

스프링클러 헤드의 방향성 살수 특성 비교 연구 Directional Water Spray Characteristics of Sprinkler Heads

박 용 환[†]

Yong-Hwan Park[†]

호서대학교 소방학과 교수
(2004. 8. 23. 접수/2004. 10. 5. 채택)

요 약

스프링클러 헤드의 살수 특성은 화재의 초기 진화 성능을 결정짓는 매우 중요한 요소이며, 이는 헤드 노즐의 형상에 크게 좌우된다. 본 연구에서는 국내 시장점유율이 가장 높은 4개 제조사의 헤드 제품군에 대하여 방수계수 값과 방향성 살수 분포 특성을 규명하였다. 방수계수는 모두 기준값을 상회하였지만, 헤드 종류별로 동일한 설계 값을 가짐에도 불구하고 큰 차이를 보이는 것으로 나타나 제품 간 품질차이가 큰 것으로 나타났다. 다만, 방수계수는 압력변화에 관계없이 비교적 일정하게 나타났다. 방향별 살수 분포 특성은 일부 헤드 샘플의 경우 매우 심각한 편향 분포를 나타냄으로써 성능개선 연구가 시급한 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

The water spray characteristics of the sprinkler heads is a very important factor affecting the fire suppression performance, and it is largely dependent on the shape of the head nozzle. This study investigated shape factors and spray distribution performances for the sprinkler heads of four domestic companies with big market shares. The experimental results revealed that all flow constants exceeded the required regulation limits, however showed big differences between head types although they have the same design limit. They were however relatively consistent regardless of the pressure increases. The spray distribution of some head samples showed severe directional eccentricity, which suggests more study for the improvement.

Keywords : Sprinkler head, Water spray, Directional eccentricity

1. 서 론

화재 진압 시스템 중 가장 대표적이고 많이 사용되는 설비는 스프링클러 설비이다. 스프링클러의 역사는 1723년 영국의 Stewart Harrison에 의하여 최초로 고안된 이래, 1874년 미국의 H. S. Parmelee에 의해 현재와 같은 상업용 자동식 소화설비로 발전하였다.^{1,2)}

이 설비는 주야로 사람의 유무에 관계없이 자동적으로 화재를 감지하여 초기 단계에서 화재를 진압할 수 있을 뿐만 아니라, 실내에 충전하게 되는 화염과 연기 때문에 옥내소화전에 의한 초기 소화활동이 곤란한 소방대상물에 있어서도 확실한 소화효과를 기대할 수 있

다. 또, 지하가, 고층건물, 무창층 또는 백화점과 같이 현저하게 연소 확대 및 연기가 충전할 위험이 많고 소방대의 옥내 진입이 곤란한 화재위험이 큰 대상에 적합한 설비이다. 이로 인해 소화용 스프링클러설비는 화재에 대한 가장 확실하고 효과적인 보호수단의 하나로써 현재 전 세계에 걸쳐 광범위하게 이용되고 있다. 지금도 대부분의 대형 건축물에는 화재자동진압설비인 스프링클러 시스템이 설치되어 있다.

한편, 최근 소방 설비의 설계 동향은 단순히 특정 성능의 합격판정만을 목표로 하는 기준기반설계(Code Based Design)에서 정확한 성능을 목표로 하는 성능기반설계(Performance Based Design)로 변화하고 있으며, 이러한 추세를 감안할 때 우리나라도 점차 제품의 성능을 향상시킬 수 있는 성능기반 평가 개념의 도입

[†] E-mail: yhpark@office.hoseo.ac.kr

이 긴요한 실정이다.

스프링클러 시스템의 특성은 헤드에 의해 좌우되며, 헤드의 성능은 살수 분포 특성, 그리고 방수량과 밀접한 관계를 가지고 있는 형상계수가 매우 중요한 설계 변수로 알려져 있다.^{3,4)}

따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 여러 종류 헤드의 살수분포 성능 및 형상계수 특성을 규명하여 성능개선의 계기로 삼고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 방수계수

관로에 유입·유출부, 단면 변화부, 굴곡·굴절부, 밸브 등이 존재하면, 그 근방의 흐름에 와류가 발생하기도 하고, 국소적으로는 여러 가지 변화가 일어나게 되며, 그 결과로 에너지 손실이 발생하게 된다. 이와 같은 에너지 손실은 손실수두라 부르고, 일반적으로 다음 식 (1)과 같이 표현된다.^{5,7)}

$$h = K_t \frac{V^2}{2g} \tag{1}$$

여기서 h는 손실수두, K_t는 손실계수이고 V²/2g는 속도수두이다.

