

폐액정디스플레이 제품의 재활용 기술개발 동향

유경근¹, 홍현선², 조봉규³

¹한국해양대학교 해양과학기술대학, ²고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

³폐금속·유용자원재활용기술개발사업단

Recycling Technologies of Spent Liquid Crystal Display; A Review

Kyoung Keun Yoo¹, Hyun Seon Hong², Bong Gyo Cho³

¹Korea Maritime University, Busan, Korea

²Institute for Advanced Engineering (IAE), Yongin, Korea

³R&D Center for Valuable Recycling, Daejeon, Korea

Abstract

액정디스플레이는 브라운관 텔레비전을 급속히 대체하고 있으며 다양한 소형전자기기의 핵심부품으로서 사용량이 급증하고 있어 향후 폐액정디스플레이의 발생량 증가가 예상되고 있다. 현재 재활용 기술 및 시스템의 미비로 폐액정디스플레이의 대부분이 소각·매립 처리되고 있어 유용자원의 손실 및 환경오염에 대한 우려가 가중되고 있다. 이 글에서는 각국의 재활용 정책방향 및 기술개발방향을 정리하여 국내 폐디스플레이 재활용 기술개발의 방향을 제시하고자 하였다.

주제어 : 재활용, 폐디스플레이, 회수, 유가자원, 폐전기전자제품

Liquid crystal display has substituted for cathode ray tube (CRT) and has been widely used in small electronic equipments, and It is expected that the amount of spent liquid crystal display (LCD) increases in future. There is increasing concern about the loss of valuable resources and the contamination of surrounding environment because the most of the spent LCD has been incinerated and landfilled due to incomplete recycling technologies and system for the spent LCD. The present article suggest the development direction of recycling technology of spent LCD summarizing policy and technologies for the recycling of spent LCD.

Keywords : Recycling, Display Waste, Recovery, Valuable Resources, WEEE

1. 서론

사용 후 폐기되는 제품들을 '도시광산 (Urban mine)'이라 정의하고 이로부터 재생 가능한 성분을 회수하기 위한 정책지원 및 기술개발이 활발히 이루어지고 있다[1-3]. 일본 물질재료연구소의 하라다박사는 1945년 이후 일본 내에 축적된 금속의 양을 추정하여 Table 1과 같이 정리하였으며, 금, 은, 인듐의 금속은 세계 매장량에 비하여 일본 국내에 축적된 양이 각각 16.36%, 22.42%, 15.50%인 것으로 추정하여 제시하였다[4]. 우리나라는 일본과 함께 대표적인 자원빈국으로 대부분

의 금속을 수입에 의존하고 있으며 지속적인 산업의 발전을 위해 도시광산 개발을 통한 안정적인 자원수급체계 확보가 매우 중요하다[5]. 폐전기전자제품은 대표적인 '도시광석 (Urban ore or Urban concentrate)'으로서 향후 금속자원으로서 유효 이용이 기대되고 있다.

Table 1. The accumulation possibility of urban mine in Japan and ratio of Japanese urban mine's potential to reserve [4]

| Metal | Accumulation possibility of urban mine in Japan (t) | Ratio of Japanese urban mine's potential to reserve (%) | Metal | Accumulation possibility of urban mine in Japan (t) | Ratio of Japanese urban mine's potential to reserve (%) |
|-------|---|---|-------|---|---|
| Al | 60,000,000 | 0.24 | Mo | 230,000 | 2.69 |
| Sb | 340,000 | 19.13 | Ni | 1,700,000 | 2.70 |
| Cr | 16,000,000 | 2.08 | PGM | 2,500 | 3.59 |
| Co | 130,000 | 1.88 | RE | 300,000 | 0.35 |
| Cu | 380,000,000 | 8.06 | Ag | 60,000 | 22.42 |
| Au | 6,800 | 16.36 | Ta | 4,400 | 10.41 |
| In | 1,700 | 15.50 | Sn | 660,000 | 10.85 |
| Fe | 1,200,000,000 | 1.62 | W | 57,000 | 1.97 |
| Pb | 5,600,000 | 9.85 | V | 140,000 | 1.08 |
| Li | 150,000 | 3.83 | Zn | 13,000,000 | 6.36 |

디스플레이는 주요한 전기전자제품의 하나이며, 우리나라에서는 1950년대 후반 1세대 디스플레이 산업으로서 흑백 브라운관(CRT, cathode ray tube)생산이 시작되었다. 이후 LCD (Liquid crystal display), PDP (Plasma display panel), OLED (Organic light emitting diode) 등이 등장하면서 2세대 평판 디스플레이로의 재편이 이루어졌고[6-7], 향후 3세대 디스플레이로서 플렉시블 디스플레이 (Flexible Display)와 4세대 3D 디스플레이로 발전해 나갈 전망이다[8-9]. 일본 전자정보기술 산업협회에 따르면 현재 일본에서 사용되는 모든 디스플레이 기기가 CRT일 경우를 가정할 때에 비하여 LCD 기기 사용에 의해 약 3조 kWh의 전기가 절약되는 것으로 추정하였으며 (Fig. 1), 이 산화탄소 발생량도 약 40% 적은 것으로 보고하였다 (Table 2)[10].

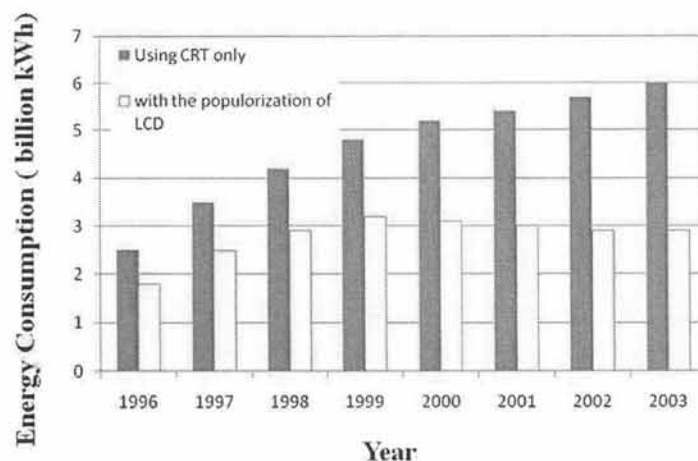


Fig. 1. Energy consumption saving by using LCD [10]

Table 2. Equivalent amount of CO2 emission of CRT and LCD (kg-CO2) [10]

| Stage | | 17in CRT monitor | 15in LCD monitor |
|---------------|-------------------|------------------|------------------|
| Glass | | 32 | 1 |
| Manufacturing | Production energy | 17 | 44 |
| | Emission of PFCs | 0 | 64 |
| During use | | 296 | 83 |
| Disposal | | 12 | 3 |
| Total | | 357 | 195 |

이와 같이 LCD는 디스플레이로서 시각적인 품질의 우수성 뿐 아니라 환경적인 면에서도 기존의 CRT보다 우수하여 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. Table 3에서 알 수 있듯이 2000년대 국내외 세계 LCD 판매 추이는 급증하고 있으며 (Fig. 2)[11], 일반적으로 디스플레이제품이 10년 정도 사용된 후 폐기된다고 가정할 때, 2015년부터는 약 400~500 만대의 폐디스플레이 기기가 발생할 것으로 추정된다 (Fig. 3, 4)[12].

