



연소생성물, 제거 기술에 대한 연구 동향 분석

이현진 · †고재욱

광운대학교 화학공학과

(2016년 6월 30일 접수, 2017년 2월 14일 수정, 2017년 2월 15일 채택)

Research trend analysis for Combustion products, Combustion products remove technique

Hyunjin Lee · †Jae-Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

(Received June 30, 2016; Revised February 14, 2017; Accepted February 15, 2017)

요약

2015 국민안전처 통계에 따르면, 화재 피해 중 연소생성물에 의한 피해가 가장 많은 사상자를 내는 것으로 나타났다. 이러한 이유로 최근 연소생성물에 관한 연구는 국내외에서 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서는 연소 생성물이 사람에게 미치는 영향과, 화염의 전파속도에 미치는 영향이라는 관점에서 연구가 진행되고 있고, 해외에서는 연소생성물이 사람에게 미치는 독성 뿐만 아니라 offshore 대피소에 미치는 영향까지 연구되고 있다. 연소생성물은 독성을 가지고 있고, 시야를 가려 탈출을 방해하기 때문에 많은 연구에서 실험과 CFD시뮬레이션을 이용하여 연소 생성물 제거 설비의 최적화에 관한 연구를 진행하고 있다. 본 연구에서는 연소를 통한 독성가스 발생 모델과, 그 가스의 제거 시설에 대한 연구 동향을 분석하여, 추후 연소생성물 연구의 기준이 될 것으로 판단된다.

Abstract - According to 2015 ministry of public safety and security statistics, product of combustion makes the most victims while fire. for that reason, recent studies about combustion products have been researched actively in domestic and foreign papers. In domestic, study is handling the combustion product effects on human body and flame propagation. Foreign study is conduct about combustion product effects to shelter in offshore and toxic effects on human. because combustion product is toxic and disturb escape by block the view, many research conducted about optimize combustion product removal facilities using dispersion experiments and CFD simulations. In this study, this paper analysed research trend about toxic gas production model while combustion and its removal facilities, it will be the standard of combustion products research.

Key words : Combustion product, Refining, Smoke control system, Smoke control regulation

1. 서론

화재로 인한 피해는 연소가스, 열 등에 의해 발생하게 된다. 화재 현장에서는 복사열에 의한

피해보다 연소 가스와 연기에 의한 피해가 더 많이 발생한다. 이는 열보다 연기의 확산이 더 빠르기 때문에 연소 가스와 연기에 의해 더 많은 피해를 입게 된다

[1][2].

국민안전처 / 국가화재 정보센터의 자료를 참고하여 최근 10년간 화재로 인한 피해를 다음 Table 1에 정리하였으며, 최근 1년간 화재로 인한 피해는 연기, 유독 가스 흡입과 화상의 비율이 전체에서 80%를 차지하고 있는 것을 Table 2에서 확인할 수 있다. 이 중 연기, 유독 가스 흡입으로 인한 피해는 48%로 화상에 비해 많은 피해를 끼치는 것을 알 수 있다[3].

최근 10년간 화재는 주거시설에 대한 피해가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 하지만 거주하는 인구를 고려

†Corresponding author:jwko@kw.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

Table 1. The last 10 years fire casualties

	Total (People)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Plant	1509	184	196	191	146	146	174	133	137	139	63
Storage	300	17	46	30	27	39	42	35	24	26	14
Workings	286	48	40	22	40	18	27	24	33	23	11
Power Plant	10	3	0	0	0	0	6	0	0	1	0
Dangerous facility	134	19	18	12	8	14	10	21	15	11	6
Gas facility	24	0	0	3	8	2	0	7	0	1	3
Residential area	9635	1066	1137	1080	948	883	1037	1076	930	1052	426

Table 2. The last year of thought by cause of casualties current state

	Death(%)	Injury(%)	Total(%)
Somke, Toxic gas	35	37	36
Smoke inhalation, burns	13	6	10
burns	32	36	34
Fall	2	2	2
Jump	4	5	5
laceration	4	5	5
Complex	2	1	2
Unknown	2	1	2
Others	5	5	5
Total	100	100	100

