

저탄소 화물운송체계 구현을 위한 3차원 도로망도 모델에 관한 연구

The Research about Map Model of 3D Road Network for Low-carbon Freight Transportation

이 상 훈*

Sang Hoon Lee

요약 최근 도시와 도시간의 물류량 증가로 인하여 교통혼잡비용이 증가하고, 기후변화협약에 따른 이산화탄소 감축이 의무화됨에 따라 저탄소 화물운송체계 개념이 소개되었다. 연료소비량 및 탄소배출량을 고려한 화물운송계획을 수립하기 위해서는 현실의 도로 기하정보를 표현하는 3차원 도로망도가 필수적이다. 본 연구는 화물운송의 주요대상인 도시와 도시간의 간선도로를 중심으로 지형 및 도로구조물을 고려하기 위하여 기존 2차원 교통주제도와 수치표고모델을 이용하여 도로의 실제 기하정보를 반영하는 3차원 도로망도 모델을 제안한다. 제안 모델은 실험 도로구간(평택항-의왕IC)을 대상으로 구축하고 GPS/INS 측량을 통해 구축한 3차원 도로망도가 도로의 기하정보를 잘 표현함을 검증하였다(RMSE=0.87m). 또한, 연료소모량 시뮬레이션을 통해 기존의 2차원 도로망도에 비해 제안모델이 현실도로의 연료소모량을 효과적으로 반영함을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 복잡한 도로의 3차원 기하정보를 반영하여 에너지 및 환경문제를 효과적으로 고려할 수 있는 Green-ITS기반의 화물 경로계획 및 네비게이션 시스템 개발이 가능할 것이다.

키워드 : 도로망도, 3차원지리정보시스템, 수치표고모델, 연료소모량시뮬레이션, 저탄소운송체계

Abstract The low-carbon freight transportation system was introduced due to increase traffic congestion cost and carbon-dioxide for global climate change according to expanding city logistics demands. It is necessary to create 3D-based road network map for representing realistic road geometry with consideration of fuel consumption and carbon emissions. This study propose that 3D road network model expressed to realistic topography and road structure within trunk road for intercity freight through overlaying 2D-based transport-related thematic map and 1m-resolution DEM. The 3D-based road network map for the experimental road sections(Pyeongtaek harbor-Uiwang IC) was verified by GPS/INS survey and fuel consumption simulation. The results corresponded to effectively reflect realistic road geometry (RMSE=0.87m) except some complex structure such as overpass, and also actual fuel consumption. We expect that Green-based freight route planning and navigation system reflected on 3D geometry of complex road structure will be developed for effectively resolving energy and environmental problems.

Keyword : Road Network Map, 3D-GIS, DEM, Fuel Consumption Simulation, Green-ITS

1. 서론

도로망(Road Network)은 도시를 연결하고 교통 서비스를 제공하여 도시민에게 안정적인 공공/민간 서비스를 제공하는 토대가 된다. 최근 경제 발전에

따라 도시와 도시간의 물류량 증가로 인하여 국내 화물수송 물류비는 GDP의 약 12.5%인 106조(2006년 기준)를 차지하고 있으며, 대기오염, 온실가스, 소음 등을 비용으로 환산한 교통 환경비용은 16.5조 원(2007년 기준)으로 GDP의 1.8%에 이른다[10]. 따

† 이 논문은 지식경제부에 의해 지원된 산업원천기술개발사업(과제번호 10038668)에 의하여 수행되었음.

* 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원/팀장 sanghoon@kict.re.kr(교신저자)

라서, 국내의 연간 이산화탄소 배출량의 약 20% (2004년 기준)를 점유하는 화물운송 분야의 환경성 제고를 위해서는 저탄소 화물운송체계의 구현이 필요하다. 이미 국외의 경우에는 기존 지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transport System)에 그린(Green)기술을 융합한 Green-ITS 개념을 도입하여 그 기술개발에 매진하고 있다[2].

