

# 모바일 디지털 카메라의 AE 시스템 개선을 위한 퍼지 PI 제어기 설계

## A Design of Fuzzy PI Controller for Improving AE System of Mobile Digital Camera

조선희\*, 김동한, 박종국  
(Sunho Cho, Donghan Kim, and Chongkug Park)

**Abstract:** Recently, digital camera module has been extensively utilized in mobile devices. The digital camera module should be smaller and lighter than digital still camera module to be used in mobile device. But, mobile camera can't get high quality image as good as the one of digital still camera due to the optical limitation of minimized module. Especially, AE system of mobile camera occurs excessive hunting and oscillation due to miniaturization of module. In this paper, improved AE algorithm which is applied fuzzy PI control is suggested to compensate this point.

**Keywords:** mobile camera, AE, ES, AGC, fuzzy PI

### I. 서론

본 논문은 소형화된 디지털 카메라 모듈의 자동 노출 보정 시스템 (AE: Auto Exposure)의 개선에 관한 연구이다. 최근의 고기능 이미지 센서와 초소형 카메라 모듈(module)기술의 발달은 더 작고 더 가벼운 모바일 기기에서도 필요한 영상을 유용하게 얻을 수 있도록 해주고 있다. 그러나 소형화된 카메라 모듈은 구조적인 한계로 인해 일반적인 디지털 카메라에서는 사용되는 여러 가지 기능들이 제한적으로 사용되며, 소형화된 렌즈의 광학적 기능의 한계로 인해 화상의 왜곡현상이 일어나는 등 일반적인 디지털 카메라에 비해 영상의 획득하는데 있어서 여러 가지 제약 조건이 발생한다. 이러한 이유들로 인해 일반적인 디지털 카메라에 적용되는 화질 제어 방식을 모바일 카메라에 동일하게 적용할 경우 양질의 영상을 획득하는데 한계가 있다. 그러므로 이러한 점을 보완할 수 있는 모바일 카메라에 맞는 적절한 화질 제어 기술이 요구 된다[1].

디지털 카메라의 이미지 제어를 위한 기술로는 AE, AWB (Auto White Balance), AF (Auto Focus) 등의 세 가지 기술이 있다. 이러한 기술 중 AE는 출력되는 영상이 적절한 밝기 값을 갖도록 자동으로 노출을 조절해 주는 기능이다[2-4]. 본 논문에서는 소형화된 디지털 카메라 모듈의 AE 제어 속도와 제어 안정성을 개선하기 위하여 퍼지(fuzzy) PI 제어를 적용한 AE 시스템을 제안하였다.

기존의 AE 수행을 위한 ES (Electrical Shutter)와 AGC (Analog Gain Control) 값 결정은 일반적으로 룩업 테이블 방식을 이용하였다. 그러나 이러한 룩업테이블 방식은 AE의 수행도중 급격한 밝기의 변화에 대하여 적절한 영상을

출력하지 못하고 헌팅(hunting) 현상을 발생시킨다. 그리고 룩업 테이블 방식은 큰 용량의 메모리를 사용하며 이에 따른 전력의 사용량도 증가하므로 소형화된 기기에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위하여 퍼지 PI 제어를 적용하여 ES와 AGC 값을 결정하였다. 퍼지 PI 제어를 통한 ES와 AGC 값의 결정은 룩업 테이블과 달리 퍼지 규칙을 통해 출력 값을 결정하므로 메모리 사용을 줄일 수 있으며, 급격한 노출 변화에 대하여 안정되고 신속한 AE 수행을 가능하게 한다[5-8]. 그리고 제안된 시스템에서는 모바일 환경에서 보다 효과적인 AE 수행을 위해서 목표치 설정과 제어 영역 설정에 새로운 방법을 적용하였으며, 프레임 지연 보정을 ES 값과 AGC 값의 결정에 추가적으로 반영하였다.

