

일반 국민을 위한 발암요인 평가 요약서

최근 각종 대기오염 물질을 비롯하여 우리가 일상적으로 노출되는 환경요인들이 인간에게 암을 일으킨다는 것이 확실해지면서 환경적 발암 요인에 대한 국민들의 관심이 매우 높아지고 있습니다.

이에 국립암센터에서는 지금까지 과학적으로 확인된 발암요인들을 일반인도 쉽게 파악하고 주의할 수 있도록, 국제암연구소 (International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 현재까지의 연구 결과를 검토하여 “인간에게 암을 유발하는 것이 확실한”(1군) 발암요인으로 공식 분류한 것들의 목록을 정리하고 그 유해성 평가 내용을 요약하여 소개합니다.

국제암연구소(IARC)는 세계보건기구(WHO) 산하 기구로서, 발암요인 확인평가 그룹(The Carcinogen Identification and Evaluation Group, CIE)을 주축으로 1971년 이래 IARC 모노그래프 프로그램(Monograph Program)을 운영해 왔습니다. 2018년 11월 현재 총 1,013종의 위험 요인에 대해 발암성 검토를 했고, 그 결과를 담아 ‘인체 발암요인에 관한 평가보고서(Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human)’를 118권 이상 발간했습니다.

국제암연구소에서는 체외 실험, 동물 실험과 사람을 대상으로 한 역학적 연구 등에 근거하여 발암성을 평가하며, 이를 바탕으로 발암요인을 5개 군으로 분류합니다.

1군: 인간에게 암을 유발하는 것이 확실함(Carcinogenic to humans), 120종

2A군: 인간에게 암을 유발할 개연성이 높음(Probably carcinogenic to humans), 82종

2B군: 인간에게 암을 유발할 가능성이 있음(Possibly carcinogenic to humans), 311종

3군: 인간에 대한 발암성을 분류할 수 없음(Not classifiable as to its carcinogenicity to humans), 499종

4군: 인간에게 암을 유발하지 않을 개연성이 높음(Probably not carcinogenic to humans), 1종

* 국제암연구소 발암요인 목록

<https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/>

<이해를 돕는 글>

- 본 내용은 국제암연구소에서 저명한 암 관련 학술지 'The Lancet Oncology'에 게재된 발암요인 요약서 중 "인간에게 암을 유발하는 것이 확실함"(1군)으로 분류한 요인에 대한 내용을 번역하여, 일반 국민이 이해하기 쉽도록 재구성한 것입니다.
- IARC의 발암성 분류 기준은 발암 기전을 중심으로 한 과학적 논란과 윤리적 논란이 있고, 기존 연구결과가 많지 않은 경우 '인간에 대한 발암성을 분류할 수 없음'으로 분류합니다. 발암요인의 분류 기준이 건강 유해성에 대한 과학적 자료에 근거하고 있음을 고려할 때, 과거에는 2군으로 분류된 발암요인들이 추가적인 역학연구 결과와 동물실험 결과 등의 축적 때문에 1군 발암물질로 재평가되는 경우도 있습니다. 따라서 IARC뿐 아니라 이 기관의 발암 분류를 활용하는 나라들에서도 그에 대한 고민이 있습니다.
- 국제암연구소의 발암요인 분류는 암 예방을 위해 제시하는 것으로, 업무상 질병의 보상 기준 또는 그 대상으로 사용되지 않습니다.
- 발암요인으로 분류된 의약품이라 하더라도 전문가의 판단에 따라 치료 효과가 위험도를 상회할 경우에는 처방될 수 있습니다. 해당 약제를 사용 중인 환자는 임의로 투약을 중단하지 말고 반드시 주치의와 상의해야 합니다.
- 암이 발생하는 데는 노출 농도뿐 아니라 노출 기간, 생활 습관, 유전적 감수성, 가족력 등 많은 요인이 복합적으로 작용합니다. 따라서 단 한 가지의 원인으로 암 발생을 규명하기는 어렵습니다. 하지만 많은 발암요인이 안전한 노출 허용 기준이 없는, 즉 역치(閾値)가 없는 모델을 갖고 있으므로, 비록 일상생활에서 발암요인을 완전히 피해 갈 수는 없지만 가능한 한 노출을 최소화하는 것이 암 예방을 위해 중요합니다.

목차

1. 의약품	1
2. 생물학적 요인	3
3. 중금속, 분진, 석면.....	6
4. 방사선	8
5. 담배, 음주, 생활환경, 식습관	10
6. 직업·환경적 화학물질 노출과 작업 공정	12

1. 의약품

항암제를 포함한 18종의 약물과 다섯 가지 호르몬 치료제가 1군 발암요인으로 분류되었습니다.

발암요인으로 분류된 의약품이라 하더라도 전문가의 판단에 따라 치료 효과가 위험도를 웃돌 경우에는 처방될 수 있습니다. 해당 약제를 사용 중인 환자는 임의로 투약을 중단하지 말고 반드시 주치 의사와 상의해야 합니다.

1940년대부터 70년대 초까지 미국과 유럽 등에서 유산 방지제로 많이 쓰였던 합성 에스트로겐 호르몬 제 디에틸stil베스트롤(DES)은 유방암, 질암, 자궁경부암을 일으키는 것으로 밝혀져 현재 사용이 금지돼 있습니다. 에스트로겐-프로게스타겐 복합 경구 피임약과 유방암 치료에 사용되는 타목시펜은 암종에 따라 발암 위험을 높이기도 하고 낮추기도 한다고 알려졌습니다.

13종의 항암제가 1군 발암요인으로 분류되었으며 백반증 치료법인 광화학요법(메톡살렌+자외선)도 피부암을 유발할 수 있습니다. 일부 한약재(마두령, 청목향, 세신 등)의 아리스톨로크산도 1군 발암요인입니다. 페나세틴을 함유하는 진통제 혼합물과 페나세틴 자체는 판매가 금지되어 더는 사용하지 않습니다.

표 1: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 호르몬 치료제

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 종양 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 ²	암 위험이 감소하는 부위 ³
디에틸stil베스트롤	유방암(임신 중 노출), 질암 및 자궁경부암 (태아기에 자궁 내에서 노출)	고환암 (태아기에 자궁 내에서 노출), 자궁내막암	
에스트로겐 단독 폐경기 치료	자궁내막암, 난소암	유방암	
에스트로겐-프로게스타겐 병합 폐경기 치료	자궁내막암, 유방암		
에스트로겐-프로게스타겐 복합 경구 피임약	유방암, 자궁경부암, 간암		자궁내막, 난소
타목시펜	자궁내막암		유방

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

³ 인체에서 암 발생을 감소시킨다는 증거가 있는 부위.

