

9-2. 체적계산

주요 학습내용

체적계산 개요 및 방법, 수치자료를 이용하는 상용 프로그램에서의 면적 및 체적 계산에 대한 전반적인 내용

차 례

1. 체적계산 개요
2. 체적계산 방법
3. 수치자료를 이용하는 상용 프로그램에서의 면적 및 체적 계산 예

1. 체적계산 개요

1-1 체적계산 개요

- 철도, 도로, 수로 등을 축조하는 경우
- 저수지의 저수량을 산정할 경우
- 토공을 계획할 때에는 절토, 성토의 토공량을 산출하여 보아, 가능하면 절토량과 성토량이 균형을 유지하도록 시공기준면을 결정하여 공사비를 절감하는 것이 가장 이상적
- 도로, 하천제방, 철도와 같은 폭이 좁고 길이는 긴 경우의 토공량은, 노선의 일정간격
- 마다 횡단면적을 구한 다음에 그 사이 간격을 곱하여 토공량을 계산
- 주택단지, 공단 부지 등과 같이 면적이 넓은 경우에는
 - 등고선을 이용하는 방법
 - 구역을 삼각형 또는 사각형으로 분할하여 기준면 평면상에서부터 모서리점의 표고를 측정하고, 각 삼각 또는 사각 기둥의 체적을 구하여 합하는 방법

2. 체적계산 방법

2-1 양단면 평균법

- 그림 1과 같이 두 횡단면적 A_1 과 A_2 사이의 체적 : 두 단면사이의 수평거리 L 을 곱하여 평균을 취함
- 체적 V 는

$$V = \frac{1}{2}L(A_1 + A_2) \quad (1)$$

- 위 식에 의해 구한 값은 일반적으로 실제의 값보다 약간 많은 값으로 구해짐
- 계산이 간단하기 때문에 실제 많이 사용되고 있음
- 양단면 사이의 거리를 작게 할수록 정확도가 높아짐

