

KDS 12 30 05 : 2023

3차원 디지털 설계측량

2023년 01월 02일 제정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 설계는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기술진흥법 제44조 및 같은법 시행령 제65조에 따라 건설공사의 안전성, 경제성, 성능 및 품질 확보를 위한 것으로 제정 및 개정에 대한 연혁은 다음과 같다.
- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 측량 신기술 등을 반영하여 건설공사의 자동화 시공 등에서 요구되는 디지털 설계에 필요한 3차원 기준점 및 수준점측량, 영상데이터를 이용한 설계측량, 레이저데이터를 이용한 설계측량, 초음파데이터를 이용한 설계측량, 3차원 데이터 모델작성에 대한 기준을 제정하였다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
3차원 디지털 설계측량	• 스마트건설을 위한 3차원 설계의 기본이 되는 측량의 최신성 및 정확성에 기여하고 체계적인 기술과 성과품의 동일성을 위하여 기준 제정	제정 (2023.01.02)

제 정 : 2023년 01월 02일
심 의 : 중앙건설기술심의위원회
소관부서 : 국토지리정보원 위치기준과
관련단체 : 대한공간정보학회

개 정 :
자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
작성기관 : 대한공간정보학회

* 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 매 3년마다 그 타당성을 검토

하여 확인, 개정 또는 폐지 등의 조치를 하여야 한다.



목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
2. 조사 및 계획	1
3. 재료	2
4. 3차원 디지털 설계측량	2
4.1 3차원 기준점 및 수준점 측량	2
4.1.1 3차원 기준점 및 수준점 측량 계획	2
4.1.2 3차원 기준점 및 수준점 측량 방법	2
4.1.3 3차원 기준점 및 수준점 측량 품질관리	4
4.1.4 3차원 기준점 및 수준점 측량 성과품	4
4.2 3차원 영상데이터를 이용한 설계측량	8
4.2.1 유인 항공사진측량에 의한 영상취득	8
4.2.2 무인비행장치측량에 의한 영상취득	10
4.2.3 유인항공 사진측량의 품질관리	14
4.2.4 무인비행장치 사진측량의 품질관리	15
4.2.5 3차원 영상데이터를 이용한 설계측량	16
4.3 3차원 레이저데이터를 이용한 설계측량	17
4.3.1 3차원 레이저데이터 취득방법	17
4.3.2 레이저데이터를 이용한 측량 품질관리	29
4.3.3 레이저데이터를 이용한 측량 성과품	30

4.4 3차원 초음파를 이용한 설계측량	31
4.4.1 수심측량 방법	31
4.4.2 수심측량 품질관리	33
4.4.3 수심측량 성과품	33
4.5 3차원 데이터 모델작성	34
4.5.1 3차원 데이터 모델작성 방법	34
4.5.2 3차원 설계데이터의 변환	37
4.6 보고서작성	37



1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준은 건설공사에서 요구되는 디지털 설계의 3차원 모델작성에 필요한 기준점 및 수준점, 영상, 레이저, 초음파에 의한 데이터취득 및 3차원 모델작성 등의 방법, 품질 관리, 성과품 작성 등을 제시한다.

1.2 적용범위

- (1) 3차원 기준점측량은 GNSS, RTK-GNSS을 이용한 측량으로 적용범위는 통합기준점 및 삼각점측량을 기반으로 하는 측량분야에 3차원 데이터 정보를 제공한다.
- (2) 영상데이터를 이용한 설계측량에는 유인 항공사진측량과 무인비행장치 측량을 이용한 3차원 영상취득을 통하여 3차원 데이터를 설계에 적용한다.
- (3) 레이저데이터를 이용한 설계측량에서는 유인 항공레이저측량, 무인비행장치 측량, 지상 레이저스캐너측량, 이동형 레이저스캐너측량을 실시하여 3차원 점군데이터를 취득하고 3차원 설계에 적용하여 지형 및 시설물의 형태 및 규격, 수량, 면적 등을 산출하는데 적용한다.
- (4) 초음파를 이용한 수심측량은 음향측심기를 이용하여 3차원 수심측량을 실시하여 3차원 측량정보를 제공하는데 적용한다.
- (5) 취득된 각종 데이터 정보를 활용하여 3차원 기준점 및 수준점측량 성과, 수치표면모델 제작, 수치지형모델 제작, 불규칙삼각망자료 제작, 수치표고모형 제작 등 3차원 모델을 작성하여 3차원 설계에 적용한다.

1.3 참고기준

1.3.1 관련 법규

- (1) 공공측량 작업규정, 국토지리정보원
- (2) 일반측량 작업규정, 국토지리정보원
- (3) 3차원 국토공간정보구축 작업규정, 국토지리정보원
- (4) 무인비행장치 측량 작업규정, 국토지리정보원
- (5) 항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정, 국토지리정보원
- (6) 정사영상 제작 작업 및 성과에 관한 규정, 국토지리정보원
- (7) 수치표고모형의 구축 및 관리 등에 관한 규정, 국토지리정보원
- (8) 정밀도로지도의 구축 및 관리 등에 관한 규정, 국토지리정보원
- (9) 수치지형도 작성 작업 및 성과에 관한 규정, 국토지리정보원

1.3.2 관련 기준

- KDS 12 10 00 설계측량 일반

1.4 용어의 정의

내용 없음

2. 조사 및 계획

내용 없음

3. 재료

내용 없음

4. 3차원 디지털 설계측량

4.1 3차원 기준점 및 수준점 측량

4.1.1 3차원 기준점 및 수준점 측량계획

- (1) 3차원 기준점 및 수준점측량은 국가기준점, 공공기준점 등을 기반으로 지리학적 위치를 구하는 측량으로 국가기준점 및 공공기준점 등의 측량방법 및 절차를 준용하여 실시한다.
- (2) 3차원 기준점측량은 국가기준점을 기준으로 측량을 실시하여야 하며 세부사항은 “공공측량 작업규정”에 따른다.
- (3) 3차원 기준점측량의 선점은 작업계획도를 기초로 현지에서 기지점 현황 및 수준노선을 조사하여 미지점의 위치를 선정하고 선점도를 작성한다.
- (4) 기준점 표지는 X, Y, Z의 3차원 좌표로 설치함을 원칙으로 하며, 표지의 규격 및 설치방법은 “공공측량 작업규정”에 따라 설치한다.
- (5) 3차원 기준점측량의 평면위치측량은 GNSS 측량방법으로 실시하고, 1·2급 공공기준점에 대하여는 GNSS 정지측량방법으로 실시하며, 3·4급 공공삼각점에 대하여는 GNSS 정지측량방법, 네트워크 RTK 측량방법 중 선택하여 실시하여야 한다.
- (6) 3차원 수준점측량은 “공공측량 작업규정”에 따라 GNSS 높이측량으로 실시하여야 한다. 다만, GNSS 높이측량의 적용지역은 국토지리정보원에서 제공하는 합성 지오이드 모델을 적용할 수 있는 지역에 한하여야 한다.

4.1.2 3차원 기준점 및 수준점 측량방법

4.1.2.1 GNSS에 의한 기준점 측량

- (1) GNSS 관측망도에는 동시에 복수의 GNSS 수신기를 이용하여 실시하는 관측계획을 기입한다.

- (2) GNSS 관측은 기지점 및 미지점을 결합하는 트래버스노선이 폐합된 다각형을 구성하며, 다른 세션에 의한 점검을 위하여 1번 이상의 중복관측을 실시한다.
- (3) GNSS 관측은 1개의 세션을 1회 실시한다.
- (4) GNSS 위성의 수신 고도 각은 15°를 표준으로 한다.
- (5) GNSS 관측은 다음 표 4.1.2-1에 따라 실시한다.

표 4.1.2-1 GNSS 측량 방법

관측방법	관측시간	데이터 수신간격	적용
정지측량방법	120분 이상	30초 이하	1 ~ 2 급 기준점측량 (10km 이상)
	60분 이상	30초 이하	1 ~ 2 급 기준점측량 (10km 미만) 3 ~ 4 급기준점측량
네트워크 RTK	10초 이상	5초 이하	3 ~ 4 급기준점측량

- (6) GNSS 관측에 사용되는 위성수는 다음 표 4.1.2-2를 표준으로 한다.

표 4.1.2-2 GNSS 측량방법

관측방법	정지측위법	네트워크 RTK
GNSS 단독수신	5개 위성 이상 수신	6개 위성 이상 수신
GNSS 및 다중 GNSS 조합수신	6개 위성 이상 수신	7개 위성 이상 수신
적용	1. 각 관측방법 적용 시 다중 GNSS 신호를 조합하여 관측하는 경우에는 GNSS 위성신호를 최소 3개 이상 수신하여야 한다. 2. 다중 GNSS 신호를 조합하는 경우에는 최소 7개 이상의 위성신호를 수신하여야 한다.	

- (7) GNSS 관측데이터의 기선해석은 다음 항과 같이 실시한다.
 - ① 기선해석의 고정점에 쓰이는 관측점의 경도, 위도 및 타원체고는 위성기준점 및 삼각점 등의 기지점 성과를 사용하고 이후의 기선해석은 이에 의해 구해진 값을 순차적으로 입력한다.
 - ② 기선해석에 사용하는 고도각은 관측 시에 GNSS 측량기에 설정된 수신 고도각으로 하고 기상요소의 보정은 기선해석 소프트웨어에서 채용하고 있는 표준대기에 의한다.
- (8) GNSS 관측의 점검계산은 점검노선이 다른 세션과의 조합에 의한 최소변수의 다각형

을 선정하고, 기선벡터 요소($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)에 대한 환폐합차를 계산하며 중복하는 기선벡터요소를 비교, 점검한다.

- (9) GNSS에 의한 기준점측량, 네트워크 RTK에 의한 기준점측량 등의 측량방법은 “공공측량 작업규정”에 따른다.

4.1.2.2 GNSS에 의한 수준점 측량

- (1) GNSS 높이측량의 적용지역은 “국토지리정보원”에서 제공하는 합성 지오이드모델을 적용할 수 있는 지역에 한하여 작업계획을 수립한다.
- (2) 도서지역 수준측량에 GNSS 정지측량방법의 적용에 따른 작업계획을 수립한다.
- (3) 작업계획도를 기초로 현지에서의 기지점 및 수준노선을 조사하고, 미지점의 위치를 선정하여 선점도를 작성하고 미지점의 위치 등을 지형도에 기입한다.
- (4) 측량표석의 설치는 미지점의 위치에 측량기준점표지를 설치하고 점의 조서를 작성하여야 한다.
- (5) GNSS 관측은 관측 착수 전에 최신의 위성궤도정보를 수집하여 다음 표 4.1.2-3을 표준으로 정적측위방법으로 실시한다.

표 4.1.2-3 정확도 별 GNSS 관측 기준

구분	0.03 m 정확도	0.05 m 정확도
세션(Session)수	2일	1일
세션(Session) 관측시간	1일 4시간이상	1일 2시간이상
데이터 취득 간격	30초 이하	15초 이하
비고	첫째 날과 둘째 날은 위성의 기하배치가 다른 시간대에 관측	

- (6) 관측 중의 특이한 환경변화를 GNSS높이측량 관측기록부에 기록하고 위 관측조건을 만족하지 못한 경우는 재관측을 실시한다.
- (7) GNSS 관측 자료의 계산은 기지점에 대한 측지좌표성과와 보정타원체고를 사용해야 하고 기지점의 측지좌표성과를 이용하여 계산된 지오이드고와 기지점의 표고성과를 더하여 계산한다.
- (8) 타원보정 계산은 1, 2급 설계수준점측량에 대하여 실시한다.
- (9) GNSS에 의한 수준점측량은 “공공측량 작업규정”에 준하여 실시한다.

4.1.3 3차원 기준점 및 수준점 측량 품질관리

4.1.3.1 GNSS 기준점측량

- (1) 점검노선은 다른 세선과의 조합에 의한 최소변수의 다각형을 선정하고, 기선벡터 요소에 대한 환폐합차를 계산한다.
- (2) 중복되는 기선벡터 요소를 비교, 점검한다. 단, 중복기선이 있는 경우에 한정한다.
- (3) 점검계산 허용범위는 다음 표 4.1.3-1과 같다.

