한국산업보건학회지, 제29권 제2호(2019) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2019: 29(2): 119-140
https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2019.29.2.119

Review Article

커피 로스팅 공정에서 발생되는 향기물질의 유해성 고찰 및 노동자 건강보호 방안

임경택*

안전보건공단 산업안전보건연구원 산업화학연구실

A Review on the Hazards of Flavoring Chemicals in Coffee Roasting Proces

Kyung-Taek Rim*

Chemicals Research Bureau, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
#339-30, Exporo Yuseong-Gu, Daejeon 34122, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study was based on the occurrence of a coffee roasting process-related disorder(bronchiolitis obliterans; published by NIOSH in the US) among workers exposed to chemicals called diacetyl in a coffee processing facility. Flavorings added to coffee contain diacetyl and 2,3-pentanedione, all of which are subject to exposure in a number of food manufacturing processes, including coffee roasting, grinding, and packaging. Therefore, this study aims to review the toxicity to workers related to food processing and food additive manufacturing to prevent occupational diseases.

Methods: We surveyed the related literature, domestic and international references, and the status of relevant domestic and foreign professional organizations. The present situation of workers was investigated by reviewing literature on the safety and health of workers in the coffee roasting process using domestic and foreign literature and presentations. Expert advisory opinions were reflected, and experts were consulted by participating in domestic and overseas academic conferences.

Results: Most of the fragrance materials for coffee were harmful and hazardous substances according to the GHS classification, and research was carried out through a second external consultation. A literature review on the measurement of air pollutant emissions from coffee roasters and the estimation of air pollutant emissions during coffee roasting examined the characteristics of pollutants emitted during coffee roasting.

Conclusions: Two chemicals identified as causing bronchiolitis obliterans in the coffee roasting process are believed to explain why the disease is difficult to treat. This information can be used effectively in the future prevention of this disease. Future studies should clearly identify the potential for toxicity of alpha-diketones and the bases of OELs in relation to the occurrence of obstructive bronchiolitis, including measurement of various organic compounds and alpha-diketones from ground coffee, as well as various coffee grinds and coffee bean varieties. In particular, it is necessary to clarify the current understanding of the dose-response relationship between alpha-diketone and lung disease in workers involved in coffee roasting.

Key words: Coffee, flavoring, hazards, review, roasting

*Corresponding author: Kyung-Taek Rim, Tel: 042-869-8531, E-mail: rim3249@kosha.or.kr
Chemicals Research Bureau, Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency, Daejeon 34122, Republic of Korea
Received: June 7, 2019, Revised: June 21, 2019, Accepted: June 25, 2019
Kyung-Taek Rim https://orcid.org/0000-0001-6443-6362

*본 논문은 2018년도 안전보건공단 산업안전보건연구원 자체연구과제의 수행 결과보고서에서 발췌하여 정리된 내용임을 밝힙니다.

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.

Abbreviations and Definitions

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists,	미국 정부기관 산업위생전문가협의회
BFMP	Butter-Flavored Microwave Popcorn,	버터 맛을 낸 전자레인지용 팝콘
BO	Bronchiolitis Obliterans,	폐쇄성 세기관지염
CDC	Centers for Disease Control and Prevention,	질병통제예방센터
CDHS	Center for Development of Human Services,	인력개발센터
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease,	만성 폐쇄성 폐 질환
DA	Diacetyl,	디아세틸, 2,3-부탄디온의 다른 이름
EPA	United States Environmental Protection Agency,	미국환경보호국
ERC	European Research Council,	유럽연구위원회
FDA	United States Food and Drug Administration,	미국식품의약국
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy,	푸리에 변환 적외선 분광법
IARC	International Agency for Research on Cancer,	국제암연구소
IRIS	Integrated Risk Information System,	통합 리스크 정보 시스템
ISO	International Organization for Standardization,	국제표준화기구
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health,	미국산업안전보건연구원
NOES	National Occupational Exposure Survey,	국가 직업노출 조사
NTP	National Toxicology Program,	국립독성프로그램
OSHA	Occupational Safety and Health Administration,	미국산업안전보건청
REL	Recommended Exposure Limit,	권장 노출 한도
SCE	Sister Chromatid Exchange,	자매염색분체 교환
STEL	Short Term Exposure Limit,	단시간 노출 한도, 15분 가중평균값
TLV	Threshold Limit Value,	8시간 가중평균값, 거의 모든 근로자가 건강장해를 받지 않고 매일 반복하여. 노출될 수 있는 공기 중 유해물질의 농도 또는 물리적 인자의 강도
TWA	Time Weighted Average,	1일 작업시간동안의 시간가중평균노출기준

I. 서 론

커피는 전 세계에서 오랜 기간 안전하게 음용하여 온 기호식품으로서 국내 커피전문점이 포화상태에 이르면서 치열한 경쟁이 벌어지고 있다. 2011년 커피 소비 성인인구 3,470만 명을 기준으로 추산했을 때 성인 1인당 커피 음용 잔 수가 약 670잔에 달하는 것으로 조사되었다. 이는 성인 1인당 하루 평균 1.83잔의 커피를 마시는 정도라고 한다(IoHE, 2012). 우리나라는 최근 커피 관련 산업이 발달하면서 카페, 커피숍 등의 창업도 확산 일로에 있으며, 여기에는 프랜차이즈 카페들의 지속적인 증가가 큰 원인으로 작용하고 있다(CoffeeTV, 2016). 2,3-부탄디온(2,3-butanedione, diacetyl, DA), 2,3-펜탄디온(2,3-pentanedione, PD) 등에 의한 직업성 폐질환 예방을 위한 독성 스크리닝과 유해성 확인, 질환의 조기발견을 위한 생체지표의 발굴이 필요하여, 동 연구를 통해 식품가공 및 식품첨가물 제조관련 노동자의 화학물질에 의한 노동자 직업성 질환예방에 활용하고자 하였다. 커피 로스팅 공정 등 가공시설에서 디아세틸이라고 불리는 화학물질에 노출된 노동자들과 폐쇄성 세기관지염(bronchiolitis obliterans, BO)이라고 불리는 희귀하고 심각한 호흡기 질환이 관련된다는 증거들이 보고되고 있으며, 동 사례는 모두 미국 텍사스의 한 직장에서 커피 가공분야에서 일하는 노동자에게서 발생했다(Aguilar et al., 2016). 폐쇄성 세기관지염은 세기관지의 손상과 진행되는 염증으로 인하여 일어난 세기관지 폐쇄를 동반한 염증을 말하고, 증상은 대부분 다른 질환의 경과에 따라 발생하기 때문에 흔한 질환은 아니며, 세기관지염 또는 기관지염과 비슷하게 나타난다. 처음 1~2주 동안은 호흡 곤란, 기침 그리고 객담과 천명이 동

반되며, 심하면 청색증과 가슴에 통증이 나타날 수 있지만, 급성기 후 수개월에 걸쳐서 호전되는 만성 경과를 거친다. 청년이나 장년에게는 흔하지만, 소아에게는 아데노바이러스와 같은 호흡기 감염 후에 생기는 예가 많다. 디아세틸은 전자레인지 팝콘 제조 노동자들에서 처음으로 폐쇄성 세기관지염을 발병시킨 식품 향료로서, 커피를 볶을 때 자연적으로 생성될 수 있으며, 맛을 낸 커피에 첨가된 향료는 종종 디아세틸과 2,3-펜탄디온을 함유하고 있다. 디아세틸과 2,3-펜탄디온은 모두 커피 로스팅, 그라인딩 및 포장을 포함한 다수의 식품 제조과정에서 노출된다(Liu et al., 2017). 노출 노동자의 질병을 예방하기 위해 NIOSH는 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 공기 중 모니터링, 노동자 노출을 줄이기 위한 환기 및 폐암의 조기 발견을 위한 연구를 계속하고 있다. 디아세틸과 그 대체물질인 2,3-펜탄디온은 식품 향료 및 그 생산에서 광범위하게 사용되는 향미제로서, diacetyl에 직업적으로 노출되면 심각한 호흡장애와 폐쇄성 기관지염, 즉 돌이킬 수 없는 심각한 폐 질환이 발생한다. 이 질환에서 폐의 가장 작은 기도(세기관지)는 상처를 입어 수축되어 공기의 움직임을 막는다. 또한 2,3-펜탄디온은 화학적으로 유사하며 동물 모델에서도 유사한 효과를 나타낸다. 식품 생산 노동자의 폐쇄성 세기관지염에 대한 첫 번째 관찰은 1985년 제빵 산업을 위한 향료 제조에 사용된 성분 중 diacetyl과 관련된 시설에서 일어난 것으로 알려졌다(NIOSH, 1985). 2000년 8월 보건당국은 NIOSH에게 전자레인지 팝콘 공장의 전직 노동자에서 폐쇄성 세기관지염을 조사하기 위해 기술지원을 요청했다. 그 요청은 NIOSH가 이끄는 연구로 이어졌으며, 이러한 조사를 통해 팝콘에 추가된 인조버터 향이 질병의 원인인 것으로 판명되었다. 전자레인지 팝콘 및 향료 제조 산업에서 NIOSH 조사 결과는 향료를 사용하거나 제조하는 노동자의 폐 질환 예방에 대한 기초를 제공했다. 2012년 NIOSH는 풍미가 있는 전체 콩 및 볶은 커피를 생산하고 포장하기 위해 인공 향료를 사용한 노동자 군에서 폐쇄성 세기관지염을 확인했다. 인공 커피 향료의 diacetyl이 질병의 이러한 새로운 사례를 일으키는 원인이 되었다는 것이 드러났으며, 이로 인해 커피 로스팅 및 포장 시설에서 일련의 조사가 이루어졌다. 이러한 지속적인 연구의 일환으로, NIOSH는 diacetyl, 2,3-펜탄디온 및 커피 로스팅 과정에서 자연적으로 생성되고 방출되는 다른 화학물질을 평가하고 있다(Daglia et al., 2007; Duling et al., 2016). 분쇄한 볶은 커피 원두는 이러한 화합물의 가스 제거를 위해 더 큰 표면적을 생성한다. 커피 가공시설에서 커피의 분쇄 및 포장이 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대한 동시 노출을 발생시키는 것으로 나타났으며 이는 diacetyl 대신에 향료를 사용하는 지역에서 NIOSH가 제안한 REL을 훨씬 초과하며, 이 결과는 사업주, 정부 및 공중보건 컨설턴트가 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대해 제안된 REL을 초과하는 경우 예방적 개입을 유도하기 위해 업계 전반의 유사점과 차이점을 평가할 것을 요구한다. 2,3-펜탄디온을 함유한 버터밀크 향에 노출된 노동자들에서 폐 기능 감소(제한적 호흡)가 보고되었고, 이 노동자들은 이전에 디아세틸을 함유한 버터밀크 향료에 노출되었다. 기도 손상은 2,3-펜탄디온을 호흡하는 실험동물에서 단기간에 높은 용량으로 관찰되었다. 사람에서 암을 유발할 수 있는 2,3-펜탄디온의 잠재력은 미국 EPA IRIS 프로그램, 국제암연구소 또는 NTP 제13차 발암성 보고서에서는 평가되지 않았다(NTP, 1985).

전자레인지 팝콘 회사의 노동자는 모든 원인으로 인한 사망률이 정상이지만 COPD 관련 비율이 높았다. 특히 이전에 고용된 노동자는 디아세틸 노출이 줄었다. 네덜란드의 디아세틸 공장의 4명의 노동자는 폐쇄성 세기관지염 증후군으로 진단받았다. 이는 1960년에서 2003년 사이에 공장에서 근무한 175명의 노동자 집단에서 노출, 호흡기 증상, 폐 기능 및 노출-반응 관계에 대한 조사로 이어졌다. 폐기능 및 호흡기 증상에 대한 설문지 데이터를 일반 인구 샘플과 비교하고 노출되지 않은 내부 참조 그룹으로 2개의 대조군과 비교하여, 디아세틸 노출 노동자가 호흡기 증상, 매일의 기침 및 천식이 유의하게 증가함을 보고했다. 노출과 FEV_1 사이의 관계 또한 관찰되었다. 이 후향적 코호트에서의 호흡기 증상의 과다는 디아세틸 생산이 직업 위험을 야기함을 시사한다(van Rooy et al., 2009). 2004년 8월, 캘리포니아 보건서비스부서(CDHS)와 산업안전보건부(Cal/OSHA)는 캘리포니아의 향료 제조 노동자의 폐쇄성 세기관지염 진단에 대한 첫 번째 보고서를 받았고, 2006년 4월, 다른 회사의 풍미 생산 노동자에 대한 두 번째 보고서가 접수되었지만, 어떤 노동자도 전자레인지 팝콘 산업에 종사하지 않았고, 둘 다 체리, 아몬드, 프랄린, 잘라페노, 오렌지와 같은 인공향료 및 기타 향료를 생산하는 향료 제조업계의 노동자들이었다. 두 노동자 모두 인조버터 및 기타 향료의 성분인 순수 디아세틸과 제조공정에 관여하는 추가 화학물질을 취급했다. 연구에 따르면 디아세틸에 노출되면 동물에서 심한 호흡상피 손

상을 일으키는 것으로 나타났다. 향료의 제조에는 2,000가지가 넘는 화학물질이 포함되기 때문에 일반적인 향료 제조업계의 노동자는 주로 버터 향을 사용하는 전자레인지 팝콘 산업의 노동자보다 더 많은 화학물질에 노출된다(NIOSH, NOES Survey 1981-1983). 미국에서 디아세틸에 잠재적으로 노출된 사람이 3,438명(여성 1,628명)이라고 통계로 추정했다. 직업적 노출은 디아세틸이 생산되거나 사용되는 작업장에서 이 화합물과 흡입 및 피부노출로 인해 발생할 수 있다. 모니터링 및 사용 데이터에 따르면 일반인은 버터 향이 나는 증기 흡입, 음식 및 음료수 섭취, 담배 제품 사용, 디아세틸이 함유된 다른 소비제품과의 피부 접촉을 통해 디아세틸에 노출될 수 있다(Lewis, 2004).

