

# 태양광 실리콘 슬러지의 재활용 기술동향

글 \_ 오세천  
공주대학교

## 1. 국내의 태양광 발전 소재기술

태양광 발전기술은 태양의 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 시스템 기술로서 최근 지구환경문제로 인한 신재생에너지의 관심고조로 관련기술에 대한 연구개발 및 산업화가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 태양광 발전기술에 있어서 소재 산업분야는 실리콘 및 웨이퍼 제조 산업으로 구분할 수 있다. 현재 웨이퍼 형태의 결정질 실리콘 태양전지가 90% 이상을 차지하고 있으며 결정질 실리콘 태양전지는 다시 웨이퍼의 종류에 따라 단결정 실리콘과 다결정 실리콘으로 분류된다. 최근 태양전지의 수요가 급증하면서 원료 공급의 한계를 보이고 있으며 원가구조의 60% 이상이 태양전기 기관 재료비에 소모되는 문제 등으로 인하여 고비용 원부자재에 대한 현실적인 대안으로 다결정 실리콘 태양전지를 집중적으로 개발하였으며 시장점유율 구조에서도 이미 단결정 실리콘 태양전지를 앞지르고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 실리콘 웨이퍼는 규석으로부터 금속규소를 고순도로 분리하는 공정과 분리된 고순도의 금속규소를 이용하여 단결정 또는 다결

정의 폴리실리콘을 제조하는 단계를 거쳐 잉곳으로 제조된 후 웨이퍼 가공 공정을 거쳐 제조된다.

단결정 잉곳은 다결정 잉곳에 비해 상당한 공정기술이 요구된다. 즉, 단결정 폴리실리콘 제조를 위해서는 붕소나 인 등의 화학제를 첨가하여 구조를 균일하게 하고 순도를 높이는 성장과정이 요구됨에 따라 높은 수준의 순도와 품질을 위해 일정 규모 이상의 잉곳의 대형화가 어려워 상당한 수준의 공정기술이 필요하다. 반면에 다결정 폴리실리콘 잉곳은 정제를 위한 성장과정을 거치지 않으며 저비용을 위한 잉곳의 대형화 및 자동화 설비 등이 요구된다. 따라서 다결정 실리콘은 단결정 실리콘에 비해 순도 및 효율은 낮으나 원료 공급이 용이하고 제조공정과 제조원가면에서 유리해 태양전지 시장의 약 60%를 차지하고 있다.<sup>2)</sup> Table 1에 단결정 실리콘과 다결정 실리콘의 비교를 그리고 Table 2에 반도체 및 태양전지 웨이퍼 제조의 비교를 각각 나타내었다.<sup>3)</sup> Fig.1에는 태양전지 산업의 Value Chain과 관련 국내의 업체를 나타내었다. Fig. 1로부터 태양전지 산업의 경우 폴리실리콘, 잉곳, 웨이퍼 등의 소재분야와 태양전지, 모듈 및 시스템

Table 1. 단결정 실리콘 및 다결정 실리콘 비교

구분	단결정 실리콘	다결정 실리콘
순도	높다	낮다
결정 결함 밀도	낮다	비교적 낮다
효율	높다	비교적 낮다
효율 도달 한계치	35%	19%
제조방법	초크랄스키법, 플로팅존법	캐스트법, 리본법
원가	고가	상용화 가능한 낮은 비용

자료 : KISTI(한국과학기술정보연구원)

Table 2. 반도체 및 태양전지 웨이퍼 제조 비교

항목	반도체 웨이퍼	태양전지 웨이퍼	
		단결정	다결정
잉곳 직경	8"~12"(200~300mm)	6"~8"(120~200mm)	1000×1000mm
장입량	150~300kg	50~150kg	300~500kg
웨이퍼 두께	600~800 $\mu$ m	180~220 $\mu$ m	180~220 $\mu$ m
잉곳 설비 가격	10~20억원	1~8억원	6~12억원
웨이퍼 Polishing	절대적	불필요	불필요
생산원가비(잉곳:웨이퍼)	1:2	1:0.8	1:1
변환효율	-	16~25%	12~15%
특징	-	잉곳 제조의 공정기술	설비의 대형화 및 자동화

자료 : 신재생에너지 산업화 촉진방안 연구(지식경제부)

분야로 구성되어 있으며 전체 태양전지 산업에 있어서 소재분야가 약 56%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