하면 공장, 가스시설에 화재로 인한 피해가 더 큰 것을 알 수 있다. 화재로 인한 피해 중 연기, 유독 가스의 경우 화재 현장에서 제어하는 기준은 건축법, 소방법 등에 나타나있어 주거시설 등에 설치되어 있다. 하지만 공장, 가스 시설의 경우 기준이 존재하지 않아 화재 발생 시 연소가스와 연기에 의해 더 큰 피해를 입게 된다. 2009년 10월 23일에 CARIBBEAN PETROLEUM CORPORATION의 탱크 터미널 폭발, 화재 사건에서

근로자와 거주민들이 대피하는데 연소생성물이 시야를 방해하여, 대피하는데 어려움을 주었고, 몸에 흡입되어 인체에 피해를 주었다고 보고서에 나타나있다[4].

따라서 공장 등에 연소생성물에 대한 기준이 설립 되어야하며, 화재 발생 시 연소생성물을 제어 할수 있는 장비가 필요하기 때문에 연구가 추진될 필요가 있다.

본 연구에서는 앞으로 공장 등의 연소생성물에 대한 연구를 진행하기 앞서 현재 건축법, 소방법 등에 나타났는 기준 동향을 분석하고, 연소생성물에 대한 연구 및 이를 제어하는 설비에 대한 동향을 분석하였다.

II. 연소생성물

2.1. 연소생성물 정의

연소 생성물은 연소 시 발생하는 물질로, 화재 시 연료 물질에 따라 다양하게 발생한다. 연소 생성물은 마취 가스, 자극성 가스로 인체에 영향을 미치며, 보통 연소 생성물에 함유되어 있는 물질은 CO · CO₂ · 수증기 · SO_x 등이 있으며, CO · HCN 등에 의해 마취상태를 유발하며, HCl · HF 등은 자극성 가스로 인명에 피해를 끼친다.

또한 연소생성물은 공기 중에 부유하고 있는 고체 및 액체 미립자와 가연물이 연소 및 열분해에 의하여 생성되는 고체 또는 응축한 액체 입자로, 시각장애를 통해 대피 시 피해를 미친다[5].

2.2. 연소생성물 생성량

화재로 발생하는 연소 생성물은 실제 연소로 인한 부산물이 아니라 화재 주위의 공기가 연소부산물과

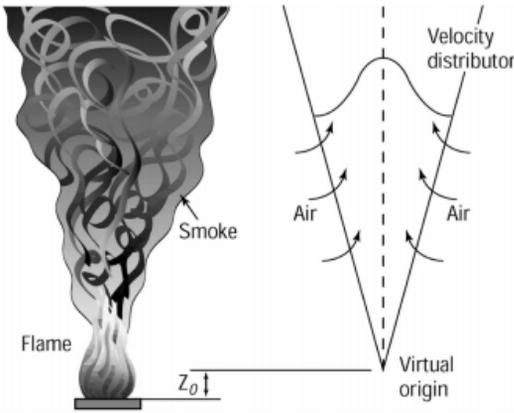


Fig. 1. Smoke generation model.

함께 혼합되어 형성된다. Fig. 1에서 연소 생성물이 생성되는 플럼의 형태를 확인할 수 있다.

연소 생성물은 플럼 내부로 유입되는 공기의 양에 따라 달라지며, 연기가 화원으로부터 멀어질수록 유입되는 공기양이 많아진다. 연소 생성물 발생량은 높이에 따라 달라지며, 다음의 3가지 이론식을 통해 계산할 수 있다[2][6].

