TUNNEL & UNDERGROUND SPACE Vol. 25, No. 4, 2015, pp. 373-382
http://dx.doi.org/10.7474/TUS.2015.25.4.373
ISSN: 1225-1275(Print)
ISSN: 2287-1748(Online)

GIS를 이용한 지하광산 디젤 차량의 운반작업 시 탄소배출량 산정

박보영, 박세범, 최요순*, 박한수

Calculation of a Diesel Vehicle's Carbon Dioxide Emissions during Haulage Operations in an Underground Mine using GIS

Boyoung Park, Sebeom Park, Yosoon Choi*, Han-Su Park

Abstract This study presents a method to calculate carbon dioxide emissions of diesel vehicles operated in an underground mine using Geographic Information Systems (GIS). An underground limestone mine in Korea was selected as the study area. A GIS database was constructed to represent the haulage roads as a 3D vector network. The speed of dump trucks at each haulage road was investigated to determine the carbon dioxide emission factor. The amount of carbon dioxide emissions related to the truck's haulage work could be calculated by considering the carbon dioxide emission factor at each haulage road and the haulage distance determined by GIS-based optimal route analysis. Because diesel vehicles are widely utilized in the mining industry, the method proposed in this study can be used and further improved to calculate the amount of carbon dioxide emissions in mining sites.

Key words Underground mine, GIS, Carbon dioxide emissions, Diesel vehicle

초 록 본 연구에서는 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 지하광산 현장에서 운영되는 디젤 차량의 탄소배출량을 정량적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 국내 지하 석회석 광산 한 곳을 연구지역으로 선정하였고, 연구지역의 운반도로를 3차원 벡터 네트워크 형식으로 표현하여 GIS 데이터베이스를 구축하였다. 탄소배출계수의 계산을 위해 운반도로의 각 구간별로 대형 디젤 차량인 덤프트럭의 이동속도를 측정하였다. 운반도로 각 구간별로 계산된 탄소배출계수와 GIS 기반의 최적 경로분석을 통해 결정된 트럭의 운반거리를 고려하여 운반작업과 관련한 디젤 차량의 탄소배출량을 정량적으로 산정할 수 있었다. 광업 분야에서 디젤 차량이 광범위하게 활용되고 있으므로, 본 연구에서 제시한 방법은 광산 현장의 탄소배출량 산정을 위해 사용될 수 있으며 추가적인 연구를 통해 보다 개선될 수 있을 것이다.

핵심어 지하광산, 지리정보시스템, 탄소배출, 디젤 차량

1. 서 론

오늘날 국제사회에서는 기후변화에 관한 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 등의 활동을 통해 지구온난화로 인한 전 지구적 기후변화 문제를 해결하기 위해 공조하고 있다. 특히, 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서는 선진국을 중심으로 온실가스 배출량 감축 의무이행 대상국을 선정하였으며, 국가별로 온실가스 배출량의 감축 목표와 일정에 대해 협의하였다. 교토의정서의 협의 사항은 2005년 발효되어 2020년까지 한시적으로 유지될 예정이다.

온실가스는 크게 자연적 온실가스와 인위적 온실가스로 구분된다. 인위적 온실가스에는 에너지사용 및 산업공정에서 발생하는 이산화탄소(탄소), 폐기물, 농업 및 축산분야에서 주로 발생하는 메탄, 산업공정과 비료사

Received: Aug. 5, 2015
Revised: Aug. 21, 2015
Accepted: Aug. 24, 2015
***Corresponding Author:** Prof. Yosoon Choi
Tel) +82516296562, Fax) +82516296553
E-Mail) energy@pknu.ac.kr, yspower7@gmail.com
Dept. of Energy Resources Engineering, Pukyoung National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

용으로 인해 주로 발생하는 아산화질소 등이 있으며, 이 중 이산화탄소가 전체 온실가스 배출량 중 80% 이상을 차지한다. 온실가스 배출량 감축에 대한 관심이 커짐에 따라 다양한 산업분야에서 온실가스 중 가장 큰 비중을 차지하는 이산화탄소의 배출량(탄소배출량)을 정량적으로 산정하기 위해 노력하고 있다. 건설 분야에서는 Suzuki 등(1995), Börjesson와 Gustavsson(2000)이 건설 현장에서 건축 자재의 사용에 따라 발생하는 탄소의 배출량을 정량적으로 산정하는 연구를 수행하였다. 교통 및 물류분야에서도 차량에서 배출되는 탄소의 양을 정량적으로 산정하기 위한 연구들이 수행되었다. 또한, 차량의 주행상태(정지, 시동, 감속, 가속 등), 도로의 유형을 고려한 다양한 탄소배출량 평가법이 개발되었다(Ryu et al., 2004, Barth and Boriboonsomsin, 2009, Han et al, 2011, Kaboli and Carmichael, 2012, Chong et al, 2014, Joo and Oh, 2015). 이러한 연구들은 농업분야에서도 시도되었다(Robertson et al., 2000, Sauerbeck, 2001, Yun et al, 2001). 그러나 광업 분야에서의 탄소배출량 산정과 관련한 연구는 현재까지 보고되지 않았다. 광업 분야는 상대적으로 화석연료의 사용이 많은 산업 분야임에도 불구하고 탄소배출량의 산정이나 저감 대책 수립에 관한 연구가 현재까지 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 광업 분야에서의 탄소배출량 산정과 관련한 기초적인 연구로서 지리정보시스템(Geographic Information Systems, GIS)을 이용하여 지하광산에서 운영되는 디젤 차량이 운반작업 시 배출하는 탄소의 양을 정량적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 연구지역인 대성 MDI 동해 석회석 지하광산의 운반도로에 대한 GIS 데이터베이스를 구축하고, 국립환경과학원(National Institute of Environmental Research, NIER)에서 제시한 이산화탄소 배출 계수 산출식의 적용과 GIS 기반의 최적 이동경로 분석을 통해 운반작업을 수행하는 지하광산 디젤 차량의 탄소배출량을 정량적으로 산정하고자 한다.

