

토공수량계산 자동화를 위한 스케치 도면 요소의 그래프 위상 자동 구성 및 형태 패턴 인식에 대한 연구

The Recognition of Pattern of Shape and Composing the Graph Topology of Sketch
Drawing Element for the Automation of Earthwork Quantity Calculation

강태욱* · 김봉석**

Kang, Tae-Wook · Kim, Bong-Seok

Abstract

The purpose of the present study is to suggest composing the graph topology of sketch drawing element and the recognition of the shape pattern for the earthwork quantity calculation. The algorithm which can extract the topology element such as vertex, edge, face and establish the relation between each topology was developed. The model which can define earthwork graph and recognize the shape pattern of earthwork was presented. As a result of the study, the shape pattern of earthwork that can't be calculated by existing earthwork calculation program could be recognized as expanding this model. The earthwork shape recognition automation using the graph topology model can be applied to the automation for the earthwork quantity estimation.

Keywords : earthwork, graph topology, shape pattern, automation, shape recognition, algorithm

요 지

본 연구에서는 토목 설계 엔지니어링에서 공사비 산출에 50%이상을 차지하는 토공 공종 분류 및 수량산출을 위한 스케치 도면 요소의 위상 자동 추출 및 토공 형태 패턴 자동인식 모델을 제시하였다. 이를 위해 횡단면도에서 자동으로 폐영역을 인식해 vertex(정점), edge(모서리), face(면)로 위상요소를 추출하고, 각 위상요소간의 관계를 자동 설정할 수 있도록 알고리즘을 연구하였다. 이 위상구조를 이용해 형태 패턴을 수학적으로 정의하고 형태를 자동 인식할 수 있는 모델을 제안하였다. 연구 결과로 기존 토공엔진에서 처리하기 어려웠던 토공 형태도 토공 형태 패턴 모델을 확장함으로써 쉽게 처리할 수 있었으며, 횡단면도에서 수량을 산출할 수 있는 일반적인 형태 패턴 인식 모형을 얻을 수 있었다. 개발된 모형을 이용한다면, 토목에서 다양한 분야의 토공 분류 및 수량 산출 업무를 자동화해 비용을 줄이고 수량 산출의 정확도는 높일 수 있다고 판단된다.

핵심용어 : 토공량 계산, 그래프 위상 구조, 형태 패턴 인식, 토공 자동화, 토공 공종 자동 분류

1. 서 론

토공 수량 산출은 공사비 산출에서 50% 이상을 차지하는 매우 중요한 공정 중 하나이다. 2000년 이전까지는 토공 수량 산출이 대부분 도면 수작업에 의해 삼각법, 심프슨 공식 등 적분공식을 이용해 여러번 토공 수량을 계산해, 평균값을 토적표에 기록하여 수량을 산출하였다. 횡단면도에서 절토, 성토와 같은 토공 처리 영역은 이미 분류되어 있다고 가정하고, 보통 20km 도로설계시 암이 3개층이 있고 정체인은 20m라고 가정하였을 때 1000개 횡단면에서 각 암별 3개의 절토 수량과 기본적인 성토 수량 3개(노상, 노체, 비다짐)에 대해서만 계산하고, 각 3번씩 산출 수량을 확인한다고 하였을 경우 총 계산 횟수는 18000번이다. 보통 수량 산출시

구조물공, 비탈면 보호공, 노반 준비공이 포함되므로 이 계산 횟수는 최소치이다. 이 과정에서 실무자는 실수, 오키 등으로 인해 잘못된 공사비가 산출되는 것은 물론이고, 단순 반복에 많은 수작업 비용을 소모하게 된다.

이런 문제들을 해결하기 위해 몇몇 해외의 설계 자동화 시스템이 1990년대 중반부터 도입되기 시작하였으나 국내 엔지니어링 실정 및 실시설계 수량산출 규정에 부합하지 못해 기본설계 정도에서 사용되다가 실시설계 수량산출 규정을 지원하는 Road Projector 5.0, Road Design 2000등의 국내 설계 자동화 시스템이 연구, 개발되면서 수량산출시 단순 반복 비용 감소 및 컴퓨터에 의한 정확한 실시설계 수량 및 공사비 산출이 가능해 졌다.

그러나 이런 시스템들은 토목 엔지니어링의 토공과 관련된

*정회원 · 교신저자 · (주)나모소프트 부설 소프트웨어 연구소 기술이사 · 공학박사 (E-mail : mac999@hitel.net)

** (주)나모소프트 부설 소프트웨어 연구소 주임연구원 (E-mail : delta829@hotmail.com)

수량 산출 중 도로와 같이 일부분의 토공 수량 산출에만 특화되어 있으며, 엔지니어링 업체별로 특화된 설계를 적용했을 때 토공 수량을 뽑을 수 있는 방법이 전혀 없다. 해당 시스템에서 제안된 토공의 경우에만 처리되므로, 이외의 경우 마찬가지로 수작업으로 수많은 계산을 해야 하는 경우가 발생한다. 이런 경우 수작업으로 계산한 수량들을 반대로 시스템에 입력해야 하는 추가 오버헤드도 발생하므로 입력 상 오기로 인한 공사비 산출 오류도 발생할 수 있어 문제가 될 수 있다. 마찬가지로 현재 국외에서 토공 수량 자동 산출을 지원하는 Civil3D, InRoad와 같은 시스템들도 절토, 성토와 같이 정해진 토공 항목에 대해서만 자동 계산을 하므로 이외의 경우에는 대안이 없는 실정이다.