표 4.1.3-1 GNSS 측량의 관측점검 계산의 허용범위

항목	허용범위 (N:변수)
기선벡터 요소의 환폐합차	$25 \text{ mm}\sqrt{N}$
중복하는 기선벡터 요소의 교차	25 mm

- (4) 3차원망 조정계산에 의한 허용오차는 다음 표 4.1.3-2와 같다. 다만, 허용범위를 초과한 것에 대하여는 측정값 및 계산과정을 검토하고 설계측량시행자의 지시에 따른다.

표 4.1.3-2 3차원망 조정계산 허용오차

항목	구분	1급공공	2급공공	3급공공	4급공공
		기준점측량	기준점측량	기준점측량	기준점측량
경사거리의 편차		0.08 m	0.10 m	-	-
미지점 평면위치의 표준편차		0.10 m			
미지점 표고의 표준편차		0.10 m			

(5) 네트워크 RTK 측량

- ① 네트워크 RTK 측량의 정확도에 대한 점검계산을 신속히 실시하고, 점검계산값이 허용범위를 넘었을 경우는 필요한 재관측을 실시한다.
- ② 점검계산은 기선벡터의 환폐합차 또는 중복하는 기선 벡터(R)의 교차를 비교하는 방법으로 실시한다.
- ③ 환폐합 점검계산은 가능한 한 짧은 노선을 선정하여 실시하며, 미지점이 1점밖에 없는 경우는 기지점 간의 관측을 추가하여 폐합차 점검을 실시한다.
- ④ 네트워크 RTK 점검계산의 허용범위는 다음 표 4.1.3-3과 같다.

표 4.1.3-3 네트워크 RTK 점검계산의 허용범위

항목	허용범위 (N:변수)	
기선벡터(R)의 환폐합차	$25 \text{ mm}\sqrt{N}$	
기선벡터(R) 세트간 교차	각 성분마다 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)	25 mm이하

- ⑤ 평균계산은 3차원망 평균계산을 실시하며, 3차원망 평균계산에 사용하는 허용범위는 다음 표 4.1.3-4를 표준으로 한다.

표 4.1.3-4 네트워크 RTK 3차원망 허용범위

구분 \ 항목	3급공공 기준점측량	4급공공 기준점측량
미지점 평면위치의 표준편차	0.10 m	0.10 m
미지점 표고의 표준편차	0.20 m	0.20 m

(6) 네트워크 RTK 측량 품질관리

- ① 네트워크 RTK 관측은 다음 표 4.1.3-5에 따른다.

표 4.1.3-5 네트워크 RTK 관측방법

구분	공공기준점 측량	현황측량
세션 수	3회	1회
세션 관측시간	고정해를 얻고 나서 10초 이상	고정해를 얻고 나서 5초 이상
데이터 취득간격	1초	1초

- ② 관측 종료 후에는 신속하게 정해진 점검을 실시한다. 관측기기에서 취득한 결과가 측지좌표로 주어진 경우에는 각 요소별로 가중평균한다.
- ③ 점검계산에서 정해진 허용범위를 초과한 경우에는 재측량하거나 시행자 지시에 따라 적절한 조치를 취한다.
- ④ 네트워크 RTK 관측의 세션 간 교차 및 허용 정밀도는 다음과 같다.
 가. 수평위치 세션 간 교차 및 표준편차(1σ) : 0.05 m
 나. 수직위치(타원체고) 세션 간 교차 및 표준편차(1σ) : 0.1 m

4.1.3.2 GNSS 수준점 측량

(1) GNSS 수준점 측량 품질관리

- ① 설계수준점 측량의 정확도 및 기지점에 대한 기준은 다음 표 4.1.3-6과 같다.

표 4.1.3-6 설계수준점 측량의 정확도 및 기지점에 대한 기준

구분	기지점의 종류	왕복 관측값의 교차	기지점간의 폐합차	환폐합차
1급 공공 수준점 측량	1등 수준점 1급 공공수준점	2.5 mm \sqrt{S} 이하	15 mm \sqrt{S} 이하	2 mm \sqrt{S} 이하
2급 공공 수준점측량	1, 2등 수준점 1, 2급 공공수준점	5 mm \sqrt{S} 이하	15 mm \sqrt{S} 이하	5 mm \sqrt{S} 이하
3급 공공 수준점측량	1, 2등 수준점 1~3급 공공수준점	10 mm \sqrt{S} 이하	15 mm \sqrt{S} 이하	10 mm \sqrt{S} 이하
4급 공공 수준점측량	1, 2등 수준점 1~4급 공공수준점	20 mm \sqrt{S} 이하	25 mm \sqrt{S} 이하	20 mm \sqrt{S} 이하

주) S : 관측거리(편도) km 단위

(2) GNSS 높이측량 품질관리

- ① 높이 정확도가 0.03 m인 경우 첫째 날 관측한 데이터와 둘째 날 관측한 데이터로 각각 기선해석을 실시한다.
 - ② 높이 정확도가 0.05 m인 경우 2시간 수신 데이터를 전반 1시간, 후반 1시간으로 데이터를 나누어 기선해석을 실시한다.
 - ③ GNSS 위성궤도 정보는 높이 정확도에 따라 다음을 표준으로 한다.
 가. 높이 정확도 0.03 m : 정밀궤도력
 나. 높이 정확도 0.05 m : 정밀궤도력 또는 방송궤도력
 - ④ 기선벡터 높이방향 교차는 점검표로 정리하고 허용기준을 초과하는 경우에는 기선해석을 다시 실시하거나 재관측을 실시하여야 한다.
- (3) GNSS의 수준점관측에서 2회 연속으로 측정한 안테나 높이의 교차는 3 mm 이하로 하고, 관측 이전과 이후의 평균값의 교차는 3 mm 이하로 한다.

4.1.4 3차원 기준점 및 수준점 측량 성과품

4.1.4.1 GNSS 기준점 측량

- (1) 측량성과 및 측량기록 등은 다음 각 호와 같이 정리한다. 다만, 작업 방법에 따라 일부 성과를 생략할 수 있다.
 - ① 공공삼각점 성과표
 - ② 성과 수치데이터
 - ③ 공공삼각점망도
 - ④ 관측기록부
 - ⑤ 계산부
 - ⑥ 점의 조서
 - ⑦ 정확도 관리표

- ⑧ 메타데이터
- ⑨ 기준점현황조사서
- ⑩ 기타자료(측량표지, 현황사진 등)

4.1.4.2 GNSS 수준점측량

(1) 측량성과 및 측량기록 등은 다음 각 호와 같이 정리한다. 다만, 작업 방법에 따라 일부 성과를 생략할 수 있다.

- ① 작업계획서
- ② 기준점망도(관측 세션을 기초로 작성)
- ③ 점의 조서(난외에는 관측년월일 기입)
- ④ GNSS 높이측량 성과표 및 메타데이터
- ⑤ GNSS 높이측량 관측기록부
- ⑥ 안테나고 관측기록부
- ⑦ GNSS 관측데이터 및 RINEX 파일
- ⑧ 높이교차 점검표
- ⑨ 기선해석 및 표고계산 관련 자료
- ⑩ 기지점성과 점검표

4.2 3차원 영상데이터를 이용한 설계측량

4.2.1 유인 항공사진측량에 의한 영상취득

4.2.1.1. 항공사진촬영

- (1) 대공표지는 촬영 대상지역에 지형지물이 없는 곳을 선정하여 항공사진 및 영상촬영 전에 설치하고, 촬영 시까지 파손 또는 망실되지 않도록 관리하여야 한다.
- (2) 아날로그 항공카메라로 촬영한 사진의 축척은 사용카메라의 초점거리와 촬영항공기의 지상고도의 비로 산출하고 디지털 항공카메라로 촬영한 디지털항공사진의 축척은 지상표본거리로 대체하도록 한다.
- (3) 항공기는 촬영 시 필요한 항공사진측량용 카메라의 설치가 가능하고 작동에 불편이 없도록 안정적으로 공간이 확보되어야 하고 GNSS/INS의 장치를 이용할 경우 GNSS 안테나를 기체 위에 설치할 수 있어야 한다.
- (4) 디지털 항공사진카메라는 필요한 면적과 카메라 성능의 각 화소가 나타내는 X, Y 지상거리를 확보할 수 있어야 하고 취득한 디지털영상을 수치사진으로 출력할 수 있어야 한다. 일반적인 영상포맷을 사용하며 손실없이 저장하여야 한다.
- (5) GNSS/INS 장치는 항공사진의 노출 위치를 계산하기 위하여 항공기에 탑재한 GNSS, 항공사진 노출 시의 기울기를 산출하기 위한 3축 자이로와 INS, 계산 소프트웨어, 컴퓨터 및 주변기기로 구성되는 시스템 성능을 표준으로 한다.

- (6) 항공사진은 반드시 입체시 사진이어야 하며 중복도는 촬영 진행방향으로 60 %, 인접 코스 간 30 %를 표준으로 하며, 필요에 따라 중복도를 별도로 정할 수 있다. 다만, 선형방식의 디지털카메라에서는 인접코스의 중복만을 적용한다.
- (7) 촬영방향은 동서를 원칙으로 하되 촬영구역의 모양, 지형, 지세 및 풍향을 고려하여 변경할 수 있다.
- (8) 항공사진측량에 의한 항공사진촬영은 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정” 및 “수치지형도 작성 작업 및 성과에 관한 규정”에 준한다.

4.2.1.2 지상기준점측량

- (1) 지상기준점측량은 평면기준점 측량과 표고기준점 측량으로 구분하며 평면기준점측량은 삼변, 삼각, 다각, GNSS 측량으로 표고기준점측량은 직접수준측량 한다. 다만 불가피한 경우에는 간접수준측량으로 실시할 수 있다.
- (2) 현지측량 결과는 확정된 기준점은 사진상에 기준점을 중심으로 직경 8 mm의 원(평면 기준점은 적색, 표고기준점은 청색)으로 표시하여야 한다.
- (3) 고유점번호를 기입하고 관측 및 계산의 결과는 관측기록부, 계산부(전산시는 제외) 망도, 성과총괄표를 작성하여야 한다.
- (4) 기준점 성과표의 개항 및 세향도는 점 부근 약도와 중복되는 입체사진 전체를 대조하여 명시하여야 한다. 이는 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”에 의해 작성하여야 한다.
- (5) 항공사진측량에 의한 지상기준점측량은 “공공측량 작업규정” 및 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”에 준한다.

4.2.1.3 항공 삼각측량

- (1) 아날로그 항공사진은 도화기를 이용할 경우, 상호표정 후 잔여시차는 0.02 mm 이내이어야 하고 디지털 항공사진을 이용하여 관측할 경우 X, Y의 각 교차가 0.5 화소 이내여야 하며 자동매칭에 의한 방법으로 항공 삼각측량을 할 경우, 상호표정의 과정을 생략할 수 있다.
- (2) 작업종료 후에는 계획도에 준하여 항공삼각측량 표정도(1:25,000 지형도, 1:50,000 지형도 또는 1:1,000 수치지형도), 항공삼각측량 성과표 또는 파일, 항공삼각측량 프로젝트 백업파일, 항공삼각측량에 사용하지 않았던 지상기준점 현황 및 사유, 기타 참고자료를 작성하여야 한다.
- (3) 항공사진측량에 의한 항공삼각측량은 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”에 준한다.

4.2.1.4 정사영상 제작

- (1) 정사영상의 제작은 수치표면자료 또는 수치표고모형과 항공사진 및 외부표정요소를 이용하여 소프트웨어에서 자동생성 방식으로 제작하는 것을 원칙으로 한다.

- (2) 정사영상은 모델별 인접 정사영상과 밝기값의 차이가 나지 않도록 제작하여야 한다.
- (3) 항공사진측량에 의한 정사영상의 제작은 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정” 및 “수치지형도 작성 작업 및 성과에 관한 규정”에 준한다.

