

태양광발전장치 스틸보 기초 모듈러 공법 고찰



김응욱
(주)이스온 CEO

서 언

태양광발전이란 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 장비로 필요한 단위용량에 따라 직렬 또는 병렬로 연결하여 상용전원을 사용할 수 없는 곳의 전원용으로 주로 사용되었으나 현재는 신재생에너지 및 탈화석 전환을 위한 가능성있는 대안중 하나이며 태양광발전은 태양전지와 축전지 그리고 전력변환장치로 구성되어 있다.

이러한 태양광발전의 장점은 공해가 없고, 필요한 장소에 필요한 만큼만 발전할 수 있으며, 유지보수가 용이하다는 것이다. 반면에 전력생산량이 일조량에 의존하며 설치 장소가 한정적이고 초기 투자비와 발전단가가 높은 단점이 있다.

태양광발전장치의 구성은 크게 태양광 모듈, 전기인버터 그리고 지지용 구조물로 구성되어지며 태양광발전장치는 장기간 안정적으로 운영되어야 하기 때문에 모듈을 지지해 주는 구조물의 형태, 시공방법의 선정과 정확한 시공법이 대단히 중요하다고 할 수 있다. 따라서 태양광발전 시스템의 구성품 중의 하나인 태양광발전 구조물의 종류, 기초공법의 특성에 대해서 알아보고, 신공법으로 개발된 스틸보 기초 모듈러 공법에 대해 소개하고자 한다. 내식성이 가장 우수한 소재를 사용하고 제작과 시공시 가장 적은 탄소 배출과 토양을 오염시키지 않고 100% 재활용이 가능한 구조물 제작법과 시공법으로 만들어진 스틸보 기초 모듈러 공법을 기존에 적용되어 온 구조물의 기초공법들과 비교하면서 신공법에 대한 특성을 소개하고자 한다.

태양광발전 구조물

태양광발전 구조물은 태양광발전 시스템의 구성품 중의 하나이면서 태양광발전 시스템의 뼈대로서 기본적으로 태양광 모듈을 지지하는 구조이며 바닥에 고정하여 모듈을 설치하도록 하는 장치이다. 사진 1은 태양광발전 시스템의 구조물 위에 태양광 모듈을 설치한 일반형 태양광발전장치를 보여주고 있다. 이것의 기본적인 강도는 태풍과 같은 강한 바람과 진동 등을 견디도록 단단하게 고정되면서 비와 눈에 노출되기 때문에 부식에도 강한 소재로 제작되거나 도장작업이 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서 태양광발전 구조물은 사용 장소나 목적에 따라 일반 고정식 구조물, 고정식 스페이스형 구조물, 지붕 부착형 구조물 그리고 추적식 구조물로 나누어질 수 있는데, 여기서는 대규모 형태로 가장 널리 적용되고 있는 바닥 고정식 구조물에 대해서 검토하였다.

태양광발전장치는 최소 30년 넘게 운영되는 것을 전제로 설치되므로 태양광 모듈을 지지해 주는 구조물의 기초 공법 선정과 시공법은 매우 중요하다고 사료된다.

태양광발전 구조물의 특성 및 설치공법

태양광발전 구조물은 내식성이 우수한 소재를 사용하여 최적화된 설계와 시공법을 적용하여 30년 이상 안정적으로 사용할 수 있는 제품으로 제작되어야 하므로 아래와 같은 특성이 요구된다.



사진 1. 태양광발전장치의 설치된 모습

- 부식과 강도를 고려한 최상의 소재를 사용하여 장기간 사용에도 강도의 저하나 부식이 없어야 한다.
- 구조물은 강한 바람(태풍, 풍속 60m/s)에도 견딜 수 있는 강도를 지녀야 한다.
- 철거시 폐기물을 최소화 할수 있어야 한다.
- 제작에 따른 오염원이 최소화되고 토양오염이 없는 친환경적이고 설치가 비교적 용이하면서 설치시간이 짧으며 안정성이 우수해야 한다.

