

반도체 공정 칠러 장비의 히터 접속부 전기배선에 대한 열적 특성 분석

김규빈¹ · 김두현^{2†} · 김성철³

Analysis of Thermal Characteristic for Wiring at Heater Connector of Semiconductor Chiller Equipment

Gyu Bin Kim¹ · Doo-Hyun Kim^{2†} · Sung-Chul Kim³

[†]Corresponding Author

Doo-Hyun Kim

Tel : +82-43-261-2463

E-mail : dhk@chungbuk.ac.kr

Received : January 30, 2023

Revised : March 24, 2023

Accepted : April 6, 2023

Abstract : With the technological development of the semiconductor industry, the roles of electrical and thermal energy supply and control of semiconductor equipment in ultrafine processes have become very important. However, instances of electrical fires in the chiller heater, which is used for cooling in the semiconductor manufacturing process, are increasing. A fire occurs in combustibles due to high heat at the connection part of the chiller heater, that is, when the number of electrical wires in the connection part is reduced or when the wires are completely disconnected. In this study, the temperature characteristics were compared and analyzed through experiments and 3D simulations. The number of electrical wires, which is the connection part of the chiller heater, was reduced by 90%, 50%, 30%, 10%, and 5%, and the wires were completely disconnected. When the number of electrical wires was reduced by 5%, heat of up to 80°C was generated, which is a relatively high temperature but insufficient to cause a fire in combustibles. Complete disconnection occurred due to the vibration of the motor and other components, and sparks and arcs were generated, resulting in a rapid increase in temperature to up to 680°C. When completely disconnected, the temperature increase was sufficient to cause a fire in the combustibles covering the terminal block. Therefore, in this study, the causes of electrical fires in chiller heaters were investigated and preventive measures were proposed by analyzing abnormal signals and thermal characteristics caused by the electrical wiring being reduced and completely disconnected.

Key Words : semiconductor chiller equipment, electrical fire, electrical signals and thermal characteristics, poor contact, partial disconnection

Copyright©2023 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

2021년 전기화재는 총 9,473건으로 이 중 산업장비 화재는 총 1,727건 18.2%로 나타났다. 산업장비에서 히터 및 가열장치의 발화 기인은 229건으로 전년대비 2% 증가하였다. 용접절단기 및 기타 산업장비로 발화되는 발화 유형을 제외하면 히터 및 가열장치 전기적 화재가 가장 높은 요인이다. 히터 및 가열장치는 산업 전반에서 사용되고 있으며 특히 반도체, LCD 및 배터리 생산공정에서 온도제어용으로 주로 사용된다. 이런

히터 및 가열장치는 공정에 따라 최소 5000개에서 1만 개 이상이 설치되어 있고 설치된 해당 히터에서는 고장 및 전기화재가 발생되고 있다. 특히 히터의 전기배선과 단자대 간의 접속 부분에서 반단선 또는 접속 불량에 의한 화재는 지속적으로 발생되고 있다.

이런 전기화재를 방지하기 위해서 반도체 회사에서는 과전류 검출인 누전차단기(ELCB)를 설계하여 현장에 설치하고 있다. 이런 차단기는 누전과 과전류의 원인을 발견하고 이를 차단해주는 장치이며 히터의 접속부에 대한 반단선 및 접속불량에 의한 열, 스파크 및

¹SK하이닉스 안전관리팀 차장 (Safety Management Team, SK Hynix Semiconductor)

²충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

³충북대학교 안전공학과 조빙교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

아크는 감지하지 못하고 있어 구체적인 예방 대책이 없는 실정이다.

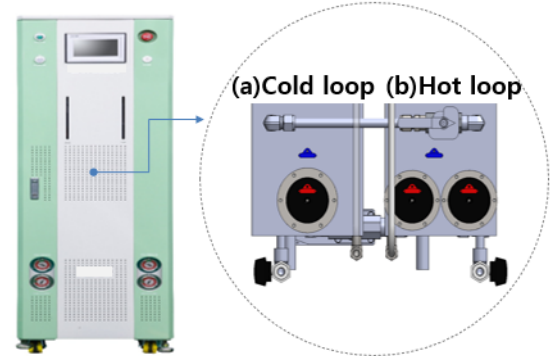
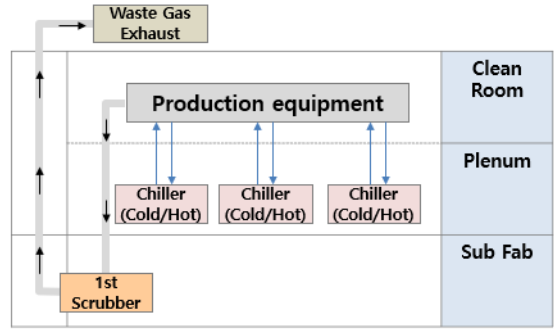
따라서 히터의 전기배선 접속부에서 발생가능한 반단선 및 접속불량에 의한 전기화재를 예방하기 위해서는 먼저 실태조사를 실시하여야 하며 실태조사에서 접속부의 형태, 공사 방법, 관리 방법 등을 분석하여 한다. 또한 반단선 및 접속불량으로 인하여 발생가능한 정상 및 비정상상태의 신호들을 분석할 필요가 있다. 비정상상태라 함은 접속부의 접속불량으로 발생하는 신호가 대부분인데 이는 설치공사 중에 대부분 발생한다. 설치공사상의 문제는 주로 반단선인데 접속불량의 문제로 시작되어 진동에 의해 나중에는 완전히 단선되고 단선된 부분에서 스파크 및 아크가 발생하는 사례도 있다. 따라서 히터 접속부의 전기배선에 대하여 소선감소에 대한 부분과 완전단선되었을 때의 열적특성에 대한 분석이 필요하다. 또한 실험적 증명과 함께 시뮬레이션을 통하여 보다 신뢰할 수 있는 데이터를 요구한다.

