

원전용 전자부품의 Burn-in 시험 사례

정민호, 박정원, 함중걸,¹⁾ 강용석, 김형석, 정기수, 김준수²⁾

요약

원자력 발전소에 사용되는 전자부품들은 원자력 발전소의 안전성 문제로 인하여 다른 곳에 사용되는 전자부품들보다 더욱 높은 신뢰성이 요구된다. 원자력 발전소에서는 주로 안전성이 검증된 외국 제조업체의 전자부품들을 사용해 왔는데, 외국에서 원자력 산업이 퇴조하면서 제조업체들이 원전용 전자부품의 생산을 중단하거나 인건비가 싼 다른 나라에서 주문생산을 하게 되면서 국내 원자력 발전소에서는 이들 외국 제조업체에서 구매한 전자부품들이 짧은 기간 내에 고장을 일으키는 경우를 종종 경험하게 되었다. 이와 같은 상황 하에서 외국 제조업체에서 구매한 전자부품들을 현장에 사용하기 전에 초기에 고장을 일으킬 결함을 제거한 후 사용하기 위하여 번인시험을 실시하였다. 본 논문에서는 원전 제어봉 제어계통에서 사용하는 다이오우드에 대하여 번인시험을 수행한 사례를 제시하고, 경제적으로 번인시험을 수행할 수 있는 방법을 제시하였다.

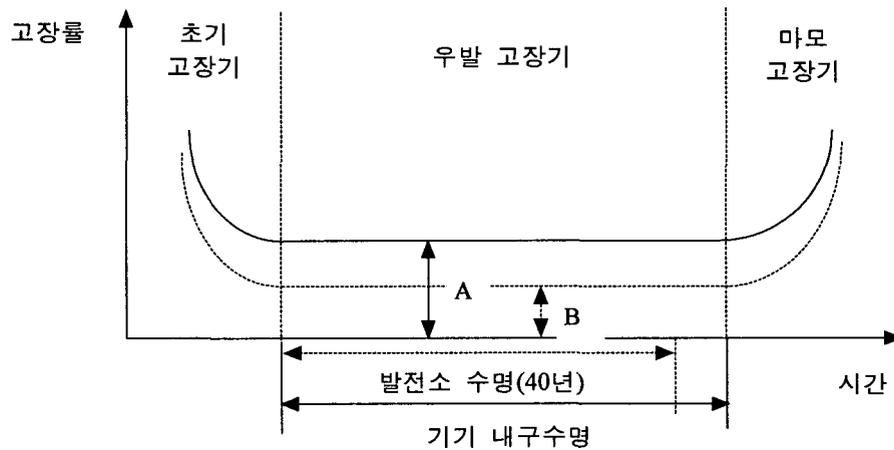
I. 서론

원자력발전소에서 사용되는 안전등급 기기들은 기기의 안전성을 검증하는 기기검증을 받아야 원자력발전소에서 사용될 수 있으므로, 원자력발전소의 안전등급 기기로 사용하는 기기는 안전성이 확보되었다고 볼 수 있다. 하지만 이와 같이 기기검증을 받았다고 해서 고장이 발생하지 않는 것은 아니다. 기기검증에서 평가하는 것은 대상 기기가 사용환경(방사선, 열, 기계적인 반복 동작)에 의하여 노화되어 일정시간이 지나면 고장이 발생하는 마모고장의 발생 시점이 발전소 수명(일반적으로 40년) 이후인가 여부이다(<그림 1> 참조). 기기검증을 받은 기기라고 하더라도 우발고장은 발생할 수 있으며 우발고장이 발생하는 비율은 기기마다 다를 수 있다. 그러므로 발전소의 신뢰성 제고를 위해서는 기기검증을 받은 기기라고 해도 여러 제조업체의 기기를 평가하여 고장률이 낮은 기기를 선택하여 사용하여야 한다. 또한, 제조업체에서 번인시험을 통하여 초기고장을 일으킬 부품 또는 기기를 제거하고 납품한다고 하지만 완전히 제거되지 못한 상태에서 납품이 되어 초기고장을 일으킬 수도 있다. 더구나 최근에는 국내 원자력 발전소의 주된 수입 상대 국가였던 미국에서 더 이상 원자력발전소를 세우지 않으면서 원자력산업이 위축되어 부품 또는 기기 제조업체에서 수익성이 떨어진

