KIGAS Vol. 27, No. 4, pp 1~11, 2023
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2023.27.4.1

유기발광다이오드(OLED) 소재 제조 현장 여과 설비사용 위험성 및 개선 방안 연구

곽종구 · †강찬규*
한경대학교 석사과정, *한경대학교 교수
(2022년 7월 19일 접수, 2023년 10월 20일 수정, 2023년 12월 8일 채택)

A study on the Risks of Using Filtration Facilities at the Organic Light Emitting Diode(OLED) and Its Preventive Measures

Jong-Ku Kwak · †Chankyu Kang
School of Social Safety System Engineering, Research Center for Safety and Health, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea
(Received July 19, 2023; Revised October 20, 2023; Accepted December 8, 2023)

요 약

OLED 소재 시장의 규모는 2019년 11억 달러에서 2023년 23억 달러로 연평균 19% 이상 지속적인 성장이 예상된다. OLED 소재 제조사에서 주로 사용하고 있는 설비 중 여과 설비는 사용 시 화재, 폭발, 누출 등의 사고들이 빈번히 발생하고 있어, 이에 대한 여과 설비사용 시의 위험성 개선이 요구된다. 해당 연구에서는 여과 설비사용에 따른 위험성을 도출하기 위해 주요공정 즉 조립 및 분해공정, 여과공정, wet cake 회수공정, 세척공정의 4가지로 나누어 사고사례조사, 사전인터뷰, 설문조사 등을 실시하여 유해 위험 요인을 도출하였다. 설문 결과의 분석은 SPSS 21을 이용하여 빈도분석, Pearson 카이제곱 검정 분석을 수행하여 분석된 결과를 활용하여 위험성 개선 방안들을 제시하였다. 이 연구가 OLED 시장 규모가 확대됨에 따라 발생할 수 있는 안전 및 위험 요인들을 다루는데 기초자료가 될 것으로 기대한다.

Abstract - The size of the OLED material market is expected to grow from $1.1 billion in 2019 to $2.3 billion in 2023, with an average annual sustainable growth of more than 19%. Among the facilities mainly used by OLED material manufacturers, accidents such as fire, explosion, and leakage frequently occur when using filtration equipment, so it is necessary to improve the risk when using filtration equipment. In this study, it was divided into four main processes, namely, assembly and disassembly process, filtration process, wet cake recovery process, and washing process in order to derive the risks associated with the use of filtration equipment. Hazard factors were derived by conducting accident case investigations, preliminary interviews, and surveys. For the analysis of questionnaire results, statistical analysis such as frequency analysis and Pearson chi-square test analysis was performed using SPSS 21, and risk improvement measures were suggested using the analyzed results. It is expected that this study will serve as a basis for dealing with safety and risk factors that may occur as the size of the OLED market expands.

Key words : OLED, filtration equipment, explosion, fire, leakage, surveys

†Corresponding author:safetyfirst@hknu.ac.kr
Copyright ⓒ 2023 by The Korean Institute of Gas

Ⅰ. 서 론

유기발광다이오드 (OLED) 소재와 관련된 시장 규모의 확대는 유기발광다이오드(OLED) 소재 제조사의 성장이 예상되나 이로 인한 유해·위험 설비의 사용 또한 증가하게 된다 [1]. 유기발광다이오드(OLED) 소재 제조 설비 중 유해·위험 설비로는 여과 설비가 있으며 여과 설비를 사용 시에 누출, 화재, 폭발 등의 사고가 지속해서 발생하고 있다. 현재 알려진 사고사례는 국내와 국외로 나누어 Table 1과 Table 2에 제시하였다 [3-5]. 기존 국내 사고는 제약업, OLED 제조와 관련하여 사고가 발생하였으며 국외 사고는 주로 인도에서 발생하였다.

