

산지토사재해 발생구간 분석을 위한 항공사진 DTM에서의 수목필터링

우충식^{1*} · 윤호중² · 정용호²

Tree Removal Filtering using Aerial Photographs DTM to Analyze Producing Section of Forest Soil Sediment Disaster

Choong-Shik WOO^{1*} · Ho-Joong YOUN² · Yong-Ho JEONG²

요 약

항공사진을 이용해 산지토사재해 구간의 DTM(Digital Terrain Model)을 제작할 경우 수목이 재해구간을 가리는 경우가 많아 연속적이고 정밀한 DTM을 얻기가 매우 어렵다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 해결해 보고자 디지털항공사진을 이용하여 moving window 형태의 필터링방법을 제시하였으며 DTM을 추출하였다. 또한 산지토사재해 구간에서 적정한 필터링의 window 크기에 따른 수목영향제거의 효과를 알아보기 위해 상용 수치사진측량 S/W인 Socet set의 Adaptive 필터링한 DTM과 LiDAR(Light Detection And Ranging)에서 획득한 DTM을 비교하였다. 그 결과 LiDAR에서 획득한 DTM보다는 정확도가 낮았지만 Adaptive 필터링보다는 정확도가 약 6m 정도 높은 결과를 얻을 수 있었다.

주요어 : DTM, moving window, 필터링, LiDAR

ABSTRACT

It is difficult to generate DTM using aerial photographs because trees usually cover disaster occurred areas. So, this study proposed how to filter by moving window using digital aerial photographs and generate accurate DTM. The results were compared with those of adaptive filtering by commercial digital photogrammetry software (Socet set) to find out the effect of tree removal by window size in forest soil sediment disaster. And then they were compared with DTM generated from LiDAR data. As a result, it was showed that the accuracy of moving filtering DTM was lower than that of LiDAR DTM while it was higher by 6m than that of Adaptive filtering.

KEYWORDS : DTM, Moving Window, Filtering, LiDAR

2007년 6월 18일 접수 Received on June 18, 2007 / 2007년 8월 8일 심사완료 Accepted on August 8, 2007

1 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정 Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

2 국립산림과학원 임지보전과 Division of Forest Conservation, Korea Forest Research Institut

* 연락처 E-mail : kingccagag@hanmail.net

서론

산지토사재해란 산지에서 토사로 인해 발생하는 재해를 총칭하는 것으로 산사태 및 토석류 등이 이에 속한다. 산지토사재해 분석은 크게 현지조사에 의한 방법과 항공사진이나 항공 LiDAR와 같은 영상분석에 의한 방법으로 크게 구분된다. 현지조사에 의한 방법은 전통적인 방법으로 산지토사재해가 발생한 지역을 직접 답사하여 재해발생 위치, 길이, 폭, 토심, 지질, 임상 그리고 경사 등을 측정하여 정보를 획득하는 방법이다(채병곤 등, 2006). 최근 지상 LiDAR와 GPS 장비를 도입하여 현지조사를 좀더 정밀하게 수행하여 정확도를 높이려고 하는 움직임도 있다(Hsiao 등, 2004). 영상분석에 의한 방법은 주로 산지토사재해가 발생할 당시의 토사의 유출, 이동 및 퇴적된 양을 분석하는 것으로 DTM을 이용하여 추출하는 일이 매우 중요하며 따라서 재해발생지역의 발생 전 데이터의 유무가 매우 중요하다. 최근 산지토사재해가 발생할 경우 신속히 항공사진이나 항공 LiDAR를 촬영하게 되었지만 산지토사재해가 발생하는 지역을 예측하기가 어렵기 때문에 발생 전 데이터는 기존 산림자원조사용으로 1970년대 초부터 현재까지 전국을 총 4차례에 걸쳐 촬영한 흑백항공사진, 고해상도 위성영상 그리고 수치지형도에 의해 획득가능하다. 고해상도 위성영상은 항공사진에 비해 추출할 수 있는 DTM의 정밀도와 정확도가 낮아 효과적이지 못하다. 1:5,000 수치지형도는 항공사진을 이용하여 등고선을 생성하였기 때문에 항공사진과 가까운 고도값을 나타내지만 등고선 간격으로 인해 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있는 반면 DTM 제작이 간편한 장점이 있다. 결국 산지토사재해 발생구간의 토사량을 더욱 정확하고 정밀하게 분석하기 위해서는 항공사진을 사용하는 것이 유리하다. 물론 상황에 따라 산지토사재해가 발생한