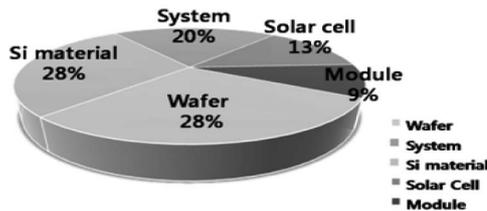
## 2. 태양광 발전 소재 산업동향

### 2.1. 국외 산업동향

태양광 산업은 최근 연평균 30% 이상의 고속 성장을 기록하고 있으며 현재 가장 빠르게 성장하는 산업 중 하나다. 관련 산업에 있어서 국가별 동향을 보면 일본, 유럽 미국이 전 세계 태양전지 및 모듈 생산량의 약 88%를 차지하며 전 세계 시장을 선도해 나가고 있다. 또한 해외

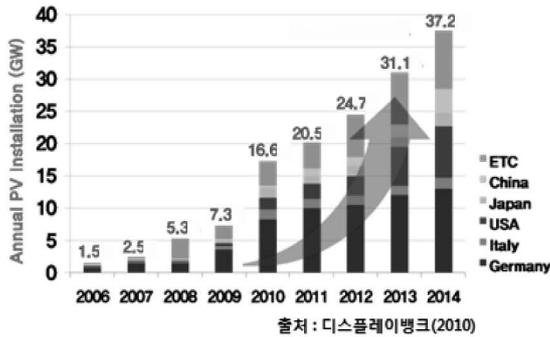
선진 기업들은 기업간 인수합병 또는 생산시설 확대를 경쟁적으로 추진하여 대영화 되고 있는 추세에 있다. 그러나 이러한 태양광 시장의 지속적인 성장의 예상과 생산라인의 확충에 따라 향후 수 년 간 실리콘 원자재 수급의 불균형으로 인해 성장속도의 둔화가 예상되기도 한다.

폴리실리콘은 60년대 반도체 산업의 성장과 함께 개발된 소재로 초기에는 제품개발 능력을 보유한 소수 기업만이 생산하였으며 생산방식은 지멘스, FBR, UMG, VLD 등으로 구분된다. 지멘스 방식이 전체 생산 공정의 90%를 차지하는 대표적인 방식이며 최근에는 UMG, VLD 등 태양전지 수요에 특화된 공정이 개발되고 있다.

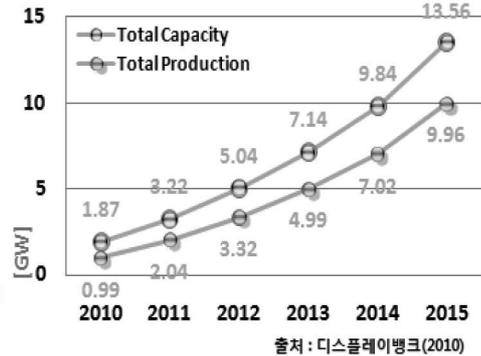


PV INDUSTRY					
Value Chain	폴리실리콘	잉곳	웨이퍼	태양전지	모듈&시스템
국내	동양제철화학, 한국폴리실리콘, 웅진실리콘, 소디프신소재, 삼성석유화학	웅진에너지, 넥슬론, 세미메트리얼즈, 실트론, LG필립스, KCC	웅진에너지, 넥슬론, 오성LST, 스마트에이스, LG필립스, 렉서	현대중공업, 밀리넷, 솔라, 신성ENG, KPE, 한화석유화학, 삼성전자, LG화학	현대중공업, 삼성물산, 에버랜드, 삼포니에너지, 경동솔라, S-에너지, LS산전
국외	HemlucK, Wacker, REC, Tokuyama, MEMC, Mitsubishi Materials	SUMCO, Space energy, TKX, REC scanwafer, Ferrotec, MEMC	SUMCO, Space energy, TKX, REC scanwafer, Ferrotec, MEMC	Suntech, Q-cells, Sharp, Motech, Kyocera, Sunpower, Sanyo, Mitsubishi	BP-solar, Suntech, Sharp, Kyocera, Conergy, KALO, Sputnik, SMA

Fig. 1. 태양전지 산업의 Value Chain.



(a) 세계시장



(b) 국내시장

Fig. 2. 태양광 산업의 국내외 시장.

