

불규칙 삼각망을 이용한 골프장의 지표면적 산출에 관한 연구

김상석¹ · 장용구² · 박재하³ · 김윤수⁴

A Study on the Ground Surface Area Calculation of Golf Course using Triangulated Irregular Network

Sang-Seok KIM¹ · Yong-Ku CHANG² · Jae-Ha KWAK³ · Youn-Soo KIM⁴

요 약

오늘날 측량장비개발의 급속한 발전과 더불어 정밀도가 많이 향상되고 있고, 컴퓨터를 이용한 지형공간정보체계기술의 발달로 보다 정밀한 3차원 지형의 재현이 가능하게 되었다. 그런데 실제 현장에서 이루어지고 있는 면적 및 체적산출방법에 있어서는, 재래적인 측량방법인 평판측량을 통해서 지형을 만들어낸 후 구적기나 기타 다른 방법을 통해서 2차원 물량을 산출해 내고 거기에 일정량의 경사보정계수를 곱하여 3차원 물량을 산출하는 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 재래적인 측량 방법 및 물량산출방법에 대한 비효율성 및 비정밀성을 제시하고, 현대측량장비인 광과거리측량기와 GPS장비를 이용해서 불규칙삼각형방식과 격자형방식으로 측량을 실시하고, 두 측량데이터를 가지고 각각 방법에 따라 3차원 지형모델을 구축한 후 2차원 및 지표면적을 산출하였다. 그 후 재래적인 측량방법을 이용한 면적산출량을 기준으로 불규칙삼각형방식과 격자형방식으로 산출한 면적산출량을 비교 분석함으로써 보다 정밀하고 효율성이 높은 지표면적 산출방법을 제시하였다.

주요어: 수치지형모델, 지표면적, 불규칙삼각망, 골프장

ABSTRACT

In these days, surveying instruments are developing rapidly and the precision is improving continuously. The reappearance of three dimensional terrains of a great precision are possible and the calculation of the area or the volume has a high precision due to the development of the technique of the spatial information system using computer. But actually, in construction site they calculate two-dimensional area using the traditional method, plane table surveying, planimeter, and then get ground surface area through timing the slope correction factor. In this study, I show the defect and inefficiency of the calculation of the area by the traditional methods and survey the area with Electronic Distance Measuring equipment and GPS instrument. With these data, we made the three dimensional

2001년 12월 4일 접수 Received on December 4, 2001

1 부산대학교 대학원 토목공학과 (civil-1614@hanmail.net) Dept. of Civil Engineering, Pusan National University

2 동의대학교 토목공학과 (dsfas@hanmail.net) Dept. of Civil Engineering, Dongeui University

3 부산정보대학 건설계열 (jkwak@bit.ac.kr) Dept. of Civil Engineering, Busan College of Information Technique

4 코오롱건설(주) (ys6111@chollian.net) Kolon Eng. & Const. CO., LTD

terrain model and calculated two-dimensional area and ground surface area. After that, I compared areas that calculated by algorithm method of irregular triangle and analysis of grid method with standardizing the area that calculated by the traditional method. Finally, I suggested more effective and precise method in calculating ground surface area.

KEYWORDS: *Digital Terrain Model, Ground Surface Area, Triangulated Irregular Network, Golf Course*

서 론

1. 연구배경 및 목적

수치지형모델에 대한 많은 연구가 이루어졌는데, 국외에서는 도로 설계 시 비교노선을 결정하는 목적으로 최초로 수치지형모델 이론 및 응용에 관한 연구가 시작되었다(Miller와 Laflame, 1958). 그 이후 수치지형데이터로부터 토공량 계산의 정확도에 관한 연구가 이루어졌으며(Wong, 1983), 국내 또한 수치지형모델에 관한 기본 이론 및 그에 대한 응용분야에 관한 연구가 이루어졌는데 수치지형의 여러 가지 보간방법에 관한 연구(이영진, 1982; 최병길, 1986) 및 수치지형모형을 이용해서 최적토공량을 산정하는데 있어서 보간법에 따른 정확도 및 효율성 증대에 관한 연구가 이루어졌다(신봉호, 1986). 뿐만 아니라 대상지역의 공사전의 수치지형모델을 작성하고 공사 후에 변화된 지형을 나타내는 예측 수치지형모델을 만들어 절토량과 성토량을 추정하는 연구가 이루어졌으며(오창수, 1987), 수치지형모델을 이용한 도로의 토공량산정에 관한 연구가 이루어졌다(조영호, 1989). 최근 들어 수치지형모델을 이용하여 쓰레기 매립장 및 도로현장 그 외 여러 지역에 대한 토공량 산정방식, 정확도 분석뿐만 아니라 그에 따른 효율성분석에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다(박운용 등, 1994; 이재기 등, 1993; 문일석 등, 1995; 이용희와 문두열, 2001). 하지만 실제 현장에서 이루어지고 있는 물량산출방법을 살펴보면 재래적인 측량방법들 예를 들어 줄자, 평판, 지거

