

오존/UV/H₂O₂를 이용한 몰리브덴(Mo) 용해 반응에 따른 청정기술 개발에 관한 연구

김재우 · 홍종순* · 신대윤**

경원전문대학 환경공학과 · 동남보건대학 환경위생과* · 조선대학교 환경공학과**

A clean technology development using the molybdenum dissolution reaction with hydrogen peroxide/UV/Ozone

Jae-Woo Kim · Jong-Soon Hong · Dae-Yewn Shin**

Department of Environmental Engineering, Kyungwon Junior College,

Department of Environmental Sanitation, Dong Nam Health College,*

*Department of Environmental Engineering, Chosun University**.*

Abstract

In the tungsten industry as light source material, tungsten filament which used as light source material could form after molybdenum wire which used as the center supporter for coil shape tungsten wire was removed.

This process uses hydrogen peroxide, Ozone and UV(Ultraviolet)Lamp, for the quantity of hydrogen peroxide decrease.

The results were as follows :

1. An incandescent electric Lamp type : FL(FL-20) type : A standard of commodity

(P.W. : 19 ± 1.0 mg, C.R. : 4.5 ± 0.3 Ω)

- 1) Only hydrogen peroxide treated ; Reaction Time : 65Min., P.W. : 18.60mg, C.R. : 4.60Ω
- 2) Ozone/Ultraviolet/ 70% of hydrogen peroxide ; Reaction Time : 64Min., P.W. : 18.61mg, C.R. : 4.61Ω

2. A Fluorescent Lamp Type : GLS(GLS-40) Type : A standard of commodity

(P.W. : 11.8 ± 0.2 mg, C.R. : 65 ± 1.5 Ω)

- 1) Only hydrogen peroxide treated ; Reaction Time : 72Min., P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.62Ω
- 2) Ozone/Ultraviolet/ 70% of hydrogen peroxide ; Reaction Time : 71Min., P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.63Ω

I. 서 론

빛을 만들어 내는 소재로써 필라멘트(filament)를 형성하는 텅스텐선(Tungsten wire)은 그 길이

와 굵기에 따라 저항값이 달라지며, 이것으로 인하여 빛의 강약을 조절할 수 있다. 이러한 텅스텐선을 보다 작은 형태로 제작하기 위하여 텅스텐선을 코일형태로 만드는데, 이러한 코일형 텅스텐선을

만들기 위하여는 중심지지대로 몰리브덴선(Molybdenum wire)을 사용하였다. 이 중심지지대로 사용한 몰리브덴선은 다시 제거되어야 코일형 텅스텐선을 만들 수가 있다. 이때 몰리브덴선을 제거하기 위하여 지금까지는 질산, 염산, 황산을 혼합한 혼산을 이용하여 왔다.¹⁾ 이렇게 혼산으로 용해하는 방법을 질산(혼산)용해법이라 하고, 이때 발생하는 문제점은 여러 가지가 있다. 첫 번째로 용해 과정에 혼산증기가 발생하여 작업을 어렵게 만들 뿐만 아니라 작업자 인체에 직접적인 피해를 주며, 두 번째 대기오염물질이 발생함으로 이를 제거하기 위한 처리설비가 필요하고, 세 번째 처리가 곤란한 악성 폐수가 발생하여 별도의 처리설비가 필요하다. 이런 모든 문제점을 해결하기 위하여 중심지지대로 사용한 몰리브덴선을 용해하기 위하여 현재 연구중인 과산화수소 용해법이 있는데^{2,3)}, 이는 과산화수소가 촉매에 의하여 빠르게 분해될때, 발생하는 과산화소의 산화력을 이용하는 방법이다. 그러나 이러한 방법에서 주로 사용되는 과산화수소의 사용량을 줄이기 위하여 본 연구에서는 용존 오존이 자외선에너지에 의하여 광분해되는 초기반응 결과로 과산화수소가 중간물질로 생성된다^{3,4,5)}

는 이론을 근거로 UV램프가 부착된 반응기에 오존을 투입하여 중심지지대로 사용한 몰리브덴선을 용해시키는 오존용해법을 이용하였다^{6,7,8)}. 특히 (주)세한 텅스텐에서 가공된 시료를 본 연구 시료로 이용하여 사용 가능한 필라멘트로 생산하기 위하여 평가 방법으로 텅스텐선의 P.W.(Piece weight)와 저항값(C.R.)을 선택하였다.

