



수자원분야의 항공레이저 스캐닝 기법 적용을 위한 소개

채 효 석 (한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원)

고 덕 구 (한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원)

김 우 구 (한국수자원공사 수자원연구소 소장)

1. 머릿말

항공레이저 스캐닝(ALS: Airborne Laser Scanning)은 지표면 상에 존재하는 다양한 객체의 공간적인 특성과 반사도를 측정하기 위해서 널리 이용되고 있는 방법으로, 미국, 일본 및 독일 등 선진국에서는 보편적으로 적용되고 있는 측량방법 중 하나이다. 특히, 홍수지도제작 및 각종 댐 공사 등과 관련된 지표표고모델(DEM: digital elevation model)의 생성과 지형도를 제작하는 데 활발히 적용되고 있으며, 국내에서도 최근 항공레이저스캐닝 기술을 적용하기 위한 시범 사업과 수자원, 통신, 건설공사 및 지형도 제작 등 여러 가지 분야에 적용하기 위한 노력이 추진되고 있다. 한국수자원공사 수자원연구소에서도 하천지도전산화 사업으로 2001년도 11월에 발주한 홍수지도제작에 항공 레이저 스캐닝 기술을 적용하여 수십 cm 정도의 정확도를 가지는 지표표고 모델을 획득하고자 그 동안 여러 가지 관련 기술의 검토와 적용성에 대한 분석을 마쳤다. 또한, 국립지리원에서 항공레이저 스캐닝에 대한 시범 사업을 서울특별시를 대상으로 추진하고 있으며, 본 사업을 통해 격자 간격 5m의 DED(digital elevation data)를 제작할 예정이다.

항공레이저 스캐닝 기술은 기존 항공측량에 의한 방법과 비교할 때, 기준점이 많이 필요하지 않다는

점, 삼림지대에서도 지표면에 대한 고도자료를 획득할 수 있는 점, 그리고 기상 조건에 영향을 크게 받지 않고 자료 획득이 가능하다는 점 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 특히, 측량의 물량을 대폭 줄이면서 지표면에 대한 3차원(x, y, z) 자료를 획득할 수 있는 장점을 가지고 있어 향후 다목적댐의 설계시 지형도 제작, 홍수지도 제작시 지표고도자료 제공 및 수자원단위지도의 정확도 평가 등 수자원분야에서 활발히 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 고에서는 항공레이저 스캐닝 기법에 대한 간단한 소개와 자료 처리 방법 및 적용 분야 등을 소개하고자 한다.

2. 구성

다른 레이저 스캐닝 시스템에 관한 자세한 내용을 소개하기 전에 레이저 스캐닝에 관해 먼저 정의하는 것이 필요하다. 레이저 스캐너는 Skylab, Landsat MSS 및 TM과 같이 인공위성에 탑재된 다중분광주사기와 같은 광학 주사장치를 의미한다. 그러나, Landsat TM의 경우 주사 매체로써 태양 에너지를 이용하는 반면, 항공레이저 스캐너는 주사 매체로써 레이저 빔을 사용하는 능동적(active) 주사시스템이다. 따라서, 방사된 레이저 빔과 수신되는 빔 등 두 가지 광학 빔에 대한 고려가 필요하다. 모든 레이저 시스템은 센서와 지표면 상에 존재하는 대상체 사이

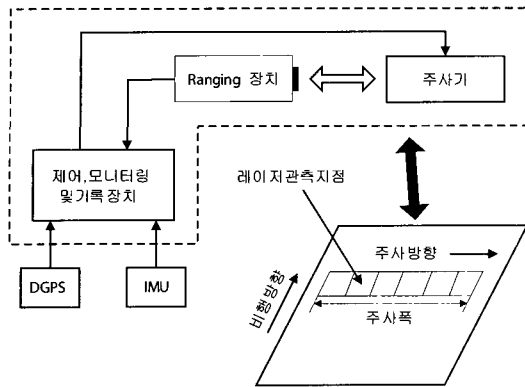


그림 1. 항공레이저 스캐닝 시스템

의 거리를 측정할 수 있다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 전형적인 레이저 스캐너는 레이저 측정 장치, 광학 주사장치와 제어 및 처리장치 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다.

측거(ranging) 장치는 레이저를 방사하는 송신장치와 지표면에서 반사된 레이저를 수신하는 수신장치로 구성되어 있다. 일반적으로 8내지 15cm의 반경을 가지고 있는 송신장치와 수신장치가 탑재되어 있으며, 레이저 파의 송신 경로와 수신 경로는 동일한 경로를 가지는 것으로 가정한다. 따라서, 레이저 파에 의해서 반사되는 지표면 상의 한 개 주사점은 항상 수신기의 순간시야각(IFOV: Instantaneous Field Of View) 내에 존재하게 된다.