측량, 삼각구분법 등을 이용하여 측량한 관측 자료들에 의한 면적 및 토공량을 산출하고 있다. 그러나 이런 방법들은 무엇보다도 정확도에서 매우 큰 오차를 유발시킨다. 즉 중복측량이나 누락측량을 통한 물량산출의 결과가 매우 달라진다. 이러한 문제점 때문에 현재에는 재래적인 측량방법이 아닌 광파거리측량 및 GPS측량의 현대측량을 현장에서 세부측량에 활용하고 있다.

또한, 물량산출기법도 과거에는 2차원의 면적이나 체적을 결정하는 이론을 이용하여 경사보정계수라는 3차원 물량으로 환산해 주는 계수에 의해 3차원 물량을 산출하였다. 이 방법 또한 그 결과의 물량은 실제지형의 물량과 큰 차이를 발생시키는 문제점을 안고 있다. 본 연구에서 연구지역으로 선정한 골프장에서도 실제로 산출한 지표면적이 공사비 책정에 큰 영향을 미치기 때문에 보다 정밀한 지표면적 산출을 요하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 건설현장에서 이루어지고 있는 재래적인 면적에 대한 물량산출방법의 단점과 비효율성을 소개하고 보다 정밀한 측량장비와 3차원 지형모델의 지형공간정보체계를 구축하여 재래적인 물량산출방법보다 훨씬 효율적이고 정밀한 물량산출이 가능함을 측량방법별, 3차원 지형모델구축별, 정밀도별로 비교분석을 통해 제시할 것이다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 재래적인 측량 및 구적기를 이용해서 2차원 면적을 산출하였고 여기에 현

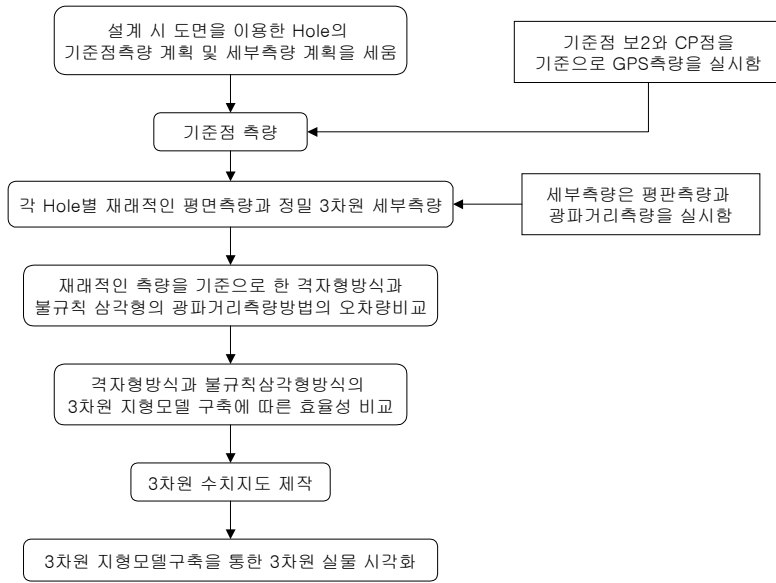


FIGURE 1. Flow chart

장에서 실제 사용하고 있는 경사보정계수를 곱해서 지표면적을 산출함과 동시에 광파거리 측량 및 GPS측량을 통해 얻은 데이터를 이용해서 3차원 지형모델을 구축하고 2차원 면적 및 지표면적을 산출함으로써 불규칙삼각형 알고리즘방식의 면적산출에 대한 정밀도 및 효율성을 검토하였다. 전체적인 작업 흐름도를 보면 그림1과 같다.

