

## 원자력 발전소 인버터 커패시터 성능평가 고찰

구철수

한국원자력안전기술원

### A Consideration of Performance Evaluation of Capacitors of the Inverter in Nuclear Power Plants

Goo, Cheol-Soo

Korea Institute of Nuclear Safety

**Abstract** - 원자력발전소의 안전관련 주요 부하에 무정전전원을 공급하는 인버터의 커패시터에 대한 적합한 성능평가방법을 제시하였다. 관련 절차서 및 기술기준의 검토결과 커패시터의 성능평가는 용량과 유전손실률의 변화로 판단하며 실험결과 온도에 따른 커패시터의 용량은 거의 변화가 없으며 유전손실률은 30℃ 도 부근에서 가장 큰 값을 보여 주었다

따라 부품의 성능을 확인하여 허용기준을 벗어나는 부품은 교체를 하며 앞으로 사용기간 중에 문제를 일으킬 가능성을 제거하는 작업을 한다. 인버터에는 여러 종류와 용량의 커패시터가 사용되는데 본 논문에서는 전해커패시터로 한정하였으며 전해 커패시터의 성능확인 방법은 용량을 점검하여 허용기준이내인가를 확인하고 허용기준을 벗어나는 커패시터는 교체를 하는 것으로 되어 있었다.

#### 1. 서 론

원자력 발전소에 설치된 인버터는 안전 부하에 전원을 정전없이 공급하는 역할을 하는 주요한 설비이다. 이러한 인버터에는 인버터의 성능을 좌우하는 부품으로 커패시터가 설치된다. 커패시터는 인버터내의 다른 부품에 비해 상대적으로 수명이 짧다[5]. 결국 인버터의 수명과 성능은 인버터에 설치된 커패시터의 수명에 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다.

그러므로 인버터의 성능을 일정한 기간 동안 보증하기 위해서는 인버터에서 중요한 부품인 커패시터의 성능을 확인하여 적절한 시기에 교체하는 것이 필요하다. 일반 산업체와 달리 원자력발전소는 특수한 환경이며 발전소 운전 중에 인버터를 정지하거나 보수를 하기를 매우 꺼려한다. 만약 인버터의 점검 및 보수를 할 경우에는 불필요한 조작이나 오동작에 의한 발전소의 불시정지를 일으킬 수 있으므로 발전소 운전요원들은 가능한 이러한 행동을 자제하고 있다.

핵연료를 교체하는 동안에 발전소의 설비를 점검하는데 그 이후 18개월 동안 기본적인 점검 외에는 보수가 교체를 수행하지 않고 있다. 이로 인해 인버터에 설치된 커패시터 즉 여기서는 전해 커패시터의 성능이 적어도 18개월까지는 이상 없이 성능을 발휘 할 수 있음을 보증해야 한다.

이러한 상황에 적합하게 발전소의 점검 절차서가 적합하며 커패시터의 성능을 확인하는 방법이 커패시터의 수명을 확인할 수 있는 방법인가를 확인하고자 관련시험 절차서 및 기술기준을 검토하였다. 그리고 커패시터의 성능을 확인하는 방법으로 용량과 유전손실률을 측정하는 데 실제 측정을 할 때의 환경과 운전 중 일 때의 인버터 내부의 온도가 차이가 있어 온도에 따라 이러한 값들이 어떻게 변화를 하며 실제 측정시 온도를 보상해야 하는 것을 결정하기 위해 온도의 변화에 따른 용량 및 유전손실률의 변화를 관찰하고자 커패시터 시편의 온도를 변화시켜 가면서 측정하였다.

#### 2. 본 론

실제 원자력발전소에서 수행하고 있는 인버터 커패시터의 성능확인이 적합하게 진행되고 있는가를 확인하는 것이 중요하며 이것이 가장 정확하고 신뢰성있는 방법인가를 검증하는 것이 더 중요하다. 안전에 중요한 직류전원을 공급하는 인버터의 주요부품인 커패시터의 정확한 수명과 성능을 확인하는 관련기술기준을 조사하고 그 내용을 간략하게 정리하였다. 그리고 원전에서 사용하고 있는 커패시터 시편을 가지고 커패시터의 성능을 확인하는 시험을 수행하였다. 시험내용은 커패시터를 향한 합습기에 넣고 온도를 변화시켜가면서 커패시터의 용량과 유전손실률을 측정하여 비교하였다. 시편으로 사용한 커패시터는 실제로 원전의 인버터에서 사용하던 것으로 신품 및 용량저하 제품을 시험하였다.

