

건축자재로서 폐 LCD 판유리의 재활용

Reutilization of waste LCD panel glass as a building material

민 경 원* 이 현 철** 서 의 영** 이 원 섭**
Min, Kyoung-Won Lee, Hyun-Cheol Seo, Eui-Young Lee, Won-Sub

Abstract

Recently due to dramatically increasing demand of liquid crystal display (LCD) panel in IT industry, the used LCD panel glass has been wasted from electronic items, and also panel glass of poor quality during manufacturing process. The wasted LCD panel glass was crushed in the range of 0.42 to 2mm and evaluated for its usefulness as a aggregate in production of cement concrete brick. Cement concrete specimens with various mixing ratios of weathered granite soil, LCD panel glass and cement were cured in wetness for 7 days at 40°C and then tested for uniaxial comprehensive strength (UCS)(KS F 4004 method). Specimen with a mixing ratio, 1:6:3, of weathered granite, LCD panel glass and cement, respectively, showed the highest average in the UCS test(26.51N/mm²). It is much higher than that of commercial brick without glass(17.00N/mm²). Conclusively waste LCD panel glass can be reutilized economically as a raw building material of good quality.

키워드 : 폐 LCD 유리, 재활용 벽돌
Keywords : waste LCD glass, reutilized brick

1. 서론

2009년 우리나라 LCD (liquid crystal display) 관련 제품의 생산량을 조사한 결과, LCD TV는 약 300만대, LCD 모니터는 약 100만대를 생산하였으며, 2005년 대비 약 42.7%가 증가 하였고, 세계 LCD 시장 점유율이 46.5%에 이르렀다. 또한 디스플레이 산업의 발전으로 OLED, 3D TV 등의 신제품이 대거 출시되고 있으며, 화질 좋고 뛰어난 기술력을 가진 신제품이 소비욕구를 자극해 LCD 제품의 수요가 급증할 것으로 예상된다. 수요의 급증에 따라 기존의 제품들이 신제품으로 교체 되는 과정에서 폐 LCD가 발생될 것이며 발생량은 LCD 신제품의 지속적인 개발에 따라 계속적으로 증가

할 것이다. 또한 TV를 비롯하여 휴대전화, MP3, PMP 등의 IT기기들이 대중화되고 새로운 기기들이 출시됨에 따라 폐 LCD는 기하급수적으로 발생할 것으로 예상된다(통계청, 2010).

우리나라에서는 현재 사용 후 폐 LCD가 폐기물로 처리되고 있으며 대부분이 소각 및 매립처리되고 있다. 일부 재활용이 실시되고 있는 외국의 경우 폐 LCD 유리표면 오염문제, LCD 패널의 용도별 용융온도 차이, 경제적 공정 개발 문제 등으로 인하여 실용화 방안이 확립되지 않은 상황이며, 폐 LCD의 재활용 측면보다는 환경문제의 해결차원에서 처리가 이루어지고 있다(홍현선, 2010).

특히 LCD 제품들은 EU가 제정해 2005년 8월부터 시행되고 있는 “폐가전제품의 의무 재활용에 관한 규제”(EU, 2005)와 우리나라 환경부에서 2010년부터 시행하고 있는 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”(환경부, 2010) 등에 해당되는

* 강원대학교 에너지·자원공학과 교수, 교신저자

** 강원대학교 대학원 에너지·자원공학과

제품이기 때문에 폐 LCD 발생이 급증할 것으로 예상되는 2014년 이후의 상황을 고려해 볼 때, 시급한 대책의 수립이 필요할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 폐 LCD를 재활용하여 건축자재로 이용함으로써 무분별한 자원개발에 따른 환경피해를 줄이고 원자재 수입 대체 효과를 가져올 수 있는 경제적이고 효율적인 재활용 방안을 마련하고자 하였다.

