

# 사진측량을 이용한 토공량 결정에 관한 연구

## A Study on the Earthwork Calculation Using Photogrammetry

柳 福 模\* 尹 龍 澤\*\*  
Yeu Bock-Mo Yoon Yong-Teak  
李 顯 職\*\*\*  
Lee Hyun-Jik

### 요 지

본 연구는 토목공사의 중요한 부분을 차지하는 토공 작업의 토공량 결정 방법에 대한 효율성을 분석하기 위해 자료 획득 방법에 따른 토공량 정확도 분석과 수치지형모델의 보간법 적용에 따른 정확도 분석을 통해 사진 측량에 의한 토공량 결정의 타당성을 입증하고 효율성을 증대시키는 데 목적이 있다.

본 연구의 결과 분석을 통해 단면법을 이용하는 자료 획득 방법에서는 심프슨 제 2 공식과 각주 공식을 이용하는 것이 정확도가 좋았으며, 수치지형모델에서는 지형에 맞는 두 가지 이상의 보간법을 적용하므로써 토공량의 정확도가 향상됨을 알 수 있었다. 따라서, 항공사진을 이용하는 수치지형모델에 의한 방법이 효율적임이 입증되었다.

### ABSTRACT

The purpose of this thesis lies in proving the practicality of photogrammetry and in promoting photogrammetry in earthwork which plays a major role in civil engineering projects. Analysis of accuracy in the determination of amount of earthwork was done by applying interpolation methods in digital terrain model.

As a result of analysis of the data acquisition method, in cross-section method produced acceptable accuracy from Simpson's three-eighths rule and prismatic rule.

In results DTM, we have obtained the fact that earthwork calculation accuracy was increased by applying two or more interpolation methods. Therefore, the method by digital terrain model using aerial photograph has proved to be more efficient.

### 1. 서 론

토목공사에서 토공량의 계산은 공정의 합리적인 진행과 공비산정의 중요한 요소가 되므로, 효율적인 토공량 결정 방법에 대한 문제가 중요한 연구 과제가 되고 있다.

일반적으로 토공량을 결정하기 위한 방법에는 일반측량을 이용하는 방법과 사진측량을 이용하

는 방법으로 대별되며, 다시 사진측량에 의한 방법은 사진측량으로 제작한 지형도를 이용하는 방법과 수치지형모델을 이용하는 방법으로 분류된다. 그러나, 각 방법의 토공량 결정은 일반측량의 경우, 단면적의 결정 방법과 단면간격 등과 같이 지형의 형상에 의해 영향을 받으며, 지형도를 이용하는 경우는 자료 획득에 이용되는 지형도의 축척이나 기준면의 설정에 의해 정확도가 일정하지 않고 수치지형모델은 이용되는 자료추출법과 보간법에 의해 정확도의 변화를 보이고 있다.<sup>1),2)</sup>

따라서, 본 연구에서는 계획 대상지를 설정하

\* 연세대학교 토목공학과 교수  
\*\* 금강종합건설(주) 전무이사  
\*\*\* 연세대학교 대학원 박사과정

여 두 가지 자료 획득 방법으로 토공량을 결정하고, 토공량의 정확도 및 특성을 분석함으로써, 가장 효율적인 토공량 결정 방법을 제시하고 또한, 수치지형모델에 의한 토공량 결정에서 자료점의 보간에 이용되는 보간법 및 탐색 방법을 적용, 최적의 보간법과 탐색 방법을 결정하여 토공량 결정의 정확도를 향상시키므로써, 사진 측량에 의한 토공량 결정의 타당성을 입증하고 효율성을 증대시키는데 목적이 있다.

본 연구에서는 사진 측량을 이용한 토공량 결정에 대해 연구하기 위해 계획 대상지(300 m×500 m)를 선정하여 자료 획득 방법에 따른 토공량의 특성과 각 방법의 효율성 증대 방안에 대하여 연구하였다.

토공량의 최확값은 계획대상지를 촬영한 항공사진으로 해석적 도화기를 이용하여 5 m×5 m의 정규격자에 대한 표고자료를 획득하고, 계획면을 결정하여 수치지형모델을 통해 결정하였다.

본 연구의 연구 방법은 첫째, 자료 획득에 따른 토공량의 특성 분석을 위해 중횡단측량을 통해 중심선에 대해 일정한 간격(20 m)으로 표고자료를 획득한 일반 측량방법과 기본 실계를 위해 촬영한 항공사진을 이용하여 만든 지형도(1/3000 축척)상에서 단면의 자료를 획득한 지형도를 이용하는 방법 및 촬영한 사진에 의해 20 m×20 m의 정규격자형 수치표고모델을 이용하는 방법에 대해 토공량을 결정하여 각 자료 획득 방법의 특성을 분석하고, 둘째, 이용된 자료획득 방법의 토공량 산정 효율성을 증대시키기 위해 단면법을 이용하는 일반 측량 방법과 지형도 이용방법에서는 단면적을 결정하는 여러 방법(구적기, 심프슨 1/3, 심프슨 3/8, 좌표법)의 토공량 정확도를 분석하여 최적 단면적 결정 방법을 규명하고, 또한 양단면 평균법과 각주공식에 의해 자료 획득 방법 1, 2와 같은 단면법에 의한 토공량 결정 방법에 적용하여, 최적의 토공량 결정 방법을 구하였다.

