

화재 진압용 소방호스 장착 기구 디자인 개발 연구

A Design Study on the Development of Fire Hose Mounting Equipment for Fire Fighting

안수아*

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

Sua Ahn

Dept. of MSDE, Hongik University

양현서*

홍익대학교 산업디자인학과

Hyunseo Yang

Dept of Industrial design, Hongik University

이동운*

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

Dongwoon Lee

Dept. of MSDE, Hongik University

이주양*

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

Juang Lee

Dept. of MSDE, Hongik University

박기철**

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과 교수

Kicheol Pak

Professor, Dept. of MSDE, Hongik University

지해성**

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과 교수

Haeseong Jee

Professor, Dept. of MSDE, Hongik University

*Key words: Firefighter Safety, Fire Hose Equipment, Fire Extinguishing, Ergonomic Design

1. 서론

현대 사회의 건축 자재와 양식의 다양화, 화학물질 및 전기 설비의 보편화는 화재 발생 양상을 복잡하게 만들고 있으며, 공장 및 차량 화재를 포함한 대형 화재의 빈도와 규모가 증가하고 있다. 특히, 2023년 특수건물화재통계에 따르면 2019년 이후 특수 건축물에서의 화재 발생 건수가 꾸준히 증가함에 따라 신속하고 효율적인 초기 대응의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

소방호스의 그 무게와 물의 압력은 소방대원에게 상당한 신체적 부담을 초래할 수 있다. 실제로, 한 공장에서 발생한 화재(2021, 대한민국 밀양)에서, 한 소방대원이 두 시간가량 호스를 조작하던 중 높은 수압과 무게 및 더위로 인해 말긴한 사례가 보고된 바 있다. 이렇듯 지속해서 강한 반발력이 작용하는 호스를 잡고 서 있는 활동은 화재 진압 능력뿐만 아니라 소방대원의 안전에도 큰 위협이 된다.

대한민국 소방 시스템에서는 현재 안지름 40mm(이하 '작은 수관'으로 칭함)와 65mm(이하 '큰 수관'으로 칭함)의 두 가지 소방호스를 주로 사용하고 있다. 이 중 큰 수관은 강력한 수압을 제공하여 대규모 화재 진압 시 중요한 역할을 하지만, 그 크기와 무게로 인한 조작의 어려움과 체력적 부담, 안전 문제로 인해 현장 소방대원들 사이에서 사용을 기피하는 경향이 있다. 특히, 대규모 화재 상황에서는 보다 강력한 화력 억제 능력을 지닌 큰 수관의 사용이 필수적이지만, 실제 현장에서는 이 큰 수관의 사용이 제한적이며 그로 인한 화재 대응의 효율성이 저하되는 문제점이 지속해서 제기되고 있다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해, 소방호스를 사용할 때 발생하는 소방대원의 신체적 부담을 분석하고, 이를 경감

할 수 있는 장착 기구의 개발을 목표로 한다. 이를 통해 소방대원의 화재 진압 능력을 극대화하고, 더 나아가 소방대원의 안전을 확보하는 데 기여하고자 한다.

2. 연구 배경 및 컨셉트 도출

2-1. 문제 및 목표 정의

위와 같은 인식을 바탕으로 소방대원이 화재 진압 과정에서 겪는 문제점을 신체적 부담에 집중하여 도출했으며 자세한 분석을 위해 소방관의 직무 수행 Flow Chart를 작성하였다.



[그림 1] 소방대원 직무 수행 Flow Chart (일부)

2024년 중앙소방학교에서 발간한 소방전술 I 을 참고하여 조사한 결과 소방대원의 주요 업무는 화재 진압, 구조, 구급으로 나뉘며, 이 중 화재 진압에서의 소방호스 운용이 물리적 부담을 유발하는 핵심 요소로 확인되었다. 소방대원은 화재 진압 시에 개인 안전 장비와 더불어 무거운 수관을 운용하기 때문에 수관의 무게와 방수 시에 발생하는 큰 반발력이 직접 소방대원의 근육격계에 가해지는 것이 문제점이었다. 따라서 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 방수 시 소방대원에게 가해지는 수관의 무게와 반발력 저감을 목표로 삼았다.