Table 3. LCD sales market in Korea and World (unit: 100 million US\$) [11]

| 구 분 | | 2001년 | 2002년 | 2003년 | 2004년 | 2005년 | 2006년 |
|-----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 대형 | 한국 | 3,518 | 4,671 | 5,596 | 6,697 | 7,773 | 9,027 |
| | 세계 | 8,796 | 10,863 | 13,015 | 15,221 | 17,667 | 20,516 |
| 중소형 | 한국 | 1,050 | 1,590 | 2,297 | 2,809 | 3,236 | 3,825 |
| | 세계 | 7,244 | 7,950 | 9,189 | 10,405 | 11,558 | 12,750 |
| 합계 | 한국 | 4,568 | 6,261 | 7,893 | 9,776 | 11,009 | 12,852 |
| | 세계 | 16,040 | 18,813 | 22,204 | 25,626 | 29,225 | 33,266 |

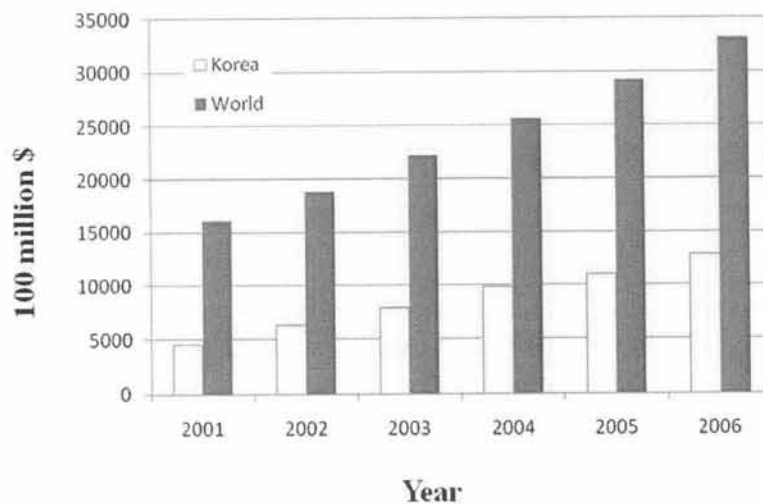


Fig. 2. LCD sales market in Korea and World [11]

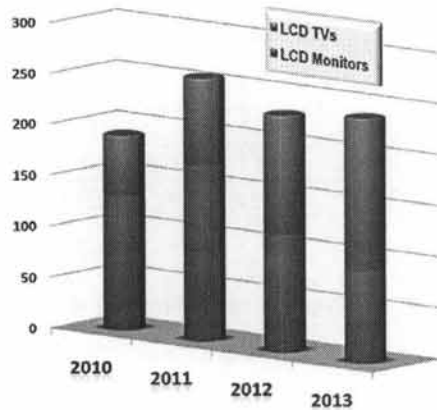


Fig. 3. Expected Domestic Accumulation of Waste LCD Displays (10000 units/year) [12]

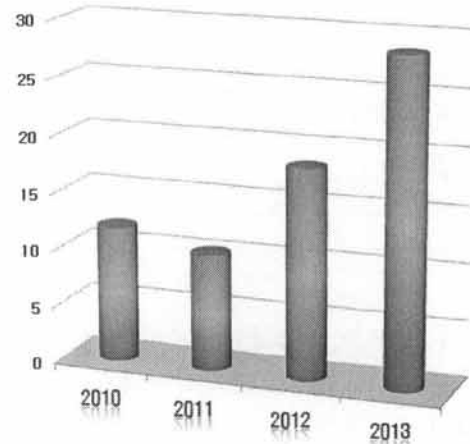


Fig. 4. Expected Domestic Accumulation of Waste PDP Displays (10000 units/year)

현재 국내에서 주로 발생하고 있는 폐디스플레이는 브라운관 TV로서 80% 이상이 유리로 구성되어 있기 때문에 TV의 재활용 공정은 주로 유리성분 회수가 목적이다[13]. LCD 모니터의 경우 금속, 플라스틱, 유리 등이 주요 성분이며[14], 금속성분 중 인듐(Indium)은 미량이나 투명전극으로서 사용되고 있다. 인듐의 주요 용도는 인듐주석산화물 (Indium tin oxide)이고(소비량의 78%), 대부분의 평면패널디스플레이 (Flat-panel display) 코팅에 활용되고 있다. 폐디스플레이 등 도시광석 중 금속성분은 매립처리될 경우 토양 및 지하수오염 등 환경오염의 원인이 될 수 있으나 선별하여 회수할 경우 유용자원으로서 활용할 수 있다.

해외에서는 유용자원 활용보다 폐기물 처리의 환경적인 관점에서 폐LCD를 처리하고 있으며, 일본 등 선진국을 중심으로 폐디스플레이 중 고가의 희토류 형광체물질 재자원화를 위한 연구개발이 범 국가차원에서 진행되고 있다[15]. 한편 국내에서 LCD를 재활용하는 업체는 없는 실정이며 소량 발생하고 있는 폐LCD는 소각 또는 매립처리되고 있기 때문에 향후 대량의 폐디스플레이 발생에 대비한 재활용 기술 관련 연구개발 및 상용화가 시급히 요구되고 있다. 본고에서는 디스플레이 재활용에 대한 국내의 정책동향 및 기술개발 현황에 대해 정리하고 향후 기술개발 방향 및 기대효과를 제시하고자 하였다.

2. 국내의 정책동향

폐디스플레이제품의 처리 및 재활용 정책은 주로 폐전기전자제품에 포함하여 운용되고 있다. 각국의 폐전기전자제품의 정의를 Table 4에 나타내었다[16]. 각국의 폐전기전자제품에 관한 기존 정책은 환경오염물질을 함유한 폐기물 발생을 인정하고 어떻게 하면 경제적이고 효율적으로 처리하는가에 초점을 맞추었으나 이 처리방법의 한계점을 인지하고 환경문제의 근본문제가 제품의 전과정(life cycle)에서 발생하는 환경적인 오염과 자원의 소모에 기인한다는 사실에 중점을 두어 원료확보, 원부자재의 생산, 제품의 제조, 제품의 유통, 사용 및 폐기 등 전 과정에 대한 규제를 통하여 효과적으로 환경오염문제를 해결하도록 하였고, 이를 제품관련 환경규제라고 하였다[17].

Table 4. Definition and scope of waste electrical and electronic equipment (WEEE) or electronic waste [16]

| Country | Term | Scope |
|---------|--|---|
| EU | WEEE | Large home appliance (Refrigerator, microwave, etc) Small home appliance (Vacuum cleaner, toaster, etc) IT and telecommunications equipment (PC, printer, etc) Consumer equipment (Radios, television, etc) Lighting equipment (Fluorescent lamp, etc) Electrical and electronic tools (Drill, etc) Toys, leisure and sports equipment Medical devices Monitoring and control instruments Automatic dispensers |
| Korea | WEEE | Limited electrical equipment and electronic devices |
| Japan | WEEE | Home appliance |
| China | WEEE, same definition as the EU directives | Limited electrical equipment and electronic devices |
| USA | Electronic waste | Electronic products that are discarded by consumers |

