

#### • 학습 목표

수준측량이란 지표 위에 있는 점의 표고를 결정하는 측량, 좀 더 엄밀히 말해서 여러 점들의 표고차를 구하는 측량을 말한다. 실제 매달린 추가 외부의 힘을 전혀 받지 않고 오직 중력의 힘에 의해서만 자연스럽게 매달려 있다면 추가 가리키는 방향은 연직방향이다. 따라서 연직방향은 중력방향과 나란하다. 어떠한 기준면으로부터 지표 위 어느 점까지의 연직 거리를 표고라고 한다. 수준측량에서 얻은 모든 점들의 표고는 도로, 하천, 운하의 설계 및 시공을 위한 토공량의 산출, 작업 지역의 배수 특성 조사, 지형의 형태를 나타내는 지형도의 제작, 계획 표고에 따른 건설 공사의 배치, 지각 변동 등에 대한 연구에 사용된다.

이 장에서는 수준측량을 레벨의 사용법을 익히고 이를 이용하여 지구 상의 각 점의 표고를 결정하는 방법을 배우게 되며 레벨을 이용한 측량방법에 대하여 학습하게 된다.

▶ 학습목표

▶ 학습내용

▶ 목차보기

▶ 질문하기



#### 5-1 수준측량의 개요

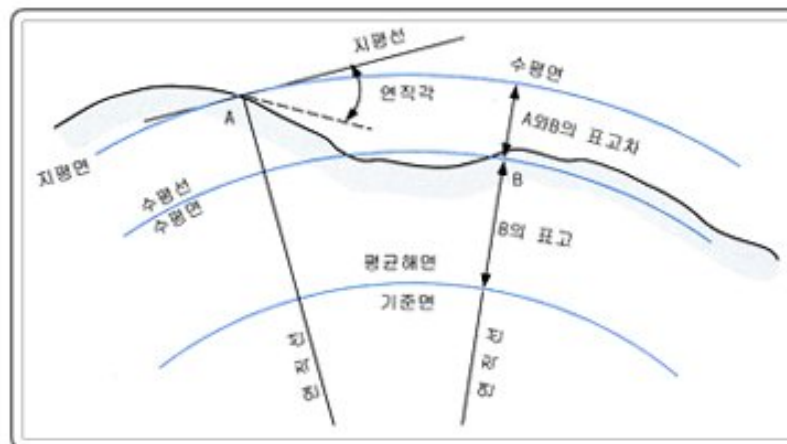
**수준측량의 정의** : 지표면 각 점의 표고차를 측정하여 이를 바탕으로 임의 지점의 표고를 결정

**수준측량 성과의 용도**

- 지형에 따른 도로, 철도 및 운하의 설계
- 계획된 표고에 의한 건설공사 ⇒ 토공량 산정
- 공사지역 배수특성 조사
- 토지 현황도, 지형도 등 각종 지도제작

**수준측량의 용어**

- 수직선 (vertical line)/연직선 (plumb line)
- 수평면 (level surface)/수평선 (level line)
- 지평면 (horizontal plane)/지평선 (horizontal line)
- 기준면 (datum)/기준평면 (datum plane)
- 국가수준 기준면 (N.G.V.D.) : 나라마다 수준측량의 기준이 되는 면
- 조위 기준면 (tidal line) : 평균고조위면 (MHW)/평균최저위면 (MHHW)/평균최조위면 (MLLW)
- 수준점 (B.M.)/수준망 (level net)



[ 5-1 ] 수준측량 용어

#### 학습목표

#### 학습내용

##### 5-1 수준측량의 개요

- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

#### 목차보기

#### 질문하기

5-2 수준측량의 분류

| **측량방법에 따른 분류**

- 직접수준측량 (Direct leveling)  
: 레벨을 사용하여 직접 표적의 읽음차로 두 점간 고저차를 구하는 측량
- 간접수준측량 (Indirect leveling)  
: 삼각수준측량 (trigonometric leveling)/시거수준측량 (스타디아, stadia leveling)/  
기압수준측량(barometric leveling)/항공사진측량 (aerial photographic leveling)
- 교호수준측량 (Reciprocal leveling)  
: 하천 또는 강 사이의 두 점간 표고차를 직접 또는 간접으로 구하는 방법
- 약수준측량 (Approximate leveling)

| **측량목적에 따른 분류**

- 고저차 수준측량 (Differential leveling)
- 종단 수준측량 (Profile leveling)
- 횡단 수준측량 (Cross-sectional leveling)