만약 실무자가 작업한 횡단면도에서 자동으로 시스템이 개별 토공 형태 자동 분류를 위한 위상 정보를 추출하여 실무자가 원하는 토공 공종 자동 분류 및 수량 계산을 자동화할 수 있다면, 현재 시스템이 지원하지 않는 토공 분류에 대해 실무자가 수작업으로 해야 하는 수많은 토공 분류 작업 비용, 분류된 토공에 대한 수량 재입력 시 실수로 인한 정보 손실등과 같은 문제들을 자동화함으로써 해결할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 횡단 스케치 도면에서부터 위상 정보를 그래프 형식으로 자동 구성해 이를 통해 사용자 정의 가능한 토공 형태 패턴을 인식하여 토공 공종을 자동 분류하는 모델 및 패턴 정의 언어를 제시하고자 한다. 아울러 그래프 위상 정보를 이용해 패턴을 비교할 때 발생할 수 있는 문제인 형태 패턴 분류 속도를 개선하기 위한 최적 대안도 제시하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 토공량 수량 자동 계산과 관련된 선행 연구를 고찰하고 기존 연구들의 한계점을 언급한다. 3장에서는 도면에 포함된 도형에서 그래프 위상 구조를 자동 구축할 수 있는 방법을 제시하고, 4장에서는 실무에 대한 유연한 적용을 위해 토공 형태에 대한 패턴 정의 언어를 이야기하고, 최적 실행 방안을 제시한다. 마지막으로 이 모델의 유용성을 확인해 보기 위해, 형태 패턴 정의 언어를 이용하여 암거와 같은 지하 매설물에 대한 터파기, 퇴매우기 토공을 자동으로 토공 분류해 모델의 확장성 및 유용성을 검증해 보는 것으로 한다.

2. 선행연구 고찰

국내에서 토공량에 대한 연구는 토공 수량을 산출할 때 수치지도나 수치해석 계산법에 의한 정확도 개선이나 토공계획에 대한 시뮬레이션, 프로세스에 대한 연구가 대부분이다. 신봉호(1992)는 수치적분에 의한 토공량 산정에 대한 연구들은 수치해석적으로 토공 수량을 수치적분에 의해 효과적으로 계산하는 방법을 제시하고 있으며, 이문재(2003)의 토공량 결정에 관한 연구는 면적 기반 수량에 대해 사다리꼴, 심프슨 법칙을 적용한 한계를 지적하고, 3차 스플라인 다항식에 근거한 토공량 계산 방법을 제시하고 있다. 이석찬(1985)은 Digital Terrain Model을 이용해 토공량을 산출하는 방법을 제시하였다. 손흥규(1986)는 수치지형모델을 이용해 토공량 계산의 정확도를 개선할려는 연구를 수행하였고,

김정동(1999)은 정밀 DTM(Digital Terrain Model)을 이용해 토공량을 계산하는 방법을 연구하였다. 토공계획에 대한 연구를 보면 강태욱(2004)이 선형계획법을 이용해 가시점을 고려한 토랑이동 시뮬레이션 모델을 제시하였고, 2007년 시스템 다이내믹스 기법을 활용해 토공장비 최적조합 시공에 의한 토공량 산정 모형을 구축하였다. 박종범(2008)은 GIS 시뮬레이션을 기반으로 개선된 토공계획 프로세스에 대해 연구하였다.

해외에서 토공량에 대한 연구는 토공 수량 산출시 정확도 개선을 위한 수치해석법에 관한 연구와 토공량 이동에 대한 시뮬레이션 연구가 대부분으로 토공량 수치해석에 대한 연구로 Ahmed(1983)가 경계선에 대해 최대, 최소, 변곡점을 고려한 곡선과 직선을 혼합한 2차 곡선식을 제시하고, Hassan(1987)이 보간다항식에 의해 심프스 제 2법칙을 해석하여 사다리꼴 법칙과 면적계산을 비교하였다. Easa(1988)는 Simpson 제 1법칙에서 변곡점을 고려해 비등간격으로 분할하여 면적계산을 하였다. Chen(1991)과 Lin은 3차 Spline보간다항식을 이용해 절토량을 구하는 식을 개발하였고, Easa(1998)는 3차 Hermite다항식에 기초한 식을 유도해 체적을 구하였다. 토공량 이동 시뮬레이션에 대한 연구는 Moreb(1996)가 토랑이동단계에서 비용 최적화를 위해 선형 프로그래밍 기법을 적용하였으며, Karimi(2007)가 현장에서의 불확실성을 고려해 퍼지기반 선형 프로그래밍 기법을 적용해 토랑 할당문제의 최적 모델을 제시하였다.

선행연구 고찰 결과 토공량에 대한 대부분의 연구는 토공 수량 분류 후 특정 토공항목에 대한 수치해석이나 토랑이동에 관련된 시뮬레이션과 같은 후처리 과정이다. 사실 실무자는 횡단 도면에서 제도된 도면의 도형 간의 상관관계나 도형속성을 유추해 수많은 토공 공종을 분류해 절토나 성토와 같은 이름을 붙인 후 각 토공별 수량계산을 하므로 그 과정에서 실수하기 쉽고, 앞에서 연구된 수치 해석적 기법으로는 이미 토공 공종 별로 분류된 후의 각 개별 토공에 대한 수량의 정밀도는 향상시킬 수 있겠으나, 그 이전 작업인 토공 공종 분류를 위한 수많은 반복 작업들을 효과적으로 자동화할 수 있는 연구로는 불충분하다. 기존 설계 프로그램의 토공 수량 처리 모델은 관련해 공개된 기술문서가 부족하여 연구 문헌 조사만으로는 파악하기 어려우나, 해당 프로그램이 제공하는 기능을 볼 때 수량 산출 방법은 대부분 도면의 도형을 도형 간의 교차계산 등 기하학적 계산을 통해 처리하는 방식으로 보인다. 이런 방식은 프로그램으로 구현할 토공 종류를 미리 정하고, 프로그램 상에서 미리 도형 속성을 이용해 정해진 도형 종류(지반선, 계획선 등) 별 교차계산 등을 통해 처리하도록 개발되므로 토공 산출시 실무적 변화가 필요한 경우 확장이 불가능하고, 입력되는 도형의 조건이 탑재된 소스의 로직과 맞지 않으면 토공 수량 산출에 지원하지 않는다. 기존 RD2000과 같은 프로그램들은 이와 같은 방식으로 토공 수량을 처리하는 것으로 보인다.

