



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

Cup Burner를 이용한 불활성 가스의 소화농도에 관한 연구



2007年 2月

釜慶大學校大學院

安全工學科

閔 鐵 雄

工學碩士 學位論文

Cup Burner를 이용한 불활성 가스의 소화농도에 관한 연구

指導教授：崔 載 旭

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2007年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

安 全 工 學 科

閔 鐵 雄

閔鐵雄의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 2月



主 審 工學博士 李 來 雨 (印)

委 員 工學博士 李 義 周 (印)

委 員 工學博士 崔 載 旭 (印)

목 차

1. 서 론	1
2. 이론적 배경	4
2-1 가스계 소화약제 연구 필요성	4
2-2 가스계 소화약제 평가	6
2-3 소화시스템의 평가 및 소화 이론식	7
2-3-1 소화시스템의 평가	7
2-3-2 소화농도계산	12
3. 실험장치 및 방법	13
3-1 실험시료	13
3-2 실험장치	14
3-2-1 소화농도 측정장치	14
3-3 실험방법	20
3-3-1 소화농도 실험방법	20

4. 결과 및 고찰	23
4-1 불활성 가스종류에 따른 소화한계농도	23
4-1-1 공기유량의 변동에 따른 아르곤의 소화한계농도	23
4-1-2 공기유량의 변동에 따른 질소의 소화한계농도	29
4-1-3 공기유량의 변동에 따른 이산화탄소의 소화한계농도	33
4-1-4 공기유량의 변동에 따른 헬륨의 소화한계농도	37
5. 결 론	41
참 고 문 헌	42
Abstract	45



1. 서 론

인류는 인명과 재산을 위협하는 화재를 효율적으로 진화(鎮火)하려는 노력을 지속해 왔다. 특히 산업사회에서 발생하는 화재는 원시(原始)의 화재와는 달리 그 종류가 다양해졌다. 가연물, 산소, 점화원으로 구분되는 연소의 3요소 중 가연물의 성상과 종류에 따라 화재의 종류별 급수를 정하고 있으며, 대부분의 나라에서는 A, B, C, D, E급으로 분류하고 있다.¹⁾ 특히 가연물의 수송·저장·취급 시에 대한 공정안전과 손실예방을 위한 연구는 지속적인 관심사가 되고 있다. 이들 가연물에 대한 위험 특성치로는 인화점, 발화점, 폭발한계, 최소산소농도 등이 있으며, 이 중에서도 연소범위 안에서 공정안전을 확보하기 위해서 최소산소농도(MOC:Minimum Oxygen Concentration)가 대단히 중요하다. 가연성가스 또는 가연성증기에 불활성 가스를 주입하여 산소의 농도를 MOC 이하로 낮추는 작업을 치환(Purging)이라고 하는데, 이를 위한 노력은 지속적으로 이루어져왔으며, 화재를 진화하기 위한 가스계 소화약제의 개발이 다양하게 발전되었다. 특히 할로젠 화합물 소화약제는 화학적, 물리적으로 안정성이 있기 때문에 B급 및 C급 화재에 대한 우수한 소화 성능을 갖춘 청정 소화약제로서 가장 널리 사용되어졌다. 청정 소화약제라 함은 할로젠화합물 및 불활성기체로서 전기적으로 비전도성이며 휘발성이 있거나 증발 후 잔여물을 남기지 않는

소화약제를 말한다.²⁾ 또한 인체에 미치는 영향이 낮고 그 소화능력이 뛰어나서 가장 널리 사용되어졌다. 그러나 이들 소화약제가 1987년 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에서 오존층 파괴 원인물질로 알려지면서 그 사용이 단계적으로 제한되기 시작했으며, 교토의정서(Kyoto Protocol)에서는 2008~2012년 기간 중에 선진국 전체의 배출총량을 '90년 수준보다 최소 5% 감축할 것'을 표명했다³⁾.

이와 같이 Halon이 성층권의 오존층 파괴에 영향을 미친다는 점에서 국제적인 협의에 의해 규제되고 있으며, 환경친화적인 연소억제제를 연구할 필요성이 대두되었다. 이들 약제의 대체물질로서 질소와 같은 불활성 가스의 혼합물을 이용하는 방법이 계속 진행되고 있다. 그러나 이들 불활성 가스는 무독성이고 전기 전도성이 없으며 깨끗한 연소억제제로 그 장점을 가지지만, Halon 계열에 비해 소화능력이 떨어진다는 점과 용기 및 설비 등에 저장시 그 부피가 Halon에 비해 11~13배 정도 더 크므로 비효율적인 면을 지니고 있다⁴⁾. 그러므로 불활성 가스에 효과적인 소화 억제제를 추가하여 소화능도를 증가시키거나 불활성 가스 간에 적절한 혼합비를 구성하여 소화능력과 효율성을 향상시키기 위한 노력이 지속되어야 한다.

이에 관한 연구를 수행하기 위해 이용되는 대표적인 실험장치로는 소화 농도측정장치(fire extinguishing concentration system)있는데, 소화능력을 실험하기 위해서는 국제적인 기준이 필요하다. 그러므로 본 실험에서는

NFPA(National Fire Protection Association) 2001 Standard에서 권장하는 방법과 동일하고⁵⁾ 이를 표준에 맞게 장치를 제작하여 불활성가스에 대한 소화능력을 연구하였다. 또한 소화한계측정에 관한 연구가 부족함으로 이에 대한 연구의 필요성을 분석하고 청정소화약제의 개발 및 화재·폭발사고의 예방을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.



2. 이론적 배경

2-1 가스계 소화약제 연구 필요성

가스계 소화약제에 대한 개발이 필요하게 된 계기는 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 의해 오존층에 악영향을 끼치는 할론 소화약제를 규제하기 시작할 때 부터이다. 규제이전까지 할론 소화약제는 인체에 대한 독성이 낮고, 열적 및 화학적 안정성이 우수하면서도 소화 후에 잔사(殘渣)를 남기지 않는 소화약제로서 전세계적으로 널리 사용되어져 왔다.⁶⁾

할로젠원소 C, F, Cl, Br를 이용한 이들 소화약제 화합물은 할론(이하 Halon)이라고 하는데, 프레온가스에 함유된 Cl 대신에 같은 할로젠족 원소인 Br이 함유되어 있다. 소화성능이 우수하고 대상물을 더럽히지 않는 특성을 지니고 있어 특수용도의 소화제로 많이 사용되었다. 특히 Halon 1301은 전산실, 위험물저장고, 잠수함의 소화제 및 미사일의 마찰방지제로 사용되고 있다. 그러나 이들은 성층권에 존재하는 오존층 파괴를 야기하고 있으며, HAVC System에서 사용되는 Halon은 쉽게 분해되지 않고⁷⁾ 장기간 체류하게 되어 이를 가속화시키고 있다.

이미 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 1994년부터 Halon의 생산을 금지하고 있으나, 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 개발도상국으로 분류되어 있는 우리나라의 경우는 2010년부터 생산을 금지하게 된다.

Halon의 사용규제가 시작된 이후로 소화약제 시장의 일부가 새로 개발된 소화약제로 대체하고 있지만, 비거주지역에서는 여전히 이산화탄소가 주로 사용되고 있다. 또한 Halon 대체 가스계 소화약제에 대한 개발은 지속적으로 진행 중이지만, 대부분이 외국에서 개발되어져 국내로 도입될 뿐이다.

국제규약에 의해 CFC와 Halon 등의 생산 및 사용이 감소되고 있지만, 이에 비해 Halon 사용의 완전폐지를 위한 대체물질 개발이 부족하며, 그 성능이 떨어져 제한적으로만 사용되고 있는 실정이다. 또한 소화약제 및 소화시스템에 대한 소화성능은 국제적인 기준에 부합되어야 하나, 이에 관한 연구가 극히 제한적으로 이루어지고 있다. Halon폐지와 새로운 대체소화약제의 잠재적인 수요를 고려하여 이에 관한 연구를 수행하게 된다면 그 가치가 높을 것으로 사료된다.

2-2 가스계 소화약제 평가

화재로부터 인명과 재산을 보호하기 위한 소화시스템은 1차적으로 화재 진압의 성능을 고려하여야 하며, 2차적으로 소화시스템에 대한 신뢰성과 법적인 타당성을 생각하여야 한다. 이를 위해 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 여러 제도를 도입하여 운영하고 있다.

미국의 경우 NFPA(National Fire Protection Association)에서 소화약제 및 소화시스템에 대한 표준규정을 따르고 있고, UL(Underwriters Lab.)과 FM(Factory Mutual)에서 소화시스템의 소화성능 시험을 수행하며, 유럽의 LPC(Loss Prevention Council), 캐나다의 ULC(Underwriters Lab. Canada), 일본의 消防設備安全센터에서도 이에 대한 업무를 수행하고 있다. 우리나라의 경우에는 소규모적인 소화성능 시험이 이루어지고 있지만, 큰 규모의 소화성능 시험이나 설계방법에 대한 평가는 아직 체계적으로 부족한 점이 많다. 가스계 소화약제의 불꽃소화농도는 Cup Burner Test장치에 의해 측정되며 1961년 Creitz⁸⁾가 발표한 NBS장치, Hirst와 Booth⁹⁾가 발표한 ICI장치, Moore 등¹⁰⁾이 발표한 NMERI장치 등이 있다. 그러나 이들 장치들을 통해 같은 연료와 소화약제를 사용하여 실험한 데이터가 차이를 보이는데, 김 등¹¹⁾은 이러한 차이가 연료의 종류나 액위의 흔들림, 연료나 주위환경의 온도, 주입되는 공기와 소화약제의 혼합정도 등에 큰 영향을 받기 때문인 것으로 보고 있다.

