태양전지 신뢰성 정보은행

소원섭 · 오수영*
영남대학교 화학공학과, 경산시, 712-749

Solar Cell Reliability Data Bank

Wonshoup So · Soo Young Oh*
School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, 712-749

ABSTRACT: The globally used PV qualification tests and reports the pass/fail only. Therefore, the reliability of new PV materials and parts can't be compared quantitatively with the reliability of the PV parts and materials in the market. Global PV materials and parts companies test and compare their materials, parts, and modules using the failure-to-test (FTT). However, it takes a long accelerated stress test (AST) until failure. It also needs to test the new and existing materials and parts. Therefore, it requires excessive equipment time and cost. In order to reduce the time and cost, a new reliability enhancement methodology has been developed. It tests the PV materials, parts, and modules in the global market and stores them in the PV reliability database. It reduces the time and cost of the comparison and enhancement of PV reliability. An example of the reliability enhancement of the PV encapsulant, EVA is presented.

Key words: Accelerated stress test, Data bank, PV, Solar cell, Reliability

1. 서 론

현재 지구온난화의 주범으로 과도한 탄소 에너지 사용이 지목되고 있으며, 이로 인해 오존층의 파괴, 해수 온도의 상승 등의 변화는 현재 인류가 직면한 지상 최대의 해결 과제 중 하나로 꼽히고 있다. 그리고 우리 주위의 에너지 대외환경 또한 고유가, 수입 의존형 에너지 수급 등 에너지 시장의 불확실성 증대 및 수급불안, 세계 각국의 에너지 자원 확보경쟁 심화로 안정적 에너지 공급이 갈수록 어려워지고 있다[1]. 이러한 에너지시장의 변화에 맞춰 국내에서도 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있고 많은 지원과 노력이 있다. 그에 따라 신재생에너지 중 태양전지 산업은 최근 5년간 많은 발전을 이루고 있으며 향후 10년 후에는 태양에너지 산업이 반도체 산업 이상으로 거대 시장으로 형성이 될 것이다[2]. 하지만 산업이 커지는 만큼 그에 따른 기술과 지원이 이루어 져야하는 부분이 있다. 하지만 아직까지 태양에너지 산업에 대한 기준이나 평가 방법은 노후한 실정이다. 특히나 새로운 소재/부품을 개발하지만 이에 대한 정확한 평가가 이루어지고 있지 않다. 산업체에서 자체적으로 실증이 이루어지고 있으나 이를 소비자들이 받아들이는 것이 쉽지가 않기 때문이다. 특히 중소기업에서 많은 노력을 기울여 개발된 제품에 대해서는 소비자들이 개발품에 대한 성능에 대한 믿음이 부족한 것이 사실이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존의 소재나 새로운 소재에 대한 정확한 기준이 제시가 되어야한다. 단순히 pass/fail등으로 나누어 지는 것이 아니라 제품의 성능이 에너지 소비등급과 같이 등급제로 이루어지게 되면 소비자들이 필요한 수준의 제품을 정확한 정보를 통해서 구매가 가능하게 되는 것이다. 이를 위해서는 정보은행을 통하여 새로운 제품에 대한 분석이 이루어질 수 있게 되어야 한다[3]. 본 연구에서는 이러한 정보은행의 구축과 활용에 대한 연구를 진행하였다.

2. 본 론

현재의 결정질 태양광 모듈에 대한 기준은 IEC 61215[4]에 따른다. 처음 이러한 기준이 생긴 이유는 초기 태양광 모듈을 우주공간에서 사용을 하게 되는데 이에 초기 불량이 많은 것을 해소하기 위해 기준에 만들어 졌다. 그래서 성능 테스트에 의해서 통과된 제품들은 불량의 가능성이 적다고 판단을 하고 사용하게 되었다. 따라서 현재의 테스트 기준들은 발전성

*Corresponding author: syoh@yu.ac.kr
Received July 14, 2014; Revised July 15, 2014;
Accepted July 15, 2014

ⓒ 2014 by Korea Photovoltaic Society
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)
which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

능 기간을 보장하거나 판단하는 것이 아니라 초기 불량인 제품인 것인가 아닌 것인가를 판단하는 기준만을 제시하게 된다.