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류 →
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-3 지구곡률과 대기굴절

| 구차 (Effect of Earth's surface)

$$\overline{PO}^2 = \overline{ON}^2 + \overline{NP}^2$$

$$(R + C)^2 = R^2 + D^2$$

$$R^2 + 2RC + C^2 = R^2 + D^2$$

실제적으로 C의 값은 매우 적으므로 C<sup>2</sup> 무시할 수 있다.

$$2RC \approx D^2$$

$$\therefore C \approx \frac{D^2}{2R}$$

R = 6370Km 로 하고 D의 단위를 Km 로 표시하면

$$C = 0.0785 D^2$$

| 기차 (effect of reflection)

$$R\theta \approx D, \quad \theta = \frac{D}{R}$$

$$nD \approx C_r, \quad n = \frac{C_r}{D}$$

$$n = k\theta = k \frac{D}{R}$$

$$k \frac{D}{R} = \frac{C_r}{D}$$

$$\therefore C_r = k \frac{D^2}{R}$$

k=0.07, R= 6370km라 하고 D의 단위를 Km로 표시하면 C<sub>r</sub> ≈ 0.011 D<sup>2</sup> (m)



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절 →
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

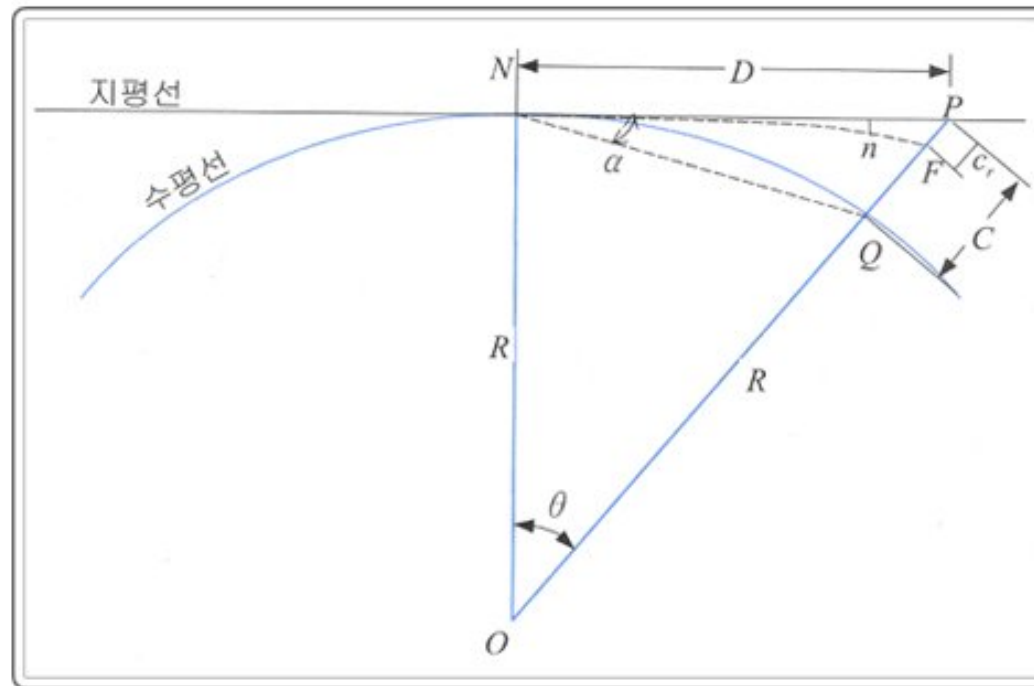
질문하기

5-3 지구곡률과 대기굴절

| 양차 ⇒ 구차 + 기차

$$E = C + C_r = \frac{D^2}{2R} - \frac{kD^2}{R} = \left( \frac{1-2k}{2R} \right) D^2 = 0.0675 D^2$$

| 기차 (effect of reflection)



