



FOR CELL & PACK MANUFACTURING LEADERS

Better battery quality. Without slowing the line.

Production-grade diagnostics for cell & pack manufacturers.

PRESENTED BY

Mariam Awara, Chief Operating Officer

Pulsenics는 셀 및 팩 제조업체를 위한 양산-단계 진단 솔루션을 제공합니다.

본사

캐나다 토론토

핵심 역량

산업용 전기화학 시스템을 위한 진단 기술

핵심 기술

산업용 스케일 EIS 기술

적용 분야

배터리 / 연료전지 / 수전해

솔루션 포트폴리오

Pulse Series™ / AccelaGrade™



Pulsenics는 보증 리스크를 낮추고, 등급 분류 정확도를 향상시키며, 품질 비용을 절감합니다.

보증 리스크 관리

셀 출하 전 잠재 결함을 사전에 검출합니다.
기존 DC 측정 대비 30% 이상 더 많은 불량을
식별합니다.

제품 불량률 감소

등급 분류 정확도 향상

구성요소 단위 진단을 통해 셀 간 매칭을
향상시키고, 모듈 및 팩의 불균형과 편차를
줄입니다.

모듈 수율 향상

품질 비용 감소

검출된 불량 셀들은 모듈·팩 조립 및 고객 전달
이전, EOL(End of Line) 공정에서 선별·
제거됩니다.

불량 처리 비용 절감

DC 전압, ACIR, 용량 검사를 통과한 셀이라도 잠재적 결함을 포함할 수 있으며, 이는 현장 고장으로 이어집니다.

DC 기반 기능 검사는 일부 거시적 지표만을 측정합니다. 셀 내부 현상은 훨씬 복잡하며, 여러 고장 메커니즘은 기존 DC 방식으로는 포착되지 않습니다.

- 약하거나 불균일한 SEI 층

초래 현상: 이온 용량 감소

- 미량 금속 오염

초래 현상: 미세 단락과 저속 자가 방전

- 전해질 부족 또는 미함침 영역 (dry pockets)

초래 현상 : 임피던스 증가

- 양극 코팅 결함

초래 현상: 부하 시 반응 속도 저하

- 리튬 금속 전착

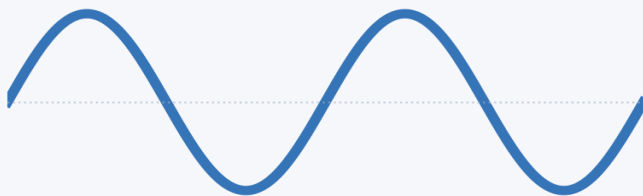
초래 현상: 안전 및 사이클 수명 위험

해당 메커니즘을 식별하기 위해선 구성요소 단위의 전기화학적 데이터가 필요하며, Pulsenics가 이를 제공합니다.

미세 전기 펄스를 배터리에 인가하여 내부 건강상태를 비파괴적으로 측정합니다.

120 개 주파수 기반 EIS를 통해 구성요소 단위의 건강상태를 측정하고 셀 내부의 결함을 식별합니다.

01 전기 펄스 인가



미세한 비파괴 전기 펄스를 셀에 인가합니다.

*신속한 다중 사인파 (0.01 Hz – 100 kHz) 주입

02 반응 신호 측정



low frequency

high frequency

각 주파수는 셀 내부의 서로 다른 반응을 드러냅니다.

