

# Lamp형 오존발생기의 試作 및 特性에 관한 연구

(A Study on the Trial Manufacture and Characteristics of Lamp Type Ozonizer)

金相球\* · 宋炫直\*\* · 姜千秀\*\*\* · 朴元柱\*\* · 李廣植\*\* · 李東仁\*\*

(Sang-Ku Kim · Hyun-Jig Song · Cheon-Su Kang

· Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee)

## 요 약

본 연구에서는 광화학반응법을 이용하여 오존발생기로서의 역할과 광원으로서의 기능을 동시에 수행할 수 있는 U字形 Lamp(Olamp)를 사용한 오존발생기를 설계 및 제작하여 Olamp의 방전특성, 스펙트럼 특성, 조도특성, 오존생성특성 및 살균특성을 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Olamp의 스펙트럼특성을 조사한 결과 오존을 생성하는 단파장 자외선과 조명으로 활용가능한 가시광선이 방사됨을 확인할 수 있었다. (2) Olamp의 조도는 한국산업표준규격 조도기준에 의하여 “어두운 분위기중의 시식별작업 및 간헐적인 시작업”에 사용가능한 조도특성을 얻을 수 있었다. (3) 원료가스의 유량이 작을수록 오존생성농도는 상승하고 오존발생량은 감소하였으며, 유량이 동일할 때 모의공기를 사용한 경우보다 산소를 사용한 경우가 오존생성농도 및 오존발생량이 상승하였다. (4) 오존발생량 및 오존생성수율은 초기 오존생성농도가 높을수록 상승하였다. (5) 액상에서의 용존오존농도 특성은 반응장치의 교반속도 및 오존생성농도가 높을수록 상승하였다. (6) 대장균(*Escherichia coli*)에 대한 살균특성을 조사한 결과, 97[%]이상의 살균특성을 얻을 수 있었다.

## Abstract

In this paper, ozonizer using U-type lamp(Olamp) has been designed and manufactured, which can perform a role of lighting source and ozonizer by using photo and chemical methods. The discharge, spectrum, illuminance, ozone concentration, ozone generation, ozone yield and sterilization characteristics of Olamp have been studied. The important conclusions obtained from this paper can be summarized as follows. As a result of spectrum characteristics for Olamp, ultraviolet ray of a short wavelengths and a visible ray are radiated. The illuminance of Olamp was found to be useful for “color distinctive and intermittent works in the dark working spaces” in accordance with KS A 3011. The ozone

\*正會員 : 대구 · 경북 지방 중소기업청

\*\*正會員 : 영남대학교 공과대학 전기전자공학부

\*\*\*正會員 : (주)오리온전기 종합연구소

接受日字 : 1996年 7月 3日

concentration of gaseous phase is inversely proportional to quality of supplied gas. Also, ozone concentration and generation of gaseous phase are rised more commercial oxygen gas than those trial air gas for constant quality of supplied gas. Ozone generation and ozone yield of gaseous phase are proportional to ozone concentration of gaseous phase. The characteristics of liquid ozone concentration at distilled water are proportional to circulating velocity of fermentation chamber and ozone concentration of gaseous phase. As a result, the sterilization characteristics of Escherichia coli have been obtained more than 97[ %].

Key Words : U-type lamp(Olamp), Escherichia coli(E. coli), Ozone concentration, Ozone generation, Illuminance, Sterilization, circulating velocity(v)

### 1. 서 론

산업사회의 발달로 대기 및 수질오염 등이 리우환경회의 이후 심각하게 국제환경파괴문제로 대두됨에 따라서 그에 따른 환경오염물질의 사용규제 및 환경오염원의 제거장치에 대한 관심이 증대되고 있다.

이러한 측면에서 자연계에서 불소(F) 다음으로 강한 산화력을 가지고 있는 오존(O<sub>3</sub>)이 박테리아, 바이러스 등의 살균, 탈색, 탈취, 유독물질의 분해는 물론이고 식품의 저장, 실내공기의 정화에 이용되고 있으며 최종적으로 산소로 환원되어 2차 공해를 일으키지 않는다는 장점 때문에 표 1에서와 같이 이용범위가 광범위하고 그 용도가 점차로 증가되고 있는 실정이다. <sup>1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)</sup>

또한 오존을 생성하기 위한 장치에 관한 연구 특히, 기체방전을 이용한 오존발생기에 관한 연구로서 1786년 Von Marum의 전기방전실험에서 오존이 감지된 이래 1857년 W.Von.Siemens에 의해서 무성방전(Silent discharge)형 오존발생기가 최초로 개발되었으며, 지금까지 세라믹 Coating 형태 및 HVN 형태 등과 같은 각종 개량형의 오존발생기가 개발되어 이용되고 있다. <sup>1), 2), 8), 9)</sup>

이러한 오존을 발생시키는 방법으로써는 무성방전법, 전해법, 고주파법, 방사선 조사법 및 광화학반응법 등이 있으나, 현재까지는 무성방전법이 많이 이용되고 있는 실정이다.

그러나 무성방전법에 의한 오존발생기는 교류고전압이나 고주파전압을 인가하면 유전체손실이 발생하고, 좁은 전극사이에 일정 유량의 가스

를 통과시킴으로써 관로저항의 문제, 시간적·공간적으로 불균일한 放電場의 형성 등 방전공간의 형성이나 효율문제 등 해결해야할 과제가 상당히 남아있는 실정이다. <sup>1), 10)</sup>

따라서 본 논문은 광화학반응법에 의한 오존발

표 1. 오존의 이용

Table 1. The utilities of ozone

구분	이용범위	이용분야
정화	탈색, 탈취, 탈미작용	- 수도수 정화 - 합성세제의 탈색 - 공기정화
소독	살균작용	- 용수방부 - 수도수 정화 및 살균 - 식품저장 - 환기
염색	표면활성화작용	- 대전방지 - 섬유의 표백 - 고무열화시험 - 섬유의 염색성 향상 - plastic의 접착성 향상
제조	불포화결합, 절단	- 과산화물 제조 - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 제조
화학반응	유기산화반응	- 구조결정 - 폐수처리 - 도료의 건조 - 목재 및 油의 에이징
산화	산화촉매작용	- 내연기관의 연소촉진 - 탄화수소 산화
무기산	무기산화반응	- 광석처리 - 유산
기타		- 純粹의 제조, - 어류의 성장촉진, - 호수의 부영양화 개선, - 의료분야에 적용, - NO <sub>x</sub> 및 SO <sub>x</sub> 의 제거 - 수중농약의 처리, - Electronics으로의 응용 등

