

## 물질전과정평가(MLCA)를 통한 투명전극 ITO (Indium Tin Oxide)의 환경성 평가

이수선, 이나리, 김경일, 홍태환\*

한국교통대학교 신소재공학과/친환경 에너지 변환·저장소재 및 부품개발 연구센터  
380-702 충북 충주시 이류면 검단리

(2011년 12월 27일 접수; 2012년 2월 3일 수정본 접수; 2012년 2월 4일 채택)

### Environmental Impacts Assessment of ITO (Indium Tin Oxide) Using Material Life Cycle Assessment

Soo-Sun Lee, Na-Ri Lee, Kyeong-Il Kim, and Tae-Whan Hong\*

Department of Materials Science and Engineering/Research Center for Sustainable ECo-Devices and Materials (ReSEM), Korea National University of Transportation, Geomdan-ri, Iryu-myeon, Chungju, Chungbuk, 380-702, Korea

(Received for review December 27, 2011; Revision received February 3, 2012; Accepted February 4, 2012)

#### 요 약

본 연구에서는 휴대용 기기의 터치스크린에 사용된 ITO (Indium Tin Oxide) 투명전극의 재활용에 대한 환경성 평가를 실시하였다. ITO 전극의 경우 도전성과 함께 투명성을 가지는 재료로서 터치 패널이나 LCD (Liquid Crystal Display), ELD (Emitting Light Device), PDP (Plasma Display Panel) 등 각종 디스플레이 장치의 제조를 위한 투명전극으로 수요가 증가하는 추세이다. 특히 인듐과 같은 희소금속을 함유하고 있기 때문에 국가 전략적으로 반드시 재활용되어야 한다. 또한 매립이나 폐기시 발생하는 환경오염 및 인간에게 미치는 영향도 고려해야 한다. 이에 대해 Material Life Cycle Assessment (MLCA)를 이용하여 ITO를 재활용과 매립의 두 가지 처리방법에 따른 환경부하를 정량적으로 분석하고자 한다. 또한 이산화탄소 배출과 투입된 에너지량도 계산하였다. 재활용은 폐 디스플레이에 포함된 ITO의 10, 20, 30%를 회수했을 때를 기준으로 한다.

**주제어 :** 물질전과정평가, 인듐-주석 산화물, 재활용

**Abstract :** In this study, we executed an environmental impact assessment about recycling of ITO (Indium Tin Oxide), used for touch panel. ITO is mainly used to make transparent conductive coatings for touch and flat screen LCD (Liquid Crystal Display), ELD (Emitting Light Device), PDP (Plasma Display Panel). This demand is increasing little by little. but from current status, ITO is discarded than recycling. It is important to recycling ITO for national strategies about resource conservation, and reduce environmental burden. Also Landfill or incineration of ITO could be harmful to the human health in the long-term. Material Life Cycle Assessment method (MLCA) was conducted for comparison landfill and recycling of ITO. MLCA would provide more information for environmental issues and potential environmental impacts of ITO. The study includes two scenarios, the basic scenario is recycling of ITO (10, 20, 30%) and the other scenario is landfill of ITO. In addition, amount of carbon dioxide and energy were calculated.

**Keywords :** Material life cycle assessment, Indium-tin oxide, Recycling

#### 1. 서 론

전자기기 및 정보통신의 발달이 가속화되고 고도 영상매체 대한 급속한 수요 증대로 전자 디스플레이의 생산과 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 그 중 터치패널은 휴대폰, 네비게이션 등에 적용되면서 새로운 트렌드로 자리 잡아 가고 있다. 평판 디스플레이의 경우 ITO (Indium-tin oxide) 금속 산화물이

투명전극으로 사용되며 이와 관련된 ITO의 수요가 발생하고 있다.

ITO는 비저항이 낮아 전기 전도성이 우수하고 가시광선 영역에서의 투과율이 양호한 두 성질을 만족하기 때문에 투명전극으로 활용되고 있다[1]. 그러나 비철금속인 고가의 인듐(In)과 주석(Sn)이 함유되어 있어 대부분 해외 수입에 의존하고 있다. 특히 인듐은 IT, NT 등의 분야에서 비교적 광범위하게 사용되는 대표적 희소금속으로 세계의 매장량이 극히 제한된 광물자원으로 인식되고 있다[2]. 즉, LCD, PDP와 같이 사용처와 사용

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: twhong@ut.ac.kr

량은 증가하고 있으나 In의 매장량이 한정되어 계속해서 생산 및 판매할 경우 결국에는 인듐이 고갈되어 생산이 중단되고 디스플레이의 생산 및 수출이 한계에 부딪혀 경제에 타격을 입을 수 있다. 일반적으로 인듐의 생산량 증가 방법은 인듐을 다량 함유하고 있는 아연 외에도 납과 같은 인듐 함량이 낮은 광석을 추가로 활용하는 방법과, 아연 또는 납 원광석 추출 시 발생하는 부산물의 수율을 향상시키는 법, 인듐 추출 후 잔존물을 다시 재생(recovery)하는 방법, 완제품의 폐기물을 다시 재활용(recycle)하는 방법이 있는 것으로 알려져 있다.

