



자율형 소화모니터 노즐의 분사 성능에 대한 실험 연구

유성선¹·김형태^{2,†}·서정화²
충남대학교 첨단수송체연구소¹
충남대학교 선박해양공학과²

Experimental Study on Spray Performance of Nozzles for Autonomous Fire Fighting Monitor

SeongSun Rhyu¹·HyoungTae Kim^{2,†}·JeongHwa Seo²
Institute of Advanced Transportation Vehicles, Chungnam National University¹
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chungnam National University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

A systematic experimental study is carried out for the fire fighting monitor nozzle of 65A diameter to design and manufacture a new nozzle with better water spray performance than available domestic nozzles. The nozzle inlet pressure, flow rate and reach for the discharged water from the nozzle are measured by utilizing the experimental facility consisting of two pumps and piping system with a flow meter and pressure gauges. It was found that the baffle position and baffle head chamfering were the most sensitive design factors to be remarkably changed in the flow rate of the discharged water. Also, it was confirmed that the baffle position and the water exit area had the significant effect on the change in reach distance. The results obtained from this study are expected to be used effectively to design new nozzles with excellent spray performances and also to validate numerical analysis results for evaluating the water spray performance of fire fighting monitor nozzles.

Keywords : Fire fighting monitor nozzle(소화모니터 노즐), Water spray(소화수 비말), Reach(도달거리), Straight stream(직사분사), Fog stream(방사분사)

1. 서론

화재가 발생하여 본격적으로 발달하기 전인 골든타임 안에, 화재를 신속하게 진압하여 소화하는 초동 진압이 화재의 피해를 최소화할 수 있는 가장 효과적인 대응법이란 사실은 잘 알려져 있다. 화재가 탐지되는 즉시 해당 설치 구역에서 소화 작업이 수행되는 스프링클러 방식이 현재 대표적인 초동 진압 방식으로서 기존 소방체계에 널리 사용되고 있지만, 화재의 발달 정도와 무관하게, 소화 구역의 장비와 설비들 모두에 큰 피해를 주는 단점을 가지고 있다. 특히, 항해 중인 선박의 경우에는 피해를 입은 장비와 설비들의 복구 대책이 제한적이어서, 더 심각한 피해 상황이 발생할 수 있다.

최근 자율운항선박에 대한 활발한 연구 개발 추세에 발맞추어,

화재 발생 초기에 화원을 탐지하고, 화재가 소규모인 상태에서 화재 발생 지점에 소화수를 조준 분사하여, 화재가 확산되기 이전에 자율적으로 진압함으로써, 주변 장비 및 설비들의 피해를 최소화하는 자율형 초동 소화모니터 체계에 대한 연구 개발의 필요성이 증대되고 있다. 미 해군에서는 함정에서의 초기화재 진압을 위해서 분사와 소화성능이 우수한 노즐을 포함한 자율형 소화모니터 시스템 개발 연구 및 적용을 수행한 바 있으며, 대형 함정에 확대 적용 연구가 (Back, 2015) 진행 중에 있다. 본 연구도 국내 대형 함정의 초동화재진압용 자율형 소화모니터시스템 개발을 수행 중인 연구의 (Im, 2021) 한 부분으로 진행하고 있다.

자율형 초동 소화모니터 체계는 화재탐지센서 시스템, 시를 활용한 화재식별 및 대응 프로그램, 소화모니터 및 구동시스템, 그리고 구동모터제어 시스템으로 구성된다. 이중에서도, 화재를 초동 진압하기 위해 필요한 양의 소화제를 화재발생 지점에 정

확히 전달할 수 있는 우수한 분사 성능과 소화 능력이 우수한 소화모니터 노즐을 우선적으로 확보하는 것이 중요하다.

국내에서 시판되는 소화모니터 노즐 제품은 해외 유명 제조사의 제품에 비해 종류가 다양하지 않고, 동일한 사양의 해외 제품 보다 가격은 저렴하지만, 실제 성능이 공시된 자료에 못 미치는 등, 제품에 대한 공신력을 확보하지 못하고 있다. 또 소화모니터 노즐 개발을 위한 설계, 해석 및 실험 평가에 대한 국내의 연구 실적을 찾아보기 어려울 정도로 미미한 실정이다.

소화모니터의 분사 성능에 민감한 영향을 미치는 핵심부분이 노즐이다. 국내의 소화모니터 노즐 제작사의 자료에 (Elkhart Brass Manufacturing Company, 2019a, 2019b; Joong Ang Industrial Co., Ltd., 2019) 따르면, 동일한 소화모니터에 동일한 입구 압력이 작용하더라도 노즐의 구성과 형상이 달라지면, 분사되는 소화수의 유량과 도달거리가 크게 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 소화모니터 노즐에 의해서 적용 가능한 소화 대상과 범위가 달라질 수 있음을 의미한다. 따라서 노즐의 구성과 형상에 대한 설계, 해석 및 실험을 통한 분사 성능의 분석 및 평가 능력을 갖추고, 노즐 특성과 분사 성능 간의 상관관계에 대한 정보를 확보할 수 있는 체계적인 연구 개발이 필요하다.

본 연구에서는 소화 표준 환경 중 소화모니터에 널리 사용되고 있는 65A 노즐을 연구 대상으로 선정하고, 기성품 1종과 배플머리의 길이, 배플 내측경사면, 배플 설치위치, 배플 출구면적을 체계적으로 변화시켜 설계, 제작한 6종을 포함한, 총 7종의 노즐을 확보해서, 노즐의 분사 성능을 분석하고, 평가하기 위한 실험 연구를 수행하였다. 유량 2500LPM까지 분사하고 제어할 수 있는 펌프시스템과 유량계 및 압력계가 설치된 배관시스템으로 구성되는 소화모니터 분사 성능 실험 설비를 활용하여, 각각의 노즐에 대한 노즐입구 압력과 소화수 유량 및 도달거리를 측정하였다. 또한, 직사분사(straight stream)와 방사분사(fog stream) 모드에서 분사된 소화수 비말(water spray) 특성을 살펴보기 위해 사진과 비디오 촬영도 수행하였다.

