

भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका  
वर्ष 27 अंक (1&2) जून एवं दिसम्बर 2019 पृ. 7-19

## सौर फोटोवोल्टाइक प्रणाली में उपयोग की जाने वाली लेड-एसिड बैटरी के लिए चार्ज की अवस्था का आकलन

सोनू कुमार एवं सी सेतुरामन\*

सीएसआईआर-संरचनात्मक अभियांत्रिकी अनुसंधान केंद्र

तारामणी, चेन्नई 600 113 (तमिलनाडु)

\*सीएसआईआर-केंद्रीय वैज्ञानिक उपकरण संगठन, सीएसआईआर मद्रास कॉम्प्लेक्स

तारामणी, चेन्नई 600 113 (तमिलनाडु)

**सारांश :** लेड-एसिड बैटरी की चार्ज की अवस्था का सही आकलन, सौर फोटो वोल्टाइक प्रणाली के कुशल और विश्वसनीय उपयोग के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। बैटरी की चार्ज की अवस्था के आकलन के लिए मुख्य रूप से चार विधियाँ हैं- रासायनिक, वोल्टेज, विद्युत धारा एकीकरण और कल्माण निस्पंदन। इस वर्तमान अध्ययन में सौर ऊर्जा कंडिशनिंग यूनिट (एसपीसीयू) द्वारा संकेतित चार्ज की अवस्था को संदर्भ के रूप में लिया गया, और प्रत्येक 5% चार्ज की अवस्था में कमी पर, अन्य प्राचल जैसे- i) इलेक्ट्रोलाइट की विशिष्ट घनत्व ii) बैटरी टर्मिनल वोल्टेज iii) एम्पियर आवर और iv) प्रतिरोधी लोड को प्राप्त ऊर्जा का मान दर्ज की गई। इस दर्ज किये गये मानों के आधार पर चार्ज की अवस्था का आकलन किया गया। विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, एम्पियर आवर और ऊर्जा के अनुसार आकलित चार्ज की अवस्था और संदर्भ चार्ज की अवस्था के अंतर के मानक विचलन (एसडी) की गणना की गई। प्राप्त मानक विचलन क्रमशः 6.17, 5.67, 0.33, 0.75 थे। बैटरी इलेक्ट्रोलाइट के लिए विशिष्ट घनत्व का मान बैटरी एसओसी प्रतिशत में कमी के साथ घटता है, विशिष्ट घनत्व का अधिकतम मान 100% एसओसी पर 1.23 पाया गया और न्यूनतम मान 20% एसओसी पर 1.14 पाया गया। एसओसी में कमी के साथ बैटरी टर्मिनल वोल्टेज भी कम हो गया, 100% एसओसी पर 24.85V से घटकर 20% एसओसी पर 22.4V हो गया। चार्जिंग के दौरान बैटरी द्वारा संग्रहीत ऊर्जा 3.65 kWh, और बैटरी डिस्चार्जिंग से लोड को प्राप्त ऊर्जा 3.245 kWh थी। सौर पैनल, लेड-एसिड बैटरी और संयुक्त सौर फोटो वोल्टाइक प्रणाली की दक्षता क्रमशः 12.79%, 88.9% और 9.68% थी। यह पाया गया कि लेड-एसिड बैटरी का एसओसी अधिक सटीक होगा जब विद्युत धारा एकीकरण (Ah) के आधार पर अनुमान लगाया जाए; ऊर्जा पर आधारित एसओसी अनुमान भी स्वीकार्य है क्योंकि दोनों के लिए मानक विचलन 1 से कम है। इसलिए, इस जांच के माध्यम से कह सकते हैं कि एम्पियर ऑवर (Ah) या ऊर्जा (kWh) माप के आधार पर एसओसी का आकलन विशिष्ट घनत्व और वोल्टेज विधियों से अधिक उपयुक्त है।

## Estimation of state of charge of lead-acid battery used in solar photovoltaic system

Sonu Kumar & C Sethuraman\*

CSIR-Structural Engineering Research Centre

Taramani, Chennai 600 113 (Tamilnadu)

CSIR-Central Scientific Instruments Organisation, CSIR Madras Complex

Taramani, Chennai 600 113 (Tamilnadu)

### Abstract

An accurate estimation of State of charge (SOC) of the lead-acid battery is of paramount importance for the efficient and reliable operation of solar photovoltaic (SPV) system. There are mainly four methods used for estimating SOC of the battery, viz. chemical, voltage, current integration and kalman filtering. In this present study, the SOC as indicated by the solar power conditioning unit (SPCU) was taken as reference and at every 5% SOC reduction, the other parameters such as- i) specific gravity of electrolyte, ii) battery terminal voltage, iii) (Ampere Hour) Ah and iv) energy delivered to the resistive load were recorded. Based on this recorded values the SOC was predicted. The standard deviation (S.D.) of the difference of predicted SOC to the reference SOC was calculated based on specific gravity, Voltage, Ah and energy. The SD obtained was 6.17, 5.67, 0.33, 0.75 respectively. The specific gravity value for the battery electrolyte decreases with the decrease in the battery SOC%, the maximum value of SG at 100% SOC was 1.23 and the minimum at 20% SOC was 1.14. The terminal voltage was also got reduced with the

reduction in SOC, from 24.85V at 100% SOC to 22.4V at 20% SOC. The energy stored by the battery during charging was 3.65 units and the energy delivered from the battery to the load was 3.245 units. The efficiency of solar panel, lead-acid battery and the combined SPV system was 12.79%, 88.9% and 9.68% respectively. It was found that the SOC of the lead-acid battery would be more accurate when it is estimated based on current integration i.e., Ah, the SOC estimation based on energy is also acceptable since the SD for both is less than 1. Hence, through this investigation we can say that SOC prediction based on Ah or kWh measurement is more appropriate than specific gravity and voltage methods.

### प्रस्तावना

एक सामान्य स्टैंड-अलोन सौर ऊर्जा प्रणाली में सौर पैनल, बैटरी, सौर ऊर्जा कंडीशनिंग इकाई और लोड शामिल होते हैं। सौर पैनलों द्वारा उत्पादित ऊर्जा, सौर ऊर्जा कंडीशनिंग इकाई के माध्यम से बैटरी तक पहुंच जाती है। लेड-एसिड बैटरी ज्यादातर सौर प्रणालियों में ऊर्जा भंडारण उपकरण के रूप में उपयोग की जाती हैं। कौनसी बैटरी तकनीक, किस प्रकार के उपयोग के लिए उपयुक्त होगी, यह कई मान दंडों जैसे कि मजबूती, लागत, जीवन चक्र, शक्ति घनत्व, तापमान, और निर्वहन की गहराई पर आधारित है<sup>1,2</sup>। इन अनुप्रयोगों के लिए लेड-एसिड बैटरी अधिकतर पसंद की जाती है क्योंकि यह सस्ती, आसानी से उपलब्ध है, नॉमिनल वोल्टेज और उच्च दक्षता पर संचालित की जा सकती है<sup>9,10</sup>।

चार्ज की अवस्था को बैटरी के लिए ईंधन संकेतक के समतुल्य माना जा सकता है। आमतौर पर, यह प्रतिशत के रूप में दर्शाया जाता है। जब बैटरी पूरी तरह से चार्ज होती है तो हम कह सकते हैं कि चार्ज की अवस्था का मान 100% है और जब बैटरी पूरी तरह से डिस्चार्ज हो जाती है तो हम कह सकते हैं कि चार्ज की अवस्था का मान 0% है। आमतौर पर, चार्ज की अवस्था को सीधे मापा नहीं जा सकता है, लेकिन इसका प्रत्यक्ष माप चर से अनुमान लगाया जा सकता है<sup>5</sup>। ऑनलाइन और ऑफलाइन दोनों तकनीक से चार्ज की अवस्था का अनुमान लगाया जा सकता है। ऑफलाइन विधि कूलम्बस गिनती पर आधारित है जो अधिक सटीक है लेकिन इसके लिए आम तौर पर बैटरी कार्य करने में अवरोध की आवश्यकता होती है। इसलिए, चार्ज की अवस्था के अनुमान की, ऑनलाइन विधियां जैसे रासायनिक, वोल्टेज, विद्युत धारा एकीकरण, कल मान फ़िल्टरिंग आदि का उपयोग किया जाता है<sup>4,5,14</sup>।

बैटरी के चार्ज की अवस्था के अनुमान के लिए रासायनिक विधि का उपयोग उन बैटरियों के लिए किया जा सकता है, जिनके इलेक्ट्रो लाइट एक्सेसिबल हो। चार्ज की अवस्था के अनुमान के लिए बैटरी इलेक्ट्रोलाइट पीएच (pH) या विशिष्ट घनत्व को मापा जा सकता है। इलेक्ट्रोलाइट के विशिष्ट घनत्व को, पानी की घनत्व के सापेक्ष उस पदार्थ के घनत्व के रूप में

