

廢 디스플레이의 解體 및 成分調查

*李晟圭 · 姜楓昇 · 李贊基 · 洪明煥 · 趙成洙 · *洪鉉善

高等技術研究院 新所材工程센터

Disassembly and Compositional Analysis of Waste LCD Displays

*Sungkyu Lee, Leeseung Kang, Chan Gi Lee, Myung Hwan Hong, Sung-Su Cho and *Hyun Seon Hong

Advanced Materials & Processing Center, Institute for Advanced Engineering (IAE), Yongin, Korea

요 약

국내의 디스플레이 산업규모는 2007년 기준으로 48조원, 판매대수는 324만대 이상으로 세계 최대 임에도 불구하고 폐 디스플레이 대부분은 소각 및 매립되어 처리되는 실정이다. 평판 디스플레이의 제품 순환 주기가 매우 짧은 것을 감안하면 대략 5년 사용 후 폐기 시 2015년부터는 약 400~500만대의 폐 디스플레이가 국내에 발생할 것으로 예측된다. 2003년부터 EU의 WEEE 재활용 관련 입법의 영향으로 폐 제품의 재활용 및 재자원화는 어느 때 보다 국가적으로 절실한 경제 사회적 이슈가 되었다. 폐 디스플레이에는 금, 은 등의 귀금속이 함유되어 있어 재활용의 경제적 부가가치도 크다. 이외는 별도로 최근 중국의 희소 금속과 희토류의 수출 제한으로 대두된 자원 확보의 측면에서도 폐 디스플레이의 재활용을 통한 인듐 등의 희소금속 소재화는 필수 불가결하다. 그러므로 우리나라에서도 환경적, 사회 경제적, 국가 전략적 측면에서의 파급효과를 종합적으로 고려한 통합 재활용 기술관련 연구 개발 및 이의 상용화가 시급하게 이루어져야만 할 것이다. 이에 본 연구에서는 특별히 LCD의 해체, 분리 공정의 최적화를 통한 해체/분해 절차서 작성, 모듈/부품의 유가 소재 비율 조사를 체계적으로 실시하였다. 이러한 해체/분리 공정 최적화 연구를 통하여 최종적으로 폐 디스플레이 통합 재활용 전체 공정도를 제안하였다.

주제어 : LCD 폐기물, 재활용, 평판디스플레이, 회수

ABSTRACT

Although Korean domestic production of flat panel displays totalled more than 48 trillion KRW in 2007, most of the flat panel display wastes have been land-filled or incinerated, which greatly overshadows Korean national prestige as a world leading producer and developer of flat panel display devices. Countries such as Japan or EU possess quite limited land-fill capability and have sought ways to dispose of WEEEs from environment-friendly perspective rather than recovery of valuable materials from the wastes. Considering relatively short cycle of about 5 years for flat panel display devices, it is estimated that more than 5 million units will be accumulated as wastes by 2015. Urban mining is a most suitable countermeasures against China's monopoly of rare and rare earth metals, which are contained in flat panel display wastes. Therefore, materials recycling of waste LCD units has to be developed and commercialized soon enough for economic and environment-friendly recovery of valuable resources hidden in LCD wastes.

Key words : LCD waste, Recycling, Flat Panel Displays, Recovery

* Received : December 4, 2012 · Revised : January 3, 2013 · Accepted : February 8, 2013

*Corresponding Author : Sungkyu Lee (E-mail: sklee@ajou.ac.kr) and Hyun Seon Hong (E-mail: hshong@iae.re.kr)

Advanced Materials & Processing Center, Institute for Advanced Engineering, Gyeonggi-do, Yongin-si, Cheoin-gu, Baegammyeon, Goan-ro 51 road, 449-863, Korea

Tel : +82-31-330-7318 / Fax : +82-31-330-7116

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. 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.

