

# 대형 GEM 포일의 품질검증법 및 배송을 위한 포장법에 관한 매뉴얼

윤인석

2018년 11월 29일

## 요약

본 문서의 목적은 메카로에서 진행되는 대형 GEM 포일에 대한 올바른 품질검증법과 포장법을 KCMS 구성원에게 소개하는 것이다. 본 절차는 CMS Phase-II의 원활한 진행과 KCMS의 공헌을 위해 필수적인 절차이다. KCMS 구성원은 본 문서를 꼼꼼히 읽어 내용을 숙지하여 올바른 품질 검증을 진행하여야 한다.

## 차 례

제 1 절 품질 검증의 필요성 및 목표	1
제 2 절 외관 검사	3
2.1 은 페이스트 건조 검사 . . . . .	3
2.2 홀 지름 검사 . . . . .	4
2.3 식각 결합 검사 . . . . .	5
2.4 SMD 저항 검사 . . . . .	7
2.5 전극선 단선 검사 . . . . .	8
2.6 구겨짐 확인 . . . . .	8
제 3 절 고전압을 이용한 청결 검사	10
3.1 600 V 검사 . . . . .	10
3.2 QC2-Fast . . . . .	10
3.3 QC2-Long . . . . .	11
3.3.1 QC2-Long의 준비 . . . . .	11
3.3.2 Preparation_QC2_Long . . . . .	11
3.3.3 QC2-Long . . . . .	12
3.3.4 Monitor . . . . .	12
제 4 절 포장법	13
부록 A QC2-Fast	15

## 그림 차례

1 대형 GEM 포일을 필름 판독기에 놓은 모습 . . . . .	3
2 건조되지 않은 은 페이스트 . . . . .	4
3 식각 결합의 예 . . . . .	6
4 치명적 식각 결합의 양상 . . . . .	7
5 SMD 저항 납땜이 잘못된 예 . . . . .	8

6	전극선 단선의 예 . . . . .	9
7	물리적 손상을 입은 포일의 예 . . . . .	9
8	폴리카보네이트 판의 절단면 처리 . . . . .	13
9	폼의 처리 . . . . .	14
10	방전 필름의 처리 . . . . .	14
11	GEM 포일의 고정 . . . . .	14

## 표 차례

1	일반적인 QC2-Fast 검증 결과의 예 . . . . .	16
---	----------------------------------	----

## 제 1 절 품질 검증의 필요성 및 목표

네 번의 시험 생산과 검증의 결과 메카로의 품질 표준화에 미진한 부분이 있는 것으로 파악되고 있다. 메카로의 대형 GEM 포일의 생산 능력 자체는 CERN과 비교하여 충분히 훌륭한 수준으로 파악되고 있다. 하지만 부분적으로 성능이 떨어지는 포일이 생산되는 경우가 있다. 저품질의 포일이 CERN으로 배송될 경우 Rui 연구실에서 수리 및 세척 과정을 진행되야 하며, 최악의 경우 해당 포일을 폐기해야 할 수도 있다. 이 때 상당한 시간적 및 금전적 손해가 발생한다. 이는 CMS Phase-II upgrade 프로젝트의 원활한 진행을 방해할 것이다. 또한 KCMS에 추가적인 금전적 손해를 강요할 것이다.

이런 문제의 발생을 최소화하기 위해 포일 배송 전, GEM 포일의 품질을 최대한 검증하여 문제가 있는 포일의 배송을 막아야 한다. 또한 포일포장법을 표준화 하여 포일이 배송 중 오염되거나 파손되는 일을 최대한 줄여야 한다.

그간 가장 문제가 되었던 부분은 세척의 미비이었다. GE1/1 포일 2차 배송분, 9장의 포일이 CMS에서 진행한 품질검증시험에서 실패하였다. 고전압을 견디는 검증시험에 모든 포일이 단락되었다. 단락이 된 포일을 Rui 연구실에서 재차 세척을 한 후, 메카로 포일은 검증시험을 문제 없이 통과하였다. 따라서 메카로에서 진행한 포일 세척 과정의 미진함이 문제의 원인으로 해석되었다. 이에 해당 문제를 해결하기 위한 여러가지 시도가 있었다. 포일 생산 차원에서 는 메카로의 세척 능력 향상을 위한 노력이 진행 중이며, 최근 상당한 진척을 보이고 있다.

