

# ETTR 노출 방법을 활용한 디지털 카메라의 화질 향상

## Development of Image Quality Enhancement of a Digital Camera with the Application of Exposure To The Right Exposure Method

박형주, 하동환

중앙대학교 첨단영상대학원 첨단영상학과

Hyung-Ju Park(igotitu@hotmail.com), Dong-Hwan Har(dhhar@cau.ac.kr)

### 요약

디지털 카메라의 센서는 각각의 픽셀에 대응하는 휘도 값을 저장한 것이다. 이러한 상태의 기록을 로파일이라고 한다. 로파일은 가장 밝은 하이라이트 한 스톱부터 이미지가 갖는 레벨 값의 절반을 할당하고 그 나머지의 절반을 그 다음 스톱에 할당하는 방식으로 가장 어두운 색도에는 가장 적은 레벨을 분배하는 특성을 갖는다. 그러므로 가장 많은 레벨 정보를 갖고 있는 가장 밝은 하이라이트 한 스톱을 촬영 시 반드시 확보하면 디지털 카메라의 향상된 화질을 구현할 수 있을 것이다. 즉 이러한 디지털 이미지의 정보 기록 분배 방식으로 인하여 촬영 시 노출이 매우 중요하다고 판단할 수 있다. 본 논문은 디지털 카메라의 최적 노출을 위하여 가장 많은 레벨 값이 할당되는 하이라이트 한 스톱을 가능한 한 최대한도로 유지하기 위하여 얼마만큼의 노출 과다 조정과 감도가 효과적인지 실험을 통하여 밝혀냈다. 이를 위하여 디지털 카메라를 적정 노출에서부터 1/3스톱씩 2스톱까지 7단계의 노출 과다로 촬영하고 적정 노출을 기준으로 노출이 과다된 로파일을 노출 부족으로 컨버팅 하여 화질을 향상시키는 ETTR(Exposure to the right) 노출 방법의 효용성을 검증하였다. 그 결과 다이내믹 레인지를 확장시키고 비주얼 노이즈를 최소화시키는 디지털 카메라의 최적 화질 구현을 위하여 가장 적절한 노출은 약 1 % 스톱 정도 노출을 과다하였을 때이며 고감도로 갈수록 그 효과가 높았다. 이와 같은 논문은 카메라 사용자와 제조사에게 실용적인 ETTR 노출 정보를 제공함으로써 넓은 다이내믹 레인지를 구현하는 동시에 노이즈를 최소화시켜 최적화된 디지털 카메라의 화질 구현할 수 있게 할 것이다.

■ 중심어 : | 디지털 카메라 | ETTR | 로파일 | 노이즈 | 다이내믹 레인지 | 화질 |

### Abstract

Raw files record luminance values corresponds to each pixel of a digital camera sensor. In digital imaging, controlling exposure to capture the first highlight stop is important on linear-distribution of raw file characteristic. This study sought to verify the efficiency of ETTR method and found the optimum over-exposure amount to maintain the first highlight stop to be the largest number of levels. This was achieved by over-exposing a scene with a raw file and converting it to under-exposure in a raw file converting software. Our paper verified the efficiency of ETTR by controlling the exposure range and ISOs. Throughout the results, if exposure increases gradually 6 steps, dynamic range is also increased. And it shows that the optimized exposure value is around + 1% stop over compared to the normal exposure with the high ISOs simultaneously. We compared visual noise value at 1% stop to the normal exposure visual noise. Based on the normal exposure's visual noise, we can confirm that visual noise decrement is increased by increasing ISOs. In this experimental result, we confirm that overexposure about + 1% stop is the optimum value to make the widest dynamic range and lower visual noise in high ISOs. Based on the study results, we can provide the effective ETTR information to consumers and manufacturers. This method will contribute to the optimum image performance in maximizing dynamic range and minimizing noise in a digital imaging.

■ keyword : | Digital Camera | ETTR(Exposure To The Right) | Raw file | Noise | Dynamic range | Image quality |

\* 본 논문은 2010년도 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형 콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원(10570)과 한국학술진흥재단의 BK21 사업 지원을 받아 수행된 연구입니다.

접수번호 : #100406-002

접수일자 : 2010년 04월 06일

심사완료일 : 2010년 07월 22일

교신저자 : 하동환, e-mail : dhhar@cau.ac.kr

## 1. 서론

디지털 카메라의 CCD(Charged - Coupled Device)나 CMOS(Complementary Metal - Oxide Semiconductor) 센서는 색상 정보를 기록하지 않고 센서가 받아들이는 빛 입자의 양에 비례하여 전하를 생성하고 기록한다. 이러한 상태의 기록을 로파일(Raw file)이라고 하며, 따라서 로파일은 단순히 센서 각각의 픽셀에 대응하는 휘도 값을 저장한 것이라고 할 수 있다. 원시 데이터(Raw data)를 저장하는 방식은 디지털 카메라 제조사마다 다르며 저장 포맷 역시 다르다. 그러나 로파일은 원시 데이터를 기록하는 특성을 일컫는 것이며 제조사마다 상이한 포맷을 사용하더라도 기본적인 원리는 같다.

