

## 3차원 설계를 통한 도로설계단계의 토공 자동물량 산정 방안에 관한 연구

조명환\* · 김낙석\*\* · 채재현\*\*\*

Cho, Myunhwan\*, Kim, Nakseok\*\*, Chae, Jae-Hyun\*\*\*

### A Study on Automated Quantity Take-off Methods of Earth Works in Road Design using 3D Design Concept

#### ABSTRACT

Recently, the interests in three-dimensional design and BIM(Building Information Modeling) are increasing in civil engineering sector and the researches about three-dimensional design and quantity take-off methods for civil engineering structures have been conducted. However, these studies are just carried out the 3D design and quantity calculation of civil structures on the road or railway such as bridges and tunnels. The study on the quantity take-off methods and the evaluation of calculated results on the earth works should be performed in more detail. Based on these backgrounds in mind, the study was conducted the three-dimensional road design and evaluated the quantity take-off results on the earth works using 3D calculation method(average end area method, prismatic method and composit method). The calculated quantity from composit method showed about 5% error of measuring efficiency than the average end area method, and when reporting the quantity calculation of earth works, it is necessary to specify the calculation method using quantity take-off of earth works.

**Key words :** Road pavement design, 3D design, Earth works, Building information modeling, Quantity take-off

#### 초 록

최근 국내외에서 3차원 설계 및 건설정보모델링(BIM, Building Information Modeling)에 대한 관심이 증가하고 토목 구조물의 3차원 설계와 물량 산출 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 도로나 철도의 교량 및 터널과 같은 구조물 중심의 설계 및 물량 산출에 대한 연구는 많이 진행되고 있지만 토공이 중심인 공정에 대한 물량 산출 방안 및 그 결과에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 원 지표면과 최종 토공면을 불규칙한 경우와 일정한 경사를 가진 경우로 구분하여, 3차원 설계를 진행하였다. 3차원 설계 및 물량 산출 결과 2차원 설계에서 적용되는 양단면 평균법에 대하여 복합토량법이 최대 5%정도 오차가 발생하는 것으로 나타나 3차원 설계에 대한 물량 산출방법 적용시 주의가 필요하며, 산출 결과와 함께 산출 방법도 같이 명기되어야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

**검색어 :** 도로 설계, 3차원 설계, 토공, 건설정보모델링, 물량 산출

## 1. 서론

3차원 설계는 건축분야의 경우 BIM (Building Information Modeling) 또는 건설정보모델이라는 설계기법으로 소개되고, 연구와 실무단계의 적용이 이루어지고 있다. 또한 네델란드, 노르웨이, 미국, 싱가포르와 중국 등 여러 국가에서도 최근 건설 분야 특히 건축 분야에 대하여 BIM을 적용하기 위한 계획을 발표하기도 하였다(Ryu et al., 2015). 이러한 국내의 동향을 바탕으로 건축 분야에서는

\* 종신회원·교신저자·(주)도화엔지니어링 기술개발연구원 책임연구원 (Corresponding Author·Dohwa Engineering Co.,LTD.·dragonjo@dohwa.co.kr)

\*\* 종신회원·경기대학교 토목공학과 교수 (Kyunggi University·nskim1@kyonggi.ac.kr)

\*\*\* (주)한국인프라 차장 (Infra Information Technology Co., LTD.·jhchae@krinfra.co.kr)

Received December 10, 2015/ revised January 26, 2016/ accepted March 16, 2016

실무 단계에 BIM 설계 기법 또는 3차원 설계 기법을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국토교통부와 조달청에서는 발주 지침을 2010년과 2013년에 각각 발표하기도 하였다(Park and Chin, 2015).

국내 토목 분야도 2010년 전후로 3차원 설계에 대한 관심이 증가하고 있으며, 한국건설기술연구원을 중심으로 도로분야 3차원 설계를 위한 IFC (Industry Foundation Classes) 개발이 이루어지고 있다. 또한 한국도로공사 경우에는 Ex-BIM, Hi-BIM 이라는 연구를 통하여 설계 및 시공단계에 3차원 설계를 도입하기 위한 연구를 진행하고 있다. 토목 분야의 3차원 설계의 경우 건축 분야의 3차원 설계와 달리 토공과 구조물로 구분하여 연구가 진행되고 있으며, 구조물의 경우 도로분야의 터널과 교량 및 배수구조물과 상하수도 시설 및 댐 등에 3차원 설계 적용 방법 및 물량 산출 방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