이에 본 연구에서는 반도체 공정 히터 전기설비를 타겟으로 하였고 히터 접속부의 전기배선에 대한 실태조사를 실시하여 반단선의 문제점을 발견하였다. 또한 소선수 감소(소선수 100%, 90%, 50%, 30%, 10%, 5%)에 대하여 실험과 시뮬레이션을 실시하였으며 소선수 0%의 완전단선의 경우는 실험을 통하여 열적 데이터를 분석하였다. 도출된 데이터를 통하여 반도체 공정 히터 전기배선 접속부의 반단선에 대한 구체적인 원인을 제시하고 한다.

2. 반도체공정 히터 가열장치 실태조사

2.1 반도체 공정 히터 가열장치 개요

반도체 공정 가열장치 칠러(이하 “chiller”)는 웨이퍼(wafer)의 표면을 물리적 및 화학적으로 반응하는 과정에서 발생하는 반도체 Wafer Chuck의 온도 상승을 제어하여 효율적이고 안정적인 공정 진행을 통한 최적의 상태의 양질의 Wafer를 생산하기 위한 장비이다. 반도체 Wafer 제조 생산공정은 Photo, Etch, Diffusion, Thinfilm, C&C 등 5개의 공정이 구성되어 있으며 사용되는 Temperature control System으로 주요 기능은 DRY ETCH(Oxide, Metal, Poly 단위공정)과 CVD 공정설비의 Wafer chuck의 Temperature 유지시켜 준다. 각 공정별 Temperature Control은 Coolant Loop에 삽입되어 있는 Immersion Heater 이용하였고, 이를 제어하기 위한 PID방식이 적용된다. Chiller는 3개의 Channel로 구성되며, 각 Channel별 공정온도는 10~60℃, 40~90℃,



Chiller equipment

Fig. 1. Diagram of semiconductor process and heater heating device.

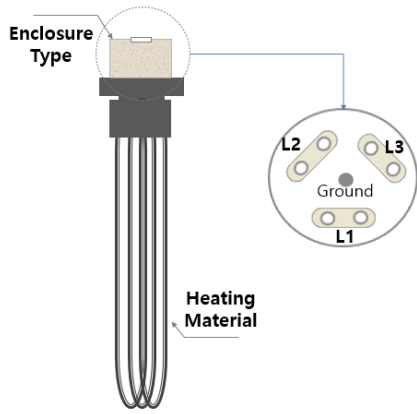
10~40℃ 공정까지 적용 가능하다^{1,2)}.

Fig. 1은 A반도체 공정의 프로세스 공정과 온도 조절을 위한 히터 가열장치의 구성을 보여주고 있다^{3,4)}. 이러한 히터 가열장치는 Etch 공정에서 8600여개, Diffusion공정 200여개, Thinfilm공정 700여개, C&C 공정 및 기타 공정에 500여개로 약 총 10,000여개의 히터 및 가열장치를 사용하고 있다.

2.2 히터 가열장치의 전기설비

히터 가열장치의 주요 구성으로 Hot loop는 1개당 6.75 kW로 2개로 구성되어 총 13.5 kW, 전압은 220 V이며, 정격전류는 37.5 A로 운영되고 있다. Fig. 1의 cold 및 hot loop는 순환용 모터/펌프를 이용하여 반도체 공정의 생산장비 챔버에 공급되는 구조이며, Fig. 1의 칠러 Tank 몸체에 온도 센서가 부착되어 있다. Tank 내부의 온도를 실시간 측정하는 방식으로 최고 105℃, 최저 60℃의 분포로 측정되고 히터에 오동작에 의한 105℃ 이상의 과열 발생시 전장부의 전자접촉기를 (Magnetic Contactor) 제어하여 전원 공급을 차단하는 안전 보호장치가 추가로 설치되어 있다.

히터 가열장치 설비의 전기 제어에 사용되는 제품 ELCB, MC(전자접촉기), SSR(Solid State Relay)은 전기



a) Immersion heater connection diagram



b) Heater connection insulation

Fig. 2. Heater connection diagram and insulator.

