

과산화수소를 이용한 몰리브덴(Mo) 용해 반응과 이에대한 청정기술 개발에 관한 연구

김재우 · 강수정* · 김남기*
경원전문대학 환경과학과 · 성균관대학교 화학공학과*

A clean technology development and the molybdenum dissolution reaction with hydrogen peroxide

Jae-Woo Kim · Soo-Jung Kang* · Nam-Ki Kim*
Department of Environmental Engineering, Kyungwon Junior College,
Department of Chemical Engineering, SungKyunKwan University.*

Abstract

The advantages of hydrogen peroxide dissolution method were no discharge of noxious matter when dissolution of molybdenum wire which used as the center supporter, reactions occur in room temperature.

The results were as follows :

1. In the FL/10-A type: Dissolution-reaction Time was 50Min., C.R.(Coil resistance) was 9.27Ω (St. : $9.2\pm 0.22\Omega$), P.W.(Piece weight) was 10.59mg (St. : $10.5\pm 0.26\text{mg}$).
In the FL/15-D type: Dissolution-reaction Time was 55Min., C.R. was 6.39Ω (St. : $6.38\pm 0.02\Omega$), P.W. was 16.7mg (St. : $16.5\pm 0.3\text{mg}$).
In the FL/20-H type: Dissolution-reaction Time was 45Min., C.R. was 4.7Ω (St. : $4.6\pm 0.3\Omega$), P.W. was 20.8mg (St. : $20\pm 1.5\text{mg}$).
In the FL/20-C type: Dissolution-reaction Time was 60Min., C.R. was 4.5Ω (St. : $4.6\pm 0.3\Omega$), P.W. was 19.8mg (St. : $19\pm 1.0\text{mg}$).
2. In the GLS-230/40-B type: Dissolution-reaction Time was 45Min., C.R. was 105.1Ω (St. : $104\pm 2.6\Omega$), P.W. was 6.37mg (St. : $6.3\pm 0.16\text{mg}$).
In the GLS-230/60-F type: Dissolution-reaction Time was 45Min., C.R. was 65.92Ω (St. : $65\pm 1.62\Omega$), P.W. was 11.91mg (St. : $11.8\pm 0.29\text{mg}$).

I. 서 론

1. 연구내용

백열전등, 형광등과 같은 조명등의 광원체로 이용되는 필라멘트(filament)는 텅스텐(W, tungsten)

을 약 0.05mm 정도의 굵기로 가공하여, Fig. 1과 같이 코일(Coil)형상의 텅스텐선(Tungsten Wire)인 필라멘트를 생산하기 위하여 몰리브덴(Mo.)선을 중심지지선(이하 심선, Mandrel wire라고 함)으로 권선(coiling)을 하고,

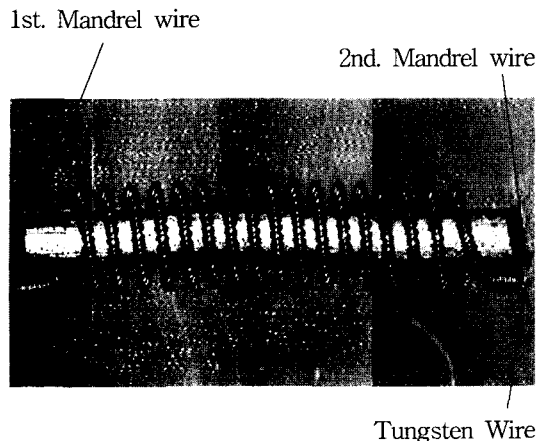


Fig. 1. Coiling of Tungsten filament

높은 온도에서 열처리 과정을 거쳐 일정 길이로 절단 후 심선으로 사용된 몰리브덴선을 용해·제거하여 광원으로 사용하고 있다.

이 몰리브덴 심선을 제거하는 방법으로는 질산, 염산, 황산을 혼합한 혼산을 이용하여 몰리브덴 심선을 용해하는 방법이 있으며, 이 방법을 혼산 용해법이라고 불려지고 있다. 이러한 기존의 용해방법은 다음과 같은 문제점을 유발한다.

