

## 정밀도로지도 제작을 위한 지상 MMS 측량과 항공사진측량 방법의 적용 가능성 분석

Analysis of Applicability of Land-based MMS Surveying and Aerial Photography Mapping for Precise Road Maps

---

저자 (Authors)	박찬혁, 최경아, 이임평 Park, Chan Hyeok, Choi, Kyoung Ah, Lee, Im Pyeong
출처 (Source)	<a href="#">한국지형공간정보학회지 26(1)</a> , 2018.3, 37-47(11 pages) <a href="#">Journal of Korean Society for Geospatial Information System 26(1)</a> , 2018.3, 37-47(11 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국지형공간정보학회</a> The Korean Society for Geospatial Information Science
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07407789">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07407789</a>
APA Style	박찬혁, 최경아, 이임평 (2018). 정밀도로지도 제작을 위한 지상 MMS 측량과 항공사진측량 방법의 적용 가능성 분석. 한국지형공간정보학회지, 26(1), 37-47
이용정보 (Accessed)	부경대학교 210.107.***.49 2020/07/27 15:52 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 정밀도로지도 제작을 위한 지상 MMS 측량과 항공사진측량 방법의 적용 가능성 분석

### Analysis of Applicability of Land-based MMS Surveying and Aerial Photography Mapping for Precise Road Maps

박찬혁\* · 최경아\*\* · 이임평\*\*\*

Park, Chan Hyeok · Choi, Kyoung Ah · Lee, Im Pyeong

#### 要 旨

디지털 지도를 제작하는 세계적인 기업 중심으로 자율주행자동차를 위한 정밀도로지도 제작이 본격화되었다. 현재 정밀도로지도는 지상 MMS 측량에 의해 제작되고 있으나, 비용과 효율 측면에서 한계가 있다. 이에 다양한 관측방법을 적용한 정밀도로지도의 제작 가능성을 검토하고자 한다. 본 연구는 지상 MMS 측량, 유인 항공사진측량, 무인 항공사진측량 방법으로 정밀도로지도 제작하여 그 정확도를 확인하였다. 정확도 검증 결과 도로의 선형객체에 대한 위치 정확도는 수평적으로  $\pm 10$  cm, 수직적으로  $\pm 20$  cm 이내로 확인되었다. 이는 국토지리정보원의 정밀도로지도 품질검사 심사 기준인  $\pm 25$  cm를 모두 만족하는 수준이었다. 정확도를 포함하여 각각 방법의 특징을 살펴보면, 최신 항공영상을 활용할 수 있는 대도시 지역에서 항공사진측량과 지상 MMS 측량을 병행하여 적용할 경우 효과적인 정밀도로지도 제작·갱신이 가능할 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 자율주행자동차, 정밀도로지도, 지상 MMS 측량, 항공사진측량, 무인기 사진측량

#### Abstract

Precise road map production has been initiated for autonomous driving service mainly by world-class digital mapping companies. Currently, precise maps are produced by utilizing a land-based MMS surveying method, but its limitations in technical and cost-benefit aspects are still apparent. This is a reason why experimental studies are necessary in order to establish a nationwide road network of precise maps and also to maintain them. In this study, we generated precision road maps using land-based MMS surveying and aerial photogrammetric mapping using both manned airplane and UAV. As a result of the accuracy verification, the overall position accuracy of linear objects on the roads was evaluated as  $\pm 10$  cm horizontally and  $\pm 20$  cm vertically, which satisfies the accuracy criterion of 25 cm required by the NGII(national geographic information institute). It is expected that the accuracy of the maps will be improved when combining the ground MMS surveying and the aerial photogrammetric mapping together. Especially, it would be useful in metropolitan areas where the latest aerial images are available.

**Keywords** : Autonomous Vehicle, Precise Road Map, Land-based MMS Survey, Aerial Photogrammetry, UAV Photogrammetry

## 1. 서 론

자율주행자동차의 측위와 상황인지를 위하여 정밀도로지도의 중요성이 높아지고 있다. 그에 따라 유럽 내

비게이션 전문 업체인 히어(Here)와 톰톰(TomTom)은 정밀도로지도에 해당하는 high definition map(HD Map)을 구축하고 있다(NGII, 2015). 최근에는 구글(Google), 애플(Apple), 마이크로소프트사(Microsoft)

Received: 2018.01.25, revised: 2018.03.06, accepted: 2018.03.15

\* 정회원 · 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 박사과정(Member, Ph. D. Student, Department of Geoinformatics, University of Seoul, [seoulgis@korea.com](mailto:seoulgis@korea.com))

\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 연구교수(Research Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, [shale@uos.ac.kr](mailto:shale@uos.ac.kr))

\*\*\* 교신저자 · 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, [ipllee@uos.ac.kr](mailto:ipllee@uos.ac.kr))

와 같은 기업들도 정밀도로지도를 중심으로 자율주행 자동차의 상용화를 위해 경쟁하고, 우리나라와 일본에서는 국가 주도적으로 민간 기업과 함께 협력할 수 있도록 정밀도로지도를 제작하고 있다(NGII, 2016; Seo, 2017).

국내 정밀도로지도는 국토지리정보원과 현대 엠엔소프트를 중심으로 지상 mobile mapping system(MMS) 측량에 의해서 구축되고 있다. 지상 MMS 측량이란 지상용 이동체에 센서를 탑재하여 지정된 경로 따라 주행하고, 취득한 센서 데이터를 처리하여 주변 대상물의 위치와 형상을 결정하는 방법이다. MMS 장비의 주요 구성요소는 항법 센서에 해당하는 global navigation satellite system(GNSS), inertial measurement unit(IMU), distance measurement instrument(DMI)와 원격탐측 센서에 해당하는 light detection and ranging(LiDAR), 디지털카메라로 구성된다. 지상 MMS 측량은 도로를 주행하면서 취득한 데이터를 처리하여 3차원 점군(point cloud)을 생성할 수 있다. 생성한 자료를 기반으로 도로의 정밀한 3D 수치도화가 가능하기 때문에 정밀도로지도의 제작방법으로 이용되어 왔다(NGII, 2015; NGII, 2016).

