

발 간 등 록 번 호

11-B551172-000007-14

WWW.NCC.RE.KR

VOL.1

다환방향족탄화수소

PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons

발암 요인 보고서



다환방향족 탄화수소

PAHs, POLYCYCLIC
AROMATIC HYDROCARBONS

발암 요인 보고서

KEY FINDINGS

- IARC(국제암연구소) 발암 요인 분류에서 벤조피렌을 사람에게 발암성이 확인된 요인으로 분류함(Group 1)
- PAHs는 2개 이상의 벤젠 고리가 선형으로 각을 만들거나 밀집된 구조를 이루는 유기화합물로서 화학 연료나 유기물의 불완전 연소 시 부산물로 발생하는 물질이며, US EPA(미국 환경청)이 우선 대상 물질로 선정한 벤조(a)피렌 등 16종의 PAHs의 화합물들은 환경과 식품에 광범위하게 퍼져 있는 발암성이 확인된 물질임
- 주로 공기 흡입 및 피부 접촉을 통해 노출되며, 호흡기로 장기간 PAHs에 노출되면 폐암, 유방암, 위장 관련 암, 소화기로 노출되면 대장암, 췌장암, 전립선암에 발생할 위험이 있다고 알려져 있음
- PAHs에 속하는 벤조피렌의 노출은 주로 산업현장에서 발생하고 있으므로 적절한 환기설비를 통해 근로자들의 환경을 관리해주는 것이 노출저감법의 핵심이며, 유기물이 불완전 연소할 때 PAHs 물질이 발생하므로 식품의 조리 또는 오염된 음식물의 섭취를 통해서도 노출될 수 있음

01 노출 현황

환경적 노출

다환방향족탄화수소(PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리가 선형으로 각을 지어 있거나 밀집된 구조로 이루어져 있는 유기화합물로서 석탄, 오일 및 가스, 쓰레기 또는 기타 유기 물질(담배, 숯불로 구운 고기)의 불완전 연소로 인해 형성되는 100가지 이상의 화학물질들로 구성되어 있습니다. PAHs의 배출원은 화석 연료를 사용하는 산업 공정, 자동차 연료 및 배출가스, 나무의 연소, 담배 및 그을린 음식 등과 같은 인위적 발생원과 화산, 산불, 원유 등과 같은 자연적 발생원이 있습니다. 이러한 발생원으로부터 배출된 PAHs는 습식 퇴적 과정으로 토양이나 식생 등으로 유입되거나, 대기 중으로 방출되어 지표면으로 유입될 수 있습니다. 특히, 석탄 연소 배출물, 자동차 연료와 배기가스, 담배 연기 등이 환경을 오염시켜 어패류, 농산물 등을 통해 인체에 노출될 수 있으며, 조리·가공되지 않은 식품에도 PAHs가 존재할 수 있습니다.

토양 또는 지표수로부터
공기로 인한 흡입



화산, 산불, 원유 등
자연적 발생원



석탄 연소, 자동차 배기 가스,
그을린 음식 등과 같은 인위적 발생원



직업적 노출



PAHs의 직업적 노출은 주로 공기 흡입 및 피부 접촉을 통해 발생합니다. 제철소 등에서 석탄을 이용하여 액화하는 공정, 가스화시키는 공정, 콜타르 증류 및 아스팔트 생산 산업장에 근무하는 근로자들에게도 벤조피렌에 노출될 수 있으며, 굴뚝청소, 발전소 업무, 숯 생산 과정에서도 노출될 수 있습니다.

02 연구에서의 인체 발암성

국제보건기구 산하의 국제암연구소(IARC)는 PAHs에 속하는 벤조피렌을 인간에서 암을 유발하는 확실한 발암물질로 분류하고 있습니다. 다환방향족 탄화수소(PAHs)는 여러 개의 벤젠고리를 지니며, 단일 화합물이 아닌 혼합물로 존재하여 혼합물에 대한 인체 발암 증거만 보고되고 있습니다. 따라서 위험이 증가하는 암종을 특정하고 있지는 않지만, 오랜 기간 노출될 경우 호흡기암(폐, 후두), 피부암, 방광암 등의 위험을 증가시킬 수 있습니다.

03 노출 기준

- **식품의약품안전처** : 2.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이하 (식용유지 기준치)
- 어패류: 2.0~10.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 훈제품: 5.0~10.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이하
- **환경부** : 0.05 mg/m^3 (벤조피렌 배출허용 기준치)

04 노출 저감법

PAHs에 속하는 벤조피렌의 노출은 주로 산업현장에서 발생하기 때문에, 산업현장에서 발생하는 벤조피렌을 적절히 관리하는 것이 노출 저감법의 핵심입니다. 주로 호흡기를 통해 노출되기 때문에, 산업현장에서 대기 중에 배출되는 벤조피렌을 적절한 환기 설비를 통한 관리가 필요합니다. 또한, PAHs는 유기물이 불완전 연소할 때 발생하기 때문에 그릴 또는 숯불로 구운 고기와 오염된 식품(육류, 가공 식품)의 섭취를 통해서도 노출될 수 있습니다. 따라서 직접가열에 의한 조리법보다 간접 가열에 의한 조리법을 선택하는 것이 좋습니다.

 <p>산업현장에서 환기 설비를 이용하더라도 벤조피렌의 완전한 제거가 어려우므로 마스크 등 개인 보호구 착용하기</p>	 <p>작업장에서 음식을 먹거나 담배 피우는 행위 삼가하기</p>	 <p>육류의 경우 가급적이면 지방을 제거하고, 직접가열(숯불구이, 오븐)*에 의한 조리법보다 물에 끓이거나 삶는 조리법 선택하기 * 직접 가열(숯불구이)시 연기를 마시지 않도록 주의</p>	 <p>삼겹살 등 고기를 구워먹을 때 채소와 함께 먹는 식습관 가지기</p>
---	---	--	---

05 제언

다환방향족탄화수소(PAHs)는 장기간 노출되면 호흡기암, 피부암, 방광암, 소화기 관련 암을 발생시킬 수 있는 발암물질로서, 일반적인 노출은 산불 또는 콜타르에 의해 오염된 공기를 흡입하거나 그릴에 구운 음식의 섭취를 통해 발생합니다. 주로 공기를 통한 흡입이나 피부 접촉을 통해서 노출되며, 특히 300~600°C사이의 온도에서 유기물이 불완전 연소될 때 생성되므로 식품을 가열하는 과정에서도 생성되기도 합니다. 우리나라에서는 PAHs에 대한 식품 중 잔류현황 조사를 통해 지속적인 모니터링을 실시하고 있습니다. 또한, 별도 식품에 관해 규제 관련 기준을 설정하여 관리하고 있으나, 식품 조리 및 섭취를 통해서도 많은 노출이 발생하고 있으므로 개인의 식품섭취 습관을 개선하여 노출을 저감시키는 노력이 필요합니다.

다환방향족 탄화수소

PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons

- 2개 이상의 벤젠 고리가 선형으로 각을 만들거나 밀집된 구조를 이루는 유기화합물로서 화학 연료나 유기물의 불안전 연소 시 부산물로 발생하는 물질임
- PAHs는 100여 종 이상이 존재하며, 이 중 US EPA(미국 환경청)가 '우선 대상 오염 물질'로 지정한 벤조(a)피렌 등 16종의 PAHs 화합물들은 환경과 식품에 광범위하게 퍼져 있는 발암성이 확인된 물질임
- 호흡기로 PAHs에 장시간 노출되면 폐암, 유방암, 위장 관련 암이 발생할 위험이 있고, 소화기로 노출되면 대장암, 췌장암, 전립선암에 발생할 위험이 있다고 알려져 있음

PAHs의 명명법

다환방향족탄화수소(이하 PAHs)는 2개 이상의 벤젠 고리를 가진 유기 오염 물질로 이론적으로 100여 가지 물질이 존재하며, 이 중 미국 환경청(US EPA, U.S. Environmental Protection Agency)과 우리나라에서는 벤조(a)피렌을 포함한 16종의 물질을 '우선 대상 오염 물질'로 지정해 관리하고 있다(IARC, 2010). 미국 환경청과 질병관리센터(CDC, Centers for Disease Control and Prevention)에서는 1개의 고리를 가진 벤젠은 PAHs로 간주하지 않으며, 2개의 고리를 가진 나프탈렌부터 가장 단순한 PAHs로 간주하였다. 다만 IUPAC 명명법에 따르면 3개의 고리를 가진 페나트렌과 안트라센부터 PAHs라고 간주하기도 한다(CDC, 2013).

