

NOVEC 가스 소화 설비 설계방법론 개발

윤정인¹ · 최재혁[†]

(Received January 19, 2015 ; Revised January 31, 2015 ; Accepted February 7, 2015)

A Development of Methodology for NOVEC Gas Fire Extinguishing System

Jeong-In Yun¹ · Jae-Hyuk Choi[†]

요약: NOVEC 가스 소화 설비는 소화 약제 보관용기에 보관되어 있는 NOVEC 가스를 보호구역에 정해진 시간 안에 방출하는 것이 가장 중요하며, 이를 위해서는 적절한 배관장치의 배치와 크기를 결정하는 것이 중요한 사항이다. 본 연구에서는 배관망해석 기법을 활용하여 NOVEC 가스 소화 설비의 설계방법론을 개발하였다. 설계방법론에 기초하여 각종 설계계수들을 결정 하였다. 개발된 방법론에 의해 소화 약제 방출시간에 대하여 계산한 결과 총 6.498초로 계산되어 제한시간인 10초 이내로 만족하는 것을 알 수 있었으며, 그 때의 압력손실은 21.09bar 이었다.

주제어: NOVEC가스, 소화 설비, 배관망해석, 소화 약제

Abstract: The most important thing for NOVEC gas fire extinguishing equipment is to release NOVEC gas, which contained in the extinguishing container, to the safety section by the time appointed. For this matter, it is significant to decide arrangement and size of the proper piping equipment. This study has developed the design methodology of NOVEC gas fire extinguishing equipment in use of pipe network analysis techniques. Based on the design methodology, each design coefficient is chosen. It is found that the calculated result, which is 6.498 seconds, has been counted within the 10 seconds limit, which is fairly satisfied with extinguishing releasing time based on the developed methodology. At that time, the pressure loss is 21.09bar.

Keywords: NOVEC gas, Fire extinguishing system, Pipe network analysis, Fire extinguishing agent

1. 서 론

선박과 해양플랜트는 특별한 경우를 제외하고는 대부분 해양에 고립되어 독립적으로 운영되기 때문에, 기기의 고장, 화재사고 등과 같은 사고가 발생하였을 경우에 육상으로부터 신속한 지원을 받는 것이 거의 불가능하기 때문에 각종 사고에 대비한 다양한 설비를 갖추고 있다. 특히, 화재사고는 선박 및 해양플랜트에 가장 치명적인 사고 중의 하나로서, 다양한 형태의 소화 설비를 갖추고 있다.

선박에 설치되는 다양한 소화 설비 중 가장 중요한 소화 설비는 고정식 소화 설비이며 일반적으로 고정된 배관장치를 이용하여 소화 약제를 이송하는 방식의 소화 설비로 되어 있으므로, 특정한 공간 내에 소화 약제를 방출하는 방식을 취하고 있다.

고정식 소화 설비는 일반적으로 가스계 소화 약제를 사용하는 가스계 소화 설비와 물을 소화 약제를 사용하는 수계 소화 설비로 나뉜다. 가스계 소화 설비로는 Halon을 소화 약제로 사용하는 Halon 소화 설비와 CO₂를 소화 약제로

사용하는 CO₂ 소화 설비가 가장 널리 사용되어 왔다. 하지만, Halon이 오존층 파괴물질이라는 것이 알려지면서 몬트리올 의정서에 의해 사용이 금지되었으며, CO₂ 소화 설비는 지구온난화 문제가 대두되면서 사용을 자제하려는 추세이다[1].

이러한 제약과 추세에 따라, 청정소화약제(Clean Agent)라고 불리는 가스계 소화 설비가 다수 개발되어 사용되고 있으며, NOVEC 가스 소화 설비는 청정소화 약제 중에서 가장 최근에 개발된 청정소화 약제로 알려져 있다.

