

---

# 유전자 알고리즘을 이용한 바이오센서 활동량 측정 CMOS 이미지 센서 모니터링 시스템 개발

박세현\*

Development of CMOS Image Monitoring System for Measurement of Biosensor Activity  
using Genetic Algorithm

Sehyun Park\*

---

이 논문은 2005년도 안동대학교 국제학술교류보조금에 의하여 연구되었음

---

## 요 약

유전자 알고리즘을 이용하여 바이오센서의 활동량을 측정하는 CMOS 이미지 모니터링 시스템을 개발하였다. 수중의 물벼룩, 물고기와 같은 살아있는 대부분 생물체는 수질을 모니터링 하는 바이오센서로 자주 사용된다. 이미지 센서에 의해 바이오센서의 활동량의 측정은 이미지를 얻는 방법에 따라 다르게 측정됨으로 매우 어렵다. 제안된 모니터링 시스템은 유전자 알고리즘을 사용하여 바이오센서 활동량을 최적으로 측정할 수 있다. 그리고 이 시스템은 FPGA로 되어 있어 가격과 성능 면에서 우수한 작은 하드웨어로 구현된다.

## ABSTRACT

CMOS image monitoring system for optimal measuring the activity of biosensor is developed using genetic algorithm. Most of living organism in water as water flea, fish, etc are frequently used as biological sensor for monitoring the water quality. It is very difficult to measure the activity of biosensor by image sensor because the value of measurement is varied with gathering method of biosensor images. The suggested monitoring system can optimally measures the activity of biosensor by genetic algorithm, The system is implemented with FPGA into the small hardware which is excellent in terms of the price and performance.

## 키워드

유전자, 모니터링, 수질, 바이오센서

## I. 서 론

수자원의 안전성에 대한 관심이 높아지고 있다. 수자원은 산업화가 진행하면 할수록 오염 확률이 높아지기 때문에 최근 안전한 수질 검증을 위한 대책이 많이 연구

되고 있다. 수질의 유해성 검증은 수질 측정에 있어서 중요한 기본 정보로서 수질 측정에 가장 우위에 둔다. 수질을 오염 시키는 데는 많은 물리 화학적 원인들이 있기 때문에 이것을 검출 하는데 해당 원인들에 대응하는 많은 물리적, 화학적 센서들이 요구 된다. 그러나 수질 오염에

대한 인체의 유해성을 검증하기 위해서 많은 물리적, 화학적 센서들을 동원하는 것은 비효율적이므로 이를 대신하는 바이오센서에 대한 관심이 집중되고 있다. 바이오센서는 많은 물리 화학적 센서들을 하나의 센서로 대체할 수 있을 뿐만 아니라 인체에 대한 유해 여부를 가장 신뢰 있게 판단할 수 있다는 장점이 있다.[1][2][3][4]

수질에 적용하는 바이오센서는 미생물, 어류, 물벼룩 등을 사용한다. 일반적으로 수질에 적용하는 바이오센서는 물에 독성 물질이 유입되면 활동량의 변화를 가져온다. 따라서 바이오센서의 활동량 변화를 측정하면 수질에 독성 물질 유입 여부를 쉽게 판단할 수 있다. 바이오센서의 활동량을 측정하는 방법은 LED와 Photo Tr.을 이용한 방법과 CCD 카메라로 활동량을 측정하는 방법이 있다.[5]

LED와 Photo Tr.을 이용한 방법은 수중에서 바이오센서 활동량에 비례하여 LED 부의 빛을 포토 Tr.에서 차단되므로 활동량 비례하는 수치를 측정 할 수 있다.[1][2][3] 이 방법은 LED의 발광부와 TR의 수광부 위치를 정밀히 조정하여야 하는 문제가 있고 발광부인 LED 광원에 의한 바이오센서의 교란을 무시할 수 없어 측정 시의 오류를 배제할 수 없다.

CCD 카메라를 사용하여 영상처리로 측정하는 방법은 LED 방식과 같이 발광부와 수광부로 나누어 있지 않아 별도로 정밀 위치 조정이 필요 없을 뿐 아니라 LED 광에 의한 바이오센서 활동량의 미세한 교란이 없다는 장점을 가진다.

그러나 CCD 카메라 활동량 처리 방식에서는 CCD 카메라와 바이오센서의 거리, 바이오센서의 이미지 면적, 외부 광도 및 배경 화면의 명암에 따른 바이오센서의 활동량의 측정값이 달라지므로 바이오센서의 활동량에 비례하는 출력을 얻기 위해서 수작업으로 이미지 획득에 대한 정밀 설정이 필요하다는 문제가 있었다.[5] 그리고 CCD 카메라가 Video Input Processor 같은 이미지 처리 프로세서가 필요하다는 점과 CCD 카메라가 LED와 TR 방식에 비해 비교적 고가라는 점도 고려되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 CCD에 비해 비교적 저가인 CMOS 이미지 센서를 이용하여 바이오센서의 활동량 측정 모니터링을 개발하려고 한다. 개발하고자 하는 바이오센서 활동량 CMOS 이미지 센서 모니터링 시스템은 소프트웨어로 구현하는 방식이 아닌 순수 하드웨어 방식으로 개발한다. 그리고 본 논

문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 기존의 CCD 카메라 방식에서는 수작업의 힘든 설정이 요구되는 문제점을 해결 한다.