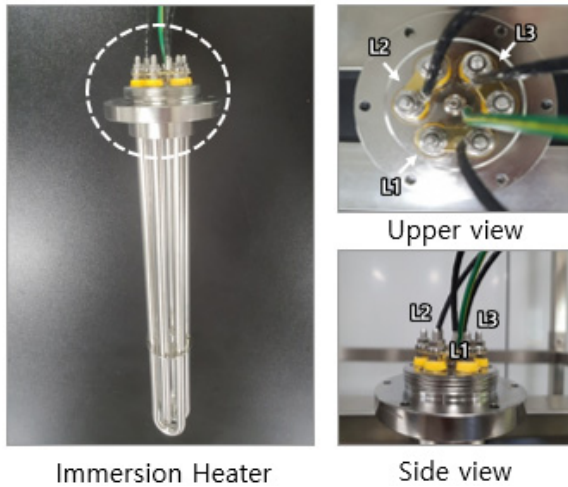


Fig. 3. Immersion heater power connection configuration.

안전 규격 설계 기준의 IEC 60204-1~5, NFPA-79 기준에 따라 적용되었다. 또한 내열전선은 KEC 내선 규정 3115-3, 3115-6 기준의 근거에 따라 최대 허용 전류의 KS 표준 규격 전선 설치하고 있다.

Fig. 2는 반도체 공정의 히터 가열장치의 전원 접속부이며, 접속부는 감전 및 습도로 인한 누전 방지를 위해 에폭시 물질(인화점: 220°C)의 충전재를 이용하여

몰딩 처리되어 있으며, 덮개 구조의 보호용 캡을 정착하였다. 보호용 캡의 설치 목적은 전기설비의 접속부의 감전 및 오염을 방지하기 위해서이다. 보호용 캡을 제거하면 3상(L1, L2, L3)의 전원이 연결되어 있다.

2.3 히터 단자대의 실태조사

Table 1은 A사 반도체 공정에서는 최근 5년간 화재 사고의 직·간접 손실 비용을 나타내었다. 주(main) 공급전력 및 변압기 등 전기공급설비 고장으로 인한 정전이 4건으로 손실 비용(74.95%)이 가장 높게 발생하였고, 생산장비 가열장치는 11건으로 손실 비용 측면에서도 21.7%로 나타났다. 특히 생산장비 가열장치 화재는 반도체 공정의 환경 특성상 최소 복구 조치 소요기간이 24 hr 이상 발생되고 추가적으로 Wafer 이송 장치 등의 과부화로 인한 지연의 원인으로 Movement 손실의 기회 손실 비용도 증가하게 된다.

Chiller에서 발생한 11건의 사고를 보면, 전기배선 단자대 부분의 단선으로 인한 3상 불평형이 4건이고, 단자와 전선 접속부분의 접속불량이 7건으로 나타났다⁵⁾. 3상 불평형을 제외한 Chiller heater 보호용 캡 내부의 전원 접속부는 습도 방지를 위해 에폭시 물질의 충전재가 가연물로 기인한 화재였다. 중요한 것은 3상 불평

Table 1. Electric fire and damage status of company A in the semiconductor process

Division	Facility	Case	Loss ratio (million)	Damage rate
Short circuit./outage	Production equipment	1	0.4	0.20%
	Electricity supply facility	4	152	74.95%
Fire/ carbonization	Equipment heating device	11	44	21.70%
	Electricity supply facility	2	2.9	1.42%
	Utility	9	3.5	1.73%

* 직접손실비 : 장비 수리, Wafer Loss, 기타 보상금액등 손실의 합
* 간접손실비 : 기회손실 비용으로 Movement 손실로 인한 매출액 및 영업이익 손실의 합

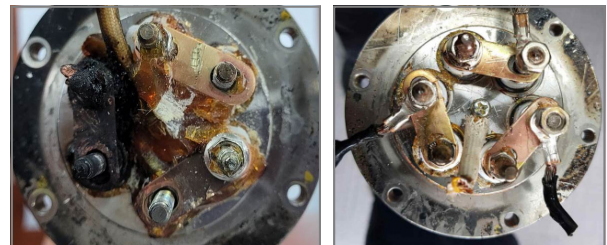


Fig. 4. Carbonization phenomenon of chiller heater power connection.



Fig. 5. Inappropriate case of crimp terminal of chiller heater connection.

형은 경보장치가 동작하였지만 접속불량에 의한 7건은 경보장치가 동작하지 않았다. Fig. 4는 A사 반도체 공정 chiller에서 발생한 화재로 에폭시 물질과 접속부의 탄화흔을 나타내었다⁶⁻⁹⁾.

히터 접속부의 탄화 및 화재는 케이블 압착터미널 체결 시(압착 시 터미널 단자 이음매 벌어짐)와 조립과정 및 반복된 물리적 외력이 작용할 경우에 소선 중 일부가 끊어진 반단선 초기현상이 발생할 수 있다. 이러한 과정은 순환용 모터펌프(전동기)에 의한 진동 발생으로 반단선이 촉진될 수 있는 위험성이 크다¹⁰⁻¹²⁾.

3. 히터 접속부 전기배선의 반단선 실험 및 시뮬레이션 방법

반도체 공정 히터 가열장치 전기설비에 대한 반단선의 열적 분석을 위해 3상(L1, L2, L3)에서 L1에 반단선을 유도하였고, L2, L3은 정상적인 회로를 구성하였다. L1의 소선수에 대하여 100%, 90%, 50%, 30%, 10%, 5%로 하여 실험 및 시뮬레이션을 실시하였고, 0%(완전 단선)의 경우는 실험만을 실시하였다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

3.1 히터 접속부 전기배선의 반단선 실험

반단선 실험은 소선수 감소와 완전 단선으로 구분하여 실험을 실시하였다. 소선수 감소는 Teflon Cable 3.5 SQ(심선 수 44wires)을 이용하여 100%, 90%, 50%, 30%, 10%, 5%의 6개 시나리오로 하였다. 6개의 시나리오는 Fig. 6에 나타내었다.