2. 연구지역

본 연구에서는 강원도 삼척시에 위치한 대성 MDI 동해 석회석광산 대평지구를 연구지역으로 선정하였다(Fig. 1). 연구지역은 1976년 광업권을 설정하였고, 1993년 채광법을 노천 채광방식에서 갱내 채광방식(주방식 채광법)으로 전환하였다. 2002년에 주 운반도로 2.4 km 개설하여 Fig. 1(c)와 같은 현재의 운반 시스템을 구축하였다. 채광작업에는 Table 1과 같은 대형 디젤 장비들이 사용되고 있다. 535 ML, 560 ML, 570 ML, 580 ML, 590 ML, 510 ML은 채광작업이 거의 완료되었고, 현재는 470 ML에서 채광작업을 수행하고 있다.

3. 연구방법

3.1 운반도로 GIS 데이터베이스 구축

연구지역의 광산보안도를 기본도면으로 사용하여 디젤 차량이 이동하는 운반도로에 대한 GIS 데이터베이스를 구축하였다(Fig. 2). 노천광산에서의 최적 운반경로 분석을 위한 GIS 데이터베이스 구축 방법은 Park 등(2013), Park 등(2014)에서 자세하게 설명하였다. 그러나 본 연구는 지하광산을 대상으로 하기 때문에 기존 연구에서 제시한 GIS 데이터베이스 구축방법을 다음과 같이 수정하여 사용하였다.

첫째, 지하광산의 경우 운반도로의 표현 시 ‘X’, ‘Y’와 같은 평면 좌표뿐만 아니라 깊이 방향의 ‘Z’ 좌표까지 함께 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 ‘Z’ 좌표를 입력할 수 있는 3차원 네트워크 형식으로 연구지역의 운반도로에 대한 GIS 데이터베이스를 구축하였다. 둘째, 연구지역의 경우 운반도로가 대부분 수평갱으로 구성되어 있다. 또한, 사갱으로 구성된 운반도로의 경우에도 거의 일정한 경사도를 가진다. 따라서 운반도로를 일정한 구간으로 조밀하게 분할하여 구간별로 각각 경사도를 측정할 필요가 없다. 본 연구에서는 연구지역의 운반도로를 ‘파쇄장-갱구’, ‘갱구-교차로’, ‘교차로-작업갱도입구’, ‘작업갱도’ 와 같이 총 4개의 구역으로 나누어 운반도로의 경사도를 측정하여 GIS 데이터베이스에 입력하였다.

위 두 가지 수정 사항을 제외한 나머지 방법은 Park 등(2013), Park 등(2014)에서 제시한 GIS데이터베이스 구축 방법과 동일한 방법을 사용하였다.

3.2 운반도로별 디젤 차량의 평균 이동속도 추정

연구지역에서 운영 중인 대형 디젤 차량(15톤 덤프트럭)의 이동속도를 추정하기 위해 현장조사를 수행하였다. 2014년 4월, 7월, 8월 총 세 차례의 현장조사를 통해 ‘파쇄장-갱구’, ‘갱구-교차로’, ‘교차로-작업갱도입구’, ‘작업갱도’ 구역에서 15톤 덤프트럭의 이동시간을 공차(상향이동)의 경우와 실차(하향이동)의 경우로 구분하여 구역별로 최소 20회 이상 측정하였다. 그리고 측정된 이동시간을 이동거리로 나누어 구역별로 덤프트럭의 평균 이동속도를 추정하였다.

