

돈사 적용용 DC전압을 이용한 오존발생장치 개발에 관한 연구

Development of Ozone Generator with using DC Voltage for Swinery

문승일* · 채재우 · 이대엽 · 장기현¹⁾ · 정태균²⁾
인하대학교 기계공학과, ¹⁾린나이코리아 (주), ²⁾부산 디지털정보기능대학
(2002년 6월 18일 접수, 2002년 12월 16일 채택)

Seung-il Moon*, Jae-ou Chae, Dae-yup Lee, Gi-hyun Jang¹⁾ and Tae-gyun Jung²⁾
Dept. of Mechanical Engineering, Inha University
¹⁾Rinnai Korea Ltd., ²⁾Busan Polytechnic College
(Received 18 June 2002, accepted 16 December 2002)

Abstract

HS, Ammonia, CH₄, VOCs, Microorganism, Bacteria etc produced from swineries or henhouses are known to prevent the growth of livestock. Moreover, they give an unpleasant feeling to the workers. In this study, a methodology to remove odors and toxic gases by oxidation of ozone was thus accomplished. However, most ozone generators which use the atmospheric surrounding air have problems of contamination of electrode for discharge. Therefore in this work, a wire-cylinder type plasma reactor with DC voltage has been used both in a laboratory scale test and in the real swinery to solve the existing problems. About 6 cm of electrode gap could decrease the attachment of dusts, humid aerosols and other polymers, which are contained in the air. This compact designed device could produce ozone to oxidize and remove the air pollutants. But the amount of ozone was not large enough to be harmful to human health. Also, the concentration of ozone was able to be varied by the input voltage, which makes it available for the proposed system to be installed in various kinds of pig houses. With this device, at maximum 43 mg/m³ (20 ppm) of ozone could be produced at 40 kV input voltage (consumed energy was 0.1 Wh/m³). A program was also made in this work to calculate the optimum parameters for design of a plasma reactor in wide range of conditions.

Key words : Ozone generator, Plasma, Elctrode, Microorganism, Toxic gases

1. 서 론

돈사에서 발생하는 악취의 주요 발생원은 슬래이

트, 분, 여불통, 벽, 주변의 다른 돼지 등에서 나타나며 이러한 것들은 돼지들의 배설물에서 묻어 나오는 것으로서 돈사의 공기를 오염시키는 주요 발생원이고 점차적으로 포화가 된다. 이는 겨울철보다 여름철에 대기 중으로 빠르게 기화가 되며 작업자 및 돼지들의 발육에 악영향을 미치므로 이에, 악취

* Corresponding author
Tel : +82-(0)32-865-6525, E-mail : dukehaein@hanmail.net

및 미생물 제거문제를 해결하고자 오존살균효과를 이용한 악취제거 방법이 제시되고 있다(산업자원부 보고서, 2000; 임형남 등, 2000; 김선태 등, 1998).

여기서 오존은 점차적으로 돈사내부로 침투가 되며 악취, 박테리아, 곰팡이, 바이러스 등을 산화시키고 또한 자연풍에 의해 막사내부에서 순환이 되어 웅덩이나 구석진 곳의 많은 해로운 가스들로부터 가축들이 감염이 되지 않도록 보호한다. 이로서 지속적으로 가축들이 발생시키는 암모니아와 황화수소와 같은 악취물질들을 제거함으로써 가축들은 신선한 공기를 마실 수 있으며 이는 발육을 촉진하는 효과가 있다. 돼지들은 비교적 면역구조가 강하여 많은 다른 질병 및 바이러스들을 이겨내지만 청정 공기를 마시는 돼지들은 호흡에 의한 질병문제를 덜게 되며 이는 돼지의 육질향상에 도움이 된다.

실제 외국에서 실험한 자료를 살펴보면, 대장균 및 포도상구균은 오존에 의해 99% 제거가 되며, 대장균에 의한 설사 75% 감소, 바닥에 앉아있던 돼지들의 수 50% 감소(더욱 활동적이게 됨), 새끼들의 몸무게 15% 증가 등이 확인되었으며 돈사 내부의 돼지들의 몸무게는 매일 평균적으로 0.61 lb에서 1 lb 이상 증가하였고 사망률은 2.6%에서 0.6% 이하로 감소하였고 오존이 없거나 송풍시설이 안되어 있으면 사망률은 25% 이상으로 증가하였으며 오존 처리 후 돼지귀의 오염 등이 빠르게 치유되었고 피부색깔도 눈에 띄게 핑크빛으로 더욱 건강하게 보였다. 또한 비염 100% 저감(오존처리 전에는 약 30% 정도의 비염반응을 보였음), 폐렴 90% 저감, 설사 90% 저감, 포도상구균, 연쇄상구균의 감염 50% 저감, 수자병(Grease)결린 돼지 90% 저감의 효과가 있었으며 이는 매일 0.09 mg/m³의 오존농도(약 0.042 ppm)로 처리하였을 때의 결과였으며 암모니아 농도도 40% 저감되었다고 보고된 바 있다(Kowalski, 1998; www.permroofing.com/ozone; Custovic, A.).