1. 서 론

21세기 들어와서 LCD, LED, PDP 등의 평판 디스플레이가 정보표시 수단의 주종을 이루고 있는데 이들의 수요는 향후 지속적으로 증대할 것이 예상되며¹⁾ 이와 관련된 국내 디스플레이 관련 산업의 핵심 기술과 글로벌 점유율은 2007년 매출 기준으로 48조원, 판매대수로는 324만대 이상으로²⁾ 세계 최대 입에도 불구하고 폐 디스플레이 대부분은 소각 및 매립하여 처리되는 실정이다. 현재 국내에서 발생하는 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display, LCD, PDP, OLED) 전자제품의 폐기량 관련된 체계적인 현황 통계 파악 및 관리유지는 이루어지지 않고 있으나 예상 수명을 대략 10년으로 잡으면 2015년부터 약 200~300 만대 정도의 폐 평판 디스플레이 제품이 발생 할 것으로 예측된다.³⁾

2003년 EU는 면적이 100 cm² 이상 되는 LCD 제품의 폐기는 불허하고 반드시 회수해야만 하는 내용을 골자로 하는 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) 지침을 공포하였으므로 생산자 책임 재활용 및 전처리를 통한 폐 LCD내 유해 물질의 제거가 필요하게 되었다. 국내 폐 디스플레이의 재활용 센터는 현재 전국 5개 권역에 구축되어 있으나 현재의 처리 용량으로는 향후 지속적으로 발생할 폐 평판 디스플레이를 감당할 수 없으므로 이의 효율적인 재활용을 위한 친환경 재활용 플랜트의 구축이 절실하게 필요하다. 이는 사회경제적 측면에서도 중요한데 현재 효율적인 재활용 기술의 부재로 폐 전기전자제품에 함유되어 버려지는 약 33조원 가치의 회수 및 회토류 금속의 회수 및 이를 통한 부가가치의 창출 또한 본 연구 주제인 통합 재활용 공정개발로 가능하게 되는 것이다.⁴⁾

2020년 국내 폐 디스플레이 발생량은 약 75만 톤으로 추정되는데 이들 대부분은 기존의 TV와 같이 수작업에 의해 주로 재활용하는 실정인데 이 경우 플라스틱, 금속류 등 재료 재활용이 가능한 소재를 제외한 기타 폐기물은 위탁하여 소각처리 되고 있다. 그러나 폐 자원의 상당 부분을 차지하고 있는 플라스틱의 재활용 비율이 낮는데 그 이유는 효율적인 재활용 기술의 부재로 일부만 응용되어 저급 제품으로 재활용 되고 있기 때문이다. 지정학적 관점에서 보아도 우리나라는 주요 기간산업인 전자 산업에 소요되는 회소금속 및 기타 전략적 금속 자원의 95% 이상을 수입하고 있으므로 최근 중국의 회토류 무기화에 대비한 일본의 도시

광산 개념을 최대한 벤치마킹하여 전략 금속 자원의 효율적인 재활용 기술을 체계적으로 신속하게 개발하여야 한다.³⁾

그러므로 본 연구의 목표는 폐 디스플레이의 효과적 분리해체 후 모듈 및 부품으로부터 회수 가능한 유용자원의 양과 성분을 분석하여 향후 실증 파일럿 플랜트 구축 및 운용에 필요한 기초 데이터의 획득을 하는 것이다. 이러한 체계적인 분리해체 기술의 최적화 및 모듈/부품의 성분분석을 통해서 소재화 요소기술 개발을 위한 토탈 리사이클링 상용화 시스템을 궁극적으로 설계할 수 있다. 이렇게 회소 금속, 유리, 회토류 등의 자원 재활용 기반기술 및 플라스틱 소재의 해체, 선별 기술을 최적화 시켜 나가면서 2017년까지 고등기술연구원에 10 TPD 규모로 자원 재활용 통합공정 시스템을 구축하여 운용하는 것을 본 과제의 궁극적 목표로 한다. 본 논문에서는 특별히 LCD의 해체 및 분리 공정의 최적화를 통하여 회수된 유가 자원의 경제성 및 향후 개발할 토탈 리사이클링 공정 개략도의 설계에 관해서 고찰해 본다.