2-2. 소방대원 인터뷰 및 실사용 경험 분석

큰 수관의 실제적인 사용 실태와 사용자들이 겪는 어려움을 파악하기 위해, 서울 소재 두 소방서 및 119 안전센터를 방문하여 인터뷰와 실사용 테스트를 진행하였다. 이를 통해 현장 소방대원들이 겪는 문제를 파악하고, 개선이 필요한 지점들을 확인하고자 하였다. 특히 큰 수관 사용 시 신체적 부담을 중점적으로 분석하였다. 화재 진압 대원으로 2년 이상 근무했으며 큰 수관 사용 경험이 있는 8명의 소방대원들이 인터뷰 대상자로 선정되었다. 한 소방관은 큰 수관은 무겁고, 방수 시 발생하는 물리적 저항이 강해 이를 효율적으로 운용하기 위해 최소 4명의 인력이 필요하다고 답하며, 큰 수관의 강력한 수압과 넓은 방사 범위가 대형 화재 진압에 유리하지만, 실무에서의 사용 빈도가 낮은 이유를 설명하였다. 이러한 이유로는 소방 인력 배치 및 활용에 상당한 부담을 주며, 사용 중 체력 소모가 매우 크기 때문에 화재 진압 현장에서 자주 사용되지 않는다고 밝혔다. 또 다른 인터뷰에서는 5명의 소방대원들은 큰 수관을 사용하는 것이 매우 힘들며, 현장에서도 사용 빈도가 낮다고 응답하였다. 결론적으로 큰 수관의 강력한 수압과 넓은 방사 범위가 대형 화재 진압에 유리하다는 점은 인정되었으나, 실제 사용 빈도가 낮다는 의견이 지배적이었다.

| 항목 | 세부 내용 |
|------------------|---|
| 큰 수관 사용 시 신체적 부담 | 소방호스 출수 시 무게 약 100kg 호스를 이동하거나 조작하는데 큰 물리적 부담 발생 소방호스에서 발생하는 강한 수압을 견디는 것이 어려움 주수할 때 근력과 균형 유지가 필요함 |
| 큰 수관 사용이 저조한 이유 | 큰 수관은 물 소비량과 수손 피해 가능성이 큼 큰 수관은 반발력이 너무 강해 자주 사용되지 않음 여러 유형의 화재가 겹쳐서 정비를 자주 바꾸는 상황은 드물 물을 더 효과적으로 사용하여 시간을 늘리는 것이 더 효과적임 |
| 기타 고려 사항 | 수손 피해를 줄이는 것도 중요한 고려사항 임펄스 관창은 미세한 물 입자를 분무하여 농연과 화염을 차단하는데 효과적임 |

[표 1] 소방대원 인터뷰

본 연구자 중 대한민국 성인 남성 평균의 체격을 가진 2인인 소방서에서 직접 큰 수관 사용해 보는 경험을 하였다. 방수압력을 단계적으로 올려 테스트한 결과, 3단계에서 이미 혼자서 수관의 방향을 변경하는 것이 거의 불가능했으며, 특히 다리와 허리 부위에 가해지는 압력은 지속적인 방수 작업 중 피로를 가중할 수 있음을 확인하였다.



[그림 2] 실사용 경험1



[그림 3] 실사용 경험2

이러한 인터뷰와 실사용 경험을 통해 도출된 결과는 큰 수관의 사용이 필수적이면서도 소방대원에게 부담으로 작용하고 있음을 보여준다.

2-3. 소방호스에 대한 운용 및 공학적 데이터 분석

실제로 큰 수관을 사용할 때, 소방대원이 감당해야 하는 무게와 물리적인 힘을 수학적 분석을 통해 확인할 수 있다. 수관의 1본의 길이는 15m이며, 큰 수관은 중수 된 상태에서 그 무게는 약 50kg에 달한다. 이는 중수 된 작은 수관의 무게 약 20kg과 비교하여 2.5배에 해당하는 무게 차이이다. 무게 증가로 인해 소방대원의 신체적 부담이 현저히 증가하게 된다. 소방대원이 주로 사용하는 콤비네이션 관창의 반발력은 중요한 요소이다. 관창에서 방출되는 물의 양과 압력에 따라 노즐 선단부에서 발생하는 반발력을 계산할 수 있다. 관창의 반발력을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$NR = 0.22563 \times Q \times \sqrt{P}$$

NR: 반발력 (N), Q: 방출량 (LPM), P: 방출압력 (kg/cm²)

콤비네이션 관창을 통해 직사 방수를 수행할 때, 800LPM의 방출량, 방출 압력 15kg/cm²으로 직사 방수하는 경우 큰 수관 노즐 선단부에 작용하는 반발력은 약 700N에 이르며, 이는 70kg의 물체가 소방대원을 뒤로 미는 것과 동일한 힘에 해당한다.