2.1 IEC 61215

국내에서는 KS C IEC 61215이다. 세계 모든 국가가 IEC 61215를 기준을 바탕으로 이루어져 있다. 이 테스트는 Table 1과 같은 시험항목들이 존재한다.

이 실험 방법 중 성능저하 테스트에 중요한 실험들이 8~13번이다. 또한 성능평가에서 pass의 기준은 발전율 95%이상이 되어야한다. 최근 들어서는 바닷가의 설치를 예상하여 19번 항목의 염수분무 시험 그리고 사막 환경에 설치를 고려한 사막테스트 등이 떠오르고 있다. 또한 각각의 테스트에는 시간적 비용이 필요하게 된다. UV 시험의 경우 15일~30일, 온도사이클 및 고온고습 시험은 1,000시간(약 50일), 그 외에도 결로동결시험 10일 등 총 테스트 기간만 약 4~6개월이 소요되게 된다. 소재/부품을 생산하는 업체로서는 새로운 제품을 개발 후 양산품으로 만들기 전에 테스트에 시간적 비용만이 이렇게 소모가 되는 것이다.

또한 각각의 테스트에는 특정 장비들이 필요하다. 가장 기본적으로 모듈의 발전성능을 평가하는 모듈 시뮬레이터, 고온고습온도사이클 등의 실험에 사용되는 환경 챔버, UV자외선 테스트 장비 등등 만약 일반 중소기업에서 소재/부품을 개발하여 자체적으로 1차 실험을 하는데 필요한 장비들을 구축하는데 수십억원의 비용이 소요되게 된다. 따라서 일반 중소기업에서는 장비의 부족, 테스트 인력 및 기술력의 부족으로 인해 소재/부품을 개발하여도 정확한 테스트를 하는 데는 pre-test 센터나 정식 시험기관이 필요하게 된다. 하지만 이러한 테스트에서 돌아오는 시험의 결과는 의뢰한 제품에 한해서이며 최종 결과는 pass/fail만의 상황을 알 수 있게 된다.

Table 1. Test List

시험 항목	
1. 외관검사	셀, Glass, J-Box, 프레임, 접지단자, 출력단자 등 평가
2. 발전성능시험	개방전압(Voc), 단락전류(Isc), 최대전압(Vm), 최대전류(Im), 최대출력(Pmax), 곡선율(FF), 효율(Eff) 등의 발전성능을 시험
3. 절연시험	출력단자와 패널 또는 접지단자 사이의 절연 시험
4. 온도계수측정	모듈의 온도계수 측정
5. NOCT의 측정	총방사조도 800 W/m^2, 주위온도 20°C, 풍속 1 m/s에서의 동작 특성 시험
6. STC와 NOCT에서의 성능	셀 온도 25°C, NOCT KS C IEC60904-3의 기준 태양광 분광방사조도에서 1,000과 800 W/m^{2}에서의 성능
7. 저방사조도에서의 성능	셀 온도 25°C, NOCT KS C IEC60904-3의 기준 태양광 분광방사조도에서 200 W/m^{2}에서의 성능
8. 옥외 노출시험	총 방사조도 60 kWh/m^{2}에서의 성능
9. 열점 내구성시험	태양전지 셀의 성능 불균형, 크랙 또는 국부적인 그림자 영향에 의해 발생되는 열점 내구성 시험
10. UV 시험	자외선 노출에서 태양전지모듈 재료의 열화정도 시험 자외선 조사
11. 온도사이클시험	환경온도의 불규칙한 반복에서 구조나 재료간의 열전도나 열팽창률에 의한 스트레스의 내구성 시험
12. 결로-동결시험	고온, 고습, 영하의 저온에서 열 팽창률의 차이나 수분의 침입, 확산, 호흡작용 등의 구조나 재료의 영향을 시험
13. 고온고습시험	고온, 고습 상태의 열적 스트레스와 접합재료의 밀착력 등의 적성 시험
14. 단자강도시험	단자부분이 부착, 배선 또는 사용중에 가해지는 외력에 대한 강도 시험
15. 습윤누설 전류시험	강우에 노출되는 경우의 적성시험
16. 기계적 하중시험	바람, 눈 및 얼음에 의한 하중에 대한 기계적 내구성 시험
17. 우박시험	우박의 충격에 대한 태양전지모듈의 기계적 강도 시험
18. 바이패스 다이오드 온도시험	모듈의 열점현상 등으로 발생되는 바이패스다이오드의 장기 내구성을 위한 적정 온도 설계
19. 염수분무 시험	모듈의 구성재료 및 패키지의 염분에 대한 내구성 시험