표 2: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 항암제와 기타 약제

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 종양
부설판	급성 골수성 백혈병
클로람부실	급성 골수성 백혈병
시클로포스파미드	급성 골수성 백혈병, 방광암
멜팔란	급성 골수성 백혈병
세무스틴 (메틸-CCNU)	급성 골수성 백혈병
티오테파	백혈병
트레오셀판	급성 골수성 백혈병
MOPP 복합 항암화학요법	급성 골수성 백혈병, 폐암
에토포시드, 시스플라틴, 블레오마이신 병합	급성 골수성 백혈병
에토포시드	급성 골수성 백혈병
클로나파진	방광암
아자티오프린	비호지킨 림프종, 피부암
시클로스포린	비호지킨 림프종, 피부암, 기타 여러 부위의 암
메톡살렌 + 자외선	피부암
아리스톨로코산을 함유한 식물	신우암, 요관암
아리스톨로코산	신우암, 요관암
페나세틴을 함유하는 진통제 혼합물	신우암, 요관암
페나세틴	신우암, 요관암

*MOPP=클로르메틴(메클로레타민), 빈크리스틴 (옹코빈), 프로카바진, 프레드니손

<건강보험심사평가원 - 의약품안전서비스>

<http://www.hira.or.kr/rg/dur/form.do?pgmid=HIRAA030033000000>

<식품의약품안전처 - 약사법>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=170970&efYd=20151001#0000>

<식품의약품안전처 - 약사법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=175075&efYd=20150929#0000>

<식품의약품안전처 - 약사법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=173445&efYd=20151025#0000>

<식품의약품안전처 - 의약품 등의 안전에 관한 규칙>

<http://www.law.go.kr/lsSc.do?menuId=0&p1=&subMenu=1&nwYn=1§ion=&tabNo=&query=%EC%9D%98%EC%95%BD%ED%92%88%20%EB%93%B1%EC%9D%98%20%EC%95%88%EC%A0%84%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EA%B7%9C%EC%B9%99#undefined>

<식품의약품안전처 - 의약품 부작용 피해구제에 관한 규정>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=165225&efYd=20141219#0000>

<식품의약품안전처 - 의약품 부작용 피해구제에 관한 규정 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=165443&efYd=20141219#0000>

<식품의약품안전처 - 위해정보공개>

<http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=726>

<한약재“청목향·마두령 및 그 한약제제” ‘05.6.1부터 제조(수입)·출하·사용중지>

<http://www.mfds.go.kr/gwangju/index.do?mid=26&seq=8012&cmd=v>

2. 생물학적 요인

국제암연구소에서는 11가지의 생물학적 요인(바이러스, 박테리아 기생충 등)을 1군 발암요인으로 분류했습니다. 그 11가지는 다음과 같습니다. B형 간염 바이러스(HBV, Hepatitis B Virus), C형 간염 바이러스(HCV, Hepatitis C Virus), 엡스타인바 바이러스(EBV, Epstein-Barr Virus), 카포시 육종 헤르페스 바이러스(KSHV, Kaposi's sarcoma herpesvirus), 인간 면역결핍 바이러스 1형(HIV-1, Human Immunodeficiency Virus-1), 인유두종 바이러스(HPV, human papilloma virus), 헬리코박터균(Helicobacter pylori), 인간 T세포 바이러스 1형(HTLV-1, human T-cell lymphotropic retrovirus), 간흡충(Clonorchis sinensis)과 타이간흡충(Opisthorchis viverrini), 방광주혈흡충(Schistosoma haematobium)입니다. 이중 B형 및 C형 간염 바이러스, 인유두종 바이러스, 헬리코박터균, 엡스타인바 바이러스, 간흡충의 감염은 우리나라에서 비교적 흔히 발생합니다. 그러나 인간 면역결핍 바이러스 1형, 인간 T세포 바이러스 1형, 카포시 육종 헤르페스 바이러스, 방광주혈흡충, 타이간흡충의 감염은 매우 드뭅니다.

B형 간염 바이러스는 감염된 어머니의 혈액 속에 있는 바이러스가 출산 혹은 그 직후 자녀를 감염시키는 모자간 수직감염이, C형 간염 바이러스는 수혈이 주된 감염 경로이며 오염된 날카로운 기구, 바늘·칼에 의한 시술(문신, 귀걸이, 피어싱 등), 오염된 주사기 공동 사용, 감염된 환자와의 면도기나 칫솔 따위 공동 사용, 감염된 배우자와의 성관계로도 옮을 수 있습니다.

엡스타인바 바이러스(EBV)는 타액(침)을 통해 전파됩니다. 수혈이나 골수 이식을 통해 감염되기도 합니다. 누구나 옮을 수 있는 매우 흔한 바이러스로, 건강한 사람은 감염이 되더라도 특별한 증상이 없습니다. 에이즈(후천성 면역결핍 증후군) 환자 또는 면역억제제를 투여하는 환자처럼 면역력이 떨어진 사람이 만성적으로 EBV에 감염되면 암이 유발됩니다.

카포시 육종 헤르페스 바이러스(KSHV)는 체액이나 혈액, 장기 이식을 통해 전파됩니다. 카포시 육종은 면역 체계가 작동하지 않는 상황에서(예컨대 후천성 면역결핍 증후군 환자) KSHV에 감염됐을 경우에 주로 발생합니다.

인간 면역결핍 바이러스 1형(HIV-1)의 주요 감염 경로는 성접촉, 임신 중이나 분만·수유 시 발생할 수 있는 수직감염, 정맥주사나 수혈 시 감염된 혈액에의 노출 등입니다.

인간 T세포 바이러스는 성접촉, 모유 수유, 정맥주사나 수혈 시 감염된 혈액에의 노출 같은 경로로 감염됩니다.

인유두종 바이러스는 감기 바이러스처럼 매우 흔하며, 주된 감염 경로는 성접촉입니다. 성접촉이 많을수록, 성 상대자의 수가 많을수록 감염 위험도 상대적으로 커집니다.

헬리코박터균은 주로 아동기에 감염되는데, 가족 내 감염이 많습니다. ‘입에서 입으로(oral-oral)’, ‘항문(분변)에서 입으로(fecal-oral)’, ‘위에서 입으로(gastric-oral)’가 주요 감염 경로입니다.

간흡충은 민물고기를 날로 또는 덜 익혀서 먹었을 때 몸에 들어오게 되며, 우리나라의 경우 강 유역에 살면서 민물고기 회를 즐기는 사람이 감염 위험도가 높습니다.

표3: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 생물학적 요인

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 종양 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 ²
엡스타인바 바이러스(EBV)	비인두암, 버킷 림프종, 면역 억제 관련 비호지킨 림프종, 결절외 NK/T-세포 림프종, 호지킨 림프종	위암, 림프상피종양(樣)암
B형 간염 바이러스(HBV)	간세포암	담관암, 비호지킨 림프종
C형 간염 바이러스(HCV)	간세포암, 비호지킨 림프종	담관암
카포시 육종 헤르페스 바이러스(KSHV)	카포시육종, 원발성 삼출성 림프종	다중심성 캐슬만병
인간 면역결핍 바이러스 1형(HIV-1)	카포시육종, 비호지킨 림프종, 호지킨 림프종, 자궁경부암, 항문암, 결막암	외음부암, 질암, 음경암, 비흑색종 피부암, 간세포암
인유두종 바이러스 16번(HPV-16)*	자궁경부암, 구강인두암, 편도암	후두암
인유두종 바이러스 18번, 31번, 33번, 35번, 39번, 45번, 51번, 52번, 56번, 58번, 59번 (HPV-18, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59)*	자궁경부암	
인간 T세포 바이러스 1형(HTLV-1)	성인 T세포 백혈병과 림프종	
헬리코박터균(Helicobacter Pylori)	비분문 위암, 저등급 B세포 점막 연관 림프 조직(MALT) 위 림프종	
간흡충(Clonoorchis sinensis)	담관암	
타이간흡충(Opisthorchis viverrini)	담관암	
방광주혈흡충	방광암	

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

* 인유두종 바이러스는 100여 종 이상이 있습니다. 이중 60여 종은 피부 표면에 감염되어 손과 발에 사마귀를 발생시키며, 나머지 40여 종은 생식기 점막에 감염되는데, 크게 저위험 유형(low-risk type)과 고위험 유형(high-risk type)으로 나뉩니다. 저위험 유형은 생식기 사마귀(첨형 콘딜로마, 속칭 곤지름)를 유발할 수 있는데, 가장 흔한 유형(type)은 HPV 6번과 11번입니다. 고위험 유형은 자궁경부암을 비롯한 여러 암을 유발할 수 있으며, 대표적으로 HPV 16번과 18번이 있습니다. 국제암연구소에서는 HPV-16, 18, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59번을 1군 발암요인으로 분류했습니다.