현재까지 태양광발전 구조물 설치에서 가장 널리 사용되는 공법은 기초와 구조물을 분리시킨 형태로 콘크리트 독립 기초공법, 콘크리트 줄 기초공법 그리고 헬리컬 파일 기초공법이 주로 적용되어 왔는데, 이것은 태양광 모듈 설치장소에 기초를 설치하고 그 위에 구조물을 조립하는 방법으로 기둥과 보, 브라켓 등을 설치장소에서 볼트로 조립하는 형태라서 자재의 이동에 따른 불편함과 공기구를 제한적으로 사용할 수 밖에 없어서 작업품질과 작업능율이 좋지 않은 문제점이 있어 왔다.

(주)이스온에서 개발된 태양광발전 구조물의 특징

지상의 태양광발전 시스템에 있어서 구조물이 차지하는 비용은 약 30% 정도이며 그 중에서 기초공사가 매우 중요하고 비용 또한 많이 든다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위하여 (주)이스온에서는 스틸보 기초 모듈러 공법이라는 새로운 형태의 기초공법을 개발하였다.

최근에 개발된 신공법인 스틸보 기초 모듈러 공법은 기초와 지주로 분리하여 시공하는 기초공법을 혁신적으로 개선한 제품으로 고강도 내부식성 금속재료를 성형한 제품을 사용한 구조물을 가지고 기초와 태양광 모듈을 현장에서 사전에 일체형으로 조립한 후 설치장소로 이동시켜 장비를 이용하여 바로 설치하는 모듈러 공법으로 조립 품질의 안정성과 내구성을 향상시키면서 설치공정을 단순화하여 비용절감 효과를 극대화시킨 공법이다. 이 기초공법은 장비를 이용하고 조립식이라 비용이 절감되며 또한 지반에 설치하는 태양광 구조물의 기초는 절토와 성토지역

으로 나뉘어져 시간이 지나면서 침하 정도가 달라지게 되어서 구조물 안정성에도 문제가 발생할 수 있는데 이것을 해결할 수 있는 방법으로 개발되어졌다.

스틸보 기초 모듈러(기초 일체형)공법의 구조

그림 1에 도시된 스틸보 기초 모듈러 공법은 (주)이스온에서 새롭게 개발된 신공법의 특허가 출원된 제품(출원번호: 10-2019-0032463)으로 미리 제작된 후 조립된 구조물을 설치현장에서 터파기 작업 후 일괄 설치하는 공법으로 시공이 간단하고 안정성이 우수하며 규격화시켜서 생산이 가능하므로 품질 보증과 구조물을 재활용하는 것이 가능하여 친환경적인 공법이라고 볼 수 있다. 다만 구조물을 설치하는 장소에서 터파기 작업이 선행되어야 하는데 임반지역의 경우에는 시공하는데 다소 어려움이 발생할 수도 있다.

개발된 태양광발전 구조물은 외발형과 양발형으로 구분될 수 있으며 그림 2에서는 구조물이 집열판이 부착되기 전의 구조로 구조물이 지중에 매설되기 위해서 조립된 형태를 보여주는 것으로 각각의 바닥 지지부에 하나 혹은 두 개의 수직형 지지대가 부착되는 형태로 구성된다.

