

레이저를 이용한 LCD 유리 절단 기술

정재용[†], 오대현*, 유기룡**, 이천***, 이우영****

ESSELTECH Co., Ltd., *K-eng co., Ltd., **Rorze Systems Corp., ***INHA Univ., ****KUT

ABSTRACT

Nowadays laser cutting is the most promising method of cutting FPD(Flat Panel Display) glass in mass-production line. And this method can also be used to cut other brittle materials such as quartz sapphire, ceramic and semiconductor. The concept of this method is shown in picture 1. Laser beam heats glass up to strain point, not to melting point and cooling system chills glass to induce maximum thermal stress in glass surface and then the thermal stress generates micro thermal crack, in other words blind depth of crack, along laser beam and cooling line

1. 서론

현재 한국의 FPD(Flat Panel Display) 생산은 세계 정상의 자리를 차지하고 있으나 생산 설비 및 장비 개발 면에서는 국산화가 저조하다. 제조 공정 중의 한 분야인 유리 절단공정의 가장 일반적인 방법은 Diamond wheel 이나 WC wheel 을 이용하여 유리 표면에 흠을 발생시켜서, 즉 스크라이빙을 하여 절단하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 기계적인 절단 방법은 유리에 손상을 주어 불필요한 크랙과 분진을 발생시킴으로써 고정정도를 요구하는 LCD 제조공정에 바람직하지 못하다. 더욱이 거친 절단면과 절단된 단면에 존재하는 미세 균열을 제거하기 위해서 후공정으로 연마와 세정공정 등이 필수적으로 수반된다(그림 2, 그림 5(a)).

한국이 선도하고 있는 FPD(Flat Panel Display) 산업에서 레이저를 이용하여 LCD glass, PDP glass 를 분진없이 고속으로 고정밀 절단하는 기술개발의 필요성이 증가되고 있다. 표 1,2 에 나타나 있는 바와 같이 LCD glass 절단기 시장은 고성장을 지속하고 있고, 산업경쟁력 강화를 위하여 국산화 개발 및 고품질 절단의 필요성이 증대되고 있다.

물량-대, 금액-억원

구분		2000년	2001년	2002년	2003년	2004년
세계	물량	375	390	435	486	450
	금액	11,250	11,700	13,050	14,625	13,500
국내	물량	90	94	105	117	108
	금액	2,700	2,808	3,132	3,510	3,240

*2003 LCD Equipment Data Book

표1. 합착 LCD Glass cutter 의 국내외 시장 규모

품목	성능지표	단위	기술수준 비교	
			국내 ^{#1}	일본MDI ^{#2}
합착 Glass Cutter	절단속도 (cutting speed)	mm/s	200이상	300이상
	절단정밀도 (cutting accuracy)	± μm/m	100	50
	수직도 (perpendicularity)	°	4	2.7
	Chipping size (분진)	± μm	40	50
	최소절단폭 (피치)	mm	6	6

#1 : Laser 절단기 기준, #2 : 기계식 절단기 기준

표 2. 합착 Glass Cutter 의 기술 수준 비교

2. Laser Glass Cutting의 개요

일반적으로 레이저를 이용하여 유리, 세라믹 등의 취성재료를 절단함에 있어, 레이저 가공 시 발생하는 분진이나 열 충격에 따른 잔류 열응력을 최소화하며 고품질의 청정가공을 수행하는 방법 중 레이저 열 충격 절단법(laser thermo-cleaving)이 널리 사용되고 있다.

상기 레이저 열 절단법의 기본 원리는 취성재료를 레이저를 이용하여 왜곡점(strain point) 이하로 가열 후, 바로 냉각시켜 취성재료 내부의 팽창/압축의 힘을 극대화시킴으로써 취성재료를 재료의 손실 없이 절단 작업을 수행할 수 있다(그림 1). 기존의 레이저 절단법들은 대부분 재료를 용융 및 기화 시켜서 제거하거나 laser ablation 절단법을 이용함으로써 고출력 레이저나 특수한 레이저가 필요했다. 일부 레이저 업계에서는 Laser Removing 절단법을 시도하고 있지만 이 방법은 Laser 의 열에너지를 받아들이는 재료를 액화, 기화시켜서 제거하는 방식으로써 HAZ(Heat Affected Zone)이 크고 많은 Surface debris 및 분진이 발생되기에 유리 및 취성재료의 양산 절단 방식에 적용하기 어렵다. 그 결과 저속으로 절단하거나 고속으로 절단하여도 큰 HAZ 이 발생한다. 이 분진 중 일부가 유리 위에 용착됨으로써 양산 적용 가능성이 현저히 저하된다. Laser ablation 절단법은 고가의 DUV laser 나 femto second laser 를 필요로 하나 현재 양산에 적용할 만한 안정적이고 출력이 높은 레이저를 구하기는 아직 어렵다.

