연 구 논 문

미세 용접된 BLU CCFL 전극의 유리비딩 열처리 온도에 따른 접합부 특성

김 광 수*,† · 김 상 덕* · 권 혁 동*

*순천향대학교 신소재공학과

Characteristics of Microwelded BLU CCFL Electrode in Terms of Glass Beading Heat Treatment Temperature

Gwangsoo Kim*,†, Sangduck Kim* and Hyukdong Kwon*

*Department of Display Materials Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

†Corresponding author : kgwangs@sch.ac.kr

(Received April 7, 2009 ; Revised May 19, 2009 ; Accepted June 15, 2009)

Abstract

Characterization of the microweld CCFL electrode for the TFT-LCD backlight unit was carried out in terms of the glass beading heat treatment conditions. We evaluate the weld zone and parent metal of the microweld CCFL electrodes that were exposed to simulated glass beading heat treatment. The CCFL electrode was composed of the cup made with pure Ni, the pin made with pure Mo and the lead wire made with Ni-Mn alloy. Each part of the electrode was assembled together by micro spot welding process and then the assembled electrodes were exposed to simulated glass beading temperatures of 700℃, 750℃ and 800℃. The microstructures of the microweld CCFL electrode were observed by using optical microscope, scanning electron microscope and EDS. Micro-tensile and microhardness test were also carried out. The results indicated that the grain coarsening in the HAZs(heat affected zones) for both the cup-pin weld and pin-lead wire were exhibited and the grain coarsening of the HAZ for the cup and the lead wire was more obvious than the HAZ of the pin. The micro-tensile test revealed that the fracture occurred at the cup-pin weld zone for all test conditions. The fracture surface could be classified into two parts such as pin portion and cup portion including weld nugget. The failure was seemed to be initiated from the boundary between nugget and pin through the weld joint. The result of the microhardness measurement exhibited that the relatively low hardness value, about 105HV was recorded at the HAZ of the cup. This value was about 50% less than that of the original value of the cup. The reduction of the microhardness was considered as the cause of the grain coarsening due to welding process. It was also appeared that there was no change in electric resistance for the standard electrodes and heat treated electrodes.

Key Words : BLU CCFL electrode, Spot-weld, Microstructure, Glass beading heat treatment

1. 서 론

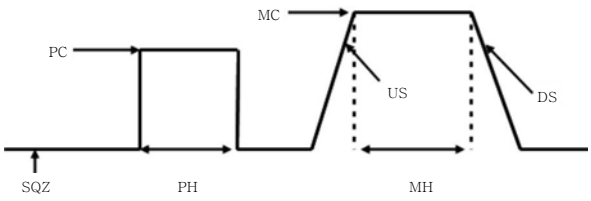
현재 정보 디스플레이 산업분야에서 급속도로 확산되고 있는 TFT-LCD모니터는 앞으로 세계 시장 규모가 2012년까지 150조원 이상으로 예상되고 있는 중요한 산업분야 중 하나이다. LCD(Liquid Crystal Display) 는 PDP(Plasma Display Panel)나 FED(Field Emission Display) 와는 달리 자체 발광 소자가 없기 때문에 백라이트 유닛(BLU)이라고 하는 발광소자를 필요로 한다. BLU는 자체적으로 TFT-LCD의 한 부품이면서 또한 그 내부에 많은 부품으로 구성되어 있기 때문에 독자적

