네온방전관형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성에 관한 연구

송현직°, 우 성훈, 김 상구, 김 기채, 이 광식, 이 동인
영남대학교 공과대학 전기전자공학부

A Study on the Characteristics of Discharge and Ozone Generation for Ozonizer of Neon Discharge Tube Type

H.J.Song°, S.H.Woo, S.G.Kim, K.C.Kim, K.S.Lee, D.I.Lee
School of Electrical and Electronic Engineerimg of Yeungnam University

ABSTRACT

In this paper, ozonizer of neon discharge tube type(Neolamp) by using silent discharge has been designed and manufactured. The discharge and ozone generation characteristics of Neolamp have been studied with variation of turn-on number(N) of Neolamp, quality(Q) and shape of external electrode. The discharge voltage is proportional to gap spacing of spiral external electrode(G) for constant applied volatge. The discharge current is inversely proportional to G for constant applied volatge. The ozone concentration is inversely proportional to Q and G. Also, ozone concentration and generation are proportional to N. The sterilization characteristics of *Escherichia coli* have been obtained more than 97[%] at 1.30[mg/ℓ] of liquid ozone concentration.

1. 서 론

리우환경회의 이후 세계각국에서는 환경오염물질을 정화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 오존(O_3)이 환경오염물질개선에 탁월하다는 점이 주목을 받고 있다.

오존은 자연계에서 불소(F) 다음으로 강한 산화력을 가지고 있으므로 박테리아, 바이러스 등에 대한 살균효과가 뛰어나고 탈색, 탈취 및 유독물질의 분해는 물론이고 식품저장, 실내공기정화에 응용될 뿐만 아니라, 최종적으로는 산소로 환원되므로 2차 공해를 일으키지 않는 장점이 있다. 이러한 특성에 의하여 오존은 그 이용범위가 증가하고 있으며, 최근에는 의료분야, 암모니아제조, NO_X 제거, 반도체 장치의 고집적화 및 어류양식분야에 이르기까지 그 응용범위를 넓혀가고 있어 그 중요도가 한층 증대되고 실정이다.[1][2][3][4]

이러한 측면에서 오존을 생성하기 위한 장치에 관한 연구 특히, 기체방전을 이용한 오존발생기에 관한 연구가 진행되고 있다.[5][6]

1857년 독일의 W.Von Siemens 가 無聲放電(silent discharge)에 의한 오존발생기를 처음 개발한 이래, 유럽 및 일본을 비롯한 선진국에서는 無聲放電을 이용한 새로운 형태의 오존발생기에 대한 연구개발이 광범위하게 진행되어 왔으나, 국내에서는 현재까지도 이에 관한 연구가 대단히 미흡한 실정이다.[6][7]

이러한 관점에서 본 연구는 네온방전관의 형태와 無聲放電을 이용한 네온방전관형 오존발생기(Neolamp)를 설계·제작하여 원료가스가 산소인 경우 외부전극의 형태, 원료가스의 유량(Q) 및 Neolamp 의 점등개수(N) 변화에 따른 방전특성(방전전압(V_d) 및 방전전류(I_d))과 오존생성특성(오존생성농도(O_{3con}) 및 오존발생량(O_{3g}))을 연구검토하였으며, 그리고 환경개선분야로의 적용성을 연구하기 위하여 발생된 오존을 이용하여 미생물(*Escherichia coli, E.coli*)에 대한 살균특성을 조사하였다.

2. 無聲放電에 의한 오존생성 및 분해이론

無聲放電에 의한 오존생성이론은 한쪽 혹은 양쪽면의 전극에 유리 또는 세라믹과 같은 유전체를 삽입한 미소방전공간(Gap spacing : 1 ~ 3[mm])에 산소를 함유한 원료가스를 대기압하에서 통과시킬 때, 兩전극간에 교류고전압을 인가하면 방전공간에서는 기체방전에 의하여 원료가스중에 포함된 산소의 일부가 오존을 생성하면서 오존발생기의 출구로 오존화 가스가 유출한다.[8][9]

이때 원료가스가 산소인 경우, 주로 다음 반응식 (1) 및 (2)에 의하여 오존이 생성된다.[10]

$$O_2 + e^- \rightarrow 2O + e^- \quad \cdots\cdots (1)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad \cdots\cdots (2)$$

