

# 토공 운반경로 탐색 시스템 개발에 관한 연구

강상혁\* · 박수현\*\* · 서종원\*\*\*

Kang, Sanghyeok\*, Park, Soohyun\*\*, Seo, Jongwon\*\*\*

## A Study on Development of Dump Truck Route Exploration System

### ABSTRACT

This study presents a geographic information system based dump truck route exploring system (DRES) which provides construction managers and hauling operators with efficient route information that can improve earthmoving productivity by reducing hauling time. The system is comprised of Network Analyst from Esri as a route exploring engine and a network data model. The network data model includes information on weight limit of bridges, height limit of pedestrian overpasses, and one way that impedes dump trucks' hauling efficiency. A construction manager is expected to input origin and destination point in the user interface, and the system generates an efficient route that avoids bridges with weight limit or pedestrian overpasses with height limit. The system was applied to a real earthmoving project to test its applicability, and it was found that the system functions as intended.

**Key words** : Earthwork, Haul route, Earthwork productivity, Operational constraints of dump trucks

### 초록

본 연구에서는 건설관리자 및 덤프트럭 운전자에게 효율적인 토사 운반경로 정보를 제공하기 위한 '덤프트럭 운반경로 탐색 시스템(DRES)'을 구축하였다. 이 시스템은 Esri사에서 제공하는 '네트워크 애널리스트(Network Analyst)'를 분석 엔진으로 탑재하고 있으며, 경로 데이터는 네트워크 데이터 모델을 활용한다. DRES는 사용자가 출발지(현장)와 목적지(사토장 혹은 토취장)를 선정하면 덤프트럭이 효율적으로 운행할 수 있는 경로를 도출해내도록 구현되었다. 이 경로는 덤프트럭의 운행이 금지된, 제한중량이 있는 교량이나 높이제한이 있는 육교 등을 우회하여 생성된다. 개발한 DRES를 사례 현장에 적용한 결과 운행 제약 조건들을 회피하는 경로를 도출하여 운전자에게 더욱 효율적인 경로 정보를 제공하는 것으로 나타났다.

**검색어** : 토공사, 운반경로, 토공 생산성, 덤프트럭 운행제한

## 1. 서론

건설공사에서 토공계획은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 내부 토공계획이고, 다른 하나는 외부 토공계획이다. 내부 토공계획은 굴삭기, 불도저 등과 같이 현장 내에서 운용되는 토공장비들의 이동 경로와 작업에 관한 것이고, 외부 토공계획은 현장에서 반출·반입된 흙을 사토장·토취장까지 운반하는 경로에 관한 것이다. 이 두 토공계획은 서로 간에 조합을 이루어 진행되며, 두 토공계획의 품질은 토공 생산성에 큰 영향을 미친다.

일반적으로 외부 토공계획은 건설 프로젝트의 종합적인 토공계획에서 중요하게 다루어지지 않는다. 현장에서 사토장 혹은 토취장까지의

\* 정희원 · 인천대학교 건설환경공학부 조교수 (Incheon National University · [lifesine@inu.ac.kr](mailto:lifesine@inu.ac.kr))

\*\* 정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 박사수료 (Hanyang University · [s10230@hanyang.ac.kr](mailto:s10230@hanyang.ac.kr))

\*\*\* 종신회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 (Corresponding Author · Hanyang University · [jseo@hanyang.ac.kr](mailto:jseo@hanyang.ac.kr))

Received July 27, 2018/ revised September 4, 2018/ accepted September 17, 2018

거리를 바탕으로 필요한 덤프트럭 대수를 산정하는 정도의 개략적인 외부 토공 계획만 세우고, 대부분 세부적인 외부 토공 작업은 운반차량 용역업체에게 일임하기 때문이다. 따라서 외부 토공작업을 종합적인 토공계획 범위 안에서 관리하기가 어렵다.

실제로 덤프트럭 운전자들의 감독은 본인의 관할 운전자들에게 ‘괜찮을’ 것으로 예상되는 경로를 대략적으로 알려준다. 대다수의 운전자는 별 의심 없이 감독이 가르쳐주는 경로로 다니거나 본인이 ‘이른 길’로 운행한다. 이러한 방식으로 덤프트럭 운반경로에 대한 충분한 검토가 없는 상태에서 경로가 결정되기 때문에, 덤프트럭 운반 효율성을 확보하기 어려울 뿐만 아니라 개별 덤프트럭 운전자의 운행을 관리하기도 어렵다. 특히 덤프트럭의 운행이 제한되어 있는 교량이나 특별구역을 통행하다 단속에 걸리는 등 운반 효율을 저하시키는 여러 요소들이 상존하고 있어 이에 대한 해결이 요구된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 덤프트럭의 효율적인 운반경로를 도출하는 정보시스템(Dump truck Route Exploration System, DRES)을 개발하였다. 본 연구의 범위는 외부 토공계획에서 덤프트럭의 운반경로로 한정하였으며, 특히 도심 지역에서의 운반경로 도출에 초점을 두었다. 최근 도시화가 급격히 진행되면서 도심에서 대규모 아파트 및 지하 공간 공사 등의 빈도가 급격히 증가하여 토공 생산성의 관리가 매우 중요해졌기 때문이다. 아울러 도심 지역은 비도심 지역보다 교통량이 많고, 덤프트럭 운행이 제한되는 구역도 많기 때문에 운반계획에 특별한 주의가 요구된다.

본 연구를 위하여 다음과 같은 작업을 수행하였다. 첫째, 현업 종사자들과의 면담을 통해 토공 운반경로 도출 시 문제점을 파악하였다. 둘째, 현업 종사자와의 인터뷰 및 문헌고찰을 바탕으로 토공 운반경로 탐색 및 결정 방법을 조사하였다. 셋째, 본 연구에서 문제로 정의한 상황을 개선시키기 위한 운반경로 탐색 시스템을 설계하였다. 넷째, 문제를 해결하기 위한 덤프트럭 운반경로 분석 시스템을 구현하였다. 마지막으로 구현된 시스템을 사례 현장에 적용하여 현장 적용성을 평가하였다.