현재 Hemlock, Wacker, REC, Tokuyama, MEMC, Mitsubishi, Sumitomo 등 선도 7개 기업이 세계시장의 81.1%를 점유하는 과점시장을 형성하고 있으며 기존 선도기업의 증설과 함께 신규 진입기업이 크게 증가하여 생산능력은 2005년 31,280 M/T에서 07년 45,760 M/T로 확대되었다. 이러한 신규 진입기업의 증가원인으로는 태양전지용 폴리실리콘 수요의 급속한 증가와 시장 수급 불균형 심화에 따른 가격 급등 그리고 기술진입 장벽이 상대적으로 약하기 때문으로 판단된다. Table 3에 주요 선도기업군의 생산능력 및 생산방식의 현황을 나타내었다. 국외의 웨이퍼 업체 현황을 보면 노르웨이의 REC사가 세계 1위의 웨이퍼 생산능력을 가지고 있으며 업계 2

위의 웨이퍼 업체로는 독일의 SolarWorld사로 1998년에 사업을 시작한 이래로 웨이퍼 제조에서 시스템 설치까지 폴리실리콘 제조를 제외한 모든 분야의 사업을 수직계열화하여 웨이퍼 제조 부문에서 시장지배력을 강화하고 있을 뿐만 아니라 리사이클링 사업으로 시장진출을 시작하고 있다. 이외 영국의 PV Crystalox사 및 중국의 LDK Solar사 등이 웨이퍼 생산능력을 공격적으로 확대해 나가고 있다. Table 4에 주요 선도기업군의 웨이퍼 생산능력 및 생산량 현황을 나타내었다. 현재 세계 태양전지용 웨이퍼시장은 신규진입 증가로 경쟁시장이 본격 형성 중에 있으며 2008년 기준으로 8개사의 세계 시장점유율(생산능력 기준)은 약 37.5%에 달하고 있다.

Table 3. 주요 선도기업군의 생산능력 및 생산방식 현황

	Hemlock	Wacker	REC	Tokuyama	MEMC	Mitsubishi	Sumitomo	Total	World
생산능력	10,000	8,000	5,800	5,400	4,000	3,150	1,100	37,450	46,200
비중	21.7	17.3	12.6	11.7	8.7	6.8	2.4	81.1	100.0
생산방식	지멘스	지멘스 FBR(T)	지멘스 FBR	지멘스 VLD(T)	FBR 지멘스	지멘스	지멘스	-	-

주 : 1) 2007년말 기준  
 2) 생산방식이 두 개인 경우 상위에 있는 것이 주 생산방식이며, (T)는 현재 실험단계에 있음을 의미  
 자료 : Prometheus Institute

Table 4. 주요 선도기업군의 웨이퍼 생산능력 및 생산량 현황

	LDK	Sharp	REC	Renesola	SolarWorld	Sunpower	PVCrystalox	Yingli	World
국가	중국	일본	노르웨이	중국	독일	미국	영국	중국	
생산능력	1,100	732	655	645	628	436	415	400	11,037
생산량	590	732	558	445	423	278	342	250	
비중	10.0	6.6	5.9	5.8	5.7	4.0	3.8	3.6	45.4

주 : 2008년말 기준이며 비중은 생산능력 기준  
 자료 : Prometheus Institute

## 2.2 국내 산업동향

국내의 경우 폴리실리콘 업계 동향을 보면 국내 1위 폴리실리콘 업체인 OCI가 시장 지배력을 강화하는 가운데 KCC, 한국실리콘, 웅진폴리실리콘 등이 폴리실리콘 산업의 폭발적인 성장세를 바탕으로 사업을 확대하고 있다. 국내 태양전지용 웨이퍼 시장은 반도체용 시장 규모에 비해 아직 미미하나 2008년 이후 태양전지 투자가 본격화되면서 웅진에너지와 스마트에이스 등의 잉곳/웨이퍼 생산에 대한 신규 진입이 증가하고 있다. 현재 국내 태양전지 시장이 크게 형성되지 않아 신규 진입업체들은 수출 위주의 전략을 구사하고 있으나 점차 내수시장도 활성화될 것으로 보여진다. 국내 잉곳/웨이퍼 산업 분야의 선두 기업인 LG실트론은 반도체용 웨이퍼 부문에서 2007년 기준으로 7.2%의 세계시장 점유율(6위)을 기록하였으며 2008년 태양광 웨이퍼 생산을 개시하였다. 특히 태양광발전 수직계열화를 추진 중인 LG그룹에서 태양전지용 웨이퍼를 LG실트론에서 전담 생산케 함에 따라 향후 생산이 크게 증가할 것으로 전망된다. 웅진에너지의 경우 웅진홀딩스와 미국의 SunPower의 합작사로서 잉곳을 전문으로 생산하고 있으며 현재 웨이퍼 생산 분야에 신규 진입을 시작하였다. 스마트에이스의 경우 2006년 초 잉곳 시험 생산을 시작으로 태양전지용 웨이퍼 시장에 진출하였으며 네오세미테크 또한 2006년 대규모 투자를 통해 태양전지용 웨이퍼 시장에 진출하였다. 또한 넥솔론은 2008년 150MW 규모의 태양전지용 잉곳 및 웨이퍼 생산공장을 완공하였으며 2011년 1GW까지 생산능력을 확충할 계획에 있으며 오성엘에스티는 연산 50MW 규모의 태양전지용 다결정 잉곳 및 웨이퍼 생산공정을 시작으로 2011년 생산능력을 크게 확충할 예정이다.