각 방법의 정확도 분석은 최적토공량에 대한 상대정밀도 분석과 토공량의 편차를 2차원등고선도 및 3차원 투시도를 통한 지형도 분석을 병행하였으며, 두가지 연구 과정을 통해 사진측량

을 이용한 토공량 산정의 효율성을 제시하고자 한다.

## 2. 토공량 결정을 위한 면·체적 산정

토공량 결정 방법에는 단면법과 점고법 및 등고선법이 이용되며, 도로, 철도 등 선형물이나 토목 공사의 토공작업에서 성토나 절토량 계산에는 단면법이 이용되고, 등고선법과 점고법은 저수지 담수량이나 정지작업에 주로 이용된다.<sup>3)</sup>

일반적인 토목공사에서의 토공작업은 계획 대상지를 중심선에 대해 일정한 간격으로 나누어 단면적 결정을 통해 토공량을 결정하는 단면법이 자료획득 방법과 무관하게 가장 일반적으로 이용되고 있으므로 토공량의 정확도를 향상시키기 위해서는 실제 지형과 유사한 단면의 경계면을 설정하여 최적의 결정 방법으로 단면적을 결정하여야 한다.<sup>4)</sup>

### (1) 단면적 산정

단면적 관측 방법은 중횡단 측량을 통해 횡단면과 종단면의 형상을 결정하는 직접 관측법과 도면에서 변길이나 좌표를 구하거나 구적기를 사용하여 단면적을 결정하는 간접 관측법이 이용되며, 간접 관측법이 도지의 신축, 도상거리 관측오차 등에 인하여 직접 관측법보다 정확도가 저하된다. 또한, 면적 결정법은 크게 수치 계산법과 도해법으로 대별되며, 수치계산법은 삼각형법이나 지거법(사다리꼴 공식, 심프슨 공식 등) 및 다각형법(배회거법, 좌표법) 등을 이용하여 경계면 내의 면적을 여러개의 단순한 도형으로 나누어 계산하고, 도해법은 복잡한 경계선 내의 면적을 방안이나 구적기 및 광학적 조사법을 사용하여 결정한다. 종래의 측량 방법에서는 주로 단면적을 결정하기 위해 지거법이나 구적기에 의한 도해법이 이용되었으며, 수치지형모델에서는 좌표법이나 최적 직선에 의한 단면적 결정 방법이 이용되고 있다.<sup>5),6)</sup>

### (2) 토공량 산정

일반적으로 토공량 결정에 영향을 미치는 요

소는 자료점의 표고정확도와 자료의 밀도 및 자료점의 분포에 영향을 받으며, 토공량을 구하고자 하는 지역을 종횡단면으로 분류하여 면적을 결정하는 경우에는 단면법에 의한 토공량 결정 방법이 주로 이용된다.

단면법에 의한 토공량 결정 방법에는 양단면 평균법(end areas formula)과 중앙 단면법 및 각주 공식이 있으나, 한 단면에 성토 및 절토 구간이 존재하는 토목 구조물의 경우에는 일정한 간격의 단면적을 구하고 단면 사이의 간격을 곱하여 성토 및 절토량을 결정하는 양단면 평균법이 일반 측량 방법과 지형도를 이용하는 방법에 가장 일반적으로 이용되는 토공량 결정 방법이다.

수치지형모델에 의한 토공량 결정은 단면법에 의한 토공량 결정 방법에 비해 표고자료의 획득에 있어 자료점의 밀도가 크고 불규칙하므로 격자점 사이에 기록이 심한 지형이 포함되어 토공량 결정의 정확도가 저하될 요인이 있으며 또한, 보간법을 통해 자료점의 밀도를 조밀하게 하기 위한 보간과정에서 많은 노력이 필요한 문제점이 있으나, 최근 컴퓨터 처리시간과 용량이 급속도로 발전되고, 수치지형모델을 경사분석 및 최적노선계획 등 다른 목적으로 사용할 수 있는 장점에 의해 현재에는 수치지형모델 방법의 이용 빈도가 커지고 있다.<sup>7)</sup>

수치지형모델의 토공량 산정을 위해서는 일정한 간격으로 측정점을 설정, 지반고를 획득한 계획도가 포함된 file 이 필요하며 대상지역을 각 측정점을 정점으로 하는 격자형으로 분할하여 분할된 격자의 면적과 두 file 의 높이차를 이용하여 토공량을 산정한다.<sup>8),9)</sup>

### 3. 관측 대상지 및 토공량 분석

#### (1) 관측 대상지 선정

본 연구의 관측 대상지는 경기도 여주군에 현재 시공중인 골프장의 동남 방향에 위치한 한 경기구역(hole)을 선정하였다. 관측 대상지의 지형은 총 거리가 약 390 m로 60 m까지는 경기선(play line)의 폭이 40 m 정도로 좁고 나머지

부분은 폭이 100 m로 되어있는 굽은 경기경로(dogleg course)로 되어 있다.