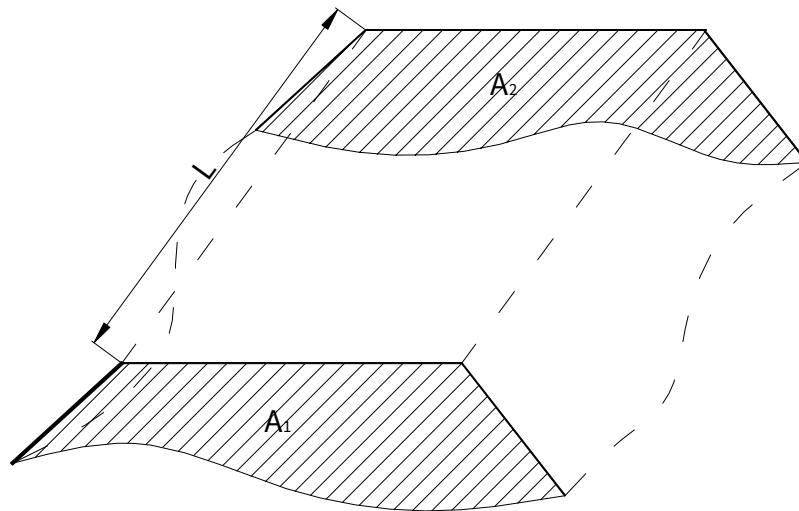


그림 1. 양단면 평균법

2-2 중앙단면법

- 양단면적의 중앙에 단면 A_m 을 취하여 양 단면 간의 거리 L 을 곱하여 체적을 구하는 방법
- 체적 V 는

$$V = A_m L \quad (2)$$

2-3 각주공식에 의한 방법

- 그림 2와 같이 양단면 사이가 불규칙하지 않고 측면이 평면일 때에 체적을 구하기에 편리한 방법
- 체적 V 는

$$V = \frac{1}{6} L (A_1 + 4A_m + A_2) \quad (3)$$

여기서, A_1, A_2 : 양단면적

A_m : A_1, A_2 사이의 중앙단면

L : 양단면간의 거리

- 이 방법에 의해 구한 값은 일반적으로 양단면 평균법으로 구한 값보다 적은 값으로 나타남

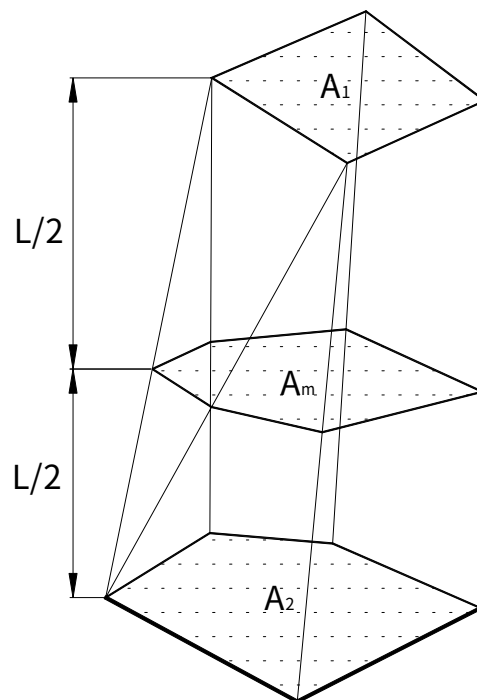


그림 2. 각주공식에 의한 방법

예제 1) 그림 9.14와 같은 형태의 체적을 양단면평균법, 중앙단면법, 각주공식에 의한 방법으로 계산하여 비교하여라.

$$A_1 = 28m^2 \quad A_m = 35m^2 \quad A_2 = 40m^2 \quad L = 20m$$

풀이)

- 양단면평균법

$$V = \frac{1}{2} L(A_1 + A_2) = \frac{1}{2} \times 20 \times (28 + 40) = 680m^2$$

- 중앙단면법

$$V = A_m L = 35 \times 20 = 700m^2$$

- 각주공식에 의한 방법

$$V = \frac{1}{6} L(A_1 + 4A_m + A_2) = \frac{1}{6} \times 20(28 + 4 \times 35 + 40) = 693.3m^2$$

2-4 점고법

- 비교적 넓은 지역의 정지작업 또는 매립 등을 위해 토공량을 계산하기 편리한 방법
- 지역 내를 사각형 또는 삼각형으로 구분하고 그 구분점들의 지반고를 측정하여 계획 고와지반고의 차를 구함으로써 토공량을 계산
 - 사각형으로 구분하는 경우
 - 삼각형으로 구분하는 경우

1) 사각형으로 구분하는 경우

- 그림 3.의 왼쪽 그림과 같이 각 구분점의 높이를 h_1, h_2, h_3, h_4 각 구분간의 체적을 V_1, V_2, V_3, V_4 라 하고 그 구분 내의면적을 A 라고 하면
- 전체 체적 V 는
-

$$V = \frac{A}{4} \left\{ \sum h_1 + 2 \sum h_2 + 3 \sum h_3 + 4 \sum h_4 \right\} \quad (4)$$

2) 삼각형으로 구분하는 경우

- 그림 3의 오른쪽 그림과 같이 면적을 삼각형으로 구분하여 계산하는 방법
- 사각형으로 구분하는 방법보다 정확도가 높음

- 체적 V는

$$V = \frac{A}{3} \{ \sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4 + 8\sum h_8 \} \quad (5)$$