효율적인 도로에너지 관리를 위해서는 도로의 구배를 포함하는 3차원 도로망도가 필요하다. Li(2009)에 따르면 3차원 도로망도는 운전자에게 도로 지형 정보를 제공하기 때문에 일반적으로 에너지 효율성을 2~4%까지 증진시킬 수 있다[5]. 또한, 자동차량 항법장치(ADAS: Advanced Driver Assistance System) 구현의 기초정보일 뿐만 아니라, 예측적 차량운전 혹은 연료 컨트롤 등을 통해 효율적으로 차량의 에너지관리가 가능하다[7].

본 연구는 화물운송의 주요대상인 도시와 도시간의 간선도로를 중심으로 지형 및 도로구조물을 고려하기 위하여 기존 2차원기반 교통주제도와 수치표고모델(DEM)을 이용하여 도로의 실제 기하정보를 반영하고, 연료소모량 중심의 화물차량 네비게이션이 가능한 3차원 도로망도 모델을 제안하였다. 또한, 실제 도로를 대상으로 검증 실험을 수행하고 연구결과에 대한 활용방안을 제시하였다.

1.1 연구방법

본 연구의 진행과정은 그림 1과 같다. 먼저, 기존 3차원 도로망도 모델링 관련 문헌연구를 수행하고, 3차원 도로망도의 요구사항을 분석하였다. 분석된 연구사항을 기초로 도로망도 구축에 필요한 국토해양부의 표준-노드링크 지도, 교통주제도, 그리고 민간의 네비게이션 맵 현황을 분석하여 문제점 및 활용 가능한 속성을 도출하였다. 이를 기초로 3

차원 노드-링크 및 기하정보 설정기준을 정의하여 최종적인 3차원 도로망도 모델을 제안하고, 실험 도로노선을 대상으로 3차원 도로망도를 구축하였다. 또한, GPS/INS 측량결과로 기하정보의 정확도 검증 실험을 수행하였으며, 연료소모량 시뮬레이션을 통해 제안모델의 효율성을 검증하였다.

1.2 관련연구

최근 Video-GIS를 도입하는 등 현실감 있는 차량용 네비게이션 개발에 대한 요구가 증가[4, 11]됨에 따라 3차원 도로망도의 필요성이 제기되었다. 3차원 도로망도 구축은 기존 지형도 구축과 달리 도로의 기하정보 및 노드-링크를 포함한 관련 속성을 구축해야 하기 때문에 다양한 방법이 적용된다. 민간의 네비게이션 지도 공급자는 모바일 맵핑 시스템을 주로 이용하고 있다[3, 9]. 그러나 차량을 이용하여 모바일 맵핑시스템은 측량을 위해 도로에서 물리적으로 운전하는 시간이 많이 소요되어 고속도로 혹은 주요 도로에 적합한 방법으로 알려져 있다. 따라서 모바일 맵핑시스템이 적용 가능한 지역은 운전자가 주로 이용하는 도로에 10%에 불과한 것으로 알려져 있다[6].

대안적인 방법으로는 광학영상 혹은 레이저 측량을 통해 도로의 기하정보 벡터를 추출하는 방법이 있다. Zhang(2010) 등은 이렇게 구축한 2차원 지도에 정사영상과 DEM을 이용하여 3차원 도로기하정보를 구축하였다[8]. 그러나, 이러한 연구들은 도로의 3차원 지형 및 구조물에 대한 논리구조 표현이 어려우며, 무엇보다도 3차원 도로망도의 구축 및 유지관리에 비용이 많이 소요되어 현장에 적용하기 어려운 문제가 있다. 본 연구에서는 국토지리정보원이 주기적으로 제작/관리하고 있는 고정밀 DEM(1m해상도)을 적용하여, 적은 비용으로 3차원 도로망도의 구축/관리가 가능한 방법을 제안하였다.

2. 3차원 도로망도 설계

2.1 현행 도로망도 분석

도로망을 표현하는 지도에는 국토해양부의 국가 표준 노드-링크 지도, 교통연구원의 교통주제도와 민간업체에서 제작한 네비게이션 지도가 이용되고 있다.