또한, 관측 대상지의 표고 분포는 77m~91m 까지 이르는 경사도 3.7% 정도의 비교적 완만한 지형으로 <그림 1>은 관측 대상지에 대해 5 m × 5 m의 수치지형모델로 그린 3차원 투시도와 등고선도이다.

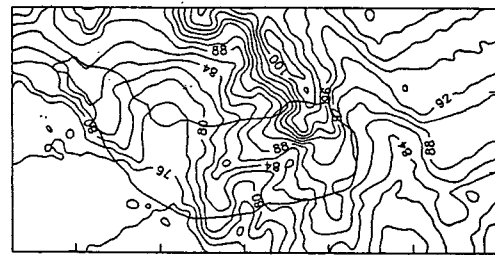
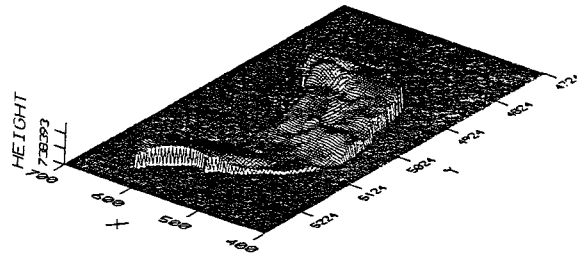


그림 1. 관측 대상지의 3차원 투시도 및 등고선도

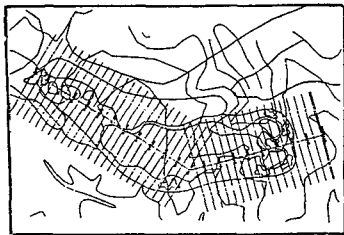
관측 대상지는 토공 작업이 시작되기 전에 별개제군이 안된 상태에서 기본계획 및 환경영향평가에서 필요한 대축척지형도(1/3000, 1/1200)를 제작하기 위해 사진측량 1/10000로 항공사진 촬영을 실시하고 관측 대상지의 지상 기준점 측량 성과를 이용하여 블록 조정을 통해 해석도화기상에서 1/3000 및 1/1200 지형도를 제작하였으며 공비 산정에 이용되는 토공량을 결정하기 위해 종횡단측량을 실시하였다.

#### (2) 토공량 결정을 위한 자료 획득 방법

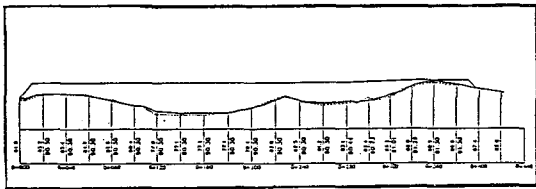
본 연구의 목적인 토공량 결정을 위해 이용한 자료 획득 방법에는 첫째, 기본 계획에서 설정된 중심선에 대해 변화가 심한 지형(0+10, 3+90)에서는 10 m 간격으로 나머지 구역에서는 20 m 간격으로 종횡단측량을 통해 각 자료점의 표고를 획득한 일반 측량에 의한 방법(방법 1)과

둘째, 항측 지형도(축척 1/3000)상에서 일반 측량에 의한 방법과 동일한 단면에 대해 등고선을 이용하여 표고 자료를 획득한 지형도를 이용하는 방법(방법 2) 및 세째, 촬영된 입체항공사진을 이용하여 해석도화기상에서 동일간격(20m×20m)의 격자점에 대해 3차원좌표를 획득한 수치지형모델에 의한 방법(방법 3)이 있다.

방법 1, 2는 단면법을 이용하여 토공량을 결정하기 위한 자료 획득방법으로 단면의 간격과 횡단면상에서의 지거 간격은 동일하나 획득된 표고는 항측 사진을 촬영한 시기가 별목 전이기 때문에 아주 미소한 차이를 보인다. <그림 2(a), (b)>는 방법 1, 2에서 설정된 단면형상 및 종단면도이다.



(a) 자료 획득 방법 1, 2에서 설정된 단면 형상



(b) 자료 획득 방법 1, 2의 종단면도

그림 2. 자료 획득 방법 1, 2의 단면 설정과 종단면도

### (3) 토공량의 최확값 결정

일반적으로 토목공사의 토공작업에는 흙을 굴삭하거나 파내는 절토와 설계된 토공정규로 흙을 쌓거나 매립하는 성토가 병행되며 성토와 절토가 균형을 이루는 토공작업이 가장 이상적인 토공 작업이므로 토공량 계산 후, 성·절토의 균형이 이루어지지 않거나 성·절토량의 결정이 부정확하면 토취장이나 토사장 운용 및 운반비용 등 공사비에 미치는 영향이 크다.

