

단기간 금속분진 노출에 의해 발생한 간질성 폐질환 업무관련성 평가

김부욱^{1,2} · 서동환^{3,4} · 김현주^{3*}

¹대한산업보건협회 보건안전연구원, ²서울대학교 보건환경연구소,
³이대목동병원 직업환경의학과, ⁴서울대학교 보건대학원 환경보건학과

A Case Study on Work-Related Evaluation of Interstitial Lung Disease Caused by Short-Term Exposure to Metal Dust

Boowook Kim^{1,2} · Dongwhan Suh^{3,4} · Hyunjoo Kim^{3*}

¹Health and Safety Research Institute, Korean Industrial Health Association (KIHA)

²Institute of Health and Environment, Seoul National University

³Department of Occupational and Environmental Medicine, Ewha Womans University Mokdong Hospital

⁴Department of Environmental Health Sciences, Seoul National University

ABSTRACT

Objectives: This study evaluates the work-relatedness of a case of interstitial lung disease in a foreign worker employed at an agricultural machinery manufacturing plant in Gyeonggi-do, Korea. The worker developed persistent cough and dyspnea, leading to a diagnosis of unspecified interstitial lung disease.

Methods: Occupational exposure was assessed through industrial hygiene evaluation and lung tissue analysis using electron microscopy. Workplace materials, including abrasives and shot balls, were analyzed by X-ray diffraction. Medical records, workplace monitoring, and literature review were conducted following NIOSH guidelines.

Results: The worker was exposed to iron oxide dust, ultrafine metal fumes, and silica-containing paint dust. Additionally, high-concentration dust cleaning tasks increased exposure. Lung biopsy revealed alveolar macrophage accumulation and mild interstitial fibrosis, confirming occupational dust exposure.

Conclusions: Despite a relatively short employment period, the temporal relationship between work exposure and disease onset supports a work-related association. This case highlights the importance of improved dust control measures, respiratory protection, and continuous monitoring to prevent occupational lung diseases.

Key words: exposure assessment, Interstitial lung disease, work-related evaluation, worker

I. 조사개요

1. 업무관련성 평가 배경

경기도에 소재한 A공업에서 농기계를 제조하는 업무를 수행하던 외국인 노동자 A씨는 작업 중 기침이 발생하였으며, 증상이 점차 악화되었다. 이후 2021년 11월

말 호흡곤란이 심화되어 사업장 인근 병원을 내원하였으며, 흉부 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT) 검사에서 '간질성 폐울혈 의심, 간질성 폐렴 의심' 소견이 확인되었다. 또한, 폐기능 검사에서 '중등도 제한성 폐질환' 소견을 받아 상급 병원 진료를 권고 받았고, 12월 6일 서울의 한 대학병원을 방문하여 정밀 검

*Corresponding author: Hyunjoo Kim, Tel: 02-2650-5388, E-mail: hkim.ewhaoem@gmail.com
Department of Occupational and Environmental Medicine, Ewha Womans University Mokdong Hospital, 1071 Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu, Seoul 07985

Received: January 15, 2025, Revised: February 20, 2025, Accepted: March 10, 2025

 Boowook Kim <https://orcid.org/0000-0001-6869-2320>

 Dongwhan Suh <https://orcid.org/0000-0001-6327-5480>

 Hyunjoo Kim <https://orcid.org/0000-0002-9806-981X>

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 the original work is properly cited.

사를 시행하였다. 해당 병원에서 시행한 흉부 CT 및 흉강경하 폐생검 결과 '상세불명의 간질성 폐질환' 진단을 받아 치료 및 추적 관찰을 진행하였다.

A씨는 자신의 질환이 사업장에서 노출된 먼지와 관련이 있을 것으로 판단하여 서울의 한 대학병원 직업환경의학과에 업무 관련성 평가를 의뢰하였다. 이에 따라 의료진은 환자가 제출한 의무기록지, 특수건강진단 결과서, 사업장의 작업환경측정 결과서를 검토하였으며, 추가로 A씨에 대한 면담 조사, 문헌 고찰 및 산업위생학적 작업환경 평가를 실시하여 질환의 업무 관련성을 평가하였다.

2. 근무력 및 작업환경

A씨는 2011년 4월 20일 한국에 입국하여 2016년 2월 3일 출국할 때까지 총 4개의 공장에서 약 4년간 근무하였으며, 2018년 6월 6일 재입국한 후에도 4개의 공장에서 근무하였다. 2021년 2월부터는 마지막 사업장인 A공업의 쇼트 공정에서 주로 근무하였으며, 오전 8시 30분부터 오후 8시까지, 늦게는 오후 10시까지 하루 10시간 이상 근무하였다. 해당 공장의 1층은 작업장으로 사용되었으며, 2층에는 사무실과 기숙사가 위치하였고, A씨는 기숙사에서 거주하였다.

A공업은 각종 농기계를 생산하는 회사로, 제품 설계 → 레이저 가공 → 로봇 용접 → 쇼트 및 도장 → 제품 조립 → 포장 및 출고의 과정을 거쳐 제품을 생산하였다. A씨는 주로 쇼트 공정에서 금속 제품의 표면을 그라인더로 연마하는 작업을 수행하였으며, 이 외에도 쇼트 공정과 인접한 세척 공정에서 실린더를 닦거나 사포질하는 작업을 하였다. 세척 공정의 양측에는 액체 도장 공정과 분체 도장 공정이 위치하고 있었다.

쇼트 공정의 작업은 크게 네 가지로 구분되었다. 첫째, 실린더 표면의 기름을 신너(thinner)를 이용하여 닦아낸 후 사포로 문지르는 작업, 둘째, 금속 부품에 부착된 금속 분진 및 녹을 제거하는 쇼트(shot) 작업, 셋째, 금속 제품의 이물질을 제거하는 그라인딩 작업, 넷째, 주 1~2회 밀폐된 공간에서 신너 스프레이를 이용한 세척 작업이 포함되었다.

당시 회사에서는 먼 마스크를 제공하였으나, 방진 및 방독 마스크의 지급은 미비하였다고 진술되었다. 또한, A씨는 일주일에 약 2회 집진기 분진을 청소하는 작업을 수행하였다. 집진기 분진 청소 작업은 집진기 끝단

인 호퍼(hopper)에서 바닥으로 배출되어 쌓인 분진을 삽으로 퍼서 옮겨 담고, 비질 등을 통해 청소하는 방식으로 진행되었다. 1회 작업에는 약 40분이 소요되었으며, 작업 중 분진의 비산이 심하여 노출 수준이 높았던 것으로 진술하였다.

