

웨이퍼 대면적화에 따른 실리콘 태양광 산업의 변화



이상희
한국에너지기술연구원
태양광연구단
선임연구원



이태경
한국에너지기술연구원
태양광연구단
선임연구원



정경택
한국에너지기술연구원
태양광연구단
선임기술원



박성은
한국에너지기술연구원
태양광연구단
선임연구원



강민구
한국에너지기술연구원
태양광연구단
책임연구원



송희은
한국에너지기술연구원
태양광연구단
책임연구원



윤재호
한국에너지기술연구원
태양광연구단 단장

서론

실리콘 태양광 산업은 2018년 이후로 중국의 주도하에 급변하고 있는 상황이다. 중국의 태양광 기업들이 대규모로 산업의 벨류 체인을 형성하고, 과도한 경쟁을 통해 저가 공급 기조를 형성하면서 국내 태양광 산업에 큰 영향을 미치고 있다.

이러한 중국 태양광 산업이 최근 국내 산업에 크게 미치는 요인 중 하나는 웨이퍼의 대면적화이다. 현재, M2 (156.75×156.75 mm²) 웨이퍼 기술이 점점 증가하여 M10 (182×182 mm²) 이상으로 증가하고 있다. 웨이퍼 크기 증가에 빠르게 대응하기 위해, 국내 산업에서도 투자를 하고 있는 상황이다. 정부도 재생에너지 3020 달성과 함께 국내 태양광 산업의 경쟁력 확보를 위해 다양한 정책을 발표하고 있고, 이러한 웨이퍼 산업의 동향 파악을 통한 전략적인 판단이 중요한 시점이다.

따라서, 본문에서는 실리콘 태양광 산업 및 시장 동향을 정리하는 것으로 시작해서, 실리콘 웨이퍼 크기와 유형(p-type, n-type)에 따른 구체적인 태양전지 기술 동향을 정리하였다. 또한, 이에 대한 정부의 태양광 R&D 전략에 대해서도 살펴보고자 한다.

글로벌 실리콘 태양광 산업동향

2021년 2분기 한국수출입은행 신재생에너지 산업 동향 보고서에 따르면, 2020년 태양광 신규 설치 용량은 총 144 GW에 달했고,^[1] 글로벌 누적 설치 용량은 770 GW를 넘은 것으로 예상된다.^[2] 코로나 19의 여파로 저성장이 예상되었으나, 중국, 미국, 유럽 등 주요 선진국의 수요는 전년 대비 증가하였다. 2021년 글로벌 신규 설치 용량은 180 GW를 넘을 것으로 예상되고 있다. 전 세계적으로 탄소중립(Net-zero) 목표를 달성하기 위해 석탄발전을 퇴출하고 있고, 친환경 재생에너지로의 전환이 구체화됨에 따라 비교적 높은 접근성과 경제성을 확보한 태양광발전 용량의 성장이 가속화될 것으로 전망된다.

특히 중국의 경우, 2020년에만 약 48 GW 이상의 신규 설치량을 보일만큼 태양광 발전에 대한 패권을 유지하기

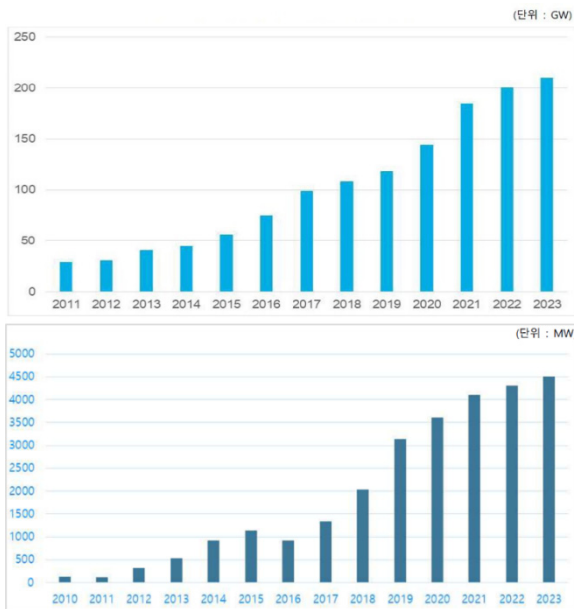


그림 1. 연간 (상) 글로벌 및 (하) 국내 태양광 신규 설치량 현황 및 전망^[1]

위해 공격적인 투자를 하고 있는 상황이다. 한국도 마찬가지로 그린에너지로의 전환과 관련된 신산업·시장 창출을 위해 대규모의 투자를 진행하고 있고, 이에 따라 재생에너지의 핵심인 태양광 관련 산업이 크게 성장할 것으로 기대하고 있다.

