

직업성 발암물질에 의한 국내 악성종양의 규모

이원진 · 윤충식^{1,2} · 이혜진³ · 정지연⁴ · 이경희⁵ · 정원건^{1,6} · 박미진^{1*}

고려대학교 의과대학, ¹서울대학교 보건대학원, ²서울대학교 보건환경연구소,
³한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, ⁴용인대학교, ⁵주한미군, ⁶농촌진흥청 국립농업과학원

Cancers Attributable to Occupational Exposures in Korea

Won Jin Lee · Chungsik Yoon^{1,2} · Hye Jin Lee³ · Jee Yeon Jeong⁴ ·
Kyong-Hui Lee⁵ · Wongeon Jung^{1,6} · Mijin Park^{1*}

Korea University

¹*Graduate School of Public Health, Seoul National University*

²*Institute of Health and Environment, Seoul National University*

³*Occupational Safety and Health Research Institute(OSHRI),
Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA)*

⁴*Yong In University*

⁵*MEDDAC-Korea, Camp Humphreys, US Army*

⁶*National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration*

ABSTRACT

Objective: This paper aimed to provide estimates the burden of cancer attributable to occupational exposures in South Korea and to review the processes of estimating the population attributable fraction(PAF).


Methods: The PAFs of occupational cancer were reviewed from previous studies. The number and proportion of cancer cases attributable to occupational carcinogens were estimated by multiplying the PAFs by recent Korean cancer data(up to 2016 for incidence and 2017 for death) obtained from the Statistics Korea. The estimation of PAFs included occupational exposures defined as definite or probable human carcinogens by the International Agency for Research on Cancer.


Results: In South Korea, an estimated 10,769 new cancer cases(9,017 among men, 1,752 among women) in 2016, and 7,030 cases of death from cancer(6,047 in men, 983 in women) in 2017, were attributable to occupational exposures, representing 1.5-4.7% of all new cancer cases(2.1-7.5% and 0.3-1.6% among men and women, respectively) and 2.7-8.9% of all cancer death cases(3.4-12.4% and 0.5-3.3% among men and women, respectively). Among men and women, lung cancer was the most impactful. The estimation process of PAFs, however, has a variety of uncertainties.


Conclusions: Occupational exposures contribute to a substantial burden of cancer in South Korea. PAFs for cancer provide useful information for prevention initiatives and prioritizing health policies for workers. However, PAFs need to be interpreted cautiously and updated regularly.


Key words: Burden, neoplasm, occupation, population attributable fraction, workers


*Corresponding author: Mijin Park, Tel: 82-2-880-2813, E-mail: r24850@snu.ac.kr
Graduate School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826
Received: November 30, 2021, Revised: December 10, 2021, Accepted: December 29, 2021

 Won Jin Lee 0000-0002-0254-7267

 Chungsik Yoon 0000-0001-7822-0079

 Hye Jin Lee 0000-0002-1028-0611

 Jee Yeon Jeong 0000-0003-3414-7425

 Kyong-Hui Lee 0000-0001-6709-0280

 Wongeon Jung 0000-0003-0570-2485

 Mijin Park 0000-0003-2449-3965

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.

I. 서 론

산업보건의 목적은 유해 요인을 예측, 인지, 평가하여 조절함으로써 업무 환경을 개선하고, 업무상 질병을 예방하는 것이라 할 수 있다. 10년 동안 한국에서 산재 인정을 받은 산업재해자 중 업무상 질병자가 차지 하는 비율은 2011년 7.7%에서 2020년 14.8%로 꾸준히 증가하는 양상을 보이지만, 여전히 산재 사고자에 비해 산업재해에서의 비율은 낮은 편이다(Park et al., 2021). 한편, 산업재해 사망자의 경우는 2020년 총 사망자수 2,062명 중 질병사망자수는 1,180명으로 57%로 이미 전체 산업재해 사망자의 절반을 넘어서고 있다. 산업재해를 인정받은 업무상 질병 사망자 중에서는 뇌심질환(39.2%)과 진폐(34.9%)가 1위와 2위를 차지한다(MoEL, 2021). 이러한 통계는 세계적인 추정에서 유해물질에 기인할 수 있는 질환 사망자의 1위와 2위가 만성 폐쇄성 폐질환(48.4%)과 직업성 암(42.3%)인 것과는 대조를 이룬다(WSH Institute, 2017). 한국에서 직업성암 인정건은 2016년 134건, 2017년 190건, 2018년 220건으로 증가 추세에 있지만, 아직은 미약한 것으로 보인다(Kim, 2019). 이 시점에서 본 연구를 통해 직업성 암을 추정해 보는 것은 산업보건학적으로 의미가 있는 작업이라 할 수 있다.

직업적으로 노출되는 발암물질은 알려진 발암 요인들 중 가장 많은 부분을 차지하고 있으며 지속적으로 증가하고 있다(Loomis et al., 2018). 직업적 발암물질에 의한 악성종양의 규모를 파악하기 위한 연구들이 국제적으로 진행되어 영국에서는 5.3%의 암사망(Rushton et al., 2012), 프랑스(Marant Michalleg et al., 2019)와 중국(Li et al., 2012)에서는 각각 2.3%와 2.8%의 암발생을 차지하는 것으로 보고되어왔으며, 국내에서도 직업성 암의 규모를 인구집단기여분율(population attributable fraction)이라는 지표를 통해 평가한 바 있다(Cho et al., 1997; Kim et al., 2010; Son, 2010). 이러한 연구 결과는 각 나라별 국제간 비교, 각 나라 내에서의 위험요인별 비교, 개별 위험요인에 대한 장기별 비교 등을 가능하게 하며, 각 나라 보건 사업의 우선순위 결정에 필수적인 지표로서 활용됨으로써 산업보건학적으로 중요한 의미를 가진다. 따라서 이 연구에서는 국내 직업성 암의 규모를 기존에 보고된 인구집단기여분율 값들을 국내 암발생 및 사망자료에 적용하여 산출하고, 직업성 암 산출 방식과 관련된 여러 불확실성들을

포괄적으로 고찰해 보고자 한다. 이를 통해 국내 직업성 암의 규모를 파악하고 산출된 값에 대한 올바른 이해에 기여하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 직업성 암 산출 방법

발암물질에 의한 직업성 암의 규모를 파악하기 위해 여러 지표들이 사용될 수 있으나, 인구집단기여분율을 통한 추정이 가장 일반적이다. 기여위험도(attributable risk)는 특정 노출이 기여하는 정도가 얼마인지를 나타내는 것으로, 발암물질 노출군과 비노출군 간의 악성종양 발생률의 차이를 통해 노출군에서 악성종양이 얼마나 초과 발생하게 되는지를 나타내며(발암물질로 인한 질병의 기여 정도), 이를 전체 인구집단으로 확대하였을 때를 인구집단기여분율이라고 한다(Baker & Nieuwenhuijsen, 2008). 인구집단기여위험도는 위험요인이 전체 인구집단에서의 질병 발생에 기여하는 부분을 의미하는 것으로 만약 해당 위험요인이 없다면 전체 인구집단에서 질병을 예방할 수 있는 정도를 나타낸다. 이를 산출하기 위해서는 전체 인구집단에서의 질병 발생률과 특정 위험요인에 노출된 군에서의 발생률을 파악해야 하지만, 실제로 집단 내 발생률을 산출하기 어려우므로 해당 위험요인의 비교 위험도(relative risk)와 집단내 특정 요인의 노출 분율(exposure proportion)을 근거로 추정하기도 한다. 따라서 인구집단기여분율 값은 위험요인의 비교위험도가 높거나 지역사회 내 노출 분율이 높으면 증가한다. 이 연구에서는 국내 직업성 발암물질에 의한 악성종양의 규모를 아래와 같은 과정들을 통해 산출하였다.

