

저성장속도 화재에서의 스프링클러 헤드 동작특성에 관한 실험적 연구

최용섭[†] · 윤종철

경기대학교 대학원 도시방재학과

An Experimental Study on Characteristics of Sprinkler Head Activation in Low Growth Rate Fire

Yong-Seob Choi[†] · Jong-Chil Yoon

Dept. of Urban and Fire Protection Engineering, Kyonggi Univ.

(Received June 24, 2016; Revised August 17, 2016; Accepted August 30, 2016)

요 약

스프링클러 설비는 화재 발생 시 화재를 초기에 제어 및 진압하는 설비로서 어떠한 화재 분위기에서도 스프링클러 헤드의 작동온도에서 정상적인 동작을 하여야 한다. 그러나 최근 화재성장속도가 느린 화재 발생 장소에서 일부 조기반응형 스프링클러 헤드가 정상적인 동작을 하지 않을 수 있다는 문제가 제기되고 있다. 이에 본 논문에서는 공동주택 침실 규모의 모형실험 및 캐비닛형 버너를 이용하여 화재성장속도가 느린 조건을 형성하고 실제 현장에서 배관 내에 가해지는 최소압력인 0.2 MPa 이상의 가압수를 공급하여 실험을 진행하였다. 실험결과 국내에서 사용되고 있는 과반수 이상의 플러쉬형 조기반응형 스프링클러 헤드에서 Cold Soldering 현상이 발생되면서 불완전하게 개방되는 것이 확인되었다. 이러한 현상은 화재 조기진압 및 제어에 실패하여 화재확산 및 인명피해의 원인이 될 수 있으므로 추가적인 연구를 통해 국내 형식승인 및 제품검사기준의 보완의 필요할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Sprinkler installations shall be operated at normal operating temperature of the atmosphere as a fire sprinkler head in any facility to control and extinguish the fire when the fire initially. Recently, however, some flush type quick response automatic sprinkler heads in slow fire place is a problem that can not be normal operation are raised. In this paper, by using the experimental model of the Apartment house of Commons and Cabinet burner size bedrooms fire conditions to form a slow growth rate and can supply more than 0.2 MPa pressure is the minimum pressure that can be applied inside the pipe in the field experiment was conducted. In the majority of experiments lush type quick response automatic sprinkler heads which is used in the country it was confirmed to be incompletely opened as the Cold Soldering occur. This phenomenon is likely to fail early fire suppression and control because they can cause the spread of fire and casualties needed to complement domestic product testing and type approval standards through additional research.

Keywords : Flush type quick response automatic sprinkler, Slow growth rate, Cold Soldering

1. 서 론

본 논문은 2015년 본인의 석사 학위논문 “저성장속도 화재에서의 스프링클러 헤드 동작특성에 관한 실험적 연구”를 재편집하여 작성하였다.

2014년 본인의 소속사에서는 소방시설공사의 품질향상을 위한 연구 중 스프링클러 제조업체에서 일부 업체의 플러쉬형 스프링클러 헤드가 성장속도가 느린 화재에 노출된 경우 작동불량 현상이 발생된다는 문제점을 제기하여 이에 대한 검증을 진행하게 되었다.

현대의 주거형태로 비중이 큰 공동주택은 일반적으로 각 실별 1~2개의 조기반응형 스프링클러 헤드를 설치하여 화재로부터 방호되고 있으며 일반적으로 반자가 설치되는 거실의 경우 미관을 고려하여 외관이 미려한 플러쉬형 헤드가 주로 설치되고 있다. 주차장 등 미관이 고려되지 않는 장소에 사용되는 Old Type의 퓨즈블링크형 및 유리벌브형 헤드의 경우 퓨즈블링크 등이 소방용수의 수로인 오리피스에 밸브 캡을 지지하는 단순한 형태이나 플러쉬형 헤드의 경우 감열부와 용융합금으로 구성된 분해부분의 조립하중으로 내부의 오리피스 밸브 캡 등의 부속품 및 디

[†]Corresponding Author, E-Mail: rotjq@hanmail.net
TEL: +82-70-7836-4895, FAX: +82-2-2064-0167

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.5.026>

플렉터를 지지하고 있는 복잡한 형태이다. 이러한 구조적인 특성에 기인하여 화재성장속도가 느리거나 공간적인 특성으로 인해 헤드가 설치되는 천장부분의 온도가 서서히 상승하는 경우 스프링클러 헤드가 완전히 개방되지 않는 작동불량 현상이 발생할 수 있다는 문제점이 제기되었으며 실제 이러한 작동불량 현상이 발생할 경우 화재 발생 지점의 스프링클러 헤드가 화재를 조기에 제어하지 못해 정상적인 스프링클러 헤드의 개방 및 소화활동이 이루어지기 전까지 화재확산과 더불어 연소생성물이 다량 발생되게 된다. 따라서 거주자가 수면 등으로 의식이 비정상적인 상태이거나 인접실에 재실하고 있는 경우 화재를 조기에 인지하지 못해 질식사 또는 연소생성물에 의한 피난장애를 일으킬 수 있어 거주자의 안전에 치명적인 위협을 가할 수 있으며 화재확산에 의한 재산피해 또한 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 조기반응형 플러쉬형 헤드를 대상으로 작동불량 현상의 형태와 발생 원인을 확인하고 이를 개선할 방안을 제시하고자 한다.

스프링클러의 동작특성에 대한 국내의 선행 연구는 풍동을 이용한 실험적 연구, 헤드의 경년변화로 인한 작동불량 현상에 대한 사례연구, 성능기반의 모델링을 이용한 이론적 연구, 국내외의 스프링클러 시험기준을 비교하는 4가지 형태의 연구가 이루어졌다. 손상곤은 “플러쉬형 스프링클러 헤드의 반응지수에 관한 실험적 연구(2001)”⁽¹⁾를 통해 일정한 온도, 기류 내에서 헤드의 동작특성을 연구하였고 지문학은 “성능기반 화재모델링에 의한 스프링클러 헤드 작동시간 평가(2003)”⁽²⁾에서 미국의 성능기반 모델링을 기반으로 하여 국내 스프링클러 헤드의 반응성을 이론적으로 고찰하였다. 상기 2편의 연구에서는 동작특성을 개선하기 위하여 가용합금 구조개선 등의 개선안을 제안하였다.