Table 1에는 동물시험을 통해 얻어진 디아세틸의 독성치를 정리하여 나타냈다.

직업적 노출에 대한 기준으로, TLV는 8시간 TWA가 0.01 ppm, 15분 STEL이 0.02 ppm(ACGIH, 2016) 이며, 용도에 따른 기준(ppm)으로 보통 알코올성 음료 6.33~15.28, 구운 식품 28.17~49.94, 치즈 3.68~7.95, 추잉 검 0.69~9.20, 오일 6.01~62.18, 냉동 유제품 11.17~35.08, 젤라틴과 푸딩 13.45~26.58, 그라비어 7.19~25.04, 하드 캔디 10.65~30.08, 모조 유제품 10.50~25.50, 육류 제품 27.81, 유제품 4.70~7.00, 무알콜 음료 10.35~21.43, 스낵 식품 0.38~0.76, 소프트 캔디 17.13~43.32 등이다. 아이스크림, 구운 식품 및 마가린은 저농도로 사용된다(FEMA, 1994). 본 연구에서는 커피 로스팅 공정에서 폐쇄성 세기관지염을 일으키는 것으로 확인된 2종의 화학물질이 미치는 건강영향에 대한 그동안의 보고들을 중심으로 그 유해성을 고찰해 보고자 하였으며, 커피 로스팅 공정에서 폐쇄성 세기관지염을 일으키는 것으로 확인된 화학물질 2종의 독성기전을 규명하는데 도움이 되고자, 각 화학물질로 인한 유전자 발현 분석(mRNA expression profiling) 데이터베이스를 분석하여 두 화학물질이 미치는 영향에 대한 고찰을 통해 관련 공정의 노동자 및 사업주에게 도움이 되고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 국내외 관련 문헌 및 발표자료 등을 이용한 커피 로스팅 공정 노동자 안전보건 실태조사

1) 국내외 관련 문헌 및 발표자료 등을 검색, 활용하여 커피 로스팅 공정, 디아세틸(2,3-부탄디온), 2,3-펜탄디온과 관련된 국내외 문헌 및 발표 자료를 검색, 그 결과를 정리하였으며, 본 연구결과의 고찰에 활용하였다. 직업병, 특히 커피 로스팅 공정에서 발생하는 화학물질로 인한 폐질환에 영향을 줄 수 있는 요인과 관련된 논문 및 발표자료 등을 수집했다. 논의된 주제에는 커피 로스팅 공정에서의 화학적 유해인자에 대한 노동자의 건강영향 및 직업병과

Table 1. Toxicity values of diacetyl from animal tests

Toxicity	References(Links)
Male Rat gavage LD_{50} 3,400 ㎎/㎏	FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives; WHO Food Additives Series 42: Safety evaluation of aliphatic acyclic and alicyclic alpha-diketones and related alpha-hydroxyketones(1999). Available from, as of April 28, 2016: http://www.inchem.org/pages/jecfa.html
Female Rat gavage LD_{50} 3,000 ㎎/㎏	FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives; WHO Food Additives Series 42: Safety evaluation of aliphatic acyclic and alicyclic alpha-diketones and related alpha-hydroxyketones(1999). Available from, as of April 28, 2016: http://www.inchem.org/pages/jecfa.html
Rat gavage LD_{50} 1,580 ㎎/㎏	FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives; WHO Food Additives Series 42: Safety evaluation of aliphatic acyclic and alicyclic alpha-diketones and related alpha-hydroxyketones(1999). Available from, as of April 28, 2016: http://www.inchem.org/pages/jecfa.html
Mouse oral LD_{50} 250 ㎎/㎏	Lewis, R.J. Sr.(ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 586
Rat i.p. LD_{50} 400 ㎎/㎏	Lewis, R.J. Sr.(ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 586
Guinea pig oral LD_{50} 990 ㎎/㎏	Lewis, R.J. Sr.(ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 586

관련된 내용에 대한 적절한 검증연구가 포함되었다. 문헌 검색은 PubMed (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed), Google Scholar (http://scholar.google.com) 및 ScienceDirect(http://www.sciencedirect.com)와 같은 사이트를 사용하여 수행되었다. 검색 전략은 MeSH (National Center for Biotechnology Information, Bethesda, MD, USA)의 용어와 키워드를 사용했고, 모든 검색 결과는 논문 및 학회발표 초록의 정보를 검토하여 더욱 좁혀나갔으며, scholar.google.com의 보고서와 참고문헌을 검토하여 누락된 사례 보고서를 추가로 확인했다.

2) 전문가 자문회의

외부 전문가를 초빙하여 2회의 전문가 자문회의를 실시하였다.

3) 커피 로스팅 관련 전문 업체 견학

커피 로스팅 공정을 수행하고 있는 관련 전문 업체를 견학하여, 커피 로스팅 관련 작업장 실태를 파악하였다. 다만, 동 견학은 비공식적으로 이루어졌으며, 본 보고에서는 명확한 업체명은 밝히지 않았다.

2. 비교 독성유전체학(Comparative Toxicogenomics) 데이터베이스 검색 · 분석

본 연구에서 사용한 두 가지 물질인 디아세틸 및 2,3-펜탄디온과 관련된 유전자들의 발현변화에 대한 데이터베이스 검색을 수행하였으며, MDI Biological Laboratory & NC State University에서 제공하는 비교독성유전체 데이터베이스(Comparative Toxicogenomics Database; CTD) 홈페이지에서 두 물질과 관련된 유전자 변화 데이터를 검색하고, 그 결과로 나타난 관련 유전자들의 변이에 대해 고찰하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 국내외 관련문헌 및 발표자료 등을 이용한 커피 로스팅 공정 노동자 안전보건 실태조사

1) 커피 로스팅 관련 업체 견학

강원도 강릉시 B로스팅 업체와 경기도 파주시 T로스팅 업체를 방문하였다. 동 견학은 비공식적으로 이루어졌으며, 본 보고에서는 명확한 업체명 및 관련 실태와 사진 등은 제시하지 않았다. B업체의 경우, 카페 경영과 함께 이루어지는 작업장으로 로스팅은 주로 고객이 없는 밤부터 새벽 시간에 이루어지고 있었으며, 낮에는 작업장 설비의 견학만 허용하는 수준이었다. T로스팅 업체는 독립건물에 입주하여 상시 로스팅 작업이 이루어졌으나 해당 노동자에 대한 접근조사를 허용하지 않았다. 본 연구원 직업환경연구실의 협조로, 위 두 업체들에 대한 작업환경측정 결과자료를 확인하고자 하였으나, 업체명 및 사업자등록번호로는 작업환경측정자료를 검색할 수 없었다. 위 사업장들의 부동의로 국내 커피 로스팅 작업장에 대한 구체적인 실태조사는 수행하지 못했으며, 국내외 커피 로스팅 사업장에 대한 보고들을 고찰하는 방법으로 간접적인 실태를 파악하고자 하였다.

2014년 매출액 기준 5조 340억 원 규모인 국내 커피 산업에서 커피전문점은 절반가량(2조 5천억 원)을 차지하고 있고, 국내의 프랜차이즈 카페 브랜드는 2016년 5월말 현재 각 사 홈페이지에 공개된 정보들을 바탕으로 프랜차이즈 카페의 총 점포수는 6,472개로 나타났다. 프랜차이즈 브랜드들은 수도권 지역에 집중적으로 분포되었으며, 지역별 점포비율로는 서울(31.2%), 경기(19.5%), 부산(8.3%), 경남(5.6%), 인천(4.8%)의 순이었지만 서울, 경기, 인천 등 수도권 지역을 합치면 전국 프랜차이즈 카페의 과반수가 넘는 55.5%를 차지했다. 이는 수도권 인구 및 잠재고객 면에서 타 시도보다 많기 때문으로 추정할 수 있는데, 인구수(2016년 4월 기준) 및 지역별 노동자수(2014년 기준)에서 3위 부산(8.28%)과 4위 경남(5.58%)이 타 지역 대비 많은 점포수를 기록하고 있는 점에서도 확인할 수 있다(CoffeeTV, 2016).

2) 커피의 향기물질 성분들

커피 원두 및 커피 제품에 함유된 여러 가지 향기물질에 대해 조사하였으며, 아래 Table 2에 각 향기물질 성분들에 대한 '화학물질에 대한 분류 · 표시 국제조화 시스템(Global Harmonized System of classification and labelling of chemicals, GHS)' 분류결과도 함께 제시하였다.

3) 자문회의 개최 등

1차 자문회의('18. 3. 30) 기술자문(유전독성 관련 외부 전문가)과, 2차 자문회의('18. 5. 24) 기술자문(식품공학 관련 외부 전문가)을 통해 동 연구과제의 기술자문과 더불어 커피 제조 및 서비스업에서의 최신 이슈와 정보교류를 위한 노력을 하였다.

Table 2. GHS Hazard Classification results of coffee flavoring chemicals*

Flavorings	CAS No.	Concentration (ppm)	Characteristrics	GHS categories
(E)-β-Damascenone	23726-93-4	0.195	Fruit-flavored	Chronic aquatic toxicity Category 2
2-Furfurylthiol	98-02-2	1.08	Roasted(Coffee)	Flammable liquids Category 3 Skin corrosion/irritation Category 2 Serious eye damage/eye irritation Category 2 Chronic aquatic toxicity Category 3
3-Mercapto-3-methylbutylfomate	50746-10-6	0.13	Spicy, Roasted	Not classified(ECHA)
3-Methyl-2-buten-1-thiol	5287-45-6	0.0082	Amine-like	Flammable liquids and vapor, Serious eye irritation, oral toxic, Skin sensitization, Respiratory sensitization (ECHA)
2-Isobutyl-2-methoxypyrazine	24683-00-9	0.083	Earthy	Serious eye irritation, Skin sensitization, Respiratory sensitization(ECHA)
homofuraneol(EHMF)	27538-09-6	17.3	Caramel-flavored	Oral toxic, Serious eye irritation, Skin sensitization(ECHA)
Guaiacol	90-05-1	4.20	Phenol-flavored, Spicy	Acute toxic(oral) Category 4 Acute toxic(inhalation: vapor) Category 3 Serious eye damage/eye irritation Category 2
2,3-Butanedione(Diacetyl)	431-03-8	50.8	Buttery	Flammable liquids Category 2 Acute toxic(oral) Category 4 Skin corrosion/irritation Category 2 Serious eye damage/eye irritation Category 2 Specific target organ toxicity-Single exposure Category 3(Respiratory irritation)
4-Vinylguaiacol	7786-61-0	64.8	Spicy	Severe skin burns and eye damage, Severe eye irritation, Skin irritation and respiratory irritation(ECHA)
2,3-Pentanedione	600-14-6	39.6	Buttery	Flammable liquids Category 2 Skin corrosion/skin irritation Category 2 Severe eye damage/eye irritation Category 2
Methional	3268-49-3	0.24	Potato-flavored, Sweety	Acute toxic(oral) Category 4 Acute toxic(dermal) Category 4 Acute toxic(inhalation: vapor) Category 3 Skin corrosion/skin irritation Category 1 Severe eye damage/eye irritation Category 1 Skin sensitization Category 1 Specific target organ toxicity-Single exposure Category 3(Respiratory irritation) Specific target organ toxicity-Repeated exposure Category 2 Acute aquatic toxicity Category 1 Chronic aquatic toxicity Category 3
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine	25773-40-4	0.00033	Earthy, Roasted	Oral toxic(ECHA)
Vaniline	121-33-5	4.80	Vanilla-flavored	Acute toxic(oral) Category 4 Severe eye damage/eye irritation Category 2 Skin sensitization Category 1 Germ cell mutagenicity Category 2
4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	3658-77-3	109.0	Caramel-flavored	Acute toxic(oral) Category 4 Skin corrosion/skin irritation Category 2 Severe eye damage/eye irritation Category 2
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	13925-07-0	0.33	Earthy, Roasted	Acute toxic(oral) Category 4
2,3-Diethyl-5-methylpyrazine	18138-04-0	0.0095	Earthy, Roasted	Oral toxic, Harmful in contact with skin, Harmful if inhaled, Severe eye irritation, Skin and respiratory irritation(ECHA)
3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone	28664-35-9	1.47	Seasoning-flavored	Oral toxic(ECHA)
4-Ethylguaiacol	2785-89-9	1.63	Spicy	Skin corrosion/irritation Category 2 Chronic aquatic toxicity Category 2
5-Ethyl-3-hydroxy-4-methyl-2(5H)-furanone	698-10-2	0.16	Seasoning	Oral toxic(ECHA)