여기서, A : 사각형의 면적

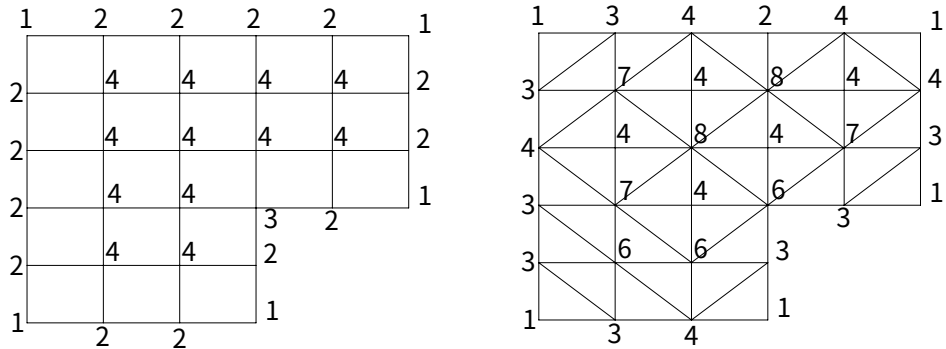
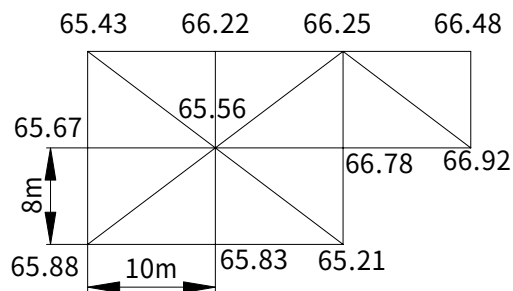


그림 3. 점고법

예제 2) 정지작업을 위한 다음의 수준측량 결과에서 절토량과 성토량이 같도록 정지하려는 평균고는 얼마인가?



풀이)

$$1\sum h_1 = 1 \times (66.48) = 66.48$$

$$2\sum h_2 = 2 \times (65.43 + 66.22 + 65.67 + 65.88 + 65.83 + 65.21 + 66.92) = 922.32$$

$$3\sum h_3 = 3 \times (66.78) = 200.34$$

$$4\sum h_4 = 4 \times (66.25) = 265.00$$

$$8\sum h_8 = 8 \times (65.56) = 524.48$$

$$V = \frac{A}{3} \left\{ \sum h_1 + 2 \sum h_2 + 3 \sum h_3 + \Lambda + 8 \sum h_8 \right\}$$

$$= \frac{10 \times 8}{3} \{66.48 + 922.32 + 200.34 + 265.00 + 524.48\} = 52,763.2 m^3$$

$$\text{총면적 } \Sigma A = 10 \times 8 \times 5 = 400 m^2$$

$$\text{평균고} : H_o = \frac{V}{\Sigma A} = \frac{52,763.2}{400} = 131.9m$$

2-5 등고선법

- 등고선 지도로부터 각 등고선 내의 면적을 구적기로 측정하여 체적 계산
- 불규칙한 지역의 체적 또는 저수지용량, 넓은 택지의 토량을 계산하는데 편리
- 그림 4와 같이 각 등고선에 의해 둘러싸인 부분의 면적을 각각 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$,
- 각 등고선 간격을 L 이라 하면
- 전체 체적 V 는

$$V = \frac{L}{3} \{ (A_1 + A_n) + 2(A_3 + A_5 + \Lambda + A_{n-2}) + 4(A_2 + A_4 + \Lambda + A_{n-1}) \} \quad (6)$$

여기서, n : 홀수

L : 등고선 간격

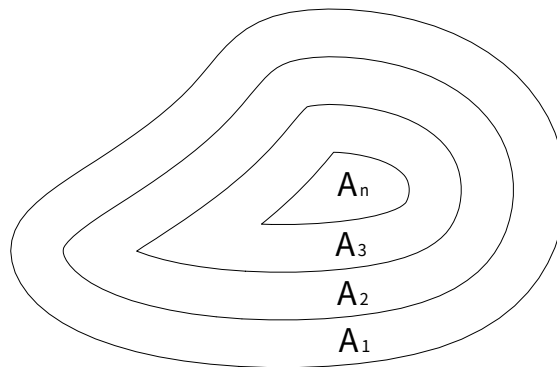
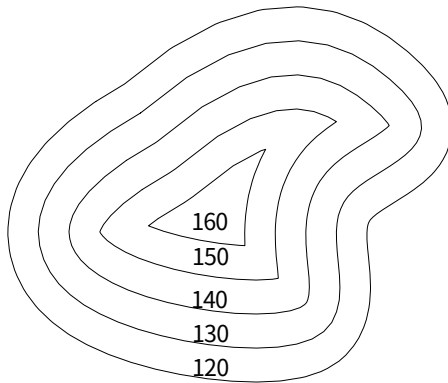


그림 4. 등고선법

예제 3) 다음 그림과 같은 지형의 체적을 구하라. 등고선 간격은 10m이고 각 등고선의 면적은 다음과 같다.



