

# VVVF 직류전동차의 보조전원장치(SIV)180KVA용에 사용되는 필터콘덴서(FC) 유지보수 및 사용한도에 관한 연구

## Research about VVVF direct subways Secondary source unit(SIV)180KVA for using Filter Capacitor(FC) maintenance & limit of use.

신혜진†  
Hye-Jin Shin

우석태\*  
Suk-Tae Woo

신민호\*  
Min-Ho Shin

손영진\*\*  
Young-Jin Son

### ABSTRACT

First, In this essay we research about secondary source unit(SIV)180KVA is install on VVVF direct subways for using Filter Capacitor(FC) maintenance & limit of use. Vehicle's extendly use and congestly at load for Catenary voltage and load change about output change and in SIV unit there are important device named GTO Thyristor, Power Transistor Module device become short and it often happen. We analysis the fault cause and there are effects and we know the secondary source unit in filter capacitor FC1~4 input harmonic distortion component's filtering don't do correctly so we study the capacitor extend use for the component change and the outside condition by slow property changed happen and we check before and when its fault, its difficult to measure. Finally, In this research we care for this reason and we study about capacitor maintenance through control and measure ways improvement and capacitor's life spans limit of use.

### 국문요약

본 논문에서는 현재 VVVF 직류전동차에 장착되어 있는 보조전원장치(SIV)180KVA용에 사용되는 필터콘덴서(FC) 유지보수 및 사용한도에 관한 연구를 수행하였다. 차량의 장기사용에 따른 내구연한과 혼잡도 부하에 따른 가선전압 변동 및 부하변동에 대해 출력 전압값의 변화와 SIV장치내 중요소자인 GTO Thyristor, Power Transistor Module 소자가 단락되는 현상이 자주 발생되는 등 고장원인을 분석해 본 결과 보조전원 장치내 필터 FC1~4 캐패시터의 입력측 고조파 성분의 필터링이 제대로 되지 못하는 것을 알게 되었으며, 캐패시터의 장기 사용에 따른 성분변화와 외부조건에 의해 천천히 특성변화를 일으킴으로써 사전 점검방법 및 불량 시 측정하기 어렵다는 점을 착안하여 본 연구를 검토하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 캐패시터의 유지보수를 통한 관리와 측정방법의 개선점, 캐패시터의 수명 사용한도에 대해 검토하였다.

† 신혜진, 서울산업대학교, 철도차량공학과 학생  
E-mail : hye1839@daum.net  
TEL : (02)6110-7088 FAX : (02)6110-7099  
\* 우석태, 서울산업대학교, 철도차량공학과, 학생  
\*\* 신민호, 서울산업대학교, 철도차량공학과, 학생

## 1. 서론

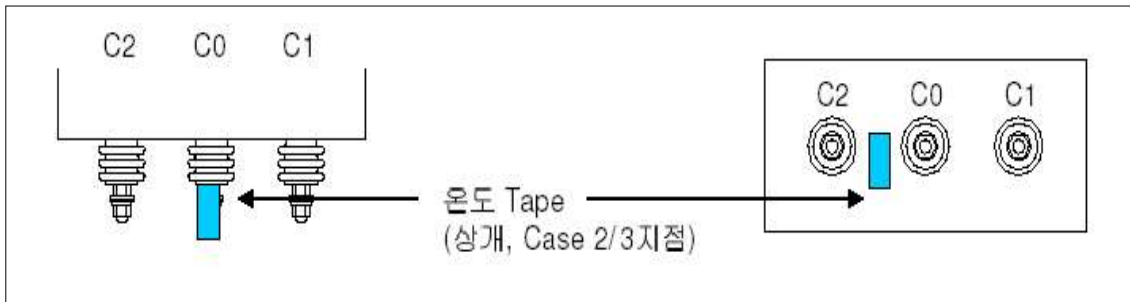
현재 서울메트로에서 관리, 운용하고 있는 VVVF전동차에 보조전원장치(SIV)가 1개편성에 3Unit가 장착되어 있으며 SIV 입력측 인버터 스위칭회로에서 발생하는 고조파 성분을 Filtering하기 위해 필터리액터, 필터콘덴서가 설치되어있다.