디지털 카메라의 센서가 로파일을 기록하는 방식은 선형적이다. 즉, 12비트의 로파일은 4,096의 레벨을 갖으며, 이때 2,048 레벨은 4,096 레벨의 중간 값을 의미한다. 이러한 선형적인 센서 기록 방식은 디지털 카메라의 노출과 관련이 있다. 예를 들어, 12비트의 6스톱(stop)의 다이내믹 레인지를 가진 디지털 사진이 있다. 이 때 스톱은 다이내믹 레인지를 측정하는 단위로써 렌즈의 조리개 한 스톱단위를 의미한다. 즉 다이내믹 레인지가 6스톱이라면 사진의 가장 밝은 부분과 가장 어두운 부분의 조리개 노출이 6스톱의 차이가 난다고 할 수 있다. 다시 6스톱의 다이내믹 레인지를 갖는 디지털 사진의 각각의 여섯 스톱 당 레벨 값을 분배하는 방식은 다음과 같다. 총 4,096의 레벨 가운데 절반인 2,048 레벨을 가장 밝은 하이라이트 한 스톱에 할당하고, 그 나머지의 절반인 1,024 레벨을 그 다음 스톱에 할당하는 방식으로 분배하여 가장 어두운 색도에는 64 레벨을 할애했다([그림 1]참고). 따라서 가장 밝은 하이라이트 한 스톱에 전체 레벨의 절반 값을 분배하는 디지털 카메라의 정보 저장 방식으로 인하여 디지털 카메라에서의 적절한 노출이란 하이라이트를 가능한 한 최대한으로 유지하는 것을 의미한다[1].

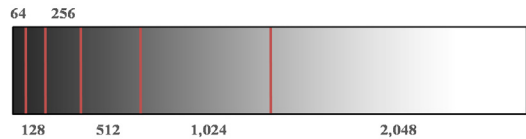


그림 1. 12비트 로파일이 6스톱의 다이내믹 레인지를 가질 때 레벨 할당 방식(우측-가장 밝은 하이라이트 스톱부터 좌측-가장 어두운 색도 스톱까지)

이와 같이 디지털 카메라의 적정 노출을 위하여 가장 많은 레벨 값이 할당되는 하이라이트 한 스톱을 가능한 한 최대한도로 유지하기 위하여 노출 과다로 촬영하고는 적정 노출을 기준으로 노출 부족으로 로파일을 컨버팅 하는 것을 ETTR(Exposure To The Right) 노출 방법이라 한다[2]. 이러한 ETTR 노출 방법은 디지털 이미지가 갖는 레벨 값의 절반을 할당받는 가장 밝은 하이라이트 한 스톱을 반드시 확보하게 촬영하여 디지털 카메라가 표현 가능한 최대 수치의 레벨 값들이 로파일 컨버팅 과정을 통하여 중간 톤으로 확장되고 이어 색도 영역까지 좀 더 많은 레벨을 할당하게 할 수 있다.

그러나 이와 같은 ETTR 노출 방법은 단순히 이론상에 근거한 가정이었을 뿐 실제 학술적으로 발표된 논문은 부재한 상태이다. 또한 노출을 과다시킴에 따라 디지털 카메라가 표현 가능한 가장 밝은 하이라이트 한 스톱의 최대 레벨들을 확보하여 전체적인 화질이 개선된다고 하였으나 구체적으로 어느 정도 노출을 과다시켜야 되는지 제시되지 않았다. 일반적인 디지털 카메라의 노출이란 사진의 밝기를 결정하기 위하여 CCD에 필요한 만큼의 빛이 닿을 수 있도록 조리개 값과 셔터 속도를 이용하여 조절하는 것을 의미한다. 본 논문에서는 ETTR 노출 방법을 활용하여 기존의 적정 노출 방식에 비하여 감도, 조리개나 셔터 스피드를 조절하여 적정 노출보다 노출을 과다시킴으로써 화질이 향상되는 정도를 실험을 통하여 디지털 카메라의 어느 정도의 과다노출이 ETTR 노출 방법에 최적화된 노출 값이 되는지 알아내고자 하였다. 노출뿐만 아니라 감도별로도 실험하여 어느 감도에서 ETTR 노출 방식이 가장 효과적인가를 검증하였다. ETTR 방법을 적용한 화질 개선 정도의 객관적인 수치화를 위하여 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)

에서 제정한 디지털 카메라 화질 측정 방법을 준수하여 다이내믹 레인지와 비주얼 노이즈를 측정하였다. 또한 ETTR 노출 방법을 적용하여 실제 사진을 비교·분석하였다.