앞에서 서술한 내용을 바탕으로 표 1에 개발된 스틸보 기초 모듈러 공법과 현재까지 태양광발전의 구조물로 사

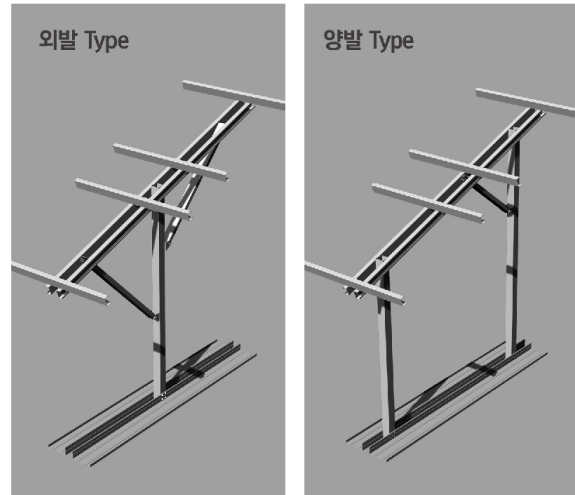


그림 2 태양광발전 구조물의 지지대 타입별 구분

용되고 있는 다른 기초공법의 특징에 대해서 도시하였으며 또한 각각의 공법에 대한 장단점을 비교하여 보았다.

스틸보 기초 모듈러 공법의 개발 개요

스틸보 기초 모듈러 공법이란 태양광 구조물을 기존의 콘크리트 기초나 아연도금 스크류 파일 등을 사용하던 방법을 공장에서 규격화하여 생산된 스틸빔을 기초로 사용하는 방식이며, 스틸보 기초 모듈러 공법은 태양광발전 모