<질병관리본부 - 감염병관리>

<http://www.cdc.go.kr/CDC/health/CdcKrHealth0101.jsp?fid=751&menuIds=HOME001-MNU1132-MNU1147-MNU0746-MNU0747>

<국가암정보센터 - 감염>

http://www.cancer.go.kr/mbs/cancer/subview.jsp?id=cancer_010107010000

3. 중금속, 분진, 석면

비소와 무기 비소 화합물, 베릴륨과 베릴륨 화합물, 카드뮴과 카드뮴 화합물, 6가 크롬 화합물, 니켈 화합물과 같이 작업 공정에서 접하게 되는 금속 물질들, 그리고 광물 가공 과정에서 나오는 석면 섬유나 에리오나이트 섬유, 석영이나 홍연석 (cristobalite, 크리스토팔라이트) 형태의 결정형 실리카 분진, 불화 이데나이트(fluoro-edenite), 가죽과 나무를 가공할 때 발생하는 가죽 분진과 나무 분진이 인체에 암을 유발하는 것이 확실하다고 평가했습니다.

우리나라에서 석면은 그동안 단계적으로 규제해 오다가 2015년 4월부터 모든 석면 함유 제품의 제조·수입·양도·제공 또는 사용이 전면 금지되었습니다. 또한, 산업안전보건법 38조에 석면 해체 제거 시에 지켜야 할 규제가 명시되어 있습니다.

표4: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 비소, 금속, 분진, 석면

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 종양 부위 혹은 유형 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 부위 혹은 유형 ²
비소 및 그 무기화합물	폐, 피부, 방광	신장, 간, 전립선
베릴륨 및 그 화합물	폐	
카드뮴 및 그 화합물	폐	전립선, 신장
6가 크롬 화합물	폐	비강 및 부비동
니켈 및 그 화합물	폐, 비강 및 부비동	
석면	폐, 중피종, 후두, 난소	대장, 인두, 위
에리오나이트(erionite)	중피종	
석영이나 크리스토팔라이트(cristobalite) 형태의 결정형 실리카 분진	폐	
불화-아테나이트 섬유상 각섬석	중피종	
가죽 분진	비강 및 부비동	
나무 분진	비강 및 부비동, 비인두	

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

<석면안전관리법>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=137056&urlMode=engLsInfoR&viewCls=engLsInfoR#0000>

<석면안전관리법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=173358#0000>

<석면안전관리법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=137937#0000>

<석면피해구제법>

[http://www.law.go.kr/법령/석면피해구제법/\(13165,20150203\)](http://www.law.go.kr/법령/석면피해구제법/(13165,20150203))

<석면피해구제법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=165984&efYd=20150101#0000>

<석면피해구제법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=166052&efYd=20141231#0000>

<산업안전보건법>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=140954&efYd=20150101#0000>

<산업안전보건법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=168463&efYd=20150210#0000>

<산업안전보건법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=167604&efYd=20150116#0000>

<산업안전보건기준에 관한 규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=166089&efYd=20150101#0000>

<산업재해보상보험법>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=167449&efYd=undefined#0000>

<산업재해보상보험법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=170263&efYd=undefined#0000>

<산업재해보상보험법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=170483&efYd=undefined#0000>

<안전보건공단 - 화학물질정보검색>

<http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdssearch.do>

<고용노동부 - 석면관리>

https://www.moel.go.kr/view.jsp?cate=7&sec=4&smenu=2&mode=view&state=A&bbs_cd=105&id_x=1176194777718&seq=1176194777718

<고용노동부 - 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준>

http://www.moel.go.kr/view.jsp?cate=3&sec=1&smenu=2&mode=view&bbs_cd=116&state=A&seq=1299024505754

4. 방사선

현재 11종의 방사선이 1군 발암요인으로 분류되어 있습니다.

방사선은 전리방사선과 비전리방사선으로 나뉘며 일반적으로 방사선이라고 할 때는 전리 방사선을 의미하는 경우가 대부분입니다. 전리방사선은 전자파 또는 입자선 중 직접 또는 간접으로 공기를 전리(電離)하는 능력을 가진 것으로, 알파선·중양자선·양자선·베타선과 그 밖의 중하전입자선, 그리고 중성자선, 감마선 및 엑스선이 있습니다. 자외선, 가시광선, 적외선 등과 같은 방사선은 전리 능력이 전혀 없다고는 할 수 없지만, 매우 약하기 때문에 비전리방사선이라고 합니다.

* 원자력안전법 시행령(2조의 4)에 따르면 일반인에 대한 방사선 노출 허용 기준은 연간 1밀리시버트(mSv)로, 자연 상태에서의 피폭 이외에 추가로 받을 수 있는 방사선량의 상한 기준입니다 (예를 들면, 흉부 엑스선을 1회 촬영할 때 방사선 노출량은 0.05 밀리시버트). 이는 100만명 중 한 사람은 암이 추가로 발생할 위험이 있는 노출을 의미하며, 개인적 차원에서 수용이 가능한 적은 위험으로 판단하여 사회적으로 합의한 수준이지 과학적 차원에서 본 안전과 비안전의 경계점은 아닙니다.

표 5: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 방사선 노출

방사선 종류	발암 증거가 충분한 종양 부위 혹은 유형 ¹
전리방사선	
알파 입자와 베타 입자 방사체	
라돈-222와 붕괴 생성물	폐
라듐-224와 붕괴 생성물	뼈
라듐-226, 라듐-228과 붕괴 생성물	뼈, 부비동, 유양돌기(라듐-226만),
토륨-232 와 붕괴 생성물	간, 간외 담도, 담낭, 백혈병(만성 림프모구 백혈병 제외)
플루토늄	폐, 간, 뼈
인-32	급성 백혈병
핵분열 생성물(스트론튬-90 포함)	고형암, 백혈병
방사성 요오드(요오드-131 포함)	갑상선
엑스선 또는 감마선	침샘, 식도, 위, 대장, 폐, 뼈, 피부(기저세포암), 여성 유방, 방광, 뇌 및 중추 신경계, 백혈병(만성 림프모구 백혈병 제외), 갑상선, 신장(원자폭탄 생존자, 환자), 복합 부위(자궁 내 노출)
비전리방사선	
태양 복사선(자외선)	피부 (기저세포암, 편평상피세포암, 흑색종)
자외선 방출 태닝 기구	피부(흑색종), 눈(흑색종, 특히 맥락막 및 모양체)

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

<원자력안전법>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=167445&efYd=20150721#0000>

<원자력안전법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=173110&efYd=20150721#0000>

<원자력안전법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=173163&efYd=20150721#0000>

5. 담배, 음주, 생활환경, 식습관

흡연, 간접흡연, 무연 담배는 모두 암을 유발하며, 부모의 흡연과 자녀의 암 발생 사이의 연관성도 입증되었습니다. 담배에 들어 있는 4-(메틸니트로소아미노)-1-(3-피리딜)-1-부탄온(NNK)과 N-니트로소노르니코틴(NNN)을 비롯한 많은 발암물질이 폐암의 발생 위험을 크게 늘리는 것입니다. 안전한 허용 노출 기준이 없으므로 가능한 한 노출을 피하는 것이 필요합니다. 빈랑나무의 열매인 빈랑자(檳榔子, areca nut)는 인도와 동남아시아에서 애용되고 있는 씹는 담배인 베틀 퀴드(betel quid)의 주재료인데, 담뱃잎 첨가 여부와 상관없이 암을 유발합니다.