이러한 논문을 통하여 일반인 사용자가 실제 촬영에 적용 가능한 최적의 ETTR 노출 정보를 제공함으로써 디지털 카메라가 구현할 수 있는 최적의 화질로 촬영할 수 있게 한다. 이러한 디지털 카메라의 ETTR 적정 노출 방법은 넓은 다이내믹 레인지를 구현하는 동시에 노이즈를 최소화시킬 수 있다. 또한 본 논문을 통하여 디지털 카메라 제조사에 디지털 카메라의 적정 노출 정보를 제공하여 보다 최적화된 디지털 카메라의 화질 구현을 가능하게 할 수 있을 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1 디지털 카메라의 ETTR 노출 방법



그림 2. 같은 장면을 ETTR 노출 방식으로 촬영한 히스토그램의 예(좌-적정 노출, 우-ETTR 노출)

앞서 디지털 카메라의 최적화된 화질을 위하여 로파일 이 갖는 레벨들의 절반을 할당받는 가장 밝은 하이라이트 한 스톱을 가능한 한 최대한 유지하여 과다 노출로 촬영하고 로파일 컨버팅 과정에서 노출 부족으로 조정하는 방식을 ETTR이라고 기술하였다[2]. [그림 2]는 같은 장면을 적정 노출로 촬영하였을 때(좌)와 ETTR 노출 방식(우)를 적용하였을 때를 보여준다. 적정 노출 방식 보다 ETTR 방식이 하이라이트에 분배된 레벨 값들이 많음을 알 수 있다.

ETTR 노출 촬영을 위하여 조리개 개방, 느린 셔터 스피드 사용, 또는 카메라의 노출 보상 기능을 사용한다. 이러한 ETTR 노출은 촬영하고자 하는 장면의 다이내믹 레인지가 디지털 카메라의 다이내믹 레인지 범위 내에 존재하여야만 효과적이다. 왜냐하면 장면보다

카메라의 다이내믹 레인지가 넓어야만 ETTR을 적용하여 어느 정도 과다 노출로 촬영할 수 있는 여지가 있기 때문이다. 따라서 디지털 카메라가 표현 가능한 다이내믹 레인지를 파악하여 피사체의 노출이 가장 적절하게 표현될 수 있는 최적의 노출을 결정하는 것이 중요하다.

### 2.2 ETTR 노출 방법 실험

본 논문은 디지털 카메라의 ETTR 노출 방식이 화질에 미치는 영향을 객관적으로 측정하기 위하여 다이내믹 레인지와 노이즈를 측정하고 그 정도를 수치화하였다. 이를 검증하기 위해서 4대의 디지털 카메라를 적정 노출에서부터 시작하여 1/3스톱씩 증가 +2스톱까지 총 7 단계별 노출과 감도별로 타깃을 촬영하였다. 타깃의 촬영은 국제표준화기구(ISO)에서 제정한 디지털 카메라 화질 측정 방법을 준수하였으며 각각 10회씩 촬영하였다[5][6]. 이후, 화질 측정 프로그램을 사용하여 카메라 별 노출과 감도에 따른 다이내믹 레인지와 노이즈 수치의 10회 평균값을 확인하였다.

만약 디지털 이미지의 화질이 노출에 의해 영향을 받지 않는다면, 실험을 통해 측정된 다이내믹 레인지와 노이즈의 측정값이 노출 과다 조정이나 동일 감도 내에서는 일정해야 할 것이다. 하지만 화질이 노출 조절에 의해 영향을 받는다면, 감도별로 측정된 다이내믹 레인지와 노이즈의 값이 달라질 것이며, 그 결과 값 내에서 최적의 화질을 갖는 노출을 찾아내는 것이 본 실험의 목적이다([그림 3]참고).

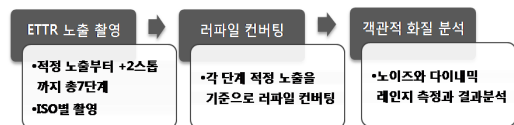


그림 3. 본 논문의 실험 과정

### 2.3 화질 측정 방법

본 실험을 통해 측정하는 다이내믹 레인지와 노이즈는 ISO 15739 Photography - electronic still-picture cameras - methods - noise measurements의 방법에 의거하였다.

ISO 15739에 의하면 노이즈란 이미지 시스템에서 영상이 원래 가지고 있던 신호나 성분 이외의 것들이라고 정의한다. 또한 다이내믹 레인지는 최대 신호 밝기 대 최소 신호 밝기의 비율이라고 규정되어있다. 디지털 이미지 노이즈는 일정하게 나타나는 고정 패턴노이즈와 촬영할 때마다 그 형태가 달라지는 불규칙 노이즈가 있으며 다음 수식 1은 총 노이즈와의 관계이다[5].