## 2. 문헌고찰

토공계획과 관련된 기존의 문헌은 대부분 토공사의 종합적인 계획을 생성하기 위한 방법론이나 내부 토공계획 수립 자동화에 초점을 두고 있다. Lee et al.(2008)은 토공사의 내부 작업 계획을 자동적으로 수립하기 위한 시스템(Task Planning System)을 구축하기 위하여 숙련된 작업자의 휴리스틱스(heuristics)를 활용하였다. 이를 통해 시행착오가 적고, 더욱 안전하고 효율적인 작업계획을 수립할 수 있다는 것을 보였다. Won et al.(2007)은 토공장비 계획에서 단시간에 합리적인 판단을 할 수 있도록 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 기계화 토공장비의 굴삭과 적재 및 운반단계를

대상으로 토공장비의 적정 조합모형을 구축하였다. Kang et al. (2010)은 단지조성 프로젝트에서 덤프트럭의 운영 효율에 영향을 끼치는 여섯 가지 요소(시공성, 민원, 신설 도로, 기존 도로, 장애물)를 고려하여 운반경로를 산출하는 토사 운반로 레이아웃 시공계획 프레임워크를 제시하였다. Lee et al.(2016)은 수송모형이론을 바탕으로 도로공사의 토공물량 최적 운반계획 모델을 수학적으로 산출하였다.

외부 토공계획 수립에서는 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)이 상당히 효과적으로 활용되었다. Seo and Kang(2006)은 운반 경로의 중단경사를 자동으로 계산하는 GIS 기능을 바탕으로 효율적인 토공계획 수립이 가능하다는 것을 보였다. Choi et al.(2009)은 GIS 분석을 기반으로 광산 공사에서 광석 매장량, 커브, 가시성과 같은 영향요소를 종합적으로 고려한 트럭의 운반경로를 도출하는 방법을 보였다. Kang and Seo(2013)는 비도심 지역에서 운반효율에 영향을 끼치는 여러 요소를 GIS 환경에서 모델링한 후, 최소비용경로(Least-Cost-Path) 분석을 바탕으로 더욱 효율적인 토공 운반경로를 도출하는 방법론을 제시하였다.

기존의 토공경로 계획과 관련된 문헌은 비도심 지역에서 토공경로를 탐색하는 방법에 초점이 맞추어져 있다. 하지만 최근 도시화가 급격히 진행되면서 도심 내에서 수행되는 토공사의 빈도가 증가하고 있는 상황을 고려하였을 때, 현실적으로 토공 운반효율에 영향을 끼치는 요소들은 기존 문헌에서 제시한 것과는 많은 차이를 보이게 된다. 예를 들어 운반차량이 통행할 수 없는 교량이라든지 민원 등으로 출입이 통제되는 도로 등이 여기에 포함된다. 따라서 본 연구에서는 대도시 시가지를 통행해야 하는 운반차량에 집중해서 연구를 수행하였다.

자동차 내비게이션 시스템과 유사하게 화물차를 위한 내비게이션 시스템이 최근 상용화되었다(MAPPERS Corp., 2016). 하지만 상용화된 내비게이션 시스템은 개발 당시의 시스템에 내재되어 있는 경로 데이터베이스를 이용하여 화물차 경로를 나타낸다는 한계가 있다. 따라서 공사 현장 주변지역의 특수성을 제때 반영할 수 없다는 맹점이 있다. 일례로 인천의 한 지역에서는 시가지를 통행하는 덤프트럭의 먼지와 소음으로 집단 민원이 발생하였고, 이에 지자체 당국에서는 일부 도로에 대해서 덤프트럭이 통행할 수 없도록 제한하였다(Mok, 2018). 이런 특수한 상황을 즉각 반영하기 위하여 본 연구에서는 통행이 불가능한 도로를 사용자가 직접 설정하여 데이터베이스를 수시로 업데이트할 수 있는 사용자 중심의 운반경로 탐색 시스템을 개발하였다.

본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 GIS의 네트워크 분석 기능을 기반으로 한다. GIS가 경로 산출 분야에서 효과적인 도구라는 것은 다양한 연구에서 입증된 바 있다. 이때 중요하게 다루어져야 할 점은 현실의 세계를 GIS 환경에서 얼마나 현실성 있게 모델링하

여 신뢰성 있는 결과를 나타내는가이다. 이어서 3장에서는 네트워크 구성부터 시작하여 운반 제약 모델을 설정하는 방법에 대해서 설명한다.

### 3. 운반경로 탐색 방법

#### 3.1 현행 운반경로 탐색방법

현행 운반경로 탐색 방법을 파악하기 위하여 경기도 남양주시 00 지하차도 건설 현장을 방문해 덤프트럭 운전자들과 인터뷰를 진행하였다. 덤프트럭 운반 경력이 20년이 넘는 숙련된 운전자를 포함한 10여 명의 운반기사와의 인터뷰를 통해 다음과 같은 사실을 확인하였다.

첫째, 거의 모든 운전자들이 전적으로 경험지식에 의존하여 운반경로를 결정한다. 어느 정도 경험지식이 축적되면 별도의 사전 조사가 필요 없이 가장 편리하게 운반경로를 결정할 수 있다는 장점이 있지만, 경험지식이 없을 경우 여러 단점들이 있다. 우선 현지 도로 사정을 제대로 파악하기 위해서는 수개월의 경험이 축적되어야 한다. 또한 공사 지역에 익숙하지 않은 운전자들에게는 수많은 시행착오를 야기한다. 실제로 통행 제한구역을 지나다가 과태료를 납부하거나 경고를 받았던 경험을 토로하는 운전자들이 많았다. 이러한 운행의 실패는 토공생산성 저하로 이어진다.