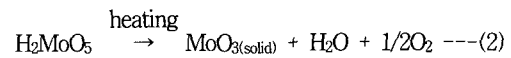
- ① 대기 및 수질오염물질이 발생함에 따라 방지 시설 운영비 가중으로 원가 상승 요인이 된다.
- ② 작업장의 작업 환경 문제를 초래한다.
- ③ 고가의 몰리브덴 회수가 불가하여 자원 낭비를 초래한다.

따라서, 현재 조명 업체의 산업화 발전 추세로는 고품질화, 저 가격, 환경 친화적 조건 등으로 변모되고 있으며, 이에 따라 각종 Lamp류의 핵심부품인 텅스텐 필라멘트에 대한 소비자의 요구도 고품질, 저 가격 및 환경 친화적 제조공법을 요구하고 있다. 그러므로 기존의 용해방법(혼산용해법)의 많은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 과산화수소 용해법이란 새로운 공법을 다음과 같이 제안한다. 과산화수소를 이용하는 것에 대한 것으로, 다음과 같은 화학 반응식을 근거로 한다.



중심지지대로 사용한 몰리브덴은 과산화수소에 의하여 용해될 때 많은 열을 발생하며, 이 열에 의

하여 반응이 더욱 빠르게 진행시킬 수 있으며, 이렇게 발생된 열에 의하여



고체 형태인 삼산화 몰리브덴으로 되어, 반응 후 유출되는 유출수에 포함되어 있는 몰리브덴을 간단하게 분리하여 처리한다면 사용된 몰리브덴도 재 이용할 수 있는 이론적 배경이 있다.

II. 실험

1. 실험장치

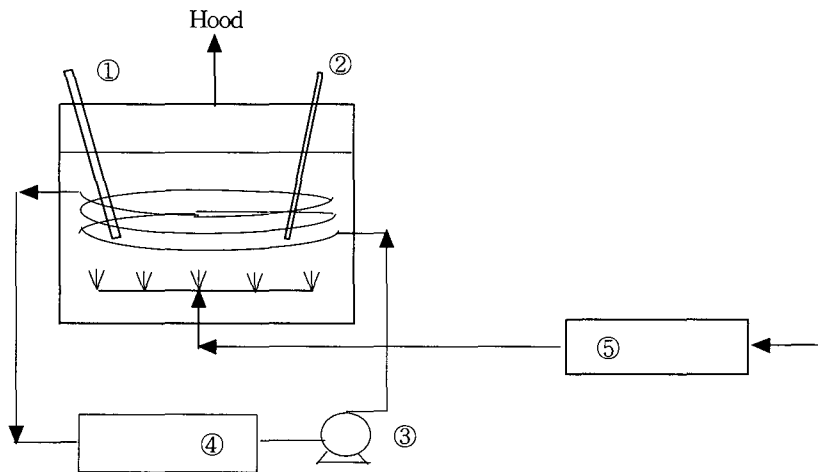
Fig. 2는 본 실험에 사용된 반응시스템의 모식도를 나타낸 것이다. 반응기는 직경12cm × 높이 30cm (총 유효용량 3ℓ)이며, 아크릴제질로 제작되었다. 또 반응기 내부에 이상적인 교반을 위하여 반응기 하단에 다공성 산기관을 설치하였다. 반응기에서 미 반응후 배출되는 배기가스는 반응기 상부에 위치한 배기 가스관을 거쳐 후드안으로 인도되어 실시하였다.

본 연구는 중심지지대로 사용한 몰리브덴선을 용해하기 위하여 과산화수소를 이용한 용해법(과산화수소 용해법)을 자동화 설비가 부착된 pilot 규모의 실험으로 연구하였다.