생기로서의 역할과 광원으로써의 기능을 동시에 수행할 수 있도록 U字形 Lamp(Olamp)를 사용한 오존발생기(Lamp형 오존발생기, Lamp type ozonizer)의 試作 및 특성에 관한 연구로서, Olamp를 설계·제작하여 원료가스의 종류(산소 및 모의공기), Olamp의 점등개수(N) 및 유량(Q)의 변화에 따른 방전특성, 오존생성의 제특성(오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율)을 조사하였으며, 이러한 오존발생기에 대한 환경개선분야로의 적용가능성을 검토하기 위하여 대장균(Escherichia coli, E.coli)의 살균특성을 연구검토하였다. 또한 Olamp에 대한 광원으로써의 적용가능성을 연구검토하기 위하여 Olamp의 조도(E)를 조사하였다.

## 2. 관련이론

### 2.1 광화학반응법에 의한 오존생성이론

광화학반응법에 의한 오존생성이론은 저기압 수은 Lamp의 방전원리를 응용한 것으로서 그림 1과 같이 오존발생기 내부의 열음극에서 방출되는 전자가 수은원자와 충돌하여 자외선을 照射하여 방사된 자외선이 Lamp 외부를 통과하는 원료가스중에 포함된 산소분자와 반응하여 산소원자로 해리하게 된다. 이때 해리된 산소원자가 또다른 산소분자와 반응하여 오존을 생성하게 되는 것이다.

다음 식(1), (2) 및 (3)은 그 반응식중에서 중요한 것을 나타낸 것이다. 식(1) 및 (2)에서와 같이 산소분자에 130~175[nm] 파장(λ)의 자외선을 照射하면 기저상태의 산소원자와 여기상태의 산소원자로 해리되고, 175~242[nm] λ의 자외선

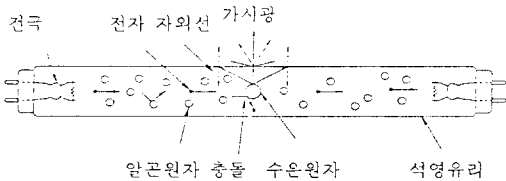
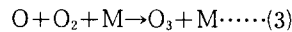
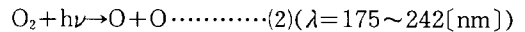
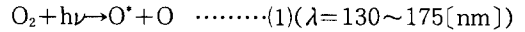


그림 1. 자외선의 발생  
Fig. 1. The generation of ultraviolet ray

이 조사되면 2개의 기저상태인 산소원자로 해리된다.<sup>11), 12), 13)</sup>

이때 생성된 기저상태의 산소원자는 원료가스가 제3의 물질 M과 반응하여 식(3)과 같이 오존을 생성한다.<sup>11), 12)</sup> 여기서 원료가스가 산소인 경우는 M이 산소이고, 공기인 경우에는 M이 산소 및 질소이다.



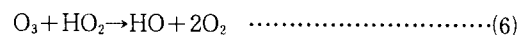
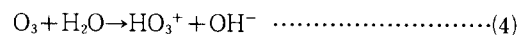
따라서 광화학반응법에 의한 오존생성은 원료가스중에 포함되어 있는 산소분자가 오존발생기에서 방사되는 단파장 자외선, 즉 광자에너지를 흡수함으로써 산소원자로 해리되며 그때의 산소원자가 다른 산소분자와 결합하여 오존생성반응을 일으키는 것이라고 할 수 있다.

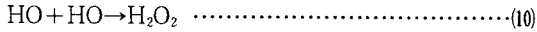
그리고 산소분자가 해리되기 위한 필요에너지는 5.1[eV](117[kcal/mol])이며, 파장으로 환산하면 254[nm]로 알려지고 있다.<sup>11), 12), 14)</sup>

### 2.2 液相에서의 오존분해이론

오존은 산소분자와 반응하여 발생되므로, 오존을 수처리 환경개선분야에 적용하는 경우에는 液相에 용해시켜 사용한다. 이때 오존의 분해속도는 pH에 크게 영향을 받는데, 이것은 수산화기(OH<sup>-</sup>)에 의하여 오존이 스스로 분해될 수 있는 특성을 가지고 있기 때문이다. 즉, 오존은 산성영역에서는 비교적 안정되나, 알칼리영역으로 갈수록 분해속도가 빨라지게 된다.

이러한 오존의 분해기구(Decomposition mechanism)는 대단히 복잡할뿐만 아니라 가수분해에 의해 Hydroperoxy-radical(HO<sub>2</sub>)을 생성하고 이것이 개시제(Initiator)가 되어 다음 식(4)~(10)과 같은 연쇄반응식에 의해 분해되는 것으로 알려지고 있다.<sup>1), 15)</sup>



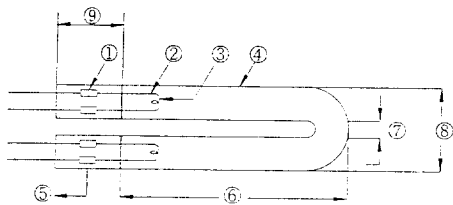


### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

그림 2는 설계제작된 Olamp의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Olamp의 유리관은 두께 1[mm], 길이 135[mm] 및 직경 12[mm]로서 급열급냉의 내성에 강한 SiO<sub>2</sub>(99.1[%])와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0.1[%])등을 용융한 U字形의 투명석영 유리관을 이용하였다. 또한 필라멘트는 텅스텐을 사용하였으며, 듀벳판은 니켈, 망간 및 규소 등으로 제작하였고 도입선은 니켈로 구성하였다.