2. 소화 모니터 노즐의 특성

2.1 소화 모니터 노즐의 형상 및 구성

소화 모니터는 Fig. 1에 나타난 바와 같이, 대형 정유 공장이나 유류, 가스저장시설 등의 산업 현장과 선박 및 해양플랜트의 갑판 등 접근이 힘들거나 중대형 화재가 우려되는 곳에 고정형 또는 이동형으로 사용할 수 있는 화재 진압 설비이다.



Fig. 1 Installation of fire fighting monitor

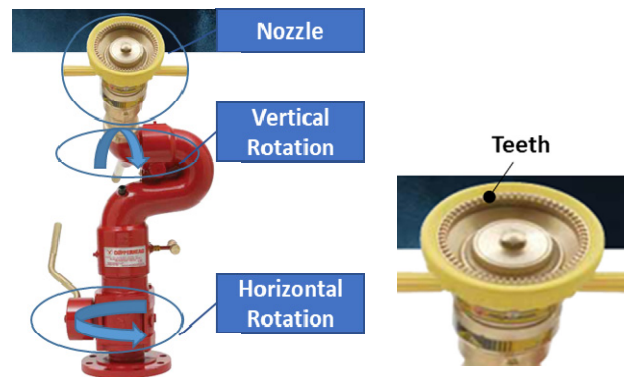


Fig. 2 A sample of real fire fighting monitor

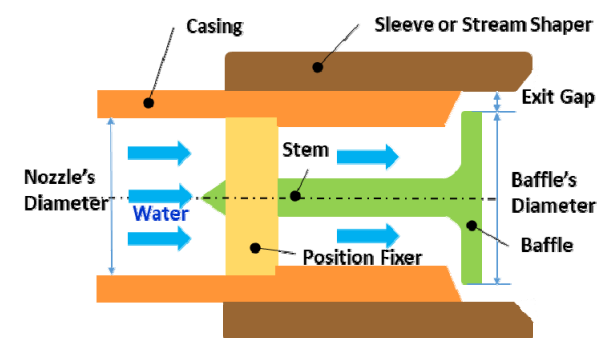


Fig. 3 Representative shape of a fire fighting monitor nozzle with a baffle

소화모니터는 끝단에 소화수 분사 기능의 핵심인 노즐, 소화모니터 중간에 레버작동식 또는 기어작동식으로 설치되는 상하, 좌우 방향 회전 장치, 효율적인 유동 흐름을 고려한 배관과 연결부로 구성되며, Fig. 2에 간단한 예를 보이고 있다.

모터 및 유압을 활용하여 회전 및 분사 모드 제어를 할 수 있으며, 최근에는 화원 감지 센서와 인공지능 및 강화학습을 적용한 화재 식별 능력을 결합하여 자율형 소화모니터 시스템도 활발히 연구 개발되고 있다 (Im, 2021).

Fig. 3에는 소화모니터에 일반적으로 사용되는 스프레이용 노즐의 주요 형상과 내부를 간략히 도식화하여 나타내었다. 노즐 외부는 케이싱(casing)과 슬리브(sleeve)로 구성되고, 내부에는 위치고정용 날개(position fixer) 그리고 스템(stem)과 결합된 배플(baffle)이 설치된다.

2.2 소화수 분사 모드

노즐 내부로 유입되는 소화수는 배플(baffle)의 내부면과 케이싱(casing) 끝단을 지나면서 가속되고 환형 관유동을 형성하고 슬리브(sleeve) 면을 따라서 안쪽으로 다시 모여져 제트(solid jet)로 분사된다. 슬리브는 수동 또는 모터를 사용하여 길이 방향으로 이동시킬 수 있도록 제작된다. 직사분사를 하는 경우에는 Fig. 4(a)처럼 슬리브를 최대한 전방(그림에서는 우측)으로 이송하여 출구로 배출되는 소화수가 중심선과 수평하게 이동하도록 유도하게 된다. 분사되는 소화수는 노즐의 중심 영역에

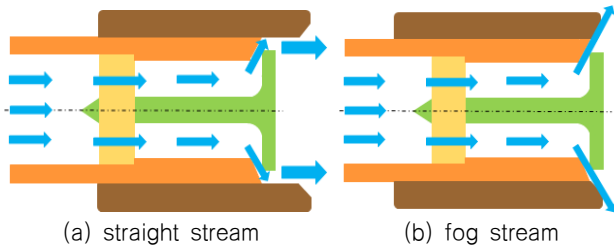


Fig. 4 Example of spray pattern for straight and fog stream

수많은 물방울이 결집된 상태로 비행하게 된다. 한편, 방사분사를 하는 경우에는, 슬리브를 최대한 후방으로 이동시킨 Fig. 4(b)와 같이, 출구를 빠져나온 소화수가 노즐 내부 케이싱 배출각도를 유지하며 분사된다. 이 때 분사된 소화수는 환형 슬리브 앞단에 균일한 간격으로 배치된 날카로운 끝 모양의 이빨(teeth, Fig. 2)을 지나면서 더 잘게 쪼개지고 미세한 물방울들을 형성하여 펼친 우산처럼 넓게 퍼져서 비산하게 된다(Fig. 1 우측). 이러한 기능을 하는 슬리브를 스트림 셰이퍼(stream shaper)라고 부르기도 한다. 노즐 내부의 소화수는 배플과 케이싱 그리고 슬리브 앞단의 이빨을 지나면서 수많은 물방울로 분쇄되어 직사 또는 방사분사하게 되며, 다양한 화재 상황에 따라서 분사 모드를 선택적으로 적용함으로써 화재를 효과적으로 진압할 수 있게 된다.