알코올 섭취는 구강암, 인두암, 후두암, 식도암, 대장암, 간암, 유방암(여성)을 유발합니다. 흔히 ‘적정 음주’를 말하지만, 이는 암 예방에 도움이 되지 않으며, 유방암의 경우 알코올 섭취량이 하루 10g(술 한 잔가량) 증가함에 따라 암 발생 위험도 약 10% 늘어납니다. 알코올 분해 과정에서 생겨나는 유전자 독성 화합물 아세트알데히드를 해독하는 알데히드 탈수소효소가 유전적으로 부족한 경우 알코올 관련 암의 발생 위험이 증가하는데, 한국인의 20~25%가 이러한 유전적 소인을 가진 것으로 알려져 있습니다.

소금에 절인 생선의 섭취가 암을 일으키는 경로는 확실하게 알려지지 않았습니다. 다만, 소금에 절인 생선에서 발견되는 니트로사민(발암물질)과 엡스타인바 바이러스의 재활성화가 발암 기전으로 제시되고 있습니다. 맛을 더하거나 오래 보존하기 위해 염장, 소금 절임, 발효, 훈연, 또는 다른 과정을 통해 변환 고기인 가공육도 많이 먹을수록 대장암 발생 위험이 증가합니다(가공육의 하루 섭취량이 50g 늘 어날 때마다 대장암 발생 위험이 18%씩 증가).

가정 연료로 사용되는 석탄이 연소하면서 방출하는 실내 공기 오염물질도 폐암을 유발합니다.

* 담배 및 알코올음료 소비와 베틀 퀴드 씹기는 중독성 있는 해로운 행위이며 개인 수준에서 노출을 막을 수 있습니다.

* 암이 발생하는 데는 노출 농도뿐 아니라 노출 기간, 생활 습관, 유전적 감수성, 가족력 등 많은 요인이 복합적으로 작용합니다. 따라서 단 한 가지의 원인으로 암 발생을 규명하기는 어렵습니다. 하지만 많은 발암요인이 안전한 노출 허용 기준이 없는, 즉 역치(閾値)가 없는 모델을 갖고 있으므로, 비록 일상생활에서 발암요인을 완전히 피해 갈 수는 없지만 가능한 한 노출을 최소화하는 것이 암 예방을 위해 중요합니다.

<금연길라잡이 - 국민건강증진법(금연관련법)>

http://www.nosmokeguide.or.kr/mbs/nosmokeguide/subview.jsp?id=nosmokeguide_030101010100

<금연길라잡이 - 흡연율>

http://www.nosmokeguide.or.kr/mbs/nosmokeguide/subview.jsp?id=nosmokeguide_010101000000

<금연길라잡이 - 흡연바로알기>

http://www.nosmokeguide.or.kr/mbs/nosmokeguide/subview.jsp?id=nosmokeguide_020301000000

<국가암정보센터 - 금연>

http://www.cancer.go.kr/mbs/cancer/subview.jsp?id=cancer_010102010000

<국가암정보센터 - 식이>

http://www.cancer.go.kr/mbs/cancer/subview.jsp?id=cancer_010103010000

<국가암정보센터 - 음주>

http://www.cancer.go.kr/mbs/cancer/subview.jsp?id=cancer_010104010000

표 6: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 평가한 담배, 음주, 생활환경, 식습관

	발암 증거가 충분한 종양 부위 혹은 유형 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 부위 혹은 유형 ²
흡연	구강, 구강인두, 비인두, 하인두, 식도(선암 및 편평상피세포암), 위, 대장, 간, 췌장, 비강 및 부비동, 후두, 폐, 자궁경부, 난소(점액성), 방광, 신장(본체 및 신우), 요관, 골수(골수성 백혈병)	여성 유방
부모의 흡연(자녀의 암 발생)	간세포종	소아백혈병 (특히 급성 림프구성 백혈병)
간접흡연	폐	후두, 인두
무연 담배	구강, 식도 췌장	
빈랑자(areca nut)		
담배를 첨가한 베틀 쿼드	구강, 인두, 식도	
담배를 첨가하지 않은 베틀 쿼드	구강, 식도	간
4-(메틸니트로소아미노)-1-(3-피리딜)-1-부탄온(NNK), N-니트로소노르니코틴(NNN)	폐	
알코올 섭취	구강, 인두, 후두, 식도, 간, 대장, 여성 유방	췌장
알코올 섭취와 관련된 아세트알데히드	식도, 두경부	
소금에 절인 생선	비인두	위
가공육	대장암	
아플라톡신	간세포암	
가정 석탄 연료 연소로 인한 실내 배출물	폐	
대기오염 및 대기오염 내 먼지	폐	

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

6. 직업·환경적 화학물질 노출과 작업 공정

국제암연구소에서는 여러 화학물질에 대한 직업적 노출과 환경적 노출의 발암성을 평가하였습니다. 또한, 유해물질과는 별도로 생산/작업 공정이나 특정 직업군에 대하여 1군 발암요인으로 분류하고 있고, 직업적 노출은 고농도, 장기간 노출 가능성이 있기 때문에 따로 분류하여 관리하고 있습니다. 이와 같은 분류는 일반 인구집단에 비하여 특정 생산/작업공정이나 직업군에서 발암성이 높았다는 것이 연구를 통하여 알게 된 것입니다.

표 7: 국제암연구소 모노그래프 특별연구위원회가 1군 발암요인으로 분류한 화학물질과 작업 공정

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 종양 부위 혹은 유형 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 부위 혹은 유형 ²
방향족 아민		
4-아미노비페닐	방광	
벤지딘	방광	
벤지딘으로 대사되는 염료	방광	
4,4'-메틸렌비스(2-클로로아닐린)		
2-나프틸아민	방광	
오르토-톨루이딘	방광	
아우라민 생산	방광	
마젠타 생산	방광	
다환방향족 탄화수소 관련 노출		
벤조(a)피렌	폐	
그을음(굴뚝 청소)	피부, 폐	방광
석탄 가스화	폐	
콜타르 증류	피부	
코크스 생산	폐	
콜타르 피치(포장, 방수 처리)	폐	방광
알루미늄 생산	폐, 방광	
기타 화학물질		
벤젠	ANLL*	ALL, CLL, MM, NHL**
비스(클로로메틸)에테르/클로로메틸 메틸에테르	폐	
1,3-부타디엔	림프조혈기관	
다이옥신(2,3,7,8-TCDD)	다중원발암	폐, STS, NHL***
2,3,4,7,8-펜타클로로디벤조퓨란		
3,3',4,4',5-펜타클로로비페닐 (PCB-126)		
에틸렌 옥사이드		림프성 종양(NHL, MM, CLL)****, 유방
포름알데히드	비인두, 백혈병	비부비동암
설파머스터드	폐	후두
염화비닐	간혈관 육종, 간세포암	