2-3 소화시스템의 평가 및 소화 이론식

2-3-1 소화시스템(*flame extinguishing system*)의 평가

소화(消火)는 사람의 의도에 반(反)하여 발생하는 연소현상인 화재(火災)를 진화(鎮火)하는 것을 의미한다. 소화를 위해서는 연소의 3요소 중에서 어느 한가지만이라도 제거하여 그 목적을 달성함으로서 연쇄반응의 중단이 필요하다.¹²⁾

소화약제의 소화농도는 이러한 연소현상에서 화염을 소화하는데 소요되는 소화제의 최소농도로 정의할 수 있으며, 소화농도가 낮을수록 더 뛰어난 소화능력을 가진다. 이러한 소화농도는 Cup Burner장치의 확산불꽃 주위로 공기와 소화제의 혼합기체를 흘려보내 불꽃이 꺼질 때까지 소화제의 농도를 증가시키면서 측정하게 된다. 그러나 이러한 기본 모델에도 불구하고 여러 종류의 Cup Burner장치에서 얻어진 데이터가 상이한 점을 나타냄으로써 장치의 설계나 실험조건에 대한 기준이 요구된다. 1961년 Creitz⁸⁾는 Cup Burner방식이 연료의 공급율과 내부 튜브의 공기 흐름율에 따라 달라진다는 점을 지적했고, 1970년대 후반에 Hirth와 Booth⁹⁾에 의해 개발된 Cup Burner장치는 소화농도측정에 폭넓게 이용되어 졌지만, 할로젠화합물의 다양화로 이를 규격화 할 수 있는 모델이 요구되었다.

Hirth와 Booth는 이러한 Cup Burner장치들 간에 상이한 결과를 안정화할 수 있는 조건¹³⁾은 신선한 공기를 충분히 공급함으로써 안정된 화염을 항

시 유지해야하고 화염이 연료표면이나 cup을 통과하는 기류에 의한 영향을 최소화하여야 한다. 이와 같이 Cup Burner방식이 cup의 모양, 기둥(chimney) 크기 등에 따라서 달라지므로 이러한 오차를 줄이고자 제작된 장치의 대표적인 예와 각종 기관에서 제작된 Cup Burner장치¹⁴⁾들은 다음과 같다.

1) ICI Burner

ICI Burner방식은 영국의 최대화학공업체인 Imperial Chemical Industries에서 개발된 것으로 외경이 28.5mm인 유선형 cup에 액체연료를 넣어 불꽃을 만들고 내경 85mm의 유리기둥(glass chimney)으로 불꽃을 둘러싼 후 공기와 소화제를 아래에서 위쪽으로 통과시켜 소화농도를 측정하는 장치이다. 공기유량은 45ℓ/min이고 이 때의 공기 및 소화제는 상온이다. 기체 연료를 사용할 경우에는 외경이 8mm 관으로 교환하여 사용한다.

2) FMRC Burner

Factory Mutual Research Corp(FRMC)는 ICI Burner 방식과 유사한 장치를 설치하여 실험을 수행하였다. 직경 28mm의 cup을 직경 105mm의 기둥으로 둘러싼 후 공기와 소화제를 아래에서 위쪽으로 통과시킨다.

3) Limiting Oxygen Index Test(ASTM D2863)

Oxygen index 시험은 실제 소화제로 질소를 사용하는 소화농도측정 장치로서 대개 고체연료를 사용한다. 이 시험의 목적은 파라핀재질의 초처럼 타고 있는 불꽃에 산소/질소의 혼합물을 통과시켜 불꽃이 존재하는 최소산소농도를 구하는데 그 목적이 있다.

4) NIST Burner

연료를 액체로 할 경우 Cup Burner 시험의 가장 큰 단점인 연료의 액위변경에 따라 소화농도 값이 변하는 점을 피하기 위해 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서는 ASTM D2863을 일부 수정한 방식이다. 기둥의 크기는 직경 105mm, 높이 480mm의 Pyrex 유리로 제작하여 공기와 소화제의 혼합가스를 다공판과 glass bead를 통과한 후 상부로 통과시킨다. 이 장치가 시험조건의 변화에 큰 차이 없이 일정한 소화농도를 측정할 수 있으나, n-heptane을 연료로 한 이전의 Cup Burner에서 측정한 소화농도 데이터와 달라 보정과정을 거쳐야한다.

5) ISO법

국제표준기구(International Organization for Standardization)에서 세계적으로 통용될 수 있는 가스계 소화시스템에 관한 표준규격(ISO14520)을 제

정 중에 있다. 이 방식은 Cup Burner의 모든 부품의 모양과 크기를 정밀하게 규정하며 주위온도, 가스유량, 초기 불꽃안정화 시간 등을 표준화하여 측정오차를 가능한 줄일 수 있도록 하고 있어 가장 신뢰성 있는 측정방법이 될 것으로 보인다.

이들 장치들에 의해 측정된 n-Heptane의 불꽃소화농도는 Table 1과 같다.



Table 1 Flame extinguishing concentration for n-Heptane(vol%)

	NRL	NMERI	Fenwal	NIST
FC-3-1-10	5.2	5.0	5.5	5.3
HCFC-124			6.4	7.0
HFc-227ea	6.6	6.3	5.8	6.2
HFC-236fa		5.6	5.3	6.5
HCFC Blend A	11	9.9		
HFC-23	12	12.6	12	12
HFC-125	9	9.4	8.1	8.7
CF31	3.24	3.0		3.2
IG-541				
IG-55		28		
IG-01		38		
Halon-1301	3.1	2.9	3	3.1
Halon-1211		3.6		

NRL : National Research Lab.

NMERI : New Mexico Engineering Research Institute.

Fenwal : Kidde-Fenwal Inc.

NIST : National Institute of Standards and Technology.

2-3-2 소화농도 계산

소화설비에 사용될 소화약제의 양을 결정하고 방호구역에 필요한 가스에 소화약제의 양을 산정하는 기초가 되는 것이 소화약제의 소화농도이다. 소화농도를 측정하는 방법으로는 여러 가지가 있지만, NFPA, ISO, UL 등의 Fire code에서 명시하는 Cup burner 시험방법을 통해서 측정하도록 권장하고 있다. Fire code 및 연구기관에 따라 다소 소화농도의 결과치가 차이를 보이지만, 실용적 관점에서는 그 차이는 크지 않다. 또한 소화의 유무를 파악하기 위해서는 소화시간을 어떻게 설정하는가에 대한 문제가 남아있는데, 소화농도에 대하여 소화에 이르는데 걸리는 시간은 연구기관과 연구자의 관점에 차이가 있다. 그래서 본 연구에서는 소방법규¹⁵⁾에서 불활성가스의 허용방출시간을 1분을 규정하고 있으며, IGG system(inert gas generator system) 역시 불활성가스 소화약제로 분류될 수 있는 허용 방출 시간인 1분을 기준으로 하였다. NFPA 2001¹⁶⁾의 기준에 따라 소화농도는 공기유량(F_2)을 $40 \ell / \text{min}$ 에 고정시켜 두고 측정하고자 하는 가스소화약제의 유량(F_1)을 서서히 증가시킬 때 소화되는 조건에서의 유량 F_1 과 F_2 를 측정한 후 식(1)에 대입하여 소화농도를 구한다.

$$\text{소화농도} = \frac{F_1}{F_1 + F_2} \times 100\% \quad (1)$$

3. 실험장치 및 방법

3-1 실험시료

본 실험에서 사용된 소화약제로서 각각의 불활성가스들과 소화실험의 화원생성에 사용된 표준시료와 실내등유의 물성치는 Table 2에 나타내었다.

불활성가스로는 (주)유니온 가스에서 제조된 고순도의 질소(N_2), 이산화탄소(CO_2), 아르곤(Ar), 헬륨(He)을 사용하였고, 표준시료는 n-heptane(Junsei chemical Co., Ltd.)를 사용하였다. B급화재에 대한 연구를 위해 (주)OO에서 제조된 일반실내등유 및 무연휘발유를 사용하여 실험하였다.