2. 실험

LCD 제품의 모듈/부품별 유가 소재의 조성 비율을 조사하기 위해서 6개의 디스플레이 제조업체에서 제작된 디스플레이 중 26인치 형부터 30인치 형, 32인치, 40인치, 47인치 형에 이르기까지 다양한 크기의 제품을 무작위로 선정하였는데 제조연도는 2004년부터 2010년까지 포함되었다. 이를 위하여 먼저 Fig 1의 공정을 거쳐 각 부품별로 단체 분리를 실시하였는데 여기서는 산업현장에서 일반적으로 쓰는 공구를 이용하였다. 각 단계별 공정을 거쳐 해체/분리된 모듈과 부품들의 성분은 철류, 비철금속류, 플라스틱류, PCB 기판, 전선류, CCFL, 패널류, 필름 시트류로 구분하여 분석하였다. 회수율을 증대하고 작업 안정성을 확보하기 위해 폐 디스플레이의 해체, 분리 및 분해 공정의 개념을 설계하고 체계화 하였다. 보다 구체적으로 폐 디스플레이의 해체 및 분리 공정을 Fig. 2와 같이 도해 해 보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해체 / 분리 소요시간

LCD 제품의 해체/분리 작업은 기기의 제조사별, 제조년도 등에 따라 달라져야 하기 때문에 표준으로 확

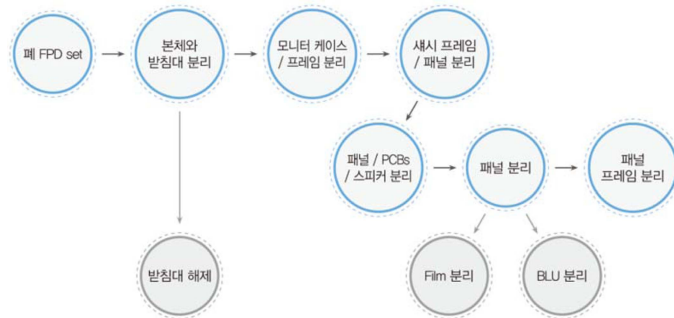


Fig. 1. Schematic diagram of dismantling/disassembly of waste LCDs.

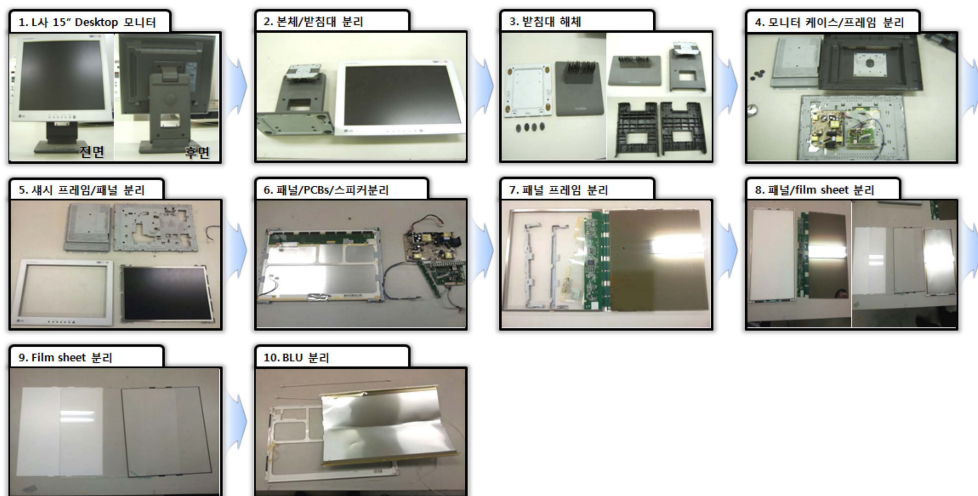


Fig. 2. Individual modules from disassembled waste LCDs.



Fig. 3. Representative tools for dismantling waste flat panel displays.

립된 기술이 없어서 Fig. 3의 공구를 이용한 100% 수작업으로 이루어지는데 본 연구 수행 과정 중 해체/분리에 걸리는 시간을 측정해서 분석 해 본 결과 (Table 1) 평균 약 7분 26초/대가 소요 되었다. 제조사별, 제조연도별 나사 등 체결구의 위치, 크기, 부품별 재질이 상이하기 때문에 작업 중 다양한 변수가 발생하였으나 명시된 작업지도서에 따라 작업하여 평균치에 비교적 근접하는 고른 시간 분포를 나타내었다. 각 공정의 소요시간 측정 결과를 명시한 Table 1을 보면 패널 모듈 분리후의 공정 소요시간은 해체 및 분리 전체 공정 소요시간의 약 62.4%를 차지함을 확인하였다. LCD 패널의 분리 및 해체 중 작업자의 부주의나 예상치 않은 압력으로 BLU를 파손시킬 수 있는데 이 때 BLU 내부의 수은 유출을 방지해야하므로 작업 시간은 증가하고 작업 효율은 감소하게 된다. 또한 모듈의 해체나 분