180KVA용 보조전원장치에 사용하는 필터콘덴서의 기능저하 및 절연파괴로 GTO Thyristor, 인버터부 Power Transistor 소자가 단락되는 현상이 발생하여 보조전원장치에 들어가는 FC1~4 콘덴서의 장기 사용에 따른 성분변화와 외부조건에 의해 천천히 특성변화를 일으키는 것을 조사하고 사전 점검방법 개선 및 정확한 측정기기를 선정 불량 유무판독과 콘덴서의 사용한도를 정하였다.

## 2. SIV 필터콘덴서(FC)의 내구성시험

필터콘덴서가 열차 운행시 발생하는 전압 및 전류, 주파수를 각각 측정하고 용량증대에 따른 기기의 안정적인 동작여부 등 내구성시험을 시행하였다.

기존콘덴서 1000VDC 1000 $\mu$ F+1000 $\mu$ F과 용량증대 1000VDC 2000 $\mu$ F+2000 $\mu$ F을 설치하고 전류 및 전압파형, 주파수 등을 측정하여 비교하고 필터콘덴서 외부표면에 온도 Tape를 부착하여 2010년 하절기(냉방기부하 최대, 주위온도 최대)때까지 측정 열차 운행시 콘덴서에 발생하는 최고온도를 측정 Data 분석하기로 하였다.



### 2.1 시험 Data 및 결과

단자	측정조건	기존 FC			용량증대 FC		
		전압 Max	전류 Max	주파수	전압 Max	전류 Max	주파수
C0 (FC0)	기동후 측정 (차량 정차중)	1000V	42.4A	약 360Hz	960V	31.2A	약 360Hz
C1 (FC3)		200V	45.6A		120V	27.2A	
C2 (FC4)		1840V	45.6A		1760V	23.2A	

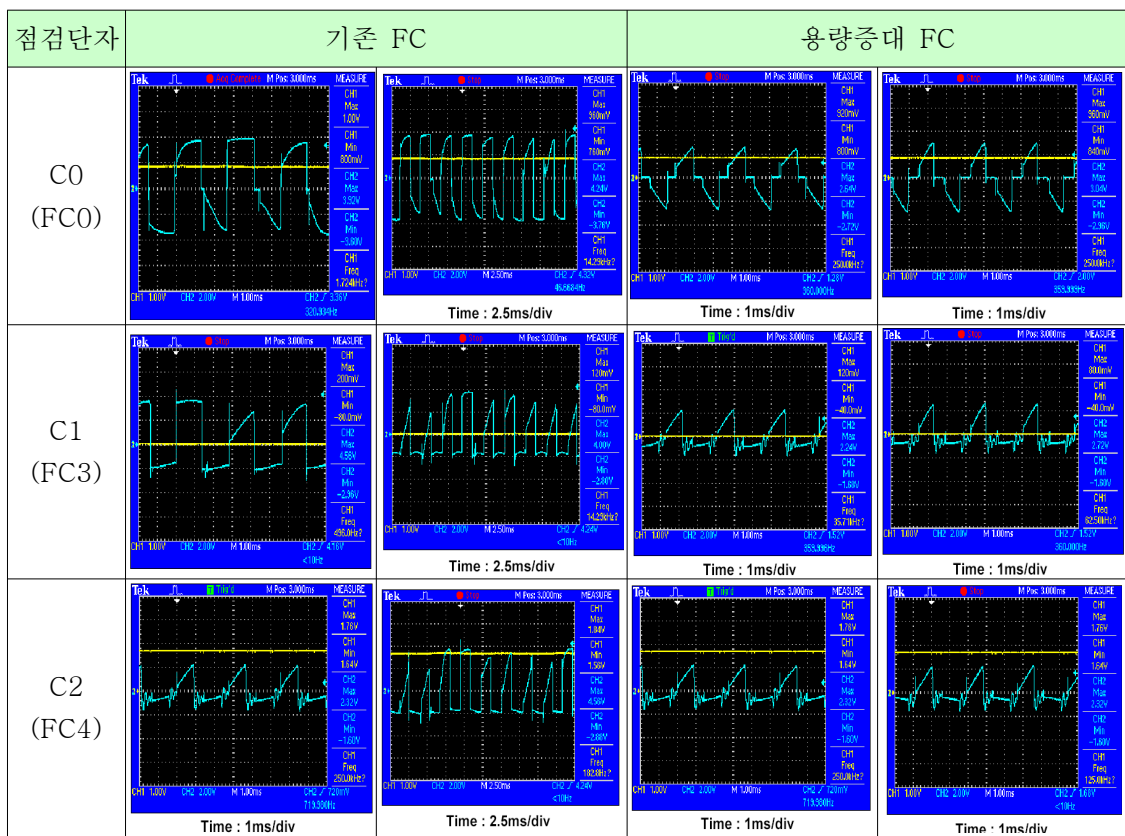
두제품 모두 전압은 단자마다 약 80VDC정도 차이가 발생하였으며 기존품이 약간 높게 나타났다. 전류의 경우는 Peak 값을 기준하여 기존 FC가 용량증대 FC 보다 약 36%~97% 높게 측정이 되었으며 주파수는 각각의 단자 마다 약간의 오차가 있지만 대략 360Hz로 측정되었다.

