

비전시스템을 이용한 토양미생물 관측장비 개발

김일배 · 홍원확* · 이학성** · 서명교*** · 서정호****†

울산과학기술대 공간환경시스템, *전기전자학부, **울산대학교 응용생명화학공학부,
동의공업대학 환경정보시스템과, *환경정밀화학과

Development of Observation Equipment for Soil Microorganisms Using Vision System

Il Bae Kim · Won Hak Hong* · Hak Sung Lee** · Myung Gyo Suh*** · Jung Ho Suh****†

Course of Civil Environmental Engineering, Ulsan College

***School of Electrical Engineering, Ulsan College*

****School of Chem. Eng. & Bioeng., University of Ulsan*

*****Dept. of Environ. & Bio-eng., Dongeui Institute of Technology*

*****Dept. of Environmental & Ind. Chemistry, Ulsan College*

(Received April 20, 2004; Accepted June 14, 2004)

ABSTRACT

Observation of microorganisms collected from contaminated soils has been mainly conducted by using microscopy. Microscopic measurement is occupied an important part of the microorganism experiment, and is used as an important tool to count microorganisms as well as to observe cellular form and mode of life in the field of soil microbe observation. In general, observation equipments for soil microbes consist of electron microscope, camera, frame grabber (image acquisition baud), and image analysis software. Because image analysis software should be linked with frame grabber most equipments have to be imported as the package form. Therefore, the observation system is very expensive and difficult to be operated. In this study, soil microbes' observation equipment with the vision system which is easy operated and cheaper than imported one was developed and tested. The efficiency of image capturing and data acquisition with developed frame grabber and software in this experiment was good enough to analyze the image of soil microorganism.

Keywords: soil microbe observation equipment, vision system, image analysis software

I. 서 론

최근 토양오염이 심각해지면서 토양의 복원에 많은 관심이 집중되고 있는 실정이다. 이러한 오염토양에 관련된 기술은 크게 토양오염도 측정과 토양복원으로 대별되며 오염된 토양의 복원방법에는 오염토양 복합 처리 기술, 생물학적 복원기술 등이 주로 사용되고 있다.¹⁾ 생물학적 복원기술은 오염된 토양에 존재하는 유기물 및 유해물질, 즉 토양오염물질을 토양미생물을 이용하여 처리하므로 비용적인 측면에서 가장 경제적인

기술로 인정되어 현재 활발히 사용되고 있으며 복원과정에서 미생물체제를 주입한 후, 미생물의 종류별 크기, 형태, 갯수 등의 각종 정보를 수시로 취득하기 위해서는 복원하려는 토양에서 시료를 채취하여 수시로 관측해야만 한다. 토양복원에 이용되는 토양미생물의 개요를 살펴보면 토양 동물군은 크기에 의해 대형동물군, 중형동물군, 그리고 미소동물군으로 분류한다. 물론 크기 외에도 식성과 생태학적 기능에 의해서 분류되지만, 크기에 의한 것이 기본이 되고 있다. 토양은 자연계에서 가장 많은 미생물이 분포하는 장소이고 미생물 수의 현황을 살펴보면 대략 세균이 90% 이상이며 방선균이 6%, 곰팡이와 효모가 1%, 기타 미생물이 나머지 3% 정도를 차지하고 있다. 따라서 토양복원에는 수, 양 그리고 대사 활성면에서 다른 어느 미생물보다

†Corresponding author : Dept. of Environmental & Ind. Chemistry, Ulsan College
Tel: 82-52-279-3177, Fax: 82-52-279-3178
E-mail : josuh@mail.uc.ac.kr