1) 산업기술시험원 기술감리센터 신뢰성평가팀, 서울특별시 구로구 구로3동 222-13

2) 고리 원전 제2발전소 계측제어부, 부산광역시 기장군 장안읍 고리 216

기존의 부품 또는 기기를 단종시키고 있기 때문에 기기검증을 받은 부품 또는 기기를 구하기가 어려워지고 있으며, 판매하고 있는 부품 또는 기기마저도 품질관리가 잘 이루어지지 않아서 수입한 부품 또는 기기의 성능이 떨어져 반품하는 사례도 발생하고 있는 실정이다.



<그림 1> 기기의 고장률 특성(욕조 곡선)

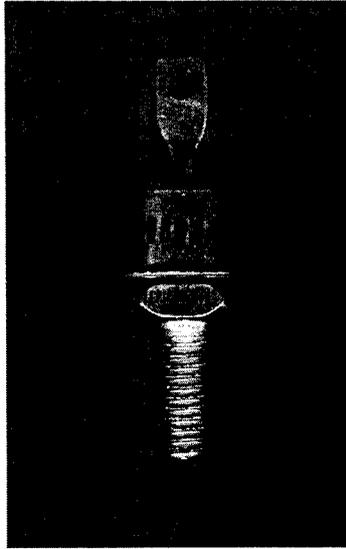
이와 같은 상황 하에서 고리 원자력발전소에서는 오버홀 기간동안 교체하기 위하여 수입한 주요 부품에 대하여 신뢰성을 제고하기 위하여 교체하기 전에 번인시험을 수행하여 초기 고장을 일으킬 부품을 제거한 후 사용하기로 결정하여 본 산업기술시험원에서 번인시험을 수행하게 되었다. 본 논문에서는 번인시험을 수행한 여러 전자 부품 중 가장 효과가 있었던 다이오우드 번인시험에 대한 사례를 제시하고, 경제적으로 번인시험을 수행할 수 있는 방법을 제시하였다.

II. 대상 부품

번인시험을 수행한 전자부품은 제어봉 제어계통에 사용되는 <그림 2>와 같은 다이오우드 1N1206RA이다. 이 다이오우드의 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 1N1206RA의 사양

특성항목	특성 값
I_{RRM} (Repetitive Reverse Max. Current)	25 μ A 이하
V_{RRM} (Repetitive Reverse Max. Voltage)	600V
V_F (Max. Peak Forward Voltage)	1.35V(12A)



<그림 2> 1N1206RA 사진

III. 번인시험 절차

번인시험 전과 후에 대상 부품이 정상인가를 확인하기 위하여 <표 2>와 같은 측정 파라미터의 특성을 측정하였고 고장판정기준(허용기준)은 <표 2>와 같이 정하였다.

<표 2> 다이오우드 특성의 측정파라미터 및 허용기준

측정 항목	V_{RRM}	V_F	I_{RRM}
측정 조건	500 μ A	1A	600V(1N1206)
허용기준	600V이상	0.8V이하	5 μ A이하

이 때, <표 2>의 특성은 다음과 같이 측정하였다.

① V_{RRM}

커브 트레이서(Curve Tracer) 371A를 이용하여 캐소드(Cathode)를 0V로 놓고, 애노드(Anode) 전압을 서서히 감소시켜 공급전류가 500 μ A일 때 브레이크 다운(Break Down)이 발생하는 전압을 측정하여 측정값이 허용기준을 만족하면 정상으로 평가하였다.

