



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

수치사진측량에 스마트폰 카메라의
활용 가능성 평가



토 목 공 학 과

장 명 근

공 학 석 사 학 위 논 문

수치사진측량에 스마트폰 카메라의
활용 가능성 평가

지도교수 이 종 출

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

장 명 근

장명근의 공학석사 학위논문을 인준함

2012년 2월 24일



주	심	공 학 박 사	김 명 식 (인)
위	원	공 학 박 사	이 영 대 (인)
위	원	공 학 박 사	이 종 출 (인)

목 차

표 목차	iii
그림 목차	iv
Abstract	v
1. 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구내용 및 방법	6
2. 수치사진측량 이론	9
2.1 이미지 센서	9
2.1.1 CCD 센서	9
2.1.2 CMOS 센서	11
2.2 기하학적 카메라 모델	13
2.3 카메라 검정	16
3. 스마트폰 카메라를 이용한 3차원 위치 결정 실험	21
3.1 대상 스마트폰 선정	21
3.2 스마트폰 카메라 검정	24

3.3 스마트폰 영상 획득 및 처리	26
4. 결과분석 및 고찰	28
4.1 카메라 검정 결과	28
4.2 스마트폰 카메라의 정확도 분석	35
4.3 고찰	41
5. 결 론	44
참고문헌	46



표 목 차

Table 3.1 본 연구를 위한 대상 카메라의 특성 비교	24
Table 4.1 광속조정에 의해 계산된 대상물 좌표의 RMS 오차	29
Table 4.2 카메라 검정에 의한 내부표정 요소	31
Table 4.3 초점모드에 따른 내부표정 요소	34
Table 4.4 초점모드에 따른 표준편차	34
Table 4.5 Total station과 스마트폰 카메라의 검사점 위치결정 결과 ...	36
Table 4.6 각 카메라별 검사점에 대한 잔차 통계치	37
Table 4.7 왜곡계수 적용에 따른 변들조정 후 RMS	39
Table 4.8 왜곡계수 적용에 따른 카메라별 검사점에 대한 표준편차 ...	39



그림 목차

Fig. 1.1 연구 수행 흐름도	8
Fig. 2.1 CCD 센서의 원리	10
Fig. 2.2 CCD 이미지 센서의 처리과정	10
Fig. 2.3 CMOS 센서의 처리과정	12
Fig. 2.4 기하학적 카메라 모델	13
Fig. 3.1 본 연구에 사용된 스마트폰	22
Fig. 3.2 카메라 검정을 위한 원형 타킷 배치와 촬영 위치	25
Fig. 3.3 Total station을 이용한 검사점 3차원 위치 결정	26
Fig. 4.1 CDW를 이용한 카메라 검정 모습	28
Fig. 4.2 광속조정에 의해 계산된 대상물 좌표의 RMS 오차	29
Fig. 4.3 초점모드에 따른 대상물 좌표의 RMS 오차	30
Fig. 4.4 스마트폰 카메라 렌즈의 방사 왜곡 곡선	32
Fig. 4.5 초점모드에 따른 방사 왜곡 곡선	33
Fig. 4.6 초점모드에 따른 표준편차	35
Fig. 4.7 스마트폰 카메라 영상별 표준편차	38
Fig. 4.8 왜곡계수적용에 따른 카메라별 검사점에 대한 표준편차 곡선	41

Assessment on Application Possibility of Smartphone Camera in Digital
Photogrammetry

Myung-Kuen, Jang

*Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Recently high resolution CCD(charge-coupled device) and CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor) sensor to the development of photogrammetry to utilization of high resolution non-metric camera is increasing. So high resolution camera image is provided to smartphone camera. This study aimed to analyze the accuracy of the images of smartphone to determine three-dimension position of photogrammetry prior to the development of photogrammetric system applying smartphone and evaluate the feasibility to use. First of all, prior to the accuracy assessment of smartphone camera, camera calibration was conducted to correct lens distortion of each camera and camera calibration of distortion coefficients is used to distortion model of balance system and the accuracy of image coordinates and object coordinates calculated by bundle adjustment during this procedure was analyzed. The results of calibration on 8 types of projects showed that all cases were in RMS error by less than 1 mm from bundle adjustment. And camera calibration was conducted on autofocus and infinite focus. In terms of autofocus and infinite focus on S model, the pattern of distorted curve was almost the same, so it could be judged that change in distortion pattern

according to focus mode is very little. Lastly the checkpoint performance by total station was fixed as most probable value and the checkpoint performance determined by each project was fixed as observed value to calculate statistics on residual of individual methods. The result showed that all projects had relatively large errors in the direction of X, the direction of object distance compared to the direction of Y and Z.

As mentioned above, in terms of accuracy for determination of three-dimension position, the feasibility to use smartphone camera would be enough.



1. 서 론

1.1 연구목적

수치사진측량의 목적은 영상자료를 활용하여 대상물의 형태나 위치를 결정하는 것으로 2차원 영상으로부터 3차원의 공간정보를 취득하는 것이다. 이러한 수치사진측량은 측량용 카메라에 의해 수행되어져 왔지만 최근에는 측량용 카메라 및 기계적인 방법에 비해 카메라의 일반적인 이용성, 취급의 편리성, 초점거리의 유용성, 경제성 등 많은 이점과 저가의 고해상도 CCD(charge-coupled device)와 CMOS(complementary metal oxide semiconductor) 센서의 개발로 수치사진측량에 있어 고해상도 비측량용 카메라의 활용이 증대되고 있다. 그리고 MEMS(micro-electro mechanical systems) 기술의 발달로 센서들의 소형화 및 저가격화 되고 있으며, 이에 모바일 폰에 내장된 카메라의 해상도 또한 높아져 800만 화소의 영상을 지원할 수 있게 되었다.

이러한 센서의 발달에 발맞추어 사용자의 편리성을 고려한 기술이 등장하였고, 이를 대표하는 것이 스마트폰 기술이다. 스마트폰은 개방형 운영체제가 탑재된 이동통신 단말기로서, 이는 단순한 기술적인 부분뿐만 아니라, 이를 수용하는 주체의 생활 패턴과 지각 방식에도 영향을 미치고 있다. 스마트폰 보급이 활성화 되면서 사용자에게 더욱 편리한 인터페이스를 제공하기위해서 다양한 센서와 디바이스를 경제적으로 스마트폰에 내장시키고 있다. 고해상도 카메라, Assisted GPS, 가속도계, 자기 계측 센서 그리고 자이로스코프 등과 같은 스마트폰에 내장된 센서 및 디바이스를 이용한 응용 개발 및 활용 방안이 국내외에서 진행되고 있다.

스마트폰에 내장된 카메라는 그 성능 및 기하학적 안정성이 계속적으로 향상되고 있으며, 최근 고가의 디지털 카메라에서 제공되는 영상과 상응하는 고해상도 영상이 지원된다. 특히 고해상도의 영상을 손쉽게 획득할

수 있을 뿐만 아니라, 어플리케이션 개발에 의한 자기기기와의 정보 교환 및 촬영 시스템 구현이 가능하다. 하지만 스마트폰에 내장된 카메라는 측량용 카메라로 설계되어 있지 않기 때문에 측량용 카메라보다 렌즈에 포함된 왜곡이 많아 왜곡을 보정하기 위한 카메라 검정이 반드시 이루어져야 한다. 하지만 국내의 경우 고해상도 영상을 지원하는 다양한 스마트폰의 지원이 있음에도 불구하고, 아직 수치사진측량에 스마트폰에서 제공되는 영상을 활용하기 위한 연구가 미비한 실정이며, 국외의 경우에도 스마트폰을 활용한 대부분의 연구가 스마트폰에 내장된 각각의 센서의 활용에 국한되었고, 스마트폰에서 제공되는 고해상도 영상을 수치사진측량에 활용한 연구가 아직 수행되지 않았다.

따라서, 본 연구는 스마트폰에 내장된 다양한 센서 중 고해상도 영상을 제공하는 카메라를 검정하고, 그 정확도를 평가함으로써 수치사진측량에서의 스마트폰 카메라 영상의 활용 가능성을 평가하는 데 그 목적을 두었다. 스마트폰 카메라 영상의 정확도 평가에 앞서 카메라의 렌즈 왜곡을 보정하기 위해 수치사진측량에서 널리 사용되고 있는 광속조정법(Bundle adjustment)을 이용하여 카메라 검정을 수행하였고, 이 과정에서 광속조정 따른 RMS 오차를 분석하였고, 각 카메라별 내부표정요소로 하여 최종 처리된 검사점 성과에서 자동 및 무한대 초점에 따른 결과를 비교 이루어졌다. 마지막으로 Total station을 통해 결정된 검사점을 최확값으로 하고 각 카메라 영상별로 결정된 검사점 성과를 관측값으로 잔차 및 표준편차를 계산하여 정확도를 분석하였다.

1.2 연구동향

본 연구는 스마트폰에 내장되어 있는 고해상도 카메라를 검정하고, 기하학적 정확도 평가하는데 목적을 두고 있다. 스마트폰에 내장된 카메라 렌즈는 저가형 렌즈로 가장 저렴한 단렌즈를 사용하고 있고, 대부분의 모

바일폰에 내장된 렌즈는 비측량용으로 제작된 것이다. 즉, 측량용으로 설계되어 있지 않아 측량용 카메라에 비해 렌즈 왜곡이 매우 크다. 그러므로 스마트폰을 수치사진측량의 목적으로 사용하기 위해서 가장 중요한 것은 스마트폰 카메라 렌즈에 포함된 왜곡을 보정하는 것이다. 이상과 같은 렌즈 왜곡을 보정하기 위한 일련의 과정을 카메라 검정이라 일컫는다. 지금까지 측량용 및 비측량용 카메라 검정에 관련한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

국외의 경우 Fraser과 Al-Ajlouni(2006)는 줌렌즈 CCD카메라의 기하학적 검정을 수행하였음, Habib와 Morgan(2005)는 저가의 디지털 카메라와 콤팩트 디지털 카메라의 검정을 수행하였다. 그리고 Brown(1986)은 근거리 사진측량의 정확도를 향상시키기 위해 Plumb-Line 기법을 이용하여 카메라의 중심투영과 대상물간의 거리에 따라서 렌즈의 초점을 다르게 하여 방사왜곡 보정량과 편심왜곡 보정량을 계산하였다.

Rieke-Zapp와 Nearing(2005)는 토양침식을 관측하기 위한 연구에서 디지털 카메라 검정을 선행하였고, Fraser(1997)는 기존의 필름 카메라가 아닌 디지털 카메라의 자체검정(self-calibration)에 대하여 연구를 수행하였으며, Clarke(외2명, 1998)은 주점의 위치와 렌즈왜곡계수와 외부표정요소간의 관계를 고려하여 디지털의 주점의 위치를 회득하는 방법에 대하여 연구 하였다. 그리고 Pulivelli(2005)는 신속한 비측량용 카메라 검정을 위하여 선형정보와 작은 수의 관측점으로 카메라 내부표정요소를 계산하는 방식을 제안 하였다.

국내의 경우 오재홍 등(2006)은 다양한 조건에 따른 카메라 자체 검정의 정확도를 분석하였으며, 김형경(2008)은 디지털 카메라를 이용한 지상 사진측량의 정확도 검증에 대한 연구를 수행하였고, 김계동(2008)은 디지털 카메라를 이용한 사진기준점측량의 정확도 향상에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 조원우(2007)은 디지털 카메라와 아날로그 카메라를 이용한 정사영상제작과 정확도 평가를 수행 하였으며, 유환희 등(2007)은 관측점

과 선형요소를 이용하여 CCD카메라의 기하학적 검정을 수행하였다. 그리고 정성수 등(2008)은 초점거리 변화에 따른 렌즈 왜곡의 경험적 모델링을 통한 변화 양상을 분석하였다.

이상과 같이 수치사진측량에 비측량용 카메라를 활용하기 위해 비측량용 카메라 검정에 대한 수많은 연구가 진행되었으며, 카메라 검정이 선행된 후 비측량용 카메라를 이용한 3차원 위치결정에 대한 연구도 많이 수행되어졌다.

국외의 경우 1970년대 초 자체검정에 있어 8개의 매개변수 식이 제안된 이후(Kenefick 등, 1972), 영상의 축척 및 비직교 성분을 나타내는 변수 2개를 추가한 10개의 매개변수식이 제안된 바 있다(Fraser, 1997). 그리고 Chandler 등(2005)은 4종류의 비측량용 카메라를 이용하여 근접한 위치에서 표면을 관측하는 연구를 수행하였다. 또한, Schneider과 Peipe(1994, 1995) 스틸비디오 카메라를 이용한 시험측정을 통하여 측정수행능력을 비교하고 DCS 200을 이용한 DPA(Digital Photogrammetric Station)시스템을 개발하여 1/90,000까지의 상대정확성을 얻을 수 있었다.

국내의 경우 조우석(2004)은 차량시스템영상을 이용한 3차원 위치결정 정밀도를 분석하기 위해 CCD 카메라를 이용하였으며, 렌즈왜곡을 고려하여 내부 및 외부표정을 자체검정기법과 광속조정법을 수행하여 CCD 카메라 영상을 검정하였고, 1992년 이진덕은 다중 근접사진측량에 의한 구조물 전면의 3차원 해석으로 비지형 대상물에 대하여 외부전면해석과 내부전면해석의 정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다. 그리고 이종출(1989)은 근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치를 항공사진측량보다 간편하고 경제적으로 해석하고, 그 해석의 정확도를 향상시킴과 동시에 효율성을 높이는 연구를 수행하였다.

