

# 탄소배출량 저감을 위한 GIS분석기반의 사토장 선정

## The Selection of Spoil-Bank for Reduction of Carbon Emission based on GIS Analysis

박동현\* · 강인준\*\* · 김상석\*\*\* · 한기봉\*\*\*\*

Park, Dong Hyun · Kang, In Joon · Kim, Sang Suk · Han, Ki Bong

### 要 旨

화석연료 사용의 급격한 상승은 연료의 고갈과 막대한 온실가스배출을 초래했다. 특히, 건설 분야는 전체 이산화탄소 배출량의 약 1/4 이상을 차지하는 환경문제의 원천이다. 이에 본 연구에서는 건설 현장의 탄소배출량 감소를 위한 GIS기법의 적용 강화를 목표로 사토장 선정에 네트워크분석기법을 적용하였다. 그 결과 후보지별로 최단거리 및 최소시간에 따라 예상되는 탄소배출량 및 운반단가를 구할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 사토장을 선정할 경우 소나무 한그루를 심는 것과 비슷한 효과의 탄소배출량을 감소할 수 있을 것이다. 또한, 건설 분야 전반에서 발생하는 탄소배출에 영향을 주는 복합적인 요소들을 고려하여 적용한다면 탄소배출량을 획기적으로 줄일 수 있을 것이다.

핵심어 : 지리정보시스템, 사토장, 네트워크분석, 탄소배출량, 운반비

### Abstract

The exhaustion of fuel and tremendous greenhouse gas emissions are caused by the sharp increase in the use of fossil fuel. Especially, accounting for over 25% of carbon dioxide emissions, Construction is main environmental problem. So, in this study, we applied network analysis in the selection of spoil-bank to reinforce the GIS to decrease carbon dioxide emissions in construction sites. As a result, we could calculate the expected carbon dioxide emission and transportation cost of the proposed sites by the shortest distance and the least amount of time. We found that if spoil-bank is chosen based on the result, carbon dioxide emissions will be decreased as much as we plant a pine tree. We can also decrease largely by considering and applying complex causes which affect carbon dioxide emissions in construction.

Keywords : GIS, Spoil bank, Network Analysis, Carbon Dioxide Emissions, cost of transport

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 동향

산업화에 의한 급격한 화석연료의 이용 증가는 연료의 고갈과 더불어 막대한 온실가스배출을 초래했다. 이에 따라 기온이 상승하고 기후변화를 유발시키며 지구 표면의 평균온도를 점점 상승시키고 있다. 특히, 건설 분야의 경우 유럽에서 전체 온실가스 배출의 35%를 차지하며, 국내의 경우에도 전체 에너지 소비의 2/5, 전체 이산화탄소 배출량의 약1/4 이상을 차지하는 환경문제

의 원천산업이다(Rhee Eon Ku, 2007). 이와 같은 수치는 향후에도 지속적인 건설사업의 발전과 함께 꾸준히 증가할 것으로 예상되며, 국내 건설업계의 경우 탄소배출 제어에 대해 이렇다 할 대책이 없는 상황이다.

이러한 상황에서 이루어진 국내의 기존연구를 살펴보면, 착공 전 단계에서 확정되는 정보에 근거하여 환경영향요인의 도출 및 분석을 통해 친환경 건설 관리방안을 제안(Jeon, Myeong Hui et al, 2009)하거나, 철도 노반공사 중에서 이산화탄소 배출량이 가장 많은 공정인 토공사를 대상으로 장비조합에 따른 이산화탄소 배

2012년 7월 17일 접수, 2012년 10월 11일 수정, 2012년 11월 1일 채택

\* 정희원 · 부산대학교 공간정보협동과정 석사과정(Member, Dept. of GIS, Pusan National University, sogone@pusan.ac.kr)

\*\* 교신저자 · 정희원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수(Corresponding author, Member, Civil Eng, Pusan National University, ijkang@pusan.ac.kr)

\*\*\* 동국대학교 산학협력단 전담교수(Foundation of University-industry cooperation, Donggeui institute of technology University, civil-1614@hanmail.net)