2.2 DB의 활용

앞에서 언급을 하였지만 IEC 61215의 경우 모든 테스트는 평가기준을 통과하였을 경우 pass 그러지 못하였을 경우 fail의 상태로 결과를 받게 되고 물론 테스트 제품에 대한 실험결과도 같이 받게 된다. Fail이 되었을 경우는 상용화가 불가능하겠지만 pass가 되었을 경우 이 제품이 어느 정도의 성능을 발휘하는 것이며 상용화되었을 경우 어느 수준의 제품이 될 것이라는 정보가 전혀 없다. 또한 위의 테스트 외에 대부분 모듈 단위의 테스트만이 이루어지고 소재/부품 단위의 테스트를 위해서는 이를 모듈화 하여 테스트를 진행해야 한다. 그러기 위해서는 소재/부품을 생산하는 기업에서는 다시 모듈 단위의 제작을 위해 추가적인 비용이 들게 된다. 그리고 모듈 단위의 제작과정에서 나타날 수 있는 위험요소들(예를 들어 다른 소재들의 불량, 제작과정에서의 불량 등)이 같이 존재하

Fig. 1. Test equation (**모듈시뮬레이터**, **환경챔버**, UV **시험장비**, **옥외노출 시험장비**)

기 때문에 이러한 위험요소들에 의해서 개발된 제품이 정확한 평가를 받지 못하는 경우도 발생할 수가 있다.

대기업의 경우 많은 제품을 생산하고 이를 자체 모듈 생산라인에서 제작을 하여 테스트를 해 볼 수가 있다. 많은 제품의 테스트를 통해서 축적된 data에서 새로 개발된 소재/부품이 어느 정도의 성능을 발휘하게 되는지 예측이 가능하다는 것이다.

하지만 대부분의 중소기업에서는 위와 같은 기반이 부족하기 때문에 새로운 소재/부품을 개발했음에도 시장예측이 불투명한 경우가 발생 하게 된다.

여기서 필요한 것이 바로 정보은행인 것이다. 단순히 정보은행이 테스트의 결과만을 공유하는 것이 아니다. 개발된 소재/부품에 대한 필요한 테스트의 종류와 테스트의 방법에 대한 제시가 같이 이루어져야 하는 것이다. 예를들어 EVA의 경우 간이 모듈(solar cell이 없는 모듈)형태의 샘플제작 그리고 UV, 환경챔버 등을 통한 테스트방법을 제시하고 테스트 결과를 타 EVA와 비교를 하여 EVA의 향후 성능을 예측하는 것이다. 만약 타 EVA가 어느 모듈의 생산에 사용이 된 것이라고 가정하면 그 모듈에 대한 시험 data 역시 개발된 EVA의 성능평가에 비교할 수 있는 정보가 되는 것이다.

3. EVA 실험

태양전지 모듈에는 많은 소재와 부품이 존재한다. 그 중 이번 연구에서는 EVA에 대한 부분을 가지고 실험을 진행하였고 이를 기반으로 국내의 모 기업에서 개발된 새로운 EVA를 테스트 하여 성능을 평가해 보았다. EVA의 경우 모듈에서 봉지재의 종류 중 backsheet, glass와 같이 매우 중요한 역할을 하는 부분에 속하며 Delamination의 방지와 내구성에 매우 큰 영향을 미치는 소재이다. 지금까지 모듈 업체들이 20년의 보증기간을 두고 있지만 현재는 25~30년의 보증기간을 목표로 연구를 하고 있다. 이를 위해서는 EVA의 성능이 더욱 향상되어야 하며 그래서 EVA의 개발이 중요하다고 하는 것이다. 또한 셀의 앞과 뒤부분의 EVA소재를 달리하여 효율향상에도 영향을 미치고 있는 중요한 소재 부분이다. UV가 내구성을 약하게 하는 원인이 되지만 효율을 향상시키는 요소가 되기도 한다. 그래서 예전에는 UV를 무조건 차단하기 위한 노력을 하였지만 현재는 UV를 받아들이면서도 내구성을 키울 수 있는 기술력에 더욱 많은 노력을 하고 있는 것이다.

