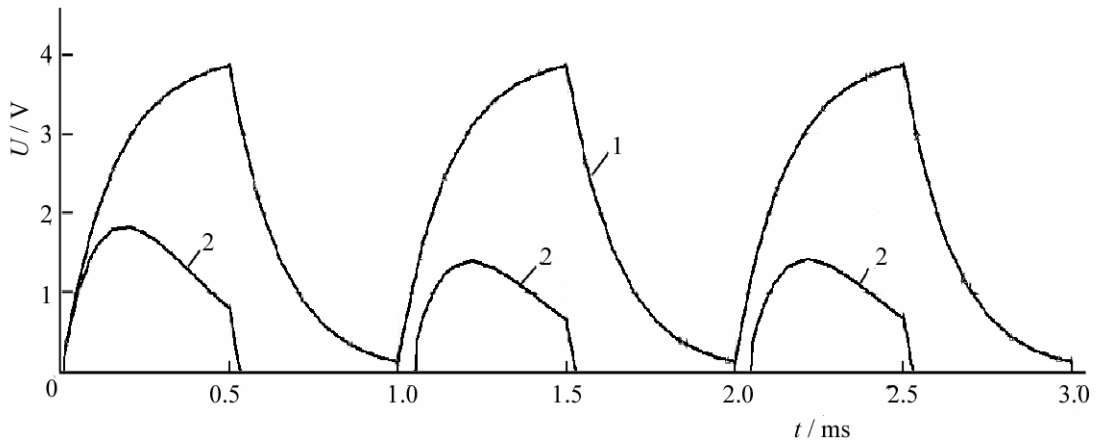


그림 6. 전압-전류변환기(1)와 예비임펄스성형-러파기(2)의 출구전압

신호처리부의 임펄스성형-러파기의 출구전압과 동기검파기의 출구전압을 Multisim 10.0으로 모의한 결과를 그림 7에 보여주었다.

그림 7의 1은 동기검파기의 출구 즉 신호처리부의 출구전압으로서 이것은 조종부의 극소형조종기에 내장된 10bit의 상사-수자변환기에 들어가는 신호이다.

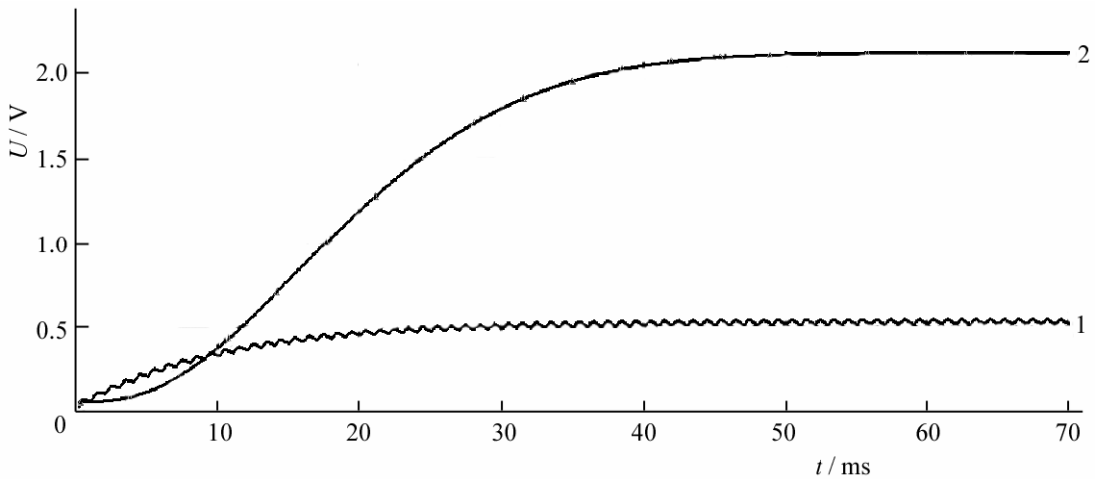


그림 7. 동기검파기(1)와 임펄스성형-러파기(2)의 출구전압

그림 7의 2는 신호처리부의 임펄스성형-러파기의 출구신호를 보여준다. 상사-수자변환기의 입구신호는 환경빛에 대응하는 성분이 완전히 제거되고 잡음이 거의 없는 깨끗한 신호여야 하며 포함되어있는 맥동성분의 크기가 될수록 작아야 한다.