NOVEC 가스 소화 설비는 다른 가스계 소화 약제에 비해 동일한 공간에 필요한 소화 약제의 양이 상당히 줄어들어 소화 설비를 설치하기 위해 소요되는 공간 및 중량이 상당히 줄어들게 되므로, 공간적인 제약과 무게에 대한 제약이 많은 선박 및 해양플랜트에서 많은 장점을 가지게 된다.

선박과 부유식 해양플랜트의 경우에, 동일한 선박 또는 부유식 해양플랜트에서 더 많은 화물을 운송 또는 적재하기 위해서, 즉 동일한 화물을 더 작은 선박 및 부유식 해양

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0092-883X>): Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: choi_jh@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4257

¹ Energy and Marine Research Division, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: jiyun@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5078

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.

Table 1: Specifications of NOVEC 1230

	Ozone Depletion Potential	Global Warming Potential	Atmospheric Life Time	Design Concentration
CO ₂	0	1	500~200 years	35%
Halon 1301	10~16	6900	64 years	5%
FM 200	0	3500	33 years	8%
NOVEC 1230	0	1	3~5 days	4.2~5.9%

플랜트로 운송 또는 적재할 수 있도록 하기 위해서, 선박 및 해부유식 해양플랜트에 탑재되는 각종 기기 및 설비를 소형화하는 것이 선박 및 부유식 해양플랜트의 운전효율을 높이기 위한 최선의 방법이다. 따라서, 다른 소화 설비에 비해 상당한 공간을 절약할 수 있는 NOVEC 가스 소화 설비는 향후 선박 및 부유식 해양플랜트용 소화 설비로서 많은 적용이 예상된다.

또한, 고정식 해양플랜트의 경우에는 해당 해양플랜트를 해양에 고정시키기 위한 하부구조물(Sub Structure)의 제작 및 설치에 굉장히 많은 비용이 소요되기 때문에 하부구조물 상부에 설치되는 톱사이드(Top-side)의 무게를 줄이는 것이 전체 프로젝트 비용과 직결되므로, 톱사이드 구조물에 설치되는 각종 기기 및 설비의 크기 및 무게를 줄이는 것이 고정식 해양플랜트 설계 및 건조에서 가장 중요한 사항이다. 이러한 이유로 NOVEC 가스 소화 설비는 향후 고정식 해양플랜트의 소화 설비로서 폭 넓게 사용될 것으로 예상된다.

모든 가스계 소화 설비와 마찬가지로, NOVEC 가스 소화 설비 또한 정해진 시간 안에 소화제인 가스가 방출되는 보호구역(Protected Space)에 소화제인 가스를 방출할 수 있어야 하며, 이를 고려하여 배관장치 등을 설계 하여야 한다.

대표적인 가스계 소화 설비인 CO₂ 소화 설비의 경우, NFPA Code 13[2]등에서 정하는 방법에 따라 배관을 설계하여 CO₂의 방출시간을 산정하며, NFPA Code 13에서 정하는 방법은 CO₂의 상변환(Phase Change) 등에 따른 밀도 변화 등을 고려하여 제시하고 있는 각종 설계용 Table을 이용하여 배관장치를 설계한다. CO₂ 소화 설비 뿐만 아니라, 거의 대부분의 가스계 소화 설비는 CO₂ 소화 설비와 마찬가지로 실험 또는 경험적으로 획득한 설계 자료를 활용하여 배관장치 등을 설계하게 되는데, 이는 가스계 소화 설비의 특성에 기인하는 것이다. 가스계 소화 설비는 설치 공간의 절약을 위해, 가스 소화 약제를 액화하여 보관하게 되는데, 소화 설비가 작동하게 되면, 액화되어 보관되어 있던 소화 약제가 기화되면서 방출되게 되는데, 액화되어 있던 소화 약제가 기화될 때의 밀도변화, 온도 변화 등을 모두 고려하여 배관장치의 크기를 결정하여야 하지만, 이를 모두 이론적으로 해결한다는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 가스계 소화 설비는 거의 대부분 실험결과를 바탕으로 하는 설계 자료를 이용하여 배관장치를 설계하고 있다.