이진덕(1998)은 스틸비디오 카메라에 대한 기하학적 검정을 수행하여 스틸비디오 카메라의 내부표정과 렌즈왜곡에 관련된 기하학적 매개변수를

유도하였다. 또한, 유환희 등(2003)은 줌 렌즈 CCD 카메라의 변수계산과 3차원 위치정확도 평가를 수행하였으며, 이석균(2005)은 여러 가지 영상 형성 센서들의 내부표정을 실시하여 수학적 모델을 확립하였다. 그리고 정수(2009)는 콤팩트 디지털 카메라 검정을 수행하고 이를 이용한 3차원 형상을 해석하였다.

스마트폰에 관한 연구는 국외의 경우에는 스마트폰 기술을 응용한 증강현실(Augmented reality, AR)이 제공되었으며, 모바일 폰에 내장된 카메라를 사진측량에 활용하기 위한 연구는 Akca와 Gruen(2009)에 의해 시도 되었다. 이들은 2종류의 모바일 폰에 내장된 카메라와 2종류의 스틸 비디오 카메라를 검정하였고, 각각의 카메라의 기하학적 특징을 비교 평가하였다. 모바일 폰에 의해 획득된 영상을 분석한 결과, 절대 정확도가 0.5 pixel 이내로 보고하였다.

스마트폰을 이용한 도로교통 모니터링을 위한 모바일 밀레니엄 프로젝트가 버클리 대학의 연구진에 의해 수행 되었다(Mobil Millennium Project 2009). 이 프로젝트에서 3축 가속도 센서정보의 활용방법과 카메라를 이용한 이미지 분석 방법 등 교통분석을 위한 다양한 방법을 제시하였고, 이 프로젝트를 통해 구현된 시스템은 현재 상용화되어 서비스되고 있다.

스마트폰의 활용에 관한 연구는 Takeuchi 와 Kennelly(2010)가 스마트폰에 내장된 가속도계를 이용한 지진을 감지하는 어플리케이션을 개발하였고, 미국의 캘리포니아 대학의 연구진들은 모의 지진실험을 통해 스마트폰에 내장된 가속도계의 성능을 분석하여 그 활용성에 대한 연구를 진행하고 있다(CITRIS, 2011). 그러나 국외에서도 스마트폰을 활용한 연구는 대부분이 스마트폰에 내장된 각각의 센서의 활용에 국한 되었고, 스마트폰에 제공되는 고해상도 영상을 사진측량에 활용한 연구는 아직 수행 되지 않았다.

국내의 경우 스마트 폰을 활용한 연구로는 하동수 와 박성준(2011)이 스마트폰에 내장되어 있는 네트워크 디바이스, GPS, 3축 가속도 센서를 사용하여 각각의 센서에 나타나는 특징들을 분석하고, 사용자의 이동 상태를 효율적으로 판단할 수 있는 알고리즘을 제안 하였다.

이상과 같이, 고해상도의 영상을 지원하는 다양한 모바일 폰이 지원되고 있음에도 불구하고, 아직 수치사진측량에 모바일 폰에서 제공되는 영상을 활용하기 위한 시도가 이루어지지 않고 있다. 특히, 고해상도 카메라, Assisted GPS, 가속도계, 그리고 자기 계측 센서와 같이 측량에 직접 이용할 수 있는 센서를 내장하고 있는 스마트폰의 활용에 관련한 연구가 미비한 실정이다. 특히, 스마트폰에 내장된 카메라는 그 성능 및 기하학적 안정성이 계속적으로 향상되고 있으며, 최근 고가의 디지털 카메라에서 제공하는 영상에 상응하는 고해상도 영상을 지원하는 영상을 획득할 수 있음에도 불구하고, 스마트폰에서 제공되는 고해상도의 영상을 수치사진측량에 활용한 연구는 아직 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 고해상도 영상을 제공하는 비측량용 카메라가 내장된 스마트폰 카메라를 검정하고, 그 영상의 정확도를 평가함으로써 수치사진측량에 스마트폰 카메라의 활용 가능성을 평가하는 것을 목적으로 둔다.

1.3 연구내용 및 방법

본 연구는 수치사진측량에 고해상도 영상을 지원하는 스마트폰의 활용성을 평가하기 위해 Fig. 1에서 나타난 일련의 과정으로 수행되었다. 먼저, 이를 위한 연구 계획을 수립하고, 관련 문헌을 조사하였다. 벽면 (6 × 4 m)에 사진측량용 원형 (signalized) 타겟과 코드 타겟을 부착하여 총 63개의 타겟을 설치하였고, 중복 촬영 및 Swing값을 변화시켜 각각의 카메라

마다 총 12장의 사진을 획득하였다. 본 연구에 사용되어진 스마트폰은 현재 널리 보급되어 사용되고 있는 스마트폰 중 Galaxy S, Galaxy S2, Vega racer, iPhone, Nesux S, Miracle A, Experia Arc, HTC Desire를 이용하였다.

획득한 영상은 비측량용 카메라이기 때문에 렌즈에 대한 왜곡이 발생하므로 왜곡 보정을 위하여 카메라 검정을 실시하였다. 카메라 검정은 대표적인 balance 방식인 CDW(close-range digital workstation)를 사용하였고, 광속조정법을 이용하여 카메라 검정을 수행하였다. 카메라 검정 시 총 63개의 타킷 중 공통적으로 사용되어진 44개의 타킷을 이용하였으며, 그 중 1번, 30번, 37번은 기준점으로 사용하였고, 4번과 40번은 거리측정에 사용하였다. 그리고 과대오차가 발생된 29번과 33번 타킷은 광속조정 시 제외하였으며, 총 38개의 타킷을 광속조정후의 RMS 오차값으로 비교 분석하였다.

또한, 스마트폰 카메라의 초점 모드에 따른 정확도 비교 분석도 수행하였다. 본 연구에 사용되어진 스마트폰 중 하나인 Galaxy S를 자동 초점모드와 무한대 초점모드에 의해 촬영한 후 획득된 영상을 CDW를 통해 광속조정하여 내부표정 용소를 획득하였다. 그 후 획득된 요소들의 RMS 오차값과 초점거리를 비교하여 초점모드에 따른 정확도 비교 분석을 수행하였다.

비측량용 카메라인 스마트폰 카메라의 절대 정확도 평가를 위하여 대상지역에서 공통적으로 사용된 44점의 타킷의 3차원 위치결정을 Total station을 이용하여 결정하였고, 이를 최확값으로 하여 총 8대의 카메라의 3차원 위치에 대한 잔차와 표준편차를 비교 분석하여 절대 정확도 평가를 실시하였다.

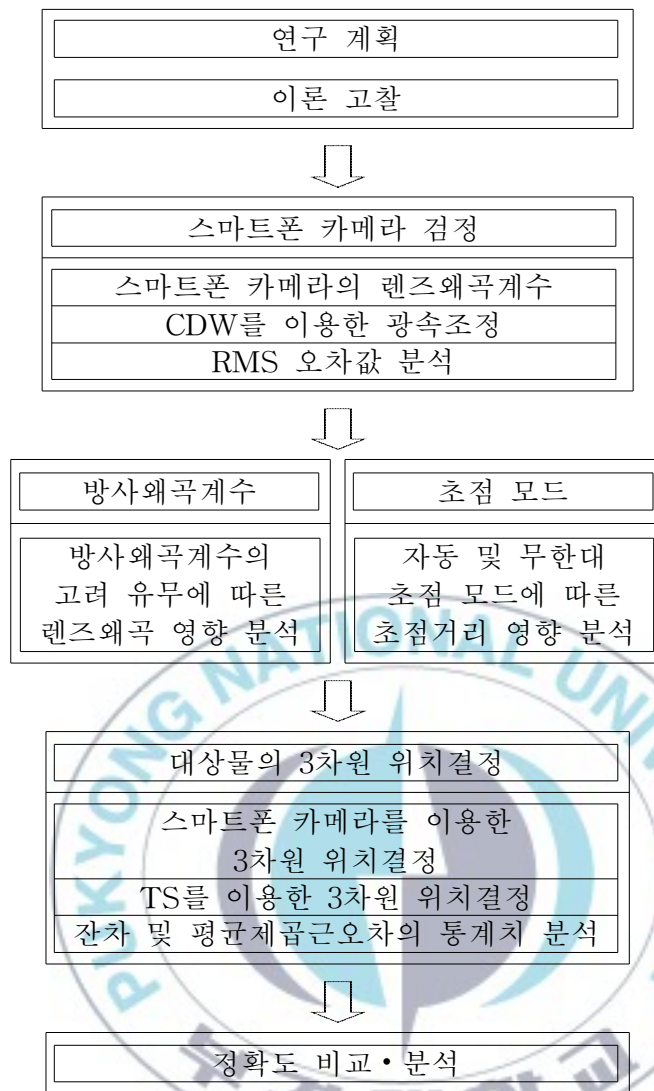


Fig 1.1 연구 수행 흐름도

2. 수치사진측량 이론

2.1 이미지 센서

이미지 센서는 휴대폰에 내장된 카메라나 DSC(Digital Camera) 등에서 생성되는 영상 촬상 소자 부품을 일컫는 것으로, 그 제작 공장과 응용 방식에 따라 크게 CCD (Chare Coupled Device)와 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 이미지 센서로 분류할 수 있다. 1967년 RCA사의 P.K. Weimer와 Fairchild등이 COMS를 개발한 후 1970년에 Boyle과 George E. Smith가 CCD가 개발하였다. 하지만 CMOS 이미지 센서의 공정 불균형에 의한 고정패턴 잡음과 전압에 의한 잡음으로 인해 CCD보다 늦게 상용화가 되었다. 하지만 BS(Back Side illumination) 공정기술의 발전으로 2000년대 초반부터 휴대폰과 같은 휴대용 모바일 기기에 적용되면서 CMOS 이미지 센서의 시장은 급속도로 성장되었다.

2.1.1 CCD 센서

CCD는 빛을 받아들여 전기적인 신호로 전환해 주는 발광 다이오드의 직접체로서 직사각형이며, 현재 1/3인치, 1/2.7인치, 1/2인치, 2/3인치의 CCD렌즈가 통상적으로 쓰여 지고 있다. 이 CCD는 빛의 강도를 전하의 양으로 변환하여 전자로 만들어 축적하는 역할을 한다. CCD 이미지 센서의 원리는 RGB 센서가 모자이크 방식으로 CCD에 배열되어 있어 인입된 빛의 양을 각 센서가 측정하여 기록하도록 되어 있다. Fig. 2.1은 CCD 센서의 원리를 보여주고 있다.

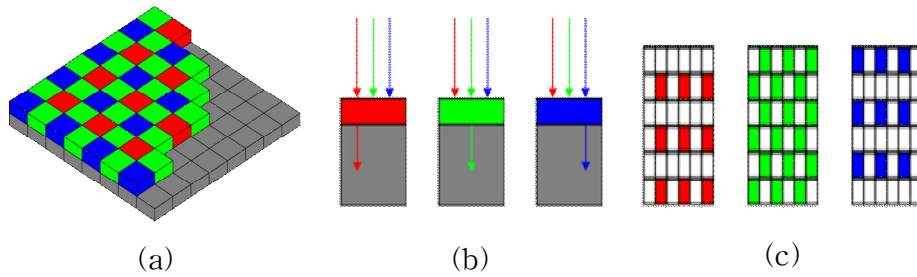


Fig 2.1 CCD 센서의 원리; (a) 배열방식 (b) RGB 원색필터 (c)컬러 노출량

Fig. 2.1 (a)는 모자이크 방식 배열의 CCD를 나타내고 있으며, (b)는 RGB 원색 필터가 파장별로 빛을 걸러주는 모습을 보여주고 있다. 그리고 (c)는 컬러의 노출량을 나타내고 있는 것으로 녹색의 경우에만 50%가 노출되고, 적색과 청색은 25%만 노출이 됨을 나타내고 있다. 그리고 Fig 2.2 는 CCD센서의 처리과정을 나타내고 있다.

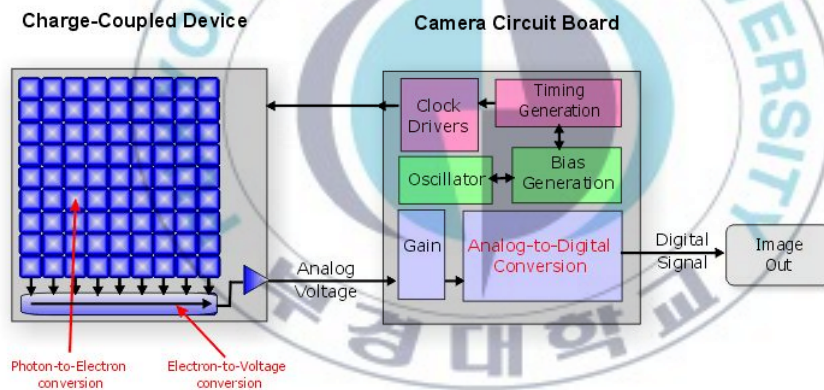


Fig 2.2 CCD 센서의 처리과정

디지털 카메라는 필름대신 CCD를 이용하며, 이는 렌즈를 통과한 빛이 조리개를 거쳐 필름대신 CCD 소자에 전달됨으로서 디지털 이미지가 탄생하게 되는 것이다. 영상은 수평 및 수직으로 설정된 2개의 좌표축 x 와 y 에 의해 표현되는 2차원 정보를 가리킨다. 2개의 변수로 나타내는 위치에

서의 밝기를 농도값을 식으로 나타내면 다음 식 (2.1)과 같다.

$$f(x,y) = g \quad (2.1)$$

다시 말해, 영상의 각 지점 $f(x,y)$ 의 광강도를 전류로 바꾸어 화상을 표본화하고, 그것을 디지털 숫자로 바꾸는 정량화 과정을 통하여 수치영상을 얻는다. 연속영상 $f(x,y)$ 을 등간격으로 샘플링하여 $N \times N$ 개의 형태로 정량화시킨다면 식 (2.2)와 같은 행렬이 된다.

$$f(x, y) \doteq \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,0) & \cdots & f(0,0) \\ f(0,0) & f(0,0) & \cdots & f(0,0) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

2.1.2 CMOS 센서

CMOS은 P채널의 MOS 트랜지스터와 N채널의 MOS트랜지스터를 서로 절연하여 동일 칩에 만들어 넣어 양자가 상보적으로 동작하도록 한 것으로 이를 통해서 저전력을 실현하는 것을 말한다. 다음 Fig 2.3는 CMOS 이미지 센서의 처리과정을 보여주고 있으며, 그림에서 보이는바와 같이 동일한 칩에서 양성자가 전하와 전압으로 전환된다.