그 결과 ‘파쇄장-갱구’와 ‘갱구-교차로’ 구역에서는 덤프트럭의 평균 이동속도가 공차 시 20 km/h, 실차 시

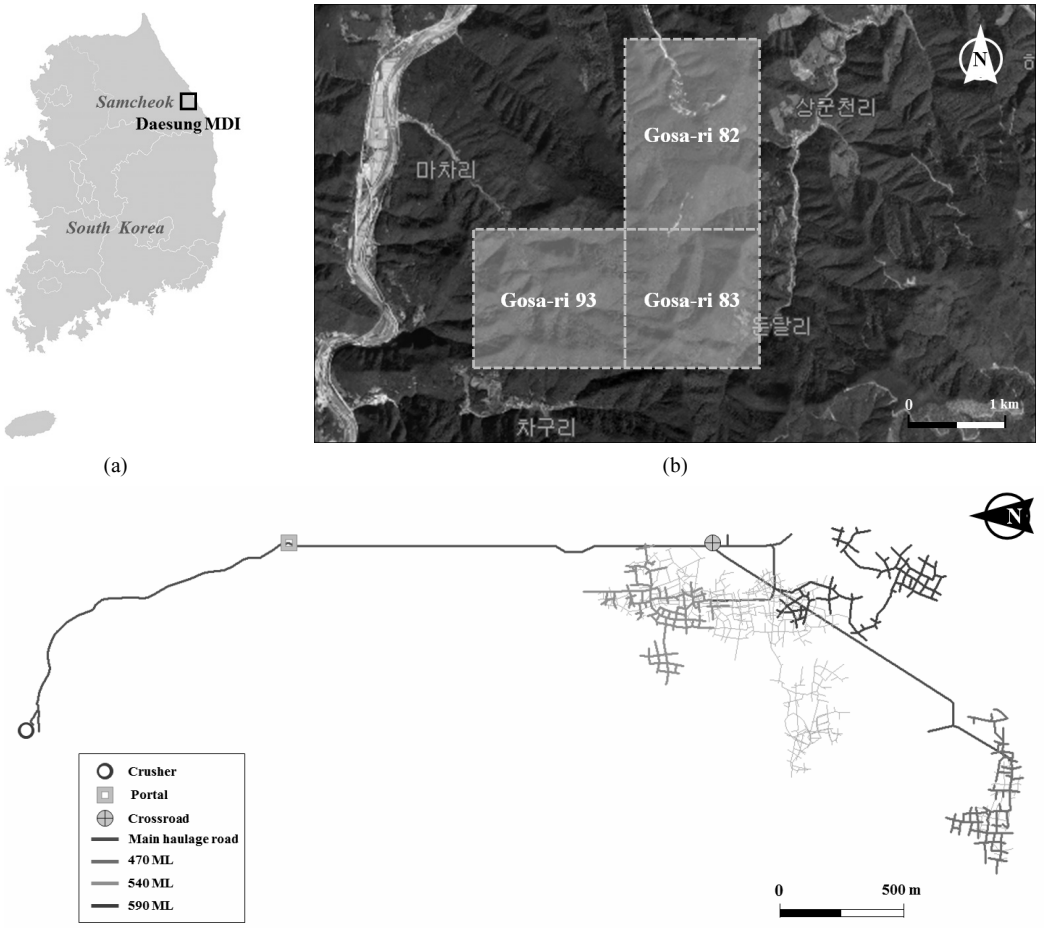

Fig. 1. Study area. (a) Location. (b) Aerial view (image source: Vworld, http://map.vworld.kr/map/maps.do). (c) Mine safety map of the Deasung MDI limestone mine, Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

Table 1. Mine equipment used in the study area

Equipment	Characteristics	Quantity
Jumbo Drill	2-boom	5
Crawler Drill	Diesel type	2
ANFO Charger	500 ℓ	3
L.H.D.	4.5 m^3	3
Loader	3.7 m^3	2
Excavator	0.8 m^3	3
Dump truck	15 ton	15

15 km/h인 것으로 분석되었다. '교차로-작업갱도입구' 구역에서는 덤프트럭의 평균 이동속도가 공차 시 10 km/h, 실차 시 5 km/h로 나타났다. '교차로-작업갱도입구' 구역에서의 덤프트럭 이동속도가 상대적으로 느리게 추정된 이유는 이 구역이 경사도가 급한 사갱 구간으로 작업장의 안전 확보를 위해 공차와 실차 모두 서

