KIEAE Journal
Vol. 14 No. 1 Feb. 2014, pp.131-138, pISSN 1598-3730, eISSN 2288-4823
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2014.14.1.131

폐콘크리트의 수송계획에 따른 순환골재의 CO_2 배출량 저감 가능성에 관한 연구

- 대구・경북지역을 중심으로 -

A Study on the Potential of CO_2 Emissions Reduction Recycled Aggregate according to Transportation Plan of Waste Concrete

- Focused on Daegu City and Kyungpook Area -

김 태 현* Kim, Tae Hyun
차 기 욱** Cha, Gi Wook
홍 원 화*** Hong, Won Hwa

Abstract

The recent interests in securing alternative resource have increased due to environmental issues and exhaustion of natural resources. The government notices production of recycled aggregate using waste concrete as the substitute of the natural aggregate. However, It's important to reduce environmental burden being inevitably made in the process producing recycled aggregate. In this study, the scenarios of transportation distance were set in the transportation phase of production of recycled aggregate. In addition, The possibility of emissions and reduction of carbon dioxide were studied depending on the scenarios. For this study, data about a amount of waste concrete, transportation distance, kind of vehicle, the number of required vehicle, fuel efficiency of vehicle and etc were gathered from 15 companies of intermediate treatment and 60 constructions sites located in Daegu city and Kyungpook area. Based on those data, fuel consumptions and CO_2 emissions according to the transportation scheme of waste concrete were calculated. As a result of the study, the emission of carbon dioxide was possible to be reduced by 27.8~75.4% depending on the scenarios of transportation distance.

키워드 : 폐콘크리트, 순환골재, 수송계획, 중간처리업체, CO_2 배출량
Keywords : Waste concrete, Recycled aggregate, Transportation plan, Intermediate treatment company, CO_2 emissions

1. 서론

2012년 한국수자원 공사에 따르면 우리나라의 골재 부존량은 약 203억m^3이다. 그러나 경제성, 법령상의 제약 등으로 인해 이용 가능양은 30.5%에 해당하는 약 62억m^3로 추정된다.[1] 또한 환경규제의 강화, 이해당사자간의 동의확보 문제 그리고 각종 민원 등으로 인해 골재 채취에 대한 어려움을 감안할 경우 실제 채취 가능한 양은 더욱 감소할 것으로 예측된다.[2] 골재는 유한한 자원이고 소모되어가는 반면 골재의 수요는 매년 급증하고 있다. 우리나라는 2002년에 2억m^3에 해당하는 골재를 소비하였으며, 향후의 건설 활동 추세를 감안할 때, 앞으로도 연평균 5%이상 수요 증가가 예상된다.[3] 골재 자원의 확보와 수요량 증가로 인해 정부는 천연골재의 공급 불안정 문제를 해결하기 위한 대책으로 건설폐기물을 활용하여 순환골재를 생산하는 방안이 모색되어 왔다.

건축물 해체를 통해 배출되는 건설폐기물의 효율적인 재활용은 환경보존과 천연자원 고갈에 대한 훌륭한 대안으로 인식되고 있다.[4] 그러나 건설폐기물을 활용한 순환골재는 생산 과정에서 또 다른 환경부하를 발생한다는 점에 우리는 주목할 필요가 있다. 기존의 연구문헌[5]에 따르면 폐콘크리트 재활용 방식에 따라 현장재활용, 중간처리업체를 통한 순환골재 생산 그리고 천연골재 생산을

* Main author, Dept. of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National Univ. South Korea
** Corresponding author, (ckgnr@nate.com) Dept. of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National Univ. South Korea
*** Dept. of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National Univ. South Korea

1) 한국수자원공사, “골재기초조사 현황”, 2012
2) 류연갑, “골재산업의 현황과 전망”, 콘크리트 학회지 제9권 6호, 1997. 12, p.9
3) 조상문 외 3인, “재생 골재활용의 문제점 및 개선방안”, 한국건설관리학회, 2006
4) 권순범 외 4인, “폐콘크리트의 현장재활용 사례를 통한 이산화탄소 배출에 따른 사회적 비용 비교분석”, 한국건설관리학회지 추계학술 발표논문집 p.p 459~462, 2007
5) 정종석 외 5인, “폐콘크리트 재활용 방식에 따른 이산화탄소 발생량 분석”, 대한건축학회, 2008

ⓒ Copyright The Korea Institute of Ecological Architecture And Environment

하는 경우, 중간처리업체를 통한 순환골재 생산[6] 시에 가장 많은 이산화탄소가 배출되는 것으로 나타났다. 그리고 CO_2 배출 증가의 주요 요인은 수송과정에서의 차량과 수송거리가 상당한 영향을 미쳤음을 보여주었다. 따라서 중간처리업체를 통한 순환골재 생산 시 수송차량과 수송거리 계획은 CO_2 저감에 중요하다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 순환골재 생산 과정 중 수송단계에서 차량과 수송거리에 따른 CO_2 배출량 저감 가능성을 알아보고자 하였다.

2. 국내 연구동향 및 데이터 수집 방안

2.1. 국내 선행연구 고찰

차기욱(2010)은 도시재생사업지구의 지구단위 해체공사에서 배출된 건설폐기물 종류별로 처리된 방식에 따라 CO_2 발생량 산출과 환경비용을 산정하였다.[7] 동 연구에서는 해체단계와 수송단계에서 발생하는 에너지소비량과 CO_2 발생량 결과를 보여주었으며, 그 결과를 요약하면 다음 <표1>과 같다.