3. 작업환경측정결과보고서 검토

쇼트 공정에 대한 작업환경측정은 2021년 상반기에 한 실시되었으며, 측정 결과 산화철(Fe) 농도는 각각 0.0048 mg/m³ 및 0.0034 mg/m³로 확인되었으며, 이는 노출 기준에 비해 매우 낮은 수준이었다. 그러나 작업환경측정이 이루어진 당일, 주요 업무가 포함되었는지 또는 어떤 업무에 종사하였는지는 확인되지 않았다. 한편, 집진기 분진 청소 작업에 대해서는 작업환경측정이 실시된 적이 없었다.

2021년 상반기 및 하반기에 수행된 인근 공정의 작업환경측정 결과 보고서에 따르면, 용접흄 및 분진, 산화철 분진 및 흄, 망간 및 그 무기화합물, 이산화티타늄, 기타 광물성 분진, 6가 크롬 화합물, 바륨, 납 및 그 무기화합물, 알루미늄 등에 대한 작업환경측정이 이루어졌다. 이 중 이산화티타늄과 6가 크롬을 제외한 모든 물질이 검출되었으며, 검출된 물질의 농도는 노출 기준에 비해 낮은 수준이었다. 그러나 분체도장 공정에서 측정된 광물성 분진의 농도는 1 mg/m³ 이상으로 확인되었다.

II. 조사방법

1. 의학적 검사 및 업무관련성 평가

A씨의 주요 의학적 검사 결과를 정리하여 기술하였으며, 업무 관련성 평가는 미국산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 제시한 지침(NIOSH, 1979)과 관련 문헌고찰을 근거로 실시하였다.

2. 사업장 물질시료 및 폐조직 분석

A씨가 그라인딩 작업 시 사용하였던 그라인더의 연마재(연마석), 쇼트볼 및 집진기 분진의 성분을 X선 회절분석법(X-ray diffraction, XRD)을 이용하여 분석하였다. A씨는 평소 2~3종류의 연마재를 사용하였으나, 현재 확보 가능한 1종에 대해 분석을 실시하였다.

연마재는 종이 위에 연마석 분말이 접착제를 이용하여 도포된 형태의 제품이었다. 연마재의 분석은 별도의 전처리 없이 소량을 절단한 후, X선 회절각(2θ)의 오차가 발생하지 않도록 샘플 홀더에 마운팅한 후 진행하였다.

또한, 조직검사에 활용된 A씨의 파라핀 포매(paraffin embedding)된 비염색 폐 조직 슬라이드를 전자현미경 분석을 위해 백금 코팅한 후, 전계방출 주사전자현미경(field emission scanning electron microscopy, FE-SEM)을 이용하여 약 30,000배의 배율에서 관찰하였다. 이를 통해 입자상 물질의 크기 및 형태를 분석하였으며, 에너지분산 X선 분광분석(energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)을 활용하여 해당 입자상 물질의 화학적 성분을 분석하였다.

III. 조사결과

1. 의학적 검사 결과

A씨는 동남아시아 출신의 이주 노동자로, 모국에서는 대기오염과 관련하여 기침을 경험한 적이 있으나, 한국 입국 이후 먼지가 거의 없는 환경에서 생활하면서 기침을 포함한 호흡기 증상을 호소한 적이 없었다. 과거 천식, 폐결핵 등의 호흡기 질환을 진단받거나 치료 받은 이력은 없었으며, 간질성 폐질환을 포함한 호흡기

질환의 가족력 또한 확인되지 않았다. 의무기록상 10갑년의 흡연력이 확인되었으며, 2014년에 진단받은 건선을 제외하고 과거에 진단받은 질환은 없었다.

2021년 2월 23일 실시한 배치 전 건강검진에서 흉부 X선 촬영 및 폐기능검사 결과 정상 소견이 확인되었다. 그러나 현 사업장에서 근무를 시작한 이후 기침이 평소보다 잦아졌으며, 2021년 9월 7일에 실시한 특수건강진단 결과 흉부 X선 촬영에서는 정상 소견이었으나, 폐기능검사에서 ‘제한성 환기장애’ 소견을 보여 ‘비직업성 호흡기 질환 주의(C2)’ 판정을 받았다. 이후 2021년 11월 30일 호흡기 증상이 악화되어 인근 2차 병원을 방문하였으며, 흉부 CT 검사에서 ‘간질성 폐울혈 의심, 간질성 폐렴 의심’ 소견이 확인되었고, 폐기능검사에서는 ‘중등도 제한성 폐질환’ 소견이 관찰되었다.

2021년 12월 6일 3차 병원을 내원하여 시행한 흉부 CT 검사 결과는 “양 폐첨부를 대칭적으로 침범한 다발성 간유리음영(multifocal GGOs), 다발성 폐기종 가스(multiple emphysema gas in apical areas symmetrically involving both lungs), 박리성 간질성 폐렴 가능성(Probable DIP)”으로 판독되었다. 기관지 폐포 세척 후 Prussian blue 염색 검사에서 철(iron) 함유 세포가 확인되었으며, 2021년 12월 9일 시행한 흉강경하 폐생검 결과, “분진과 흡연에 의한 것

Table 1. Worker A's pulmonary function test results

Date	Secondary hospital test results (KNUDSON prediction equation)			Tertiary hospital test results (ECSC prediction equation)						
	21.2.23	21.9.7	21.12.8	22.1.4	22.2.7	22.3.28	22.5.23	22.7.25	22.9.26	22.11.21
FVC(L)	3.39	2.58	3.11	3.35	3.24	3.62	3.03	3.43	3.35	3.57
FVC(%)	84.8	65.0	70	75	72	79	67	77	74	78
FEV1(L)	2.87	2.10	2.47	2.72	2.48	2.86	2.36	2.67	2.64	2.82
FEV1(%)	85.9	63.4	66	72	66	75	63	72	71	74
FEV1/FVC(%)	84.66	81.40	80	81	77	79	78	78	79	79
PEF (L/sec)	6.77	6.27	4.34	6.46	5.68	10.15	7.06	7.15	9.06	8.08
DLCO (mL/min/mmHg)	-	-	13.1	13.5	13.3	16.2	14.7	16.6	16.1	17.2
DLCO(%)	-	-	50	51	51	61	56	64	62	65

Note: The forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1), and diffusing capacity of the lung for carbon monoxide (DLCO) initially declined but gradually recovered over time.

Since the FEV1/FVC ratio remains above 70%, this suggests a restrictive lung disease pattern related to reduced lung volume rather than airway obstruction.