(M = O, O_2 또는 O_3)

또한 無聲放電에 의한 오존분해이론은 주로 다음 식 (3), (4) 및 (5)에 의하여 이루어진다.[10]

$$O_3 + O \rightarrow 2O_2 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$O_3 + e^- \rightarrow O_2 + O + e^- \quad \cdots\cdots (4)$$

$$O + O_3^* \rightarrow O_2 \quad \cdots\cdots (5)$$

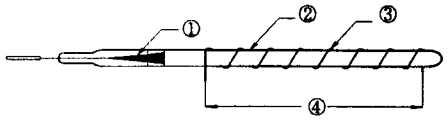
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

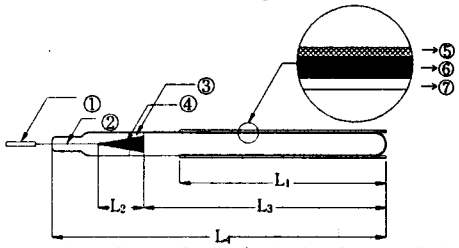
그림 1 및 2는 Neolamp 의 개략도를 나타낸 것이다. 그림 1에서 내부진공도(P)가 10^{-1}[torr]이고 내부도포막 길이(L)가 100[mm]인 Neolamp 의 내부전극은 최대직경이 7[mm]이고 길이가 50[mm]인 원추형 전극을 사용하였고, 외부전극으로는 구리에 규석도금한 세선의 간격(G)을 각각 0.5, 1 및 2[cm]로 하여 그림에서와 같이 나선형으로 유리관 외부에 200[mm]범위이내로 감아 외부전극을 구성하였다. 이때 n은 각각 33회, 16회 및 9회로 설정하였다. 원추형 내부전극과 나선형 외부전극사이에는 두께 1[mm]이고 길이 290[mm]인 납유리를 유전체로 하여 無聲放電에 의해 오존을 생성하도록 하는 구조이다. 그리고 그림 2는

나선형 외부전극대신에 구리에 규석도금한 길이 200[mm]의 Mesh 형 외부전극을 사용하여 오존을 생성하는 구조이다.

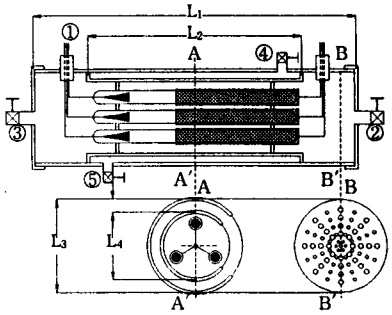
그림 3은 Neolamp 3개를 장착하여 오존생성 및 방전형상을 관측할 수 있도록 2중창으로 구성된 Neolamp 체임버의 단면도 및 측면도이다. 그림 4는 Neolamp 형 오존발생장치의 측정계 및 배치도로써 상업용 산소(순도 : 99.99[%])를 유량계로 조정하면서 Neolamp 에 유입시켰다. 이때 Neolamp 로 부터 발생된 오존화가스의 오존생성농도(O_{3gcon})는 매실험마다 0.3[ℓ/min]로 표본추출하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존측정기(0 ~ 110,000[ppm], Okitronics社, 일본)로 측정하였다.



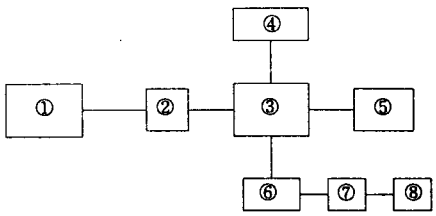
① 원추형 내부전극 ② 납유리
③ 나선형 외부전극 ④ L : 200[mm]
그림 1. 나선형 Neolamp 의 개략도



① 듀멧선 ② 리딩선 ③ 운모 ④ 원추형 내부전극 ⑤ Mesh 형 외부외극(t : 1[mm]) ⑥ 납유리(t : 1[mm]) ⑦ 도포피막(t : 0.2[mm])
L_1 = 200[mm], L_2 = 50[mm], L_3 = 270[mm], L_4 = 350[mm]
그림 2. Mesh 형 Neolamp 의 개략도