국가표준 노드-링크지도는 도로의 진행방향별 고

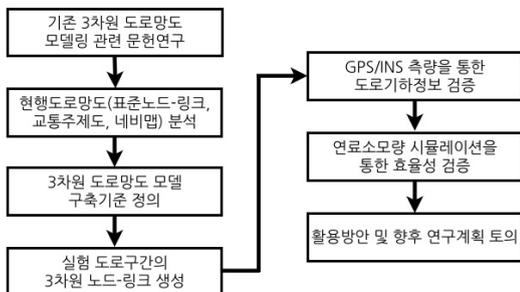


그림 1. 연구 흐름도

통정보 수집 및 제공을 목적으로 하기 때문에 링크의 형상은 도로의 진행방향별로 구분하여 구축하고 있으며, 노드와 링크 형상의 물리적인 연결성을 고려되지 않고 있다. 그러나 교통주제도나 네비게이션 지도는 교통류 분석 및 경로안내를 목적으로 하고 있기 때문에 단순화된 양방향 네트워크 모델을 사용하고 있으며, 링크는 반드시 노드를 통해 물리 및 논리적으로 연결되도록 설계되어 있다. 표 1은 세 종류의 도로망도의 구조를 비교한 것이다.

표 1. 현행 도로망도의 구조 비교

	표준 노드-링크	교통주제도	네비게이션 지도
구축 범위	왕복 2차로 이상 도로	2차선 이상 포장도로	세부 도로
링크형상	도로의 진행 방향별로 쌍선으로 구축(일방향 네트워크)	기본적으로 단선으로 구성(양방향 네트워크), 고속도로, 고속화도로 등은 도로 진행 방향별로 구성	기본적으로 단선으로 구성(양방향 네트워크), 고속도로, 고속화도로 등은 도로 진행 방향별로 구성
링크 연결성	링크간 연결성 없음	링크간 연결성 구성	링크간 연결성 구성

도로망도가 포함하는 속성정보의 경우에도, 표준 노드-링크지도와 교통주제도는 데이터 관리 측면이 강하기 때문에 행정구역 정보를 포함하고 있지만, 네비게이션 지도는 일반적으로 행정구역 경계를 노드로 설정하지 않고 별도의 레이어로 위치안내 기능에 사용하고 있다. 표 2는 세 종류의 도로망도가 포함하는 속성정보를 비교 한 것이다.

표 2. 현행 도로망도의 속성비교

	표준 노드-링크	교통주제도	네비게이션 지도
도로교차점	○	○	○
도로 시·종점	○	○	○
속성변화점	○	○	○
도로시설물	○	○	○
행정경계	○	○	△
IC 및 JC	○	○	○
도곽교차점	X	○	○
부가점	X	○	○
유턴점	X	○	○
도로종료점	X	○	△

※ ○: 있음, X: 없음 △: 존재하나 형식상이

좌표계의 경우에는 표준 노드-링크 지도는 측지계만 정의하고 좌표계는 별도로 정의하고 있지 않으며, 교통주제도는 측지계로 세계측지계(WGS84)를 사용하고 좌표계로는 초기 차량항법시스템에서 주로 이용되던 128°기준의 단일직각좌표계를 이용하고 있다. 민간의 네비게이션지도는 세계 측지계에 128°단일직각좌표계와 정규화 좌표계를 혼용하고 이용하고 있다. 표 3은 도로망도의 좌표계를 비교한 것이다.

표 3. 현행 도로망도의 좌표계 비교

	표준 노드-링크	교통주제도	네비게이션 지도
측지계	세계측지계	세계측지계	세계측지계
좌표계	경위도	직각좌표계	경위도, 직각좌표계
투영법	-	TM	TM
기준경도	-	128°	128°
기준위도	-	38°	38°
축척계수	-	0.9999	0.9999
False Easting	-	400,000m	400,000m
False Northing	-	600,000m	600,000m

현행 도로망도는 2차원 기반으로 넓은 범위에서 도로정보를 공급하기에는 적합하다. 도로 중심선을 기준으로 모델링하고 터널, 입체교차로 등의 복잡한 도로시설물은 포인트 형태로 다루어 도로망을 간략화하여 모델링한다. 따라서 실제 지형을 고려하여 실제 거리를 반영하는 네비게이션 개발이 어렵다. 3차원 도로망도의 주요한 장점은 아래와 같다.