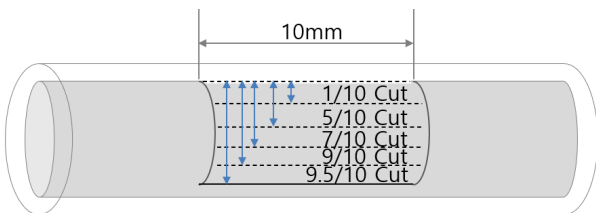


Fig. 6. Partial disconnection design of conductor.

Table 2. Current and thermal imaging instruments

Division	MAKER	MODEL	Measurement
CLAMP ON POWER METER	YOKOGAWA	CW240	Current
THERMO-GRAPHIC CAMERA	FLIR	T420	Thermal

Table 3. Test conditions for the electrical Cable(Teflon)

Division		Contents
Cable Spec'	Conductor	Tinned wire
	Thickness	3.5SQ
	Configuration	44core/0.32 mm φ
	Cross-section	3.54 mm ²
	Outer diameter	2.45 mm φ
	Insulation thickness	0.32 mm
Applied current capacity [A]		20
Allowable current [A]		25
Allowable temperature [°C]		150
Ambient temperature [°C]		20
Applied time [min]		10

전원인가와 동시에 Heater 동작시켰고 정격용량은 20A/3상 220 V 인가하였다. 전원 인가 시간은 6개 유형의 각 조건 10분씩 측정하였으며, Heater 동작 시 Cable Sample 단자 측 R상의 Temp 변화 및 Current 측정하였다. Cable의 온도변화를 확인하기 위하여 도체(주석 도금 동선)를 지정하고 주 측정은 열화상카메라 FLIR T420로 하였으며, 전류값 변화 측정을 위해 YOKOGAWA CW240로 측정하였다. 0%의 완전 단선 시는 모터의 진동을 유도할 수 있는 바브레이크를 이용하였으며 진동에 의하여 접촉과 단선이 지속적으로 발생되도록 유도하였으며 그 때 발생한 열을 측정하였다. 측정시간과 사용전선 측정기는 소선수 감소 실험과 동등하다.

Table 2는 실험 측정장비를 나타내었으며, Table 3은 실험에 적용하는 케이블 사양이다

3.2 히터 접속부 전기배선의 반단선 시뮬레이션

실험데이터의 검증을 위한 시뮬레이션 소프트웨어는 FLUX 3D를 이용하였다. 시뮬레이션의 시나리오는 소선수 감소 실험 6개(100%, 90%, 50%, 30%, 10%, 5%)를 구분하였으며 0%의 완전단선의 경우는 시뮬레이션의 재현이 어려워 이는 실시하지 않았다. Fig. 7에서와 같이 전기배선의 도체의 소선수를 감소(반단선) 시나리오 6개로 유형별 온도 변화를 시뮬레이션 프로그램을 적용하였다.

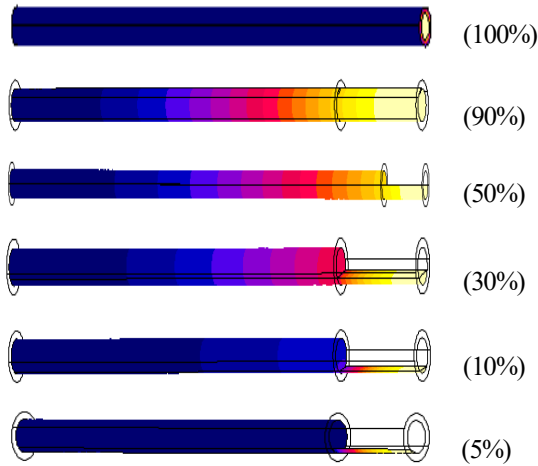


Fig. 7. 3D simulation of conductor(6 types of scenarios).

Table 3의 주석 도금선 Teflon 전선으로 하였고 전기 배선의 주위 온도는 상온 20°C를 적용하였으며, 도체에 발생한 전체 줄열 (Joule's heat)의 손실에 대한 H_T 는 도체에 흐르는 전류 I , 도체저항 $R(t)$ 와의 상호관계는 식 (1)과 같다. H_T 로 인해 발생하는 열은 방열과정에서 절연피복으로 열이 전달되며 대기 중으로 대류에 의해 전달되어 진다.

$$H_T = I^2 R(t) \quad (1)$$

여기서 도체에 흐르는 전류는 I 로 나타내며, 도체 저항의 시간 변화는 $R(t)$ 의 관계함수로써 식 (2)와 같이 적용된다.

$$R(t) = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

단, ρ 은 동선의 고유저항이며 A 는 도체의 단면적, l 은 전선의 길이를 의미한다. Table 4는 주석 도금선 Teflon 전선의 물리적 특성을 나타내었다.