① 전극부 ② 원료가스 주입구 ③ 원료가스 및 오존화가스 배출구
④ 냉각공기 주입구 ⑤ 냉각공기 배출구
L_1 = 500[mm], L_2 = 350[mm], L_3 = 210[mm], L_4 = 150[mm]
그림 3. Neolamp 체임버의 단면도 및 측면도



① 원료가스 공급장치(산소) ② 유량계 ③ Neolamp ④ 전원장치
⑤ 오존 측정기(기상용) ⑥ 오실로스코프 ⑦ 컴퓨터 ⑧ 프린터
그림 4. Neolamp 의 측정계 및 배치도

또한 그림 4 ④의 전원장치는 펄스형의 Ignition transformer(IT)를 사용하였다. 이때 IT 로 부터 출력되는 전압은 Neolamp 의 점등개수(N) 에 따라 각각 독립적으로 공급하였으며, 그림 4의 ⑥, ⑦ 및 ⑧과 같이 방전전압 및 전류파형을 오실로스코프 LeCroy 9350AL, 500 [MHz], 1[Gs/s]), 퍼스날 컴퓨터(CPU 80586) 및 프린터를 사용하여 측정 및 출력하였다.

3.2 실험방법

Neolamp 의 오존생성특성을 연구검토하기전 전원장치의 특성을 조사하고자 Neolamp 의 전원장치로 사용된 IT 에 Neolamp 를 장착하지 않고 입력전압(V_1)이 150, 170, 190 및 210[V]일때, IT 의 2개단자에서 180[°]의 위상차를 가지면서 각각 13.8, 14.7, 16.0 및 17.0[kV]의 전압이 출력되어 Neolamp 의 전극간에는 27.6, 29.4, 32.0 및 34.0[kV]의 V_2 가 인가하는 것으로 나타났다.

Neolamp 의 나선형 외부전극의 간격(G)을 0.5, 1 및 2[cm]로 하고 관외부에 200[mm]범위내에서 n 회로 감았을 때, 각각의 G 에서 방전특성 및 오존생성특성을 연구검토하고저 원료가스의 Q 가 2[ℓ/min]에서 V_2 를 가변시키면서 방전전압(V_d), 방전전류(I_d), O_{3gcon} 및 오존발생량(O_{3g})를 측정 및 계산하였다.

또한 O_{3gcon} 을 향상시키기 위하여 Neolamp 나선형 외부전극대신에 Mesh 형 외부전극을 유리관 외부에 길이 200[mm]가 되도록 구성하여, Q 가 2[ℓ/min]에서 V_2 를 가변시키면서 Neolamp 의 V_d, I_d, O_{3gcon} 및 O_{3g} 를 측정 및 계산하였다.

그리고 Mesh 형 Neolamp 의 오존발생기로써의 제성능을 연구하기 위해 Neolamp 의 점등개수(N)가 각각 1, 2 및 3개일 때, Q 와 V_2 를 가변시키면서 O_{3gcon} 및 O_{3g} 를 측정 및 계산하였다. 이때, O_{3gcon} 및 O_{3g} 는 매회 측정시 각각 5회 측정 및 계산하여 그 평균치를 채택하였으며, 각각의 전압치 및 전류치는 실효치를 채택하였다.

또한 환경개선분야로의 적용성을 연구하기 위하여 발생된 오존화가스를 이용하여 미생물(*Escherichia coli, E.coli*)에 대한 살균특성을 조사하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 나선형 Neolamp 의 방전특성 및 오존생성특성

그림 5는 Q 가 2[ℓ/min]일 때, Neolamp 나선형 외부전극의 형태변화에 따른 방전특성을 연구하고저 나선형 외부전극의 G 를 각각 0.5, 1 및 2[cm]로 하고 그 길이가 200[mm]가 되도록 n 회(각각 32, 16 및 8회)로 감은 후, G 와 V_2 의 변화에 따른 V_d 및 I_d 를 측정한 것이며, 그림 6 및 사진 1은 그림 5에서 V_d 가 10.772[kV], I_d 가 3.057[mA] 및 G 가 0.5[cm]인 경우 V_d, I_d 파형 및 Neolamp 의 외관을 각각 나타낸 것이다.