인 제품으로 취급되고 있다. BLU의 부품 중의 핵심 요소인 광원으로는 소형화가 가능하고 필라멘트가 없는 간단한 구조의 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)이 사용되고 있다. CCFL은 기존 형광등 직경의 1/10배로 작고, 수명은 5배 이상으로 길며 동시에 휘도 특성이 70%이상 좋으면서 소비전력은 50% 정도 밖에 되지 않는 고효율 에너지 절감형 광원으로서 TFT-LCD에 적합한 조건을 가지고 있다. CCFL의 구조는 유리관 속에 형광물질이 도포되어 있고, 그 양끝에는 전극이 밀봉되어있다[1-3]. 램프 내부에는 보통 2~10mg 정도의 Hg, Ar, Ne 등의 혼합가스가 충전 되어있다. 유리관 양단의 전극에 전압을 인가하면 생성된 전기장에 의하여 전자가 가속되는데 가속된 전자가Hg을 여기시키게 되고 이때 185nm와 253.7nm의 자외선이 발생하며 이중에서 253.7nm의 자외선이 형광체를 여기하여 가시광선으로 전환, 방사하게 된다[4]. CCFL의 효율을 결정하는 것은 봉입가스와 전극에 의존하게 된다. 전극 재료로는 Mo, W, Nb, Ni, Kovar 등이 사용되는데, 전극의 형태는 튜브형태의 컵(cup)과 솔리드(solid)바 형태의 핀(pin) 그리고 리드 와이어(lead wire)로 구성 된다. 휘도 향상을 위해 방전 표면적을 증대시킨 컵의 재료로는 Mo, Nb, Ni 합금이 사용되고 유리와의 밀봉을 위하여 유리관과 직접 맞닿는 핀은 유리와 열팽창계수가 유사한 Mo, Kovar 합금을 사용한다. 또한 리드와이어로는 가공이 쉽고 가격이 저렴한 Ni이 사용된다. 한편 핀에는 외부 유리관과의 접합을 위하여 1차적으로 유리비딩(glass beading) 처리를 해주어야 한다. 이와 같이 BLU 전극을 위해서는 여러 소재가 필요하고, 전극 완성을 위해서는 서로 다른 재료들의 용접에 의하게 되는데, 전극을 구성하기 위한 미세용접부의 신뢰성은 궁극적으로CCFL의 직접적인 수명을 결정하기 때문에 매우 중요하다. 전극 미세 용접부의 신뢰성은 두가지 관점에서 고려될 수 있는데, 1차적으로는 전극 기본 소재들간에 결합된 미세용접부 특성과 후속적으로는 미세 용접된 전극과 유리관과의 결합을 위해 이루어지는 유리 비딩처리를 경험한 후의 전극 특성으로 구분되어 진다. 연구진은 본 연구에 앞서 기본 소재를 미세 용접하여 만들어진 전극자체의 특성을 조사한 바 있다[5]. 이어 본 논문에서는 미세용접으로 만들어진 전극에 대하여 행하게 될 유리비딩 열처리의 적정 조건을 결정하기 위해 임의로 설정된 세가지 온도를 선택하여 열처리를 실시하였다. 이와 같이 유리비딩 열처리를 경험한 미세 용접된 전극에 대하여 모재부, 용접 접합부의 미세조직 관찰과 함께 경도시험 및 인장시험 등을 실시하여 전극의 유리비딩 처리에 따른 전극 용접부의 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법 및 재료

연구에서 사용된 CCFL전극의 규격은 두께가 0.2mm이고, 직경이 1.7mm의 컵, 0.8mm의 핀, 그리고 0.6mm의 리드 와이어였다. 컵은 100% Ni, 핀은 100% Mo, 리드 와이어는 Ni-2%Mn합금으로 구성된 전극을 사용하였다. 전극을 구성하기 위한 소재간의 용접은 마이크로 저항 점용접을 실시하였는데, 본 논문에서는 전극제조사(B)의 요청으로 부득이하게 용접변수는 나타내지 못하였고, 대신에 간단한 용접사이클에 대한 개략도는Fig. 1에 나타냈다.

각 소재간 용접이 완료된 전극 시편을 대상으로 가상의 유리비딩 열처리를 하였다. 미세 용접된 전극의 유리비딩 열처리는 실제 제조시 수소 분위기에서 실시하지만 본 연구에서는 실험 편의상 진공상태에서 열처리를 실시하였는데, 전극의 산화를 방지하기 위하여 유리관에 전극을 삽입한 후 진공 상태로 유리관을 밀봉하여 비딩 열처리를 실시하였다. 진공 상태로 준비된 유리관은 700℃, 750℃, 800℃에서 유지된 전기로를 이용하여 열처리하였다. 이 때 로의 상승 온도는 약 8℃/min이며 정점에서 유지시간은 20분으로 하였다. Photo 1은 상용으로 실제 유리 비딩 처리된 전극시편, 가상의 비딩 열처리된 시편 그리고 기준시편의 상태를 보여준다. 가상 비딩 처리(②)를 한 전극의 경우 핀 부위가 약간 검게 산화 된 것 같이 보이는데 완벽한 진공유지가 어려워 약