Table 1. CO_2 Emissions per unit weight and according to demolition and transportation distance

Process	Demolition	Transportation distance(km)				
		10	20	30	40	50
CO_2 emission (kg-CO_2/ton)	2.47	2.91	3.34	3.77	4.21	4.46

동 연구에서 보여주는 <표1>의 결과로부터 수송거리가 증가함에 따라 CO_2 배출량은 해체단계에 비하여 18%(10km)에서 81%(50km)까지 상당한 증가 추세를 보여주고 있다.

최두성 외 2인(2013)은 공동주택을 대상으로 해체 및 폐기단계에서 발생한 건설폐기물을 이용하여 각 처리단계별 CO_2 발생량을 산출하고 건축물 LCA 연구의 기초자료 구축을 목표로 하였다.[8] 동 연구에서는 사례단지에서 발생한 폐콘크리트의 단위면적 당 CO_2 발생량 산출하였으며, 국토해양부의 "시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인" 자료를 활용하였다. 동 연구에서의 중간처리업체를 통한 순환골재 생산 과정별 CO_2 발생량결과는 다음 <표2>와 같다.

Table 2. CO_2 emissions in each process of producing recycled aggregate

Process	Demolition	Transport	Intermediate treatment company
CO_2 emission per unit area(kg-CO_2/m^2)	19.81	1.52	4.17
Percent (%)	78	6.0	16

동 연구는 폐콘크리트를 활용하여 중간처리업체를 통한 폐콘크리트 생산 시, 해체단계가 78%로 가장 높은 CO_2 발생량 결과를 보여주고 있으며, 중간처리업체에서의 순환골재 생산 공정에서 16%, 수송단계에서 6%의 CO_2가 발생한다는 연구 결과를 보여주고 있다. 그러나 동 연구에서는 시도별 평균거리를 수송거리로 적용하였으며, 대부분이 20km 내의 수송거리로 인해 수송단계에서의 CO_2 발생량 결과가 적게 나타난 것으로 사료된다.

정종석 외 5인(2008)은 건설폐기물 중 재활용률이 높은 폐콘크리트를 대상으로 재활용 방식별[9]로 순환 골재를 생산하는 경우에 발생하는 이산화탄소 발생량을 분석하였다.[10] 동 연구는 대규모 건설현장을 통하여 배출된 폐콘크리트를 대상으로 폐콘크리트 재활용 방식을 현장재활용, 중간처리업체를 통한 재활용, 산림골재 생산으로 분류하여 연구를 수행하였다. 동 연구에서 중간처리업체를 통한 순환골재 생산 시의 CO_2 발생량 결과를 정리하면 다음 <표3>과 같다. <표3>의 연구 결과로부터 수송거리 10km 미만에서 중간처리업체와 산림골재의 CO_2 발생량은 적게 나타났으나, 수송거리 10~40km까지 해체단계, 수송단계, 중간처리업체 전과정에서 배출되는 발생량의 47%, 64% 73%, 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 골재 생산 시 배출되는 이산화탄소 발생량에 가장 크게 영향을 미치는 요소로 골재량에 따른 트럭운행회수와 운반거리임을 밝히고 있다.

Table 3.CO_2 emissions in each process of producing recycled aggregate

Process	Demolition	Transportation distance (km)				Intermediate treatment company
		10	20	30	40	
CO_2 emission (kg-CO_2/ton)	5.39	9.83	19.6	29.5	39.3	5.51

기존의 연구 문헌 고찰을 통하여 폐콘크리트를 재활용한 순환골재 생산 시에 수송과정에서의 이산화탄소 발생량이 해체단계와 중간처리업체의 생산 공정에 비해 많을 것으로 예상된다. 최두성 외 2인(2013)의 연구에서는 상대적으로 적은 CO_2 발생량 결과를 보여주었지만, 그 결과는 각 시도별 중간처리업체 10곳의 평균 수송거리를 적용한 값으로 수송거리 증가에 의한 CO_2 발생량 증가 가능성은 충분하다고 판단된다. 그리고 기존의 연구에서 제시하고 있는 수송단계에서의 CO_2 발생량은 연구 대상의 사례와 중간처리업체의 수송거리 적용 그리고 수송차량의 종류가 한정적이라고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 폐콘크리트를 활용한 순환골재 생산 시에 수송 단계만을

6) 중간처리업체를 통한 순환골재 생산은 건축물 해체, 폐콘크리트 수송, 중간처리업체에서의 순환골재 생산 전 과정을 의미한다.
7) 차기욱, "LCA기반에 의한 건설폐기물 종류별 CO_2 발생량 산출과 환경비용 산정에 관한 연구", 경북대학교 석사학위 논문, 2010.12
8) 최두성 외 2인, "폐기단계에서 LCI DB구축을 위한 CO_2 발생량에 관한 연구", 한국생태환경건축학회 논문집, 2013.10
9) 동 논문에서 언급하고 있는 폐콘크리트 재활용 방식이라 함은, 현장에서의 순환골재 생산, 중간처리업체를 통한 순환골재 생산, 자연자원을 이용한 산림골재 생산으로 분류된다.
10) 정종석 외 5인, "폐콘크리트 재활용 방식에 따른 이산화탄소 발생량 분석", 대한건축학회 논문집, 2008.10

Table 4. The condition on disposal of waste concrete by intermediate treatment company

Company name	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
The location of company	D	K	K	D	K	D	K	D	K	D	K	K	K	K	K
Disposal quantity (ton)	22,654	30,948	22,048	28,008	8,656	497	12,759	47,693	1,409	15,384	9,989	2,033	6,858	755	1,260

Note. D means Deagu and K means Kyungpook

연구범위로 한정하여 실제 공사 내역을 바탕으로 수송거리와 수송차량에 따른 CO_2 발생량과 저감 가능성에 대해 알아보고자 하였다.