하지만, NOVEC 가스 소화 설비는 NOVEC 가스의 물성

치에 대한 실험적 또는 경험적 설계 자료가 아직까지 정립되어 있지 않아, NOVEC 가스 소화 설비의 설계를 위한 설계방법이 아직 표준화되어 있지 않은 상황이다. 따라서, NOVEC 가스 소화 설비 배관장치의 설계방법론을 개발하고, 개발된 설계방법론에서 필요한 각종 설계계수들을 실험적 또는 경험적으로 결정해가는 방법이 NOVEC 가스 소화 설비 설계법을 표준화해가는 가장 효율적인 방법일 것으로 판단된다.

본 연구에서는 향후 선박 및 해양플랜트에서 소화 설비로서 많은 이용이 예상되는 NOVEC 가스 소화 설비의 설계방법 표준화를 위한 기초연구로서, NOVEC 가스 소화 설비 배관장치 설계방법론을 개발하였다.

2. NOVEC 가스 소화 설비의 개요

NOVEC 가스 소화 설비는 기본적으로 다른 가스계 소화 설비와 마찬가지로 NOVEC 가스를 액상으로 보관한다. 하지만, 다른 가스계 소화 약제들이 대기압 상온의 조건에서 가스상으로 존재하는 것과는 달리 대기압 상온에서 액상으로 존재하기 때문에 소화 약제의 보관 및 운송이 매우 용이하다는 장점이 있다. 다만, 액상의 NOVEC 가스를 가스상으로 상변화시켜 보호구역에 방출하여야 하므로, NOVEC 가스를 보관하는 용기의 출구단에는 유동으로 인한 마찰손실을 인위적으로 발생시키고, 이때 발생한 마찰열을 이용하여 NOVEC 가스를 기화시키는 실린더 밸브가 장착되게 된다. 실린더 밸브에서 발생하는 마찰손실은 NOVEC 가스 소화 설비를 제조하는 기업별로 상이하지만 일반적으로 8 bar 인 것으로 알려져 있다.

Table 1은 대표적인 NOVEC 가스 소화 설비 제조자인 독일 Minimax의 NOVEC 1230의 대표적인 특징을 나타낸 것이다[3, pp. 6-7].

Table 1에서 알 수 있듯이, NOVEC 가스는 다른 가스계 소화 약제 비해 오존층을 파괴하지 않으며, 지구온난화지수가 매우 낮으며, 수명도 매우 짧은 장점을 가진다. 특히, 보호구역에 방출하여야 하는 소화 약제의 양을 결정하는 설계 농도 또한 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 설계농도가 낮다는 것은 보관해야 하는 소화 약제의 양이 적다는 것을 의미하며, NOVEC 1230의 경우, CO₂ 소화 설비에 비해 약 40% 정도의 소화 약제만이 필요하다[3, p. 13].

다만, NOVEC 가스 소화 설비가 다른 가스계 소화 설비와 다른 점은 소화제의 방출시간이 상대적으로 매우 짧다

는 것이다. CO2 소화 설비는 보호구역의 종류에 따라 달라지지만, 일반적으로 2분 이내에 필요한 CO2 가스를 보호구역 내부에 방출하도록 요구하고 있다. 하지만, NOVEC 가스 소화 설비는 대기압 상온조건에서 액체 상태로 존재하기 때문에 기화된 NOVEC 가스가 재 액화되기 이전에 화재를 소화할 수 있도록 소화 약제를 가능한 한 빠른 시간 안에 방출하여야 하며, 대표적인 NOVEC 가스 소화 설비인 Minimax의 NOVEC 1230의 경우에는 10초 이내에 소화제를 방출할 수 있도록 배관장치를 설계 및 설치하도록 요구하고 있다.