폴리염화비페닐	흑색종	비호지킨 림프종, 유방
트리클로로에틸렌	신장	비호지킨 림프종, 간
1,2-디클로로프로판	담관	
린단	비호지킨 림프종	
기타 복합 노출과 작업 공정		
철 및 강철 주조	폐	
강산을 이용한 이소프로필 알코올 제조	비강	
미네랄 오일	피부	
도장공로서 직업적 노출	폐, 방광, 흉막 중피종	자녀에서의 소아 백혈병
고무 제조 산업	백혈병, 림프종, 방광, 폐, 위	전립선, 후두, 식도
적철광(대자석)채광(지하광산)*****	폐	
세일유(혈암유)	피부	
강한 무기산 미스트	후두	폐
애치슨 공정	폐	
디젤 엔진 배출물	폐	

*ANLL=급성 비림프구성 백혈병

**ALL=급성 림프구성 백혈병. CLL=만성 림프구성 백혈병. MM=다발성 골수종. NHL=비호지킨 림프종.

***STS=연부조직 육종. NHL=비호지킨 림프종.

****NHL=비호지킨 림프종. MM=다발성 골수종. CLL=만성 림프구성 백혈병.

***** 적철광(대자석) 채광의 경우 지하광산에서 일을 할 때 노출되는 라돈에 의한 직업적 노출을 의미

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

<화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=140402#0000>

<화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=165000&efYd=20150101#0000>

<화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=175959&efYd=20151030#0000>

<화학물질관리법>

[http://www.law.go.kr/법령/화학물질관리법/\(13035.20150120\)](http://www.law.go.kr/법령/화학물질관리법/(13035.20150120))

<화학물질관리법 시행령>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=164736&efYd=20150101#0000>

<화학물질관리법 시행규칙>

<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=165618&efYd=20150101#0000>

<안전보건공단 - 화학물질정보검색(MSDS)>

<http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdssearch.do>

<화학물질정보처리시스템 - 화학물질 검색>

<https://kreachportal.me.go.kr/potweb/chemInfo/chmclsSrch/chemclsSearchList.do>

<유해화학물질 분류, 표시 금지물질>

http://ncis.nier.go.kr/ghs/hcs/search/search_04.jsp?CurrentPage=1&listCount=10&search_type=chem_yoodok_name_eng&search_word=ben&x=0&y=0

< 참고 1: 국제암연구소의 발암성 평가 절차 >

- 국제암연구소(IARC)에서는 발암물질 후보의 발암성을 평가할 때 연구 결과와 해당 연구자, 관련 전문가들을 소집하여 종합적으로 검토하고 합의 과정을 거쳐 결론을 도출하는 전문가 회의 방식을 취하고 있습니다.
- 전문가들은 지식과 경험을 고려하고 명백히 이해관계가 없다는 전제하에 선택됩니다.
- 평가 과정은 ① 인간 발암 위험에 대한 역학(疫學, epidemiology) 조사 자료, ② 동물 발암성 평가 자료, ③ 발암 기전(機轉, mechanism)에 대한 관련 연구 자료 등을 취합하고, 분야별로 전 세계에서 모인 15~30명의 전문가로 특별연구위원회를 만들어 그룹 내 및 그룹 간 평가·검토, 전체 회의에서의 논의와 결정 등 종합적인 평가를 진행합니다. 이러한 과정을 통해 자료들의 과학적 근거를 충분히 확인한 뒤 그에 바탕을 두고 1군(인간에 암을 유발하는 것이 확실함(Carcinogenic to humans)), 2A군(인간에 암을 유발할 개연성이 높음(Probably carcinogenic to humans)), 2B군(인간에 암을 유발할 가능성이 있음(Possibly carcinogenic to humans)), 3군(인간에 대한 발암성을 분류할 수 없음(Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)), 4군(인간에 암을 유발하지 않을 개연성이 높음(Probably not carcinogenic to humans)))으로 발암성을 분류하고 있습니다.
- 인간에 대한 역학 연구 자료가 충분할 경우엔 동물 실험 자료와 무관하게 1군으로 분류하고, 역학 연구 자료가 제한적일 경우 동물 실험 자료가 충분하다면 2A군으로, 역학 연구 자료가 불충분하거나 제한적이며 동물 실험 자료가 충분치 않은 경우에는 2B군으로 분류합니다.
- 이 외에 유전독성, 돌연변이성, 대사 및 기전(메커니즘) 관련 연구를 추가로 고려합니다.
- 이러한 평가 과정을 거쳐 평가보고서(Monographs)를 발간하며, 평가 내용과 관련된 새로운 증거들을 모니터링하여 지속해서 보고서를 보완하고 있습니다. 2018년 11월 현재 1,013종에 대해 발암성 검토를 했고, 인체 발암물질에 관한 모노그래프를 118권 이상 발간하였습니다.
- IARC의 발암성 분류 기준은 발암 기전을 중심으로 한 과학적 논란과 윤리적 논란이 있고, 기존 연구결과가 많지 않은 경우 ‘인간에 대한 발암성을 분류할 수 없음’으로 분류하는 경우도 있습니다. 또한, 예전에는 2군으로 분류된 발암요인이 연구결과가 충분히 쌓인 이후 1군으로 재분류되는 경우도 있습니다. 따라서 IARC뿐 아니라 이 기관의 발암 분류를 활용하는 나라들에서도 그에 대한 고민이 있습니다. 미국의 경우 국립 독성 프로그램(National Toxicology Program)에서, IARC의 발암성 평가를 기초로 하되 자국 내 노출 현황과 인체 위해성의 연구 결과 등을 반영하여 자체적인 발암성 평가보고서(Report on Carcinogens, RoC)를 발간하는 한편 발암요인 목록을 주기적으로 갱신하고 있습니다.