2.3 소화 모니터 분사 성능

일정한 전압(total pressure, P_T) 조건으로 유입하는 소화수 유동은 모니터와 노즐을 거치면서 압력 손실(P_{loss})을 겪는다. 노즐 출구에서 분사되어 대기압($P_{atm}=0$)에 노출되면서 소화수 정압(Static pressure, P_S)은 대기압과 같아진다. 대신 정압 감소분만큼 소화수 동압(Dynamic pressure, P_D)이 증가한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_T - P_{loss} = P_D$$

동압은 $0.5\rho V^2$ 이므로, 평균 유속 V 는 $\sqrt{P_T - P_{loss}}$ 에 비례한다. 또한 P_{loss}/P_T 가 일정한 비율을 갖는다고 가정하면, 유속 V 는 $\sqrt{P_T}$ 에 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 노즐의 출구 면적이 일정하다면 유량 Q 도 $\sqrt{P_T}$ 에 비례한다고 할 수 있다.

하지만 도달거리는, 압력과 유량의 경우와 달리, 상관 관계를 추론하기가 쉽지 않다. 압력이 증가하여 노즐의 출구 유속이 증가하더라도, 작은 크기로 쪼개진 소화수 물방울들이 속도의 제곱에 비례하는 공기저항으로 인해 더 큰 저항에 노출되어 출구 유속의 증가로 인한 효과가 반감되기 때문이다.

한편, 도달거리에 대한 정확한 해석과 추정을 위해서, 노즐로부터 대기 중으로 분사되어 형성되는 소화수 스프레이 유동을 수치해석 (Miyashita et al., 2014; Jung et al., 2016) 통해서 푸는 방법이 있다. 하지만, 소화수 비말을 구성하는 다양한 크기와 형상의 셀 수없이 많은 물방울들의 운동을 직접 해석하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 물방울들의 형상, 크기, 개수는

물론, 결함 또는 분할 모드에 대한 경우의 수를 임의로 제한하여 실제보다 대폭 감소된 한정된 개수의 동일한 크기의 구형 물방울들의 운동을 수치해석 함으로써 소화수 비말 유동의 궤적을 근사 추정하는 방법이 주로 사용되고 있다. 하지만, 한정된 수의 주변 물방울들과의 상호작용만을 고려해서 공기저항을 해석하고 있기 때문에, 노즐로부터 분사된 소화수의 유량, 운동량 및 에너지 등 주요 물리량들의 정보가 단절되고 소실된다는 문제점이 있다. 좀 더 많은 다양한 크기의 물방울들의 상호작용도 고려하여 도달거리를 좀 더 정확히 추정하기 위한 수치해석 기법 개발이 필요한 것으로 판단된다.

다른 한편으로는 도달거리를 포함한 분사성능을 파악하기 위해서 실험적인 방법이 (Chen et al., 2004; Choi et al., 2007; McNeil & Lattimer, 2016; Park et al., 2019) 활용된다. 실제 크기와 동일한 소화모니터시스템을 설계 제작하고, 펌프 배관 실험 시스템을 활용하여 소화모니터에 압력 조건을 부여하고 유량과 도달거리를 동시에 측정하는 방법으로서, 실질적으로 정확하고 의미있는 분사성능 정보를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 실험시스템 확보가 선행되어야 한다는 어려움이 있다.

3. 연구 대상 노즐

강화되는 선박화재안전 규정 준수와 자율운항선박, 크루즈 선박 등 고사양 선박해양 플랜트 분야의 화재안전시스템에 선제적으로 대응하고자, 일반 상선에 설치한 고정형 소화모니터보다 더 높은 분사 성능의 소화모니터 노즐 개발을 목표로, 모니터 입구 압력 7bar 조건에서 소화수 유량 2200LPM, 도달거리 65 m 이상을 달성하는 노즐을 연구 대상으로 설정하였다.

소화수의 도달거리 및 최대유량에 대한 목표 성능을 향상시키기 위해, 노즐에 대한 설계 개선 작업을 수행하고, 설계된 소화모니터 노즐에 대한 실물 제작과 성능시험을 통해 실물 노즐의 성능을 정확하게 평가를 하는 설계-실물제작-성능시험-평가의 실증적 설계 방법을 채택하였다.

먼저 유량 2000~3000LPM의 기성품 노즐을 조사하였다. 제조사들에 의해서 제시된 도달거리는 통상 56~65 m 정도로, 65m 이상 달성하기 위해서는 노즐 설계 개선을 통해 도달거리를 늘릴 필요가 있다. 제품군을 검토하여, 중앙공업의 JN-65RC3 제품을 (JA) 설계 기준 노즐로 선정하였고 동일 제품을 구매하였다.

주어진 압력조건에서 도달거리와 최대유량에 대한 목표 성능을 동시에 만족할 수 있는 노즐을 설계하기 위해서는 해당 성능과 연관된 물리량에 중요한 영향을 미치는 설계인자를 찾아내어 변화시켜야 한다. 노즐 내부 수로는 배플의 위치 및 형상 그리고 케이싱 내부 형상에 의해서 결정되며, 본 연구에서는 배플 형상 개선에 주안점을 두고 설계인자를 변화시켰다.

종합 검토된 배플의 주요 설계 인자는 다음과 같다

- 길이방향 설치위치
- 배플 직경(출구 면적 변화)
- 배플 형상 개선(머리길이 연장, 챔퍼링, 내측 경사면)

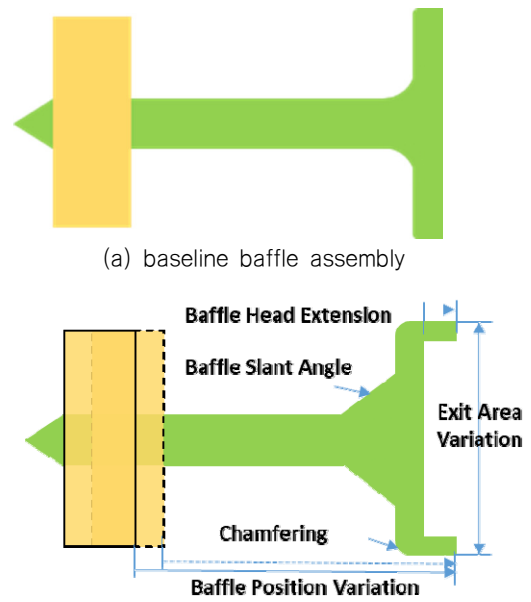
Fig. 5에는 baseline 배플 조립 형상 (a)와 설계 인자에 대한 적용 및 설명 (b)를 제시하였다. 챔퍼링은 (b)에 나타난 바와 같이 표시된 부분에 반지름 R로 모따기를 한 것을 의미한다.