수치지형모델

수치지형모델(digital terrain model)이란 다른 표면은 물론 특히 지구표면을 표현하는 방법 중에 하나로서 여기에는 수치적으로 표현되는 면적에 관한 세부 사항 및 지형기복, 지표면에서의 인공적, 자연적 변화를 포함한다 (George와 Korte, 1997). 그 중에 고도에 대한 정보만을 다루는 것을 수치표고모델(digital elevation model)이라 하며 여기에는 불규칙삼

각형방식과 격자형방식이 있다. 격자형방식은 규칙적인 격자의 교차점에서 고도를 저장하고 일반적으로 격자의 크기는 기준점 사이의 거리보다 더 작으며, 불연속선이나 높이를 나타내는 점에 의해 표현된 지질학적 정보는 규칙적인 격자로 그물처럼 형성된다. 이에 반해 불규칙삼각형방식은 원래의 자료점이 삼각형에 의해서 연결되어 표면을 표현하며 관측대상의 기준이 되는 기준점의 모서리를 이용하여 삼각형을 생성한다. 그리고 이웃하는 점들과 연결되어 삼각형의 한 변을 이루며 표면은 각각의 작은 평면들로 구성된 다수의 삼각형이 연결되어 표현된다. 불규칙삼각망을 생성하기 위해 먼저 각 정점에서 가장 가까운 3차원 정점을 찾고 각 정점을 point로 변환한 후 세 점을 통과하는 외접원을 생성하며 이때 외접원의 반경이 가장 작은 점을 연결하여 삼각형을 구성하는데 이 때 그 원안에 다른 점이 있으면 원안에 있는 점과 외접하는 원을 만들어 불규

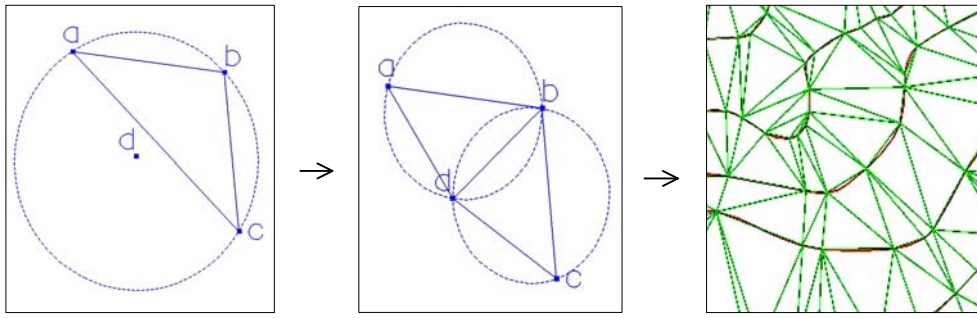


FIGURE 2. Triangulated irregular network procedure

척삼각망을 생성한다. 그림으로 나타내면 그림 2와 같다(최철웅, 1999).

적 용 예

본 연구에서는 현재 시공 중에 있는 가장 아시아드 골프장 중 일부지역을 모델지역으로 선정하였다. 전체적인 작업단계를 보면 먼저 1 단계로 기준점측량 및 세부측량을 실시하였고, 2단계로는 측량 데이터를 이용해서 격자형방식과 불규칙삼각형방식에 따른 3차원 지형모델을 구축하고 2차원 면적 및 지표면적을 각각 산출하였으며 재래적인 측량에 의한 지형도를 구적기를 이용해서 2차원 면적을 산출하였으며 각 요소에 따른 경사보정계수를 곱해 줌으로서 지표면적을 산출할 수 있었다.

1. 기준점측량

기준점측량은 반송과위상방식의 후처리 DGPS측량을 이용하여 관측하였고 본 연구에 사용된 GPS측량장비는 Astech사의 정밀GPS장비를 이용하였으며, 표 1은 본 연구에 수행된 GPS측량장비의 사양을 소개한 표이다.

GPS측량을 통하여 관측된 기준점좌표들을 GeoGenius 프로그램의 자유망조정법을 이용하여 삼변망조정을 수행하여 정밀 3차원 좌표를 결정해 주었다.

표 2는 GPS측량을 통해서 얻어진 기준점들이며, 세부측량시 CP1은 수직위치에 대한 기준점으로 쓰이며, 나머지 다섯점들은 수평위치에 대한 기준점으로 사용된다.

TABLE 1. The capacity of GPS instrument used in this study

수신기	정지 측량	신속정지 측량	일시정지 측량	이동 측량
Z-12	5mm+1ppm	5mm+1ppm	20mm+1ppm	20mm+1ppm

TABLE 2. Control point coordinates

	CP1	P20	P21	P22	P28	P29
X	198907.512	198661.124	198425.456	198362.691	198270.145	198441.461
Y	221691.407	221944.945	222261.254	222224.484	221677.338	221608.937
Z	61.173	61.977	64.154	58.523	40.914	52.083

