

질소와 노벡 혼합가스를 이용한 청정소화약제의 소화성능에 관한 연구

임우섭[†] · 정종진 · 남동군 · 사공성호 · 김종원* · 최근주**

한국소방검정공사 · 퓨텍* · 포트텍(주)**

(2008. 9. 9. 접수 / 2008. 11. 10. 채택)

A Study on Clean Agent Fire Extinguishing Ability Using Nitrogen and Novec Mixtures Gas

Woo-Sub Lim[†] · Jong-Jin Jung · Dong-gun Nam

Seong-Ho Sakong · Jong-Won Kim* · Kenu-Joo Choi**

Korea Fire Equipment Inspection Corporation

*Futec

**Forttec, co. Ltd.

(Received September 9, 2008 / Accepted November 10, 2008)

Abstract : In the course of increasing in human and material damage caused by fire, it is an important research field to develop clean extinguishing agent which does no harm to global environment as well as has a good extinguishing efficiency. This research is a basic step to develop a new clean extinguishing agent. In order to get a satisfactory result, we tested fire extinguishing ability using nitrogen and Novec mixtures gas which are inert gas and new clean extinguishing agent. We used Cup Burner Test made by international standard ISO-14520 regulations of gaseous extinguishing agent ability test, and the fuels used in the test are n-heptane, methanol, ethanol, iso-propanol and 1-butanol. The experimental results of flame extinguishing concentration are n-heptane 6.54%, methanol 8.47%, ethanol 6.98%, iso-propanol 6.10% and butanol 6.54% by pure Novec agent. So the finding is that a new clean agent, Novec has an efficient extinguishing ability in a state of gas. Also, in a test as to mixtures gas of nitrogen and Novec, it has a good result for minimum oxygen concentration is under 16%.

Key Words : cup burner test, fire extinguishing, clean agent, extinguishing ability, novec

1. 서론

2007년 국내 화재조사통계자료에 의하면 화재발생건수는 2006년 대비 15,982건이 증가하여 총 47,882건이 발생하였으며, 인명피해는 2,459명, 재산피해는 2,484억원으로 2006년 대비 각각 12.8%와 64.7%가 증가하였다¹⁾. 이것은 경제성장과 더불어 각종 에너지 소비의 증가 및 건축물의 대형화, 고층화, 심층화 등의 경향에 따른 것으로 분석되어지며, 앞으로 이러한 문제에 대해서는 보다 다양한 방법의 대책을 마련해야 할 것으로 사료된다²⁾.

또한, 화재안전에 대한 문제는 외향적인 건축물의 형태뿐만 아니라 소방시스템과 동시에 근본적인 소화약제에 있어서도 해결해야 할 중요한 사안들이 있다. 이 중에서 기존에 사용되던 할론계 소화약

제는 인체에 무독성이며, 비전도성으로 탁월한 소화효과를 지니고 있으나, 오존층을 파괴하는 물질로 밝혀지면서 몬트리올 의정서에 의거 2010년에는 생산이 전면 중단된다³⁾.

따라서 친환경적이며 인체에 무해하고 소화효과가 높은 소화약제를 개발하는 일이 시급한 사항으로, 선진국인 미국, 유럽, 일본 등에서는 신개념의 청정소화약제 개발에 많은 노력을 기울여왔고, 그 결과 FC-3-1-10, HFC-125, HFC-227ea 등 대체 소화약제들이 개발되었다.

새롭게 개발된 소화약제의 소화성능을 평가하기 위해 국제사회는 여러 가지 방법으로 소화약제의 시험평가 방법을 개발하여 시행하였다⁴⁾. 미국의 경우는 NFPA(National Fire Protection Association)에서 소화약제 및 소화시스템에 대한 표준을 정하여 놓고 UL(Underwriters Lab.)과 FM(Factory Mutual) 등에서 소화성능 시험을 수행하고 있으며, 유럽은

[†] To whom correspondence should be addressed.
presafety@kfi.or.kr

LPC(Loss Prevention Council) 등에서 소화약제에 대한 성능평가 시험을 수행하고 있다. 국내에서도 가스계 소화약제의 성능평가 기준을 제정하여 한국소방검정공사(KFI)에서 이를 수행하고 있다^{5,7)}.

친환경적인 개념에서 도입된 차세대소화약제는 새로운 형태의 약제이거나, 이미 개발되었으나 실용성이 미흡한 소화약제로서 불활성 gas와 혼합하는 방식으로 주로 질소, 헬륨, 아르곤 등의 gas와 혼합하여 사용하는 방법이 많이 연구되고 있다. 가스계 소화약제의 소화농도 실험은 Cup Burner Test를 사용하고 있으며, 이 장치는 가스계 소화시스템에 관한 ISO-14520 표준규격에 따른다. 이 규정에는 Cup Burner에 관한 모든 부품의 모양과 크기를 정밀하게 규정하고 있으며 가스유량, 초기 불꽃안정화 시간 등을 표준화하여 측정오차를 가능한 줄일 수 있도록 유도하고 있다⁸⁾.