본 연구는 횡단 도면의 도형들을 최소 요소로 분해하여 그 요소 간의 관계를 그래프 위상구조로 표현해, 그 관계를 형태 패턴 정의 언어로 실무자도 유연하게 정의할 수 있도록 함으로써 이러한 문제를 해결해 보고자 한다.

3. 그래프 위상 모델 구성

3.1 그래프 위상 모델

실무에서 하나의 횡단면도는 보통 CAD파일 형태로 보관되며, CAD파일은 여러 개의 도형(entity)들과 도형에 대한 속성으로 구성된다. 횡단면도에서 사용하는 도형의 종류는 line(선), arc(호), polyline(연결선)으로 표현되므로, 본 연구에서는 문제를 간단히 하기 위해 line과 arc로 분해해 정보를 추출하도록 한다. 도형 속성은 선유형, 레이어(layer) 등을 가지고 있다. 이 도형으로 제도된 횡단면도에서 절토, 성토, 포장과 같은 토공 본 이나 길이를 추출해야 한다. 수량을 추출할 때 실무자는 도형들의 위상 집합의 형태, 선유형(linetype), 레이어(layer), 속성(attribute)을 보고 토공을 분류한 후 토공 이름을 정의한다. 예를 들어 그림 1과 같이 포장영역을 포함하거나 포장영역 바로 아래에 있는 위상의 영역은 이름을 노상이라 부여한다. 노상의 바로 아래에 있는 위상 영역의 이름은 노체라고 정의할 수 있다.

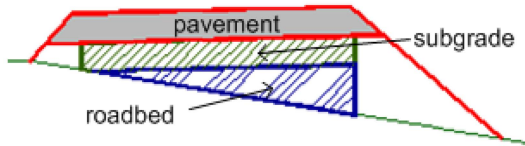


그림 1. 포장, 노상, 노체의 위상 관계

결국 토공량을 산출하는 과정은 도면에서 각 위상(topology) 영역을 인식해 위상 집합 형태, 선유형, 레이어 속성등에 따라 이름(name)을 정의하는 것이다. 이런 과정을 모델화하기 위해서는 먼저 서로 전혀 관계 없는 도면상의 도형들을 그래프 위상 구조로 모델링할 수 있어야 한다. 모델링 된 그래프 위상구조는 아래와 같이 vertex(정점), edge(모서리), face(면)로 구성되며, vertex는 edge가 만나는 정점으로 정의되며, edge는 line, arc, polyline과 같은 직선, 곡선 도형 형태와 도형이 가진 속성들을 포함한다. face는 edge로 둘러싸인 면이며, edge의 도면 속성을 이용해 이름이 정의될 수 있다. 하나의 edge에서 주변의 위상요소 탐색을 효과적으로 수행하기 위해 그림 2와 같이 Baungart(1975)가 제시한 날개 에지(winged edge)구조를 확장한 반이중 모서리(half edge) 구조를 사용하기로 하였다.

이 그래프 위상 구조를 바탕으로 토공 수량산출을 수학적으로 모델화하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

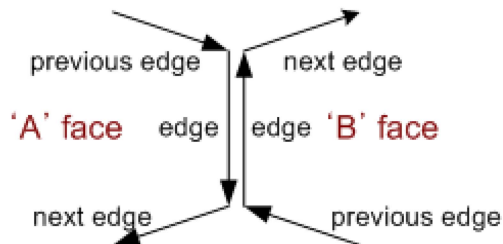
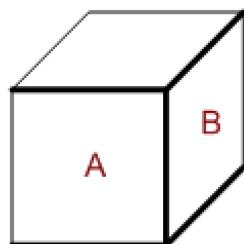


그림 2. 그래프 위상 구조

$a = \{a | \text{entity attribute 집합. 값이 포함되어 있으며 값은 정수, 실수, 문자열로 구성.}\}$ (1)

$p = (x, y)$

$v = \{(e, p) | \text{테카르트 좌표계에 속한 edge의 정점 좌표 (x, y)}\}$ (2)

$e = (v, e_{prev}, e_{next}, f_{left}, a)$
 $e_{prev} = e$ 의 previous edge, $e_{next} = e$ 의 next edge,
 $f_{left} = e$ 의 left face

$s = \{\text{vertex를 점점으로 서로 연결된 edge의 집합}\}$ (3)

$f = (e, n)$

$n = \text{topology element의 name}$

$gc = \text{Geometry Condition Operator}$

$= \{g | \text{주어진 base topology element의 바로 아래에 있는 element}\}$ (4)

$= \{g | \text{주어진 base topology element의 바로 위에 있는 element}\}$ (5)

$= \{g | \text{주어진 base topology f의 안에 포함되어 있는 element}\}$ (6)

$tc = \text{Topology Condition Operator}$

$tc_{consist} = \{t | \text{주어진 attribute a를 포함하는 element}\}$ (7)

$tc_{seq} = \{t | \text{주어진 attribute a는 순서집합이며, a의 원소 순서와 값이 일치하는 f, s}\}$ (8)

$tc_{touch} = \{t | \text{주어진 topology element에 위상적으로 바로 연결된 element}\}$ (9)

절토 모델 f_{cut} 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$a_{ground} = \text{"layer.ground"}$

$a_{solid} = \text{"linetype.solid"}$

$a_{design} = \text{"layer.design"}$

$a_{struct} = \text{"layer.structure"}$

$s_{ground} = \{e | (tc_{consist}(a_{ground}) \cap tc_{consist}(a_{solid}))\}$ (10)

$f_{cut} = \{f | f \cap gc_{below}(s_{ground}) \cap (tc_{consist}(a_{design}) \cup tc_{consist}(a_{struct}))\}$ (11)

3.2 그래프 위상 모델 자동 구성

이러한 그래프 위상 모델을 구축하기 위해서는 먼저 횡단면도에 포함되어 있는 도형으로부터 도형의 기하학적 정보와 속성 정보를 추출해야 한다. 횡단면도에서 도형 및 도형 속성을 추출할 때는 Autocad에서 제공되는 ARX(Autocad Runtime eXtention)을 사용하였다. 추출된 정보는 그래프 위상 모델로 구성을 한다. 위상 모델로 구성한다는 의미는 도형과 도형이 교차되는 점이나 끝점은 vertex로 표현되고, 그