헤드 노즐과 같이 단면이 변화하는 관로를 통과하는 경우 유량과 압력과의 관계식은 다음 식 (2)와 같이 표시된다.

$$Q = K\sqrt{P} \tag{2}$$

단, Q : 방수량(l/min)

P : 방수압력(kg/cm²)

K : 방수계수(형상계수)

스프링클러 헤드의 경우 방수계수는 방수압력 1 kg/cm²에서 방수량을 측정할 때, 식 (2)에서 구한 K 값이 Table 1에서와 같이 호칭구분에 따라 각각 그 해당 허용범위 내에 있어야 한다.

Table 1. K values for various sprinkler heads

Head dia.	10	15	20
Standard	50(1±5/100)	80(1±5/100)	114(1±5/100)
Residential	47.5~52.5		
ESFR	203±8		
Large drop	157~166		

2.2 살수량

표준형 헤드에 있어서 유효살수반경 R=2.3의 경우 각 통의 분당 평균 채수량(ml/min)을 구하고, 헤드의 축심에서 동심원상에 나열된 채수통의 전 채수량을 구한 다음, 반경 300 cm의 범위내의 전 살수량 Q'(ml/min)는 다음 식에 의하여 계산한다.

$$Q' = 1.41q_1 + 1.57q_2 + 2.35q_3 + 3.14q_4 + 3.92q_5 + 4.71q_6 + 5.49q_7 + 6.28q_8 + 7.06q_9 \tag{3}$$

단, q_n(n=1, 2, ..., 9): 각 번호통의 전 채수량

각 압력에서의 방수량 Q(l/min)와 전 살수량 Q'의 비율을 다음과 같이 계산하여 살수비율을 정의한다.

$$\text{살수비율}(\%) = \frac{Q'}{Q} \times 100 \tag{4}$$

유효살수반경이 R=2.6일 경우에는 헤드의 축심에서 반경 330 cm의 범위내의 전 살수량 Q'(ml/min)는 다음 식에 의하여 계산한다.

$$Q' = 1.41q_1 + 1.57q_2 + 2.35q_3 + 3.14q_4 + 3.92q_5 + 4.71q_6 + 5.49q_7 + 6.28q_8 + 7.06q_9 + 7.84q_{10} \tag{5}$$

주거형 헤드는 각 채수통의 살수량을 측정하는 경우에 축심을 중심으로 한 반경 260 cm의 범위 내 각 채수통의 평균 채수량이 200 ml/min 이상이고, 또한 각 채수통의 채수량이 20 ml/min 이상이어야 한다.

3. 실험 및 실험방법

3.1 시험편

본 연구는 크게 방수량 시험과 살수 분포 시험을 통하여 헤드의 특성을 고찰하기 위한 것으로, 각 시험에 사용된 헤드의 종류는 다음과 같다.

방수량 시험은 헤드의 방수계수를 알기 위한 것으로 여기에 사용된 시험편은 현재 시장 점유율이 비교적 높은 모 회사의 표준형 헤드를 선정하였으며, 퓨즈블 링크형과 글라스벌브형의 상향형 헤드, 하향형 헤드, 측면형 헤드, 그 밖에 플러쉬 헤드와 원형 헤드를 포함하였다.

Fig. 1은 방수량 시험에 사용된 작동온도 68~74°C 범위의 헤드를 종류별로 나타낸 사진이다.

살수분포 실험에 사용된 시험편으로는 현재 가장 많이 사용되고 있는 작동온도 68~74°C 범위의 하향형 헤

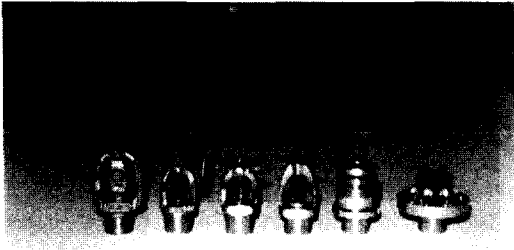


Fig. 1. Various sprinkler head samples.