그러나 도로나 철도 분야 설계의 경우 구조물의 콘크리트 물량뿐만 아니라 토공 물량도 상당부분 차지하고 있으며, 설계자들은 2차원 설계와 3차원 설계에 따른 토공 물량 차이에 대한 기준이 없어 3차원 설계 도입을 어려워하는 사유 중 하나로 작용하고 있다. 따라서 3차원 설계 도입에 대한 논의도 중요하지만 설계자들에게 토공 물량 산출 방법과 각각의 산출결과가 가지고 있는 산출 오차에 대한 검증 연구도 필요하다. 본 연구에서는 3차원 도로 설계를 수행하고, 3차원 설계 모델에 대하여 2차원 설계 물량 산출 방법인 양단면 평균법과 각주법을 적용 한 후 동일 설계 조건에 대하여 3차원 설계 물량 산출방법인 복합도량법을 추가로 적용하여 각각의 물량 산출 방법이 토량 산출 결과에 미치는 영향에 대하여 평가하고자 한다. 이때 토공 물량을 산출하기 위한 설계 조건으로 1/1,000 scale의 수치지형도로부터 얻어지는 불규칙한(자연 상태) 경우와 원 지표면의 일정한(평형한 상태) 경우로 구분하고, 최종 토공 표면도 불규칙한 경우와 일정한 경사를 가진 경우로 구분하여 세 가지 토공 물량 산출 방법을 적용하고, 도로의 3차원 설계를 수행할 때 발생 할 수 있는 물량 산출 오차에 대하여 검토하고자 한다.

## 2. 건설 분야의 3차원 설계 동향

### 2.1 건축 분야의 3차원 설계 동향

건축 분야의 경우 3차원 설계에 대하여 건설정보모델(BIM, Building Information Modeling)이라는 설계기법을 적용하여 관련 연구와 실무단계 적용이 이루어지고 있으며, 2000년대 후반부터 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010)와 조달청(Public Procurement Service, 2013)에서는 BIM 지침이 개발되어 발표되었다. 그러나 건축 분야의 지침은 설계

분야의 현실과는 차이가 있어 향후 BIM 발전을 위해서 현재의 시행착오를 바탕으로 현실적인 BIM 지침을 마련할 필요가 있다는 연구도 진행되었다(Park and Chin, 2015). 물량 산출과 관련하여 건축 분야에서는 실무단계에서 BIM 모델로부터 마감 물량에 대한 신뢰도 관련 연구도 진행되었으며, Park et al. (2015)에 의하여 복합벽체 내 구조체, 마감재, 단열재 및 방수재 등의 자동 분할 방법론을 이용한 실시설계단계 수준의 물량 추출에 대한 연구가 진행되었다.

### 2.2 토목 분야의 3차원 설계 동향

토목 분야의 경우 건축 분야의 건설정보모델을 토목 분야로 적용하기 위한 연구가 국내외에서 진행되고 있다. 한국건설기술연구원에서는 건축분야의 건설정보모델 설계 기법과 구분하기 위하여 Infra BIM이라는 용어를 사용하고 있으며, 일본의 경우는 CIM (Civil Information Modeling)이라는 용어를 사용하여 구분하고 있다. 토목 분야의 경우는 건축 분야와 달리 공공공사 발주를 위한 발주 지침을 현재 한국도로공사 등에서 연구/개발을 진행하고 있으며, 도로 공사의 터널과 선형 구조물 및 비정형 토목 구조물 등에 대한 물량 산출 방안과 오차에 대한 분석 연구가 진행되었다.

Shin et al. (2011)은 NATM터널 설계에 BIM 설계 기법을 적용함으로써 총 굴착 물량, 숏크리트 물량, 라이닝 콘크리트 물량 등에 대한 공종별 물량 산출 결과와 산출 오차는 무시할 수 있을 정도로 나왔다고 보고하였다. Ha et al. (2014)은 비정형 구조물에 대한 물량 산출 알고리즘 구축을 위하여 기존의 솔리드 모델 방식과 달리 서피스 모델 기반의 산출기법 연구를 진행하였다. 이 연구를 통해 Ha et al. (2014)은 솔리드 모델 대신 서피스 모델을 적용함으로써 비정형 구조물의 물량 산출을 하기 위하여 추가적인 솔리드 모델 생성 또는 전환 절차를 생략할 수 있어 3차원 설계의 물량 산출 활용도가 높을 것으로 보았다. 또한 Shin et al. (2012)은 NATM 터널과 PSC 거더에 대하여 2D 기반 물량 산출 결과와 BIM 기반 물량 산출 결과에 대한 오차율과 원인에 대하여 분석하였다. 연구 결과 교량의 경우 1% 이내의 오차율을 보여주었으며, 터널의 경우 1% 내외의 오차율을 보여주었다. 그러나 각각의 구조물에서 발생한 오차율은 공사비 측면에서 검토할 때 무시할 수 있는 범위의 오차라고 보고하였다.

