

## Performance characteristics of AGM lead acid battery with the content of positive plate incorporating nano-size additive material

Tae Seop Lim<sup>\*,\*\*</sup>, Sung Jun Kim<sup>\*,\*\*</sup>, Sang Dong Kim<sup>\*</sup>, Seung Cheol Yang<sup>\*,\*\*†</sup> and Yeon Gil Jung<sup>\*,\*\*†</sup>

<sup>\*</sup>Sebang Global Battery Co., Ltd., Changwon 51140, Korea

<sup>\*\*</sup>School of Nano & Advanced Materials Eng., Changwon National Univ., Changwon 51537, Korea

(Received June 2, 2020)

(Revised June 15, 2020)

(Accepted July 27, 2020)

**Abstract** Nano seed incorporated in micro-sized 4BS (Tetrabasic lead Sulfate) seed was applied to the positive electrode active material and compared with Nano 4BS seed (NS). The dispersion of NS decreased due to the aggregation phenomenon, while the nano seed incorporated in micro-sized 4BS seed (INS) could confirm excellent dispersion. As the content of INS increased, the particle size of the active material became small and constant, which was confirmed through SEM and particle size analysis. The specific surface area for the reaction was increased and the high-rate discharge and lifetime characteristics were improved. In order to confirm the variation in particle size distribution in the plate manufacturing process, internal resistance and voltage were measured for 200 AGM lead-acid batteries, and it was confirmed that batteries quality variation decreased.

**Key words** AGM lead-acid battery, Positive plate, 4BS nano seed, Incorporated 4BS nano seed, Electrode

## 나노 사이즈 입자가 포함된 양극 활물질 함량에 따른 차량용 AGM 연축전지 성능 특성

임태섭<sup>\*,\*\*</sup>, 김성준<sup>\*,\*\*</sup>, 김상동<sup>\*</sup>, 양승철<sup>\*,\*\*†</sup>, 정연길<sup>\*,\*\*†</sup>

<sup>\*</sup>세방전지(주), 창원, 51537

<sup>\*\*</sup>창원대학교 신소재융합공학전공, 창원, 51140

(2020년 6월 2일 접수)

(2020년 6월 15일 심사완료)

(2020년 7월 27일 게재확정)

**요약** AGM 연축전지(Absorbent Glass Mat Lead-Acid Battery)의 수명 특성을 결정짓는 양극 활물질(Active Material)의 주요 구성 결정인 4BS(Tetrabasic lead Sulfate)의 입자 크기를 제어하기 위해 4BS Nano Seed(NS)를 적용 중에 있다. 4BS NS 적용 시, 나노 입자 특성상 분산 안정성이 저하되어 제 기능을 다하지 못한다. 이를 개선하기 위해 기존 첨가제인 광명 단(Red Lead)에 나노 입자의 4BS seed가 포함된 Incorporated Nano Seed(INS)를 함량별로 첨가하여 양극판 분석과 제품 성능을 평가하였다. INS 함량이 증가할수록 4BS 입자 크기는 작아지면서 균일해지는 특성을 확인할 수 있었으며, 반응 비표면적 증가에 따른 고율 방전 특성도 향상되는 것을 알 수 있었다. 극판 제조 공정에서의 개별 극판에 대한 입도 분포의 편차를 확인하기 위해, AGM 연축전지 200 대 대한 내부 저항 및 전압 검사를 진행하였으며 제품 제조 공정 품질 편차가 감소하는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

국내를 비롯한 전세계적으로 이산화탄소 규제가 점차 강화되고 있으며, 미국에서는 기업 평균 연비 CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 충족 조건을 2016

년 37.8 mpg(miles per gallon)에서 2025년까지 54.5 mpg로 강화하여, 이를 만족하지 못하면 과징금을 부과하도록 하여 이산화탄소 배출을 강력하게 규제하고 있다 [1]. 따라서 자동차 업계에서는 지속적으로 내연기관 비용을 줄이고, 차체 경량화, 타이어 롤링 저항 감소 등 연비를 개선하기 위한 다양한 노력을 하고 있으나, 이를 위해 전문화적인 시간/비용이 필요하고, 아직까지 소비자들의 내연기관을 선호하고 있어 시일이 더 소요될 것으

<sup>†</sup>Corresponding author

E-mail: scyang5258@changwon.ac.kr, jungyg@changwon.ac.kr

로 보인다[2].

현 내연기관 시스템에서 최소한의 투자비로 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 노력의 일환으로 ISG(Idle Stop and GO) 시스템이 적용되고 있으며, 이산화탄소 저감 효과는 약 5~15% 가량으로 알려져 있다[3]. ISG 시스템 이란, 신호대기 및 교통이 혼잡한 상황 등에서 공회전을 해야 될 상황에 처했을 때, 엔진에서 연소가 발생하지 않도록 엔진을 정지하고, 다시 엑셀을 밟았을 때 시동이 걸려 엔진이 구동되는 시스템을 말하며, Micro HEV(Hybrid Electric Vehicle), Start-Stop이라고 불리기도 한다. 현재 이러한 시스템이 적용중인 배터리는 대부분 연축전지이며, 그 중 격리판으로 AGM(Absorbent Glass Mat)를 적용한 연축전지가 ISG에 주로 적용된다.