2. 실험조건

기술개발연구에 사용한 시료는 과산화수소(H₂O₂), 초순수(H₂O)와 이에 따른 촉매를 사용하였으며, 중심지지대로 사용한 몰리브덴선은 용해시킬 때 발열반응을 함으로써 갑작스러운 온도상승을 방지하기 위하여 냉각장치를 설치하여 이곳에서 용해실험을 하였으며, 이 때 발생되는 반응온도는 실온을 유지하였으며, 절대로 40℃이상 넘기지 않도록 노력하였다.

따라서 본 연구에서는 새한 텅스텐 공장에서 지금까지 많은 문제점을 가지고 있는 질산용해법으로 사용하여 생산해온 시료를 가지고 무공해법이라고 생각되는 과산화수소 용해법을 이용하여 보다 상품 가치가 높은 제품을 만들고자 실험실 규



- 1. Thermometer
- 2. pH meter
- 3. Cycling pump
- 4. Heating and Cooling equipment
- 5. Air compressor

Fig. 2. Schematic diagram of molybdenum dissolution system.

모로 실험을 하였다.

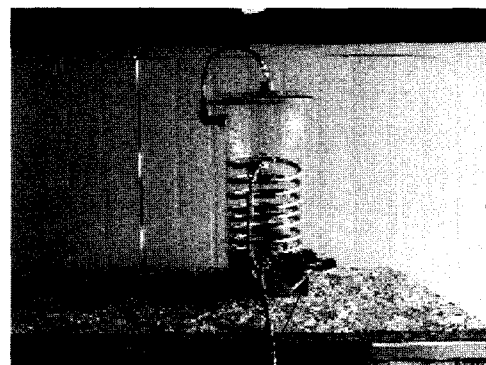
3. 실험분석방법

광명소재로 사용되는 필라멘트를 생산하기 위하여 Coil형의 텅스텐선을 만들기 위하여 중심지지대로 사용한 몰리브덴을 용해하여 제거한 후 'Coil형 텅스텐선이 광명소재로 사용할 수 있는 필라멘트선이 형성되었나'를 확인하기 위하여, 반응시간에 따

라 각 시료의 저항값(Ω)을 Mertimeter(HC-260TR)를 사용하여 측정하였으며, Balance(LIBROR AEG-200)를 사용하여 잔존무게를 측정하였으며, 용해실험을 하고 이곳에서 배출되는 공정수 중 녹아있는 몰리브덴의 양을 측정하기 위하여 원자흡광분광분석법(AAs : Atomic Absorption Spectrophotometry)을 이용하여 측정하였다. 이를 공해공정 시험법에 의거하여 AAs로 측정하기 전에 전처리로써



온도계 촉매투입 과수투입



용해액 농도 측정을 위한 센서 홀

Fig. 3. Main reactor of molybdenum dissolution system.

“회화에 의한 분해법”으로 처리한 후 “디타존-MIBK법”을 거쳐 AAs로 공정수의 폴리브덴의 함량을 알아보았다.

III. 실험결과

1. FL형 필라멘트에서 폴리브덴심선 용해

S사에서 제조한 코일형 텅스텐선 중 FL형(형광 등 용)인 필라멘트를 생산하기 위하여 중심지지대로 사용한 폴리브덴선을 용해한 결과 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같은 결과를 얻었다.

Fig. 4는 FL/10-A형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 폴리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 이 곳에서 용해반응의 초기조건은 순수 : 30.0 l, H₂O₂ : 3.0 l 그리고 촉매 : 90g을 투입하여, 20℃에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 32±1℃로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 폴리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 20분에 과산화수소를 1.65 l를 공급하고, 또 다시 27분 후 2.47 l를 공급하였으며, 38분 후 2.88 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 50분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.(Coil

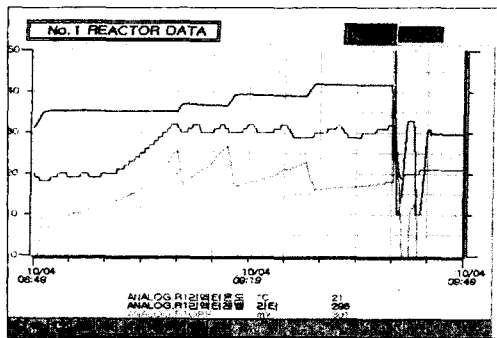


Fig. 4. Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for FL/10-A.