본 연구에서는 최근 3M에서 개발되어 널리 알려진 Novec(이하 노벡)이라는 소화약제를 가지고 대표적인 불활성gas인 질소와 혼합하여 소화능력을 평가하고자 한다. 이는 국내에 사용되고 있는 할론계 소화약제를 대신해서 사용할 경우 소화성능을 알아보기 위하여 진행된 것으로, 국내 친환경 차세대 소화약제 개발에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론

2.1. 혼합기체의 상태 방정식

가스계 소화약제는 이상기체 방정식을 적용하여, 유량을 몰분율로 계산하고 다시 각 %농도로 계산할 수 있다. 혼합기체의 상태 방정식은 두 가지 이상 혼합되어 있는 기체 혼합물에 각 물질의 혼합조성비는 압력이나 부피에 의존하게 되며, 혼합 기체 속에 들어있는 각 물질의 몰수의 합은 전체 혼합기체의 몰수가 되며, 각각의 몰수는 각 성분 기체의 농도를 나타낸다. 따라서 동일한 시간에 투입되는 부피 유량의 경우 그 기체 물질들의 혼합비율에 따른 부피유량비와 농도비는 동일한 값을 가지며, 물리화학적 조성을 나타내는 것은 몰분율의 형태로 표시하는 것이 더 편리하다.

식 (1)에서 몰 분율 x_i 는 존재하는 모든 물질의 몰수의 합에 각 성분의 몰수를 나눈 것으로, 혼합물 속에 존재한 모든 물질의 몰분율의 합은 1로서 식 (2)와 같다.

$$x_i = \frac{n_i}{n_i} \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i = 1 \quad (2)$$

이러한 이론을 바탕으로 가스계 소화약제의 계산에 있어서는 소화약제의 유량을 m_1 , 공기유량을 m_2 로 하였을 때 소화농도(%)는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 이는 기체의 경우 몰분율과 부피분율이 동일하기 때문에 적용이 가능하다⁷⁾.

$$\text{소화농도 \%} = \frac{n_1}{(n_1 + n_2)} \times 100 \quad (3)$$

그러나 2성분이상의 가스를 사용하는 경우, 기체 혼합물에 대하여 각 성분을 이상기체로 가정하면, 이상기체의 법칙이 적용되며 혼합기체의 상태 방정식은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$PV = n_i RT \quad (4)$$

식 (4)에 몰수가 n_1, n_2, n_3 인 세 기체가 혼합되어 있다고 가정하면, $n_i = n_1 + n_2 + n_3$ 가 되고, 이 혼합기체의 압력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \frac{n_i PT}{P} \quad (5)$$

각 성분에 대한 부분 부피를 구한다면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 양변에 시간에 대한 함수를 나누거나 곱하여도 동일하게 식이 성립하므로 부피유량을 부피로 보아도 무방하다.

$$V_1 = \frac{n_1 RT}{P}, V_2 = \frac{n_2 RT}{P}, \quad (6)$$

$$V_3 = \frac{n_3 RT}{P}$$

여기서 식 (6)을 식 (5)에 적용시키면,

$$V_1 + V_2 + V_3 = (n_1 + n_2 + n_3) \frac{RT}{P} \quad (7)$$

식 (7)은 일부의 기체 혼합물에만 국한되지 않고 모든 기체 혼합물에 대해서도 성립되며, 전체 압력과 몰분율만 알면 분압을 계산할 수 있고, 필요로 하는 화학조성의 농도를 만들 수가 있으며, 일부의 농도를 부피를 통해서 계산할 수 있다⁹⁾.

2.2. 한계산소농도의 계산

소화를 위해서 불활성가스를 사용하게 되면 공기중의 산소농도가 어느 한계치 이하로 낮아지면서 화염이 꺼지는 현상을 발생한다. 이것을 질식소화 현상이라 부르며, 이때 산소농도를 최소산소농도(MOC: Minimum Oxygen Concentration) 또는 일반적으로 한계산소농도라 한다¹⁰⁾. 이러한 원리는 가연성물질의 저장시설에 불활성가스를 주입하여 산소농도를 MOC 이하로 낮추어 화재나 폭발을 예방하는 방법으로 사용된다.

불활성가스로는 질소, 이산화탄소, 헬륨 등이 있으며, 이 중에서도 이산화탄소를 소화약제로 가장 많이 사용하고 있다. 이는 이산화탄소의 비중이 다소 높기 때문에 질식소화가 용이하고, 한계산소농도가 비교적 높은 15%에서 소화가 일어나며, 타 소화약제에 비해 심부화재에도 적합하기 때문이다⁹⁾. 그러나 이러한 이산화탄소 소화약제는 여러 가지 문제로 인하여 제한된 공간에서만 사용이 가능하다.

