Research Paper

GIS-based Network Analysis for the Understanding of Aggregate Resources Supply-demand and Distribution in 2018

Jin-Young Lee, Sei Sun Hong*

Geologic Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

*Corresponding author : hss@kigam.re.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 7 September 2021
Received in revised form 6 October 2021
Manuscript accepted 6 October 2021
Available online 29 October 2021

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2021.54.5.515>

Research Highlights

- Aggregate supply-demand characteristics and aggregate distribution status were analyzed GIS network analysis.
- Quantitatively interpreting primary data on aggregate supply-demand were produced.
- The necessity of regional distribution and re-evaluation is suggested through an aggregate supply-demand network across the country.

ABSTRACT

Based on the supply location, demand location, and transportation network, aggregate supply-demand characteristics and aggregate distribution status were analyzed from the results of the closest distance, service areas, and location-allocation scenarios using GIS network analysis. As a result, it was found that the average transport distance of aggregates from the supplier was 6 km on average, the average range of 7 km for sand, and 10 km for gravel was found to reach the destination. In particular, the simulated service area covers about 92% in Seoul-Gyeonggi Province, 85% in Busan-Ulsan-Gyeongnam Province, and more than 90% in Daejeon-Sejong-Chungnam Province.

These results have a significant implication in quantitatively interpreting primary data on aggregate supply-demand. Furthermore, these results suggest the possibility of a wide-area quantitative analysis of aggregate supply regions necessary for establishing a basic aggregate plan. The results also evaluated by the site-allocation scenario show that aggregate supply may be possible through companies less than 200 with large-amounts quarries, which is the 700 companies currently supplying small amounts of aggregates on the country. Therefore, in terms of distribution of aggregates, a policy approach is needed to form an appropriate market for regions with high and low density of aggregate supply services, and the necessity of regional distribution and re-evaluation is suggested through an aggregate supply analysis demand across the country.

Furthermore, in analyzing the supply-demand network for the aggregate market, additional research is needed to establish long-term policies for the aggregate industry and related industries.

Keywords : aggregate distribution, natural sand, natural gravel, network analysis, supply-demand

Citation: Lee, J.-Y., Hong, S.S. (2021) GIS-based Network Analysis for the Understanding of Aggregate Resources Supply-demand and Distribution in 2018. *Korea Economic and Environmental Geology*, v.54, p.515-533, doi:10.9719/EEG2021.54.5.515.

✉ Journal homepage: <http://www.kseeg.org/main.html>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.
pISSN 1225-7281; eISSN 2288-7962/©2021 The KSEEG. Printed by Hanrimwon Publishing Company. All rights reserved.

연구논문

GIS 네트워크 분석을 이용한 2018년 골재의 수요-공급과 유통 해석

이진영 · 홍세선*

한국지질자원연구원 지질연구센터

*책임저자 : hss@kigam.re.kr

요 약

골재의 생산과 공급에 대한 공간정보를 기반으로 교통 네트워크를 이용하여 골재 공급 운반거리분석, 골재 공급지역 분석, 골재 공급의 위치-할당 시나리오 분석을 수행하였으며, 골재 수급 특성과 골재 유통현황을 해석하였다. 그 결과 골재 공급 기업을 중심으로 골재의 평균 운반거리가 평균 6 km이며, 모래의 경우 평균 7 km 자갈의 경우 평균 10 km 범위에서 수요지에 도달하는 것으로 나타났다. 특히 서비스 지역 분석 결과 수도권은 약 92%, 부산과 울산, 경남 85%, 대전, 세종과 충남이 90% 이상으로 나타났다. 이러한 결과는 골재의 수요-공급에 대한 기초자료를 정량적으로 해석하는데 중요한 의미가 있으며, 골재 기본계획 수립에 필요한 골재 공급지역에 대한 광역적이고 정량적인 분석의 가능성을 제시한다. 입지-배분 시나리오에 의해 평가된 결과는 전국을 현재 골재를 소규모로 공급하는 700 여개의 기업들 보다 적은 200 개 미만의 대규모 채석량을 가진 기업을 통해 서비스 공급의 가능성을 보여준다. 따라서 골재의 유통 측면에서 골재 공급 서비스의 밀도가 높은 지역과 낮은 지역은 적절한 시장형성을 위한 정책적인 접근이 필요하고, 전국의 골재 수급 분석을 통해 지역적 배분 및 재평가의 필요성을 제안하였다. 더 나아가 골재 시장에 대한 수요-공급 네트워크 분석은 골재 산업뿐 아니라 관련 산업에 대한 중장기 정책 수립을 위한 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다.

주요어 : 골재 유통, 천연모래, 천연자갈, 네트워크분석, 수요-공급

1. 서 론

골재는 인간에 삶에 매우 중요한 자원으로 알려져 있다. 특히 전 세계적으로 지각물질(암석)을 이용하는 자원 중에서 가장 많은 양이 사용되었으며, 인간의 건축 활동 과정에도 오랫동안 이용되어 왔다(Přikryl et al., 2016; Torres et al., 2021). 골재(aggregate)는 자연적이거나 가공한 모래, 자갈 등의 암석자원으로 아스팔트 포장용, 시멘트 콘크리트용, 건설용 채움재로 사용된다. 이들은 건축물의 부피, 지지력, 강도 및 내마모성 등을 제공한다. 국내에서 사용되는 골재는 골재채취법, 표준시방서, 한국 산업규격(KS F 2523)등에 의해 정의되며(Hong et al., 2015; Hong and Lee, 2020), 국가적으로 골재는 매우 중요한 자원이다. 우리나라에서는 골재 채취에 대한 현황 자료는 매년 분기별로 국토교통부를 통해 취합하여 골재와 관련한 통계를 제공하고 있다(MOLIT, 2013; MOLIT, 2018; MOLIT, 2019).

우리 생활에서 광범위하게 골재가 채취 유통되고 있으나, 골재는 기업간 거래(B2B)에 의존하기 때문에 일상생활에서 국민들은 골재에 대한 관심을 갖기 어렵다. 토목 공사 등에서 사용되는 도로 기층용 등의 골재를 제외하

면 건축과 관련한 우리나라의 골재유통은 주로 골재를 공급하는 골재 기업과 레미콘 기업 사이에서 일어난다. 2018년 골재채취실적을 기준으로 허가와 신고에 의해 채취된 골재의 공급량은 136,429 천m³이며, 레미콘 출하량인 155,725 톤을 기준으로 추정된 골재수요량은 194,656 천m³이다. 2018년은 골재채취에 의한 공급이 수요에 비하여 많이 부족한 상황이었으며, 바다골재 등의 골재공급 논의가 활발하였다(MOLIT, 2019).

골재는 제때 공급되지 못하면 공기지연에 따른 금융손실이 발생하여 주택가격상승의 요인이 된다는 점에서 국가적으로도 매우 중요한 관리대상으로 인식되고 있다. 그러나 아직까지 전국적으로 국내 골재 기업과 레미콘 기업간의 유통 흐름에 대한 연구가 없었다. 시군 단위에서 골재자원조사를 통해 해당지역의 골재유통현황을 파악하고 있으나 전국적인 흐름에 대해서는 현황 파악조차 어려운 상황이다. 다만 골재의 지역별 수요와 공급에 대해서는 지속적인 연구가 진행되어 왔다(Hong et al., 2015; Hong and Lee, 2020). 골재 산업분야 기초자료는 국토교통부 골재자원정보관리시스템(<https://www.agris.go.kr/>)을 통해 제공되고 있다.

골재는 대량으로 소모되며, 상대적으로 낮은 단위 가

치, 높은 장소 가치의 특성을 갖는 광물 상품으로 최종 수요자의 비용은 골재 공급지역에서 처리된 골재를 운반하는 비용에 크게 영향을 받는다(Poulin et al., 1994). 이는 소비자와 더 가까운 골재공급 지역이 더 먼 곳에서 공급하는 지역에 비해 경제성이 더 높다는 사실을 의미하며, 운반과정에서 연결된 골재 생산자와 소비자는 일반적으로 골재에 대한 독점적인 시장영역을 개발하게 된다.