\*\*\*\* 정희원 · 부산대학교 지형정보협동과정 박사수료(Member, Dept. of GIS, Pusan National University, irstml1@pusan.ac.kr)

출량을 산출하여 장비조합과 이산화탄소 배출량, 공사 기간의 상관성을 분석(Kim, Byung soo, 2011), IPCC 가이드라인과 탄소배출계수를 활용하여 환경영향평가 시 도로사업에서 적용 가능한 온실가스 항목의 평가방법론을 제시(Kang, Mi Yeon, 2010) 등 방법론적인 측면과 건축물 시공 시 발생하는 이산화탄소 배출량을 예측하고 이를 건설현장의 VE활동 및 기성고에 따라 실시간으로 평가 가능한 건축시공현장의 CO<sub>2</sub>배출량 관리 시스템을 제안(Kim, Chul Woo, 2010), Visual-Basic을 이용하여 건축물의 전 생애 CO<sub>2</sub>평가 프로그램 개발(Park, Jeong Hun, 2010) 등 시스템개발 측면으로 나눌 수 있다.

### 1.2 연구목적

본 연구의 목적은 ArcGIS의 지형분석을 이용하여 사토장 후보지를 선정하고, 네트워크 분석을 이용한 최적루트 선정을 통해 예상운반비 및 탄소배출량을 예측하여 건설 현장에서의 탄소배출량 감소를 위한 사토장 선정 의사결정기법 개발의 기초가 되는 것이다. 그리고 다양한 건설 현장에서의 탄소배출량 제어기법 개발의 기초가 되도록 한다.

### 1.3 연구내용 및 방법

본 연구는 수치지도(1:5,000) 및 2010년 2월에 국토해양부에서 공개한 도로자료를 이용한 사토장 후보지 선정 및 네트워크분석을 통한 탄소배출량 및 운반비 예측치를 산정하는 것이다.

본 연구방법은 대상지를 선정하고, 예상되는 사토발생량을 산정한다. 그리고 사토장 후보지를 선정한 후 현황을 조사하고, Arc GIS의 네트워크 분석을 이용하여 후보지까지의 최적루트를 선정 하여 각 루트별로 발

생하는 탄소배출량 및 운반비를 예측한다(Figure 1).

## 2. 네트워크분석

### 2.1 네트워크분석

네트워크 분석이란 서로 연관된 일련의 선형 형상물, 예를 들면 고속도로, 철도, 도로와 같은 교통망이나 하천 및 전기, 전화, 상수도 등과 같은 관망의 연결성과 경로를 분석하는 것이다. 네트워크로 표현되는 대부분의 사회적 기반시설들은 사람들의 이동, 재화와 서비스의 운송과 공급, 자원과 에너지의 공급, 정보통신의 흐름이 이루어지는 매우 중요한 도시의 하부구조이다(Lee Hui Yeon, 2011).

네트워크 분석은 크게 다섯가지로 유형화할 수 있다. 첫째, 최단 경로나 최소 비용 경로를 찾는 경로탐색기능, 둘째, 시설물을 적정한 위치에 할당하는 배분기능, 네트워크상에서 연결성을 추적하는 추적기능, 지역 간의 공간적 상호작용, 그리고 수요에 맞추어 가장 효율적으로 재화나 서비스 시설을 입지시키는 입지-배분기능으로 구분해 볼 수 있다(Figure 2).

### 2.2 사토장

사토장은 토공작업에서 절토를 하였을 때 발생하는 토양에서 성토를 하고 남은 토양이나 자갈을 많이 포함하고 있는 사력토, 그 밖에 점질토, Silt 같은 불량토양을 사토라고 하는데, 이 같은 사토를 처리하는 곳을 사토장이라고 한다(Bae, Hwan Seong et al, 2006).