으로 추정되는 미만성 폐포 내 탐식세포 및 경도의 간질 섬유화(diffuse intraalveolar macrophages with mild interstitial fibrosis), 환경적 요인(분진) 및 흡연과 관련 가능성(probably environmental (dust) and smoking related)” 등의 소견을 보였다.

FANA, Anti-RNP, Anti-Sm, ANCA 등의 면역학적 검사 및 미생물 배양검사 결과 특이 소견은 확인되지 않았다. 이상의 검사 결과를 종합하여 ‘상세불명의 간질성 폐질환’으로 진단받고, 현재 통원 치료 및 추적 관찰을 진행하고 있다.

2021년 12월 14일 퇴원 이후 현재까지 휴업 상태를 유지하고 있으며, 2022년 11월 21일 실시한 폐기능 검사 결과는 호전되었고 (Table 1), 2022년 2월 7일 실시한 흉부 CT 검사 결과, 2021년 12월 6일 검사 결과와 비교했을 때 병변이 다소 감소하였으며, 이후 추가적인 변화는 관찰되지 않았다.

2. 산업위생 평가 결과

1) 사업장에서 입수한 그라인더 연마재, 쇼트볼, 집진기 분진 분석결과

연마재와 쇼트볼을 XRD로 분석한 결과 연마재는 산화알루미늄이 주성분이었고, 쇼트볼은 산화철이 주성분이었다. 집진기 분진의 구성 성분도 쇼트볼과 동일한 산화철이 주성분으로 확인되지만, 산화철 이외에도 결정체 실리카인 석영도 높은 함량으로 확인되며 그 외 탄산칼슘, 운모 등의 기타 광물이 검출되었다(Fig. 1). 따라서 집진기에서 포집된 분진은 쇼트 공정에서 발생한 분진뿐만 아니라 도장 공정 등 타 공정에서 발생한 분진도 함께 함유하고 있음을 시사한다.

2) 폐조직내 입자상 물질 분석결과

FESEM으로 폐조직을 관찰한 결과 주로 <50 nm~200 nm 크기의 입자들이 관찰되었다(Fig. 2). 해당 입자들을

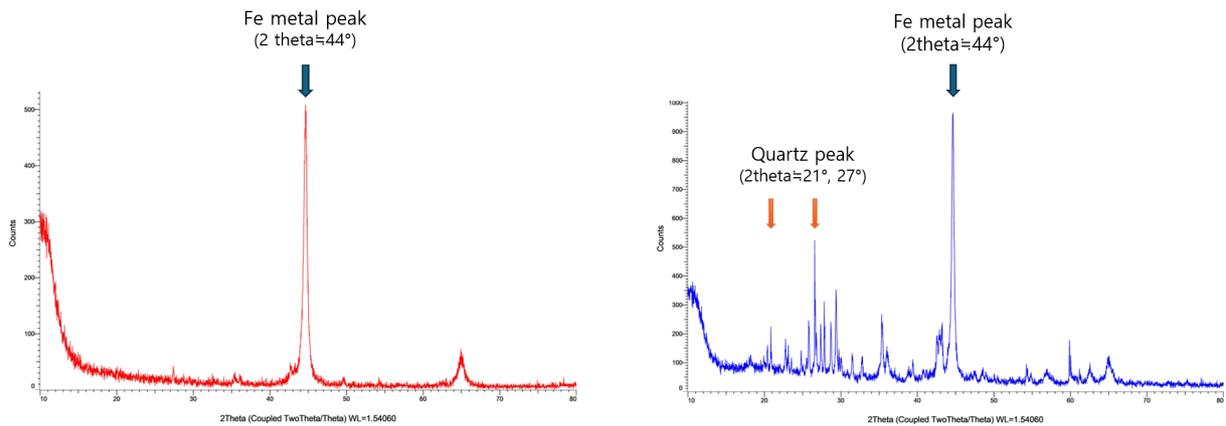


Figure 1. XRD scan results of shot ball and dust collector particulates (Left: shot ball analysis results, right: dust collector particulate analysis results)

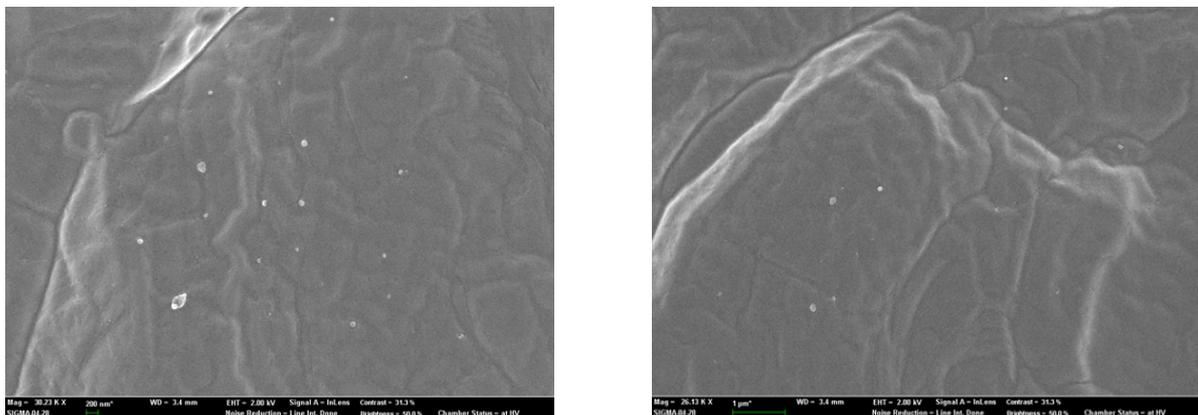


Figure 2. Particulate matter observed in lung tissue using field emission scanning electron microscope (magnification: 30,000x, particle size: 50–250 nm)