1) 인구집단기여분율 값 파악

문헌 조사를 통해 한국(Son, 2010), 영국(Rushton et al., 2012), 프랑스(Marant Micalleg et al., 2019), 중국(Li et al., 2012)에서 보고된 각 암종별 인구집단기여분율 값을 이 연구에 적용하였다. 프랑스 연구의 경우 두 편의 논문이 보고되었으며 2010년도에 보고된 연구보다(Boffetta et al., 2010), 2019년도 논문(Marant Micalleg et al., 2019)이 가장 최근 자료를 통해 더 많은 암종에 대한 결과를 보고하였기 때문에 후자를 선정하였다. 국내 연구의 경우에서도 1997년과 2010년도에 보고들이 있었으나 선정할 발암물질들이 제한적이고 산출 암종이 5개(Cho et al., 1997) 및 7개

(Kim et al., 2010)로만 국한되어 있어 상대적으로 포괄적으로 접근한 보고서 결과(Son, 2010)를 선정하였다. 이 보고서에서는 두 가지 방법(발암성이 확인된 물질만을 적용한 경우와 발암성이 확인된 물질과 추정물질까지 포함한 경우)을 통해 인구집단기여위험도를 산출하였는데, 다른 국제 연구들과의 일관성을 위해서 후자의 값을 선정하였다.

2) 국내 암발생 및 사망 자료

국내의 최근 성별 각 부위별 암 발생(2016년도) 및 사망(2017년도) 자료는 통계청(http://kosis.kr)을 통해 확보하였다. 각 악성종양의 부위는 국제질병표준분류 코드(ICD-10 code)에 따라 분류되었으며, 각 장기별 전체 암 사망은 78,863명(남성 48,866, 여성 29,997), 발생자 수는 226,860명(남성 118,748, 여성 108,112)이었다(부록 표1). 악성종양의 정의는 C00-C96까지 포함시켰으며 D 코드는 제외하였다. 영국과 프랑스 연구에서는 인구집단기여분율 값 산출 시 적용된 악성종양의 코드가 현재 암 발생 및 사망에 사용되는 국제질병표준분류와 정확히 일치하지 않는 경우들이 있어 각주로 표시하였으나 그 차이는 매우 미미하였다.

3) 직업성 암 사망 및 발생 추정치

각 암종별로 산출된 값을 모두 더한 인원 수를 국내 전체 암 사망 혹은 발생자 수로 나눔으로써 암 사망 및

발생에 대한 인구집단기여분율 값을 산출하였다. 이 때 직업성 발암물질 노출로 인한 추가적인 암 발생 및 사망자 수는 아래와 같이 산출하였다. 즉, 문헌조사를 통해 파악한 나라별 각 암종별 직업성 암 기여 분율을 국내 암발생 및 사망자수에 곱해서 각 암종별 추가 암 발생 및 환자 수를 산출하였다.

$$\text{직업성 발암물질에 의한 전체 초과 암 사망(발생)자 수} = \sum \text{각 암종별 직업성 암 기여 분율 (PAF)} \times \text{국내 암 사망(발생) 자수}$$

III. 결 과

1. 연구 결과

국내 연구에서 산출된 7개 암종별 인구집단기여분율 값을 2016년 암 발생 및 2017년 암 사망 자료에 적용하였을 경우 총 7,030명(남성 6,047, 여성 983)의 추가 암 사망과 총 10,769명(남자 9,017, 여자 1,752)의 암 발생자가 산출되었다(Table 1). 이는 남성에서 전체 암 사망의 12.4%, 여성에서는 3.3%를 차지하는 것이며 전체 암발생에서는 남성 7.5%, 여성은 1.6%를 차지하는 규모이다. 전체 사망의 86.0%와 전체 발생의 83.7%를 남성이 차지하였으며, 암종별로는 폐암이 남성에서 사망 81.1%, 발생 72.9%, 여성에서 사망 68%, 발생 64.7%로 가장 많이 차지하였으며, 다음으로는 남성에서 간암

Table 1. Estimated attributable number of cancer deaths(2017) and incidence(2016) by site based on Korean study(Son, 2010)

| Cancer site (ICD-10) | Men | | | | Women | |
|----------------------|--------|------------------------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | PAF(%) | Attributable number(%) | | PAF(%) | Attributable number(%) | |
| | | Incidence | Death | | Incidence | Death |
| Bladder (C67) | 10.4 | 361(4.0) | 114(1.9) | 4.9 | 43(2.5) | 17(1.7) |
| Esophagus (C15) | 1.6 | 35(0.4) | 20(0.3) | 0.5 | 1(0.1) | 1(0.1) |
| Larynx (C32) | 6.2 | 68(0.8) | 22(0.4) | 3.6 | 2(0.1) | 1(0.1) |
| Leukemia (C91-C95) | 17.5 | 347(3.8) | 182(3.0) | 11.7 | 167(9.5) | 93(9.5) |
| Liver (C22) | 6.7 | 792(8.8) | 537(8.9) | 4.0 | 161(9.2) | 110(11.2) |
| Lung (C33-C34) | 36.9 | 6,572(72.9) | 4,903(81.1) | 14.2 | 1,133(64.7) | 668(68.0) |
| Mesotheliomas (C45) | 100 | 92(1.0) | 86(1.4) | 100 | 45(2.6) | 34(3.5) |
| Sinonasal (C30-C31) | 27.0 | 57(0.6) | 24(0.4) | 21.8 | 30(1.7) | 15(1.5) |
| Skin (C43-C44) | 3.6 | 96(1.1) | 9(0.1) | 0.6 | 22(1.3) | 2(0.2) |
| Stomach (C16) | 2.9 | 597(6.6) | 150(2.5) | 1.5 | 148(8.4) | 42(4.3) |
| Total (C00-C96) | 7.5 | 9,017(100) | | 1.6 | 1,752(100) | |
| | 12.4 | | 6,047(100) | 3.3 | | 983(100) |