골재와 같은 자원에 대한 공간적인 유통흐름에 대한 분석은 단순히 지도상의 직선거리를 위주로 분석하는 한계를 넘어 교통망을 이용한 운반시간과 운반거리를 분석하는 기능이 요구된다. 간단하게는 특정 위치에서 도로 등의 네트워크를 통해 접근할 수 있는 범위(service area)를 모의하기도 하고, 출발지역에서 각 도착지점을 교통네트워크 연결선으로 연결하는 거리 비용(Origin-Destination (O-D) cost Matrix)을 비교하는 등의 기능이 활용되고 있다.

이러한 네트워크 분석에 있어 재난 및 화재 등의 소방시설, 병원시설 등과 같은 주요시설은 사고 발생시 현장접근의 시간이 매우 중요하기 때문에 접근 시간과 접근 거리 등의 중요 요인을 사전에 검토하는데 활용하고 있다(Hong and Lah, 2020; Koo and Yoo, 2012). 또한 이 과정에는 신속

하고 효율적인 배분을 위한 모의(simulation)과정이 수반되는데 입지-배분 모형(location-allocation)으로 알려져 있다.

골재 공급에서 가장 중요한 인자는 도로 네트워크, 즉 교통망으로 정의할 수 있으며, 운반거리는 교통망을 통해 골재를 공급하는 골재기업과 골재를 사용하는 레미콘 기업 사이의 거리로 계산된다. 특히 골재 산업에 필요한 생산자와 소비자, 공급자와 수요자의 문제는 교통망에서 위치 할당(입지-배분)에 대한 가설을 통해 접근이 가능하다.

이러한 입지-배분 모형은 수요-공급 중심의 다양한 분석 모형이 존재하는데, 분석 대상과 방법에 따라 선택적으로 활용된다. 따라서 골재 유통의 경우 목적지별 운반거리, 서비스 지역과 골재 수요 및 공급에 대한 위치-할당모형의 분석이 가능하다. 따라서 본 연구는 건설의 필수 자원인 골재에 대한 수요와 공급 흐름을 생산자인 골재 기업과 수요자인 레미콘 기업으로 정의하고, GIS의 네트워크 분석 기능을 이용하여 국내 도로망에서 생산과 소비의 흐름을 분석하여 전국적인 유통현황을 파악하고자 한다. 이를 통해 우리나라의 골재 유통 구조를 해석하고 더 나아가 중장기적으로 골재 공급에 대한 정책방향을 골재공급자 측면에서 제안하고자 한다.

Fig. 1. Location map of Aggregate (a) supply(aggregate quarries) and (b) demand(ready-mixed concrete plants) sites in 2018.

2. 연구방법

본 연구를 위하여 골재공급자 위치정보(점 정보), 골재 수요자 위치정보(점 정보), 골재유통망의 정보(도로 네트워크)를 구축하였다. 골재공급자의 위치정보는 국토교통부의 2018년 골재채취현황자료를 토대로 골재채취허가 지역을 지적도에서 면(polygon) 정보로 추출하고, 이를 다시 점(point) 정보로 변환하여 구축하였다(Figure 1a). 또한 골재 수요자의 위치정보는 레미콘 협회에서 제공하는 2019년에 발행된 레미콘 통계연보에서 제공하는 2018년 레미콘 공장위치를 지도정보로 추출하여 점(point) 형태의 위치정보로 구축하였다(Figure 2b). 구축된 자료는 골재 공급이 진행되는 953 지점, 골재 수요처인 레미콘 공장 1,083 지점, 모래 골재 공급 540 지점, 자갈 골재 공급 575 지점이다. 각각의 자료에 대한 세부사항은 Table 1에 요약하여 제시하였다.

교통망 분석에 사용되는 전국의 도로교통 체계는 국가교통DB센터에서 제공되며(<https://www.ktodb.go.kr>), 실시간 교통정보를 포함하여 도로에 대한 다양한 정보가 제공된다. 다만 주행속도, 운행방향, 신호체계 등이 포함된 도심 지역 및 도심 연결 도로 등에 특화되어 있어, 연구 목적에 필요한 골재채석산지의 소규모 도로 등이 포함되지 않는 경우가 많았다. 때문에 본 연구에서는 국가공간정보포털(<http://data.msdi.go.kr>)에서 제공하는 국토지리정보원 연속수치지형도 도로중심선 자료를 중심으로 도로네트워크 자료를 구축하였고, 구축과정에서 25만 수치지형도 도로중심선을 이용해 터널 등으로 끊어진 도로를 연결하는데 이용하였다. 제작된 전국의 도로네트워크는 Figure 2에 제시하였다. 도로운반거리에 대한 소요시간은 교통체계, 신호체계, 속도체계, 신호체계 등과 같은 부수적인 요인의 영향을 받아 상황에 따라 가변적으로 작용하기 때문에 본 연구에서는 교통망 분석에서 제외하였다.

본 연구에서 구축된 자료를 토대로 네트워크 분석을 위해서 ESRI사의 ArcGIS 10.8.2와 네트워크 분석(Network Analysis Extension)모듈을 사용하였으며, 골재공급자(골재기업)와 골재수요자(레미콘기업)에 대한 교통망 분석과 골재기업과 레미콘기업을 연결하는 최단거리 분석을 수행하였다.

전국단위의 골재기업과 레미콘기업간의 운반거리에 대한 예비분석은 목적지별 도달거리는 기점과 종점에 대한 분석기능(Origin-Destination Cost Matrix; 기종점 OD 행렬)을 활용하였다. 네트워크 분석에 의한 기점-종점 비용거리는 기점(골재 공급지점)에서 모든 종점(골재 수요지점)까지의 도로상 운반거리를 모두 계산한다. 만약 거리의 제한을 두지 않을 경우 모든 경우의 수를 계산하게

Fig. 2. Road map for network analysis of construction materials transportation.

되고, 엄청나게 많은 행렬값이 생성된다. 따라서 본 연구에서는 수요지점인 레미콘 기업의 최대수는 제한하지 않고, 골재 공급 지점에서 50 km 거리를 제한하여 골재기업과 레미콘기업에 대한 분석결과를 도출하였다.

골재공급자로서 골재기업의 서비스 지역에 대한 분석은 2018년 골재 공급량을 기준으로 100 만 m^3 이상인 기업 11 개사(G1), 50 만 m^3 이상인 기업 36 개사(G2), 30 만 m^3 이상인 기업 62 개사(G3), 10 만 m^3 이상인 기업 89 개사(G4)에 대하여 각각 80 km, 50 km, 30 km, 30 km의 운반거리를 제한하여 분석하였다. 마지막으로 채취실적이 있는 모든 기업에 대해 10 km 운반거리를 제한하여 분석하였으나, 10 km 기준의 G5그룹은 전국을 서비스 영역으로 하기 때문에 별도의 통계를 작성하지 않고 결과만을 확인하였다(Table 1).

골재의 유통에 대한 전국적인 해석을 위해 네트워크 분석의 입지-배분 분석기능을 사용하였다. 시나리오는 각 공급지역을 중심으로 최대 수요처에 공급이 가능한 지역을 선정할 수 있도록 설계하였다. 분석에 사용된 시나리오는 4개로 Table 1과 같다. 시나리오 1부터 시나리오 3

Table 1. Data description and scenario summary(unit: count of site points)

	population (thousand)	area (km ²)	demand	supply	gravel	sand	G1	G2	G3	G4	G5
Gangwon-do	154	16628	146	117	63	94	2	5	3	2	48
Gyeonggi-do	1351	10182	166	161	96	82	4	15	20	22	6
Gyeongsangnam-do	332	10509	121	22	68	49		3	7	8	11
Gyeongsangbuk-do	263	19019	152	105	83	122	1	2	3	6	22
Gwangju	144	498	7	156							0
Daegu	240	879	20	7	8	1					0
Daejeon	146	539	10	2	1	1					0
Busan	336	770	21	21	15	8			2	5	2
Seoul	956	605	5								
Sejong-si	36	464	11		12	8			1	1	4
Ulsan	113	1054	17	27	27	3		1	2	2	
Incheon	294	1062	26	28	11	11		2	5	2	1
Jeollanam-do	184	12156	108	92	41	26	1	3	4	11	31
Jeollabuk-do	179	8066	73	19	46	58		1	3	8	29
Jeju-do	68	1845	24	58	27	4				1	12
Chungcheongnam-do	212	8224	109	53	36	23	1	3	4	7	21
Chungcheongbuk-do	160	7408	67	85	41	50	2	1	8	14	23
	5168	99908	1083	953	575	540	11	36	62	89	210
scenario condition and distance limit					candidates		selection				
scenario 1	G1(preset) + G2 + G3 : 80km				109		50				
scenario 2	G1 + G2 + G3 : 50km				109		100				
scenario 3	G1 + G2 + G3 + G4 : 50km				198		150				
scenario 4	G5 : 50km				210		150				