사토장 선정 시 고려 사항으로는 첫째, 토량의 변화율, 토질이나 암질의 변화에 따른 깎기량 및 쌓기량의 변화 등을 고려한 용량증가에 대처 할 수 있어야 하며, 둘째, 공사 현장에서의 거리가 가까울수록 좋고, 접근도로와 운반경로가 양호하여야 한다. 그 외에도 용지매매나 보상비가 저렴한 곳, 복구 작업이 유리하도록 내리막 경사가 1/50~1/100 정도인 곳, 산 붕괴의 우려가 없고 배수가 양호한 지형 등 여러 조건을 고려하여야 한다.

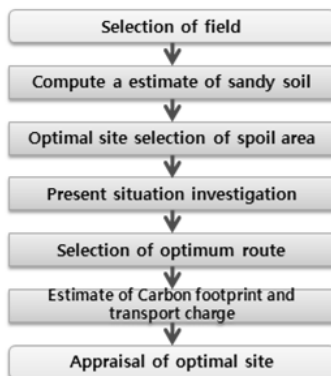


Figure 1. Reasearch Flow Chart

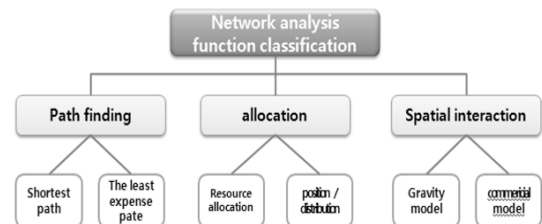


Figure 2. Function of Network Analysis

### 3. 적용사례

#### 3.1 연구지역

본 연구의 연구지역은 현재 복선전철 공사가 진행 중인 지역이다(Figure 3).

연구지역은 노선계획에 의해 사토가 발생하며, 터널 버력 및 땅깁기에 의해 발생하는 토양의 원활한 처리가 필요한 지역이다. 예상 사토량은 1,121,371m<sup>3</sup>였다. 1,121,371m<sup>3</sup>의 용량은 자연 상태 토양의 부피이므로 토양환산 계수를 적용한다면, 흐트러진 상태(L)와 다져진 상태(C)토양의 토양 변화가 있을 것이다. 토양환산 계수를 고려하면 토사, 풍화암등의 발생토가 1,464,108 m<sup>3</sup>, 유용토가 213,392m<sup>3</sup>이 발생하여, 총 사토량은 약 125만m<sup>3</sup>가 될 것으로 예상된다(Table 1).



Figure 3. Study Area

#### 3.2 후보지 평가

##### 3.2.1 후보지 선정

후보지는 다음의 두가지 조건을 고려하여 선정하였다. 먼저 설계서에 명시된 것과 같이 공사지역으로부터 반경10km이내의 지역을 ArcGIS의 버퍼분석을 이용하여 범위를 선정하였다(Figure 4).

다음으로, 지형분석을 하여 사토전량처리가 가능한 지역을 선정하였다. 여기서 사토가능량은 점고법이나 양단면 평균법 등을 이용하여 계산할 수 있는데, 본 연구에서는 구분적분법의 개념으로 DEM을 생성하여 토공량을 산출하였다(Figure 6). A후보지의 경우 용적이 1,289,790m<sup>3</sup>, B후보지는 1,289,790m<sup>3</sup>로 연구지역에서 노선계획에 의해 발생하는 사토량 1,250,000m<sup>3</sup>을 전량 처리할 수 있다.