따라서, 성·절토량과 총토공량의 최확값 결정은 매우 중요하며 토공작업에 들어가기 전에

결정되어야 한다. 성토구간과 절토구간이 포함되어 있는 본 관측대상지에서는 kriging 보간법과 octant 탐색기법으로 보간하고, 다시 spline 보간법으로 재보간한 모델을 구축하여 수치 지형모델에 의한 토공량 결정 방법으로 성·절토량 및 총토공량의 최확값을 정하여 <표 1>과 같이 결정하였다.

표 1. 성·절토량 및 총토공량의 최확값

(단위: m<sup>3</sup>)

성 토 량	절 토 량	총 토 공 량
221920.95	12203.30	-209717.65

<표 1>에서 볼 수 있는 것처럼 본 관측대상지는 기록이 완전한 지형으로 거의 대부분의 구간에 성토작업이 필요한 상태로 계획되어 있으므로, 성토량이 대부분이며 총성토량의 94.5%를 관측대상지 이외의 토취장에서 보충하여야 하는 것으로 나타났다.

### (4) 자료획득 방법에 따른 토공량의 정확도 분석

자료획득 방법에 따른 토공량의 정확도 분석은 세가지 자료획득 방법의 특성 및 정확도를 비교 분석하기 위한 것으로 단면법을 이용하여 토공량을 결정하는 자료 획득 방법 1, 2(case 1, case 2)에서는 면적 결정 방법으로 중횡단측량이나 지형도상에서 얻어진 횡단면의 단면적을 도해적인 방법인 구적기를 통해 3회 반복 관측하여 구적기 상수와 관측 조건 및 도면 축척을 이용하여 결정한 것이며, 토공량 결정 방법으로는 양단면 평균법을 이용하였다. 이 면적 결정법과 토공량 결정법은 계산 방법이 간단하고 쉬우므로 단면의 형상과 자료점의 간격에 관계없이 일반적인 토공작업의 토공량 결정에 가장 많이 이용되고 있는 방법이다. case 3인 수치지형모델방법은 단면법과 동일한 자료점 간격인 20m×20m의 정규격자형 격자점을 kriging 보간법과 octant 탐색 방법으로 보간한 후 spline 보간법으로 재보간하여 수치지형모델을 형성한 것으로 최확토공량결정에서와 동일한 계획지형모델을 이용하여 성·절토량 및 총토공량을 결

표 2. 자료획득 방법에 따른 토공량의 정확도

Case	자료획득방법	결정토공량(m <sup>3</sup> )			최확값과의 편차(m <sup>3</sup> )			상대오차(%)		
		성토	절토	총토량	성토	절토	총토량	성토	절토	총토량
1	일반 측량(구적기, 양단면 평균법)	222003.75	10905.40	-211098.35	-82.80	1297.90	-1380.70	0.04	10.64	0.66
2	지형도(구적기, 양단면 평균법)	218082.00	12292.48	-205789.52	3640.95	-89.18	3928.13	1.64	0.73	1.87
3	D T M	221764.58	12359.64	-209404.94	156.37	-156.34	312.71	0.07	1.28	0.15

정한 것이다.

이와같은 자료획득 방법에 따른 성·절토량 및 총토공량의 정확도는 <표 2> 및 <그림 3> 같다.

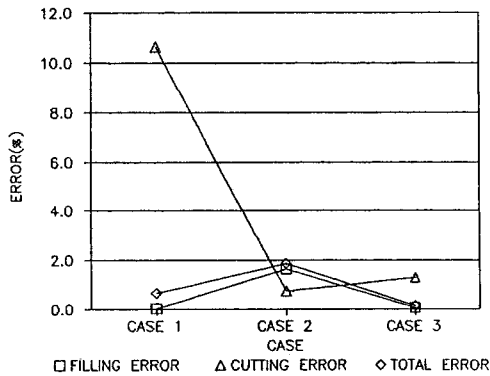
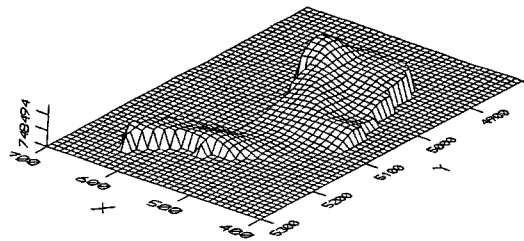