까지는 골재 공급량을 기준으로 100 만m³ 이상인 기업 11 개사(G1), 50 만m³ 이상인 기업 36 개사(G2), 그리고 30 만m³ 이상인 기업 62 개사(G3)를 합하여 109 개 후보군으로 설정하여 분석하였다. 시나리오 1은 11 개사(G1)를 미리 선택하여 공급을 유지하도록 한 상태에서 나머지 기업들을 80 km 운반거리 제한을 두고 최대 커버리지 분석을 수행하였다. 시나리오 2는 선택 후보 없이 50 km 운반거리 제한을 두고 최대 커버리지 분석을 수행하였다. 시나리오 3은 시나리오 2와 동일 조건에서 89 개사(G4)를 후보군으로 추가하여 198 개의 후보 기업을 대상으로 50km 운반거리 제한을 두고 최대 커버리지를 분석하였다. 마지막으로 시나리오 4는 2018년 산림청의 토석채취허가를 받은 지점 210 개(G5)를 후보군으로 50km 운반거리 제한을 두고 최대 커버리지를 분석하였다. 기본적으로 본 시나리오에서 골재의 공급량은 무한하다고 가정하였으며, 골재의 수요지점은 동일하게 1,084 개 지점으로 설정하였다. 특히, 위치-할당 분석과정에서는 기존 공급 지점의 수가 축소되는 상황을 고려하여, 기존 공급 지점을 최대한 활용하는 공급 지점 도출을 목적

으로 하였다. 시나리오 1에서는 109 개 골재 공급지점을 대상으로 80 km 공급거리 제한 기준으로 50 개 지점 선정, 시나리오 2에서는 109 개 골재 공급지점을 대상으로 50 km 공급거리 제한 기준으로 100 개 공급지점을 선정하는 시나리오를 분석하였다. 시나리오 3과 시나리오 4는 50 km 공급거리 제한 기준으로 150 개 공급지점을 선정하는 시나리오를 분석하였다(Table 1).

3. 연구결과

3.1. 최단거리 수요자 분석결과

골재의 공급지역과 레미콘 수요지역을 연결하는 거리에 대한 분석결과는 Table 2에 제시하였다. 광역 지역마다 일부 레미콘 수요지역이 골재 생산지역과 동일한 위치에 있어, 전국적인 통계에서 최소 운반거리는 큰 의미를 갖지 못한다. 전국적으로 골재의 운반거리는 최대 41 km이며, 평균적으로는 5.9 km로 분석되었다(Table 2, Figure 3, 4). 또한 골재 공급지역인 골재기업이 자갈을 공급하는 경우 전국적으로 운반거리는 최대 44 km이며

Table 2. Results of Closest-Distance analysis(unit: km)

Provence	Aggregate Total			Gravel			Sand		
	Max.	Min	Mean	Max.	Min	Mean	Max.	Min	Mean
Gangwon-do	41.6	-	5.5	44.6	-	11.3	41.6	-	9.3
Gyeonggi-do	24.4	-	4.0	24.4	-	5.4	28.6	-	6.4
Gyeongsangnam-do	26.4	-	5.3	28.6	-	6.7	31.7	-	11.9
Gyeongsangbuk-do	30.9	-	7.3	34.6	-	10.6	46.4	-	10.9
Daegu	9.8	0.10	3.5	9.8	0.1	4.2	18.7	0.4	10.0
Daejeon	20.0	0.90	4.4	23.6	2.9	12.8	28.0	0.9	10.1
Busan	9.9	-	2.7	14.5	-	4.0	11.2	0.5	5.1
Seoul	5.0	4.60	4.8	5.0	4.6	4.8	10.0	4.6	6.1
Sejong-si	5.6	-	2.4	5.6	-	2.4	22.7	-	4.8
Ulsan	10.5	-	3.3	10.5	-	3.3	21.0	0.7	8.4
Incheon	11.1	0.10	2.3	28.0	0.1	3.0	11.1	0.8	4.4
Jeollanam-do	29.3	-	8.1	29.8	-	11.4	60.3	0.7	14.8
Jeollabuk-do	23.5	-	6.8	23.5	-	9.8	28.8	-	10.7
Jeju-do	15.5	-	5.3	15.5	-	5.9	33.1	-	14.4
Chungcheongnam-do	32.0	-	7.7	36.4	-	10.3	36.2	-	11.6
Chungcheongbuk-do	32.9	-	5.8	33.5	-	8.4	32.9	0.1	9.7
Total	41.6	-	5.9	44.6	-	8.6	60.3	-	9.9

Fig. 3. Results map of the closest path analysis for (a) the sand and (b) gravel supply in a transportation network.

평균 운반거리는 8.6 km로 계산되었다(Table 2, Figure 3b). 모래를 공급하는 골재 공급지역에서의 최대 운반거리는 60 km이며, 평균 9.9 km로 분석되었다(Table 2, Figure 3a). 특히 전국단위가 아닌 광역행정단위에서의 분석결과는 강원도가 골재의 최대 운반거리가 41 km로 가장 길고, 서울과 세종이 5 km와 5.6 km로 가장 가까운 것으로 나타났다.

대도시의 경우 최대 운반거리는 10 km 전후의 값을 보이는데, 울산과 인천을 제외하면 10 km 이하의 최대 운반거리를 나타낸다. 다만 자갈의 경우 대구, 서울, 세종 지역이 10 km 미만으로 나타나고, 모래의 경우 서울 지역이 10 km이며, 부산, 인천지역이 각각 11 km로 나타났다.

평균 운반거리는 전국의 평균이 5.9 km로 나타나기 때문에 광역행정단위에서는 5 km 미만으로 나타나고 평균 거리도 4 km 미만으로 나타났다. 자갈의 경우와 모래의 경우도 광역행정구역단위에서 전국평균보다 낮은 값을 보였다. 특히 자갈의 경우 부산, 세종 울산, 인천 지역에서 평균 운반거리가 4 km 미만으로 나타났으며, 모래의 경우 평균 운반거리가 인천 지역에서 4.4 km로 가장 짧고, 부산과 세종이 5.1 km, 4.8 km로 나타났다.

Fig. 4. Map of the closest pathways from aggregate supply to demand sites.

3.2. 골재 공급기업 서비스지역 분석결과

예비적으로 네트워크 분석에 의한 서비스 지역을 분석하기 전에 단순히 도상 거리를 기준으로 분석한 결과에서도 50 만 m^3 을 공급하는 기업만으로도 전국의 대부분 지역이 서비스 영역으로 포함된다(Figure 5). 골재 공급 기업에 대한 서비스 지역 분석결과는 Table 3과 Table 4에 제시하였다. 네트워크 분석을 이용한 골재 공급기업에 대한 서비스 지역은 100 만 m^3 이상인 기업 11 개사(G1), 50 만 m^3 이상인 기업 36 개사(G2), 30 만 m^3 이상인 기업 62 개사(G3), 10 만 m^3 이상인 기업 89 개사(G4)에 대하여 각각 80 km, 50 km, 30 km, 20 km의 운반거리를 제한하여 분석한 결과이다. 이 경우 4 개의 분석 조건에 따라 지역별 분포 범위가 달라지는 것으로 나타나지만, 각각의 결과는 서로 다른 공급원을 기준으로 분석된 결과이기 때문에 서비스를 받는 지역은 모두 중복된 서비스를 공급 받는다는 점을 주지할 필요가 있다.