*Sourced by Grosch W. 16th ASIC Colloq. Kyoto. 1995, Choi N.A., The Secret of Coffee Scent from Science. Seoul-Commun. 2015

4) 관련 문헌 및 보고서 고찰

(1) 커피 로스터의 대기오염물질 배출량 측정에 관한 문헌(Lim et al., 2017)에서는 뱃치식 커피 로스터에서 배출되는 대기오염물질을 MK-600측정기와 가스검지관을 이용하여 포름알데히드 , 아세트알데히드 , 아크롤레인 등 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 3종과 CO, CO_2, NOx를 실시간으로 측정하였다. 1회 로스터 작동 시 배출량 산출을 위하여 로스터 배기구의 면적과 유속 , 공정시간을 이용하여 회차 당 유량을 산출하였다. 총 8회 유량 측정결과 평균 3.1 ㎥/회로 나타났다. 최대 포름알데히드 2,000 ppm, 아세트알데히드 120 ppm, 아크롤레인 10 ppm, CO 5,207 ppm, CO_2 2.29%, NOx 35 ppm으로 측정되었다. 커피 생두 1 kg 작업 시 배출되는 대기오염물질의 배출량은 최대 포름알데히드 440.7 ㎎/㎏, 아세트알데히드 497.4 ㎎/㎏, 아크롤레인 472.6 ㎎/㎏, CO 66.6 ㎎/㎏로 나타났다. 참고로 고용노동부 고시 제2018-24호(MOEL, 2018)에서 정한 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(TWA)은 다음과 같다; 포름알데히드 0.3 ppm(발암성 1A, 생식세포 변이원성2), 아세트알데히드 50 ppm(STEL 150 ppm, 발암성 1B), 아크롤레인 0.1 ppm(STEL 0.3 ppm, Skin), CO 30 ppm(STEL 20 ppm, 생식독성 1A), CO_2 5.00 ppm(STEL 30,00 ppm), NO_2 3 ppm(STEL 5 ppm), NO 25 ppm.

(2) 커피 로스팅 시 배출되는 대기오염물질 배출량 추정(Han et al., 2017) 문헌으로, 커피 로스팅 시 배출되는 오염물질 특성을 알아보기 위해서 해외 문헌을 조사하였고, 연간 국내에 수입되는 생두 량과 해외 배출계수를 이용하여 커피 로스팅 시 배출되는 대기오염물질 배출량을 추정한 보고이다.

(3) 인천광역시 보건환경연구원에서 2012년에 발간한 '원두커피중 벤조피렌이 검출될까에 대한 보고'(IoHE, 2012)에서 원두커피에서 벤조피렌의 함유량을 조사했으며, 원두커피 중 중간단계(시티로스팅) 이상으로 로스팅 되어진 원두커피들만을 대상으로 인천 관내의 원두커피전문점과 대형마트에서 40건 수거하여 검사한 결과, 생두는 보통 220~230℃에서 30분 정도의 로스팅 과정을 거치기에 발암물질인 벤조피렌의 검출가능성을 열어 두었지만 다행히 모두 불검출이었다. 현재 식품공전에서 식용유지(2 ppb 이하) 등 아홉 종의 식품에 대해서 기준이 정해져 있어서 관리되어지고 있었지만 원두커피에 대해서는 벤조피렌이 어느 정도 함유되어 있는지에 대한 정보가 없었기에 동 조사결과가 의미가 있다. 원두커피의 소비량이 점점 많아지면서 벤조피렌으로부터 안전하게 음용할 수 있게 된 조사였다.

그 밖에 미국 CDC(2017), NIOSH(2017, 2018) 등에서 보고한 내용을 고찰하였다. 지난 10년 동안 향료 첨가제 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대한 직업적 노출과 관련된 잠재적인 호흡기 건강 영향에 대한 우려가 제기되었으나, 현재까지 상업적으로 불에 구워진 원두를 분쇄하는 동안 디케톤에 대한 작업장 노출을 특징으로 하는 발표된 연구는 없었다. 최근 미국 산업위생전문가협의회(ACGIH, 2016)에서 상업용 커피에서의 TLVs에 근접하거나 잠재적으로 초과하는 2,3-부탄디온(디아세틸) 및 2,3-펜탄디온의 공기 중 존재를 규명했다.

5) 커피 로스팅 및 포장 시설 및 관련 카페에서 노출 및 호흡기 건강 평가(Report No. 2016-0067-3313 / U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 2018)

2016년 3월 커피 로스팅 및 포장 시설을 방문하여, 알파-디케톤(디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온)의 수준을 측정하기 위해 평균(시간), 작업(분) 및 순간(초) 공기샘플을 수집하고, 원두 커피와 볶은 커피를 모아 디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온의 배출가능성을 측정하였으며, 총 휘발성 유기화합물, 일산화탄소 및 이산화탄소의 실시간 대기 수준을 측정하였다. 환기시스템을 평가하고, 직원과 면담, 호흡검사를 실시하였다. Table 3에는 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 작업장 노출한계를 나타냈고, Table 4에서는 2015년 7월과 2016년 3월 NIOSH 조사에서 샘플링한 화합물에 대한 개인노출 한도를 나타냈다. 관찰 결과, 모든 전면형 개인 공기포집 결과는 디아세틸(5 ppb) 및 2,3-펜탄디온(9.3 ppb)의 REL을 밑돌았으며 가장 높은 측정농도는 생산지역의 디아세틸이 4.7 ppb, 2,3-펜탄디온은 3.9 ppb였다. 모든 15분 개인작업 샘플은 디아세틸(25 ppb) 및 2,3-펜탄디온(31 ppb)으로 권장 단기간 노출한도 미만이었고, 생산 구역에서의 분쇄작업으로 알파 디케톤 노출량이 가장 높았다(디아세틸 9.4 ppb, 2,3-펜탄디온 9.9 ppb). 순간적으로 비워진 용기로 채취한 시료는 분쇄작업과 관련하여 더 높은 알

Table 3. Occupational exposure limits for diacetyl and 2,3-pentanedione

	Time Weighted Average(8 hr)	Short-term Exposure Limit(15 min)
Diacetyl		
ACGIH TLV	10 ppb	20 ppb
NIOSH REL	5 ppb	25 ppb
2,3-Pentanedione		
NIOSH REL	9.3 ppb	31 ppb

Table 4. Personal exposure limits for compounds sampled in the July 2015 and March 2016 NIOSH surveys*

Chemicals	OSHA*	ACGIH		NIOSH		
	PEL	TLV	STEL	REL	STEL	IDLH
Diacetyl	-	10 ppb	20 ppb	5.0 ppb†	25 ppb	-
2,3-Pentanedione	-	-	-	9.3 ppb†	31 ppb	-
2,3-Hexanedione	-	-	-		-	-
Total dust	15 ㎎/㎥	-	-		-	-
Respiratory dust	5.0 ㎎/㎥	3.0 ㎎/㎥‡	-		-	-
Inhalable dust	-	10 ㎎/㎥‡	-		-	
CO_2	5,000 ppm	5,000 ppm	30,000 ppm	5,000 ppm	30,000 ppm	40,000 ppm
CO	50 ppm	25 ppm	-	35 ppm	200 ppm(C)¶	1,200 ppm

*Sourced by NIOSH, 2018
*There is no OSHA STEL for compounds in the table.
†NIOSH REL for diacetyl and 2,3-pentanedione are time-weighted averages for 8 hours or 10 hours for 40 hours per week.
‡ACGIH provides guidance on inhalation and respirable dust without TLV for inhalation or respiratory dust. According to the ACGIH guidelines, airborne particles should be kept below 3 ㎎/㎥ for breathable particles and below 10 ㎎/㎥ for inhalable particles.
§OSHA and NIOSH limits are designed to measure occupational exposures in manufacturing and other transactions originating from carbon dioxide or carbon monoxide(eg, coffee roasting, welding, automobile exhaust, diesel engine exhaust) sources. Typical levels of carbon monoxide in offices are 0-5 ppm. In an office environment, carbon dioxide should generally not exceed 700 ppm above outdoor carbon dioxide levels. This generally corresponds to an indoor concentration of 1200 ppm or less.
¶This is the NIOSH exposure limit for carbon monoxide. Ceiling values should not be exceeded at any time.

파-디케톤 농도를 보였다. 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 공기 농도가 하루에 증가했고, 시험한 로스팅 커피 원두는 디아세틸과 2,3-펜탄디온을 배출했으며, 2,3-헥산디온은 검출 한계 이하였다. 대기 중 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았고, 최대 이산화탄소 수준은 로스터(627 ppb)와 포장 영역(691 ppb)에서 발생했고, 측정된 최대 일산화탄소 수준은 포장 영역(4 ppb)이었다. 눈과 코 증상이 가장 흔하게 보고되었으며, 일부 직원들은 자신의 증상이 먼지, 녹차 커피 먼지 또는 왕겨에 의해 유발되었거나 가중되었다고 보고했고, 호흡곤란 및 흉부압박으로 인한 각성 증상이 가장 흔히 보고된 하기도 증상이었다. 모든 폐활량 측정 검사는 정상이었으며, 10명 중 2명은 알레르기기도 염증의 표지자인 높은 호기 산화질소를 보였다. 커피 로스팅 및 포장 시설에서 모든 개인 공기 시료는 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도 이하였다. 생산 구역에서의 분쇄 작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 대기 중의 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았다. 2016년 3월에 카페를 방문하여, 알파-디케톤(디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온)의 수준을 측정하기 위해 평균(시간), 작업(분) 및 순간(초) 공기 샘플을 수집하고, 총 휘발성 유기화합물인 일산화탄소 및 이산화탄소의 실시간 대기 수준 측정, 환기 시스템을 평가, 직원과 면담, 호흡검사를 실시하였으며, 카페에서 알파-디케톤(디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온), 기

타 휘발성 유기화합물, 일산화탄소 및 이산화탄소에 대한 호흡기 건강 및 공기 노출량을 평가했다. 다섯 개의 전면형 개인 공기시료 중 세 개가 diacetyl에 대한 NIOSH의 권장 노출 한계치인 5 ppb, 가장 높은 측정농도는 6 ppb였고, 커피 원두를 갈아주는 것을 포함하여 에스프레소 음료를 만드는 직원은 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대해 개인작업 기준으로 가장 높은 노출을 보였다. 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가하고 권장 수치보다 높았고, 카페에 통풍을 제공하는 공기조절장치는 옥외에서 공기를 들여보내지 않고 카페 공간에서 공기를 100% 재순환시켰다. 어떤 실내환경에서도 오염물질을 희석하기 위해서는 외부공기를 적절하게 공급할 필요가 있었다. 부비동염이 발생한 코 증상은 가장 흔하게 보고되는 증상이었다. 참가자들은 업무 관련 증상을 보고하지 않았으며, 폐활량 검사와 호기 산화질소 검사는 모두 정상이었다. 관찰 결과, 다섯 개의 개인공기시료 중 세 개가 디아세틸의 권장 노출한도인 5 ppb를 초과했으며 가장 높은 측정농도는 6 ppb였다. 어떤 개인 샘플도 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도를 초과하지 않았고, 원두 분쇄를 포함하여 에스프레소 음료를 만드는 노동자는 디아세틸(7.3 ppb)과 2,3-펜탄디온(9.4 ppb)에 대해 개인 작업환경기준으로 가장 높은 노출을 보였다. 에스프레소 기계 옆에서 측정했을 때 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가하여 권장 수치보다 높았으며, 평균 일산화탄소 수준은 1.6 ppm이었지만, 단기 최대치는 109.6 ppm까지 측정되었다. 카페에 환기를 제공하는 공기조절장치는 옥외에서 공기를 들이지 않고 카페 내부 공기의 100%를 재순환시킴에 따라, 시스템은 사람뿐만 아니라 장비, 건축 자재, 가구 및 공정제품(커피 분쇄 등)에 의해 방출되는 오염물질을 희석시키는 것을 도울 수 없었다. 코 증상으로 인한 부비동염이나 부비동 문제가 가장 흔하게 보고되는 증상이었고, 참가자들은 업무 관련 증상을 보고하지 않았다. 모든 폐활량 측정 및 호기 산화질소 검사는 정상이었다.