EU는 이와 같은 제품중심의 환경정책을 가장 먼저 구현하여 2000년대 들어 통합제품정책(IPP: Integrated Product Policy)를 추진하였다. 이에 대표적인 규제가 2003년에 폐디스플레이를 비롯한 폐전기전자제품의 리사이클 의무 사항을 규제하는 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), RoHS (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substance in Electrical and Electronic Equipment), 에너지 사용제품 에코디자인 지침(Energy using Products directive)이며, 이와 관련한 자국법의 정비도 진행하여 2005년부터 법제도에 근거한 리사이클링을 실시하게 되었다. 이와같은 정책시행에 의하여 시행 전에 개별적 유해물질관리, 단일이슈에 초점, 이해관계자의 수동적 참여, 제품 생산 공정에 초점, 오염물질 사후처리에 집중되었던 정책이 통합적 유해물질관리, 다양한 이슈에 초점, 이해관계자의 능동적 참여, 제품 전 과정에 초점, 오염물질 사전관리에 중점을 두도록 변화하였다[17]. WEEE는 2003년 2월에 공표되어 2005년 8월부터 분리회수 시스템 운영, 수거처리비용 및 재활용마크 부착, 그리고 2007년 1월부터는 생산자의 의무재화롱비율부과를 주요 내용으로 한다. EU는 각 회원국에게 2004년 8월 13일까지 관계법령을 개정하여 자국 법에 반영하도록 하여 2007년까지 각 국의 자국법 제정이 완료되었다. RoHS는 유해물질인 납, 수은, 카드뮴, 6가크롬, PBB, PBDE에 대한 사용규제를 위해 제정되었으며 자국민의 건강과 환경을 보호하면서 환경부담의 기술적 우위를 점하고 있는 EU 회원국들이 무역에서 유리한 고지를 점령하기 위한 목적이 있다고 평가되고 있다. 이러한 노력으로 EU는 현재 자원순환 사회를 지향하는

사회적 재활용시스템 구축이 상당히 진전되어 있으나, EU의 규제는 리사이클 의무를 중소기업이 대부분인 수입업자에게도 부과하기 때문에, 일본보다 생산자재활용책임제도에 해당하는 기업의 수가 증가하였고, 제조업자나 제품마다 폐전자제품을 관리하게 되어 폐전기전자제품의 회수거점이 많아져 소요비용이 증가하고 있다[18].

일본의 경우, 매립지 부족과 자원부족으로 인하여 폐기물로부터 자원의 유효 회수 및 활용에 대한 요구가 존재한다. 일본의 재활용은 에어컨, TV, 냉장고, 세탁기 등 가전제품 4가지를 대상으로 2001년 4월부터 시행되고 있는 가전리사이클법과 자원유효이용촉진법에 의거하여 제조자 자신이 제조한 가전제품의 리사이클을 실시하고 있다. 일본의 가전 리사이클 법규체제 하에서 제조자가 직접 리사이클 플랜트에 투자하고 제조업체의 기술자가 리사이클 플랜트로 파견되는 등, 생산자와 리사이클사업의 강한 제휴가 특색이다. 이처럼 폐가전제품으로부터 유가 자원의 회수율을 향상시키는 고도 선별기술이 개발되고 이렇게 회수된 소재의 새로운 용도 개척도 행해지고 있다.

미국의 경우, 일본이나 한국에서와 같이 “일반폐기물”과 “산업 폐기물”로 분류하지 않고 미국 연방법에 의거하여 “유해 폐기물”과 “비유해 폐기물”로 대별한다. 환경보호국에 의해 제정·시행된 연방법은 환경을 위한 최소한의 수준이며, 주마다 책임 분담 등의 입법 사상이 다르기 때문에 주마다 독자적인 법을 제정하고 있다. 대표적으로는 캘리포니아주의 전자제품재활용법(Electronics Waste Recycling Act)과 유해물질 관리법(Proposition 65)이 있으며 전자제품재활용법은 소비자에게 전자제품을 구매할 때 재활용 비용이 부과되도록 하였고, 유해물질 관리법은 규제화학물질이 음용수로 유입되는 것을 방지하고 주정부가 인체와 환경에 유해한 화학물질목록을 매년 발간하도록 하고 있다[17].

중국은 중국 내에서 사용되는 모든 제품에 대해 유해물질 사용을 금지하고 사용 후 폐기되는 제품으로부터 환경오염이 발생하지 않도록 하기 위해 China RoHS를 제정하였고, 2007년 3월 1일부터 시행하였다. 이 규제는 전자정보제품 오염통제 관리방법에 근거한 법률이며 EU의 법을 모태로 한다. 이 법은 WEEE 회수처리, 재활용업무 등 오염방지와 예방우선의 환경보호원칙을 구체화시키는 목적이 있으며, WEEE의 회수, 해체, 처리와 재이용에 대한 기초를 강화하여 생산자의 ‘오염자 부담’ 원칙을 실현하기 위한 지표로 활용되고 있다[17].

우리나라의 경우, 1967년에 시행된 “공해 방지법”을 시작으로 폐전자제품 재활용 관련 법으로는 1997년에 시행된 “제품의 재질구조개선제도”, “우수 재활용 제품 품질인증제도”, “공공기관 재활용 제품 우선구매제도”가 시초이다[19]. 이후 2002년 12월에 개정된 국가 환경 종합계획에 의거 자원의 절약과 순환적 사용을 촉진하기 위한 폐기물 관리법이 제정·시행되어 폐기물의 발생을 최소한으로 억제하고 발생된 폐기물을 친환경적으로 처리하는 것을 목표로 하여 환경보전과 국민 삶의 질을 향상 시키고자 도모하고 있다. 이에 따라, 2003년의 “생산자 책임 재활용제도”라는 자원의 절약과 리사이클 촉진에 관련된 법률적 기초가 마련되어, 폐기물의 발생을 억제할 뿐만 아니라 리사이클 촉진에 의한 자원의 순환이용을 통한 환경의 보전과 국민경제의 건전한 발전을 도모하고 있다. 아울러 폐기물 부담금 제도, 분리배출 표시제도, 재활용 지정사업자 제도, 지정 부산 배출 사업자 제도도 병행하여 시행되고 있다. 2008년 자원 순환법 개정으로 환경성 보장제가 입법화됨에 따라 재활용 목표의 달성과 자원 순환형 사회 시스템 구축을 위한 기반이 법률적, 제도적으로 조성되고 있으며, 2011년 3월 판매자 회수 의무를 강화한 법률이 개정 완료되고 2013년 품목 확대 및 인당 회수 목표제로의 전환을 위한 법 개정의 추진 중에 있다(Table 5). 상기에 기술된 각국의 유해물질 사용제한을 Table 6에 정리하였다.

Table 5. Restriction of the use of hazardous substance in EU, China, Japan, and USA

| | EU | 중국 | 일본 | 미국 (캘리포니아) |
|------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 시행일 | 2006.07 | 2007.03 | 2006.07 | 2005.07 |
| 대상제품 | 10개 제품군 | 모든 전자정보제품 | 7개 제품군 | 3개 제품군 |
| 규제물질 | 납, 카드뮴, 수은, 6가크롬, PBB, PBDE | 납, 카드뮴, 수은, 6가크롬, PBB, PBDE (향후 추가예정) | 납, 카드뮴, 수은, 6가크롬, PBB, PBDE | 납, 카드뮴, 수은, 6가크롬, PBB, PBDE |
| 기준치 | 1000 ppm (카드뮴은 100 ppm) | 1000 ppm (카드뮴은 100 ppm) | 1000 ppm (카드뮴은 100 ppm) | 1000 ppm (카드뮴은 100 ppm) |

Table 6. Assigned recycling quotas by type of electrical appliances (%)

| 품 목 | 2012장기 재활용목표 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 텔레비전 | 21.0 | 11.8 | 12.6 | 13.3 | 14.5 | 16.0 | 19.0 |
| 냉장고 | 25.0 | 14.1 | 16.9 | 17.3 | 18.9 | 20.6 | 22.1 |
| 세탁기 | 30.0 | 21.2 | 23.4 | 24.2 | 25.3 | 26.1 | 27.4 |
| 에어컨디셔너 | 2.6 | 3.6 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.4 |
| 개인용 컴퓨터 | 14.0 | 8.5 | 9.4 | 9.8 | 10.3 | 11.1 | 12.3 |