2. 폐 LCD 현황

2.1. 폐 LCD 발생현황

국내 디스플레이 산업의 규모는 2006년도 기준으로 대략 50조원 수준이며, 2000년대 이후 연 평균 성장률 13~20%이상의 높은 성장세를 보이고 있다.

현재 사용 후 LCD 제품과 관련하여 발생하는 폐기물에 대한 체계적인 통계는 전무한 실정이며, 국내 생산량 및 수입량, 사용 내구연한 등을 고려하여 볼 때 국내에서 사용되는 디스플레이 장치는 2008년 기준 300만대 정도로 추정되고, 디스플레이 제품의 특성상 그 수명을 5~6년으로 가정하면 2014년 이후에 약 200만대 이상의 폐 LCD 디스플레이 장치가 발생할 것으로 예상할 수 있다. 단, 5~6년의 1차 사용 후 중고제품으로 추가 사용되는 기간은 고려하지 않았으며, 모니터의 경우가 TV보다 수명이 짧을 것으로 예상할 수 있다. 2세대 디스플레이가 LCD, PDP, OLED 등의 여러 평판 디스플레이 가운데 LCD를 중심으로 재편되고 있어, 앞으로 LCD의 사용 및 폐기 제품이 급증할 것으로 예상된다(홍현선, 2010).

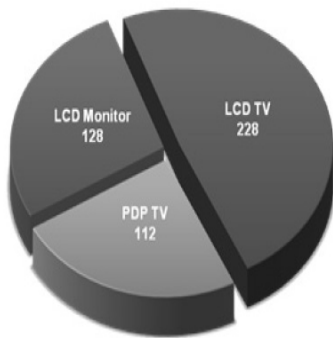


그림 1. 2008년도 국내 LCD 생산량(단위: 만대)

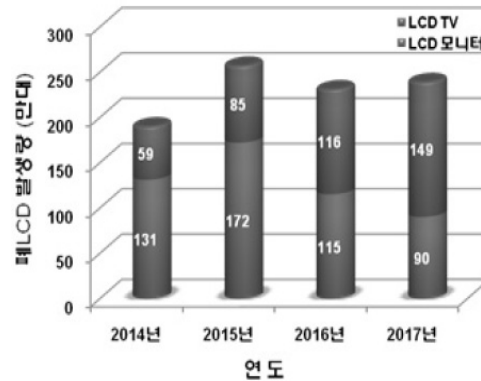


그림 2. 폐 LCD 예상 발생량

그림 1, 2는 기존 디스플레이 제품의 국내 생산량과 이를 통해 예상되는 폐 LCD의 예상 발생량을 나타내고 있으며, 2014년 이후 약 200만대 이상의 폐기물이 발생할 것으로 분석되고 있다.

2.2. 폐 LCD의 처리 및 재활용 현황

현재 국내에서 LCD 제품은 사용이 완료되었을 경우 제품을 이루고 있는 플라스틱, 금속류, PCB, LCD 등을 부품별로 분해하여 재활용하거나 폐기하고 있다.

표 1. 주요 부품의 구성성분

Major components	Key materials
Case	Plastic(PC, ABS)
Frame/Chassis	SUS, Al, Fe, Plastic(PC, ABS)
LCD panel	Liquid crystal, Glass, ITO,
PCBs/wires	Au, Ag, Cu, Ta, Ni, Resins,
Optical sheets	Organic material
CCFL	Hg, Mo, Ni, Y ₂ O, Tb, Eu
Light guide	Acryl resin
Other resins	Organic material

LCD재활용에서 문제가 되고 있는 사항은 20~40%에 가까운 액정 패널의 재활용인데, 현재 국내에서는 전량 소각 후 매립 또는 파쇄 후 매립으로 폐 LCD Glass를 처리하고 있는 실정이다.

