

# 전력용 콘덴서의 규격 비교 연구

(Standard Comparison Investigation of Power Condenser)

김 종 검 · 박 영 진 · 이 은 웅 · 이 동 주 · 김 일 중

(Jong-Gyeum Kim · Young-Jeen Park · Eun-Wong Lee · Dong-Ju Lee · Il-Joong Kim)

## 요 약

Capacitors are known as condensers. They play an important in the industrial site because of benefits such as var support, improved voltage control and power factor, increased system capacity, and reduction of system power losses. But capacitors can be seriously affected by bad power quality such as transient and impulsive overvoltage, overload, harmonics.

Capacitor standards and application guides are revised or supplemented by speedy technology advancements in the manufacturing of capacitors and in the power electronics.

This paper presents various illustrations and comparison for several standards of power system capacitors.

## 1. 서 론

전력용 커패시터는 무효전력의 제공, 전압 안정화, 역률 개선 그리고 시스템 전력 손실의 감소에 따른 시스템 용량의 증가를 가능하게 하므로 산업현장에서 널리 적용되고 있다. 이 전력용 커패시터는 주로 온도, 전류, 전압 등의 영향으로 정상적인 수명이 보장받지 못하고 절연파괴 등으로 소손되는 경우가 많다. 커패시터의 수명에 큰 영향을 주는 요소로서는 온도 상승 외에 과부하, 전압변동, 고조파 등 전기품질에 관련된 영향을 받아 사고가 나는 비중이 점차 높아지고 있다. 따라서 각 나라별 또는 기관별로 커패시터의 안정적인 사용을 보장하기 위해 전압, 전류 등에 따른 제 규격을 정해 운영하고 있다 [1].

본 연구에서는 전력용 커패시터의 국가별 및 기관별로 정해진 각각의 종류별 특성을 비교하여 전압 및 전류에 어떤 차이가 존재하는지를 비교 분석하였다.

## 2. 규격 내용

### 2.1 IEEE/ANSI/NEMA 규격 [2~20]

IEEE에서는 전력 시스템 커패시터 세목(specification), 적용 그리고 분로 및 직렬 커패시터의 보호 등에 관한 4가지 표준을 제시하고 있다.

IEEE std 18은 역률 보상 분로 커패시터에 대한 정의, 상세사항 및 시험 접근법을 제시하고 있다. 또한 규정된 전압 정격에 대한 커패시터 정격을 선택할 수 있도록 제시하고 있다. IEEE std 1036은 배전선의 분로 커패시터, 정격, 설비 적용 및 변전소에 대한 분로 커패시터와 관련된 문제의 목적을 요약하고 있다. 그리고 고조파 필터, 전동기 설비 및 서지 커패시터와 관련된 설비 문제에 관한 특별한 설비가 명시되어 있다. 안전 및 인명 보호를 위한 지침, 초기 관찰, 측정 및 분로 커패시터의 전원 공급 문제가 언급되어 있다. 주기적인 점검, 유지 및 현장 시험 사항들도 함께 제시되어 있다.

ANSI/IEEE std C37.99는 고조파와 같은 시스템 보호, 불평형 보호의 결과, 보호문제, 정격 요구사항, 델타 또는 wye 구성과 같은 बैं크 배열, 단위 정격의 기본을 공문화하고 있다.

IEEE std 824는 전력 시스템에서 직렬 커패시터의 적용을 위한 지침을 제공하고 있다. 직렬 커패시터 보상은 전력 시스템 커패시터의 매우 특별한 설비로 신중한 검토를 요구하고 있다. ANSI/IEEE std C37.04는 전류 파형의 곡선으로부터 측정된 단락전류의 대칭 성분의 가장 높은 값으로서 정격 단락전류를 규정하고 있다.

ANSI/IEEE std C37.06은 여러 차단기에 대한 표준 정격을 제공하고 있다. ANSI/IEEE std C37.09는 여러 차단기에서 설계시험, 생산시험, 인도후 시험, 현장시험 그리고 일치시험의 사양을 다루고 있다. 이 표준은 커패시터스 전류 스위칭을 포함하여 다양한 스위칭 조건에서 허용할 수 있는 과도회복전압(TRV)을 명기하고 있다. ANSI/IEEE std C37.010은 고압 차단기의 적용을 위한 가이드라인을 제공하고 있다. 이 지침에서는 적당한 차단시간, 허용할 수 있는 트리핑 지연, 재투입 시간, TRV 비율, 커패시터스 전류 스위칭, 분로 리액터 스위칭 및 단락에 관련된 고려 사항을 포함하고 있다. ANSI/IEEE std C37.011은 과도회복 전압(TRV) 개념들을 살펴보고 있다. 여러 가지 커패시터스 기준 시스템에 대한 TRV의 계산과 고장 난 전력 시스템에서 TRV 계산이 토론되고 있다. TRV는 어떤 차단기의 선택과 동작에서 중요한 파라미터이다. 발전기, 버스, 송전선 및 계기용변압기와 같은 여러 장비에 대한 대표적인 커패시터스 값이 이 표준에 제시되어 있다.