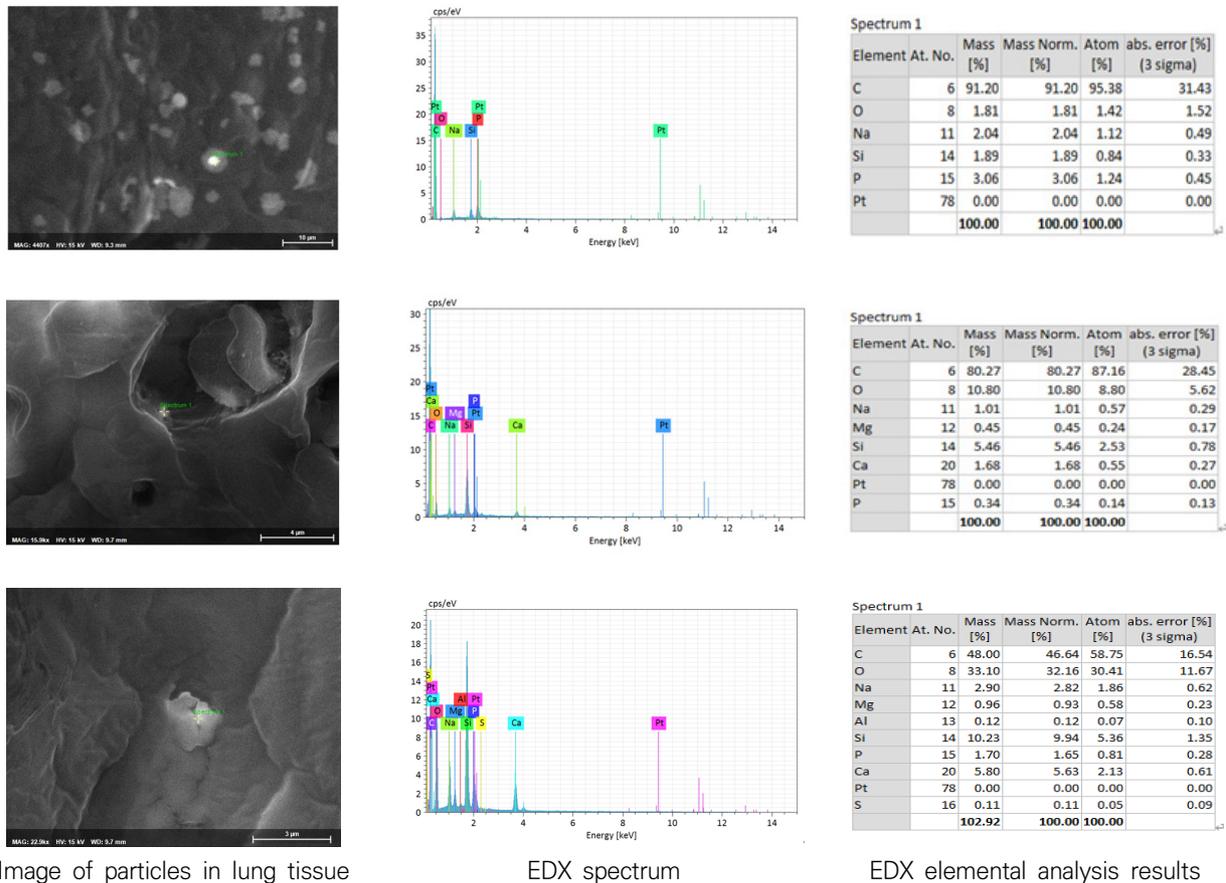


Figure 3. Elemental analysis results of particles in lung tissue using field emission scanning electron microscope with energy dispersive X-ray spectroscopy

EDX로 분석한 결과 탄소(C), 산소(O), 실리콘(Si), 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 알루미늄(Al) 등의 성분이 검출되었다(Fig. 3).

3. 업무관련성 평가

1) 임상적으로 명확한 질병이 있는가?

환자는 흉부 CT, 기관지폐포세척 검사, 흉강경하 폐생검 결과 등을 실시한 결과를 종합하여 ‘상세불명의 간질성 폐질환’으로 진단되었다. 면역학적 검사 및 배양검사 결과는 정상으로 이 질병이 생물학적 요인이나 면역학적 요인에 의해 발생했을 가능성은 배제할 수 있다.

간질성 폐질환(interstitial lung disease, ILD)은 폐간질부의 증식과 함께 다양한 염증세포들의 침윤 및 때로는 섬유화가 동반되어 비정상적인 콜라겐 침착을 나타내는 질환들을 총칭한다. 간질성 폐질환의 분류와 범위에 대해서는 여러 의견이 있으나, 크게 발생 원인을

알 수 있는 경우와 알 수 없는 경우로 나눌 수 있다. 특이적인 발생 원인을 알 수 있는 경우는 규폐증, 석면폐증, 베릴륨 폐증, 과민성 폐장염과 같은 진단을 하는 것이 가능하다. 약물이나 방사선에 의한 의인성 및 류마티스 질환 응 결체조직질환 등과 연관된 간질성 폐질환 등도 원인적 진단이 가능하다. 이들에 해당하지 않는 원인이 불분명한 경우는 특발성(idiopathic)으로 분류한다(KATRD, 2013).

특발성 간질성 폐질환은 임상, 영상의학, 병리의사들이 함께 토의하여 결정하는 다학제 접근진단으로 이루어지며, 유해물질 흡입, 약물, 결체조직 질환과 같은 원인이 있는 경우는 진단에서 제외된다. 2013년 ATS/ERS 분류에 근거한 특발성 간질성 폐렴(idiopathic interstitial pneumonias, IIPs)은 만성 섬유성 IIPs, 흡연 관련 IIPs, 급성/아급성 IIPs, 희귀 IIPs, 분류 불가능한 IIPs로 분류하고 있고, 흡연 관련 IIPs는 다시 호흡계 기관지염-간질성 폐질환(RB-ILD)과 박리성 간질성 폐렴

(desquamative interstitial pneumonitis, DIP)으로 분류하고 있다(Travis WD et al., 2013). 이 환자의 경우 흉부CT에서 박리성 간질성 폐질환의 가능성이 높을 것으로 판단되었다.

DIP는 RB-ILD와 같은 흡연 관련 질환이지만, RB-ILD는 기관지 주변에 국한된 국소적인 병변을 보이는 반면, DIP는 보다 광범위한 폐 실질 손상을 특징으로 한다. DIP 환자의 영상 소견에서는 광범위한 유리 음영(ground-glass opacity)이 관찰되며, RB-ILD보다 더 넓은 폐 영역을 침범하는 경향이 있다. 병리학적으로는 폐포 내 대식세포(맥락막 세포)의 광범위한 축적이 특징적이다. 즉, RB-ILD는 폐 소엽 중심성 병변을 보이는 반면, DIP는 폐엽 전체에 걸친 병변이 발생할 수 있다. 또한, DIP는 일부 비흡연자에서도 발생할 수 있으며, 이는 RB-ILD와의 주요 차이점 중 하나이다.

DIP의 주요 원인은 흡연으로, 흡연자의 폐에서 공통적으로 관찰된다. 그러나 비흡연자에서도 발생할 수 있으며, 이는 특정 유전적 요인과 환경적 요인과의 연관 가능성이 제기되고 있다. 특히, surfactant protein 유전자 변이(SP-C, SP-A2 등)가 DIP 발생과 관련될 수 있으며, 환경적 요인으로는 금속 입자(metal particles) 및 기타 외부 물질의 노출이 영향을 미칠 가능성이 있다(Travis et al., 2013).

