Case Report

Characteristics of the Land and River Aggregates Distribution in Goyang City, Korea

Hoil Lee^{1,*}, Uk Hwan Byun¹, Kyoungtae Ko¹, Seung-Jun Youm², Sangwoo Ji², Hwanju Jo³,
Seungwon Shin¹, Jin-Young Lee¹

¹Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

²Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

³Mineral Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

*Corresponding author : hoillee@kigam.re.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 31 August 2021

Received in revised form 27 September 2021

Manuscript accepted 27 September 2021

Available online 29 October 2021

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2021.54.5.535>

Research Highlights

- We studied the characteristics of the land and river aggregates distribution from the Aggregate Resource Survey in Goyang City.
- The aggregate developed mainly along the Han River and the depth of aggregates are relatively deep.
- It shows very similar characteristics of the aggregate distribution in areas adjacent the west coast, such as Goyang City.

ABSTRACT

Aggregate is an essential construction material, and the demand is increasing every year. Aggregate has different properties in each region, and it is difficult to supply it over long distances due to its quantity and weight. For the stabilization of aggregate supply and demand, regional aggregate resource surveys have been conducted since 1993 in Korea. In this study, an aggregate resource survey was conducted in Goyang City to understand the characteristics of aggregate distribution as part of the annual regional aggregate resource survey in 2020. Goyang City has a high mountainous area to the east, and the southwestern part shows a topography where a wide flatland develops. It has 18 small streams originated from the eastern mountainous area and 1 large stream Han River. The drilling data shows that thickness of the Quaternary deposits tend to deepen toward the south. The aggregate reserves are relatively abundant, the depth of the aggregates are relatively deep. Changes in the depth of the Quaternary deposits and the amount of aggregate in Goyang are seems to be closely related to the activities of the Han River rather than the sedimentation characteristics from the upstream to the downstream of the small streams. This characteristics show a similar tendency to the distribution of aggregates in adjacent regions to the west coast in Korea. Therefore, the regions that close to west coast have a high probability of aggregate reserves around relatively large-scale streams flowing into the west coast.

Keywords : Goyang City, land aggregate, river aggregate, distribution, Han River

Citation: Lee, H., Byun, U.H., Ko, K., Youm, S.-J., Ji, S., Jo, H., Shin, S., Lee, J.-Y. (2021) Characteristics of the Land and River Aggregates Distribution in Goyang City, Korea. Korea Economic and Environmental Geology, v.54, p.535-547, doi:10.9719/EEG2021.54.5.535.

✉ 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.

보고

경기도 고양지역 육상 및 하천골재의 부존 특성

이호일^{1,*} · 변육환¹ · 고경태¹ · 염승준² · 지상우² · 조환주³ · 신승원¹ · 이진영¹

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부

²한국지질자원연구원 지질환경연구본부

³한국지질자원연구원 광물자원연구본부

*책임저자 : hoillee@kigam.re.kr

요 약

골재는 필수적인 건설자재로 골재의 수요는 매년 증가하는 추세이다. 각 시군에 따라 부존 특성이 다르며, 골재 자체의 사용 물량과 그 중량으로 인해 원거리에서 조달이 힘들다는 특성으로 인해 1993년부터 지역별 골재자원조사가 시행되고 있으며 이를 통해 골재수급의 안정화를 추진하고 있다. 이번 연구는 매년 실시하는 시군단위 골재자원조사의 일환으로 2020년 경기도 고양시를 조사지역으로 선정하고 시추조사를 수행하여 골재의 분포 특성을 파악하였다. 고양시는 동쪽으로 높은 지대를 형성하고 남서부 일대는 한강을 따라 넓은 평지가 발달하는 지형을 보이며, 국가하천인 한강과 18개의 지방하천이 발달하고 있다. 시추조사를 통해 고양시의 충적층의 심도는 남쪽으로 갈수록 깊어지는 경향을 보이며, 골재 부존량은 비교적 많은 편이지만 부존 심도가 깊은 것으로 나타났다. 고양시의 충적층 심도의 변화 및 골재 부존량의 변화는 18개의 소규모 하천의 상류에서 하류로 이어지는 퇴적특성의 영향보다는 한강의 활동과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 이러한 특성은 서해안에 인접한 시군에 대한 골재분포와 비교적 유사한 경향을 보여준다. 따라서 서해안과 접하는 지역은 전반적으로 서해로 유입되는 비교적 큰 하천을 주변에서 골재 부존 가능성이 크다고 할 수 있다.

주요어 : 고양시, 육상골재, 하천골재, 분포, 한강

1. 서 론

골재는 하천, 산림, 바다, 기타 지상 또는 지하 등에 부존되어 있는 암석, 모래 또는 자갈로서 도로, 철도, 항만, 공항 등 국가 사회간접시설에서부터 주택과 같은 국민의 주거생활에 이르기까지 일상생활에 없어서는 안 되는 필수적인 건설자재로서 국가건설의 기본이 되는 기초재료이다. 골재의 수요는 90년대에는 약 1.5억³에서 2020년에는 2.4억³으로 연평균 1.8%씩 증가하고 있는 추세이다(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2020a). 골재는 천연자원으로 각 시군에 따라 부존특성이 다르며, 골재자체의 사용물량과 그 중량으로 인해 원거리에서 조달이 힘들다는 특성이 있다. 또한 골재를 대체할 만한 대체재를 개발하기도 쉽지 않다.