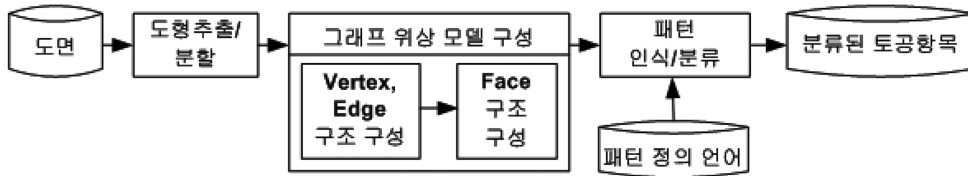


그림 3. 도면에서 그래프 위상 모델 구축 흐름도

사이의 연결부분은 edge로 표현되며, edge로 둘러싸여져 있는 부분은 face로 구성되어 있어야 한다는 의미이다. 이렇게 위상이 구성된 후에야 edge나 face에 적절한 토공을 분류해 이름 정의(naming)를 할 수 있다. 처리 흐름을 보면 그림 3과 같다.

본 연구에서 그래프 위상 모델에서 얻고자 하는 것은 ‘위상기반 추적성’이다. 횡단면도에 그려진 도형들은 서로 독립적으로 표현되므로 상호간 추적성을 얻기가 어렵다. 추적성은 마치 3차원을 보지 못하는 개미가 2차원상에서 먹이와 개미집 사이의 경로를 탐색하는 것과 매우 유사하다. 개미는 경로를 추적할 때 지나간 자리에 적절한 표시를 남기고, 불필요한 경로는 표시를 제거한다. 만약 동일 기하학적 위치에 경로가 여러개가 있다면 이런 알고리즘을 적용할 수 없다. 표시할 때 판단되는 것은 경로상의 속성들이다. 먹이에 대한 향이나 자취같은 것이 경로상에 떨어져 있다면 개미는 그 속성들을 취사선택해 표시하면서 경로를 탐색한다. 경로는 중간에 단절되어 있으면 안된다. 개미의 출발지와 목적지는 vertex로 정의되고, 그 사이 경로는 edge로 표현될 수 있다. edge는 개미가 탐색해 나가는 경로의 방향성을 표현할 수 있어야 한다. 그러므로 half edge구조로 구성된다. edge로 둘러싸인 영역은 face로 정의된다. 이러한 위상 요소들의 모임을 graph라 정의한다. 이런 부분을 성찰하면 graph 위상을 구성할 때 다음과 같은 제약사항이 필요하다는 것을 알 수 있다.

첫째, 중복성 배제

하나의 경로는 하나의 edge로 표현되어야 한다.

둘째, 다중속성

하나의 경로에는 해당 도형에서 추출된 다중속성이 포함되어 있어야 한다.

셋째, 연결성

하나의 vertex에 연결된 edge를 얻거나, edge로 둘러싸인 face를 얻을 수 있어야 하고, 그 반대의 탐색도 가능해야 한다.

도면을 구성하는 도형집합(Entity Set)에서 각 위상을 구성하는 알고리즘은 다음과 같다. 좀 더 명확한 알고리즘 표현을 위해 C++형식으로 코드와 주석을 기술하였다.

첫째, vertex, edge 그래프 위상 구성

동일한 좌표에서는 오직 한 개의 vertex만 존재해야 하는 제약사항을 만족해야 한다. edge는 vertex를 참조할 수 있어야 한다.

```
void MakeEdgeList()
{
```

```
for(Entity = EntitySet.begin(); Entity != EntitySet.end();
Entity = EntitySet.next())
{
    //도형집합에서 도형(Entity)을 얻음.
    Entity.GetPoint(pt1, pt2);
    //도형을 구성하는 좌표를 얻음.
    Edge = Graph.MakeEdge(pt1, pt2);
    //좌표를 이용해 정점을 가지는 Edge생성
    Graph.Add(Edge);
    //생성된 Edge를 그래프에 추가
}
}
Graph::MakeEdge(point1, point2)
{
    Vertex1 = FindVertex(point1);
    //입력받은 좌표로 그래프에 등록된
    Vertex2 = FindVertex(point2);
    //정점을 얻음
    If(Vertex1 == NULL)
        //만약 정점이 없다면 주어진 좌표로
        Vertex1 = MakeVertex(point1);
    //정점을 생성
    If(Vertex2 == NULL)
        Vertex2 = MakeVertex(point2);
    Edge1 = MakeEdge(Vertex1, Vertex2);
    //얻은 정점을 이용해 Edge를 생성
    Edge2 = MakeEdge(Vertex2, Vertex1);
    Edge1.Sym = Edge2;
    Edge2.Sym = Edge1;
    Return Edge;
}
```

둘째, face 위상요소 구성

face위상구조를 생성할 경우, 우리는 경로추적시 중복을 배제하기 위해 표시되지 않은 Edge를 탐색하기 위한 특별한 집합 함수를 고려한다. SeedEdge 집합은 한번도 탐색되지 않은 edge를 표현한다.(12번 수식) 탐색 여부 표시를 위해 edge에 mark(표시) 속성을 관리하도록 한다. JoinEdges 집합은 첫 번째 알고리즘에서 만들어진 그래프 내에서 주어진 edge e_i 와 e_j 의 vertex중 v_i 하나인 에 접한 edge집합을 의미한다. SortEdges 집합은 JoinEdges 집합내 edge들을 vertex v_i 을 기준으로 시계방향으로 정렬한 집합을 의미한다. ClockwiseEdges 집합은 SortEdges 집합에서 첫 번째 edge를 의미한다.

