

일본 전기기술의 현황과 미래의 동향

마사다 에이스케(正田 英介)

전 일본전기학회 회장

1. 머리말

전기기술의 중요성은 지속적으로 증가하고 있다. 현대사회의 모든 영역에서, 그리고 산업의 발전과정과 수송시스템 및 우리들의 일상생활에서, 전기설비와 전기에너지에 대한 의존의 정도는 날로 증가하고 있다. 심지어 내연엔진을 가진 자동차에서도 수많은 전기 모터가 사용되고 있고, 자동차에 장착된 발전기에서는 수 kW의 전력도 생산하고 있는 실정이다.

그러나, 전기기술(Electrical Engineering)과 그 주위환경은 산업의 세계화(Globalization)와 공공의 안전에 대한 관심으로 인해 급속히 변화하고 있으며 이에 대처하기 위해 과학과 기술분야에서는 기초연구에 대한 중요성이 날로 커지고 있다.

이에 필자는 수년간의 경험으로, 기초전력 연구 분야가 앞으로 한국에서도 매우 중요한 역할을 하고 나아가 사회에 크게 기여할 것이라고 생각하며 본고에서는 일본에 있어서의 전기공학과 전기산업의 발전관계를 소개하기로 한다.

2. 전기공학의 현황

우선 전기산업을 뒷받침하는 전기관련 학문의 발전상부터 알아보기로 하자.

거품경제 아래 시작된 일본의 방대한 연구·개발 사업은 지속적인 발전이라는 가정 하에 특히 전기 공학영역에서 번창하여 왔다. 전기공학분야의 현재 기술상태를 보면 전력소비형태가 전력전자기기의 발전에 따라 크게 변화하였고 이러한 전력전자기술은 장비와 시스템의 운용 면에 유연성을 크게 증가시켰으며, 특히 에너지 저장기술 및 능동제어시스템에서 핵심기술 역할을 하고 있다. 한편, 전력네트워크 제어를 위해서 보다 복잡하고 정교한 제어원리를 도입하여 전력계통의 안정도 제어 등 복잡한 시스템제어를 Online으로 실현시킬 수 있게 하였다. 그리고 최근 도입된 지능제어분야는 퍼지제어, 인공신경망 제어, 카오스 제어 등 새로운 제어개념을 탄생시켰고 많은 분야에 응용되고 있다.

현재의 전력기술의 진보는 전력전자공학의 발전에 크게 기여하고 있는데 그 외에도 에너지저장기술, 능동제

어시스템기술, 지능제어기술 등의 학문 발전도 전기산업 발전에 크게 기여하고 있다.

이와 같이 전기공학은 전기 기술혁신을 꾸준히 뒷받침했으며 이 외에도 다음에 열거하는 바와 같은 여러 가지 혁신적 기술을 발전시켰다.

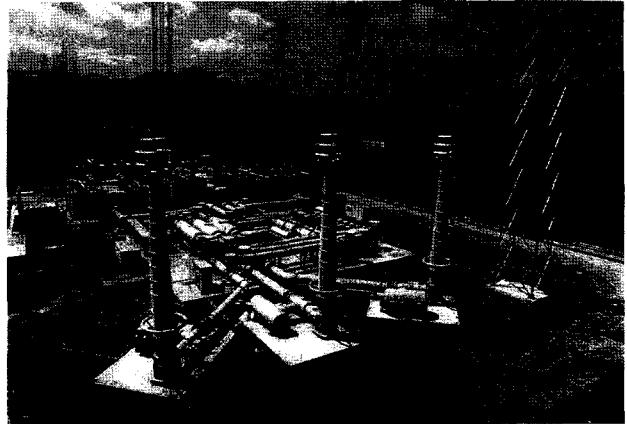
▶ 전기공학 분야의 혁신 기술

- 초전도체 응용
- 특히 SiC와 같은 새로운 물질에 기초한 고(高)전력 디바이스
- Opt-자석을 포함한 새로운 자석 물질
- UHV 전송 및 FACTS 기술
- 새로운 형의 2차 전지
- 태양전지, cellsm 연료 등을 이용한 새로운 형의 전력 발전
- 전기 자동차 기술
- 쓰레기의 재활용과 환경 보전에 관한 전기관련 기술
- 다양한 형의 마이크로 기기

이러한 기술들은 급속한 사회변화라는 환경 속에서 가까운 미래에 그 응용이 가능하게 되며 전기산업에 크게 이바지하게 될 것이라고 믿는다. 그 한 예로, 1,000kV 송전을 위한 UHV(초고압송전기술, Ultra-High Voltage Technique)의 개발이 추진되고 있는데 이 기술은 송전비용을 줄임으로써 전기에너지의 경제성을 향상시키고 전력계통 안전성 확보에 크게 기여 할 수 있을 것이다. 그림 1은 새로 개발된 1,000kV 송전시스템을 보여주고 있다.