03 분석/해석



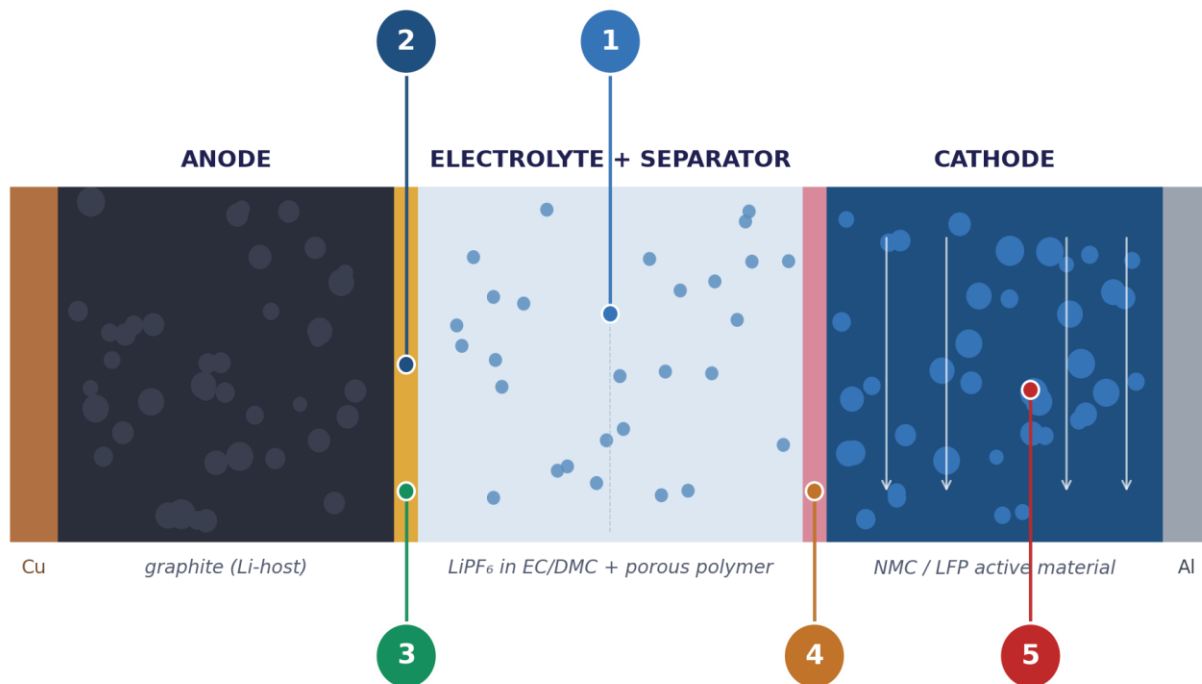
반응 신호를 셀의 다섯가지 구성 요소들로 분석/해석합니다.

측정 과정은 수백 개의 셀을 동시에 대상으로 30 초 이내에 완료됩니다.

각 주파수는 셀의 서로 다른 구성요소의 상태를 측정합니다.

EIS는 하나의 숫자로 나타나지 않습니다. 각 주파수에 상응하는 셀의 구성요소 별 신호로 분리되며, 이를 통해 셀 내부의 문제 지점을 식별할 수 있습니다.

EIS의 높은 민감도를 통해 기존 방법 대비 80% 더 이른 시점에 성능 저하 지표를 확인할 수 있습니다.



구성 요소 별 물리적 의미

- | | | |
|---|-----------------------|---------------------|
| 1 | 전해질 벌크
R_a / R_b | 전해질 내부에서의 리튬 이온 이동 |
| 2 | SEI 층
R_{SEI} | 음극 계면의 상태 |
| 3 | 전하 전달
R_{ct} | 전극 계면에서의 전기화학 반응 속도 |
| 4 | 캐패시턴스
C_{dl} | 전극-전해질 계면의 활성 표면적 |
| 5 | 확산
Warburg (W) | 활물질 내에서의 리튬 이온 이동 |

EIS는 셀 내부에서의 성능 저하 지점을 정확히 식별할 수 있습니다.

OUR IMPACT

EOL 공정에 EIS를 통합한 결과, 기존 DC 단독 측정 대비 30%의 셀에서 셀 건강 상태의 차이가 검출되었습니다.

Pulse Series 와 AccelaGrade 는 기존 공정 라인에 통합되며, 별도의 생산 라인 중단이 요구되지 않습니다.

THE PULSE SERIES™



0.01 Hz to 100 kHz
30 초 이내 전체 스펙트럼 측정

쉬운 통합성
기존 설비에 통합 가능

생산 설비를 위한 인라인 (In-line) EIS

적용 대상: 기존 EOL 테스트 설비 및 포메이션 사이클러

ACCELAGRADE™



등급 분류와 사이클링 통합 시스템

적용 대상: 배터리 등급 분류, EOL 테스트, 가속 사이클링

픽스처 당 128 개 셀 동시 측정
용량, SoH와 EIS 병렬 측정

기존 방식 대비 97% 빠른 측정
기존 사이클링 방식과 동일한 결과

동일한 전압의 두 LFP 셀에 대해, EIS는 DC 측정으로는 포착되지 않는 99%의 계면 캐패시턴스 차이를 드러냅니다.

