

LCD 제조공정에서 사용되는 화학물질의 종류 및 특성

박승현* · 박해동 · 노지원

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Types & Characteristics of Chemical Substances used in the LCD Panel Manufacturing Process

Seung-Hyun Park* · Hae Dong Park · Jiwon Ro

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to investigate types and characteristics of chemical substances used in LCD(Liquid crystal display) panel manufacturing process.

Methods: The LCD panel manufacturing process is divided into the fabrication(fab) process and module process. The use of chemical substances by process was investigated at four fab processes and two module processes at two domestic TFT-LCD(Thin film transistor-Liquid crystal display) panel manufacturing sites.

Results: LCD panels are manufactured through various unit processes such as sputtering, chemical vapor deposition(CVD), etching, and photolithography, and a range of chemicals are used in each process. Metal target materials including copper, aluminum, and indium tin oxide are used in the sputtering process, and gaseous materials such as phosphine, silane, and chlorine are used in CVD and dry etching processes. Inorganic acids such as hydrofluoric acid, nitric acid and sulfuric acid are used in wet etching process, and photoresist and developer are used in photolithography process. Chemical substances for the alignment of liquid crystal, such as polyimides, liquid crystals, and sealants are used in a liquid crystal process. Adhesives and hardeners for adhesion of driver IC and printed circuit board(PCB) to the LCD panel are used in the module process.

Conclusions: LCD panels are produced through dozens of unit processes using various types of chemical substances in clean room facilities. Hazardous substances such as organic solvents, reactive gases, irritants, and toxic substances are used in the manufacturing processes, but periodic workplace monitoring applies only to certain chemical substances by law. Therefore, efforts should be made to minimize worker exposure to chemical substances used in LCD panel manufacturing process.

Key words: Chemical substances, Color filer, Liquid crystal display(LCD), Module, Thin film transistor(TFT)

I. 서 론


반도체 제조공정 노동자의 백혈병 발생 원인에 대한 사회적인 관심이 높은 가운데 최근에는 반도체 제조공정과 유사한 공정을 보유하고 있는 액정표시장치(Liquid crystal display, LCD) 제조공정 노동자의 건강영향에 대한 관심도 증가하고 있다. LCD 제조공정은

반도체 제조공정과 같이 클린룸 설비 내에서 공정이 이루어지며 유리기판을 세정하고, 박막을 증착하고, 포토 및 식각공정을 통해 회로패턴을 형성하는 일련의 과정을 거치는데 반도체 제조공정에서 웨이퍼를 세정하고 박막을 증착하며 포토 및 식각공정을 통해 회로패턴을 완성하는 것과 제조기술에 있어서 유사한 점이 많다.


LCD는 액정(Liquid crystal)으로 빛의 투과량을 조

*Corresponding author: Seung-Hyun Park, Tel: 052-7030-880, E-mail: sh903park@kosha.or.kr
400, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44429

Received: July 17, 2019, Revised: August 30, 2019, Accepted: September 15, 2019

 Seung-Hyun Park <https://orcid.org/0000-0002-6515-4428>

 Hae Dong Park <https://orcid.org/0000-0002-3497-0369>

 Jiwon Ro <https://orcid.org/0000-0002-5946-0429>

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.

절하여 다양한 색깔을 나타내는 장치이다. 고체와 액체의 중간 상태를 띠는 물질인 액정에 전압을 인가해 주면 액정배열을 변형시켜 액정셀에 입사된 빛을 투과시키거나 차단할 수 있다(Kim & Choi, 2004; Yoon, 2004; Lee & Yoon, 2008). LCD 제조산업에서는 화면의 밝고 어두운 정도에 따라 전기적으로 액정을 통제하는 기술이 중요한데 현재 사용되고 있는 기술이 박막트랜지스터(Thin film transistor, TFT) 기술이다. 박막트랜지스터-액정표시장치(TFT-LCD) 기술은 1980년대 초에 개발되어 현재까지 LCD 산업에서 널리 사용되고 있다(Lee & Yu, 2002; Yoon, 2004; Lee & Yoon, 2008). TFT-LCD 제조공정은 박막트랜지스터를 배열한 유리기판과 컬러화소를 배열한 유리기판을 제조하여 액정을 주입하고 두 기판을 결합한 다음 정해진 크기로 잘라주고 편광판, 회로기판, 백라이트 등을 부착하여 최종적으로 LCD 제품을 생산하는 공정이다.

산업안전보건연구원의 연구결과에 의하면 우리나라 반도체 제조공정에서 가공되는 웨이퍼는 직경이 10~30cm 정도이었는데(Park et al., 2012), LCD 산업의 경우는 수 m² 크기(가로×세로)의 유리기판을 가공한다는 점을 고려해 볼 때 다음과 같은 작업환경을 예상해 볼 수 있다. LCD 공정은 반도체 공정보다 많은 양의 화학물질이 사용될 수 있고, 유리기판과 가공장비의 크기가 커서 가공과정에서 발생하는 화학물질을 효과적으로 제어하기 어려울 수 있다. 물론 이것은 해당 산업 및 사업장의 생산물량에 따라 차이가 있을 수 있다. 그리고 대만의 연구결과에 의하면 LCD 공정의 배관이나 설비의 점검과정에서 유해물질 누출로 인한 급성중독 사고가 발생할 수 있다(Wu et al., 2008; Lin et al., 2010; Lee et al., 2011; Park et al., 2013).

TFT-LCD 공정의 유해요인에 관한 연구 문헌은 많지 않으나 일부 휘발성유기화합물에 대한 노출 평가를 한 사례가 있다. Wu et al.(2004)은 LCD 제조공정에서 아세톤, 이소프로필알콜, 톨루엔, 초산부틸, 프로필렌글리콜모노메틸에테르 아세테이트(PGMEA) 등 휘발성유기화합물에 대한 평가를 수행한 바 있고, Chang et al.(2010)은 LCD 제조공정 노동자의 휘발성유기화합물 노출과 신장질환에 대한 연구를 수행한 바 있다. 동 연구에서 평가한 주요물질은 에탄올, 아세톤, 이소프로필알콜, 프로필렌글리콜모노메틸에테르(PGME), PGMEA, 톨루엔, 크실렌 등이었다. 우리나라에서는 Yi et al.(2012)이 인듐 제련, 인듐주석산화물(ITO) 타깃 제조,

ITO 코팅, 인듐 재생 등 인듐 화합물 취급 사업장의 노출실태 및 관리방안을 연구하면서 LCD 공정에서 ITO 증착시의 인듐 노출농도 평가를 실시한 바 있다.

