

# A study on the development of integrated software for testing SMIA camera module systems

Taegyun Jeon, Ehwa Yang, Wonmin Byeon, Haekeun Lim, Moongu Jeon

## **Abstract**

This paper describes a method and framework for evaluating camera sensors and their modules based on the Standard Mobile Imaging Architecture (SMIA) which is a standard specification for mobile phone camera modules proposed by Nokia and ST Microelectronics. This system uses SMIA-based Characteristic Test Methods and Functional Test Methods through a graphical user interface given to the user who are using various image formats such as RAW, RGB, YUV, JPEG and MPEG. In this evaluation software, new menu is added to the existing software module, making it more convenient and easy to access. In addition, basic functions, which are necessary for constructing all proposed test methods and basic functions for data processing, are implemented based on SMIA.

# SMIA 카메라 모듈 통합 평가 소프트웨어 개발에 관한 연구

\*전태균, \*양이화, \*변원민, \*\*임해근, \*전문구

\*광주과학기술원 정보통신공학과, \*\*LG 이노텍 Mobile 사업부

\*{tgjeon, ehwa, wonmin, mgjeon}@gist.ac.kr, \*\*hklim@lginnotek.com

## A study on the development of integrated software for testing SMIA camera module systems

\*Taegyun Jeon, \*Ehwa Yang, \*Wonmin Byeon, \*\*Haekeun Lim, \*Moongu Jeon

\*Department of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST),

\*\*Mobile Division, LG INNOTEK

### 요 약

본 논문은 Nokia 와 ST Microelectronics 에서 제안한 휴대폰용 카메라 모듈의 표준 규격인 Standard Mobile Imaging Architecture(SMIA)를 기반으로 카메라 센서와 모듈을 평가하는 알고리즘 구현 및 통합 프레임워크 개발에 관한 연구를 기술하였다. 본 시스템은 카메라 센서를 통해 입력된 화상 정보인 RAW, RGB, YUV, JPEG, MPEG 등 다양한 포맷을 이용하여 사용자에게 주어진 그래픽 유저 인터페이스를 통해 SMIA 기반의 Characteristic Test Methods 와 Functional Test Methods 를 가지고 카메라 영상을 평가하게 된다. 본 평가 소프트웨어에서는 기존의 하이비전의 소프트웨어 모듈에 새로운 메뉴를 추가함으로써 보다 편리하고 쉽게 접근이 가능하도록 제작하였다. 또한 제안된 모든 Test Methods 를 구성하기 위해 필요한 기본함수 및 데이터 처리를 위한 기본 함수들은 SMIA 를 바탕으로 구현하였다.

### I. 서론

최근 국내에서는 휴대기기 분야의 발전이 비약적으로 이루어지고 있다. 그 중 휴대폰의 경우 카메라 기능 및 MP3 를 비롯하여 많은 기능을 복합적으로 휴대폰에 장착함으로써 인해서 휴대폰의 기술이 급속도로 성장하고 있고, 이미 전 세계적으로 휴대폰 대중화가 이뤄지고 있다. 또한 이런 모바일 기기가 크게 발전됨에 따라 그에 포함되는 기반 기술들의 표준화 작업이 중요시 되고 있다. 그 중 모바일 기기에 포함되는 초소형 카메라 모듈(compact camera module)에 관한 표준화로서 Standard Mobile Imaging Architecture(SMIA)가 제시되었으며 국내외 모바일 기기 산업의 관련 업계에서 많은 관심을 보이고 있다[1].

SMIA 는 Nokia 와 ST Microelectronics 에서 제안한 휴대폰용 카메라 모듈의 표준 규격으로서 영상정보를 휴대폰 본체로 연결하는 고속 인터페이스이다. 또한 SMIA 는 전기적, 기계적, 기능적 인터페이스뿐만 아니라 특성분석, 광학성능, 신뢰성을 포함하는 포괄적인 규격을 제시하고 있다. 일반 카메라 모듈이 병렬 방식으로 출력되는데 비해 SMIA 방식의 카메라 모듈은 직렬 방식을 가져 처리 속도 및 전송 속도가 향상되고 Different Pair 로 출력되는 특징을 갖고 있어, 국내 휴대폰 회사들도 점차 SMIA 규격에 관심을 갖기 시작하였다. 병렬 방식의 기존 모듈의 구조상 기타 추가적인 기능들 AF, Zoom, Flash 등의 기능을 모듈에 집적하고 제어 신호들을 확장할 수 있는 공간이 없기 때문에 선의 수가 적은 SMIA 규격에 대한 관심이 고조된 것이다. 또한 SMIA 규격은 Mobile Industry Processor Interface(MIPI)규격 제정의 표준으로 이어지고 있어 이 방식이 고화소 카메라 모듈의 표준 규격으로 자리 잡고