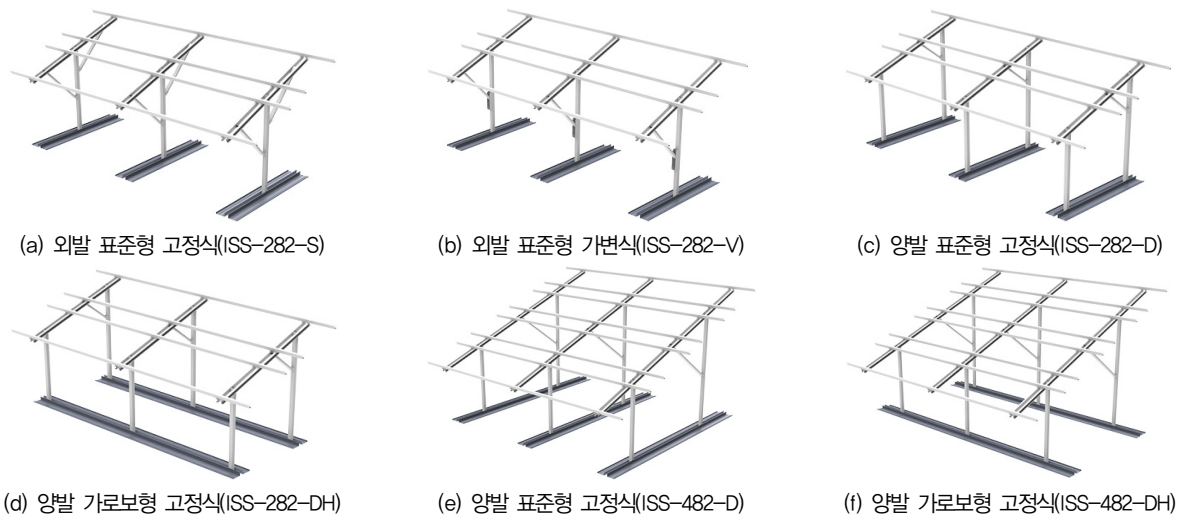


그림 1. (주)이스온 태양광발전 스틸보 기초 모듈러 공법 구조물의 각종 형태

표 1. 태양광발전을 위한 구조물에 대한 기초공법의 비교

구분	태양광발전 구조물 기초공법			
	콘크리트 독립 기초방법	콘크리트 줄 기초방법	헬리컬 파일 기초방법	스틸보 기초 모듈러 방법
시공	자재와 부자재를 각각의 설치 장소로 이동시킨 후 작업자가 이동하여 현장에서 조립작업			조립장에서 조립한 구조물을 설치장소로 이동한 후 바로 안착
시공	1. 터파기 2. 콘크리트 기초정렬 설치 3. 되메우기 4. 토사정리 및 다짐 5. 상부 구조체 조립	1. 터파기 2. 거푸집 형틀설치 3. 콘크리트 타설 4. 양생 후 거푸집 제거 5. 되메우기 및 토사 정리 6. 상부 구조체 조립	1. 지반타공 2. 파일을 기구를 이용하여 회전 심기 3. 파일 상부면 수평맞춤 4. 연결부 고정 5. 상부 구조체 조립	1. 구조체 조립 2. 터파기 3. 구조체 일괄설치 4. 되메우기 및 다짐
장점	- 기성품을 사용할 경우 시공이 간편하다. - 공사기간이 짧다.	- 둘 이상의 기둥을 하나로 연결하여 안전하고 튼튼 하다. - 견고성/안정성 양호하다.	- 토목작업 비용이 적게 든다. - 재활용이 가능하다. - 공기가 비교적 짧다. (암반작업 시 공기 증대됨)	- 안정성 최상(견고성 양호) - 시공 간편(장비설치로 최단 공기 및 일괄 안착) - 높은 품질(공장 규격생산) - 환경오염 없음 (100% 재활용 가능) - 3월계 특수도금으로 내식성 최상
단점	- 부동침하 가능성 있다 - 태양광 구조물 틀어짐 현상발생 가능성 있다. - 기초 설치 시 줄(좌우, 전후) 높이(수평) 맞춤이 어렵다. - 토질 산성화 및 철거 시 폐기물 발생한다.	- 부동침하 가능성 있다 - 기초 설치 시 줄(좌우, 전후) 높이(수평) 맞춤이 어렵다. - 콘크리트 양이 많이 들어 시공비가 많이 든다. - 토질 산성화 및 철거 시 폐기물 발생한다.	- 암반지역 시공이 어렵다. - 연약지반은 굴착깊이가 깊어진다. - 기초 설치 시 줄(좌우, 전후) 높이(수평) 맞춤이 어렵다. - 전문가의 정밀시공이 요구된다.	- 암반지역 시공이 어렵다.

들을 지지하는 구조물의 지주와 기초를 분리시켜서 시공 하던 기존의 방법을 혁신적으로 개선한 제품의 형태로 새롭게 구상된 공법으로 지주와 기초를 일체화시켜 제작된 구조물이며 이러한 모듈러 공법은 제품의 안정성과 내식성은 물론 구조물을 아주 쉽게 설치할 수 있게 하여 공기 단축과 비용절감 효과를 극대화시킨 신공법이다. 개발된 태양광발전 스틸보 기초 모듈러 공법의 여러 가지 형태 중에서 태양광 집열판이 구조물 상부에 조립되어진 외발 표



그림 3. 스틸보 기초 모듈러 구조물 상부에 태양광 모듈이 부착된 모습

준형 고정식 공법을 그림 3에 도시하여 보았다.

앞에서 언급된 바와 같이 스틸보 기초 모듈러 공법은 기존 태양광발전 시스템 구조물에 대한 문제점을 보완해서 새롭게 개발된 신공법의 특허출원된 제품으로 미리 제작되어서 조립된 구조물을 설치현장에서 터파기 작업 후에 일괄적으로 설치하는 공법으로 시공이 간단하고 구조물을 규격화시켜서 공장에서 대량생산이 가능하므로 품질보증은 물론 구조물을 재활용하는 것이 가능한 친환경적인 공법이다.

스틸보 기초 모듈러 공법의 특징 (탄소인증제 1등급 공법)

스틸보 기초 모듈러 공법의 태양광발전 구조물은 내식성이 가장 우수한 소재를 사용하여 최적화된 설계와 시공법을 적용하여 30년 이상 안정적으로 사용할 수 있는 제품으로 다음과 같은 특징을 지니고 있다.