2021년 국내 태양광 설치량은 4 GW를 넘어설 것으로 예상되며, 정부의 재생에너지 3020 정책으로 2017년 이후 태양광 설치량이 큰 폭으로 증가한 것을 볼 수 있다. 또한, 제5차 신재생에너지 기본계획을 발표하며 2034년 신재생에너지 발전량 중 신재생에너지의 비중 목표를 25.8%로 공표했다. 중국 기업들이 글로벌 태양광 모듈 생산 용량의 80% 이상을 차지하고 있는 상황에서 한국은 국내 모듈 시장의 70% 내외를 자국산 모듈이 점유하고 있다.

실리콘 태양전지/모듈 개발 수준 및 동향

웨이퍼 크기 증가에 대한 이슈를 다루기 전에, 양산용 실리콘 태양전지의 개발 수준을 정리하고자 한다. 현재 글로벌 결정질 실리콘 태양전지 생산량의 80% 이상을 점유하고 있는 태양전지는 p-type 웨이퍼에 PERC (passivated emitter and rear cell) 기술을 이용한 태양전지로서, 생산되고 있는 단결정 태양전지의 평균 효율은 약 22.5%이고, 모듈 평균 효율은 20.7% 수준으로 보고되고 있다.

현재는 PERC 구조가 시장을 대부분 점유하고 있지만, 최근 몇 년 간 고효율 양산용 태양전지를 제조하기 위해 n형 웨이퍼 기반의 TOPCon (tunnel oxide passivated contact) 태양전지 기술이 주목을 받고 있다. 이를 위한 폴리실리콘 증착 기술, 금속 페이스트 기술 등이 개발됨에 따라 양산형 TOPCon 태양전지의 시장 점유율은 향후 약 25% 정도까지 증가될 전망이다. 최근 중국 태양광 기업인 LONGi solar에서는 해당 구조를 통해 25% 이상의 최고 효율을 기록했다.

또한, 몇몇 기업들은 SHJ (silicon hetero-junction) 또는 IBC (interdigitated back contact) 구조를 통해, 21.5% 이상의 고효율 모듈을 생산하고 있으며, 기존의 BSF (back surface field) 기반 태양전지의 시장 점유율을 대체해 나

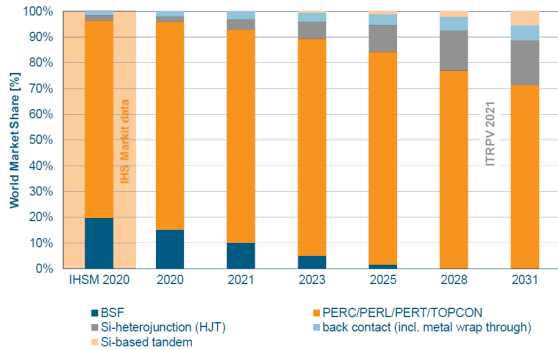


그림 2. 태양전지 기술 별 시장점유율 동향 및 전망^[3]

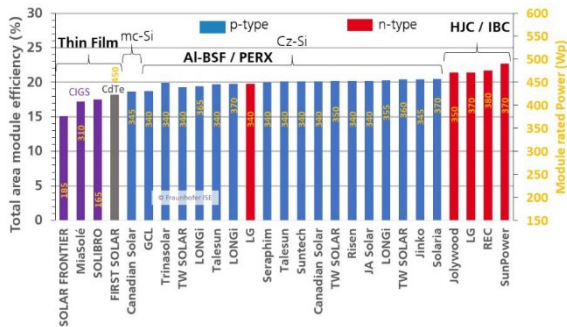


그림 3. 태양전지 구조에 따른 기업별 모듈 최고 효율 및 출력^[4]

갈 것으로 전망되고 있다.

현재 p형 PERC 구조를 기반으로 하는 대부분의 국내외 태양광 기업의 모듈 최대 출력은 대부분 450 W 내외를 보이고 있다. n형 기반 태양전지 모듈의 경우, 470 GW 이상의 출력을 내고 있고, 500 GW 이상의 출력을 목표로 하여 개발되고 있는 중이다.