3. 배관망 해석 및 설계방법론

배관망 해석은 복잡하게 연결되어 있는 배관망의 각 지점에서의 유량 및 압력을 산정하는 해석기법을 말한다. 배관망해석은 다양한 해석기법이 존재하지만, 이러한 해석기법들은 배관망 해석의 계산을 효율적으로 수행하기 위한 해석 기법들로 모든 배관망해석 기법들은 질량보존 및 에너지보존의 원칙을 기반으로 한다[4].

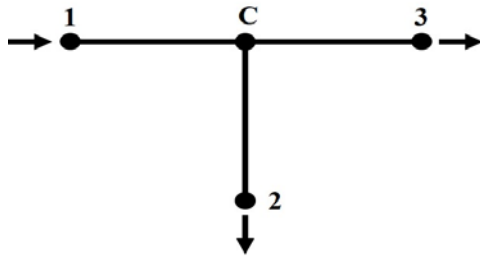


Figure 1: A typical piping network

Figure 1은 가장 일반적인 배관망을 표시한 것이다. Figure 1에서 1번 지점에서 유동이 유입되어 2번 지점과 3번 지점으로 유동이 유출된다고 한다면, 각 지점에서의 유량과 압력은 C지점에서 평형을 이루어야 한다. 이를 수식으로 표현하면, Equation (1) 과 (2)와 같다.

$$Q_{1C} = Q_{C2} + Q_{C3} \quad (1)$$

$$P_C = P_1 - dP_{1C} = P_2 + dP_{C2} = P_3 + dP_{C3} \quad (2)$$

Equation (1)과 (2)에서 Q 는 유량, P 는 압력, dP 는 압력손실을 의미하며, Equation (1)은 질량보존의 법칙을 의미하며, Equation (2)는 에너지 보존의 법칙을 의미한다. 또한, Equation (1)과 (2)에서 하첨자 C, 1, 2, 3은 각각 Figure 1에서 각 Node의 위치와 각 배관에서의 유동방향을 의미한다. 즉, 어느 지점을 기준으로 계산하더라도, C지점에서의 유량과 압력은 동일하여야 한다는 것이다.

Equation (1)과 (2)를 풀어보면 변수는 7개(유량 3개, 압력 4개), 방정식은 5개이다. 따라서 2개의 변수에 대한 경계

조건이 주어져야 전체 배관망에서의 유량과 압력을 계산할 수 있다. 일반적으로 배관망해석에서는 1개의 압력과 1개의 유량이 경계조건으로 주어지며, 소화 설비와 같이 방출구에서 노즐을 사용하는 배관망에서는 노즐의 방출계수를 이용하여 1개의 압력 또는 유량에 대한 경계조건만으로 배관망해석을 수행할 수 있다.

노즐은 일반적으로 Equation (3)과 같이 유량과 압력의 상관성을 가지고 있다.

$$Q = K\sqrt{P} \quad (3)$$

Equation (3)에서 Q 는 유량, P 는 압력을 의미하며, K 는 노즐의 방출계수이다. K 는 베르누이 방정식에서 마찰손실계수에 해당되는 것이며, 일반적으로 실험적으로 얻어지는 것이 일반적이다.

따라서, 배관망에서 설치되는 노즐의 방출계수인 K 를 알 수 있다면, 노즐에서의 압력 또는 유량을 경계조건으로 지정하면, 반복계산을 통해, 배관망 전체에서의 압력 및 유량을 계산할 수 있다.

위에서 검토한 바와 같이, 각종 배관장치에서 배관장치의 각 부분에서의 유량 및 압력을 계산하는 배관망해석 기법을 활용하면, NOVEC 가스 소화 설비용 배관장치 각 지점에서의 유량 및 압력을 계산할 수 있으며, 이를 이용하면, 소화제의 방출시간을 산정할 수 있다. 하지만, 배관망해석 기법을 이용하여 NOVEC 가스 소화 설비의 배관장치를 설계하고 소화제 방출시간을 산정하기 위해서는 배관에서의 압력손실 산정방법이 필요하다.