있다. 이는 현재 급속하게 성장하는 모바일 기기 소비시장에 대응하기 위한 하나의 움직임으로 이러한 현상에 따라 연구·개발·생산 과정에서 자연히 SMIA 호환 모듈의 통합적인 튜닝 및 성능 평가의 중요성은 높아진다고 볼 수 있다.

이에 본 논문에서는 SMIA 호환 카메라의 센서 및 모듈을 평가하기 위해, 출력되는 영상 프레임(frame) 기반의 특성분석 및 기능분석 알고리즘 구현에 대해 기술하였다. 전체 연구과정에 있어 기존 연구와 차별화하여 개별 프레임 평가방법이 아닌 연속 프레임 및 테스트 기능을 가능하게 하고, 기존의 단일 Register 항목 접근 방식을 개선하여 전체 Register 에 대한 편리한 접근이 가능한 그래픽 유저 인터페이스 환경을 구축하였다. 각 해당하는 특성분석 및 기능분석들의 항목은 SMIA 표준에서 제시하는 기준에 따른다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 전체 시스템 프레임 워크에 대해 설명하고, III 장과 IV 장에서는 특성분석 테스트와 기능분석 테스트에 대해 논의한다. V 장에서는 테스트 베드에 대해 간략하게 설명하고, 마지막으로 VI 장에서는 결론과 더불어 향후 전망 및 성과에 대해 논의한다.

### II. 시스템 프레임워크

SMIA 는 휴대폰 카메라 모듈 테스트에 대한 하나의 표준으로써 전기적, 기계적, 기능적 인터페이스뿐만 아니라 특성분석, 광학성능, 신뢰성을 포함하는 포괄적인 규격을 제시하고 있다. 본 연구에서는 SMIA 호환 카메라의 센서 및 모듈을 평가하기 위해, 출력되는 영상 프레임(frame) 기반의 특성 테스트 및 기능 테스트 알고리즘을 구현하여, 효율적인 평가 체계를 구축하고자 한다.

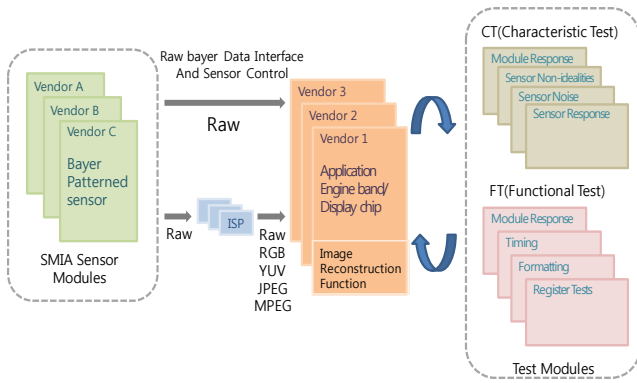


그림 1. 시스템 구성도

카메라 모듈에 대한 단일적인 표준 평가를 위해 SMIA 테스트를 기반으로 하며, 기존 단일 프레임 평가 방식의 한계를 넘어선 연속 프레임 및 연속 테스트에 대한 기능 구현이 중점적으로 연구되었다. 이와 같은 평가 결과에 따라 카메라 모듈 레지스터의 내용을 수정하여 성능을 향상시키게 된다. 이를 위해 효율적인 레지스터 접근이 요구되는데, 기존의 단일 레지스터 항목 접근 방식을 개선하여, 전체 레지스터 항목에 대하여 주소-값 형태로 조회 및 수정이 가능하고 여러 항목에 대해 레지스터 수정이 가능하며, 전체 레지스터 항목의 값을 그래픽 유저 인터페이스 환경을 통해 저장/읽기가 가능하도록 개선하였다.