전형적인 레이저 수신기의 순간시야각은 0.3내지 2mrad 정도이다. 일반적으로 순간시야각의 물리적인 한계는 빛의 회절 현상에 의해서 결정되며, 수신기의 순간시야각은 송신기의 순간시야각보다 크다. 또한, 레이저의 순간시야각이 매우 좁기 때문에 관측을 위해 필요한 공간적인 범위를 획득하기 위하여 레이저빔은 비행방향을 가로질러 이동하게 된다. 위치에 대한 2차원 자료는 항공기의 이동에 의해서 획득이 가능하며, 레이저 스캐닝은 임의의 형태로 측거빔(ranging beam)을 편향시키는 것을 의미하게 되어 지표면에 대해 높은 관측밀도를 가지고 자료의 획득이 가능하게 된다.

3. 관측 원리

마이크로파를 이용하는 레이더 기술과는 달리 레이저는 거리관측에 대한 장점을 가지고 있으며, 높은 에너지 펄스를 가질 수 있기 때문에 짧은 시간 간격으로 송신할 수 있다. 반면, 비교적 짧은 파장은 작은 장치를 이용하여 상대적으로 높게 시준할 수 있다. 이러한 이유 때문에 레이저가 개발된 이후 레이저를 이용한 매우 정교한 거리관측이 가능하게 되었다. 높은 펄스 반복율을 가진 레이저가 상품화된 이후 스캐닝 레이저 시스템은 거리관측 영상(range image)을 획득하기 위한 많은 연구가 있었으며, 정확한 3차원 자료의 획득이 가능하게 되었다.

레이저 레이더에 대해 LADAR(LASer Detection And Ranging)와 LiDAR(Light Detection And Ranging) 등 두 가지 유사어가 일반적으로 사용된다(Bachman, 1979 ; Jelalian, 1992). 공식적인 용어는 아직 존재하지 않지만, 범용적으로 레이저가 사용된다는 측면에서 LADAR는 용어가 좀더 정확한 표현이다. 레이저는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 약자로, 매우 특별한 전자파의 일종이다. 레이저를 이용할 경우 강력한 방향성을 가지는 빛을 생성할 수 있으며, 생성된 빛은 시간과 공간에 대해 매우 높은 일관성(coherence)을 가질 수 있다(Young, 1986). 일관성의 수준은 레이저의 종류에 따라 크게 의존하며, 가스상태나 고체상태의 레이저는 반도체 레이저보다 높은 일관성을 제공하고 있지만, 현재의 레이저 스캐닝 시스템에서는 일관성에 대한 물리적인 효과는 타당성이 없는 것으로 알려지고 있다. 단지 레이저의 높은 시준(collimation)과 광학적인 출력만이 필요하며, LiDAR 시스템은 Xenon 혹은 섬광등(flash lamp)에 의해서 레이저를 생성한다.

모든 LiDAR 시스템은 일반적인 레이더가 적용되고 있는 분야와 유사한 많은 분야에 적용이 가능하며, 단지 차이점은 레이더에서 이용하는 광대역의 파장대보다는 좁은 펄스나 빔을 대상체에 송신한다는 점이다. 레이저는 펄스를 생성하며, LiDAR 시스템

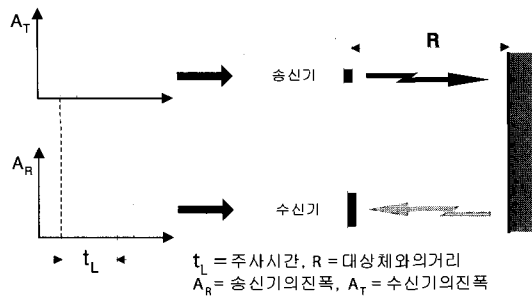


그림 2. 거리 계산 원리

에서 보내진 펄스는 지표면 상의 대상체에 의해서 반사되어 수신기로 돌아오게 된다. 수신기에 장착되어 있는 초고속 카운터는 송신펄스와 수신펄스의 주사시간(travel time)을 관측하며, 결국 LiDAR는 레이저와 수신기의 결합체로 표현할 수 있다. 수신기에 의해서 기록된 주사시간은 (1) 식을 이용하여 거리로 변환될 수 있다. 또한, 레이저 레이다는 0.3m/ns의 속도로 이동하게 되며, 이러한 원리를 이용하여 대상체와의 거리를 아래와 같이 계산할 수 있다(그림 2)).

$$R = (c \times t_L) / 2 \quad (1)$$

레이저를 이용하여 거리를 관측을 하는 방법에는 펄스를 이용하는 방법과 위상차이(phase difference)를 이용하는 방법 등 두 가지가 있다. 펄스 레이저는 Xenon 섬광등 튜브, 아크등(arc lamp) 및 금속-수증기등(metal-vapour lamp)과 레이저 다이오드(diodes)로부터 빛을 공급받는다. 가장 일

반적인 레이저는 펄스 폭이 10- 15ns, 파장이 1.06 μm 및 마이크로파까지 출력이 가능한 Nd:YAG 레이저이다. 위상 차이를 이용하는 방법은 연속적으로 빛을 방사하는 레이저에 적용되며, 이러한 레이저를 연속파(CW:continuous wave) 레이저라고 한다. 현재의 측거 레이저 시스템에서는 대부분 펄스 측거 원리를 이용하고 있으며, 상업용 항공레이저 스캐너는 하나의 연속파 레이저 스캐너를 채택하고 있다.