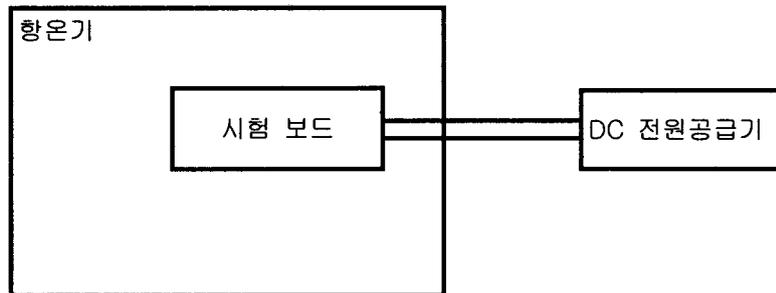
② VF

커브 트레이서(Curve Tracer) 371A를 이용하여 캐소드(Cathode)를 0V로 놓고, 애노드(Anode) 전압을 서서히 증가시켜 애노드(Anode)와 캐소드(Cathode) 사이에 전류가 1A 흐를 때 애노드(Anode)와 캐소드(Cathode) 사이의 전압을 측정하고, 측정값이 허용 기준을 만족하면 정상으로 평가하였다.

③ IRRM

커브 트레이서(Curve Tracer) 576을 이용하여 캐소드(Cathode)를 0V로 놓고, 애노드(Anode) 전압을 서서히 감소시켜 전압이 600V일 때의 누설전류를 측정하고, 측정값이 허용기준을 만족하면 정상으로 평가하였다.

번인시험은 MIL-STD-750, Method 1038.4 burn-in(For Diodes, Rectifiers, and Zeners) [1] 조건을 이용하여 다음과 같이 시험하였다. 오버홀 기간 중 교체할 150개의 다이오우드 1N1206RA를 <그림 3>과 같이 항온기에 넣은 후 150℃ 환경을 만들고, DC 전원 공급기를 사용하여 정격전압의 80% 역바이어스를 인가한 상태에서 48시간동안 시험하였다. 48시간이 지난 후 상온에서 12이상 24시간 이내로 방치하여 후처리를 하고, <표 2>와 같은 측정항목을 측정하여 시료의 정상 여부를 평가하였다.



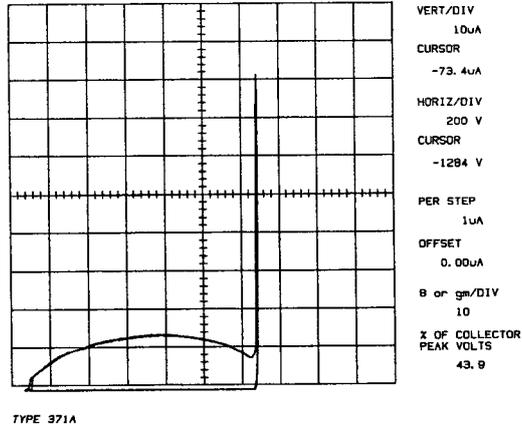
<그림 3> 시험장치와 시험품의 연결 모습

IV. 번인시험 결과

150개의 다이오우드를 초기 측정을 했을 때 IRRM 항목에서 2개의 시험품이 허용 기준을 초과하였고, 초기 측정 후 측정 결과 얻어진 특성값을 분석한 결과 1N1206RA의 특성은 다음과 같은 3가지 유형으로 분류할 수 있었다.

① 양품인 유형

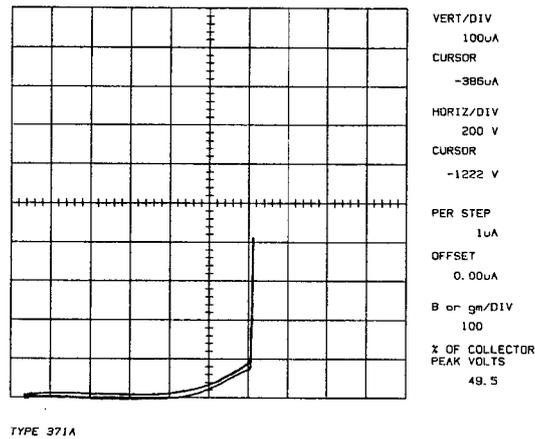
첫 번째 유형은 <그림 4>와 같이 이상적인 특성 곡선을 갖는 유형이다.