표 1. PAHs의 물리화학적 특성

명칭	CAS 번호	동의어	화학식
Acenaphthene	83-32-9	Acenaphthylene, 1,2-dihydro- 1,2-Dihydroacenaphthylene 1,8-Dihydroacenaphthalene 1,8-Dihydroacenaphthylene Ethylenenaphthalene 1,8-Ethylenenaphthalene Naphthyleneethylene Periethylenenaphthalene	C ₁₂ H ₁₀
Acepyrene	25732-74-5	3,4-Dimethylenepyrene 3,4-Dihydrocyclopenta(cd)pyrene	C ₁₈ H ₁₂
Anthanthrene	191-26-4	Dibenzo[def,mno]chrysene Anthanthren Anthranthrene Dibenzo[cd,jk]pyrene	C ₂₂ H ₁₂
Anthracene	120-12-7	Paranaphthalene	C ₁₄ H ₁₀
11H-Benz[b,c]aceanthrylene	202-94-8	1',9-Methylene-1,2-benzanthracene 1,12-Methylenebenz[a]anthracene 1,2-Benzanthracene, 1',9-methylene- Benz[a]anthracene, 1,12-methylene-	C ₁₉ H ₁₂
Benz[j]aceanthrylene	202-33-5	Benzo[7,8]aceanthrylene Cholanthrylene Naphth[2,1-d]acenaphthylene	C ₂₀ H ₁₂

명칭	CAS 번호	동의어	화학식
Benz[<i>l</i>]aceanthrylene	211-91-6	Benz[<i>l</i>]aceanthrylene(8Cl,9Cl) Naphth[<i>1,2-d'</i>]acenaphthylene	C ₂₀ H ₁₂
Benz[<i>a</i>]anthracene	56-55-3	Benzanthracene Benzanthrene 1,2-Benzanthracene Benzo[<i>b</i>]phenanthrene Tetraphene	C ₁₈ H ₁₂
Benzo[<i>b</i>]chrysene	214-17-5	2,3-Benzochrysene 3,4-Benzotetraphene 1,2:6,7-Dibenzophenanthrene 2,3:7,8-Dibenzophenanthrene Naphth[2,7- <i>a</i>]anthracene	C ₂₂ H ₁₄
Benzo[<i>g</i>]chrysene	196-78-1	1,2,3,4-Dibenzophenanthrene 1,2,3,4-Dibenzphenanthrene	C ₂₂ H ₁₄
Benzo[<i>a</i>]fluoranthene	203-33-8	1,2-Benzfluoranthene 1,2-Benzofluoranthene Dibenzo[<i>c,m</i>]fluorene Benzo[<i>a</i>]aceanthrylene	C ₂₀ H ₁₂
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	205-99-2	2,3-Benzofluoranthrene; B[<i>b</i>]F; 2,3-Benzofluoranthene; 4,5-Benzofluoranthene; 2,3-Benzfluoranthene; 3,4-Benzfluoranthene; 3,4-Benzofluoranthene; Benz[<i>b</i>]fluoranthene	C ₂₀ H ₁₂
Benzo[<i>ghi</i>]fluoranthene	203-12-3	Benzofluoranthene Benzo[<i>mno</i>]fluoranthene 7,10-Benzofluoranthene 2,13-Benzofuranthene 2,13-Benzofluoranthene	C ₁₈ H ₁₀
Benzo[<i>j</i>]fluoranthene	205-82-3	Dibenzo[<i>a,jk</i>]fluorene 7,8-Benzofluoranthene 10,11-Benzfluoranthene	C ₂₀ H ₁₂
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	207-08-9	8,9-Benzofluoranthene 11,12-Benzofluoranthene	C ₂₀ H ₁₂
Benzo[<i>a</i>]fluorene	238-84-6	α-Naphthofluorene 1,2-Benzofluorene Chrysofluorene 11H-Benzo[<i>a</i>]fluorene	C ₁₇ H ₁₂
Benzo[<i>b</i>]fluorene	243-17-4	11H-Benzo[<i>b</i>]fluorene 2,3-Benzofluorene 2,3-Benzfluorene	C ₁₇ H ₁₂
Benzo[<i>c</i>]fluorene	205-12-9	3,4-Benzofluorene 7H-Benzo[<i>c</i>]fluorene	C ₁₇ H ₁₂
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	191-24-2	1,12-Benzoperylene 1,12-Benzperylene	C ₂₂ H ₁₂
Benzo[<i>c</i>]phenanthrene	195-19-7	Tetrahelicene 3,4-Benzophenanthrene 3,4-Benzphenanthrene Benzo-3,4-phenanthrene 3,4-Benzo[<i>c</i>]phenanthrene	C ₁₈ H ₁₂
Benzo[<i>a</i>]pyrene	63041-90-7	3,4-Benzo[<i>a</i>]pyrene	C ₂₀ H ₁₂

명칭	CAS 번호	동의어	화학식
Benzo[e]pyrene	192-97-2	B[e]P Benz[e]pyrene Benzo[<i>l</i>]pyrene 1,2-Benzopyrene 4,5-Benzopyrene 1,2-Benzpyrene 4,5-Benzpyrene 9,10-Benzpyrene	C ₂₀ H ₁₂
Chrysene	218-01-9	Benzo[<i>a</i>]phenanthrene 1,2-Benzophenanthrene Benz[<i>a</i>]phenanthrene 1,2-Benzphenanthrene 1,2,5,6-Dibenzonaphthalene	C ₁₈ H ₁₂
Coronene	191-07-1	Dibenzo[<i>ghi,pqr</i>]perylene Hexabenzobenzene	C ₂₄ H ₁₂
4H-Cyclopenta[<i>def</i>]chrysene	202-98-2	4,5-Methylenechrysene 4,5-Methanochrysene Chrysene	C ₁₉ H ₁₂
Cyclopenta[<i>c,d</i>]pyrene	27208-37-3	Acepyrene Acepyrylene	C ₁₈ H ₁₀
5,6-Cyclopenteno-1,2-benzanthracene	7099-43-6	1H-Benzo[<i>a</i>]cyclopent[<i>h</i>]anthracene	C ₂₁ H ₁₆
Dibenz[<i>a,c</i>]anthracene	215-58-7	Dibenzo[<i>a,c</i>]anthracene Benzo[<i>b</i>]triphenylene 2,3-Benzotriphenylene 1,2:3,4-Dibenzanthracene 1,2:3,4-Dibenzoanthracene	C ₂₂ H ₁₄
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	53-70-3	Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene 1,2:5,6-Benzanthracene 1,2:5,6-dibenz[<i>a</i>]anthracene dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene 1,2:5,6-dibenzoanthracene Dibenzanthracene DB[<i>a,h</i>]A 1,2,5,6-DBA DBA benzo[<i>k</i>]tetraphene	C ₂₂ H ₁₄
Dibenz[<i>a,j</i>]anthracene	224-41-9	1,2:7,8-Dibenzanthracene 3,4:5,6-Dibenzanthracene Dibenzo-1,2,7,8-anthracene	C ₂₂ H ₁₄
Dibenzo[<i>a,e</i>]fluoranthene	5385-75-1	Dibenzo[<i>a,e</i>]aceanthrylene 2,3,5,6-dibenzofluoranthene	C ₂₄ H ₁₄
13H-Dibenzo[<i>a,g</i>]fluorene	207-83-0	1,2,5,6-Dibenzofluorene Dibenzo[<i>a,g</i>]fluorene 13H-Dibenzo[<i>a,g</i>]fluorene	C ₂₁ H ₁₄
Dibenzo[<i>h,rst</i>]pentaphene	192-47-2	1,2:4,5:7,8-Tribenzpyrene 1,2:4,5:8,9-Tribenzopyrene Tribenzo[<i>a,e,i</i>]pyrene Dibenzo[<i>h,rst</i>]pentaphene	C ₂₈ H ₁₆
Dibenzo[<i>a,e</i>]pyrene	192-65-4	DB[<i>a,e</i>]P 1,2,4,5-Dibenzopyrene Naphtho-[<i>1,2,3,4,def</i>]chrysene	C ₂₄ H ₁₄