이산화탄소 소화약제와 같은 가스계 소화약제는 질식에 의한 소화약제로서 한계산소농도를 계산할 수 있으며, 소화농도(%)의 계산식과 동일한 방법으로 나타낼 수 있다⁷⁾.

$$\text{한계산소농도 \%} = \frac{n_3 \times 0.21}{(n_1 + n_2 + n_3)} \times 100 \quad (8)$$

식 (8)은 한계산소농도의 계산식으로 소화가 일어난 시점에서 투입된 질소가스의 양(n_1), 노벡가스의 양(n_2) 그리고 공기유량(n_3)을 합한 값에 공기중의 산소농도를 계산하면 소화가 일어난 시점에서의 산소농도를 계산할 수 있다.

3. 실험

3.1. 실험시료

소화약제로 사용된 실험시료는 대표적인 불활성 가스인 질소와 3M에서 개발되어 소화성능을 인정받고 있는 노벡을 사용하였으며, 그 특성치를 Table 1에 나타내었다. 불활성가스인 질소(N_2)는 국내 삼보특수가스에서 생산되는 99.99%의 초고순도를 사용하였으며, 노벡(Novec)은 순도 99%의 것으로 FK-5-1-12 소화약제로 잘 알려져 있는 것을 사용하였다¹¹⁾. 친환경기술로 개발된 소화약제 노벡의 분자구조는 $CF_3CF_2C(O)CF(CF_3)_2$ 로 되어 있으며 상온에서 액체 상태인 특징이 있고, 끓는점이 49°C로 약간의 열을 받으면 기화되는 성질이 있다.

Table 1. Chemical and physical properties of pure agent*

Sample	Pure (%)	M.W (g)	B.P (°C)	Fr.P (°C)	Tc (°C)	Pc (atm)
N_2	99.99	28	-195.8	-202.9	-147.1	33.5
Novec	99.0	316.05	49.2	-108.0	168.66	18.4

M.W: molecular weight, B.P: boiling point, Fr.P: freezing point, Tc: critical temperature, Pc: critical pressure, *MSDS: made by company

소화약제의 소화성능평가 실험에 사용된 연료는 가연성 액체의 연소시험에 표준이 되는 n-헵탄을 기준으로, 청정에너지에 해당하는 $C_1 \sim C_4$ 에 해당하는 알코올류에 대하여 소화농도실험을 수행하였다. 이들 메탄올, 에탄올, iso-프로판올, 1-부탄올은 순정화학 제품의 시험용 시약으로 실험을 진행하였으며, Table 2에는 이들 연료시약에 대한 물리화학적 성질들을 나타내었다. 메탄올에서부터 1-부탄올에 이르기까지 분자량이 증가하면서 끓는점은 증가하고 있으나 위험특성의 중요한 인자인 인화점은 분자량에 상관없이 메탄과 프로판이 비슷한 온도를 나타내고 있다.

3.2. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 가스계 소화약제 실험의 국제규격인 ISO-14520⁸⁾에 의해서 제작되었으며, 세계적인 시험평가기관인 UL, FM 등에서 동일한 장치를 사용하고 있으며, 국내에서는 소화약제의 형식승인 및 검정기술기준을 다루고 있는 KOFEIS 0102에도 적용되고 있다⁷⁾.

Fig. 1은 실험장치를 나타낸 것으로 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 먼저 그림의 중앙에 위치한 컵버너 시험장치부를 중심으로, 왼쪽에는 연소불꽃을 만드는 연료 공급부가 있고, 오른쪽으로는 소화에 필요한 약제를 공급하는 소화약제 공급부가 있다.

연료 공급부는 연료공급통과 액체연료 수송펌프 그리고 컵버너 시험장치 내부의 연료액면의 높이를 일정하게 유지시켜 주는 액면높이 조절장치로 구성

Table 2. Chemical and physical properties of pure fuels*

Sample	Pure (%)	M.W (g)	B.P (°C)	F.P (°C)	L.E.L (%)	U.E.L (%)
n-Heptane	98.0	100.2	97.8	-4	1.1	6.7
Methanol	99.5	32.04	64.5	11.1	6	36.5
Ethanol	95.0	46.07	79	17.1	3.29	18.9
iso-Propanol	99.0	60.1	82.3	11.8	1.9	12.8
1-Butanol	99.5	74.12	117	29	1.41	11.2

M.W: molecular weight, B.P: boiling point, F.P: flash point, L.E.L: lower explosive limit, U.E.L: upper explosive limit, *MSDS: made by company

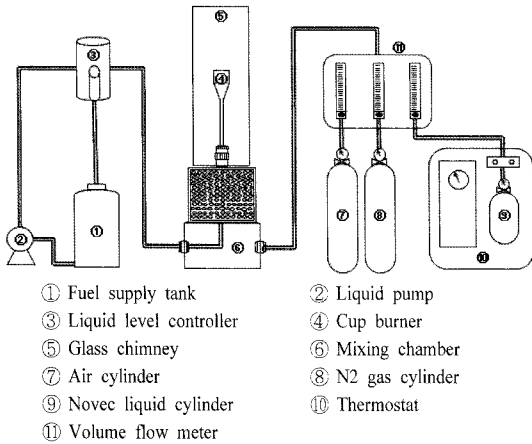


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for flame extinguishing concentration.