### II. 디지털 카메라의 구조

그림 1은 CMOS 이미지 센서 디지털 카메라 모듈의 구조이다. 영상은 렌즈를 통하여 이미지센서에 맺히고, 맺힌 영상은 아날로그 값으로 바뀌어 AFE (Analog Front End)로 전달된다. AFE에서는 ADC (Analog To Digital Converter)에 의해 CDS (Correlate Double Sampling)방식으로 10비트(bit)

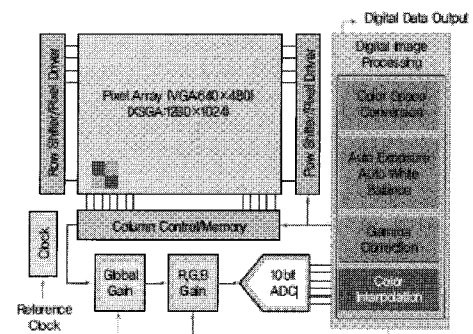


그림 1. CMOS 이미지 센서 디지털 카메라 모듈의 구조.  
Fig. 1. Structure of digital camera with COMS image sensor.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 5. 15., 채택확정: 2009. 6. 15.

조선희, 김동한, 박종국: 경희대학교 전자공학과

(chosunho@khu.ac.kr/donghani@khu.ac.kr/ckpark@khu.ac.kr)

※ 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2008-000-20352-0).

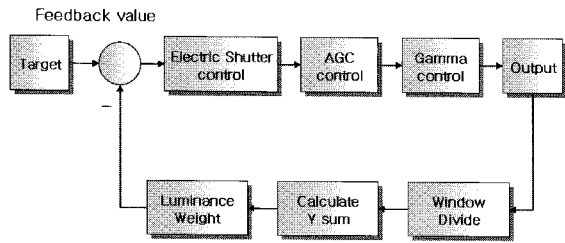


그림 2. AE 시스템의 블록도.

Fig. 2. A Block diagram of AE system.

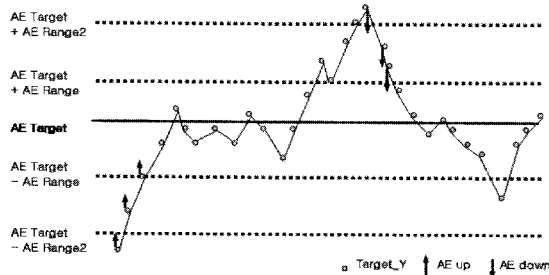


그림 3. AE의 동작.

Fig. 3. Operating of AE system.

디지털 값으로 변환되어 ISP (Image Signal Processor)로 보내진다. ISP에서는 입력된 값을 YCrCb 값으로 바꾸고 내장된 MCU (Micro Controller Unit) 코어를 통하여 AE, AWB, AF 등을 수행하여 영상 데이터로 출력한다[9].

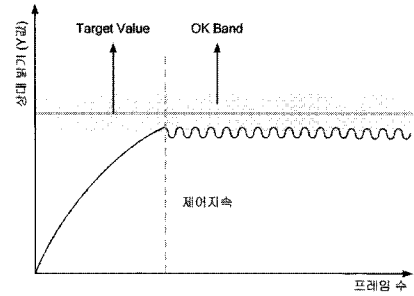
디지털 카메라에서 AE 시스템은 ES와 AGC를 조절하여 이미지 센서에 입력되는 광량의 값이 설정된 목표치에 수렴되도록 하는 기능을 수행한다. 그림 2는 AE 시스템에 대한 블록도이며, 그림 3은 AE의 동작 과정을 보여주는 그림이다. 그러나 모바일 카메라에서의 AE는 모듈의 크기, 렌즈의 크기, 이미지센서의 크기 등에서 물리적인 제약이 존재하므로 일반적인 디지털 카메라에서와 같은 수준의 AE를 수행하는 데는 한계가 있다. 그러므로 모바일 카메라가 가지고 있는 한정된 요건 속에서 최적의 AE를 수행할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

III. 제안된 알고리즘

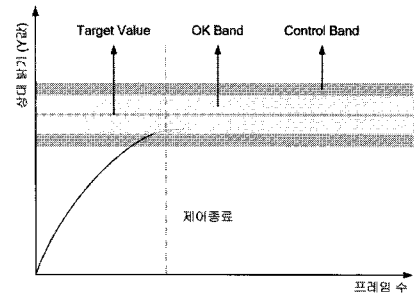
본 논문에서는 모바일 환경에서 개선된 AE 수행을 위해서 목표치 설정, 제어영역설정, 프레임 지연 보정에 대하여 새로운 방법을 적용하였으며, ES 값과 AGC 값의 결정에 퍼지 PI 제어를 적용하였다.