## II. 유전자 알고리즘을 이용한 바이오센서 활동량 측정 CMOS 이미지 모니터링 시스템 설계

그림 1은 CMOS 이미지 센서의 화면 배열을 나타낸 것이다. CMOS 이미지 센서의 화면에서 물벼룩과 같은 바이오센서의 활동을 검출할 수 있는 단위 면적을  $N \times N$  개의 화소로 설정하고 이것을 Cell이라 두자. 이 Cell들을 전체 화면에 격자형 배열로 배치한다. 수질 환경에 의해 반응하는 바이오센서의 활동량은 CMOS 이미지 센서 화면상에서 Cell을 통과하는 횟수에 확률적으로 비례한다.

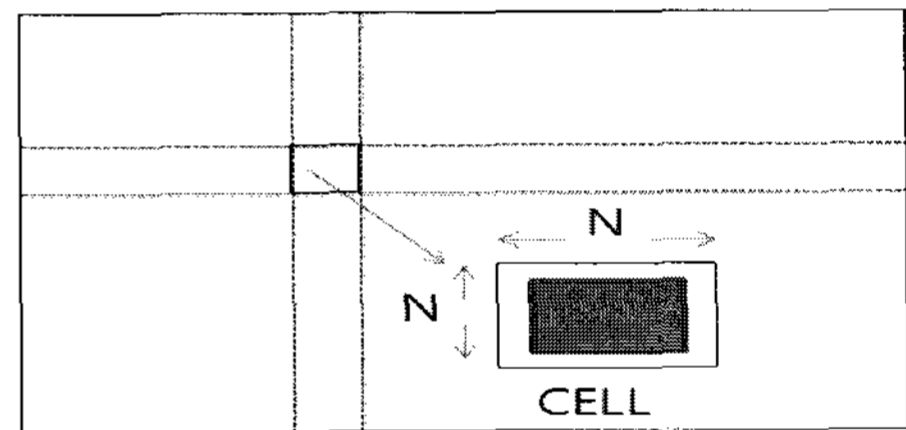


그림 1. CMOS 이미지 센서의 화면  
Fig 1. The Screen of CMOS Image Sensor

바이오센서의 크기는 단위 Cell의 크기의 1 배에서 3 배에 달하도록 한다. 즉 한 개의 바이오센서는 대략 하나 이상 3개 이하의 Cell 들을 점유 하도록 한다.

그림 2는 CMOS 이미지 센서에서 임의의 Cell 화소 배열을 나타낸 것이고 그림 3은 임의 Cell에 의한 바이오센서의 검출 알고리즘을 흐름도로 나타낸 것이다.

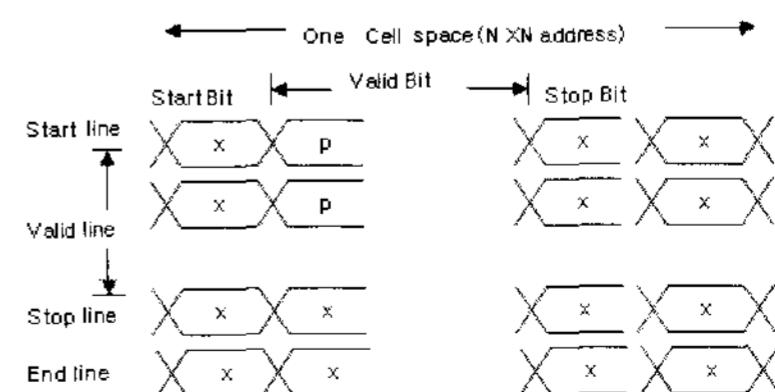


그림 2. Cell 내의 화소 배열  
Fig 2. Pixel Array in Cell

Start Line의 Start Bit에서 Cell에 해당하는 배열의 Cell 값을 0으로 초기화 한다 그리고 Valid Bit 영역에서 배경 화면의 화소 레벨 보다 설정 레벨(RGB\_Ref) 큰 화소 레벨을 로직 '1'로 두고 이것을 Valid Bit 영역에서 계수하게 한다. 계수된 로직 '1'의 값을 Stop Bit 와 End Bit에서 해당 Cell 배열의 저장 공간에 저장하게 한다. 이러한 과정은 Start Line부터 Valid Line 전 영역에서 수행하게 한다.

Valid Line의 Start Bit에서는 이전의 Cell 배열의 값을 읽어들 인 후 Valid Bit 영역에서 계수한 값과 더한 값을 Stop Bit와 End Bit 영역에서 해당 Cell 저장 공간에 저장한다. 그러나 Start Line의 Start Bit 에서는 이전에 저장된 Cell 값이 필요가 없기 때문에 Valid Bit 영역에서 계수한 값만 Stop Bit 영역에서 해당 Cell 배열에 저장한다.