3.1. 레이저

현재 항공레이저 스캐닝 시스템에서 사용되는 레이저는 반도체 다이오드와 반도체 레이저에 의해서 주입되는 Nd:YAG이며, 800nm에서 1,600nm 정도의 파장이 이용된다. 감지기로서는 PIN-photodiode 혹은 APD(avalanche photodiode)가 이용되며, 감지기의 민감도는 매우 중요하다. 동일한 조건하에서 APD는 PIN-photo diode에 의해서 측정될 수 있는 거리의 4배 정도를 측정할 수 있으며, high-end APD는 10배 정도를 측정할 수 있다. 현재의 레이저 스캐너는 직접 에너지 감지 원리를 이용하기 때문에 거리관측에 대해 일관성에 대한 광원이 필요없다. 따라서, 높은 출력, 연속파 레이저 시스템의 경우 짧은 펄스 간격 혹은 주파수와 함께 레이저를 변조할 수 있는 능력, 높은 시준(collimation)과 레이저를 방사할 때 좁은 스펙트럼 등과 같은 물리적인 레이저 특성이 이용된다. 역산란되는 햇빛에 의해 발생하는 배경방사(background radiation)를 차단하기 위해서 수신 경로상에 좁은 간섭 필터가 장착되어 있으며, 좁은 스펙트럼 혹은 다른 의미로 좁은 레

표 1. 900nm 파장에 대한 여러 가지 물질들의 반사도

물 질	반사도(%)	물 질	반사도(%)
재목	94	탄산염 모래(젖음)	41
눈(snow)	80-90	해안모래	50
석재	85	산재된 목재	25
석회암, 점토	75까지	콘크리트	24
활엽수	60	아스팔트	17
침엽수	30	웅암	8
탄산염 모래(건조)	57	합성고무	5

이저선을 사용하는 것이 유리하다.

레이저의 파장 선택은 레이저 스캐닝 시스템의 설계에 따라 달라지며, 가장 민감한 감지기는 800nm에서 1,000nm 사이의 파장대를 가지고 있다. 따라서, 첫 번째 레이저 스캐너는 900nm의 파장을 가지고 있었다. 900nm 정도의 파장대에서는 상업적으로 강력한 펄스 반도체 레이저 다이오드가 유용하며, 최적의 시스템 능력을 가질 수 있게 된다. 그러나, 눈의 안전이 문제가 된다. 만약 높은 레이저 펄스 에너지가 필요하다면, 파장은 눈에 덜 민감하게 설계되어야 한다. TopoSys 레이저 스캐너는 1,535nm에서 작동되며, 이 파장에서는 높은 에너지가 발생되지만 인간의 눈에는 피해를 주지 않고 자료를 획득할 수 있다. 아주 높은 에너지는 감지기로써 이용되는 InGaAs APD의 낮은 민감도를 보완해주는 역할을 한다. 높은 에너지 때문에 최대 거리는 신호대 잡음비와 정확도에 대해 동일한 측정 능력을 유지하는 1,500nm 이상까지 확장될 수 있다. 또한, 햇빛에 의한 배경 방사는 1,535nm에서 매우 낮다. 강력한 배경 방사는 신호대 잡음비를 감소시킨다.

레이저의 파장을 논의할 경우 대상체의 역산란 특성을 고려해야 한다. 예를 들어, 눈과 얼음은 1,535nm의 파장대에서 매우 약하게 반사하기 때문에 얼음을 관측하기 위해서는 적합하지 않다. 따라서, 800nm의 파장대를 가지고 있는 레이저를 선택하는 것이 타당하다. <표 1>은 900nm의 파장대에서 반응하는 여러 가지 물질들의 반사도를 나타낸 것이다. 주어진 파장대에서 대상체의 반사도는 관측할 수 있는 최대 거리에 영향을 미치게 되며, 최대 관측 가능한 거리는 시스템 제조사나 공급자가 제공하는 레이저 스캐너의 사양에는 나타나 있다.

3.2. 스캐닝 방법

스캐닝은 한 방향이나 혹은 양 방향으로 가능하다. <그림 3>은 항공기를 이용하는 경우에 대한 전형적인 스캐닝 방법을 나타낸 그림이다. 진동 거울(oscillating mirror)은 항상 지그재그 형태의 선(양방향 스캔)이나 2축 검류계(galvanometer)를 가지

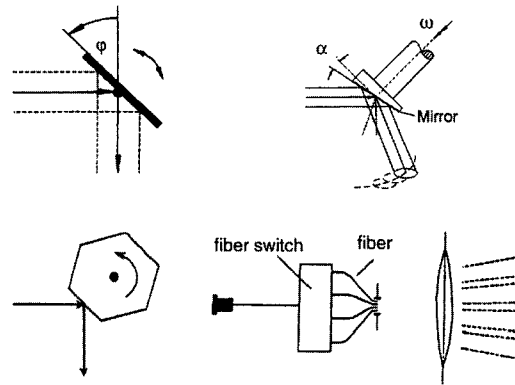


그림 3. 다양한 스캐닝 형태(상단 왼쪽부터 시계방향으로), 진동거울, Palmer 스캔, 광섬유 스캐너, 회전 폴리곤

는 평행선 혹은 호의 양방향 만자(卍) 형태로 스캐닝을 수행하게 된다. 회전 폴리곤과 다면 거울 스캐너는 한 방향의 평행선을 생성하며, 회전 거울(Palmer 스캔)은 타원 형태의 스캐닝을 할 수 있다. 아울러, 광섬유(fiber) 스캐너는 평행선 스캐닝을 실시할 수 있다(<그림 3>).

