

화재진압용 비활성가스제너레이터 성능해석 및 시험

김수용* · 코발레프스키**

Experimental & Performance Analysis of an Inert Gas Generator for Fire Suppressing

Kim, SooYong · V.P. Kovalevsky

ABSTRACT ④

Present study deals with performance analysis and experimental investigation of an inert gas generator (IGG) which can be used as effective means to suppress fire. The IGG uses a turbo-jet engine to generate inert gas for fire extinguishing. It is generally known that a less degree of oxygen content in the product of combustion will increase the effectiveness of fire extinguishing. An inert gas generator system with water injection has advantages of suffocating and cooling effects that are very important factors for fire extinguishing. Some aspects of influencing parameters, such as, air excess coefficient, compressor pressure ratio, air temperature before combustion chamber, gas temperature after combustion chamber, mass flow rate of water injection etc. on the performance of IGG system are investigated.

초 록

본 연구는 화재를 효과적으로 진압하기 위한 비활성가스제너레이터의 성능 해석 및 실험에 관한 연구의 내용을 담고 있다. 비활성가스제너레이터는 가스터빈을 이용하여 화재를 진압하기 위한 비활성가스를 제조한다. 일반적으로 연소화합물 속에 산소함유량이 낮을수록 화재진압이 용이한 것으로 알려져 있다. 비활성가스제너레이터 시스템에 급수 노즐을 설치하여 물을 분사하는 경우 화재진압에 필요한 냉각 및 질식효과를 갖는다는 점에서 유리하다. 비활성가스제너레이터 성능에 미치는 몇몇 중요한 인자인 압축비, 과급 공기지수, 연소기 입출구 온도, 공기 유량 및 급수량에 관한 영향을 조사하였다

1. 서 론

최근 지구 온난화 현상으로 인한 일기 변화의 원인에는 자동차의 배기 가스 속의 CO₂가스가 원인인 것으로 밝혀지고 있으나 지구 곳곳에서

주택, 공업 단지, 상가, 산림, 유전 지역 등에서 발생하는 화재 및 군사작전에 의하여 일어나는 화재도 지구 온난화의 큰 원인의 하나인 것으로 간주되고 있다. 예로 90년대 말 이라크와 쿠웨

이트 간 전쟁의 결과 740여개의 유전에서 화재가 발생하여 수개월간 740여개의 유전 지대가 화염에 휩싸인 사실과, 98년 인도네시아, 말레이시아 등 동남아시아 일대에서 발생한 화재로 인하여 막대한 산림이 훼손되고 이로 인한 연기로 인하여 인접국까지 피해가 발생한 사실 등을 예로 들 수 있다. 이외에도 대형 빌딩 등 인간이 생활을 영위하는 곳에서는 크고 작은 화재의 위험이 상존하고 있다고 할 수 있다. 그러나 현재 화재가 발생하는 경우 이를 진압하기 위한 방법으로는 문명의 시작 이후 지금까지 사용되어 온

소방수 공급 방법이 대부분이라고 할 수 있는데 화재 지역에 물을 공급하는 일은 크게 세가지 측면에서 제약이 있다. 첫째, 물은 화재 진화시 전파속도가 매우 늦다는 점이다. 물은 기체에 비하여 전파되는 속도가 매우 늦기 때문에 이를 화재 진압에 사용하는 경우 신속하게 다량의 물을 공급할 수 있어야 한다는 어려움이 있다. 둘째로 물은 점유 영역의 제한이 크다는 점이다. 물은 아래 방향으로 흐르기 때문에 보이지 않는 천장 부위에 존재하는 화재는 진압이 용이하지 않고 또 재연의 소지가 있을 수 있다. 셋째로, 유류화재인 경우 물을 사용하기가 어렵다는 점이다. 유류화재인 경우 이산화탄소 가스나 Halon가스를 사용할 수도 있으나 제작 원가가 비싼 가뿔(왕복동기관에 의하여 생산)에 대형의 화재 진압수단으로서는 적합치 않고 또 포(Foam)를 사용하는 경우 화재 진압 후 이를 제거하는데 시간과 노력이 필요하다는 단점이 있다. 반면에 비활성가스의 경우 대기 공기를 그대로 흡입하여 소화제로 삼기 때문에 생산량에 제한이 없고 또 짧은 시간에 이를 생산하기 때문에 대형화재에 특히 효과적이라고 할 수 있다. 뿐만아니라 대기 공기중의 산소 성분을 감소시킬 뿐 기타 유독가스성분이 포함되지 않아 환경적으로도 안전하다고 판단된다. 이와 같은 이유로 인하여 비활성가스제너레이터는 차세대 화재 진압기술로서 매우 가능성이 있다고 판단된다. 가스터빈을 이용하여 화재진압을 시도한 예는 여러사례가 있으며 그중에서도 특히 1990년 후반 이라크 군의 쿠웨이트 유정 지대 폭발 사건으로 인한 화재를 진압하기 위하여 헝가리 화재진압반이 소련제 T61 탱크 위에 탑재한 미그 21엔진 두 대에 의한 분사가스로 화재를 진압한 사건은 유명하다.