AGM 연축전지는 기존 액식 연축전지와 달리 전해액을 격리판이 흡수하고 있어 극판 사이지를 보다 크게 설계할 수 있고, 전해액이 증발할 염려가 적어 장수명/고출력 연축전지로 각광받고 있다[4]. 그럼에도 불구하고, 잦은 충방전으로 인해 활물질(Active Material)이 연화되거나, 충전부족으로 인해 활물질이 설페이션(Sulfation)되어 연축전지 수명이 크게 줄어드는 문제가 발생한다 [5,7,8]. 따라서 차량용 AGM 연축전지의 성능을 보다 향상 시키기 위해 기판 합금 조성 변경, 전해액 첨가제 적용, 음극판 Carbon 첨가제 적용을 비롯해 다양한 연구가 진행되고 있다[6-12]. 4BS(Tetrabasic lead Sulfate)는 연축전지 양극 활물질의 중요 결정상 중 하나로, 제품의 수명 성능을 좌우하는 주요한 성분이다[13]. 4BS의 사이즈가 비대해지면, 충전 효율이 저하되어 충전 시간을 늘이거나, 충전 전기량을 높여주어야 하는데 비용적인 측면에서 바람직하지 못하다. 그러므로 4BS는 사이즈 제어가 가장 중요하며, 4BS 사이즈는 혼합 조건, 극판 첨가제, 숙성 조건 등에 의해 좌우된다. 4BS 사이즈 제어를 위해 나노 사이즈의 4BS seed가 공정에 맞게 최적화하여 양산 중에 있으나, 나노 입자 특성상 비표면적이 증대되어 반응성은 향상되는 반면에, 응집 현상으로 인해 그 효과는 제한적이다[14].

따라서, 본 연구에서는 기존 양극 첨가제인 마이크로 크기의 광명단(Red Lead)에 나노 크기의 4BS seed가 포함된 첨가제(Incorporated Nano Seed, INS)를 적용하여, 기존 나노 크기의 4BS seed(Nano Seed, NS)와 비

교 분석하였다. INS 첨가량에 따른 활물질 특성 변화 및 연축전지 성능에 대한 평가를 진행하였고, INS 첨가에 따른 제품간 품질 편차에 대해서도 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 양극판 제작

INS 첨가량에 따른 특성 비교를 위해 양극판 조건별 함량을 Table 1과 같이 제작하였다. 제작된 활물질은 Pb로 이루어진 기판에 도장한 뒤, 고온 다습한 환경인 75°C, 습도 95%에서 6시간 1차 숙성한 뒤, 55°C, 습도 90%에서 15시간 2차 숙성으로 진행하였고, 그 후 70°C에서 15시간 건조를 통해 양극판을 제작하였다.

### 2.2. 연축전지 제조

본 연구를 위해 제조하는 AGM 연축전지 제조 공정

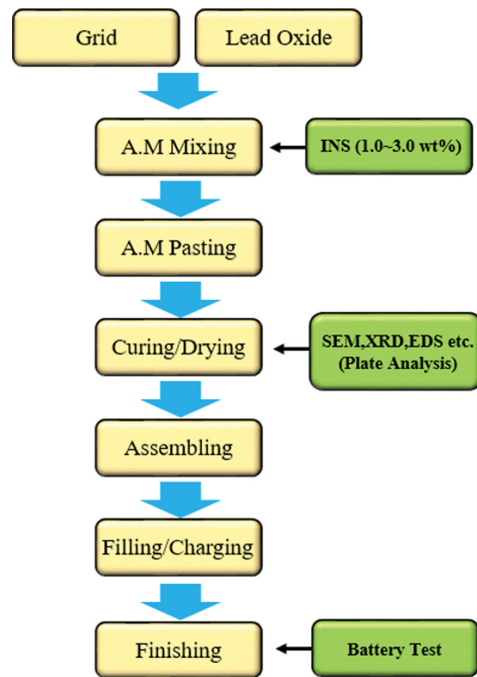


Fig. 1. The flow sheet of experimental procedure.

Table 1

Mixing condition of positive paste; (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%

Sample	Lead oxide (g)	Red lead (g)	Water (g)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	4BS seed (g)	INS (g)
(A)	100.0	40.0	13.5	12.0	0.4	0.0
(B)	100.0	40.0	13.5	12.0	0.4	1.0
(C)	100.0	40.0	13.5	12.0	0.4	2.0
(D)	100.0	40.0	13.5	12.0	0.4	3.0

을 Fig. 1에 나타내었다. 숙성 및 건조를 거쳐 생산된 극판은 조립을 거쳐 일정 비중을 갖는  $H_2SO_4$ 로 주액 후, 초충전을 통해 제품이 완성된다. 20시간을 정격용량 70 Ah로 제작하였으며, 양극판, 음극판, 격리판을 쌓아서 극판군(cell)을 형성하였다. 극판군을 전조에 차입한 뒤, 카바와 열융착하여 조립된 연축전지에 비중 1.258인  $H_2SO_4$ 를 진공 주액하였으며, 초충전을 실시하여 제품 내에 있는 극판을 활성화시켰다.