### 2.3 도로 설계 단계의 3차원 모델링 방안

본 연구에서는 수치지형도의 X, Y값과 2D 설계에서는 사용하지 않는 높이 Z 값을 사용하여 3차원 지표면을 작성하고, 3차원 원 지표면(original surface)에 대하여 도로 및 철도나 골프장 등 조경 구조물에 대한 토공 물량을 2차원 기반 산출 모델과 3차원 기반 산출 모델로 구분하여 물량을 산출하고, 각각의 산출 방법에서

발생할 수 있는 산출 오차에 대하여 검토하고자 한다. 이때 2차원 기반 물량 산출을 위한 방법은 양단면 평균법(average end area method)과 각주법(prismoidal method)을 적용하고, 3차원 기반 물량 산출 모델은 복합토량법(composit method)을 적용하고자 한다. 양단면 평균법과 각주법은 2차원 설계에서 물량 산출을 위해 적용되어온 방법이며, 일반적으로 설계 및 시공단계에서 양단면 평균법이 활용되고 있다. 복합토량법은 3차원 설계를 통해 3차원 설계 결과로부터 토공 물량을 자동으로 산출 할 수 있도록 해주는 방법이다.

본 연구에서는 각각의 물량 산출 방법에 따라 발생할 수 있는 물량 오차를 검토하기 위하여 Fig. 1과같이 원 지표면과 공사 최종 표면(마무리면)을 불규칙한 표면(rough surface)과 평평한 표면(flat surface)으로 구분하였다. 일반적으로 자연 상태의 지표면은 불규칙한 표면을 가지고 있지만 토공에 대한 물량을 산출하기 위하여 적용하는 세 가지 물량 산출 방법 자체가 가지고 있는 오차에 대하여 검토하기 위하여 Fig. 1(a)와 같이 평평한 지표면(표고 변화가 없는 경우)에 대하여 우선 적용하고 산출 방법이 산출 결과에 미치는 영향에 대하여 검토하고자 한다. 이러한 검토 내용을 바탕으로 Fig. 1(b) 및 Fig. 1(c)와 같이 불규칙한 지표면에 대하여 도로나 철도 또는 기타 토목 구조물을 설계할 때 토공의 물량

산출 방법이 산출 결과에 미치는 영향에 대하여 검토하고자 한다.

그러나 도로 설계를 통하여 산정되는 토공 물량은 본 연구에서 목적하고 있는 토공 물량 산출방법뿐만 아니라 3차원 설계에 사용되는 수치지형도 또는 측량도와 도로의 단면 형상 따라서도 물량 변화가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3차원 원지표면을 작성하기 위한 수치지형도로 1/1,000 scale의 지형도를 사용하고, 도로의 횡단면은 교통량이나 환경 하중 등 설계 조건에 따라 도로 구조의 단면과 차선 수 등이 변화되므로, 본 연구에서는 토공 물량 산출이라는 목적에 맞추어 차로 폭과 수와 같은 단면 조건은 임의로 가정하여 토공의 물량을 산정코자 한다.

### 3. 토공의 물량 산출 방법

#### 3.1 양단면 평균법

양단면 평균법은 2차원 물량 산출 방법으로 한 측점에 있는 재료 유형의 면적과 다음 측점에 있는 재료 유형의 면적의 합을 2로 나눈 다음 횡단간의 거리(L)를 곱하여 토량을 산정하는 방법으로 Eq. (1)을 통해 토공부분의 체적이 산정된다.

$$V = \frac{L}{2} [A_1 + A_2] \tag{1}$$

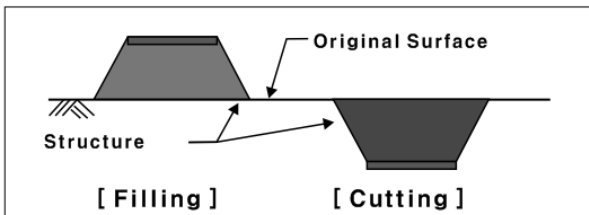
#### 3.2 각주법

각주법은 2차원 물량 산출 방법으로 양단면 평균법과 유사하지만 두 연속 측점의 중간에 있는 횡단면이 추가로 사용되는 방법이며, Civil 3D에서는 Eq. (2)를 통해 토공부분의 체적이 산정된다.