둘째, 운전자들은 자동차 내비게이션 시스템의 도움을 받지만 일반 자동차 내비게이션 시스템은 중량 제한이나 통과 높이 제한과 같은 덤프트럭 운행에 실질적으로 영향을 미치는 정보는 제공하지 않는다. 더욱이 덤프트럭이 다닐 수 없는 교량이나 육교, 좁은 길, 일방통행로 등을 구분하지 못한다.

인터뷰 결과 상용화 된 화물차 내비게이션 시스템을 알고 있는 운전자는 없었다. 만약 화물차 전용 내비게이션 시스템이 덤프트럭 운행 시 도움이 되겠느냐는 질문에 인터뷰에 응한 운전자들은 매우 큰 도움이 될 것이라고 답했다. 하지만 화물차 내비게이션 시스템이 어느 정도 수준에서는 덤프트럭 운행에 도움이 될 수 있지만 공사 지역의 특수한 상황을 반영하기에는 부족함이 있다.

덤프트럭 운행에서 가장 문제가 되는 것은 통행이 불가능한 도로인데, 적지 않은 교량이 통행 차량 중량을 제한하고 있다. 예를 들어 서울에 있는 천호대교는 총중량 32톤 초과를 차량 통행 제한기준으로 하고 있다. 또한 육교의 경우 통과 높이가 제한되어 있다. 이러한 덤프트럭 운행 제한이 되는 요소들에 대한 사전 정보가 없는 상태로 토사를 운반할 경우, 단속에 걸려 과태료를 납부해야 하는 상황이 발생하거나, 왔던 길을 다시 돌아가야 하는 일이 발생할 수 있어 결과적으로 토공 생산성이 낮아지는 결과를 초래할 수 있다.

또 하나의 문제는 교량이나 도로의 중량 제한이나 육교 높이

제한과 같은 정보를 사전에 파악하는 것이 매우 어렵다는 것이다. 인터뷰 내용을 바탕으로 중량제한으로 많은 운전자들이 어려움을 겪는 한 교량을 방문하여 과적 사무소 담당 공무원에게 문의한 결과 중량 제한이나 높이 제한과 같은 정보가 문서화되어 있지 않다는 것을 확인하였다. 직접 교량을 방문해서 해당 교량의 대한 표지판을 확인하지 않고서는 그 교량이 중량 제한이 있다는 것을 알아낼 방법이 없다.

#### 3.2 덤프트럭 운행 제약 조건

여러 현업 종사자들을 대상으로 덤프트럭 경로를 결정할 때 고려해야 하는 요소들에 대해 인터뷰를 수행하였다. Table 1은 인터뷰 내용과 문헌고찰 결과를 정리한 것이다. 덤프트럭의 교량 통행 제한 하중은 교량 설계 하중에 따라 결정되기 때문에 덤프트럭 운행 제약 조건 중 가장 결정적인 요소이다. 예를 들어, 덤프트럭에 토사를 가득 싣게 되면 총 중량은 약 32~37톤에 이르게 되므로, DB-13.5나 DB-18의 교량은 통과할 수 없게 된다. 또한 육교 혹은 지하차도의 통과 높이도 덤프트럭 운행의 주요 제한요소가 된다. 숙련된 덤프트럭 운전기사들의 인터뷰 결과에서도 알 수 있듯이 다수의 덤프트럭 운전자들이 통과높이를 제대로 인지하지 못해 구조물과 충돌하는 사고가 많이 발생하는 것으로 조사되었다. 특히 통과 높이의 경우, 운전자들에게 주어진 정보가 없기에 해당 육교나 교량 근처까지 가서 제한 높이를 확인한 후에 경로를 변경하거나 돌파를 감행하다 구조물과 충돌하는 사고가 발생하게 된다. 그 외에 덤프트럭 통행제한 시간, 생활 소음 규제기준, 각종 민원 등에 의해 덤프트럭 운행이 제한될 수 있다.

#### 3.3 운반경로 탐색 방안

위에서 파악된 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 GIS를 기반으로 한 운반경로 탐색 시스템(Dump truck Route Exploration System, DRES)을 구축하였다. 네트워크 분석을 위하여 ArcGIS

Table 1. "No passing" Restrictions of Dump Trucks

Factor		Condition
Bridge design load	DB-13.5	< 24.3ton
	DB-18	< 32.4ton
	DB-24	< 43.2ton*
Clearance	Pedestrian bridge	< 4.5m
	Underpass	< 4.8m
Speed		60~70km/hr

\* The limit load of the dump truck is the total weight of the dump truck loaded with soil. Even if the total weight of the dump truck is not more than 43.2ton, the vehicle of 40ton or more is restricted for the safety of the bridge

에서 제공하는 ‘네트워크 애널리스트(Network Analyst)’를 도입하였다. 네트워크 애널리스트는 GIS 소프트웨어 개발 회사인 Esri에서 제공하는 네트워크 분석 엔진으로 도로 네트워크 데이터 모델 상에서 최단 경로 또는 최소 시간의 경로를 산출한다.

Fig. 1은 덤프트럭 운반경로 도출 시스템을 구축하기 위한 프로세스를 보여준다. 우선 현업종사자 인터뷰 및 문헌고찰을 통해 운행 제약 정보를 파악하였다. 이와 동시에 도로 네트워크 공간데이터(도로 링크, 노드, 회전정보 등)를 획득하여 네트워크 데이터 모델을 구축하였다. 도로 네트워크 데이터는 ‘국가교통 DB’ 홈페이지(KTDB, 2017)와 ‘지능형 교통체계 표준노드링크관리 시스템’ 홈페이지(MOLIT, 2017)에서 획득하였다. 그 다음 사용자 인터페이스를 구현하기 위하여 독립형의 시스템(standalone system)을 제작하였다. 이 시스템에서는 네트워크 데이터 모델이 네트워크 데이터베이스 역할을 수행하게 된다. 이렇게 네트워크 데이터베이스

스와 네트워크 분석 엔진이 탑재된 시스템에서 사용자는 출발지와 목적지를 선정하고, 덤프트럭 운행 가능 경로를 탐색한다.