3.1 실험 방법

우선 EVA를 간이모듈형태로 제작을 한다. 간이모듈이란 태양전지 모듈에서 셀과 리본 부분이 없는 형태이다. Fig. 2의 형태와 Glass – EVA – EVA - backsheet의 형태로 제작을 하게 된다.

Lamination의 방식은 일반 모듈회사를 통해서 제작되는 온도조건에서 진행을 하였다. 간이 모듈의 size는 6×10cm의 크기로 제작이 되었으며 Laminator를 거친 후 Fig. 3과 같은 형태로 제작이 되게 된다.

샘플 제작시 backsheet의 황변 현상에 의한 ΔYI값변화를 없애기 위해서 이형필름을 EVA와 backsheet사이에 삽입하여 분리가 쉽게 하였다.

제작된 샘플은 UV 장비에 Fig. 4와 같이 설치를 하고 UV를 15kW, 30kW를 조사하게 된다. 이 때, 조사실험 방법은 IEC 61215에서 정한 조사방식을 기준으로 실험을 하게 된다. 이는 향후 EVA제품이 모듈에 적용이 되어 test를 진행하게 되었을 때 간이 모듈에 대한 data와 비교하기 위해서이다.

Fig. 2. EVA Test Sample

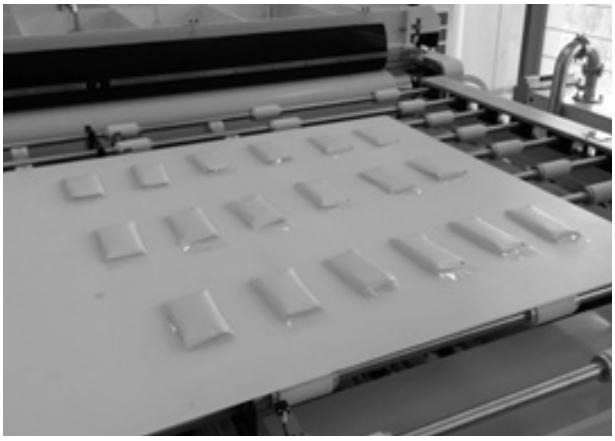

Fig. 3. Lamination 후 sample

Fig. 4. UV test

Fig. 5. YI측정 장비

Fig. 6. Module simuator

Laminator와 UV 시험 장비의 경우 국내의 장비 제작업체를 통해서 제작된 장비이다. 모듈 타입의 제작장비와 실험장비를 활용하여 실험을 진행하였다.

UV 조사된 샘플은 spectrophotometer를 통하여 YI (Yellow Index)값을 측정하게 된다. YI란 황색을 얼마나 강하게 나타나는 정도를 나타내는 값이다. 이는 모듈에서 황변현상을 측정하기 위한 값으로 쓰인다. 따라서 이 YI값이 높거나 실험의 전후에 YI값의 변화가 크게 나타날 경우 상대적으로 나쁜 결과를 나타내게 되는 것이다. 이번 실험에서는 Fig. 5에서 보이는 KONICA MINOLTA사의 Spectrophotometer CM-700d의 장비를 사용하였다.

추가 적으로 모듈 형태의 UV 시험 data를 위하여 4개의 양산모듈을 각각 15kW, 30kW의 UV 조사 실험하였다. 모듈 단위에서는 YI값이 backsheet에 따라 변화가 가능하기 때문에 테스트 전 후 의 모듈 출력을 통해서 측정을 하게 된다. 여기에는 Fig. 6의 모듈 시뮬레이터를 사용하였으며 spire사의 4600SLP를 사용하였다.