그림 3은 Olamp 방전현상의 관찰과 Olamp로부터 방사되는 자외선과 원료가스와의 접촉확률을 증가시킴으로써 오존발생의 제특성을 향상시키기 위하여 반사효율이 좋은 파이렉스 유리제의 직사각형 내함(두께: 10[mm], 규격: 가로×세로×높이[mm]=270×75×230[mm])으로 설계 제작된 Olamp chamber의 개략도이다. 또한 Olamp에서 방사된 자외선을 이 체임버가 반사시켜주는 역할도 겸하게 된다. 이때 Olamp chamber는 동일한 규격의 Olamp 2개(Olamp A 및 B)를 동시에 장착할 수 있는 구조이다. 그리고 Olamp에 공급되는 원료가스의 流路는 Olamp B와 반응한 후 Olamp A와 반응하기 위한 直列流路로 구성하여 원료가스중에 포함된 산소와 Olamp B로부터 방사되는 자외선이 1차적으로 반응하여 오존을 생성하고 이때 Olamp B에서 반응하지 않은 산소와 Olamp A가 2차적으로 반



① dumet plate ② leading wire ③ filament wire ④ 석영 glass tube  
⑤ pinching ⑥ L=135[mm] ⑦ L=6[mm] ⑧ L=32[mm] ⑨ L=25[mm]

그림 2. Olamp의 개략도  
Fig. 2. Schematic diagram of Olamp

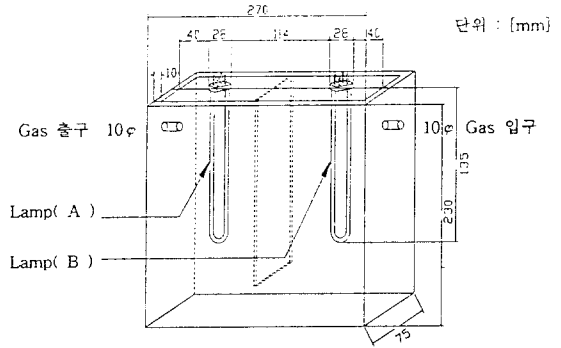
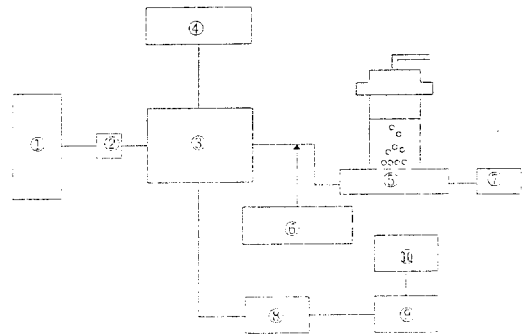


그림 3. Olamp체임버의 개략도  
Fig. 3. Schematic diagram of Olamp chamber



① 원료가스 공급장치(산소 및 모의공기) ② 유량계  
③ Olamp 체임버 ④ 전원장치 ⑤ 반응장치  
⑥ 오존 Monitor(기상용) ⑦ 오존 Monitor(액상용)  
⑧ 디지털 스토리지 오실로스코프 ⑨ 컴퓨터 ⑩ 프린터

그림 4. Lamp형 오존발생기의 측정계 및 배치도  
Fig. 4. Arrangement and measurement system of lamp type ozonizer

응하여 오존생성의 제특성을 향상시키도록 구성하였다.

그림 4는 Lamp형 오존발생기의 측정계 및 배치도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Olamp의 방전전압(V<sub>d</sub>), 전류(I<sub>d</sub>) 및 전력(W)은 전원장치(출력전압: 220[V], 입력전력: 20[W])로부터 출력되는 전압을 디지털 스토리지 오실로스코프(LeCroy 9350AL, 500[MHz], 1[Gs/s]), 퍼스날 컴퓨터(CPU 80586) 및 프린터를 이용하여 측정 및 출력하였다.

그리고 원료가스 공급장치로부터 유출하는 상

업용 산소(순도 : 99.99 [%])와 모의공기(질소  $78 \pm 2$  [%] + 산소  $22 \pm 2$  [%])의 유량(Q)을 유량계( $0 \sim 25$  [ $\ell$ /min]), Chiyoda seiki社, 일본)로 조정하면서 Olamp chamber 내로 유입시켰으며, 이때 발생한 오존화 가스를 매실험마다  $0.3$  [ $\ell$ /min]로 표본추출하여 자외선 흡수방식의 氣相用 오존측정기( $0 \sim 110,000$  [ $\mu\text{m}$ ], Okitronics社, 일본)를 이용하여 오존생성농도( $O_{3\text{gcon}}$ )를 측정 한 후, 오존발생량( $O_{3\text{g}}$ ) 및 오존생성수율( $O_{3\text{Y}}$ )을 계산하였다.

또한 液相用 오존측정기( $0 \sim 110,000$  [ $\mu\text{m}$ ], Okitronics社, 일본)를 이용하여 증류수에서의 용존오존농도( $O_{3\text{icon}}$ )를 측정하였으며, 오존에 대한 미생물의 살균특성을 조사하기 위하여 용량  $2.5$  [ $\ell$ ]의 발효조(Korea Fermentation Co. Ltd. Model Sy)를 液相에 용해되어있는 오존과 미생물의 반응장치로 사용하였다.

이때  $O_{3\text{ico}}$ 은 Olamp에서 발생된 오존화 가스를 반응장치내의 증류수 수용액(pH : 7.0 및 水溫 :  $32 \sim 35$  [ $^{\circ}\text{C}$ ])  $1$  [ $\ell$ ]에 유입시켰을 때, 각각 10회 표본추출하여 산술평균한 값을 채택하였다.

한편 Olamp에 대한 광원으로서의 적용성을 검토하기 위하여 광증배 검출장치(photomultiplier detector, US-ORIEL社, 미국)를 이용하여 스펙트럼특성을 조사하였으며, Olamp의 조도(E)는 조도계(AA급, Lm-2D, TOCON, 일본)를 사용하여 KS C 7612<sup>16)</sup>에 준하여 Olamp A, Olamp B 및 Olamp A+B 각각의 E를 측정하였다.

### 3.2 실험방법

Olamp의 방전특성을 조사하고자 전원장치에 Olamp A 및 B를 연결한 후, Olamp의 특성을 안정화시키기 위하여 2차 정격출력전압으로 1시간동안 점등한 후, Olamp의  $V_d$  및  $I_d$ 와 그때의 파형을 측정함과 동시에 Olamp A, B 및 A+B의 소비전력(W)을 측정하였다.

그리고 광증배 검출장치를 이용하여 Olamp의 스펙트럼특성을 조사하였으며, 광원으로써의 성능을 검토하기 위하여 조도를 측정하였다.

