

Trial Manufacture of a Ozone Generator Using Silent Discharge Type and Improvement Properties of the Water Quality in the Lake

林憲燦* · 金珍圭** · 禹盛薰***
(Hun-Chan Lim · Jin-Kyu Kim · Sung-Hun Woo)

Abstract - In this paper, a ozone generator using superimposition of silent discharge has been designed and manufactured. This type ozone generator is equipped with three electrodes and two gaps. Ozone is generated by superimposition of silent discharge, which is respectively come from two gaps. The maximum values of ozone concentration, ozone generation flow and ozone energy yield were obtained 4,750[ppm], 2.37[g/h], 102.3[g/kWh]. Also, the result of reaction of 1,892[ppm] ozone and the sampling water from the lake, the water quality was improved from IV grade to III grade, and obtained 100[%] sterilization rate of Escherichia coli within 5.0[min].

Key Words : Ozone Generator, Silent Discharge, Ozone Energy Yield, Sterilization Rate, Escherichia coli

1. 서 론

오늘날 환경오염이 지구상에서 큰 문제로 대두됨에 따라 세계 각국에서는 오염에 대한 규제를 설정하여 행정지도와 더불어 그 대책을 수립하고 있다. 특히 날로 증가하는 대기 오염 및 수질오염 문제는 생태계뿐만 아니라 인체에 대해서도 심각한 영향을 미치고 있다. 이러한 관점에서 최근에는 기체방전현상으로 생성되는 오존화가스를 이용하여 환경개선을 도모하는 연구가 진행되고 있다.

오존분자(O₃)는 불안정한 기체로서 산소원자를 방출하여 안정한 상태인 산소분자(O₂)로 되고자 하는 강한 경향을 지니고 있으며, 이때 활성 산소원자를 방출하므로 강한 산화력을 발휘한다. 그 반감기는 상온의 건조 공기 중에서 약 12시간 내외, 25[°C]의 증류수 중에서는 약 165분 정도로 알려져 있다[1]. 이러한 오존이 환경문제의 근본적 해결책으로 대두된 이유는 수중 무기물 및 유기물에 대한 산화력이 강하여 공업폐수 및 상·하수 처리에 있어서 오존은 맛, 냄새, 철, 망간 등을 염소보다 용이하게 산화시켜 응집 침전시킨다. 그 뿐만 아니라 합성세제와 발암물질인 트리할로메탄, 탁도 등을 없애거나 줄이면서 침전효과를 증대할 수 있어 정수 경비를 절감하는 효과도 있다. 그리고 박테리아, 바이러스 등의 살균효과가 뛰어나서 식품의 부패, 변질방지, 탈취, 탈색 및 실내 공기정화 등에 이용되며, 최종적으로 산소로 환원되어 2차 공해가 없는 특성으로 인하여 오존은 그 이용범위가 점점 넓어지고 있다. 최근에는 반도체 제조 분

야, 의료 분야 및 어류양식 분야에까지 그 응용범위가 확대되고 있다[2].

오존을 발생시키는 방법은 산소를 포함하는 기체 중에 방사선이나 자외선 등의 복사선을 조사하거나 고속으로 가속된 전자를 통과시켜 산소원자를 여기하므로써 발생시킬 수 있지만, 공업적으로 효율이 가장 좋은 방법은 세계적으로 광범위하게 이용되고 있는 것은 무성방전형 오존발생장치이다. 현재에도 최소의 전력에너지로 최대의 효율을 가지는 경제적인 오존발생장치를 개발하기 위한 측면에서 HVN형 오존발생장치, 램프형 오존발생장치 및 코로나 펄스를 이용한 오존발생장치 등 다양한 개량형 오존발생장치가 출현되고 있다[3].