경년변화에 따른 헤드의 작동불량 현상에 대한 연구는 김영하의 “스프링클러 헤드의 작동불량에 관한연구(2011)”⁽³⁾에서 다루어졌으며 소방시설물의 경년변화에 따른 교체주기의 법제화 및 자발적인 노력의 필요성을 기술하였다.

스프링클러 헤드에 대한 국내의 실험기준을 비교한 연구로는 어성화의 “우리나라 스프링클러 헤드 기술기준의 개선방안에 관한 연구(2014)”⁽⁴⁾에서 미국의 FM, UL 시험기준과 국내기준을 비교하여 국내시험방식의 개선과 국내기준에 없는 화재시험 등을 도입해야 한다고 보고하였다.

그러나 위 모든 연구에서 실제 현장의 특성이 고려되지 않은 이론적인 연구방식 또는 감도시험기에 의한 감도시험으로서 현재 이 논문에서 다루는 특정 화재 분위기 내에서의 Cold Soldering 현상을 확인할 수는 없었으며 Cold Soldering 현상에 대해서는 김영하의 “스프링클러 헤드의 작동불량에 관한연구(2011)”⁽³⁾에서 언급되었을 뿐 구체적인 내용은 연구되지 않았다. 선행 연구에서 Cold Soldering 현상이 발견되지 않은 것은 실제 스프링클러 시스템에는 스프링클러 헤드 1차측에 가압수가 충분하나 일반적인 감도시험에서는 가압수가 공급되지 않는다는 가장 큰 특징

이 있었다. 일반적으로 스프링클러 헤드의 작동불량 현상 중 헤드가 정상적으로 개방되지 않는 현상을 Skipping 또는 Cold Soldering 현상이라고 하는데 이것은 헤드의 오염으로 인해 주변헤드가 개방되어도 일부 헤드가 개방되지 않는 현상과 헤드의 부적절한 배치로 인해 먼저 개방된 헤드에서 방출된 물이 인접한 미개방 헤드를 적시면서 개방되지 않는 현상 등을 포괄적으로 총칭하고 있으나 본 논문에서는 헤드의 용융합금이 완전히 용융되지 않아 헤드의 분해부가 완전히 개방되지 못하고 용융부의 틈새로 헤드 1차 측의 가압수가 누설되면서 용융합금을 재 냉각하여 헤드가 개방되지 않는 현상을 Cold Soldering 현상이라 정의한다.

이러한 Cold Soldering 현상이 발생할 경우 가장 큰 위협에 처할 수 있는 소방대상물은 공동주택이며 방화를 제외한 공동주택의 화재에서는 전기기구의 과열 등 작은 원으로부터 화재가 시작되고 국내 주거문화의 특성 상 혼소진행과 심부화재 특성을 갖을 수 있는 가연물과 가구 등의 목재가 혼재하여 경우에 따라 성장속도가 느린 화재가 발생되어 실내온도가 스프링클러 헤드의 작동온도까지 느리게 상승할 수 있다는 가정 하에 동작실험을 할 필요성이 있다고 판단되었다.

본 논문의 실험에서는 선행연구에서 고려하지 않았던 실제 현장과 동일한 시스템을 적용하고자 하였다. 따라서 실제 현장과 동일한 스프링클러 시스템을 설치하여 배관 내에 가압수를 공급하고 캐비닛형 버너 실험기 내에 스프링클러 헤드를 설치하여 내부 온도 상승 시간을 임의로 조절하여 헤드의 동작 특성을 확인하고 실제 공동주택의 거실 규모의 Mock-up Test를 진행하여 캐비닛형 버너 실험기에서 발생된 문제점이 동일하게 발생하는지의 여부를 확인하고자 하였다. 또한 실험결과에 따라 작동불량 현상을 일으킨 스프링클러 헤드의 구조적인 문제점을 확인하고 이를 개선하기 위한 기술적, 제도적인 대안을 제시하고자 한다.

2. 저성장속도 화재

2.1 화재성장속도의 정의⁽⁵⁾

본 화재성장속도는 가연물이 착화되어 잠복기를 지난 시점부터 임의의 열 방출율을 나타낼 때까지 소요되는 시간을 의미하는 것으로 다음과 같이 정의한다.

화재 성장 속도는 경계면으로 정의되는 화염속도, 전 면적에 걸친 질량 유속 등 점화 과정에 좌우되고 가구, 일상용품 등과 같은 물질에서는 간단한 공식으로 이 복잡한 과정을 예측할 수 없다. 그렇지만 각각의 성분과 형상이 다르기 때문에 특정의 성장 시간이 있다. 어떤 품목은 일단 점화하면 130초 이내에 1 MW에 도달한다. 다른 물질에 있어서는 80초가 걸린다. 시간의 변화에 따라 화재로부터 발생하는 열량은 다음의 공식으로 표현된다.

$$Q = \alpha \cdot t^n \quad (1) \quad \text{타낸다.}$$

여기서 Q: 열방출율 KW α : 화재강도계수 KW/sⁿ
 t: 시간 n: 1, 2, 3

2.2 화재성장속도의 구분⁽⁵⁾

대부분의 불꽃화재에서 식(1)의 n=2 즉, 시간의 제곱에 비례하는 성장속도를 나타내며 이를 “t-Squire Fire”라고도 한다. 시간의 제곱에 비례하는 화재강도계수에 따라 Slow, Medium, Fast, Ultra Fast 화재로 구분하며, 특히 화재가 1,055 kW에 도달하는 시간을 600, 300, 150, 75 s로 구분하고 있다. 이러한 시간곡선은 불꽃점화원이 충분히 큰 경우의 화재 곡선을 나타내는 것에 주목하여야 한다. 미국에서는 스프링클러가 작동하는 시점을 발열량 1.465 kW (5,000 BTU)로 정의하고 있으며 발화시점부터 화재 잠복기를 포함한 성장곡선의 개념도는 Figure 1과 같으며 NFPA에서는 성장속도를 Figure 2의 성장곡선으로 분류하여 나

