

재난원인과학조사를 위한 차량기반 영상취득시스템의 영상품질평가 Image Quality Assessment of Mobile-based Image Acquisition System for Disaster Scientific Investigation

김미경* · 김상필** · 김남훈*** · 송영갑**** · 손홍규*****

Kim, Mi Kyeong · Kim, Sang Pil · Kim, Nam Hoon · Song, Young Karb · Sohn, Hong Gyyo

要 旨

재난은 다양한 형태로 발생하고 있으며, 모든 유형의 재난을 효과적으로 대비하는 것은 현실적으로 어렵다. 그러나 기 발생재난을 재구성하고 그 원인을 면밀히 분석한다면 유사 재난의 재발 방지가 가능할 것이다. 이에 재난 현장을 재구성하고 재난 발생의 원인을 과학적으로 규명하기 위해 고품질 데이터 취득 장비를 탑재한 차량기반 시스템을 구축하고 있다. 해당 시스템이 취득하는 데이터는 재난 현장에서 예측하지 못한 변수로 인해 그 품질이 저하될 수 있으므로, 이론적인 시스템의 성능 이외에도 실제 취득된 데이터의 품질을 평가하는 과정이 필요하다. 이에 본 논문에서는 재난 현장의 정밀한 고품질 데이터를 취득하기 위해 구축된 차량 기반 영상취득시스템의 성능을 평가할 수 있는 요소를 선정하고, 데이터를 취득하여 영상의 품질을 검증 및 분석하였다. GRD(Ground Resolved Distance)에 근거한 공간해상력을 중심으로 영상취득시스템의 성능을 평가한 결과, 70m에서 최대 약 5mm의 공간 해상력을 갖는 것을 확인하였으며 이러한 성능 평가의 결과는 향후 재난 현장 자료 취득 계획 시 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 재난원인과학조사, 영상취득시스템, 품질평가, 공간해상력

Abstract

There are various types of disasters now, and accordingly it is practically difficult to manage all types of disasters effectively. If we are able to reconstruct the disaster event and investigate the cause, it may be possible to prepare the recurrence of similar patterns of disasters. The vehicle-based system equipped with state-of-the-art sensors has been proposed in order to reconstruct the disaster site as much as possible and help the disaster investigator to analyze the cause of the disaster by providing high-quality information. However, the data quality obtained from the sensors can be lowered due to unpredictable circumstances of disaster site. In this aspect it is essential to provide practical procedures that assess and analyze the performance of the equipment on site. In this paper, we selected critical elements of performance that can evaluate the vehicle-based image acquisition system, since it is the most critical piece of information in the disaster sites. The quality of the images obtained from vehicle-based image system was analyzed and verified on the test site. From the results of spatial resolution based on GRD(Ground Resolved Distance), we were able to identify maximum 5mm of spatial resolution at a distance of 70m distance. The result of field test is expected to be used for data acquisition plan in future disaster situations.

Keywords : Disaster Scientific Investigation, Image Acquisition System, Quality Assessment, Spatial Resolution

Received: 2016.07.25, revised: 2016.08.21, accepted: 2016.08.30

* 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Member, Ph. D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, kimmikyong@yonsei.ac.kr)

** 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Member, Ph. D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, spkim09@yonsei.ac.kr)

*** 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Ph. D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, knamsang@gmail.com)

**** 국립재난안전연구원 재난원인조사실 시설연구사(Researcher, Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Institute, karb@korea.kr)

***** 교신저자 · 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, sohn1@yonsei.ac.kr)

1. 서 론

우리나라는 풍수해와 같은 자연재난으로 인한 피해가 주로 발생하였으나 최근 10년간 마우나 리조트 붕괴사고, 세월호 사고 등 다양한 형태의 사회재난으로 인한 피해가 증가하며, 재난에 대한 사회적 관심이 증가하였다(Statistics Korea, 2016). 특히, 세월호, 메르스 등의 재난이 발생하는 과정에서 초기대응실패, 책임기관 부재 등 공통적인 문제점이 지적되며 반복적으로 재난대응에 실패하는 모습을 보이기도 하였다. 반복되는 재난대응의 문제점을 해결하기 위해서는 재난이 발생한 원인에 대해 규명하고, 장기적으로 유사 재난의 재발 방지에 필요한 개선사항을 도출할 필요가 있다. 과거 재난사례의 양상을 파악하고 원인 및 메커니즘을 규명하는 것은 반복되는 재난을 방지하고, 피해를 최소화하기 위한 중요한 과정이기 때문이다(Lee et al., 2013b).

국제적으로도 재난위험경감을 기후변화적응과 함께 지속가능한 발전을 달성하기 위한 핵심 요소로 인식하고 있으며, 재난에 대한 다각적 조사의 필요성이 대두되고 있다(Hellmuth et al, 2011; ODI and CDKN, 2014; UNISDR, 2016a). 특히, 명확한 증거에 기반한 재난관리를 위해서는 객관적인 자료를 제공하기 위한 과학과 기술의 역할이 중요하다. UNISDR의 Sendai framework for disaster risk reduction(SFDRR), UN의 sustainable development goal(SDG)에서도 재난관리와 재해위험경감을 위한 객관적 증거 및 과학지식의 중요성을 강조하고 있다(UNISDR, 2016b; United Nations, 2016).