2. 세부측량

세부측량으로는 재래적인 측량방법인 평판측량과 현대적인 측량방법인 광파거리측량을 실시하였다. 광파거리측량은 3차원 지형모델구축의 두 가지 방법을 정확도 및 효율성을 비교분석하기 위해 격자형방식과 불규칙삼각형방식으로 측량을 실시하였다. 격자형방식으로 측량을 실시하기 위해 10m 간격의 격자망을 끈을 이용하여 구축하여 현장에 설치하였다. 격자형방식은 격자들이 교차하는 점들의 표고를 이용하여 3차원 지형모델을 구축하는 방식이다. 따라서, 측량은 격자 교차점들의 3차원 측량을 실시하였다. 불규칙삼각형방식은 지형의 변화가 이루어지는 변곡점들을 이용하여 3차원 지형모델을 구축해주는 방식이기 때문에 hole 내의 모든 변곡점들의 3차원 광파측량을 실시해 주었다. 격자형방식과 불규칙삼각형방식을 이용한 측량의 시간적인 효율성을 비교한 결과 격자형방식이 불규칙삼각형방식에 비해 격자망을 제작하는 시간이 포함되어 많은

시간이 소요되었다. 또한, 격자형방식은 지형의 기복을 정확히 표현하는데 있어 격자간격 내에 위치한 변곡점의 표현이 불가능한데 비해 불규칙삼각형방식의 측량은 정확히 변곡되는 점들을 측량해주기 때문에 정확한 지형의 표현이 가능하였다. 표 3은 평판측량방법과 광파거리측량방법의 효율성을 비교한 표이다.

표 4는 격자형방식과 불규칙삼각형방식의 광파거리측량방법의 효율성을 비교한 표이다.

3. 면적물량산출

1) 재래식 방법에 의한 면적산출

평판과 줄자를 이용한 재래적인 측량에 의해서 구해온 측량도면은 구적기를 의해 면적에 대한 물량이 산출된다. 수평면적을 a 만큼 경사진 경사면적으로 산출하는 식은 식 (1)과 같다(유복모, 1995). A^s 는 경사면적이고, A^p 는 수평면적, a 는 도상면적, m 은 축척분모수를 나타낸다.

TABLE 3. The comparison of efficiency between plane table surveying and electronic distance measuring equipment

측량방법 효율성	평판측량	광파거리측량
효율적인 면	현장내의 지형관독에 따른 측량이 신속하고 오류발생을 빨리 찾아낼 수 있음	지형변화가 이루어지는 측점의 정밀 3차원 측량이 가능하기 때문에 정확한 물량산출 가능
비효율적인 면	지형의 정확한 3차원 측량이 어렵고 평판상 도면의 정확도에 따라 물량산출의 정확도가 달라져서 많은 오차량을 가짐	정밀 3차원 측량을 위해 변곡점의 측점을 가능한 많이 관측해주어야 되기 때문에 그에 따른 소요시간이 많음

TABLE 4. The comparison of efficiency between grid network and triangulated irregular network

측량방법 효율성	격자형방식	불규칙삼각형방식
효율적인 면	지역내의 격자망을 통한 3차원 측량을 실시할 수 있기 때문에 쉽게 측량가능	경사가 변하는 변곡점을 측량해주기 때문에 정확한 3차원 지형모델구축이 가능
비효율적인 면	격자간격에 따른 3차원 지형모델의 정확도가 달라지고 격자망제작에 많은 시간이 소요됨	변곡점의 가능한 측점의 수에 따라 3차원 지형의 표현정확도가 달라짐

$$A^s = A^p \sec \alpha = m^2 a \sec \alpha \quad (1)$$

하지만 실제 현장에서는 평판상의 2차원 도면의 면적을 구하여 여기에 경사보정계수를 곱해 지표면적을 결정해주는 비효율적인 방법으로 지표면적을 산출하고 있다.

표 5는 경사보정계수를 나타내며, 이는 본 연구대상지역인 아시아드 골프장 시공현장에서 실측하여 평균적으로 구해서 실제 사용하고 있는 수치

이다. 그런데 지형에 따라 경사가 각각 다름에도 불구하고 요소에 따라 같은 경사보정계수를 사용한다는 점에도 문제점이 있다고 생각된다.