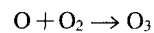
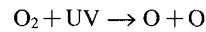
EPA 및 OSHA의 오존 허용치는 8시간동안 노출 상태에서 0.1 ppm이며 위 실험에서는 돈사내부의 오존농도는 0.01~0.02 ppm이었고 본 수치는 규제치의 1/10~1/5 정도의 수준이었다.

2. 오존의 발생

오존을 발생시키는 방법에는 자외선식, 전기 분해

식, 고압 무성방전식 등 여러 가지가 있으며 산업용으로 주로 이용되는 방식은 고압 무성방전식으로 전기인가방법, 방전관 형태, 냉각방법에 의해 더욱 세분화시키는 경우도 있으나 에너지소비량, 발생오존농도, 오존발생효율만 비슷하다면 사용하는데 큰 차이는 없다(이덕출 등, 1996; 서국철 등, 1995; Yuri P. Raizer, 1991).

자외선식은 자외선파장(UV)을 산소분자에 조사하면 산소분자가 활성화되어 오존이 생성되는 방법으로 이는 구조가 간단하여 고장요인이 적고 장치의 가격이 낮으며 오존발생농도도 낮아 부식의 우려도 적기 때문에 재질의 선택범위도 넓으나 효율이 낮고 농도조절이 불가하다는 단점이 있다.



무성방전에 의한 오존의 발생은 현재 사용하고 있는 대부분의 오존발생기의 방식으로서 고전압 전극과 접지전극 사이에 유리나 세라믹재질의 절연체를 삽입하여 교류 고전압(6,000~18,000 V)을 인가하면서 두 전극사이에 산소를 함유한 기체를 통과시켜 오존을 발생시키는 것으로 오존발생효율 및 대용량의 오존발생에 대해 장점이 있기 때문에 널리 사용된다(Kazuyuki Ohe etc, 1999).

실제로 일반 농가의 돈사에서 발생하는 악취제거용으로 적용되고 있는 오존발생장치의 현황 및 성능 그리고 문제점들에 대해 조사한 바에 따르면 일반적으로 돈사에 설치되어 있는 오존발생장치는 크게 무성방전(Barrier discharge)과 UV(Ultra violet)램프를 사용하고 있다. 외부의 대기공기를 유입하여 대기 중에 포함되어 있는 산소를 전기방전에 의하여 오존으로 발생시킴으로서 오·폐물에서 발생하는 황화수소, 메탄, 암모니아, VOCs와 같은 유해물질들을 산화, 제거시키고 여러 가지 미생물 및 박테리아 등을 살균하는 용도로 사용되고 있다.

그러나 무성방전 반응기는 본 방전의 특성상 방전극 갭이 매우 좁아(5 mm 이하) 발생오존농도를 높이기 쉬운 장점은 있으나 대기공기내의 수분, 먼지 및 동물들의 털 등에 의해 방전극이 쉽게 오염이 되어 쇼트에 의한 제품수명 단축이 야기되고 있다. 이에 농민들은 부품교환 등의 과도한 유지비 때문에 고장난체로 방치해두고 있는 실정이다.

또한 UV램프를 이용하는 오존발생장치는 일단 자외선 방사가 인체에 매우 해로우므로 각별한 안정성 유지가 우선적으로 지켜져야 하며 더구나 UV램프를 이용한 대기공기의 오존발생방식은 발생오존농도가 미량에 그치므로 각 돈사마다 개개별로 설치해야 하는데 (대당 약 22평 정도) 설치비용 문제 및 램프수명(1~2년)이 짧아 매년 교체해주어야 하며 오존농도 조절이 난해함으로 개선의 요지가 많다. 대기오염 규제치에서 평균 오존농도는 적어도 0.1 ppm 이하로 유지되어야 동물 및 인체에 해롭지 않으나 그 이상이 되면 코, 목에 자극, 시력저하, 호흡기 자극, 두통 및 폐수종 등을 일으키며 15~20 ppm 정도면 2시간 이내에 작은 동물은 사망하기에 까지 이르고 인간도 50 ppm에서 1시간 정도 노출되어 있으면 생명이 위험한 상태까지 이른다. 오존에 대한 환경기준치는 한국이 0.06 ppm (8시간평균), 0.1 ppm (1시간평균), 일본이 0.06 ppm (8시간평균), 0.12 ppm (1시간평균), 미국이 0.1 ppm (8시간평균), 0.3 ppm (15~20분)이다.