되어 있다. 컵버너 시험장치부는 중심에 컵버너가 있으며, 이 컵버너는 석영으로 만들어진 원통형의 연소통 속에 삽입되어 있다. 컵버너의 크기는 ISO 14520에서 규정한 철강재질의 컵을 사용하였으며, 컵버너의 크기는 직경 30mm, 두께 1mm로 제작되어 있다. 분산장치로 사용된 컵버너의 하단부에는 직경 4mm 유리공이 들어있어 연소통내부에 투입되는 가스가 잘 분산되도록 되어 있다.

소화약제 공급부는 공기, 질소, 노백을 저장한 탱크들과 유량조절 장치로 구성되어 있으며, 공기, 질소 탱크의 경우 압축가스를 사용하였고, 압력조절기를 통과한 유체가 전자유량조절장치(±0.01L/min)를 통하여 연소통으로 수송되는 방식으로 되어 있다. 노백은 상온에서 액체이고, 49℃에서 기화되기 때문에 항온조를 90℃로 설정하여 노백이 계속해서 기화되어 공급될 수 있도록 하였으며, 연결배관 또한 히팅코일을 사용하여 일정온도가 유지될 수 있도록 하였다.

3.3. 실험방법

소화농도에 대한 실험은 연소실험의 표준물질이 되는 n-헵탄을 기준으로 메탄올, 에탄올, iso-프로판, 1-부탄을 순서로 실험을 진행하였으며, 이들 물질을 사용한 이유는 정확한 실험을 위해서 연소시 연기 발생량이 적은 알코올계 연료를 사용하였다.

소화약제 질소와 노백 각각의 순수물질에 대한 소화농도를 먼저 측정하고 다음, 혼합 소화약제에 대하여 소화농도 실험을 하였다.

혼합소화약제에 대한 실험에서는 순수 질소만의 소화농도를 물분율 1로 하였을 때 질소의 물분율

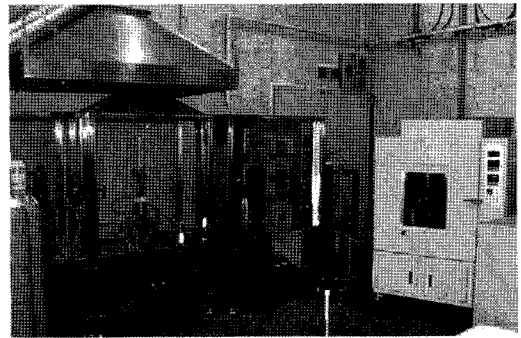


Fig. 2. Experimental apparatus of flame extinguishing concentration.

0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80에 해당하는 질소를 투입하고, 각각의 농도에 해당하는 노백을 투입하여 불꽃이 소화되는 농도를 구하였다. 예를 들어 X물질에 대한 순수 질소만의 소화농도가 50L/min이라면, 이를 기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 물분율에 해당하는 질소 30.0L/min, 32.5L/min, 35.0L/min, 37.5L/min, 40.0L/min에 대해서 각각 노백을 투입하여 소화가 일어나는 노백의 양을 기록하고, 이 값들로부터 혼합가스의 소화농도를 계산 할 수 있다.

Fig. 2는 실험장치의 사진을 나타낸 것으로 사용 방법은 NFPA Code 2001에 준하여 진행되었다. 먼저 질소만을 소화약제로 사용하여 실험을 할 경우 연료시료를 연료공급탱크에 넣은 다음 펌프를 가동시키고, 펌프를 통해 수송된 연료는 액면높이 조절장치를 통해서 컵버너에 채워지게 된다. 이때 액면높이는 컵 상부로부터 10mm지점에 위치하도록 조절하며, 공기탱크의 밸브를 개방하고 전자식 유량조절계를 40L/min으로 설정하여 일정량의 공기가 계속해서 연소통 내부를 흐르도록 한다.

가스라이터를 이용하여 컵버너에 점화시킨 후, 불꽃의 안정화를 위해서 3분간 예비연소를 시킨다. 예비연소 시간은 NFPA Code 2001⁹⁾의 측정방법에서 제시된 연료 착화 후 화염의 크기가 일정하게 유지되는 시간으로, 예비실험을 통해서 정했다.

노백을 사용하여 실험을 실시하는 경우는 항온조를 가열하여 90℃ 정온상태에서 1시간 이상을 방치한 다음, 노백의 방출량을 조절하는 유량조절밸브를 통해 일정량을 외부로 방출하여 배관 내부의 가스를 완전히 노백으로 치환시킨 후, 실험을 진행하였다.