그림 3. 자료획득 방법에 따른 토공량의 상대오차

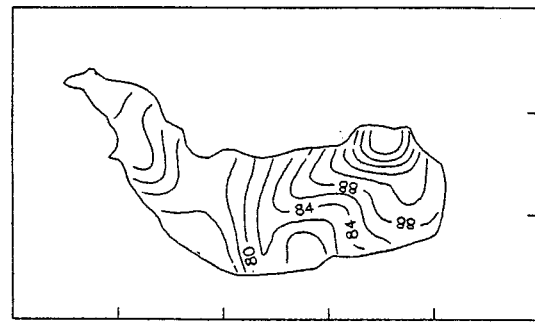
<표 2>와 <그림 3>에서 볼 수 있는 것처럼 토공량 정확도는 지형도-일반 측량-DTM의 순으로 좋았으며 일반 측량 방법에서는 절토량의 상대오차가 성토량의 상대오차보다 상당히 큰 반면에 지형도에 의한 방법에서는 역으로 나타났으나, 성토량의 정확도가 현저하게 낮은 관계로 총토공량의 정확도가 가장 나쁘게 나타났다. 지형도에 의한 방법은 지형도의 축척 및 등고선 간격과 수목에 의한 기준면의 설정에 영향을 많이 받으므로 거의 모든 구역에서 성토 구간이 포함된 본 계획 대상지상에서는 표고가 낮은 구간인 (0+90~0+170)구간에서 성토량 오차가 크게 나타난다.

따라서, 지형도에서 단면의 표고 정보를 획득하는 경우에는 등고선의 간격이 조밀한 대축척 지형도상에서 단면을 획득하고 현지조사를 통해 기준면을 정확히 설정하는 것이 토공량 결정의 정확도 향상에 기여할 것으로 생각된다. 또한,

일반 측량 방법에서는 <그림 4>에서 볼 수 있는 것처럼 표고가 비교적 높은 지역에서 <그림 2>에 비해 오차가 많이 발생하므로 절토의 정확도가 저하되며 일반 측량에서도 지형 변화가 있거나 단면이 불규칙한 구간은 단면의 간격을 좁혀 측량을 실시하고 구적기의 사용에도 세밀한 주의가 필요함을 알 수 있었다.



(a) 20×20 m 격자 간격으로 구축한 3차원 투시도



SCALE 1:100  
(b) 20×20 m 격자 간격으로 구축한 등고선도

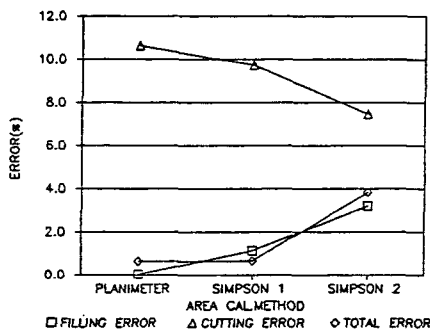
그림 4. 20×20 m 격자 간격으로 구축한 3차원 투시도 및 등고선도

(5) 면적 및 체적결정방법에 따른 토공량 정확도 분석

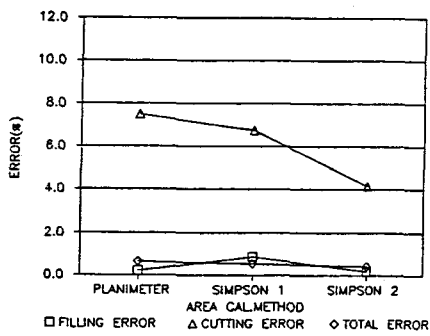
면적 및 체적 결정 방법에 따른 정확도 변화를 분석하기 위해 단면법을 이용하는 일반 측량

표 3. 면·체적 결정방법에 따른 토공량 정확도

자료 분류 방법	면적 결정 방법	체적 산정 방법	계산된 토공량(m <sup>3</sup> )			최확토공량과 차이(m <sup>3</sup> )			상대오차(%)		
			성 토	절 토	토 량	성 토	절 토	토 량	성토	절토	토 량
일 반 추 량	구 적 기	양 단 면 법	222003.75	10905.40	211098.35	-82.80	1297.90	-1380.70	0.04	10.64	0.66
		각 주 공 식	222376.95	11290.53	211086.42	-456.00	912.77	-1368.77	0.21	7.48	0.65
	심 프 슨 제 1 공 식	양 단 면 법	219336.40	11016.00	208320.40	2584.55	1187.30	1397.25	1.16	9.73	0.67
		각 주 공 식	219981.77	11378.70	208603.07	1939.18	824.60	1114.58	0.87	6.76	0.53
심 프 슨 제 2 공 식	양 단 면 법	229062.95	11292.20	217770.75	-7142.00	911.10	-8053.10	3.20	7.47	3.84	
	각 주 공 식	222325.27	11695.20	210630.07	-404.32	508.10	-912.42	0.18	4.16	0.44	
지 형 도	구 적 기	양 단 면 법	218082.00	12292.48	205789.52	3640.95	-89.18	3928.13	1.64	0.73	1.87
		각 주 공 식	216232.53	11373.20	204859.33	5688.42	830.10	4858.32	2.56	6.80	2.32



(a) 양단면 평균법



(b) 각주 공식

그림 5. 면적 및 체적 결정 방법에 따른 정확도

방법에 대해 면적 결정법으로는 도해법인 구적기를 이용하는 방법과 수치계산법인 심프슨 제 1 법칙 및 제 2 법칙을 이용하였으며, 토공량 결정법으로는 양단면 평균법과 각주 공식에 대해 토량 계산서를 통해 성·절토량 및 총토공량을 결정하였다. 결정된 토공량은 최확토공량과의 편

차 및 상대오차를 구하여 <표 3> 및 <그림 5>을 작성하였다.