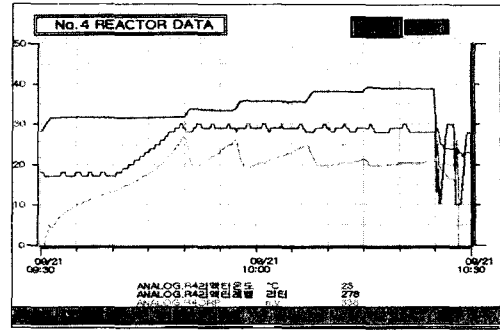


Fig. 5. Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for FL/15-D.

Resistance)값은 9.27Ω(표준 값 : 9.2±0.22Ω)이었고, 평균 P.W.(Piece weight)값은 10.59mg(표준 값 : 10.5±0.26mg)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 폴리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다. Fig. 5는 FL/15-D형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 폴리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수 : 27.0 l, H₂O₂ : 2.7 l 그리고 촉매 : 81g을 투입하여, 18℃에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 30±1℃로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 폴리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 20분에 과산화수소 2.23 l를 공급하고, 또 다시 27분 후 2.67 l를 공급하였으며, 37분 후 3.12 l를 공급하고, 45분 후 1.48 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 55분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 6.39Ω(표준값 : 6.38±0.02Ω)이었고, 평균 P.W.값은 16.7mg(표준 값 : 16.5±0.3mg)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 폴리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

Fig. 6은 FL/20-H형 필라멘트를 생산하기 위하

여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수 : 24.0 l, H₂O₂ : 3.6 l 그리고 촉매 : 107g을 투입하여, 18℃에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 30±1℃로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 18분에 과산화수소 2.78 l를 공급하고, 또 다시 23분 후 3.33 l를 공급하였으며, 31분 후 3.89 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 45분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 47Ω(표준 값 : 46 ±0.3Ω)이었고, 평균 P.W.값은 20.8mg(표준 값 : 20 ±1.5mg)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

Fig. 7은 FL/20-C형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 7에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수(H₂O) : 30.0 l, 과산화수소(H₂O₂) : 3.0 l 그리고 촉매 : 120g을 투입하여, 20℃에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 32 ±1℃로

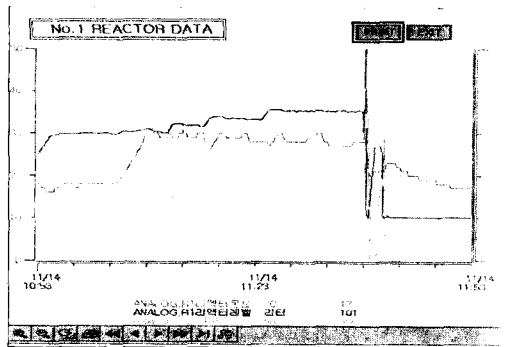


Fig. 6. Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for FL/20-H.

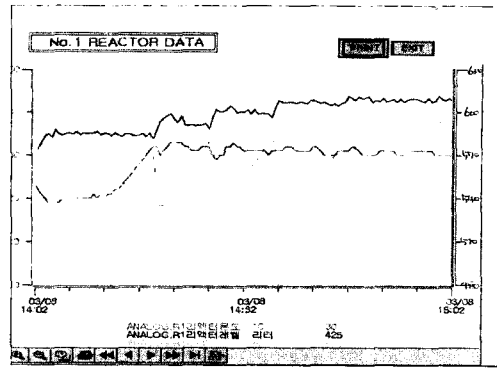


Fig. 7. Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for FL/20-C.

