

Earthmoving and Equipment (2)

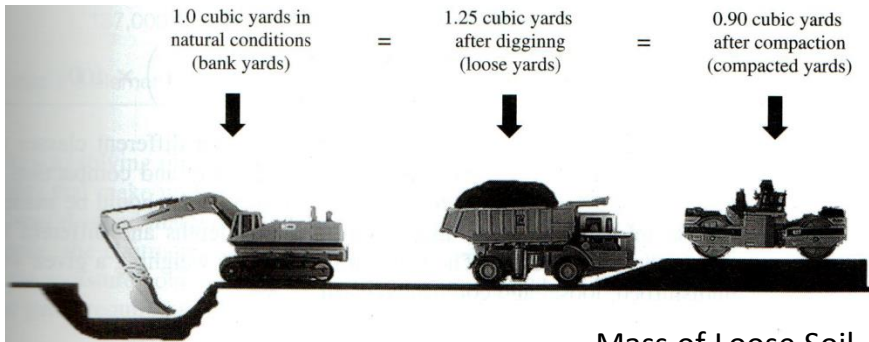
457.308 Construction Methods and Equipment
Department of Civil and Environmental Engineering
Seoul National University

Prof. Seokho Chi

shchi@snu.ac.kr

건설환경공학부 35동 304호

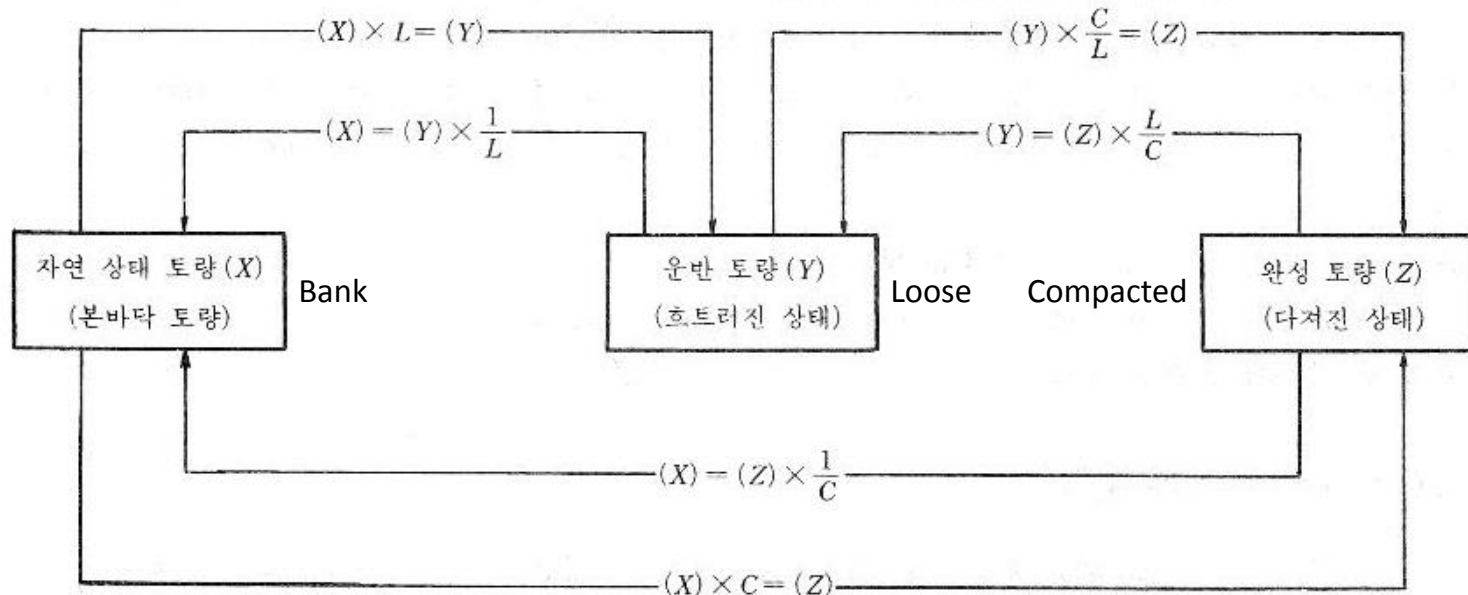
Volumetric Measure (토량의 변화)



L, C: Ratio of Soil Volume Changes (토량 변화율)

$$L = \frac{\text{Mass of Loose Soil} \quad \text{느슨한 토량 (m}^3\text{)}}{\text{Mass of Bank Soil} \quad \text{본바닥 자연 상태인 토량 (m}^3\text{)}}$$

$$C = \frac{\text{Mass of Compacted Soil} \quad \text{다져진 후의 토량 (m}^3\text{)}}{\text{Mass of Bank Soil} \quad \text{본바닥 자연 상태인 토량 (m}^3\text{)}}$$



Volumetric Measure (토량의 변화)

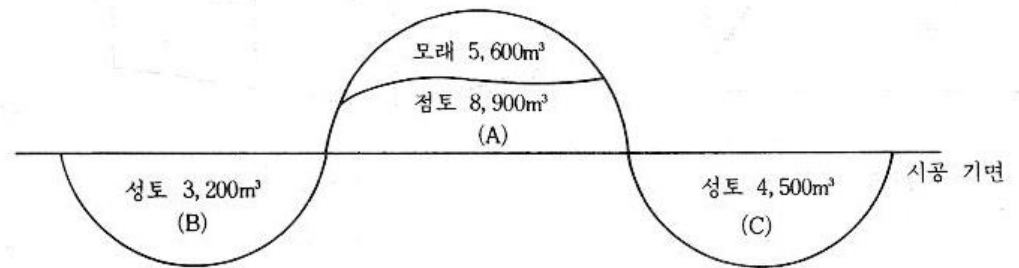
- 하수도 공사를 위하여 본바닥 토량 $25,000\text{m}^3$ 의 바닥파기를 하여 야적장까지 운반하고 또다시 원위치에 되메워 다지기를 할 때 운반 토량과 되메우기 후의 과부족 토량을 계산하시오. (단, 토량 변화율은 $L=1.3$, $C=0.85$)

Volumetric Measure (토량의 변화)

- 흙(사질토)으로 18,000m³의 성토를 할 때의 굴착 및 운반 토량은 얼마나 될 것인가? (단, 토량 변화율은 L=1.25, C=0.9)