<참고 2: 발암물질을 포함한 관리 화학물질과 관련된 우리나라의 법령 현황>

관리 대상	소관 부처	근거 법령	관리 목적
제한물질 또는 금지물질, 허가물질, 유독물질	환경부	화평법	국내 시장에 진입하는 화학물질 확인과 유해성 등 안전사용에 필요한 정보의 사전 확보 및 공유
		화학물질관리법 (화관법)	해로운 화학물질로부터 사람의 건강 및 환경 보호
산업재해 및 건강 장해 물질 (제조 등의 금지물질, 제조 등의 허가물질, 특별관리물질)	고용노동부	산업안전보건법	산업재해 예방과 근로자 안전 보건의 유지 및 증진
농약 비료 사료	농림축산식품부	농약관리법 비료관리법 사료관리법	농약, 비료, 사료의 제조·수입·판매 및 사용에 관한 사항을 규정함으로써 품질향상, 유통질서의 확립 및 안전한 사용을 도모하고 농업생산과 생활환경 보전에 이바지
의약품 마약 등 화장품 식품 첨가물	보건복지부 식품의약품안전처	약사법	약사에 관한 일들이 원활하게 이루어질 수 있도록 필요한 사항을 규정하여 국민보건 향상
	식품의약품안전처	마약류 관리에 관한 법률 (마약류관리법)	마약·향정신성의약품·대마 및 원료물질의 취급·관리를 적정하게 함으로써 그 오용 또는 남용으로 인한 보건상의 위해 방지 및 국민보건 향상
		화장품법	화장품의 제조·수입 및 판매 등에 관한 사항을 규정함으로써 국민보건향상과 화장품 산업의 발전에 기여
		식품위생법	식품으로 인한 위생상의 위해 방지와 식품영양의 질적 향상을 도모하며 식품에 관한 올바른 정보 제공 및 국민보건 증진
		건강기능식품에 관한 법률	건강기능식품의 안전성 확보 및 품질 향상과 건전한 유통·판매를 도모하여 국민의 건강 증진과 소비자 보호에 기여
위험물 화약류	국민안전처	위험물 안전관리법	위험물 저장·취급 및 운반에 따른 안전관리 사항을 규정함으로써 위험물로 인한 위해 방지하여 공공 안전 확보
	경찰청	총포·도검·화약류 등 단속법	총포·도검·화약류·분사기·전자총격기·석공의 제조·판매·임대·운반·소지·사용과 그 밖에 안전관리에 사항을 정하여 총포·도검·화약류·분사기·전자총격기·석공으로 인한 위험/재해 방지 및 공공 안전 유지
고압가스 액화석유가스	산업통상자원부	고압가스 안전관리법	제조·저장·판매·운반·사용과 용기·냉동기·특정설비 등의 제조/검사 등에 관한 사항 및 가스안전에 관한 기본적인 사항을 정함으로써 고압가스로 인한 위해 방지 및 공공의 안전 유지
		액화석유가스의 안전관리 및 사업법	수출입·충전·저장·판매·사용 및 가스용품의 안전 관리에 관한 사항을 정하여 공공의 안전 확보 액화석유가스사업을 합리적인 조정하고 액화석유가스를 적정히 공급·사용
방사성 물질	미래창조과학부	원자력 진흥법	원자력 이용과 안전관리
공산품 중 유해 물질	산업통상자원부	품질경영 및 공산품 안전관리법	소비 제품 안전 확보

<참고 3: 방사선과 그 직업적 노출에 대한 국내 노출기준 자료>

- 원자력안전법 시행령(2조의 4)에 따르면 일반인에 대한 방사선 노출 허용 기준은 연간 1밀리시버트(mSv)로, 자연 상태에서의 피폭 이외에 추가로 받을 수 있는 방사선량의 상한 기준입니다(예를 들면, 흉부 엑스선을 1회 촬영할 때 방사선 노출량은 0.05 밀리시버트). 이는 100만명 중 한 사람은 암이 추가로 발생할 위험이 있는 노출을 의미하며, 개인적 차원에서 수용이 가능한 적은 위험으로 판단하여 사회적으로 합의한 수준이지 과학적 차원에서 본 안전과 비안전의 경계점은 아닙니다.
- 또한, 직업적 노출로서 방사선 작업종사자의 선량한도는 아래와 같으며 방사선 관계 종사자(의료)의 선량한도도 방사선 작업종사자와 같으며, ‘진단용 방사선안전관리규정’에서는 5mSv/분기 초과자에게 주의 통보를 시행하도록 규정하고 있습니다.

구 분		방사선작업종사자	수시출입자 및 운반종사자	일반인
1. 유효선량한도		연간 50 mSv를 넘지 않는 범위에서 5년간 100 mSv	연간 12 mSv	연간 1 mSv
2. 등가선량한도	수 정 체	연간 150 mSv	연간 15 mSv	연간 15 mSv
	손·발 및 피부	연간 500 mSv	연간 50 mSv	연간 50 mSv

표 : 직업적·환경적 방사선 노출원

방사선 종류	발암 증거가 충분한 종양 부위 혹은 유형 ¹	노출원
알파 입자와 베타 입자 방사체		
라돈-222와 붕괴 생성물	폐	직업적 노출 지하 광산 환경적 노출 화강암, 인산염 바위, 방사성 헐암과 토양
라듐-224와 붕괴 생성물	뼈	직업적 노출 페인트, 우라늄 광산 환경적 노출 우라늄, 토륨 광석이나 광물에 노출된 지하수, 해수, 토양
라듐-226, 라듐-228과 붕괴 생성물	뼈, 부비동, 유양돌기(라듐-226만),	직업적 노출 페인트, 우라늄 광산 환경적 노출 우라늄, 토륨 광석이나 광물에 노출된 지하수, 해수, 토양
토륨-232 와 붕괴 생성물	간, 간의 담도, 담낭, 백혈병(만성 림프모구 백혈병 제외)	직업적 노출 의료용 환경적 노출 모나자이트 광석 및 이에 노출된 토양
플루토늄	폐, 간, 뼈	직업적 노출 핵무기 생산 및 테스트, 원자력 산업
인-32	급성 백혈병	직업적 노출 의료용
핵분열 생성물(스트론튬-90 포함)	고형암, 백혈병	직업적 · 환경적 노출 핵분열 사고
방사성 요오드(요오드-131 포함)	갑상선	직업적 노출 의료용 환경적 노출 원자력 산업, 사고
엑스선 또는 감마선	침샘, 식도, 위, 대장, 폐, 뼈, 피부(기저세포암), 여성 유방, 방광, 뇌 및 중추 신경계, 백혈병(만성 림프모구 백혈병 제외), 갑상선, 신장(원자폭탄 생존자, 환자), 복합 부위(자궁 내 노출)	직업적 노출 핵 연료(우라늄 광산 포함) 산업 사용, 국방 활동, 의료 사용, 교육, 항공 여행(승무원), 비파괴 검사 환경적 노출 핵 폭발과 생산, 핵 폐기물 방출, 사고(체르노빌), 생산과 핵무기 전송 사고, 의료 사용(검사 및 치료), 항공 여행
태양 복사선	피부(기저세포암, 편평상피세포암, 흑색종)	직업적 노출 야외작업 환경적 노출 계절, 지리적 위도 및 고도
자외선 방출 태닝 기구	피부(흑색종), 눈(흑색종, 특히 맥락막 및 모양체)	

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

참고 4: 중금속, 분진, 석면, 화학물질과 그 직업적 노출에 대한 국내 노출기준 자료

○ 제시된 노출 기준은 국제암연구소 발암 보고서에는 없으나 우리 국립암센터에서 국민에게 도움이 될 정보를 제공하기 위하여 고용노동부 고시 제2016-19호 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출 기준’을 인용한 것입니다. 이것은 작업장의 노출 허용 기준으로, 일반 환경에서 직접 적용하기에는 적합하지 않습니다. 다시 말해서, 이 기준은 작업장 근로자들의 질병 예방을 위한 관리 기준으로 제시된 것으로 산업재해 보상이나 환경성 질환 규명을 위한 근거 자료는 아닙니다.