120m : $A_1 = 4520 \text{ m}^2$

130m : $A_2 = 2030 \text{ m}^2$

140m : $A_3 = 870 \text{ m}^2$

150m : $A_4 = 550 \text{ m}^2$

160m : $A_5 = 300 \text{ m}^2$

풀이)

$$V = \frac{L}{3} \{ (A_1 + A_n) + 2(A_3 + A_5 + \Lambda + A_{n-2}) + 4(A_2 + A_4 + \Lambda + A_{n-1}) \}$$

$$= \frac{10}{3} \{ (4520 + 300) + 2(870) + 4(2030 + 550) \} = 56,267 \text{ m}^3$$

2-6 유토곡선

- 종단수준측량과 횡단수준측량에 의해 작성된 종횡단 도면으로부터, 각 측점에 해당하는 토공량을 누적하여 그린 도표를 “유토곡선”이라고 한다.
- 유토곡선(토량곡선) : 그림 5와 같이 종단면의 축척과 동일하게 가로선 축척을 정하고, 거리를 가로축으로, 누적토량을 세로축으로 하였다.
- 유토곡선의 특성
 - 유토곡선이 하향인 구간은 성토곡선이고 상향인 구간은 절토구간임
 - 곡선이 하향에서 상향으로 바뀌는 지점은 성토에서 절토로, 곡선이 상향에서 하향으로 바뀌는 지점은 절토에서 성토로 변화하는 점
 - 곡선과 가로축(거리축)이 교차하는 점인 그림 5에서의 c, e, g는 누적 절토량과 누적 성토량이 동일하여서, 결과적으로 남은 토량이 0가 되는 점임
 - 가로축에서 곡선의 저점이나 정점까지의 높이는 절토에서 성토로 운반되는 전체 토량을 나타냄(그림 5에서 a-c구간에서는 bb', c-e구간에서는 dd', e-g구간에서는 ff'가 전체 토량임)
 - AH구간에서의 토량만을 보자면, hh'는 사토량(버려야 하는 토량)이 됨
 - 절토와 성토의 평균운반 거리는 유토곡선 토량의 1/2점 간의 거리로 함

- 평균운반거리는 절토부분의 중심과 성토부분의 중심간의 거리를 의미함
- AC구간에서 평균운반거리는 bb' 높이의 1/2점인 s점을 통과하는 평행선의 길이 pq임
- 총토공량은 총토량을 평균운반거리만큼 운반한 것을 의미함

$$\text{평균운반거리} = \frac{\text{총토공량}}{\text{총토량}} \quad (7)$$

- 가로축에 평행인 어떤 직선과 유토곡선이 이루는 폐합 면적은 총토공량에 해당하며, 그 폐합면적의 최대 높이가 총토량이 된다. 즉,
 - 총토공량 : 유토곡선과 평행선으로 둘러싸인 부분의 면적
 - 총토량 : 그 면적에서의 최대 높이