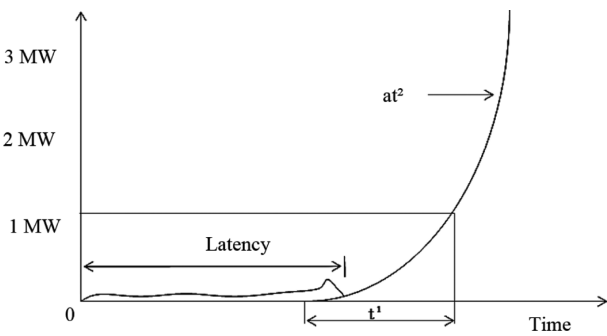


Figure 1. t² Fire growth curve.⁽⁵⁾

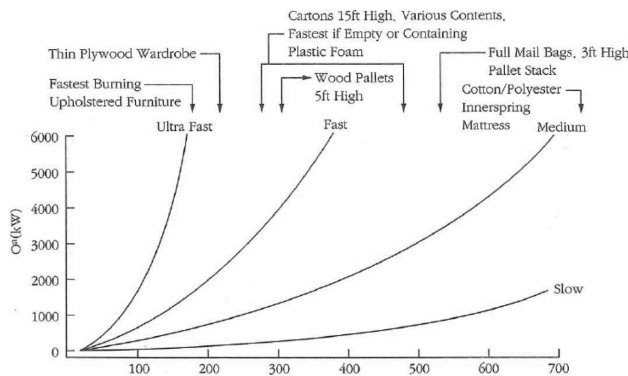


Figure 2. Classification of fire growth curve.⁽⁵⁾

Table 1. Classification According to Flammable Fire Growth Rate⁽⁵⁾

Fire growth rate	Time (s)	Apply fire	Example
Slow	Below 600	Thick solid combustibles	Wooden dining table, bedroom closet, cabinet
Medium	Below 300	Low-density solid combustibles	Clothes capped furniture and mattresses
Fast	Below 150	Thin combustible materials	Paper, Boxes made of cardboard, textiles
Ultrafast	Below 75	Very highly volatile flammable	Flammable liquids,

2.3 저성장속도의 화재

본 논문에서 저성장속도의 화재라고 명명하는 화재는 화재공간의 가연물 및 공간적인 특성에 기인하여 Figure 2의 Slow 화재성장곡선과 유사한 성장시간을 갖는 화재를 말한다.

현대 국내의 주거문화의 특징은 두꺼운 이불, 목재가구가 주 가연물이며 이러한 물품은 화재 초기 훈소성 화재와 심부화재의 특성을 나타낼 수 있다.

Table 1은 NFPA의 화재성장 시간에 따른 구분과 화재의 특성 및 가연물의 종류를 예로 표현한 것으로서 국내 주거공간에서 사용되는 물품과 유사한 가연물이 Slow Mode의 성장특성을 갖는 것으로 정리되어 있는 것을 볼 수 있다. Figure 2에서 정의된 것과 같이 Slow Mode 특성을 갖는 가연물은 발화점부터 화재잠복기를 거쳐 열방출률이 1 MW에 도달하는 시간이 10 min 이상이 소요될 수 있으며 이것은 화재장소의 가연물 특성에 따라 화재실 내의 온도가 헤드 작동시점까지 상승하는 시간은 상당한 변수가 있을 수 있다는 것이다.

그러나 스프링클러 헤드는 반응시간지수(RTI)의 각 요소의 조건에 따라 반응속도시간은 다소 편차가 발생할 수 있으나 모든 조건이 갖추어지는 시점, 즉, 헤드의 주변 환경이 승인된 표시온도와 기류속도가 용융합금의 용융조건을 충족시키는 시점에서는 스프링클러 헤드의 방수에 장애가 되지 않도록 완전하게 개방되어야 한다. 따라서 본 논문의 실험에서는 발화 시점부터 헤드작동온도까지의 온도 상승시간을 5~10 min 정도 소요되는 조건을 저성장속도의 화재로 가정하고 스프링클러 헤드의 동작특성을 관찰하였다.

3. 저성장속도 화재분위기에서의 스프링클러 동작실험

3.1 실험조건

3.1.1 캐비닛형 버너실험

실험 장치는 소방기계 · 기구류 제조사인 (주)아세아유니온에서 제작한 캐비닛형 버너실험기를 사용하였으며 장비 이외의 모든 실험조건은 연구자의 사전점검 및 제시조건에 의해 진행되었으며 실험에 사용된 스프링클러 헤드



(a) A pressure reducing device



(b) Appearance of the burner



(c) Inside composition (d) Sensor connection

Figure 3. Cabinet type burner.

는 연구자가 직접 시중에서 구입한 것을 사용하였다. 캐비닛은 Figure 3의 (b)와 같이 철판로서 가로 500 mm, 세로 500 mm, 높이 900 mm 캐비닛 2 set로 화원은 LPG 버너를 이용하였다. 온도측정 장치로는 Figure 3의 (d)와 같이

캐비닛 내부온도와 감열체 온도를 측정할 수 있는 온도센서를 각각 설치하여 기록 및 모니터링 프로그램이 설치된 PC에 연결하여 내부 상황을 모니터링 할 수 있도록 설치되었다. 급수라인은 실제 스프링클러 시스템과 동일한 조건을 구성하기 위하여 수조, 알람밸브, 감압밸브를 Figure 3의 (a)와 같이 설치하고 수압의 경우 사전 실험에서 0.2~0.4 MPa의 수압에서 동일한 현상이 발생하는 것을 확인한 후 본 실험에서는 최악의 조건이라 판단되는 0.2 MPa로 조정하여 헤드 1차측 배관에 공급하였으며 헤드의 설치 위치는 외부에서 헤드의 동작 상태를 확인하기 위한 내부 조명장치 등의 설치 공간을 확보하기 위하여 반자 없이 캐비닛 최상부로부터 300 mm 지점에 설치되었다.

실험에 사용되는 스프링클러 헤드는 72 °C 조기반응형 (플리쉬형) 헤드 6종(국내 제조사 5개社)을 각 헤드 별로 최소 3회를 기준으로 작동실험을 진행하였으며 감열체 표면온도 75~85 °C를 기준으로 실험기 내부온도 상승시간을 완만한 온도상승의 경우 7~10 min, 급격한 온도상승의 경우 5 min 내외로 설정하여 진행하였다.

실험순서는 헤드 1차측 수압을 0.2 MPa로 가압한 후 버너의 연소량을 설정온도까지 7~10 min에 도달할 수 있도록 조정하였으며 실험 중 헤드가 동작되는 시점에서 시간과 온도를 기록하고 헤드가 완전히 개방된 경우 급수를 차단한 후 실험을 종료하고 Cold Soldering이 발생된 경우 센서로 온도측정이 가능한 온도까지 실험을 계속하여 Cold Soldering이 발생한 헤드가 2차적으로 완전히 개방되는지의 여부를 확인하였다.