### 2.3. 양극판 분석

INS 분말 형상 및 입자 사이즈 확인을 위해 저압 주사전자현미경(LV-SEM: Low Voltage scanning electron microscope, Merlin compact, Carl Zeiss)으로 분석하였으며, NS와 INS의 입자 분산도 확인을 위해 비중 1.315 황산 수용액 300 ml에 각각 분말 5 g씩 첨가하여 10분간 초음파 세척기에서 분산 후, 침지 결과를 비교하였다. INS 함량에 따른 활물질 표면 형상 및 첨가에 따른 표면 형상 및 결정 상태 분석을 위해 주사전자현미경(SNE-3200M, SEC)과 X선 회절분석기(XRD, X'pert PRO MPD, PANalytical)를 활용하였다. 입자 크기 변화를 확인하기 위해 입도 분석기(Partica LA-960, HORIBA)에서 분석을 실시하였다

### 2.4. 연축전지 시험

전지를 평가하기 위해 상용 자동차 업체 규격에 따라 실험을 진행하였다. 저온 시동 성능 실험을 제외한 각 실험은  $25 \pm 2^\circ C$  전해액 온도가 되도록 12시간 이상 안정화 시킨 후 실시하였으며 각 실험 방법은 다음과 같다. 20시간을 용량 시험은 차량용 AGM 연축전지 20시간을 전류인 3.5 A로 방전하여 종지 전압 10.5 V까지 방전한다. 방전 전류와 방전 시간을 곱하여 연축전지가 보유하고 있는 용량을 판단한다.  $-18^\circ C$  및  $-30^\circ C$ 에서의 저온

시동 성능 시험은 충전이 완료된 후  $-18/-30 \pm 1^\circ C$ 가 되도록 24시간 이상 안정화 시킨다. 각각 760/450 A로 방전 종지 전압이 7.2 V에 도달할 때까지 방전해서 그 시간을 비교한다. SBA S0101 수명 시험은 ISG 시스템이 적용되는 차량에서 실제로 배터리가 운용되는 환경을 시뮬레이션하여 수명을 예측하는 시험 방법으로, 방전 전류를 45 A, 59 sec 동안 진행 후, 300 A, 1 sec으로 2 단계에 걸쳐 실시한다. 이어 14.0 V까지 100 A, 60 sec으로 충전을 실시하며, 3600회 반복 한 뒤, 48시간 동안 휴지 한다. 상기 충방전 패턴을 1 cycle로 정하여 반복 시험을 진행하는데 1 cycle은 1주일이 소요되며, 5일 동안 차량을 운행하다가 주말 2일은 운행하지 않는 조건을 시뮬레이션화 하였다. 내부저항 및 전압 측정 시험은 INS 첨가량에 따른 공정 품질 편차 비교를 위해 내부저항 및 전압을 측정하였다. 제품 안정화를 위해 충전 완료 후 3일간 방치 후 측정을 실시하였다. 내부저항 및 전압은 BT-3562(Hioki)로 상온( $25 \pm 2^\circ C$ )에서 측정하였다.

## 3. 결 과

### 3.1. 활물질 분석

활물질로 사용된 INS와 NS의 입자 형상을 비교하기 위해 LV-SEM으로 분석을 진행한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 현재 적용중인 NS에 대한 것을 Fig. 2(A)에 나타내었으며, 입자 크기는 20~40 nm 수준으로 확인된다. 한편, INS의 입자는 마이크로 크기의 4BS seed에 나노 크기의 4BS seed가 흡착되어 있음을 확인할 수 있었다 (Fig. 2(B)). INS의 분산 안정성을 확인하기 위해, 혼합 공정에서 적용되고 있는 비중 1.315 황산 수용액에 분말을 교반 시킨 뒤, 침지 시간에 따른 시험 결과를 Fig. 3에 나타내었으며, Fig. 3(A)는 현행 NS, Fig. 3(B)는 INS에 대한 결과이다. 침지 후 초기 10분여 동안은 거

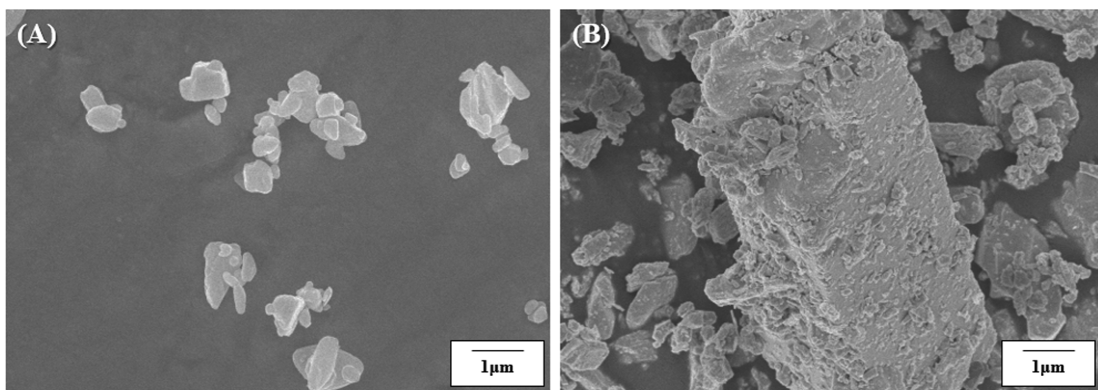


Fig. 2. LV-SEM image of positive plate: (A) NS and (B) INS.