Altium 13.2로 예비증폭기와 신호처리부를 모의한 결과도 Multisim 10.0으로 모의한 결과와 일치하였다.

토양분석용광전비색계의 조종단을 Proteus 8.3으로 모의하기 위한 회로를 부분별로 나누어 보여주었다.(그림 8)

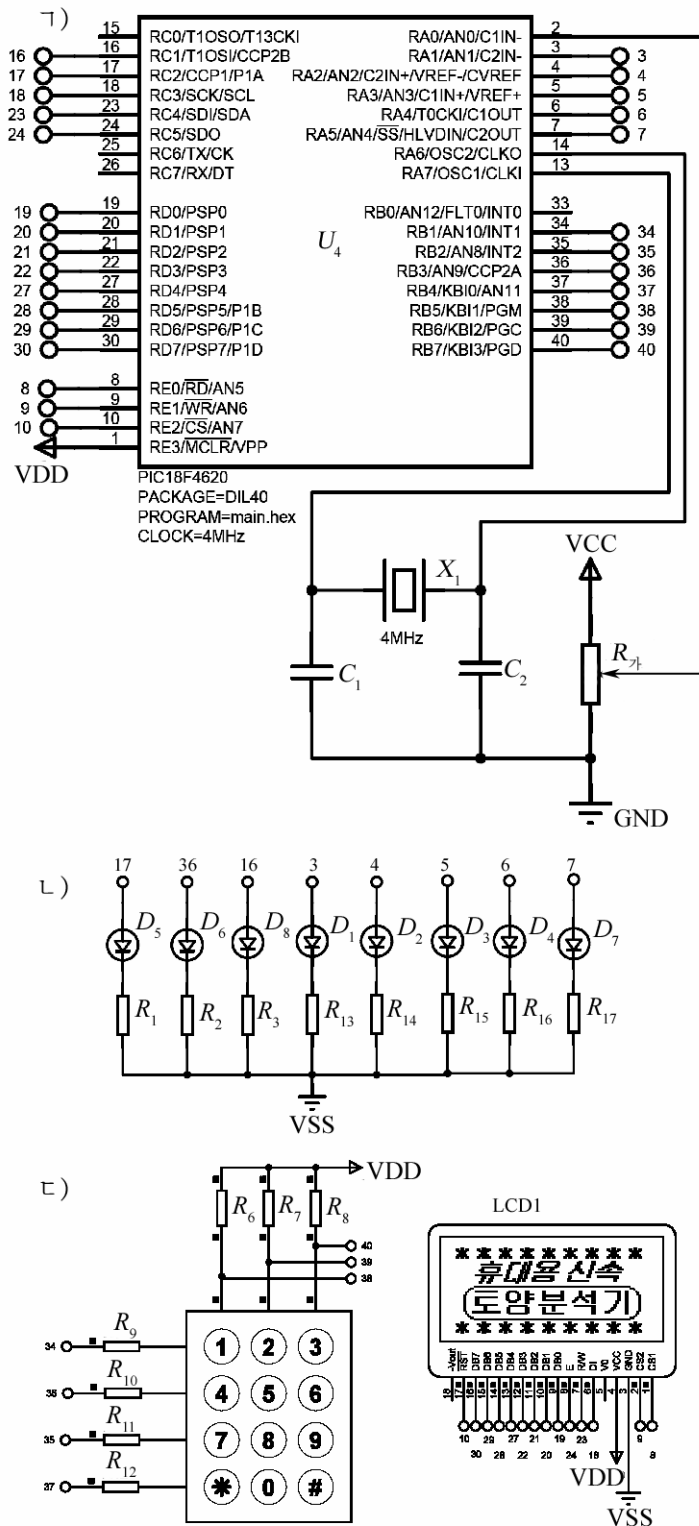


그림 8. 조종단의 극소형조종기(7))와 광원 및 지시회로(8)), 건반과 액정 표시장치회로(9))

Proteus의 통합개발환경은 개발기판을 대신하는 강력한 수단으로 널리 이용되고있다.[9, 13]

우리는 토양분석용광전비색계의 전자회로기판을 제작하기 전에 먼저 극소형조종기를 동작시키기 위한 프로그램을 작성하고 이 프로그램을 리용하여 개발기판이 없이 조종부의 모의실험을 진행함으로써 전자회로와 프로그램의 정확성을 확인하고 인쇄기판제작공정으로 넘어가도록 하였다.