따라서 골재자원 확보는 국가적 과제로 설정되어 정부에서는 1992년부터 골재의 안정적인 수급과 기초조사 등을 총괄하는 골재채취법 제정을 하여 국토교통부 주관으로 매 5년 주기의 골재수급계획을 수립하여 추진하고 있으며, 매년 골재수급계획을 수립하여 골재수급의 안정화를 추진하고 있다. 이에 1993년부터 2005년까지는 산업

통상자원부 주관으로 전국을 광역권으로 분류하여 골재 자원 기초조사를 실시하였다. 2006년부터 골재자원조사의 주관부처가 산업통상자원부에서 국토교통부로 이관되었으며, 전국 시, 군 단위로 수급동향과 골재 개발 필요성 등 우선순위에 따라 2007년부터 매년 여러 개 시군을 대상으로 하천, 육상, 산림골재자원조사를 실시하고 있다.

하천골재의 대상지역은 현재 활동하는 하천의 양쪽 제방 안쪽이며, 육상골재 대상지역은 하천과 산지를 제외한 지역으로 구분할 수 있다. 육상골재 대상지역 중 선상지와 같은 산지 부근에 발달하는 사력층은 하천에 의해 공급된 사력층과 달리 점토기질을 포함하는 분포 특성 및 풍화가 심한 편이며 충적층 두께가 상대적으로 얇아 골재부존량이 적어 조사에서 제외된다. 따라서 육상골재조사 대상지역은 대부분 인근에 하천과 인접한 지역이 될 수 있으며, 이는 육상골재의 분포가 하천골재 분포와 퇴적물의 분포 양상이 유사할 수 있음을 의미한다.

이번 연구는 2020년도 고양시 골재자원조사 통해 고양시의 골재분포 및 지질학적으로의 의미를 파악하고자 하였다. 골재자원조사는 일반적으로 제4기지질도 작성을 통한 충적층 분포 파악, 골재조사지역 선정, 시추조사, 물

리탐사, 트렌치, 골재시료 물성시험을 통한 품질분석, 골재부존량 분석 등이 순차적으로 진행되지만 이번 논문에서는 골재의 분포특성에 논의하는 것이라 본 논문에서는 일부 절차는 제외하였다.

2. 연구지역

고양시는 경기도의 서북쪽에 위치하여 동남쪽으로는 서울시와 인접하고, 북동쪽으로는 양주시, 북서쪽으로는 파주시, 남서쪽으로는 한강을 사이에 두고 김포시와 인접하고 있다. 특히 우리나라의 수도인 서울과는 동쪽으로 북한산, 서쪽에 한강을 사이에 두고 경계하고 있다. 고양시의 면적은 약 268km²이며, 일산서구, 일산동구, 덕양구 등 3개의 행정구를 가지고 있다.

고양시는 동고서저의 지형이며, 동쪽으로 북한산이 위치하여 상대적으로 높은 지대를 형성하고 있으며 남서부 일대는 한강을 따라 넓은 평지가 발달하는 특징을 보인다. 고양시 관내의 관리하천 19개 중에서 국가하천인 한강을 제외하면 대부분의 소하천은 북한산에서 발원하고 있으며, 도시화가 많이 진행되어 복개천이나 주택가를 관통하는 하천이 많이 존재하는 편이다. 고양시 북쪽으로는 국가하천인 공릉천이 흐르고 있으며, 남쪽으로 한강이 흐르고 있다.

고양시 지역에 해당하는 1:50,000 축척의 지질도폭은 서울(Hong *et al.*, 1982), 김포(Chwae *et al.*, 1995), 통진(Chwae *et al.*, 1997), 고양(Koh *et al.*, 2004)의 총 4매가 해당된다. 조사 시기와 조사자들이 달라 도폭의 경계부에서 경기편마암 복합체의 암상명과 경계가 상호 불일치하는 양상을 보인다. 이는 경기편마암 복합체가 퇴적기 원인 흑운모편마암, 변성작용 동안에 퇴적기원 변성암이 부분 용융되어 형성된 미그마타이트질 편마암과 화성기 원인 화강편마암이 혼성암으로 구성되어 있기 때문이다. 그러나 최신의 지질도(25만 및 100만)에서는 연구지역의 고원생대 경기편마암복합체가 주로 퇴적기원인 흑운모편마암으로 구성되어 있으며, 일부 미그마타이트질 편마암과 흑운모 화강편마암이 간헐적으로 존재하는 것으로 보고하였다(Lee *et al.*, 1999; Kee *et al.*, 2019). 따라서 고양지역의 지질은 크게 선캠브리아기 경기편마암복합체(흑운모편마암, 미그마타이트질 편마암, 흑운모 화강편마암), 쥐라기 흑운모 화강암, 그리고 제4기 충적층으로 구분될 수 있다. 선캠브리아기 경기편마암복합체는 고양시 일대에 폭넓게 분포하며, 중생대 쥐라기 화강암은 덕양구의 동편 일부 북한산 국립공원 지역에 해당되며 높은 산지를 이루는 특징을 보인다.