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 오존발생의 원리로 코로나 방전을 이용하는 데 구조가 간단한 와이어/실린더 형태의 반응기를 사용하였다.

전원은 고전압 DC발생장치를 사용하였으며 스테인레스 재질로 반응기를 제작하여 오존에 의해 산화되는 것을 방지하였다. 와이어/실린더 반응기 구조상 방전간극이 충분히 유지되며 유량조절 및 인가에너지 조절에 따라 오존 농도 조절이 용이하고 ESP (Electro-static precipitator) 효과에 의한 집진 현상으로 방전극이 오염되는 것을 최소화함으로써 반응기는 반영구적으로 사용이 가능하도록 하였다.

이러한 반응기 설계인자로는 (DC고전압을 이용한 와이어/실린더형 반응기일 경우)

1. 인가전압 및 방전에너지, 2. 실린더 직경, 3. 와이어 직경, 4. 반응기 길이, 5. 공기유량, 6. 오존의 발생농도 등이 고려되어야 하며 이는 Peek's formulations으로 수치적 계산이 가능하다. 이로서 오존발생장치를 설계하는 변수도출이 가능하게 되었으며 실제 장치를 만들어서 계산치와 실험치의 오차가 얼

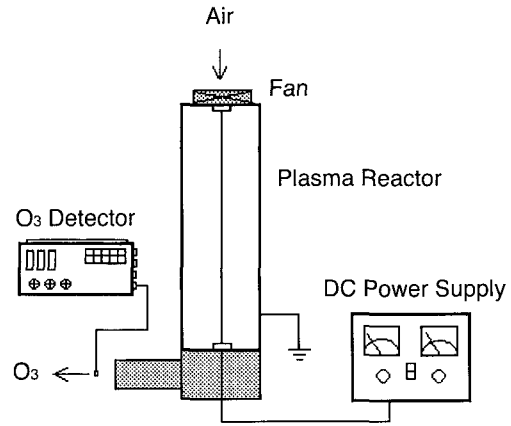


Fig. 1. Schematic diagram of experiments.

마나 발생되는지 그 차이점을 분석해 보는 것이 필요하다.

또한 이러한 구성의 오존발생장치는 전압, 유량을 가변 시켜가며 오존농도를 조절하여 대규모의 돈사에도 한 대의 장치로 오존 유입구를 병렬로 연결하여 각 돈사마다 최적의 오존농도를 배출시키는 것이 가능함으로 사용의 편리함과 설치비 및 유지비가 적게드는 장점이 있다.

그림 1에서 나타나듯이 실린더 및 와이어는 SUS304재질을 사용하였으며 실린더 길이는 50 cm, 내부직경은 13 cm, 와이어 직경은 3 mm이고 절연체 재질로는 테프론을 사용하였다. 전원장치는 입력 220 V출력이 최고 DC40 kV, 5 mA (200 W) 용량의 전원발생장치를 사용하였다.

반응기 상단부에 팬을 연결하여 대기공기가 유입되게 하였으며 충분한 전극간 거리가 유지되므로 전기 집진에 의한 전극표면의 오염문제를 최소화하였다. 오존을 발생시키는 점에서는 펄스방전이 유리하지만 펄스발생기의 가격 및 펄스에 의한 노이즈 발생문제가 대두됨으로 DC 전압을 사용하였다. 본 돈사적용용 오존발생장치에서는 저농도의 오존량이 요구됨으로 DC 전압에 의한 방전으로도 충분한 오존을 발생시킬 수 있다. 오존의 농도는 반응기 내 공기의 체류시간이 변함에 따라 달라지며 동일한 전압에서도 팬의 유량을 조절하여 적용분야에 알맞게 최적인 농도의 오존을 발생시킬 수 있다.

또한 반응기의 구조적 특징상 분해, 조립이 용이

하여 정기적인 반응기 내부청소 때에도 간편하게 처리할 수 있다.

반응기에 인가되는 전류량을 측정하기 위하여 Current shunt를 사용함으로써 반응기 내부의 매우 미세한 전류흐름(스트리머 발생)으로부터 기인한 전류량의 평균치를 측정해서 에너지 소비량을 예측하였다. 전류값은 오옴의 법칙($I = V/R$)에서 계산되며 오실로스코프(Tektronix TDS754C)로 측정된 전압값으로부터 환산되었다. 또한 전원장치에서 발생하는 고전압의 측정은 고전압프루브(20,000 : 1, 1,000 : 1)를 연결하여 오실로스코프에 의해 전압파형을 측정하였고 오존의 농도는 Ozone calibrator (49C, Thermo environmental instrument)와 Gastek tube 검지관을 이용하여 측정하였다. 반응기 내부에 흐르는 유량의 측정은 유속측정계(EY3-2A)를 사용하였다. 관내의 면적(m^2)을 계산한 후 그 면적을 흐르는 유속(m/s)을 측정하여 유량(m^3/h)을 계산하였고 약 2.4, 5, 7, 17 m^3/h 으로 변화시켜가면서 측정하였다.