태양광용 실리콘 웨이퍼 산업 동향

2021년 기준 글로벌 웨이퍼 총 생산 용량의 270 GW 중 중국의 웨이퍼 생산 용량은 259 GW로 96%를 점유하고 있다. 특히, 중국의 2개 회사(LONGi, Zhonghuan)가 글로벌 웨이퍼 생산의 대부분을 차지하고 있고, 현재도 생산 용량을 공격적으로 증설하고 있다. 또한, 이 업체들은 현재 화두로 올라있는 웨이퍼의 유형, 크기, 도펀트(dopant)에 관해서도 영향력을 행사하고 있어 당분간 웨이퍼의 중국 의존도는 더욱 가중될 전망이다.

Wafer manufacturing capacity share

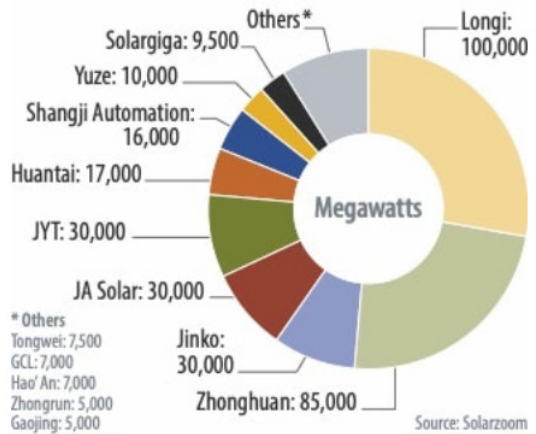


그림 4. 2021년 글로벌 웨이퍼 생산 용량^[5]

- 웨이퍼 유형

우선 웨이퍼 유형에 관한 시장전망을 보면, PV-TECH 보고서에서는 2024년을 기점으로 n형 태양전지에 대한 변화 포인트가 도래할 것으로 전망하였지만, ITRPV에서는 향후에도 p형이 시장의 대부분을 주도할 것으로 전망하며 n형 태양전지에 대해 보수적인 관점을 보였다.

이는 현재 p형 PERC 태양전지의 기술적 포화에 따른 개발 한계가 분명하고, 시장의 고출력에 대한 수요에 따라 태양전지의 효율 상승 기대가 점차 높아지고 있기 때문이다. P형 웨이퍼와 제작비용이 비슷한 경우, n형 웨이퍼가 캐리어 수명이 높아 웨이퍼 품질이 상대적으로 우수하다.

Cell Production by Technology

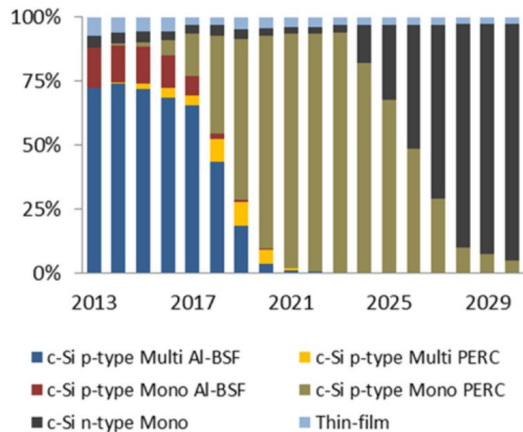


그림 5. 웨이퍼 유형에 따른 기술 점유율 전망^[6]

현재는 제작 과정의 여러 가지 어려움으로 인해 n형 웨이퍼 제작비용이 p형에 비해 상대적으로 약간 높지만, n형 웨이퍼에 대한 전망이 긍정적인 이유로는 공정 또는 생산 수율을 제외하면 웨이퍼 품질로 인한 태양전지 효율 상승이 뚜렷하기 때문이다.

- 웨이퍼 크기

그림 6은 웨이퍼 크기에 따른 양산형 태양전지 제작용 웨이퍼의 종류이다. 태양전지 제조에 사용되는 웨이퍼 크기는 거의 10년 이상 M0 크기를 유지해왔고, 이후 M2 크기의 태양전지를 표준 크기로 사용해왔다. 하지만, 2020년 초부터 중국 모듈 업체들의 주도하에 더 큰 크기의 모듈을 개발하는 방향으로 전개되었고, 이는 웨이퍼 크기의 증가에 지대한 영향을 미쳤다.