परिभाषित किया जा सकता है। विशिष्ट घनत्व मानों से चार्ज की अवस्था के आकलन के लिए, विभिन्न एसओसी स्थितियों पर विशिष्ट घनत्व मानों की एक लुक-अप तालिका की आवश्यकता होगी। हाथ में उठा ले जाने लायक एनालॉग उपकरण भी विशिष्ट घनत्व मापने के लिए उपलब्ध है।

बैटरी टर्मिनलों के बीच की वोल्टेज भिन्नताओं की तुलना ज्ञात चार्ज और डिस्चार्ज चक्र से करके चार्ज के अवस्था का आकलन के लिए वोल्टेज विधि का उपयोग किया जा सकता है। बैटरी टर्मिनल के बीच वोल्टेज का अंतर, लोड या विद्युत धारा के मानों से भी प्रभावित होता है। इसलिए, वोल्टेज विधि का उपयोग करते समय बैटरी विद्युत धारा प्रवाह के आनुपातिक सुधार टर्म लगाने की जरूरत होती है। चार्ज के अवस्था का आकलन के लिए बैटरी के खुले सर्किट वोल्टेज का मान लिया जाना चाहिए। विद्युत धारा एकीकरण विधि कूलम्ब गिनती पर आधारित है। समय के साथ बैटरी विद्युत धारा की गिनती से कूलम्ब गिनती पाया जा सकता है<sup>7,8,11</sup>। लेकिन, विद्युत धारा एकीकरण विधि द्वारा विश्वसनीय अनुमान प्राप्त करने के लिए नियमित रूप से चार्ज की अवस्था प्रतिशत के पुनः अंशांकन की आवश्यकता होती है। संयुक्त वोल्टेज और विद्युत धाराविधियों का उपयोग चार्ज के अवस्था के बेहतर अनुमान के लिए अलग-अलग वोल्टेज या विद्युत धारा विधि से अच्छा परिणाम देता है। इसके आगे, वोल्टेज और विद्युत धारा विधियों की कमियों को काल्मैन फ़िल्टरिंग विधि का उपयोग करके हटाया जा सकता है, जो विद्युत मॉडल पर आधारित है और चार्ज की अवस्था का अधिक सटीक अनुमान लगा सकती है<sup>4,5,14</sup>।

बैटरी के साथ समीक्षात्मक स्थितियां तब उत्पन्न होती हैं जब इसे अत्यधिक चार्ज या डिस्चार्ज किया जाता है। ओवर-डिस्चार्ज तब होता है जब बैटरी से अत्यधिक ऊर्जा लोड को प्रदान की जाती है, वोल्टेज बहुत कम स्तर तक गिर जाती है और उसके बाद बैटरी को मूल क्षमता तक पुनः चार्ज करना मुश्किल हो जाता है और बैटरी का जीवनकाल भी कम हो जाता है<sup>12</sup>।

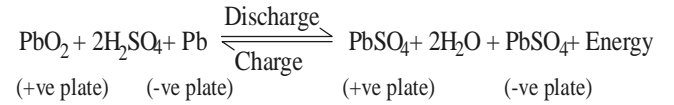
बैटरी का कुशल संचालन चार्ज के अवस्था के अनुमान की सटीकता से सहसंबंधित है। एसओसी से, उपयोगकर्ताओं को

बैटरी की स्वास्थ्य की स्थिति (एसओएच) का भी पता चल सकता है<sup>17</sup>। कई शोधकर्ता चार्ज के अवस्था और इसकी क्षमता के सटीक अनुमान की सहायता से बैटरी के जीवनकाल में सुधार करने के लिए काम कर रहे हैं<sup>13</sup>। बैटरी का एसओसी तापमान, वोल्टेज, विद्युत धारा, चार्जिंग और डिस्चार्जिंग दरों जैसे कई मानकों पर निर्भर है। इसलिए, एसओसी के अनुमान की तकनीक में इसकी अपनी सीमाएं और कमियां हैं। ओपन सर्किट वोल्टेज विधि सरल और सटीक है लेकिन इसके उपयोग के लिए लोड से लंबे समय तक बैटरी के डिस्कनेक्शन की आवश्यकता होती है और यह विद्युत धारा में उतार-चढ़ाव होते हैं, इसीलिए यह भी ज्यादा उपयुक्त नहीं है<sup>6</sup>। टर्मिनल वोल्टेज विधि में, टर्मिनल वोल्टेज के आधार पर एसओसी का आकलन मुश्किल है<sup>9</sup> क्योंकि टर्मिनल वोल्टेज विद्युत धारा डिस्चार्जिंग दरों के साथ बदलता है<sup>15</sup>। एम्पियर-आवर विधि के, मुख्य नुकसान बैटरी विद्युत धारा के मानों में एक संचित त्रुटि है<sup>9</sup> विद्युत धारा माप की सटीकता और इसके लिए एसओसी का प्रारंभिक मान आवश्यक है; और सटीक एसओसी प्राप्त करने के लिए नियमित रूप से इसका कैलिब्रेटेड होना आवश्यक है। कल मान फ़िल्टरिंग एल्गोरिद्म में, प्रमुख खामी यह है कि चार की संख्या बढ़ने पर इसका मान साथ-साथ बढ़ता है और इसकी गणना अत्यधिक जटिल हो जाती है<sup>13</sup>।

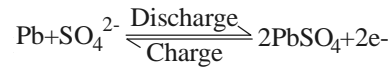
इसलिए, एसपीसीयू द्वारा संकेतित संदर्भ एसओसी के अनुसार विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, एम्पियर आवर और ऊर्जा को मापने की आवश्यकता है, इसके बाद अनुमानित एसओसी की गणना की जाये और फिर संदर्भ एसओसी और अनुमानित एसओसी के बीच अंतर का मानक विचलन ढूँढकर, यह पता लगाया जा सकता है कि एसओसी अनुमान के लिए कौनसी विधि सबसे अच्छी होगी।  
**लेड-एसिड बैटरी का कार्य सिद्धांत :** यह इलेक्ट्रॉनों के रूप में स्थितिज ऊर्जा (वोल्टेज) को संग्रहीत करने के लिए उपयोग किए जाने वाला इलेक्ट्रोकेमिकल ऊर्जा भंडारण उपकरण है। एक बैटरी सेल में दो इलेक्ट्रोड होते हैं जिसमें एक नकारात्मक इलेक्ट्रोड, जिसे एनोड (Pb), कहा जाता है और दूसरा सकारात्मक इलेक्ट्रोड, जिसे कैथोड कहा जाता है (PbO<sub>2</sub>)। नकारात्मक इलेक्ट्रोड स्पंजलेड से बना होता है ताकि सल्फ्यूरिक एसिड इलेक्ट्रोलाइट के साथ प्रतिक्रिया के लिए उपलब्ध सतह क्षेत्र को बढ़ाया जा सके। लेड (Pb) और लेड-डाइऑक्साइड (PbO<sub>2</sub>) विद्युत के अच्छे चालक होते हैं। एनोड के इलेक्ट्रॉन सकारात्मक कैथोड के लिए आकर्षित होते हैं, लेकिन सूक्ष्म छिद्र पूर्ण विभाजक द्वारा अलग किए होते हैं। जब सेल में फीका इलेक्ट्रोलाइट सल्फ्यूरिक एसिड (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) डाला जाता है, तो बैटरी सक्रिय हो जाती है, और इलेक्ट्रोलाइट में जलीय आयनों (H<sup>+</sup> और O<sub>4</sub><sup>2-</sup>) सेल के सकारात्मक और नकारात्मक

क्षेत्रों की तरफ इकट्ठे हो जाते हैं। इलेक्ट्रोलाइट के भीतर विद्युत का संचालन सकारात्मक चार्ज हाइड्रोजन आयनों और नकारात्मक चार्ज सल्फेट आयनों के प्रवासन के माध्यम से होता है। रासायनिक प्रतिक्रिया ऑक्सीडेशन-रिडक्शन (रेडॉक्स) घोल के आयनों से चार्ज, इलेक्ट्रोड तक इलेक्ट्रॉनों के स्थानांतरण से होता है।

**लेड-एसिड बैटरी की समग्र रासायनिक प्रतिक्रिया नीचे दिखायी गयी है:**

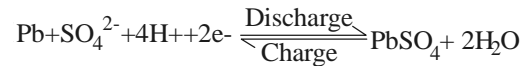


नकारात्मक इलेक्ट्रोड पर होने वाली प्रतिक्रियाएं:



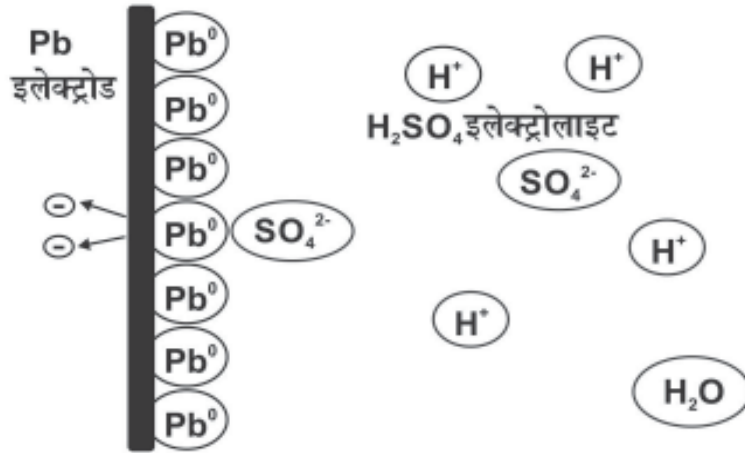
उपरोक्त चित्र-1 में, चार्ज सल्फेट आयन (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Pb इलेक्ट्रोड की सतह पर चार्ज-विहीन Pb परमाणु तक पहुंचता है। Pb इलेक्ट्रोड पर, Pb परमाणु दो इलेक्ट्रॉनों को मुक्त कर आयनित हो जाता है और सल्फेट आयन के साथ आयनिक बंधन बनाता है। यह अभिक्रिया कुल E<sup>0</sup> = 0.356 eV ऊर्जा मुक्त करती है। यह मानक स्थितियों (तापमान = 298°K, मोलरता = 1 मोलर) के तहत “गिब्स मुक्त ऊर्जा” है। जलीय सल्फेट आयन का चार्ज लेड इलेक्ट्रोड पर दो संचालन इलेक्ट्रॉनों में स्थानांतरित हो जाता है और तदनुसार ऊर्जा मुक्त होती है।

सकारात्मक इलेक्ट्रोड पर होने वाली प्रतिक्रियाएं:

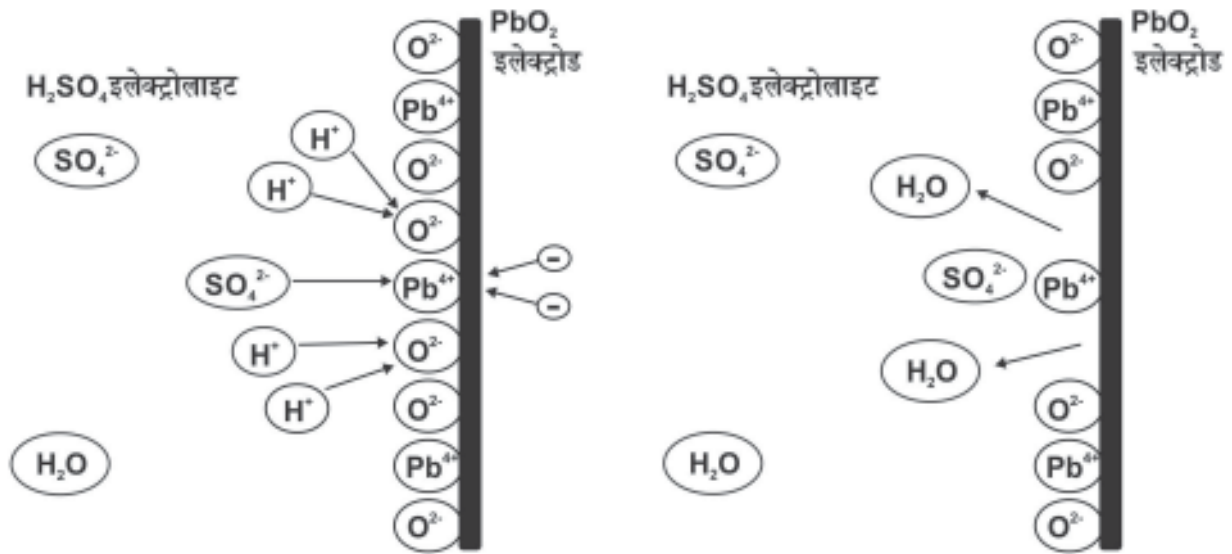


उपरोक्त चित्र-2 में चार्ज सल्फेट आयन (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) और हाइड्रोजन आयन (H<sup>+</sup>) लेड-डाइऑक्साइड इलेक्ट्रोड की सतह पर पहुंचते हैं। लेड परमाणु आयनीकरण बदलकर सल्फेट आयन के साथ आयनिक बंधन बनाता है। लेड की ऑक्सीकरण अवस्था +4 से बदलकर +2 हो जाती है। हाइड्रोजन आयन और ऑक्सीजन आयन आपस में प्रतिक्रिया कर दो पानी के अणुओं को घोल में मुक्त करते हैं। यह प्रतिक्रिया लेड-डाइऑक्साइड इलेक्ट्रोड में चालन बैंड से दो इलेक्ट्रॉनों को भी हटाती है।

यह प्रतिक्रिया कुल E<sup>0</sup>=1.685 eV ऊर्जा मुक्त करती है। दो इलेक्ट्रॉनों का चार्ज इलेक्ट्रोड से इलेक्ट्रोलाइट में स्थानांतरण हो जाता है।



चित्र 1- नकारात्मक इलेक्ट्रोड की सतह पर डिस्चार्ज के दौरान की संचालन प्रक्रिया



चित्र 2 - सकारात्मक इलेक्ट्रोड पर संचालन प्रक्रिया

इलेक्ट्रोड सतहों पर रासायनिक प्रतिक्रियाएं Pb इलेक्ट्रोड में इलेक्ट्रॉनों को पेश करती हैं, और PbO<sub>2</sub> इलेक्ट्रोड में इलेक्ट्रॉनों की कमी पैदा करती हैं। ये चार्ज वोल्टेज को बदलते हैं, और इस वोल्टेज अंतर के कारण बाहरी लोड के जुड़े होने पर, दोनों इलेक्ट्रोड के बीच विद्युत प्रवाह होता है। यह सिस्टम संतुलन तक पहुंचता है जब इलेक्ट्रॉन को जमा करने या निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा, प्रतिक्रिया द्वारा उत्पन्न ऊर्जा के बराबर हो जाती है।

तापमान= 298°K, और मोलरता=1 मोलर एसिड इलेक्ट्रोलाइट पर उत्पन्न होने वाली कुल वोल्टेज:

$$V_{\text{बैटरी}} = 0.356 + 1.685 = 2.041 \text{ V}$$

दोनों आधा प्रतिक्रियाएं इलेक्ट्रोड को लेड सल्फेट (एक निर्बल संचालक) से लेपित करती हैं और एसिड इलेक्ट्रोलाइट के गाढ़ेपन को कम करती हैं।

ऊपर दी गयी जानकारी से, हम यह कह सकते हैं कि बैटरी के डिस्चार्जिंग के दौरान, ऑक्सीकरण अवस्था में परिवर्तन के कारण इलेक्ट्रान जारी होते हैं, और लेडसल्फेट दोनों ही नकारात्मक और सकारात्मक टर्मिनल पर बनते हैं। व्यावहारिक मामलों में, कट-ऑफ वोल्टेज तक पहुंचने के बाद डिस्चार्जिंग रुक जाती है। बैटरी डिस्चार्जिंग के दौरान बैटरी टर्मिनल वोल्टेज धीरे-धीरे कम होती जाती है। अंतर्निहित रासायनिक प्रतिक्रियाओं और विभिन्न बाहरी लोड के कारण, बैटरी की अधिकतम क्षमता धीरे-धीरे

समय के साथ घटती जाती है<sup>18</sup>। यदि बैटरी को विस्तारित अवधि के लिए डिस्चार्ज की स्थिति में रखा जाता है, तो बड़े लेड सल्फेट क्रिस्टल बढ़ सकते हैं, और फिर वापस पहले वाली स्थिति में जाना मतलब फिर से लेड बनना बहुत मुश्किल हो जाता है, जो बैटरी क्षमता को स्थायी रूप से कम कर देता है।