Table 1. Lead time of each unit process for manual dismantling of waste LCDs

공정별 단계		소요시간
공정 1	해체 라인 반입	-
공정 2	스탠드 제거	43 초
공정 3	후부케이스 제거	39 초
공정 4	Wire harness/ 제어기관 제거	46 초
공정 5	전면 케이스와 패널 모듈 분리	48 초
공정 6	패널 모듈을 BLU 새시와 패널 유닛으로 분리	92 초
공정 7	BLU 새시 모듈의 해체	108 초
공정 8	패널 유닛의 해체	92 초
합 계		468 초 (7 분 26 초)

Table 2. Detailed proportion of valuable materials in waste LCDs

유가자원		조성 비율	평균 조성
유가금속	In	0.01%	0.01%
	Ag	-	
금속	철	46.0%	29%
	비철 (Al)	12.0%	
유리	유리분말	5.8%	5.8%
플라스틱	PMMA, PC, ABS	23.3%	23.3%
합계		87.11%	

리를 위해 수많은 나사, 클립, 커넥터를 수작업으로 제거해야 하고, 각종 유가 소재의 회수율도 높여야 하므로 LCD 패널 분리 이후 공정의 작업시간 비중은 높아지게 된다. 공정효율을 높이기 위한 폐 디스플레이 해체 및 분리에 적합한 작업 공구를 Fig. 3에 나타내었다.

3.2. LCD 중량 분석

LCD 제품의 중량은 디스플레이의 크기에 따라 증가하는데 제품을 구성하는 금속류와 플라스틱류 소재의 비율은 서로 다른 것을 확인할 수 있었다. 또한 제조회사별, 디스플레이의 크기별로 디스플레이의 중량과 제품을 이루고 있는 소재의 구성도 차이를 나타내고 있어 향후 해체/분리 라인 운영 및 재활용 연구를 진행하는데 있어 고려해야 할 사항이라 할 수 있다. 또 하나 중요한 결과로는 과거에 출시된 제품에 비해서 최근에 출시된 디스플레이 제품의 중량이 크게 감소한 것인데

32인치 LCD 디스플레이의 경우 2004년 모델의 중량은 약 25 kg에서 2007년 모델의 중량은 약 18 kg으로 감소하였다. 주목할 것은 2010년에 제조된 47인치 형의 경우 중량이 약 20 kg 정도로 나타나 최근에 출시된 제품일수록 중량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 타 소재보다 금속류 소재의 비중이 점차 낮아져 전체 중량이 감소한 것으로 볼 수 있다.

3.3. 유가 자원 비율 분석

LCD 제품을 해체/분리하여 소재 분포 비율을 조사한 결과 크기별, 생산 년도 별 차이를 보였으나 평균 중량은 약 23 kg이었다. 세부적인 소재 분포 비율 현황 및 이 제품을 분리/해체하여 유가 자원으로 회수 가능한 소재의 분포율을 조사한 결과를 Table 2에 나타냈다. 유가 금속으로는 인듐, 은 등이 있고 기타 소재로는 철, 비철, 유리, 플라스틱으로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 여기서 주목할 것은 금, 은, 구리 등의 유가 자원이 함유되어 있을 것으로 추정되는 PCB기판 및 최근 가격이 급등하고 있는 Nd, Pr 등의 희토류 자석 소재가 함유되어 있는 스피커는 Table 2에서 제외하였다. 유가 소재의 조성 비율을 보면 금속류가 58%로 가장 컸고 그 다음으로 유리가 5.8%, 플라스틱이 23.3%로 나타났다. 반면 인듐은 LCD에 약 0.01% 함유되어 있었다. 전체적으로 은이나 인듐의 경우 소량 함유되어 있으나 향후 폐 디스플레이 재활용 기술의 상용화가 이루어져서 대량의 폐 디스플레이를 처리할 수 있다면 경제성 측면에서 문제없이 회수 가능할 것으로 생각된다.