그림 5에서와 같이 각 G 에서 V_2 가 상승할수록 V_d 및 I_d 가 상승하는 것으로 나타났으며, 동일한 V_2 에서 G 가 짧아질수록 V_d 는 저하하고, I_d 는 상승하는 결과로 나타났다.

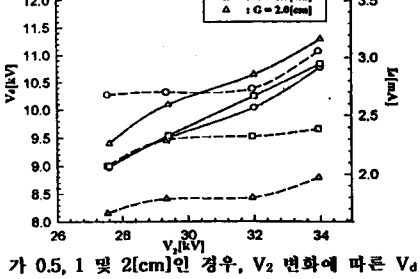
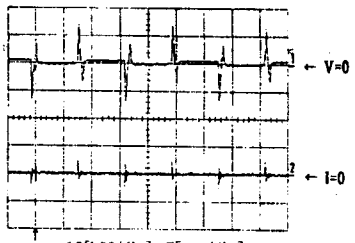


그림 5. G 가 0.5, 1 및 2[cm]인 경우, V_2 변화에 따른 V_d 및 I_d 특성



10[kV/div], 5[ms/div]

그림 6. V_d = 10.772[kV], I_d = 3.057[mA] 및 G = 0.5[cm]인 경우, V_d 및 I_d 파형

사진 1. V_d = 10.772[kV], I_d = 3.057[mA] 및 G = 0.5[cm]인 경우, Neolamp 의 외관

그림 7은 그림 5의 경우에서 O_{3gcon} 를 측정한 것으로써 각 G에서 V_2 가 상승할수록 O_{3gcon} 이 상승하는 것으로 나타났으며, 동일한 V_2 에서 G 가 짧아질수록 O_{3gcon} 이 상승하는 것으로 나타났다.

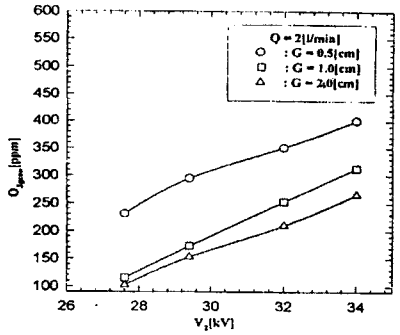


그림 7. G = 0.5, 1 및 2[cm]인 경우, V_2 변화에 따른 O_{3gcon} 특성

따라서 이러한 결과를 통하여 G 를 짧게하는 것이 동일한 V_2 에서의 V_d 를 저하시킴과 동시에 유전체·표면과 나선형 외부전극사이의 방전이 촉진되어 I_d 를 상승시킨 결과 오존생성의 제특성을 향상시키는데 좋은 방법이라는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 Mesh 형 Neolamp 의 방전특성 및 오존생성 특성

Neolamp 의 외부전극으로써 G 를 짧게하는 것이 오존생성의 제특성을 향상시키는 좋은 방법이라는 것을 확인하므로서 나선형 외부전극 대신에 길이 200[mm]의 Mesh 형 전극을 사용하여 Neolamp 에서 無聲放電이 발생할 때, 방전특성 및 오존생성특성을 검토하였다.

그림 8은 Mesh 형 Neolamp 의 경우, Q 가 2[ℓ/min]에서 V_2 변화에 따른 V_d 및 I_d 를 나타낸 것이다. 그 결과 V_2 가 상승함에 따라서 V_d 및 I_d 가 상승하는 것으로 나타났다.

또한 그림 9 및 사진 2는 그림 8에서 V_d = 11.92[kV] 및 I_d = 3.750[mA]인 경우의 V_d, I_d 파형 및 Neolamp 의 외관을 각각 나타낸 것이다.