드와 원형 헤드로서 국내 시장점유율이 가장 높은 4개 회사의 제품을 선정하였다. 하향형은 글라스벌브형으로, 원형은 퓨지블링크형으로 한정하였으며, 헤드의 호칭은 모두 15로 하였다.

3.2 방수량 시험

소방검정기술기준에 따라 규정의 정류통을 통하여 방수압력 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 kg/cm²로 헤드로부터 방수시킨다. 100 l의 방수량에 대해 방수시간을 0.1초 까지 계측하여 분당 방수량 Q(l/min)를 측정한다 다음, 유량·압력 관계식 (2)로부터 형상계수 K의 값을 산출하였다. 이 때 정확한 방수압력 측정을 위하여 정밀 압력계를 헤드 측 배관에 설치하였다.

스프링클러 소화설비에서 헤드 호칭 15짜리의 통상 1분당 방수량은 80 l이고, 방수압력이 1 kg/cm²이면 비례상수 K의 값은 80이 된다. 그러므로 이론적으로 각 압력 당 방수량은 1 kg/cm²일 때에는 80 l/min, 4 kg/cm² 일 때에는 160 l/min, 7 kg/cm²일 때에는 212 l/min을 나타낸다.

Fig. 2는 방수량 시험에 사용된 스프링클러 설비 사

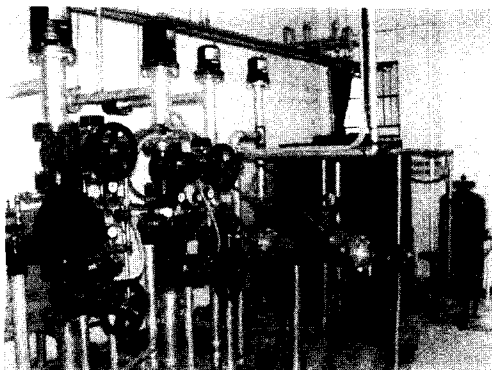


Fig. 2. Sprinkler systems.

이다.

3.3 살수분포 시험

헤드의 살수 분포 시험은 헤드의 종류에 따라 시험 방법 및 시험조건이 조금씩 달라진다. 본 연구의 경우 1.0, 4.0, 7.0 kg/cm²의 세 가지 방수압력에 대하여 각 2회씩 방수하였으며, 방수시간은 1분으로 하였다. 헤드 밑에 8 방향으로 설치된 69개의 채수통에 담긴 물의 양을 각각 메스실린더를 사용하여 측정하였다. 채수통은 한 변의 길이가 $\sqrt{1000}$ cm인 정육면체를 사용하였다.

스프링클러 헤드 검정기술기준에는 각 채수통 번호의 한계 채수량을 일컫는 표준살수분포 곡선을 정의하고 있는데, 전 방수량의 60% 이상이 헤드의 축심을 중심으로 하는 유효살수반경 범위 내에 살수되고 헤드 축을 중심으로 동심원상의 모든 채수통의 채수량은 각 번호에 해당하는 규정곡선 값의 70% 이상이어야 하며, 만일 값에 미달하는 것이 하나라도 있으면 살수시험을 수행한 스프링클러 헤드는 검정기준에 미달되는 것으로 판정하고 있다.

Fig. 3은 살수 분포 시험 장치를 나타낸 사진으로 스프링클러 헤드와 채수통의 거리는 120 cm이고, 스프링클러 헤드와 천정과의 거리는 디플렉터에서 반사된 물이 천정에 부딪치지 않도록 적당한 거리를 유지하였다.

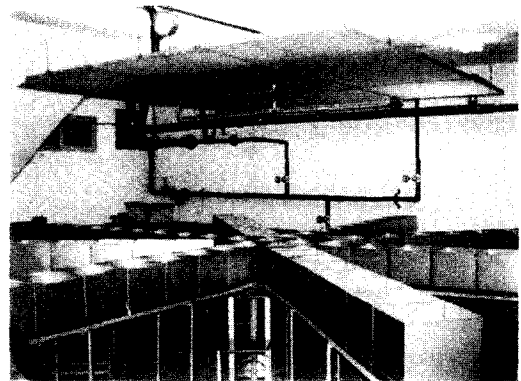


Fig. 3. Water spray test system.