그림 8의 7)에서 U_4 는 극소형조종기, X_1 은 4MHz의 수정진동자, C_1 , C_2 는 발진주파수를 안정화하기 위한 콘덴샤이다. 극소형조종기의 발진주파수는 4MHz의 수정진동자를 외부에 연결하고 극소형조종기내부의 위상동기회로에 의한 주파수체배기술을 리용하여 16MHz로 설정하였다. 발진주파수를 높이는것은 극소형조종기자체의 동작속도는 물론 액정표시장치와 건반이 제대로 동작하게 하는데서 중요하다.

가변저항 R_4 는 빛신호에 대응하는 상사신호 즉 신호처리부의 출구신호의 크기를 조절하는 역할을 수행한다.

극소형조종기를 포함한 조종단에서는 잡음이 많이 발생한다. 그러므로 빛검출단, 신호처리단과는 다른 접지와 전원을 리용하는것이 상사회로들의 정확한 동작을 위하여 반드시 준수해야 할 원칙으로 된다.[15, 16]

우리는 극소형조종기의 수자회로부분의 접지를 상사-수자변환기의 접지와 분리하였으며 조종단의 모의실험회로에서 상사회로전원을 VCC, 상사회로접지를 GND, 수자회로전원을 VDD, 수자회로접지를 VSS로 표시하였다. 상사회로접지와 수자회로접지는 전원회로의 한점에서 연결되어 공동접지로 된다.

그림 8의 1)에서 청, 록, 적색의 발광2극소자인 D_5 , D_6 , D_8 은 극소형조종기의 임펄스너비변조신호에 연결되어 프로그램적으로 조종된다. D_1 , D_2 , D_3 은 청, 록, 적색의 광원인 발광2극소자가 켜지는것과 동시에 켜지는 분석원소선택을 나타내는 청, 록, 적색의 발광2극소자로서 지시등의 역할을 한다. D_7 은 빛신호의 세기가 대단히 작은 흡광도가 큰 시료를 분석할 때 수광부의 절환소자를 동작시켜 증폭도를 증가시킨 상태를 나타낸다.

토양분석용광전비색계에 실지 사용된 건반은 4×4건반이지만 Proteus 8.3 모의실험도구에는 3×4건반밖에 없기때문에 모의실험에서는 그림 8의 1)에서 보는바와 같이 이 건반을 리용하였다.

4) 극소형조종기의 프로그램작성

세계적으로 가장 널리 사용되고있는 PIC, dsPIC계열의 극소형조종기를 위한 여러가지 프로그램들이 마련되어 C, Basic언어프로그램작성에 효과적으로 이용되고있다.[9-14] C언어프로그램작성에 쓸수 있는 프로그램개발도구에는 Microchip C18, Hi-Tech PIC C, Microelectronika C, Matrix Multimedia C, CCS C 등 여러가지가 있다.[9, 12]

이 프로그램은 많은 서고함수들을 가지고있으므로 리용이 편리하고 자체로 필요한 함수들을 개발할수 있는 가능성이 풍부한 특징을 가지고있다.

우리는 토양분석용광전비색계에 리용되는 극소형조종기를 위한 프로그램을 PIC계열의 극소형조종기전용번역프로그램(컴파일러) CCS C 4.4를 리용하여 작성하였다.

응용프로그램작성을 위한 알고리즘을 그림 9에 보여주었다.

그림 9의 알고리즘에 기초하여 작성된 프로그램은 main()함수와 공백신호를 측정하는 함수 BLK(), 표준시료의 신호를 측정하는 함수 STANDARD(), 토양시료의 신호를 측정하는 함수 SOIL(), 검량선을 현시하는 함수 STD_LINE(), 초기값을 입력하고 기억

하는 함수 INPUT(), 전문가들이 실험하여 얻은 고정검량선, 리용자들이 실험에서 얻은 검량선가운데서 정확하다고 보는 자체검량선, 현재의 실험에서 얻어진 검량선을 기억하는 함수 MEMO()로 구성되었다.