3. 국내의 재활용 기술개발 동향

3.1. LCD의 구성물질

LCD 구성물질의 주요 기능과 성분을 Table 7과 8에 나타내었다[11]. 현재까지 자료에 따라서 다양한 구성성분이 보고되고 있으며, Fig. 5에 보여진 구성성분은 금속 11%, LCD 유리 39%, 도광판 20%, 플라스틱 틀 9%으로 기술개발에 성공할 경우, 재활용이 가능하다고 보고된 양은 무게비로 약 79%~83%이며, 나머지 일부 플라스틱, 형광체, 편광판(polarizer)은 현재까지 재활용이 어려운 것으로 알려져 있다. Table 9에 LCD의 액정과 유리의 특성을 나타내었다. 액정의 유해성에 대해서는 현재까지 논란이 되고 있으나 공식적으로 유해성에 대한 판정은 이루어지지 않은 상태이며, 향후 연구조사결과에 따라 규제가 생길 가능성은 있다. 유리는 제품의 품질 향상을 위해 얇으면서도 일정한 강도를 유지해야하므로 다양한 첨가제가 들어가며 특히 비소성분이 함유된 것으로 알려져 있다. 또한 녹는 점이 일반적으로 사용되는 유리에 비하여 높은 900℃ 이상에서 녹기 시작하는 것으로 알려져 재활용 시 가공이 일반 유리에 비하여 어려운 것으로 알려져 있다.

Table 7. Main parts of LCD and their uses [11]

| 부품 · 재료명 | 부품 및 재료의 주요 기능 |
|--------------|--|
| 편광판 | 특정 편향성분을 투과, 흡수 |
| 글라스 기판 | LCD를 구성하는 평활성이 우수한 무알카리 글라스 |
| 칼라 필터 | 적,녹,청 3원색을 가진 도료나 안료가 들어있는 수지막 |
| 배향막 | 액정재료 배향을 위한 유기막으로 폴리이미드막이 주류 |
| 액정 재료 | 몇 종류의 네마틱 액정을 혼합해서 특성 조정 |
| 스페이서 | 액정셀의 재료층 두께 제어 실리카 또는 수지입자 |
| 실(seal) 제 | TFT기판과 칼라 필터 기판을 붙이는 접착제 |
| 봉지제 | 주입한 액정재료가 세지 않도록 주입구를 봉하는 재료 |
| 에지 라이트 | 백라이트 유니트 안의 조명기구로 냉음극관이 주류 |
| 반사판 | 에지 라이트의 패널면 방향이외의 빛을 패널면으로 반사시켜 빛의 이용 효율을 증가시키는 재료 |
| 확산판 | 에지 라이트의 빛을 LCD에 균일하게 보내는 재료 |
| 프리즘 시트 | 정면에 반사된 빛의 휘도를 올리기 위한 재료 |
| 도광판 | 에지 라이트 빛을 LCD면에 유도하기 위한 플라스틱판 |
| TAB | 드라이버LSI를 탑재한 플렉서블 기판 |
| 드라이버LSI | TFT를 통해 액정재료를 구동하는 LSI |
| 이방성 도전 필름 | TAB과 LCD를 전기적으로 접촉하기위한 접착성, 전도성을 겸비한 필름 |

Table 8. Major components and materials of LCD [11]

| Major components | Key materials |
|------------------|--|
| Metals | Stainless steel, aluminum, plated copper sheet |
| LCD glass | Glass, organic materials, others |
| Light guide | Acrylic resin |
| Plastic chassis | PC + ABS (includes glass fibers) |
| PC board | Precious metals (gold, silver), resins, glass fibers |
| Other resins | Resins (composite materials) |
| Polarizers | Organic materials (composite materials) |
| Fluorescent tube | Mercury, others |

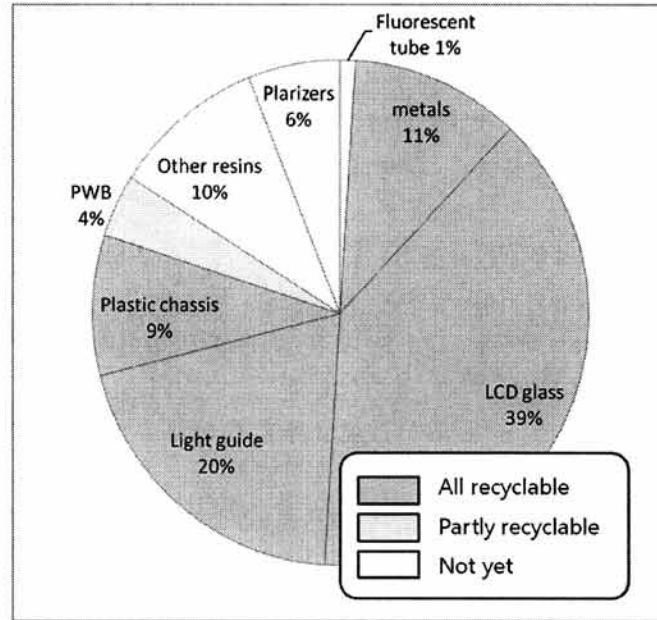


Fig. 5. Main components of LCD monitor and their expected recycling ratio [11]

Table 9. Liquid crystal and glass used in LCD [11]

| | 액정 | Glass |
|-----------------|---|---|
| 제 품 명 | LIXON ZGS-5202LA | Alkaline Earth Aluminoborosilicate Glass |
| 회 사 명 | CHISSO Corp. | Corning Inc. |
| 주요 성분명 (농 도) | <ul style="list-style-type: none"> Bicyclohexanes(22%) Cyclohexylben-zenes(47%) Esters(31%) | <ul style="list-style-type: none"> Silicon(<30%) Barium(<10%) Aluminum(<10%) Strontium(<5%) Boron(<5%) Arsenic(<1%) |
| 물리·화학적 특징 | <ul style="list-style-type: none"> 외관 : 뿌연흰색의액체 냄새 : 없음 응고점/녹는점범위 : -20℃이하 인화점 : 200 ℃이상 끓는점 : 150 ℃이상 | <ul style="list-style-type: none"> 외관 : 투명 Softening Point : 900℃이상 Bulk Density : 2.5 gm/cm3 |
| 유해·위험성 | <ul style="list-style-type: none"> 환경영향 : 난분해성이므로 방출 시 장기간자연계에 체류우려有 물리적 및 화학적 위험성 : 통상적인 취급엔 위험 | <ul style="list-style-type: none"> 이제품은 암을 유발시키는 것으로 캘리포니아 주에 알려진 화학 물질을 포함 |
| 기타 | <ul style="list-style-type: none"> 국소효과 : 눈, 코, 점막과 접촉 하면 자극작용을 일으킬 가능성有 잔류성 및 분해성 : 난분해성 | <ul style="list-style-type: none"> 발암성성분: Barium, Arsenic 전염성: 피부노출 / 호흡기 |

3.2. 재활용기술개발 현황 및 동향

LCD는 더욱 얇은 제품의 생산을 위해 기술개발이 이루어지고 있으며 이를 위해 컴팩트하고 분리하기가 매우 힘든 상태로 생산된다. Fig. 6에 현재 일반적으로 운영되고 있는 폐LCD의 처리흐름도를 나타내었다[20]. 주로 수선(手選)에 의하여 해체된 LCD는 직접 재활용이 가능한 부분은 개별적 부품 등으로 회수되며, 혼합물질은 슈레더 등에 의하여 파쇄되어 유용물질이 선별·회수된다.

