

산업용 질소발생기에 대한 청정소화설비로의 적용가능성에 관한 연구 A Study on the Possibility of Application as a Natural Extinguishing System for N₂ Generator

서병택[†] · 장영근

Byung-Taek Suh[†] · Young-Keun Jang

용인송담대학 건축소방설비과
(2010. 3. 4. 접수/2010. 4. 9. 채택)

요 약

본 연구에서는 산업용으로 일반적으로 사용하고 있는 질소발생기를 사용하여 할론 계열의 소화약제를 대체할 청정소화설비로 적용할 수 있는지에 대한 소화성능 실험을 간단히 수행하였다. 산업용 질소발생기의 소화성능을 분석하기 위하여 간단한 방호구역을 제작하여 실제 질소발생기에서 발생하는 질소가스를 방사하면서 방호구역 내의 산소농도 변화를 실험적으로 파악하였다. 실험결과, 현재 많이 사용하고 있는 질소발생기로 방호구역 100m³에 대하여 질소가스를 5m³/min로 방사하면 3분 이내에 방호구역 내의 산소농도를 15% 이내로 낮추어 질식소화가 충분히 가능하다.

ABSTRACT

An experimental study has been carried out to investigate the possibilities of an industrial N₂ generator that it replace Halon series as a natural extinguishing system. And this study comparison design standard of gas series extinguishing system with natural extinguishing system. We manufactured simple protected enclosure for analyzing fire-extinguishing performance of the N₂ generator. As a N₂ gas is exhausted on protected enclosure, a various of Oxygen concentration is measured to analyze fire-extinguishing performance experimentally. The results, in case of 100 m³ protected enclosure and 5 m³/min N₂ flow rate, the Oxygen concentration is decreased below 15% within 3 minutes. And so, the N₂ generator make full use of an suffocating extinguishing system.

Key words : N₂ generator, Natural extinguishing system, Halon, Oxygen concentration, NN-100

1. 서 론

Halon은 오존층 보호를 위한 Halon의 규제에 따라 선진국은 2010년 1월 1일부터 생산량을 전폐하며 개발도상국의 경우에는 2010년부터 기준 수량의 15%만 필수용도로 추가 생산하도록 규정하고 있다. 따라서 할론 계열의 소화약제를 대체할 청정소화약제에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 NAF S-III, FM-200, FE-13, Inergen(IG-541), NN-100(IG-100) 등이 개발되어 상용화되고 있다¹⁾. 이러한 청정소화약제 중에서 대부분의 물질은 특허권리에 따라 자유롭게 사용할 수 없다. 그러나 IG-100은 특허 분쟁이 없는 질소가스를

100% 사용하기 때문에 질소가스를 소화약제로 사용할 수 있는 가스계 소화설비기준에 적합한 소화시스템만 개발한다면 누구나 쉽게 사용할 수 있는 소화약제이다. 따라서 최근에 일본에서는 청정소화약제 시장의 80% 이상이 IG-100을 사용하고 있으며 국내에서도 질소 가스 100%를 청정소화약제로 사용하는 소화시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그러나 현재 개발되고 있는 것은 대부분 생산된 질소가스를 초고압으로 가압된 충전용기에 저장한 후 소화배관을 통하여 화재발생 시 질소가스를 방출하여 화재를 진화하는 시스템에 대한 연구들이고, 실제 질소가스를 발생시키는 질소발생기를 활용한 소화시스템에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 기술력이 뛰어난 산업용 질소발생기를 할론 계열

[†]E-mail: suhpeter@ysc.ac.kr

의 소화약제를 대체할 청정소화설비로 적용할 수 있는지를 알아보기 위하여 가스계 소화설비 및 청정소화설비의 설계기준^{1,2)}을 참고로 질소발생기를 소화시스템으로 구성하여 기초 실험을 수행한 후 소화성능을 분석하였다. 또한, 산업용 질소발생기의 소화성능을 분석하기 위하여 간단한 방호구역을 제작하여 실제 질소발생기에서 발생하는 질소가스를 방사하면서 방호구역 내의 산소농도 변화를 실험적으로 파악하였다.