<표 3>과 <그림 5>의 (a), (b)에서 볼 수 있는 것처럼 면적 결정법에서는 토공량 결정법과 무관하게 심프슨 제 2 법칙이 가장 양호한 결과를 나타내었으며 세가지 면적 결정법 모두에서 절토구간의 오차가 정확도에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

또한, 토공량 결정법에서는 면적 결정법과 관계없이 각주 공식이 양단면 평균법보다 정확도가 좋았으며, 일반적인 경우와 마찬가지로 양단면 평균법이 각주 공식보다 토공량이 더 컸다. 특히, 면적 결정법을 수치 계산법인 심프슨 제 1 공식과 심프슨 제 2 공식을 이용한 경우는 구적기 방법과 각주 공식에 비해 성토량의 정확도가 현저하게 저하되므로 토공량 결정법으로 성토구간이 대부분인 토공 작업에서는 양단면 평균법을 이용하는 것이 토공량 결정의 정확도를 저하시킴을 알 수 있었다.

따라서, 단면법에 의해 토공량을 결정한 경우, 면적 결정법으로 횡단면의 간격을 조밀하게 나누어 심프슨 제 2 공식을 이용하고 양단면 평균법보다는 각주 공식에 의해 토공량을 결정하는 것이 더 양호하다는 것을 알았다.

(6) 수치지형모델에서 보간법 적용에 따른 토공량 정확도 분석

표 4. 보간법 및 탐색 방법에 따른 토공량 정확도

Case	보 간 법	탐 색 방법	총토공량 차이 (m <sup>3</sup> )	정 밀 도	상대오차 (%)	비 고
case 1	in. D(1)	N	8790.44	23.86	4.19	최확총토공량 209717.65(m <sup>3</sup> )
case 2		Q				
case 3		O	4917.20	42.65	2.34	
case 4	in. D(2)	N	6411.05	32.71	3.06	
case 5		Q	4911.85	42.70	2.34	
case 6		O	2510.64	83.53	1.20	
case 7	in. D(3)	N	3959.55	52.97	1.89	
case 8		Q	2425.05	86.48	1.16	
case 9		O	2054.86	102.06	0.98	
case 10	in. D(4)	N	2200.49	95.30	1.05	
case 11		Q	1636.22	128.17	0.78	
case 12		O	1341.88	156.29	0.64	
case 13	in. D(5)	N	1541.04	136.09	0.73	
case 14		Q	1251.75	167.54	0.60	
case 15		O	1073.04	195.44	0.51	
case 16	Kriging	N	1167.76	179.59	0.56	
case 17		Q	995.59	210.65	0.47	
case 18		O	761.37	275.45	0.36	
case 19	spline	N	959.55	218.56	0.46	
case 20		Q	889.34	235.81	0.42	
case 21	in. D(5)	O	677.42	309.58	0.32	
case 22	spline	N	706.82	296.71	0.34	
case 23		Q	556.18	377.07	0.27	
case 24	K,O	O	312.71	670.65	0.15	

수치지형모델에서 보간법 적용에 따른 토공량 정확도를 분석하기 위해 단면법과 동일한 20×20 m의 격자점 간격으로 해석도화기상에서 획득한 표고자료에 대해 거리경중률 함수법과 kriging 보간법 및 spline 보간법을 적용하였으며 또한, 인접지형의 지형 자료를 이용하는 보간점 탐색방법으로는 보간점에 가장 가까운 n개의 점을 이용하는 normal 방법과 보간점의 주위를 4개의 구역으로 나누어 보간점에 가장 가까운 n개 점을 택하는 quadrant 방법 및 보간점 주위를 8개 구역으로 나누는 octant 방법을 이용하였다. 본 연구의 모든 탐색 방법에서 보간점을 결정하는 자료점은 n=10을 사용하였다. 분석 case는 거리경중률 함수법에서 경중률을

1에서 5까지 변화하여 각 탐색 방법을 적용한 경우 (case 1~15)와 kriging 보간법으로 각 탐색 방법을 적용한 경우 (case 16~case 18) 및 경중률이 5인 거리 경중률 함수법에 Octant 탐색 방법을 적용한 case 18에 대해 Spline 보간법으로 재보간한 경우 (case 19~case 24)로 총 24 case를 설정하였다. 각 case에 대한 총토공량의 편차와 상대오차 및 정밀도는 <표 4> 및 <그림 6>과 같다.