배관에서의 압력손실 산정방법은 다양한 방법이 있을 수 있지만, 가스계 배관장치에 일반적으로 적용되는 산정방법을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 다양한 방법 중에서 국제해사기구(International Maritime Organization)에서 정하고 있는 가스 운반선 벤트관 장치용 산정방법을 적용하였다[5]. 국제해사기구에서 가스 운반선 벤트관 장치용으로 적용하고 있는 압력손실 산정방법은 Equation (4)와 같다.

$$dP = \left(4f \frac{L}{D} + N \right) \quad (4)$$

Equation (4)에서 dP 는 압력손실, L 은 해당 배관의 길이, D 는 배관의 안지름, N 은 각종 관부착품의 손실계수로서 Table 2와 같다. Equation (4)에서 가장 중요한 사항은 마찰손실계수 f 이며, 일반적인 유체의 마찰손실 계산에서는 Moody 마찰계수를 적용하지만, 여기서는 가스 유동임을 고려하여, IMO Resolution A.829(19)와 동일하게 fanning 계수를 적용하였으며, IMO Resolution A.829(19)에서와 동일하게 0.005를 적용하였다.

Table 2: Pressure loss coefficient for fittings

Fittings	<i>N</i>
45°bend	0.2
45°single-mitre elbow	0.45
90°long radius bend	0.3
90°short radius bend	0.5
90°double-mitre elbow	0.6
Soft-Tee	0.3
Hard-Tee	1.1

4. 계산 결과

본 연구를 통해 개발된 NOVEC 가스 소화 설비 설계방법론을 검증하기 위해 Microsoft Excel의 VBA를 이용하여 계산용 Software를 개발하였으며, 개발된 Software를 활용하여 NOVEC 가스 소화 설비의 소화제 방출시간에 대한 계산을 수행하였다.

앞서 언급한 바와 같이, NOVEC 가스는 대기압 상온조건에서 액체 상태로 존재하며, NOVEC 가스 소화 설비에서는 액상의 NOVEC 가스를 실린더에 보관한다. NOVEC 가스 소화 설비가 작동하게 되면, 기동용 질소 실린더에서 고압의 질소가스가 NOVEC 가스 실린더 내부로 유입되고, 유입된 질소가스의 압력에 의해 액상의 NOVEC 가스가 실린더 외부로 방출되게 된다. 또한, NOVEC 가스 실린더의 출구에는 NOVEC 가스를 기화시키기 위한 실린더 밸브가 있다. 본 연구에서 적용한 Minimax NOVEC 1230 시스템은 NOVEC 가스 방출압력이 50 bar 이고, 실린더 밸브에서의 압력손실이 8 bar이다. 따라서, 실린더 밸브 출구단에서 기화된 NOVEC 가스의 압력은 42 bar가 되며, 본 계산에서도 42 bar를 적용하였다.

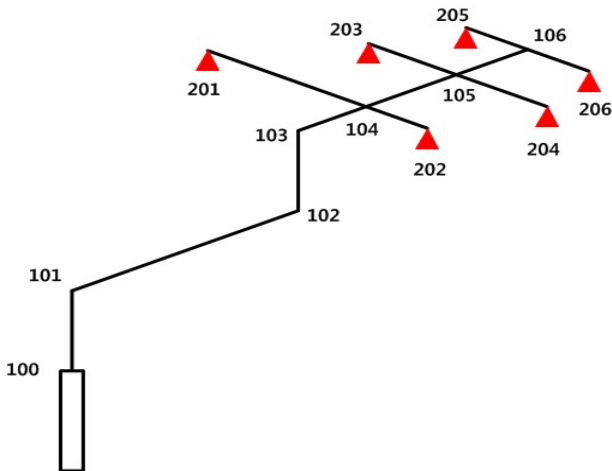


Figure 2: Piping arrangement for calculation

계산을 위해 **Figure 2**와 같이 임의로 배관장치를 설계하였으며, 배관장치의 상세는 **Table 2**와 같다. 그리고 **Table 3**은 계산에 적용된 초기조건을 나타낸 것이다.