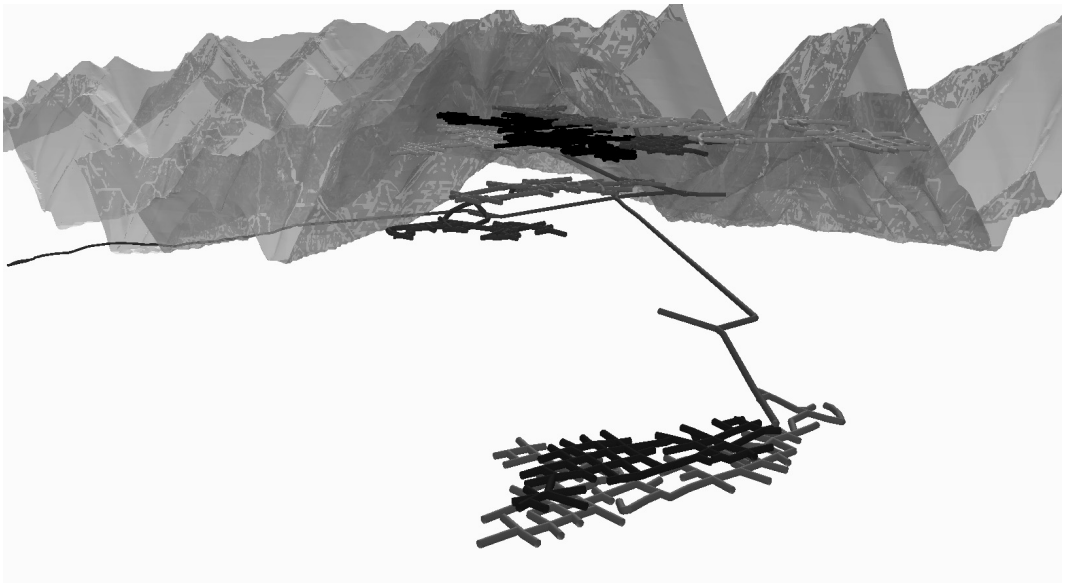

Fig. 2. View of haulage roads in the study area. The data structure of 3D vector network was used to represent these haulage roads in the GIS database

행을 했기 때문이다. '작업갱도' 구역에서는 운반도로의 경사도가 완만하여 평지와 가까운 상태이며, 덤프트럭은 공차와 실차 모두 평균 15 km/h의 속도로 이동하는 것을 현장조사를 통해 확인할 수 있었다.

3.3 운반도로별 디젤 차량의 탄소배출계수 산정

대형 디젤 차량인 15톤 덤프트럭이 연구지역에서 석회석 원광의 운반작업을 수행할 때, 운반도로별로 단위 이동거리당 배출하는 탄소의 양(탄소배출계수)을 산정하기 위하여 NIER(2013)에서 제시한 'CO_2 배출계수 산출식'을 이용하였다(Table 2). 탄소배출계수는 차량 혹은 시설에 대한 표본조사를 통하여 조사될 수 있으나 이러한 조사방법을 사용할 경우 실측조건에 따라 측정값의 변화가 크다. 따라서 NIER에서는 대표성 있는 평균 탄소배출계수를 차종별로 개발하여 제시하고 있다. 그러나 현재 모든 차종에 대하여 개발된 것이 아니기 때문에 일부 차종에 대해서는 다른 유사 차종의 배출계수를 적용하고 있다(NIER, 2014).

연구지역에서 대형 디젤 차량으로 분류되는 15톤 덤프트럭(Full-Size)의 이동속도는 0 km/h에서 40 km/h의 범위로 나타난다. 따라서 Table 2의 산출식을 이용하여 덤프트럭의 이동속도에 따른 탄소배출계수를 산정한 결과는 Fig. 3과 같다. 앞서 운반도로별로 추정된 덤프트럭의 이동속도를 Fig. 3의 x축에서 검색하고, 이에 대응하는 y축 값을 추적하면 단위 이동거리에 따른 탄소배출량을 알 수 있다. 이러한 방법으로 연구지역의 운반도로 구역별로 공차의 경우와 실차의 경우를 나누어 덤프트럭의 탄소배출계수를 산정한 결과는 Table 3과 같다.

3.4 디젤 차량의 이동거리 분석 및 탄소배출량 산정

디젤 차량의 운반작업 조건에 대한 탄소배출계수가 결정되면, 결정된 탄소배출계수와 차량의 이동거리(운반거리)를 곱하여 운반작업 시 배출되는 탄소의 양을 정량적으로 산정할 수 있다. 본 연구에서는 디젤 차량의 이동거리를 분석하기 위해 앞서 구축된 연구지역의 GIS 데이터베이스와 ArcGIS Network Analyst 도구를 이용하였다. ArcGIS Network Analyst는 최단 경로 분석, 여러 위치를 경유해야 하는 운송 차량의 가장 효율적인 경로 설정, 최근접 시설의 위치 파악, 시설의 최적 위치 결정 등의 최적화 문제에 사용되는 벡터 네트워크 자료 기반의 GIS 공간 분석 도구이다. 광산에서의 덤프트럭 최적 이동경로 및 이동거리 분석을 위해 ArcGIS Network Analyst를 활용하는 절차는 Park 등(2013)에서 자세히 설명하였다.