2) 질병은 의심되는 요인으로부터 발생할 수 있다고 알려져 있는가?

간질성 폐질환은 여러 직업적/환경적 요인에 의해 발생할 수 있다. 간질성 폐질환을 유발한다고 알려져 있거나 보고된 금속으로는 용접흡(Billings & Howard P, 1993; Cosgrove et al., 2015), 산화철(Chu et al., 2012), 망간(Lakari et al., 2000; Gandhi et al., 2022), 베릴륨(Kim et al., 2008), 이산화티타늄(IARC, 1989; Elo et al., 1972; Mayor et al., 2015), 6가 크롬(Beaver et al., 2009), 바륨(Doig et al., 1976), 알루미늄(Smolkova et al., 2014), 코발트(Lison et al., 1996; Adams et al., 2017), 카드뮴, 니켈(Fontenot et al., 2008), 납, 텅스텐(Miller et al., 2021) 등이 있다.

박리성 간질성 폐렴(DIP)는 일반적으로 30갑년 정도의 흡연력을 가지고 있는 40~50대에 호발하며, 남성의 유병율이 여성보다 약 2배정도 높다(Ryu et al., 2001; Ryu et al., 2005; Medenica 2019 et al.).

흡연과의 관련성이 매우 높은 것으로 알려져 있지만, 일부 비흡연자에서의 발생도 보고된 바가 있다(Yousem et al., 1989). DIP의 존재가 독립적인 임상 질환인지에 대한 논란이 오랫동안 있어 왔다. 많은 경우 명확한 원인이 밝혀지지 않았으며, 여전히 특발성 폐섬유증(idiopathic pulmonary fibrosis, IPF)의 하위 유형으로 간주하기도 한다. 최근 들어, “DIP-like (유사 DIP)” 반응이 보고되고 있으며, 이는 광범위하게(diffuse) 또는 국소적으로(focal) 나타날 수 있고, 원인은 약물(Drug-induced), 유기분진, 무기분진 등이며 무기분진에는 석면(asbestos), 활석(talc), 흑연(graphite), 실리카(silica), 규산염(silicates), 텅스텐 카바이드(tungsten carbide), 알루미늄이 있다(Lougheed et al., 1995). 현재까지 알려진 직업성 DIP 사례는 소화제 분말, 디젤 증기, 베릴륨이나 구리 먼지(Craig et al., 2004), 그라인딩 공정에서 발생한 알루미늄 등 금속 분진과 용접흡(Abraham et al., 1981), 납 땀 연기(Moon et al., 1999) 또는 직물노동자(Lougheed., 1995)에서도 DIP가 발생한 보고가 있으며, DIP로 확인된 환자의 폐 생검 조직에서 고농도의 무기 입자가 발견되기도 하였다(Godbert et al., 2013). Table 2에 상기 DIP 사례보고 연구내용을 요약하였다.

3) 그 질병을 유발한다고 알려진 유해인자의 노출이 확인되었는가?

환자가 일했던 사업장에서는 환자의 근무기간동안 3회의 작업환경측정이 이루어졌다. 쇼트, 분체 및 액체 도장, 세척 공정을 외주를 주면서 용접, 조립 공정에 대해서만 작업환경측정이 이루어진 2022년도 상반기 작업환경측정 외에 2021년도 상반기와 하반기 작업환경측정결과 보고서에 따르면 간질성 폐질환을 유발할 수 있는 유해위험인자에는 용접흡 및 분진, 산화철 분진과 흙, 망간 및 무기화합물, 이산화티타늄, 기타 광물성 분진, 크롬(6가)화합물, 바륨, 납 및 그 무기화합물, 알루미늄 등이 작업환경측정대상으로 확인되었다.

또한, 흉강경 하 폐생검 결과 ‘분진(dust) 및 흡연에 의한 미만성 폐포내 탐식세포 및 경도의 간질 섬유화(diffuse intraalveolar macrophages with mild interstitial fibrosis), probably environmental (dust) and smoking related’ 소견이 확인된 점은 직업 환경성 유해인자 노출과 관련된 질환임을 시사한다.

4) 질병을 유발하기에 충분한 기간, 양의 유해인자에 노출되었는가?

작업환경측정 결과, 각 공정별 모든 유해인자는 1일 8시간 작업 시 노출기준 미만으로 측정되었지만, A씨의 근무시간은 8시간을 초과하였기 때문에 노출기준만으로 유해인자 노출 정도를 평가하기에는 한계가 있고, 2년(2021~2022년) 동안 세척공정에서 하루(샘플 2개) 실시된 작업환경측정 결과가 A씨의 실제 유해인자 노출 상황을 모두 반영하였다고 보기도 어렵다.

또한, 금속 분진, 금속흡, 유기화합물 등에 대한 적절한 보호구를 제공받지 못하고 먼 마스크만을 착용한 채 업무하였기 때문에 노출기준 미만으로 상대적으로 단기간에 유해인자에 노출되었더라도 건강에 유해한 영향을 미쳤을 수 있다. 일반적으로 그라인딩 작업에서 먼 마스크만 착용하고 작업하는 일은 찾아보기 어려우나 A씨의 경우 호흡용 보호구를 제대로 착용하지 못한 상태에서 작업했다는 점은 그 노출량이 높았다는 것을 의미한다.

특히 본 연구에서 A씨의 폐조직에서 실리카 및 규산염 등으로 구성된 나노크기의 입자들을 확인하였다. 미

세 입자(PM2.5)와 비교할 때, 초미세 입자는 폐 염증을 더 심하게 유발하며 폐에 더 오래 남아 있으며 크기가 작을수록, 표면적이 클수록, 표면에 흡착된 물질이 많을수록, 그리고 입자의 물리적, 화학적 특성에 따라 독성이 증가한다. 또한 초미세 입자는 면역 반응을 활성화하여 천식, 만성 폐쇄성 폐질환, 폐섬유화 등 호흡기 질환을 악화시킨다(Leikauf et al. 2020; Schraufnagel, 2020). 그러나 폐조직 분석만으로는 A씨가 질병을 유발할 만큼 충분한 양의 초미세 입자에 노출되었는지를 정확히 판단할 수 없다. 다만, 상대적으로 독성이 높은 초미세 입자가 폐조직에서 확인되었으며, 특히 이들 입자의 성분이 독성이 높은 실리카 및 규산염을 포함하고 있었다는 점에서 A씨의 질병과 초미세 입자 노출 간의 연관성을 고려할 필요가 있다.