지역에 항공 LiDAR와 같은 매우 정밀한 데이터가 존재한다면 항공사진을 이용할 필요가 없지만 아직은 기촬영된 지역이 한정되어 있어 이용에 제약이 따른다. 1970년대부터 2000년대까지 4회에 걸쳐 전국을 촬영한 산림자원조사용 항공사진은 산지토사재해뿐만 아니라 여러 방면에서 그 이용성 및 가치가 뛰어난 자료이다. 항공사진의 기본적인 영상 정보와 더불어 항공사진에서 추출한 시계열 지형정보는 산지토사재해의 발생 및 복구상황을 알 수 있는 중요한 모니터링 자료로 사용할 수 있다.

항공사진을 이용하여 DTM을 제작할 경우 표정에 의한 기하학적 정확도뿐만 아니라 지형효과에 의한 그림자, 밴드 수, 노출정도, 촬영시기 및 스캐닝품질 등 항공사진 자체가 가지고 있는 품질에 의해서도 수행된 연구결과에 영향을 미친다(권혁춘과 이병걸, 2006). 특히 지형기복에 의한 그림자효과 및 수목에 의한 영향 등은 산림지역을 분석하는데 반드시 고려되어야 할 사항이다. 지형기복에 의한 그림자효과는 촬영기법이나 영상처리기법을 통해 보정이 이루어지고 있는 추세지만 수목에 의한 영향은 제거하기가 어려워 상당부분 수작업에 의존하고 있다.

항공 LiDAR 측량에서는 촬영한 데이터를 지면점과 비지면점을 구분하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Vosselman, 2001; 윤정숙 등, 2006). 특히 산림지역에서는 비지면점을 이용하여 수고를 추출하는 연구도 진행되고 있다(우충식, 2006). 산림지역에서 항공 LiDAR 측량의 경우 투과특성으로 인해 지형과 수목을 비교적 정확하게 분류해 낼 수 있지만 항공사진은 수목의 영향을 제거하기가 상대적으로 어려운 점이 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구에서는 산림지역의 항공사진을 이용하여 DTM제작 시 수목에 의한 영향을 보다 최소화할 수 있는 방법을 제시하는데 있다.

연구방법

1. 연구지역 및 자료

대상지역은 항공 LiDAR와 디지털항공사진이 촬영된 경기도 가평군과 양평군 지역의 유명산 일대이다. 이 지역은 최대고도 862m의 비교적 높은 지형이며 좁은 면적의 경작지와 주거지를 제외하면 대부분 산림으로 이루어져 있다(그림 1). 수종별 면적은 낙엽송림, 잣나무림, 기타 참나무류의 활엽수림 순으로 되어 있다. 낙엽송림은 5영급(41~50년생)으로 평균수고가 약 25m이다. 잣나무림은 4영급(31~40년생)으로 평균수고가 약 16m로 낙엽송보다 작다. 본 연구를 수행을 위해 사용된 자료는 Optech 社의 LiDAR 장비인 ALTM 3070과 디지털 항공카메라 AK04로 2004년 4월 28일 촬영한 LiDAR 데이터와 디지털항공사진이다.