## 3. 실리콘 슬러지 재활용 기술

실리콘 잉곳으로부터 실리콘 웨이퍼를 만드는 절단과정에서는 와이어쏘(wire saw)를 일반적으로 사용하고 있으며, 이때 와이어는 직경 약 0.14 $\mu$ m 정도, 그리고 평균 입경 20 $\mu$ m의 실리콘카바이드(SiC) 등을 함유한 절단용

슬러지를 사용하고 있다.<sup>4,5)</sup> 현재 연마재로 SiC를 사용하는 절단공정과 달리 다이아몬드 와이어쏘를 이용하여 연마재를 사용하지 않는 잉곳의 절단공정이 개발되어 적용되기 시작하였으나 국내의 경우 아직 시운전 중에 있으며 정상적인 양산체제에는 돌입하지 못한 상태에 있다. 따라서 대부분의 국내 실리콘 웨이퍼 제조과정에서는 많은 양의 SiC와 실리콘 입자, 그리고 절삭유 등이 함유되어 있는 슬러지가 발생되고 있으며, 이 슬러지는 몇 년 전까지만 해도 폐기물 처리업체에 의해 전량 매립처리되어 왔다. 그러나 Fig. 3에서 보는바와 같이 실리콘 웨이퍼 가공 공정의 비용측면에서 연마재와 절삭유가 혼합되어 있는 가공슬러지가 차지하고 있는 비중이 약 68.1%를 차지하고 있어 이러한 실리콘 슬러지 중에 함유되어 있는 평균 입경 20 $\mu$ m 정도의 SiC와 절삭유를 분리, 회수하여 실리콘 웨이퍼의 절단공정에서 재이용할 수 있는 기술이 개발되어 현재 적용중에 있다. 그러나 이와 같이 발생하는 슬러지로부터 재이용할 수 있는 성분을 분리, 회수하여 재활용 하는 경우에 있어서도 최종적인 잔류물로 남아 배출되는 폐슬러지가 2010년 기준으로 연간 약 21,000톤 정도인 것으로 알려져 있으며 추후 태양광 실리콘 웨이퍼 산업의 급격한 성장과 함께 폐슬러지의 발생량 또한 크게 증가할 것으로 판단된다. Fig 3과 4에 실리콘 웨이퍼 슬러지의 발생량 변화와 슬러지내에 함유되어 있는 성분비를 각각 나타내었다. Fig 5로부터 태양광 웨이퍼 제조과정에서 발생하는 실리콘 슬러지에는 절삭유와 금속실리콘 그리고 연마재로 사용된 SiC와 잉곳의 절단과정에서 와이어쏘로부터 발생하는 금속성분으로 구성되어 있음을 볼 수 있다.

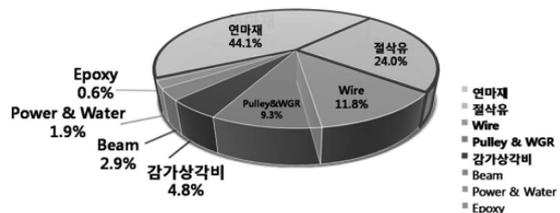


Fig. 3. 실리콘 웨이퍼 제조과정 비용의 구성.

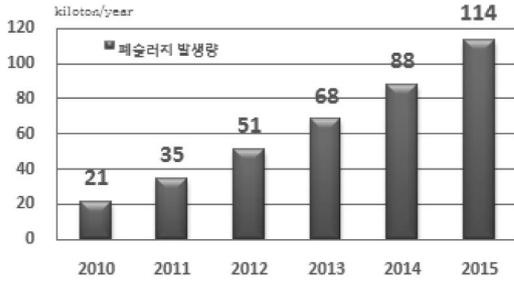


Fig. 4. 태양광 실리콘 슬러지의 발생량.