2.2. 데이터 수집 방안

1) 해체현장 및 중간처리업체 위치와 폐콘크리트 발생량 정보

본 연구에서는 해체현장과 중간처리업체의 위치 그리고 폐콘크리트 배출량에 관한 데이터를 수집하기 위하여 2012년 4월부터 2013년 4월까지 대구 · 경북지역에 위치하고 있는 중간처리업체의 조달청 입찰 및 낙찰내역을 조사하였다. 낙찰 결과를 바탕으로 해체현장과 중간처리업체의 위치를 파악하였으며, 폐콘크리트 발생량은 중간처리업체별로 낙찰 내역을 바탕으로 다음 <표4>와 같이 데이터를 정리하였다. 아래 <그림1>은 조달청의 낙찰내역을 바탕으로 작성한 대구광역시(5), 경북 경산시(5), 경북 칠곡군(3), 경북 고령군(2)에 위치하고 있는 중간처리업체(▲) 15곳과 대구광역시(52), 경북 경산시(7), 경북 군위군(1)의 해체현장(●) 60곳에 대한 위치를 보여주고 있다.

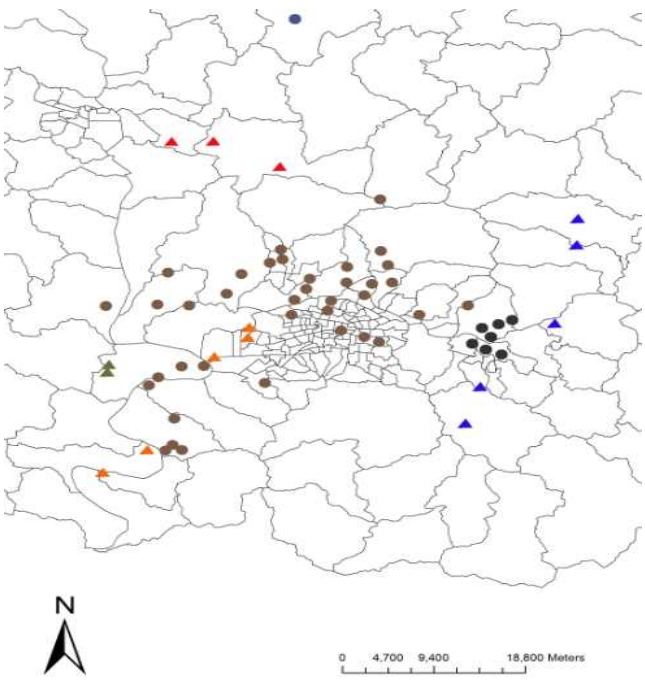

Fig. 1. The location of demolition site and intermediate treatment company in this study

2) 수송 거리

실태조사에 의한 수송 거리는 위의 <그림1>에서 보이는 해체현장과 중간처리업체의 위치 그리고 관련 업체 담당자와의 면담을 통해 확보한 자료와 ITS 국가교통정보센터의 대구 · 경북지역 교통지도[11]를 바탕으로 해체현장에서 중간처리업체까지의 수송에서 차량의 회전율과 운행속도를 고려하여 수송에 소요되는 시간과 거리에 비례하여 최적의 수송경로를 파악하고 수송차량의 도로 주행거리를 측정하여 산출하였다. 다만, 수송 시나리오에 따른 거리 측정은 본 연구의 시나리오에 따라 해체현장과 중간처리업체를 재조합하여 Arc GIS 프로그램과 대구 · 경북 교통지도를 토대로 수송거리를 재 측정한 결과를 이용하였다.

3) 수송 차량 정보

폐콘크리트 수송에 이용된 수송 차량의 종류와 연비는 대구광역시 A, B, D, H 업체와 경북 경산시 D, E, I의 중간처리업체 7곳의 현장조사와 7개 업체에 종사하는 수송차량 운전자 50명을 대상으로 설문조사를 실시하여 2012년 6월의 양호한 도로 상태에서 수송차량 종류별 왕복기준 60km/h의 속도로 20km이상, 20km미만의 수송거리에서 적재상태, 공차상태 경우의 차량연비를 조사하였다. 또한, 폐콘크리트 배출량에 따른 소요차량 대수는 표준품셈을 근거로 차량 종류에 따라 1회 적재량을 적용하여 소요차량 대수를 산출하였다. 수송 차량의 종류, 연비에 대한 정보는 다음 <표5>와 같다.

Table 5. The load volume and fuel efficiency according to transportation vehicle's types

Classification	Used vehicle types for transportation					
	15 ton truck (T1)			24 ton truck (T2)		
Load volume of vehicle per once (m^3)	9.13			14.60		
Load or empty	Load		Empty	Load		Empty
Transportation distance (km)	20 ≧	20 <	5	20 ≧	20 <	4
Fuel efficiency (km/L)	3.75	2.5		3	2	

