

# 노후 주거용 건축물 비구조체 해체 시 환경유해인자 분석

손병훈\*

## A Study on the Analysis of Environmental Hazards when Dismantling Non-Structure of Old Residential Buildings

Son, Byeung-Hun\*

**Abstract:** The number of old buildings older than 30 years in Korea continues to increase from 29.9% in 2005 to 38.8% in 2020. Considering the growing urban regeneration projects, urban maintenance projects, the suppression of urban expansion, and the lack of idle land in the city, the dismantling of old buildings is expected to increase further in the future. As major accidents at building dismantling sites continue to occur, related agencies are also strengthening safety management of building dismantling works. While physical safety management such as collapse and fall is strengthened, there is a relative lack of interest in the health of workers at dismantling sites due to environmental hazards. Since relevant laws stipulate that construction waste should be separated and discharged, old buildings need to be considered for environmental hazards such as fine dust, floating bacteria, and floating molds when dismantling. In this study, we intend to find important safety management elements in the management of building dismantling sites, measure environmental factors harmful to dismantling workers, and present basic data for the management of dismantling sites in the future. "Safety management" was the highest priority, followed by "dust," "vibration," "noise," "bacteria," and "smell." The perception of the importance of "physical damage prevention" with workers working on dismantling and managers managing the site came out similar, but the perception of "work efficiency" and "health disorder prevention" through environmental hazard management showed different priorities. In the process of dismantling, floating bacteria and floating mold were collected, cultured, and measured the concentration in the indoor air. The measurement was measured by dividing it into pre-dismantling and during dismantling.

**키 워 드:** 노후건축물, 건축물해체, 환경유해인자, 총부유세균, 부유곰팡이

**Key Words:** old building, dismantling building, environmental hazard, total floating bacteria, floating fungi

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 30년 이상 된 노후건축물은 2005년 29.9%에서 2020년 38.8%로 지속적으로 증가하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021).

증가하는 도시재생사업과 도시정비사업, 도시팽창의 억제, 도시 내 유휴공지의 부족 등을 고려하였을 때 앞으로 노후건축물의 해체는 더욱 늘어날 것으로 예상된다.

2017년 1월 7일 서울 종로구 낙원동 11층 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 2017년 6월 22일 서울 강남구 역삼동 5층 건축물 해체공사 중 붕괴사고, 2019년 7월 4일 서울 서초구 잠원동 5층 건축물 해체현장의 대형사고가 발생하고 있어 관계기관에서도 건축물 해체공사에 대한 안전관리를 강화하는 추세이다(Seoul Metropolitan

Government, 2019).

붕괴, 낙상 등의 물리적인 안전관리가 강화되는 한편, 환경적 유해인자들에 의한 해체현장의 작업자들의 건강에 대한 관심은 상대적으로 부족하다.

건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 제6조 배출자 등의 의무에서 건설폐기물의 배출자는 건설공사를 하는 과정에서 발생한 건설폐기물을 제12조 건설폐기물의 분류 등 및 제13조 건설폐기물의 처리기준 등에 따라 분리하여 배출하고 재활용을 촉진하기 위하여 노력하여야 한다고 정하고 있다. 따라서 해체공사 현장에서는 일반적으로 내장재 등 비구조체는 인력으로 해체작업을 시행한 후, 남아있는 구조체는 굴삭기의 버켓을 제거하고 브레이커, 크러셔(압쇄기) 등을 장착하여 해체작업을 진행한다. 상황에 따라 다르지만 일반적으로 거주자가 이주한 후 한동안 방치되었다가 해체작업이 시작되기 때문에, 특히 노후건축물의 경우 해체작업 시 미세먼지, 부유

\* 대구공업대학교 건축과 교수.

세균, 부유곰팡이 등 환경유해인자에 대한 고려가 필요하다.

이에 본 연구에서는 건축물 해체현장 관리에서 중요한 환경유해인자를 찾아보고, 해체작업자들에게 유해한 환경요소를 실측하여, 향후 해체현장관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 환경유해인자의 개념을 정리하고, 해체작업을 직접 하는 작업자와 해체현장 관리자, 관련 전문가를 대상으로 작업자에게 유해한 환경유해인자들의 중요도를 설문조사하여 AHP분석을 통하여 중요도 가중치를 정하였다.

다음으로 우리나라의 노후건축물 가운데 78.69%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 주거용 건축물을 대상으로 건축물 해체 전·후 환경유해인자 중 부유세균과 부유곰팡이를 실측하여 분석하였다. 실내공기질 공정시험기준의 실내 공기 중 총부유세균 측정방법(ES 02701.1c), 실내 공기 중 부유곰팡이 측정방법(Es 02702.1a)의 방법(Korea Ministry of Government Legislation)에 의해 포집·분석하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 건축물 해체 과정

건설기술진흥법 제62조에 건설업자와 주택건설등록업자는 안전점검 및 안전관리조직 등 건설공사의 안전관리계획을 수립하고, 착공 전에 이를 발주자에게 제출하여 승인을 받도록 하고 있다.