2. 본 론

화재진압을 위한 비활성가스제너레이터(IGG : Inert Gas Generator)의 성능은 대기 공기를 흡입하여 공기 속에 있는 산소 성분을 제거하기 위한 시스템의 능력을 가리킨다. 공기중의 산소를 제거하기 위하여 가스터빈내부의 연소과정에 의하여 1차적으로 산소를 제거하게 되는데 화재진압에 요구되는 15%이하의 산소 농도 확보가 이루어지지 않는 경우 가스터빈 후방에 후방연소기를 장착하여 가스터빈 배기가스내

에 잔존해 있는 산소를 추가적으로 제거할 수 있다. 배기가스내의 산소농도는 가스터빈 또는 후방연소기의 입출구 온도(또는 과급 공기지수, α), 그리고 가스의 온도를 낮추기 의하여 공급하는 급수량과 밀접한 관계를 가지고 있다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

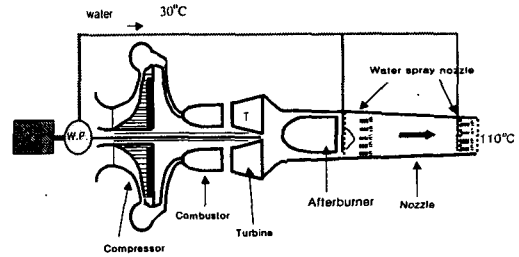


Fig. 1 Scheme of turbo-jet engine with water injection for fire extinguishing.

Fig. 2에는 압축기 출구 온도가 변화하는 경우 과급공기지수와 연소기 출구온도 변화의 양태를 보여주고 있다. 압축기 출구 온도가 낮을수록 (즉 압축비가 작을수록) 과급공기지수는 감소하고 있으며 연소기 출구온도가 증가할수록 같은 압축비에서 과급공기지수는 감소하는 것으로 나타나고 있다. 배기가스내 잔존 산소함유량은

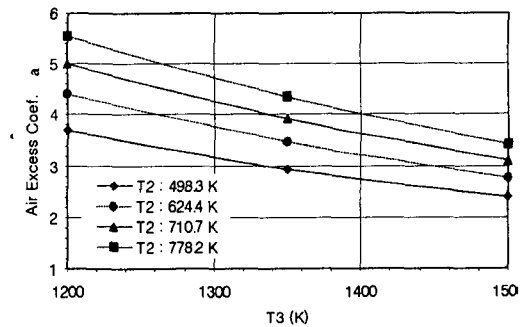


Fig. 2 Weight O₂ content variation with combustor exit temperature for different compressor exit temperatures.

Fig.3에 나타난 바와 같이 압축기 출구 온도(또는 연소기 입구 온도, 압축비)와 밀접한 관계를 가지고 있다. 여기서 과급 공기지수는 아래와 같이 계산된다.

$$\alpha = \left(\frac{m_a}{m_f} \right) / \left(\frac{m_a}{m_f} \right)_{s.c.} \quad (2)$$

여기서 m 은 유량을, 첨자 a, f 는 공기와 연료를, s.c.는 Stoichiometric condition을 각각 가리키고 있다. 배기가스내 산소함유량은 다음과 같이 계산되고 있다.

$$G_{O_2} = 0.232 \times (1 - W_L) \times L_O \times (\alpha - \eta_{cc}) \quad (3)$$

또 화재진압기로서의 비활성가스제너레이터의 효율성은 터빈 출구온도와 관계가 있는데 이는 화재진

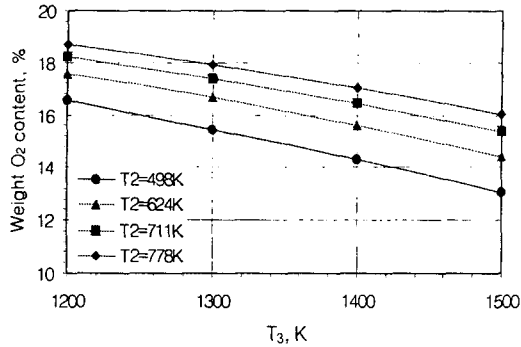


Fig. 3 Weight O₂ content variation with combustor exit temperature for different combustor inlet temperature.

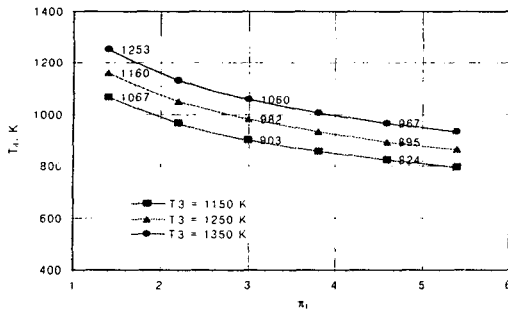


Fig. 4 Exit turbine temperature T_4 for different inlet turbine temperature T_3 and turbine expansion ratio π_t .