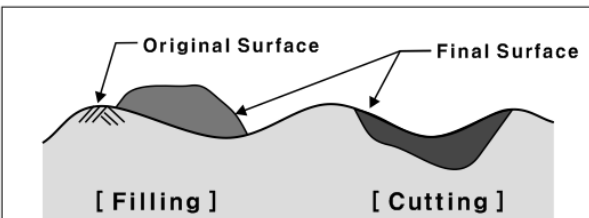
$$V = \frac{L}{3} [A_1 + \sqrt{A_1 A_2} + A_2] \tag{1}$$

#### 3.3 복합토량법

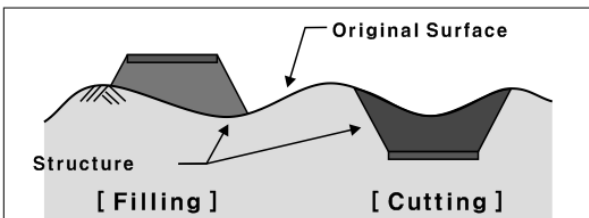
복합토량법은 3차원 물량 산출 방법으로 두 개의 지표면이 있는 경우에 사용되며, 이러한 두 개의 지표면은 높이의 차이를 가지고 생성되게 된다. 두 개의 지표면을 생성 한 후 합성 토량을 계산하기 위해서 단면 검토선 사이에 폴리곤을 작성한 다음 이러한 폴리곤의



(a) Flat Original Surface with Flat Surface Structure



(b) Rough Original and Final Surface Case



(c) Rough Original Surface with Flat Surface Structure

Fig. 1. Classification of 3D Structure Design Model Surface

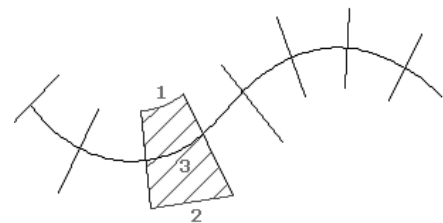


Fig. 2. Composit Volume Method Take-off Concept

Composite Surface is created by combining the TIN edges from the top and bottom surface

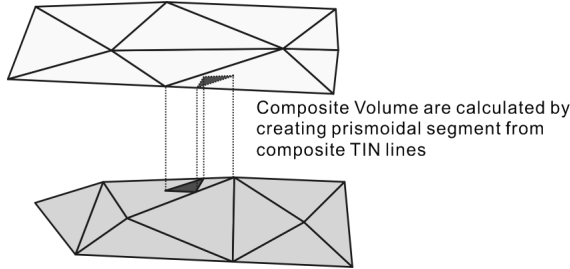


Fig. 3. Composite Surface Create Concept

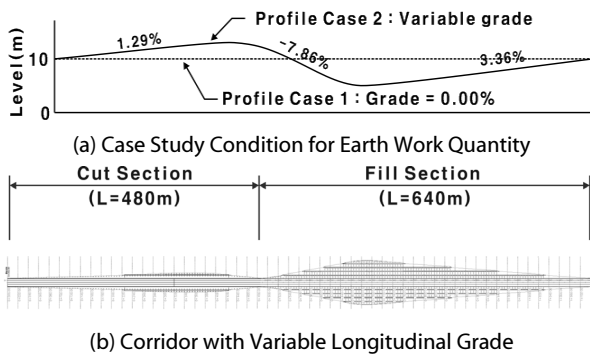


Fig. 4. 3D Road Design Result to Comparison of Earth Work Quantity Take-off

중속 토량을 계산하게 된다. 다각형은 Fig. 2와 같이 두 연속 측점 사이에 단면 검토선의 간격띄우기를 결합하여 작성된다.

복합토량법은 두 지표면의 점을 기준으로 새 지표면에 대해 삼각망 작업을 수행하게 된다. 이 방법은 두 지표면의 점과 함께 두 지표면 사이에서 삼각망의 모서리가 교차하는 위치를 사용하여 복합 TIN (triangular irregular network)선에서 각주세그먼트를 작성하고 Fig. 3과 같이 새 복합 지표면 표고는 두 지표면 표고 간의 차이를 기준으로 계산된다(Autodesk, 2009).

설계단계에서 많이 사용되고 있는 Autodesk사의 Civil 3D의 경우 3차원 지표면에 대하여 토량대시보드(volume dashboard)라는 기능을 통해 복합토량법을 제공하고 있으며, 토공 물량을 물량 산정 경계 영역내에 대하여 자동으로 산정할 수 있다.

### 3.4 토공 물량 산출 방법에 따른 물량 비교

실제 지표면에 대하여 각각의 토공 물량 산출 방법을 적용하여 물량 검토를 수행하기 전 각각의 물량 산출 방법이 산출 결과에 미치는 영향을 평가하기 위하여 원 지표면을 평지로 가정하고 토공 물량을 산출코자 한다. 이때 물량 산출 조건은 Fig. 4(a)와 같이 평지(표고 = 0m)에 대하여 10m 높이에서 종단 경사가 0.00%

Table 1. Quantity Take-off Result of Each Estimation Methods

Quantity Take-off Method		Study Case	
		Case 1	Case 2
Average End Area Method	Volume	446,174m <sup>3</sup>	155,033m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	444,466m <sup>3</sup>	154,784m <sup>3</sup>
	Variation	-0.38%	-0.16%
Composite Method	Volume	449,961m <sup>3</sup>	154,943m <sup>3</sup>
	Variation	+0.85%	-0.06%

인 Profile Case 1과 종단 경사가 변화하는 Profile Case 2를 사용하였다. Fig. 4(b)는 종단경사가 변화하는 Profile Case 2를 사용하여 도로의 쌓기, 각기 사면과 포장면이 결정된 설계 결과를 나타낸 그림이다.