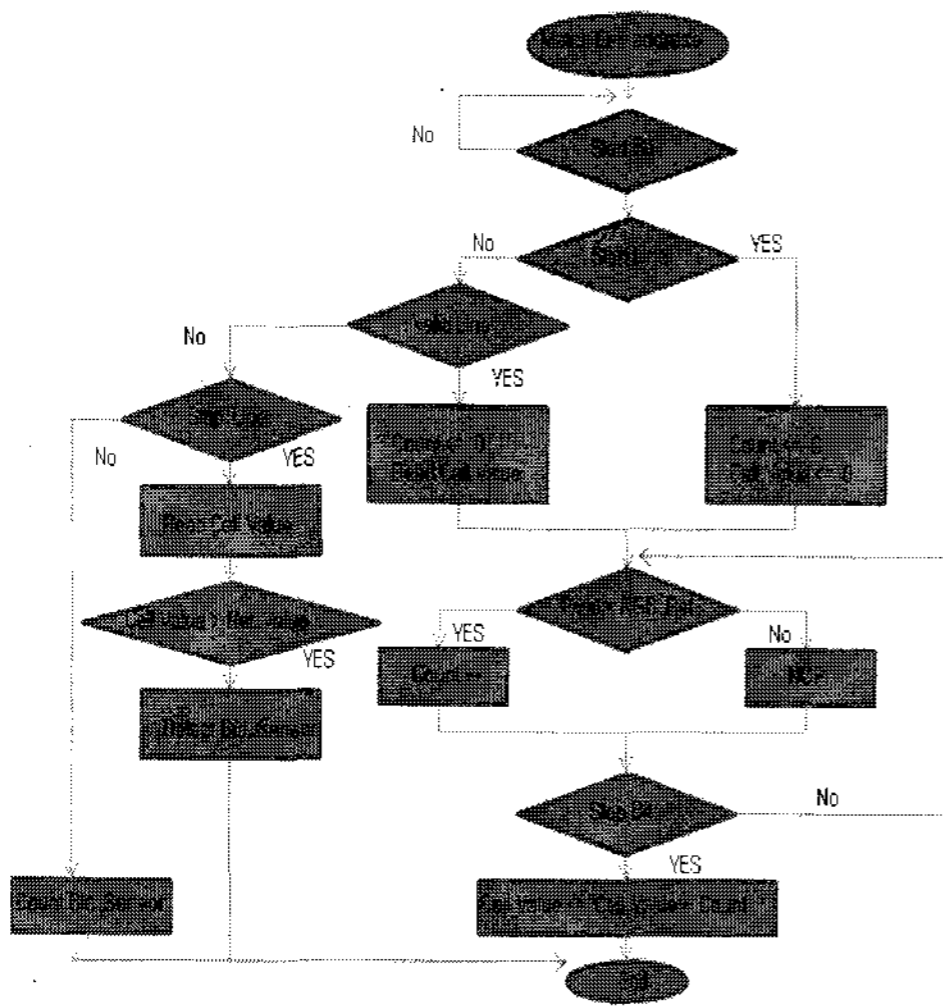


그림 3. 바이오센서 검출 흐름도  
Fig 3. Detection flow of Biosensor

임의 Cell에 대한 바이오센서 검출 여부는 Stop Line에서 결정한다. 즉 Stop Line의 Start Bit에서 해당 Cell에 저장된 계수 값을 읽고 이 값이 설정 개수(Ref\_count)보다 큰 값일 때 바이오센서가 해당 Cell에 검출되었다고 판단한다.

그림 3에서 보는 바와 같이 임의 Cell에 바이오센서가 검출된다는 것은 설정 파라미터 RGB\_Ref 와 Ref\_value에 의존한다. 이 값은 수작업으로 설정되는 것이어서 주변 환경에 따라 시간과 노력이 필요한 작업이

될 수 있다.

제안된 시스템에서는 바이오센서의 활동량을 실시간으로 측정하기 위해 CMOS 이미지 센서 데이터 처리를 이미지 프레임 버퍼에 보관하여 소프트웨어로 처리한 것이 아니라 하드웨어적으로 실시간으로 처리한다.

그림 4는 바이오센서의 활동량을 실시간으로 측정하기 위한 하드웨어이다. CMOS 이미지 센서의 신호인 Pixel clk과 Hsync 및 Vsync를 사용하여 이미지 센서 화면상의 2차원 평면 좌표 X 주소와 Y 주소를 디코드 한다.

그리고 좌표 X 주소와 Y 주소를 통해 Cell 주소와 그림 2의 화소 배열에서 설명한 각 Bit 정보 및 Line 정보를 디코드 한다.