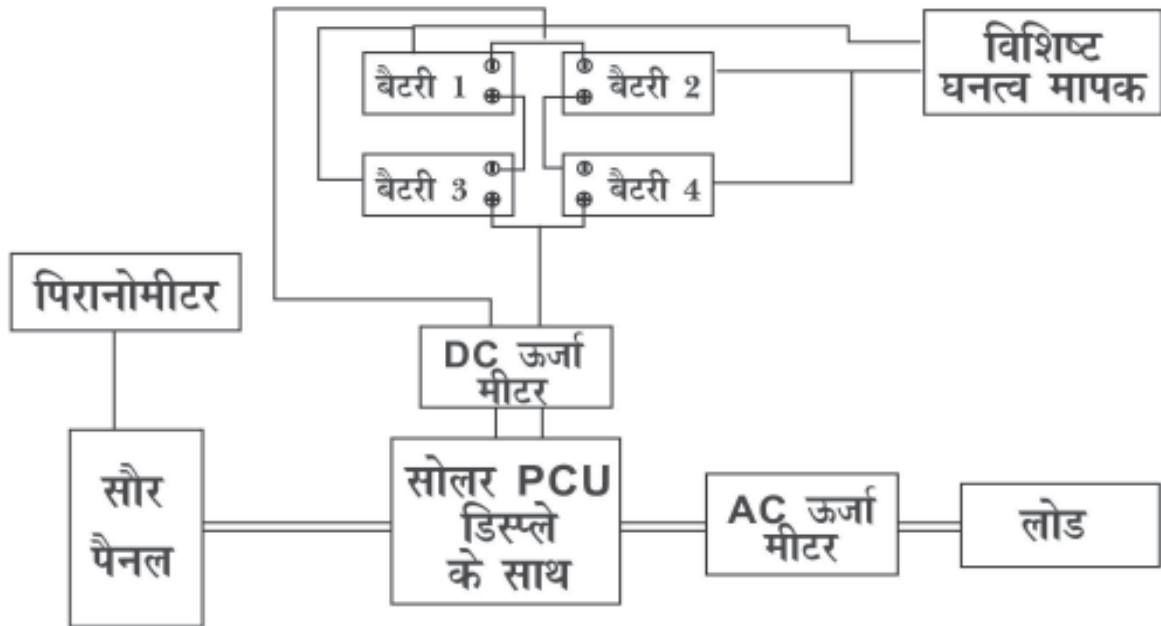
**चार्जिंग :** इलेक्ट्रिकल पावर स्रोत मतलब सौर पैनल का लेड-एसिड बैटरी के साथ कनेक्शन इलेक्ट्रॉन को सकारात्मक (PbO<sub>2</sub>) से नकारात्मक टर्मिनल (Pb) इलेक्ट्रोड तक प्रवाह करने के लिए मजबूर करता है। यह इलेक्ट्रोड पर चार्ज और वोल्टेज बढ़ाता है। रासायनिक प्रतिक्रियाएं विपरीत दिशा में संचालित होती हैं, जिससे विद्युतीय ऊर्जा रासायनिक संग्रहीत ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। जब बैटरी चार्ज की जाती है, तब इलेक्ट्रोड पर लेड सल्फेट कोटिंग हटती जाती है और एसिड इलेक्ट्रोलाइट गाढ़ा होता जाता है।

**डिस्चार्जिंग :** लेड-एसिड बैटरी के साथ एक विद्युत लोड का संयोजन इलेक्ट्रॉनों को नकारात्मक से सकारात्मक टर्मिनल यानी Pb इलेक्ट्रोड से PbO<sub>2</sub> इलेक्ट्रोड तक प्रवाह करने की अनुमति देता है। यह इलेक्ट्रोड पर चार्ज और वोल्टेज दोनों को कम कर देता है। रासायनिक प्रतिक्रियाएं आगे बढ़ने में सक्षम होती हैं, नए इलेक्ट्रॉन उत्पन्न करती है और बाहरी

विद्युत लोड को विद्युत शक्ति प्रदान करती है। जब बैटरी को डिस्चार्ज किया जाता है, इलेक्ट्रोड लेड सल्फेट के साथ लेपित होते जाते हैं और एसिड इलेक्ट्रोलाइट कमजोर होता जाता है।

### सामग्री एवं विधि

इस वर्तमान अध्ययन में लेड-एसिड बैटरी के चार्ज की अवस्था का आकलन के लिए, हमने सौर पीवी पैनल 500W (250W क्षमता के दो पैनल) और 100 Ah रेटिंग के चार ट्यूबलर लेड-एसिड बैटरी (दो शृंखला में और दो समानांतर में) का उपयोग किया। इसके अलावा, हमने बैटरी बैंक से वितरित होने वाली ऊर्जा के मापन के लिए, EDC 1100 डीसी एनर्जी मीटर का उपयोग किया। एसी वोल्टेज, विद्युत धारा, पावर और ऊर्जा को मापने के लिए रिश मास्टर 3428 (RISH master 3428) का उपयोग किया। सेलसेफ हाइड्रोमीटर CBH002 एक हैंडहेल्ड पोर्टेबल मीटर का इस्तेमाल इलेक्ट्रोलाइट की विशिष्ट घनत्व को मापने के लिए किया गया था। पिरानोमीटर का उपयोग पूरे दिन 500W सौर पीवी पैनलों पर गिरने वाले सौर विकिरण को मापने के लिए किया गया था। सौर पैनलों द्वारा बैटरी बैंक को दी गयी उत्पन्न ऊर्जा को सौर ऊर्जा कंडीशनिंग यूनिट (एसपीसीयू) द्वारा मापा गया था। बैटरी बैंक को 400W एसी प्रतिरोधी लोड के साथ डिस्चार्ज किया गया था। सीएसआईआर-सीएसआईओ, चेन्नई इकाई में इस अध्ययन के लिए स्थापित समग्र एसपीवी सिस्टम नीचे दिये गये चित्र-3 में दिखाया गया है।



चित्र 3 – एसपीवी सिस्टम के लिए माप प्रणाली का ब्लॉक आरेख

**सौर ऊर्जा कंडीशनिंग यूनिट (एसपीसीयू) :** इस वर्तमान अध्ययन में उपयोग किया जाने वाला एसपीसीयू, चार्ज कंट्रोलर और इन्वर्टर का संयोजन है। एसपीसीयू को चित्र-4 (a, b, c) में दिखाया गया है, यह विभिन्न एसपीवी सिस्टम पैरामीटर जैसे की वोल्टेज, विद्युत धारा, ऊर्जा, बैटरी वोल्टेज, बैटरी चार्ज प्रतिशत आदि प्रदर्शित कर सकता है।

#### ट्यूबलर लेड-एसिड बैटरी के विनिर्देश:

मॉडल	:	पीएल-100
वोल्टेज	:	12V
क्षमता	:	100Ah
सेल आयाम	:	512x213x269 mm <sup>3</sup>
वजन (सूखी)	:	26 किलो
वजन (गीला)	:	41.1 किलो
इलेक्ट्रोलाइट वॉल्यूम	:	12.1 लीटर
<b>चार्ज सेटिंग्स:</b>		
ओवर वोल्टेज डिस्कनेक्ट	:	2.42V/सेल 27°C पर
विनियमन वोल्टेज	:	2.40V/सेल 27°C पर
कम वोल्टेज डिस्कनेक्ट	:	1.85V/सेल 27°C पर
लोड वोल्टेज रीकनेक्ट	:	2.02V/सेल 27°C पर
न्यूनतम चार्ज विद्युत धारा	:	0.05C एम्पियर

**ऊर्जा मीटर :** रिश 3428 एसी डिजिटल ऊर्जा मीटर, लोड को प्राप्त होने वाली ऊर्जा को मापने के लिए इस्तेमाल किया गया था। यह मीटर वोल्टेज, विद्युत धारा, आवृत्ति, पावर, ऊर्जा (एकित्व/रिएक्टिव/अप्पारेट) जैसे विद्युत मानकों को मापता है। प्रतिरोधी लोड से जुड़े रिश 3428 ऊर्जा मीटर की फोटो छवि चित्र-5(a) और 5(b) में दिखाया गया है।

#### रिश 3428 एसी ऊर्जा मीटर के विनिर्देश:

नॉमिनल इनपुट वोल्टेज	:	63.5/133/239.6/254V, लाइन-न्यूट्रल
	:	110/230/415/440V,
लाइन-लाइन		
नॉमिनल इनपुट विद्युत धारा	:	1 या 5A एसी आरएमएस
ऑपरेटिंग तापमान	:	-10 to +55°C
<b>परिशुद्धता:</b>		
वोल्टेज, विद्युत धारा, पावर	:	नॉमिनल मान का + 0.5%
ऊर्जा (kWh)	:	1%
पावर फैक्टर	:	एक का 1%
आवृत्ति	:	मध्य आवृत्ति का 0.15%