#### 4. 시스템 구현

##### 4.1 시스템 설계

덤프트럭 운반경로 탐색 시스템은 Fig. 2에 제시한 것과 같이 두 개의 인터페이스로 구성된다. 우선 시스템 맵 상에서 사용자가 출발지와 목적지를 정할 수 있도록 사용자 인터페이스를 제작하였다(Fig. 3). 이때 사용자는 건설현장 지역을 선택하고(Fig. 3①), 중량 제한, 높이 제한 등과 같은 제약사항을 포함할지 여부를 선택하게 된다(Fig. 3②). 출발지점과 도착지점을 선택한 다음(Fig. 3③), 경로를 도출한다(Fig. 3④). 도출된 경로를 위·경도 정보의 파일로도 받아볼 수 있다(Fig. 3⑤).

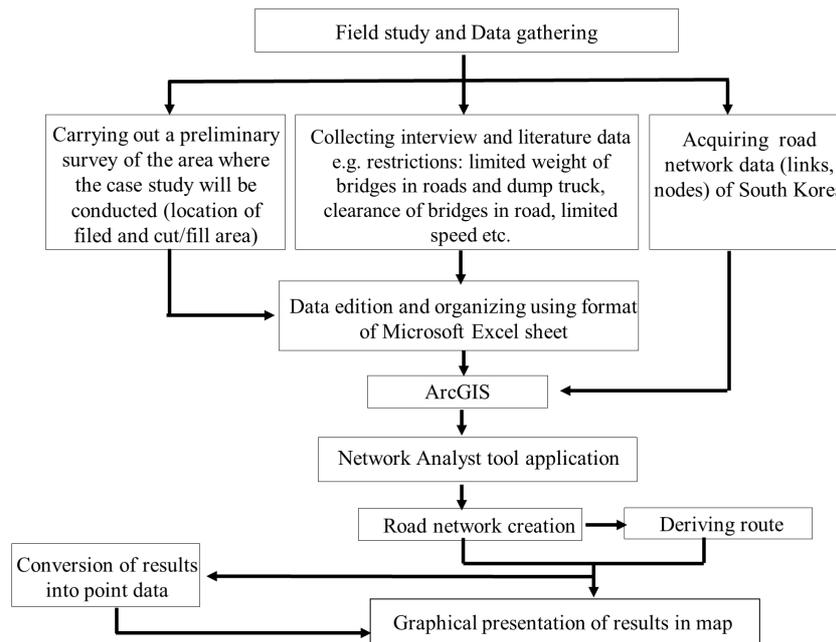


Fig. 1. Implementation Process of Dump Truck Route Exploration System

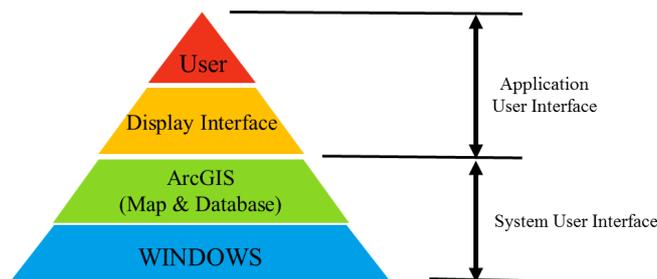


Fig. 2. System's Architecture

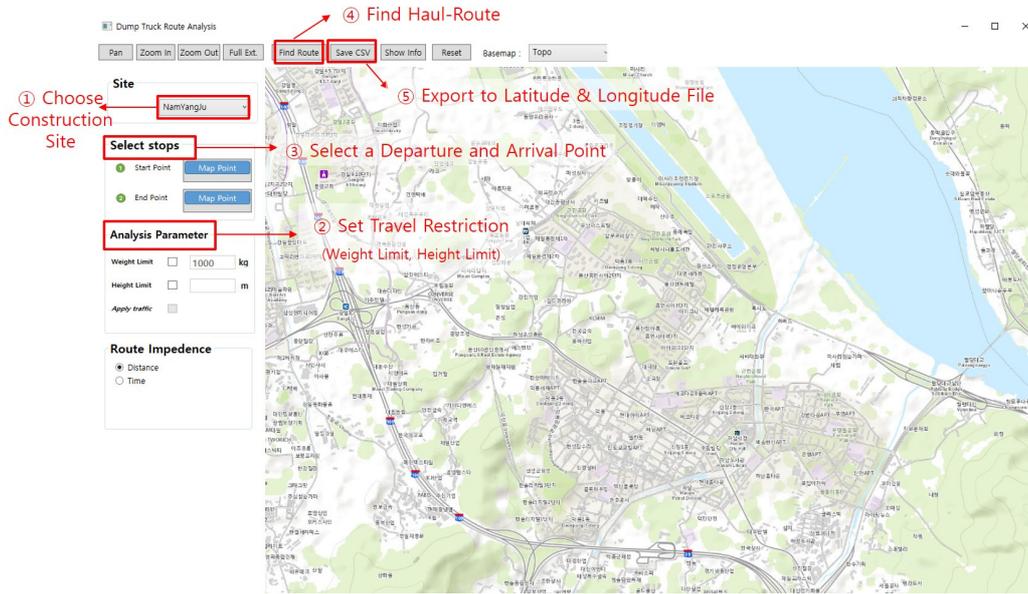


Fig. 3. User Interface of DRES

시스템은 Esri에서 제공하는 ArcGIS 10.5 (Esri Inc, 2017) 환경에서 제작되었다. 앞서 언급한 바와 같이 네트워크 분석을 위하여 네트워크 분석 엔진을 장착하였고, 사용자화(customizing)가 필요한 부분은 마이크로소프트의 C#언어를 사용하여 보완하였다.