Table 2. Estimated attributable number of cancer deaths(2017) and incidence(2016) by site based on UK study(Rushton et al., 2012)

| Cancer site (ICD-10) | Men | | | Women | | |
|----------------------------|--------|------------------------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | PAF(%) | Attributable number(%) | | PAF(%) | Attributable number(%) | |
| | | Incidence | Death | | Incidence | Death |
| Bladder (C67) | 7.1 | 248(4.7) | 78(2.4) | 1.9 | 17(1.0) | 6(1.3) |
| Bone (C40-C41) | 0.04 | 0(0.0) | 0(0.0) | 0.01 | 0(0.0) | 0(0.0) |
| Brain (C70-C72) | 0.5 | 6(0.1) | 4(0.1) | 0.1 | 1(0.1) | 1(0.2) |
| Breast (C50) | - | - | - | 4.6 | 1,000(60.3) | 115(25.2) |
| Cervix (C53) | - | - | - | 0.7 | 25(1.5) | 6(1.3) |
| Kidney (C64-C66, C68) | 0.04 | 2(0.0) | 0(0.0) | 0.04 | 1(0.1) | 0(0.0) |
| Larynx (C32) | 2.9 | 32(0.6) | 10(0.3) | 1.6 | 1(0.1) | 0(0.0) |
| Leukemia (C91-C95) | 0.9 | 18(0.3) | 9(0.3) | 0.5 | 7(0.4) | 4(0.9) |
| Liver (C22) | 0.2 | 24(0.5) | 16(0.5) | 0.1 | 4(0.2) | 3(0.7) |
| Lung (C33-C34) | 21.1 | 3,754(71.6) | 2,800(85.1) | 5.3 | 424(25.6) | 250(54.7) |
| Melanoma (C69) | 2.9 | 2(0.0) | 0(0.0) | 0.4 | 0(0.0) | 0(0.0) |
| Mesotheliomas (C45) | 97.0 | 89(1.7) | 83(2.5) | 82.5 | 37(2.2) | 28(6.1) |
| MM (C90) | 0.4 | 3(0.1) | 2(0.1) | 0.1 | 1(0.1) | 1(0.2) |
| Nasopharynx (C11) | 10.8 | 33(0.6) | 15(0.5) | 2.4 | 2(0.1) | 1(0.2) |
| NHL (C82-C85) ^a | 2.1 | 58(1.1) | 20(0.6) | 1.1 | 22(1.3) | 8(1.8) |
| NMSC (C44) | 6.9 | 166(3.2) | 7(0.2) | 1.1 | 35(2.1) | 2(0.4) |
| Oesophagus (C15) | 3.3 | 74(1.4) | 43(1.3) | 1.1 | 3(0.2) | 2(0.4) |
| Ovary (C56) | - | - | - | 0.5 | 13(0.8) | 6(1.3) |
| Pancreas (C25) | 0.02 | 1(0.0) | 1(0.0) | 0.01 | 0(0.0) | 0(0.0) |
| Sinonasal (C30-C31) | 43.3 | 91(1.7) | 39(1.2) | 19.8 | 27(1.6) | 13(2.8) |
| STS (C49) ^b | 3.4 | 21(0.4) | 7(0.2) | 1.1 | 5(0.3) | 2(0.4) |
| Stomach (C16) | 3.0 | 615(11.7) | 155(4.7) | 0.3 | 30(1.8) | 9(2.0) |
| Thyroid (C73) | 0.12 | 7(0.1) | 0(0.0) | 0.02 | 4(0.2) | 0(0.0) |
| Total (C00-C96) | 4.4 | 5,244(100) | | 1.5 | 1,659(100) | |
| | 6.7 | | 3,289(100) | 1.5 | | 457(100) |

Abbreviations : MM, multiple myeloma; NHL, non-Hodgkin lymphoma; NMSC, non-melanoma skin cancer; STS, soft-tissue sarcoma.

^aBased on C82-C86, C96.

^bBased on C47 & C49.

과 위암, 여성에서는 간암과 백혈병 순이었다.

영국에서 2004년과 2005년도 암발생 및 사망 자료에 근거하여 보고된 24개 암종의 인구집단기여분율 값을 국내 사망 및 발생 자료에 적용하였을 경우 총 3,746명의 추가 암 사망(남성 3,289명, 여성 457명)과, 6,903명의 암 발생자(남성 5,244명, 여성 1,659명)가 산출되었다(Table 2). 이는 남성에서 전체 암사망의 6.7%, 여성에서는 1.5%를 차지하는 것이며 전체 암발생에서는 남

성 4.4%, 여성은 1.5%를 차지하는 규모이다. 남성이 전체 사망의 87.8%와 발생의 76.0%를 차지하였다. 암종별로는 남성에서 폐암이 사망 85.1%, 발생 71.6%로 가장 많았으며 여성에서는 유방암이 사망 25.2%, 발생 60.3%로 가장 많이 차지하였다. 그 다음으로는 남성에서 위암과 방광암, 여성에서는 폐암 순이었다.

프랑스에서 2015년도 암발생자료에 근거하여 보고된 13개 암종에 대한 인구집단기여분율 값을 국내 자료에

Table 3. Estimated attributable number of cancer deaths(2017) and incidence(2016) by site based on French study(Marant Micallef et al., 2019)

| Cancer site (ICD-10) | Men | | | Women | | |
|-----------------------------------|--------|------------------------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | PAF(%) | Attributable number(%) | | PAF(%) | Attributable number(%) | |
| | | Incidence | Death | | Incidence | Death |
| Bladder (C67) | 2.9 | 101(2.6) | 32(1.2) | 0.2 | 2(0.7) | 1(0.6) |
| Kidney (C64-C65) | 2.4 | 91(2.3) | 20(0.7) | 0.3 | 5(1.7) | 1(0.6) |
| Nasal cavity (C30.0) ^a | 32.9 | 69(1.7) | 10(0.4) | 7.9 | 11(3.7) | 1(0.6) |
| Nasopharynx (C11, C14) | 19.9 | 67(1.7) | 31(1.1) | 5.4 | 6(2.0) | 2(1.2) |
| Larynx (C32) | 8.3 | 91(2.3) | 29(1.0) | 2.3 | 2(0.7) | 1(0.6) |
| Leukemia (C91-C96) ^b | 0.7 | 14(0.4) | 8(0.3) | 0.7 | 10(3.4) | 6(3.7) |
| Lung (C33-C34) | 19.3 | 3,434(86.9) | 2,562(92.6) | 2.6 | 208(70.0) | 122(74.8) |
| Mesothelioma (C45) | 83.1 | 77(1.9) | 72(2.6) | 41.7 | 19(6.4) | 14(8.6) |
| NHL (C82-C83) ^c | 0.3 | 8(0.2) | 2(0.1) | 0.0 | 0(0.0) | 0(0.0) |
| Ovary (C56) | - | - | - | 1.3 | 34(11.4) | 15(9.2) |
| Skin melanoma (C43) | 0.1 | 0(0.0) | 0(0.0) | 0.0 | 0(0.0) | 0(0.0) |
| Total (C00-C96) | 3.3 | 3,952(100) | | 0.3 | 297(100) | |
| | 5.7 | | 2,766(100) | 0.5 | | 163(100) |

Abbreviation : NHL, non-Hodgkin lymphoma

^aBased on C30-C31.