[ 5-2 ] 구차 (C)와 기차 (Cr)

학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절 →
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-4 수준측량기의 종류

| **약식 수준측량기** : 지표면 각 점의 표고차를 측정하여 이를 바탕으로 임의 지점의 표고를 결정



[ 5-3 ] hand level(좌)와 clinometer(우)

| **정밀 수준측량기**

- 덤피레벨 (Dumpy level) : 정준나사만으로 수평 조정할 수 있는 레벨
- 경독레벨 (Tilting level) : 경독나사를 통해 정밀한 수평 조정
- 자동레벨 (Self-leveling level, auto level) : 컴펜세이터 (compensator)를 이용하여 자동으로 수평 조정
- 전자레벨 (Electronic digital level) : 바코드 수준척을 읽어 수치적으로 표시
- 레이저레벨 (Laser level) : 일정한 높이의 수평면과 연직면을 만들 수 있어 시공측량에 많이 사용



[ 5-4 ] 레이저레벨 (laser level)



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류 →
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-5 레벨의 구조

| 망원경 (Telescope)

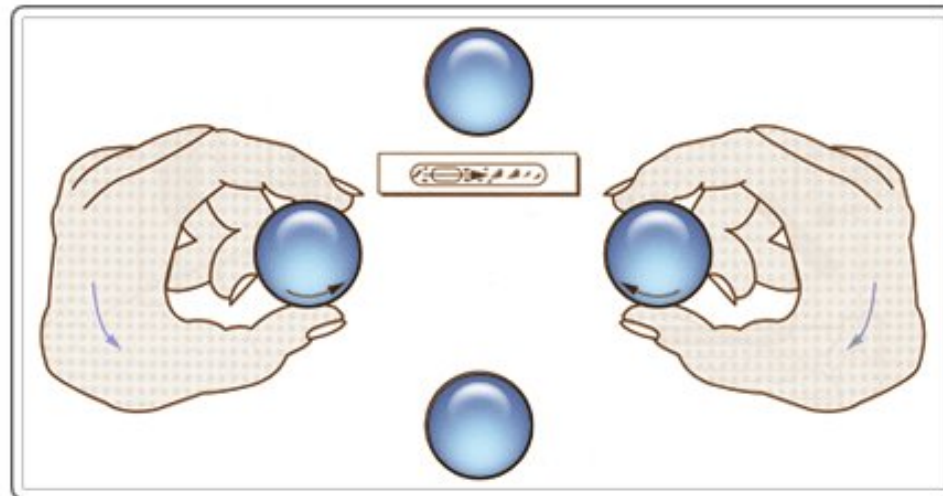
- 대물렌즈 : 굴절률과 반경이 각각 다른 여러 개의 합성렌즈 사용
- 초준렌즈 : 대물렌즈를 통해 형성된 상을 초점면에 명확한 상을 얻도록 함
- 십자선 : 직각으로 된 가로, 세로 한쌍의 직선
- 대안렌즈 : 십자선 면에 형성되는 상을 선명하게 보이도록 하는 역할

| 기포관 (Level tube)

- 기포관의 구비조건 : 일정하고 큰 곡률반경/기포 이동이 민감
- 감도 : 한 눈금 (일반적으로 2mm) 움직일 때 미에 해당하는 중심각 (보통 초단위로 표시)

| 지지부 (정준 장치)

- 시준선을 수평으로 하는 역할을 하며, 3개 또는 4개의 정준나사로 구성



[ 5-5 ] 정준 방법



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조 →
- 5-6 수준적 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-6 수준척(Leveling rod) 또는 표척(Staff)

수준척

- 수준측량이나 스타디아 측량을 할 때 망원경의 시준선의 높이를 알기 위하여 사용하는 눈금이 그려진 막대기 모양의 표척
- 전나무나 백송으로 만들어졌으나 최근에는 가벼운 알루미늄 또는 광섬유로 만든 제품들이 많이 사용
- 사용방법에 따라 표척 수준척과 자독식 수준척 등으로 구분

수준척의 종류

- 표척 수준척 : 수준척에 베니어 (vernier)가 부착된 것으로 관측자가 아닌 표척수에 의해 수준척의 눈금 읽음
- 자독식 수준척 : 관측자가 표척의 눈금을 직접 읽음, 가장 많이 사용
- 인바 수준척 : 선 팽창계수가 매우 낮은 인바 합금을 사용하여 만든 수준척, 수준척의 중앙에서 한번 접을 수 있고, 원형 기포관이 있어 연직으로 설치할 때 편리

학습목표

학습내용

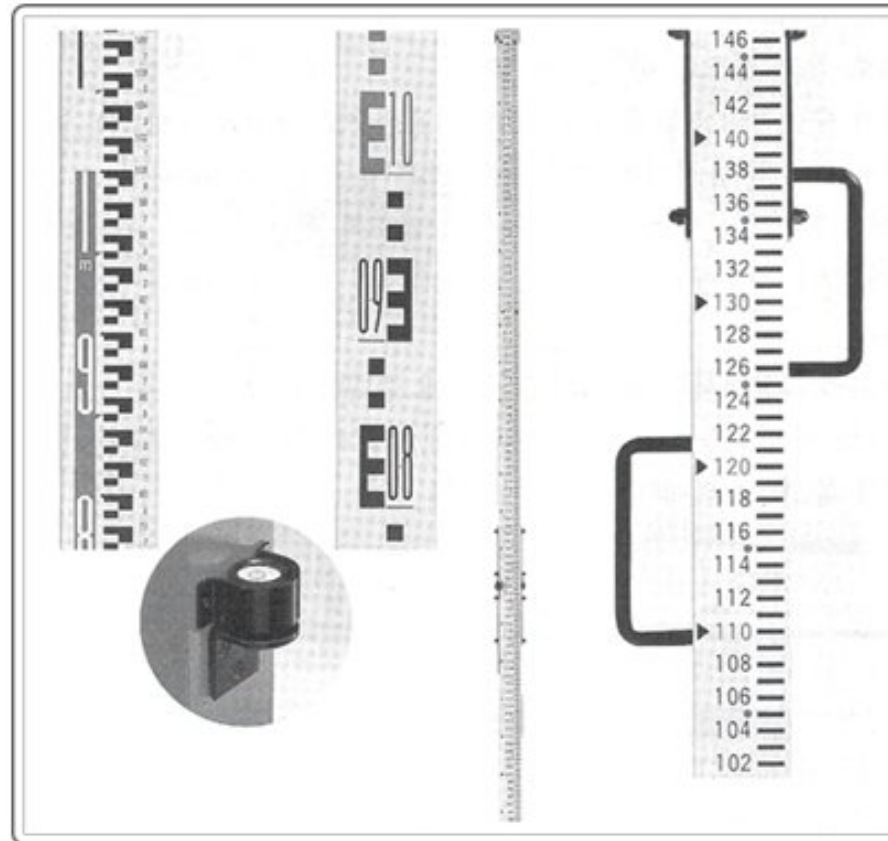
- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척 →
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기



5-6 수준척(Leveling rod) 또는 표척(Staff)



[ 5-6 ] 수준척

수준척을 사용할 때 주의사항

- 연직으로 세워야 함
- 수준척을 앞, 뒤로 조금씩 움직이게 하여 제일 낮은 값을 읽어야 함
- 수준척 밑바닥에 흙이 묻지 않도록 하며, 이음매의 오차 발생 주의
- 지반이 약할 경우 표척대를 놓고 그 위에 수준척을 세워 오차 최소화 함



학습목표

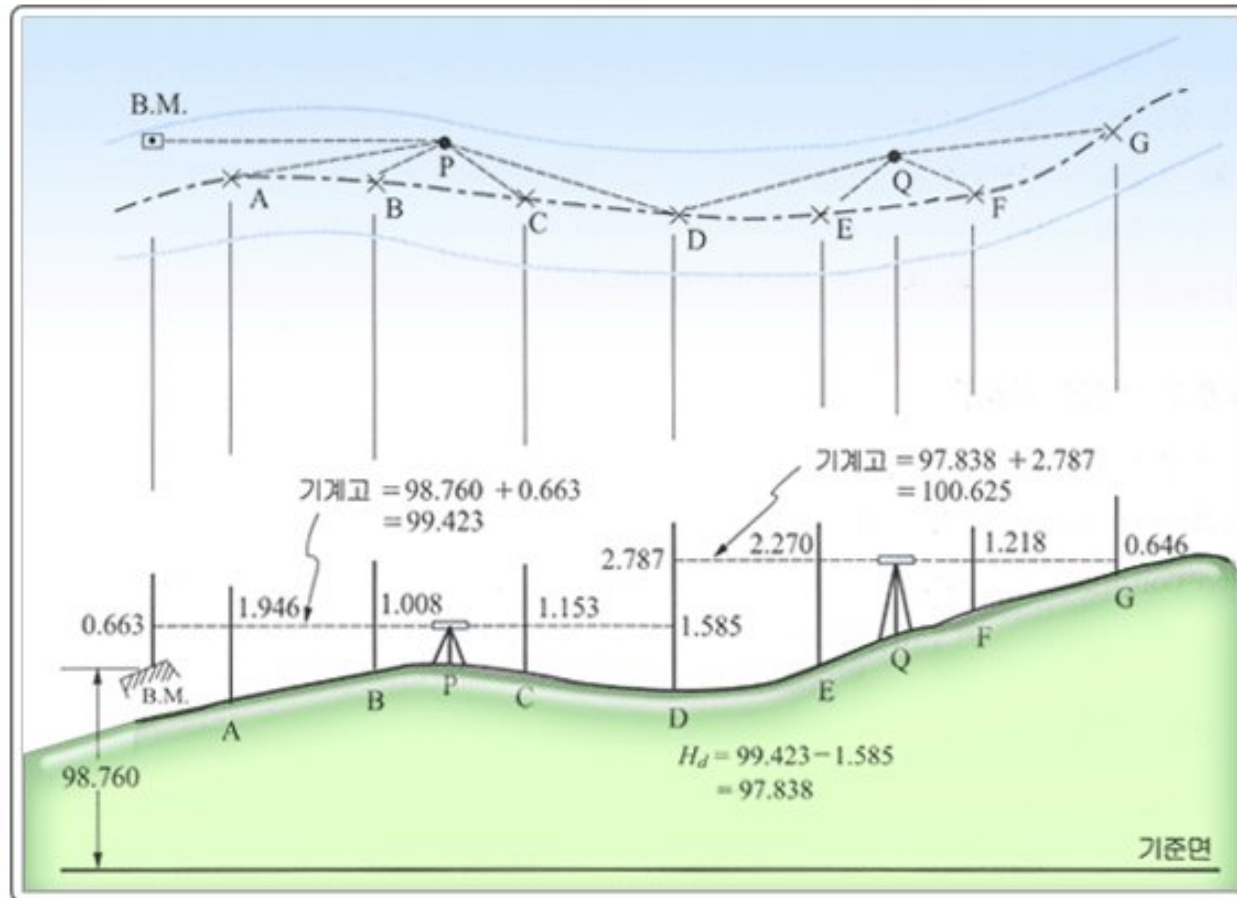
학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척 →
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-7 직접 수준측량(레벨에 의한 수준측량)



[ 5-7 ] 수준측량의 예 (용어 포함)

학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 앙장법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-7 직접 수준측량(레벨에 의한 수준측량)

용어

- 후시 또는 재시 (B.S.) : 이미 알고 있는 점에 세운 수준척 눈금의 읽음
- 전시 또는 초시 (F.S.) : 표고를 알고자 하는 곳에 세운 수준척 눈금의 읽음
- 기계고 (I.H.) : 망원경 시준선의 표고, 시준고라고도 함
- 지반고 (G.H. or G.L.) : 기준면으로부터 어느 점까지의 표고
- 미기점 또는 전환점 (T.P.) : 레벨을 옮겨 세우기 위하여 한 측점에서 전시, 후시가 동시에 존재하는 점
- 중간점 (I.P.) : 한점의 표고를 구하기 위해 전시만을 읽은 점