국토지리정보원에서는 지상 MMS 측량으로 정밀도로지도를 제작할 수 있는 기반을 마련하기 위해 작업규정과 표준품셈에 대한 제도를 개선하였다(NGII, 2010). 또한 정밀도로지도의 구성요소, 데이터 모델과 정확도 기준을 정립하였고, 최적의 정밀도로지도 제작 방법으로 지상 MMS 측량을 제시하였다(NGII, 2015). 최근에는 정밀도로지도의 기술적·제도적 개선사항들을 도출하기 위한 연구를 수행하였다(NGII, 2016).

국토지리정보원은 이러한 연구 결과로부터 ‘정밀도로지도 제작 작업규정’을 제정하여 지상 MMS 측량에 의해 정밀도로지도를 제작하고 있지만(NGII, 2015), 이러한 방법으로 전국 정밀도로지도를 구축할 경우 비용과 효율 측면에서 한계가 예측된다. 이에 보다 경제적으로 정밀도로지도를 구축하기 위하여 항공사진측량의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

항공사진측량은 지금까지 도로정보를 추출하기 위해 다양한 방법들이 연구되었다. 항공영상을 분할하여 도로의 경계선을 자동으로 생성하는 연구가 시도되었고(Barzohar and Cooper, 1996), 고정밀 항공영상 기반에서 경로 안내 시스템에 적용할 수 있도록 도로와 차선을 자동으로 추출하기 위한 연구가 수행되어 왔다(Pink and Stiller, 2010). 또한, 저고도에서 무인기로 취득한 영상을 기반으로 약 15 cm 이내의 차선을 추출하여 소규모 지역에 대한 정밀도로지도의 제작 가능성

을 확인할 수 있었다(Park et al., 2016).

우리나라의 경우 서울특별시를 포함한 부산·인천·대구·대전·광주·울산광역시, 수원·성남·부천·안양시와 같은 대도시 지역에서는 고해상도 항공영상을 매년 취득하여 항공사진 판독과 영상지도를 제작하고 있다. 최근에는 소규모 영역에 대해 경제적으로 고해상도 항공영상을 취득할 수 있는 무인 항공사진측량이 대두되고 있다. 이렇게 무상 또는 경제적으로 취득할 수 있는 항공영상을 활용하여 정밀도로지도를 제작·갱신할 수 있다면 현재의 지상 MMS 측량을 보완할 수 있을 것이다.

정밀도로지도 기반에서 자율주행자동차의 상용화를 위해서는 모든 도로망에 대하여 정밀도로지도 구축이 필수적이다. 도시별 도로망을 형성할 수 있도록 효율적인 정밀도로지도의 구축 방법에 대한 모색이 요구된다. 본 연구는 효과적으로 정밀도로지도를 제작하기 위해 인천광역시에서 유인 항공사진측량으로 매년 영상을 취득하는 지역과 강화도 북단의 접경지역과 같이 유인 항공기 접근이 불가능하여 무인 항공사진측량이 필요한 지역을 구분하여 실험지역을 선정하였다. 이에, 두 지역을 대상으로 지상 MMS 측량과 유인 또는 무인 항공사진측량으로 정밀도로지도를 각각 제작하고, 정확도 검증을 통해 관측방법에 따른 적용 가능성을 확인하고자 한다. 또한 각 관측방법의 특성과 한계를 비교 분석하여 효과적인 정밀도로지도 제작 방안을 도출하고자 한다.

## 2. 자율주행용 정밀도로지도 현황

자율주행자동차를 위한 정밀도로지도는 각종 센서와 측량기술을 이용하여 제작되고 있다. 이러한 자율주행 자동차는 차량 스스로 운전자 없이 목적지까지 안전하게 도달할 수 있어야 한다(Jeong, 2014). 현재 고속도로의 자동 주행과 주차를 위한 자동 기능은 구현되었으며, 모든 상황에서 자율주행이 가능하도록 기술을 발전시키고 있다(Kolski et al., 2006). 자율주행자동차의 상용화를 실현하기 위하여 정확한 차선정보와 자동차 운행에 필요한 각종 신호, 표지·지면정보, 도로 운행정보를 제공하는 정확도가 높은 3차원 형태의 도로 지도가 필요하다(NGII, 2015). 도로 지도는 과거 ‘내비게이션용 지도’에서부터 ‘ADAS Map’, ‘HD Map’, ‘Dynamic Map’ ‘local dynamic map(LDM)’ 등으로 서비스 목적에 맞게 진화되고 있다.

과거 내비게이션 Map은 평면적인 도로정보를 이용하였다면, ADAS Map은 도로의 곡률과 경사도 정보를

기반으로 운전자의 안전과 편리성을 향상시킬 수 있었다(HMG, 2017). HD Map은 정밀한 자율주행 목적으로 도로의 각종 차선과 교통안내표지, 신호기, 노면 마크 등의 시설정보까지 포함하고 있는 3차원 지도이다. ADAS Map이 주로 도로 단위로 제작되었다면, HD Map은 차선 단위로 정확하게 제작된다는 차이가 있다(HMG, 2017). HD Map은 실시간 정보를 반영하여 도심의 제약적인 환경에서도 자율주행자동차를 운행할 수 있도록 10~20 cm 수준의 정확도를 요구하고 있다(Jeong, 2017; Heiko and Hu, 2016).

Dynamic Map은 고속도로에서 자율주행자동차의 운행을 목적으로 제작한 디지털 지도이며, 일본 정부가 설립한 dynamic map planning(DMP) 회사에서 제작하고 있다(Seo, 2017). 최근에는 사고, 날씨, 공사, 결빙 등 교통 환경을 실시간으로 반영하여 동적정보를 융합한 LDM이 제작되고 있다(Jeong, 2017). LDM은 자동차가 주행하는 구간의 지형정보, 위치정보에 해당하는 정적정보와 상태정보, 교통정보에 해당하는 동적정보를 포함하고 있다. 동적정보는 ITS의 구성장치 간에 정해진 네트워크를 통해 생성되고 있다(Shimada et al., 2015).