Table 1. Accident cases by filtration equipment in Soth Korea

No.	Accident day (Year/month)	Accident Summary
1	2003/ 10	In the antibiotic intermediate manufacturing process, after completing filtration and drying using a mobile Nutsche filter, the white powder inside the filter container is scraped with a rubber-shaped hand tool made of conductive material to pack the dried powder into a container and ship it. The static electricity accumulated in the powder is then collected. Sparks were generated due to discharge due to the use of a conductive rubber rat, which was ignited by the mixed vapor of isopropyl alcohol in the container, resulting in a primary explosion and secondary fire (1 person injured).
2	2013/ 01	A fire occurred due to cyclohexane leakage during the filtration process during prototype production at a raw drug manufacturing plant.
3	2013/ 01	While the target material was being supplied to the centrifuge, an explosion occurred due to static electricity generated by the high-speed rotation of the centrifuge while the concentration of toluene vapor contained in the target material was within the explosion range (one person died).
4	2016/ 01	A fire broke out due to static electricity during the process of filtering and washing crystallized concentrate after a synthetic extraction process at a pharmaceutical raw material manufacturing plant (one person died).
5	2017/ 01	In the reaction process of producing organic light-emitting diode (OLED) display materials at a synthetic dye factory, a fire occurred due to an unknown ignition source in the product and a trace amount of solvent remaining in the filter during product separation through a Nutsche filter (equipment damage).
6	2017/ 09	At an organic light-emitting diode (OLED) manufacturing plant, heptane, a flammable liquid, was dropped from a distiller to a Nutsche filter. During transport, a fire occurred due to an ignition source presumed to be static electricity, and part of the filter was damaged and part of the manufacturing building was destroyed.
7	2018/ 11	During a filter performance test at a pharmaceutical raw material manufacturing plant, oil vapor from a methanol mixture temporarily used in the filter caused an explosion and fire due to an ignition source presumed to be static electricity (1 person injured and part of the filter was damaged).
8	2019/ 01	At a pharmaceutical raw material manufacturing plant, a fire occurred in the filtrate container during separation of flammable liquid in a centrifuge after the crystallization step (part of the manufacturing building was destroyed).
9	2020/ 03	During the filtration process of filtering pharmaceutical raw materials and flammable liquid heptane through a filtration membrane, a fire broke out in a portable open filter, and the gloves of a worker working next to the filter caught fire, resulting in 2nd degree burns on the left hand of one person.
10	2021/ 03	After purifying the diatomaceous earth mixture with toluene, a flammable liquid, in the 2nd floor reactor, it was dropped 8m into the manhole above the Nucet filter on the 1st floor using a flexible hose of approximately 13m, and a fire and explosion occurred during transport (2 injured).

Table 2. Accident cases by filtration equipment in worldwide

No.	Accident day (Year/month)	Accident Summary
1	2005/01	At a fine chemical manufacturing company in India, a stainless steel reactor is filtered through a Nutsche filter using a high-density polyethylene (HDPE) hose, and the filtrate is unloaded into a high-density polyethylene (HDPE) barrel. A fire occurs and the equipment is damaged.
2	2016/ 02	Nutsche filter explosion at pharmaceutical intermediates manufacturing company in India (6 dead)

김태환(2020)은 2006년부터 2019년까지의 화재·폭발 사고 발생통계자료에 의하면 20건의 정전기로 추정되는 화재·폭발사고가 발생하였는데 그 중 여과장치에서 7건(35%)이 발생되어 여과 작업장에 대한 사고 대책이 필요하다는 결론을 도출하였다. 이를 위해 여과액 이송 시 유속을 제한하거나 여과기로 유입되는 지점을 하부 쪽까지 배관을 내려 유입하는 방식, 여과기 내부에 질소를 투입하여 불활성화 상태 유지, 전체 설비에 본딩하고 접지, 여과액이 공기 중에 노출되지 않도록 여과기 뚜껑 덮개를 덮기, 제전복 착용, 작업자는 작업 시 정전기 패드에 수시로 터치하여 사고를 예방하는 방안을 제시하였다 [6]. 김상길 외(2021)는 여과 공정 작업 시 상시적인 불활성 분위기 형성, 여액받이 통 끝단을 딥 파이프(DIP PIPE)로 제작하여 정전기 발생 최소화, 여과포 재질 개선을 통한 정전기 발생 최소화, 인화성 물질의 보관을 최소화하여 사고가 발생 시 피해를 최소화하여야 한다고 하였다[7]. 여과 설비의 경우 매면 누출, 화재, 폭발 등의 사고가 발생하고 있어, 최근 여과 설비의 유해·위험성 개선을 위한 연구 등이 실시되고 있지만 현재까지 구체적인 연구사례는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 여과 설비사용 공정의 유해·위험성을 세분화하여 분석하기 위해서 조립 및 분해 공정, 여과 공정, 웻케이크(Wet cake) 회수공정, 세척 공정, 4단계 공정으로 분류하고 유기발광다이오드(OLED) 소재 제조사에서 사용되고 있는 누체 필터를 대상으로 연구를 진행하였다. 이를 위해 해당 공정에서 근무하고 있는 근로자를 대상으로 설문 조사를 진행하고 통계분석을 진행하여 공정별 유해·위험인자를 도출하고 개선안을 제시하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

2.1. 유기발광다이오드(OLED) 소재 시장 규모

Fig.1은 유기발광다이오드(OLED) 소재 시장의 규모에 대해 나타내었다. 2019년 11억 달러에서 2023년 23억 달러로 연평균 19%이상 성장할 것으로 전망되는 시장으로 발광층 소재와 공통층 소재가 있다 [8].

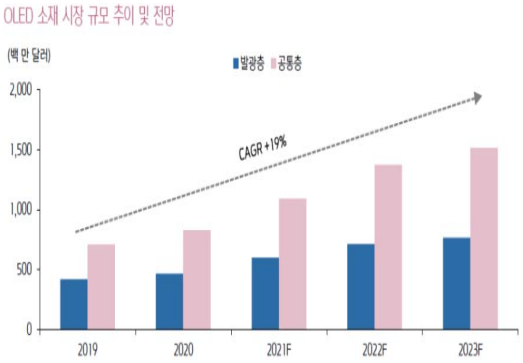

Fig. 1. OLED material market size and forecast (Kiwoom Securities Research Center, 2021 [9])