Table 2. 비교군의 UV 시험 후 YI 결과

UV조사량	제 조 사	평균(YI)
0kWh/m^2	A社	0.74
	B社	0.76
	C社	0.23
15kWh/m^2	A社	1.66
	B社	3.26
	C社	1.62
30kWh/m^2	A社	2.41
	B社	5.16
	C社	3.02

Table 3. 비교군의 UV 시험 후 ΔYI 결과

UV조사량	제 조 사	평균(ΔYI)
0kWh/m^2	A社	0
	B社	0
	C社	0
15kWh/m^2	A社	0.92
	B社	2.5
	C社	1.39
30kWh/m^2	A社	1.67
	B社	4.4
	C社	2.79

3.2 EVA Data base

본 연구에서는 EVA 샘플과의 비교군으로 사용하기 위해서 해외에서 많이 사용되고 있는 3개의 EVA를 선택하였다. 각각 어느 정도 해외시장에서 인지도를 확보한 EVA이기에 비교군으로 선택을 하게 되었다. 테스트의 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2 결과에서 보게 되면 B사의 제품의 YI값이 나쁘게 나타나는 것으로 보인다. 하지만 단순하게 YI값이 높은 것이 나쁘다는 것이 사실이긴 하다. YI값이 높다는 것은 그만큼 태양빛이 투과되는 것을 방해한다는 의미가 되기 때문이다. 하지만 위의 값을 가지고 판단하게 되면 조금 오류가 생기게 된다. UV실험 전 조사량에 대한 시작부의 YI값이 다르기 때문이다. YI값이 높은 것이 단순히 나쁜 제품이 아니고 일정 조사량에 의해서 ΔYI값이 나쁜 것이 진정으로 나쁜 값으로 판별이 되어야 하기 때문이다. 초기의 값은 육안으로 혹은 투과율로는 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 실험을 진행할수록 ΔYI이 커진다는 것은 그만큼 내구성에 문제가 될 여지가 많다는 것을 의미하게 된다. 따라서 Table 2의 결과를 ΔYI의 형태로 새로 나타내게 되면 Table 3와 같은 결과가 나타나게 된다. 이 data가 비로서 타 EVA와 비교하기 위한 정보가 되는 것이다.

Table 4. 해외양산모듈의 UV 시험 후 출력 감소율

UV조사량	제 조 사	출력감소율
0kWh/m^2	가社	0.000
	나社	0.000
	다社	0.000
	라社	0.000
15kWh/m^2	가社	0.802
	나社	0.824
	다社	0.152
	라社	0.876
30kWh/m^2	가社	0.729
	나社	0.708
	다社	0.260
	라社	0.535

Table 5. 국내 개발품 EVA에 대한 실험 후 결과

UV조사량	제 조 사	평균(ΔYI)
0kWh/m^2	D社	0
15kWh/m^2	D社	0.94
30kWh/m^2	D社	1.18

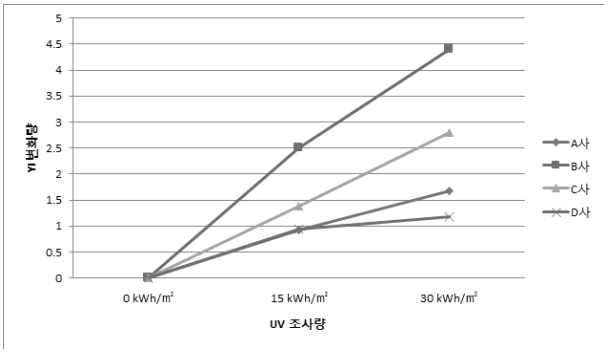

Fig. 7. 비교 결과

추가적으로 실시된 해외양산 모듈 4종에 대한 UV 조사 결과를 Table 4에 나타내었다.

모듈의 경우는 시험 후 출력의 감소율을 가지고 성능을 판별하게 된다. 여러 요소들이 종합적으로 영향을 나타내는 것이 바로 발전 성능이 되기 때문이다. ΔYI의 변화에 따른 발전 성능의 감소율에 대한 전반적인 비교가 가능하다. 즉 ΔYI 값이 약 2정도 증가할 경우 발전 성능 감소율이 약 1.0%~1.5%정도의 감소율을 보인다고 예측할 수 있는 부분이다. 이는 많은 data의 ΔYI값과 UV조사에 의한 모듈 발전성능 감소율을 비교 분석할 경우 예측이 가능할 수 있을 것이다. 향후 EVA와 실제 EVA가 사용된 모듈을 이렇게 실험을 하게 되면 YI에 따른 출력율 감소에 대한 상관관계를 볼 수 있게 되는 것이다.