#### 4.2 네트워크 데이터 모델 생성

본 시스템의 구성요소 중 가장 중요한 것은 네트워크 데이터 모델이다. 네트워크 데이터 모델의 품질에 따라 경로의 품질이 좌우되기 때문이다. 네트워크 데이터 모델의 품질은 데이터의 양과 정확도에 따라 결정되므로 경로 결과의 신뢰성을 높이기 위해 많은 양의 정확한 도로 데이터를 얻을 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 덤프트럭을 위한 네트워크 데이터 모델을 구축하기 위하여 다음과 같은 방법으로 통행 제약 정보를 수집하였다. 우선 현업 종사자와의 인터뷰를 실시하여 정보를 파악하였다. 건설현장에 운반차량의 통행이 제한되는 지점의 위치를 파악하고, 그것을 네트워크 데이터 모델에 반영하였다. 그러나 현지인이라 하더라도 그 지역의 모든 운행 제약 정보를 파악하고 있지 않다는 한계점이 있다. 따라서 여러 문헌과 정보 시스템에서 운행 제약 정보를 수집하였다.

선행 연구를 토대로 덤프트럭 운행 제한 조건 중 가장 중요한 교량별 제한하중 및 높이제한을 시스템상의 제한 조건으로 설정하였다. 교량별 제한하중 및 높이 제한 데이터는 ‘도로 교량 및 터널현황정보시스템(KICT, 2017)’에서 획득하였다. 도로별 속도, 일방통행 유무, 회전가능 여부 등의 도로망 공간정보 데이터베이스는 3.3절에서 언급한 ‘국가교통 DB’사이트와 ‘지능형 교통체계 표준

노드링크관리 시스템’ 홈페이지에서 구하였다.

네트워크 데이터 모델 구축은 다음과 같은 프로세스로 이루어졌다. ‘국가교통 DB’와 ‘지능형 교통체계 표준노드링크관리 시스템’에서 얻은 도로 네트워크 데이터(링크, 노드, 회전정보 등)에서 본 연구에 필요한 기본적인 도로망 공간정보 데이터베이스(도로길이, 도로속도, 일방통행 유무, 도로 종류, 회전유무 등)만 추출하여 데이터를 가공한 후, 선행 조사한 덤프트럭의 제약조건(교량 제한하중, 통과 높이 등)들을 속성에 추가하여 지오데이터베이스 피쳐데이터셋(GeoDatabase FeatureDataset) 기반 네트워크 데이터셋(Network Dataset)을 구축하였다. 이후 덤프트럭 제약 조건식(덤프하중(높이)>설계하중(높이))을 최종적으로 입력하여 네트워크 기반 토폴로지를 검색할 수 있는 환경을 구축하였다.

#### 4.3 네트워크 애널리스트(Network Analyst)

네트워크란 자원의 흐름을 통해 연결된 선형의 체계를 의미한다. 이러한 자원의 흐름은 선형의 연결 상태와 다른 요소들과의 특성에 영향을 받는다. 이와 같은 요소들을 GIS의 네트워크에 추가하여 현실적인 모형을 구축할 수 있다. 네트워크의 구성요소로는 연결(link), 장애물(barrier), 회전(turn), 중심점(center), 정지지점(stop) 등이 있다. 연결은 일반적으로 가로나 수로 등과 같은 이동의 경로를 뜻하며, 장애물은 이동에 방해가 되는 모든 요소들이다. 회전은 회전 교차로와 같이 모든 가능한 방향전환을 뜻하며, 중심점은 학교나 소방서와 같이 자원을 받거나 배분하는 곳을 의미한다. 마지막으로 정지지점은 자원이 내려지거나 취해지는 곳(예를 들어 버스정류장)을 의미한다. 또한 네트워크 분석에 필요한 또 다른

속성으로는 각 링크에 부여 되는 저항값(impedance)이 있으며, 이동의 시간, 거리, 속도 등이 이에 해당한다.

GIS에서 주로 사용되는 네트워크 분석은 최적경로를 결정하는 것과 서비스 권역을 설정하는 것으로 구분할 수 있다(Oh and Jung, 2013). 실제로 완성된 자동차 배달택송 물류 합리화 및 물류거점 최적화를 위해 네트워크 분석이 활용되었으며, 한 대학병원 응급의료센터에서는 의료공백 지역을 해결하기 위해 구급차 경로 최적화에 네트워크 분석을 활용한 사례가 있다(biz-gis.com, 2016). 본 연구는 GIS 기반의 덤프트럭의 최적 토공운반경로 알고

리즘을 구축하는 것이기 때문에 네트워크 데이터 모델 구축을 시작으로 구축된 네트워크상의 출발점에서 도착점까지 저항값(시간, 거리 등)의 합이 최소가 되는 연속된 링크들을 찾는 네트워크 분석 중 최적경로 탐색방법을 이용하였다.