4) 연료소비량 및 CO_2 발생량 산정 방안

폐콘크리트 수송에 따른 연료소비량은 위의 <표5>를 바탕으로 수송 차량의 종류, 적재여부, 소요차량 대수 그

11) 국가교통정보센터, "교통지도 현황", 2012

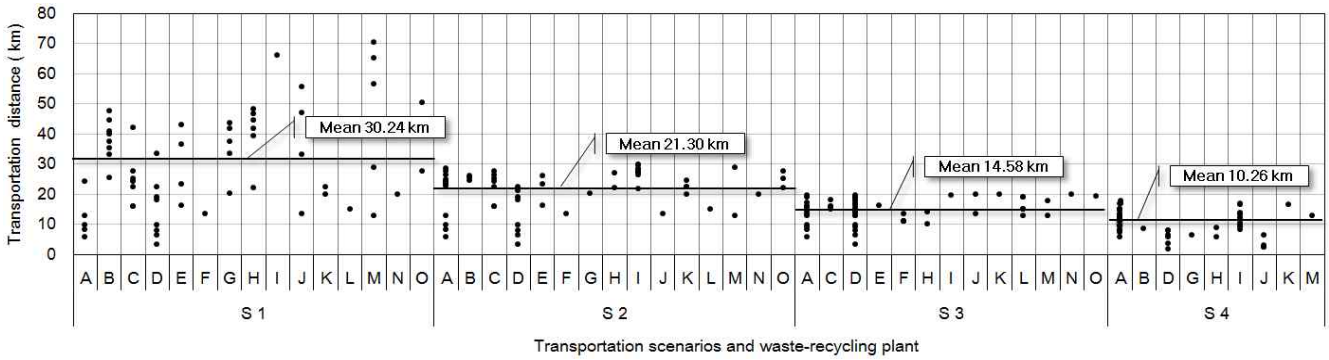

Fig. 2. Transportation distance between and demolition site and intermediate treatment company depending on transportation scenarios

리고 수송거리에 따라 연비를 차등 적용하여 연료소비량을 산출하였다. 수송 차량에 의한 연료소비량은 차량의 대수∗수송 거리(km)/차량 연비(km/L)에 의한다. CO_2 발생량은 연료소비량을 바탕으로 IPCC 2006 Reference Manual에서 제시하고 있는 에너지원별 발열량에 따른 탄소배출계수와 순발열량 기준을 적용하여 산출하였다. 이때, 수송차량에 이용된 연료는 경유이며, CO_2 배출량은 경유 1L당 2.58kg-CO_2[12]이다.

2.3. 수송 시나리오

1) 수송 시나리오

위의 <표5>에서 보는 바와 같이, 수송차량의 연비는 수송거리에 따라 다르게 나타난다. 이는 수송거리에 따라 주행경로, 도로의 상태와 교통체증 등의 변수 요인이 작용하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 연비가 크게 변화하는 수송 구간인 20km를 기준으로 수송거리에 대한 시나리오를 다음과 같이 설정하였다.

- S1- 중간처리업체의 낙찰내역을 바탕으로 한 실태조사에 의한 수송 시나리오;
- S2- 20km 미만의 수송 거리에서 나타나는 연비의 효율성 감소를 고려하여 설정한 20~30km 시나리오;
- S3- 최단거리 및 20~30km 시나리오와의 비교를 위한 20km 미만 시나리오;
- S4- 수송 거리를 최대한 줄였을 때 예상되는 CO_2 발생량 저감에 대한 결과를 알아보기 위한 최단거리 시나리오를 설정하여 수송거리와 연비의 효율을 고려하였을 때의 수송에 따른 CO_2 발생량 변화를 알아보았다.

다만, 해체현장과 중간처리업체를 조합하는 과정에서 시나리오에 해당하는 수송 거리가 없을 경우, 가장 가까운 중간처리업체를 선정하였다.

3. 수송 시나리오에 따른 수송거리, 폐콘크리트 처리량 및 연료 소비량

3.1. 수송거리 변화

폐콘크리트의 수송시나리오에 따라 중간처리업체와 해체현장을 재조합하여 수송거리를 알아보았다. 앞서 언급한 바와 같이 수송거리는 직선거리가 아닌 주행거리를 의미하며, 시나리오에 따른 수송거리를 <그림2>에 나타내었다.

1) 실태조사에 의한 수송거리

조달청의 낙찰내역을 바탕으로 조사한 폐콘크리트의 수송 거리는 업체별로 10km 미만에서 70km 이상까지 상당히 다양하게 분포하고 있었다. 그러나 "건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률"에서 고시하고 있는 건설폐기물 수송 시 수송거리(직선거리)를 40km 이내로 권장한다는 조건에는 모두 부합하는 것으로 나타났다. <그림2>의 실태조사에 의한 평균 수송거리는 30.24km로 조사되었다.

2) 20~30km 수송 시나리오의 수송거리

본 연구에서 조사한 수송차량의 수송거리에 따른 연비 효율성 감소를 고려하여 설정한 20~30km 시나리오에 의한 수송거리는 <그림2>에서 보는 바와 같다. 시나리오 설정에 따라 해체현장과 중간처리업체를 조합한 결과 주행거리가 30km 이상인 경우는 없었다. 평균수송 거리는 21.30km로 실태조사에 의한 수송거리보다 약 30%(약 9km) 거리 단축이 가능하였다.

3) 20km 미만 수송 시나리오의 수송거리

<그림2>의 최단거리 및 20~30km 시나리오와의 비교를 위한 20km미만 시나리오에서의 수송거리는 평균 14.58km로 실태조사에 의한 결과보다 약 52%(약 15km)에 해당하는 정도의 거리 단축이 가능하였다.