표: 중금속, 분진, 석면, 화학물질과 그 직업적 노출에 대한 국내 노출기준 자료

1군 발암요인	발암 증거가 충분한 부위 유형 ¹	발암 증거가 제한적인 종양 부위 혹은 유형 ²	노출원	노출 기준
비소 및 그 무기화합물	폐, 피부, 방광	신장, 간, 전립선	직업적 노출 비철금속 제련, 석탄 화력발전소, 배터리 조립, 유리 제조, 전자 산업, 목재 작업 환경적 노출 대기(바람에 날린 먼지, 식물 분비물, 비소 기반 농약 사용, 비철금속 제련, 석탄 연소 발전소 주변 대기), 수질(해수, 지하수, 담수, 화산 바위와 황화물 광상, 음용수), 토양 및 침전물(황화물 광석, 미네랄 퇴적물)	TWA ³ : 0.01mg/m ³
베릴륨 및 그 화합물	폐		직업적 노출 베릴륨 가공 및 제조, 베릴륨 산화물 도자기류 가공 및 사용, 합금, 원자력 산업 환경적 노출 대기(석탄 및 중유 연소, 생활 폐기물 소각, 베릴륨 합금, 화학물질 사용 및 연소), 수질(강물, 음용수, 산업 폐수)	TWA: 0.002mg/m ³ STEL ⁴ : 0.01mg/m ³
카드뮴 및 그 화합물	폐	전립선, 신장	직업적 노출 배터리 제조, 카드뮴 회수, 카드뮴 합금 생산, 제련, 자동차 산업 환경적 노출 대기(폐기물 소각, 카드뮴 함유 바위의 침식 및 풍화, 화산, 바다 비말[sea spray], 산불), 수질(광산 배수, 폐수, 매립지, 유해 폐기물), 토양 및 침전물	TWA: 0.01mg/m ³ TWA: 0.002mg/m ³ (호흡성)
6가 크롬 화합물	폐	비강 및 부비동	직업적 노출 금속 용접 및 합금, 전기 도금 생산 및 사용, 촉매, 크롬산, 태닝제, 살충제 환경적 노출 대기, 수질(침출 폐수, 음용수), 토양, 음식, 흡연	TWA: 0.01mg/m ³ (불용성 무기 화합물) TWA: 0.05mg/m ³ (수용성)
니켈 및 그 화합물	폐, 비강 및 부비동		직업적 노출 니켈을 생산하는 산업, 광업, 밀링, 제련 및 정련, 합금 및 스테인리스 제조, 전기 도금 및 전해, 용접, 연마, 절단 환경적 노출 대기(화석 연료의 연소, 자동차), 수질(산업 폐수 및 매립 침출수, 풍화, 지하수 및 지표수, 산성비), 토양 및 침전물	TWA: 1mg/m ³ (금속) TWA: 0.2mg/m ³ (불용성 무기 화합물) TWA: 0.1mg/m ³ (가용성 화합물)
석면(백석면, 청석면, 갈석면)	폐, 중피종, 후두, 난소	대장, 인두, 위	직업적 노출 광산, 석면 함유 제품, 건설, 자동차 산업, 석면 함유 폐기물, 건축물 해체 등 환경적 노출	TWA: 0.1개/cm ³

면, 트레몰라이트 석면, 악티놀라이트 석면, 안소필라이트 석면)		대기(석면 함유 물질 수송, 제조, 건물 철거 등의 인위적 활동), 수질(석면 함유 바위 및 폐기물 침식, 파이프 부식), 토양(매립지)	
에리오나이트 (erionite)	중피종	직업적 노출 채굴 및 생산 환경적 노출 바위(유문암, 응회암), 퇴적물	
석영이나 크리스토팔라이트(cristobalite) 형태의 결정형 실리카 분진	폐	직업적 노출 광업, 농업, 건설, 채석, 실리카 함유 제품의 외관(벽돌, 콘크리트) 처리의 철거, 모래, 유리, 세라믹, 연마재, 시멘트 생산 환경적 노출 모래와 자갈, 석영 결정(보석, 전자 및 광학 부품 산업, 전자 회로), 규조토(충전제, 여과에 사용되는 분말)	TWA: 0.05mg/m ³ 산화규소(결정체 석영) (호흡성 분진)
불화 이데나이트 섬유상 각섬석	중피종	환경적 노출 불화 이데나이트가 매장되어 있는 지역에서 생산된 채석 생산품, 화산 폭발	
가죽 분진	비강 및 부비동	직업적 노출 가죽 및 가죽 제품 제조, 생산	
나무 분진	비강 및 부비동, 비인두	직업적 노출 가구 제조, 벌목 제재소, 파티클 보드 제조, 건설 부문	
방향족 아민			
4-아미노비페닐	방광	직업적 노출 이 물질의 생산 및 고무 산화 방지제 등의 사용 시 발생 환경적 노출 담배 연소, 요리 기름 연기, 약물 및 화장품 색상 첨가제, 머리 염색제, 식품 착색제, 살균제	TWA ³ : 0mg/m ³ STEL ⁴ : 0mg/m ³
벤지딘	방광	직업적 노출 벤지딘계 염료 산업, 섬유 산업, 연구 및 과학 기관, 의료(치과) 환경적 노출 벤지딘을 포함하는 소비재(가죽 제품) 접촉	TWA ³ : 0mg/m ³ STEL ⁴ : 0mg/m ³
벤지딘으로 대사되는 염료		직업적 노출 벤지딘계 염료 산업, 섬유 염색, 인쇄, 종이, 가죽 산업 환경적 노출 염료 함유 소비재(가죽 제품, 의류, 장난감, 가구 및 비품, 플라스틱 제품, 사진 및 광학 제품, 치과)	
4,4'-메틸렌비스(2-클로로아닐린)		직업적 노출 폴리우레탄 생산 및 사용 산업 환경적 노출 물질에 오염된 토양	TWA: 0.01ppm 0.11mg/m ³
2-나프틸아민	방광	직업적 노출 아조 염료의 제조, 실험실, 주물 산업 환경적 노출 열분해 가스 (간접흡연, 가열 조리 오일)	TWA: 0mg/m ³ STEL: 0mg/m ³
오르토-톨	방광	직업적 노출	TWA: 2ppm 9mg/m ³

루이딘			염료 제조, 안료 및 고무 화학물질 제조, 약국 및 의료 인력, 실험실 직원 환경적 노출 헤어 염료, 국소 마취제, 담배 연기, 산업 폐수	
아우라민 생산	방광		직업적 노출 아우라민 제조 환경적 노출 가죽, 페인트, 볼펜의 염료, 오일 및 왁스	
마젠타 생산	방광		직업적 노출 마젠타 제조	
다환방향족 탄화수소 관련 노출				
벤조(a)피 렌			직업적 노출 알루미늄 생산, 탄소 전극의 제조, 굴뚝 연소, 발전소, 석탄 액화 및 가스화, 코크스 생산, 코크스 오븐 석탄 타르 증류, 지붕 및 포장 환경적 노출 공기, 물, 토양, 퇴적물, 식품, 의약품, 요리와 담배 연기, 자동차 배기 가스, 산불, 난방 연료	
그을음(굴 뚝 청소)	피부, 폐	방광	직업적 노출 굴뚝 청소부	
석탄 가스화	폐		직업적 노출 산업용 연료 가스, 전력 생산 환경적 노출 대기	
콜타르 증류	피부		직업적 노출 석탄 타르 증류 고온 공정	TWA: 0.2mg/m ³ 휘발성 콜타르 피치
코크스 생산	폐		직업적 노출 코크스 오븐 공정 환경적 노출 공장 지역의 대기	
콜타르 피치(포장, 방수 처리)	폐	방광	직업적 노출 지붕 및 도로 포장	TWA: 0.2mg/m ³ 휘발성 콜타르 피치
알루미늄 생산	폐, 방광		직업적 노출 탄소 전극 제조	
기타 화학물질				
벤젠	ANLL	ALL, CLL, MM, NHL	직업적 노출 고무, 페인트 및 부품 제조, 원유 정제 및 화학 제품, 가죽 제조, 운송, 담배 제조, 직물 공장 환경적 노출 자동차 배기가스 연료 증발, 휘발류 충전소, 담배 연기	TWA: 0.5ppm 3mg/m ³ STEL: 2.5ppm 16mg/ m ³
비스(클로 로메틸)에 테르/클로 로메틸 메틸에테 르	폐		직업적 노출 실험실 시약, 플라스틱, 이온 교환 수지 제조, 시약, 난연 직물 제조, 환경적 노출 주변 공기 또는 물	TWA: 0.001ppm 0.005mg/m ³ (비스(클로 로메틸)에테르)
1,3-부타 디엔	림프조혈기관		직업적 노출 석유 정제 및 관련 작업, 부타디엔 함유 유분, 정제된 부타디엔 단량체의 제조, 고무 제조, 플라스틱 제품 제조 환경적 노출	TWA: 2ppm 4.4mg/m ³ STEL: 10ppm 22mg/ m ³