유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 17분에 과산화수소 2.05 l를 공급하고, 또 다시 25분 후 2.05 l를 공급하였으며, 34분 후 2.05 l를 공급하고, 44분 후 1.05 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 60분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 45Ω(표준 값 : 46 ±0.3Ω)이었고, 평균 P.W.값은 19.8mg(표준 값 : 19 ±1.0mg)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

2. GLS형 필라멘트에서 몰리브덴심선 용해

S사에서 제조한 코일형 텅스텐선 중 GLS형(백열전등 용)인 필라멘트를 생산하기 위하여 중심지 지대로 사용한 몰리브덴선을 용해한 결과 Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11과 같은 결과를 얻었다. Fig. 8은 GLS-230/40-ILD-058B형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다.

Fig. 8에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수(H₂O) : 17.0 l, 과산화수소(H₂O₂) : 2.6 l 그리고 촉매 : 77g을 투입하여, 15℃에서 반응을

시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 16분에 과산화수소를 1.11 l를 공급하고, 또 다시 22분 후 1.33 l를 공급하였으며, 30분 후 1.55 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 45분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 105.1Ω (표준 값 : $104 \pm 2.6\Omega$)이었고, 평균 P.W.값은 6.37mg(표준 값 : $6.3 \pm 0.16\text{mg}$)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 양의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

Fig. 9는 GLS-230/60-ILD-068F형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다.

Fig. 9에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수(H_2O) : 22.0 l, 과산화수소(H_2O_2) : 3.1 l 그리고 촉매 : 84g을 투입하여, 15°C 에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 15분에 과산화수소를 2.14 l를 공급하고, 또 다시 23분 후 2.50 l를 공급

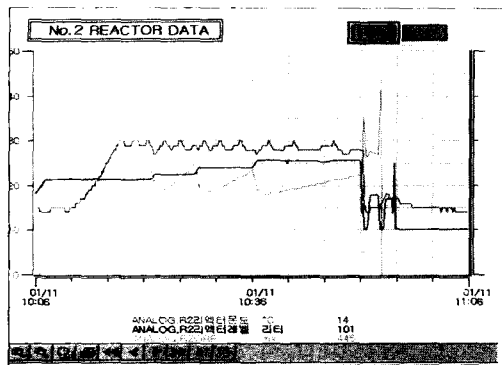


Fig. 8. Chart of the a solution, Temperature, ORP vs. time of operation in the solution for GLS-230/40-ILD-058B.

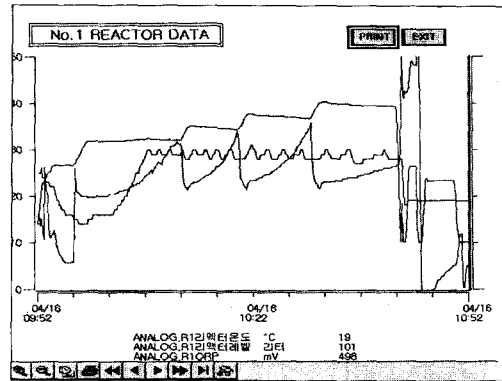


Fig. 9 Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for GLS-230/60-ILD-068F.

하였으며, 33분 후 2.86 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 45분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 65.92Ω (표준 값 : $65 \pm 1.62\Omega$)이었고, 평균 P.W.값은 11.91mg(표준 값 : $11.8 \pm 0.29\text{mg}$)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 양의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

Fig. 10은 GLS-230/100-ILD-069E형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 10에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수(H_2O) : 15.0 l, 과산화수소(H_2O_2) : 2.0 l 그리고 촉매 : 98g을 투입하여, 20°C 에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 10분 후 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 15분에 과산화수소를 1.27 l를 공급하고, 또 다시 21분 후 1.69 l를 공급하였으며, 30분 후 2.11 l를 공급하고, 43분 후 2.53 l를 공급하였으며, 60분 후 1.90 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 80분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 39.16Ω (표준 값 : $38.9 \pm 0.97\Omega$)이었고, 평균 P.W.값은 31.98mg(표준 값 : $31.6 \pm 0.79\text{mg}$)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로