측정 대상: 생산 라인의 두 LFP 셀

한 셀은 정상인 반면, 다른 셀은 제품 수명을 크게 저해하는 결함을 지니고 있었습니다.

DC 전압 측정에서는 두 LFP 셀이 동일한 전압을 보였으며, 이는 공정 허용오차 범위를 충족합니다.

EIS 측정에서는 두 셀 간의 차이가 명확하게 드러납니다.

핵심 메시지

EIS는 DC 전압 방식이 놓칠 수 있는 성능 결함을 명확하게 드러냅니다.

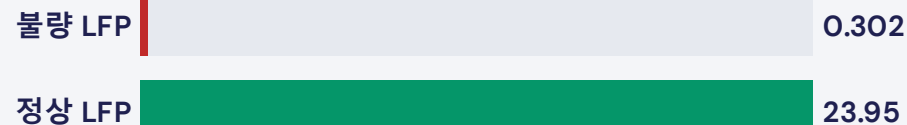
100 Ah LFP cells

전압 (DC 측정 방식)



두 셀 간 전압 차이: 0.2%

계면 캐패시턴스 (EIS 측정 방식)



두 셀 간 명확한 캐패시턴스 차이: 99%

전압 편차가 0.04%에 불과한 세 개의 NMC 셀에서도, EIS에서는 68%의 임피던스 편차가 나타나며, 약 40 사이클의 수명 차이를 예측할 수 있습니다.

포메이션 이후 EIS 측정 셀 대상 열화 거동 관찰 (NMC622, 4 Ah). 세 개의 셀들 모두 동일한 전압을 보임에도, EIS는 불량 셀을 정확히 식별합니다.

Cell 1	Cell 2	Cell 3
VOLTAGE (DC) 3.74479 V	VOLTAGE (DC) 3.74402 V	VOLTAGE (DC) 3.74672 V
EIS R_0 (BULK) 3.28 mΩ	EIS R_0 (BULK) 4.79 mΩ	EIS R_0 (BULK) 3.31 mΩ
EIS R_1 (SEI) 8.76 mΩ	EIS R_1 (SEI) 16.69 mΩ	EIS R_1 (SEI) 10.22 mΩ
CYCLE LIFE 130 cycles	CYCLE LIFE 91 cycles	CYCLE LIFE 131 cycles

세 개의 셀간 전압 편차: **0.04%** EIS 편차 (R_0+R_1): **68%** 전압 대비 EIS 민감도: **~1,700×**

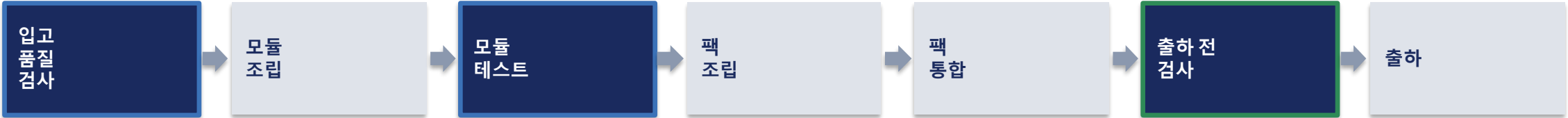
Pulsenics 는 인라인(in-line) 통합을 통해, 포메이션부터 EOL에 이르기까지 공정 전반에 걸쳐 결함들을 검출합니다.



각 측정은 30 초 이내에 완료됩니다. 생산라인 중단을 필요로 하지 않습니다.

Pulsenics는 라인 속도를 늦추지 않고
팩 조립 공정 내 세 지점에 통합됩니다.

잠재 결함이 라인에 유입되거나 현장에서 유출되기 전, 세 단계 – 입고 품질 검사, 모듈 테스트, 출하 전 검사 (End-of-Line) – 에서 통합 검사를 수행합니다.



입고 품질 검사 단계

잠재 결함이 라인에 유입되기 전에 차단합니다.