덤프트럭의 최적 토공운반경로 도출을 위한 알고리즘은 Fig. 4와 같다. GIS상에서 도로의 회전정보, 속도, 회전유무 등의 도로 네트워크 데이터(Road Factors)를 입력하여 경로 레이어(Route Layer)를 생성한 후 덤프트럭의 출발 및 도착 지점을 지정한다. 경로 레이어에 Fig. 5에서와 같이 비주얼 베이직(Visual Basic,

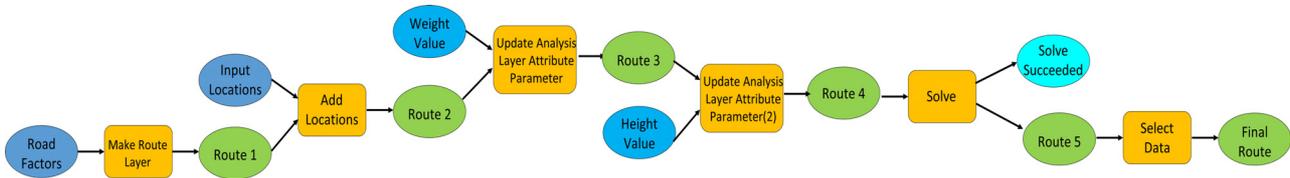


Fig. 4. Algorithm for Deriving Haul Route of Earthmoving Dump Trucks

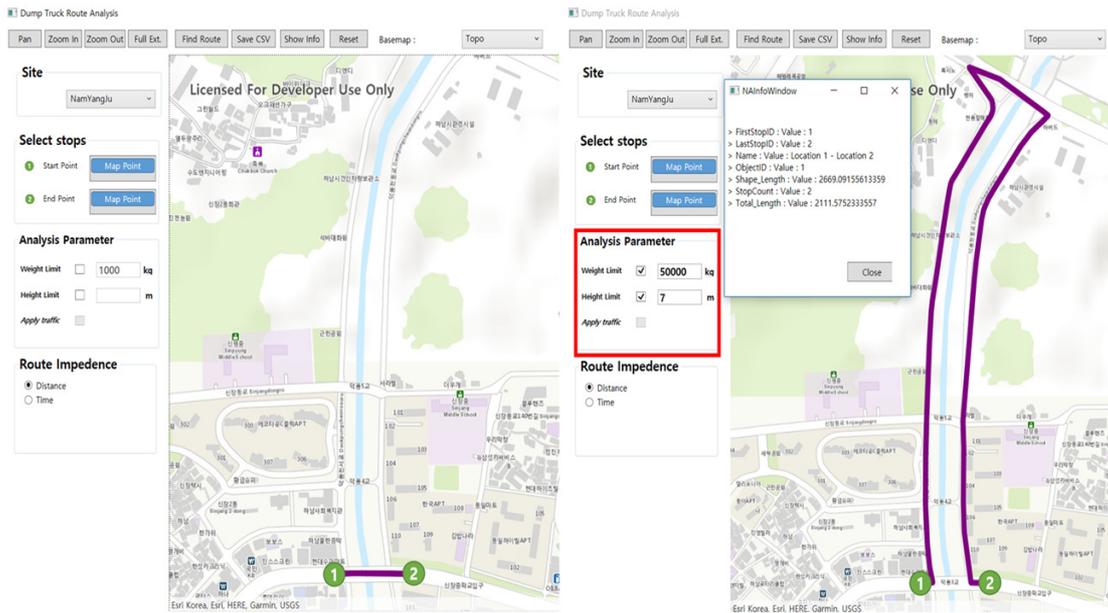
```

Pre-Logic Script Code:
restricted = false

height = ParameterValueByName("VehicleHeight (m)")
if height > 0 then
    maxHeight = Edge.AttributeValueByName("REST_H_1")
    if maxHeight > 0 then
        restricted = height > maxHeight
    end if
end if

Value =
restricted
    
```

Fig. 5. VB Code for Constraints (Height)



(a) Route without Constraints

(a) Route without Constraints

Fig. 6. Route without Constraints (a) and Route with Constraints (b)

VB) 코드로 덤프트럭의 하중(Weight Value, ‘VehicleWeight(kg)’) 및 덤프트럭의 높이(Height Value, ‘VehicleHeight(m)’)에 따른 제약 조건식을 세워 각 도로 링크에 있는 교량의 허용하중(maxWeight)과 통과높이(maxHeight)를 초과하지 않도록 경로 레이어의 속성을 업데이트 한다. 이와 같은 네트워크 모델을 생성한 후, 네트워크 분석을 통해 제약 조건(교량 제한하중, 통과 높이)에 해당하지 않는 최적의 네트워크 기반 토공 운반로를 도출해 낸다.

## 5. DRES 적용성 평가 및 고찰

### 5.1 예제 테스트

시제품을 실제 공사현장에 적용하기 전에 우선 덤프트럭 제한 조건이 네트워크 데이터 모델에 잘 반영되었는지 확인하기 위하여 예제분석을 수행하였다. Fig. 6(a)와 같이 통행 제한조건(예: 덤프트럭의 중량, 높이)을 반영하지 않은 상태에서 시스템에 출발지(①)과 도착지(②)를 입력하여 경로 탐색을 실행하였다. 출발지에서 도착지까지 통행 제한하중이 40톤인 교량을 통과해서 가는 경로가 도출되었다. 이어서 덤프트럭의 중량이 50톤이라고 임의로 설정한

후 경로를 분석하니 Fig. 6(b)와 같이 우회하는 경로가 생성되었다. 즉, 교량의 제한중량이 사용자 입력 값인 50톤보다 낮기 때문에 제한 중량에 해당되는 교량은 경로에서 제외된 것이다.

### 5.2 사례적용

토공사가 진행되고 있는 경기도 남양주시 ○○ 지하차도 도로 공사 현장을 대상으로 DRES를 적용하여 덤프트럭의 운반경로를 산출하였다. 이를 위해 현장과 사토장 사이의 도로 네트워크 데이터를 구축하고, 통행 운행제한 속성을 입력하여 경로 분석에 필요한 기초 데이터셋을 준비하였다. 이 공사에서 덤프트럭은 현장에서 반출되는 토사를 경기도 포천시에 위치한 사토장까지 약 30km를 운반한다. 이 경우 덤프트럭이 주행할 때 제약이 되는 조건은 Table 2와 같다. 또한 해당 덤프트럭은 흙을 가득 실은 상태로 총중량이 약 32톤이고, 전고는 3.5m이다.