$$\text{평균운반거리} = \frac{\text{유토곡선과 평행선으로 둘러싸인 면적}}{\text{최대높이}} \quad (8)$$

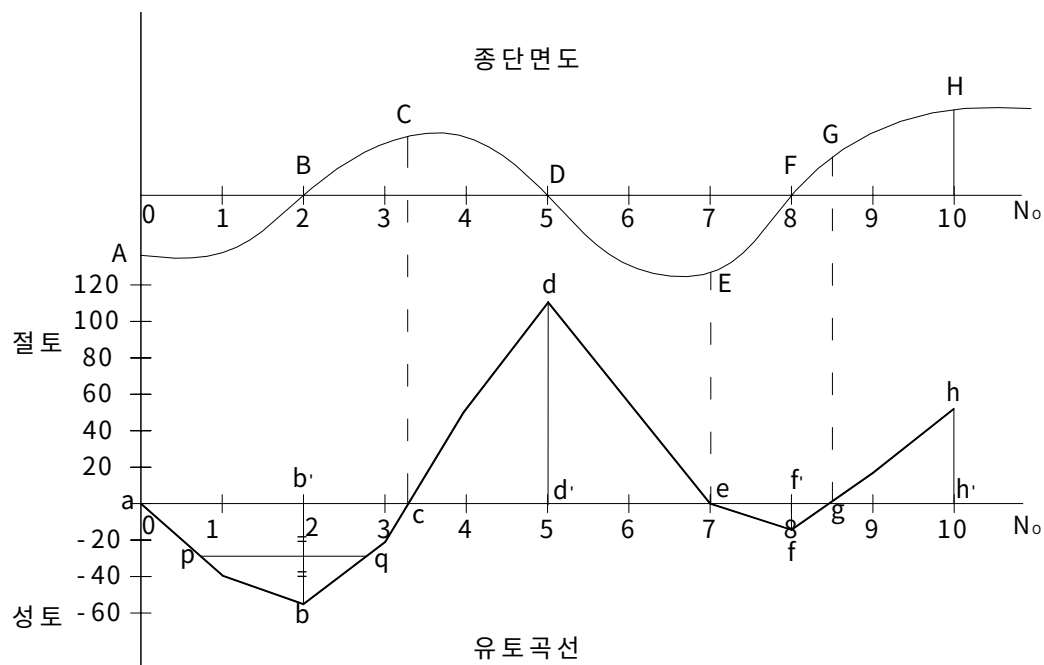


그림 5. 유토곡선에 의한 토공량 계산

3. 수치자료를 이용하는 상용 프로그램에서의 면적 및 체적계산 예

3-1 수치자료

1) 수치지도

- 수치지도 예(1/5000 국립지리원 발행 수치지도의 일부분)

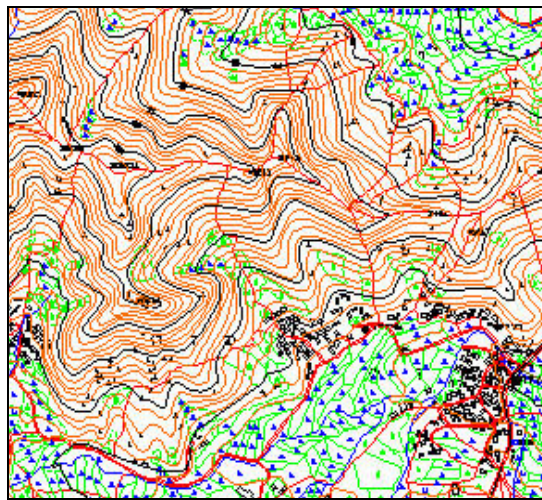


그림 6. 수치지도

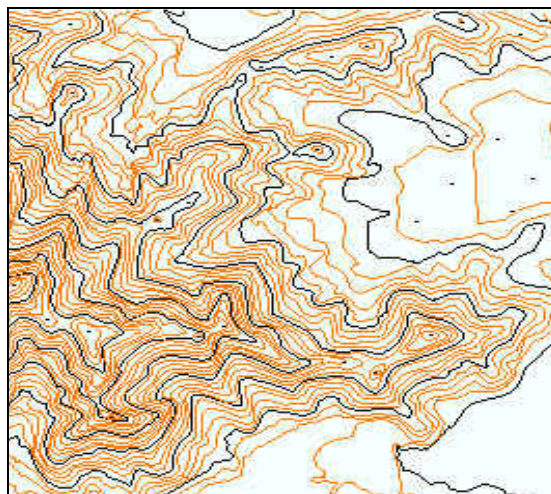


그림 7. 수치지도의 등고선 레이어

2) 수치지형모델(Digital Terrain Model / Digital Elevation Model)