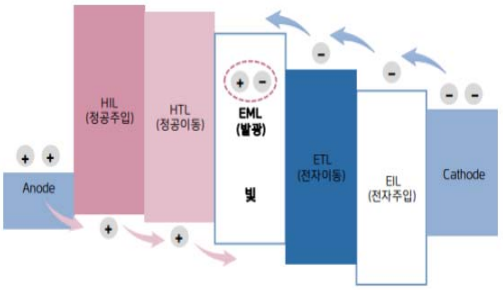

Fig. 2. OLED light emission principle(Kiwoom Securities Research Center, 2021[10])

2.2. 유기발광다이오드(OLED) 소재 이론

유기발광다이오드(OLED)란 전기를 가해 빛을 내는 전계발광을 기반으로 스스로 빛을 내는 자체 발광형 유기물질이다 [10]. OLED의 빛 방출에 대한 세부적인 사항을 Fig. 2에 제시하였다. 전류를 가했을 때 빛을 내는 발광물질들로 이루어진 발광층(EML)에서 전자와 정공이 서로 만나서 빛을 내게 된다. 이때 전자와 정공이 각각 효과적으로 이동할 수 있도록 돕는 공

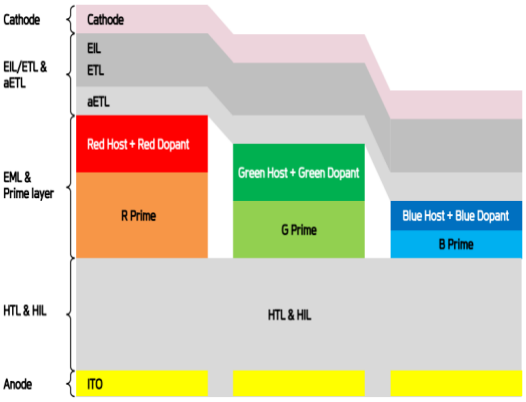

Fig. 3. OLED material structure(Kiwoom Securities Research Center, 2021[10])

통층들이 함께 존재하는데, 전자수송층(ETL)과 정공수송층(HTL)이 이에 해당된다 [11] .

Fig. 3은 유기발광다이오드(OLED)의 구조에 대해 나타내었다. 가장 핵심이 되는 소재는 발광층(EML)이다. 발광층(EML)은 레드(Red), 그린(Green), 블루(Blue)의 호스트(Host)와 도펀트(Dopa ant)로 각각 구성된다. 호스트 (Host)는 발광층(E ML) 안으로 들어온 전자와 정공이 서로 잘 만나서 결합할 수 있도록 하며 도펀트(Dopant)는 유기발광다이오드(OLED)가 발광하도록 하고 색상 등을 결정하는 역할을 한다. 발광층(EML)과 정공수송층(HTL) 사이에는 프라임(Prime) 소재가 증착된다. 프라임(Prime) 소재는 음극에서 넘어온 전자가 발광층(EML) 밖으로 범람하지 않고 발광층 (EML) 에서 정공을 만나 빛을 내도록 돕는 역할을 한다. 유기 발광다이오드(OLED) 소재의 정공수송층(HTL), 호스트(Host), 프라임(Prme)등의 중간체의 제조공정에는 여과 공정이 포함되어 있다 [12].

2.3. 유기발광다이오드(OLED) 소재 여과 설비

유기발광다이오드(OLED) 소재 여과 설비는 보통 누체 필터가 사용된다. 누체 필터는 반응기에서 원료 및 용매의 혼합이나 반응 후 고체와 액체 상태로 혼합된 물질을 분리하기 위한 용도의 여과 설비이며 상부 반응기에서 하부 누체 필터로 자유낙하 방식으로 반응물을 Fig. 4와 같은 재질이 스테인레스 스틸인 flexible 호스를 통하여 누체 필터로 이송되면 Fig. 5와 같은 재질이 펄프인 여과지를 거쳐서 고체와 액체의 상분리가 이루어진다. 여과지 위에 셀라이트나 실리카겔을 이용하여 불순물을 제거하는 용도로 사용하기도 한다. 누체 필터는 일반형과 가압형 두가지 종류가 사용되고 있으며 Fig. 6에서는 일반형 누체 필터, Fig.

Fig. 4. Flexible hose

Fig. 5. Filter paper

Fig. 6. Normal Nutsche Filter

Fig. 7. Pressurizedl Nutsche Filter

7에서는 가압형 누체 필터를 나타내었다. 일반형은 Fig. 8과 같이 대기 개방 상태에서 여과가 진행되는 반

Fig. 8. Open air filtration

Fig. 9. Closed filtration

Fig. 10. Hera for flattening wet cakes

Fig. 11. Scope for recovering wet cake

면 가압형은 Fig. 9와 같이 밀폐된 상태에서 여과가 진행된다. 여과 공정 중에 Wet cake가 쌓여서 여과막힘 현상이 발생할 수 있는 특성이 있는 제품군들은 일반형 누체필터를 사용한다. Wet cake를 평탄화하기 위해 Fig. 10과 같이 재질이 stainless steel 재질의 헤라를 사용하고 Wet cake를 회수할 시에는 Fig. 11과 같이 재질이 동일 재질의 스쿠프를 사용한다. 이와 같이 공정상 누체 필터는 유기발광다이오드(OLED)제조 공정에서 반복적인 작업으로 인해 유해·위험에 노출되고 있다.