또한 실제 돈사에서도 계절마다 돈사내부의 공기 온도에 차이가 있으므로 반응기로 유입되는 공기의 온도를 약 6°C와 22°C 두 경우로 나누어 실험을 실시하였고 공기내 습도의 함유량에 따른 오존농도의 발생량 차이를 알아보았다.

그림 2는 와이어 전극이 작을수록 방전밀도가 커짐으로서 오존 발생효율이 좋아짐을 보여주고 있다. 그러나 와이어 직경이 작을수록 시간이 흐름에 따라 휘어지거나 끊어지기 쉽고, 일정한 탄력을 유지하도록 반응기에 고정시키기가 쉽지 않으므로 본 연구에서는 3 mm의 와이어를 사용하여 실험을 수행하였다.

반응기 내부의 유량이 변함에 따라 인가전압에 따른 스트리머의 발생정도(전류의 흐름)는 조금씩 변하기는 하지만 본 실험에서는 거의 차이가 없었으며 일반적인 인가전압에 따른 전류의 흐름은 그림 3과 같다.

4. 실험결과

그림 3은 반응기 내 유량이 약 17 m^3/h 이고 공기 온도가 24°C일 때 인가전압이 약 29 kV 이상부터(Inception voltage) 전류량이 측정됨을 보여주고 있

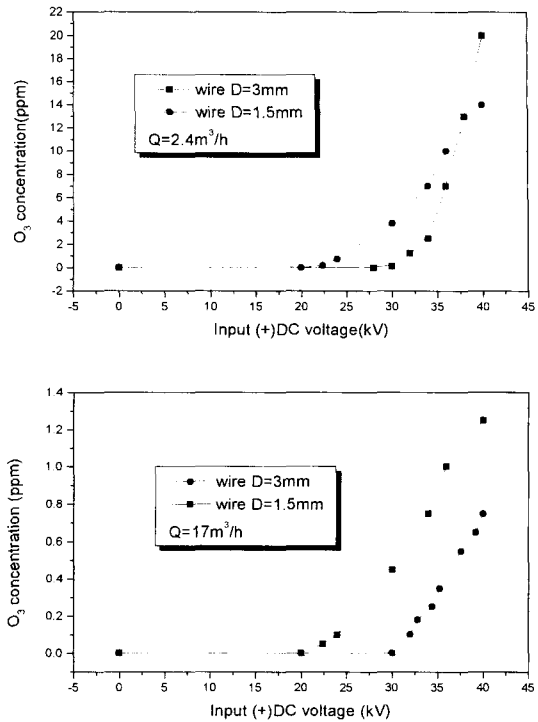


Fig. 2. O_3 concentration in each diameter of wires to input voltage.

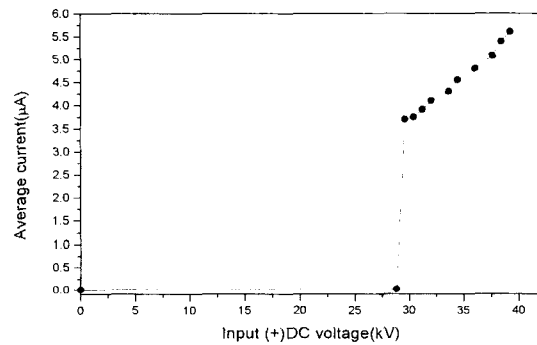


Fig. 3. Average current depends on input voltage.

으며 이는 반응기 내부에 스트리머의 발생이 시작됨을 알려준다.

또한 DC 전압을 사용하며 반응기 구조 특성상 인가전류량이 매우 미비하여 에너지 효율면에서도 매우 뛰어난을 보여주고 있다.

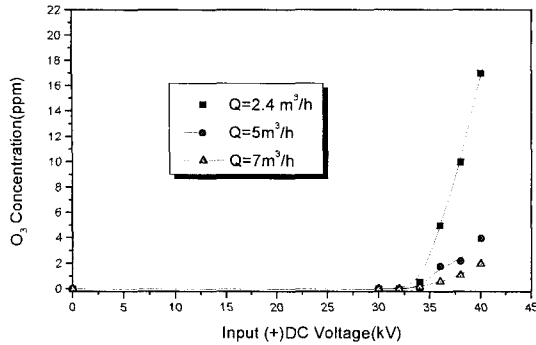


Fig. 4. O₃ concentration to input voltage in each flow rate when temp. of air is 6°C (H = 35%).

