

인듐 관련 직업병 사례 및 국내 사업장 현황

이광용^{1,2} · 박두용^{2*}

¹안전보건공단 산업안전보건연구원 · ²한성대학교 기계시스템공학과

A Review on Cases of Indium-related Occupational Diseases and Korean Indium-related Industries and Processes

Gwang Yong Yi^{1,2} · Doo Yong Park^{2*}

¹Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA,

²Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to provide current the recent information on indium-related adverse health effects and the Korean indium-related industries.

Methods: Peer review papers were searched in environmental, occupational and medical journals with the keyword of 'Indium' and 'ITO' and reviewed. To determine the indium related industries and indium consumption amounts, references and database were investigated and analyzed. In addition, field walk-through surveys and interviews were conducted in order to collect field data and to ascertain the field situation for the processes and industries.

Results: A total of 10 cases of indium lung diseases have been reported in series since the first case reported in 2001. Seven cases were found in Japan, two cases in the United States, and one in China. No indium lung case has been reported yet in Korea, but it is believed that there are high potential risks among workers in indium-related industries. There are four categories in indium-related-industry; indium production and smelting, manufacturing of indium products such as ITO target, the production of thin films of flat panel display, and indium recovery industry. We found that all these types of industries are operating in Korea. Therefore, it is necessary for industrial hygienists to understand the processes and industries related to indium as well as the adverse health effects of indium.

Conclusions: It was found that all four categories of indium-related industry from the indium production to recovery industry are active in Korea. However, the adverse health effects of indium are not well recognized. Therefore, it is believed that there is a high risks in indium-related industry, and it is necessary to make emergency interventions.

Key words : indium, indium lung, ITO, indium industry, indium process

I. 서 론

인듐은 2차 세계대전 중 항공기 엔진 베어링의 경도를 높이기 위해 코팅재료로 사용해 왔으며, 그 외에도 전기, 합금, 원자로의 제어봉 및 댐핑 등 다양한 분야로 사용범위가 조금씩 확대되어 왔다. 그러나 1990년대 초기까지만 해도 전 세계적으로 인듐 사용량은 그다지 많지 않았다(Omae et al., 2011). 1990년도 중반 이후부터 반도체산업과 평판 TV, 컴퓨터, 휴대폰 등의

패널 디스플레이(Panel display) 산업이 급속하게 발전하며 인듐 소비량은 매우 빠르게 증가하였다. 특히 인듐주석산화물(Indium tin oxide, $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$, ITO), 인듐아연산화물(Indium zinc oxide, $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$, IZO)은 전기전도성도 좋고 가시광선의 투과성도 좋아 투명전도성 산화막(Transparent Conductive Oxide, TCO)의 대표적인 소재로 부각되면서 인듐 관련 산업은 급격히 팽창하였다. 더구나 최근 스마트폰과 같이 터치 스크린(Touch screen)이나 터치 패널(Touch panel)이 필수적인 전자

*Corresponding author: Doo Yong Park, Tel: 02-760-43250, E-mail: dooyong@hansung.ac.kr

Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University, 116, 16Gil Samsunkyo-ro, Sungbuk-ku, Seoul 136-792

Received: September 2, 2013, Revised: September 23, 2013, Accepted: September 25, 2013

기기의 수요가 폭발적으로 늘어나면서 터치 스크린과 터치 패널에 필수적으로 사용되는 투명전도성 산화막의 수요도 급증하였고, 그에 따른 인듐 관련 산업도 큰 폭으로 증가하였다(KIGMR, 2007).

2007년 현재 전체 인듐 수요 중 약 87%가 ITO 타겟과 IZO 타겟 등의 생산에 사용되고 있으며, 그 외에 합금, 화합물 및 반도체 등에 사용되고 있다고 한다. 우리나라에서 평판 디스플레이 산업 비중과 태양광 산업의 발전 가능성을 고려할 때 인듐 수요량은 지속적으로 증가할 것으로 전망된 바 있다(KIGMR, 2007). 실제로 2011년 7월 지식경제부(현 산업통상자원부)는 해외자원개발사업법시행령을 개정하여 인듐의 안정적 확보에 나선 바 있다(MOTIE, 2012).

인듐은 아연정광 등에 일부 불순물로 혼합되어 있어 특별한 목적을 가지고 별도 생산을 하지 않는 한 그 생산량이 극히 적은 희귀금속의 일종이다. 과거에는 인듐의 수요가 그다지 많지 않아 생산량이 극히 적었으며, 인류가 그다지 많이 사용하지 않은 금속이다. 따라서 인듐으로 인한 건강장해는 거의 알려지지 않았다. 그러나 최근 일본, 미국 및 중국에서 인듐 관련 사업장에서 일하던 근로자가 사망하는 사례와 폐질환에 이환된 사례가 연이어 보고되면서 인듐에 의한 건강장해가 새롭게 주목을 받고 있다(Omae et al., 2011 & Miyauchi et al., 2012). 호흡기를 통해 폐에 침착한 인듐 및 인듐화합물은 장기간 폐에 존재하며 체외로 배설되는 비율은 매우 낮고 급성 독성보다는 만성 독성에 의한 영향이 크며, 혈액, 혈청 중 인듐 농도는 인듐화합물의 용해성에 따라 달라지는 것으로 보고되고 있다(MHLW, 2009).