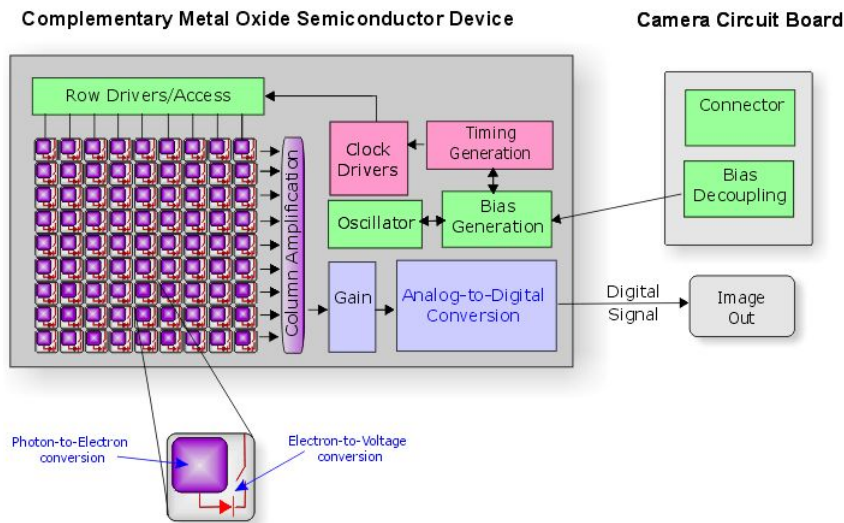


Fig 2.3 CMOS 센서의 처리과정

CMOS 센서에서는 전하를 전기신호로 바꾸는 변조기가 모든 화소 각각에 부착된다. 이 때문에 필요부분의 데이터만을 읽어낼 수 있고 CCD에 비해 해독 속도가 빨라지게 된다. 또 CCD센서에서는 전하를 보낼 때 일반 반도체에서는 사용하지 않는 여러 가지 특수 전압의 전력을 필요로 하지만, CMOS센서는 특수 전압이 필요 없이 단일 전압으로 작동하기 때문에 CCD에 비해 소비전력을 낮출 수 있다. 그리고 다양한 전압을 제어하는 IC도 필요 없기 때문에 시스템 전체를 소형화할 수 있는 이점도 있다. 그리고 CMOS센서에서는 전하를 전기신호로 바꾸는 변조기가 모든 화소 각각에 부착되어 있기 때문에 필요 부분의 데이터만을 읽어낼 수 있어 CCD에 비해 해독 속도가 빨라지게 된다.

이 밖에 CMOS센서의 장점으로 특히 주목되는 점은 소형화와 관련해 주변회로와의 원칩화 가능성이다. CCD센서는 특수 고전압을 필요로 하기 때문에 촬영한 영상의 처리 기능을 맡고 있는 주변 칩과 같은 실리콘 웨이퍼 상에 부착할 수 없지만, 일반 반도체와 같은 수준의 전압만 사용하는 CMOS센서는 주변의 신호처리회로와 함께 한 장의 실리콘 웨이퍼 상에 놓을 수 있다. 그리고 CMOS 센서의 경우 부품들을 쉽게 통합할 수 있

고, 경제성과 대량생산 측면에서 CCD 센서보다 유리한 장점으로 인해 현재 휴대폰 등에 내장되는 카메라 모듈을 중심으로 PC카메라, 보안 카메라 등의 용도에 많이 적용되어지고 있다.

2.2 기하학적 카메라 모델

기하학적 카메라 모델은 대상 공간상 존재하는 점 P 의 3차원 좌표와 이에 상응하는 영상면의 좌표간의 수학적 상관관계로 정의된다. 일반적으로 카메라 모델은 카메라의 모든 광학적, 기하학적 매개변수를 직접적으로 이용하여 정의된다 (Pedersini, 1999). 본 연구에서 사용된 기하학적 카메라 모델은 Fig. 2.4와 같이 전통적 방식에 의한 모델이다.

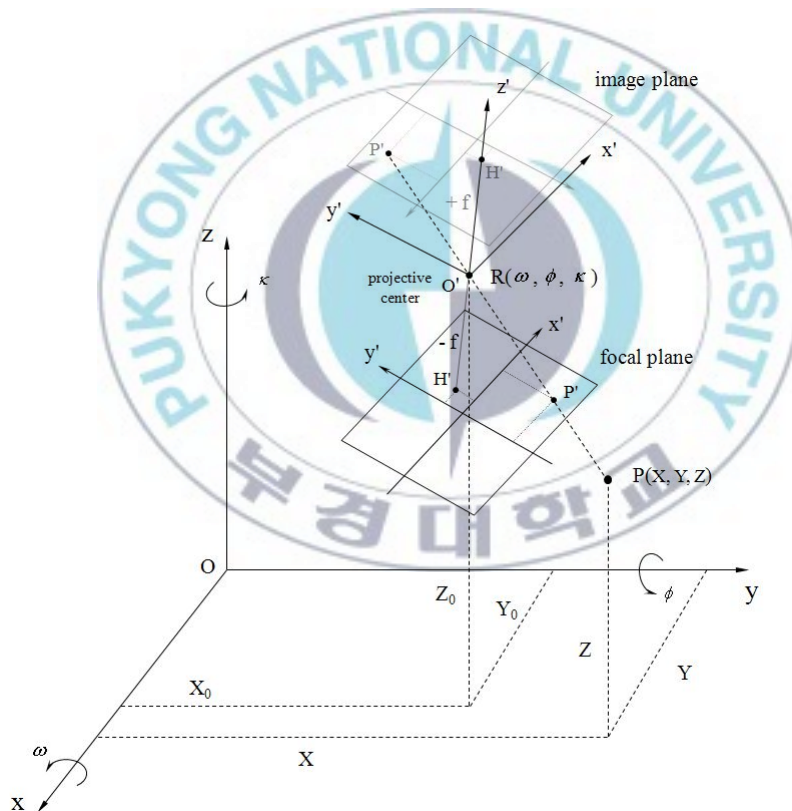


Fig. 2.4 기하학적 카메라 모델

기하학적 카메라 모델은 내부 표정 (interior orientation)과 외부 표정 (exterior orientation)의 매개변수로 정의될 수 있다 (Wolf and Dewitt, 2000). 식 (2.3)은 대상 공간내의 임의점 P와 초점면 상의 점 P' 및 투영중심 점 O' 사이의 관계를 나타내며, 이 세 점이 동일직선상에 있어야 하는 조건이 공선조건(collinearity contion)이라고 한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x' - x_p \\ y' - y_p \\ -f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

여기서,

X, Y, Z	점 P는 대상 공간좌표.
X_0, Y_0, Z_0	사진기의 투영중심 O'의 대상 공간좌표
x', y'	초점면 상의 점 P'의 영상 좌표
x_p, y_p	초점면 상의 주점 H'의 영상 좌표
f	초점 거리
R	센서와 대상 공간 좌표시스템간의 회전 매트릭스
λ	각 영상 레이(ray)에 대한 축척인자

이 식은 공선조건 (collinearity condition)의 기초를 이룬다. 식 (2.4)는 공선조건에 의한 P, O', 그리고 P'사이의 공선조건식을 나타낸다.

$$x' = x_p - f \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (2.4)$$

$$y' = y_p - f \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

여기서,

r_{xx}

회전 매트릭스 R의 계수

광속조정법은 사진좌표(Photo coordinate)를 기본단위로 하여 절대좌표를 구하는 것으로써 이 경우 상좌표를 변환시킨 다음 사진좌표로부터 직접절대좌표(absolute coordinate)를 구한다. 블록 내의 각 사진상에 관측된 기준점, 접합점의 사진좌표를 이용하여 최소제곱법으로 각 사진의 외부표정요소 및 접합점을 결정하는 방법을 말한다. 식 (2.5)는 최소제곱조정과 Taylor 급수를 사용하여 식 (2.4)와 같은 비선형식을 선형화한 것으로, 관측식의 함수(F)와 매개변수 값이 Zero (0)와 같다는 것을 기초로 한다.

$$\begin{aligned} F_1 = 0 &= px + qf \\ F_2 = 0 &= py + rf \end{aligned} \quad (2.5)$$

여기서,

$$\begin{aligned} p &= r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0) \\ q &= r_{11}(X_p - X_0) + r_{12}(Y_p - Y_0) + r_{13}(Z_p - Z_0) \\ r &= r_{21}(X_p - X_0) + r_{22}(Y_p - Y_0) + r_{23}(Z_p - Z_0) \end{aligned}$$

선형화 형태로 다항식을 정리할 때 초기값 계산에 대한 함수와 우연오차에 대한 보정값을 요소로 하여 편미분값을 기호화할 수 있다. 그리고 기지 대상점이 3점 이상인 경우, 외부표정요소를 도출할 수 있으며, 이를 간단히 행렬 요소로 표현하면 식 (2.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \omega \\ \Delta \phi \\ \Delta \kappa \\ \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad (2.6)$$

위 식으로부터 획득한 외부표정요소는 기지값으로 이용되어 새로운 대상점의 보정값($\Delta X_p, \Delta Y_p, \Delta Z_p$)을 계산하게 된다. 그 후 대상점 p의 대상물 좌표 X_p, Y_p, Z_p 에 대한 기초 근사값으로 사용되어진다. 이로써 식 (2.6)을 다음과 같이 수정하여 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad (2.7)$$

사진측량의 관측값에는 우연오차, 정오차가 포함된다. 여기서 정오차는 오차모형에 의해 해결될 수 있어, 조정계산에서 입체모형의 일부에 오차모형식을 부가하여 정확도를 향상시키는데, 이는 자체검정의 기본목적이라 할 수 있다. 초기의 자체검정은 정밀근접사진측량의 정확도 향상을 목적으로 고안된 사진기의 내부표정요소 및 렌즈왜곡의 검정이 주된 것이었지만, 이 후 발전적으로 항공 삼각측량에도 도입되어 광속조정법에 의한 중형접합모형(Block Adjustment)에 각종 오차모형이 제안되게 되었다.

이와 같은 방법을 자체검정에 의한 광속조정법(Bundle Adjustment with self calibration), 기내검정 또는 부가매개변수에 의한 조정이라 하며, 이는 광속조정법에서 미지변수로 취급되는 사진의 외부표정요소와 관측점의 지상좌표와 사진좌표에 포함되는 계통적 오차를 나타내는 변수를 미지변량으로 하여 이 미지변수들을 동시에 조정하는 방법이다.

2.3 카메라 검정

사진측량은 대상 공간 내의 점 P , 투영중심 O' , 그리고 초점면상의 점 P' 가 일직선을 이룬다는 가정을 바탕으로 하는 공선조건식을 근거로 한다. 그러나 실제 카메라 렌즈는 이상적인 곡률을 가질 수 없다. 이로 인해

광선은 렌즈를 통과하여 영상면까지 완전 일직선으로 진행할 수 없기 때문에 카메라 렌즈의 왜곡에 대한 검정이 반드시 필요하다. 그리고 사진측량은(Photogrammetry) 시스템의 측정 정확도는 센스의 품질과 내부표정의 정확한 모델링에 직접적인 관계가 있다. 그러므로 카메라 검정은 사진측량 시스템에서 필수적인 부분이다.

렌즈 왜곡은 공선으로 부터의 편차를 의미하며 이러한 편차에 의해 방사왜곡, 비대칭 왜곡, 아핀변형 등이 발생하게 된다. 이렇게 발생된 렌즈 왜곡은 공선조건방정식을 기초로 하여, 렌즈 왜곡수치를 Modeling 하거나, 필름변형, 검정하고자 하는 변수의 경중률을 고려하여 보정하게 된다. 일반적으로 스마트폰에 내장된 카메라 렌즈는 저가의 단렌즈로 측량의 목적으로 설계되어 있지 않아 측량용 카메라에 비해 렌즈 왜곡이 크기 때문에 스마트폰 영상을 이용한 위치 결정에 앞서 렌즈에 포함된 왜곡을 보정해야 하며, 이러한 일련의 과정을 카메라 검정이라고 한다.