1. 목표치 설정과 제어영역 설정

기존의 방식에서 AE에 대한 목표치는 필름 카메라의 노출 기준을 그대로 적용하여 18% 그레이 차트(grey chart)의 밝기를 기준으로 목표치를 설정하였다. 필름 카메라의 노출 기준인 18% 그레이는 필름카메라의 인화시 중간 밝기에 해당하는 부분의 반사율이 18%이며, 흑백을 기준으로 하였기 때문이다. 그러나 이러한 값을 디지털 카메라의 노출 기준으로 하는 경우 감마(gamma) 보정시 특정 밝기 이상에서는 모두 동일한 밝기를 출력하는 현상이 생긴다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 감마 차트의 밝기 평균값으로 목



(a) Conventional control band



(b) Proposed control band

그림 4. AE 목표치와 제어영역.

Fig. 4. Control band and AE target value.

표치를 설정하였다. 또한 기존의 방식은 그림 4(a)와 같이 제어영역이 하나이므로 목표치에서 제어가 완료되지 못하고 계속 발진하는 현상이 존재하였다. 본 논문에서는 제어안정도와 목표치에 대한 수렴 속도 개선을 위하여 목표치를 기준으로 하여 그림 4(b)와 같이 두 개의 제어영역을 설정하였다. 설정된 제어영역에서는 피드백 값이 OK band 안쪽에 도달하면 제어는 종료되고, 피드백 값이 control band 바깥쪽을 벗어나면 제어가 시작하도록 하였다.

2. 피드백값의 프레임 지연 개선

디지털 카메라는 필름 카메라와 달리 현재의 영상정보가 아닌 몇 프레임 이전의 영상정보를 출력시킨다. 디지털 카메라 입력 영상의 프레임과 프레임 사이에는 약 1.5ms의 시간 차이가 존재한다. 이 시간동안 ES 값과 AGC 값이 AFE의 레지스터에 입력되고 이 값으로 AE가 수행되어 출력 영상의 밝기가 정해진다. 그러나 ES와 AGC를 결정하기 위한 제어값은 ISP의 연산시간 때문에 직전 프레임의 밝기 값이 아니라 두 프레임 이전의 밝기 값으로 처리된다. 그림 5는 프레임 지연이 발생하는 과정을 보여주기 위한

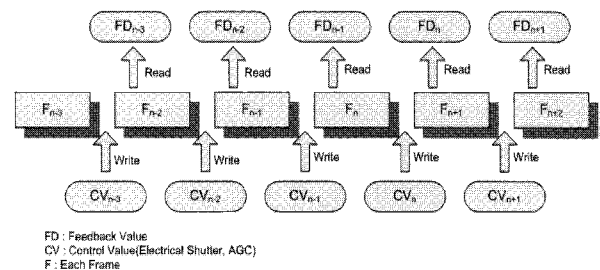


그림 5. 프레임 지연 보상.

Fig. 5. Compensation of frame delay.

그림이다. 그림을 살펴보면 프레임 Fn-3의 CVn-3값이 입력 되면 Fn-2에서 그 값이 적용되어야 하지만, 실제로는 Fn-2에 적용될 값은 ISP의 연산시간 때문에 FDn-2에서 그 값을 읽고 Fn-1에서 적용된다. 이와 같은 특성 때문에 전체 프레임의 피드백 값은 2 프레임 이전의 값이 되며, 이러한 지연 시간은 AE 발진과 제어 속도를 저하시키는 문제를 발생시킨다. 실제 모바일 폰으로 영상을 촬영하는 경우 저장된 이미지가 ISP 연산시간과 저장시간 등에 의하여 뷰 파인드의 영상과는 다른 이미지를 나타내는 것도 이러한 프레임 지연 때문이다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결을 위해 직전의 영상 정보를 참고하여 현재의 영상정보를 예상하는 방법으로 아래의 식 1과 같이 프레임 지연을 보정하였다.

$$CFD_n = FD_n + \sum_{k=0}^1 UD_{n-k} - \sum_{k=0}^1 DD_{n-k} \quad (1)$$

- CFD : 목표치와 비교하기 위한 최종 피드백 값
- FD : 현재 읽은 피드백 값
- UD : 해당 프레임의 밝기 증가분
- DD : 해당 프레임의 밝기 감소분

식 (1)에서 밝기 증가분의 합과 밝기 감소분의 합은 다음 프레임의 예상 밝기에 대한 증감분이다. ES와 AGC의 값을 결정하기 위한 퍼지 PI 제어기의 입력값을 구하기 위해 식 (1)을 적용하여  $e_n$ 과  $e_{n-1}$ 을 구하면 아래 식 (2), (3)과 같다.