지표면에 대한 스캐닝 형태는 레이저 스캐닝 형태 뿐만 아니라 비행방향과 속도, 그리고 지형 등에 의해서 영향을 받게 된다. 점들은 하나의 주사선을 따라 항상 동일한 각도에 따라 획득되며, 지표면 상에서 점간 거리는 항상 일정하지 않게 된다. 가속도나 스캐닝 장치의 속도 저하 때문에 지표면의 주사폭 범위 내에서 점들은 다른 특성들을 나타낼 수 있으며, 그러한 경우 원시자료로부터 제거한 후 자료를 처리하게 된다.

TopoSys 시스템에서 채택하고 있는 광섬유 스캐너의 장점은 송신 장치와 수신 장치가 동일하다는 것이다(<그림 4>). 동일한 광섬유 선배열이 송신 렌즈와 수신 렌즈의 초점면에 장착되어 있다. 두 개의 회전 거울을 사용함으로써 송신 경로와 수신 경로에서 각 광섬유는 연속적이고 동시에 스캐닝된다. 이 거울들은 중앙 광섬유로부터 중앙 광섬유 주변의 원에 장착되어 있는 광섬유 배열의 광섬유까지 혹은 배열로부터 중앙 광섬유까지의 빛을 전달하게 된다.

이와 같은 방법으로 빛은 송신 광섬유로부터 수신

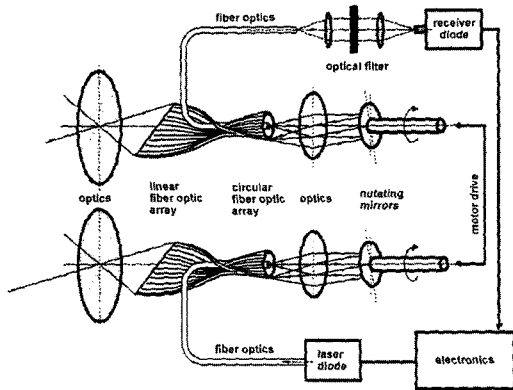


그림 4. Toposys 광섬유 스캐너

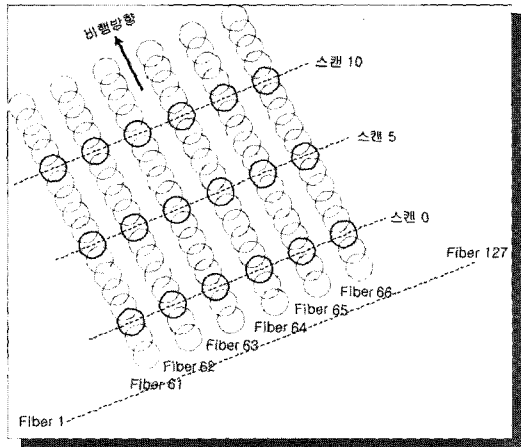
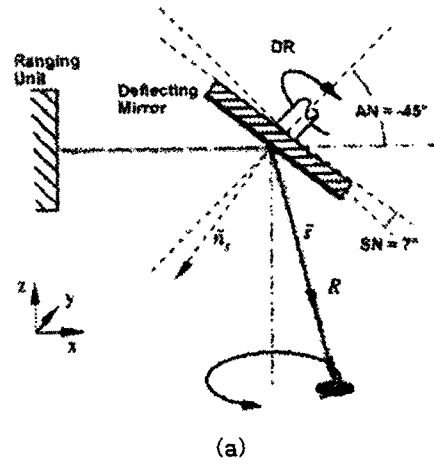


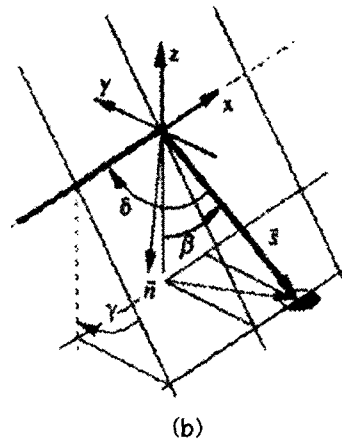
그림 5. TopoSys 항공레이저 시스템의 주사형태

경로상에 일치되는 광섬유에 연결된다. 작은 광섬유 장치로 인하여 움직임이 적은 기계 장치를 탑재할 수 있으므로, 높은 스캐닝 속도(630Hz까지)를 얻을 수 있다. 이것은 일반적인 거울 스캐너 상에서는 불가능하다. 지금까지 128개의 광섬유 배열이 가능한 것으로 알려지고 있지만, 256개의 광섬유 배열이 가까운 장래에 가능할 것으로 예측된다.