PC(Pre-Current), MC(Main-Current), PH(Pre-Hour), MH(Main-Hour), US(Up-Slope), DS(Down-Slope), Squeeze

Fig. 1 Schematic of the welding cycle

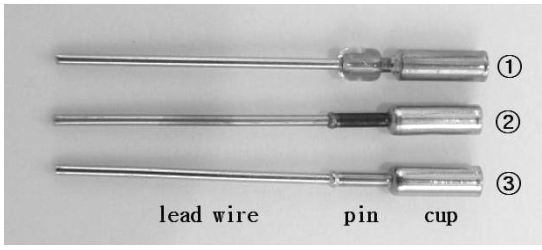
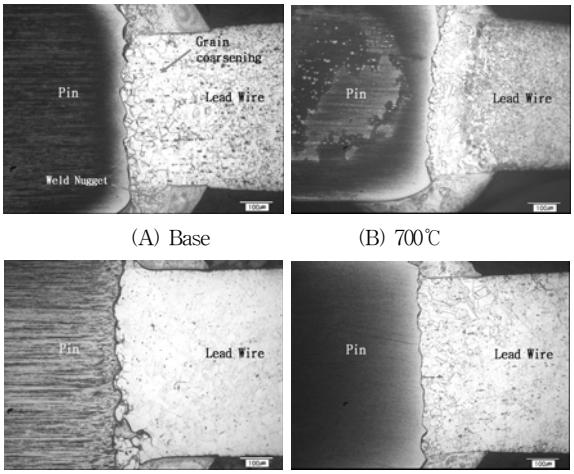


Photo 1 Photo of the microjoined electrodes ① Commercially glass beading heat treated electrode ② Simulated glass beading heat treated electrode ③ As micro- welded electrode



(A) Base (B) 700℃

(C) 750℃ (D) 800℃

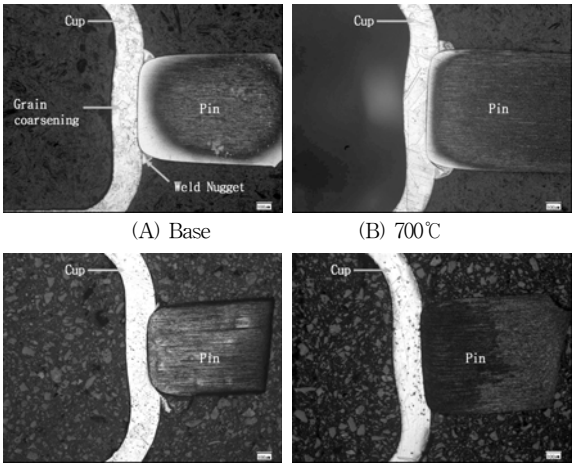
Photo 2 Microstructures of the welded joint with pin and lead wire