FIGURE 1. 연구지역 - 경기도 가평군

2. Direct Georeferencing을 통한 항공사진에서의 고도추출

기본적으로 사진측량은 중복도를 갖는 두 사진을 x방향과 y방향으로 시차를 일치시켜 중복영역 내 연고자하는 지점의 수평, 수직 위치를 획득하는 것이다. 이러한 기본적인 원리를 바탕으로 그림 2처럼 항공사진측량은 항공사진촬영 당시 위치정보를 얻을 수 있는 GPS(Global Positioning System)와 촬영당시의 비행기의 자세정보를 나타내는 장비인 INS(Inertial Navigation System)를 통해 외부표정요소(Exterior Orientation Parameters)인 x, y, z, omega, phi, kappa를 획득할 수 있다. 디지털 항공사진은 CCD 소자의 크기로 내부표정을 간단히 수행할 수 있으며 외부표정요소를 이용하여 Direct Georeferencing기법으로 외부표정을 할 수 있다.

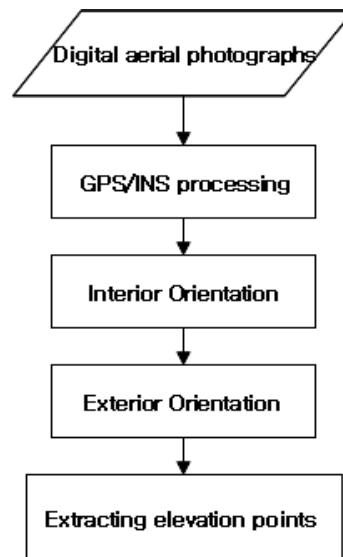


FIGURE 2. 일반적으로 항공사진을 이용한 고도추출 순서

모든 표정을 완료한 뒤 수치사진측량소프트웨어를 이용하여 고도값을 추출하였다. 여기에

서 고도값은 수목 필터링과 Adaptive 필터링을 수행결과를 비교하기 위해 두 가지 형태로 각각 추출하였는데 Adaptive 필터링으로 추출한 고도값과 필터링을 거치지 않은 고도값으로 구분하여 수행하였다. 고도값 추출 시 간격은 항공사진의 GSD(Ground Sample Distance)와 연구지역의 수관울폐도를 고려하여 2m 간격으로 하였다.

3. 항공 LiDAR 데이터에서의 DTM 제작

항공 LiDAR 데이터로부터 정확한 DTM을 제작하기 위해선 지면점과 비지면점으로 분류해야한다. 기본적으로 본 연구에서는 윤정숙 등(2006)이 제시한 방법으로 수행하였다. 이 방법은 그림 3처럼 LiDAR 데이터의 First return과 Last return 두 신호 중 토양, 암석 등과 같이 레이저신호가 투과를 하지 못해 같은 값을 갖는 신호를 따로 분리하였고 First return과 Last return을 각각 처리하였다.

이러한 방법을 통해 지면점과 비지면점을 분류하였고 지면점의 점밀도를 고려하여 적정

크기의 DTM을 IDW(Inverse Distance Weighted)보간법을 이용하여 제작하였다 (Morgan과 Habib, 2002).

4. 수목 필터링

산림지역에서 항공사진으로 획득한 고도는 지형이 아닌 수목이나 다른 대상물의 영향을 받아 추출된 값이 상당수 존재한다. DTM을 정확하게 제작하기 위해 지면에서 획득한 고도값을 사용해야 하기 때문에 수목의 영향을 받은 값은 반드시 제거해 주어야한다. 따라서 본 연구에서는 산림지역에서 효율적으로 수목의 영향을 효율적으로 제거하기 위한 필터링 방법을 제안하였으며 그 원리는 그림 4와 같다. 이 방식은 가장 낮은 고도만을 추출하는 moving window 방식으로 기존과 다른 세 가지 특징을 가지고 있다. 첫째, 계산된 값을 가운데 픽셀로 치환하지 않고 원래의 위치에 보존시켜 위치오차를 최소화 하였다. 둘째, 수행결과를 가운데 픽셀에 치환하지 않고 원래의 위치에 그대로 남기기 때문에 window 크기