네트워크 분석에 의한 서비스 지역 분석결과 G1 그룹 11 지점은 80 km 공급을 가정할 경우 전국을 53% 서비스 할 수 있었다(Figure 6a, Table 4). 또한 G2 그룹 36 지점은 전국의 수요처를 대상으로 65%(Figure 6b, Table 4),

Fig. 5. Preliminary analysis result map of service area using simple buffer method at the main aggregate supply location.

Table 3. Result of nationwide service coverage analysis in each group

Service coverage area	Group 1 (limited 80km)			Group 2 (limited 50km)		Group 3 (limited 30km)		Group 4 (limited 30km)	
	area (km ²)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)
Gangwon-do	16628	9420	20.9	4868	10.8	3991	7.3	1211	2.8
Gyeonggi-do	10182	9013	20.0	8494	18.8	8557	15.7	7395	17.3
Gyeongsangnam-do	10509	6754	15.0	5348	11.8	8432	15.4	5696	13.4
Gyeongsangbuk-do	19019	5885	13.0	5924	13.1	8076	14.8	4252	10.0
Gwangju	498	0		498	1.1	454	0.8	296	0.7
Daegu	879	881	2.0	708	1.6	683	1.3	275	0.6
Daejeon	539	540	1.2	349	0.8	469	0.9	413	1.0
Busan	770	0		740	1.6	740	1.4	708	1.7
Seoul	605	605	1.3	605	1.3	605	1.1	605	1.4
Sejong	464	464	1.0	459	1.0	464	0.9	464	1.1
Ulsan	1054	0		984	2.2	1017	1.9	647	1.5
Incheon	1062	519	1.1	543	1.2	545	1.0	504	1.2
Jeollanam-do	12156	4013	8.9	6468	14.3	7883	14.4	5516	12.9
Jeollabuk-do	8066	342	0.8	3795	8.4	4622	8.5	5018	11.8
Jeju-do	1845	0		0		0		816	1.9
Chungcheongnam-do	8224	7376	16.3	7038	15.6	7145	13.1	5215	12.2
Chungcheongbuk-do	7408	5778	12.8	3300	7.3	5092	9.3	4838	11.3
Mean(%)	99908	51592	100	45254	100	54786	100	42660	100

Table 4. Comparison of service coverage areas and ratios by regional administrative district in each group

Service coverage area	Group 1 (limited 80km)			Group 2 (limited 50km)		Group 3 (limited 30km)		Group 4 (limited 30km)	
	area (km ²)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)	area (km ²)	ratio (%)
Gangwon-do	16628	9420	56.7	4868	29.3	3991	24.0	1211	7.3
Gyeonggi-do	10182	9013	88.5	8494	83.4	8557	84.0	7395	72.6
Gyeongsangnam-do	10509	6754	64.3	5348	50.9	8432	80.2	5696	54.2
Gyeongsangbuk-do	19019	5885	30.9	5924	31.1	8076	42.5	4252	22.4
Gwangju	498	0	-	498	100	454	91.2	296	59.4
Daegu	879	879	100	708	80.5	683	77.7	275	31.3
Daejeon	539	539	100	349	64.7	469	87.0	413	76.6
Busan	770	0	-	740	96.1	740	96.1	708	91.9
Seoul	605	605	100	605	100	605	100	606	100
Sejong	464	464	100	459	98.9	464	100	464	100
Ulsan	1054	0	-	984	93.4	1017	96.5	647	61.4
Incheon	1062	519	48.9	543	51.1	545	51.3	504	47.5
Jeollanam-do	12156	4013	33.0	6468	53.2	7883	64.8	5516	45.4
Jeollabuk-do	8066	342	4.2	3795	47.0	4622	57.3	5018	62.2
Jeju-do	1845	0	-	0	-	0	-	816	44.2
Chungcheongnam-do	8224	7376	89.7	7038	85.6	7145	86.9	5215	63.4
Chungcheongbuk-do	7408	5778	78.0	3300	44.5	5092	68.7	4838	65.3
Mean(%)			52.6		65.3		71.1		59.1

Fig. 6. Maps of service areas of aggregate supply sites using network analysis. Results maps are carried on (a) 50 km, 11 sites in group 1, (b) 50 km, 32 sites in group 2, (c) 30 km, 62 sites in group 3, (d) 30 km, 89 sites in group 4.

G3 그룹 63 지점은 71%(Figure 6c, Table 4), G4 그룹 89 지점은 60%(Figure 6d, Table 4)의 지역에 골재를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 지역별로는 G1 그룹에서 강원도와 경기도가 80 km 운반거리를 적용할 때 전체 서비스 제공 면적의 41%의 면적이 해당되는 수준이었으며, 부산과 제주 지역은 서비스 공급이 불가능하였다. G1 그룹을 제외한 나머지 그룹은 전국적으로 분포지역이 넓어지면서 제주도를 제외하고 전 지역에 서비스가 고르게 분포하는 특성을 보였다. 다만 G1 그룹을 포함한 나머지 그룹의 경우에도 서울 등의 광역시와 경기도에 서비스 지역이 상대적으로 높은 경향을 보인다.

특히, 서울, 세종, 대전, 대구, 광주 등의 지역은 4 개의 그룹이 서비스를 공급할 경우 100% 해당되는 것으로 나타났다. 특히 강원도 해안지역을 따라 분포하는 해안도시의 경우 G1, G2, G3, G4 등의 서비스 범위에 해당되지 않는 지역이 확인된다. 내륙의 교통망을 중심으로 각 G1, G2, G3, G4 그룹에서 제공하지 못하는 지역은 거의 없으나 강원도 동해안을 따라 분포하는 도시지역은 전국의 골재 채취지점을 10 km 서비스 영역으로 도시한 결과에서 채우는 것으로 나타난다(Figure 7).

Fig. 7. Map of 10 km service area of all aggregate supply sites using network analysis.

3.3. 기점-종점 비용(OD cost Matrix) 분석 결과

분석된 네트워크 분석에 의한 기점-종점 비용 거리는 기점(골재 공급지점)에서 모든 종점(골재 수요지점)까지의 도로상 운반거리를 계산한 결과이며 제한거리는 기점을 중심으로 50 km이다. 생성된 기점-종점의 연결선은 약 14,300 개이며, 선택된 기점은 중복에 대한 고려 없이 734 개이며, 선택된 종점은 1,051 개이다(Figure 8). 이 결과를 토대로 광역행정구역으로 기점과 종점을 통계적인 행렬구조로 나타낸 결과는 Table 5에 제시하였다. 표에서 가로 행은 기점(골재 공급지점)에 대한 결과이며, 세로 열은 종점(골재 수요지점)에 대한 결과이다. 이를 통해 기점과 종점의 연결선의 수를 도시한 결과는 골재를 공급지점에서 골재 수요지점간의 연결관계를 보여준다(Figure 9). 공급지점이 없는 광주, 서울 등의 지역이 제외되기 때문에 자체적으로 수요-공급이 이루어지는 지역에 대한 수요를 파악하기 용이하도록 도시한 결과는 Figure 10a이다. 이 그림에서 연결선이 없이 타원형으로 도시된 부분은 자체적인 수요-공급(종점-기점)이 연결되는 부분을 의미한다. 마지막으로 자체적인 수급을 제외하고 다른 광역행정구역과 연결되는 부분을 백분율로 환

Fig. 8. Results map of O-D cost matrix analysis limited 50km distance and cost line density.

Table 5. Cross-table of O-D cost matrix statistic results

OD Matrix cost Line (unit : count)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1. Gangwon-do	1,019	62	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
2. Gyeonggi-do	69	2,910	0	0	0	0	0	0	77	0	0	84	0	0	0	20	59
3. Gyeongsangnam-do	0	0	1,422	40	0	7	0	71	0	0	16	0	36	24	0	0	0
4. Gyeongsangbuk-do	31	0	50	1,221	0	215	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	15
5. Gwangju	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Daegu	0	0	4	63	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Daejeon	0	0	0	0	0	0	18	0	0	12	0	0	0	0	0	6	4
8. Busan	0	0	129	0	0	0	0	195	0	0	16	0	0	0	0	0	0
9. Seoul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. Sejong	0	0	0	0	0	0	58	0	0	128	0	0	0	0	0	79	95
11. Ulsan	0	0	82	44	0	0	0	66	0	0	271	0	0	0	0	0	0
12. Incheon	0	66	0	0	0	0	0	0	4	0	0	227	0	0	0	0	0
13. Jeollanam-do	0	0	9	0	59	0	0	0	0	0	0	0	660	50	0	0	0
14. Jeollabuk-do	0	0	32	0	2	0	0	0	0	0	0	0	245	1,277	0	104	0
15. Jeju-do	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	377	0	0
16. Chungcheongnam-do	0	24	0	0	0	0	9	0	0	21	0	0	0	9	0	842	15
17. Chungcheongbuk-do	122	42	0	39	0	0	50	0	0	121	0	0	0	6	0	42	976

Fig. 9. Bipartite Chord diagram of OD cost matrix results.