2. 산업용 질소발생기

유해물질규제(RoHS)법의 공고 및 시행에 따라 반도체 산업에서 무연 공정용으로 사용하기 위하여 질소 소비량이 증가되고 있다. 고가의 액체 질소를 구입하여 사용하는 방식에서 탈피하여 직접 질소를 생산하는 질소발생기로의 전환이 급속하게 진행되고 있다. 이러한 질소발생기는 경제성, 사용의 편리성 및 적합한 질소 순도를 선택하여 사용할 수 있고 또한 고압이 아닌 중·저압에서 운전되어 안전하고 경제적이며 안전 관리 없이 누구나 쉽게 운전할 수 있다는 장점이 있다.³⁾

오늘날 질소가스 제조방법으로 Figure 1과 같은 PSA (Pressure Swing Adsorption) 방식의 질소발생기가 보편화되어 가장 경제적으로 질소가스를 얻을 수 있는 공정으로 시장에서 인식되고 있다. 압축공기에 포함된 먼지 등은 필터에서 제거되고 산소와 이산화탄소가 흡착탑 내부에 있는 흡착재(CMS, Carbon Molecular Sieve)에 의해 흡착되어 흡착탑에서 질소가스를 생산하고 흡착되어 있는 산소와 이산화탄소는 외부로 배출된다. 두 개의 흡착탑이 설치되어 있고 흡·탈착을 반복함으로써 질소가스를 연속적으로 생산한다. 질소발생기는 현재 금속산업분야(Purge/Sealing, 열처리공정), 식품 및 화학약품분야(고무공업, 식품포장 및 이송, 사진현상, 도료포장, 화학공장) 전자산업분야(반도체 및 전자부품, reflow용도) 등의 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으

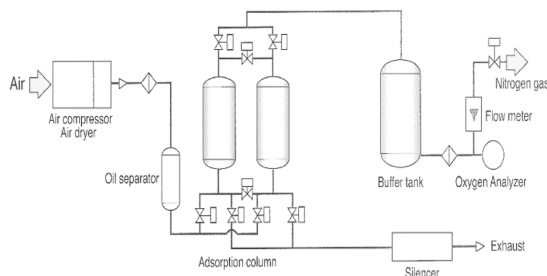


Figure 1. Schematic diagram of N₂ generator.

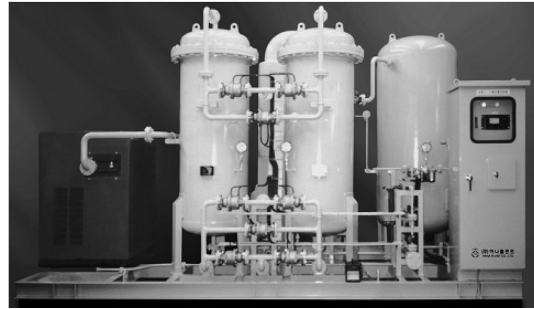


Figure 2. Photo of N₂ generator.

며 향후 이번 연구개발을 통하여 청정소화시스템 분야에도 그 쓰임의 폭이 크게 확대될 것으로 전망한다.³⁾

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 산업용으로 사용하는 질소발생기를 이용하여 질소가스의 소화성능을 파악하기 위하여 Figure 3과 같은 실험장치를 구성하였다. 질소발생기(N₂ Generator)는 크기가 L2,270 × W850 × H2,135mm이고, 순도가 99.9%인 질소가스를 방사압력 0.3~0.7MPa, 방사량 30~50m³/h로 조절할 수 있는 H사의 소형 질소발생기를 사용하였다.

방호구역(Protected enclosure)은 질소발생기의 소화성능을 파악하기 위하여 가스계소화설비의 성능기준보다 작은 임의의 방호실로 크기가 L1,700 × W1,300 × H2,040mm로 약 4.5m³의 용적을 갖는 캐비닛형의 반밀폐구조로 제작하여 우측 상단에 개구부 면적이 소화성능에 미치는 영향⁴⁾을 고려하여 과압 배출구(Pressure relief venting)를 가스계 소화설비의 설계기준에 맞도록 L190 × W140mm 정도 설치하였다. 질소발생기에서 배출된 질소가스는 주밸브(M.V.)와 니들밸브(N.V.)를 통하여 실험조건에 알맞은 압력과 유량으로 조정되어 직경이 20mm인 고압호스를 통하여 방호구역의 상단에 설치된 노즐로 공급된다. 노즐은 20mm의 강관을 별도