4. 실험 결과

4.1 방수량 시험

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 글라스벌브형과 퓨즈블링크형 표준형 헤드에 대한 방수량 시험에서 얻어진 유량-방수압 관계를 나타낸 곡선으로, 방수압이 증가함에 따라 유량은 비선형적으로 증가함을 나타내고 있다. 퓨즈블링크형의 경우 축벽형이 동일압력에 대한 방수량

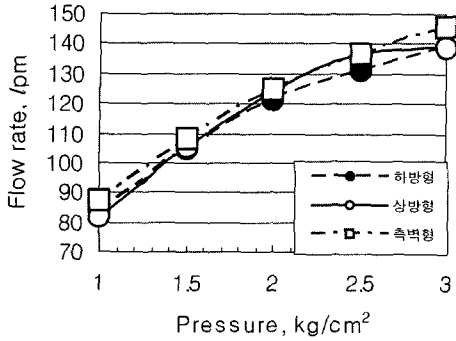


Fig. 4. Flow rates of glass bulb type heads.

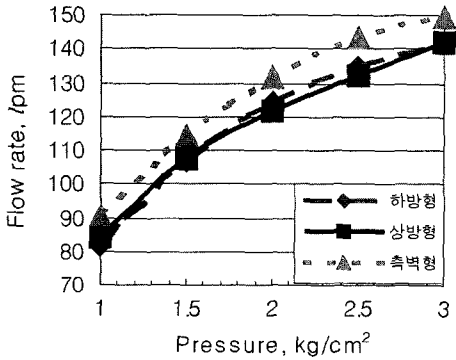


Fig. 5. Flow rates of fusible link type heads.

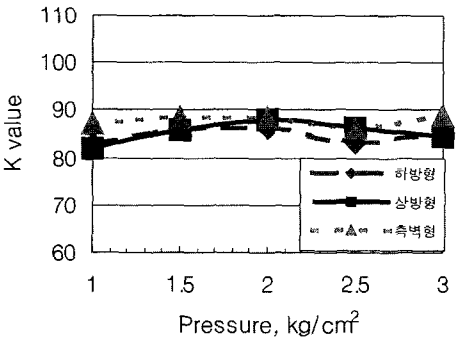


Fig. 6. K values of the glass bulb type heads.

이 약간 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 식 (2)의 유량-방수압 관계식으로부터 산출된 글라스벌브형과 퓨즈블링크형 헤드의 K값을 평균한 것으로, 모두 방수압력에 따른 큰 변화는 없었으며, 모든 압력에서 모두 최소 기준치인 80 이상의 값을 나타내었다.

측벽형의 경우 K값이 90 이상으로 상향형이나 하향형에 비해 방수계수가 훨씬 큰 것으로 나타났다. 측벽형 헤드의 K 평균값이 하향형이나 상향형 보다 크게

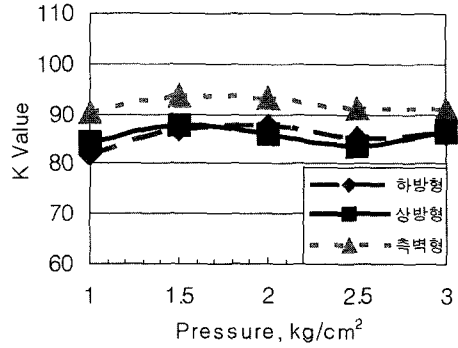


Fig. 7. K values of the fusible link type heads.

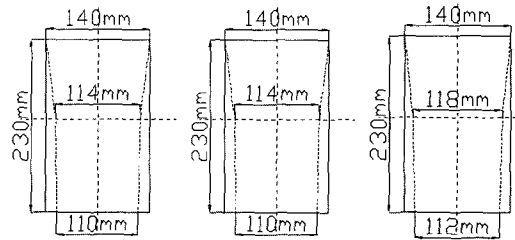


Fig. 8. Dimension of head nozzles.

