전자부품 제조공장의 살수장애 스프링클러헤드 적용에 관한 연구

Application of Sprinkler Head Discharge Obstruction in Semiconductor Factories

권영희* · 민세홍**

Kwon, Younghee*, and Min, Sehong**

Abstract

Semiconductor factories are significantly affected by the spray pattern of ceiling sprinkler heads owing to the large scale and complex mix of organic/exhaust ducts and multiple pipes. Therefore, sprinkler heads are installed in the spray disorder section of the lower barrier. However, more efficient installation measures are needed to mitigate the absence of detailed installation standards and interference with human and equipment transport lines. Currently, installation causes major confusion at construction sites and increases construction costs. The purpose of this research is to overcome these challenges by evaluating the operation status of sprinkler facilities in semiconductor factories, identify problems, and suggest more efficient installation measures. An installation plan that considers maintenance and fire extinguishing performance together is reviewed, and supported systematically with a relevant checklist.

Key words : Sprinkler Head Discharge Obstruction, Baffle, Heat Collector, Semiconductor Factories

요 지

최근 전자부품 제조공장의 내부는 과거와는 다르게 규모가 대형화되고 복잡한 배기 덕트와 다발 배관의 혼합배열로 인해 천정 스프링클러헤드의 살수패턴에 영향을 주는 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 따라서 추가 의무적으로 장애물 하부 살수장애 구간에 스프링클러헤드가 설치되지만, 상세 설치기준의 부재와 재실자동선 및 장비반입동선의 간섭으로 인해 헤드 파손 우려와 함께 추가설치에 따른 공사비 증가 등 인명안전과 경제적 이윤을 우선하는 건설현장에 큰 혼란을 야기하는 등 효율적인 설치방안이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 전자부품 제조공장의 시공변화에 따라 적절하게 대응하지 못하는 스프링클러설비 운영 실태를 평가하고, 문제점을 도출하여 문제점 극복에 필요한 효율적인 설치방안을 제시하는데 있다. 이에 따라 향후 살수장애 스프링클러 헤드 설치 시 유지관리 및 소화성능을 함께 고려한 설치계획이 검토되어야 하며, 관련 체크리스트와 함께 제도적으로 이를 뒷받침하기 위한 노력이 지속되어야 할 것이다.

핵심용어 : 살수장애 보호용 스프링클러헤드, 차폐판, 집열판, 전자부품 제조공장

1. 서 론

현대를 살아가는 시대에 다양하고 복잡한 시설물을 갖춘 대형공장에서의 화재는 예상된 재난이라고 해도 과언이 아니다. 이와 더불어 과학기술의 발달로 인해 건축시공은 거의 모든 방면에서 기계화되고 자동화됨에 따라 공간활용을 극대화 하고 있어 이에 따른 화재의 위험은 점점 더

심화되고 있다. 특히 경제적 국익에 역점을 두고 있는 전자부품 제조공장에서의 화재는 자칫 인명피해로 인해 세계적인 브랜드 이미지와도 밀접한 관계가 있어 스프링클러헤드의 성능목표 수평 적용을 위해 설계단계부터 노력하는 등 소방설비의 중요성은 크게 증대되고 있다.

최근 전자부품 제조공장 내부는 과거와는 다르게 설비 자체 규모가 대형화되고 배기덕트와 다발배관 및 전기 Tray가

*정회원, 가천대학교 ICT 융복합 화재·재난과학연구센터 선임연구원·공학박사(E-mail: yh119.kwon@gmail.com)

Member, Ph.D., ICT Combined Fire & Disaster Scientific Research Center Senior Researcher, Gachon University

**교신저자, 정회원, 가천대학교 공과대학 설비·소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-5714, Fax: +82-31-750-8746, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