휴대전화, PC, 가전제품 등 사용 후 폐기 되는 전자, 제품에 들어 있는 광물을 채취하는 것을 ‘도시 광산(Urban mine)’이라 하는데 금속자원으로서 유효 이용이 기대되고 있다. 현재 사용 후 디스플레이 기기와 관련하여 발생하는 폐기물에 대한 체계적인 통계는 전무하나 국내 생산량 및 수입량, 사용 내구연한 등을 고려했을 때 2014년 이후에 약 200만대 이상의 폐 디스플레이 장치가 발생할 것으로 예상할 수 있다[3]. 우리나라는 디스플레이의 케이스와 프레임 등의 일부 부품의 기초적인 재활용을 제외하고 전량 폐기 처리하고 있는 실정이다. 이러한 디스플레이를 재활용하지 않고 소각 또는 매립으로 폐기하는 경우 환경에 부담이 되고 인체에 유해할 뿐만 아니라 인듐과 같은 귀중한 희소 금속을 유실하는 문제에 봉착할 수 있다. LCD 모니터의 경우 금속, 플라스틱, 유리 등이 주요 성분이며, 금속성분 중 인듐의 소비량 중 78%가 대부분의 평면 패널디스플레이(Flat-panel display) 코팅에 활용되고 있다. 일본의 경우 고가의 인듐을 재자원화 하는 연구개발을 국가차원에서 시작하고 있다[4]. 그러므로 ITO를 재활용하면 인듐, 주석을 회수할 수 있는 자원으로서의 수입 대체효과뿐만 아니라 매립 처리 시 토양 및 지하수오염 등 환경오염 예방으로 환경 부하를 감소시킬 수 있다. 또한 주석은 천연자원에서 회수하는 것보다 폐전기전자 제품 등의 폐기물로부터 회수할 경우 74% 에너지가 절약된다는 보고가 있다.

국내에서는 ITO 페타겟[5], ITO 스크랩, ITO 에칭 폐액[1] 등으로부터의 인듐, 주석 등의 분리 및 회수와 관련된 연구들이 진행되고 있으며 이에 대한 기반기술은 어느 정도 국내에 축적이 되어 있다.

전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)는 어떤 제품이나 서비스 전과정(원료채취, 제품 생산, 사용, 폐기)에 걸친 환경 부하 즉, 투입물에 의한 자원 고갈, 배출물에 의한 환경영향을 평가하기 위해 투입, 산출물의 정량적 자료목록을 작성, 환경영향을 평가하여 환경성과를 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 할 수 있다. 또한 ISO 14000 series의 기술적 근간을 이루고 있어 국제적으로 중요시되는 기법이라 할 수 있다[6].

LCA가 “요람에서 무덤까지”처럼 환경 부하를 추적하는 데 있어 가치 있는 방법이지만 제품 전체 프로세스에 대한 데이터를 얻고 평가하는데 있어서는 제한이 있다. 모든 제품은 재료로부터 만들어 지며 하나의 재료는 서로 다른 기술을 이용하여 만들어 지거나 서로 다른 제품에 사용된다. ECOMATERIALS (Environment Conscious MATERIALS)를 위한 재료 디자인에 적용하기 위한 물질전과정 평가(MLCA, Material Life Cycle Assessment)

는 말 그대로 프로세스 보다 물질, 재료에 중점을 둔 환경 평가 방법으로 소재 연구에 중요한 tool을 제공할 수 있다. ECOMATERIALS은 3 요소 기술에서 시작된다. 첫 번째는 재료 생애를 위한 평가 기술이며 둘째는 재활용이 가능한 재료의 디자인 기술 그리고 마지막으로 자연과 조화를 이루는 재료이다.

이에 본 연구에서는 사용 후 디스플레이 패널에서 분리된 ITO 투명전극 재활용에 대한 물질전과정평가(MLCA, Material Life Cycle Assessment)를 수행하여 잠재적인 환경영향을 평가하고자 한다.

## 2. 연구 목적 및 범위 설정

### 2.1. 목적정의(Goal Definition)

국내에서 사용된 터치스크린 패널 ITO 투명전극의 재활용과 폐기에서 유발되는 환경부하를 정량화하고 환경성을 비교, 분석한다. 또한 주요 원인을 규명하고자 한다.

### 2.2. 범위정의(Scope Definition)

#### 2.2.1. 기능

터치스크린 패널을 분리하여 얻은 투명전극 ITO의 재활용 및 폐기.

#### 2.2.2. 기능단위 및 기준흐름

사용 후 터치스크린 패널 기기의 투명전극 ITO를 재활용과 폐기 두 가지로 나누어 진행하였다.

투명전극 ITO의 재활용은 터치스크린 패널의 사이즈를 2.7 inch (56 × 43.5 mm), 5.7 inch (180 × 135 mm), 10.3 inch (208.28 × 162.56 mm) 등으로 구분하여 실시하였다.