일련의 건축물 해체공사 중 사고로 인하여 인명피해가 지속적으로 발생한 결과, 건축물관리법에 건축물 해체공사감리자의 지정 등을 명문화 하였으며, 해체 대상 건축물을 신고대상 건축물과 허가대상 건축물로 분류하고 관리·감독하고 있다. 신고대상 건축물은 ‘건축법’ 제2조 제1항 제7호에 따른 주요구조부의 해체를 수반하지 아니하고 건축물의 일부를 해체하는 경우, 연면적 1천 제곱미터 미만의 건축물, 건축물의 높이가 20미터 미만인 건축물, 지상층과 지하층을 포함하여 5개층 이하인 건축물, 그 밖에 대통령령으로 정하는 건축물로 하고 있으며, 그 외 모든 건축물은 허가대상 건축물이다.

일반적으로 노후 주거용 건축물의 경우 층수가 1~2층의 단독주택이 가장 많은 비율이기 때문에 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 건설폐기물을 최대한 분리배출하기 위하여 원거주인이 버리고 간 생활폐기물과 빈 집으로 방치된 동안 불법으로 투기된 생활폐기물을 우선 선별한다. 다음으로 창문과 문을 떼어내고 창틀과 문틀을 분리

한 후 내장재를 해체하며, 이 과정은 작업자들이 인력으로 작업하게 된다. 이 과정에서 노후주택의 경우 주구조가 목조, 시멘트블록조, 시멘트벽돌조가 많은데, 주요 구조부를 제외한 내장재로 사용되었던 목재나 창, 문 등의 철물, 타일, 벽지나 바닥 마감재 등을 분리한다(Jeong, 2007).

주요 구조체는 크러셔를 장착한 굴삭기로 해체하며, 이 과정에서 발생하는 비산먼지는 주변의 민원을 초래하기 때문에 이를 방지하기 위한 방진막 설치와 물을 뿌리는 등의 작업을 동반한다.

최종적으로 건축물의 해체가 끝나면 건설폐기물의 종류별로 중간처리업체나 최종처리업체로 건설폐기물을 반출하는 작업으로 건축물 해체공정은 마무리된다(Kim, 2008).

### 2.2 환경유해인자의 개요

환경유해인자란 환경성질환을 일으킬 수 있는 환경적으로 유해한 물질로 볼 수 있다. 환경보건법 제2조2항에서 환경성질환이란 역학조사 등을 통하여 환경유해인자와 상관성이 있다고 인정되는 질환으로서 환경보건위원회의 심의를 거쳐 환경부령으로 정하는 질환이다. 이 질환은 특정 지역이나 특정 인구집단에서 다발하는 수질오염물질로 인한 질환, 유해화학물질로 인한 중독증, 신경계 및 생식계 질환, 석면으로 인한 폐질환, 환경오염사고로 인한 건강장해, 실내공기질 관리법의 오염물질 및 대기환경보전법의 대기오염물질과 관련된 호흡기 및 알레르기 질환, 가습기살균제에 포함된 유해화학물질로 인한 폐질환으로서 감염질환이 아닌 것을 말한다.

실내공기질 관리법은 다중이용시설, 신축되는 공동주택 및 대중교통차량의 실내공기질을 알맞게 유지하고 관리함으로써 그 시설을 이용하는 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방함을 목적으로 한다. 이 법에 따르면 “오염물질”이라 함은 실내공간의 공기오염의 원인이 되는 가스 및 떠다니는 입자상의 물질 등으로서 환경부령으로 정하고 있다. 이 오염물질은 미세먼지(PM-10), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 포알데하이드(Formaldehyde), 총부유세균(TAB), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 라돈(Rn), 휘발성유기화합물(VOCs), 석면(Asbestos), 오존(O<sub>3</sub>), 초미세먼지(PM-2.5), 곰팡이(Mold), 벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethylbenzene), 자일렌(Xylene), 스티렌(Styrene)이다(Korea Ministry of Government Legislation).

건축물 해체공사의 특성상 해체공정이 진행됨에 따라 실내와 실외의 구분이 사라지는 특성이 있다. 하지만 건축물 해체 시 적용가능한 법규나 지침이 없기 때문에 본 연구에서는 실내공기질 관리법의 기준을 준용하였다.