본 연구에서는 2014년 8월 연구지역의 현장조사 당시 석회석 원광의 적재 작업이 수행되었던 470 ML, 540 ML, 590 ML 작업장의 세 지점을 15톤 덤프트럭의 출발지점으로 각각 설정하고, 파쇄장을 도착지점으로 설정하여 실차의 최적 이동경로 및 이동거리를 분석

Table 2. The CO_2 emission factor equations developed by NIER (2013). x is the speed of vehicle. y represents the CO_2 emission factor

Type			Fuel	Speed	Equation
Sedan	Subcompact (under 1,000 cc)		Gasoline	under 65.4 km/h	$y = 887.12x^{-0.5703}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.9303x + 30.821$
	Compact (1,000 - 1,600 cc)		Gasoline	under 65.4 km/h	$y = 1313.7x^{-0.6}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.5447x + 78.746$
			Diesel	under 65.4 km/h	$y = 1133.1x^{-0.587}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.6175x + 62.478$
	Mid-Size (1,600 - 2,000 cc)		Gasoline	under 65.4 km/h	$y = 1555.5x^{-0.578}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.0797x + 144.19$
			Diesel	under 65.4 km/h	$y = 1818.1x^{-0.6643}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.3184x + 95.66$
			LPG	under 65.4 km/h	$y = 1539.4x^{-0.5748}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.5056x + 117.39$
	Full-Size (more than 2,000 cc)		Gasoline	under 65.4 km/h	$y = 1970.1x^{-0.6187}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.1791x + 145.07$
			LPG	under 65.4 km/h	$y = 1849.8x^{-0.6164}$
				over 65.4 km/h	$y = -0.1348x + 159.9$
Van	Subcompact (under 1,000 cc)		LPG	under 65.4 km/h	$y = 791.33x^{-0.5232}$
				over 65.4 km/h	$y = 1.0255x + 33.036$
	Compact (less than 15 passengers)		LPG	under 65.4 km/h	$y = 1862.6x^{-0.6044}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.4717x + 125.54$
			Diesel	under 65.4 km/h	$y = 1923.2x^{-0.5941}$
				over 65.4 km/h	$y = 1.0658x + 93.436$
	Mid-Size (16 - 35 passengers)		Diesel	under 65.4 km/h	$y = 1829.9x^{-0.4409}$
				over 65.4 km/h	$y = 0.2162x + 309.46$
	Full-Size (more than 36 passengers)	City Bus	Diesel	$y = 4638.6x^{-0.5179}$, if x≤47km/h	
			CNG	$y = 5019.8x^{-0.5582}$, if x≤47km/h	
		Express Bus	Diesel	under 65.4 km/h	$y = 2676.7x^{-0.3344}$
				over 65.4 km/h	$y = 1.3034x + 548.56$
Truck	Compact (loading capacity: less than 1 ton, gross weight: less than 3.5 ton)		Diesel	under 65.4 km/h	$y = 1135.2x^{-0.4668}$
				over 65.4 km/h	$y = 2.2307x + 25.76$
	Mid-Size (loading capacity: 1～5 ton, gross weight: over 3.5 ton)		Diesel	$y = 0.1029x^2 - 14.937x + 798.9$	
	Full-Size (loading capacity: more than 5 ton, gross weight: more than 10 ton)		Diesel	$y = 6240.3x^{-0.3829}$	

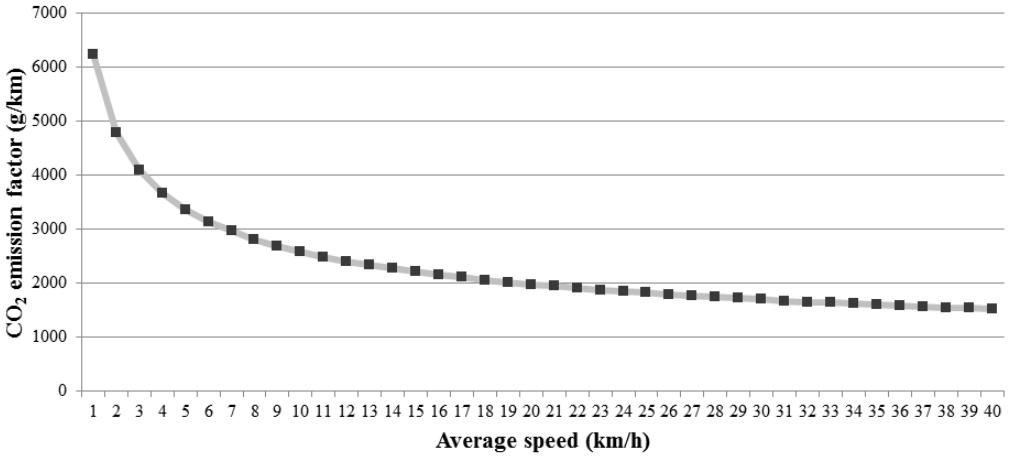

Fig. 3. CO_2 emission factor (g/km)-Average speed (km/h) plot of full-size diesel dump trucks

Table 3. Average speed and CO_2 emission factor of 15 ton diesel dump trucks in the study area

		Crusher -Portal	Portal -Crossroad	Crossroad -Workspace Entry	Workspace
Empty trucks (uphill)	Average speed (km/h)	20	20	10	15
	CO_2 emission factor (g/km)	1,982	1,982	2,584	2,212
Loaded trucks (downhill)	Average speed (km/h)	15	15	5	10
	CO_2 emission factor (g/km)	2,212	2,215	3,370	2,584

하였다. 또한, 출발지점과 도착지점을 반대로 설정하여 공차의 최적 이동경로 및 이동거리를 분석하였다. 마지막으로 운반도로 구역별로 분석된 15톤 덤프트럭의 탄소배출계수와 운반작업 시 이동거리를 곱하여 실차와 공차의 편도 이동 시 배출되는 탄소의 양을 정량적으로 산정하였다. 그러나 본 연구에서는 탄소배출량 산정 시 덤프트럭의 이동 외에 공회전과 같은 작업의 대기시간에 배출되는 탄소는 고려하지 않았다.