식 (1)과 (2)의 관계 함수에 따라 3D 열 해석 시뮬레이션 프로그램을 설정하였으며, 전기 배선의 적용은 매질의 특성 크기에 따라 메쉬 크기를 small 0.05 mm, medium 0.1 mm, large 1 mm로 3가지 형태로 메쉬로 분류하였다

또한 Teflon 전선중 주석 도금선을 반단선 시뮬레이션을 위해 6개 시나리오로 하였으며 전선의 길이는 100 mm, 반단선의 길이는 10 mm로 설정하였다. 전력(W)는 전선의 저항값과 입력 전류값의 계산값으로 입력하였다.

Table 4. The specifications of electrical wire and Cover materials

Division	Wire	Cover
Nominal cross sectional area [mm ²]	2×1.25	-
Allowable current [A]	25	-
Thickness [mm]	1.5	1.0(Sheath) 0.6(Insulation)
Construction [No./mm]	50/0.18	-
Specific resistance [$\Omega \cdot m$]	1.69×10^{-8}	0.1×10^{-10}
Resistance [Ω/m]	14.7×10^{-3}	-
Approx. outer diameter [mm]	3.9×6.6	

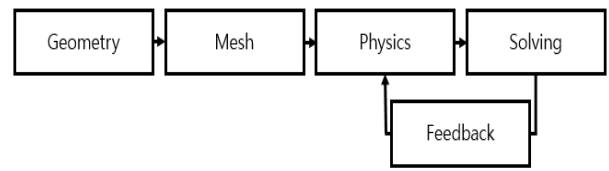


Fig. 8. Analysis process of 3D thermal analysis program.

3D 열해석 프로그램을 이용하여 특성을 분석하는 과정은 Fig. 8과 같다.

Geometry 단계에서는 면, 점, 선 등을 통해 시뮬레이션을 원하는 모양을 구성할 수 있고, 정상상태, 반단선 상태의 전선을 구분하기 위해 반단선 상태의 도체 부분을 90%, 50%, 30%, 10%, 5%를 남겨두고 각각 잘라준다.

Mesh 단계에서는 전선을 보다 정확히 분석하기 위해 세부적으로 구분하는 단계이다. 보다 정밀한 분석이 요구되거나 형태가 복잡하여 분석하기 어려운 영역은 Mesh 범위를 좀 더 작게 지정하여 준다.

Physics 단계에서는 분석 대상의 재료 특징을 입력하고, 각각의 재료 구성요소별 용적열용량(Volumetric heat capacity), 열전도율(Thermal conductivity) 데이터를 입력한다. 분석할 대상과 영역에 맞닿아 있는 공기 중의 대류(convection)와 복사(radiation) 특성을 입력하여 준다.

Solving 단계에서는 분석 대상의 온도특성을 확인할 수 있으며, Solving 단계 이전의 항목에서 열해석에 필요한 모든 데이터와 항목을 구성한 후 해당 단계에서 원하는 분석 자료를 도출할 수 있다. 열해석 분석 자료는 온도·시간, 온도·전류 등 원하는 그래프와 3D 해석결과를 얻을 수 있다.

최종적 Solving단계에서 Fig. 9는 전기배선에 흐르는 시간에 따른 온도변화와 전류의 크기 변화를 계산하기 위한 계산지점(A, B)을 지정하고 있다. 두 지점 중 A

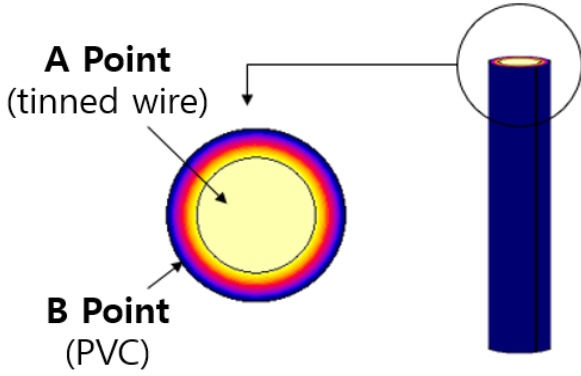


Fig. 9. 3D thermal simulation results in steady state.

지점의 정상상태와 소선수 변화에 따른 반단선 상태의 온도변화 계산을 통해 방열 및 절연 피복에 열이 전달되어 과정의 온도특성을 분석하고자 B지점을 설정하였다.

4. 히터 접속부 전기배선의 열적 특성 분석

Fig. 10의 실험 결과는 600초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 45초에서 포화 되었다. 실험의 경우 포화 된 온도는 최고 25.6°C 정도 나타났으며 시뮬레이션은 최고 26.4°C 정도의 온도, 약 0.8°C 정도의 차이를 보였다.

Fig. 11의 실험 결과는 120초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 200초에서 포화되었다. 실험의 경우 포화된 온도는 최고 47.5°C 정도 나타났으며 시뮬레이션은 최고 51.3°C 온도의 약 3.8°C 정도의 차이를 보였다.