또한 7kg/cm²의 방출 압력 하에서 비교 시, 큰 수관의 방출량은 945LPM, 작은 수관의 방출량은 450LPM이다. 이때 수관의 노즐 선단부에서 느껴지는 반발력은 각각 584N, 303N으로, 큰 수관의 반발력이 작은 수관의 약 2배에 달한다(배유래, 2017). 이러한 반발력은 소방대원에게 큰 물리적 부담을 주며, 특히 장시간의 진압 작업 시 피로도가 급격히 증가하게 된다. 결과적으로, 큰 수관을 사용할 때 소방대원에게 가해지는 물리적 부담은 수관의 무게뿐만 아니라 방수 작업 중 발생하는 반발력에 의해 더욱 가중된다. 이러한 요소들은 장기적으로 소방대원의 근골격계 부상 위험을 높이고, 효율적인 작업 수행을 저해할 수 있다.

2-4. 콘셉트 도출

콘셉트 도출에 앞서 가장 중요한 기능을 도출하기 위해 목표 정의를 토대로 Function Decomposition 방법을 이용하였다.



[그림 4] Function Decomposition (일부)

무게 및 반발력 지지를 위한 지면 접촉부와 수직·수평 프레임, 휴대성을 위한 관절을 주요 기능으로 판단, 이후 약 1/10

스케일로 축소된 모형 제작을 통해 콘셉트를 도출하였다. 최종적으로 도출한 콘셉트는 [그림 6]과 같으며 지면 접촉부를 수직·수평 프레임으로 이어 마찰력을 확보함과 동시에 관절을 적용하여, 사용하지 않는 경우 환봉 2개의 작은 부피를 유지하도록 하였다. 또한 충수 시 수압에 의해 수관의 유연성이 감소하는 현상을 이용, 소방대원의 후방에서 수관을 들어 올려 적절한 높이를 유지함으로써 수관의 무게가 소방대원에게 가해지지 않도록 하고자 하였다.



[그림 5] 콘셉트 아이디어이션



[그림 6] 최종 콘셉트 모형

3. 상세 설계

3-1. 프로토타이핑

| 개발 순서 | 사용 중 기구 모습 | 사용 중 기구 모습 |
|-------|------------|------------|
| 1번째 | | |
| 2번째 | | |
| 3번째 | | |
| 4번째 | | |
| 5번째 | | |

[표 3] 과정별 프로토타입

본 연구에서 개발되는 기구는 소방대원의 신체적 부담을 경감하기 위한 것으로, 초기의 콘셉트에서 최종 결과물에 이르기까지 크게 5단계의 프로토타이핑 과정을 거치며 점진적으로 발전하였다. 1번째 프로토타입은 최종적으로 도출한 콘셉트의 기능을 구현할 수 있도록 제작하였다. 이 프로토타입은 한 번의 동작으로 펼쳐지며 큰 수관과 밀착하여 소방대원을 보조하는 구조였지만, 실제 테스트 과정에서 몇 가지 문제점이 드러났다. 첫째, 기구가 큰 수관과 충분히 밀착되지 않아 반발력을 지지하는데 한계가 있었으며, 둘째, 기구가 펼쳐지기 전에는 컴팩트해야 하지만 펼쳐진 후에는 충분한 강도를 유지해야 한다는 점이 문제였다. 이러한 문제를 개선하기 위해, 2번째 프로토타입은 접히는 방향을 반대로 설계하여 기구가 수관과 보다 견고하게 결합하도록 변경하였다. 이 과정에서 사용자

편의성을 높이고 실제 현장에서 신속하게 적용될 수 있는지를 중심으로 추가적인 설계가 이루어졌다.

