

석사학위논문

2차 전지 제조사업장 밀폐형 장비의
국소배기시스템 특성과 성능 관리에
관한 연구

2025년

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

한 동 훈

석사학위논문
지도교수 이상열

2차 전지 제조사업장 밀폐형 장비의
국소배기시스템 특성과 성능 관리에
관한 연구

A Study on the Characteristics and Development
of a Performance Management Method for the
Local Exhaust Ventilation Systems in an
Enclosed Equipment at a Secondary Battery
Manufacturing Industry

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

한 동 훈

석사학위논문
지도교수 이상열

2차 전지 제조사업장 밀폐형 장비의
국소배기시스템 특성과 성능 관리에
관한 연구

A Study on the Characteristics and Development
of a Performance Management Method for the
Local Exhaust Ventilation Systems in an
Enclosed Equipment at a Secondary Battery
Manufacturing Industry

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

한 동 훈

한동훈의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 12월 일

심사위원장 박 두 용 (인)

심 사 위 원 황 규 석 (인)

심 사 위 원 이 상 열 (인)

국 문 초 록

2차 전지 제조사업장 밀폐형 장비의 국소배기시스템 특성과 성능 관리에 관한 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
기 계 시 스템 공 학 과
산 업 위 생 공 학 전 공
한 동 훈

본 연구에서는 2차 전지 제조라인 밀폐형 장비의 국소배기시스템 특성을 파악하고, 밀폐(가동)시는 문 개방(유지보수)시에 성능을 검증하였다. 연구 대상은 10대의 마킹기와 이와 연결된 국소배기시스템이었다. 마킹기와 국소배기시스템 기본 구조, 마킹기의 개구부 등을 파악하였고, 문 개방시와 밀폐시 마킹기 개구부의 제어풍속, 마킹기에 부착된 배관의 유속, 후드정압 (부착된 배관의 정압) 등을 측정하였다.

밀폐된 상태(정상가동)에서 마킹기에 부착된 배관($\phi 100$ mm)내 유속은 $1.6 \sim 5.2$ m/s였으며, 후드정압은 $(-)3$ mmAq $\sim$ $(-)59$ mmAq의 범위로 나타났다. 배관속도나 후드정압은 전체 국소배기시스템의 송풍기로부터의 거리, 주변기기의 정압 및 유량 등에 따라 영향을 받으므로 마킹기의 위치에 따라 다르게 나타났다.

밀폐된 상태에서 급기구의 유입속도는 1.2~6.5 m/s였으며 전선유입구의 빈틈으로 유입되는 속도는 0.5~7.5 m/s인 것으로 나타났다. 따라서 정상적으로 가동되는 경우 밀폐형 장비의 열린 개구면의 유입속도는 0.5 m/s이상인 것으로 나타났다.

문 개방시의 후드정압은 (-)0.6 mmAq에서 (-)45 mmAq범위로 밀폐시보다 감소했다. 감소원인은 부스의 개구면적이 넓어짐에 따라 공기 유입이 늘어나면서 후드정압의 일부가 속도압으로 변환했기 때문으로 보인다. 실제로 문 개방시 개구면에서 제어풍속은 0.4~9.5 m/s로 상당히 높게 나타났다. 이때 급기구의 유입속도는 0.5~5.4m/s로 문을 닫은 밀폐시의 40~83% 수준을 유지하였고, 전선유입구의 빈틈으로의 유입속도도 0.5~5.4 m/s로 나타나 72~100% 수준을 유지하였다.

위와 같은 결과를 바탕으로 밀폐형 장비는 국소배기시스템에 연결된 장비가 일정 이상의 후드 정압만 유지하면, 가동시(밀폐상태)는 물론 유지보수를 위해 문을 개방할 때도 부스형 후드의 제어속도 기준인 0.5 m/s 수준의 성능을 낼 수 있다는 점이 확인되었다.

【주요어】 국소배기시스템, 밀폐형 후드, 2차 전지, 정압, 부스형 후드, 제어속도

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구배경	1
제 2 절 연구 목적	2
제 2 장 연구 대상 및 방법	3
제 1 절 연구 대상	3
1) 2차 전지 제조공정 및 환기시스템	3
2) 마킹기 및 국소배기시스템	3
제 2 절 연구 방법	4
1) 밀폐형 설비 현황 파악	4
2) 측정 방법	5
제 3 장 연구 결과	7
제 1 절 2차 전지 제조공정 및 장비의 특성	7
1) 2차 전지 제조공정	7
2) 2차 전지 제조장비	10
3) 2차 전지 제조장비의 국소배기시스템	14
제 2 절 마킹기 국소배기시스템 성능 평가	16
1) 부스 밀폐 시 국소배기시스템 성능 측정결과	16
2) 부스 도어 개방 시 국소배기시스템 성능 측정결과	20

3) 결과 분석	25
제 3 절 밀폐형 국소배기의 관리적 기준 제안	34
1) 밀폐형 국소배기시스템의 정압관리 필요성	34
2) 밀폐형 후드 정압 측정방법	36
3) 밀폐형 국소배기시스템 성능 및 관리 기준 제안	36
 제 4 장 결 론	 38
 참 고 문 헌	 40
 ABSTRACT	 41

표 목 차

〈표 1〉 마킹기 부스의 크기 및 개구면 등의 특성	12
〈표 2〉 2차 전지 제조공정 국소배기시스템에 연결된 주요 밀폐형 장비	14
〈표 3〉 부스 밀폐 시 국소배기시스템 측정 결과	16
〈표 4〉 부스 밀폐 시 국소배기시스템 성능 측정결과	18
〈표 5〉 부스 밀폐 시 배기유량 기준 급기구와 전선인입구 유량 추정*	19
〈표 6〉 부스 도어 개방 시 국소배기시스템 측정 결과	20
〈표 7〉 부스 도어 개방 시 덕트 속도 및 유입구의 유입속도	22
〈표 8〉 부스 도어 개방 시 덕트속도 및 각 유입구 유입속도로 계산한 배기량과 유입량 비교 (CMM)	23
〈표 9〉 부스 밀폐와 개방 시 국소배기시스템 측정 결과	24
〈표 10〉 산업안전보건 기준에 관한 규칙의 후드 성능 평가 제도	27
〈표 11〉 부스 밀폐와 도어 개방 조건 시 국소배기시스템 성능평가 결과 종합	28
〈표 12〉 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 덕트속도 측정 결과	29
〈표 13〉 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 제어풍속 측정 결과	31
〈표 14〉 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 급기구(hole) 유속 측정 결과	33

그 립 목 차

[그림 1] 정압 측정	6
[그림 2] 부스 밀폐형 국소배기(마킹기 측면)	11
[그림 3] 부스 밀폐형 국소배기(마킹기 정면)	11
[그림 4] 2차 전지 제조공정 국소배기시스템의 계통도와 마킹기(붉은 점) 위치	15
[그림 5] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 덕트속도에 미치는 영향	30
[그림 6] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 제어풍속에 미치는 영향	32
[그림 7] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 급기구(hole)유속에 미치는 영향	34

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

2차 전지 제조에는 다양한 화학물질이 사용된다. 2차 전지 제조공정은 대부분 자동화된 설비와 장비로 이루어져 있다. 설비와 장비는 밀폐되어 있거나 밀폐형 부스 안에 설치되어 있다. 밀폐된 장비나 부스에는 배관이 부착되어 있으며, 이 배관은 공장의 전체 국소배기시스템과 연결되어 있다. 또한 밀폐 장비나 부스의 외관에 급기를 위한 급기 구멍(hole)이 달려 있다. 따라서 정상적으로 가동 중인 설비나 장비는 모두 음압을 유지하고 있다. 이와 같은 밀폐형 장비의 국소배기시스템의 성능에 관한 기준이나 관리방안에 대한 명확한 지침이 없다. 정상적 가동 중에는 설비나 장비가 밀폐되어 있고 음압을 유지하므로 화학물질이 밖으로 배출될 가능성은 거의 없다. 따라서 국소배기시스템과 성능이나 효과에 대해서는 문제가 되지 않는다.

밀폐형 설비나 장비는 대부분 내부에 접근하기 위한 창문이나 문이 달려 있다. 평소에는 창문이나 문이 완전히 닫아 놓았다가, 장비나 설비에 고장이 발생하거나 유지보수가 필요한 경우 창문 또는 문을 열고 필요한 작업을 한다. 창문이나 문을 개방할 때는 설비나 기계의 가동을 중단하므로 화학물질이 지속적으로 사용되지는 않는다. 그러나 잔류된 화학물질이 있을 수 있고, 유지보수 작업을 하는 동안에 취급 또는 사용하는 화학물질이 있을 수 있어, 문이나 창문을 열었을 경우에도 적절한 국소배기시스템 성능이 나와야 한다.

밀폐형 장비의 창문이나 문을 열었을 경우에도 공기가 제대로 유입되는가 또는 국소배기시스템의 성능이 나오는가 하는 것은 밀폐형 장비를 사용하는 사업장에서 빈번하게 제기되는 문제이다. 또한 밀폐형 장비의 배관에 걸리는 정압(일종의 후드정압)은 얼마로 유지하는 것이 적절한지에 대한 기준에 관한 사항도 논란거리 중의 하나다.

통상적으로 밀폐형 장비에 부착된 배관에 걸리는 정압은 수 mmAq에서 수

십 mmAq이다. 이 정도의 정압이 걸려 있는 밀폐형 장비의 창문이나 문을 열었을 경우에 개방된 면(open face)으로 공기가 유입되는지 여부와 개방시 밀폐형 장비의 제어속도라고 할 수 있는 개방면의 면속도(face velocity)가 나오는지 여부가 중요한 관심사이다.

이러한 사항은 법적으로도 논란거리다. 안전보건기준에 규칙에서는 유해물질별로 제어풍속 기준이 설정되어 있다. 이러한 기준은 정상적인 작업이나 상태를 가정한 기준으로 보아야 할 것이다. 밀폐형 장비는 정상적으로 가동 중인 상태에서는 거의 밀폐되어 있으므로 제어풍속을 적용할 개방된 개구면이 없다. 사실상 밀폐된 상태로 가동 중인 장비의 경우에는 법적 논란은 거의 없다. 그러나 유지보수 등을 위하여 가동을 멈추고 창문이나 문을 개방했을 경우, 제어풍속에 관한 논란이 있을 수 있다.

밀폐형 설비나 장비를 유지보수할 때는 가동을 멈추므로 화학물질 공급도 중단된다. 따라서 대부분의 경우에는 화학물질 노출은 거의 없거나 미미할 것으로 보인다. 다만, 일부 잔류 물질이나 유지보수시 사용하는 화학물질로 인하여 화학물질에 노출될 가능성이 있을 수 있다. 물론 이러한 경우까지 고려하여 국소배기시스템을 설계하거나 법적 제어풍속을 준수해야 하는 것은 아니다. 다만, 유지보수 작업이 주기적으로 이루어지며, 그 작업이 유해물질과 관련된 작업이라면, 창문이나 문을 개방하였을 때, 국소배기시스템이 어느 정도 작동하는지, 즉 개방한 창문이나 문의 열린 면에서 제어풍속을 파악하는 것은 필요하며, 전체적인 안전보건관리에서 중요한 일이다.

제 2 절 연구 목적

본 연구는 제조라인 대부분이 밀폐형 설비와 밀폐형 장비로 구성되어 있는 2차 전지 제조공정에서 국소배기시스템의 현황을 파악하고, 대표적인 밀폐형 장비인 마킹기를 대상으로 하여, 정상적으로 가동 중인 상태에서의 국소배기시스템의 성능과 유지보수를 위한 문(door)를 개방했을 성능변화를 측정하여 밀폐형 국소배기시스템의 성능 및 관리에 필요한 기초 정보를 제공하고자 하였다.