우리나라는 터치 스크린이나 터치 패널이 들어가는 컴퓨터나 태블릿 컴퓨터 그리고 스마트폰의 생산량이 매우 높은 나라이다. 이러한 산업에는 예외 없이 투명전도성 산화막 소재를 사용하고 있다. 따라서 투명전도성 산화막 소재의 제조 및 재활용 등과 관련된 사업장도 많다. 투명전도성 산화막 소재를 제조하거나 재활용하는 산업은 물론, 이러한 소재를 사용하는 각종 디스플레이 산업에 종사하는 근로자들은 직·간접적으로 인듐에 노출될 가능성이 있다. 그러나 인듐관련 사업장이나 공정은 최근 새롭게 생겼기 때문에 사업장 현황은 물론 공정 자체도 잘 알려지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 그 동안 외국에서 보고된 인듐관련 건강장해 사례와 연구결과 등을 고찰하고, 국내의 인듐

관련 사업장 현황과 공정을 파악하여 향후 인듐관련 연구를 함에 있어서 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구에서 인듐 관련 직업병 사례 및 국내 사업장 현황을 파악하기 위해 사용한 주요 방법은 문헌고찰과 자료조사였다. 그 외에 관련 자료를 조사하고 현황을 파악하기 위해 사업장이나 정부 및 공공기관 관계자와 간담회 및 인터뷰를 실시하였다.

인듐관련 직업병 사례 및 인듐관련 건강장해를 평가하기 위해서는 산업보건관련 주요 학술지에 ‘Indium’ 및 ‘ITO’로 검색하여 관련문헌을 파악하였으며, 검색된 문헌의 참고문헌을 재추적하는 방법으로 관련문헌을 파악하였다.

국내의 인듐산업 및 사업장 현황을 파악하기 위해서 수출입 관련 상품 품목별 분류코드인 HS Code(The harmonized commodity description and coding system)로 한국무역협회의 수출·입 자료를 확인하고자 하였으나 최근의 인듐 수출입 현황은 파악할 수 없었다. 그 이유는 2002년 이전까지는 인듐의 HS Code가 8112.81.3000(인듐의 괴, 웨이스트와 스크랩)으로 분류되어 있었지만 2002년부터는 인듐을 따로 분류하지 않고, 갈륨 등 다른 품목과 묶어 하나의 HS Code로 분류했기 때문이다. 따라서 실제 인듐 사용량에 의미가 있는 2002년 이후의 국내 수출입 현황은 파악할 수 없게 되었다(MOEST, 2007). 한편 2011년 7월 6일에 지식경제부(현 산업자원통상부)는 보도자료를 통해 미국지질조사국(United States Geological Survey, USGS)의 자료를 인용하여 우리나라 인듐 생산량이 5만톤이라고 발표한 바 있다(MOKE, 2011). 그러나 이것은 국내 인듐 생산량이 반영되지 않은 결과이다.

본 연구에서는 인듐제련, ITO 타겟 제조, 디스플레이 사업장을 방문·조사하면서 인듐 및 인듐관련 제품의 구매량, 사용량 및 판매량 등을 조사하여 국내의 인듐 사용량에 관한 현황을 추정하였다. 인듐관련 사업장 선정은 일본 후생노동성이 2010년에 발간한 “인듐주석산화물 취급 작업 근로자의 건강장해 예방을 위한 기술지침”을 기준으로 하여 국내 인듐관련 사업장을 분류하고 관련 산업의 공정 및 인듐 사용량을 조사하였다(MHLW, 2010).