국내의 국토지리정보원에서는 자율주행에 필요한 규제선, 도로시설, 표지시설 등을 3차원 형태로 표현한 전자지도를 정밀도로지도라고 정의하였다. 개념 측면에서는 HD Map과 비슷하지만 데이터 모델과 서비스 방식은 차이를 가지고 있다. 국토지리정보원에서 제시한 정밀도로지도의 정확도는 차로의 최소 여유 폭 및 차량 GNSS 오차와 같이 다양한 사항을 고려하여  $\pm 25$  cm 이내로 도출하였다(NGII, 2015). 정밀도로지도는 주로 차선, 도로시설, 표지시설의 세 가지 항목으로 구분하여 구축된다. 차선에는 규제선, 도로경계선, 정지

선, 차로 중심선이 포함되며, 도로시설에는 중앙 분리대, 터널, 교량, 지하도로가 포함된다. 표지시설로는 교통안전표지, 노면표지, 신호기가 해당된다. 스마트 자율협력주행 연구단에서는 요금소, 휴게소, 졸음쉼터와 같은 도로 주변 시설물을 추가 구축항목으로 제안하였다(NGII, 2016).

최근 자율주행자동차는 딥러닝과 인공지능 기술이 적용되어 급속하게 발전되고 있다(Jeong, 2017). 기존의 정밀도로지도는 후처리 방식으로 고가의 센서를 차량에 탑재하여 제작하였지만, 최근에는 자율주행자동차에 탑재된 센서로부터 취득되는 데이터에 인공지능 기술을 적용하여 실시간으로 도로 상의 다이내믹한 정보를 제공할 수 있게 되었다. 향후 빅데이터를 활용한 인공지능 기술은 도로의 다양한 환경정보를 실시간으로 제공하는 클라우드 지도 기반에서 자율주행자동차의 핵심 기술이 될 것으로 기대된다.

### 3. 데이터 취득 및 처리

최근 정밀도로지도는 고속도로와 같은 주요 도로와 여의도 같은 초고층 밀집지역을 대상으로 제작하였다. 이에 본 연구에서는 다른 지역 특성을 가지고 있는 인천광역시 강화도 강화군청 주변으로 선정하였다. 이 지역은 Fig. 1과 같이 도로노선이 정리되지 않은 구시가지 형태의 도로망으로 구성되었다.

실험지역[1]은 인천광역시 강화군청이 소재하는 강화도 북단의 국도 48번 도로 주변지역으로 유인 항공기의 접근이 불가능한 점경지역이므로 무인 항공사진 측량으로 영상을 취득하였다. 취득한 영상의 면적은 695,325  $\text{m}^2$ 이고, 지상 MMS 측량으로 관측한 도로의 연장은 2,269 m이다. 실험지역[2]은 인천광역시 강화

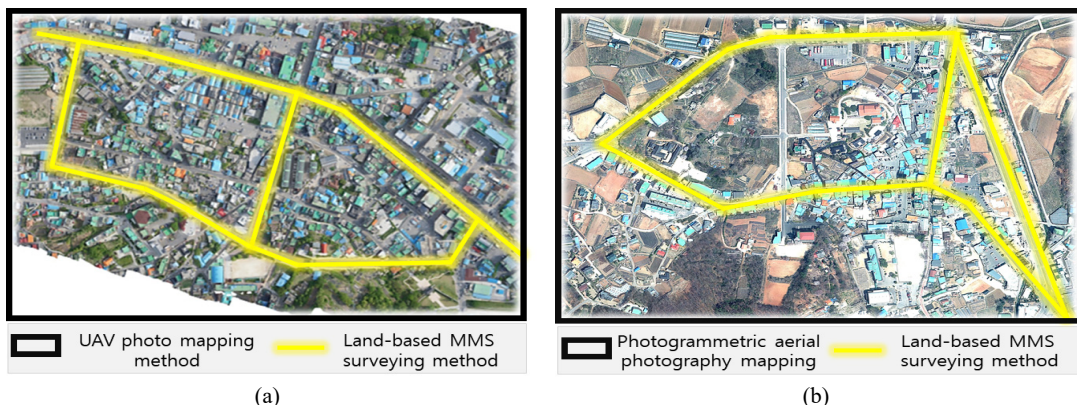


Figure 1. Research areas: (a) area[1], (b) area[2]

도 남단의 지방도 84번 도로 주변지역이다. 이 지역은 길상면사무소 주변으로 복잡하지 않은 도로망을 형성하고 있고, 유인항공사진측량이 가능한 지역이므로 기존에 취득한 영상을 활용하였다. 본 연구에서 활용한 영상의 면적은 558,566  $\text{m}^2$ 이고, 지상 MMS 측량으로 관측한 도로의 연장은 2,451 m이다.

### 3.1 지상 MMS 측량

지상 MMS 측량은 Fig. 2와 같이 LEICA Pegasus II 장비를 이용하여 점군 자료와 영상정보를 취득하였다. 본 장비는 LiDAR, 디지털카메라, GNSS, INS와 차량 주행거리 센서(distance measuring instrument, DMI)의 중앙 제어 장비 등으로 구성되었다. LEICA Pegasus II의 성능에 대한 제원정보는 Table 1과 같다.

4차선 이상의 주요 도로에서는 차량을 왕복 노선으로 운행하여 공백지역을 최소화하였다. GNSS 자료의 수신 간격은 1초 이하로 유지하였고, 개활지에서는 5개 이상의 위성 신호를 수신 받아 position dilution of precision(PDOP)의 수치를 3.5 이하로 유지하였다. 기선 해석을 통해 산출된 고정밀 3차원 주행경로(smoothed best estimate of trajectory, SBET) 데이터와 IMU 데이터를 LiDAR 데이터와 통합하여 최종적으로 LAS 파일 형태의 3차원 점군 자료를 생성하였다.