제 2 장 연구 대상 및 방법

제 1 절 연구 대상

1) 2차 전지 제조공정 및 환기시스템

본 연구의 연구 대상은 2차 전지를 제조하는 1개 사업장의 밀폐형 제조 장비의 국소배기시스템이었다. 2차 전지 제조라인에는 전체환기시스템과 국소배기시스템이 설치되어 있다. 2차 전지의 제조라인에는 다양한 제조설비와 장치가 있으며, 이들 설비와 장치는 모두 밀폐형이다. 이들 설비와 장치는 모두 국소배기시스템과 연결되어 있다.

2) 마킹기 및 국소배기시스템

본 연구에서는 밀폐형 제조장비의 하나인 마킹기를 대상으로 하였다. 마킹기는 2차 전지의 배터리셀, 부품에 제품 표식을 위한 번호 등을 표기하기 위한 마킹을 하는 장치로 제조라인 중간중간에 설치되어 있으므로 제조라인의 전체의 국소배기시스템을 평가하는데 적절하다. 또한 제조라인이 가동 중에도 장비에 연결된 배관의 정압을 일시적으로 조정하거나 측정하는 것이 가능하였고, 배관에는 정압 및 배관내 유속을 측정할 수 있는 구멍(측정공)이 설치되어 있어 본 연구를 수행하기에 적합한 대상이라고 판단되었다.

본 연구에서 대상으로 한 마킹기는 2차 전지 제조공정(1개 공장)에 설치된 10대였다. 전체 제조공정에는 5개의 제조라인이 있는데, 1개의 제조라인에는 캔삽입부터 전해질 주액공정까지의 중간중간에 5대의 마킹기가 설치되어 있었다. 본 연구에서는 현실적으로 접근이 가능한 2개 라인의 총 10대를 대상으로 하였다. 마킹기는 2차 전지를 조립하는 공정에 배치되어 있는 장비로 배터리셀 외면에 Lot Id, 설비 코드 등 잉크젯형태의 잉크로 분사해서 정보를

마킹을 하여, 캔삽입, 탭웰딩 등 불량 발생 시 어떤 장비에서 불량이 발생했는지 원인 조사 등 품질관리용으로 사용되고 있다. 마킹기를 감싸고 있는 부스의 크기는 가로와 세로가 0.67 m x 0.50 m이며, 높이는 0.68 m이다. 마킹기는 각 마킹기의 상부 또는 후면에 부착된 배관으로 전체 국소배기시스템과 연결되어 있다. 가동 중에는 전체가 거의 밀폐된 상태를 유지하며, 밀폐된 상태에서 개구부는 마킹기 부스의 측면에 뚫려 있는 급기구, 뒷면의 전선케이블 인입구, 그리고 전면부에 달려 있는 도어(문)의 틈새가 있다. 급기구는 국소배기로 빠져나가는 공기를 보충하기 위하여 부스의 정면에 지름 2.5 cm의 원형 구멍(단면적 4.9 cm²), 16개(단면적 78.5 cm²)를 뚫어 놓은 것이었다. 후면 전선 케이블 인입구는 지름 5 cm의 구멍으로 전선을 제외한 실제 개구면적은 구멍의 약 50%(약 6.25 cm²)이다. 그 외에는 앞쪽에 설치된 문에는 미세한 틈새가 있는 경우가 있었다. 마킹기 앞쪽에 설치된 문은 청소 및 유지보수 등을 위한 것으로 가운데에서 앞쪽으로 양문을 당겨서 여닫는 양문형구조로 가로와 세로의 크기는 0.61 m x 0.64 m이다. 마킹기 문은 잉크를 교체하거나, 에러 발생, 유지보수 등의 작업을 위한 것이다. 잉크액 교체 및 청소 등의 작업시간은 20~30분 정도이다. 마킹기에 부착된 국소배기시스템은 제조라인 전체시스템으로 마킹기의 작동여부나 문의 개폐 등과 무관하게 일정하게 작동하고 있다. 따라서 마킹액 교체 등을 위해 문이 개방하면 해당 마킹기에 부착된 배관의 유속이 약간 높아진다. 그러나 문의 개방면적이 크기 때문에 문의 개방면에서 유속은 매우 낮다.

제 2 절 연구 방법

1) 밀폐형 설비 현황 파악

연구 대상 사업장의 제조라인의 구성은 와인딩부터 전해질 주액까지 동일하게 구성되어 있어, 1개 제조라인을 대상으로 밀폐형 설비 현황을 하나하나 확인하였다. 밀폐형 설비의 사용물질, 유해인자, 설비 내 사용하는 물질이 노출 가능성을 조사하였고, 설비의 크기, 개방 면적, 국소배기 설치여부, 덕트의

크기, 측정구, 댐퍼의 크기와 설치 위치 등을 정리하였다. 정리한 내용의 일부는 국소배기 후드 측정 시 기초 자료로 활용을 하였다.

- 밀폐형 설비의 종류, 크기, 개방 위치, 면적
- 밀폐형 설비내 사용 물질, 유해인자
- 밀폐형 설비내 발생 물질의 작업자 노출 가능성
- 밀폐형 설비의 국소배기 덕트의 크기, 댐퍼 및 측정구의 설치 위치

2) 측정 방법

가) 덕트속도 측정

덕트속도는 밀폐된 마킹기에서 연결된 덕트에서 측정한 덕트 내부 유속으로 유량을 환산하기 위해 측정하고 있다. 본 연구에서는 밀폐 부스와 댐퍼에서 발생하는 난류에 의한 측정오차를 최소화하기 위해 덕트에 타공된 3mm 측정공에 열선풍속계의 열선 프로브를 집어 넣어서 3분법으로 25mm, 50mm, 75mm 깊이에서 측정하였고, 3회 측정한 평균값으로 사용하였다. 측정은 부스 밀폐와 개방 시 조건별로 덕트속도를 측정하였다. 측정위치는 [그림 1]의 정압을 측정한 동일한 위치에서 측정하였다. 마킹기에 설치된 덕트의 직경은 100mm이고, 열선풍속계(TSI-9545)를 활용하여 측정을 하였다.

나) 정압 측정

후드 정압은 측정 시 오차를 줄이기 위하여 입구로부터 최소 2직경 하부에서 정압을 측정하도록 하고 있다. 본 연구에서는 정압은 덕트속도를 측정한 구멍에 디지털 압력계(Dwyer 477AV-000)를 사용하여 [그림 1]와 같이 덕트와 직각으로 호스 끝을 대어 측정하였고, 숫자가 변화없이 안정화 되었을 때의 값으로 3회 측정후 평균값을 사용하였다.



[그림 1] 정압 측정.

다) 제어풍속 측정

부스 도어 개방 조건에서 열선풍속계(TSI-9545)를 활용하여 제어풍속을 측정하였다. 부스 도어 개방일 때는 부스 전면의 좌측과 우측의 가로와 세로의 크기가 같은 양문형중에서 한쪽면의 도어를 열고, 도어의 열린 개구면에서 등 간격으로 3회 측정을 한 후 평균값을 사용하였다. 부스 밀폐 상태일 때는 제어풍속을 측정할 수 없어서 측정에서는 제외하였다.

제 3 장 연구 결과

제 1 절 2차 전지 제조공정 및 장비의 특성

1) 2차 전지 제조공정

2차 전지는 사용 후 충전을 통해 재사용이 가능한 전지를 말한다. 일반적으로 가정에서 사용하는 전지는 1차 전지로 충전하여 재사용할 수 없으며, 한번 사용 후 폐기해야 하는 일회용 건전지이다. 2차 전지는 1차 전지와 달리 충전이 가능하여, 스마트폰, 전기자전거, 전기차, 전동공구 등 다양한 기기에 사용되고 있다. 재사용할 수 있기 때문에, 폐기물이 적게 배출되어 환경 보호에도 기여할 수 있다. 2차 전지는 양극과 음극, 내부 접촉을 방지하는 분리막, 그리고 전해질로 구성된다. 리튬이온 2차 전지는 양극과 음극 활물질간에 화학적으로 전자가 이동하면서 전류가 이동하면서 전류가 생성되는 원리로 작동되며, 양극 및 음극 활물질 생산에 사용되는 화학물질 종류에 따라서 제품별 특성이 달라지고, 용량과 출력이 정해지게 된다. 최근 세계 주요 국가는 리튬이온전지의 양극재, 음극재, 분리막, 전해질의 소재 및 기술개발을 통해 용량과 안전성을 강화하여, 시장 주도권을 유지하기 위해서 치열하게 경쟁중이고, 배터리의 안전성과 품질이 곧 경쟁력으로 직결된다. 2차 전지 제조 공정은 전극공정, 조립공정, 활성화 공정으로 구성되어 있다. 전극 공정은 원재료를 투입한 후 전극을 구성하게 되는 활물질과 도전재 및 바인더를 섞어서 양극과 음극을 만드는 공정이다. 조립공정은 전극 공정에서 제조된 양극과 음극에 극판을 쌓고 전해질을 주입하는 캡을 씌우거나 파우치로 밀봉한 후 전해질을 주입하는 공정이며, 활성화 공정은 전지의 특성을 활성화시키는 공정이다, 그밖에 검사 장비를 통해 셀의 불량률 점검하는 검사공정이나 포장 및 출하 공정이 있다. 제품의 품질을 위해서 전극공정, 조립공정은 드라이룸으로 운영이 되는데, 품질을 유지하기 위해서 저습 공정으로 운영된다. 공기 조건

이 노점(Dew Point) -10°C 이하의 공간을 드라이룸이라고 한다. 드라이룸을 사용하는 이유는 리튬 등 전지를 생산하기 위해 사용되는 화학물질들이 수분과 반응하여, 배터리의 성능과 안전에 문제를 발생시킬 수 있는데, 이를 예방하기 위해서 사용을 한다. 드라이룸은 클린룸의 공조를 활용하여 온도, 습도, 청정도 등을 관리하는 구조와 설계방식은 유사하지만 관리 기준은 일부 다르다. 반도체 공정은 상대 습도 30 ~ 50%, 온도 20 ~ 24°C , 청정도 Class 1 ~ 100, 공기 순환률(ACH) 500 ~ 600회/시간, 층류(Laminar Flow)를 통해 공기 흐름 제어하며, 드라이룸은 상대 습도 1%, 온도 20 ~ 25°C , 청정도 Class 1,000 ~ 30,000, 공기 순환률(ACH) 20 ~ 500회/시간, 터블런트(Turbulent Flow)를 통해 공기 흐름 제어하는 것으로 운영이 된다. 다만, 드라이룸에서는 공조실에 제습기가 별도 설치가 되어 공기의 습도를 조절하며, 공기의 균일한 분배를 위해서 사용되는 플레넘이 드라이룸에 적용되지 않는 것은 일부 다르다.

가) 전극공정

전극공정은 세부적으로 믹싱, 코팅 및 건조, 압연 및 슬리팅, 진공 건조 공정으로 이루어져 있다. 믹싱 공정은 가루 형태의 활물질을 바인더, 도전재와 혼합하여 슬러리(Slurry) 형태로 만들어주는 공정이다. 양극활물질의 경우 바인더와 이를 녹일 수 있는 용매인 NMP를 사용하며 음극재는 흑연 성분의 바인더와 물을 용매로 사용한다.

코팅공정은 믹싱공정에서 혼합되어 슬러리 형태로 된 양극재 및 음극재를 극판인 알루미늄과 구리로 된 박판의 양면에 각각 도포하는 공정이다.