LCD 제조 사업장에서는 세정, 증착, 포토, 식각 등 다양한 세부공정을 통해 LCD 패널을 가공하며, 각각의 공정에서는 유기용제, 금속, 반응성 가스, 무기산 등 많은 화학물질을 사용하고 있으나 LCD 제조공정에서 사용되고 있는 화학물질에 대해 체계적으로 조사 연구된 사례가 보고된 바 없다. 따라서 LCD 제조공정에서 사용되고 있는 화학물질을 파악하여 작업환경 관리 등 노동자 건강보호 방안 마련에 활용하도록 할 필요가 있다. 본 연구에서는 LCD 제조공정에 대한 이해와 각각의 공정에서 사용되는 화학물질의 종류와 특성을 파악하여 향후 노동자들의 건강보호 방안 마련을 위해 활용할 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

II. 대상 및 방법

본 연구에서는 국내 TFT-LCD 제조사업장 2개사의 4개의 가공라인과 2개의 모듈라인을 대상으로 사업장에서 이루어지고 있는 공정현황에 기초하여 화학물질 사용현황을 파악하였다. A사와 B사 두 회사 모두 1990년대 중반부터 TFT-LCD 제조를 위한 생산라인을 가동하였다. 현재 A사와 B사 모두 초기에 가동한 생산라인은 생산성 등을 고려하여 정리를 하고 있는 상태이다. LCD 제조공정은 TFT 및 컬러필터 유리기판에 설계패턴을 완성하고 액정을 주입하여 합착하는 가공(Fabrication, Fab) 공정과 이후 편광판이나 회로기판 등을 부착하여 최종적으로 조립하는 모듈(Module) 공정으로 크게 나누어 볼 수 있다. 각각의 공정내에는 매우 다양한 단위 공정을 포함하고 있으므로 이를 생산라인(가공라인, 모듈라인)의 개념으로 보는 것이 이해하기 쉽고 사업장에서도 그렇게 부르고 있다.

1. 연구대상

국내 TFT-LCD 제조사업장 2개사의 4개의 가공라인과 2개의 모듈라인을 대상으로 공정별 화학물질 사용현황을 파악하였다. 가공라인의 경우 해당 사업장에서 가장 오래된 가공라인 각 1개와 2000년대 중반에 가동을 시작하여 현재까지 TFT-LCD를 생산하고 있는 가공라인 각 1개를 연구대상으로 하였다. 가장 오래된 가공라인을 선정한 것은 두 사업장 모두 생산성 등을 고려하

여 오래된 라인은 점차 정리를 하고 있으므로 향후 시간이 경과하면 과거 생산라인에 대한 평가가 어려워질 수 있으므로 연구대상으로 선정하였다. A 사업장에서는 590 × 670 mm 크기의 모바일용 디스플레이 생산라인 1개와 1,500 × 1,850 mm 크기의 모니터 및 TV용 디스플레이 생산라인 1개를 연구대상으로 하였고, B 사업장에서는 1,100 × 1,300 mm 크기의 모바일, 태블릿, 모니터용 디스플레이 생산라인과 1,870 × 2,200 mm 크기의 모바일, 태블릿, 모니터, TV용 디스플레이 생산라인을 연구대상으로 하였다. 그리고 모듈라인의 경우는 이 두 개의 가공라인에서 가공된 중간제품을 최종 조립하는 모듈라인 각 1개를 연구대상으로 하였다.

2. TFT-LCD 공정 개요

연구대상 각 사업장에 대해 생산라인별로 공정 분류가 가능한 수준에서 대, 중, 소로 분류하고 각각의 세부 공정별로 공정 개요에 대한 설명을 요청하였다. 이와 함께 세부 공정에 대한 파악을 위해 문헌 검토를 병행하였다 (Haq, 1988; ILO, 1998; Jeong et al., 2001; Lee & Yu, 2002; Kim & Choi, 2004; Yoon, 2004; Kang, 2007; Lee & Yoon, 2008; Chae, 2009; Chang, 2010; Ahn & Lee, 2011; Yi et al., 2012; Jeong, 2012).

3. 공정별 화학물질 파악

연구대상 사업장의 화학물질 현황을 파악하기 위해 각각의 공정에서 사용되고 있는 화학물질 함유 제품의 사용량, 구성성분, CAS 번호, 함유량에 대한 조사지를 제공하고 이에 따라 세부 공정별 화학물질 사용현황을 요청하였다. 그리고 이를 검토하여 구성성분이 명확하지 않는 등 추가적인 정보가 필요한 경우는 성분확인을 위해 사업장의 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)나 한국산업안전보건공단의 MSDS 데이터베이스를 검토하였다(KOSHA, 2019). 이번 연구에서는 2014~2015년도에 조사대상 LCD 생산라인에서 주로 사용하고 있던 화학물질 현황을 파악한 것으로 사업장에서 사용하는 모든 물질이 조사된 것이 아니며 현재 사업장에서 더 이상 사용하지 않는 물질이 있을 수 있고 이 이외에 다른 물질을 사용하고 있는 경우가 있을 수 있다.

III. 결 과

1. TFT-LCD 제조공정 분류

Table 1은 TFT-LCD 제조공정을 분류해 놓은 것이다. 표에서 보는바와 같이 TFT-LCD 제조공정은 가공(Fabrication, Fab)라인과 모듈(module)라인으로 생

Table 1. Classification of TFT-LCD manufacturing process

Production line	Main process	Unit process
Fabrication (Fab)	Thin film transistor (TFT)	Cleaning
		Deposition (Chemical vapour deposition, Sputter)
		Photo
		Etch(Dry, Wet)
		Strip
		Cleaning
	Color filter (CF)	Deposition(Sputter)
		Photo
		Cleaning
		Polyimide(PI)
		Rubbing
		Filling(dropping) of LC
Liquid crystal (LC)	Post-fab process(Cutting, Grinding)	
	Cleaning	
	Adhesion of Polarizer	
	Adhesion of Driver IC & PCB*	
	Assembly	
	Inspection	

* IC & PCB: Integrated circuit & Printed circuit board.

산라인 단위로 크게 분류할 수 있다. 가공라인은 TFT 유리기판과 컬러필터 유리기판에 설계패턴을 완성하고 중간에 액정을 주입하여 합착하는 생산라인을 말하며, 모듈라인은 가공라인에서 가공된 중간제품에 편광판이나 인쇄회로기판(Printed circuit board, PCB) 등을 부착하여 최종적으로 조립하는 생산라인을 말한다.

가공라인은 TFT, 컬러필터(Color filter, CF), 액정(Liquid crystal, LC) 공정으로 주요 공정을 분류할 수 있다. 먼저 TFT 공정은 액정을 제어하는 박막트랜지스터를 설계하는 공정으로 전도성, 절연성 박막을 증착하고 감광액(Photoresist, PR)을 도포한 후 원하는 설계패턴을 기판에 완성하는 공정들로 구성되어 있다. TFT 공정에는 유리기판을 세정하는 세정(cleaning)공정을 비롯하여 유리기판위에 물리화학적 방법으로 박막을 형성하는 증착(deposition)공정, 설계된 회로패턴을 유리기판에 구현하는 포토(photolithography)공정, 포토공정에서 형성된 설계패턴을 완성하기 위하여 산성용액이나 활성화된 가스를 이용하여 증착된 표면을 부식, 제거하여 원하는 설계패턴을 완성하는 식각(etch)공정, 식각공정에서 설계패턴을 완성한 후 유리기판에 잔류하는 감광액 성분을 제거해 주는 박리(strip)공정으로 크게 분류할 수 있다. 증착공정에서 이루어지는 증착방법은 알루미늄, 구리와 같은 금속타깃 물질에 플라즈마를 가하여 증착하는 스퍼터(sputter) 방식의 물리적기상증착과 실란, 암모니아 등과 같은 물질의 화학적반응을 통해 증착을 하는 화학적기상증착이 사용되고 있다. 포토공정에서는 빛에 민감한 성분이 포함된 PR을 유리기판에 도포한 후 UV 빛을 조사하여 해당 부분만 선택적으로 현상액으로 용해해 내는 기술이 활용되고 있다. 컬러필터 공정은 유리기판을 세정하는 세정공정, ITO 증착공정인 스퍼터 공정과 포토공정으로 크게 나누어서 설명할 수 있다. 컬러필터 공정에서는 TFT 공정에서와 같이 여러 종류의 타깃 물질로 증착을 하는 것은 아니고 투명 전극인 ITO 증착이 주로 이루어지고 있다. 다만 생산라인에 따라서는 블랙매트릭스(Black matrix, BM) 형성을 위해 크롬증착이 이루어지는 경우도 있다. 액정 공정은 TFT 공정과 컬러필터공정에서 가공된 각각의 유리기판에 배향막을 인쇄하고 액정을 주입한 후 두 개의 유리기판을 합착하고 패널(panel) 단위로 절단하는 공정을 말한다. 액정공정에서는 세정액과 탈이온수를 이용하여 유리기판을 세정한 다음 배향막인 폴리이미드(Polyimide, PI) 고분자막을 인쇄하는 공정, 원활한 액