Figure 2. Land-based MMS vehicle and sensor: (a) Land-based MMS vehicle, (b) LiDAR sensor

Table 1. Laser scanner specifications

LiDAR model	LEICA pegasus II
Rotation speed	200 Hz
Acquisition speed	1,000,000 point/sec
Measurement angle	360°
Range	119 m
Location accuracy	Within $\pm 5$ cm (Including GPS/IMU error)
Spatial resolution	5 cm (Speed of 36km/h)
Digital camera	CCD 8 pcs, 4M pixel

### 3.2 유인 항공사진측량

유인 항공사진측량을 목적으로 항공기 Cessna 208에 airborne digital sensor(ADS)80 디지털카메라와 GNSS와 INS를 탑재하여 약 10 cm 급의 ground sample distance(GSD)를 갖는 영상을 취득하였다. ADS80은 3-line 선형 charge coupled device(CCD)로 구성되어 수직, 전방과 후방의 영상을 동시에 획득한다. 한 라인에 해당하는 픽셀의 수는 12,000개이다. 촬영은 다음 Table 2와 같이 주요 고려사항에 따라 계획을 수립하여 영상을 취득하였다.

취득된 영상의 외부표정요소는 자동으로 추출한 접합점(automatic point matching, APM)과 지상기준점(ground control point, GCP)을 기준으로 항공삼각측량(aero-triangulation, AT)을 수행하여 결정하였다. 결정된 외부표정요소와 DEM을 이용하여 중심투영의 항공사진으로부터 정사보정하여 정사영상지도를 제작하였다. 정사보정에 사용된 DEM은 항공 LiDAR 측량을 통해 1 m급 격자간격으로 제작된 인천광역시 DEM을 이용하였다. 정사보정이 완료된 개별 정사영상으로부터 모자이크와 스트립별 색상보정을 통해 Fig. 3과 같이 정사영상지도를 제작하였다.

### 3.3 무인 항공사진측량

무인 항공사진측량에 사용된 드론은 Fig. 4와 같이 미국 Birds eye view aero사 제품의 FireFLY6 Pro survey이다. Pro survey는 고정익과 회전익의 하이브리

Table 2. Considerations for the acquirement of photogrammetric aerial photography

GSD	GSD 10 cm
Flight altitude	1,020 m
Flight height above the ground	20 m
Sidelap	45%~50%
Course interval	580 m~880 m
Number of the course	2 course

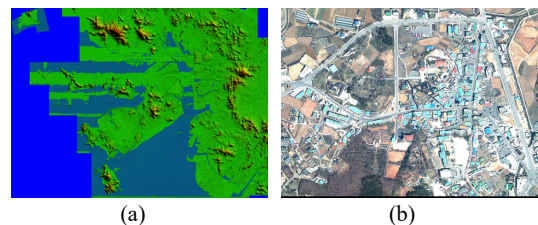


Figure 3. Generation of orthophoto: (a) DEM, (b) orthophoto



드형 무인기로서 수직 이착륙이 가능하고, 일정한 고도와 속도를 유지하면서 비행이 가능하다. 또한 사전에 지정된 경로에 따라 자동 비행이 가능하기 때문에 조정이 용이하다. FireFLY6 Pro Survey의 제원은 Table 3과 같다.

무인기에 설치된 카메라는 일반적인 촬영에 많이 사용되는 일본 SONY사의 알파 a6000(ILCE-6000)모델이다. 유효 화소수는 24.3MP로 고화질 영상 촬영이 가능하고 주요 제원은 Table 4와 같다.

촬영계획은 146 m의 비행고도에서 8 strip의 경로를 따라 영상을 취득할 수 있도록 설정하였다. 촬영 결과, GSD 2.62cm/pix의 총 227매 고해상도 영상을 취득하였고, 대상 영역의 면적은 695,325 m<sup>2</sup>이다. 취득된 영상은 상용 프로그램 PhotoScan Pro를 이용하여 처리하였다. 지상기준점을 기준으로 영상의 외부표정요소를 결정하여 DEM과 정사영상을 생성하였다. 이용된 지상기준점은 네트워크-real time kinematic(RTK) 측량으로 측정하였다. DEM은 지형 모델링을 통해 5 cm 격자 간격으로 생성하였다. 생성된 DEM을 기준으로 영상을



Figure 4. UAV(FireFLY6 Pro): (a) FireFLY6 Pro, (b) UAV takeoff preparation

Table 3. UAV(FireFLY6 Pro) specifications

Model	FireFLY6 Pro survey
Takeoff/landing method	Automatic vertical takeoff/landing
Flying method	Automatic flight by switching to fixed wing mode after takeoff
Size	1,524 mm × 950 mm
Battery	5,200 mAh × 4 pcs
Weight	4.1 kg
Operational frequency	433 MHz~2.4 GHz
Propeller	6 blades
Flying hours	45 minute
Mountable weight	1.1 kg
Sensor	GPS, Gyro, IMU, Digital camera
Source data lodging	Available to acquire exterior orientation parameter

Table 4. Digital camera(ILCE-6000) specifications

Model	ILCE-6000
Size	109.6 mm × 62.8 mm × 35.7 mm
Weight	224 g
Focal length	20 mm
Image sensor type	APS-C, ExmorAPS HD CMOS
Size of sensor	23.5 mm × 15.6 mm
Pixel	24.7 megapixel
Image screen ratio	3 : 2
Storage format	Image : JPEG, RAW / Video : XAVCS
Storing medium	SD Memorycard 16 GB

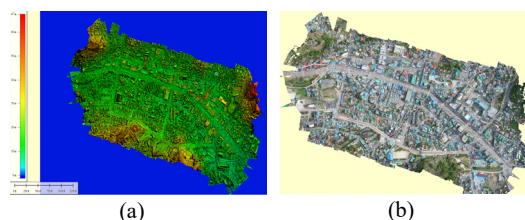


Figure 5. UAV photo mapping data: (a) DEM, (b) orthophoto

기하보정하여 GSD 3 cm 급의 정사영상을 생성하였다. 무인 항공사진측량으로 생성된 DEM과 정사영상지도는 Fig. 5와 같다.