용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

Fig. 11은 GLS-220/30-ILD-177A형 필라멘트를 생산하기 위하여 S사에서 가공된 중간제품의 몰리브덴심선을 용해함에 있어서 반응시간에 대한 용해액, 온도, ORP값을 나타낸 값이다. Fig. 11에서 나타낸 것과 같이 용해반응의 초기조건은 순수(H₂O) : 19 l, 과산화수소(H₂O₂) : 2.0 l 그리고 촉매 : 59g을 투입하여, 18°C에서 반응을 시작하였으며, 용해반응시 발열반응이므로 반응시간 5분 후 30 ± 1°C로 유지하기 위하여, 반응기 내부에 냉각수를 순환할 수 있도록 하였으며, 초기용해액으로는 몰리브덴이 완전히 용해되지 않으므로, 추가로 용해반응이 시작 후 17분에 과산화수소를 1.49 l를 공급하고, 또 다시 24분 후 1.87 l를 공급하였으며, 35분 후 1.14 l를 공급하였다. 그리고 반응 종료시간은 40분으로 하였다. 이렇게 용해반응을 한 결과 평균 C.R.값은 130.75Ω(표준 값 : 130.0 ± 1.95Ω)이었고, 평균 P.W.값은 3.61mg(표준 값 : 3.5 ± 0.52mg)이었다. 따라서 위와 같은 조건으로 용해반응을 한다면, 보다 많은 량의 몰리브덴을 용해하더라도 텅스텐선에 큰 영향 없이 양호한 필라멘트를 생산할 수 있다고 사료된다.

IV. 결 론

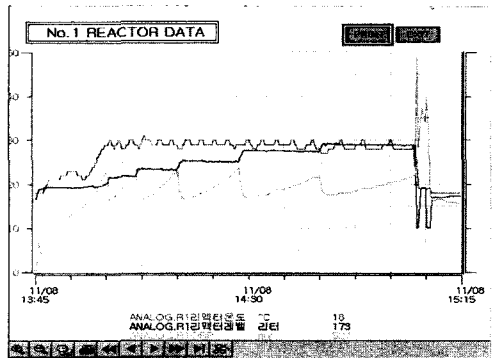


Fig. 10 Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for GLS-230/100-ILD-069E.

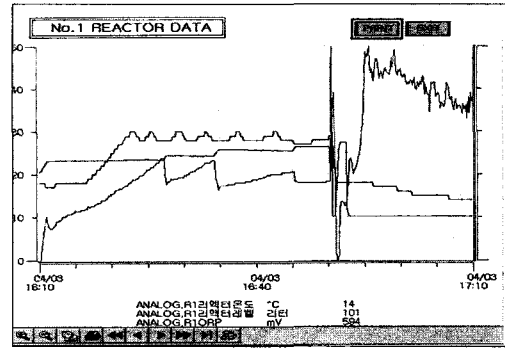


Fig. 11. Chart of the a solution, temperature, ORP vs. time of operation in the solution for GLS-220/30-ILD-177A.

광명소재로 사용되는 필라멘트를 생산함에 있어서 Coil형의 텅스텐선을 만들기 위하여 중심지지대로 사용된 몰리브덴선을 용해시키는 작업으로 과산화수소 용해법을 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. S사에서 가공한 FL형 필라멘트들을 Pilot 규모로 몰리브덴심선을 용해한 결과는 다음과 같다.
 - 가. FL/10-A형 가공제품은 용해반응시간은 50분이 소요되었으며, 평균 C.R.값이 9.27Ω(표준 값 : 9.2 ± 0.22Ω)이었고, 평균 P.W.값은 10.59mg(표준 값 : 10.5 ± 0.26mg)이었다.
 - 나. FL/15-D형 가공제품은 용해반응시간은 55분이 소요되었으며, 평균 C.R.값이 6.39Ω(표준 값 : 6.38 ± 0.02Ω)이었고, 평균 P.W.값은 16.7mg(표준 값 : 16.5 ± 0.3mg)이었다.
 - 다. FL/20-H형 가공제품은 용해반응시간은 45분이 소요되었으며, 평균 C.R.값이 4.7Ω(표준 값 : 4.6 ± 0.3Ω)이었고, 평균 P.W.값은 20.8mg(표준 값 : 20 ± 1.5mg)이었다.
 - 라. FL/20-C형 가공제품은 용해반응시간은 60분이 소요되었으며, 평균 C.R.값이 4.5Ω(표준 값 : 4.6 ± 0.3Ω)이었고, 평균 P.W.값은 19.8mg(표준 값 : 19 ± 1.0mg)이었다.
2. S사에서 가공한 GLS형 필라멘트들을 Pilot 규모로 몰리브덴심선을 용해한 결과는 다음과 같다.