프로토타입 제작 과정을 진행하면서, 우리는 소방대원과 기구와의 거리를 줄여 더 빠르고 효율적인 사용을 목표로 삼았다. 특히, 거친 지형이나 협소한 공간에서도 원활히 작동할 수 있는 범용성을 확보하고자 했으며, 이에 따라 전혀 다른 형태의 디자인이 도출되었다. 새로운 디자인은 세로로 길어져 소방대원과 기구 간의 거리를 최소화하고, 반발력을 지탱할 마찰력을 만들어내기 위해 받판을 적용하였으며, 소방대원의 하체 움직임을 방해하지 않도록 아치형 구조를 채택하였다. 또한 기존의 사용 전과 후 상태 2가지 모드가 가능하도록 설계하였다. 4번째 프로토타입은 3번째 프로토타입의 노출 선단부와 기구가 두 개의 와이어를 통해 위아래로 아치 형태를 유지하거나 상승시킬 수 있도록 하는 커플링 기능을 추가하였다. 그러나 와이어를 이용하여 기구를 큰 수관에 밀착시키는 때에는 상당한 힘이 필요했고, 주수 방향의 상하 전환이 어려운 문제와 필요 이상의 부품이 사용되어 제작된 복잡성으로 인해 작동의 측면에서 개선이 필요함을 확인하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 와이어 조정 기능을 제거하고 기구가 큰 수관에 고정된 상태에서 신속하게 아치형 구조로 변환될 수 있는 간소화된 설계로 수정하였다.

5번째 프로토타입 개발 과정에서 4번째 프로토타입에서의 와이어를 사용하여 제품을 큰 수관에 고정하는 방식이 실효성이 없다고 판단하여 해당 부분을 없애고 수관에 부착된 상태에서 빠르게 아치 형태로 변할 수 있도록 설계하였다. 이 과정에서 큰 수관과의 결합성을 높이기 위해 홀더 기능을 추가하였으며, 이 핸들의 조작을 통해 와이어를 당겨주는 방식으로 신속하게 큰 수관에서 떨어질 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 소방대원이 적은 힘으로도 빠르게 기구를 조작할 수 있도록 홀더 부분을 설계하였다.

3-2. 최종 설계 및 사용자 시나리오

최종적으로 개발된 기구는 큰 수관을 사용할 때 소방대원의 물리적 부담을 줄이기 위해 설계된 기구이다. 기구는 수관과의 결합을 방해하지 않는 연속적인 구조를 채택하였으며, 이 기구의 높이는 약 1m에 달한다. 이는 미국 국립 직업안전위생연구소(NIOSH)가 제공한 소방대원 평균 키(177cm)의 허리중 정도에 해당하는 높이이다. 주된 소재로는 수관의 강한 반발력을 견디면서도 제품의 경량화를 충족시키는 중요한 요구를 반영하기 위해 PC-ABS 혼합 소재를 선택하였다. 그에 따라 최종 설계는 약 6.5kg의 무게를 가진다.



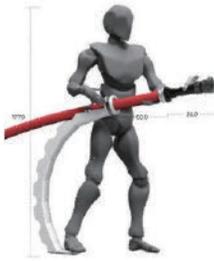
[그림 7] 사용 전 기구



[그림 8] 사용 중 기구

최종 설계는 앞부분에 위치한 클램프를 이용해 수관이 기구에서 밀리는 것을 방지한다. 이를 통해 수관의 반발력이 기구로

분산될 수 있도록 하였다.



[그림 9] 기구 렌더 이미지

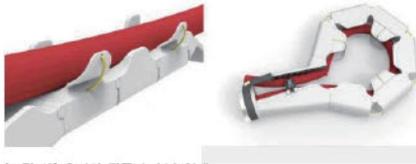


[그림 10] 기구 사용 모습

최종 설계의 핵심 기능은 와이어 시스템이다. 모든 블록 하단의 구멍을 통해 와이어가 핸들부터 발판까지 연결되어 기구가 아치 구조로 유지되며 이를 통해 소방대원이 큰 수관을 운용할 때 경험하는 무게와 반발력을 기구가 대신 견딜 수 있도록 설계하였다. 최종 설계의 와이어 시스템은 핸들에 있는 버튼을 통해 조절할 수 있으며 소방대원은 이 버튼을 이용해 기구의 형태를 선택할 수 있다. 또한, 와이어는 수관을 붙잡는 홀더와도 연결되어 있어, 아치 형태로 변형될 때 홀더가 열려 기구가 수관과 쉽게 분리될 수 있도록 하였다.