### 2.3. 시스템 경계

물질 전과정 평가의 특성에 맞게 전과정 중 ITO 분말의 제조와 재활용 및 폐기 단계를 시스템 경계로 정의하였다. 정의된 시스템 경계에서 조사되는 투입물 및 배출물은 기본 흐름(Elementary)을 대상으로 하였다.

**Table 1.** The two scenarios set out in the system boundary

1	From used touch screen panel recycling of ITO (10, 20, 30%)
2	From used touch screen panel landfill of ITO

**Table 2.** Scope definition

System	From used touch screen panel recycling of ITO
Function	Recycling of ITO
Functional unit	Touch screen panel 2.7, 5.7, 10.3 inch
Reference flow	Obtained ITO by removing one screen panel

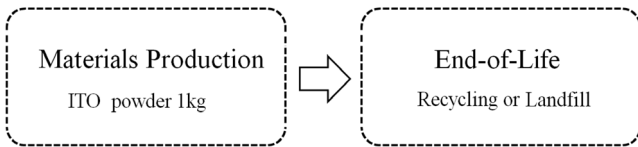


Figure 1. Diagram of life cycle system boundary for ITO system.

2.4. 데이터 범주

데이터 범주는 크게 자원, 에너지, 수계 배출물, 대기 배출물 등으로 분류하였다.

2.5. 데이터 질 요구 사항

2.5.1. 시간적 경계

재활용 단계 데이터는 2011년 1월 1일부터 2011년 7월 31일까지 6개월간의 데이터를 수집하였고 기타 데이터는 5년 이내의 데이터 사용을 목표로 하였다.

2.5.2. 지역적 경계

지역적 경계는 원/부자재의 경우 각 해당 생산지역이며, 제품의 재활용 및 폐기의 경우 대한민국으로 하였다.

2.5.3. 기술적 경계

기술적 경계는 대상제품을 재활용 후 회수를 대상으로 한다.

2.6. 가정 및 제한사항

(1) 터치스크린 패널의 각 inch별로 ITO의 양은 필름에 코팅되는 양을 기준하여 2.7 inch (0.09 g), 5.7 inch (0.19 g), 10.3 inch (0.343 g)와 같이 설정하였고 ITO의 코팅 두께는 184 nm로 가정하였다.

(2) 터치스크린 패널의 수명은 2년으로 가정하였다.

(3) ITO의 재활용과 매립은 재료적 환경부하를 고려하기 위하여 수송을 제외하였다.

2.7. 영향 범주 및 영향평가 방법론

본 연구에서는 네덜란드 PRe consulting 기관에서 개발한 endpoint 개념의 Eco-Indicator '99 (EI99) 방법론과 CML 2001 방법론을 사용하였다. EI99 방법론에서는 3가지 피해 범주, 인간 건강, 생태계 건강, 자원을 범주로 고려하고 있으며 이 범주는 각각 발암성, 호흡기 영향, 기후 변화, 방사능, 오존층, 생태독성, 산성화, 토지 이용, 자원 및 연료 채취 등으로 나뉜다. 지표로는 인간 건강 범주에서는 인간이 장애를 가지고 살아가는 기간(Disability Adjusted Life Years: DALY)을 지표로 하여 중말점 수준의 지수를 도출하며 생태계 건강에서는 자연계로 오염물질이 배출되어 산성화, 생태독성에 의해 단위면적(m<sup>2</sup>)당 종이 잠재적으로 사라질 확률(PDF\*m<sup>2</sup>\*yr)로 나타나며 자원 고갈 범주에서는 자원 1 kg을 채취하기 위해 투입되는 잉여 에너지를 지표로 선정한다[7].

Table 3. Environmental impact category (CML 2001)

Environmental impact categories	Unit
Abiotic Resource Depletion (ARD)	kg/yr
Global Warming Potential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq
Stratospheric Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11 eq
Photochemical Oxidation Potential (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Acidification Potential (ACP)	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrophication Potential (EUP)	kg PO <sub>4</sub> eq
Fresh-water Aquatic Ecotoxicity Potential (FAETP)	kg 1,4-DCB eq
Marine Aquatic Ecotoxicity Potential (MAETP)	kg 1,4-DCB eq
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP)	kg 1,4-DCB eq
Human Toxicity Potential (HTP)	kg 1,4-DCB eq

Table 4. Environmental impact category Eco-Indicator '99 (EI99)

Damage categories		Damage unit
Human health	Carcinogenic effect	DALY
	Respiratory (organic)	DALY
	Respiratory (inorganic)	DALY
	Climate change	DALY
	Ionizing radiation	DALY
	Ozone depletion	DALY
Ecosystem quality	Ecotoxicity	PDF*m <sup>2</sup> *yr
	Acidification/untrification	PDF*m <sup>2</sup> *yr
	Land-use	PDF*m <sup>2</sup> *yr
Resources	Minerals	MJ
	Fossil	MJ

3. 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)

전과정 목록분석 단계에서는 목표 및 범위에서 정의된 제품 시스템에 대해 환경부하를 계산하기 위하여 SimaPro 프로그램을 이용하여 수행하였다. 이산화탄소 배출량과 투입 에너지는, CES Software를 이용하여 구하였으며 매립의 경우도 같다.