4. 연구결과

Fig. 4는 연구지역 현장조사 당시의 작업조건을 반영하여 분석한 15톤 트럭의 최적 이동경로를 보여준다. 470 ML, 540 ML, 590 ML 작업장의 적재지점 세 곳과 파쇄장 사이를 연결하는 트럭의 최적 이동경로가 분석되었으며, 각각의 경로에서 트럭의 이동거리는 Table 4와 같다. 연구지역의 경우 교차로에서 각 작업장 사이를 연결하는 운반도로를 제외한 '파쇄장-갱구'와 '갱구-교차로' 운반도로 구역은 트럭이 이동할 수 있는 경로가 제한적이기 때문에 공차와 실차의 분석결과가 동일하게 나타났다(Fig. 4(a)). 그러나 교차로와 각 작업장의 적재지점 사이에서는 실차와 공차의 운반경로 및 거리가 일부 상이한 구간도 존재하는 것으로 분석되었다(Figs. 4(b), 4(c), 4(d)).

Table 5는 470 ML, 540 ML, 590 ML 작업장의 적재지점과 파쇄장 사이의 최적 운반경로(편도)에 대한 실차와 공차의 탄소배출량을 각 구간별로 산정한 결과를 나타낸다. 일반적으로 광석을 실은 실차의 경우 공

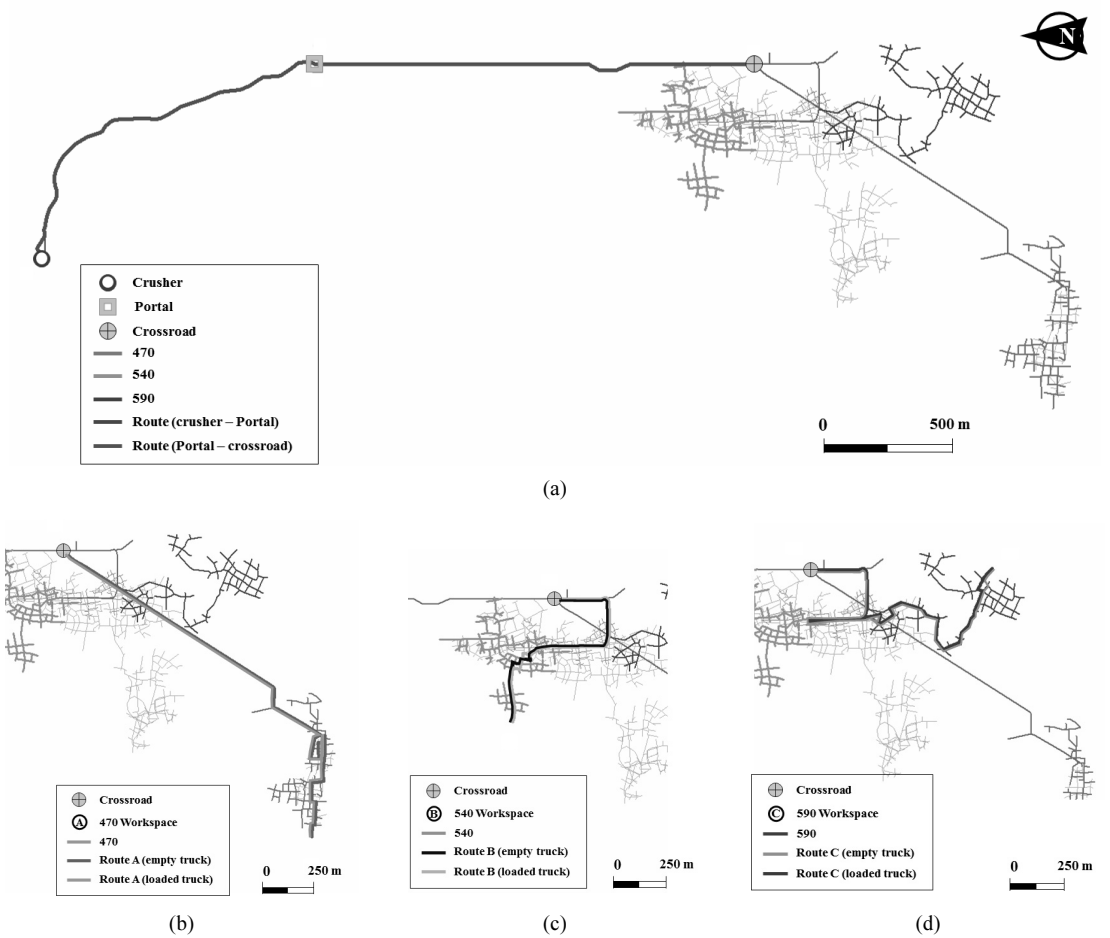

Fig. 4. Optimal haulage route of dump trucks. (a) 'Crusher-Portal' and 'Portal-Crossroad' sections. (b) Route A (470 ML), (c) Route B (540 ML), (d) Route C (590 ML)