^bBased on C91-C95.

^cBased on C82-C86, C96.

Table 4. Estimated attributable number of cancer deaths(2017) and incidence(2016) by site based on Chinese study(Li et al., 2012)

| Cancer site (ICD-10) | Men | | | Women | | |
|---------------------------|--------|------------------------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | PAF(%) | Attributable number(%) | | PAF(%) | Attributable number(%) | |
| | | Incidence | Death | | Incidence | Death |
| Bladder (C67) | 10.6 | 370(14.9) | 117(7.1) | 11.4 | 100(11.2) | 39(7.8) |
| Leukemia (C91-C95) | 9.9 | 197(7.9) | 103(6.3) | 15.4 | 220(24.7) | 122(24.4) |
| Lung (C33-C34) | 10.6 | 1,886(76.1) | 1,407(85.5) | 7.0 | 559(62.7) | 330(66.1) |
| Mesothelioma (C45) | 18.6 | 17(0.7) | 16(1.0) | 18.8 | 9(1.0) | 6(1.2) |
| Sinonasal (C30-C31) | 3.7 | 8(0.3) | 3(0.2) | 2.8 | 4(0.4) | 2(0.4) |
| All (C00-C96, except C44) | 2.1 | 2,478(100) | | 0.9 | 892(100) | |
| | 3.4 | | 1,646(100) | 1.7 | | 499(100) |

적용한 결과 총 2,929명의 추가 암 사망(남성 2,766명, 여성 163명)과, 4,249명의 암 발생(남성 3,952명, 여성 297명)이 산출되었다(Table 3). 이는 남성에서 전체 암 사망의 5.7%, 여성에서는 0.5%를 차지하는 것이며 전체 암발생에서는 남성 3.3%, 여성은 0.3%를 차지하는 규모이다. 남성이 전체 사망의 94.4%, 발생에서는 93.0%를 차지하였다. 암종별로는 폐암이 사망 2,684명, 발생 3,642명으로 가장 많이 차지하였으며 그 다음으로 남

성에는 방광암과 증피종, 여성에서는 난소암과 증피종 순이었다.

중국에서 2005년도 암사망과 발생 자료에 근거하여 보고된 5개 암종의 인구집단기여분율 값을 국내 사망 및 발생 자료에 적용하였을 경우에는 총 2,145명의 추가 암 사망(남성 1,646명, 여성 499명)과, 3,370명의 암 발생자(남성 2,478명, 여성 892명)가 산출되었다(Table 4). 이는 남성에서 전체 암사망의 3.4%, 여성에

서는 1.7%를 차지하는 것이며 전체 암발생에서는 남성 2.1%, 여성은 0.9%를 차지하는 규모이다. 남성이 전체 사망의 76.7%와 발생의 73.5%를 차지하였다. 암종별로는 폐암이 가장 많이 차지하였으며 방광암(남성), 백혈병(여성) 순이었다.

IV. 고 찰

국내외 연구들의 성별 암종별 인구집단기여분율 값은 발생의 경우 전체 1.5-4.7%(남성 2.1-7.5%, 여성 0.3-1.6%) 범위였으며, 사망의 경우는 전체 2.7-8.9%(남성 3.4-12.4%, 여성 0.5-3.3%) 수준이었다. 이들 값을 국내 암 발생(2016년도) 및 사망자료(2017년)에 적용한 결과, 국내 직업성 암의 숫자는 매년 발생이 4,249-10,764명, 사망은 2,929-7,030명의 범위로 추정되었다. 산출된 직업성 암의 절대 규모는 영국(사망 8,010명, 발생 13,598명), 프랑스(발생 7,905명)와 유사하며 중국(사망 48,511명, 발생 59,410명) 보다는 적었다. 반면 전체 암의 사망 및 발생에 대한 인구집단기여분율 값은 영국과 유사하였고 프랑스와 중국보다는 높았다. 국내 직업성 암은 다른 나라들에서와 같이 남성이 여성보다 많았다. 중국 자료를 적용 시 상대적으로 여성이 차지하는 비율이 증가하였으며, 이는 각 나라별 성별 발암물질 노출의 차이에 의한 것으로 판단된다. 암종별로는 다른 나라에서와 같이 폐암이 가장 큰 규모를 차지하였으며 이는 남녀별 폐암 발생률 및 직업적 노출의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 우리나라 기여분율 값을 적용할 경우 다른 나라의 기여분율 적용시보다 간암과 백혈병의 순위가 상대적으로 높았으며 각 암종별 발생과 사망 규모의 비율에 차이를 보였다. 이는 각 나라별 암종별 발생률의 차이 및 각 발암물질 노출 인구분율의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 결과들은 다양한 인구집단기여분율 값을 국내 암발생 및 사망에 적용하여 규모를 추산하였다는데 의미가 있으며 향후 직업성 암 예방 및 편익분석의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

인구집단기여분율 산출과정에는 여러 제한점 및 불확실성들이 존재하며, 산출된 값을 바로 해석하기 위해서는 산출 과정의 각 단계별 이해가 필요하다. 예를 들어 같은 국제 질병부담 연구(GBD 2016 Risk Factors Collaborators, 2017)에서는 간접흡연을 직업성 인자로 포함시켰으나, 2018년 보고된 연구(GBD 2017

Risk Factor Collaborators, 2018)에서는 환경성 요인으로 분류한 바 있으며, 이에 따라 직업성 암 규모에도 변화를 주었다. 프랑스의 경우에는 2010년도에 보고된 연구에서는 기여분율을 2000년 암자료에 근거하고, 발암인자 선정 및 노출 인구 설정을 1990년대 중반의 단면조사에 근거하여 총 4,335명의 암발생(남자 2.7%, 여자 0.3%의 인구집단기여위험도)이 직업성 발암물질에 의한 것으로 보고한 바 있다(Boffetta et al., 2010). 그러나 2015년 암자료를 근거로 한 연구에서는 노출을 보다 자세한 정보를 통해 보완하고 발암물질을 확인된(Group 1) 경우 및 추정된(Group 2A) 물질까지 포함시켜 분석한 결과 총 7,905명(남성 3.9% 여성 0.4%)의 암 발생이 직업성 발암물질에 기인한 것으로 보고한 바 있다(Marant Micallef et al., 2019). 즉 직업성 암 규모는 사용된 자료들과 적용 방식의 차이에 따라 다른 추정값을 얻을 수 있다는 것을 이해하고 관련 자료에 대한 지속적인 보완 및 개선을 해 나가는 것이 중요하다.