더불어, 실리카가 포함된 집진기 퇴적 분진을 수작업으로 청소하는 작업을 하였다는 점에서 A씨는 금속, 실리카 등 다양한 호흡기 유해인자에 질병을 유발할 수 있을 정도로 노출되었다고 판단된다.

일반적으로 간질성 폐질환은 수년간의 장기간의 호흡기 유해인자 노출에 의해 발생하지만 기간이 짧더라도

Table 2. Summary of DIP case report studies

Causative Agen	Study subjects (number of patients)	Research method	Exposure characteristics	Exposure duration and levels	Others	Reference
Fire extinguisher powder	1	Case report	NA	NA	Non-smoker	Craig et al., 2004
Diesel fumes	1					
Beryllium and copper dust	1					
Metal (Aluminum, etc.) dust and welding fumes	Among 93 cases, 39 were attributed to environmental exposure, and among them, 28 had a history of dust exposure.	Lung tissue analysis of 93 DIP patients (Electron Microscopy and EDX)	-15 cases of metal and fume exposure (5 aluminum, 2 tool grinding, 13 various metals). -Silicate exposure (talc and asbestos)	NA	Occupations include truck drivers, tool grinders, welders, etc., with a significant number of non-smokers	Abraham et al., 1981
Soldering fumes	1	Case report	Inhalation of fumes (lead vapor and flux components) during the soldering process	NA	Non-smoker	Moon et al., 1999
Textile organic dust or toxins (aflatoxins)	DIP occurred in 5 out of 88 workers	Case report	Workers performed tasks attaching nylon filament to cotton/polyester fabric using latex adhesive	NA	Among the 5 cases, 2 were smokers, and 3 were non-smokers	Lougheed, 1995

수개월에 걸쳐 고농도의 유해인자에 노출되는 경우에도 발생할 수 있다. 국내에서도 베릴륨 합금 공정에서 흡과 분진에 고농도로 노출된 결과 두 달 만에 9명의 노동자들이 특이적 간질성 폐질환의 일종인 화학성 폐장염을 진단받았은 사례가 보고되었다(Kim et., 2008).

5) 비직업적 요인이 배제되었는가?

A씨는 임상검사에서 간질성 폐질환과 관련된 원인을 파악하기 위한 면역학적 검사 및 배양검사 결과 정상 소견이었다. 기존에 호흡기질환을 앓은 병력이나 약물 치료력이 없다. 현 직장에서 근무하기 전 실시한 배치 전 검진 시 시행한 흉부 X선 촬영 및 폐기능 검사 결과 정상소견이었다.

박리성 간질성 폐렴의 40-50대 남성에서 약 30년갑 정도의 흡연력을 가질 경우 위험이 증가한다고 알려져 있으나 A씨는 30대이며 흡연력은 10갑년 미만이라는 점에서 흡연에 의한 질병 발생 가능성은 낮다.

6) 모든 특별한 상황들에 대한 고려가 있었는가?

첫째, A씨는 현 직장 근무 전 호흡기질환이 없다는 점이 배치 전 건강진단에서 확인되었고, 배치 후 6개월째 특수건강진단에서 폐기능의 저하가 관찰되었다. 특수건강진단에서는 비직업성 질환으로 판정되었는데 이는 A씨의 유해인자 노출에 대한 정확한 평가 및 비직업성 원인에 대한 파악이 객관적으로 확인되지 않는 추정진단일 뿐이다. 입사 이후 발생한 호흡기 질환이라는 점을 감안하여 업무관련성 평가가 이루어져야 한다.

둘째, A씨의 질병은 원인적 진단이 이루어지기 전에는 특발성 간질성 폐질환으로 명명될 수 있다. 하지만 사업장에서 다양한 금속분진에 복합 노출되어 발생한 화학성 폐장염이라 보는 것이 타당하다. 석면폐증, 규폐증, 베릴륨증과 같은 기존에 알려진 특이적인 간질성 폐질환은 해당 유해인자 노출 집단에 대한 역학연구의 수행결과 확립된 진단명이다. A씨의 경우처럼 다양한 분진에 노출되는 집단은 찾기가 어렵기 때문에 관련 역학연구가 수행되기 어려운 점을 감안하여야 한다.

IV. 고찰 및 결론

A씨는 하루 7~8시간, 많게는 10시간 이상 주로 쇼트 공정에서 그라인딩 작업과 쇼트 작업을 수행하였다. 이 외에도 쇼트 공정과 도장 공정 바로 옆에 위치한 세척

공정에서 실린더를 닦거나 사포질 작업을 하였다. 또한, 일주일에 2일은 집진기 분진을 청소하는 작업도 수행하였다.

쇼트 공정은 철 성분으로 이루어진 다량의 미세 금속 볼(ball)을 빠른 속도로 제품에 분사하여 제품 표면을 가공 처리하는 공정이다. 이 과정에서 쇼트볼이 제품과 충돌하면서 파쇄되어 철 분진이 주변으로 비산된다. 노동자들은 쇼트볼을 분사하는 동안 쇼트장 밖에 나와 있지만, 제품을 랙에 걸거나 수거하는 등의 작업을 위해 수시로 쇼트장을 출입하였다. 이 과정에서 쇼트 분진에 노출되었다. 이는 쇼트기에 배기 장치가 설치되어 가동 중이었음에도, 쇼트 과정에서 발생하는 모든 분진이 완전히 포집되지 않기 때문이다. 따라서, 쇼트기 가동 후 충분한 실내 환기나 분진이 바닥으로 가라앉을 시간을 확보한 뒤에 출입문을 개방해야 했으나, 공정 효율을 위해 이를 생략하고 신속히 작업이 이루어진 것으로 보인다. 당시 현장 사진에서도 쇼트 공정 내 바닥에 쇼트 분진이 곳곳에 퇴적되어 있고, 벽면이 쇼트 분진으로 검게 오염된 모습이 확인되어, 쇼트기 가동 중에도 분진이 주변으로 확산되었음을 알 수 있다. 따라서, 쇼트장 출입문을 통해 쇼트장 외부의 그라인딩 작업 위치에 까지 철 분진이 확산되었을 것으로 판단된다.