또한 원료가스의 종류(산소 및 모의공기), Olamp의 점등개수(N), Q의 변화에 따른  $O_{3\text{gcon}}$ ,

$O_{3\text{g}}$  및  $O_{3\text{Y}}$  특성을 검토하기 위하여 원료가스가 모의공기 및 산소이고 N이 1개 및 2개인 경우 Q의 변화( $2, 4, 6, 8$  및  $10$  [ $\ell$ /min])에 따른  $O_{3\text{gcon}}$ ,  $O_{3\text{g}}$  및  $O_{3\text{Y}}$ 를 측정 및 계산하였다.

이때  $O_{3\text{gcon}}$ ,  $O_{3\text{g}}$  및  $O_{3\text{Y}}$ 는 매회 측정시 각각 5회 측정 및 계산하여 산술평균치를 채택하였으며, 측정전 챔버내에 존재하는 불순물을 제거하기 위해서 Olamp를 점등하지 않고 Q를  $10$  [ $\ell$ /min]로 5분간 강제배기한 후 측정하였다.

오존에 대한 미생물의 살균특성을 연구하기전 N이 2인 경우 원료가스의 종류 및 Q를 변화시키면서 Olamp로부터 생성된 오존화가스를 반응장치내의 증류수에 용해시킨 후, 오존화가스와 증류수 수용액과의 반응시간(T)의 변화에 따른 오존수의  $O_{3\text{icon}}$ 을 측정하였다.

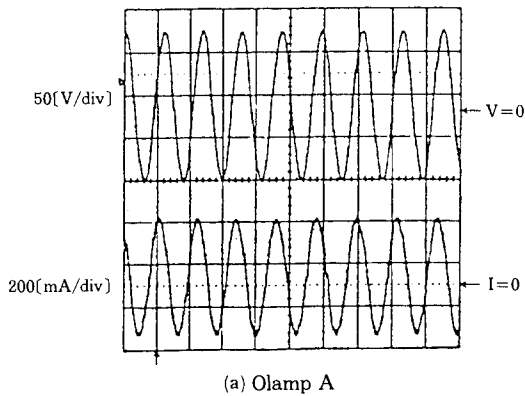
이때  $O_{3\text{icon}}$ 을 일정하게 유지시키면서 대장균(Escherichia coli, E.coli)을 박테리아 호기조건(주위온도 :  $34 \sim 38$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], pH 7.0)으로 약 10시간정도 배양한 후, 반응장치내의 오존수에 유입시켜 오존수와 E.coli의 접촉시간(t) 변화에 따른 살균특성을 조사하였다. 여기서  $O_{3\text{icon}}$ 은 Olamp에서 발생된 오존화 가스를 반응장치내의 증류수 수용액(pH 7.0 및 水溫 :  $32 \sim 35$  [ $^{\circ}\text{C}$ ])  $1$  [ $\ell$ ]에 유입시켰을 때, 각각 10회 표본추출하여 산술평균한 값을 채택하였다.

그리고, Olamp로부터 생성된 오존화 가스와 E.coli와의 접촉확률을 변화시키기 위하여 반응장치의 교반속도( $v$ )를 100, 200, 300, 400 및 500[rpm]로 변화시켰다.

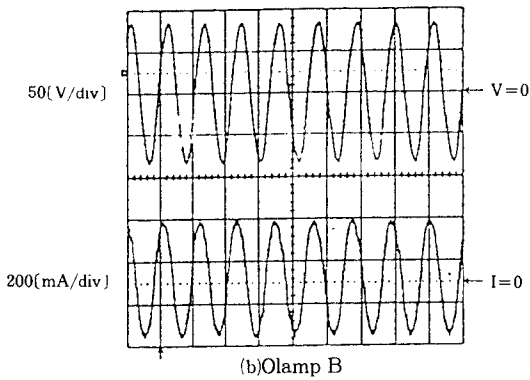
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 Olamp의 방전특성, 조도특성 및 자외선파장 특성

그림 5의 (a) 및 (b)는 Olamp의 방전특성을 조사하기 위하여 Olamp A 및 B 각각의 방전전압( $V_d$ ) 및 전류( $I_d$ ) 파형을 나타낸 것이며, 표 2는 Olamp A, B 및 A+B의  $V_d$ ,  $I_d$ 와 W를 측정한 것이다. 여기서  $V_d$  및  $I_d$ 는 각각 실효치를 적용하였으며, W는 Olamp A 및 B의 역률을 각각 고려하여 계산한 값을 계산한 값을 채택하였다.



(a) Olamp A



(b) Olamp B

그림 5. Olamp A 및 B의  $V_d$ ,  $I_d$  파형  
Fig. 5. The waveforms of  $V_d$ ,  $I_d$  for Olamp A and B

표 2. Olamp A, B 및 A+B의  $V_d$ ,  $I_d$  및 W  
Table 2. The  $V_d$ ,  $I_d$  and W for Olamp A, B and A+B

Olamp	역률	$V_d$ [V]	$I_d$ [A]	W[W]
Olamp A	0.98	59.17	0.20	11.92
Olamp B	0.99	59.73	0.19	11.42
Olamp A+B	-	-	-	23.34

또한 그림 6은 Olamp A에서 방사되는 자외선의 파장 특성을 상대치 백분율로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 오존생성에 관여하는 185[nm]의 단파장 자외선과 살균선인 254[nm]의 파장뿐만 아니라, 297[nm]와 같은 Hartley Band와 310[nm]이상의 Huggins Band 등의 자외선이 동시에 방사되고 있는 것으로 나타났다.

여기서 185[nm]의 파장을 에너지로 환산하면 6.79[eV]의 에너지가 되므로 원료가스중 산소분자가 해리되어 오존을 생성할 수 있는 산소원자

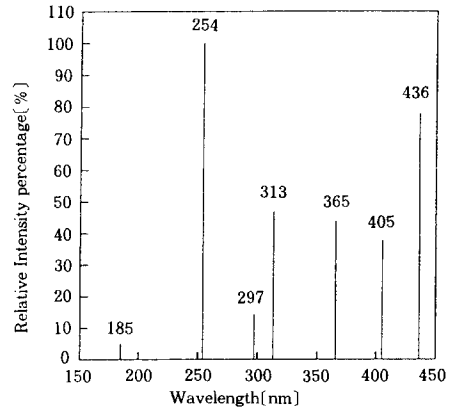


그림 6. Olamp A의 자외선 파장특성  
Fig. 6. The characteristics of ultraviolet wavelengths for Olamp A

로 되기 위한 에너지인 5.1[eV]이상으로 방사됨을 확인할 수 있었다.