실리콘 웨이퍼 제조 시 발생하는 슬러지는 현재 지정 폐기물로 분류되어 있어 단순 소각 처리할 수 없을 뿐만 아니라 슬러지내 함유되어 있는 절삭유 성분으로 인하여 단순 매립 또한 불가능하다. 그러나 슬러지내에 함유되어 있는 유용한 성분을 효과적으로 분리, 회수할 경우 SiC는 고온 내화물 또는 실리카 복합체 등과 같은 세라믹의 원료로 사용할 수 있고 실리콘 분말은 고순도 실리콘 화합물의 합성원료로 사용이 가능하다.<sup>4,6)</sup> 실리콘 슬러지는 발생업체별로 다소 차이는 있지만 대부분 실리콘과 SiC 및 절삭유로 사용되는 유분이 혼합되어있다. 따라서 이들을 효율적으로 분리하고 제분화하기 위해서는 액상과 고상을 효율적으로 분리하여야만 한다. 실리콘 슬러지에는 절삭유와 연마제 이외에도 미량의 첨가제 및 금속성분이 포함되어있으며, 특히 액상성분인 유분의 경우 분리, 정제과정에서 열적안정성이 떨어지는 부산물이 발생하기 용이하다. 따라서 실리콘 슬러지에서 유분을 정제하고 고형분을 세라믹원료로 활용하기 위해서는 에틸렌 글리콜과 같은 유분을 효율적으로 제거하는 열처리 기술 개발 및 첨가제와 금속과 같은 미량성분을 제어, 분리하는 기술개발이 필요하다. 또한 실리콘 화합물인 알콕시 실란은 실리콘 절단과정에서 발생하는 미세 실리콘 입자로부터 화학반응을 이용하여 제조가 가능하며 정제공정에 의해 고순도 화합물의 제조가 가능한 것으로 알려져 있다. 특히 실리콘 슬러지에는 다량의 SiC가 함유되어 있으며 이러한 SiC는 고온강도, 내마모성, 내부식성 및 높은 열 충격 특성을 지니고 있어 매우 중요한 구조용 재료로 인식되고 있다. 또한 SiC를 함유한 복합 세라믹은 특히 고온에서 아주 고유한 재료 특성 때문에 산업 소재

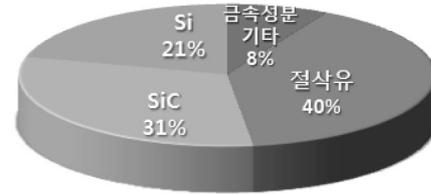


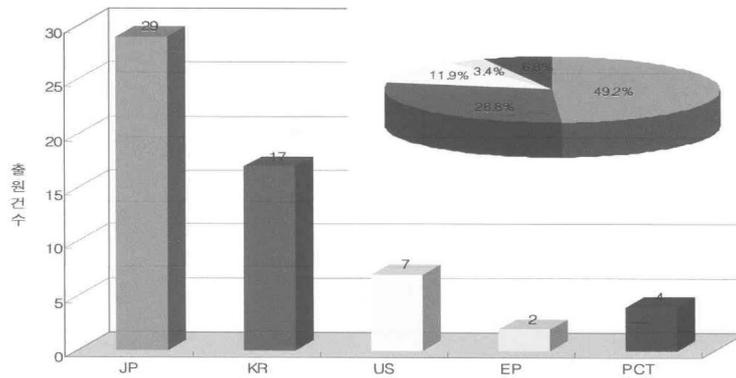
Fig. 5. 페실리콘 슬러지의 성분구성비.

와 환경용 필터로서 아주 유용한 재료이다. 이러한 슬러지내에 함유되어 있는 고상성분과 함께 슬러지내의 액상 성분인 절삭유의 경우 웨이퍼 제조공정에 따라 절삭유의 성분이 다소 차이는 있으나 슬러지로부터 고순도의 액상으로 분리, 회수할 경우 산업원료로 직접 재활용이 가능하다. 이와 같이 실리콘 슬러지의 재활용기술은 슬러지부터 유용성분을 분리, 회수하는 기술과 분리, 회수된 각 성분으로부터 실리콘화합물이나 실리콘복합체를 제조하는 기술로 크게 나눌 수 있으며 최근에 태양광 웨이퍼 산업의 급격한 성장에 따른 실리콘 슬러지의 발생량 증가로 인하여 실리콘 슬러지내에 함유되어 있는 유용한 성분을 분리, 회수하는 기술과 회수된 고상성분으로부터 세라믹 소재를 제조하고자 하는 연구가 동시에 활발히 진행 중에 있다.

## 4. 실리콘 슬러지 재활용 기술개발 동향

### 4.1. 국가별 기술개발 동향

실리콘 슬러지의 재활용 기술개발의 경우 현재 태양광 산업에 비하여 반도체 산업이 보다 선도적으로 시장형성이 이루어진 관계로 대부분 반도체 실리콘 웨이퍼 제조 공정에서 발생하는 슬러지를 대상으로 특허가 출원되기 시작하였다. 국외의 경우를 보면 미국이 가장 빠른 1982년 "Process for recovery of high purity silicon"의 기술로 특허를 출원하였으나 이후 특허출원은 거의 이루어지지 않았다. 그러나 일본의 경우 미국보다 실리콘 슬러지의 재활용 기술개발이 늦게 시작되었음에도 불구하고 1992년 "실리콘 슬러지를 이용한 도자기의 제조방법"을