- 1) 도로의 구배 및 지형을 고려한 거리측정으로 현실 도로를 반영한 네비게이션 운영이 가능
- 2) 각 차선에서 3차원 기하정보를 이용하여 도로 객체간의 공간적 관계를 논리적으로 연계가능
- 3) 고가도로, 입체교차로와 같은 3차원 구조를 손쉽게 표현가능
- 4) 버스, 위험차선, 가변차선/속도 등과 같은 교통규칙 등 상세한 교통흐름 성격을 정의 가능

2.2 3차원 도로망도 모델 설정기준

3차원 도로망도를 구축하기 위해서는 작업에 필요한 DEM 및 노드-링크지도에서 제각각으로 구성된 좌표계의 통일이 우선되어야 한다. 본 연구에서

는 “측량·수로조사 및 지적에 관한 법률” 6조와 동법 시행령 제7조에 규정된 단일평면 직각좌표계(UTM-K)를 적용하였다. UTM-K는 전국연속 수치지도에 적합한 좌표계로써 전국의 모든 도로를 표현해야하는 3차원 도로망도에 적합한 좌표계이다. 3차원 도로망도의 노드 설정은 표 2와 같이 국가표준 노드-링크와 네비게이션의 노드 설정단위를 모두 포함하는 교통주제도를 기준으로 하였다. 주요한 물리노드 설정위치로는 아래와 같다.

- 1) 도로교차점: 3개 이상의 도로가 교차하는 삼거리, 사거리등 일반적인 도로교차점에 생성
- 2) 속성 변환점: 도로명, 도로의 규정속도 등 도로의 물리적인 특성이 바뀌는 경우 생성
- 3) 부가점: 국도의 우회도로와 같이 2개의 도로가 동일한 노드를 가지는 경우 우회도로 중간지점에 노드를 생성
- 4) 도로종료점: 도로가 물리적으로 끝나는 지점에 노드를 생성
- 5) 도로시종점: 도로의 논리적인 시점과 종점에 노드를 생성
- 6) 유턴점: 도로에 유턴이 존재하는 경우 노드생성
- 7) 도곽교차점: 도엽의 경계점에서 도로가 분리되는 경우 노드를 생성
- 8) 도로시설물: 도로와 고가차도, 지하차도, 교량, 터널의 시종점 등 도로시설물에 노드를 생성
- 9) 행정경계: 도로와 시군구 행정경계가 만나는 지점에 노드를 생성
- 10) IC/JC: 도로교차점이 있는 경우 노드를 생성

도로의 구배와 같은 도로의 3차원 기하정보는 물리적인 노드가 아닌 논리적인 노드로 별도 관리하도록 하였다. 이러한 논리노드는 그림 2와 같이 도로의 오목경사와 블록경사가 발생하는 최대 지점에 생성하며, 국토해양부 도로설계기준에 정의하는 오목/블록 경사의 기준인 15m 이상의 도로 경사가 발생 시에만 논리노드를 설정토록 하였다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 물리적인 노드 사이에는 이러한 도로구배를 나타내는 3차원 논리노드가 다수 존재하게 된다. 본 연구의 주요한 대상인 외곽지의 간선도로의 경우 이러한 경향이 두드러지게 된다. 본 연구에서는 기존의 논리노드와의 구분과 계산의 편리를 위하여 논리노드를 연결하는 링크는 별도의 매칭테이블로 관리하였다.