우세한 세균, 방선균, 그리고 곰팡이가 주로 이용된다.^{2,3)}

세균의 종류로는 *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Pseudomonas* sp. 등이 있고 방선균에는 *Actinomyces* sp., *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp. 등이 있다. 또한 곰팡이 종류로는 *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. 등이 대표적으로 존재한다. 토양중의 미생물의 상태를 관측하는 방법은 다음과 같이 두 가지 유형으로 나누어진다. 첫 번째 유형은 토양현탁액을 배지 상에 접종, 생육시켜 그 colony를 계수(count)하는 희석평판법과 미생물의 활성에 따른 반응을 보고 균수를 측정하는 최확수법(most probable number method = MPN법)이 있으며, 살아있는 미생물 수를 계수한다는 점에서 생균수 측정법이라고도 한다. 이들 방법은 비교적 정확한 처리 결과를 얻을 수 있으나, 처리과정에서 다양한 장비가 사용되어야 하고 비교적 복잡한 공정으로 인해 시간과 인력이 많이 소요되는 단점이 있다.⁴⁾

두 번째 유형은 토양 중의 미생물을 염색하여 현미경을 가지고 직접 계수하는 방법으로 측정과정이 비교적 간단하고 미생물의 계수 뿐만 아니라 형태나 미세구조 등의 보다 상세한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 현미경을 사용하는 측정이므로 미생물의 사균수까지 계수한다는 점과 관찰자의 육안에 의존하게 됨으로 측정결과의 신뢰도가 저하되는 단점이 있다. 따라서 현재 현미경을 사용한 방법은 경제적, 시간적 효용성에도 불구하고 간이 측정 외에는 널리 사용되고 있지 못하고 있는 실정이며 이의 단점을 보완하는 기술의 개발이 필요하다.⁵⁾

최근, 컴퓨터 프로세서 하드웨어 분야의 빠른 처리속도와 저렴한 가격으로 인해 컴퓨터 비전(Computer Vision)을 도입하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 컴퓨터 비전이란 카메라로부터 입력된 영상정보를 다양한 2차원 또는 3차원 영상처리기법을 통해 원하는 정보를 얻어내는 기술이다. 특히 이 기술은 주로 사람의 육안에 의존하는 처리방법을 자동화함으로써 신뢰도를 향상시키고 측정결과를 DB화 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기존의 현미경에 의한 토양 미생물 관측기법에 이 컴퓨터 비전기술을 접목한다면 위의 단점을 극복할 수 있을 뿐만 아니라 다른 환경 측정분야에도 활용할 수 있다.⁶⁻⁸⁾

현재 일부 상용화된 컴퓨터 비전 기반 토양 미생물 관측 장비는 전자현미경, 카메라, frame grabber(영상획득용 보드), 영상분석 S/W로 구성되어 있으며, 주로 관련 연구소나 대기업을 중심으로 사용되고 있다. 그러나 이 장비는 영상 분석 S/W가 frame grabber에 연동되어 패키지 형태로 이루어져 가격이 고가이고 대부분 외

국 제품이기 때문에 사용법이 복잡하여 토양오염 및 복원에 관련한 중소기업체에서 이용하기에는 곤란한 점이 많다.^{9,10)}

따라서 본 연구에서는 이러한 단점들을 보완하고 중소기업에서도 쉽게 사용이 가능한 컴퓨터비전 기반 토양 미생물 관측장비를 국산화하여 개발하고자 하였다. 또한 영상 관측 장비의 H/W 중 frame grabber 개발에서는 제작될 PC기반 영상분석 S/W와 연동하기 위해서 PCI 기반 보드로 자체 개발을 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 미생물 관측용 frame grabber H/W 제작

1) 영상처리 H/W 설계

오염토양 복원 미생물 관측용 비전시스템은 크게 전자현미경, 아날로그 카메라, frame grabber, 영상처리 S/W로 구성되어진다. 대부분의 토양분석 업체나 연구기관에서는 전자현미경과 이에 연결된 카메라 시스템은 가지고 있으나 이를 처리하기 위한 frame grabber 나 영상처리 S/W는 고가인 관계로 다수 확보되지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 영상신호를 컴퓨터에서 처리하기 위해서는 아날로그 카메라로부터 디지털 신호로 변환하는 기능을 먼저 수행한다. 이러한 기능을 수행하는 장치를 frame grabber 또는 image grabber, vision board라 부른다. 오염토양의 미생물관측을 위해 전자현미경을 사용하고 이 현미경에 연결된 카메라로부터 입력되는 아날로그 영상신호를 디지털로 바꿔주기 위해 frame grabber를 사용한다. 따라서 본 연구에서는 오염토양미생물 관측장비가 비교적 비싼 점을 감안하여 대중적으로 쉽게 보급될 수 있는 오염토양 복원을 위한 전용 frame grabber 및 영상처리 S/W를 개발하였으며, frame grabber 시스템은 context 사의 BT878을 기본으로 하여 윈도우 환경하에서 동작하도록 설계하였다.