LCD 스크린은 얇은 유리와 매우 적은 양의 액정, 보호막으로 구성된다. 현재 회수공정에서 유리 성분은 잔류물로 처리되어 매립되거나 일부는 제련소로 보내진다. 제련소에서는 실리카를 flux로 사용하고 있는데 유리의 성분이 대부분 규소인 것을 이용한 방법이다. LCD 스크린에 포함되어 있는 첨가제 성분들은 제련 공정 중에 다른 불순물들과 함께 슬래그(Slag)나 찌꺼기(tailing)로서 배출되며 슬래그는 시멘트 부원료로 활용되거나 매립지의 노반재로서 활용되는 경우가 많은 것으로 알려져 있다.

플라스틱은 탄소기와 수소기로 구성되어 있기 때문에 염소가 포함되어 있는 PVC를 제외하면 주로 연료 또는 코크스 대용으로 재이용되고 있으나 LCD에 포함되어 있는 플라스틱은 브롬계 또는 인산계 내연제(flame retardant)를 포함하고 있는 경우가 많이 기존의 재활용 방식으로 활용이 불가능하다. 주로 수선(手選)에 의해 플라스틱 종류에 의해 회수되는 경우가 있으나 선별공정에서도 회수되지 않고 매립되는 양도 많은 편이다. 현재 미국에서 Recovery Plastics International (RPI)사가 브롬계 내연제를 포함한 플라스틱과 인산계 내연제를 포함한 플라스틱의 젖음성 차이를 이용하여 플라스틱을 분리·회수하는 공정을 시간당 1,000파운드 규모로 운영하고 있다[20].

LCD 제품에서 해체공정 중 회수가능한 금속성분은 프레임 구성하는 철과 알루미늄으로 알려져 있으며 이 금속들은 자력선별(magnetic separation)과 와류선별(eddy current separation)로 각각 회수된다. 구리는 전선에, 납은 솔더로서 귀금속과 함께 인쇄회로기판(PCB)에 포함되어 있으며 이 금속성분들은 슈레더 파쇄 후 농축되어 제련소로 보내져 회수된다. 현재는 잘 사용되고 있지 않으나 과거에는 수은이 일부 사용되는 경우가 있었다. 수은은 독성이 높아 필수적으로 회수하도록 규제하고 있으며, LCD에 수은 성분이 포함된 경우, 수은이 포함된 부품을 별도로 분리하고 열처리하여 수은성분을 회수하고 있다.

폐LCD로부터 유용자원을 회수하는 노력이 기술한 바와 같이 진행되고 있으나 아직 많은 부분이 기술 부족으로 소각·매립되고 있는 실정이기 때문에[21]. 선진국의 경우, 정부와 기업의 지속적 지원을 바탕으로 관련 핵심기술개발이 이루어지고 있다. 대표적인 기업으로는 VICOR사(독), Merck사(독), Sharp사(일), Densho(일), JEITA(일) 등이 있으며 페디스플레이 재활용 기술의 상용화를 목표로 관련 특허출원 및 공정개발을 활발하게 진행하고 있다.

일본은 LCD 재활용에 대한 연구가 가장 활발한 국가로서 폐LCD 내 대부분의 유효자원 회수기술 개발을 완료한 상태이며 폐LCD 재활용 자원의 소재화 기술개발도 진행하고 있다. 액정 유리를 물리적/화학적으로 분쇄하여 cullet 형태의 일반유리로 재생하거나, LCD 폐기물을 타일 또는 건축자재 대체품으로 재활용하려는 연구가 진행되고 있다. 일본의 Sharp사에서는 2001년부터 플라스틱 케이스 재활용 및 PCB의 유가금속 회수, 유리 cullet의 시멘트 재료 재활용 기술 개발에 착수하여 현재 일부 제품의 생산에 재활용 플라스틱을 투입하고 있으며 (Fig. 7) 향후 LCD 모듈 무게의 약 80%를 재활용 하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 ITO (Indium Tin Oxide) 투명전극에서 인듐을 화학적으로 추출, 회수하는 공정도 개발하는데 성공하여 지적재산권을 취득하였다.

유럽(EU)의 경우 전자재료 매립자체가 법적으로 불가하므로 페디스플레이 전자제품 재활용 기술

관련 연구가 활발하다. 독일 MERCK사에서는 LCD의 토탈 리사이클링 공정을 개발하여 유가 금속, 유리, 플라스틱의 재활용률을 거의 100% 수준까지 높여 고부가 수익 사업을 창출하고 있다. 이 공정에서 발생한 폐디스플레이 유리를 주물사 대체품으로 사용하거나 폐 LCD 패널로부터 액정 물질을 추출·소각 후 재활용하는 연구가 진행되고 있다.

스웨덴의 STENA Metall Group에서는 2015년까지 EU의 폐평판디스플레이 전자제품이 매년 약 75만 톤에 달한다고 판단하여 2010년 WEEE 재활용 규정에 준한 토탈 리사이클링 설비 투자계획을 발표하였다. 스페인 Gaiker사에서는 LCD의 플라스틱 재활용 및 소재화를 위한 LCD의 유해물질 감지기술 개발, 파일럿 플랜트 수준의 플라스틱 소재화 및 재활용 기술개발을 진행하고 있다.

최근 LCD와 함께 많이 공급되었던 PDP 재활용 기술을 LCD와 비교하면 재활용기술개발 정도가 상대적으로 낮게 평가되고 있으며 일본 교쿠헤이(旭平) 유리회사에서 PDP 패널로부터 유가금속인 Ag와 In의 회수를 위한 재활용 기술을 개발하여 일본 환경성의 인증을 받은 파일럿 플랜트급 재활용 설비를 가동 중에 있다[20].

국내 폐전자제품의 재활용 기술 개발 수준은 선진국에 비해 낮은 상황이며, 한국전자산업환경협회를 중심으로 LCD 생산회사와 정부출연연구소 등에서 재활용 기술을 개발하고 있다. 국내에서 폐디스플레이의 발생량은 지속적으로 증가되고 있으나 일부 플라스틱 부품의 일차원적 회수가 이루어질 뿐 대부분 소각, 매립되거나 제3국으로 수출되고 있다[22-23]. 따라서 국내에서 폐디스플레이의 재활용에 대한 기술개발이 절실한 실정이다.

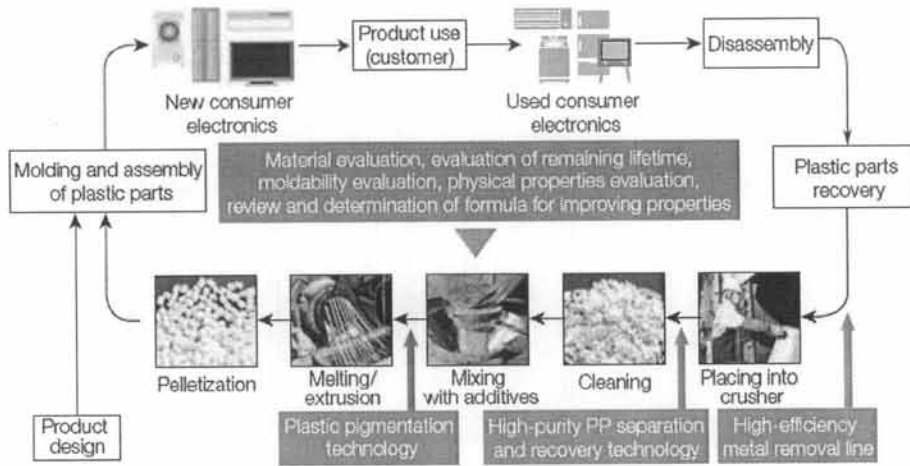


Fig. 7. Recycling of Plastics from WEEE by Sharp Corp., Japan.