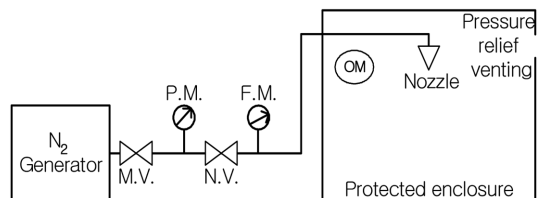


Figure 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

의 특수 제작 없이 그대로 사용하였고, 방호구역내의 산소농도는 모델명 XQ-326ALA(측정범위 0-40VOL%, 정밀도 $\pm 0.3\%$)인 산소가스측정기(OM)를 방호구역의 상부에 설치하여 측정하였다.

실험은 질소발생기의 방사압력을 0.3, 0.5, 0.6MPa의 3단계로 변화시키고 방사량을 30, 40, 48m³/h(CMH)로 변화시키면서 각각에 대하여 5분 동안 방호구역 내의 산소농도 변화를 5초 간격으로 측정하여 방사압력과 방사량이 질소발생기의 소화성능에 미치는 영향을 분석하고, 향후 다양한 방호구역에 대한 질소발생기의 용량을 결정할 수 있는 실험식을 유도하였다.

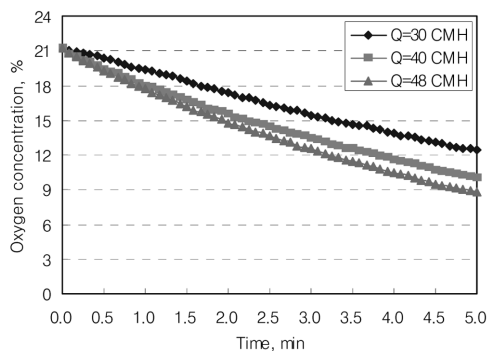
4. 실험결과 및 고찰

Figure 4는 방사압력 0.3MPa, 0.6MPa에 대하여 방사량을 30, 40, 48m³/h(CMH)로 변화시켰을 때 방사시간에 따른 방호구역 내의 산소농도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 방사시간이 경과할수록 산소농도

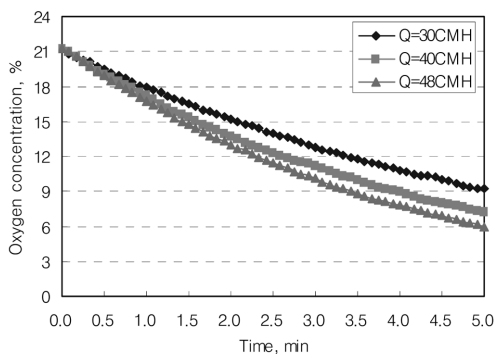
는 완만하게 감소하고 있으며 유량이 클수록 산소농도의 감소는 더욱 크게 나타나고 있다. 방사압력이 0.3MPa인 (a)의 경우, 가스계 소화설비의 표면화재에 대하여 규정한 방사시간 1분이 경과하였을 때 산소농도는 17~20%로 높지만 시간이 3분정도 경과하였을 때는 산소농도가 12~16%로 질식소화에 적합한 농도에 도달하는 것을 볼 수 있다.

Figure 4의 (b)는 방사압력을 0.6MPa로 증가시켰을 때의 산소농도를 측정한 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 방사시간이 경과할수록 (a)의 0.3MPa보다 산소농도의 감소가 큰 것을 알 수 있다. 방사시간 1분 정도에서는 산소농도가 16~18%로 질식소화가 불가능하지만 3분정도 경과해서는 산소농도가 10~13%로 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. Figure 4에서 살펴본 바와 같이 산업용 질소발생기는 질소가스를 연속적으로 발생시킬 수 있기 때문에 일정한 방호구역에 적합한 방사량과 방사압력만 결정된다면 방사시간에 상관없이 연속적으로 질소가스를 방출하여 효과적으로 질식 소화시킬 수 있음을 알 수 있다.