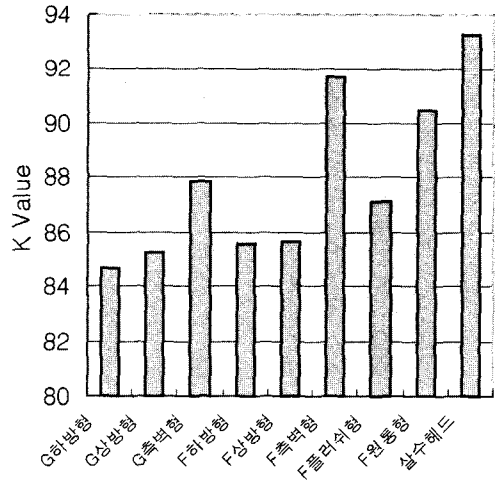


Fig. 9. K values of various heads.

나타난 이유는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 헤드 노즐의 내경 입구 치수는 14 mm로 동일한 반면, 내경 중간 지점과 내경 출구 지점으로 갈수록 하향형이나 상향형 보다 치수가 크기 때문에 전체적으로 치수변화가 적어서 방수량이 많아졌기 때문인 것으로 분석되었다. Fig. 9는 각 헤드의 K 평균값을 비교한 것으로 그래프에서 보면 하향형 < 상향형 < 플러쉬형 < 원통형 < 측벽형 헤드의 순으로 K값이 큼을 알 수 있다.

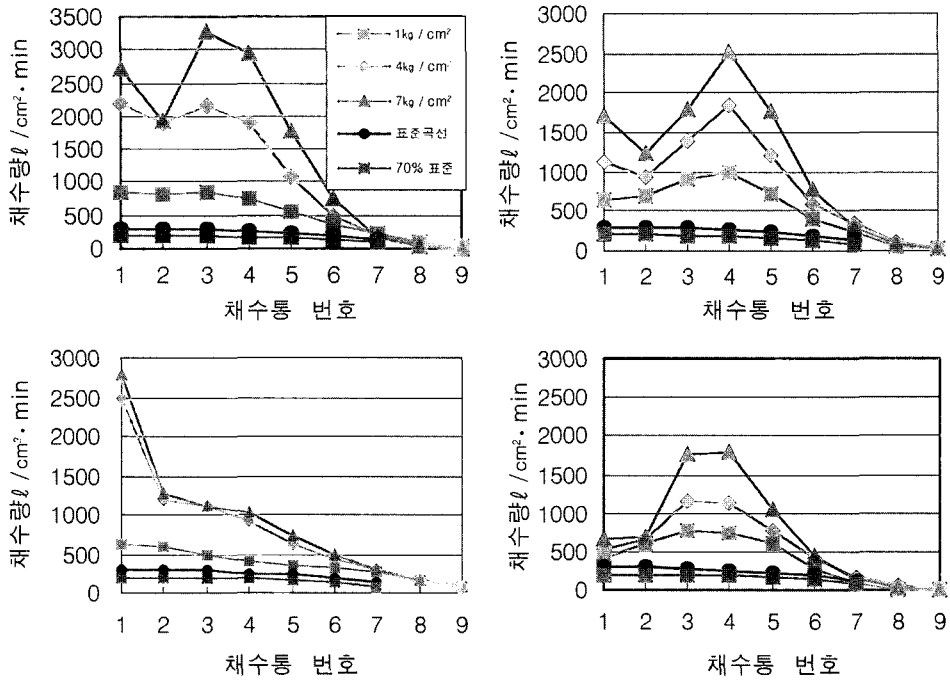


Fig. 10. Spray distribution of round type head.