명칭	CAS 번호	동의어	화학적식
Dibenzo[<i>a,h</i>]pyrene	189-64-0	Dibenzo[<i>b,def</i>]chrysene DB[<i>a,h</i>]P Dibenzo[<i>c,pqr</i>]tetraphene 3,4:8,9-Dibenzopyrene 1,2:6,7-Dibenzopyrene Dibenz[<i>a,h</i>]pyrene	C ₂₄ H ₁₄
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	189-55-9	Benzo(<i>rst</i>)pentaphene Dibenzo(<i>b,h</i>)pyrene 3,4:9,10-Dibenzopyrene 1,2,7,8-Dibenzopyrene	C ₂₄ H ₁₄
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	191-30-0	Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene BA 51-090462 DB(A,L)P DB(A,1)P Dibenzo[<i>def,p</i>]chrysene Dibenzo[<i>a,d</i>]pyrene 1,2:3,4-Dibenzopyrene 1,2,9,10-Dibenzopyrene 1,2,3,4-Dibenzopyrene 4,5,6,7-Dibenzopyrene	C ₂₄ H ₁₄
Dibenzo[<i>e,l</i>]pyrene	192-51-8	Dibenzo[<i>fg,op</i>]naphthacene 1,2:6,7-Dibenzopyrene (VAN) 1,7-Dibenzopyrene 4,5,9,10-Dibenzopyrene	C ₂₄ H ₁₄
1,2-Dihydroaceanthrylene	641-48-5	Dihydroaceanthrylene Aceanthrene Dihydroaceanthrylene Aceanthrylene, 1,2-dihydro- Aceanthren	C ₁₆ H ₁₂
1,4-Dimethylphenanthrene	22349-59-3	1,4-dimethyl-phenanthrene	C ₁₆ H ₁₄
Fluoranthene	206-44-0	1,2-Benzacenaphthene Benzene, 1,2-(1,8-naphthalenediyl)-Benzene, 1,2-(1,8-naphthylene)- Benzo(<i>jk</i>)fluorene Idryl 1,2-(1,8-Naphthylene)benzene	C ₁₆ H ₁₀
Fluorene	86-73-7	Diphenylenemethane o-Biphenylenemethane 2,3-Benzindene 2,2'-Methylenebiphenyl o-Biphenylmethane Methane, diphenylene- Fluoren Fluorenyl radical Flourene Alpha-diphenylenemethane-9H-Fluorene	C ₁₃ H ₁₀
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	193-39-5	Indenopyrene IP o-Phenylenepyrene 1,10-(o-Phenylene)pyrene 1,10-(ortho-Phenylene)pyrene 2,3-o-phenylenepyrene 1,10-(1,2-Phenylene)pyrene 2,3-Phenylenepyrene	C ₂₂ H ₁₂
1-Methylchrysene	3351-28-8		C ₁₉ H ₁₄

명칭	CAS 번호	동의어	화학식
2-Methylchrysene	3351-32-4		C ₁₉ H ₁₄
3-Methylchrysene	3351-31-3		C ₁₉ H ₁₄
4-Methylchrysene	3351-30-2		C ₁₉ H ₁₄
5-Methylchrysene	3697-24-3	Chrysene, 5-methyl- 5-Methyl chrysene	C ₁₉ H ₁₄
6-Methylchrysene	1705-85-7		C ₁₉ H ₁₄
2-Methylfluoranthene	33543-31-6		C ₁₇ H ₁₂
3-Methylfluoranthene	1706-01-0		C ₁₇ H ₁₂
1-Methylphenanthrene	832-69-9		C ₁₅ H ₁₂
Naphtho[1,2- <i>b</i>]fluoranthene	111189-32-3	Indeno[1,2,3- <i>hi</i>]chrysene	C ₂₄ H ₁₄
Naphtho[2,1- <i>a</i>]fluoranthene	203-20-3	15,16-Benzodehydrocholanthrene Dibenz[<i>a,j</i>]aceanthrylene Indeno[1,2,3- <i>ij</i>]tetraphene	C ₂₄ H ₁₄
Naphtho[2,3- <i>e</i>]pyrene	193-09-9	Naphtho[2,3- <i>e</i>]pyrene Dibenzo[<i>de,qr</i>]naphthacene Dibenzo[<i>de,qr</i>]tetracene Naphtho-(2',3':4,5)-pyrene	C ₂₄ H ₁₄
Perylene	198-55-0	Dibenz[<i>de,k</i>]anthracene Perilene peri-Dinaphthalene	C ₂₀ H ₁₂
Phenanthrene	85-01-8	Phenanthracene Phenantrin	C ₁₄ H ₁₀
Picene	213-46-7	Benzo[<i>a</i>]chrysene Dibenzo[<i>a,l</i>]phenanthrene 1,2,7,8-Dibenzophenanthrene 3,4-Benzchrysene Pycene β,β-Binaphthyleneethene	C ₂₂ H ₁₄
Pyrene	129-00-0	Benzo[<i>def</i>]phenanthrene beta-Pyrene	C ₁₆ H ₁₀
Triphenylene	217-59-4	1,2,3,4-Dibenznaphthalene 9,10-Benzophenanthrene 9,10-Benzphenanthrene Benzo[<i>l</i>]phenanthrene Isochrysene	C ₁₈ H ₁₂

01

노출 현황

환경에서의 노출

PAHs 배출원은 화석 연료를 사용하는 산업 공정, 알루미늄·철·스틸 산업 공정, 자동차 연료 및 배출 가스, 나무의 연소, 담배 및 그을린 음식 등과 같은 인위적 발생원과 화산, 산불, 원유 등과 같은 자연적 발생원이 있다. 일반적으로 인위적 발생원이 자연적 발생원보다 훨씬 많은 양의 PAHs를 방출한다. 특히 석탄 연소 배출물, 자동차 연료와 배기가스, 자동차 폐오일, 담배 연기 등이 환경을 오염시켜 어패류, 농산물 등을 통해 인체에 노출될 수 있으며, 조리·가공하지 않은 식품에도 PAHs가 존재할 수 있다.

PAHs는 대기상에서 가스상과 입자상으로 존재하는데, 가스상 PAHs는 대부분 분자량이 작은 벤젠 고리 2~3개의 물질이며, 입자상 PAHs는 분자량이 큰 벤젠 고리 4~5개 이상의 물질이다. 입자상 PAHs는 미세먼지에 흡착해 인체로 쉽게 노출되며, 대기 중에서는 도시 지역에서 상대적으로 많이 검출되는데 평균 1~30ng/m³ 수준이다(IARC, 2010).

물에서 대부분의 PAHs는 도시 유거수, 대기 강하물(미세 입자) 및 아스팔트의 마찰에서 발생한다. 표면수의 농도는 일반적으로 1~50ng/L로 일부 오염 지역에서는 더 높게 나타났으며, 빗물의 PAHs 수준보다 낮았다(10~200 ng/L)(IPCS, 1998).

또한 자동차, 산업 공장에서 사용하는 석유와 석탄 등의 연소 과정에서 발생한 PAHs가 완전히 연소되지 않았을 때 대기와 하천으로 유입되거나 선박의 기름 유출로 인해 바다로 유입되어 노출이 발생한다(ATSDR, 1995).



일반인구에서의 노출

일반 인구에서의 PAHs 노출은 흡연, 주변 공기, 물, 토양, 식품 및 의약품을 통해 일어날 수 있다 (IPCS, 1998). 일상 생활에서 비직업적인 PAHs 노출은 단기간의 급성 노출보다 저농도의 장기간 지속적인 노출이 대부분이다.

미국에서 NHANES(National Health and Nutrition Examination Survey)가 1999~2000년에 수집한 2,312개의 소변 샘플을 분석했을 때, 1-하이드록시피렌(1-Hydroxypyrene)의 기하 평균 농도가 0.039 $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 나타났다(95% CI, 0.034-0.046). 환경부 국립환경과학원에서 수행한 제4기(2018~2020) 국민환경보건 기초조사에서는 1-하이드록시피렌의 성인 평균 농도가 0.15 $\mu\text{g/g.creatinine}$ 으로 조사된 바 있다.

흡연자에서의 담배 연기는 PAHs 노출의 주요 원인으로, Ding et al., (2005)은 30개의 미국 브랜드의 담배 연기에서의 PAHs 노출 수준을 보고했다. 우선 관리 물질로 선정된 16종 PAHs 화합물 중 14종을 측정해 발암성을 확인한 결과 동물에 대한 충분한 증거를 가지고 있었다. 주류 연의 총 PAHs 수준은 1~1.6 $\mu\text{g/cigarette}$ 였고, 부류연의 벤조[a]피렌 수준은 52~95 ng/cigarette 이었다(IARC, 2004).