Fig. 1은 BT878을 사용하여 제작된 frame grabber의 블록도를 보여준다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 본 frame grabber는 4채널까지 입력이 가능하며 40 MHz의 램덱을 통해 실시간 캡처 및 영상 디코딩을 할 수 있다.

제작된 frame grabber의 주요 H/W 사양은 다음과 같다.

- 초당 30 프레임 캡처 기능
- 4 채널 캡처 기능
- 다양한 이미지 사이즈(640×320, 320×240, 160×120) 지원
- 각 채널별 색상조절 기능

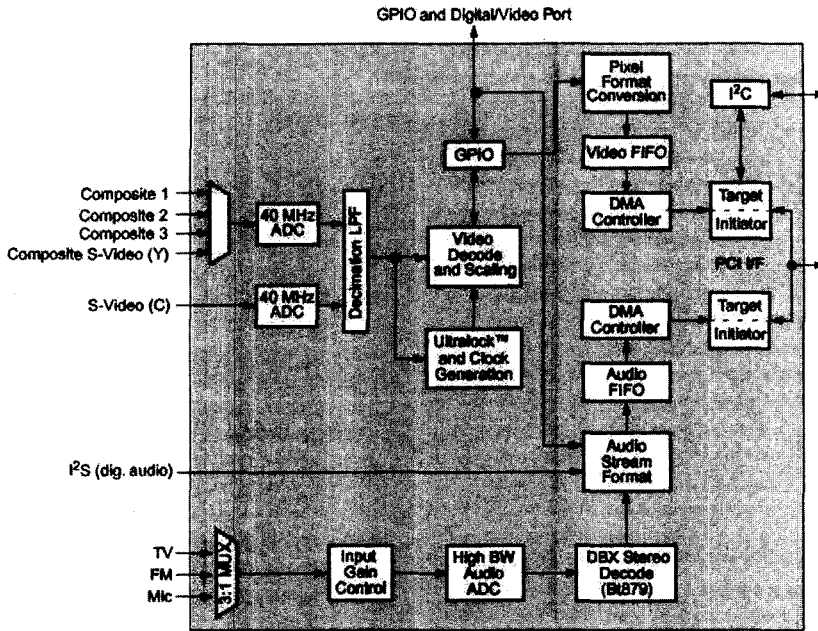


Fig. 1. Block diagram of developed frame grabber.

- 12C Bus 연결기능
- 12C Bus 제어기능
- PCI Rev 2.1 버스 사용
- 20개의 GPIO 지원

2) 영상 캡처 설계 방법

영상이미지는 통상 한 프레임 당 수백 KByte 이상의 데이터로 구성되며, 이러한 데이터를 NTSC 규약인 초당 30 프레임씩 처리하기 위하여 메인프로세서(CPU)의 처리속도에 영향을 주지 않고 DMA를 통해 직접 메인 메모리로 전송하는 방식을 사용하였다.

본 영상처리 보드에서는 영상을 획득하기 위한 방법으로 CAPTURE_PERIOD, CAPTURE_ALWAYS, CAPTURE_EVENT의 3가지 방법을 지원한다. 또한, 윈도우즈 용 전용 드라이버를 개발하고 이를 이용하여 GPIO 등을 제어할 수 있게 다기능, 다목적으로 활용하게 하였다.

영상 캡처 하드웨어는 Context 사의 BT878 영상전용 IC를 기반으로 PCI 버스를 통해 영상을 캡처할 수 있는 장치로 개발되었으며, 윈도우하에서 프로그램을 실행할 수 있게 윈도우즈 용 디바이스 드라이버를 개발하였다.