본 연구에서는 무성방전을 중첩한 오존발생장치를 제작하여 방전특성 및 오존생성 특성을 조사하였으며, 또한 오존화가스를 이용하여 수질개선에 대한 적용 가능성을 검토하고자 오존처리에 따른 하천수의 화학적·생물학적 특성도 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 오존발생장치의 단면도 및 측면도를 나타낸 것으로 원추형 중심전극(접지축)이 내장되어 있는 방전관과 스테인레스 메쉬인 내부전극(고압축), 그 외측에 나선형 외부전극(고압축)으로 구성되어 있다. 내부전극과 외부전극에서 무성방전을 발생시킴과 동시에 내부전극과 중심전극 사이에서도 무성방전을 발생시켜 중첩이 되도록 설계하여 제작한 것이다. 즉 오존발생장치는 중심전극-내부전극, 중심전극-외부전극, 내부전극-외부전극 사이에서 발생하는 무성방전이 중첩되는 구조로 이루어져 있으며, 무성방전시 유전체인 납유리와 내열 강화유리(pyrex glass) 표면에 전하를 축적시켜 축적된 전하와 원료가스와의 반응에 의해 오존이 생

* 正 會 員 : 大邱工業大學 電氣科 助敎授 · 工博
 ** 正 會 員 : 大邱工業大學 電氣科 助敎授 · 博士課程修了
 *** 正 會 員 : 大邱工業大學 電氣科 兼任專任講師 · 工博
 接受日字 : 2001年 7月 12日
 最終完了 : 2001年 8月 23日

성된다.

내부전극 외측의 유전체는 내열 강화유리관(외경: 19[mm], 두께: 1.2[mm], 길이: 235[mm])을 사용하였고, 관 외측 표면에는 구리선에 규석을 도금한 직경 1[mm]인 세선을 각각 5.0 [mm] 간격으로 하여 길이 130[mm] 범위 내에서 나선형으로 각각 26회 감아 외부전극으로 사용하였다.

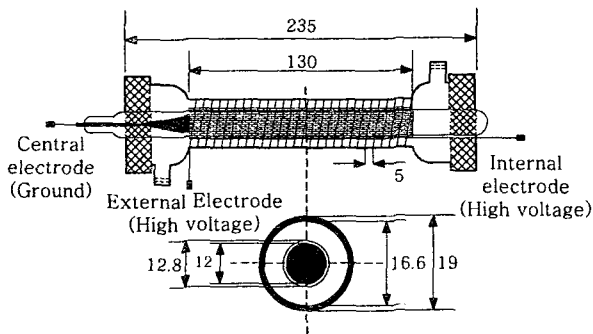


그림 1 오존발생장치의 단면도 및 측면도[단위:mm]
Fig. 1 Cross and side sections of the ozone generator [Unit:mm]

그림 2는 오존발생장치 및 측정회로의 개략도를 나타낸 것이고, 실선부는 오존발생장치의 방전특성을 조사하기 위하여 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존 생성 특성을 연구하기 위한 장치들을 연결한 회로이다.

그림에서와 같이 원료가스 공급장치로부터 유출되는 모의 공기(N_2 79[%], O_2 21[%])를 4[l/min]의 유량으로 일정하게 오존발생장치 내부로 유입하였다. 이때 오존농도를 측정하기 위하여 장치 내에서 발생한 오존화가스를 매 실험마다 0.3[l/min]로 샘플링하여 자외선 흡수 방식의 기상용 오존 모니터(0~100,000[ppm], Okitronics 社, Japan)로 측정하였다.

오존농도 및 오존발생량은 각각 5회 측정하여 계산하고 그 평균치를 채택하였으며, 측정 전 오존발생장치의 방전공간 내에 존재하는 불순물을 제거하기 위하여 전압을 인가하지 않고 유량을 10[l/min]으로 1분 정도 강제 배기시킨 후 측정하였다.

전원장치는 상용의 네온 변압기(이하 NT, 입력전압: AC 220[V], 입력전력: AC150[VA])를 사용하였고, NT 양 출력 단자에는 동일 크기의 교류 고전압이 180°의 위상차로 형성되기 때문에 출력시에는 정·부의 피크 전압이 발생된다. 또 방전전압·전류를 측정하기 위하여 고전압 분압기(주파수 대역 DC~50[MHz], 내압 50[kV], 분압비 2000:1)에 의하여 감쇄된 전압과 무유도 저항(50[Ω]±0.1[%])의 양단전압을 오실로스코프 (LeCroy 9350AL, 500[MHz], 1[Gs/s])로 측정하였다. 소비전력은 디지털 파워메타(0~500[V], 0~20[A], 0~9999[W], 오차:±0.2[%], Light Star 社)를 이용하여 측정하였다.