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{fp}^2 + \sigma_{temp}^2$$

$$\sigma_{fp} = \sqrt{\sigma_{ave}^2 - \frac{1}{n-1}\sigma_{diff}^2}$$

$$\sigma_{temp}^2 = \sqrt{\frac{n}{n-1}\sigma_{diff}^2}$$

수식 1. 총 노이즈

다음의 [표 1]의 변수들은 노이즈 수식을 분석하는데 사용된다.

표 1. 수식 변수의 설명

변수	노이즈 형태
$\sigma_{total}$	총 노이즈의 표준편차
$\sigma_{fp}$	고정 패턴 노이즈의 표준 편차
$\sigma_{temp}$	불규칙 노이즈의 표준 편차
$\sigma_{ave}$	여러 이미지들의 평균값에 대한 표준 편차
$\sigma_{diff}$	서로 다른 두 개의 이미지 차이에 대한 표준 편차

다음 [그림 4]는 본 실험에 사용된 ISO 15739에서 제시하고 있는 투과식 타깃이다.

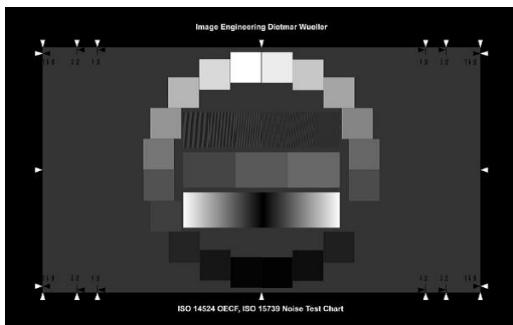


그림 4. ISO 15739 OECF와 노이즈 통합형 타깃

[표 2]에서는 본 논문에서 사용된 측정방법의 세부 조건들에 대하여 서술하고 있다.

표 2. 본 실험에 적용된 ISO 측정방법

구분	ISO 15739	본 논문
온도	23°C± 2°C	23°C 유지
광원	D55 또는 Tungsten(3010K)	D55 (DNP viewer사용)
타깃	12패치 반사식 / 20패치 투과식	20패치 투과식
화이트 밸런스	적용	커스텀으로 적용
화질모드	RAW, Tiff 우선	RAW와 Tiff
측정 프로그램	포토샵 플러그인 또는 동등프로그램	IE Analyzer ver.2.2

### 2.3.1 실험의 제한 사항

앞서 언급되지 않은 기타 사항은 다음 제한사항을 따른다([표 3]참고).

표 3. 제한사항

항목	제한사항
노출	- 타깃의 제일 밝은 패치의 레벨 값이 255를 넘지 않도록 노출 조절
초점	- 타깃의 인쇄 망점이 노이즈로 인식되지 않게 초점을 약간 흐리게 촬영하는 것을 권장 (ISO15739)
렌즈	- 각 카메라사의 전용렌즈(50mm)를 사용하여 동일한 초점거리 유지 - 콤팩트카메라의 경우 전용 렌즈 사용
로파일 컨버팅	- 로파일 컨버팅 프로그램은 Adobe사의 Camera Raw (ACR ver.5.6)을 사용 - 촬영된 타깃의 로파일 컨버팅시 적정 노출 타깃의 회색 배경(R,G,B값)을 기준

### 2.3.2 실험 변수

본 실험의 측정 대상은 감도별 적정 노출에서부터 노출이 +1/3 스톱씩 +2스톱까지 증가함에 따라 다이내믹 레인지와 노이즈의 변화 추이다. 즉, 노출이 증가할 때, 다이내믹 레인지와 노이즈가 어떻게 영향을 받는지 확인하고자하였으며 추가적으로 감도에 따른 영향도 살펴보았다. 다음 [표 4]은 본 실험의 독립변수와 종속변수이다.

표 4. 실험의 변수

독립변수	종속변수
- 노출조정(0,+1/3,+2/3,+1,+1½,+1¾,+2 스톱까지)	-다이내믹 레인지
- ISO(100,200,400,800,1600,(3200,6400))	-노이즈

2.3.3 실험 대상

본 실험에 사용된 카메라는 [표 5]와 같다. 우선 센서의 타입을 CCD와 CMOS, 센서 크기는 풀프레임(Full-Frame)과 APS-C(Advanced Photo System type-C)로 나누어 제품을 선택하여 표본의 다양성을 갖게 하였다. 선정된 카메라들은 기종간의 우위를 선별하는 것이 아니라, 본 실험을 통하여 결과에 따라 나타나는 변화 정도를 알아보기 위한 것이다.