정의 구동 방향 및 각도 형성을 위해 배향막 표면을 처리하는 러빙(rubbing) 공정(액정이 배향되도록 약 6,500-7,000 rpm의 고속으로 회전하는 러빙포가 감겨 있는 롤러에 배향막이 도포된 유리기판을 통과시켜서 배향막 표면에 골을 만들어주는 공정), TFT 공정과 컬러필터 공정에서 가공된 두 개의 유리기판 사이에 액정을 주입하고 합착하는 액정주입(Filling of liquid crystal) 공정, 합착 완료된 유리기판을 패널 단위로 잘라주고 모서리 부분을 마무리해 주는 절단 및 연마(cutting & grinding) 공정으로 크게 구분된다.

모듈라인은 단위 부품을 하나의 LCD 모듈로 조립하는 공정으로 액정 공정에서 합착되어 절단된 패널에 편광판(polarizer)을 부착한 다음 Driver IC(LCD를 구동 또는 제어하기 위한 필수적인 집적회로) 칩과 인쇄회로기판을 부착하고 백라이트(Back light unit, BLU)를 연결한 후 최종 검사하는 생산라인이다.

2. 공정별 주요 사용물질

LCD 제조공정에서 사용하고 있는 물질을 가공라인의 대분류 공정인 TFT, 컬러필터, 액정공정과 모듈라인으로 구분하여 설명하면 다음과 같다.

1) TFT-LCD 가공라인 주요 사용물질

(1) 박막트랜지스터(Thin film transistor, TFT) 공정
TFT 공정은 세정, 증착, 포토, 식각, 박리 공정 등에서 화학물질을 사용하고 있는데 포토공정의 경우는 사용하는 화학물질의 종류가 많아 다른 공정과 분리하여 설명하겠다. Table 2는 TFT 공정에서 포토공정을 제외한 나머지 공정인 기판세정(Glass cleaning), 증착(sputter 및 CVD), 습식식각(Wet etch), 건식식각(Dry etch), 박리(strip) 공정에서 사용하는 화학물질을 정리해 놓은 것이다. TFT 공정에서는 가장 먼저 기판세정 공정을 통해 유리기판의 이물질을 제거한다. 일반적으로 UV나 플라즈마 설비를 이용하여 기판의 유기물을 제거하고 다음으로 탈이온수(Deionized water, DI)를 이용하여 기타 이물질을 제거한다. 사업장에 따라서는 수산화테트라메틸암모늄(Tetramethylammonium hydroxide, TMAH) 용액을 이용하여 세정한 후 마무리로 DI를 이용하여 세정하기도 한다. 증착공정의 경우는 물리적기상증착과 화학적기상증착으로 나누어 설명할 수 있고, 물리적기상증착의 경우는 스퍼터 방식에 의한 증착이 이루어지고 있다. 스퍼터 공정에서는 타깃

Table 2. Chemical substances used in unit processes(except photo process) in TFT

Unit process	Chemical substances
Glass cleaning	Deionized water(DI), Tetramethylammonium hydroxide(TMAH)
Sputter	Aluminum(Al), Copper(Cu), Indium(In), Indium Tin Oxide(ITO), Indium Zinc Oxide(IZO), Molybdenum(Mo), Molybdenum-Titanium(Mo-Ti), Oxygen, Titanium(Ti), Cleaning agent(Ethanol)
CVD	Ammonia, Argon, Diborane, Fluorine, Helium, Hydrogen, Nitrogen trifluoride, Nitrogen, Nitrous oxide, Phosphine, Silane
Wet etch	Acetic acid, 5-Aminotetrazole, Ammonium fluoride, Ammonium hydrogen difluoride, Ethylene glycol, Ammonium phosphate, Potassium sulfate, Cupric sulfate, Ferric nitrate, Hydrofluoric acid, Hydrogen peroxide, Nitric acid, Oxalic acid, Phosphoric acid, Sulfuric acid, Tetramethylammonium hydroxide(TMAH)
Dry etch	Argon, Borontrichloride, Chlorine, Helium, Hydrogen chloride, Hydrogen, Nitrogen trifluoride, Nitrogen (purge), Octafluorocyclobutane, Oxygen, Sulfur hexafluoride, Tetrafluoromethane, Trifluoromethane
Strip	2-(2-Aminoethoxy) ethanol, Amine compound(trade secret), Diethylene glycol monoethyl ether (or 2-(2-Ethoxyethoxy) ethanol), Dimethylacetamide(DMAc), N-Methyl-2-pyrrolidone(NMP), Tetrahydrofurfuryl alcohol

Table 3. Chemical substances used in photo process in TFT

Classification	Chemical substances	
Resin (Polymer)	Acrylic polymer, Acrylic resin, Cresol Novolak resin, Metacrylate copolymer, Multi-functional acrylate, Novolak resin	
Photo resist	Solvent	Diethylene glycol ethyl methyl ether, Dipropylene glycol dimethyl ether, Ethyl-3-ethoxy propionate(EEP), Methyl-3-methoxy propionate(MMP), Propylene glycol monomethyl ether acetate(PGMEA)
	Others	Benzyl alcohol, Diazonaphthoquinone sulfonic acid ester, Hexamethyldisilazane(HMDS), Photo active compound(trade secret), Photo initiator(trade secret), Alcoxysilane compound(trade secret), 2,4,6-Trimethylbenzoyl diphenylphosphine oxide, 2,4,6-Trimethylbenzoyldiphenyl phosphine oxide(TPO)
Cleaning agent	Acetone, Butyl acetate, Isopropyl alcohol(IPA), Methyl-3-methoxy propionate, PGME, PGMEA, Wiper (Ethanol, IPA)	
Developer	Tetramethylammonium hydroxide(TMAH) solution	

(target) 물질로 알루미늄(Al), 구리(Cu), 인듐(In), ITO, 인듐아연산화물(Indium zinc oxide, IZO), 몰리브덴(Mo), 몰리브덴-티타늄(Mo-Ti) 등이 사용되고 있었고, 플라즈마 형성을 위한 가스로 아르곤(argon)과 산소(oxygen)를 사용하고 있었다. 화학적기상증착 공정에서는 암모니아(ammonia), 아르곤, 디보란(diboran), 불소(fluorine), 헬륨(helium), 수소(hydrogen), 삼불화질소(Nitrogen trifluoride), 질소(nitrogen), 아산화질소(Nitrous oxide), 포스핀(phosphine), 실란(silane) 등의 가스상 물질을 사용하고 있다. 포스핀의 경우 보통 수소에 1% 정도의 포스핀이 혼합되어 있다. 식각공정은 금속막의 식각을 위한 습식식각과 절연막 등의 식각을 위한 건식식각으로 구분할 수 있다. 습식식각 공정에서는 초산(Acetic acid)을 비롯하여 불화암모늄(Ammonium fluoride), 불산(Hydrofluoric acid), 과산화수소(Hydrogen peroxide), 질산(Nitric acid), 인산(Phosphoric acid), 황산(Sulfuric acid), TMAH