Table 2 Main chemical and physical properties of pure agent and standard sample

Name	Molecular weight(g/mol)	Boiling point(℃)	Specific gravity(Air=1)	Purity (Vol. %)
Argon	39.95	-185.8	1.38	99.9
Carbon dioxide	44.01	-78.5	1.521	99.5
Helium	4.003	-268.9	0.138	99.9
Nitrogen	28.01	-195.8	0.967	99.9
n-heptane	100.2	98.4	3.45	99.0
Kerosene	167.315	149~300	4.5	·
Gasoline	114 (Octane)	38~204	3.0~4.0	·

3-2 실험장치

3-2-1 소화농도 측정장치

일반적으로 가연성 물질이 연소하는데 필요한 적정 산소량과 불활성가스의 상관관계를 연구하는데 질소가 많이 사용되고 있으며, 이러한 관계를 연구하기 위한 대표적인 실험장치로는 Oxygen Index가 있다. 특히 Oxygen Index는 높은 정밀도와 함께 사용의 편리성을 지니고 있어 플라스틱이나 케이블 산업에 기본이 되고 있으며, 연소에 필요한 가장 낮은 산소의 농도를 찾는 데 그 목적이 있다.¹⁷⁾ 소화농도를 측정하기 위한 실험장치는 NFPA 2001 Standard¹⁶⁾에서 제시하는 기준으로 일부 장치를 수정 및 보완하여 제작하였으며 그 개략도는 Fig. 3과 같으며, Photo 1에 나타내었다.

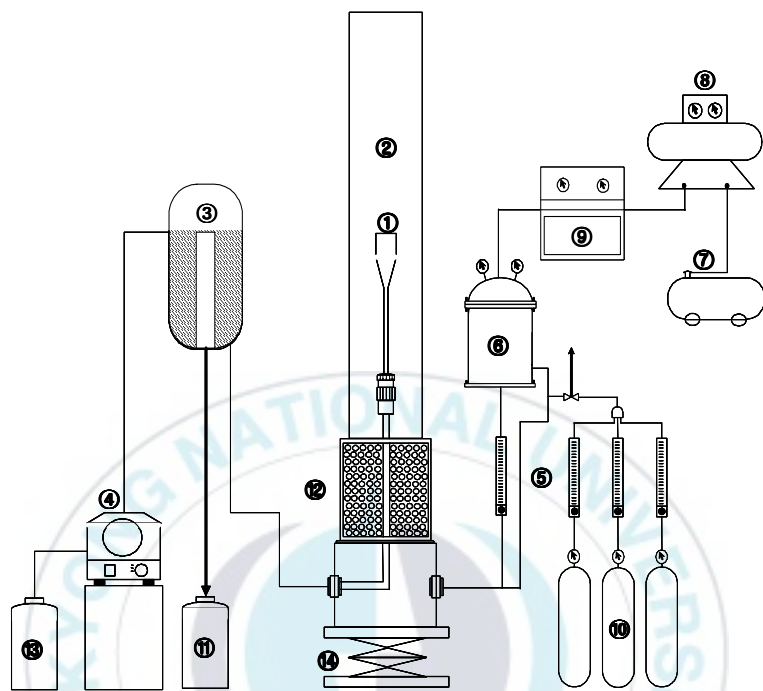
장치는 공기공급부, 불활성가스 혼합 및 공급부, 시료공급부, 소화농도 측정부로 나누었다.

공기공급부는 공기압축기, 압축공기저장탱크, 유량계로 구성되어 있으며 대기압 하에서 실내공기를 공기압축기(한신, Model: NH-5)를 통해 모으고, 대기중의 수분을 제거하기 위하여 Air Dryer((주)한신, Model: XD-7)를 통해 압축된 공기의 수분을 제거한 후 자동압력조절장치를 통해 설정압력으로 항상 유지되도록 했다. 이를 유량계(Kojima Co., Ltd., Model: RK1600R, 오차: $\pm 2\%$)를 통해 측정하고자 하는 유량을 일정하게 공급하도록 했다.

불활성가스 혼합 및 공급부는 불활성가스 봄베, 유량계, 혼합조로 구성하였다. 불활성가스는 고순도 질소, 이산화탄소, 아르곤, 헬륨을 압력조절기를 통해 유량계로 이송되며, 각 봄베로부터 유입된 가스는 유량계(Kofloc Co., Ltd., Model:RK1200, 오차:±2%)를 통해 필요한 비율만큼의 유량을 일정하게 공급하도록 했다. 각 유량계로부터 유입되는 가스는 혼합조(mixing chamber)를 통해 소화농도측정부로 공급된다.

시료공급부는 시료펌프, 시료조절장치등으로 구성하였다. 시료펌프(Iwaki Co., Ltd., Max flow:20cc/min)는 측정하고자 하는 액체시료를 일정량만큼 지속적으로 시료조절장치로 공급한다. 액체를 연료로 사용한 Cup burner 방식의 단점인 액위변경시에 소화농도 값이 변하는 것을 피하기 위해 NIST ASTM D2863에서 제시한 방법으로 Cup burner의 액위와 동일한 높이에 유지할 수 있도록 유리로 된 용기를 제작하여 익류되는 시료를 배출하여 따로 모을 수 있도록 함으로써 액위가 항상 유지되도록 하였다.

소화농도측정부는 Cup burner, 유리기둥 등으로 구성되었다. 시료공급부로부터 유입된 액체시료는 Levelling Jack으로 높낮이를 조절하여 Cup burner의 모서리까지 액위를 맞출 수 있도록 하였다. 또한 유리기둥의 하부에는 공간을 두어 여기에 유리알갱이를 채워 넣어서 불활성가스의 혼합이 원활히 되도록 하였다.



- | | |
|------------------|----------------------|
| ① cup burner | ⑧ auto air regulator |
| ② glass chimney | ⑨ air dryer |
| ③ overflow tank | ⑩ agent gas bombe |
| ④ metering pump | ⑪ fuel feeder |
| ⑤ flow meter | ⑫ glass beads |
| ⑥ mixing chamber | ⑬ fuel glass bath |
| ⑦ compressor | ⑭ levelling jack |

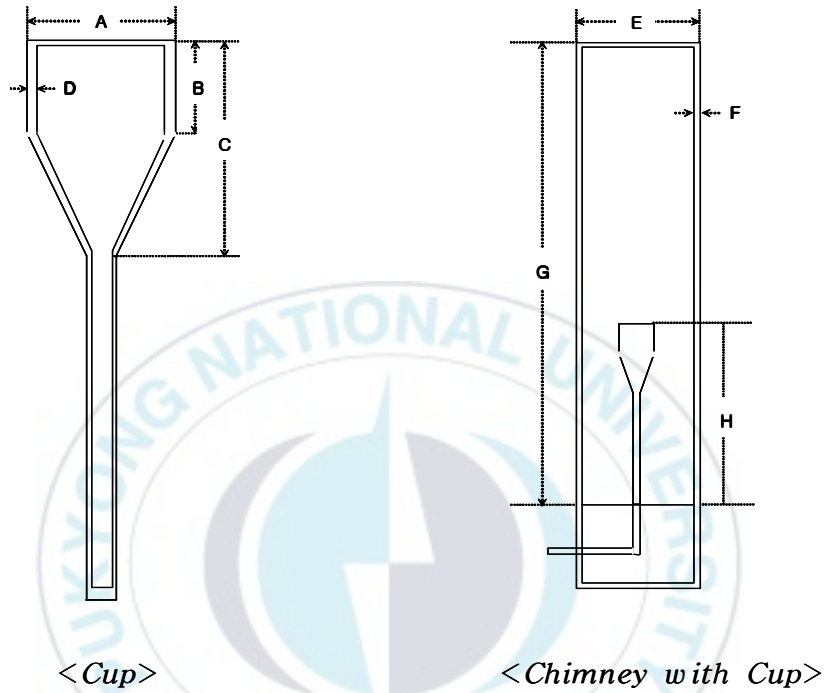
Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for flame extinguishing concentration.



Photo 1 Experimental apparatus for flame extinguishing concentration.

ISO/FDIS 14520¹⁸⁾에서는 가스계 소화시스템에 대한 장치는 다양하게 존재하나, 이들 간에 소화농도의 데이터와 상이함을 나타냄으로써 전 세계적으로 통용될 수 있는 소화농도 측정방법을 포함하고 있다. 이 방법에서는 Cup burner의 모든 부품의 모양과 크기를 정밀하게 규정하여 이를 표준화함으로써 측정오차를 가능한 줄이고 신뢰성을 향상시키도록 권장하고 있다. 따라서 본 실험에서는 Cup burner에 대한 규격을 국제기준에 맞추어 Fig. 2에 도시하였다.





Outside diameter (A)	: 28-31mm	Inside diameter (E)	: 85±2mm
Height (B)	: 25±1.25mm	Wall thickness(F)	: 2-5mm
Taper height (C)	: 70±3.5mm	Height (G)	: 533±26.65mm
Stem outside diameter(D)	: 12±0.6mm	Cup placement (H)	: 235±11.75mm

Fig. 2 Proposed standard Cup Burner with dimensions.

3-3 실험방법

3-3-1 소화농도 실험방법

먼저 액체시료를 익류탱크(Overflow tank)에 계량펌프(Metering pump)를 이용하여 공급하고 Cup burner의 상부 끝부분까지 액위가 닿도록 높이 조절잭(Levelling jack)의 높낮이를 조절한다. 화염의 연소에 따른 연료의 소모와 공급을 고려하여, Cup burner에서 연료의 액위가 일정높이에서 항상 고정될 수 있도록 계량펌프(Metering pump)의 공급량을 조절한다.