건조공정은 코팅 후에는 코팅 장비내에 설치되어 있는 건조로에서 열로서 가열된 건조 공기로 NMP와 물 등의 용매를 증발시키는 공정이다.

압연공정은 코팅이 완료된 후, 압연기로 압력을 가해 전극과 극판의 부착력을 높이고, 극판의 두께를 줄이고 밀도를 높여 활물질에 리튬이 원활하게 이동할 수 있도록 하는 공정이다. 일반적으로 양극재는 가열 가압, 음극재는 상온 가압한다. 슬리팅 공정은 제품 배터리셀에 맞는 크기에 맞춰 자르는 공정이다.

나) 조립공정

조립공정은 전극공정에서 제조된 전극(양극판/음극판)을 분리막과 같이 조립하는 공정으로 원형 또는 각 형태의 셀 형태에 따라 약간 다르지만 대개 와인딩(winding) 또는 스택킹(stack), 탭용접, 탭가공, 캔삽입, 전해질 주입 등의 공정이 있다.

와인딩 및 스택킹 공정은 2차 전지 셀의 용량만큼 전극판을 감거나 쌓는 공정이다. 와인딩은 양극판, 음극판, 분리막을 둘둘 말아 원통형 형태로 만들거나 각형의 경우 플랫 와인딩 형태로 감아서 만든다. 이후 양극/음극쪽 탭을 형성한다. 와인딩 방법은 제조원가가 싸고, 공정 속도가 빠른 장점이 있으나 충·방전을 거듭하는 경우 젤리롤의 변형이 일어나거나, 셀의 단위 용량이 커지는 경우 와인딩에 한계가 있다. 따라서 최근 각형 포맷의 경우, 와인딩 방식에서 스택킹 방식으로 바뀌는 추세이다.

탭공정은 양극과 음극단의 탭을 용접하여 붙이는 공정이며, 캔공정은 탭을 붙인 양극판, 분리막, 음극판을 캔에 넣는 공정이다.

전해질 공정에서는 탭공정에서 완성된 캔에 전해질을 주입한다, 각형/원통형은 레이저로 용접한 후 전해질을 주입하는 반면, 파우치형은 전해질을 주입한 후 밀봉하고 셀 형태로 절단한다. 파우치형은 전해질 주입 후 1차 충방전을 하면 가스가 발생하여 파우치가 부풀어 오른다. 따라서 최종 셀 조립 마무리 전에 가스를 빼주는 공정(degassing)이 추가된다.

다) 활성화공정

활성화 공정은 배터리에 전기적 기능을 부여하는 공정이다. 배터리가 가동되려면, 전기적 특성이 있어야 하는데, 이때 배터리를 충전과 방전하는 단계를 거치게 된다. 처음 충전할 때 음극과 전해질 사이에 SEI(Solid Electrolyte InterPhase)란 얇은 막이 생긴다. 리튬이온이 전해질을 통해 음극으로 이동하고, 전해질속 물질이 전기 분해되면서 음극 표면에 얇은 고체막이 형성된다.

SEI는 전해질의 추가 분해 반응을 방지하는데 일조하며, 전자의 이동을 막고 리튬이온만 통과하는, 또 하나의 분리막 역할도 하기 때문에 배터리 수명과 성능에 영향을 미치는 중요한 요소라 할 수 있다.

충방전된 배터리가 안정되려면, 일정 기간 숙성이 필요하다. 이 단계에서는 전해질이 양극과 음극 모두 고르게 잘 스며들게 하는게 핵심이다. 배터리를 30분에서 3시간 상온에 두어 전해질을 배터리 내부에 분산시키고, 리튬이온이 양극과 음극을 원활하게 이동할 수 있도록 한다.

2) 2차 전지 제조장비

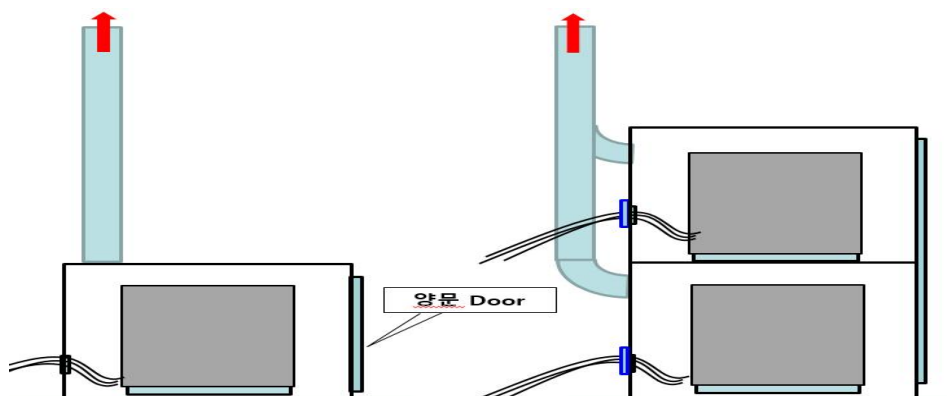
앞에서 설명한 제조 공정은 전극공정, 조립공정, 활성화 공정으로 크게 3개 공정으로 분류할 수 있다. 각 공정별로 용도에 맞게 장비들이 사용된다.

전극 공정에는 믹싱 장비, 코팅, 압연 장비, 슬리팅 장비가 사용된다. 믹싱 장비는 양극과 음극의 활물질에 바인더, 용매, 도전재를 섞어 슬러리를 만드는 장비이며, 용매, 슬러리 등은 저장탱크에 저장된 후 자동으로 투입된다. 각 물질별 배합과 비율이 중요하며, 높은 기술력이 요구된다.

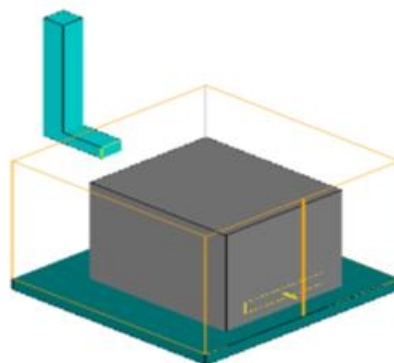
코팅, 압연 장비는 코팅 장비를 통해 양극과 음극 슬러리는 알루미늄, 구리에 얇게 도포하는 장비이며, 이때 완성된 것을 극판이라고 한다. 압연 장비는 양극과 음극을 도포한 슬러리에 압력을 가하는 장비이며, 이때 전극의 밀도와 배터리의 성능과 수명이 결정된다. 슬리팅 장비는 슬리팅 장비를 통해 극판을 배터리 규격에 맞게 전극 폭을 자르는 장비이다. 슬리팅 완료 후 극판에 이물질 유입 방지를 위해 진공펌프를 이용하여 드라이 공정이 진행된다.

조립 공정은 단판/극판 형태로 자르는 노칭 장비, 노칭된 극판을 분리막과 합치는 스테킹 장비로 구분되며, 적층된 극판에서 흘러나오는 전류를 모아 탭에 용접하는 탭웰팅 공정과 전해질을 주입하는 패키징 장비가 있고, 패키징 장비에서 전해질은 자동으로 투입이 되며, 품질관리를 위해 중간중간에 마킹기 장비가 있다. 조립공정에서 작은 부품들이 한정된 작은 공간에서 정교하게 탑재 및 연결되는 과정을 거쳐서 제조되는데, 이때 일부 장치의 오차, 작업자 업무 미숙 등으로 발생하는 제품 불량률의 원인 조사 및 보완, 재생가능한 전지의 재작업 등 품질관리를 위해서 다수의 마킹기가 설치 및 운영이 되고 있다. 마킹기는 불량 전지의 추적이 가능한 시스템을 구성하여 이차 전지의 품질 및 생산성을 크게 향상시킬 수 있는 중요한 장비이다. 이 마킹액에는 MEK,

에탄올 등 유기화합물 성분이 포함되어 있어 잉크 분사부와 마킹기 설비내 잉크 교체 시 휘발될 수 있는 유증기를 배기하기 위해서 [그림 2]와 같이 부스 밀폐형 국소배기가 설치되어 있다. [그림 3]과 같이 마킹기 앞쪽에 설치된 문(door)은 양문형으로 가운데에서 앞쪽으로 양문을 당겨서 열고 닫는 구조이다. <표 1>는 마킹기 크기, 부스 및 설치된 도어 크기, 덕트 크기, 개구면, 측정구, 댐퍼 위치 정보를 정리하였고, 일부 자료는 밀폐형 후드 평가를 위한 정보로 활용을 하였다.



[그림 2] 부스 밀폐형 국소배기(마킹기 측면).



[그림 3] 부스 밀폐형 국소배기(마킹기 정면).

〈표 1〉 마킹기 부스의 크기 및 개구면 등의 특성

일련 번호	마킹기 부스 크기 (WxLxH, m)	부스 도어 크기(m)	급기구		전선 인입구 (mm)	덕트 지름 (mm)	측정공 및 댐퍼 위치* (m)	
			지름 (mm)	개수			측정공	댐퍼
M-1	0.67x0.50x0.68	0.61x0.64	25	16	50	100	0.63	0.27
M-2							0.63	0.27
M-3							1.37	1.22
M-4							0.59	0.31
M-5	0.66x0.66x1.15	0.45x0.60	20	36	40		0.97	0.46
M-6		0.60x0.48	50	1			0.95	0.41
M-7		0.63x0.63					0.91	0.4
M-8		0.61x0.83					0.92	0.34
M-9							0.7	1.5
M-10			0.8	1.6				

* 덕트와 부스의 연결지점으로부터의 길이

노칭 장비는 양극과 음극 활물질이 코팅되지 않는 탭 부분을 제외한 나머지를 칼날 또는 레이저 장비로 자르는 장비이다.

스태킹 장비는 양극재와 음극재를 분리막과 겹겹이 쌓아 올리는 장비이다. 배터리 공정별로 라미네이션, 스태킹 등 방식이 존재하며, 각 고객사별로 채택 방식이 다르다. 탭웰딩 장비는 전극된 극판에서 나오는 전류를 한 곳으로 모아 탭에 용접시키는 장비이고, 패키징 장비는 전지에 맞게 모양을 형성한 이후 전해질을 밀봉하는 장비이다. 마킹기 장비는 품질관리를 위해서 캔삽입, 탭웰딩, 전해질 주액 공정 등 라인 중간중간에 잉크젯 형태로 배터리셀 외면에 잉크를 분사하여 마킹을 해주는 장비이다.

활성화 공정은 배터리 셀을 기능적으로 활성화를 시키는 공정이며, 에이징, 충방전기, 디게싱 장비가 있다. 에이징은 조립공정 마지막에서 투입된 전해질이 양극과 음극에 잘 스며들 수 있도록 일정 조건에서 배터리를 숙성하는 장비이며, 충방전은 에이징 이후 충전과 방전을 반복하는 장비이다. 디게싱 장비는 충방전을 반복한 파우치형 배터리에서 발생한 내부 가스를 빼주는 장비이다. 공정에서 사용하는 화학물질은 전용 보관함에 보관하고 있고, 에탄올, 잉크용기 등 밀폐된 상태로 보관되어 있다. <표 2>은 2차 전제 제조 공정 국소배기시스템에 연결된 주요 밀폐형 장비를 정리하였다.

저장 탱크는 NMP, 활물질, 전해질이 저장되어 있는 상태에서 자동으로 투입이되고, 전해질 주액기는 전해질 용기 탱크에서 배터리셀에 자동 주액이 되고, 캐리어세척대에는 DMC가 세척과 침지액 용도로 사용되며, 마킹기는 배터리셀 외면에 제품 정보 등 자동 마킹하는 용도로 사용되고, 화학물질 보관함은 NMP, 에탄올, 잉크 등이 밀폐 보관함에 밀봉상태로 보관되어 있다.