3.4. 유가 자원 가치 분석

LCD 모니터 및 TV의 유가 소재 중 금속류가 차지하는 비율이 58%, 플라스틱이 23.3%에 해당하므로 유가 소재의 회수가 재활용의 부가가치에 크게 기여하리라 예상된다. 현재 국내에서 폐 LCD 제품을 재자원화했을 때의 경제적 가치는 LCD 모니터 1,557대, LCD TV 8,196대로 보고되고 있다. LCD TV의 재활용 가치 총액 8,196원의 내역을 보다 구체적으로 자세히 알아보고자 유가 소재의 비율을 분석해 보니 플라스틱 38%, 금속 61%, 전선 1% 미만으로 예상된다. 이 때 가치 총액에서 PCB의 재활용은 유동적이라 제외하였는데 만일 이를 포함 시 폐 디스플레이의 재활용 경제적 부가가치는 다소 상승할 것으로 예상된다. 또한 패널 유리의 재자원화, 인듐, 형광체의 회수 기술은 국내에 전무한 실정이지만 최근 희소 금속의 가격이 급등하고 중국

Table 3. Quantity of copper recovered from PCBs of waste LCD monitors and its market value

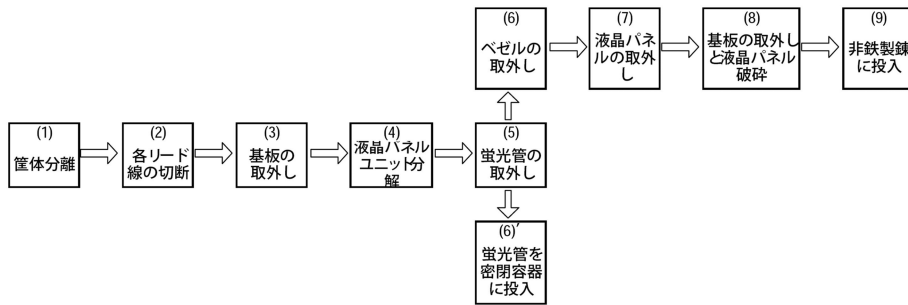
구리 비율	LCD 1대당 구리 양(g)	LCD 2만대 구리 양(ton)	회수율(%)	회수 후 구리 양(ton)	순도(%)	가치(\$)	가치(천원)
20%	27.35	0.547	70	0.3829	99	1,876	2,114
					99.9	2,106	2,373
					99.99	3,301	3,720
			80	0.4376	99	2,144	2,416
					99.9	2,407	2,712
					99.99	3,772	4,251
			90	0.4923	99	2,412	2,718
					99.9	2,708	3,051
					99.99	4,244	4,783
50%	68.37	1.37	70	0.959	99	4,699	5,296
					99.9	5,275	5,944
					99.99	8,267	9,317
			80	1.096	99	5,370	6,052
					99.9	6,028	6,793
					99.99	9,448	10,648
			90	1.233	99	6,042	6,809
					99.9	6,782	7,642
					99.99	10,629	11,979

에 의한 자원 무기화 경향이 가시화 하고 있으므로 관련 기술이 개발 될 경우 높은 경제 사회적 부가가치를 확보할 수 있을 것이라 예상된다. 이러한 유가 소재의 부가가치 분석을 위하여 일본 JEITA (전자 정보 기술 산업협회) 자료를 참조 하였는데 이에 따르면⁵⁾ kg당 예상되는 재활용 부가가치는 유가금속 323원, 플라스틱 132원, 유리/PCB/기타소재 12.5원이며 이를 국내에서 발생하는 폐 디스플레이에 적용할 경우 2007년 기준 kg당 PDP TV 434원, CRT TV 231원, LCD TV 467원으로 약 48조에 달하는 것으로 추산되었다. 한편 가치 총액에서 제외된 PCB의 부가가치를 47인치 LCD 에 대해서 평균적으로 적용 해 보면 총 9개의 PCB가 있었다. 이러한 결과를 모두 반영하여 평판 디스플레이 에 함유된 구리의 부가가치를 Table 3에 나타내었다. 이 때 PCB 표면의 구리 도포 면적을 전체 표면적으로 나누었을 때 20%와 50% 범주에 들어오는 PCB가 대부분이고 실제 폐 디스플레이의 해체/분리 시 회수되는 PCB의 구리 함량도 이에 준하여 가치 분석을 추산할 수밖에 없기 때문에 Table 3에 예시된 가치 분석치는

향후 대량의 폐 디스플레이로부터 PCB를 회수할 때 기준으로 삼을 수 있는 일종의 통계적 추산 근거로 볼 수 있겠다.