평지 조건에 대한 설계 결과에 대하여 세 가지 토공 물량 산출 방법을 적용하였으며, 물량 산출 결과와 양단면 평균법을 기준으로 발생한 오차율을 Table 1에 나타내었다. Table 1을 살펴보면 종단 변화 유무에 상관없이 체적변화량은 양단면 평균법을 기준으로 각주법이나 복합토량법 모두 ±1% 오차 범위내에 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 가정한 바와 같이 평지 또는 단면 변화가 크지 않은 항만 공사의 양안 설계와 같은 특수한 경우에는 토공에 대한 물량 산출 방법이 산출 결과에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 시료된다.

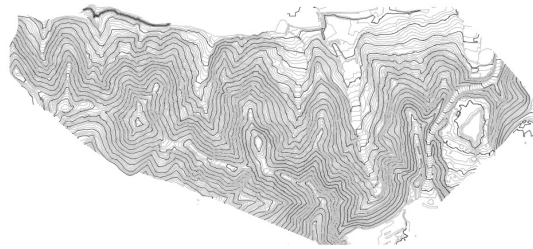
## 4. 토공 마무리 면이 불규칙한 경우

### 4.1 설계 조건 및 3차원 모델 작성

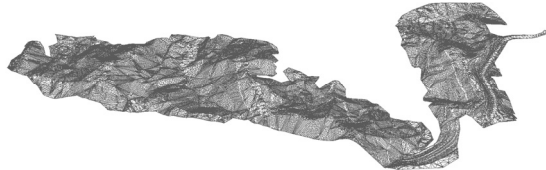
일반적으로 자연 상태의 원 지표면은 불규칙한 지표면을 가지고 있다. 또한 건설 공사 중 골프장과 같은 특수한 공사의 경우는 원 지표면뿐만 아니라 최종 토공면도 앞에서 살펴본 Fig. 1(b)와 같이 불규칙한 비선형성을 가지고 시공된다. 따라서 본 연구에서는 경기도 화성시에 위치한 9홀 골프장의 기존 설계 자료를 바탕으로 골프장의 토공 물량 산출을 위하여 3차원 모델을 생성하고, 3개 홀에 대한 토공 물량을 산출하고자 한다. Fig. 5(a)는 3차원 설계를 위한 수치지형도의 등고선이며, Fig. 5(b)는 수치지형도로부터 3차원의 원 지표면을 작성한 결과이다. Fig. 5(c)는 원 지표면에 대하여 2D 골프장 설계를 바탕으로 설계된 최종 토공면을 삼각망을 이용하여 3차원 지표면으로 나타낸 것이다.

### 4.2 토공 물량 산정 결과

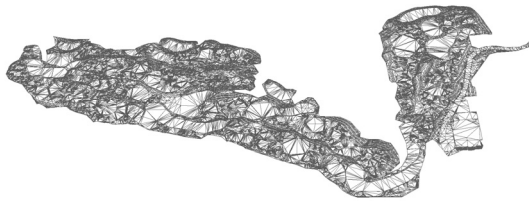
본 연구에서는 골프장의 3차원 설계 결과에 대하여 토공 물량을 산정하고 각각의 산정 방법이 산정결과에 미치는 영향을 평가하기



(a) Digital Topographic Map for Golf Course 3D Design



(b) Original 3D Surface

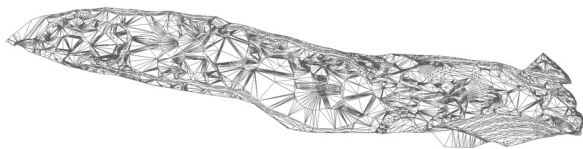


(c) Designed Final 3D Surface

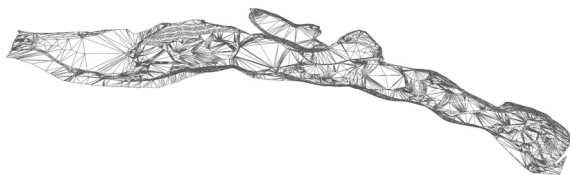
Fig. 5. Digital Topographic Map and 3D Surface for Golf Course 3D Design (3D Wireframe Mode)