Thomas 이론식

$$m = 0.096 P Z^{3/2} \sqrt{g \rho_a \rho_f}$$

여기서,

- m = 연소생성물 발생량, kg/s
- P = 화원둘레, m
- Z = 바닥에서 청결층의 높이, m
- g = 중력 가속도, 9.8m/s²
- ρ_a = 주위 공기밀도, kg/m³
- ρ_f = 화염 가스 밀도, kg/m³

Zukoski 이론식

$$m = C_m \left(\frac{\rho_a g}{C_p T_a} \right)^{0.33} Q^{0.33} (Z - Z_0)^{1.67}$$

여기서,

- ρ_a = 주위공기의 밀도, kg/m³
- T_a = 주위온도, K
- C_p = 공기의 비열, kJ/kgK
- Q_c = 대류열방출률, kW
- Z = 바닥에서 연기층 하부까지의 높이, m
- Z₀ = 가상 점열원의 위치, m
- C_m = 시험점수로서 흐트러짐이 없는 공간에서는

0.21, 흐트러짐이 많으면 값이 커진다.

Heskestad 이론식

$$m_p = 0.071 Q^{0.33} (Z - Z_0)^{1.67} + 0.0018 Q_c$$

III. 연구 동향

3.1. 연소생성물 연구 동향

화재 발생 시 연소 생성물에 의해 많은 피해를 입게 된다. 국내 연소생성물에 대한 연구는 2000년까지 한 국과학기술연구원에서 방염물품의 연소가스 유해성에 관한 연구를 진행하였다. 이 연구의 목적은 일상에서 사용하는 고분자 물질에 대한 규제를 위해서 발연성, 연소가스 성분 및 유해성, 유해성 측정방법, 규제분석방법, 독성 측정의 연구를 진행하였다. 연구에서 가장 위험한 연소가스는 일산화탄소이며, 이는 체내로 흡입 시 혈액 속의 헤모글로빈과 결합하여 COHb(Carboxy-hemoglobin)를 생성하게 된다. COHb는 산소운반기능이 저하되어 사망을 일으키게 된다. 일산화탄소는 유기물의 불완전 연소에 의해 발생하기 때문에 모든 화재에서 발생이 가능하며 사인의 66%를 차지한다. 당장 규제를 하는 것은 어려울 지라도 앞으로 연소가스에 대한 규제 및 규정이 만들어질 필요가 있다[7].

중앙소방학교에서는 2005년까지 화재성상 메커니즘 연구를 진행하였다. 여러 종류의 가연물질의 DB를 구축하고, 연소 메카니즘 및 가연물의 종류별 연소형태를 실험적으로 분석하여 국내 화재 관련 연구 수준을 향상시켰다. 연소가스 중 허용농도가 200ppm 이하인 가스를 독성가스로 규정하며 유독 가스의 허용농도는 Table 3에서 확인할 수 있다.

또한 Smoke Density를 실험하기 위해 PC, PET 및 난연제를 첨가하여 시편을 제작하여 진행하였다. Fig. 2에서 실험을 통해 구해진 연기밀도를 확인할 수 있으며, 이를 통해 실제 건축물에서 화재가 발생할 경우 발생하는 연기의 양이 급격히 증가하여 사람이 대피하는데 시간이 짧아 어려움이 존재함을 알 수 있다. 이는 실제 화재 현장에서 다양한 고분자 물질이 존재하기 때문에 연기 발생을 방지하거나 빠르게 대피를 하여야함을 알 수 있다[8].

2011년 강원대학교에서 산불화재 감식을 위한 연소생성물의 응용에 관한 연구를 진행하였다. 임야 화재의 경우 건축물 등의 실내화재와 달라 화재메커니즘을 규명하는데 어려움이 있다는 것을 알 수 있다. 6종의 나무를 통해 연소 실험을 하여 연소 발생량을 측정하였다. 발생된 연소가스를 통하여 화재 확산을 파악할 수 있으며, ash의 패턴을 통해 바람의 방향을 알 수 있다. 연소생성물의 응용을 통해 산불 화재에 대해

Table 3. Allowable concentrations of toxic gases

Combustion gas	ppm	Combustion gas	ppm
CO	50	HCl	5
CO ₂	5000	C ₃ H ₄ O	0.1
NO	25	Cl	1
NO ₂	1	F	0.1
HCN	10	SO ₂	5
H ₂ S	10	COCl	0.1
C ₆ H ₆	25	NH ₃	25