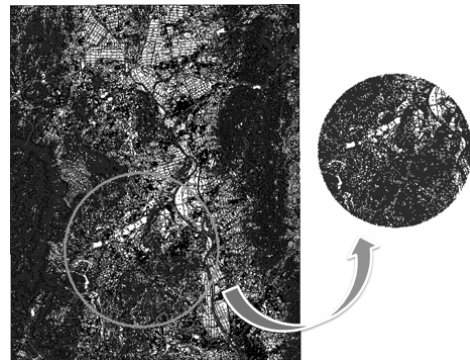


Figure 4. Buffering Analysis

Table 1. Generation of Sandy Soil

Classification		Main line(m <sup>3</sup> )	Bridge(m <sup>3</sup> )	Tunnel(m <sup>3</sup> )	Total(m <sup>3</sup> )	C/L	Soil Swell(m <sup>3</sup> )
Waste mud and sand	sand	76,391	2,931	255,126	334,448	0.9	301,003
	weatered rock	-	-	324,346	324,346	1.0	324,346
	sedimentary rock	-	-	430,389	430,389	1.15	494,947
	hard rock	-	-	245,580	245,580	1.40	343,812
	total	76,391	2,931	1,255,441	1,334,763	-	1,464,108
Useful mud and sand	baking	136,275	5,908	71,209	213,392	1.0	213,392
	helpful for a neighboring area	-	-	-	-	-	-
	total	136,275	5,908	71,209	213,392	-	213,392
Total (Sandy soil)		-	-	-	-	-	1,250,716 ≒1,250,000

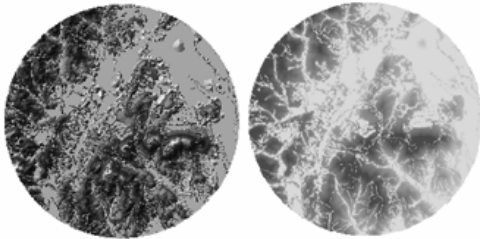


Figure 5. TIN and DEM

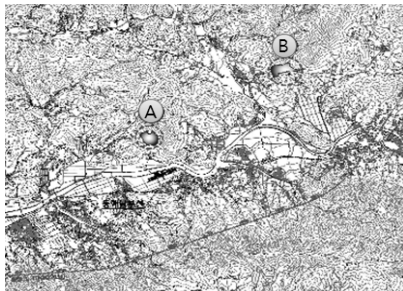


Figure 6. Location of Proposed Site

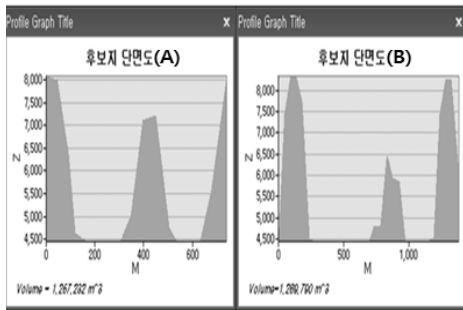


Figure 7. a Cross-section of Proposed Site

선정된 사토장 후보지의 위치는 Figure 6과 같으며, 두 지역 모두 산지 및 농경지로 이루어져 있다. 또한 Figure 7은 A후보지, B후보지의 단면도와 용적을 나타내고 있다.

### 3.2.2 후보지별 현황조사

A후보지의 총 면적은 144,814m<sup>2</sup>이며, 사토가능량이 1,267,232m<sup>3</sup>인 지역이다. m<sup>2</sup>당 보상단가는 19,850원으로 책정되어 총 부지보상비는 2,874,558(천원)이 될 것으로 예상된다. Figure 8은 A지역의 위치와 전경을 보여주고 있다.

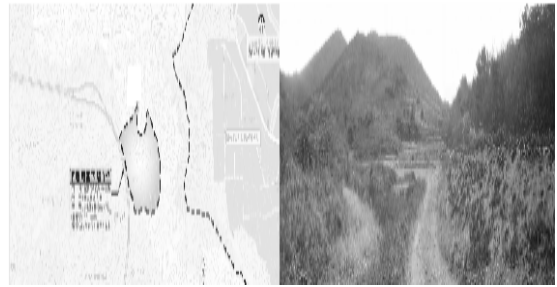


Figure 8. Location and View(A)



Figure 9. Location and View(B)

Table 2. Situation of Proposed Site

Classification	Sandy soil (m <sup>3</sup> )	Plottage (m <sup>2</sup> )
A	1,267,232	144,814
B	1,289,790	159,236

B후보지(Figure 9)는 총 면적이 159,236m<sup>2</sup>이며, 사토가능량이 1,289,790m<sup>3</sup>이다.