복잡하게 혼합 배열되어 설치되는 등 최상부에 설치된 스프링클러헤드의 살수패턴에 큰 영향을 주고 있으며, 따라서 유동적인 설비 배치에 따라 살수장애 구간에 의무 설치하는 스프링클러헤드 배치 역시 설계적인 측면에서 어려움이 가중되고 있다. 또한 살수장애 스프링클러헤드는 사실상 해당구간 전역에 시공되어 공사비 증가의 원인이 되었고 일부구간은 재실자 동선과 장비반입 동선상이 간섭되어 스프링클러헤드 파손 우려가 발생하는 등 인명안전과 경제적 이윤을 우선하는 건설현장에서 잦은 혼란을 야기하고 있다. 이로 인해 살수장애 스프링클러설비의 관리는 담당자 간 협의와 함께 효율적인 기준을 통해 규제할 필요가 있다.

이렇듯 자동소화시스템인 스프링클러설비 기준이 일부 시공환경의 변화에 따라 적절하게 대응하지 못하고 있어 이는 별도의 살수장애기준 개선방안에 관한 실질적 연구가 필요할 뿐더러 구체적이고 종합적인 안전대책을 분석한 논문이 요구되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 특수한 공정 특성을 갖고 있는 전자부품 제조공장의 살수장애물 하부에 설치되는 스프링클러설비의 설치 및 운영실태를 분석하고, 문제점을 도출하여 문제점 극복에 필요한 효율적인 설치방안과 제도보완 및 개선을 제시하는데 있다.

또한, 살수장애구간 스프링클러헤드는 설치 의무화 대상이지만 관리상 어려움과 함께 경제적인 문제를 해결해야하는 법적 소방설비 대상으로서 그 특징 및 관련제도를 분석하고, 개선하기 위한 효율적인 품질개선방안을 제시하고자 한다. 이를 위한 연구 방법으로 관련 문헌조사 및 헤드설치 시공사례를 활용하였다.

이에 따라 살수장애 구간 스프링클러설비 설치시 유지관리 및 효율성을 바탕으로 소화성능을 고려한 설치계획이 우선적으로 검토하였다,

2. 살수장애 스프링클러설비의 정의

본 연구는 직접적, 간접적으로 관련이 있는 살수장애 보호용 스프링클러설비를 고찰하였으며, 대형덕트의 상·하부 및 다발배관 하부에 설치되는 스프링클러설비의 기준을 스프링클러헤드의 소화성능 및 방사패턴과 관련하여 화재안전기준 적정성과 개선관련 선행연구를 중심으로 보완함에 있어 요구되어지는 사항을 정리하였다.

살수장애 관련용어는 미국 NFPA 13 (2019)에서 ‘Obstructions to Sprinkler Discharge’와 같이 ‘열 기류나 방수를 방해하여 스프링클러 헤드의 화재 제어 또는 진압 능력에 중대한 영향을 주는 것’으로 정의하고 있으며, 미래 지향적 반도체 생산시설의 건립을 위해 각 공종간의 협업으로 세심한 설계대응을 하고 있다. 국내 화재안전기준 NFSC 103 (2019) 제10조 제1항은 1.2 m 이상의 폭을 가진 폭넓은 덕트, 선반 등과 유사한 장애물이 있는 경우에는 그 아래에 스프링클러 헤드를

추가로 설치하도록 규정하고 있다. 이것은 NFPA 13 (2019 Edition)의 폭 넓은 장애물 규정(Wide Obstruction Rule)을 준용한 것으로 스프링클러헤드로부터 방수되는 물이 해당 위험에 도달하는 것을 방해하는 장애물에 적용되는 규정이다 (Kim, 2019).

이에 본 논문에서는 살수장애물들의 수평 투영폭에 의해 1.2 m 초과하며 장애물 각각의 간격이 150 mm 이하 시설물을 스프링클러헤드 살수장애물로 정의한다.