3. 연구방법

골재의 부존량을 산출하기 위해서는 골재의 부존이 예상되는 지역을 선정하게 된다. 육상골재의 조사지역은 대부분 경작지(논 혹은 밭)이므로 이들 지역을 하천, 도로, 읍면 경계, 지형발달상태 등에 따라 일정한 구획을 설정하여 이들 한 개씩을 조사지역(polygon)으로 정하였으며, 하천골재 조사역 또한 제방 내 하천 주변의 충적층을 대상으로 조사지역(polygon)을 선정하였다.

시추조사는 육상골재 지점에서 19지점, 하천골재 지점에서 1지점으로 총 20개 지점에서 시추가 수행되었다. 각 시추공별로 기반암이 확인되는 심도까지 시추를 진행하였으며, 모든 시추공 내 퇴적층 전 구간에서 코어시료를 회수하였다. 또한 모래층과 점토층이 물에 의해 섞여져 퇴적층의 층서가 교란되는 현상을 피하기 위해 물을 사용하지 않는 무수시추 방법을 사용하였으며, 채취된 코어시료에 대해서는 균등한 고화질 디지털영상을 촬영하고 이 자료를 시추주상도에 삽입하였다. 퇴적층의 분류는 입도에 따라 점토층, 실트층, 모래층, 자갈층 등으로 크게 구분되며, 각각의 입도를 보이는 퇴적물의 함량에 따라 세분하였다. 또한 골재로 활용될 수 있는 구간은 골재부존구간으로 설정하여 주상도에 표기하였다.

퇴적층의 형성 시기를 파악하기 위해서 방사성탄소연대 측정을 실시하였다. 한국지질자원연구원의 가속질량분석기(accelerator mass spectrometer, AMS)를 이용하였으며, 방사성탄소연대측정을 위한 시료는 목편으로 산-염기-산(AAA) 화학 처리를 통해 오염물을 제거한 후 분석용 흑연을 추출하였다. 탄소 연대의 보정은 Oxcal을 사용하였으며, 2σ오차 범위를 활용하였다 (<http://c14.arch.ox.ac.uk>).

최종적으로 골재 부존량 산정은 다음과 같은 절차에 의해 계산되었다. 먼저 시추주상도 자료를 검토하여 주요 골재부존구간과 개발가능사력층 구간을 선정한다. 부존구역(polygon)별로 관련 시추공을 선정하며, 부존구역 내 시추공이 없는 경우 인근 시추공 이용하거나 제4기 지질학적 퇴적양상을 고려하여 부존량 산정구역을 선정하였다. 따라서 시추조사가 수행되지 않은 지역은 부존량 산정에서 제외되었다.

부존량 계산에 사용되는 변수로서 표토 퇴적층은 첫 번째로 주요 골재 부존구간이 시작되는 심도를 의미하며 보통 골재개발 시 표토로서 제거되는 부분이다. 주요 골재 부존구간은 기반암 상부의 충적층 구간에서 골재로서의 활용이 가능하다고 판단되는 구간으로 코어검층시 모래, 자갈층, 사력층 등으로 구분되는 구간을 의미한다. 개

Fig. 1. Satellite image around Goyang City.

발가능사력층 구간은 지표(표토퇴적층을 제거하지 않은 상태)에서 하부 4m 심도 이내에 해당되는 사력층의 두께로 정의된다. 경제적인 측면을 고려하여 골재로서 활용가능한 최소한의 두께는 0.5m이지만, 골재부존구간에서 이 보다 두께가 얇더라도 골재의 부존량 산정에 포함시켰다.

이러한 제한조건을 고려한 육상 및 하천골재 부존량 계산방법은 다음과 같다.

부존량 : 부존면적 $\times$ 골재부존구간 두께 $\times$ 모래(또는 자갈)함량비율 $\times 0.95$ (오차공제율 5% 적용)

개발가능량 : 개발가능면적 $\times$ 개발가능사력층두께 $\times$ 모래(또는 자갈)함량비율 $\times 0.95$ (오차공제율 5% 적용) $\times 0.7$ (지표이용율 30% 적용)