탐색되어 face로 등록된 edge는 mark된다.
 $SeedEdge = \{any\ e | e.mark = TRUE\}$ (12)
 $JoinEdges(e_t, v_t) = \{all\ e | e.vertex1 = v_t, e \neq e_t, e.mark = FALSE\}$ (13)
 $SortEdges(e_t, v_t) = \{all\ e | JoinEdges(e_t, v_t)\}$ 내의 edge들을 v_t 기준으로 시계방향 정렬 (14)
 $ClockwiseEdge(e_t, v_t) = \{first\ e | SortEdges(e_t, v_t)\}$ (15)

```
Graph::MakeFace()
{
  BeginEdge = Edge = SeedEdge();
  //위상그래프 내에서 추적 시작할 Edge를 얻음
  while(TRUE)
  {
    If(Edge == NULL)
      break;
    Edge.mark = TRUE;
    NextEdge = ClockwiseEdge(Edge, Edge.Vertex1);
    //주어진 Edge와 Edge의
    //Vertex1을 이용해
    If(NextEdge == NULL && Edge == NextEdge)
      break; //ClockwiseEdge집합에서
    Edge.next = NextEdge;
    //Edge를 얻는다.
  }
  Face.edge = BeginEdge;
  return Face;
}
```

언급한 알고리즘에 의해 그래프 위상 모델을 구성하는 과정을 좀 더 자세히 나타내 보면 그림 4와 같다.

4. 토공 형태 패턴 인식 및 정의

4.1 형태 패턴 인식

그래프 위상 모델이 구성되어 있다면, 형태를 기하학적 조건과 위상학적 조건에 의해 패턴 인식하여 face를 이름짓기 할 수 있다. 기하학적 조건과 위상학적 조건은 이미 언급한 바와 같이 몇 개의 연산(operation)조합으로 정의할 수 있으며, 패턴에 부합되어 인식된 요소(element) 집합 A는 여러 개의 gc와 tc로 구성된다.

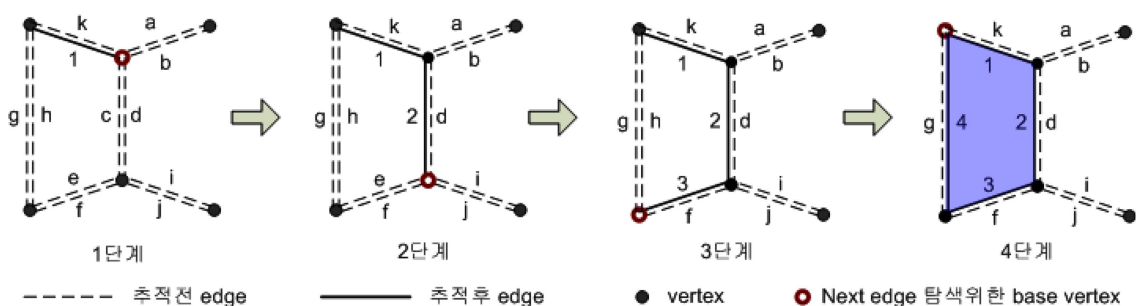


그림 4. 그래프 위상 모델 구성 과정

$$A = \{e | gc \cap tc\} \quad (16)$$

gc는 특정 face가 패턴 인식 조건 중 기하 조건(geometry condition)을 만족하는 지 정의한다. 기하 조건은 face가 특정 속성의 polyline에 아래에 있는지, 위에 있는지, 특정 face의 안에 포함되어 있는지 등의 기하학적 조건을 판단한다. tc는 특정 face가 패턴 인식 조건 중 기하 조건(topology condition)을 만족하는 지 정의한다. 기하 조건은 face가 다른 face와 접해져 있는지, 도형 속성을 가지고 있는 edge들의 집합조건을 만족거나 순차(sequence) 조건을 만족하는지 판단한다.

tc에서 edge 속성들의 집합조건과 순차조건을 판단하는 것은 형태 패턴 모델을 만들어 해당 패턴을 인식할 때 매우 중요한 하다. 예를 들어 절토 형태 패턴 중 터파기 패턴은 터파기 face를 구성하는 edge의 집합인 s가 edge의 속성중 아래와 같은 순차조건을 만족해야 한다.

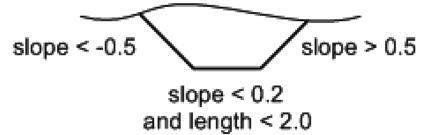


그림 5. 터파기 폭이 2m인 터파기 형태와 패턴

$$s_{exec} = \{s | e \cap (\text{slope} < -0.5, \text{slope} < 0.2 \text{ and } \text{length} < 2.0, \text{slope} > 0.5)\} \quad (17)$$

반면, 절토 형태 패턴은 edge속성의 집합조건만 만족해도 인식을 할 수 있다. 아래 예는 절토에서 토사에 해당하는 집합조건 정의이다.

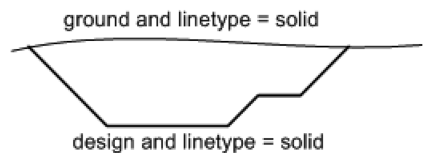


그림 6. 절토 토사 형태와 패턴

$$f_{cut} = \{f | f \cap tc_{consist}("layer.ground") \cap tc_{consist}("linetype.solid") \cap tc_{consist}("layer.design") \cap tc_{consist}("linetype.solid")\} \quad (18)$$

위상 조건(topology condition)중 특정 face에 접하였는지,

아닌지 검사하는 인접 판단 연산(touch operation)은 포장(pavement)과 같이 여러개의 층으로 이뤄진 형태 인식에 중요한 역할을 한다. 포장이 연산자를 이용해 포장 하단층부터 인식해 그 위에 접한 포장층들을 차례대로 인식할 수 있다.