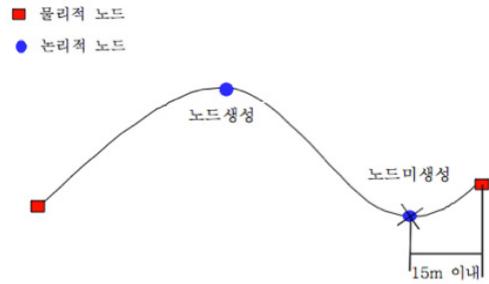


그림 2. 3차원 논리노드 설정기준

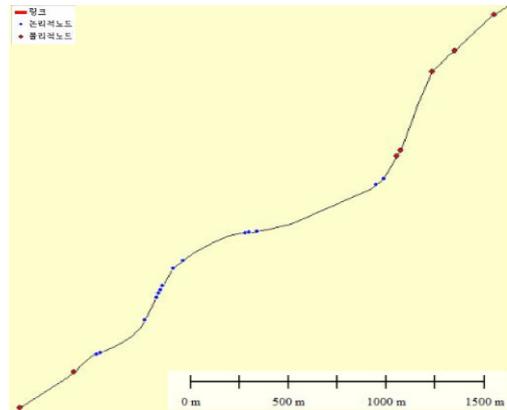


그림 3. 3차원 논리노드 설정예 (국도1호선 오산인근)

3. 3차원 도로망도 구축 및 검증

3.1 3차원 도로망도 생성

실험구간은 국도상 물류량이 많은 평택항에서부터 물류기지가 모여 있는 의왕IC까지(평택항→38번국도→고덕교차로→45번국도→송탄교차로→1번국도→의왕IC)의 약 52km로 선정하였다. 3차원 도로망도를 생성하기 위해서는 먼저 정의한 노드 설정기준에 따라 기본 2차원 노드-링크 데이터를 생성한다. 생성된 2차원 노드-링크 데이터는 국토지리정보원이 제공하는 정밀DEM(1m해상도)을 중첩하여 2차원 노드-링크의 각 좌표값에 고도값을 추출하였다. 고도값의 변화에 따라 변곡점의 시작점, 중간점, 끝점을 추출하고, 링크 중간에 변곡점이 정의한 3차원 논리노드 설정기준에 적합할 경우에는 변곡점의 위치에 새로운 논리노드 좌표값을 추가하였다. 실험구간의 경우 표 4와 같이 블록노드 51건, 오목노드 45건의 총 96건의 3차원 논리노드가 추가되었다.

표 4. 3차원 도로망도(평택-오산IC)의 노드현황

노드유형	설명	건수
101	도로교차점	129
103	속성변화점	2
105	행정경계 교차점	6
106	도락교차점	11
107	U-Turn 지점	14
108	IC 및 JC 지점	24
110	도로시설물	4
소계		190
신규	3D블록 노드점	51
신규	3D 오목 노드점	45
소계		96

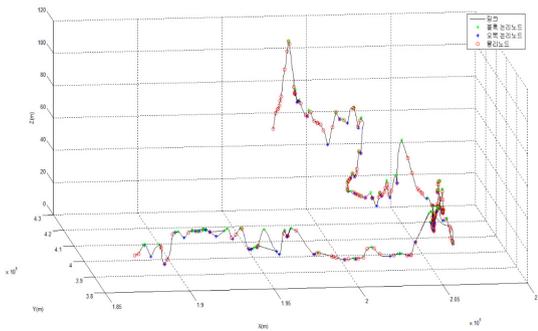


그림 4. 3차원 도로망도 도시(평택-오산IC)

그림 4는 매트랩(Matlab 7.1)을 이용하여 실험구간의 3차원 도로망도(물리노드, 오목/블록 논리노드 및 링크)를 도시한 것이다.

3.2 도로 기하정보 검증

생성한 도로망도의 3차원 기하정보의 정확도를 검증하기 위하여 실험 구간을 대상으로 GPS/INS측량(2012/2/6-10, GPS: Trimble 5800 + VRS, INS: OXTS Inertial+) 을 실시하였다. GPS측량값(그림5의 GPS그래프)을 후처리한 후 구축한 3차원 도로망도의 고도값(그림5의 DEM그래프)과 비교하여 그 차이(그림 5의 GPS-DEM그래프)를 표시하였다.