M3와 M4를 통한 태양전지 생산이 주목받은 지 얼마 되지 않아 최근에는 M6 이상에 대해 논의되고 있다. ITRPV와 PV Infolink 두 기관의 태양전지 웨이퍼 크기 변화에 대한 전망을 살펴보면, M6 이상의 웨이퍼 크기가 앞으로 주요할 것으로 예측하고 있다. 다만, ITRPV에서는 향후 M12 크기의 시장 점유 가능성을 더 높게 평가하고 있다. 현재, 태양광 모듈 시장의 40%는 M6 크기가 점유하고 있고, M6 이상의 크기에 대해서는 기업에 따라 전략적으로 선택하고 있는 상황이다.

이렇게 대면적 웨이퍼를 통한 모듈 생산이 빠르게 개발되고 있는 이유로는 셀 효율 향상을 통한 출력 향상보다 웨이퍼 크기의 증가로 인한 출력 향상이 더 용이하기 때문

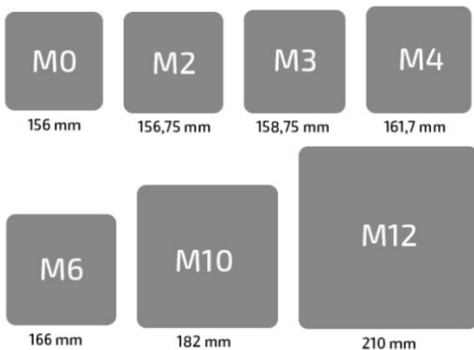


그림 6. 크기에 따른 태양전지용 웨이퍼 종류^[7]

이다. 또한, 대면적 태양전지를 사용한 모듈이 주목을 받는 이유는 단지 출력 향상뿐만 아니라, BOS (balance of system) 비용 감소라는 경제적인 이유도 뒷받침하고 있다. LONGi solar의 계산에 따르면, 390 W 모듈의 출력이 50 W 증가할 때, BOS 비용이 약 5% 정도 감소된다고 발표했다. 이렇게 모듈의 출력이 증가하면, 특정 전력 생산 용량을 목표로 하는 어레이(array)를 구성할 때 스트링(string)의 수를 감소시킬 수 있는 이점이 있다. 또한, racking/tracker 및 전기 부품의 소모도 당연히 줄어들게 되어 BOS 비용이 감소하게 된다.

최근, Trina solar를 중심으로 몇몇 회사들은 M12 크기를 표준화 하려고 노력하고 있는 반면, 최근 LONGi, Jinko

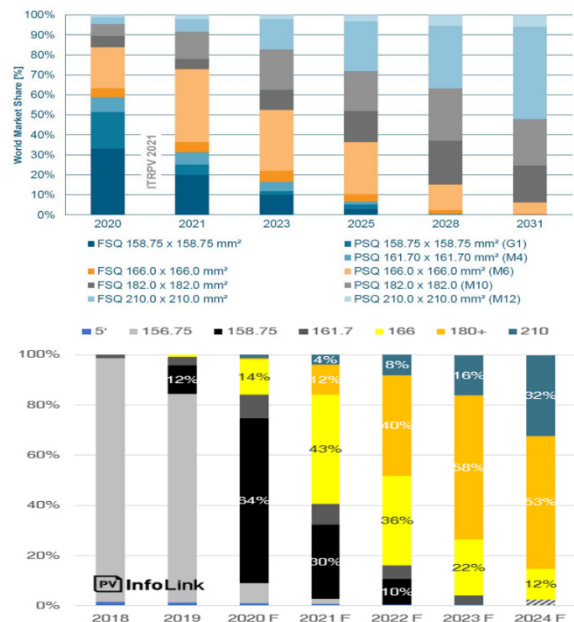


그림 7. 웨이퍼 크기 별 시장 점유율 전망; (상) ITRPV^[3], (하) PV Infolink^[8]

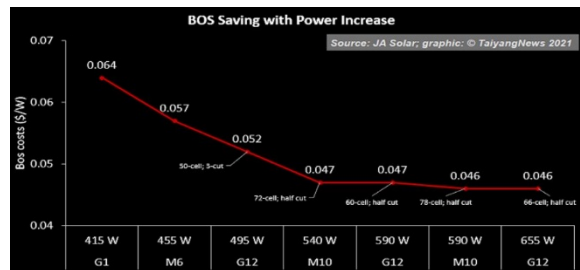


그림 8. 웨이퍼 크기 증가에 따른 BOS 비용 변화^[9]