일반인의 경우 PAHs가 오염된 토양에 피부가 접촉하거나 석탄 타르를 이용한 피부용 의약품을 사용하는 경우 등에 의해서도 PAHs가 피부로 유입된다고 알려져 있으나, 노출 가능성은 매우 낮은 것으로 알려져 있다(IPCS, 1998; IARC, 2010)

식이 노출

일반 인구에서의 PAHs의 주요 노출원은 식품 섭취이며, 오염된 토양에서 재배되거나 대기 중에서 직접 노출된 농작물, 오염된 해양에서 포획·채취한 수산물 등의 원재료를 통해서 섭취될 수 있다. 또한 구이 및 훈제된 식품 중 훈연에 사용된 나무, 훈제 향 등을 통해 PAHs가 섭취될 수 있다. 식품을 조리하는 동안 PAHs는 200°C 이상 온도에서 유기물이 열 분해될 때 가장 많이 발생하고, 지방이 직접적으로 열원과 접촉할 때 두 번째로 많이 발생한다. 세 번째로는 굽기 과정에서 불완전 연소에 의해 생성된다(Alomirah, H. 2011). 조리된 식품에서는 벤조[a]피렌 농도가 가장 높았으며, 다음으로 벤조[k]플루오란테, 크리센 순으로 높게 검출되었다(식품의약품안전처, 2022). 국내 PAHs의 위해성 평가에서 식품을 통한 성인(19~64세) 일일평균노출량은 30.375 ng/kg b.w./day 였다(식품의약품안전평가원, 2016).



직업적 노출

캐나다의 CAREX(CARcinogen EXposure) 데이터베이스에 따르면 1990~1993년에 유럽의 15개국에서는 약 1,000,000명이 직업으로 인해 PAHs에 노출된 것으로 나타났다(Kauppinen et al., 2000). 또한 코스타리카의 한 연구에 따르면 17,700명이 직업으로 인해 PAHs에 노출되었으며, 이 연구에서 환경적 담배 연기 노출과 디젤 배기 가스 노출은 포함하지 않았다(Partanen et al., 2003). 직업상 PAHs의 주요 노출원은 콜타르 및 콜타르 생산 제품의 공정 및 사용 때문이라 할 수 있다. 콜타르는 코크스 생산 또는 가스 작업의 부산물 중 하나이다. 콜타르 혼합물은 목재 보존, 페인트, 아스팔트 포장 및 지붕 방수 처리와 같은 다양한 목적으로 사용된다(Jongeneelen, 2001; ATSDR, 2002).

대부분의 PAHs는 비휘발성 화합물이지만 그중 방향족 고리가 4개 미만인 공기 중 PAHs는 작업 환경에서는 휘발성 물질로 존재한다. 4개의 고리가 있는 PAHs는 기체 상태 또는 미립자에 흡착된 상태로 존재할 수 있으며, 고분자량의 PAHs는 공기 중 미립자와 결합한다(Jongeneelen, 2001).

PAHs의 직업적 노출은 주로 흡입 및 피부 접촉을 통해 발생한다. PAHs의 작업장 대기 모니터링 및 개인 공기 샘플링은 흡입 노출을 평가하기 위해 사용되었으며, 최근 전체 노출의 바이오 마커로서 사용되고 있다(IARC, 2010). 직업상 피부 노출에 대한 인식은 높아지고 있으며(Jongeneelen, 2001), 그중 석탄 오븐 작업자들에 대한 노출은 파이렌이 총 신체 노출량의 75%를 차지했다.

직업적 노출에서 벤조[a]피렌의 노출은 주변 대기보다 농도가 높았고, 작업자들의 소변 중 1-하이 드록시피렌수치는 $0\mu\text{mol/mol creatinine}$~$100\mu\text{mol/mol creatinine}$ 수준으로 보고되었다(IARC, 2010, 식품의약품안전처, 2022).

02 발암성

PAHs는 환경에서 개별 혹은 혼합물로 발견되므로, 각각에 대한 인체 역학적 증거가 아닌 혼합물에 대한 인체 발암 증거만 보고되어 있다. PAHs 혼합물의 위험성 정보는 부족하나 흡연, 자동차 배기 가스, 오븐 및 석탄 사용 등으로 인한 PAHs는 인체 발암 물질로 평가되었다. 한편 실험 동물에서는 다양한 노출 경로에 따른 PAHs의 발암성이 보고되었으나 아직은 실험 정보가 부족한 실정이다. 직업적 노출 중에서 도로 포장 작업에서 노출되는 아스팔트 흙의 발암 연관성에 대한 근거는 아직 충분하지 않으나, 발암성 가능성은 보고되었다. 또한 지붕 방수나 매스틱(합성고무 등이 첨가된) 아스팔트 취급 작업 중 노출되는 아스팔트 흙의 발암 연관성에 대해서는 증거가 제한적이었으나, 특히 상부 호흡 소화관에서의 발암과는 연관성이 확인되었다(IARC, 2013, Park, H. et al., 2018).

명칭	IARC (국제암연구소)	NTP (미국 국립독성프로그램)	US EPA (미국 환경청)
Acenaphthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Acepyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Anthanthrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Anthracene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
1H-Benz[b,c] aceanthrylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		

명칭	IARC (국제암연구소)	NTP (미국 국립독성프로그램)	US EPA (미국 환경청)
Benz[<i>j</i>]aceanthrylene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)		
Benz[<i>l</i>]aceanthrylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benz[<i>a</i>]anthracene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Benzo[<i>b</i>]chrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>g</i>]chrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>a</i>]fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Benzo[<i>ghi</i>]fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>j</i>]fluoranthene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	B2 (인간에 대한 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)
Benzo[<i>a</i>]fluorene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>b</i>]fluorene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Benzo[<i>c</i>]fluorene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		B2 (인간에 대한 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Benzo[<i>c</i>]phenanthrene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)		

명칭	IARC (국제암연구소)	NTP (미국 국립독성프로그램)	US EPA (미국 환경청)
Benzo[<i>a</i>]pyrene	Group 1 (인간에게 발암성이 확인된 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	A (인간에게 발암성이 확인된 물질)
Benzo[<i>e</i>]pyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Chrysene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)		B2 (인간에 대한 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)
Coronene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
4H-Cyclopenta[<i>def</i>]chrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Cyclopenta[<i>c,d</i>]pyrene	Group 2A (인간에게 발암성이 추정되는 물질)		
5,6-Cyclopenteno-1,2-benzanthracene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Dibenz[<i>a,c</i>]anthracene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	B2 (인간에 대한 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)
Dibenz[<i>a,j</i>]anthracene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Dibenzo[<i>a,e</i>]fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
13H-Dibenzo[<i>a,g</i>]fluorene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Dibenzo[<i>h,rst</i>]pentaphene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Dibenzo[<i>a,e</i>]pyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Dibenzo[<i>a,h</i>]pyrene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	

명칭	IARC (국제암연구소)	NTP (미국 국립독성프로그램)	US EPA (미국 환경청)
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	Group 2A (인간에게 발암성이 추정되는 물질)		
Dibenzo[<i>e,f</i>]pyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
1,2-Dihydroaceanthrylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
1,4-Dimethylphenanthrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Fluorene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Indeno[<i>1,2,3-cd</i>]pyrene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	B2 (인간에 대한 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)
1-Methylchrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
2-Methylchrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
3-Methylchrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
4-Methylchrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
5-Methylchrysene	Group 2B (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	R (인간에게 발암성이 확인될 가능성이 충분한 물질)	
6-Methylchrysene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
2-Methylfluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
3-Methylfluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
1-Methylphenanthrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		

명칭	IARC (국제암연구소)	NTP (미국 국립독성프로그램)	US EPA (미국 환경청)
Naphtho[1,2- <i>b</i>] fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Naphtho[2,1- <i>a</i>] fluoranthene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Naphtho[2,3- <i>e</i>]pyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Perylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Phenanthrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Picene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		
Pyrene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		D (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)
Triphenylene	Group 3 (인간에 대한 발암성을 분류할 수 없는 물질)		

인체 발암성

01 전체 암

Doll(1952) 및 Doll et al.(1965, 1972)은 1953년 4개의 브리티시 가스 위원회(North Western, West Midlands, South Eastern 및 North Thames)에 고용되었거나 연금을 받고 있던 11,499명의 영국 가스 노동자 집단의 사망률을 보고했다. 근무자 중 석탄 가스 노출 수준이 높은 집단에서 일반 인구보다 폐암 위험이 높게 나타났다[SMR, 1.79; 95% 신뢰구간, 1.46-2.18].