또한 Olamp A, B 및 A+B의 E 특성을 조사한 결과, 각각 5.2, 5.3 및 10.2[lx]로 나타남에 따라서 한국산업표준규격 조도기준(KS A 3011)<sup>17)</sup>에 의하여 “어두운 분위기중의 시식별작업”범위와 “어두운 분위기중의 간헐적인 시작업”의 활용유형에 적합한 조도로 나타난 결과, Olamp에 대한 광원으로서의 가능성을 확인할 수 있었다. 이때 E는 KS C 7612<sup>17)</sup>에 준하여 측정된 값을 채택하였다.

#### 4.2 Olamp의 점등개수와 유량변화에 따른 오존생성농도 및 발생량 특성

그림 7 및 8은 원료가스가 각각 산소 및 모의공기일 때, Olamp의 N 및 Q의 변화에 따른  $O_{3gron}$  및  $O_{3g}$  특성을 나타낸 것이다. 그 결과 Q가 감소할수록  $O_{3gron}$ 이 상승하는 결과로 나타났다. 이것은 Q가 감소할수록 원료가스중에 포함된 산소분자가 방전영역에 머무르는 시간이 증가하여 Olamp로부터 방사되는 자외선과 파이렉스 유리로부터 반사되는 자외선(작용자외선)이 산소분자와 반응하여 오존을 생성할 확률이 향상된 결과라고 할 수 있다. 그러나, Olamp A, B 각각의  $O_{3gron}$  및  $O_{3g}$ 는 <표2>에서와 같이 제작정밀도의 차이로 인한 Olamp A, B의 방전전력의 차이

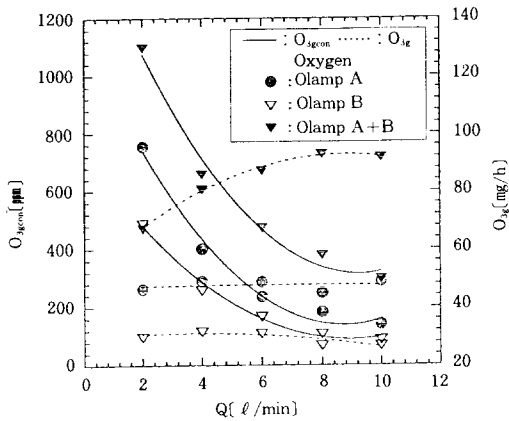


그림 7. 원료가스가 산소인 경우 Olamp의 N, Q의 변화에 따른  $O_{3gcon}$  및  $O_{3g}$  특성  
 Fig. 7. The characteristics of  $O_{3gcon}$  and  $O_{3g}$  with variation of N, Q for Olamp in oxygen

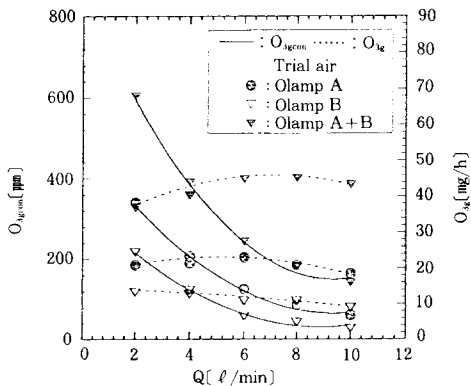


그림 8. 원료가스가 모의공기인 경우 Olamp의 N, Q의 변화에 따른  $O_{3gcon}$  및  $O_{3g}$  특성  
 Fig. 8. The characteristics of  $O_{3gcon}$  and  $O_{3g}$  with variation of N, Q for Olamp in trial air

따라서  $O_{3gcon}$  및  $O_{3g}$ 가 다르게 나타났다.

또한 N이 2인 경우(Olamp A+B)가 N이 1인 경우(Olamp A 또는 B)보다 동일한 Q에서  $O_{3gcon}$ 이 높게 나타나는데, 이것은 방전영역에 유입되는 산소분자가 직렬로 구성된 流路에 의해서 Olamp B에서 작용자외선과 반응하여 생성한 오존과 이때 반응하지 못한 산소분자가 다시 Olamp 출구측의 Olamp A에서 방사되는 자외선 및 파이렉스 유리에서 반사되는 자외선과 2차적

으로 반응하여 생성한 오존이 중첩된 결과라고 사료된다.

그 결과 그림 7에서 Q가 2( $l/min$ )에서 Olamp A, B 및 A+B에서 각각 755(ppm), 490(ppm) 및 1100(ppm)의 최대  $O_{3gcon}$ 을 얻을 수 있었으며, 동일한 Q에서 N이 2인 경우가 1인 경우보다 평균 2.26배의  $O_{3gcon}$  상승률을 얻을 수 있었다.

원료가스가 모의공기인 그림 8에서도 Q가 2( $l/min$ )에서 Olamp A, B 및 A+B의 경우 각각 340(ppm), 220(ppm) 및 605(ppm)의 최대  $O_{3gcon}$ 을 얻을 수 있었으며, 동일한 Q에서 N이 2인 경우가 1인 경우보다 평균 2.64배의  $O_{3gcon}$  상승률을 얻을 수 있었다.

또한 그림 7 및 8에서 N이 2인 경우가 1인 경우보다 동일한 Q에서  $O_{3g}$ 가 상승하는 것으로 나타났으며, N이 1인 경우에는 Q의 변화에 관계없이  $O_{3g}$ 가 거의 일정하게 나타나지만, N이 2인 경우에는 Q가 증가함에 따라서 상승하다가 일정하게 나타났다.