Table 4. Comparison of KIST and OGP

	KIST	OGP
Application	Buliding	Offshore
Material	Polymer	Hydrocarbon
Method	Experiment	Mathematical
Gas	HCN·CO·CO ₂ ·NO ₂ ·HF	CO·CO ₂
Regulation study	Country-specific	No
Damage object	People	People, Shelter

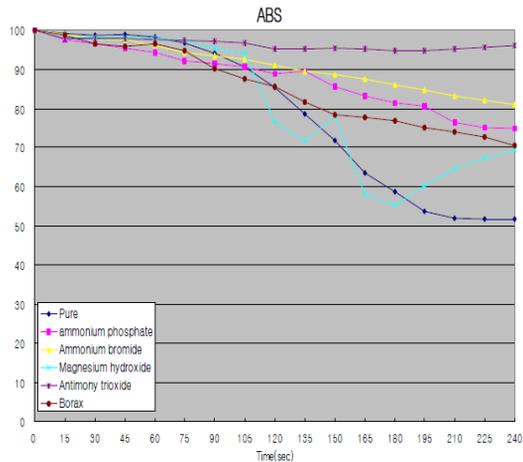


Fig. 2. ABS smoke density result.

바람방향, 가연물의 부피 등의 감식을 통해 산불화제에 대한 사고 조사를 진행 할 수 있을 것이다[9].

국외의 연소생성물에 관한 연구는 OGP에서 Hydrocarbon 화재 시 생성되는 연소생성물에 의한 인명 피해에 대해서 연구를 진행하였고,

한국과학기술연구원에서 진행한 연구가 유사함을 지니고 있다. 다음의 Table 4에서 두 연구의 차이를 비교하였다.

OGP 연구에서는 Offshore에서 화재로 인해 발생하는 연소생성물에 대해서 연구를 진행하고 있다. Offshore는 화학공장과 다르고 건축물과 비슷한 성질을 지니고 있다. 좁은 장소에서 화재가 발생하여 생성된 연소생성물이 site 내에서 대피로 혹은 피난처로 영향을 주는 연구되었고, CO · CO₂가 발생되어 흡입하여 발생하는 영향과 생성되는 CO · CO₂로 인해 O₂ 감소로 인한 영향에 대해 연구되어 있다[10].

3.2. 연소생성물 제거 연구 동향 분석

연소가스와 연기는 독성가스로 인명에 치명적인 영향을 미치게 된다. 이에 국내의 연소 가스와 연기를 제거하는 설비와 기준에 대한 연구 동향을 분석하였다.

국내 제연설비는 제연설비의 화재안전기준 (NFSC 501)에 따르며, 급기 가압방식, 급 · 배기 방식에 대한 설계기준을 나타낸다. 미국의 경우 NFPA 92A, NFPA 101 등에 급기가압방식에 대한 기술적 설계기준을 나타내고 있으며, 제연 방식에 대해서는 NFPA 92에 나타나 있다.

제연 설비는 화재 발생 시 복사열과 연기를 직접 제거해야 한다. 배기만 실시할 경우 화재로 연소생성물이 유입되어 피난경로를 확보할 수 없다. 따라서 피난 경로를 확보하기 위해서 배기되는 양 이상을 급기 한다. NFSC 501에서는 급기 풍속을 5m/sec 이하로 규정하고 있다. NFPA 204에서는 다음의 이유에 따라 급기 풍속을 200ft/min(1.02 m/sec)이하로 제한하고 있다.

1. fire plume의 교란과 과잉공기가 공급될 수 있으므로 방지한다.
2. 제연구역의 압력변화 및 출입문 개폐시 영향을 최소화하기 위해서 한다.
3. 높은 속도로 급기 시 재실자의 피난을 방해하기 때문에 한다.

안전구역은 화재 발생 시 연소생성물의 침투를 막아야 한다. 부속실에서는 화재실과 같이 화재가 발생하지 않기 때문에 배기를 실시할 경우 환기의 의미만 가지게 된다. 이에 안전구역에서 항상 양압을 유지하여 화재가 발생한 지역 이상의 압력을 주어야 한다. 만약 양압을 유지하지 못한다면 화재실의 연소생성물이 부속실로 침투되게 된다. 다음 Table 5.에서 화재실과 부속실에 대해 비교하였다[11~13].

