

# 파워일렉트로닉스의 현황과 전망

최근 들어 세계적인 에너지 사정의 질박함과 지구환경보호 문제는 에너지 이용수단으로서 전기에의 의존도를 더욱 높이고 있다. 그것은 전력이 갖는 다양한 이용형태와 제어의 용이성에서 얻어지는 에너지절약 효과와 청정도(淸淨度) 등에 유래한다. 이러한 동향에 따라 최근 전력을 변환·제어하는 파워일렉트로닉스의 중요성이 재인식되고 있음은 물론 앞의 과제의 해결수단으로서도 기대가 높아지고 있다.

1차에너지원에서 시작하여, 우리들이 접하는 기기나 장치의 전원에 이르기까지 에너지의 흐름에는 발송전, 전력변환, 장치구동의 3단계의 변환과정이 있다. 각 단계의 어느것이나 파워일렉트로닉스가 관여하는 기술영역으로서 각각의 변환과정에서의 에너지 로스나 환경오염에 대한 대책이 가장 중요한 과제가 되고 있으며, 그 개선책에 대하여 각국에서 지금 열심히 연구개발이 진행되고 있다.

이상과 같은 추세에 따라 최근의 파워일렉트로닉스의 주요 기술동향을 요약하면 다음과 같다.

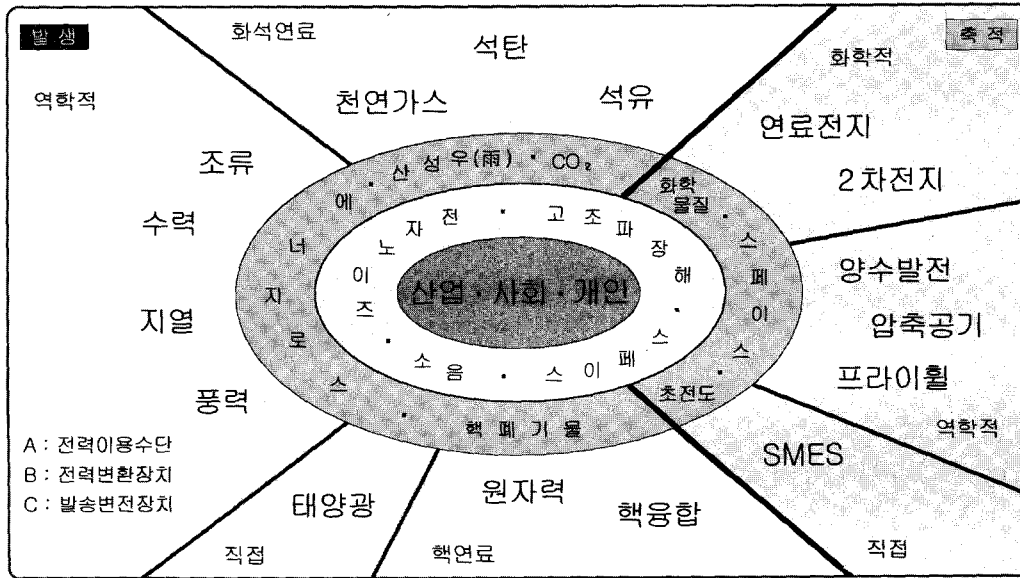
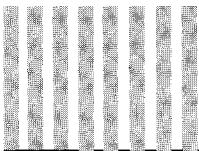
- (1) 대용량화  
전력계통제어에의 적용을 주체로 하여 파워디바이스, 손실경감기술, 계통제어기술 등을 개발하여 제어시스템 전체의 쉘스페이스와 전력손실 경감을 도모한다.
- (2) 인텔리전트화  
전력이나 전동기의 제어를 주대상으로, 정보처리기능의 향상에 대응한 제어기술을 도입하여 고성능·저손실·저진동 등의 제어를 실현한다.
- (3) 범용화(汎用化)  
각종 산업분야에서의 고정속(固定速) 전동기부하를 대상으로, 인버터에 의한 가변속기능을 부가함으로써 쉘에너지장치의 소형화, 저소음화 등을 달성한다.
- (4) 환경조화  
모든 파워일렉트로닉스 관련기기를 대상으로 저(低)진동소음·고조파억제·쉘전력 소형화기술 등을 개발하여 환경에 친화적인 기기·장치를 제공한다.