4.2.2 무인비행장치측량에 의한 영상취득

4.2.2.1 무인비행장치측량 작업계획

- (1) 설계측량수행자는 작업 착수 전에 작업방법, 사용하는 주요 장비, 인력, 일정 등에 대해 적절한 작업계획을 공정별로 수립하고 이를 설계측량시행자에게 제출하여 승인을 얻어야 한다.
- (2) 무인비행장치에 의한 항공사진을 이용한 수치지형도 작성의 공정별 작업 구분 및 순서는 다음 각 호를 표준으로 한다.
 - ① 작업계획
 - ② 지상기준측량(지상기준점 및 검사점의 설치 및 측량)
 - ③ 촬영
 - ④ 3차원 형상 복원계산 및 3차원 점군데이터 파일 작성
 - ⑤ 현지보완측량
 - ⑥ 성과정리

4.2.2.2 지상기준점측량 및 대공표지판 설치

- (1) 지상기준점측량이란 지상기준점 및 검사점을 설치하고 측량하는 작업으로서 3차원 형상 복원계산에 필요한 수평위치 및 표고의 기준이 되는 점 및 3차원 점군데이터의 검증을 실시하는 점을 설치하는 작업을 말한다. 지상기준점 및 검사점에는 대공표지를 설치한다.
- (2) 대공표지는 설치목적, 항공사진의 축척, 지형의 배색, 관측 장비 등을 고려하여 형상, 크기, 색을 결정하며 표준양식은 다음 그림 4.2.2-1과 같다.

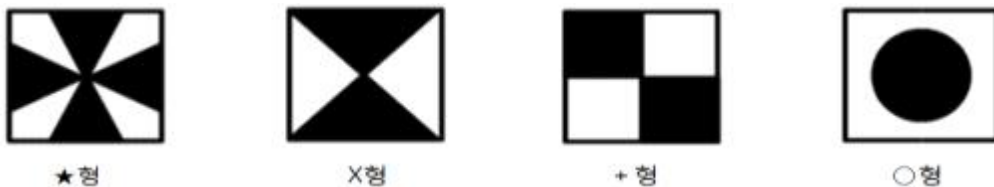


그림 4.2.2-1 대공표지의 표준양식

- (3) 대공표지판의 가로, 세로 길이는 0.5 m×0.5 m 또는 원형의 지름은 0.5 m 를 표준으로 한다.
- (4) 항공사진 상에서 주변 지물과 색조의 차이가 명료한 구조물을 측정할 수 있는 경우는 그 구조물을 지상기준점 및 대공표지로 대체할 수 있다.

- (5) 대공표지의 변장 또는 원형의 직경은 촬영하는 수치사진에 15화소 이상으로 찍히는 크기를 표준으로 한다.
- (6) 대공표지의 색은 흑백을 표준으로 하고, 상황에 따라 노랑, 검정으로 한다.
- (7) 대공표지의 설치 선점은 사진 상에서 명확히 분별될 수 있는 지점으로 하며 수량은 1km²당 12점 이상을 원칙으로 한다. 다만, 도로, 하천, 관로 등 긴 노선의 경우에는 형태 및 설치방법을 다르게 할 수 있다.
- (8) 대공표지의 배치는 작업지역의 형태, 코스의 방향, 작업 범위 등을 고려하여 외곽 및 작업지역에 다음 그림 4.2.2-2와 같이 가능한 고르게 배치하되, 작업지역의 각 모서리와 중앙 부분에는 지상기준점이 배치되도록 하여야 한다.

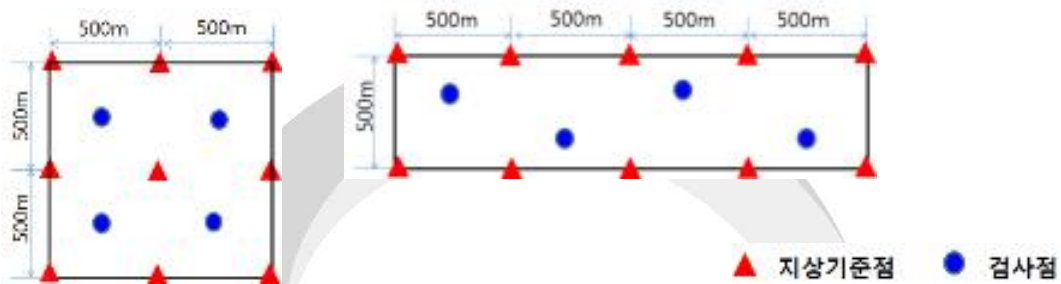


그림 4.2.2-2 지상기준점 배치 예시도

- (9) 검사점의 수량은 지상기준점 수량의 최소 1/3 이상으로 하여야 한다. 다만, 검사점의 수량이 3점 이하인 경우에는 3점으로 한다.
- (10) 지상기준점 및 검사점의 관측방법
 - ① 지상기준점 측량방법에서 평면기준점측량은 “공공측량 작업규정”의 공공삼각점측량이나 네트워크 RTK 측량방법 또는 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”의 지상기준점 측량방법을 준용한다.
 - ② 표고기준점측량은 “공공측량 작업규정”의 공공수준점측량 방법을 준용한다.
 - ③ 평면 및 표고기준점 정확도는 “공공측량 작업규정” 또는 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”에서 정한 바에 따른다.

4.2.2.3 무인비행장치 항공사진 촬영

(1) 촬영계획

- ① 촬영계획은 촬영구역별로 작성하는 수치지형도 데이터의 축척, 지상 화소 크기, 대지 고도, 사용기기, 지형형상, 토지피복, 기상조건 등을 고려하여 수립하고 촬영 계획도로 정리한다.
- ② 무인비행장치의 비행속도는 항공사진이 기록할 수 있는 시간 이상으로 촬영 간격이 잡힌 속도로 한다.
- ③ 같은 코스는 직선이고, 동일한 고도에서 촬영하는 것을 표준으로 한다.
- ④ 같은 코스 내의 인접 항공사진의 중복도는 60%, 인접 코스의 항공사진의 중복도는

30 %를 표준으로 원칙으로 하며, 최종성과물의 정확도를 충족하지 못하는 경우에는 중복도를 높여 촬영하여야 한다.

- ⑤ 대지 고도는 $\{(지상\ 화소\ 크기) \div (사용하는\ 디지털카메라의\ 1화소의\ 사이즈) \times (초점거리)\}$ 이하이며 지형이나 토지피복, 사용하는 디지털카메라 등을 고려하여 결정해야 한다.

(2) 촬영

- ① 무인비행장치의 성능은 계획한 노선에 안전한 이·착륙과 자동운항 또는 반자동 운항이 가능하여야 하며 기체의 이상 발생 등 사고의 위험이 있을 때 자동으로 귀환할 수 있어야 한다. 운항 중에는 기체의 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있어야 한다.
- ② 무인비행장치에 탑재된 디지털카메라는 최소한의 성능은 각 호의 성능 및 기능을 가진 것을 표준으로 한다.

가. 초점거리, 노광시간, 조리개, ISO 감도를 수동으로 설정할 수 있을 것

나. 렌즈의 초점거리를 조정하거나 렌즈의 흔들림 등을 보정하는 자동처리기능을 해제할 수 있을 것

다. 초점거리나 노광시간 등의 정보를 확인할 수 있을 것

라. 충분한 기록용량을 확보할 수 있을 것

마. 촬영 소자 크기 및 화소 수의 정보를 확인할 수 있을 것

- ③ 촬영비행은 시계가 양호하고 구름의 그림자가 사진에 나타나지 않는 맑은 날씨에 하는 것을 원칙으로 하고 계획촬영고도에서 가급적 일정한 높이로 직선이 되도록 하며 계획촬영 코스로부터의 수평 또는 수직이탈이 가능한 최소화 되도록 한다.

④ 무인비행장치는 설정된 비행계획에 따라 자동으로 비행함을 원칙으로 한다.

⑤ 촬영에서 노출시간은 촬영계절, 촬영시간대, 기상, 비행속도, 카메라의 진동 등을 감안하여 선명도가 유지되도록 설정하여야 한다.

⑥ 카메라는 가능한 연직방향으로 향하여 촬영함을 원칙으로 한다. 또한 매 코스의 시점과 종점에서 사진은 최소한 2매 이상 촬영지역 밖에 있어야 하며, 대상지역을 완전히 포함하도록 여유분을 두어 사진을 촬영하여야 한다.

⑦ 촬영 직후에 현지에서 다음 각 호에 대하여 모든 항공사진을 대상으로 촬영 결과를 점검한다.

가. 촬영 범위

나. 항공사진의 화질

다. 인접 항공사진 간의 중복도

라. 인접 항공사진 간의 지상표본거리(GSD) 편차

마. 은폐 지역의 범위

바. 모든 지상기준점이 적절하게 촬영되었는가

(3) 3차원 형상 복원계산 및 3차원 점군데이터 파일 작성

- ① 3차원 형상 복원계산은 촬영한 항공사진 및 지상기준점을 소프트웨어를 이용하여 항공사진의 외부 측정 요소 및 항공사진에 촬영된 지점의 위치좌표를 구하고, 지형과

지물의 3차원 형상을 복원하여 3차원 점군데이터를 작성하여야 한다.

② 3차원 형상 복원계산은 특징점의 추출, 지상기준점의 관측, 외부 측정 요소의 산출, 3차원 점군데이터의 생성까지 일련의 처리를 포함한다.

③ 3차원 형상 복원계산 결과는 3차원 형상 복원계산 소프트웨어의 기능에 따라 점검하며, 검사에 사용할 수 있도록 다음과 같은 정보를 포함해야 한다.

가. 계산에서 생략된 항공사진의 유무

나. 계산에 사용된 항공사진 중복 매수

다. 특징점의 분포

라. 사진 좌표의 오차

마. 지상기준점의 오차

④ 지상기준점 및 검사점의 오차 점검

가. 3차원 형상 복원계산으로 얻는 지상기준점의 오차가 X, Y, Z에 대한 3차원 점군데이터의 위치정확도 이내임을 점검한다.

나. 사전에 결정된 검사점의 좌표와 3차원 형상 복원계산에서 얻어진 검사점의 위치좌표의 X, Y, Z에 대한 오차가 3차원 점군데이터의 위치정확도 이내임을 점검하며 필요에 따라 정사영상을 작성할 수 있도록 한다.

다. 점검 결과 정확도를 만족시키지 않는 경우에는 불량사진 제거 및 특징점의 수정을 실시한 다음 다시 3차원 형상 복원계산을 하여 점검한다. 이렇게 해도 정확도를 충족시키지 않는 경우에는 추가로 촬영한다.

라. 계산에 사용하는 지상기준점의 수와 배치를 변경함으로써 오차가 변화하는 일도 있으므로 지상기준점 및 검사점을 충분하게 설치하여 관측하고 정확성을 충족시키지 않을 경우는 지상기준점의 수와 배치를 바꾸고 다시 계산하여야 한다.

⑤ 3차원 점군데이터의 편집

가. 3차원 점군데이터의 편집은 3차원 점군데이터에서 필요에 따라 이상점의 제거 혹은 점군데이터의 보완 등의 편집을 실시하여 지상 데이터를 작성하여야 한다.

나. 3차원 점군데이터를 여러 방향에서 표시하고 지형 이외를 나타내는 특징점과 성과에 불필요한 특징점 등의 이상점을 제거한다.

다. 3차원 점군데이터가 필요한 밀도를 충족시키지 않을 경우, 필요에 따라 토털스테이션 혹은 지상 레이저스캐너 장비 등을 이용하여 현지 보완측량을 하여 점들을 보완한다.

라. 이상점이나 필요한 3차원 점군데이터의 밀도를 채우지 못한 곳이 광범위하게 분포하는 경우에는 항공사진 및 3차원 형상 복원계산 결과를 재검토하고 필요에 따라 항공사진의 추가 촬영 또는 3차원 형상 복원계산을 재계산한다.

⑥ 3차원 점군데이터 파일 작성

가. 3차원 점군데이터 파일의 작성은 3차원 점군데이터를 파일 형태로 전자매체에 기록하여야 한다.

나. 3차원 형상 복원계산 소프트웨어는 다양한 형식의 출력이 가능한 경우가 많지만 3차원 점군데이터로는 LAS형식, CSV형식, DXF형식과 지형모델로는 LandXML형식과

TIN형식으로 작성하여야 한다.

(4) 현지조사 및 보완측량

- ① 현지조사 및 보완측량은 항공사진에서 판독이 어려운 각종 표현 사항, 명칭 등 다른 지물에 은폐된 부분을 현지에서 조사하고 측량하는 작업을 말한다. 현지보완측량을 실시하는데 있어서는 현지조사 착수 전에 촬영계획이나 각종 기존자료를 바탕으로 예측한 후 시행한다.
- ② 현지조사 및 보완측량은 육안조사, 토털스테이션, 지상 레이저스캐너 등을 활용하여 예측 결과를 바탕으로 항공사진 및 각종 자료를 활용하고 다음에 제시하는 것에 대해서 실시한다.