대만의 경우 폐 LCD를 수집하여 고온가열 과정을 거쳐 Glasstone(건축자재)을 생산하고 있으며 생산된 Glasstone의 경우 대리석이나 화강암 대비 단단하고 마감처리가 쉬워, 건축물 내·외부 인테리어나 예술 작품 제작용 등으로 사용되고 있다. 일본에서는 아연제련공정에서 실리카의 대체물질로 폐 LCD 패널을 사용하고 있으며, 독일에서는 폐

LCD를 미립자로 파쇄하여 액체 크리스탈을 압력 차로 추출한 후 촉매와 LCD를 약 400~500℃에서 소각하여 비유기 물질로 전환 후 정화된 유리를 재활용하고 있다(김보성, 2006; 성석현, 2008).

3. 실험방법 및 결과

시멘트 벽돌은 시멘트와 자갈, 모래 등의 골재를 물과 혼합 후 압축, 성형하여 양생과정을 거쳐 제작한다. 시멘트벽돌의 주원료는 마사토(화강풍화토), 포틀랜드 시멘트가 사용된다. 마사토는 화강암, 화강섬록암, 석영섬록암 등의 결정성 심성암 및 이와 동질의 편마암이 풍화하여 그 장소에 잔류하고 있는 잔적토 및 이들이 운반된 봉적토 등으로 풍화도에 따라서 암과 비슷한 것부터 실트, 점토와 같은 세립분을 포함한 것까지 넓은 범위의 것이 포함된다. 벽돌의 원료로 사용되는 마사토는 입경 3~13mm 크기의 마사토가 사용된다.

폐 LCD 유리를 이용한 재활용 벽돌은 일반벽돌과 동일한 비율과 동일한 방법으로 제작하였다. 재활용 벽돌에 사용된 재료는 포틀랜드 시멘트, 마사토, 폐 LCD가 사용되었으며, 폐 LCD는 경복 구미의 L사로부터 공정상 불량품인 폐 LCD를 제공받아 사용하였다. 폐 LCD panel은 벽돌제작 전 XRF를 이용한 성분분석을 통하여 유해물질 존재여부를 확인하였다(표 2). 분석결과 유해물질은 분석되지 않았으며 SiO₂ 함량이 64.4%, Al₂O₃ 함량이 16.2%로 높게 나타났다.

표 2. 폐 LCD panel의 화학조성

Component	wt%	Component	wt%
SiO ₂	64.40	BaO	6.32
Na ₂ O	0.47	B ₂ O ₃	3.41
K ₂ O	0.56	SrO ₂	0.03
CaO	4.83	SnO ₂	1.53
MgO	1.32	MoO ₃	0.21
Al ₂ O ₃	16.20	In ₂ O ₃	0.02
Fe ₂ O ₃	0.11	others	0.59

3.1. 최적혼합비 선정

폐 LCD를 이용한 벽돌을 제작하기 위하여 폐 LCD를 표준체 #10, #20, #40 크기의 입도로 파쇄하여 사용하였으며, 일반벽돌의 제작과정에서 사용되는 혼합비(마사토7:시멘트3)를 이용하였다. 이 중 마사토의 비율을 폐 LCD로 대체하여 마사토:폐 LCD:시멘트 비율을 6:1:3~0:7:3으로 달리하여 벽돌을 제작하였다. 시료 제작 시 배합비당 시료를 세 개씩 제작하였으며 몰드는 5×5×5cm 크기의 큐브형태를 사용하였다. 혼화제는 첨가하지 않았으며, LCD비율이 높아질수록 수분을 흡수하는 양이 적어져 LCD량에 따라 시멘트와 물의 비율을 1:0.6

~1:0.55까지 달리하여 제작하였다(그림 3).

시료는 몰드에서 24시간이 지난 후 탈형 하여, 40℃수조 에서 7일 동안 양생하였다. 양생 후 KS F 4004 시험법(지식경제부, 2010)에 따라 압축강도 시험을 실시하였다. 시험법에 따라 시험체를 평활하게 성형하였고 성형후 2시간 이상 맑은 물속에 담가 흡수시켜 시험체에 물이 흡수되도록 하였다. 그 후 초당 0.2N/mm²의 속도로 압축강도 측정을 실시하였다.