#### ईडीसी 1100 डीसी ऊर्जा मीटर का विनिर्देश:

इनपुट वोल्टेज	:	48V डीसी फैक्टरी डिफॉल्ट
इनपुट विद्युत धारा	:	एक/चार इनपुट विद्युत धारा (50mV, 75mV शंट)
सहायक आपूर्ति	:	80-300V एसी/डीसी, 40-70Hz
संचार	:	आरएस 485 इंटरफेस, मानक मोडबस आरटीयू प्रोटोकॉल
बर्डेन	:	4VA नॉमिनल
ऑपरेटिंग तापमान	:	-10 to +55°C
सटीकता स्तर	:	श्रेणी 1

**विशिष्ट घनत्व मापन :** विशिष्ट घनत्व आमतौर पर विभिन्न पदार्थों की सान्द्रण के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए उपयोग किया जाता है। यह किसी पदार्थ के घनत्व का, संदर्भ पदार्थ के घनत्व के सापेक्ष अनुपात है; समकक्ष, यह एक पदार्थ के

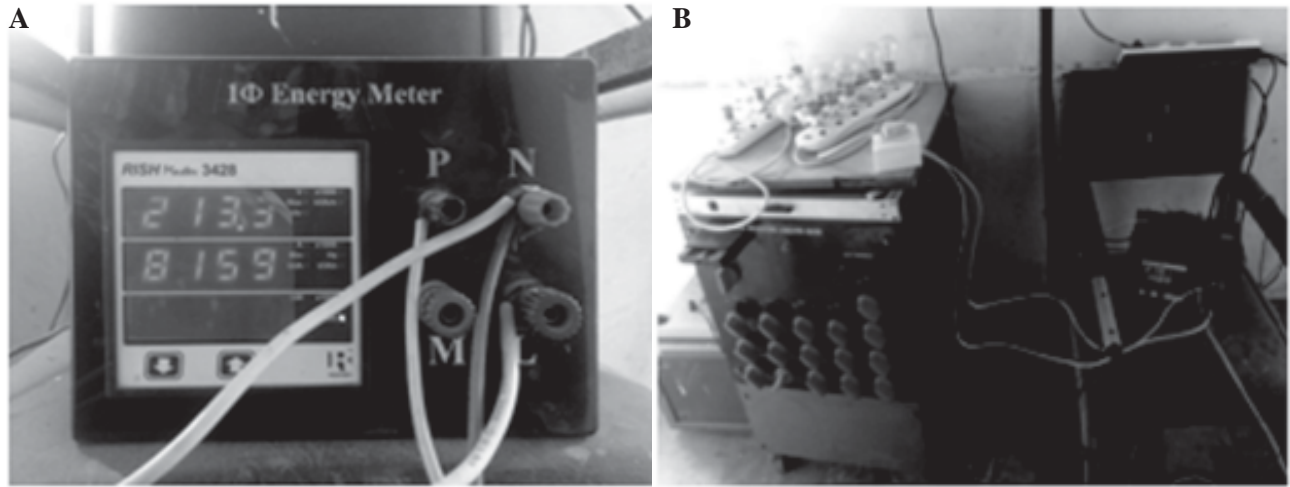


चित्र 4 – (a) 12V, 100Ah बैटरी बैंक (4 नं), 4(b) सौर ऊर्जा कंडीशनिंग यूनिट (एसपीसीयू), 4(c) बैटरी बैंक से जुड़े एसपीसीयू बैटरी वोल्टेज और एसओसी प्रतिशत को प्रदर्शित करता हुआ

द्रव्यमान और उसी आयतन के संदर्भ में पदार्थ के द्रव्यमान का अनुपात है। सेलसेफ हाइड्रोमीटर CBH002 के साथ इलेक्ट्रोलाइट के विशिष्ट घनत्व का मापन चित्र-6 में दिखाया गया है।

18 जून 2018, 01:51 pm से तीन दिन 20 जून 2018 को 3.36 pm तक बैटरी को चार्ज किया गया था। और इस अवधि के दौरान यह देखा गया था कि बैटरी न्यूनतम 20% एसओसी से अधिकतम 100% एसओसी तक पूरी तरह से चार्ज हो गयी थी। इस अवधि के दौरान, सौर विकिरण भी दर्ज किया गया ताकि एसपीवी पैनल पर गिरने वाली ऊर्जा और पैनल से बैटरी तक पहुंचने वाली ऊर्जा की तुलना की जा सके। बैटरी डिस्चार्ज अध्ययन 20 जून 2018 को 3.58 pm पर प्रारम्भ किया गया था

और यह 21 जून 2018 4.46 pm पर पूरा हो गया था। रात्रि के दौरान सिस्टम बंद रखा गया था। 400W प्रतिरोधी लोड के साथ कुल डिस्चार्जिंग का समय 516 मिनट पाया गया था। एसओसी का मान एसपीसीयू डिस्प्ले से संदर्भित किया गया था और प्रत्येक 5% एसओसी कमी पर, अन्य पैरामीटर जैसे कि i) इलेक्ट्रोलाइट की विशिष्ट घनत्व ii) डीसी वोल्टेज iii) एसी वोल्टेज, विद्युत धारा, पावर, ऊर्जा भी मापे गये थे। एक बार डिस्चार्ज चक्र के पूर्ण होने के दौरान सारी रीडिंग लेने के बाद, उपयोगकर्ता को S Gmax, SG<sub>min</sub>, V<sub>max</sub>, V<sub>min</sub>, Ah<sub>min</sub> (यह शून्य है), Ah<sub>max</sub>, kWh<sub>min</sub> (यह शून्य है), kWh<sub>max</sub> का मान लिख लेना चाहिए ताकि इसके बाद के चक्रों में बिना एसपीसीयू की मदद से सिर्फ विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, Ah या ऊर्जा का मापन करके एसओसी



चित्र 5 (a) – रिश 3428 ऊर्जामीटर, (b) – लोड से जुड़े ऊर्जामीटर



चित्र 6 – विशिष्ट घनत्व मापक

का अनुमान लगा सके। उपर्युक्त चार पैरामीटर में से किसी एक को मापकर किसी भी समय एसओसी का अनुमान लगाने के लिए निम्नलिखित सूत्रों का उपयोग किया जा सकता है।

**विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, Ah और kWh के आधार पर एसओसी (%) का आकलन:**

(i) विशिष्ट घनत्व के आधार पर आकलित SOC

$$\% = \text{SOC}_{\min} + \frac{\text{SG}_{\text{measured}} - \text{SG}_{\min}}{\text{SG}_{\max} - \text{SG}_{\min}} (\text{SOC}_{\max} - \text{SOC}_{\min}) \dots \text{Eq.1}$$

(ii) वोल्टेज के आधार पर

$$\text{आकलित SOC \%} = \text{SOC}_{\min} + \frac{\text{V}_{\text{measured}} - \text{V}_{\min}}{\text{V}_{\max} - \text{V}_{\min}} (\text{SOC}_{\max} - \text{SOC}_{\min}) \dots \text{Eq.2}$$

(iii) Ah के आधार पर

$$\text{आकलित SOC \%} = \text{SOC}_{\max} - \frac{\text{Ah}_{\text{measured}} - \text{Ah}_{\min}}{\text{Ah}_{\max} - \text{Ah}_{\min}} (\text{SOC}_{\max} - \text{SOC}_{\min}) \dots \text{Eq.3}$$

Eq.3

(iv) kWh के आधार पर

$$\text{आकलित SOC \%} = \text{SOC}_{\max} - \frac{\text{kWh}_{\text{measured}} - \text{kWh}_{\min}}{\text{kWh}_{\max} - \text{kWh}_{\min}} (\text{SOC}_{\max} - \text{SOC}_{\min}) \dots \text{Eq.4}$$