전반적으로 도로망도의 고도값과 실제 GPS/INS측량결과와는 0.87m의 RMSE(Root Mean Square Error)로 조사되었다. 노면 상태 및 차량주행으로 인한 진동 그리고 고도자료로 이용된 국토지리정보원의 1m 해상도의 DEM의 정확도를 고려할 때 구축한 3차원 도로망도는 도로의 3차원 기하정보를 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

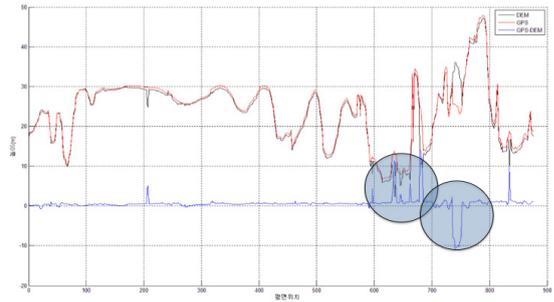


그림 5. 3차원 도로망도의 고도값 검증

그러나, 입력한 DEM의 특성상 지하차도, 교량, 고가차도를 반영하지 못한다. 그림 5의 왼쪽 동그라미 부분은 송탄IC를 경유하여 45번 국도로 가는 그림 6과 같은 램프의 고가차도 지역이다. 이와 같은 3차원 구조물은 표 4의 노드유형 110 혹은 108 등의 물리 노드로 추가되어 적용하였다. 향후에는 입체 도로시설물의 도면을 활용하여 3차원 도로객체로 연결하여 표현할 수 있을 것이다.



그림 6. 에러발생지역(송탄IC인근 고가도로)

3.3 연료소모량 시뮬레이션을 통한 효율성 검증

구축한 3차원 도로망도의 효율성을 검증하기 위하여 실험구간을 대상으로 기존 2차원 도로망도와 본 연구에서 제안한 3차원 도로망도의 연료소모량 시뮬레이션을 수행하였다. 연료 소모량 시뮬레이션은 aaSIDRA 모델[1]을 적용하였다. aaSIDRA모델은 '84년부터 개발되어 검증된 모델로써 연료소모량과 운영비용의 하위모델로 구성되며, 연료소모량 계산을 위해 차량, 교통, 도로 및 비용 등 다양한 파라미터를 입력한다. 차량 파라미터는 연료 유형, 최대 엔진 출력, 하중 대비 출력, 휠의 수, 타이어 구경, 롤링 저항 계수, 전거, 공기 저항 상수 등 차량의 복합적인 요소들을 고려하여 이루어지게 된다.

본 연구에서는 일반적인 화물운송을 기준으로 10톤 하중의 디젤차량, 70 km/h 속도를 기준으로 표

5와 같은 입력값을 가정하였으며, 도로구배에 따른 순간연료소모량(Δf)을 아래 식에 따라 계산하였다.

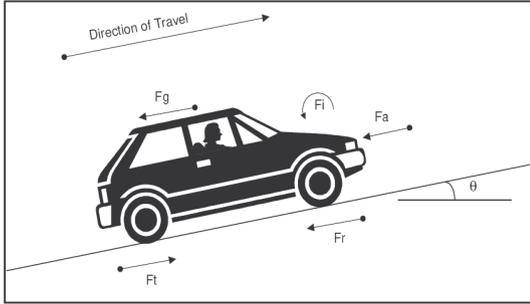


그림 7. aaSIDRA모델의 연료소모량 파라미터

순간 연료 소모량 (Δf)

$$\Delta f = \left\{ \begin{array}{l} \alpha \Delta t, R_T \leq 0 \\ \left[\alpha + \beta_1 R_T v + \frac{(\beta_2 M_v a^2 v)_a \geq 0}{1000} \right] \Delta t, R_T > 0 \end{array} \right\}$$

R_T = 차량을 운행하기 위해 필요한 전체 견인력 (kN)(rolling 저항, 공기 저항, 관성, 경사 저항의 합)

$$R_T = Fr + Fa + Ft + Fg \\ = M_v g C_R + \frac{1}{2} C_D A \rho v_r^2 + \delta M_v a + M_v g \sin \theta$$