ANSI/IEEE std C37.012는 재투입의 영향, 과도 과전압, 차단 시간과 같은 커패시터스 전류 스위칭 적용 문제를 주로 다루고 있다. 고장 조건하에서 커패시터스 전류 및 회복전압에 필요한 고려사항들이 언급되어 있다.

IEEE std 519는 전동기, 발전기, 케이블 그리고 커패시터와 같은 여러 가지 전력시스템 요소에서 고조파 발생의 다양한 원인, 시스템 응답특성 및 영향 등을 다루고 있다. 특히 무효 전력 보상과 고조파 제어의 결과가 상세하게 기술되어 있다.

개별 수용가에 대한 해석방법, 측정 접근법 및 추천 기법 등이 제공되고 있다. 이 표준에서는 전원 공급관점에서 권고사항들을 제공하고 있다. 더구나 새로운 고조파 원을 평가하기 위한 방법을 다루고 있다. 역률 보상과 고조파 제어는 분로 커패시터를 사용하여 동시에 이루어지므로 이 표준은 커패시터 적용에 관해서 매우 중요하다.

IEEE std C62.11은 서지 어레스터에 대한 전압 정격, 최대 연속 과전압 정격, 특성 시험 평가절차 그리고 서지 어레스터의 MOV에 대한 보호 특성, 설계시험, 보호특성 및 구성 가이드라인을 제공하고 있다. IEEE std C62.22는 시스템 관점에서 과전압, 개별 영향 및 절연 협조와 같은 서지 어레스터 설비의 일반적인 고려사항들은 언급하고 있다.

IEEE1534는 TSCS(Thyristor Controlled Series Capacitors) 제어 특성, 보호특징, 냉각 시스템, 시험, 위임(commisioning), 동작 및 유지보수 뿐만 아니라 TCSC 사이리스터 밸브 결합, 커패시터 와 리액터에 대한 정격을 고려하는 문제를 언급하고 있다.

ANSI std 141은 시스템 계획을 위한 가이드라인, 전압 고려, 서지전압 보호, 보호 장치의 상호협조, 고장 계산, 접지, 역률 관련 토폭, 전력 스위칭, 계장, 케이블, 버스웨이 및 에너지 보존 등에 관한 사항들을 제공하고 있다. 산업용 부하의 역률을 개선하기 위해 분로 커패시터의 사용은 역률 및 관련 고려사항에서의 장애 언급되어 있다. 유도전동기에 분로 커패시터의 적용 효율 및 안정 관점에서 언급되어 있다. ANSI std 399는 전력 시스템의 컴퓨터 이용 해석을 다루고 있다. ANSI std C37.40은 모든 전기설비에 적합한 배전 cutouts와 퓨즈를 다루고 있다. 이 표준에서는 방출(expulsion) 및 전류 제한 퓨즈에 대한 정의와 세목(specification)을 제공하고 있다. ANSI std C37.42는 커패시터 회로에 적합한 배전 cutouts와 퓨즈를 언급하고 있다. 퓨즈를 탑재하는데 적합한 cutouts의 세목은 시험방법과 함께 요약되어 있다. cutouts의 정격전압, 연속적인 전류, 차단전류, 단시간 정격 그리고 기본 임펄스 절연 정격 등이 52~18kV의 전압 레벨에 대해 언급되어 있다. ANSI std C37.47은 전류 제한 퓨즈와 퓨즈 지지를 위한 배전 퓨즈 분리 스위치기어에 대한 세목을 취급하고 있다.

NEMA도 커패시터에 적용할 수 있는 확실한 표준을 가지고 있다. NEMA CP-1은 Shunt power capacitor 에 대한 규격으로서 ANSI/IEEE 18의 규격에 포함하는 내용을 대부분 포함하고 있다. 이 표준은 정격 216V 또는 그 이상 그리고 2.5kVAR 또는 그 이상의 교류 송배전 시스템에서 정상적인 주파수에서 동작하는 분로 커패시터에 적용되고 있다.