- ① 지형의 기록에 대한 연속적인 변이상태를 몇 가지 지형의 특성을 국한시켜 표현한 것
- ② 경사, 방위, 해발고도에 따른 주제도(Thematic Map) 및 음영기복도(Sharped Relief Map)를 작성하여 지형의 단면구조(Profile) 및 시계분석(Visibility Analysis)
- ③ 도로·임도 및 댐 등의 노선이나 부지 선정, 산사태나 침식 예상지 예측, 토양·식생·임상 및 토지이용분류 등에 효과적으로 활용
- ④ 도로설계나 도시계획에 있어서 토공량과 정지표고 및 면적 산정
- ⑤ 토공량과 높이별 정지면적 및 정지표고를 결정하여 향후 질·성토 등으로 인하여 발생 가능한 지형의 변화를 추정할 수 있는 정지표고 산정도 가능

- 그림 8.은 수치지도로부터 추출한 등고선레이어를 활용한 DEM 생성 예이다.

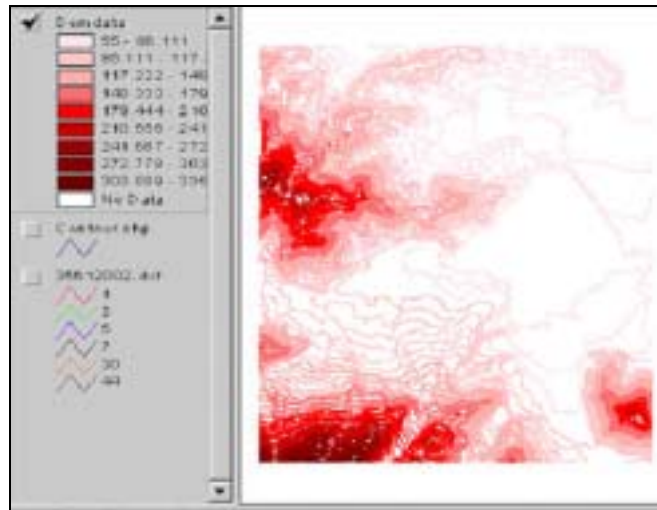


그림 8. DEM

- 그림 9.는 생성한 DEM 데이터를 ASCII Raster 파일로 변환한 예이다.

```

demdata.asc - 텍스트
파일(F) 편집(E) 열기(O) 도움말(H)
ncols 228
rows 278
xllcorner 179319.427
yllcorner 219842.075
cellsize 10
NODATA_value -9999
-9999 110 110 110 110 -9999 -9999 -9999 105 105 105 -9999 -99
9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -
115 115 -9999 -9999 110 110 110 110 110 105 105 105 105 11
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 115 115 115 115 -9999 -9999 -9999 -9999 110 110 110 110
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
120 120 120 120 115 115 115 115 115 115 -9999 -9999 -9999 -99
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
125 125 125 125 120 120 120 120 120 115 115 115 115 115 -99
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
130 130 -9999 125 125 125 -9999 -9999 120 120 120 120 120 -99
9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
  
```

그림 9. ASCII Raster 파일 생성

3-2 상용프로그램에서의 면적 및 체적계산 예

1) 토탈스테이션에 의한 면적 및 체적계산

- 토탈스테이션
 - 전자식 테오도라이트가 갖고 있는 측각기능과 EDM이 갖고 있는 거리측정기능을 동시에 가지고 있는 측량장비
 - 컴퓨터시스템과 간단한 소프트웨어가 내장되어 있어 각과 거리가 측정되는 즉시 측점에 대한 좌표계산 등 필요한 사항이 계산됨
 - 입력자료를 포함한 모든 자료가 별도의 저장장치에 보관되어 주 컴퓨터에 의한 추가적인 계산에 활용
- 내장프로그램을 통해 여러 가지 계산 예
 - 원격 고저 측량
 - 대변측량
 - 면적 및 체적 자동 계산
 - 도로선형 계산 및 측점 설치
 - 3차원 도로선형
 - 교차점 좌표계산