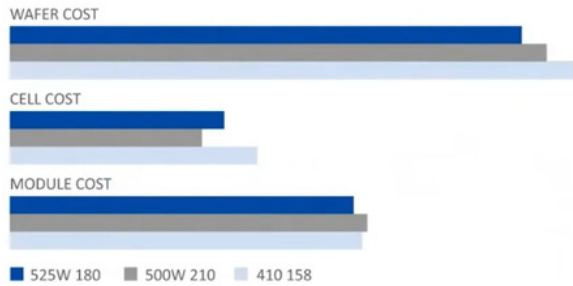


그림 9. M10 및 M12 웨이퍼를 이용한 제조비용 비교^[10]

solar, JA solar 3사가 공동으로 M10 크기를 표준으로 생산한다는 공식입장을 발표하면서, M10 크기가 태양광 업계에서 빠른 속도로 받아들여지고 있다.

M10과 M12는 단일 태양전지 기준으로 M0와 비교했을 때, 전압은 동일하지만 전류가 각각 28%, 75% 높게 나타난다. 두 웨이퍼 종류를 통해 JA solar에서 출시한 모듈을 살펴보면, M12의 경우 3등분한 50개의 태양전지가 사용되고 500 Wp의 출력을 가진다. M10의 경우는 2등분한 72개의 태양전지가 사용되고 530 Wp의 출력을 가진다.

그림 9는 웨이퍼 크기에 따른 비용을 제조단계별로 비교한 예시이다. 웨이퍼 제작비용은 M10이 저렴하고, 태양전지 제작비용은 M12, 모듈 제작비용은 M10이 유리하다고 예측되었다. 또한, 제작비용뿐만 아니라, 모듈의 무게와 크기에 따른 운반 및 설치 과정에 필요한 비용 등도 고려해야 한다. 이러한 측면에서 M10과 M12를 표준화하려는 각 기업들은 저마다 다양한 방법으로 비용을 절감하기 위한 아이디어를 내고 있다.

정부의 태양광 R&D 전략

산업통상자원부 ‘차세대 선도기술 조기확보를 위한 태양광 R&D 혁신전략’ 보고서에 따르면, 정부는 국내 태양광 산업이 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해 R&D 투자를 지속적으로 확대하고 있고, 목표는 세계 최고 수준의 양산효율 달성을 통한 국내 태양광 산업의 경쟁력 확보이다^[11]. 하지만, 중국의 규모의 경제를 통한 압도적 저가 공세로 인해 그간의 투자 및 성과에도 불구하고 경쟁력 확보에 한계를 보이고 있다.



그림 10. 태양광 기업 공동 활용 연구센터 조감도^[12]

현재 태양광 R&D는 다양한 기술 분야에 분산형 지원, 대학과 연구소 중심의 연구, 연구 인프라 부족 등의 문제로 국내 태양광 업계가 혁신적인 성과를 창출하기 어려운 구조인 상황이다. 이를 극복하기 위해 최근 대전시에서 한국에너지기술연구원, 대전테크노파크, 고려대학교 산학협력단, 충남대학교 산학협력단과 함께 ‘태양광 양산성 검증과 차세대 기술개발을 위한 100 MW급 태양광 기업 공동 활용 연구센터’의 설립을 진행하고 있으며, 다음과 같은 목표를 계획하고 있다.

- 공정 개발 및 양산성 검증이 가능한 연구센터 구축
- 고효율 결정질 실리콘 태양전지 제조 라인 구축
- 고풍력 결정질 실리콘 태양광 모듈 파일럿 라인 구축
- 국제적인 신뢰성을 갖는 태양전지 공인인증 체계 구축
- 태양광 전문 인력 양성

상기 언급한 목표 달성을 통해 국내 최초의 양산급 실리콘 태양전지 및 모듈 제조 라인을 갖춘 태양광 기업 공동 활용 연구센터를 구축하고자 하며, 기업들의 R&D 수요와 함께 실리콘 웨이퍼 크기가 증가하고 있는 글로벌 태양광 산업 동향에 맞춰 M6 웨이퍼 크기에 대응이 가능하고, 향후 M12 웨이퍼 크기까지 대응 가능한 실리콘 태양전지 및 모듈 제조 설비를 구축할 계획이다.