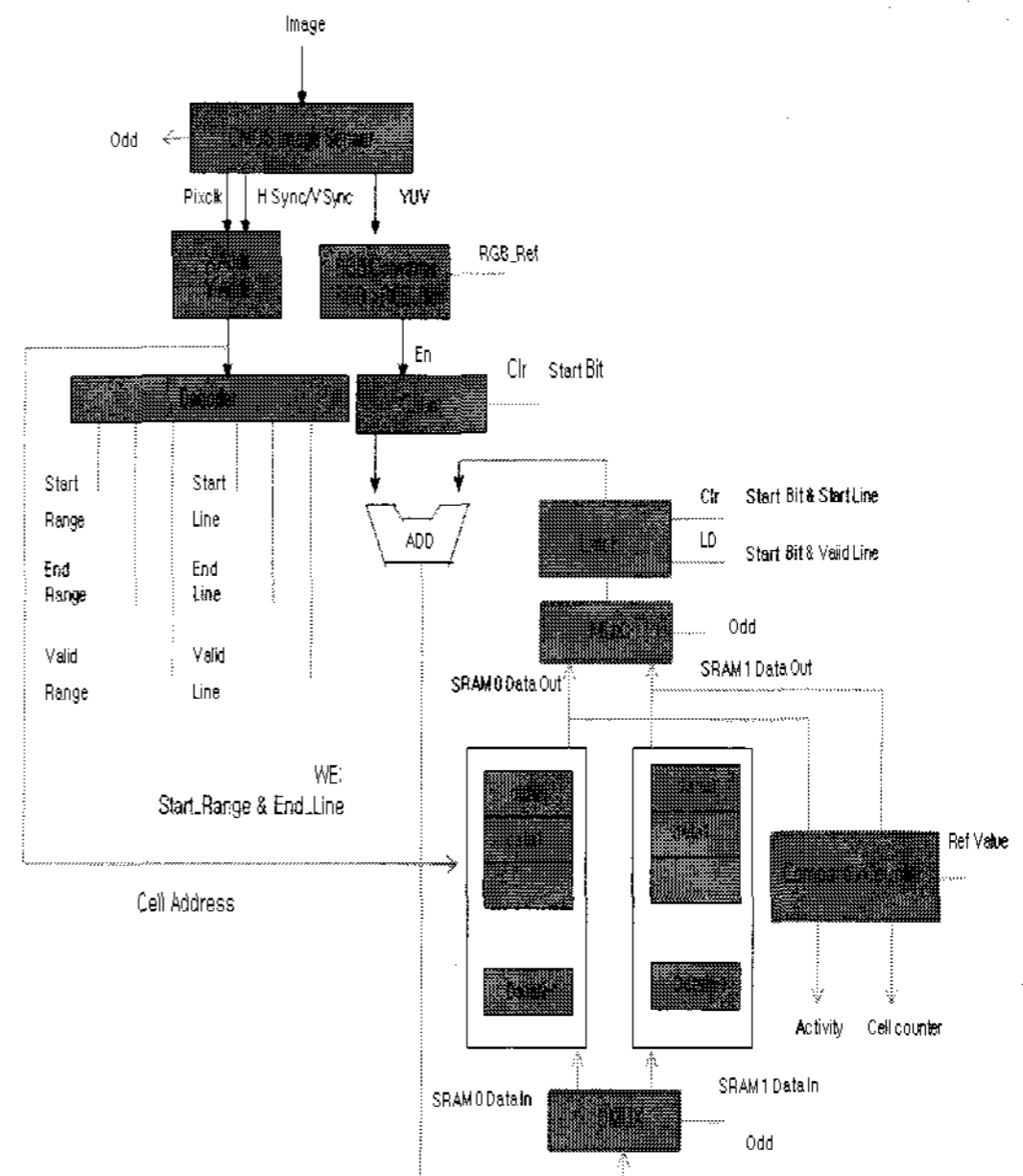


그림 4. 바이오센서 활동량 측정 시스템  
Fig 4. Activity Measurement System of Biosensor

CMOS 이미지 센서의 이미지에 대한 Cell 배열의 값을 1/30초 간격으로 짝수와 홀수 순 번재로 나누어 Even Cell 저장 공간과 Odd Cell 저장 공간에 저장한다. 그리고 Even Cell 저장 공간과 Odd Cell 저장 공간은 SRAM 0과 SRAM 1에 설정 한다. SRAM 0과 SRAM 1에 인가하는 주소는 Cell 주소이며 X주소와 Y주소로부터 추출한다.

CMOS 이미지 센서에서 디폴트로 출력되는 영상 데

이터는 YUV 신호이며 이를 RGB 신호로 변환 후 사용한다. 이 RGB 신호는 RGB\_Ref 보다 큰 신호에 대해서 Valid Bit 동안 카운터 한다. 이 카운터 값은 ADD 로직을 거쳐 현재 Cell의 이전의 저장 값인 Latch와 더하여 SRAM에 저장된다. 여기서 Latch는 SRAM으로부터 Cell 저장 값을 잠시 보관하는데 사용된다. ADD의 출력은 DMUX에 의해 Odd Cell 데이터와 Even Cell 데이터에 따라 SRAM0 과 SRAM 1에 저장된다.

Latch 저장된 값은 Start Line의 Start Bit 에서 클리어(Clr) 시키고 Valid Line의 Start Bit에서 이전의 Cell 데이터 즉 SRAM 메모리 데이터를 로드(LD)하게 한다.