가장 큰 문제였던 세척 문제가 해결되어 감에 따라, 그간 미루어 왔던 문제들을 해결하기 위한 노력이 진행 중이다. 전압선이 단선되는 문제, 훌 지름의 균일성 부족 문제 그리고 식각 결합이 메카로에서 해결해야 할 다음 과제이다. 이에 포일 품질검증 차원에서는 이런 문제들에 대해 검증을 보다 집중하여 진행해야 한다.

검증 차원에서는 CMS에서 정립된 품질검증법을 포함한 다각도의 품질검증을 메카로에서 진행하여, 우수한 포일을 선별하여 배송하는 방법을 채택하였다. 이 선별과정의 진행은 매우 효과적이었다. 이 선별과정이 도입된 후 진행된 GE1/1 3차 배송분과 GE2/1 M7 1차 배송분의 품질검증이 큰 문제 없이

진행되었다. 이에 KCMS와 메카로는 CMS의 신뢰를 얻을 수 있었다.

이에 메카로에 파견된 KCMS 구성원이 GEM 포일에 대한 엄격한 품질검증을 진행하고, 올바르게 GEM 포일을 포장한다. 이는 메카로가 GEM 포일 생산에만 집중할 수 있도록 배려함을 위함이다. 또한 생산과 품질검증을 분리하여 품질검증의 기준이 인적 요소에 의해 낮아지는 것을 방지하기 위함이다.

## 제 2 절 외관 검사

외관 검사의 목적은 포일의 형태를 검사하는 것으로 그림 1와 같이 메카로 품질검증실에 마련된 필름판독기에 포일을 올리고 진행한다.

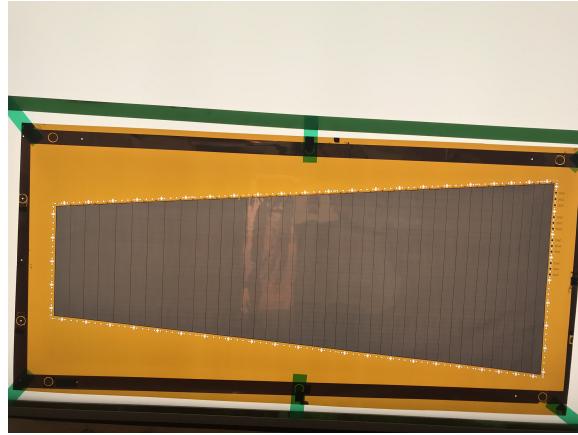


그림 1: 대형 GEM 포일을 필름 판독기에 놓은 모습. 결함이 있는 부분은 다른 곳보다 밝게 보이므로, 결함을 쉽게 확인할 수 있다.

외관 검사에서 실패한 포일은 포일의 상태에 따라 인수거부 또는 추가 공정을 의뢰해야 한다. 자세한 행동 요령은 각 항목을 참조할 것.

외관 검사를 진행해야 되는 포일들을 청결 검사를 진행하는 포일들과 섞이지 않도록 공간상으로 분리할 것.

### 2.1 은 페이스트 건조 검사

가장 먼저 HV 패드에 은 페이스트가 완전히 건조 되었는지 검사한다. 건조되지 않은 은 페이스트가 포일을 취급하는 중에 밀려 GEM 포일의 활성 영역에 들어가면, 포일이 달락되며 이를 복구할 수 없다. 따라서 은 페이스트의 건조 여부를 가장 먼저 확인한다. 그림 2은 은 페이스트가 완전히 건조되지 않은 상태에서 포장을 진행하였기 때문에 발생한 현상이다. 은 페이스트가 주변으로 밀려들어간 것을 확인할 수 있다.

만약 HV 패드에 은 페이스트가 발라져 있지 않을 경우, 메카로 직원에게 이를 알리고 페이스트 도포를 의뢰한다.



그림 2: 은 페이스트가 완전히 건조되지 않은 상태에서 포장을 진행했을 때, 발생하는 현상. 방정전 필름에 은 페이스트가 묻은 것을 확인 할 수 있다. 이 때 은 페이스가 주변으로 밀려 들어가게 된다.