3.1. 데이터 수집

3.1.1. 디스플레이 패널의 ITO

각 사이즈의 ITO 함유량은 15 inch 디스플레이 패널을 표준으로 참고하여 데이터를 얻었으며 전체 패널 구성의 0.031% 차지하고 있다.

3.1.2. ITO 분말 제조

ITO 분말 제조 데이터는 ecoinvent inventory database (v 2.2)에서 얻었다.

3.1.3. ITO 재활용 및 회수 데이터

사용 후 터치스크린 패널의 ITO 분리 및 재활용과 회수에

**Table 5.** Data source and emission for LCA analysis

Parameter		Materials
Input	Raw materials	Methanol, water (deionised), Ammonia, Hydrochloric acid (30%), Indium, Sodium hydroxide (50%), Tin
	Energy	Electricity (medium voltage)
Output	Products	Recycling and landfill of ITO powder
	Emissions	Ethanol (to air)
		Waste heat (to air)

관한 데이터는 ecoinvent inventory database (v. 2.2)를 적용한 SimaPro (v. 7.0)와 Gabi (v. 4.4) software를 사용하여 계산하였다.

**3.2. 전과정목록 분석**

수집된 데이터의 분석 및 계산 과정은 Table 5와 같은 데이터를 기준으로 한다[8]. 전과정평가 도구인 GaBi (4.4) software를 활용하여 상위/하위 공정을 연결시키고, 전과정 목록을 구축하였다. 얻기 힘든 데이터 베이스는 해외 데이터베이스(ecoinvent database)를 연결하여 사용하였다.

**3.3. 전과정목록 분석 결과**

**3.3.1. 이산화탄소 배출량**

ITO의 매립과 재활용 시 이산화탄소 배출량을 살펴보면 사용 후 터치스크린 패널 1개의 처리과정 중 10.3 inch를 매립한 경우 0.135 kg로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났고 5.7 inch 0.075 kg, 2.7 inch 0.0355 kg으로 각각 나타났다. 이는 패널 크기가 커질수록 ITO 함량이 많아 이산화탄소 배출량이 증가한 것으로 볼 수 있으며 패널 크기가 클수록 ITO의 recycling은 필수라는 것을 알 수 있다.

ITO를 재활용하는 경우, 2.7, 5.7, 10.3 inch 패널 모두 이산화탄소 배출량이 약 98% 감소한다.

**3.3.2. 인듐과 주석의 이산화탄소 배출량**

ITO의 주성분인 인듐과 주석을 패널크기와 처리 방법(매립, 재활용)에 따라 이산화탄소배출량을 계산했다[9].

Table 6, 7에서 이산화대기 배출량 중 대부분을 차지하는 것

**Table 6.** CO<sub>2</sub> emission of indium

Indium				
Panel size (inch)		Total mass (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	%
2.7	L	0.081	0.036	90
	R	0.081	-0.035	90
5.7	L	0.0171	0.075	90
	R	0.0171	-0.073	90
10.3	L	0.3087	0.14	90
	R	0.3087	-0.13	90

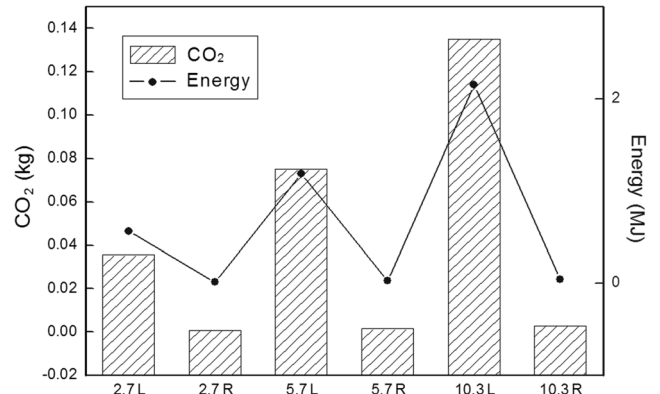
**Table 7.** CO<sub>2</sub> emission of tin

Tin				
panel size (inch)		Total mass (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	%
2.7	L	0.009	1.80E-05	10
	R	0.009	-1.4E-05	10
5.7	L	0.019	3.7E-05	10
	R	0.019	-3.7E-05	10
10.3	L	0.0343	6.7E-05	10
	R	0.0343	-5.3E-05	10

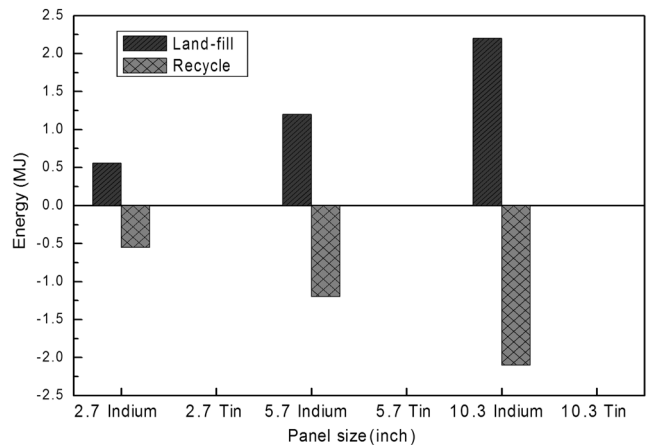
은 인듐으로 90%를 차지하고 있다. ITO는 인듐과 주석이 9 : 1의 조성비를 가지고 있기 때문에 인듐이 주석보다 환경부하에 더 많은 영향을 끼친다. 예를 들어 2.7 inch의 경우 매립 시 인듐은 0.036 kg의 이산화탄소를 배출하지만 주석은 0.000018 kg의 미량의 이산화탄소를 배출한다.

