

고랭지 농업지역의 경지면적 산출을 위한 지상라이다 데이터와 지적성과의 실험적 비교 분석*

Experimental Comparative Analysis of Terrestrial Lidar Data and Cadastral Data for the Calculation of the Slope Area of Highland Agriculture Region

이호현** · 이정일*** · 오민균**** · 이경도*****
Lee, Ho-Hyun · Lee, Jung-Il · Oh, Min-Kyun · Lee, Kyung-Do

Abstract

The price of agricultural products has changed from year to year, the major cause of price fluctuation is the imbalance of supply and demand. Materials which are mainly used in korean cabbage production volume is the forecast model, using the cadastral result, slope calculation is impossible to achieved.

For this reason, this implies the drastic decrease of prices and the prediction of supply and demand of field crops that is cultivated in a highland slope area, this situation is being repeated. Therefore, the target area of this research is the slopes of high land, by using 2D and 3D Lidar data for the analysis of the cultivated area. Experiment was carried out in the same area to compare the data differences.

The rate of change in the area of slope is quantitatively increasing presented by the regression model. An alternative methodology that can improve the reliability of the calculated slope area using 2D is through cadastral map.

Keywords: High land, Agriculture region, Terrestrial lidar, Cadastral, Regression model

1. 서 론

1.1. 연구배경 및 목적

농산물의 가격은 해마다 변동이 있으며, 가격변화

는 수급불균형이 주요한 원인이다. 특히 채소류의 경우 수급불안정으로 인해 폭등과 폭락이 반복되는 상황이 매년 발생하고 있다. 따라서 재배 면적 및 출하시기 등의 완급 조절이 필요하며, 정확한 수급 예측과 합리적 영농 지도는 농가와 소비자 모두에게 긍정적 영

* 본 논문은 이호현, 이정일, 오민균, 이경도. 2016. 항공기 기반 채소 주산단지 광역 영상 취득 및 처리 기술 개발. PJ010897022016. 농촌진흥청 국립농업과학원의 일부 내용을 보완·발전시켜 작성하였음

** 신한항업 주임 Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD (First author: hoeho2@nate.com)

*** 신한항업 부장 Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD (Corresponding author: jji2000@hanmail.net)

**** 신한항업 사원 Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD

***** 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사 National Academy of Agricultural Science, RDA

향을 미칠 수 있다.

특히 채소류 중 배추는 초겨울에 수확하는 가을 재배가 일반적이지만 고랭지에서는 한여름에도 배추의 생장이 적절한 온도가 유지되어 재배가 가능하다. 고랭지 배추는 다른 배추에 비해 가격의 변동이 크게 나타나며, 이는 지형의 특수성과 기후인자의 변화로 인해 발생한다. 산간 경사지는 표고 900m 이상인 지역으로 백두대간을 따라 분포하고 있으며, 이 중 강원도 태백은 전체가 고랭지로 이루어져 배추농업이 발달해 있다.

배추 생산량 예측모델에서 주로 이용되는 자료는 경사 면적 산출이 불가능한 지적성적을 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 이런 이유로 고랭지 등의 경사지에서 재배되고 있는 밭작물의 수급 예측 정확도가 떨어져 가격 탄력성에 부정적 영향을 미치고 있다.

따라서 이 연구에서는 고랭지 등 경사지를 대상으로 2차원 자료인 지적 성과와 3차원 자료인 라이다 데이터를 분석하여 동일지역에서의 데이터 상호간 경사면적 차이를 비교해 보는 실험을 실시하였다. 이와 함께 경사도 증가에 따른 면적의 변화율을 계량적으로 분석해 낼 수 있는 예측 모델을 제시하여 지적도와 같은 2차원 평면성과에 의한 경사지 면적 산출의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 대안적 방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구동향

3차원 공간정보의 토지면적 산출 및 지적분야 적용에 관한 내용은 꾸준히 연구되고 있으며, 항공사진, 항공라이다 등 다양한 장비를 활용하여 새로운 방법의 적용성을 평가하고 있다.

성상민·이재원(2016)은 「무인 항공사진측량에 의한 농경지 필지 경계설정 정확도」에서 고정익 무인항공기로 GSD 4cm 촬영 영상을 이용하여 농경지의 필지 경계설정 정확도를 실험한 결과를 소개하였다.

최병길 외(2014)는 「3차원 지적 적용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구」에서 항공라이다측량 성과의 수직정확도 측면에서 신뢰할 수 있는 정도를 가지며, 지표면의 높이값을 반영한 3차원 지적의 경우 평면에 적용한 지적 경계에 비하여 경계의 왜곡을 최소화 할 수 있다는 것을 확인하였다.

최현·홍승현(2007)은 「항공사진을 이용한 수치표고모형 생성과 활용방안」에서 항공사진으로 생성된 수치표고모형을 생성하는 방법에 대해 연구를 하였으며, 생성된 수치표고모형은 실제 지형을 반영하고 있으나 편차는 다소 높게 나타나는 것으로 연구되었다.

강준묵 외(2007)는 「수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용한 지형경사도 비교 분석」에서 항공라이다를 통해 취득된 데이터와 1:1,000 수치지형도를 이용하여 DEM/DSM을 통한 경사도를 분석하여 LiDAR 데이터를 이용한 분석은 대상지역 및 주변의 표고를 1:1,000 수치지형도 보다 비교적 상세하게 표현할 수 있다는 실험 결과를 발표하였다.

항공기를 이용한 자료취득은 기상, 공역 등의 제약 사항이 발생하게 된다. 따라서 최근에는 지상에서 운용하는 지상라이다 측량기술이 대두되고 있다. 지상라이다는 레이저를 이용하여 짧은 시간에 많은 양의 데이터를 고정밀로 취득 가능하다는 장점을 가지고 있다.

이돈선·홍성언(2012)은 「3차원 지적 구축을 위한 지상레이저 측량의 정확도 분석」에서 건물 점군 데이터를 취득하여 정확도를 분석, 3차원 지적구축의 적용 가능성을 제시하고자 하였다. 12점의 검사점을 통해 토탈스테이션과 지상라이다 성과의 X, Y, Z값 RMSE를 비교하였으며, 경계점의 연결교차 성과 $\pm 10\text{cm}$ 기준으로 허용오차 이내의 성과임을 확인하였다.

김필준(2010)은 「지상라이다 장비를 이용한 실제 사면지형에 대한 변위 모니터링」에서 우면산 터널 갱구사면 지형을 지상라이다를 이용해 주기적 관측으

로 실제 사면지형에서 변위 모니터링을 수행하였다. 모니터링 결과 2~3cm 정도의 변화까지 파악 가능하였으며, 고정밀도의 사면지형 점군 데이터를 취득 할 수 있는 것을 확인하였다.