### 2.3 실내 공기 총부유세균, 부유곰팡이 측정법

본 연구에서 실내 총부유세균과 부유곰팡이를 포집, 분석하는 방법으로, 환경분야 시험·검사 등에 관한 법률 제6조 규정에 의거 실내공기 오염물질을 측정함에 있어서 정확성 및 통일을 유지하기 위하여 필요한 제반사항에 대한 규정을 정한 실내 공기질공정시험기준의 실내 공기 중 총부유세균 측정방법(총돌법, ES 02701.1c), 실내 공기 중 부유곰팡이 측정방법(총돌법, Es 02702.1a)의 방법을 사용하였다.

먼저 부유세균의 경우 TSA(trypic soy agar)배지를 사용하였으며, 부유곰팡이의 경우 맥아추출물 한천배지(MEA, malt-extract agar)배지를 사용하였다.

시료채취의 절차는 해체 건축물의 거실 가운데 위치에서, 1.5m의 높이로 시료 채취기(MAS-100 Eco Microbiological Air Sampler)를 설치하고, 뚜껑과 내부를 70% 에탄올로 소독한 후 수분을 완전히 제거한다. 페트리 접시 뚜껑에 채취 정보(날짜, 장소 등)를 기록하고, 시료 채취기의 뚜껑을 제거한 후 즉시 미리 준비한 배지가 담긴 페트리 접시(agar plate)를 신속하게 올려놓고, 뚜껑을 재결합한다. 시작 버튼을 눌러 샘플링을 시작한다. 측정에 영향을 미칠 수 있는 시작시간, 샘플링시간, 시험현장, 기타조건, 관찰 결과를 기록한다. 20분후 위 절차를 다시 시작하여 추가 시료를 채취한다. 채취가 끝나면 페트리 접시의 뚜껑을 덮고 파라필름으로 밀봉한 후, 직사광선을 피해 실온으로 보관운반한다. 온도차이로 인해 물기가 생기지 않도록 주의한다.

현장에서 실험실로 가져온 페트리 접시를 뚜껑이 아래로 가게 뒤집어 배양기에 넣어 배양하였다. 세균의 경우 35±1℃에서 48시간 배양하고, 곰팡이의 경우 25±1℃에서 최소 5일동안 배양하였다. 이 경우 배양과정에서 진동에 의한 포자확산으로 인한 2차 집락이 형성되지 않도록 주의하여야 한다.

이후 배양을 거친 시료의 집락수를 센 후 평균 집락수를 구하여 측정 대상 실내공간의 총부유세균, 부유곰팡이 농도로 한다.

시료채취 유량은 시료채취 기간의 평균유량으로 한다. 채취한 공기의 총부피(m<sup>3</sup>)를 계산하고, 채취한 공기를 25℃, 1기압 조건으로 보정하여 환산하여, 실내공기 중 총부유세균과 부유곰팡이의 농도를 계산하였다.

## 3. 해체작업 환경유해인자 중요도 분석

### 3.1 AHP분석의 개요

해체작업의 물리적·환경적 안전관리 요소의 중요

도 우선순위를 결정하기 위하여 AHP분석을 활용하였다. AHP(Analytic Hierarchy Process)란 복잡한 의사결정 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부요인들로 분해하고, 그 요인들에 대한 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 요인에 대한 상대적 중요도를 도출하는 방법이다(Saaty, 1987). AHP는 요인별로 쌍대비교를 함으로써 각 요인들이 전체에서 차지하는 상대적 중요도인 가중치를 도출할 수 있고 전문가를 대상으로 조사 및 분석을 함으로써 적은 양의 표본으로도 신뢰성과 전문성이 있는 결과가 도출될 수 있다는 점이 장점이다. 의사결정의 기준이 다양한 경우 주관적인 의사를 일관성있고 효과적으로 종합할 수 있는 좋은 도구가 AHP이다(Na, 2005).

### 3.2 해체작업 안전부분 중요도분석 개요

설문조사 응답자는 해체현장 작업자 19명, 해체현장 관리자 8명, 관련 전문가 9명이었으며, 총 36명 가운데 남성이 33명, 여성이 3명이었다. 작업자의 평균 나이는 54.3세, 관리자의 평균 나이는 51.9세, 전문가의 평균 나이는 43.3세로 나타났다.

작업자의 평균 경력은 13.8년, 관리자의 평균 경력은 22.0년, 전문가의 평균 경력은 14.1년으로 나타났다.