산지 및 농경지구간으로 사토장 부지로서의 입지가 양호하다. m<sup>2</sup>당 보상단가는 15,360원으로 총 부지보상비는 2,445,865(천원)이 된다. Table 2에서 A후보지와 B후보지의 현황을 확인할 수 있으며, 산지 및 농경지로서 전량처리가 가능하였다.

### 3.3 네트워크분석 적용

#### 3.3.1 최단거리 분석

본 연구에서는 분석지역의 위치정보와 도로망 레이어를 이용하여 두 가지 방법의 네트워크분석을 실시하였다. 모든 도로에 대해서는 미터단위의 도로길이 정보를 주었다.

먼저 단순 최단거리 분석을 실시하여 Figure 10과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

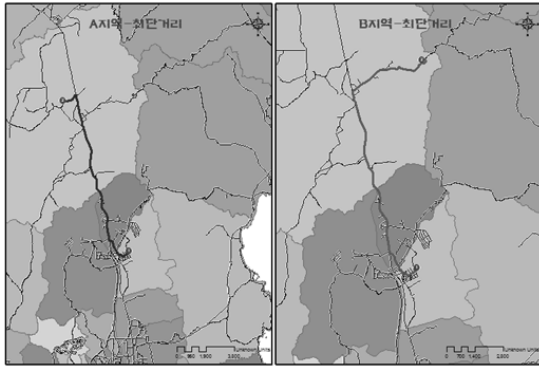


Figure 10. Results of the Network Analysis(the Shortest Distance)

분석결과 A지역의 최단거리분석의 경우 왕복거리가 13.4km으로 나타났다. 토량반출 운반비 단가표를 기준으로 한 운반비 단가는 최단거리분석이 m<sup>3</sup>당 12,700원으로 산출되었다. 125만m<sup>3</sup>의 사토를 운반할 때 드는 총운반비는 각각 15,875(십만원)이 된다. B지역은 왕복운반거리가 15.3km로 14,600원의 운반비 단가를 고려할 때 총운반비는 18,250(십만원)이 될 것으로 예상된다.

3.3.2 최소시간 분석

다음으로는 도로레이어를 Grid로 변환하고 속도를 반영하여 최소시간을 분석하는 방법으로 네트워크분석을 실시하였다. 소요시간 계산에 사용되는 Output cell size의 값은 10으로 설정하였다(Figure 11). 그리고 소요시간의 경우 운반도로에 따른 평균주행속도(건설공사표준품셈)를 기준으로 설정 하여 분석하였다(Table3).

최소시간이란 일정시간동안의 이동거리이므로 Raster Calculator를 이용하여 거리/시간 정보에서 시간값을 환산한다(Figure 12).

분석결과 A지역의 경우 왕복거리는 13.6km, 운반비 단가는 12,900원으로 산출되었다. 전량의 사토를 운반할 때 드는 총운반비는 16,125(십만원)이 예측된다. B지역은 왕복운반거리가 15.5km로 14,800원의 운반비

Table 3. Road Condition and Average Speed (km/hr)

Road Conditions	Average Speed	
	load	vacant
one-track	10	10
two-track unpaved road	12	12
shoofly	15	15
paved road more than two-track	30	35
four-lane highway	60	60