가. 예측 결과 확인

나. 항공사진상에서 판독이 곤란한 곳의 지도 항목

다. 항공사진상에서 판독이 불능인 지도 항목

라. 지상기준점

4.2.3 유인항공 사진측량의 품질관리

4.2.3.1 항공사진측량의 지상기준점측량의 오차

(1) 평면기준점 오차의 허용범위는 다음 표 4.2.3-1과 같다.

표 4.2.3-1 평면기준점 오차 허용범위

도화축척	평균제곱근오차
1:500 ~ 1:600	±0.1 m 이내
1:1,000 ~ 1:1,200	"

(2) 표고기준점 오차의 허용범위는 다음 표 4.2.3-2와 같다.

표 4.2.3-2 표고기준점 오차의 허용범위

도화축척	평균제곱근오차
1:500 ~ 1:600	±0.05 m 이내
1:1,000 ~ 1:1,200	±0.10 m 이내

4.2.3.2 항공삼각 조정계산 및 오차의 허용범위

(1) 항공삼각 조정계산 및 오차의 허용범위는 다음 표 4.2.3-3과 같다.

표 4.2.3-3 항공삼각 조정계산 및 오차의 허용범위

구분	도화축척	평균제곱근오차	최대값
아날로그 항공사진 측량용 카메라로 촬영한 영상	1:500~1:600	0.14 m	0.28 m
	1:1,000~1:1,200	0.20 m	0.40 m
디지털 항공사진 측량용 카메라로 촬영한 영상	0.08 m 이내	0.08 m	0.16 m
	0.12 m 이내	0.12 m	0.24 m
	0.25 m 이내	0.25 m	0.50 m

4.2.3.3 대지표정 오차

(1) 대지표정 평면위치 및 표고의 허용범위는 다음 표 4.2.3-4와 같다.

표 4.2.3-4 대지표정 평면위치 및 표고 교차

도화축척	평면위치의 오차	표고의 차
1:500	0.15 m 이내	0.15 m 이내
1:1,000	0.20 m 이내	0.17 m 이내

4.2.3.4 항공사진측량에 의한 3차원 측량의 정확도

(1) 항공사진측량에 의한 3차원 측량의 정확도는 “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정” 및 “수치지형도 작성 작업 및 성과에 관한 규정”에 준한다.

4.2.4. 무인비행장치 사진측량의 품질관리

4.2.4.1 3차원 점군데이터의 정확도

(1) 3차원 점군데이터의 위치정확도는 다음 표 4.2.4-1을 표준으로 한다.

표 4.2.4-1 3차원 점군데이터의 정확도

위치 정밀도	지상표본거리
0.05 m 이내	0.01 m 이내
0.10 m 이내	0.02 m 이내
0.20 m 이내	0.03 m 이내

(2) 지상기준점 및 검사점의 정확도는 작성하는 수치지형도 축척에 따라 다음 표 4.2.4-2를 표준으로 한다.

표 4.2.4-2 지상기준점 /검사점의 정확도

최종성과물의 축척	지상표본거리 (GSD)	
	평면기준점 오차의 한계	표고기준점 오차의 한계
1:250	0.04 m 이내	
1:500	0.08 m 이내	
1:1,000	0.12 m 이내	

(3) 촬영하는 항공사진 지상표본거리의 정확도는 작성하는 수치지형도 축척에 따라 다음 표 4.2.4-3을 표준으로 한다.

표 4.2.4-3 축척에 따른 지상표본거리의 정확도

지도 축척	지상표본거리
1:250	0.04 m 이내
1:500	0.08 m 이내
1:1,000	0.12 m 이내

4.2.5 3차원 영상데이터 측량 성과품

4.2.5.1 유인 항공사진측량 및 무인비행장치 사진측량 성과품

- (1) 항공사진측량카메라 검정 실시 기록
- (2) 항공사진측량 표정점 및 검사점 정확도 관리표
- (3) 항공삼각측량 정확도 관리표
- (4) 3차원 형상 복원 정밀도 관리표

4.2.5.2 무인비행장치측량 성과품

- (1) 촬영 코스별 정확도 관리표
- (2) 대공표지 및 지상기준점측량
 - ① 관측기록부 및 계산부, 망도(네트워크 RTK 측량은 제외)
 - ② 관측데이터 및 점의조서
 - ③ 측량성과 총괄표
- (3) 사진촬영코스 기록부 및 검사표 자료
- (4) 항공삼각측량 성과파일 및 레포트 파일(외부표정요소)
- (5) 수치표면자료 검사표 및 오류정정표 자료
- (6) 정사영상파일 및 검사표 자료
- (7) 수치도화 파일 및 백터화 파일 자료
- (8) 3차원 점군데이터 파일

- (9) 3차원 형상 복원계산 소프트웨어가 출력하는 정보
- (10) 3차원 관측자료 및 기타 관측자료
- (11) 현지조사 및 보완측량의 결과를 정리한 파일 등

4.3 3차원 레이저데이터를 이용한 설계측량

4.3.1 3차원 레이저데이터 취득방법

4.3.1.1 유인항공을 이용한 레이저측량

(1) 작업계획 및 준비

① 계획수립

- 가. 대상지역은 작업지역 외곽으로 최소 100 m 이상을 연장하여 측량하도록 계획하여야 한다. 다만, 대상 지역이 선형(노선, 하천 등)일 경우는 예외로 한다.
- 나. 측량을 위한 비행코스 배치 시 코스별 교차를 최소화하기 위하여 주요 비행코스 방향의 수직방향으로 대상 지역의 중앙에 왕복 비행코스를 배치하여야 한다. 다만, 대상 지역의 모양이 사각형이 아닌 경우에는 적절한 방향으로 변경할 수 있으며, 대상지역이 선형(노선, 하천 등)인 경우에는 예외로 한다.
- 다. 관측계획은 측량제원, 비행코스계획, GNSS 기준국 설치 및 GNSS 위성 배치상태를 고려하여 관측계획을 수립하여야 한다.
- 라. 비행코스의 설계는 데이터의 점밀도가 균일하게 취득되도록 대상지역의 지형조건 등을 고려하여 비행고도, 비행속도, 레이저 주사율, 주사각, 스캔주기 등을 설계하여야 한다. 이때, 비행코스 중복도는 최소 30 % 이상을 표준으로 한다.
- 마. 비행코스 설계제원은 비행 및 측량제원계획표를 작성한다.

② GNSS 기준국 설치

- 가. 항공레이저측량 중에는 지상에 1개 이상의 GNSS 기준국을 설치하여 운영하여야 한다.
- 나. GNSS 기준국은 데이터 취득이 양호한 곳에 선점하여야 하며, 상공에 장애물이 없는 시계를 확보할 수 있는 곳이어야 한다.
- 다. GNSS 기준국은 항공기 GNSS와의 기선거리가 30 km 이내인 지점에 설치하여야 한다.
- 라. GNSS 기준국에서의 관측 수신간격은 1초 이하(0.1~1.0 초)로 하고, 항공기 GNSS와 동일한 수신간격을 최대한 유지하여야 한다.
- 마. GNSS 기준국을 운영할 때 수신하는 GNSS 위성 수는 5개 이상, GNSS 위성의 PDOP은 3.5 이하, GNSS의 수신앙각은 15° 이상을 유지하여야 한다.
- 바. GNSS 기준국의 좌표는 GNSS 상시관측소 자료를 사용하여 기준타원체 기반의 3차원 좌표로 결정한다.

(2) 유인항공레이저측량

① 항공레이저측량의 수행

가. 제작하고자 하는 수치표고모형 격자규격에 따른 점밀도는 다음 표 4.3.1-1과 같으며 이 외의 규격은 설계측량시행자와 협의하여 정한다.

표 4.3.1-1 수치표고모형 격자규격에 따른 점밀도

격자간격	1 m	2 m	5 m	비고
점밀도(㎡)당	2.5점	1.0점	0.5점	

나. 비행코스 간 취득데이터에 공백이 발생하지 않도록 측량을 수행하여야 한다.

다. 안개, 구름, 적설 등 레이저 펄스의 흡수, 반사, 산란 등이 발생할 수 있는 기상일 경우에는 측량을 중단하여야 한다.

라. 계획된 비행고도와 속도를 준수하여야 하며 다른 비행코스로의 진입을 위한 항공기 회전각은 20° 이하로 유지하여야 한다. 다만, 항공기 운항 안전과 관련된 경우에는 예외로 한다.

마. 항공기용 GNSS 자료 수신 간격은 1초 이하(0.1~1.0초), 수신하는 GNSS 위성은 5개 이상, GNSS 위성의 PDOP는 3.5 이하를 유지해야 한다.

바. 측량 시 개별 펄스에 대한 반사파의 수는 4개 이상을 표준으로 한다.

사. 이 기준에서 정하지 않은 항공기에 부착된 GNSS/INS의 운영에 관한 사항은 “항공사 진측량 작업 및 성과에 관한 규정”에 따른다.

② 수치영상자료의 취득

가. 항공레이저측량성과의 점검 및 보완을 위한 지형지물의 식별, 분류 등에 참고하기 위하여 같은 시기에 수치영상자료를 취득하여야 한다. 다만, 발주처와 협의하여 수치영상자료가 필요하지 않거나 기 촬영된 수치영상의 사용이 가능한 경우에는 생략할 수 있다.

나. 수치영상자료는 측량 작업지역의 외곽을 최소 100 m 이상 연장하여 촬영하여야 한다. 다만, 대상지역이 선형(노선, 하천 등)인 경우에는 예외로 한다.

다. 수치영상자료의 해상도는 지형지물의 식별이 가능하여야 하며 지상표본거리 1 m 이상(0.1~1 m)을 표준으로 한다.

③ 수치영상자료의 점검

가. 수치영상자료는 항공레이저측량자료를 이용한 지형지물의 식별 및 분류가 가능한 선명도, 1 m 이상(0.1~1 m)의 지상표본거리, 측량 작업지역의 공백 없이 외곽을 최소 100 m 이상 연장 촬영 등을 만족하여야 한다.

나. 위 사항이 만족되지 않을 경우에는 수치영상자료를 재촬영하여야 한다.

④ 전처리: 항공레이저측량 원시자료에서 대기 중의 입자나 다른 원인에 의해 발생한 잡음을 제거하여야 한다.

⑤ 결측 확인: 제작하고자 하는 수치표고모형의 격자 간격마다 항공레이저측량 원시자료가 존재하는지를 확인하여야 한다.

가. 수치표고모형의 격자 단위로 항공레이저측량 원시자료가 없는 격자를 결측이라 한다. 다만, 하천, 저수지 등과 같이 레이저가 반사하지 않는 지역은 제외한다.

나. 결측률은 결측 격자수에 대한 전체 격자수의 비로써, 1:25,000 지형도 도엽단위로 계산한다.

⑥ 점밀도 확인

가. 항공레이저측량 원시자료가 다음 표 4.3.1-2와 같이 정의된 점밀도를 만족하는지 확인하여야 한다.

표 4.3.1-2 항공레이저측량 점밀도

격자간격	1 m	2 m	5 m	비고
점밀도(㎡)당	2.5점	1.0점	0.5점	

나. 취득 점밀도는 하천, 저수지 등과 같이 레이저가 반사되지 않는 지역을 제외하고 계산한다.

다. 점밀도는 비행코스별 점밀도, 작업지역 전체에 대한 점밀도, 1:25,000 지형도 도엽단위 별 점밀도에 대한 취득 점밀도를 계산하고 확인한다.

(3) 기준점측량

① 기준점측량은 항공레이저측량 원시자료의 점검 및 조정을 위한 기준점측량을 하여야 한다.

② 수치표면자료를 제작하기 전에 항공레이저측량 원시자료의 점검 및 조정에 필요한 기준점을 배치하여야 한다.

③ 항공레이저측량 원시자료는 코스검사점과 실측된 기준점을 이용하여 점검 및 조정을 하여야 한다.

(4) 수치표면자료 제작

① 수치표면자료는 조정된 원시자료의 정확도를 검증 완료한 후, 정확도 기준 이내인 경우에 제작한다.

② 정표고 변환은 조정이 완료된 항공레이저측량 원시자료의 타원체고를 정표고로 변환하여야 한다. 정표고 변환은 발주처와 협의하여 기준점 및 검사점 성과 또는 별도 성과를 이용하여 산출된 작업지역에 대한 지오이드 모델을 정하여 사용할 수 있다.

③ 수치표면자료는 비행코스별로 타원체고 자료와 정표고 자료로 분리하여 기록하여야 한다.