(a) Hole A 3D Surface



(b) Hole B 3D Surface



(c) Hole C 3D Surface

Fig. 6. Separated 3D Surface from Design Result (3D Wireframe Mode)

위하여 9개 홀 중 3개 홀에 대하여 토공 물량을 산정하였다. Fig. 6은 물량 산출에 사용된 3개 홀의 3차원 지표면을 나타낸 그림이며, 각 홀에 대한 물량 산출 결과는 Table 2와 같다. Table 2를 살펴보면

Table 2. Quantity Take-off Result of Golf Course from 3D Design

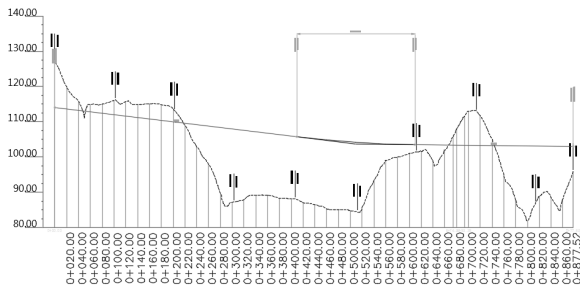
Hole A		Earth Works	
		Cutting	Filling
Average End Area Method	Volume	85,071m <sup>3</sup>	50,778m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	82,652m <sup>3</sup>	48,271m <sup>3</sup>
	Variation	-2.84%	-4.94%
Composite Method	Volume	85,638m <sup>3</sup>	50,866m <sup>3</sup>
	Variation	0.67%	0.17%
Hole B		Earth Works	
		Cutting	Filling
Average End Area Method	Volume	154,402m <sup>3</sup>	182,001m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	150,111m <sup>3</sup>	177,457m <sup>3</sup>
	Variation	-2.78%	-2.50%
Composite Method	Volume	154,397m <sup>3</sup>	183,064m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.58%
Hole C		Earth Works	
		Cutting	Filling
Average End Area Method	Volume	237,120m <sup>3</sup>	165,427m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	230,752m <sup>3</sup>	158,579m <sup>3</sup>
	Variation	-2.69%	-4.14%
Composite Method	Volume	234,407m <sup>3</sup>	168,202m <sup>3</sup>
	Variation	-1.14%	1.68%

각기부의 경우 양단면평균법을 기준으로 각주법과 복합토량법은 최대 3% 정도 적게 산정되는 것으로 나타났으며, 쌓기부의 경우에는 최대 5% 정도 작은 것으로 나타났다. 그러나 실무 설계 단계에서 적용되는 양단면 평균법과 복합토량법의 경우만을 비교해보면 복합토량법이 약 2% 정도 적게 산정되는 것으로 나타났다.

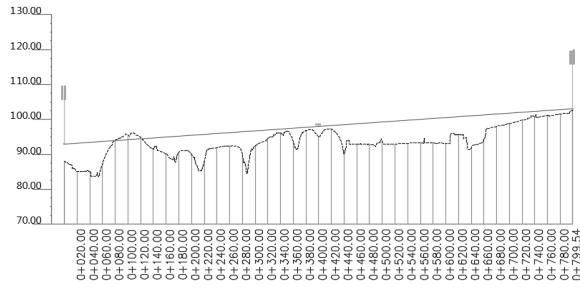
## 5. 토공 마무리 면이 평평한 경우

### 5.1 설계 조건 및 3차원 모델 작성

도로 설계에 따른 토공 물량 산정을 위하여 Fig. 7과 같은 2개 구간에 대하여 원지표면과 종단선형을 따라서 단면 설계를 수행하였다. 이때 사용된 포장 단면은 Fig. 8과 같으며, 3.6m 차선 폭의 4차선 도로에 대하여 1.5:1의 사면을 적용하였다. Fig. 7에서 수직 높이는 일반적으로 설계단계에 평면 및 종단면도 작성시 수직 높이를 7배 확장하여 사용하고 있어 본 연구에서도 수직 높이를 7배 확장하여 종단선형을 나타내었다. Fig. 7 및 Fig. 8의 도로 종단과 횡단구성이 적용된 3차원 도로 설계 결과를 Fig. 9에 나타내었다.