간 산화된 모습을 보이지만, 그 정도는 매우 미약하였다. 이렇게 열처리된 시편에 대하여 모재부와 용접부의 미세조직을 광학현미경, SEM 및 EDS를 이용하여 관찰하였으며, 열처리된 시편들에 대하여 미세 인장시험 및 미세 경도 시험을 실시하였다. 또한 비딩 열처리된 전극과 기준 전극에 대하여 각각 저항을 측정하여 열처리 조건에 따른 전기적 특성 변화도 조사하였다.미세인장 시험은 Microload Tester Nexcade장비를 이용하였으며, 경도측정은 Micro Vickers Hard- ness Tester, HM-112를 사용하여 측정하였다. Keithley 2400 source meter를 이용하여 전극의 저항 특성을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Photo 3은 기준 시편과 유리비딩 열처리 후 관찰한 전극의 핀과 리드와이어 그리고 용접 접합부의 미세조직을 보여준다. Photo 3(A)에서 용접부는 저항 용접시 적용 압력에 의해 융점이 낮은 리드와이이어가 일부 용해되어 핀을 감싸는 형태의 용접 너겟을 형성하고 있었다. 리드와이어의 열영향부에서는 용접시 발생된 열에 의한 결정립 조대화가 발생하였으나 핀의 경우에는 결정립 변화가 관찰되지 않았고, 제조시 연신된 texture 조직을 보여주었다. Photo 3(B), (C), (D)는 700℃, 750℃, 800℃ 열처리한 전극의 열영향부를 보여주는데 기준시편의 열영향부에서 얻어진 미세조직의 결정립과 비교할 때 큰 변화를 나타내지 않았다.

한편 핀과 리드와이어간의 용접 경계부는 일반적인 용융 용접에서와는 달리 선명한 경계부를 나타내고 있었다. EDS를 이용하여 용접 경계부를 화학분석한 결과



(A) Base (B) 700℃

(C) 750℃ (D) 800℃

Photo 3 Microstructure of the pin and cup welded joint

Table 1 Results of the EDS analyses at the lead wire-pin weld nugget

	Base	700℃	750℃	800℃
Mo	31.23	25.30	24.64	21.47
Ni	68.77	74.70	75.36	78.53

에서도 경계부에서 모재 원소간의 확산현상은 전혀 확인 되지 않았다. 반면에 핀을 감싸면서 외부에 형성된 너겟부에서는 핀과 와이어간의 용융 혼합이 이루어진 것을 확인 할 수 있었고, Table 1는 너겟부에서 EDS 분석한 결과를 보여주는데, 열처리 온도가 증가하면서 너겟에서 검출되는 Ni의 양이 증가하는 것으로 나타났다.

핀과 컵의 용접 접합부 미세조직을 Photo 3에 나타냈다. 핀과 컵의 접합부 형태 또한 리드와이어와 핀의 접합부와 같이 저항 용접시 적용하는 압력에 의해 컵이 핀에 의해 눌린 형태를 보여준다. Photo. 3(A)~(D)에서 컵의 열영향부도 용접열에 의해 결정립의 조대화가 나타났으며, 비딩 열처리 후에는 핀과 리드와이어의 용접부에서 관찰된 것과 같이 열처리 온도 증가에 따라 컵의 열영향부에서 결정립 조대화가 더욱 확대 된 것을 확인 할 수 있었다.

반면에 마찬가지로 핀에서의 미세조직 변화는 관찰되지 않았다. 핀과 컵의 용접부에서도 핀과 리드와이어에서와 같이 모재간 합금원소의 교환이 없는 물리적인 부착 형태의 접합부를 이루고 있음을 EDS 결과로부터 확인 할 수 있었다. 이러한 단순 부착형태의 용접부는 열처리를 경험한 시편에서도 변화가 없었다. 대신에 용접부에 만들어진 너겟부에서는 핀과 컵간의 용융 혼합

Table 2 Results of the EDS analyses at the cup-pin weld nugget

	Base	700℃	750℃	800℃
Mo	40.45	35.27	32.14	28.91
Ni	59.45	64.73	67.86	71.09

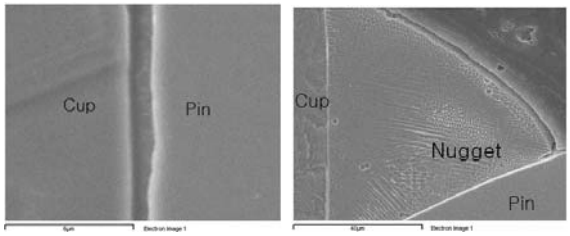


Photo 4 SEM microstructure of the weld boundary and the nugget between pin and cup weld joint

에 의해 다른 종류의 중간상을 만드는 것으로 나타났다. Table 2는 컵과 핀의 너겟부에서 EDS 한 결과를 보여주는데 기준시편에서는 Ni과 Mo의 혼합상이 관찰되었다. 700℃에서 열처리한 시편 경우에는 Ni_3Mo 형태의 금속간화합물이 나타났고, 열처리 온도가 증가함에 따라 Ni 함량이 증가하면서 800℃에서는 Ni_4Mo형태의 금속간화합물이 형성된 것으로 확인 할 수 있었다.