3. 살수장애 스프링클러설비의 현황 및 문제점

3.1 시공 현황

전자부품 제조공장의 살수장애로 인한 스프링클러설비의 시공은 공정특성과 장비배치로 인해 다른 대형공장보다 설계변경사항이 많이 발생하는 것이 특징이다. 즉, 대형화된 덕트와 다발 배관들의 간섭으로 인해 살수장애 구간이 늘어나고 있는 추세이고, 해당구간의 화재시 헤드 조기개방 목표달성을 위해서는 추가의 보조수단(차폐판, 집열판)이 함께 시공시 현장에 적용되고 있다. 하지만, 스프링클러헤드의 초기개방에 대한 불확실성은 스프링클러헤드 보조수단의 설치 상세기준 및 점검기준의 부재로 인해 더 심화시키고 있다고 판단된다.

3.2 문제점

3.2.1 소화성능 문제점

화재시 천장부근에 발생하는 열기류는 덕트 및 다발 배관들의 장애로 인해 천정으로 상승하면서 다른 방향으로 왜곡 현상이 발생되며 화재발생지점 상부에 위치한 스프링클러헤드 감열부의 개방에 영향을 주고 있다. 즉, 일반적인 천정에서 형성되는 천정제트(ceiling jet) 열기류가 장애물에 의해 천정에 도달하는 시간의 지연 및 헤드가 충분히 감열될 수 있는 깊이의 천정제트기류 형성을 방해하여 감열이 지연되는 것이다.

따라서, 전자부품 제조공장의 스프링클러헤드의 경우는 다양한 공간 형성으로 인해 시설물 최하부에 추가 설치함과 동시에 보조수단인 차폐판 또는 집열판을 함께 설치하고 있다.

차폐판은 하나의 스프링클러헤드가 방수되었을 때 인접한 스프링클러헤드의 작동을 지연시키거나 방해할 때 발생하는 현상인 ‘스킵핑(Skipping)’의 발생 가능성을 최소화하기 위해 설치되는 보호판으로 우리나라에서는 상부에 설치된 헤드의 방출수에 의해 하부에 설치된 헤드의 감열부가 냉각되어 작동이 늦어질 우려가 있는 헤드에 방출수를 차단할 수 있는 차폐판을 설치하도록 스프링클러 화재안전기준 (NFSC 103) 제10조제7항제9호에 의거하여 규정하고 있다.

또 다른 보조수단인 집열판은 천장 및 반자의 집열이 불가능한 경우 헤드 상부에 열을 모으고자 설치되는 판으로

국내 기준에는 설치기준이 없으나, 미국에서는 집열판은 스프링클러의 작동을 돕는 수단으로 사용해서는 안된다고 규정하고 있다. 스프링클러의 설치 목적 중 하나는 주요구조부를 냉각시키는 것이며, 스프링클러헤드가 천장에서 멀리 떨어지거나 집열판이 설치된 경우 도움이 되지 않는다. 이는 집열판이 헤드 상부에서 열복사를 방해하여 헤드작동을 지연시킬 수 있기 때문이다(Kim, 2020).

우리나라와 미국의 차폐판과 집열판의 설치기준은 Table 1과 같다.

이처럼 국내에는 설치기준이 없거나 모호하며, 서로 용도가 다른 보조수단이지만 현장여건에 의해 Fig. 1과 같이 집열판과 차폐판(집열 목적으로 설치 불가)에 대한 기능을 구분 없이 동일시하여 적용하고 있다. 더불어 현장에 적용되는 보조수단의 사이즈와 재질은 업체마다 다양한 제품을 제시하는 등 정해진 기준 없이 판매되고 적용하고 있다. 이와 같이 관행적으로 설치되는 사안으로 간주하여 간과하기에는 효과성에 대한 검증이 없어 실제적인 연구가 절실히 필요하다고 판단이 된다. 즉, 화재시 인명안전에 대한 위협과 스프링클러 설비가 설치되어 있음에도 제조장비생산 시설에서의 초기소화 실효성에 심각한 문제가 있음을 확인할 수 있다.