고랭지 농업은 대부분 경사지에서 행해지며, 지상 라이다는 넓은 지역에서 단시간에 많은 데이터 취득이 가능하다. 또한 지상라이다는 다른 장비에 비해 기상과 환경에 영향을 적게 받으며, 높은 정확도를 가진 형상의 취득이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 지상 라이다를 이용한 고랭지농업 지역의 경사면적을 산출하여 지적도와 비교 분석하는 연구를 진행하였다.

1.3. 연구방법 및 범위

이 연구에서는 경사지 지적 성과의 면적과 지상라이다를 이용한 3차원의 경사면적을 추출하여 분석하고 경작 면적 차이를 비교하는 실험을 실시하였다. 이와 함께 경사도 증가에 따른 면적의 변화율을 예측 할 수 있는 계량적 모델식을 제시하였다. Figure 1은 연구의 구체적인 흐름을 나타낸다.

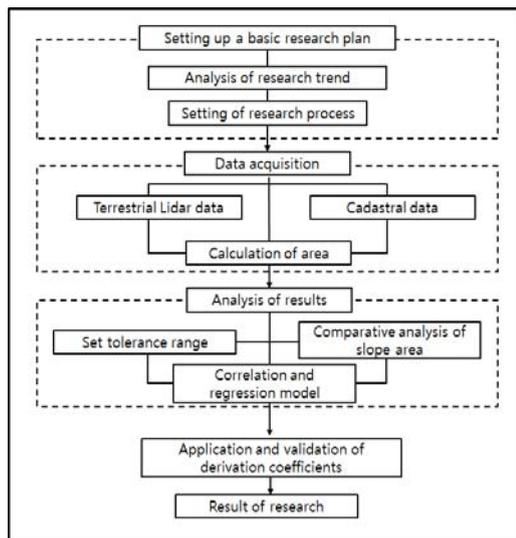


Figure 1. The Flow of Study

연구는 기본계획 수립을 시작으로 자료구축과 실험 결과를 분석하고 검증하는 일련의 과정으로 진행하였다. 지적 성과의 경우 수치지적도와 지적 공부에 의한 성과를 수집하여 적용하였고 라이다 성과는 대상 지역을 직접 측량하는 형태로 진행하였다. 이를 위해 지상라이다 데이터 정합과정을 통해 절대좌표로 변환하였으며, Point Cloud 형태의 데이터를 이용하여 DEM을 생성 하였다. 절대좌표로 변환하는 지오레퍼런싱 과정을 위하여 GNSS 측량을 실시였으며, 기준점에서의 지상라이다 측량을 수행하였다.

지상라이다에 의한 3차원 데이터 취득은 선행 연구의 결과에서도 알 수 있듯 높은 정확도를 유지할 수 있는 방법이다.

지적도와 라이다 자료를 중첩하여 면적을 비교하기 위하여 수치지적도를 대상으로 한 수정·편집 작업을 실시하였다. 이 연구에서는 정확도 높은 면적 산출 방법을 적용하여 3차원과 2차원 면적의 차이를 비교하며, 경사에 따른 면적차이를 구하였다. 허용오차 범위의 설정은 평지를 대상으로 한 상호 데이터 간 차이값을 산출하여 적용하였다. 경사도에 따른 면적 증가율 분석을 위하여 경사지 밭을 대상으로 9.5도에서 25도까지의 표본지역을 추출하여 라이다 측량을 실시하였으며, 상관관계 분석을 통하여 경사도 상승에 따른 면적 증가율의 관계를 규명하였다. 이후 경사도에 따른 면적 증가율을 예측할 수 있는 회귀 모델식(계수)을 산출하였으며, 테스트 베드에 이를 적용하여 모델식을 검증하는 순서로 연구를 마무리 하였다.

2. 데이터 구축

2.1. 연구장비 및 지역선정

지상라이다 데이터 취득은 Riegl사의 VZ-1000을 사용하였다. 유효거리 1,000m 이상 라이다 스캔이 가

능한 장비로 100m거리에서 8mm의 정확도를 갖는다. 세부 스펙은 Table 1과 같다.

Table 1. Terrestrial Lidar(VZ-1000)

Sep.	Performance
Model	Riegl VZ - 1,000
Measurment range	1400m @ 90%
Measurement Rate	29,000 ~ 122,000 pts / sec
Accuracy	8mm @ 100m
Precision	5mm @ 100m
Field of View	100° × 360°



Figure 2. Terrestrial Lidar in the study area

실험대상지역은 강원도 태백시의 고랭지 배추 주산지인 귀네미마을을 대상으로 하였다. 태백시는 높은 산지들이 많이 분포해 있으며, 전체 면적 중 대부분이 급경사를 이루고 있다. 이런 지형적 특성에 따라 소규모의 화전형식이 발달했으며, 대부분 대규모의 고랭지 채소밭이 되었다. 이 중 귀네미 일대는 고랭지 배추의 특산지이며, 밭 면적이 약 653,000㎡, 해발고도는 900m 이상이다.

Figure 3과 같이 귀네미 마을은 태백산지 분수계에 위치하여 완사면보다는 급경사지가 많은 산지이다.



Figure 3. Samsu-dong, Villagery of Gwinemi
Source : Naver 2016

고랭지 농업의 지형적 특성을 대표하는 산간지역으로 보통 기온이 낮고 적설기간도 길지만, 일조시간 또한 길다. 본 연구에서는 지적도상의 면적과 경사면적의 비교 분석이 용이한 지역을 선정하였다.



Figure 4. Eonyang-eup, Ulsan
Source : Naver 2016

이와 함께 평지에서의 지적성과와 라이다 데이터의 경지면적 차이를 알아보기 위하여 울산광역시 울주군 언양읍 일대의 논·밭 지역을 선정하여 실험을 실시하였다. Figure 4는 울산광역시 언양읍 일대의 항공사진

으로 도시지역 인근에 위치한 논이며, 경지정리가 된 절대농지로 평지의 경지면적 연구에 적합한 대상지로 선정된 지역의 사진이다.

2.2. 지적성과 면적 산출

현재 수확량 예측을 위해 사용되는 공간 자료는 주로 지적도와 공부 등이며, 현행 우리나라의 지적제도는 2차원의 평면적 성과만을 취득하여 공간을 표현하고 있다. 따라서 공간상에서 높이값이 포함된 3차원 성과는 제공하지 않는다. 지적의 일차적 목적은 필지 소유권에 대한 등록과 이를 관리하는 것이다. 그래서 지적제도의 경우 대장(臺帳)과 도면(圖面)으로 정보를 분리하여 제공하고 있으며, 2차원적 필지만을 대상으로 하고 있어 지상의 높이에 대해서는 사실상 현실적 표현이 불가능한 형태로 되어 있다.