카메라 렌즈의 왜곡은 영상면의 위치 정확도를 저하시킨다. 카메라 렌즈의 왜곡은 방사왜곡, 비대칭왜곡, 비정방형왜곡(affinity distortion), 그리고 비직교성분 왜곡(non-orthogonality deformations)으로 구성된다. 보정된 영상 좌표 x', y' 는 식 (2.8)에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} x' &= \overline{x'} + d\overline{x'} = \overline{x'} - C_1\overline{x'} + C_2\overline{y'} + dx' \\ y' &= \overline{y'} + d\overline{y'} = \overline{y'} + C_2\overline{x'} + dy' \end{aligned} \quad (2.8)$$

여기서,

x', y'	왜곡을 고려한 초점면에서의 좌표
$\overline{x'}, \overline{y'}$	왜곡을 고려하지 않은 초점면에서의 좌표
$d\overline{x'}, d\overline{y'}$	왜곡항
dx', dy'	대칭 및 비대칭 왜곡항

C_1	x 방향으로의 축척 인자
C_2	비직교성분 인자

비정방형 왜곡과 비직교성분 왜곡은 그 크기가 매우 작다. 그래서 오늘날에는 일반적으로 렌즈왜곡은 방사왜곡과 비대칭 왜곡만을 고려한다. 식 (2.9)는 방사왜곡과 비대칭 왜곡을 표현한 것이다. 방사왜곡은 영상의 주점에 대해 대칭하며, 방사 왜곡의 보정량은 방사 거리 r 에 대한 고차 다항식에 의해 계산된다(Wolf and Dewitt, 2000). 비대칭 왜곡은 렌즈들의 중심이 일치하지 않게 되어 발생하는 오차이며, 이는 방사 왜곡에 비해 왜곡에 미치는 영향이 매우 작다.

$$\begin{aligned} dx' &= \overline{x'}(A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6) + B_1(r^2 + 2\overline{x'}^2) + 2B_2 \overline{x'} \overline{y'} \\ dy' &= \overline{y'}(A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6) + 2B_1 \overline{x'} \overline{y'} + B_2(r^2 + 2\overline{y'}^2) \end{aligned} \quad (2.9)$$

여기서,

A_1, A_2, A_3	방사 왜곡 계수
B_1, B_2	비대칭 왜곡 계수
r	방사 거리($\sqrt{\overline{x'}^2 + \overline{y'}^2}$)

이상과 같이 렌즈 왜곡은 주로 방사 왜곡에 의해 발생된다. 방사 왜곡(symmetric radial distortion)은 광선이 렌즈의 투영 중심을 지날 때 그 경로가 바뀔 때 발생한다. 이것은 렌즈 제작에서의 결함 등에 기인하고, 주점에 대해 방사 방향에 따라 대칭으로 일어난다. 관측된 점의 방사 왜곡에 대한 보정은 다항식에 의해 모델링되며, 이러한 방사 왜곡량을 산정하는 방법에는 일반적으로 balance 방식과 unbalance 방식이 있다. 두 가지 방식은 수학적으로 같은 의미를 가지며, 계산 결과에 있어서 차이는 발생하지 않는다. 전형적인 balance 방식에서 방사 왜곡량 d_r 은 식 (2.10)에 의해 계산된다.

$$d_r = A_0 + A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6 \quad (2.10)$$

여기서,

$$\begin{array}{ll} A_0, A_1, A_2, A_3 & \text{방사 왜곡 계수} \\ r & \text{방사 거리} \end{array}$$

그리고 식 (2.10)은 unbalance 방식에 의한 방사 왜곡량 d_r 을 나타낸다.

$$d_r = K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 \quad (2.11)$$

K_1, K_2, K_3 는 unbalance 방식에서 방사 왜곡 계수를 의미하고, unbalance 방식의 balance 방식으로의 변환은 방사 왜곡량이 zero (0)가 될 때의 임의의 반경 r_0 을 이용한 식 (2.12)에 의해 이루어진다.

$$A_0 = -(K_1 r_0^2 + K_2 r_0^4 + K_3 r_0^6) \quad (2.12)$$

$$s = (1 - A_0)$$

$$A_1 = K_1 \times s$$

$$A_2 = K_2 \times s$$

$$A_3 = K_3 \times s$$

비대칭 왜곡(decentering distortion)은 광축을 따라 카메라 렌즈 요소의 중심 불일치에 의해 기인된다. 정확하게 정렬되어 있지 않은 렌즈 성분은 방사 및 비대칭 왜곡을 초래하며, 식 (2.13)에 의해 모델링될 수 있다 (Brown, 1966).

$$dx_d = P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy \quad (2.13)$$

$$dy_d = P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1xy$$

여기서, P_1 , P_2 는 비대칭 왜곡에 관련한 계수들이다. 아핀 변형은 주로 x 및 y 방향을 따라 비균일한 축척으로부터 일어나는 변형으로 초점면에서 발생되며, 가끔씩 x 및 y 축 간의 비직교성에 의해 발생할 수도 있다. 이는 영상 픽셀의 비정방형과 CCD 배열에서 행과 열의 비직교성에 의해 기인된다. 그리고 정방형으로 고려한 경우 축척 차이의 원인이 될 수 있다. 아핀 변형에 대한 보정량 dx_{ad} 와 dy_{ad} 는 식 (2.14)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} dx_{ad} &= -C_1x + C_2y \\ dy_{ad} &= C_1y \end{aligned} \tag{2.14}$$

여기서,

- C_1 x 및 y 축을 따른 축척 차이의 절반
- C_2 비직교성분에 관련한 각(angle)



3. 스마트폰 카메라를 이용한 3차원 위치 결정 실험

스마트폰에 내장되어 있는 카메라는 비측량용 카메라로 설계된 저가형 렌즈로 가장 저렴한 단렌즈를 사용한다. 즉, 측량용으로 설계되어 있지 않기 때문에 측량용 카메라에 비해 렌즈 왜곡이 많다. 따라서 스마트폰에 내장된 카메라를 측량 목적으로 사용할 때 가장 중요한 것은 렌즈 왜곡(lens distortion)을 보정하는 것이다.

본 연구에서는 스마트폰 카메라에 의해 획득된 영상의 3차원 위치결정에 앞서 총 8대의 스마트폰에 내장된 카메라 검정 과정을 선행하였다. 카메라 검정에 사용된 방식은 balance 방식인 CDW(close-range digital workstation) software를 이용하여 연구를 실행하였다. 그리고 대상물 촬영 시 8대의 카메라를 자동 초점 모드에서 촬영하였으며, 그 중 한 대의 카메라는 무한대 초점모드에서도 동시에 촬영을 실시하여 초점 모드일 때와 무한대 초점모드일 때의 초점거리에 따른 왜곡에 대한 영향을 알아보았다.

본 연구에 사용된 카메라는 스마트폰 카메라 중 카메라의 화소가 가장 낮은 300만 화소의 Miracle A, 500만 화소인 Nesux S와 Galaxy S, 그리고 기존 스마트폰 중 가장 높은 화소를 가진 800만 화소의 HTC Desire, Experia Arc, Galaxy S2, vega racer를 선정하였으며 대상 스마트폰에 내장된 카메라의 경우 CMOS 센서가 사용 되어졌다.

3.1 대상 스마트폰 선정

스마트폰은 PDA 등에서 제공되던 개인 정보 관리 기능과 휴대폰의 기능을 결합한 휴대용 기기를 통칭한다. 최근 스마트폰 보급이 활성화되면서 스마트폰의 자체 내장된 센서를 이용한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

본 연구는 스마트폰에 내장된 센서 중 고해상도 영상을 지원하는 카메라를 이용하여 근접한 대상물을 촬영하고, 그에 대한 3차원 위치정보를 획득하기 위해 수행 되어졌다. 이를 위해 최근 널리 보급되고 있는 스마트폰 중 Fig 3.1과 총 8대의 스마트폰을 선정하였다.



Fig. 3.1 본 연구에 사용된 스마트폰. (a) iPhone, (b) Galaxy S, (c) Galaxy S2, (d) Vega racer, (e) Miracle A, (f) HTC Desire, (g) Experia Arc, (h) Nesux S.

iPhone은 full touch bar 형태의 스마트폰으로 A5 듀어코어 프로세서, 내부의 16GB 내부 저장메모리 등을 지원한다. 그리고 800만 화소 영상의 카메라와, 자이로, 가속도, 근접/조도, 지자기 센서를 내장하고 있다. 그리고 렌즈의 초점 거리는 3.85mm이며, 픽셀은 $1.75\mu\text{m}$ 이다.

갤럭시 S는 full touch bar 형태의 스마트폰으로, 1GHz processor, 512 MB 내부 RAM, 16GB 내부 저장 메모리, WCDMA, GSM network

technology와 Wi-Fi를 지원한다. 그리고 500만 화소의 영상을 지원하는 고해상도 카메라, A-GPS(assisted GPS), 가속도계(accelerometer), 자기계(magnetometer), 그리고 근접(proximity)센서를 내장하고 있다.

갤럭시 S2는 갤럭시 S와 달리 800만 화소의 영상을 지원하며, S 모델에 탑재된 센서에 자이로스코프 센서가 추가적으로 탑재되어 있다. 또한 갤럭시 S는 1/5" S5K5CAG CMOS 센서를 S2는 1/3.2" S5K3H1GX CMOS 센서를 각각 내장하고 있고, 렌즈의 초점거리는 제작 시 3.79 mm와 3.97 mm이며, 픽셀 크기는 모두 1.4 μm 이다.

베가레이서는 Android 2.3(GB)의 OS체제로 1.5GHz Dual core (MSM8260) processor, 16GB의 내장 메모리가 지원된다. 그리고 800만 화소의 고해상도의 카메라가 내장 되어 있으며, 초점거리는 4.31mm, 픽셀의 크기는 1.4 μm 이다.

Experia Arc는 퀄컴 스냅드래곤 1GHz의 프로세서로 안드로이드 2.3 운영체제로 800만 화소의 카메라와 512MB의 내장 메모리가 내장 되어 있으며, 초점거리는 4.1mm, 픽셀의 크기는 1.75 μm 이다.

Nesux S는 S5PC111 1.0GHz의 프로세서로서 512MB의 메모리와 500만 화소의 카메라가 내장 되어 있으며, A-GPS와 블루투스, Wi-Fi가 지원 되고, 초점거리는 3.43mm, 픽셀의 크기는 1.41.4 μm 이다.

Miracle A는 안드로이드 2.3 운영체제를 적용하고 있으며, 퀄컴 MSM7227 600MHz 프로세서를 가지고 있으며, 512MB의 메모리와 500만 화소의 카메라가 내장 되어있고, 초점거리는 4.31mm, 픽셀의 크기는 1.751.4 μm 이다. 표 3.1은 본 연구를 위한 스마트폰 카메라의 특성을 비교하였다.

Table 3.1 본 연구를 위한 대상 카메라의 특성 비교

	Sensor type	Sensor size (in)	Pixel size (μm)	Image format	Focal length (mm)
GalaxyS	CMOS	1/5	1.4	2560 × 1920	3.79
GalaxyS2	CMOS	1/3.2	1.4	3264 × 2448	3.97
iPhone	CMOS	1/3.2	1.75	2592 × 1936	3.85
Vegar racer	CMOS	1/3.2	1.4	3264 × 2448	4.31
Nesux S	CMOS	1/5	1.4	2560 × 1920	3.43
Miracle A	CMOS	1/5	1.75	2048 × 1536	4.31
HTC Desire	CMOS	1/3.2	1.4	3264 × 1952	4.57
EXPERIA ARC	CMOS	1/3.2	1.75	3264 × 2448	4.1

3.2 스마트폰 카메라 검정

측량용 카메라와 달리 스마트폰 카메라는 일반적으로 자동 초점기능으로 운용되기 때문에, 촬영 시 자동 초점 기능에 의한 초점 거리의 변화가 발생될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 안드로이드 SDK 내의 카메라 초점 모드를 자동설정하고 사진을 촬영함과 동시에 같은 기종의 스마트폰 한 대를 자동 초점모드와 무한대 초점모드로 촬영하여 초점기능에 따른 초점거리의 변화가 발생하는지를 분석하였다.

본 연구에서는 스마트폰 카메라 검정을 위한 작업을 선행하였다. Fig 3.2와 같이 6m×4m 되는 벽면에 총 63개의 타킷을 부착하고, 중복촬영 및 Swing값을 변화시켜 각각의 카메라마다 12장의 사진을 획득하였다. 아래의 Fig 3.2는 카메라 검정을 위한 원형 타킷 배치와 카메라의 위치를 보여주고 있다.

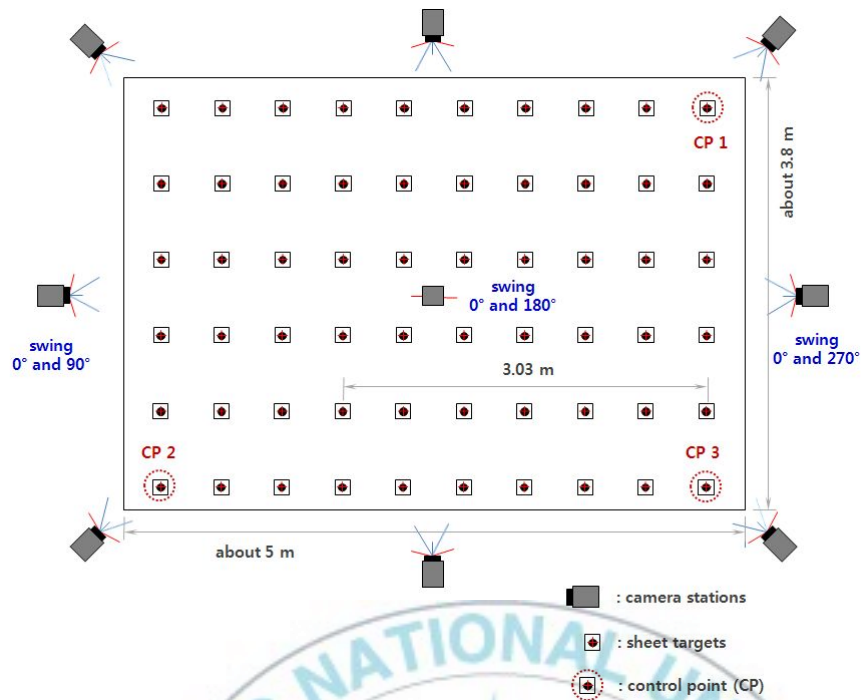


Fig. 3.2 카메라 검정을 위한 원형 타깃 배치와 촬영 위치

카메라 렌즈의 검정 방법에는 DLT(direct linear transformation) 기법, Tsai 기법, 그리고 전통적 사진측량의 해법에 포함된 해석적 자체검정 (self-calibration) 기법이 있다. 일반적으로 사진측량학에 사용되고 공식화된 기하학적 카메라 모델은 다양하지만, 센서 표정과 카메라 검정은 주로 광속조정(bundle adjustment)에 의해 수행된다(Brown, 1971). 이러한 방법과 모델은 Clarke과 Fryer(1998)에 의해 고찰된 바 있다.