표 6에서 알 수 있듯이 현재 현장에서는 4개의 요소에 대해서만 지표면적을 고려하고 있다. 하지만, hole 내의 요소에는 이 4가지 요소 외에 green, tee, bunker의 3가지 요소가 더 있다. 현장에서는 green, tee, bunker는 경사가 거의 없어 2차원 면적으로 산출해주어도

TABLE 5. Slope correction factor

요 소	Rough	Fairway	Hole법면	외곽법면
경사보정계수	1.001	1.001	1.118	1.414

TABLE 6. Two dimensional area calculated by the plane table surveying

Hole 명 \ 요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1	6460.88	20597.78	1019.55	715.16	993.85
S2	6876.71	11501.09	793.17	725.51	635.77
S3	-	7378.74	71.96	817.28	614.21
S4	6973.80	17573.28	280.13	725.40	798.90
S5	17071.87	15030.26	275.93	802.43	648.02
S6	1269.02	7019.74	488.83	719.53	707.98
S7	9446.91	13075.58	271.05	679.39	829.86
S8	6092.51	14786.68	315.28	886.58	759.46
S9	14382.12	24115.07	1015.26	743.27	792.84

TABLE 7. Ground surface area calculated by multiplying slope correction factor

Hole 명 \ 요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1	6467.34	20618.37	1019.55	715.16	993.85
S2	6883.59	11512.59	793.17	725.51	635.77
S3	-	7386.12	71.96	817.28	614.21
S4	6980.77	17590.85	280.13	725.40	798.90
S5	17088.94	15045.29	275.93	802.43	648.02
S6	1270.29	7026.76	488.83	719.53	707.98
S7	9456.35	13088.66	271.05	679.39	829.86
S8	6098.60	14801.47	315.28	886.58	759.46
S9	14396.50	24139.19	1015.26	743.27	792.84

된다고 한다. 하지만, 현장에서 측량을 실시해 본 결과 green, tee, bunker 또한 어느 정도 경사를 가지고 있고 특히 Bunker의 경우 bunker 내부와 fairway가 만나는 부분은 경사가 많아 정확한 물량을 산출해주기 위해서는 지표면적을 산출해주어야 했다. 표 6은 평판을 이용한 재래적인 측량을 수행하여 산출한 2차원 면적을 나타낸 표이다.

표 7은 평판측량에 의해 산출한 2차원 면적에 경사보정계수를 곱하여 산출한 지표면적을 나타낸 표이다.

2) 격자방식에 의한 면적물량산출

격자방식을 사용하기 위해 현장에서 10m 간격으로 끈을 연결하여 격자망을 제작하였다. 각 hole의 크기가 평균적으로 약 가로 40~

60m, 세로 100~400m 정도여서 격자망을 가로 10개, 세로 50개로 제작하였다. 격자형방식으로 광파측량을 수행한 결과 격자망 제작의 시간이 많이 소요되었으며, 격자형방식으로 측량을 수행할 때 지형의 경사가 변화하는 변곡점들을 정확히 측량할 수 없었기 때문에 보다 정확한 3차원 지형의 면적산출이 어려웠다.

표 8은 격자형방식으로 광파거리측량을 통해 산출된 2차원 면적을 나타낸 표이다.

표 9는 격자형방식으로 광파거리측량을 통해 산출된 지표면적을 나타낸 표이다.

3) 불규칙삼각형 알고리즘을 이용한 면적물량산출

불규칙삼각형 알고리즘을 이용하여 지표면

TABLE 8. Two dimensional area calculated by electronic distance measuring equipment in grid method

Hole 명 \ 요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1	6470.03	20671.77	1028.06	724.11	1001.89
S2	6885.87	11541.80	798.10	735.43	641.55
S3	-	7393.13	74.86	827.16	619.68
S4	6985.21	17616.83	285.91	734.61	805.11
S5	17074.17	15074.29	281.42	810.47	653.59
S6	1273.83	7048.91	495.67	727.26	712.18
S7	9453.72	13114.29	276.68	685.99	834.83
S8	6098.37	14834.84	320.37	892.25	763.38
S9	14391.88	24190.51	1025.14	751.29	798.45

TABLE 9. Ground surface area calculated by electronic distance measuring equipment in grid method

Hole 명 \ 요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1	6523.38	22759.36	1037.15	732.27	1012.26
S2	6935.52	12247.88	810.08	743.82	648.15
S3	-	7579.31	76.30	836.19	626.26
S4	7034.31	18126.05	288.81	742.48	813.27
S5	17224.41	15433.73	284.64	820.40	660.31
S6	1280.52	7248.41	501.07	735.46	719.42
S7	9534.72	13470.52	279.93	693.61	843.37
S8	6151.56	15415.92	324.88	903.77	771.33
S9	14516.73	25155.70	1037.15	759.64	806.68