소화농도의 판정은 소화약제를 흘렸을 때 3분 안에 소화가 이루어지는 지점을 소화농도로 판정하였

으며, 3회 반복에 있어서 단 1회라도 소화가 이루어지지 않으면 비소화로, 동일조건에서 3회 반복하여 소화가 이루어지면 소화로 판정하였다. 단, 실험은 1회 시험이 끝난 후, 컵버너의 온도를 상온까지 냉각시킨 다음 다시 새로운 연료를 투입하여 실험을 하는 방식으로 진행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 순수 질소와 노벡의 소화농도

소화약제로 사용된 질소는 대표적인 불활성가스로서 공기 중에 약 79%를 차지하고 있으며, 가격이 저렴하고 인체에 무해하다. 그러나 질소는 이산화탄소에 비해 효능이 좋지 않기 때문에 다량의 소화약제를 필요로 하고, 소화약제의 방출 시간이 많이 걸리게 되며, 가스의 비중이 낮아 심부화재에 적용하기 어려운 점이 있다.

그러나 소화농도실험에 있어서 질소를 사용하게 되면 이산화탄소, 아르곤 등에 비해 한계산소농도가 낮으므로 질소를 통해서 구한 값을 채용하면 충분히 안전한 소화농도 값을 얻을 수 있다⁹⁾.

Fig. 3은 컵버너 시험기의 불꽃소화시험 장면을 나타낸 것으로, A는 연소되고 있는 불꽃의 형태를 나타낸 것이고, B는 질소와 노벡의 혼합가스에 의해서 소화되어진 직후의 상태를 나타낸 것이다.

소화현상에 있어서 질소만 사용한 경우 수직 불꽃화염의 크기가 점점 작아지면서 파란색이 많아지다가 소화가 이루어지는 현상을 나타내었다. 그러나 노벡만을 사용하였을 때는 수직화염의 크기가 변동을 일으키며, 소화농도에 도달하면 화염에서 ‘폭’하는 소리를 내면서 소화되는 현상이 발생하였다.

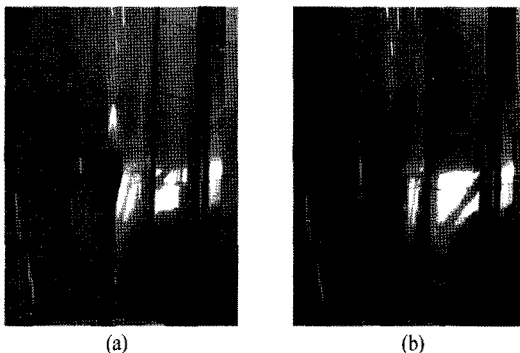


Fig. 3. Photographs of cup burner flame and flame extinguishing.

Table 3. Results of Cupburner extinguishing concentration of N₂ and Novec

Sample	N ₂ (L/min)	Novec(L/min)
n-Heptane	19.5	2.8
Methanol	29.5	3.7
Ethanol	22.0	3.0
iso-Propanol	17.5	2.6
1-Butanol	22.0	2.8

Table 3은 순수한 질소와 노벡을 사용한 소화농도 실험의 결과를 나타낸 것으로 n-헵탄은 40L/min의 공기와 소화약제인 질소를 19.5L/min로 주입하였을 때 소화가 일어났다. 이로부터 제시한 것과 같이 투입된 공기유량과 질소유량을 측정하면 소화농도를 계산 할 수 있으며, 실험결과 n-헵탄의 소화농도는 32.77%로 나타났다. 이 결과 값은 권⁴⁾과 Vahdat¹²⁾가 실험한 질소를 이용한 n-헵탄의 소화농도 값 35%와 33.6% 보다는 약간 낮게 나타났다. 그러나 가스계 소화약제의 경우 한¹³⁾의 논문에서도 제시되었듯이 국제적으로 통용되는 NFPA 2001⁵⁾의 권장 안전을 20%를 감안하면, 소화성능평가에 대한 연구로서는 문제가 없을 것으로 사료된다.

n-헵탄에 노벡만을 사용하여 소화농도를 실험한 결과 2.8L/min에서 소화가 일어났으며, 소화농도는 6.54%로 구하여졌다. 이 값은 할론 1301의 소화농도인 6%와 거의 유사하며, 청정소화약제로 개발된 HFC-125(8.7~12.1%)와 HFC-227ea(7.5~8.7%) 보다는 노벡의 소화효과가 상당히 높은 것으로 나타났다⁴⁾.

또한 청정에너지에 해당하는 알코올류에 대한 소화농도 값을 Fig. 4에 나타내었으며, 질소만을 소화약제로 사용하였을 때는 30.4~42.5%의 범위에서 소화가 이루어졌고, 노벡만을 소화약제로 사용하였을 때는 6.10~8.47%의 범위에서 소화가 이루어졌다.