압 시 소화제가 가져야 할 질식효과 및 냉각효과 중에서 터빈 출구온도가 냉각효과와 연관이 되기 때문이다. 배기가스의 온도가 높을수록 소화제로서 효과적으로 사용하기가 어렵게 된다. Fig. 4에는 연소기 출구온도 변화시 터빈 출구온도와 터빈 팽창비와의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 터빈 출구온도는 팽창비 증가와 함께 감소하고 있으며 연소기 출구온도가 낮을수록 낮게 나타난다. 터빈 출구온도는 비활성가스제너레이터의 경제성과 연계되는데 이는 터빈 출구온도가 낮을수록 배기가스온도를 낮추기 위한 급수량이 감소하기 때문이다. 요약하면 효과적인 소화제로서의 비활성가스제너레이터를 생산하기 위하여 낮은 압축비와 높은 연소기 출구

온도, 높은 팽창비 또 때로는 높은 후방연소기 출구온도를 갖는 시스템 구성이 필요하다. 이상과 같은 성능해석을 위하여 프로그램이 개발되었으며 개발된 비활성가스제너레이터 시스템에 대하여 성능시험이 이루어졌다. 목표한 비활성가스제너레이터 시스템의 기본적인 목표 사양과 실험결과 측정된 data가 Table 1에 나타나 있다. Fig. 5는 회전대 위에 설치된 비활성가스제너레이터 시스템의 모습을 보여주고 있다. Table 2에는 배기가스내 산소농도를 측정된 실험 결과를 보여주고 있다. 표에 나타난 산소함유량은 급수 공급을 시간당 5톤으로 하였을 때 결과이며 배기가스내 잔존 산소함유량은 급수량 조절에 의하여 변화하며 급수량을 약 20%정도 증가시켰을 때 배기가스내 산소함유량은 2%미만까지 감소한다.

Table 1 Target properties of the Inert Gas Generator and experimental results

	Target	Experiment	Unit
Exit gas steam velocity	40	51.5	m/s
Exit gas steam mixture flow rate	15,000	15215	m ³ /h
Oxygen content	5	1.743	%
Exhaust gas steam temperature	100	116.4	°C

Table 2 Measurement of volumetric O₂ content in combustion product at $T_0=15^\circ\text{C}$ and $P_0=750\text{mmHg}$.

No	m_f	O ₂	α_p	α_{AB}
1	270.3	5.07	1.343	1.37
2	295.2	4.32	1.279	1.31
3	304.3	4.13	1.264	1.30
4	298.7	4.22	1.271	1.304
5	283.6	4.51	1.295	1.35

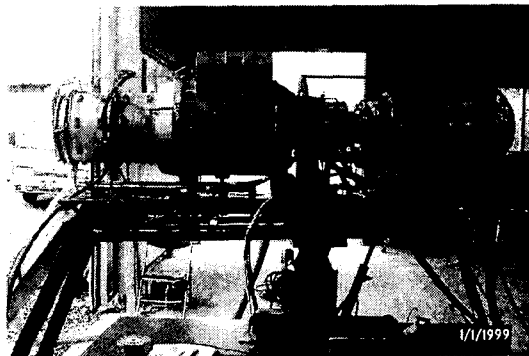


Fig. 9 The inert gas generator system on top of rotating frame.

3. 결 론

본 연구에서는 화재진압을 위한 소화제로서 비활성가스제너레이터의 성능해석 및 실험에 관한 내용을 담고 있다. 보다 효율적인 비활성가스제너레이터 시스템 구성을 위하여 낮은 압축비와 높은 가스터빈 입구 온도, 낮은 가스터빈 출구온도가 필요하며 또 보다 낮은 배기가스 내 산소함유량을 얻기 위하여 후방연소기를 부착하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 기초하여 비활성가스를 생산할 수 있는 시스템을 구성하였으며 실험을 수행하여 확보된 실험 결과를 예측 결과와 비교하였다. 비교결과 배기가스량은 매우 정확하게 일치하였으며 그밖에 배기가스속도는 예상치보다 양호하게, 배기가스 온도는 예상치보다 높게 나타났다. 개발된 시스템을 이용하여 화재진압을 하기 위한 시험이 진행중이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구사업은 산업자원부와 과학기술부가 공동으로 지원하는 민군겸용사업으로 실시되었음을 밝히며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Von Nebojsa Gasparovic, "Einflu der Gasturbinenparameter auf die Emission der Stickoxide", Eletrizitatswirtschaft, Jg, 80, Heft 1981.
2. A.B.Sudarev and B.I. Antonovsky, "Gas Turbine Plant Combustor", Leningrad publising., Ch. 5, 1985.
3. G.L. Touchton, "Influence of Gas Turbine Combustor Design and Operating Parameters on Effectiveness of Nox Suppression by Injected Steam or Water", Journal of Engineering for Gas Turbine and Power. , Vol. 107, p.p. 706-713, 1985.
4. Kim, Soo Y., "A Feasibility Study to Develop a Cold Inert Gas Generator", a Project report to MOST (Ministry of Science & Technology, 1999.
5. Soo Y. Kim and A.F. Slitenko, "Performance Analysis of an Inert Gas Generator for Fire Extinguishing", Proceedings of the 8th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, ISROMAC-8, Vol I, March 2000