점화된 화염이 안정적으로 연소할 수 있도록 공기분위기를 형성해야 함으로, 공기압축기를 통해 대기중의 공기를 압축한 후 공기건조기(Air Dryer)를 통해 압축된 공기의 수분을 제거한다. 이것을 1차로 자동압력조절장치를 거쳐 일정압력으로 공기가 공급되도록 하고, 2차로 유량계(Kojima Co., Ltd., Model: RK1200R)를 이용하여 공급되어야 할 공기의 유량을 조절한다. 연소를 위한 투입되는 공기의 유량이 안정화 되었을 때, 손잡이형 가스버너를 이용하여 시료액체의 액면부근에서 스스로 증기를 발생하여 화염이 지속 될 때까지 일정시간 가열하여 점화가 되도록 한다. 화염이 발생한 후 시료 액면에서 화염이 안정하게 유지되는지 확인하고 시료액이 끓는점에 도달 할 때까지 시간을 측정한다. 화염이 최성기에 도달되었을 때 다음과 같은 순서에 의해 실험을 실시한다.

- ① Cup burner의 상단 끝부분에 있는 액체시료에 화염을 가하여 점화하며, 연소반응이 정상상태에 유지될 수 있도록 5분간 불꽃을 유지시킨다.
- ② 액면이 끓기 시작하고 화염이 최성기에 이르면, 측정하고자 하는 단일성분 또는 혼합가스(소화약제)의 양을 유량계를 통해 조절하여, T자 밸브를 통해 후드로 배기시킨다.
- ③ 투입되는 가스의 유량이 일정값으로 안정화 되었을 때, T자 밸브를 전환하여 혼합가스를 Cup burner가 있는 유리기둥내로 투입하며, 이때 스톱워치를 작동하여 화염이 소화될 때까지 시간을 측정한다.
- ④ 눈으로 불꽃의 소화여부를 관찰하여 1분 이내 소화가 되었을 때, 혼합가스 투입을 중지하고 혼합가스의 유량을 기록한다. 만일 1분 이상 화염이 지속되고 불꽃이 작아지는 등의 현상이 보여지지 않을 때는 소화되지 않는 것으로 간주하고 다량의 불활성 가스를 투입하여 강제 소화시킨다.
- ⑤ 소화유무에 따라서 소화한계점을 추정하여 다른 농도비를 가진 혼합가스를 앞의 실험과 동일하게 수행한다.

- ⑥ 소화가 되었을 때는 불활성 가스의 농도를 낮추고, 반대로 소화가 되지 않을 때는 불활성 가스의 농도를 높혀 소화유무가 판단되는 경계점을 찾고, 이를 소화농도로 정한 후 1회 실험을 종료한다.



4. 결과 및 고찰

4-1 불활성 가스종류에 따른 소화한계농도

4-1-1 공기유량의 변동에 따른 아르곤의 소화농도

공기의 유량변동이 소화농도에 미치는 영향을 분석하기 위해 공기유량을 각각 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min로 변화시켜가면서 n-Heptane, Kerosene, Gasoline에 대한 아르곤의 소화농도를 측정한 결과는 Fig. 3~5와 같다.

Fig. 3는 소화약제를 아르곤으로 하고, 공기유량에 따른 n-Heptane에 대한 아르곤의 소화농도를 나타낸 것으로서, 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 42.0%, 43.9%, 45.2%를 나타내었고, NIST¹⁹⁾에 제시된 소화농도 40%(40 ℓ/min 기준)와 비교한 결과 2%의 차이를 나타내었다.

Fig. 4는 동일한 아르곤을 소화약제로 하고, 공기유량에 따른 Kerosene의 소화농도를 나타낸 것으로서, 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 40.3%, 38.1%, 36.5%를 나타내었다.

Fig. 5는 공기유량에 따른 Gasoline의 소화농도를 나타낸 것으로서, 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 37.9%, 34.8%, 31.6%를 나타내었다.

이와 같이 공기유량이 증가할수록 소화농도는 대체적으로 감소하는 경향

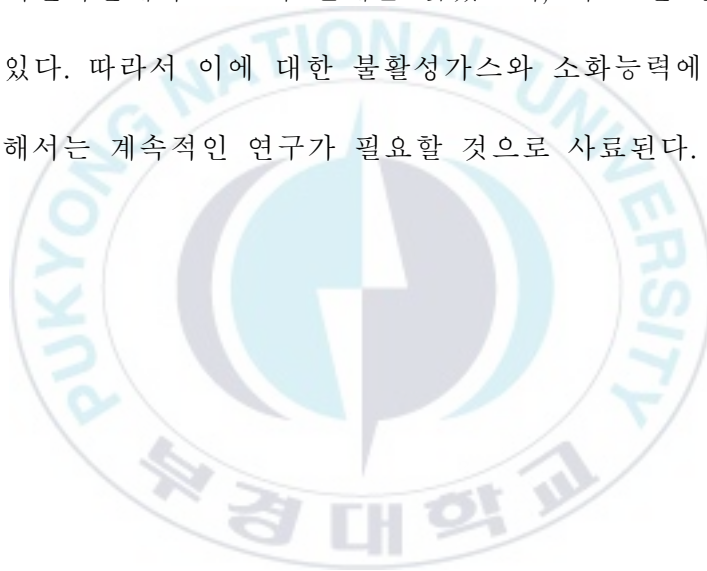
을 나타내었다. 불활성가스의 소화작용은 질식소화에 크게 관련되며 이것만으로 검토할 경우에는 공기유량이 변화하여도 소화농도는 이론적으로 변화되지 않아야 하나, 앞에서도 언급한 것과 같이 연료 액위의 상태, 주위 환경의 온도, 공기와 약제간의 혼합정도에 따라 상이한 결과를 나타낼 수 있다. 특히 유량의 변동에 따라 가장 큰 변수가 될 수 있는 공기와 약제간의 혼합정도에 따라 그 영향이 큰 것으로 사료되는데, 이는 유량이 증가할수록 난류형성이 활발하게 되어 가연성증기와 불활성가스의 혼합이 용이하게 되어 상대적으로 소화능력이 증가하게 되는 것으로 사료된다.

불활성가스별 소화능력의 차이는 다양한 관점에서 규명하려고 하지만 물질의 소화반응에 대한 메카니즘을 정확하게 규명하기가 쉽지 않은 상태이다.

본 연구에서 실험된 아르곤, 질소, 이산화탄소의 경우에는 질식소화의 관점에서 접근하였다. 김 등¹¹⁾이 연구한 불활성가스의 비중에 따른 소화농도의 관계와 연소중의 연소 배가스 조성관계에 따르면, 단일성분의 소화약제에 따라 기둥 내의 산소 농도 변화를 측정한 결과 아르곤, 질소, 이산화탄소 순으로 내부의 산소농도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 연소후에 남은 산소의 농도로써 내부의 산소농도가 낮다는 것은 그만큼 연소 필요한 산소 소모가 많음을 의미하게 된다. 즉, 같은 농도의 불활성 가스일지라도 물질 자체가 가지고 있는 고유한 질식소화의 능력 차이가 있으므로 본 연구와

문헌을 비교 검토한 결과 이산화탄소, 질소, 아르곤 순으로 소화능력이 달라지게 된다.

그러나, 헬륨의 경우 본 연구에서 가장 우수한 소화능력을 나타내었지만, 이에 대한 해명은 아직까지도 분명하지 않다. UNEP(United Nations Environment Program)에서는 소화농도와 불활성 가스사이에 소화능력관계²⁰⁾가 여전히 의문이라고 보고하였고, Zabetakis 등²¹⁾은 탄화수소계-공기 혼합물의 최저인화한계와 온도의 관계를 밝혔는데, 이 또한 헬륨의 경우는 제외시키고 있다. 따라서 이에 대한 불활성가스와 소화능력에 관한 관계를 해명하기 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.



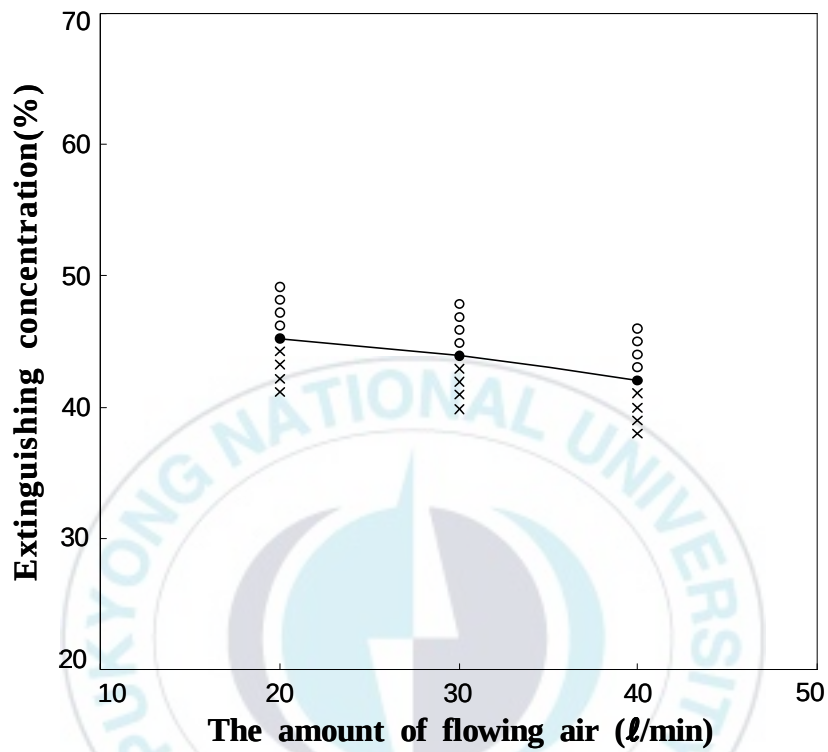


Fig. 3 Extinguishing concentration of Ar for n-heptane fuel by the amount of flowing air.