DRES를 이용하여 건설 현장에서 사토장까지의 덤프트럭 경로를 도출하였다(Fig. 7(a)). 그리고 실제 현장에서 운전자들이 운행했던 경로를 지도에 표시하였다(Fig. 7(b)). 두 경로를 비교한 결과 DRES의 결과 값과 실제 운행에 사용되었던 경로가 매우 유사하다

Table 2. “No passing” Restrictions in Case Study Area

Factor		Condition
Bridge design load		< 40ton
Clearance	Pedestrian bridge	< 5m

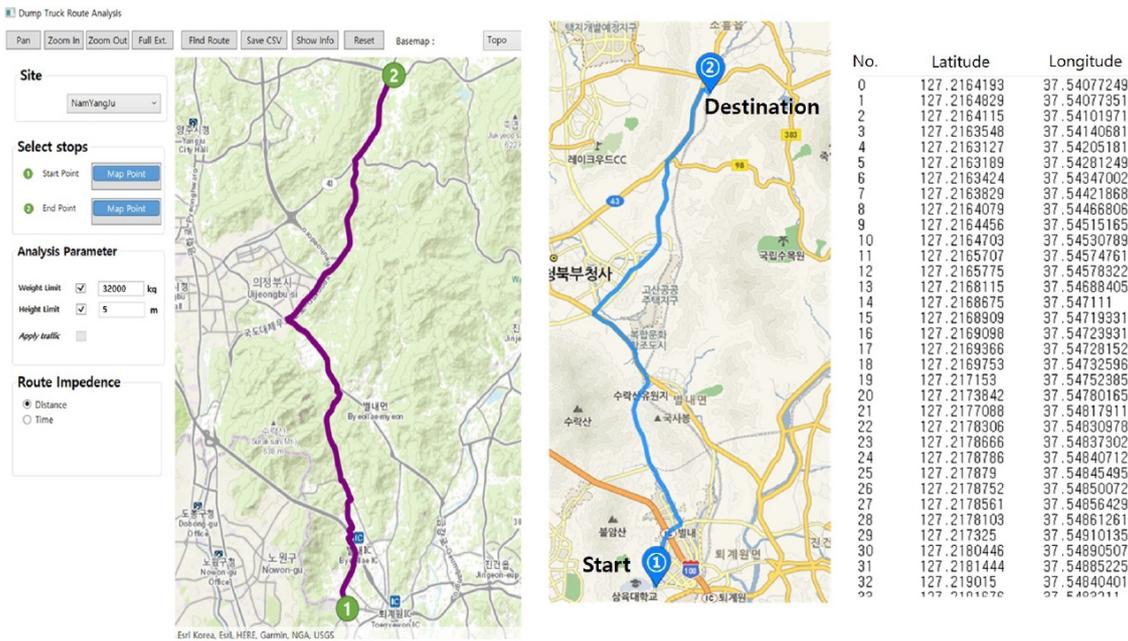


Fig. 7. Case Study Results

는 것을 확인할 수 있었다. 현장 덤프트럭 운전자들과의 면담에 의하면, 지금의 경로를 발견하기까지 몇 번의 시행착오가 있었다고 한다. 즉, 몇 개의 다른 경로들로 운전한 결과 지금의 경로가 최선이라는 것을 알 수 있었다는 것이다. 하지만 대부분의 운전자는 현재 운행하고 있는 경로가 최적의 길인지에 대한 확신이 없었다. 다시 말해 운전자 본인이 다니는 길이 최적의 길인지 확인하지 못한 상태로 다른 운전자들도 '그 길'로 다니니까 본인도 '그 길'로 운행하는 것이었다. DRES의 결과를 현장 덤프트럭 운전자에게 보여준 결과, 본인이 올바른 경로로 이동하고 있다는 것을 확인하고는 반기는 모습을 보였다.

DRES는 사용자 맞춤형으로 현장의 특수한 도로 상황을 사용자가 그때 반영할 수 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 상용 내비게이션 시스템이 있긴 하지만 그것은 중앙에서 통제하는 경로 데이터베이스에서 데이터를 제공받기 때문에 현장 주위 도로의 상황(속성)을 수시로 변경하는 것이 불가능하다. 그러나 DRES의 경우 간단히 네트워크 데이터베이스를 조작하는 것으로 현장의 도로 상황을 실제에 맞게 수정할 수 있으므로 어떤 특수한 조건의 현장에서도 적용성이 우수하다.

DRES는 적용성 뿐만 아니라 확장성도 가지고 있다. 최근 덤프트럭의 운행경로 이탈을 방지하기 위한 방안에 관한 연구가 진행되고 있다. 이것을 위한 선결 과제는 덤프트럭이 운행할 수 있는 표준 운행경로를 도출하는 것이다. DRES는 이와 같은 덤프트럭 운행경로 이탈 방지 시스템에 부분 모듈로 탑재가 가능하다. 또한 DRES가 산출하는 경로는 어느 지도에도 매핑(mapping)될 수 있는 범용성을 갖고 있다. DRES는 산출된 경로의 위도, 경도 정보를 csv 형식의 파일로 출력한다. 따라서 모든 종류의 맵에도 경로 표기가 가능하다.

## 6. 결론

본 연구에서는 토공사의 덤프트럭 운행에서 발생하는 문제를 해결하기 위하여 네트워크 기반의 GIS 경로탐색 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 덤프트럭이 운행할 수 없는 경로에 대한 정보를 담고 있는 네트워크 데이터 모델을 기반으로 한다. 이 모델을 바탕으로 실질적으로 덤프트럭의 운행이 가능한 최단 경로를 도출한다. 덤프트럭의 운행 효율 증가는 토공 생산성의 향상으로 이어질 수 있다.