II. 실험

1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 반응시스템의 모식도를 나타낸 것이다. 반응기는 직경12cm × 높이 30cm (총 유효용량 3ℓ)이며, 아크릴제질로 제작되었다. 또 반응기 내부에는 UV램프를 설치하였으며, 반응기 내부에 이상적인 교반을 위하여 반응기 하단에 다공성 산기관을 설치하였다. 오존발생기는 건조공기를 이용하여 오존을 발생시키는 장치를 제작하여 사용했다. 반응기에서 미 반응후 배출되는 배기가스(오존포함)는 반응기 상부에 위치한 배기 가스관을 거쳐 KI흡수액에 포집한 후 배출하였다. 이 모든 작업을 후드안에서 실시하였다.

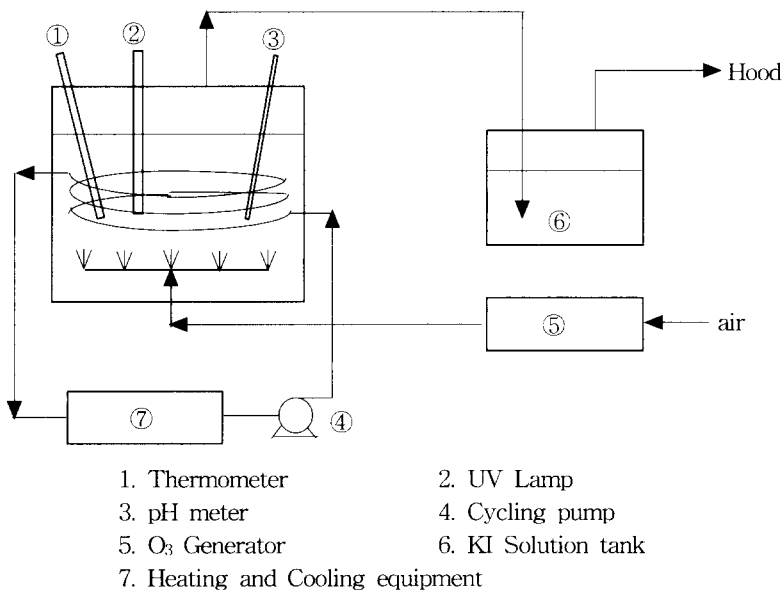


Fig. 1. Schematic diagram of molybdenum dissolution system.

2. 실험조건

본 연구에서는 오존발생장치와 UV램프가 설치된 반응기에서 공업용 과산화수소(H₂O₂ : 35%), 초순수(H₂O)와 촉매(황산 제1철, 황산 제2철)를 사용하였으며, 중심지지대로 사용한 물리브덴선은 용해시킬 때 배열반응을 억제하기 위하여 온도조절이 가능한 냉각장치를 설치하였고, 반응기 내 완전혼합을 위하여 공기를 투입할 수 있는 공기투입장치를 설치하여 이곳에서 용해실험을 하였다.

광명소재인 필라멘트를 생산하기 위하여 텅스텐선을 코일형으로 형성 시키는데 코일형 공정에서 1차 코일형시료(중심지지대로 사용한 물리브덴선 위에 1차로 코일형 텅스텐선), 2차 코일형시료(1차 코일형 텅스텐선을 다시 보다 굵은 물리브덴선 위에 코일형으로 만든 텅스텐선)를 구분하여 실험을 하였으며, 시료를 백열전구에 사용되는 FL(Fluorescent Lamp)형과 형광등에 사용되는 GSL(General Standard Lamp)형으로 구분하여 실험하였다. 특히 상품화(실용화)하기 위하여 중심지지대로 사용한 물리브덴선을 용해 할 때 필라멘트선인 텅스텐선에 손실이 없도록 하는데 본 연구에 중점을 두었다.