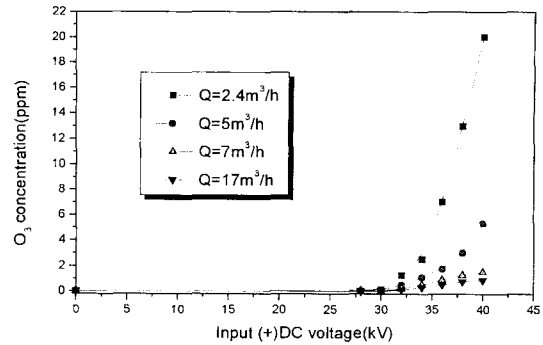


Fig. 5. O₃ concentration to input voltage in each flow rate when temp. of air is 22°C (H = 32%).

이에 공기의 온도가 달라질 때마다 공기 중의 산소밀도 및 운동성의 차이가 남으로 동일유량이 반응기 내부로 흘러갈 때 산소밀도차이에 따른 오존농도 발생 정도를 알아본 결과 최대 3 ppm 정도의 차이가 날 뿐 방전효율에는 크게 영향을 미치지 않았다. 이는 처리하는 유량이 매우 적고 온도차이에 따른 산소밀도 및 운동의 차이가 그리 크지 않았기 때문이라 판단된다.

그림 4, 5, 6은 크게 돈사의 여름철, 겨울철에 따른 대기공기의 온도, 습도를 예측하여 실험조건을 주고 오존농도 발생량을 측정하는 것이다.

그림 4에서 유량이 약 2.4 m³/h일 경우에는 인가전압 약 29 kV전후부터 방전이 시작됨을 알 수 있었으며 34 kV에서 약 0.55 ppm의 오존이 발생하였고 이때에 반응기 내부에서의 스트리머가 발생하는 소리가 들렸다.

본 조건에서 인가전압을 최대 40 kV까지 승압시켰을 때 오존발생농도는 약 17 ppm이었으며 유량이 5 m³/h일 때는 33 kV에서 0.1 ppm, 40 kV에서는 4 ppm이 측정되었고, 유량이 7 m³/h일 때 34 kV에서 0.18 ppm, 40 kV에서 최대 2 ppm의 오존농도가 측정되었다.

이러한 조건에서라면 돈사에 적용시킬 수 있는 오존농도의 범위는 규제치 0.1 ppm 이하여야 가능하므로 인가전압을 약 29~34 kV 이내에서 유량을 약 7 m³/h 정도로 하면 적용할 수 있으리라 예측된다. 또한 반응기에 병렬의 라인을 연결하여 오존을 여러 돈사에 유입시킬 때에는 전압 및 유량을 조절

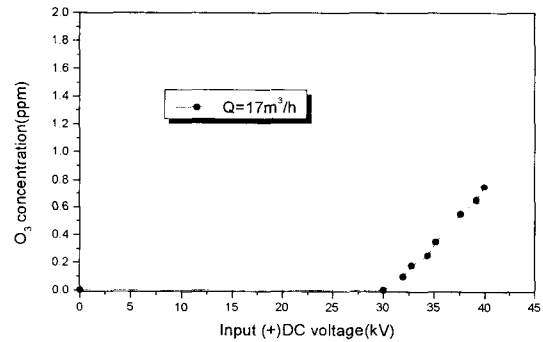


Fig. 6. O₃ concentration to input voltage when temp. of air is 26°C (H = 80%).

하여 오존농도를 높힘으로써 외부공기에 희석시켜서 최적의 오존 농도를 유입시키는 방법도 가능하다고 판단된다. 정확한 시스템의 사양은 돈사의 구조 및 조건에 따라 달라질 수 있다.

그림 5에서도 마찬가지로 반응기 내부에 공기의 체류시간이 길어짐에 따라 동일인가전압에서도 오존발생농도의 차이가 확연히 나타났으며 약 29~30 kV의 전압에서부터 방전이 시작된다고 예측할 수 있다. 본 조건에서는 유량이 약 2.4 m³/h일 때 30 kV에서 약 0.12 ppm, 40 kV에서 약 20 ppm이 발생하였고 유량이 약 17 m³/h일 때 32 kV 부근에서 약 0.1 ppm, 40 kV에서 약 0.87 ppm의 오존농도가 검출되었다. 이에 실제로 돈사에 설치하여 시스템을 작동시킬 때에는 스파크 발생의 소리가 적은 32~34 kV 부근의 비교적 낮은 전압에서 작동시키는 것이 바

람직하다고 판단된다.