2) GIS 및 CAD 관련 상용툴에 의한 면적 및 체적계산

- GIS 상용툴 : ARC/INFO, Autodesk MAP 등
- CAD 상용툴 : AutoCAD
- 제공 기능
 - 지도자료의 Digitizing, 편집, 수정
 - Map Edgematching/Merging
 - 면적, 길이 측정
 - Grid 형태의 도면작성
 - Overlay, Modeling, 면적 계산, 거리계산

3) 측량관련 상용툴에 의한 면적 및 체적계산

① Survey CAD(www.surveycad.co.kr)

- 제공 기능
 - Totalstation과 데이터 교환으로 현황작성
 - 등고선 작성
 - 종·횡단도 작성

- 절·성토량 자동 계산
- 삼각망 작성, 등고선 작성 기능 등을 사용하여 현황도면 작성 예

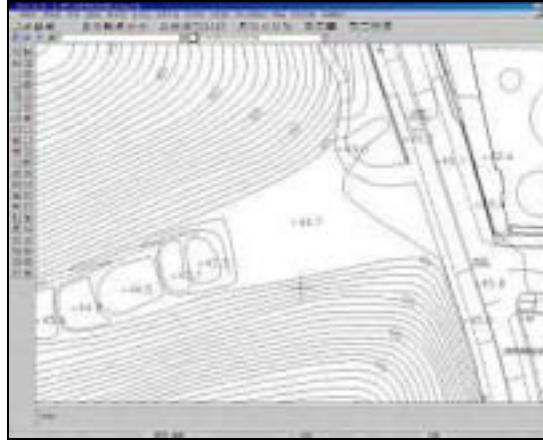


그림 10. 현황작성

- 현황도면에서 종·횡단 지반고를 추출하여 종단·횡단 도면을 작성 예

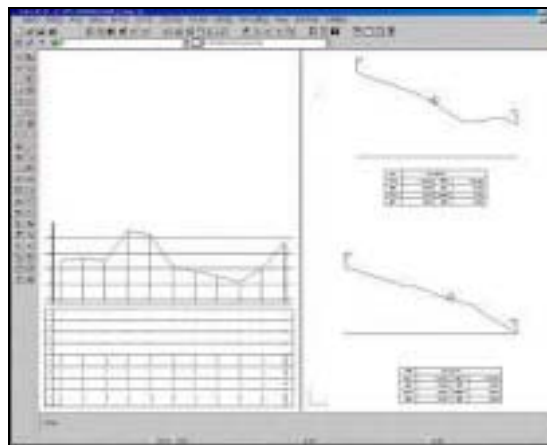


그림 11. 종·횡단면도 작성

② Road Projector2.5(www.namosoft.co.kr)

- 제공 기능
 - 등고선 작성
 - 종·횡단도 작성
 - 절·성토량 자동계산
 - 단면별 토공물량을 엑셀 파일로 입력 또는 출력 가능]
- 그림 12.는 도로설계를 위한 현황도 작성 예이다.



그림 12. 현황작성

- 그림 13.은 체인 생성을 통한 횡단면도 작성 예이다.