III. 연구결과

1. 인둠 관련 직업병 사례

1) 최초의 사례

인둠관련 최초의 직업병 사례가 보고된 것은 일본에서 2001년 간질성 폐렴(Interstitial pneumonia)으로 인한 양측성 기흉(Bilateral pneumothorax)으로 사망한 사례로, 그 원인이 인둠인 것으로 추정되었다(Homma et al., 2003). 이 근로자는 1994년부터 1997년까지 ITO target제조 연마공정에서 일했고, 흡연량은 1일 10개 피 정도였다. 1997년(당시 27살) 마른기침과 숨이 차는 증상을 호소했다(Omae et al., 2011). 흉부방사선과 흉부 CT 검사결과, 흉막하 벌집모양의 폐(Subpleural honeycomb)와 폐의 전영역에 간유리 음영(Ground glass appearance, GGA)과 청진기상으로 Fine crackle음과 High-pitched squeaks가 나타났고, 곤봉지(Clubbed finger)가 있었다. 비디오흉강경생검(Video-assisted thoracoscopic lung biopsy, VATS)에서 미세입자 함유의 확장된 세포질과 함께 적혈구, 피브린, 콜레스테롤 cleft, 대식세포 등으로 채워진 폐포가 발견되었다. 림포구(Lymphocytes)와 형질세포(Plasma cell)는 세포간극(Interstitial spaces)에 스며들어 있었고, 수많은 미세입자들이 발견되었다. 입자 크기는 대개 1 μm 이하였고, 성분분석에서 인둠과 주석이 검출되었다. 이 환자는 ITO 먼지 노출로 인한 간질성 폐렴으로 진단되었다. 사망 1년 전의 혈중 인둠(혈청-인둠, In-S)은 290 ng/mL이었다. 대조군의 혈 중 인둠(In-S)은 평균 0.1 ng/mL라고 한다.

2) 일본에서의 6건의 추가사례

두 번째 사례는 첫 번째와 같은 공장에서 일했던 30살의 남자로 1994년부터 1998년까지 ITO에 노출되었으며, 1997년 마른기침과 운동 중 호흡장애(Exertional dyspnea)가 나타났다고(Homma et al., 2005). 흡연 경력은 3년간 하루 10개피이었다. 흉부 X선과 CT 검사결과, 간유리 음영 등 폐에 몇 가지 증상이 나타났다. VATS검사결과, 세기관지에 섬유화 및 폐포내 대식세포가 축적되는 확산성 폐포렴과 함께 수많은 콜레스테롤 cleft와 이물질형의 거대세포가 발견되었다. 거대세포와 대식세포에서 갈색 미립자가 발견되었는데 성분은 인둠과 주석으로 밝혀졌다. In-S는 51 ng/mL(정상치 <3 ng/mL)이었다. KL-6(간질성 폐질환의 지표)

는 799 U/mL였다(정상치 <500 U/mL). 이 환자는 다른 부서로 재배치된 후 폐질환 진행이 멈췄다.

위의 공장에서는 2002년 공장 산업보건의가 검진을 실시하였고, 그 결과 3건의 인둠에 의한 폐질환이 발견됨으로써 3번째, 4번째 및 5번째의 사례가 보고되었다(Taguchi & Chonan 2006). 이들 3명은 이 공장에서 각각 12년, 12년 그리고 8년 동안 근무해 왔다. 3번째 환자와 5번째 환자는 비흡연자였고 5번째 환자는 1년에 18갑 정도의 담배를 피우는 흡연자였다. 인둠에 의한 폐질환으로 판정을 받았을 때 혈중 인둠을 나타내는 In-S는 각각 40, 127 및 90 ng/mL이었고, KL-6은 1,930, 3,570 및 1,190 U/mL이었다.

6번째 사례는 같은 공장에서 2005년 2월 인둠관련 건강검진 결과로 드러났다(Nakano et al., 2007). 이 환자는 44세의 비흡연자로 2000년부터 인둠작업을 해 왔으며, 2002년에 기침과 가래 증상을 느끼기 시작했고, 2004년 근처 병원에서 만성기관지염 진단을 받았다. 이후 기침이 지속되었고 운동 시 호흡곤란 증세가 나타났다. 정밀진단결과 폐쇄성호흡기질환으로 나타났고, 세포간극사이에 약한 섬유화비대증 등의 증상이 나타났으며, In-S는 64.7 ng/mL, KL-6는 3,450 U/mL, 그리고 폐계면활성제 단백질 D(Lung Surfactant Protein D, SP-D)는 346 ng/mL로 나타났다.

7번째 사례는 2006년 20년간 ITO 타겟 작업에 종사한 47세 남자로 41세에 기침증세가 시작되었다(Takeuchi, 2008). 이 근로자는 약 20년 동안 박막제조 공정에 사용되는 ITO 타겟을 제조하는 공정에서 일해 오면서 주로 산화인듐(Indium oxide)에 노출된 것으로 추정되었다. 흉부 X선과 CT 촬영결과 여러 가지 폐장애가 발견되었고, 폐안에서 수많은 갈색 미립자가 발견되었고 이 먼지에서 인둠이 검출되었다. 혈중 인둠(In-S)은 92 ng/mL, KL-6는 6,395 U/mL로 나타났다.