그림 6은 공기온도가 약 26°C이고 대기 중 습도가 약 80%일 때 인가전압에 따른 오존발생량을 측정된 것으로서 전압이 약 32 kV일 때 0.1 ppm, 40 kV일 때 0.75 ppm의 오존이 검출되었다. 반응기 내 방전효율면에서 다량의 수분함유는 오존발생에 있어서 효율저하를 가져오므로 동일한 유량에서 습도가 약 32%일때보다 오존발생량이 줄어들기는 했지만 약 0.1 ppm의 차이가 날 정도로 그리 크지는 않았다. 본 실험에서는 최대인가전압이 약 40 kV였고 반응기에서 소비된 에너지는 계산결과 약 0.22 W에 지나지 않았다. 고전압이 인가되어도 반응기내 흐르는 전류량은 매우 미비하여 (Inception voltage가 높으므로) 에너지소비 측면에서는 바람직하나 고전압 인가에 의한 반응기 내부의 스파크 발생 우려가 있다. 그러므로 와이어의 직경을 줄이거나 반응기 길이를 늘리는 등 시스템 개선을 통하여 동일한 오존농도를 발생시키는데에 비교적 안정한 저전압 부근에서도 효율적인 오존생성을 가능하게 할 것이 요구된다.

4.1 실제 돈사의 적용

본 시스템을 적용한 돈사의 크기는 가로길이 약 20m, 세로길이 약 200m, 천장높이가 약 10m인 매우 큰 규모의 기업형 돈사로서 내부에는 각각 약 4×5m 크기의 개방형 울타리로 구역이 나누어져 있었으며 사료는 자동 배급되는 시스템을 갖추고 있었다. 돈사에 방문한 시기가 겨울철이었으므로 온도 조절을 위해 창문들은 비닐로 모두 막혀있고 통풍은 팬으로부터 내부공기를 밖으로 배출되는 동시에 외부공기는 압력차에 의해 자연흡입되는 구조로 되어있다. 창문을 모두 닫아놓은 상태였으므로 돈사 내부의 온도는 약 18~20°C, 습도는 약 67~74% 정도를 계속 유지하고 있었으며 통풍이 원활히 이루어지고 있지 않고 공기 중에 내포된 대부분의 가스들은 돼지들의 배설물에서부터 증발된 입자들로 꽉 차있었으므로 악취냄새가 심하였고 부유물질들 및 날벌레들이 많았으며 매우 습하였다. 본 돈사에서는 이미 자외선램프를 이용한 오존발생장치를 사용하고 있었지만 램프의 수명이 1년 이내로 매우 짧았으며 램프표면의 오염에 의한 오존발생효율 저하가 초래되었고 오존발생농도를 조절하는 것이 불가능

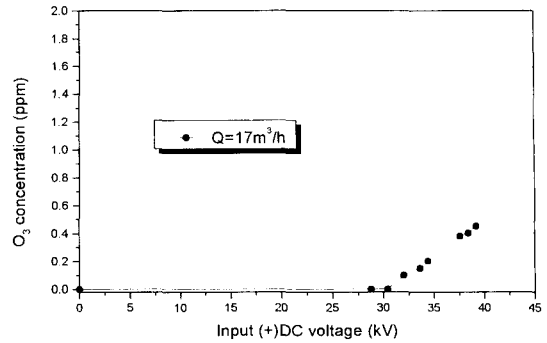


Fig. 7. O₃ concentration to input voltage when temp. of air is 18°C (H=70%) in real swinery.

하다는 문제가 있었다. 특히 자외선 파장은 작업자의 인체 및 돼지들에 악영향을 미친다. 따라서 내구성 높고 저렴하며 에너지효율이 높은 오존발생장치의 개선이 시급한 실정이다.

그림 7에서 보듯이 인가전압에 약 30 kV 이상부터 오존이 발생하였다. 약 32 kV에서는 0.1 ppm의 오존이 검출되었으며 39 kV에서 최대 0.45 ppm이 검출되었고, 본 오존농도는 반응기의 오존 배출구로부터 약 40cm 정도 떨어진 거리에서 배출 후 10여 분 후에 측정되었다.

본 농도는 실험실내에서 수행했을 때 보다 다소 적은 농도치를 보여주고 있는데 이는 돈사 내부에서의 산소밀도 저하, 공기 중의 부유입자 및 수분의 영향, VOCs 등의 악취가스성분 함유 등의 영향으로 인하여 방전효율이 저하되었다고 판단된다. 물론 오존의 효과는 단기간 내에 밝혀지는 것이 아니고 장기간(6개월 혹은 1년) 오존을 노출시킨 상태에서 돼지들의 발육상태를 주기적으로 검사하는 것이다. 오존의 발생농도는 동일한 전압이 인가되어도 공기 중의 산소밀도, 온도, 수분 및 대기상태의 영향에 따라 전류량도 변하며 오존농도도 수시로 변할 수 있다.