Ⅲ. 연구 방법 및 결과

3.1. 연구방법

유기발광다이오드(OLED) 여과 설비 공정의 유해·위험성을 확인하기 위해 해당 연구에서는 3가지 방법을 사용하였다. 첫 번째, 국내 및 해외 여과 설비의 사고사례를 조사하였다. 이를 토대로 여과 설비의 유해·위험성을 파악하여 설문지를 개발하였다. 두 번째, 사전 인터뷰를 시행하여 유해·위험인자 대상자는 유기발광다이오드(OLED) 소재 여과 설비를 사용하는 현장 근로자 중 경력 5년 이상인 23명을 대상으로 사전 인터뷰를 시행하여 설문의 정확도를 높이고자 하였다. 여과 설비사용의 유해·위험성을 세분화하여 4가지 공정으로 분류하였다. 해당 유해·위험공정은 조립 및 분해 공정, 여과 공정, 웻케이크(Wet Cake) 회수공정, 세척 공정으로 분류하여 현장에서 체감하는 유해·위험 요인에 대해서 사전 인터뷰를 통해 확인하였다. 이를 통해 각각의 공정에서 발생할 수 있는 유해·위험 요인을 발굴하였다. 예비조사 결과 조립 및 분해 공정에서는 누체 필터 분해 시 잔류 유기용매 접촉 위험, 누체 필터 분해 조립 시 누체 필터 체결 부에 손가락 끼임 위험이 있음을 확인하였다. 여과 공정에서는 대기 개방 상태에서 여과 시 여과액 및 유증기에 신체접촉, 여과 시 Flexible 호스 체결부에서 누출위험에 의한 화재 위험성을 확인하였다. 웻케이크(Wet Cake) 회수공정에서는 스쿠프와 헤라 사용 시 정전기 스파

크로 인한 화재, 스쿠프와 헤라 사용 시 웻케이크(Wet Cake)에 신체접촉 위험 요인을 확인하였다. 세척 공정에서는 정전기로 인한 화재·폭발, 환기 부족 시 유기용매 흡입 중독, 세척 시 유기용매 신체접촉 위험 요인을 확인하였다. 세 번째, 사전 인터뷰를 통해 도출된 유해·위험 요인을 토대로 설문지를 구성하여 설문 조사를 시행하였다. 설문지는 사고사례, 인터뷰 내용, 위험성을 개선하기 위한 안전 조치사항 등을 반영하여 설문 문항을 개발하였으며 여과 설비를 사용하는 근로자 120명을 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 설문 문항으로는 기본사항 7문항, 일반사항 7문항, 조립 및 분해 공정 19문항, 여과 공정 31문항, 웻케이크(Wet Cake) 회수공정 16문항, 세척 공정 11문항으로 총 91문항으로 구성하였다. 설문지의 구성 내용은 Table 3과 같다.

3.2. 통계분석

설문 조사 결과에 대한 통계분석은 통계 프로그램인 SPSS Version 21(IBM, New York, USA)을 사용하였다. 기본사항, 일반사항 조립 및 분해 공정, 여과 공정, 웻케이크(Wet Cake) 회수공정, 세척 공정별로 구분하고 구분별 구성 내용에 대하여 빈도분석을 실시

Table 3. Contents of the questionnaire

Process	Contents	Number of Questions
Basic information	Name of company, responsibility, experience, gender, age, education background	7
General information	Risk of using filtration equipment, risk of using filtration equipment, education experience, accident experience, accident intensity, accident type, accident process, cause of accident	7
Assembly and disassembly	Finger pinch risk, finger pinch risk education, finger pinch prevention safety device, finger pinch safety device training experience, chemical inhalation poisoning risk, chemical inhalation poisoning risk education, wearing respirator, periodic replacement of purifier, local exhaust system, controlled wind speed, gas detector, work environment measurement, work environment measurement result, special health checkup, chemical skin contact risk, chemical skin contact risk education, chemical skin contact prevention Personal protective equipment, use of explosion-proof tools when disassembling filtration equipment, accident prevention measures	19
Filtration	Electrostatic fire hazard, electrostatic fire hazard education, wear antistatic clothing, hand touch antistatic pad facility, conductive material floor, fluid speed control, flexible hose connection, flexible hose leak check, flexible hose conductive material use, filtration equipment grounding , Separately connected grounding facility, grounding facility grounding alarm function, filtration of open air state, risk of chemical inhalation poisoning, wearing respiratory protection, chemical skin contact risk, chemical skin contact prevention Wear personal protective equipment, flexible nozzle valve , local exhaust system, control wind speed, gas detector, work environment measurement, splash filling method filtration, automatic valve or emergency shut-off button stop, pressurized state filtration, pressure gauge attached, pressure gauge pressure range value identification, use of pressure filtration pressure of 0.2 MPa or more, pressure Discharge device, dip pipe installation and 45 degree cut tip, accident prevention plan	31
Wet cake recovery	Use of scoop or spatula Fire hazard, scoop or spatula conductive material, conductive material floor, ground to scoop or spatula, filtration equipment grounding, local exhaust system, controlled wind speed, gas detector, work environment measurement, antistatic clothing, hand touch Anti-static Pad facility, risk of chemical inhalation poisoning, wearing respiratory protection, chemical skin contact risk, chemical skin contact prevention Wearing personal protective equipment, accident	16
Washing	MSDS training experience on cleaning products, training and practice on wearing personal protective equipment, risk of chemical inhalation poisoning, wearing respiratory protection, local exhaust system, controlled wind speed, gas detector, work environment measurement, chemical skin contact risk, chemical skin contact prevention Wear personal protective equipment and prevent accidents	11
Total		91