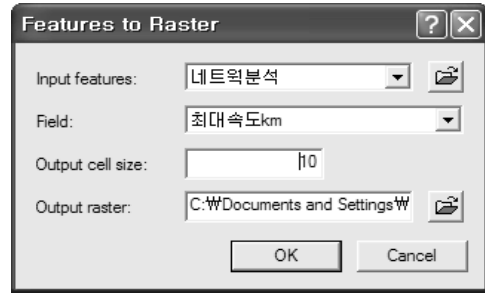


Figure 11. Features to Raster

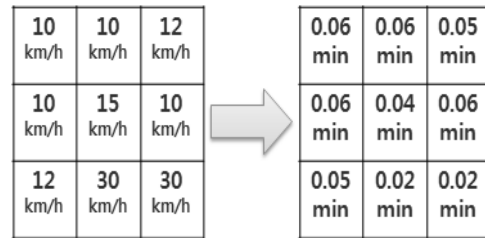


Figure 12. Calculation Methods of Time

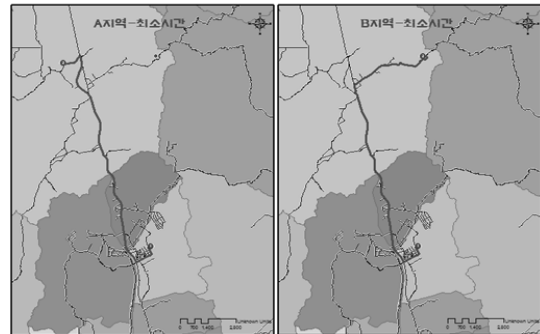


Figure 13. Results of the Network Analysis(Least Time Path)

단가를 고려할 때 총운반비는 18,500(십만원)이 될 것으로 예상된다.

Figure 13은 공사현장의 중심부에서 사토장 후보지까지의 최단소요시간 경로를 나타낸 것이다.

일반적으로 도로이동오염원 배출량은 다음의 식으로 계산한다(Cheon, Sung Moon, 2010). 여기서 배출계수는 2007년 국립환경과학원에서 발표한 차종별 배출계수에서 대형 화물의 CO<sub>2</sub>배출계수인 1,388 g/km를 이용하였다.

$$\text{배출량} = \text{배출계수(차종)} \times \text{주행거리} \quad (1)$$

Table 4. Comparison of Proposed Site

	Carbon footprint(g)	Sandy soil(m <sup>3</sup> )	land acquisition cost (1,000won)	Transport charge (100,000won)
A	18,599	1,267,232	2,874,558	15,875
	18,877			16,125
B	21,236	1,289,790	2,445,865	18,250
	21,514			18,500

식 (1)에 의해 탄소배출량을 계산해보면 A지역의 경우 1회 왕복 시 약 18,599g, 18,877g B지역의 경우 약 21,236g, 21,514g으로 예상된다.

### 3.2 비교고찰

Table 4에서는 두 후보지의 조건을 비교하였다. A 후보지의 경우 지형여건상 사토처리를 할 경우 고성토(최대높이 H=35.0m)가 필요하고 부지보상비가 비싸다는 단점이 있다. 하지만 B후보지에 비해 운반거리나 소요시간이 짧아 탄소배출량과 운반비를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

그리고 본 연구에서는 사토장 선정 조건 중 왕복거리와, 사토가능량, 부지보상비, 운반비만을 고려하였으나 배수등급, 이용 후 관리 등 많은 조건들을 적용하여 보다 많은 현장에 대한 비교, 분석이 필요하였다. 또한, 복합적인 조건을 고려한 사토장 입지선정 의사결정시스템 개발을 통해 탄소배출량 저감, 공기단축 및 비용절감 등 토목건설분야에 많은 효과가 예상된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 탄소배출량 및 운반비를 중심으로 사토장 선정에 관한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 3차원 데이터 모델인 TIN과 DEM을 생성하여 GIS의 지형분석을 통해 사토장후보지를 선정할 수 있었다. 건설현장에서 사토장을 선정할 때 좁은 지역이 아니라면 인근의 사토가능지를 파악하기는 매우 어렵다. 사토장을 선정하였더라도 발생하는 사토량의 충분한 처리가 안 될 경우 새로운 사토장을 찾아야하며, 공기가 지연된다. 그러나 GIS의 지형분석을 이용한다면 짧은 시간에 후보지를 선정할 수 있으며, 문제가 발생할 경우에도 즉각적으로 대응할 수 있다는 장점이 있었다.

둘째, 네트워크분석 결과 A지역은 최단거리, 최소시간 각각의 왕복거리가 13.4km, 13.6km로 예상되는 탄소배출량은 약 18,599g, 18,877g으로 예상되었다. B지

역의 왕복거리 15.3km, 15.5km로 약 21,236g과 21,514g의 탄소배출량을 배출할 것으로 예상되었다.