(5) 수치지형모델 제작

① 수치지형자료는 수치표면자료를 다음 각 호에 따라 필터링하여 제작한다.

가. 필터링은 작업지역의 범위를 100 m까지 연장하여 수행한다.

나. 필터링은 자동 또는 수동 방식으로 수행할 수 있고 자동 방식으로 분류하기 어려운 교량, 고가도로, 낮은 공장지대, 하천, 건물밀집지역, 수목이 우거진 산림지역 등의 지형지물은 수동 방식으로 하여야 한다. 필터링을 수행할 때에는 수치영상과 비교(또는

- 중첩)하여 식별, 분류작업을 실시하여야 한다.
- 다. 수치지형자료의 용량이 큰 경우에는 작업지역을 분할하여 실시할 수 있다. 이때, 작업 단위 간에 인접부분은 20 m 이상 중복되도록 하여야 하며 지면과 지표 피복물로 구분되어야 한다.
- ② 수치지형자료의 점검 및 수정은 단면검사에 의해 오류의 유무를 점검하고 수정하며 동일한 시기에 촬영된 수치영상자료와 비교(또는 중첩)하여 오류의 유무를 점검하고 수정한다.
- ③ 작업지역과 인접되는 지역에 항공레이저측량에 의한 기존 수치지형자료(또는 수치표고모형)가 있는 경우에는 인접 접합점을 이용하여 두 자료를 일치시켜야 한다.
- ④ 인접접합점은 작업지역과 인접지역 자료의 점검 및 조정을 위하여 배치한다.
- 가. 인접접합점은 급격한 높이 차이가 없고 지형의 모든 방향에 대해 평탄한 장소를 선정하여야 하고 인접접합점의 수는 인접선에 대해 (인접선길이(km)/2 + 1) 이상으로 하며, 인접접합 1개소에 최소 10점 이상을 표준으로 한다.
- 나. 인접접합점은 중복되는 인접 부분에 고르게 분포되어야 하고 중복되는 인접 부분에 기준점이 존재하는 경우에는 기준점을 인접접합점으로 사용하여야 한다.
- 다. 수치지면자료가 없는 경우에는 수치표고모형의 격자점을 인접접합점으로 사용하여야 한다.
- 라. 인접접합점의 표고는 선점된 인접접합점을 중심으로 제작하고자 하는 수치표고모형의 격자간격과 동일한 반경 내에 있는 수치지면자료의 표고 평균으로 한다.
- ⑤ 수치지면자료는 1:25,000 지형도의 도엽단위로 타원체고 자료와 정표고 자료로 분리하여 기록하여야 한다.
- (6) 불규칙삼각망자료의 제작
- ① 불규칙삼각망자료의 제작은 정표고로 변환된 수치지면자료를 이용하여 제작한다.
- ② 실측된 기준점 및 검사점과 불규칙삼각망자료와의 표고 차이에 대한 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 불규칙삼각망자료의 평균제곱근오차를 구하여 다음과 같은 기준으로 정확도를 점검한다.
- 가. 평면위치 정확도 : $H(\text{비행고도})/1,000$
- 나. 수직위치 정확도

표 4.3.1-3 불규칙삼각망의 수직위치 정확도

격자규격	1 m × 1 m	2 m × 2 m	5 m × 5 m	비고
수치지도축척	1:1,000	1:2,500	1:5,000	
평균제곱근오차	0.5 m 이내	0.7 m 이내	1.0 m 이내	
최대오차	0.75 m 이내	1 m 이내	1.5 m 이내	

다. 수치표고모형의 활용 분야 및 제작목적에 따라 정확도를 별도로 정할 수 있다.

- ③ 생성된 불규칙삼각망자료를 화면상에서 육안으로 검사하고 오류를 확인하여 수정한다.
- ④ 불규칙삼각망자료의 정확도와 오류의 점검 및 수정에 대한 결과는 검사표, 오류정정표를 작성하여야 한다.
- (7) 수치표고모형 제작
 - ① 수치표고모형은 정표고로 변환된 수치지면자료를 이용하여 격자자료로 제작하여야 한다.
 - ② 격자자료는 사용목적 및 점밀도를 고려하여 표 4.3.1-3에 규정된 정확도를 확보할 수 있는 보간방법으로 제작하여야 한다.
 - ③ 실측된 기준점 및 검사점과 수치표고모형과의 표고 차이에 대한 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 수치표고모형의 평균제곱근오차를 구하여 표 4.1-3에 규정된 정확도를 기준으로 정확도를 점검한다.
 - ④ 수치표고모형으로 음영기복도를 생성하여 화면상에서 육안으로 검사하고 오류를 확인하여 수정한다.
 - ⑤ 음영기복도는 수치표고모형을 이용하여 지형의 표고에 따라 음영효과를 시각적으로 표현하여야 하며, 설계측량시행자가 정하는 축척의 수치지도 도엽단위로 제작한다.
 - ⑥ 수치표고모형의 좌표는 미터(m) 단위로 하고, 소수 2자리까지 표시하여야 하고 생성된 수치표고모형은 발주처가 정하는 축척의 수치지도 도엽단위로 분할하여 저장하고, 도곽보다 50 m 크게 제작한다.
 - ⑦ 수치표고모형의 정확도 검증과 오류 점검 및 수정에 대한 결과는 검사표, 오류 정정표를 작성하여야 한다.

4.3.1.2 무인비행장치를 이용한 레이저측량

(1) 작업계획

- ① 무인비행장치를 이용한 레이저측량의 작업범위는 작성하는 성과품 범위의 바깥으로 10 m 이상 또는 측량 폭의 50 % 이상 연장한 범위를 표준으로 한다.
- ② 무인비행장치의 비행코스는 관측 제원을 감안하여 이를 충족할 수 있도록 측량지역의 기상조건 등을 감안하여 설정한다. 또한 레이저측량 시에는 무인비행장치가 작업범위 내에서 등속 비행할 수 있도록 설정한다.
- ③ 무인비행장치를 이용한 레이저측량의 작업 일정은 작업 예정일의 기상조건 외에 GNSS 관측을 실시할 때의 수신 가능한 위성 수 등을 확인하여야 한다.

(2) 기준국의 설치

- ① 무인비행장치를 이용한 레이저측량의 위치결정은 GNSS에 의한 키네마틱법으로 하고 키네마틱 해석에서 사용하는 기준국에는 기준점을 설치하는 것을 원칙으로 한다. 또한 필요에 따라서 기준국을 재설치할 수 있는 것으로 한다.
- ② 기준국은 측량 범위로부터 50 km를 넘지 않는 점을 이용한다.
- ③ 기준국을 재설치하는 경우에는 1급 기준점 측량 및 3급 수준측량에 의해 위치 및 표고를 측량하여야 한다.

- ④ 기준국을 재설치하여 측량한 경우에는 다음과 같은 사항을 확인하여야 한다.
- 가. 상공 시계의 확보
 - 나. GNSS 안테나 고정 확보
 - 다. 데이터 취득 유무
- ⑤ 기준국을 재설치한 경우는 기준국 성과표를 작성한다.
- (3) 표정점의 설치
- ① 원시자료의 위치 및 표고의 정확도를 검증 및 조정하기 위해서 작업범위 내에 표정점을 설치하는 것으로 한다.
 - ② 여러 개의 표정점을 설치하는 경우는 계측 범위 내에 치우치지 않고 배치하여야 한다.
 - ③ 표정점은 평탄하고 식별이 쉬운 지점에 설치하며 적절한 크기의 대공표지 또는 이에 상응하는 것을 설치하여야 한다.
 - ④ 표정점의 위치 및 표고는 작성하는 원시자료의 요구사양을 바탕으로 이와 동등 이상의 정밀도로 구하는 것으로 한다.
 - ⑤ 설치한 표정점의 표정점 배점도 및 표정점 명세표를 작성한다. 또한 표정점 명세표에는 현황 등을 촬영한 사진을 첨부하여야 한다.
- (4) 무인비행장치 레이저측량
- ① 무인비행장치 레이저장비를 이용해 레이저측량을 실시하고, 무인비행장치 레이저시스템의 GNSS 관측데이터, IMU 관측데이터 및 레이저측량 데이터와 기준국에서의 GNSS 관측데이터를 취득한다.
 - ② 무인비행장치 레이저측량에서의 무인비행장치 비행은 자동 비행방식에 의해 수행하는 것을 표준으로 한다. 또, 계측 범위 내에 대해서는 직선 등고도로 비행하는 것을 원칙으로 하고 비행속도는 일정한 속도를 유지하도록 노력한다.
 - ③ 비행 전 다음과 같은 사항을 확인하여야 한다.
 - 가. 날씨, 풍속 등의 기상 조건
 - 나. 건물, 수목, 조수 등 안전비행에 영향을 미치는 지물의 유무
 - 다. 고압전선이나 철탑 등의 전파 간섭 가능성이 있는 시설의 유무
 - 라. 철탑 등의 기체 나침반 오류를 일으킬 가능성이 있는 지물의 유무
 - 마. 이착륙장 및 비행경로와 제3자(사람 또는 물건)와의 거리가 30m 이상 확보되어 있을 것
 - 바. 비행고도 및 비행거리 범위 제한
 - 사. 기체 캘리브레이션의 필요 여부
 - 아. 기체 외관, 나사 등의 이완, 프로펠러 균열 및 왜곡, 모터 이음 유무
 - 자. 기기의 배터리 충전 상태
 - 차. 주변의 전파 상황에 의한 통신 지장의 유무
 - ④ 필터링, 수치도화 등에서 영상을 통한 지물확인은 필요에 따라 무인비행장치 레이저용 수치사진을 촬영하여야 한다.
 - ⑤ 무인비행장치 레이저용 수치사진의 해상도 등은 이용 목적에 따라 결정하는 것으로

한다.

- ⑥ 무인비행장치 레이저측량 종료 후, 신속하게 무인비행장치 레이저측량 상황 및 취득한 각 데이터의 상황을 확인하고, 무인비행장치 레이저측량 기록부에 기록하는 동시에 필요에 따라 재측량을 실시한다.
- ⑦ 최적의 궤적 해석에 대한 키네마틱 해석결과는 다음과 같은 사항에 대해 확인하고 최적의 궤적 해석 기록부에 기록함과 동시에 필요에 따라 재해석 또는 재측량을 실시한다.

가. 최소 위성수

나. DOP값

다. 위치에 따른 해석값의 차이

라. 해석값의 품질

마. 위치의 표준편차의 평균값과 최대값

바. GNSS 결과와 IMU 결과의 정합성

사. 위치의 표준편차의 평균값과 최대값

아. 자세의 표준편차의 평균값과 최대값

(5) 원본데이터의 작성

- ① 최적의 궤적 해석으로 얻은 결과와 무인비행장치 레이저측량으로 취득한 데이터를 통합 해석하여 3차원 좌표를 가진 측점의 데이터를 작성한다.
- ② 레이저측량에서 취득한 원시자료에 포함되는 노이즈 등의 비정상적인 점은 데이터에서 제거한다.
- ③ 통합 해석에 의해 작성한 측점의 데이터에 대해서 조정 및 합성을 실시하고 원시자료를 작성한다.
- ④ 원시자료에는 반사강도 등의 속성정보를 부여할 수 있다.
- ⑤ 3차원 점군데이터 파일 작성

가. 3차원 점군데이터 파일의 작성은 3차원 점군데이터를 파일 형태로 전자매체에 기록하여야 한다.

나. 3차원 형상 복원계산 소프트웨어는 다양한 형식의 출력이 가능한 경우가 많지만 3차원 점군데이터로는 LAS형식, CSV형식, DXF형식과 지형모델로는 LandXML형식과 TIN형식으로 작성하여야 한다.

4.3.1.3 지상 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

(1) 작업계획

- ① 작업 착수 전에 작업방법, 사용하는 주요장비, 인력, 일정 등에 대해 적절한 작업계획을 수립하고 이를 설계측량시행자에게 제출하여 승인을 얻어야 한다. 작업계획을 변경하는 경우에도 또한 같다.

(2) 표정점의 설치

- ① 표정점의 설치는 좌표변환에 의해 지상 레이저스캐너 수평 위치와 고도, 방향을 부여

하는 기준이 되는 점을 설치하는 작업을 말하며, 원칙적으로 측지좌표계에서 실시하는 것으로 한다.