<그림 4> 양품인 유형의 IRRM 특성

② 높은 전압에서 누설전류가 큰 유형

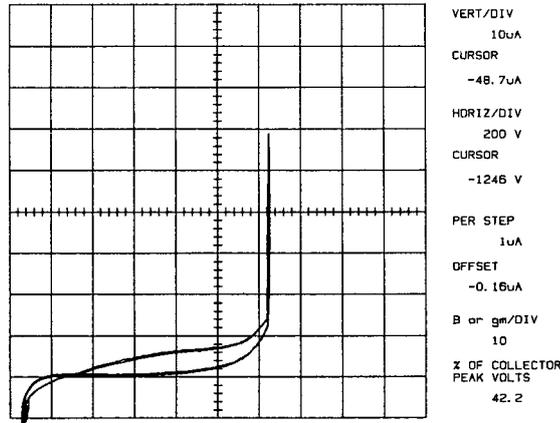
두 번째 유형은 <그림 5>와 같이 낮은 전압에서는 누설전류값이 크지 않으나 높은 전압에서 누설전류가 크게 나오는 경우이다.



<그림 5> 높은 전압에서 누설전류가 큰 유형의 IRRM 특성

③ 낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형

세 번째 유형은 <그림 6>과 같이 낮은 전압에서부터 누설전류가 많이 흐르는 경우이다.



TYPE 371A

<그림 6> 낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형의 IRRM 특성

변인시험 후에 시험품의 특성을 측정된 결과 초기 측정에서 허용기준을 벗어난 2개의 시험품을 제외하고 2개의 시험품이 추가적으로 고장났으며, 고장유형은 모두 IRRM이 허용기준을 초과하는 것이었다. 이 때, 고장난 시험품은 초기 측정시에는 비교적 IRRM이 높았으나 허용기준은 만족하였던 것으로 변인시험 후 IRRM이 증가하여 허용기준을 벗어났다.

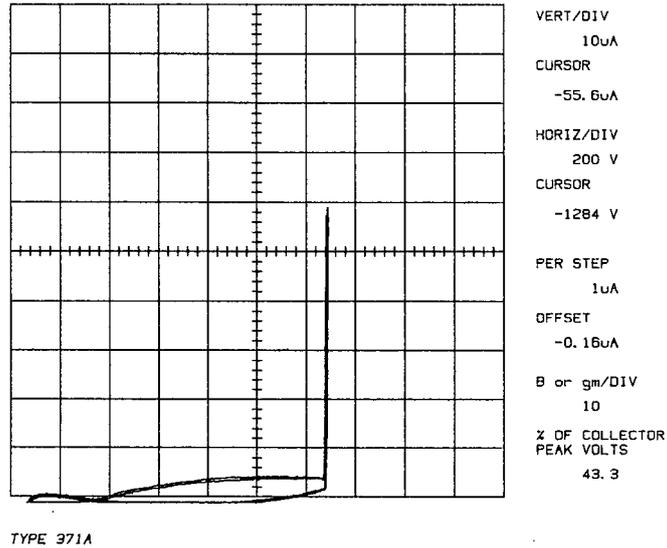
이와 같은 현상을 유형별로 분석한 결과 <표 3>과 같이 정리될 수 있었다.