중점 관찰항목으로는 온도상승 지연시간 및 헤드 실제 작동온도, 헤드의 완전개방 및 Cold Soldering 발생여부, Cold Soldering 발생과정의 관찰, Cold Soldering 발생 이후 온도상승에 따른 경과를 확인하는 것이다.

3.1.2 실제 규모 Room 모형 실험

Figure 4의 Mock-up 규격은 가로 4,500 mm, 세로 3,500



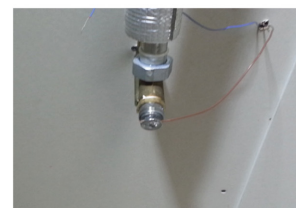
(a) Appearance of the mockup



(b) Wood for combustion



(c) Inside composition



(d) Sensor connection

Figure 4. Mock-up.

mm, 높이 2,500 mm로 제작되었으며 Room 내부는 격벽을 설치하여 2종의 헤드를 동일 조건에서 비교 관찰할 수 있도록 하였으며 화원으로는 가로 35 mm, 세로 35 mm, 길이 350 mm의 건조된 목재 12 kg을 사용하였다. 목재 사용량은 실험 전 목재를 연소시켜 실내온도가 스프링클러 헤드 작동온도까지 5~10 min 사이에 도달하는 목재의 양을 확인 후 적정량이라 판단되는 12 kg으로 결정한 것이다.

온도측정 장치로는 스프링클러 헤드 주변온도와 감열체의 온도를 측정할 수 있도록 설치하였으며 스프링클러 헤드는 내부 공간의 크기가 실제 주거공간의 높이와 유사하므로 스프링클러 동작에 유효한 위치에 설치하기 위하여 Room 높이의 10% 이내인 천장 최상부로 부터 150 mm 지점에 설치하고 급수라인은 캐비닛형 버너실험과 동일한 기준을 적용하였으며 헤드 1차측 수압은 일반적으로 실제 현장의 스프링클러 말단 배관의 압력과 유사한 0.3 MPa로 가압하였다.

실험에 사용되는 스프링클러 헤드는 72 °C 조기반응형(플러쉬형) 헤드 4종(4개社)을 사용하여 각 2회씩 실험을 진행하며 내부 온도 조건은 캐비닛형 버너실험과 동일한 기준을 적용하였다. 연소용 공기는 Room 하부의 급기구를 설치하고 배기구는 헤드가 설치된 배면에 200 mm 직경의 환기구를 통해 배출되도록 구성하였다.

실험 중 헤드가 완전히 개방되면 급수를 차단하여 인접한 헤드에 영향이 없도록 하고 실험을 계속하였으며 Cold

Soldering이 발생하는 경우 측정 가능한 온도까지 계속해서 실험을 진행하여 경과조치를 확인하였으며 실험의 중점 관찰항목은 캐비닛형 버너실험기에서 발생된 작동불량 현상이 실험규모의 Mock-up Test에서 발생하는지 확인하기 위함이다.

3.2 실험결과

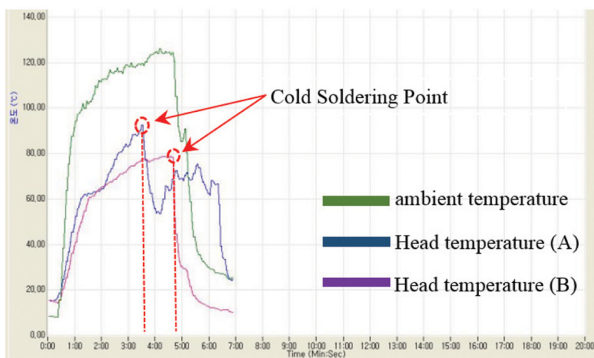
3.2.1 캐비닛형 버너실험

실험결과 A, C 2종의 헤드에서는 50% 확률로 Cold Soldering이 발생되었고 사전 예비 실험에서도 많은 문제가 발견되었던 B 제품은 100% 확률로 Cold Soldering 현상이 발생되었다. 이에 반해 D, E 2종의 모든 조건에서 100% 완전한 동작특성을 나타내었다. 헤드의 작동온도는 “E” 제품이 가장 낮았으며 “D” 제품은 2번 모두 같은 온도에서 동작되었고 “B” 제품의 경우 반응온도가 다른 실험체에 비해 상대적으로 높은 것을 관찰할 수 있었다. 실험에 대한 상세한 데이터는 Table 2와 같으며 Cold Soldering 현상이 발생된 경우 헤드의 누설틈새 크기에 따라 감열체 및 헤드 주변온도 하강정도의 차이가 발생할 수는 있으나 완전히 개방된 헤드의 온도-시간곡선에 비하여 완만한 하강곡선을 나타내는 것을 Figure 5에서 확인할 수 있다. Figure 5의 (a)의 경우 Cold Soldering이 발생된 헤드의 그래프로 최상부의 선은 헤드 주변, 하부의 2개 곡선은 스프링클러 헤드 감열판의 부착된 온도센서가 나타내는 곡선

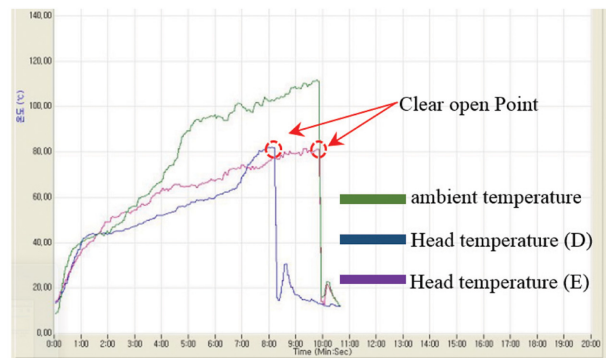
Table 2. Experiment Result

Sample	1 st			2 nd			3 rd		
	Open	Time (s)	Temp (°C)	Open	Time (s)	Temp (°C)	Open	Time (s)	Temp (°C)
A	▲	280	78	●	490	78	●	340	83
B	▲	220	92	▲	190	60	▲	630	84
C	●	150	80	●	580	86	▲	425	82
D	●	390	80	●	590	82	●	270	80
E	●	350	75	●	490	82	●	470	75

Legend ●: Clear ▲: Cold Soldering



(a) T-S curve (sample A, C - Cold Soldering)



(b) T-S curve (sample D, E - Clear open)

Figure 5. T-S curve.