6) NIOSH의 건강위험평가 프로그램(Health Hazard Evaluation Program, 2016)

커피 로스팅, 포장시설 및 관련 카페 운영자로부터 커피 로스팅, 연삭 및 디아세틸에 대한 노출 및 카페 작업 건강영향에 대한 우려가 접수되어, 2016년 3월에 산업위생 조사 및 환기평가를 실시했고, 또한 의료조사를 수행했다. 산업위생 조사는 알파-디케톤(즉, 디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온)에 대한 개인호흡영역 및 일반적인 공기시료 샘플을 수집하는 것으로 구성되었다. 디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온의 배출 가능성을 평가하기 위해 생두 및 원두의 벌크 샘플을 수집했고, 지속적인 모니터링 장비를 사용하여 특정 지역 및 작업 중 총 휘발성 유기화합물, 일산화탄소, 이산화탄소, 온도 및 상대습도를 측정, 의료 설문조사는 건강 설문지와 호흡 검사로 이루어졌다. 로스팅 및 포장 시설에서 모든 전면형 개인 공기 샘플 결과는 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도 미만이었고, 생산구역에서의 분쇄작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 대기 중의 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았다. 눈과 코 증상이 가장 흔하게 보고된 증상이었으며, 호흡 곤란 및 흉부 압박으로 인한 각성은 가장 흔하게 보고된 호흡기 증상이었으며, 상부 또는 하부 호흡기 증상이 있는 모든 참가자는 증상이 일과 관련이 없지 않다고 보고했다. 이러한 호흡기 증상과 폐 기능 이상은 작업장 노출 또는 기타 요인과 관련될 수 있으나, 의료조사 참가자의 40%가 먼지, 생두 분진 또는 왕겨에 의해 유발되거나 악화되는 호흡기 증상에 대한 결과는 노동자의 호흡 문제로 인한 부담을 시사한다.

카페에서 다섯 개의 개인 공기샘플 중 세 개가 디아세틸의 권장 노출제한치인 5 ppb를 초과했으며 가장 높은 측정 농도는 6 ppb였고, 어떤 개인샘플도 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도를 초과하지 않았다. 원두를 분쇄하는 것을 포함하여 에스프레소 음료를 만드는 노동자는 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대해 개인작업 기준으로 가장 높은 노출을 보였다. 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 대기 농도는 근무일 동안 증가했고, 에스프레소 기계 옆에서 측정했을 때, 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가했으며 권장 수치보다 높았다. 커피 로스팅 및 포장 시설에서, 모든 개인 샘플은 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대한 REL보다 낮았고, 생산 구역에서의 분쇄작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 대기 중의 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았다. 눈과 코 증상이 가장 흔하게 보고된 증상이었으며, 호흡 곤란 및 흉부 압박으로 인한 각성은 가장 흔하게 보고된 호흡기 증상이었다. 상부 또는 하기도 증상이 있는 모든 참가자는 증상이 일과의 관련이 없지 않다고 보고했으며, 이러한 호흡기 증상과 폐 기능 이상은 작업장

노출 또는 기타 요인과 관련될 수 있으나, 의료 조사 참가자의 40%가 먼지, 생두 분진 또는 왕겨에 의해 유발되거나 악화되는 호흡기 증상에 대한 결과는 이 인력의 호흡 문제로 인한 부담을 시사한다. 카페는, 다섯 개의 전면형 개인 공기샘플 중 세 개가 diacetyl의 경우 5.0 ppb인 NIOSH REL보다 높았고 최고 농도가 6.0 ppb였다. 분쇄 작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했고, 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가했으며 권장 수치보다 높았다. 옥외에서 공기를 들여보내지 않고 카페 내부의 공기를 100% 재순환했고, 카페나 주방에서 국소배기시스템이 설치되지 않았다. 부비동염이 발생한 코 증상은 가장 흔하게 보고되는 증상이었다. 참가자들은 업무 관련 증상을 보고하지 않았고, 폐활량 검사와 호기 산화질소 검사는 모두 정상이었다. 어떤 실내 환경에서도 오염물질을 희석하기 위해서는 외부 공기를 적절하게 공급할 필요가 있었다.

7) 커피 로스팅 및 포장 시설 및 관련 카페에서 노출 및 호흡기 건강 평가(Report No. 2016-0067-3313 / U.S. Department of Health and Human Services, CDC, NIOSH, 2018)

2016년 1월, NIOSH의 건강위험평가 프로그램(Health Hazard Evaluation Program)에서 커피 로스팅, 포장 시설 및 관련 커피 카페 운영자로부터 커피 로스팅, 연삭 및 디아세틸에 대한 노출 및 카페 작업 건강영향에 대한 우려가 접수되었다. 2016년 3월에 산업위생 조사 및 환기평가를 실시했고, 또한 의료조사를 수행했다. 산업위생 조사는 알파-디케톤(즉, 디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온)에 대한 개인호흡구역 및 일반적인 공기 시료를 수집하는 것으로 구성되었다. 디아세틸, 2,3-펜탄디온 및 2,3-헥산디온의 배출 가능성을 평가하기 위해 생두 및 원두의 벌크 샘플을 수집했다. 지속적인 모니터링 장비를 사용하여 특정 지역 및 작업 중 총 휘발성 유기화합물, 일산화탄소, 이산화탄소, 온도 및 상대습도를 측정했다. 의료 설문조사는 건강 설문지와 호흡 검사로 이루어졌다. 로스팅 및 포장 시설에서 모든 전면형 개인 공기 샘플 결과는 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도 미만이었다. 생산구역에서의 분쇄 작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 대기 중의 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았다. 이러한 호흡기 증상과 폐 기능 이상은 작업장 노출 또는 기타 요인과 관련될 수 있으나, 의료조사 참가자의 40%가 먼지, 생두 먼지 또는 왕겨에 의해 유발되거나 악화되는 호흡기 증상에 대한 결과는 노동자의 호흡 문제를 나타냈다. 생산 활동 중에는 항상 옥상 에어핸들링 장치를 작동하고, 작업관행 수정, 작업장 위험에 대한 직원 교육, 생두 또는 원두 먼지로부터 보호할 수 있는 N95 일회용 여과 전면형 호흡기의 자발적인 사용과 같은 관리를 권고했다.

카페에서 다섯 개의 전면형 개인 공기샘플 중 세 개가 디아세틸의 권장 노출한도인 5 ppb를 초과했으며 가장 높은 측정 농도는 6 ppb였다. 어떤 개인샘플도 2,3-펜탄디온의 권장 노출한도를 초과하지 않았다. 커피 원두를 갈아주는 것을 포함하여 에스프레소 음료를 만드는 직원은 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대해 개인작업 기준으로 가장 높은 노출을 보였다. 디아세틸과 2,3-펜탄디온의 대기 농도는 근무일 동안 증가했으며, 에스프레소 기계 옆에서 측정했을 때, 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가하여 권장 수치보다 높았다. 부비동염이 발생한 코 증상은 가장 흔하게 보고되었다. 의료 설문 참가자는 업무관련 증상을 보고하지 않았다. 폐활량 검사와 호기 산화질소 검사는 모두 정상이었다. 직원들에게 작업장 위험에 대해 교육하고 환기 전문가와 협력하여 적절한 수준의 실외 공기를 유입시켜 환기 지침을 준수하는 것이 권장되었다. 모든 전면형 개인 샘플은 디아세틸과 2,3-펜탄디온에 대한 REL보다 낮았다. 생산 구역에서의 분쇄작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 대기 중의 이산화탄소 및 일산화탄소 농도는 해당 노출한도를 초과하지 않았다. 호흡기 증상과 폐 기능 이상은 작업장 노출 또는 기타 요인과 관련될 수 있으나, 의료 조사 참가자의 40%가 먼지, 생두 먼지 또는 왕겨에 의해 유발되거나 악화되는 호흡기 증상을 일으켰다.

카페에서는 다섯 개의 전면형 개인 공기샘플 중 세 개가 diacetyl의 경우 5.0 ppb인 NIOSH REL보다 높았고 최고 농도가 6.0 ppb였다. 분쇄 작업으로 가장 높은 알파-디케톤 노출이 발생했다. 이산화탄소 수치는 하루 종일 약간 증가했으며 권장 수치보다 높았다. 폐활량 검사와 호기 산화질소 검사는 모두 정상이었다. 어떤 실내 환경에서도 오염물질을 희석하기 위해서는 외부 공기를 적절하게 공급할 필요가 있었다. 직원에게 작업장 위험에 대해 교육하고 환기 전문가와 협력하여 건물의 환기지침을 충족시키는 적절한 수준의 실외공기를 가져 오는 것이 권장되었다.

2. 비교 독성유전체학(Comparative Toxicogenomics) 데이터베이스의 검색 및 결과분석

아래 Figure 1과 2는 디아세틸 및 2,3-펜탄디온과 관련된 유전자들의 발현변화에 대한 데이터베이스 검색으로, MDI Biological Laboratory & NC State University에서 제공하는 비교 독성유전체 데이터베이스(Comparative Toxicogenomics Database, CTD) 홈페이지(ctdbase.org, MDI Biological Laboratory & NC State University, 2019)에서 두 가지 물질과 관련된 유전자 변화 데이터를 검색한 결과이다. Figure 1은 diacetyl와 가장 관련된 변화 유전자를 보이는 것으로, DCXR, ACHE, BCHE 등의 유전자가 가장 관련되어 있는 것으로 나타났다. Table 5는 디아세틸과 관련된 발현변화 유전자들의 기능을 설명했다.

아래 Figure 2는 2,3-펜탄디온과 가장 관련된 변화 유전자를 보이는 것으로, AKR1B1, AKR1B10, CXCR4 등의 유전자가 가장 관련되어 있는 것으로 나타났다. Table 6은 2,3-펜탄디온과 관련된 발현변화 유전자들의 기능을 나타냈다.

Ⅳ. 고 찰

커피와 차는 널리 마시는 음료로서 차의 플라보노이드 성분 등은 시험관 내 및 동물 모델에서 폐 종양 형성을 억제하는 것으로 나타났지만, 커피는 유전독성 및 돌연변이원성을 가질 수 있는 생화학적 활성 화합물 또는 그 혼합물을 함유하고 있다고 보고되어 지속적인 논란이 있어왔다. 이 중 2,3-부탄디온(BD, 디아세틸) 증기에 대한 아만성 또는 만성 노출 및 직업적 노출은 심각한 호흡기 질환과 관련이 있는 것으로 보고되었다(NIOSH, NOES Survey, 1981-1983). 디아세틸은 식품에서 자연적으로 발견되며 버터, 캐러멜, 식초, 유제품 및 커피를 비롯하여 식품의 합성 향신료 및 아로마 운반제로도 사용된다. 미국에서는 디아세틸과 아세토인이 식품의약청(FDA)에서 직접 식품에 첨가하는 물질로 규제되며 일반적으로 안전하다고 인정된다. 두 화합물은 일반적으로 불꽃 이온화 검출과 결합된 가스크로마토그래피를 사용하여 검출할 수 있다. 디아세틸은 여러 미국 공급 업체에서 구입할 수 있으며 메틸에틸케톤을

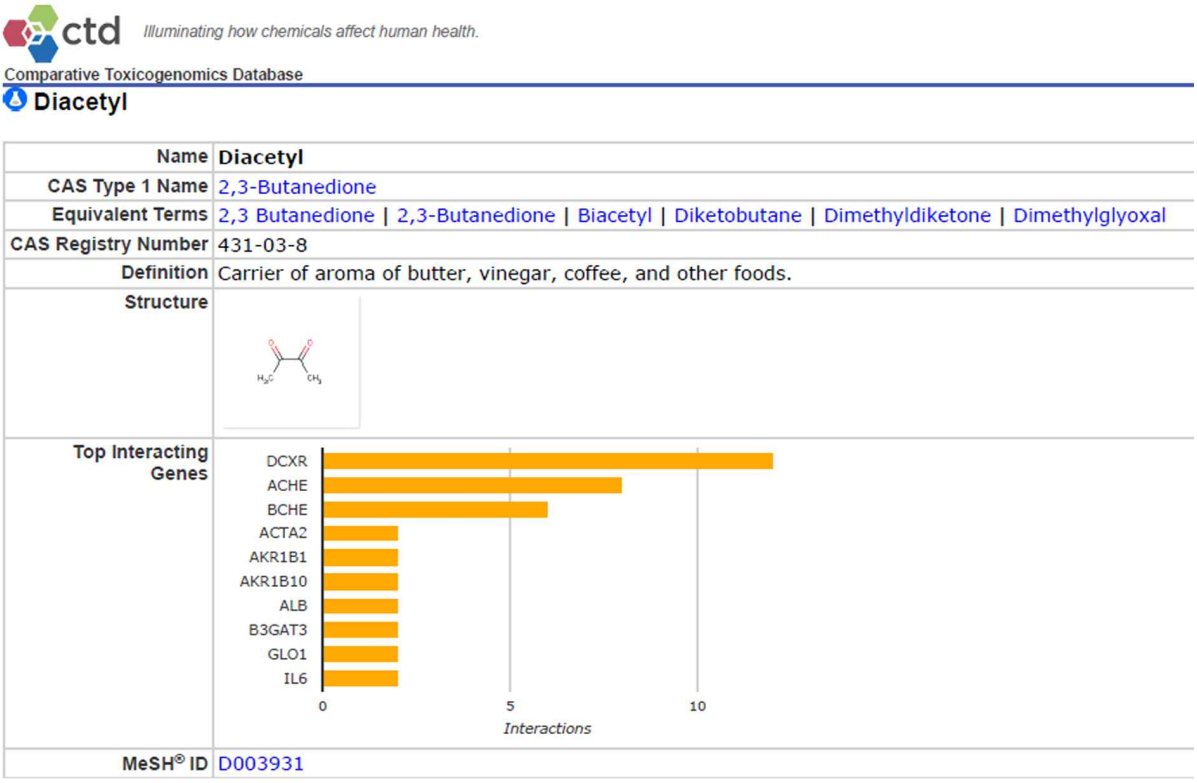

Figure 1. Database search results for expression changes of genes related to Diacetyl.
Searching results from MDI Biological Laboratory & NC State University(CTD) homepage, which provides gene mutation data related to two substances