표 5. aaSIDRA 모델 파라미터 적용값

변수	내용	적용값
v	순간 속도	70km/h
a	순간 가속도	1
Mv	차량 중량	10,000kg
β_1	엔진의 연료 소모 효율성	900 * 10-4mL/kJ
β_2	관성 또는 가속 시 연료 소모의 효율성	300 * 10-4mL/(kJ.m/s ²)
g	중력	9.8 m/s ²
Cr	Rolling 저항 상수	0.01
C _D	공기 저항 상수	0.3
A	차량 전거 면적	2 m ²
ρ	공기 밀도	1.2 kg/m ³
δ	회전 관성 인자	1
ur	차량의 상대 속도	ur \approx v
Δt	시뮬레이션 간격	7 s

기존 2차원 도로망도와 3차원 도로망도를 aaSIDRA 모델에 적용하여 비교해보면 표 6과 같다. 시뮬레이션 결과 기존 2차원 도로망도와 3차원 도로망도의

거리 및 소요시간은 각각 3.7%의 차이를 보였다. 이는 3차원 도로망도가 기존 도로망도에 비해 도로 기하정보를 잘 반영하기 때문에 발생하는 차이로, 현재 네비게이션 시스템에서는 2차원 도로망도는 변화점(vertex)를 증가시켜 이러한 차이를 보정하고 있다.

표 6. 2D도로망도와 3D도로망도의 비교

구분	2D도로망도 (km)	3D도로망도 (km)	증감율
거리	62.733	65.084	2.35km +3.7%
소요시간	53분 46초	55분 47초	2분 +3.7%
연료소모량	20.477 L	21.942 L	1.417L +6.9%

또한, 3차원 도로망도의 주요한 차이인 도로구배 정보를 반영할 경우, 실험구간에서 6.9%의 연료비 차이를 알 수 있었다. 이는 차량의 도로구배 등판시 연료소모량이 하강시 절감되는 연료량의 차이로 발생하는 값으로 10톤의 일반적인 디젤차량의 경우 기존 2차원 도로망도의 구배를 고려하지 않은 경우와 많은 차이를 보인다. 이를 통해 현실 도로의 상황에 적합한 연료비 산출이 가능하며, 산출된 값이 50km의 실험구간에서 약 7%라는 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 수백 대 혹은 수천 대의 차량을 운용하는 물류회사의 총 연료비 측면을 보면, 3차원 도로망도를 반영한 화물운송계획 수립으로 인해 상당한 경제적인 차이가 발생하리라 예상된다. 단, 본 실험은 연료비 시뮬레이션에 적용된 aaSIDRA모델이 검증·안정화되었음을 가정하여 유의한 결과임을 예상하고 있으나, 향후 연구에는 실제 차량운행을 통해 실제 연료비와 비교를 수행할 계획이다.

3.4 도로에너지 관리분야 활용방안

3차원 도로망도는 실제도로의 기하특성을 표현하고, 각 도로 객체간의 관계를 묘사할 수 있기 때문에, 지능형 네비게이션, 경로검색시스템, 도로관리 및 유지관리시스템, 지하시설물 관리시스템 그리고 3차원 도시모델에 효과적으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 3차원 도로망도의 다양한 활용분야 중

에서 도로에너지 소모가 높고 다수의 차량의 경로를 계획/관리하는 화물물류(CVO: Commercial Vehicle Operation)분야에 효과적이다.

저탄소 화물운송 체계 구축을 위해서는 효과적인 운송경로계획 수립과 차량 운송에 따른 이산화탄소 배출량 관리가 필요하다. 3차원 도로망도는 실제의 도로의 기하정보를 반영하기 때문에 차량의 등판능력에 따른 연료소모량과 이산화탄소 배출량을 정확하게 계산할 수 있다. 이를 통해 효과적인 운송경로 계획 수립에 이용된다. 또한, 차선별로 노드-링크를 제공하고 신호를 포함한 도로구조물 정보를 알려주기 때문에, 교통정보와 결합할 경우, 실제 환경을 반영한 연료소모량/탄소배출량을 계산할 수 있기 때문에 에너지절감형 네비게이션 개발이 가능할 것이다.