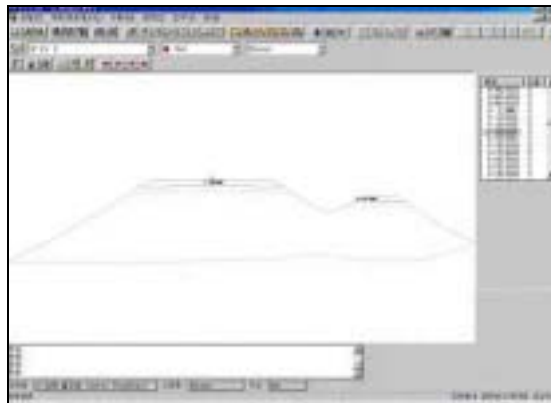


그림 13. 횡단면도 작성

③ RD2000(www.iphds.com)

- 제공 기능
 - 수치지도를 통한 삼각망, 그리드 생성
 - 그리드를 이용하여 표고, 경사분석 가능
 - 횡단면도를 통한 토공량 계산
 - 유도곡선 작도
 - 도로 경관분석
- 그림 14.는 수치지도를 통한 삼각망 생성 예이다.

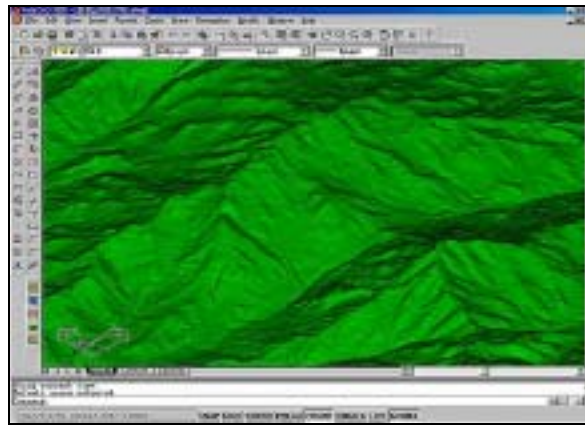


그림 14. 삼각망 생성

- 그림 15.는 지반고, 계획고 등을 통한 횡단면도 작성 예

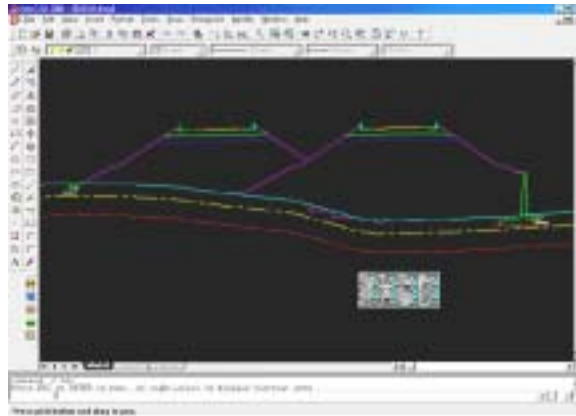
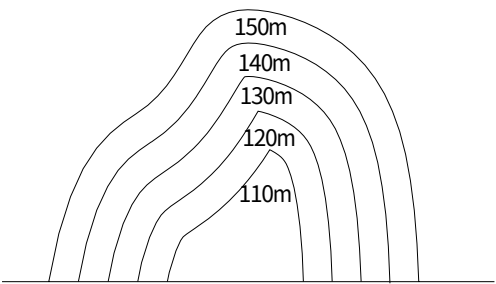


그림 15. 횡단면도 작성

연습문제

- 1) 유토곡선에 대하여 설명하라.
- 2) 그림과 같이 지형의 계곡에 댐을 설치하려고 한다. 댐의 저수위가 150 m일 때, 저수량을 계산하라. 등고선 간격은 10 m 이다.



- 110 m : $A_1 = 320 \text{ m}^2$
- 120 m : $A_2 = 580 \text{ m}^2$
- 130 m : $A_3 = 880 \text{ m}^2$
- 140 m : $A_4 = 1360 \text{ m}^2$
- 150 m : $A_5 = 1750 \text{ m}^2$

- 3) 도로를 건설하기위해 아래와 같은 측량결과를 얻었다. 총토량을 계산하라.
(단, 양단면 평균법 적용)

측점	거리	단면적
0	0	50.5
0+ 10	10	62.4
1	10	56.3
2	20	70.2
2+ 5	5	66.3

- 4) 수치자료에 의한 면·체적 계산 방법을 설명하라.

5) 그림과 같은 수준측량 결과에서 절토량을 구하라.