평가 시스템 프레임워크는 SMIA 센서 모듈과 유기적으로 연동하여 특성 테스트 및 기능 테스트에 명시된 평가 알고리즘을 적용할 수 있도록 구성되었다. 본 연구에서 제안하는 시스템 구성도는 그림 1 에서 보여준다[2].

특정 카메라 센서 제조업체와 상관없이 SMIA 표준과 부합하는 카메라 모듈로부터 입력 영상에 대한 신호를 획득하여, 다음 단계인 소프트웨어 엔진 및 디스플레이 칩에 데이터 인터페이스를 통해 신호를 전달하게 된다. 그 형태는 RAW, RGB, YUV, JPEG, MPEG 등으로 SMIA 표준에 정의되어 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템 구성은 소프트웨어 단계에서 각각 4 가지 카테고리로 나뉘어 지는 특성 테스트와 기능 테스트의 함수 항목들을 통해 카메라 센서 모듈에 대한 성능을 평가 할 수 있도록 하는 것이 목적이다. 제안된 시스템은 특성테스트(Characteristic Test), 기능테스트(Functional Test), 그리고 그래픽 유저 인터페이스 이 세가지 항목을 목표로 두어 사용자에게 제공되는 그래픽 유저 인터페이스를 통해 특성 테스트와 기능 테스트를 손쉽게 평가할 수 있도록 구현하였다[3, 6].

표 1. 특성 테스트를 위한 기본 구현 항목

항목	내용
Data format	(Generic) Image
Standard Parameters	Raw Bayer Image Data, Green (Red) Raw Bayer, ROI
Basic Functions	- AV_IMAGE(#1,..., #F) - MEAN(#) - COLUMN_AV(#) - MIN(#) - CONVOLUTION(#1,#2) - Regression Analysis - GREENRED - RMS(#) - LOG10(x) - ROI(a,b;x,y;#) - Local Deviation - ROW_AV(#) - MAX(#) - STDEV(#)

특성테스트를 위한 함수들은 SMIA 의 내용을 기반으로 효과적으로 구현하기 위해서 표준적인 데이터 포맷과 데이터 처리를 위한 기본 함수를 바탕으로 구현된다. 그리고 그 기본 함수들 역시 SMIA 의 내용을 바탕으로 한다. 기본적인 구현 항목에 대한 세부 내용은 표 1 과 같이 구성된다[6].

표 1 의 내용에 대한 구현 항목을 바탕으로 SMIA 에 정의된 센서 및 모듈 특성 분석에 대한 알고리즘을 모듈별로 구현하였으며, 하이비전의 하드웨어와 연동되는 API 를 분석하여 구현된 모듈을 탑재하기 위한 인터페이스 컴포넌트를 디자인하는데 초점을 두었다. 특성 테스트 평가는 구현된 그래픽 유저 인터페이스를 기반으로 하며, 모듈 탑재를 위해 설계된 인터페이스 컴포넌트를 통해 구현된 평가 알고리즘에 대한 테스트 결과를 확인할 수 있다[6].

기능 테스트를 위한 함수는 크게 기능 테스트 평가 함수와 레지스터 제어 함수로 나뉜다. 기능 테스트 평가 함수는 SMIA 의 Functional specification 에 정의된 내용을 기반으로 레지스터 테스트(Register tests), 형식 테스트(Formatting tests), 타이밍 테스트(Timing tests), 그리고 모듈반응(Module Response)과 같이 분류된다. 각 평가 알고리즘의 기본이 되는 레지스터 제어 함수는 SMIA 의 Functional specification 내용 중 Register Map 의 주소와 값을 기반으로 레지스터를 제어한다. 레지스터 제어 모듈의 개선점은 기존의 단일 주소 제어 방식을 바꾸어 모든 레지스터 주소에 따른 해당 값을 한눈에 확인함으로 제어 가능하도록 하였다. 또한 레지스터 설정 상태를 일반적인 텍스트 파일로 읽기/저장 가능하도록 하여, 각 특성 테스트 및 기능 테스트 결과에 대해 효율적인 레지스터 값 보정이 가능하도록 하였다.