Figure 5는 공부, Figure 6은 수치지적도의 예시이며, 지적도의 경우 한국토지정보시스템(KLIS)의 성과인 수치지적도를 사용하여 라이다 데이터와 중첩되도록 편집하였다. 지적도의 면적은 수치지적도의 도형정보의 면적이 아닌 토지대장의 등록 면적을 기준으로 하였으며, 수치지적의 도형면적을 공부상의 면적으로 조정하는 작업을 실시하여 적용하였다.

Figure 5. The example of a land-book
Source : eminwon 2016

Figure 7과 Table 2는 경사지인 태백시 귀네미 일대의 수치지적도를 취득하여 공부상의 면적으로 조정

한 자료이다. 수치지도는 도형상의 면적으로 경계와 위치선정을 위해 사용하였으며, 실제면적인 공부상의 면적을 적용하였다. 다수의 필지 중 지상라이다 성과 면적과의 비교분석을 위하여 12개의 지번을 표본 추출하여 면적 데이터를 구축하였다. 각각의 필지는 고랭지 경지면적 산정의 추세를 반영할 수 있도록 경사도별로 선택적 표본추출이 이루어 졌으며, 표본선정 기준은 고랭지 지역의 경사지 중 상호배타적 면적을 가진 표본을 무작위로 추출하는 층화표본추출 방법을 적용하였다.



Figure 6. The example of a cadastral map
Source : NSDI 2016

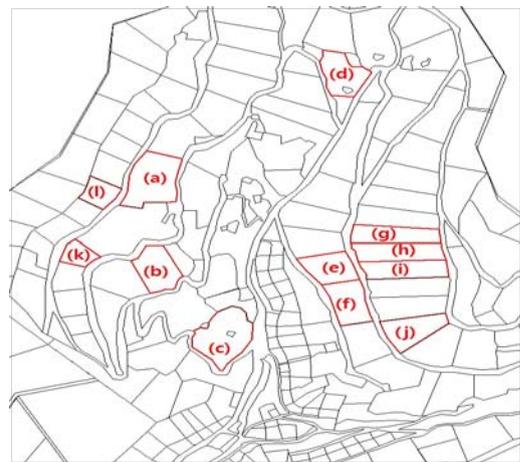


Figure 7. The result of cadastral data in Villagery of Gwinemi
Source : NSDI 2016

Table 2. The area of cadastral results in the villagery of Gwinemi Source : LURIS 2016

Sep.	lot num.	Area(m ²)
(a)	524-13	9,405
(b)	524-38	6,198
(c)	524-173	5,340
(d)	524-151	5,758
(e)	524-175	5,895
(f)	524-186	5,705
(g)	524-187	6,037
(h)	524-188	5,878
(i)	524-191	5,927
(j)	524-230	2,517
(k)	524-255	3,079
(l)	524-47	9,393

Figure 8과 Table 3은 평지인 울산광역시 언양읍 일대의 연속지적도를 취득하여 고령지인 귀네미 데이터와 동일하게 공부상의 면적으로 조정된 자료이다. 예상지역 필지 중 지상라이다 성과면적과의 비교분석을 통한 오차범위 설정을 위한 표본으로 총 8개의 필지를 선정하고 면적 데이터를 생성하였다.



Figure 8. The result of cadastral data in Eonyang-eup Source : NSDI 2016

Table 3. The area of cadastral results in Eonyang-eup Source : LURIS 2016

Sep.	lot num.	Area(m ²)
(a)	198-2	1,540
(b)	205-1	1,983
(c)	205-2	886
(d)	205-3	1,147
(e)	209-1	774
(f)	209-2	1,289
(g)	210-1	1,964
(h)	210-2	2,023

2.3. 지상라이다 성과의 면적 산출

라이다 측량 데이터는 일차적으로 상대좌표로 취득되며, 이를 절대좌표를 가진 기준점을 이용하여 실제 좌표로 변환하는 과정을 거친다. 이를 위하여 지상라이다 측량 이전에 선행적으로 라이다 성과에 절대좌표를 부여하기 위한 GNSS 측량을 수행하였다. GNSS측량 지점은 지상라이다 측량 시에 최대한 많은 면적이 스캔 될 수 있는 곳을 선정하였다.

GNSS 측량 장비를 이용하여 경사지인 귀네미 지역에 4개, 평지인 언양읍에 2개 지점에서 VRS측량을 실시하였으며, 고정된 안테나의 높이를 mm까지 정확하게 측정하여 수신기에 입력하였다. 데이터 수신 간격

Table 4. The result of surveying in the GNSS

Sep.	ID	Surveying result		
		X(m)	Y(m)	elevation (m)
Slope	CP1	200,161.455	526,402.038	1,011.455
	CP2	200,720.037	527,225.784	1,015.009
	CP3	200,789.885	526,480.304	1,026.209
	CP4	200,617.967	526,632.191	983.384
Flat	CP5	212,402.659	329,336.805	63.207
	CP6	212,373.460	329,255.918	63.329

은 1초로하고 측량은 10초 이상 수행하였으며, 한 지점에서 3회 실시하여 평균값을 성과로 계산하였다. 6개의 지점을 CP1번부터 CP6번까지 ID를 부여하였으며, 성과는 Table 4와 같다.

귀네미 일대의 지상라이다 데이터 취득을 위해 CP점과 기타 지점에서 Figure 9와 같이 총 6회의 측량이 수행되었다.

데이터 취득은 최대거리 800m, 수직간격 0.04°, 수평간격 0.04°로 설정하여 시행했으며, 모든 지점에서 동일 설정 값을 유지하여 취득하였다. 취득 데이터는 지상라이다 전용 프로그램인 RiSCAN PRO를 이용하여 정합을 실시하였다.

단일 스캔 포지션에서 약 2,000만개의 포인트가 취득되었으며, Figure 10과 같은 형태로 여섯 개 지점에서 약 1억 개 이상의 포인트를 취득하였다.