<표 4> 및 <그림 6>에서 나타난 바와 같이 보간법 및 탐색 방법에 따른 총토공량의 상대 오차를 분석한 결과, kriging 및 거리 경중률 함수법에 spline 보간법을 이용한 3군이 1, 2군에 비해 오차가 0.5% 미만으로 가장 좋았으며, 거

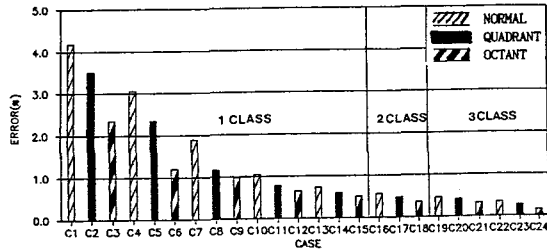


그림 6. 보간법 및 탐색 방법에 따른 토공량의 상대오차

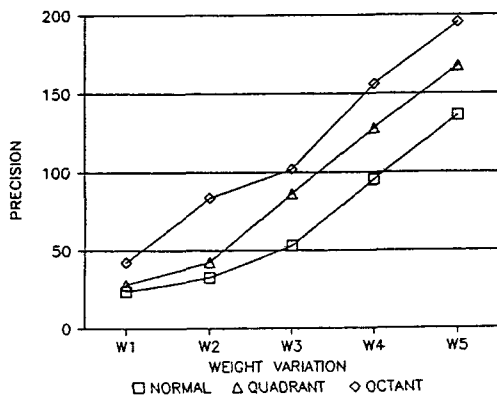


그림 7. 거리 경중률 향상에 따른 토공량 정밀도

리 경중률 함수 방법(1군)에서는 <그림 7>에서 볼 수 있는 것처럼 경중률이 커짐에 따라 토공량의 상대 오차가 감소되어 경중률을 3 이상 주는 것이 모든 탐색 방법에서 토공량 결정 정확도가 급격히 향상되었다.

또한, 탐색 방법에 따른 정확도는 모든 case에서 octant-quadrant-normal 순으로 정확도가 양호한 것으로 나타났으며 보간에 이용되는 컴퓨터의 CPU 시간이 octant 방법에 비해 적게 소요

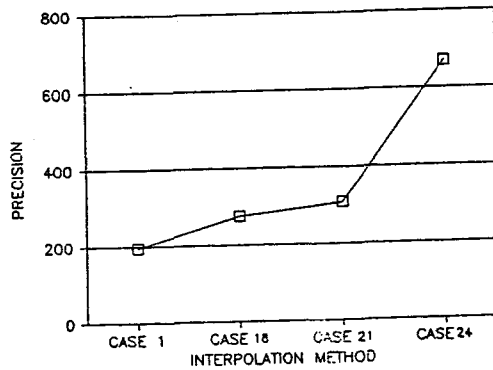


그림 8. 보간법에 따른 토공량 정밀도

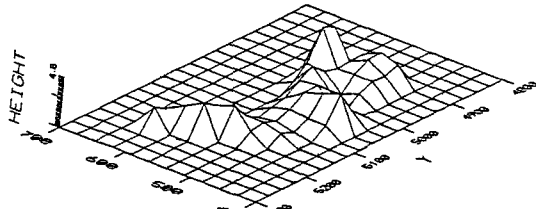
되므로 quadrant 방법의 이용도 많은 장점이 있다고 사료된다. 적용된 보간법에 따른 정확도를 분석하기 위해 각 군 중 가장 정확도가 좋은 case 15, case 18, case 21, case 24에 대해 토공량 결정의 정밀도를 분석하여 <그림 8>를 얻었다.

<그림 8>에서 볼 수 있는 것처럼 모든 경우에서 정밀도가 1/200 이상을 나타냈으며, 경중률을 5로 한 거리 경중률 함수법에 spline 보간법으로 재보간한 case 21과 kriging 보간법을 적용한 case 18의 정밀도가 유사한 경향을 나타내었고, kriging 보간법과 spline 보간법을 적용한 case 24는 1/600 이상의 정밀도를 나타내었다. 이상과 같이 단면법과 동일한 간격으로 구축한 수치지형모델에 대해 보간법과 탐색방법을 변화시켜 토공량의 정확도를 분석한 결과, 보간법으로는 소요 정확도에 따라 kriging 보간법이나 kriging 및 spline 보간법을 병행하는 것이 양호한 결과를 나타내었으며 탐색 방법으로는 octant 방법이 가장 좋았으나 보간 계산시간 등에 의해 quadrant 방법도 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

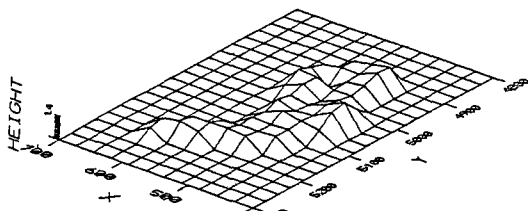
따라서, 기본 계획상에서 촬영된 항공사진을 이용한 수치지형모델에 대해 최적의 보간법과 탐색 방법을 적용하는 것이 다른 자료 획득 방법에 비해 정확도도 양호하며, 토공량 결정 목적으로 일반측량을 실시하는 경비가 절약되므로 사진측량의 응용 부분인 수치지형모델을 이용한 토공량 결정이 가장 효율적인 방법이었다.