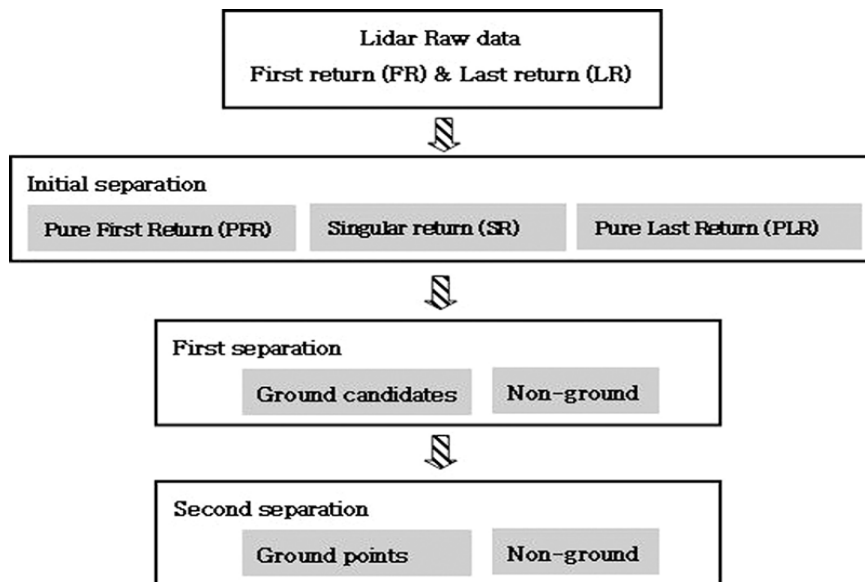


FIGURE 3. 항공 LiDAR 데이터에서 지면점 분류

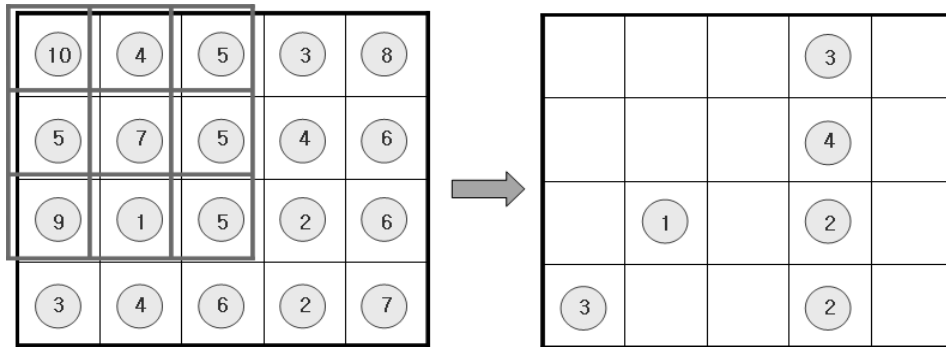


FIGURE 4. 수목 필터링의 원리

는 홀수, 짝수 모두 가능하다. 셋째, 허용오차 내의 모든 값을 추출한다. 예를 들어 3×3 window에 1부터 9까지의 수가 있을 때 최소값과 허용오차 +2가 주어진다면 추출되는 값은 1, 2, 3이 된다. 이것은 DTM 수직오차범위와 경사가 급한 곳에 존재하는 고도값을 더욱 정밀하게 추출할 수 있는 장점이 있다.

이 필터링의 원리를 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저 첫 번째 window 내에 포함되어 있는 값은 {10, 4, 5, 5, 7, 5, 9, 1, 5}이다. 이 값들 중 가장 작은 값인 '1'을 찾게 되고 그 '1'로부터 허용오차를 더한 '3' 사이의 모든 값을 찾게 된다. 그러나 window 내에는 1~3사이의 값이 1밖에 없기 때문에 1만 추출한다. 다시 우측으로 한 픽셀 옮겨 계산을 수행하는데 이 때 window에 포함되는 값은 {4, 5, 3, 7, 5, 4, 1, 5, 2}이다. 같은 방법으로 최소값 '1'과 허용오차를 더해준 '3'사이의 값을 검색하게 되고 {3, 2, 1}을 찾게 된다. 이렇게 반복해서 수행된 결과가 그림 4의 우측이며 원래의 위치를 보존하면서 찾고자하는 고도값을 추출하게 된다.