본 연구에서는 획득된 사진 영상중 공통적으로 사용된 44개의 타깃을 이용하여 카메라 검정을 실시하였으며, 카메라 검정을 위해서 Rollei사에서 개발된 CDW를 사용하여 광속조정법을 실시하였다. 그리고 카메라 검정 시 1번, 30번, 37번 타깃은 기준점으로 사용하였으며, 4번과 41번 타깃은 거리 측정에 사용되었다. 따라서 광속조정법에 의한 번들조정 후 RMS 오차값에서는 위의 다섯 개의 타깃은 포함하지 않았다.

3.3 스마트폰 영상 획득 및 처리

카메라 검정을 마친 스마트폰 카메라를 이용하여 각 경우별 위치 정확도를 분석하기 위해 T사의 GPT-7001i의 Total station을 이용하여 공통으로 사용된 44개 타깃들의 중심 위치를 결정하였다. Total station에 의해 결정된 3차원 위치 결정값을 최확값으로 하여, CDW를 통하여 획득된 각 카메라 영상의 3차원 좌표값과의 잔차 및 평균제곱근오차를 구하여 상대 정확도를 평가를 실시하고 이를 통해 스마트폰에 내장된 카메라의 활용성을 평가하였다. Fig 3.3는 Total station을 이용하여 타깃의 위치를 결정하고 있는 모습을 나타내고 있다.

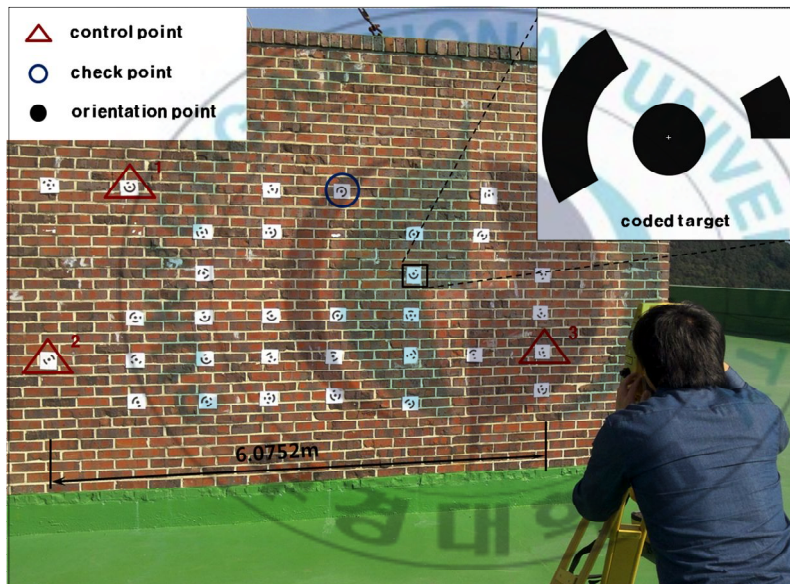


Fig. 3.3 Total station을 이용한 검사점 3차원 위치결정

Total station을 이용한 검사점의 3차원 위치결정 시 무타킷으로 설정하여 위치결정을 실시하였으며, 표정시 사용된 타겟은 Fig. 3.3에 보이는 것처럼 원형으로 원의 가운데는 검은색이고, 원의 바깥은 하얀색을 사용하여

정확도를 높였다. 자동초점 모드와 무한대 초점 모드에 의해 촬영된 영상은 CDW를 통한 광속조정 이후 내부표정을 획득한 후 각각의 RMS 오차값과 초점거리를 비교하여 초점모드에 따른 초점거리의 변화에 대한 영향을 분석하였다.



4. 결과분석 및 고찰

4.1 카메라 검정 결과

본 연구에 사용된 카메라의 내부 표정 요소는 Rollei사에서 개발된 CDW에 의해 계산되었다. Fig 4.1은 각 영상에서 표정점 추출 및 다중 영상 모정 모습을 나타내고 있다. 다중 표정 단계에서는 대상점들의 3차원 위치결정을 위해 기준점 3개(1번, 30번, 37번 타깃)가 사용 되었으며, 거리 측정을 위해 2개(4번, 41번 타깃)의 타깃이 사용되었다. 이러한 기준을 토대로 광속조정이 실행되어졌고, 광속조정의 반복횟수는 10회로 하였다.



Fig 4.1 CDW를 이용한 카메라 검정 모습; (a) 각 영상의 표정 모습
(b) 다중 영상 표정 모습

본 연구에서는 하나의 카메라 당 12장의 사진을 획득하였으며, Table 4.1은 각 카메라별 광속 조정에 의해 계산된 RMS 오차값을 나타내고 있다. 광속조정 결과 대상물 좌표의 RMS 오차값은 x,y,z 방향별로 Galaxy S는 0.63mm, 0.55mm, 0.24mm, Galaxy S2는 0.65mm, 0.35mm, 0.26mm, Galaxy S2의 카메라를 무한대 초점으로 설정한 후의 RMS 오차는 0.69mm, 0.34mm, 0.26mm로 나타났다. 그리고 Vega racer는 0.53mm, 0.29mm, 0.23mm, iPhone은 0.73mm, 0.43mm, 0.29mm, Nesux S는

0.48mm, 0.28mm, 0.22mm, Miracle A는 0.95mm, 0.53mm, 0.41mm, Experia Arc는 0.51mm, 0.24mm, 0.19mm, 마지막으로 HTC Desire는 0.42mm, 0.27mm, 0.02mm로 나타났다.

Table 4.1. 광속조정에 의해 계산된 대상물 좌표의 RMS 오차 (단위 : m)

	RMS-X	RMS-Y	RMS-Z
Galaxy S	0.00063	0.00055	0.00024
Galaxy S2	0.00065	0.00035	0.00026
Vega racer	0.00053	0.00029	0.00023
iPhone	0.00073	0.00043	0.00029
Nesux S	0.00048	0.00028	0.00022
Miracle A	0.00095	0.00053	0.00041
Experia Arc	0.00051	0.00024	0.00019
HTC Desire	0.00042	0.00027	0.0002

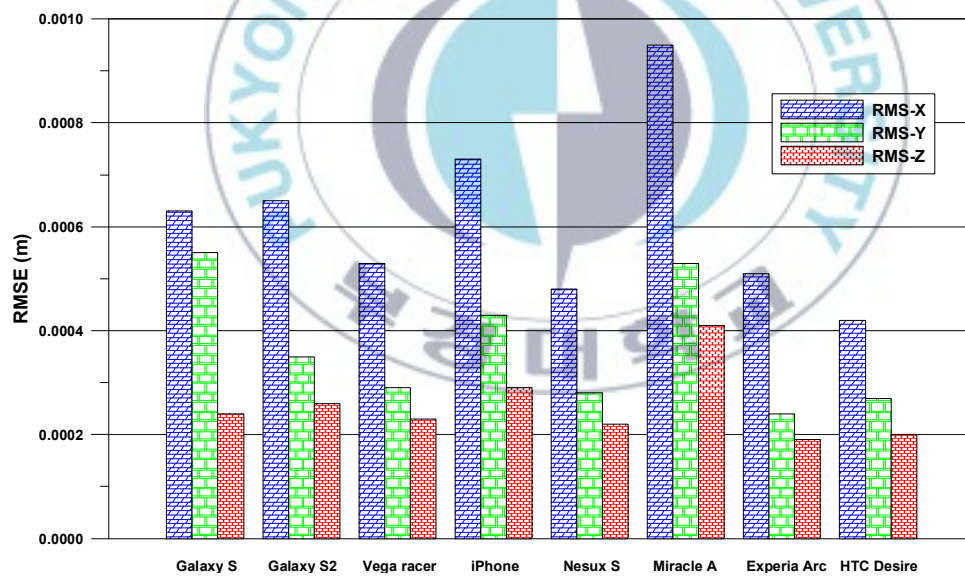


Fig. 4.2 광속조정에 의해 계산된 대상물 좌표의 RMS 오차

Fig. 4.2에서 나타내어진 것처럼 각 카메라별 광속조정법에 의해 번들 조정 후 얻어진 RMS 오차값을 비교해 보면 모든 경우에 1 mm 이내의 RMS 오차값을 나타냈다. 그리고 각각의 카메라의 RMS 오차값을 비교해 보면 Miracle A가 x,y,z 방향 모두 다른 핸드폰 기종에 비해 가장 큰 값을 나타내고 있다. RMS 오차값이 가장 크게 나타난 Miracle A는 다른 카메라들 보다 화소가 낮은 300만 화소였으며, 이를 통해서 카메라의 화소가 낮을수록 RMS 오차값이 크게 나타난다고 평가되어진다.

Fig. 4.3은 초점모드에 따른 RMS 오차값을 비교한 것으로 자동 초점 모드와 무한대 초점모드 둘 다 1mm이내의 값이 나왔으며, 각 방향별 RMS 오차값을 또한 비슷한 값을 나타내었다. 따라서 초점모드에 따른 영향은 극히 미소하다고 판단되어진다.

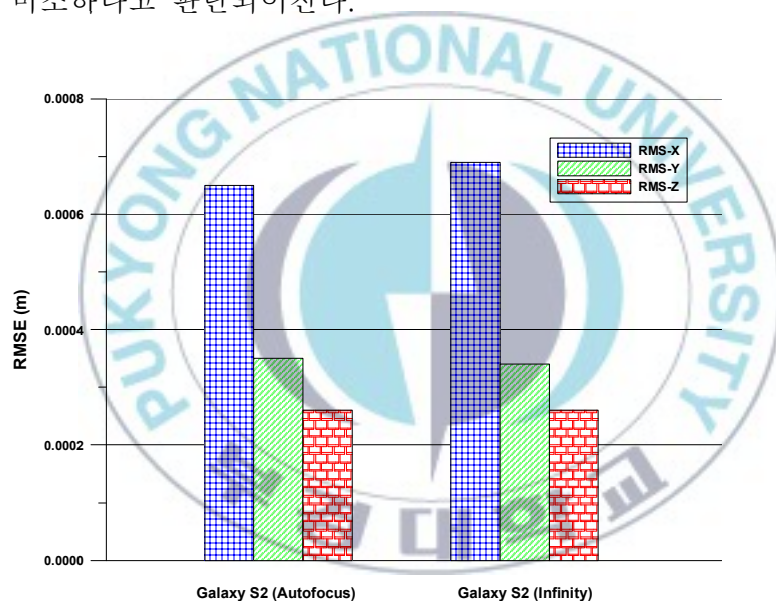


Fig. 4.3 초점모드에 따른 대상물 좌표의 RMS 오차

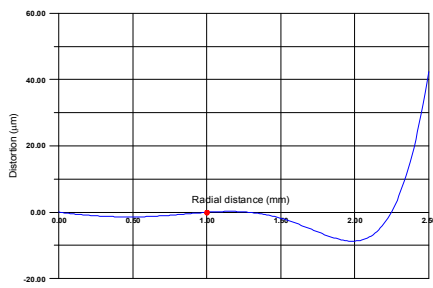
카메라 검정을 통하여 내부표정 요소인 초점거리, 주점위치, 방사왜곡 계수, 비대칭왜곡계수, 부가적 왜곡계수를 얻을 수 있었다. 그리고 스마트폰 카메라의 렌즈의 초점거리는 제품특성에 제시된 내용보다 약 0.1mm 크게 나타났음을 보였다. Table 4.2는 각 스마트폰의 카메라의 카메라 검

정에 의해 결정된 내부표정요소를 나타내고 있다.