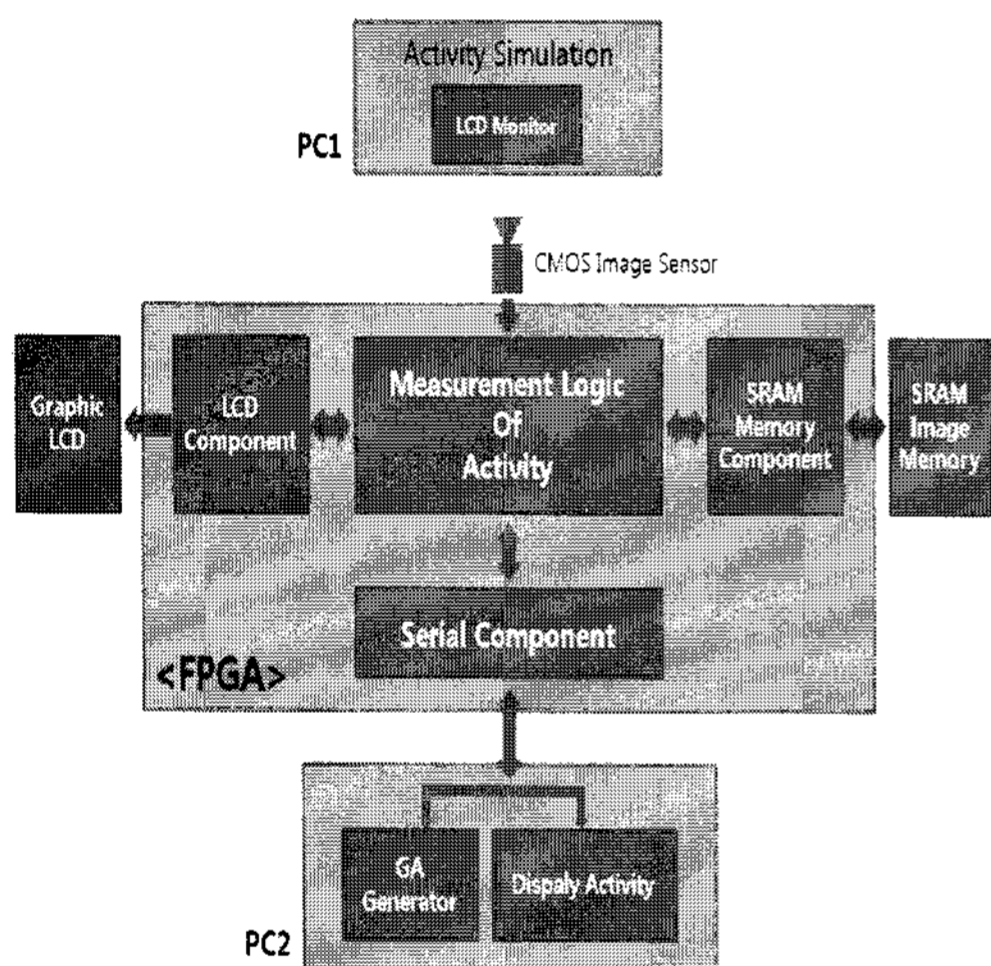


그림 5. 유전자 알고리즘을 이용한 바이오센서 활동량 측정 시스템

Fig 5. The Activity Measurement System of Biosensor using Genetic Algorithm

End Line의 Start Bit 부터 SRAM0 과 SRAM1의 저장된 2 개의 Cell 배열 공간은 서로 비교한다. 만약 두 값에서 변화 있으면 바이오센서의 이동 즉 활동이 있었다고 할 수 있다. 따라서 이동 횟수가 확률적으로 바이오센서의 활동량에 비례하는 값으로 추출된다. 이때 SRAM0 과 SRAM21 데이터는 1/30초 동안 변화된 것을 연속적으로 계수한다. 설계된 바이오센서 활동량 측정 시스템이 정상적으로 동작하기 위해서는 RGB\_Ref와 Ref\_value에 최적 값을 유전자 이론을 적용하여 자동으로 설정되도록 하였다.

그림 5는 설계된 유전자 알고리즘을 이용하여 바이오센서의 활동량 측정을 위한 시스템 블록도이다.

그림 4의 바이오센서 활동량 측정 시스템은 그림 5에서 Measurement Logic of Activity 부분에 해당 한다. Measurement Logic of Activity의 출력은 바이오센서 활동량에 따른 측정값과 바이오센서에 의한 Cell 점유 개수이다. 측정값의 출력을 보거나 RGB\_Ref와 Ref\_value 입력을 위해서 Serial Component를 사용하였다. Serial Component는 PC2로 연결되어 있어 PC2에서 유전자 알고리즘으로 RGB\_Ref 와 Ref\_value를 결정하여 설정할 수 있고 바이오센서의 측정값을 볼 수 있다.

외부 CMOS 이미지 센서의 출력을 보기 위해서 Graphic LCD을 인터페이스 하였다. LCD 제어는 LCD component를 통하여 CMOS 센서의 이미지를 실시간으로 볼 수 있게 설계하였다. 이를 위해 외부에 SRAM 메모리를 사용하였는데 이는 SRAM Memory component를 설계하여 제어하였다.

유전자 알고리즘의 실행과 바이오센서 활동량 측정은 PC2에서 수행한다.



그림 6 염색체  
Fig 6. The Chromosome

그림 6 과 그림 7은 각각 사용된 염색체와 적용한 유전자 알고리즘이다. 적용한 유전자 알고리즘은 엘리트 보존 전략으로 1 점 교차 전략과 돌연 변이를 사용하였다.

시스템 설정 초기에 Setting Mode에서 최적 RGB\_Ref 와 Ref\_value의 염색체를 구하는 유전자 알고리즘을 수행하고 염색체를 구한 뒤 시스템 Run 모드에 바이오센서의 활동량을 측정하게 한다.

Setting 모드에서는 PC1에서 Cell 점유 개수를 알고 있는 정지 영상을 보내주고 PC2에서 이것에 대해 유전자 알고리즘을 수행한다. Fitness Function은 다음 식과 같다.

$$\text{Fitness Function} = 10000 - \{ (\text{Ref\_No\_Cell} - \text{No\_cell})^2 + (\text{Activity})^2 \} \quad (1)$$