본 수목 필터링에 알맞은 window의 크기를 결정하기 위해 연구지역 내 수목 한 그루의 수관크기인 6×6m, 두 그루의 수관크기인 6×12m, 세 그루의 수관크기인 6×18m, 네그루의 수목이 2×2 행렬을 형성하고 있는 수관크기인 12×12m, 수목이 2×3 행렬을 형성하고

있는 수관크기인 12×18m, 수목이 3×3 행렬을 형성하고 있는 수관크기인 18×18m, 총 6가지 수행, 비교하여 결정하였다.

산림지형은 도시지역과 달리 매우 기복면이 심하다. 즉, 여러 방향으로 기복의 변화가 생긴다. 따라서 이러한 방향성을 모두 고려하여 필터링을 수행해야한다. 기존의 moving window는 좌에서 우로 위에서 아래로 움직이는 방식이기 때문에 window의 크기 및 모양에 따라서 특정 방향의 정보를 추출할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 수목 필터링 수행 시 여러 방향을 수행할 수 있도록 하였다.

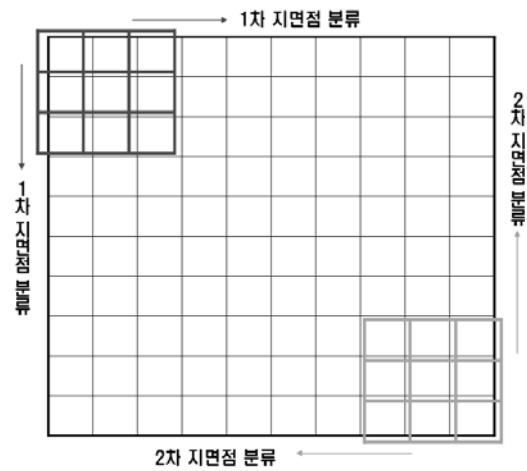


FIGURE 5. 방향성을 고려한 수목 필터링

그림 5와 같이 window가 좌에서 우로, 위에서 아래의 방향을 탐색할 경우에는 좌에서 우로, 위에서 아래의 방향으로 고도가 증가하는 지형탐색에 용이하고 window가 우에서 좌로, 아래에서 위의 방향을 탐색할 경우에는 위에서 좌로, 아래에서 위 방향으로 고도가 증가하는 지형탐색에 용이하다.

연구결과

필터링의 적정 window 크기를 알아보기 위해 연구지역 내 수목 한 그루의 평균 수관크기에서부터 최대 수목이 3×3 window 배열을 같은 크기까지 변화시켜가며 수목 필터링을

수행한 후 IDW(Inverse Distance Weighted) 방법으로 보간하였다. 수행결과는 LiDAR 측량을 통해 획득한 DTM과 비교하여 그 정확도를 알아보았다.

그림 6과 같이 육안으로 볼 때 LiDAR에서 획득한 DTM이 항공사진에서 획득한 DTM보다 훨씬 정확하고 정밀하게 나타나고 있다. 이것은 레이저측량과 사진측량의 차이로 레이저측량이 갖고 있는 장점을 잘 나타내고 있다. 수목 필터링 전, 후 그림에서 수목의 영향으로 인한 차이가 뚜렷하게 나타나며 수목의 영향이 많은 부분에서 제거되었음을 알 수 있다. 이를 보다 정량적으로 분석하기 위해 동일 위치에서 LiDAR에서 획득한 DTM과 수목 필터