##### 2.1 시험관련 절차서

원자력 발전소의 시험절차서는 인버터와 관련하여서 2가지로 구분할 수 있다. 한 가지는 인버터 자체의 전체 성능을 확인하기위하여 주기적으로 인버터의 출력전압, 주파수 및 고조파 등을 점검하여 인버터가 본래의 성능을 가지고 있는지를 확인하는 것이다. 두 번째로는 인버터를 구성하고 있는 각 부품의 성능과 수명을 확인하는 것으로 정비절차서에

#### 2.2 관련 기술기준

기술기준에는 커패시터의 성능과 수명을 확인하고자 하는 시험에 관한 기준을 제시하고 있다. 시험 기술기준의 내용은 커패시터의 성능과 신뢰성을 확인하는 시험으로 국내 및 국외의 기술기준이 있다. 그 내용은 국내기술기준은 국외 기술기준을 참조하여 작성된 것이 대부분이고 기술된 내용도 유사한 것들이었다.

커패시터의 성능은 누설전류, 정전용량, 등가직렬저항 및 유전손실률을 측정하여 이러한 값들이 제작자가 제시한 값을 만족하지 못할 경우에는 커패시터가 불량으로 판정된다. 이러한 성능변수의 확인은 국내 및 국외 기술도 마찬가지로 있다.

그 외 기술기준자료들이 제시하고 있는 내용으로는 원자력발전소의 무정전계통에서는 인버터의 입력전원으로 직류전원이 충전기를 통해 공급되는데 이때 충전기의 출력 직류전원의 품질이 인버터의 입력측 필터에 설치된 커패시터의 수명에 영향을 미친다. 즉 충전기의 출력측 리플값은 2% 이내로 제한하고 있으며 과도한 리플은 인버터 입력측 필터 커패시터의 수명을 단축한다[1].

알루미늄 직류 전해 커패시터가 필터로서 사용되는 경우는 그 수명은 보통 5 - 10년이며 교체주기는 3-7년 정도이다. 수명에 영향을 주는 가장 큰 요인은 열과 전기적인 스트레스인데 전해액의 증발로 인한 성능의 감퇴가 가장 크다. 전해액의 증발은 커패시터의 보관 및 사용시의 온도가 가장 큰 요인이다[1].

전해 커패시터의 측정은 주파수가 100Hz - 120Hz로 하며 측정을 목적으로 하는 주파수의 허용범위는 ±20%를 초과하지 않아야 한다. 측정 전압은 경계전압(직류) 혹은 5V의 3%를 초과하지 않으며 특별한 요구 사항이 없으며 이 값보다 작아야 한다. 그 외 측정기기의 정확도에 관계서도 언급하고 있으며 정전용량의 값은 허용값 이내에 있어야 한다. IEC60384-4 유전손실률의 측정도 정전용량의 측정과 동일한 방법을 적용하고 있다[2,3].

유전손실률은 절연저항에 따른 손실이며 커패시터의 커패시턴스와 등가 직렬저항값의 비이다. 어떠한 특정 주파수와 온도에서 유전체의 품질을 결정하는 요소이기도 하다. 유전손실률은 커패시터에서 전력손실량을 나타내기도 한다. 유전손실률은 습도에 민감하며 사용수명에 영향을 미치는 3요소는 전압, 리플전류와 주변온도이다. 알루미늄 커패시터의 경우 제작자가 보증하는 기간동안에는 섭씨 40도이하에서 보관하여야 하며 기간이 연장되면 섭씨 25도 이하에서 보관하여야 한다[1] 등 이와 같은 내용이 관련 기술기준이나 기술기준의 내용과 관련된 문헌의 내용을 요약한 것이다.