Figure 5는 질소가스 방사량과 방사압력에 따른 소

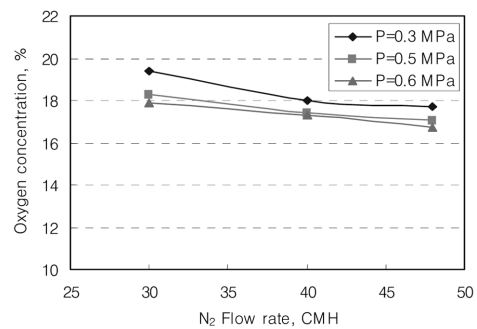


(a) P=0.3 MPa

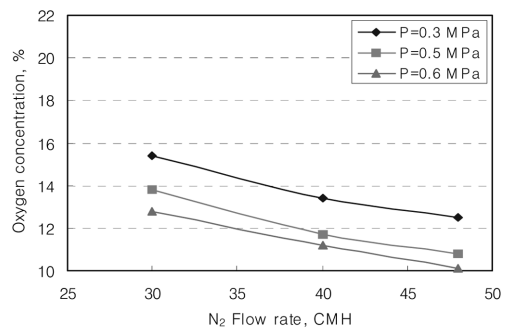


(b) P=0.6 MPa

Figure 4. Variations of oxygen concentration during the discharging time for various N₂ flow rates.



(a) Discharging time=60 sec



(b) Discharging time=180 sec

Figure 5. Variations of oxygen concentration according to N₂ flow rate for various discharge pressures.

화성능을 알아보기 위하여 방사시간이 각각 1분과 3분 경과하였을 때 방사유량 변화에 따른 산소농도를 방사압력에 대하여 비교한 것으로 그림에서 알 수 있듯이 방사유량과 방사압력이 증가할수록 산소농도는 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 방사시간 3분이 경과하였을 때는 본 연구에서 실험한 방호구역에 대해서는 산소농도가 15% 이하로 감소하여 심부화제인 경우에는 질식소화가 가능함을 알 수 있다.

Figure 4, 5에서 질소발생기의 소화성능을 분석한 결과 일정한 방호구역에 대하여 방사압력과 방사량만 결정되면 연속적으로 질소가스를 방출할 수 있기 때문에 질식소화용 가스계 소화설비로 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 일정한 방호구역이 결정되면 질소가스의 방사량을 결정할 수 있는 실험식을 유도하고자 가스계 소화설비의 무유출(No efflux)인 경우 방호구역(V, m^3), 가스방출량(Q, m^3), 산소농도($O_2, \%$)와의 관계를 나타내는 식¹⁾을 이용하여 방호구역 및 방사량에 대한 산소농도를 알 수 있는 관계식(1)을 구할 수 있다. 식(1)을 이용하여 본 연구에서 수행한 방호구역에 대하여 방사량 30, 40, 48 CMH에 대한 산소농도 변화를 나타낸 것이 Figure 6에 나와 있다.

$$O_2(\%) = \frac{21 \times V(m^3)}{Q(m^3) + V(m^3)} \quad (1)$$

Figure 6에서 볼 수 있듯이 방사시간이 경과할수록 각각의 방사량에 대하여 실험결과와 이론식(1)을 이용한 결과와의 산소농도 차이($\Delta O_2, \%$)가 크게 증가하여 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 방사압력을 고려하지 않은 이론식(1)과 실험결과와의 오차를

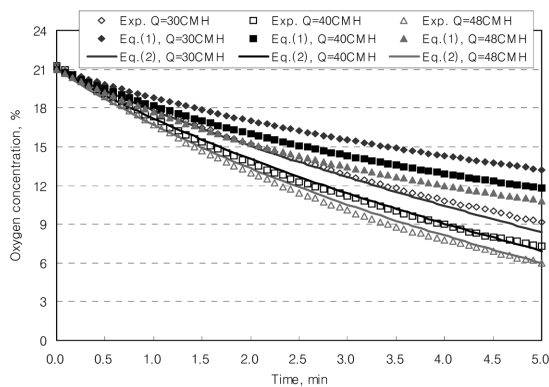


Figure 6. Variations of oxygen concentration during the discharging time for the various study results and N_2 flow rates.