여기서, 부존량은 기반암 풍화대 상부에 부존하는 사력층 등에 대한 부존량으로 실제 개발을 할 수 있는 심도와는 무관하며, 층적층 내 부존되는 골재 전체 물량을 의미한다. 오차공제율은 지형도 오차, 면적 내의 약간의 지형경사에 의한 오차 등을 말하며, 육상골재가 부존되는 퇴적층 지역은 대부분 경작지로서 벼농사 이외에 비닐하우스, 특수작물, 과수원, 축사 등 다양한 용도로 토지를 이용한다. 이외에 관정, 전신주, 고압선로 등 지표에 설치되어 있는 구조물도 다수 있는 편이다. 지표이용율이란 이러한 지표에서 이용되고 있는 이용면적으로 고려한 것으로서 평균적으로 토지면적의 약 30% 내외가 이러한 용도로 사용되고 있으며, 이러한 구역과 구역 주변의 일정 면적은 실제 개발할 수 없다. 따라서 지표의 토지사용비율을 평균 30%를 적용하여 실제 개발가능면적은 부존면적의 70%를 적용하였다.

Fig. 2. Location map of the drilling sites and the survey area in Goyang City.

4. 결 과

4.1. 충적층 시추조사

총 20개 시추지점에 대한 시추 결과는 고양시 일산서구(7지점), 일산동구(5지점), 그리고 덕양구(8지점)의 행정구별로 구분하였다.

4.1.1. 일산서구

일산서구의 시추 결과를 보면 충적층의 분포심도가 9~28m로 깊은 편이며, 골재부존구간도 다수 확인된다 (Fig. 3). 이 지역은 하부로부터 자갈, 모래, 점토의 순서로 입도의 변화를 보이며 시추공 20GYL01, 20GYL02, 20GYL03 그리고 20GYL08에서는 상대적으로 시추 심도

Fig. 3. Stratigraphic sections of Ilsanseo-gu in Goyang City. Arrows indicate the result of radiocarbon dating.

가 깊고 자갈, 모래 등의 조립질 퇴적물이 시추공 중하부에 우세하다가 상부에서 점토질로 변화하는 특징을 보이는 반면, 시추공 20GYL04, 20GYL05, 그리고 20GYL06에서는 상대적으로 시추심도가 얇은 편으로 조립질 퇴적물이 하부에 일부 존재하며 나머지 대부분은 점토질이 매우 우세한 편으로 나타났다. 따라서 일산서구의 골재 분포 구간은 조립질 퇴적물이 우세한 시추공 20GYL01, 20GYL02, 20GYL03 그리고 20GYL08에서 주로 확인된다.

4.1.2. 일산동구

일산동구의 충적층 분포 심도는 5~24m로 나타났다 (Fig. 4). 일산동구의 시추결과는 일산서구와 크게 다르지 않는 양상으로 보인다. 시추공 20GYL09와 20GYL10에서는 하부로부터 자갈, 모래, 점토의 순서로 발달하지만, 시추공 20GYL09에서는 상부까지 모래가 우세하게 분포하며 점토의 발달은 매우 약한 편이다. 시추공 20GYL11 및 20GYL12의 경우, 충적층의 심도는 다르지만 하부의

Fig. 4. Stratigraphic sections of Ilsandong-gu in Goyang City.

자갈 및 모래층을 제외하면 전반적으로 점토질이 매우 우세하게 발달한다. 시추공 20GYL14는 자갈과 모래의 비율이 점토에 비해 상대적으로 높으나 5m의 층적층 심도의 상대적으로 매우 얇은 편에 속한다. 따라서 골재의 분포는 주로 시추공 20GYL09 및 20GYL10에서 확인되며 상부까지 모래가 우세하게 분포하는 시추공 20GYL09에서는 골재의 분포구간이 시추공 20GYL10보다 더 크게 나타났다.

4.1.3. 덕양구

덕양구의 층적층 분포 심도는 5~22m로 확인된다(Fig. 5). 덕양구의 시추지점에서는 하부는 자갈이 우세하고 중부는 모래질, 상부는 점토질이 우세한 양상으로 나타났다. 그러나 시추심도가 상대적으로 매우 얇은 시추공 20GYL24 및 20GYL25에서는 자갈과 모래가 우세한 편이다. 시추공 20GYL19, 20GYL20, 그리고 20GY21은 중상부는 점토질이 우세하지만 중하부는 지역에 따라 모래가 우세한 지점(20GYL19, 20GGYL21)과 자갈이 우세한 지점(20GYL20)으로 차이를 보인다. 한편, 하천골재지역

에 해당하는 시추공 20GYR01에서는 하부에서 중부까지 자갈이 매우 우세하게 발달하며 중상부에서 모래가 관찰된다. 상부에 점토질 퇴적층이 관찰되지만 상대적으로 두께는 얇은 편이며, 현재 지표퇴적물 또한 모래층으로 이 지점에서는 자갈 및 모래가 우세한 것으로 확인된다.