Figure 44. 조사 집단별 안전부분 중요도 인식분석

먼저 해체현장 작업자의 안전을 큰 분류로 물리적 피해예방, 환경적 건강장애예방, 작업효율감소예방으로 구분하였다. 각각의 중요도를 조사한 결과, 작업자, 관리자, 전문가 모두 물리적 피해예방을 가장 중요하다고 응답했다. 다음 중요한 부분에서 작업자의 경우 환경유해요소 관리를 통한 건강장애예방이 물리적 피해예방과 동일하게 중요하다고 응답했으나, 관리자의 경우 작업효율감소예방과 동일한 중요도를 갖는 것으로 응답했다. 상대적으로 현장관리자의 경우 작업효율의 감소예방을 중요하게 생각하는 것으로 보인다. 전문가의 경우 해체현장 안전관리를 통한 물리적 피해예방이 가장 중요하다고 응답했으며, 다음으로 건강장애예방,

마지막으로 작업효율감소예방의 순으로 나타났다. 현장에서 직접 일을 하는 작업자의 응답에서 물리적 피해예방과 환경적 건강장애예방이 거의 동일하게 중요한 것으로 나타났으며, 전문가의 의견에서도 환경적 건강장애예방이 두 번째로 중요한 것으로 나타났다. 따라서 해체현장에서의 환경유해인자 관리의 필요성이 있다고 판단되었다.

**3.3 환경유해인자 중요도분석 결과**

해체현장 작업자의 안전을 위한 관리요소의 AHP분석 결과, 전체적으로 ‘분진’의 관리를 가장 중요하게 생각하였으며(0.426), 다음 요소로는 ‘진동’이 0.215로 높았으며, ‘소음’이 0.159, ‘악취’가 0.103, ‘세균’이 0.097로 나타났다.

Table 17. 중요도 분석결과

구분	가중치			
	전체	작업자	관리자	전문가
분진	0.426	0.601	0.427	0.444
소음	0.159	0.111	0.159	0.161
진동	0.215	0.111	0.215	0.166
악취	0.103	0.083	0.103	0.086
세균	0.097	0.094	0.097	0.142

AHP분석의 일관성비율(consistency ratio:CR)은 전체 0.0339, 작업자 0.0080, 전문가 0.0214, 관리자 0.0344로 나타나 0.1이하로 논리적 일관성이 있는 것으로 나타났다.

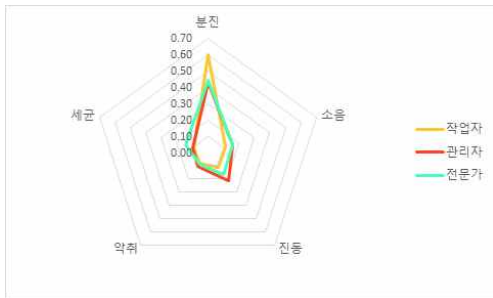


Figure 45. 조사 집단별 유해인자 관리요소 가중치

**4. 노후해체건축물 환경유해인자 발생분석**

**4.1 현장측정 대상건축물의 개요**

노후해체 건축물에서 발생하는 환경유해인자를 분석하기 위하여, 대구광역시 북구의 주거용 건축

물을 해체 전과 해체 작업 중으로 구분하여 포집하여 분석하였다.

현장조사 대상 건축물은 1974년 건축되어 40년 이상 사용한 주거용 1층 건축물이었으며, 주 구조는 시멘트블록구조, 지붕은 기와였다. 건축면적은 63.2m<sup>2</sup>, 건축물대장 상 지붕형태는 슬레이트로 표기되어있으나, 실제 건축물의 지붕은 기와였으며, 그 외의 특별한 사항은 없었다.



Figure 46. 현장측정 대상건축물의 위치

조사대상 건축물이 위치는 자연 발생된 촌락의 형태를 띠고 있었으며, 주민들의 말에 따르면 마을 청년들이 모여서 건축 공사를 완료했다고 하였다. 해당 건축물은 해체결정이 되고, 약 10개월간 사용하지 않고 비워져 있었다고 하였다.



Figure 47. 현장측정 대상건축물 전경(해체 전)

해체현장의 온도는 19.5℃ 상대습도는 64.9%, 기압은 1014.4hPa로 측정되었다.



Figure 48. 대상건축물 해체작업(창틀 제거)

해체작업을 시작하기 전, 해체작업 진행 중, 각각 시료채취절차에 따라 TSA, MEA배지를 이용해 시료를 채취했으며, 이후 연구실에서 배양 후 CFU(Colony-forming unit, 집락형성단위)를 계산하였으며, 전문분석기관의 rRNA 분석을 통해 정확한 미생물의 종류를 알아보았다.



Figure 49. 현장 시료채취 모습



Figure 50. 현장측정 대상건축물 해체 후 전경

#### 4.2 총부유세균 관점의 실내공기질 분석

현장에서 채취한 시료는 실내공기질 공정시험기준에 따라 배양하였으며, 배양 후 생성된 집락을 계수하였다. 계수결과 CFU의 수는 표 2.와 같다.