## 1. 머리말

전력은 다양한 이용형태와 제어의 용이성을 갖추었으며 또한 청결한 에너지 이용수단이지만, 그 전력을 변환, 제어하는 파워일렉트로닉스는 복수의 기초적인 관련기술의 연대로 성립되는 학술적인 시스템기술이다.

그 이미지를 꽃에 비유하여 그림 1에 표시하였는데 꽃잎의 기술군(群)의 협조에 의하여 화심(花芯)에 풍요로운 과실을 얻을 수 있다.

미쓰비시電機는 지금까지 전자(電子)디바이스에서 시작하여 발송배전에서 전동기제어장치와 가전제품에 이르기까지 모든 분야에 걸쳐 파워일렉트로닉스 기기의



SMES : Superconductive Magnetic Energy Storage

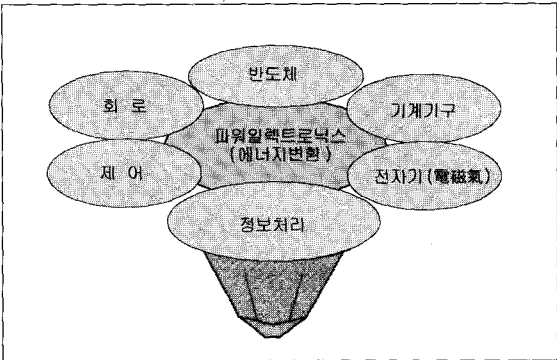
〈電氣에너지원과 환경문제〉

화석연료 등 1차 에너지원에서 시작하여 우리들이 이용하는 각종 장치의 전원까지의 사이에는 발송변전, 전력변환, 장치구동의 3단계 에너지 변환과정이 있다. 주 변환장치(B)에서 발생하는 율에너지와 환경보호에 관한 문제는 양자가 혼연일체가 되어 발생하며, 개선책도 다양하다. 그러나 최근의 파워일렉트로닉스 장치의 적용에 의하여 착실하게 대책 및 환경개선이 진전되어 가고 있다.

제조에 종사해 왔으며 또한 선도적 역할을 다하여 왔다. 본고에서는 지금 우리들이 직면하고 있는 환경과 에너지문제에의 대응책을 포함하여 관련되는 파워 반도체 디바이스, 전력변환장치, 전동기구동, 전력계통 등 각

분야별로 기술의 현황과 앞으로의 동향에 대하여 기술한다.