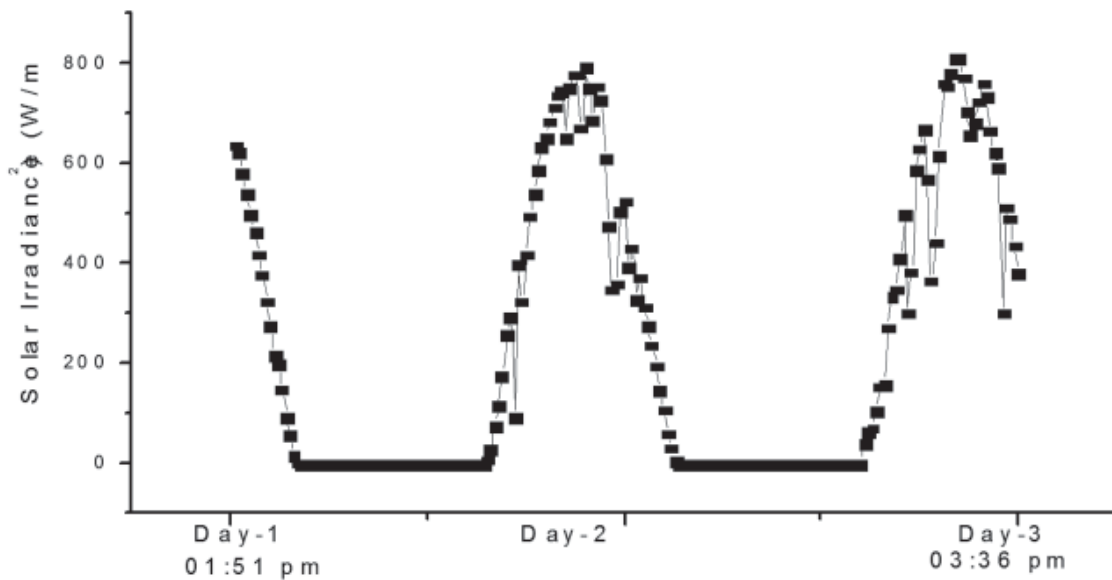
**परिणाम एवं विवेचना**

**सौर पीवी पैनलों की क्षमता :** इस अध्ययन के लिए, 250W के दो सौर पीवी पैनल, एचबीएल पावर सिस्टम्स लिमिटेड, मॉडल

एचबी-250W का उपयोग किया गया था। प्रत्येक सौर पैनल का आकार 0.95 मीटर×1.60 मीटर है। प्रत्येक सौर पैनल में, श्रृंखला में जुड़े 72 वर्गाकार सिलिकॉन सेल मौजूद हैं। प्रत्येक सेल का आकार 0.13 मीटर×0.155 मीटर है। सभी 72 सौर सेल का कुल क्षेत्रफल 1.45 m<sup>2</sup> है। इसलिए, दो सौर पैनल का कुल क्षेत्रफल 2.9 m<sup>2</sup> होगा।

500W सौर पीवी पैनल की दक्षता का पता लगाने के लिए, हमने बैटरी के 20% से 100% एसओसी तक चार्ज होने की अवधि के दौरान सौर विकिरण डाटा रिकॉर्ड किया था। इस अध्ययन के शुरु होने का तारीख और समय 18 जून 2018, 1.51 pm और अंत होने की तारीख और समय 20 जून 3.36 pm था। 20% एसओसी से 100% एसओसी तक बैटरी चार्ज करने में कुल 25 घंटे 45 मिनट (रात्रि के समय को छोड़कर) समय लगे थे। इस अवधि के दौरान का सौर विकिरण ग्राफ का प्लॉट चित्र-7 में दिखाया गया है।

इस अवधि के दौरान सौर विकिरण द्वारा दी गई ऊर्जा की गणना की गयी, जो 11.56 kWh/m<sup>2</sup> है, इसलिए 2.90m<sup>2</sup> सौर पैनल द्वारा प्राप्त ऊर्जा 33.52 kWh होगी। सारणी 1 के अनुसार, चार्जिंग के दौरान बैटरी बैंक द्वारा कुल संग्रहीत ऊर्जा 3.65 kWh थी। यदि एसपीसीयू की दक्षता को 85% माना जाए, तो सौर पैनल से एसपीसीयू को प्राप्त होने वाली ऊर्जा 3.65/0.85 = 4.29kWh होगी।



चित्र 7 – सौर विकिरण बनाम समय का प्लॉट



### सौर पैनल की दक्षता

$$= \text{एसपीसीयू को प्राप्त ऊर्जा/सौर विकिरण से प्राप्त ऊर्जा} \\ = (4.29/33.52) \times 100 = 12.79\%$$

24V, 200Ah रेटिंग के अनुसार, बैटरी द्वारा ऊर्जा वितरण की क्षमता =  $24 \times 200\text{Ah} = 4800\text{Wh}$

चूंकि, बैटरी को 100% से 20% तक डिस्चार्ज की गई थी, इसीलिए कुल डिस्चार्ज 80% के लिए वितरित होने वाली ऊर्जा =  $0.8 \times 4800\text{Wh} = 3840\text{Wh}$

यदि एसपीसीयू की डीसी से एसी रूपांतरण दक्षता को 85% माना जाए है, तो बैटरी से लोड को वितरित होने वाली वास्तविक ऊर्जा =  $0.85 \times 3840\text{Wh} = 3264\text{Wh} = 3.26\text{kWh}$

सारणी-1 में यह देखा जा सकता है कि 100% एसओसी से 20% एसओसी तक बैटरी डिस्चार्ज होते समय 400W प्रतिरोधी लोड को 3.245kWh ऊर्जा प्राप्त हुई थी।

### लेड-एसिड बैटरी की दक्षता

= डिस्चार्जिंग के दौरान वितरित ऊर्जा/चार्जिंग के दौरान संग्रहीत ऊर्जा =  $(3.245/3.65) \times 100 = 88.90\%$

80% डिस्चार्जिंग के लिए एसपीवी प्रणाली की संयुक्त दक्षता = लोड को प्रदान की गई ऊर्जा/सौर पैनल पर गिरने वाले ऊर्जा =  $(3.245/33.52) \times 100 = 9.68\%$

(a) एसओसी बनाम विशिष्ट घनत्व प्लॉट

(b) वोल्टेज बनाम एसओसी प्लॉट

(c) Ah बनाम एसओसी प्लॉट

(d) संचयी Ah बनाम एसओसी प्लॉट

(e) ऊर्जा (kWh) प्रति 5% एसओसी में कमी

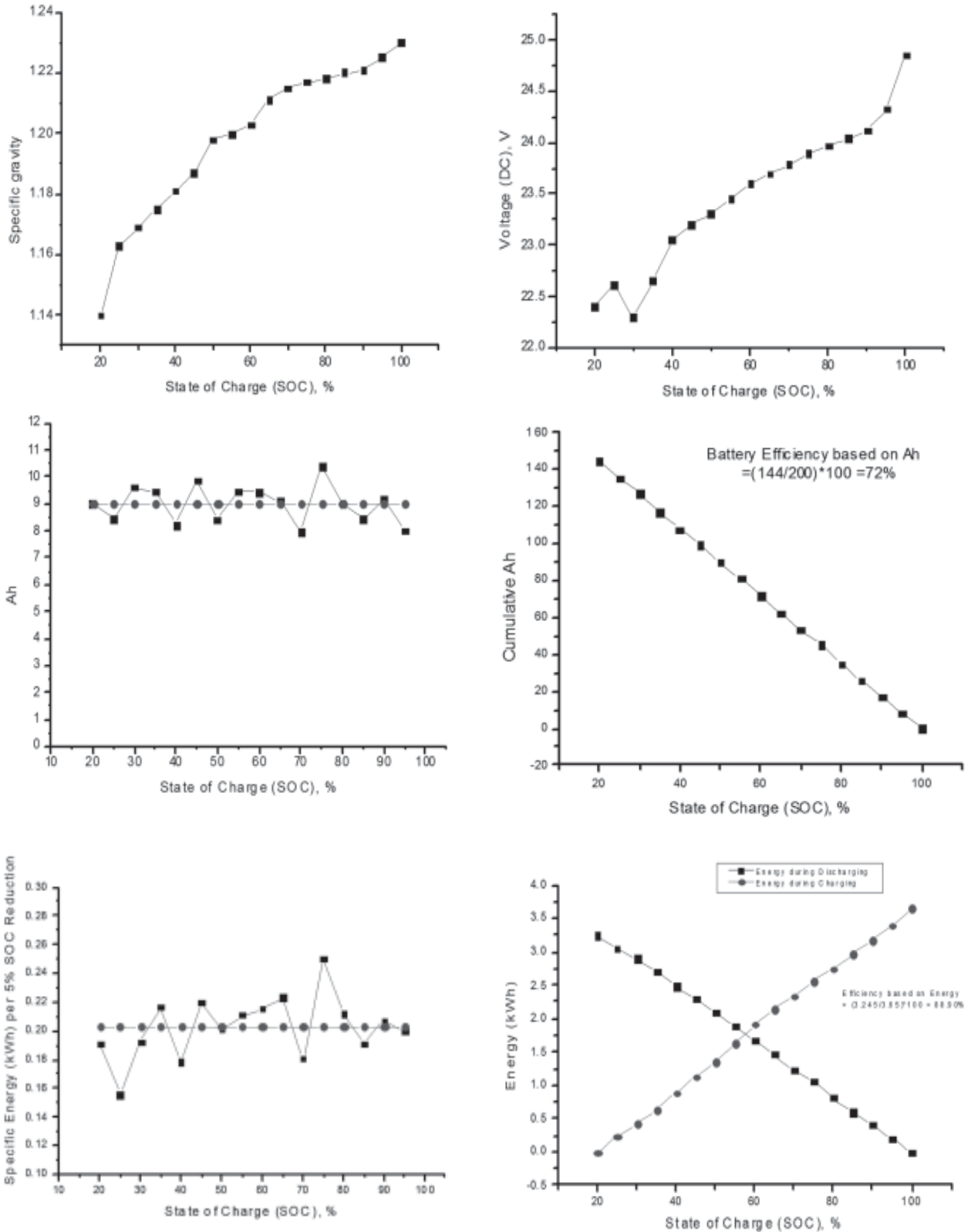
(f) कुल ऊर्जा (kWh) बनाम एसओसी प्लॉट

बैटरी के डिस्चार्जिंग के दौरान 100% एसओसी से 20% एसओसी तक प्रत्येक 5% एसओसी में कमी पर ली गयी माप (S-G-, Volt, Ah, संचयी Ah, kWh, संचयी kWh) को सारणी-1 में दिखाया गया है। चित्र-8 में बैटरी की अवस्था बनाम i) SG, ii) V, iii) Ah, iv) संचयी Ah, v) विशिष्ट ऊर्जा और vi) संचयी ऊर्जा के प्लॉट को दिखाया गया है।