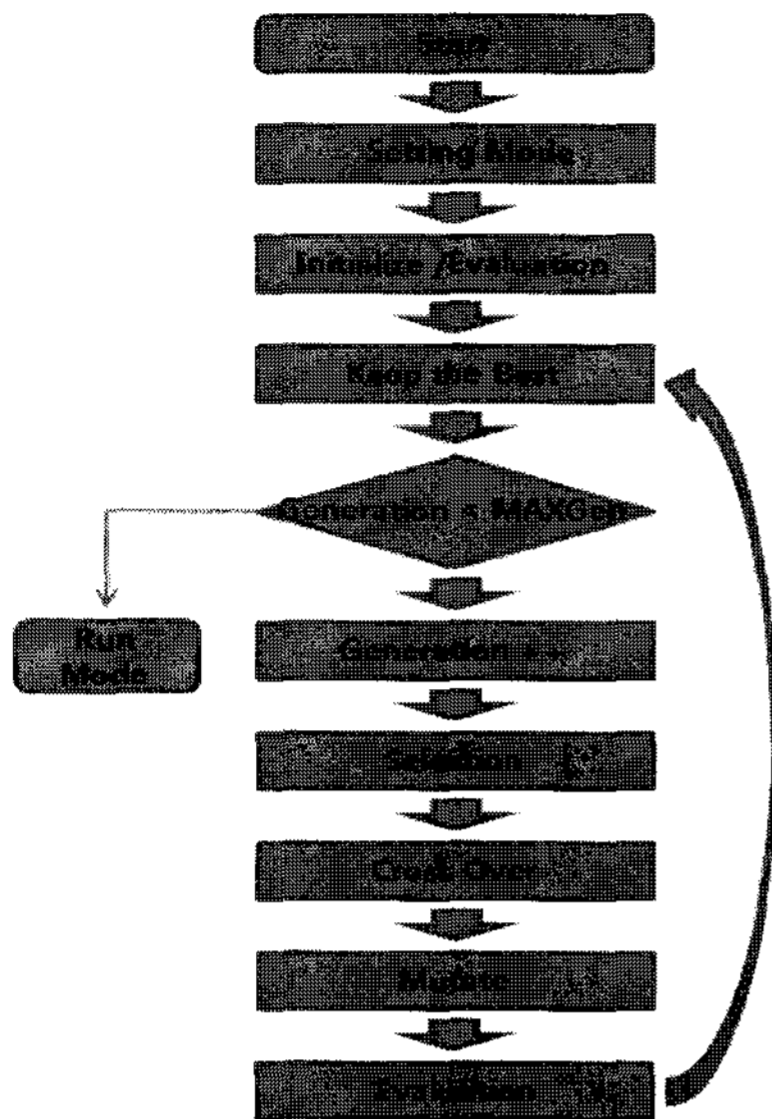


그림 7. 유전자 알고리즘  
Fig 7. Genetic Algorithm

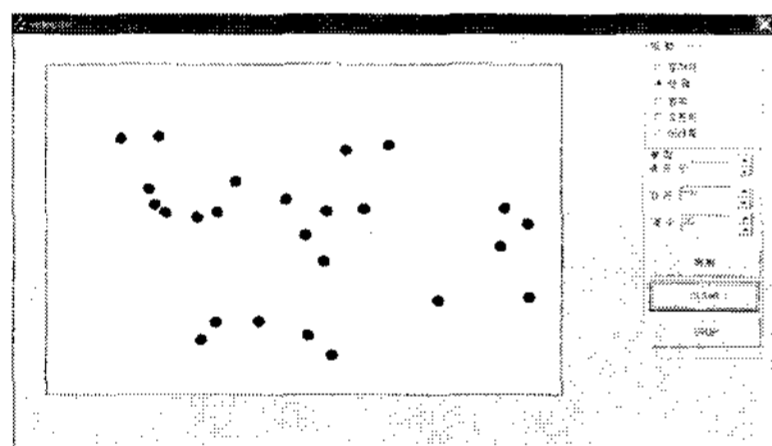


Fig 8. 바이오센서 활동량 시뮬레이션  
그림 8. Biosensor Activity Simulation

여기서 Ref\_No\_Cell은 PC1에서 Activity Simulation에서 만든 시뮬레이션 화면에서 제공한 바이오센서에 의해 점유된 Cell의 개수이며 이미 알고 있는 참고 값이다. 그리고 No\_Cell은 유전자 알고리즘의 수행한 후 실제 측정되는 Cell 점유 개수이다. 유전자 알고리즘의 수행 시에는 정지 화면을 사용하므로 활동량 (Activity)은 0이다. 따라서 유전자 알고리즘의 최대 적합 도는 Ref\_No\_Cell과 No\_Cell이 같고 Activity가 0일 때가 될 것이다.

그림 8은 PC1에서의 바이오센서의 활동량을 시뮬레이션한 화면이다. 여기서 바이오센서의 개수, 활동량, 활동 모드를 시뮬레이션으로 변화시킬 수 있으며 화면 정지와 동작을 수행할 수 있다.

### III. 실험 및 결과

그림 9은 유전자 알고리즘의 수행 결과이다. 세대수 67에서 최대 적합도 1000을 나타냈다. 사용된 유전자 알고리즘의 population 크기는 50, 교차 확률 0.8 그리고 돌연변이 확률 0.15를 사용 하였다.

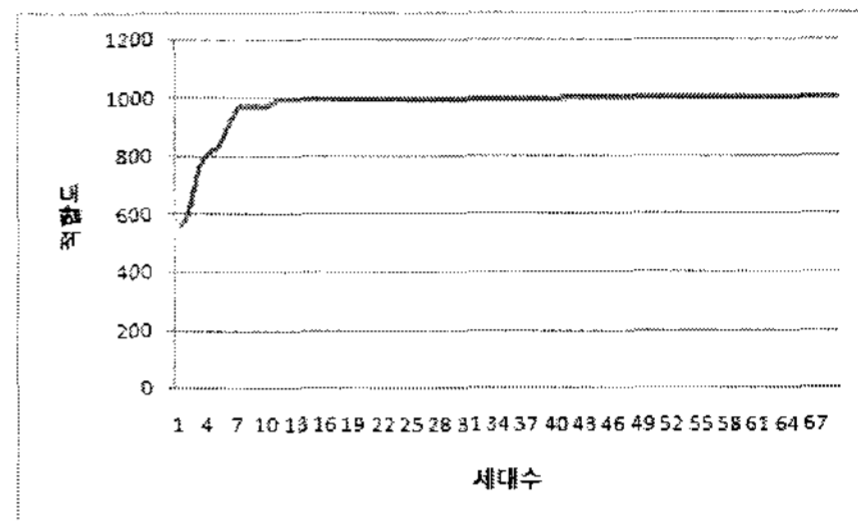


그림 9. 유전자 알고리즘 실험 결과  
Fig 9. The Experiment Result of Genetic Algorithm

일반적으로 바이오센서에서의 활동량 측정은 절대적인 기준 값이 없고 상대적 값이므로 측정값 자체가 중요한 것이 아니라 측정값의 변화를 중요시한다. 그러나 생물학 활동량이 선형적으로 변화할 때 측정값 역시 확률적으로 선형 변화해야 한다.

