



배터리 제조

## 배터리 전극 제조 시 주요 매개변수 모니터링

### 저자

Palani K Shanmugam, Thermo Fisher Scientific, Rugby, United Kingdom

Chris Burnett, Thermo Fisher Scientific, Tewksbury, MA, USA

### 키워드

배터리 제조, 배터리 전극, 리튬 이온 배터리, 인라인 메트롤로지

### 소개

전기차 및 장기간 에너지 저장 장치와 같은 응용 분야에서 리튬 이온(Li-ion) 배터리에 대한 수요가 증가함에 따라 배터리 제조업체는 제품 품질과 공정 효율성을 향상시켜야 하는 압박을 받고 있습니다. 리튬이온 배터리 전극 제조는 배터리 공급망의 중요한 부분이며, 전극 코팅 공정을 모니터링하는 방법이 점점 다양해지고 있습니다. Thermo Fisher Scientific은 전극 코팅 중량이라는 중요한 매개변수를 측정할 수 있는 새로운 기술인 Thermo Scientific™ LInspector™ Edge 인라인 질량 조면계를 개발했습니다. 린스펙터 에지 인라인 질량 조면계의 고해상도는 제조 결함을 효율적이고 정밀하게 감지하여 실시간으로 코팅 품질을 보장합니다. 이 응용 노트에서는 측정 가능한 요소, 그 적용 방법 및 고급 공정 제어를 위한 관련 기회에 대해 다룹니다.

## 최신 제조에 필요한 기반을 제공

배터리 제조업체에게 스마트 제조, 디지털 전환 및 산업 4.0으로 가는 길은 공정 모니터링을 위한 새로운 솔루션을 수용하는 데 달려 있습니다. 분산되고 완전 자동화된 의사 결정을 위해 필요한 고급 분석, 실시간 데이터 및 상호 연결성을 제공하는 도구가 필요합니다.

린스펙터 에지 인라인 질량 조면계는 혁신적인 새로운 측정 기술인 인라인 질량 프로파일미터를 사용하여 코팅된 전극의 전체 표면을 실시간으로 측정하며, 밀리초 단위로 코팅 중량 프로파일을 제공합니다. 그 결과, 다음과 같은 노력을 지원하는 풍부한 정보 흐름을 제공합니다:

- 코팅 중 결함을 신뢰성 있게 분류하고 적절한 수정 및 관리 전략을 개발하여 그 영향을 최소화합니다.
- 공정 제어를 향상시킵니다.
- 각 배터리에 대한 강력한 엔드투엔드(end-to-end) 추적성을 구축합니다.
- 다중 물리 및 데이터 기반 모델을 도출하여 보다 예측 가능한 설계 및 전극 제조를 가능하게 합니다.
- 디지털 트윈을 생성하여 대체 운영 전략의 결과를 예측하고 고급 공정 최적화를 구현합니다.

인라인 질량 프로파일미터는 약 5%에서 30%로 추정되는 폐기율과 예기치 않은 가동 중단 시간을 줄여 배터리의 품질과 안전성을 향상시킵니다.

## 데이터 분석 1: 코팅 중량 균일도

그림 2는 폭 방향(CD) 및 기계 방향(MD)에서의 코팅 중량 균일성을 2D 히트맵으로 보여줍니다. 이는 실제 실시간 코팅 중량 데이터를 색상 코드로 표현한 것입니다. 히트맵 아래와 오른쪽의 궤적은 각 전극의 수치적 변동성을 나타냅니다.

인라인 질량 프로파일미터는 100% 코팅 중량 측정을 제공하며, 통계적으로 유의미한 실시간 데이터 흐름을 제공하여 신속한 의사결정을 지원합니다. 전체 생산 속도에서 완전한 표면 검사를 수행하여, 특히 높은 생산 속도에서 중요한 코팅 영역을 놓칠 우려가 있는 스캐닝 게이지 및 기타 이동식 프레임 기술의 한계를 극복합니다.