1) 발암물질의 선정

인구집단기여분율 산출 첫 단계는 직업성 발암물질로서 어떤 물질을 포함시킬 것인가이며 이때 포함되는 물질이 무엇이냐에 따라서 결과가 크게 달라진다. 확인된 발암 물질들은(IARC Group 1) 수많은 화학물질 중 매우 일부를 감안할 때 이 물질들만으로 국한시켜 인구집단기여분율을 산출할 경우 과소평가 될 수 있다. 따라서 직업성 암 규모 산출시 확인된 발암 물질(Group 1)과 함께 발암성이 추정된 물질(Group 2A)들도 포함시키는 것이 일반적이다(Son, 2010; Rushton et al., 2012; Marant Micallef et al., 2019). 확인된 물질만을 대상으로 한 경우와 발암성이 추정된 물질까지 포함시킨 경우를 비교 분석하는 것도 경우에 따라 필요하다.

그러나 발암성이 확인된 물질이라도 노출 정보가 없으면 기여분율을 산출하는데 포함시킬 수 없다. 또한, 발암물질이 직업성 및 환경성 노출의 분류가 분명하지 않은 경우들도 있어 직업성 암 규모를 파악하는데 불확실한 경우들도 있다. 예를 들어 중피종은 석면 노출에 의한 질병이지만 석면이 직업적으로만 노출되는 것이 아니라 비직업적 노출 형태도 가능하기 때문에 모든 중피종을 직업성 암으로 추정하는 것은 인구집단기여분율을 과대평가시킬 수 있다. 따라서 직업성 노출에 대한

정의를 분명히 하고 새롭게 추가된 발암물질들을 추가하는 것이 필요하다. 향후 직업성 화학물질로만 국한되지 않고 물리적(전리 방사선 등), 생물학적(HIV 등) 요인들까지도 포괄하여 평가하는 것이 보다 정확한 직업성 암의 규모를 파악하는데 중요하다.

2) 악성종양의 종류 선정

인구집단기여분을 산출의 다음 단계로서 어떤 암종을 연구에 포함시킬 것인가를 결정한다. 일반적으로 각 발암물질에 직접적인 인과성이 확인된 부위의 악성종양들만 포함시킨다. 즉 발암물질 선정 단계에서 확인된 발암물질이라고 하더라도 각 신체부위에 따라 인과성이 확인된 암종이 있고 그렇지 않은 악성종양들이 있다. 이때 해당 물질과 직접적인 인과성이 있는 악성종양들만을 선정할 경우 기여분율이 과소 평가될 수 있어 인과성이 의심되는 부위의 악성종양도 포함하는 다양한 시나리오로 접근하는 것도 필요하다.

질병분류 코드의 변화에 따라 포함된 악성종양의 크기가 달라질 수 있다. 따라서 오랜 기간 암발생 및 사망을 관찰해온 나라에서는 질병분류의 일관성을 유지하는 것이 중요한데, 우리나라의 경우 사망 및 발생자료가 모두 ICD-10 코드를 사용하고 있으므로 분류 오차는 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 분류오차가 코드상에서 없다고 하여도 암진단 과정에 따라 인구집단기여분을 값이 영향을 받을 수 있다(IARC, 2007). 즉 암 진단 기술이 발달되어 조기진단이 된다면 기존 위험인자로 알려진 발암물질이 암 발생에 같은 크기의 위험인자로 작용했을 것인지는 확실하지 않다. 왜냐하면, 초기의 작은 암종은 저절로 생길 수도 있으며, 반드시 외부의 위험인자에 기인하여 생기지 않을 수도 있기 때문이다. 이러한 문제는 조기 진단이 잘 되는 암종(갑상선암, 전립선암 등)에서 특히 크게 나타날 수 있다. 예를 들어 체르노빌 사고 시 방사선 노출에 의해 유발된 갑상선 암은 그렇지 않은 갑상선 암과 다른 조직병리상의 특성을 가졌다(Bogdanova et al., 2018). 조기 진단된 암은 전체 암 숫자를 증가시키므로 인구집단기여분을 값을 증가시킬 수 있지만, 직업성 발암물질과 관련 없는 암이 포함될 수 있어 기여분율을 과대평가 할 수도 있다. 반면 조기 진단된 암은 발암물질과는 관련성이 적어 전체적인 비교위험도 값을 감소시킬 수 있어 기여분율을 감소시킬 수도 있다. 따라서 암의 검진 시기, 검사 방법, 병기 정도에 따라 나누어 발암물질에 따른 기여분율을 살

펴보는 것도 필요하다. 같은 질병코드상에 기록된 암이라고 하더라도 이질적인 상황들이 존재하며 따라서 최대한 동질적인 암환자를 포함시키는 것이 정확한 직업성 암 규모를 파악하는데 중요하다. 한편 발암성 화학물질의 경우 비악성종양(호흡기 질환, 신경계, 생식기계 등) 등에도 기여할 수 있어 종합적인 건강영향을 위해서는 다양한 질환을 포함시키는 것이 필요하다(Takala et al., 2014).

3) 잠복기 설정

인구집단기여분을 산출시 발암물질 노출 후 얼마나 지나서 암에 걸리는지에 대한 판단에 따라서 노출 인구가 달라진다. 예를 들어 20년의 기간을 설정한다면 2010년의 암 발생을 위해서 1990년도의 노출인구를 평가하게 되며 30년의 잠복기를 설정할 경우 1980년도의 노출인구를 대상으로 기여분율을 평가하게 된다. 산업구조의 변화에 따라 1980년보다 1990년의 노출인구가 많아질 수도 혹은 적어질 수도 있으며 비교위험도에 영향을 주는 노출의 정도 또한 높아질 수도 적어질 수도 있다. 그러나 과거 수십 년간의 노출이 지속적으로 감소되었다면 그 전 노출 정도를 기준으로 한 비교위험도에 기초한 기여분율은 과대평가될 수 있다. 영국에서는 고형암의 경우 35년(10-50년), 혈액종양은 15년(0-20년)의 잠복기를 설정하였으며, 암 사망자료는 2005년도를 기준으로 하였으므로 위험노출기간(risk exposure period)를 고형암의 경우 1956-1995년, 혈액종양은 1986-2005년도로 설정한 바 있다(Hutchings & Rushton, 2012). 따라서 현재 암발생 및 사망에 영향을 주었을 것으로 판단된 직업성 발암물질의 위험노출기간을 충분히 길게 설정하면 노출 인구가 늘어나며 짧게 설정하면 노출 인구가 그 만큼 감소된다.