배출된 오존은 돈사내부의 대기 중으로 퍼짐으로서 박테리아 및 악취물질들을 서서히 산화, 제거시킴으로서 돼지들의 발육상태를 향상시키는 것이 주목적이다. 따라서 돈사내부의 전체적인 평균 오존량을 측정하는 정기적인 검사가 필요하다.

4.2 반응기 설계인자 도출

본 계산식은 Peek's formulas를 이용하여 반응기

및 와이어의 직경이 결정되었을 때 내부에 인가되는 입력전압, 발생시키려는 오존의 농도, 반응기 내부로 흐르는 유량을 결정해주면 이에 필요한 적절한 반응기의 길이를 예측하며 이때 소모되는 에너지소비량, 체류시간, 방전개시전압 등을 계산하고 또한 반응기의 오존발생 효율도 예측하도록 하였다. 또한 특정한 설계변수의 값이 변함에 따라 달라지는 다른 인자들의 값들까지 쉽게 계산이 가능함으로서 반응기의 설계변경 및 요구되는 전원장치의 사양까지도 쉽게 예측이 가능하다.

물론 설계치와 실제 실험치에서는 다소 차이가 있겠지만 correction factor를 도입하여 그 차이를 줄임으로서 반응기의 효율을 알아보는데 유용한 참고자료로서 이용이 충분히 가능하리라 판단된다.

$$E_c = 31 \cdot \delta \cdot \left[1 + \frac{0.308}{(\delta \cdot r)^{0.5}} \right] \quad (1)$$

식(1)은 방전개시에너지장 (kV/cm)을 나타내며 r은 와이어의 반경 (cm)을 나타내고 대기압, 상온일 때 조건으로 $\delta=1$ 로 정하였다.

$$V_c = E \cdot r \cdot \ln \left[\frac{R}{r} \right] \quad (2)$$

식(2)는 방전개시전압 (kV)을 나타내는 식이며 E는 평균에너지장 (kV/cm), R은 실린더의 반경 (cm)을 의미한다.

$$i = \frac{2\mu \cdot V \cdot (V - V_c)}{R^2 \cdot \ln \left[\frac{R}{r} \right]} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

식(3)은 단위길이당 흐르는 전류 (mA/cm)를 나타내며 μ 는 일반적인 공기내의 이온값에 따른 상수이다.

위의 식을 기초로 하여 계산식을 따르면 2 ppm의 오존을 발생시키는데 인가된 에너지는 약 2.452 Wh/m³이며 본 시스템의 오존발생효율은 1.748 g/kWh으로 예측할 수 있다.

방전개시전압 (V_c)은 약 31.46 kV으로서 실험에 의한 실측치와 매우 비슷한 결과였고 이 시점부터 본격적인 플라즈마 반응이 시작된다고 볼 수 있으며 와이어의 단위 길이당 약 0.3431 W/cm의 에너지가 인가된다고 예측된다.

본 Peek식을 이용하여 해석한 계산식은 아래와

같다.

$$\begin{aligned} V &= 40 \\ RR &= 6.5 \\ r &= 0.15 \\ ppm &= 2 \\ Q &= 7 \end{aligned}$$

$$E_c = 31 \cdot \delta \cdot \left[1 + \frac{0.308}{(\delta \cdot r)^{0.5}} \right]$$

$$\delta = 1$$

$$V = E \cdot r \cdot \ln \left[\frac{RR}{r} \right]$$

$$V = E \cdot r \cdot \ln \left[\frac{RR}{r} \right]$$

$$E_{max} = \frac{V}{r \cdot \ln \left[\frac{RR}{r} \right]}$$

$$i = \frac{2 \cdot \mu \cdot V \cdot (V - V_c)}{RR^2 \cdot \ln \left[\frac{RR}{r} \right]} \cdot 10^{-3}$$

$$\mu = 2$$

$$W = V \cdot i$$

$$Vel = \frac{Q}{\left[\frac{RR}{100} \right]^2 \cdot 3.14 \cdot 3600}$$

$$wt = ppm \cdot 10^{-3} \cdot \frac{MW}{22.4}$$

$$MW = 48$$

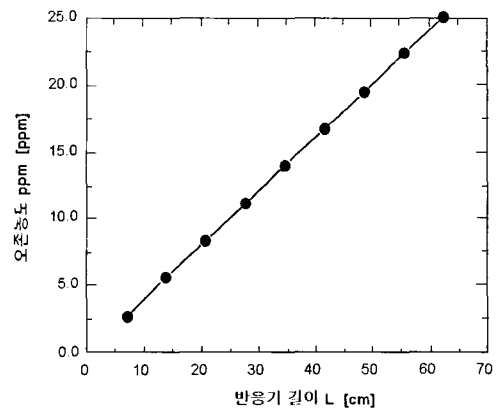


Fig. 8. O₃ concentration to reactor length.