장비별 사용 물질은 유지보수, 세척액/용기 교체 등 간헐적으로 작업자가 취급을 하나, 각 설비별 국소배기가 설치되어 있고, 밀폐된 설비에서 유지보수 등 개방이 될 경우 노출 부위, 유해인자에 맞는 방독마스크 등 보호구를 착용하고 작업하기 때문에 작업자가 직접적으로 유증기 등을 흡입하는 경우는 없다.

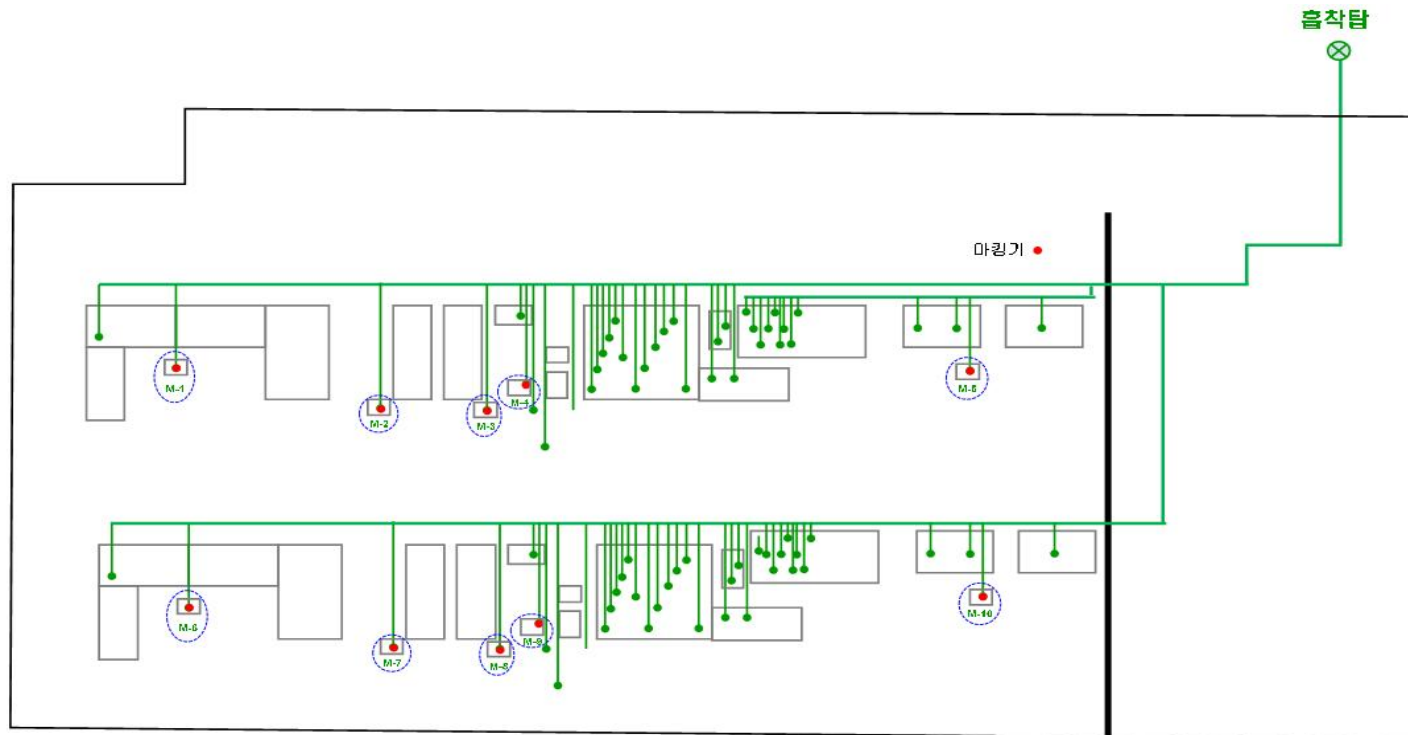
〈표 2〉 2차 전지 제조공정 국소배기시스템에 연결된 주요 밀폐형 장비

장비 종류	사용 물질	문을 개폐하는 경우
저장 탱크	NMP, 전해질 등	유지보수 시
전해질주입기	전해질	유지보수 등
캐리어세척대	DMC	세척액 교체 시
마킹기	마킹잉크	용기 교체
화학물질 보관함	NMP,에탄올,잉크 등	유지보수 등

3) 2차 전지 제조장비의 국소배기시스템

2차 전지 제조공정은 대부분 설비와 제조장비에 의하여 제조되는 자동화 제조공정이다. 각 장비는 일부 화학물질이 사용되고 있고, 공정 설비 특성상 부스 형태의 밀폐 구조로 되어 있다. 제조 공정 설비에서 사용되는 화학물질이 작업자에게 노출 또는 공정으로 확산되는 것을 예방하기 위해서 국소배기 시스템이 설치되어 있는데, 후드는 탱크, 부스형 등 밀폐형 후드로 설치 및 운영이 되고 있다. 작업중에는 설비가 밀폐형으로 되어 있고, 환기를 위한 배기 덕트가 설비에 연결되어 있어 화학물질이 설비 외부로 누출될 수 없다.

2차 전지 제조공정에서 사용되는 주요 밀폐형 장비는 5개 종류(저장탱크, 전해질 주입기, 세척대, 마킹기, 위험물 보관함)가 있고, [그림 4]는 설비에 연결된 국소배기시스템 계통도이고, 마킹기에 설치된 후드 위치는 빨간 점으로 표기를 했다. 송풍기 1대에 80~200여개의 후드가 연결이 되어 있고, 후드 위치에 따라서 메인 덕트, 메인 덕트에서 분지된 가지 덕트로 연결이 되어 있다. 각각의 후드는 포위식, 외부식 등 후드 형태에 따라 배기량을 산정하고, 배기량과 화학물질 성상에 따라서 덕트 권장 속도에 따라 덕트 크기를 계산하여 적용 후 후드, 덕트, 송풍기 등 전체 시스템에 대한 압력손실을 산정하여 송풍기를 선정하여 운영하고 있다.



[그림 4] 2차 전지 제조공정 국소배기시스템의 계통도와 마킹기(붉은 점) 위치.

제 2 절 마킹기 국소배기시스템 성능 평가

1) 부스 밀폐 시 국소배기시스템 성능 측정결과

마킹기 총 10대를 대상으로 부스 밀폐 조건에서의 덕트속도, 정압, 급기구(hole)과 전선인입구의 공기유입속도를 측정하였고, 측정 결과는 <표 3>과 같이 정리하였다. 각 측정 결과는 3회 측정 후 평균값을 사용하였고, 밀폐형 후드의 법적 기준이 없기 때문에 제어속도 평가는 불가능하여 제외했다.

<표 3> 부스 밀폐 시 국소배기시스템 측정 결과

일련 번호	측정수	덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	공기 유입속도(m/s)	
				급기구(hole)	전선인입구
M-1	1	1.6	-3.00	1.2	0.5
	2	1.6	-3.00	1.3	0.5
	3	1.6	-2.99	1.2	0.5
	평균	1.6	-3.00	1.2	0.5
M-2	1	1.7	-4.00	1.3	0.6
	2	1.7	-3.99	1.4	0.6
	3	1.7	-4.00	1.3	0.6
	평균	1.7	-4.00	1.3	0.6
M-3	1	1.8	-4.50	1.4	0.5
	2	1.9	-4.51	1.4	0.5
	3	1.8	-4.50	1.3	0.5
	평균	1.8	-4.50	1.3	0.5
M-4	1	2.2	-5.00	1.4	0.7
	2	2.3	-5.00	1.5	0.6
	3	2.3	-4.99	1.4	0.6
	평균	2.3	-5.00	1.4	0.6

〈표 3〉 계속

일련 번호	측정수	덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	공기 유입속도(m/s)	
				급기구(hole)	전선인입구
M-5	1	4.5	-14.10	2.7	2.5
	2	4.7	-14.11	2.8	2.6
	3	4.6	-14.10	2.7	2.5
	평균	4.6	-14.10	2.7	2.5
M-6	1	5.5	-59.00	6.5	7.8
	2	5.3	-59.00	6.8	7.3
	3	5.2	-59.00	6.2	7.4
	평균	5.3	-59.00	6.5	7.5
M-7	1	5.3	-58.00	6.7	7.2
	2	5.1	-58.00	6.3	7.8
	3	5.1	-58.00	6.6	7.5
	평균	5.2	-58.00	6.5	7.5
M-8	1	5.2	-57.50	6.6	7.5
	2	5.2	-57.50	6.5	7.8
	3	5.1	-57.50	6.5	7.2
	평균	5.2	-57.50	6.5	7.5
M-9	1	3.1	-35.20	4.5	3.7
	2	3.2	-35.20	4.9	3.8
	3	3.1	-35.20	4.9	3.8
	평균	3.1	-35.20	4.8	3.8
M-10	1	4.1	-47.00	5.2	5.8
	2	4.2	-47.00	5.8	5.9
	3	4.1	-47.00	5.7	5.4
	평균	4.1	-47.00	5.6	5.7
전체평균		3.5	-28.73	3.8	3.7

앞에서 측정한 결과를 바탕으로 면적에 따른 유량을 <표 4>와 같이 정리하였다. 측정한 사업장은 부스 내부에 유증기가 정체하지 않도록 부스 외면에 급기구(hole)가 있고, 전선인입구와 도어에 작은 틈새가 있어서 공기가 부스 내부로 들어가고 있다. 전선인입구의 면적은 지나는 전선이 구멍의 50%를 덮고 있어, 면적은 50%로 산정하였다. 일반적으로 배기유량과 급기유량은 손실이 없으면, 그 양은 같다. 그러나 아래 배기유량 기준 급기유량이 차이나는 것을 확인할 수 있다. 이는 급, 배기부에서 측정 오류인지, 급기 영향인지, 급기부에서 측정하지 못한 곳이 있는지 등 사업장의 공조 등 운영상황 맞게 참고하여 평가가 필요한 것으로 판단한다.

<표 4> 부스 밀폐 시 국소배기시스템 성능 측정결과

일련 번호	배기량			급기량						
	면적 (㎡)	속도 (m/s)	배기유량 (CMM)	급기유량 (CMM)	급기구(hole)			전선인입구		
					면적 (㎡)	속도 (m/s)	유량 (CMM)	면적* (㎡)	속도 (m/s)	유량 (CMM)
M-1	7.85x10-3	1.6	0.76	0.61	7.85x10-3	1.2	0.58	0.98x10-3	0.5	0.03
M-2		1.7	0.79	0.66		1.3	0.63		0.6	0.04
M-3		1.8	0.86	0.67		1.3	0.63		0.5	0.03
M-4		2.3	1.07	0.71		1.4	0.67		0.6	0.04
M-5		4.6	2.17	2.00	11.3x10-3	2.7	1.85	2.5	0.15	
M-6		5.3	2.51	1.05	1.96x10-3	6.5	0.76	7.5	0.28	
M-7		5.2	2.43	1.05		6.5	0.77	7.5	0.28	
M-8		5.2	2.43	1.05		6.5	0.77	7.5	0.28	
M-9		3.1	1.48	0.70		4.8	0.56	3.8	0.14	
M-10		4.1	1.95	0.87		5.6	0.65	5.7	0.22	

* 전선인입구에서 전선이 구멍의 50% 덮고 있어, 면적은 50%만 산정함.