입고 셀의 SEI 품질, 오염, 전해질 이상 등 전압 및 ACIR 측정으로는 놓치는 잠재 결함을 선별합니다. 사이클러가 필요하지 않습니다.

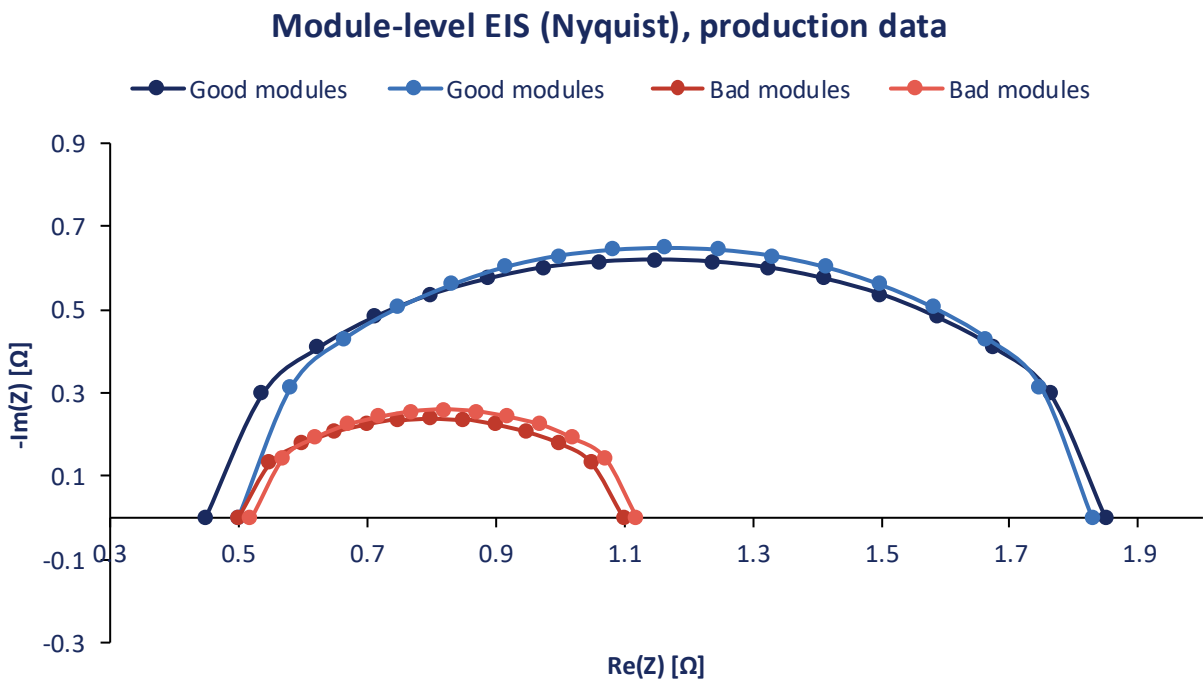
출하 전 검사 단계

팩 출하 전 결함을 찾아냅니다.

모든 팩에 대해 벌크, SEI, 전하 이동, 용량, 확산 항목을 포함한 전체 진단을 수행합니다. 라인 택트에 맞춰 1회 스윕당 30초 이내로 완료됩니다.

네 개 모듈 모두 동일한 전압을 보입니다.
EIS는 그중 결함이 있는 두 개를 식별합니다.

양산 모듈 4종, 모두 DC 전압 35.0 V로 측정되며 기능 QC도 통과합니다.
EIS 스펙트럼은 두 그룹으로 명확히 나뉘어, 불량 모듈이 라인을 빠져나가기 전에 식별합니다.



기존 QC · DC 전압

네 모듈 모두 동일하게 보입니다.

모듈 1 (정상)	35.0 V
모듈 2 (정상)	35.0 V
모듈 3 (불량)	35.0 V
모듈 4 (불량)	35.0 V

PULSENICS EIS QC

두 그룹으로 명확히 분리. 결함 검출 완료.

정상 모듈은 큰 임피던스 호를, 불량 모듈은 절반 크기로 무너진 호를 보입니다. 동일 전압, 다른 물리적 특성.



Pulsenics enables reliable electrochemistry at scale.

LET'S TALK

Mariam Awara, Chief Operating Officer

mariam@pulsenics.com

Toronto, Canada