**3.3.3. 에너지 투입량**

ITO의 매립과 재활용 시 투입되는 에너지양을 살펴보면 Figure 2와 같다. 패널 사이즈와 처리공정을 고려하였을 때, 이산화탄



**Figure 2.** CO<sub>2</sub> Emission for recycling and landfill of ITO, calculation of energy for recycling and landfill of ITO (L: Landfill, R: Recycling).



**Figure 3.** Energy for recycling and landfill of ITO.

소 배출량의 결과와 같이 패널 사이즈가 커질수록, 재활용 보다 매립 시 에너지 투입량이 증가하는 것으로 나타났다.

#### 4. 전과정영향평가(Life Cycle Inventory Analysis)

ITO를 재활용/매립하는 동안 야기되는 잠재적인 환경 영향을 파악하기 위해서 영향평가를 실시하였다.

##### 4.1. 전과정영향평가

전과정영향평가의 절차는 분류화, 특성화, 정규화로 진행되며, 이 순서에 맞춰 환경영향을 도출하고 이를 토대로 주요 이슈를 규명하였다. 영향평가 과정에서 분류화는 10개 세부 영향 범주로 분류하였다. 10개의 영향범주로는 무생물자원고갈(ARD, Abiotic Resource Depletion), 지구온난화(GWP, Global Warming Potential), 오존층고갈(ODP, Stratospheric Ozone Depletion Potential), 산성화(ACP, Acidification Potential), 부영양화(EUP, Eutrophication Potential), 광화학산화물생성(POCP, Photochemical Oxidation Potential), 생태독성(ETP, Ecotoxicity Potential), 인간독성(HTP, Human Toxicity Potential)이 포함된다. 이 중 생태독성은 수계생태독성(FAETP, Fresh-water Aquatic Ecotoxicity Potential)과 해양생태독성(MAETP, Marine Aquatic Ecotoxicity Potential)을 포함하였다.

##### 4.2. 주요 환경적 이슈 규명

본 절에서는 ITO의 재활용(10, 20, 30%)과 매립을 패널의 크기에 따른 환경영향의 기여도를 규명하였다. Figure 4는 ITO 분말 1 kg을 기준으로 하여 ITO 분말 1 kg을 생산할 때 영향 범주별 환경영향을 Eco-Indicator '99 (EI99) 방법론으로 분석한 결과이며 Figure 5는 재활용률 10%와 매립을 비교 분석하였다.

영향평가 결과, ITO를 생산하는 공정에서 생태계건강(Ecosystem Quality) 범주와 자원(Resources) 범주, 인간 건강(Human Health) 범주 차례로 환경부하가 크게 나타났다. 각 범주 환경영향 기여도는 생태독성(Ecotoxicity)이 49%, 화석연료(Fossil fuels)가 22%, 무기물(Inorganics) 14%, 광물(Minerals)이 8%로 주된 환경영향 범주는 생태독성과 화석연료로 규명되었다. 이는 Figure 6에서와 같이 ITO 생산단계에서 사용되는 인듐과 소비되는 전력을 생산하기 위해 많은 자원이 소비되는 것으로 분석되며 인듐은 생태독성 영향 범주에 대한 영향이 지배적으로 나타났다.

재활용률 10%와 매립의 비교 결과, ITO를 매립으로 폐기할 경우 기여도는 발암물질(Carcinogens) 49%와 생태독성(Ecotoxicity) 37%가 된다. 생태독성과 다른 영향 범주는 ITO를 10% 재활용함으로써 환경이득을 볼 수 있지만 발암물질 항목은 30% 이상을 재활용해야 환경이득을 볼 수 있다.

Figure 7은 CML2001방법론을 사용하여 8가지 영향 범주에 대하여 평가한 것이다. ITO 1 kg을 생산함에 있어 기여도는 해양생태 독성(MAETP) 53%, 수생태 독성(FAETP) 20%, 산성화(ACP) 12%, 인간 독성(HTP) 5%로 나타났다. 각 영향 범주에서

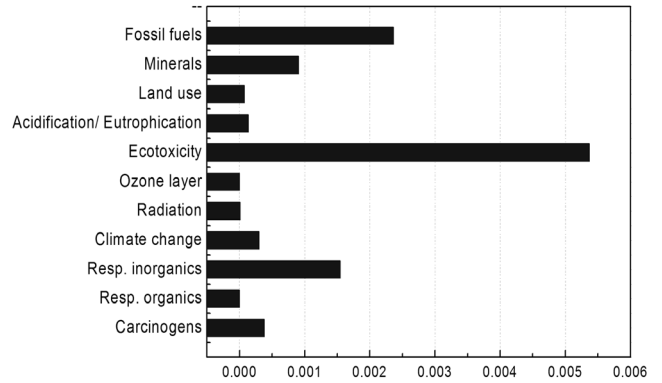


Figure 4. Impact assessment results for manufacturing process of ITO by Eco-Indicator '99 method (EI'99).