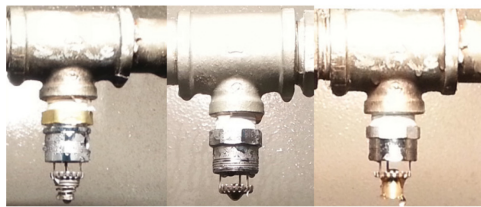
으로서 감열판 온도 80 °C 부근에서 헤드가 불완전 하게 개방되어 소량의 물이 흘러나오면서 주변온도와 감열판의 온도가 불규칙하고 완만하게 하강하는 것을 볼 수 있으며 (b)의 경우 완전하게 개방된 헤드의 그래프로 감열판 온도 80 °C 부근에서 헤드가 개방되어 소화수가 완전하게 방출 되고 감열판을 포함한 헤드의 분해부가 분리되면서 주변 온도와 감열판의 온도가 급격하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 실험체 5종의 A, B, C, D, E 제품을 각각 3차례 이상 실험한 결과 상대적으로 완만한 온도상승조건에서 3 종의 헤드에서 Cold Soldering 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 Cold Soldering 현상이 발생된 경우 헤드 주변온도를 160 °C까지 계속해서 상승시켰으나 Figure 6 의 (b)와 같이 헤드로 누설되는 소화수로 인해 감열체가 냉각되어 더 이상의 헤드 개방은 이루어지지 않았다. 스프링클러에서 정확한 동작상태와 Cold Soldering 현상이 발생한 상태는 Figure 6과 같다. 이 실험에서는 실험장비의 한계점으로 인해 각 실험에 동일한 조건을 충족시키지 못 하였으나 Cold Soldering 발생시키는 제품이 넓은 온도 및

시간범위에서 발생된다는 것을 확인할 수 있었다.

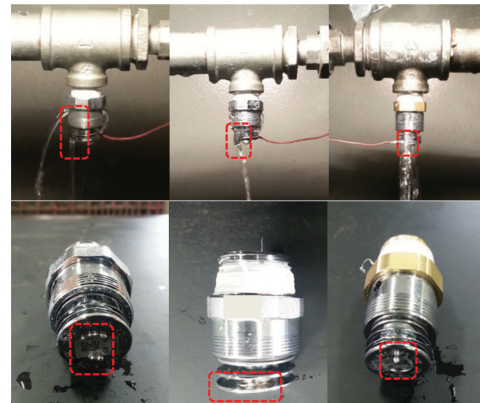
3.2.2 실제 규모 Room 모형실험

실험결과 4종의 실험체 중 “B” 제품의 경우 3차례 모두 Cold Soldering이 발생되었고 A, C 제품의 경우 실험횟수 대비 50%의 Cold Soldering 발생률이 나타났으며 실험체 중 유일하게 “E” 제품만이 100% 완전한 동작특성을 나타 내었다. 또한 작동온도에서도 “E” 제품이 타 제품에 비해 감열체 측정온도 기준으로 평균 5 °C 낮은 온도에서 조기 반응하였다. Figure 7에서 나타났듯 분당 평균 5 °C 이상 화재 실 내의 온도가 상승하였음에도 불구하고 4종의 헤 드 중 3종의 헤드에서 Cold Soldering 발생되었으며 이러 한 결과는 캐비닛형 버너실험의 결과와도 일치되는 것이 었다.

Figure 6의 (b)와 Figure 8에서는 스프링클러 헤드의 Cold Soldering을 보여 주고 있다. 스프링클러 헤드의 분 해부의 가용합금이 완전히 용해되지 않고 일부만 용해되 면서 내부의 Snap Ring의 불완전한 작동으로 분해부와 내

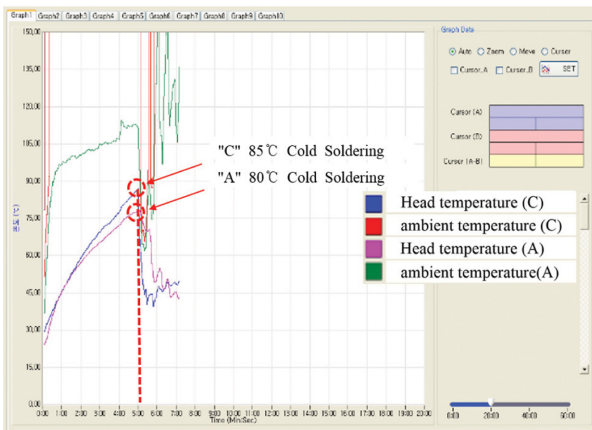


(a) Clear Open

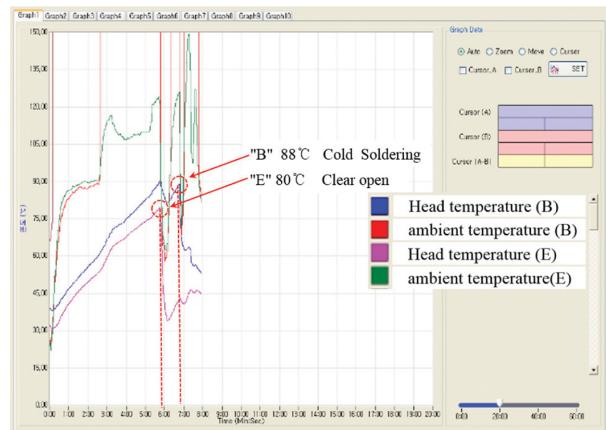


(b) Cold Soldering (The molten alloy solidification)

Figure 6. Sprinkler heads caused operating status.



(a) T-S curve (Sample B, E)



(b) T-S curve (Sample A, C)

Figure 7. Mockup results graph.