3. 실험분석방법

3-1. 물리브덴 함량 분석

중심지지대로 사용한 물리브덴선을 용해한 후 코일형 텅스텐선의 손실량이 없는가를 알아보기 위하여 필라멘트의 저항값(OHMS)을 Mertimeter(HC-260TR)를 사용하여 측정하였으며, 필라멘트의 무게를 알아보기 위하여 Balance(LIBROR AEG-200)를 사용하였다. 또한 용해 실험을 한 후 배출되는 공정수에서 물리브덴을 회수한 처리수의 물리브덴의 함량을 측정하기 위하여 원자흡광 분광분석법(AAs : Atomic Absorption Spectrophotometry)을 이용하여 측정하였다. 이를 공해공정 시험법에 의거하여 AAs로 측정하기 전에 전처리로써 "회화에 의한 분해법"으로 처리한 후 "디티존 MIBK법"을 거쳐 AAs로 공정수의 물리브덴의 함량을 알아보았다.

3-2. 오존발생량 측정

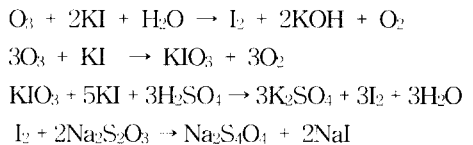
밀폐된 용기에 2% KI용액 1ℓ를 채운 후 sampler를 통해 오존을 포함한 공기의 유량을 확인하면서 정확히 5분간 KI용액에 접촉시킨다. 공기속에 포함된 오존이 KI용액을 통과하면 요오드가 유리되어 노란색으로 변색되면서 점점 짙어진다. 정확히 5분을 통과시킨 후 2,000ml로 하여 황산을 가해 pH를 1~2로 맞춘 뒤 0.1N 티오황산나트륨으로 적정한다. 색깔이 얼어지기 시작하면 1%의 전분용액을 2~3ml 넣고, 계속 적정하여 청색에서 무색이 될 때가 종말점이며, 소비된 티오황산나트륨량으로부터 오존발생량을 계산한다.

* 오존발생량 계산

$$O_3(\text{mg/hr}) = 0.1N \cdot Na_2S_2O_3 \text{ 소비량} \times \text{factor} \times 2.4 \times 12$$

여기서 : 2.4 ; 0.1N · Na₂S₂O₃ ml = O₃ 2.4mg
12 ; 5분을 60분으로 환산

* 오존 측정에 관한 반응식



III. 결과 및 고찰

광명소재로 사용되는 필라멘트를 생산하기 위하여 중심지지대로 사용한 물리브덴선을 제거하여야 코일형 텅스텐선이 되고, 이는 보다 성능이 뛰어난 광명소재가 될 수 있다. (주) 새한텅스텐에서 가공한 코일형 텅스텐선은 크게 2가지 형태(백열전구용 : FL형, 형광등용 : GLS형)로 분류되는데, 본 실험에서는 2가지 형태를 대표하는 종류를 선정하여 각각을 실험하였다.

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 1차 코일형으로 형성되어 있는 배열전구용인 FL형을 대표하는 시료를 용해실험한 결과이다.

중심지지대로 사용한 물리브덴선을 용해하기 위하여 반응시간에 대한 반응온도와 과산화수소의 추가투입량을 측정된 결과를 Fig. 2에 나타낸 것이다.

Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 초기 반응온도는 15℃에서 출발하였으며, 반응이 시작하면 물리브덴

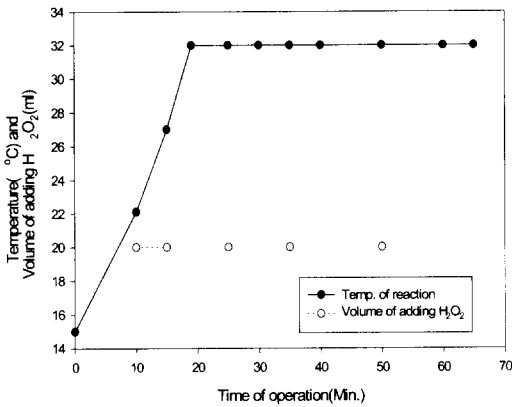


Fig. 2. Time of operation vs. temperature and volume of adding H₂O₂.