이러한 국내외적 흐름에 부응하여, 국립재난안전연구원은 과학적으로 재난의 발생 원인을 분석하고자 전담 인력을 배치하여 관련 연구를 진행하고 있다. 재난 원인분석에 있어서 재난 현장에서 취득할 수 있는 현장 데이터는 가장 기초적인 자료로, 현장의 다양한 정보를 획득하는 과정은 필수적이다. 그러나 기존 재난현장조사 방식은 주로 조사자를 현장에 파견, 조사하는 형태로 이루어졌으며, 객관적이고 정확한 정보수집에 한계가 있다. 따라서 보다 신속한 현장 파견 및 정밀한 재난현장의 정보 취득을 위해 이동형 현장조사 운용지원 시스템(MFOS, mobile-based field-investigator's operational support system)을 구축하고 있다(Lee et al., 2013b; Lee et al., 2014).

MFOS는 재난현장의 데이터를 취득 및 재현하여, 사고 원인을 과학적으로 규명하기 위해 구축된 시스템이다. 재난현장에 출동하여 현장상황을 파악하고 또한 그

원인을 규명하기 위하여 차량에 다수의 카메라, 레이저 스캐너, 영상 전송 모듈 등을 장착하였다. 차량에 센서를 탑재하여 재난 현장의 데이터를 취득하고 분석한 유사 사례로, Gusella et al.(2007)이 터키와 이란에서 발생한 지진과 허리케인 카트리나로 피해를 입은 지역의 파노라믹 영상을 취득하여 건물 피해를 중심으로 분석하였고, Gong and Macher(2014)는 허리케인 샌디의 피해 분석을 위해, Ariyasu et al.(2012)는 2011년 동일본 대지진 이후 신속한 재난 지역 데이터 수집을 위해 차량 기반의 센서 플랫폼을 활용하였다. 이는 재난 전후의 자료를 취득하여 피해규모 및 위험을 분석하는 용도로 활용된 사례들이며, MFOS와 같이 재난의 원인을 과학적으로 분석하기 위해 구축된 유사 사례는 그 선례를 찾아보기 어렵다.

차량을 기반으로 한 MFOS는 특성이 다른 장비들로 구성되어 있기 때문에 재해 현장에서의 의미 있는 데이터를 취득하고 통합적으로 활용하기 위해서는 각 장비의 특성을 확인할 수 있는 평가가 필요하다. 평가결과는 향후 조사 장비의 재난 상황별 운용 방식을 결정하는 데에 기본 자료로 사용될 수 있다. 특히, 영상정보는 재난 상황을 실시간으로 파악하고 의사결정을 내리는 데에 가장 기본적인 자료이기 때문에, 영상에 대한 성능평가는 차량을 운용하기 이전에 필수적으로 수행되어야 한다.

영상에 대한 성능평가는 광학 시스템에서 가장 기본적인 평가요소인 공간해상력을 중심으로 이루어진다. MFOS의 경우, 영상취득시스템의 공간해상력은 재난 현장에서 대상물을 구분하는 능력을 의미한다. 영상의 공간해상력을 평가하는 연구는 항공영상, 위성영상, 의료영상 등 다양한 분야에서 찾을 수 있다. Honkavaara et al.(2006), Lee et al.(2012)은 항공영상의 공간해상력을 검증하기 위해 지상에 타겟을 설치하여 영상의 품질을 분석하였으며, Cho(2002), Shin et al.(2003), Hwang et al.(2011)은 MTF(modulation transfer function) 및 영상품질 인자를 이용하여 위성영상의 품질을 평가하였다. Woo et al. (2012), Lee et al.(2013a) 등의 연구에서는 영상품질과 관련된 여러 변수를 사용하여 의료영상의 영상품질을 정량적으로 평가하기도 하였다. 이와 같이 다양한 분야에서 영상의 품질을 정량적으로 평가하는 것은, 각기 목적은 다르지만 원하는 수준의, 활용하고자 하는 목적에 적합한 품질의 영상을 취득할 수 있는지 검증하기 위함이며, 주로 GSD(ground sampling distance) 및 MTF 측정을 통해 이뤄지고 있다. 본 연구에서도 MFOS 영상취득시스템의 영상품질을 검증하기 위해 이론적인 공간해상력 평가와

함께 MTF 측정 및 MTF를 이용한 실질적인 공간해상력을 비교·분석하고자 한다.

