

혈중 중금속의 사회·경제적 질병비용 추정

진 현 정
(중앙대학교)

조 성 민*
(중앙대학교)

위해물질의 관리 및 규제는 소비자의 효용 증대와 질병비용 부담 감소뿐만 아니라 정부의 질병비용을 줄이는 효과가 있다. 따라서 해당 위해물질의 사회·경제적 질병비용에 대한 예측은 관련 식품 및 보건 정책에 필수적이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 식품을 통한 납, 카드뮴, 비소 섭취에 따른 질병과 관련된 사회·경제적 비용을 분석하였다. 이를 위해 이 세 가지 중금속과 관련된 질병들의 목록을 도출하고, 중금속 평균 혈중 농도와 질병들의 연관성을 추정하였다. 그리고 질병비용추정법을 이용하여 선별된 각 질병들이 야기하는 직·간접 질병비용을 도출하고, 세 가지 중금속의 혈중 평균 농도가 야기하는 총 질병비용을 도출하였다. 연구 결과 납의 경우 만성질환 중 4가지, 카드뮴은 6가지 그리고 비소는 5가지 질병의 유병률에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났고, 이러한 질병들이 야기하는 총 질병비용은 약 23조 7천억원 정도로 추정되었다. 또한 우리나라 국민들의 납, 카드뮴, 비소 평균 혈중 농도가 야기하는 총 질병비용은 카드뮴이 346.8억원, 비소 341.9억원, 납 165.0억원으로 나타났다. 이 결과는 중금속으로 인한 질병비용에 대한 보다 정밀화된 정보를 제공하고, 더 나아가 안전하고 건강한 식품을 위한 정책 효과를 가늠하는데 활용될 수 있을 것으로 여겨진다.

주요 용어: 식품안전, 위해물질, 중금속, 질병비용추정법, 사회·경제적비용

이 논문은 2016년도 식품의약품안전처의 연구개발비와 2016년도 중앙대학교 CAU GRS 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

* 교신저자: 조성민, 중앙대학교(feel3237@cau.ac.kr)

■ 투고일: 2016.10.31 ■ 수정일: 2016.12.12 ■ 게재확정일: 2016.12.14

I. 서론

음식과 식재료에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으며, 안전하고 건강한 먹거리에 대한 국민의 기대와 요구는 갈수록 증대되고 있다. 이에 정부는 식품안전 강화를 위한 각종 정책을 수립하여 수행하고 있다. 이러한 정책의 일환으로 식품 내 중금속 관련 기준을 설정하고 이에 준하여 검사를 실시하고 있으며, 기존의 기준을 강화하거나 혹은 기준이 없던 식품에 대해 기준 신설을 검토하고 있다.

식품안전과 관련된 규제는 대부분 그 편익이 소비자의 안심 제고로 인한 효용 증대와 질병/사망 확률 감소로 나타난다. 개인의 질병 감소는 진료비와 입원비에 대한 개인의 부담뿐만 아니라 관련비용의 정부 부담까지 감소시키는 효과가 있다. 즉, 질병 감소는 개인의 질병에 대한 부담, 작업손실, 사망으로 인한 미래 소득 손실뿐만 아니라 정부의 질병비용도 줄이는 효과가 있다. 따라서 기존의 신설 및 변경으로 인해 사회·경제적 질병비용이 얼마나 낮아질지에 대한 예측은 매우 중요한 작업이라 할 수 있다. 이러한 예측을 위해서는 기존의 신설 및 변경이 국민의 평균 체내 중금속을 얼마나 낮춰줄지 그리고 기존의 관련 질병이 야기하는 사회·경제적 질병비용은 어느 정도인지에 대한 정보가 필요하다. 즉, 중금속과 관련이 있는 질병들이 야기하는 사회·경제적 질병비용과 현재 체내 중금속이 이러한 질병비용 중 어느 정도를 야기하고 있는지 등에 대한 연구는 향후 관련 정책의 효과를 가늠할 수 있는 중요한 자료라 할 수 있다.

본 연구는 현재 식품의약품안전처에서 관심을 가지고 관리하고자 하는 중금속인 납, 카드뮴, 비소로 인한 사회·경제적 질병비용을 도출하는데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 납, 카드뮴, 비소와 관련 있다고 제시되는 질병들과 우리나라 국민들의 이 세 가지 중금속 평균 혈중 농도와의 관계를 추정하고자 한다. 추정 결과를 이용하여 각각의 중금속이 어떠한 질병과 관련이 있고, 해당 질병의 유병률과 이로 인한 사망확률을 얼마나 높이는가를 도출하고, 이를 바탕으로 이 세 가지 중금속의 혈중 농도가 어느 정도의 사회·경제적 질병비용을 야기하고 있는지를 분석하고자 한다. 사회·경제적 비용 추정에는 질병비용추정법(COI: cost-of-illness)을 이용하고자 한다. 이 추정법은 식품의 위해물질로 인한 질병이나 사망 사건의 발생 시 소요되는 질병 또는 사망 비용을 구체적인 보건비용에 근거하여 측정하는 방법론인데, 여기서 얻어진 수치를 위해물질 관리 실시에 따른 사회

적 기대편익으로 해석할 수 있다. 그러나 위해요소와 관련된 질병자료가 부족할 경우 정확한 측정이 어려우며, 국민의 여가 및 정신적 고통 등에 해당되는 비용 이 포함되지 않기 때문에 위해관리에 따른 사회적 편익의 하한으로 활용되는 경우가 많다.

해외문헌 중 위해요인으로 인한 질병비용을 분석한 연구로는 치매의 질병비용 추정(Rice et al., 1993), 음식 알레르기에 따른 질병비용 추정(Fox et al., 2013), 식이섬유 섭취에 따른 변비 감소와 이에 따른 연간 질병비용 감소 효과 추정(Adbullah et al., 2015), 만성통증에 따른 질병비용 추정(Azevedo et al., 2016) 등이 있다. 국내에서 식품 유해물질과 관련된 주제에 질병비용추정법을 적용한 연구들로는 참기름 벤조피렌 관리에 대한 비용 편익분석(이효민 등, 2009), 나트륨 섭취량 감소 정책의 비용 편익분석(이철희 등, 2012), 식중독의 사회·경제적 비용 추정(신호성 등, 2010), 삶의 질 개념을 적용한 특정 질병의 비용 추정(Lee et al., 2014) 등이 있다. 그러나 중금속의 독성에 대해 과학적으로 접근한 기존연구는 많은 반면에, 중금속 섭취로 인한 사회·경제적 비용을 분석한 연구는 현재까지 없는 것으로 나타나고 있다. 즉, 중금속의 위험성이 입증되고 있음에도 불구하고 중금속 섭취와 관련된 식품 및 보건정책의 근거 및 기초자료가 부족한 실정인 것이다. 본 연구는 질병비용추정법을 통해 중금속이 야기하는 주요 만성 질환들의 사회·경제적 비용의 하한을 추정하여 식품 및 보건분야에서 중금속 관리에 대한 근거를 제시하는데 의미가 있다. 나아가 본 연구의 결과는 다양한 유해물질과 관련된 질병비용을 추정하는 후속연구들의 참고자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

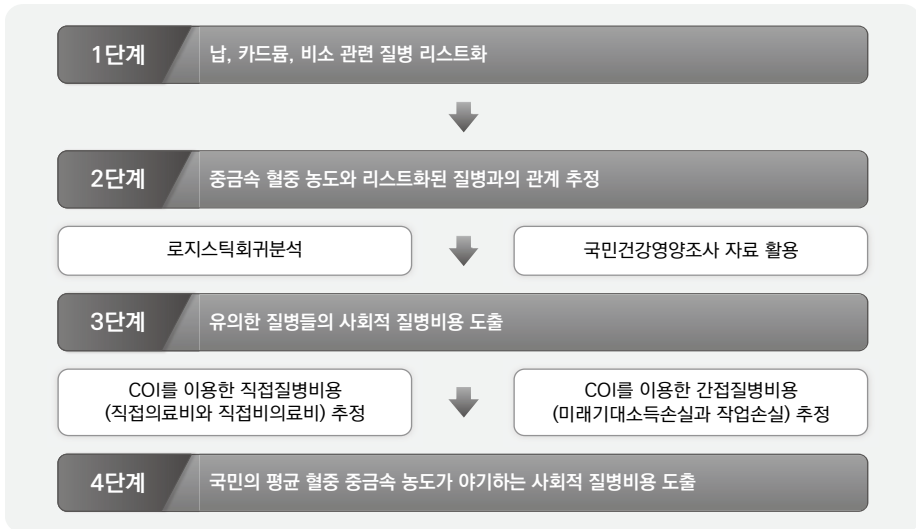
II. 연구 모형 및 분석 과정

1. 연구 과정 및 방법

분석 절차가 [그림 1]에 제시되어 있다. 먼저 1단계로 기존 연구 및 보고서에서 납, 카드뮴, 비소와 관련이 있다고 제시된 질병들의 목록을 도출하고자 한다. 2단계는 인체 납, 카드뮴, 비소의 농도와 1단계에서 목록에 포함된 질병들과의 관계를 추정하고자 한다. 이를 위해 「국민건강영양조사(KNHANES, Korean National Health And

Nutrition Examination Survey)』자료에 제시된 각종 질병 유무와 각 중금속 혈중 농도를 이용하여 로지스틱회귀분석을 실시하고자 한다. 여기서 제시된 결과를 바탕으로 혈중 농도가 유의한 영향을 미치는 것으로 나타난 질병들을 선별하고자 한다.