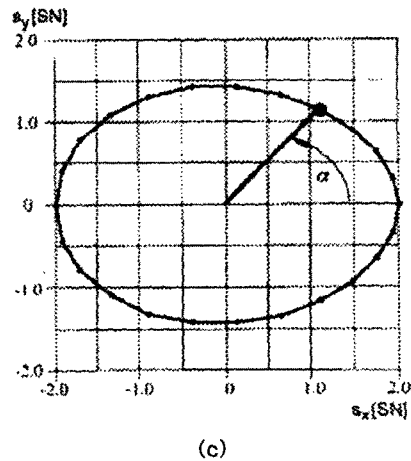
Palmer 시스템은 다른 시스템에 비해 다른 스캔 형태를 적용하고 있다(그림 6)). 레이저 관측 장치의 광학 빔은 편향 거울과 부딪치게 된다. 편향 거울에는 회전축이 장착되어 있으며, 스캐너 소프트와 레이저 빔은 45도의 경사를 가지고 있다. 또한, 편향 거울은 SN의 경사를 가지고 있다. 이러한 부가적인 각



(a)



(b)



(c)

그림 6. Palmer 스캐너. (a) 스캔 원리, (b) 레이저 빔에 대한 방향 각도 결정, (c) 스캔 형태 및 스캔 범위

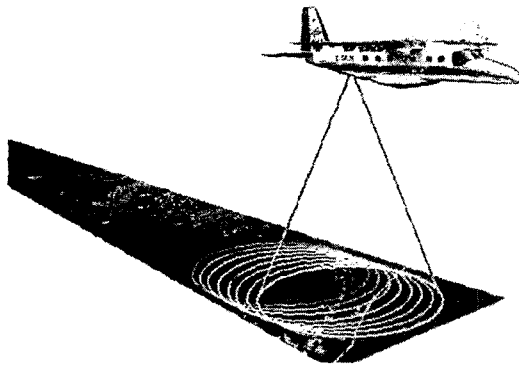


그림 7. Palmer 스캐너의 자료 획득 과정

도는 스캐너 샤프트가 회전할 때 거울의 움직임을 발생시키게 된다.

지상에서는 거의 타원형의 주사 형태가 관측되며, (그림 6-(c))는 주사 형태를 보여주고 있다. 그림에 나타난 좌표는 SN 단위를 나타낸다. 실제 각도를 얻기 위해서 좌표에 SN를 곱하게 된다. 타원은 비행기의 이동을 나타낸다(그림 7). 타원 형태로 스캐닝을 실시하기 때문에 지표면 상에서 대부분의 관측점은 두 번 주사하게 된다. 즉, 첫 번째는 전방에 대해서 그리고 두 번째는 후방에 대해서 각각 자료를 획득하게 된다. 동일한 지표점에 관한 여분의 정보는 항공기의 상하 움직임에 대해 스캐너와 위치 및 방향 시스템을 보정하기 위해서 사용된다.

3-3. 위치 및 방향 시스템(POS)

레이저 스캐너는 단지 레이저 스캐너로부터 지표면 상의 한 점까지 거리를 관측한다. 관측하는 동안 레이저 시스템의 위치와 방향을 알 수 있다면, 지표면 상의 한 점에 대한 3차원 위치를 계산할 수 있다. 따라서, 주어진 좌표계에 대해 정확한 거리 측정을 얻기 위해서는 레이저 스캐너 시스템의 위치 및 방향 시스템(POS)은 매우 중요하다. 레이저 스캐너의 정확도와 위치 및 방향 시스템의 정확도는 동일해야 한다. 즉, 레이저 스캐너의 정확도가 10cm 정도라고 한다면, 위치 및 방향 시스템의 정확도도 10cm를 가져야 한다. 그러한 정확도는 DGPS와 IMU로 구성

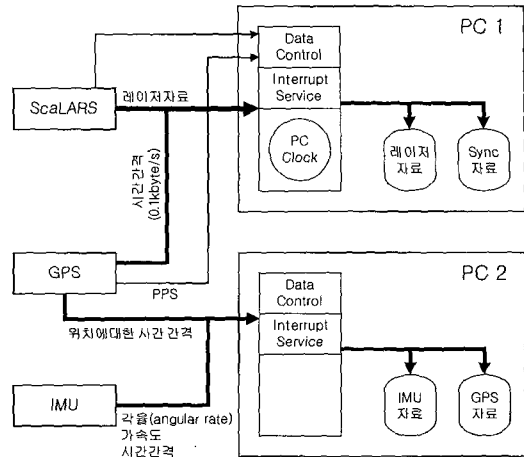


그림 8. 레이저 스캐너(ScaLARS), GPS 및 IMU의 동기화 과정

되어 있는 위치 및 방향 시스템에 의해서 가능하다. 레이저 스캐너의 좌표일치화(goecoding)는 IMU, DGPS 및 레이저 스캐너 자료 등 모든 시스템의 정확한 동조(synchronization)가 필요하다.

