

제연용 송풍기의 방염성능 시험장치 설계

이영모* · 김광용** · 이재엽*** · 정현종****

Design of performance testing device for heat exhaust ventilation fan

Young-Mo Lee*, Kwang-Yong Kim**, Jae-Yup Lee***, Hyun-Jong Jung****

Key Words : Ventilation performance(환기 성능), Static pressure (정압), Reversible performance(가역 성능)

ABSTRACT

This study primarily is concerned with a new device which has been developed following the international standards to measure the ventilation performance at elevated temperature. This device can measure duration of ventilation, performance of electricity, static pressure at elevated temperature and also it is having provision to measure reversible performances during fire hazards. Invented device is closed circuit type system which is best suited for korean industrial environment with low cost and high efficiency. International standards has been compared and performance testing has been major using BS 7346 which is tested by Warrington Fire Research Centre.

1. 서론

국토의 대부분이 산악지형인 우리나라의 경우 도로의 설치를 위해 터널을 뚫을 수밖에 없으나, 긴 터널의 경우 통행차량에 의한 매연으로 인하여 내부가 오염되어 환경문제가 심각해진다. 짧은 터널의 경우는 차량 통과 시 발생하는 교통 환기량 만으로도 충분히 환기가 가능하나 터널의 길이가 길어질수록 교통 환기량 만으로는 터널내부의 오염 물질을 뽑아내기가 불가능해진다. 따라서, 비교적 긴 터널의 경우 터널 내 오염물질의 제거와 화재 발생시의 비상제연을 목적으로 기계 환기 시스템을 채택하고 있다. 국내 대다수 도로 터널에서는 기계 환기 시스템을 채택하고 있으며, 이 시스템의 핵심장치로 제연송풍기를 사용하고 있다.

평상시에는 환기용 송풍기로 비상시에는 정회전과 역회전의 가역형(Reversible flow type)을 통하여 강제 급기나 배기방식으로 사용되어지는 제연송풍기는 장대 터널 및 철도, 지하철 등에서 사용되어지며, 화재 발생 시 발생하는 고온 유독가스를 신속하게 배출하는 데 있어 필수적인 수단이다. 그간 국내에서 일반 송풍기에 관해서는 다수의 연구가 진행된 바 있으나 제연송풍기에 대한 연구는 미비하며, 더욱 심각한 것은 국내에서는 송풍기의 제연성능과 이의 시험장치 및 방법에 관한 법규 및 규격이 제대로 정립되어 있지 않아 송풍기의 제연 성능을 구체적으로 규정하지 못하고 있다.

현재의 국내 규격과 관련된 내용으로는 행정자치부 고시 제1997-66호 제 12조 5호에 기술된¹⁾ "송풍기는 500℃의 온도에서 1시간 이상의 내열성이 있는 것으로 할 것"이란 규정과 도로터널, 교량, 기타 접근이 제한된 구조의 고속도로 방재표준 2001년판²⁾에 "화재 시 열기류에 노출되는 팬과 그 부품들은 250℃의 열기류에서 최소 1시간의 가동상태를 유지 할 수 있도록 설계해야 한다."는 규정만이 유일하다. 이를 선진국의 엄격한 방염시험규격에 비교해 본다면 매우 미비하다

* 인하대학교 대학원 기계공학과

** 인하대학교 기계공학부

*** (주)동해기연

E-mail : leeym77@inhaian.net

고 볼 수 있는 실정이다. 본 연구에서 국내 송풍기 제조회사들의 제연송풍기 관련 실태를 조사해 본 결과 선진국 성능시험 규격에 의거하여 온도 성능 시험과 함께 정압측정 및 가역성능 시험을 수행하는 곳은 단 한 곳도 없었으며, 각 회사들마다 시험방법이 상이하여 선진국 수준에는 크게 미달하는 실정이다.

본 연구에서는 향후 제연용 송풍기의 국내 규격제정을 위해 주요 선진국 규격들을 바탕으로 국내 실정에 맞는 방염성능 시험장치를 설계하였다.