<그림 9>는 각 case에서 가장 정확도가 불량한 case 1과 거리경중률 함수 방법에서 가장 정확도가 좋은 case 15 및 spline 보간을 실시한 case 21, 24에 대해서 최적 토공량 결정에 이용된 수치지형모델과의 등고선차를 나타내는 3차원 투시도로 보간법에 따른 실제 지형의 형상 변화가 잘 나타나 있으며 그려진 형상이 토공량의 오차가 된다.

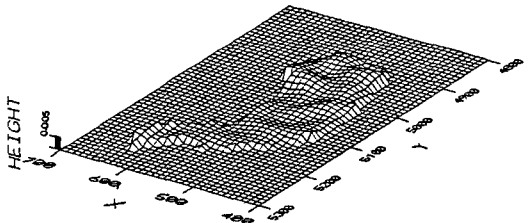




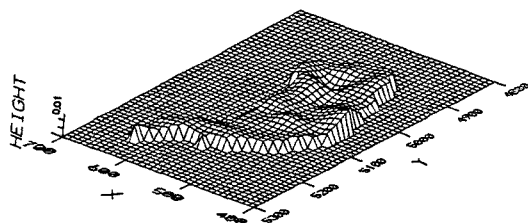
(a) 최확 토공량과 case 1의 토공량 차이



(b) 최확 토공량과 case 15의 토공량 차이



(c) 최확 토공량과 case 21의 토공량 차이



(d) 최확 토공량과 case 24의 토공량 차이

그림 9. 최확 토공량과 각 case의 등고선차에 의한 토공량 차이

## 5. 결 론

본 연구를 통해 자료획득 방법에 따른 토공량 결정 및 수치지형모델에 있어서 보간법과 탐색 방법에 따른 토공량 정확도를 비교 분석한 결과

다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단면법에 의한 토공량의 결정에서는 단면의 간격이 토공량의 정확도에 큰 영향을 미치므로 지형의 형상에 따라 횡단면의 간격을 변화시켜 심프슨 제 2법칙으로 단면적을 결정 한 후, 각주 공식에 의해 토공량을 결정하는 것이 가장 좋은 정확도를 나타낼 수 있었다.
2. 수치지형모델에 의해 보간법과 탐색방법을 변화시켜 토공량의 정확도를 분석한 결과, 탐색방법에 따라 정확도가 변화하였으며 한 가지 보간법을 적용하는 것 보다 격자점의 간격을 조밀하게 하기 위해 두 가지 이상의 보간법을 병행하여 재보간을 실시하는 것이 더욱 토공량 결정의 정확도를 향상시킬 수 있었다.
3. 기본계획 단계에서 촬영된 항공사진을 이용하는 수치지형모델에 의한 토공량 결정방법이 토공량 정확도 뿐만 아니라, 토공량 결정을 목적으로 실시하는 중형단축량의 경비를 절약할 수 있으므로 가장 효율적인 방법이라 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Wong, K. W., 1983, "Accuracy of Earthwork Calculations from Digital Elevation Data", *PE & RS*, pp. 51-52.
2. 유복모, 권현, 김인섭, 1989, "수치지형모델에 있어서 지형분류와 보간에 관한 연구", *한국측지학회지*, 제 7권 2호, pp. 53-61.
3. Youssuf, M. Siyam, 1987, "Precision in Cross-Sectional Area Calculations on Earthwork Determination", *ASCE, Journal of Surveying Engineering*, Vol. 113, No. 3.
4. Ismat, M. El-Hassan, 1987, "Irregular Boundary Area Computation by Simpson's 3/8 Rule", *ASCE, Journal of Surveying Engineering*, Vol. 113, No. 3, pp. 127-132.
5. Easa Said M., 1988, "Estimating Pit Excavation Volume Using Nonlinear Ground Profile", *ASCE, Journal of Surveying Engineering*, Vol. 114, No. 2, pp. 71-83.
6. Miller, C. L. and R. A. Laflame, 1958, "The

- Digital Terrain Model-Theory and Application”,  
P. E.
7. Ayeni, O. O., 1976, “Consideration for Automated Digital Terrain Models with Application in Differential Photo Mapping”, *Ph. D. Dissertation, Ohio State University*.
  8. 유복모, 권현, 1987, “지형 변화의 양적 측정에 의한 수치지형모델의 적용”, 한국측지학회지, 제 5권 1호, pp.43-48.
  9. Delfinder, P. and J.P. Delhomme, 1982, “Optimum Interpolation by Kriging : Display and Analysis of Spatial Data, *NATO Advanced Study Institute*, pp.96-114.