<표 3> 변인시험 후 IRRM 특성변화의 유형

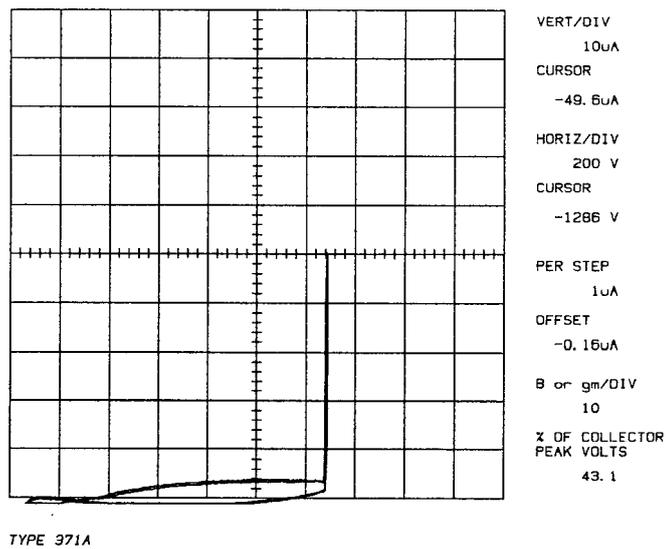
No.	변인시험 전		변인시험 후	
	유형	수량*	시험 후 현상	수량
1	양품인 유형	121	시험 후에도 누설전류가 작음. 대체적으로 누설전류가 감소하는 경향을 보이고 증가하는 경우에도 소폭 증가함.	121
2	높은 전압에서 누설전류가 큰 유형	26	시험 후 특성이 개선되어 높은 전압에서 누설전류가 감소됨.	25
			시험 후 특성이 개선되지 않음.	1(고장)
3	낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형	1	시험 후 누설전류 증가됨.	1(고장)

* 초기 특성 측정을 했을 때 허용기준을 벗어난 시험품은 제외한 수량.

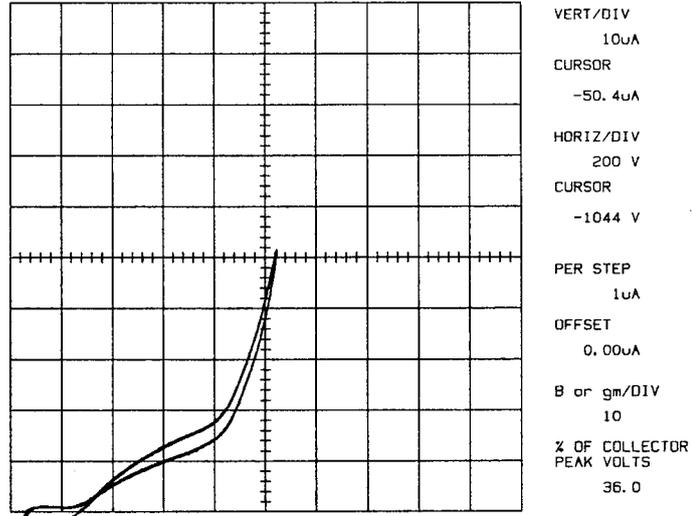
<그림 7>~<그림 10>은 유형별로 번인시험 후의 특성 곡선을 나타낸 것이다.



<그림 7> 양품인 유형의 시험 후 IRRM 특성

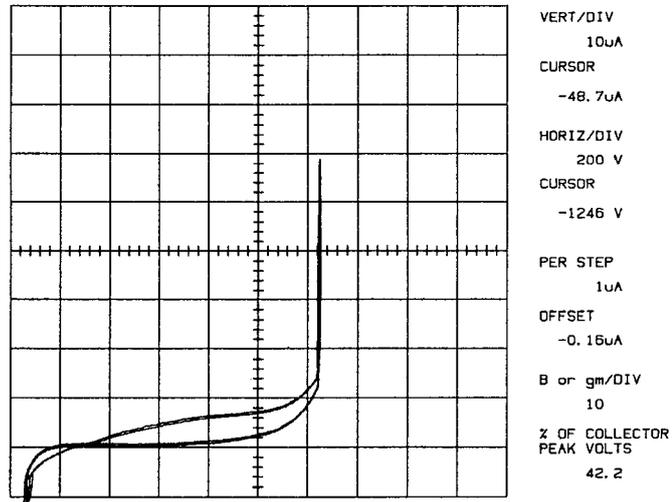


<그림 8> 높은 전압에서 누설전류가 큰 유형의 시험 후 IRRM 특성
(시험 후 누설전류가 감소하는 경우)