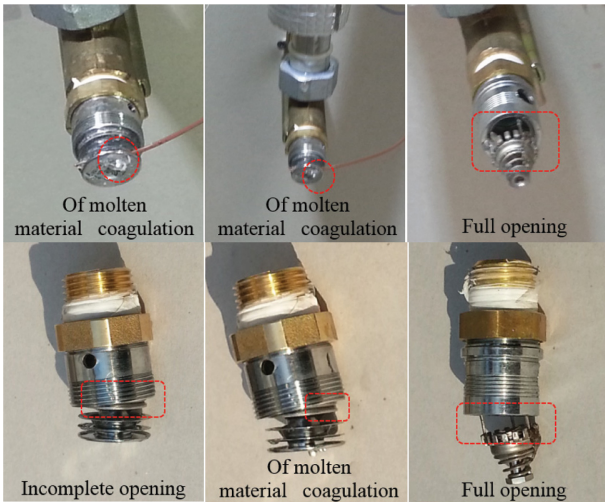


Figure 8. Sprinkler heads caused operating status.

부의 오리피스 캡을 포함한 부분이 비스듬히 열리면서 누수가 발생된 상태로 외관적으로 분해부분이 비스듬하게 불완전 개방된 것을 확인할 수 있고 감열판에 가용합금 일부가 용해되어 흘러나왔다가 재 응고한 것을 관찰할 수 있다. 이에 반해 완전히 개방된 헤드는 Figure 6의 (a)와 같이 분해부가 완전히 탈락되고 반사판이 걸려있는 상태를 확인할 수 있다.

3.2.3 시험결과 분석

상기 2가지 실험에서 공통적으로 Cold Soldering을 일으킨 헤드와 정상작동을 한 스프링클러 헤드는 구조적인 차이점을 가지고 있었다. 국내에서 사용되고 있는 플러쉬형 스프링클러 헤드는 Disk Type과 “O” Ring Type으로 분류되는데 실험에서 Cold Soldering이 발생한 헤드는 모두 Disk Type 헤드였다. 두 가지 Type의 헤드 모두 정상적으로 국내 형식승인 및 시험기준에서 정하는 시험을 통과하여 승인된 제품이다. 이러한 특성은 수많은 모든 변수를 모두 충족할 수는 없다는 결론에 도달할 수도 있으나 소방시설의 경우 인명보호와 직결되는 시설이므로 연구에서 발견된 문제점이 화재 중 발생할 수 없는 환경인지의 여부에 따라 그 원인을 명확히 밝히고 개선대책을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

4. 저성장속도 화재를 고려한 스프링클러 헤드의 문제점 및 개선방안

4.1 기존스프링클러 헤드의 문제점

4.1.1 스프링클러 헤드의 구조적인 문제점

실험에서 모든 경우에 정상적인 작동을 하였던 D, E 제품(“O” Ring type)의 경우에는 분해조립하중의 분배 매커니즘에서 공통적인 방법이 사용되고 있는데 이것은 Figure 9와 같이 다수의 Ball과 고장력 스프링이 분해하중을 균등

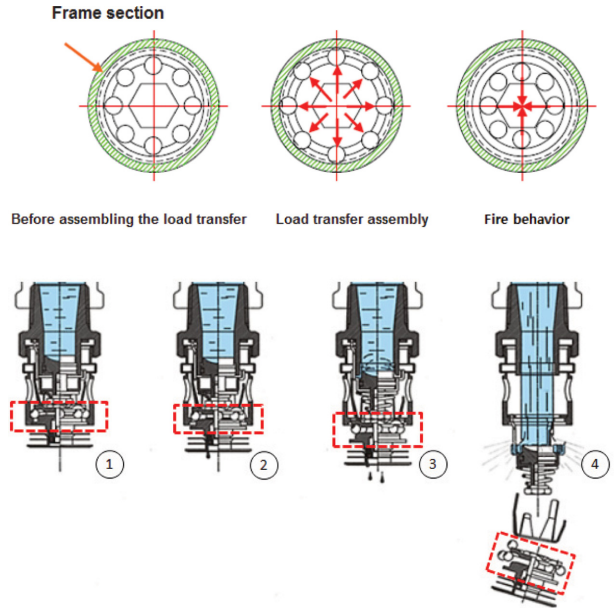


Figure 9. “O” Ring type.⁽⁶⁾

하게 분배하여 화재로 인해 가용합금부분이 용융될 때 분해부가 균형을 잃지 않고 완전히 이탈되는 순간까지 분해부를 밀어 준다는 것이다.

“O” Ring type의 분해과정을 살펴보면 평상시 ①의 상태와 같이 조립하중으로 인해 외곽으로 균등하게 분배되어 분해부를 지지하고 있던 Ball은 화재로 인해 가용합금이 용해되면 ②의 상태와 같이 Ball이 내부측으로 이동하게 되며 이때 분해부 상부를 밀고 있는 고장력 스프링으로 인해 분해부의 균형을 유지하게 된다. 가용합금이 완전히 용융되는 과정에서 ③과 같이 Ball은 Frame 외부로 이탈되면서 분해부가 완전히 이탈되고 ④와 같이 스프링의 장력이 완전히 해방되면서 상부의 디플렉터가 낙하한다.

이에 비해 Cold Soldering 현상이 발생한 Disk Type의 경우에는 Figure 10과 같이 분해부분에 Snap Ring을 삽입하고 분해부분의 조립하중을 가하면 Snap ring이 확장되어 분해부분이 헤드의 Body에 부착되어 이탈하지 않도록 된 구조이며 이로 인해 분해부의 상부에 위치한 수로의 오리피스를 막아주는 부속품까지 하강하지 않도록 받치고 있는 형상을 유지하게 된다.

화재로 인하여 감열체에 수열된 열이 용융합금에 전달되면 용융합금이 용해되면서 용융합금이 있던 공간이 비게 되어 조립하중이 해방되게 되고 Snap Ring은 원래의 형상으로 원주가 축소되면서 분해부가 이탈되게 되고 상부의 오리피스를 막고 있던 부속품에 자유낙하하면서 디플렉터가 내려앉아 Snap Ring이 걸려 있던 부분에 걸리게 되고 소화수가 분출되면서 살수패턴이 만들어지게 된다. 그러나 이 과정에서 용융합금이 서서히 녹아내리거나 Snap Ring의 불량으로 인해 영구변형을 일으킬 경우 분해부의