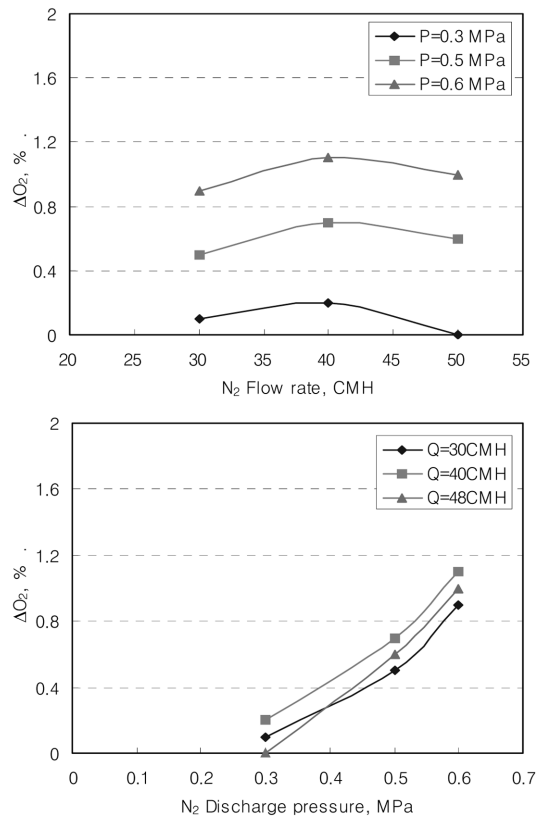


Figure 7. Variations of according to N_2 flow rate and discharge pressure.

알아보기 위하여 방사시간이 1분 경과하였을 때를 기준으로 방사량과 방사압력에 대한 오차를 분석한 결과 Figure 7에서 볼 수 있듯이 방사량 변화에 따른 오차는 큰 차이가 없으나 방사압력 변화에 대해서는 실험결과와 이론식(1)과의 오차($\Delta O_2, \%$)가 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 방사시간에 따라 발생하는 오차와의 상관관계식을 파악하기 위하여 질소가스의 방사압력을 산업용 질소발생기에서 일반적으로 사용하는 압력인 0.6MPa에 대한 방사시간에 따른 이론식(1)과의 산소농도($O_{2,Th}, \%$)와 실험결과의 산소농도($O_{2,Exp}, \%$)와의 차이($\Delta O_2, \%$) 분포를 나타내면 Figure 8과 같다. Figure 8에 대하여 방사시간(t, min)과 산소농도오차($\Delta O_2, \%$)와의 상관관계식을 구하면, $\Delta O_2(\%) = 0.9652t(min) + 0.0126$ 이다.

여기서 산소농도오차 $\Delta O_2(\%)$ 는 $\Delta O_2(\%) = O_{2,Th} - O_{2,Exp}$ 이고, 이론농도 $O_{2,Th}$ 는 식(1)과 같으므로 $O_{2,Exp} = (21 \times V)/(Q + V) - 0.9652t - 0.0126$ 와 같은 관계식을 구

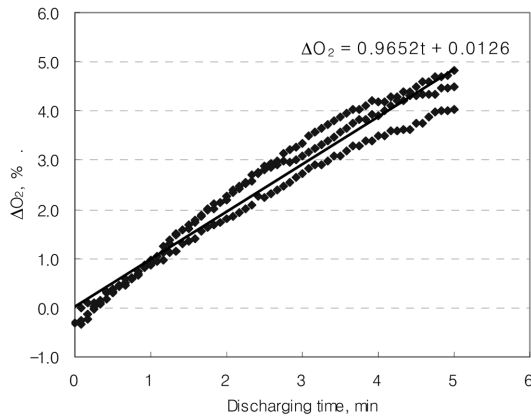


Figure 8. Correlation discharging time and ΔO_2 .

할 수 있다. 이 식에서 얻어진 실험농도($O_{2,Exp}$, %)를 설계방호구역(V , m^3)과 방사시간(t , min)이 결정되면 소화가능한 산소농도(O_2 , %)에 대한 질소가스 방출량(Q , m^3)을 구할 수 있는 실험식으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Q = \frac{21 \times V(m^3)}{O_2 + 0.9652t + 0.0126} - V \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 본 연구에서 사용한 방호구역에 대하여 방사압력이 0.6MPa일 때 산소농도 변화를 방사량 30, 40, 48 CMH에 대하여 분석한 결과가 Figure 6에 실선으로 나와 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 실험결과와 식(2)를 이용한 결과가 비슷한 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 식(2)를 이용하여 방사압력이 0.6MPa인 경우에는 일정한 방호구역에 대하여 설계소화농도에 적합한 방사량을 구할 수 있다. 이와 같