1985년 사회심리학에 '경로 의존성'이란 개념이 처음 등장하였다. 경로 의존성이란 한 번 정한 경로에 의존하기 시작하면 나중에 그 경로가 비효율적이라는 사실을 알고도 그 경로를 벗어나지 못하는 경향성을 뜻한다. 현재 토공사에서 토사 운반 작업은 '경로 의존성'의 개념을 잘 보여준다. 대부분의 운전자들은 프로젝트 시작할 때 처음 기본 길에서 벗어나지 못하는 경향을 보인다. 따라서 처음부터 운전자에게 효과적이고도 효율적인 경로를 제시해주는

것은 토공 생산성 향상에 매우 큰 기여를 한다. 이런 의미에서 본 연구에서 제시한 운반 경로 탐색 시스템은 토공 생산성 향상의 가능성을 열어 준다.

공학은 현실 문제를 해결하기 위해 과학적 지식을 적용하는 것이다. 그동안 현업 종사자들은 이와 같이 운반경로 정보를 제공해 줄 수 있는 도구에 대해서 많은 필요성을 표출해 왔다. 본 연구에서 구축한 DRES는 덤프트럭 운행경로 탐색 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 것으로 평가된다. 하지만 본 연구는 다음과 같은 한계를 갖고 있다. DRES는 실시간 교통상황을 반영하지 못한다. DRES가 더욱 현실성을 갖기 위해서는 실시간 교통상황을 반영하여 내비게이션 서비스를 제공하는 상용 내비게이션처럼 실시간 교통량이 반영되어야 할 것으로 판단되며, 이는 향후 연구로 이어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(17SCIP-B079689-04) 및 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1A5A1025137).

## References

- biz-gis.com, Explanations of using ArcGIS Network Analyst, [http://www.biz-gis.com/index.php?document\\_srl=35233&mid=paper](http://www.biz-gis.com/index.php?document_srl=35233&mid=paper) (Access: 2017.1.19.).
- Choi, Y. S., Park, H. D., Choon, S. W. and Clarke, K. C. (2009). "Multi-criteria evaluation and least-cost path analysis for optimal haulage routing of dump trucks in large scale open-pit mines." *International Journal of Geographic Information Science*, Vol. 23, No. 12, pp. 1541-1567.
- Enforcement Rule of the Road Traffic, Article 19, <http://likms.assembly.go.kr/law/lawsLawtInqyDetl1010.do#%EC%A0%9C3%EC%9E%A5%EC%A0%9C19%EC%A1%B0> (Access: 2017.6.8.).
- Esri Inc. (2017). ArcGIS Desktop 10.5. [Computer Software].
- Jung, S. W. and Kwon, S. W. (2011). "USN technologies decision making matrix for the efficiency management of earthwork selection." *Korean Journal of Construction Engineering and Management (Korean)*, Vol. 12, No. 5, pp. 55-62.
- Kang, S. H., Baek, K. G., Baek, H. G. and Seo, J. W. (2010) "A GIS-Based planning methodology to determine the haul route layout in complex construction projects." *Journal of Korean Society of Civil Engineers (Korean)*, Vol. 30, No. 6D, pp. 631-639.
- Kang, S. H. and Seo, J. W. (2013). "GIS method for haul road layout planning in large earthmoving projects: framework and analysis." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 139, No. 2, pp. 234-246.

- KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), Road Bridge and Tunnel Status Information System, Available at: <http://bti.kict.re.kr/bti/> (Access: 2017.1.12.).
- KTDB (Korea Transport Database), Available at: <https://www.ktdb.go.kr/www/addPblldataReqstData.do?key=202&clTy=1>(Access: 2017.1.12).
- Lee, S. H., Son, J. H., Pyeon, J. H. and Lee, S. H. (2016). "Developing an optimization model and program for planning the earthwork based upon transportation theory." *Korean Journal of Construction Engineering and Management (Korean)*, Vol. 17, No. 1, pp. 101-109.
- Lee, S. S., Kim, J. H., Kang, S. H. and Seo, J. W. (2008). "Development of task planning system for intelligent excavating system applying heuristics." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers (Korean)*, Vol. 28, No. 6D, pp. 859-869.
- MAPPERS Corp. (2016). ATLAN TRUCK HS-9001 [Devices for Navigation].
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) and Intelligent Transportation Systems Standard Node Link(ITS), National standard node link, Available at: [https://nodelink.its.go.kr/data/data01\\_view.aspx?Fileno=94](https://nodelink.its.go.kr/data/data01_view.aspx?Fileno=94) (Access: 2017.1.12.).
- Mok, D. H. (2018). "[Zoom in Songdo] 'Restricted traffic' in Songdo International City due to constant complaints." *The Kyeongin Ilbo*, July 7, Available at: <http://www.kyeongin.com/main/view.php?key=20180706010002304> (Access: 2018.7.19.).
- Oh, K. S. and Jung, S. H. (2013). *GIS and Urban Analysis-Chapter17 (Network Analysis)*, HanulMPlus Inc., Republic of Korea.
- Seo, J. W. and Kang, S. H. (2006) "Geographic information system based roadway construction planning." *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 33, pp. 508-520.
- Won, S. K., Kim, S. K. and Han, C. H. (2007). "A combination model of earthwork equipment using system dynamics." *Korean Journal of Construction Engineering and Management (Korean)*, Vol. 8, No. 2, pp. 194-202.
- Yoo, H. S., Park, J. W., Choi, Y. N. and Kim, Y. S. (2011). "Object detection from 3D terrain data generated by laser scanner of intelligent excavating system (IES)." *Korean Journal of Construction Engineering and Management (Korean)*, Vol. 12, No. 6, pp. 130-141.