1953년부터 1956년까지 조사된 가스 공정 근로자 중 가스 노출 수준이 높은 군에서는 방광암으로 인한 사망자가 10명으로 예상보다 많았으며[SMR, 2.35; 95% CI, 1.13-4.33], 피부암으로 인해 3명이 사망한 것도 관찰되었다[SMR, 6.00; 95% 신뢰구간, 1.24-17.50]. 이후 1957년부터 1965년까지 추가 조사한 결과, 가스 공정 근로자 중 주기적으로 석탄 가스에 높은 수준으로 노출된 군에서 2건, 간헐적으로 노출된 군에서 2건의 방광암이 발생했다.

02 호흡기 암

Kennaway & Kennaway가 1921년부터 1938년까지 잉글랜드와 웨일스에서의 남성의 폐와 후두암으로 인한 사망률을 연구한 결과, 석탄 가스나 타르 등의 물질에 직업적으로 노출되는 경우 폐암의 발생률이 높은 것으로 보고되었다. 가스 공정 근로자 집단의 폐암 표준화사망비(SMR: Standardized mortality ratio)가 1.29로 (95% 신뢰 구간[CI], 1.04-1.57) 일반 인구보다 유의하게 높았다. 남성의 경우 폐암으로 인한 사망은 12건(SMR, 2.03; 95% CI, 1.05-3.55), 후두암

으로 인한 사망은 2건(SMR, 0.59; 95% CI, 0.07-2.12)이었다(Kennaway&Kennaway, 1936). Kawai et al.(1967)이 일본 철강 공장에 고용된 504명의 발전기 가스 생산 근로자 504명을 대상으로 한 코호트 연구 결과, 1931년부터 1953년까지 발전기 가스 생산 근로자 12명에게서 폐암이 보고되었고, 가스 공정 근로자에서 6건의 폐암이 보고되었다(SMR, 33.33; 95% CI, 12.20-72.60). Bruusgaard(1959)는 15년간 125명이 사망한 노르웨이 가스 생산 공장의 현직 근로자와 전직 근로자의 사망 원인을 분석했다. 사망 원인 중 12건은 호흡기 암이며, 그중 4건은 폐암이었다. 근로자에서 전체 암 사망 중 호흡기계 암이 차지하는 비율(proportion)은 일반 인구보다 높았다(Bruusgaard, 1959).

03 기타 암(코호트 연구, 환자 대조군 연구, 메타 분석 등 연구 제시)

(1) 신세포암

A. 7개 카운티 미니애폴리스-세인트폴의 환자 대조군 연구

미국에서 30세에서 85세까지 백인의 신장세포암종을 대상으로 수행한 인구 기반 환자 대조군 연구에서 석유, 타르 및 피치에 직업적으로 노출된 대상이 신장세포암종과 유의한 관계가 있음을 발견했다(odds ratio (OR), 1.7; 95% confidence interval (CI), 1.0-2.9). 석유, 타르 및 피치와 관련된 신세포암의 환자군이 대조군에 비해 남성의 경우 1.6배(95% CI, 0.9-2.7), 여성은 4.6배(95% CI, 0.4-51) 신세포암 위험률이 높았다(McLaughlin et al., 1984).

B. 핀란드 암 등록부에 등록된 신장 선암종(ICD-7, 189.0)에 대한 case-control 연구

Partanen et al.(1991)는 1977년부터 1978년까지 핀란드 암 등록부에 신장 선암종(ICD-7, 189.0)으로 진단받은 것으로 등록된 20세 이상 성인을 대상으로 인구 기반 환자-대조군 연구를 수행했다. 인구학적 특성 조사를 위한 설문 응답률은 환자와 대조군 모두 차이가 없었으며, 생존한 대상자(78%)가 사망한 대상자(66%)보다 설문 응답률이 더 높았다. 개인별 직업력이 산업위생사에 의해 기록되었으며, 1920년부터 1968년까지의 PAHs 및 기타 화학 물질에 대한 노출을 조사했다. 직업적으로 PAHs 노출된 경우, 신장 선암종 위험이 노출되지 않는 군에 비해 1.10배(95% CI, 0.39-3.09) 더 높았으며, 여성을 제외해도 결과는 다르지 않았다(OR, 1.21; 95% CI, 0.43-3.45). 생산직 근로자를 제외하고 연관성을 확인했을 때, 신장 선암종 위험은 증가했다(남녀 모두에서 OR, 4.4; 95% CI, 0.4-43, 남자에서 OR, 5.5; 95% CI, 0.5-58.9).

(2) PAHs에 노출된 근로자 연구의 메타 분석

Partanen과 Boffetta(1994)는 아스팔트 또는 콜타르의 노출에 대한 11개의 코호트와 9개의 환자-대조 연구를 포함해 아스팔트 작업자와 지붕 작업자와 관련된 20개의 연구를 검토했다. 모든 코호트 연구는 폐암을 다루었고, 환자-대조군 연구에서는 폐, 방광 및 위암, 백혈병 및 비흑색종 피부암을 다루었다. 연구 결과, 지붕 작업자와 폐암 발생 위험 간에 관련성이 있는 것으로 나타났다(RR=1.78, 95% CI, 1.50-2.10), 아스팔트 작업자(RR=1.28, 95% CI, 1.03-1.59)와 지붕 작업자(RR=1.71, 95% CI, 1.12-2.51)는 위암 발생과 유의하게 관련성이 있는 것으로 나타났다. 또한 비흑색종 피부암은 아스팔트 작업자(RR=1.74, 95% CI, 1.07-2.65), 포장 기계 및 고속도로 유지 보수 작업자(RR=1.20, 95% CI, 1.19-3.66)와 통계적으로 유의한 관련성을 보였다.

(3) PAHs에 노출된 국내 근로자의 국내 연구

Kui Don Joo et al.(2007)은 금속가공유 취급 작업자인 열처리업 4개소 80명, 일반 금속가공업 2개소 40명을 대상으로 금속가공유 취급 공정 중 열처리 작업에서의 오일 미스트와 PAHs의 노출 수준을 평가하였다. 공기 중 PAHs는 120건의 시료 중 91건(75.8%)에서 검출 한계 이상이였다. 공기 중 총 PAHs 노출 수준은 노출군 중 열처리 작업자에서 3.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비열처리 작업자의 0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 유의하게 높았다($p < 0.001$). 오일 미스트의 노출 수준은 비열처리 작업자에서 0.70 mg/m^3 로 열처리 작업자의 0.19 mg/m^3 보다 유의하게 높았다($p < 0.001$, KD Joo et al. 2007).

JS Lee et al.(2007)은 국내 7개 광산을 대상으로 디젤 차량 사용 광산 근로자 56명, 미사용 광산 근로자 62명 및 사무직 대조군 21명 등 총 139명을 대상으로 디젤 차량 사용 광산별 및 작업 장소별 소변 중 1-하이드록시피렌 농도를 비교한 결과를 보고했다. 디젤 차량 사용 광산 중 지하 갱 내의 근로자의 1-하이드록시피렌 평균 농도(0.54 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ creatinine)는 디젤 차량을 사용하는 지상의 노천 광산 근로자(0.33 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ creatinine), 디젤 차량 미사용 지하 광산 근로자(0.32 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ creatinine) 및 대조군(0.22 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ creatinine)보다 유의하게 높았다($p = 0.000$)(JS Lee et al. 2007).

식이 섭취로 인한 암

식이 섭취에 따른 PAHs 노출과 암 사이의 연관성을 직접 조사한 역학 연구는 거의 없지만, 육류 빈도 설문과 CHARRED(Computerized Heterocyclic Amines Resource for Research in Epidemiology of Disease) 데이터베이스를 이용한 연구 결과가 보고되었다(Kazerouni et al., 2001; Sinha et al., 2005a). 이 연구에서는 결장직장 선종에 관한 3건의 연구와 결장암 중 1건의 연구가 PAHs와 결장 종양 사이의 연관성을 조사했다.