## 2.2 홀 지름 검사

GEM 홀의 지름이 목표치인 PI홀 (구리홀)  $50 \mu\text{m}$  ( $70 \mu\text{m}$ )에 도달했는지 검사 한다.

GE2/1 M7 1차 배송분에서, PI홀의 지름이 목표치보다 작은 포일이 발견되었다. 이는 식각 용액의 휘발에 따라 식각 특성이 많이 변하기 때문이며, 메카로의 시각 용액의 품질 표준화가 충분하게 진행되지 않기 때문이다. PI 홀의 지름은 GEM 검출기의 이득에 영향을 주기 때문에 PI홀의 지름을 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 또한 PI홀의 지름이 일정하게 나오지 않는다는 것은 PI 에칭 조건이 틀렸음을 암시하기 때문에 홀의 전반적인 구조가 틀렸을 가능성을 암시한다. 그리고 PI 에칭 조건이 틀렸을 경우, 식각 결합의 치명성을 유도하기도 한다. 따라서 PI홀의 지름은  $50 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$  수준을 유지해야 한다.

구리홀의 경우 그간 큰 문제 없이  $70 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$ 을 유지하였다. 메카로의 공정 방식을 생각하였을 때, 앞으로도 구리홀의 지름 표준화에는 문제가 없을 것으로 예상한다.

PI홀(구리홀)의 지름은 필름 판독기에 설치되어 있는 현미경과 컴퓨터 SW 을 이용하여 측정한다. PI홀과 구리홀의 구분은 빛을 포일의 아래에서 쏘여 주거나 위에서 쏘여 주는 방식으로 할 수 있다. 빛을 포일의 아래에서 쏘여 주면 PI홀의 지름을 측정할 수 있고, 빛을 포일의 위에서 쏘여 주면 구리홀의 지름을 측정할 수 있다. 현미경의 초점을 정확하게 맞춘 후 측정을 진행해야 한다.

홀 지름은 포일의 네 모퉁이와 가운데 다섯 곳에서 측정한다. 홀 지름 검사는 PI 식각일 기준으로 하루 생산분에서 하나의 포일에만 진행하면 된다. 만약 하나의 포일에 문제가 발견되었을 경우, PI 식각일 기준으로 같은 날에 생산된 다른 포일에도 문제가 있을 가능성이 매우 높다. 따라서 이 경우에는 해당 포일들에 대한 검사를 철저히 진행해야 한다.

홀 지름에 문제가 있는 포일은 인수 거부되어야 한다.

### 2.3 식각 결함 검사

공정의 특성상 그림 3와 같은 식각 결함이 발생할 수 있으며 일정 부분 불가 피한 면도 있다. 하지만 식각 결함을 점차 줄이는 것이 바람직하다. 따라서 KCMS 구성원들은 공정의 보완을 위해 식각 결합의 빈도를 추적해야 한다. 그리고 치명적 형태의 식각 결함이 있는 포일을 걸러내야 한다.

그림 3의 왼쪽 사진처럼 구리총만 손상되었고 PI총이 온전한 경우, 대체로 큰 문제는 없다. 단지 해당하는 활성 영역을 잃을 뿐이고, 검출기를 운영하는데 그외의 문제가 발생하지 않기 때문이다. 정해진 기준은 없으나, 결함 면적이  $5 \text{ mm}^2$  이하라면 충분히 감수 가능하다고 생각된다. 다만 이런 양상의 결함은 드물다.

대다수의 식각 결합의 경우 그림 3의 오른쪽 사진처럼 PI총까지 손상을 입는다. PI총이 사라졌기 때문에 결합의 중심부가 하얀색으로 보인다. 이 경우 남아 있는 구리총의 형태에 따라 매우 중대한 결함이 될 수도 있고 아닐 수도 있다. 위험성은 남아있는 구리총이 접촉되어 단락을 일으킬 가능성을 예측하여 판단한다. 필요한 경우 현미경을 통해 손상 양상을 확인한다. 만약 PI총의 파괴



(a) 구리층이 손상된 포일

(b) PI층까지 손상된 포일

그림 3: 식각 결합의 예. (왼쪽) PI층이 온존한 경우이다. PI층이 온존하기 때문에 결합 위치가 진한 노란색으로 보인다. (오른쪽) 그림은 PI층이 파괴되었으며 부분적으로 온전한 구리층이 사라진 PI층 위를 살짝 덮고 있는 형태이다. PI 층이 사라졌기 때문에 결합의 중심부가 하얀색으로 보인다.