Table 5. Function of expression-altering genes associated with diacetyl
(referenced from Genetics Home Reference in US National Library of Medicine, https://ghr.nlm.nih.gov/)

Genes	Function
DCXR	The DCXR gene provides instructions for making a protein called dicarbonyl and L-xylulose reductase(DCXR), which plays multiple roles in the body. One of its functions is to perform a chemical reaction that converts a sugar called L-xylulose to a molecule called xylitol. This reaction is one step in a process by which the body can use sugars for energy. There are two versions of L-xylulose reductase in the body, known as the major isoform and the minor isoform. The DCXR gene provides instructions for making the major isoform, which converts L-xylulose more efficiently than the minor isoform. It is unclear if the minor isoform is produced from the DCXR gene or another gene. Another function of the DCXR protein is to break down toxic compounds called alpha-dicarbonyl compounds. These compounds, which are byproducts of certain cellular processes or are found in foods in the diet, must be broken down so they do not damage cells. The DCXR protein is also one of several proteins that get attached to the surface of sperm cells as they mature. DCXR is involved in the interaction of a sperm cell with an egg cell during fertilization.
ACHE	Acetylcholinesterase hydrolyzes the neurotransmitter, acetylcholine at neuromuscular junctions and brain cholinergic synapses, and thus terminates signal transmission. It is also found on the red blood cell membranes, where it constitutes the Yt blood group antigen. Acetylcholinesterase exists in multiple molecular forms which possess similar catalytic properties, but differ in their oligomeric assembly and mode of cell attachment to the cell surface. It is encoded by the single ACHE gene, and the structural diversity in the gene products arises from alternative mRNA splicing, and post-translational associations of catalytic and structural subunits. The major form of acetylcholinesterase found in brain, muscle and other tissues is the hydrophilic species, which forms disulfide-linked oligomers with collagenous, or lipid-containing structural subunits. The other, alternatively spliced form, expressed primarily in the erythroid tissues, differs at the C-terminal end, and contains a cleavable hydrophobic peptide with a GPI-anchor site. It associates with the membranes through the phosphoinositide(PI) moieties added post-translationally.
BCHE	The BCHE gene provides instructions for making the pseudocholinesterase enzyme, also known as butyrylcholinesterase, which is produced by the liver and circulates in the blood. The pseudocholinesterase enzyme is involved in the breakdown of certain drugs, including muscle relaxant drugs called choline esters that are used during general anesthesia. These drugs are given to relax the muscles used for movement(skeletal muscles), including the muscles involved in breathing, and are often employed in emergencies when a breathing tube must be inserted quickly. Pseudocholinesterase also helps protect the body by breaking down certain toxic substances before they reach the nerves. These substances include certain pesticides, poisons that attack the nerves, and specific natural toxins including a compound called solanine found in green potato skin. It is likely that the enzyme has other functions in the body, but these functions are not well understood. Studies suggest that the enzyme may be involved in the transmission of nerve signals.
ACTA2	The ACTA2 gene provides instructions for making a protein called smooth muscle alpha(α)-2 actin, which is part of the actin protein family. Actin proteins are important for cell movement and the tensing(contraction) of muscles. Smooth muscle α-2 actin is found in smooth muscle cells. Smooth muscles line the internal organs, including the blood vessels, stomach, and intestines. Within smooth muscle cells, smooth muscle α-2 actin forms the core of structures called sarcomeres, which are necessary for muscles to contract. Smooth muscles contract and relax as part of their normal function without being consciously controlled. Layers of smooth muscle cells are found in the walls of the arteries, which are blood vessels that carry blood from the heart to the rest of the body. Smooth muscle α-2 actin contributes to the ability of these muscles to contract, which allows the arteries to maintain their shape instead of stretching out as blood is pumped through them.
AKR1B1	-
AKR1B10	-
ALB	This gene encodes the most abundant protein in human blood. This protein functions in the regulation of blood plasma colloid osmotic pressure and acts as a carrier protein for a wide range of endogenous molecules including hormones, fatty acids, and metabolites, as well as exogenous drugs. Additionally, this protein exhibits an esterase-like activity with broad substrate specificity. The encoded preproprotein is proteolytically processed to generate the mature protein. A peptide derived from this protein, EPI-X4, is an endogenous inhibitor of the CXCR4 chemokine receptor.
B3GAR3	-
GLO1	-
IL6	This gene encodes a cytokine that functions in inflammation and the maturation of B cells. In addition, the encoded protein has been shown to be an endogenous pyrogen capable of inducing fever in people with autoimmune diseases or infections. The protein is primarily produced at sites of acute and chronic inflammation, where it is secreted into the serum and induces a transcriptional inflammatory response through interleukin 6 receptor, alpha. The functioning of this gene is implicated in a wide variety of inflammation-associated disease states, including suspectibility to diabetes mellitus and systemic juvenile rheumatoid arthritis. Alternative splicing results in multiple transcript variants.

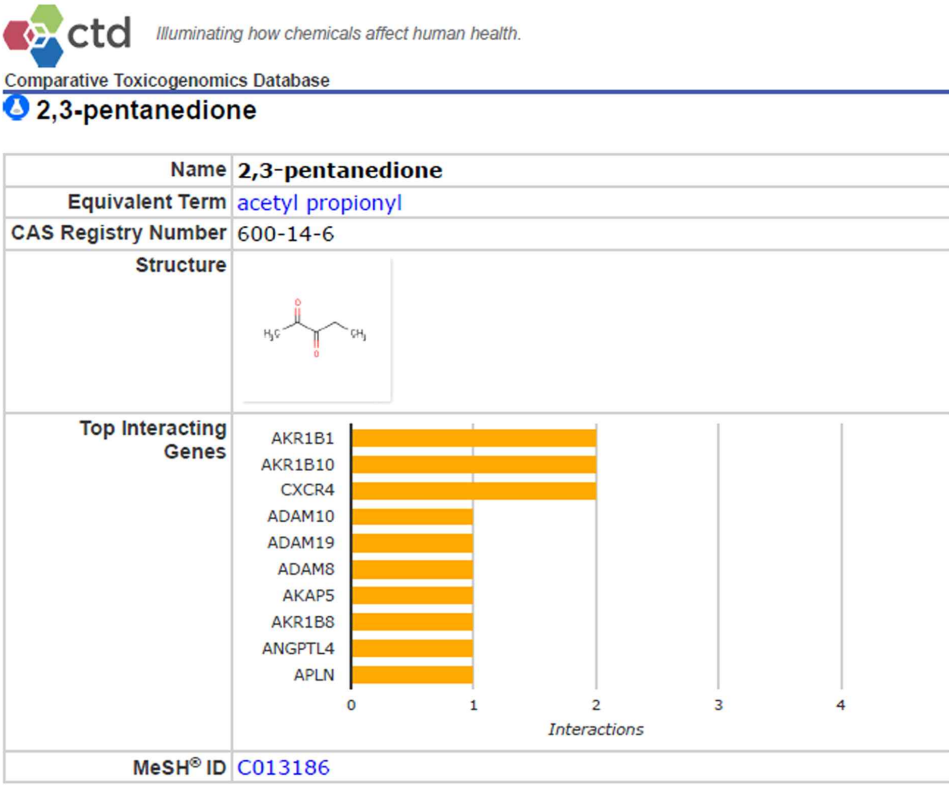

Figure 2. Database search results for expression changes of genes related to 2,3-Pentanedione.
Searching results from MDI Biological Laboratory & NC State University(CTD) homepage, which provides gene mutation data related to two substances

이소니트로소 화합물로 전환한 다음 염산으로 가수분해하거나 구리 촉매를 사용하여 2-부탄온을 산화하는 등 다양한 방법으로 제조된다. 디아세틸은 또한 메틸아세틸카르비놀을 통한 포도당의 발효 산물과 맥주 제조 과정에서의 유산균 활동성 산물이다. 디아세틸은 담배 연기 및 여러 식물의 아로마 성분으로 확인되었으며, 대기에서 빠르게 광분해되어 토양이나 퇴적물 또는 생선에서 생물 농축으로 크게 흡수되지 않는다(Duling et al., 2016).

디아세틸 및 아세토인은 피루부산의 탈카복실화로부터 인체 내에서 형성되며, 버터 향료에서 방출되는 중요한 VOCs로 전자레인지 팝콘 생산 업계의 노동자에게 중요하다. NIOSH는 미주리주 전자레인지 팝콘 공장(Gilster-Mary Lee Corporation)의 여덟 명의 전직 노동자들에서 중증 세기관지염 종양 증후군 사례가 대중의 관심을 불러 일으켰다고 보고했다. NIOSH는 세 개의 다른 전자레인지 팝콘 공장의 노동자들이 diacetyl 및 다른 VOCs 형태의 버터 풍미 혼합물 및 직업적인 폐병을 발견했고, 이들 중 최소한 세 명이 사망한 것으로 보고되었다. 이로부터 폐쇄성 세기관지염은 "팝콘 노동자의 폐" 또는 "팝콘 포장업자의 폐"로 불려왔다. 미주리 공장의 8명의 노동자 중 4명은 공장의 생산지역(혼합실 포함)에서 근무했으며 4명은 포장분야에서 일했다. 이 노동자들은 사무실, 창고 및 외부 지역에 비해 각각 평균 디아세틸 대기농도의 800x와 15x에 노출되었다. 생산 지역의 노동자는 또한 호흡 곤란, 호흡기 증상, 비정상적인 피로, 기타 전신 증상, 발진 또는 기타 피부 문제를 호소했다. 디아세틸에 대한 누적노출이 계속됨에 따라 기도 폐쇄의 발생률이 증가했고(van Rooy et al., 2009), 호흡기 질환의 원인 또는 노출의 지표로서 디아세틸을 제안했다. 그러나 생산지역의 노동자들은 케톤과 다른 VOCs 및 호흡성 먼지의 최고농도에도 노출되었다. 폐쇄성 세기관지염은 다른 산업분야의 노동자(제빵 산업, 향료 제조 공장, 향료 또는 향신료를 사용하는 스낵 식품 제조업체)에서도 보고되었으며, 탄광, 석공 등 위험 업종 종사자들에게 만성 폐쇄성 폐질

Table 6. Function of expression-altering genes associated with 2,3-Pentanedione
(referenced from Genetics Home Reference in US National Library of Medicine, https://ghr.nlm.nih.gov/)

Genes	Function
AKR1B1	-
AKR1B10	-
CXCR4	The CXCR4 gene provides instructions for making a receptor protein that spans the outer membrane of cells, specifically white blood cells and cells in the brain and spinal cord(central nervous system). Receptor proteins have specific sites into which certain other proteins, called ligands, fit like keys into locks. After attachment of its ligand, called SDF-1, the CXCR4 protein turns on(activates) signaling pathways inside the cell. These pathways help regulate cell growth and division(proliferation), the process by which cells mature to carry out specific functions(differentiation), and cell survival. Once signaling is stimulated, the CXCR4 protein is removed from the cell membrane(internalized) and broken down so it can no longer activate the signaling pathways. The CXCR4 receptor is also involved in the movement(migration) of cells. Cells that have the CXCR4 protein in their membrane are attracted to SDF-1. High levels of this ligand are found in the bone marrow, which helps certain blood cells migrate to and stay in the bone marrow until they are needed elsewhere in the body. Retention of early blood cells known as hematopoietic stem cells in the bone marrow is important to ensure that stem cells are available when needed. White blood cells also remain in the bone marrow until they are needed in the body to fight infection.
ADAM10	Members of the ADAM family are cell surface proteins with a unique structure possessing both potential adhesion and protease domains. This gene encodes and ADAM family member that cleaves many proteins including TNF-alpha and E-cadherin. Alternate splicing results in multiple transcript variants encoding different proteins that may undergo similar processing.
ADAM19	This gene encodes a member of the ADAM(a disintegrin and metalloprotease domain) family. Members of this family are membrane-anchored proteins structurally related to snake venom disintegrins and have been implicated in a variety of biological processes involving cell-cell and cell-matrix interactions, including fertilization, muscle development, and neurogenesis. This member is a type I transmembrane protein and serves as a marker for dendritic cell differentiation. It has been demonstrated to be an active metalloproteinase, which may be involved in normal physiological processes such as cell migration, cell adhesion, cell-cell and cell-matrix interactions, and signal transduction. It is proposed to play a role in pathological processes, such as cancer, inflammatory diseases, renal diseases, and Alzheimer's disease.
ADAM8	-
AKAP5	-
AKR1B8	-
ANGPTL4	This gene encodes a glycosylated, secreted protein containing a C-terminal fibrinogen domain. The encoded protein is induced by peroxisome proliferation activators and functions as a serum hormone that regulates glucose homeostasis, lipid metabolism, and insulin sensitivity. This protein can also act as an apoptosis survival factor for vascular endothelial cells and can prevent metastasis by inhibiting vascular growth and tumor cell invasion. The C-terminal domain may be proteolytically-cleaved from the full-length secreted protein. Decreased expression of this gene has been associated with type 2 diabetes. Alternative splicing results in multiple transcript variants. This gene was previously referred to as ANGPTL2 but has been renamed ANGPTL4.
APLN	-

환이 생길 가능성을 줄이기 위한 여러 방안들이 추진되었다(Pirozzi & Scholand, 2012). 그 예로 공공정책 창안, 위험에 대한 노동자 및 관리자 교육, 금연 장려, 만성 폐쇄성 폐질환의 초기 징후에 대한 노동자 검사, 호흡보호구의 사용, 분진 제어 등이 있다(Smith & Timby, 2005). 효과적인 분진 제어는 물 분무나 분진 발생을 최소화하는 채광 기술을 이용하여 환기조건을 개선함으로써 이루어진다. 노동자에게 만성 폐쇄성 폐질환이 생길 경우, 작업교체 등의 방법으로 분진 노출을 피함으로써 추가적인 폐 손상을 줄일 수 있다(George, 2005).