그래픽 유저 인터페이스는 기존의 하이비전 하드웨어와 함께 제공된 소프트웨어 모듈을 분석하여 특성 및 기능 테스트 모듈에 대해 분류 별로 쉽게 접근이 용이하도록 새로운 메뉴를 추가하였다. 각 테스트 항목에 대해서 필요한 인자와 연속된 대량의 테스트를 위한 실험횟수 등을 그래픽 유저 인터페이스상에서 인자로 받아 연속적인 테스트가 가능하도록 구현하였다[3].

### III. 특성 테스트 (Characteristic Test)

특성 테스트(Characteristic Test)의 표준은 카메라 모듈과 CMOS 센서의 특징에 대해 정보를 가져오는 이미지 프레임을 기반으로, 실행 되는 연산들의 집합으로써 정의 할 수 있다. 그리고 특성 테스트를 위한 함수들은 표 1을 참조로 하여 수행 된다. 특성 테스트에 대한 항목은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 센서 반응(Sensor Response), 센서 노이즈(Sensor Noise), 센서 비이상성(Sensor Non-idealities) 그리고 모듈 반응(Module Response)이다. 각각의 항목에 따른 테스트 함수들에 관한 세부 내용은 그림 2과 같다[8].

#### 3.1 센서 반응 (Sensor Response)

센서 반응은 카메라 센서의 초기반응에 대한 요소를 정의함으로써 평가 된다. 주어진 장면에 대하여 허용된 장면의 광도 및 최대밝기에 대한 민감도나 센서의 응답에 대한 선형성, 그리고 정상 응답을 제공할 때의 최대 최소 빛의 레벨과 같은 동작들을 가지고 노이즈를 고려하지 않으면서, 카메라의 속도, 장면 응답에 대한 범위 등을 평가하는 항목이다[8].

센서 반응 (Sensor Response)	센서 노이즈 (Sensor Noise)	센서 비이상성 (Sensor Non-idealities)	모듈 반응 (Module Response)
동적범위 (Dynamic range) 함수명: CT_DynamicRange	수직 고정 노이즈 패턴 최대 (Vertical Fixed Pattern Noise) 함수명: CT_VFPN_Level	암신호 (Dark Signal) 함수명: CT_DarkSignal	영상 주변 광량 저하 (Relative Illumination) 함수명: CT_ReIllumin
민감도(반응성) (Sensitivity) 함수명: CT_Sensitivity	수직 고정 노이즈 패턴 최대 (Vertical Fixed Pattern Noise) 함수명: CT_VFPN_Max	암신호의 불균일성 (Dark-Signal Non-Uniformity) 함수명: CT_DSNU	시야각 (Field Of View) 함수명: CT_POV
최대 밝기 (Maximum Illumination) 함수명: CT_MaxIllum	수평 고정 노이즈 패턴 최대 (Horizontal Fixed Pattern Noise) 함수명: CT_HFPN_Level	전원전압 변동 제거비 (Power Supply Rejection Ratio) 함수명: CT_PSR	왜곡수치 (TV Distortion) 함수명: CT_TVDistortion
최소 밝기 (Minimum Illumination) 함수명: CT_MinIllum	수평 고정 노이즈 패턴 최대 (Horizontal Fixed Pattern Noise) 함수명: CT_HFPN_Max	신호 대 잡음 비 (Signal to Noise Ratio) 함수명: CT_SNR	광막 클리어 (Veiling Glare) 함수명: CT_VeilingGlare
모듈 반응 비선형성 (Module Response Non-Linearity) 함수명: CT_MRNL	임시적 잡음 (Temporal Noise) 함수명: CT_TemporalNoise	광반응 불균일성 (Photo Response Non-Uniformity) 함수명: CT_PRNU	전상 (Image lag) 함수명: CT_ImageLag
	열 노이즈 레벨 (Column Noise Level) 함수명: CT_ColNoise_Level		색 정확도 (Color Accuracy) 함수명: CT_ColorAccuracy
	열 노이즈 최대 (Column Noise Maximum) 함수명: CT_ColNoise_Max		
	행 노이즈 레벨 (Row Noise Maximum) 함수명: CT_RowNoise_Level		
	행 노이즈 최대 (Row Noise Maximum) 함수명: CT_RowNoise_Level		
	프레임간 깜박임 (Frame to Frame Flicker) 함수명: CT_Flicker		