범위보다 구리층의 파괴 범위가 더 넓어서 두 구리층이 접촉 가능성이 없는 형태라면, 결합 면적에 따라 큰 문제가 없을 수 있다. 만약 남아 있는 구리층에 뾰족한 부분이 있다면 구리층이 단락될 가능성이 높을 것이다. 또한 PI층 없이 남아 있는 구리층이 넓으면 구리층이 단락될 가능성이 높을 것이다. 상당 부분 작업자의 경험과 감에 의존할 수 밖에 없는 부분이다.

그림 4은 이와 같은 치명적 결합의 양상을 보여준다. 하얀색으로 보이는 부분은 구리층과 PI층이 모두 파괴된 영역이고, 연한 갈색으로 보이는 부분은 PI층 없이 구리층만 남아 있는 영역이다. 구리층만 남아 있는 영역이 상당히 넓어서 포일이 단락될 가능성이 매우 높다.

만약 결합이 포일이 구겨진 위치에 존재한다면, 해당 포일은 특히 신중하게 검사를 진행해야 한다. 치명적 결합은 구겨진 FCCL에 식각 작업을 진행했을 때 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그림 4을 보면 사진상 흐릿하지만, 포

일이 구겨진 것을 확인할 수 있다. 구김으로 생긴 모서리에 결함이 위치한 것을 확인할 수 있다. 따라서 구김 위에 있는 결함이 있을 경우 특히 신중하게 검사를 진행해야 한다.

단락 가능성이 높아 보이는 치명적 결함이 발생했을 경우, 해당 포일은 인수 거부되어야 한다.



(a) 치명적 결합의 육안 사진

(b) 치명적 결합의 현미경 사진

그림 4: (왼쪽) 치명적 결합의 육안 사진이다. PI층이 파괴되었으며 부분적으로 온전한 구리층이 사라진 PI층 위를 살짝 덮고 있는 형태이다. PI층이 사라졌기 때문에 결함 위치가 하얀색으로 보이며, 부분적으로 온전한 구리층이 연한 갈색으로 보인다. (오른쪽) 칠명적 결합의 현미경 사진이다. (추후 업데이트 예정)

## 2.4 SMD 저항 검사

SMD 저항이 빠짐 없이 그리고 정상적인 위치에 납땜이 되어 있는지 검사해야 한다. SMD 저항이 한두개 씩 납땜 되지 않는 경우가 굉장히 빈번하므로 꼼꼼하게 검사해야 한다. SMD 저항이 잘못 납땜된 예시는 그림 5와 같다.

납땜이 되지 않은 섹션을 발견하면 메카로에 납땜과 이소프로필알콜 또는 아세톤으로 납땜 찌꺼기의 세척 후 포일 재세척을 의뢰한다.

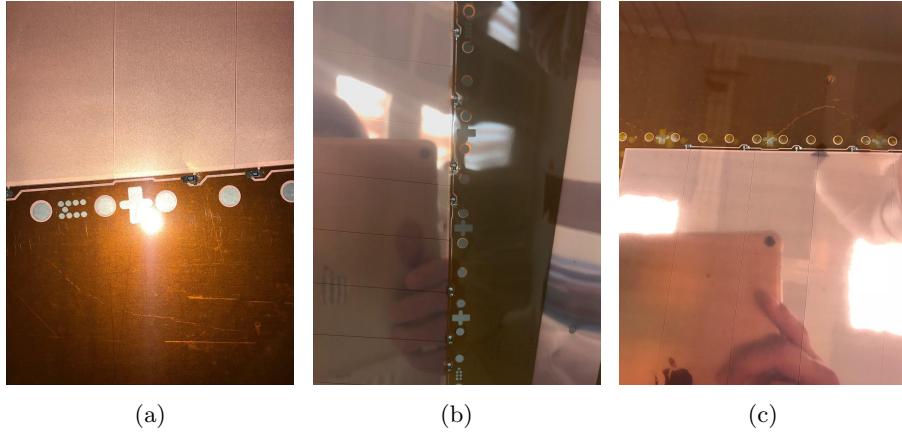


그림 5: SMD 저항 납땜이 잘못된 예들. (왼쪽) 과도한 땜납이 다른 전극선을 침범함. (중간) 과도한 온도로 납땜을 하여 구리충이 산화됨. (오른쪽) SMD 저항이 납땜되지 않았음.