히트맵의 단순성 덕분에 공정 엔지니어, 생산 관리자, 분석가가 결함 영역을 쉽게 식별하고 조사할 수 있습니다. 예를 들어, 엔지니어는 저점/고점을 식별하고, 이를 통해 개별 값의 크기를 확인하고 전극 전반의 변동성 정도를 평가할 수 있습니다.



그림1. 린스펙터 에지 인라인 질량 조면계

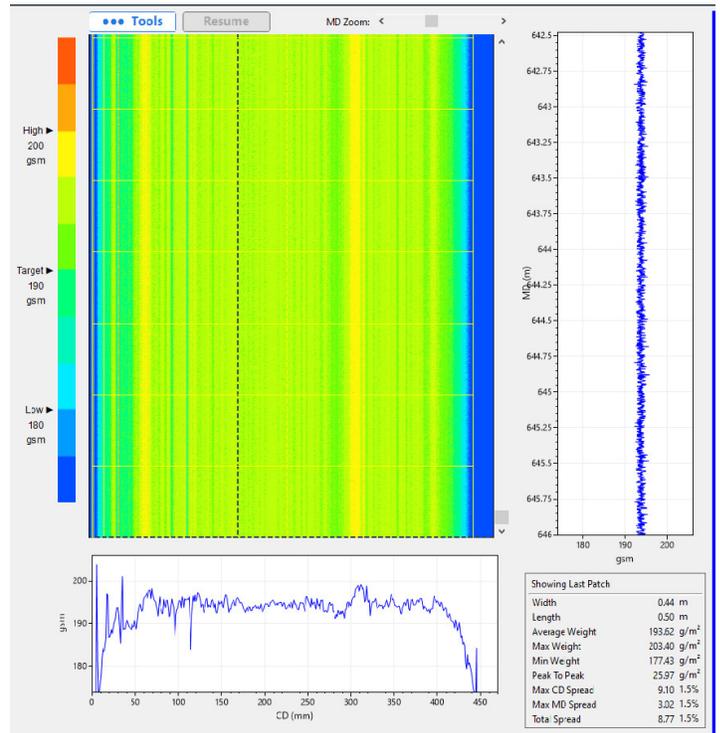


그림2. 2D 히트맵, 고해상도 폭 방향(CD) 및 기계 방향(MD) 프로파일

## 데이터 분석 2: 결함 검출 및 추적

더 높은 배율에서 히트맵은 그림3과 같이 결함을 강조하는 데 매우 효과적입니다. 빨간색의 작은 영역은 응집체나 기포처럼 과도한 코팅이 있는 부분을 나타내며, 표면 전체에 걸쳐 파란색의 일반화된 줄무늬는 샘플 전반에 걸쳐 중량 균일성이 일반적으로 부족함을 나타냅니다.

배터리 제조 업체는 다음과 같은 다양한 결함 유형에 대해 관심을 가지고 있습니다:

- 코팅 중량 결함: 평균 중량 또는 고/저점과 관련된 결함
- 균일성 결함: 폭 방향 분포, 기계 방향 분포, 총 분포, Cp 및 CpK
- 치수 결함: 너비 또는 길이
- 에지 결함: 네 모서리 중 어느 곳이든 얇게 코팅된 에지 또는 두껍게 코팅된 에지(bunny ear)
- 굽힘/줄무늬
- 빈공간/기포
- 응집체
- 오염물질
- 차터/리빙 (떨림 현상/줄무늬 결함)

결함은 전체 폭에 걸쳐 전극 롤의 특정 길이에 영향을 미치거나, 작은 영역에 국한될 수 있습니다.

그림 4는 가장자리 결함(빨간색으로 표시)을 강조한 히트맵 스트라이프 프로파일 디스플레이를 보여줍니다. 이러한 샘플들의 스트라이프 에지 확대 프로파일은 그림 5에 나와 있으며, 이를 통해 문제의 가시성과 평가를 높일 수 있습니다. 이는 폭 방향 웹 프로필을 가로지르는 코팅된 스트라이프의 측면 에지를 보여줍니다. 이 그림들은 결함 모니터링을 위한 시스템 소프트웨어의 몇 가지 주요 기능을 보여주며, 이러한 기능에는 다음이 포함됩니다.