2. 선진국 방염성능 시험 규격조사

2.1. BS 7346³⁾

제연송풍기의 성능시험장치는 연소부(버너 및 전기 히터에 의한 가열부), 압력측정부 및 시험송풍기 등으로 구성되어 있으며, OPEN TYPE의 형태를 나타내고 있다. Fig. 1은 시험장치의 구성도를 나타내고 있다. 송풍기는 덕트에 직접 연결되어 있으며, 덕트의 출구부에는 $0.07D$ (D 는 임펠러의 직경)의 구멍을 만들어 열기류 및 폐가스가 방출되도록 규정되어 있다. 이것은 실제 화재시의 제연용 송풍기가 화재에 의한 발생물들을 제대로 배출하는지를 측정하고 가열시 발생하는 덕트내의 이산화탄소를 배출시켜 버너의 가연성을 원활하게 하는 데 그 목적이 있다. 송풍기를 구동시키는 모터는 높은 온도에 노출되어도 견딜 수 있는 전기 저항력이 강한 것을 사용해야하며, 내구성 테스트를 하는 동안 노(爐)의 온도, 정압, 입력 전류 등은 최대 1분 간격을 두고 모니터링 해야 한다. 다음 세가지 사항이 모두 만족되어야 한다.

(1) 구조적 성능 평가(Structural Performance)

시험물의 중요 기능적인 부품들이 시험하는 동안 얼마나 안전하게 본래의 모습을 유지하느냐를 평가한다. 설치된 지점에서 부품들이 구조적으로 안전하게 결합되어 있는지를 확인한다. 어떠한 부품도 시험하는 동안 시험물로부터 분리되어서는 않된다. 즉, 시험 도중 모든 동작 요소들은 손상되지 않은 채로 유지되어야 한다.

2) 전기적 성능평가(Electrical Performance)

동력모터의 권선이나 회로, 연결장치의 모든 부분들은 내구성 시험 도중에 완전한 모습으로 남아 있어야 하며, 전기 회로가 단전되거나 전류가 115% 이상 증가하면 않된다.

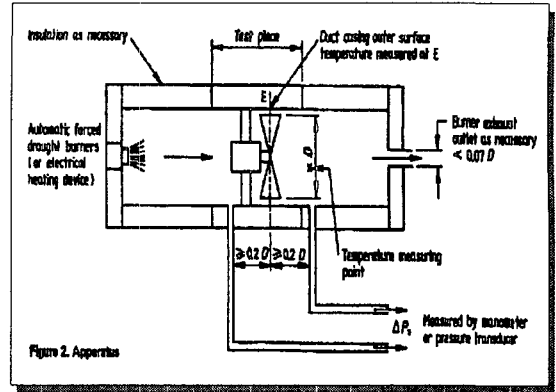


Fig. 1 BS 7346 방염성능시험장치 구성도

(3) 공기역학적 성능평가(Aerodynamic Performance)
제연송풍기의 공력성능에 대해서는 다음 기준이 적용된다.

$$\frac{\Delta P_s}{\Delta P_{s1}} \gg 0.9$$

(1)

여기서 ΔP_s 는 가열한 후, ΔP_{s1} 은 가열하기 전의 송풍기를 지나는 정압의 차이이다. 작동기체(공기)의 밀도는 1.2 kg/m^3 이다.

2.2. EN 12101-3:2001⁴⁾

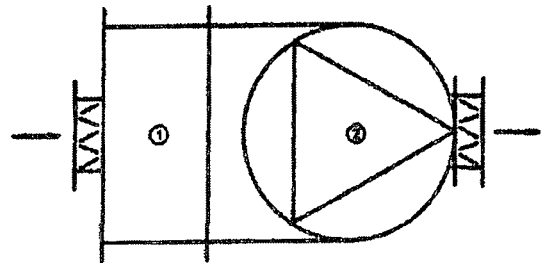


Fig. 2 노(爐)가 송풍기에 직접 붙어있는 경우

이 규격에서 제시하고 있는 제연송풍기 성능시험장치는 노(爐)와 송풍기의 위치에 따라 세가지 종류로 나뉜다. Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 각각의 경우에 따른 개략적인 시험장치의 구성도를 나타낸다. OPEN TYPE 및 CLOSED TYPE이 모두 규정되어 있다.