측정 전류의 차이는 콘덴서의 용량 변화에 따른 회로 임피던스의 변화에 의한 것으로 추정된다. 실제 운전 중에는 콘덴서 취부함이 협소하여 Current Monitor를 설치 할 수 없었으며 High Voltage Probe만 설치하여 운전 중 부하변동에 따른 전압을 확인 하였으나 정지시와 큰 차이가 없었다.

파형을 분석해 보면 기존콘덴서의 파형은 톱니파 또는 삼각파가 혼재되어 있는 모습 이었으며 용량증대 콘덴서의 파형은 주파수가 일정한 삼각파를 이루고 있어 파형개선에 효과가 있음을 알 수 있었다.

## 2.2 실제전압 및 전류파형

\* 노란색선 : 전압파형(1000:1) 푸른색선 : 전류파형(10:1)



## 3. 콘덴서의 이상유무 판단

콘덴서의 이상유무를 판단하는 방법은 콘덴서의 전기적인 특성을 측정하는 방법과 외관적인 부분을 확인하는 방법이 있으며 장기사용에 의한 정기적인점검 및 정밀점검으로 이상이 판단되면 신제품으로 교환해야 한다.

### 3.1 전기적인 특성을 측정하는 방법

콘덴서의 고유값인 정전용량( $\mu F$ )을 측정하여 고장유무를 판단할 수 있는데 고장이 발생한 콘덴서는 내부 정전용량의 변화를 가져오게 되므로 계측기를 이용하여 정전용량값을 측정하여 고유 용량값 보다 허용오차  $\pm 10\%$ 에 들지 않으면 불량이다.

- 단상콘덴서 : 콘덴서의 양 단자간에 정전용량값을 측정한다.  
명판에 기재된 정전용량과 비교
  - \* FC1, 2 :  $6000\mu\text{F} \pm 10\%$
  - \* FC3, 4 :  $1500\mu\text{F} + 1500\mu\text{F} \pm 10\%$
- 삼상콘덴서 : 콘덴서의 양 단자간 사이 R-S, S-T, R-T의 정전용량  
값을 각각 측정하여 삼상 평형(상간 108%이내)인가를 확인한다. 측정값은  
아래의 식에 따라 환산을 한 후 명판에 기재된 정전용량값과 비교
  - ▶ **정전용량( $\mu\text{F}$ ) = 측정정전용량( $\mu\text{F}$ )  $\times$  1.5배**
  - \* ACC :  $400\mu\text{F} \times 3 \pm 10\%$

콘덴서가 완전히 방전될 수 있도록 전원차단 후 충분히 방치(고압 5분이상)하여 방전여부를  
확실히 확인한 후 측정 한다.

### 3.2 외관적인 부분을 확인하는 방법

콘덴서는 제조공정의 특징상 내부를 완전 진공상태로 만들고 절연유를 가득 채운 상태로  
제작하게 되므로 만일 콘덴서의 내부 절연과피가 발생하면 유전체간 Short가 발생하여 진  
공상태로 그을음이 발생하며, 절연유의 분해로 인해 가스가 발생하게 되고 국부적으로 케이  
스(외부 표면)의 팽창이 발생한다.

케이스의 팽창은 콘덴서 내부의 진공상태를 깨트리기 때문에 절연유의 수위가 낮아짐으로  
**콘덴서를 흔들어 보았을 경우 절연유의 출렁임을 느끼면 불량으로 판단**하여야 한다.

콘덴서는 완전 밀폐된 유연한 금속 Case 내부에 콘덴서 유전체와 절연유로 구성되어 있다.  
전원이 인가되면 콘덴서는 자체 손실에 의한 발열이 발생하고 주위온도보다 높게 된다.