2. 토양미생물 관측용 영상분석 S/W 개발

일반적으로 영상분석 시스템에서는 취득된 영상으로

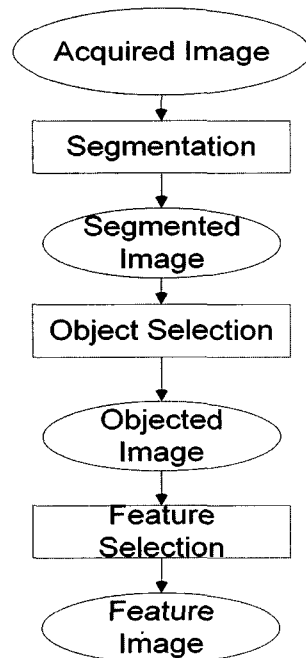


Fig. 2. Image analysing step.

부터 대상물체의 크기, 형태, 칼라 등의 특징적인 feature들을 구하고 이로부터 중요한 매개변수를 추출하

여 영상압축, 저장, 전송, 인식 등에 사용한다. 영상분석 단계는 영상취득, 분할(segmentation), 객체추출, 특징점 추출의 단계를 거쳐 이루어진다.

본 비전 시스템의 분석 S/W는 토양미생물 분석을 위해 46개의 영상처리용 클래스 라이브러리 및 영상분석 S/W Tool(Fig. 3)을 개발하였다. 이는 Visual C++ 6.0으로 작성하였으며, 영상처리용 클래스 라이브러리는 Static Library와 헤더파일로 구성하였다.

Fig. 4에서 보듯이 영상분석 툴에는 자체 영상분석 루틴(Enhancement, Find Edge, Thresholding 등)이 18 종류가 내장되어 있으며 각 루틴에는 또한 3가지 정도의 영상분석 서브루틴이 존재하여 쉽게 토양미생물 분석을 할 수 있게 제작되었다.

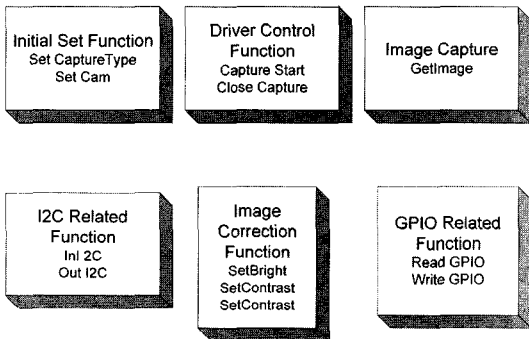


Fig. 3. Class library for developed image analysis.

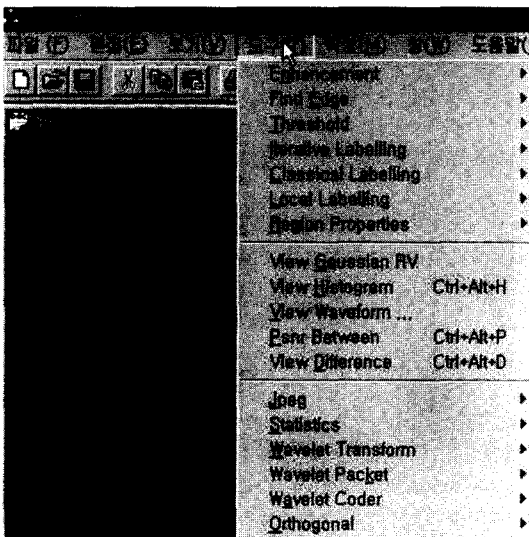


Fig. 4. Image analysis tool for observation of soil microorganism.

III. 결과 및 고찰

1. 토양미생물 영상분석 실험결과

본 연구에서는 H환경기술(주)와 토양오염도 전문검사기관의 도움을 받아 토양샘플을 채취하여 미생물을 배양하였다. 한천배지에 배양된 미생물의 관측을 위해 전자현미경과 이에 부착된 NTSC 카메라로부터 나온 영상신호를 시제작된 frame grabber에 입력하여 영상을 취득하였다.