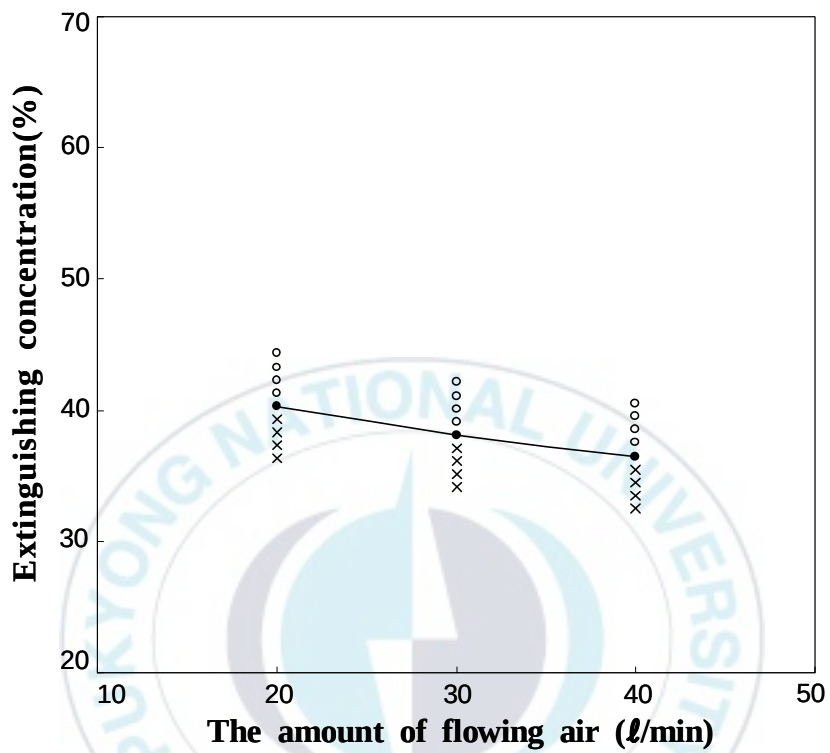


Fig. 4 Extinguishing concentration of Ar for kerosene fuel by the amount of flowing air.

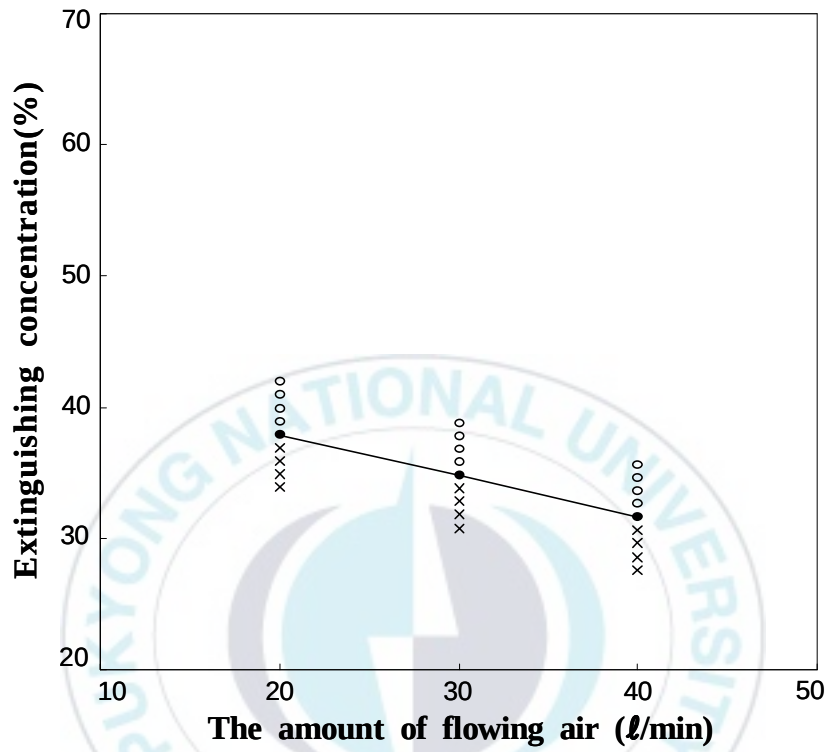


Fig. 5 Extinguishing concentration of Ar for gasoline fuel by the amount of flowing air.

4-1-2 공기유량의 변동에 따른 질소의 소화농도

연소물의 종류에 따른 불활성가스와 소화농도 관계를 연구하기 위해 동일한 실험방법을 통한 질소의 소화농도를 실험한 결과는 Fig. 6~8과 같다.

Fig. 6은 소화약제를 질소로 하고, 공기유량에 따른 n-Heptane의 소화농도를 나타낸 것으로서 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 32.3%, 29.4%, 28.6%를 나타내었고, Yamato 등²²⁾이 제시된 소화농도 28%(40 ℓ/min)보다 0.6% 높은 결과를 나타내었다.

Fig. 7은 Kerosene의 소화농도를 나타낸 것으로써, 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 29.3%, 28.6%, 27.3%를 나타내었다.

Fig. 8은 Gasoline의 소화농도를 나타낸 것으로써, 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 29.1%, 27.7%, 25.2%를 나타내었다.

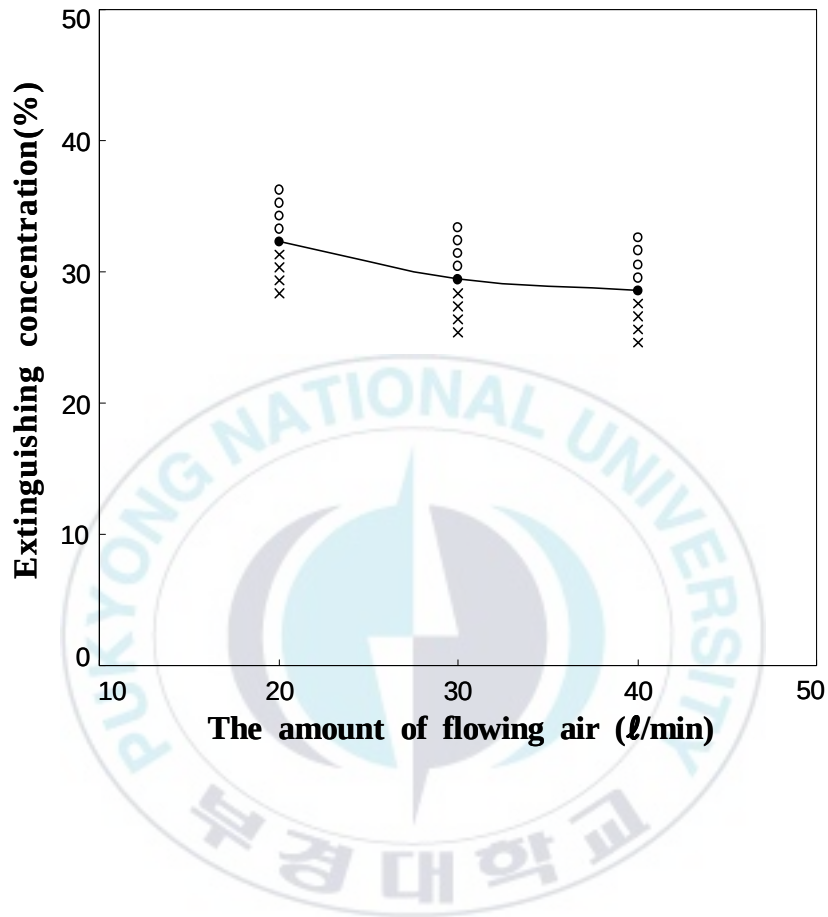


Fig. 6 Extinguishing concentration of N_2 for n-heptane fuel by the amount of flowing air.