3) 미국에서 2건의 사례

8번째 사례는 2010년 미국에서 보고되었다(Cummings et al., 2010). 8번째 인둠 직업병 사례는 49세의 비흡연 남성에게서 발생한 것으로 1999년부터 수소소(水素廬; Hydrogen furnace)작업을 시작한지 9개월 만에 운동 시 호흡곤란 증세가 나타났다. 고해상 컴퓨터 단층촬영(High Resolution Computed Tomography, HRCT) 결과, 여러 가지 폐질환 증상이 나타났고, 특히 폐포 단백질증(Pulmonary Alveolar Proteinosis, PAP)이 발견

되었다. 2005년 초, 이 작업자가 근무하던 작업장의 인듐분쇄공정에서 측정된 지역시료의 공기 중 인듐농도는 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 권고기준인 0.1 mg/m^3 를 초과하였다. 이 환자는 2006년 10월 PAP로 인한 호흡곤란으로 사망하였다.

9번째 사례는 ITO공정에서 2004년 1월부터 일하기 시작한 39세 흡연자로 HRCT 검사결과, 양측 폐포와 간질의 이상이 발견되었고, 폐기능검사에서 제한성 폐질환증상이 나타났다(Cummings et al., 2010). 이 작업자가 ITO를 연마하는 작업장의 공기 중 인듐농도는 NIOSH 기준, 0.1 mg/m^3 을 초과하였다. 환자의 혈중 인듐농도는 검출한계 미만이었으며, 혈중 호흡기질환 생체지표검사는 이루어지지 않았다. 6~9개월이 지나면서 간헐적으로 마른기침, 흉부압박, 숨이 가쁨 등의 증상이 나타났다. 비디오희강경검사서 폐포단백증과 일치하는 병리학적 소견이 발견되었다.

4) 중국에서 1건의 사례

10번째 인듐관련 직업병 사례는 중국에서 핸드폰 제조공장의 LCD 표면의 ITO 스프레이 및 샌드블라스팅 작업에 근무해 왔던 29세의 남성 근로자에게서 나타난 폐포단백증이다(Xiao et al., 2010). 이 작업에 근무한지 22개월 후, 흉부압박, 운동 시 호흡곤란, 간헐적인 기침과 가래가 나타났으며, 폐기능검사결과 제한성 호흡기질환 유형이 나타났다. HRCT 검사결과 역시 간유리 음영 등 여러 가지 폐장애 소견이 나타났다. 최종적으로 그는 2차 폐포단백증으로 진단되었다. 한편, 이 작업자가 작업하던 공정의 샌드블라스팅 물질에 대한 EDX 분석결과, 인듐이 2.72%, 인듐산화물이 2.84% 함유된 것으로 나타났고, 인듐산화물의 입자 크기는 $0.1 \sim 6 \mu\text{m}$ 인 것으로 나타났다. In-S 검사결과 는 $151.8 \mu\text{g/L}$ 이었다.

5) 그밖에 의심사례

일본에서 산화인듐(In_2O_3)제조와 ITO 타겟 연마에 종사하는 근로자 3명에게서 인듐 폐(Indium lung)가 의심된다는 보고가 있었다(MHLW, 2009).