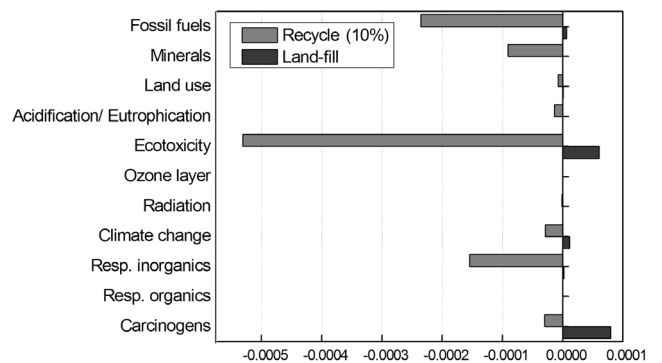


Figure 5. Impact assessment results of recycling and landfill of ITO by Eco-Indicator '99 method (EI'99).

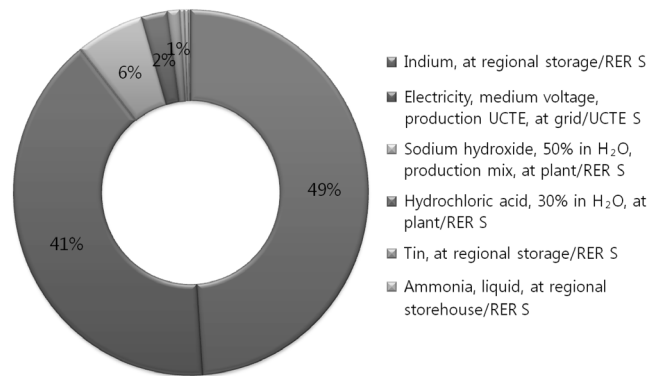


Figure 6. The contributors of each material about the main damage categories.

가장 큰 영향을 갖는 물질은 인듐과 전력의 영향임을 보여주며 이는 Eco-Indicator '99 방법론과 같은 결과임을 보여준다.

Figure 8은 매립과 재활용(10%) 두 가지 처리 방법에 따른 영향평가이다. 매립의 경우 수생태 독성(FAETP) 51%, 해양생태 독성(MAETP) 47%의 기여도를 가지고 있다. 생태계에 미치는 영향이 다른 범주 범주보다 높는데 이는 매립으로 인해 수계로 배출 되는 인듐과 수산화나트륨의 배출 때문이다. 재활용

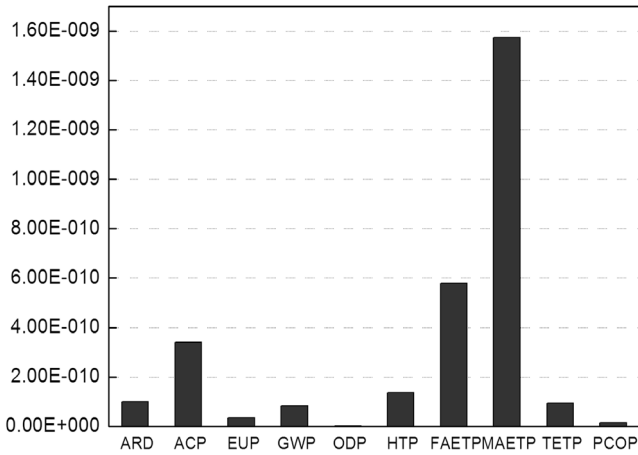


Figure 7. Impact assessment results for manufacturing process of ITO by CML method.

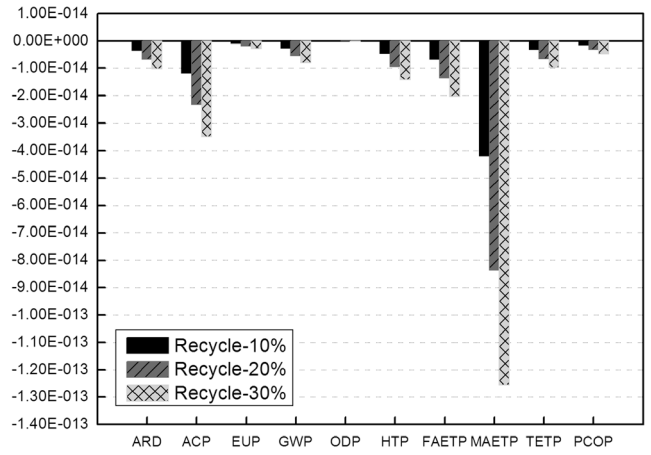


Figure 9. Results of recycling of touch panel (10.3 inch).