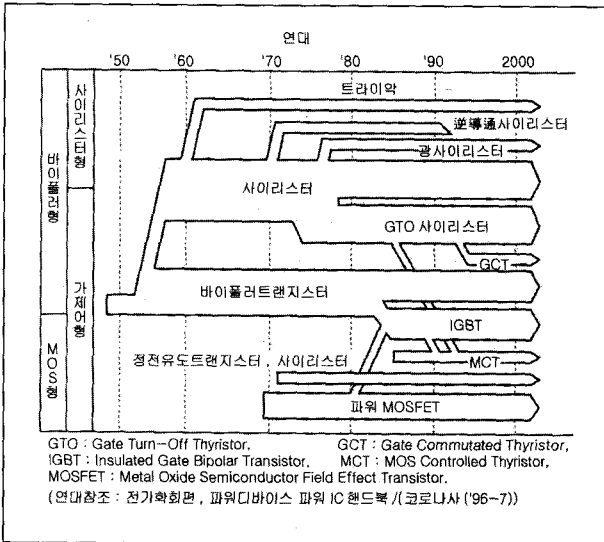
2. 파워 半導體디바이스



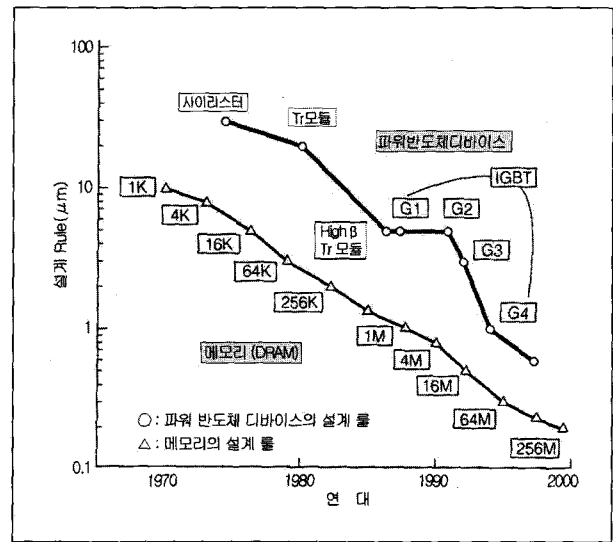
〈그림 1〉 파워일렉트로닉스의 자리매김

파워일렉트로닉스의 기간구성요소인 파워 반도체디바이스는 통전(On) 또는 차단(Off) 상태에서 사용되며 그 스위칭 제어기능의 차이로 현재는 그림 2에 표시하는 3종류로 대략 분류할 수 있다. 즉 바이폴라구조로 구동단자신호에 의하여 On/Off할 수 있는 가제어형(可制御型)과 On한 후 Off 동작이 소자의 양극단자간 조건으로 결정되는 사이리스터형, 그리고 셋째로는 MOS 구조의 가제어형소자이다.

1960년대 이래 바이폴라형반도체를 베이스로 끊임



〈그림 2〉 반도체 디바이스의 역사적 발전 경과



〈그림 3〉 설계 Rule의 변천

없는 진보를 계속하여 온 파워 반도체디바이스는 MOS형 반도체소자의 진보와 곧 합류하여 '80년대 후반부터 눈부신 발전을 이루었으며 현재도 계속 발전도상에 있다. 특히 바이폴러형 저포화전압과 MOS형의 저소비전력 구동의 쌍방의 특징을 모두 갖는 IGBT 소자의 등장은 특기할 만하다. 이것은 구조상 사이리스터에 가까우나 고내압(高耐壓)의 전압구동형 바이폴러 트랜지스터이며 트랜치게이트(Trench Gate) 구조의 채용으로 고속화와 함께 보다 더한 고내압화가 이제부터의 과제가 되고 있다.

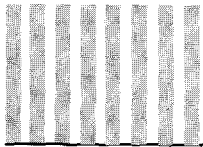
메모리로 대표되는 MOS형의 반도체디바이스와 그림 2의 각종 파워 반도체디바이스 사이에는 소자의 설계 Rule을 적용함에 있어 역사적으로 상호 관련이 있어 왔다. 요사이 약 30년에 걸친 쌍방의 설계 Rule의 변천을 표시한 것이 그림 3인데, 메모리소자에 적용된 미세가공기준이 10년 정도의 시차로 파워소자에도 파급되어 가는 모양을 알 수가 있다. 보다 고속화를 지향한 파워소자 내부패턴의 미세화에 대한 노력은 앞으로도 계속될 것이지만, 한편으로는 고내압화의 과제도 있어

현황은 설계한계에 가깝다고도 할 수 있다.

IGBT 소자는 단체(單體)로 유저에게 공급되고 있는데, 그 이외에도 최근에는 3상 인버터를 구성하는 소자 6개를 미리 내부결선으로 1패키지화하여 취급하기 쉬운 상태로 유저에게 제공하는 IPM이 그 보급에 중요한 역할을 하고 있다.

미쓰비시電機는 IPM을 업계 최초로 제품화하였는데, 이 IPM은 또한 소자온도와 전류치를 내부에서 계측하여 스스로가 파괴되지 않도록 제어하는 인텔리전트한 소자보호기능을 갖추고 있다. 최근에는 전기자동차나 풍력발전장치 등의 환경대책기기를 포함하여 적용대상 별로 카스터마이징된 IPM이 제품화되어 쉽게 입수할 수 있게 되었다.

한편 '90년대에 들어 대전력용도의 사이리스터소자에 큰 진보가 있었다. 동사는 업계 최초로 6인치 웨이퍼를 채용한 6kV, 6kA, GTO 사이리스터와 8kV, 4kA 광사이리스터를 실용화하였으며 또한 최근에는 변환기 중에서 큰 스페이스를 차지하는 소자보호용 스나바회로를 원칙적으로 필요 없도록 하는 GCT 사이리스



터를 세계 최초로 제품화하였다. 이 소자를 채용하게 되면 보호회로의 손실이 감소되어省에너지화 및 장치 치수의 소형화를 도모할 수 있다.