146명의 환자와 228명의 음성 선별(5상 결장경 검사 또는 대장 내시경 검사에 의한) 대조군을 포함하는 미국 메릴랜드의 한 병원 기반 환자-대조군 연구는 식이 섭취를 통한 PAHs 노출이 결장직장 선종의 위험에 영향을 미친다는 가설을 고안했다(Sinha et al. al., 2005a, Sinha et al., 2005b). 이 연구에서는 설문과 식품 빈도 설문지를 활용해 벤조[a]-피렌 노출을 산출했다. 연구 결과, 식이를 통한 벤조피렌 노출 추정 중앙값은 환자군(5ng/day)이 대조군(17ng/day)보다 높았으며, 육류 섭취에 의한 벤조피렌 노출이 증가할수록 결장직장 선종의 위험이 증가하는 것을 관찰할 수 있었다(Sinha et al. al., 2005a).

동물 실험에서 나타난 암

종류	실험결과
 마우스(Mouse)	<ul style="list-style-type: none"> 벤조(a)안트라센의 다양한 노출 경로(위관 삽입, 피하, 피부 등)에 따라 다양한 조직(예컨대 간, 피부, 방광 등)에서 종양이 관찰되었고, 크리센은 피부, 폐, 간 등에서 종양이 증가했다. PAHs 혼합물을 경구 투여한 실험에서는 소화기계, 폐, 간에서 종양이 발견되었고, 사료에 혼합해 투여한 실험(석탄 타르 및 벤조(a)피렌 단독)을 비교한 연구에서 종양 부위는 전위였다. 벤조(a)피렌은 전위에서 종양을 유발한 타르의 한 성분 이므로 타르 혼합물은 폐, 기관지, 간 등 다양한 종양의 발생을 유발하며, 벤조(a)피렌보다 2~5배 높은 발암력을 보였다(Culp et al., 1998, IARC, 2010, IPCS, 1998).
 랫드(Rat)	<ul style="list-style-type: none"> 랫 실험에서 크리센에 노출했을 때 폐암이 보고되었으며, Sprague-Dawley계 랫드를 이용한 연구에서는 각각 총 0, 6, 39mg/kg bw per year의 벤조(a)피렌을 섭취하게 했다. 그 결과 고용량을 섭취한 랫드에서 저용량을 섭취한 랫드보다 전위 유두종의 발생률이 더 높게 관찰되었다(Brune et al., 1981). 벤조(a)피렌(50μmol [13.21mg])을 8주 동안 일주일에 한 번 위관으로 투여한 암컷 쥐에서 유선 종양(섬유선종, 선종 및 선암종)의 발생률이 현저히 증가했다(EI-Bayoumy et al., 1995).

종류	실험결과
그 외	<ul style="list-style-type: none"> 벤조(a)피렌은 토끼, 원숭이, 햄스터, 기니피그 등 동물에서 1차 노출된 부위에서 암이 발생했으며, 국소 혹은 이차적으로 다른 장기에 발암 영향을 미치는 것으로 보고되었다(식품의약품안전처, 2022, IARC, 2010). 디벤즈(a,h)안트라센을 실험 동물 중에 투여한 실험에서는 폐, 유선, 전위, 혈관, 피부 등에서 암이 관찰되었다(식품의약품안전처, 2022).

03

기타 관련 자료

흡수, 분포, 대사 및 배설

01 흡수

PAHs는 대부분 호흡기, 피부 및 소화관을 통해 흡수되며, 각각의 생체 이용률은 다를 수 있고, 방향족 고리의 수에 따라 PAHs의 활성 차이가 나타날 수 있다. PAHs는 생물학적 세 가지 경로 모두를 통해 순환계로 흡수되며, 친유성을 띄는 PAHs의 대사는 주로 간에서 발생하지만 상피 장벽을 비롯한 많은 다른 조직에서도 발생한다(IARC, 2010). 따라서 호흡기, 피부 또는 소화관을 통한 PAHs의 흡수는 정맥주사 등 투여 매개체의 영향을 받을 수 있다. 인간의 PAHs 분포에 대한 이용 가능한 정보는 없다(DHHS/ATSDR, 1995).

A. 호흡기를 통한 흡수

PAHs의 증기압은 물질이 대기로 방출되는 에어로졸의 입자상과 기체상 사이의 PAHs분포에 대한 주요 결정 요인이며, 분자량이 증가함에 따라 급격히 감소한다(Lohmann & Lammel, 2004), 실온에서 방향족 고리 2개인 나프탈렌은 대부분 기상에서 발견되는 반면, 벤조(a)피렌과 같이 고리가 5개인 물질에서는 대부분 공기 중 입자에 흡착된다(Lane & Gundel, 1996). 유전독성 물질이 흡착되지 않은 PAHs는 특히 쥐에서 발암성이 있는 것으로 나타났다(IARC, 2010). 또한 기체/입자 분할은 흡입 노출 동안 호흡기 내 침착 가능성이 있는 부위를 결정하므로 매우 중요하다. PAHs를 포함한 입자로부터 PAHs가 기도로 흡수 되는 속도 및 정도는 입자 크기 및 입자로부터의 방출 속도에 따라 달라진다. 입자로부터 PAHs의 방출시에는 흡입된 증기상 PAHs의 흡수 속도와 정도에 따라 입자 결합 PAHs의 흡수 속도와 범위를 다르게 한다. PAHs는 높은 친유성 때문에 섭취나 흡입 후의 생체 이용률이 중요하며, 피부 흡수는 연구되는 PAHs와 평가되는 종에 따라 다르게 나타난다.(Sun et al., 1982). 동물 연구에서 벤조(a)피렌이 폐에 흡수되고 폐 흡수가 운반 입자 및 매개체의 용해도에 의해 영향을 받을 수 있는 것으로 나타났지만, 흡수 정도는 알려지지 않았다(DHHS/ATSDR, 1995).

B. 위장관을 통한 흡수

인간의 경우 섭취 후 벤조(a)피렌의 흡수가 느리지만, 동물의 경우 흡수율은 지질 친화성에 의해 PAHs 화합물마다 다르다. 화합물이 좀 더 지질 친화적이거나 위장관에 기름이 있는 경우 경구 흡수가 증가한다(DHHS/ATSDR, 1995).

C. 피부를 통한 흡수

PAHs의 경피 흡수는 인간 및 동물 모두 빠른 것으로 나타났으나 흡수 정도는 화합물마다 다르다(DHHS/ATSDR, 1995). 직업적 노출에서 PAHs의 피부 흡수에 대한 증거는 작업장에서 배출되는 PAHs 혼합물이 피부를 통해 노출된 인간의 소변에서 1-하이드록시피렌과 같은 PAHs 대사산물이 검출되었다(van Rooij et al., 1993a).

02 대사 및 배설

A. 대사

PAHs는 친유성 물질이기 때문에, 배설되기 전 수용성 유도체로의 생물학적 변형이 필요하다. 초기 단계에서 에폭사이드가 형성되고, 형성된 에폭사이드는 연속적으로 가수분해되어 디올을 형성한다. 다음 반응 단계에서 디하이드록시-에폭사이드가 형성될 수 있으며, 이는 차례로 DNA와 반응하는 친전자성 화합물로 분해될 수 있다. 이러한 DNA 부가물은 복구 메커니즘이 시작되지 않는 경우 종양 생성을 유도할 수 있다(Honer, 2001).

B. 배설

무독화된 PAHs는 대부분은 담즙으로 배설되고, 이후 대변으로 제거되거나 소량은 소변으로도 배설된다(ATSDR Case Studies in Environmental Medicine, 2003). 니코틴은 PAHs의 독성 동태에 영향을 줄 수 있다. PAHs는 지질 친화성으로 인해 세포막을 쉽게 통과하고 체내에 잔류한다. 그러나 PAHs 대사는 수용성일수록 잘 배설된다(DHHS/ATSDR, 1995).

03 독성 영향

A. 급성 독성

PAHs의 반수치사량(LD50)은 마우스에서 벤조(a)피렌의 경우 및 복강 LD50(mus)은 >1,600mg/kg b.w이었으며, 크리센의 복강 LD50(mus)은 >320mg/kg b.w였다.

B. 유전 독성

PAHs는 유전 독성 및 DNA 손상에 관한 in vivo 및 in vitro 시험에서 활성을 나타냈고, 암컷 래트에게 석탄 타르를 섭취하게 하자 폐에서 부가체(벤조(a)피렌-유래, 벤조(c)플루오렌-유래)가 발견되어, 특정 PAHs류가 폐종양 형성에 기여하는 것으로 나타났다(Weyand et al, 2002, Goldstein et al., 1998).