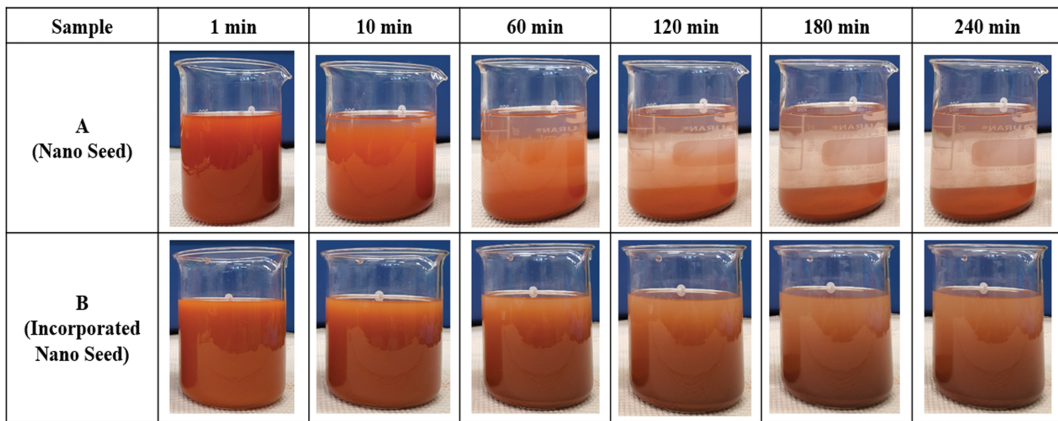


Fig. 3. Dispersion stability of 4BS seed particles in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution (s.g. 1.315 g/cm<sup>3</sup>).

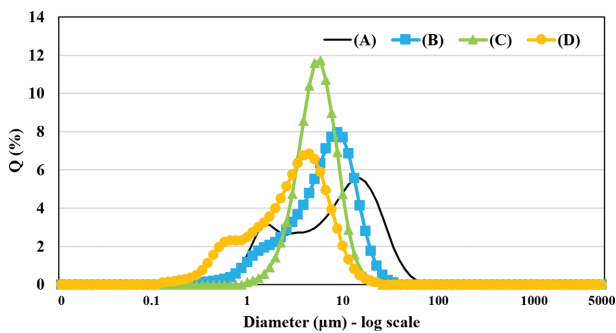


Fig. 4. Particles distribution of positive active material with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

의 유사한 경향을 보였으나, 이후 시간이 경과할수록 Fig. 3(A)의 NS는 빠르게 침전되는 현상을 보이며, 2 시간 경과 이후부터는 대부분의 입자가 가라 앉은 현상을 확인하였다. 반면 Fig. 3(B)의 INS가 들어있는 비커

에서는 4시간이 경과하였음에도 불구하고 분산이 잘 유지되는 것을 확인하였다. 이는 기존 NS보다 INS가 상대적으로 분산 안정성이 더 우수하고, 혼합 시에도 4BS seed가 더 고르게 분포할 것으로 판단된다. 분산 안정성이 우수한 INS를 첨가한 활물질의 입도 분포를 확인하기 위해 INS 첨가량에 따른 입도 분포를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. INS를 첨가하지 않은 Fig. 4(A)에서는 입도 분포가 0.5~40.0 μm 수준으로 넓게 분포하고 있음을 확인하였다. 이에 비해 INS 함량이 1.0 wt% 첨가된 경우의 입도 분포는 Fig. 4(B)와 같이 폭이 보다 좁아지는 경향을 나타내었고, INS 2.0 wt% 첨가된 경우(Fig. 4 (C))에는 활물질의 입도가 2~10 μm 수준으로 분포하고 있으며, INS 3.0 wt% 첨가 시, 0.1~10 μm 정도의 입도 분포를 확인할 수 있었다. 따라서 INS 2.0 wt% 첨가된 활물질의 입도 분포가 가장 안정적인 것으로 확인되었으며, 그 이상 첨가 시, 입자 크기는 작아지지만 입도 분포가 넓어지는 경향을 나타낸다.

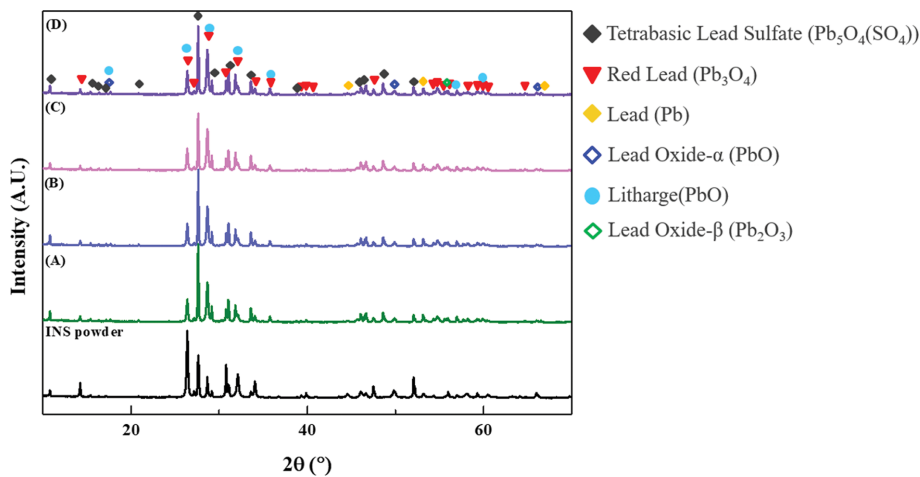


Fig. 5. XRD patterns of positive active material with increasing INS content; INS powder, (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