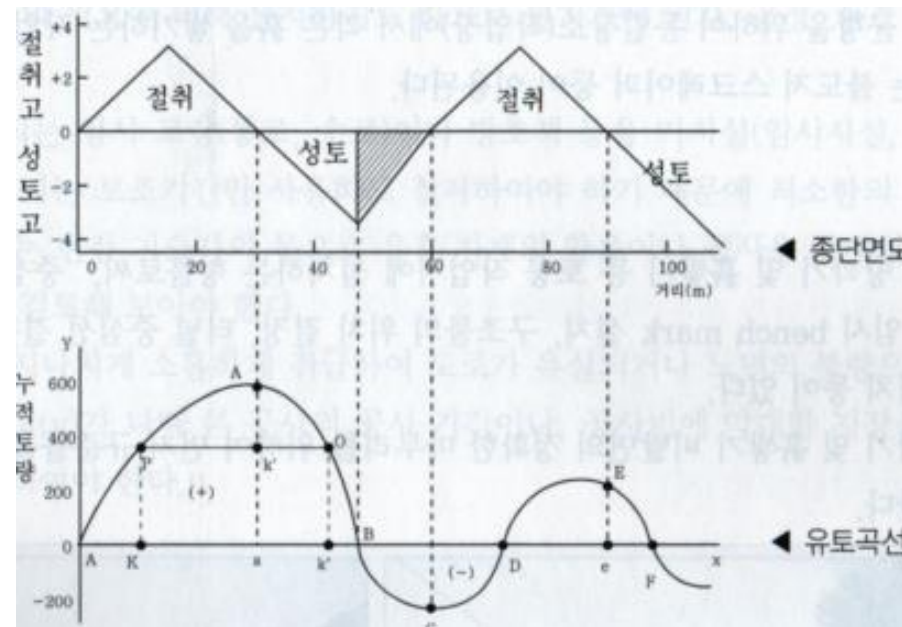
Volumetric Measure (토량의 변화)

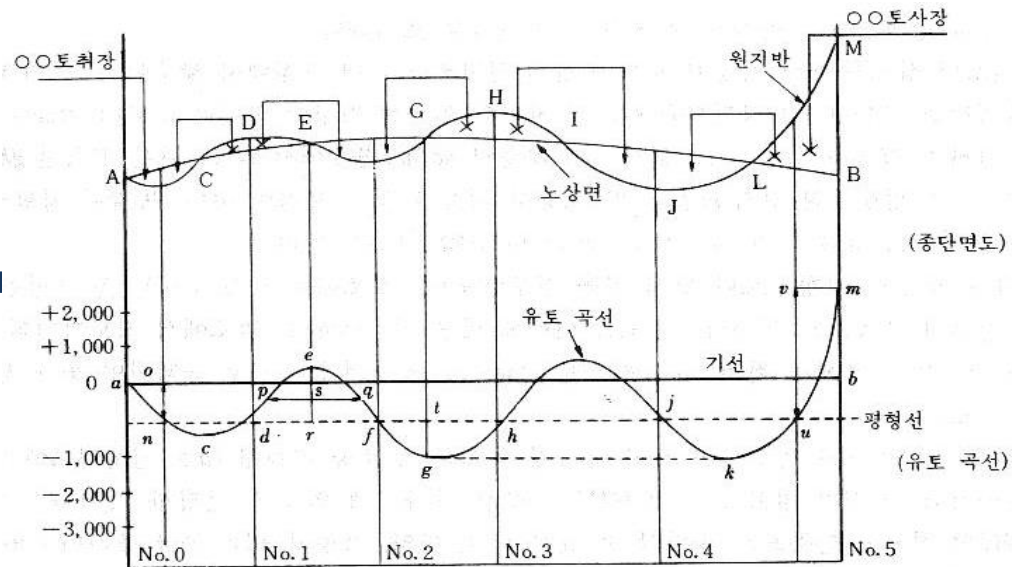
- 다음 그림에서 (A)의 흙을 굴착하여 (B), (C)에 성토한 후 (A)에 남는 흙의 양은 얼마인가? (단, 모래 $C=0.9$, 점토 $C=0.92$ 이며 모래 굴착 후 점토를 굴착한다.)



Mass Curve (유토 곡선)

- 유토곡선: 종단면도를 따라 토량을 누계하면서 그린 곡선
- 여기서 종단면도는 측량을 통하여 그림
- 작성이유: 토량을 배분, 평균 운반거리를 산출, 운반거리에 의한 토공 기계를 선정, 시공 방법을 결정

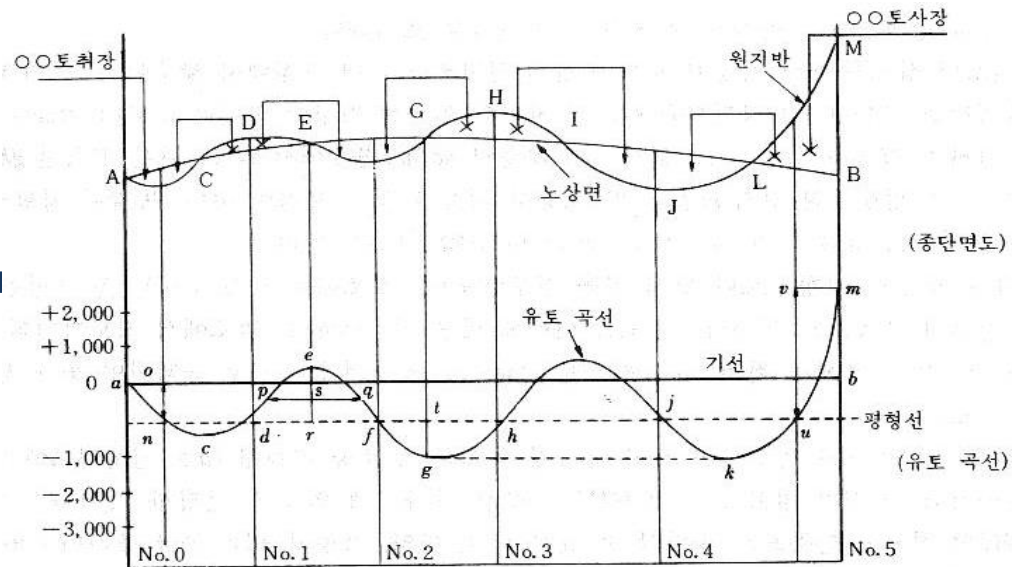




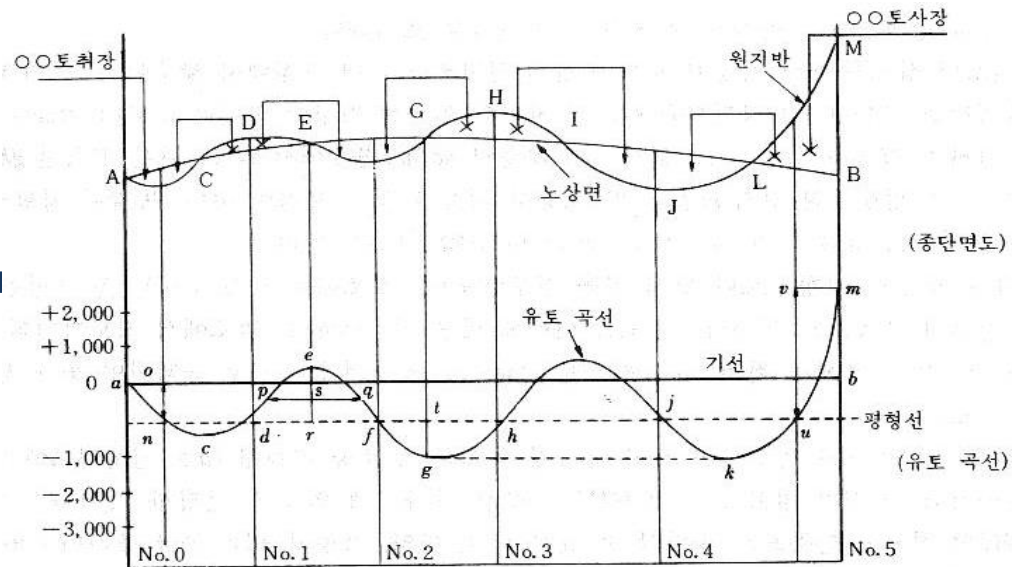
1. 측량 결과에 따라 종단면도 A C D E F G H I J L M을 그림
2. 종단면도 아래에 적당한 기선 ab를 선정하여 토량계산서에서 구한 누가토량을 종단면도의 각 측점에 대응하여 Plot(+는 상측, -는 하측)하고 유토곡선 a c e g i k m을 그림