1. 커피 로스팅 공정에서 발생하는 향기물질들

2,3-펜탄디온이 생산 또는 사용되는 작업장에서 흡입 및 피부 접촉으로 2,3-펜탄디온에 직업적 노출이 발생할 수 있으며, 모니터링 데이터에 따르면 일반인은 담배 연기 흡입 및 음식물 섭취를 통해 2,3-펜탄디온에 노출될 수 있다. 디아세틸은 팝콘, 커피 및 기타 식품에 버터 향을 모방한 합성 식품첨가물로 사용되며, 캐러멜, 코코아, 꿀, 치즈, 요구르트 및 우유에서 발견된다. 또한 담배 제품, 전자담배에 첨가제로 사용되며 담배 연기에 함유되어 있다. 디아세틸을 사용하는 노동자는 미스트를 들이 마시거나 피부에 접촉될 수 있으며, 일반 인구

는 증기 호흡과 디아세틸을 함유한 식품의 섭취에 의해 노출될 수 있다. 또한 담배 연기 및 전자담배의 호흡으로 노출될 수 있으며, 디아세틸이 환경으로 배출되면 공기 중에서 분해 또는 토양과 물 표면에서 공기로 이동할 것이다. 토양을 통해 빠르게 움직일 것으로 예상되며, 미생물에 의해 분해될 가능성이 가장 높고 어류에 축적될 것으로는 예상되지 않는다. 폐쇄성 폐질환 또는 폐쇄성 세기관지염이라 불리는 이와 동일한 증상이 천식과 더불어 전자레인지 팝콘 공장에서 버터 향이 나는 오일에 노출된 식품생산 노동자들에게서 보고되었다(Lewis, 2004).

NIOSH NOES Survey(1981-1983)는 미국에서 디아세틸에 잠재적으로 노출된 사람이 3,438명(여성 1,628명)이라고 추정했다. 디아세틸에 직업적 노출은 디아세틸이 생산되거나 사용되는 작업장에서 흡입 및 피부노출을 통해 발생할 수 있으며, 모니터링 및 취급 데이터에 따르면 일반인은 버터 향이 나는 증기 흡입, 음식 및 음료수 섭취, 담배 제품 사용, 디아세틸이 함유된 다른 소비 제품과의 피부 접촉을 통해 디아세틸에 노출될 수 있다. 디아세틸의 흡입은 전자렌지 팝콘 공장 노동자에게 호흡 문제를 일으키며, 노동자들 사이에서 버터 향이 노출되면 폐쇄성 세기관지염과 유사한 고정 폐쇄성 폐 질환이 발생했다.

2. 커피 로스팅 공정에서 발생하는 화학물질들의 건강영향

1) 독성시험 결과들

Rat의 경구 투여에 의한 반치사량(LD_{50})은 3,000 ㎎/㎏으로(Lewis, 2004), 2,3-펜탄디온을 흡입한 쥐가 괴사성 비염, 기관염 및 기관지염을 일으켰다. 생체 내 연구에서, 향료, 디아세틸 및 2,3-펜탄디온 증기에 6시간 동안 노출된 rat는 상부기도 상피의 향기 농도의존성 손상 및 흡입된 메타콜린에 대한 기도 과교작용을 얻었다. F344 rat의 diacetyl 흡입 노출은 diacetyl의 호흡기 섭취 모델을 확인하는 데 사용되었다. Rat에서 diacetyl 또는 diacetyl 함유 버터 향 증기에 대한 급성노출은 비강과 폐동맥의 상피 내층에 괴사를 유발했다. 6시간 노출 다음 날에 diacetyl이 함유된 버터 맛을 향을 흡입한 rat는 다발성 괴사성 기관지염을 일으켰다. 또한 아만성 흡입에 대한 생쥐에서 NOAEL(No-observed-adverse-effect level)이 25 ppm 미만일 수 있음을 보고했고, 향료 분말 미립자의 4분의 1 이상이 직경 10 ㎛ 미만이므로, 분말은 폐 내 기도에 도달할 가능성이 있다고 했다(HSDB, 2002). 펜탄디온(2,3-pentanedione, PD)로 유도된 OB를 가진 rat의 원위 기관지에서 유전자 발현의 변화를 평가했을 때, 수컷 Wistar rat는 2주 동안 PD 200 ppm 또는 공기 6시간/일, 5일/주에 노출, 노출된 폐에서, 섬유증 및 비섬유증을 보여, RNA 추출 및 마이크로어레이 분석 후, 차별 유전자 발현을 평가한 결과 노출된 쥐의 섬유종이 없는 기관지에서 많은 염증성 사이토카인과 케모카인의 현저한 감소로 대조군에 비해 4,683개의 유전자가 현저히 변화되었다. 대조적으로, 섬유성 기관지에서, 3,807개의 유전자가 영향을 받는 경로에서 증가되는 대다수의 유전자로 현저히 변형되었다(HSDB, 2002).

2) 변이원성시험 결과들

다섯 곳의 커피 체인점에서 제공한 첨가물이 없는 커피 샘플을 *Salmonella Typhimurium* 시험계 균주 TA98, TA100 및 TA1535를 사용하여 분석한 결과, 커피 시료의 세균 복귀 수준은 대조군의 2배 기준보다 낮았으며 rat 간 효소 활성화 여부에 따라 유의한 용량반응 효과는 관찰되지 않았다. 이러한 데이터는 선택된 커피가 효소 활성화 유무에 관계없이 직접적으로 돌연변이 유발 효과가 없음을 나타낸다(Liu et al., 2017). Diacetyl은 여러 효소와 대사과정에 활성화 및 불활성화 작용을 나타냈으며, 산화적 스트레스가 디아세틸 유발 폐 손상에 영향을 미칠 수 있다고 추정되어왔다(NTP, 2007). 디아세틸은 propionitrile의 존재 하에 *Saccharomyces cerevisiae*에서 유사분열 염색체 감소를 유도했다. 여러 세균 시험법에서 디아세틸은 대개 대사활성을 가지거나 가지지 않는 *Salmonella typhimurium* 균주 TA100, 102 및 104에서 돌연변이 유발 활성을 보였으나 TA98 균주에는 아무런 변이원성도 나타내지 않았다. CHO AUXB1 세포에서 bisulfite는 diacetyl을 투여했을 때 자매염색분체 교환(SCE)의 빈도와 내배수화된 세포(endoreduplicated cell)의 비율을 유의하게 감소시켰다. Sodium sulfite는 *S. typhimurium* 균주 TA100에서 diacetyl의 돌연변이 유발성을 불활성화 시켰다. 디아세틸과 헤테로사이클릭아민의 반응은 박테리아 균주의 돌연변이 유발성을 유의하게 억제했다(NTP, 1994). 세 가지 디카보닐 화합물, 글리옥살, 메틸글리옥살 및 디아세틸이 명백한 UDS(unscheduled

DNA synthesis, 부정기 DNA 합성)를 유발했으며, 디아세틸은 *Saccharomyces cerevisiae*에서 돌연변이를 유도하지 않았다. 돌연변이 시험에서 디아세틸의 돌연변이 유발성 시험 대상물질 투여 결과 대사활성화 *S. typhimurium*에 양성, TA100 90 ㎍/plate *S. typhimurium*이 있거나 없는 TA104 5~500 ㎍/plate에서 양성을 나타냈다. 이 시험관 내 결과는 1,2-디카르보닐이 일부 식품 및 음료의 유전독성에 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다(NTP, 1994). 위장 삽관을 통해 쥐에게 투여했을 때, diacetyl(300 또는 1500 ㎎/㎏)은 ornithine decarboxylase 활성과 유문 점막의 DNA합성을 증가시켰다(HSDB, 2002; NTP, 1994). 디아세틸은 자외선 하에서 사람 태반의 에스트라디올 17β-탈수소효소를 불활성화시키는 것을 포함하여 여러 효소와 대사과정에 활성화 및 불활성화 작용을 한다(NTP, 1994). Diacetyl은 효소 활성에 영향을 미치지 않고 섬유아세포막에 대한 결합을 90% 감소시키지 않으면서 리소좀성 효소 α-L-iduronidase의 사람 배수체 섬유아세포 내재화를 50% 감소시켰으며, 비슷한 감소가 쥐 연골 육종의 막에서도 관찰되었다(Rome & Miller, 1980). 디아세틸과 그 이미늄 유도체의 환원 전위는 산화-환원 사이클의 결과로서 반응산소종을 통한 산화적 스트레스를 유발할 수 있음이 밝혀졌다(Kovacic & Cooksy, 2005). 생체 내에서 디아세틸은 아세토인과의 산화-환원 순환 및 암모니아 또는 단백질의 자유아미노기와의 축합에 의해 형성된 이미노 화합물과 관련될 수 있다(Yaylayan et al., 2005). 또한, 생체 내 국소림프절 분석은 디아세틸이 감작제인 것으로 나타났으며, 시험관 내 연구는 디아세틸이 돌연변이 유발성임을 나타냈다(NTP, 1985).

3) 발암성시험 결과들

디아세틸의 ACGIH 발암성 분류는 A4(Not classifiable as a human carcinogen)에 해당된다(ACGIH, 2016). 이전의 역학 연구에서 폐암 위험과 관련하여 차와 커피에 일관성 없는 결과가 나타났다. 매일 커피를 마시는 사람과 비교했을 때, 흡연 상태에 관계없이 총 카페인, 녹차 또는 플라보노이드가(주로 녹차와 관련하여) 폐암 발병 위험과 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다. 커피는 폐암 발생위험을 증가시킬 수 있으며,이 효과는 카페인 함유량에 의해 매개되는 것으로 보이지 않다. 반대로 홍차에서 주로 발견되는 플라보노이드는 흡연자 중 폐암의 위험을 줄일 수 있다(Wei et al., 2017). 24주 동안 1주일에 한 번 쥐에게 diacetyl (1.70 또는 8.40 ㎎/㎏ [0.0197 또는 0.0976 mM/㎏])을 복강투여한 결과 폐 종양을 유발하지 않았다(HSDB, 2002; NTP, 1985). 아세토인(총 투여량 12.0 또는 60.0 g/㎏ [136 또는 681 mM/㎏]), 6-7 주간에 3배/주 투여)도 발암성을 나타내지 않았다(Opdyke, 1979). 폐암(lung cancer, LC)은 선진국의 암 사망과 합병증의 대부분을 담당하는 심각한 공중 보건 문제이며, 흡연은 LC의 주요 위험요인으로 간주되지만, 소수의 흡연자만이 암에 걸릴 것으로 여겨지며, 현재의 선별 방법은 이 악성종양의 초기 단계를 확인하는 데 초점을 맞추고 있다(Castro et al., 2017).

4) 폐쇄성 세기관지염(obliterative bronchiolitis, OB)과 만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)

폐쇄성 세기관지염(OB)은 드물지만 심각한 상태로 진행성 및 비가역성 기도 폐쇄를 유발한다. 이 질환은 다양한 잠재적 원인으로부터 호흡기 및 말단 기관지에 손상을 입은 결과이다. OB의 발병 기전은 잘 알려져 있지 않지만, 염증과 섬유아세포 전이가 다방면으로 진행되어 기류가 제한되고 질병이 발병한다는 것이 분명해 보인다. OB 환자에게는 통일적으로 승인된 치료 프로토콜이 없으며, 많은 환자들이 개선의 일회적인 증거에 근거하여 코르티코 스테로이드 또는 다른 면역 억제제를 사용하지만, 이러한 약물은 중대한 독성을 가지고 있으며, 진단은 향료 식물의 연기 및 환경적 유황 가스를 포함하여 다양한 노출로 보고되었다. 폐 이식 환자 중 OB와 임상병리학적 유사성이 있는 질환인 '폐쇄성 세기관지염 증후군(bronchiolitis obliterans syndrome, BOS)'은 장기간의 동종 이식 기능 장애 및 사망의 주요 원인이다. 불행하게도, OB는 제대로 연구되지 않아 폐 이식에 대한 평가가 이루어지려면 질병이 완전히 진행되어 버리는 불운을 초래한다(Aguilar et al., 2016).