표 5. 실험에 사용된 디지털 카메라

제조사	Canon	Canon	Canon
모델	5DMK2 (High-end DSLR)	500D (Consumer DSLR)	G10 (Compact camera)
유효화소수 (Megapixel)	21.0	15.1	14.7
센서타입	CMOS	CMOS	CCD
센서크기 (mm)	36 x 24	22.3 x 14.9	7.60 x 5.70
파일타입	Raw	Raw	Raw

2.4 측정결과

본 논문에서 제시한 ETTR 노출 방법에 따라 조리개를 이용하여 카메라가 지시하는 적정 노출에서 +1/3 스톱씩 조절하여 +2 스톱까지 노출 과다로 촬영하였다. 그리고 카메라가 지시하는 적정 노출에서 촬영된 타겟의 회색 배경이 갖는 R,G,B 값을 기준으로 로파일들을 Adobe社의 Camera Raw (ACR ver.5.6)을 사용하여 Tiff 파일로 전환하여 저장하였다. 이후 IE Analyzer ver.2.2를 사용하여 변수에 따른 다이내믹 레인지와 비주얼 노이즈를 측정하였다.

화질을 평가하는 기준으로 다이내믹 레인지는 디지털 카메라가 기록할 수 있는 하이라이트와 섀도의 비율을 의미하며 다이내믹 레인지의 범위가 넓으면 그 수치가 크며 단위는 스톱을 사용하였다. 비주얼 노이즈는 이미지에 기록된 의도하지 않은 잡음을 의미하는 것으

로 측정을 위해서는 IE Analyzer ver.2.2 프로그램 옵션의 Set1을 이용하였다. Set1은 50cm거리에서 72 PPI의 모니터 조건일 때 인간의 눈에 지각되는 노이즈의 양이다. 그 수치가 작을수록 화질이 좋으며 보통 0.5 미만은 육안으로 판별할 수 없는 노이즈이며, 1.0 이하는 매우 우수하다고 평가할 수 있고 2.0 이상이면 육안으로 판독이 가능한 노이즈이다[5].

2.4.1 Canon 5D Mark 2

이번 논문에서 제시하는 방법에 따라 측정된 Canon 5D Mark 2의 비주얼 노이즈와 다이내믹 레인지의 수치를 그래프화하면 다음 [그림 5][그림 6]과 같다.

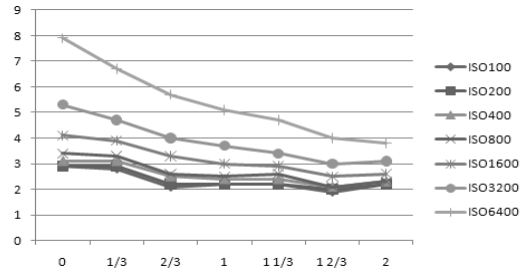


그림 5. 5DMK2의 ETTR 적용에 따른 감도별 비주얼 노이즈 그래프

[그림 5]의 Canon 5D Mark 2를 ETTR 노출 방법 적용에 따른 감도별 비주얼 노이즈 측정결과에 의하면 노출을 단계별로 증가시킬수록 노이즈의 양은 감소하는 경향을 보였다. 특히 노출이 1%정도 과다 되었을 때 ETTR 노출 방법의 효과가 극대화되었다. 또한 감도가 증가할수록 노이즈 감소 정도가 크게 나타났다.

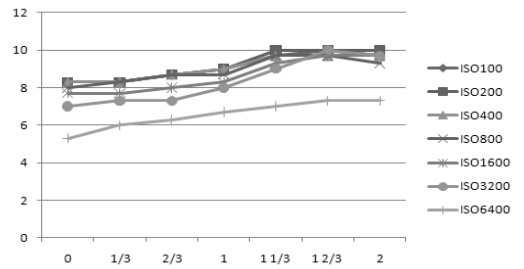


그림 6. 5DMK2의 ETTR 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지 그래프

[그림 6]의 다이내믹 레인지 측정결과 노출이 증가할 수록 그 수치가 높아지며 최고 2스톱까지 증가하였다. 따라서 5D Mark 2의 경우 노출이 1 $\frac{1}{3}$ 정도 과다 되고 고감도(ISO 1600, 3200)일수록 본 논문에서 제안하는 ETTR 노출 방법에 적합한 것을 알 수 있었다.

### 2.4.2 Canon 500D

Canon 500D의 경우, 다음 [그림 7]과 [그림 8]은 ETTR 노출 방법 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지와 비주얼 노이즈 측정결과이다.