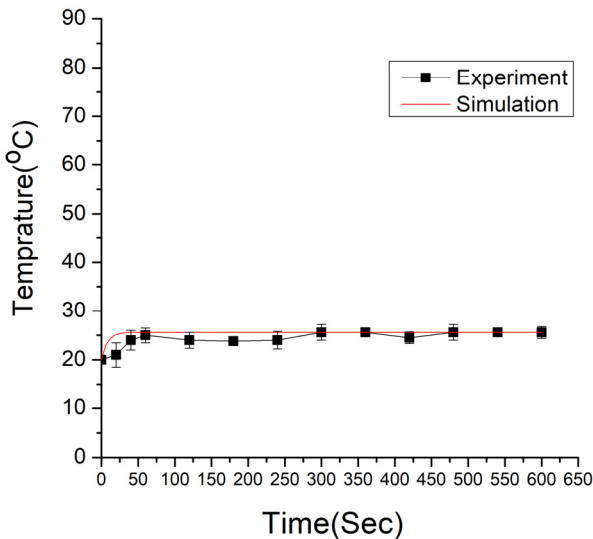


Fig. 10. Normal_strand 100%.

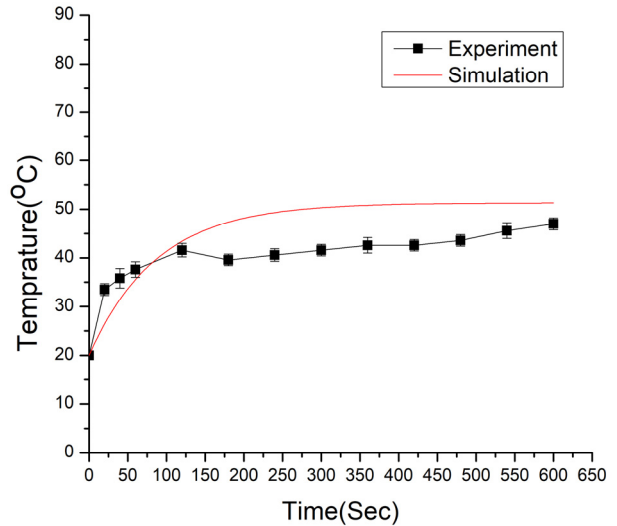


Fig. 11. Disconnection_strand 90%.

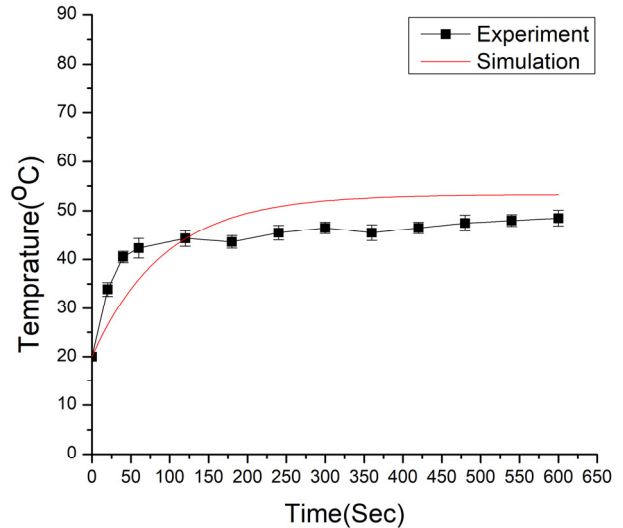


Fig. 12. Disconnection_strand 50%.

Fig. 12의 실험 결과는 130초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 250초에서 포화되었다. 실험의 경우 포화된 온도는 최고 48.5°C 정도 나타났으며 시뮬레이션은 최고 53.3°C 온도의 약 4.8°C 정도의 차이를 보였다.

Fig. 13의 실험 결과는 170초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 270초에서 포화되었다. 실험의 경우 포화된 온도는 최고 49°C 정도 나타났으며 시뮬레이션은 최고 54.5°C 온도의 약 5.5°C 정도의 차이를 보였다.

Fig. 14의 실험 결과는 300초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 350초에서 포화되었다. 실험의 경우 포화된 온도는 최고 55°C 정도 나타났으며

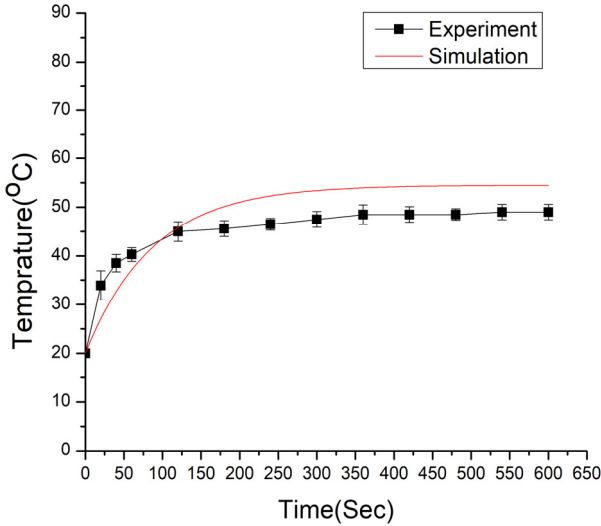


Fig. 13. Disconnection_strand 30%.