Table 4. Haulage distance between each loading point (470 ML, 540 ML, 590 ML) and the crusher in study area

Section		Distance (km)	
		Empty trucks	Loaded trucks
Crusher - Portal		1.51	
Portal - Crossroad		1.69	
Crossroad - Workspace entry	470 ML	1.47	1.30
	540 ML	0.71	0.71
	590 ML	1.06	1.01
Workspace(loading point)	470 ML	0.72	0.68
	540 ML	0.54	0.48
	590 ML	1.14	0.88

차에 비해 느린 속도로 운행하기 때문에 탄소배출계수가 상대적으로 높게 산정된다. 따라서 실차는 공차보다 탄소배출량이 대체로 많으며, 이는 Table 5에서 확인할 수 있다.

Table 5. CO_2 emissions of dump trucks calculated in the study area

		Crusher -Portal	Portal -Crossroad	Crossroad -Workspace entry	Workspace	Sum (one-way trip)	Sum (round trip)
470 ML (Route A)	Empty trucks	2,989	3,359	3,798	1,589	11,735	24,935
	Loaded trucks	3,337	3,750	4,368	1,745	13,200	
540 ML (Route B)	Empty trucks	2,989	3,359	1,823	1,192	9,363	20,074
	Loaded trucks	3,337	3,750	2,378	1,246	10,711	
590 ML (Route C)	Empty trucks	2,989	3,359	2,747	2,526	11,621	24,387
	Loaded trucks	3,337	3,750	3,399	2,280	12,766	

트럭이 각 작업장에 투입되어 한 번의 적재-운반작업을 수행하는 동안 '파쇄장-갱구' 구간의 운반경로에서는 공차의 경우 2,989 g, 실차의 경우 3,337 g의 탄소를 배출하고, '갱구-교차로' 구간에서는 공차의 경우 3,350 g, 실차의 경우 3,750 g의 탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 반면 교차로와 각 적재지점 사이의 운반도로에서는 상이한 운반경로로 트럭이 이동하기 때문에 작업장의 적재지점별로 탄소배출량이 다르게 산정되었다. 구체적으로 교차로와 470 ML 작업장의 입구 사이의 운반경로인 Route A의 경우 공차는 3,798 g, 실차는 4,368 g의 탄소를 배출하며, 470 ML 작업장 내에서는 공차가 1,589 g, 실차는 1,745 g의 탄소를 배출하는 것으로 분석되었다. 교차로와 540 ML 작업장 입구까지의 운반경로인 Route B에서는 공차의 경우 1,823 g, 실차의 경우 2,378 g의 탄소배출량을 보이며, 540 ML 작업장 내에서는 공차 1,192 g, 실차 1,246 g으로 탄소배출량이 산정되었다. 교차로와 590 ML 작업장 입구 사이의 구간(Route C)에서는 공차의 경우 2,747 g, 실차의 경우 3,399 g의 탄소를 배출하며, 590 ML 작업장 내에서는 공차 2,526 g, 실차 2,280 g의 탄소를 배출하는 것으로 분석되었다. 각 구간별 탄소배출량을 살펴볼 때 대체로 파쇄장과 작업장의 적재지점 사이의 거리가 가깝고, 트럭의 이동경로가 직선에 가까울수록 상대적으로 탄소배출량이 적게 산정되는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 GIS를 이용하여 지하광산에서 운영되는 디젤 차량이 운반작업 시 배출하는 탄소의 양을 정량적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 대성MDI 동해사업소 석회석 지하광산을 연구지역으로 설정하여 운반시스템과 운반도로에 대한 현장조사를 수행하였으며, 운반도로에 대한 GIS 데이터베이스를 구축하였다. 현장조사 데이터를 이용하여 운반도로별 디젤 차량의 평균 이동속도를 추정하고, CO_2 배출계수 산출식을 이용하여 디젤 차량의 탄소배출계수를 운반도로별로 산정하였다. 또한, 연구지역의 GIS 데이터베이스와 ArcGIS Network Analyst 도구를 이용하여 디젤 차량의 이동거리를 분석하고, 그 결과를 탄소배출계수와 곱하여 탄소배출량을 산정하였다.