이것은  $O_{3gcon}$ 과 Q의 積으로 주어지는  $O_{3g}$ 는 Q가 증가함에 따라서 오존을 생성할 산소분자가 방전영역에 머무르는 시간이 짧아져서 작용자의 선과 산소분자가 반응할 확률이 감소하여  $O_{3gcon}$ 이 저하하는데 비하여 오존을 생성할 산소분자의 數는 증가하게 된다. 이때  $O_{3gcon}$ 이 저하하는 비율과 오존을 생성할 산소분자 數가 증가하는 비율의 크기에 의해서 결국  $O_{3g}$ 가 결정된다. 따라서 동일한 Q에서 N이 2인 경우는 1인 경우보다 오존을 생성할 산소분자의 數는 동일하지만, 작용자외선의 상대적인 상승으로 인하여  $O_{3gcon}$ 이 저하되는 비율이 낮아짐으로써  $O_{3g}$ 가 상승하게 되는 것이다. 그리고  $O_{3g}$ 가 N이 1인 경우 Q가 증가함에 따라서 일정하게 유지되는 것은 작용자외선과 원료가스와의 반응시간이 짧아져서  $O_{3gcon}$ 이 저하하는 비율과 오존을 생성할 산소분자 數가 증가하여  $O_{3g}$ 가 증대하는 비율이 동일하게 유지되는 결과이며, N이 2에서와 같이  $O_{3gcon}$ 이 높은 경우에는 Q가 증가하더라도  $O_{3gcon}$ 의 저하비율이 N이 1인 경우에 비하여 상대적으로 감소된 결과  $O_{3g}$ 가 상승하다가  $O_{3gcon}$ 이 저하하는 비율과

오존을 생성할 산소분자數가 증가하는 비율의 크기가 동일해지는 Q범위에서  $O_{3g}$ 가 일정하게 유지되는 것이라고 사료된다.

그 결과 그림 7에서 N이 2인 경우 Q가 8( $\ell / \text{min}$ )일 때 93( $\text{mg}/\text{h}$ )의 최대  $O_{3g}$ 를 얻을 수 있었으며, 동일한 Q에서 N이 1인 경우보다 평균 2.68배의  $O_{3g}$  상승률을 얻을 수 있었다.

그리고 그림 8에서도 N이 2인 경우 Q가 8( $\ell / \text{min}$ )일 때 45.3( $\text{mg}/\text{h}$ )의 최대  $O_{3g}$ 를 얻을 수 있었으며, 동일한 Q에서 N이 1인 경우보다 평균 2.48배의  $O_{3g}$  상승률을 얻을 수 있었다.

또한 그림 7과 8에서 산소를 사용할 때가 모의 공기인 경우보다도 동일한 Q 및 N에서  $O_{3gcon}$  및  $O_{3g}$ 가 증가되는 것으로 나타났다. 그 결과 동일한 Q에서 N이 1 및 2일 때, 산소를 사용한 경우 각각 2.34 및 1.95배의  $O_{3gcon}$  상승이 나타났고,  $O_{3g}$ 는 각각 2.39 및 1.95배의 상승을 가져왔다.

이것은 산소를 사용한 경우가 모의공기일 때보다 작용자의선과 반응하여 오존을 생성할 산소분자의 數가 더욱 많기 때문이다.

### 4.3 Olamp의 점등개수 및 유량변화에 따른 오존생성수율 특성

그림 9 및 10은 원료가스가 산소 및 모의공기인 경우, 표 2의 W를 이용하여 N 및 Q의 변화에 따른 Olamp의 오존생성수율( $O_{3Y}$ )특성을 각각 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 N이 1인 경우는 Q가 증가함에 따라서  $O_{3Y}$ 가 약간 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다. 그 결과 그림 9에서 Olamp A 및 B에서 각각 Q가 4( $\ell / \text{min}$ )에서 4102( $\text{mg}/\text{kWh}$ ) 및 2781( $\text{mg}/\text{kWh}$ )의 최대  $O_{3Y}$ 를 얻을 수 있었으며, Olamp A+B에서는 Q가 8( $\ell / \text{min}$ )에서 3980( $\text{mg}/\text{kWh}$ )의 최대  $O_{3Y}$ 를 얻을 수 있었다. 그리고 그림 10에서는 Olamp A 및 B에서 각각 Q가 4( $\ell / \text{min}$ )에서 1955( $\text{mg}/\text{kWh}$ ) 및 1229( $\text{mg}/\text{kWh}$ )의 최대  $O_{3Y}$ 를 얻을 수 있었으며, Olamp A+B에서는 Q가 8( $\ell / \text{min}$ )에서 1937( $\text{mg}/\text{kWh}$ )의 최대  $O_{3Y}$ 를 얻을 수 있었다. 이때, 그림 9 및 10을 비교해보면 동일한 N 및 Q에서 모의공기 사용시보다 산소를 사용한 경우의  $O_{3Y}$

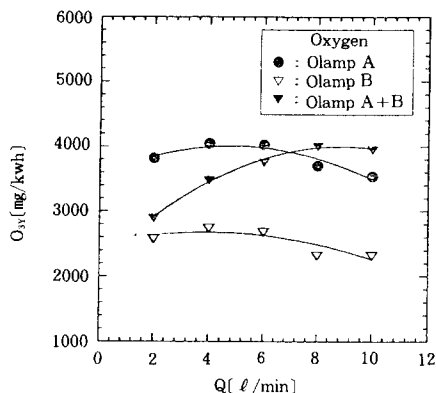


그림 9. 원료가스가 산소인 경우 Olamp의 N, Q의 변화에 따른  $O_{3Y}$ 특성

Fig. 9. The characteristics of  $O_{3Y}$  with variation of N, Q for Olamp in oxygen

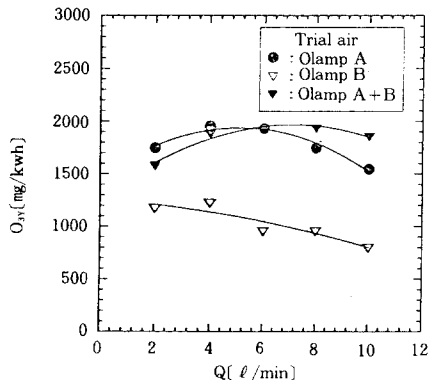


그림 10. 원료가스가 모의공기인 경우 Olamp의 N, Q의 변화에 따른  $O_{3Y}$ 특성

Fig. 10. The characteristics of  $O_{3Y}$  with variation of N, Q for Olamp in trial air

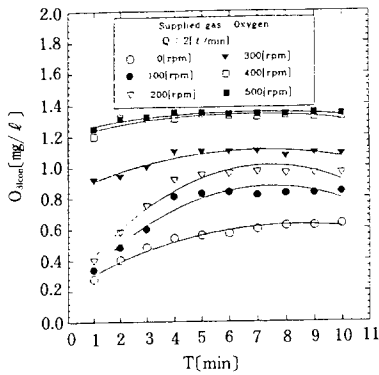
가 평균 2배 상승하는 것으로 나타났다.