그림 1. 분석 과정 및 방법 요약



3단계는 질병비용추정법을 이용하여 이 질병들이 일으키는 직·간접적인 사회·경제적 질병비용을 도출하고자 한다. 질병비용은 직접비용과 간접비용으로 나누어 추정하고자 하는데, 직접비용에는 입원과 외래진료비 및 약제비를 포함한 직접의료비 그리고 교통비와 간병비를 포함한 직접비(非)의료비를 포함하고, 간접비용에는 질병으로 인한 미래기대소득손실과 작업손실비용을 포함하고자 한다. 4단계는 우리나라 국민의 평균 혈중 중금속 농도가 야기하는 사회적 총 질병비용을 추정하고자 한다.

2. 질병비용추정법

질병비용추정법(COI: cost-of-illness)은 식품의 위해물질로 인한 질병이나 사망 발생 시 질병으로 인한 직접비용 및 작업 장애와 사망으로 인한 간접비용을 측정하는 접근법이다. 구체적인 보건비용에 근거한 사회적 편익 계측법으로, 정부규제나 프로그램을 평

가하기 위한 비용 혹은 편익분석에 유용하다는 장점을 지닌다.

국외의 경우 비교적 일찍부터 보건정책 의사결정을 위한 질병비용 추정 및 방법론에 대한 연구(Rice, 1967; Shiell et al., 1987; Behrens and Henke, 1988; Ament and Evers, 1993)가 시작되었고, 특히 간접비용 추정에 관한 논의가 활발히 이루어져 왔다(Koopmanschap et al., 1995). 그리고 최근까지 질병비용추정 체계화와 표준화에 관한 토의가 진행 중에 있다(Tarricone, 2006; Onukwugha et al., 2016). 이 방법론을 통해 각종 질병에 대한 사회·경제적 비용을 추정하려는 시도가 Malone 등(1997), Borghouts 등(1999), Weiss 등(2000), Bassi 등(2004), Franke 등(2009), Sonja 등(2011)의 연구에서 이루어져 왔다.

국내의 경우 이계임 등(2007), 김정선 등(2013), 황지윤 등(2015)에서 위해물질과 관련된 비용·편익분석을 위한 질병비용추정법 제시 및 사례 고찰 등이 이루어졌다. 그리고 김한중 등(2001), 정영호와 고숙자(2004), 안병철 등(2005), 이효민 등(2009), 정영호 등(2010), 신호성 등(2010), 이철희 등(2012), Lee 등(2014)에서 질병비용추정법을 활용해 위해요인과 관련된 주요 만성질환에 대한 사회·경제적 비용 분석을 시도하였다.

전술한 바와 같이, 이 방법론은 여러 가지 장점에도 불구하고 위해요소와 관련된 질병에 대한 자료가 부족할 경우 정확한 측정이 어려우며, 여가 및 정신적 고통 등과 관련된 비용 등의 계측에는 한계를 드러내고 있다. 식품유해물질과 관련된 사회적비용을 추정하는데 이 방법론을 활용할 경우, 식중독과 같이 인과관계가 비교적 분명하고 피해범위가 넓은 경우 적용이 상대적으로 쉬우나, 화학적 위해물질의 경우와 같이 인체의 신경계·소화계 등에 동시다발적으로 영향을 미치며 다년간의 축적에 의해 반응이 나타나는 경우 적용이 어렵다는 단점이 있다.

3. 추정 과정

가. 로지스틱회귀분석

본 연구의 두 번째 단계에 해당되는 중금속 혈중 농도와 질병 유병률과의 관계를 도출하기 위해 이항로지스틱회귀분석을 실시하였다. 「국민건강영양조사」에 포함된 질병들 중 고혈압, 고지혈증, 뇌졸중, 심근경색증, 협심증, 폐결핵, 천식, 아토피피부염,

신부전, 당뇨병, 갑상선장애, 위암, 간암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 폐암 등 납, 카드뮴, 혹은 비소와 관련 있다고 제시된 질병의 유병 여부 혹은 의사진단 유무를 종속변수로 하였으며, 모형은 다음과 같이 설정하였다.

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \beta X_i + \delta Z_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

여기서 P_i 는 개별 응답자가 특정 질병에 걸릴 확률, X_i 는 응답자의 혈중 특정 중금속 농도, Z_i 는 응답자의 사회·경제적 변수, 그리고 ε_i 는 오차항을 의미한다. 설명변수는 신지에 등(2012)의 연구를 바탕으로 혈중 납, 카드뮴, 혹은 비소 농도와 인구사회변수인 연령, 교육수준, 월평균 가구소득, 흡연 여부, 음주 정도, 체질량지수(BMI)를 포함하였다.

<표 1>에 분석에 사용된 종속변수 및 독립변수에 대한 설명이 제시되어 있다. 종속변수는 「국민건강영양조사」에서 조사된 각종 만성질환들의 유무인데, 고혈압의 경우 유병 여부 조사에서 ‘있음’을 응답하였거나, 수축기 혈압이 140 mmHg 이상, 이완기 혈압이 90 mmHg 이상 또는 의사로부터 고혈압으로 진단 받은 자 혹은 혈압조절제를 복용하고 있는 자로 정의하였다. 이 외 고지혈증, 뇌졸중, 심근경색증, 협심증, 폐결핵, 천식, 아토피피부염, 신부전, 당뇨병, 갑상선장애, 위암, 간암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 폐암의 경우에는 유병여부 조사에서 ‘있음’을 응답하였거나, 의사로부터 해당 질병을 진단 받은 자를 해당질병의 유병자로 정의하였다.

설명변수 중 혈중 납, 카드뮴, 혹은 비소 농도 측정은 본 연구에 포함된 「국민건강영양조사」 4, 5, 6기 모두 네오딘화학연구소에 의해 수행되었다. 비소의 경우 소변을 채취하고, 납과 카드뮴의 경우 혈액을 채취하여 혈중 농도를 원자흡광도법(Perkin-Elmer Analyst 600, Perkin-Elmer, Finland)으로 측정되었다. 연령은 자료에 입력된 만 연령을 활용하였고, 교육수준은 ‘초등학교 졸업 이하’, ‘중학교 졸업’, ‘고등학교 졸업’, ‘대학교 졸업(전문대학교 졸업 포함) 이상’ 네 가지 카테고리로 구분하였다. 월평균 가구소득은 자료에 입력된 만원 단위의 값을 활용하였으며, 체질량지수(BMI, kg/m²)는 자료에 입력된 BMI 절대 값을 활용하였다. 흡연 여부는 ‘비 흡연군’, ‘과거 흡연군’, ‘현재 흡연군’ 세 가지 카테고리, 음주 정도는 ‘거의 마시지 않음’, ‘한 달 1회 미만’, ‘한 달 1회 정도’, ‘한 달 2-4회 정도’, ‘주 2-3회 정도’, ‘주 4회 이상’ 여섯 개 카테고리로 분류하였다.

표 1. 분석에 사용된 변수에 대한 설명

| 변수의 성격 | 변수명 | 변수 설명 | 비고 (단위 혹은 범주형 자료의 숫자의 의미) |
|--------|--|--|--|
| 종속변수 | 고혈압, 고지혈증, 뇌졸중, 심근경색증, 협심증/폐결핵, 천식/아토피피부염/신부전, 당뇨병/갑상선장애/위암, 간암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 폐암 중 특정 중금속과 관련 있다고 제시된 질병 | 유병 여부, 의사 진단 유무, 혈압조절제 유무, 최종 수축기혈압 140 이완기 90이상 여부로 유무 결정 | {0, 무}, {1, 유} |
| 독립변수 | 혈중 납, 카드뮴, 혹은 비소 농도 | 원자흡광광도법, GFAAS | 단위 : 납 µg/dL, 카드뮴 µg/L, 비소 µg/g_cr |
| | 나이 | 만 나이 | 단위: 세 |
| | 교육수준 | 교육수준 재분류 서열변수화 | {1, 초졸 이하}, {2, 중졸}, {3, 고졸}, {4, 대졸 이상} |
| | 소득 | 월평균 가구총소득 | 단위: 만원 |
| | 흡연 여부 | 비흡연군, 현재 흡연군, 과거 흡연군으로 구분 | {0, 비흡연}, {1, 현재 흡연}, {2, 과거 흡연} |
| | 음주 정도 | 무음주 ~ 주 4회 이상으로 구분 | {0, 무음주}, {1, 최근 1년 간 전혀 마시지 않았다}, {2, 월 1회 미만}, {3, 월 1회 정도}, {4, 월 2-3회}, {5, 주 2-3회 정도}, {6, 주 4회 이상} |
| | HE_BMI | 체질량지수 | 단위: kg/m ² |