4) 최단거리 시나리오의 수송거리

마지막으로, 수송거리를 최대한 단축하였을 때의 CO_2 발생량 저감을 알아보기 위한 최단거리 시나리오 결과

12) 에너지원별 CO_2 배출량 = 단위발열량*단위전환계수*탄소배출계수(IPCC 배출계수)*에너지사용량*연소율*CO_2 분자량/C분자량으로부터 산출할 수 있으며, 이때 경유(에너지원)의 단위당 CO_2 배출량은 2.58kg-CO_2/L이다

Table 6. The change of disposal quantity of waste concrete by intermediate treatment company depending on transportation scenarios

Classification	The disposal quantity of waste concrete by intermediate treatment company (ton)														
Scenarios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
S1	22,654	30,948	22,048	28,008	8,656	497	12,759	47,693	1,409	15,384	9,989	2,033	6,858	755	1,260
S2	49,296	15,408	15,064	28,206	9,750	497	460	6,408	38,686	6,455	14,334	2,033	3,664	755	19,935
S3	30,882	-	21,207	69,664	615	28,141	-	14,905	7,656	7,070	7,956	17,591	3,933	755	576
S4	118,099	701		13,985	-	-	3,158	628	47,551	23,348	576	-	2,905	-	-

Table 7. The change of used vehicle number to transport waste concrete by intermediate treatment company depending on scenarios

Classification		Number of used vehicle by types and intermediate treatment company according to scenarios (Unit: N)														
Scenarios	Vehicle type	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
S1	T1	1,079	1,474	1,050	1,334	412	24	608	2,271	67	733	476	97	327	36	60
	T2	675	922	657	834	258	15	380	1,420	42	458	297	61	204	22	38
S2	T1	2,348	734	717	1,343	464	24	22	305	1,842	307	683	97	174	36	949
	T2	1,468	459	449	840	290	14	14	191	1,152	192	427	61	109	22	594
S3	T1	1,471	-	1,010	3,317	29	1,340	-	710	365	337	379	838	187	36	27
	T2	920	-	632	2,075	18	838	-	444	228	221	237	524	117	22	17
S4	T1	5,624	33	-	666	-	-	150	30	2,264	1,112	27	-	138	-	-
	T2	3,517	21	-	416	-	-	94	19	1,416	695	17	-	87	-	-

해체현장과 중간처리업체와의 수송거리는 평균 10.26km까지 단축 가능하였으며, <그림2>를 살펴보면 실태조사에 의한 평균 수송거리에서 66%(약 20km) 단축이 가능한 것으로 나타났다.

3.2. 수송계획에 따른 업체별 폐콘크리트 처리량 변화

본 절에서는 앞서 설정한 수송계획에 따라 폐콘크리트 수송을 담당하는 중간처리업체와 해체현장을 재조합하여, 그에 따른 중간처리업체별 폐콘크리트 처리량 변화 결과를 알아보았다. 그 결과를 위의 <표6>에 나타내었다. 수송 계획 시나리오에 따라 실태조사에서는 처리량 순서대로 H, D, B 업체가 가장 많은 사업을 수주한 것으로 나타났다. 그러나 20~30km 시나리오에서는 A, I, D, O 업체가, 20km 미만 시나리오에서는 D, F, A, C 업체가, 최단거리 시나리오에서는 A, I , J, D 업체가 해체 현장과의 조합에서 가장 적절한 거리에 위치한 것으로 예상된다. 수송 계획 시나리오 따른 <표6>의 결과로부터 각 해체현장과의 조합에서 유리한 위치를 점하고 있는 중간처리업체로는 A, C, D, F, I, J, O이며, B와 H 업체는 상대적으로 불리한 위치를 점하고 있는 것을 예상할 수 있다.

3.3. 수송계획에 따른 연료소비량 변화

연료소비량 산출을 위해 본 절에서는 앞서 언급한 수송계획과 폐콘크리트 배출량에 따라 소요 차량대수, 중간처리 업체별 수송거리, 사용된 차량의 연비를 토대로 연료소비량을 산출하였다. 소요 차량 대수는 <표5>의 차량의 종류에 따라 1회 적재량을 고려하여 산출하였으며, 그 결과는 <표7>과 같다. 이상의 데이터를 토대로 수송 시나리오에 따라 각 업체의 수송차량 15ton truck (T1)과 24ton truck (T2)에 의한 연료소비량 결과를 다음 <그림3>에 나타내었다.

1) 실태조사에 의한 연료소비량

실태조사를 바탕으로 한 폐콘크리트 발생량, 수송거리, 소요차량 대수 그리고 차량종류에 따른 연비를 적용한 결과, 차량 T1에 의한 총 연료소비량은 153,346L(경유)로 폐콘크리트 단위무게 당 0.727L/ton의 전체 평균 결과를 보여주었다. 반면에 차량 T2로 운송하였을 경우의 총 연료소비량은 119,863L로 단위무게 당 0.568L/ton이었다. T2에 의한 수송이 T1 트럭보다 연료소비량이 21.8% 저감된 결과를 보여주었다.

2) 20~30km 수송 시나리오에 의한 연료소비량

연비의 효율성과 수송거리 단축을 고려해 설정한 20~30km 시나리오에서는 T1 차량에 의해서 총 110,646L T2 차량에 의해 86,491L가 소비될 것으로 나타났다. 이 수송구간에서 T1 차량을 이용할 경우 실태조사에 의한 연료소비량보다 7.7~27.8%의 저감 가능성이 있을 것으로 예상된다. T2 차량에 의해서는 실태조사보다 27.8~43.6%의 연료소비량 저감이 가능할 것으로 나타났다. 또한, 폐콘크리트 단위무게 당 연료소비량은 T1 차량일 경우 0.525L/ton, T2 차량일 경우 0.410L/ton이다.