이 UHV 기술을 실현시키기 위해서는 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

- 전자파 등에 대한 국민의 인식과 수용(Public Acceptance)
- 전력을 사용하는 지역으로부터 멀리 떨어진 곳에 대용량 발전소를 건설



〈그림 1〉 초고압 송전시스템

그리고 전력 효율 향상을 위해서는 보다 높은 송전전압을 추구하는 또 다른 접근방법을 생각할 수 있겠다.

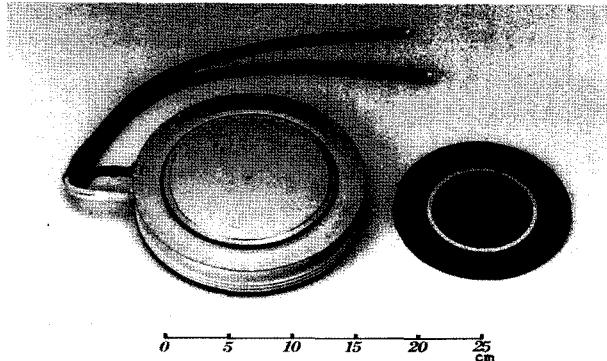
이 전력전송은 UHV 직류송전, FACTS 기술 등이 전력전자기술을 바탕으로 발전된 것이므로 전력 전자 및 제어 응용에 관계되는 기술에 관하여 언급해 보기로 한다.

그것은 전력 디바이스와 컨버터 시스템에 관한 것으로서 Line-commutated 컨버터 기술의 향상과 GTO 와 강제 정류기술 등에 의해서 이루어질 것이라고 본다 (그림 2, 3 참조). 그리고 Sic Vacuum Switch의 소형화 개발이 앞으로의 기술발전에 크게 공헌할 것으로 예상된다(그림 4 참조).

3. 전력전자공학의 응용

전력전자 응용에 있어서 가장 전망이 좋은 분야는 능동(能動, Active) 제어 시스템이다. 능동 제어 시스템은 본래 불안정하거나 또는 제어장치에 의해서 고안된 시스템이지만, 능동적인 제어 방법에 의해 새로운 기능이나 목적을 실현시킬 수 있는 시스템이다.

다음은 능동 제어 시스템이 산업시설에 응용된 예들

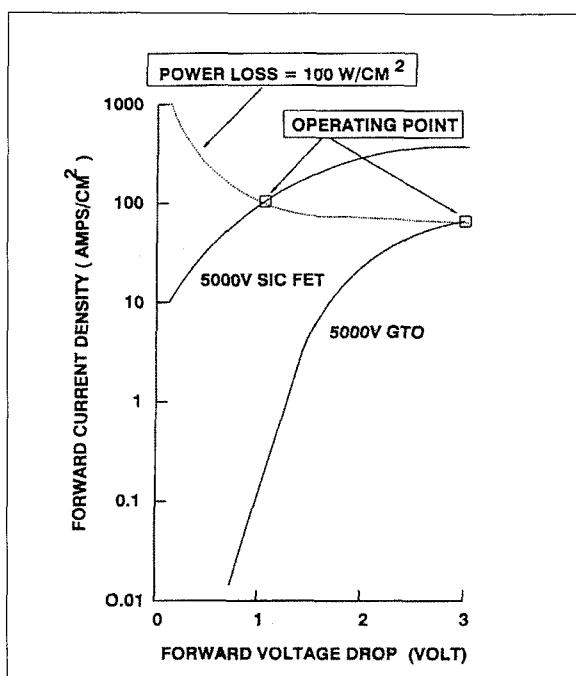


〈그림 2〉 GTO Thyristor
(6kV, 6kA, 6inch wire 전류밀도 1600A/cm²)

이다.

○ 철도

- Tilting Train/Active Suspension : 차대기울기 장치(능동완충장치)



〈그림 3〉 GTO 특성



〈그림 4〉 Vacumm Switch의 소형화 개발

※ 가경(可傾)열차/기울게 하는 작용

이는 산이 많은 지형에 적합한 열차에 적용되는 기술로서 Curve 길에서도 제 속도로 달릴 수 있다. 차체를 회전방향으로 기울여지게 하여 그 회전 원심력에 대응할 수 있도록 제어되는 열차를 말한다.