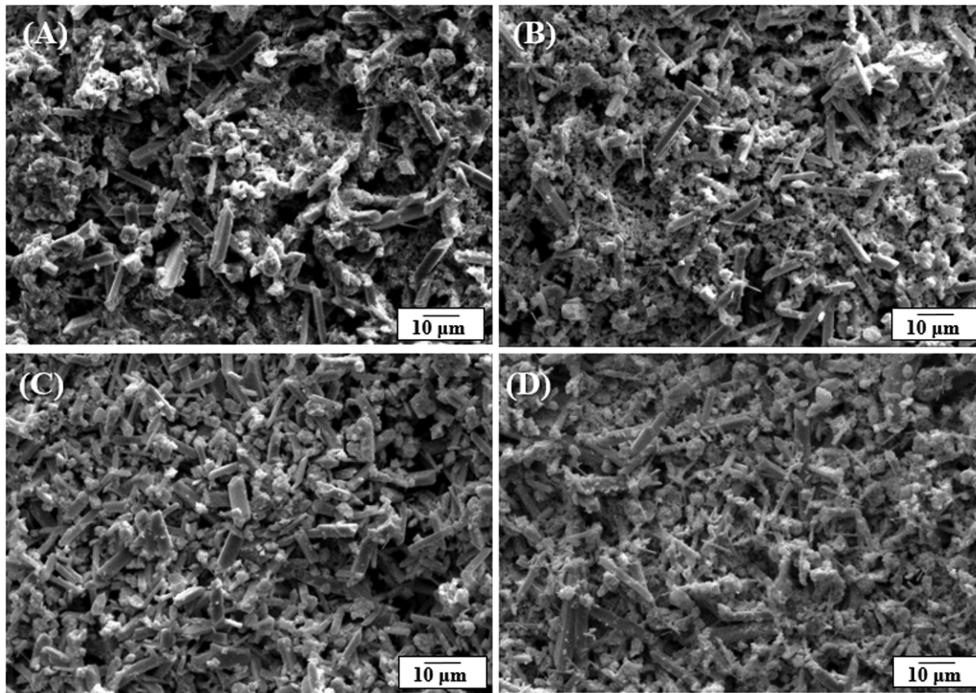


Fig. 6. SEM images of positive active material with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

활물질의 성분을 확인하기 위해 XRD 분석을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. INS 분말을 XRD 분석한 결과를 Fig. 5 최하단에 나타내었으며, 4BS와 Red Lead 그리고 Lead Oxide가 관찰되었다. 한편, INS 첨가량에 따른 XRD 결과는 Fig. 5(A)~(D)에 나타내었으며, 모두 동일 peak이 나타났으며, 이를 통해 INS 첨가량에 따른 결정상은 크게 차이점이 없는 것으로 확인되었다. INS 첨가량이 증가함에도 활물질의 결정상이 동일한 것은 INS가 4BS seed로서의 역할만 하였을 뿐, 전체 반응에서는 기여하는 바가 없는 것으로 판단된다. INS 첨가량에 따른 활물질 표면 미세구조 및 형상을 Fig. 6에 나타내었다. INS가 첨가되지 않은 Fig. 6(A)에서는 일반적인 양극 활물질 표면 형상을 나타내며, 직육면체 형상의 4BS는 약 10~20  $\mu\text{m}$  정도의 크기를 갖는 것으로 확인된다[13]. INS 함량이 증가할수록, Fig. 4의 입도 분석 결과에서 확인된 바와 같이 4BS 입자 크기가 점점 작아지는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 6(C)의 INS 2.0 wt% 첨가된 활물질의 형상이 다른 조건들에 비해 일정한 것으로 관찰되었다. 반면, Fig. 6(D)와 같이 INS가 3.0 wt%로 증가되면, 4BS 크기가 균일하지 못하고 크기에 대한 편차가 다시 증가하는 현상을 확인하였다. 상기 결과를 종합해볼 때, INS 최적 함량은 2.0 wt%에서 입자 크기 및 분포가 가장 안정적인 특성을 나타내며 그 이상으로 첨가 되었을 때, 입자 크기 및 분포 제어가 어려움을 확인할 수 있었다.

### 3.2 제품 특성 평가

INS첨가가 입자 크기 및 분포에 미치는 영향을 제품 특성 평가를 통해 확인하였다, 우선 20시간을 용량 방전 시험으로 연속전지의 기본적인 성능을 확인한 결과(Fig. 7), 조건 (A)~(D) 모두에서 제품 규격 기준인 95%를 만족하였으며, INS 함량이 증가할수록 용량은 각각 101.3, 102.4, 102.5, 103.3%로 증가하였다. 이는 양극 활물질 입자 크기가 작아지면서, 반응하는 비표면적이 늘어남에