부스 밀폐 시 배기유량 기준 급기구와 전선인입구에서 속도를 추정하기 위하여, <표 5>와 같이 정리를 하였다. 덕트배기유량의 50%가 급기구와 전선인입구를 통해 유입된다고 가정하고, 급기유량 추정량을 기준으로 급기구와 전선인입구 속도를 추정하였다. 실측과 추정 속도가 차이 나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 유입구 면적, 속도에 따른 손실과 측정 시 열선풍속계 기기의 오류, 측정방향 오류 등 다양한 원인이 있다고 판단한다. 그래서 속도를 기준으로 국소배기시스템을 평가할 때 많은 고민이 필요한 부분이라 판단한다.

<표 5> 부스 밀폐 시 배기유량 기준 급기구와 전선인입구 유량 추정*

일련 번호	덕트 배기유량 (CMM)	급기량						
		급기유량 추정량 =50% 덕트배기 (CMM)	급기구(hole)			전선인입구		
			면적 (m ²)	속도 (m/s)	추정속도 (m/s)	면적 (m ²)	속도 (m/s)	추정속도 (m/s)
M-1	0.76	0.38	7.85x10 ⁻³	1.2	0.7	0.98x10 ⁻³	0.5	0.4
M-2	0.79	0.40		1.3	0.8		0.6	0.4
M-3	0.86	0.43		1.3	0.8		0.5	0.4
M-4	1.07	0.53		1.4	1.0		0.6	0.5
M-5	2.17	1.08	11.3x10 ⁻³	2.7	1.5	0.63x10 ⁻³	2.5	0.7
M-6	2.51	1.26	1.96x10 ⁻³	6.5	8.1		7.5	4.1
M-7	2.43	1.22		6.5	7.9		7.5	3.9
M-8	2.43	1.21		6.5	7.8		7.5	3.9
M-9	1.48	0.74		4.8	4.8		3.8	2.4
M-10	1.95	0.97		5.6	6.2		5.7	3.1

* 덕트배기유량의 50%가 급기구와 전선인입구를 통해 유입한다고 가정.

2) 부스 도어 개방 시 국소배기시스템 성능 측정결과

마킹기 총 10대를 대상으로 부스 도어 개방 조건에서의 유속과 정압을 평가하였다. 덕트속도, 정압, 제어속도 등의 측정을 위해, 덕트의 측정공, 도어의 열린면, 급기구(hole)와 전선인입구에 대해서 측정을 하였고, 측정 결과는 <표 6>과 같이 정리하였다. 각 측정 결과는 3회 측정한 평균값을 사용하였고, 부스 밀폐 상태일 때와 반대로 때문에 정압이 낮아지고, 덕트속도 등 속도의 인자들은 모두 측정값이 증가한 것을 알 수 있다. 특이점은 일반적으로 공기는 구멍이 큰 쪽으로 편하게 흐르기 마련인데, -2.4mmAq이하의 급기구와 전선인입구의 유속이, 이 이상부터는 도어 개방면에서 측정한 제어풍속에서 유속이 높아지는 경향을 보였다.

<표 6> 부스 도어 개방 시 국소배기시스템 측정 결과

일련 번호	측정수	덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	제어 풍속 (m/s)	공기 유입속도(m/s)	
					급기구(hole)	전선인입구
M-1	1	1.7	-0.60	0.3	0.5	0.7
	2	1.7	-0.59	0.4	0.5	0.7
	3	1.7	-0.60	0.4	0.5	0.7
	평균	1.7	-0.60	0.4	0.5	0.7
M-2	1	1.7	-0.40	0.4	0.6	0.7
	2	1.7	-0.40	0.4	0.5	0.7
	3	1.8	-0.39	0.4	0.5	0.7
	평균	1.7	-0.40	0.4	0.5	0.7
M-3	1	1.7	-0.80	0.4	0.9	0.9
	2	1.7	-0.80	0.4	0.8	0.9
	3	1.7	-0.80	0.4	0.8	0.9
	평균	1.7	-0.80	0.4	0.8	0.9
M-4	1	2.3	-1.30	0.4	1.0	0.6
	2	2.3	-1.31	0.4	1.0	0.5
	3	2.3	-1.30	0.4	0.9	0.5
	평균	2.3	-1.30	0.4	1.0	0.5

〈표 6〉 계속

일련 번호	측정수	덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	제어 속도 (m/s)	공기 유입속도(m/s)	
					급기구(hole)	전선인입구
M-5	1	4.8	-4.00	6.5	2.1	2.3
	2	4.9	-3.99	6.5	2.2	2.3
	3	4.8	-4.00	6.6	2.1	2.4
	평균	4.9	-4.00	6.5	2.1	2.3
M-6	1	6.2	-38.00	9.4	5.7	5.8
	2	6.3	-38.01	9.5	5.7	4.8
	3	6.4	-38.00	9.4	5.7	4.7
	평균	6.3	-38.00	9.4	5.7	5.1
M-7	1	6.3	-4.80	9.5	5.2	5.3
	2	6.5	-4.80	9.5	5.5	5.6
	3	6.5	-4.80	9.4	5.3	5.4
	평균	6.4	-4.80	9.5	5.3	5.4
M-8	1	6.7	-45.00	7.6	5.1	5.2
	2	6.7	-45.00	7.3	4.9	5.3
	3	6.6	-45.00	7.5	5.1	5.4
	평균	6.7	-45.00	7.5	5.0	5.3
M-9	1	3.5	-15.00	3.3	3.2	3.3
	2	3.7	-15.00	3.3	3.1	3.5
	3	3.2	-15.00	3.2	3.0	3.0
	평균	3.5	-15.00	3.2	3.1	3.3
M-10	1	3.9	-2.40	3.3	4.3	4.8
	2	4.1	-2.40	3.3	4.1	4.2
	3	3.9	-2.40	3.2	3.9	4.3
	평균	4.0	-2.40	3.2	4.1	4.4
전체 평균		3.9	-11.23	4.1	2.8	2.9

앞에서 측정한 결과를 바탕으로 면적과 속도를 <표 7>과 같이 정리하였다. 덕트, 급기구(hole), 전선인입구에서의 유량은 부스 개방 상태이기 때문에 유속이 증가한 것을 알 수 있고, 각 면적과 속도는 유량을 계산하기 위한 인자로 활용을 하였다.

<표 7> 부스 도어 개방 시 덕트 속도 및 유입구의 유입속도

일련 번호	배기방향		급기방향					
	덕트		도어		급기구(hole)		전선인입구	
	면적 (m ²)	속도 (m/s)	면적 (m ²)	속도 (m/s)	면적 (m ²)	속도 (m/s)	면적 (m ²)	속도 (m/s)
M-1	7.85x10 ⁻³	1.7	1.95x10 ⁻³	0.4	7.85x10 ⁻³	0.5	0.98 x10 ⁻³	0.7
M-2		1.7		0.4		0.5		0.7
M-3		1.7		0.4		0.8		0.9
M-4		2.3		0.4		1.0		0.5
M-5		4.9	1.35x10 ⁻³	6.5	11.30x10 ⁻³	2.1	0.63 x10 ⁻³	2.3
M-6		6.3	1.44x10 ⁻³	9.4	1.96x10 ⁻³	5.7		5.1
M-7		6.4	1.99x10 ⁻³	9.5		5.3		5.4
M-8		6.7	2.53x10 ⁻³	7.5		5.0		5.3
M-9		3.5		3.2		3.1		3.3
M-10		4.0		3.2		4.1		4.4

〈표 8〉에서 부스 도어 개방 시 덕트속도 및 각 유입구 유입속도로 계산한 배기량과 유입량을 비교하였다. 비교 결과를 보면 덕트 배기량과 유입구의 유입 유량에서 유입유량이 더 적다는 것을 알 수 있다. 이는 유입구 부분에서의 손실, 열선풍속계기기 자체의 오류, 열선풍속계 측정 방향 오류, 측정자의 오류 등 여러 요인이 있을 것이라 판단되며, 유속을 활용한 국소배기시스템의 평가의 정확성에 대해서 많은 고민이 필요한 부분이라 생각한다.

〈표 8〉 부스 도어 개방 시 덕트속도 및 각 유입구 유입속도로 계산한 배기량과 유입량 비교 (CMM)

일련 번호	덕트 배기량	유입구의 유입 유량	유입량 세부사항		
			도어	급기구(hole)	전선인입구
M-1	0.80	0.32	0.04	0.24	0.04
M-2	0.82	0.32	0.04	0.24	0.04
M-3	0.81	0.49	0.04	0.39	0.05
M-4	1.08	0.53	0.05	0.45	0.03
M-5	2.29	2.12	0.53	1.45	0.14
M-6	2.97	1.68	0.82	0.67	0.19
M-7	3.02	1.96	1.13	0.63	0.20
M-8	3.14	1.93	1.13	0.59	0.20
M-9	1.63	0.98	0.49	0.36	0.12
M-10	1.86	1.14	0.49	0.48	0.17

〈표 9〉는 부스 밀폐와 개방 시 국소배기시스템의 측정결과를 정리하였다. 정압의 30%만 속도압으로 전환되었다고 가정하였을 때 배관속도 추정치와 실측 배관속도를 비교한 것이다. 배관속도의 추정치와 실측의 결과가 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 배관속도의 경우 열선풍속계로 측정이 어렵고, 방향에 따른 측정치의 차이, 측정 시 과소평가 등 많은 오차가 발생할 수 있다. 이때 정압차이에 따른 배관속도 추정치로 배기량을 계산해보면, 실측속도 보다는 비교적 정확한 결과이며, 이 결과로 생각해봤을 때 속도보다는 압력으로 관리하는 것이 비교적 더 정확하다는 것을 추정할 수 있다.

〈표 9〉 부스 밀폐와 개방 시 국소배기시스템 측정 결과

일련 번호	정압 측정치		정압차이	30% of ΔSP (=VP)		실측 배관속도 (m/s)
	밀폐시 (mmAq)	개방시 (mmAq)	ΔSP (mmAq)	속도압 추정치 (mmAq)	배관속도 추정치 (m/s)	
M-1	-3.00	-0.60	-2.40	0.72	3.4	1.7
M-2	-4.00	-0.40	-3.60	1.08	4.2	1.7
M-3	-4.50	-0.80	-3.70	1.11	4.3	1.7
M-4	-5.00	-1.30	-3.70	1.11	4.3	2.3
M-5	-14.10	-4.00	-10.10	3.03	7.0	4.9
M-6	-59.00	-38.00	-21.00	6.30	10.1	6.3
M-7	-58.00	-4.80	-53.20	15.96	16.2	6.4
M-8	-57.50	-45.00	-12.50	3.75	7.8	6.7
M-9	-35.20	-15.00	-20.20	6.06	10.0	3.5
M-10	-47.00	-2.40	-44.60	13.38	14.8	4.0

3) 결과 분석

가) 측정결과 종합

마킹기 총 10대를 대상으로 부스 밀폐 및 개방 조건에서의 덕트속도, 제어속도와 정압을 평가하였다. 마킹기는 부스 밀폐형 국소배기시스템이 설치되어 있으며, 이 시스템은 구조적 특성상 설비의 개구면이 없어, 산업안전 보건기준에 관한 규칙에서 정한 제어풍속으로 평가를 할 수 없다. 그러나 본 연구에서는 평가 기준으로 활용하기 위해 산업안전보건법상 유일한 평가 기준인 물질별 제어풍속을 적용하여 평가를 진행하였다.

부스 밀폐 상태에서 설비 유지보수, 기종 변경, 용기 교체 등으로 설비가 개방이 될 때, 정압이 동압으로 일부 전환되고, 이때 필요한 유속, 유량이 확보되는 과정을 확인하고자 부스 밀폐유지 조건에서의 정압과 부스 개방 조건에서의 덕트속도 및 제어풍속간의 상관관계 분석을 수행하였다. <표 3>과 <표 6>에서 정리한 데이터를 바탕으로 덕트속도, 제어속도, 정압, 급기구속도의 평균값을 사용하여, <표 11>에 종합적으로 정리하였다.