하였다. 공정별로 도출된 유해·위험 요인 요소와 연령, 최종학력, 담당업무 경력별로 차이가 있는지 확인하기 위해서 교차분석인 Pearson 카이제곱 검정을 수행하였다. 이를 통해 독립변수와 종속변수 사이에 연관성을 확인하였다. 설문에 참여한 연령은 20~29세(34.2 %, 41명), 30~39세(47.5 %, 57명), 40~49세(18.3 %, 22명)였으며, 최종학력은 고졸(27.5 %, 33명), 초대졸(39.2 %, 47명), 대졸 이상(33.3 %, 40명)으로 나타났다. 담당업무 경력별로 6개월 미만(9.2 %, 11명), 6개월~1년 미만(14.2 %, 17명), 1년 이상~3년 미만(18.3 %, 22명), 3년 이상~5년 미만(14.2 %, 17명), 5년 이상(44.2 %, 53명)이였다.

3.3. 연구결과

빈도분석의 설문 조사 결과를 토대로 유해·위험 요인을 도출하였다. 분석 결과는 Table 4에 제시하였다. 유해·위험률(%)은 긍정의 질문인 경우 각각의 변수의 퍼센트 중 "보통이다"를 제외하고 "그렇다"와 "매우 그렇다"로 응답한 합산 퍼센트로서 50 이상을 유해·위험 요인 요소로 선정하였다. 마찬가지로 부정의 질문인 경우 "그렇지 않다"와 " "전혀 그렇지 않다"라고 응답했을 때 유해·위험 요인 요소가 되는 변수가 있다. 유해·위험률(%)이 높은 수치로 유해·위험순위를 선정하였다. 유해·위험률(%)이 동률인 경우에는 각각의 변수에 따라서 "전혀 그렇지 않다" 또는 "매우 그렇다" 퍼센트가 높은 순으로 선정하였다.

조립 및 분해 공정(Assemblt and dis-assembly)에서 4가지 유해·위험 요인이 도출되었다. 여과 설비에 손가락 끼임 방지 안전장치 미설치가 유해·위험률 75%로 해당 공정에서 가장 유해·위험도가 높다고 응답하였다. 그 뒤를 여과 설비 분해 시 화학물질 피부접촉 위험성이 유해·위험률 74.1 %로 유해·위험성이 높은 것으로 확인되었다.

여과 공정 (Fitration) 에서는 7가지의 유해·위험 요인이 도출되었다. 그중에서 여과 설비와 이송라인을 flexible 호스로 연결하는 과정에서 발생하는 leak에 의한 유해·위험률이 95.8 %로 해당 연구에서 도출된

Table 4. Derived hazard factors, hazard ratio, and hazard ranking

Process	Hazard factors	NO. of HF	Hazard ratio (%)	Hazard ranking
Assembly and disassembly	Fingers caught in the joint when assembling the filtration equipment	1	65	14
	No pinch protection device installed in filtration equipment	2	75	9
	Risk of chemical inhalation poisoning when disassembling filtration equipment	3	65.8	12
	Risk of skin contact with chemicals when disassembling filtration equipment	4	74.1	10
Filtration	Risk of fire due to static electricity during fluid transfer	5	75.8	8
	Connect the filtration equipment and the transfer line with a flexible hose	6	95.8	1
	During filtration, the filtration process is carried out in an open atmosphere	7	85.0	3
	Risk of chemical inhalation poisoning when filtration is carried out in an open atmosphere	8	60.8	15
	Risk of skin contact with chemicals during filtration in open air	9	65	13
	Filtration by splash peeling method	10	59.2	16
	Filtration process proceeds while the filtration equipment is pressurized	11	86.7	2
Wet cake recovery	Fire hazard when using a scoop or spatula	12	57.5	17
	No grounding on scoop or spatula	13	71.7	11
	Risk of chemical inhalation poisoning	14	84.2	4
	Risk of skin contact with chemicals	15	81.6	7
Washing	Risk of chemical inhalation poisoning when using cleaning agents	16	83.3	5
	Risk of skin contact with chemicals when using cleaning agents	17	83.3	5

유해·위험순위에서 가장 위험도가 높게 나타났다. 이는 flexible 호스의 체결과정에서 내부 압력에 의한 호스가 배관에서 이탈할 가능성이 존재한다 [13] . 또한, 공정 특성상 여과 설비가 가압 상태에서 여과 공정 진행이 진행되는 것에 대한 유해·위험률 86.7 %로 전체 유해·위험순위 2위로 높은 위험성을 가지고 있음을 확인하여 공정개선 등 사업장의 환경에 맞는 적합한 위험성 저감방안이 요구된다. 또한 여과 시에 대기 개방 상태에서 여과 공정 진행이 되어 화재, 폭발, 누출에 대한 위험성이 큰 것으로 확인되었다. 즉 공정 대부분이 유해·위험도가 높으나 특히 여과 공정은 다른 공정들에 대해 높게 나타났으며 이를 보완하기 위한 노력이 필요하다.