생성된 오존을 이용하여 수질환경 개선 분야로의 적용 가능성을 검토하기 위하여 오존발생장치에서 생성된 오존화가스를 하천수에서 샘플링한 물 1[l]가 담겨진 반응 용기에 폭기시켜 수질오염 공정시험법을 기준으로 수질개선 특성을

조사하였다[4].

수질의 화학적 특성을 알아보기 위한 측정 방법으로써 수 소이온농도(pH)는 초자전극법(Orion 920 A)을 이용하였고, 용존산소(DO)는 휴대용 DO meter(toledo AG)를 이용하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 과망간산칼륨($KMnO_4$) 산화제를 사용하여 일정 시간 가열 반응 후, 오염물질이 과망간산칼륨에 의해 화학적으로 무기산화물이나 가스체로 산화될 때 소비된 과망간산칼륨의 양으로부터 산소량을 측정하였다.

암모늄태질소(NH_4-N) 및 총인(T-P)은 하천수에 시약으로서 Indophenol 및 Amonium Vanadate를 각각 용량 플라스크에 넣고 파란색 및 노란색으로 발색시켜 분광광도계 (HACH DR/2000)를 이용하여 636[nm] 및 882[nm] 파장에서 측정하였다. 총질소(T-N)는 초자전극법(Orion 920 A)으로써 NO_3 의 양을 Kjeldhal 법으로서 NH_4 를 정량하여 질소의 양을 측정하였다.

또 수질의 생물학적 특성을 조사하기 위한 오존처리 전·후의 대장균 수 측정은 증류수를 희석한 시료 1[ml]를 발효 배지(15[ml])에 옮겨 35[$^{\circ}C$]에서 48시간 배양하여 산출하는 평판집락법(standard plate count)을 사용하였다[4-6].

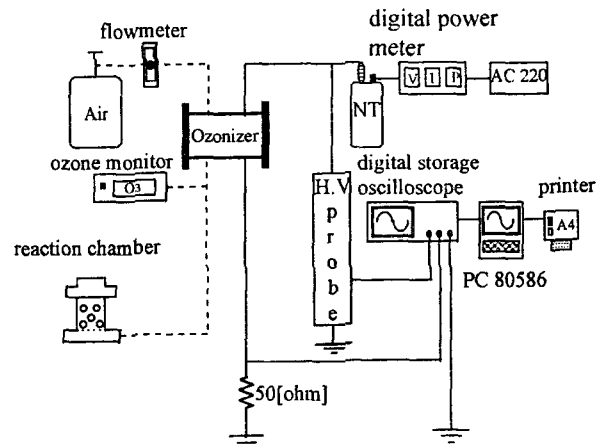


그림 2 오존발생장치 및 측정회로의 개략도
Fig. 2 Schematic diagram of the ozone generator and measuring circuit

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오존발생장치의 방전 특성

입력전압을 각각 100, 120, 160, 200 및 220[V]로 변화시키면서 무부하시 NT의 출력전압을 조사한 결과, 6.83, 8.25, 10.97, 13.53 및 14.76[kV]의 전압이 출력되는 전원장치의 특성을 얻었으며, 이때 방전전압은 7.5, 9.1, 12.5, 15.5 및 16.6 [kV]로 나타났다. 방전전압은 출력전압이 증가됨에 따라 직선적으로 상승하였는데, 이것은 출력전압이 증가함에 따라 방전공간이 확대되어 오존발생장치에 가해지는 입력에너지가 상승하기 때문이다.

그림 3은 출력전압이 14.76[kV]인 경우의 파형을 나타낸 것이며, 그림과 같이 NT의 양 출력단자에는 동일 크기의 주파수(60[Hz])를 가지는 교류 고전압이 180°의 위상차로 형성된다. 이처럼 본 연구에 사용된 NT는 각 전극사이에 NT의 양단에서 출력되는 정·부 피크 전압의 2배에 해당하는 출력전압을 인가할 수 있는 전원장치라 할 수 있다.