등이 사용되고 있다. 한편 건식식각 공정에서는 아르곤, 삼염화붕소(borontrichloride), 염소(chlorine), 헬륨, 수소, 염화수소(Hydrogen chloride), 삼불화질소, 육불화황(Sulfur hexafluoride) 등의 물질을 이용하여 식각을 하고 있었다. 그리고 포토공정 이후 잔류 유기물질을 제거하기 위한 박리용액으로는 2-(2-아미노에톡시)에탄올(2-(2-Aminoethoxy) ethanol), 디메틸아세트아미드(Dimethylacetamide, DMAc), N-메틸-2-피롤리돈(N-Methyl-2-pyrrolidone, NMP) 등이 혼합된 용액을 사용하고 있다. 생산라인에 따라서는 특정 아민 화합물과 기타 물질을 혼합한 혼합물을 사용하기도 한다. 한편 TFT 공정에서는 증착공정 전후 및 포토공정 전에 이물을 제거하는 세정공정이 있는데 현재 탈이온수 이외에 특별히 사용하고 있는 물질은 없었다. 다만 공정에 따라서 UV 또는 플라즈마를 이용하여 추가적인 세정작업을 수행하고 있었다.

Table 3은 TFT 포토공정에서 사용하고 있는 물질을

정리해 놓은 것이다. 포토공정에서 사용되는 화학물질은 감광액(Photoresist, PR), 세척제(Cleaning agent), 현상액(developer)으로 크게 구분하여 설명할 수 있다. 감광액은 수지나 폴리머에 유기용제와 기타 감광성 성분 등이 포함된 물질이다. 수지나 폴리머 성분으로는 아크릴수지(Acrylic resin), 크레졸노보락수지(Cresol Novolak resin), 메타아크릴레이트 공중합체(Metacrylate copolymer), 노보락수지 등이 사용되고 있었다. 감광액 용제로는 디에틸렌글리콜에틸메틸에테르(Diethylene glycol ethyl methyl ether), 디프로필렌글리콜디메틸에테르(Dipropylene glycol dimethyl ether), 에틸-3-에톡시프로피오네이트(Ethyl-3-ethoxy propionate, EEP), 메틸-3-메톡시프로피오네이트(Methyl-3-methoxy propionate, MMP), PGMEA와 같은 유기화합물이 사용되고 있었다. 기타 감광액 성분으로는 벤질알코올(Benzyl alcohol), 디아조나프토퀴논설펜산에스테르(Diazonaphthoquinone sulfonic acid ester), 헥사메틸디실라잔(Hexamethyldisilazane, HMDS), 광반응성화합물(Photo active compound), 광개시제(Photo initiator) 등이 사용되고 있었다. 그리고 현상액으로는 TMAH 용액이 사용되고 있었다.

(2) 컬러필터(Color filter, CF) 공정

Table 4는 컬러필터 포토공정에서 사용되는 화학물질을 정리해 놓은 것이다. TFT 공정과 같이 컬러필터

공정에서도 가장 먼저 기판세정 공정을 통해 유리기판의 이물질을 제거한다. UV나 플라즈마 설비를 이용하여 기판의 유기물을 제거한 다음 탈이온수를 이용하여 기타 이물질을 제거하고 있으며 사업장에 따라서는 TMAH 용액을 이용하기도 한다. 컬러필터 포토공정에서도 TFT 포토공정에서와 같이 감광액의 기본적인 구성 성분인 고분자 수지, 용제, 기타 광활성 물질 등이 사용되는 것은 유사하나 차이점은 안료가 사용된다는 점이다. 컬러필터 공정에서는 파랑색(Pigment blue), 녹색(Pigment green), 빨강색(Pigment red), 노랑색(Pigment yellow)의 안료와 카본블랙, 염료(dye) 등이 사용된다. 컬러필터 포토공정에서 사용되는 고분자수지 또는 고분자 형성 물질로는 아크릴수지, 크레졸노보락수지, 가교제(Cross-linking agent), 에폭시수지(Epoxy resin), 다기능성 아크릴레이트(Multi-functional acrylate) 등이 사용되고 있었다. 그리고 용제로는 2-부톡시에탄올(2-Butoxy ethanol), 2-부톡시에탄올아세테이트(2-Butoxy ethanol acetate), 시클로헥사논(cyclohexanone), EEP, MMP, n-부틸아세테이트(n-Butyl acetate), PGME, PGMEA와 같은 유기화합물이 사용되고 있었다. 컬러필터 공정의 감광액 용매로 가장 많이 사용되고 있는 물질은 PGME와 PGMEA 이었다. 기타 감광액 성분으로는 벤질알코올(Benzyl alcohol), 결합제(Coupling agent), 디아조나프토퀴논설펜산에스테르, 광반응성화합물, 광개시제, 폴리아믹산(Polyamic acid), 계면활성

Table 4. Chemical substances used in photo process in CF

Classification	Chemical substances
Glass cleaning	Deionized water(DI), Tetramethylammonium hydroxide(TMAH)
Pigment	Pigment(blue, green, red, yellow), Carbon black, Dye(trade secret)
Resin (Polymerization)	Acrylate monomer(trade secret), Acrylic resin, Cresol Novolak resin, Cross-linking agent(acrylate compound), Epoxy resin(trade secret), Isobornyl methacrylate, Methacrylic acid polymer, Multi-functional acrylate(trade secret), Resin(trade secret)
Photo resist	Solvent 2-Butoxyethanol, 2-Butoxyethanol acetate, n-Butyl acetate, Cyclohexanone, Diethylene glycol ethyl methyl ether, Ethyl-3-ethoxy propionate, Methyl-3-methoxy propionate, Propylene glycol diacetate, 3-Methoxy butyl acetate, Methyl acrylate, Methyl methacrylate, Propylene glycol monomethyl ether(PGME), Propylene glycol monomethyl ether acetate(PGMEA)
Others	Benzyl alcohol, Coupling agent(trade secret), Diazonaphthoquinone sulfonic acid esters(trade secret), Photo active compound(trade secret), Photo initiator(trade secret), Polyamic acid(trade secret), Surfactant(trade secret)
Cleaning agents	Acetone, Citric acid, Nitric acid, Potassium hydroxide, TMAH solution, Surfactant(trade secret), PGME, PGMEA
Developer	Polyoxyethylene derivative(trade secret), Potassium hydroxide, TMAH, Surfactant(trade secret)

제(surfactant) 등이 사용되고 있었다. 감광액 성분 중에서 결합제, 광반응성화합물, 광개시제, 폴리아미산, 계면활성제 등은 그 구체적인 물질명이 영업비밀로 분류되어 있다. 세정제로는 아세톤, 질산, 수산화칼륨, TMAH 용액, 계면활성제, PGME, PGMEA 등이 사용되고 있었다. 현상액으로는 폴리옥시에틸렌 유도체(Polyoxyethylene derivative), 수산화칼륨(Potassium hydroxide), TMAH 용액, 계면활성제 등이 사용되고 있었다.