### 3. 電力變換裝置

최근 전력변환장치의 과제는 대용량 변환장치의 소형화와 장치의 환경대책이다. 우선 소형화에 대해서는 전술한 GTO를 사용함으로써 파워 반도체디바이스를 병렬 접속하지 않으면서, 단기용량이 10kVA를 넘는 자려식(自勵式) 대용량변환장치가 입수가 가능하게 되었다. 그 결과 종래의 변환장치에 비하여 대폭적인省스페이스 및省전력화를 기할 수 있음과 동시에 종래에는 없었던 대용량장치의 실현이 가능해져 앞으로 전력이나 철강 등의 산업분야에서 널리 보급될 것으로 기대된다.

다음은 환경대책인데, 우선 최근에 법적수단을 검토하게 된 배경을 이해할 필요가 있다. 즉 '80년대 이후 파워 일렉트로닉스의 진보는 각종 산업 및 가전·범용품 분야에 다종다양한 전력변환장치를 보급시켜 우리들에게 여러 가지 편리성을 준 반면 장치에서 발생하는 고조파전류의 송배전 계통에의 유입과 전자노이즈에 의한 통신장애 등을 일으키게 되었다. 때문에 고조파장해의 확대방지를 목적으로 하는 각종 가이드라인(표 1 참

조)이 국내외에서 제정되었다.

전기기기 메이커에서는 각종 장치를 제품화하는데 있어서 표1과 같은 가이드라인 준수에 더하여 진동소음대책에도 유의한 전력변환회로장치를 개발하여 자체적으로 제품화하는 장치에 넣고 있다. 그 기술적 수단을 요약하면 다음과 같다.

- ① 공진회로방식의 채용 등 새로운 주회로 구성
- ② 전력 반도체디바이스의 소프트스위칭 구동
- ③ 진동이나 발생고조파 억제를 위한 전자적인 대책
- ④ 누설전자파 억제수단의 부가
- ⑤ PWM(Pulse-Width Modulation) 방식의 개량이나 개발 등 새로운 스위칭방식

기타 제어대상의 특성을 고려한 시스템상의 대책도 여러 가지 검토되어 구체화되고 있는데, 이 분야는 관계자의 환경보호의식도 높아 개선에 더 도움이 될 것으로 보인다.

### 4. 電動機驅動

전기-기계 에너지 변환수단인 전동기는 요사이 30여년 동안 파워일렉트로닉스장치와 일체가 되어 가변속 제어기능을 계속적으로 높여 왔다. 즉 직류전동기의 사 이리스터 레오나드장치 등을 제어함으로써 유지보수가

〈표 1〉 주요 고조파 가이드라인

구 분	일 본		IEC	미 국
명 칭	가전·범용품고조파 억제 대책가이드라인	고압 또는 특별고압으로 수전하는 수요가의 고조파 억제대책가이드라인	IEC 1000-3-2 Limits for harmonic current emissions (input current ≤ 16A/phase)	IEEE Std 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Sys.
제정기관	자원에너지廳	좌 동	IEC/TC77	IEEE
제한대상	PCC에서의 전류고조파	좌 동	좌 동	좌동(단락용량비도 고려)
전압왜율 목표레벨	배전계의 THD ≤ 5% 특고계의 THD ≤ 3%		EMC 레벨에서의 표현 : THD = 8%	THD ≤ 5~1.5%

주 : PCC : Point of Common Coupling(受電点), THD : Total Harmonic Distortion

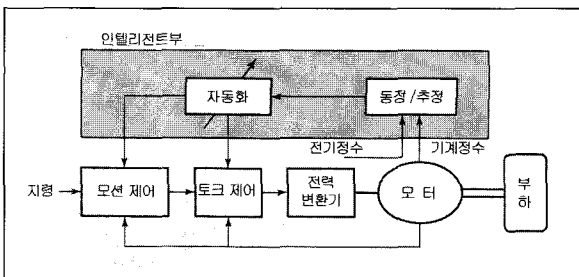
용이해지고 교류전동기에의 치환 등의 부분까지 제어가 이루어져 가변속제어대상의 교류화가 활발히 추진되어 왔다.