그림 2. Characteristic Test Methods 항목별 함수명

### 3.2 센서 노이즈 (Sensor Noise)

센서 노이즈 평가는 카메라 모듈의 센서로부터 획득되는 영상에서 발생하는 노이즈에 대해 테스트하는 것으로, 센서 안에서 무작위로 발생되거나 공간 효과로부터 생기는 일정한 패턴을 가지는 노이즈들을 센서 픽셀 결과에 조직적인 요소들을 추가함으로써 평가가 이루어진다[8].

### 3.3 센서 비이상성 (Sensor Non-idealities)

센서 비이상성은 이상적인 동작으로부터의 오차를 다루는 테스트로, 가장 중요한 것은 어두운 신호이며, 이상적으로 어두운 곳에서 시간 축에 따른 이미지 연산으로부터 센서의 결과는 0값을 가져야 한다. 즉, 센서 배열에서 픽셀들이 새어 나오지 않는 것이다. 그러나 이것을 달성하는 것은 어려운 일이기에 정량화 과정을 거쳐야 한다. 센서 비이상성의 측정값들은 전력 공급 잡음으로부터 간섭 받지 않으며 배열을 가로지르는 고르지 않은 (non-uniformity) 분포를 가지고 있다[8].

### 3.4 모듈 반응 (Module Response)

모듈 반응 테스트는 이미지 생산의 단위로서 카메라 모듈의 특징들을 위한 테스트로 illumination, resolution, sharpness, distortion, field of view, light scatter, color accuracy 등의 균일성에 대해 이미지 안의 오브젝트 정보를 얼마나 잘 표시하는지에 대한 테스트이다[8].

## IV. 기능 테스트 (Functional Test)

기능 테스트 함수는 소프트웨어적 분석과 함께 하드웨어적 분석을 통해서 이루어진다. 기능 테스트의 주목적은 카메라 모듈이 탑재될 플랫폼에 관계없이 일정한 입출력 특성을 갖도록 하는데 있다. 즉, 입출력 핀의 설정과 다루어지는 데이터의 형식 및 특성에 대한 내용 등이 포함된다. 본 테스트는 SMIA 의 Functional Test Specification 에 대한 가이드라인을 따른다. 기능 테스트 함수는 그림 3 과 같이 레지스터 테스트(Register Tests), 형식 테스트(Formatting), 타이밍 테스트(Timing), 모듈 반응(Module Response)으로 분류된다[3].

### 4.1 레지스터 테스트 (Register Tests)

레지스터 테스트는 Embedded Data Format 확인, Default CCI Register read, 그리고 Mode select 가 있다.

Default CCI Register read 테스트는 센서에 의한 Camera Control Interface(CCI) 기본 레지스터의 올바른 전송 여부와 테스트된 프로필에 대한 최소한의 필수 레지스터 집합의 포함여부를 확인하는 것이다. 그리고 Mode select 는 SW Reset 나 XSHUTDOWN 후의 올바른 초기화 여부를 확인하는 테스트이다[3].

### 4.2 형식 테스트 (Formatting)

형식 테스트는 다음과 같이 분류된다. Frame count 테스트는 각 프레임 시작 시 Frame count 레지스터가 1 씩 증가하는지 여부를 확인하고 Masking Corrupted Frame 테스트는 레지스터가 0x00 혹은 0x01 로 설정 되었을 때 센서의 mask corrupted frame function 이 올바르게 수행되었는지의 여부를 검증한다. 그리고 Frame Length and Line Length 테스트는 갈무리된(captured) 이미지 데이터가 프레임 길이와 라인 길이에 대한 레지스터 설정 정보를 올바르게 반영 하는지를 확인하며, Sub-Sampling 테스트는 x-y 주소 값을 홀수와 짝수로 증가하는 레지스터로 프로그래밍 하여 센서가 sub-sample 화소 데이터들로 읽혀지도록 구성되는지를 확인한다. Mirror and Flip 테스트는 반사되거나 flipped 된 이미지 화소의 정렬순서와 Spec 간 동일성 여부를 확인하고, Data Format 테스트는 CCP2 이미지의 데이터 형식 구조를 확인한다. 마지막으로, Frame Format 테스트는 x-y address 설정에 따른 CCP2 이미지 데이터의 프레임 포맷 구조의 올바른 변환 여부를 테스트한다. 이 때 Frame Format 테스트를 위한 CCP2 이미지는 라인과 프레임의 Blacking period 를 포함한다[3].