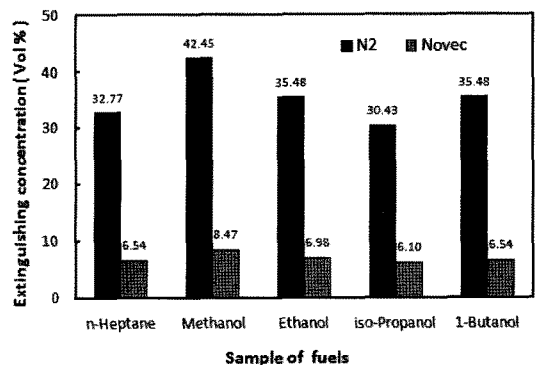


Fig. 4. Extinguishing concentration of pure agent N₂ and Novec.

4.2. 질소와 노벡 혼합가스의 소화농도 및 한계 산소농도

순수 노벡은 n-헵탄의 소화에 있어서 할론 1301 과 비슷한 효능을 지니고 있으므로, 소화농도가 높은 질소와 함께 사용하면 보다 적은 방출량으로 빠른 시간 내에 소화가 이루어 질수 있다고 판단하여 실험을 진행하였다.

Fig. 5는 n-헵탄을 원료로 하여 질소와 노벡의 혼합가스를 투입 소화농도실험을 한 결과로서, 그래프의 X축은 순수 질소 소화약제만을 사용하여 소화된 양을 기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 몰분율에 해당되는 질소의 값을 나타낸 것이다.

Y축은 혼합가스의 소화농도, 질소가스 투입비율, 노벡가스 투입비율 그리고 한계산소농도를 각각 백분율로 나타내고 있다.

따라서, n-헵탄은 순수 질소 소화농도량 19.5L/min 을 기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 몰분율에 해당되는 22.12%, 23.58%, 25.02%, 26.39%, 27.71%의 질소를 투입하였을 때 각각의 조건에서 소화가 이루어지는 노벡의 양은 2.27%, 2.05%, 1.65%, 1.44%, 1.24%로 나타났다. 따라서 불꽃화염이 꺼지는 소화농도는 24.39%, 25.62%, 26.67%, 27.84%, 28.95%로 구하여졌으며, 이 실험조건에서 계속해서 투입된 공기의 양 40L/min 중 21%를 산소의 양으로 보고 한계산소농도를 계산한 값은, 각각의 조건에서 15.88%, 15.62%, 15.40%, 15.15%, 14.92%로 구하여졌다. 따라서 질소의 양이 증가하면 한계산소량은 감소하는 경향을 나타내었다.

n-헵탄의 결과를 보면 질소 몰분율 기준 0.70에서 혼합가스의 소화농도는 27.84%이고, 한계산소농도는 15% 이상을 유지하므로 상대적으로 소화효과가 좋은 것으로 사료된다¹⁴⁾.

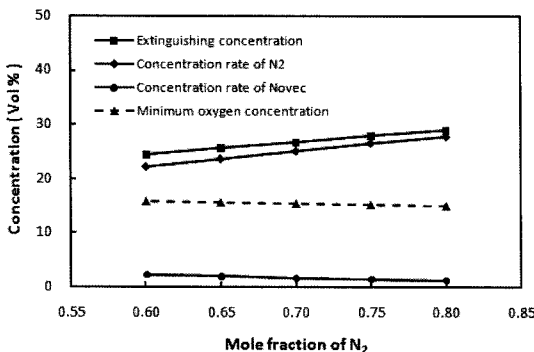


Fig. 5. Extinguishing concentration of N₂/Novec mixtures for n-heptane fuel.

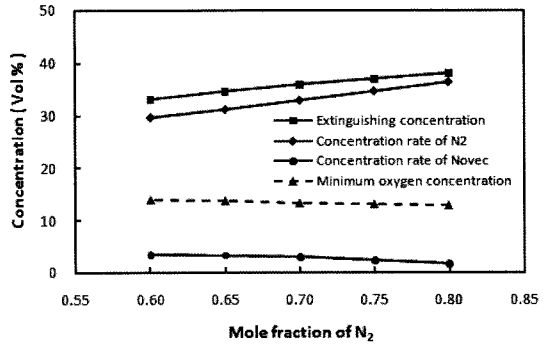


Fig. 6. Extinguishing concentration of N₂/Novec mixtures for methanol fuel.

Fig. 6은 메탄올 연료의 소화실험 결과를 나타낸 것으로 순수 질소의 소화농도에 대한 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 몰분율에 해당되는 29.60%, 31.32%, 33.01%, 34.78%, 36.48% 질소의 양에 소화가 이루어 질 때까지 투입된 노벡의 농도는 3.51%, 3.35%, 3.04%, 2.36%, 1.70%로 나타났다. 따라서 화염이 소멸하는 소화농도는 질소와 노벡의 양을 합산한 33.11%, 34.67%, 36.05%, 37.14%, 38.18%로 구하여졌다. 이때의 소화농도를 기준으로 한계산소농도를 계산해 보면 14.05%, 13.72%, 13.43%, 13.20%, 12.98%로 나타났다.