만성 폐쇄성 폐질환(慢性閉鎖性肺疾患, chronic obstructive pulmonary disease, COPD, COLD, COAD)은 만성적으로 호흡의 상태가 불량하게 되는 폐쇄성 폐질환의 한 종류로, 시간이 지남에 따라 상태가 악화되며, 주요 증상으로는 호흡곤란, 기침, 가래 등이 있

다(Vestbo, 2013). 만성기관지염 환자 중 대다수에게서 만성 폐쇄성 폐질환이 나타난다(Reilly et al., 2011). 만성 폐쇄성 폐질환의 가장 흔한 원인은 흡연으로, 대기오염과 유전과 같은 다른 요소들도 적은 비율로 영향을 끼친다(Decramer et al., 2012). 개발도상국에서는 요리나 난방을 위한 불의 통기가 제대로 이루어지지 않는 것이 대기오염의 가장 큰 원인이며, 이러한 자극원들에 오래 노출되면 폐에 염증반응이 발생해 소기도가 좁아지고 폐 조직이 파괴되는 폐기종의 원인이 된다(Rabe et al., 2007). 진단은 폐기능 검사 결과 측정된 기류가 불량할 때 내려진다(Nathell et al., 2007). 천식과 달리 폐 기류의 감소는 약물 투여에 의해 눈에 띄게 호전되지 않는다. 만성 폐쇄성 폐질환은 알려진 병인들에 대한 노출을 줄임으로써 예방할 수 있으며, 치료방법에는 금연, 예방접종, 재활, 기관지 확장제의 투여, 스테로이드 등이 있다. 일부 경우에는 장기간의 산소요법이나 폐 이식으로 호전되기도 한다(Rabe et al., 2007). 전 세계적으로 3억 2,900만 명, 혹은 전 세계 인구의 5%에 가까운 사람들이 만성 폐쇄성 폐질환을 앓는다. 만성 폐쇄성 폐질환은 2012년 사망원인 3위로 300만 명 이상의 사망원인이었다(WHO, 2013). 많은 나라들에서 고령화와 높은 흡연율로 사망자 수는 증가할 것으로 예상된다(Mathers & Loncar, 2006). 2010년 만성 폐쇄성 폐질환으로 인한 경제적 비용은 미화 21억 달러 규모로 추정된다(Lomborg, 2013). 팝콘 제조 노동자의 폐쇄성 세기관지염 1예가 2000년 미국 미주리주에서 보고되었으며(van Rooy et al., 2009), 그 이후로 버터 향이 나는 증기에 노출된 전자레인지 팝콘 제조공장의 노동자들에게 폐쇄성 세기관지염을 포함한 중증 및 치명적인 폐 질환의 몇 가지 유행이 기록되었다.

3. 커피 로스팅 공정에서 발생하는 화학물질의 사회문제

1) 아크릴아마이드(AA) 문제

아크릴아마이드(AA)는 산업에서 일반적으로 사용되는 수용성 백색 결정질 고체로, 잠재적인 발암성을 가진 산업화학물질로 지정되었다. 그러나 현재까지 AA는 수처리에서 응고제로 널리 사용되는 폴리아크릴아마이드 폴리머를 생산하는 데 사용되었다. 음식에서의 AA는 몇몇 기작, 즉 지질, 탄수화물 또는 유리 아미노산의 분해로부터 유도될 수 있는 아크릴산을 통한 형성 등으로 인해 이 화합물이 사람에게 유독한지 여부가 관심사로 대두되었다. 식품에서 AA의 생성, 소비, 그리고 어떤 암의 발생과의 연관성에 대해서 논의되었고, AA에 대한 신체 효소적 영향과 호르몬, 칼슘 신호전달 경로 및 세포 골격 필라멘트에 대한 AA의 작용 메커니즘이 논의되었으며, 신경계, 생식기관, 면역 계통 및 간장에 대한 AA의 해로운 영향을 강조, 현재와 미래의 완화 전략도 논의되었다. AA에 대한 현재의 검토는 연구자, 식품 산업 및 의료 인력에게 유익할 수 있다(Jaya et al., 2018). AA에 대해 수행된 연구는 튀김 및 구운 탄수화물이 풍부한 음식의 잠재적인 건강 위험을 기술했다. AA가 설치류에서 발암성임을 보여주는 분명한 증거가 있지만, 독성 연구에서는 명백한 사람의 건강 위험에 대한 증거가 부족하다. 과거 연구에서 특히 설문조사와 AA 관련 데이터베이스를 통한 식이성 AA 섭취량 산정, 반복노출 예측의 부재, 위험의 작은 증가를 감지할 수 있는 통계적 연구가 부족한 실정이다. 그럼에도 불구하고 식품에서 AA 수준을 낮추기 위한 노력이 계속되어야 한다는 것이 중요하다.

2) 벤조피렌(Benz[a]pyrene) 문제

생두를 볶아서 원두로 만드는 '로스팅'공정은 불쾌한 향미의 생두가 진한 갈색의 원두로 바뀌면서 원두커피로 재탄생되는데, 이 과정에서 600여 가지 이상의 다양한 화학물질이 생성되는 것으로 알려져 있다. 벤조피렌은 식품의 고온 조리, 가공시 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방등이 불완전 연소되어 자연 생성되는 유해물질로서, 식품 섭취를 통한 인체 노출수준의 평가 필요성이 꾸준히 제기되고 있다(IoHE, 2012).

4. 노동자 건강보호를 위한 커피 로스팅 공정 화학물질 관리

향료 생산 업계의 노동자는 고형물, 액체 또는 증기 형태로 이 물질들에 노출될 수 있다. NIOSH 조사에 따르면 diacetyl에 대한 작업장 노출은 폐 기능의 감소를 가져올 수 있으며 또한 폐쇄성 세기관지염으로 알려진 중증 폐 질환의 원인이 될 수 있음이 밝혀졌다. 폐쇄성 세기관지염은 돌이킬 수 없는 폐 질환으로, 노동자가 주말이나 휴가철에 집에 돌아가도 증상이 호전되지 않는다. 폐쇄성 세기관지염은 장애를 유발할 만큼 폐 기능을 감소시킬 수 있다. 향이 나는 제조 시설의 몇몇 노동자들도 폐쇄성 세기관지염 또는 중증 폐쇄성 폐 질환으로

Table 7. Ventilation considerations in the coffee roasting process

• Ensure that the ventilation system maintains other areas that are treated with sound pressure compared to the rest of the mixing or compound room and the perfumery plant. This can reduce airborne contaminants in the room and area from spreading to the rest of the plant.
• Ensure that the air from the mixing or mixing room is not recirculated to other areas of the facility and is discharged directly outdoors.
• Collect dust and vapors during packaging operations using ventilated booths or partial enclosures.
• When using LEV, keep the collection container as close as possible to the source of the odor component.
• Provide an indicator, such as a pressure gauge or pressure gauge, installed in the duct near the hood inlet to provide a way to verify that the unit is operating correctly. Check the hood's static pressure, surface speed, and capture speed periodically(monthly) and record the results to verify that the system is operating as designed.
• Install an on/off indicator indicating the status of the exhaust fan.
• Place exhaust vents near doors, windows, air supply, and corridors to reduce the effects of ventilation.
• Replace most of the air from the LEV system by providing an air supply in the work area.
• Inspect the hood and enclosure for signs of damage or leaks(rust/corrosion, dog landing, etc.) and obstructions(paper, gloves, cloth, etc.). If possible, use screens to prevent foreign objects from entering the system through holes(slots, hood surfaces, etc.).
• Prevent re-inflow by venting air to an open area in the open air with no doors, windows, passageways and air intakes. Properly designed exhaust stacks should prevent exhaust air from re-entering the building.
• Assess the efficiency of the system by monitoring worker exposure after ventilation is installed. Integrate the following elements into the engineering design to the extent practicable:
• Use an enclosed transfer process to reduce worker exposure to exhaust.
• Isolate mixed areas with remaining plants by walls, doors, or other barriers, and maintain this area at negative pressure relative to the rest of the work area to reduce the spread of contaminants to adjacent work areas.
• Provide mechanical or pneumatic support for bag and sack handling.
• Keep work area away from doors, windows, and openings so ventilation openings do not obstruct ventilation and contaminants.

Table 8. Work management recommendations in the coffee roasting process

• Establish, implement and maintain health surveillance programs for all exposed employees. Measures should be taken to prevent disease progression as it can identify the health effects of workers' initial work through medical monitoring of exposed workers.
• Workers should not eat, drink or use tobacco products in the workplace.
• Establish a risk communication program that meets the requirements of the OSHA Hazard Communication Standard [29 CFR 1910.1200] and the International Harmonization System for Classification and Labeling of Chemicals(GHS).
• Transfer perfume ingredients instead of manual infusions using as close a process as possible. It should be added to a mixing container covered with a funnel to restrict the spillage of liquids when poured, keeping the workplace clean and promptly treated.
• Develop ventilation system evaluation and maintenance procedures and document them in a documented plan. Periodic monitoring of system performance may include smoke tube testing as well as hood static pressure and face/duct velocity measurements.
• Limit access to all areas where spices are treated as public to adequately protect workers.
• Establish standard procedures for cleaning vessels and mixing tanks. If possible, use an early cold water rinse and warm water wash to reduce volatility.
• Establish standard procedures for cleaning leaks in small, large, and moist areas.
• Use vacuum with high efficiency particulate air filter or wet cleaning technology. Do not use compressed air or dry sweeping to clean particles in the air.
• Cover containers used to mix and store fragrance ingredients when not in use. Empty containers may contain residual fragrance and should be sealed.
• Use low-temperature storage of spice ingredients to reduce evaporation of chemicals in the air. Volatile components should be added while mixing and cooling, and do not use heat to mix fragrance ingredients.
• Wait until pressure is below ambient to open pressure vessel.

Table 9. Recommended protective equipment for the coffee roasting process

• Direct workers to perfume ingredients using materials that are potentially exposed to the skin or eyes to use chemical resistant gloves and eye protection.
• When gloves, face shields and other PPE are used, require all exposed workers to wash hands and face before eating, drinking or smoking.
• Monitor each process to determine precisely the 8-hour weighted average and short-term exposure levels of diacetyl and 2,3-pentanedione in the atmosphere where employers may be exposed. Respiratory protection when potential exposure to diacetyl or 2,3-pentanedione is present.
• If respiratory protection is used, establish a respiratory protection program that meets the requirements for a non-reusable standard.
• The provisions of this program include worker decisions that require ventilator use, selection procedures, medical evaluation, compliance testing, training, use, and a ventilator. For respiratory protection against diacetyl and 2,3-pentanedione, consider using an air-purifying respirator or an air respirator with an electric fan, a respirator, a helmet, or a loose facepiece. Especially when workers are expected to wear respirators for a long time. Use NIOSH-certified air-purifying respirators with organic vapor and at least P100 cartridge or canister.

진단 받았다. 2,3-펜탄디온에 대한 급성 흡입노출은 실험실 연구에서 디아세틸과 유사한 기도 상피 손상을 일으킨다(Hubbs et al., 2012). Rat에서 2주간의 흡입 연구에서 2,3-펜탄디온은 기도 벽에 섬유질 결합 조직의 증식을 일으켰으며 때로는 섬유질 결합조직의 돌출이 공기 통로로 확장되었다(Morgan et al., 2012). 예비시험에서는 2,3-펜탄디온 또는 디아세틸에 반복적으로 노출되면 쥐의 기도 섬유화를 유발할 수 있다고 제안했다(Morgan et al., 2012). 2,3-펜탄디온의 급성 흡입 연구에서, 유전자 발현의 변화가 뇌에서 관찰되었다(Hubbs et al. 2012). NIOSH는 2011년 8월에 디아세틸(5 ppb 8hr-TWA, 25 ppb STEL) 및 2,3-펜탄디온(9.3 ppb 8시간 TWA, 31 ppb STEL)의 권장 노출기준 초안을 발표했다(NIOSH 2017).