Table 18. 측정결과 총부유세균 CFU 개수

구분	시료 CFU 개수		
	해체 전	해체 중	외기
총부유세균	220	75	69
구분	집락계수 환산 적용 CFU 개수		
	해체 전	해체 중	외기
총부유세균	334	82	83

분석결과 총부유세균은 해체작업을 시작하기 전 1,670CFU/m<sup>3</sup>에서 해체작업을 진행하면서 410CFU/m<sup>3</sup>으로, 실외 농도 415CFU/m<sup>3</sup>와 거의 같아졌다.



Figure 51. 배양 전 시료의 모습

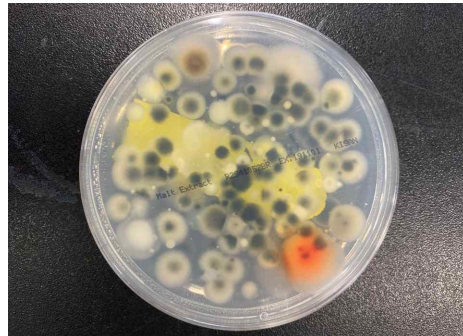


Figure 52. 배양 후 시료의 모습

실내공기질 관리법의 총부유세균의 실내공기질 유지기준은 800 CFU/m<sup>3</sup>이하이며, 측정결과 해체 전 1,670 CFU/m<sup>3</sup>으로 기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 해체 작업을 진행하면서 410 CFU/m<sup>3</sup>로 기준치 아래로 내려갔다.

미생물동정을 통하여 확인된 세균의 목록은 다음과 같다.

Table 19. 해체 전 세균 목록

순번	종류
1	<i>Brevibacterium epidermidis</i>
2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
3	<i>Bacillus halotolerans</i>
4	<i>Bacillus nakamurai</i>
5	<i>Bacillus velezensis</i>
6	<i>Brachybacterium conglomeratum</i>
7	<i>Brachybacterium paraconglomeratum</i>
8	<i>Brachybacterium saurashtrense</i>
9	<i>Brevibacterium iodinum</i>
10	<i>Brevibacterium permense</i>
11	<i>Brevibacterium sediminis</i>
12	<i>Kocuria halotolerans</i>
13	<i>Kocuria koreensis</i>
14	<i>Kocuria uropygialis</i>
15	<i>Kocuria uropygioeca</i>
16	<i>Microbacterium aerolatum</i>
17	<i>Microbacterium ginsengiterrae</i>

18	<i>Microbacterium panaciterrae</i>
19	<i>Microbacterium paraoxydans</i>
20	<i>Microbacterium tumbae</i>
21	<i>Pseudoglutamicibacter cumminsii</i>
22	<i>Rhodococcus hoagii</i>
23	<i>Rhodococcus soli</i>
24	<i>Staphylococcus cohnii</i>
25	<i>Staphylococcus lentus</i>
26	<i>Staphylococcus nepalensis</i>
27	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>
28	<i>Staphylococcus sciuri</i>
29	<i>Staphylococcus stepanovicii</i>
30	<i>Staphylococcus vitulinus</i>

22	<i>Microbacterium tumbae</i>
23	<i>Micrococcus alcoverae</i>
24	<i>Micrococcus endophyticus</i>
25	<i>Micrococcus luteus</i>
26	<i>Micrococcus yunnanensis</i>
27	<i>Noviherbaspirillum aurantiacum</i>
28	<i>Noviherbaspirillum soli</i>
29	<i>Noviherbaspirillum suwonense</i>
30	<i>Pseudomonas cremoricolorata</i> DSM 17059 = NBRC 16634
31	<i>Pseudomonas fulva</i>
32	<i>Pseudomonas helmanticensis</i>
33	<i>Pseudomonas parafulva</i> NBRC 16636 = DSM 17004
34	<i>Pseudomonas sibirica</i>
35	<i>Pseudomonas wadsworthii</i>
36	<i>Rhodococcus corynebacterioides</i>
37	<i>Rhodococcus kroppenstedtii</i>
38	<i>Roseomonas gilardii</i>
39	<i>Roseomonas mucosa</i>
40	<i>Salmonella enterica</i>

해체 전 총 30종류의 세균이 확인되었으며, 해체 작업 중, 총 40종류의 세균이 확인되었다. 브레비박테리움(*Brevibacterium*)은 그람 양성, 산소성, 코리네형(*coryneform*)의 세균 속이며, 토양, 물, 우유가 공제품, 분해 물질 등에서 발견된다. 간균(*bacillus*)은 막대모양 또는 원통모양의 세균이다. 가늘고 긴 것, 짧은 것 등 여러 가지 형상이지만, 크기와 형태는 중에 따라 거의 일정하다. 브래치박테리움(*Brachy bacterium*)은 그람 양성, 비운동성 박테리아 속이다. 코쿠리아(*Kocuria*)종은 그람 양성으로, 인간의 피부와 구강에서 서식, 일반적으로 비병원성이지만 일부 감염에서 발견되는 세균이다. 마이크로박테리움(*Microbacterium*)의 그람 양성, 산소성의 긴 막대 모양의 세균이다. *Pseudoglutamicibacter cumminsii*는 그람양성균의 한 종이다. 포도상구균(*Staphylococcus*)은 그람양성균의 한 속으로 토양미생물로 대부분 무해하다. 인간이나 여러 생물의 점막에서 찾을 수 있다.