## 2.5 전극선 단선 검사

전극선에 끊어진 곳이 없이 정상적으로 형성이 되어 있는지 검사해야 한다. 멀티미터로 전극선 양끝의 저항을 측정하여 단선이 있는지 확인한다. 그림 6이 보여 주는 것처럼, 눈으로는 단선을 확인할 수 없는 경우가 대부분이다. 전극선 단선은 굉장히 빈번한 결합 양상이므로 꼼꼼하게 검사해야 한다. 전극선은 저항 주변에서 끊어지는 경우가 많다.

만약 단선이 있을 경우 위치를 찾아 메카로에 알리고, 은 페이스트로 수리 할 것을 의뢰한다.

## 2.6 구겨짐 확인

그림 7처럼 공정 과정 상 어쩔 수 없이 발생하는 작은 구겨짐 외에 찍힘, 또는 접힘 등의 물리적 손상이 보일 경우, 포일의 장기간 안정성을 보장할 수 없다. 메카로의 경험이 쌓이면서 급격히 줄어 들고 있는 결합 양상이다.

구겨진 포일은 인수 거부되어야 한다.



그림 6: 전극선 단선의 예. 위쪽에서 2번째 SMD 저항의 윗쪽 전극 주변의 전극선이 단선되었다.

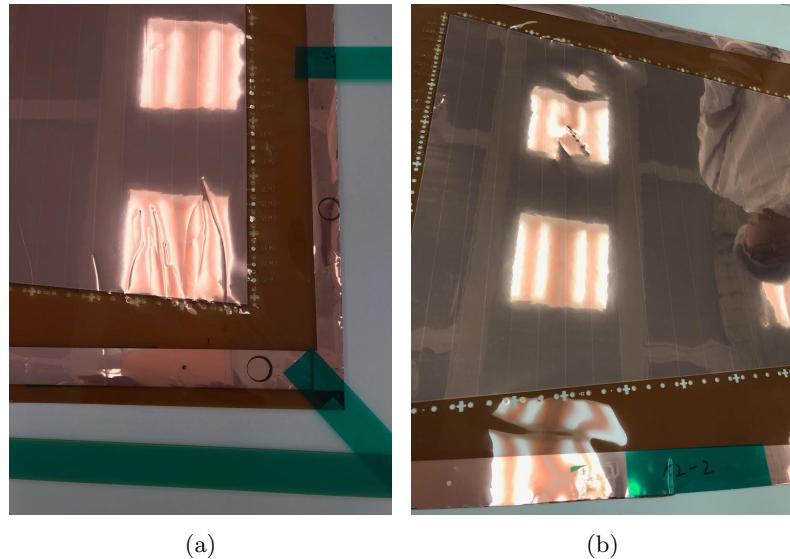


그림 7: 물리적 손상을 입은 포일의 예. 이와 같은 포일은 인수거부 할 것.

## 제 3 절 고전압을 이용한 청결 검사

청결 검사 목표는 세척이 불량한 포일을 찾아서 재세척을 진행하기 위함이다. 청결하지 않은 포일은 고전압을 걸었을 경우 높은 누설 전류를 가지거나, 잦은 방전이 일어나거나 최악의 경우 단락이 된다. 모두 검출기를 사용할 수 없게 되는 조건이다. 이 검사에서 실패한 포일은 메카로에 재세척을 의뢰해야 한다.

청결 검사가 진행되는 포일들 외관 검사를 진행하는 포일들과 공간상으로 분리할 것. 청결 검사를 진행하는 동안 잦은 재세척이 진행되며 포일이 이동하기 때문에 포일이 섞이기 쉽기 때문이다.