Fig. 6도 Fig. 5와 동일하게 질소의 양이 증가하면서 한계산소량은 감소하는 경향이 나타났으며, n-헵탄에 비해서 메탄올의 한계산소농도 값이 더 낮은 경향을 나타내고 있다.

Fig. 7은 에탄올 연료의 소화실험 결과를 나타낸 것으로, 순수 질소의 소화농도에 대한 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 몰분율에 해당되는 각각의 질소는 24.14%, 25.66%, 27.19%, 28.68%, 30.08%이며, 소화농도에 도달하는 데 필요한 노벡의 양은 2.71%,

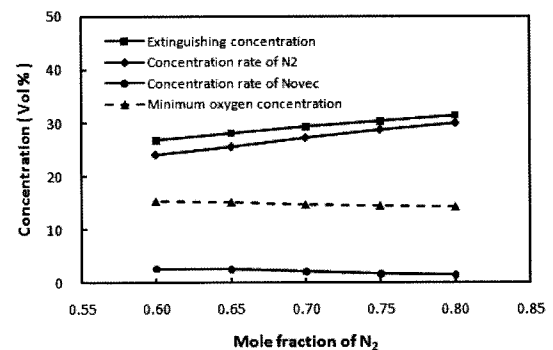


Fig. 7. Extinguishing concentration of N₂/Novec mixtures for ethanol fuel.

2.55%, 2.19%, 1.81%, 1.57%로 나타났다. 따라서 질소와 노벡 혼합가스에 대한 소화농도는 26.85%, 28.21%, 29.38%, 30.48%, 31.65%로 구하여졌고, 한계산소농도는 15.36%, 15.08%, 14.83%, 14.60%, 14.35%로 계산되어졌다. 이 결과로부터 에탄올의 경우 질소 기준 물분율 0.65 이하에서 한계산소농도가 15.08% 보다 높아지기 때문에 이 비율 하에서는 소화효과가 좋을 것으로 판단된다.

Fig. 8은 iso-프로판올의 소화실험 결과를 나타낸 것으로, 질소기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 물분율에 해당되는 20.27%, 21.64%, 22.96%, 24.30%, 25.59%의 질소를 투입하였을 때 소화가 이루어지는 노벡의 량은 2.51%, 2.28%, 2.06%, 1.67%, 1.28%로 나타났으며, 이때의 소화농도는 각각 22.78%, 23.93%, 25.02%, 25.97%, 26.87%로 구하여졌다. 또한 한계산소농도는 16.22%, 15.98%, 15.75%, 15.55%, 15.36%로 iso-프로판올의 경우는 질소기준 0.80 물분율 이하농도에서 소화가 잘 이루어지는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 1-부탄올의 소화실험 결과를 나타낸 것으로 질소기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의

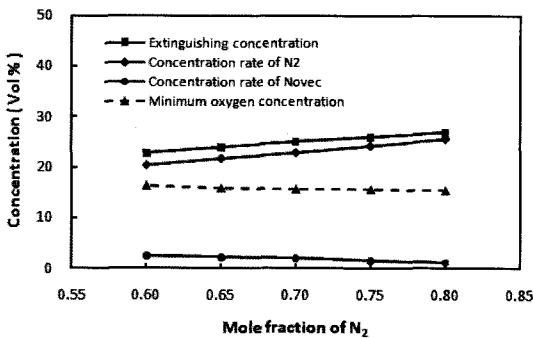


Fig. 8. Extinguishing concentration of N₂/Novec mixtures for iso-propanol fuel.

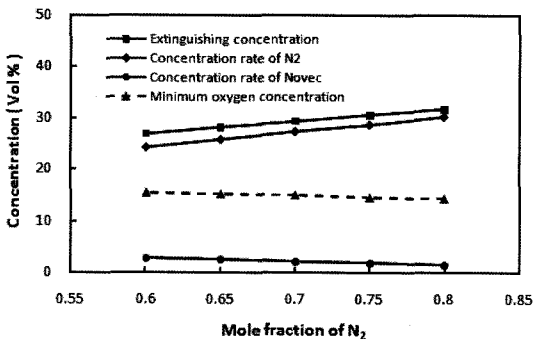


Fig. 9. Extinguishing concentration of N₂/Novec mixtures for 1-butanol fuel.

물분율에 해당되는 24.13%, 25.67%, 27.21%, 28.65%, 30.09%의 질소를 투입하였을 때 소화가 이루어지는 노벡의 량은 각각 2.74%, 2.51%, 2.12%, 1.91%, 1.54%로 나타났다.