그림 10의 (a) ~ (d)는 Q, V_d 및 N 변화에 따른 O_{3gcon} 및 O_{3g} 특성을 나타낸 것이다. 각 그림에서 동일한 Q 에서 N 이 증가할수록 O_{3gcon} 이 상승하는 것으로 나타났으며, 동일한 N 에서 Q 가 감소할수록 O_{3gcon} 이 상승하는 것으로 나타났다. 그 결과 Q 가 2[ℓ/min]이고 N 이 3인 경우 그림 10의 (a) ~ (d) 에서 각각 611, 742, 921 및 1059[ppm]의 최대 O_{3gcon} 을 얻을 수 있었다. 그리고 동일한 N 에서 V_d 가 상승할수록 O_{3gcon} 이 상승하는 것으로 나타났다.

또한 N 이 1인 경우는 Q 가 5[ℓ/min]일 때 최대 O_{3g} 가 나타나고, N 이 2 및 3인 경우는 Q가 10[ℓ/min]인 경우에 각각 최대 O_{3g}를 얻을 수 있었으며, 동일한 Q 에서 N 이 증가할수록 O_{3g} 가 상승하는 것으로 나타났다. 그 결과 Q가 10[ℓ/min]이고 N이 3인 경우, 그림 10의 (a) ~ (d)에서 각각 163.5, 209.3, 268.1 및 310.5[mg/h]의 최대 O_{3g} 를 얻을 수 있었다.

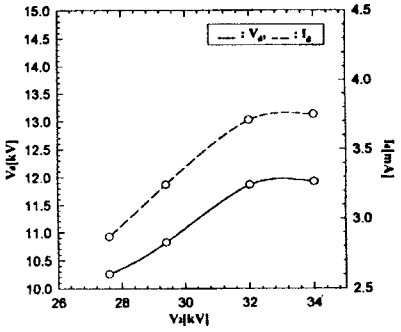
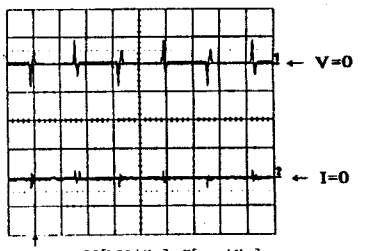


그림 8. Mesh 형 Neolamp 의 V_2 변화에 따른 V_d 및 I_d 특성



20[kV/div], 5[ms/div]

그림 9. V_d = 11.92[kV] 및 I_d = 3.750[mA]인 경우의 V_d 및 I_d 파형

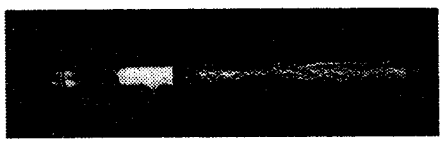
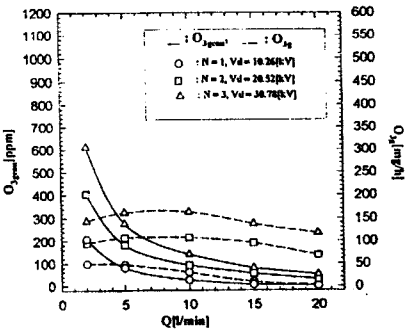
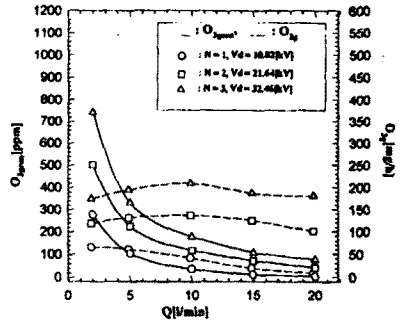


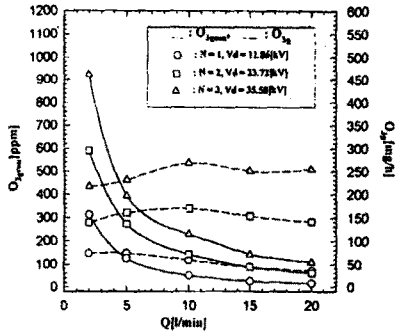
사진 2. V_d = 11.92[kV] 및 I_d = 3.750[mA]인 경우, Neolamp 의 외관



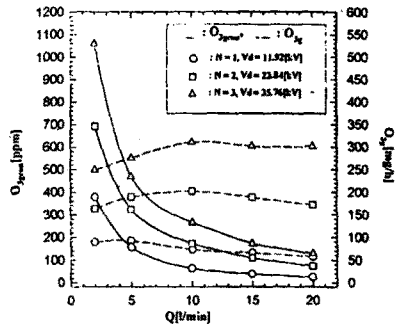
(a)