이러한 분석이 필요한 이유는 재난 현장은 우리가 예측하지 못한 변수들로 인해 취득되는 데이터 품질 저하의 가능성이 높기 때문이다. 따라서 재난 현장 데이터를 취득하기 위한 해당 시스템이 가진 이론적인 해상능력뿐만 아니라, 실제로 취득되는 데이터의 품질을 평가 및 분석하는 것은 재난 현장의 데이터의 신뢰성 및 활용성을 높일 수 있다는 점에서 의미가 있다. 이에 본 연구는 재난원인과학조사를 위해 구축된 MFOS 영상취득시스템의 성능을 평가할 수 있는 요소를 선정하고, 현장에서 직접 데이터를 취득하여 영상의 품질을 검증 및 분석하고자 하였다.

2. MFOS 영상취득시스템

MFOS의 영상취득시스템은 재난현장 주요 지점의 영상을 취득하기 위하여 구성된 시스템으로, 파노라마 영상을 위한 5대의 저해상도 CCTV 카메라와 고해상도 카메라, 열적외선 카메라를 포함하고 있다(Fig. 1). MFOS에는 다수의 카메라 외에도 레이저 스캐너, pot-hole 센서, 영상 전송 모듈 등이 탑재되어 있으나 본 연구에서는 2차원 영상을 취득하는 장비에만 초점을 맞춘다. 이러한 영상취득시스템에 탑재되어 있는 카메라는 데이터 취득 영역, 해상도 등 특성에 있어서 차이가 존재한다.

해상도에 따라 2MP 카메라와 16MP 카메라 두 종류

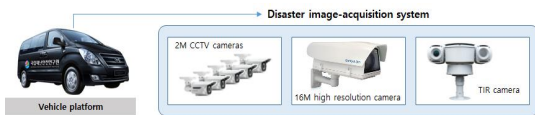


Figure 1. Composition of disaster image-acquisition system

Table 1. Specifications of cameras

Camera	2MP camera	16MP camera	TIR camera
Active pixels	1920 × 1080	4864 × 3248	720 × 480
Imaging area	4.2 × 2.4 (mm)	36.1 × 24.0 (mm)	-
Focal length	3-9 mm	70-200 mm	60 mm
Pixel pitch	2.2 μm	7.4 μm	25 μm
I FOV	26 - 79 ° (H)	29 - 74 ° (H)	9.1° (H)

가 RGB 영상을 취득하기 위해 탑재되어 있으며, 취득 영상의 최대 크기는 각각 1920×1080, 4864×3248이다. 8-14μm 파장대의 열적외선 영상을 취득하는 열적외선 카메라는 720×480의 영상을 취득한다. MFOS에 탑재된 저해상도 CCTV 카메라(2MP), 고해상도 카메라(16MP), 열적외선 카메라(TIR)의 기본적인 사항은 다음 Table 1에 표시되어 있다.

3. 영상품질 평가항목

영상품질을 평가하는 가장 기본적인 요소는 공간해상력이며, GSD, MTF 등의 파라미터를 통해 확인할 수 있다. GSD는 두 영상소 간 거리를 나타내는 물리적 파라미터로, 지표면에 투영된 인접 영상소 간의 거리를 나타낸다. 주요 물리적 요소에 의해 계산되는 이론적 해상력으로 Eq. (1)과 같이 계산된다(Leachtenauer and Driggers, 2001).

$$GSD = \frac{D}{f} \times (pixel\ pitch) \quad (1)$$

where, f denotes focal length, D denotes the distance between camera and object, $pixel\ pitch$ denotes the pixel size of CCD(Charge Coupled Device).

GSD가 클수록 영상의 공간 해상력이 낮고 영상 내 세세한 부분을 확인하기 어렵다. GSD는 이론적으로 계산되는 수치로서 실제 구분할 수 있는 최소 거리를 의미하지는 않는다. 따라서 영상 내에서 식별 가능한 두 물체간의 최소 거리를 의미하는 GRD(ground resolved distance)를 통해 공간해상력을 확인하여야 재난 현장에서 실제로 식별이 가능한 가장 작은 개체의 크기를 확인할 수 있다. GRD는 카메라 시스템의 공간 주파수 응답 특성을 이용하여 산출할 수 있으며, 이는 MTF로 측정과정에서 구할 수 있다(Jacobson et al. 2000; Thomson, 2009).

MTF는 전자 광학 시스템의 성능을 분석하기 위해 사용되는 인자 중 하나로, 영상의 선예도 특성을 평가하기 위해 많이 사용된다. MTF는 입력신호가 특정 시스템을 통과한 후 물리적 특성이 어떻게 변화하는지를 나타내는 함수로, 변조(modulation)는 Eq. (2)와 같이 계산된다(Che et al., 2012).

$$Modulation = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (2)$$

where, I_{max} and I_{min} denote the maximum value and minimum value of signal.