(3) 액정(Liquid crystal, LC) 공정

Table 5는 액정공정에서 사용되는 화학물질을 정리해 놓은 것이다. 먼저 세척공정에서는 아세톤, 아민화합물, 2-(2-아미노에톡시) 에탄올, 에탄올아민(Ethanol amine), 에틸렌글리콜(Ethylene glycol), 이소프로필알콜, 디메틸아세트아미드, NMP, TMAH 용액 등이 사용되고 있었다. 다음으로 배향막인 폴리이미드를 인쇄하는 공정에서는 2-부톡시에탄올, 감마-뷰티로락톤(γ -Butyrolactone), 결합제, NMP, 폴리아미산, 폴리이미드 등을 사용하고 있었다. 액정공정은 TFT 공정과 컬러필터 공정에서 가공된 두 개의 유리기판 사이에 액정을 주입하고 합착하는 공정으로 이를 VALC(Vacuum alignment with liquid crystal) 또는 VAS(Vacuum alignment system)라고 부르는데 이것은 진공하에서 합착한다는 의미이다. 액정 공정에서는 한쪽 유리기판에는 액정을 적하(dotting)하고 다른 한쪽 유리기판에는 액정이 새는 것을 방지하기 위해 실런트(sealant)를 도포한다. 실런트는 액정이 새는 것을 방지하는 것 이외에도 두 개의 유리기판 사이에 간격(gap)을 형성시켜 주는 역할을 하는데 이로 인해 사업장에서는 동

공정을 Gap이라고 부르기도 하며 어떤 경우에는 ODF(One drop filling)이라고 부르기도 하는데 이는 액정을 적하하여 주입하는 공정이라는 뜻이다. 먼저 LCD 제조에 사용되는 액정으로는 비시클로헥산계(bicyclohexanes), 비페닐계(biphenyls), 시클로헥실페닐계(cyclohexylphenyls), 치환페닐계(Substituted phenyls) 혼합물이 사용되거나 이중 일부 물질로 구성된 혼합물이 사용되는 경우가 있었으며, 알킬레이트 치환 비시클로헥산(Alkylated substituted bicyclohexane), 프로필레이트 치환 비시클로헥산(Propylated substituted bicyclohexane), 기타 액정 등도 사용되고 있었다. 사업장에서는 모든 액정에 대해서 그 구체적인 물질명을 영업비밀로 관리하고 있었다. 실런트로는 비스페놀 A 에 피클로로히드린 폴리머(Bisphenol A epichlorohydrin polymer), 메타크릴산메틸 폴리머(Methylmethacrylate polymer), 첨가제, 경화제 등이 혼합된 혼합물이 사용되거나, 아크릴-에폭시수지(Acryl-epoxy resin), 아민 화합물, 실리카(silica), 무기충진제(Special inorganic filler), 실란화합물(Silane compound), 광민감성화합물 또는 열에 민감한 화합물(Heat sensitive compound) 등이 혼합된 혼합물이 사용되고 있었다. 실런트의 경우 많은 구성성분의 명칭이 영업비밀로 관리되고 있었다.

2) 모듈(Module) 라인 주요 사용물질

모듈라인에서는 LCD 패널에 Driver IC 칩을 부착한 다음 이것을 PCB 기판에 부착하는 공정에서 화학물질이 사용되고 있다. 부착을 위해서는 ACF(Anisotropic conductive film)라 불리는 이방성 도전성접착제를 이용하는데 압착시 ACF내의 도전 볼(Ball)이 터지면서

Table 5. Chemical substances used in LC process

Unit process	Chemical substances
Cleaning	Acetone, Amine compound(trade secret), 2-(2-Aminoethoxy) ethanol, Diethylene glycol monomethyl ether, Ethanol amine, Ethylene glycol monobenzyl ether, Ethylene glycol, Isopropyl alcohol, Dimethylacetamide(DMAc), N-Methyl-2-pyrrolidone(NMP), TMAH, Additive(trade secret)
PI	2-Butoxy ethanol, γ -Butyrolactone, Coupling agent(trade secret), Modified polyimide(trade secret), N-Methyl-2-pyrrolidone(NMP), Polyamic acid(trade secret), Polyimide(trade secret)
LC	Alkylated substituted bicyclohexane, Bicyclohexanes types, Biphenyls types, Cyclohexylphenyls types, Propylated substituted bicyclohexane types, Substituted phenyls types, Other Liquid Crystals, * All LCs are trade secret.
LC Sealant	Acryl resin(trade secret), Acryl-epoxy resin(trade secret), Amine compound(trade secret), Bisphenol A epichlorohydrin polymer(resin), Epoxy resin, Fiberglass wool, Gold, Hardener, Heat sensitive compound(trade secret), Methacryl-epoxy resin(trade secret), Methylmethacrylate polymer, Nickel, Photo sensitive compound(trade secret), Silane compound(trade secret), Silica(trade secret)

Table 6. Chemical substances used in Module process

Products	Chemical substances
Anisotropic conductive film (ACF)	Acryl resin, Acrylonitrile resin, Aluminium hydroxide, Bisphenol A Epoxy resin, Hardener, Nickel, Nickel/Gold-plated plastic particles, Organoantimony compound, Polyurethane resin, Others
UV hardener	Acrylic oligomer, Dipentaerythritol hexaacrylate, Isobornyl acrylate, Lauryl acrylate, Photo initiator(trade secret), Urethane acrylate

도전(전기적으로 연결)이 이루어진다. 압착시 가해지는 온도는 약 300℃~460℃ 정도이다. ACF는 고분자(polymer) 필름과 도전 필러(filler)로 구성되어 있는 도전성 접착제이다(정진식, 2012). Table 6은 모듈공정에서 사용하고 있는 화학물질을 정리해 놓은 것이다. ACF의 경우 니켈(nickel) 또는 니켈/금 도금 플라스틱 입자(Nickel/Gold-plated plastic particles), 아크릴 수지, 아크릴로니트릴 수지(Acrylonitrile resin), 비스페놀 A 에폭시수지(Bisphenol A epoxy resin), 폴리우레탄 수지(Polyurethane resin), 유기안티몬화합물(Organoantimony compound), 수산화알루미늄(Aluminium hydroxide), 경화제 등이 구성성분으로 포함되어 있다. 사업장에서는 ACF의 수지, 경화제, 기타 성분 등 많은 물질을 영업비밀로 유지하고 있다. 그리고 습기 등에 의한 불량을 예방하기 위해 칩 접착부에 UV 경화용 접착제 등으로 도포를 한 후 UV를 이용하여 경화시켜 주는데 경화제의 성분으로 아크릴릭 올리고머(Acrylic oligomer), 디펜타에리스리톨헥사아크릴레이트(Dipentaerythritol hexaacrylate), 이소보닐아크릴레이트(Isobornyl acrylate), 라우릴아크릴레이트(Lauryl acrylate), 우레탄아크릴레이트(Urethane acrylate), 광개시제 등이 사용되고 있다.

IV. 고 찰

LCD 제조 사업장에서는 대부분의 공정에서 화학물질이 사용되고 있었으며 주로 사용되고 있는 공정은 증착공정, 식각공정, 박리공정, 포토공정, 세정공정, 배향공정, 액정공정 등이라 할 수 있다. 특히 화학물질을 가장 많이 사용하는 포토공정의 경우에는 매우 다양한 종류의 감광액(PR)이 사용되고 있었다. LCD 제조 사업장별로 사용하는 물질에 다소 차이는 있으나 주요하게 사용되는 물질은 유사하다고 할 수 있다. LCD 제조공정에서 사용되고 있는 화학물질 특성을 공정별로 살펴보면 다음과 같다.