산업안전 보건기준에 관한 규칙의 국소배기시스템 성능평가 관련 제도에 따르면, <표 10>과 같이 관리대상 유해물질, 허가대상 유해물질, 금지유해물질, 분진으로 물질을 구분하고, 물질 상태와 후드 형식에 따라 제어풍속을 규정하고 있다.

후드가 밀폐형일 경우, 제어풍속의 평가 기준이 없어, 마킹기 부스 전면의 급기구(hole), 후면의 전선인입부의 원형 구멍에서 측정하였고, 부스 개방 조건에서는 양문형의 1개의 문을 열고, 개방이 된면에서 측정을 진행하였다. 앞에서 설명한 제어풍속에 따른 평가 기준은 없으나, 성능 평가의 근거로 활용하기 위해서 법적 기준을 적용하여 평가하였고, 덕트속도, 정압의 평균에 대한 측정결과 종합은 <표 11>과 같이 정리하였다. 부스 밀폐 조건에서 덕트속도의 평균은 3.5m/s, 정압의 평균은 -28.73mmAq, 급기구(hole)와 전선인입부에서의 공기 유입속도는 각각 평균 3.8m/s와 3.7m/s로 측정되었다.

도어 개방 조건 시 덕트속도는 평균 3.9m/s, 정압은 평균 -11.23mmAq,

제어풍속은 평균 4.1m/s, 급기구(hole)와 전선인입부에서의 공기 유입속도는 각각 평균 2.8m/s와 2.9m/s로 측정되었다. 부스 밀폐와 개방 상태에 따라서 항목별 측정결과는 부스 밀폐 조건에서는 정압과 급기구(hole)와 전선인입부에서의 공기 유입속도가 도어 개방 조건에서 보다 높았고, 덕트속도의 경우도 도어 개방 조건일 때가 더 높았다. 제어풍속의 경우, 부스 밀폐일 때는 측정할 수 있는 곳이 없어서 도어 개방 상태에서와 비교는 할 수 없었다.

도어 개방 시 정압이 낮아지며, 덕트속도가 일정량 증가하고, 급기구(hole)와 전선인입부에서의 공기 유입속도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 각 부스들이 국소배기시스템으로 연결이 되어 있고, 덕트에서의 배기량과 설비에서의 공기 유입량에 차이가 있는 것은 정압이 속도압으로 전환이 될 때 압력손실에 의해서 100% 전환이 안되는 것을 추정할 수 있다.

그리고 급기, 배기부 측정 시 과대 평가를 했거나, 열선풍속계기기 자체의 오류, 측정방향의 오류, 측정자의 잘못된 측정 및 해석 등으로 차이가 발생할 가능성이 크다는 것을 추정할 수 있었다.

부스 밀폐와 개방 시 국소배기시스템 측정결과를 정리한 내용에서 밀폐와 개방 시 정압 차이에 따라 배관속도를 추정하였고, 이를 실측 배관속도와 비교를 했을 때 오차가 큰 것을 확인하였는데, 이는 압력손실에 따른 정압이 속도압으로 전환될 때 손실과 측정 시 오류 등이 원인이 된다는 것을 추측할 수 있었다.

이와 같은 결과로 보면, 국소배기시스템을 유속으로 평가하는 것보다 정압으로 평가 및 관리를 하는 것이 비교적 더 정확하다는 것을 알 수 있었다.

〈표 10〉 산업안전보건 기준에 관한 규칙의 후드 성능 평가 제도

구분	성능평가	물질 상태	후드 형식	제어풍속
관리대상	제어풍속	가스	포위식포위형	0.4
			외부식측방흡인형	0.5
			외부식하방흡인형	0.5
			외부식상방흡인형	1.0
			포위식밀폐형	없음
		입자	포위식포위형	0.7
			외부식측방흡인형	1.0
			외부식하방흡인형	1.0
			외부식상방흡인형	1.2
			포위식밀폐형	없음
허가대상	제어풍속	가스	포위식포위형	0.5
			외부식측방흡인형	0.5
			외부식하방흡인형	0.5
			포위식밀폐형	없음
		입자	포위식포위형	1.0
			외부식측방흡인형	1.0
			외부식하방흡인형	1.0
			포위식밀폐형	없음
금지	제어풍속	가스	부스식	0.5
			밀폐형	없음
		입자	부스식	1.0
			밀폐형	없음

〈표 11〉 부스 밀폐와 도어 개방 조건 시 국소배기시스템 성능평가 결과 종합

일련 번호	부스 밀폐				도어 개방				
	덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	공기 유입속도(m/s)		덕트 속도 (m/s)	정압 (mmAq)	제어 풍속 (m/s)	공기 유입속도(m/s)	
			급기구(hole)	전선인입구				급기구(hole)	전선인입구
M-1	1.6	-3.00	1.2	0.5	1.7	-0.60	0.4	0.5	0.7
M-2	1.7	-4.00	1.3	0.6	1.7	-0.40	0.4	0.5	0.7
M-3	1.8	-4.50	1.3	0.5	1.7	-0.80	0.4	0.8	0.9
M-4	2.3	-5.00	1.4	0.6	2.3	-1.30	0.4	1.0	0.5
M-5	4.6	-14.10	2.7	2.5	4.9	-4.00	6.5	2.4	2.3
M-6	5.3	-59.00	6.5	7.5	6.3	-38.00	9.4	5.7	5.1
M-7	5.2	-58.00	6.5	7.5	6.4	-4.80	9.5	5.3	5.4
M-8	5.2	-57.50	6.5	7.5	6.7	-45.00	7.5	5.0	5.3
M-9	3.1	-35.20	4.8	3.8	3.5	-15.00	3.2	3.1	3.3
M-10	4.1	-47.00	5.6	5.7	4.0	-2.40	3.2	4.1	4.4
평균	3.5	-28.73	3.8	3.7	3.9	-11.23	4.1	2.8	2.9

나) 덕트속도와 정압 분석

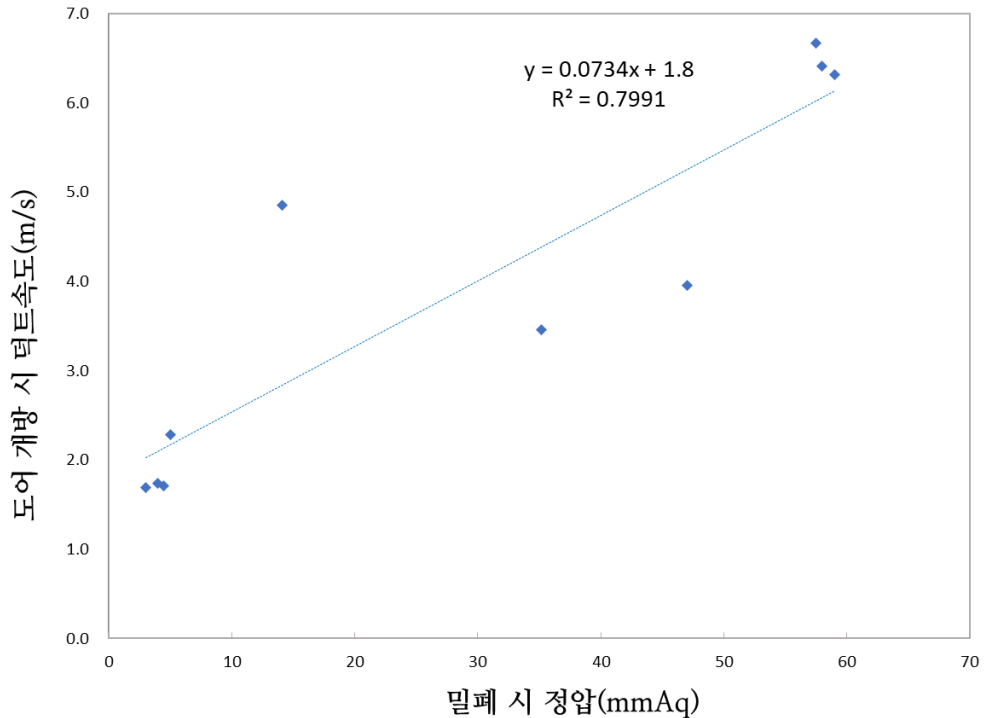
평가한 데이터를 기반으로 부스 밀폐 조건에서의 정압과 부스 개방 조건에서 덕트속도와의 상관관계를 분석하였다. <표 12>는 부스 밀폐 조건에서의 정압과 부스 개방 조건에서의 덕트속도를 평가한 결과를 정리한 것이고, [그림 5]는 이 평가 결과를 바탕으로 작성한 상관관계 그래프이다. 정압은 차트의 상관관계를 분석하기 위해서 마이너스(-)값을 양(+)의 값으로 환산하기 위하여 정압에 -1을 곱해주었다.

측정 결과 및 분산 차트를 통해 정압이 높아질수록 덕트속도도 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 특히, 부스 밀폐유지 상태 일 때, 정압이 높게 형성되면, 도어 개방 상태로 전환되면서, 정압이 동압으로 일부 전환되어 덕트속도가 증가하며, 필요한 유속과 유량이 확보되는 것을 확인할 수 있었다.

다만, 덕트 속도의 경우 각 회사에서 설치한 덕트 직경(면적)이 서로 다르다. 이로 인해 정압과 덕트속도가 달라질 수 있기 때문에 성능 평가 기준으로 정할 때 판단이 필요할 것 같다.

<표 12> 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 덕트속도 측정 결과

일련 번호	부스 밀폐 시 정압(mmAq)	도어 개방 시 덕트속도(m/s)
M-1	3.00	1.7
M-2	4.00	1.7
M-3	4.50	1.7
M-4	5.00	2.3
M-5	14.10	4.9
M-6	59.00	6.3
M-7	58.00	6.4
M-8	57.50	6.7
M-9	35.20	3.5
M-10	47.00	4.0



[그림 5] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 덕트속도에 미치는 영향.

다) 제어풍속과 정압 분석

〈표 13〉의 데이터를 기반으로, 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 제어풍속과의 상관관계를 분석한 결과는 [그림 6]과 같다. 정압은 편의상 마이너스 (-)값을 양(+)의 값으로 환산하기 위하여 정압에 -1을 곱해주었다.

〈표 13〉의 측정결과에서 부스 밀폐 시 정압이 증가하면, 도어 개방 시 제어풍속도 높아지는 것을 알 수 있다.