(a) Road Section 1 (L=840m)



(b) Road Section 2 (L=800m)

Fig. 7. Longitudinal Profile for 3D Road Design

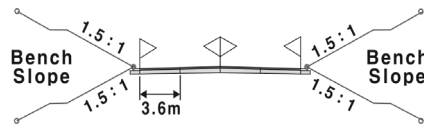


Fig. 8. Road Assemblies (Section) Detail

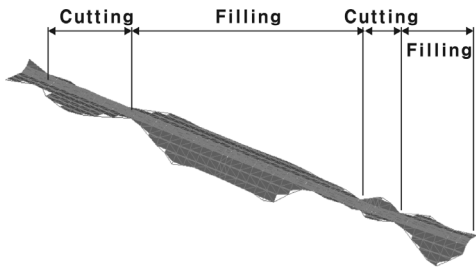
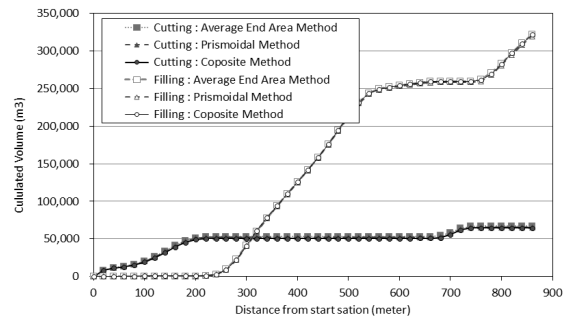


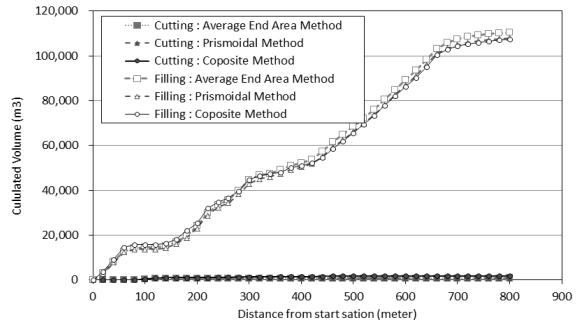
Fig. 9. Corridor Surface from 3D Road Design (Section 1)

### 5.2 토공 물량 산정 결과

도로 포장의 경우 기존 지표면에 대하여 깎기 또는 쌓기를 통하여 아스팔트 콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장을 건설하게 되며, 노상과 노반의 사공면은 Fig. 8과 같이 일정한 경사 표면을 가지고 설계 및 시공이 이루어진다. 본 연구에서는 Fig. 9의 도로 설계 결과에 대하여 시점부터 종점까지 약 800m의 설계구간에 대하여 일반 도로 설계와 마찬가지로 20m 체인을 가지고 토공 물량을 산출하였다. 이때 전 절에서 검토한 바와 같이 도로의 토공 물량을 산출할 때 양단면 평균법, 각주법과 복합토량법을 적용하였으며, 산정 결과를 Fig. 10 및 Table 3에 나타내었다.



(a) Road Section 1 (L=840m)



(b) Road Section 2 (L=800m)

Fig. 10. Cumulated Earth Work Quantity Take-off Graph from 3D Road Design Results

Table 3. Quantity Take-off Result of Road Section from 3D Design

Road Section 1 (L=840m)		Earth Works	
		Cutting	Filling
Average End Area Method	Volume	67,230m <sup>3</sup>	328,861m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	65,367m <sup>3</sup>	326,057m <sup>3</sup>
	Variation	-2.77%	-0.85%
Composite Method	Volume	64,488m <sup>3</sup>	328,928m <sup>3</sup>
	Variation	-4.08%	0.02%
Road Section 2 (L=800m)		Earth Works	
		Cutting	Filling
Average End Area Method	Volume	793m <sup>3</sup>	110,573m <sup>3</sup>
	Variation	0.00%	0.00%
Prismoidal Method	Volume	682m <sup>3</sup>	107,978m <sup>3</sup>
	Variation	-14.0%	-2.3%
Composite Method	Volume	1,813m <sup>3</sup>	107,417m <sup>3</sup>
	Variation	+128.6%	-3.8%

도로 설계에 대한 적용 결과 Road Section 1의 경우 깎기부는 양단면 평균법에 대하여 각주법과 복합토량법이 2.77%와 4.08% 작게 산정되었으며, 쌓기부의 경우에는 ±1% 미만의 물량 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 Road Section 2의 경우 깎기부