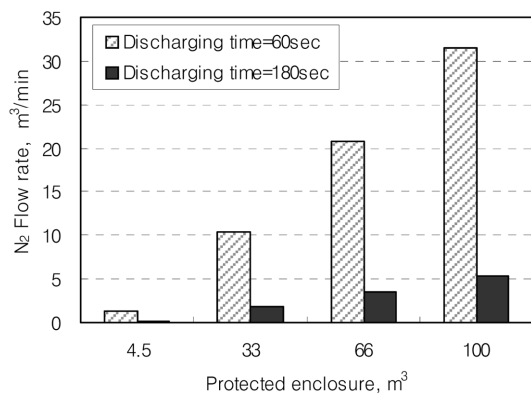


Figure 9. N_2 Flow rate for various protected enclosures.

은 방법으로 산소의 소화농도 15%에 대한 각각의 방호구역에 대한 방사량을 결정하면 Figure 9와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 방사시간이 1분인 경우에는 방호구역이 클수록 질소가스 방사량은 크게 증가하여 질소발생기의 용량이 과대해지는 문제점이 있지만, 방호구역 내의 산소농도가 15%에 도달하는 시간을 최대 3분까지 증가시킬 경우에는 현행 소방법규에 제한을 받지 않는 소형 전기시설 등에 대해서 방호구역 100 m^3 까지는 최대 방사량 5 m^3/min 로 현재 상용화된 중형 질소발생기로도 질식소화가 충분히 가능하다.

하지만 가스계 소화설비를 적용되는 대부분의 전기실, 기계실, 전산실 등의 방호대상이 100 m^3 이상의 넓은 공간을 차지하기 때문에 현재 상용화된 중·저압의 질소발생기로는 시스템이 너무 커지기 때문에 경제성이 없다.

5. 결 론

현재 산업용으로 사용하고 있는 소형 질소발생기에 대하여 임의의 방호구역(4.5 m^3)에 대한 소화성을 실험적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 질소가스 방사시간이 1분 경과하였을 때 산소농도는 17~20%로 높지만 시간이 3분정도 경과하였을 때는 산소농도가 12~16%로 질식소화에 적합한 농도에 도달하였다.

2) 방사유량과 압력이 증가할수록 산소농도는 완만하게 감소하며 방사유량이 27% 정도 증가하면 산소농도의 감소율은 약 3~7% 정도이고, 방사압력이 43% 정도 증가하면 산소농도의 감소율은 약 2~6%로 방사압력보다는 방사유량 변화에 따른 질소가스의 소화성능이 크게 변하는 것을 알 수 있다.

3) 이론식(1)을 이용한 산소의 소화농도 변화는 실험결과와 큰 차이가 있지만, 본 연구의 오차분석을 통하여 얻어진 실험식(2)는 실험결과와 잘 일치한다.

4) 현재 보편적으로 많이 사용하고 있는 중형 질소발생기에 대하여 실험식(2)를 통하여 계산된 방호구역 100 m^3 에 대한 질소가스 방사량 5 m^3/min 는 방사시간이 최대 3분인 경우에는 산소농도를 15% 이내로 낮추어 질식소화가 충분히 가능하다.

5) 가스계 소화설비를 적용되는 대부분의 전기실, 기계실, 전산실 등의 방호대상이 100 m^3 이상의 넓은 공간을 차지하기 때문에 현재 상용화된 중·저압의 질소발생기로는 시스템이 너무 커지기 때문에 경제성이 없다.

6) 본 연구를 통하여 분석한 질소발생기는 현재 산

업현장에서 산업용으로 사용하면서 소방법규에 제한을 받지 않는 소규모의 전기시설 등이 있는 방호대상물의 청정소화설비로 겸용하여 사용하는 것이 적합하다.

참고문헌

1. 남상욱, “소방시설의 설계 및 시공”, 성안당, pp.347-481(2004).
2. 소방방재청, “가스계소화설비의 성능에 관한 인정기준(KFIS 002)”, 소방방재청 국가화재안전기준(2004).
3. (주)하나플랜트, “고효율 에너지절약형 질소분리발생장치 개발”, 중소기업청 기술혁신개발사업최종보고서(2006).
4. 전홍균, 최영상, 박종탁, “개구부 면적이 CO₂ 소화설비의 소화성능에 미치는 영향”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.1, pp.1-9(2008).