Table 1. Baffle and Heat Collector Installation Criteria

Type	Republic of Korea	United State
Baffle	NFSC 103 Article 10 (7) 9	NFPA 13, 2019 Edition
Heat collector	None	NFPA 13, 2019 Edition

Fig. 1. On-site Installation of Baffle and Heat Collector

Fig. 2. Interference of Walking and Equipment Carry in Passage

3.2.2 품질 유지관리 문제점

살수장에 스프링클러헤드의 정의는 천정 최상부에 설치된 헤드가 덕트 및 배관 등 시설물로 인해 헤드의 살수패턴을 방해하여 해당 살수장애물 하부에 추가로 설치하는 헤드를 의미한다. 스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103) 제 10조제7항제9호에서는 설치의 의무사항만을 제시하고 설치관련 상세기준을 규정하고 있지 않다.

그러다보니 Fig. 2와 같이 현장의 여건에 따라 임의로 설치되며 인동선 및 장비 반입구동선과 서로 겹치어 점점시 신체 접촉으로 인한 충격에 의한 헤드 파손우려 뿐만 아니라 그로인한 안전사고 위험 등 품질 유지관리의 어려움이 발생하고 있다. 그리고 화재안전기준에서 제시되지 않은 헤드 타입을 혼용하여 적용함으로써 스프링클러설비 본연의 신뢰성 확보가 어려운 현실이며 또한 헤드 타입별로 설치기준이 달라 의사결정에 있어서 담당자간의 혼선을 초래하여 합리적인 설치기준 체계가 요구된다.

3.3 설계적 보완점

스프링클러설비의 화재안전기준 제15조제1항제5호는 스프링클러설비 설치시 헤드의 효율성이 적은 장소에 대해 열거한 기준 조항으로서 천장과 반자사이의 거리와 불연재료 재질 유무에 따라 헤드설치를 탄력적으로 적용하도록 규정하고 있다.

하지만, A 공장에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 덕트(폭 7 m, 높이 1 m)가 초대형화로 주문제작되어 설치된 상부에 대해서는 덕트가 반자와 같이 공간을 형성하고 있다. 이것은 스프링클러헤드로부터 방수되는 물이 해당 위험에 도달하는 것을 방해하는 장애물임과 동시에 소화수가 차단된 별개의 공간으로 제도적 해석이 요구된다(Kwon et al., 2020).

Fig. 3. Installing the Duct Upper/Lower Sprinkler Head

여러 공종간의 시설물의 간섭에 따라 스프링클러헤드의 살수반경이 미확보 되는 현상은 자명하다. 따라서, 이러한 살수장애물이 많은 대형공장에서 제기될 수 있는 문제점을 해결하기 위한 많은 노력이 요구되고 있다. 따라서 소방시스템이 시공환경으로부터의 어떠한 상황에도 유연하게 대응할 수 있는 설치기준이 필요하다. 즉, 스프링클러설비 화재안전기준(NFSC 103) 제15조(헤드)제1항제5호 및 제6호에 규정한 바와 같이 천장과 반자사이의 거리가 2 m 미만이고 불연재료로 되어있는 경우는 헤드를 제외할 수 있다. 따라서 화재안전기준에서 해당 높이와 해당기준에 준하는 공간에 대해서는 설치 제외 가능하도록 보완 및 개선이 필요함을 인지할 수 있었다.

4. 살수장애 스프링클러설비 분석

4.1 집열판 및 차폐판의 설치기준 마련

Kim (2020)은 집열판 설치에 따른 스프링클러 헤드 작동을 화재시뮬레이션 모델링을 통해 공학적인 방법으로 분석

하였으며, 향후 실물화재실험에 의한 실제적인 연구의 필요성에 대해 강조하였다.