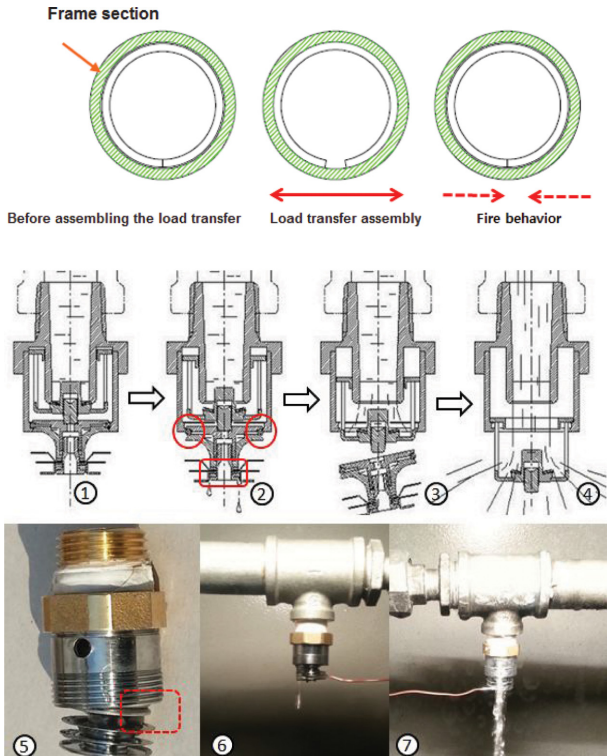


Figure 10. Disk type.⁽⁶⁾

균등한 분해하중을 전달하기 위한 장치가 없으므로 Figure 10의 ⑤와 같이 분해부가 기울어지게 불완전한 분해가 이루어지고 이때 상부 오리피스를 차단하고 있는 부속들까지 기울어지면 오리피스로 소량의 소화수가 누설되게 된다. 누설된 소화수는 용융합금을 재 냉각시켜 더 이상 용융되지 않게 하고 화재가 성장하여 주변온도가 더욱 상승하여도 불완전한 개방상태를 유지하게 된다.

그러나 “O” Ring Type의 경우 Seal 부분에 “O” Ring을 사용하고 있는데 미국에서 원인은 명확하지 않으나 작동 불량 사례가 있어 FED 공사의 SPEC OUT(기준미달) 되었던 사례도 있다.

4.1.2 스프링클러 헤드의 제품검사 기술기준의 문제점

4.1.2.1 국내 제품검사 기술기준의 문제점

스프링클러 헤드의 형식승인 및 제품검사 기술기준에서 정하고 있는 감도시험과 작동시험은 실제 스프링클러 헤드가 처해지는 현장 및 시스템의 환경을 반영하고 있지 못하다는 문제점을 가지고 있다. 즉, 현장에 설치되는 스프링클러 시스템의 경우 헤드 개방 전 헤드 1차측에 가압수가 충만해 있으나 감도 및 작동시험에서는 이를 반영하고 있지 않다는 것이다. 감도시험은 Figure 11의 시험장치의 유로 내부에 스프링클러를 설치하고 유로를 통해 기준에서 정하는 온도의 기류를 흐르게 하여 스프링클러 헤드의 반응시간을 확인하는 것으로 RTI의 적합성을 확인하는 시험이며 이 시험에서 스프링클러 헤드 1차측에는 가압공기



Figure 11. Sensitivity test apparatus.



Figure 12. Operation test device.

가 가해진다.

또한, 작동시험은 스프링클러 감열부가 표시온도의 허용범위 내에서 정상적으로 작동하는지의 여부를 검증하는 시험으로 Figure 12와 같이 액조 내에서 헤드를 고정시킨 상태에서 진행되며 헤드 1차측에는 아무것도 연결되지 않는다. 따라서 실제 스프링클러 시스템을 반영한 본 연구에서는 Cold Soldering이 확인되었으나 감도 및 작동시험기준에서는 Cold Soldering이 확인될 수 없었던 것은 분해부의 불균형한 이탈이 이루어지는 시점에서 그 틈새로 누설될 수 있는 물이 없었기 때문에 Cold Soldering과 같은 가용합금이 부분적으로 용해되어 틈새가 발생하는 현상이 발생하는 상태에서도 가용합금은 계속 수열을 받아 완전히 용융하여 분해부가 이탈 할 수 있었기 때문이라 판단된다.

4.1.2.2 화재시험의 부재로 인한 문제점

미국의 FM과 UL에서는 스프링클러 헤드의 사용 용도에 따라 Table 3의 기준에 따라 실제 화재시험을 하도록 규정하고 있으나 국내에는 이와 같은 시험기준이 마련되어 있지 않다. 화재시험은 감도시험이나 작동시험과 달리 헤드 작동 시 소화수가 방출될 수 있도록 시스템을 구성하고 헤드가 설치되는 용도의 대상물과 유사한 환경을 구성한 후 화재발생시 헤드가 정상적으로 작동되고 설계의도에 부합하는 성능을 발휘하는지를 확인하기 위한 시험으로 시험을 통해서 스프링클러 헤드의 불완전한 개방 또한 발견될 수 있으리라 판단된다.

Table 3. Domestic and International Fire Test Standards⁽⁷⁾

Division	Standard
Korean	None
UL	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wood Fire Test - Within 5 min after the ceiling spinning temperature below 295 °C - 3 min prohibit successive exceed 295 °C - Wood weight loss greater than 20% [Wood: 350 Pound (about 160 kg)] ○ Extensive type Fire sprinkler head Test ○ Stacked boxes fire test ○ Large (Largescale) Fire Test
FM	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wood Fire Test - Within 6 min after ignition the air temperature is below 277 °C - 3 min prohibit successive exceed 277 °C - Timber weight reduction of 20% or less ○ Warehouse fire test ○ Large (Fullscale) Fire Test

4.2 개선방안

4.2.1 스프링클러 헤드의 구조적인 개선방안

조립하중은 과할 경우 가용합금을 변형시킬 수도 있고 화재 시 헤드의 분해부가 완전히 이탈되기 전까지 분해하중이 균등하게 분포되지 않으면 헤드 내부에서 분해부를 지탱하고 있던 디스크의 불균형한 이탈로 발생된 틈새로 미세한 물방울이 누설되어 Cold Soldering의 원인이 되었으며 조립하중 분산을 Ball Type으로 적용하고 Seal 부분에 “O-Ring” 방식을 적용한 2개 제품에서는 단 한차례도 Cold Soldering이 발생되지 않았다. 따라서 균등한 하중전달을 위하여 현재 사용되고 있는 디스크방식의 헤드의 구조는 개선이 불가피한 것으로 디스크 방식을 변경하거나 보완할 수 있는 제품설계가 요구된다.