유토 곡선의 성질

1. 곡선의 하향 구간은 성토 구간, 상향 구간은 절토 구간임
2. 곡선의 저점은 성토에서 절토로, 정점은 절토에서 성토로 옮기는 변이점임
3. 기선에서 임의의 평형선을 그었을 때 인접하는 교차점(d, f) 사이의 토량은 절토와 성토가 평형. 곡선 def에서는 d에서 e까지의 절토량이 e에서 f까지의 성토량과 같음



4. 평형선에서 곡선까지의 높이는 절토에서 성토까지의 운반 토량을 표시. 곡선 def에서 전토량 즉 운반토량 r_e 로 표시
5. 유토 곡선에서 토량 배분을 하는 경우에는 토량 계산서로부터 미리 절토, 성토의 각각의 토량을 알아 계략의 배분을 파악해 둘 필요가 있음. 특히, 다량의 토취나 토사를 필요로 하는 경우에는 토취장이나 토사장의 위치를 고려하여 경제적인 운반 거리로서 토공이 이루어질 수 있도록 배분
6. 절토에서 성토까지의 평균 운반 거리는 절토, 성토에서 중심간의 거리로 표시. def에서 종거리 r_e 의 중간점 s를 구해서 그 s를 지나는 수평선을 그어 곡선과 교차하는 점을 p, q라 할 때, 그 길이가 평균 운반거리를 표시
7. 절토나 성토가 대략 평형이 되는 구간에 평형선을 그어 도상에서 맞추어 보고 가장 유리한 평형점을 구함. no는 운반 토량이고 uv 사토량임



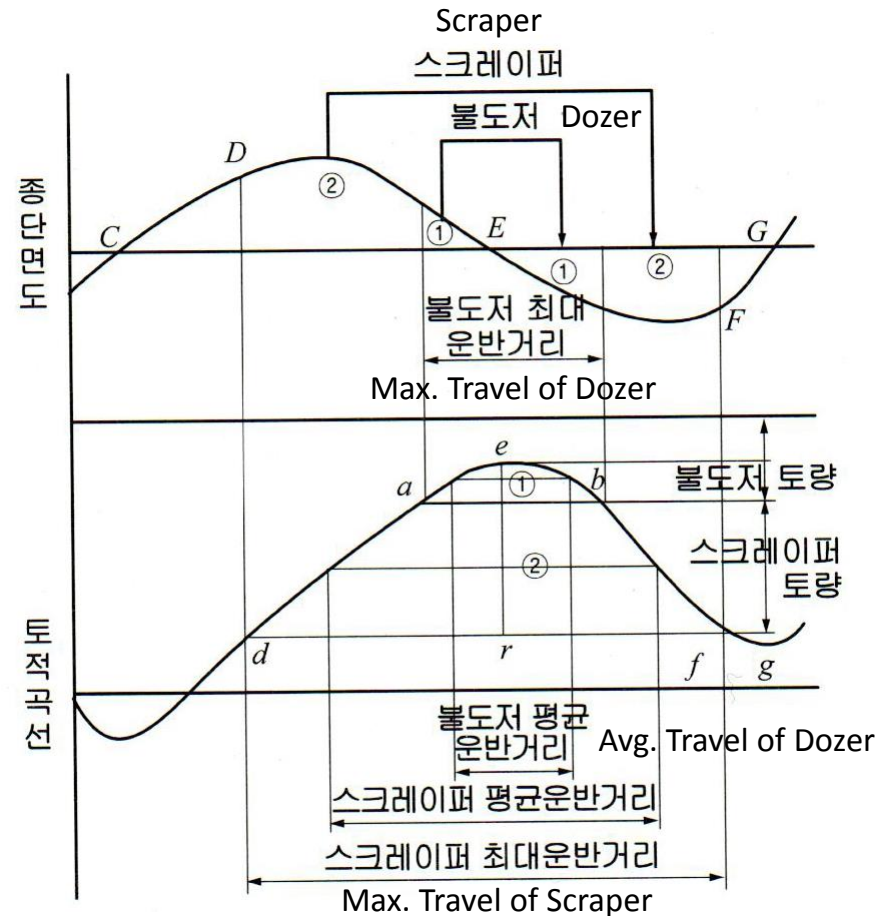
8. 유토곡선이 평형선보다 위에 있을 경우(def)는 절토에서 성토까지의 흙 운반은 그림의 좌측에서 우측으로 행함. 반대로 아래에 있을 경우(fgh)는 절토에서 성토까지의 흙 운반은 그림의 우측에서 좌측으로 행함. 그러므로 평형선을 상하로 움직이면 운반 방향을 바꿀 수도 있음.
9. 절토를 양쪽으로 운반하게 하면 능률상 유리. 토공 평형선 hu는 평형점 h에 대응하는 지반상의 점 H가 절토할 지상 GHI의 정점 가까이에 있도록 선정한 것. 이에 따라 GHI의 절토는 양쪽으로 운반할 수 있음.
10. 종단 구배가 급한 구간에서는 배수나 운반을 고려하여 가능한 한 종단 곡선에 따라서 하향 구배로 굴착할 수 있게끔 토공 평형선을 긋는 것이 좋음.

운반거리를 최대한 짧도록 + 높은 위치에서 낮은 위치로

Equipment Types

- Selection of Equipment Type

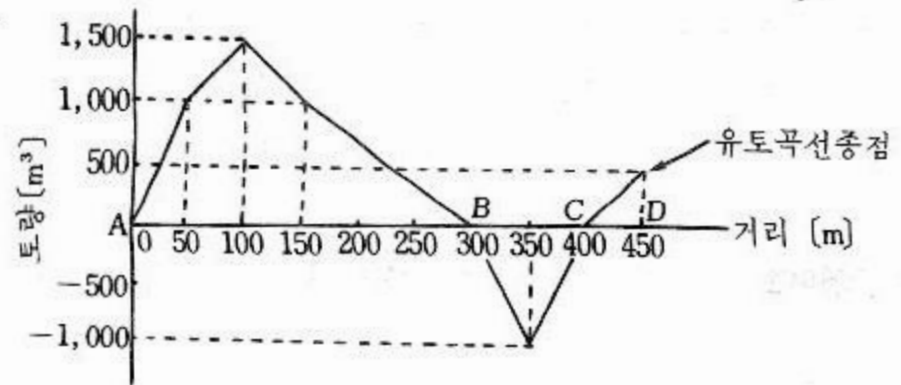
- Economic travel distance of soil: dozer (less than 50m), scraper (50-500m), dump trucks (more than 500m)



Mass Curve Exercise (1)

다음 유토 곡선(Mass curve)에서 물음에 답하십시오.