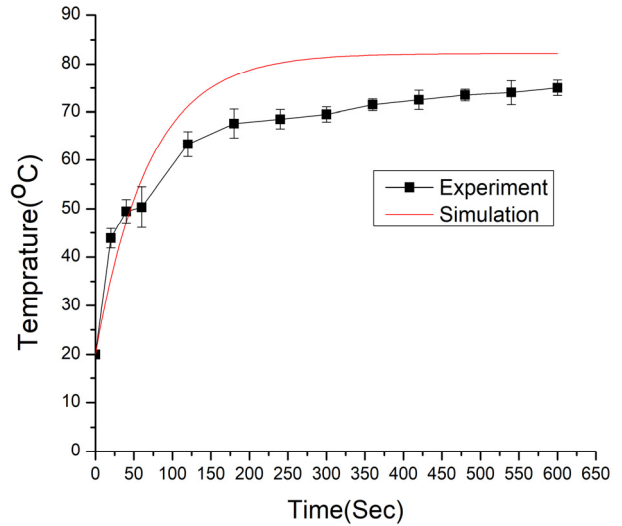


Fig. 15. Disconnection_strand 5%.

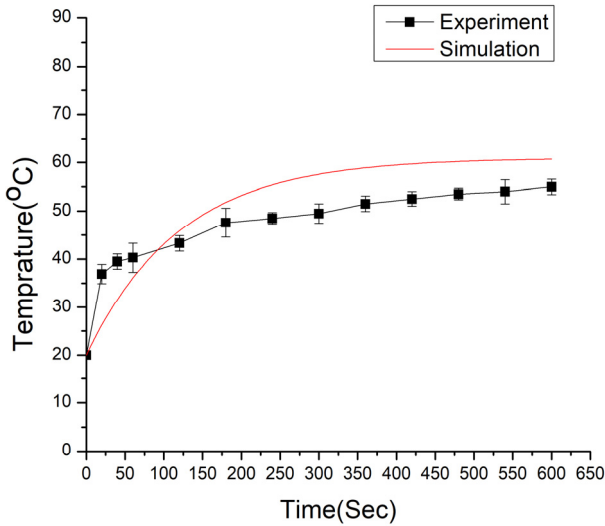


Fig. 14. Disconnection_strand 10%.

시뮬레이션은 최고 60.7°C 온도의 약 5.7°C 정도의 차이를 보였다.

Fig 15의 실험 결과는 420초까지 온도의 변화를 보였으며 시뮬레이션의 경우는 250초에서 포화되었다. 실험의 경우 포화된 온도는 최고 75°C 정도 나타났으며 시뮬레이션은 최고 82.2°C 온도의 약 7.2°C 정도의 차이를 보였다.

Fig. 16은 0%(접촉과 단선이 지속)에서의 3초에서 80°C로 이상온도가 나타났으며 80°C를 유지하다가 200~500도의 변화를 보였으며 스파크 및 아크 발생이 지속적으로 발생되었고 150초 이후는 직렬 아크열에 이상온도(680°C) 의한 전기배선의 탄화현상이 심화됨을 확인하였다.

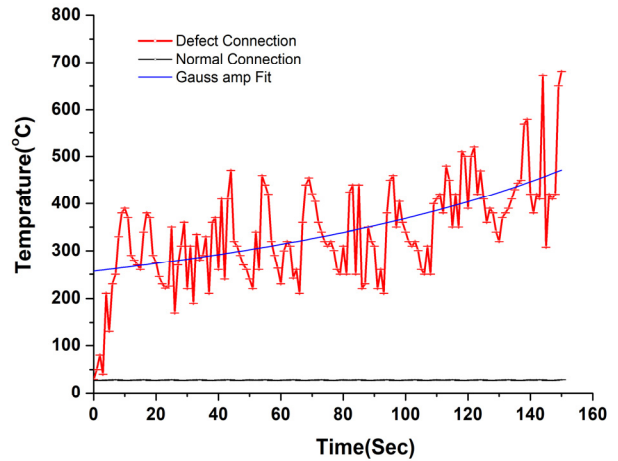


Fig. 16. Arc heat change in case of electrical wiring connection failure induction.

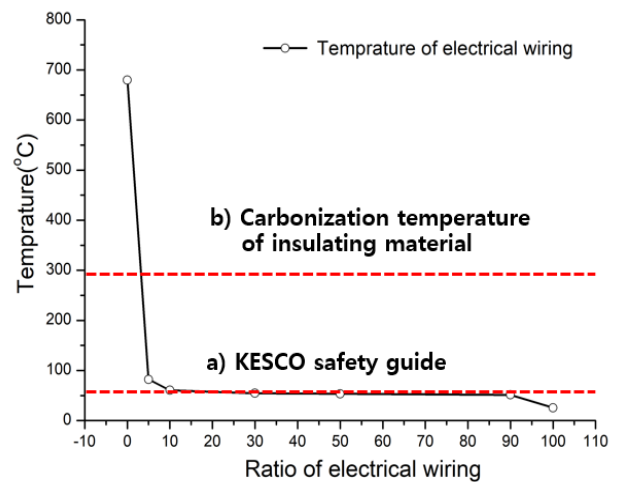


Fig. 17. Temperature change according to the ratio of the number of semi-solid lines.