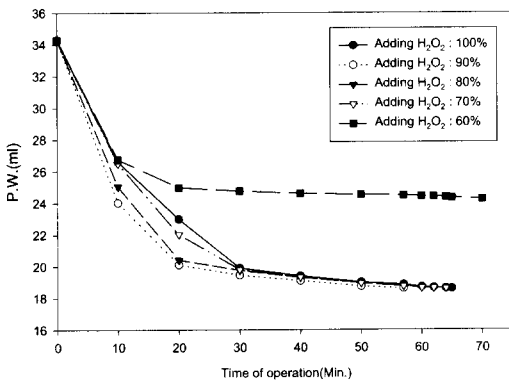


Fig. 3. Time of operation vs. P.W. for the volume of adding H₂O₂.

이 용해되면서 발열반응이 일어나기 때문에 자체 반응열에 의하여 온도가 상승한다. 따라서 온도는 반응시간이 20분 경과 후 32°C에 도달하였으며, 이 온도 보다 더 높게 올라가면 반응속도는 빠르게 진행되지만 필라멘트로 사용되는 텅스텐선에 손실을 가져다 주기 때문에 32°C로 반응이 끝날때까지 유지하였다. 이렇게 반응온도를 유지하기 위하여 반응기 내에 설치된 냉각수와 추가로 과산화수소를 투입하였으며, 과산화수소의 투입량을 줄이기 위하여 과산화수소만 투입하여 용해한 실험을 100%라고 하고, 이를 기준하여 90%, 80%, 70%, 60%로 과산화수소 투입량을 줄이고, 이들은 오존과 UV램프가 설치된 반응기에서 실험한 결과를

Fig. 2에 나타낸 것과 같이 같은 시점에서 투입하여 비교하였다.

몰리브덴을 용해하는데 있어서 과산화수소량을 줄이기 위하여 오존과 UV램프를 설치된 반응기에서 용해반응시간에 따른 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게인 P.W.를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 나타낸 것과 같이 과산화수소만 추가투입되어 몰리브덴을 용해한 실험(과산화수소만 이용 : 100%)은 반응이 시작한 후 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 65분 소요되었으며, P.W.는 18.60mg으로 상품가치가 있는 규격(P.W. : 19±1.0mg)이었다. 그리고 과산화수소가 90% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 57분 소요되었으며, 이때 P.W.는 18.61mg이었다. 이는 오존과 UV선에 의하여 생성되는 중간생성물이 과산화수소의 량과 오존 자체의 발생기 산소에 의한 효과인 것으로 사료된다. 과산화수소가 80% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 62분 소요되었고, 이때 P.W.는 18.62mg이었다. 과산화수소가 70% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 64분 소요되었으며, 이때 P.W.는 18.61mg이었다. 과산화수소가 60% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 반응시간이 70분 소요되었는데도 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 24.26mg이었다. 이들의 결과로써 오존과 UV선을 이용하여 몰리브덴을 용해하는 과정에서 과산화수소를 30%까지는 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

몰리브덴을 용해하는데 있어서 과산화수소량을 줄이기 위하여 오존발생기와 UV램프가 설치된 반응기에서 용해반응시간에 따른 텅스텐선의 저항값(C.R.)을 측정된 결과 Fig. 4와 같이 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 과산화수소만 추가투입되어 몰리브덴을 용해한 실험은 반응이 시작한 후 30분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 4.30Ω이었으며, 반응시간이 65분 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 4.60Ω으로 상품가치가 있는 규격(저항값 : 4.5±0.3Ω)이었다. 그리고 과산화