배플에 대한 각각의 설계인자들과 분사성능, 즉, 압력-유량-도달거리에 미치는 영향을 살펴보기 위해서, 설계 인자별로 배플을 초기 설계하고 제작하여 기본적인 분사 성능 시험을 수행하였고, 최종적으로 Table 1과 같은 조건으로 배플을 설계, 제작하였다. baseline 배플을 기준으로 하고, 6가지의 배플을 새로 설계하여, 제작하였다. 배플머리 연장 효과를 우선적으로 알아보고자 1차로 BF1을 제작하여 분사성능시험을 수행하였고, 배플머리 연장은 유량을 근소하게 줄여주는 역할과 도달거리는 유사하거나 조금 더 멀리 보낼 수 있으며, 출구에서 분사되는 소화수의 길이 방향성을 향상시키는 순기능 역할을 해주는 것으로 판단되어 새로운 배플 6종 모두 배플머리는 15 mm 또는 10 mm를 연장하였다. BF1과 BF6은 챔퍼링 효과를 파악하기 위해 준비하였다. 다른 모든 제원은 동일한 상태에서, BF1은 챔퍼링이 없고, BF6은 소화수가 유입되는 배플머리 안쪽 모서리에 반경이 4 mm인 챔퍼링을 적용하였다. BF6-10%와 BF6+10%는 각각 출구면적이 BF6의 출구면적 대비 10% 감소 또는 증가하도록 배플 직경을 변경시킨 배플을 의미한다. BF7은 BF6와 동일한 제원이고 배플 내측경사면만 추가된 배플이다. BF8은 BF7과 동일한 형상이지만, 배플이 분사방향으로 5 mm 이동하여 설치되는 노즐이다. 배플머리 길이는 10 mm로서 BF7 보다 5 mm 짧게 제작되었다.

4. 소화수 분사성능 실험 시스템

소화모니터 노즐에 대한 분사 성능은 압력-유량-도달거리를 파악하고 분석하여 확인할 수 있다. 정확한 분사 성능을 확인하는 가장 신뢰도가 높은 방법은 소화모니터 노즐에 대한 분사시험을 직접 수행하는 것이다. 목표 성능을 확실하게 충족하는 소화모니터를 실효적으로 설계하기 위해 실제 성능을 정확히 파악할 수 있는 성능시험시스템이 요구되었고, 조사 결과, 기계연구원이 보유한 스마트밸브 시험시스템을 활용하는 방안을 모색하였다. 해당 설비는 (주)수퍼센츄리에 설치되어 있으며, Fig. 6의 상부 그림에 나타난 바와 같이 펌프와 배관시스템, 물 저장탱크로 구성되어 있다. 펌프시스템은 75 마력(HP) 펌프 2기로 구성되어 유량 2500 LPM, 압력 10 bar의 정격 성능을 갖추고 있다.

Fig. 6의 하부의 그림에는 실험시스템의 상세 부분을 표시하였다. 스마트밸브 시험시스템의 펌프 및 배관시스템은 그대로 사용하고, 외벽 바깥으로 100A 배관과 밸브를 추가로 설치하여 소화모니터 노즐 분사성능 시험을 수행할 수 있도록 구성하였다. 설치된 배관의 끝단은 직경을 줄여 65A 규격의 소화모니터가 설치될 수 있는 연결부를 부착하였다. 소화수를 다양한 각도로 분사 가능하도록 소화모니터의 노즐 상단은 지면으로부터 3.4 m 위치에 설치되었다.



(b) description of design parameters of baffle assembly Fig. 5 Baseline baffle assembly and design parameters

Table 1 Principle factors for baffle designing

Item	baffle position (mm)	baffle slant angle	chamfering (R=4mm)	exit area	head extension (mm)
Baseline	base	x	x	base	base
BF1	base	x	x	base	15
BF6	base	x	0	base	15
BF6 -EA10%	base	x	0	-10%	15
BF6 +EA10%	base	x	0	+10%	15
BF7	base	0 (45°)	0	base	15
BF8	+5 (to exit)	0 (45°)	0	base	10

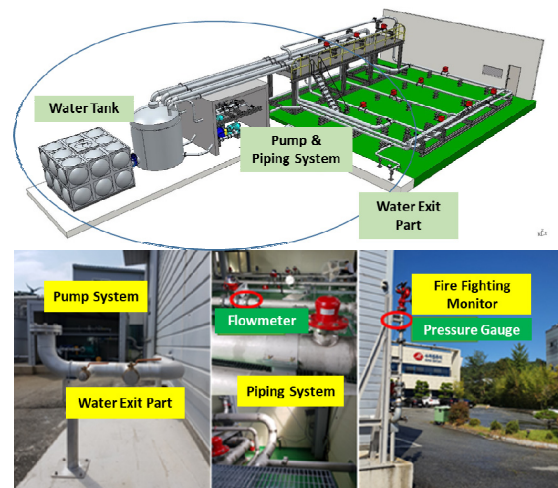


Fig. 6 Test system set-up



Fig. 7 Bird-view of test region for water spray test of fire fighting monitor

유량은 KTM-800 전자식 유량계(±0.5% R.D.)와 소화모니터 입구에 다이어프램 방식의 압력계(±0.25% FSO)를 장착하였고, PLC(programmable controller)에 연결하여, 펌프 회전수를 변경시켜 일정한 조건에서 소화수를 분사하면서 압력신호와 유량신호를 동시에 취득할 수 있도록 신호처리장치가 구성되어 있다.