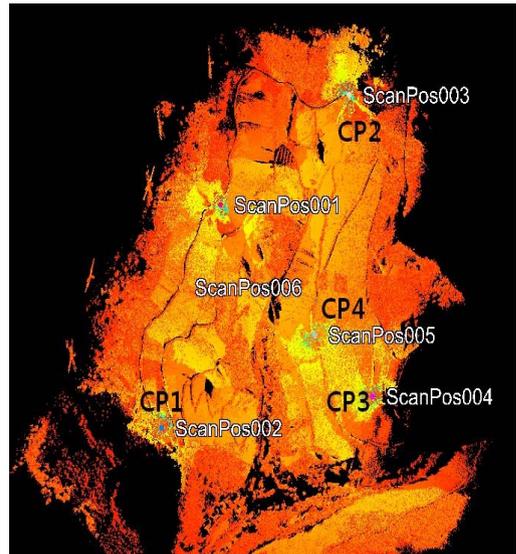


Figure 10. A matching data of each measure station in villagery of Gwinemi

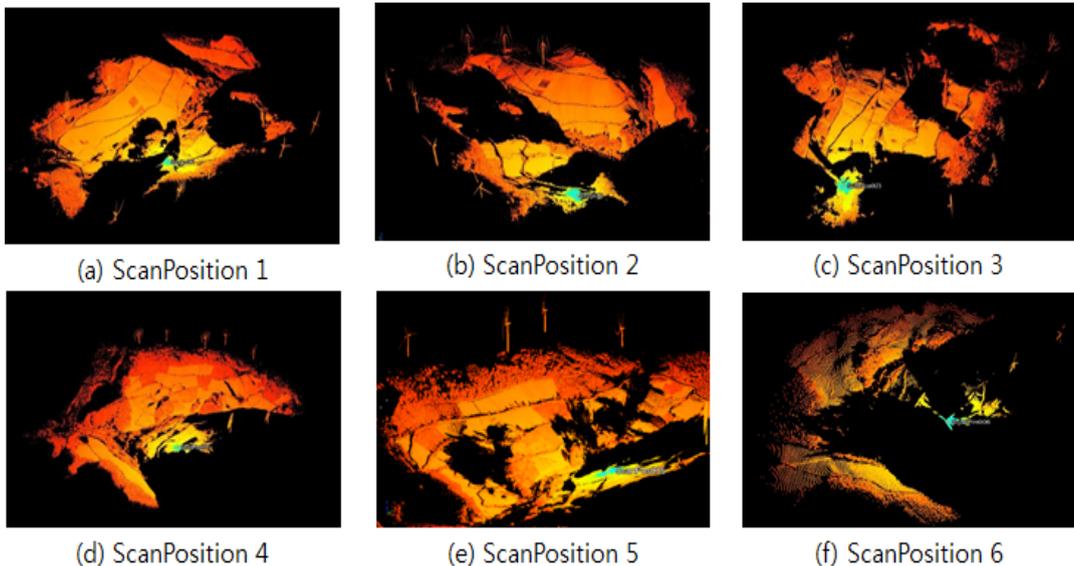


Figure 9. A surveying of villagery of Gwinemi in each measure station using terrestrial Lidar

상대좌표로 취득된 스캔포지션에서 절대좌표로 변환하기 위하여 스캐너의 좌표를 Backsight Orientation 기능을 이용하여 Figure 11과 같이 설정하여 처리하

였다. 스캔 당시의 측정 기계고 또한 입력하였으며, CP점에 거처하지 않은 스캔포지션의 경우는 Manual 방식으로 직접 좌표변환을 수행하였다.

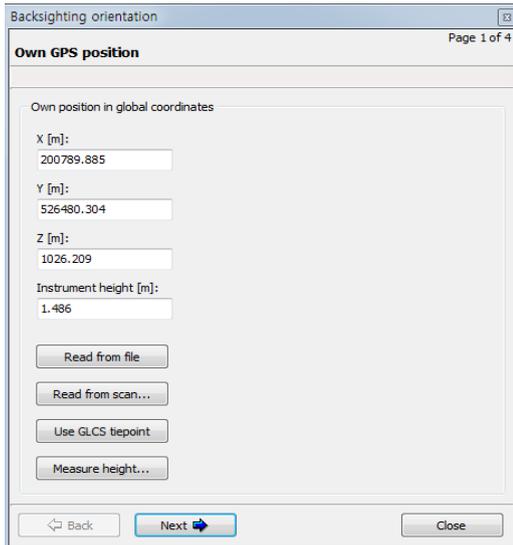


Figure 11. Fixed coordinates

방위각의 설정을 위해 좌표가 설정된 스캐너의 위치에서 자세정보를 조정하여 정합을 완료하였으며, ICP 알고리즘을 이용하기 위해 대푯값 추출 방식인 Plane Patch를 적용하였다. 이와 같은 방식으로 동시에 여섯 개의 데이터 정합이 가능하였으며, 이때 GNSS 측량을 통해 취득한 좌표가 있는 지점의 스캔 포지션에서는 수평 및 수직 좌표를 고정시켜 Roll, Pitch, Yaw의 자세정보만을 조정하여 정합하였다. Figure 12는 정합실행 완료 창으로 정합의 정도는 표준편차 0.032m였다.

토지대장에서 확인한 지번에 따라 라이다데이터의 영역을 선택하였으며, 지상라이다 소프트웨어의 표면면적 산출(Surface Area) 기능을 이용하여 선택영역의 면적을 구했다. 표면면적 계산은 포인트 데이터의 패턴을 인식하여 래스터로 변환하고 모든 래스터 포인트를 2차원 평면상에서 들로네 삼각 분할 알고리즘(Delaunay triangulation algorithm)을 이용하여 삼각화한 후, 삼각 분할된 평면을 기준으로 면적을 계산하였다. 정밀하게 취득된 라이다 성과는 필지의 경사뿐만 아니라 일반적으로 경사도 산술식과는 차별화

된다. 이와 함께 식생의 영향을 최소화하기 위하여 언양은 겨울, 귀네미는 고랭지배추를 심기전에 지상라이다 측량 실시하였다. 취득된 데이터의 후처리과정은 노이즈를 제거하였고, 필지 내부의 굴곡은 평지에서 취득한 지상라이다 데이터를 기준으로 오차범위를 설정하였다.

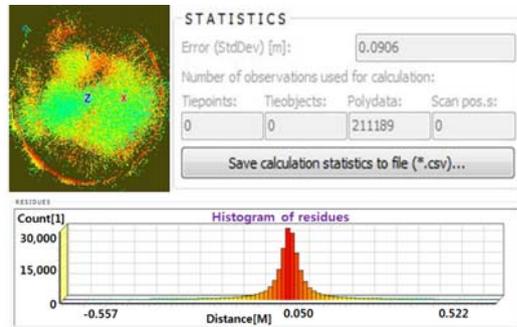


Figure 12. The result of matching data in the villagery of Gwinemi

표면면적 산출 기능으로 계산된 면적은 경사가 적용된 면적으로 3차원 성과이며, 2차원인 지적 성과와의 차이를 비교하는데 적합한 데이터 형태이다. Figure 13과 Table 5는 지상라이다 데이터의 형태와 면적을 필지 단위로 산출한 것이다.