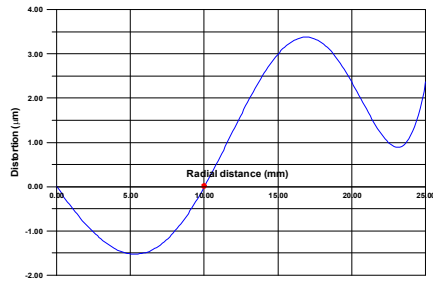
Table 4.2. 카메라 검정에 의한 내부표정 요소

		Galaxy S	Galaxy S2	Vega racer	iPhone
<i>Intrinsic parameters</i>					
Focal length (mm)	ck	-3.7732	-4.0649	-4.5508	-4.3395
Principal point (mm)	xH	-0.0023	-0.0774	-0.0827	0.041
	yH	-0.0873	0.0465	-0.0547	-0.0423
<i>Distortion parameters</i>					
Sym. Rad. dist.	A ₁	8.712E-03	6.063E-03	3.371E-03	5.890E-03
	A ₂	-4.479E-03	-1.753E-03	-2.249E-03	-4.051E-04
	A ₃	5.828E-04	1.474E-04	2.269E-04	-1.385E-04
Dec. dist.	B ₁	-4.023E-05	8.301E-04	8.871E-05	6.197E-04
	B ₂	1.001E-05	-8.301E-05	1.834E-04	-4.244E-06
Affinity	C ₁	1.119E-03	1.006E-03	5.232E-04	-1.650E-03
	C ₂	5.747E-04	-8.486E-04	-1.809E-03	2.056E-03
		Nesux S	Miracle A	Experia Arc	HTC Desire
<i>Intrinsic parameters</i>					
Focal length (mm)	ck	-3.4494	-3.4377	-5.0699	-4.9669
Principal point (mm)	xH	0.0127	0.0233	-0.0262	-0.0037
	yH	0.0305	-0.0293	0.0248	-0.0164
<i>Distortion parameters</i>					
Sym. Rad. dist.	A ₁	1.983E-02	1.507E-02	2.764E-03	4.480E-03
	A ₂	-8.901E-03	-5.065E-03	-6.767E-04	-1.281E-03
	A ₃	1.326E-03	4.929E-04	4.872E-05	8.665E-05
Dec. dist.	B ₁	3.701E-04	4.749E-04	5.342E-04	-2.338E-05
	B ₂	-3.086E-04	-3.141E-04	2.254E-04	6.729E-05
Affinity	C ₁	-6.806E-04	1.133E-03	1.318E-03	2.288E-03
	C ₂	-1.068E-03	-2.231E-03	1.589E-03	-9.963E-04

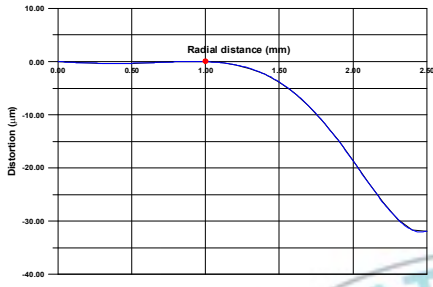
Fig 4.4는 각 스마트폰 카메라에 대한 카메라 검정 결과를 바탕으로 방사 왜곡 곡선을 나타낸 것이다. 모든 스마트폰 카메라에서 반경에 따른 방사 왜곡량이 30 μm 이내로 나타났다.



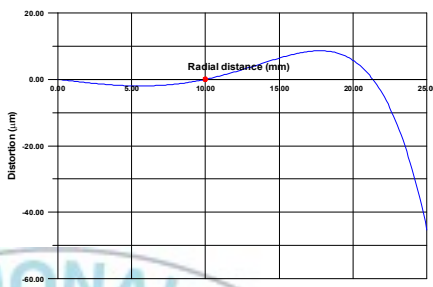
(a)



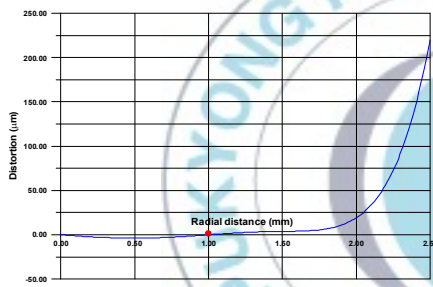
(b)



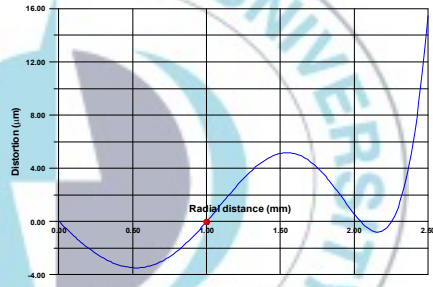
(c)



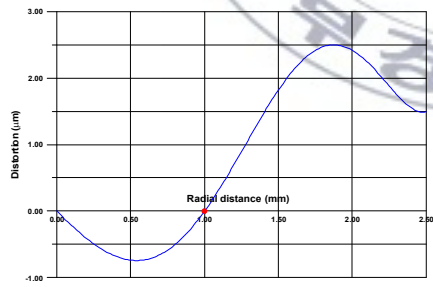
(d)



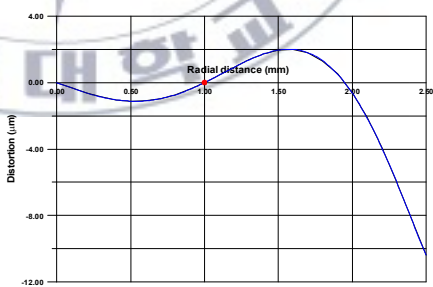
(e)



(f)



(g)



(h)

Fig 4.4 스마트폰 카메라 렌즈의 방사 왜곡 곡선 : (a) Galaxy S (b) Galaxy S2 (c) Vega racer (d) iPhone (e) Nesux S (f) Miracle A (g) Experia Arc (h) HTC Desire

또한 초점모드에 따른 방사왜곡 곡선이 Fig. 4.5와 같이 나타나있듯이 무한대 초점모드인 Galaxy S2_infinity에 대한 왜곡 곡선의 패턴이 자동 초점모드인 Galaxy S2와 거의 유사하며, Table 4.3의 내부표정요소에서 초점모드에 따른 초점거리를 비교해 볼 때 초점거리는 4.0649mm에서 4.0752mm로 0.0103mm의 변화가 발생하였다. 또한, 두 초점모드에 따른 표준편차를 나타낸 Table 4.4와 Fig. 4.6에서 알 수 있듯이 두 초점모드에 따른 표준편차가 극히 미소한 것으로 보아 초점모드에 따른 초점거리의 변화는 극히 미소한 것으로 판단되어진다.

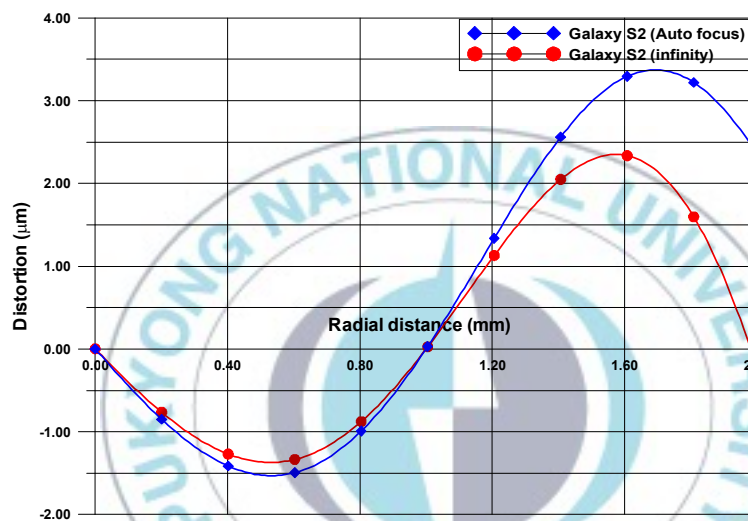


Fig 4.5 초점모드에 따른 방사 왜곡 곡선

Table 4.3 초점모드에 따른 내부표정 요소

		Auto focus	Infinity	Difference
<i>Intrinsic parameters</i>				
Focal length (mm)	ck	-4.0649	-4.0752	
Principal point (mm)	xH	-0.0774	-0.0919	
	yH	0.0465	0.0287	
<i>Distortion parameters</i>				
Sym. Rad. dist.	A ₁	6.063E-03	5.556E-03	
	A ₂	-1.753E-03	-1.670E-03	
	A ₃	1.474E-04	1.313E-04	
Dec. dist.	B ₁	8.301E-04	5.040E-04	
	B ₂	-8.301E-05	-6.510E-04	
Affinity	C ₁	1.006E-03	2.014E-03	
	C ₂	-8.486E-04	-1.832E-03	

Table 4.4 초점 모드에 따른 표준편차

	Auto focus			Infinity		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Max.	0.004	0.002	0.001	0.003	0.002	0.003
Min.	-0.011	-0.002	-0.001	-0.010	-0.003	-0.002
Mean.	-0.003	0.001	0.000	-0.003	-0.001	-0.001
Std.Dev.	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001

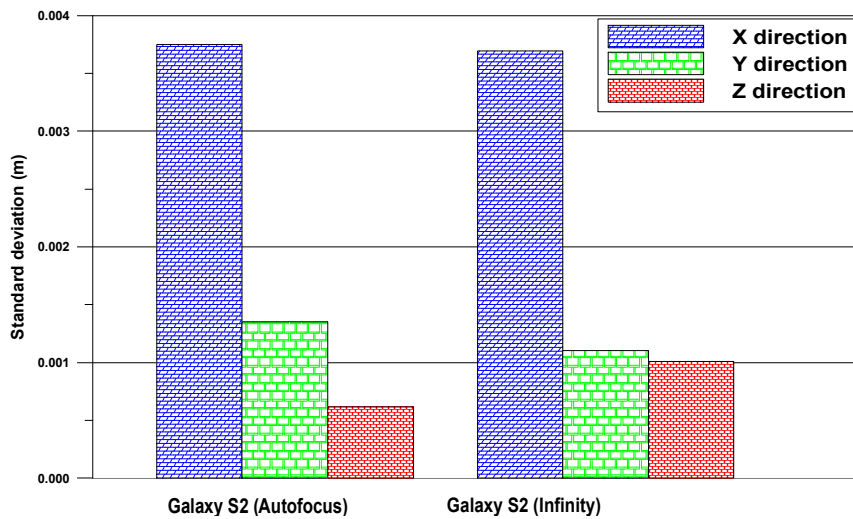


Fig 4.6 초점모드에 따른 표준편차

4.2 스마트폰 카메라의 정확도 분석

스마트폰 카메라의 정확도 평가를 위해 각각의 타킷을 Total station을 이용하여 3차원 좌표를 취득한 후 Total station의 3차원 좌표값을 최확값으로 하여 각 카메라의 광속조정을 통해 얻어진 영상 좌표값과의 비교를 통하여 정확도 평가를 실시하였다. Table 4.5는 각 카메라별 공통으로 사용되어진 44개의 검사점의 위치 성과표와 최확값으로 선정한 Total station의 위치 결정 결과이다.

스마트폰의 정확도 평가를 위하여 광속조정을 통해 얻어진 각 스마트폰 카메라영상의 3차원 좌표값들을 Total station에 의하여 얻어진 3차원 좌표값을 최확값으로 하여 비교·분석하였다. Table 4.6은 Total station에 대한 결과값을 최확값으로 한 각 영상들의 잔차 통계치를 나타내고 있다. 잔차 및 표준편차의 계산에 있어 타킷 1번, 30번, 37번은 기준점으로 활용하였기 때문에 표준편차 계산에서 제외하였으며, 타킷 29번과 33번은 과대 오차 발생으로 계산 시 제외 되었다.

Table 4.5 Total station과 스마트폰 카메라의 검사점 위치 결정 결과

No.	Total Staion			Galaxy S			Galaxy S2		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090
2	17.936	10.442	4.087	17.938	10.443	4.088	17.940	10.444	4.087
3	17.785	11.291	4.093	17.776	11.289	4.093	17.780	11.291	4.093
4	17.699	11.721	4.093	17.697	11.721	4.093	17.700	11.723	4.094
	⋮			⋮			⋮		
41	17.716	11.682	2.734	17.711	11.682	2.734	17.710	11.680	2.734
42	17.624	12.171	2.662	17.623	12.170	2.662	17.623	12.169	2.663
43	17.540	12.616	2.730	17.538	12.615	2.729	17.537	12.615	2.729
44	17.453	13.102	2.731	17.447	13.100	2.731	17.445	13.100	2.731
No.	Vega racer			iPhone			Nesux S		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090
2	17.939	10.442	4.087	17.940	10.446	4.088	17.939	10.442	4.087
3	17.778	11.288	4.093	17.779	11.294	4.093	17.778	11.288	4.092
4	17.698	11.720	4.093	17.698	11.725	4.093	17.698	11.720	4.092
	⋮			⋮			⋮		
41	17.711	11.680	2.734	17.709	11.685	2.734	17.711	11.681	2.733
42	17.622	12.170	2.662	17.621	12.174	2.662	17.623	12.170	2.661
43	17.536	12.616	2.729	17.536	12.618	2.730	17.538	12.615	2.729
44	17.445	13.101	2.731	17.444	13.101	2.732	17.446	13.101	2.731
No.	Miracle A			Experia Arc			HTC Desire		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090	18.025	9.978	4.090
2	17.936	10.442	4.087	17.937	10.444	4.088	17.939	10.442	4.088
3	17.778	11.290	4.093	17.776	11.292	4.093	17.776	11.287	4.093
4	17.697	11.722	4.094	17.697	11.723	4.093	17.696	11.719	4.094
	⋮			⋮			⋮		
41	17.711	11.681	2.734	17.710	11.683	2.734	17.711	11.679	2.734
42	17.623	12.170	2.662	17.622	12.172	2.662	17.623	12.169	2.662
43	17.538	12.615	2.729	17.538	12.617	2.729	17.539	12.614	2.729
44	17.446	13.100	2.731	17.447	13.100	2.731	17.447	13.100	2.731

모든 스마트폰 카메라의 영상에 있어서 표준편차의 최대값은 각 방향 별로 ± 0.004 m, ± 0.001 m, ± 0.001 m이며, 표준편차의 최소값은 ± 0.003 m,

± 0.001 m, ± 0.001 m, 그리고 그 평균값은 ± 0.039 m, ± 0.001 m, ± 0.001 m로 나타났다. 이상과 같이 Z, Y방향에 비해 촬영거리 방향인 X축 방향으로 비교적 큰 오차가 발생했다.