분사성능시험을 수행하기 위해서 (주)수퍼센츄리 사내에 실험시스템 및 실험 영역을 선정하였고, 배치는 Fig. 7에 나타내었다.

5. 소화수 분사성능 시험 및 결과

소화모니터 본체를 제작하고, 기성품 노즐인 baseline, 새로 설계 제작된 3종의 노즐들에 대한 분사성능시험을 수행하였다. 시험은 다음의 주요 계측 항목을 선정하고 신뢰도 높은 실험 자료를 취득하고자 유의하였다.

- 노즐의 투사각(지면과 노즐 중심선의 각도)을 25도로 설정
- 펌프 모터의 회전수를 제어하며 소화모니터 입구부에서 정압 계측, 유량을 유량계를 이용해 계측
- 소화수 직사분사시험 시 집중 전달영역 최대 도달거리 계측, 사진 및 동영상 촬영
- 소화수 방사분사시험 시 사진 및 동영상 촬영

5.1 압력과 유량의 신호 검증

소화모니터 노즐에 대한 분사성능시험은 펌프시스템을 가동하여 소화수를 분사하면서 진행하며, 압력과 유량은 각각 전기식 다이어프램 압력계와 전자식 유량계로부터 전기적 신호를 동시에 자동으로 PLC (Programmable Logic Controller)에 수신하여 디지털 자료를 취득하였다.

Fig. 8은 펌프시스템을 단계별로 조절하여 3가지 압력 조건에서 소화모니터 노즐에 대한 분사성능시험을 하면서 계측된 압력과 유량에 대한 시간별 자료를 도시한 그래프이다.

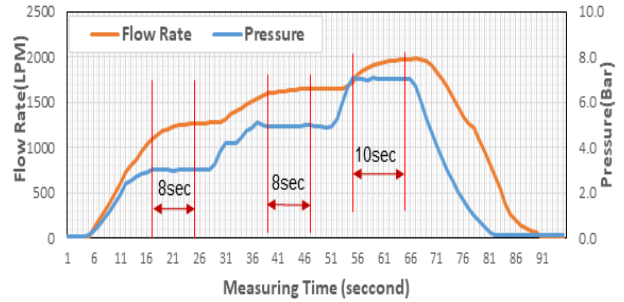


Fig. 8 A sample of time history on pressure and flow rate during trying test on a fire fighting monitor

펌프 회전수를 증가시킨 후 고정하면, 관내 유속이 증가하면서 압력이 빠르게 반응하여 안정된 값을 보인 후, 일정한 시간이 경과해야 유량도 안정적인 값을 보이는 특성을 보이고 있다. 압력과 유량의 시간 지연(time lag) 현상이 발생하고 있는 것이다.

3 bar, 5 bar 및 7 bar에서 안정적인 유량 값을 얻기 위한 압력-유량 시간 지연은 각각 8초, 8초, 10초인 것으로 계측되었다. 신뢰도가 높은 압력-유량-도달거리에 대한 소화수 분사성능시험 결과를 얻기 위해서는, 실험시스템의 특성을 사전에 파악하고 실험 수행 절차와 실험 결과 해석에 효과적으로 반영하는 것이 중요하다.

5.2 입력-유량-도달거리 성능 비교

5.2.1 길이방향 배플설치위치 영향

Fig. 9과 Fig. 10은 동일한 배플 형상이지만 길이 방향 설치 위치만 다른 2종의 노즐에 대한 압력-유량, 압력-도달거리의 실험 결과를 나타내고 있다. BF8 배플이 BF7 배플보다 출구 쪽으로 5 mm 바깥에 설치되었다.

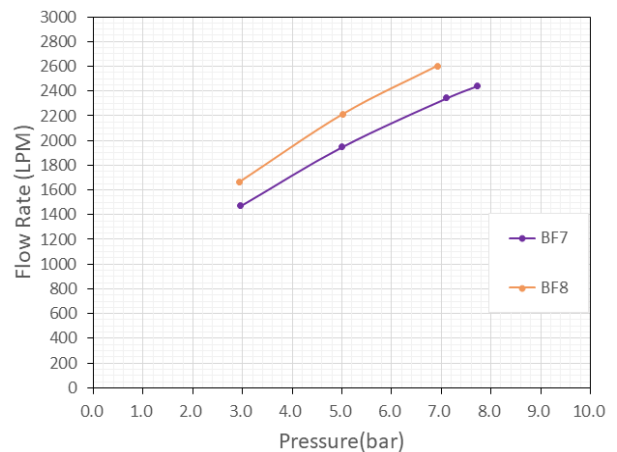


Fig. 9 Relationship between pressure and flow rate for the same shaped nozzles at different installed positions (BF8 is positioned 5 mm outer than BF7)

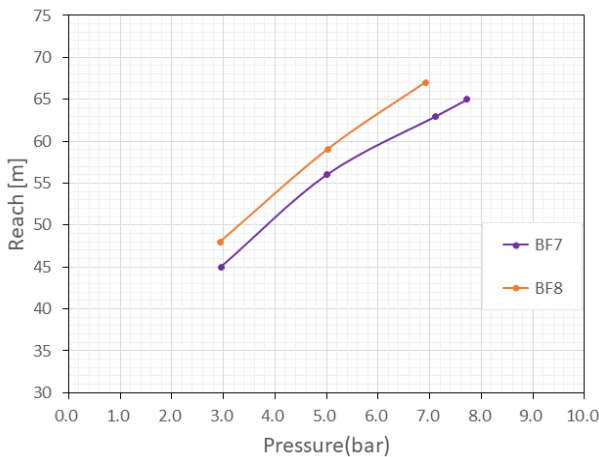


Fig. 10 Relationship between pressure and reach for the same shaped nozzles at different installed positions (BF8 is positioned 5 mm outer than BF7)

Fig. 9에 나타난 바와 같이, 각 노즐마다 압력이 증가할수록 유량도 증가하지만, 증가율은 감소하는 $Q \sim \sqrt{P}$ 분포와 유사한 경향을 보이고 있다. BF8이 BF7에 비해서 압력 3bar ~ 7bar 범위에서 유량이 190LPM ~ 300LPM 가 크게 예측되었고, 이는 전 압력 구간에서 약 13%의 유량이 증가한 것이다.