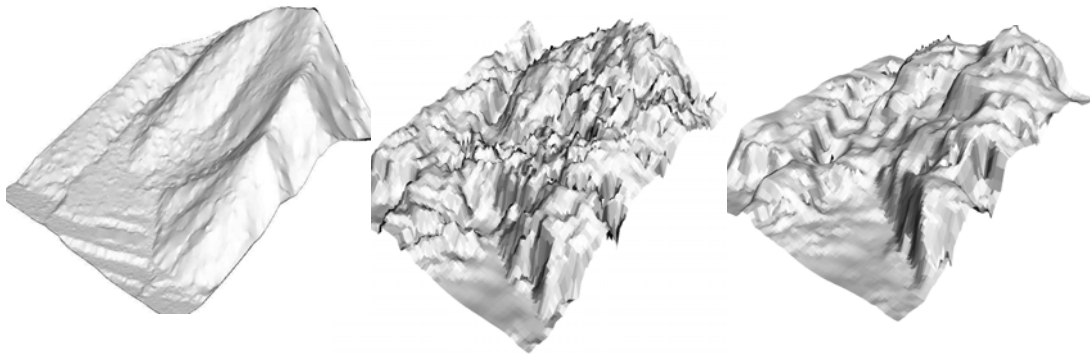


FIGURE 6. LiDAR에서 획득한 DTM(좌)과 수목 필터링 수행 전(중), 후(우)

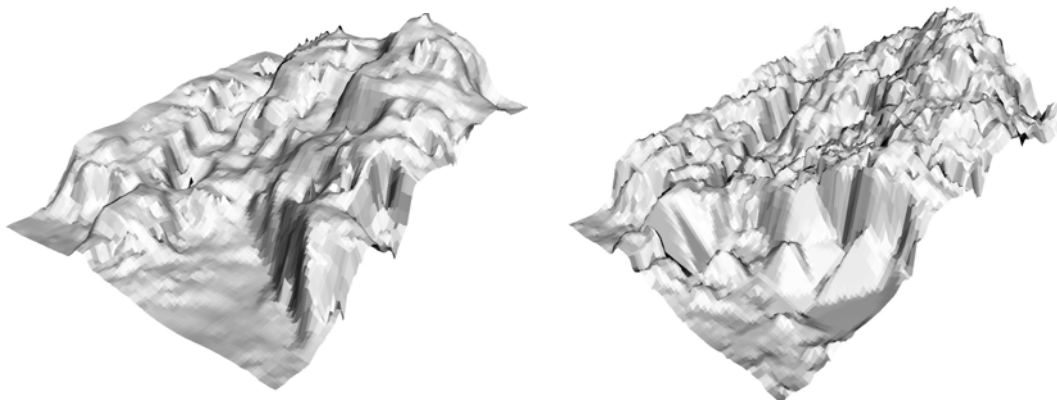


FIGURE 7. 수목 필터링 결과(좌)와 Socet set의 Adaptive 필터링 결과(우)

링을 수행한 DTM과의 고도값의 평균제곱근 오차(RMSE : Root Mean Square Error)를 분석해 보았다. 표 1의 결과에서 나타남과 같이 window 크기가 9×9일 때 평균제곱근오차가 가장 낮았으며 수목 필터링 전보다 약 5m 정도 정확도가 높아졌다.

수목 필터링의 효율성을 비교하기 위해 현재 가장 널리 사용되는 상용 수치사진측량 소프트웨어인 Socet set의 Adaptive 필터링을 수행한 결과와 비교하였다. Socet set의 Adaptive 필터링은 최소 수고와 최대 지형경사도를 입력변수로 요구한다. 최소 수고는 현지조사를 통하여 알아보았고 최대 지형경사는 1:5,000 수치지형도에서 나타나는 최대 경사도를 획득하였다.

그림 7과 같이 수목 필터링의 결과가 Adaptive 필터링의 결과보다 수목의 영향이 덜 나타나는 것을 알 수 있다. 두 데이터의 관계를 정량적으로 분석하기 위해 결정계수

(R²)와 평균제곱근오차를 구하였다. 결정계수는 두 데이터의 상대적인 유사성을 알아볼 수 있는 수치로 수목 필터링의 효율성을 나타내는 중요한 값이다. 또한 평균제곱근오차는 절대적인 오차를 비교한 것으로 DTM의 정확도라고 말할 수 있다.