2. 인듐 산업의 구조 및 유통

1) 인듐 산업의 구조

인듐관련 산업은 크게 i) 인듐 생산(제련), ii) 인듐

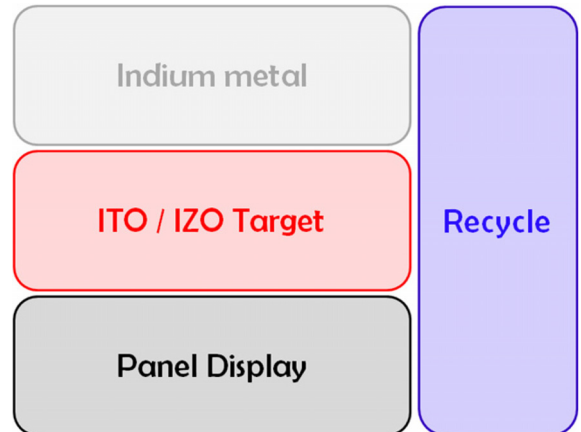


Figure 1. Structure of the Indium and indium compounds industry

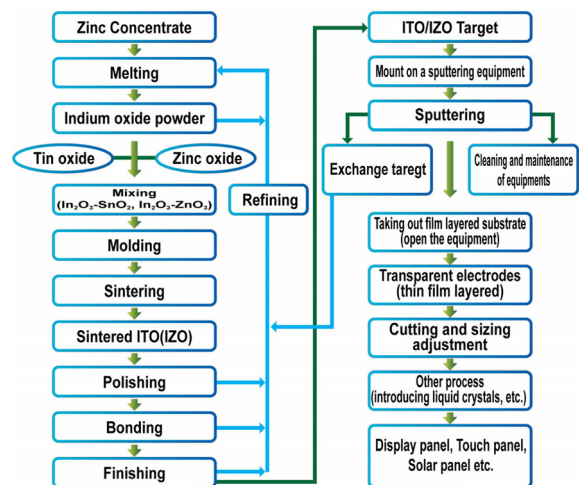


Figure 2. ITO and indium compounds handling work

제품(ITO/IZO 타겟 등)의 생산, iii) LCD 및 OLED 디스플레이 또는 모바일기기의 디스플레이 등 전자 제품 제조 그리고 iv) 사용 후 인듐제품 및 디스플레이 등으로부터 인듐을 회수하는 재생처리업 등으로 구분할 수 있다(Figure 1). 인듐금속이 ITO 또는 IZO 타겟 제조과정을 거쳐 최종 패널 디스플레이(LCD, OLED, PDP, 박막 태양전지 등)로 생산되는 과정은 Figure 2와 같다. 이러한 인듐 및 인듐화합물의 산업구조는 일본 후생노동성에서 2010년 발간한 “인듐·주석산화물 취급 작업 근로자의 건강장해 예방을 위한 기술지침”에 기술되어 있는 ITO 등의 취급작업 작업공정과 크게 다르지 않다(MHLW, 2010).

인듐산업 구조의 흐름은 아연정광에 불순물로 함유되어 있는 인듐을 제련하여 고순도의 인듐금속을 생

산하여 ITO 또는 IZO 타겟 등을 생산하는 산업에 공급한다. 인듐 금속은 국내 인듐 제련업체와 중국, 일본 등에서 수입하여 공급되고 있으며, 인듐제품 제조업체에 공급된 인듐 금속은 산화인듐으로 만들어져 산화주석과 혼합하여 금속세라믹제품인 ITO와 IZO 타겟 제품으로 생산된다. 인듐제품은 디스플레이 산업에 공급되어 투명전도성 투명 산화막 제품을 생산하는데 사용된다. 디스플레이 산업에서 사용하는 ITO 타겟 등 인듐 제품은 제조사로 회수되어 슬러지 등과 함께 회수하여 인듐재생업체에서 회수된다.

2) 인듐의 유통

국내 인듐의 수요량을 한국무역협회의 수출입 자료를 통해 정확하게 확인이 불가능하기 때문에 인듐 생산·취급업체를 방문 조사하여 인듐의 유통흐름을 조사하였다. 우리나라의 인듐 산업은 제련업, 인듐제품 제조업, 디스플레이 산업, 인듐 재생 산업은 제품의 사용목적은 다르나 각 산업 간에 매우 유기적으로 연결된 구조를 가지고 있다. 국내에서 생산된 인듐금속(Virgin metal)은 생산량의 대부분을 일본으로 수출하며 일부 제품만이 국내 ITO, IZO 타겟 제조업체에 판매하고 있다. 국내 ITO, IZO 타겟 제조업체 및 소규모의 수입업자들은 국내 공급분이 매우 부족하기 때문에 일본, 중국 등으로부터 인듐을 수입하여 사용하고 있다. 수입된 대부분의 인듐은 ITO, IZO 타겟 생산에 사용되어지며, 타겟 생산 공정에 투입된 인듐은 각 공정을 거치면서 투입량의 약 10%는 스크랩(슬러지 형태)으로 발생한다. 인듐은 타겟 형태의 금속 세라믹 제품으로 제조되어 LCD, OLED 및 PDP 등의 디스플레이 업체에 공급한다. 디스플레이 업체는 ITO, IZO 타겟을 약 30%를 사용하며 사용하고 남은 타겟은 인듐제품 제조업체에서 회수하여 제조과정에서 발생된 스크랩과 함께 재생업체에서 인듐을 회수한다. 일본계 인듐제품 제조업체는 본국(일본)으로부터 ITO, IZO 타겟을 수입하여 가공한 후 디스플레이 제조업체에 공급하고 있으며, 사용하고 회수된 타겟은 일본으로 보내어 인듐을 회수하고 있다.

2007년 교육과학기술부 자료에 의하면 ITO, IZO 타겟 제조는 국내 제조업체에서 국내 수요의 약 40%를 공급하고 있으며, 60%는 일본 업체에서 ITO 타겟을 일본과 대만 등에서 수입하여 국내 디스플레이 제조업체에 공급하고 있는 것으로 보고되고 있다(KIGMR, 2007).

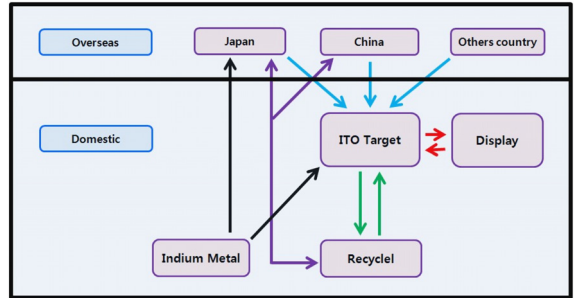


Figure 3. Status of the distribution of indium-related products

그러나 국내 ITO, IZO 타겟 제조업체가 질적 양적 성장을 이루어 연구가 진행된 2011년에는 국내 인듐제품 제조업체가 약 70% 이상을 공급하는 것으로 조사되었다.