본 실험에서는 토양미생물인 세균, 방선균, 효모에 대해 미생물 영상을 취득하고 이를 사용하였다. Fig. 5는 영상분석 툴을 사용하여 효모로부터 영상의 경계에 해당하는 에지를 추출한 그림을 보여준다. Fig. 5에서 보듯이 배경과 효모인 대상물체가 뚜렷이 구분되어 쉽게 물체를 추출할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 본 연구에서 사용된 효모, 방선균 및 세균에 대해 이를 분할한 결과를 보여준다. Fig. 6에서 보듯이 각 토양미생물들은 영상분할을 통해 배경으로부터 미생물들을 쉽게 추출이 가능하며, 추출된 물체들로부터 크기, 형태, 갯수 등의 영상정보를 쉽게 취득할 수 있었다. 이들 정보들은 D/B화되어 토양미생물 관측 자료로 사용되게 된다.¹¹⁾

2. 토양미생물 관측용 비전시스템 H/W 시제품 제작

Fig. 7은 시제작된 frame grabber의 앞면과 뒷면을 보여준다. PCI 방식을 채택하여 고속 데이터 전송이 가능하며 4채널까지 영상이 가능하다.

Fig. 8은 시제작된 frame grabber의 회로도도를 보여준다. Fig. 8에서 보듯이 본 frame grabber는 회로가 간단하여 보드의 제작이나 유지보수가 쉽게 설계되었다.

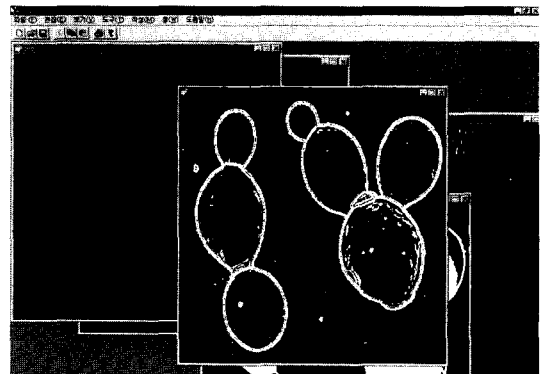


Fig. 5. Photograph of edge selection using image analysis tool.