$$e_n = T - CFD_n$$

$$e_n = T - (FD_n + \sum_{k=0}^1 UD_{n-k} - \sum_{k=0}^1 DD_{n-k}) \quad (2)$$

$$e_{n-1} = T - CFD_{n-1}$$

$$e_{n-1} = T - (FD_{n-1} + \sum_{k=1}^2 UD_{n-k} - \sum_{k=1}^2 DD_{n-k}) \quad (3)$$

위에서 구한  $e_n$ 과  $e_{n-1}$ 을 이용하여 편차를 계산하면 아래의 식 (4)와 같다.

$$e_n - e_{n-1} = T - CFD_n - (T - CFD_{n-1})$$

$$= FD_{n-1} - FD_n - (UD_n - UD_{n-2}) + (DD_n - DD_{n-2}) \quad (4)$$

3. ES와 AGC 값의 결정

기존의 AE 알고리즘은 ES와 AGC를 조절하기 위해 룩업 테이블(look-up table)을 이용하는 방법을 많이 사용하였다. 그러나 이러한 방법은 AE 수행 중에 헌팅(hunting) 현상을 발생시키므로 출력 영상의 밝기가 목표치에 수렴 하는 과정에서 자연스러운 밝기 전환이 진행되지 않으며 출력 영상이 목표치에 수렴하는 동안 시간적으로 불편함을 느끼게 된다. 그리고 ISP 내의 메모리 사용량과 전력의 소모량을 크게 하므로 소형화된 기기에는 적합하지 않다. 그리고 데이터베이스 구축에도 많은 시간이 소요되며, 메모리의 용량도 커야 하므로 가격이 비싸지는 단점이 있다. 그러므로 이를 보완할 수 있는 개선된 AE 시스템이 요구된다. PI제어

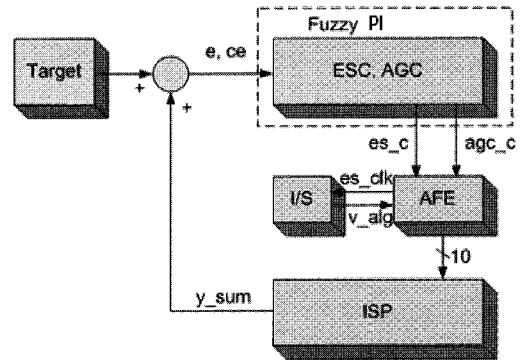


그림 6. 퍼지 PI를 적용한 AE 블록선도.  
Fig. 6. AE block diagram applied fuzzy PI.

는 룩업테이블 방식에서 발생하는 이러한 단점을 개선할 수 있는 유용한 제어방식 이다. 그러나 이미지센서는 밝기와 온도 등에서 비선형적인 특징이 있으므로 PI 제어의 비례계수에 의한 값으로는 최적의 AE를 수행하기에는 한계가 있다. 그리고 AE의 수행 속도를 높이기 위해 이득 값을 높이면 초기 수행 상태에서 헌팅 현상을 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 PI의 단점을 보완한 AE 시스템을 구현하기 위하여 퍼지 PI 제어를 적용하였다. 퍼지 제어기는 수학적 모델링이 불가능한 비선형적 시스템의 경우에도 적절한 제어량을 얻을 수 있으며, 초기치에서 커다란 오버슈트(overshoot) 없이 목표치에 잘 도달 할 수가 있다. 그림 6은 퍼지 PI가 적용된 AE 블록선도이다. e는 오차 이며, ce는 오차의 변화량이다.

본 논문에서 ES와 AGC에 대한 멤버십 함수는 적용의 간편성으로 인하여 가장 널리 쓰이는 삼각 멤버십 함수를 사용하였다[10,11]. AE를 제어하는 MCU가 8비트로 동작하기 때문에 밝기의 코드값은 8비트의 이진수가 나타낼 수 있는 0 ~ 255의 범위를 가진다. 퍼지 라벨은 NB (Negative Big), NM (Negative Middle), NS (Negative Small), ZO (Zero), PS (Positive Small), PM (Positive Middle), PB (Positive Big)으로 설정하였다. ES와 AGC 값을 결정하기 위한 퍼지 규칙은 다음 표 1, 2와 같다.