Fig. 10. (a) Chord diagrams of OD cost matrix results with self consuming amounts. (b) Origin-based and (c) Destination-based Chord diagram of OD cost matrix results without self consuming amounts.

산하여 결과를 제시하였다. 특히 결과의 해석에 있어 기점을 중심으로 그래프가 설정되면 공급자 입장에서 다른 지역과의 연결을 파악하는데 용이하고(Figure 10b), 종점을 중심으로 그래프를 설정하면 수요자 입장에서 다른 지역과의 연결성을 파악하는데 용이하다(Figure 10c). 즉 공급자의 입장에서 제시된 결과는 서울과 광주에 공급이 없기 때문에 원주에서 차지하는 파이는 0으로 나타나고, 수요자 입장에서 제시된 결과에서는 경기도와

인천에서 공급을 받는 입장에서 0보다 큰 숫자로 표현된다.

기점-종점 비용 분석결과에서 자체적으로 연결선이 가장 많은 지역은 경기도로 나타났고, 제주의 경우 섬지역의 특성상 다른 지역과 반입-반출의 연결이 없는 자가수급인 지역으로 나타난다. 서울특별시와 광주광역시의 경우 공급 없이 수요만 발생하는 지역이며, 대부분의 광역시는 기점(공급)보다 종점(수요)의 연결선이 많은 것으로 나타났다.

Fig. 11. Location-Allocation analysis maps of (a) limited 80 km supply distance using 109 supplementary sites in Scenario 1, (b) 50 km using 109 sites in Scenario 2, (c) 50 km using 198 sites in Scenario 3, and 50 km using 210 sites in Scenario 4.

3.4. 입지-배분 시나리오 분석결과

입지-배분 시나리오에 대한 분석 결과는 초기 설정값으로 주어진 공급 후보지점과 선택지점의 수로 정리하였다. 수요지점의 수는 공급 후보가 결정된 경우 공급지점에 연결될 수 있는 수요지점의 개수를 의미한다. 각 지역별로 공급지점과 수요지점의 연결에 대한 거리는 최대값과 평균값으로 제시하였다. 수요지점과 공급지점이 동일 지점인 경우가 있어 최소값은 통계에서 제외하였다.

시나리오 1 분석결과 초기값 109 개 공급 후보지점 중 50 개의 후보가 선택되었으며, 59 개의 공급지점이 후보군으로 남았다(Figure 11a, Table 6). 경기도 지역에 가장 많은 13 개 지점이 선택되었으며, 평균적으로 수요지점의 85.6%에 공급이 가능한 것으로 분석되었다. 다만 제주의 경우 초기값에 후보가 없는 관계로 결과에서 제외되었다.

시나리오 2 분석결과는 109 개 공급 후보지점 중 96 개가 선택되고 13 개의 공급후보가 분석되었다(Figure 11b,

Table 6. Results of Location-Allocation analysis in scenario 1

Scenario 1	Init. Supply	Candidate	Chosen	Init. Demand	Chosen Demand	Cov.(%)	Max. Dist.(km)	Mean. Dist.(km)
Gangwon-do	10	7	3	146	74	50.7	49.7	24.9
Gyeonggi-do	39	26	13	167	165	98.8	32.1	10.9
Gyeongsangnam-do	10	5	5	121	100	82.6	49.3	20.1
Gyeongsangbuk-do	6	1	5	152	113	74.3	49.9	27.7
Gwangju				7	6	85.7	27.8	23.3
Daegu				20	19	95.0	38.4	29.5
Daejeon				10	10	100.0	46.3	26.0
Busan	2	1	1	21	20	95.2	30.9	14.1
Seoul				5	4	80.0	17.6	15.3
Sejong-si	1	1	0	11	8	72.7	24.9	12.8
Ulsan	3	1	2	17	14	82.4	27.9	16.5
Incheon	7	4	3	26	24	92.3	32.9	8.8
Jeollanam-do	8	3	5	107	94	87.9	45.9	22.6
Jeollabuk-do	4	0	4	73	68	93.2	48.9	24.7
Chungcheongnam-do	8	3	5	109	99	90.8	49.6	20.8
Chungcheongbuk-do	11	7	4	67	59	88.1	44.4	19.2
	109	59	50	1,059	877	85.6	49.9	19.8

Table 7. Results of Location-Allocation analysis in scenario 2

Scenario 2	Init. Supply	Candidate	Chosen	Init. Demand	Chosen Demand	Cov.(%)	Max. Dist.(km)	Mean. Dist.(km)
Gangwon-do	10	2	8	146	74	50.7	47.7	21.2
Gyeonggi-do	39	7	32	167	164	98.2	28.5	8.9
Gyeongsangnam-do	10	2	8	121	100	82.6	49.3	18.6
Gyeongsangbuk-do	6		6	152	113	74.3	49.9	27.4
Gwangju				7	6	85.7	27.8	23.3
Daegu				20	19	95.0	38.4	26.9
Daejeon				10	10	100.0	46.3	26
Busan	2		2	21	20	95.2	30.9	14
Seoul				5	4	80.0	17.6	15.3
Sejong-si	1		1	11	8	72.7	18	10.1
Ulsan	3		3	17	14	82.4	25.8	14.1
Incheon	7	1	6	26	24	92.3	28	5.3
Jeollanam-do	8		8	107	94	87.9	45.9	21
Jeollabuk-do	4		4	73	68	93.2	48.9	24.7
Chungcheongnam-do	8		8	109	99	90.8	49.6	19.6
Chungcheongbuk-do	11	1	10	67	59	88.1	44.4	16.7
	109	13	96	1,059	876	85.6	49.9	18.4

Table 7). 또한 수요지점 1,059 개 가운데 867 개 지점에 공급이 가능한 것으로 분석되어 수요지점의 85.6%에 공급이 가능한 것으로 분석되었다. 다만 평균 운반거리는 시나리오 1에 비하여 줄어들어 18.4 km로 나타났다.

시나리오 3 분석결과 초기 198 개 공급후보 중에서 150 개의 공급지점이 선택되었으며, 48 개의 후보지점이 분

석되었다(Figure 11c, Table 8). 특히 수요지역 1,083 개 지점 가운데 924 개 지점에 공급하여, 전체의 89% 수요 지점에 대한 공급이 가능한 것으로 분석되었다. 또한 평균 운반거리도 14.8 km로 더 짧게 나타났다.