따라서 불꽃화염이 꺼지는 소화농도는 26.87%, 28.19%, 29.33%, 30.56%, 31.62%로 나타났으며, 이에 따른 한계산소농도는 15.36%, 15.08%, 14.84%, 14.58%, 14.36%로 계산되어졌고, 질소기준 물분율 0.65 이하의 비율에서는 소화가 잘 이루어지는 것으로 나타났다.

5. 결론

가스계 소화약제의 소화농도 실험장치인 컵버너 실험장치를 이용하여 질소와 노벡 혼합가스의 소화농도 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 순수 질소와 노벡을 사용한 소화농도 실험에서 n-헵탄은 질소만의 소화농도는 32.77%이고, 노벡만에 대한 소화농도는 6.54%로 나타났다. 결과적으로 노벡은 할론 1301의 소화농도인 6%와 거의 유사한 값으로 소화효과가 좋은 것으로 나타났다. 또한 메탄올, 에탄올, iso-프로판, 1-부탄올에 대한 소화농도는 질소만을 소화약제로 사용하였을 때는 30.4~42.5%의 범위에서 소화가 이루어졌고, 노벡만을 소화약제로 사용하였을 때는 6.10~8.47%의 범위에서 소화가 이루어져 많은 차이를 나타내었다.

2) 혼합가스의 소화농도실험에 있어서는 순수 질소만의 소화농도를 기준으로 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80의 물분율에 해당되는 질소량에 소화가 이루어질 때까지의 투입된 노벡의 양을 각각 측정하여, 이 값들로부터 소화농도와 한계산소농도를 구하였다. n-헵탄은 소화농도 24.39~28.95%로 나타났으며, 한계산소농도는 14.92~15.88%로 구하여졌다.

3) n-헵탄과 동일한 조건에서 메탄올의 소화농도 범위는 33.11~38.18%, 한계산소농도는 12.98~14.05%로 나타났으며, 에탄올은 소화농도가 26.85~31.65%, 한계산소농도 14.35~15.36%, iso-프로판올은 소화농도 22.78~26.87%, 한계산소농도 15.36~16.22%, 1-부탄올은 소화농도 26.87~31.62%, 한계산소농도 14.36~15.36%로 나타났다.

감사의 글: 본 연구는 지식경제부의 “CFC 대체 실용화 기술개발연구”에 관한 지원에 의해서 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 대한민국 소방방재청, “2007년도 전국 화재발생 현황분석”, 화재조사팀, p. 3, 2008.
- 2) 함상근, 김홍, 강영구, 김동현, 이영섭, “실내 마감재의 유독가스 방출에 관한 독성평가”, 산업안전학회지, Vol. 17, No. 1, pp. 61~67, 2002.
- 3) 최재욱, “등유의 소화성능 평가를 위한 불활성 가스의 소화농도에 관한 연구”, 산업안전학회지, Vol. 22, No. 3, pp. 34~38, 2007.
- 4) 권경옥, 원동빈, 최근주, 김종원, 신동일, “이성분계 가스계소화약제 소화성능의 컵버너실험 및 이론적 고찰”, 한국가스학회지, Vol. 11, No. 3, pp. 7~12, 2007.
- 5) NFPA 2001, “Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System”, 1996.
- 6) 김재덕, “가스계 소화시스템의 평가”, 한국화재소방학회, Vol. 1, No. 1, pp. 10~18, 2000.
- 7) 소방검정공사, “소화약제의 형식 승인 및 검정기술 기준”, KOFEIS 0102, 소방방재청고시, 2007-63호, 2007.
- 8) ISO 14520, “Gaseous Fire Extinguishing Systems-Physical Properties and System Design”, 2000.
- 9) 목연수, 조태제, 전성균, 유용호, “화학안전공학”, 동화기술, pp. 45~120, 2002.
- 10) 임우섭, 목연수, “Hydroxypropyl Methyl Cellulose의 분진 폭발특성에 관한 연구”, 산업안전학회지, Vol. 15, No. 4, pp. 95~100, 2000.
- 11) 3M Fire Protection Technologies Technical Information, “Novec 1230 Fire Protection Fluid”, 3M Storage and Handling, 2006.
- 12) N. Vahdat, Y. Zou and M. Collins, “Fire-extinguishing Effectiveness of New Binary Agent”, Fire Safety J., Vol. 38, pp. 553~567, 2003.
- 13) 한용식, 김명배, 김수용, “불활성 가스 발생장치의 소화시스템 적용에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol. 19, No. 2, pp. 69~74, 2005.
- 14) Naoshi S., Yoshio O. and Yuko S., Chihong Liao and Ryuta Sakei, “Flame Extinguishing Concentrations and Peak Concentrations of N₂, Ar, CO₂ and their Mixtures for Hydrocarbon Fuels”, Fire Safety Journal, Vol. 27, pp. 185~200, 1996.