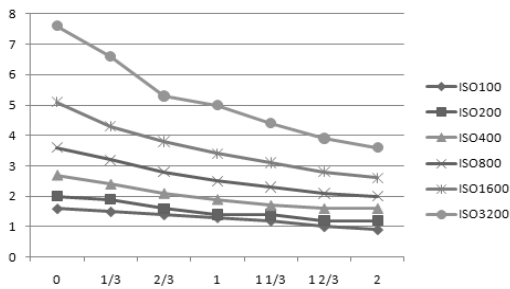


그림 7. 500D의 ETTR 적용에 따른 감도별 비주얼 노이즈 그래프

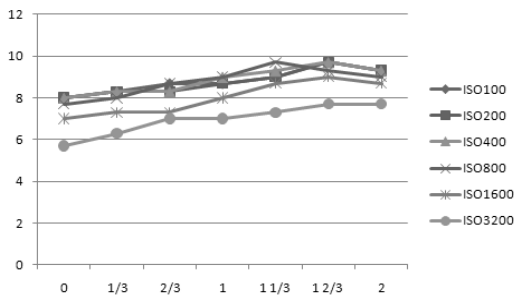


그림 8. 500D의 ETTR 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지 그래프

[그림 7]의 Canon 500D의 ETTR 노출 방법 적용에 따른 감도별 비주얼 노이즈 측정결과 노출을 단계별로 증가시킬수록 노이즈의 양은 감소하는 경향을 보였다. 특히 노출이 단계별로 증가할수록 비주얼 노이즈 감소가 극대화되었다. 특히 고감도일수록 비주얼 노이즈 감소폭이 컸으며 5D Mark 2에 비해 전반적으로 그 수치가

가 낮았다. 또한 [그림 8]에서 보면 노출이 증가할수록 다이내믹 레인지 수치가 상승하였으며 최고 2스톱까지 증가하였다. 따라서 500D의 경우 전반적으로 5D Mark 2와 비슷한 경향을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, 노출이 1 $\frac{1}{3}$ 정도 과다 되고 고감도(ISO 1600, 3200)로 갈수록 본 논문에서 제안하는 ETTR 노출 방법에 적합한 것을 알 수 있었다.

### 2.4.3 Canon G10

다음 [그림 9]과 [그림 10]는 G10의 ETTR 노출 방법 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지와 비주얼 노이즈 측정결과이다.

G10의 경우 캐논의 두 기종에 비해 비주얼 노이즈의 수치가 높지만 노출이 증가함에 따라 감소 추이는 비슷한 경향을 보였다([그림 9] 참고). 특히 1에서 1 $\frac{1}{3}$ 스톱 사이에서 비주얼 노이즈가 가장 적으며 그 이상의 노출 단계에서는 오히려 수치가 증가하였다. 특히 고감도(ISO 800, 1600)일수록 비주얼 노이즈 감소폭이 컸다.

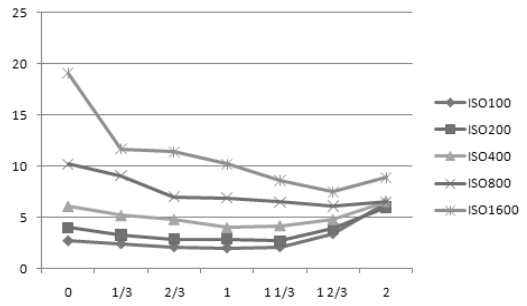


그림 9. G10의 ETTR 적용에 따른 감도별 노이즈 그래프

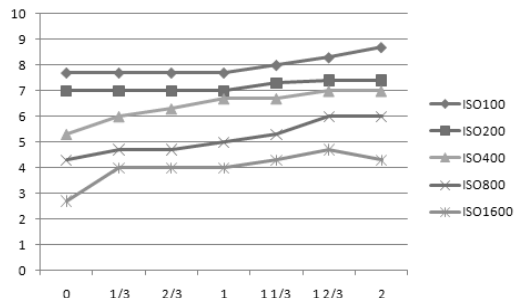


그림 10. G10의 ETTR 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지 그래프

또한 ETTR 노출 방법 적용에 따른 감도별 다이내믹 레인지 측정결과는 노출을 단계별로 증가시킬수록 다이내믹 레인지 수치가 상승하였으며 최고 2스톱까지 증가하였다(그림 10 참조). 따라서 G10의 경우 전반적으로 5D Mark 2, 500D와 비슷한 경향을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, 노출이 1에서 1½스톱정도 과다 되고 고감도(ISO 400, 800, 1600)로 갈수록 ETTR 노출 방법에 효과적인 것을 알 수 있었다.

### 2.5 측정결과 종합

이번 측정에서 ETTR 노출 방법 적용에 따른 각 카메라별 전체 감도에서 취득한 다이내믹 레인지의 평균값을 확인한 결과, 노출 증가와 다이내믹 레인지는 비례의 상관관계를 갖는 것을 확인하였다. 다음 [표 6]는 각 카메라별 총 6단계의 노출 과다 조절에 따른 전체 감도에서 취득한 다이내믹 레인지의 평균값을 구한 후 적정 노출 다이내믹 레인지를 기준으로 노출 과다별 다이내믹 레인지의 증가율을 구한 것이다. 기종별 증가율의 차이는 약간씩 다르나 다이내믹 레인지는 적정 노출을 기준으로 약 1% 스톱 정도 노출을 과다하였을 때, 최고 약 1.9 스톱까지 증가하였다(5D Mark 2의 경우). 따라서 단계별로 노출을 증가시키는 ETTR 적용에 따른 다이내믹 레인지의 확장은 의미 있다고 판단할 수 있다(그림 11 참조).