② 표정점의 배치

가. 표정점은 지상 레이저스캐너의 설치위치와 함께 작업범위, 지상 레이저스캐너의 성능, 레이저스캐너의 위치, 레이저스캐너의 반사강도, 측지좌표계로의 변환방법 등을 고려하여 적절하게 설치하여야 한다.

나. 표정점은 레이저 관측범위 밖에 설치하는 것을 원칙으로 하고 표지의 형상 및 크기는 그 중심이 요구 정밀도로 관측할 수 있어야 한다.

③ 표정점 성과 등은 표정점의 성과표, 지상 레이저스캐너 표정점의 배치도 및 수준 노선도, 표정점의 측량 성과부, 정확도 관리표, 기타 자료 등이 있다.

(3) 지상 레이저스캐너의 관측

① 지상레이저스캐너 관측은 지상 레이저스캐너에 의해 지형·지물의 방향, 거리 및 반사강도를 관측하고, 표정사항에 따라 측지좌표계로 변환하여 원시자료를 작성한다.

② 지상 레이저스캐너는 소요의 성능을 갖는 것을 사용하여야 한다.

③ 기계점과 후시점의 선정

가. 기계점과 후시점은 기지점을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

나. 기계점과 후시점을 설정하는 기준점과 표정점을 새로 설치하는 경우, 설치 장소는 3차원 점군데이터 수집이 이루어지는 기간 동안 유지되는 장소이어야 한다.

다. 기계점은 지상 레이저스캐너가 견고하게 설치될 수 있어야 한다.

④ 지상 레이저스캐너 관측

가. 기계점과 후시점에 의한 방법으로 하는 것을 원칙으로 하고 필요에 따라 상사변환에 의한 방법 및 후방교회법에 의한 방법으로 할 수 있다.

나. 지상 레이저스캐너를 이용하여 지형·지물에 대한 방향·거리 반사강도를 관측하고 관측방법은 관측 대상물에 따라 적용한다.

다. 관측방향은 지형의 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 관측하는 것을 원칙으로 한다.

라. 관측방향과 거리를 측지좌표계로 변환하고, 수집된 반사강도를 기록한다.

⑤ 표정점에는 표지를 설치하는 것을 원칙으로 하며 표지의 형상 및 크기는 그 중심이 소정의 정밀도로 관측할 수 있어야 한다.

⑥ 표지의 관측은 표지판에 주어진 3차원 관측데이터를 이용하여 신호의 중심을 관측한다.

⑦ 관측지점의 선정은 수치도화에 필요한 관측지점을 선정할 수 있도록 하고 관측점의 점간 거리에 따라 불필요한 점을 제거하는 것을 원칙으로 한다.

⑧ 3차원 관측데이터는 표정 등을 사용하여 측지좌표계로 변환하고 원시 데이터를 생성하며 측지좌표계의 변환에서 표정점의 오차는 오차범위 내에 있어야 한다.

(4) 3차원 점군데이터 편집

① 원시자료에서 지형을 파악하지 않은 점을 제거하여 지형데이터를 작성하고 소정의 데이터 구조로 구조화하는 작업을 한다.

- ② 3차원 점군데이터 편집시스템을 이용하여 원시자료를 3차원으로 표시하고 육안으로 지형 이외에서 반사된 관측지점을 제거하고 지형데이터를 생성한다.
- ④ 구조화는 지형데이터를 정해진 구조의 데이터로 변환하는 작업으로 필요에 따라 경사 변환선을 추가할 수 있는 것으로 한다.
- (5) 파일작성
 - ① 3차원 점군데이터 파일의 작성은 점군 또는 구조화된 지형데이터에서 3차원 점군데이터 파일을 만들고 저장매체에 기록하는 작업을 말한다.
 - ② 메타데이터의 작성은 필요에 따라 작성한다.

4.3.1.4 이동형 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

(1) 작업계획

- ① 측량수행자는 측량의 목적, 실시 지역, 작업량, 기간 등의 내용과 정확도 등을 기재한 성과품 요구 명세서를 작성하여야 한다.
- ② 측량수행자는 해당 작업지역에서 사용할 수 있는 측량성과, 측량기록 및 기타 필요한 자료를 조사하고 활용을 도모함으로써 측량의 중복을 피하도록 노력하여야 한다.
- ③ 이동형 레이저스캐너에 의한 3차원 점군데이터 측량을 실시하는 경우에 4.3.2.4 레이저 데이터를 이용한 측량 품질관리의 성과품 요구사항을 충족하는 측량작업계획서를 작성하여야 한다.
- ④ 작업 착수 전에 작성한 성과품 작업명세서를 설계측량시행자에게 제출하여 승인을 얻어야 한다. 성과품 작업명세서의 내용을 변경하는 경우에도 또한 같다.

(2) 원시자료의 작성

- ① 공정별 작업 구분 및 순서는 다음과 같다.

가. 측량작업계획

나. 보정점의 설치

다. 이동 취득 및 데이터 처리

라. 원시 데이터의 작성

- ② 이동 취득 계획

가. 이동 검색을 실행하기 위해 주행 구간 및 취득 구간을 결정하고 이동 취득 계획도를 작성한다.

나. 주행구간은 자차 위치자세 데이터 취득 장치의 초기화에서 종료까지의 구간으로 취득 구간 진입 및 퇴출에 대해서는 GNSS 위성으로부터의 전파의 안정적인 수신 및 차량의 안정적인 주행이 이루어져야 한다.

다. 이동 취득 계획의 확정은 이동취득에 장애가 되는 것의 유무, GNSS 위성의 배치를 사전에 확인하고 차량의 주행속도는 기존 데이터 취득 장치가 소정의 점군 밀도를 얻을 수 있는 속도로 하며 고정국은 취득 구간의 기선 거리를 10 km 이내를 원칙으로 하되 부득이한 경우 30 km를 넘지 않는 것으로 한다.

라. 고정국을 현지의 기지점에 설치하지 않는 경우, 이동 취득 전에 작업지역의 기지점과

GNSS 관측에서 얻은 좌표값의 일관성을 확인하고 필요에 따라 기지점과의 정합을 수행하여야 하며 기지점 확인 및 방법은 “공공측량 작업규정”에 준하여 실시하는 것으로 한다. 고도를 요구하는 경우에는 국토지리정보원이 제공하는 지오이드 모델로 구한 지오이드 높이를 이용하여 타원체고를 보정한다.

③ 보정점의 설치

가. 보정점은 주행 구간의 노선길이와 운행상황에 따라 2점 이상을 GNSS 위성으로부터의 전파 수신이 어려운 부분, 곡선과 좌우 회전 등의 진로 변동 부분, 취득 구간 시·종점에 순서대로 설치하는 것을 표준으로 한다.

나. 조정사항은 원시 데이터에서 명확하게 확인할 수 있는 지물로 한다. 그러나 그들이 존재하지 않는 경우에는 표지판, 반사 테이프 등을 사용하여 설치한다.

④ 이동취득 및 데이터 처리

가. 이동취득은 계획에 따라 자차위치 자세데이터 취득 장치를 이용하여 GNSS 관측데이터, IMU에 의한 가속도, 각속도 데이터 등을 취득하고 고정국의 GNSS 관측데이터 수집 간격은 1초 이하를 표준으로 데이터를 취득하여야 한다.

나. 이동 취득시 차량의 안정적인 주행에 노력하며 교통상황, 기상상황, 위성상태, 광량, 태양고도 등을 감안하여 언제든지 작업구간을 검토한다.

⑤ 데이터 처리

가. 데이터 처리는 차량에 탑재된 원시자료 취득 장치의 측정 위치와 자세를 분석하여 원시자료의 작성, 조정사항의 조정처리 등을 실시하는 것을 말한다.

나. 해석처리는 이동 취득이 끝난 후 실시하는 것으로 한다.

다. 분석처리는 GNSS 측량기계, IMU, 거리계 등으로부터 얻은 데이터를 이용하여 운동학적 분석 또는 최적 궤적 분석을 통한 자차 위치자세 데이터를 요청하는 것으로 분석처리 결과와 보정 데이터를 사용하여 원시자료 취득 장치의 위치와 자세를 산출한다.

⑥ 원시자료의 작성

가. 해석 프로세스가 완료되면 원시자료를 생성한다.

나. 합성

(가) 동일 취득 구간에서 여러 이동 취득을 실시한 경우에는 필요에 따라 만들어진 원시자료를 합성한다.

(나) 합성은 합성하는 각각의 오리지널 데이터에서 공통으로 인식할 수 있는 특정점 또는 특정선을 4개 이상 추출하여 3차원 좌표변환에 의해 실시하는 것을 원칙으로 한다.

(다) 합성하는 각각의 원시자료를 변환하는 경우에는 특정점의 검색정확도에 따라 무게를 이용하는 것으로 한다.

(라) 전체 원시자료에 부분적인 원시자료를 합성하는 경우에는 부분적인 원시자료를 전체 원시자료에 좌표변환을 한다.

(마) 보정점에서 이동형 레이저스캐너의 궤적을 산출하고, 각각의 원시자료를 다시 만든 경우에는 좌표변환을 하지 않고 합성이 있는 것으로 한다.

(바) 합성을 위한 좌표변환에 사용된 특정점의 오차는 좌표축의 각 성분의 최대값이 최대 지상 영상소 크기의 범위 내로 한다.

다. 원시자료의 정리는 각호에 의하여 생성된 원시자료를 수평 위치 및 표고 및 색상 또는 반사 강도를 부가하여 정리하고 사진은 사진파일 이름에 연결된 외부표정요소를 부가하여 정리한다.

라. 점밀도의 검증

(가) 원시자료는 요구사양에 표시된 점밀도를 충족하는지 확인하여야 한다.

(나) 검증 후 요구사양을 충족하지 못하는 경우에는 추가 측량을 실시한다.

(다) 확인 후 점밀도 검사 정도 관리표에 정리하여야 한다.

(3) 3차원 점군데이터 점검

① 3차원 점군데이터의 점검은 원시자료와 다음 사항의 데이터와 편차를 구하고, 요구 정확도를 만족하는지 확인한다.

가. 이동형 레이저스캐너 3차원 점군데이터 측량에 의한 점검

나. 검사 지점의 설치에 의한 점검

다. 횡단 측량에 의한 점검

라. 그 밖에 측량 기법으로 3차원 점군데이터에 의한 점검

② 검사측량은 측정범위의 상황 등이 변화하지 않도록 가능한 한 원시자료의 작성에 있어서 이동 측정과 같은 시기에 실시하는 것으로 한다.

③ 검사측량에서 얻어진 자료와 동등 이상의 정밀도를 갖는 기존 데이터를 검사하는데 사용할 수 있다. 다만, 해당 데이터의 생성 시점에서 원시자료의 생성 사이에 측정 범위의 상황이 크게 변화하지 않은 경우에 한한다.

④ 검사결과 원시자료가 요구사양을 충족하지 않는 경우에는 데이터의 재작성 등 요구사항을 충족하기 위해 필요한 조치를 한다.

⑤ 검사결과는 검사측량 결과 정확도 관리표에 정리한다.

⑥ 원시자료의 기록

가. 검사의 결과 요구사양을 충족하는지가 밝혀지면 원시자료에 대해서, 성과품 요구사양에 따른 형식으로 전자적 기록 매체에 기록한다.

나. 검사결과 파일의 관리 및 이용에 필요한 사항을 기재한 원시자료의 메타데이터를 생성하고 기존 데이터와 함께 전자적 기록 매체에 기록한다.

(4) 기타 성과데이터 작성

① 지형데이터는 원시자료 중 지형의 높이를 나타내는 데이터만 추출한 데이터를 기준으로 기존 데이터에서 필터링을 수행하여 만들고 필터링의 대상 항목은 요구사항에 따라 결정하여 작성한다.

② 지형데이터의 검증은 도형 편집 장치, 각종 출력도 등을 이용하여 적정하게 필터링이 이루어지고 있는지 확인해야 하고 요구사양에 표시된 점밀도를 충족하는지 확인해야 한다.

③ 그리드 데이터의 작성은 지형데이터에서 중첩에 의해 격자의 표고 데이터를 작성하는

것을 표준으로 하고 그리드 데이터의 격자간격은 요구사양에 따라 결정하여 작성한다.