참고문헌[2]에서는 전압 및 전류에 대한 구체적인 허용치를 규정하고 있다. 순간적인 전원 주파수 과전압에 대해서는 기간에 따라 최대 허용전압은 다음과 같이 규정하고 있다[2].

표 1 Momentary power frequency overvoltage

Maximum permissible voltage(multiplying factor to be applied to rated voltage rms)	Duration
1.25	rms voltage for 30 min
1.30	rms voltage for 1 min
1.40	rms voltage for 15 sec
1.70	rms voltage for 1 sec
2.00	rms voltage for 0.25 seconds(15 cycles)
2.20	rms voltage for 0.1 seconds(6 cycles)

과도 과전류에 대해서는 다음과 같이 규정하고 있다[2].

표 2 Allowable over-current magnitude and duration[2]

Probable number of transient per year	Permissible peak transient current(multiplying factor to be applied to rated current rms)
4	1,500
40	1,150
400	800
4,000	400

커패시터는 정상적인 사용 동안에 증첩된 과도나 고조파 성분 없는 전원 주파수 단자간 과전압의 300번 적용을 견딜 수 있어야 한다. 허용할 수 있는 크기와 기간은 다음과 같다 [3].

표 3 Maximum permissible power frequency over-voltages and durations[4]

Duration	Maximum permissible overvoltage
6 cycles	2.20
15 cycles	2.00
1s	1.70
15s	1.40
1 min	1.30

과도 과전압에 대해서는 다음과 같이 규정하고 있다[2].

표 4 Permissible peak transient voltage

Probable number of transient per year	Permissible peak transient voltage(multiplying factor to be applied to rated voltage rms)
4	5.0
40	4.0
400	3.4
4,000	2.9

커패시터의 공칭전압은 선간이다. 커패시터는 정격 실효치

전압의 110%에서 동작할 수 있어야 하고, 침투값은  $1.2\sqrt{2}$  정격 실효치를 초과하지 않아야 한다. 분로 커패시터용 최대 동작전압은 다음 표와 같다[1].

### 2.2 KS 규격(21~25)

KSC 4802는 역률 개선 목적으로 IEC 60831-1에서 적용하는 회로에 부하와 병렬로 접속하여 사용하는 진상용 증착 전극 콘덴서(이하 콘덴서라 한다.)에 대하여 규정하고 있다. 이 KSC 4802는 역률개선, 전압 조정 등을 목적으로 송배전 계통의 교류 3300V 이상의 회로에서 부하와 병렬로 접속하여 사용하는 고압 및 특별 고압 진상 콘덴서에 대하여 규정하고 있다. KSC 4804(고압 및 특별 고압진상 콘덴서용 방전 코일)는 고압 및 특별 고압 진상 콘덴서 또는 콘덴서 군에 상시 병용되어, 콘덴서를 회로로부터 개로 하였을 때, 잔류 전하를 단시간에 방전시킬 목적으로 사용되는 방전코일 중 다음의 주위 조건에서 사용하는 방전코일에 대해서 규정하고 있다. KSC 4805(전기 기기용 커패시터)는 주로 전기 기기에 장착하여 사용하는 커패시터(1) 중, 상용 주파수에서의 정격 전압이 단상 교류 1 000V 이하인 것으로 다음에 나타내는 것에 대하여 규정하고 있다. KSC 4806(고압 및 특별 고압 진상 커패시터용 직렬 리액터)은 고압 및 특별 고압 진상 커패시터 또는 커패시터 군에 직렬로 삽입하여 회로 전압 과형의 왜곡을 경감시키고, 커패시터 투입시의 돌입전류를 억제하는 목적에 사용하는 직렬 리액터 중 다음의 조건에서 사용하는 리액터에 대하여 규정하고 있다.

다음은 전력용 콘덴서의 허용 최대 사용전류의 국내 규격을 명시한 것으로서 최고 허용전압과 허용시간은 전압 배수에 따라 다르게 규정하고 있다.