또한 감도에 의해 영향을 받는 비주얼 노이즈는 전체 ETTR 노출 방법(총 6단계의 노출 과다 조정)에서 얻은 비주얼 노이즈의 평균값을 구하여 적정 노출 값을 기준으로 감소된 비주얼 노이즈 량을 감도별로 정리하였다(표 7 참조). 적정 노출일 때의 노이즈를 기준으로 증감율의 평균을 살펴본 결과 감도가 증가함에 따라 노이즈의 감소 정도가 높아짐을 알 수 있었다. 특히 센서 크기에 따라 영향을 받는 비주얼 노이즈는 G10과 같이 작은 센서를 사용하는 콤팩트형 카메라에서 ETTR 노출 방식이 효과적인 것으로 판단할 수 있다(그림 12 참조). 또한 CMOS 센서를 사용하는 2 기종보다 CCD 센서를 사용하는 기종에서 ETTR 노출 방법을 적용한 비주얼 노이즈 감소정도가 큰 것으로 나타났다.

표 6. 전체 감도에서 취득한 다이내믹 레인지의 평균값에서 적정 노출을 기준으로 노출 과다별 다이내믹 레인지의 증가율

기종	1/3	2/3	1	1½	1¾	2
5DMK2	0.19	0.50	0.83	1.64	1.93	1.79
500D	0.35	0.65	1.00	1.43	1.78	1.48
G10	0.48	0.54	0.68	0.92	1.28	1.28

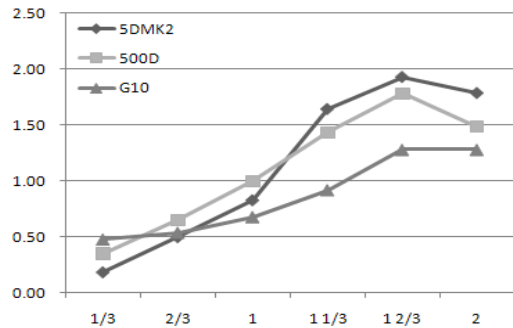


그림 11. 전체 감도에서 취득한 다이내믹 레인지의 평균값에서 적정 노출을 기준으로 노출 과다별 다이내믹 레인지의 증가율 그래프

표 7. 전체 ETTR 노출 방법에서 취득한 노이즈의 평균값에서 적정 노출을 기준으로 감도별 비주얼 노이즈의 감소율

기종	ISO 100	ISO 200	ISO 400	ISO 800	ISO 1600	ISO 3200	ISO 6400
5DMK2	-1	-0.9	-1	-1.3	-1.6	-2.3	-3.9
500D	-0.6	-0.8	-1.1	-1.5	-2.3	-3.7	-
G10	0.7	-0.1	-1.3	-4.1	-11.6	-	-

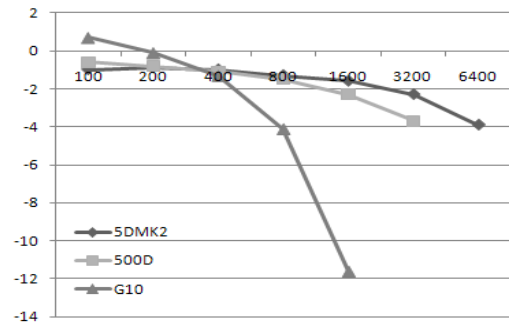


그림 12. 전체 ETTR 노출 방법에서 취득한 노이즈의 평균값에서 적정 노출을 기준으로 감도별 비주얼 노이즈의 감소율 그래프





그림 13. ETTR 노출 방법을 적용한 실제 사진(5D Mark 2의 감도 6400일 때, 위- 적정노출, 아래- 1/2 노출과다)

따라서 본 논문에서 제안한 ETTR 노출 방법은 적정 노출을 기준으로 약 1% 스톱 정도 노출을 과다하였을 때 최고치의 다이내믹 레인지를 갖으며 고감도일수록 효과적이라고 판단할 수 있었다.

다음 [그림 13]은 5D Mark 2에 ETTR 노출 방법을 적용한 실제 사진이다. 앞서 실험 결과에 따르면 이 기종은 적정 노출에서 1%스톱을 과다하고 동시에 고감도일 때 최적의 ETTR 효과를 얻을 수 있다. [그림 13]에서 볼 수 있듯이 적정 노출의 사진은 ETTR 방법 적용 사진에 비해 다이내믹 레인지가 좁아 중간 톤에서부터 새도까지의 디테일이 풍부하지 못하며 사진 전반에 걸쳐 비주얼 노이즈가 육안으로 판독 가능한 수준이다. 특히 사진의 하이라이트의 비교 장면에서 ETTR 노출 방법을 적용한 사진이 넓은 다이내믹 레인지와 낮은 비주얼 노이즈를 보였다.