쇼트장 앞에 위치한 그라인딩 작업 역시 고속으로 회전하는 연마재를 사용해 제품 표면을 연마하는 작업으로, 금속 표면과 연마재의 마찰로 인해 100 nm 이하의 초미세 입자가 일부 발생한다(Kim & Kim, 2012). A씨는 하루 평균 4~6개의 연마재를 교체하며 상시적으로 그라인딩 작업을 수행하였다. 연마재의 주요 성분은 산화알루미늄 광물이 가장 널리 사용되며, 이외에도 탄화규소 등의 광물이 사용되는 것으로 알려져 있다. 따라서 A씨는 방진 마스크 대신 호흡기 보호 효과가 미미한 일반 면 마스크를 주로 착용한 상태에서 쇼트 작업과 그라인딩 작업을 수행하며 산화철, 산화알루미늄 등의 미세한 금속 분진에 지속적으로 노출된 것으로 판단된다.

한편, 세척 공정에서 근무할 당시, 바로 옆에 위치한 도장 공정(분체 도장과 일반 액체 도장 공정이 각각 있음)에서 발생하는 도료 분진에도 노출되었을 가능성이 높다고 판단된다. 그 이유는 세척 공정이 도장 공정 출입구와 가까운 경우에는 수 m 이내에 불과하며, 분체 도장은 액체 미스트 형태의 도료가 아니라 미세하고 건조한 분말을 분사하는 방식이기 때문에 국소배기 장치

가 가동되더라도 일부 분진이 외부로 비산되고 확산될 가능성이 있기 때문이다. 또한, A씨의 진술에 따르면 세척 공정에서 작업하는 동안 도장 공정에서 발생하는 유기용제 냄새가 지속적으로 났다고 하므로, 도장 공정에서 발생한 일부 도료 분진과 유기용제가 도장 공정을 벗어나 세척 공정으로 확산되었을 가능성이 높다. 그리고, 집진기 분진 성분 분석 결과, 쇼트볼 성분과 함께 결정체 실리카인 석영 등이 검출되었는데, 이는 도료의 구성 성분에 충전제로 석영 및 석영이 함유된 광물질이 포함되어 있기 때문이다. 따라서 A씨는 세척 공정에서 근무하는 동안 결정체 실리카인 석영이 함유된 도료 분진에도 일부 노출되었을 가능성이 있다고 판단된다. 이는 A씨의 폐 조직에서 검출된 입자 성분에서도 산소와 실리콘이 확인되어 석영을 포함한 규산염 계열의 광물질임이 입증된다는 점에서 뒷받침된다. 한편, 폐 조직 분석에서는 쇼트볼 성분인 철이 검출되지 않았는데 이는 폐 조직 분석이 환자 폐의 극히 일부 영역만을 대상으로 이루어졌고 또한, 철은 생체 내에서 비교적 용해가 잘 이루어지는 금속인 반면, SiO₂나 TiO₂와 같은 물질은 용해도가 낮아 조직 내 잔존할 가능성이 높다 (Ghio, 2008; Jang, 2016). 그러나 이러한 차이가 실제 폐 내 금속의 용해와 거동을 완전히 설명할 수 있는지는 추가적인 연구가 필요하다.

한편, 공장 내 여러 공정에서 포집된 집진기 분진의 청소 작업은 일반적으로 적용되는 분진 배출구에 톤백(마대자루)을 연결하여 분진을 처리하는 방식이 아니라, 톤백 없이 바닥에 수북이 쌓여 있는 분진을 수작업으로 청소하는 형태로 이루어졌다. 이러한 형태의 작업 방식은 작업 시간이 짧더라도 고농도의 분진에 노출될 가능성이 있는 작업이다.

따라서, A씨는 쇼트 작업, 그라인딩 작업을 수행하면서 산화철 분진, 금속분진, 결정체 실리카 등에 노출되었고, 간헐적으로 집진기 분진 청소 작업을 하는 과정에서는 결정체 실리카와 철 등의 금속이 함유된 집진기 분진에도 노출되었다고 판단된다.

결론적으로 본 사례는 농기계를 제조하는 공장에서의 10개월 근무 후 발생한 간질성 폐질환에 대한 업무관련성을 평가하였다. 평가 결과 A씨는 평소 건강하던 중 새롭게 업무를 시작한 이후 발병하였다는 점, 흉강경하 폐생검 결과 '분진(dust)과 흡연에 의한 미만성 폐포 내 탐식세포 및 경도의 간질 섬유화'가 확인되었다는 점, NIOSH 업무관련성 5가지 기준을 모두 충족한다는

점, 산업위생학적 노출평가 결과에서도 노출력이 확인되는 점 등을 종합해 볼 때 A씨에서 발생한 간질성 폐질환은 금속 및 실리카 분진 노출에 의한 박리성 폐질환으로 추정된다. 따라서, A씨에서 발생한 간질성 폐질환은 직업적인 요인으로 인해 발생했을 가능성이 높아 업무관련성이 있다고 판단된다.

References

- Abraham JL, Hertzberg MA. Inorganic particulates associated with desquamative interstitial pneumonia. *Chest*. 1981 Jul;80(1 Suppl):67-70. doi: 10.1378/chest.80.1_supplement.67s. PMID: 7249745
- Adams TN, Butt YM, Batra K, Glazer CS. Cobalt related interstitial lung disease. *Respir Med*. 2017 Aug; 129:91-97. doi: 10.1016/j.rmed.2017.06.008. Epub 2017 Jun 13. PMID: 28732841
- Beaver LM, Stemmy EJ, Constant SL, Schwartz A, Little LG, et al. Lung injury, inflammation and Akt signaling following inhalation of particulate hexavalent chromium. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2009 Feb 15; 235(1):47-56. doi: 10.1016/j.taap.2008.11.018. Epub 2008 Dec 9. PMID: 19109987; PMCID: PMC3640501
- Billings CG, Howard P. Occupational siderosis and welders' lung: a review. *Monaldi Arch Chest Dis*. 1993 Aug;48(4):304-314. PMID: 8257971
- Chu HQ, Liu JM, Gui T, Zhao L, Sun DY, et al. Case of interstitial lung disease possibly induced by exposure to iron dust. 2012 Mar-Apr;41(2): 196-199. doi: 10.1016/j.hrtlng.2011.06.002. Epub 2011 Sep 3. PMID: 21890204
- Cosgrove MP. Pulmonary fibrosis and exposure to steel welding fume. *Occup Med (Lond)*. 2015 Dec;65(9): 706-712. doi: 10.1093/occmed/kqv093
- Craig PJ, Wells AU, Doffman S, Rassl D, Colby TV et al. Desquamative interstitial pneumonia, respiratory bronchiolitis and their relationship to smoking. *Histopathology*. 2004 Sep;45(3):275-282. doi: 10.1111/j.1365-2559.2004.01921.x. PMID: 15330806
- Doig AT. Baritosis: A benign pneumoconiosis. *Thorax*. 1976 Feb;31(1):30-39. doi: 10.1136/thx.31.1.30. PMID: 1257935; PMCID: PMC470358
- Elo R, Määttä K, Uksila E, Arstila AU. Pulmonary deposits of titanium dioxide in man. *Arch Pathol*. 1972 Nov; 94(5):417-424. PMID: 4342890
- Fontenot AP, Amicosante M. Metal-induced diffuse lung disease. *Semin Respir Crit Care Med*. 2008 Dec;