### 4.4 Olamp의 유량 및 교반속도의 변화에 따른 용존오존농도 특성

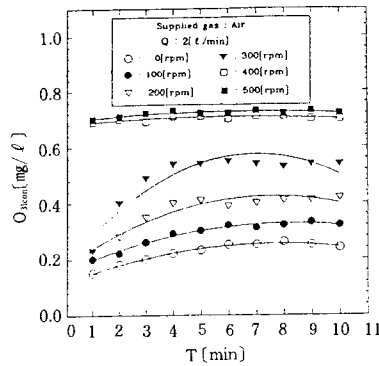
Olamp로 부터 생성된 오존을 이용하여 液相에서의 미생물 살균특성을 연구검토하기전 원료가스가 산소 및 모의공기일 때, N이 2에서 Q, 반응장치내의 교반속도( $v$ ) 및 오존화 가스와의 증류수 수용액의 반응시간( $T$ )의 변화에 따라 液相에서의 용존오존농도( $O_{3iron}$ )특성을 연구검토하였다.

그림 11의 (a) 및 (b)는 원료가스가 각각 산





(a) 산소



(b) 모의공기

그림 11. 원료가스가 산소 및 모의공기인 경우 Q가 2(ℓ/min)에서의 v 및 T의 변화에 따른 O<sub>3con</sub>특성  
Fig. 11. The characteristics of O<sub>3con</sub> with variation of v and T at Q=2(ℓ/min) in oxygen gas and trial air

소 및 모의공기인 경우 Q가 2(ℓ/min)일 때, 그 특성을 나타낸 것으로서 원료가스의 종류에 관계없이 Q가 낮을수록 동일한 T에서 O<sub>3con</sub>이 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 Q가 낮을수록 오존화 가스의 O<sub>3gron</sub>이 증대하기 때문이며, O<sub>3con</sub>-v 특성은 원료가스가 산소 및 모의공기 어느 것이나 v가 400[rpm]이면 최대 O<sub>3con</sub>이 되어 포화되는 것으로 나타남으로 그 이상의 회전은 필요하지 않음을 확인할 수 있었다.

또한 v가 증가함에 따라서 O<sub>3con</sub>이 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 v가 증가하여 오존화 가스와 증류수 수용액과의 접촉면적이 향상될 결과 증류수 수용액에 용존될 수 있는 오존화 가스량의 증가에 의한 것이며, 400[rpm]에서 그 특

성이 포화되는 경향은 본 연구에 사용된 반응장치내의 증류수에 오존이 포화된 결과이다.

#### 4.5 Olamp의 대장균(Escherichia coli)살균특성

표 3은 그림 11의 O<sub>3con</sub> 특성을 이용하여 Olamp에 대한 환경개선 분야로의 적용성을 연구검토하기 위하여, 液相에 존재하는 대장균(Escherichia coli, E.coli)에 대한 살균특성을 오존수와 E.coli의 접촉시간(t) 변화에 따라 나타낸 것이다.

표 3에서와 같이 원료가스가 산소인 경우와 모의공기인 경우의 살균 특성을 비교해보면 원료가스가 산소인 경우가 모의공기인 경우보다 O<sub>3con</sub>의 상승에 따라서 살균특성이 높게 나타났다. 그 결과 원료가스가 산소 및 모의공기인 경우 O<sub>3con</sub>에 관계없이 t가 각각 5 및 60(sec)만에 E.coli에 대하여 약 97(%)이상의 살균특성을 얻을 수 있었다.

이때 사진 1의 (a) 및 (b)는 O<sub>3con</sub>이 1.30(mg/ℓ)인 경우, E.coli의 살균특성 외관을 나타낸 것이다.

표 3. O<sub>3con</sub> 및 t의 변화에 따른 E.coli의 살균특성  
Table3. The sterilizing characteristics of E.coli with variation of O<sub>3con</sub> and t

원료 가스	O <sub>3con</sub> [mg/ℓ]	오존접촉전 [cells/ml]	오존접촉후 [cells/ml]	97(%)이상, 살균까지의 소요 t[sec]
산소	1.30	2.75×10 <sup>5</sup>	2.7×10 <sup>3</sup>	5
	0.90	3.31×10 <sup>5</sup>	9.0×10 <sup>3</sup>	"
	0.74	3.34×10 <sup>5</sup>	5.0×10 <sup>3</sup>	"
모의공기	0.70	1.95×10 <sup>5</sup>	4.0×10 <sup>3</sup>	60
	0.43	1.84×10 <sup>5</sup>	2.0×10 <sup>3</sup>	"
	0.35	3.21×10 <sup>5</sup>	7.0×10 <sup>3</sup>	"

## 5. 결론

본 연구에서는 오존발생기로서의 역할과 광원으로서의 기능을 동시에 수행할 수 있는 U字形 Lamp(Olamp)를 사용한 오존발생기를 설계 및 제작하여 Olamp의 방전특성, 오존생성특성, 살균특성 및 조도특성을 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Olamp로부터 방사되는 자외선을 측정한

$O_{3gcon}$ 이 높을수록 상승하는 것으로 나타났다.

(3)  $O_3g$ 는  $Q$ 가 증가할수록  $O_{lamp}$ 의 점등개수 ( $N$ )가 1인 경우에는 거의 일정하나,  $N$ 이 2인 경우에는 상승하다가 포화되는 것으로 나타났다.

(4)  $O_{lamp}$ 의 점등개수( $N$ )가 증가할수록 동일한  $Q$ 에서  $O_{3gcon}$  및  $O_3g$ 가 상승하는 것으로 나타났다.

(5) 液相에서의 용존오존농도( $O_{3icon}$ )는 반응 장치의 교반속도( $v$ ) 및  $O_{3gcon}$ 이 증가할수록 상승하며, 400[rpm]의  $v$ 에서 포화되었다.