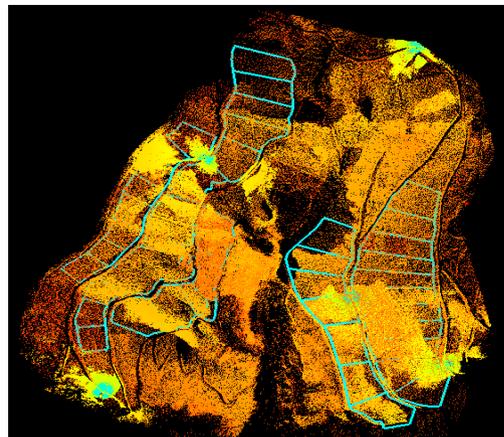


Figure 13. The matching of Lidar data and cadastral data in the villagery of Gwinemi

Table 5. Lidar data in the villagery of Gwinemi

Sep.	Lot num.	Area of the slope(m ²)
(a)	524-13	10,839.474
(b)	524-38	7,027.719
(c)	524-173	5,995.895
(d)	524-175	6,591.831
(e)	524-186	6,270.319
(f)	524-187	6,778.714
(g)	524-188	6,493.946
(h)	524-191	6,843.648
(i)	524-230	2,946.410
(j)	524-255	3,577.356
(k)	524-151	6,279.372
(l)	524-47	10,112.369

평지인 언양읍의 경우도 데이터 취득 조건은 고랭지인 귀네미 지역과 동일한 셋팅값을 적용하여 Figure 14의 측량 데이터와 Figure 15의 정합 결과를 얻었다.

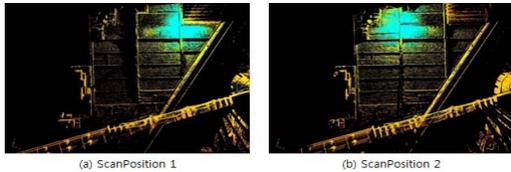


Figure 14. A surveying of Eonyang-eup in each measure station using terrestrial Lidar

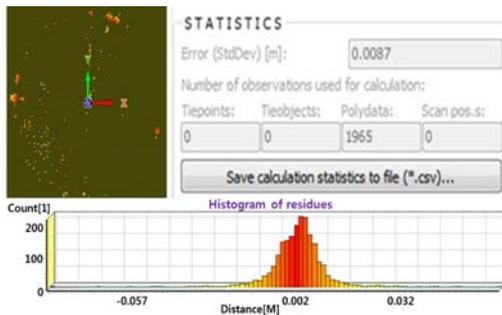


Figure 15. The result of matching data in the Eonyang-eup

정합완료 표준편차는 0.0087였으며, Figure 16과 Table 6과 같은 성과를 얻었다. Figure 17은 정합된 지상라이다 데이터와 수치지적도를 중첩한 모습이다.

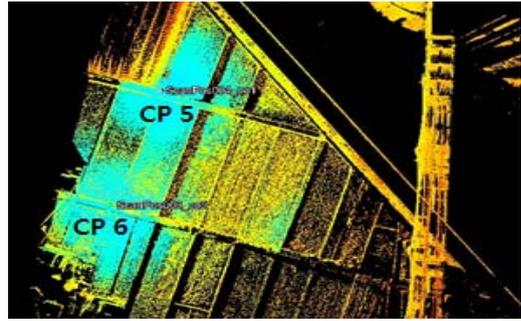


Figure 16. A matching data in each measure station in the Eonyang-eup

Table 6. Lidar data in the Eonyang-eup

Sep.	Lot num.	Area of the slope(m ²)
(a)	198-2	1,579.277
(b)	205-1	2,034.366
(c)	205-2	898.668
(d)	205-3	1,178.995
(e)	209-1	789.020
(f)	209-2	1,302.261
(g)	210-1	2,011.226
(h)	210-2	2,083.962

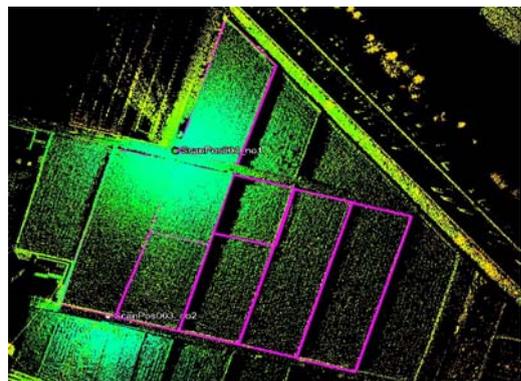


Figure 17. The matching of Lidar data and cadastral data in the Eonyang-eup

3. 실험결과 분석

3.1. 허용오차 범위설정을 위한 평지면적 비교분석

경사지의 지적성과와 지상라이다 성과 면적의 비교 분석을 위하여 허용오차 범위를 설정하였다. 평지면적인 울산광역시 언양읍을 실험대상지역으로 비교분석을 수행하였다.

Table 7과 같이 평지를 기준으로 1.03 ~ 3.0%의 경지면적 차이(오차)를 수반하고 있다. 이를 통하여 고랭지 지역(경사지)을 대상으로 지상라이다 데이터를 취득하고 평지에서의 오차를 적용하여 자료의 신뢰도를 판단할 수 있다. 면적차이는 대부분 3% 이내로 나타났다으며, 지상라이다 성과를 활용하여 경사도를 분석한 결과, Table 8과 같이 8개의 필지 모두 1도 미만의 낮은 경사로 평지에 가깝다는 것을 확인할 수 있었다.

3.2. 경사지의 지적과 지상라이다 성과 면적의 비교분석

태백시 귀네미마을을 실험대상지역으로 선정하여 경사지의 지적성과와 지상라이다 데이터 면적을 비교 분석하였다.



Figure 18. The slope in villagery of Gwinemi

지형에서의 경사도는 수평면에 접하는 면으로 정의되며, 표고의 변화율인 기울기를 경사(Slope)라 하고 최대표고 변화율이 나타나는 방향을 경사방향(aspect)이라 한다.

실험대상지역은 Figure 18과 같이 급경사로 이뤄진 고랭지의 특성을 잘 볼 수 있다.

본 연구에서는 지상라이다 데이터에 의해 생성된 DEM 자료를 이용하여 경사도를 해석하였다. 이와 함께 대상지역의 수치지적도와 토지대장을 확보하고 지상라이다 데이터와 비교하여 지형의 경사도를 분석하였으며, 경사방향은 DEM을 확인하여 필지가 기울어진 방향으로 프로파일링하였다.