Photo 4는 핀과 컵간의 접합부와 너겟부를 주사전자현미경으로 관찰된 미세조직을 나타냈다. 용접부는 선명한 경계를 나타내고 있었고 너겟부에서는 용접시 용융응고에 의해 형성된 수지상을 관찰할 수 있었다.

미세조직 관찰에 이어 용접부의 기계적 성질을 평가하기 위하여 접합된 전극에 대하여 미세 인장시험을 실시하였다. Table 3은 인장시험 결과를 나타냈다. 기준시편 및 열처리 시편 모두에서 파단은 핀과 컵의 접합부에서 일어났다.

각 시편에 대하여 파단시 측정된 최대하중을 파단면의 면적으로 나누어 인장강도를 계산하여야 하지만 파단면의 면적을 정확히 고려하기 어려워 모든 시편에 대하여 일정하게 핀의 접합 전 면적으로 나누어 계산된 값을 최대 인장 값으로 나타냈다. 인장강도 값은 큰 차이를 나타내지 않았지만 기준시편이 열처리 시편들에 비하여 조금 높은 값을 보였다. 700℃에서 열처리한 시편이 15.3Mpa로 가장 낮은 값을 나타내었고 750℃, 800℃ 열처리 시편은 각각 16.7, 16.9Mpa로 유사한 값이 측정되었다.

Table 3 Results of the microtensile test

	Base	700℃	750℃	800℃
Elongation(%)	5.8	5.4	5.9	5.3
Tensile Load(kgf)	8.9	7.7	8.4	8.5
Tensile Strength(Mpa)	17.7	15.3	16.7	16.9
Number of microcrack	0	10	6	7

Photo 5(A)~(D)는 기준시편과 700℃에서 열처리한 시편의 파단부를 SEM으로 관찰한 것이다. Photo. 5(B)와 (D)는 Photo 5(A)와 (C)에서 ○으로 표시된 부분을 확대하여 관찰한 것이다. 기준시편(Photo. 5(A),(B))과 열처리시편(Photo 5(C),(D))들 모두에서 컵의 바닥면 접합부가 핀에 부착된 상태로 유실되면서 파단이 일어났다. 이는 컵과 핀이 맞 닫는 바닥면에서 물리적 부착 형태의 결합이 이루어졌지만 건전한 결합상태를 유지하였음을 보여준다. 파단의 원인을 알아보기 위해 파단면에 대하여 SEM과 EDS를 이용하여 조사하였다. 파단부는 컵의 바닥면을 포함하는 핀부와 너겟부를 포함하는 컵부분으로 나누어 볼 수 있었고, 파단은 너겟부와 핀사이에서 시작하여 컵의 용접 접합부로 진행된 것으로 나타났다. 이 때 컵의 용접부에서는 용접열에 의하여 발생한 결정립 조대화로 인한 연화된 조직을 포함하고 있어 균열 전파가 용이하였을 것으로 판단된다. 너겟을 포함하는 컵부에서의 파면에는 길이 방향의 섬유질 같은 형상(Photo. 5(B)의 □)이 밝은색 부분으로 관찰되는데 이 부분에서는 EDS 결과 Mo이 대부분 검출된 것으로 보아 컵과 용접되었던 핀 일부가 그대로 잔존하는 것으로 판단된다. 반면 다른 어두운 부분에서는 다량의 Ni과 Mo이 검출되었다. 이와는 달리 700℃에서 처리된 시편