4.2. 연대측정

14개 시료에 대한 방사성탄소연대 측정결과는 1개의 시료를 제외하고 대부분 홀로세를 지시하였다(Table 2). 일산서구에 속하는 시추공 20GYL03 및 20GYL04의 연대결과는 홀로세 초기부터 중기까지의 범위를 보이고 있으며, 덕양구에 속하는 20GYL20 시추공은 홀로세 초기에서 중기, 시추공 20GYL21에서는 후기 플라이스토세부터 홀로세 후기까지 나타났다. 시추공 20GYL19의 모래층에서는 2780 ± 60 과 1800 ± 80 의 연대가 산출되어 모래층의 퇴적은 홀로세 후기에도 있었음을 확인할 수 있다.

4.3. 골재 부존량 산정

골재부존 조사구역에 대해 해당 지점의 시추결과로부

Fig. 5. Stratigraphic sections of Deogyang-gu in Goyang City. Arrows indicate the result of radiocarbon dating.

Table 1. Drilling locations and depths in Goyang City

Core Name	Northing	Easting	Surface Elevation (m)	Drilling Depth (m)	Remark
20GYL01	37°41'01.29"	126°41'37.12"	11	30	
20GYL02	37°40'44.97"	126°41'13.07"	12	26	
20GYL03	37°40'40.47"	126°42'58.54"	10	24	
20GYL04	37°40'56.29"	126°43'48.88"	11	16	
20GYL05	37°41'14.50"	126°44'41.14"	9	10	
20GYL06	37°41'45.31"	126°43'40.62"	4	9	
20GYL08	37°39'40.82"	126°44'22.37"	9	29	
20GYL09	37°38'58.91"	126°45'03.31"	4	25	
20GYL10	37°38'08.66"	126°47'29.94"	10	25	
20GYL11	37°39'04.25"	126°48'07.23"	8	18	Land Aggregates
20GYL12	37°39'54.17"	126°47'30.42"	16	9	
20GYL14	37°41'36.33"	126°48'03.03"	28	6	
20GYL19	37°38'24.86"	126°48'01.46"	5	23	
20GYL20	37°36'44.45"	126°48'42.75"	10	21	
20GYL21	37°38'05.77"	126°49'08.12"	6	16	
20GYL22	37°38'48.57"	126°49'40.77"	9	10	
20GYL24	37°41'59.82"	126°51'03.48"	22	6	
20GYL25	37°43'23.00"	126°50'27.58"	18	7	
20GYL27	37°36'05.12"	126°51'37.96"	8	16	
20GYR01	37°36'18.57"	126°48'40.64"	7.2	22	River Aggregate

Table 2. Results of AMS ^{14}C dating and calibrated dates for drilling cores in Goyang City

Sample	Elevation (m)	^{14}C yr BP ($\pm 1\sigma$)	Cal. yr BP ($\pm 2\sigma$)	Dating material	Laboratory code
20GYL03	4.26	6275 ± 40	7150 ± 130	Plant fragment	KGM-IWd200429
20GYL03	7.69	7002 ± 42	7830 ± 100	Plant fragment	KGM-IWd200430
20GYL03	10.75	7743 ± 49	8510 ± 90	Plant fragment	KGM-IWd200431
20GYL04	6.4	4769 ± 43	5460 ± 130	Plant fragment	KGM-IWd200432
20GYL04	8.91	7286 ± 49	8080 ± 100	Plant fragment	KGM-IWd200433
20GYL04	11.55	7417 ± 43	8200 ± 160	Plant fragment	KGM-IWd200434
20GYL19	8.66	2637 ± 35	2780 ± 60	Plant fragment	KGM-IWd200436
20GYL19	12.3	1897 ± 33	1800 ± 80	Plant fragment	KGM-IWd200437
20GYL20	2.82	5042 ± 37	5780 ± 120	Plant fragment	KGM-IWd200438
20GYL20	7.43	6365 ± 41	7290 ± 130	Plant fragment	KGM-IWd200439
20GYL20	11.45	6058 ± 44	6950 ± 200	Plant fragment	KGM-IWd200440
20GYL21	4.95	2074 ± 34	2030 ± 90	Plant fragment	KGM-IWd200426
20GYL21	7.7	5699 ± 39	6510 ± 110	Plant fragment	KGM-IWd200427
20GYL21	13.6	19277 ± 85	23350 ± 370	Plant fragment	KGM-IWd200428

터 얻은 골재부존구간을 적용한 부존면적은 일산서구가 12,913,000m²으로 조사면적대비 96%에 이르는 반면, 일산동구는 5,829,000m²으로 약 59%로 가장 낮았다. 그러나 골재 부존량은 일산동구가 39,799,000m³으로 덕양구의 20,930,000m³보다 거의 두 배에 달하는 골재가 부존

되어 있는 것으로 확인된다. 따라서 세 개의 지역을 합친 고양시의 육상골재 총부존량은 101,739,000m³로 산출되었으며, 지표로부터 심도 4m 이내에 해당되는 골재개발가능량은 3,031,000m³로 총부존량 중 약 3% 내외가 개발 가능한 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Results of estimating the land aggregate reserves in Goyang City