Table 7. A comparative analysis of the results in the Eonyang-eup

Lot number	2D		3D	Comparison		Degrees
	Cadastral Area (m ²)	Projected on plane Area (m ²)	Surface Area (m ²)	Area of difference (m ²)	Rate(%)	Angle of inclination (°)
(a) 198-2	1,540	1540.608	1579.277	39.277	2.55%	0.21
(b) 205-1	1,983	1,982.810	2034.366	52.366	2.59%	0.21
(c) 205-2	886	886.259	898.668	12.668	1.43%	0.11
(d) 205-3	1,147	1,147.405	1178.995	31.995	2.79%	0.29
(e) 209-1	774	773.939	789.02	15.02	1.94%	0.13
(f) 209-2	1,289	1288.896	1302.261	13.261	1.03%	0.21
(g) 210-1	1,964	1,963.955	2011.226	47.226	2.40%	0.15
(h) 210-2	2,023	2,023.193	2083.962	60.962	3.01%	0.18

Table 8. DEM and Slope in the flatland

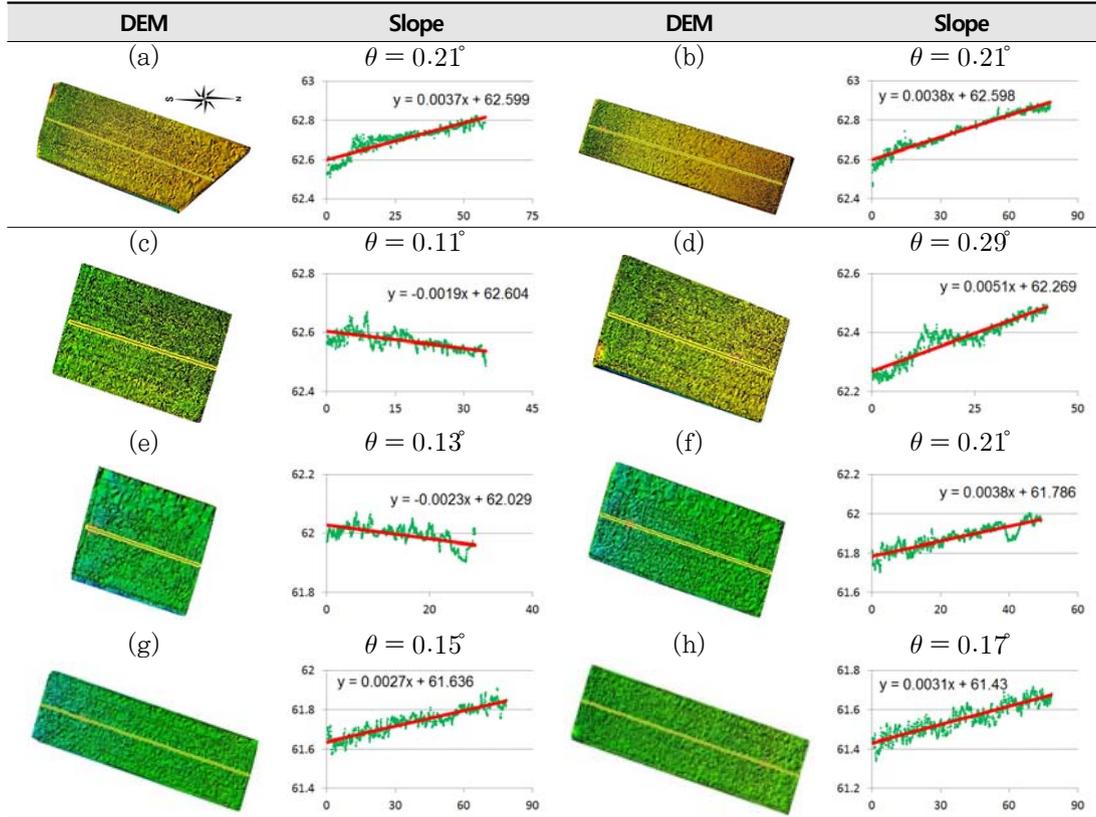
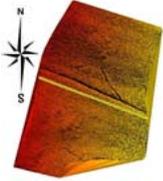
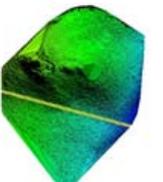
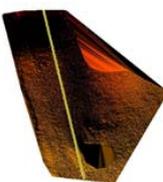
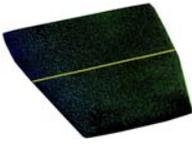
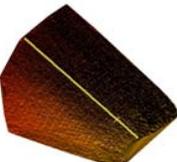
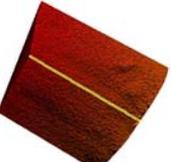


Table 9. A comparative analysis of the results in the villagery of Gwinemi

Lot number	2D		3D	Comparison		Degrees
	Cadastral Area (m ²)	Projected on plane Area (m ²)	Surface Area (m ²)	Area of difference (m ²)	Rate(%)	Angle of inclination (°)
(a) 524-13	9,405	9,404.903	10,839.474	1,434.474	15.25	18.39
(b) 524-38	6,198	6,198.106	7,027.719	829.719	13.39	14.67
(c) 524-47	9,393	9,393.087	10,112.369	719.369	7.66	9.50
(d) 524-151	5,758	5,757.938	6,279.372	521.372	9.05	10.10
(e) 524-173	5,340	5,340.032	5,995.895	655.895	12.28	17.56
(f) 524-175	5,895	5,895.360	6,591.831	696.831	11.82	18.00
(g) 524-186	5,705	5,705.433	6,270.319	565.319	9.91	13.67
(h) 524-187	6,037	6,037.030	6,778.714	741.714	12.29	13.70
(i) 524-188	5,878	5,878.451	6,493.946	615.946	10.48	13.67
(j) 524-191	5,927	5,927.436	6,843.648	916.648	15.47	21.13
(k) 524-230	2,517	2,516.915	2,946.410	429.410	17.06	25.00
(l) 524-255	3,079	3,079.487	3,577.356	498.356	16.19	23.78

Table 10. Slope analysis utilizing the Terrestrial Lidar data in the slopes

DEM	Slope	DEM	Slope
(a) 	$\theta = 18.39^\circ$ $y = -0.321x + 1035.8$	(b) 	$\theta = 14.67^\circ$ $y = -0.2561x + 1006$
(c) 	$\theta = 9.49^\circ$ $y = -0.1658x + 942.95$	(d) 	$\theta = 10.09^\circ$ $y = -0.1762x + 981.96$
(e) 	$\theta = 17.56^\circ$ $y = -0.3065x + 979.23$	(f) 	$\theta = 17.99^\circ$ $y = -0.3141x + 978.4$
(g) 	$\theta = 13.67^\circ$ $y = -0.2386x + 1020.8$	(h) 	$\theta = 13.69^\circ$ $y = -0.2391x + 1020.4$
(i) 	$\theta = 13.66^\circ$ $y = -0.2385x + 1018.5$	(j) 	$\theta = 18.39^\circ$ $y = -0.3688x + 1021.2$
(k) 	$\theta = 24.99^\circ$ $y = -0.4363x + 1034.2$	(l) 	$\theta = 23.78^\circ$ $y = -0.4151x + 1066.8$

평면투영면적과 경사면적의 관계는 일반적 수식을 통해 비율에 따른 변화는 확인이 가능하나 일반적 수식을 적용하는 경우, 실제 경사면의 내부굴곡은 반영이 어렵다. 따라서, 내부굴곡 정보가 포함된 지상라이다 데이터를 이용하여 각 필지의 평면투영 면적과 경사투영 면적 등을 비교·분석하였으며, 9.5도에서 25도사이의 열두개 경사 표본을 추출하여 연구를 진행하였다. 이 실험을 통해 Tabel 9와 Table 10과 같이 지적 성과 면적과 지상라이다 데이터 면적의 차이는 경사도가 급할수록 면적이 증가하는 비례관계에 있음을 확인하였다.