광학시스템에서 Fig. 2의 입력신호와 같은 정현파 형태의 줄무늬 피사체는 영상으로 출력될 때 신호의 대조(contrast)가 감소한다. 입력 신호와 출력 신호의 변조 전달비의 비를 통해 1mm (혹은 pixel)당 몇 개의 패턴이 반복되는지를 계산하고, 공간주파수 변화에 따른 변조 전달비를 백분율로 표시하여 MTF 그래프를 표시한다. MTF는 1이 최대값이며, 이는 입력 값에 대한 출력 값이 변화하지 않은 것이므로 가장 이상적인 상태를 의미한다. MTF 그래프 상에서 0.5(50%)가 되는 공간주파수를 통해 해당 영상의 선예도를 결정할 수 있다(Nuutinen et al., 2012).

MTF는 bar-pattern 기법이나 slanted-edge 방법을 통해 측정될 수 있다. Bar-pattern 기법은 바(bar) 패턴의 타겟을 취득한 영상을 이용하여 SWRF(square-wave response function)를 계산하여 MTF를 측정하며, 이 경우에 MTF는 영상의 intensity 변조에 의해 직접적으로 계산된다(Gopal and Samant, 2003). slanted-edge 방법은 ISO 12233 표준에서 제공하는 방법으로, 경계선이 영상의 행과 열 방향에서 약간 기울어진 객체의 경계선 기울기를 분석하여 MTF를 측정한다(Estriebeu and Magnan, 2004). 경계선 영상에서 ESF(Edge Spread Function)를 추출할 수 있고 ESF를 일차 미분하면 LSF(line spread function)을 산출할 수 있다.

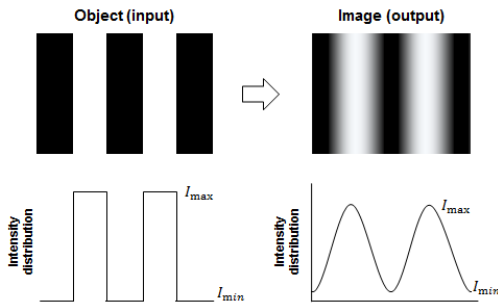


Figure 2. Basic concept of modulation transfer

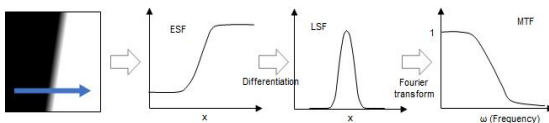


Figure 3. MTF measurement process with slanted-edge method

ESF는 영상 내 타겟의 경계를 중심으로 밝은 영역과 어두운 영역의 경계 profile로부터 정의된다(Campbell, 2002; Patra et al., 2002; Kim et al., 2010). MTF는 LSF를 푸리에 변환하여 얻어지며, 이 방법은 보다 빠르고 효과적으로 MTF를 측정하는 방법으로 평가된다(Gopal and Samant, 2003).

본 논문에서는 slanted-edge 방법을 통해 MTF를 산출하였으며 Fig. 3은 그 과정을 나타낸다. MTF를 산출하는 과정에서, 실제 식별 가능한 가장 작은 개체의 크기를 의미하는 GRD를 구할 수 있는데 그 계산식은 Eq. (3)과 같다(Kim et al., 2010).

$$GRD = \frac{D}{f}(R)(pixel\ pitch) \quad (3)$$

where, R denotes FWHM(full width at half maximum) of LSF.

GRD는 육안 판독 방식으로도 계산될 수 있으며, 육안 판독 방식은 바 타겟이 영상 내에서 서로 독립적으로 구분되는 그룹의 실제 거리로 정의한다.

4. 실험 및 결과 분석

MFOS 영상취득시스템의 공간해상력을 파악하기 위하여 바 타입의 미군용 표준규격 타겟(Earl, 1998) 및 열적외선 영상에서 경계를 판별할 수 있는 타겟을 직접 제작하여 실험에 사용하였다. 2MP, 16MP 카메라는 Fig. 4(a)와 같이 바 타입의 타겟을 출력하여 사용하였으며, 타겟 내 가장 큰 바의 크기는 $4\text{cm} \times 0.8\text{cm}$ 이다. 열적외선 카메라의 경우에는 최대 길이 60cm인 L 모양의 타겟을 제작하여 사용하였다(Fig. 4(b)). 이러한 L 모양의 타겟은 열이 투과되지 않는 재질로 제작하였으며 L 부분의 온도 차이를 이용하여 에지 영상을 취득하는데 사용되었다. 각 타겟에 대한 영상을 거리별로 취득하여 영상의 공간해상력을 확인하기 위하여, 10m 간격으로 이동하면서 영상을 취득하였다(Fig. 4(c)). MFOS 영상취득시스템의 2MP, 16MP 카메라는 2014년 구축되었으며, 열적외선 카메라는 2015년 추가 도입되었다. 각 영상은 장비 도입 시기에 취득되어, 데이터 취득 시기 및 환경이 다르다. 2MP 카메라는 10-70m, 16MP 카메라는 30-70m, 열적외선 영상은 10m-60m에서 취득되었으며, 영상이 공통으로 취득된 30m-60m 구간에서 비교하였다.