Adaptive 필터링 결과가 수목 필터링에 의한 결과보다 평균제곱근오차가 크기는 약 6m 높게 나타났으며 LiDAR에서 획득한 DTM과 비교한 결정계수 또한 수목 필터링 결과가 0.03 정도 높게 나타났다. 비록 수치상으로는 결정계수의 차이가 많이 발생한 것은 아니지만 수목 필터링이 Socet set의 Adaptive 필터링보다 수목영향을 더 효율적으로 제거한 것으로 Adaptive 필터링과 견줄만한 효율성을 가진다고 말할 수 있다. 평균제곱근오차에서는 수목 필터링 결과가 Adaptive 필터링 결과보다 약 6m 정도 더 낮게 나타나 수목 필터링의 결과가 Adaptive

TABLE 1. window 크기에 따른 RMSE

구분	필터링 전	3×3	3×6	3×9	6×6	6×9	9×9
RMSE(m)	14.5	13.0	12.7	12.4	10.2	10.1	9.8

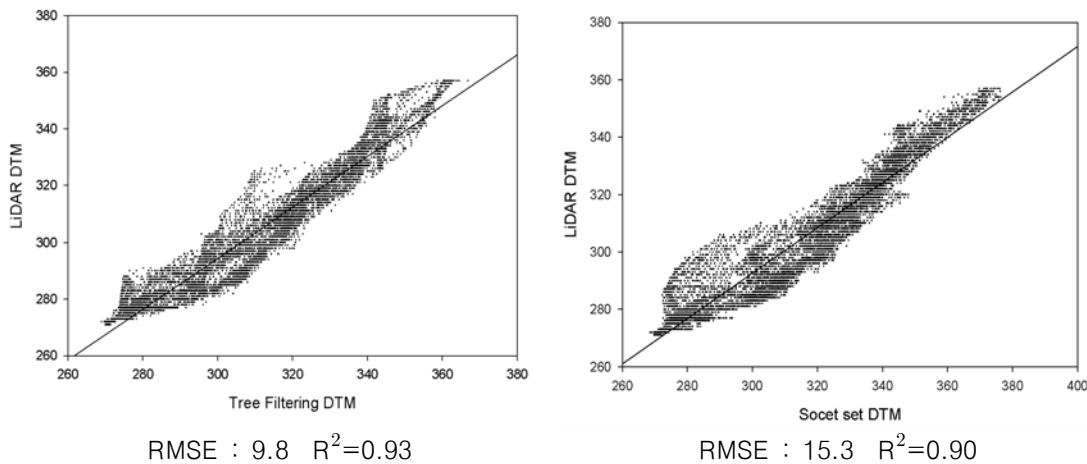



FIGURE 8. 수목 필터링 결과(좌)와 Socet set의 Adaptive 필터링 결과(우)

필터링 결과보다 LiDAR DTM에 더 가깝다는 것을 알 수 있다. 즉, 수목 필터링 결과가 Adaptive 필터링 결과보다 효율성을 나타내는 결정계수뿐 아니라 실제 정확도를 나타내는 평균제곱근오차에서도 더 나은 결과가 나왔기 때문에 수목 영향을 수목 필터링이 더 효과적으로 제거할 수 있다고 말할 수 있다. 그러나 한 가지 생각해 보아야 할 것은 수목 필터링 수행 뒤에도 여전히 LiDAR DTM과는 큰 오차를 보이고 있다. 서두에서도 언급했지만 이것은 항공사진이 가지고 있는 한계이며 자동화 기법으로 이러한 한계를 극복하는 것은 매우 어려운 것이다. 특히 도시지역이 아닌 산림지역같이 수목의 밀도가 높고 대면적인 지역을 수작업으로 수목을 제거하는 것은 거의 불가능한 일이다.