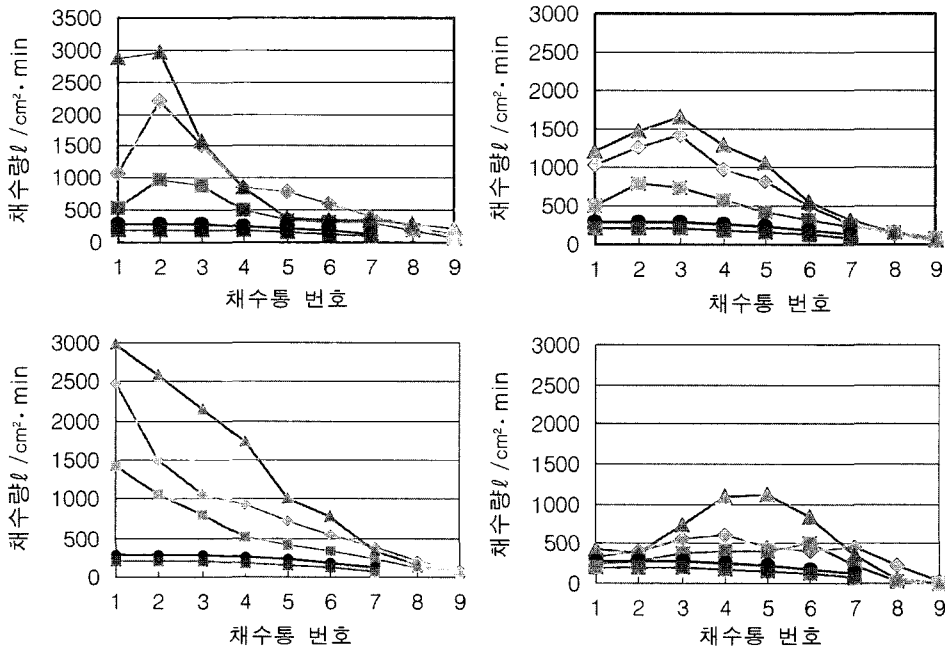


Fig. 11. Spray distribution of pendant head.

4.2 살수 시험

Fig. 10과 Fig. 11은 시장점유율이 높은 4개 업체에

서 생산된 원형 헤드 및 하향형 헤드의 살수분포 특성 실험 결과를 나타낸 것이다. 압력 변화에 따라 각 채

수통별 채수량이 표시되어 있으며, 각 그래프에는 표준살수분포 곡선과 70% 살수분포 곡선이 함께 도시되어 있다.

먼저 원형헤드의 경우를 살펴보면 1 kg/cm²의 압력으로 물을 방사하였을 때에는 A와 C사의 제품은 중앙에 위치한 채수통을 중심으로 물의 양이 서서히 감소하였으며 어느 특정 부위에 물이 편중되지 않았으나, B와 D사의 제품의 경우는 3, 4, 5 채수통에 방수량이 편중되는 양상을 나타내었다. 그러나 표준살수분포곡선 이하로 떨어지는 경우는 없어 모두 소방기술기준을 상회하는 것으로 나타났다.

4 kg/cm², 7 kg/cm²의 비교적 고압으로 물을 방사하였을 때에는 C사 제품을 제외하고는 채수통 3, 4, 5번에 물이 집중적으로 살수되는 것으로 나타났다. C사 제품의 경우 헤드 바로 아래의 채수통에 가장 많이 방수되었으며, 헤드 중심축에서 거리가 멀어질수록 살수량이 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

하향형 헤드의 살수분포 특성을 살펴보면, C사의 제품의 경우 원형헤드에서와 마찬가지로 방사압력의 크기에 관계없이 헤드 중심축에서 멀어질수록 채수량이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 A, B, D사의 제품은 방수압력이 크면 클수록 특정 채수통에 방수량이 집중되는 양상을 나타내었다. 하향형헤드의 경우에도 모든 제품이 표준살수분포 곡선을 상회하는 것으로 나타나 모두 소방기술기준은 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 각 헤드의 살수시험에서 각 채수통에 모여진 물을 다 합한 전방수량을 나타낸 그래프이다. 그림에서 보면 D사의 제품이 타사 제품에 비해 동일 방수압력에 대한 분당 살수량이 가장 적은 것으로 나타나 동일 수원에 대해서 가장 오랜 시간 동안 살수가

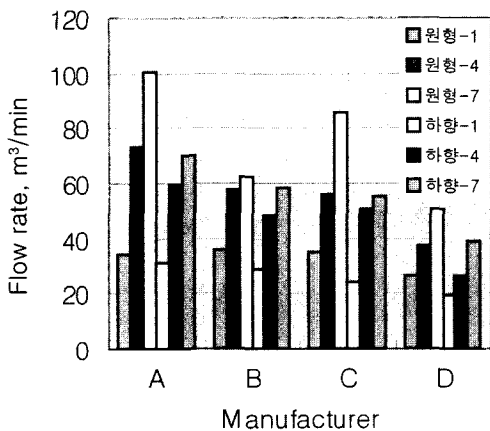


Fig. 12. Flow rate of sprinkler heads.