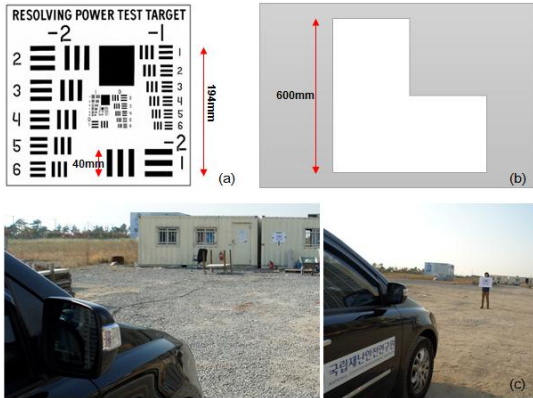


Figure 4. Various targets used in this study and field sites

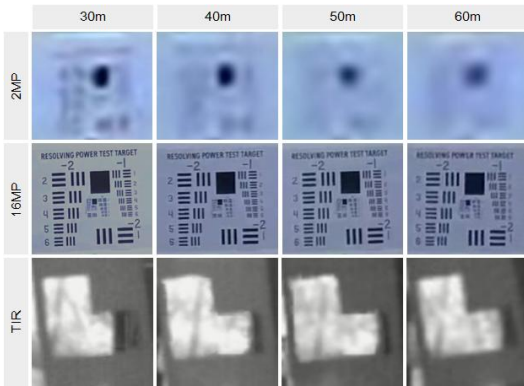


Figure 5. Different images obtained from field experiments

Fig. 5는 30m-60m 구간에서 10m 간격으로 취득된 2MP, 16MP, 열적외선 카메라의 타겟 영상을 나타낸다. 2MP 카메라 영상은 16MP 영상에 비해 해상도가 낮아 바 타겟을 명확하게 구분하지 못하였으나, 16MP 카메라는 60m 거리에서도 바 타겟을 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 열적외선 카메라의 초점거리는 고정되어 있으나, 2MP 및 16MP 카메라의 초점거리는 가변적이었으며 취득 시점에서 자동초점기능을 사용하였다. 실험에서 취득한 각 렌즈의 최대 및 최소 f 값을 공간해상력 산출식에 대입하여 최소해상력에서 최대해상력의 범위로 도시하여 연구에 사용하였다.

4.1 선예도 분석

영상 선예도는 MTF를 통해 확인할 수 있으며, 아래 Fig. 6은 2MP, 16MP 카메라의 거리별 MTF 그래프이다. x축은 주파수(cycle/pixel), y축은 MTF 값을 나타

내며, 파란색은 16MP 카메라, 주황색은 2MP 카메라의 MTF를 나타낸다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 전반적으로 2MP 영상에 비해 16MP 영상의 선예도가 높은 것을 알 수 있다. 2MP 영상의 경우, 육안으로 관독하였을 때 거리가 증가할수록 영상의 선명도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었으나, $MTF = 0.5$ 인 값을 통해 영상 선명도를 확인하였을 때 육안 판독 결과와 완전히 일치하지는 않았다. 이는 slanted-edge 방법을 이용하여 MTF를 측정할 때 에지의 각도를 일정하게 유지하여야 하나 차량의 진동으로 인해 30m 보다 70m 에서 취득한 영상 내 에지의 기울기가 작아 거의 수직에 가까웠기 때문으로 보인다. 16MP 영상의 경우, 70m 거리에서 촬영한 영상도 비교적 선명하게 나타나는 것을 볼 수 있고, 영상의 선예도가 거리에 비례하는 결과가 나타나지는 않았다. 이는 실험 당시, 야외에서 수행되어 조도, 차의 진동 등 주변 환경을 완벽하게 통제하지 못하였고, 초점거리가 가변적이었기 때문에 거리별 영상마다 타겟을 선명하게 취득하여 실제 MTF 값에는 영향을 미치지 않은 것으로 보인다.

Fig. 7은 열적외선의 MTF 특성을 나타내는 그래프로, $MTF = 0.5$ 일 때 50m 거리에서 취득한 영상의 주파수가 가장 크며, 50m 까지는 거리가 증가할수록 해당 주파수의 값이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 50m에서 취득한 영상의 선예도가 가장 높다는 것을 의미한다. 초점거리에 따라 대상지역에서 취득되는 영상의 범위, 영상이 맺히는 위치가 달라진다. 이를 수식으로 표현하면, Eq. (4)과 같은 관계를 갖는다(Walker, 2014).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{i} \quad (4)$$

where, f denotes focal length, p denotes distance between object and lens, i denotes distance between lens and image.