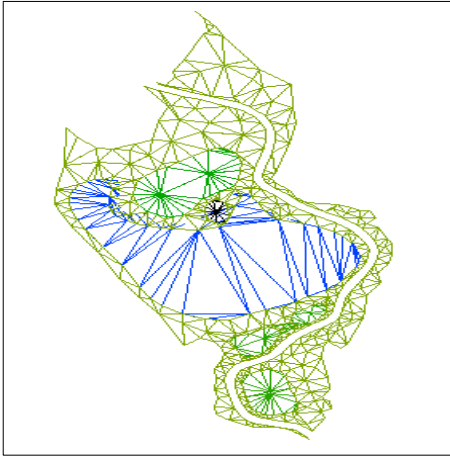


FIGURE 3. Triangulated irregular network modeling of S3 hole

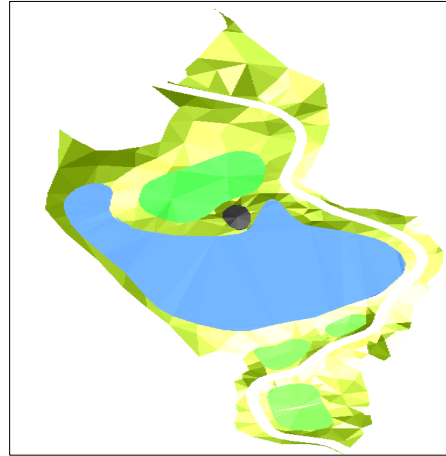


FIGURE 4. Three dimensional terrain model of the golf course

TABLE 10. Two dimensional area calculated by electronic distance measuring equipment in triangulated irregular network

Hole 명	요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1		6471.58	20612.79	1028.10	724.16	1001.91
S2		6886.92	11509.29	798.36	735.48	641.56
S3		-	7384.04	74.87	827.20	619.70
S4		6986.59	17584.67	285.95	734.64	805.12
S5		17082.37	15041.38	281.50	810.63	653.61
S6		1274.00	7026.12	495.82	727.36	712.19
S7		9457.27	13086.06	276.76	686.05	834.85
S8		6100.25	14797.81	320.49	892.42	763.40
S9		14395.97	24131.39	1025.37	751.34	798.46

TABLE 11. Ground surface area calculated by electronic distance measuring equipment in triangulated irregular network

Hole 명	요소 명칭	Fairway	Rough	Bunker	Green	Tee
S1		6497.39	22679.98	1028.91	725.02	1002.24
S2		6907.89	12199.09	803.65	736.46	641.73
S3		-	7549.12	75.09	827.91	620.06
S4		7006.28	18053.84	286.51	735.13	805.22
S5		17164.33	15372.24	282.38	812.28	653.77
S6		1275.42	7219.53	497.09	728.18	712.30
S7		9496.73	13416.85	277.70	686.74	835.02
S8		6127.05	15354.50	322.30	894.82	763.69
S9		14458.89	25067.96	1028.91	752.12	798.69

적을 산출하기 위해서 골프장 현장내의 각 hole에 경사가 변하는 가능한 한 모든 변곡점에 대해 광과측량을 수행해 주었다. 불규칙삼각형방식을 이용해서 광과측량을 실시한 결과 격자형방식으로 측량을 실시한 시간에 비해 약 2/3 정도의 시간이 소요되었다. 또한, 불규칙삼각형방식은 가능한 한 모든 변곡점에 대해 측량을 수행해 주기 때문에 보다 정확한 3차원 지형의 형상재현과 정확한 지표면적산출이 가능하였다. 하지만, 모든 변곡점을 측량 해주어야 하기 때문에 지형의 친숙도와 계획 수립에 따라 정확도가 달라질 수 있음을 알

수 있었다. 그림 3은 측량을 통해 얻어진 S3 hole의 수치지도를 이용해서 불규칙 삼각망을 구축한 모습이며, 그림 4는 3차원 지형모델을 구축한 모습이다.

표 10은 불규칙삼각형방식으로 광과거리측량을 통해 산출된 2차원 면적을 나타낸 표이다.

표 11은 불규칙삼각형방식으로 광과거리측량을 통해 산출된 지표면적을 나타낸 표이다.