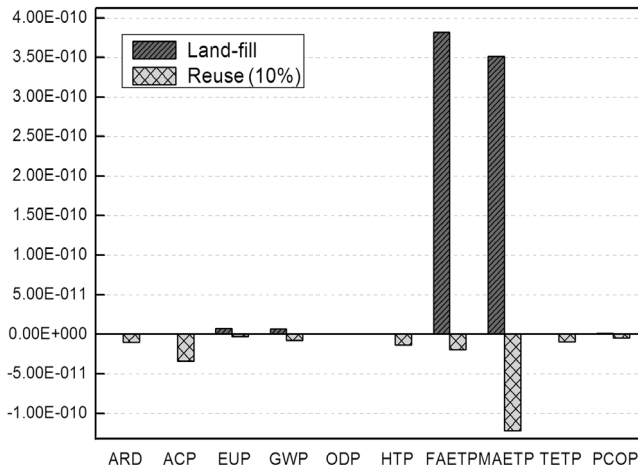


Figure 8. Results for treatment process of ITO by CML method (CML 2001).

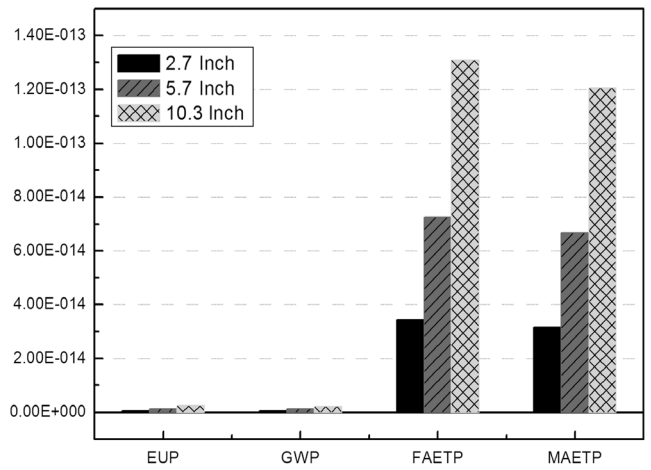


Figure 10. According to the touch panel size, result for landfill of ITO.

의 경우 인듐의 회수로 매립되는 양이 감소하고 수산화나트륨 그리고 암모니아의 배출을 줄임으로써 생태독성에서 환경이득 효과는 나타났다. 그러나 재활용 10%의 경우 그림에서 보는 바와 같이 매립 시 미치는 환경 영향 보다 환경 이득 효과는 크게 보지 못하였다. 특히 수생태와 해양생태 독성 범주에서는 30%의 재활용 이상만이 큰 환경 이득 효과를 볼 수 있다.

Figure 9는 10.3 inch 패널의 재활용에 따른 영향 범주이다. ITO의 재활용이 10, 20, 30% 늘어날수록 환경 이득 효과는 늘어나는 것을 볼 수 있다. 2.7, 5.7 inch 패널도 같은 경향을 보인다. Figure 10과 11은 매립과 재활용 30%에서 패널 크기에 따른 영향 범주이다. 사용 후 터치스크린 패널을 매립할 경우, 앞에서 패널의 크기가 클수록 ITO의 함량이 많아져 이산화탄소 배출과 투입 에너지 값이 커지는 것과 같이 환경 부하 값이 커지는 경향을 볼 수 있다. 반대로 재활용의 경우, 30%를 재활용할 경우 패널의 크기가 커질수록 환경 이익이 커짐을 알 수 있다. 이는 ITO를 10, 20% 재활용할 경우도 같다.

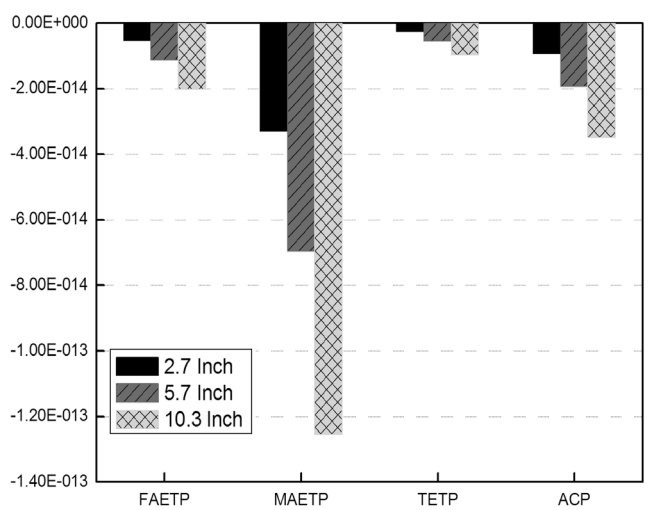


Figure 11. According to touch panel size, result for recycling (30%) of ITO.