Fig. 10에는 압력과 도달거리에 대한 결과를 표시한 것이다. BF8이 BF7보다 압력 3bar에서 약 3 m, 5bar에서 약 3 m, 7bar에서는 약 4 m 가량 소화수의 도달거리가 증가한 것으로 나타났다. Fig. 9와 Fig. 10에 표시된 실험 결과로부터, 배플을 출구바깥 쪽으로 위치하는 경우에 유량도 증가하고 도달거리도 증가함을 알 수 있으며, 이는 배플의 설치 위치가 유량과 도달 거리에 상당히 영향을 미치는 인자임을 시사하고 있다.

5.2.2 배플 내측 경사면 영향

Fig. 11과 Fig. 12에는 길이 방향 설치되는 동일하면서, 배플의 안쪽 면에 45도 경사면이 있는 노즐 BF7과 경사면이 없는 BF6 노즐에 대한 압력-유량, 압력-도달거리 대한 실험 결과를 각각 표시하였다.

Fig. 11에 나타나 있듯이, 동일한 압력에서 배플 안쪽 면에 경사면을 가지고 있는 BF7가 경사면이 없는 BF6에 비하여 유량이 미소하게 작게 나타나고 있다. 이는 경사면에 해당하는 체적만큼 관로를 지나는 체적이 감소한 것이 유량 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 12에는 배플경사면이 있는 BF7 이 경사면이 없는 BF6 보다 동일한 압력에서 도달거리가 우수한 것으로 표시되어 있다. BF7의 유량이 미소하게 감소하였지만, 출구 유속이 증가하였고 결과적으로 도달거리가 증가한 것으로 추론할 수 있다. 이는 경사면을 가진 BF7의 항력이 BF6의 항력보다 작아서 유속이 증가한 것으로 유추할 수 있다. 노즐의 배플 안쪽 면을 경사면으로 설정하는 것이 노즐의 성능 향상에 기여하는 것으로 판단된다.

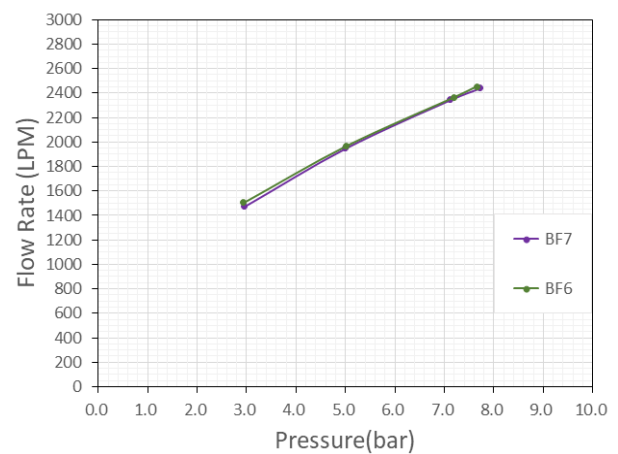


Fig. 11 Relationship between pressure and flow rate for 2 nozzles with(BF7) and without(BF6) 45° slant angle baffles

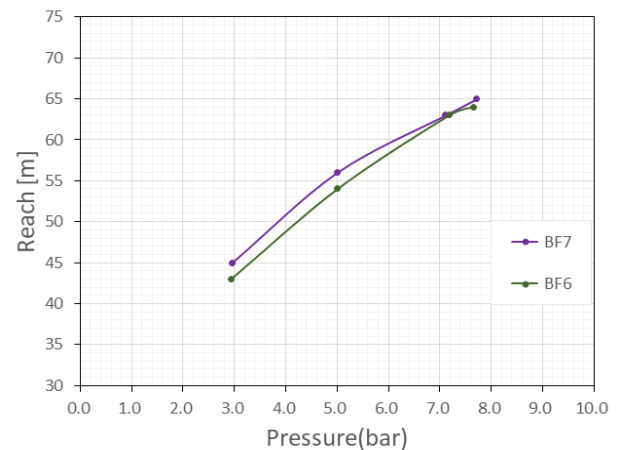


Fig. 12 Relationship between pressure and reach for 2 nozzles with(BF7) and without(BF6) 45° slant angle baffles

5.2.3 배플머리 모따기(chamfering) 영향

Fig. 13과 Fig. 14은 배플머리 안쪽부분을 4 mm 반경으로 모따기를 한 노즐 BF6와 모따기를 하지 않은 BF1 과의 압력-유량, 압력-도달거리의 실험 결과를 보여주고 있다.

Fig. 13에는 압력 3bar ~ 7bar 범위에서, BF6이 BF1에 비해서 유량이 280LPM ~ 410LPM 가 크게 예측되었고, 이는 전 압력구간에서 약 22%의 유량이 증가한 것이다.

Fig. 14에는 압력과 도달거리에 대한 결과를 표시한 것이다. BF1은 특히 7bar에서 급격히 도달거리가 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 7 bar 분사시험 당시에 강한 바람이 발생하여 소화수 전달 방향과 크기를 크게 변경시킨 것에 기인하며, 비교적 바람의 영향이 없는 상태로 분사시험이 실행된 3bar 와 5bar에서는, BF6의 도달거리가 BF1의 도달거리 보다 각각 약 1 m, 약 2 m가 크게 예측되었다.