3. 국내 인듐관련 사업장 및 공정현황

1) 인듐의 생산 및 수입

인듐은 아연, 납, 구리, 철 황화물에 함유되어 있고, 특히, 아연광석(Sphalerite, ZnS)에 함유량이 높다. 인듐은 주로 아연의 제련과정에서 타 금속과 함께 부산물로 추출된다. 국내에서 인듐 금속을 생산하는 사업장은 2개소이며, 생산된 제품은 대부분 일본에 수출하고 일부만 국내 ITO, IZO 타겟 제조업체에 공급하고 있다(Yi et al., 2011, & Yi et al., 2012).

한편 최근 국내의 인듐 수요가 급증하여 ITO 타겟 제조업체 및 소규모 수입업자에 의해 일본, 중국 등으로부터 인듐 금속이 수입되고 있으며, 수입된 인듐의 대부분은 ITO 또는 IZO 타겟을 생산하는데 사용된다. 인듐의 수출·입 관련 상품 품목별 분류코드인 HS Code는 2002년부터 인듐, 갈륨 등 타 관련 품목들과 혼합된 5개의 HS Code로 분류되어 사용되고 있기 때문에 인듐 수입량을 별도로 파악하는 것도 불가능하다(KIGMR, 2007).

국내 인듐의 생산량은 HS Code 분류체계의 문제점으로 보고된 자료는 없으나 인듐금속 생산과 관련하여 제조업체의 담당자와 면담을 통해 조사한 생산량은 매월 약 12톤씩 연간 140톤이 생산되고 있다(Yi et al., 2011).

2) 인듐제품의 생산 및 수입

인듐은 그 용도가 LCD, PDP 및 OLED 등의 평판 디스플레이의 전면 유리 안쪽에 투명한 전선 회로도를 만들기 위해 코팅하는 투명전도막의 원료, 태양전지용

투명전도막의 소재, CIGS 박막 태양전지 흡수층의 투명전도막 소재, 그리고 스마트 유리용 투명전도막 소재 등으로 평판 디스플레이 산업, 태양전지, 스마트 유리용 투명전도막의 핵심 원천소재이다.

① 인듐제품(ITO 타겟)의 제조과정

평판 디스플레이에 투명전도성 산화막을 코팅하는 방법은 진공 챔버 안에 한쪽에는 평판 디스플레이용 유리를 놓고 맞은편에 ITO 타겟 제품을 장착한 다음, 플라즈마 상태에서 아르곤(Ar)가스를 주입하는 것이다. 이 온화된 아르곤이 ITO 타겟에 충돌하도록 하면 나노입자 크기의 ITO 입자가 튕겨져 나와 평판 디스플레이용 유리에 코팅된다. 이러한 코팅 기술을 스퍼터링(Sputtering)이라고 하며, 이러한 기기를 스퍼터(Sputter)라고 한다. 이러한 인듐소재(ITO 타겟 등) 산업은 대부분 인듐 → 인듐산화물 → 인듐산화물+주석산화물 혼합분말 → ITO 타겟 (또는 IZO 타겟 등)의 과정을 거친다.

ITO 타겟을 제조하기 위한 첫 번째 공정이 산화인듐 분말제조공정이다. 산화인듐 분말을 만들기 위해서 인듐 금속(99.99% 이상)을 질산에 용해시킨 후 초순수와 암모니아를 이용하여 질산용액에 녹아있는 질산인듐($\text{In}(\text{NO}_3)_3$)을 수산화인듐($\text{In}(\text{OH})_3$)으로 만들어 침전시킨다. 침전된 수산화인듐은 세정, 건조, 하소공정을 거쳐 산화인듐 분말이 만들어진다.

혼합공정에서는 산화인듐 분말과 산화주석 또는 산화아연 분말을 약 9:1의 비율로 혼합한 후, 물과 기타 첨가제를 넣어 제품생산에 맞는 일정한 크기로 혼합된 분말을 분쇄한다. 파쇄된 분말을 고온의 스프레이 건조기에서 건조하면 산화인듐과 산화주석(또는 산화아연)이 혼합된 일정한 크기의 분말이 만들어진다. 이후 성형공정에서 두 금속이 혼합된 분말을 프레스로 생산 제품의 특성에 맞게 1차 성형한 후 진공 포장한 다음 수압을 이용하여 2차 성형을 한다. 성형공정에서 형태가 갖추어지면 소결로에서 약 1,500~1,600°C의 고온으로 약 1주일 동안 소결을 시키는 소결공정을 거치게 된다.

소결된 금속 세라믹제품(ITO 및 IZO 타겟)은 연마·가공공정을 거쳐 제품의 특성에 맞게 가공한 후, 접합공정에서 타겟 지지판(Backing plate)을 접합하여 패널 디스플레이 업체로 공급한다.