표 5 전력용 콘덴서의 허용 최대 사용전류(KS)

전압구분	규격	최대 사용 전류	
		직렬 리액터 무	직렬 리액터 유
저압 회로용	4806,	130% 이하	120% 이하
	4801		제5고조파 35% 이하
고압 회로용	4806,	135% 이하	120% 이하
	4802		제5고조파 35% 이하
특고압 회로용	4806,	135% 이하	120% 이하
	4801		제5고조파 35% 이하

### 2.3 JIS 규격(26~29)

JIS 4801은 고압 및 특고압 진상 콘덴서용 직렬 리액터에 대한 규격이고, 4802는 고압 및 특고압 진상 콘덴서용 방전코일 그리고 4902는 고압 및 특고압 진상 콘덴서 규격으로 분리되어 있다가 1998년에 4902에 4801과 4802를 합하여 고압 및 특고압 진상 콘덴서 및 부속기기로 규정을 바꾸어 사용하고 있다. 4901은 저압 진상 콘덴서에 대한 규정을 다룬 것으로서 IEC 60831-1과 같다.

표 6 진상 콘덴서의 최고 허용전압

전압	허용 전압	운전조건	근거
고압, 특고압	110%	24시간중 12시간 이내	[JIS C 4902-1990]
	115%	24시간중 30분 이내	
	120%	1개월중 5분 이내가 2회 이하	
	130%	1개월중 1분 이내가 2회 이하	
저압	110%	24시간중 8시간 이내	[JIS C 4901-1984]
	115%	24시간중 30분 이내	
	120%	1개월중 5분 이내가 2회 이하	
	130%	1개월중 1분 이내가 2회 이하	

표 7 통합된 고압 콘덴서 규격

구분	종래 규격(JIS C 4902-1990)		신규정(JIS C 4902(1998))
	무	유	유
직렬 리액터	무	유	유
회로 전압	6600V	6600V	6600V
정격 설비 용량	100	106	100
콘덴서	정격전압	6600V	7020V
	정격용량	100kVar	106kVar
직렬 리액터	리액턴스	-	6%
	정격전압	-	229V
	정격용량	-	6kVar

### 2.4 IEC 규격(30~33)

IEC는 커패시터에 관한 여러 가지 표준을 가지고 있다. 이 표준은 유럽 전체 및 다른 곳에서도 널리 이용되고 있다.

IEC에서 1000V를 포함한 저압에 대해서는 60831에 그리고 1kV 이상의 고압에 대한 내용은 60871에 명시되어 있다.

표 8 IEC 60871

전압배수	최대 지속시간	관측(Observation)
1.00	연속	통전된 임의의 기간 동안 최고 평균치. 24시간미만의 통전 기간에서, 예외는 아래 지시된 것 같이 적용
1.10	매 24시간 중 12시간	System voltage regulation and fluctuations
1.15	매 24시간중 30분	System voltage regulation and fluctuations
1.20	5분	경부하에서 전압 상승
1.30	1분	

위 표에서 실효치의 1.1배 전압값에 대한 최대지속시간이 저압의 경우 24시간 중 8시간 이상으로 규정되어 있다.

전력전자용으로 사용되는 커패시터에 대해서는 다음과 같이 규정하고 있다.

표 8 IEC 1071

전압배수	지속시간	비고
1.10	사용 중 30%	
1.15	매 24시간 중 30분	
1.20	매 24시간 중 5분	
1.30	매 24시간 중 1분	
1.50	매 24시간 중 100ms	

### 3. 각 규격의 주요 내용

우리나라는 물론 일본, 미국, 유럽 등 세계 거의 모든 나라에서 커패시터에 대한 안정적인 동작 확보를 위한 규정을 마련하고 있다. 우리나라도 기존 KSC를 IEC기준에 맞게 수정하여 시행하고 있다.

커패시터에 대한 규격의 IEEE에서는 조건별로 상세하게 전압 및 전류에 대한 기준을 마련하고 있다. 그러나 대부분이 거의 비슷하게 규격을 마련하고 있음을 확인할 수 있다. 다음 표 9는 우리나라, 일본, 미국 그리고 유럽에서 적용하고 있는 커패시터에 대한 전압 및 전류에 대한 규격의 주요 내용을 비교한 것이다. 표에서와 같이 전압 배수에 따라 허용시간이 정해진 것도 있지만, 전압의 전류에 대한 배율로 제한을 둔 규정도 있다. 한편 비선형 부하에 의한 영향을 고려하여 기본과 외 고조파를 포함한 경우 안정된 동작을 보장하기 위해 고조파의 범위도 포함한 규정도 마련되어 있다.