4. 3가지 면적산출 결과에 대한 비교분석

본 연구에서는 먼저 재래적인 지표면적 산출방법과 현대측량에 의한 과학적 3차원 지형

TABLE 12. Comparison of two dimensional area between grid and triangulated irregular network standardizing area calculated by the plane table surveying

Hole 명	요소 명칭	면적 (평균)	면적 (tin)	면적 (grid)	면적 (평균-tin)	면적 (평균-grid)
S1		29787.22	29838.54	29895.86	51.32	108.64
S2		20532.25	20571.61	20602.75	39.36	70.50
S3		8882.19	8905.81	8914.83	23.62	32.64
S4		26351.51	26396.97	26427.67	45.46	76.16
S5		33828.51	33869.49	33893.94	40.98	65.43
S6		10205.10	10235.49	10257.85	30.39	52.75
S7		24302.79	24340.99	24365.51	38.20	62.71
S8		22840.51	22874.37	22909.21	33.86	68.70
S9		41048.56	41102.53	41157.27	53.97	108.71
평균					39.68	71.80

TABLE 13. Comparison of ground surface area between grid and triangulated irregular network standardizing area calculated by the plate survey

Hole 명	요소 명칭	면적 (평균)	면적 (tin)	면적 (grid)	면적 (tin-평균)	면적 (grid-평균)
S1		29814.28	31933.54	32064.42	2119.26	2250.14
S2		20550.63	21288.82	21385.46	738.19	834.83
S3		8889.57	9072.18	9118.06	182.61	228.49
S4		26376.06	26886.98	27004.92	510.92	628.86
S5		33860.61	34285.00	34423.49	424.39	562.87
S6		10213.39	10432.52	10484.88	219.13	271.49
S7		24325.32	24713.04	24822.14	387.73	496.82
S8		22861.39	23462.36	23567.45	600.97	706.06
S9		41087.06	42106.57	42275.89	1019.51	1188.83
평균					689.19	798.49

모델구축에 따른 지표면적 산출방법과의 효율성을 지표면적 결과의 정확성과 현장활용성의 관점에서 비교 검토하였다. 그리고 3차원 지형 모델구축의 두 가지 방법사이의 효율성을 정확도측면에서 비교 분석하였다. 표 12는 재래적인 측량방법과 현대측량방법에 의한 지표면적 산출정확도를 평판측량에 의해 산출된 지표면적을 기준으로 하여 현대측량의 격자방식과 불규칙삼각형방식에 의한 2차원 면적 산출의 교차를 나타낸 표이다.

표 13은 재래적인 측량방법과 현대측량방법에 의한 지표면적 산출정확도를 평판측량에 의해 산출된 지표면적을 기준으로 하여 현대측량의 격자방식과 불규칙삼각형방식에 의한 지표면적 산출의 교차를 나타낸 표이다.

본 연구에서 재래적인 측량결과를 참값으로 인정하여 각각의 측량방법들의 오차를 비교 수행한 이유는 현대측량에 의한 3차원 지형 모델 구축 및 지표면적 산출은 컴퓨터를 이용하여 수행한 결과이기 때문에 현장에서 직접 측량을 수행하여 구적기를 이용하여 사람이 직접 면적을 산출한 결과가 처리과정이나 결과가 가시적으로 증명되기 때문이다. 따라서, 평판을 이용한 재래적인 측량방법이 가장 정확한 측량방법이라는 것은 아니다. 오히려, 평판측량의 재래적인 측량은 경계선의 불명확성과 지표면적 산출의 경사보정계수의 도입으로 인한 오차 때문에 현대측량에 의한 방법에 비해 정확도가 떨어진다고 할 수 있다.

또한, 본 연구에서는 격자형방식의 정확도를 향상시킬 수 있는 격자망의 간격에 따른 면적지표면적산출에 대한 교차비교는 수행하지 않았다. 그 이유는 현장에서 격자망제작을 통한 시간소모와 보다 경사가 변하는 변곡점의 정밀 3차원 측량을 실시해 주어야 하는 면에서 보다 효율적인 측량을 수행하기 위해 격자망의 간격에 따른 정확도 비교의 필요성을 느끼지 못했기 때문이다. 그림 5는 연구대상 지역을 포함한 골프장 전체에 대한 광과거리

측량을 통해서 얻어진 측량현황도면이며, 그림 6은 얻어진 수치지도를 가지고 LDDT 2i 프로 그래를 이용해서 3차원 지형모델을 구축한 그림이다.