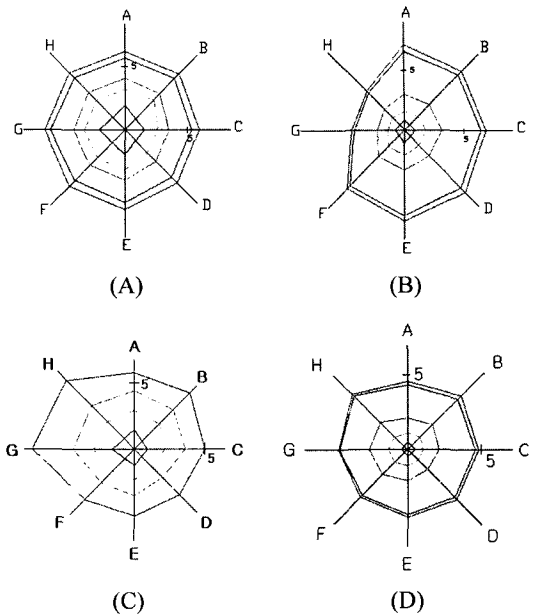


Fig. 13. Directional water spray distributions of head samples.

가능한 것으로 나타났다.

스프링클러 헤드의 국내 기술 기준에 따른 표준살수분포를 고려하면 C사에서 생산된 헤드가 가장 이상적인 살수분포를 갖고 있는 것으로 볼 수 있으나, 넓은 범위의 고른 살수에 중점을 두는 경우에는 D사에서 생산된 스프링클러 헤드가 가장 적합하며, 또 방수시간 측면에서도 가장 효율적인 것으로 볼 수 있다.

Fig. 13은 각 회사별 원형헤드에 대하여 살수 방향별 채수량 분포를 나타낸 것으로 A, C, D의 경우 살수분포가 축대칭적으로 비교적 균일한 반면, B의 경우 한쪽 방향으로 치우치는 편향 분포를 나타내고 있어 방향별 살수능력이 큰 차이가 있음을 나타낸다. 이러한 결과는 단순히 거리별 채수량의 합으로 표준살수분포 곡선의 만족 여부를 나타내는 현재의 성능평가기준이 실제 헤드의 살수능력을 제대로 평가할 수 없음을 나타내는 것으로 신속한 품질 개선이 뒤따라야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구 결과를 요약하면

1. 방수계수는 방수압력의 크기에 관계없이 비교적 일정한 경향을 나타내었다. 헤드 샘플 모두 방수계수 80 이상을 나타내었으나, 축벽형 > 원형 > 플러쉬형 >

상향형 > 하향형의 순서로 큰 차이를 보였으며, 이는 헤드 노즐의 치수 형상 차이에서 비롯된 것으로 분석되었다.

2. 헤드 샘플 모두 표준살수분포 곡선을 상회하였으나 살수분포 특성은 헤드 종류보다는 제조사별로 큰 차이를 나타내었으며, 일부 제조사의 경우 살수분포가 편중되는 것으로 나타났다.

3. 원형헤드의 방사특성을 비교하였을 때 C사에서 제조된 스프링클러헤드의 경우 1, 2번 채수통에 집중적으로 물이 방사되고 헤드의 중심으로부터 멀어지면 급격히 물의 양이 감소하는 경향을 나타내고 A, B, D사 헤드는 3, 4, 5번 채수통에 물의 양이 편중되는 것으로 나타났다.

4. 살수 방향별 살수분포가 편향을 보일 경우 살수 성능에 큰 문제가 발생할 수 있으며, 이에 대한 평가 기준이 마련되어야 한다고 본다.

참고문헌

1. 진중신, “주택에서의 스프링클러설비의 경제성에 대한 연구(III)”, 소방 2000년, No. 9, pp90-97(1990).
2. 이춘하 외, “주거용 스프링클러 설비의 도입에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집, pp252-258(2001).
3. 행정자치부, “스프링클러헤드의 검정기술기준”, KOFEIS 0501 (1999).
4. 백창선, “스프링클러헤드 살수분포 시험장치 및 유수검지시험장치”, 소방검정 25호(1995).
5. 권오승, “스프링클러헤드 성능 시험연구”, 방재기술, 방재시험소(1987).
6. “스프링클러 소화설비의 소화시간”, Fire Safety Science Proceeding of the First International Symposium, 방재기술(1985).
7. E. Hinkey, “Hydraulics for Fire Production”, Royal Soc, No. 17(1980).