표 9 커패시터 전압, 전류 규격 비교

규격	배수	허용 조건	비고
KSC	1.10	24시간중 8시간 이하	정격전압 배수 기준
	1.15	24시간중 30분 이하	
	1.20	1개월중 5분 이하가 2회 이하	
	1.30	1개월중 1분 이하가 2회 이하	
IEC	1.00	연속	
	1.10	매 24시간 중 12시간	
	1.15	매 24시간중 30분	
	1.20	5분	
ANSI/IEEE 18-2002	1.10	rated rms voltage	고조파 포함
	1.20	rated peak voltage	
	1.35	rated reactive power	
	1.80	rated rms current	기본과 및 고조파 포함
IEEE 1036-1992	1.10	rated rms voltage	
	1.35	nameplate kvar	
	1.80	rated rms current	기본과 및 고조파 포함

### 4. 결론

위에서 요약한 대로 커패시터의 설계, 제작, 설치 및 시험에 관한 많은 표준이 제시되어 있다. 커패시터 표준은 다른 나라로부터 이용가능하다. 각 표준에서 제안된 가이드라인이 서로 일치하지 않는 경우도 있다. 표준의 한 버전이 제시된 수치가 이후 새로운 버전으로 대체되는 경우도 확인되었다. 사용자는 항상 어떤 표준의 최신 버전을 사용하도록 장려하지만, 구 버전은 예전에 설치한 커패시터 뱅크의 계산과 해석을

위해서 필요한 경우도 있다. 커패시터에 추가하여 차단기, 서지 어레스터 및 퓨즈와 같은 다른 관련된 장비와 표준들이 많은 편이다.

각 표준사이에서 주요 차이는 고조파 과부하 요구조건에 있다. 즉 고압 커패시터에 대해서는 30%, 저압 커패시터에 대해서는 15% 그리고 고압 및 저압 커패시터가 kvar 정격을 초과하는 경우 30%로 제한하고 있다는 것이다.

방전장치에 대해 IEEE 18에서는 300sec 이내에 50V이하로 되어야 하지만, IEC에서는 600sec에 75V로 규정되어 있다.

내전압에 대해서는 NEMA CP-1 또는 IEEE 18에서는 교류전압의 2배 또는 직류 단자-간에 10초 동안에 4.3배로 규정하고, IEC 871-1에서는 교류전압의 2.15배 또는 직류 단자간에 4.3배로 규정하고 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 과제의 일부임(과제번호 : R-2007-3-186)

#### 참고 문헌

- (1) Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitors", Taylor & Francis, 2005
- (2) IEEE std18-1992, "Shunt Power Capacitors"
- (3) IEEE std 1036-1992, "IEEE Guide for Application of Shunt Capacitors"
- (4) IEEE std C37.99, "Guide for Protection of Shunt Capacitor Banks"
- (5) IEEE std 824, "Series Capacitor Banks in Power Systems"
- (6) ANSI/IEEE std C37.04, "Guide for Protection of Shunt Capacitor Banks"
- (7) ANSI/IEEE std C37.06
- (8) ANSI/IEEE std C37.09
- (9) ANSI/IEEE std C37.010
- (10) ANSI/IEEE std C37.011
- (11) ANSI/IEEE std C37.012
- (12) IEEE std 519, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems"
- (13) IEEE std C62.11
- (14) IEEE std C62.22
- (15) IEEE1534 TSCS
- (16) ANSI std 399
- (17) ANSI std C37.40
- (18) ANSI std C37.42
- (19) NEMA CP-1, "Shunt capacitors"
- (20) NEMA CP-9, "External fuses for shunt capacitor"
- (21) KSC 4801, "저압 전상 콘덴서"
- (22) KSC 4802, "고압 및 특고압 전상 콘덴서"
- (23) KSC 4804, "고압 및 특고압 전상 콘덴서용 방전 코일"
- (24) KSC 4805, "진기 기기를 커패시터"
- (25) KSC 4806, "고압 및 특고압 전상 커패시터용 적철 리액터"
- (26) JIS 4801, "고압 및 특고압 전상 콘덴서용 적철 리액터"
- (27) JIS 4802, "고압 및 특고압 전상 콘덴서용 방전코일"
- (28) JIS 4902, "고압 및 특고압 전상 콘덴서용 및 부속기기"
- (29) JIS 4901, "서임 전상콘덴서"
- (30) IEC 60831-1(2002) Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000V Part 1: General-Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation
- (31) IEC 60831-2(1995) Part 2: Ageing test, self-healing test and destruction test
- (32) IEC 60871-1(2005) Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1000V Part 1. General
- (33) IEC 1071, "Power electronics capacitor"