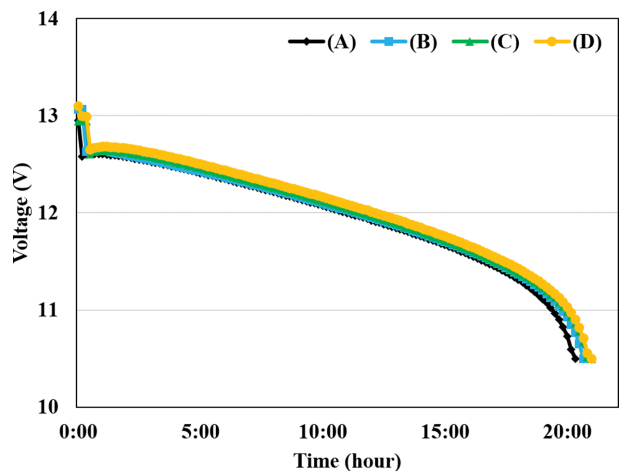


Fig. 7. Voltage behavior during 20 Hr capacity test of batteries with increasing INS content; (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

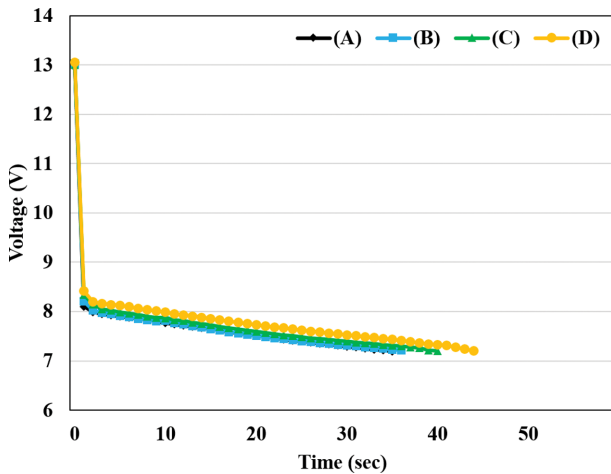


Fig. 8. Voltage behavior during  $-18^{\circ}\text{C}$  CCA test of batteries with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

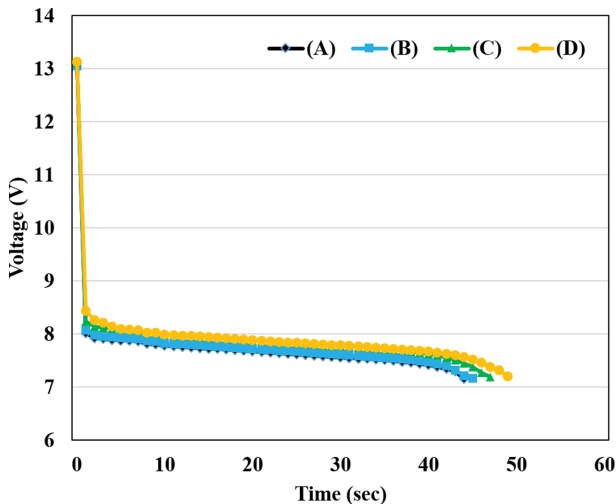


Fig. 9. Voltage behavior during  $-30^{\circ}\text{C}$  CCA test of batteries with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

따라 활물질 이용 효율이 향상되었기 때문으로 판단된다. 다음으로는  $-18^{\circ}\text{C}$  및  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서 시동 성능을 평가하는 CCA(Cold Cranking Ampere) 시험을 수행하였으며, 그 결과를 각각 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다. CCA는 자동차 배터리의 시동 성능을 평가하는 척도로, 산업 현장에서 배터리 성능을 판단하는 근거로도 보편적으로 사용된다.  $-18^{\circ}\text{C}$ 에서의 CCA 시험 결과(Fig. 8), INS 함량이 증가할수록 7.2 V까지 떨어지는 시간이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다. 방전이 시작되고 1초가 지나면 전압은 급격히 떨어지고 그 뒤로 서서히 전압 강하가 진행되는 것을 알 수 있는데, Fig. 8(A)의 방전 1초 경과 시 전압은 8.10 V, Fig. 8(B)-(D)는 각각 8.21, 8.35, 8.42 V로, 1초에서의 전압도 INS 함량이 증가할수록 높아지는 것을 확인하였다. 이는 양극 활물질 입자 크기가

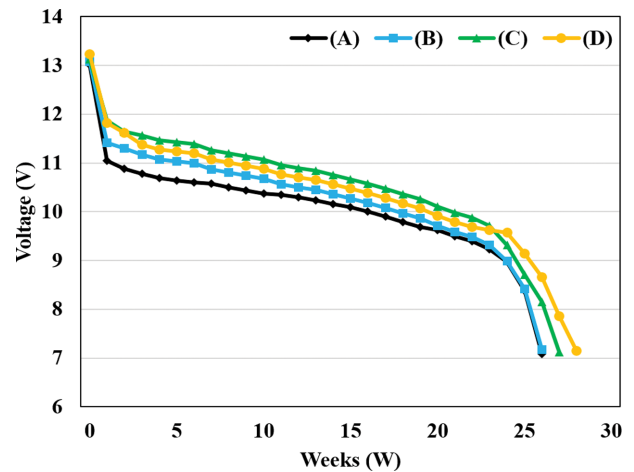


Fig. 10. Voltage behavior during SBA S0101 life cycle test of batteries with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

작아질수록 반응 표면적이 넓어져서 방전 초기에 전압이 감소하는 폭이 적은 것으로 판단된다.  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서의 CCA 시험 결과(Fig. 9)에서도  $-18^{\circ}\text{C}$  결과와 동일하게 INS 함량이 증가할수록 방전 개시 후, 1초 후 전압은 증가되고 7.2 V까지 방전되는데 걸리는 시간은 점차 증가하는 특성을 나타내었다.