3) 20km 미만 수송 시나리오에 의한 연료소비량

수송 거리 단축과 함께 연비의 효율성 저하에 따른 연

ⓒ Copyright The Korea Institute of Ecological Architecture And Environment

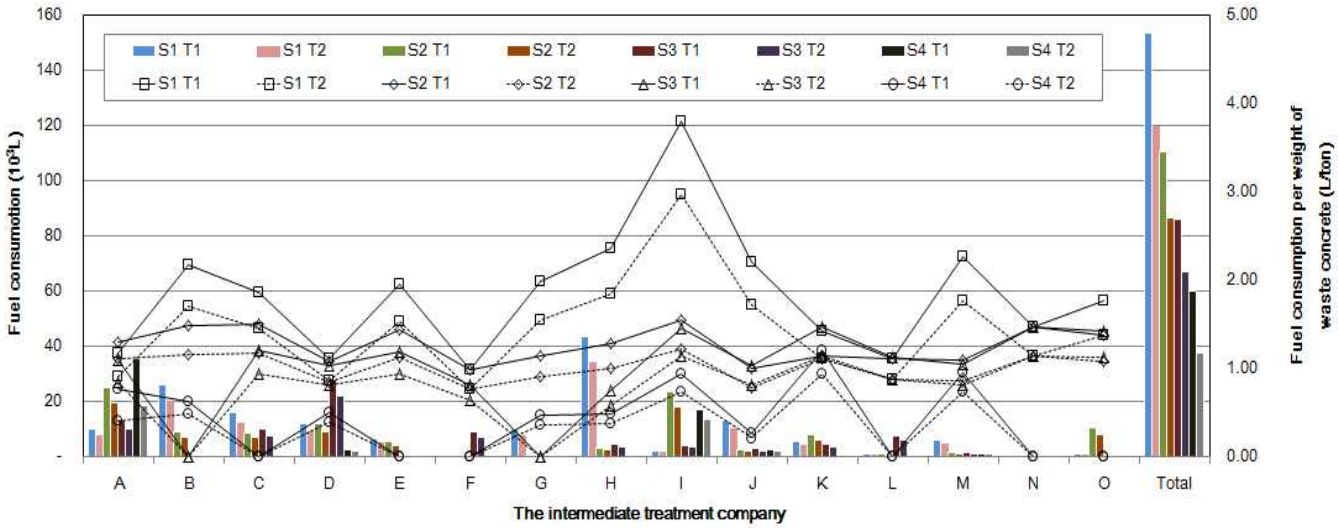

Fig. 3. Fuel consumption by intermediate treatment company depending on used transportation vehicle's types and scenarios

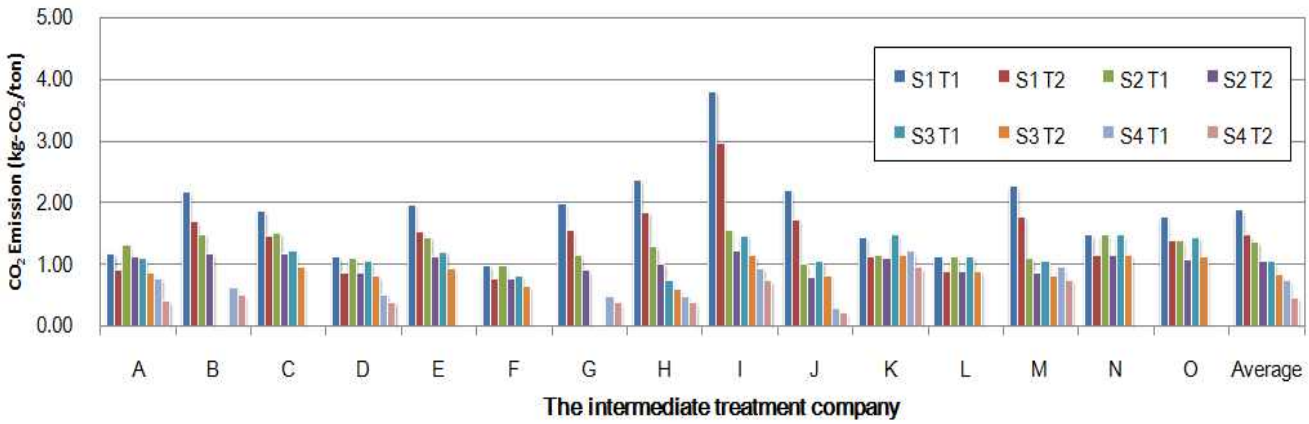

Fig. 4. CO_2 emissions by intermediate treatment company depending on used transportation vehicle's types and scenarios

료소비량 변화를 알아보기 위해 설정한 20km 미만 시나리오에서의 총 연료소비량은 T1 차량에 의해 85,833L, T2 차량에 의해 67,263L가 소비될 것으로 나타났다. 실태조사에 의한 연료소비량과의 비교에서, T1 차량은 28.4~44.0%, T2 차량은 43.9~56.1%의 연료소비량이 저감될 것으로 나타났다. 이때, 폐콘크리트 단위무게 당 연료소비량은 T1 차량 0.407L/ton, T2 차량 0.319L/ton이다.

실태조사보다 이 시나리오에서의 수송거리 단축이 약 52%였던 점을 감안하면, S2 시나리오에 비해 연료소비량 저감 효율이 좋지 않음을 알 수 있다.

4) 최단거리 시나리오에 의한 연료소비량

수송거리를 최대한 단축하였을 때의 연료소비량을 알아보기 위하여 설정한 최단거리 시나리오에서의 연료소비량은 T1 차량일 때 총 59,958L, T2 차량으로 수송할 경우 총 37,654L를 소비할 것으로 나타났다. 실태조사보다는 T1 차량 이용 시 50.0~60.9%, T2 차량 이용 시 68.6%~75.4%의 연료소비량 저감 효과를 볼 수 있을 것으로 나타났으며, 이 때의 폐콘크리트 단위무게 당 연료소비량은 T1 차량 0.284L/ton, T2 차량 0.178L/ton이다.