1. TFT 공정 취급 화학물질 특성

TFT 공정에서는 유리기판에 박막트랜지스터를 설계하기 위해 세정, 증착, 포토, 식각, 박리 등의 세부 공정이 이루어지고 있다. 가장 먼저 기판세정 공정을 통해 유리기판의 이물질을 제거하는 데 일반적으로 UV나 플라즈마 설비를 이용하여 기판의 유기물을 제거하고 다음으로 탈이온수나 TMAH 용액을 이용하여 습식으로 세정을 한다. UV나 플라즈마 설비에 의한 건식 세정과정에서는 오존이 발생될 수 있으므로 작업자의 노출을 최소화 할 수 있도록 관리가 필요하다(Takenoshita et al., 2016). 증착공정은 물리적 또는 화학적인 방법으로 유리기판위에 박막을 형성시키는 공정이다. 이번 연구 대상 LCD 제조공정에서 물리적 방법에 의한 박막 증착 작업은 스퍼터 방식에 의한 증착방법을 이용하고 있었다. 스퍼터 공정에서는 진공상태에서 몰리브덴, 알루미늄 등과 같은 금속판 타겟에 플라즈마를 가하여 금속입자를 유리기판에 증착시키는 공정이다. 따라서 스퍼터 공정에서 사용하고 있는 주요 물질은 금속판 타겟으로 사용하기 위한 금속이나 금속화합물이고 단일 성분, 합금, 혼합물 등으로 구성되어 있다. 스퍼터 공정에서 사용되고 있는 타겟 물질로는 알루미늄, 구리, 인듐, ITO, IZO, 몰리브덴, 몰리브덴-티타늄 등이 사용되고 있었다. 그리고 플라즈마 형성을 위한 가스로 아르곤과 산소를 사용하고 있었다. 스퍼터 공정에서는 밀폐된 챔버내에서 증착이 이루어지고 있으나 유지보수가 필요한 경우에는 챔버를 열고 부품교체, 세정, 타겟 교환 등의 유지보수작업이 이루어지고 있으므로 이 과정에서 작업자들이 금속 및 그 화합물에 노출될 수 있을 것이다. Yi et al.(2012)은 디스플레이 제조업 증착공정에서 ITO 타겟의 교체, 세정 등 유지보수 작업을 수행할 때 인듐 화합물에 노출될 수 있고 그 농도 수준은 호흡성분진의 농도로 평균 0.004 mg/m³(0.0003~0.0305 mg/m³)으로 보고한 바 있다. 우리나라 인듐화합물의 노출기준은 호흡성분진으로 0.01 mg/m³이다(MOEL, 2018).

화학적기상증착 공정은 실란, 암모니아, 포스핀 등의 화학물질들의 화학적 반응을 통해 유리기판에 박막을 증착하는 공정으로 반응성 가스 등이 주로 사용된다. 화학적기상증착 공정에서는 암모니아, 디보란, 불소, 수소, 삼불화질소, 아산화질소, 포스핀, 실란 등의 화학물질이 사용되고 있다. 화학적기상증착 공정에서는 암모니아, 삼불화질소, 포스핀, 실란 등의 유해가스를 사용하는 관계로 공기정화시설에서 최종 처리되기 전에 가공라인 하부 공간에 설치되어 있는 1차 스크리버에서 먼저 유해가스를 처리해 주고 있다. 화학적기상증착 공정에서는 가스의 반응으로 박막을 형성하는데 이때 사용하고 남은 가스나 반응 부산물 등의 잔유물은 진공 펌프에 의해 1차 스크리버에 도입되는데 1차 스크리버에서는 보통 800°C 내외의 온도에서 화학적기상증착 공정 잔유물을 먼저 회화시킨 후 습식탱크(Wet tank)에서 가스를 처리한다. 따라서 화학적기상증착 공정에서는 가공라인의 클린룸 내부의 작업자의 유해가스 노출 예방을 위한 노력 이외에도 가공라인 하부공간에서 유지보수작업 등을 수행하는 작업자의 유해가스 노출 예방을 위한 노력도 필요하다.

포토공정에서는 고분자수지, 유기용제, 감광성 성분 등으로 구성된 수십 여종의 감광액이 사용되고 있다. 감광액은 디아조나프토퀴논설폰산에스테르와 같이 빛에 민감한 성분이 포함되어 있어 이러한 성분에 UV 빛이 조사되면 해당 부분만 선택적으로 현상액으로 용해해 낼 수 있다. 감광액으로 널리 알려진 물질중의 하나가 DNQ-Novolac 포토레지스트이다. 여기서 Novolac은 Novolac resin(노보락수지)을 말하며, 포토공정 이후 식각과정에서 감광액 하부의 증착된 유리기판을 보호하기 위한 매트릭스이고, 현상액에 용해될 수 있는 성분이다. DNQ의 경우는 빛이 조사되기 전에는 감광액내에서 노보락수지의 용해 억제제로 작용을 하다 빛이 조사되면 구조가 변하여 빛이 조사된 부분은 현상액에 용해가 된다(Henderson research group, 2019). 그리고 유기용제는 고분자수지와 감광성성분 등의 용매(solvent)로서의 역할을 하고 있다. 현재 LCD 사업장에서 감광액의 고분자수지로 사용되고 있는 물질은 아크릴수지, 크레졸노보락수지, 메타아크릴레이트 공중합체, 노보락수지 등이다. 그리고 빛에 민감한 성분은 앞서 설명한 디아조나프토퀴논설폰산에스테르(DNQ), 2,4,6-트리메틸벤조일디페닐 포스핀옥사이드(TPO), 광활성

제, 광개시제 등이다(Anyang General Chemical Co., 2019). TFT 포토공정에서는 벤질알콜, DNQ, TPO를 제외한 나머지 광활성제와 광개시제의 구체적인 물질명을 영업비밀로 관리하고 있었다. 광활성제와 광개시제는 빛이 조사되었을 때 감광액의 구조 변화와 현상액에서의 용해 여부를 결정하는 중요한 성분으로 LCD 사업장에서는 이를 핵심기술로 관리하고 있다고 여겨진다. 감광액에 사용되는 유기용제는 디에틸렌글리콜에틸테르, 디프로필렌글리콜디메틸에테르, EEP, MMP, PGMEA와 같은 유기화합물이 사용되고 있었는데 현재 사업장에서 감광액의 용제로 사용하고 있는 물질은 주로 글리콜에테르(Glycol ether) 화합물을 많이 사용하고 있는 것이 특징이라 할 수 있다. 한편 포토공정에서 사용되고 있는 세척제로는 감광액의 용매로 사용되는 유기용제인 PGMEA, MMP를 비롯하여 글리콜에테르 화합물인 PGME, 그리고 일반적으로 많이 알려진 유기용제인 아세톤, 부틸아세테이트, 이소프로필알콜 등과 에탄올이나 IPA가 함유된 와이퍼가 사용되고 있었다. 그리고 현상액으로는 TMAH 용액이 주로 사용되고 있었다. 한편 유리기판에 감광액을 도포하기 전에 헥사메틸디실라잔(HMDS)을 도포하는데 이는 감광액이 유리기판에 접착되도록 돕기 위함이다.