그러나 신방식인 Laser thermo-cleaving 은 분진 발생이 최소화되고 재료의 손실 없이 절단되며 HAZ 이 최소화된다. 또한 고속 절단(100-1000mm/s)이 가능하며 양산 현장에서 후공정이 생략될 수 있어서 높은 생산성을 보장한다.

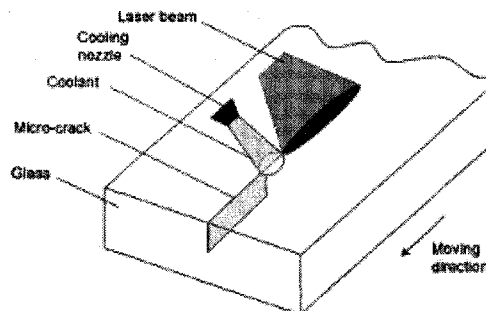


그림1. 레이저 절단 원리

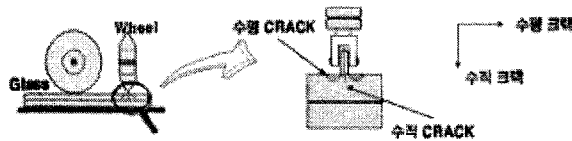
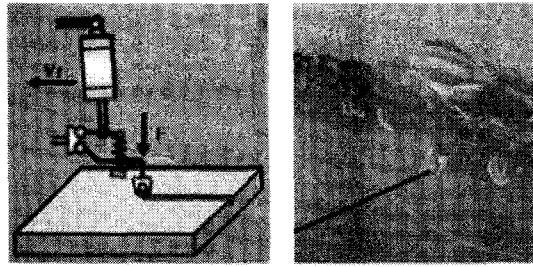


그림 2. Diamond Wheel Scribe/Break 방식

2-2. Laser thermo-cleaving 개발 현황 및 역사

70년대 말에 러시아에서 레이저를 이용한 Thermo-cleaving(Laser Zero Loss Cutting)법을 개발했고 80년대 초에 냉각 방식을 추가해서 그 방식을 지속적으로 발전 시켰다. 90년대 초부터 일부 러시아 과학자들이 미국, 유럽 일부에 기초 기술을 소개하였고 90년대 말부터는 미국, 러시아에서 활발히 기술을 발전시키고 있다. 97년부터 국내 대기업을 중심으로 LCD glass 양산에 적용하려고 많은 인력과 재원을 투자했으나 현재는 개발 진행이 중단된 상태이다. 2004년도에 세계 최초로 국내 중소기업에서 레이저 절단장비를 LCD 양산 현장에 적용했고 추가적인 기술 개발 및 장비 제작을 진행 중에 있다.

유리 절단 적용은 레이저 가공 분야에서도 최신 신기술로써 아직 세계적으로도 일부 업체만이 개발 중이고 아직 완전 상용화되지 못한 기술이다. 그러나 이 방식의 탁월한 장점과 높은 상품화 가능성 때문에 현장에서 수요 조사를 하면 매우 높은 관심과 강한 구매 의사를 보이고 있다.

2-3. Laser thermo-cleaving 장단점

현재 LCD glass 절단에 적용하고 있는 일반적인 기계식 절단, Laser ablation 절단 및 신방식 Laser Controllable Thermo-cleaving 의 장단점을 비교했다(표 3, 그림 3). 산업 현장에서 적용 중인 기계식 절단의 여러 문제점과 생산성 저하의 한계를 극복하고 탁월한 장점들과 고품질 절단 구현으로 Laser Controllable Thermo-cleaving 수요가 더욱 확대되고 있다.

	Mechanical System #1	Laser ablation 절단	Laser thermo-cleaving
특징	접촉식	비접촉식	비접촉식
절단속도	200~400mm/s	5 ~ 30mm/s	200~1000mm/s
절단파편	Chipping	Chips, 융착	No chip, 융착무
절단면	Crack, 파손	Crack, HAZ 큼	No crack, HAZ 작음
모서리	Coarse	Coarse	Clean
추가공정	Grinding, 세척	추가공정 생략 가능	추가공정 생략 가능

소모품	주 2~7 회 월 교체 #2	소모품 없음	소모품 없음
설치면적	Large	Much smaller	Much smaller
수율	High	Low	Higher

#1 국내 LCD 생산 업체의 기계식 절단 장비 사양

#2 매일 교체(MDI WC wheel 사용), 주 2~3 회 교체(MDI diamond wheel 사용)