배플머리 안쪽부분 모따기(chamfering)는 유량을 크게 증가시키면서 도달거리도 증가시키는 중요 설계 인자임을 알 수 있다.

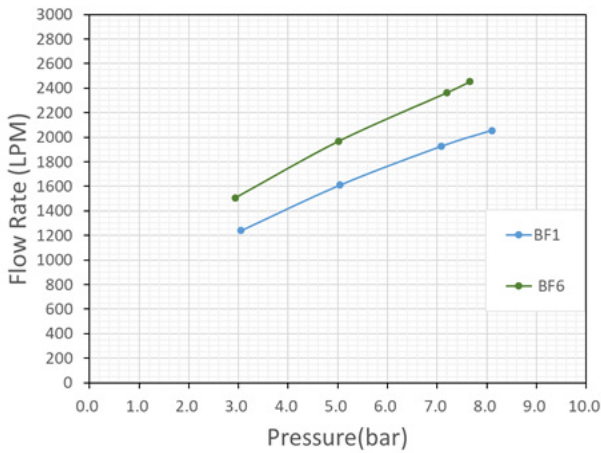


Fig. 13 Relationship between pressure and flow rate for 2 nozzles with(BF6) and without(BF1) chamfering

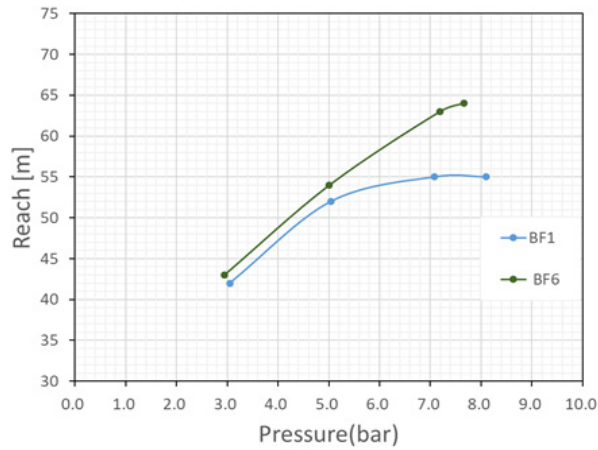


Fig. 14 Relationship between pressure and reach for 2 nozzles with(BF6) and without(BF1) chamfering

5.2.4 노즐 출구면적 영향

Fig. 15와 16에는 기본 출구면적을 갖는 BF6을 기준으로 입구면적 대비 출구면적비를 각각 +10%, -10%로 변경한 BF6+EA10%, BF-EA10%의 3가지 노즐에 대한 압력-유량, 압력-도달거리의 실험 결과를 제시하였다. Baseline 노즐도 함께 표시하여 새로운 노즐과의 성능 변화를 확인하고자 하였다.

Fig. 15에서 알 수 있듯이, 압력 3bar~7bar 범위에서 유량은 1500LPM~2450LPM를 보이고 있다. 출구 면적비 10% 증감에 따라서는 약 5%의 유량 증감을 나타내고 있다. 출구 면적비가 10% 증가하면 유량이 약 5%가 증가하지만, 노즐 출구의 평균 유속은 오히려 약 5%가 감소할 것으로 추정되며, 이에 따라서 도달거리는 오히려 감소할 것으로 판단된다. 실험 결과로부터 출구면적비가 증가하면 유량도 함께 증가하지만, 출구면적비가 증가함에 따라서 유량이 증가해도 노즐 출구의 평균 유속이 함께 증가하지 않을 수 있다는 사실도 확인할 수 있었다.

Fig. 16에 표시된 바와 같이, 도달거리는 각 노즐마다 압력이 증가할수록 증가하지만, 그 증가율은 점차 감소하는 경향을

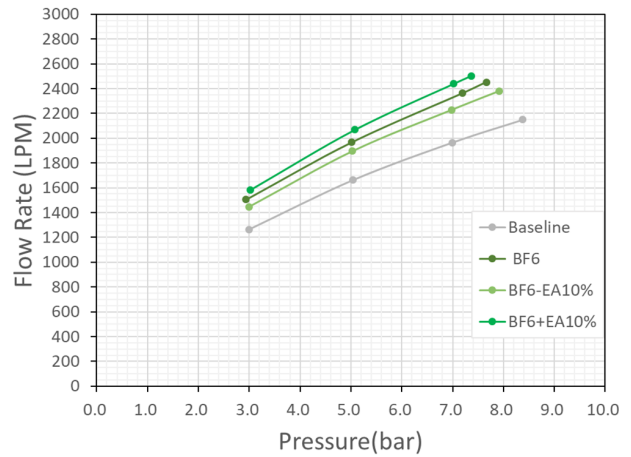


Fig. 15 Relationship between pressure and flow rate for 3 same shaped nozzles with basic exit area(BF6), -10% exit area(BF6-EA10%), and +10% exit area (BF6+EA10%)

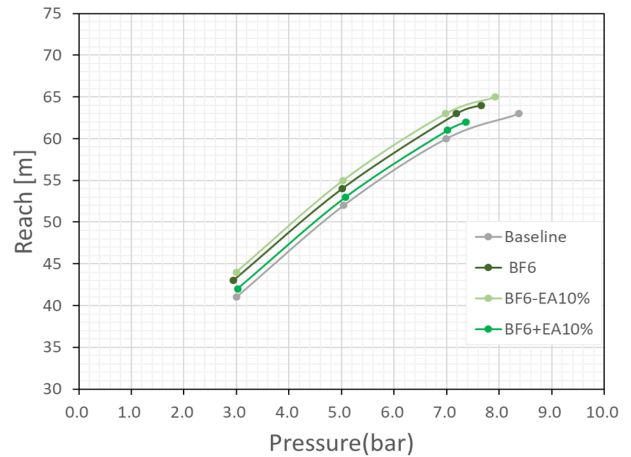


Fig. 16 Relationship between pressure and reach for 3 same shaped nozzles with basic exit area(BG6), -10% exit area(BF6-EA10%), and +10% exit area (BF6+EA10%)

보이고 있다. 출구면적비가 각각 10%, 0%, -10% 변동된 BF6+EA10%, BF6, BF-EA10%의 3가지 노즐은 3~7bar에서 출구면적비가 10% 감소한 노즐이 도달거리 약 1 m 증가, 10% 증가한 노즐이 도달거리 약 2 m 감소하는 것으로 나타났다.