- 1) AB구간에서 총 절토량은 몇 m^3 인가?
- 2) AB 구간에서 평균 운반 거리는 몇 m인가?
- 3) BD 구간에서 절성토량의 차이는 몇 m^3 인가?



Mass Curve Exercise (2)

- 아래 토량계산서를 완성하고 유토곡선을 그리시오 (C=0.9)

Point 측 점	Distance 거 리 (m)	Cut			Fill				Mass Gaps 차인 토량 (m ³)	Cumulative Mass 누가 토량 (m ³)
		Area 단면적 (m ²)	Avg. Area 평균 단면적 (m ²)	Mass 토 량 (m ³)	Area 단면적 (m ²)	Avg. Area 평균 단면적 (m ²)	Mass 토 량 (m ³)	Calibrated Mass 보정 토량 (m ³)		
No.0	0	0			5					
1	20	20			10					
2	20	50			20					
3	20	30			10					
4	20	10			10					
5	20	20			30					
6	20	10			40					
7	20	0			10					
8	20	10			0					

$$\text{Average Area} = (A_0 + A_1)/2$$

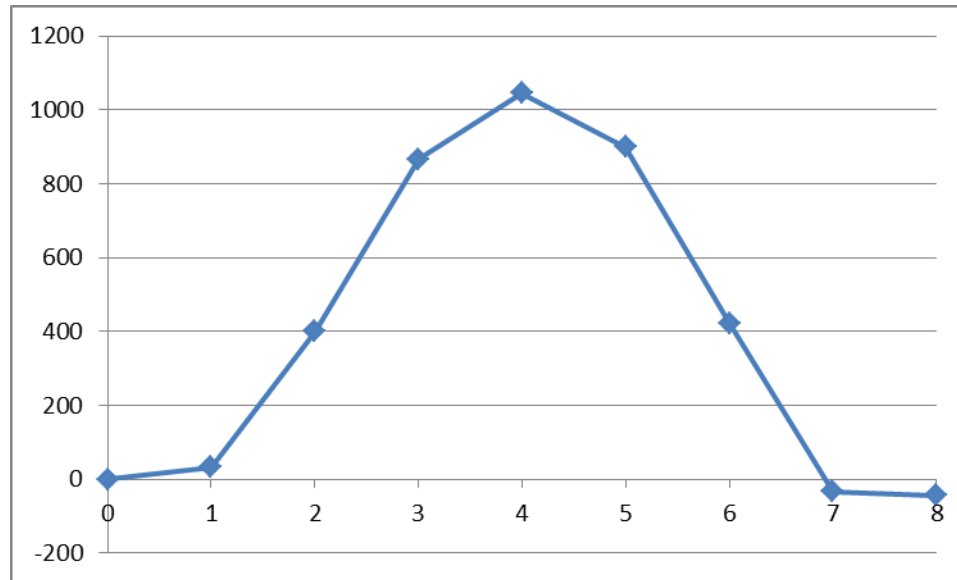
$$\text{Mass Gap} = \text{Cut Mass} - \text{Calibrated Mass}$$

$$\text{Mass} = \text{Avg. Area} \times \text{Distance}$$

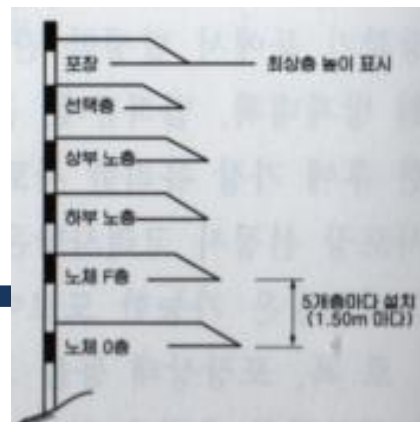
$$\text{Cumulative Mass} = \text{Cumulative Mass Gaps}$$

$$\text{Calibrated Mass} = \text{Fill Mass} / C$$

Mass Curve Exercise (2)

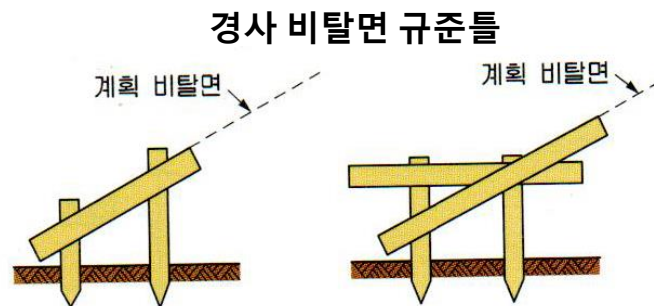
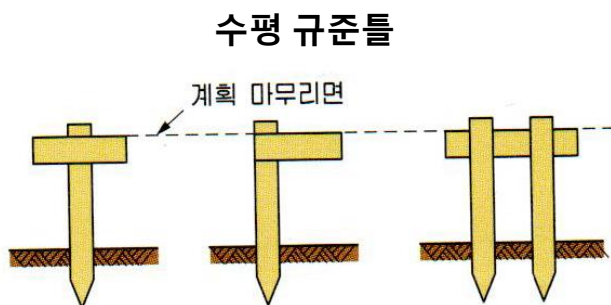


토공준비



• Batter Board (규준틀)

- 모든 땅깍기 및 흙쌓기 비탈면의 정확한 마무리를 위하여 규준틀을 정확한 위치에 설치
- 노체, 노상 및 포장층의 높이를 파악하도록 수평 규준틀을 흙쌓기 및 땅깍기 구간에 설치
- 땅깍기와 흙쌓기의 경계지점에 수평 규준틀을 설치하여 지형이 교차하는 부분의 토공계획을 파악
- 수직 규준틀은 비탈면의 경사, 노체, 노상의 마무리 높이 등을 표시하고 토공의 기준이 되므로 정확하고 견고하게 설치
- 수직 규준틀은 공사 초기에 직선부의 지형이 복잡하지 않은 경우에는 20m의 간격으로 설치하지만 마무리 단계에서는 필요 장소에 추가 설치



토공준비

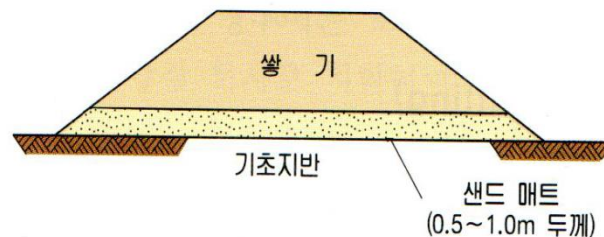
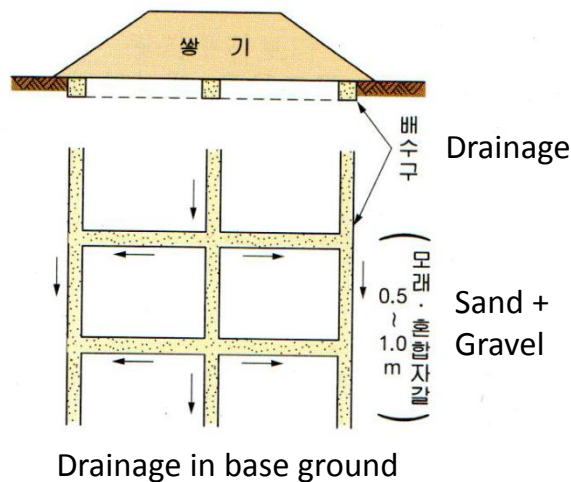
- **Drainage Plan (준비배수)**