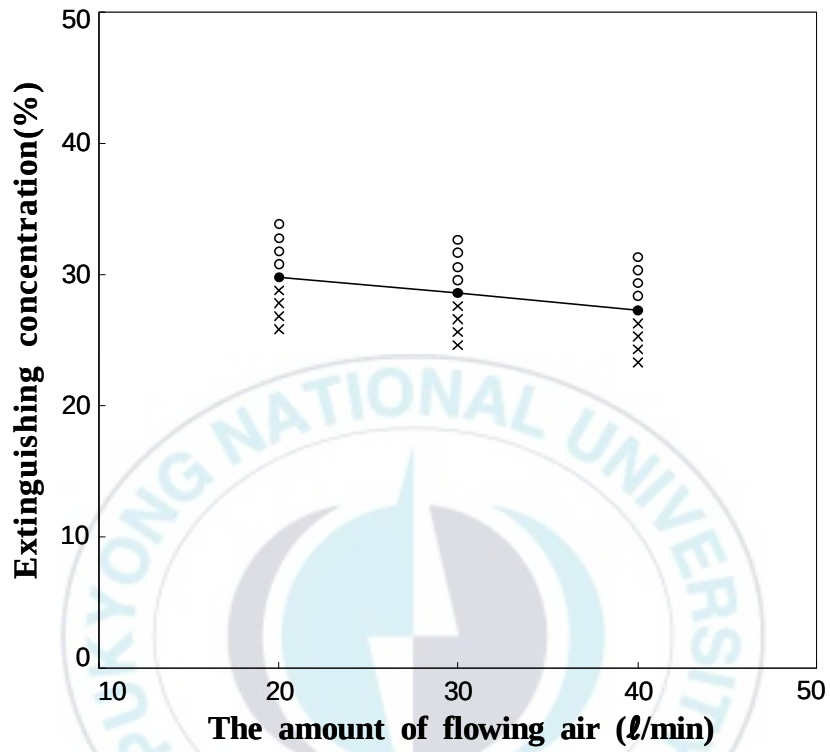


Fig. 7 Extinguishing concentration of N_2 for kerosene fuel by the amount of flowing air.

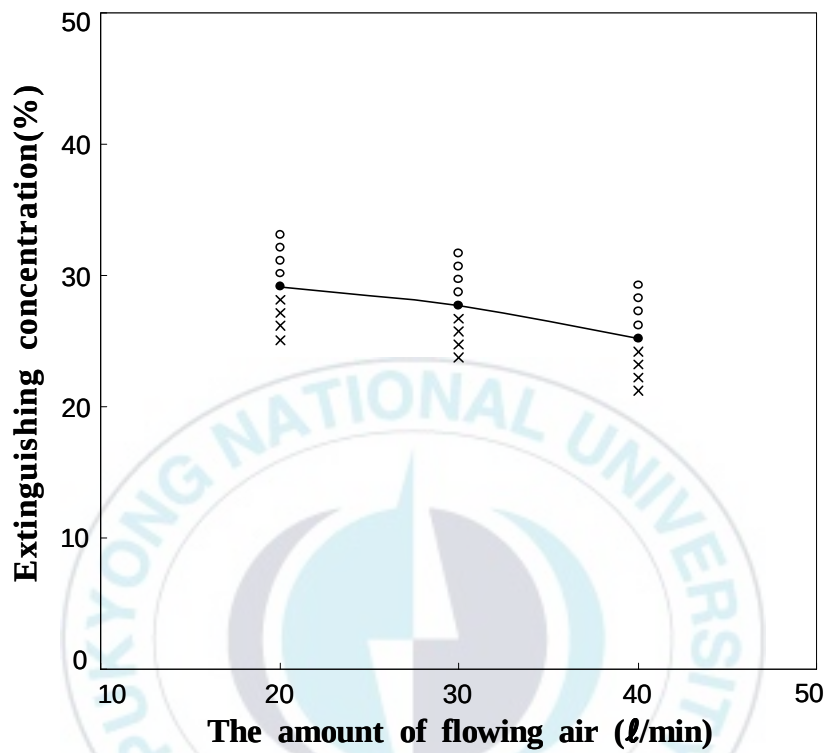


Fig. 8 Extinguishing concentration of N_2 for gasoline fuel by the amount of flowing air.

4-1-3 공기유량의 변동에 따른 이산화탄소의 소화농도

연소물의 종류에 따른 불활성가스와 소화농도 관계를 연구하기 위해 동일한 실험방법을 통한 질소의 소화농도를 실험한 결과는 Fig. 9~11과 같다.

Fig. 9는 소화약제를 이산화탄소로 하고, 공기유량에 따른 n-Heptane의 소화농도를 나타낸 것으로서 공기유량이 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 24.5%, 23.1%, 20.8%를 나타내었고, Sheinson 등²³⁾이 제시한 소화농도 21%(40 ℓ/min)보다 0.2% 낮은 결과를 나타내었다. Fig. 10은 Kerosene의 소화농도를 나타낸 것으로서 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 21.3%, 18.9%, 17.4%를 나타내었고, Fig. 11은 Gasoline의 소화농도로서 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min일 때 각각 18.7%, 16.2%, 14.5%를 나타내었다.

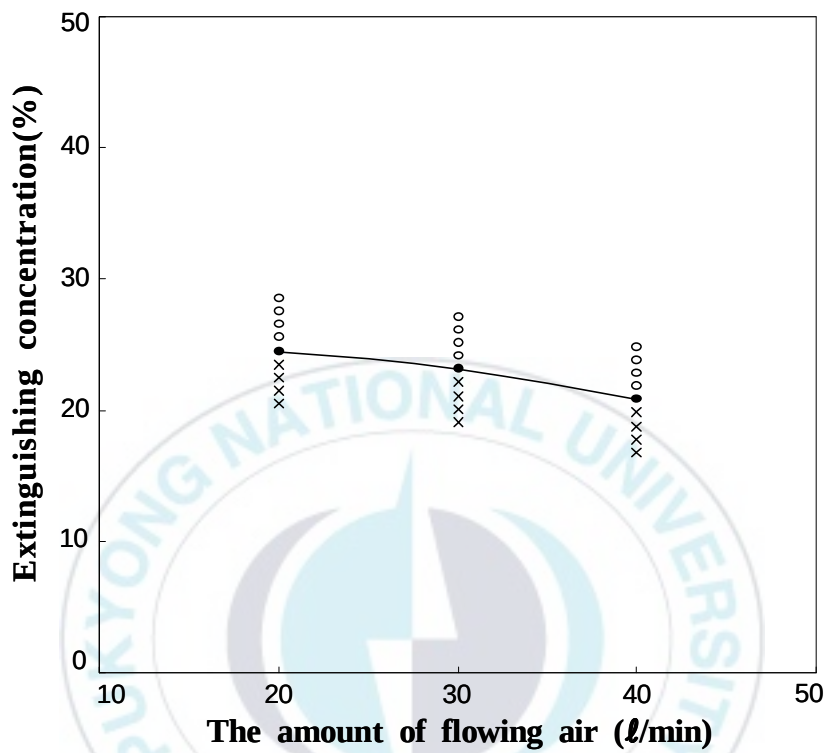


Fig. 9 Extinguishing concentration of CO₂ for n-heptane fuel by the amount of flowing air.

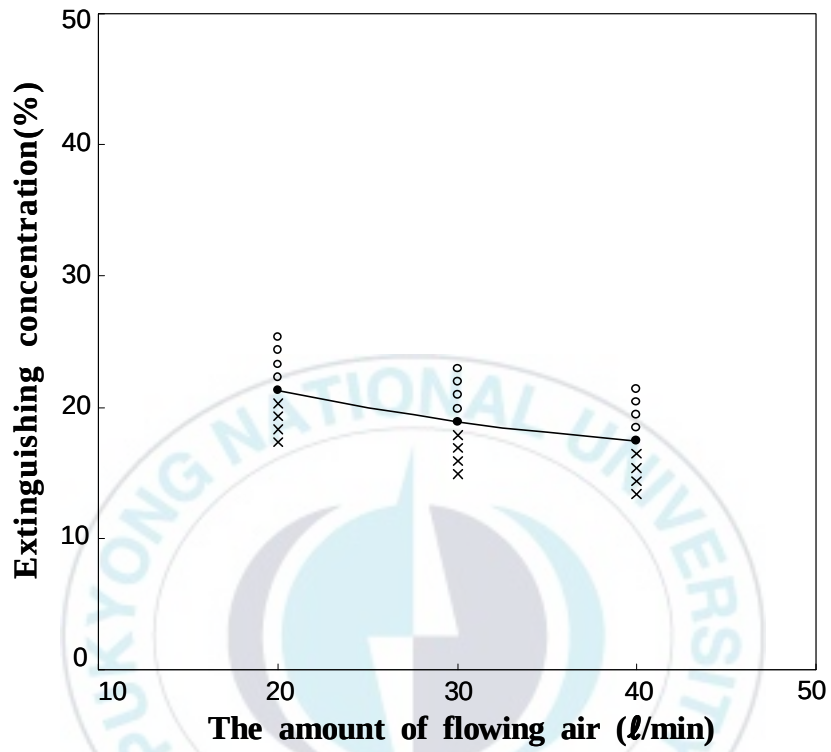


Fig. 10 Extinguishing concentration of CO_2 for kerosene fuel by the amount of flowing air.