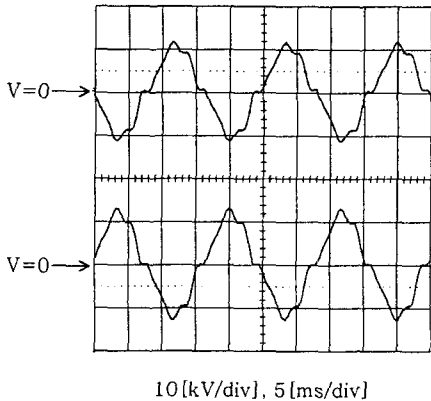


그림 3 전원장치의 무부하 출력전압 파형
Fig. 3 Waveform of the no-load output voltage for power supply apparatus

그림 4는 대표적인 방전전압 및 방전전류 파형을 나타내고 있다. 여기서 CH1은 내부전극인 스테인레스 메쉬의 전압 파형, CH2는 나선형 외부전극의 전압파형이다. CH3는 중심전극인 공통접지 전극의 전류파형이다.

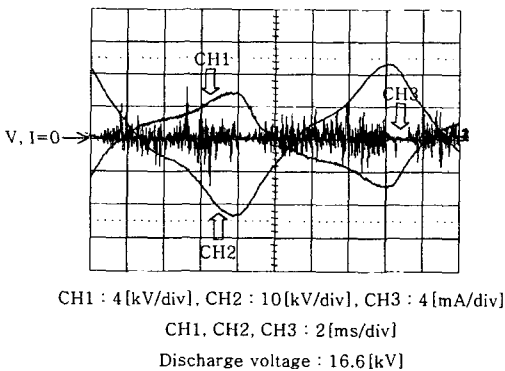


그림 4 방전전압 및 방전전류 파형
Fig. 4 Waveforms of the discharge voltage and discharge current

그림에서 CH2의 방전전압은 CH1의 방전전압보다 높게 나타났다. 이것은 내부전극과 외부전극간의 갭(1.9[mm])이 중심전극과 내부전극간의 갭(0.4[mm])보다 크기 때문에 상대적으로 절연내력이 상승한 결과라고 사료되며, 결국 이 두 갭 사이에서 발생한 무성방전이 상호적으로 방전의 캐리어 역할을 수행하면서 중첩 무성방전을 활성화시킨다. 또 방전전류의 파형은 무성방전을 중첩시켰을 때 정·부의 전류가 중

첩되어 무성방전의 휴지 구간이 짧아짐에 따라 오존생성 효과에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

소비전력은 디지털 파워 메타를 이용하여 방전시의 방전관의 전력, NT의 전력손실, 선로손실 등을 포함한 NT 입력단에서 오존발생장치 전체 회로에 소모되는 전력값으로 측정하였다. 소비전력은 방전전압이 증가할수록 방전전압의 제곱에 비례하여 상승하는 것으로 나타났다. 그 결과, 최대 소비전력은 27.4[W]로 나타났다. 이것은 방전전압이 증가하면 무성방전이 촉진되어 방전 휴지구간이 짧아지면서 방전전류는 증가하게 되고, 방전전류는 증가함에 따라 오존발생장치의 방전면적이 확대되어 유전체의 정전용량에 의한 축적에너지가 방전전압의 제곱에 비례함으로써 소비전력도 방전전압의 제곱에 비례하여 상승하는 것이라고 사료된다.

3.2 오존발생장치의 오존생성 특성

그림 5는 소비전력에 대한 오존농도 및 오존발생량의 특성을 나타낸 것이고, 소비전력이 증가할수록 오존농도 및 오존발생량이 상승하였다. 이것은 소비전력이 증가할수록 오존발생장치에 가해지는 입력에너지가 상승함에 따라 중심전극-내부전극, 중심전극-외부전극, 내부전극-외부전극 사이의 방전이 촉진된 결과라고 사료된다.

최대 오존농도 및 오존발생량은 4,750[ppm] 및 2.37[g/h]으로 나타났으며, 이때의 소비전력은 27.4[W]로 나타났다.

그림 6은 소비전력에 따라 발생하는 오존량을 오존생성효율로 환산한 값이고, 오존생성효율은 소비전력이 9[W]까지 증가하다가 그 이상이 되면서 저하되는 현상을 보이고 있다. 이 때 최대 오존생성효율은 소비전력이 8.7[W]일 때 102.3[g/kWh]로 나타났다.