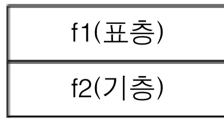


그림 7. 포장 형태와 패턴

$$f_{subbase} = \{f \cap tc_{touch}(f)\} \quad (19)$$

4.2 형태 패턴 정의 언어

형태 패턴 인식에 필요한 조건을 유연하게 정의할 수 있도록 xml(extensible markup language) 기반의 패턴 정의 언어인 형태 패턴 정의 언어(shape pattern define language. 이하 SPD)를 개발하였다. 기하학적 조건(geometry condition)과 위상 조건(topology condition)은 다음과 같이 함수(function)로 표현하였으며, xml 형식으로 표현되었다.

```
<SPD>
  <predefine>
    <polyline name = "ground">
      <tc.consist>
        e.name=="ground" and e.linetype=="solid"
      </tc.consist>
    </polyline>
  </predefine>
  <define>
    <face name = "cut.ea">
      <gc>
        below("ground") and (above("design") or
        above("structure") or above("pavement"))
      </gc>
    </face>
    <face name = "fill">
      <gc>
        above("ground")
      </gc>
    <tc.consist>
      e.name=="pavement" or (e.name=="design"
      and e.linetype == "dashed") or (e.name ==
      "structure" and e.linetype == "solid")
    </tc.consist>
  </define>
</SPD>
```

```
</tc.consist>
</face>
</define>
</SPD>
```

이 SPD언어는 본 연구를 통해 개발된 파서를 통해 해석되어 그래프 위상 모델에서 형태 패턴(shape pattern)을 검색해 인식하는 조건(condition) 정보로 사용된다.

4.3 형태 패턴 매칭 최적화

기하 조건(geometry condition)과 위상 조건(topology condition)으로 정의된 패턴과 일치되는 face나 edge를 탐색하는 것은 수많은 기하학적 교차계산 연산(geometry intersection operation)과 문장 해석 및 검색 연산(string statement parsing & matching operation)이 포함된다. 본 연구에서는 패턴 검색시 이런 최소 단위 연산(micro-operation)에서 수행 성능을 개선하기 위해 문장 해석(statement parsing)시 이미 해석된 실행계획(execute plan)을 캐쉬에 저장하여 동일한 문장이 해석될 때는 다시 재 해석하지 않고 미리 캐쉬에 저장된 해당 문장에 대한 실행계획을 재활용하여 연산(operation)을 수행하도록 하였다. 또한 기하 조건 관련 연산 수행 성능 개선을 위해 사진 트리(quad-tree)를 사용한 공간 인덱싱(spatial indexing)을 수행해 특정 edge기준 위(above), 아래(below) 판단과 같은 연산 수행을 최적화하였다. 이를 UML(unified modeling language)를 이용해 클래스 다이어그램으로 표현해 보면 그림 9와 같다.

표 1과 2는 최적화 전과 후를 비교한 표이다. 프로그램 개발도구는 Microsoft Visual Studio VC++ 2005이며, 테스트는 그림 8과 같은 횡단면도를 이용해 Intel Core(TM)2 Quad CPU Q6600(2.40GHz)이며 2GB Ram, window xp 프로페셔널에서 수행하였다.

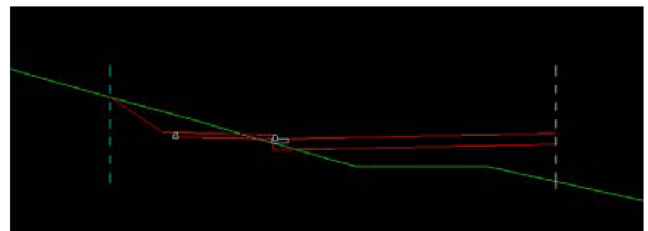


그림 8. 테스트 횡단면도

이 결과를 표 1과 표 2에 나타내었으며, 표의 각 열의 항목 값은 횡단면도에서 도형을 추출해 edge와 face 그래프 위상 모델을 구성하는 단계와 정의된 SPD 언어를 이용해 형태 패턴을 분류하는 각 처리 단계에 대한 처리시간을 의미한다.

표 1. 비교표(형태 패턴 분류 최적화 전. 시간단위 1/1000 초)

시험 횟수	도형 추출	Edge 위상 구성	Face 위상 구성	패턴 인식/분류	소요시간
1	0.0	63.0	15.0	125.0	203.0
2	16.0	47.0	15.0	125.0	203.0
3	15.0	47.0	16.0	125.0	203.0
평균		52.3		125.0	203.0

표 2. 비교표(형태 패턴 분류 최적화 후. 시간단위 1/1000 초)

시험 횟수	도형 추출	Edge 위상 구성	Face 위상 구성	패턴 인식/분류	소요시간
1	16.0	15.0	16.0	31.0	78.0
2	16.0	15.0	16.0	31.0	78.0
3	16.0	16.0	15.0	31.0	78.0
평균		15.0		31.0	78.0