자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)

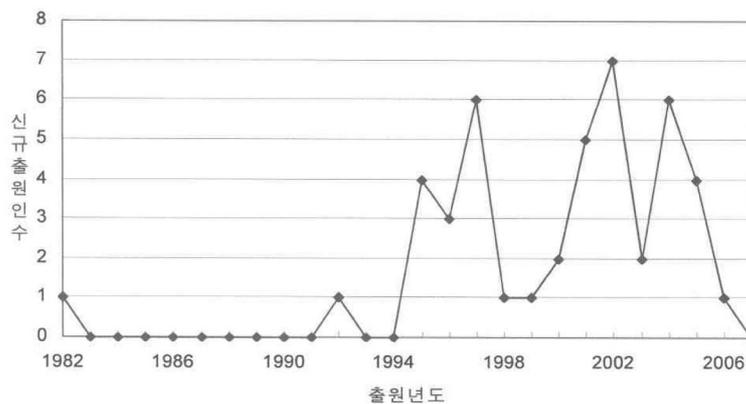
Fig. 6. 폐실리콘 슬러지 재활용 기술의 국가별 특허출원 현황.

시작으로 꾸준히 특허출원이 이루어지고 있다. Fig. 5에 국가별 실리콘 웨이퍼 제조공정에서 발생하는 실리콘 슬러지의 재활용 기술에 대한 특허출원 현황을 나타내었다. Fig. 6의 국가별 특허출원동향을 보면 일본이 비록 미국 보다 슬러지의 재활용 기술개발을 늦게 시작하였으나 약 49.2%의 점유율로 1위를 보이고 있으며 한국, 미국 및 유럽의 순으로 출원이 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 7에 실리콘 슬러지 재활용 기술의 연도별 신규 출원인 진입 동향을 나타내었다. 이로부터 신규출원인 진입동향을 보면 1990년대 중반에 들어서면서 신규 출원이 본격적으로 이루어졌으며 1990년대 후반 잠시 주춤하

가 2000년대 들어서면서 다시 증가함을 볼 수 있다.

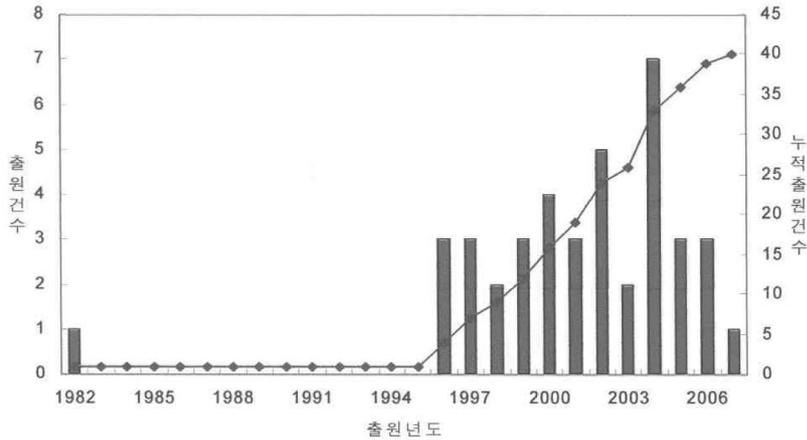
#### 4.2. 기술별 개발 동향

실리콘 슬러지의 재활용 기술은 크게 분리회수기술과 제조기술로 나눌 수 있으며 이를 특허출원으로 살펴보면 분리회수기술이 전체 67.8%의 점유율을 보이며 제조기술의 경우 나머지 32.2%의 점유율을 보이고 있다. 먼저 분리회수기술의 경우 1982년 미국의 Atlantic Richfield Company에서 고순도의 실리콘을 회수하는 기술개발을 시작으로 특허가 처음 출원되었으나 이후 관심을 받지 못하다가 1990년대 중반에 이르러 본격적인 기술개발



자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)

Fig. 7. 폐실리콘 슬러지 재활용 기술의 연도별 신규 출원인 진입 동향.



자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)

Fig. 8. 실리콘 슬러지 분리회수기술의 특허출원 동향.

및 특허출원이 되기 시작하였으며 이후 꾸준히 성장하고 있는 추세에 있다. Fig. 8에 실리콘 슬러지의 분리회수기술에 대한 특허출원 동향을 나타내었다. 또한 비록 미국이 가장 먼저 실리콘 슬러지의 분리회수기술에 대한 특허출원을 시작하였으나 현재 특허출원의 점유율에 있어서 가장 많이 차지하고 있는 나라는 일본이며 각 국가별 주요 출원인을 Table 5에 나타내었다.