(그림 8)은 레이저 스캐너 시스템의 시간 동조를 나타낸 그림으로, 위치 및 방향 시스템 자료와 레이저 스캐너 자료가 다른 장치에 저장되어 있는 것을 보여주고 있다. 이러한 별도의 저장 장치를 이용하는 것은 두 가지의 독립적인 시간이 존재한다는 것을 의미한다. 즉, 위치 및 방향 시스템 자료와 관련된 GPS 시간과 레이저 스캐너 자료와 관련된 PC 1의 내부 시간 등 두 가지 시간이 존재하게 된다.

스캐닝을 시작할 때 PC 1의 컴퓨터 시간이 관측되는 자료와 직접 연결되며, 이러한 기록과 함께 GPS의 PPS(pulse per second) 신호와 PC 1의 시간이 분리된 프로토콜 파일에 저장된다. 장착된 GPS 수신기의 PPS 신호가 인터럽트 IRQ 7을 자극할 때, GPS 시간과 PC 1의 시간이 동시에 저장된다. 이러한 프로토콜 파일을 사용함으로써 위치 및 방향 시스템 자료는 레이저 스캐너 자료와 분리되어 전처리된다. 1초 간격으로 이루어지는 동조 과정은 높은 정확도와 안정된 GPS 시간과 PC 1의 국부적인 컴퓨터 시간 사이에서 발생할 수 있는 시간 오차를 조정하고 보정할 수 있다.

4. 자료처리

비행 후에는 기본적으로 위치 및 방향 시스템 자료(POS)와 순간주사각을 가지고 있는 레이저 거리 자료 등 두 가지 자료가 획득된다. 위치 및 방향 시스템 자료의 위치 오차가 10cm이고, 방향 오차가 0.02° 보다도 좋을 경우 매우 정확한 레이저 관측점을 계산할 수 있다. 그러나, 정확한 자료를 획득하기 위해서는 몇 가지 시스템에 대한 인자가 선행적으로 고려되어야 한다.

예를 들어, 고정된 항공기의 위치에 대해 항공기의 상하 및 좌우로 흔들리는 현상(roll), 전후로 흔들리는 현상(pitch) 및 한 쪽으로 흔들리는 현상(yaw) 등에 의한 스캐너 프레임의 3가지 각도, 관성계측장치(IMU: Inertial Measurement Unit)에 대한 레이저 스캐너의 위치 및 GPS에 대한 관성계측장치의 위치 등과 같은 시스템 인자를 고려함으로써 정확한 3차원 위치 자료를 획득할 수 있다. 이러한 보정 자료는 레이저 스캐너를 이용한 측량 과정에서 획득되며, 다른 방향에서 임의의 참조 지역(reference)에 대한 자료가 동시에 획득된다.

참조지역은 넓은 운동장과 같은 편평한 지역, 건물이나 건물의 모서리 등이 될 수 있다. 보정자료는 상대적인 방향 및 위치와 일정한 지구상의 참조점과 같은 지점에 대한 좌표의 절대 방향과 위치로부터 쉽게 계산될 수 있다. 일반적인 레이저 스캐너 자료의 보정과정은 이미 잘 알려져 있으며(Lindenberger, 1993), 표준적인 보정과정은 없다. 또한, 현재 각 레이저 스캐너 제조사들은 보정을 위한 고유한 처리 절차나 소프트웨어를 별도로 개발하여 제공하고 있다.

Lindenberger(1993)과 Hug(1996)에 따르면, WGS 84로 관측된 레이저 포인트는 보정자료(calibration data) 및 탑재인자(mounting parameters), 주사각에 따른 레이저 거리관측 및 위치 및 방위 시스템 등 3가지 자료를 이용하여 계산할 수 있다. 추가적인 처리과정의 주요한 목적은 수치표고모델을 계산하기 위한 것이다. 첫째로 레이저 거리 자료는 WGS 84로부터 원하는 좌표계로 변환된다.

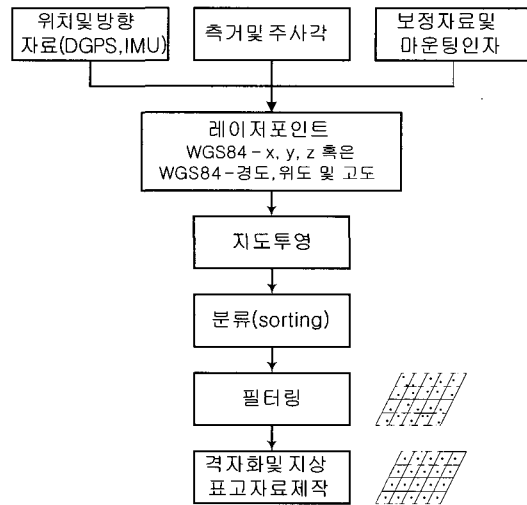


그림 9. 레이저 스캐너 자료의 일반적인 처리과정

좌표변환 결과는 고도와 위치에 있어서 무작위 형태로 분포된 레이저 포인트 자료이다. 관측점의 분포는 레이저 시스템의 스캐닝 형태에 따라 달라진다. 다음은 고도자료가 위치에 따라 분류된다. 분류과정 후, 지표점들은 건물과 식생 등과 같은 비지표점들로부터 분리되어야 한다.