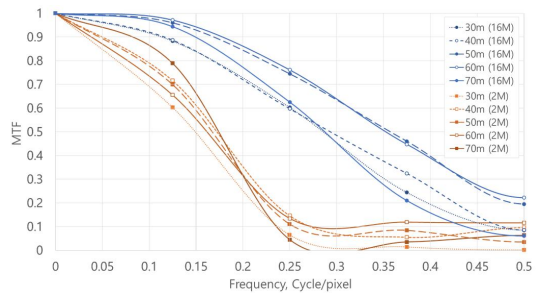


Figure 6. MTF graph of 2MP, 16MP camera

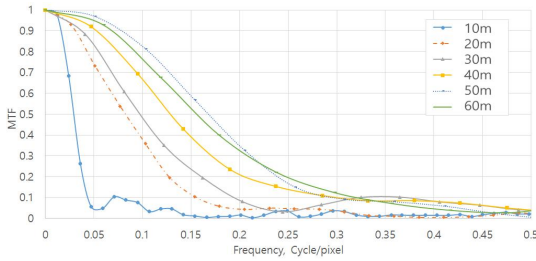


Figure 7. MTF graph of TIR images

열적외선 카메라의 경우, 고정된 초점거리로 인해 대상물과의 거리 변화에 따라 선명하게 상이 맺히는 위치가 변하게 된다. 따라서 대상물과의 거리가 가까울 때 상이 맺히는 위치가 열적외선 카메라 내 이미지 센서 위치에서 멀어져 선명하지 않은 영상을 취득하며, 일정거리 이상에서 촬영하여야 보다 선명한 영상을 취득함을 알 수 있다.

4.2 공간해상력 분석

2MP 카메라 실험 결과, f가 최대일 경우, 10m 거리에서 약 1cm 간격까지 구분이 가능하다고 판단할 수 있었다(Fig. 8). 하지만 점차 거리가 증가함에 따라 선형적으로 해상력이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 2MP 카메라의 GRD는 GSD에 비해 더 큰 폭으로 증가하고 있는데, 이는 MTF 측정과정에서 구해지는 R값이 거리에 비례하여 증가하기 때문이다. 2MP 영상은 70m 거리에서 최소로 구별할 수 있는 최대 GRD는 약 17.5 cm 인 것으로 나타났다. 따라서 장거리에서 2MP 카메라로 취득한 영상은 재난원인과학조사를 위한 정밀한 분석보다는, 전반적인 재난 발생지의 상황을 모니터링 하는 용도로 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

16MP 카메라는 고해상도 영상을 취득하며 상대적으로 멀리 위치하는 대상을 취득하기 위해 설치되었기 때문에 30m 이후 영상을 취득하여 분석하였다. Fig. 9는

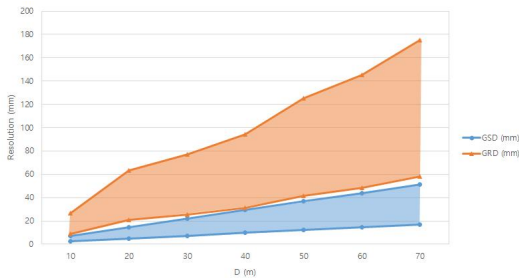


Figure 8. Spatial resolution of 2MP camera as a function of distance

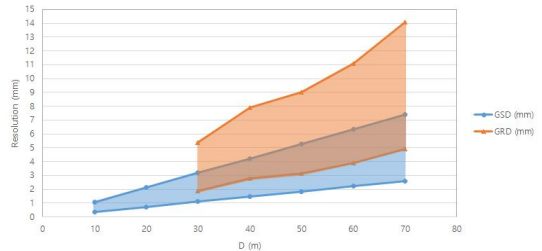


Figure 9. Spatial resolution of 16MP camera as a function of distance

16MP 카메라의 거리에 따른 해상력을 그래프로 나타낸 것이며, 70m 거리에서도 최소로 구별이 가능한 길이가 약 4.9mm 에서 14.1mm 이내로 상대적으로 뛰어난 해상력을 보였다. 또한, 2MP 카메라와 마찬가지로 해당 구간에서 선형의 관계로 공간해상력이 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 16MP 카메라의 경우, MTF값의 거리에 따라 큰 차이가 나지 않아, GRD의 증가폭은 GSD의 증가폭과 비슷하게 나타났다.

Fig. 10은 열적외선 카메라의 GSD와 slanted-edge 방식을 통해 계산된 열적외선 영상의 GRD를 나타낸다. 열적외선 카메라는 상대적으로 10m 이내에 가까이 있는 물체를 잘 구분하지 못하는 것을 알 수 있고, 20m 이후로는 거리에 비례하여 GSD 및 GRD가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 초점거리가 고정된 렌즈 특성으로 인하여, 10m 이내에서 취득한 영상의 선예도가 매우 낮았기 때문이다.