INS 첨가에 따른 수명 시험 결과를 Fig. 10에 나타내었으며, 그래프는 각 cycle별 3600 N에서 300 A 전압을 나타낸 것이다. 제품 수명 종료는 방전 전압이 7.2 V가 도달하면 수명 시험은 종료되며, Fig. 10(A)와 Fig. 10(B)는 수명 시험 개시 후 26주, Fig. 10(C)와 Fig. 10(D)는 각각 27주 및 28주 만에 종료되었다. INS 함량이 증가할수록 수명은 다소 증가하는 것으로 보이나, 주목할 만큼 향상된 수치는 아닌 것으로 판단된다. 하지만 Fig. 10의 1주차 전압에서 볼 수 있듯이, 1주차에서의 전압은 INS 함량에 따라 증가하는데, Fig. 10(A)-(D)까지 각각 11.04, 11.42, 11.88, 11.82 V로 INS 2.0 wt%까지는 전압이 점차 증가하다가 INS 3.0 wt%인 Fig. 10(D)에서는 다소 감소하는 특성을 보였다. 이는 앞선 결과들과 마찬가지로 입자 크기가 감소하고 균일 해집에 의한 활물질 반응 효율이 증대되었기 때문으로 판단된다. 마지막으로 입자 분포 균일성이 양산 공정에서의 제품 품질 편차에 미치는 영향을 분석하기 위해 제품 200대에 대한 내부 저항 및 전압 추이를 관찰하여 Fig. 11, Fig. 12에 나타내었다. 우선, Fig. 11은 INS 함량별 조건에 따른 내부 저항 결과 값이며, 내부저항의 평균/최대/최소값은 Table 2에 나타내었다. INS 함량이 증가할수록, 최대/최소값 편차는 조건 Fig. 11(C)까지 줄어들다가 조건 Fig. 11(D)에서 다시 증가함을 확인하였다. INS 첨가에 의한 활물질의 균일한 입도 분포가 제품 내부 극판과 셀 뿐만 아니라, 제품군 전체 품질 편차에도 미치는 영향이 크다는

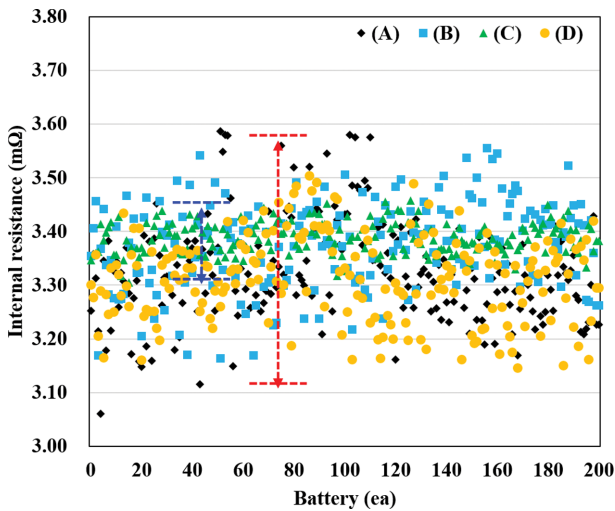


Fig. 11. Internal resistance behavior of 200 batteries with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

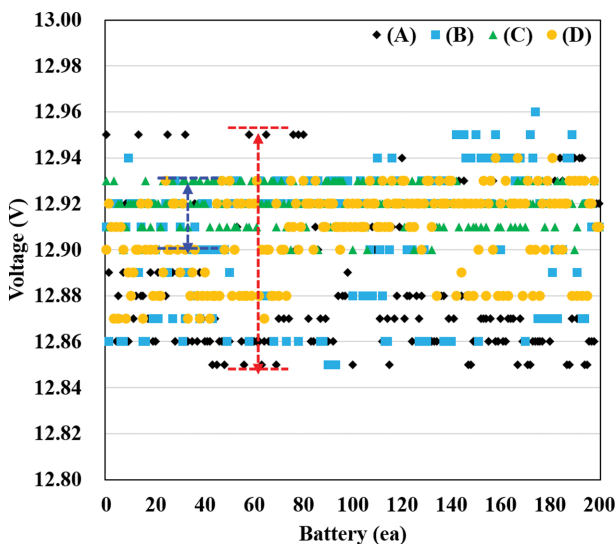


Fig. 12. Final voltage behavior of 200 batteries with increasing INS content: (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%.

Table 2  
Internal resistance of batteries with increasing INS content; (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%

Sample	Avg. (mΩ)	Min. (mΩ)	Max. (mΩ)
(A)	3.32	3.06	3.59
(B)	3.38	3.16	3.56
(C)	3.39	3.31	3.46
(D)	3.31	3.15	3.50

점을 알 수 있었다. 제품 200대에 대한 전압 분포를 Fig. 12에 나타내었으며, Table 3에서는 전압의 평균/최대/최소 값을 나타내었다. INS 첨가량이 증가됨에 따라

Table 3  
Final voltage of batteries with increasing INS content; (A) INS 0.0 wt%, (B) INS 1.0 wt%, (C) INS 2.0 wt%, and (D) INS 3.0 wt%