#### 3. 온도 변화에 따른 커패시터의 용량 및 유전손실률 측정

원자력 발전소에 사용되는 인버터의 커패시터를 시편으로 하여 온도의 변화에 따른 용량과 유전손실률이 어떻게 달라지는가를 확인하기 위해 시험을 수행하였다. 시험에 사용한 커패시터는 알루미늄 전해 커패시터이며 상세한 사양을 아래 표1과 같다.

시험방법은 온도 특성을 확인하기 위하여, 23 ℃, 30 ℃, 40 ℃ 및 50 ℃에서 각 30분간 유지한 후 정전용량(C) 및 유전손실률(D)을 측정하였으며 시험품은 알루미늄 전해커패시터이므로, KS C IEC 60484-1 및 제조사 사양서에 따랐으며 시험주파수는 120 Hz로 하였다. 시험은 23 ℃에서부터 50℃로 증가시키면서 실시하였다. 시험결과 시료 5개에 대한

정전용량과 유전손실률은 각각 표 3, 4와 같다. 그리고 시험에 사용한 시험 장비는 아래 표 2와 같다.

표 1 용량측정에 사용한 커패시터 시편의 사양

순번	시험에 사용한 시편
1	KOREA CHEMI-CON KME 4700 uF 200WV 105 ℃ (4700 uF 200 V)
2	FELSIC C039 33000uF -10+50% 63Vcc -55+85℃728407 SIC-SAFCO (33000 uF 63 V) 울진1발 인버터 콘덴서 구품(사용 중 C 값 저하)
3	FELSIC C039 33000uF -10+50% 63Vcc -55+85℃728407 SIC-SAFCO (33000 uF 63 V) 울진1발 인버터 콘덴서 신품
4	NIPPON CHEMI-CON 36DA 85 ℃ 8200 uF 200V 0044L 31 + POSITIVE
5	NIPPON CHEMI-CON U36D 85 ℃ 250 V 8200 uF 0717L 62 + POSITIVE

표 2 시험 장비 사양

장비명	제조사	모델명	주요사양
LCR METER	AGILENT	4284A	20 Hz ~ 1MHz
ENVIRONEMNE TAL CHMBER	ESPEC	PSL-2KTH	-40 ℃ ~ 180 ℃

시험에 사용한 커패시터 중 2번 시료는 발전소에서 용량이 저하되어 교체대상의 커패시터였으나 실제로 시험에서는 용량의 감소가 크지 않으며 3번시료인 동일한 제품의 신품 커패시터보다는 용량이 적은 편이나 제한값을 초과하는 정도는 아니었다.

모든 시료에서 보여 주는 것과 같이 온도의 변화에 따라 측정되는 용량의 값은 큰 차이가 없고 유전손실률은 30℃ 부근에서 최대값을 나타내고 오히려 고온에서 낮은 값을 나타내었다. 이것은 내부의 등가 저항값의 변화에 따른 것으로 추측된다. 시험결과를 고찰하면 원자력발전소 현장에 설치된 인버터 내부의 커패시터 용량 측정은 실제로 측정하는 장소의 온도에는 거의 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 그러나 문헌조사결과를 보면 온도에 의해 전해 커패시터의 수명은 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다[1,5].

표 3 온도의 변화에 따른 유전손실률

순번	23 ℃	30 ℃	40 ℃	50 ℃
1	0.029	0.043	0.035	0.029
2	0.078	0.092	0.083	0.078
3	0.076	0.092	0.082	0.076
4	0.036	0.039	0.037	0.036
5	0.021	0.033	0.026	0.021

표 4 온도변화에 따른 정전용량

순번	정전용량 ( uF)								공칭 정전용량
	23 ℃		30 ℃		40 ℃		50 ℃		
1	4825	2.7%	4754	1.2%	4783	1.8%	4825	2.7%	4 700 uF
2	33877	2.7%	33040	0.1%	33249	0.8%	33877	2.7%	33 000 uF
3	36893	11.8%	36217	9.7%	36538	10.7%	36893	11.8%	33 000 uF
4	8099	-1.2%	7996	-2.5%	7941	-3.2%	8099	-1.2%	8 200 uF
5	7089	-13.6%	6996	-14.7%	7044	-14.1%	7089	-13.6%	8 200 uF