Table 4.6 각 카메라별 검사점에 대한 잔차의 통계치 (단위 : m)

구 분	Galaxy S			Galaxy S2		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Max.	0.003	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001
Min.	-0.012	-0.002	-0.002	-0.011	-0.002	-0.001
Mean.	-0.004	0.000	0.000	-0.003	0.001	0.000
Std.Dev	± 0.004	± 0.001	± 0.001	± 0.004	± 0.001	± 0.001
구 분	Vega racer			iPhone		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Max.	0.004	0.002	0.003	0.004	0.004	0.001
Min.	-0.011	-0.004	-0.001	-0.011	-0.001	-0.002
Mean.	-0.003	-0.001	0.000	-0.003	0.002	0.000
Std.Dev	± 0.004	± 0.001	± 0.001	± 0.004	± 0.001	± 0.001
구 분	Nesux S			Miracle A		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Max.	0.004	0.001	0.001	0.003	0.002	0.003
Min.	-0.011	-0.003	-0.001	-0.011	-0.004	-0.001
Mean.	-0.003	-0.001	-0.001	-0.004	-0.001	0.000
Std.Dev	± 0.004	± 0.001	± 0.001	± 0.004	± 0.001	± 0.001
구 분	Experia Arc			HTC Desire		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Max.	0.002	0.003	0.001	0.003	0.000	0.003
Min.	-0.011	-0.002	-0.001	-0.011	-0.004	-0.001
Mean.	-0.004	0.001	0.000	-0.004	-0.002	0.000
Std.Dev	± 0.003	± 0.001	± 0.001	± 0.004	± 0.001	± 0.001

Fig 4.7은 각 스마트폰 카메라의 영상별 표준편차를 그래프로 나타낸 것이며, 각 방향별 표준편차의 패턴은 비슷하게 나타났으며, y, z축 방향에 비해 촬영 진행방향인 x축의 표준편차가 모든 스마트폰 카메라 영상에서 높게 나타났다는 것을 알 수 있었다.

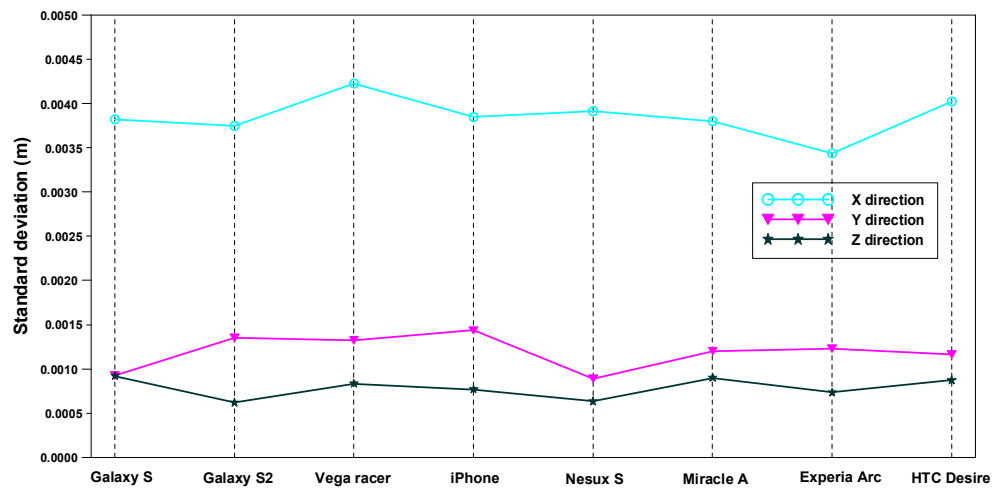


Fig. 4.7 스마트폰 카메라 영상별 표준편차

그리고 스마트폰 카메라와 같이 비측량용으로 제조된 카메라의 경우 저가의 렌즈 특성상 A_2 이후의 항의 고려 여부가 렌즈의 왜곡에 어떠한 영향을 미치는지 알 수가 없다. 따라서 본 연구에서 사용된 각 카메라별로 카메라의 검정에 의해 계산된 왜곡 계수 중 A_2 를 포함한 A_2 이후의 항을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 왜곡량의 변화 패턴을 분석하였다. Table 4.7은 방사왜곡계수 적용에 따른 변들 조정 후 각 방향별 RMS 값을 나타낸 것이다. Table 4.7을 분석한 결과 방사왜곡계수의 A_3 이후의 항들의 적용 유무에 따라서는 RMS 값이 미소하게 변화가 있지만, A_2 항과 A_3 항의 고려 유무에 따라 매우 큰 변화가 나타난다는 것을 알 수 있었다. 따라서 스마트폰 카메라와 같은 비측량용 카메라에는 방사왜곡계수의 A_3 까지는 반드시 고려해 주어야 된다고 판단되어진다.

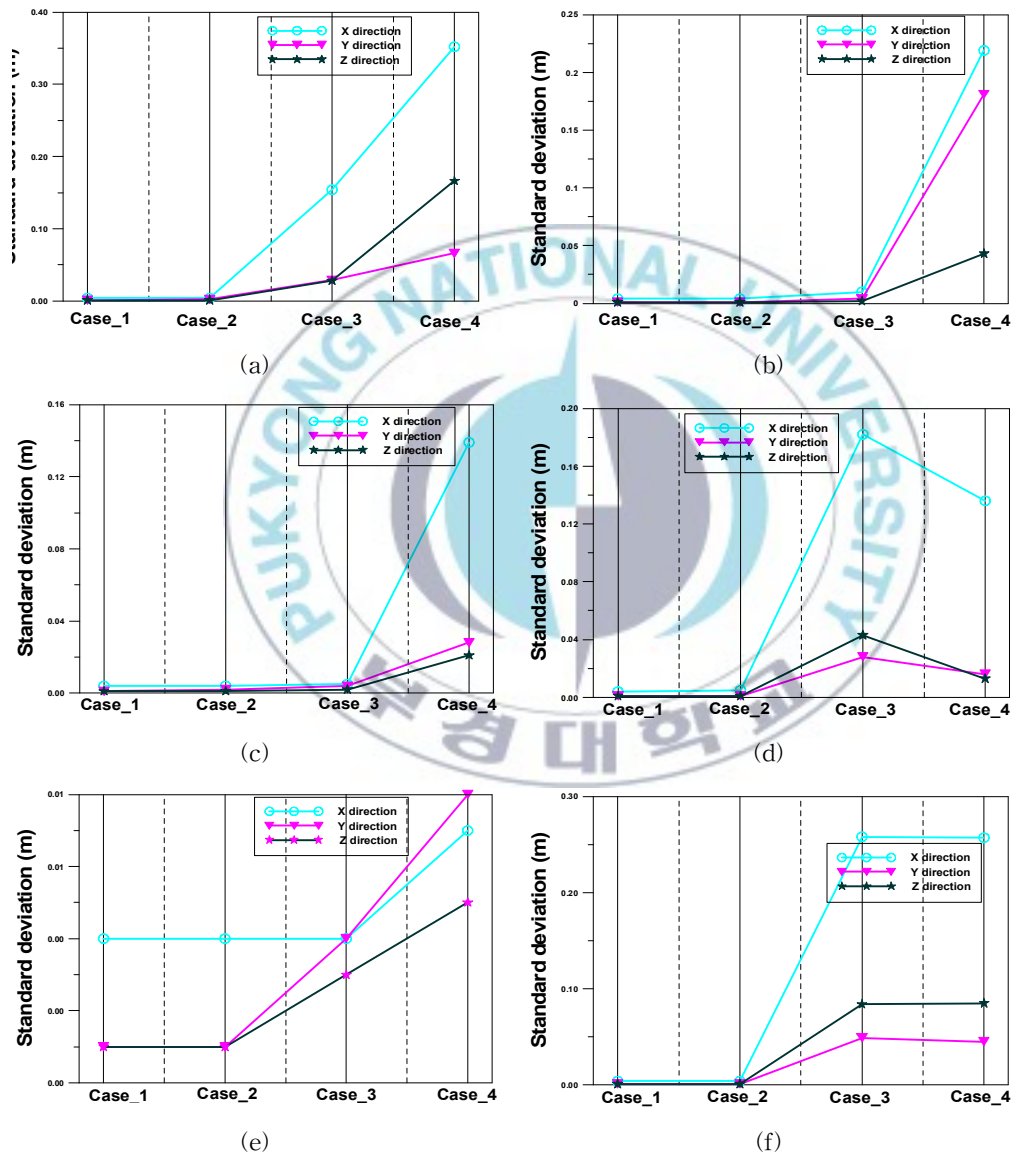
Table 4.7 왜곡계수 적용에 따른 번들조정 후 RMS (단위 : m)

구 분	방사왜곡계수 모두 고려			A1, A2, A3항만 고려		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Galaxy S	0.00063	0.00055	0.00024	0.00062	0.00055	0.00023
Galaxy S2	0.00065	0.00035	0.00026	0.00076	0.00037	0.00029
Vega racer	0.00053	0.00029	0.00023	0.00057	0.00029	0.00025
iPhone	0.00073	0.00043	0.00029	0.00080	0.00056	0.00031
Nesux S.	0.00048	0.00028	0.00022	0.00049	0.00026	0.00022
Miracle A	0.00095	0.00053	0.00041	0.00095	0.00046	0.00037
Experia Arc	0.00051	0.00024	0.00019	0.00052	0.00023	0.00020
HTC Desire	0.00042	0.00027	0.00020	0.00046	0.00024	0.00021
구 분	A1, A2 항만 고려			A1 항만 고려		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Galaxy S	0.00161	0.00116	0.00053	3.81249	0.70801	1.82581
Galaxy S2	6.08839	1.12193	4.17472	11.63405	2.16322	7.48780
Vega racer	9.25040	4.28976	3.88839	154.76410	4.49419	3.01112
iPhone	0.00162	0.00180	0.00057	5.99568	1.11514	1.98846
Nesux S.	2.63065	0.49455	1.88913	21.17068	9.4528	20.61380
Miracle A	0.00186	0.00080	0.00067	0.00337	0.00142	0.00107
Experia Arc	0.00101	0.00042	0.00035	43.50685	8.12289	1.87320
HTC Desire	4.32331	0.80329	1.85432	10.38178	1.92918	4.35232

Table 4.8 왜곡계수 적용에 따른 카메라별 검사점에 대한 표준편차 (단위 : m)

구 분	방사왜곡계수 모두 고려			A1, A2, A3항만 고려		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Galaxy S	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001
Galaxy S2	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.002	±0.001
Vega racer	±0.004	±0.001	±0.001	±0.005	±0.001	±0.001
iPhone	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.002	±0.001
Nesux S.	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001
Miracle A	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001
Experia Arc	±0.003	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001
HTC Desire	±0.004	±0.001	±0.001	±0.004	±0.001	±0.001
구 분	A1, A2 항만 고려			A1 항만 고려		
	v_x	v_y	v_z	v_x	v_y	v_z
Galaxy S	±0.010	±0.004	±0.002	±0.219	±0.181	±0.043
Galaxy S2	±0.157	±0.030	±0.028	±0.358	±0.067	±0.169
Vega racer	±0.182	±0.028	±0.043	±0.136	±0.016	±0.013
iPhone	±0.005	±0.004	±0.002	±0.139	±0.028	±0.021
Nesux S.	±0.258	±0.049	±0.084	±0.257	±0.045	±0.085
Miracle A	±0.004	±0.004	±0.003	±0.007	±0.008	±0.005
Experia Arc	±0.004	±0.002	±0.001	±0.020	±0.003	±0.001
HTC Desire	±0.176	±0.033	±0.035	±0.180	±0.034	±0.035

그리고 방사 왜곡 계수의 고려 유무에 따라 모든 계수가 적용된 경우를 Case_1, A_1, A_2, A_3 가 적용된 경우를 Case_2, A_1, A_2 만 적용된 경우를 Case_3, A_1 만 적용된 경우를 Case_4로 정하여 각 Case별 대상물 좌표값을 Tostal Station을 이용하여 얻어진 성과와 비교하여 잔차 통계치의 표준편차를 Fig. 4.8과 같이 나타내었다. Fig. 4.8를 분석한 결과 방사 왜곡 계수 적용 시 A_3 계수까지는 반드시 고려되어야 한다고 판단되어진다.



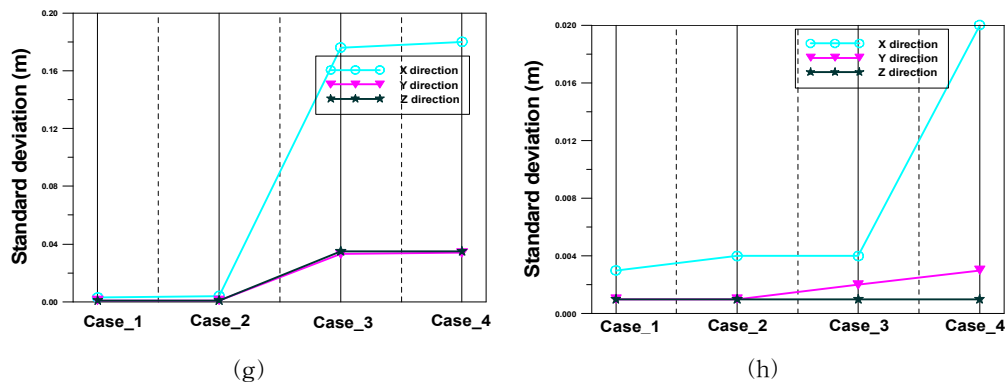


Fig 4.8 왜곡계수 적용에 따른 카메라별 검사점에 대한 표준편차 곡선 : (a) Galaxy S (b) Galaxy S2 (c) Vega racer (d) iPhone (e) Nesux S (f) Miracle A (g) Experia Arc (h) HTC Desire

4.3 고찰

본 연구에서는 스마트폰 영상의 활용 가능성을 평가하기 위해 스마트폰에 내장된 카메라의 정확도 평가를 수행하였다. 총 8대의 스마트폰 카메라를 이용하여 연구를 수행하였으며, 비측량용 카메라의 렌즈왜곡을 보정하기 위하여 자체검정법인 광속조정법을 수행하였고, 이는 대표적인 balance 방법인 CDW software에 의해 수행되어졌다.