- 토공작업의 시공 전에 땅깍기 장소나 흙쌓기부의 바닥에 고인 물을 제거하고 시공 중에는 도랑 등의 배수시설을 설치하여 양호한 배수가 이루어 지도록 함
- 땅깍기와 흙쌓기에서 준비배수는 흙쌓기 재료의 함수비를 저하시키고 깍기면과 쌓기면에서 시공기계의 주행성(trafficability)을 확보하며 시공 중인 땅깍기 비탈면의 분리나 붕락을 방지하기 위하여 실시
- 흙쌓기 재료의 함수비가 높을 때에는 규정 다짐도를 얻기 위해서나 공사용 차량의 통행을 위하여 함수비를 저하시켜야 함
- 땅깍기 현장에서 흙쌓기 재료의 함수비 저하는 바닥에 깊은 도랑을 파서 지하수위를 저하시키고 땅깍기 작업을 하는 것이 효과적
- 배수용 도랑은 지하수위의 저하와 강우시의 배수에도 효과적
- 땅깍기 비탈면의 비탈어깨에 빗물 등이 유입되어 비탈면 침식이 우려되는 경우에는 비탈어깨에 배수구를 설치

토공준비

• Drainage Plan (준비배수)

- 기초지반의 표면이 연약한 경우에는 깊이 0.5-1m의 도랑을 파고 막자갈 등의 투수성 재료로 채워 배수시켜서 기초지반을 건조시키고 쌓기를 하면 쌓기 제1층에서 공사용 차량의 운행이 용이해짐
- 낮은 흙쌓기에서 기초지반이 연약하면 교통하중에 의한 노면의 처짐이 발생할 수 있으므로 배수처리가 매우 중요
- 높은 흙쌓기에서 쌓기 제1층에 작업차량의 진입이 곤란한 경우에는 막자갈, 모래 등의 재료로 두께 0.5-1m의 모래 부설층을 설치하고 쌓기 작업 실시



**Sand Mat: when better water penetration is required*

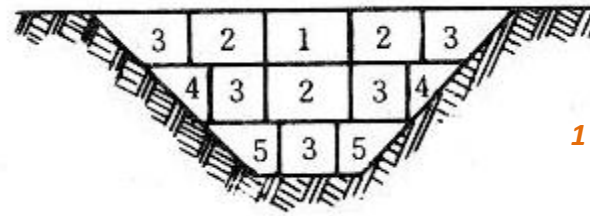
Cutting (절토공)

인력 굴착 시 주의사항

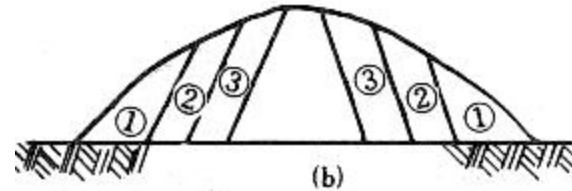
- 작업 면적을 넓게 해서 동시에 많은 사람이 작업
- 절토에는 되도록 중력을 이용
- 흙심기 높이가 1m 이상이 되면 인력으로 어려움으로 높이를 최대한 낮게
- 절토 후에 배수를 특히 고려
- 한쪽만 절토 시 비탈면과 배수용 옆도랑을 빨리 완성

• Cutting Sequence

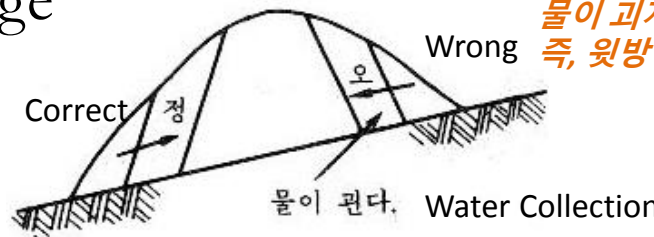
– Strategically use gravity



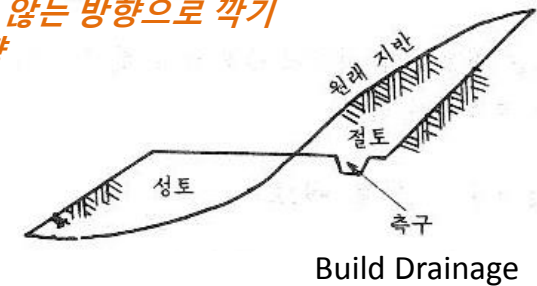
1단 높이: 1-2m



– Consider drainage



물이 괴지 않는 방향으로 깎기
즉, 뒷방향

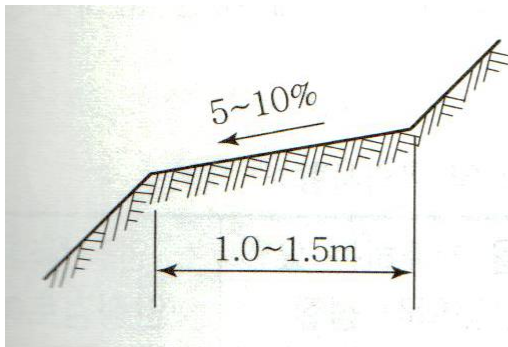


Cutting (절토공)

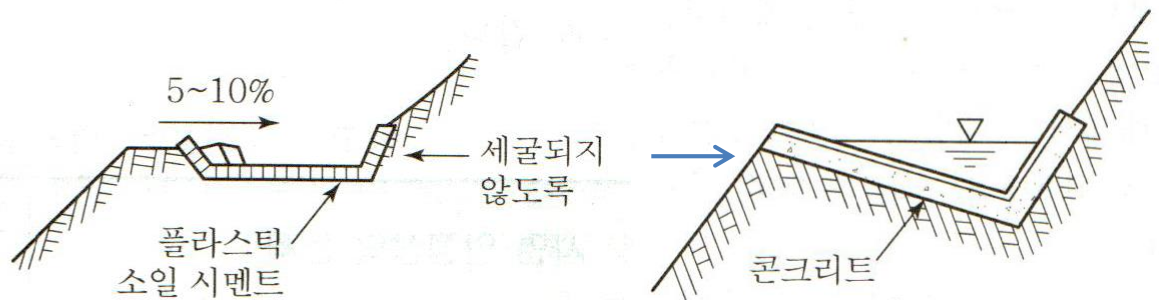
• Installing Berms (소단)