② 인듐제품(ITO target)의 생산 규모

국내 ITO 및 IZO 타겟을 생산하는 제조업체는 3개소가 있으며, 외국으로부터 타겟을 수입한 후 가공하여 판매하는 제조업체는 2개소가 있는 것으로 파악되었다. 이중 국내 ITO 및 IZO 타겟 생산업체의 생산량은 연간 약 700톤 정도로 추정되고 있다. 타겟 수입업체의 수입량은 약 300톤으로 추정된다. 그러나 그 규모나 정확한 양은 파악되지 않고 있다.

3) 평판 디스플레이 제조

① Sputtering 공정

평판 디스플레이 제조산업은 앞에서 언급한 바와 같이 LCD 및 PDP TV 및 모니터를 제조하는 산업이나 OLED 등의 평판 디스플레이나 필름을 사용하는 모바일 전자기기를 제조하는 산업을 말한다. 이들 산업에서는 유리 또는 PET 필름 등에 투명전도성 산화막을 입히기 위해 Sputter를 이용해 아르곤이온을 ITO 타겟에 충돌시켜 ITO 입자를 방출시킨다. 방출된 ITO 입자는 sputter의 뒷면에 설치되어 있는 자석(Magnetic assembly)에 의해 유리면 또는 PET 필름 표면쪽으로 날아가 유리표면에 증착된다. 이때 방출된 입자가 유리면 등에 증착되지 못하고 ITO 타겟으로 되돌아와 ITO 타겟을 오염시키거나 주변부에 오염되면 평판 디스플레이 표면 증착이 균일하게 이루어지지 않아 제품 불량률 초래할 수 있으므로 주기적으로 Sputter를 열고 ITO 타겟을 교환하거나 세척 및 청소를 해주어야 한다. 이러한 세척과 청소를 자체적으로 하는 경우도 있고, 협력업체에 보내서 하는 경우도 있다(Yi et al., 2011)

② 평판 디스플레이 제조산업에서의 인듐 사용규모

평판 디스플레이 생산 등에 사용되고 있는 ITO 타겟은 연간 약 1,000톤 정도로 추정된다. 이 중 실제 작업 중 소요되는 ITO 및 IZO 타겟의 양은 전체 중량의 약 30% 정도이므로 인듐의 소비량은 약 300톤 내외로 추정되고, 나머지 70%(700톤)는 재생을 위해 ITO 및 IZO 타겟 제조회사 등에서 회수하고 있다(Yi et al., 2011).

4) 인듐 회수 및 재생처리업

① 인듐 회수 및 재생 처리과정

인듐 재생산업은 타겟 제조업체로부터 사용하고 남은 타겟 등의 원료를 공급받아 인듐 금속을 회수하여 순도를 높인 후, 인듐제품(ITO 타겟 등) 생산업체에 납품하고 있다. 인듐 회수의 첫 단계는 대개 사용하고

남은 타겟 또는 인듐제품 가공 공정에서 발생한 스크랩을 분쇄기로 분쇄한 후 염산, 황산 또는 질산 등으로 용해하는 공정을 거친다. 폐수에서 인듐을 회수하는 경우에는 인듐 함유량이 미량이기 때문에 가성소다를 이용하여 케이크 형태로 만들어 건조한 후 용해시킨 후 여과한다. 인듐이 용해된 용액은 아연 또는 알루미늄 치환 반응을 통해 인듐을 회수한다. 치환반응을 통해 회수된 스펀지 형태의 인듐은 주조공정을 통해 금속 인듐(순도 99% 이하)으로 만들어진다. 이후 전기분해 공정을 거쳐 순도를 높인 인듐은 다시 주조공정을 거쳐 인듐금속괴(Ingot)로 만들어진다. 전기분해 공정은 건식과 습식이 있는데, 우리나라는 대부분 습식 방법을 사용하고 있으며, 일부에서는 건식방법으로 사용하고 있다(Yi et al., 2011).

② 인듐 회수 및 재생 규모

국내에서는 ITO 타겟 및 산화인듐, 그리고 타겟 생산과정에서 발생하는 폐수 및 슬러지 등을 합하여 약 500톤 정도로부터 인듐을 재생하고 있는 것으로 추정된다. 인듐 재생업체는 약 10여개 정도로 파악되고 있다. 이들 업체는 소규모인데다가 업종이 제조업 또는 환경재생업 등으로 혼재되어 있고, 여러 가지 귀금속이나 희귀금속을 회수하고 있으며 수요나 가격에 따라 재생하는 금속의 종류가 수시로 바뀔 수도 있기 때문에 일부 인듐 재생 전문업체를 제외하고는 인듐재생업체 규모를 정확하기 어려운 실정이다(Yi et al., 2011).