			도시 안 구조물 화재, 나무 화재, 흡연, 차량 배출, 휘발류	
다이옥신(2,3,7,8-T CDD)	다중원발암	폐, STS, NHL	직업적 노출 펄프 및 제지 공장, 화학 제조, 금속산업, 제초 작업 환경적 노출 대기, 지표수, 지하수, 토양과 침전물, 제초제, 폐기물, 디젤 차량, 석탄(화장터), 산불	
2,3,7,8-펜타클로로디벤조퓨란			직업적 노출 소각, 연소 작업 환경적 노출 대기, 지표수, 지하수, 토양과 침전물, 오염 식품(유제품, 계란, 동물성 지방), 소각, 연소	
3,3',4,4',5-펜타클로로비페닐(PCB-126)			직업적 노출 유압유, 플라스틱 및 페인트, 유전체 절연, 변압기, 폐기물 연소 환경적 노출 공기(폐기물 연소), 토양, 물, 퇴적물, 생물군 포함한 거의 모든 환경 구역	
에틸렌 옥사이드		림프성 종양(NHL, MM, CLL), 유방	직업적 노출 산화 에틸렌 생산 산업, 병원 살균 및 훈증 시설, 살균제 제조, 제약 제품의 생산, 식품 향료 환경적 노출 담배 연기, 식품 및 피부 관리 제품, 화석 연료의 연소	TWA: 1ppm 2mg/m ³
포름알데히드	비인두 백혈병	비부비동암	직업적 노출 가구 및 의류 산업, 모피 제조, 보드 공장, 인공 유리체 섬유, 연마제, 고무 및 포름알데히드 생산 산업 환경적 노출 과일, 일부 식품, 자동차, 발전소, 소각로, 정유, 난로, 소독제, 담배 연기	TWA: 0.3ppm
설파머스터드	폐	후두	직업적 노출 설파머스터드 작업, 토양 또는 덤프 발굴 환경적 노출 군수품 설파머스터드 함유 수류탄, 포탄, 수질 오염, 대기 오염	
염화비닐	간혈관 육종 간세포암		직업적 노출 염화비닐, PVC 공장, 미용사, 이발사 (헤어스프레이) 환경적 노출 오염된 공기(매립 가스, 지하수), 식수와 음식, 소비자 제품의 피부 접촉(주방용품, 식품 자재, 벽지, 장난감), 담배 연기, 사고	TWA: 1ppm
폴리염화비페닐	흑색종	비호지킨 림프종, 유방	직업적 노출 폴리염화비페닐 생산, 변압기, 축전기 제작 환경적 노출 오염된 음식 및 공기	
트리클로로에틸렌	신장	비호지킨 림프종, 간	직업적 노출 트리클로로에틸렌 생산, 세탁업자, 금속 부품 탈지 작업 환경적 노출 식품을 포함한 소비재, 오염된 물	TWA: 10ppm STEL: 25ppm
1,2-디클로로프로	담관		직업적 노출 프로필렌, 사염화탄소, 퍼클로로에틸렌 생산,	TWA: 75ppm 350mg/m ³

판			도료(paint) 제거 작업, 인쇄 작업	STEL: 110ppm 510mg/m3
린단	비호지킨 림프종		직업적 노출 살충 작업, 농업 환경적 노출 토양, 물, 의약품	
기타 복합 노출				
철 및 강철 주조	폐		직업적 노출 철강 산업, 주물 공장, 엔진과 용접 작업, 화염 절단 환경적 노출 대기(일산화탄소 노출)	
강산을 이용한 이소프로 필 알코올 제조	비강		직업적 노출 이소프로필 알코올 제조	(이소프로필 알코올) TWA: 200ppm 480mg /m ³ STEL: 400ppm 980mg /m ³
미네랄 오일	피부		직업적 노출 해양 엔지니어, 케이블 오일러, 터널발파공, 금속 가공, 인쇄, 부식 방지제, 농업 스프레이 환경적 노출 오염된 식품, 동물 사료, 식품 원료 추출물	
도장공으 로서 직업적 노출	폐, 방광, 흉막 중피종	자녀에서의 소아 백혈병	직업적 노출 페인트 제조 및 작업, 화가, 건설, 철거 시 노출 환경적 노출 대기	
고무 제조 산업	백혈병, 림프종, 방광, 폐, 위	전립선, 후두, 식도	직업적 노출 고무 제조, 고무 경화, 니트로사민, 용제, 프탈레이트 취급 작업자 환경적 노출 연기, 먼지	
세일유(혈 암유)	피부		직업적 노출 벽돌 공장, 세일 광산 환경적 노출 합성 원유, 정유 제품	
강한 무기산 미스트	후두	폐	직업적 노출 금속산 세척 작업, 비누, 세제, 질산 생산 작업, 구리와 아연 정제, 인산 비료 생산 환경적 노출 산화 공장 주변 공기	
애치슨 공정	폐		직업적 노출 애치슨 공정	
디젤 엔진 배출물	폐		직업적 노출 비금속 채굴, 철도 및 트럭 운수업	

ANLL=급성 비림프구성 백혈병. ALL=급성 림프구성 백혈병. CLL=만성 림프구성 백혈병. MM=다발성 골수종.

NHL=비호지킨 림프종. STS=연부조직 육종

¹ 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분한 종양의 부위나 종류.

² 인체에 암을 유발한다는 연구 결과나 증거가 충분하지 않지만 발암 가능성이 제기된 기타 부위의 종양. (1군 발암요인으로 분류되어도 모든 암종에 발암 위험을 증가시키는 것은 아닙니다. 예를 들면, 인유두종 바이러스 16번은 자궁경부암에 대해서는 1군 발암요인이지만 후두암과 관련해서는 1군 발암요인으로 분류될 만큼 근거가 충분하지 않습니다.)

³ TWA(time-weighted average): 시간 가중 평균 노출 기준. 1일 8시간 작업을 기준으로 하여, 유해 요인 노출 강도(즉, 유해 인자 측정치)에 노출 시간을 곱한 뒤 8시간으로 나눈 값.

⁴ STEL(short-term exposure limit): 단시간 노출 기준. 근로자가 1회에 15분간 유해 요인에 노출되는 경우의 기준으로, 이 기준 이하에서는 1회 노출 간격이 한 시간 이상인 경우 1일 작업 시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 기준.