직접수준 측량의 원리

- A와 G 지점의 고저차 계산

$$\Delta H_{AG} = H_G - H_A = (\text{후시의 합}) - (\text{전시의 합})$$

야장 기입법 - ① 고차식

- 직접수준 측량의 원리에 의한 기입법으로 후시와 전시의 값만을 이용하여 계산하므로 가장 간단한 야장 기입법
- 노선의 중간 경로에 있는 점들의 표고는 알 수 없음

[ 표 1 ] 고차식 야장기입 예

측점	후시(B.S.)	전시(R.S.)	지반고(G.L.)	비고
B.M.	0.663		98,760	기준점
D	2.787	1.585		
G		0.646	99,979	( = 98,760 + 1,219 )
합계	3,450	2,231	99,979	
	- 2,231		- 98,760	
	<hr/>			
	1,219		1,129	



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접수준측량 →
- 5-8 교호 수준측량과 앙장법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-7 직접 수준측량(레벨에 의한 수준측량)

| 야장 기입법 - ㉔ 승강식

- 먼저 읽은 표척 값에서 나중에 읽은 표척 값을 뺀 값이 (+)일 경우 승 (rise), (-)일 경우 강 (fall)의 부분에 기입하고 하나 앞 측정의 지반고에 그 측정의 승, 강 의 값을 합하여 측정의 지반고를 구하는 방식
- 정밀 측량에 적합하나 I.P가 많아지면 계산이 복잡해지는 단점 발생

[ 표 2 ] 승강식 야장기입 예

측점	후시	전시		승(+)	강(-)	지반고	비고
		I. P.	T. P.				
B.M.	0,663					98,760	기준점
A		1,946			1,283	97,477	(98,760 ~ 1,283)
C		1,153			0,145	98,270	(98,415 ~ 0,145)
D	2,787		1,585		0,432	97,838	(98,270 ~ 0,432)
E		2,270		0,517		98,355	(98,838 ~ 0,517)
F		1,218		1,052		99,407	(98,355 ~ 1,052)
G			0,646	0,572		99,979	(98,407 ~ 0,572)
합계	3,450	2,231	2,231	3,079	1,860	99,979	
	-2,231			-1,860		-98,760	
				1,219		1,219	



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 앙장법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-7 직접 수준측량(레벨에 의한 수준측량)

| 야장 기입법 - ㉔ 기고식

- 한 점의 표고에 그 점의 후시를 더하여 기계고를 얻고, 기계고에서 표고를 알고자 하는 전시를 빼서 그 점의 표고를 계산하는 방식
- 중, 횡단 수준측량과 같이 중간점 (I.P)가 많을 경우 편리

[ 표 3 ] 기고식 야장기입 예

측점	후시	전시		기계고	지반고	비고
		I. P.	T. P.			
B.M.	0,663			99,423	98,760	기준점
A		1,946			97,477	(98,423 ~ 1,946)
B		1,008			98,415	(98,423 ~ 1,008)
C		1,153			98,270	(98,423 ~ 1,153)
D	2,787		1,585	100,625	97,838	(98,423 ~ 1,585)
E		2,270			98,355	(100,625 ~ 2,270)
F		1,218			99,407	(100,625 ~ 1,218)
G			0,646		99,979	(100,625 ~ 0,646)
합계	3,450	7,595	2,231		99,979	
	-2,231				-98,760	
	1,219				1,219	



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량 →
- 5-8 교호 수준측량과 앙장법
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-7 직접 수준측량(레벨에 의한 수준측량)

| 수준측량을 할 때 주의점

- 사용 기계의 검사 및 조정
- 지반이 견고한 곳에 레벨과 수준척을 세울 것
- 측정할 순간에 반드시 기포가 중앙에 있어야 함
- 수준척을 연직으로 세워야 함
- 전시와 후시의 거리를 되도록 같게 하여 측정할 것
- 기계 운반 시 어깨에 매지 말고 연직으로 세워 이동
- 야장 기입 시 착오 주의



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량 →
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차