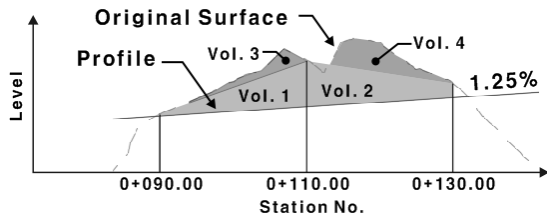


Fig. 11. Road Section 2 (L=800m) Profile Plan at Cutting Area

에서 토공 물량의 차이가 약 2.2배 많은 것으로 나타났다. 이처럼 Road Section 2의 각기부에서 양단면 평균법과 복합토량법의 토공 물량 차이가 크게 발생한 이유는 Fig. 11과 같이 Road Section 2의 각기부 연장이 약 40m로 짧으며, 양단면 평균법에서 고려되지 않는 Vol. 3과 Vol. 4를 복합토량법에서 고려되기 때문인 것으로 사료된다. 즉, Road Section 2 각기부의 오차율은 토공 800m 중 약 40m로 전체 토공에서 차지하는 비율이 낮으며, Road Section 2의 누적 순토량을 비교해보면 양단면 평균법의 경우 쌓기 109,780m<sup>3</sup> 이고, 복합토량법은 쌓기 105,604m<sup>3</sup>으로 각기 물량의 오차가 누적 순토공량에 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구에서는 3차원 설계를 토공면이 일정한 경우와 불규칙한 경우로 구분하여 수행하고, 설계 결과로부터 양단면 평균법, 각주법 및 복합토량법을 적용하여 산정된 토공 물량과 각각의 물량에 대한 오차를 검토하였으며, 검토 결과는 아래와 같다.

- (1) 원 지표면이 표고 변화 없이 일정한 경우 각각의 토공 물량 산출방법으로부터 산정된 토공 물량 차이는 ±1.0% 정도로 나타났다. 자연 상태의 원 지표면의 경우 표고가 일정하진 않지만 평지부나 얇은 구릉지와 같이 원지표면의 표고 변화가 크지 않을 경우는 2차원 물량 산출 방법인 양단 평균법과 3차원 물량 산출 방법인 복합토량법의 산출 결과에 큰 차이가 없으며, 토공 설계에 3차원 설계를 도입하더라도 발생할 수 있는 토공 오차는 적을 것으로 예상된다.
- (2) 골프장과 같이 최종 토공 표면이 불규칙한 경우에 대한 토공 물량에 대하여 2차원 물량 산출 결과와 3차원 물량 산출 결과를 비교하였다. 각각의 물량 산출 방법에 대한 산출 결과 3차원 설계 물량 산출방법인 복합토량법의 경우 양단면 평균법보다 약 2% 정도 적게 토공 물량이 산정되는 것으로 나타났으며, 원 지표면이 일정한 경우보다 발생 오차가 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 수치지형도로부터 작성된 3차원 원 지표면에 대하여 도로 설계를 수행하였으며, 세 가지 토공 물량 산출 방법을 적용하였

다. 물량 산출 결과 본 연구에서는 일반구간에서 2차원 토공 물량과 3차원 토공 물량 간의 차이는 최대 5% 정도 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 동일한 조건의 도로 설계를 수행하더라도 토공 물량의 산출 방법과 체인 구성에 따라 토공 물량 차이가 발생 할 수 있으며, 토공 물량 산출시 산출되는 물량뿐만 아니라 물량 산출 방법도 같이 명시되어야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 3차원 도로 설계에 실제 설계 인자를 적용하여 설계하지 않고, 3.6m 차로 폭을 가진 4차선 도로 단면으로 가정하여 토공 물량을 산정하였다. 추가 연구에서는 실제 설계 인자를 바탕으로 3차원 도로 설계를 수행하고 그에 따른 토공 물량 산출 방법과 산출 결과에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## References

- Autodesk (2009). User's Guide, Autodesk, Inc.
- Ha, C. S., Moon, S. Y., Moon, H. S. and Kang, L. S. (2014). "Development of quantity take-off algorithm for irregularly shaped structures using 3D object." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 30, No. 2, pp. 655-666 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010). BIM Application Guide for Architecture Sector (in Korean).
- Park, K. H. and Chin, S. Y. (2015). "A study on the improvement of BIM request for proposal by analyzing problems of public construction BIM delivery guides." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Architectural Institute of Korea, Vol. 31, No. 6, pp. 57-68 (in Korean).
- Park, S. H., Kim, H. S. and Yoon, D. Y. (2015). "A study for automated division of composite walls for quantity take-off in construction document phase." *Journal of Society of Cadcam Engineers*, Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 124-132 (in Korean).
- Public Procurement Service (2015). Basic Guideline BIM Application for Facility Enterprise (in Korean).
- Ryu, H. O., Ryu, J. R., Kim, J. G., Kim, G. T. and Choo, S. Y. (2015). "A development on an auto-linkage S/W of structural analysis documents and its improvement direction for BIM based architectural drawing extraction." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Architectural Institute of Korea, Vol. 31, No. 6, pp. 75-83 (in Korean).
- Shin, J. C., Back, Y. I. and Park, W. T. (2011). "Analysis of errors in tunnel quantity estimation with 3D-BIM compared with routine method based 2D." *Journal of Korean Geotechnical Society*, Korean Geotechnical Society, Vol. 27, No. 8, pp. 63-71 (in Korean).
- Shin, J. C., Hwang, J. H., Lee, S. G. and Lee, S. W. (2012). "BIM based reliability analysis and automated quantity calculation." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 12, No. 3, pp. 49-55 (in Korean).