### 3.1 600 V 검사

600 V 검사에서는 포일에 600 V의 전압을 걸어 방전이 일어나는지 확인하고 누설 전류를 측정한다. 이 때 전원 공급 장치의 전류 한계  $10 \mu\text{A}$  이상으로 한다. 전류 한계를 높게 설정하는 이유는 충분한 에너지를 공급하여 포일에 있는 오염이 증발하도록 하기 위함이다. 이 때 충분한 에너지가 공급되지 않으면 타다 남은 오염물이 포일에 달라붙어서 단락을 일으킬 수 있다. 600 V 전압을 걸었을 때, 5s 안에 방전이 멈추고  $60 \text{nA} (=10 \text{ G}\Omega)$ 의 누설전류가 관측되어야 한다.

600 V을 걸었을 때 안정적인 포일은 10 V 간격으로 공급 전압을 높여 가면서 방전이 발생하는지 그리고 안정적인 누설전류가 형성되는지 확인한다. 마찬가지로 전압을 올린 후 5s 내에 방전이 멈춰야 한다. 이를 반복하여 공급 전압은 620 V까지 높인다. 620 V의 공급 전압에도 방전이 발생하지 않고  $60 \text{nA}$  이하의 누설 전류가 흐르면 합격이다.

만약 5초 후에도 지속적인 방전이 일어나거나, 단락이 일어나거나, 또는 높은 누설 전류가 흐르면 메카로에 해당 포일의 재세척을 의뢰한다.

### 3.2 QC2-Fast

QC2-Fast는 CMS에서 정립한 포일 검증법이다. 하지만 600 V 검사와 상당 부분 겹치고, 시간이 부족하기 때문에 생략한다. QC2-Fast에 대한 자세한 사항은 절을 차조.

### 3.3 QC2-Long

QC2-Long은 검출기 내부와 같이 건조한 환경에서 포일의 장기간 안정성을 시험하기 위해 CMS에서 고안된 검증법이다. 포일의 방전 여부에 따라 다르나, 최소 7 h 동안 600 V의 고전압을 걸어 주었을 때, 포일이 3회 이하의 방전과 3 nA 이하의 누설전류를 가져야 한다. 포일이 QC2-Long까지 통과한다면 해당 포일의 품질은 검증된 것으로 간주한다.

장기간의 걸친 검사를 진행하기 위해 QC2-Long은 컴퓨터가 HV모듈의 제어, 기록을 담당한다. 제어와 기록을 위한 SW은 [https://github.com/diracyoon/GEM\\_QC\\_SW](https://github.com/diracyoon/GEM_QC_SW)에서 다운 받을 수 있다. 해당 SW의 컴파일과 실행법은 [https://github.com/diracyoon/GEM\\_QC\\_SW](https://github.com/diracyoon/GEM_QC_SW)의 README 파일을 참조 할 것. 사용자의 편의가 기록의 안정성을 위해 SW은 지속적으로 갱신 중이다.<sup>1</sup>

#### 3.3.1 QC2-Long의 준비

건조한 환경을 만들기 위해, 포일을 QC2-Long용 건조 질소 박스에 넣는다, SHV 케이블을 연결한다. 포일의 위치 번호와 SHV 케이블 번호를 잘 기록해 두어야 한다. 습도를 낮추기 시작하면 포일에 접근이 불가능 하기 때문에 SHV 케이블 연결, 번호 기록에 실수가 없도록 한다. 질소 박스를 닫고, 질소를 최대로 흘린다. QC2-Long을 진행할 수 있는, 상대습도 5%로 떨어질 때까지 수십분 정도의 시간이 걸린다. 상도습도가 5%에 도달하면 질소의 flow rate을 조절해 낭비를 막도록 한다.

#### 3.3.2 Preparation\_QC2\_Long

상대습도가 떨어지기를 기다리며 Preparation\_QC2\_Long을 실행한다. 해당 프로세스는 QC2-Long을 위해 장시간에 걸쳐 점진적으로 450 V에서 615 V까지 전압을 높인다. 각 전압 단계에서 전압이 방전 없이 10 min간 유지되면, 전압을 높여 다음 단계로 넘어간다. 만약 한 단계에서 3회 초과의 방전이 일어나면, 해당 전압에서 검사가 실패되고 전압을 낮추어 이전 단계로 돌아간다. 만약 한 전압 단계에서 3회 초과의 실패가 일어나면 Preparation\_QC2\_Long은 실패한

---

<sup>1</sup>불편 사항을 발견하면, 필자에게 알려 주길 바람.