이러한 작업에 대해서 다른 필터 알고리즘과 방법이 적용된다. 표준적인 과정은 형태학적인 필터(morphological filter)와 자동 회귀 통합처리과정(autoregressive integrated processing)이다(Lindenberger, 1993). 몇몇 논문과 Kraus와 Pfeifer(1998)에 의하면 이러한 필터의 개발은 아직 완성되지 않았다고 한다. 필터링은 원시자료나 혹은 보간된 격자자료를 이용하여 수행된다. 보간된 격자 자료는 보간 오차에 의해서 영향을 받는 단점을 가지고 있지만, 영상 처리과정에서 이용되는 기존 필터링 방법이 쉽게 적용된다.

대부분의 경우 몇 개의 관측점들이 하나의 격자에 포함되기 때문에 뛰어난 격자 DTM 보간을 위해서 지금까지 많은 알고리즘들이 개발되었으며, 이러한 DTM 보간은 가중 알고리즘을 필요로 한다. 또한, 식생이 밀집되어 유효한 레이저 관측점이 빠져있는 지역과 같이 관측 자료가 없는 곳은 채워져야 한다.

생성된 자료의 양이 크고 DTM 보간과 가시화 등을 위해 상업용 프로그램은 단지 제한된 수의 점들만을 이용하며, 이러한 작업은 필터링이나 DTM 보간 후에 수행된다.

처리과정에서 자료의 가시화나 수작업을 통한 편집과정이 필요하다. 후처리 소프트웨어가 최종 결과에 크게 영향을 주기 때문에 현재 필터링과 보간 프로그램들이 LiDAR 시스템 개발 회사나 연구소 등에 의해서 개발 중에 있다. 원시자료가 보간되었을 때 자료는 SCOP, Microstation, EASI-PACE와 ArcGIS 등과 같은 상업용 프로그램에 의해서 추가적인 처리와 분석이 이루어질 수 있다. 현재, 레이저 스캐너로부터 계산된 DTM에 대한 처리시간은 자료 획득시간의 3배 정도 소요되는 것으로 알려져 있으며, 따라서 정확한 자료 획득을 위해서 자료 처리에 많은 주의가 필요하다.

5. 적용분야

거리를 측정하는 것과는 별개로 몇몇 레이저는 역산란된 레이저의 세기(intensity)를 기록할 수도 있다. 역산란된 레이저의 세기를 기록하는 것은 펄스 레이저와 연속파 레이저에서 모두 가능하다. <그림 10>은 레이저의 세기 정보를 이용하여 연속파 레이저 스캐너 자료로부터 생성된 DSM을 보여주고 있다. 역산란된 레이저의 세기는 가시화를 위해서 이용될 수 있을 뿐만 아니라 획득된 고도자료와 함께 이용하여 대상체에 대한 필터링, 제거 및 분류

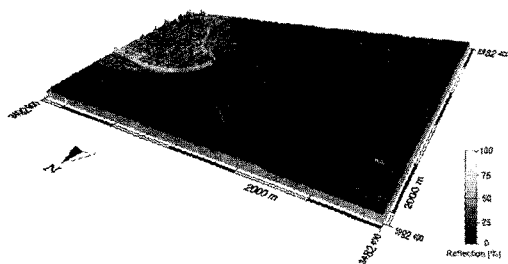


그림 10. ScarLARS 레이저 스캐너를 이용하여 획득된 자료(독일 Friedrichshoog 지역)

(classification) 등을 위해서 이용될 수 있다(Hug와 Wehr, 1997).

몇몇 레이저는 각각의 펄스에 대해서 여러 개의 전자파 반사를 기록할 수 있다. 비록 하나의 펄스 당 4개의 반향까지 기록하는 상업적인 시스템이 있다할지라도, 그러한 시스템은 항상 첫 번째 펄스(first return)와 네 번째 펄스(last return)를 기록한다. 또한, 파형(waveform)이라고 불리는 되돌아오는 모든 신호를 기록하는 실험적인 시스템도 있다. 단지 하나의 수신파만을 기록하는 레이저는 첫 번째 혹은 마지막 수신파만을 기록하게 된다. 여러 개의 대상체에 대한 수직 단면도가 필요한 경우 여러 개의 수신파를 기록할 수 있는 시스템은 매우 유용하다. 마지막으로, 지형을 관측할 수 있는 레이저와 동일한 원리를 이용하는 수심측량 레이저도 있다. 수심측량 레이저는 1,064nm와 532nm 등 두 가지 파장을 이용한다. 적외선 파장은 물 표면에서 반사되며, 반면 녹색은 물을 투과하고 바닥과 혹은 물속의 다른 대상체에 의해서 반사된다.