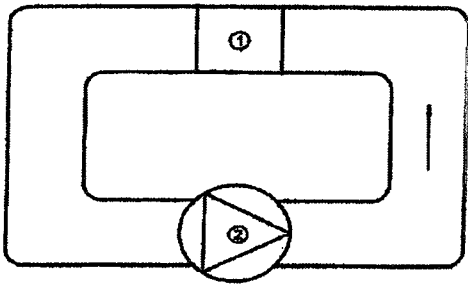


Fig. 3 노(爐)가 풍도(風道)를 통해 송풍기에 연결된 경우

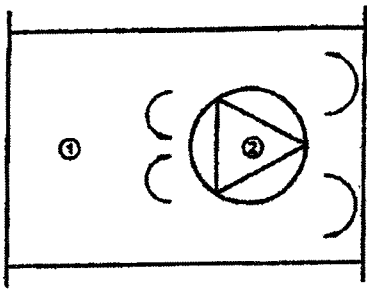


Fig. 4 노(爐) 내부에 송풍기가 설치된 경우

전체 시험시간 동안 하우징의 변형이나 누설에 의해 발생하는 연기의 배출에 대해서 관찰해야 하며, 규정된 적절한 온도에 이르도록 송풍기의 흡입판의 온도를 올린 후 전압, 전류, 동력, 온도, 유량, 정압을 기록하여야 한다. 특히 정압 및 유량 온도 측정은 매 2분마다 기록하여야 한다. 시험기간 동안의 유량변화는 정상작동 시(가열전)의 10% 이내로 규정하고 있으며, 정압변화는 정상작동 시(가열전)의 20% 이내로 규정하고 있다.

2.2. ANSI/ASHRAE 149-2000⁵⁾

시험장치는 OPEN TYPE 및 CLOSED TYPE의 두 가지 형태로 송풍기는 열에 노출되도록 시험덕트에 연결되며, 기류조절장치(Throttling device)가 송풍기의 입구나 출구에 설치되어 있어, 덕트를 통과하는 공기의 양을 조절할 수 있다. 열원(버너나 히터)은 서머커플 그리드(Thermo couple grid)와 송풍기에 유입되는

공기에 대해 복사열의 영향을 최소화 할 수 있도록 설치하며, 공기의 온도를 측정하기 위한 서머커플 그리드는 공기 유동에 대해 수직한 평면으로 송풍기의 양 끝단으로부터 150mm 떨어진 곳에 위치되어 있다. 성능시험에서 다음의 사항이 반드시 만족되어야 한다.

(1)결합된 송풍기의 부품들은 시험 기간 동안 구조적으로 손상되지 않고 안전하게 결합되어 있어야 한다. 특히 송풍기가 케이싱에 연결된 지점에서는 구조적 결합이 안전하게 유지되어야 한다.

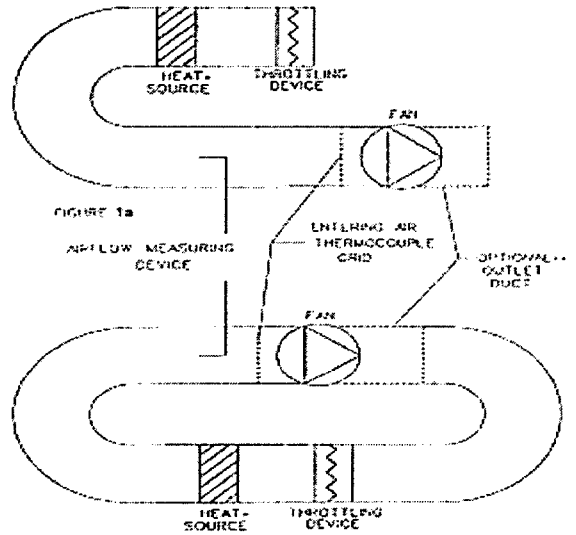


Fig.5 OPEN TYPE 및 CLOSED TYPE의 방열성능 시험장치

(2)전기적으로 연결된 부분과 부품들 그리고 동력모터의 권선은 손상되지 않고 테스트 후에도 다시 작동 가능한 상태로 남아 있어야 한다.

(3)가열 후의 송풍기의 임펠러 속도는 적어도 가열 전 속도의 95% 수준을 유지하여야 한다.

시험기간 동안 유입공기의 온도, 모터의 온도, 입력되는 전류와 전압이 최소 5분을 초과하지 않는 간격으로 측정되어야 한다. 가역성 테스트는 특정한 시간 동안 송풍기의 회전 방향을 반대로 작동하여 송풍기의 성능을 시험하는 것으로 실제 화재시의 역방향 환기능력을 테스트 하기 위함이다. 역방향의 동작속도는 정방향 동작속도의 95% 수준을 유지하여야 한다.