## 4. 정밀도로지도 제작 및 평가

### 4.1 정밀도로지도 제작

본 연구의 정밀도로지도는 Ver 1.0과 Ver 2.0으로 구분하여 제작하였다. Ver 1.0은 앞서 언급된 세 가지 수단으로 취득된 자료로부터 각종 선형과 점형객체를 수치도화하여 제작한 초기 정밀도로지도 형식의 결과이며, Ver 2.0은 항공사진측량 방법과 지상 MMS 측량을 서로 병행하여 국토지리정보원의 데이터 모델과 동일하게 제작한 위상구조화 형식의 결과이다.

정밀도로지도 Ver 1.0은 Table 5와 같이 취득 방법별로 생성된 자료기반에서 3D 또는 2D 선형으로 수치도화하여 객체를 추출하였다. 지상 MMS 측량과 유인 항공사진측량 입체관측 방법에서는 3D 형태로 직접 수치도화하고, 정사영상을 이용한 방법에서는 2D 형태로 수치도화한 후 3D 형태로 변환하여 Table 5와 같이 정밀도로지도를 제작하였다. 선형 변환에 사용한 DEM은 실험지역[1]의 경우 무인 항공사진측량으로 생성한

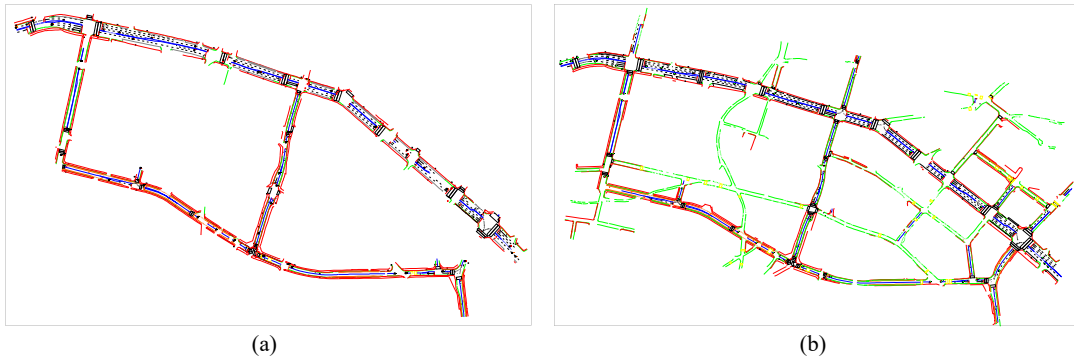


Figure 6. Research area[1] precise map Ver 1.0: (a) land-based MMS surveying, (b) UAV photo mapping



Figure 7. Research area[2] precise road map Ver 1.0: (a) land-based MMS surveying, (b) three-dimensional observation of aerial photography, (c) orthophotograph of aerial photography

DEM을 이용하고, 실험지역[2]의 경우 항공 LiDAR 측량으로 제작한 DEM을 이용하였다. 수치도화는 국토지리정보원에서 제시하는 수치도화 방법을 준용하여 차선표지, 도로시설, 표지시설의 구축 항목에 따라 레이어를 구분하여 작성하였다. 실험지역[1]과 [2]의 정밀도로지도 Ver 1.0의 제작 결과는 각각 Fig. 6, Fig. 7과 같고, 레이어별 색상은 별도로 정해진 사항이 아니므로 임의로 선정하여 표현하였다.

Table 5. Precise road map Ver 1.0 digital restitution method

Classification	Observation method	Processing data	Digitization type	Ver 1.0 type
Research area[1]	Land-based MMS surveying	Point cloud	3D	3D
	UAV photo mapping(GSD 3 cm)	Orthophoto	2D	3D
Research area[2]	Land-based MMS surveying	Point cloud	3D	3D
	Aerial photography mapping (GSD 10cm)	Stereo image	3D	3D
		Orthophoto	2D	3D

정밀도로지도 Ver 2.0은 실행에 맞게 수치도화한 점선 형태의 차선을 실선으로 구성하고, 도형자료와 속성 정보를 연결하여 Shape 파일 형식으로 작성하였다. 이때 도형자료는 항공사진측량과 지상 MMS 측량을 병행해서 다음과 같이 두 가지 방법으로 제작하였고, 이에 대한 결과는 Fig. 8과 같다.

첫 번째, Fig. 8(a)는 실험지역[1]을 대상으로 Fig. 6에서 제작한 정밀도로지도 Ver 1.0을 융합하여 최종적으로 완성한 Ver 2.0의 결과이다. 표지시설이 설치되어 있는 주요 도로는 지상 MMS 측량 결과를 이용하고, 기타 도로는 무인 항공사진측량의 결과를 이용하였다. 실험지역[1]의 도로 5,531 m에서 59%에 해당하는 3,262 m의 도로를 무인 항공사진측량으로 제작할 수 있었다.

두 번째, Fig. 8(b)는 실험지역[2]을 대상으로 Fig. 7에서 제작한 정밀도로지도 Ver 1.0을 융합하여 최종적으로 완성한 Ver 2.0의 결과이다. 도로지반에 위치한 차선표지 등의 선형객체는 유인 항공사진측량 입체관측 방법의 결과를 이용하고, 도로 공중에 위치한 표지시설의 점형객체는 지상 MMS 측량의 결과를 이용하였다. 실험지역[2]의 도로 3,657 m에서 선형객체 전체



Figure 8. Research area[1] precise map Ver 2.0: (a) land-based MMS surveying, (b) UAV photo mapping

를 항공사진측량 입체관측 방법으로 제작할 수 있었다.

#### 4.2 정확도 분석

정확도 분석은 도로지반에 위치한 선형객체와 도로 공중에 위치한 점형객체를 구분하여 평가하였다. 첫 번째, 도로지면에 위치한 선형객체의 정확도는 실험지역 [1]과 실험지역[2]를 대상으로 각각 28점의 검사점 (check point)을 Fig. 9와 같이 배치하여 분석하였다. 주로 차선의 중앙지점과 노면표시의 화살표 끝 지점, 횡단보도면의 모서리 지점으로 검사점의 위치를 선정 하였고, 네트워크-RTK 측량으로 3차원의 좌표를 결정 하였다.