3.5. 폐 디스플레이 통합 재활용 공정개발 필요성

이상의 폐 LCD 해체 분리 공정 기술 개발 및 모듈/부품의 성분분석을 통하여 폐 LCD bench scale 재활용 unit의 구축에 필요한 기초 data가 얻어졌으며 이에 준하여 보다 포괄적인 회수 금속, 플라스틱, 유리 등의 유용자원 재활용 및 자원화 요소기술 개발을 향후 체계적으로 진행 할 수 있을 것이다. 향후 폐 LCD 전자제품의 재활용률 향상을 위해서는 물리적 해체/분리 공정의 지속적 최적화가 필요하므로 재활용 공정에서의 폐기물 발생 최소화를 위한 모듈/부품의 분류 및 친환경 물리적 분리 공정을 설계하고 관련 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이는 폐 LCD 전자제품의 재활용률 극대화의 전제조건이 되는데 이러한 재활용 요소기술을 성공적으로 개발하여 최적화 할 수 있어야 비로소 이를 토대로 후속 공정인 폐 LCD로부터 효율적 유가 자원



(1) 단체 분리; (2) 리드선의 절단; (3) 기관의 제거; (4) 액정 패널 유니트 분해; (5) 형광관의 제거; (6) 베젤의 제거; (6') 형광관을 밀폐 용기에 투입; (7) 액정 패널의 제거; (8) PCB 기관의 제거와 액정 패널 파쇄; (9) 비철제련에 투입

Fig. 4. Schematic diagram of Japanese total recycling for waste LCDs.⁶⁾

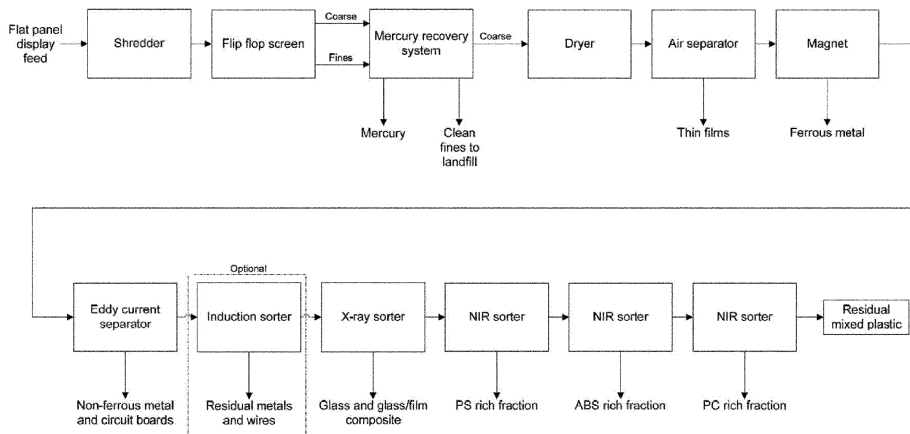


Fig. 5. Schematic diagram of total recycling system for waste LCDs in UK and EU.⁴⁾

을 회수하는 유용자원 회수공정의 평가 (회수율, 순도, 공정 효율 등의) 및 비교를 통한 재활용 기술의 표준화를 도모할 수 있게 되어 차후의 실용화/실증화에 대비할 수 있는 것이다. 이러한 폐 디스플레이 토탈 리사이클링 공정 중 선진국에서 상용화 수준으로 운용되는 공정도 2개를 Fig. 4와 Fig. 5에 예시하였다. Fig. 4는 현재 폐 디스플레이의 재활용 기술이 가장 앞선 일본의 LCD 재활용 사업장에서 운용하고 있는 실증화 공정을 예시하고 있다.⁶⁾ 이 공정을 요약 해 본다면 먼저 폐 LCD 제품을 수작업으로 분리/해체 후 유해 성분을 함유하고 있는 CCFL 모듈, LCD 패널, PCB의 순서로 분리하여 처리하는데 CCFL의 경우 내부에 함유되어 있는 수은과 형광체를 단위 사업장에서 처리하지 않고 일시적으로 수납, 보관하여 외부에 위탁하여 처리하고 있다. 기타 LCD 패널, PCB의 경우는 파쇄한 다음 비철