- 신공법인 스틸보 기초 모듈러 공법은 용접작업이 없고 콘크리트를 사용하지 않아 친환경적이다.
- 공장에서 표준화된 규격으로 생산된 구조물을 현장에서 쉽게 조립할 수 있어서 품질의 안정성이 매우 높고 설치 시간을 단축시킬 수 있어 비용절감 효과가 크다.
- 내식성이 강한 원자재(PosMAC)^{*1}를 사용해서 장기간의 강도변화나 부식이 없다.
- 구조물의 체결은 볼트만으로 이루어지며, 볼트 또한 내식성이 강한 MacBOLT^{*2}를 사용함으로 전위차 부식이 발생하지 않는다.
- 용접작업이 없는 구조형태로 설계되어져서 제작공정이 친환경적이며, 조립과 설치 공정상의 불량요소가 없어서 시공하자는 타 공정에 비해서 현저하게 낮다.
- 태양광발전장치의 사용 후에 철거 시 구조물에 의한 폐기물이 전혀 발생하지 않으며 100% 재활용이 가능하다.

따라서 스틸보 기초 모듈러 공법은 환경오염이 없는 친환경 소재를 사용하여 현장작업을 최소화시키고 전문기술자가 아니더라도 쉽게 설치할 수 있는 최신공법으로 공기 단축은 물론 비용절감을 할 수 있는 (주)이스온의 특허공법이다.

***1 PosMAC에 대한 특성:**

세계적인 철강회사 포스코의 제품명으로 POSCO Magnesium Aluminium Alloy Coating Product의 약자이며, 포스코 고유의 기술로 개발한 내식성이 매우 우수한 3원계 합금(Zn-3%, Mg-2.5%, Al)이 도금된 제품으로 동일한 도금 부착량의 일반 용융아연도금 강판과 비교해서 5배 이상의 내식성이 좋은 제품이다.

***2 MacBOLT 제품이란:**

높은 경도를 가진 금속 아연층과 특수코팅으로 이루어진 초박막 코팅제품으로 금속체 결합 시에 볼트를 체결하는 경우에 전위차에 의한 부식(Galvnic Corrosion)을 억제하고 Zn & Al Flake의 희생방식을 통해서 우수한 내식성이 있다.

스틸보 기초 모듈러 구조물의 매설

이 기초공법은 태양광발전 모듈을 지지하는 구조물의 지주와 기초의 분리시공 방법을 혁신적으로 개선한 제품으로 지주와 기초를 일체화한 모듈러 공법으로 제작된 구조물(사양 및 치수는 표 2)의 안정성과 내구성을 향상시키고 설치공정을 단순화하여 비용절감 효과를 제공하도록 구상되어졌으므로 스틸보 기초 모듈러 공법은 지중에 매설될 때 바닥부 구조물 위에 적재되는 토질의 종류에 따른 비중량을 고려하여 매설깊이에 따라 수직하중력이 산정될 수 있으며 매설되는 방법이나 공법에도 영향을 받게 된다. 그리고 스틸보 기초 모듈러 공법의 구조물은 체결을 위해서 용접작업은 전혀 없으며 순수하게 앞에서 언급된 내식성이 강한 볼트와 너트만을 사용하여 구조물을 작업현장에서 체결시킨 후 운반장치를 이용하여 설치장소로 바로 이동시켜서 지중에 매설하는 방법으로 구조물의 체결과 매설되는 형태는 그림 4와 그림 5에 각각 도시하였다.