정확도 검증은 MMS 측량의 점군 자료와 항공사진 측량의 영상 기반으로 각각 수치도화하여 생성한 정밀 도로지도 Ver 1.0의 결과에서 검사점 위치에 해당하는 선형 및 점형 객체의 3차원 좌표를 독취하고, 그 독취 한 좌표와 점사점의 좌표를 비교하여 평가하였다. 두 종류의 좌표값 차이(DX, DY, DH)에 대한 평균값과 root mean square error(RMSE), 최대값의 결과는 Table 6과 같다. 실험지역[1]에서 지상 MMS 측량으로 제작된 정밀도로지도의 검증 결과 RMSE는  $X=\pm 0.042$  m,  $Y=\pm 0.041$  m,  $H=\pm 0.089$  m로 확인되었고, 무인 항공사진측량으로 제작된 정밀도로지도의 검증 결과

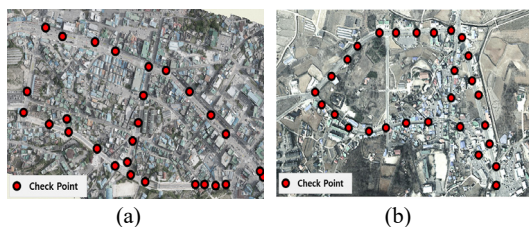


Figure 9. Checkpointing arrangement: (a) research area[1], (b) research area[2]

RMSE는  $X=\pm 0.059$  m,  $Y=\pm 0.032$  m,  $H=\pm 0.152$  m로 확인되었다. 실험지역[2]에서 지상 MMS 측량으로 제작된 정밀도로지도의 검증 결과 RMSE는  $X=\pm 0.046$  m,  $Y=\pm 0.040$  m,  $H=\pm 0.068$  m로 확인되었고, 유인 항공사진측량 입체관측 방법으로 제작된 정밀도로지도의 검증결과 RMSE는  $X=\pm 0.066$  m,  $Y=\pm 0.089$  m,  $H=\pm 0.111$  m로 확인되었다. 유인 항공사진측량의 정사영상 지도를 이용한 방법으로 제작된 정밀도로지도의 검증 결과 RMSE는  $X=\pm 0.067$  m,  $Y=\pm 0.093$  m,  $H=\pm 0.174$  m로 확인되었다. 이러한 결과로 본 연구에서 실험 제작한 도로 차선표지의 위치정보는 국토지리정보원에서 제시하는 정확도  $\pm 25$  cm 기준을 모두 만족하는 것을 확인하였다.

두 번째, 유인 항공사진측량 입체관측 방법에서 취득한 표시시설의 정확도는 실험지역[2]를 대상으로 30점의 비교점을 Fig. 10과 같이 선정하여 분석하였다. 비

Table 6. Results of the accuracy verification

Research area	Acquirement method	Classifications	DX (m)	DY (m)	DH (m)
Research area [1]	Land-based MMS surveying method	Avg.	0.060	0.018	-0.076
		Max	0.102	0.073	0.136
		RMSE	0.042	0.041	0.089
	UAV photo mapping method	Avg.	0.045	0.011	-0.033
		Max	0.098	0.060	0.249
		RMSE	0.059	0.032	0.152
Research area [2]	Land-based MMS surveying method	Avg.	0.010	0.001	-0.023
		Max	0.103	0.095	0.184
		RMSE	0.046	0.040	0.068
	Photogrammetric three-dimensional observation method	Avg.	0.058	-0.082	0.101
		Max	0.121	0.143	0.174
		RMSE	0.066	0.089	0.111
	Photogrammetric orthophotomap	Avg.	-0.044	-0.065	0.168
		Max	0.179	0.206	0.212
		RMSE	0.067	0.093	0.174



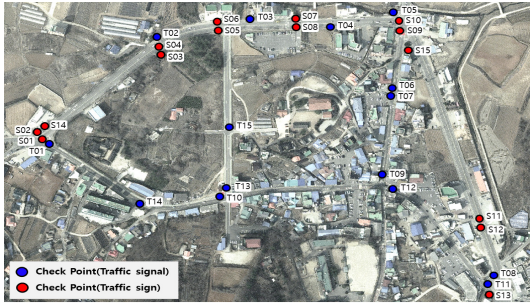


Figure 10. Checkpointing arrangement

교점은 지상 MMS 측량으로 취득한 표지시설의 중심점 위치를 기준값으로 이용하였다. 기준이 되는 비교점의 정확도는 Table 6과 같이 수평적으로 약  $\pm 5$  cm, 수직적으로 약  $\pm 7$  cm의 오차가 포함된 성과이다.

지상 MMS 측량에서 취득한 비교점과 유인 항공사진측량의 입체관측 방법에서 취득한 표지시설의 위치를 비교한 결과 Table 7과 같이 RMSE는  $X=\pm 0.082$  m,  $Y=\pm 0.083$  m,  $H=\pm 0.237$  m로 확인되었다.

지상 MMS 측량은 Fig. 11과 Fig. 12와 같이 표지시설의 중앙점에 대한 위치 관측이 가능하지만, 항공사진측량 방법은 공중에서 취득한 수직영상이기 때문에 표지시설의 중앙점 위치를 관측하기에는 한계가 있다. 비교점의 정확도 수준을 고려하여 정확도를 분석한 결과, 평면위치의 경우 정밀도로지도에서 요구하는 기준 이내로 정확도를 만족하였으나, 수직위치의 경우에는 기준 이상의 오차가 나타났다.