Region	Survey Area (m ²)	Aggregate Area* (m ²)	Sand Reserves (m ³)	Gravel Reserves (m ³)	Total Aggregate Reserves (m ³)	Available Area** (m ²)	Sand Available Reserves (m ³)	Gravel Available Reserves (m ³)	Total Available Reserves (m ³)
Ilsanseo-gu	13,479,000	12,913,000	38,746,000	2,264,000	41,010,000	3,757,000	-	-	-
Ilsandong-gu	9,823,000	5,829,000	39,075,000	724,000	39,799,000	4,066,000	1,144,000	3,000	1,147,000
Deogyang-gu	13,556,000	8,447,000	17,190,000	3,740,000	20,930,000	5,900,000	1,441,000	443,000	1,884,000
Total	36,858,000	27,189,000	95,011,000	6,728,000	101,739,000	13,723,000	2,585,000	446,000	3,031,000

*The area where the aggregate-bearing section is confirmed by drilling.

**70% of the Aggregate Area considering site condition for aggregate development.

Table 4. Results of estimating the river aggregate reserves of the Han River in Goyang City

River	Survey Area (m ²)	Aggregate Area* (m ²)	Aggregate Reserves (m ³)	Available Area** (m ²)	Available Reserves (m ³)
Han River	4,634,000	4,634,000	17,606,000	4,634,000	0

*The area where the aggregate-bearing section is confirmed by drilling.

**70% of the Aggregate Area considering site condition for aggregate development as well as land aggregate development.

하천골재의 경우, 총부존량은 17,606,000m³이며, 골재 부존구간이 지표로부터 심도 4m 이내를 벗어났으므로 개발가능량은 없는 것으로 산출하였다(Table 4).

5. 토 의

고양시는 서울과 인접한 도시로 1992년 고양시 승격과 함께 대규모의 도시건설로 인해 인구 밀도가 높고 지표 이용을 또한 높은 편에 속한다. 이러한 지표이용률로 인해 도심지 지역은 골재조사구역에서 제외되어 조사에 있어 제약이 많이 따른다.

2006년부터 우리나라 각 시군을 대상으로 육상골재 시추 결과를 보면, 하천 인근이라 하더라도 충적층의 심도가 크게 변화하지 않거나 골재의 부존이 거의 없는 곳이 다수 존재하며, 강원도 삼척시, 평창군, 경상북도 고령군, 경기도 가평군, 충청북도 괴산군 등 비교적 최근에 수행한 골재자원조사에서도 확인된다(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2019a, 2019b, 2019c, 2020b, 2020c). 이는 지형 및 지질 등의 특성에 기인한 결과로 골재의 부존 특성은 각각의 시군마다 다르다고 할 수 있다.

고양시의 육상 및 하천골재 시추 결과를 보면, 충적층의 심도는 약 5~28m로 다양하게 나타나며, 북한산을 비롯한 상대적으로 높은 산지가 발달하는 북동쪽에서는 충적층의 심도가 얕으며 남서쪽의 한강으로 합류하는 지역에서 충적층의 심도가 깊어지며 골재의 부존 두께가 증

Fig. 6. Distribution maps of the drilling depth (a) and the thickness of aggregate (b) in Goyang City.

가한다(Fig. 6). 고양시의 소규모 하천들 중에서 비교적 큰 하천에 속하며 북동쪽에서 발원하여 북서쪽으로 흐르는 공릉천의 경우, 남서쪽의 한강으로 합류하는 다른 하천들과 달리 충적층의 심도가 매우 얕은 것을 알 수 있다(Fig. 6). 이는 충적층의 심도가 고양시의 18개 소규모 하천 활동보다 한강의 활동이 충적층 심도를 결정하는 것으로 판단된다. 육상골재 시추지점인 시추공 20GYL20과 한강의 하천골재 시추지점인 시추공 20GYR01은 한강 제방을 경계로 매우 인접한 두 지점의 충적층 심도가 매우 유사한 것은 시추공 20GYL20 지점은 한강의 활동과 매우 밀접한 관련이 있음을 지시한다.

이와 관련하여, 2011년도에 수행된 경기도 김포시 골재자원조사에서 한강과 인접한 시추지점들에서는 골재의 부존이 확인되는 반면, 한강과 인접하지 않으며 서해안과 인접하는 지점들에서는 골재의 부존이 거의 확인되지 않는다(Korea Water Resources Corporation, 2011). 비록 당시 시추가 기반암이 출현하지 않아도 심도 10m까지 수행되어 실제 충적층의 두께 확인은 불가능하지만, 10m 이내의 시추자료를 통해서도 한강과 인접한 시추지점들의 골재를 수반하는 전반적인 퇴적양상 및 깊은 심도의 골재 부존은 고양시와 김포시가 매우 유사한 경향을 보인다고 할 수 있다.