그림 8은 계산식을 이용해서 반응기 길이의 변화에 따라 인가되는 에너지밀도가 달라짐으로 오존 발생량이 얼마나 증가하는지(오존발생효율(g/kWh) 분석)를 예측할 수 있는 데이터이다.

동일한 인가전압에 대해 에너지효율을 높이기 위해서는(전류량 증가) 와이어의 직경을 줄이거나 전극간 거리를 짧게 하거나 반응기 길이를 충분히 길게 늘이는 방법 등이 있으나 본 연구의 목적으로서 돈사적용에 대해서 오존발생효율은 충분하다고 생각되며 전극간 거리가 충분히 떨어져 있으므로 전기 집진에 따른 전극간 오염문제도 최소화시킬 수 있다고 판단된다. 이러한 계산식을 이용하여 일단 발생시키려는 오존량을 결정하면 반응기 사이즈 및 길이와 요구되는 에너지량이 얼마나 되는지 예측이 가능하므로 반응기 설계시 최적변수를 찾는 데 참고 자료가 될 수 있다.

5. 결론 및 고찰

1. 본 시스템으로 대기압 상태의 공기온도 약 22°C, 습도 약 32%인 상태에서 유량 2.4 m³/h이 흐를 때 최대 20 ppm(43 mg/m³)의 오존을 발생시킬 수 있었으며 오존농도의 가변이 가능하므로 오존을 이용한 대기 오염 제어에 충분히 사용 가능하다고 판단 된다.

2. 반응기 구조가 간단하며 충분한 전극간 거리로 인하여 대기 중의 부유입자에 의한 방전극 오염을 최소화 할 수 있다.

3. DC 전압을 이용함으로써 전원장치의 단가를 낮출 수 있으며 에너지 소비는 계산결과 40 kV 인가시 최대 0.1 Wh/m³에 지나지 않았다.

4. 본 시스템을 실제 돈사에 적용했을 때 실험실 테스트에서의 오존발생 효율보다는 다소 떨어졌지만 돈사적용에는 충분히 사용 가능한 오존농도가 발생하였으며, 영세농가가 아닌 기업형 농가를 목표로 각 돈사의 크기 및 내부구조에 맞는 장치의 개선(오존발생량 변화 및 파이프 연결 등)과 장기간 실험을 통한 오존발생장치의 성능 검토가 요구된다.

5. Peek's 방정식을 이용하여 반응기의 설계 변수 도출을 위한 수치적 계산 프로그램을 작성하여 반

응기의 조건을 변화시켜감에 따라 달라지는 다른 설계변수들의 경향을 한 눈에 알아볼 수 있었으며 방전개시 전압 등은 실험치와 거의 같게 계산되었고 이에 오존발생효율도 예측할 수 있었다.

6. 실제 실험을 통한 측정치와 계산에 의한 계산 값들에 Correction factor를 적용한 매칭작업을 통하여 반응기 설계에 있어서 최적 설계변수를 도출하는데 매우 유용하게 사용되리라 기대된다.

사 사

본 연구는 인천지역환경기술개발센터 및 KISTEP의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김선태, 김학민(1998) 오존발생장치의 국내 개발과 오존발생량 평가, 한국대기보전학회 춘계학술대회.
- 산업자원부(2000) 오존과 촉매에 의한 유기물 및 질소의 고도처리장치, 최종보고서.
- 서국철, 강도열(1995) 신핀고전압공학, 동명사.
- 이덕출, 황명환(1996) 고전압플라즈마공학, 동일출판사.
- 이창민(2001) 저온플라즈마를 이용한 실내 공기 오염물질 저감에 관한 연구, 석사논문.
- 임형남, 김지연, 최희철(2000) 오존에 의한 PAHs 오염토양 복원 연구, 대한환경공학회지, 제22권 제5호.
- Custovic, A., A. Fletcher, and C.A. Pickering, Domestic Allergens in public places III: house dust mist, cat, dog and cockroach allergens in British hospitals, *Clinical and Experimental Allergy*, 28(1), 53-59.
- Kazuyuki, Ohe etc. (1999) Improvement of Ozone Yielding Rate in Atmospheric Pressure Barrier Discharges Using a Time Modulated Power Supply, *IEEE Transaction of Plasma Science*.
- Kowalski, W.J., W.P. Bahnfleth, and T.S. Whittam (1998) Bactericidal Effects of High Airborne Ozone Concentrations on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *Ozone Science & Engineering*, 0191-9512 /98, 20, 205-221.
- www.permroofing.com/ozone/
- Yuri P. Raizer(1991) *Gas Discharge Physics*.