유도기와 동기기 등 교류전동기의 고성능제어에 있어서는 전동기의 자속 또는 자극의 방향을 기준으로 전류의 크기와 위상을 제어하는 벡터제어법이 기여하였으며, 직류전동기를 능가하는 제어성능을 획득하였다. 또 일반전동기 이용분야에서는 범용인버터에 의한 교류전동기의 가변속제어기능을 채용하여 장치의 기능 향상뿐만 아니라 절전효과도 얻게 되는 등 여러 가지 부가가치를 얻을 수 있게 되었다.

또한 최근에는 구동장치의 인텔리전트화를 배경으로 환경에 친화적인 제어를 하는 고성능장치가 구체화되어 가고 있다. 즉 마이크로 프로세서에 의한 디지털제어가 고속화하여 정보처리능력에 여유가 생겨 다음과 같은 과제에 대처할 수 있게 되었다.

- ① 전동기 손실을 최소화하는 고효율제어
- ② 기계계의 특성을 추출하여 진동소음을 억제하는 제어
- ③ 부하특성을 온라인으로 추출하여 과도응답을 최적화하는 고응답제어
- ④ 전동기의 특성을 파악하여 센서레스로 토크와 속도를 제어하는 쉘스페이스, 고신뢰성 제어

이들의 성능을 달성하기 위하여 예를 들면 그림 4와 같은 전동기 제어시스템에서 기존의 하부 제어부분에



〈그림 4〉 모터제어시스템 구성

더하여 상부의 소위 인텔리전트부를 부가한 제어장치를 생각할 수 있다. 즉, 이 부분을 제어용 프로그램에 넣어 구동신호 등으로부터 전동기와 부하의 상태를 동정(同定) 또는 추정하여 인텔리전트제어를 하거나 또는 센서레스로 전동기토크 등을 제어한다.

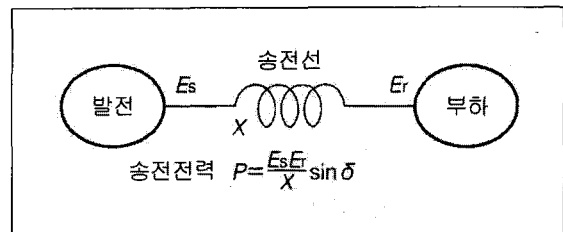
상기 기술의 적용으로 전동기 제어시스템은 전체적으로 쉘에너지, 쉘스페이스, 그리고 환경에 대한 대책을 할 수 있게 되어 있는데 그 과제예를 표 2에 표시하였다. 특히 최근에는 제어뿐만 아니라 릴럭턴스전동기나 자석매입형 회전자를 구비한 전동기(Interior Permanent-magnet Motor : IPM) 등 본체의 개선에도 착안한 각종 대책이 시행되고 있다.

〈표 2〉 전동기에 관한 최근의 기술과제

제 어 기 술	과 제
모션 제어	진동억제제어, 로바스트모션 제어
토크 제어	센서레스벡터 제어, 다이렉트 제어 환경적합PWM 구동
인텔리전트 제어	전동기 정수동정, 기계 정수동정 오토튜닝, 고효율전동기구동
전 동 기	릴럭턴스 전동기, 자석내장모터 전동기

## 5. 電力系統에의 적용

전력수요 증가에 대처하기 위해 송전전력의 증대를 도모하기 위해서는 전력계통을 근사표현(近似表現)한 그림 5에 기초하여 다음과 같은 대책을 생각할 수 있다.