5.3 직사수와 방사수 유동 확인 시험

Fig. 17은 기성품 노즐을 장착한 소화모니터에 대해서, 3bar 조건에서 직사분사와 방사분사를 각각 수행하고 분사수의 궤적을 촬영한 사진을 보여주고 있다.

직사분사에서는 길이 48 m, 폭 2.5 m 이내의 좁은 영역에 최종 소화수가 전달되었다. 노즐 출구에 근접한 외부 영역에서 물방울군이 군집한 형태의 소화수 스프레이가 분사되고, 소화수가 날아가는 도중에 군집된 스프레이가 분쇄되어(break-up) 수많은 작은 물방울들로 변하고, 그중 일부가 지면으로 연속해서



(a) straight stream



(b) Fog stream

Fig. 17 Straight steam (a) and fog stream (b) tests for a fire fight monitor

떨어지면서 최대 도달거리까지 전달되었다.

방사조건에서는 소화노즐이 120도의 방사각을 갖고 있으므로, 소화수도 120도 정도의 방사각으로 퍼지면서, 노즐 전방 5 m, 폭 15 m 영역에 부채꼴 형태로 소화수가 전달되었다.

직사 분사나 방사 분사 모두, 모니터 입구 압력이 높을수록 물방울이 근집한 형태의 물줄기는 더 급속히 미세하게 분쇄되고, 분쇄된 물방울들은 표면적이 커지므로 공기저항에 더 큰 영향을 받게 된다.

6. 결론

본 연구에서는 소화모니터시스템 중에서, 분사되는 소화수의 분사성능에 핵심적인 역할을 하는 65A 소화노즐을 대상으로 소화모니터 노즐을 설계, 제작하여 분사성능 특성 평가를 위한 실험 연구를 수행하였으며 다음과 같이 성과를 정리하였다.

- 유량계 및 압력계가 설치된 펌프배관시스템으로 구성되는 분사성능 실험설비를 활용하여, 연구대상 노즐에 대한 노즐입구 압력, 소화수 유량 및 도달거리를 계측하였고, 신뢰도가 높은 분사 성능 실험 결과를 얻을 수 있었다.
- 배플 위치와 배플머리 모따기(chamfering)가 소화수 유량 변화에 가장 민감한 영향을 주는 설계 요소임을 알 수 있었다.
- 배플 위치의 변화가 도달거리 변화에 가장 큰 영향을 주었으며, 노즐 출구면적 변화도 상당한 영향을 주는 설계 인자임을 확인하였다.
- 압력 증가에 따른 유량 증가와 함께 노즐 출구의 평균 유속도 동시에 증가시킴으로서 도달거리도 향상시킬 수 있는 설계 인자들에 대해서 보다 체계적이고 면밀한 연구가 필요하다.
- 직사분사나 방사분사 모두 화재 지역에 도달하는 소화수

는 물방울 스프레이가 된다. 이 물방울들의 직경이 소화에 적합한 수준인지를 판별하여, 필요 시 체계적인 노즐 설계 및 실험적 연구를 통하여 물방울의 크기를 변화시킬 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었으며(협약번호 UM19304RD3), 이에 감사드립니다.

References

- Back, Gerard G. et. al., 2015. Suppression of shipboard fires in large volume spaces using monitors, Report of National Research Laboratory.
- Chen, T., Yuan, H., Su, G. & Fan, W., 2004. An automatic fire searching and suppression system for large spaces. *Fire Safety Journal*, 39(4), pp.397-309.
- Choi, B.I., Han, Y.S., Oh, C.B., Kim, M.B. & Kim, C., 2007. The assessment of fire suppression capability of water-mist system for machinery engine room, *Fire Science and Engineering*, 21(2), pp.111-117.
- Elkhart Brass Manufacturing Company(EBa), Full line catalogue F8.1, Available at: <http://www.elkhartbrass.com/downloads/performance>. [Accessed 18 September 2019a].
- Elkhart Brass Manufacturing Company(EBb), Performance documents of monitors and master stream, Available at: <http://www.elkhartbrass.com/downloads/performance> [Accessed 23 September 2019b].
- Im, D.B., Seo, J.H, Ruy W.S. & Lee, H., 2021. Modeling of water jet behavior of a fire monitor for a surface vessel in seaways, *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 26(1), pp. 50-58
- Joong Ang Industrial Co., Ltd.(JA), JA+E-Catalog, Available at: <http://www.fireja119.com/library/ecatalogue> analysis of water discharge trajectory with large capacity monitor [Accessed 3 September 2019], *Fire Safety Journal*, 63, pp.1-8.
- Jung, I.S., Chung, H.T. & Han, Y.S., 2016. Computational simulation of fire suppression system for cabins of shipboard enclosure. *Journal of Computational Fluids Engineering*, 21(4), pp.40-45.
- McNeil, J.G. & Lattimer, B.Y., 2016. Autonomous fire suppression system for use in high and low visibility environments by visual servoing. *Fire Technology*, 52(5), pp.1343-1368.

Miyashita, T., Sufawa, O., Imamura, T., Kamiya, K. & Kawaguchi, Y. 2014. Modeling and analysis of water discharge trajectory with large capacity monitor. *Fire Safety Journal*, 63, pp.1-8.

Park, J., Yoo, Y., Kim, Y., Park, B., Kim, W., & Park, S., 2019. Development of remote control automatic fire extinguishing system for fire suppression in double-deck tunnel. *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, 21(1) pp.167-175.