암의 잠복기는 연구 목적별로 그 기간을 다르게 설정할 수 있어 만약 보상을 목적으로 하는 경우 가능한 모든 암을 포함시키기 위해 최소 잠복기를 설정하기도 한다. 예를 들어 미국 세계무역센터 붕괴시 노출된 발암물질에 의한 악성종양을 파악하는데 있어서 최소 잠복기를 고형암 4년, 혈액종양 0.4년, 갑상선암 2.5년, 중피종 11년, 소아암 1년으로 설정한 바 있다(CDC, 2015). 각 암종에 대한 잠복기의 다양성과 이에 대한 연구가 충분하지 않은 상태에서는 단일 값을 적용하기 보다는 각 경우별 민감도 분석을 통해 위험노출기간을 다양하게 설정하는 것이 바람직하다.

4) 노출인구 추정

인구집단기여분율을 산출할 때 발암물질에 얼마나 많은 인구집단이 노출되는지에 대한 정보가 함께 필요하다. 비록 비교위험도가 같더라도 노출 정도에 따라, 각 나라 및 인종에 따라 다른 값을 가질 수 있다. 발암물질에 얼마나 많은 인구가 노출되는가를 추정하는 것은 어떤 노출 자료를 사용하는가에 따라 각각의 추정할 수 있는 노출 인구가 다를 수 있다. 기존 자료원들은 노출 인구를 정확히 평가하기 위해 만들어진 자료라기보다는 행정적 목적으로 구축되었기 때문에 과소 혹은 과대평가될 가능성이 있다. 또한, 노출 인구의 정의를 어떻게 하느냐에 따라 기여분율 산출에 적용되는 노출인구수가 다를 수 있다(예를 들어 6개월 혹은 1년 미만 근무자를 제외하는 경우 등).

노출 인구 중에서도 발암물질 노출의 정도가 균일하지 않을 수 있다. 이 경우 고위험군을 대상으로 산출된 비교위험도를 전체 노출인구에게 적용하는 것은 정확하지 않다. 따라서 발암물질의 노출 정도를 저노출 및 고노출 군으로 나눈 후 각 노출집단 별로 다른 비교위험도 값을 할당하기도 한다. 예를 들어 특정 발암물질의 폐암에 대한 비교위험도가 1.6인 경우 저노출군에는 1.3, 고노출군에서는 1.9의 위험도를 할당할 수 있다. 일반적으로 저노출과 고노출의 분율을 5:5로 설정하거나 선진국의 경우 저노출이 많다는 근거에 따라 9:1로 설정하기도 한다(WHO, 2004). 그러나 저노출과 고노출 인구를 어떻게 합리적으로 구분할 수 있는지는 지속적인 연구과제이며 이에 따라 직업성 암 규모에 차이가 발생한다. 또한, 발암물질 노출인구 산정에서 이직율(turnover rate)을 얼마로 설정하는지도 중요하다. 왜냐하면, 한 사람이 평생에 하나의 직종에만 근무하는 것이 아니며 직종을 변경할 경우 그만큼 발암물질에 노출되는 인원수는 증가되기 때문이다.

노출인구 산출은 잠복기를 고려하여 지난 수십 년 이전의 상황을 추론하는 과정이므로 기본적으로 많은 불확실성과 오류를 내재하고 있다. 따라서 단일한 정답이 얻어지기 어렵고 여러 자료들을 확보하고 경험적 자문을 통해 최대한 합리적으로 추론하는 것이 중요하다. 이러한 방법론 적용과정에서 일부 과대적용 가능성도 있지만 제한된 면만 보고 산출하는 것이므로 실제 노출 및 위험도보다 과소평가될 가능성이 더 많다. 실제로 아직 연관성이 확인되지 않은 발암물질, 혼합물질의 상호작용, 낮은 농도의 발암물질에 광범위하게 노출된 인구

집단 등을 포괄하지 못해 대체로 과소평가 될 가능성이 있다(Rushton et al., 2008).

5) 비교위험도 선정

인구집단기여분율을 산출할 때 인구집단이 얼마나 노출되는지에 대한 정보와 함께 비교위험도 값이 적용된다. 따라서 비교위험도 값을 어떻게 설정하느냐는 정확한 직업성 암의 규모를 파악하는데 중요하다. 일반적으로 체계적 고찰 및 메타논문을 통해 얻은 대표값을 적용하는 방법과 가장 질 좋은 연구에서의 단일값을 선정하는 방법이 적용되고 있으나 안정된 값을 위해 전자가 많이 적용된다.

그러나 발암물질의 영향에 성별, 인종별, 나라별 차이가 존재하며 따라서 해당 인구집단에 적합한 비교위험도를 확보하는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 암 발생에 대한 비교위험도는 같은 발암물질이라고 하더라도 나라별 노출정도 및 기저 위험도의 차이로 나라별로 다른 값을 갖는다. 따라서 인구집단기여분율 산출 시 다른 나라에서의 비교위험도 값을 그대로 적용하는 것은 이상적이지 못하다. 특히 발암물질에 대한 대부분의 연구들은 서양 백인 남성을 대상으로 하였기 때문에 이들 연구들에서 파악된 비교위험도를 한국인 혹은 여성들에게도 그대로 적용될 수 있는지는 논란이 있다. 마찬가지로 연령에 대한 고려 없이 단일 비교위험도를 제시하거나 흡연에 대한 고려가 없는 경우 폐암 등에 부적절한 비교위험도가 할당될 수도 있다. 실제로 각 인종별 비교위험도가 다름으로 인해 같은 노출인구를 가졌다고 하더라도 기여분율 값이 달리 산출될 수 있다(Moon et al., 2013).

각 노출물질에 대한 성별 직종 배치의 차이 및 노출의 차이에서 비롯되는 비교위험도의 차이는 기여분율 값의 차이로 이어질 수 있다. 또한, 각 연구에서의 비교위험도 값은 각기 다른 노출기간, 노출정도, 노출년도에 의한 것이다. 따라서 비교위험도가 산출된 해당 노출인구에만 같은 값을 적용하는 것이 이상적이거나 이 같은 상황은 현실적이지 못하다. 만약 노출정도별 비교위험도가 구분되어 보고되었다면 각각 적용할 수 있지만 대부분 고노출자에 근거한 단일 값이므로 전술한 바와 같이 노출인구 분율을 나누어서 각각의 비교위험도를 적용하기도 한다. 국내 인구를 대상으로 한 비교위험도 연구가 부재한 상황에서는 이러한 한계들을 인지하고 기존 비교위험도를 적용할 수 밖에 없다. 기존에 산출된 각 암종별 비교위험도 값들은 현재 적용하기에는 노출

연도, 인종, 상황, 연령 등이 다르기 때문에 한계가 있을 수 밖에 없으며 따라서 하나의 값보다는 여러 상황을 가정하여 범위를 설정하는 것이 바람직하다.