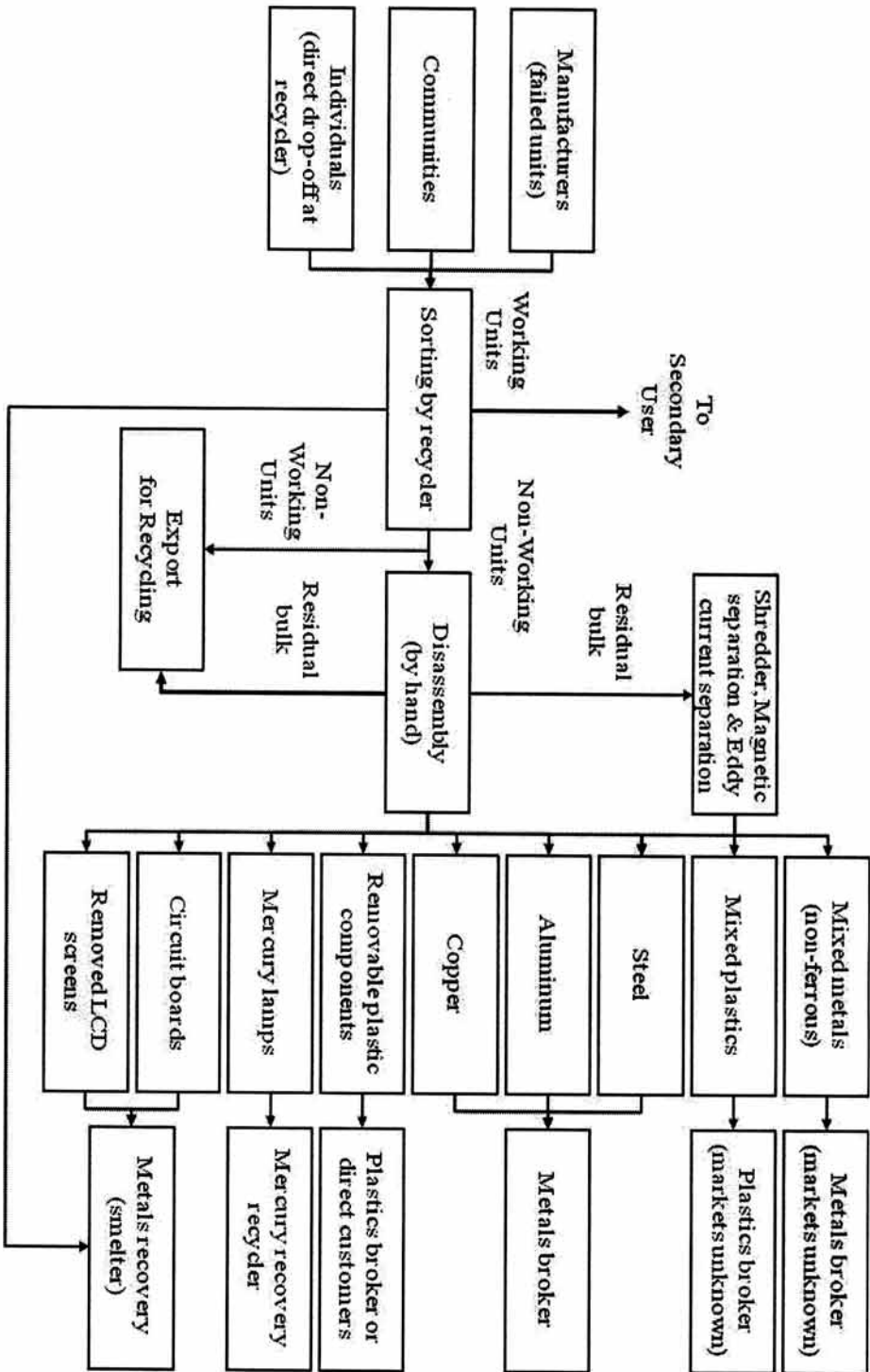


Fig. 7. Flow diagram for the recovery of materials from flat panel displays [20]

3.3. 국내외 특허출원 현황

국내·외 폐 디스플레이 재활용 관련 기술 개발 동향을 보다 구체적이고 정량적으로 알아보기 위해 특허 현황 분석을 실시하였다. 이를 위하여 특허정보검색서비스(KIPRIS)를 이용하였다. 한국/일본/미국/유럽 국가를 대상으로 하여 공개/등록된 특허를 조사 및 분석하였으며, 이 때 사용한 검색식을 Table 10에 정리하였다. 검색된 결과 중 폐디스플레이 제품에 기인한 재활용 관련 기술이 아닌 특허는 제외하는 방식으로 필터링을 하였으며 분석된 결과를 출원연도별, 주요출원인, 회수 재원별 특허건수로 각각 분류하여 Figs. 8과 9에 나타내었다. 폐디스플레이 재활용과 관련하여 조사된 특허수는 국내 44건, 국외 151건으로 나타났고, 국내의 경우 LCD 재활용 관련 특허는 10건, PDP 관련 특허는 16건, 그 밖에 범용기술이 18건으로 나타났다.

국외에서 출원된 특허 151건 중 출원인의 국적이 일본인 경우가 가장 많기 때문에 일본에서 폐 디스플레이 재활용에 관한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다. 주요 출원인 역시 일본회사가 다수였으며 Matsushita 전기(Panasonic)가 21건, Hitachi사가 19건, Sharp사가 9건씩 특허를 출원하였다. 회수 재원별 비중을 살펴보면 유리의 분리 및 재활용에 관련된 특허가 57%, 인듐, 은 등 함유된 금속회수에 관련된 특허가 17%로 국내 특허 출원 동향을 분석한 결과와 비슷하였다. Fig. 8의 국외 특허 등록현황을 살펴보면 2000년대에 특허 출원은 증가하였고 주된 연구는 2004-2006년 사이에 집중되어 있음을 알 수 있다.

국내 폐디스플레이 제품 재활용과 관련하여 국내 총 44건의 특허 중 LCD 재활용 관련 특허는 10건, PDP 관련 특허는 16건으로 PDP 관련 특허의 비중이 약간 더 높게 나타났다. 주요출원인으로 삼성 SDI, 삼성전자, 삼성전기, RIST, LG 디스플레이 등이 있으며 이들의 특허출원 비중이 국내 특허 중 1/3 이상을 차지할 정도로 주요 제조회사에 특허가 집중되는 양상을 나타내었다. 회수 재원별로는 폐 디스플레이의 유리 분리 및 재활용에 관련된 특허가 47%로 가장 높은 비율을 보였고, 인듐이나 은 등 함유된 금속회수와 관련된 특허도 17%로 높게 나타났다. ICP 분석법에 의해 등록현황을 조사한 결과 2004-2006년 사이에 기술적으로 연구가 활발히 진행되었음을 확인하였는데 (Fig. 9) 이는 국외 동향 분석 결과와 유사한 것을 알 수 있었다.