Table 3에서 ND는 Nominal Diameter(공칭직경, A), Sch는

배관의 Schedule, L은 배관의 길이, Elv는 배관의 높이변화를 의미한다. 또한, **Table 4**는 계산을 위한 초기조건을 나타낸 것이다.

Figure 2, **Table 3** 및 **Table 4**의 조건을 자체 개발한 Software에 입력하고 계산한 결과는 **Table 5**와 같으며, NOVEC 가스의 총 방출시간은 6.498초로 계산되었으며, 이때의 압력손실은 21.09bar이었다.

Table 3: Piping arrangement for sample calculations

Node	Node	ND	Sch.	L (m)	Elv (m)
100	101	40	40	2	2
101	102	40	40	5	0
102	103	40	40	2	2
103	104	40	40	1	0
104	201	20	40	3	0
104	202	20	40	1	0
104	105	32	40	1.5	0
105	203	20	40	1.5	0
105	204	20	40	2	0
105	106	25	40	1.5	0
106	205	20	40	1	0
106	206	20	40	1	0

Table 4: Initial conditions for calculation

Initial Pressure at Valve (bar)	42
Fanning Friction Factor	0.005
Nozzle Discharge Coeff.(K)	0.1
Capacity of each bottle (L)	180
Number of bottles	1
Required discharge time (sec)	10

Table 5: Calculation results

Node (s)	Node (e)	Q (m ³ /s)	P (s) (bar)	P (e) (bar)
100	101	2.7702	42.00	39.31
101	102	2.7702	39.31	31.20
102	103	2.7702	31.20	27.13
103	104	2.7702	27.13	24.40
104	201	0.4755	24.40	22.54
104	202	0.4572	24.40	23.47
104	105	1.8375	24.40	22.84
105	203	0.4658	22.84	21.68
105	204	0.4572	22.84	21.49
105	106	0.9144	22.84	21.84
106	205	0.4572	21.84	20.91
106	206	0.4572	21.84	20.91

* (s): start point of the section
(e): end point of the section

5. 결 론

본 연구를 통해 향후 선박 및 해양플랜트의 소화 설비로서 폭 넓은 적용이 예상되는 NOVEC 가스 소화 설비용 배관장치 설계방법론을 개발하였으며, 이를 통해 NOVEC 가스 소화 설비의 소화성능의 가장 중요한 인자인 소화제 방출시간을 산정할 수 있었다.

그 결과 180L 용량의 NOVEC 가스가 배관을 통해 6개의 노즐을 통과해서 방출되는 시간은 6.498초로 제한시간 10초를 만족하였다.

다만, 본 연구에서 개발된 설계 방법론을 이용하여 실제 NOVEC 가스 소화 설비를 설계하기 위해서는 노즐의 방출계수, NOVEC 가스의 점도, NOVEC 가스의 밀도 변화 등에 대한 실험적 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구(결과물)은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC)육성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] M. E. Kim, "Trends of onboard fire extinguishing system," Proceedings of the KOSME Fall Conference, pp. 127-128, 2005 (in Korean).
- [2] NFPA, "NFPA 12 - Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems," National Fire Protection Association, 2011.
- [3] MINIMAX, "MX 1230 Fire Extinguishing System," pp. 6-13, 2014.
- [4] J. H. Choi and J. I. Yun, "A numerical study on pressure drop for Novec gas fire fighting system," Proceedings of the KOSME Fall Conference, pp. 233, 2014 (in Korean).
- [5] IMO, "MO RESOLUTION A.829(19), Guidelines for the Evaluation of the Adequacy of Type C Tank Vent Systems," 1995.