커피 가공작업 관련 화학물질의 노출 관점에서는 생산, 포장, 청소 및 유지보수 작업을 포함한 몇 가지 일반적인 범주로 분류될 수 있다. 생산 영역은 인근 영역에 비해 음압을 유지해야 한다. 생산지역의 배기 공기량은 공급 공기의 양보다 약간 커야한다. 일반적으로 공급 유량이 배기 유량보다 5~10%가 되도록 배기시스템을 설계하는 것이 일반적이다. 차이는 적어도 미터당 50 입방피트(cfm)가 되어야 한다(ACGIH, 2013). 기류 시각화 테스트를 사용하여 생산 영역과 모든 주변 영역 사이의 기압차를 질적으로 점검할 수 있다. 이 테스트는 공기가 생산지역 안팎으로 흘러들었는지 여부를 나타낸다(ACGIH, 2007). 아래 Table 7에서 9까지는 커피 로스팅 작업장에서 갖추어야 할 환기 고려 사항, 작업관리 권장사항 및 보호구 권장사항에 대해 정리하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 커피 로스팅 공정에서 폐쇄성 세기관지염을 일으키는 것으로 확인된 화학물질 2종의 독성관련으로, 동 공정의 노동자 건강영향에 대한 그동안의 보고들을 중심으로 그 유해성을 고찰해 보고자 하였다. 본 고찰의 내용을 바탕으로 작업장 노출 통제 및 노동자 보호를 위한 기타 권장사항으로는, 국소환기 및 적절하게 설계된 실내 환기시스템과 같은 엔지니어링 제어 장치는 음압을 유지하고 취급구역을 격리하는 것이다. 노출을 최소화하기 위해 용기 덮개, 누출 감소, 밀폐된 가공, 적절한 작업관리 및 작업복 제공과 훈련이 권장된다. HEPA-필터링된 진공 및 습식 정화기술을 사용하여 유출을 제거하는 방법이 포함될 수 있으며, 노출 후 손을 씻도록 하고, 노동자가 적절한 SDS(Safety Data Sheets)를 볼 수 있도록 위험 표시하고 교육을 실시한다. 노동자는 눈/피부 문제, 기침, 호흡 곤란 또는 천명음 등을 즉시 보고하도록 훈련 받아야 한다. 모니터링 및 유해성 평가에 따르면 노동자는 적절한 맞춤형 호흡보호구 착용을 요구할 수 있다. 또한 결과에 따라 눈, 얼굴 및 피부 보호를 고려해야 한다. 노출 전에 설문지와 호흡 검사(예 : 폐활량 측정)를 모두 포함해야 하며 이후 정기적으로 diacetyl, 2,3-펜탄디온 또는 관련 향료의 노출 위험이 있는 모든 노동자를 포함해야 한다. 눈은 디아세틸 또는 2,3-펜탄디온 또는 관련 향료와의 어떠한 접촉으로부터도 보호되어야 한다. 사업주는 전면 호흡 보호구, 후드 또는 헬멧을 고려해야 한다. 미국국립표준협회(American National Standards Institute,

ANSI) 등 관련 기준을 충족하는 긴밀성 맞춤 고글을 권장하며, 피부 접촉의 위험을 줄이려면 보호 작업복, 실험복, 앞치마, 장갑을 고려해야 한다. 또한 손(예 : 부틸, 니트릴)을 보호하기 위해 내화학성 장갑을 착용해야 한다.

사업주가 할 수 있는 것은, 직원이 작업장에서 발생할 수 있는 위험(예 : 디아세틸, 2,3-펜탄디온, 일산화탄소, 이산화탄소, 생두 및 원두 분진)과 자신을 보호하는 방법을 이해하도록 하는 것으로, 생산 활동 중에 항상 생산 공간에서 배기 팬과 보충 공기 시스템의 지속적인 작동을 보장하고, 날씨가 좋으면 볶은 커피콩을 로스팅, 분쇄 및 포장하는 동안 출입문과 외부 창을 열 수 있도록 해야 한다. 로스터의 배기가스를 주기적으로 청소하기 위한 제조업체의 지침을 따르고, 가능할 때마다 볶은 원두의 움직임을 자동화하여 수작업을 최소화한다. 직원이 원두를 볶는 통에 머리를 놓아야하는 생산 작업을 최소화하고, 볶은 원두를 손으로 섞을 수 있는 대체 방법을 제공해야 한다. 환기 전문가와 협력하여 국소 및 전체 환기 지침을 준수할 수 있도록 적절한 수준의 실외 공기를 카페 내부에 넣어 주며, 이것은 또한 공기 중의 알파-디케톤 농도를 감소시키기 위함이다. 권장하는 노출한도 이하로 알파 디케톤 노출을 감소시키는 데 효과가 있음을 확인하기 위해 후속 개인 공기 샘플링을 실시하며, 악화되거나 진행 중인 호흡기 증상을 자신의 개인 건강관리 담당자 및 직장의 지정된 담당자에게 보고하도록 권장해야 한다. 노동자가 작업장에서 발생할 수 있는 위험(예 : 디아세틸, 2,3-펜탄디온, 일산화탄소, 이산화탄소, 생두 및 원두 분진)과 자신을 보호하는 방법을 이해하도록 하고, 생산 활동 중에는 옥상 에어 핸들링 장치를 항상 작동시키고, 생산 공간과 카페 및 리셉션 공간 사이의 두 문에(바닥 청소를 포함하여) 마개를 설치해야 한다. 생산량의 증가, 현재의 작업 습관에 대한 수정 및/또는 변화가 발생하면 수정을 통해 NIOSH REL을 초과하는 알파-디케톤 노출이 발생하지 않았는지 확인하기 위해 공기 샘플링을 추가로 실시하고, 필요한 경우 추가 공학 제어장치를 설치한다. 생두 및 원두 왕겨가 발생되는 작업장에서는 N95 일회용 여과 전면 호흡기를 사용할 수 있도록 해야 한다.

노동자들이 할 수 있는 것은, 지속적이거나, 악화되는 호흡기 증상을 보고하고, 사업주가 제공한 개인 공기 샘플링에 참여, 개인 건강 증상을 보고해야 한다. 생산 활동 중에는 항상 배기팬을 작동하고, 날씨가 좋으면 볶은 원두를 로스팅, 분쇄 및 포장하는 동안 출입문과 외부 창을 열며, 가능한 한 볶은 원두의 저장통 안에 머리를 두지 말아야 한다. 볶은 원두를 손으로 혼합하는 방법에 대해서는 사업주의 지침을 따르며, 사업주가 지시한 대로 모든 배기장치를 사용해야 한다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 안전보건공단 산업안전보건연구원 자체연구과제의 수행 결과보고서에서 발췌하여 정리된 내용임을 밝힙니다.

References

Aguilar PR, Michelson AP, Isakow WMD. Obliterative Bronchiolitis. Transplantation 2016;100:272-283 (DOI: 10.1097/TP.0000000000000892)

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH; 2016. p.24.

Castro D, Moreira M, Gouveia AM, Pozza DH, De Mello RA. MicroRNAs in lung cancer. Oncotarget 2017;8(46): 81679-81685(DOI: 10.18632/oncotarget.20955)

Centers for Disease Control and Prevention(CDC). [serial online] 2019 [Accessed 7 June 2019] URL: https://search.cdc.gov/search/?query=coffee+roasting&sitelimit=&utf8=%E2%9C%93&affiliate=cdc-main

Coffee TV, Franchise cafe status 1, nationwide. URL: coffeetv.co.kr [accessed 7 June 2019].

Daglia M, Papetti A, Grisoli P, Aceti C, Spini V, et al. Isolation, identification, and quantification of roasted coffee antibacterial compounds. J Agric Food Chem 2007;55(25):10208-10213

Decramer M, Janssens W, Miravitlles M. Chronic obstructive pulmonary disease. Lancet. 2012;379 (9823):1341-1351(DOI: 10.1016/S0140-6736(11) 60968-9)

Duling MG, LeBouf RF, Cox-Ganser JM, Kreiss K, Martin SB Jr, et al. Environemtnal characterization of a coffee processing workplace with brochiolitis in former workers. J Occup Environ Hyg 2016;13: 770-781.(DOI: 10.1080/15459624.2016.1177649)

Flavor and Extract Manufacturer's Association(FEMA). [serial online] [Accessed 7 June 2019] Available from: URL: https://www.femaflavor.org/search?fulltext=coffee

George RB. Chest medicine : essentials of pulmonary and critical care medicine. 5th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 172

Grosch W. 16th ASIC Colloq. Kyoto. 1995, Choi N.A., The secret of the coffee aroma I have uncovered in science. Seoul-Commun. 2015

Han YH, et al. Estimation of air pollutant emissions from coffee roasting. Kor Soc Atmos Env, 2017. p. 168

Hazardous Substances Data Bank(HSDB). [serial online] [Accessed 7 June 2019]. Availabe from: URL: https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2

Hubbs AF, Cumpston AM, Goldsmith WT, Battelli LA, Kashon ML, et al. Respiratory and olfactory cytotoxicity of inhaled 2,3-pentanedione in Sprague-Dawley rats. Am J Pathol 2012;181:829-844(DOI: 10.1016/j.ajpath.2012.05.021)

Institute of Health and Environment(IoHE), Incheon Metropolitan City. Investigation of benzopyrene content in coffee beans. [serial online] [accessed 7 June 2019]. Available from: URL: http://ecopia.incheon.go.kr/board/782

Jaya K, Das S, Teoh SL. Dietary Acrylamide and the Risks of Developing Cancer: Facts to Ponder. Front Nutr 2018;5:14(DOI: 10.3389/fnut.2018.00014)

Kovacic P, Cooksy AL. Unifying mechanism for toxicity and addiction by abused drugs: electron transfer and reactive oxygen species. Med Hypotheses 2005. 64:357-366

Lewis RJ. Sr.(ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ; 2004. p. 586-2844

Lim JH, et al. Air pollutant emission measurement of coffee roaster. Kor Soc Atmos Env, 2017. p.168

Liu ZS, Chen PW, Wang JY, Kuo TC. Assessment of Cellular Mutagenicity of Americano Coffees from Popular Coffee Chains. J Food Prot 2017;80(9): 1489-1495(DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-17-052)

Lomborg B. Global problems, local solutions : costs and benefits. Cambridge University Pres. 2013: p. 143

Mathers CD, Loncar D. Projections of Global Mortality and Burden of Disease from 2002 to 2030. PLoS Med 2006;3(11):e442

MDI Biological Laboratory & NC State University. Comparative Toxicogenomics Database. [serial online] 2012 [Accessed 7 June 2019]. Available from: URL: http://ctdbase.org/ [accessed 7 June 2019].

Ministry of employment and labor(MOEL). Exposure criteria for chemicals and physical factors. 2018 An established rule No. 24. Government of Korea. [serial online] [Accessed 7 June 2019], Available from: URL: http://www.moel.go.kr/info/lawinfo/instruction/view.do?bbs_seq=20180300596 [accessed 7 June 2019].

Morgan PT, Pace-Schott EF, Mason GF, Forselius E, Fasula M, et al. Cortical GABA Levels in Primary Insomnia. Sleep 2012;35(6):807-814(DOI: 10.5665/sleep.1880)

Nathell L, Nathell M, Malmberg P, Larsson K. COPD diagnosis related to different guidelines and spirometry techniques. Respir Res 2007;8(1):89 (DOI: 10.1186/1465-9921-8-89)

National Toxicology Program(NTP). Chemical Information Review Document for Artificial Butter Flavoring and Constituents Diacetyl [CAS No. 431-03-8] and Acetoin [CAS No. 513-86-0] Supporting Nomination for Toxicological Evaluation by the NTP. [serial online] 1985 [Accessed 7 June 2019] Available from: URL: https://ntpsearch.niehs.nih.gov/?query=coffee+roasting

NIOSH Report No. 2015-0082-3287. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. 2017

NIOSH Report No. 2016-0067-3313. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. 2018

NIOSH, NOES Survey 1981-1983. Flavoring-related Lung Disease. [serial online] [Accessed 7 June 2019] Available from: URL: https://www.cdc.gov/niosh/topics/flavorings/processing.html

Opdyke DL. Monographs on fragrance raw materials: n-Valeraldehyde. Food Cosmet Toxicol 1979;17 (Suppl.):919-921

Pirozzi C, Scholand MB. Smoking cessation and environmental hygiene. Med Clin North Am 2012; 96(4):849-867(DOI: 10.1016/j.mcna.2012.04.014)

Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. Am J Respir Crit Care Med 2007;176(6):532-555

Reilly JJ, Silverman EK, Shapiro SD. Chronic Obstructive Pulmonary Diseas. Longo, Dan; Fauci, Anthony; Kasper, Dennis; Hauser, Stephen; Jameson, J.; Loscalzo, Joseph. Harrison's Principles of Internal Medicine. 18th ed., McGraw Hill; 2011: p. 2151-2159

Rom WN, Markowitz SB. etd. Environmental and occupational medicine, 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer. Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p.

521-522
Smith BK, Timby NE. Essentials of nursing : care of adults and children. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 338
The National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). [serial online] [Accessed 7 June 2019]. Available from: URL: https://search.cdc.gov/search/?subset=NIOSH&query=coffee+roasting&utf8=%E2%9C%93&affiliate=cdc-main&sitelimit=www.cdc.gov%2Fniosh+%7C+blogs.cdc.gov%2Fniosh-science-blog%2F
van Rooy FG, Smit LA, Houba R, Zaat VA, Rooyackers JM, et al. A cross-sectional study of lung function and respiratory symptoms among chemical workers producingdiacetyl for food flavourings. Occup Environ Med 2009;66:105-110(DOI: 10.1136/oem.2008.039560)
Vestbo J. Definition and Overview. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. 2013. p.1-7.
Wei JS, Aizhen J, Yuan JM, Koh WP. Intake of tea and tea flavonoids, coffee and caffeine in relation to risk of lung cancer – the Singapore Chinese Health Study. Abstract 5318. Proceedings: AACR Annual Meeting 2017; Washington, DC.
World Health Organization(WHO). The 10 leading causes of death in the world, 2000 and 2011. [serial online] [Accessed 7 June 2019]. Available from: URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death
Yaylayan VA, Locas CP, Wnorowski A, O'Brien J. Mechanistic pathways of formation of acrylamide fromdifferent amino acids. Adv Exp Med Biol (Special Issue) 2005;561:191-203(DOI: 10.1007/0-387-24980-X_15)

<저자정보>

임경택(안전보건공단 산업안전보건연구원 산업화학연구실 흡입독성연구센터 병리검사부장)