제련소로 보내고 있다. 한편 Fig. 5의 공정은 현재 영국을 비롯한 EU에서 실증화에 응용할 목적으로 시험적으로 운용되고 있는데⁴⁾ 폐 FPD의 해체/선별 없이 폐 FPD 자체를 3축 분쇄기를 이용하여 파쇄 시킨 다음 유해 성분인 CCFL에 함유된 수은을 제거하고 소정의 물질회수 단계인 자력선별, X-ray, NIR법 등을 이용한 금속 및 플라스틱의 회수 공정이 후반부에 있는 것이 특징이다. 이러한 선진 공정과의 비교 연구를 통하여 최종적으로 본 연구에서는 폐 디스플레이 통합 재활용 전체 공정도를 Fig. 6에 제시하였다.

Fig. 6의 공정을 제시한 근거로 본 연구의 최종목표가 공정 최적화를 하여 재료 재활용의 극대화를 도모하는 것을 들 수 있다. 그러므로 Fig. 6의 공정은 1차적으로 유가 소재를 최대한 회수하고 이것이 어려운 경우에 에너지를 회수하는 것이 목적인데 Fig. 6를 활용한 물

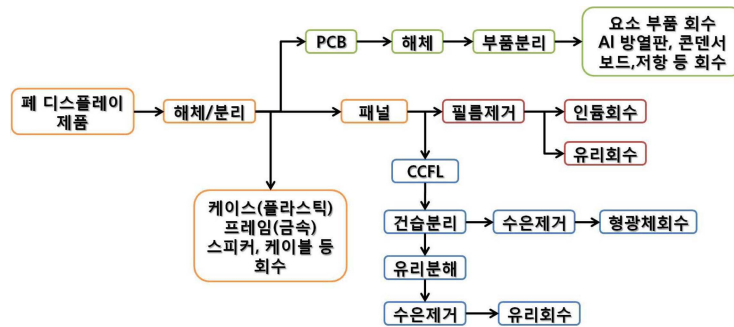


Fig. 6. Schematic diagram of suggested total recycling system for waste LCDs.

질 회수는 98%이상 가능하다. 보다 상세히 설명하면 Fig. 6의 제안 공정은 해체/분리 후 3가지 주요 공정 기술로 크게 요약된다.

첫째, PCB 재활용 관련하여 Fig. 4의 경우 분쇄 후 제련소에서 유용자원 회수, Fig. 5의 경우에는 분쇄 후 자력선별 등에 의한 유용자원 회수를 실시한다. 그러나 이러한 방법에 의한 유용자원 회수율은 매우 낮고 에너지 소비가 많을 뿐 아니라 잔류물도 많이 발생하여 궁극적으로 전체 회수율이 낮으며 고도의 정제기술을 필요로 한다. 본 연구에서 제안된 Fig. 6는 해체/선별 공정을 통하여 PCB를 구성하는 다양한 콘덴서, 저항, 방열판, 보드, 변압기 등을 동일한 부품끼리 분류하여 처리하므로 회수율과 순도가 높을 것으로 기대된다.

둘째, LCD 패널에는 극소량의 인듐이 포함되어 있고 그 표면에는 필름이 부착되어 있다. Fig. 4의 경우 이를 분쇄하여 비철 제련소에서 처리하는데 인듐의 회수는 불확실 해진다. Fig. 5의 경우에도 분쇄 후 X-ray를 통해 유가 소재를 일부 회수하고 있지만 인듐의 회수는 없는 것으로 판단된다. Fig. 6에 제안된 본 공정에서는 LCD 유리에 포함된 소량의 인듐을 회수하기 위해 필름을 제거하고 인듐을 화학적으로 회수하는 기술을 개발하여 적용하고 있다. 인듐의 가치는 회수된 금속의 무게, 순도를 고려한 사업성의 관점에서 판단해야 하지만 자원의 순환과 중국의 희소금속 수출 제한 대책 수립 등의 관점에서는 꼭 개발해야 할 국가 전략 사업으로 판단된다. 또한 LCD 패널 유리의 주성분은 보로 실리케이트계로 이를 활용한 다양한 재활용 제품의 원료로 사용 가능하므로 열적 재활용 보다는 물질 재활용 기술이 우선적으로 개발 되어야 할 것이다.