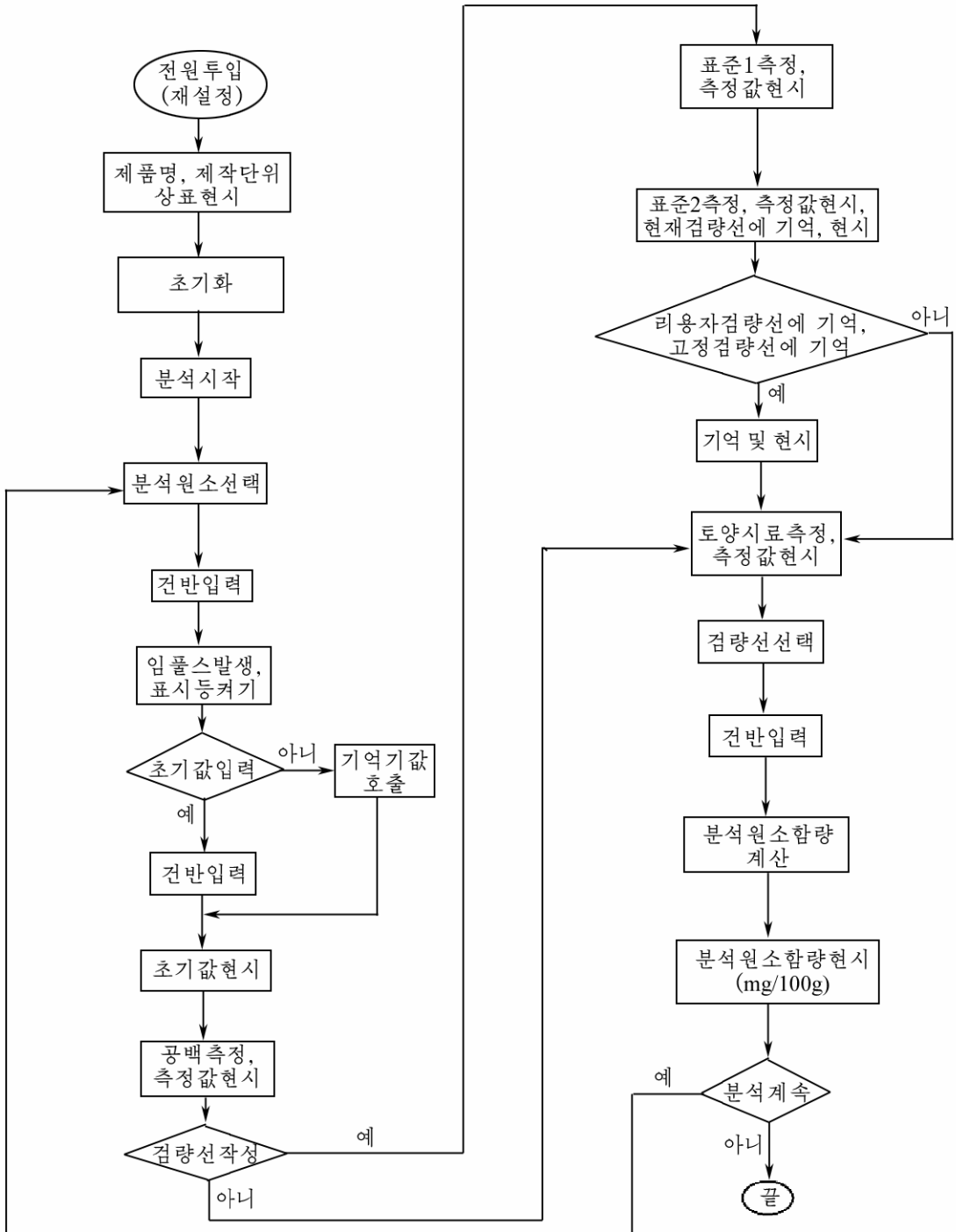


그림 9. 응용프로그램작성을 위한 알고리즘

프로그램은 리용자들이 분석조작을 쉽게 할수 있도록 매개 조작전에 화면에 우리 글로 안내문과 해야 할 조작을 현시하도록 하였다.

신호를 측정하는 함수들은 1ms의 간격에서 100회의 상사-수자변환을 진행하여 얻어진 결과들에 대한 이동평균(moving average)을 수행하여 흡광도와 투광도를 계산하는 프로그램을 포함한다.

건반조종을 위한 부분프로그램에는 건반을 누를 때 발생하는 잡음들이 건반의 동작에 영향을 미치지 못하도록 프로그램적으로 대책이 세워져있다.