3.3. 상관관계 분석과 회귀모델

경지면적의 경사와 면적 차이 비율을 통계패키지인 SPSS를 이용하여 상관관계 분석과 회귀 분석을 실시하였다. 상관관계 분석은 “피어슨의 상관계수”를 이용하여 관계의 정도를 측정하였다.

Table 11에서 각도(x)와 비율(y)사이의 상관계수는 0.927로 강한 양의 상관관계를 보였으며 유의수준 95%에서 유의한 것으로 나타났다.

상관분석을 통해 각도와 비율사이의 상관관계를 확인하였으며, 선형회귀분석을 이용하여 두 변수의 관계를 유추할 수 있는 회귀식을 구하였다.

Table 11. Correlation

Sep.	-	Rate	Deg.
Rate	Pearson Correlation	1	0.927*
	Sig. (2-Tailed)		0.000
	N	12	12
Deg.	Pearson Correlation	0.927(**)	1
	Sig. (2-Tailed)	0.000	
	N	12	12

* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

회귀분석 결과로 Table 12과 같은 회귀계수를 구하였으며, 계수 값은 회귀 모델 도출에 사용되었다.

Table 12. Coefficients**

Model		Un. Coef.		St. Coef.	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1	Con.	3.300	1.230	-	2.683	0.023
	Deg.	0.559	0.071	0.927	7.841	0.000

** Dependent Variable: Rate.

이 값을 이용하여 얻은 각도와 비율사이의 회귀모델은 (1)과 같다.

$$\text{면적차이 비율(\%)} = 3.3 + (0.559 * \text{각도}(\text{°})) \quad (1)$$

Table 13. Model Summary

M.	R	R ²	Adj. R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.927 ***	0.860	0.846	1.17204

*** Predictors: (Constant), Degrees.

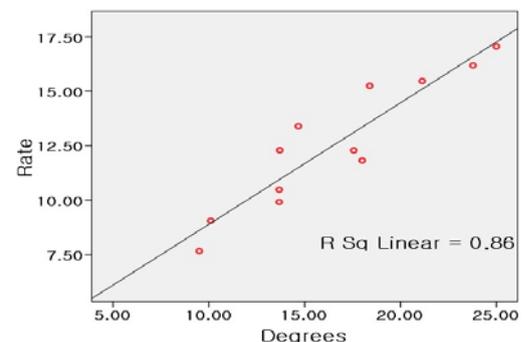


Figure 19. Verification of the study area Applied regression model

Table 13와 Figure 19와 같이 회귀식의 정확도 검증은 모형요약을 통해 실시하였으며, 결정계수 R제곱과 수정된 R제곱 값을 얻을 수 있었다. 결정계수는 상

관관계의 제곱 값으로 독립변수인 각도에 의하여 설명되는 종속변수인 면적차이 비율에 대한 비율이며, R제곱이 1에 가까울수록 식의 정확성이 높다고 할 수 있으며, 모형 요약에서 얻은 R제곱값은 0.860으로 높게 나타났다.

3.4. 실험대상지의 도출계수 적용 및 검증

회귀분석으로 얻은 회귀 모델을 테스트 베드를 설정하여 적용하였으며, 식 (1)에 각도를 입력하여 산출된 비율과 이 연구에서 실험한 방법을 동일하게 적용하여 산출된 비율의 차이를 비교하였다.

Table 14는 회귀모델 적용 면적비율과 실험을 통해 얻은 비율을 나타낸 것이다. 0.18°에서 29.62°까지 총

여섯 개의 지역을 대상으로 비교분석을 하였으며, 회귀모델에서 도출된 면적 비율과 실제 면적을 비교하였다. 그 결과, Table 15과 같이 최소 0.17%에서 최대 2.82%로 나타나 허용오차 범위 내에 모두 드는 것을 확인할 수 있었으며, 비교고찰을 통하여 실험에서 도출된 회귀모델의 적용가능성을 검증하였다. 이번 연구를 통해서 정밀한 측량장비를 이용하여 경사도와 표면면적의 상관관계 및 계량적 추정 모델을 제시하였다는 점에서 연구의 의미를 들 수 있다.

연구결과를 통하여 도출된 회귀모델은 고랭지 농업 지역에서 경지면적 산출의 정확도를 높이는 자료로 이용 될 수 있으며, 나아가 고랭지 등의 경사지 직불금 산정에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

Table 14. DEM and angle of inclination in the study area Applied regression model

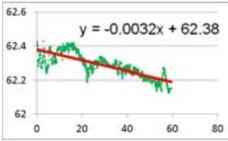
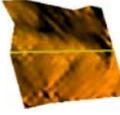
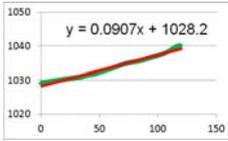
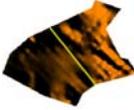
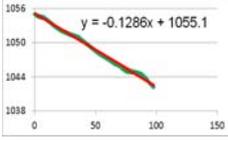
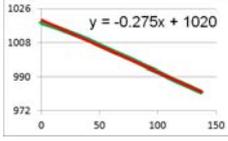
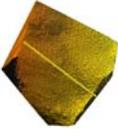
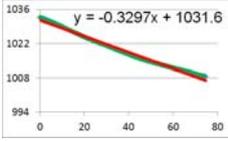
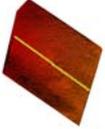
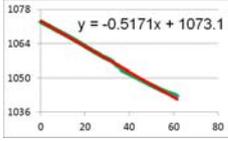
DEM	Slope	DEM	Slope
(a) 	$\theta = 0.18^\circ$ 	(b) 	$\theta = 5.2^\circ$ 
(c) 	$\theta = 7.37^\circ$ 	(d) 	$\theta = 15.76^\circ$ 
(e) 	$\theta = 18.89^\circ$ 	(f) 	$\theta = 29.62^\circ$ 