또한, 각 문헌에서 발생률을 근거로 한 경우와 사망률을 근거로 한 경우를 구별해서 발생률 혹은 사망률에 대한 인구집단기여분을 값을 구하는 것이 바람직한 방법이다. 그러나 발생률 연구들이 상대적으로 적어 대체로 사망률 연구들에 근거한 비교위험도를 산출하고 그것을 발생률 연구집단기여분을 산출에도 적용한다. 그러나 사망은 발생과 달리 실제 질병의 발생과 그 이후의 예후 과정이 동시에 관여하기 때문에 발생에 대한 비교위험도를 사망에 대해 적용하는 경우 혹은 반대로 사망에 대한 비교위험도를 발생에 적용하는 경우들은 정확하지 않다. 폐암과 중피종 같이 발생률과 사망률의 차이가 적은 경우 이러한 영향이 적지만 백혈병, 유방암, 전립선암과 같이 발생에 비해 사망률이 낮은 경우 사망률에 근거한 비교위험도 값의 적용은 인구집단기여분을 값을 과소평가시킬 수 있다.

V. 결 론

국내 직업성 발암물질에 의한 초과 암 사망은 2,929-7,030명, 발생은 4,249-10,764명으로, 인구집단기여분율은 사망이 2.7-8.9%, 발생은 1.5-4.7%로 산출되었다. 이러한 추정치는 비록 많은 불확실성이 내포되어 있지만, 직업성 암의 규모와 종류를 파악하고 국제 비교를 하는데 과학적인 근거를 제공할 수 있다. 또한, 이러한 결과값들은 우리 사회에서 비직업적인 다른 질병 위험요인들과의 상대적 크기 비교를 통해 보건 사업의 우선순위 설정에도 유용하다. 따라서 직업성 암 부담을 산출하는 과정은 반드시 필요하며, 산출된 값들에 대한 올바른 해석을 하는 것이 중요하다. 한편 산출된 인구집단기여분율 값은 전체 인구집단을 대상으로 한 것이며, 특정 집단에만 발암물질이 노출이 집중된 경우(특수 직종 종사자)에는 전체 인구집단기여분율 값이 낮더라도 해당 직종의 인구집단에서는 위험성이 높을 수 있다는 것을 이해할 필요가 있다.

각 연구마다 다소 상이한 수치는 기여분을 산출 방법의 각 단계에 따른 내재적 속성일 뿐이지 어느 것이 맞고 틀리는 문제가 아니다. 실제로 변화하는 산업구조, 고용상태, 사용되는 물질의 변화로 단일한 참값(true estimate)은 파악하기는 어렵다. 따라서 보다 정교하게

추정하는 방법론을 적용하는 노력은 지속적으로 필요하다(Hutchings & Rushton, 2017).

향후 직업성 암에 의한 건강영향을 종합적으로 평가하기 위해서는 화학적 발암물질 외에 물리적 생물학적 직업요인들을 포함시켜야 한다. 또한, 이들 직업성 발암성 물질들은 호흡기 질환, 신경계, 생식기계 등에도 영향을 주고 있기 때문에 건강영향들을 포괄적으로 포함시키는 것은 직업적 위험요인에 의한 종합적인 건강 영향의 규모를 파악하는데 중요하다. 이를 위해 직업 정보를 다양한 건강 자료들 특히 암 등록 정보에 의무적으로 포함시키는 것이 필요하다(Rushton, 2017).

감사의 글

본 연구는 2019년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 학술용역 지원 사업에 의해 수행되었으며, 관리대상 유해물질 제도 개선(안)에 따른 화학물질 제도 영향 분석연구에 참여하신 공동연구원분들께 감사드립니다. 또한, 이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(BK21 FOUR 5199990214126).

References

- Baker & Nieuwenhuijsen. Environmental Epidemiology-study methods and application. Oxford University Press. 2008
- Boffetta P, Autier P, Boniol M, Boyle P, Hill C et al. An estimate of cancers attributable to occupational exposures in France. *J Occup Environ Med.* 2010; 52(4):399-406 (<https://doi.org/10.1097/jom.0b013e3181d5e355>)
- Bogdanova TI, Saenko VA, Brenner AV, Zurnadzhy LY, Rogounovitch TI et al. Comparative histopathologic analysis of "radiogenic" and "sporadic" papillary thyroid carcinoma: patients born before and after the Chernobyl accident. *Thyroid.* 2018;28(7):880-890 (<https://doi.org/10.1089/thy.2017.0594>)
- Centers for Disease Control and Prevention(CDC). Minimum latency & types or categories of cancer. World Trade Center Health Program. 2015
- Cho SH, Kand D, Ko KS, Kwon HJ, Kim DH et al. Estimates of occupational cancer in Korea. *J Occup Health.* 1997;39:192-9 (<https://doi.org/10.1539/joh.39.192>)
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators. Global, regional,

- and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*. 2017;390(10100):1345–1422 ([https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8))
- GBD 2017 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392(10159):1923–1994 ([https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32225-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32225-6))
- Hutchings SJ & Rushton L. Occupational cancer in Britain. Statistical methodology. *Br J Cancer*. 2012;107 Suppl 1:S8–17 (<https://dx.doi.org/10.1038%2Fbjc.2012.112>)
- International Agency for Research on Cancer(IARC). Attributable causes of cancer in France in the year 2000. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. 2007
- Kim EA, Lee HE, Kang SK. Occupational burden of cancer in Korea. *Saf Health Work*. 2010;1(1):61–8 (<https://doi.org/10.5491/SHAW.2010.1.1.61>)
- Kim KH. A study on cases of occupational cancer treatment decision and judicial precedent(No. 2019–12–053). Korea Worker’s Compensation & Welfare Service Labor Welfare Research Institute. 2019 [Accessed 2021 Dec 25]; Available from: URL: https://www.kcomwel.or.kr/Researchinstitute/lay1/program/S1T6C8/report_pg/view.do?cpage=4&rows=10&seq=6135
- Li P, Deng SS, Wang JB, Iwata A, Qiao YL et al. Occupational and environmental cancer incidence and mortality in China. *Occup Med (Lond)*. 2012; 62(4):281–7 (<https://doi.org/10.1093/occmed/kqs016>)
- Loomis D, Guha N, Hall AL, Straif K. Identifying occupational carcinogens: an update from the IARC Monographs. *Occup Environ Med*. 2018;75(8): 593–603 (<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2017-104944>)
- Marant Micallef C, Shield KD, Vignat J, Baldi I, Charbotel B et al. Cancers in France in 2015 attributable to occupational exposures. *Int J Hyg Environ Health*. 2019;222(1):22–29 (<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.07.015>)
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). 2020. 12. Status of Industrial Accidents. 2021 [Accessed 2021 Dec 25]; Available from: URL:https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20210401122)
- Moon EK, Son M, Jin YW, Park S, Lee WJ. Variations of lung cancer risk from asbestos exposure: impact on estimation of population attributable fraction. *Ind Health*. 2013;51(1):128–33 (<https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1350>)
- Park MJ, Choi YE, Jeong TJ, et al. A study to improve chemical management capabilities in small businesses; Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI); 2021
- Rushton L, Hutchings S, Brown T. The burden of cancer at work: estimation as the first step to prevention. *Occup Environ Med*. 2008;65(12):789–800 (<http://dx.doi.org/10.1136/oem.2007.037002>)
- Rushton L, Hutchings SJ, Fortunato L, Young C, Evans GS et al. Occupational cancer burden in Great Britain. *Br J Cancer*. 2012;107 Suppl 1:S3–7 (<https://dx.doi.org/10.1038%2Fbjc.2012.112>)
- Rushton L. Occupational cancer: recent developments in research and legislation. *Occup Med (Lond)*. 2017; 67(4):248–250 (<https://doi.org/10.1093/occmed/kqx020>)
- Son M. The burden of occupational cancer in Korea; Ministry for Health, Welfare and Family Affairs; 2010
- Takala J, Hämäläinen P, Saarela KL, Yun LY, Manickam K et al. Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012. *J Occup Environ Hyg*. 2014;11(5):326–37 (<https://doi.org/10.1080/15459624.2013.863131>)
- World Health Organization(WHO). Occupational carcinogens. Environmental burden of diseases series, No. 6. Geneva. 2004
- Workplaces Safety and Health(WSH) Institute. Global estimates of occupational accidents and work-related illnesses 2017. Ministry of Social Affairs and Health, Finland. 2017 [Accessed 2021 Dec 25]; Available from: URL: <http://www.icohweb.org/site/images/news/pdf/Report%20Global%20Estimate%20of%20Occupational%20Accidents%20and%20Work-related%20Illnesses%202017%20rev1.pdf>