ऊपर दी गयी सारणी से हम समझ सकते हैं कि बैटरी इलेक्ट्रोलाइट के लिए विशिष्ट घनत्व का मान बैटरी एसओसी प्रतिशत में कमी के साथ-साथ घटता है, विशिष्ट घनत्व का अधिकतम मान 100% एसओसी पर 1.23 था और न्यूनतम मान 20% एसओसी पर 1.14 था। यह देखा गया था कि प्रत्येक 5% एसओसी में कमी के लिए औसत 0.0056 विशिष्ट घनत्व के मान में कमी आई थी। जब एसओसी 100% से 20% तक घटता है, तब बैटरी टर्मिनल के बीच का वोल्टेज भी 24.85V से घटकर

सारणी 1- बैटरी के चार्जिंग और डिस्चार्जिंग के दौरान SG, V, Ah और ऊर्जा का मान

SOC (%)	समय (मिनट)	कुल समय (मिनट)	S.G. का मान	DC Volt (V)	डिस्चार्जिंग	संचयी Ah (DC)	ऊर्जा kWh (AC)	संचयी ऊर्जा kWh (DC)	चार्जिंग	
					Ah (DC)				kWh (DC)	
100	00	00	1.230	24.85	0.000	0.000	0.0000	0.0000	3.65	25.80
95	30	30	1.225	24.33	7.997	7.997	0.2001	0.2001	3.4	25.74
90	34	64	1.221	24.12	9.202	17.199	0.2071	0.4072	3.17	25.66
85	31	95	1.220	24.04	8.434	25.633	0.1912	0.5984	2.97	25.60
80	33	128	1.218	23.97	9.008	34.641	0.2121	0.8105	2.74	25.58
75	38	166	1.217	23.89	10.409	45.050	0.2497	1.0602	2.56	25.55
70	29	195	1.215	23.79	7.969	53.019	0.1807	1.2409	2.34	25.53
65	33	228	1.211	23.70	9.107	62.126	0.2236	1.4645	2.15	25.50
60	34	262	1.203	23.60	9.424	71.550	0.2151	1.6796	1.92	25.41
55	34	296	1.200	23.45	9.476	81.026	0.2107	1.8903	1.63	25.32
50	30	326	1.198	23.31	8.411	89.437	0.2006	2.0909	1.36	25.18
45	35	361	1.187	23.21	9.858	99.295	0.2196	2.3105	1.13	25.02
40	29	390	1.181	23.05	8.214	107.509	0.1787	2.4892	0.89	24.80
35	33	423	1.175	22.66	9.462	116.971	0.2172	2.7064	0.62	24.43
30	33	456	1.169	22.30	9.617	126.588	0.1922	2.8986	0.43	23.95
25	29	485	1.163	22.62	8.458	135.046	0.1557	3.0543	0.23	23.67
20	31	516	1.140	22.40	9.022	144.068	0.1907	3.245	0	23.20



चित्र 8-(a) एसओसी बनाम विशिष्ट घनत्व प्लॉट, (b) वोल्टेज बनाम एसओसी प्लॉट, (c) Ah बनाम एसओसी प्लॉट, (d) संचयी Ah बनाम एसओसी प्लॉट, (e) ऊर्जा (kWh) प्रति 5% एसओसी में कमी बनाम एसओसी और (f) कुल ऊर्जा (kWh) बनाम एसओसी प्लॉट

22.40V हो जाता है। बैटरी एसओसी में प्रत्येक 5% कमी से, औसत 0.153V बैटरी टर्मिनल वोल्टेज में कमी देखा गया। Ah का मान शुरुआत में शून्य था, जो समय के साथ बढ़ता गया। एसओसी में प्रत्येक 5% की कमी के साथ औसत 9.004 Ah में वृद्धि देखा गया और 100% से 20% तक बैटरी के डिस्चार्जिंग के दौरान कुल 144.068 Ah के मान में वृद्धि हुई थी। बैटरी को 100% से 20% तक डिस्चार्ज करने के दौरान लोड को वितरित कुल ऊर्जा 3.245 kWh थी। यह भी देखा गया कि एसओसी में प्रत्येक 5% की कमी के लिए बैटरी से औसत 0.2028 kWh ऊर्जा लोड को वितरित हुआ था, जिसे चित्र- 8e में देखा जा सकता है। एसओसी 100% से 20% तक बैटरी के 400W प्रतिरोधी लोड के साथ डिस्चार्जिंग में कुल समय 8 घंटे 36 मिनट लगे थे। बैटरी के एसओसी में प्रत्येक 5% की कमी के लिए औसत 32.25 मिनट लगे थे। 20% एसओसी से 100% एसओसी तक बैटरी चार्ज करने के लिए कुल 3.65 kWh ऊर्जा लगी थी और प्रत्येक 5% एसओसी वृद्धि के लिए औसत 0.2281 ऊर्जा लगी थी। चार्जिंग के दौरान वोल्टेज 23.2V से बढ़कर 25.8V हो गया है और प्रत्येक 5% एसओसी वृद्धि के लिए औसत वोल्टेज में वृद्धि 0.1625V पाया गया था।

**एसओसी का आकलन :** दिए गए समीकरण 1 से 4 तक का उपयोग करके विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, Ah और ऊर्जा के आधार पर अनुमानित एसओसी सारणी-2 में दिखाया गया है।

$$\text{मानक विचलन S.D.} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - q)^2}$$

विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, Ah, ऊर्जा के आधार पर आकलित एसओसी और संदर्भ एसओसी के अंतर के मानक विचलन (एसडी) की गणना (समीकरण 5 का उपयोग करके) की गयी जो कि क्रमशः 6.17, 5.67, 0.33, 0.75 थी। इस परिणाम के साथ, यह स्पष्ट है कि एसओसी अनुमान अगर विशिष्ट घनत्व और वोल्टेज अकेले के आधार पर किया जाता है, तो यह अधिक सटीक नहीं होगा क्योंकि इसके लिए मानक विचलन का मान 6.17 और 5.67 है। विशिष्ट घनत्व के लिए उच्चमानक विचलन आने का कारण, संभवतः यह हो सकता है कि इलेक्ट्रो लाइट के तापमान में परिवर्तन और लेड-एसिड बैटरी के अंदर गैस के गठन के कारण दबाव बढ़ने से यह प्रभावित हो गया हो। वोल्टेज के लिए उच्चमानक विचलन का आना संभवतः लोड के लगे रहने से बैटरी टर्मिनल वोल्टेज में निरंतर होने वाली कमी हो सकती है। यह देखा गया था कि एसओसी 30% और 20% के बीच मतलब कट ऑफ सीमा के करीब कई बार लोड एसपीसीयू से डिस्कनेक्ट

सारणी 2 – विशिष्ट घनत्व, वोल्टेज, Ah, और ऊर्जा के आधार पर अनुमानित एसओसी (%)

SOC (%)	आकलित SOC %			
	विशिष्ट घनत्व के आधार	वोल्टेज के आधार पर	Ah के आधार पर	ऊर्जा के आधार पर
100	100.00	100.00	100.00	100.00
95	95.56	83.02	95.56	95.07
90	92.00	76.16	90.45	89.96
85	91.11	73.55	85.77	85.25
80	89.33	71.27	80.76	80.02
75	88.44	68.65	74.98	73.86
70	86.67	65.39	70.56	69.41
65	83.11	62.44	65.50	63.89
60	76.00	59.18	60.27	58.59
55	73.33	54.29	55.01	53.40
50	71.56	49.71	50.34	48.45
45	61.78	46.44	44.87	43.04
40	56.44	41.22	40.30	38.63
35	51.11	28.49	35.05	33.28
30	45.78	16.73	29.71	28.54
25	40.44	27.18	25.01	24.70
20	20.00	20.00	20.00	20.00