2. 컬러필터 공정 취급 화학물질 특성

컬러필터 공정은 기판세정 공정, ITO 증착공정, 포토 공정으로 나누어서 설명할 수 있다. 기판세정 공정에서는 TFT 공정에서와 같이 UV나 플라즈마 설비에 의한 건식 세정과정에서 오존이 발생할 수 있다. 컬러필터 공정에서는 TFT 공정에서와 같이 여러 종류의 타깃 물질로 증착을 하는 것은 아니고 ITO 타깃을 사용하여 스퍼터 방식으로 유리기판에 투명전극 물질인 ITO를 증착한다. 다만 생산라인에 따라서는 블랙매트릭스 형성을 위해 크롬증착이 이루어지는 경우도 있다. 컬러필터 포토공정에서 사용되는 감광액은 안료, 고분자수지(또는 고분자 형성제), 유기용제, 감광성 성분 등으로 구성되어 있는데 TFT와 다른 점은 안료가 사용된다는 점이다. 컬러필터 포토공정에서는 빛의 3원색인 빨강색, 녹색, 파랑색을 나타내주기 위해 3가지 색깔의 안료(Pigment red, Pigment green, Pigment blue, RGB)와 검정색의 블랙매트릭스(RGB 세가지의 픽셀을 구분해 주는 역할)를 위해 카본블랙이 주로 사용되고

있고 경우에 따라서는 노랑색의 안료(Pigment yellow)가 다른 색의 안료와 같이 사용되기도 한다. 컬러필터 공정에서는 블랙매트릭스, RGB 각각이 함유된 감광액이 유리기판에 도포되며 이후 노광, 현상, 건조 등의 과정은 TFT 공정과 같다. 다만 감광액 자체에 포함된 안료가 색깔을 나타내 주므로 박리과정을 통해 제거하지 않는다. 컬러필터 포토공정에서 사용되는 안료 성분의 경우는 영업비밀로 유지되고 있는 경우가 있었다. 그리고 아크릴수지, 노보락수지, 에폭시수지, 에폭시계 폴리머 등의 고분자 수지(폴리머)와 다관능성 아크릴 모노머, 아크릴레이트 모노머, 기능성 아크릴모노머 등이 사용되고 있었다. 컬러필터 포토공정에서는 TFT 포토공정과 달리 고분자 수지 이외에도 모노머(monomer)도 사용되고 있었는데 이는 빛에 민감한 광개시제와 반응하여 현상액에 용해되지 않는 안정적인 폴리머를 형성하기 위함이다. TFT 감광액의 경우는 빛이 조사된 부분이 현상액에 용해되는 포지티브(positive) 방식의 감광액이 많이 사용되는데 컬러필터 공정에서는 빛이 조사되지 않은 부분이 현상액에 용해되고 빛이 조사된 부분이 남아있는 네가티브(negative) 방식도 많이 사용된다. 컬러필터 감광액의 용매로는 2-부톡시에탄올, 2-부톡시에탄올 아세테이트, PGME, PGMEA 등과 같이 글리콜에테르 화합물이 주로 사용되었다. 앞서 설명한 TFT 포토공정의 경우도 기본적으로 글리콜에테르 화합물이 주로 사용되었는데 컬러필터 포토공정에서는 TFT 포토공정에서 보다 다양한 유기용제가 감광액 용매로 사용되고 있었다. 이는 컬러필터 포토공정에서 사용되는 물질이 TFT 포토공정 보다 다양하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 벤질알코올, 디아조나프토퀴논설폰산에스테르 이외의 광개시제, 광활성제는 구체적인 물질명을 영업비밀로 관리하고 있었다. LCD 사업장에서는 TFT 공정에서와 같이 컬러필터 공정에서도 광활성제와 광개시제를 핵심기술로 관리하고 있다고 여겨진다. 한편 컬러필터 포토공정에서 사용되고 있는 세척제로는 감광액의 용매로 사용되는 유기용제인 PGME, PGMEA를 비롯하여 아세톤, 질산, TMAH, 수산화칼륨도 세척을 위한 용도로 사용되기도 한다. 현상액으로는 TMAH 이외에도 폴리옥시에틸렌계 유도체, 수산화칼륨, 계면활성제 등이 사용되고 있었다. 컬러필터 포토공정에서 사용되는 현상액 또한 TFT 공정보다는 다양한 물질들을 사용하고 있었다.

3. 액정공정 취급 화학물질 특성

액정공정은 TFT 공정과 컬러필터 공정에서 가공된 각각의 유리기판에 배향막을 인쇄하고 액정을 주입한 후 두 개의 유리기판을 합착하고 패널 단위로 절단하는 공정을 말하며 배향, 러빙, 세정, 액정주입, 절단 및 연마 등의 하부공정으로 구성되어 있다. 액정 공정에서는 배향막인 폴리이미드(PI)를 인쇄하기 전에 세정을 위해 에탄올아민, 아미노에톡시 에탄올, 기타 아민화합물, 에틸렌글리콜, 디에틸렌글리콜모노메틸에테르, 디메틸아세트아미드, TMAH, NMP와 같은 물질이 사용되는데 이들 물질은 아민화합물과 글리콜에테르 화합물이라는 특징이 있었다. 그리고 PI 인쇄공정에서는 배향막의 원료인 폴리이미드와 수정된 형태의 폴리이미드가 사용되고 있는데 세부적인 구조는 영업비밀로 유지되고 있었다. 그리고 기판과 폴리이미드와의 접착부에 적용되는 결합제 성분 또한 영업비밀로 유지되고 있다. 유기용제로는 2-부톡시에탄올, 감마-뷰티로락톤, NMP 등이 사용되고 있었다. 이들 유기용제는 끓는점이 170~210℃의 범위에 있고 모두 물과 섞일 수 있는 물질이다. 액정으로는 비스클로헥산계, 비페닐계, 시클로헥실페닐계, 치환페닐계 혼합물 등이 사용되고 있었는데 모든 액정의 구체적인 물질명은 영업비밀로 관리되고 있었다. 그리고 액정이 새는 것을 방지하고 두 개의 유리기판 사이에 간격을 형성시켜주기 위해 실런트를 사용하는데 실런트 성분 중 수지, 광민감성화합물, 열민감성화합물 등은 구체적인 물질명을 영업비밀로 관리하고 있었다.

4. 모듈공정 취급 화학물질 특성

모듈공정은 가공라인에서 가공된 패널에 편광판을 부착한 다음 LCD를 구동시켜주는 Driver IC와 PCB 등을 연결한 후 최종 검사하는 공정이다. 모듈공정에서는 LCD 패널에 Driver IC 칩을 부착한 다음 이것을 PCB 기판에 부착하는 과정에서 ACF라 불리는 이방성 도전성접착제를 이용하는데 압착시 ACF내의 도전 볼(ball)이 터지면서 도전이 이루어진다. 압착시 300℃~460℃ 정도의 온도가 가해지고 있어서 압착과정에서 휘발성유기화합물이 발생할 가능성이 있다. 사업장에서는 ACF의 수지, 경화제, 기타 성분 등을 영업비밀로 유지하고 있다. 습기 등에 의한 불량을 예방하기 위해 칩 접착부에 UV 경화용 접착제 등으로 도포를 한 후 UV를 이용하여 경화시켜 주는데 아크릴레이트 화합물이 포함된 UV 경화용 접착제를 주로 사용하고 있었다. UV 경화제

에는 광개시제가 포함되어 있는데 포토공정에서와 같이 광개시제 성분은 영업비밀로 관리되고 있다.