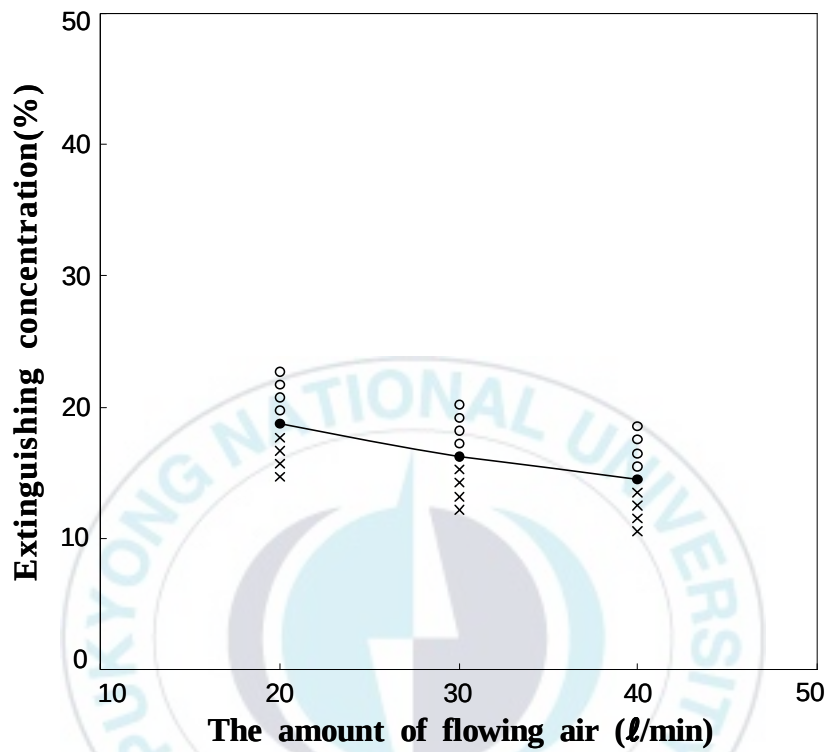


Fig. 11 Extinguishing concentration of CO₂ for gasoline fuel by the amount of flowing air.

4-1-4 공기유량의 변동에 따른 헬륨의 소화농도

Fig. 12~14는 공기유량의 변동에 따른 헬륨의 n-Heptane, Kerosene, Gasoline의 소화농도를 나타낸 것이다.

Fig. 12는 불활성가스로 헬륨을 사용하여 n-Heptane의 소화농도를 측정한 것으로써 공기유량 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min으로 공기유량을 증가시킴에 따라 소화농도 17.4%, 14.8%, 12.7%로 소화농도가 감소하였다. Fig. 13은 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min으로 공기유량을 증가시킴에 따라 Kerosene의 소화농도는 16.7%, 14.3%, 12.3%를 나타내었다. Fig. 14는 20 ℓ/min, 30 ℓ/min, 40 ℓ/min으로 공기유량을 증가시킴에 따라 Gasoline의 소화농도는 15.4%, 12.8%, 11.5%를 나타내었다.

공기유량 40 ℓ/min일 경우, n-heptane에 대한 소화농도가 12.7%로써 헬륨의 유량은 5.8 ℓ/min이었다. 이는 공기와 불활성가스의 혼합가스 조성비를 고려할 경우 혼합가스중에 산소농도가 18.3% 존재하여 기준치 18% 이상을 나타내고 있으며, 또한 Halon계 소화약제 HFC-23의 소화농도 12.6%와 0.1%차이를 나타냄으로 유사한 소화능력을 갖고 있으므로 계속적인 연구를 통해 대체소화약제로 활용할 수 있는 가능성을 보여준다.

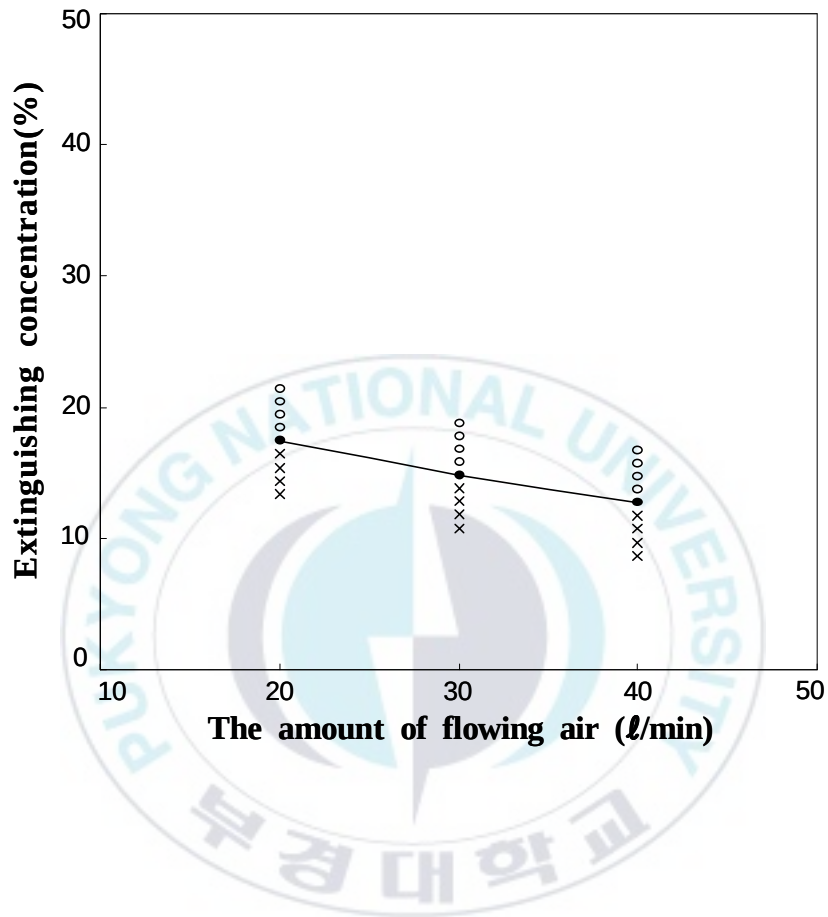


Fig. 12 Extinguishing concentration of He for n-heptane fuel by the amount of flowing air.

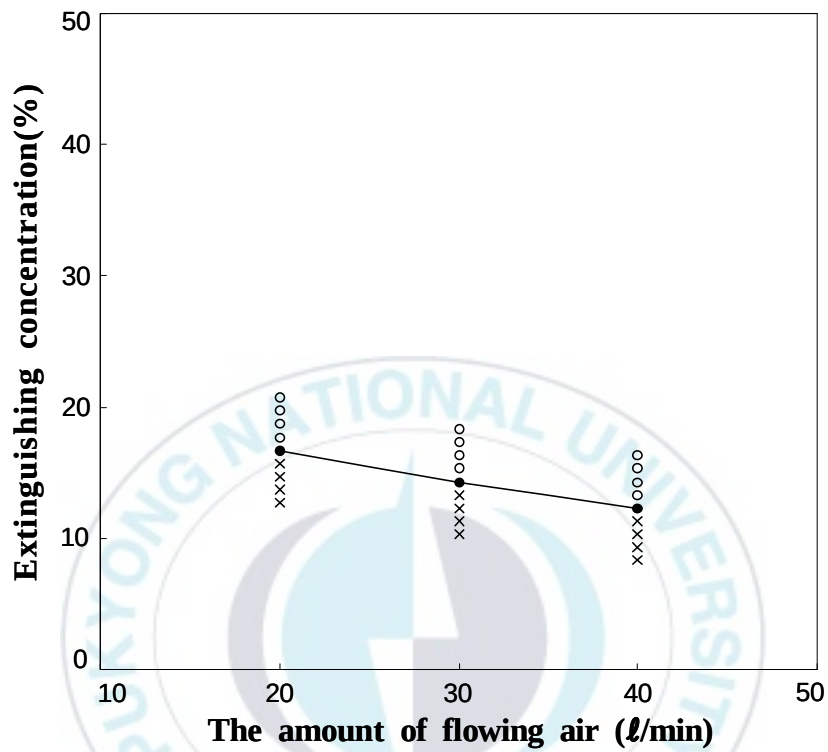


Fig. 13 Extinguishing concentration of He for gasoline fuel by the amount of flowing air.