(b)



(c)

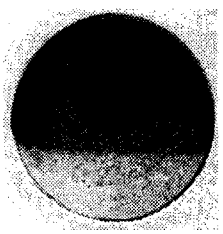


(d)

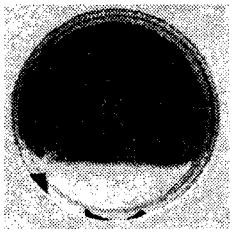
그림 10. Q, V_d 및 N 의 변화에 따른 O_{3gcon} 및 O_{3g} 특성

4.3 대장균(*Escherichia coli*) 살균특성

사진 3은 Neolamp 로 부터 발생한 오존화 가스를 증류수에 용해시켜 오존수의 농도($O_{3\,t\,con}$)가 1.30[mg/ℓ]인 경우, 液相에 존재하는 대장균(*Escherichia coli, E.coli*)을 오존수에 반응시켰을 때의 외관을 나타낸 것이다. 그 결과 반응시간(t)이 5초만에 97[%]이상의 살균특성을 얻을 수 있었다.



(a) 반응전(균수 : 2.75×10^5[cells/mℓ])



(b) 반응후(균수 : 2.70×10^3[cells/mℓ])

사진 3. $O_{3\,t\,con}$ 이 1.30[mg/ℓ]인 경우, *E.coli* 의 살균특성 외관

5. 결 론

네온방전관의 형태와 무성방전형의 원리를 응용한 네온방전관형 오존발생기(Neolamp)를 설계·제작하여 방전특성 및 오존생성특성을 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Neolamp 의 입력전압(V_2)에 비례하여 방전전압(V_d), 방전전류(I_d) 및 오존생성농도(O_{3gcon})이 상승하였다.
2. 나선형 외부전극의 간격(G)가 좁아질수록 V_d 는 저하하고 I_d 는 상승하였으며, O_{3gcon} 이 상승하였다.
3. 원료가스의 유량(Q)이 작을수록 O_{3gcon} 이 상승하였다.
4. Neolamp 의 점등개수(N) 및 V_d 가 증가할수록 O_{3gcon} 및 오존발생량(O_{3g})이 상승하였다.
5. 대장균(*Escherichia coli, E.coli*)에 대한 살균특성을 조사한 결과 오존수의 농도($O_{3\,t\,con}$)가 1.30[mg/ℓ]인 경우, 오존수와 대장균의 반응시간(t)이 5초만에 97[%]이상의 살균특성을 얻을 수 있었다.

이상의 결과를 이용하여 설계·제작한 Neolamp 는 (*Escherichia coli, E.coli*), 호수의 부영양화 대책, 의료요법, NO_x 및 SO_x 제거, 섬유표백 등의 환경개선분야에 적용가능하리라고 사료된다.

참고문헌

[1] 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(硏), 學術發表會論文集, pp.32 ~ 35, 1992

[2] 增田閃, " オゾンで魚を育てる ", 114卷10號, pp.649 ~ 653, 1994

[3] 宗宮功, " オゾンの 應用 ", 電學論D, 114卷4號, pp.362 ~ 369, 平成6年

[4] 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

[5] 加藤克之, " 發生器とその利用 ", 工業用水, 第34戶, pp.18 ~ 20, 1987

[6] S.G.Kim, H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, " A study on the Discharge Characteristics in Flowing Gas with Variation of Temperature ", KIEE, Vol.42, NO.4, 1993

[7] H.J.Song, S.K.Kim, K.S.Lee and D.I.Lee, " A study on the High Voltage Nozzle Type Ozonizer ", 11th International Conference on Gas Discharge and Their Appliications. Vol. 2, pp. 320 ~323, 1995

[8] 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

[9] 石井啓夫, " 放電によるオゾンの發生機構と裝置 ", 三琇書房, pp.31 ~ 63, 昭和61年

[10] 石井啓夫, " オゾン利用の新技術 ", 三琇書房, pp.152 ~ 153, 昭和 61年