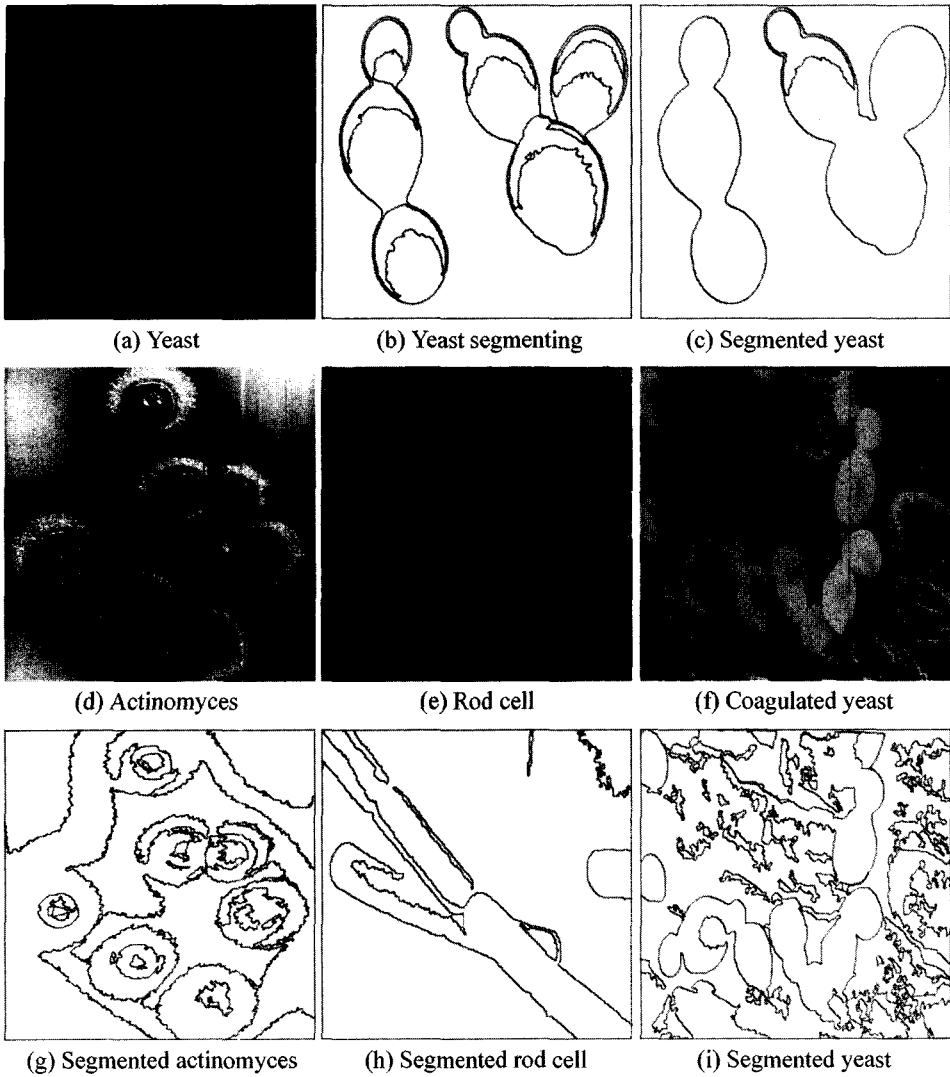


Fig. 6. Sample images of segmented soil microorganism.

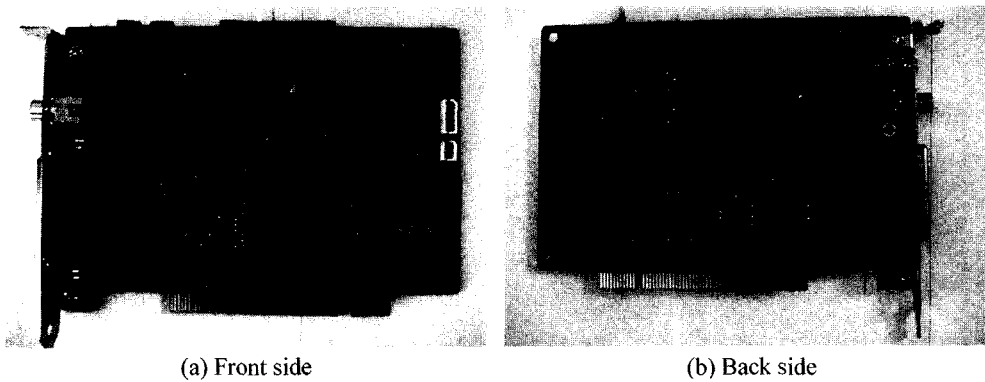


Fig. 7. Photograph of frame grabber made in this study.