- 소단은 사면의 점검 보수용 통로 확보, 사면표면의 세굴 및 침식방지를 위한 배수시설 설치, 사면 전체의 안전성을 높이기 위해 설치
- 절취높이 5-10m 마다 1m 폭을 표준으로 설치
- 지층이 다른 경우에는 지층 경계부에 설치
- 5-10%의 횡경사로 하는 것이 보통
- 침식되기 쉬운 토질이나 풍화가 빠른 암반 등에서는 소단어깨 등이 무너질 위험이 있으므로 현장상태를 고려해 소단폭을 넓게 함

지표수에 의해 소단 하부가 세굴될 우려가 없는 경우에는 지표수의 흐름을 약화시킴



세굴될 우려가 있는 경우 사면하부로 물을 유하시키지 않아야 되므로 배수시설을 설치
이때, 배수시설을 설치하고 종방향으로 충분한 경사를 주어 원활한 배수가 되도록 함



Filling (성토공)

• 성토재료

- 시공이 용이하고 전단 강도가 크고 압축성이 작은 등의 성질을 가진 흙
- 쇄석, 자갈 및 자갈과 모래를 혼합하는 것이 좋음
- 시공의 어려움 및 완공 후 안정성을 좌우

- 시공기계의 Trafficability가 확보되는 등 시공이 용이해야 함
- 성토 비탈면의 안정에 필요한 전단 강도를 가지고 있어야 함
- 성토의 압축 침하가 노면에 나쁜 영향을 미치지 않도록 압축성이 적어야 함
- 완성 후의 교통 하중에 대하여 큰 변형을 일으키지 않고 지지할 수 있는 지지력을 가지고 있어야 함
- 투수성이 낮은 재료여야 함 (특히, 하천 제방, 댐의 core 등의 경우)
- 수중 매입은 사질토, 모래, 모래 섞인 자갈, 기타 수중에서 안전한 토사를 사용

- 경사: 안식각보다 완만, 1:1.5 (보통흙), 1:2 (모래), 1:3 (연약점토)

Filling (성토공)

• Filling Methods

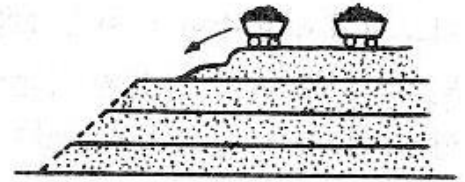
- 지표면의 풀, 나무 뿌리 등을 제거함과 동시에 흙쌓기 재료에도 이러한 것들이 들어가서는 안됨: 성토 후 부식되어 침하, 투수 유발
- 다짐이 불충분하면 침하를 일으켜서 실제 치수보다 낮은 성토가 되며 특히 댐, 제방 등에서는 이것이 누수의 원인이 됨
- 성토 두께는 얇게 할 것: 보통 30-40cm의 층으로 쌓아서 각 층마다 잘 다짐을 실시. 두껍고 높은 성토 공법은 지양
- 다짐기계를 사용할 것: 다짐기계를 사용하지 않으면 공사 속도가 지연될 뿐만 아니라 충분히 다짐을 할 수 없음.

Filling (성토공)

• Filling Methods

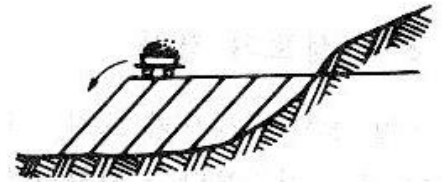
– 수평쌓기법

- 축제를 수평으로 쌓아올려 다지는 것
- 두껍게 까는 방법(후층법): 90-120cm의 두께로 깔고 약간의 시간을 두어 자연침하를 시키고 또 다져지면 다음 층을 그 위에 쌓아 올리는 방법 (제방, 도로, 철도의 축제 등)
- 얇게 까는 방법(박층법): 30-60cm의 두께로 흙을 깔아서 한 층마다 적당한 수분을 주면서 충분히 다진 후 다음 층을 까는 방법. 공사 기간이 길고 공사비가 많이 듭 (흙 댐, 저수지 옹벽, 교대의 뒤택움 등)



– 전방쌓기법

- 축제를 시작하는 부분에서 전방으로 흙을 쌓는 공법
- 공사 중에 압축되지 않으므로 준공 후에 상당한 침하가 일어나나 공사기간이 짧아서 공사비가 적게 들고 도로, 철도공사 등 낮은 축제에 사용



Filling (성토공)

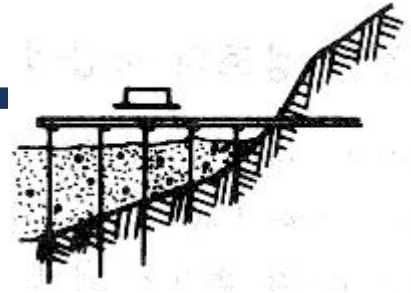
• Filling Methods

– 가교이용 쌓기법

- 가교를 만들어 그 위에 레일을 깔아 가교 위에 흙을 내려 쏟아서 점차 쌓아지도록 하는 방법
- 축제가 높은 것을 동시에 쌓아 올리려 할 때에 사용

– 물다짐공법 (hydraulic fill method)

- 토사를 물과 함께 유송하여 흙 댐을 쌓은 방법
- 계류 혹은 하해, 호수에서 펌프로 송수관 내에 물을 압입하여 큰 수두를 가진 노즐로 분출시켜 물에 함유된 절취토사를 송수관으로 흙 댐이 있는 곳까지 운송
- 각 분출공에서 흙이 분출될 때 입자가 큰 것은 양 비탈면 부근에 가라앉고 세립자는 물과 함께 흙 댐 중앙에 흘러내려가 자연히 침전되어 세립자가 굳게 다져지어 완전한 중심 점토가 됨.



비탈면 보호공

- 절토, 성토의 비탈면을 그대로 방치해 두면 외부적인 조건인 강우로 인한 침식과 비, 바람, 눈서리 등의 풍화작용으로 파괴되므로 비탈면의 보호가 필요함

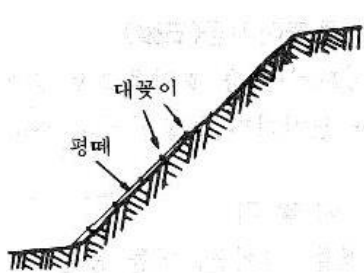
- **식생에 의한 보호공**

- **평떼**

- 주로 절토부에 사용
 - 비탈면에 떼를 붙이면 다짐판으로 다져서 흙을 밀착시키고 떼 1장에 대나무나 버들가지로 만든 꽃이를 1-4개씩 꽃아 떼가 떨어져 나가는 것을 방지함
 - 떼붙임이 끝나면 떼 위에 습기를 품은 흙을 얇게 뿌려서 다짐

- **줄떼**

- 성토면, 즉 축제의 비탈면에 사용하며 10cm 정도의 떼를 다짐질한 비탈면에 약간 나오게 수평으로 붙이고 그 위에 흙을 덮어서 발로 밟아 다짐
 - 표면을 표줄에 맞추어 일직선으로 한 다음 순차적으로 같은 작업을 반복
 - 줄떼의 간격은 20-30cm, 공사기간은 기나 강도는 평떼보다 높음



비탈면 보호공



- 씨앗뿌리기공법

- 종자, 비료, 흙을 물과 섞어 된비빔 상태를 만들어 비탈면에 뿜어 붙이는 공법으로 기계는 모르터 건을 사용하여 압축공기로 뿜어 붙임.