〈그림 5〉 송전전력

## 해외기술

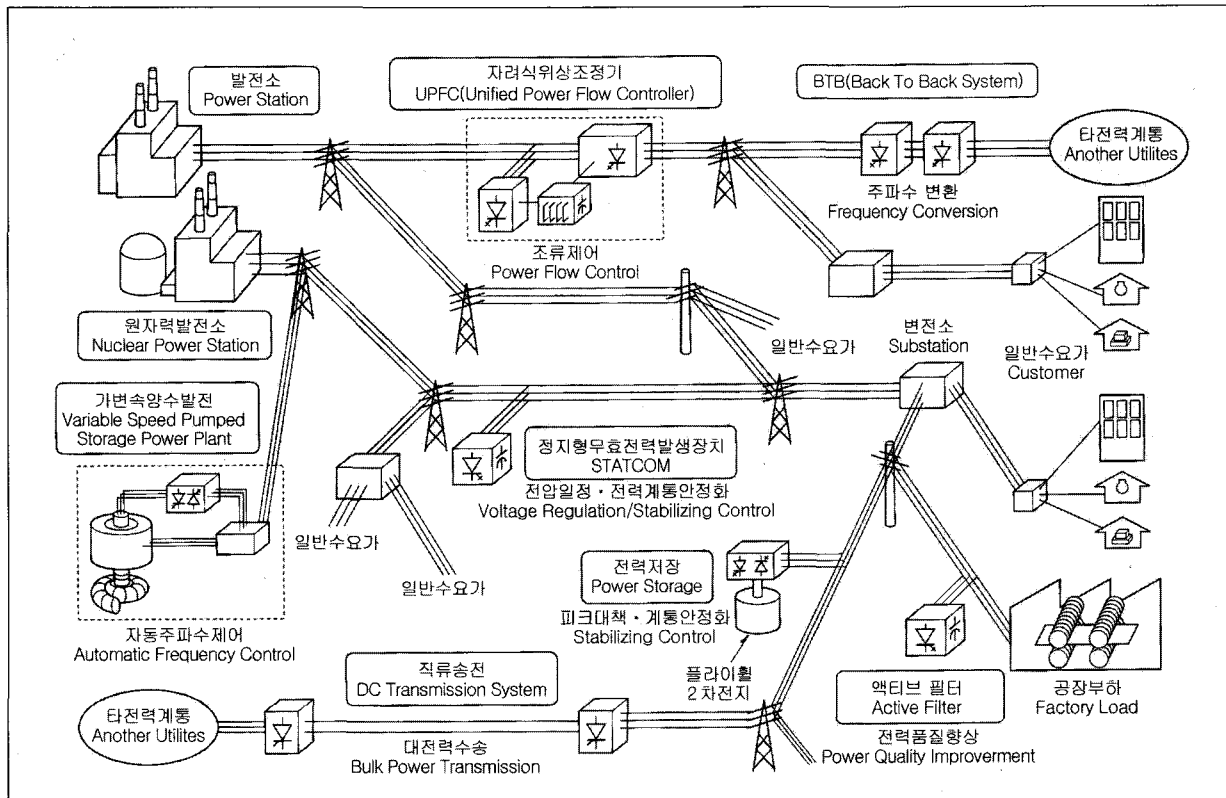
- ① 교류전압  $E_s, E_r$ 을 크게 한다.
- ② 송전경로의 Reactance분  $X$ 를 낮춘다.
- ③ 송수전전압의 상차각  $\delta (< \pi/2)$ 를 크게 한다.

구체적으로는 제①항에서는 UHV(Ultra High Voltage) 송전 등이 있는데 절연과 내압 등의 문제가 있어 대책은 한정되며 제②, 제③항에 대해서는 계통의 안정화문제도 배려해야 한다.

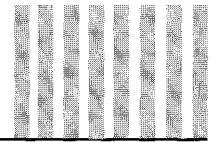
전력계통에서는 발전소와 전력수용가 사이의 전력반송단계의 각 개소에서 다른 위상의 무효전력이 발생하고 소비되어 계통이 불안정해지기 쉽다. 따라서, 그 억제나 보상을 도모하면서 송전전력을 늘릴 필요가 있다. 전력망 중의 각 개소에 파워일렉트로닉스장치를 배치하면 그 대책이 가능하며, 그것을 FACTS(Flexible AC

Transmission System)라고 부르는데 최근들어 각국에서 활발하게 검토되기 시작하였다. 계통 가운데 설치하는 파워일렉트로닉스장치에는 여러 가지가 있는데 그 적용이미지를 그림 6에 표시하였다. 왼쪽의 발전에서부터 오른쪽의 수용가에 이르는 사이에 전력회사와 수용가 쌍방에 의해 여러 가지 장치가 채용되고 있다.