Table 10. Examples of Patents Search Formula used to select patents using KIPRIS DB

| | |
|----|--|
| 국문 | (디스플레이 or PDP or “플라즈마 디스플레이” or 플라즈마-디스플레이 or 플라즈마표시장치 or “플라즈마 표시장치” or “플라즈마표시 장치” or LCD or “액정 디스플레이” or 액정디스플레이 or “액정-디스플레이” or 액정표시장치 or “액정표시 장치” or “액정 표시장치” or 엘씨디 or 액정패널 or “액정 패널” or “Liquid crystal display”) and (재활용 or 회수 or 재이용 or 재사용 or 해체 or 전처리 or 분리 or 선별 or 재처리 or 재자원화 or 리사이클 or 리사이클) |
| 영문 | (display or PDP or “Plasma display panel” or “Plasma-Display-Panel” or LCD or “Liquid crystal display” or “Liquid-crystal-display” or “Liquid-crystal display”) and (recycle or recycling or reuse or reusing or reclaim or recovery or recovering or disassembly or disassembling or dismantling or dismantlement) |

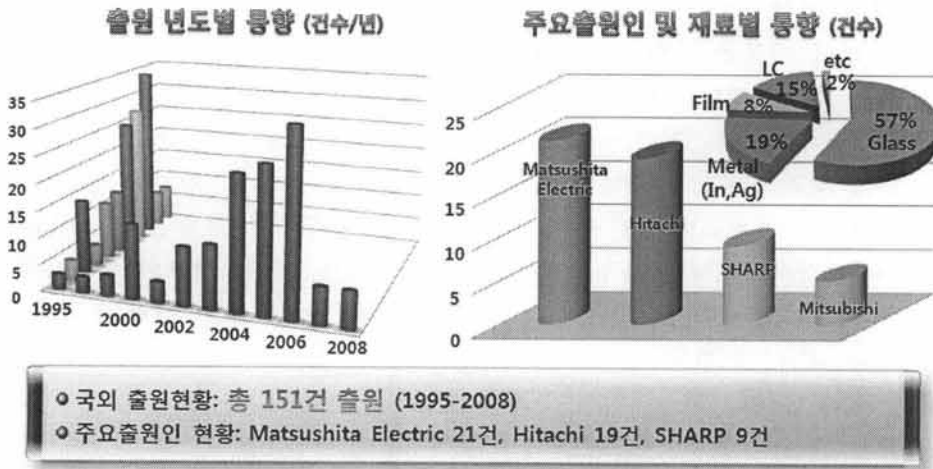


Fig. 8. Current Status of Foreign Patent Applications

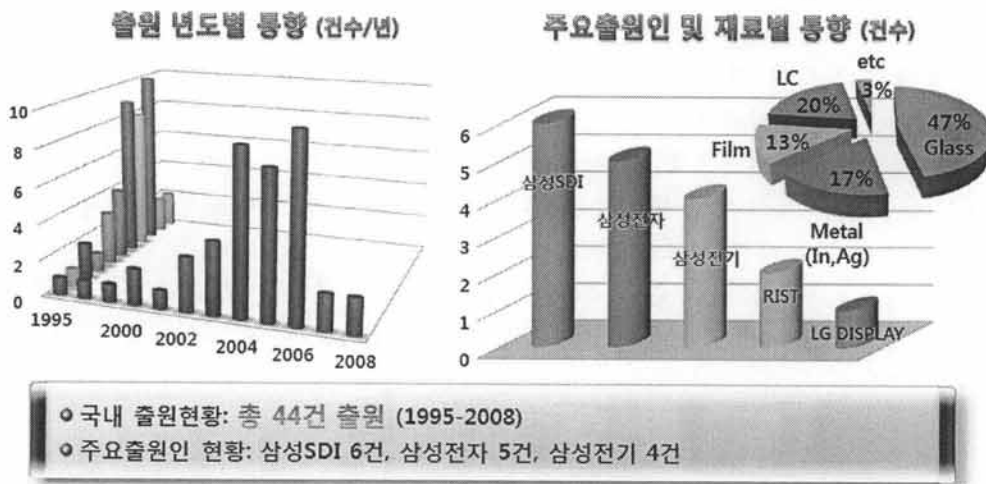


Fig. 9. Current Status of Domestic Patent Applications

4. 폐 디스플레이 재활용 기술개발 파급효과

4.1 경제적 기여 효과

LCD 모니터 및 TV의 재활용 가치 분석 결과에 의하면 전체 재활용 가치 보유 유가 자원 중 금속류가 차지하는 부가가치비율이 62%, 플라스틱이 38%에 해당하므로 유가 금속의 회수가 재활용의 부가가치에 크게 기여하리라 예상된다. 현재 국내에서 폐 LCD 제품을 재자원화 했을 때의 경제적 가치는 LCD 모니터가 대당 1200원, LCD TV가 대당 3,700원으로 보고되었고, 폐LCD TV의 가치총액 3,700원 중 플라스틱 재활용 가치 38%로 1,417원, 금속 재활용 가치 61%로 2,270원, 전선 재활용 가치 1% 미만 27원으로 예상되고 있다[24]. 한편 가치총액에서 폐PCB의 재활용은 유동적이라 제외되었으며 이를 포함할 경우, 폐디스플레이 재활용의 경제적 부가가치가 상승할 것으로 생각된다. PDP 패널의 경우, 중량비에 의한 제품 재질 구성비를 살펴보면, 유리 30%, 금속

42%, 플라스틱 10%정도로 이 중 70% 정도는 재활용이 가능하리라 생각된다. 그러나 폐디스플레이 이 중 PDP 패널의 경우, 유가금속의 비율 면에서 CRT와 LCD에 비해서 매우 높은 비중을 가짐에도 불구하고 경제적인 재활용 기술의 개발은 국내외를 막론하고 매우 미진한 상태이다. 일본 JEITA (전자 정보 기술 산업협회)자료에 의하면 kg당 예상되는 재자원화 부가가치는 유가금속 323원, 플라스틱 132원, 유리, PCB 및 기타소재 12.5원으로 평가하고 있으며, 이를 국내에서 발생하는 폐 디스플레이에 적용할 경우 2007년 기준으로 kg당 PDP TV 434원, CRT TV 231원, LCD TV 467원으로 약 48조 규모에 해당하는 것으로 보고되었다.

일부 금속들은 천연자원에서 회수하는 것보다 폐전기전자제품 등의 폐기물로부터 회수할 경우 에너지 절약이 가능한 것으로 보고하였다 (BBC report). LCD 생산에 중요한 역할을 차지하는 ITO의 경우 주석을 함유하고 있으며, 주석은 폐기물로부터 회수할 경우 74%의 에너지가 절약되며, 대표적 비철금속인 알루미늄과 구리는 각각 95%와 85%가 절약되는 것으로 보고되었다 (Fig. 10)[25]. 이와 같은 생산공정에서의 에너지절약은 경제적인 측면 뿐 아니라 환경적인 측면(이산화탄소 배출 억제) 등에 상당한 기여를 하리라 생각된다.

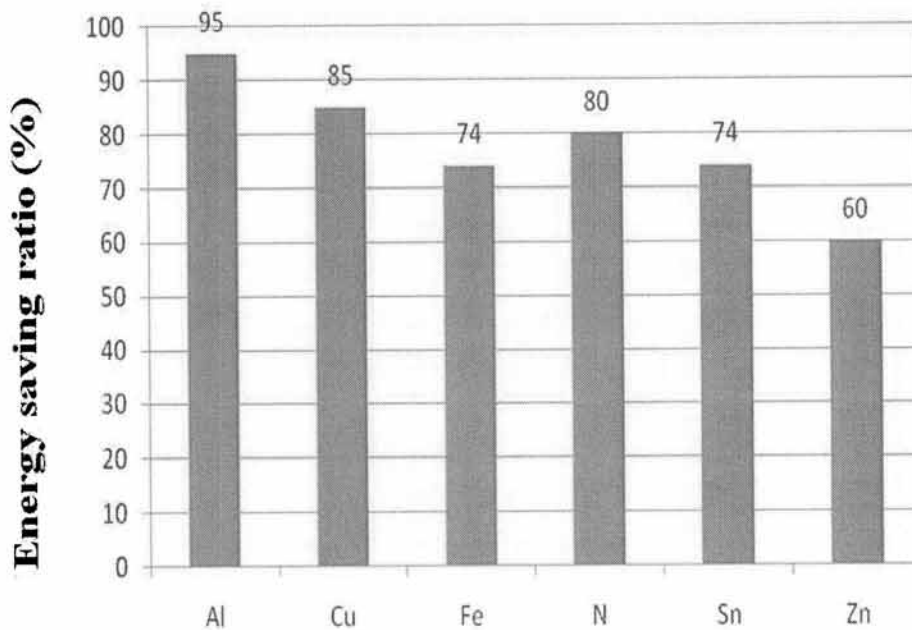


Fig. 10. Energy saving ratio of recovery of metals from waste (compared with recovery of metals from natural resources) [25]