- 한 페이지당 최소 4개의 스트라이프 프로필을 표시하며 최대 16개의 스크롤 가능한 스트라이프 또는 전체 폭 프로필을 표시합니다.
- 실시간으로 코팅된(흰색) 및 코팅되지 않은(연한 파랑) 영역을 볼 수 있습니다.
- 최대 16개의 스트라이프에 대해 각각 왼쪽과 오른쪽 에지를 위한 하위 확대 창을 설정할 수 있습니다.

통계적 값과 설정 옵션은 차트 표시의 다양한 측면을 고려하여 사용자의 요구에 맞게 자유롭게 설정할 수 있습니다. 예를 들어, 하위 확대 창에서는 X축 가장자리 확대 표시 크기(mm) 및 확대 너비(%)를 사용자가 설정할 수 있습니다. 이때 대상 에지 위치 주변에 코팅을 중심으로 75/25%의 비율이 적용됩니다. Y축도 비슷한 방식으로 수정할 수 있습니다.

여기서 빨간색 영역은 코팅이 정의된 사양을 벗어났음을 나타내며, 이는 개선 조치를 유도하여 스크랩으로 손실되는 코팅된 전극의 양을 최소화하는데 도움이 될 수 있습니다. 반면에 기존의 스캐닝 기술에서는 스캐닝 시스템이 느리고 전극의 하부 표준 영역을 놓칠 수 있기 때문에 문제를 해결하기 위한 조치를 취하기 전에 훨씬 더 많은 사양을 벗어난 제품이 생산될 가능성이 있습니다. 중요한 점은 수동 결정을 더 쉽게 만들면서 모든 표시된 데이터가 고급 자동화된 공정 제어를 위한 안전한 기반을 제공한다는 것입니다.