최대 ES 값은 제조사마다 다르지만 일반적으로 0.65ms의 시간을 가진다. 본 논문에서 사용된 이미지센서에서 적용한 AGC 범위는 14.156dB~30dB이다. 실험결과 32dB 이상의 범위에서 노이즈가 증폭이 되어 화질이 떨어지는 현상이 발생했으며, 14.15dB 이하 범위에서는 컬러 노이즈가 발생했다.

표 1. ES의 퍼지 규칙.  
Table 1. Fuzzy rule of ES.

ce \ e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PM	PB	PB
NM	PB	PB	PM	PM	PM	PB	PB
NS	PM	PM	PM	PM	ZO	PB	NM
ZO	PM	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	PM
PS	NM	NS	ZO	NS	NS	NS	NM
PM	NS	ZO	NS	NS	NS	NB	NB
PB	NS	NS	NS	NS	NM	NB	NB

표 2. AGC의 퍼지 규칙.

Table 2. Fuzzy rule of AGC.

ce \ e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NM	NS	NS	PS	PS
NM	NM	NS	NS	NS	NS	ZO	PS
NS	NS	NS	NS	NS	ZO	NS	PS
ZO	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS
PS	PS	PS	ZO	PS	PS	PS	PM
PM	PS	ZO	PS	PS	PS	PM	PM
PB	NB	NS	PS	PS	PM	PM	PB

4. ES와 AGC의 제어 순서

ES값의 조절은 이미지센서의 노출 시간을 결정하는 역할을 수행하며, AFE의 타이밍 발생기(timing generator)가 발생하는 클럭(clock)에 의해 노출 시간이 설정된다. AGC는 이미지센서의 출력 값을 증폭하는 역할을 수행한다. AGC 수행에 있어서 낮은 증폭대역에서는 컬러 노이즈(color noise)가 생기고 높은 증폭 대역에서는 시스템 노이즈(system noise)가 심해지는 현상이 발생하므로, 본 논문에서는 이러한 현상을 줄이기 위하여 14dB와 30dB 구간에서 AGC가 이루어지도록 하였다.

그림 7은 제안된 AE에 적용된 ES와 AGC의 제어 순서도이다. ES와 AGC는 영상의 밝기 조절에 중요한 역할을 하지만 두 가지 모두 출력 영상의 화질에 큰 영향을 미치므로 각각의 특성을 고려하여 AE 시스템에 적용을 하여야 한다. 즉, ES 값을 조절하는 경우 출력영상의 노이즈 성분은 거의 영향이 없지만 ES 시간에 따라 잔상 현상이 생기고, AGC 값을 조절하는 경우 증폭에 따른 잔상 현상은 없지만 노이즈성분이 증폭 함께 증폭되는 문제가 발생하므로 출력 영상의 화질을 위해서 AE와 AGC를 적절히 조합

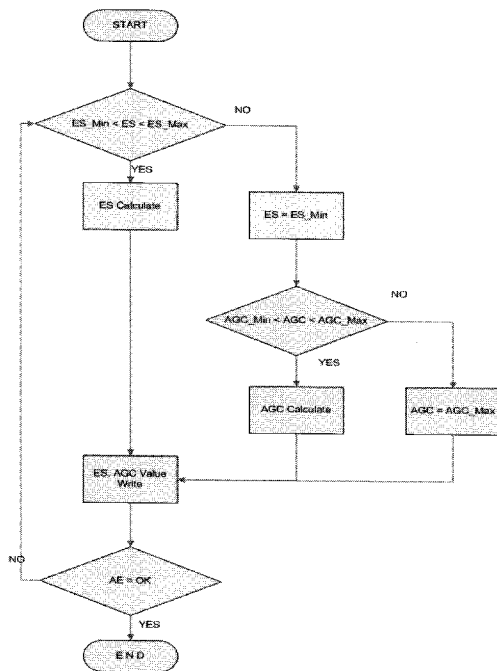


그림 7. ES, AGC 제어 흐름도.

Fig. 7. ES, AGC control flowchart.

해야 한다. 일반적인 디지털 카메라에서는 이러한 점을 보완하기 사용자의 의도에 따라 조리개 우선개방, 감도우선 등의 수동기능 이용하여 문제점을 보완하였다. 그러나 모바일 디지털 카메라의 환경에서는 수동기능이 제한되므로 자동기능상에서 AE와 AGC 제어값의 적절한 조합이 필요하다. 본 논문에서는 화질에 영향을 미치는 노이즈를 최대한 줄이기 위해 노이즈 성분에 적은 영향을 미치는 ES를 먼저 수행하고, ES의 조절만으로 목표치에 수렴하지 않는 경우에만 AGC가 수행되도록 하였다.