2.4. W. F. R. C(Warrington Fire Research Centre)⁶⁾:
성능시험 사례

2001년 영국 ELTA社의 요청으로 W. F. R. C에서 제연 송풍기 방염성능시험을 수행하였는데, 이 시험에서는 덕트에 설치된 제연송풍기가 고온에서도 구조적, 전기적 그리고 공기역학적 성능을 유지하는지를 시험하였다. 이 시험은 BS 7346³⁾에 근거하여 수행되어 졌다. 성능 시험 장치는 Fig. 6과 같다. 두개의 서머커플은 임펠러와 덕트 벽 쪽으로부터 0.2D(D는 임펠러의 직경) 떨어진 하류에 위치해 있다. 이것은 덕트 내부의 공기 온도를 모니터링 하기 위한 장치이다. 압력측정 센서는 임펠러로부터 90mm 떨어진 양쪽에 설치하여 송풍기에 의해 증가하는 정압을 측정한다. 그리고 모터에 연결된 전류 모니터링 장치로 전류를 매순간 확인한다. 이 시험장치의 덕트 내 공기온도는 설치된 서머커플에 의해 측정 된 후 변환기를 거쳐 모니터로 제공되며, 모터입력동력과 정압의 측정치는 1분 간격으로 기록된다. 시험대상 제연송풍기는 300℃와 320℃에서 134분 동안 구조적, 전기적, 공기역학적 성능을 유지하였다. 이에 BS 7346³⁾에 의거 CLASS D의 등급이 주어졌다.

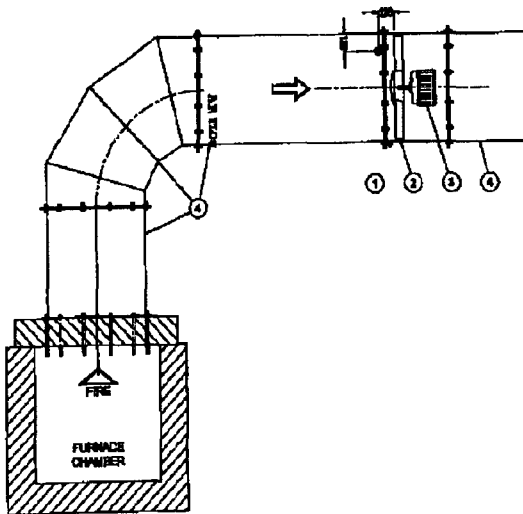


Fig. 6 Open Type 제연송풍기 시험장치

3. 방염성능 시험장치 설계

국내 실정에 맞는 저비용 고효율의 시험장치를 설계하기 위하여 먼저 시험장치의 덕트의 형태를 결정해야 하는데, 이는 크게 OPEN TYPE과 CLOSED TYPE으로 나뉜다. BS 7346³⁾의 구조적, 전기적, 공기역학적 성능시험 조건을 만족하며, 실제 터널 화재시를 대비하여 정, 역방향의 급배기를 위한 가역성능테스트를 하기 위해서는 ANSI/ASHRAE 149-2000⁴⁾(Fig. 5)와 EN 12101-3:2001⁴⁾(Fig. 3)에서 규정하는 CLOSED CIRCUIT TYPE의 시험장치가 가장 이상적이라고 사료된다. 이 장치는 OPEN TYPE의 시험장치와는 달리 폐열을 회수할 수 있어 장비운영 시 소요되는 경비를 대폭 절감할 수 있다. 현재의 시험장치는 BS 7346³⁾에서 요구하는 정압 및 온도계측, 그리고 ANSI/ASHRAE 149-2000⁴⁾에서 규정하는 가역성능시험이 모두 가능하도록 설계하였다. CLOSED CIRCUIT TYPE의 덕트에 안전을 고려한 310kW급 전기히터 1대와 단열재와 덕트에서 발생하는 복사 및 대류열전달에 의해 소모되는 열량을 보정해 주기 위하여 온도제어용 히터(30kW)를 설치하여 시험 중의 온도 저하를 방지하도록 설계하였다. 히터의 용량은 최고 500℃까지 온도를 상승시키는 데 걸리는 시간을 1시간으로 정하여 산출하였다. 그리고, 열에 의한 수축 및 팽창과 성능시험 중 작동되는 송풍기의 진동을 감소하기 위하여 송풍기와 덕트 사이에 내열 챔버를 설치하였다. BS 7346³⁾의 규격에 따라 송풍기 임펠러 중심으로부터 0.2D(D는 임펠러의 직경) 거리의 상류와 하류 양쪽에 정압측정장치를 설치하여, 상류와 하류에서 정압을 측정할 수 있게 설계하였다. 본 연구에서는 OPEN TYPE과 CLOSED TYPE의 설계안을 비교, 검토 후 최종안을 도출하였다.