국내의 제연방식 뿐만 아니라 국외의 제연방식을 분석하여 다음의 Table 6.에 나타내었다[14~20].

연소생성물을 제어하는 설비들은 화재상황에서 매우 큰 영향을 끼치게 된다. 사고 사례를 통해 제연 설비가 존재하지 않는 상황에서 더 큰 피해를 받는 것을 알 수 있다. 이에 국내에서는 제연설비에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

한국건설기술연구원에서 지하공간 환경 개선 및 방재기술 연구사업에서 제연용 송풍기에 대해 방업 성능 시험 장치에 대한 개발과 제연용 송풍기 성능 시험 방법 개발 및 선진국 수준의 성능 실험 표준 규격을 개발하였다[21].

한세대학교에서 제연덕트를 사용하여 환기 성능을 향상 시키는 연구를 진행하였다. 엘리베이터에 제연 설비가 설치 될 경우 밀폐가 되기 때문에 환기가 제대로 이루어지지 않고, 여름철에는 외부보다 내부의 기온이 더 높아 엘리베이터를 이용하는데 불편함이 있다. 이에 따라 제연덕트를 통해 내기를 배출하여 환기 성능을 향상시키고자 하였다. 제연덕트를 사용한 환

기 시스템을 ContamW3.1.0.3을 이용하여 시뮬레이션을 하여 결과를 도출하였다. 평상시, 여름철, 겨울철의 3가지 상황으로 시뮬레이션을 진행하였다. 제연덕트를 사용한 환기시스템의 경우 사용하지 않은 시스템 보다 평상시에는 20%가 개선되었고, 여름철의 경우 29.04%가 개선되었으며, 겨울철에는 267%가 개선되었다. 이를 통해 제연덕트를 이용한 환기시스템의 경우 밀폐되어 사용하기 불편했던 엘리베이터 등에서 환기가 가능하여 안전하고 쾌적한 환경을 제공할 것이다[22].

제연시스템의 성능 개선을 위해 기준을 분석한 연구를 경원대학교에서 진행하였다. 현재 국내 제연시스템에 대한 기준 중 빠져있는 내용이 존재하기 때문에 제연 시스템 기준 체계의 재정비가 필요하며, Smoke and heat venting system 등이 도입되어 보완이 필요하다 말하고 있다. 또한 화재 시 발생한 열로 인해 가스가 팽창하게 되는데 외부로 통하는 경로를 만들어서 압력을 경감시켜야 한다. NFSC 501, NFSC 501A, NFPA 92A, NFPA 101, IFC, BS 5588, 일본 건설성 고시 제 1833호 등의 기준을 조사하여 각 제연 설비들의 기준을 비교 분석하였다. 분석해본 결과 국내의 제연시스템의 법규는 패시브 시스템을 권장하는 건축법과 액티브 시스템을 권장하는 소방법으로 나누어져 있다. 이로 인해서 서로 법규가 달라 형식적으로, 법규에 충족하는 방법으로도만 시행하여 많은 문제가 존재하며, 이로 인해 문제점에 대한 해결방안이 장기간 지속될 수 있을 것이라 보고 있다[23].

화재안전기준(NFSC)에서 화재실을 담당하고 있는 거실의 경우 대다수가 비용절감, 효율적인 활용을 위해서 연기제어의 전용 아닌 공조겸용 제연방식을

Table 5. Fire area and Vestibule smoke control equipment compare

Section	Smoke control measure	Smoke control method	Application
Fire area	Active Smoke venting	Air supply Exhaustion	Fire area (Floor)
Vestibule	Passive Smoke defence	Pressurization	Vestibule Platform

Table 6. Country-specific smoke control method

Regulation	Smoke control method
NFSC 501	If in case of fire smoke emissions at the same time be able to air inlet and outlet areas include a living room one will be introduced simultaneously in the air passage
NFSC 501 A	To supply the air of the outdoor prevent infiltration of smoke If the door is opened to temporarily keep the wind galena
NFPA 92	Mechanical systems and flue gas flue systems natural Smoke control and Exhaustion at the same time
UK	Vestibule smoke control Stair and Vestibule smoke control at the same time
CANADA	Manner by installing the normally open to outside air opening of the developing busoksil Method for pressing the stairs or elevator shaft
SINGAPORE	Internal stair of the building is the way that natural ventilation or pressure