시나리오 4 분석결과는 초기값 210 개 공급후보 지점에 대해 140 개 지점이 선택되었고, 70 개 지점이 후보군

Table 8. Results of Location-Allocation analysis in scenario 3

Scenario 3	Init. Supply	Candidate	Chosen	Init. Demand	Chosen Demand	Cov.(%)	Max. Dist.(km)	Mean. Dist.(km)
Gangwon-do	12	4	8	146	74	50.7	47.7	21.1
Gyeonggi-do	61	20	41	167	164	98.2	28.5	7.8
Gyeongsangnam-do	18	6	12	121	109	90.1	46.1	15.3
Gyeongsangbuk-do	12		12	152	120	78.9	49.9	25.4
Gwangju				7	6	85.7	24.5	20.4
Daegu				20	19	95.0	38.4	26.7
Daejeon				10	10	100.0	31	14.3
Busan	7	1	6	21	19	90.5	11.7	6.3
Seoul				5	4	80.0	17.6	15.3
Sejong-si	2		2	11	8	72.7	13.8	6.6
Ulsan	5		4	17	14	82.4	15.2	5.7
Incheon	9	3	8	26	24	92.3	28	5.2
Jeollanam-do	19	6	13	107	100	93.5	43.2	14.7
Jeollabuk-do	12	2	10	73	71	97.3	44.8	14.5
Jeju-do	1		1	24	20	83.3	49.5	26.8
Chungcheongnam-do	15		15	109	100	91.7	38.3	15.5
Chungcheongbuk-do	25	6	19	67	62	92.5	31.3	10
	198	48	150	1083	924	89.0	49.9	14.8

Table 9. Results of Location-Allocation analysis in scenario 4

Scenario 4	Init. Supply	Candidate	Chosen	Init. Demand	Chosen Demand	Cov.(%)	Max. Dist.(km)	Mean. Dist.(km)
Gangwon-do	48	18	30	146	138	94.5	48.8	12.9
Gyeonggi-do	6		6	167	163	97.6	40.8	21.9
Gyeongsangnam-do	11	2	9	121	108	89.3	49.5	21.9
Gyeongsangbuk-do	22	7	15	152	127	83.6	48.2	24.5
Gwangju				7	6	85.7	24.5	20.4
Daegu				20	19	95.0	40.6	25.9
Daejeon				10	10	100.0	28.6	21.4
Busan	2		2	21	20	95.2	28.6	16.4
Seoul				5	4	80.0	24.8	17.4
Sejong-si	4	2	2	11	8	72.7	20.3	14.3
Ulsan				17	14	82.4	48.6	29.9
Incheon	1		1	26	24	92.3	47.4	31.8
Jeollanam-do	31	9	22	107	99	92.5	49.9	16.3
Jeollabuk-do	29	13	16	73	71	97.3	46.9	18.8
Jeju-do	12	4	8	24	22	91.7	15.5	7.8
Chungcheongnam-do	21	9	12	109	93	85.3	46.5	16.8
Chungcheongbuk-do	23	6	17	67	62	92.5	42.1	14.3
	210	70	140	1083	988	89.6	49.9	19.6

으로 선택되었다(Figure 11d, Table 9). 제주도를 포함하여 전체 1,083 개 수요 지점에 대해 89.6%인 988 개 수요 지점에 공급이 가능하였다. 다만 평균 운반거리는 19.6 km로 이전 시나리오에 비해 공급거리가 증가한 것을 나타냈다.

4. 토 의

4.1. 골재 수요-공급 특성

전세계적으로 골재는 유한한 자원으로 인식되고 있으며, 모래 부족에 대한 우려가 증가하고 있어 적어도 향후 100년까지는 수요가 공급을 채우지 못해 가치가 상승할 것으로 예측된다(Torres, et al., 2021). 이러한 주장에 대한 근거로 전세계의 골재 공급을 모델링한 연구사례도 있었다. Sverdrup 등 (2017)은 건축용 모래, 자갈, 절단석 등의 글로벌 공급 모델에서는 자연상태에서 특별한 가공 없이 채취된 모래와 자갈, 그리고 인위적으로 암석을 파쇄하여 공급하는 골재의 생산과 시장 공급, 수요와 가격을 모의하였다. 이 모델은 인구 규모, 유지 보수, 가격에 따라 수요가 좌우되는 시장 메커니즘을 사용하였다. 모래와 자갈의 자원은 각각 12조 톤으로 추산되며, 또 다른 125조 톤의 암석은 모래와 자갈에 부수는 데 적합하며, 적어도 42조 톤의 양질의 석재는 절단석 생산에 이용 가능한 것으로 분석하였다. 모래와 자갈은 2060-2070년에 최대 생산율에 도달할 것으로 예측되는데, 이러한 이유는 현재와 같은 골재의 이용이 지속되는 상황을 가정한다고 해도 부분적으로 예상되는 인구 감소와 모래와 자갈의 가격 상승으로 인해 수요가 제한되기 때문으로 해석하였다(Sverdrup et al., 2017).

골재의 수요와 공급은 다양한 환경의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 가장 간단하게는 골재의 운반거리에 대한 영향이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 전국의 골재 공급 여건은 골재 개발에 대한 비용을 제외하고 대부분 환경 및 허가 등의 어려움을 가지고 있어 전국적으로 매우 유사한 상황에 놓여있다. 골재의 품질 또한 지역별로 편차가 크고 공급원 또한 지리적 환경 및 개발 여건에 따라 다르게 구성된다. 따라서 단일한 품질로 골재의 수요와 공급을 설명하는데 부족한 부분이 많다. 그러나 이전의 연구들에서 확인되는 바와 같이 생산에 대한 원가보다 부피가 큰 산업재료의 특성상 이러한 문제는 거시적 관점의 접근에서는 중요도가 낮게 설정된다.

특히 우리나라의 골재 유통의 경우 공급 지역인 골재 채취지점에서 레미콘 공장까지의 운반거리가 평균 10 km 미만으로 나타나는 사실에서 볼 때, 실제 골재의 수요와 공급은 골재 자원이 소규모로 지역적으로 유통되고 있거

나, 시장이 포화되어 수요 지점에 비해 공급지점이 더 많을 수 있다는 점을 시사한다. 따라서 일부 지역에서는 골재의 부족보다 과잉의 문제가 나타날 수 있고, 시장가격이 낮아져 경제성이 떨어지는 과잉경쟁 상태의 시장이 유지될 가능성을 제시한다. 이러한 가능성은 골재가 모래와 자갈로 공급되는 두 가지 형태를 모두 고려해야 하는 상황이어서 자갈에 대한 공급과 모래에 대한 공급을 세부적으로 분석하여 접근할 때 추가적으로 설명이 가능하다. 특히 현재의 수요-공급 체계에서도 자갈의 평균 운반거리보다 모래의 평균 운반거리가 더 길게 나타나는 것은 자갈과 모래 사이의 공급이 동일하지 않다는 점을 의미하기 때문에 이러한 분석에 대한 필요성을 더해준다.

기점-중점의 분석 결과에서 나타나는 바와 같이 거리를 중심으로 계산된 결과를 통해서도 골재의 유통을 설명할 수 있는 중요한 자료가 제시될 수 있다. 즉, 기점-중점 비용 분석을 통해 광역행정지역 단위에서 수요-공급이 분할 되어 반입과 반출이 일어날 수 있음을 보여준다. 즉 골재를 전혀 생산하지 않는 서울의 경우 경기도와 강원도에서 반입되는 골재 공급으로 유지가 되는 구조에 대한 설명이 가능하다. 따라서 이러한 모형을 활용할 경우 각 시군과 세부 지자체에 대한 골재의 유통현황을 이해하는데 중요한 정보를 제공하게 된다.

골재 공급자 측면에서 서비스 시장은 가까운 거리에 위치하는 레미콘 공장이며, 서비스 거리는 시장의 가격에 큰 영향을 주는 요인이다. 비록 50 km의 거리를 제한하여 서비스 지역을 분석하였지만 경우에 따라서는 그보다 더 먼 거리에 위치한 지역에도 서비스가 가능하다. 다만 이러한 경우는 일반적인 상황은 아니기 때문에 일반적으로는 가까운 지역에 서비스가 우선되는 것이 당연할 것이다. 그러한 가정에서 서비스 지역에 대한 분석결과는 전국 골재 수요의 약 40%를 차지하는 수도권에 밀집되어 나타나는 결과를 보인다.

G1 그룹에서 G4 그룹까지 서비스 지역을 중첩해보면 대부분의 수도권지역이 모두 포함된다. 수도권을 포함하여 골재의 수요가 많은 지역에 대해서는 이미 현재의 서비스 공급체계에서 90% 이상으로 나타나고 있다는 점에서 현재의 공급체계는 수요에 대응하는 공급이 균형적으로 관리되고 있음을 의미한다. 다만 이 경우 고려해야 할 사항은 각 공급처의 공급물량에 따라 서비스 공급이 제한되는 현실과는 차이가 있다는 점이다. 즉 공급처에 공급할 수 있는 골재가 무한하다고 가정할 경우 각 공급지점은 초과 공급 상태를 유지하게 된다. 따라서 서비스 영역에 대한 분석결과는 단순히 서비스가 가능한 영역으로 해석하는 것이 바람직하며, 추가적으로는 공급량과 수요량에 대한 정밀한 모델 개발과 분석을 통해 서비스 지역

을 재검토할 필요가 있다. 또한 장기적인 공급관리 측면에서는 규모에 따른 서비스 지역에 대한 조정이 가능하다는 점을 고려할 필요가 있다.