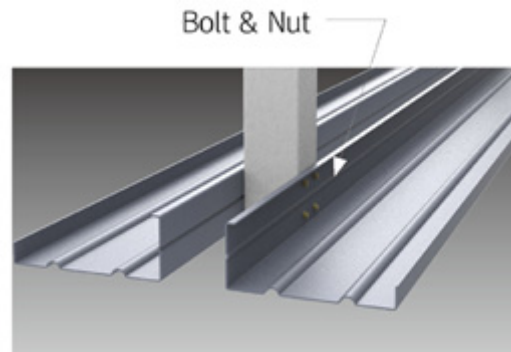


그림 4. 내식용 볼트와 너트만을 사용하여 체결되는 구조물

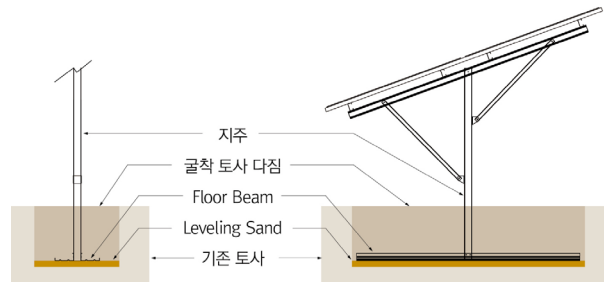


그림 5. 지중에 매설된 스틸보 기초 모듈러 구조물 형태

표 2. 태양광발전을 위해서 개발된 구조물의 사양과 치수(적용 모듈의 크기에 따라 제품의 크기는 달라질 수 있습니다)

품명	구조	제품 당 전체 크기(w) x (d) x (h)
외발 표준형 고정식 ISS-282 S	2단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 3,415 x 3,240
양발 표준형 가변식 ISS-282 V	2단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 3,415 x 3,240
양발 표준형 고정식 ISS-282 D	2단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 3,415 x 3,240
양발 가로보형 고정식 ISS-282 DH	2단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 3,415 x 3,240
양발 표준형 고정식 ISS-482 D	4단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 7,360 x 4,566
양발 가로보형 고정식 ISS-482 DH	4단 8열 패널각도: 20° 설계적용 풍속: 60m/s	8,068 x 7,360 x 4,566

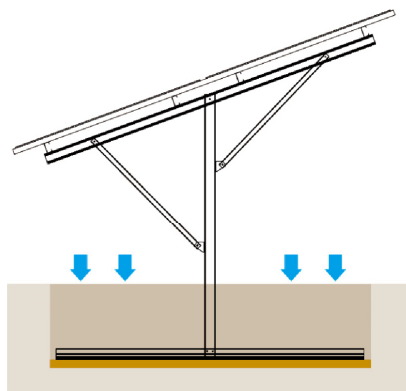
스틸보 기초 모듈러 공법에 대한 강도 검토

태양광발전 구조물의 기초공법을 위하여 새롭게 구상되고 개발된 스틸보 기초 모듈러 공법의 강도에 대해서 검토하였는데, 새롭게 구상된 스틸보 기초 모듈러 공법에 대한 설계치수를 근거로 이론적 및 실험적인 방법으로 구조물의 강도를 고찰하여 안정성을 검증하였다.

개발된 스틸보 기초 모듈러 공법의 형태는 도시된 바와 같이 태양광발전장치를 지지하는 구조물은 매설되는 바닥 지지부의 기초 스틸보, 집열판을 지지하는 상부의 세로와 가로구조물 그리고 전체 상부를 지탱하는 기둥과 경사형

받침대로 이루어지며, 또한 16개의 사각판으로 설치되는 태양광 모듈 등이 태양광발전장치 구조물의 전체를 구성하게 된다.

스틸보 기초 모듈러의 자중을 포함한 매설되는 흙의 깊이 변화에 따라서 산출되는 수직 하중력을 기반으로 최대 풍속에 의해서 초래되는 상부로의 뿔힘에 대한 인발력과 수직안전계수를 검증하여 보았는데, 이러한 검토에 의해서 산출된 구조물 매설깊이의 변화에 따라서 바닥의 지지부에 미치는 수직하중력과 구조물이 견딜 수 있는 안전계수를 그림 6과 그림 7에 각각 도시하였다.