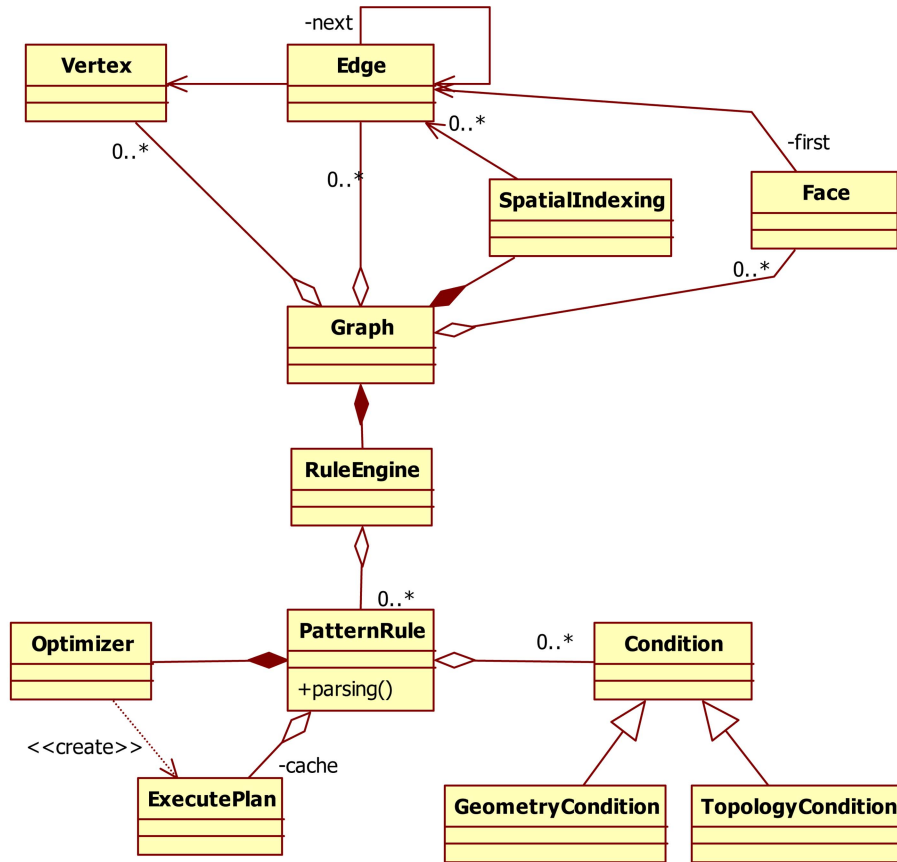


그림 9. 형태 패턴 분류 최적화(pattern matching optimization) 구조

5. 모델 평가

제안한 모델의 유용성을 확인해 보기 위해, SPD 언어를 이용해 일반적인 절토 토공 이름정의(naming)와 아직 현재 설계자동화시스템이 지원하지 못하는 암거와 같은 지하매설 물에 대한 토공 형태 패턴을 기하 조건(geometry condition)과 위상 조건(topology condition)을 SPD 언어 형식으로 정의하여, 그래프 위상 모델 기반으로 인식할 수 있는지 확인해 보았다.

절토 토공은 아래와 같은 gc(geometry condition) tag와 tc(topology condition) 태그(tag)를 가진다. tc.consist은 를 말한다. 절토 토공은 기하 조건으로 layer(도면층)이 지반선 보다 아래에 있고, 위상 조건으로 영역이 포장과 실선 계획, 혹은 구조물로 둘러싸인 형태로 정의될 수 있다.

```

<define>
  <face name = "cut">
    <gc>
      below("layer.ground")
    </gc>
    <tc.consist>

```

```

e.name=="layer.pavement" or (e.name=="layer.design"
and e.linetype=="solid") or (e.name=="layer.struct"
and e.linetype=="solid")

```

```

</tc.consist>
</face>
</define>

```

이 condition에 형태 패턴이 일치되어 인식된 face는 그림 10과 같다.

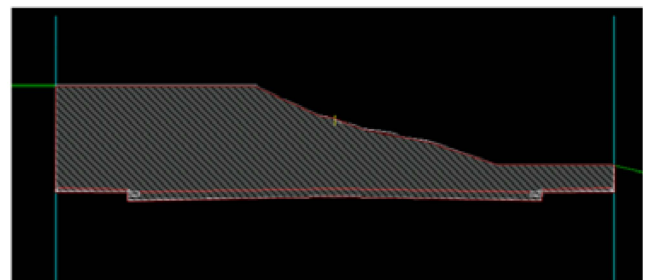


그림 10. 절토 토공

다음으로 지반선과 구조물선으로 구성된 횡단면도의 암거에 대한 토공 형태 패턴은 SPD언어로 다음과 같이 정의하였다. 기하 조건은 지반아래에 있고, 위상 조건은 구조물과 지반으로 둘러싸인 형상으로 터파기나 되메우기를 인식하도록 하였다. 조건이 일치하는 face는 그림 11, 12와 같다.

```
<define>
  <face name = "Excavation">
    <gc>
      below("layer.ground")
    </gc>
    <tc.consist>
      e.name == "layer.struct" or e.name == "layer.ground"
    </tc.consist>
  </face>
  <face name = "Refill">
    <gc>
      below("layer.ground")
    </gc>
    <tc.consist>
      e.name == "layer.struct" and e.name == "layer.ground"
    </tc.consist>
  </face>
</define>
```

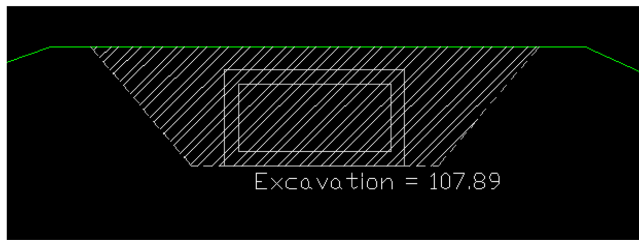


그림 11. 암거 토공 터파기(Excavation) 영역

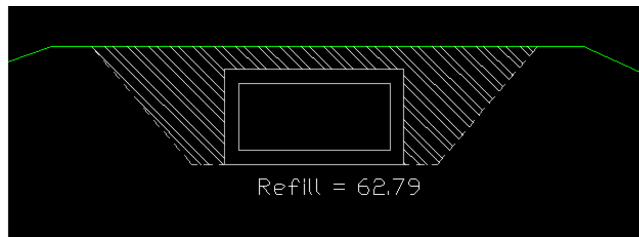


그림 12. 암거 토공 되메우기(Refill) 영역

실험 결과에서 보는 바와 같이 그래프 위상 모델 기반으로 SPD언어를 이용해 암거 토공 공중 형태를 인식하고, 공중 이름을 자동 정의하기 위해서 위상요소에 맞는 기하 조건과 위상 조건을 정의한 후 모델을 실행하여 제대로 토공 공중의 형태가 제대로 인식되는 지를 결과 확인 하였다. 결과에서 보는 바와 같이 간단하고 손쉽게 도면의 특정 형태 패턴을 자동 인식해 이름(name)을 정의하고 수량을 산출할 수 있음을 알 수 있다. 미리 소스 코드에서 각 토공 공중별로 계산되어 토공량 산출이 되는 기존 설계시스템 방식보다 이 그래프 위상 모델 방식을 사용하면 다양한 엔지니어링분야에 필요에 맞게 형태 패턴에 대한 조건을 정의하여 패턴

을 인식해 이름정의하고 각 실무에 맞게 확장해 나갈 수 있으므로, 모델의 유연성과 확장성을 고려할 때 더욱 유용하리라 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 공사비 산출에서 50% 이상을 차지하는 토공량 산출시 중요한 도면에서 토공 형태 인식문제를 그래프 위상 모델을 기반으로 자동 인식, 분류할 수 있는 모델과 알고리즘을 제시하였다.