셋째, CCFL은 유해한 성분이 함유되어 있기 때문에 전처리 과정에는 반드시 수작업에서 해체 후 다음 공정

을 진행해야한다. Fig. 5의 경우 CCFL이 포함된 상태에서 분쇄 후 수은을 회수한다고 하지만 현재까지 나와 있는 수은 제거방법은 수은을 제거하기 위해서는 통상적으로 고온(400°C)에서 비등시켜 활성탄으로 제거하는데 이때 분쇄된 제품 전체를 예열하기 위한 에너지 비용이 높고, 형광체 분말이 분쇄과정에서 분산되어 표면에 부착되므로 회수의 어려움 등이 있다. 따라서 CCFL은 수작업을 통한 해체 후 단일 공정에서 안정적으로 처리하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이러한 제반 사실에 비추어 볼 때 본 연구에서는 유용자원 회수율 증대를 위한 방안으로 해체/분리 공정을 가능한 최소단위까지 최적화 하고 열적 회수 보다는 물질 회수의 관점을 우선시 하였고, 유해성 물질은 별도의 공정에서 안정적으로 처리할 수 있도록 하였음을 특징으로 한다.

4. 요약

지금까지 폐 디스플레이 제조연도 및 모델별 해체/분리 메커니즘을 최적화 하였다. 그리고 현재의 폐 LCD 전자 제품의 발생, 회수, 처리 실태를 파악하여 폐 LCD 전자 제품의 유가물/폐기물을 분류하고 케이스, 프레임, 플라스틱 시트, LCD 패널, driving circuit unit, back light unit 등의 재활용 가치 분석 및 대상 물질을 선정할 수 있었다. 아울러 폐 LCD 전자제품의 해체, 분리 공정별 tack time을 분석하여 해체/분해 절차서 개발의 기초 작업을 하였다. 이를 토대로 폐 LCD 전자 제품 각 모듈/부품 별 물리적 해체 및 분리 공정을 보다 구체적으로 최적화하여 향후 자원회수, 분리 요소기술 컨셉트 설정 및 자원 재활용 통합 공정 설계를 실시 하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐 금속 유용자원재활용기술개발사업단의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.(11-A02-MD)

참고문헌

1. Li, J. et al., 2009: Recovery of Valuable Materials from Waste Liquid Crystal Display Panel, *Waste Manag.*, **29**, pp. 2033-2039.
2. Korea Display Bank Data (Display Market Trend for 4/4 of 2005): www.displaybank.com/_kor/research/markettrack_view.html?id=1517.
3. Hyun Seon Hong, Man Sik Kong, Sungkyu Lee, Hong Yoon Kang, 2010: Overview and Future Concerns for Recycling Display Wastes, *Korea Industrial Chemistry News*, 13 (1), pp. 10-19.
4. John Cryan, Keith Freegard, Liz Morrish, Nicola Myles, 2010: Demonstration of Flat Panel Display Recycling Technologies, WRAP (Waste & Resources Action Programme), Banbury, UK.
5. Japan Electronics and Information Technology Industries Association, 2007: Recycling of TV Monitors and Related Issues.
6. Japan Mechanical Social Systems Foundataion, 2006: Research Report on Disassembly and Dismantling of waste LCD Displays (System Technology Development 17-R-13).



李 晟 圭

- 미국 미네소타 주립대 재료공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원



姜 槭 昇

- 고려대학교 신소재공학과 공학석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 연구원



李 贊 基

- 일본 큐슈대 물질이공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



洪 明 煥

- 한양대학교 신소재공학과 공학석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 연구원



趙 成 洙

- 아주대학교 에너지시스템공학과 공학석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원



洪 鉉 善

- 한양대학교 금속공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 센터장