- 식생포공법(Seed Mat)

- 거칠은 눈금의 직표, 종이, 엉성하게 짠 짚가마니, 토막으로 찢은 짚 등의 재료로 만든 넓은 포에 씨앗과 비료를 부착시킨 것을 식생포라 부르는데 이를 비탈면 전면에 씌움

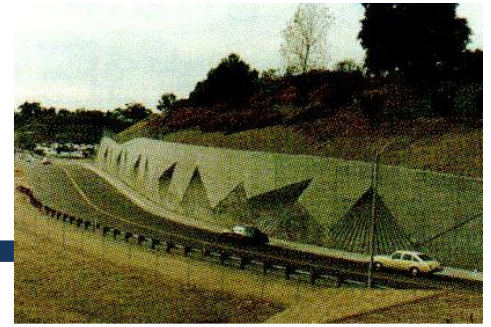
• 구조물에 의한 보호공

- 모르터, 콘크리트 뿜어붙이기공

- 비탈면에 용수가 없어서 붕괴의 위험성은 없으나 풍화되기 쉬운 암반에서 낙석의 위험이 있거나 전석, 조약돌이 섞여서 식생이 곤란한 비탈면에 적용
- 모르터나 콘크리트를 건을 사용하여 비탈면에 뿜어 붙이는 공법으로 비탈면의 풍화와 함께 격리, 붕괴, 탈락을 방지하는 목적으로 시공
- 모르터 5-10cm, 콘크리트 10-20cm 두께로 시공



비탈면 보호공



- 콘크리트 붙임공

- 비탈면 보호를 위하여 철근 또는 무근 콘크리트를 타설(철근 콘크리트 1:0.5, 무근 1:1 경사로 설치)하는 공법
- 용수가 적고 절리가 많은 연암 등의 비탈면에서 탈락, 붕괴의 우려가 있는 경우
- 지표수가 암반내로 침입하는 것을 방지하고 풍화에 의한 붕락을 방지
- 용수가 있다고 예상될 경우 배수구 물구멍 설치

- 콘크리트 블럭쌓기공: 1:1 이상의 급경사 비탈면에서 옹벽으로 토압을 충분히 지지할 수 있는 구조

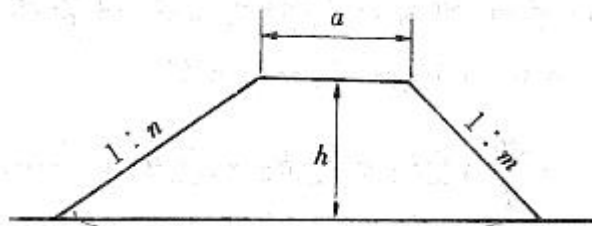
- 콘크리트 블럭 붙임공: 점착력이 없는 암석이 섞인 흙, 이암 등의 붕괴되기 쉬운 비탈면에 콘크리트 블럭을 붙이는 공법

- 콘크리트 격자블럭공: 프리캐스트 격자 블럭을 설치하고 블럭 안쪽에 식생이나 자갈채움을 하는 공법. 경사가 1:0.8보다 완만한 비탈면에 적용



토량 계산

• 단면이 사다리꼴일 때



사다리꼴

A: Cross Section Areas

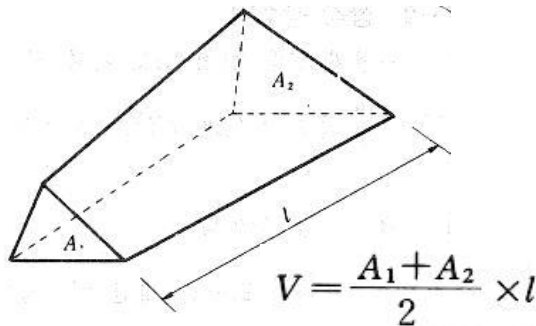
$$A = \frac{2a + (m+n)h}{2} \times h$$

여기서, A: 단면적
h: 높이

m = n 일 때

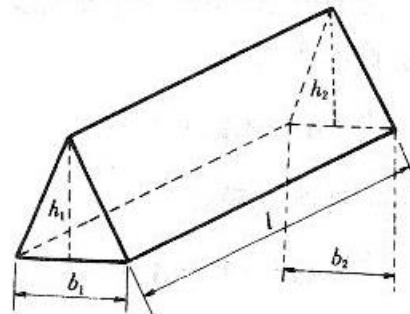
$$A = ah + mh^2$$

• 단면이 불규칙할 때



양단면적 평균법
V: Soil Mass (m³)
실제 토량보다 크다

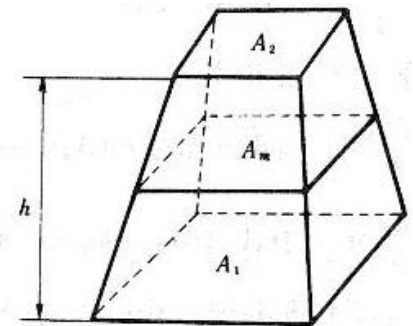
$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times l$$



$$V = \frac{1}{2} \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \times \frac{b_1 + b_2}{2} \right) \times l$$

$$= \frac{l}{8} (h_1 + h_2) (b_1 + b_2)$$

중양단면법
실제 토량보다 작다

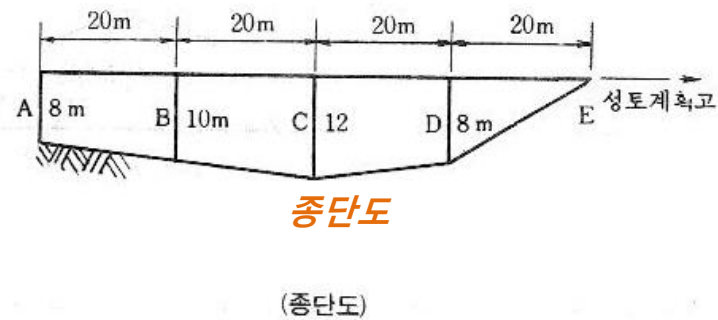
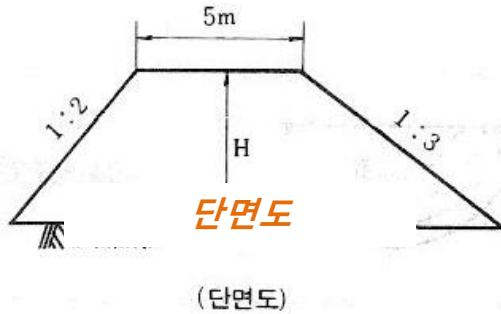


$$V = \frac{h}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

주상체
실제 토량과 거의 근사값

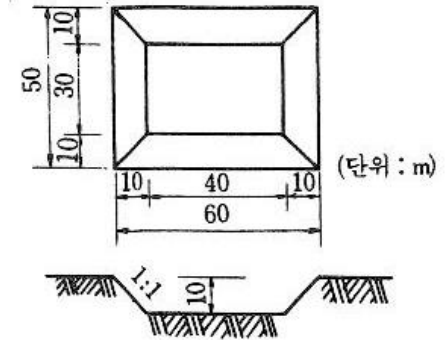
토량 계산 - 연습

- 다음과 같은 단면에서 성토의 토량을 양단면적 평균법으로 계산하시오.