또한, 미국 NFPA기준에서도 집열판은 보조수단으로의 사용을 금하고 있는 반면에, 우리나라의 현 실정은 관공서와 협의하에 스프링클러헤드의 보조수단으로 적극 활용하고 있다는 점에서 화재시 헤드 조기개방과 감열부의 냉각 방지 등 실효성에 대해 제대로 검증은 진행한 바가 없다. 따라서 설치를 독려하는 건 좋지만 사실에 근거한 자료가 부족한 점이 지적이 되고 있다. 즉, 보조수단인 차폐판과 집열판의 성능과 기준에 관한 규칙에 대한 제정이 필요하고 의무 설치하는 방안도 조속히 마련되어야 하겠다.

4.2 측벽식 헤드 적용 적정성 분석

측벽형 스프링클러헤드는 천정 상부에 스프링클러헤드를 설치하기 난해한 장소의 경우에 적합하다. 하지만 살수장애 목적으로 화재안전기준 NFSC 103, NFSC 103A, NFSC 103B는 측벽형 스프링클러 헤드에 대한 기준이 전혀 수립되어 있지 않다. 따라서 측벽형 스프링클러헤드 고유의 살수패턴에 의하여 장애물 하부에 상향식, 하향식뿐만 아니라 측벽형 스프링클러헤드에 대한 살수장애 방지기준의 상세기준 수립이 필요하다.

따라서, 인동선과 장비반입동선 구간의 다른 실질적인 대응방안으로 측벽식 헤드의 설치로 설계 및 시공하는 사례가 늘고 있지만 장소 및 용도 특성에 따라 실질적 검토, 방호실험을 수행하여 제도적으로 보완되어야 할 것이다.

4.3 준공전 사전 유지관리 강화

살수장애 스프링클러헤드의 시공시점은 타공종의 시공 여부에 영향을 받으므로 준공날짜에 임박하여 시공이 이루어지고 있으며 최초 설치 이후에도 운영상의 이유나 작업자의 작업중 파손의 이유로 이동 및 보수해야 하는 등 유지관리가 필요한 경우가 많이 발생하고 있다. 더불어 스프링클러설비의 적합성 및 시공완료여부에 대한 미흡한 검증으로 준공 테스트를 받는 경우도 발생되어 엄격한 관리가 요구된다. 따라서, 시공자 및 감리자는 직접 정상 가동여부를 확인하고 불가피한 이유로 미흡한 상황이 발생하는 경우에 대하여 제도적 안전조치가 추가되어야 한다.

향후 살수장애 스프링클러설비에 대한 시공에 대하여 타공종간의 협업과 적정 공사시점 등 계획된 공정관리가 준수되어 무리한 시공에 의한 부실화를 방지하여야 한다 (Kwon and Min, 2019).

4.4 시공 및 검증 체크 항목 및 체크리스트

Table 2와 같은 방법으로 살수장애 보호용 스프링클러설비의 적용요소 항목 수행과 품질유지관리로 구분하였고, Table 3과 같이 체크리스트 작성을 진행하였다.

Table 2. Checklist Item in Sprinkler Head Discharge Obstruction

Type	Checklist Items
Performance	Sprinkler-head type conform, checking the cooling status of the head's thermal zone by adjacent Sprinkler heads, presence of combustibles, the support status of the seismic restraint, etc.
Inspection & Maintenance	Size of duct and piping, Head installation Height, Drainage status, Support status of piping. etc.

Table 3. Check Sheet in Sprinkler Head Discharge Obstruction

Type	Check sheet	Reference
Performance	- Check propriety in the horizontal distance of head	- Article 10 NFSC 103
	- Check if the horizontal projection width of duct, tray, and pipe exceeds 1.2 m	Reference to the NFSC 103 manual
	- Check duration of water supply	- Standards for management of fire-resistance performance
Inspection & Maintenance	- Checking the cooling status of the head's thermal zone by adjacent sprinkler heads	- Reference of shop drawing
	- Check for interference in head thermal sensitivity	
	- Check if the drain valve is installed when the sprinkler pipe is up and down	
	- Check attaching name-Stickers on pipe	
	- Check attaching zoning-separation stickers on pipe	
	- Check making name-pannel in valveroom	
	- Check welding and coating on pipe	
Application standard	- Check the support status of the seismic restraint	- Shop drawing - Specification
	- Check Matching between Shop dwg and on Site	- Shop drawing
	- Check appropriate of application between fire dampers and sprinkler system in duct	