Table 20. 해체 중 세균 목록

순번	종류
1	<i>Acinetobacter indicus</i> CIP 110367
2	<i>Acinetobacter radioresistens</i>
3	<i>Atlantibacter hermannii</i>
4	<i>Gordonia hongkongensis</i>
5	<i>Gordonia terrae</i>
6	<i>Kosakonia cowanii</i> JCM 10956 = DSM 18146
7	<i>Leifsonia lichenia</i>
8	<i>Leifsonia naganoensis</i>
9	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
10	<i>Leifsonia xyli</i>
11	<i>Microbacterium arabinogalactanolyticum</i>
12	<i>Microbacterium diaminobutyricum</i>
13	<i>Microbacterium esteraromaticum</i>
14	<i>Microbacterium flavum</i>
15	<i>Microbacterium foliorum</i>
16	<i>Microbacterium hydrocarbonoxydans</i>
17	<i>Microbacterium oleivorans</i>
18	<i>Microbacterium paraoxydans</i>
19	<i>Microbacterium phyllosphaerae</i>
20	<i>Microbacterium schleiferi</i>
21	<i>Microbacterium suwonense</i>

건축물 해체 작업 중 포집에 의해 발견된 세균에는 아시네토박터(*Acinetobacter*), 아틀란티박터 헤르마니(*Atlantibacter hermannii*), 고르도니아(*Gordonia*), 코스아코니아 코와니(*Kosakonia cowanii*), 마이크로코쿠스(*Micrococcus*), 슈드모나스(*Pseudomonas*), 로도코쿠스(*Rhodococcus*), 로즈오모나스(*Roseomonas*), 살모넬라균(*Salmonella*) 등으로 나타났다.

코스아코니아 코와니는 그람 음성, 운동성 및 통성 혐기성 박테리아, 장내 박테리아이며, 마이크로코쿠스는 그람 양성 구균으로 토양이나 수중에 존재하며, 사람이나 동물의 피부에서도 발견되며, 병원성은 없다.

슈드모나스는 그람 음성의 무아포 호기성 간균이고 운동성을 지닌다. 자연계 물, 토양 등 모든 환경에 극히 널리 분포하고 있다.

로도코쿠스는 그람 양성, 절대 산소성의 공 모양의 세균, 토양이나 물에서 자란다.

로즈오모나스속은 그람 음성 세균으로, 일부 종들은 인간에게 기회감염을 일으키는 것으로 알려져 있다. 로즈오모나스 길라르디는 그람 음성, 유산소, 코코바실리 모양의 분홍색 세균의 일종으로, 사람에게 병원성이며, 균혈증과 다른 감염을 유발한다.

살모넬라는 장내세균과 살모넬라속에 속하는 프로테오박테리아의 일종의 막대모양의 세균으로 직경 약 0.7~1.5 $\mu$ m, 길이 약 2~5 $\mu$ m의 크기로 주로 사람이나 동물의 소화관에 서식한다. 살모넬라종은 몇 안되는 세포내 기생세균으로 다양한 종류의 세포를 감염시킨다.

미생물동정을 통하여 확인된 곰팡이의 목록은 다음과 같다. 해체 전 총 29종류의 곰팡이가 확인되었으며, 해체 중 포집한 샘플에서는 총 23종류의 곰팡이가 확인되었다.

### 4.3 부유곰팡이 관점의 실내공기질 분석

현장에서 채취한 시료는 실내공기질 공정시험 기준에 따라 배양하였으며, 배양 후 생성된 집락을 계수하였다. 계수결과 CFU의 수는 표 5.와 같다.

Table 21. 측정결과 부유곰팡이 CFU 개수

구분	시료 CFU 개수		
	해체 전	해체 중	외기
부유곰팡이	50	7	6
구분	집락계수 환산 적용 CFU 개수		
	해체 전	해체 중	외기
부유곰팡이	54	7	6

부유곰팡이의 경우에도 해체 전 270CFU/m<sup>3</sup>에서 해체작업을 진행하면서 35CFU/m<sup>3</sup>로 외기 30CFU/m<sup>3</sup>과 거의 같아졌다.