웻케이크(Wet Cake) 회수공정에서는 유해·위험 요인들은 4가지가 도출되었다. 해당 공정에 사용되는 화학물질로 인한 근로자들의 흡입중독 위험성이 전체 공정에서 4번째로 위험하다고 응답하였고 유해·위험률 84.2 %였다. 또한 화학물질 취급에 따른 화학물질 피부접촉 위험성이 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 해당 공정에서는 인화성 유증기에 의해 스쿠프 또는 헤라에 접지가 되지 않을 경우 화재 및 폭발 위험성이 높은 것으로 확인되었다.

세척 공정에서는 2가지 유해·위험 요인이 도출되었다. 해당 공정에서 세척제 사용에 따른 유해·위험 요인들이 도출되었으며 세척제 사용 시 화학물질 흡입중독 위험성과 화학물질 피부접촉 위험성이 유해·위험률 83.3 %로 전체 유해·위험순위 5위에 선정되었다. 해당 공정에 근무하는 근로자들을 위해 세척제를 사용에 따른 MSDS를 반드시 확인하고 이를 건강 유해성이 낮은 대체물질을 사용하거나 국소 배기장치를 적절하게 설치하여 유해·위험성을 낮추어야 한다.

빈도분석을 통해 도출된 유해·위험 요인이 연령별로 차이가 있는지 알아보기 위해서 교차분석을 통해 Pearson 카이제곱 검정을 실시하였다. 연령별은 20~29세, 30~39세, 40~49세의 3개의 그룹 군을 형성하여 분석하였다. 각각의 공정에서 도출된 유해·위험요인 요소 항목에서 연령별로 차이가 있는지 분석하였다. 해당 결과는 Table 5에 나타내었다. 조립 및 분해 공정에서는 여과 설비에 손가락 끼임 방지 안전장치 미설치

Table 5. Results of the derived hazard factors (HF) and Chi-squared analysis by age

NO. of HF	Chi-sqare (X^2)	p value
1	8.901	0.351
2	11.903	0.003
3	10.712	0.219
4	9.800	0.279
5	15.523	0.050
6	2.951	0.229
7	3.525	0.172
8	14.880	0.136
9	17.384	0.026
10	15.051	0.058
11	3.382	0.184
12	5.685	0.683
13	18.528	0.018
14	19.324	0.013
15	9.818	0.278
16	20.703	0.008
17	20.347	0.009

Table 6. Results of the derived hazard factors (HF) and Chi-squared analysis by educational background

NO. of HF	Chi-sqare (X^2)	p value
1	4.782	0.781
2	0.231	0.861
3	9.539	0.299
4	4.052	0.852
5	6.150	0.630
6	0.177	0.915
7	5.357	0.069
8	17.887	0.057
9	7.414	0.493
10	7.516	0.482
11	7.541	0.023
12	11.499	0.175
13	7.978	0.436
14	7.629	0.471
15	10.337	0.242
16	11.601	0.170
17	12.110	0.146

Table 7. Results of the derived hazard facors(HF) and Chi-squared analysis by job experience

NO. of HF	Chi-sqare (X^2)	p value
1	20.160	0.213
2	7.980	0.092
3	21.405	0.163
4	20.479	0.199
5	17.680	0.343
6	1.647	0.800
7	7.043	0.134
8	25.248	0.192
9	28.693	0.026
10	37.511	0.002
11	6.399	0.171
12	41.733	0.000
13	33.258	0.007
14	27.342	0.038
15	13.667	0.623
16	26.651	0.046
17	12.249	0.727

항목이 점근유의확률 0.003으로 0.05보다 적어 연령별로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다 [14]. 여과 공정에서는 대기 개방 상태에서 여과 진행 시 화학물질 피부접촉 위험성 항목이 점근유의확률 0.026으로 연령별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 웻케이크(Wet Cake) 회수공정에서는 스쿠프 또는 헤라에 접지 미실시 항목이 점근유의확률 0.018, 화학물질 흡입중독 위험성 항목이 점근유의확률 0.013으로 연령별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 세척 공정에서는 세척제 사용 시 화학물질 흡입중독 위험성이 점근유의확률 0.008, 세척제 사용 시 화학물질 피부접촉 위험성이 점근유의확률 0.009로 연령별로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

빈도분석에서 도출된 유해·위험 요인이 최종학력별로 차이가 있는지 알아보기 위해서 Pearson 카이제곱 검정을 실시하였다. 최종학력 별은 고졸, 초대졸, 대졸의 3개의 그룹 군을 형성하여 분석한 결과는 Table 6에 나타내었다. 각각의 공정에서 도출된 유해·위험요인 항목에서 최종학력 별로 차이가 있는지 분석하였다. 조립 및 분해 공정에서는 도출된 유해·위험 요인 요소 모든 항목이 최종학력 별로 차이가 없는 것으로 나타났다. 여과 공정에서는 여과 설비가 가압상태에서 여과 공정 진행 항목이 점근유의확률 0.023으로 최종학력 별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 웻케이크(Wet Cake) 회수공정 및 세척 공정에서는 도출된 유해·위험요인 요소의 모든 항목은 최종학력 별로 차이가 없는 것으로 나타났다.