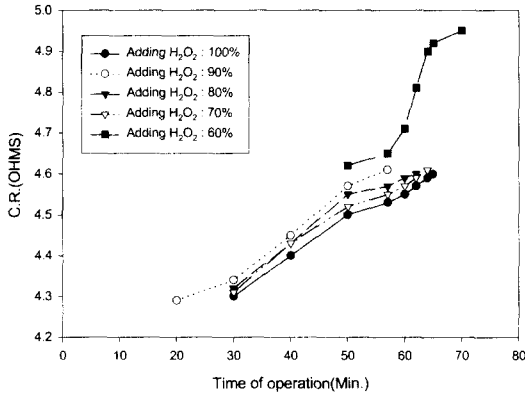


Fig. 4. Time of operation vs. C.R. for the volume of adding H₂O₂.

수소가 90% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 4.29Ω이었으며, 반응시간이 57분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 4.61Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 80% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 30분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 4.32Ω이었으며, 반응시간이 62분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 4.60Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 70% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 30분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 4.31Ω이었으며, 반응시간이 64분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 4.61Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 60% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 50분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 4.62Ω이었으며, 반응시간이 70분이 소요되었는데도 텅스텐선의 저항값이 4.95Ω이었다. 따라서 Fig. 3과 Fig. 4의 결과에 의하여 광명소재로 상품화가 가능한 필라멘트를 생산하기 위하여는 오존과 UV램프를 이용하여 기존의 과산화수소만으로 용해하는 것 보다 약 30%를 절약할 수 있음을 보여주었다.

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 2차 코일형으로 형성된 형광등용(GLS형)을 시료로 실험한 것이다.

중심지지대로 사용한 폴리브덴선이 1차 코일형과 2차 막대기형으로 형성된 폴리브덴선을 용해하기 위하여 반응시간에 대한 반응온도와 과산화수

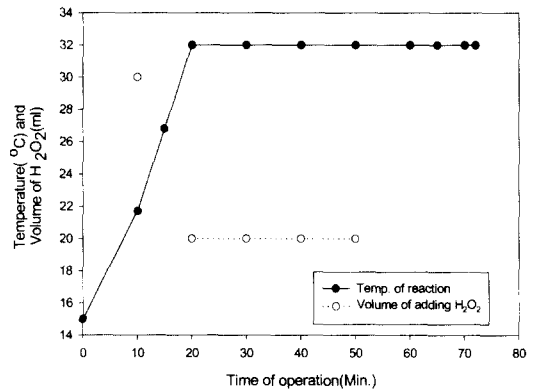


Fig. 5. Time of operation vs. temperature and volume of adding H₂O₂.

소의 추가 투입량을 측정할결과 Fig. 5와 같이 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 초기반응온도는 15°C에서 출발하였으며, 반응이 시작하여 19분 경과 후 32°C에 도달하였다. 앞에서 FL형을 용해 할 때와 마찬가지로 반응이 끝날 때 까지 32°C로 유지하였다. 이렇게 반응온도를 유지하기 위하여 반응기내에 설치된 냉각수와 추가로 과산화수소를 투입하였다. 본 실험에서 과산화수소의 투입량을 줄이기 위하여 과산화수소만 투입하여 용해한 실험을 100%라고 하고, 이를 기준하여 90%, 80%, 70%, 60%로 과산화수소를 줄이고, 이들은 오존과 UV램프가 설치된 반응기에서 실험한 결과를 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 같은 시점에서 투입하여 비교하였다.

폴리브덴을 용해하는데 있어서 과산화수소량을 줄이기 위하여 오존과 UV램프를 설치된 반응기에서 용해반응시간에 따른 텅스텐선과 남아있는 폴리브덴선의 무게인 P.W.를 측정할 결과를 Fig. 6에 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 과산화수소만 추가투입되어 폴리브덴을 용해한 실험은 반응이 시작한 후 20분 경과 되었을 때 텅스텐선과 남아있는 폴리브덴선의 무게가 12.12mg이었으며, 폴리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 72분 소요되었으며, P.W.는 11.90mg으로 상품가치가 있는 규격 (P.W. : 11.8±0.2mg)이었다. 그리고 과산화수소가