거리에 따른 MFOS 영상취득시스템의 GRD를 정리하면 다음 Table 2와 같다. 2MP, 열적외선 카메라에 비해 16MP 카메라의 공간해상력이 뛰어난 것을 알 수 있으며, 열적외선 카메라의 공간해상력은 2MP 카메라의 공간해상력 범위 내에 포함되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 열적외선 카메라는 취득하는 영상의 파장대가 다르므로 가시광선 영상으로 확인할 수 없는 물체를 찾을 수 있다는 장점이 있다. Fig. 11은 야간에 일반 카

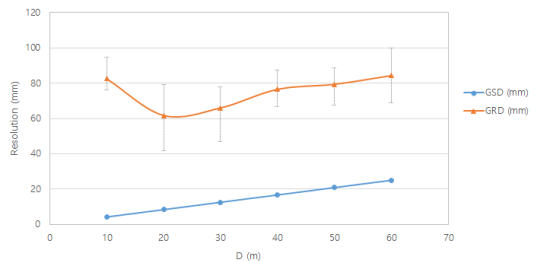


Figure 10. Spatial resolution of TIR camera as a function of distance

Table 2. GRD of Image Acquisition System

Distance (m)	2MP (mm)	16MP (mm)	TIR (mm)
30	25.72 - 77.17	1.89 - 5.40	66.02
40	31.36 - 94.07	2.77 - 7.91	76.56
50	41.65 - 124.94	3.15 - 8.99	79.43
60	48.51 - 145.52	3.89 - 11.11	84.38

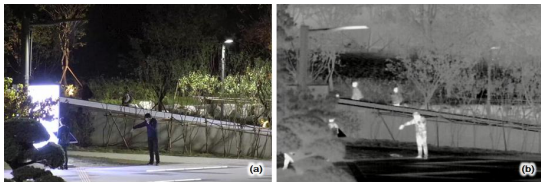


Figure 11. Night photographing of RGB camera(a), TIR camera(b)

메라와 열적외선 카메라로 약 70m 거리에서 영상 중심의 실험자가 바닥에 물을 뿌리고 있는 장면을 동시에 촬영한 것이다. Fig. 11(a)에서 확인이 힘든 사람 및 물의 흔적을 열적외선 영상(Fig. 11(b))에서 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 재난원인과학조사를 위해 구축된 MFOS의 영상취득시스템의 영상 품질을 평가할 수 있는 요소를 선정하고, 현장 취득 자료에 대한 품질을 평가 및 분석하였다. 타겟을 제작하여 거리별 영상을 취득하였으며, 영상취득시스템의 거리에 따른 영상의 공간해상력을 파악하였다. 2MP 영상에 비해 16MP 영상이 선예도 및 해상력이 높았으며 70m에서 취득한 영상의 공간해상력이 최대 5mm 정도로 뛰어났다. 현장에서 사용할 경우 2MP 카메라는 전반적인 모니터링, 16MP 카메라는 특정 영역의 고품질 데이터를 취득하는 데 적합하다고 판단하였다. 열적외선 영상은 50m에서 취득한 영상의 선예도가 가장 높았고, 10m 이내 해상력은 다소 떨어졌다. 열적외선 카메라로 현장 데이터를 취득할 때에는 대상물과 약 50m 거리를 두어야 양질의 영상을 취득할 수 있으며, 야간 촬영 시 혹은 기상상황이 좋지 않을 때에도 RGB 영상으로 취득하지 못하는 추가 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 평가 및 검증 결과는 향후 재난 현장에서 취득될 자료의 품질을 예측하여 자료 취득 계획 시 사용될 수 있으며, 재난원인 분석과정에서 사용될 자료의 정확도 및 신뢰도를 향상시킬 것으로 기대된다. 그러나 실제 재난현장과 같은 환경에서는 다양한

요인으로 인해 자료의 품질이 떨어질 수 있음을 감안하여야 하며, 이를 고려한 현장에서의 영상취득시스템의 배치 및 위치 선정을 할 필요가 있다. 따라서 향후에는 재난 현장 상황, 혹은 유사한 환경에서의 시스템의 성능 검증, 시험이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 국립재난안전연구원 「재난원인과학조사 요소기술 개발」용역 (과제번호: 2014-11-0442) 및 「재난원인과학조사 이행전략 수립 및 요소기술 개발」용역 (과제번호: 2015-11-0481)의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Ariyasu, E., Koizumi, M., Ikubo, M. and Hatake, S., 2012, Application of mobile LIDAR mapping for damage survey after Great East Japan Earthquake, Proc. of ISPRS 2012, International Society of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia, Vol. 39, pp. 573-576.
2. Campbell, J. B., 2002, Introduction to remote sensing, third edition. Guilford Press, New York, N.Y.
3. Che, G. S., Chang, W. S. and Oh, J., 2012, A study on the MTF of optical system with optical path difference, The Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 16, No. 3, pp. 518-525.
4. Cho, Y. M., 2002, Characteristics of the image quality parameter in satellite imaging instrument, Aerospace Engineering and Technology, Vol 1, No. 2, pp. 66-74.
5. Earl, F. G., 1998, USAF 1951 and microcopy resolution test charts and pixel profiles, efg's computer lab, [http://www.efg2.com/Lab/ImageProcessing/Test Targets/](http://www.efg2.com/Lab/ImageProcessing/TestTargets/)
6. Estrideau, M. and Magnan, P., 2004, Fast MTF measurement of CMOS imagers using ISO 12333 slanted-edge methodology, Proc. of SPIE, Detectors and Associated Signal Processing, St. Etienne, France, Vol. 5251, pp. 243-252.
7. Gong, J. and Maher, A., 2014, Use of mobile lidar data to assess hurricane damage and visualize community vulnerability, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2459, pp. 119-126.