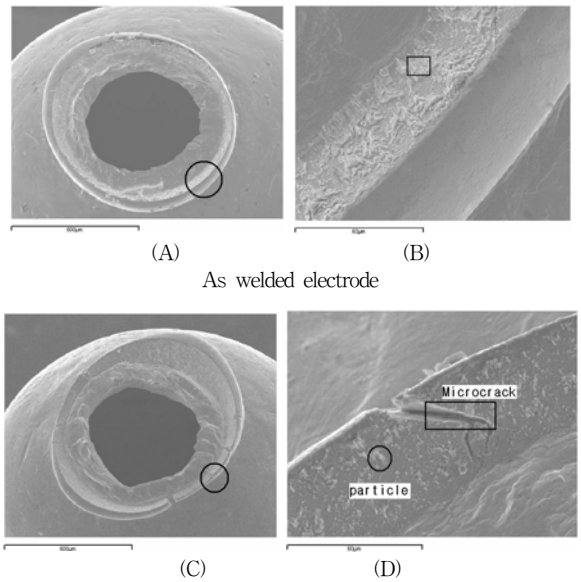


Photo 5 Fracture surface of the cup

에서는 기준 전극과 비교할 때 너겟을 포함하는 컵부에서 발견되었던 섬유질 형상은 나타나지 않은 대신 작은 입자형태 밝은색 부분(Photo 5(D)의 ○부분)을 확인 할 수 있었다. EDS 결과 역시 이 부분에서는 Mo만이 검출되었고, 어두운 부분에서는 기준시편과 마찬가지로 Table 2에서 나타낸 바와 같이 Ni과 Mo이 다량 검출되었고 확인 결과 700℃에서는 Ni_3Mo이 800℃에서는 Ni_4Mo형의 금속간 화합물이 확인 되었다.

또한 파면에는 축 외부에서 발생하여 내부로 진전하는 다수의 미세 균열이 열처리된 시험편에서 쉽게 확인할 수 있었다.(Photo 5(D)의 □) 이와 같은 결과를 토대로 핀과 컵의 용접부는 비딩 열처리를 하는 동안 형성된 너겟부의 취약한 금속간 화합물과 용접부에서 발생한 너겟부와 핀과의 열팽창계수 차이로 인한 용접부에서의 응력 불균형으로 인해 균열이 발생하였고 계면부의 이러한 미소균열들의 존재가 기준시편에 비하여 비록 작은 차이지만 낮은 강도에서 파단된 것으로 사료된다. Table 3에는 인장시험 결과와 함께 파단면에서 관찰된 미세균열의 수를 단순히 정량적으로 나타냈는데 700℃ 열처리된 시편에서 가장 많은 수의 횡균열과 원주균열을 확인 할 수 있었다.

미세경도 측정을 통해 미세조직 및 인장시험관의 연관성을 찾기 위하여 미세 경도 시험을 실시하였다. Table 3은 기준 전극과 비딩 열처리된 전극의 모재와 용접부에서 측정된 경도 값의 결과를 나타냈다. 경도 값이 가장 높은 곳은 핀으로 기준전극의 경우 약 268HV를 나타냈고 열처리한 전극의 경우 핀의 경도 값은 열처리 온도에 무관하게 약 252HV로 기록되었다. 기준전극에 비해 조금 낮은 값을 나타냈지만 용접부중 다른 부위와 비교할 때 작은 변화로 간주할 수 있었다. 경도가 가장 낮은 곳은 핀의 접합부중 컵의 열영향부로 약 평균 105HV으로 나타났다. 이 값은 컵 자체 경도에 비하여 약 50%나 감소한 것인데, 용접시 발생한 열에 의하여 기인된 결정립 조대화에 의한 연화현상으로 판단된다. 한편 열처리한 컵의 경우에도 모재 자체에 비하여 47% 정도 감소한, 평균 약 113HV를 나타냈다. 열처리로 인하여 컵의 용접열영향부 경도 값도 약간 감소하였지만 열처리된 모재 자체에 비하여는 그 감소 폭은 크지 않게 나타났다.

한편 Table 4에서 나타낸 바와 같이 가장 낮은 경도 값은 실제 열처리된 리드와이어에서 기록되었지만 낮은 경도 값에 무관하게 인장시험시 파단에는 영향이 없는 것으로 나타났다.