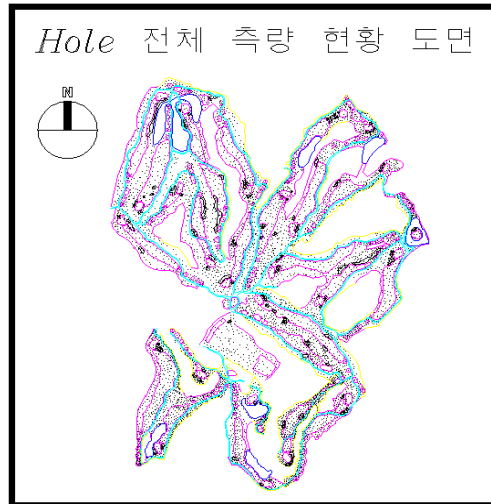


FIGURE 5. The situation drawing of the golf course by the electric distance measurement

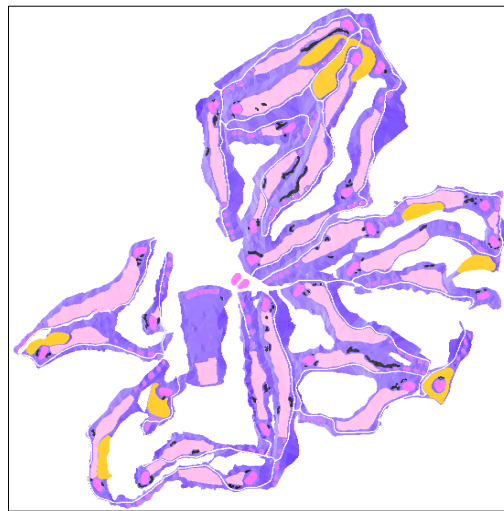


FIGURE 6. Three dimensional terrain model of the golf course

결 론

첫째, 평판측량에 의한 면적과 비교한 결과 불규칙삼각형방식은 2차원 면적교차는 0.0182%, 지표면적교차는 0.3162%가 생겼으며, 격자형방식은 2차원면적교차 0.0330%, 지표면적교차 0.3663%가 생겼으므로 격자형방식에 비해 불규칙삼각형방식에 의한 방법이 교차가 적게 발생함을 알 수 있었다.

둘째, 격자형방식과 불규칙삼각형방식의 효율성을 측량수행시간과 활용성, 그리고 정확도 면으로 검토한 결과 측량수행 시간면에서는 격자망제작의 소요시간이 많이 들어 불규칙삼각형방식의 측량이 격자형방식의 측량에 비해 약 1/3시간을 단축시킬 수 있었고, 활용성 및 정확도면에 있어서도 지형의 변화를 표현할 수 있는 능력면에서 변곡점을 직접 측량할 수 있는 불규칙삼각형방식이 보다 정확한 물량산출법임을 알 수 있었다.

셋째, 본 연구를 통하여 제시한 불규칙삼각형방식의 3차원 지형모델구축방법은 정확한 물량산출과 더불어 현장에 보다 현실감을 줄 수 있는 3차원 지형의 시각화가 가능하기 때문에 건설현장에 3차원 지형모델 구축 알고리즘을 활용한다면 현장시공 및 감리면에서 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

문일석, 전재홍, 조규전. 1995. DTM에서 토공량의 산정방식에 따른 토공량의 정확도 비교. 한국측지학회지 13(2):277-283.

박운용, 차성렬, 신상철. 1994. 지형공간정보체계를 이용한 도시지역의 정지표고 산정에 관한 연구. 한국측지학회지 12(1):119-129.

신봉호. 1986. 수치지형모형에 있어서 보간법을 이용한 최적토공량 산정에 관한 연구. 한양대학교 대학원 박사학위논문.

오창수. 1987. 수치지형 모델에 의한 토공량계

산 정확도의 예측모델에 관한 연구. 한국측지학회지 5(1):49-58.

유복모. 1995. 측량학원론(II), 박영사. 서울.

이영진. 1982. 수치지형모델 이론 및 응용에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문.

이용희, 문두열. 2001. 매립토공량 계산식에 관한 연구. 한국항만학회지 15(1):87-97.

이재기, 조재호, 이현직, 이인성. 1993. 수치표고모형을 이용한 난지도 쓰레기 매립장의 이용계획에 관한 연구. 한국측지학회지 11(1):19-27.

조영호. 1989. 수치지형 모델을 이용한 도로의 토공량산정에 관한 연구. 한국측지학회지 7(2):7-19.

최병길. 1986. 수치지형의 보간방법에 관한 연구. 한양대학교 대학원 석사학위 논문.

최철웅. 1999. 지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구. 부산대학교 대학원 박사학위 논문. 34-35.

George, B. and P.E. Korte. 1997. The GIS Book. Fourth Edition Updted and Expanded, On Word Press. pp.129-134.

Miller, C.L. and R.A. Laflame. 1958. The Digital Terrain Model Theory and Application. Photogrammetric Engineering.

Wong, K. W. 1983. Accuracy of Earthwork Calculation from Digital Elevation Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48(1):103-109. **KAGIS**