और कनेक्ट हुआ था। जब लोड फिर से कनेक्ट हुआ था, तो वोल्टेज में मामूली वृद्धि देखी गई थी जैसा कि चित्र-8(b) में दिखाया गया है। इसलिए, अकेले वोल्टेज के आधार पर एसओसी का आकलन अधिक उपयुक्त नहीं हो सकता है। यह पाया गया कि विद्युत धारा के एकीकरण यानी, Ah के आधार पर यदि बैटरी के एसओसी का आकलन किया जाए तो वह ज्यादा सटीक होगा। ऊर्जा के आधार पर आकलित एसओसी भी स्वीकार किया जा सकता है, क्योंकि इसके लिए आकलित एसओसी और संदर्भ एसओसी के अंतर का मानक विचलन 0.75 है, जो 1 से कम है। इसलिए, इस जांच के माध्यम से हम यह कह सकते हैं कि Ah या kWh के माप के आधार पर एसओसी का आकलन अधिक उपयुक्त है।

### निष्कर्ष

इस वर्तमान अध्ययन में, ट्यूबलर लेड-एसिड बैटरी (24V, 200Ah) के एसओसी का आकलन, 500W सौर पीवी पैनल, एसपीसीयू और 400W प्रतिरोधी लोड का उपयोग कर i) विशिष्ट घनत्व ii) बैटरी टर्मिनल वोल्टेज iii) Ah और iv) ऊर्जा के आधार

पर किया गया। सौर पीवी पैनल से प्राप्त ऊर्जा एसपीसीयू के माध्यम से बैटरी में संग्रहीत की गई थी। यह देखा गया था कि बैटरी को 20% एसओसी से 100% एसओसी तक सौर ऊर्जा के माध्यम से चार्ज करने के लिए 25 घंटे 45 मिनट लगे थे और प्रतिरोधी लोड के साथ इसे फिर से 20% एसओसी तक डिस्चार्ज करने में 8 घंटे 36 मिनट लगे थे। चार्जिंग के दौरान बैटरी द्वारा संग्रहीत ऊर्जा 3.65kWh थी, और डिस्चार्जिंग में लोड को 3.245kWh ऊर्जा वितरित हुई थी। यह देखा गया था कि विशिष्ट घनत्व का मान एसओसी में कमी के साथ-साथ घटता जाता है। विशिष्ट घनत्व का अधिकतम मान एसओसी 100% पर 1.23 और न्यूनतम मान एसओसी 20% पर 1.14 था। यह देखा गया था कि टर्मिनल वोल्टेज भी एसओसी घटने के साथ-साथ घटता है, 100% एसओसी पर टर्मिनल वोल्टेज 24.85V से घटकर 20.4% एसओसी पर 22.4V हो गया था। सौर पैनल, ट्यूबलर लेड-एसिड बैटरी और संयुक्त एसपीवी प्रणाली की दक्षता क्रमशः 12.7, 9%, 88.9% और 9.68% के रूप में पाई गई। यह भी पाया गया कि लेड-एसिड बैटरी के एसओसी का अधिक सटीक रूप से आकलन किया जा सकता है, जब विद्युत धारा एकीकरण यानी Ah के आधार पर आकलन किया जाए। ऊर्जा पर आधारित एसओसी आकलन और संदर्भ एसओसी के अंतर का मानक विचलन 1 से कम था, इसलिए ऊर्जा पर आधारित एसओसी आकलन भी स्वीकार किया जाता है। इसलिए, इस जांच के माध्यम से लेखकों का दावा है कि Ah या kWh के माप के आधार पर एसओसी का आकलन, किसी अन्य तरीकों से अधिक उपयुक्त होगा। इस अध्ययन के आधार पर, भविष्य का काम विभिन्न लोड के साथ परीक्षण, डीसी और एसी पक्षों के विद्युत मानकों के ऑनलाइन निगरानी के उपकरण के विकास के साथ, एसओसी प्रतिशत, IoT के माध्यम से सॉफ्टवेयर द्वारा नियंत्रण सुविधाओं का विकास करना हो सकता है, जिससे एसपीवी सिस्टम की समग्र दक्षता में वृद्धि हो सके।

#### आभार

लेखक, सीएसआईआर चेन्नई परिसर में इस शोधकार्य को पूरा करने में समर्थन के लिए निदेशक, सीएसआईआर-एसईआरसी; प्रोफेसर संतोष कपूरिया; निदेशक, सीएसआईआर-सीएसआईओ; प्रोफेसर आर. के. सिन्हा; प्रभारी वैज्ञानिक, सीएसआईआर-सीएसआईओ, चेन्नई इकाई; श्री कोटा श्री निवास, डॉ. बाला पेसाला कार्यक्रम समन्वयक, नवीकरणीय ऊर्जा, सीएसआईआर और श्री रमेश बाबू जी प्रधान वैज्ञानिक, सीएसआईआर-एसईआरसी को धन्यवाद देना चाहते हैं।

#### संदर्भ

1. Alamgir M, Lithium has transformed vehicle technology: How trends in Li-ion battery technology have developed for vehicle electrification, *IEEE Electrification Mag.*, **5** (2017) 43-52.
2. Chen A & Sen P K, Advancement in battery technology: A state-of-the-art review, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, (2016) 1-10.
3. Cheng Z, Lv J, Liv Y & Yan Z, Estimation of State of Charge for Lithium-Ion Battery Based on Finite Difference Extended Kalman Filter, *Journal of Applied Mathematics*, (2014).
4. Chen S, Kang C, Zhang Z, & Zhu H, A method for SOC estimation for lead-acid battery based on multimodel adaptive Extended Kalman Filtering estimation, 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, (2016) 18-24.
5. Huihui W & Hongpeng Z, SOC estimation and simulation of electric vehicle lead-acid storage battery with Kalman filtering method, IEEE 11th International Conference on Electronic Measurement Instruments, **2** (2013) 599-603.
6. Jeon Seonwoo, Yun Jae-Jung & Bae Sungwoo, Comparative Study on the Battery State-of-Charge Estimation Method, *Indian Journal of Science and Technology*, **8**(26) (2015).
7. Kumar K S R, Sastry V V, Sekhar O C, Mohanta D K, Rajesh D, & M P C Varma, Design and fabrication of coulomb counter for estimation of SOC of battery, IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) (2016) 1-6.
8. Ng K S, Huang Y F, Moo C S, & Hsieh Y C, An enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries, 31st International Telecommunications Energy Conference, (2009) 1-5.
9. Pavlov D, Lead-Acid Batteries: Science and Technology: A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and Its Influence on the Product, *Elsevier*, (2017).
10. Piao Changhao, Sunsoc Zhihua, Liang Zhanghou, Cho Chongdu, SOC Estimation of lead-acid batteries based on UKF, International conference on electrical control engineering, IEEE, DOI (2010).
11. Pilatowicz G, Marongiu A, Drillkens J., Sinhuber P, & Sauer D U, A critical overview of definitions and

- determination techniques of the internal resistance using lithium-ion, lead-acid, nickel metal-hydride batteries and electrochemical double-layer capacitors as examples, *J. Power Sources*, **296** (2015) 365-376.
12. Purwadi A, Rizqiawan A, Kevin A & Heryana N, State of Charge Estimation Method for Lithium Battery Using Combination of Coulomb Counting and Adaptive System with Considering The Effect of Temperature, *IEEE International Conf. on Power Engineering and Renewable Energy*, (2014) 91-95.
  13. Santhanapoongodi R & Rajini V, A New State of Charge Estimation Algorithm for Lead Acid Battery, *International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC)*, (2016).
  14. Santos R M S, Alves C L G D S, Macedo E C T, Villanueva J M M, Hartmann L V, & Catunda S Y C, Lead acid battery SOC estimation based on extended Kalman Filter method considering different temperature conditions, *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, (I2MTC)* (2017) 1-6.
  15. Sato Shinya & Kawamura Atsuo, A New Estimation Method of State of Charge using Terminal Voltage and Internal Resistance for Lead Acid Battery, *IEEE Conference*, (2002).
  16. Ting T O, Man K L, Lim E G & Leach M, Tuning of Kalman Filter Parameters via Genetic Algorithm for State-of-Charge Estimation in Battery Management System, *The Scientific World Journal*, (2014) 1-11.
  17. Yamin R & Rachid A, Embedded State of Charge and State of Health Estimator Based on Kalman Filter for Electric Scooter Battery Management System, *IEEE Fourth International Conference on Consumer Electronic Berlin*, (2014) 440-444.
  18. Pang Shuo, Farrell Jay, Du Jie, & Barth Matthew, Battery State Of Charge Estimation, *Proceedings of the American Control Conference*, (2001) 25-27 .