TYPE 371A

<그림 9> 높은 전압에서 누설전류가 큰 유형의 시험 후 IRRM 특성
(시험 후 누설전류가 증가하는 경우)



TYPE 371A

<그림 10> 낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형의 시험 후 IRRM 특성

위와 같은 시험결과로부터 경제적으로 번인시험을 수행하기 위하여 다음과 같이 선별적으로 번인시험을 실시할 수 있음을 알 수 있었다. 초기 측정 결과 양품 유형에 속하는 시험품은 시험 후에도 양품이므로 시험 대상에서 제외시키고, 낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형은 시험 후 누설전류가 더 증가하여 특성이 더욱 안 좋아지므로 이와 같은 유형의 시험품은 시험할 필요도 없이 사용하지 않는 것이 바람직하며, 높은 전압에서 누설전류가 큰 다이오드는 번인시험을 통하여 특성이 안정되어 누설전류가 감소하거나 누설전류가 증가되어 허용기준을 벗어나므로 번인시험이 사용할 다이오드의 신뢰성을 향상시키는데 효과가 있으므로 번인시험을 실시한다.

V. 결론

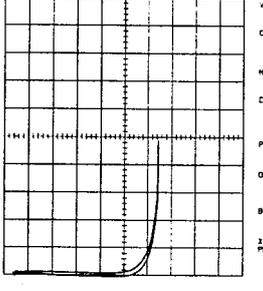
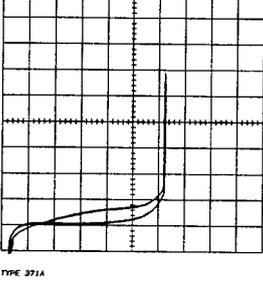
본 논문에서는 원전 제어봉 제어계통에서 사용되는 다이오우드 1N1206에 대하여 MIL-STD-750의 번인시험방법을 이용하여 번인시험을 수행한 사례를 제시하였다. 번인시험 결과 시험한 150개의 시험품 중 초기 특성 측정에서 2개가 허용기준을 벗어났으며, 번인시험 후 2개가 추가적으로 허용기준을 벗어났다. 즉, 번인시험을 통하여 2개의 초기고장을 일으킬 수 있는 시험품을 제거할 수 있었다. 또한, 번인시험 결과 다이오우드의 특성은 초기 측정했을 때 다이오우드의 특성 곡선에 따라 <표 4>와 같이 3가지 유형으로 분류될 수 있었으며, 각 유형 별로 번인시험 후에 특성의 변화 형태를 <표 4>와 같이 정리할 수 있었다.

<표 4>에서도 볼 수 있듯이 시험 전에 측정을 했을 때 양품인 경우에는 시험을 해도 양품이므로 양품인 다이오우드는 시험할 필요가 없으나 높은 전압에서 누설전류가 큰 다이오우는 번인시험을 통하여 특성이 안정되어 누설전류가 감소하거나, 누설전류가 증가되어 허용기준을 벗어나므로 번인시험이 사용할 다이오우드의 신뢰성을 향상시키는데 효과가 있음을 알 수 있었다.

<표 4> 다이오우드 특성의 3가지 유형

No.	유형	시험 전 측정시 그래프	시험 후 현상	비고
1	양품인 유형		시험 후에 정값의 큰 변화가 없이 품임.	누설전류 소폭 감소 또는 증가

<표 4> 다이오우드 특성의 3가지 유형(-계속-)

No.	유형	시험 전 측정시 그래프	시험 후 현상	비고
2	높은 전압에서 누설전류가 큰 유형		<p>시험 후 특성이 개선되어 높은 전압에서 누설전류가 감소됨.</p> <p>시험 후 특성이 개선되지 않음.</p>	<p>시험 전 누설 전류가 상대적으로 큰 경우 시험 후에도 개선되지 않음.</p>
3	낮은 전압부터 누설전류가 큰 유형		<p>시험 후 누설 전류 증가됨.</p>	

참고문헌

[1] MIL-STD-750 Test Methods for Semiconductor Devices, 1996.