횡형식 신호기는 Fig. 12와 같이 입체관측 방법으로 위치를 결정할 때 평면과 수직위치 모두 기준 이내인 것을 확인할 수 있었다. 신호기의 세로 방향 규격이 일정하기 때문에 상단에서 중앙점까지 약 25 cm 하향해서 위치 관측을 할 수 있기 때문이다. 반면, 종형식 신호기와 교통안전표지는 Fig. 13 같이 수직위치의 오차가 기준 이상으로 나타났다. 이 두 종류의 시설물은 세로 방향 규격이 상단에서 중앙점까지 거리가 불규칙하



Figure 11. Traffic sign: (a) land-based MMS surveying, (b) photogrammetric three-dimensional observation method

Table 7. Results of the accuracy verification

CH-ID	DX (m)	DY (m)	DH (m)	Remark (Items)
T01	0.119	-0.028	0.391	Traffic sign
T02	-0.047	0.111	-0.300	
T03	0.020	0.035	0.203	
T04	0.008	-0.159	0.309	
T05	0.048	0.113	0.428	
T06	0.026	0.113	0.369	
T07	0.007	0.026	0.055	
T08	0.073	0.013	-0.318	
T09	-0.087	0.031	-0.369	
T10	0.105	0.136	0.299	
T11	-0.109	0.110	0.255	
T12	0.060	0.154	0.111	
T13	-0.032	-0.007	-0.099	
T14	-0.009	0.019	-0.005	Traffic signal
T15	0.089	-0.082	0.345	
S01	0.063	0.137	-0.118	
S02	0.004	0.004	-0.163	
S03	-0.033	0.043	-0.052	
S04	-0.156	-0.028	0.045	
S05	0.062	0.096	-0.073	
S06	-0.172	0.012	-0.153	
S07	0.018	0.096	-0.089	
S08	0.032	0.096	-0.127	
S09	-0.130	0.008	-0.079	
S10	-0.131	0.046	-0.162	
S11	0.059	0.090	-0.142	
S12	-0.096	-0.065	-0.128	
S13	-0.122	0.041	-0.120	
S14	-0.031	0.061	-0.312	
S15	-0.045	-0.063	0.332	
Avg.	-0.014	0.039	0.011	
Max	0.172	0.159	0.428	
RMSE	0.082	0.083	0.237	



Figure 12. Traffic signal: (a) land-based MMS surveying, (b) photogrammetric three-dimensional observation method

기 때문에 중앙점에 대한 위치 관측이 가능하지 않았다. Table 5에서 종형식 신호기에 해당하는 비교점

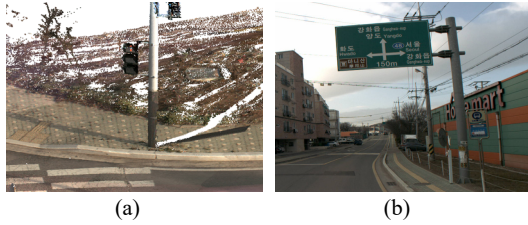


Figure 13. Horizontal type: (a) traffic signal, (b) traffic sign

S14, S15와 전체 교통안전표지는 기준 이상의 오차가 불규칙하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.3 적용 가능성 분석

지상 MMS 측량에 의한 정밀도로지도를 제작한 결과 국토지리정보원의 기본 항목에 대하여 전체적으로 수치도화가 가능한 것을 확인할 수 있었다. 다만, 지상 MMS 측량으로 자료를 취득할 경우 Fig. 14와 같이 도로에서 함께 주행하는 차량과 도로변에 주차된 차량으로 일부 구간에서 차선이 누락되었고, Fig. 15와 같이 폐색영역의 선형객체를 항공사진측량으로 보완하여 정밀도로지도의 품질을 향상시킬 수 있었다.

유인 항공사진측량 입체관측 방법에 의한 정밀도로지도의 결과에서는 다음 세 가지 형태의 시설물에 따라 제작 가능성을 판단할 수 있었다. 첫째, 도로지반에 위치하는 차선표지의 규제선, 도로경계선, 정지선, 차로중심선과 도로시설의 중앙분리대, 교량, 표지시설의 노면 표지에 대한 수치도화는 아무런 제약사항이 발생되지



Figure 14. Occlusion area acquired by land-based MMS surveying: (a) occlusion area by running vehicle, (b) occlusion area by parked vehicle

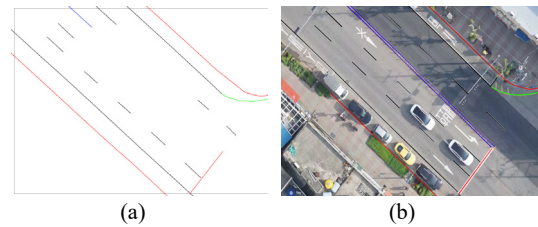


Figure 15. Linear supplementation of occlusion area by land-based MMS surveying: (a) geometric design of road in occlusion area by land-based MMS surveying, (b) linear supplementation of occlusion area by aerial photography mapping

않았다. 둘째, 표지시설과 같이 공중에 위치하는 점형객체의 경우 평면위치에 대한 관측은 가능하였지만, 정확한 수직위치의 결정은 어려운 것으로 확인하였다. 셋

Table 8. Applicability evaluation result by road map item

Items		Applicability evaluation result					
		Land-based MMS surveying		Aerial photography mapping (Stereo image)		Aerial photography mapping (Orthophoto)	
		Plane	Elevation	Plane	Elevation	Plane	Elevation
Lane marker	Regulatory line	○	○	○	○	○	○
	Traffic sign regulatory line	○	○	○	○	○	○
	Stop line	○	○	○	○	○	○
	Central line of lane	○	○	○	○	○	○
Road facilities	Road separator	○	○	○	○	○	○
	Tunnel	○	○	×	×	×	×
	Bridge	○	○	○	○	○	○
	Underpass	○	○	×	×	×	×
Traffic sign facility	Traffic sign	○	○	○	×	×	×
	Road mark	○	○	○	○	○	○
	Traffic signal	○	○	○	△	×	×

째, 항공사진측량의 경우 공중에서 수직영상을 취득하고 있기 때문에 터널과 지하차도 구간의 수지도화는 불가능한 것으로 판단하였다.

정사영상을 이용한 방법의 경우에서도 도로지반에 위치하는 선형객체의 경우는 수지도화 과정에서 아무런 제약사항이 발생되지 않았다. 다만, DEM의 높이정보를 이용하여 선형을 3D 형태로 변환하였기 때문에 DEM의 정확도 수준에 따라 수직위치 정확도 수준이 결정되었다. 또한, 정사영상 제작과정에서 인공지물은 항공사진에서 기본번위가 발생되기 때문에 표시시설의 중심점에 대한 위치결정이 불가능하였다.