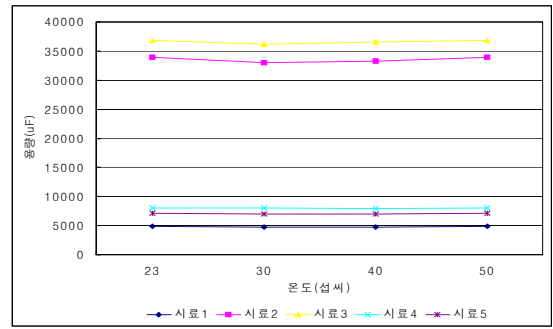


그림 2 온도의 변화에 따른 측정 용량

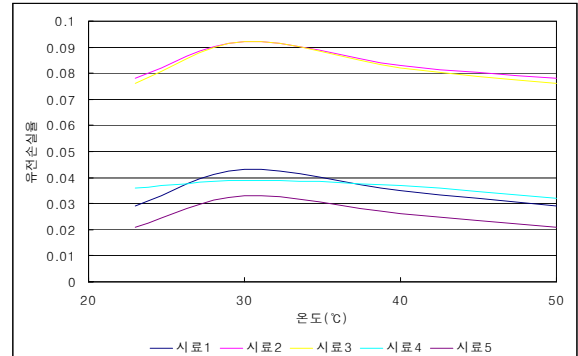


그림 3 온도의 변화에 따른 유전손실률

### 3.1 시험 결과의 고찰

원자력발전소에 설치된 30KVA이상의 대형 UPS(무정전전원계통)의 인버터에 설치되는 커패시터를 온도를 변화시켜가면서 정전용량과 유전손실률을 측정하였다. 커패시터 내부의 등가직렬저항은 온도가 증가함에 따라 전해질의 전도성이 증가하므로 이로 인해 등가직렬저항값은 감소하게 된다[1]. 일반적으로 알려진 커패시터의 수명은 동작온도에 큰 영향을 받는 것으로 되어있다. 그러나 측정시의 온도는 정전용량에 변화를 주지않았다. 유전손실률이 30℃ 근처에서 대부분의 시편이 손실률이 크게 나타났는데 온도의 상승에 의한 등가직렬저항값의 감소가 영향을 미치는 것으로 추측되나 정확한 원인은 좀 더 연구가 필요하다.

## 4. 결 론

원자력발전소 무정전전원계통(UPS)의 인버터에 설치되는 커패시터에 대한 성능평가는 정전용량과 유전손실률을 측정하여 판정하는 것이 커패시터 성능평가의 일반적인 방법이다. 그러나 이러한 평가방법은 원자력발전소가 정상운전 중에는 인버터의 점검 및 내부부품의 교체가 어렵다. 원자력발전소의 안전관련 무정전전원계통에 사용되는 부품의 성능은 점검이나 교체 후 그 성능이 18개월 이상 보증될 수 있음을 확인해야한다. 실제 현장에서 사용하고 있는 커패시터로 시험한 결과 측정시 온도는 커패시터의 정전용량에 영향을 미치지 않으나 유전손실률은 30℃ 부근에서 증가하는 현상을 보였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] W.E. Johnson, "Capacitor Application and Maintenance Guide TR-112175", EPRI, 1999.
- [2] 한국표준협회, "전자기기용 고정 커패시터-제1부 : 품목 규격", KS C IEC 60384-1, 2005.
- [3] 산업자원부 기술표준원, "알루미늄 전해 커패시터", RS C 0005, 2001.
- [4] 이광원, "인버터 직류링크 전압 평활용 전해 커패시터의 고장 진단", 전력전자학회 논문지, 제 12권 제 5호, 2007년 10월.
- [5] 이동준, 김형진, "인버터용 전해 커패시터의 수명 추정", 전기학회 논문지, Vol. 50B, No. 7. 2007년 7월.