그래프현시가 가능한 액정표시장치에서 상표를 비롯한 도형들은 128×64 의 자료배렬로 표시하여 도양분석용광전비색계의 제작에 리용된 액정표시장치의 $128 \times 64\text{pixel}$ 과 1:1대응시키는 방법으로 현시하였다. 우리 글자의 현시에서는 많은 프로그램개발도구들에서 8줄의 세로방향의 화소들을 1개의 페이지로 나누고 페이지별로 현시하고있는것과는 달리 세로방향의 매개 화소렬을 그대로 리용하여 우리 글자를 현시하였다.

이것은 우리 글자와 수자들이 같은 세로줄에 놓이는 경우 수평으로 일직선상에 놓이도록 하기 위하여 반드시 필요하다. 수자들과 영문자들은 임의의 크기로 현시될수 있게 하여 우리 글자들과 수자들의 가로세로의 크기를 일치시킬수 있게 하였다.

5) 도양분석용광전비색계의 제작

설계된 회로를 전자요소들을 조립할수 있는 조립기관으로 전환하기 위한 첫 공정은 인쇄회로기판(PCB)을 설계하는것이다.[15, 16] 인쇄회로를 설계할수 있는 여러가지 컴퓨터지원설계프로그램들이 있다. 우리는 Proteus 8.3을 리용하여 인쇄기관을 설계하고 그것을 Altium 13.0으로 변환하였다. 그것은 Altium계렬의 다른 판본과 마찬가지로 Altium 13.0도 역시 전자요소들의 다리선택과 배치, 설계과정이 복잡한 결함을 가지고있기때문에 인쇄회로기판설계를 쉽게 하고 또한 현대적인 인쇄기관회로제작기들은 Proteus 8.3에 의한 인쇄기관회로설계를 직접 실현할수 있는 기능을 가지고있다는 점을 고려하여 두 도구들사이의 변환에 의한 설계를 진행하였다.

인쇄회로기판설계알고리즘은 위상기하학에 기초하고있으며 따라서 매개 회로설계를 실현하는 수많은 가능성을 가지고있다. 그러므로 인쇄회로기판설계에서는 해당한 설계규칙을 잘 활용하는것이 필요하다.

특히 수정발진기회로요소들의 인쇄배선길이를 최소로 하여야 하며 $1M\Omega$ 이상의 고저항을 포함하는 회로에서는 인쇄배선보호고리를 적당히 설치하며 약한 신호와 강한 신호, 전원선과의 교차를 피하여야 할뿐만아니라 신호선들이 평행으로 배선되지 않도록 주의를 돌려야 한다.[15, 16]

인쇄회로기판설계의 최종단계는 생산성검사를 진행하는것이다. 생산성검사에 의하여 원리회로도설계와 인쇄기관회로설계사이의 완전한 대응성과 기관제작에서의 문제점들이 완전히 해결된다.

우리는 도양분석용광전비색계의 인쇄기관을 전원회로와 조종단, 신호처리단을 포함하는 기본기관과 광원단기관, 예비증폭기기관으로 제작하였다. 기본기관은 가로, 세로, 높이가 각각 $80\text{mm} \times 100\text{mm} \times 2\text{mm}$, 광원단기관은 $20\text{mm} \times 35\text{mm} \times 2\text{mm}$, 예비증폭기기관은 $30\text{mm} \times 50\text{mm} \times 2\text{mm}$ 인 량면인쇄기관으로 제작하였다.

장치의 외형크기는 $220\text{mm} \times 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ 이다.

3. 토양분석용광전비색계의 기술적특성

토양분석용광전비색계의 가장 중요한 기술적지표는 광학적특성량들인 투과도와 흡광도이다. 액정표시장치에서 투과도는 투과를 0~100%까지에서 소수점아래 2자리까지, 흡광도는 0~3까지에서 소수점아래 3자리까지 표시하였다.

제작된 토양분석용광전비색계의 정확도와 선형성, 상관결수를 평가하기 위하여 농도가 20, 40, 60ppm인 질소, 린, 칼리움의 표준용액으로 흡광도를 측정하고 이것을 분광광도계 《UV-2201》, 토양분석기 《HM-TYA》의 측정결과와 비교하였다.

측정결과를 표에 보여주었다.