3.3 Sample EVA 실험

이번 실험을 위해서 국내 기업에서 사막형 모듈에 적용을 위해 개발된 EVA를 선택하여 실험을 진행해 보았다. 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

비교군과 같이 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같다.

개발품이 좋은 결과를 나타내는 만큼 모듈로 제작이 되었을 경우 기존의 제품에 비해 사막환경이라는 더욱 가혹한 조건에서 내구성이 향상될 것으로 기대된다.

4. 결 론

국내 개발된 EVA의 경우 기존의 EVA 결과에 상회하는 값을 가지고 있다. 이는 현재 국내에서 생산되는 EVA가 좋은 품질의 EVA를 개발한다는 의미도 포함을 한다. 하지만 무조건 낙관적으로 보는 것은 위험하다. 비교 대상인 해외 EVA의 경우 이미 개발되어 상용화 되어진 제품이며 각 사에서는 현재에도 새로운 개발품이 준비되고 있을 것이다. 이와 비교를 할 경우에는 항상 최상의 값을 가진다는 보장이 없는 것이다. 따라서 정보은행의 data는 계속적으로 최신의 제품에 대한 정보를 준비를 해야 하고 이를 바탕으로 제품의 성능을 판별하는 기준을 마련해야할 것이다.

이번 연구에서의 EVA외에도 backsheet, 강화유리, 리본, 셀, 프레임 등등 정말 많은 부분에서의 data가 필요하다는 것을 알 수가 있다. 소재/부품 외에도 완성품인 모듈단위에서의 정보도 중요한 부분을 차지하게 될 것이다. 또한 각 소재에 따른 검증된 테스트기준이 제시가 되어야할 것이며 테스트로 얻은 정보를 어떻게 활용할 것인지에 대한 방안도 추가적으로 논의가 되어야한다. 특히 어느 특정 업체의 이름이 거론된 data base를 사용하는 것은 문제가 될 소지가 많다. 그래서 평균적인 상·중·하 레벨의 기준을 만들고 이를 통해서 새로운 개발품에 대한 정보를 제공해 주는 것이 필요하다.

또한 이렇게 만들어진 기준은 계속적으로 사용하는 것이 아니라 태양광 산업이 발전하는 속도에 맞게 계속적으로 수정 보완이 이루어져야 한다. 지금 태양광 산업은 1년이 다르게 발전하고 있는 상황이다. 이에 3년, 5년씩 낡은 data를 가지고 만든 기준을 계속 사용하는 것은 잘못된 방법이 될 것이다. 물론 그러한 낡은 data들이 불필요한 것이라는 의미가 아니라 이러한 data의 누적을 통해서 개발되는 제품들의 발전 경향을 알아보고 더 나은 제품을 만들어 가는데 필요한 data가 될 것이다. 이는 단순 측정값만을 가지고 보는 수준이 아니라 제품의 정보에 대한 분석이 같이 이루어져야 한다는 의미가 된다. 정보은행이 되는 곳에서는 새로 나오는 제품에 대해 계속적인 측정이 필요할 것이고 이를 기반으로 고품질의 정

보를 제공하는 정보은행이 되어야 하며 기업들은 이 제공되는 정보에 대한 충분한 지원과 믿음이 상호간에 이루어질 때 비로소 정보은행이 신뢰성을 가지게 될 것이다.

후 기

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No.2013T100200126).

References

1. U. S. Department of Energy, “2010 Solar Technologies Market Report”, November 2011.
2. EPIA, “Global Market Outlook for Photovoltaic until 2014”, May 2010.
3. John H. Wohlgemuth and Sarah Kurtz, “Reliability Testing Beyond Qualification as a Key Component in Photovoltaic’s Progress Toward Grid Parity ” IEEE International Reliability Physics Symposium Monterey, California, 2011.
4. IEC 61215 “Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval”.