## 5. 결론

본 연구에서는 ITO투명전극을 사용 후 패널로부터의 처리 과정을 재활용과 매립 두 가지로 나누어 환경성평가를 수행하여 환경부하를 정량화하고 주요 이슈를 규명하였다. 영향평가 방법은 Eco-Indicator '99 (EI99) 방법론과 CML 2001 방법론을 사용하였다. 사용한 Software는 Gabi 4.4와 SimaPro 7.0을 사용하였으며 도출된 결론은 다음과 같다.

목록분석 결과 ITO를 인듐과 주석의 조성에 따른 패널크기와 처리 공정(재활용, 매립)의 이산화탄소량을 계산한 결과 패널 크기에 따라 투입에너지와 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양은 패널 사이즈가 커질수록, 재활용 보다 매립 시 증가하는 것으로 나타났다.

ITO 분말 1 kg을 기준으로 하여 ITO 분말 1 kg을 생산했을 때 Eco-Indicator '99 환경영향 평가는 생태독성(Ecotoxicity)화석연료(Fossil fuels), 무기물(Inorganics), 광물(Minerals) 차례 순이며 주된 환경영향 범주는 생태독성과 화석연료로 규명되었다. 이는 ITO 분말의 생산단계에서 사용되는 인듐과 소비되는 전력을 생산하기 위해 많은 자원이 소비되는 것으로 분석된다.

CML2001 방법론을 사용한 결과 ITO 1 kg을 생산함에 있어 기여도는 해양생태 독성(MAETP) 수생태 독성(FAETP), 산성화(ACP), 인간 독성(HTP) 차례로 나타났다. 각 영향 범주에서 가장 큰 영향을 갖는 물질은 인듐과 전력의 영향임을 보여주었다. 이는 Eco-Indicator '99 방법론과 같은 결과임을 보여준다.

ITO의 매립의 경우 수생태 독성(FAETP)과 해양 생태독성(MAETP)이 높은 기여도를 가지고 있다. 이는 매립으로 인해 수계로 배출 되는 인듐과 수산화나트륨의 배출 때문이다.

ITO의 재활용으로 나타나는 환경이득 효과는 수생태독성과 해양생태독성을 제외한 다른 영향 범주에서는 나타나지만 재활용 10%의 경우 이득을 볼 수 없으며 30% 이상을 재활용해야 환경이득을 볼 수 있다. 또한 패널 크기에 따른 매립과 재활용 결과는 패널 크기가 커짐에 따라 늘어나는 ITO의 함량으로 인해 매립 시 큰 환경 영향을 발생시키지만 재활용의 경우 환경영향을 저감시킬 수 있다는 것을 보여줬다.

ITO는 사용 후 디스플레이 기기에서 반드시 재활용 되어야 하며 기술 연구에 노력하여 재활용률을 높여 환경문제를 저감할 수 있는 방안으로 강구되어야 한다.

위와 같은 결과는 차후 환경개선을 위한 사용 후 디스플레이 기기의 ITO 재활용과 개선효과에 대해 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 재원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010501010002B).

## 참고문헌

1. Choi, E. Y., Seo, J. H., Choi, H. B., Je, J. T., and Kim, Y. K., "Study on the ITO Pre-treatment for the Highly Efficient Solution Processed Organic Light-emitting Diodes," *KIEEME*, **23**(1), 18-23 (2010).
2. Park, S. K., Roh, Y. M., Lee, S. G., Kim, J. Y., Shin, C. H., and Ahn, J. W., "Recovery of Acid, Indium and Tin from Waste Solution of ITO Etchant," *RIST*, **21**(4), 352-355 (2007).
3. Hong, S. H., Kong, M. S., Lee, S. K., and Kang, H. Y., "Overview and Future Concerns for Recycling Display Wastes," *KIC News*, **13**(1), 11-19 (2010).
4. Yoo, K. K., Hong, H. S., and Cho, B. G., "Recycling Technologies of Spent Liquid Crystal Display: A Review," *Korean Journal of LCA*, **12**, 20-36 (2011).
5. Kim, H. J., Kwon, Y. S., Choi, Y. G., Chung, C. K., Baek, S. H., and Kim, Y. W., "Life Cycle Assessment on the Reuse of Glass Bottles," *Clean Technol.*, **15**(3), 224-230 (2009).
6. Lee, S. H., and Jo, Y. M., "Review of National Policies on the Utilization of Waste Metal Resources," *KIC News*, **13**(1), 2-9 (2010).
7. Jeong, S. J., Lee, J. Y., Sohn, J. S., and Hur, T. "Life Cycle Assessments of Long-term and Short-term Environmental Impacts for the Incineration of Spent Li-ion Batteries (LIBs)," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **17**(2), 163-169 (2006).
8. Soon, C. J., Jeong, A. P., Jin, H. H., and Kyu, H. S., "Estimation of Greenhouse Gas Emissions of Complex Fertilizers Production System by Using Life Cycle Assessment," *Korean J. Soil. Fert.*, **44**(2), 256-262 (2011).
9. Yoon, S. Y., and Kwon, H. J. "A Study on the Amount of Carbon Emission of Organic Materials through Life-Cycle Assessment (LCA)," *Korean J. Org. Agric.*, **19**(1), 23-38 (2011).