4. 수송 시나리오별 CO_2 배출량 저감 가능성

수송 시나리오에 따라 폐콘크리트 배출량, 수송거리, 수송 차량별 소요차량 대수와 수송 거리에 따른 차등 연비 적용을 통해 연료소비량을 산출하였다. 수송차량과 수송 시나리오에 따라 업체별로 배출한 CO_2 발생량과 전체 평균 CO_2 배출량에 대한 결과를 <그림4>에 나타내었으며, 표현 단위는 폐콘크리트 단위무게 당 CO_2 발생량 (kg-CO_2/ton)이다.

먼저, 수송차량의 선택에 따른 배출량 결과는 T1(15ton truck)보다 T2(24ton truck)에서 저감 효과가 큰 것을 알 수 있다. 각 시나리오별로 살펴보았을 때, S1에서 21.8%(0.409kg-CO_2 저감). S2에서 21.8%(0.295kg-CO_2 저감), S3에서 21.6%(0.227kg-CO_2 저감), S4에서 37.2%(0.273kg-CO_2 저감)만큼 T1차량보다 T2차량에 의한 CO_2 배출량이 적은 것으로 나타났다. 이로부터 폐콘크리트의 수송계획 시 차량 선택에 의한 소요 차량대수의 감소 또한 순환골재의 CO_2

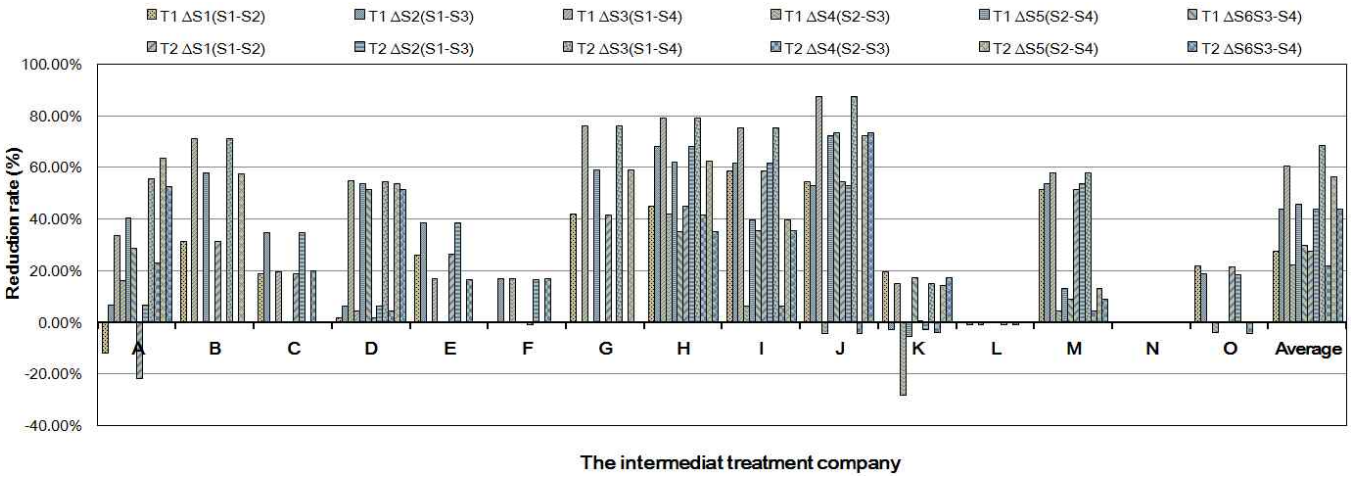

Fig. 5. The reduction rate of CO_2 emissions depending on used transportation vehicle's types and scenarios

저감에 미치는 영향이 상당함을 알 수 있다.

수송 시나리오 결과별로 S1에 비해 S2에서는 최소 0.113～0.818kg-CO_2/ton, S3에서는 최소 0.416～1.053kg-CO_2/ton, S4에서는 0.733～1.415 kg-CO_2/ton의 폐콘크리트 단위무게 당 CO_2 배출량 저감 효과가 예상된다. 위의 결과는 본 연구에서 설정한 시나리오에 따른 결과 값으로 거리의 감소에 따른 배출량 감소 효율을 판단하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 중간처리업체별로 차량과 시나리오에 따른 CO_2 배출량 저감률을 알아보았다. 그 결과는 다음 <그림5>와 같다.

<그림5>에서 보는 바와 같이, 전반적으로 CO_2 배출량 저감률은 T1, T2 차량 모두 △S3(S1-S4)에서 가장 좋은 것으로 나타났는데, 그 이유는 거리저감이 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면에, △S6(S3-S4)보다 △S4(S2-S3)에서 수송거리 저감이 많았음에도 불구하고 CO_2 배출량 저감률이 가장 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 수송거리 저감이 CO_2 배출량 저감에 영향을 미치는 주요 요인이지만, 수송 거리 20km를 전후로 차량의 연비효율 저하가 많은 영향을 미친 것으로 보인다. 그리고 △S1, △S4 에서 CO_2 배출량 저감률이 낮은 것으로 관측되는 것을 또한 볼 수 있다. 마찬가지로 △S1의 경우는 수송거리 저감이 적고, △S4의 경우는 수송거리 저감과 연비효율 악화가 복합적으로 영향을 미친 것으로 판단된다.