현재까지 분석된 결과는 골재를 공급할 수 있는 능력에 따라 서비스 지역의 과밀화를 조정할 수 있다는 점에서 매우 중요한 시사점을 갖는다. 풍부한 공급능력, 즉 채취 허가량이 충분하고 현재의 골재 공급지역을 조정하여 적절한 허가량 관리가 병행되면 다수의 소규모 골재 공급에 대한 환경문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다. 가령 10 개의 10 km 서비스 공급능력을 가진 골재 기업을 1 개의 40 km 서비스 지역을 전제로 대규모 공급이 가능한 기업이 대신한다면 그만큼 환경에 대한 문제를 줄일 수 있을 것이고, 규모의 경제가 실현되면 보다 철저한 환경-생산-유통-복구 관리가 가능할 것이다.

4.2. 골재 유통 특성

앞서 언급한 바와 같이 우리나라에서도 골재를 공급하는 기업 입장에서 골재의 생산원가는 지역별로 차이가 적고, 골재의 공급을 위한 운반비가 골재 공급가격에 미치는 영향이 지역에 따라 차이가 크게 발생한다는 점에서 다른 광물 자원과 구분된다. 즉, 우리나라에서도 골재는 다른 자원과 달리 부피가 크고 제조에 대한 생산원가가 상대적으로 저렴하기 때문에 골재 운반에 대한 유통비용은 골재의 가격 결정에 매우 중요한 요인이 된다. 이러한 자원의 특성 때문에 골재의 수요공급 통계에는 ‘골재의 운반거리’ 항목의 통계가 추가적으로 제공되기도 한다. 골재 공급하는 기업의 입장에서는 공급지역에서 수요지역까지 운반비용이 저렴할수록 가격 경쟁력이 높아지고 수익이 증대되는 특이한 유통구조를 갖는다(Jaeger et al., 2006).

골재 공급에 대한 이러한 특징은 공급주체가 되는 골재기업과 수요주체가 되는 레미콘 기업 사이의 운반환경이 가격을 결정하는 중요한 함수로 해석할 수 있다. 골재 공급가격의 상당부분이 운반에 의한 지출이 되는 구조로 세부적으로 골재가 운반되는 도로와 골재 공급에 소요되는 운반거리가 중요한 변수로 도출된다. 다만 운반 시간은 운반거리에 비해 상대적인 중요도가 떨어지는데, 운반거리에 대한 비용이 운반시간에 대한 비용보다 상대적으로 매우 높기 때문이다.

골재의 수요와 공급에 대한 기초자료에서 확인되는 바와 같이 전국의 골재채취는 최소 600 개 이상의 지점에서 진행되고 있으며, 산림청의 토석채취허가를 통해 공급 가능성이 있는 지역도 200 개 이상의 지점에서 골재가 공급될 수 있다. 앞서 분석된 결과를 토대로 볼 때 단 순하게 거리 제한이 없고, 무한정 공급이 가능하다면

80 km 기준으로 서비스 지역을 적용한다고 해도 20 개 미만의 골재 공급지점이 있으면 전국적인 공급이 가능하다. 그러나 현실적으로 무제한 공급은 불가능한 상황이며 80 km의 운반거리도 현재 시장내에서 평균 10 km 운반거리로 공급되는 현실에는 비현실적인 가정이 될 수 있다. 위치-배분 모델링 결과는 고객의 위치와 수요, 운반 비용 등과 같은 매개변수를 분석하여 각 위치의 잠재적 시장 포착에 기초하여 시설의 최적 위치를 추정한다. 따라서 1차적 운반거리에 대한 비교와 서비스 지역을 포함하여 시나리오 설정에 의해 전국의 골재의 수요와 공급에 대한 평가가 가능하다. 위치-배분 모형을 통해 제시된 시나리오 1과 시나리오 2, 그리고 시나리오 3에서와 같이 동일한 지역에 대해 운반거리를 다르게 제한하는 경우에도 150 개 미만의 공급지점에서 현재의 골재 수요를 평균 20 km 운반거리 이내에서 80% 이상 수용할 수 있다는 점은 현재 골재 공급체계에 대해 시사하는 바가 크다.

다만 강원도 동해안 지역과 같은 지역은 장거리 운반으로 인한 골재의 공급 시나리오에서는 수요를 충족하지 못하는 것으로 나타나기 때문에 이러한 지역은 특별한 공급계획과 시나리오 선정이 필요하다. 또한 제주도와 울릉도 등 도서지역의 경우에 대해서도 골재 운반거리가 길어지는 가정과는 차이가 있으며, 골재 공급에 대한 세부적인 골재 유통 계획과 접근이 필요하다.

현재까지의 분석 결과는 골재의 유통이 수도권과 수도권-세종시를 연결하는 구간 등 골재의 수요가 집중되는 구간에 골재 공급이 집중되고 있다. 또한 강원도와 경상북도 지역의 골재 수요와 공급 분석결과는 상대적으로 낮은 서비스 영역을 나타내거나 서비스 공급에서 제외되는 지역이 나타난다. 이는 현재 레미콘으로 한정된 수요 지점이 결국 인간활동이 활발한 지역에서 생성되기 때문에 분석된 결과에서 나타나는 것으로 해석될 수 있으며, 이러한 결과는 교통망 밀도, 인구 밀도 등과의 상관관계에 대한 추가적인 연구의 필요성을 제기한다.

4.3. 골재 수급 정책 방향

천연골재는 자연에 풍부하게 부존하는 것으로 널리 알려져 있었지만 최근 세계 여러 지역에서 공급 부족에 대한 위험이 증가하고 있으며, 현재와 같은 골재채취 속도와 건설 관행이 유지되면 개발도상국은 건설용 모래에 대한 공급이 상당히 어려운 상황에 직면할 수 있다. 이러한 측면에서 모래는 국가의 경제 및 사회 발전에 필수적인 자원으로 관리되고 있다(Blengini et al., 2012 ; Ioannidou, Meylan, Sonnemann, & Habert, 2017). 또한 잘 알려진 바와 같이 골재는 물과 같은 공공재의 성격을 갖는 자원이다. 따라서 공공성에 기반한 골재관리 정책이

필요하며(Pavesi et al., 2021), 현재 골재 자원이 국가적인 모니터링 대상의 이유가 되기도 한다.

본 연구에서 제시된 결과들은 기존의 여러 가정에 의한 예비적 성격의 검토 결과임에도 불구하고, 전국적으로 골재의 수요와 공급의 측면에서 유통의 흐름을 해석하는데 매우 유용하였다. 앞서 분석된 자료를 종합적으로 검토하면, 골재의 유통은 서울을 둘러싸고 있는 수도권인 포천-의정부-인천-성남-수원-오산-이천-평택 권역, 수도권과 이어지는 천안-세종-공주-대전 권역, 서해안의 서산-당진 권역, 강원도 원주-청주-제천 권역, 서해안을 따라 위치한 군산-정읍-영광 권역, 광주 외곽으로 남원-광주-나주 권역, 남해안을 따라 여수-순천-사천 권역, 낙동강을 따라 영주-안동-문경-상주-구미-대구 권역, 한반도 동남부 해안을 따라 경주-포항-울산-부산-양산-창원 권역, 강원도 설악, 강릉, 삼척 권역 등에서 활발하게 나타난다. 다만 2018년 자료를 기반으로 분석된 결과이기 때문에 교통 여건의 개선 등으로 현재 시점에서 다른 결과를 나타낼 수 있다는 점은 반드시 고려할 필요가 있다.

본 연구 결과에서 시사하는 중요한 점은 골재의 공급에 대한 허가량과 공급에 필요한 운반거리(도로 등의 운반환경), 인구 또는 인구밀도 등의 주요 변수가 골재의 수요와 공급에 영향을 줄 수 있기 때문에 장기적인 정책 수립을 위해서는 이러한 점에 대한 충분한 고려가 있어야 한다는 것이다. 채석장을 규제하고 허용하는 것은 인구가 증가하는 지역에서는 당연한 논의의 문제가 되어가고 있다. 이러한 변화는 전적으로 생산에 대한 환경 제약이 증가했기 때문인지 생산에 의한 문제나 골재의 품질, 운영비용 등과 같은 전통적인 문제와는 다른 차원으로 볼 필요가 있다(Pavesi et al., 2021; Poulin, et al., 1994).