다음 [그림 14]는 [그림 13]의 적정 노출(상단 좌측)과 ETTR 방법(하단 좌측)을 적용하였을 때의 히스토그램이다. 적정 노출에 비해 ETTR 노출 방법이 적용된 사

자의 히스토그램에서 하이라이트 부분에 더 많은 레벨이 할당된 것을 알 수 있다.

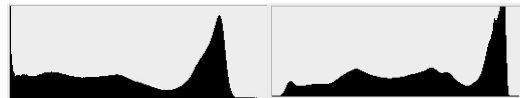


그림 14. 히스토그램(좌-적정노출, 우-1/2 노출과다)

### 3. 결론

앞서 언급하였듯이 디지털 이미지는 가장 밝은 하이라이트 한 스톱부터 이미지가 갖는 레벨 값의 절반을 할당하는 특성으로 인하여 촬영 시 가장 밝은 하이라이트 한 스톱을 반드시 확보할 수 있어야 한다. 그리고 적절한 로파일 컨버팅 과정을 통하여 디지털 카메라가 표현 가능한 최대 수치의 레벨 값들이 중간 톤 그리고 이어서 새도 영역까지 더 많은 레벨을 할당하게 하여 이미지의 전반적인 화질을 향상시킬 수 있다.



이와 같은 원리를 기반으로 촬영된 디지털 이미지는 다이내믹 레인지를 극대화하고 하이라이트부터 새도 영역에까지 노이즈를 최소화시킨다. 즉, ETTR 노출방식은 이미지 전반적으로 노이즈를 최소화하고 하이라이트와 새도 영역에 톤과 디테일을 풍부하게 하여 화질을 향상시킨다. 또한 이 방법을 사용하여 촬영된 로파일은 충분한 원시 데이터의 확보로 촬영 이후 원본 데이터 손상을 가져오는 이미지 프로세싱에 의존하여 화질을 향상시키려 하였던 기존의 방식보다 화질 향상과 데이터 보존에 효과적이다.

본 논문은 디지털 카메라를 적정 노출에서부터 +2스톱까지 1/3스톱씩 노출 과다로 촬영하고 적정 노출을 기준으로 노출이 과다된 로파일을 노출 부족으로 컨버팅 하여 화질을 향상시키는 ETTR 노출 방법의 효용성을 검증하였다. 그 결과 디지털 카메라가 표현할 수 있는 최적의 화질 구현을 위하여 가장 적절한 노출은 약 1% 스톱 정도 노출을 과다하였을 때이며 고감도로 갈수록 그 효과가 높았다. 또한 센서의 크기가 작을수록 ETTR 노출 방법에 따른 노이즈의 감소율이 높았으며 CMOS보다는 CCD에 효과적이었다.

따라서 이와 같은 결과를 기반으로 일반 사용자와 카메라 제조사에게 실제 촬영에 적용 가능한 최적의 ETTR 노출 정보를 제공함으로써 촬영시의 디지털 카메라가 구현할 수 있는 최적의 화질로 촬영할 수 있을 것이다. 이러한 디지털 카메라의 ETTR 적정 노출 방법은 넓은 다이내믹 레인지를 구현하는 동시에 노이즈를 최소화시킬 수 있어 최적화된 디지털 카메라의 화질 구현할 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] B. Fraser and J. Schewe, *Camera Raw With Adobe Photoshop CS3*, Peachpit press, pp.22-23, 2006.  
 [2] B. Fraser and J. Schewe, *Image Sharpening With Adobe Photoshop, Camera Raw, and Lightroom*, Addison-Wesley, pp.58-61, 2009.  
 [3] H. Park, K. Park, and D. Har, "Correlation test

between digital camera parameters and visual noise," International Symposium on Consumer Electronics, 2008.

[4] K. Eismann, *Real World Digital Photography*, Pearson Education, pp.78-83, 2004.  
 [5] International Standard Organization, *ISO 15739 Photography - electronic still - picture cameras - methods - noise measurements*, 2004.  
 [6] International Standard Organization, *ISO 14524 Photography - Electronic Still - picture Cameras - methods for measuring Opto - Electronic Conversion Functions(OECFs)*, 1999.  
 [7] International Standard Organization, *ISO 12233 Photography - Electronic Still - picture Cameras - Resolution measurements*, 2000.

**저 자 소 개**

**박 형 주(Hyung-Ju Park)**

정회원



- 2003년 : 중앙대학교 사진학과 (미술학사)
- 2007년 : Brooks Institute of Photography, Industrial/ Scientific Photography(M.S.)
- 2007년 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 첨단영상학과 박사과정

<관심분야> : 디지털사진, 화질측정

**하 동 환(Dong-Hwan Har)**

정회원



- 1993년 : Brooks Institute of Photography, Industrial/ Scientific Photography(B.A.)
- 1994년 : Ohio University, Visual Communication(M.A.)
- 2005년 : 한양대학교 교육대학원(Ph.D)

▪ 1999년 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 교수  
 <관심분야> : 과학사진, 특수영상