IV. 실험 결과

실험에서는 자연광원과 CWF (Cool White Fluorescent)광원에 대하여 조도의 변화에 따른 동작시간과 밝기 변화를 기존의 방식과 비교하였다. 실험에 사용된 카메라 테스트 보드는 HyIMAGE Pro V2를 사용하였으며, 카메라 모듈은 2M-S5K4BAFX 모델을 사용하였다. 그림 8은 실험에 사용된 영상이며, 그림 9에서 그림 14는 조도와 광원에 따른 동작시간을 비교한 실험 결과이다. 실험결과에서 제안된 시스템에 의한 AE는 과도한 노출이나 발진현상이 없이 기존의 AE시스템보다 빠른 시간 안에 목표치에 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

다음 그림 9, 10은 0 Lux에서 중간 값으로 조도를 변화시킨 경우 AE 수행 결과를 비교한 그림이다. 수직축 값은 YCbCr 밝기 값이며, 목표치는 8비트 ISP 레지스터의 중간 값인 127이다. 이와 같이 낮은 조도에서 갑자기 조도가 높아지는 경우 기존의 AE는 따라 이미지센서가 과도하게 노출되어 초기프레임에서 현상현상이 심하게 일어났지만, 퍼



그림 8. 실험에 사용된 영상.

Fig. 8. The image used for test.

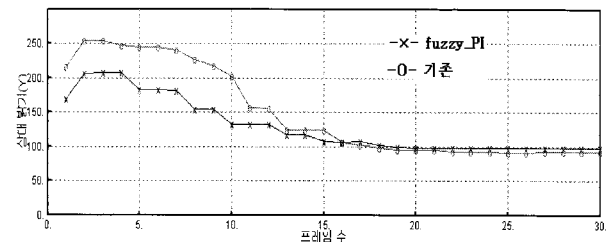


그림 9. 자연 광원 0Lux에서 600Lux로 변화시 비교.

Fig. 9. When Day light change from 0Lux to 600Lux.

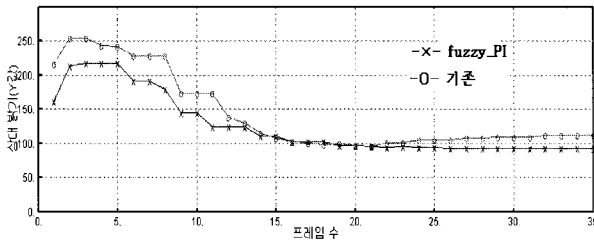


그림 10. CWF 광원 0Lux에서 800Lux로 변화시 비교.  
Fig. 10. Comparison when CWF light change from 0Lux to 800Lux.

지 PI를 이용한 AE의 경우 비교적 적은 헌팅현상을 발생시키며 목표치에 유연하게 수렴하였다. 그리고 목표치에 대한 수렴 속도는 그림 9의 경우 기존 AE에 비해 3프레임 빨리 도달 하였으며, 그림 10의 경우에는 6프레임 빨리 목표치에 도달 하였다.

다음 그림 11, 12는 중간 값에서 높은 값으로 조도를 변화 시킨 경우 AE 수행 결과를 비교한 그림이다.

그림 11, 12와 같이 중간 값에서 높은 값으로 조도를 변화 시킨 경우 어느 정도 노출이 조절된 상태에서 높은 밝기 값으로 조도가 변화하였기 때문에 초기프레임에서 헌팅 현상은 거의 비슷한 결과를 보였지만, 기존의 AE의 경우 목표치에 도달 후 발진을 일으키는 반면 퍼지 PI를 이용한 AE의 경우에는 목표치에 수렴 후 AE가 완전히 종료됨을 알 수 있었다. 그림 13, 14는 높은 값에서 중간 값으로 조도를 변화 시킨 경우 AE 수행 결과 비교한 그림이다.