나. 직접비용 추정 방법

질병비용 중 직접비용 계산식 도출을 위해 안병철과 정효지(2005) 이철희 등(2012), Borghouts 등(1999), Weiss 등(2000), Franke 등(2009), Sonja 등(2011), 김한중 등(2001), 정영호와 고숙자(2004), 정영호 등(2009)과 같은 기존연구를 참고하였다. 국내 기존연구의 경우 약재비를 직접비용에 포함하지 않은 경우도 있으나, 국외문헌의 경우 약재비를 대부분 포함하고 있다. 현재 국내의 경우 약재비가 직접비용에서 차지하는 비중이 크기 때문에, 본 연구에서는 이를 포함하여 분석하였다. 직접비용 도출을 위한 계산식이 아래와 같이 식(2)에 제시되어 있다.

$$DCOI = \sum_{a=1}^n \left[\left\{ \frac{E^a}{(1-\alpha)} + \frac{OE^a}{(1-\beta)} + \frac{M^a}{(1-\gamma)} \right\} + (O^a \times OM + N^a \times NM) + (N^a \times I) \right] \quad (2)$$

여기서 $DCOI$ 는 직접질병비용(direct cost of illness)을 의미하고, a 는 중금속이 유발한 질병의 종류, α 는 입원비급여 본인 부담률, β 는 외래비급여 본인 부담률, γ 는 제약비급여 본인 부담률, E^a 는 a 질병이 유발한 연간 총입원진료비, OE^a 는 a 질병이 유발한 연간 총외래진료비, M^a 는 a 질병이 유발한 연간 총제약비, O^a 는 a 질병이 유발한 연간 외래환자 수, OM 는 연평균 외래환자당 왕복 교통비, N^a 는 a 질병이 유발한 연간 입원환자 수, NM 는 연평균 입원환자당 왕복 교통비, I 는 연평균 입원환자당 간병비를 의미한다. 식(2)를 통해 특정 중금속이 유발한 질병들로 인한 직접의료비용과 직접비의료비용을 추정할 수 있다.

직접의료비용은 질병 치료를 위해 소요되는 총 진료비와 제약비가 포함되고, 총 진료비는 입원 및 외래진료비로 구분된 질병별 진료비로 구성된다. ‘건강보험급여심사’ 자료에서 제시하는 진료비에는 비급여 본인 부담금이 포함되지 않고, 공단 부담금과 법정 본인 부담금만 포함된다. 따라서 이는 총 진료비라고 보기 어렵기 때문에, 비급여 본인 부담률을 이용해 진료비를 보정하여 질병별로 국가와 개인이 부담하는 총진료비를 추정하였다. 제약비에는 의사의 처방 없이 구입할 수 있는 일반의약품(over the counter: OTC) 비용과 비급여 의약품 비용은 포함하지 않았다. 한편, 직접의료비용에 만성 합병증 비용이나 응급실 비용 등은 자료의 한계로 인하여 포함하지 못하였다.

직접비의료비에는 교통비와 간병비가 포함되었다. 교통비의 경우 의료를 위한 교통비와 관련되어 가장 최근 자료인 ‘국민건강영양조사-의료이용’(2005)에 제시된 입원 및 외래방문 환자들의 평균 교통비를 소비자물가지수(보건)를 반영하여 2015년 가치로 전환한 후, 여기에 진료실 인원 및 입원실 인원을 곱하여 질병별 총액을 추계하였다. 입원환자 간병비 역시 해당 비용에 대한 가장 최근 자료인 ‘국민건강영양조사-의료이용’(2005)의 연간 평균 간병비에 소비자물가지수(보건)를 반영하여 2015년 가치로 전환한 후, 입원실 인원을 곱하여 총액을 추계하였다.

마지막으로 질병별로 구한 직접의료비와 직접비의료비를 질병 전체에 대해 총합하여 특정 중금속과 관련된 질병이 야기하는 사회적 총 직접질병비용을 추계하였다.

다. 간접비용 추정 방법

간접질병비용 중 조기사망에 따른 소득 손실액 계산을 위해 본 연구에서는 김한중 등(2001), 정영호와 고숙자(2004), 정영호 등(2009)과 같은 기존연구에 바탕을 두고 아래 식(3)을 유도하였다.

$$ICPD = \sum_{a=1}^n \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 \left[D_{ij}^a \times \left(I_{ij} \times 5 \times H_{ij} + \sum_{j=j+1}^5 (I_{ij} \times 10 \times H_{ij}) \right) \right] \quad (3)$$

여기서 $ICPD$ 는 조기사망으로 인한 간접질병비용(indirect cost of illness due to premature death)을 의미하고, i 는 성별, j 는 연령대, a 는 중금속이 유발한 질병의 종류, D_{ij}^a 는 특정질병의 성별 연령대별 사망자 수, I_{ij} 는 성별 연령대별 연평균 기대소득, H_{ij} 는 경제활동참가율(ρ_{ij})과 취업률(e_{ij})에 의해 산출된 고용률을 의미한다.

식(3)을 통해 특정 중금속과 연관 있는 질병들로 인해 사망한 사람들이 조기사망하지 않고 생산활동 가능 기간까지 건강하게 살 경우 벌어들일 수 있는 미래 기대소득을 구할 수 있다. 본 연구에서는 0~19세 그리고 70세 이후에는 경제적 생산활동에 참여하지 않는다고 가정한 후, 성별, 연령별 해당 질병의 사망자 수에 그 사망자 집단의 연령별 기대수명 연수와 연평균 기대소득을 곱하여 얻은 '기대소득손실액'을 질병별로 구하였다. 이렇게 질병별로 구해진 값들 모두 합하여 총 미래소득손실액(조기사망비용)을 추계하였다. 이 때, 근로소득만 고려하기 위해 성별·연령별 '고용률'을 적용하였다.

『한국노동패널조사』, 『중고령자부가조사(2003)』에는 평균 퇴직연령이 약 54세로 제시되고 있으나, 다소 오래전 자료이고 일반 노동자들이 어느 연령까지 소득을 번다는 기준에 대한 자료가 없는 상황이다. 본 연구에서는 현재 퇴직 후에도 경제활동이 다소 이루어지고 있는 현상을 반영하여 60대도 분석에 포함하였다. 만일 특정 연령대에서 사망하는 경우 해당 연령대의 기대여명은 10년 중 평균에 해당되는 5년으로 가정하였으며, 그 후 60대까지는 연령대별 기대여명을 10년으로 가정하였다. 따라서 만일 어떤 시민이 40대에 본 연구의 목록에 있는 질병 중 하나로 인해 사망한다고 가정하는 경우, 40대에서는 기대여명 5년에 그 연령대 평균임금을 곱하여 조기사망으로 인해 40대에 발생한 미래소득손실액을 추계하고, 다음으로 50대와 60대는 각각 10년에 해당연령대 평균임

금을 곱하여 조기사망으로 인한 50대와 60대 미래소득손실액을 추계하였다.

식(3)은 미래에 발생하는 기대소득을 의미하기 때문에, 성별·연령대별 평균임금이 물가상승률만큼 지속적으로 상승한다고 가정하여 이를 반영할 필요가 있다. 또한 관련 질병으로 2015년에 사망한 사람들의 미래소득손실을 추정하는 것이기 때문에, 구해진 미래소득손실액을 2015년 기준으로 다시 현재가치(NPV: net present value)화하는 작업이 필요하다. 현재가치화를 위한 할인율 선정에 있어서 만일 주어진 기간의 평균 물가상승률을 이용한다고 가정하면, 결국에는 두 가지 반대 방향의 계산이 서로 상쇄된다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 물가상승률을 식(3)에 따로 반영하지 않았다.

간접비용 중 특정 중금속과 관련된 질병으로 인해 발생하는 작업손실비용은 김한중 등(2001), 정영호와 고숙자(2004), 정영호 등(2009)과 같은 기존연구에 바탕을 두고 다음과 같이 식(4)를 이용하여 도출하였다.

$$ICLP = \sum_{a=1}^n \sum_{i=1}^2 \left((DE_i^a \times HI_i \times \delta \times LH \times H_i) + (DOE_i^a \times DI_i \times H_i) \right) \quad (4)$$

여기서 $ICLP$ 는 질병 때문에 생산에 참여하지 못하여 발생한 임금이나 기타소득 손실인 작업손실비용(indirect cost of illness due to loss of productivity), i 는 성별, a 는 중금속이 유발한 n 종의 질병, DE_i^a 는 외래내원일수, HI_i 는 공휴일 조정 시간당 평균임금, δ 는 입원 대비 외래 생산성 손실률(1/3로 가정), LH 는 하루 평균 근로시간(8시간으로 가정), H_i 는 고용률, DOE_i^a 는 입원내원일수, DI_i 는 공휴일 조정 일일 평균임금을 의미한다.