- ④ 그리드 데이터의 검증은 도형 편집 장치 또는 각종 출력도를 이용하여 적정하게 작성되어 있는지 확인하여야 한다.
- ⑤ 등고선 데이터의 작성은 지형데이터 또는 지형데이터를 사용하여 만든 그리드 데이터를 이용하여 작성한다.
- ⑥ 등고선 데이터의 검증은 도형 편집 장치, 각종 출력도 등을 이용하여 형상 특성 정보 등을 확인해야 한다.
- ⑦ 기타 성과데이터의 메타데이터 작성은 제품사양에 따라 파일의 관리 및 이용에 있어 필요한 사항을 작성한다.
- ⑧ 기타 성과데이터의 기록
 - 가. 생성 및 검증을 실시한 기타 성과데이터에 대한 성과품 요구사양에 따른 형식으로 전자적 기록 매체에 기록한다.
 - 나. 파일의 관리 및 이용에 필요한 사항을 기재한 각각의 데이터에 대한 메타데이터를 작성하고 다른 성과데이터와 함께 전자매체에 기록한다.
- ⑨ 외부 표정요소가 있는 사진측량성과는 개인정보 보호에 관한 사항을 고려하여야 한다.

4.3.2 레이저데이터를 이용한 측량 품질관리

4.3.2.1 유인항공을 이용한 레이저측량

- (1) 기준점측량에서 코스검사점 표고 차이의 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 코스검사점 표고의 평균제곱근오차의 한계는 0.25 m 이내로 한다.
- (2) 인접접합점 표고차이의 최대값, 최소값, 평균, 표준편차, 평균제곱근오차의 한계는 0.25 m 이내로 한다.
- (3) 수치표고모형의 격자규격에 따른 평면 및 수직위치 정확도의 한계는 다음 각 호와 같다. 다만, 수치표고모형의 활용분야 및 제작목적에 따라 정확도를 별도로 정할 수 있다.
 - ① 평면위치 정확도 : $H(\text{비행고도})/1,000$
 - ② 수직위치 정확도는 다음 표 4.3.2-1과 같다.

표 4.3.2-1 수치표고모형의 격자규격에 따른 수직위치 정확도

격자규격	1 m×1 m	2 m×2 m	5 m×5 m	비고
수치지도축척	1:1000	1:2500	1:5000	
평균제곱오차	0.5 m이내	0.7 m이내	1.0 m이내	
최대오차	0.75 m이내	1 m이내	1.5 m이내	

4.3.2.2 무인비행장치를 이용한 레이저측량

- (1) 3차원 점군데이터의 평면위치 및 고도의 정확도는 오차가 최대 0.05 m를 넘지 않도록 한다.
- (2) 3차원 점군데이터의 평면위치 및 고도의 정확도가 규정되지 않은 경우에는 다음 표 4.3.2-2와 같다.

표 4.3.2-2 이외의 점군데이터 정확도

정확도	최대 0.05 m 이내	최대 0.1 m 이내	최대 0.2 m 이내
지상 화소 크기(GSD)	0.01 m	0.02 m	0.03 m

4.3.2.3 지상 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

- (1) 표정점의 정확도는 수치지형도 축척에 따라 다음 표 4.3.2-3을 표준으로 한다.

표 4.3.2-3 수치지형도 축척에 따른 표정점 정확도

수치지형도 축척	정밀도	수평위치	고도
1/250		0.1 m 이내	0.1 m 이내
1/500		0.1 m 이내	0.1 m 이내

- (2) 표정점 사이의 거리 허용범위는 다음 표 4.3.2-4에 규정하는 것 또는 이들과 동등 이상의 것을 표준으로 한다. 또한 거리(S)는 점간의 거리의 계산 값을 말한다.

표 4.3.2-4 표정점 사이의 거리 허용범위

거리	허용 범위
20 m 미만	10 mm
20 m 이상	S / 2,000

4.3.2.4 이동형 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

- (1) 레이저스캐너에 의해 취득한 점군 데이터는 취득 경로의 10 m 범위에서 점밀도를 측정하고 반사강도를 판독하여 점검하여야 한다.
- (2) (1)호와 관련하여 점밀도는 1 m² 당 100점 이상이어야 하며, 반사강도를 이용하여 세부도화 항목의 식별이 가능하여야 한다.
- (3) 이용목적에 따른 요구 점밀도 및 정밀도는 다음 표 4.3.2-5와 같다.

표 4.3.2-5 이용목적에 따른 점밀도 및 정밀도

이용 목적	요구 점밀도	요구 정밀도	비고
수치 지형도 작성	25 점 / m ² 이상	±0.25 m	
지형 취득	10 점 / m ² 이상	±0.1 ~ 0.25 m	
구조물형태 관리	100 점 / m ² 이상	± 0.05 m 이내	
기성 및 준공 측량	4 점 / m ² 이상	± 0.1 m 이내	

4.3.3 레이저데이터를 이용한 측량 성과품

4.3.3.1 유인항공을 이용한 레이저측량

- (1) 비행코스 궤적파일
- (2) GNSS/INS, GNSS 기준국 자료
- (3) 기준점측량 성과
- (4) 원시자료
- (5) 코스검사점 좌표
- (6) 수치표면자료
- (7) 수치지면자료
- (8) 인접접합점 좌표
- (9) 수치표고모형
- (10) 수치영상 외부표정요소
- (11) 수치영상자료 관리파일
- (12) 도엽별 수치표고모형 관리파일

4.3.3.2 무인비행장치를 이용한 레이저측량

- (1) 원시자료
- (2) 3차원 점군데이터 파일
- (3) 관측도
- (4) 정확도 관리표
- (5) 품질관리표
- (6) 메타데이터
- (7) 기타 자료

4.3.3.3 지상 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

- (1) 원시자료
- (2) 3차원 점군데이터 파일
- (3) 관측도
- (4) 정확도 관리표
- (5) 품질관리표

- (6) 메타데이터
- (7) 기타 자료

4.3.3.4 이동형 레이저스캐너를 이용한 레이저측량

- (1) 원시자료
- (2) 3차원 점군데이터 파일
- (3) 관측도
- (4) 정확도 관리표
- (5) 품질관리표
- (6) 메타데이터
- (7) 기타 자료

4.4 3차원 초음파데이터를 이용한 수심측량

4.4.1 수심측량 방법

4.4.1.1 음향측심기에 의한 수심측량

- (1) 수심측량은 “공공측량 작업규정”에 따라 실시한다.
- (2) 수심측량은 하천, 저수지, 호수 및 해안에서 수저부(물밑)의 지형을 파악하기 위하여 수심, 측심 위치 또는 선박의 위치, 및 수위와 조위의 측정하고 횡단면도 데이터 파일을 작성하는 작업을 말한다.
- (3) 음향측심기는 다음 표 4.4.1-1의 성능 이상이어야 한다. 다만, 수심이 얇은 경우에는 직접측량을 실시할 수 있다.

표 4.4.1-1 음향측심기의 최소 제원

구분	성능
가정음속도	1,500 m/sec
발진주파수	25 kHz 이상
측량단위	10 mm 이하
수심측량범위	0.5 ~ 200 m
정확도	0.1 m + d/10, d는 수심(m)

- (4) 측심위치 측량을 위한 측량장비와 측량간격은 다음 표를 표준으로 한다.

표 4.4.1-2 측심위치 측량을 위한 측량장비와 측정간격

측량장비	측량간격
와이어 로프 광파거리측정기 토탈스테이션 GNSS 수신기	5~20 m
해상위치측량용 전파측위기	20~100 m

- (5) 수위의 측량은 수위표, 가수위표 및 검조소에 의한 관측 또는 직접측정에 의한다.
- (6) 수심측량 시스템 구성은 위치측량용 장비, 수심측량용 장비와 이를 운용하는 소프트웨어로 구성되어 있다.
 - ① 해상위치측량용 장비는 해상의 특정물 측량 시 위치를 잡아주거나 각을 측정하고, 수심측량 시 측량선의 위치 성과를 취득하기 위한 측량장비이다.
 - ② 육상 기준점에 기준국(위성안테나, 위성수신기, Radio Modem 등)을 설치하고, 측량선에 설치한 이동국에서 위성으로부터 받는 자료를 상호 비교 보정하여 측량선을 유도하는 시스템으로, 해상위치측량용 장비의 오차는 약 1.0~1.5 m 정도이고, RTK System을 적용하면 수십 mm 내의 정확도를 확보할 수 있다.
 - ③ 수심측량용 장비는 음파를 송수신하여 해수면에서 해저면까지의 깊이를 측량하는 장비로 음향측심기라고 한다.
 - ④ 수심측량용 운용소프트웨어는 수심측량구역의 계획선을 미리 설정하여 측량선을 실시간으로 유도할 수 있으며, 위치측량 성과와 수심측량장비의 수심성과를 실시간으로 저장하여 각종도면 및 물량을 구하는데 사용한다.
- (7) 수심측량 전에는 바체크를 반드시 실시하고 음향측심기에 그 결과가 나타나도록 하여야 한다. 바체크는 수심이 2 m 이내인 지역에서는 0.5 m 간격으로 실시하고 수심이 2 m 이상인 지역에서는 1 m 간격으로 실시한다.
- (8) 수심측량 시 DGNSSS 장비를 사용할 경우에는 반경 1 km 이내에 가수준점을 설치하고 매 15분 간격으로 관측한 수위변화량을 보정하여 수저부의 갱정수심을 구한다.
- (9) 선박수심측량 자료처리
 - ① 단빔 수심측량 자료처리는 홀수, 바체크 음속도 보정 및 조석보정 적용, 항적의 왜곡 여부 확인 및 불필요한 항적 편집, 수심의 오측자료 제거, 음향측심기록지와 대조하여 수심, 위치의 잡음 및 오측자료 제거 등을 수행하여야 한다.
 - ② 다중빔 수심측량 자료처리는 홀수, 수중음속도, 측심자료 편향 보정 값 등 각종 보정 확인 및 조석보정 적용하고 항적의 왜곡 여부 확인 및 불필요한 항적 편집과 선박움직임 보정 값의 확인 및 오류 편집을 실시하며 선박수심측량 계획에 따른 유효측량 폭의 적합성 확인 및 수심의 오측자료 제거 등을 수행하여야 한다.
 - ③ 조석 보정은 조위관측소 및 측량구역에서 실시한 조위자료를 적용하고 필요한 경우 수치모델 조석자료를 적용 할 수 있다. 다만, 수심 200 m 이상의 심해역에서는 조석보

정을 수행하지 않을 수 있다.

- (10) 개정수심은 가수준점 표고에서 해당 시각의 수위면 표고를 감산하고, 여기에 다시 해당 시각의 음향측심기 수심을 감산하여 구한다.
- (11) 횡단면도의 횡축척은 1:100~1:10,000, 종축척은 1:100~1:1,000을 표준으로 하며, 연안 해역의 수심도의 축척은 1:100~1:10,000을 표준으로 한다.
- (12) 연안해역의 수심도에는 측심위치 마다 수심을 표시한다.

4.4.2 수심측량 품질관리

- (1) 수심측량은 정확도가 $\pm 0.1m + d/10$ (d는 수심, m 단위) 이내이어야 하며, 기록지에는 측심위치에 대한 DGNS 또는 네트워크 RTK 좌표, 측량시각 및 수심을 동시에 기록한다.
- (2) 수심측량의 허용오차는 다음 표 4.4.2-1과 같으며, 설계측량시행자가 따로 정할 경우에는 예외로 할 수 있다.

표 4.4.2-1 수심측량의 허용오차

구 분	허용오차
수심 5m 이내	0.2 m
수심 5m 이상	0.2 m + d/10 [d : 수심(m) 최대 : 0.25 m 이내

4.4.3 수심측량 성과품

- (1) 성과물은 수심측량파일, 측량야장, 측량원도 등으로 정리한다.
- (2) 각 성과물은 다음 각 호에 따라 제작 및 정리한다.
 - ① 수심측량파일은 원시자료, 처리자료, 최종자료, 보정자료(음속, 흘수, 조석) 등으로 구분하며 다중빔수심측량 성과는 필요한 경우 후방산란음압자료를 포함
 - ② 측량야장은 측량시기, 측량구역, 측량자료명, 기타 관측자료를 기록
- (3) 성과표 및 성과수치데이터는 표준양식에 정리한다. 표준양식이 없는 경우 “공공측량 작업규정”의 양식을 준용한다.
- (4) 3차원 관측자료 및 기타 저장 가능한 자료는 전자파일로 제출한다.