부스 밀폐 시 정압이 -4.5mmAq에서 도어 개방이 되면, 제어풍속이 0.38 m/s으로 법적 제어풍속 기준을 만족하지 못한다. 그러나 정압이 -5mmAq일 때 도어 개방이 되면, 제어풍속은 0.41m/s로 증가하며, 법적 제어풍속 기준인 0.4m/s 이상을 만족하였다. 이 평가 결과로 판단할 때 후드 형태에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나, 측정을 수행한 사업장에서는 부스 밀폐 시 정압이 현장상황, 여유율 등을 고려했을 때 7mmAq이상 상시 유지된다면, 법적 제어

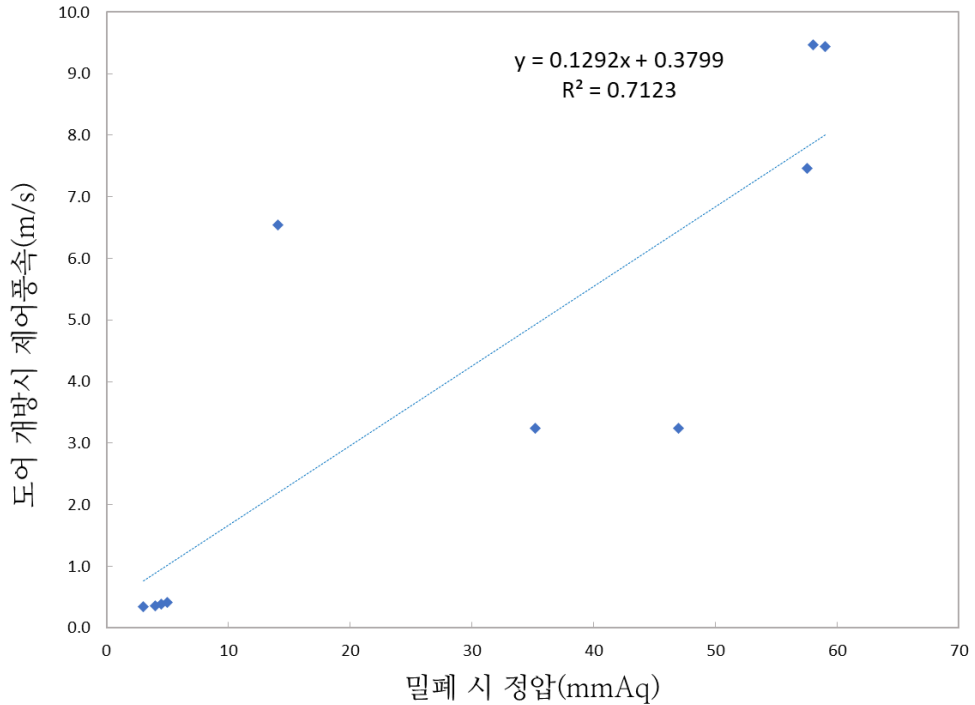
풍속 기준인 0.4m/s 이상 만족할 수 있다고 판단된다.

운영 측면에서는 정압이 -35.2mmAq 이상 형성되는 덕트의 댐퍼를 조금 조정해 닫고, 부족한 부분에 재분배되면, 전체 국소배기시스템을 보다 균형있게 관리할 수 있을 것이고, 배기 개선을 위한 투자 비용을 줄이는 데도 기여할 수 있다.

이번 평가에서 참고해야 할 사항은 덕트에서 측정공 또는 정압계를 설치할 때는 댐퍼 전단(후드측)에 설치되어야 하지만, 평가한 사업장의 경우 측정공이 댐퍼 후단에 설치되어 있었다. 이로 인하여 댐퍼가 닫히면, 댐퍼 자체의 영향에 따라 정압이 상승하여, 해당 국소배기 시스템에서 발생하는 정압으로 보기에는 오류가 있을 수 있지만, 본 연구에서는 밀폐형 후드를 대상으로 평가를 진행했기 때문에, 이로 인한 오차는 크지 않다고 판단하여, 댐퍼 전단에 별도 타공 작업을 하지 않고, 기존 타공이 된 상태를 유지한 상태에서 평가를 진행하였다. 같은 조건에서 후드 형식이 외부식이였다면 <표 13>의 데이터와 같은 정압 측정 결과와 다르게 나왔을 것이다.

<표 13> 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 제어풍속 측정 결과

일련 번호	부스 밀폐 시 정압(mmAq)	도어 개방 시 제어풍속(m/s)
M-1	3.00	0.35
M-2	4.00	0.36
M-3	4.50	0.38
M-4	5.00	0.41
M-5	14.10	6.54
M-6	59.00	9.44
M-7	58.00	9.47
M-8	57.50	7.47
M-9	35.20	3.25
M-10	47.00	3.24



[그림 6] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 제어풍속에 미치는 영향.

라) 급기구(hole) 공기유입속도와 정압 분석

제어풍속과 정압 분석의 경우 밀폐형 후드 설계 시 최소 음압 유지하는 것으로 설계가 되어 도어 개방 시 제어속도는 열린면의 면적으로 인하여 오차 및 상관관계가 낮아서 급기구(hole) 공기유입속도를 기준으로 분석을 진행하였다. 급기구(hole)의 경우 제어풍속은 아니지만, 평가 근거로 활용하고자, 법적 제어풍속의 기준을 적용하였다. <표 14>의 측정 결과를 바탕으로, 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 급기구(hole) 공기 유입속도의 상관관계를 분석한 결과는 [그림 7]과 같다. 정압은 차트의 상관관계를 분석하기 위해서 마이너스(-)값을 양(+)의 값으로 환산하기 위하여 정압에 -1을 곱해주었다.

<표 14>의 측정결과를 보면 부스 밀폐 시 정압이 높아질수록 부스 개방 조건에서의 급기구(hole)의 유속도 높아지는 경향을 보였다. 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 정압이 -3mmAq에서 도어가 개방이 되면, 급기구 유속이

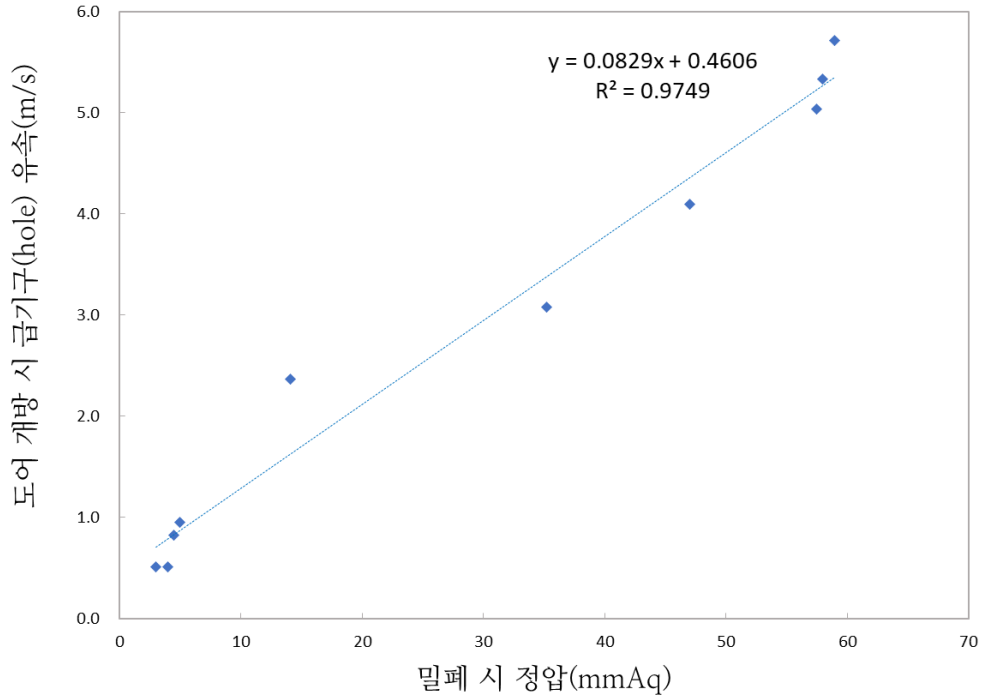
0.5m/s로 법적 제어풍속 기준을 만족한다.

이 결과로 보면, 배기량 설계 시 어떤 것을 목적으로 하느냐에 따라서 운영 시 배기량이 다를 수 있다는 것을 생각할 수 있다.

취급하는 화학물질의 유해성 등급에 따라서 급기구(hole), 전선인입구 등 면적을 기준으로 산정하고, 특별관리물질 등의 CMR 물질의 경우 도어 개방 시 개면면적 등 특정 면적에 따라서 산정을 하면, 전체 국소배기시스템을 보다 효율적으로 균형있게 관리할 수 있을 것이고, 배기 개선을 위한 투자 비용을 줄일 수 있어 경영에도 기여할 수 있다고 판단한다.

〈표 14〉 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 급기구(hole) 유속 측정 결과

일련 번호	부스 밀폐 시 정압(mmAq)	도어 개방 시 급기구(hole) 공기 유입속도(m/s)
M-1	3.00	0.5
M-2	4.00	0.5
M-3	4.50	0.8
M-4	5.00	1.0
M-5	14.10	2.4
M-6	59.00	5.7
M-7	58.00	5.3
M-8	57.50	5.0
M-9	35.20	3.1
M-10	47.00	4.1



[그림 7] 부스 밀폐 시 정압과 도어 개방 시 급기구(hole)유속에 미치는 영향.

제 3 절 밀폐형 국소배기의 관리적 기준 제안

1) 밀폐형 국소배기시스템의 정압관리 필요성

화학물질을 취급하는 제조 공정 설비에서 설비 내에서 발생하는 유증기, 분진 등이 작업자에게 노출되는 것을 예방하기 위해 산업안전보건법에 따라 국소배기 시스템을 설치하고 운영하고 있다. 국소배기 시스템은 설치 이후 정기적인 성능 평가를 통해 법적 제어풍속이 확보되는지, 시스템이 정상으로 작동하는지를 점검한다. 점검 시 과하거나 부족한 부분을 평가하여, 댐퍼 조정, 정압 측정, 송풍기 점검 및 보수 등의 조치를 한다.

일반적으로 국소배기시스템 평가 시 후드의 형태에 따라 제어풍속을 측정

하여 정상 작동 여부를 판단하는데, 완전 밀폐형 후드의 경우, 구조적 특성상 작은 개구면 등 틈이 없어 제어풍속 측정이 불가능하다. 이로 인하여 제어풍속만으로 배기 효율 확인 등 정상 작동 여부를 평가할 수 없기 때문에 밀폐 상태에서의 정압으로 시스템을 관리할 필요가 있다. 제조 현장에서 국소배기 시스템의 설계 및 시공은 회사의 건설 및 시설 팀의 경험에 의존하거나 전문 업체를 통해 이루어진다. 그러나, 설치 이후 공정 변경점이 발생하였을 때, 정압관리 기준이 없거나, 관리가 되지 않는 곳은 기존 덕트 속도가 낮아져서 배기 효율에 문제가 생길 수 있다.

예를 들어, 초기 설계보다 많은 국소배기 시스템이 추가로 설치될 경우, 기존에 정상적으로 운영되던 설비에서도 배기 유량 확보가 어려워질 수 있다. 이는 설비의 추가 설치로 인해 메인 덕트의 운영 정압이 높아지면서, 기존에 정상적으로 제어풍속이 나왔던 곳의 유속이 낮아지는 현상이 발생할 수 있다. 특히 부스 형태의 밀폐형 설비에서는 부스 도어의 개폐 과정에서 내부 압력 변화가 발생하며, 이때 일정 수치 이상의 상시 정압이 유지가 되면, 필요한 유속과 유량이 확보될 수 있다. 정압이 적절히 설계되고 관리된 경우, 도어가 열릴 때 공기의 흐름이 발생하고, 이 때 정압이 속도압으로 변환되면서 유속은 증가하고, 정압은 낮아진다. 반면, 정압이 낮게 설계되었거나 정압 관리가 제대로 이루어지지 않을 경우, 도어가 열려도 공기의 흐름이 거의 발생하지 않아 속도압으로 전환될 정압이 부족하고, 이로 인해 필요한 유속 및 배기량을 확보할 수 없다.

그리고 <표 9>에서 부스 밀폐와 개방 시 정압차이에 따른 배관속도의 추정치와 실측 배관속도의 차이를 보면, 유속으로 평가를 하는 것보다, 정압으로 관리하는 것이 비교적 더 정확하다는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 국소배기 시스템의 성능을 최적화하고 작업 환경을 안전하게 유지하기 위해서는 메인 덕트의 정압 관리를 체계적으로 수행해야 한다.

이를 위해 정압 기준을 회사 운영 상황에 맞게 설정하고 유지하는 것이 필요하다. 이는 배기 효율 유지뿐만 아니라 현장의 근무자의 건강을 보호할 수 있다.