것으로 간주되고 프로세스가 비정상 종료된다. 비정상적으로 프로세스가 종료되면 HV 모듈의 해당 채널 전원이 꺼진다. 반면 포일이 Preparation\_QC2\_Long 을 성공적으로 통과하여 해당 프로세스가 정상적으로 종료된 경우, 615 V의 전압이 유지된다.

만약 잊은 방전으로 Preparation\_QC2\_Long이 비정상 종료된 경우 메카로에 해당 포일의 재세척을 의뢰한다.

### 3.3.3 QC2-Long

GEM 포일이 Preparation\_QC2\_Long을 통과했고, 질소 박스내 상대 습도가 5% 이하로 떨어지면, QC2\_Long을 시도할 수 있다. QC2\_Long이 실행되면 600 V와 100 V을 반복하는 스트레스 테스트를 5회 실시 후, 6시간에 걸쳐 600 V의 전압을 포일에 걸어 주고 누설 전류와 방전 속도를 측정한다. 마지막 단계가 QC2\_Long의 핵심적인 단계이다. 이때 누설전류가 3 nA 이하로 안정적으로 유지되어야 하며, 방전은 3회 이하로 일어나야 한다. 만약 지나치게 크거나 안정적이지 않은 누설 전류가 관찰되거나, 3회 초과의 방전이 관찰되면 해당 포일은 QC2-Long에서 실패한 것이다. 3회 초과의 방전이 일어날 경우, QC2\_Long은 비정상 종료된다.

QC2-Long에서 실패한 포일은 메카로에 재세척을 의뢰한다. 목표치를 약간 상회하는 안정적인 누설 전류가 관측되었을 경우, 세척 과정 중 고압 DI수 살수 과정만 진행하여도 무방하다.

### 3.3.4 Monitor

Monitor SW을 통해 진행 중이거나 완료된 Preparation\_QC2\_Long와 QC2\_Long 의 진행 및 결과를 확인할 수 있다. Monitor는 현재 진행 중인 품질 검증 프로세스의 유무를 감시한다. 만약 진행 중인 프로세스가 감지되면, TCanvas GUI 에 각 HV 채널 별로 subpad에 그 결과를 표시한다. 프로세스가 완료되면, 정상 또는 비정상 종료에 관계 없이, 그 결과가 Monitor에 의해 Output 폴더에 저장된다.

## 제 4 절 포장법

세척이 끝난 포일이 배송 중 다시 오염 되거나 파손되는 것을 막기 위해 올바른 포장법을 적용하는 것이 중요하다. 포일 포장에서 가장 신경 써야할 것은 먼지를 제거하는 것과, 포일이 구겨지지 않게 고정하는 것이다. 포일 포장법은 제공되는 동영상을 참고할 것. 본 문서에서는 주요 사항에 대해서만 간략하게 기술한다.

포장의 외곽은 폴리카보네트 판을 이용해 물리적 지지대의 역할을 하게 한다. 압력과 SMD 저항에 의해 포일이 인접한 포일을 상하게 하는 것을 막기 위해 포일 사이에는 품을 깔아 준다. 품의 크기는 포일이 구겨지는 것을 막기 위해 반드시 포일보다 커야한다. 포일은 방전 필름으로 감싸 준다. 포장에 사용되는 모든 요소는 청소기와 DCR 롤러를 이용해 청소한다. 배송 중 포일이 움직이는 것과 구김이 발생하는 것을 막기 위해, 폴리카보네이트 판에 모든 요소의 네 뒤통이를 3M PET 테이프로 고정한다. 완성된 포장팩은 청소된 비닐봉투에 담아 외부 먼지가 유입되는 것을 막는다. 최대 12장의 포일을 한 팩에 담을 수 있다.