설계된 바이오센서의 활동량 측정 시스템에 유전자 알고리즘을 사용하여 시스템 설정한 후 이 설정이 최적임을 검증하기 위해 바이오센서의 움직임이 선형적으로 변화시킨 후 그 측정값이 선형적임을 알아보았다

그림 10은 바이오센서의 개수를 10인 경우에 대해 활동량을 선형적으로 증가시켜 활동량을 측정해 본 그래프이다.

가로 축은 시뮬레이션한 바이오센서의 활동량이고 세로축은 측정값이다. 가로축은 그림 8의 바이오센서 활동량 시뮬레이션 화면의 랜덤 모드에서의 속도를 증가 시킴으로서 활동량을 증가시키게 된다. 그리고 바이오센서의 크기를 각각 90, 180 그리고 270로 변화시키고 각 경우에 대해 활동량을 측정해 보았다.

여기서 바이오센서의 크기가 90이란 대략 Cell 1개의 크기이다. 따라서 크기가 180과 270이란 각각 2 개의 Cell, 3개의 Cell이 점유될 크기이다.

그림 10의 그래프에서 보는 바와 같이 바이오센서의 크기가 Cell 크기의 1 배에서 3 배까지 바이오센서의 활동량에 대한 측정값이 비례되어 확률적으로 선형 출력



됨을 알 수 있다. 그리고 Cell 크기가 클수록 기울기가 증가된다는 것을 알 수 있다.

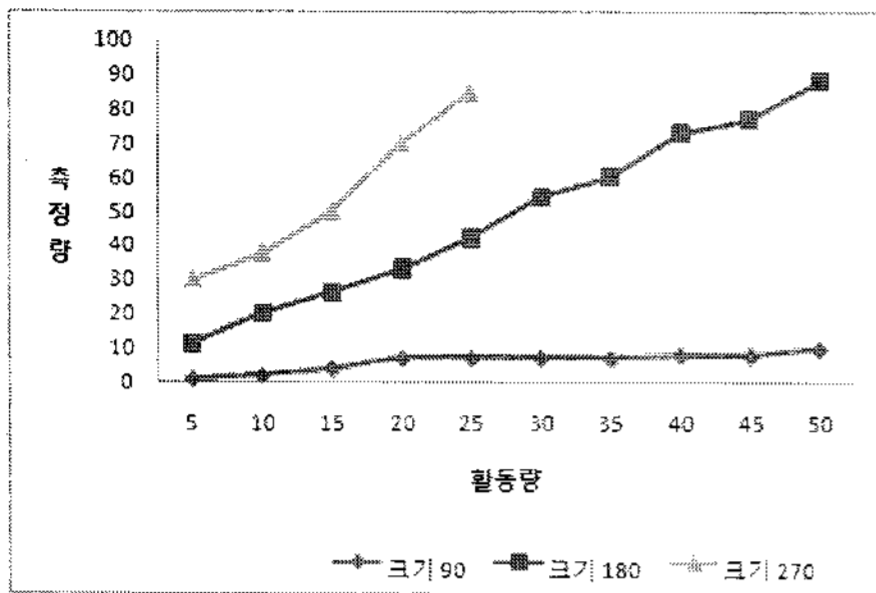


그림 10. 바이오센서 10개에 대한 활동량 측정 실험 결과

Fig 10. The Experiment Result of Activity Measurement for ten Biosensor.

바이오센서의 개수를 2배로 하여 20개 일 경우에 대해서도 같은 실험을 해보았다. 바이오센서의 크기가 각각 90, 180 그리고 270인 경우에 대해서도 바이오센서 활동량 대 실제 측정값은 확률적으로 비례하고 있는 것을 알 수 있다.

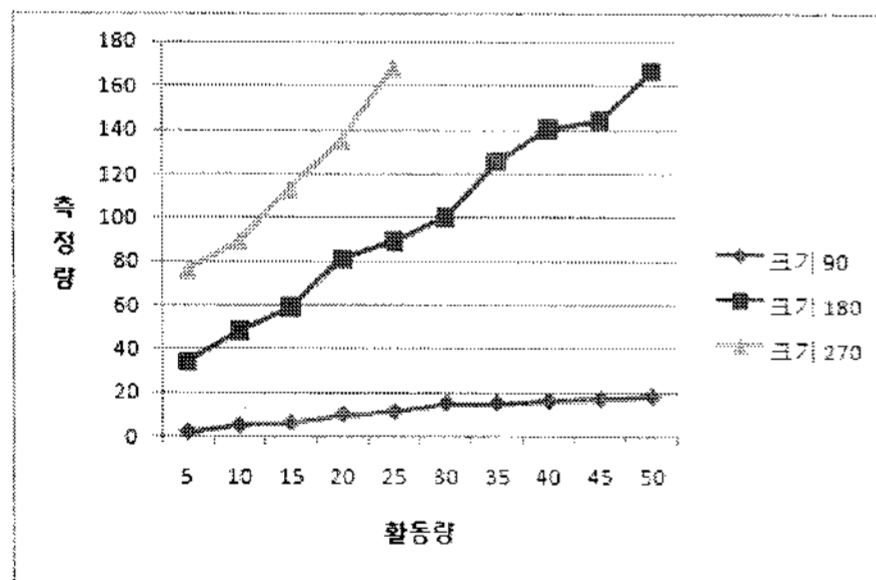


그림 11. 바이오센서 20개에 대한 활동량 측정 실험 결과

Fig 11. The Experiment Result of Activity Measurement for twenty Biosensor.