Sample	Avg. (mΩ)	Min. (mΩ)	Max. (mΩ)
(A)	12.88	12.85	12.95
(B)	12.91	12.85	12.96
(C)	12.92	12.90	12.93
(D)	12.91	12.87	12.94

Fig. 12(C)까지는 전압이 점차 증가하는 것을 알 수 있으며, Fig. 12(D)에서는 Fig. 12(C)에 비해 0.01 V 가량 감소하였다. 또한, Fig. 11의 내부저항과 마찬가지로 Fig. 12(C)에서 전압 편차가 가장 적은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

활물질로 마이크로 사이즈의 광명단에 나노 사이즈 4BS seed가 포함된 INS를 함량별로 첨가하여 양극판을 제조하였으며, 분석 결과, 활물질 조성, 입자 형상, 크기 및 분포에 따른 특성변화를 관찰할 수 있었다. INS 첨가량이 2.0 wt%까지는 입도 크기가 점차 감소하면서 균일해지는 경향을 나타내었으며, 그 이상 첨가되었을 때는 입자 크기는 작아지지만 균일성이 저하되는 현상을 확인하였다. 제품 성능 평가에서는 INS 함량이 증가할수록 20시간을 용량 시험, CCA, 수명 시험 결과가 향상되는 것을 확인하였으며, INS 첨가량이 3.0 wt%까지 증가함에 따라 입자 크기가 작아지면서 비표면적이 증대되었기 때문에 판단된다. 하지만 공정 품질 관점에서는 INS 첨가량이 3.0 wt%에서 보다 2.0 wt%일 때 제품 품질 편차가 월등히 안정적인 것을 확인할 수 있었는데, 이는 INS 2.0 wt%일 때 입자 크기가 가장 균일하게 분포하고 있었기 때문에 공정에서도 제품간 편차가 감소하였을 것으로 판단된다. 따라서 INS 2.0 wt%에서의 조건이 가장 우수한 특성을 나타내는 것으로 확인하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2019~2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

#### References

[ 1 ] K. Kawajiri, M. Kobayashi and K. Sakamoto, "Light-weight materials equal lightweight greenhouse gas emissions?: A historical analysis of greenhouse gases of

- vehicle material substitution”, *J. Cleaner Production* 253 (2020) 119805.
- [ 2 ] C. Pillot, “Micro hybrid, P-HEV and EV market 2012-2025 Impact on the battery business”, *EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel cell Electric Vehicle Symposium* (2013).
- [ 3 ] J. Yu, S. Kim, C. Gwon and J. Bang, “Apparatus and method for guiding deactivation of battery sensor of ISG vehicles”, *US Patent Application Publication* (2012) US2012/0133500 A1.
- [ 4 ] K. Sawai, T. Ohmae, H. Suwaki, M. Shiomi and S. Osumi, “Idling-stop vehicle road tests of advanced valve-regulated lead-acid (VRLA) battery”, *J. Power Sources* 174 (2007) 54.
- [ 5 ] D. Pavlov, V. Naidenov, Y. Milusheva, S. Vassilev, T. Shibahara and M. Tozuka, “Benzyl benzoate as an inhibitor of the sulfation of negative electrodes in lead-acid batteries”, *J. Energy Storage* 17 (2018) 336.
- [ 6 ] S. Zhang, H. Zhang, J. Cheng, W. Zhang, G. Cao and H. Zhao, “Novel polymer-graphite composite grid as a negative current collector for lead-acid batteries”, *J. Power Sources* 334 (2016) 31.
- [ 7 ] E. Ebner, D. Burow, A. Borger, M. Wark, P. Atanassova and J. Valenciano, “Carbon blacks for the extension of the cycle life in flooded lead acid batteries for micro-hybrid applications”, *J. Power Sources* 239 (2013) 483.
- [ 8 ] M. Fernandez, J. Valenciano, F. Trinidad and N. Munoz, “The use of activated carbon and graphite for the development of lead-acid batteries for hybrid vehicle applications”, *J. Power Sources* 195 (2010) 4458.
- [ 9 ] N. Sugumaran, P. Everill, S.W. Swogger and D.P. Dubey, “Lead acid battery performance and cycle life increased through addition of discrete carbon nanotubes to both electrodes”, *J. Power Sources* 279 (2015) 281.
- [10] A. Moncada, S. Piazza, C. Sunseri and R. Inguanta, “Recent improvements in PbO<sub>2</sub> nanowire electrodes for lead-acid battery”, *J. Power Sources* 275 (2015) 181.
- [11] M. Foudia, M. Matrakova and L. Zerroual, “Effect of a mineral additive on the electrical performances of the positive plate of lead acid battery”, *J. Power Sources* 279 (2015) 146.
- [12] M.A. Deyab, “Ionic liquid as an electrolyte additive for high performance lead-acid batteries”, *J. Power Sources* 390 (2018) 176.
- [13] D. Pavlov, M. Dimitrov, T. Rogachev and L. Bogdanova, “Influence of paste composition and curing program used for the production of positive plates with PbSnCa grids on the performance of lead acid batteries”, *J. Power Sources* 114 (2003) 137.
- [14] B. Choudhury and A. Choudhury, “Ce<sup>3+</sup> and oxygen vacancy mediated tuning of structural and optical properties of CeO<sub>2</sub> nanoparticles”, *Mater. Chem. Phys.* 131 (2012) 666.