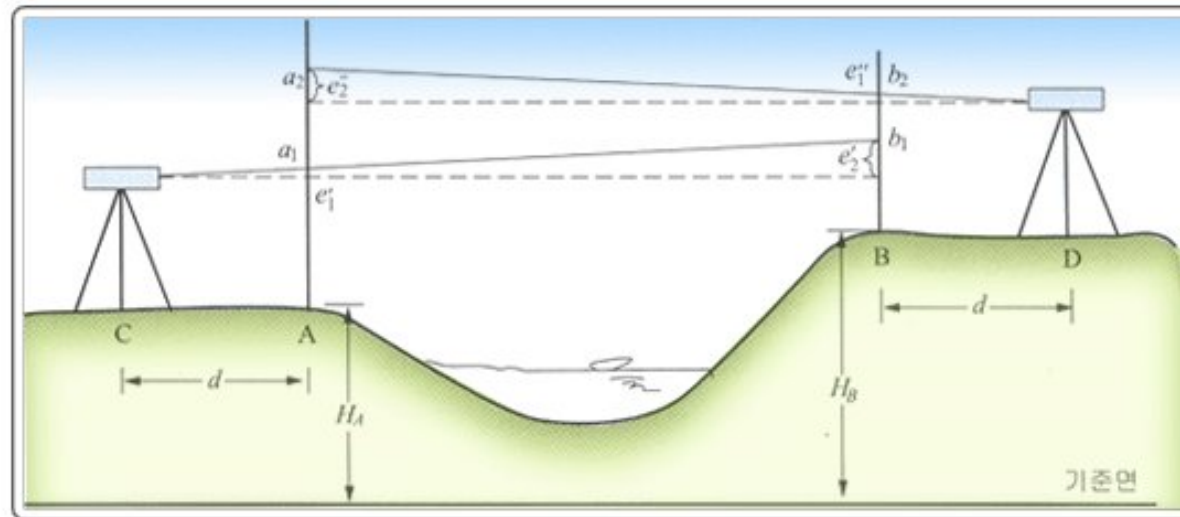
목차보기

질문하기

5-8 교호 수준측량(Reciprocal leveling)과 항정법(Peg Method)

교호 수준측량

- 큰 강이나 계곡의 경우 중간에 레벨을 세울 수 없는 경우의 수준측량 방법
- 너무 긴 시준거리로 인해 지구 곡률이나 굴절에 의한 오차 또는 기계의 불완전 조정으로 인한 오차 등이 증폭되어 정밀도에 영향을 줌 ⇒ 양끝 두 곳에서 구한 표고의 평균을 두 점의 표고차로 하여 오차를 제거함



[ 5-8 ] 교호 수준측량

$$\Delta H = H_A - H_B = (a_1 - e_1') - (b_1 - e_2') = (a_2 - e_2'') - (b_2 - e_1'')$$

$$AC = BD = d \text{ 이므로 } e_1' = e_1'', e_2' = e_2''$$

$$\Delta H = \frac{1}{2} \{ (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) \}$$

학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법 →
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기

5-8 교호 수준측량(Reciprocal leveling)과 항정법(Peg Method)

항정법

- 시준축과 기포관축이 일치하지 않아서 발생 (기포가 중앙에 있는 경우 시준선은 수평이 되어야 함)하는 오차 제거 방법
- 조정량의 계산
- 조정 방법 : 레벨을 Q에 정치한 상태에서 A에 세운 표측의 읽음값이  $a_2 - (d_1 + d_2 + d_3)e$  가 되도록 시준선을 조정해야 함