### 4.3 타이밍 테스트 (Timing)

타이밍 테스트를 위한 Integration Time Control - Coarse 테스트는 센서의 어떤 한 이미지나 모든 화소들에 걸쳐 정확하게 일정한 시간동안 빛을 누적하는지의 여부를 확인한다. 이때 누적시간은 coarse integration time 과 fine integration time 이라는 정수 제어 전달인자에 의해 설정된다[3].

### 4.4 모듈 반응 (Module Response)

모듈 반응 테스트는 Solid Color Mode, 100% Color Bar, Test Cursors 와 PN9로 나누어진다. Solid Color Mode 는 테스트 패턴 모드의 수행이 센서에 의해 올바르게 발생 되는가를 확인하고, 100% Color Bar 테스트는 테스트 모드에서 올바르게 작동하는 센서의 기능을 검증한다. 그리고 Test Cursors는 센서에 대한 test cursor function의 올바른 작동 여부 검증하며, PN9는 테스트 모드에서 올바르게 작동하는 센서의 기능을 검증한다[3].

레지스터 테스트 (Register Tests)	형식 테스트 (Formatting)	타이밍 테스트 (Timing)	모듈 반응 (Module Response)
Embedded Data Format 함수명: FT_EmbedDF	Frame Count 함수명: FT_FrameCnt	Integration Time Control-Coarse 함수명: FT_IntegrationTime	Solid Color Mode 함수명: FT_SolidColorMode
Default CCI Register read 함수명: FT_CCIRegRead	Masking Corrupted Frames 함수명: FT_MaskCorFrames		100% Color Bar 함수명: FT_100ColorBar
Mode select 함수명: FT_ModeSel	Frame Length and Line Length 함수명: FT_FLFLL		Test Cursors 함수명: FT_TestCursors
	Sub-Sampling 함수명: FT_FT_SubSample		PN9 함수명: FT_PN9
	Mirror and Flip 함수명: FT_MirrorFlip		
	Data Format 함수명: FT_DataFormat		
	Frame Format-1 함수명: FT_FrameFormat_1		
	Frame Format-2 함수명: FT_FrameFormat_2		

그림 3. Functional Test Methods 항목별 함수명



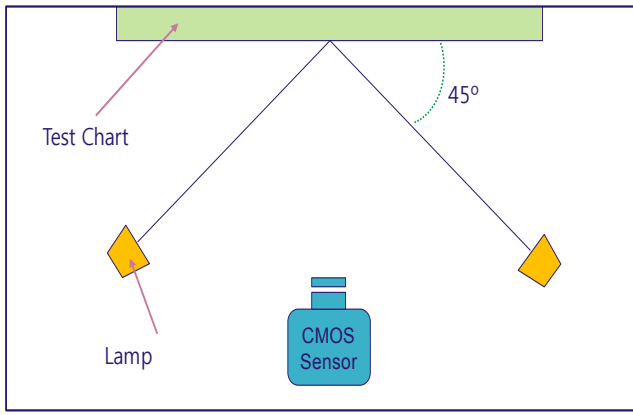


그림 4. 평가용 암실 구성도

## V. 테스트베드 (Testbed)

본 실험은 평가용 암실 프레임워크를 이용하였다. 평가용 암실의 기본적인 구성은 그림 4 와 같다[6].

테스트 차트는 카메라 모듈과 수직으로 유지되도록 하였다. 그리고 카메라 모듈과 차트의 법선이 만나는 부분이 차트의 중심점이 되도록 설정하였으며, 중심점으로부터 양쪽의 조명은  $45^\circ$  를 유지한다. 조명은 3200K, 2700K, 6500K 를 대상으로 평가하도록 위치하였다.