3.1. 방염성능 시험장치 부품 선정

3.1.1. 순환덕트

순환덕트는 기계적인 지지와 함께 열팽창 및 내열성을 고려하여 설계한다. 덕트의 재질로 선정한 SS400은 시험온도 범위에서 강성의 변화가 크지 않으며 다만 플랜지와 원통으로 만들기 위한 접합부위를 이중금속이 아닌 동일한 재질의 용접이음으로 하여 제작한다. 두께는 최대 2.3t로 최대 2m까지 덕트를 제작하며 내

부 보강은 없고 연결을 위한 프랜지로 진원을 유지한다.

3.1.2. 가열히터

가열히터는 온도상승을 위한 히터와 온도유지를 위한 히터 등 두가지의 히터와 컨트롤러가 있으며 독립적인 제어를 한다.

3.1.3. 온도 상승 히터 용량

히터의 용량은 순환덕트와 송풍기, 모터 그리고 순환덕트 내 공기의 온도를 시험온도까지 올리는 데 필요한 열량으로 장치 가동에서 시험 전까지의 대기시간을 결정하는 요소이다.

(1)본체 가열 열량

순환덕트를 이루고 있는 덕트의 총중량을 계산하여 재질의 비열을 이용하여 구한다.

(2)시험체(송풍기) 가열 열량

임펠러 부분과 모터 부분이 있으며 모터는 자기 발열이 있으나 시험온도에 비하여 그 발열량이 미비하므로 전체중량을 SS400으로 가정하여 계산한다.

(3)노내 공기 가열량

0℃의 공기 밀도로 가정하여 계산한다.

이 세가지를 더하여 안전율을 1.5로 하면 약 310kW급의 히터를 선정할 수 있다.

3.1.4. 온도 유지 히터 용량

이 히터는 시험온도를 유지하는데 필요한 열량으로 장치의 열발산량에 의하여 결정되며 이것은 단열재의 종류와 누기량에 따라 달라진다. 그러나 누기량은 무시하며 안전율을 곱하여 누기량에 대응한다. 시험덕트에서의 열전달은 ①에서 대류열전달, 철판 ②에서 전도, 그리고 단열재 외피 ④에서 대류열전달 및 복사열전달이 존재한다. 열전달량을 계산하기 위하여 몇가지 가정을 하면 다음과 같다. Fig. 7에서 ①은 시험공기의 온도와 동일하다고 가정한다. ④는 외기의 온도와 같다고 가정한다. 외기와 같다는 ④번의 조건은 대류열전달 및 복사열전달에 의한 손실을 적용하였을 때보다 가혹한 조건으로 안전율을 적용하지 않은 계산으로 실제보다 과도한 열손실을 계산하게 되므로 장비선정에 그대로 적용한다. 강재의 열전달계수를 59W/mK로 하고 단열재의 열전달 계수를 0.037W/mK로 할 때의 통합 열전달 계수를 구하여 덕트 전체 면적으로 발열량을 환산하면 단열재의 두께를 100mm로 할 때 약

20kW의 온도 제어용 히터가 필요하게 된다. 누기율을 감안한 안전율을 1.5배로 하면 30kW급의 히터를 선정할 수 있다.

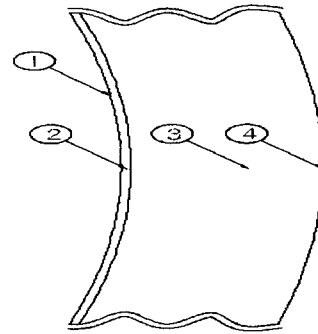


Fig. 7 시험덕트의 열전달

3.1.5. 수축팽창의 고려

철의 수축 팽창을 고려하면 다음과 같다. 철재 원동의 기준온도를 0℃로 하고 최고 상승온도를 500℃로 할 때 수평구간은 약 50mm 수직구간은 약 30mm의 수축팽창을 고려해야 하며 따라서 수직구간은 구속조건을 주지 않고 수평구간은 내열 캄버스를 두어 수평구간 수축팽창을 흡수 할 수 있도록 한다.