Table 15. A comparative analysis of Applied regression model

Lot number	Degrees	2D	3D	Comparison		
	Angle of inclination (°)	Cadastral Area (m ²)	Surface Area (m ²)	regression model (%)	Rate (%)	regression model - Rate (%)
(a) 215-1	0.18	856	876.486	3.40	2.39	1.01
(b) 2214-212	5.20	16612	17669.497	6.20	6.37	-0.17
(c) 2214-189	7.37	12383	13197.528	7.40	6.58	0.82
(d) 524-189	15.76	5926	6477.226	12.12	9.30	2.82
(e) 524-10	18.89	6155	6836.502	13.88	11.07	2.81
(f) 524-233	29.62	3488	4195.588	19.86	20.29	-0.43

4. 결 론

이 연구는 고랭지 농업지역의 경지면적을 2차원(지적 성과)과 3차원(지상라이다 데이터)자료를 통해 비교하고, 이를 분석해 계량적 모델식의 제시를 목적으로 진행되었다.

연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 지적 성과와 지상라이다 데이터는 평지를 기준으로 1.03~3.01%의 경지면적 차이(오차)를 수반하고 있으며, 이는 필지 내부굴곡의 반영여하에 따른 차이라는 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 상호 데이터간의 오차 범위 설정이 가능하였다.

둘째, 2차원의 지적 성과와 3차원의 지상라이다 자료를 동일 지역에 투영한 결과 경지면적의 차이가 경사도에 따라 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있었으며, 필지 내부의 굴곡을 고려하기 위한 통계적기법(회귀식)을 적용하여 고랭지 지역 경지면적 산출의 실험적 방법론을 제시할 수 있었다.

셋째, 독립변수인 경사도의 변화에 따른 경지면적의 변화율(종속변수)을 예측하기 위한 회귀 모델을 도출하였으며, 이의 결과는 $3.3+0.559x$ 으로 산출되었다.

넷째, 산출된 회귀 모델식의 유효함을 알아보기 위

하여 실제 0.18도~29.62도 사이의 테스트베드에 계수를 적용해 본 결과 평지를 기준으로 한 최대 오차범위(3%)이내에서 경지면적의 변화율이 모두 산출되었다.

본 연구를 통해 고랭지 등 경사지와 평지의 경지면적 계산 시에는 차별화된 방법이 적용되어야 함을 알 수 있었으며, 지적성과와 같은 2차원 평면성결과를 통한 경사지 경지면적 계산시 경사도에 따른 계수를 적용해야 정확한 작물 수확량을 예측할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ010897012016)의 지원에 의해 이루어진 것임

참고문헌

References

- 강준목, 윤희천, 민관식, 이원영. 2007. 수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용한 지형경사도 비교 분석. 한국지형공간정보학회지. 15(4):3-9.
- Kang JM, Yoon HC, Min KS, Lee WY. 2007. Comparative Analysis of Terrain Slope Using

- Digital Map, LiDAR Data. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 15(4):3-9.
- 김필준. 2010. 지상라이다장비를 이용한 실제사면지 형에 대한 변위 모니터링. 석사학위논문. 관동대학교.
- Kim PJ. 2010. *Displacement Monitoring for the Actual Slope Terrain Using the Terrestrial LiDAR* [dissertation]. Catholic Kwandong University.
- 성상민, 이재원. 2016. 무인 항공사진측량에 의한 농경지 필지 경계설정 정확도. *한국측량학회지*. 34(1):53-62.
- Sung SM, Lee JW. 2016. Quality Verification and Utilization of Ultra-Light UAV Imagery in Parcel Boundary Delineation. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 34(1):53-62.
- 이돈선, 홍성언. 2012. 3차원 지적 구축을 위한 지상레이저 측량의 정확도 분석. *한국지적학회지*. 28(1):75-89.
- Lee DS, Hong SY. 2012. An Analysis on the Accuracy of Terrestrial Laser Surveying for Building 3D Cadastre. *Journal of the Korean Society of Cadastre*. 28(1):75-89.
- 최병길, 나영우, 이경섭, 이정일. 2014. 3차원지적 적용을 위한 항공라이다의 수직 정확도 평가에 관한 연구. *한국지형공간정보학회지*. 22(2):33-40.
- Choi BG, Na YW, Lee KS, Lee JI. 2014. A Study on the Evaluation of Airborne Lidar Height Accuracy for Application of 3D Cadastral. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 22(2):33-40.
- 최현, 홍순현. 2007. 항공사진을 이용한 수치표고모형 생성과 활용방안. *한국콘텐츠학회지*. 7(3):168-175.
- Choi H, Hong SH. 2007. Utilization Methods and Generation DEMs by Using Aerial Photographs. *Journal of the Korean Contents Association*. 7(3):168-175.
- eminwon. 2016. Land-book [Internet]. [http://www.eminwon.net]. Last accessed 8 September 2016.
- (NSDI) Korea National Spatial Data Infrastructure Portal. 2016. Cadastral Data [Internet]. [http://nsdi.go.kr]. Last accessed 8 September 2016.
- (LURIS) Land Use Regulation Information System. 2016. Cadastral Results [Internet]. [http://luris.molit.go.kr]. Last accessed 8 September 2016.
- Naver. 2016. Naver Map [Internet]. [http://map.naver.com/]. Last accessed 8 September 2016.

2016년 09월 28일 원고접수(Received)

2016년 11월 01일 1차심사(1st Reviewed)

2016년 11월 22일 2차심사(2st Reviewed)

2016년 12월 07일 게재확정(Accepted)

초 록

농산물의 가격은 해마다 변화가 있으며, 가격변화는 수급불균형이 주요한 원인이다. 배추 생산량 예측모델에서 주로 사용되는 자료는 경사 면적 산출이 불가능한 지적성과를 사용하고 있다. 이런 이유로 고랭지 등의 경사지에서 재배되고 있는 밭작물의 수급 예측의 정확도가 떨어져 가격 폭등과 폭락이 반복되고 있는 상황이다. 따라서 이 연구에서는 고랭지 등 경사지를 대상으로 2차원 자료인 지적 성과와 3차원 자료인 라이다데이터를 분석하여 동일지역에서의 데이터 상호간 경작 면적 차이를 비교해 보는 실험을 실시하였다. 이와 함께 경사도 증가에 따른 면적의 변화율을 계량적으로 분석해 낼 수 있는 회귀 모델을 제시하여 지적도와 같은 2차원 평면성과에 의한 경사지 면적 산출의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 대안적 방법론을 제시하였다.

주요어 : 고랭지, 경지면적, 지상라이다, 지적, 회귀모델