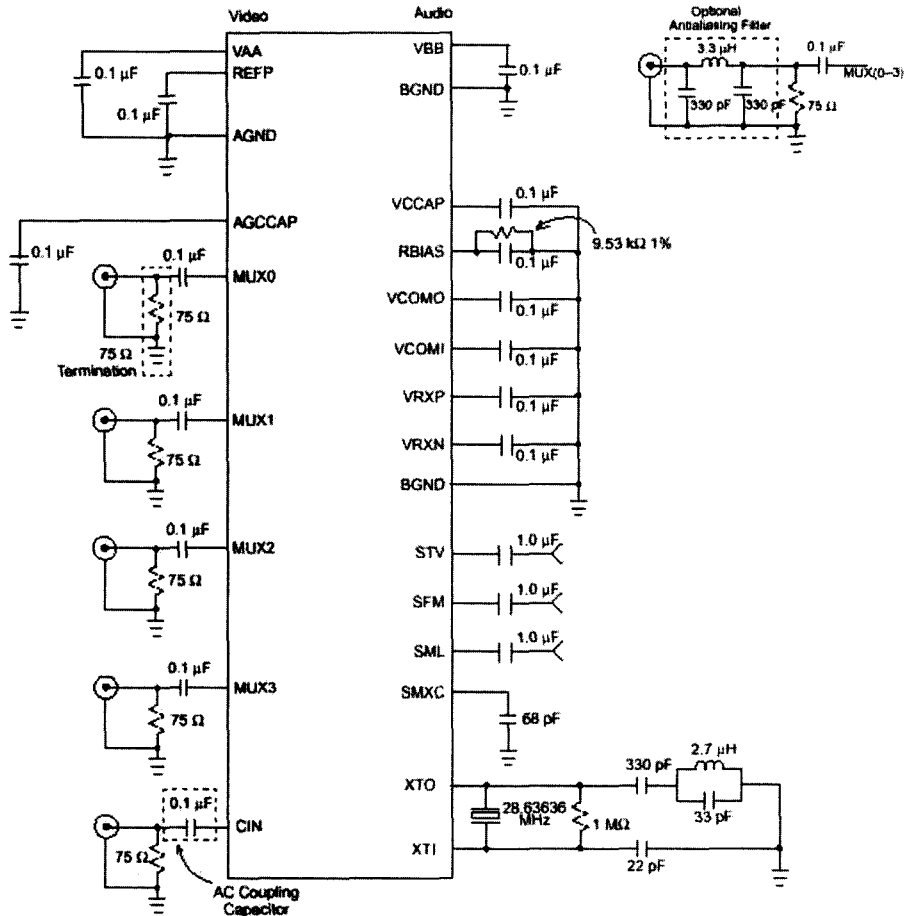


Fig. 8. Circuit diagram of frame grabber made.

IV. 결 론

현재 일부 상용화된 컴퓨터 비전 기반 토양 미생물 관측 장비는 고성능의 현미경, Digital camera, PC system, 자동 영상획득/활용시스템, 영상 분석 S/W가 frame grabber에 연동되어 패키지 형태로 이루어져 주로 수입된 외국제품이기 때문에 가격이 고가이고 또한 사용법이 복잡한 면이 있어 토양오염 및 복원에 관련한 중소기업체에서 구매하여 이용하기에는 곤란한 점이 많다. 본 연구에서는 국내 중소 환경업체에 적합하면서도 조작성이 간편하여 쉽게 사용이 가능한 컴퓨터비전 기반 토양미생물 관측장비를 국산화하여 개발하였다. 먼저 4채널 입력이 가능한 고속 frame grabber H/W를 설계 및 시제작하였으며 토양 미생물 영상분석 및 실험을 위해 자체 영상분석 라이브러리와 영상분석 툴을 제작하였다. 본 장비는 향후 수요가 급증하리라 예

상되는 오염토양 미생물분석 장비로 기존 외국제품에 비해 1/5 정도의 가격으로 자체기술로 제작되어 앞으로 많은 활용이 기대된다.

참고문헌

1. 신항식, 이정전, 전의찬, 박선순, 지재성, 정재춘, 노중수, 서명교 : 최신환경공학, 자유아카데미, 797-806, 1996.
2. 양창술, 김중식 역 : 토양미생물실험법, 일본토양미생물학회 지, 도서출판 월드사이언스, 16-17, 2002.
3. 전흥기, 홍재열 : 미생물공학, 동화기술, 83-96, 1996.
4. Benson, H. J. : Microbiological applications. Wm. C. Brown Publishers, 22-27, 1994.
5. Michael J. Pelczar, Jr., E. C. S. Chan, Noel R. Krieg : Microbiology concepts & applications, McGraw-Hill, 1993.
6. Anil K. Jain : Fundamentals of digital image processing. Prentice Hall, 84-89, 1989.

7. Serra, J. : Image analysis and mathematical morphology-Vol. II, theoretical advances, Academic Press, London, 189-202, 1988.
8. Haralick, R. M. and Shapiro, L. G. : Survey of image segmentation techniques. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, **29**, 100-132, 1985.
9. Forcheimer, R. and Kronander, T. : Image coding-
from waveforms to animation. *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, **37**, 2008-2033, 1989.
10. Horowitz, S. L. and Pavlidis, T. : Picture segmentation by a tree traversal algorithm. *Journal of the ACM*, **23**(2), 368-388, 1976.
11. 박용하 : 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안. 한국환경정책평가연구원, 16-18, 60-63, KEI/1997.