구체적으로는 gapless, shingling, multi-busbar 등 다양한 모듈 종류에 대응할 수 있는 ‘100 MW급 모듈 파일럿

라인'과 TOPCon 구조를 기반으로 한 '50 MW급 실리콘 태양전지 파일럿 라인'을 갖추고, 더 나아가 HJT 및 탠덤 구조 태양전지 제작까지 확장이 가능한 태양전지 제조 설비를 구축하는 것을 목표로 하고 있다.

정부는 기업 공동 활용 연구센터를 다양한 구조의 태양전지 및 모듈 양산에 대한 공정 개발 및 양산성을 검증할 수 있는 테스트 베드로 만들어 국내 태양광 기업의 R&D 역량 및 경쟁력 강화를 지원할 계획이다. 뿐만 아니라, 독일의 Fraunhofer ISE, 미국의 NREL과 같은 세계적 수준의 태양전지 공인인증 체계를 구축하여 국내 태양광 연구의 효율성도 향상시킬 계획이다.

결론

기후변화, 탄소중립, ESG 경영 등의 이슈와 함께 글로벌 태양광 시장은 빠른 속도로 성장하고 있다. 이러한 성장을 뒷받침하기 위해 태양광 산업은 끊임없이 높은 출력과 저렴한 모듈을 개발하기 위해 노력하고 있다. 최근, 중국 태양광 기업들의 주도하에 급속도로 이루어진 웨이퍼 크기의 증가는 태양광 모듈의 출력을 획기적으로 상승시켰고, BOS 비용 감소로 인한 경제적 효과도 거두고 있다.

국내 태양광 기업들도 이에 대응하기 위해 설비 투자를 하고 있지만, 중국이 M10과 M12 웨이퍼를 통한 높은 출력의 모듈 제품을 출시하면서 격차를 계속 벌리고 있다. 현재 정부의 여러 가지 지원정책으로 인해 국내 태양광 시장은 다행히 국산 태양광 모듈 설치 비율이 비교적 다른 국가에 비해 높지만, 국산 태양광 모듈의 경쟁력 확보를 위한 지속적인 노력이 없다면 미래는 장담하기 어려운 상황이다.

이를 타개하기 위해 정부는 국내 태양광 기업들이 다양한 아이디어를 연구하고 양산성을 검증할 수 있는 태양광

기업 공동 활용 연구센터를 설립할 계획이다. 또한, 자본을 통해 쉽게 접근하기 어려운 차세대 태양전지 기술을 개발하는 전략적인 연구센터로 만들고자 하고 있다. 급격히 변화하는 태양광 산업의 환경에서 국내 태양광 시장의 경쟁력 저하를 극복하기 위해 설립되는 태양광 기업 공동 활용 연구센터의 역할이 주목된다.

참고문헌

- [1] 강정화, "2021년 2분기 신재생에너지 산업 동향", 한국수출입은행 해외경제연구소, 2021.
- [2] <https://www.statista.com/statistics/280220/global-cumulative-installed-solar-pv-capacity>
- [3] The International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV), 2020.
- [4] Photovoltaic report, Fraunhofer ISE, 2021.
- [5] <https://www.pv-magazine-australia.com/2021/03/21/sunday-read-history-repeats>
- [6] <https://www.pv-tech.org/n-type-technology-cycle-to-dominate-pv-industry-spending-from-2024>
- [7] <https://blog.krannich-solar.com/en/solarblog/post/tr-ends-in-pv-cells-and-modules-module-sizes-and-wafer-sizes-in-transition.html>
- [8] <https://www.infolink-group.com/en/solar/analysis-tr-ends/210mm-high-efficiency-module>
- [9] <http://taiyangnews.info/technology/high-power-modules-reduce-bos-cost>
- [10] https://www.youtube.com/watch?v=rVLE7STJL70&t=1973s&ab_channel=PVTech
- [11] 산업통상자원부 재생에너지산업과, "차세대 선도기술 조기 확보를 위한 태양광 R&D 혁신전략", 2020.
- [12] <http://cc.newdaily.co.kr/site/data/html/2020/12/01/2020120100261.html>