Fig. 17은 Fig. 10부터 16까지는 소선수 감소와 완전 단선되었을 때의 열적 특성을 나타내었다. 100%에서는 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, 90%에서는 $\pm 3.8^{\circ}\text{C}$, 50%에서는 $\pm 4.8^{\circ}\text{C}$, 30%에서는 $\pm 5.5^{\circ}\text{C}$, 10%에서는 $\pm 5.7^{\circ}\text{C}$, 5%에서는 $\pm 7.2^{\circ}\text{C}$ 보였으며 전체적으로는 ± 4.6 도의 온도차이를 보였으며 포화온도에 대한 데이터를 그래프에 나타내었다.

소선수 감소 12%에서 KESCO의 안전가이드북에서 제시한 전기배선의 이상온도 60도를 초과하였으며 5%의 소선수 감소에서도 최대 80도의 열이 나타났으며 소선이 최소한으로 붙어있더라도 가연물을 착화할 정도의 열은 나타나지 않았다. 그러나 0%의 완전 단선(접촉과 단선이 지속 발생)되었을 때 최대 680도로 가연물을 연소하기에 충분한 에너지로 작용되었다.

5. 결론

반도체 공정 온도 제어용 칠러 장비 히터의 접속부 전기배선에 대한 실험 결과로 반도체 박막공정 이외 배터리, 디스플레이 등 산업분야 전반에 유효할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 소선수 감소의 6개 시나리오와 완전 단선되었을 때를 가정하여 해당 개소에 발생한 열적 데이터를 측정하였다. 열적 데이터는 실험과 시뮬레이션을 병행하였으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 보통의 히터 접속부의 화재는 소선수 감소 부분에서 발생한 화재로 판단하였다. 그러나 소선수 감소 최대 5%일 때까지는 최대 80°C 의 열이 발생하는 것으로 나타났다. 해당 열은 가연물에 화재를 일으키기는 어렵은 것으로 판단된다. 화재의 원인은 모터 등의 진동에 의하여 소선수가 감소하여 최종 완전 단선되었을 때는 급격히 온도가 상승함(680°C)을 보였다. 완전단선 시에는 가연물에 화재를 일으키기에는 충분하였다.

2. 시뮬레이션에 있어서 FLUX 3D는 소선수 감소에 대한 위치, 모양, 입력 값을 자유롭게 구사할 수 있었다. 본 프로그램은 접속 불량을 유도하기는 어려웠으나 전기배선 또는 불량개소에 대한 열적에너지를 분석하기에는 적합하였다.

3. 히터 접속부의 전기배선의 소선수 감소는 시공상의 문제로 발생된다. 따라서 KS, UL규격을 사용하고 소선 전체를 터미널의 통(Barrel) 속으로 넣은 후 통(Barrel)의 정중앙에 압자(penetrator)가 위치하도록 하여 압착하면 소선수 감소를 방지할 것으로 판단된다.

References

- 1) H. J. Kim, O. K. Kwon and D. A. Cha, "Experimental Study on the Control Characteristics of Each Channel in a Semiconductor Chiller", Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1285-1292, 2011.
- 2) D. A. Cha, O. K. Kwon and M. D. Oh, "Experimental Study of Process Chiller for Semiconductor", Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 459-465, 2011.
- 3) J. R. Chen, "Characteristics of Fire and Explosion in Semiconductor Fabrication Processes", Process Safety Progress, 2004.
- 4) FM 7-7, "Semiconductor Fabrication Facilities", 2019.
- 5) M. H. Lee and J. H. Jung, "Fault Prediction Based on Unbalanced Current Detection of Three Phase Heater and Selection of the Protective Device", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 1, pp. 28-33, 2015.
- 6) E. Park and S. Min, "Study on the Correlation Analysis between Leakage-Current Generation and Temperature using Half Circuit", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 19, No. 7, pp. 241-245, 2019.
- 7) H. S. Lee, D. H. Kim and S. C. Kim, "Prediction of Poor Contact by Analysis of Electrical Signal and Thermal", J. Korean Soc. Saf., Vol. 27, No. 3, pp. 36-41, 2012.
- 8) E. J. Kim, D. H. Kim and S. C. Kim, "Analysis for Electrical Fire Possibility Using Fuzzy Logic with Input Variables of Overcurrent and Saturation Time in the Indoor Wiring" J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 6, pp. 34-39, 2015.
- 9) Y. M. Yeon and S. H. Kim, "Analysis of the Risk of Heat Generation due to Bolt Loosening in Terminal Block Connector Parts", Fire Sci. Eng., Vol. 34, No. 3, pp. 67-75, 2020.
- 10) J. H. Lee, D. H. Kim, S. C. Kim, J. H. Lee, J. Y. Park, Y. H. Park and H. J. Lee, "Analysis of Thermal Characteristics for the Fire Risk Assessment According to Partial Disconnection on the VCTF and IV Electric Wire", J. Korean Soc. Saf., Vol. 23, No. 4, pp. 47-51, 2008.
- 11) S. M. Park, S. K. Kim "Study on the Risk Analysis of Complex Electrical Fire by the Partial Disconnection and Tracking", Fire Sci. Eng., Vol. 31, No. 4, pp. 111-118, 2017.
- 12) KESCO, Hand Book for Electrical Safety Management, p.152, 2014.