그림 13, 14와 같이 높은 조도에서 갑자기 조도가 낮아지는 경우, 기존의 AE는 초기프레임에서 이미지센서의 노출시간이 급격하게 줄어들어 다음 다시 과도하게 노출이 되어 낮은 밝기와 높은 밝기에서 두 번의 헌팅현상이 심하

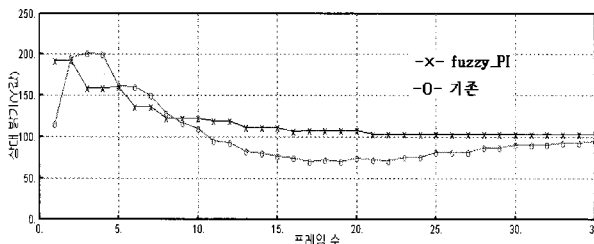


그림 11. 자연 광원 250Lux에서 900Lux로 변화시 비교.  
Fig. 11. When day light change from 250Lux to 900Lux.

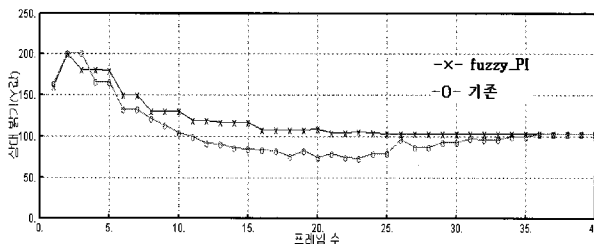


그림 12. CWF 광원 250Lux에서 1050Lux로 변화시 비교.  
Fig. 12. When CWF light change from 250Lux to 1050Lux.

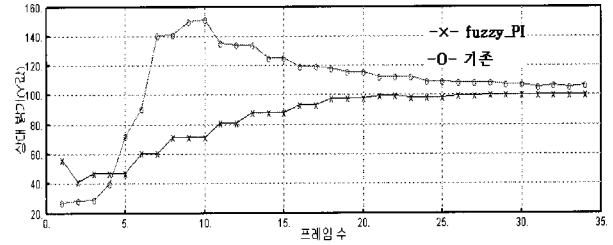


그림 13. 자연 광원 900Lux에서 250Lux로 변화시 비교.  
Fig. 13. When Day light change from 900Lux to 250Lux.

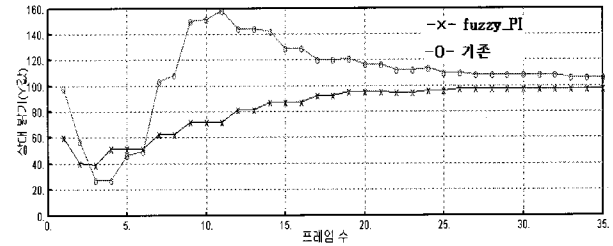


그림 14. CWF 광원 1050Lux에서 250Lux로 변화시 비교.  
Fig. 14. When CWF light change from 1050Lux to 250Lux.

표 3. 조도의 변화에 따른 AE 수행 결과 비교.

Table 3. Comparison of AE result for Luminous intensity change.

밝기 변화(lux)	AE 종료 시점	
	fuzzy-PI AE	기존 AE
자연광 0 → 600	19 프레임	22 프레임
CWF광 0 → 800	27 프레임	33 프레임
자연광 250 → 900	21 프레임	35 프레임
CWF광 250 → 1050	21 프레임	32 프레임
자연광 900 → 250	25 프레임	39 프레임
CWF광 1050 → 250	26 프레임	33 프레임

게 일어났지만 퍼지 PI를 이용한 AE의 경우 낮은 초기 프레임에서만 비교적 적은 헌팅현상을 발생시키며 목표치에 유연하게 수렴하였다. 그리고 목표치에 대한 수렴 속도는 그림 13의 경우 기존 AE에 비해 14프레임 빨리 도달 하였으며, 그림 14의 경우에는 7프레임 빨리 목표치에 도달 하였다. 표 3은 조도의 변화에 따른 AE 수행 속도에 대한 비교이다.

위의 실험결과와 같이 제안된 AE 시스템은 헌팅현상, 제어속도, 발진현상 등에서 기존의 AE 시스템보다 개선된 결과를 보였다.

V. 결론

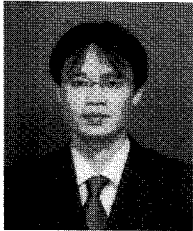
휴대전화와 같은 모바일 기기에서의 카메라는 여러 가지 제약 사항으로 인해 물리적인 기술의 발달만으로는 일반 디지털 카메라와 같은 양질의 영상을 얻는데 한계가 있다. 그러므로 이를 보완할 수 있는 개선된 화질 제어 기술이 요구된다. 또한 모바일 제품의 특성상 전문성 보다는 대중화가 우선 시 되므로 동일한 성능을 발휘하는 조건에서 제품의 가격 경쟁력을 높이는 것 역시 고려되어야 한다.