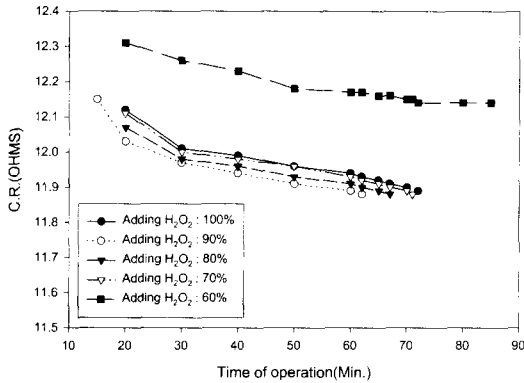


Fig. 6. Time of operation vs. P.W. for the volume of adding H₂O₂.

90% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분 경과 되었을 때 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 12.00mg이었으며, 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 62분 소요되었으며, P.W.는 11.88mg이었다. 이는 오존과 UV선에 의하여 생성되는 중간생성물이 과산화수소의 량과 오존 자체의 발생기 산소에 의한 효과인 것으로 사료된다. 과산화수소가 80% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분 경과 되었을 때 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 12.07mg이었으며, 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 67분 소요되었으며, P.W.는 11.88mg이었다. 과산화수소가 70% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분 경과 되었을 때 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 12.11mg이었으며, 몰리브덴선이 완전히 용해되는 반응시간이 71분 소요되었고, P.W.는 11.88mg이었다. 과산화수소가 60% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분 경과 되었을 때 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 12.31mg이었으며, 반응시간이 85분 소요되었는데도 텅스텐선과 남아있는 몰리브덴선의 무게가 12.14mg이었다. 이들의 결과로써 오존과 UV선을 이용하여 몰리브덴을 용해하는 과정에서 과산화수소를 30%까지는 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

몰리브덴을 용해하는데 있어서 과산화수소량을 줄이기 위하여 오존과 UV램프를 설치된 반응기에서 용해반응시간에 따른 텅스텐선의 저항값(C.R.)

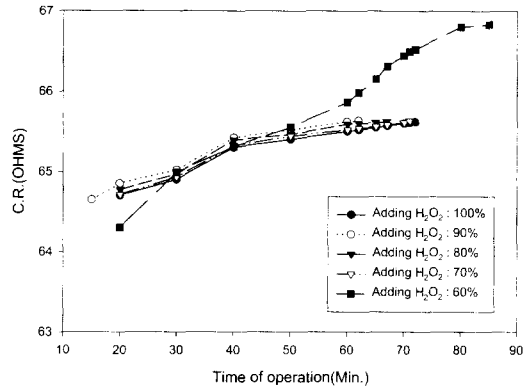


Fig. 7. Time of operation vs. C.R. for the volume of adding H₂O₂.

을 측정된 결과를 Fig. 7에 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 나타낸 것과 같이 과산화수소만 추가 투입되어 몰리브덴을 용해한 실험은 반응이 시작한 후 20분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 64.70Ω이었으며, 반응시간이 72분 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 65.62Ω으로 상품가치가 있는 규격(저항값 : 65±1.5Ω)이었다. 그리고 과산화수소가 90% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 15분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 64.65Ω이었으며, 반응시간이 62분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 65.62Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 80% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 64.77Ω이었으며, 반응시간이 67분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 65.62Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 70% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 64.71Ω이었으며, 반응시간이 71분이 소요되었을 때 텅스텐선의 저항값은 65.63Ω으로 상품가치가 있는 수치였다. 과산화수소가 60% 추가 투입되는 경우에는 반응이 시작한 후 20분이 경과 되었을 때 텅스텐선의 저항값이 63.30Ω이었으며, 반응시간이 85분이 소요되었는데도 텅스텐선의 저항값이 66.83Ω이었다. 따라서 Fig. 3과 Fig. 4의 결과에 의하여 광명소재로 상품화가 가능한 필라멘트를 생산하기 위하여는 오존과 UV램프를 이용

하여 기존의 과산화수소만으로 용해하는 것 보다 약 30%를 절약할 수 있음을 보여주었다.