항공레이저 스캐너 시스템의 주요 적용 분야는 다음과 같다.

- 도로, 철로, 파이프라인 및 수로 등과 같은 회랑(corridor) 매핑
- 전력 송배전선과 지표나 나무를 포함하는 탐 매핑
- 산림지역에서의 DTM 생성
- 모래언덕과 조습지(tidal flat) 및 해안선 변화나 침식의 결정을 포함하는 해안선 지역 관측
- 홍수매핑, DTM 생성과 체적계산 등과 같은 높은 정밀도와 매우 밀집된 관측 적용
- 도시지역의 DTM과 DSM 생성, 자동 건물 추출, 무선통신 분야에서 중계 안테나의 위치 계획 수립을 위한 3차원 도시모델의 생성, 도시계획, 기후모델, 소음 및 오염물질의 전달 과정 모델링
- 태풍, 지진 혹은 산사태 등과 같은 자연재해가 발생한 후 빠른 피해지역 매핑 및 피해 평가
- 빙하 모니터링을 포함하는 적설지역 및 빙설지역 관측
- 습지 관측

- 식생 높이, crown의 지름, 식생 밀도, 생체량 예측, 식생 경계의 결정 등과 같은 식생 인자의 분석
- 약 70m까지의 수로측량(hydrographic survey)

또 다른 적용 분야로는 조경 설계, 영화, 비디오와 컴퓨터 게임 및 애니메이션을 위한 3차원 모델 생성, 건축설계를 위한 3차원 도시 모델과 건축과 토목 프로젝트에 있어서 시뮬레이션, 농작물의 성장 모니터링 및 재해 위험 평가를 위한 적설량 분석 등에도 적용할 수 있다. 항공레이저 시스템은 정확하고 신속한 다목적 관측기법이며, 현재 이용되고 있는 geodata 획득기술과 새로운 흥미 있는 적용분야까지 보완하거나 부분적으로 대체할 수 있는 새로운 기법이다.

6. 맺음말

항공레이저 스캐닝 기법은 기존 항공측량에 의한 수치고도자료 생성 등을 대체할 수 있는 획기적인 기법으로 미국, 독일 및 캐나다 등 선진국에서는 이미 보편화된 측량 기법 중 하나이다. 국내에서도 2000

년도에 국립지리원에서 항공레이저 스캐닝 기법에 대한 실험적인 연구를 수행한 바 있으며, USGS, NOAA 및 미공병단 등에서도 수자원 분야에 항공레이저 스캐닝 기술을 도입하기 위한 많은 연구를 수행하고 있다.

수자원연구소에서는 홍수지도를 제작하는 데 필요한 수치고도자료를 생성하기 위해 한강권역에 대한 홍수지도 시범제작 사업에 LiDAR 기법을 적용하고 있으며, 이를 위해 지난 2000년도부터 관련 기술에 대한 검토를 실시한 바 있다. 특히, 국내에서는 최초로 실제 적용성에 관련된 기술 검토를 수행하였으며, 항공레이저 측량 지침을 만들어 홍수지도 제작지침에 포함시킨 바 있다.

향후 수자원분야에서 항공레이저 스캐닝 기술을 이용함으로써 정확하고 신뢰성 높은 고도자료의 제공이 가능할 뿐만 아니라 홍수재해분석 등과 같은 분야에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 최근 활발히 연구되고 있는 3차원 도시모델의 구축을 통한 홍수시의 피해분석, 유역 분할과 미공병단에서 추진하고 있는 SHOALS 등을 이용한 하천측량도 머지않아 가능할 것으로 기대된다. 🌐

〈 참고문헌 〉

국립지리원, 2000, 항공레이저 측량을 이용한 지형정보 제작에 관한 연구

한국지형정보산업협회, 2001, 항공기탑재 레이저에 의한 신세대 측량기술, 측량 및 지형정보, 11월호, pp.24-30

Bechman, Chr. G., 1979, Laser radar systems and techniques, Artech House, MA

Baltasavias, E. P., 1999, Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources, ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54, No.2-3, pp.164-198

Hug, Ch., Wehr, A., 1997, Detecting and identifying topographic objects in imaging laser altimeter data, IAPRS, Vol. 32, Part 3-4W2, pp.19-26

Jelalian, A. V., 1992, Laser Radar Systems, Artech House, Boston

Kraus, K., Pfeifer, N., 1998, Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54, No.4, pp.193-203

Maher, B., Christian, M., 2001, Urban applications and flood impact analysis with LiDAR data-A case study of Bridgetown Municipality, AGRG and COGS Reports.

Wolfe, W., Zissis, G., 1978, The infrared handbook, Environmental Research Institute of Michigan for the Office of Naval Research, Department of the

■ 학술기사

수자원분야의 항공레이저 스캐닝 기법 적용을 위한 소개

Navy, Washington, DC
Wehr, A., Lohr, U., 1999, Airborne laser
scanning-an introduction and overview, ISPRS J.
of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54,

No.2-3, pp.68-82
Young, M., 1986, Optics and lasers-Series in Optical
Science, Springer, Berlin, pp.145