04

노출 기준

※ 다환방향족탄화수소 노출 권고/규제 기준(국외/국내)

구분	기관	기준 수치	관련 내용	
국외	세계보건기구 (WHO)	음용수 0.2µg/L	유럽 기준치.	
	국제암연구소 (IARC)	작업장	5mg/m³(TWA)	광물유 분무(oil mist, mineral)에 대한 직업적 노출 한계, (Australia, Belgium, German Democratic Republic, Italy, Netherlands, Switzerland). TWA(Time-Weighted-Average): 하루 8시간-주5일근무를 기준으로 노출되었을 때 해당 수준 미만이 안전한 PAHs 농도, 이하 TWA.
			3mg/m³(TWA)	광물유 분무(oil mist, mineral)에 대한 직업적 노출 한계, (Japan, Finland, Sweden).
			0.2mg/m³(TWA)	콜타르에 대한 직업적 노출 한계, (Australia, Belgium, Italy, Netherlands, Switzerland, Yugoslavia).
	미국 산업위생사 협회 (ACGIH)	작업장	0.2mg/m³ (TVL,TWA)	콜타르에 대한 직업적 노출 한계, TLV(Threshold Limit Value): 유해화학물질 허용 농도 - 근로자를 대상으로 작업장에서의 물리적, 화학적 노출에 대한 사전 예방적 생체지표를 제안하고 기준 수치는 제시
			5mg/m³(TWA)	광물유 분무(oil mist, mineral)에 대한 직업적 노출 한계, STEL(Short Term Exposure Limit): 하루 8시간-주5일 근무를 기준으로 15분 노출되었을 때 해당 수준 미만이 안전한 PAHs의 농도, 이하 STEL.
			10mg/m³(STEL)	
	미국 국립 직업 안전위생 연구소 (NIOSH)	작업장	0.1mg/m³ (REL-TWA)	콜타르 제품에 대한 권장 직업 노출 한계, REL-TWA(Recommended occupational exposure limit, Time-Weighted Average): 작업 환경 내 하루 10시간 공기중 가중 PAHs 평균 노출 농도.
			5mg/m³	광물유 분무(oil mist, mineral)에 대한 직업적 노출 한계.
			10mg/m³(STEL)	
	미국 직업 안전 건강 관리청 (OSHA)	작업장	5mg/m³	광물유 분무(oil mist, mineral)에 대한 직업적 노출 한계.
			0.2mg/m³ (PEL,TWA)	콜타르 제품에 대한 직업적 노출 한계, PEL(Permissible exposure limit): 허용 노출 한계. 작업 환경 내 하루 8시간 공기 중 PAHs 노출 기준.
미국 환경청 (EPA)	물	0.0001mg/L	benz(a)anthracene의 MCL, MCL(Maximum Contaminant Level): 최대 오염 수준-노출 기간 유해한 건강 영향이 발생하지 않을 것으로 예상되는 기준. 이하 MCL.	
		0.0002mg/L	benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, chrysene의 MCL.	

구분	기관	기준 수치	관련 내용	
국외	미국 환경청 (EPA)	물	0.0003mg/L dibenz(a,h)anthracene의 MCL.	
			0.0004mg/L indeno(1,2,3-c,d)pyrene의 MCL.	
국내	식품의약품 안전처		10µg/g Smoke flavors(BaP).	
			2µg/kg Edible oil & fat(BaP).	
		식용유지 ¹⁾	2.0µg/kg 이하	벤조피렌 노출 기준치
		어패류	2.0-10.0µg/kg 이하	
		훈제식품 ²⁾	5.0-10.0µg/kg 이하	
	특수용도 식품 ³⁾	1.0µg/kg 이하		
환경부	0.05mg/m ³	벤조피렌 배출허용 기준치		

- 1) 식용유지 대상식품: 식물성유지류, 어류, 기타 동물성유지, 혼합, 식용유, 향미유, 가공유지, 스트링, 마가린
- 2) 훈제어육: 5.0 이하, 훈제식육제품 및 가공품: 5.0 이하, 훈제건조어육: 10.0이하 (단위기준: µg/kg)
- 3) 특수용도식품: 영유아용 조제유, 특수조제 식품 1일 섭취량

05 보호 방법

PAHs는 원유, 화산 등 자연적으로 발생하기도 하지만, 주로 자동차 배기가스, 석탄연소 배출물, 담배 연기, 화재 등 인위적인 요인에 의해 발생한다. 또한 식품을 굽고 튀기는 등 조리 과정에서 탄화에 의해 발생하기도 한다. 일반 인구에서의 PAHs 노출의 대부분은 식이와 환경 노출을 통해 발생하고, 그중 식이에 의한 노출을 줄이는 것은 개인의 노력을 통해 노출을 저감할 수 있는 방법이다.

식품을 통해 PAHs 섭취량을 줄이기 위해서는 불꽃이 직접 고기에 닿지 않도록 화력을 적당히 조절하고, 가능한 한 '석쇠'보다는 '불판'을 이용한다. PAHs는 기름이 분해되어 생긴 연기 속에 많이 있으므로 연기가 고기에 직접 접촉되지 않도록 배연 장치를 설치하고 조리해 노출을 줄인다. 만약 화학 물질을 섭취하거나 흡입했을 경우 반드시 적절한 호흡 의료 장비를 이용해 호흡시키고, 오염 지역을 벗어나 신선한 공기를 호흡할 수 있는 곳으로 이동한 후 병원으로 옮겨야 한다. 피부에 노출되었을 경우 즉시 피부와 눈을 20분 이상 흐르는 물에 씻어내야 하며, 오염된 옷과 신발을 제거하고 오염 지역을 격리해야 한다. PAHs 함유 가능한 요인에 노출 시에는 의료진에게 연락하는 등의 응급조치를 취한후, 의료 인력이 해당 물질에 대해 인지하고 보호 조치를 취하도록 해야한다.

흡입



- 신선한 공기를 흡입하며 휴식을 취한다.
- 구강대구강법으로 인공호흡을 하지 말고 적절한 호흡의료장비를 이용하여 조치한다.
- 의료진에게 진료를 받는다.

경피



- 오염된 의복을 물로 충분히 세척한다.
- 오염된 의복을 제거하고, 피부를 다량의 물로 세척하거나 샤워한다.

경구



- 구강대구강법으로 인공호흡을 하지 말고 적절한 호흡 의료 장비를 이용해 조치한다.
- 증상이 지속될 경우에는 진료를 받는다.

안구



- 물질과 접촉 시 즉시 20분 이상 흐르는 물에 눈과 피부를 씻어낸다.

06

관계 법령

환경부 국립환경과학원 예규 '어린이용품 함유 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs) 및 다환방향족 탄화수소류(PAHs) 노출평가 시험방법 적용 및 운영지침'은 「환경보건법」 제24조 및 「동법 시행령」 제19조에 따라 어린이용품 중의 환경 유해 인자를 효율적으로 관리하기 위한 노출 평가시험 및 운영에 필요한 사항을 규정하고 있다. 또한 대기환경보전법 제16조 1항 시·도지사, 유역환경청장, 지방환경청장 및 수도권대기환경청장은 법 제17조제2항에 따른 배출시설별 배출원과 배출량을 조사하고, 그 결과를 다음 해 3월 말까지 환경부 장관에게 보고하여야 한다고 하여 배출 시설별 배출원과 배출량 조사에 관한 규칙을 제정하고 있다. 그리고 대기환경보전법 시행규칙 제15조 배출허용기준을 설정해 관리하고 있으며, 국립환경과학원 고시 '대기오염공정시험기준'과 '토양 환경보전법 시행규칙'상의 토양우려기준을 통해서도 관리하고 있다.