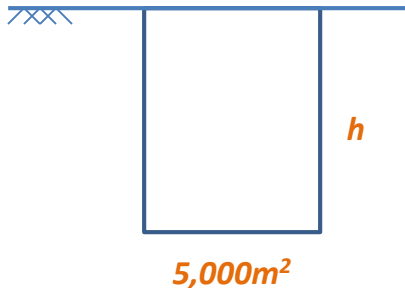


토량 계산 - 연습

- 구조물 기초를 시공하기 위하여 평탄한 지반을 다음 그림과 같이 굴착하고자 한다. 굴착할 흙의 단위 중량은 1.82t/m^3 이며 토량 환산 계수 $L=1.30$, $C=0.90$ 이다.

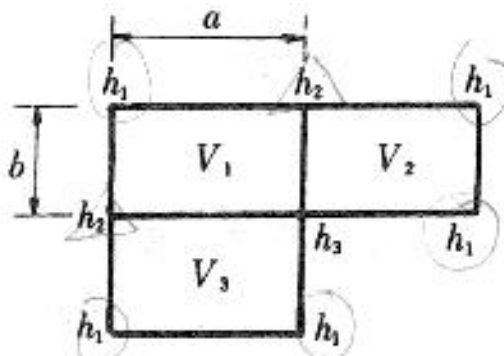


- (1) 터파기 결과 발생한 굴착토의 총 중량은 몇 톤인가?
- (2) 굴착한 흙을 덤프 트럭으로 운반하고자 한다.
 12m^3 을 적재할 수 있는 덤프 트럭을 사용한다면 총 몇 대분이 되는가?
- (3) 굴착된 흙을 $5,000\text{m}^2$ 의 면적을 가진 성토장에 고르게 성토하고 다질 경우 성토장의 표고는 얼마만큼 높아지겠는가? (측면 비탈구배는 연직으로 가정)



토량 계산

• 넓은 토지의 토량 계산



사각각주법

$$V_1 = \frac{ab}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_2)$$

$$V_2 = \frac{ab}{4} (h_1 + h_1 + h_3 + h_2)$$

$$V_3 = \frac{ab}{4} (h_3 + h_1 + h_1 + h_2)$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

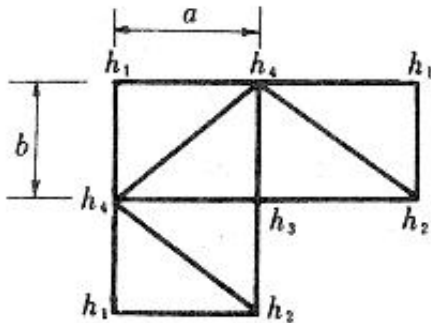
$$= \frac{ab}{4} (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + \dots + n\sum h_n)$$

h₁: height belongs to 1 rectangle

h₂: height belongs to 2 rectangles

h₃: height belongs to 3 rectangles

h_n: height belongs to n rectangles

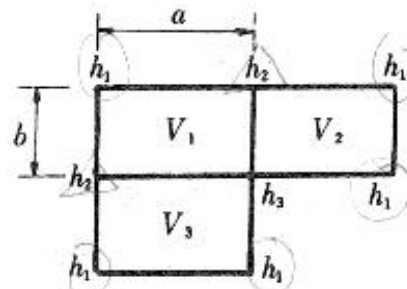
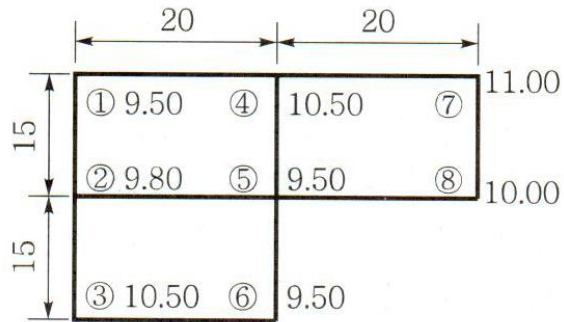


삼각각주법

$$V = \frac{ab}{6} (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + \dots + n\sum h_n)$$

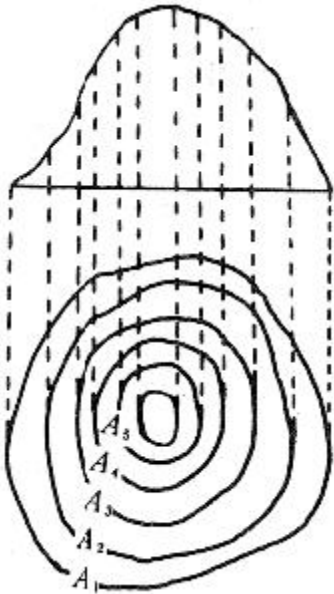
토량 계산 - 연습

- 구획정리를 위한 측량 결과값이 그림과 같은 경우 계획고 10m로 하기 위한 토량을 계산하시오. (단위 m)



토량 계산

- 등고선법



$$V = \frac{2h}{6} [A_1 + 4A_2 + A_3]$$

$$= \frac{h}{3} [A_1 + 4A_2 + A_3]$$

$$A_1 \text{ to } A_3 \quad V_1 = \frac{h}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

$$A_3 \text{ to } A_5 \quad V_2 = \frac{h}{3} (A_3 + 4A_4 + A_5)$$

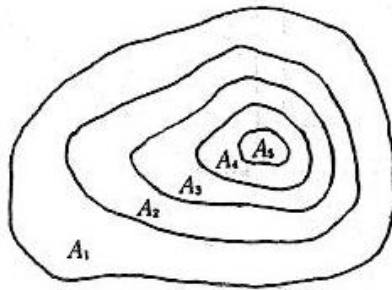
$$A_{n-2} \text{ to } A_n \quad V_{(3)} = \frac{h}{3} (A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n)$$

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 + \dots + 2A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n)$$

$$= \frac{h}{3} \{ A_1 + 4(\overset{\text{짝수}}{A_2 + A_4 + A_6 + \dots + A_{n-1}}) + 2(\overset{\text{홀수}}{A_3 + A_5 + A_7 + \dots + A_{n-2}}) + A_n \}$$

토량 계산 - 연습

- 그림과 같은 등고선을 가진 지형을 굴착하여 오른쪽 그림과 같은 도로성토를 하려고 한다. 도로 몇 m를 만들 수 있는가? (단, $L=1.20$, $C=0.90$, 토양은 각주공식 사용)



면적 (m^2)
 $A_1 = 1400$
 $A_2 = 950$
 $A_3 = 600$
 $A_4 = 250$
 $A_5 = 100$