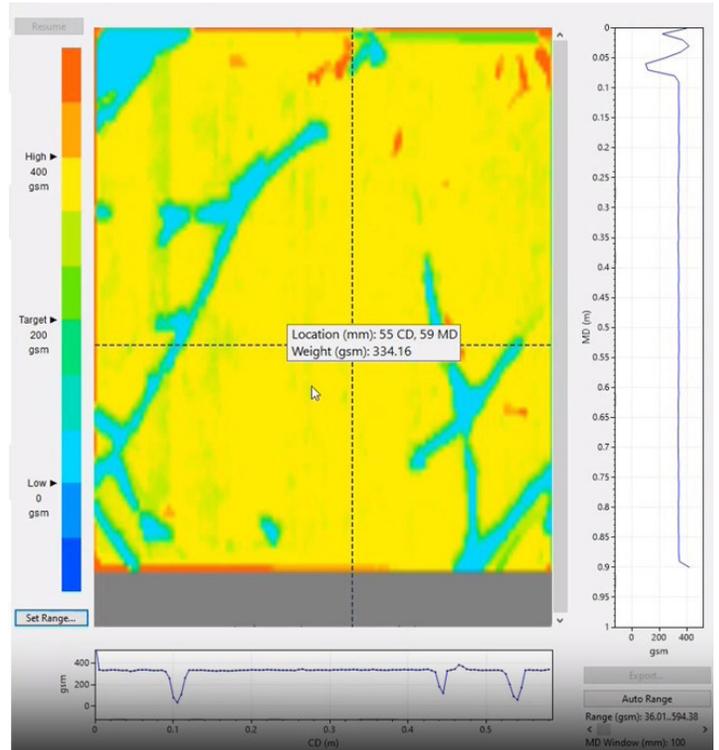


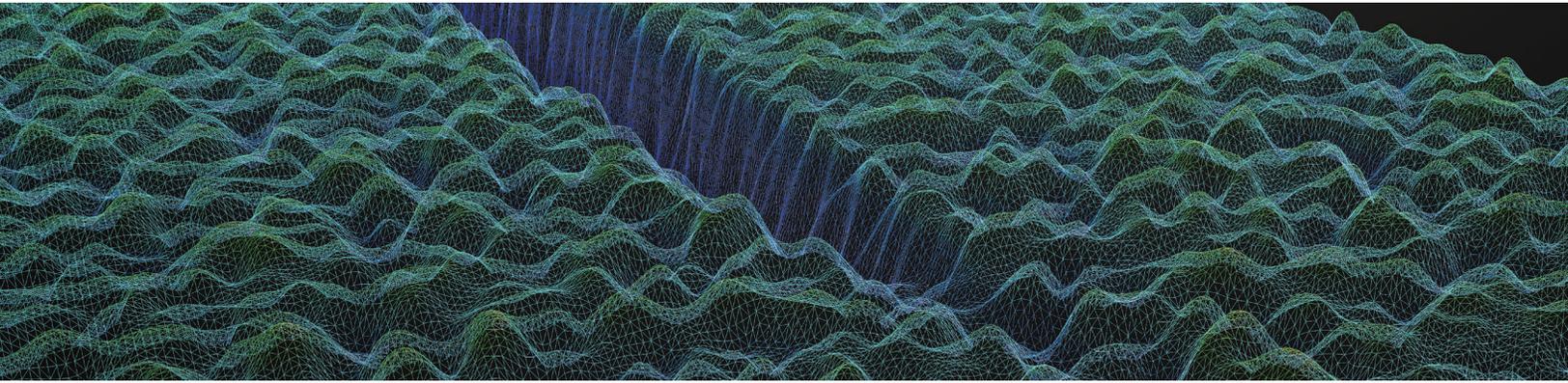
그림 3. 2D 조감도, 고차원 폭 방향(CD)과 기계 방향(MD) 데이터 및 결함 식별



그림 4. 에지 결함 식별이 가능한 히트 맵 뷰



그림 5. 각 에지에 대한 하위 확대 창을 보여주는 폭방향 스트라이프 에지 확대 프로파일 (이미지의 아래쪽 절반)



### 통찰력 제공

미래의 스마트하고 효율적인 공정을 구축하고 점점 더 엄격해지는 제품 품질 기준을 충족하려면 배터리 제조업체는 생산 기초 지식을 강화하고 고급 공정 제어를 구현해야 합니다.

린스펙터 에지 인라인 질량 조면계는 고해상도 데이터를 전례없는 속도로 캡처하고 분석을 위한 다용도 도구 세트를 제공함으로써 이러한 목표를 향한 안전한 기반을 제공합니다. 코팅 품질은 중량 변동 측정을 통해 정상화됩니다. 신속하고 고감도의 측정은 결함을 감지하고 식별할 기회를 극대화하여 문제의 발생을 예측하고 최소화하는 데 유용한 정보를 제공합니다.

결함이 없는 전극은 고품질의 리튬 이온 배터리의 기반입니다. 더 높은 생산성과 품질을 달성하기 위해 모든 생산 속도에서 상세하고 완벽한 품질 검사가 필요합니다. 모든 종류의 전극 코팅에 대한 제품 품질을 측정할 수 있는 이 새로운 기술은 생산 과정에서 자원 및 비용 효율성을 보장하고 지속적인 개선 전략을 강조하는 데 중요한 역할을 합니다.

더 자세한 정보는 [thermofisher.com/LInspectorEdge](https://thermofisher.com/LInspectorEdge)  
이메일문의 [ftir-korea@thermofisher.com](mailto:ftir-korea@thermofisher.com)

Thermo Fisher Scientific 씨모피셔사이언티픽코리아 주식회사  
서울시 강남구 광평로 281 수서 오피스빌딩 12층, 06349 | 대표번호 : 1661-9555

© 2024 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific Inc. and its subsidiaries unless otherwise specified. Not all products are available in all countries. Please contact your local sales representative for details.

PPA-AN1010-EN\_4/24

thermo scientific