5. 연구의 제한점

본 논문은 LCD 제조공정에서 사용되는 화학물질의 종류와 특성에 중점을 둔 논문이며 화학물질의 유해유해성, 작업환경 관리방안에 대한 세부적인 고찰은 충분히 이루어지지 않았다. 후속 논문에서는 LCD 제조공정에서 사용되는 화학물질의 유해위험성, 노출농도 평가 결과, 작업환경 관리방안 등을 제시할 계획이다.

V. 결 론

LCD 제조공정은 수십개의 매우 세분화된 공정을 통해 LCD 패널을 가공, 조립하며 TFT 및 컬러필터 유리 기판에 LCD 회로패턴을 구성하는 등의 공정 과정에서 화학물질을 사용하고 있었다. LCD 제조공정에서 주로 사용되는 물질은 스퍼터 공정에서 알루미늄, ITO 등의 금속 타깃 물질이, 화학적기상증착 공정에서는 포스핀, 실란 등의 가스상 물질이, 습식식각 공정에서는 무기산류가, 건식식각 공정에서는 염화수소, 삼염화붕소 등의 가스상 물질 등이 사용되고 있었다. 포토공정에서는 고분자 수지, 유기용제, 감광성 성분 등으로 구성된 수식여종의 감광액이 사용되고 있었고 현상액으로는 수산화테트라메틸암모늄 수용액이 주로 사용되고 있었다. 컬러필터 공정은 투명전극으로 사용되는 ITO의 증착이 이루어지고 있고, 감광액 성분으로 고분자 수지, 유기용제, 감광성 성분에 더해 안료가 사용되고 있었다. 액정 공정은 세정, 배향, 액정주입 등의 과정에서 화학물질을 사용하고 있었고 세정을 위해 유기용제가 사용되고 있었으며, 배향을 위해서는 폴리이미드 수지와 2-부톡시에탄올, 감마-부티로락톤 등의 유기용제가 사용되고 있었다. 그리고 액정으로는 비시클로hexan계, 비페닐계, 시클로hexyl페닐계, 치환페닐계 혼합물이 사용되거나 이중 일부 물질로 구성된 혼합물이 사용되는 경우가 있었다.

LCD 제조공정에서 사용되고 있는 화학물질 가운데는 주기적인 작업환경측정을 통해 노출농도를 관리해야 하는 물질 이외에도 고분자수지, 용매, 감광성 성분 등이 함유된 감광액을 비롯하여 증착 가스, 식각 가스, 세정액 등으로 수많은 물질이 사용되고 있었다. 따라서 LCD 제조 사업장에서는 노동자의 화학물질 노출농도를 최소화하도록 노력할 필요가 있다.

References

- Ahn JH, Lee SS. Principles of Photolithography. Physics & high technology. January/February, 2011
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values (TLVs) for chemical substances and physical agents & biological exposure indices (BEIs). ACGIH, Cincinnati (OH); 2018
- Anyang General Chemical Co., Ltd. Photoinitiator TPO Product Information. [Accessed 11 July 2019] Available from: <http://www.sellchems.com/products/fine-chemical/photoinitiator-tpo-cas-75980-60-8/>
- Chae HS. Synthesis of novel acrylate copolymers and their application to column spacer as negative photoresist. Graduate school, Sungkyunkwan University, 2009
- Chang TY, Huang KH, Liu CS, et al. Exposure to volatile organic compounds and kidney dysfunction in thin film transistor liquid crystal display(TFT-LCD) workers. J hazard mater 2010;178:934-940 DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.02.027
- Haq N, inventor. Photoresist stripper comprising a pyrrolidinone, a diethylene glycol ether, a polyglycol and a quaternary ammonium hydroxide. United States Patent US 4,744,834. 1988 May 17
- Henderson research group. Introduction to DNQ-Novolac resists. [Accessed 11 July 2019] Available from: <https://sites.google.com/site/hendersonresearchgroup/helpful-primers-introductions/intro-to-dnq-novolac-resists>
- International Labour Organization(ILO). Encyclopedia of occupational health and safety. 4th ed. Geneva, ILO; 1998
- Jeong BG, Kim SW, Lee YJ. An assembly scheduler for TFT LCD manufacturing. Computers & industrial engineering 2001;41:37-58
- Jeong JS. Characteristic study on thermosonic anisotropic conductive film(ACF) bonding for chip on film(COF) packaging. Graduate school, Chung-Ang university, 2012
- Kang SJ. Design optimization of super-size TAB IC final bonding tool unit in LCD module process. Graduate school, Hanyang university, 2007
- Kim JH, Choi DH. Functional materials for the components of TFT-LCD. Perspectives of industrial chemistry 2004;7(3):1-15
- Kim KW, Chung EK, Park SH, et al. Characteristics of worker's exposure to hazardous agents in LCD Manufacturing Processes. Occupational Safety & Health Research Institute, 2016-770, 2016

- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). Chemical Information. [Accessed 12 July 2019] Available from <https://msds.kosha.or.kr/kcic/english/msdssearch.do>
- Lee CH, Wang CL, Lin HF, Chai CY, Hong MY, Ho CK. Toxicity of tetramethylammonium hydroxide: Review of two fatal cases of dermal exposure and development of an animal model. *Toxicol Ind Health* 2011;27(6):497-503 DOI: 10.1177/0748233710391990
- Lee SD, Yu CJ. Recent trend of the organic flat panel display technology and the LCD technology. *J. Korean Inst Electr Electron Mater Eng* 2002;15(12):23-31
- Lee SH, Yoon TH. LCD(Liquid Crystal Display) and liquid crystal technology. *Physics & high technology*. October 2008
- Lin CC, Yang CC, Ger J, Deng JF, Hung DZ. Tetramethylammonium hydroxide poisoning. *Clin Toxicol* 2010;48:213-7 DOI: 10.3109/15563651003627777
- Ministry of Employment of Labor(MOEL). Occupational exposure limits of chemical substances and physical agents. MOEL Notice of Korea 2018-62, 2018
- Park SH, Park JS, You KH, Shin HC, Kim HO. Tetramethylammonium hydroxide poisoning during a pallet cleaning demonstration. *J Occup Health* 2013;55:120-124 DOI: 10.1539/joh.12-0143-cs
- Park SH, Shin JA, Lee GY, Park HD, et al. Characteristics of the working environment and hazardous agents in semiconductor manufacturing plants. *Occupational Safety and Health Research Institute*, 2012-92, 2012
- Takenoshita K, et al., inventor, Samsung Electronics Co., Ltd., assignee. Plasma generating device, plasma generating method, and method for suppressing ozone generation. Republic of Korea, Patent KR 101601654. 2016 Mar 3
- Wu CH, Feng CT, Lo YS, et al. Determination of volatile organic compounds in workplace air by multisorbent adsorption/thermal desorption-GC/MS. *Chemosphere* 2004;56:71-80 Doi:10.1016/j.chemosphere.2004.02.003
- Wu CL, Su SB, Chen JL, Lin HJ, Guo HR. Mortality from dermal exposure to tetramethylammonium hydroxide. *J Occup health* 2008;50:99-102 DOI: 10.1539/joh.x7001
- Yi GY, Lee NR, You KH. Exposure and management of insoluble indium compound II. *Occupational Safety and Health Research Institute*, 2012-1286, 2012
- Yoon SH. Organic material for LCD components. *Polymer science and technology* 2004;15(6):674-682

<저자정보>

박승현(직업환경연구실 실장), 박해동(직업환경연구실 차장), 노지원(직업환경연구실 과장)