Shin Etsu Handotai Co. Ltd.는 1996년 오일 또는 수용성 슬러리를 hydrocyclone을 이용하여 연마재와 절삭유를 회수하는 기술을 개발하였으며Elektroschmelzwerk Kempten GMBH는 1998년 슬러리를 감압증류 또는 스프레이 건조한 후 상용 dry size-sorting 방법으로 절삭유를 회수하는 기술을 개발하였다. MEMC Electronic

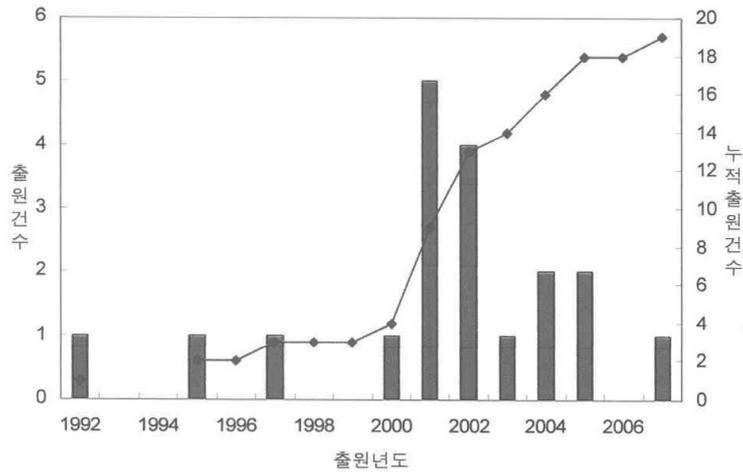
Materials Inc.는 1999년 슬러리를 가열하여 점도를 낮추고 필터링을 한 후 wet powder를 물로 점도를 낮춘 후 hydrocyclone을 이용하여 절삭유와 연마재를 회수하는 기술을 개발하였으며 2004년에는 회수되는 연마재의 순도를 높이기 위하여 산업기처리 단계를 거쳐 hydrocyclone을 이용하여 회수하는 기술을 개발하였다. (주)에스이텍은 65~90°C의 온도로 가열하여 점도를 낮춘 후 2단계의 원심분리를 통하여 단순한 방법으로 절삭유와 연마재를 회수하는 기술을 개발하였으며 Sharp와 Ishikawajima Haynoki Service Co. Ltd는 공동으로 실리콘 화합물의 원재료로 사용하기 위해 원심분리와 용매추출을 이용한 실리콘 슬러지로부터의 절삭유 분리기술을 개발하였다.<sup>7)</sup>

Fig. 9에는 실리콘 슬러지를 이용한 제조기술의 특허

Table 5. 실리콘 슬러지 분리회수기술의 국가별 주요 특허출원인

출원인 국적	출원인	기술	출원년도
한국	(주)에스이텍	실리콘성분분리회수	2004~2007
	(주)풍남반도체	연마재슬러지 재생	2001~2004
	(주)테크월드	실리콘성분분리회수	2002
일본	Sharp Corp.	연마재슬러지 재생	2002~2004
	Sharp Corp./Ishikawajima Hanyoki Service Co. Ltd.	실리콘성분분리회수	2005~2006
	E & E KK	연마재슬러지 재생	2000~2001
	Shin-Etsu Handotai Co. Ltd./Hitachi Zosen Metal Works Co. Ltd.	실리콘성분분리회수	1996~1997
미국	Atlantic Richfield Company	실리콘성분분리회수	1982
이탈리아	MEMC Electronic Materials, Inc.	실리콘성분분리회수	1999~2004
독일	Elektroschmelzwerk Kempten GMBH	실리콘성분분리회수	1998
	SIC Holding Geschäftsführungs GMBH	실리콘성분분리회수	2006

자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)



자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)

Fig. 9. 실리콘 슬러지를 이용한 제조기술의 특허출원 동향.

출원 동향을 나타내었다. 제조기술의 경우 1992년부터 특허가 출원되기 시작하였으며 2000년 이후부터 본격적인 기술개발이 진행되었다. Table 6에 제조기술에 대한 국가별 주요 특허출원인을 나타내었다. 실리콘 슬러지를 이용한 제조기술에 있어서는 1992년 일본의 Iwao Jiki Kogyo KK와 NEC Kyushu Ltd.가 공동으로 슬러지와 도자기 원료를 혼합하여 도자기를 만드는 기술개발을 하였으며 1995년에는 Takamatsu Kunkaki 등이 슬러지를 700~1300°C로 열처리하여 Al, Na, Ca 등을 제거하고 Si/SiO<sub>2</sub> 혼합상을 제조하여 점토와 혼합하여 재활용품을 만드는 특허를 출원하였다.<sup>7)</sup> 본격적으로 부가가치가 높은 물질을 제조하기 위한 특허출원은 1997년부터 시작되었으며 2001년 이후 SiC, SiO<sub>2</sub>, SiC 복합체 등을 다양한 방법으로 제조하는 특허가 다량으로 출원되기 시작하여 현재까

지 여러 형태의 화합물을 제조하는 기술개발이 꾸준히 진행되고 있다.