- 가. GLS-230/40-B형 가공제품은 용해반응시간은 45분이 소요 되었으며, 용해결과 평균 C.R.값은 105.1Ω(표준 값 : 104±2.6Ω)이었고, 평균 P.W.값은 6.37mg(표준 값 : 6.3±0.16mg)이었다.
- 나. GLS-230/60-F형 가공제품은 용해반응시간은 45분으로 하였다. 용해결과 평균 C.R.값은 65.92Ω(표준 값 : 65±1.62Ω)이었고, 평균 P.W.값은 11.91mg(표준 값 : 11.8±0.29mg)이었다.
- 다. GLS-230/100-E형 가공제품은 용해반응시간은 80분으로 하였다. 용해결과 평균 C.R.값은 39.16Ω(표준 값 : 38.9±0.97Ω)이었고, 평균 P.W.값은 31.98mg(표준 값 : 31.6±0.79mg)이었다.
- 라. GLS-220/30-A형 가공제품은 용해반응시간은 40분으로 하였다. 용해결과 평균 C.R.값은 130.75Ω(표준 값 : 130.0±1.95Ω)이었고, 평균 P.W.값은 3.61mg(표준 값 : 3.5±0.52mg)이었다.

참 고 문 헌

1. Mark A. Harmer, Allan B. Soares, Andrew T. Thornton and A.Geoffrey Sykes, 『Kinetic Studies on the Oxidation of Trimeric Aquomolybdenum』, (Inorg. Chem. 1981, 20), p4155-4158.
2. E. A. Maatta and R. A. D. Wentworth, 『Reaction of MoO(S₂CNR₁R₂)₂ with Azide』, (Inorg. Chem. Vol. 17. No. 4. 1978.), p922-926.
3. Edgar W. Harlan, Jeremy M. Berg, and R. H. Holm, 『Thermodynamic Fitness of Molybdenum(IV, VI) Complexes for Oxygen Atom Transfer, Including Those with Enzymatic Substrates』, (J. Am. Chem. Soc. 1986. 108.), p6992-7000.
4. Melvin L. Larson and Fred W. Moore, 『Coordination Chemistry of Molybdenum Oxochlorides』, (Inorg. Chem. Vol. 5, No. 5, May 1966.), p801-805.
5. Fred W. Moore and Melvin L. Larson, 『Dialkyldithiocarbamate Complexes of Molybdenum(V) and Molybdenum(VI)』, (Inorg. Chem. Vol. 6, No. 5, May 1967.), p998-1003.
6. 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), p1989.
7. 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.)
8. Peyton. G.R. and Glaze, W.H., 『Mechanism of photolytic ozonation』, (Washington, DC : Am. Chem. Soc., 1986), p76~88
9. Taube, H., 『Photochemical reactions of ozone in solution』, (Trans. Faraday Soc., 53, 1957.), p656
10. J.M. Taylor, 『Some characteristics of ozene in relation to treatment』, (J. Institution of Water Engineers, 1947.)
11. 강원준, 『오존, 과산화수소, UV를 이용한 고급산화처리 공정의 kinetic에 관한 연구』, (J. of KSEE Vol. 15. No. 2, 1993), p. 501~510.