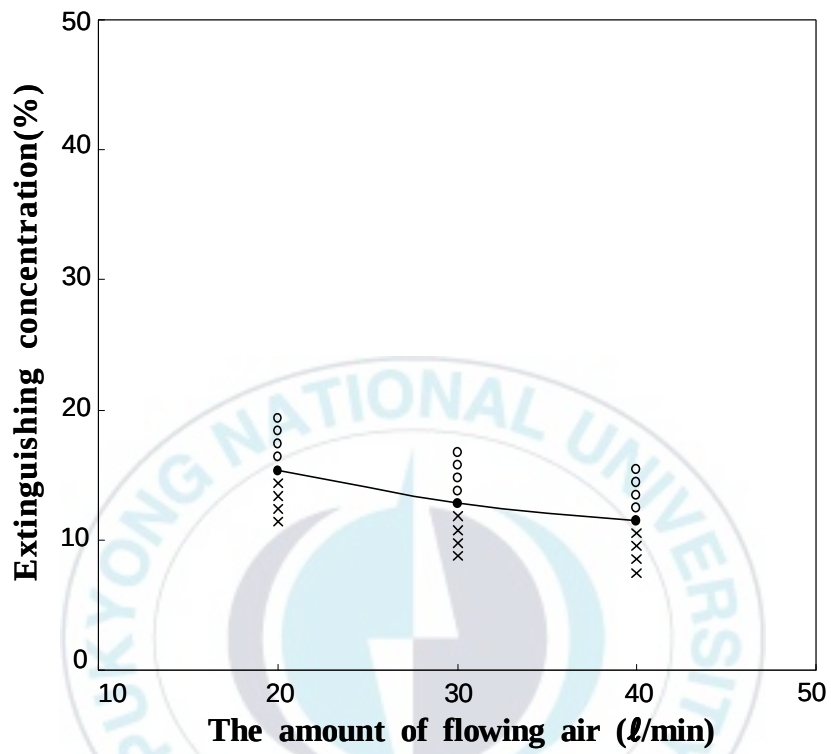


Fig. 14 Extinguishing concentration of He for gasoline fuel by the amount of flowing air.

5. 결 론

불활성 가스 혼합물의 소화한계 능력을 연구하기 위해 공기유량의 변동 따른 n-Heptane, Kerosene, Gasoline의 소화농도변화에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공기유량을 40 ℓ /min로 하고, n-Heptane에 대한 아르곤, 질소, 이산화탄소 및 헬륨의 소화농도는 각각 42.0%, 28.6%, 20.8%, 12.7%를 구하였다.,
- 2) Kerosene의 경우 아르곤 36.5%, 질소 27.3%, 이산화탄소 17.4%, 헬륨 12.3%를 구하였다.
- 3) Gasoline의 경우에는 아르곤 31.6%, 질소 25.2%, 이산화탄소 14.5%, 헬륨 11.5%를 구하였다.
- 4) n-Heptane, Kerosene, Gasoline에 대한 아르곤, 질소, 이산화탄소, 헬륨 4가지 불활성 가스 중 헬륨이 소화능력이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 공기유량의 변동에 따라 소화농도의 변화는 공기유량이 증가할수록 소화농도의 값은 감소하였으며, 전체유량이 많을수록 소화능력이 증가 하였다.

참 고 문 헌

- 1) 박외철, 유재환, 이수경, 이춘하, 전주합, 김영수, “최신소방설비”, 東和技術, p.33, 1999.
- 2) 청정소화약제소화설비의 화재안전기준(NFSC), 제3조, 행정자치부고시제2004-15호.
- 3) Thomas A., “Voluntary Code of Practice for HFC and PFC Fire Protection Agents”, Halon Alternatives Research Corporation, 12th, pp.1~7, 2002.
- 4) Yong Z., Nader V. and Michelle C., “Fire Extinguishing Ability of 1-bromo-1-propane and 1-methoxyonafluorobutane Evaluated by Cup Burner Method”, Journal of Fluorine Chemistry, Vol 111, Issue 1, pp.33~pp.44, 2001.
- 5) 한용식, 김명배, 김수용, “불활성 가스 발생장치(Inert Gas Generator)의 소화시스템 적용에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol 19, No 2, pp.69~74, 2005.
- 6) 김형권, 김재덕, 이상문, 이정락, 백창선, 사공성호, 김학진, “가스계 소화약제의 사용실태조사에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 추계학술논문발표회, pp.95~101, 2002.
- 7) Katta V. R., Takahashi F. and Linteris G. T., “Suppression of Cup-Burner Flames Using Carbon Dioxide in Microgravity”, Combustion and Flame, Vol 137, Issues 4, pp.506~522. 2004.

- 8) Creitz, E. C., “Inhibition of Diffusion Flames by Methyl Bromide and Trifluoromethyl Bromide Applied to the Fuel and Oxygen Sides of the Reaction Zones” , J. of Res. NBS(US), 65A(4), p.389, 1961.
- 9) Hirst R. and Booth K., “Measurement of Flame Extinguishing Concentration” , Fire Tech. Vol.13 No.4, p.296, 1977.
- 10) Moore, J. P., Moore, T. A., Salgado, D. and Tapscott, R. E., “Halon Alternatives Extinguishment Testing” , Proc. of Int. Conf. of CFC & Halon Alternatives, 207, Whashington D. C. , 1991.
- 11) 김 재덕, 김영래, 홍승태, 이성철, “불활성 가스계 혼합소화약제의 n-Heptane 불꽃 소화농도 및 배가스 조성” , 한국화재·소방학회, Vol 16, No 3, pp.77~83, 2002.
- 12) 목 연수, 조태제, 전성균, 유용호, “화학안전공학” , 동화기술, p.21, 2002.
- 13) Mark L. R. and Thomas F. R., “Development of a Standard Cup-Burner Apparatus: NFPA and ISO Standard Methods” , Halon Options Technical Working Conference, pp.284~292, 1999.
- 14) 김 재덕, “가스계 소화시스템의 평가” , 한국화재·소방학회, Vol 1, No 1, pp.10~18, 2000.
- 15) FIS 002, “가스계 소화설비의 성능기준에 관한 인정기준” , 한국소방검정공사, 2000.
- 16) NFPA 2001, “Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System” , 1996.
- 17) ASTM D2863, “Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics” , 2000.

- 18) ISO/FDIS 14520 Final Draft, "Gaseous Fire Extinguishing Systems-Physical Properties and System Design" , 2000.
- 19) Grosshandler, W. L., Gann, R. G. and Pitts, W. M., "Evaluation of Alternative In-flight Suppressants for Full-scale Testing in Simulated Aircraft Engine Nacelles and Dry Bays" , NIST SP 861, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1994.
- 20) 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.
- 21) Zabetakis, M. G., Lambiris, S. and Scott, G. S., "Flame Temperatures of Limit Mixtures" , Seventh Symposium on Combustion, the Combustion Institute, pp.484~487, 1959.
- 22) Yamamoto, I., Sato, K. and Yamashika, S., "Flame Extinguishing concentration by Cup Burner Method" , Rep. Fire Res. Institute. Japan, vol. 57, pp.41~48, 1984.
- 23) Sheinson, R. S., Penner-Hahn, J. E. and Indritz, D., "The Physical and Chemical Action of Fire Suppressants" , Fire Safety Journal, Vol.15, pp.437~450, 1989.

A Study on the Flame Extinguishing Concentrations of Inert Gas by Cup-Burner Method

Chul-Woong Min

*Dept. of Safety Engineering, Graduate School ,
Pukyong National University*

Abstract

To investigate extinguishing concentration by amount air flow for n-Heptane, Kerosene and Gasoline, this investigation was studied. The experimental results obtained were as follows;

- 1) At a standard amount of air flow was 40 ℓ/min, The extinguishing concentration of Argon, Nitrogen, Carbon dioxide and Helium for n-Heptane was 42.0%, 28.6%, 20.8%, 12.7% respectively.
- 2) Kerosene was 36.5%, 27.3%, 17.4%, 12.3% with same inert gas.
- 3) Gasoline was 31.6%, 25.2%, 14.5%, 11.5%.

- 4) The best extinguishing gas among Argon, Nitrogen, Carbon dioxide, Helium for n-Heptane, Kerosene, Gasoline was Helium.
- 5) According to the results for extinguishing concentration experiment by amount air flow; The higher air flow increased, the higher extinguishing concentration increased.



감사의 글

항상 초심을 잃지 않으려고 노력을 하였지만, 그게 얼마나 힘든 일인지 논문을 마무리하면서 알게 되었습니다. 이 논문이 완성되기까지 스승으로써, 때론 아버지 같이 항상 보살펴주시고 많은 가르침을 주신 최재욱 교수님에 머리 숙여 감사드립니다.

논문에 많은 관심을 가져주시고 학문적 조언을 해주신 이내우 교수님, 박의철 교수님, 이동훈 교수님, 장성록 교수님, 권오현 교수님, 이의주 교수님께 감사드립니다. 그리고 대학원 생활동안 서로 도우며 정을 쌓은 임우섭 박사님과 인식이형, 태근이, 현우에게 감사드리며, 많은 시간을 함께 보내며 궂은 일을 도와준 김성규, 장해진, 배길웅, 강도원 선배님과 종수, 한욱, 정훈, 경훈, 경동, 주근, 윤한, 수연, 혜신, 수석, 지원, 진희 후배님들에게도 감사의 뜻을 전합니다. 또한, 업무협조와 많은 지원을 해주신 강지웅, 정필훈 선생님과 한국소방안전협회 정두균 박사님, 현대자동차 이병철 차장님에게도 감사드립니다.

저의 학업을 돕기 위해 아낌없이 주신 형님, 형수님, 매형, 누님에게 항상 죄송하게 생각하고 감사드리며, 귀염둥이들 보규, 선혜, 나연, 선희 그리고 태어날 막둥이까지 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다. 끝으로 여러 가지 어려움 속에서도 자식에게 부족함이 없도록 헌신적으로 뒷바라지 해주신 아버지, 어머니! 사랑합니다. 오래오래 건강하세요. 감사합니다.

2007년 2월

민 철 응