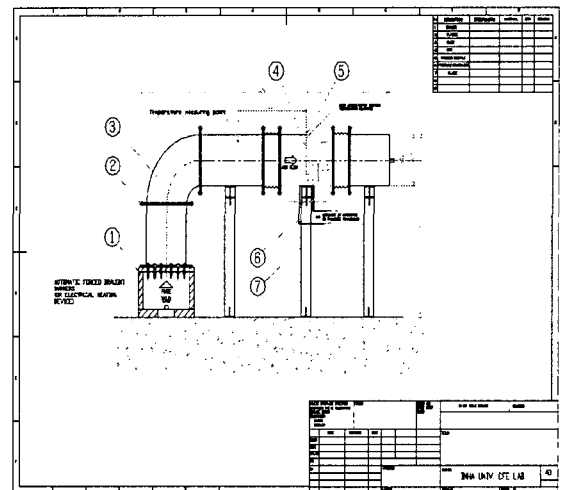


Fig. 8 OPEN TYPE의 방염시험장치 설계도

참고문헌

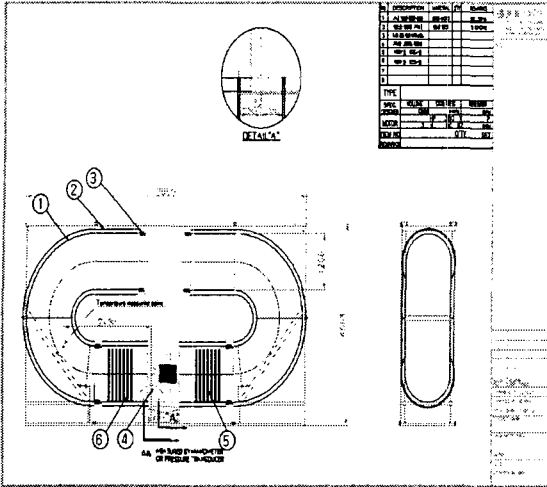


Fig. 9 CLOSED CIRCUIT TYPE의 방염시험장치 설계도(최종안)

4. 결론

선진국 규격을 비교, 검토하여 장, 단점을 취합한 국내 실정에 맞는 저비용 고효율의 방염성능 시험장치를 설계하였다. 국내 상황을 고려할 경우 열원으로 버너를 사용하는 OPEN TYPE보다는 전기히터를 사용한 CLOSED CIRCUIT TYPE의 시험장치가 폐열을 회수할 수 있으며, 시험경비 절감면에서 장점이 있다.

후 기

본 연구는 건설교통부 중점연구개발사업 “지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업”의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

- (1) 행정자치부 고시 제1997-6 호 제 12조 제 5호 가 목.
- (2) 도로터널, 교량, 기타 접근이 제한된 구조의 고속 도로 방재 표준(2001년도 판), 설비 저널, 제 32권 제 2호, pp. 12-17.
- (3) British Standard 7346, Components for smoke and heat control systems-Part 2. Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators, 1990, pp. 1-4.
- (4) The European standard 12101-3, Smoke and heat control systems-Part 3. Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators, 2004, pp. 12-27.
- (5) ANSI/ASHRAE Standard 149, Laboratory Methods of Testing Used to Exhaust Smoke in Smoke Management Systems, 2000, pp. 3-8.
- (6) Warrington fire research centre, Heat endurance test performed in accordance with BS 7346: Part 2, on a powered axial smoke and heat exhaust fan, 1990, pp. 1-19.
- (7) 김기정, 홍은표, 허남건, 김사랑, 차철현, 도로터널에서 Jet fan의 설치방법에 따른 환기량에 대한 수치해석적 연구, 공기조화 냉동 공학회 2000동계학술 발표회 논문집 pp. 194-198.
- (8) 윤철욱, 장대터널의 설계 및 운영관리기술, 공기조화·냉동 공학, 제28권6호, 1999, pp. 476-483.
- (9) Alan E Vardy, Safety in Road and Rail Tunnels, pp. 363-394.