5. 결 론

국내 전자부품 제조공장의 급속한 발전과 이를 토대로 하는 생산시스템이 비약적 발전이 이루어져 긍정적으로는 고도의 기술향상과 발전을 가져왔지만, 화재안전 측면에서는 공장내부 시설의 대형화와 복잡화된 시설물로 인하여 살수장애등 스프링클러설비는 시공환경변화에 대응하지 못하고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 전자부품 제조공장에 대한 현황 및 특성 분석, 국내외 관련 기준 분석 그리고 체크리스트 등을 통하여 전자부품 제조공장의 화재안전 및 유지관리 측면에서 문제점을 도출하였고 개선요소를 제안하였다. 또한, 준공전 시공 및 점검에 필요한 세부적인 살수장애 스프링클러 설비의 체크항목을 제시하였다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 살수장애 스프링클러헤드는 집열판 및 차폐판 등 보조수단과 함께 소화성능 확보 차원에서 활용하기 위한 실질적인 연구가 필요하며, 올바른 시공을 위해 성능과 기준

에 관한 규칙을 제정하고 이에 의무 설치하는 방안 마련이 필요하다.

둘째, 대형 덕트 및 다발 배관 하부에 설치하는 살수장애 스프링클러헤드는 화재시 성능확보를 위한 품질, 유지관리가 중요하다. 하지만 인동선 및 장비반입동선 등 설치장소의 특성에 따른 파손우려와 인명안전을 고려한 측벽형 헤드 타입의 활용으로 소방기준이 정립되고 해당 상세기준을 반영해야 한다.

셋째, 소방준공에 임박하여 시공되는 다른 공종의 시설물들 간섭사항은 설치된 최상부 헤드의 감열지연 및 살수패턴 왜곡에 영향을 주고 있으며 이러한 이유로 추가 의무 설치되는 살수장애용 헤드인 만큼 주변여건에 적합하게 설치가 되지 않는다면 의도된 성능에 영향을 줄 수 있기 때문에 중요하다. 따라서 생산가동시점과 연관되어 공종간 시공협업과 시공공정 일정관리의 엄격한 준수로 부설시공을 방지하여야 한다.

이를 통하여 국내외 관련 소방법적규정과 현장현황을 연계하여 종합적으로 분석해 보면 전자부품 제조공장의

화재안전성을 합리적으로 확보하기 위해서는 설치의무인 살수장에 스프링클러설비의 상세기준 마련과 같은 소방시설 측면의 대책뿐만 아니라 재실자 인동선과 장비반입 동선에 대비한 헤드배치기준 등 시설운영적인 측면, 설계공중간의 협업이라는 소프트웨어적인 측면의 대책 역시 필요함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국 에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 연구한 과제입니다(NO. 20194030202440).

References

- Kim, J.A. (2020). *A study on the operation of sprinkler head by heat collector*. Master's thesis. University of Seoul.
- Kim, S.H. (2019). *A study on improvement of prevention criteria for sprinkler head discharge obstruction in*

Korea. Master's thesis. Mokwon University.

- Kwon, Y.H., and Min, S.H. (2019). Fire department building regulations without fire dampers for fire compartments in semiconductor factories. 2. *Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 7, pp. 291-295.
- Kwon, Y.H., Chae, S.U., and Min, S.H. (2020). A study on the establishment of sprinkler system in duct passing through fire compartment walls. 2. *Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 1, pp. 239-244.
- NFPA 13. (2019). NFPA 13 standard for the installation of sprinkler systems handbook No. 11. (<https://www.nfpa.org/>)
- NFSC 103. (2019). NFSC 103 standard for the installation of sprinkler systems. (<http://law.go.kr>)

Received	September 18, 2020
Revised	September 21, 2020
Accepted	December 18, 2020