부유곰팡이의 실내공기질 권고기준은 500CFU/m<sup>3</sup> 이하이며, 측정결과 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 외기와 비교하여 해체 전 총부유세균의 경우 약 4.1배, 부유곰팡이의 경우 약 7.7배로 나타나는 점은 주목해야하며, 해체 작업을 시작하기 전, 충분한 환기를 통해 실내 총부유세균이나 부유곰팡이 등의 농도를 줄일 필요가 있다.

Table 22. 해체 전 곰팡이 목록

순번	종류
1	Acremonium persicinum
2	Alternaria alternata
3	Alternaria solani
4	Alternaria sp.
5	Aspergillus awamori
6	Aspergillus niger
7	Aspergillus ochraceus
8	Aspergillus sydowii
9	Aspergillus versicolor
10	Aspergillus westerdijkiae
11	Byssochlamys spectabilis
12	Cladosporium anthropophilum
13	Cladosporium asperulatum
14	Cladosporium cladosporioides
15	Cladosporium sp.
16	Cladosporium tenuissimum
17	Colletotrichum boninense
18	Fungal sp
19	Paecilomyces sp. JCM 12545
20	Paecilomyces sp. JCM 28097
21	Penicillium daejeonium
22	Penicillium qii
23	Penicillium sp.
24	Penicillium steckii
25	Talaromyces radicus
26	Talaromyces variabilis
27	Talaromyces wortmannii
28	Uncultured Ascomycota clone 1513n12
29	Uncultured fungus clone

해체 전 확인된 곰팡이 종류로는 아크레모늄(Acremonium), 아스페르길루스(Aspergillus), 알테리리아(Alternaria), 비소클라미스(Byssochlamys), 클라도스포륨(Cladosporium), 콜레토티리쿰(Colletotrichum), 파에실로미세스(Paecilomyces), 푸른곰팡이(Penicillium), 탈라로미세스(Talaromyces) 등 이었다.

아스페르길루스는 자연계에 널리 분포되어있으며, 사람의 폐, 비동, 부비동, 각막, 외이도를 침범하는 아스페르길루스증을 일으킨다. 아크레모늄은 불완전 균류에 모니리아과에 속하며, 감염증이 안과영역에서 보고된다. 알테리리아는 자낭균문에 속하는 진균 속으로 주로 식물에 해를 입히는 병원성 진균이다. 공기 중에 전파되는 특성으로 인해, 인체에 과민반응을 일으키는 알러젠으로 작용하며, 천식과 같은 호흡기 질환을 일으키기도 하며, 진균성 각막염, 피부감염, 골수염 등의 인체감염과 관계 있는 것으로 알려지고 있다. 비소클라미스는 유로티아목의 진균속으로 토양에서 발견된다. 클라도스포륨은 흑색분야균증을 일으키는 흑색진균의 한 속으로, 클라도스포륨 종의 공중에 떠다니는 포자는 상당한 알레르겐으로, 다량 천식증이나 호흡기 질환자에게 심각한 영향을 미칠 수 있다. 클라도스포륨 종은 주요 미코톡신을 생산하지는 않지만 악취와 관련된 휘발성 유기 화합물(VOCs)을 생산한다. 콜레토티리쿰은 펠라고라과의 곰팡이 속으로 식물의 병원체이다. 파에실로미세스는 완전국균강의 진균 속으로 토양, 식품, 과일주스 등에서 발견된다. 푸른곰팡이는 일반적으로 흔히 볼 수 있는 종류이다. 탈라로미세스는 완전국균강의 곰팡이 속으로 토양에 서식한다.

Table 23. 해체 중 곰팡이 목록

순번	종류
1	Acremonium persicinum
2	Acremonium sp.
3	Aspergillus niger
4	Aspergillus sydowii
5	Aspergillus versicolor
6	Byssochlamys spectabilis
7	Cladosporium angustisporum
8	Cladosporium asperulatum
9	Cladosporium cladosporioides
10	Cladosporium halotolerans
11	Cladosporium sp.
12	Cladosporium tenuissimum
13	Fungal sp.
14	Lecanicillium aphanocladii
15	Lecanicillium sp.
16	Paecilomyces sp.

17	Penicillium chrysogenum
18	Penicillium commune
19	Penicillium sp.
20	Trichoderma longibrachiatum
21	Trichoderma sp.
22	Uncultured Ascomycota
23	Uncultured fungus

해체 중 포집한 샘플에서 확인된 곰팡이 종류로는 아크레모늄(Acremonium), 아스페르길루스(Aspergillus), 비스코클라미스(Byssochlamys), 클라도스포름(Cladosporium), 레카니실룸(Lecanicillium), 파에실로미세스(Paecilomyces), 푸른곰팡이(Penicillium), 트리코데르마(Trichoderma) 등이었다.