그림 5 은 본 구성을 기반으로 한 테스트환경에서 Gretagmacbeth Color Chart 를 대상으로 측정하는 모습이다.

카메라 모듈을 위한 표준 테스트 환경은 기온  $23 \pm 2 \text{ deg.C}$ , 습도  $50 \pm 20 \%RH$  이다. 이 환경을 유지한 지 1.5-2 시간이 지난 후부터 테스트를 실시한다[7].

카메라 이미지 포맷의 색공간은 RGB, 해상도는  $640 \times 480$  픽셀로 정의한다. 본 카메라는 이미지 프레임에서 항상 부호화(encoding)된 raw bayer data 를 출력하고 카메라 드라이버는 기억 장치 직접 접근 전송의 크기 (Direct Memory Access transfer size)를 크게 설정한다. 이미지는 CCP2 end-of-frame 동기화 코드가 받아들여졌을 때 갈무리(capture)된다[5].

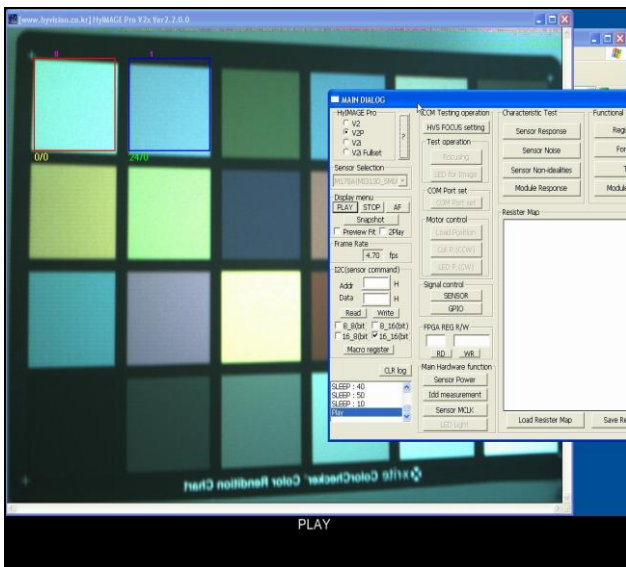


그림 5. 테스트 화면

## VI. 결론

본 연구에서는 SMIA 에 의거한 카메라 센서 모듈 특성 분석용 통합 소프트웨어를 개발하였다. SMIA 호환 카메라의 센서 및 모듈을 평가하기 위해, 출력되는 영상 프레임 기반의 세부 평가항목에 해당하는 알고리즘을 구현하였으며, 각 해당 특성 분석 항목은 SMIA 에서 제시하는 기준을 따른다. 또한 그래픽 유저 인터페이스를 통해 기존의 단일 영상이나 단일 테스트만 가능했던 사항을 보완하여, 다중 프레임 및 동일한 환경상에서 다중 테스트가 가능하도록 구현하였다. 향후 본 연구를 바탕으로, 소프트웨어 환경과 더불어 하드웨어 환경까지 더욱 세분화된 테스트 환경이 자동적으로 제어 가능하도록 보완한다면 다양한 실험결과를 통해 효과적인 카메라 모듈 테스트 및 튜닝이 이루어 질 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 LG Innotek 과 광주과학기술원 분산센서네트워크연구소의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] *Worldwide Mobile Phone Qview*, IDC's & Gartner Datequest, 2006.
- [2] SMIA 1.0, *Introduction and overview*, [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2004.
- [3] SMIA 1.0, *Part 1: Functional specification*, [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2004.
- [4] SMIA 1.0, *Part 3.1: Software and application specification*, [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2004.
- [5] SMIA 1.0, *Part 3.2: IA Symbian SMIA Camera device driver interface* [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2004.
- [6] SMIA 1.0, *Part 5: Camera Characterisation specification*, [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2005.
- [7] SMIA 1.0, *Part 6: SMIA Reliability Specification*, [www.smia-forum.org](http://www.smia-forum.org), Nokia and ST Microelectronics, 2004.
- [8] *Image sensor characterization using SMIA standard*, Robert L. Nicol, Proceedings of SPIE, vol. 6186, 61960E, 2006.
- [9] HyVision System Inc. [www.hyvision.co.kr](http://www.hyvision.co.kr), 2008.