2) 밀폐형 후드 정압 측정방법

밀폐형 후드의 정압을 효율적으로 관리하기 위해서는 먼저 필요한 환기량을 설계해야 한다. 이 환기량은 작업 환경에서 배출되는 유해물질을 적절히 제거할 수 있도록 설계되어야 하며, 이를 유지하기 위해 화학물질의 성상에 맞게 덕트속도를 결정해야 하고, 설계된 환기량과 덕트속도가 유지되기 위해 후드 정압을 설정한다. 설정된 정압은 현장 근무자가 육안으로 실시간 확인할 수 있도록 정압계를 설치하고, 설정된 정압 범위 기준으로 표시하여 기준 이탈 여부를 판단할 수 있도록 해야 한다. 설정된 정압 기준을 이탈할 경우, 현장 근무자가 확인한 즉시 설비팀, 유지보수팀 등 유관 부서로 연락하여 조치를 받도록 프로세스 구축을 하면, 국소배기시스템의 정압 이상에 따른 배기 효율이 단시간내 조치가 될 수 있어, 배기 효율을 높이고, 작업 환경을 안정적으로 유지할 수 있을 것으로 판단한다.

3) 밀폐형 국소배기시스템 성능 및 관리 기준 제안

밀폐형 국소배기시스템은 본 연구의 데이터 기준으로 해석을 하면, 후드 내부의 음압을 상시 유지하기 위해 부스 밀폐 상태에서 정압 관리 기준은 급기구(hole)에서는 -3mmAq , 제어풍속 기준으로는 -7mmAq 로 유지가 된다면, 법적 제어풍속인 0.4m/s 이상 확보되었다.

그러나, 정압이 -35.2mmAq 이상으로 높게 형성되는 경우, 해당 구간의 댐퍼를 조금 닫아 조정하여 과도한 음압을 적정 수준으로 낮춰서, 정압이 부족한 곳에 재분배하면, 전체 국소배기시스템을 보다 균형있고, 효율적으로 운영할 수 있을 것이고, 배기 개선을 위한 투자 비용을 줄이는 있어, 회사 경영에도 기여할 수 있을 것이라 판단한다.

이를 통해 국소배기시스템의 내부 정압을 회사 상황과 목적에 맞게 관리기준을 정해서 운영을 한다면, 제어풍속을 0.4 m/s 이상 유지할 수 있을 것이다.

화학물질이 사용되는 설비를 설계를 할 때 물질의 유해성에 따라서 배기량

설계 시 배기량 설계 시 설비 외부로 유증기가 나가지 않도록 할건지, 도어가 개방되더라도 현장 작업자에게 노출이 안되게 하는지 등 어떤 것을 목적으로 운영하느냐에 따라서 기준을 다르게 할 필요가 있다.

취급하는 화학물질의 유해성에 따라서 급기구(hole), 전선인입구 등의 면적을 기준으로 산정하고, 특별관리물질 등의 CMR 물질의 경우 도어 개방 시 개방면 등 특정 면적에 따라서 산정을 하면, 전체 국소배기시스템을 보다 효율적이고, 균형있게 관리할 수 있을 것이고, 배기 개선을 위한 투자 비용을 줄이는 데도 기여할 수 있다고 판단한다.

설비에 개구부가 있는 경우에는 설비 내부가 음압 상태를 유지할 수 있도록 개구면에서의 제어풍속을 적절히 조정해야 한다. 개구면적은 현재 배기량을 기준으로 환산하여, 허용할 수 있는 면적으로 설정해야 한다. 부스의 음압 유지되는 것을 확인하기 위하여 열선풍속계 또는 연기발생기와 같은 장비를 활용하여 실제 유속과 음압 상태를 지속적으로 점검하고 관리해야 한다. 그리고 정압 측정을 위한 측정공 또는 정압계를 설치할 경우, 반드시 댐퍼 전단(후드 측)에 설치해야 한다. 이는 댐퍼 후단에 설치할 경우, 댐퍼로 인해 발생하는 압력손실이 후드의 압력손실로 잘못 해석될 수 있다. 따라서 측정공 또는 정압계는 댐퍼 전단에 설치하여 후드에서 발생한 순수 정압을 정확히 측정할 수 있다.

제 4 장 결 론

본 연구에서는 2차 전지 제조라인의 밀폐형 장비의 국소배기시스템 특성을 파악하였다. 연구대상은 대표적인 밀폐형 장비 중의 하나인 마킹기를 선정하여 10대의 마킹기와 이와 연결된 국소배기시스템을 대상으로 하였다. 파악한 특성으로는 마킹기와 국소배기시스템 기본 구조, 마킹기의 개구부, 마킹기 개구부의 제어풍속, 마킹기에 부착된 배관의 유속, 후드정압 (부착된 배관의 정압) 등 이었다. 이러한 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 2차 전지 제조라인에는 다수의 밀폐형 장비가 가동되며 밀폐형 장비는 배관으로 하나의 전체 국소배기시스템과 연결되어 있다. 마킹기는 부품이나 파트에 표식이나 문자를 마크하거나 인쇄하는 장비로 제조라인의 중간중간에 위치해 있어 밀폐형 장비의 국소배기시스템의 특성을 파악하기에 적합하였다. 마킹기를 아크릴과 같은 재질로 거의 완전 밀폐된 부스 안에 설치되어 있으며, 급기를 위해 측면에 급기구가 뚫려있고, 뒷면에 전선인입구가 있다.

둘째, 밀폐된 상태(정상가동)에서 마킹기에 부착된 배관($\phi 100$ mm)내 유속은 $1.6 \sim 5.2$ m/s였으며 후드정압은 $(-)3$ mmAq $\sim (-)59$ mmAq로 나타났다. 배관속도나 후드정압은 마킹기의 위치에 따라 다르게 나타났는데, 이것은 전체 국소배기시스템의 송풍기로부터의 거리, 주변기기의 정압 및 유량 등에 따라 영향을 받기 때문인 것으로 보인다.

셋째 밀폐된 상태에서 급기구의 유입속도는 $1.2 \sim 6.5$ m/s였으며 전선유입구의 빈틈으로의 유입속도는 $0.5 \sim 7.5$ m/s인 것으로 나타났다. 따라서 정상적으로 가동되는 경우 밀폐형 장비의 열린 개수면의 유입속도는 제어속도 0.5 m/s이상인 것으로 나타났다.

넷째, 유지보수를 위해 밀폐된 부스의 앞면에 달린 문(door)을 연 상태에서 후드정압은 $(-)0.6$ mmAq $\sim (-)45$ mmAq로 감소했다. 이것은 부스의 개구면적이 넓어짐에 따라 공기 유입이 늘어나면서 후드정압의 일부가 속도압으로 변환했기 때문으로 보인다. 실제로 문(door)을 연 상태에서 문을 개방한

개구면에서 제어풍속은 0.4~9.5 m/s로 상당히 높게 나타났다. 이때 급기구의 유입속도는 0.5~5.4m/s로 약 40~83% 수준을 유지하였고, 전선유입구의 빈틈으로의 유입속도도 0.5~5.4 m/s로 나타나 72~100% 수준을 유지하였다.

위와 같은 결과를 바탕으로 밀폐형 장비는 국소배기시스템에 연결된 장비가 일정이상의 후드 정압만 유지하면 가동시(밀폐상태)는 물론 유지보수를 위해 문을 개방할 때도 부스형 후드의 제어속도 기준인 0.5 m/s수준의 성능을 낼 수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 고용노동부. (2024). 산업안전보건법. 고용노동부
- 안전보건공단 산업안전보건연구원. (2013). 산업환기시스템 효율적 관리 방안 개발 연구. 안전보건공단 산업안전보건연구원
- 한국산업안전보건공단. (2014). 국소배기시스템 구입 및 사용 시 안전보건기술 지침. 한국산업안전보건공단
- 한국산업안전보건공단. (2019). 산업환기설비에 관한 기술지침. 한국산업안전보건공단
- 안전보건공단 산업안전보건연구원. (2023). 국소배기시스템의 체계적 관리를 위한 설치관리기준 연구. 안전보건공단 산업안전보건연구원
- BATTERY INSIDE. (2022). (인포그래픽#3) 한눈에 보는 배터리 제조공정. 배터리인사이드
- BATTERY INSIDE. (2022). (인포그래픽#4) 배터리 만들기 STEP.1 - 전극 공정. 배터리인사이드
- BATTERY INSIDE. (2022). (인포그래픽#5) 배터리 만들기 STEP.2 - 조립 공정: 파우치 배터리 편. 배터리인사이드
- BATTERY INSIDE. (2022). (인포그래픽#6) 배터리 만들기 STEP.2 - 조립 공정: 원통형 배터리 편. 배터리인사이드
- BATTERY INSIDE. (2022). (인포그래픽#7) 배터리 만들기 STEP.3 - 활성화 공정: 활성화 공정. 배터리인사이드
- 김유곤, 오진석. (2016). 드라이룸의 국부 제습을 위한 다단 제습 시스템. 10-1611138. 대한민국특허청(KR)
- 한국에너지기술연구원 기술정책플랫폼. (2023) 이차전지 산업·기술동향. 한국에너지기술연구원 기술정책플랫폼
- 대신증권. (2022). 2차전지 장비. 대신증권

ABSTRACT

A Study on the Characteristics and Development of a Performance Management Method for the Local Exhaust Ventilation Systems in an Enclosed Equipment at a Secondary Battery Manufacturing Industry

Han, Dong-Hoon

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study investigates the characteristics of local exhaust ventilation (LEV) systems in an enclosed equipment used in secondary battery manufacturing lines and verifies their performance during normal operation (enclosed state) and maintenance (with doors open). The study conducted for 10 marking machines and their connected LEV systems. The basic structures of the marking machines and LEV systems, as well as the openings of the marking machines, were identified. Measurements were taken for the control air velocity at the openings of the marking machines, the air velocity within ducts attached to the machines, and the hood static pressure (static pressure in the attached ducts) during both

enclosed and open-door states.

In the enclosed state (normal operation), the duct velocity attached to the marking machines ranged from 1.6 to 5.2 m/s, and the hood static pressure ranged from (-)3 mmAq to (-)59 mmAq. These parameters varied depending on the distance from the blower of the entire LEV system, the static pressure, and airflow of the near devices and machines, resulting in differences based on the location of the marking machines.

The inlet air velocity at the supply air holes ranged from 1.2 to 6.5 m/s, while the inlet velocity through the cable inlets was measured between 0.5 and 7.5 m/s. Therefore, during normal operation, the inlet velocity at the openings of the enclosed equipment exceeded 0.5 m/s.

When the door was open, the hood static pressure decreased to a range of (-)0.6 mmAq to (-)45 mmAq compared to the enclosed state. This reduction was attributed to increased air inflow due to the enlarged door opening area, which converted some of the hood static pressure into velocity pressure. In the open-door state, the control air velocity at the openings was measured at 0.4 to 9.5 m/s, indicating a relatively high value. During this state, the inlet velocity at the supply air holes was 0.5 to 5.4 m/s, maintaining 40–83% of the enclosed state levels. Similarly, the inlet velocity through the cable inlets was 0.5 to 5.4 m/s, maintaining 72–100% of the enclosed state levels.

Based on these findings, it was confirmed that enclosed equipment connected to an LEV system can maintain the control velocity standard of 0.5 m/s for booth-type hoods, not only during normal operation (enclosed state) but also when the door is opened for maintenance, provided that a certain level of hood static pressure is maintained by the connected LEV system.

【Keywords】 Local Exhaust Ventilation System, Enclosed Hood,
Secondary Battery, Static Pressure, Booth-Type Hood,
Control Velocity