## 5. 결론

온실가스와 관련한 국제 환경규제 강화 및 정부의 녹색성장 정책과 맞물려 태양광 실리콘 시장의 급격한 증가가 예상되며 태양광 실리콘 수요는 예측기관에 따라 다소 다르지만 향후 5~10년동안 연평균 30% 이상의 증가율 유지가 가능할 것으로 예측되고 있다. 따라서 태양광 산업의 급속한 성장으로 인하여 매립 또는 소각처리 방식에 의하여 폐기되는 실리콘 슬러지의 발생량 또한 급속히 증가할 것으로 판단된다. 일부 실리콘 슬러지로부터 연마재 또는 절삭유를 회수 재활용하는 공정이 개

Table 6. 실리콘 슬러지를 이용한 제조기술의 국가별 주요 특허출원인

출원인 국적	출원인	기술	세부기술	출원년도
한국	지질자원 연구원	실리콘화합물 제조기술	SiC제조	2002
			테트라알콕시실란제조	2007
일본	Kin Kishun	실리콘화합물 제조기술	SiC제조	2001
			Fe containing SiC제조	2004
	AIST	실리콘복합체 제조기술	SiC based porous framework	2002
	Sharp Corp. / Chisso Corp.	실리콘화합물 제조기술	할로실란제조	2004
노르웨이	Metalkraft AS	실리콘화합물 제조기술	SiC제조	2001
	엘겔 ASA	실리콘화합물 제조기술	실리카제조	2001
미국	Selle Corp.	실리콘복합체 제조기술	SiC함유 ceramic foam filter	2002

자료 : 실리콘 슬러지 재활용 기술(21C 프론티어연구개발사업)

발, 적용되고는 있으나 아직 전량 실리콘 슬러지를 재활용할 수 있는 기술은 상용화되지 못하고 있다. 특히 이렇게 폐기되고 있는 실리콘 슬러지내에는 SiC 및 실리콘과 같은 고가의 세라믹 소재가 함유되어 있으며 이러한 소재는 현재 전량 국외에서 수입되고 있을 뿐만 아니라 국내 부품소재산업의 기반이 되는 소재로서 중국에서는 이미 전략적으로 지원하는 소재산업 중의 하나이다. 특히 최근 중국의 자원보호정책 및 전기/에너지 비용이 증가하면서 SiC를 비롯한 소재가격이 급격히 상승하고 있으며 관련사업의 경쟁력에도 많은 영향을 미치고 있다. 따라서 현재 전량 폐기되고 있는 최종 실리콘 슬러지로부터 액상의 절삭유 성분과 실리콘 및 SiC를 함유하고 있는 고상성분을 효율적으로 분리한 후 추가로 고상성분의 정제 및 복합소재의 제조기술이 개발될 경우 실리콘 소재산업에서 발생하는 대량의 슬러지를 전량 자원화 한다는 측면과 더불어 에너지와 환경측면에서 효율적이고 경쟁력 있는 Si/SiC 대체소재를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

**참고문헌**

1. 윤대호, 한국신재생에너지학회 추계학술대회논문집, 232 (2007).

2. 이민식, 한국산업은행 논집 제642호, 15-35 (2009).  
 3. 지식경제부, "신·재생에너지 산업화 촉진방안 연구 보고서", (2008).  
 4. 과학기술부/환경부, "반도체용 절단 슬러지로부터 고순도 실리콘 화합물 및 실리카 나노분말 제조 기술개발 보고서", (2006).  
 5. 김대섭, 장희동, 김병규, 장한권, KIGAM Bulletin, 12, 57-62 (2008).  
 6. 손용운, 정인화, 손정수, 김병규, 한국자원리사이클링학회지, 12, 25-31 (2003).  
 7. 과학기술부/환경부, "실리콘 슬러지 재활용 기술 특허 및 논문분석보고서", (2008).

●● 오 세 천



- 1997년 한양대학교 화학공학과 박사
- 1998년 현대엔지니어링(주) 과장
- 2000년 천안공업대학 환경공학과 조교수
- 2005년 공주대학교 환경공학과 교수