그 결과 각각의 영상의 광속조정 후 RMS 오차값은 x,y,z 방향으로 최대 0.95mm, 0.53mm, 0.41mm으로 나타났으며, 이 최대값은 Miracle A에서 나타났다. Miracle A에 내장된 카메라의 화소가 본 연구에서 선정된 스마트폰 카메라 중 가장 낮은 화소인 300만 화소임을 고려 할 때 화소가 낮을수록 광속조정법에 의해 얻어진 RMS 오차값이 크게 타나난다고 판단되어 진다.

비측량용 카메라를 이용한 3차원 위치 결정에 관련한 이전의 연구에 따르면, Rieke-Zapp와 Nearing(2005), D'Amelio와 Brutto(2009)는 고해상도 카메라 검정에 0.2 pixel 이내의 RMS 오차가 나타난다는 것을 발표하

였고, Hinz et al., 2009; Akca et al., (2009)는 RMS 오차가 0.5 pixel 이내의 결과를 보고하였다. 특히, Akca et al. (2009)는 다양한 종류의 카메라 검정을 시도하였으며, 모바일 폰에 내장된 카메라의 정확도가 0.5 pixel 이내임을 밝혔다. 또한, Parian과 Gruen(2010), Lagüela 등(2011)은 다양한 카메라의 정확도 평가에 관련한 연구를 수행하여 RMS 오차가 준측량용 카메라의 경우 1 pixel 이내, 열화상 카메라와 파노라믹 카메라의 경우 1 pixel 이상으로 나타남을 발표했다.

따라서 본 연구에 사용된 스마트폰 카메라는 RMS 오차값이 모든 영상에 대하여 1mm이내의 값을 나타낸 것으로 볼 때 이에 관련한 최근 연구 결과에 상당하거나 그보다 우수한 결과를 나타냈다고 판단되어진다. Rieke-Zapp와 Nearing(2005), D'Amelio와 Brutto(2009)의 고해상도 카메라 검정에 0.2 pixel 이내의 RMS 오차가 나타난다는 연구 결과와 Hinz et al., 2009; Akca et al., (2009)의 RMS 오차가 0.5 pixel 이내의 결과를 나타낸 연구 결과를 참고할 때 우수한 결과를 보였다.

Akca et al. (2009)가 모바일 폰에 내장된 카메라의 정확도가 0.5 pixel 이내임을 밝힌 것과 Parian과 Gruen(2010), Lagüela 등(2011)이 다양한 카메라의 정확도 평가에 관련한 연구를 수행하여 RMS 오차가 준측량용 카메라의 경우 1 pixel 이내, 열화상 카메라와 파노라믹 카메라의 경우 1 pixel 이상으로 나타남을 증명한 연구를 참고할 때 본 연구에 사용된 스마트폰 카메라는 이에 관련한 최근 연구 결과에 상당하거나 그보다 우수한 결과를 나타냈다.

또한, 스마트폰에 내장된 카메라의 정확도를 평가하기 위해 Total station을 이용하여 3차원 위치결정을 실시하였고, 이 값을 최확값으로 하여 각 영상별 잔차 및 표준편차를 구하였다. 각 영상별 잔차는 모든 스마트폰 카메라의 영상에 있어서 표준편차의 최대값은 각 방향별로 ± 0.004 m, ± 0.001 m, ± 0.001 m이며, 표준편차의 최소값은 ± 0.003 m, ± 0.001 m,

$\pm 0.001\text{m}$, 그리고 그 평균값은 $\pm 0.039\text{ m}$, $\pm 0.001\text{ m}$, $\pm 0.001\text{m}$ 로 나타났다. 이상과 같이 Z, Y방향에 비해 촬영거리 방향인 X축 방향으로 비교적 큰 오차가 발생하였다.

마지막으로 비측량용 카메라의 렌즈왜곡에 가장 큰 영향을 주는 방사 왜곡계수의 고려 유·무에 따른 영향을 분석하였다. 각 렌즈별 방사 왜곡량은 왜곡량이 $30\text{ }\mu\text{m}$ 이내로 나타났다. 그리고 초점모드에 따른 초점거리의 변화는 0.0103mm 로 초점모드가 초점거리에 영향을 주는 것은 극히 미소하다고 판단되어진다.



5. 결론

본 연구에서는 최근 널리 보급되고 있는 스마트폰에 내장된 카메라를 수치사진측량에 활용 가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 스마트폰에 내장된 카메라로 획득한 영상을 이용하여 광속조정법에 의해 결정된 대상물의 변들조정 후 RMS 오차값은 x,y,z 방향별 최대값 $\pm 0.95\text{mm}$, $\pm 0.53\text{mm}$, $\pm 0.41\text{mm}$ 가 나타났으며, 각 영상 모두 변들조정 후 RMS 오차값이 $\pm 1\text{mm}$ 이내에 들어왔다. 이는 본 연구에 사용된 스마트폰 카메라로 획득한 영상 해석결과는 비측량용 카메라에 관련한 최근 연구 결과에 상당하거나 그보다 우수한 결과를 나타냈다.

둘째, 광속조정법에 의한 대상물 좌표 결정에 있어 렌즈 왜곡 계수의 고려 유무에 따른 광속조정법 계산 결과를 비교·분석한 결과 스마트폰 카메라의 경우에는 A_3 항 이후의 항의 고려 여부에 의한 왜곡 곡선의 큰 변화가 나타난다는 것을 판단 할 수 있었으며, 스마트폰 카메라의 왜곡보정 시에는 A_3 항까지는 반드시 고려해 주어야 한다는 판단을 할 수 있었다. 그리고 초점모드에 따른 초점거리의 변화는 0.0103mm 로 초점모드가 초점거리에 영향을 주는 것은 극히 미소하다고 판단되어진다.

셋째, 스마트폰에 내장된 카메라의 정확도를 평가하기 위해 Total station을 이용하여 3차원 위치결정을 하였고, 이 값을 최확값으로 하여 각 영상별 표주편차를 계산한 결과 $\pm 3.9\text{ mm}$, $\pm 1\text{ mm}$, $\pm 1\text{mm}$ 로 나타났다. 따라서 정밀도 4mm 이하의 위치결정(교통사고해석 등)에서는 휴대가 간편한 스마트폰 카메라를 이용하면 편리하고, 경제성이 있다.

넷째, 향후 수치사진측량에서의 3차원 위치결정에 있어 정확도 측면에서 스마트폰 카메라의 활용이 충분히 가능할 것으로 기대된다. 하지만 촬

영거리방향에 대한 오차를 줄이기 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.
그리고 향후 스마트폰 카메라의 화소가 더욱 더 높아지면 수치사진측량
분야에서 스마트폰 카메라의 활용도가 더 높아질 것으로 판단된다.



참 고 문 헌

- 강윤성, 2005, 디지털 영상을 이용한 철도선형정보 추출, 석사학위논문, 부경대학교 대학원.
- 김계동, 2008, 디지털 카메라를 이용한 사진기준점측량의 정확도 향상에 관한 연구, 석사학위논문, 경기대학교 산업정보대학원.
- 김성삼, 정상용, 박흥기, 유환희, 2003, 줌렌즈 CCD카메라를 이용한 3차원 복원 정확도 평가, **2003 공동 춘계학술대회 논문집**, 한국지형공간정보학회, pp.369-376.
- 김진수, 2003, 수치사진측량을 이용한 교통사고차량 변형해석, 석사학위논문, 부경대학교 대학원.
- 김형경, 2008, 디지털 카메라를 이용한 지상사진측량의 정확도 검증에 관한 연구, 석사학위논문, 강릉대학교 대학원.
- 남 신, 2004, 근접수치사진측량의 촬영위치에 따른 정밀도 해석, 석사학위논문, 부경대학교 대학원.
- 이진덕, 1996, 산업정밀측정에서 수치영상을 이용한 근접사진측량의 효율적 응용, **한국측량학회지**, 제14권, 제1호, pp.17-25.
- 이진덕, 1998, 고해상도의 스틸비디오 카메라를 이용한 수치근접사진측량 시스템의 실용성 평가, **대한토목학회논문집**, 제18권, 제Ⅲ-2호, pp.183-193.
- 이석균, 2005, 여러 가지 영상 형성 센서들의 내부표정에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 제25권, 제3D호, pp.503-508.
- 이종출, 근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치해석에 관한 연구, 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1989.
- 이진덕, 강준목, 다중근접사진측량에 의한 구조물 내부전면의 3차원 해석, **한국측지학회지**, 제11권, 제1호, pp. 7-8, 1993.
- 유환희, 정상용, 김성삼, 2003, 줌렌즈 CCD 카메라의 기하학적 검정 정확도 평가, **한국측량학회지**, 제21권, 제3호, pp.245-254.

- 정수, 2009, 비측량용 카메라를 이용한 3차원 형상 해석, **한국지형공간정보학회지**, 제17권, 제2호, pp.91-99
- 정성수, 허준, 우선규, 2008, 초점거리 변화에 따른 렌즈왜곡의 경험적 모델링, **한국측량학회지**, 제21권, 제3호, pp.93-100.
- 조원우, 2007, 디지털 카메라와 아날로그 카메라를 이용한 정사영상제작과 정확도 평가, 석사학위논문, 명지대학교 대학원.
- 하동수, 박성준, 2011, 스마트폰 기반의 사용자 이동상태 판별 알고리즘, **한국컴퓨터정보학회 논문집**, 제16권, 제3호, pp.167-174.
- Akca, D., Gruen, A., 2009. Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone and still video cameras, *The Photogrammetric Record*, 24(127), pp.217-245.
- Brown, D. C., Close-Range camera Calibration, *Photogrammetric Engineering*, Vol. 37, No. 8, August 1971, pp. 855-866
- Chandler, J.H., Fryer, J.G., Jack, A., 2005, Metric capabilities of low-cost digital cameras for close range surface measurement, *The Photogrammetric Record*, 20(109), pp.12-26.
- Chen, Y. S., Shih, S. W., Fuh, C. S., 2000, Camera Calibration with a motorized zoom lens, proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, IEEE, Barcelona, Vol. 4, pp. 495-498
- Clarke, T.A., Fryer, J.G., 1998, The development of camera calibration methods and models, *The Photogrammetric Record*, 16(91), pp.51-66.
- CITRIS, 2011, <http://ishakeberkeley.appspot.com>
- D'Amelio, S., Brutto, M.L., 2009, Close range photogrammetry for measurement of paintings surface deformations, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.XXXVIII-5/W1 Commission V-WG 4, 25-28 Feb, Trento, Italy, pp.1-6.

- Fraser, C. S., Al-Ajlouni, S., 2006, Zoom-dependent camera calibration in digital close-range photogrammetry, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.72, No.9, pp.1017-1026.
- Fraser, C. S., Variation of Distortion within the Photographic Field, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 58, No6 June 1992, pp. 851-855.
- Fryer, J. G., Brown, D. c., Lens distortion for Close-Range Photogrammetry, *Photogrammetric & Remote Sensing*, 52, 1997, pp. 149-159.
- Habib, A., Morgan, M., Automatic calibration of low-cost digital cameras, *Journal of Optical Engineering*, Vol.42, No.4, 2003, pp.948-955.
- Kenefick, J.F., Gyer, M.S., Harp, B.F., 1972, Analytical self-calibration, *Photogrammetric Engineering*, Vol.38, No.11, pp.1117-1126.
- KIWIPLE, 2010, <http://kiwiple.com/about/>
- Kraus K., 1993. *Photogrammetry Volume I*. Dümmler Verlag, Bonn., pp.277-279.
- Lagüela, S., Gonzalez-Jorge, H., Armesto, J., Arias, P., 2011, "Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements", *Infrared Physics & Technology*, 54, pp.92-99.
- Mobile Millennium Project, 2009, <http://traffic.berkeley.edu/>
- Pullivelli, A., 2003, *Low-cost digital cameras: Calibration, Stability analysis, and Applications*, Master's thesis, Calgary university.
- Peipe, J., Schneider. C., T., 1994, Performance of a PC Based Digital Photogrammetric Station , ISPRS Commission V Symposium, pp. 304-310
- Peipe, J., Schneider. C., T., 1995, High Resolution Still Video Camera for Industrial Photogrammetry *Photogrammetric Record*, 15(85), pp. 135-139.

- Rieke-Zapp, D.H., Nearing, M.A., 2005, "Digital close range photogrammetry for measurement of soil erosion", *The Photogrammetric Record*, 20(109), pp.69–87.
- Shortis. M. R., Burner. A. W., Snow. W. L., Goad. W. k., 1991, Calibration Tests of Industrial and Scientific CCD Cameras, First Australian Photogrammetric Conference. Vol.1, pp.6.
- Takeuchi, K, Kennelly, P.J., 2010, iSeismometer: A geoscientific iPhone application, *Computers & Geosciences*, 36, pp.573–575.
- Wolf, P.R., Dewitt, B.A., 2000, *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, McGraw-Hill, Boston, Massachusetts.
- Wilson, R. G., 1994, Modeling and Calibration of Automated Zoom Lens, PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh