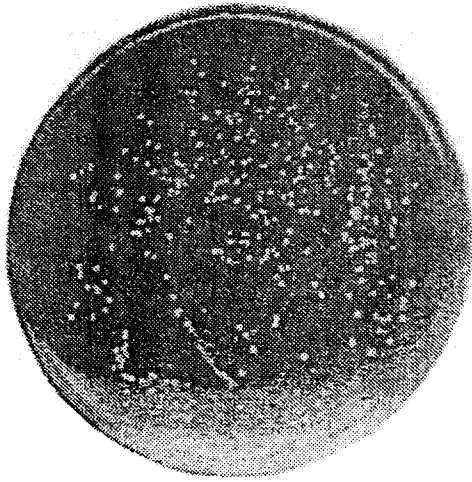
(6) 대장균(*Escherichia coli*)에 대한 살균특성을 조사한 결과, 원료가스가 산소 및 모의공기인 경우  $O_{3icon}$ 이 각각 0.74, 0.90, 1.30[mg/l] 및 0.35, 0.43, 0.70[mg/l]에서 접촉시간( $t$ )이 5 및 60[sec]에서 97[%]이상의 살균특성을 얻을 수 있었다.

(7)  $O_{lamp}$ 의 조도( $E$ )는 한국산업표준규격 조도기준(KS A 3011)에 의하여 “어두운 분위기 중의 식식별작업” 및 “간헐적인 시작업”에 사용할 수 있는 특성을 얻을 수 있었다.

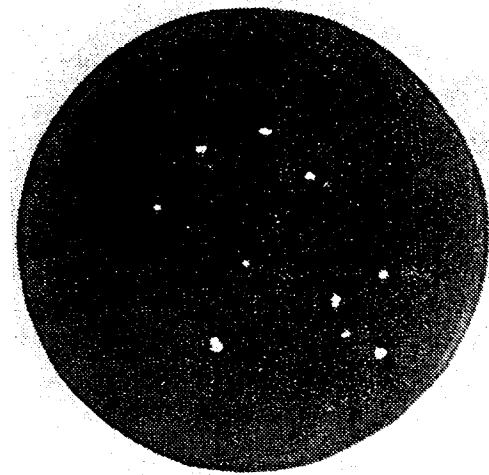
이상과 같이 미생물에 대한 살균특성과 광원으로서의 그 가능성을 확인함으로써 설계·제작한 오존발생기가 대기공기정화, 식기소독, 표면살균, 대장균의 멸균 등 환경개선에 이용됨과 동시에 Pilot lamp, 지하실, 암실에서 光源에 의한 시작업 등 조명분야로의 적용도 가능하리라 기대된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 石井啓夫, “オゾン利用の新技術”, 三誘書房, pp. 152~153, 昭和 61年.
- 2) H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, “A study on the High Voltage Nozzle Type Ozonizer” Proceedings of the 11th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Vol.2, pp.320~323, 1995.
- 3) 宗宮功, “オゾン利用水處理技術”, 公害對策技術同友會, pp. 83~95, 昭和 63年.
- 4) Rep G. Rice “ozone for drinking water treatment : bibliography”, hand-book of ozone technology and application, Vol.II, 1984.
- 5) 増田 閃, “オゾンで魚を育てる”, 114卷10號, pp.649~653, 1994.



(a) 반응전(균수 :  $2.75 \times 10^8$  [cells/ml])



(b) 반응후(균수 :  $2.70 \times 10^3$  [cells/ml])

사진 1.  $O_{3icon}$ 이 1.30[mg/l]인 경우, E.coli의 살균특성 외관

Photo 1. The photographs of E.coli sterilization characteristics for  $O_{3icon} = 1.30$  [mg/l]

결과, 185[nm]의 오존을 생성하는 자외선과 254[nm]의 살균선이 동시에 방사되어 뛰어난 살균특성이 출력된다는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 오존발생량( $O_3g$ )은  $Q$ 가 2[l/min]에서의

- 6) 宗宮功, "オゾンの應用", 電學論D, 114卷 4號, pp. 362~369, 平成6年.
- 7) 出口富雄, "オゾンを中心とした高度淨水處理技術", 三誘書房, pp.32~43, 1990.
- 8) 李廣植, 李東仁, "氣體放電에 의한 오존생성과 그 응용", 大韓電氣學會放電·高電壓(研), 學術發表會論文集, pp.32~35, 1992.
- 9) Senichi Masuda, "CERAMIC BASED OZONIZER FOR HIGH SPEED STERILIZATION", IEEE, Vol.2, No.88, pp.1641~1646, 1988.
- 10) 田園一郎, "正極性 Streamer corona 放電による Ozone發生効率向上に關する"研究, ED-91-65, pp.31~37, 1991.
- 11) W. ELENBAAS, "HIGH PRESSURE MERCURY VAPOUR LAMPS AND THEIR APPLICATION", PHILIPS TECHNICAL LIBRARY, pp.203~232, 1965.
- 12) 宗宮功, "オゾン發生機構發生裝置", 公害對策技術同友會, pp.27~43, 昭和 63年.
- 13) 堺 孝夫, "低氣壓におけるオゾン生成", ED-92-126, pp.35~43, 平成 4年.
- 14) JOHN F. WAYMOUTH, "ELECTRIC DISCHARGE LAMPS", The Massachusetts Institute of Technology, pp.114~149, 1971.
- 15) Johannes Staehelin and Jurg Holgne, "Decomposition of Ozone in Water : Rate of Initiation by Hydroxide Ions and Hydrogen Peroxide, Environ.Sci.Techonol", Vol. 16, pp.676~681, 1982.
- 16) 공업진흥청, 한국공업규격 조도기준(KS A 3011), 1993.
- 17) 공업진흥청, 한국공업규격 조도 측정 방법(KS C 7612), 1987.

◇ 著者紹介 ◇



김 상 구(金相球)

1953年 1月 24日生. 1975年 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대구·경북 지방 중소기업청 전기전자실장. 당학회 대구·경북지회 이사.



송 현 직(宋炫直)

1968年 7月 30日生. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남대 전기공학과 전문연구요원.



강 천 수(姜千秀)

합연구소 근무.

1968年 2月 17日生. 1994년 경북산업대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 영남대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)오리온 전기 중



박 원 주(朴元柱)

부교수. 당학회 대구·경북지회 재무이사.

1954年 3月 14日生. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(공학). 현재 영남대 공대 전기전자공학부



이 광 식(李廣植)

초빙교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 당학회 대구·경북지회장 겸 수위위원장.

1948年 10 20日生. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 현재 영남대 공대 전기전자공



이 동 인(李東仁)

장 역임. 당학회 대구·경북지회이사.

1936年 10月 19日生. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde 대 대학원 졸업(박사). 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 대한전기학회 평의원 및 대구지부장 역임. 당학회 대구·경북지회이사.