식(4)를 통해 질병 진단 및 치료를 위한 외래방문 및 입원으로 인해 손실된 시간 혹은 일수에 해당되는 근로소득을 산출할 수 있다. 외래방문과 입원의 경우 각각 손실된 근로시간이 다르기 때문에, 두 가지 경우를 나누어서 해당 작업손실비용을 계산한 후 합계하였다. 외래방문으로 인한 작업손실비용은 각 성별로 외래 내원일수에 공휴일 조정 시간당 평균임금과 입원 대비 외래방문 생산성 손실률(1/3)을 고려한 하루 평균 근로시간 손실을 곱하여 산출하였다. 이 손실률은 외래 3회를 입원 1일과 동등하게 설정한 노인철 등(1997), 정영호와 고숙자(2004), 정영호 등(2009)의 연구를 참고하였다. 성별의 경우 각각의 고용률을 따로 적용하였다. 해당 질병의 입원으로 인한 작업손실비용은

각 성별 입원 내원일수에 공휴일 조정 일일 평균임금을 곱하여 산출하였다. 외래방문 경우와 마찬가지로 성별에 대해 각각의 고용률을 따로 적용하였다.

외래방문으로 인한 작업손실비용과 입원으로 인한 작업손실비용을 더한 것이 해당 질병의 작업손실비용이며, 관련 질병 모두에 걸쳐 이 값을 합계한 것이 총 작업손실비용이 된다.

IV. 연구 결과

1. 중금속과 질병과의 관계

미국 환경보호청(EPA, US Environmental Protection Agency)에서는 중금속별 발암력 평가 기준을 제공하고 있으나, 이 자료를 이용하여 체내 특정 중금속의 농도가 얼마만큼 어떤 질병의 확률을 높이는가를 도출하는 것은 불가능한 상황이다. 국내의 경우 한국식품안전연구원 '정보마당'에서 사전편찬식으로 식품의약품안전처와 한국식품안전연구원에서 제공한 유해물질별 정의, 생성원, 이화학적 특성, 관련 질병, 민감 집단, 오염 경로, 국내의 기준·규격 등을 요약하여 제공하고 있다. 또한 식품의약품안전처 「식품안전정보포털」 '유해물질총서'에는 각 유해물질별 개요, 위해평가, 위해정보 교류, 유해관리 현황 등을 제공하고 있다. 특히 '위해 평가·독성' 부문에서 중금속의 신체 기관별 영향에 관해 식품의약품안전처 자료 및 기존연구들을 정리하여 정보를 제공하고 있으며, '위해정보 교류' 부문에서는 해당 유해물질의 국가별 이슈 및 정보를 제공하고 있다.

표 2. 납, 카드뮴, 비소와 관련된 질병

| 중금속 | 유해물질총서의 유해 독성영역(질병) | 국민건강영양조사 관련 질병 |
|-----|---|---|
| 납 | 호흡계 (폐부종) | 폐결핵 |
| | 심혈관계 (고혈압) | 고혈압, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증 |
| | 근골격계 (근육 약화, 경련, 관절 통증) | 관절염, 골관절염, 류마티스성 관절염 |
| | 신장관련 | 신부전, 당뇨병 |
| | 신경계 (말초 신경계) | - |
| | 발암 (위암) | 위암, 간암, 대장암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 폐암, 갑상선암, |
| 카드뮴 | 심혈관계 이상 (고혈압, 말초동맥질환) | 고혈압, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증 |
| | 근골격계 (골연화증, 골다공증, 골절, 골밀도 감소) | 관절염, 골관절염, 류마티스성관절염 |
| | 신장관련 | 신부전, 당뇨병 |
| | 발암(폐암) | 폐암 위암, 간암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 갑상선암 |
| 비소 | 호흡계 (호흡곤란, 출혈성 기관지염, 폐부종) | 폐결핵, 천식 |
| | 심혈관계 (탈분극, 심장성 부정맥, 허혈성심질환, 검은발 질환, 레이노병, 손 발가락의 청색증과 고혈압, 혈관의 두꺼워짐 및 폐색 (occlusion) 등) | 고혈압, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증 |
| | 신장관련 | 신부전, 당뇨병 |
| | 피부관련 (각화항진(hyperkeratinization), 각화항진 티눈 또는 사마귀 다수 형성, 피부 이곳저곳의 과다색소침착 등) | 아토피피부염 |
| | 신경계 (말초 신경계) | - |
| | 발암 (피부암) | 폐암, 위암, 간암, 대장암, 대장암, 유방암, 자궁경부암, 갑상선암 |

자료: 유해물질총서, 식품의약품안전처 식품안전정보포털, 2010.

납은 2007년 US ATSDR(Agency fir Toxic Substances and Disease Registry)의 주요 위험물질 목록에서 2위를 차지했고, 납의 유해한 영향, 특히 급성 독성에 대해서는 오래 전부터 알려져 왔다. 유해물질총서(2010)에 따르면, 납은 호흡기, 심혈관계, 혈액, 근골격계, 간, 신장, 내분비계 질병뿐만 아니라 암의 유발하는 물질로 제시되고 있다.¹⁾ 그러

1) 이 자료는 Hillam 등(1986)이 제시한 폐부종, EPA (1986), Batuman 등(1989)이 제시한 고혈압,

므로 본 연구의 국민건강영양조사 중 폐결핵, 고혈압, 고지혈증, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증, 관절염, 골관절염, 류마티스성 관절염, 각종 암과 연관이 있는 것으로 볼 수 있다.

카드뭴은 1급 발암물질로 지정된 유독 중금속 물질로, 유해물질총서(2010)에 따르면, 심혈관계, 근골격계, 신장 관련 질병을 유발하며 특히 폐암을 유발하는 물질로 알려져 있다.²⁾ 따라서 고혈압, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증, 관절염, 골관절염, 류마티스성관절염, 신부전, 각종 암과 연관성을 가지는 것으로 볼 수 있다.

비소는 주로 식품 섭취를 통해 체내조직에 분포하게 되며, 여러 기관 및 조직에서 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다. 유해물질총서(2010)에 따르면, 비소는 호흡계, 심혈관계, 신장, 내분비계, 피부, 신경계 관련 질병 및 암(특히, 피부암)을 유발하는 것으로 제시되고 있다.³⁾ 따라서 비소는 폐결핵, 천식, 고혈압, 이상지혈증, 뇌졸중, 심근경색, 협심증, 신부전, 당뇨병, 아토피피부염, 갑상선장애, 각종 암과 연관을 지닌다고 볼 수 있다.

2. 중금속과 유병률과의 관계 추정

중금속 관련 질병의 목록을 도출한 후, 국민건강영양조사 자료를 이용하여 납, 카드뭴, 비소의 혈중 농도와 <표 2>에 제시된 질병들과의 연관성에 대해 분석하였다. 추정에 사용된 자료는 <표 3>에 제시된 바와 같다. 총 응답자 중 20세 이상 성인이면서 혈압,

Hu 등(1996)이 제시한 근육 약화, 경련, 관절 통증; EPA(1986a), NAS(1972)가 제시한 뇌관련 질병; Araki 등(1980), Davis 등(1990)이 제시한 인지능력 저하, 학습 장애, 운동 신경 장애, 근육 약화, 경련, 관절 통증, 핵포함체(nuclear inclusion bodies) 형성, 미토콘드리아 변화, 세포거대(cytomegaly)에 의해 단백질, 당노, 인산노에 의한 저인산혈증, 나트륨 배설 증가, 요산 배설 감소; Wong 등(2000), Fanning(1988), Steenland 등(1992), Cocco 등(1997), Gerhardsson 등(1986)이 제시한 폐암 및 위암; IARC(2006)가 제시한 신장암, 뇌, 조혈기관계 폐의 종양발생 가능성에 근거를 두고 있다.

2) Navas-Acien 등(2005)이 제시한 말초동맥질환(peripheral arterial disease, PAD); ATSDR(2008)이 제시한 고혈압, 골연화증, 골다공증, 골절, 골밀도 감소, 단백질, 세노관 손상, IARC의 인체 발암물질로의 구분, EFSA(2009)가 제시한 폐암 발생 가능성에 근거를 두고 있다.

3) ATSDR(2007)이 제시한 호흡기관, 출혈성 기관지염, 폐부종, 심근 탈분극, 심장성 부정맥, 허혈성심질환, 고혈압, 레이노병, 손발가락의 청색증과 고혈압, 혈관의 두꺼워짐 및 폐색(occlusion), 단백질, 당뇨병, 자극 및 접촉성피부염, 말초신경병증(peripheral neuropathy); IARC(1987)가 제시한 인체 발암의 원인, IARC(2004), Karagas(2001, 2002), EFSA(2009), Chiou(2001)가 제시한 피부암, 방광암에 근거를 두고 있다.

혈중 중금속 등 신체 계측 및 혈액 검사데이터가 존재하는 대상자 자료를 이용하였다. 따라서 최종적으로 납과 카드뮴의 경우 13,514명, 비소의 경우 3,921명의 자료를 이용하여 분석을 진행하였다.