REFERENCES

- ACGIH (2005) *Documentation of the TLVs® and BEIs® with Other Worldwide Occupational Exposure Values CD-ROM - 2005*. Cincinnati, OH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., & Kannan, K. (2011). Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food control*, 22(12), 2028-2035.
- ATSDR (2002) *Toxicological Profile for Wood Creosote, Coal Tar Creosote, Coal Tar, Coal Tar Pitch, and Coal Tar Pitch Volatiles*, Atlanta US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- Brune, H., Deutsch-Wenzel, R.P., Habs, M., Ivankovic, S. & Schmähel, D. (1981) Investigations of the tumorigenic response to benzo(a)pyrene in aqueous caffeine solution applied orally to Sprague-Dawley rats. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 102, 153-157.
- Bruusgaard, A. (1959). Incidence of certain forms of cancer in gas workers. *Tidsskr Nor Laegeforen*, 79, 755-756. (in Norwegian)
- Culp, S.J., Gaylor, D.W., Sheldon, W.G., Goldstein, L.S. & Beland, F.A. (1998) A comparison of the tumors induced by coal tar and benzo[a]pyrene in a 2-year bioassay. *Carcinogenesis*, 19, 117-124.
- Centers for Disease Control and Prevention (2013) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/pahs_factsheet_cdc_2013.pdf
- DHHS/ATSDR(1995); Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) p.22-189.
- Ding, Y.S., Trommel, J.S., Yan, X.J., Ashley, D. & Watson, C.H. (2005) Determination of 14 polycyclic aromatic hydrocarbons in mainstream smoke from domestic cigarettes. *Environmental Science & Technology*, 39, 471-478.
- Doll, R. (1952) The causes of death among gas-workers with special reference to cancer of the lung. *British Journal of Industrial Medicine*, 9, 180-185.
- Doll, R., Fisher, R. E. W., Gammon, E. J., Gunn, W., Hughes, G. O., Tyrer, F. H., & Wilson, W. (1965). Mortality of gasworkers with special reference to cancers of the lung and bladder, chronic bronchitis, and pneumoconiosis. *Occupational and Environmental Medicine*, 22(1), 1-12.
- Doll, R., Vessey, M.P., Beasley, R.W.R., Buckley, A.R., Fear, E.C., Fisher, R.E.W., Gammon, E.J., Gunn, W., Hughes, G.O., Lee, K. & Norman-Smith, B. (1972) Mortality of gasworkers— Final report of a prospective study. *British Journal of Industrial Medicine*, 29, 394-406.
- El-Bayoumy, K., Chae, Y-H., Upadhyaya, P., Rivenson, A., Kurtzke, C., Reddy, B. & Hecht, S.S.(1995) Comparative tumorigenicity of benzo[a]pyrene, 1-nitropyrene and 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine administration by gavage to female CD rats. *Carcinogenesis*, 16, 431-434.
- Goldstein, L. S., Weyand, E. H., Safe, S., Steinberg, M., Culp, S. J., Gaylor, D. W., ... & Rodriguez, L. V. (1998). Tumors and DNA adducts in mice exposed to benzo [a] pyrene and coal tars: implications for risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, 106(6), 1325-1330.
- Guillén, M.D. (1994) Polycyclic aromatic compounds: Extraction and determination in food. *Food Additives & Contaminants*, 11, 669-684.
- Höner, A. *Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) metabolites*. In *Handbook of Analytical Separations*. Elsevier Science BV. 2001(3), 99-121.
- Huang, W., Grainger, J., Patterson, D.G., Jr, Turner, W.E., Caudill, S.P., Needham, L.L., Pirkle, J.L. & Sampson, E.J. (2004) Comparison of 1-hydroxypyrene exposure in the US population with that in occupational exposure studies. *Int. Arch. occup. environ. Health*, 77, 491-498.
- IARC (2004) *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 83,
- IARC (2010) *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 92,
- IPCS (2004) *Asphalt (Bitumen) (Concise International Chemical Assessment Document 59)*, Geneva, International Programme on Chemical Safety & WHO
- IPCS (1998) *Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Environmental Health Criteria 202)*, Geneva, International Programme on Chemical Safety & WHO
- Joo, K. D., Kim, E. A., Choi, S. B., & Kim, M. O. (2007). Exposure assessment of Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) for heat treat workers using Metalworking fluids. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 17(1), 71-80.
- Jongeneelen, F.J. (2001) Benchmark guideline for urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Annals of Occupational Hygiene*, 45, 3-13.
- Kauppinen, T., Toikkanen, J., Pedersen, D., Young, R., Ahrens, W., Boffetta, P., Hansen, J., Kromhout, H., Maqueda, B.J., Mirabelli, D.D., de la Orden-Rivera, V., Pannett, B., Plato, N., Savela, A., Vincent, R. & Kogevinas, M. (2000) *Occupational exposure to carcinogens in the European Union. Occupational and Environmental Medicine*, 57, 10-18.
- Kawai, M., Amamoto, H. & Harada, K. (1967) Epidemiologic study of occupational lung cancer. *Archives of Environmental Health*, 14, 859-864.
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C.H., Greenberg, A. & Rothman, N. (2001) Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food chem. Toxicology*, 39, 423-436.
- Kennaway, N.M. & Kennaway, E.L. (1936) A study of the incidence of cancer of the lung and larynx. *Journal of Hygiene*, 36, 236-267
- Koganti, A., Singh, R., Ma, B. L., & Weyand, E. H. (2001). Comparative analysis of PAH: DNA adducts formed in lung of mice exposed to neat coal tar and soils contaminated with coal tar. *Environmental science & technology*, 35(13), 2704-2709.
- Lane, D. A., & Gundel, L. (1996). Gas and particle sampling of airborne polycyclic aromatic compounds. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 9(1-4), 67-73.
- Lohmann, R., & Lammel, G. (2004). Adsorptive and absorptive contributions to the gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons: State of knowledge and recommended parametrization for modeling. *Environmental Science & Technology*, 38(14), 3793-3803.
- Park, H., Hwang, E., & Kim, S. (2018). Asphalt Fumes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) Exposure Assessment among Asphalt Road Paving Workers. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 28(3), 257-266. <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2018.28.3.257>
- Partanen, T., Chaves, J., Wesseling, C., Chaverri, F., Monge, P., Ruepert, C., Aragón, A., Kogevinas, M., Hogstedt, C. & Kauppinen, T. (2003) Workplace carcinogen and pesticide exposures in Costa Rica. *International Journal of*

REFERENCES

Occupational and Environmental Health, 9, 104-111

- Partanen, T. & Boffetta, P. (1994) Cancer risk in asphalt workers and roofers: Review and meta-analysis of epidemiologic studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 26, 21-740.
- Partanen, T., Heikkilä, P., Hernberg, S., Kauppinen, T., Moneta, G. & Ojajärvi, A. (1991) Renal cell cancer and occupational exposure to chemical agents. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 17, 231-239.
- Phillips, D.H. (1999) Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. *Mutation Research*, 443, 139-147.
- Sinha, R., Kulldorff, M., Gunter, M.J., Strickland, P. & Rothman, N. (2005b) Dietary benzo[a]pyrene intake and risk of colorectal adenoma. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 14, 2030-2034
- Sinha, R., Cross, A., Curtin, J., Zimmerman, T., McNutt, S., Risch, A. & Holden, J. (2005a) Development of a food frequency questionnaire module and databases for compounds in cooked and processed meats. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49, 648-655
- Sun, J.D., Wolff, R.K. & Kanapilly, G.M. (1982) Deposition, retention, and biological fate of inhaled benzo(a)pyrene adsorbed onto ultrafine particles and as a pure aerosol. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 65, 231-244
- Van Rooij, J. G., Bodelier-Bade, M. M., & Jongeneelen, F. J. (1993). Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 50(7), 623-632.
- Van Rooij, J. G., Van Lieshout, E. M., Bodelier-Bade, M. M., & Jongeneelen, F. J. (1993). Effect of the reduction of skin contamination on the internal dose of creosote workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19(3), 200-207.
- 산업안전보건연구원. (2021). 노동자의 암 예방, 현황과 전망, *안전보건 이슈 리포트 (특집호)*.
- 식품의약품안전평가원. (2022). *다환방향족탄화수소류 통합 위해성 평가 보고서*
- 신한승, & 김민지. (2014). 식품 중 다환방향족탄화수소 생성에 영향을 미치는 요인. *식품산업과 영양*, 19(1), 1-4.



발암 요인 보고서 (다환방향족탄화수소, PAHs)

발간에 참여한 분들

국립암센터 연구진

김병미 국립암센터 암예방사업부

김호선 국립암센터 암예방사업부

최은정 국립암센터 암예방사업부

김세영 국립암센터 암예방사업부

김태월 국립암센터 암예방사업부

영역별 참여 전문가

박보미 중앙대학교

박은영 고려대학교

이철우 국립환경과학원

다환방향족탄화수소

PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons

-
발암 요인 보고서