표 3. 다양한 절단법의 비교표

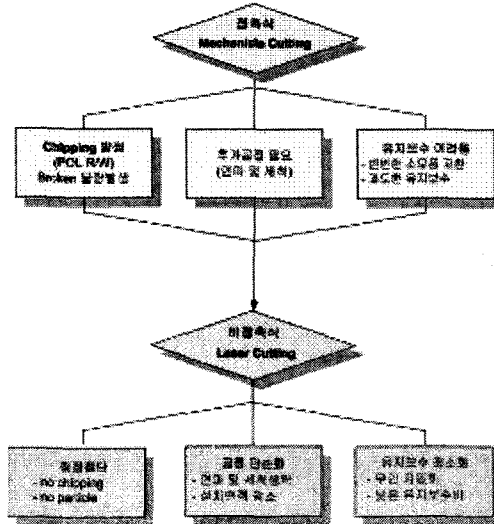


그림 3. 기계식 절단법과 Laser Thermo-cleaving 장단점 비교표

3. Laser thermo-cleaving의 산업현장 적용

단순히 실험실에서의 절단 실험이나 시제품 제작의 수준을 넘어서 고품질 절단과 양산 적용 가능한 절단 재현성을 확보해서, 2004년부터 국내 대기업에 장비를 설치 및 적용 중이다. 또한 지속적으로 다양한 크기의 장비를 현재 제작 중이고(그림 4) 양산 현장에서의 설치 경험과 요구 사양을 바탕으로 다양한 절단 기능과 신방식 절단 부품들을 개발해서 산업 현장에서 활용하고 있다.

기존의 많은 업체들이 양산적용에 실패한 중요한 원인들 중에는, system integration 기술의 부족과 정확한 레이저 가공 프로세스 해석의 부족에 기인한다. 안정적인 절단 성능을 확보하기 위해서는 레이저 가공, 광학, 기계, 제어/SW 등의 최적화 및 시스템 구조 설계가 중요하다. 또한 양산 사양과 요구 사항들의 정확한 이해와 양산 현장의 경험이 필요하다. 고품질 절단과 최적화 설계를 위해서는 레이저 가공 프로세스에 대한 정확한 해석과 열역학적인 분석을 토대로 신방식 절단 공정을 최적화하는 것이 필수적이다.

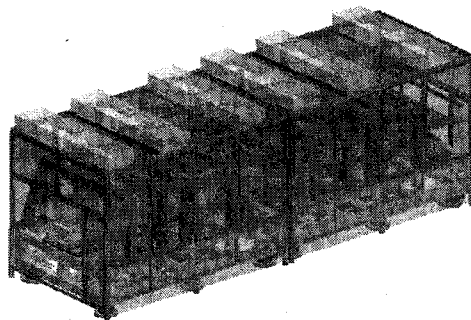
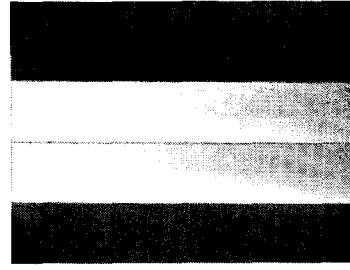


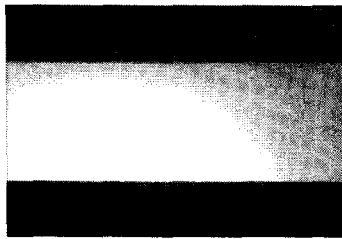
그림 4. 7세대 LCD glass Cutter 개념도



(a) LCD glass 기계식 절단면 사진



(b) LCD glass 레이저 절단면 사진



(c) PDP glass 레이저 절단면 사진

그림 5. 여러 절단면 사진들

4. 결론

최근 FPD glass 산업 현장에서는 분진 발생이 없으면서 고속, 고정밀로 절단할 수 있는 장비의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 국내 중소기업체를 중심으로 절단 공정에 대한 열역학적인 분석을 토대로 다양한 절단 실험 및 신방식 절단 공정의 개발이 진행되고 있고, 고품질 절단과 양산 적용 가능한 절단 재현성을 확보해서 현재 대기업 양산 현장에 적용 중이다. 또한 현장에서의 설치 경험과 요구 사양을 feedback 받아서 다양한 양산용 절단 기능과 신방식 절단 부품들을 개발해서 산업 현장에서 활용하고 있다.

신 방식 Laser Thermo-cleaving 은 아직 세계적으로도 양산적용의 시작 단계이고, 우리 업체가 세계 최초로 양산 적용을 시킴으로써 세계 FPD glass 절단 장비 시장을 선점할 수 있는 교두보를 마련했다.

참고 문헌

1. "Quarterly Worldwide Flat Panel Forecast" , /Display Search, 2004
2. 2003 LCD Equipment Data Book/ 2003