IV. 결 론

1990년대 이전까지 인듐으로 인한 건강장해나 직업병사례가 보고된 바는 거의 없다. 이것은 인듐이 희귀금속의 일종으로 1990년대 이전까지는 전 세계적으로 극히 소량만 사용되었기 때문인 것으로 보인다. 1990년대 이후 인듐이 전도성 투명 디스플레이의 원료로 사용되면서 그 사용량이 기하급수적으로 증가한 일본에서 2001년 최초로 인듐에 의한 폐질환 직업병 발병과 함께 사망하는 사례가 보고된 이후, 일본은 물론 미국과 중국 등에서 연이어 인듐 관련 폐질환의 직업병 사례가 보고되었다. 현재까지 인듐에 의한 폐질환 직업병 사례가 보고된 것은 총 10건이며, 장해기전과 증상은 다양하여 정확하게 밝혀지지 않았지만 인듐은 호흡기에 여러 가지 건강장해를 유발하며, 심할 경우

치명적인 손상을 일으키는 것이 거의 확실한 것으로 보인다.

전자산업이 크게 발달한 우리나라에서도 정확한 사용량은 집계되지 있지 않지만 최근 몇 년간 인듐의 사용량이 크게 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 우리나라에는 인듐 관련 주요 산업인 인듐제련, ITO 타겟제조, ITO 타겟을 사용하는 디스플레이 제조, 그리고 인듐재생 사업장이 모두 영업을 하고 있는 것으로 확인되었으며, 각 공정 모두 인듐을 함유한 미세먼지에 노출될 가능성이 상당히 높았다.

따라서 우리나라의 인듐관련 근로자에 대한 인듐 노출정도 및 건강조사 또는 역학조사가 시급히 이루어져야 함은 물론 당장 인듐 노출을 감소시키기 위해 교육과 홍보는 물론 공학적 개선조치가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Cummings KJ, Walter E, Donat WE, Ettensohn DB, Roggli VL et al. Pulmonary alveolar proteinosis in workers at an indium processing facility. *Am J Respir Crit Care Med* 2010;181:458-464
- Cummings KJ, Nakano M, Omae, K, Takeuchi K, Chonan T et al. Indium Lung Disease. *Occup Env Lung Dis* 2012;141:1512-1521
- Homma T, Ueno T, Sekizawa K, Tanaka A, Hirata M. Interstitial pneumonia developed in a worker dealing with particles containing indium-tin oxide. *J Occup Health* 2003;45:137-139
- Homma S, Miyamoto A, Sakamoto S, Kishi K, Motoi N et al. Pulmonary fibrosis in an individual occupationally exposed to inhaled indium-tin oxide. *Eur Respir J* 2005;25:200-204
- Miyauchi H, Minozoe A, Tanaka S, Tanaka A, Hirata M et al. Assessment of Workplace Air Concentrations of Indium Dust in an Indium-recycling Plant. *J Occup Health* 2012;54:103-111
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGMR). Positioning and Globalization of Geo-Information and Geo-Technology. Ministry of Education, Science and Technology. 2007.
- Ministry of Health, Labour and Welfare(MHLW) of Japan. The 3rd workshop to exchange of information effect of indium to health. Ministry of Health, Labour and Welfare, 2009.
- Ministry of Health, Labour and Welfare(MHLW) of Japan.

- The Technical Guideline for Preventing Health Impairment of Workers Engaged in the Indium Tin Oxide Handling Processes. Ministry of Health, Labour and Welfare. 2010.
- Ministry of Knowledge Economy(MOKE). Rare metal indium, iridium authentic promote overseas development(Press release). Ministry of Knowledge Economy. 2011. Available from: URL: <http://www.mke.go.kr>
- Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE). Enforcement Decree of the Overseas Resources Development Business Act, Ministry of Trade, Industry & Energy, 2012
- Nakano M, Kamata H, Saito F, Tanaka A, Hirata M et al. A case of indium lung disclosed in health check-up. *Occup Health J* 2007;30:25-29
- Omae K, Nakano M, Tanaka A, Hirata M, Hamaguchi T et al. Indium Lung-case reports and epidemiology, *Int Arch Occup Environ Health* 2011;84:471-477
- Taguchi O, Chonan T, Three cases of indium lung. *J Jpn Respir Soc* 2006;44:532-535
- Takeuchi K, Pulmonary toxicity of indium. *Kokyu* 2008; 27(6):599-603
- Xiao YL, Cai HR, Wang YH, Meng FQ, Zhang DP. Pulmonary alveolar proteinosis in an indium-processing worker. *Chin Med J* 2010;123:1347-1350
- Yi GY, Lee NR and Shin JA. Research on exposure and management of insoluble indium compound, Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, 2011.
- Yi GY, Lee NR, You KH. Exposure and management of insoluble indium compound II, Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, 2012.