4. 결론

최근 도시와 도시간의 물류량 증가로 인하여 교통혼잡비용이 증가하고, 기후변화협약에 따른 이산화탄소 감축이 의무화됨에 따라 저탄소 화물운송체계 개념이 제안되었다. 효율적으로 도로상의 에너지 관리를 위해서는 도로의 구배를 포함하는 3차원 도로망도가 필요하며, 이는 현실 도로환경을 반영하기 때문에 효율적인 화물운송계획과 차량운송에 따른 이산화탄소 배출량 관리를 가능케 한다.

본 연구는 주요한 화물운송 대상인 도시와 도시간의 간선도로를 중심으로 지형 및 도로구조물을 고려하기 위하여 기존 2차원기반 교통주제도와 수치표고모델(DEM)을 이용하여 현실도로의 기하정보를 반영하고, 연료소모량 중심의 화물차량 네비게이션이 가능한 3차원 도로망도 모델을 제안하였다.

제안한 모델에 따라 실험구간(평택항-의왕IC)을 대상으로 96개의 오목/볼록노드를 설정하여 3차원 도로망도를 구축하였다. GPS/INS측량을 통해 구축한 3차원 도로망도는 도로의 3차원 기하정보를 잘 표현함을 검증하였다. 또한 연료비소모량 시뮬레이션을 통해 기존의 2차원 도로망도에 비해 제안한 3차원 도로망도가 현실도로의 거리/소요시간을 잘 반영하고 있으며, 도로구배를 반영을 통해 실험구간에서 6.9%의 연료비 차이를 도출하였다. 이는 다수의 차량을 운영하는 화물차량운송의 특성상 경제적으로도 큰 차이가 발생하게 된다. 따라서 저탄소 화

물운송체계 구축을 위해 효과적인 화물운송경로 계획 수립 및 탄소배출량 관리가 가능할 것이다.

향후 연구는 차선별 노드-링크정보와 신호를 포함한 도로교차로와 함께 교통정보를 결합하여 실제 교통환경을 반영한 탄소배출량을 계산하고, 에너지절감형 네비게이션을 개발할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Akçelik R., Besley M., 2003. "Operating cost, fuel consumption, and emission models in aaSIDRA and aaMOTION", 25th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2003).
- [2] eCoMove Project, <http://www.ecomove-project.eu> (Access on 2012).
- [3] IDG News Service, 2007, "Tele Atlas speeding up 3D road map progress".
- [4] JiangFan, F., GuanYu, Z., ZhaoHong, L., Yan, L., 2009, "Research of Vehicle Navigation Based Video-GIS", 한국공간정보시스템학회논문지, 제 11권, 제2호, pp. 39-44.
- [5] Li, X., Tennant, K., 2009, "Vehicle Energy Management Optimization Using Look-Ahead Three-Dimensional Digital Road Geometry", ITC World Congress, Sept. 21-25, Stockholm, Netherlands.
- [6] NAVTEQ, 2006, "NAVTEQ Network for Developers™ Technical Support: Frequently Asked Questions".
- [7] Zhang, C., Vahidi, A., Pisu, P., Li, X., Tennant, K., 2009, "Utilizing Road Grade Preview for Increasing Fuel Economy of Hybrid Vehicles", 12th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, Sept. 2-4, USA.
- [8] Zhang, Q., Giovannini, L., Simantov, M., 2010, "Extraction of 3D Road Geometry from Airborne IFSAR Data", IAPRS, Sept. 1-3, France.
- [9] 권찬오, 원상연, 김여일, 2010, "모바일매핑시스템을 활용한 도로시설물 모니터링", 한국GIS학회 2010년도 추계학술대회, Sept. 02, pp. 305-307.
- [10] 녹색성장위원회, 2009, "대통령보고자료".

- [11] 윤창락, 김학철, 김경옥, 황치정, 2009, “3차원 GIS 기반 실시간 비디오 시각화 기술”, 한국공간정보시스템학회, 제11권, 제1호, pp. 63-70.

논문접수 : 2012.05.13

수정일 : 1차 2012.07.22 / 2차 2012.07.26

심사완료 : 2012.07.30



이 상 훈

2010년 서울대학교 대학원 지역시스템공학과 공학박사

1999년~현재 한국건설기술연구원 수석연구원/팀장

관심분야는 공간데이터마이닝, 공간시맨틱, GIS/ITS표준