택하고 있다. 서울시립대에서는 공조 겸용 제연설비의 문제점을 도출하여 거실 제연 설비 시공 및 유지보수 최적화에 대한 연구를 진행하였다. 실제 운영 중인 대형 판매시설을 선정하여 NFSC 501, NFPA 90A 제연설비 TAB 절차, 매뉴얼을 참고하여 운영상태 및 현장 테스트를 통해 조사한 결과 점검 불량, 시스템 구성 요소의 고장 등의 문제점으로 배연량과 급기량을 만족하지 못한다는 것을 확인하였다. 이를 만족하기 위해서 공학적 계산으로 배연량을 구하였다. 40m 원의 범위에서는 $40,000\text{m}^3/\text{hr}$ 이상이 되어야하며, 40m 원의 범위 이상일 경우 $45,000\text{m}^3/\text{hr}$ 이상으로 배연해야한다. Hinkley의 법칙을 이용하여 계산할 경우 대형 화염의 경우 $78,000\text{m}^3/\text{hr}$, 중형화염의 경우 $39,000\text{m}^3/\text{hr}$, 소형화염의 경우 $26,000\text{m}^3/\text{hr}$ 의 연기를 배출해야한다. 중형, 소형 화염의 경우 기준을 만족하는 값이 나오지만 대형화염의 경우 기준에 비해 큰 값이 나오는 것을 통해 공학적 계산에 대한 검토가 필요한 것을 알 수 있다[24].

국내에서 제연설비의 덕트 시스템에서 댐퍼의 성능이 차지하는 중요성에 비해서 너무 소홀히 여겨지고 있어 서울시립대에서 제연 댐퍼에 대한 연구를 진행하였다. 댐퍼는 공기의 흐름을 제어하는 장치이며, 유로의 단면을 부분적으로 축소시켜 저항을 제어하여 공기의 흐름을 축소하거나 차단하게 된다. AMCA Standard 500-D-98 관련한 댐퍼의 압력강하량 및 누설량 2가지 시험방법을 선정하여 진행하였다. 2가지 시험방법은 제연설비의 설계에서 적용해야되는 공학적 자료와 적용 지침을 확립하고자 진행하였다. 공학적 시험 결과를 이용하여 적용함으로써 제연 시스템의 올바른 설계법과 검사법을 정립하였다[25].

III. 결론

화재 사고는 주거 환경, 산업 환경 등 많은 분야에서 발생하게 된다. 그중 화재로 인한 피해는 화상, 가스중독 등 다양하게 발생하지만 가장 큰 피해는 가스 중독 및 연기로 인한 피해가 가장 높았다. 이에 본 연구에서 기존의 제연설비, 연소생성물에 대한 연구 동향을 분석하였다.

연소생성물에 대해 인체 영향, 연소생성물을 응용한 것 등 다양한 연구가 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 인체에 대한 영향은 국내와 국외가 거의 비슷하게 연구되고 있으며, 앞으로는 연소생성물을 응용하여 화재 사고를 분석하는 연구가 활발히 진행될 것이다.

제연 기준은 국내 NFSC 501과 NFSC 501A를 따르며, 미국에서는 NFPA 92A, NFPA 101 등의 기준을 따르며, 건축물 제연 설비 연구는 실험, CFD 툴을 이용하

여 제연 설비의 연구를 진행하여 개선점을 도출하거나 효율적으로 사용할 수 있게 연구를 진행하였다[26][27].

지금까지 분석된 연소생성물, 제연설비의 연구는 향후 국제적인 기준에 맞춰 연구를 향상 시킬 수 있는 기준 연구가 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발 사업에서 지원받았습니다(No. 2015001950003).