4.5 3차원 데이터 모델작성

4.5.1 3차원 데이터 모델작성 방법

4.5.1.1 2차원 설계도서 작성

- (1) 기준점 설계도서 작성은 GNSS, 토털스테이션 등으로 수행한 기준점 측량성과에 대한 설계도서는 “일반측량 작업규정”에서 정한 바에 따른다.
- (2) 영상데이터를 이용한 설계도서 작성은 유인항공기, 무인비행장치 등으로 수행한 항공사진 측량성과에 대한 설계도서는 “정사영상 제작 작업 및 성과에 관한 규정”, “항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정”과 “무인비행장치 측량 작업규정”에서 정한 바에 따른다.
- (3) 레이저데이터를 이용한 설계도서 작성
 - ① 유인항공기, 무인비행장치 등으로 수행한 항공레이저 측량성과에 대한 설계도서는 “수치표고모형의 구축 및 관리 등에 관한 규정”과 “무인비행장치 측량 작업규정”에서 정한 바에 따른다.
 - ② 이동형 레이저스캐너, 지상 레이저스캐너 등으로 수행한 지상 레이저스캐너 측량성과에 대한 설계도서는 “정밀도로지도의 구축 및 관리 등에 관한 규정”과 “무인비행장치 측량 작업규정”을 준용하여 작성할 수 있다. 단, 해당공사의 특성과 여건을 고려하여 설계도서의 내용 조정이 필요할 경우 설계측량시행자의 승인을 얻어 조정하여야 한다.
- (4) 초음파를 이용한 설계도서 작성은 음향측심기 등으로 수행한 수심측량성과에 대한 설계도서는 “수로측량 업무규정”에서 정한 바에 따른다.

4.5.1.2 3차원 설계도서 작성

- (1) 측량성과는 설계측량시행자의 승인없이 변경·수정이 불가능하며, 보간에 의해 재생성하지 않는다.
- (2) 측량성과를 측지좌표계로 변환하고 위치에 대한 오차는 50 mm 이내로 한다.
- (3) 3차원 점군 데이터 편집은 원시자료에서 지형을 파악하지 않은 점을 제거하여 기초 데이터를 제작하고 구조화 편집하는 작업을 말한다.
- (4) 구조화 편집은 기초 데이터를 정해진 구조의 데이터로 변환하는 작업을 말하며, 필요에 따라 경사 변환선을 추가할 수 있는 것으로 한다.
 - ① 구조화는 불규칙삼각망 혹은 격자 구조를 원리로 한다.
 - ② 구조화 방법은 그라운드 데이터의 밀도 또는 작업 범위의 모양에 따라 결정한다.
 - ③ 불규칙 삼각망으로의 구조화는 지형의 모양에 따라 최적의 방법을 채택해야 한다.
 - ④ 격자로의 구조화는 최근린 보간 또는 불규칙 삼각망으로부터의 보간을 원칙으로 한다.
- (5) 3차원 점군 데이터 파일의 제작은 점군데이터 또는 구조화된 기초 데이터에서 3차원 점군데이터 파일을 제작하고 전자적 기록매체에 기록하는 작업을 말한다.
- (6) 3차원 점군데이터 파일과 메타데이터는 발주자가 요구하는 사양에 따라 작성한다.

4.5.1.3 3차원 기준점을 이용한 모델작성

- (1) GNSS, 토털스테이션 등으로 취득된 측량성과를 건설현장에 설치된 기준점을 이용해

3차원 좌표로 변환한다. 이 때, 정확도를 확보하기 위해서 현장 내에 4급 기준점 또는 3급 수준점 이상으로 설치한 기준점의 정확도 관리를 해야 한다.

- (2) 스마트건설의 3차원 기준점은 CSV, *.las, *.dwg 등의 형식으로 작성하며, 3차원 좌표 성과(경도, 위도, 타원체고, X, Y, Z 등)를 포함하여야 한다.
- (3) 3차원 기준점 모델은 *.dxf, *.dwg, *.shp 등의 형식으로 현황선을 연결한 간단한 도면을 작성하여야 한다.

4.5.1.4 영상데이터를 이용한 3차원 모델작성

- (1) 항공사진을 이용하여 수치지형도, 수치표고모형 등의 작성 시 “수치표고모형의 구축 및 관리 등에 관한 규정”에서 정한 바에 따른다.
- (2) 이외의 방법을 이용할 경우 공사감독자의 승인을 받아 품질관리 기준을 만족하는 점 밀도로 조정된 측량성과의 해당 점 그룹에 불규칙삼각망(TIN)을 배치하고 3차원의 모델 작성을 지원하는 소프트웨어를 사용하여 3차원 모델을 작성한다.
- (3) 작성된 3차원 모델은 LandXML 스키마 구조를 가진 LandInfraGML 형식 등 BIM 설계모델에 적용할 수 있는 데이터 형식으로 변환하여 제공한다.

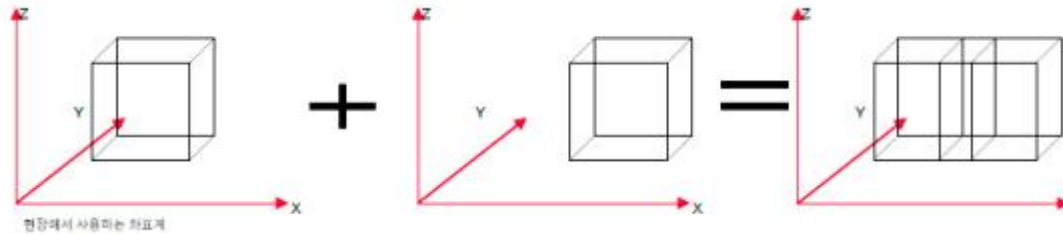
4.5.1.5 레이저데이터를 이용한 3차원 모델작성

- (1) 3차원 점군데이터 생성
- (2) 3차원 점군데이터 편집
 - ① 3차원 점군데이터의 대상 범위 외, 수목, 초목, 가설 구조물 등 설계와는 관계없는 측량성과를 제외하여야 한다.
 - 가. 불필요한 데이터를 삭제하는 방법은 설계데이터와 3차원 조감도를 비교하여 육안으로 확인하여 삭제하는 것을 원칙으로 한다.
 - ② 설계데이터의 경량화를 위해서 3차원 점군데이터의 점밀도를 1점 이상/1 m² (1×1 m Mesh)으로 한다. 단, 지형이 복잡하거나 정밀한 설계데이터가 필요한 경우 공사감독자와 협의하여 점밀도를 변경할 수 있다.
 - ③ 보간에 의한 설계데이터의 격자화는 다음과 같이 수행할 수 있다.
 - 가. 설계대상 지역에 대해 1 m²(1×1 m의 평면 정사각형) 이내의 격자를 설정하고 격자의 중앙 혹은 격자점에 미지점(X, Y)을 설정한다. 미지점의 Z 값은 미지점을 중심으로 하는 1 m²이내의 측량성과와 설계도서와의 차이의 최빈값 또는 차이의 평균치를 설계도서 Z 값에 더하여 사용한다.
 - 나. 이밖에 다음과 같은 보간법을 이용할 수 있다.
 - (가) 최근린 보간법 : 그리드 점에서 가장 가까운 점의 Z 값을 채택
 - (나) 평균 보간법 : 보간하는 격자로부터 격자간격의 2배 범위 내에 있는 측량성과들의 Z 값 평균치를 채택
 - (다) 불규칙삼각망법 : 측량성과에서 도출한 불규칙삼각망을 이용하여 평면좌표로써 보간하는 격자가 포함된 삼각형상의 Z 값을 채택

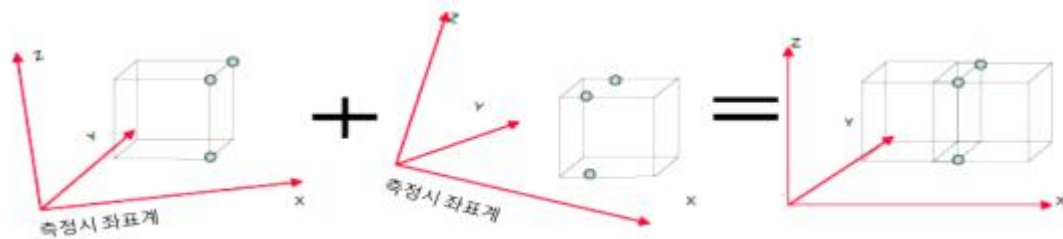
(라) 역거리 가중법

④ 설계데이터가 2개 이상 존재하는 경우 다음과 같이 1개의 설계데이터로 합성하여야 한다.

가. 각 측량성파에서 기준점을 이용하여 각각 3차원 좌표로 변환하여 하나의 점군데이터로 단순 합성한다.



나. 각 측량성파로부터 공통의 특징점을 추출해 매칭시키고 합성 후에 3차원 좌표로 변환한다. 이때, 측량오차에 의해, 합성 시 뒤틀림 등이 생기는 경우가 있으므로 주의해야 한다.



(3) 3차원 점군데이터 파일 생성

(4) 성과 등의 정리

4.5.1.6 초음파를 이용한 3차원 모델작성

- (1) 수심측량 및 자료처리를 통한 도면은 측량원도로 제출하되 2차원 및 3차원 형태로 작성하여 제출한다.
- (2) 천부지층 자료는 해저표면과 지층 내 반사면의 모양, 연속성 및 투명성 등 음향상분포도를 작성한다.
- (3) 심부지층 자료는 반사면의 강도, 연속성 및 음향특성에 대하여 각 지층의 등층후도를 작성한다.
- (4) 조사자료는 해저표면과 장애물 및 저질의 특성이 잘 표현될 수 있도록 하며, 해저지형의 음향측심 성과물과 비교·검토하여 해저면 영상도를 작성한다.
- (5) 성과물은 원시자료, 처리자료, 가공자료 순의 단계별 검토가 가능하도록 제출한다.
- (6) 3차원 모델은 LandXML 스키마 구조를 가진 LandInfraGML 형식 등 BIM 설계모델에 적용할 수 있는 데이터 형식으로 변환하여 제공한다.

4.5.2 3차원 설계데이터의 변환

- (1) 작성된 3차원 모델은 LandXML 스키마 구조를 가진 LandInfraGML 형식 등 BIM 설계모델에 적용할 수 있는 데이터 형식으로 변환하여 제공한다.
- (2) LandXML 스키마 구조를 가진 LandInfraGML 형식 등으로 3차원 모델의 변환은 상용SW 등을 이용하되 관련 표준을 준용하도록 한다.

4.6 보고서작성

- (1) 3차원 디지털 설계측량보고서에는 측량 전문가의 기술검토의견서를 첨부하여야 한다.



집필 위원

성명	소속	성명	소속
최윤수	서울시립대학교	이용수	한국건설기술연구원
박태식	테이즈엔지니어링㈜		
김재명	서경대학교		
이원종	서울시립대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	김응록	송원대학교
최봉혁	한국건설기술연구원	김정환	한국교통대학교
김희석	한국건설기술연구원	송 훈	수성엔지니어링
김기현	한국건설기술연구원	오윤석	한국건설기술연구원
류상훈	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
허원호	한국건설기술연구원	이태옥	수성엔지니어링
이승환	한국건설기술연구원	장대창	SG 주식회사
원훈일	한국건설기술연구원	정창화	태성종합기술
이상규	한국건설기술연구원	최정욱	한국콘크리트학회
주영경	한국건설기술연구원		
이여경	한국건설기술연구원		
안준혁	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
김강수	서울시립대학교	전진구	서경대학교
김회룡	평화엔지니어링	최동식	삼안
임명종	GS 건설	최준성	인덕대학교

국토교통부

성명	소속	성명	소속
이진우	국토지리정보원		
강우구	국토지리정보원		
고영찬	국토지리정보원		

KDS 12 30 05 : 2023
3차원 디지털 설계측량

2023년 01월 02일 제정

소관부서 국토지리정보원 위치기준과

관련단체 대한공간정보학회
04322 서울특별시 용산구 한강로1가 50-1, 용산파크자이D동3202호
Tel : 02-420-1993/02-3453-0929 Email : ksgis@ksgis.or.kr
<http://www.kogsis.or.kr>

작성기관 대한공간정보학회
04322 서울특별시 용산구 한강로1가 50-1, 용산파크자이D동3202호
Tel : 02-420-1993/02-3453-0929 Email : ksgis@ksgis.or.kr
<http://www.kogsis.or.kr>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>