빈도분석에서 도출된 유해·위험 요인이 담당업무 경력별로 차이가 있는지 알아보기 위해서 Pearson 카이제곱 검정을 실시하였다. 담당업무 경력별로 5개의 그룹 군을 형성하여 분석한 결과는 Table 7에 나타내었다. 각각의 공정에서 도출된 유해·위험 요인 항목에서 담당업무 경력별로 차이가 있는지 분석하였다. 조립 및 분해 공정에서는 도출된 유해·위험 요인 모든 항목이 담당업무 경력별로 차이가 없는 것으로 나타났다. 여과 공정에서는 대기 개방 상태에서 여과 진행 시 화학물질 피부접촉 위험성 항목이 점근유의확률 0.026. 스플래쉬 필링방식 여과 진행 항목이 점근유의확률 0.002로 담당업무 경력별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 웻케이크(Wet Cake) 회수공정에서는 스쿠프 또는 헤라 사용 시 화재 발생 위험 항목이 점근유의확률 0.000, 스쿠프 또는 헤라에 접지 미실시 항목이 점근유의확률 0.007, 화학물질 흡입중독 위험성 항목이 점근유의확률 0.038로 담당업무 경력별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 세척 공정에서는 세척제 사용 시 화학물질 흡입중독 위험성이 점근유의확률 0.046으로 담당업무 경력별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 유기발광다이오드(OLED) 제조사에서 사용하고 있는 여과 설비인 누체 필터 사용의 유해·위험성을 분석하고 개선책을 마련하고자 하였다. 누체 필터 유해·위험성을 사용 공정별로 세분화하여 조립 및 분해 공정, 여과 공정, 웻케이크(Wet Cake) 회수공정 세척 공정 등 4가지 공정으로 분류하였으며 누체 필터를 사용하고 있는 현장 근로자 120명을 대상으로 사전 인터뷰 및 설문 조사를 실시하였다. 경력 5년 이상 근로자 23명에 대한 사전 인터뷰를 토대로 설문지를 구성하였으며 사전 인터뷰에 응한 인원을 포함하여 설문을 진행하였다. 빈도분석 결과를 활용하여 유해·위험 요인를 도출하였으며, 도출된 유해·위험요인과 연령별, 최종학력 별, 담당업무 경력별로 교차분석을 실시하여 연관성 유무를 확인하였다. 분석된 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 조립 및 분해 공정에서는 여과 설비 조립 시 체결부위에 손가락 끼임을 예방하기 위해서 탑헤드 (TOP HEAD)에서 쉘(SHELL)로 하강시키는 장치인 실린더핸드펌프(CYLINDER HAND PUMP) 에 레귤레이터를 설치하여 탑헤드(TOP HEAD)가 일정한 속도를 유지하여 하강할 수 있도록 공정개선이 요구된다.

2) 여과 공정에서는 첫 번째 유체 이송 시 정전기로 인한 화재 발생 위험을 개선하기 위해서 정전기로 인한 화재 발생 위험성에 관한 교육 및 여과 공정 주변에 손 터치 정전기 방지 패드 시설을 설치하는 등 정전기 예방을 위한 공정개선이 필요하다. 일부 여과 공정은 비도전성 재질의 바닥에서 실시가 되고 있어 도전성 재질로 개선하고, 유체 이송 시 유체의 속도는 1 m/s 이하로 조절해야 한다. 여과 설비에 별도로 연결하는 접지 시설을 보유하고, 접지 시설에 접지 유무를 확인할 수 있도록 알람기능이 있어서 접지가 실패하면 알람을 발생시키고 접지가 성공하면 알람이 꺼지도록 공정을 개선하는 것도 고려해 볼 필요가 있다.

3) 여과 설비와 이송 라인을 flexible 호스로 연결해서 여과 공정을 진행할 때 누출의 위험성을 개선하기 위해서는 여과 전에 flexible 호스와 여과 설비와의 체결상태에 문제가 없는지 확인해서 누출을 예방하여야 한다. flexible 호스는 도전성 재질을 사용해서 정전기가 축적되지 않도록 한다.

4) 대기 개방 상태에서 여과 공정이 진행될 때 인화성 증기에 의한 화재 위험성을 개선하기 위해서 flexible 호스 노즐에 밸브를 설치해서 유량을 조절하여 여과할 수 있도록 한다. 작업자는 flexible 호스를 여과 설비에 밀착시켜서 여과를 하여서 flexible 호스와 여과 설비가 본딩이 되도록 하여 정전기 발생을 억제하여야 한다.