그림에는 대표적인 예를 들고 있는데 원자력발전과 관련이 깊은 가변속 양수발전시스템, 원격계통간의 대전력 송수전을 하는 직류송전, 이(異)계통간을 직류변환을 통하여 접속하는 BTB시스템, 통과교류전력량을 주로 제어하는 UPFC, 계통안정화를 주체로 하는 스타트컴(STATCOM), 고조파를 제어하는 액티브필터, 피크전력수요를 커버하고 계통사고의 영향을 경감하는 전



〈그림 6〉 파워일렉트로닉스의 전력계통에의 응용



력저장시스템 등이다.

파워일렉트로닉스 장치는 모터제어분야에 적용하는데 비해 전력계통에 적용할 때에는 제어대상 전력용량이 크다는 점 때문에 그 동안 일부 분야에 그 적용이 한정되어 왔다. 그러나 최근에는 원자력을 비롯한 발전소와 송전선로의 신규건설이 곤란해지면서, 기존설비를 보다 유효하게 이용하여 송전용량을 올리기 위해 또 환경대책면에서의 각종 전자기기의 보급에 따른 고조파대책을 위해 국내외에서 파워일렉트로닉스장치의 전력계통에의 적용이 진전되고 있다.

## 6. 新에너지

현재 일반적으로 신(新)에너지라고 하는 대상에는 2종류가 있다. 하나는 태양광발전·풍력발전·지열발전 등 자연계에 존재하는 클린하며 재생가능한 에너지에 의한 발전전력을 말하며, 또 하나는 플라이휠과 2차전지 등 소위 전기에너지의 축적수단으로부터의 출력전력을 지칭한다. 이것들은 어느것이나 비교적 대규모로 안정된 전력을 얻는 것을 목적으로 이용되며 신에너지 발전·축적장치로부터 직접 얻어지는 직류 또는 교류출력은 보통 전력변환장치내에서 직류-교류변환과정을 거친 후 부하에 공급된다.

일본내에서도 판매사업이 성립된 것을 계기로 최근 신에너지발전예의 대처가 본격적으로 추진되고 있다. 다만 일본에서는 현재 총발전용량이 200GW의 고수준이어서 신에너지가 당분간 기존전원을 대체할 수 없겠지만 장기적으로는 기대가 크다. 일조조건이 좋은 일본에서는 21세기를 지향하여 태양광발전의 대폭적인 신장이 예상되지만 세계적으로 볼 때는 비교적 안정공급이 예견되는 풍력발전에 대한 기대가 크다고 하겠다. 이들 장치의 출력은 기술한 전력변환장치를 거쳐서 정전압 정주파수의 교류출력으로 변환된 후에 상용전력계

통에 접속된다.

초전도코일(SMES) 이외에는 전기에너지의 직접적인 축적수단은 특별히 적절한 방법이 없긴 하지만 역학적·화학적수단을 통한 간접적인 축적수단은 많다. 구체적인 예로는 2차전지와 양수발전 등이 있으며 압축기체나 잠열 축적수단의 이용 등 각종 방법이 각국에서 연구되고 있다.

대규모의 전력축적수단은 주로 전력공급의 평준화도를 도모하는 장치에 사용된다. 예를 들면 정출력(定出力) 운전을 하는 원자력발전의 야간잉여전력을 흡수할 때나 주간의 피크수요시의 전력방출에 사용되기도 하며 또 중소규모의 장치는 전력수용가의 수전단에 설치하여 부하급변시의 계통안정화에 기여하고 있다. 또한 폭넓은 전력규모에서의 적용이 가능한 연료전지는 열효율을 증시하는 전원장치와 비상용전원 외에 전기자동차의 전원으로 장래가 기대되고 있다.

## 7. 맺음말

이상 파워일렉트로닉스의 현황과 향후 동향을 전반적으로 기술하였는데, 이 기술영역은 앞으로도 계속하여 착실한 발전을 이룰 것으로 확신하고 있다. 특히 대용량화, 인텔리전트화, 범용화 등을 키워드로 이제부터는 환경보호와 절약에너지에도 공헌할 것으로 기대된다.

미쓰비시電機는 앞으로도 지금까지 이상으로 각 사업분야에서의 신기술개발과 제품화를 통하여 파워일렉트로닉스의 보급을 도모하여 에너지와 지구환경보호에 관한 각종 문제를 개선하기 위해 노력하고자 한다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.