그림 3. 재활용 벽돌의 제작과정

표 3. 압축강도 측정결과(평균)

입도	마사토:LCD:시멘트	압축강도(N/mm ²)
#10	6:1:3	18.5
	5:2:3	24.8
	4:3:3	20.8
	3:4:3	24.5
	2:5:3	27.1
	1:6:3	24.4
	0:7:3	23.9
#20	6:1:3	22.5
	5:2:3	28
	4:3:3	26.3
	3:4:3	27.5
	2:5:3	25.5
	1:6:3	25.4
	0:7:3	23
#40	6:1:3	20.1
	5:2:3	28.5
	4:3:3	22.1
	3:4:3	24.2
	2:5:3	30.8
	1:6:3	31.9
	0:7:3	26

압축강도를 측정된 결과(표 3) 제작한 모든 시료가 일반벽돌 기준인 16N/mm^2 이상의 강도를 나타냈으며, 각 입도에서의 평균 압축강도는 #10에서 22.9, #20에서 24.5, #40에서 25.9로 입도가 작아질수록 압축강도가 좋아지는 것을 확인하였다. 시료들 중 가장 높은 압축강도를 나타내는 혼합비는 #10의 입도에서 2:5:3, #20의 입도에서 5:2:3, #40의 입도의 1:6:3 비율에서 나타났으며, 이중 가장 높은 압축강도를 지닌 것은 #40에서 1:6:3으로 압축강도 31.9N/mm^2 을 나타냈다. 결과에 따라 가장 높은 압축강도를 나타낸 #40 입도의 1:6:3을 최적혼합비로 선정하였다.

3.2. 재활용벽돌 시제품 제작 및 시험

재활용 벽돌 시제품은 3.1절에서 제작한 크기와는 다르게 실제 건축용 벽돌로 사용될 수 있도록 규격에 맞게 길이 190mm, 폭 90mm, 두께 57mm로 제작하였으며, 목재형틀을 제작하여 성형하였다. 성형 후 40°C 에서 7일간 양생하였으며, 양생 후 KS F 4004 시험법에 따라 일반벽돌과 비교분석을 실시하였다.

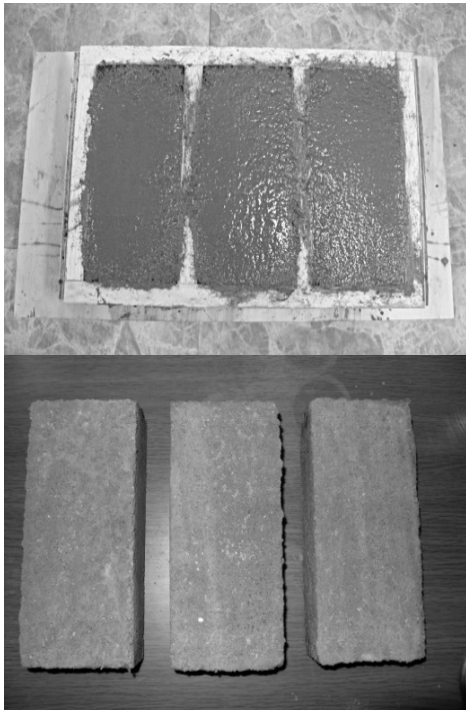


그림 8. 최종 재활용 벽돌 시제품

표 4. KS F 4004 기준

구분	기건비중	압축강도 N/mm^2	흡수율 (%)
A종	1.7미만	8이상	-
B종	1.9미만	12이상	-
C종	1급	-	7이하
	2급	-	10이하

KS F 4004에서는 벽돌을 A, B, C(1급, 2급)의 네 종류로 구분하고 있는데 일반 건축용으로 사용되는 벽돌은 C종 1급 벽돌이다. C종 1급 벽돌은 압축강도 16N/mm^2 을 기준으로 하고 있으며 흡수율은 7%이하를 기준으로 하고 있다. 3.1절에서는 $5\times 5\times 5\text{cm}$ 크기의 규벽형 시료를 제작하여 단순히 압축강도 측정만을 실시하였으나 최종 시제품에서는 실제 규격에 맞는 크기로 제작하여 압축강도와 흡수율을 측정함으로써 일반벽돌과의 비교를 실시하였다.