5) 설문 조사 결과 대부분의 사업장에서 대기 개방 상태에서 여과 시 작업자가 flexible 호스를 손으로 잡은 상태에서 여과 공정이 진행되고 있는 것으로 확인되어 splash filling 방식으로 여과가 진행될 수 있으므로 최대한 기벽에 여과액을 흘려서 여과될 수 있도록 한다. 대기 개방 상태에서 여과는 화학물질 누출 위험성이 존재한다는 근로자들의 의견을 반영하여 여과 장소에는 누출 여부를 확인할 수 있도록 적절한 위치에 가스 감지기를 설치하여 사고를 예방할 수 있을 것이다.

6) 여과 설비가 가압 상태에서 여과 공정 진행 시 유해·위험성을 개선하기 위해서 여과 설비에는 압력계 및 압력방출장치가 설치하고 압력계는 압력 범위 값을 눈으로 식별할 수 있도록 공정을 개선하여야 한다.

7) 웻케이크(Wet Cake) 회수공정에서는 스쿠프 또는 헤라 사용 시 화재 발생 위험을 개선하기 위해 서 스쿠프 또는 헤라의 재질은 정전기가 축적되지 않는 재질인 도전성 재질을 사용해야 하고 스쿠프 또는 헤라에 접지하여야 한다.

8) 세척 공정에서는 첫 번째 세척제 사용 시 화학물질 흡입중독을 예방하기 위해서 물질안전보건자료(MSDS), 화학물질 흡입중독 위험성, 개인보호구 착용 교육 및 실습, 세척 공정 장소에 국소 배기장치를 설치하고 제어풍속은 주기적으로 점검하여 제어풍속이 기준치 이상일 때만 작업하도록 한다.

9) 작업자는 화학물질 누출에 따른 호흡용 보호구를 착용하고 작업하며 호흡용 보호구 정화통은 주기적으로 교체하도록 한다.

10) 두 번째 세척 공정 장소에서 화학물질 피부접촉을 예방하기 위해서 사업장은 화학물질 피부접촉 위험성에 관한 교육을 시행해야 하며 작업자는 피부접촉을 예방하기 위한 개인보호장구를 착용하고 작업하도록 한다.

향후 연구에서는 공정별 유해· 위험성 예방 조치 및 개선 방안에 대해서 구체적인 실행방안 및 효과성 여부를 검증하고 추가적인 공정 개선대책을 마련해야 할 필요가 있다.

REFERENCES

[1] KIWOOM. https://bbn.kiwoom.com/research/VAnalystDetailView?sqno=3958&workId=3712026&deptTp=D0000002&rMenuGb=CI

[2] ENVIRONMENT SAFETY HEALTH COMMUNITY. https://eshc.kr/bbs/board.php?bo_table=bbs03_02&wr_id=3

[3] Lee, D., Lee, T., and Shin, C., “Study of the improvement of hazardous chemical management for chemical accident prevention”, *Fire Science Engineering*, **31**(1), 74-80, (2017)

[4] KOREA OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH AGENCY. file:///C:/Users/user/Downloads/1%ED%98%B8_%ED%99%94%ED%95%99%EC%82%AC%EA%B3%A0_%EC%82%AC%EB%A1%80%EC%97%B0%EA%B5%AC_%EC%88%98%EB%8F%84%EA%B6%8C.pdf

[5] MINISTRY OF LABOUR & EMPLOYMENT, GOVERNMENT OF INDIA. https://dgfasli.gov.in/en/case-studies/tamil-nadu

[6] Kim, T. H., “Research on risk improvement policy for facilities handling dangerous materials in API (Active pharmaceutical ingredients) separation pro-

cess” , MS Thesis, (2020)
[7] Kim. S. G., Lee, D. J., Yang, S. B., and Rhim, J. G., “ A study on prevention fire accidents by splash filling in the filtration process of pharmaceutical companies”, *KIGAS,* **25**(6), 32-33, (2021)
[8] Global Economic Newspaper. https://www.getnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=625565
[9] Kiwoom Securities Research Center. https://www.kiwoom.com/h/ir/engintroduce/VEngResearchView
[10] Chen, H., Lee, J., Lin, B., Chen, S., and Wu, S., “Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives”, *Light: Science & Applications*, **7**, 17168, (2018)
[11] Chen, J., Cranton, W., and Fihn, M., “H*andbook of visual display technology*”, 1st ed., Springer, New York, (2012)
[12] Woo, J. Y., Lee, J. H., and Han, T., “Characterizing solution-processed small- molecule organic light-emitting diodes depending on host composition of emitting layer”, *Journal of Flexible and Printed Electronics*, **2**(1), 107-118, (2023)
[13] Marine accident investigation branch reports. https://www.gov.uk/maib-reports/safety-warning-issued-about-the-hazards-of-flexible-hose-installations
[14] White, N. M., Balasubramaniam, T., Nayak, R., and Barnett, A. G., “ An observational analysis of the trope ” A p-vaule of <0.05 was considered statistically significant“ and other cut-and-paste statistical methods”, *PLOS ONE*, **17**(3), e0264360, (2022)