4.2.2 제도적 개선방안

4.2.2.1 화재시험 기준의 도입

국내의 시험기준은 과거의 일본 및 미국의 기준을 도입하여 국내현실에 맞게 변경한 기준이나 화재시험 등의 성능위주의 시스템을 구현하기 위한 Mockup 형태의 시험기준은 도입되지 않고 있다.

미국의 FM과 UL에서 정하는 화재시험기준은 성능위주의 시험기준으로 실제 화재 시에 발생하는 스프링클러 시스템의 성능과 최소한의 변수를 확인하고 보완할 수 있는 장치이므로 성능위주의 시스템으로 변경되고 있는 국내의 현실을 고려할 경우에도 조속히 도입하여야 할 시험기준이다.

4.2.2.2 우수제품에 대한 인센티브 적용방안

현재 국내에서는 일부 소방제품에 대하여 Fire Insurers Laboratories of Korea (FILK) 인증을 주어 해당 제품을 적용할 경우 화재 보험 가입 시 보험요율에 가점을 받도록 제도화 되어 있으나 고품질 제품 생산에 소요되는 비용이 크기 때문에 제품단가에서 경쟁력을 상실하게 되어 사용

자는 고가의 FILK 제품 보다는 품질에 관계없이 최저가 제품을 선호하는 것이 현실이며 이는 소방제품의 품질저하현상으로 나타나고 있다.

또한 FILK 인증 제품이 시장에서 외면되는 현실에도 불구하고 FILK 인증획득과 유지과정 필요한 비용이 기업의 부담이 되고 있다. 따라서 우수제품을 장려하기 위한 FILK 인증제도 고유의 취지에 맞게 제품선정 과정은 엄격히 하되 비용은 기업의 부담이 되지 않도록 제도적 개선이 필요하며 우수제품 생산연구 지원 및 우수제품에 대하여 자재공급의 우선권을 부여할 수 있는 제도 마련이 필요할 것이다. 이러한 제도는 우수제품의 제품단가의 상승을 최소화하여 보급할 수 있는 방안이 될 것이다.

6. 결 론

1) 본 연구는 어떠한 화재 성장조건에서도 스프링클러 헤드는 표시온도에서 완전하게 작동되어야 한다는 것을 전제로 저성장속도의 화재 분위기에서 플러쉬형 스프링클러 헤드의 동작특성을 확인하기 위하여 실제 스프링클러 시스템의 급수 조건을 갖춘 캐비닛형 버너실험기와 실물 크기의 Mock-up을 제작하고 스프링클러 헤드의 표시온도까지 온도 상승시간이 5~10 min 이내가 될 수 있도록 내부의 연소상태를 조성하여 스프링클러 헤드의 작동 실험을 진행하였다.

그 결과 국내에서 사용되는 제품 중 2개 업체의 제품만 완전한 작동상태를 보였으며 나머지 업체의 제품은 헤드의 분해부분이 기울어지면서 기울어진 틈새로 소화수가 누설되어 완전히 용융되지 않은 가용합금을 재 응고시키는 Cold Soldering이 발생되었다. 또한 Cold Soldering 현상이 발생된 경우 계속 주위온도를 상승시켜도 헤드로 누설되는 소화수로 인해 가용합금이 냉각되어 더 이상 헤드가 개방되지 않았다. 이 두 가지 경우의 제품 특성을 확인

한 결과 다음과 같은 차이점을 확인할 수 있었다.

① 완전한 동작특성을 보인 제품은 일명 “O” Ring type으로 헤드의 몸체 내부에 화재 시 분해부가 균형을 이룰 수 있도록 Spring과 Ball이 적용되어 있는 형태로 제작되어 분해 시 Spring이 헤드 상부에서 Ball 부분을 서서히 밀어주고 Ball은 가용합금의 용융정도에 따라 분해부가 완전히 이탈되는 순간까지 분해부의 균형을 유지하여 완전히 개방되는 구조였다.

② Cold Soldering을 일으킨 제품은 “Disk” type으로 Snap Ring을 사용하여 조립하중에 의해 Snap Ring이 변형되는 원리를 이용한 제품으로 “O” Ring type에 비해 분해부 이탈 시 균형을 잡아 줄 수 있는 구조가 미흡하였으며 가용합금이 서서히 녹을 경우 Snap Ring의 원주 축소 과정에서 불균형한 이탈이 발생되어 Cold Soldering 현상이 발생하는 것으로 추정된다.

2) 연구과정에서 발생된 저성장속도 화재 분위기에서의 스프링클러 헤드의 Cold Soldering 현상은 스프링클러 헤드의 구조적인 결함에서 발생하는 것이므로 이에 대한 정밀한 추가적인 연구를 통해 용인할 수 있는 결함인지의 여부를 확인할 필요성과 더불어 이와 같은 현상을 특정제품의 구조적인 특성으로 인한 문제라고 국한시키기보다는 소방대상물의 다양한 화재특성과 스프링클러 시스템을 전반적으로 고려한 실제화재 시험의 도입 및 제조사로 하여금 고품질 제품의 생산 및 보급을 위한 자발적인 노력을 유도할 수 있는 제도적인 보완대책을 마련해야할 것이다.

References

1. S. G. Son, “An Experimental Study on the response Time Index of the Flush-type Sprinkler Head”, M.A.dissertation University of Kyonggi, Suwon, Kyonggi, Korea (2012).
2. M. H. Jee, C. K. Sung and S. Y. Hong, “Sprinkler Head Actuation Time Evaluation by Use of Performance - Based Fire Modeling”, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 2003, No. 2003.
3. Y. H. Kim, “A Study for Malfunctioning of Sprinkler in Automatic Sprinkler Systems”, M.A.dissertation University of Seoul, Seoul, Korea (2011).
4. S. H. Erh, “A Study on Improvement of the Sprinkler-head Standard in Korea”, M.A.dissertation University of Mokwon, Daejeon, Korea (2011).
5. S. K. Lee and K. N. Choi, “New Combustion Engineering”, Donghwa Technology Publishing. Co. Korea, pp. 178-180 (2009).
6. Y. S. Choi, “An Experimental Study on Characteristics of Sprinkler Head Actuation in Low-growth Velocity”, M.A.dissertation University of Kyonggi, Suwon, Korea, pp. 26-48 (2015).
7. S. H. Erh, “A Study on Improvement of the Sprinkler-head Standard in Korea”, M.A.dissertation University of Mokwon, Daejeon, Korea, pp. 29-38 (2011).