또한, 수송차량의 종류에 따른 CO_2 배출량 저감률은 전반적으로 15ton(T1) 차량보다는 24ton(T2) 차량이 좀 더 나은 것을 <그림5>의 평균값으로부터 예상할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 폐콘크리트를 활용한 순환골재 생산 과정에서 수송 단계만을 대상으로 수송계획 시 수송차량과 수송거리에 따른 CO_2 배출량과 저감 가능성에 관한 연구를 수행하였다. 이상의 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 대구 · 경북지역에 위치하고 있는 중간처리업체 15곳과 공사현장 60곳을 대상으로 폐콘크리트 배출량, 수송거리, 차량종류와 연비를 통해 실태조사에(평균 수송거리 30.24km) 의한 CO_2 배출량을 산출한 결과, 폐콘크리트 단위무게 당 15ton 차량 수송 시 1.875kg-CO_2/ton, 24ton 차량 수송 시 1.466kg-CO_2/ton으로 24ton 차량에 의한 수송이 배출량 저감에 훨씬 유리한 것으로 나타났다. 이는 적재량의 차이로 인해 소요차량대수와 운송횟수의 차이가 영향을 미친 것으로 판단된다.
2) 본 연구에서 설정한 수송 시나리오에 따른 CO_2 배출량 결과에서 배출량 저감 가능성은 실태조사(평균 수송거리 30.24km)구간 대비 20～30km 구간(평균 수송거리 21.3km)에서 차량의 종류(15ton, 24ton)에 따라 8～44%, 20km미만 구간(평균 수송거리 14.58km)에서 28～56%, 최단거리(평균 수송거리 10.26km)에서 50～75%의 CO_2 배출량 저감 가능성이 있는 것으로 나타났다.
3) 수송구간별 수송계획에서는 수송거리 저감에 따른 CO_2 배출량 저감효율 측면에서 전반적으로 20km 미만 시나리오를 포함하고 있는 구간에서 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 본 연구 진행과정에서 설문조사와 수송차량 담당자들을 대상으로 도출된 연비 적용에 따른 결과로 그 원인은 주행경로의 차이에 따른 교통체증과 도로의 노면상태가 연비효율 저감에 많은 영향을 미친 것으로 보인다. 따라서 건설폐기물 수송계획 시 주행경로의 선택 또한 순환골재 생산 과정에서 CO_2 배출량 저감에 도움이 될 것으로 판단된다.

이상의 연구결과는 순환골재 생산과정 중 수송단계에서 배출되는 CO_2 배출량과 저감 가능성에 대한 연구로 순환골재의 온실가스 배출량과 건설폐기물 수송계획 시에 유용한 정보를 제공하고자 하였다. 그러나 향후에는 본 연구의 한계이자 고려하지 않았던 운송 시간대, 계절의 영향에 따른 교통체증과 도로의 노면상태 등의 좀 더 다양한 영향요인을 고려하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

ⓒ Copyright The Korea Institute of Ecological Architecture And Environment

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No. 20110028794)

References

[1] 류연갑, "골재산업의 현황과 전망", 콘크리트 학회지 제 9권 6호, 1997, p. 4-10 / (Ryu Yeon-Gap. Current State and Prospect of the Aggregate Industry, Journal of Korea Concrete Institute. Vol. 9. No. 6. 1997. p, 4-10.)

[2] 조상문 외 3인, "재생 골재활용의 문제점 및 개선방안", 한국건설관리학회, 2006, p. 254-258 / (Jo Sang-Mun, Jang Seok-Hun, Lee Hyun-Jae, Kim Chang-Gyo. A Study on the Problems and Improvement of Recycled Aggregate Throughout the Wasted Concrete. Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management. 2006, p. 254-258.)

[3] 권순범 외 4인, "폐콘크리트의 현장재활용 사례를 통한 이산화탄소 배출에 따른 사회적 비용 비교분석", 한국건설관리학회지 추계학술 발표 논문집, 2007, p. 459~462 / (Kwon Soon-Boum, Lee Jae-Sung, Jang Seo-Yeon, Bae Kee-Sun, Junk Jong-Suk. The Comparison and Analysis of Social Cost according to Emission of Carbon Dioxide through Case Study on the Site-Recycling of Waste Concrete, Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management. 2007, p. 459-462.)

[4] 정종석 외 5인, "폐콘크리트 재활용 방식에 따른 이산화탄소 발생량 분석", 대한건축학회 논문집, 2008.10 / (Jung Jong-Suk, Lee Jae-Sung, An Yang-Jin, Lee Kyoung-Hee, Bae Kee-Sun, Jun Myoung-Hoon. An Analysis of Emission of Carbon Dioxide from Recycling of Waste Concrete, Journal of Architectural Institute of Korea. Vol. 24. No. 10. 2008. p. 109-116.)

[5] Korea On-line E-Procurement System. www.g2b.go.kr.

[6] IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change. www.ipcc.ch.

[7] 한국수자원공사, "골재기초조사 현황", 2012 / (Korea Water Resources Corporation. A Basic Current State of the Aggregate. 2012)

[8] 국가교통정보센터, "교통지도 현황", 2012 / (The Korea Transport Institute All Rights Reserved. Current State of the Transport map. 2013)

[9] 최두성 외 2인, "폐기단계에서 LCI DB구축을 위한 CO_2 발생량에 관한 연구", 한국생태환경건축학회 논문집, 2013.10 / (Choi, Doo-Sung, Park, Jin-Jong, Chun, Hung-Chan. A Study on CO_2 Emission to Establish a LCI DB at the Disuse Stage, Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. Vol. 13, No. 5 Oct. 2013, P. 103-110.)

[10] 차기욱, "LCA기반에 의한 건설폐기물 종류별 CO_2 발생량 산출과 환경비용 산정에 관한 연구", 경북대학교 석사학위 논문, 2010.12 / (Cha, Gi-Wook, A Study on the Calculation of CO_2 Emission and Environmental Cost according to Construction Waste Types on the basis of LCA, kyungpook national university. Master's Paper. 2010)

Received December 20, 2013;
Final revision received February 25, 2014;
Accepted February 26, 2014;