표 3. 추정자료에 대한 설명

| 항목 | 납 | 카드뮴 | 비소 |
|----------|---|---|--|
| 출처 | 국민건강영양조사 제 4, 5, 6기 | 국민건강영양조사 제 4, 5, 6기 | 국민건강영양조사 제 4기 |
| 년도 | 2008년, 2009년, 2010년, 2011년, 2012년, 2013년 | 2008년, 2009년, 2010년, 2011년, 2012년, 2013년 | 2008년, 2009년 |
| 관측치 개수 | 2008년 (2005)개, 2009년 (1991)개, 2010년 (2355)개, 2011년 (2395)개, 2012년 (2412)개, 2013년 (2355)개, 통합 (13514)개 | 2008년 (2005)개, 2009년 (1991)개, 2010년 (2355)개, 2011년 (2395)개, 2012년 (2412)개, 2013년 (2355)개, 통합 (13514)개 | 2008년 (1946)개, 2009년 (1975)개, 통합 (3921)개 |
| 자료 통합 방식 | 2008~2013를 수직으로 통합 | 2008~2013를 수직으로 통합 | 2008과 2009를 수직으로 통합 |

<표 4>부터 <표 6>에 납, 카드뮴, 비소에 대한 추정결과가 각각 제시되어 있다.⁴⁾ 납의 경우 종속변수로 사용된 질병들 중 고혈압, 고지혈증, 당뇨병, 관절염이 혈중 납 농도에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 예를 들어, 고혈압의 경우 혈중 납농도의 계수가 0.039이고, 이에 대한 $\exp(\beta)$ 값(odds 비)은 1.039로 나타났다. 이는 다른 조건이 동일할 때, 혈중 납의 농도가 1mg/dl 높아질 경우 유병확률이 3.9% 높아지는 것을 의미한다. 카드뮴의 경우 고혈압, 관절염, 류미티스성관절염, 신부전, 당뇨병, 갑상선장애가 혈중 카드뮴 농도에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 비소의 경우 고혈압, 심근경색증/협심증, 당뇨병, 갑상선장애, 폐암이 혈중 비소 농도에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다.

4) 논의의 간결성을 위해 표에는 통계적으로 유의한 변수만 제시하였다.

표 4. 혈중 납 농도와 주요 질병과의 관계 분석 결과

| 변수 | 고혈압 | 고지혈증 | 당뇨병 | 관절염 |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 절편 | -10.684*** | -5.069*** | -6.083*** | -4.726*** |
| 납 농도 | 0.039* | 0.1*** | 0.139*** | 0.121*** |
| 연령 | 0.097*** | - | - | - |
| 교육수준 | - | -0.232*** | - | - |
| 월평균 가구소득 | - | - | - | 0*** |
| 흡연 여부 | - | - | - | - |
| 음주 정도 | 0.077*** | - | - | - |
| 체질량지수(HMI) | 0.16*** | 0.127*** | 0.122*** | 0.101*** |
| χ^2 -statistic (유의확률) | 3421.18 (0.000) | 347.61 (0.000) | 188.99 (0.000) | 252.25 (0.000) |
| Nagelkerke R-Square | 0.38 | 0.06 | 0.04 | 0.04 |
| Hosmer & Lemeshow (유의확률) | 56.07 (0.000) | 57.09 (0.000) | 26.30 (0.000) | 52.46 (0.000) |
| 종속변수 이분 관측 | 0=11,313 1=2,194 | 0=12,342 1=1,158 | 0=12,753 1=755 | 0=12,047 1=1,447 |
| 분류정확도(%) | 84.9 | 91.4 | 94.4 | 89.3 |

주: 1. ***P < .01, **P < .05, *P < .1.

2. 카이제곱 테스트는 우도비 카이제곱을 의미함.

3. Nagelkerke R-Square는 Cox and Snell R-square을 교정하여 얻는 유사(Pseudo) R-square 중 하나로 모형의 설명력을 보여준다(Cox & Snell, 1989; Nagelkerke, 1991).

4. Hosmer & Lemeshow test는 모형적합도 검정을 위한 통계치로 귀무가설이 “설명변수들은 종속 변수의 유무에 영향을 주지 않는다”이다(Hosmer & Lemeshow, 2001).

표 5. 혈중 카드뮴 농도와 주요 질병과의 관계 분석 결과

| 변수 | 고혈압 | 관절염 | 류마티스성 관절염 | 신부전 | 당뇨병 | 갑상선장애 |
|------------|------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 절편 | -10.781*** | -8.269*** | -6.714*** | -8.797*** | -6.116*** | -3.905*** |
| 카드뮴 농도 | 0.168*** | 0.167*** | 0.263*** | 0.458*** | 0.35*** | 0.303*** |
| 연령 | 0.097*** | 0.08*** | 0.048*** | 0.048*** | - | - |
| 교육수준 | - | - | - | - | - | - |
| 월평균 가구소득 | - | - | 0*** | - | - | - |
| 흡연 여부 | - | - | - | - | 0.125** | - |
| 음주 정도 | 0.086*** | - | - | - | - | - |
| 체질량지수(HMI) | 0.16*** | 0.08*** | - | - | 0.118*** | - |

| 변수 | 고혈압 | 관절염 | 류마티스성 관절염 | 신부전 | 당뇨병 | 갑상선장애 |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| χ^2 -statistic (유의확률) | 3437.273 (0.000) | 1902.04 (0.000) | 175.05 (0.000) | 39.84 (0.000) | 221.56 (0.000) | 21.65 (0.000) |
| Nagelkerke R-Square | 0.38 | 0.27 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.01 |
| Hosmer & Lemeshow (유의확률) | 49.74 (0.000) | 28.19 (0.000) | 16.87 (0.032) | 2.97 (0.936) | 36.14 (0.000) | 44.05 (0.000) |
| 종속변수 이분 관측 | 0=11,313 1=2,194 | 0=12,059 1=1,449 | 0=13,254 1=243 | 0=13,471 1=40 | 0=12,753 1=755 | 0=13,140 1=371 |
| 분류정확도(%) | 83.8 | 89.3 | 98.2 | 99.7 | 94.4 | 97.3 |

표 6. 혈중 비소 농도와 주요 질병과의 관계 분석 결과

| 변수 | 고혈압 | 심근경색증 및 협심증 | 당뇨병 | 갑상선장애 | 폐암 |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 절편 | -4.614*** | -6.512*** | -5.991*** | -3.693*** | -7.474*** |
| 비소 농도 | 0.001*** | 0.001*** | 0.001*** | 0.001*** | 0.002*** |
| 연령 | - | - | - | - | - |
| 교육수준 | - | - | - | - | - |
| 월평균 가구소득 | - | - | - | - | - |
| 흡연 여부 | 0.293*** | - | 0.146* | - | - |
| 음주 정도 | -0.111*** | - | - | - | - |
| 체질량지수(HMI) | 0.129*** | 0.087** | 0.125*** | - | - |
| χ^2 -statistic (유의확률) | 203.28 (0.000) | 12.20 (0.002) | 62.45 (0.000) | 8.85 (0.003) | 6.61 (0.010) |
| Nagelkerke R-Square | 0.08 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.11 |
| Hosmer & Lemeshow (유의확률) | 13.34 (0.101) | 9.61 (0.294) | 13.23 (0.104) | 13.42 (0.098) | 4.70 (0.789) |
| 종속변수 이분 관측 | 0=3,097 1=773 | 0=3,856 1=59 | 0=3,662 1=253 | 0=3802 1=116 | 0=3,914 1=4 |
| 분류정확도(%) | 79.5 | 98.5 | 93.5 | 97 | 99.9 |

3. 질병비용 계산

앞의 로짓모형 추정 결과 혈중 납, 카드뮴, 비소 농도에 따라 유병률에 영향을 받는 것으로 나타난 질병들이 야기하는 직접의료비용과 간접의료비용을 추정하였다.

직접비용 계산에 필요한 입원비 급여 본인 부담률과 외래비 급여 본인 부담률은 「건강보험통계연보」에 실린 ‘2014년도 입원/외래 전체 및 요양기관 종별 건강보험 보장률 및 급여율’ 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 전체 의료기관 및 요양기관의 본인 평균 부담률을 이용하였으며, 2014년도 자료가 가장 최근의 자료이기 때문에 2015년도에도 이 보장률이 동일하다는 가정을 하고 분석을 진행하였다. 입원진료비와 외래진료비 연간 외래환자 수와 연간 입원환자 수는 2014 국민건강보험공단의 「건강보험통계」, 「질병소분류별 외래/입원 다빈도 상병 급여현황」 자료를 이용하였다. 입원진료비와 외래진료비는 2014년 자료이기 때문에 소비자물가지수 중 지출목적별 전(全)도시 보건물가지수를 이용하여 2015년 가치로 전환하였다. 연간 외래환자 수와 연간 입원환자 수는 2014 국민건강보험공단의 「건강보험통계」, 「질병소분류별 외래/입원 다빈도 상병 급여현황」 자료를 이용하였다. 이 자료들 역시 2014년도가 가장 최근 것이기 때문에, 2015년도에도 이 수치가 동일하다고 가정하였다. 연평균 외래환자 당 왕복교통비와 연평균 입원환자 당 왕복교통비는 2005년 「국민건강영양조사」, 「의료이용부문조사자료」를 이용하였다. 이 자료에는 조사 시점 기준 입원 이용자 당 1년 간 입원을 위해 쓴 총 편도 교통비와 조사 시점 기준 2주 간 외래진료 이용자 당 외래진료를 위해 쓴 총 편도 교통비가 제시되어 있다. 교통비의 경우 2005년 자료이기 때문에 「소비자물가지수」 중 「지출목적별 전도시 교통물가지수」를 이용하여 2015년 가치로 전환하였다. 연평균 입원환자 당 간병비는 2005년 「국민건강영양조사」, 「의료이용부문조사」 자료를 이용하였다. 이 자료에는 입원자 중 간병인 사용자의 1년 평균 간병인비가 제시되어 있다. 2005년 자료이기 때문에 「소비자물가지수」 중 「지출목적별 전도시 보건물가지수」를 이용하여 물가상승률을 반영 2015년 가치로 전환하였다.