수량산출 규정을 지원하는 Civil 3D, Road Projector 5.0, Road Design 2000등의 국내외 설계 자동화 시스템은 토목 엔지니어링의 토공과 관련된 수량 산출 중 도로와 같이 일부분의 토공 수량 산출에만 특화되어 있으며, 엔지니어링 업체별로 특화된 설계를 적용했을 때 토공 수량을 뽑을 수 있는 방법이 전혀 없다. 해당 시스템에서 제안된 토공의 경우에만 처리되므로, 이외의 경우 마찬가지로 수작업으로 수많은 계산을 해야 하는 경우가 발생한다. 이런 경우 수작업으로 계산한 수량들을 반대로 시스템에 입력해야 하는 추가 오버헤드도 발생하므로 입력상 오기로 인한 공사비 산출 오류도 발생할 수 있어 문제가 될 수 있다. 마찬가지로 현재 국외에서 토공 수량 자동 산출을 지원하는 시스템들도 정해진 토공 항목에 대해서만 자동 계산을 하므로 이외의 경우에는 대안이 없는 실정이다.

사용자가 스케치한 횡단 계획 등 도면에서 위상정보를 자동 추출하여, 위상 패턴을 이용해 토공을 수학적 모델을 바탕으로 사용자가 유연하게 정의할 수 있다면, 현재 시스템이 지원하지 않는 토공에 대한 수작업 비용, 재입력 시 실수로 인한 정보 손실등과 같은 문제들을 해결할 수 있다.

본 연구에서는 횡단 스케치 도면에서부터 위상 정보를 자동 구성해 이를 통해 사용자 정의 가능한 토공 위상 패턴을 인식하여 토공을 자동 분류하는 모델 및 형태 패턴 정의 언어를 제시하였다. 아울러 위상 정보를 이용해 패턴을 비교할 때 발생할 수 있는 문제인 패턴 분류 속도를 개선하기 위한 대안도 제시하였다. 마지막으로 이 모델의 유용성을 확인해 보기 위해, 패턴 정의 언어를 이용하여 터널과 같은 지하 매설물에 대한 절토 토공을 3가지 암중에 대해 자동으로 토공 분류해 모델의 확장성 및 유용성을 검증해 보았다.

향후 다음과 같은 연구가 필요하다.

1. 토공 뿐 아니라 다른 도면상에서 도형의 집합에 발견되는 형태 패턴 기반으로 수량을 산출하는 부분에 대한 유용성 검증이 필요하다. 사실, 그래프 위상 기반 모델은 도형이 집합인 도면에서 형태 인식과 분류에도 유용하게 적용될 수 있음을 밝힌다.
2. 정의된 토공 모델을 확장해 좀 더 세밀한 토공 인식이 가능하도록 한다. 현재는 절토와 성토, 구조물 일부분에 대해서만 검증이 되었다. SPD언어를 이용해 좀 더 다양한 토공 모델을 축척해 나갈 필요가 있다.
3. SPD 언어를 GUI(Graphic user interface)기반으로 정의할 수 있는 방법을 연구할 필요가 있다. SPD언어는 c언어에 기반한 xml format 언어이므로 일반 실무자들이 다루기 어려운 부분이 있다고 판단된다. 그러므로 도면에서

SPD GUI 편집 도구를 통해 손쉽게 형태 패턴에 대한 조건을 정의할 수 있는 방법이 필요하다.

참고문헌

- 박운용, 김정동, 김천영, 안상준(1999) 정밀 DTM 이용한 토공량 산정에 관한 연구, 1999년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, pp. 447-450.
- 박종범(2008) GIS 및 시뮬레이션을 기반으로 한 토공계획 프로세스 모델 연구, 석사학위논문, 한양대학교 공학대학원.
- 손흥규(1986) 수치지형 모델을 이용한 토공량 계산의 정확도에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교.
- 신봉호, 윤철규, 엄재구, 안왕재(1992) 수치적분에 의한 토공량(土工量) 산정에 관한 연구, 건설기술논문집, Vol. 11 No. 1. pp. 153-161.
- 이문재(2003) 토공량 결정에 관한 연구, 석사학위논문, 동의대학교 대학원.
- 이석찬, 신봉호, 이재효(1985) Digital Terrain Model 을 이용한 토공량 산정, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제5권 제1호, pp. 83-90.
- 황영조(2007) 시스템 다이내믹스를 활용한 토공량 산정모형, 석사학위논문, 경희대학교 대학원.
- Ahmed, F.A. (1983) Area computation using sailent boundary points, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 1, pp. 54-63.
- Baumgart, B.G. (1975) Winged-Edge Polyhedron Representation for Computer Vision, *National computer conference*.
- Chen, C.S. and Lin, H.C. (1991) Estimating pit-excavation volume using cubic spline volume formula, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 2, pp. 51-66.
- Easa, S.M. (1992) Discussion of Estimating pit-excavation volume using cubic spline volume formula, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 2, pp. 66-67.
- Easa, S.M. (1988) Area of irregularregion with unequal intervals, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 2, pp. 50-58.
- Hassan, I.M. (1987) Irregular boundary area computation by simpson's 3/8 rule, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 3, pp. 127-132.
- Karimi, S.M., Mousavi, S.J., Kaveh, A., and Afshar, A. (2007) Fuzzy Optimization Model for Earthwork Allocations with Imprecise Parameters, *Journal of construction engineering and management*, Vol. 133, Issue 2, pp. 181-190.
- Moreb, A.A. (1996) linear programming model for finding optimal roadway grades that minimize earthwork cost, *European Journal of Operational Research*.

(접수일: 2009.11.17/심사일: 2009.12.21/심사완료일: 2010.2.1)