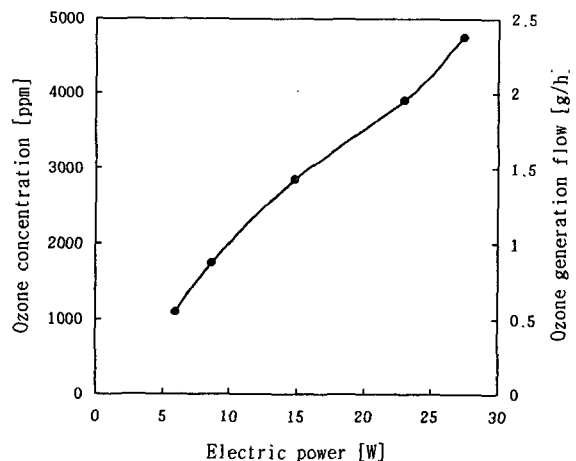


그림 5 오존농도 및 오존발생량 특성
Fig. 5 Ozone concentration and ozone generation flow as a function of electric power

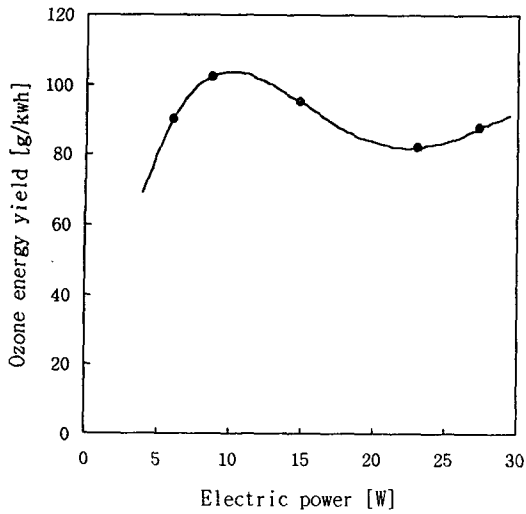


그림 6 오존생성효율 특성

Fig. 6 Ozone energy yield as a function of electric power

3.3 하천수의 수질 개선 특성

오존화가스를 이용하여 수질 개선 특성을 연구하기 위하여 오존생성효율이 최대일 때의 농도 1,892[ppm]의 오존을 하천수에서 샘플링한 1[l]의 물이 담겨진 반응 용기에 폭기시킨 후, 오존 처리 전·후의 물에 대한 화학적, 생물학적 특성을 조사하였다.

3.3.1 화학적 특성 개선

오존화가스를 이용하여 30분간 수처리한 결과, 환경보전법 시행규칙 제6조 「별표3」의 규정에 의거 표 1과 같이 생활환경 IV등급 수질을 생활환경 III등급 수질로 개선할 수 있었다[4].

표 1 하천수의 화학적 성질 개선

Table 1 Improvement of the chemical properties in the lake

구 분	일반지표			영양염류		
	pH	DO [mg/l]	COD [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	T-P [mg/l]	T-N [mg/l]
처리전 (IV등급)	7.89	6.5	6.20	0.7	0.12	1.7
처리후 (III등급)	7.91	6.9	5.75	0.1	0.09	1.0
III등급 기준	6.5-8.5	5.0-7.5	3.0-6.0	·	0.05-0.10	0.6-1.0

표에서와 같이 일반적으로 오존처리는 알카리성을 중성으로, 산성을 중성 상태로 하는 수소이온농도(pH) 완충효과가 있기 때문에 pH는 큰 변화를 보이지 않았으며, 용존산소(DO)는 증가하고 화학적 산소요구량(COD)은 감소함을 알

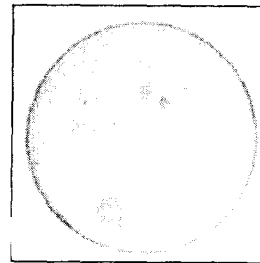
수 있었다.

여기서 COD가 감소하는 것은 생물학적으로 분해가 어려운 방향족 화합물(수중 유기물)의 이중결합이 오존처리로 파괴되어 생물 분해성이 향상되기 때문이다.