8. Gopal, A. and Samant, S. S., 2003, Bar-pattern technique for modulation transfer function measurement in portal imaging, *Proc. of SPIE, Medical Imaging*, Vol. 5030, pp. 433-444.
9. Gusella, L., Adams, B. J. and Bitelli, G., 2007, Use of mobile mapping technology for post-disaster damage information collection and integration with remote sensing imagery, *Proc. of 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology, International Society of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Padua, Italy*, Vol. 34, pp. 1-8.
10. Hellmuth, M. E., Mason, S., Vaughan, C., Aalst, M. and Choularton, R., 2011, A better climate for disaster risk management, *International Research Institute for Climate and Society, Columbia University: New York, USA*.
11. Honkavaara, E., Jaakkola, J., Markelin, L. and Becker, S., 2006, Evaluation of resolving power and MTF of DMC, *Proc. of ISPRS, International Society of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36, No. 6, pp. 17-22.
12. Hwang, H., Park, W. and Kwak, S., 2011, MTF assessment and image restoration technique for post-launch calibration of DubaiSat-1, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 5, pp. 573-586.
13. Jacobson, R. E., Ray, S. F., Attridge, G. G. and Axford, N. R., 2000, *The manual of photography*, Oxford: Focal Press, UK.
14. Kim, J. I., Jeong, J. and Kim, T., 2010, Development of GRD measurement method using natural target in imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 5, pp. 527-536.
15. Leachtenauer, J. C. and Driggers, R. G., 2001, *Surveillance and reconnaissance imaging systems: modeling and performance prediction*, Artech House, Boston, USA.
16. Lee, J. S., Ko, S. J., Kang, S. S., Kim, J. H., Kim, D. H. and Kim, C., 2013a, Quantitative evaluation of image quality using automatic exposure control and sensitivity in the digital chest image, *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 8, pp. 275-283.
17. Lee, M. R., Koo, S. and No, S. J., 2013b, Establishment and operation systems of the DSI (Disaster: Scientific Investigation) Center, *National Disaster Management Institute*.
18. Lee, M., Park, Y., Moon, S., Kim, K., Song, Y., Cho, S., Koo, S., Choi, M. and Seo, B., 2014, Development of operational strategy on scientific disaster investigation and its forensic technologies, *National Disaster Management Institute*.
19. Lee, T. Y., Lee, J. O. and Yun, B. Y., 2012, Verification of spatial resolution in DMC imagery using bar target, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 5, pp. 485-492.
20. Nuutinen, M., Orenius, O., Säämänen, T. and Oittinen, P., 2012, A framework for measuring sharpness in natural images captured by digital cameras based on reference image and local areas, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, Vol. 2012, No. 1, pp. 1-15.
21. ODI and CDKN, 2014, *The future framework for disaster risk reduction: a guide for decision-makers*, second edition, Overseas Development Institute and Climate and Development Knowledge Network: London, UK.
22. Patra, S. K., Mishra, N., Chandrakanth, R. and Ramachandran, R., 2002, Image quality improvement through MTF compensation—a treatment to high resolution data, *Indian Cartographer*, Vol. 22, No. 15, pp. 88-93.
23. Shin J. M, Im, J. H., and Lee, S. R., 2003, Satellite image quality analysis using MTF modeling, *Proc. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 2003, Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, pp. 254-258.
24. Statistics Korea, 2016, Status of accidents, Statistics Korea, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1627
25. Thomson, G. H., 2009, A note on spatial resolution measurement and its implications for image radiometry, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 1, pp. 1-8.
26. UNISDR, 2016a, A background paper on: strengthening the role of science and technology for disaster risk reduction in the Arab Region, UN office for disaster risk reduction, http://www.unisdr.org/files/45951_sciencetechnologyfordrr.pdf
27. UNISDR, 2016b, Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030, UN office for disaster risk reduction, http://www.unisdr.org/files/43291_sendai_frameworkfordrren.pdf
28. United Nations, 2016, *Global sustainable*

- development report 2016, United Nations, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2328GSDR%202016.pdf>
29. Walker, J. D., 2014, Fundamentals of physics / Halliday & Resnick, extended edition, Wiley, New York, USA.
30. Woo, J. E., Lee, Y. G., Bae, S. H. and Kim, Y. G., 2012, An evaluation method of X-ray imaging system resolution for non-engineers, Korean Society of Radiological Science, Vol. 35, No. 4, pp. 309-314.