간접비용 중 조기사망에 따른 미래소득손실 계산에 필요한 성별, 연령대별 질병으로 인한 연간 사망자 수는 2014 통계청 「사망원인통계」 자료를 이용하였다. 성별, 연령대별 연평균 기대소득은 고용노동부 2015 「고용형태별근로실태조사」 자료를 이용하였다. 이 자료는 5인 이상 사업체 평균 임금을 제시하고 있는데, 이 중 월 급여총액과 연간

특별급여액을 합하여 연평균 소득으로 활용하였다. 성별, 연령대별 고용률은 2015 통계청 「경제활동인구조사」 자료를 이용하였다.

간접비용 중 작업손실비용은 2014 국민건강보험공단의 「건강보험통계」 ‘질병소분류별 외래/입원 다빈도 상병 급여현황’ 자료에 제시된 외래 내원일수와 입원 내원일수를 이용하여 추계하였다. 성별 시간당 평균임금은 고용노동부 2015 「고용형태별근로실태조사」 자료를 이용하였는데, 이 중 근로일수, 총 근로시간, 월 급여총액 자료를 바탕으로 공휴일에 근무를 하지 않는다는 가정 하에 ‘공휴일 조정 일일 평균임금과 ‘시간당 평균임금’을 산출하였다. 그리고 미래소득손실비용과 마찬가지로 성별, 연령대별 고용률은 2015 통계청 「경제활동인구조사」 자료를 이용하였다.

표 7. 관련 질병에 의한 직·간접 총 질병비용

(단위: 억 원)

| 질병 | 연관된 중금속 | 직접질병비용 | | | 간접질병비용 | | | 질병별 합계 | |
|-------------------|---------------|------------------|--------|-------|---------------|------------|------------|-----------|---------------|
| | | 직접의료비 (약제비포함) | 교통비 | 간병비 | 직접질병 비용 합계 | 조기사망 비용 | 작업손실 비용 | | 간접질병 비용 합계 |
| 고지혈증 | 납 | 1,092 | 415 | 49 | 1,557 | 51 | 104 | 155 | 1,712 |
| 관절염 | 납, 카드뮴 | 2,382 | 5,661 | 103 | 8,147 | - | 598 | 598 | 8,744 |
| 류마티스 관절염 | 카드뮴 | 3,850 | 1,448 | 64 | 5,361 | - | 155 | 156 | 5,517 |
| 신부전 | 카드뮴 | 408 | 2 | 78 | 489 | 3,223 | 45 | 3,268 | 3,757 |
| 자궁 경부암 | 카드뮴 | 1,114 | 290 | 92 | 1,495 | 1,094 | 78 | 1,173 | 2,668 |
| 고혈압 | 납, 카드뮴, 비소 | 61,229 | 29,943 | 432 | 91,605 | 930 | 6,590 | 7,520 | 99,125 |
| 심근 경색증/ 협심증 | 비소 | 3,977 | 398 | 217 | 4,592 | 8,952 | 468 | 9,420 | 14,012 |
| 당뇨병 | 납, 카드뮴, 비소 | 36,383 | 15,967 | 835 | 53,185 | 7,129 | 3,739 | 10,868 | 64,053 |
| 갑상선 장애 | 카드뮴, 비소 | 8,012 | 7,542 | 444 | 15,999 | 123 | 505 | 628 | 16,627 |
| 폐암 | 비소 | 7,296 | 348 | 334 | 7,978 | 11,825 | 732 | 12,556 | 20,534 |
| 의료비용 항목별 합계 | | 125,743 | 62,014 | 2,648 | 190,408 | 33,327 | 13,017 | 46,342 | 236,749 |

주: -의 표시가 있는 셀은 조기사망비용에 해당되는 셀 중 해당질병이 직접적인 원인이 되어 사망한 사람의 숫자가 통계에 나타나지 않기 때문에 0으로 가정함.

위에서 언급된 자료들을 식(2), 식(3), 식(4)에 대입하여 연관된 질병이 일으키는 직·간접 사회적 비용을 도출하였고, 결과가 <표 7>에 제시되어 있다. <표 7>의 결과 해석에 있어서 한 가지 주의해야 할 점은, 제시된 직접의료비용과 간접의료비용은 납, 카드뮴, 혹은 비소가 일으키는 사회·경제적 질병비용이 아니라 이들 중금속이 유병 여부에 영향을 미치는 것으로 나타난 질병들이 야기하는 사회·경제적 질병비용을 의미한다는 것이다.

전체적으로 납은 4가지 질병, 카드뮴은 6가지 질병, 그리고 비소는 5가지 질병에 유의한 영향을 주는 것을 알 수 있다. 전술한 바와 같이, 직접질병비용은 직접의료비와 직접비의료비가 포함되어 있고, 간접질병비용에는 조기사망비용과 작업손실비용이 포함되어 있다. 직접질병비용이 간접질병비용보다 4.1배 정도 더 크게 나타났는데, 직접질병비용에서 가장 높은 비율을 보인 항목은 전체 127,743억원으로 나타난 직접의료비이며, 다음으로 교통비 62,014억원, 간병비 2,648억원 순으로 나타났다. 간접질병비용에서는 조기사망비용이 33,327억원으로 작업손실비용 13,017억원보다 큰 것으로 나타났으나, 세부적으로 고혈압처럼 조기사망비용이 작업손실비용 보다 큰 경우도 존재한다. 한편, 관절염과 류마티스관절염은 이 질병이 직접적인 원인이 되어 사망한 사람의 숫자가 통계에 나타나지 않아 조기사망비용이 0원으로 나타났다. 개별 질병들 중 가장 많은 사회적 비용을 일으키는 질병은 고혈압, 당뇨병, 폐암 순으로 나타났으며, 가장 낮은 비용을 유발하는 질병은 고지혈증, 자궁경부암, 신부전 순으로 나타났다.

특정 중금속과 연관된 질병들이 일으키는 직·간접 총 질병비용을 바탕으로, 현재 우리나라 10세 이상 국민 혈중 납, 카드뮴, 비소 평균 농도가 야기하는 질병비용을 추정하였고, 결과가 <표 8>에 제시되어 있다.⁵⁾ 제시된 값은 다음과 같은 단계를 거쳐 계산되었다. 첫째, 각 중금속 혈중 농도가 0이라고 가정할 때 <표 7>에 제시된 각 질병에 걸릴 확률과 현재 각 중금속별 평균 혈중 농도(납 2.26ppm, 카드뮴 1.04ppm, 비소 158.85ppm)에 따른 각 질병 유병률 확률을 구하였다. 이 때 각 질병에 걸릴 확률은 <표 4>에서 <표 6>에 제시된 ‘혈중 중금속 농도와 주요 질병과의 관계에 대한 로지스틱 회귀분석 결과를 로지스틱회귀 확률 식에 대입하여 계산하였다. 둘째로, 중금속 혈중 농도 0일 때의 유병률 대비 평균 검출 농도일 때의 유병률 간의 차이를 각 질병의 직·간

5) 국민건강영양조사 4기(08, 09)에는 20세 이상 성인의 소변 및 혈액검사를 실시하였고, 5기(10, 11, 12)에는 10세 이상 혈액검사, 6기(13~)에는 10세 이상 혈액검사를 실시하였다. 따라서 본 연구에서 “10세 이상”이라는 용어를 사용하였다.

접 총 질병비용에 곱해줌으로써 혈중 납, 카드뮴, 혹은 비소가 야기하는 사회·경제적 질병비용을 추정하였다. 특정 질병은 여러 가지 원인에 기인할 수 있으며 또한 이 원인들의 상호작용으로 인해서 질병이 발생하거나 확률이 변할 수도 있다. 즉, 고혈압과 같이 납, 카드뮴, 비소가 모두 영향을 미치는 것으로 나타난 질병은 이 중금속들의 상호작용에 의한 영향 또한 있을 수 있다는 것이다. 그러나 중금속들의 상호작용에 대한 명확한 자료는 현재까지 없는 것으로 나타나고 있다. 이에 각 중금속이 야기하는 개별 질병들의 직·간접비용을 계산하는 데 있어서 각각의 중금속이 관련 질병의 유병률에 독립적으로 작용한다는 가정을 하였다.