REFERENCES

- [1] Hae-Pyeong Lee, "Combustion Engineering", Hawsumok, (2015)
- [2] Yong-Ju Yeo, "Smoke Management Engineering", KOREA FIRE SAFETY LABORATORY, (2010)
- [3] Ministry of Public Safety and Security, National Fire Data System
- [4] CSB, CARIBBEAN PETROLEUM TANK TERMINAL EXPLOSION AND MULTIPLE TANK FIRES, (2015)
- [5] Kyu-Hyung Oh, "Principles of Fire Behavior", Donghwapub
- [6] Yong-Ju Yeo "The Analysis on the Effect of Supply Air Velocities by Location of Supply Air Damper on the Performance Efficiency of the Smoke Exhaust Systems", Journal of fire & flammability, 24(6), (2010)
- [7] KIST, "A Study on the Hazard of Flue Gas in Flame Retardant", (2000)
- [8] Natioanl Fire Service Academy, "Study on fire mechanism", (2005)
- [9] Young-Ju Park, Hae-Pyeong Lee, "A Study on Application of Combustion Products for Forest Fire Investigation", Journal of th KOSOS, 26(4), (2011)
- [10] OGP, "Risk Assessment Data Directory", (2010)
- [11] Yeon Jun Bae, "A Study on Preventing Spread of Smoke and Securing Safety of Evacuation in Central Core Type High-Rise Building", Major in Fire & Disaster Protection Engineering Graduate School of Environment & Design Gachon University

- [12] Kim, Beom-Kyu, "The Effect of Outside Wind Conditions on the Mechanical Ventilation Performance and the Exhaust Smoke Control in High-rise Building Fires", Department of Fire Protection & Disaster Prevention Engineering The Graduate School of Hoseo University
- [13] Tae-Hoon, Kim, "A Study on the Effective Smoke Control Method of Large-volume Space comparted by Smoke Reservoir Screen", Department of Fire & Disaster Prevention Graduate School of Industry & Science, Kangwon National University
- [14] NFPA 92A, *Standard for Smoke- Control System Utilizing Barriers and Pressure Differences*, (2009)
- [15] NFPA 204, *Standard for Smoke and Heat Venting*, (2007)
- [16] NFPA 101, *Life Safety code*, (2000)
- [17] NFPA 92, *Standard for Smoke Control System*, (2012)
- [18] BS(British Standard) 5588, (1998)
- [19] NFPA 92A, *Recommended Practice for Smoke Control System*, (2012)
- [20] Ryu, Sung Ho, "A study on Characteristics of Air Egress Velocity in vestibule Pressurization System for Preventing Smoke Backflow", Dept. of Energy Safety Engineering Grauate School of Energy and Environmet Seoul National University of Science & Technology
- [21] Korea Institute of Construction Technology, "Underground space Improvement and disaster prevention technology research project", (2006)
- [22] Il-Young, Kim, "A Study on the Improvement of Ventilation performance Using the Smoke Control Duct", Major in U-City, dept. of U-City IT convergence and Urban Policy in Graduate School of Hansei University
- [23] Byoung-man, Park, "A study on relevant standards analysis for improving the performance of smoke control system", Major in Fire and Disaster Protection Engineering Graduate School of Environment Kyungwon University
- [24] Do-yeon Son, "A Study on the Optimization of Construction and Maintenance od Smoke Control System", University of Seoul
- [25] Jae-hyun Park, "A Study on Development of Aerodynamic Design and Test Method for Satisfactory Performance of Smoke Control Damper - For a Performance -Based Design of Smoke Control System-", University of Seoul
- [26] Kyungjun Park, Kijun Lee, Bettar El Hadi, Jaihyo Lee, Dongil Shin, "Smoke Control According to the Ventilation Capacity in Subway Tunnel Fire", Journal of The Korean Institute for Gas, 15(3), (2011)
- [27] Yun Suk Sonh, Seung Kyu Dan, Bong Woo Lee, Seong Pil Kwon, Dongil Shin, Tae Ok Kim, Simulation of Heat and Smoke Behavior for Wood and Subway Fires by Fire Dynamics Simulator, Journal of The Korean Institute for Gas, 14(6), (2010)