3. 오존과 UV선을 이용하면 과산화수소의 양을 30% 까지 줄일 수 있다.

IV. 결 론

참 고 문 헌

코일형 텅스텐선을 생산하기 위하여 중심지대대로 몰리브덴선을 이용하는데, 이렇게 이용된 몰리브덴선은 용해시켜 텅스텐선과 분리시켜야 되는데, 이 과정 중 몰리브덴선을 용해시키는 작업으로 청정기술인 과산화수소 용해법을 이용하고, 이때 사용되는 과산화수소의 양을 줄이기 위하여 오존과 UV램프가 설치된 반응기에서 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 백열전구용 FL(FL-20)형 : 상품화 규격(P.W. : 19±1.0mg, C.R. : 4.5±0.3Ω)
 - 1) 과산화수소만으로 처리시 ; 반응완료시간 65분 소요, 이때 P.W. : 18.60mg, C.R. : 4.60Ω
 - 2) 오존/UV선/과산화수소 90% 처리시 ; 반응완료시간 57분 소요, 이때 P.W. : 18.61mg, C.R. : 4.61Ω
 - 3) 오존/UV선/과산화수소 80% 처리시 ; 반응완료시간 62분 소요, 이때 P.W. : 18.62mg, C.R. : 4.60Ω
 - 4) 오존/UV선/과산화수소 70% 처리시 ; 반응완료시간 64분 소요, 이때 P.W. : 18.61mg, C.R. : 4.61Ω
2. 형광등용 GLS(GLS-40)형 : 상품화 규격(P.W. : 11.8±0.2mg, C.R. : 65±1.5Ω)
 - 1) 과산화수소만으로 처리시 ; 반응완료시간 72분 소요, 이때 P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.62Ω
 - 2) 오존/UV선/과산화수소 90% 처리시 ; 반응완료시간 62분 소요, 이때 P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.62Ω
 - 3) 오존/UV선/과산화수소 80% 처리시 ; 반응완료시간 62분 소요, 이때 P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.62Ω
 - 4) 오존/UV선/과산화수소 70% 처리시 ; 반응완료시간 71분 소요, 이때 P.W. : 11.88mg, C.R. : 65.63Ω

1. 이시가와 미사오, "관구용코일 필라멘트의 몰리브덴심선의 용해방법", 대한민국 특허청, 특허공보 제528호, 공고번호 80-1407, 1980.
2. ムタ・ミコスザキ・フ, "モリブデンの選擇溶解方法", 日本國 特許廳(JP), 特許公報(B2), 平1-58260, 公開昭 58-126939, 1989.
3. Glaze, W.H., "Pilot scale evaluation of photolytic ozonation for trihalomethane precursor removal", Report of cooperative agreement CR-808825, U.S. Environmental protection agency, Municipal environmental research laboratory, Cincinnati, OH, June. 1984.
4. Peyton. G.R. and Glaze, W.H., "Mechanism of photolytic ozonation", In photochemistry of environmental aquatic systems, R.G. Zika & W.J. Cooper, Eds., ACS symposium series 327, pp.76~88.(Washington, DC : Am. Chem. Soc., 1986).
5. Taube, H., "Photochemical reactions of ozone in solution", Trans. Faraday Soc., 53 : 656, 1957.
6. Edgar W. Harlan, Jeremy M. Berg, and R. H. Holm, "Thermodynamic Fitness of Molybdenum (IV, VI) Complexes for Oxygen Atom Transfer Reactions, Including Those with Enzymatic Substrates", J. Am. Chem. Soc. 108, 6992-7000, 1986.
7. Joseph Topich and James T. Lyon, III, "Ligand Control of cis-Dioxomolybdenum(VI) Redox Chemistry : Kinetic and Activation parameter Data for Oxygen Atom Transfer", Inorg. Chem. 23, 3202-3206, 1984.
8. 강원준, "오존, 과산화수소, UV를 이용한 고급산화처리 공정의 kinetic에 관한 연구", J. of KSEF Vol. 15. No. 2, pp. 501~510, 1993