셋째, A지역을 사토장으로 선정할 경우 B지역에 비해 운반거리가 짧아 탄소배출량을 약 2,637g 감소시킬 수 있을 것으로 나타났다. 이 정도의 탄소배출량을 감소시키는 것은 소나무 한그루를 심는 것과 비슷한 효과라고 할 수 있다. 또한 복합적인 요소들을 고려하여 사토장 입지선정에 대한 의사결정시스템을 개발한다면 건설분야에서의 탄소배출량을 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 최단거리와 최소시간으로 나누어 네트워크분석을 하고 그에 따른 탄소배출량의 차이를 확인하고자 하였다. 하지만 현재의 도로이동오염원 탄소배출량 산정식은 단순 주행거리만을 고려하고 있어 실측을 동반한 연구가 필요하다고 판단된다. 현재, 탄소배출계수의 경우 차종에 따라 분류되어 있지만 주행거리만을 고려하여 탄소배출을 예측한다는 문제점이 있다. 주행거리뿐 아니라 연료별 배기량, 주행패턴, 엔진공회전 등을 고려하여 더 정확한 도로이동오염원의 탄소배출량 산정식이 필요하다고 생각된다.

앞으로는 건설현장의 장비별 사용과 이동에 따른 탄소배출량의 실측치와 예측치의 비교를 통해 건설장비별 탄소배출량 산정식을 만들고 탄소배출량 감소방안을 제시하고자 한다. 또한, 사토장 선정뿐 아니라 건설현장 전반의 탄소배출량 산정 및 제어를 위해 GIS기법을 적용하여 다양한 공간분석 활용을 위한 지속적인 연구를 수행할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(201006132770003)과 부산대학교 2011년도 자유과제 학술연구비의 지원으로 연구되었습니다.

## 참고문헌

1. Bae, Hwan Seong, Son, Jeong hoon, Park, Seung yong, Lee, Jae bin, Yu Ki yun 2006, A study on the optimum positioning of spoil-bank using geographic information system, 2006 estimation symposium, The Korean Society for Spatial Information system, pp. 35-42.
2. Chun, Myung Hee, Park, Moon Seo, Lee, Hyun Soo, Shin, Jin Ho, 2009, Analysis of greenhouse gas (GHG) emission factors during the construction

- phase, Conference collection of dissertations, Korea Institute of Construction Engineering and Management, pp. 260-265.
3. Cheon, Sung Moon, 2010, A study on the generated carbon dioxide amount estimation from road transportation part in seoul, Thesis, University of Seoul.
  4. Hassanein, A. and Moselhi, O, 2002, Automated data acquisition and planning of highway construction, International Symposium on Automation and Robotics in Construction 19th(ISARC), Proceedings National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, pp. 149-154.
  5. Kang, Hye Jin, Park, Jin Chul, Rhee, Eon Ku 2007, A Study on the environmental performance assessment on building materials, Conference collection of dissertations, Korea Institute of Ecological Architecture and environment, Vol. 12 pp. 325-328.
  6. Kang, In Joon, 2012, 측량지형정보개론, Daega, pp. 216-238.
  7. Kang, Mi Yeon, 2010, A study on the methodology of the environment impact assessment for greenhouse gases : The case of highway construction, Thesis, Yonsei University.
  8. Kim, Byung soo, 2011, Correlation analysis on the duration and CO<sub>2</sub> emission following the earth-work equipment combination, Korean Society of Civil Engineers collection of dissertations, Korean Society of Civil Engineers, Vol.31 No.4 pp. 603-611.
  9. Kim, Chul Woo, 2010, A study on the development of CO<sub>2</sub> emission management system in the building construction site, Thesis, Hanyang University.
  10. Lee, Hui Yeon, Sim, Jae Hyun, 2011, Geographic information systems, bobmunsa, pp. 350-364.
  11. Lee, Seung Eon, 2008, 살아있는 토목시공학, goomibook, p. 16.
  12. Park, Jeong Hun, 2010, A study on design and application of the life cycle CO<sub>2</sub>(LCCO<sub>2</sub>) assessment program in building using visual-basic tool, Thesis, Hanyang University.