그림 10과 그림11에서 보는 바와 같이 바이오센서의 개수가 10 개에서 20 개로 증가 시켜 본 결과 바이오센서의 개수가 크면 기울기에서 증가되는 것만 다를 뿐 바이오센서의 활동량에 비례하는 정상적인 측정이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 실험 결과에서 보는 바와 같이 설계한 CMOS 이미지 센서 모니터링 시스템이 바이오센

서의 활동량에 비례하는 측정값이 출력되고 시스템의 초기 설정을 하는 데에 있어 유전자 알고리즘 적용이 가능함을 보여 주었다.

그림 12은 구현된 CMOS 이미지 모니터링 시스템 실물 사진이다. 사용된 FPGA는 EP1C6Q240C8N이다. 사용된 CMOS 이미지 센서는 OV7620 이다.

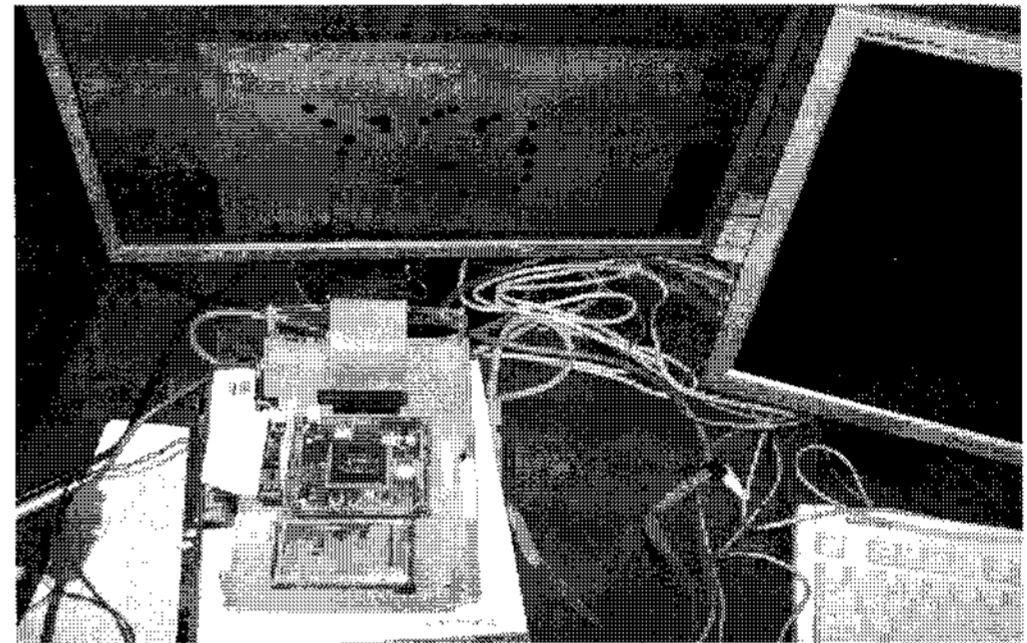


그림 12. CMOS 이미지 센서를 사용한 바이오센서의 활동량 측정 모니터링 시스템 사진

Fig 12. The Picture of Activity measurement Monitoring System for Biosensor using CMOS Image Sensor

#### IV. 결론

CMOS 이미지 센서를 이용하여 바이오센서의 활동량 측정 모니터링 시스템을 개발하였다. 또한 개발된 바이오센서 활동량 측정 CMOS 이미지 센서 모니터링 시스템은 소프트웨어 처리 방식이 아닌 순수 하드웨어 방식으로 원칙에 구현 하였다. 그리고 시스템의 설정을 위해 유전자 알고리즘을 적용하여 수작업의 설정이 필요 없는 CMOS 이미지 센서 모니터링 시스템을 구현하였다.

바이오센서의 활동량을 시뮬레이션 하여 설계된 시스템으로 측정해 본 결과 바이오센서의 활동량에 비례하는 측정값이 정상적으로 측정됨을 알 수 있다. 그리고 이 시스템은 FPGA로 되어 있어 가격과 성능 면에서 우수한 작은 하드웨어로 구현된다.

### 참고문헌

- [1] 수질 오염 조기 감시를 위한 물벼룩 자동 독성도 측정 장치에 관한 연구, 장정식, 경남대학교 석사학위논문, 경남대학교, 2002
- [2] 축산폐 처리를 위한 광섬유 생물반응기를 이용한 조류배양공정 개발, 한국 생물공학회지, 최정우,김영기,류재홍,이우창,이원홍,한징택, 15(D) p14-21, 2000
- [3] 미생물을 이용한 수질오염 자동조기경보장치 및 자동조기경보법, 출원번호 10-2004-0088687 (65) 공개번호 (22) 출원일자 2004년11월03일
- [4] 멀티 채널 연속 수중 독성 탐지 장치 및 이를 이용한 수중독성 탐지 방법,10-1999-0057578 (65) 공개번호 특2001-0056142 (22) 출원일자 1999년 12월14일
- [5] Remote Water Quality Warning System Using Water Fleas, 한국해양정보통신학회논문지, 4권 5호 p92-96, 2006.06



박세현(Sehyun Park)

1980년 경북대학교 공과대학 전자공학사  
1982년 경북대학교 대학원 공학석사  
1985년 아주대학교 대학원 공학박사  
1971년 국민포장  
1997-1999년 안동대학교 공과대학 학장  
1999-2000년 미시건 주립대학 전기컴퓨터 공학과 겸임교수  
2005-2006년 유타 주립대학 전기컴퓨터 공학과 방문교수  
1992 -현재 안동대학교 전자정보산업학부 교수  
※관심분야: 디지털 시스템, 임베디드 시스템, 유전자 알고리즘