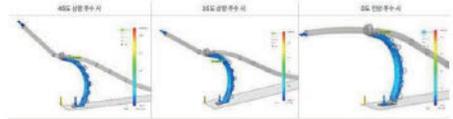
[그림 11] 와이어 시스템 및 핸들



[그림 12] 홀더의 작동과 수납 형태

화재 진압 중 소방대원은 기구를 신속하게 아치형으로 변환하고, 발판을 밟아 큰 수관을 효과적으로 지지할 수 있도록 한다. 이때 수관은 기구의 앞부분보다 약 90-100cm 돌출되도록 결합하여, 소방대원이 기존의 큰 수관을 운용하는 방식과 유사하게 방수 방향을 조절할 수 있다. 기구의 블록 구조는 한 방향으로만 견고하게 지지가 되지만, 반대 방향으로 쉽게 접힐 수 있도록 설계되어, 화재 진압을 완료한 후 기구를 방수 중 아치 형태의 반대 방향으로 밀어 소방차 내에 보관할 수 있다. 최종적으로 제안한 기구의 사용 시, 수관의 무게와 반발력을 견딜 수 있는지 검증하기 위해, 다양한 주수 각도를 가정하여 구조해석 시뮬레이션을 진행하였다. 기구 몸체에 가해지는 응력을 분석한 결과, 각도가 커질수록 아치 구조에 효

과적인 축력 방향으로 작용하여 더욱 효율적으로 힘을 지지한다는 것을 확인하였다.



[그림 13] 주수 각도별 기구에 가해지는 응력 구조 해석(일부)

4. 결론

본 연구에서 개발된 기구는 대형 수관 사용 시 소방대원이 겪는 신체적 부담을 효과적으로 경감하기 위해 설계되었으며, 이를 통해 소방 활동의 효율성과 안전성을 크게 향상할 수 있음을 입증한다. 본 기구는 서론에서 제기된 수관의 무게와 반발력으로 인한 조작의 어려움 및 현장 사용의 제약을 개선하여, 소방대원이 적은 체력 소모로 최적의 화재 진압 성과를 달성할 수 있도록 돕는다. 이를 통해 대형 화재 진압 시 대형 수관의 활용이 활성화될 것으로 기대된다. 특히, 현장 인터뷰를 통해 확인된 소방대원의 어려움을 반영하여 설계된 이 기구는 부담을 감소시키고, 더 빠르고 효율적인 방수 작업을 가능하게 함으로써 소방대원의 안전을 강화한다. 궁극적으로 화재 진압 작업의 신속성과 효율성을 향상하여 대한민국 소방 활동의 전반적인 발전에 기여할 것이다.

후속 연구에서는 본 기구의 실효성에 대한 추가 테스트가 필요하며, 특히 호스와 홀더의 결합성을 보완하여 기구의 휴대성 및 현장 적용성이 개선되어야 할 것이다. 또한, 다양한 소방대원의 의견을 반영하여 사용 편의성을 향상할 필요가 있다.

본 논문은 2024년 홍익대학교 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과물입니다.

참고문헌

- 배웅래. (2017). 방수 보조 밴드 개발 및 활용에 관한 연구. 119소방정책 컨퍼런스. p12-13
- 중앙소방학교. (2024). 소방전술 I, 157-163.
- 최기덕. (2023, June 20). 어떤 관청을 사용할 것인가[Web log post]. Retrieved from <https://www.fhp119.co.kr/199504>.
- Millet, Barbara. (2024). Ergonomics in design, Vol.32 (2), p.19-24, Integrating User-Centered Design Into the Sylvester Firefighter Cancer Initiative's Personal Exposure Reporter.
- Ngyuen, Dac. (2024). Fire technology, Vol.60 (3), p.1627-1641, On the Fire Hose Kickback Force in Solid Water Streams.
- Paul Grimwood (2017). Euro Firefighters. D&M Heritage Press; West Yorkshire, UK.
- Turner, Nina L. (2010). Journal of occupational and environmental hygiene, Vol.7 (8), p.477-482, Article 922680663, Physiological Effects of Boot Weight and Design on Men and Women Firefighters.