본 논문에서는 소형화된 디지털 카메라 모듈의 AE 제어

속도와 제어 안정성 개선을 위하여 퍼지 PI 제어를 적용한 개선된 AE 시스템을 제안하였다. 그리고 제안된 시스템에서는 모바일 환경에 적합한 AE를 수행하기 위하여 목표치 설정, 제어 제어영역 설정, 프레임 지연 보정 등을 ES와 AGC의 제어값에 추가적으로 반영하였다. 제안한 AE 시스템은 퍼지논리를 이용하여 제어값을 결정함으로써 기존의 룩업테이블에 의한 방식 보다 물리적인 크기의 제한을 받는 모바일 기기의 한정된 메모리를 효과적으로 사용할 수 있게 해주며, 급격한 노출 변화에 대하여 기존 시스템에 비하여 안정되고 신속한 AE 수행이 가능하였다. 제안된 AE 시스템은 현상에서 확연한 개선이 있었으며, 제어 속도 면에서는 조도의 변화에 따라 3프레임에서 14프레임의 개선효과가 있음을 실험을 통해서 확인 할 수 있었다.

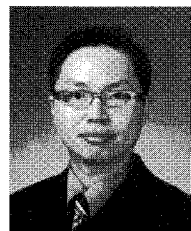
### 참고문헌

- [1] W. H. Cahn and Ch. T. Youe, "Video CCD based portable digital still camera," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.41, issue 3, pp. 455-459, Aug. 1995.
- [2] J. Nakamura, "Image sensors and signal processing for digital still cameras," *Taylor & Francis*, 2006.
- [3] T. Tadao, *Automatic exposure device and photometry device in a camera*, U.S. Patent 5664242, 1997.
- [4] S. Tatsuya., F. Hidehiko, T. Kenji, and I. Kenji, "Automatic exposure controlling device for a camera," U.S. Pat. 5452047, 1995.
- [5] Y. Huang and S. Yasunobu, "A general practical method for fuzzy PID controller from conventional PID control," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 2, no. 4, Nov. 1994.
- [6] S. Shimizu, T. Kondo, T. Kohashi, M. Tsuruta, and T. Komuro, "A new algorithm for exposure control based on fuzzy logic for video cameras," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 38, issue 3, pp. 617-623, Aug. 1992.
- [7] L. Zheng, "A practical guide to tune of proportional and integral(PI) like fuzzy controllers," *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 633-640, Mar. 1992.
- [8] K. Hayashi, A. O. K. Shiranita, "Improvement of conventional method of PI fuzzy control," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E84-A, no. 6, June 2001.
- [9] J. Teuber, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1993.
- [10] L. X. Wang, *A Course In Fuzzy Systems And Control*, Prentice-Hall, 1997.
- [11] R. J. Marks II, "Fuzzy logic technology and application," *IEEE Technical Activities Board*, 1994.



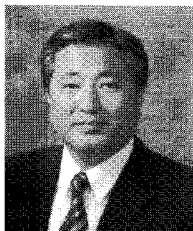
### 조 선 호

1993년 경희대학교 전자공학과 졸업.  
1997년 경희대학교 전자공학과 석사.  
2009년 경희대학교 전자공학과 박사.  
2009년~현재 경희대학교 전자공학과  
겸임교수. 관심분야는 퍼지제어 및 응용,  
디지털 카메라 영상처리.



### 김 동 한

1995년 KAIST 전기및전자공학과 졸업.  
1998년 KAIST 전기및전자공학과 석사.  
2003년 KAIST 전기및전자공학과 박사.  
2007년~현재 경희대학교 전자공학과  
교수. 관심분야는 Multi Agent 시스템,  
지능제어, 로봇추구.



### 박 종 국

1971년 서울대학교 물리학과 졸업.  
1975년 연세대학교 전자공학과 석사.  
1979년 연세대학교 전자공학과 박사.  
1980년~현재 경희대학교 전자공학과  
교수. 관심분야는 자동제어, 퍼지, 신  
경망, 유전 알고리즘.