특히 레미콘 수요를 포함하는 골재의 수요량 예측에 대한 전국적인 분포 모형의 개발과 골재 공급을 증대시킬 수 있는 자원개발 방법이 연구된다면, 적어도 국내에서는 골재로 인한 많은 문제를 합리적으로 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 무엇보다도 이 문제의 해결의 출발점에는 공급량 뿐만 아니라 전통적인 골재의 품질 관리에 대한 필요성이 존재한다. 따라서 중장기적인 정책에 의하여 선택된 지역적 배분과 재평가 지역에 대해 골재 품질 특성에 대한 집중적인 조사와 연구가 병행될 필요가 있다.

5. 결 론

이 논문은 골재의 생산과 공급에 대한 위치정보를 기반으로 교통 네트워크를 이용하여 분석된 골재 공급 운반거리분석, 골재 공급지역 분석, 골재 공급의 위치-할당

시나리오 분석결과를 분석하고, 골재 수급 특성과 골재 유통특성을 해석하였다.

골재 공급 기업을 중심으로 골재의 평균 운반거리가 평균 6 km이며, 모래의 경우 평균 7 km 자갈의 경우 평균 10 km 범위에서 수요지에 도달하는 것으로 나타났다. 특히 서비스 지역 분석결과 수도권은 약 92%, 부산과 울산, 경남 85%, 대전, 세종과 충남이 90% 이상으로 나타났다. 이를 통해 우리나라의 골재수급은 골재 산업의 서비스 지역이 수도권에 집중되고, 서울과 세종을 연결하는 권역과 울산-부산-경남을 연결하는 동남부 권역에 골재 유통이 집중되는 현상이 정량적으로 확인되었다. 이러한 결과는 골재의 수요-공급에 대한 기초자료를 정량적으로 해석하는데 중요한 의미가 있으며, 골재가 서비스되는 지역에 대해 광역적인 정량분석을 가능하게 하는 것으로 장기적으로는 골재 기본계획 수립을 위한 지역별 골재 수급 정책 수립에서 가장 중요한 기초 자료로 활용될 필요가 있다.

추가적으로 도로네트워크 위치-배분 분석을 통해 골재 유통에 대한 흐름을 분석한 결과를 토대로 골재 수요와 공급에 대한 장기적 정책방향을 제시하였다. 현재 골재 공급이 가능한 등록기업은 1300 여개 정도이며, 골재를 공급하는 기업은 700 개 이상으로 파악된다. 입지-배분 시나리오에 의해 평가된 결과는 전국을 200 개 미만의 골재 기업이 서비스할 수 있는 가능성을 제시한다. 이 결과는 골재의 유통 측면에서 골재 공급 서비스의 밀도가 높은 지역과 낮은 지역은 적절한 시장형성을 위한 정책적인 접근이 필요하다는 것으로 해석된다.

특히 본 연구 결과에서는 골재의 지질학적 특성보다 골재 기업의 지리적 위치가 시장에서 중요하기 때문에 현재의 골재 수급 시장에 대한 골재 기업의 지리적 위치를 전국 단위의 골재 수요를 고려하여 지역적 배분 및 재평가를 해야 할 필요성이 도출되었다. 특히 이 과정에서 획득된 지역적 배분과 재평가 지역에 대해 지질학적 특성에 대한 집중적인 조사와 연구가 병행될 필요가 있다.

더 나아가 골재 시장에 대한 GIS 네트워크 분석은 추가적으로 잠재적 시장에 기초한 위치할당이 가능하고, 채석 기술 및 장비 등 관련 산업의 추정과 정량화가 가능하다는 점에서 골재 산업뿐 아니라 관련 산업에 대한 중장기 정책수립을 위한 추가적인 연구가 지속될 필요가 있다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 국토교통부 “2021년 골재자원조사 및 관리사업(IP2021-006)”의 지원으로 수행되었습니다. 또한 논문에 대한 세심한 검토와 제안을 해주신 심사위원 분들께 감사드립니다.

References

- An, Y.-U., Leem, Y. and Lee, S.H. (2020) Spatial Equality of Firefighting Service in Daejeon Metropolitan City. *The Journal of the Korea Contents Association*, v.20, p.560-571, doi: 10.5392/JKCA.2020.20.03.560.
- Hong, H. and Lah. T.J. (2020) A GIS Analysis on the Equity and Efficiency of the Disaster Evacuation Facilities Locations: The Case of Civil Defense Evacuation Facilities in Busan. *The Korean Journal of Local Government Studies*, v.24, no.3, p.125-144. doi: <http://dx.doi.org/10.20484/klog.24.3.6>
- Hong, S.S., Kim, J.Y. and Lee, J.-Y. (2015) Trends of Supply and Demand of Aggregate in Korea (I). *The Journal of the Petrological Society of Korea*, v.24, p.253-272. doi: <https://doi.org/10.7854/JPSK.2015.24.3.253>.
- Hong, S.S. and Lee, J.-Y. (2020) Analysis of 2019 Domestic Aggregate Production in Korea (I). *The Korean Society of Economic and Environmental Geology*, v.53, p.755-769. doi: <https://doi.org/10.9719/EEG.2020.53.6.755>
- Jaeger, W.K. (2006) The hidden costs of relocating sand and gravel mines. *Resources Policy*, v.31, p.146-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2006.12.003>.
- Koo, S. and Yoo, H.H. (2012) An Analysis of Fire Area in Jinju City Based on Fire Mobilization Time. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, v.20, p.127-134. doi: 10.7319/KOGSIS.2012.20.4.127.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2013) The 5th Basic plan for supply and demand of Aggregate(2014~2018), 25p. <https://www.agris.go.kr/>.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2018) The 6th Basic plan for supply and demand of Aggregate (2019~2023), 22p. <https://www.agris.go.kr/>.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2019) The annual plan for supply and demand of Aggregate, 39p. <https://www.agris.go.kr/>.
- Pavesi, F.C., Richiedei, A. and Pezzagno, M. (2021) Advanced Modelling Tools to Support Planning for Sand/Gravel Quarries. *Sustainability*, v.13, p.6380.
- Poulin, R., Pakalnis, R.C. and Sinding, K. (1994) Aggregate resources: Production and environmental constraints. *Environmental Geology*, v.23, p.221-227. doi: 10.1007/BF00771792.
- Přikryl, R., Török, Á., Theodoridou, M., Gomez-Heras, M. and Miskovsky, K. (2016) Geomaterials in construction and their sustainability: understanding their role in modern society. *Geological Society, London, Special Publications*, v.416, p.1-22. doi: 10.1144/SP416.21.
- Robinson, G.R. and Kapo, K.E. (2004) A GIS analysis of suitability for construction aggregate recycling sites using regional transportation network and population density features. *Resources, Conservation and Recycling*, v.42, p.351-365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.04.009>.
- Sverdrup, H.U., Koca, D. and Schlyter, P. (2017) A Simple System Dynamics Model for the Global Production Rate of Sand, Gravel, Crushed Rock and Stone, Market Prices and Long-Term Supply Embedded into the WORLD6 Model. *BioPhysical Economics and Resource Quality*, v.2, p.8. doi: 10.1007/s41247-017-0023-2.
- Torres, A., Simoni, M.U., Keiding, J.K., Müller, D.B., zu Ermgassen, S.O.S.E., Liu, J., Jaeger, J.A.G., Winter, M. and Lambin, E.F. (2021) Sustainability of the global sand system in the Anthropocene. *One Earth*, v.4, p.639-650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.011>.
- Yeon, K. H., Hwang, H.-Y. and Hong, E.-D. (2014) An Analysis on 119 Safety Center depending on the Distribution of Fire Occurrence in Chungju-Cheongwon City. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, v.14, no.6, p.289-296. doi: <https://doi.org/10.9798/kosham.2014.14.6.289>.