VVVF 차량용 **필터콘덴서의 사용온도는  $-25^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$** 로 되어있다.

#### 3.2.1 콘덴서 발열요인

콘덴서의 발열은 내부 유전체의 열화를 가속시키고 절연유의 오염을 유발시켜 콘덴서 수  
명 단축에 큰 영향을 미친다.

▶ **발열의 요인 : 고조파, 과전압, 과전류, 주위온도 상승, 단자부위 불량**

▶ **외적인 요인** : 허용 사용온도 범위 초과, 역전압, 급격한 충방전, 심한 진동과 기계적 쇼크  
차량에 장착된 필터콘덴서의 수명은 콘덴서에 인가되는 전압과 주위온도, 사용 조건에 따라  
크게 달라질 뿐만 아니라 고조파의 유입, 기동 시퀀스 고장으로 과전압 과전류 인가, 하절  
기 높은 주위온도, 잦은 스위칭 등의 원인이 고장의 큰 비중을 차지하고 있다.

### 3.3 필터콘덴서 불량시 보조전원장치에 발생하는 요인

- \* Thyristor 위상제어에 영향을 준다
- \* 인버터부 입력전압 요동
- \* Gate Control Unit 오동작
- \* Power Transistor 과열 소손
- \* Gate Drive Unit(GDU), Base Drive Unit(BDU) 오동작
- \* 형광등 플리커 현상(깜박거림) 발생

### 3.4 필터콘덴서 점검요령 및 이상유무

점검항목	점검방법	점검요령	판단기준
누유	육안검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본체에 기름으로 더러워진 곳은 없는가</li> <li>○ 기기 하부에 기름으로 더러워진 곳은 없는가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기기 하부에 기름이 고여 있으면 교환</li> </ul>
외부 표면검사	정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 케이스의 팽창치수 한계치 확인                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10~30kvar : 8 ~ 15mm</li> <li>- <b>50kvar : 10 ~ 20mm</b></li> <li>- 75~100kvar : 10 ~ 25mm</li> <li>- 150~500kvar : 15 ~ 30mm</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기동 정지 후 냉각하여도 원상태로 회복불능</li> <li>○ <b>30mm이상 팽창시 교환</b></li> </ul>
정전용량 측정	정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정격 값에 대하여 <math>\pm 10\%</math> 이내                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* FC1, 2 : <math>6000\mu\text{F} \pm 10\%</math></li> <li>* FC3, 4 : <math>1500\mu\text{F} + 1500\mu\text{F} \pm 10\%</math></li> <li>* ACC : <math>400\mu\text{F} \times 3 \pm 10\%</math></li> </ul> </li> <li>○ 각상의 최대/최소비는 108%이하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 허용오차 이상이면 교환</li> <li>○ FC1~4 : <math>1500\mu\text{F} \pm 10\%</math></li> <li>○ ACC : <math>400\mu\text{F} \times 1.5\text{배} \pm 10\%</math></li> </ul>
콘덴서 분압이상	정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 인버터의 입력 필터콘덴서 FC3, 4의 전압 불평형이 발생할 경우, 인버터부에 이상이 생긴 것으로 판단하여 보호동작 한다.</li> <li>○ 불평형이 200V일 때 보호동작 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ FC3, 4의 전압불평형이 발생할 경우 교환</li> </ul>
단자부 이완	정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단자부의 과열은 없는가</li> <li>○ 단자부분에서 기름 누유는 없는가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단자부 기름 누유시 교환</li> </ul>
이상음 소음	청각검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ SIV 정상기동상태에서 충격음 등의 이상음은 없는가</li> <li>○ 정상시에 비해 갑자기 크게 느끼는 일은 없는가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 충격음 발생시 교환</li> </ul>
단자부 과열	육안검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 변색되어 있는 단자는 없는가</li> <li>○ 애자 상부로부터의 누유는 없는가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단단히 조임</li> </ul>
주위온도	온도계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주위온도가 비정상적으로 높지 않은가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 콘덴서 발열에 의한 주위온도가 40℃ 이상시 교환</li> </ul>