표 5. 최종 시제품 및 일반벽돌의 시험결과

구분	압축강도 N/mm^2	흡수율 (%)	비고
재활용벽돌	26.51	6.82	
일반벽돌	17.00	6.99	

재활용 벽돌 시제품과 일반벽돌의 KS F 4004 시험결과(표 5) 재활용벽돌(1:6:3)의 압축강도가 26.51N/mm^2 로 나타났으며, C종 1급 벽돌의 압축강도 기준 16N/mm^2 을 만족하였다. 또한 흡수율이 6.82%로 흡수율 역시 기준 값 7%이하를 만족하는 결과를 나타냈다. 일반벽돌은 압축강도 17N/mm^2 로 기준 강도값을 만족하였으나 재활용 벽돌보다는 낮은 강도값을 나타냈으며, 흡수율도 6.99%로 기준 값을 만족하지만 재활용 벽돌보다 낮은 값을 나타냈다.

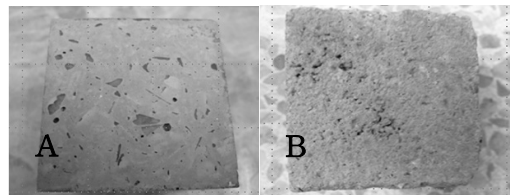


그림 9. 재활용 벽돌(A)과 일반벽돌(B)의 표면

추가적으로 재활용 벽돌과 일반벽돌의 표면을 비교하였을 때 일반벽돌보다 재활용 벽돌의 표면이 매끈한 단면을 나타냈으며 투명한 유리광택을 보여 미적인 측면에서도 일반벽돌보다 우수한 것

으로 나타났다.

4. 고찰 및 결론

폐 LCD를 재활용하기 위한 방법의 일환으로 건설용 골재를 대체한 재활용 벽돌 제작을 실시하였고 KS F 4004 시험법에 따라 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최적혼합비율을 산정하기 위하여 제작한 모든 재활용벽돌 시료의 강도값이 KS F 4004에서 제시한 16N/mm^2 이상으로 나타났다.
2. 최적혼합비에 따라 제작한 재활용 벽돌이 기존의 골재를 사용한 벽돌보다 높은 압축강도값을 나타냈으며 흡수율도 일반벽돌의 흡수율보다 우수한 것으로 나타났다.
3. 외관상의 미적 효과도 우수하므로 타일 등의 외장재로도 활용할 수 있을 것으로 예상된다.
4. 일반 벽돌에 비해 재활용 벽돌이 우수한 성능을 지닌 것은 확인 되었으나, 경제성 판단을 위해서 폐 LCD패널을 분리하여 파쇄하는 공정비용을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 김보성, "LCD 제품의 친환경적 처리방향", 리사이클링 신기술정보, p. 14-16, 2006.
- [2] 성석현, "LCD제조 공정에서 발생하는 폐 LCD 재활용 방안에 대한 연구", 2008.
- [3] 지식경제부, KS F 4004 콘크리트 벽돌, 2008.
- [4] 통계청, 광업제조업동향조사: 품목별 광공업 생산·출하·재고·내수·수출량, 2010.
- [5] 홍현선, "폐 LCD 재활용 기술 현황과 전망" 한국지구시스템공학회지, Vol. 47, No.5, p. 619-627, 2010.
- [6] 환경부, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 2010.
- [7] European Commission(DG Environment), Frequently Asked RoHS and WEEE Directives, May, 2005.