표. 농도에 따르는 흡광도				
시료	농도 /ppm	흡광도		
		토양분석용 광전비색계	분광광도계 (《UV-2201》)	토양분석기 (《HM-TYA》)
질소	20	0.470	0.470 4	0.453
	40	0.857	0.856 4	0.815
	60	1.082	1.091 4	0.889
린	20	0.248	0.249 1	0.314
	40	0.473	0.476 0	0.221
	60	0.675	0.672 0	0.392
칼리움	20	0.658	0.657 4	0.574
	40	0.853	0.851 8	0.753
	60	1.235	1.227 2	1.054

표에서 보는바와 같이 우리가 제작한 토양분석용광전비색계의 흡광도측정에서의 상대오차는 질소에 대하여 $\pm 0.86\%$, 린에 대하여 $\pm 0.60\%$, 칼리움에 대하여 $\pm 0.68\%$ 로서 분광광도계 《UV-2201》과 일치하였다. 상관결수는 질소에서 0.998 1, 린에서 0.997 9, 칼리움에서 0.996 3이다.

토양분석용광전비색계의 정확도를 표준기구로 측정한데 의하면 투과도 0~1(투과를 0~100%)에서 ± 0.02 , 흡광도 0~3에서 ± 0.05 이다.

이상의 연구결과들은 새로 연구제작된 토양분석용광전비색계(휴대용신속토양분석기)가 정확하고 믿음성있는 분석기구라는것을 보여준다.

맺 는 말

포전별, 필지별로 현장에서 토양분석을 신속정확하게 진행할수 있는 토양분석용광전비색계(휴대용신속토양분석기)를 제작하였다. 토양분석용광전비색계는 임펄스빛변조방식으로 동작하며 조종과 수값계산, 액정표시장치의 현시를 모두 극소형조종기로 진행할수 있다. 토양분석용광전비색계로 농도가 20, 40, 60ppm인 질소, 린, 칼리움의 표준용액의 흡광도를 측정한 결과는 분광광도계 《UV-2201》의 결과와 상대오차 $\pm 0.86\%$ 이하에서 일치하며 정확도를 표준기구로 측정한데 의하면 투과도 0~1에서 ± 0.02 , 흡광도 0~3에서 ± 0.05 이다.

참 고 문 헌

- [1] G. Bela Liptak; Instrument Engineers' Handbook, CRC Press, 1828, 2008.
- [2] R. N. Fernandes et al.; Talanta, **58**, 729, 2012.
- [3] P. C. Hauser et al.; Talanta, **42**, 729, 2005.
- [4] P. R. Shubhashree et al.; IJERT, **7**, 7, 35, 2017.
- [5] C. D. Motchenbacher; Low—Noise Electronic System Design, John Wiley & Sons, 419, 1993.
- [6] J. G. Graeme; Photodiode Amplifier, McGraw—Hill, 250, 1996.
- [7] R. C. Laskey; Optoelectronics for Data Communication, Academic Press, 336, 2005.
- [8] P. P. L. Regtien; Measurement Science for Engineers, Elsevier, 357, 2004.
- [9] Martin P. Bates; Programming 8—Bit PIC Microcontrollers in C, Newnes, 278, 2008.
- [10] Tim Wilmshurst; Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Elsevier, 555, 2007.
- [11] Julio Sanchez et al.; Microcontroller Programming, CRC Press, 759, 2007.
- [12] Nigel Gardner; PIC C, Bluebird Electronics, 153, 2002.
- [13] Han—Way Huang; PIC Microcontroller, Thomson Learning, 790, 2005.
- [14] Dogan Ibrahim; Advanced PIC Microcontroller Projects in C, Elsevier, 533, 2008.
- [15] Tim Williams; The Circuit Designer's Companion, Elsevier, 335, 2005.
- [16] Hank Zumbahlen; Linear Circuit Design Handbook, Elsevier, 923, 2008.

주체109(2020)년 10월 5일 원고접수

On the Manufacture of the Photocolorimeter for Soil Analysis Using LEDs and Photodiodes

Pak Chang Su, Kim Tong Il and Ri Sung Guk

We manufactured the photocolorimeter capable of analyzing soil quickly and accurately. The accuracy of photocolorimeter for soil analysis is ± 0.02 when the transmittance is 0~1 and ± 0.05 when the absorbance is 0~3.

Keywords: photocolorimeter, soil analyzer