위와 같은 분석 결과로부터 본 연구에서 수행한 방법에 따라 기본 항목별로 정밀도로지도 제작 가능성을 Table 8과 같이 도출하였다. Table 8에서 구축이 가능한 항목은 동그라미(○), 부분적으로 가능한 항목은 세모(△), 불가능한 항목은 가위(×) 표시로 나타내었다. 이러한 결과는 최신의 항공영상을 취득하고 있는 대도시 지역을 대상으로 지상 MMS 측량 방법과 항공사진 매핑 방법을 병행하여 적용할 경우 효과적인 정밀도로지도 제작과 차선변화 지역에 대한 신속한 갱신이 가능할 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 실험지역[1]에서 취득한 지상 MMS 측량 및 무인 항공사진측량과 실험지역[2]에서 취득한 지상 MMS 측량 및 유인 항공사진측량에서 취득한 자료를 처리하여 각각 정밀도로지도를 제작하고, 이에 대한 정확도를 분석하여 다음과 같은 결과를 확인하였다.

첫째, 실험지역[1]과 실험지역[2] 지역에서 각각 제작한 정밀도로지도의 정확도는 모두 평면적으로 약  $\pm 10$  cm, 수직적으로 약  $\pm 20$  cm 이내로 확인하였고, 이는 국토지리정보원에서 제시한 품질검사 심사 기준인  $\pm 25$  cm 이내의 정확도를 모두 만족하는 수준이었다.

둘째, 본 연구에서 적용한 장비의 성능과 해상도 수준으로 자료를 취득하여 적용한다면 지상 MMS 측량, 유인 항공사진측량, 무인 항공사진측량 모두 각종 차선 표시의 선형객체 구축이 가능한 것을 확인하였다. 다만, 항공사진측량 방법은 수직영상으로부터 위치를 결정하기 때문에 표시시설에 대한 정확한 위치관측이 어렵고, 터널과 지하차도 구간에 대한 정밀도로지도 제작이 불가능한 것으로 판단되었다.

셋째, 대도시 지역에서 매년 취득하고 있는 최신 항공영상을 활용하여 도로지반에 위치하는 각종 차선표

지의 선형을 구축하고, 폐색영역에 대한 선형을 보완하며, 변경된 차선의 수정·갱신이 가능할 것으로 사료된다. 이에, 대도시 지역을 대상으로 항공사진측량을 적용할 경우 도시 전체의 도로망을 형성할 수 있도록 효과적인 정밀도로지도의 제작·갱신이 가능할 것으로 기대된다. 다만, 항공사진측량으로 위치관측이 어려운 항목은 지상 MMS 측량을 적용하여 정밀도로지도를 보완해야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 군 지역의 도로 일부 영역을 대상으로 수행되었으나, 다양한 지역을 대상으로 연구가 추가된다면 효과적인 정밀도로지도 제작·갱신이 가능할 것으로 사료된다. 향후에는 이러한 관측자료 기반에서 정밀도로지도의 선형정보를 자동으로 추출하고, 지상 MMS 측량과 항공사진측량을 적용하여 도로 종류별 또는 시설물 객체별로 각종 상황에 따른 자료융합 방법을 제안하기 위해 연구를 수행하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2016R1A6A3A11936314)에 의해 수행되었습니다. 연구의 자료를 제공해 주신 인천광역시 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

## References

1. Barzohar, M. and Cooper, D. B., 1996, Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric-stochastic models and estimation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 7, pp. 707-721.
2. HMG Journal, 2017, How Does the Notice, Precision map of autonomous driving era change the world?, HMG Journal, <http://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=7663954&memberNo=10759501&vType=VERTICAL/>
3. Jeong, G. M., 2017, Autonomous driving technology out of the laboratory, TECH M, [http://techm.kr/bbs/board.php?bo\\_table=article&wr\\_id=3768/](http://techm.kr/bbs/board.php?bo_table=article&wr_id=3768/)
4. Jeong, I. W., 2014, A study on autonomous driving for unmanned vehicles, Master's thesis, Keimyung University, Korea, pp. 36-40.
5. Kolski, S., Ferguson, D., Bellino, M. and Siegwart, R., 2006, Autonomous driving in structured and unstructured environments, Proc. of Intelligent

- Vehicles Symposium, 2006 IEEE, Tokyo, Japan, pp. 558-563.
6. NGII, 2010, A study on improvement of vehicle-based multi-sensor surveying system, National Geographic Information Institute, Research report, NGII, Republic of Korea, pp. 141-143.
  7. NGII, 2015, A study on map construction with accuracy for supporting autonomous vehicles, National Geographic Information Institute, Research report, NGII, Republic of Korea, pp. 23-93.
  8. NGII, 2016, A study on the improvement of precision guidance for autonomous vehicles, National Geographic Information Institute, Research report, NGII, Republic of Korea, pp. 27-90.
  9. Park, C. H., Choi, K. A. and Lee, I. P., 2016, Lane extraction through UAV mapping and its accuracy assessment, Journal of the Korean Society of Surveying, Vol. 34, No. 1, pp. 11-19.
  10. Pink, O. and Stiller, C., 2010, Automated map generation from aerial images for precise vehicle localization, Proc. of 2010 13th International IEEE Conference on, ITSC, Funchal, Portugal, pp. 1517-1522.
  11. Seif, H. G. and Hu, X., 2016, "Autonomous driving in the iCity—HD maps as a key challenge of the automotive industry", Engineering, Vol. 2, No. 2. pp. 159-162.
  12. Seo, J. H., 2017, 'Auto motive power' co-operation of Japan and germany, The Korea Economic Daily, <http://news.hankyung.com/article/2017031909381?v=o/>
  13. Shimada H., Yamaguchi A., Takada H. and Sato K., 2015, Implementation and evaluation of local dynamic map in safety driving systems, Journal of Transportation Technologies, Vol. 2015 No. 5, pp. 102-112.