결과를 보면, 전체적으로 사회·경제적 질병비용은 중금속별로 최소 165억원에서 최대 346.8억원으로 나타났다. 카드뮴이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 비소와 납 순으로 나타났다. 세부적 비용항목들을 살펴보면, 약제비를 포함한 직접의료비가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 교통비, 작업손실비용, 간병비, 조기사망비용 순으로 나타났다.

표 8. 혈중 중금속이 야기하는 직·간접 질병비용 추정 결과

(단위: 억 원)

| 중금속 | 직접질병비용 | | | | 간접질병비용 | | 전체 합계 |
|-----|--------|-------|-----|-------|--------|--------|-------|
| | 직접의료비 | 교통비 | 간병비 | 소계 | 조기사망비용 | 작업손실비용 | |
| 납 | 103.3 | 49.1 | 2.4 | 154.8 | 5.7 | 4.5 | 165.0 |
| 카드뮴 | 259.1 | 68.0 | 4.0 | 331.0 | 8.4 | 7.4 | 346.8 |
| 비소 | 213.4 | 119.2 | 3.7 | 336.4 | 1.0 | 4.5 | 341.9 |

V. 결론

본 연구에서는 식품에 기인한 중금속 섭취에 따른 질병의 유병률과 관련된 사회·경제적 비용을 분석하였다. 이를 위해 납, 카드뮴, 비소와 관련된 질병들의 목록을 도출하고, 이 세 가지 중금속의 국민 평균 혈중 농도와 질병들의 연관성을 로지스틱회귀분석을 통해 추정하였다. 다음으로 질병비용추정법을 이용하여 선별된 각 질병들이 야기하는 직접의료비와 간접의료비가 포함된 직접비용 및 미래소득손실, 작업손실비용이 포함된

간접비용을 도출하였다. 그리고 마지막으로 납, 카드뮴, 비소의 혈중 평균 농도가 야기하는 사회적 총 질병비용을 도출하였다. 결과를 보면 납의 경우 고혈압, 고지혈증, 당뇨병, 관절염에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났고, 카드뮴은 고혈압, 관절염, 류마티스성관절염, 신부전, 당뇨병, 갑상선장애, 그리고 비소는 고혈압, 심근경색증 및 협심증, 당뇨병, 갑상선장애에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 질병들이 야기하는 직·간접 질병비용의 총합계는 약 23조 7천억원 정도로 나타났다. 이를 토대로 우리나라 국민들의 납, 카드뮴, 비소 평균 혈중 농도가 야기하는 사회·경제적 질병비용을 도출하였는데, 카드뮴이 346.8억원으로 가장 높고, 다음으로 비소 341.9억원, 납 165.0억원으로 나타났다.

본 연구의 결과는 중금속 섭취로 인하여 어떠한 질병들에 걸릴 확률이 높아지고, 이로 인하여 사회적으로 얼마만큼의 질병비용을 유발하는지에 대한 정보를 제공하고 있다. 만일 관련식품의 중금속 기준 설정 및 관리와 관련된 정책의 효과를 가늠하고자 한다면, 본 연구 결과가 제시하는 질병비용이 감소된다고 가정하는 경우 사회경제적 편익의 한 부분으로 활용될 수 있다. 더 나아가 관련정책의 사회경제적 비용과의 비교를 통하여 정책의 실효성에 대한 판단을 내릴 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 결과는 안전한 식품에 대한 국민의 기대를 만족시키기 위한 정책의 타당성 및 효과를 가늠하는데 활용될 수 있을 것이다.

질병비용추정법은 해당 비용의 하한을 제시한다는 점에서는 의미가 있으나, 기존연구 및 해당 자료의 부족에 따라 중금속에 따른 질병비용의 정신적 비용, 여가 측면, 질병에 따른 노동생산성의 변화를 모두 반영하기 어렵다는 점에서 중금속 섭취에 따른 질병의 사회적 총 비용을 모두 담기에는 한계점이 있다. 그리고 특정 중금속 농도와 특정 질병과의 관계에 대한 체계화된 실험에 의한 분석 결과가 부족하기 때문에, 본 연구에서는 관련 질병 유무와 혈중 중금속 농도와와의 통계적 분석에 바탕을 두었다는 한계점도 존재하고 있다. 마지막으로 현재 국내 성인 혈중 중금속 중 정확하게 어느 정도가 식품으로 유래하였는지를 알아보기 위해 많은 문헌과 통계들을 찾아보았으나 관련 정보를 구할 수가 없었다. 이에 현재 혈중 농도가 대부분 식품에서 유래되었다고 가정한 후 분석을 진행하였다.⁶⁾ 이로 인해 추정 결과에 다소 오차가 발생할 소지가 있는데, 후에 이와

6) 이와 관련하여 식약처관계자에게 의뢰한 결과, 식품 이외에도 호흡기 등으로 유래될 수 있지만 대부분 음료수를 포함한 식품에 기인하는 것으로 보아도 큰 문제가 없다는 답변을 들을 수 있었다.

관련된 연구가 진행된다면 그 결과를 활용하여 보다 정확한 추정을 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 관련 질병과 중금속 농도와의 관계 분석에 있어서 본 연구에서 사용된 설명변수 이외에도 직업이나 가족력과 같은 유의한 영향을 미치는 다른 변수들이 있을 수도 있다. 따라서 향후 연구에서는 추가적인 설명변수 설정에 따른 결과의 민감도를 살펴보는 것이 필요하다고 여겨진다.

진현정은 서울대학교에서 경제학 석사학위, 펜실베이니아주립대에서 경제학 박사학위를 받았으며, 현재 중앙대학교 경제학부 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 식품경제, 소비자경제, 식품안전이며, 현재 소비자의 식품안전 인식, 식품정책 비용-편익분석 등을 연구하고 있다.

(E-mail: hyunjin@cau.ac.kr)

조성민은 중앙대학교에서 경제학 학사학위를 받고 현재 중앙대대학원 경제학 석사과정에 재학 중이다. 주요 관심분야는 소비자경제 및 식품경제이며, 현재 소비자의 식품정책 비용-편익분석 등을 연구하고 있다.

(E-mail: feel3237@cau.ac.kr)

참고문헌

- 김정선. (2013). 식품에 대한 Risk-Benefit Analyse 모형개발 연구. 서울: 한국보건사회연구원.
- 김한중, 박태규, 지선하, 강혜영, 남정모. (2001). 흡연의 사회경제적 비용 분석. *예방의학회지*, 34(3), pp.183-190.
- 노인철, 서문희, 김영래. (1997). 음주의 사회경제적 비용과 정책과제. 서울: 한국보건사회연구원.
- 보건복지부. 국민건강영양조사. <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do>.
- 식품의약품안전처. 식품안전정보포털.
http://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/board.do?menu_no=2185&menu_grp=MENU_GRP01.
- 신지예, 김지명, 김유리. (2012). 국민건강영양조사를 이용한 성인의 혈중 중금속 농도와 생선 섭취 및 심혈관 질환과의 관련성-국민건강영양조사(2008~2010년). *한국영양학회지*, 45(4), pp.347-361.
- 신호성, 이수형, 김종수, 김진숙, 한규홍. (2010). 식중독의 사회경제적 비용추정: 삶의 질 개념을 적용한 질병비용추정법을 이용하여. *예방의학회지*, 43(4), pp.352-361.
- 안병철, 정효지. (2005). 과체중·비만의 사회경제적 비용 추계. *한국영양학회지*, 38(9) pp.786-792.
- 이계임, 김성훈, 이문호. (2007). 식품 위해물질 관리의 비용편익분석 방법과 적용 사례. *농촌경제*, 30(4), pp.1-29.
- 이철희, 김대일, 홍정림, 고은미, 강백원, 김종욱, 등. (2012). 나트륨 섭취량 감소 정책의 비용편익 분석. *대한지역사회영양학회지*, 17(3), pp.341-352.
- 이효민, 서정혁, 최찬웅, 황진희, 정지윤, 황명실, 등. (2009). 식품 중 벤조피렌 안전관리를 위한 비용·편익 평가기술연구. 서울: 식품의약품안전평가원.
- 정영호, 고숙자. (2004). 5대 사망원인 질병의 사회·경제적 비용추계. *재정논집*, 18(2). pp.77-104.
- 정영호, 고숙자, 임희진. (2010). 청소년 비만의 사회경제적 비용. *보건사회연구*, 30(1),

pp.195-219.