레카니실룸은 동충하초목에 속하는 균류의 일종이다. 트리코데르마는 토양, 낙엽, 그루터기, 썩은 나무에 나는 곰팡이 속으로 생태계에서는 유기물의 분해에 중요한 역할을 한다.

발견된 대부분의 세균이나 곰팡이는 일상생활에서 발견되는 것들이지만, 일부 알레르기(allergy)를 일으키는 알러젠(allergen)인 것으로 알려진 물질과 기회감염(opportunistic infection)을 일으키는 미생물인 것으로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서는 지속적으로 늘어날 것으로 예상되는 노후건축물의 해체과정에서 첫번째로 물리적 안전과 더불어 작업자의 건강에 영향을 주는 환경적 유해인자에 대한 설문조사를 해체작업자, 현장관리자, 관계전문가를 대상으로 실시하고, AHP분석을 통하여 중요도를 도출하였다.

‘분진’이 가장 높은 우선순위로 나타났으며, 다음으로 ‘진동’, ‘소음’, ‘악취’, ‘세균’으로 나타났다. 직접 해체작업을 하는 작업자와 현장을 관리하는 관리자와의 ‘물리적 피해예방’에 대한 중요성 인식은 비슷하게 나왔지만, ‘작업효율’과 환경유해요소 관리를 통한 ‘건강장애 예방’에 대한 인식은 우선순위가 다르게 나타났다.

두번째로 실제 해체가 진행되는 과정에서 부유세균과 부유곰팡이를 포집하여, 배양한 후 실내공기 중 농도를 측정하였다.

측정은 해체 작업 시작 전과 해체 작업을 진행하는 중으로 나누어 측정하였으며, 분석결과 총부유세균은 해체작업을 시작하기 전 1,670CFU/m<sup>3</sup>에서 해체 작업을 진행하면서 410CFU/m<sup>3</sup>으로, 실외농도 415CFU/m<sup>3</sup>와 거의 같아졌다. 부유곰팡이의 경우에도 해체 전 270CFU/m<sup>3</sup>에서 해체작업을 진행하면서 35CFU/m<sup>3</sup>로 외기 30CFU/m<sup>3</sup>과 거의 같

아졌다.

실내공기질 관리법의 총부유세균의 실내공기질 유지기준은 800CFU/m<sup>3</sup>이하이며, 측정결과 해체 전 1,670CFU/m<sup>3</sup>으로 기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 해체 작업을 진행하면서 410CFU/m<sup>3</sup>로 기준치 아래로 내려갔다. 부유곰팡이의 실내공기질 권고기준은 500CFU/m<sup>3</sup>이하이며, 측정결과 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 외기와 비교하여 해체 전 총부유세균의 경우 약 4.1배, 부유곰팡이의 경우 약 7.7배로 나타나는 점은 주목해야 하며, 해체 작업을 시작하기 전, 충분한 환기를 통해 실내 총부유세균이나 부유곰팡이 등의 농도를 줄일 필요가 있다.

본 연구는 건축물의 전생애과정에서 마지막 단계인 건축물 해체과정에서 상대적으로 관리자나 관계당국이 소홀했던 환경적 안전관리에 대해 연구분석하였으며, 해체작업자들의 건강을 위하여 관련 작업매뉴얼 등이 신속히 작성되어야 할 것으로 판단되었다. 건축물 비구조체 해체작업 공정단계에 따라 비산먼지의 발생량, 총부유세균과 부유곰팡이의 농도 등에 대해서 인과관계를 밝히기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부입니다.(NRF-2018R1D1A1B07048321)

### REFERENCES

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2020), “Total 7,243,472 buildings nationwide.”, Press release, <http://www.molit.go.kr> (2020.02.28.)

Seoul Metropolitan Government, (2019), “Building Dismantling construction safety management Manual”

Korea Ministry of Government Legislation, “Environmental testing-inspection Act.”

Jeong, Eung-Hyeock, (2007), “A Comparison Study of Construction Waste Units on Residential Buildings Before and After Dismantling”, Journal of AIK, Vol. 23, No. 10, pp.167-176.

Kim, Kang-Min, (2008), “A Study on the Recycling of the Construction Wastes through the Units of Apartment Housing in the Habitation Redevelopment District”, Journal of AIK, Vol. 24, No. 10, pp.39-46.

Saaty, R. W. (1987), “The Analytic Hierarchy



Process-What It Is and How It Used,”  
Mathematical Modelling, Vol. 9, No. 3,  
pp.161-176.

논문투고일 2021년 06월 06일

논문심사일 2021년 06월 20일

논문게재일 2021년 06월 30일