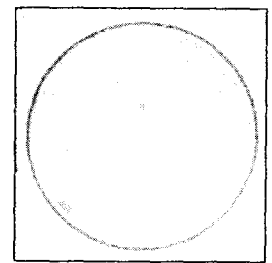
또 과잉공급시 부영양화를 일으키는 암모늄태질소(NH₄-N) 및 총인(T-P), 총질소(T-N)와 같은 영양염류 등도 오존 처리함으로써 각각 감소함을 확인할 수 있었다.

3.3.2 생물학적 특성 개선

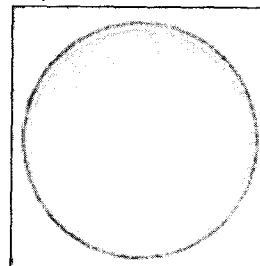
사진 1은 오존처리 전과 오존처리 후의 대장균 살균특성을 나타낸 것으로 처리전 하천수의 대장균은 1분 및 5분간의 오존처리를 하여 각각 98.9[%] 및 100[%]까지 제거됨을 확인할 수 있었다.



(a) 오존처리 전
(a) Before ozone reaction



(b) 오존처리 1분 후
(b) After ozone reaction for 1 minute



(c) 오존처리 5분 후
(c) After ozone reaction for 5 minutes

The number of Escherichia coli :

- (a) 1,800 [cells/ml]
- (b) 200 [cells/ml]
- (c) 0 [cells/ml]

사진 1 대장균 살균 특성

Photo. 1 Sterilization characteristics of Escherichia coli with the lapse of time

4. 결 론

본 연구에서는 무성방전형 오존발생장치를 설계하여 제한한 후, 모의공기를 사용하여 방전특성 및 오존생성 특성을 연구하였으며, 생성된 오존을 수질환경개선 분야에 적용시킨 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 개발된 오존발생장치의 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성효율은 각각 최대 4,750 [ppm], 2.37[g/h] 및 102.3[g/kWh]의 특성을 가진다.

(2) 생성된 오존으로 하천수의 화학적, 생물학적 특성 개선을 통하여 수질 개선 분야에도 적용이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 오존발생장치는 종래의 오존발생장치에 비해 효율이 상당히 개선되었음을 알 수 있으며, 차후 효율개선 및 대용량으로의 개발을 통하여 수질 환경 개선 분야에 상용화하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 石井啓夫, オゾン利用の新技術, 三秀書房, pp.152~153, 1986.
- [2] 禹盛薰, 無聲放電의 重疊을 利用한 오존발생기의 試作 및 特性, 碩士學位論文, pp.1~80, 1997.
- [3] 杉光英後, オゾンの基礎と應用, 光琳, 1996.
- [4] 環境廳, 環境汚染公定試驗法(水質分野), 韓國環境廳, pp.46~120, pp.193~200, 1987.
- [5] 조순행外 三人, 水質管理, 東和技術, pp.43~48, 1995.
- [6] Thomann R.V, System analysis and water quality management, McGraw-Hill, p286, 1972.

저 자 소 개



임 헌 찬 (林 憲 燦)

1960년 3월 26일생. 1984년 인하대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과(공학). 1986~1991년 POSCO 근무. 1997~1998년 일본 야마가타대학 전자정보공학과 객원연구원. 1992~현재 대구공

업대학 전기과 조교수

Tel : 053) 650-3893

Fax : 053) 650-3890

E-mail : hclim@ttc.ac.kr



김 진 규 (金 珍 圭)

1961년 1월 7일생. 1984년 고려대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998~현재 경북대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1987~1989년 삼성전자. 1989~현재 대구공업대학 전기과 조교수

Tel : 053) 650-3892

Fax : 053) 650-3890

E-mail : jkim@ttc.ac.kr



우 성 훈 (禹 盛 薰)

1970년 9월 16일생. 1993년 영남대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997~1999년 한국전기연구소 전기물리연구그룹. 2000~2001년 LG 전선(주) 광기술개발팀 근무. 현재

(주)은일 기술개발부 이사. 대구공업대학 전기과 겸임전임강사

Tel : 019-509-0138

Fax : 053) 650-3890

E-mail : hpulse@hanmail.net