수직 하중력 분포

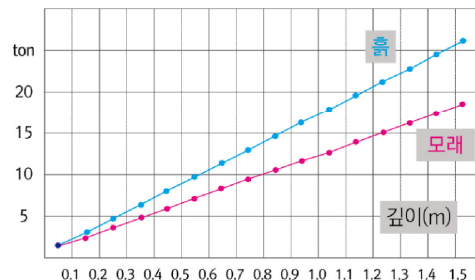
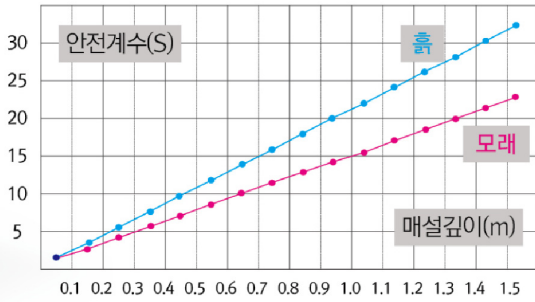


그림 6. 구조물 자중을 포함한 매설깊이에 따른 수직하중력



주) 1. 적용비중 (흙 2.6, 모래 1.8)

그림 7. 지중의 매설깊이에 따른 안전계수

결 언

태양광발전시스템의 기초공법에 대한 특성을 검토하면서 신공법으로 개발된 내식성이 가장 우수한 소재를 사용하여 구조물을 제작하고 최적화된 설계와 자연환경의 오염을 최소화할 수 있는 시공법을 적용하여 안정적이고 친환경적인 태양광발전에 사용할 수 있도록 만들어진 스틸보 기초 모듈러 공법을 기존에 적용되어 온 각각의 기초공법들과 비교하여 신공법에 대한 특성을 고찰하였다.

태양광발전 구조물은 내식성이 우수하며 최적화된 설계와 시공법을 적용하여 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 제품이어야 하므로 부식과 강도를 고려한 최상의 소재를 사용하여 친환경적이고 설치가 비교적 용이하면서 설치시간이 짧으며 안정성이 우수해야 한다.

신공법으로 개발된 스틸보 기초 모듈러 공법은 단위유닛 형태의 구조물을 공장 제작한 후 설치하고자 하는 현장에서 모듈형태로 구조물을 조립 완성하는 공법으로, 기초와 구조물을 일체형으로 조립한 후 설치장소에 이동시켜 장비를 이용하여 설치하는 방식의 기초 일체형 공법으로 기존에 사용되어지는 기초공법의 문제점을 해결하면서 경

제적인 기초공법으로 지주와 기초를 일체화한 모듈러 공법으로 개발된 제품이라서 스틸보 기초 모듈러 공법은 구조 안정성과 내구성을 향상시키고 설치 공정을 단순화하면서 비용절감 효과를 제공한다. 따라서 신공법으로 개발된 태양광발전 스틸보 기초 모듈러 공법의 특징과 효과는 다음과 같다.

- (1) 최적의 모듈러 공법으로 개발되어 조립이 쉽고 장비를 이용하여 설치하는 방법으로 인건비가 적게 들어 시공 비용이 획기적으로 절감될 수 있다.
- (2) 시간의 경과에 따라서 지반의 침하 정도가 달라지므로 구조물 안정성 문제가 발생하게 되는데 이러한 문제를 최소화할 수 있는 방법으로 개발되었으며, 또한 용접 부위가 없어 제작공정이 간단하고 자동생산 제품을 현장에서 볼트만 사용하는 조립품으로 제작되므로 시공 불량률이 없다.
- (3) 표준화된 공장 생산품으로 적재와 운반이 용이하며 현장시공 시에 구조물의 기초볼트 위치 및 높낮이를 맞추는 작업이 필요없어 설치의 편리성은 물론 시공이 간편하여 초보자도 쉽게 조립하고 설치할 수 있다.
- (4) 친환경 소재로 제품을 제작하여 토양오염이 없고, 철거시 환경오염이 전혀 없으며 100% 재활용이 가능하다.
- (5) 개발된 스틸보 기초 모듈러 공법의 안정성을 검증한 결과에 의해서 구조물을 지중에 일정한 깊이 이상으로 매설하는 경우에 스틸보 위의 토양무게와 구조물의 자중 및 추가적으로 부여되는 굴착 연직면의 토양과의 마찰력에 의한 지지력 효과 등에 의해서 높은 안전강도를 지니게 되어 상당한 외부력에도 구조물이 충분히 안전하다.