4.2 환경적 기여 효과

최근 폐전자제품의 처리가 사회적 문제로 부각됨에 따라 국제적인 환경규제 (WEEE & RoHS, ELV, REACH 등)들이 지속적으로 강화되고 있고 이에 비례하여 재활용 요구 조건이 높아지고 있어, 국제환경규제에 유연하게 대처하기 위해 이에 대응할 수 있는 자원순환기술이 개발은 경제적 측면 뿐 아니라 환경적인 측면에서도 중요한 주제로 대두되고 있다. 또한, 폐디스플레이의 처리 시 유해물질 처리에 대한 필요성 또한 부각되고 있는데, PDP의 경우 기후변화에 영향을 줄 수 있는 온실가스의 안정적 포집 및 처리기술, CRT의 유리에 포함된 고농도 납(Pb) 성분의 무해화 처리 및 안정화 기술 확보, LCD의 BLU 유닛에 사용되는 수은 및 유해물질의 실용적인 제거 기술 확보가 필요하다.

일본 Hitachi사에서 보고한 전자제품 재활용에 의한 CO₂ 감소효과는 재활용된 13,000톤의 전자제품을 모두 재 자원화 하여 사용 할 경우, 같은 원료 물질을 천연자원으로 부터 제조하는 경우에 비하여 약 12,000톤의 CO₂ 배출량 감소효과가 있는 것으로 나타났다[26]. 따라서, 국내에서 발생하는 78만 톤 (2011년 예상)의 폐 디스플레이 재활용 시 약 72만 톤의 CO₂ 배출량 감소 효과가 있을 것으로 예상된다. 국내에서 2011년에 발생 할 것으로 예상되는 폐 디스플레이의 재활용에 이를 적용 시 약 72만 톤의 CO₂ 배출량 감소효과가 있다.

5. 맺음말

국민 삶의 질 향상과 더불어 LCD가 CRT를 급속히 대체하고 있으며, 향후 폐기되는 양도 급증하리라 예상된다. 폐LCD와 같은 폐전기전자제품은 재활용할 경우 유용자원으로서 사용이 가능하나 단순 폐기될 경우 유해물로서 주변환경을 오염시키게 된다. 폐LCD의 80% 정도가 재활용 가능하다고 평가되고 있으나 각 국의 노력에도 불구하고 폐LCD를 재활용하기 위한 기술개발은 미진한 실정이며 대부분이 소립·매각되고 있다. 우리나라는 폐LCD 재활용 기술개발이 매우 초보적인 수준이며, 지속적인 국내 첨단산업의 발전을 위하여 안정적인 자원수급체계 구축을 위해 폐LCD 재활용 기술개발의 필요성이 대두되고 있어 정부, 연구계, 산업계의 협력에 의한 원천기술 개발이 필요하다.

참고문헌

- [1] 김수경, “환경부 폐금속자원 재활용 대책의 주요 내용”, 자원리사이클링, 19(4), 3-12(2010).
- [2] 오재현, 김준수, 문석민, 민지원, “비철제련 프로세스를 이용한 일본의 도시광산 재자원화산업”, 자원리사이클링, 20(3), 12-27(2011).
- [3] 이재천, 신도연, B. D. Pandey, 유경근, “도시광산 금속자원의 순환활용을 위한 바이오 습식 제련”, 한국지구시스템공학회지, 48(3), 383-395(2011).
- [4] Kohmei Halada, Kiyoshi Ijima, Masanori Shimada, Nozomu Katagri, “도시광산 축적 포텐셜의 추정”, 일본금속학회지, 73(3), 151-160(2009).
- [5] 사단법인 일본 기계 시스템 진흥협회, LCD 분리해체 기술에 관한 조사연구보고서, (2006).
- [6] Lehman Brothers, Asia Display Quarterly 4Q05 (2005).
- [7] 알앤디 비즈, 국내 디스플레이 부품소재 시장동향, 전자 정보센터 (2005).
- [8] 유종찬, Global Display Market Trend, 디스플레이뱅크 (2009).
- [9] 한국 전자 정보통신산업진흥회, 전자 IT 2010 국내의 수급전망 (2009).
- [10] 일본 전자정보기술산업협회 홈페이지
<http://home.jeita.or.jp/device/lirec/english/enviro/index.htm>
- [11] 한국지질자원연구원, 폐전기·전자기기의 토탈 리사이클링 기술개발, 269-278 (2006).
- [12] 홍현선, 공만식, 이성규, 강홍윤, “폐 디스플레이 전자제품 재활용 현황과 기술 전망”, 공업화학과학과 전망, 13(1), 9-18(2010).
- [13] 자원재활용기술개발사업단, 리사이클링백서, 청문각, 서울, pp. 533-547(2009).
- [14] 이희민, 홍현선, 정향철, 강홍윤, 홍순직, “사용 후 LCD 제품의 회소금속 재자원화 기술 동향”, 한국분말야금학회지, 17(2), 88-100(2010).

- [15] 永井 秀典, “회소금속 회수기술 연구개발 사업의 개요 (희토류 금속 등 회수기술 연구개발)”, 금속 자원 리포트 No. 11, p. 45 (2010).
- [16] Yong-chul Jang, “Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in Korea: generation, collection, and recycling systems”, J Mater Cycles Waste Manag, 12, 283-294(2010).
- [17] 명창식, 제품중심 국제환경규제와 한국기업의 대응 -전기·전자제품의 환경규제를 중심으로, 경영정보연구, 24, 45-71(2008).
- [18] 사단법인 일본 기계공업연합회, 2007년도 글로벌 제품의 자원순환에서 발생하는 저환경부하·자원순환 용이제품 설계기술에 관한 조사연구보고서 (2008).
- [19] 環境經濟 政策研究室, 일·한 환경정책 및 제도의 비교연구 (폐기물 자원순환을 중심으로)(2010).
- [20] County, K., Literature Review - Flat Panel Displays: End of Life Management Report (Final Report), 44-65(2008).
- [21] Andrew S. Smith, Final Report, Recycled CRT Panel Glass as an Energy Reducing Fluxing Body Additive in Heavy Clay Construction Products, The Waste & Resources Action Programme (2006).
- [22] 한국전자산업환경협회, 폐LCD제품 재활용 신기술교육 (2005).
- [23] 홍현선, 이희민, 공만식, 강홍윤, “폐 LCD 재활용 기술 현황과 전망”, 한국지구시스템공학회, 47(5), 619-627(2010).
- [24] 김보생, LCD 제품의 친환경적 처리방향, e-리사이클링, 15, (2006).
- [25] Business Communications Co., Inc., “Business Opportunity Report - Electronic Waste Recovery Business”, 24(2005).
- [26] 馬場 研二, “자원 고갈시대에 대비한 지상자원 리사이클”, 日立評論 91(3), 320-321 (2009).