한강과 같이 비교적 큰 하천 주변을 제외하면 전반적으로 점토층이 상부에 두껍게 발달하며 골재로 활용되는 모래 및 자갈의 부존 심도는 깊게 나타나는 것은 최근에 수행한 서해안과 인접한 다른 지역 시군의 골재자원조사 결과와 상당히 유사한 경향을 보여준다(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2019d, 2019e). 2019년도에 수행한 전북 김제시와 고창군의 골재자원조사에서 따르면, 전반적으로 조간대 점토층이 매우 두껍게 발달하여 골재 부존량은 낮은 편이며, 이 또한 골재 부존 심도가 깊어 골재개발 가능량은 매우 낮은 편으로 나타났다(Fig. 7).

골재의 부존을 결정하는 지형 및 지질학적 요인은 상대적으로 고도 또는 지질구조에 의한 퇴적공간, 기원지의 지질분포, 퇴적환경 등이 될 수 있다(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2020a). 특히 서해안 일대는 홀로세 동안 전지구적인 해수면 상승으로 인해 조간대 환경의 점토층이 우세하게 발달하고 있어(Chang and Choi, 2001; Choi and Dalrymple, 2004; Choi and Kim, 2006; Bak, 2015; Song *et al.*, 2018), 비교적 큰 하천 주변을 제외하면 전반적으로 골재의 부존 조건에 불리한 편이다. 김제시의 경우, 고창군과 달리 비교적 큰 하천인 만경강과 동진강을 포함하고 있으나 만경강 주변

Fig. 7. Representative stratigraphic sections adjacent to the west coast in Gimje and Gochang areas. Most of the Gimje and Gochang areas are mainly composed of clay sediments except for the Dongjin River.

에서만 골재의 부존이 확인되었으며 동진강 주변에서는 골재의 부존이 상대적으로 매우 적었다(Fig. 7). 이는 서해안에 접하는 비교적 큰 하천이 존재한다고 하더라도 기원지의 지질분포 또한 중요한 요소임을 알 수 있다

(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2019d).

고양시의 일부 시추 지점에서의 탄소연대측정 결과는 최하부 자갈층을 제외한 모래층의 퇴적 시기가 전반적으

Fig. 8. Aggregates distribution in the stratigraphic sections around the Han River. Most of aggregates are below the available depth for exploitation.

로 홀로세 동안 퇴적이 진행된 것을 지시하며, 하천의 활동이 홀로세 동안 특정 시기에 집중되지 않고 홀로세 전 기간에 걸쳐 있었던 것으로 여겨진다(Fig. 3 and Fig. 5). 고양시 시추공 20GYL03 및 20GYL04에서 약 -1m 에서 +2m 고도에서 약 8,000년, 시추공 20GYL20에서 약 +2.5m 고도에서 7,300년의 연대가 산출된 것은 서해 및 남해 연안에서 약 8000년 시기의 조간대 퇴적층보다(군산: -20m ~ -13m, 보성지역: -13m, 여수지역: -8m) 약 10m 이상 높은 고도를 가지고 있어 해수면 상승에 의한 조간대 퇴적층이 아닌 육상의 습지환경으로 판단된다(Bak, 2015; Lim *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2020, Lee *et al.*, 2021a, 2021b). 따라서 고양시에서 확인되는 퇴적층의 발달 양상은 전반적으로 모래 퇴적층으로 대표되는 하천(한강) 환경에서 한강 배후의 습지 환경으로 변화한 것으로 여겨진다.

이상으로 골재분포 측면에서 정리하면, 고양시의 육상 및 하천 골재 분포는 전반적으로 충적층 심도가 깊고 점토가 우세하며 골재 부존 심도가 깊어 골재 개발가능량은 매우 낮아 관내 토목공사 해당부지에 대한 굴착으로 개발되는 정도의 소규모 개발정도만 가능하다고 볼 수 있다(Fig. 8). 또한 고양시와 유사한 퇴적발달 특성을 보이는 서해안에 접하는 지역은 서해로 유입되는 비교적 큰 하천을 제외하면 대부분 점토질이 매우 우세한 환경이 주로 발달하며, 점토층이 발달할 수 있는 환경이 아닌 하천 또는 해빈 퇴적층이 존재할 경우는 골재 부존 가능성이 비교적 크다고 할 수 있으며, 이 또한 깊은 심도로 인해 부존량은 있으나 개발 가능 측면에서는 매우 불리한 조건이라고 할 수 있다.

6. 결 론

국토교통부가 주관하여 매년 실시하는 시군단위 골재 자원조사의 일환으로 2020년도에 경기도 고양시를 대상으로 조사지역 선정하고 시추조사를 통해 골재의 분포특성을 파악하였으며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 고양시는 동쪽으로 북한산이 위치하여 상대적으로 높은 지대를 형성하고 있으며 남서부 일대는 한강을 따라 넓은 평지가 발달하는 특징을 보인다. 고양시는 국가하천인 한강과 18개의 지방하천이 발달하고 있다.
2. 시추 결과, 충적층의 심도는 남쪽으로 갈수록 깊어지는 경향을 보이며, 골재부존량은 비교적 높은 편이지만 부존 심도가 깊은 것으로 나타났다.
3. 충적층 심도의 변화 및 골재 부존량의 변화는 18개의 소규모 하천의 영향보다는 한강의 활동과 밀접한

관련이 있는 것으로 판단된다.