연구결과 연구지역 현장조사 당시의 작업 조건에서는 한 번의 석회석 원광 운반 시 실차와 공차의 왕복주행으로 인한 트럭의 탄소배출량이 470 ML 작업장의 경우 24,935 g, 540 ML 작업장은 20,074 g, 590 ML 작업장은 24,387 g인 것으로 분석되었다. 실차와 공차를 비교할 때에는 탄소배출계수가 상대적으로 더 큰 실차의 이동 시에 탄소배출량이 대체로 더 크게 산정되었으며, 파쇄장과 각 적재지점 사이의 거리가 가까울수록, 운반경로가 비교적 직선일 경우 상대적으로 적은 양의 탄소를 배출하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 GIS기반의 네트워크 분석을 통해 지하광산 디젤 차량의 운반작업과 관련한 탄소배출량을 정량적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 본 연구는 광업분야에서 미흡했었던 탄소배출량의 산정이나 저감 대책 수립에 관한 기초적인 연구를 수행했다는 것에 큰 의미를 가진다. 본 연구에서 제시한 방법

을 보다 발전시킨다면 광산 전체의 운반작업과 관련한 연간 탄소배출량을 추정하는 데에도 활용할 수 있을 것이다. 이와 관련한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “국내 석회석광 적용 자동차 경량화 광물 원료 등 미래 자원화 기술 실증화 연구(과제번호: 2013T100100021)”를 수행하는 대성엠디아이(주)의 2015년 기술정보 수집 연구용역비 지원으로 수행되었다.

References

1. Barth, M. and K. Boriboonsomsin, 2009, Traffic congestion and greenhouse gases, The Magazine of University of California Transportation Center, No. 35, 2-9.
2. Börjesson, P. and L. Gustavsson, 2000, Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives, Energy Policy, 28.9, 575-588.
3. Chong, S.M., J.H. Lee, J. Choi, J.M. Kim and K.S. Noh, 2014, Estimation of greenhouse gas emissions as highway design types by using driving simulator, International Journal of Highway Engineering, 16.6, 129-136.
4. Han, D.H., Y.I. Lee and H.H. Jang, 2011, A study of calculation methodology of vehicle emissions based on driver speed and acceleration behavior, Journal of Korean Society of Transportation, 29.5, 107-120.
5. Joo, J.Y. and H.U. Oh, 2015, CO_2 Emission considering condition of vehicle acceleration, International Journal of Highway Engineering, 17.3, 125-132.
6. Kaboli, A.S. and D.G. Carmichael, 2012, Emission and cost configurations in earthmoving operations, Organization, Technology and Management in Construction, 4.1, 393-402.
7. KEC, 2011, Expressway, http://research.ex.co.kr, 98-107 (Access at 09 September 2014).
8. NIER, 2013, Estimate method of national air pollutants emission guideline Ⅲ, http:// airemiss.nier.go.kr, 131 p. (Access at 12 September 2014).
9. NIER, 2014, Studies for improvement of air pollutants & GHGs integrated inventory system, http://www.me.go.kr, pp. 243-245. (Access at 20 June 2015).
10. Park, B., Y. Choi and H.S. Park, 2013, Creation of vector network data with considering terrain gradient for analyzing optimal haulage routes of dump trucks in open pit mines, Tunnel and Underground Space, 23.5, 353-361.
11. Park, B., Y. Choi and H.S. Park, 2014, Optimal routes analysis of vehicles for auxiliary operations in open-pit mines using a heuristic algorithm for the traveling salesman problem, Tunnel and Underground Space, 24.1, 11-20.
12. Robertson, G.P., E.A. Paul and R.R. Harwood, 2000, Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to radiative forcing of the atmosphere, Science, 289.5486, 1922-1925.
13. Ryu, J., M. Eom, S. Kwon and C. Lim, 2004, A study on the characteristics of greenhouse gas emissions exhausted from motor vehicles, Journal of The Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 6, 22-27.
14. Sauerbeck, D.R., 2001, CO_2 emissions and C sequestration by agriculture − perspectives and limitations, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60.1-3, 253-266.
15. Suzuki, M., T. Oka and K. Okada, 1995, The estimation of energy consumption and CO_2 emission due to housing construction in Japan, Energy and buildings, 22.2, 165-169.
16. Yun, S., J. Im, J. Lee, K. Shim and K. Hwang, 2001, Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 3.4, 220-237.

박 보 영

2012년 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 공학사
2015년 부경대학교 대학원 에너지자원공학과 공학석사

Tel: 02-3393-3938
E-mail: charmbby@gmail.com
현재 녹색기술센터 미래전략실 인턴연구원

박 세 범

2013년 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 공학사
2015년 부경대학교 대학원 에너지자원공학과 공학석사

Tel: 051-629-6550
E-mail: sebumi1v@gmail.com
현재 부경대학교 에너지자원연구소 전임연구원

최 요 순

2004년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공학사
2009년 서울대학교 대학원 에너지시스템공학부 공학박사
2010년 미국 펜실베니아 주립 대학교 에너지자원공학과 Post-Doc

Tel: 051-629-6562
E-mail: energy@pknu.ac.kr
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 조교수

박 한 수

Tel: 02-765-3003
E-mail: parkhs@dsmd.co.kr
현재 대성엠디아이㈜ 신소재기술연구소 부장