그림 8: 왼쪽 : 폴리카보네이트 판의 절단면은 부스러기가 나오는 것을 막기 위해 3M PET 테이프로 막아준다. 오른쪽 : 폴리카보네이트 판은 DCR 롤러로 양면을 청소한다.



그림 9: 왼쪽 : 폼은 청소기를 이용해 청소한다. 폼의 크기는 포일이 구겨지는 것을 막기 위해, 최소 반드시 포일의 크기보다는 커야한다. 오른쪽 : 폼은 폴리카보네이트 판에 3M PET 테이프로 네 뒤통이를 고정한다. 이 때, 구김이 없어야 한다.



그림 10: 왼쪽 : 방전 필름은 DCR 롤러 이용해 양면을 청소한다. 오른쪽 : 방전 필름은 폴리카보네이트 판에 3M PET 테이프로 네 뒤통이를 고정한다. 이 때, 구김이 없어야 한다.

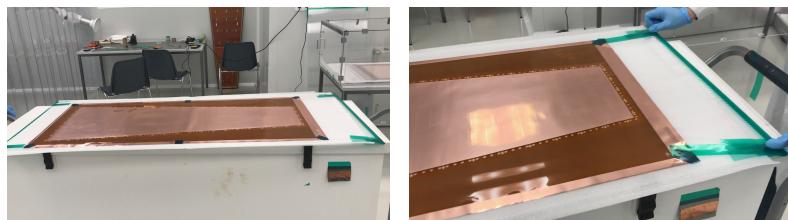


그림 11: 왼쪽 : 포일을 고정하는 폴리카보네이트 판, 폼, 방전 필름의 크기는, GEM 포일의 구겨짐을 방지하기 위해, 포일보다 반드시 커야한다. 오른쪽: GEM 포일은 폴리카보네이트판에 3M PET 테이프로 네 뒤통이를 고정한다.

## 부록 A QC2-Fast

QC2-Fast는 CMS에서 정립한 포일 검증법으로 포일의 청결도를 시험하기 위해 고안되었다. QC2-Fast을 수행하기 위해 10 min이 소요되어 QC2-Long에 비해 짧은 시간이 필요하기 때문에 “Fast”라고 부른다.

Megger MIT41/2 절연 시험기를 이용해 포일에 500 V의 전압을 걸은 후 10 min에 걸쳐 포일 임피던스와 방전 횟수를 기록한다. 기록은 준비된 Excel 템플릿을 이용한다. 먼저 실험 환경의 상대습도와 온도를 기록한다. 전압을 걸은 후 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, ..., 10 min이 지나는 순간의 임피던스를 기록한다. 초기 30 s 이후부터 매 시간 간격 사이에 일어난 방전 횟수를 시간 간격의 뒤 시간에 기록한다. 즉, 30 s부터 1 min 사이의 방전 횟수를 1 min에 기록하고, 1 min부터 2 min 사이의 방전 횟수를 2 min에 기록한다. 최종적인 포일 임피던스가  $10\text{ G}\Omega$  이상 그리고 방전 속도는 분당 1회 이하가 되어야 한다.

표 1은 일반적인 QC2-Fast 검증 결과의 예이다. 축전이 진행되면서 저항이 시간에 따라 올라가는 것이 정상적인 현상이다. 방전이 일어나면서 포일에 앉은 오염물이 타고 이로 인해 저항이 갑자기 올라가는 경우도 흔하다.

만약 임피던스가 낮거나 방전이 많이 일어나는 경우, 메카로에 해당 포일의 재세척을 의뢰한다. 만약 방전 속도는 만족스러우나 최종적인 포일 임피던스가 수  $\text{G}\Omega$  수준이라면 세척 과정 중 고압 DI수 살수 과정만 진행하여도 무방하다.

시간 (min)	전압(V)	저항 (GΩ)	전류 (nA)	방전 횟수	총 방전 횟수
0.5	500	3.11	176	-	0
1	500	3.73	147	3	3
2	500	5.9	93	3	6
3	500	7.6	72	1	7
4	500	8	68	2	9
5	500	8.5	64	1	10
6	500	9.2	59	0	10
7	500	9.6	57	0	10
8	500	10.5	52	0	10
9	500	10	55	0	10
10	500	11	50	0	10

표 1: 일반적인 QC2-Fast 검증 결과의 예.