결 론

산림지역에서 항공사진을 이용하여 DTM을 제작하는 것은 많은 시간과 비용이 투입되고 그 정확도 또한 LiDAR측량에 비해 비교적 큰 오차가 나타난다. 따라서 향후 DTM 제작시 LiDAR측량이 주를 이루겠지만 앞서 서론에서도 언급했듯이 시계열분석이나 변화탐지를 목적으로 할 경우 항공사진을 이용해 DTM을 제작해야할 경우가 발생한다. 본 연구의 결과를 요약해보면 Adaptive 필터링 결과가 수목 필터링에 의한 결과보다 평균제곱근오차가 약 6m 높게 나타났으며 결정계수 또한 수목 필터링 결과보다 0.03 정도 낮게 나타났다. 이것은 평균제곱근오차와 결정계수의 결과를 볼 때 수목 필터링이 Adaptive 필터링보다 효율이며 실제 지형에 더 가깝다는 것을 알 수 있다.

본 연구는 산지토사재해가 주로 발생하는 산림지역에 초점을 두었고 특히 잎이 존재하

는 시기에 촬영된 영상을 사용했기 때문에 LiDAR DTM과의 오차가 더 크게 발생한 것으로 판단된다. 그러나 그보다 근본적으로 산림지역에서 잎이 완전히 핀 시기의 항공사진으로 DTM을 정확히 제작하는 것은 아직 많은 한계점을 가지고 있으며 그것을 해결하기 위한 연구도 충분하지 않다. 이 연구의 결과도 아직은 미흡하며 다양한 접근방법을 모색하여 보다 정확한 DTM을 제작할 수 있도록 노력을 기울여야 할 것이다. 

감사의 글

본 연구를 수행하는데 아낌없는 조언과 격려를 해주신 인하대 이규성 교수님과 한진정보통신 관계자 분들께 감사드립니다.

참고 문헌

- 김경태, 정성관, 박경훈, 오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회 8(1):75-87.
- 권혁준, 이병길. 2006. 산악지역에서의 수치사진 측량에 의한 DEM추출과 GIS를 이용한 3차원 도로시물레이션에 관한 연구. 한국측량학회지 24(1):123-130.
- 우충식. 2006. LiDAR 데이터를 이용한 산림지역의 지형고도자료(DEM)제작 및 수고추정. 인하대학교 석사학위논문. 29-33쪽.
- 이승기, 이병두, 정주상. 2005. GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발. 한국지리정보학회 8(4):81-90.
- 윤정숙, 이규성, 신정일, 우충식. 2006. 산림지역에서의 항공 Lidar 자료의 특성 및 지면점 분리, 대한원격탐사학회지 22(6):533-542.
- 조남춘, 최철웅, 전성우, 한경수. 2006. RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성의 검증. 한국지리정보학회 9(2):54-66.

- 채병곤, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 송영석. 2006. 산사태 현장조사 및 예측기법. 대한지질공학회 세미나자료. 147-184쪽.
- Hsiao, K. H., J. K. Liu, M. F. Yu and Tseng, Y. H. 2004. CHANGE DETECTION OF LANDSLIDE TERRAINS USING GROUND-BASED LIDAR DATA. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing conference Commission VII.
- Morgan, M. and A. Habib, 2002, Interpolation of LiDAR data and Automatic building extraction, ACSM-ASPRS Annual conference.
- Nilsson, M. 1996. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using an Airborne Lidar System. Remote Sensing of Environment 56:1-7.
- Popescu, S. C., R. H. Wynne and R. F. Nelson, 2002. Estimating plot-level tree height based variable window size. Computer and Electronics in Agriculture 37:71-95.
- BAE SYSTEM. 2006. SOCET SET User's Manual version 5.3.1. chapter 28.
- Vosselman, G. 2000. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data. Proceeding of IAPRS Amsterdam 33. **KAGIS**