자세히보기 - 조정량의 계산

$$\Delta h_{AB} = (a_1 - d_1 e) - (b_1 - d_2 e)$$

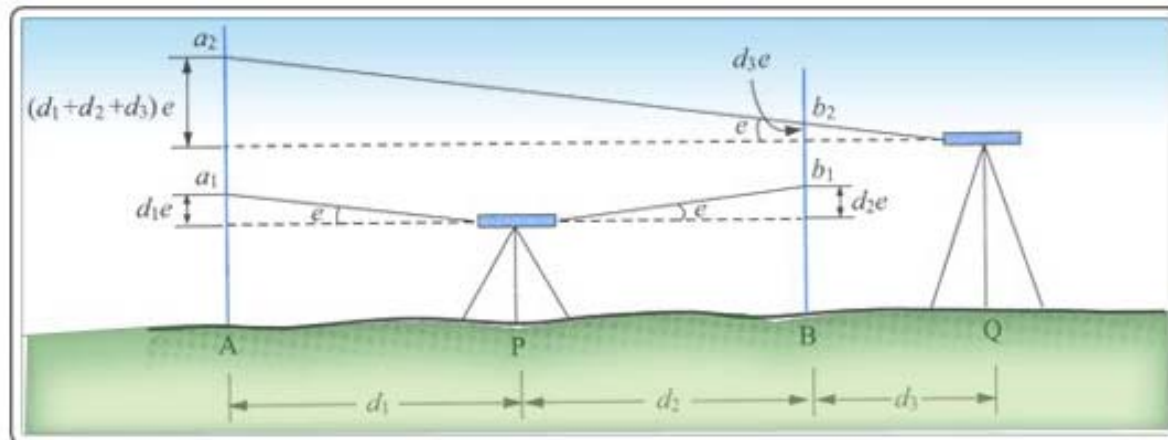
레벨을 A, B의 중간에 세웠기 때문에  $d_1 = d_2$

$$\Delta h_{AB} = a_1 - b_1$$

$$\begin{aligned} \Delta h_{AB} &= \{a_2 - (d_1 + d_2 + d_3)e\} - \{b_2 - d_3 e\} \\ &= (a_2 - b_2) - (d_1 + d_2)e \end{aligned}$$

$$(a_1 - b_1) = (a_2 - b_2) - (d_1 + d_2)e$$

$$\therefore e = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{d_1 + d_2}$$



[ 5-9 ] 항정법

학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법 →
- 5-9 수준측량의 오차

목차보기

질문하기



5-9 수준측량의 오차

| 수준측량의 오차

- 오차 : 노선거리 제곱근에 비례, 즉 회수의 제곱근에 비례함

$$\sigma_h = \sigma \sqrt{\frac{L}{S}} = K\sqrt{L}$$

$$\sigma_{\bar{h}} = \frac{\sigma_h}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma_h}{\sqrt{2}} = \frac{K}{\sqrt{2}} = k\sqrt{L}$$

- 오차의 조정

$$v = e \times \frac{\text{출발점으로부터 그 점까지의 거리}}{\text{노선의 총 길이}}$$

| 우리나라의 수준점 허용오차

- 국가 기준점으로서의 수준점 : 1등 - 4km, 840개 / 2등 - 2km, 3860개

- 1등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $2.5\text{mm} \sqrt{L}$  ( $L$ 의 단위는 km이다.)

- 2등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $5.0\text{mm} \sqrt{L}$

- 3등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $10.0\text{mm} \sqrt{L}$



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표척
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차 →

목차보기

질문하기

5-9 수준측량의 오차

| 미국의 수준점 허용오차

- ▶ - 특급 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $3.0\text{mm} \sqrt{L}$
- 1등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $4.0\text{mm} \sqrt{L}$
- 2등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $6\sim 8\text{mm} \sqrt{L}$
- 3등 수준점 최대 왕복 허용 오차 :  $12\text{mm} \sqrt{L}$

| 국제 측지학연맹 (IAG)의 수준점 허용오차

- ▶ - 확률 오차 :  $1\text{mm} \sqrt{L}$  우
- 확률 오차 :  $2\text{mm} \sqrt{L}$  양
- 확률 오차 :  $3\text{mm} \sqrt{L}$  가
- 확률 오차 :  $5\text{mm} \sqrt{L}$  제한



학습목표

학습내용

- 5-1 수준측량의 개요
- 5-2 수준측량의 분류
- 5-3 지구곡률과 대기굴절
- 5-4 수준측량기의 종류
- 5-5 레벨의 구조
- 5-6 수준척 또는 표적
- 5-7 직접 수준측량
- 5-8 교호 수준측량과 항정법
- 5-9 수준측량의 오차 →

목차보기

질문하기