4. 서해안에 인접한 시군에 대한 골재분포를 비교를 통해 서해안에 접하는 지역은 서해로 유입되는 비교적 큰 하천을 주변에서 골재 부존 가능성이 크다고 할 수 있다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 과제 “2020년 골재자원조사(IP2020-012)” 및 “관내부 활성지구조특성 연구 및 단층분절모델 개발(GP2020-014)”에 의해 수행되었음

References

- Bak, Y.-S. (2015) Mid-Holocene sea-level fluctuation inferred from diatom analysis from sediments on the west coast of Korea. *Quaternary International*, v.384, p.139-144. doi: 10.1016/j.quaint.2014.08.018
- Chang, J.H. and Choi, J.Y. (2001) Tidal-Flat Sequence controlled by Holocene Sea-Level Rise in Gomso Bay, West Coast of Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.52, p.391-399. doi: 10.1006/ecss.2000.0745
- Choi, K.S. and Dalrymple, R.W. (2004) Recurring tide-dominated sedimentation in Kyonggi Bay (west coast of Korea): similarity of tidal deposits in late Pleistocene and Holocene sequences. *Marine Geology*, v.212, p.81-96. doi: 10.1016/j.margeo.2004.07.008
- Choi, K. and Kim, S.-P. (2006) Late Quaternary evolution of macrotidal Kimpo tidal flat, Kyonggi Bay, west coast of Korea. *Marine Geology*, v.232, p.17-34. doi: 10.1016/j.margeo.2006.06.007
- Chwae, U., Kim, G.B., Choi, S.J., Yum, U. and Kin, M.S. (1995) Geological Report of the Kimpo-Incheon Sheets (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 34p.
- Chwae, U., Choi, S.-J. and Kim, K.B. (1997) Explanatory text of the Geological map of Tongjin Sheet (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 63p.
- Hong, S.H., Lee, B.J. and Hwang S.K. (1982) Explanatory text of the Geological map of Seoul Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 19p.
- Kee, W.-S., Kim, S.W. Kim, H., Hong, P., Kwon, C.W., Lee, H.-J., Cho, D.-L., Koh, H.J., Song, K.-Y., Byun, U.H., Jang, Y. and Lee, B.C. (2019) Geologic Map of Korea (1:1,000,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
- Koh, H.J., Lee, B.-J. and Lee, S.R. (2004) Geological Report of the Goyang Sheet (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 63p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2019a) Aggregate Resources Investigation Report for Samcheok. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 393p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2019b) Aggregate Resources Investigation Report for Pyeongchang. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 359p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2019c)

- Aggregate Resources Investigation Report for Goryeong. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 385p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2019d) Aggregate Resources Investigation Report for Gimje. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 573p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2019e) Aggregate Resources Investigation Report for Gochang. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 595p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2020a) Planning for comprehensive management of industrial stones and natural aggregate resources. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 369p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2020b) Aggregate Resources Investigation Report for Gapyeong. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 371p.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2020c) Aggregate Resources Investigation Report for Goesan. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 403p.
- Korea Water Resources Corporation (2011) Aggregate Resources Investigation Report for Gimpo and Paju. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 304p.
- Lee, B.J., Kim, Y.B., Lee, S.R., Kim, J.C., Kang, P.C., Choi, H.I. and Jin M.S. (1999) Explanatory Note of the Seoul-Namchonjeom Sheet (1:250,000). Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 64p.
- Lee, E., Yi, S., Lim, J., Kim, Y., Jo, K.N., and Kim, G.Y. (2020) Multi-proxy records of Holocene hydroclimatic and environmental changes on the southern coast of South Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 545, 109642. doi: 10.1016/j.palaeo.2020.109642
- Lee, H., Lee, J.-Y. and Shin, S.W. (2021a) Middle Holocene coastal environmental and climate change on the southern coast of Korea. *Applied Sciences*, 11, 230. doi: 10.3390/app11010230
- Lee, H., Lee, J.-Y. and Lim, J. (2021b) Holocene hydrologic fluctuations on the southern coast of Korea and their link to ENSO activity. *Geosciences Journal*. doi:10.1007/s12303-021-0020-8.
- Lim, J., Lee, J.-Y., Kim, J.-C., Hong, S.-S. and Yang, D.-Y. (2015) Holocene environmental change at the southern coast of Korea based on organic carbon isotope ($\delta^{13}C$) and C/S ratios. *Quaternary International*, v.384, p.160-168. doi: 10.1016/j.quaint.2015.05.017
- Song B., Yi, S., Yu, S.-Y., Nahm, W.-H., Lee, J.-Y., Lim, J., Kim, J.-C., Yang, Z., Han, M., Jo, K. and Saito, Y. (2018) Holocene relative sea-level changes inferred from multiple proxies on the west coast of South Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.496, p.268-281. doi: 10.1016/j.palaeo.2018.01.044