- 29(6):662–669. doi: 10.1055/s-0028-1101276. Epub 2009 Feb 16. PMID: 19221964
- Gandhi D, Rudrashetti AP, Rajasekaran S. The impact of environmental and occupational exposures of manganese on pulmonary, hepatic, and renal functions. *J Appl Toxicol*. 2022 Jan;42(1):103–129. doi: 10.1002/jat.4214. Epub 2021 Jul 8. PMID: 34237170
- Ghio AJ. Disruption of iron homeostasis and lung disease. *Biochim Biophys Acta*. 2009 Jul;1790(7):731–9. doi: 10.1016/j.bbagen.2008.11.004. Epub 2008 Dec 3. PMID: 19100311.
- Godbert B, Wissler MP, Vignaud JM. Desquamative interstitial pneumonia: an analytic review with an emphasis on aetiology. *Eur Respir Rev*. 2013 Jun 1;22(128):117–123. doi: 10.1183/09059180.00005812. PMID: 23728865; PMCID: PMC9487388
- Jang SW. Characterization and in-vitro toxicity assessment of metal oxide nanoparticles. Ph.D. Dissertation, Kyung Hee University; 2016
- Kim B, Kim H. Characterization of nanoparticles from welding and grinding processes: evaluation of number concentration and size distribution. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2012; 22(3): 184–190
- Kim H, Jeong WC, Jee YK, Kim DS, Kang SK et al. An outbreak of acute beryllium disease in a compound metal alloy factory. *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2008;20(1):1–8. DOI: <https://doi.org/10.35371/kjoem.2008.20.1.1>
- Lakari E, Pääkkö P, Pietarinen-Runtti P, Kinnula VL. Manganese superoxide dismutase and catalase are coordinately expressed in the alveolar region in chronic interstitial pneumonias and granulomatous diseases of the lung. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000 Feb;161(2 Pt 1):615–621. doi: 10.1164/ajrccm.161.2.9904091. PMID: 10673208
- Leikauf GD, Kim SH, Jang AS. Mechanisms of ultrafine particle-induced respiratory health effects. *Exp Mol Med*. 2020 Mar;52(3):329–337. doi: 10.1038/s12276-020-0394-0. Epub 2020 Mar 17. PMID: 32203100; PMCID: PMC7156674
- Lison D. Human toxicity of cobalt-containing dust and experimental studies on the mechanism of interstitial lung disease (hard metal disease). *Crit Rev Toxicol*. 1996 Nov;26(6):585–616. doi: 10.3109/10408449609037478. PMID: 8958466
- Lougheed MD, Roos JO, Waddell WR, Munt PW. Desquamative interstitial pneumonitis and diffuse alveolar damage in textile workers. Potential role of mycotoxins. *Chest*. 1995 Nov;108(5):1196–1200. doi: 10.1378/chest.108.5.1196. PMID: 7587416
- Mayer A, Hamzeh N. Beryllium and other metal-induced lung disease. *Curr Opin Pulm Med*. 2015 Mar; 21(2):178–184. doi: 10.1097/MCP.000000000000140. PMID: 25602804
- Medenica M, Medenica M. Desquamative interstitial pneumonia with clinical, radiological and histologic correlation. *Radiol Case Rep*. 2019 Feb 13;14(4): 505–509. doi: 10.1016/j.radcr.2019.01.016. PMID: 30815049; PMCID: PMC6377394
- Miller K, McVeigh CM, Barr EB, Herbert GW, Jacquez Q et al. Inhalation of tungsten metal particulates alters the lung and bone microenvironments following acute exposure. *Toxicol Sci*. 2021 Nov 24;184(2): 286–299. doi: 10.1093/toxsci/kfab109. PMID: 34498067; PMCID: PMC8633919
- Moon J, du Bois RM, Colby TV, Hansell DM, Nicholson AG. Clinical significance of respiratory bronchiolitis on open lung biopsy and its relationship to smoking related interstitial lung disease. *Thorax*. 1999 Nov; 54(11):1009–1014. doi: 10.1136/thx.54.11.1009. PMID: 10525560; PMCID: PMC1745385
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). A guide to the work-relatedness of disease; 1979
- Titanium dioxide. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 1989;47:307–326
- Ryu JH, Myers JL, Capizzi SA, Douglas WW, Vassallo R et al. Desquamative interstitial pneumonia and respiratory bronchiolitis-associated interstitial lung disease. *Chest*. 2005 Jan;127(1):178–184. doi: 10.1378/chest.127.1.178. PMID: 15653981
- Ryu JH, Colby TV, Hartman TE, Vassallo R. Smoking-related interstitial lung diseases: a concise review. *Eur Respir J*. 2001 Jan;17(1):1220–132. doi: 10.1183/09031936.01.17101220. PMID: 11307741
- Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. *Exp Mol Med*. 2020 Mar;52(3):311–317. doi: 10.1038/s12276-020-0403-3. Epub 2020 Mar 17. PMID: 32203102; PMCID: PMC7156741
- Smolkova P, Nakladalova M. The etiology of occupational pulmonary aluminosis—the past and the present. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2014 Dec;158(4):535–538. doi: 10.5507/bp.2014.017. Epub 2014 Apr 29. PMID: 24781042
- The Korean Academy of Tuberculosis and Respiratory Diseases (KATRD), Clinical practice guidelines for interstitial lung diseases; 2013

Travis WD, Costabel U, Hansell DM, King TE Jr, Lynch DA et al. An official American Thoracic Society/ European Respiratory Society statement: update of the international multidisciplinary classification of the idiopathic interstitial pneumonias. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013 Sep 15;188(6):733-48. doi: 10.1164/rccm.201308-1483ST. PMID: 24032382; PMCID: PMC5803655
Yousem SA, Colby TV, Gaensler EA. Respiratory

bronchiolitis-associated interstitial lung disease and its relationship to desquamative interstitial pneumonia. *Mayo Clin Proc.* 1989 Nov;64(11): 1373-1380. doi: 10.1016/s0025-6196(12)65379-8. PMID: 2593722

<저자정보>

김부욱(국장), 서동환(전공의, 석사과정), 김현주(교수)