- 황지윤. (2015). 유해물질 기준·규격 재평가에 따른 사회·경제적 비용편익분석 시스템 마련. 오송: 식품의약품안전처.
- Abdullah, M. M., Gyles, C. L., Marinangeli, C. P., Carlberg, J. G., & Jones, P. J. (2015). Dietary fibre intakes and reduction in functional constipation rates among Canadian adults: a cost-of-illness analysis. *Food & nutrition research*, 59, pp.1-8.
- Agarwal, S., Zaman, T., Tuzcu, E. M., & Kapadia, S. R. (2011). Heavy metals and cardiovascular disease: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2006. *Angiology*, 62(5), pp.422-429.
- Ament, A., & Evers, S. (1991). Cost of illness studies in health care: a comparison of two cases. *Health policy*, 26(1), pp.29-42.
- Araki, S., Honma, T., Yanagihara, S., & Ushio, K. (1980). Recovery of slowed nerve conduction velocity in lead exposed workers. *International archives of occupational and environmental health*, 46(2), pp.151-157.
- ATSDR. (2008). *Draft toxicological profile for cadmium U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.*
- ATSDR. (2009). *Toxicological profile for arsenic U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.*
- ATSDR. *Toxic Substances Portal.* <http://www.atsdr.cdc.gov/substances>
- Azevedo, L. F., Costa-Pereira, A., Mendonça, L., Dias, C. C., & Castro-Lopes, J. M. (2016). The economic impact of chronic pain: A nationwide population-based cost-of-illness study in Portugal. *European Journal of Health Economics*, 17(1), pp.87-98.
- Bassi, A., Dodd, S., Williamson, P., & Bodger, K. (2004). Cost of illness of inflammatory bowel disease in the UK: a single centre retrospective study. *Gut*, 53(10), pp.1471-1478.
- Batuman, V., Wedeen, R. P., Bogden, J. D., Balestra, D. J., Jones, K., & Schidlovsky,

- G. (1989). Reducing bone lead content by chelation treatment in chronic lead poisoning: An in vivo X-ray fluorescence and bone biopsy study. *Environmental research*, 48, pp.70-75.
- Behrens, C., & Henke, K. D. (1988). Cost of illness studies: no aid to decision making? Reply to Shiell et al. (Health Policy, 8 (1987) 317-323). *Health Policy*, 10(2), pp.137-141.
- Borghouts, J. A., Koes, B. W., Vondeling, H., & Bouter, L. M. (1999). Cost-of-illness of neck pain in The Netherlands in 1996. *Pain*, 80(3), pp.629-636.
- Cocco, P., Hua, F., Boffetta, P., Carta, P., Flore, C., & Flore, V., et al. (1997). Mortality of Italian lead smelter workers. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 23, pp.15-23.
- Cox, D. R., & Snell, E. J. (1989). *Analysis of binary data. Monographs on Statistics and Applied Probability*, 32. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press.
- Davis, J. M., & Svendsgaard, D. J. (1990). Nerve conduction velocity and lead: a critical review and meta-analysis. *Advances in Neurobehavioral Toxicology (Johnson BL, ed). Chelsea, MI: Lewis Publishers Inc*, pp.353-376.
- EFSA. (2009). Cadmium in food - scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain (Question No EFSA-Q-2007-138). *The EFSA Journal*, 980, pp.1-139.
- EPA. (1986). *Air quality criteria for lead*. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA600883028F.
- Fanning, D. (1988). A mortality study of lead workers, 1926-1985. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 43(3), pp.247-251.
- Franke, L. C., Ament, A. J. H. A., Laar, M. A. F. J., Boonen, A., & Severens, J. L. (2009). Cost-of-illness of rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis. *Clinical and experimental rheumatology*, 27(4, Suppl. 55), pp.118-123.
- Fox, M., Mugford, M., Voordouw, J., Cornelisse-Vermaat, J., Antonides, G., & de

- la Hoz Caballer, B. et al. (2013). Health sector costs of self-reported food allergy in Europe: a patient-based cost of illness study. *European Journal of Public Health*, ckt010.
- Gerhardsson, L., Lundström, N. G., Nordberg, G., & Wall, S. (1986). Mortality and lead exposure: a retrospective cohort study of Swedish smelter workers. *British journal of industrial medicine*, 43(10), pp.707-712.
- Hillam, R. P., & Ozkan, A. N. (1986). Comparison of local and systemic immunity after intratracheal, intraperitoneal, and intravenous immunization of mice exposed to either aerosolized or ingested lead. *Environmental research*, 39(2), pp.265-277.
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied logistic regression* (2nd ed.). New York: Wiley & Sons.
- Hu, H., Aro, A., Payton, M., Korrick, S., Sparrow, D., Weiss, S. T., & Rotnitzky, A. (1996). The relationship of bone and blood lead to hypertension. The normative study. *JAMA*, 275, pp.1171-1176.
- IARC. (2006). *Arsenic in drinking-water In: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans – Some drinking-water disinfectants and contaminants, including arsenic*. Lyon, France: World Health Organization. International Agency for Research on Cancer, pp.1-267.
- IARC. (2006). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Inorganic and Organic Lead Compounds*.
- Karagas M. R., Stukel T. A., & Tosteson T. D., (2002). Assessment of cancer risk and environmental levels of arsenic in New Hampshire. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 205(1), pp.85-94.
- Karagas, M. R., Le, X. C., Morris, S., Blum, J., Lu, X., & Spate, V. et al. (2001). Markers of low level arsenic exposure for evaluating human cancer risks in a US population. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14(2), pp.171-175
- Lee, T. J., Park, B. H., Kim, J. W., Shin, K., Lee, E. B., & Song, Y. W. (2014).

- Cost-of-illness and quality of life in patients with ankylosing spondylitis at a tertiary hospital in Korea. *Journal of Korean medical science*, 29(2), pp.190-197.
- Malone, D. C., Lawson, K. A., Smith, D. H., Arrighi, H. M., & Battista, C. (1997). A cost of illness study of allergic rhinitis in the United States. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 99(1), pp.22-27.
- NAS. (1972). *Lead: Airborne lead in perspective*. Washington, DC: National Academy of Sciences, 71177, pp.281-313.
- Navas-Acien, A., Sharrett, A. R., Silbergeld, E. K., Schwartz, B. S., Nachman, K. E., Burke, T. A., & Guallar, E. (2005). Arsenic exposure and cardiovascular disease: a systematic review of the epidemiologic evidence. *American Journal of Epidemiology*, 162(11), pp.1037-1049.
- Nagelkerke, N. J. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3), pp.691-692.
- Onukwugha, E., McRae, J., Kravetz, A., Varga, S., Khairnar, R., & Mullins, C. D. (2016). Cost-of-illness studies: an updated review of current methods. *PharmacoEconomics*, 34(1), pp.43-58.
- Peters, J. L., Perlstein, T. S., Perry, M. J., McNeely, E., & Weuve, J. (2010) Cadmium exposure in association with history of stroke and heart failure. *Environmental research*, 110(2), pp.199-206.
- Rice, D. P. (1967). Estimating the cost of illness. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 57(3), pp.424-440.
- Rice, D. P., Fox, P. J., Max, W., Webber, P. A., Lindeman, D. A., & Hauck, W. W., et al. (1993). The economic burden of Alzheimer's disease care. *Health Affairs*, 12(2), pp.164-176.
- Shiell, A., Gerard, K., & Donaldson, C. (1987). Cost of illness studies: an aid to decision-making? *Health Policy*, 8(3), pp.317-323.
- Sonja von Campenhausen, Yaroslav Winter, Antonio Rodrigues e Silva, Christina Sampaio, Evzen Ruzicka, & Paolo Barone, et al. (2011). Costs of illness and

- care in Parkinson's disease: an evaluation in six countries. *European Neuropsychopharmacology*, 21(2), pp.180-191.
- Steenland, K., Selevan, S., & Landrigan, P. (1992). The mortality of lead smelter workers: an update. *American journal of public health*, 82(12), pp.1641-1644.
- Tarricone, R. (2006). Cost-of-illness analysis: what room in health economics? *Health policy*, 77(1), pp.51-63.
- Weiss, K. B., Sullivan, S. D., & Lyttle, C. S. (2000). Trends in the cost of illness for asthma in the United States, 1985-1994. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106(3), pp.493-499.
- Wong, O., & Harris, F. (2000). Cancer mortality study of employees at lead battery plants and lead smelters, 1947-1995. *American journal of industrial medicine*, 38(3), pp.255-270.

Estimation of Socio-economic Costs of Illness due to Blood Concentration of Heavy Metals in Koreans among the Public

Jin, Hyun Joung
(Chung-Ang University)

Cho, Sung-min
(Chung-Ang University)

This study attempts to estimate socio-economic costs of illness due to heavy metals, in particular, lead, cadmium, and arsenic, which have drawn special attention recently in food hazard management. For our analysis, we listed illnesses related to the three heavy metals and examined, using a logistic regression, their association with the blood concentration of each of these heavy metals. Next, by using COI (cost-of-illness) method, socio-economic costs caused by illnesses which were found to be related to one of the three heavy metals were calculated and finally total costs of illness due to lead, cadmium, and arsenic were derived. The results indicate that among chronic diseases, four illnesses were related to lead and six and five illnesses were related to, respectively, cadmium and arsenic. The total socio-economic costs of the illnesses which were found to be related with three heavy metals were about 23.7 trillion won and the total costs of illnesses caused by blood concentration of lead, cadmium, and arsenic among the public were 165.0 billion, 346.8 billion won, and 341.9 billion, respectively. The contribution of this study lies in providing reliable information regarding costs of illness which would be a lower bound for the cost due to heavy metals and providing an useful tool to judge the effect of food and health policies dealing with other hazardous substances.

Keywords: Food Safety, Hazardous Substance, Heavy Metals, Cost-of-illness, Socio-economic Cost