<저자정보>

이원진(교수), 윤충식(교수), 이해진(연구위원), 정지연(교수), 이경희(산업위생 전문가), 정원건(박사과정, 전문연구원), 박미진(연구교수)

Supplementary Table 1. Number of cancer incidence(2016) and death(2017) cases in South Korea

| Cancer site (ICD-10) | Incidence | | Death | |
|--------------------------------------|-----------|---------|--------|--------|
| | Men | Women | Men | Women |
| Lip (C00) | 22 | 20 | 3 | 6 |
| Tongue (C01-C02) | 545 | 286 | 143 | 72 |
| Mouth (C03-C06) | 431 | 257 | 165 | 91 |
| Salivary glands (C07-C08) | 321 | 248 | 88 | 51 |
| Tonsil (C09) | 397 | 65 | 88 | 5 |
| Oropharynx (C10) | 99 | 11 | 53 | 1 |
| Nasopharynx (C11) | 309 | 99 | 139 | 33 |
| Hypopharynx (C12-C13) | 376 | 23 | 234 | 10 |
| Pharynx, unspecified (C14) | 27 | 7 | 15 | 2 |
| Oesophagus (C15) | 2,245 | 254 | 1,290 | 133 |
| Stomach (C16) | 20,509 | 9,995 | 5,166 | 2,868 |
| Small intestine (C17) | 533 | 361 | 179 | 101 |
| Colon (C18) | 9,271 | 7,292 | 2,786 | 2,407 |
| Rectum (C19-C20) | 7,401 | 4,163 | 2,195 | 1,303 |
| Anus (C21) | 108 | 188 | 28 | 47 |
| Liver (C22) | 11,774 | 3,997 | 7,982 | 2,739 |
| Gallbladder (C23-C24) | 3,490 | 3,195 | 2,392 | 2,325 |
| Pancreas (C25) | 3,384 | 3,271 | 2,976 | 2,806 |
| Nose, Sinuses (C30-C31) | 211 | 137 | 90 | 67 |
| Larynx (C32) | 1,101 | 66 | 349 | 23 |
| Lung (C33-C34) | 17,790 | 7,990 | 13,272 | 4,708 |
| Other thoracic organs (C37-C38) | 471 | 325 | 122 | 77 |
| Bone (C40-C41) | 311 | 222 | 102 | 66 |
| Melanoma (C43) | 261 | 343 | 148 | 138 |
| Other skin (C44) | 2,412 | 3,212 | 107 | 143 |
| Mesothelioma (C45) | 92 | 45 | 86 | 34 |
| Kaposi's sarcoma (C46) | 43 | 17 | 9 | 1 |
| Connective and soft tissue (C47+C49) | 610 | 478 | 202 | 152 |
| Breast (C50) | 92 | 21,747 | 20 | 2,497 |
| Vulva (C51) | 0 | 161 | 0 | 36 |
| Vagina (C52) | 0 | 80 | 0 | 35 |
| Cervix uteri (C53) | 0 | 3,566 | 0 | 868 |
| Corpus uteri (C54) | 0 | 2,771 | 0 | 320 |
| Uterus, unspecified (C55) | 0 | 152 | 0 | 91 |
| Ovary (C56) | 0 | 2,630 | 0 | 1,149 |
| Other female genital organs (C57) | 0 | 150 | 0 | 48 |
| Placenta (C58) | 0 | 35 | 0 | 0 |
| Penis (C60) | 82 | 0 | 22 | 0 |
| Prostate (C61) | 11,800 | 0 | 1,821 | 0 |
| Testis (C62) | 288 | 0 | 15 | 0 |
| Other male genital organs (C63) | 85 | 0 | 1 | 0 |
| Kidney (C64) | 3,410 | 1,633 | 687 | 313 |
| Renal pelvis (C65) | 394 | 153 | 130 | 79 |
| Ureter (C66) | 371 | 216 | 156 | 100 |
| Bladder (C67) | 3,488 | 873 | 1,100 | 338 |
| Other urinary organs (C68) | 111 | 66 | 27 | 35 |
| Eye (C69) | 74 | 61 | 11 | 12 |
| Brain and CNS (C70-C72) | 1,104 | 911 | 738 | 581 |
| Thyroid (C73) | 5,538 | 20,513 | 111 | 258 |
| Adrenal gland (C74) | 67 | 76 | 37 | 28 |
| Other endocrine (C75) | 61 | 49 | 6 | 5 |
| Hodgkin lymphoma (C81) | 202 | 110 | 43 | 12 |
| Non-Hodgkin lymphoma (C82-C86, C96) | 2,766 | 2,000 | 1,090 | 842 |
| Immunoproliferative diseases (C88) | 580 | 584 | 11 | 5 |
| Multiple myeloma (C90) | 837 | 698 | 512 | 452 |
| Lymphoid leukaemia (C91) | 484 | 377 | 186 | 144 |
| Myeloid leukaemia (C92-C94) | 1,375 | 911 | 753 | 547 |
| Leukaemia unspecified (C95) | 132 | 137 | 103 | 101 |
| Remainder (Re. C00-C96) | 863 | 885 | 877 | 692 |
| Total (C00-C96) | 118,748 | 108,112 | 48,866 | 29,997 |