연구의 마지막 단계로 비딩열처리를 한 후의 전극 본래의 전기적인 특성 변화를 관찰하기 위하여 전극 저항을 측정하였다.

Table 4 Result of microhardness measurement for the electrode

	Base	700℃	750℃	800℃
Wire	124	108	105	98
Pin	274	252	252	253
Cup	210	113	113	112
P-W joint HAZ of Wire	115	114	112	112
C-P joint HAZ of Cup	105	104	110	117

Table 5 Result of the measurement of the resistance

	As-weld	700℃	750℃	800℃
Resistance	0.281	0.279	0.279	0.280

Table 5는 각 조건 10mA의 전류를 적용하여 발생되는 저항을 측정한 것인데 기준 전극과 열처리전극에 대하여 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 확인 되었다.

4. 결 론

BLU CCFL 전극의 가상 비딩 열처리에 따른 전극의 용접부 특성을 알아보기 위해700℃, 750℃, 800℃에서 열처리를 실시하였고 미세조직, 인장시험, 경도시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전극의 미세 용접부는 저항 용접시 적용 압력으로 인하여 컵과 리드와이어가 Mo으로 만들어진 핀에 의해 눌린 형태의 용접 너겟을 만들었으며, 컵과 핀, 리드와이어와 핀간의 용접부에서 컵과 와이어의 열영향부 미세조직은 용접열과 유리 비딩 열처리에 의해 결정립 조대화가 현저하게 나타났다. 반면에 핀의 미세조직에는 변화가 없었다.

2) 전극의 인장시험 결과 기준시편과 비딩 열처리 시편 모두 너겟을 포함한 컵의 용접부와 핀이 분리된 상태로 파단이 일어났다. SEM과 EDS 결과 컵의 너겟부는 용융결합을 하고 있음을 알 수 있었다.반면에 핀과 컵 그리고 핀과 와이어간의 접합 경계면에서는 원소의 확산이동을 확인 할 수 없었다.

3) 열처리된 시편에서 핀과 컵의 파단 용접부에서는 Ni과 Mo이 다량인 Ni_3Mo와 Ni_4Mo형의 금속간 화합물을 확인 할 수 있었다. 또한 파면에는 축 외부에서 발생하여 내부로 진전된 다수의 미세 균열이 계면에서 발견되었다. 핀과 컵의 용접부에서의 파단은 열처리를 하는 동안 형성된 너겟부의 금속간 화합물과 너겟부와 핀과의 열팽창계수 차이로 인한 응력 불균형으로 인해 발생

한 다수의 미세 균열이 주요 원인인 것으로 사료된다

4) 미세조직과 기계적성질 평가 결과 전극 비딩열처리는 750℃이상에서 하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 저항을 근거로 한 전극의 특성변화는 열처리 온도에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. H. Hun, CCFL of Technology and Trends, 1st, Electronic Parts & Components, 2007, 48 (in Korean)
2. S. J. Ahn, H. S. Kim, Y. C. Kim, S. J. Ahn, Display Optics, Bookshill, 2006, 255 (in Korean)
3. DeaKwang industry, Products, Electrode of CCFL & Materal of Eletrode, Retrieved August 6, 2008 (http://www.dkico.net)
4. Xiamen Fu Zheng Metal Industries, Products, Electrode of Cold Cathode, "Production control of Electrode", Retrieved August 21, 2008 http://www.xmccfl.com
5. Ryota Kitamoto, Tadao Uetsukil, Yuji Takeda and Osamu Fukumasa, Proceeding of Annual Conference of The Illuminating Engineering Institute of Japan, Influence of the Electrode Materials on the Characteristics of the Cold Cathode Fluorescent Lamp, 38 (2005.7) 137
6. Kenneth Eastering, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, M. Ashby FRS, R. Kiessling, J. Charles, H. Suzuki, A. G. Evans, I. Tamura, M. C. Flemings, G. Thomas, R. I. Jaffee, Butterworths, London, 1983, 66-73