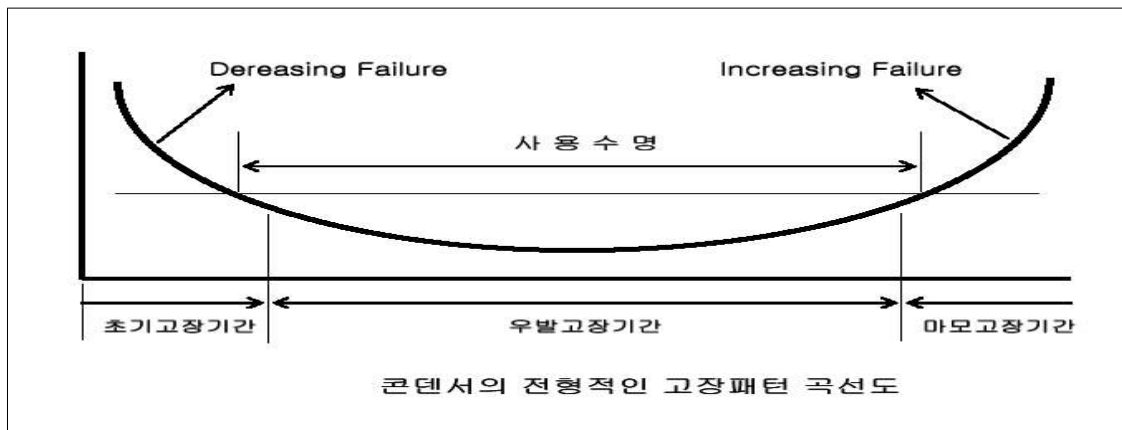
누유 및 외부표면검사는 정기적으로 월상검사 시 정밀하게 점검 할 필요성이 있고 정전용량 측정은 6개월검사 시에 측정하는 것이 바람직하다.

#### 4. 필터콘덴서 사용수명

평균 콘덴서 기대수명은 사용목적에 따라 다르게 나타나며 전동차용 고압콘덴서의 경우 대략 15년 이상 사용시 고장비율이 급격히 상승 하고 있다.

필터콘덴서(FC3, 4)는 15년이상 사용물품에서 고장비율이 상승하고 있어 15년이상 사용시 정밀점검(정전용량, 외부표면검사, 온도측정) 및 교환이 필요하다.

3상 AC출력 정현파 성분을 필터링하기 위해 설치한 AC 고압콘덴서(ACC)는 사용수명이 더욱 짧아 10년이상 사용한 콘덴서에서 외부표면 팽창 불량률이 급격히 상승하고 있어 정기검사시 10년이상 사용한 콘덴서는 교환하는 것이 타당하다.



#### 4.1 필터콘덴서 교환주기

물품	FC1, 2	FC3, 4	ACC
사용수명	18~20년	15~18년	10~12년
교환주기	18년	15년	10년

#### 5. 콘덴서 정전용량 측정기

\* LCR Tester(3522-50)

- 측정범위

R : 10.00mΩ ~ 200.11MΩ

C : 0.3200pF ~ 1.000F

L : 32.000nH ~ 750.00kH

\* LCR Tester(3532-50)

- 측정범위

R : 10.00mΩ ~ 200.00MΩ

C : 0.3200pF ~ 370.00mF

L : 32.000nH ~ 750.00kH

## 6. 결론

전동차용 필터콘덴서의 이상유무 판단 및 점검방법을 제시하고 효율적인 예방정비를 위해 콘덴서 사용수명을 제안 하였다.

정기적인 점검을 통해 정전용량, 외부표면검사, 온도상승을 정확하게 진단하고 사용수명이 도래한 물품은 사전 교환해야 하며, 장기사용 물품에서 주위온도의 변화가 심할 때 고장율이 증가하므로 동·하절기 외부표면검사에 대한 좀더 정밀한 점검이 필요하다.

콘덴서 정전용량증대로 입력측 고조파 성분을 제거하기는 어렵고 직렬 리액터에 병렬로 R-L-C 회로를 추가하여 고조파 성분을 제거해야 함을 알 수 있었다.

본 연구에서 필터콘덴서 점검 및 측정방법을 개선시킬 수 있을 것으로 기대 되며, 필터콘덴서 사용수명에 대하여 지속적인 분석을 할 수 있을 것으로 판단된다.

### [참고문헌]

1. 삼화콘덴서공업주식회사 FC 기술팀
2. SAMWHA CAPACITOR CO.LTD. 기술정보