○ 자동차

- Active Suspension

○ 건물

- 진동이나 지진에 대한 내구력
- Ropeless Lift
- 잡음의 제거

○ 전력 시스템

- VVVF Pumpup Hidro/SVC/Active Filter
- 앞으로 능동 제어는 대부분 전력전자 디바이스에 의해 구현되며 전력전자 시스템을 개선시키게 될 것이다.
- 이 외의 전력전자를 사용한 능동제어의 응용사례로

서는 기계적 Coupling을 제어하는 변속드라이버, 소형발전기의 인버터드라이버, 그리고 가변전압 가변주파수 발전기 등을 들 수 있으며 한편 수동소자의 가변저항제어에 전력전자 능동제어기술이 응용되는 사례도 있다. 전력변동에 따른 전압보상, 자기부상 열차의 부력 및 추진력 제어를 위한 모터드라이버 등에 있어서 전력전자에 의한 능동제어가 매우 중요한 역할을 하고 있다.

다음은 사이리스터 응용의 가장 흥미로운 예인데 이러한 시스템들은 다음과 같은 복잡한 문제를 제기하게 된다.

▶복잡한 제어시스템의 문제점

- 휴먼 인터페이스 및 인간 이해
 - 안전한 운전
 - 사고 후의 복구
- 동적 안정도
 - 기동/재시동
 - 복구를 위한 컴퓨터 입력
- 시스템의 비교적 짧은 상품 주기
 - 서비스의 사회적 기호
 - 글로벌 시장

4. 전기공학의 미래 동향

21세기의 사회가 요구하는 문제는 깨끗하고 안전한 환경의 문제로 요약될 수 있다. 환경의 안전성은 경제 성장에 달려 있다고는 볼 수 없다. 한 예로, COP3 Kyoto 회의에서 결정된 사항을 실현시키기 위한 정책이 일본 정부에서 논의되고 있는데, 일본에 있어 CO₂는 전기수요의 증가와 더불어 앞으로 점차 증가될 것으로 예측된다.

그러나 환경문제는 일본만의 문제가 아니라 지구차원

의 문제로서 세계 모든 나라에서 공통적으로 대처해 나가야 할 문제라고 본다.

세계의 인구는 최근 40년 동안에 25억에서 53억으로 증가했다. 이런 추세로 가면 2040년에는 100억에 도달할 것으로 예측된다.

과거 인류가 소비하는 에너지가 대부분 화석연료에 의해 공급되어 왔음을 감안할 때 지구환경은 극도로 오염되며 동식물은 물론 동식물을 포함한 모든 생물이 생존해 나가기가 어렵게 될 것이 예상된다. 그 운용은 CO₂ 증가에 의한 지구의 온난화, 이온산화물에 의한 산성비, 사막화의 증대, 오존층의 파괴 등으로 이어질 것이다.

그래서 일본에서는 전력에너지원을 청정자원으로 바꾸고 모든 전기제품을 환경친화형으로 바꾸고 에너지 사용 효율을 향상시키는 등의 노력을 하고 있다. 이를 위해 정부에서는 소비자 설비와 발전시설에 법적 규제가 부가되도록 할 것이다. 또한 전력의 효율적 이용을 위한 구체적인 방법으로는 에너지 저장장치를 개발하고 모든 기계적 동력의 제동은 회생 제동으로 바꾸며 제품의 리사이클 주기를 연장시키고 폐품의 효율적 리사이클 방안을 모색하게 될 것이다.

이중 특히 에너지 저장이 중요한데 이 영역에서 다양한 연구개발이 이루어졌고, 또 진행되고 있다. NaS 배터리는 가장 기대되는 저장장치이다. 에너지 저장을 위한 배터리가 실용화된다면 심야에 충전해둔 에너지를 낮의 첨두 부하시에 사용할 수 있으므로 부하 평등을 기할 수 있고 설비의 부하율을 크게 개선시킬 수 있을 것이다.

▶부하 평등/에너지 저장

- Pumping-up Hydro
 - VVVF 제어운전
- NaS 배터리 저장

- 다목적 응용
- Fly-wheel 저장
- 전력 품질의 관리
- 열 저장
- 뜨거운 물/열음

이상과 같이 에너지의 저장이 다음 세기의 중요한 이슈이지만, 한편 사람과 사물의 이동(Mobility) 또한 산업 사회에 또 다른 필수 불가결한 과제이다. 에너지 사용의 제약 하에 어떻게 하면 충분한 이동을 실현할 수 있을지가 또 다른 주요 과제로서 산업 사회에서 고려되고 있다. 이동과 에너지는 다음 항목에 유의해야 한다.

▶ 이동성과 에너지

사람과 화물을 이동함에 있어서는 될 수 있는 대로 초고속으로 이동시키고 특히 사람의 경우에는 안전성도 중요하지만 승차감도 좋아야 한다. 또 환경을 오염시키지 않아야 하며 에너지 소비가 효율적이어야 한다.

다음 그림 5는 승객운송 증가 추이를 보여주고 있다. 총 수송능력이 해마다 7~8% 정도씩 늘어나고 있으며

승객 수와 승객×km(총 운송거리) 역시 '94년 이후 매년 5~6%라는 매우 급속한 성장을 보이고 있음을 알 수 있다.

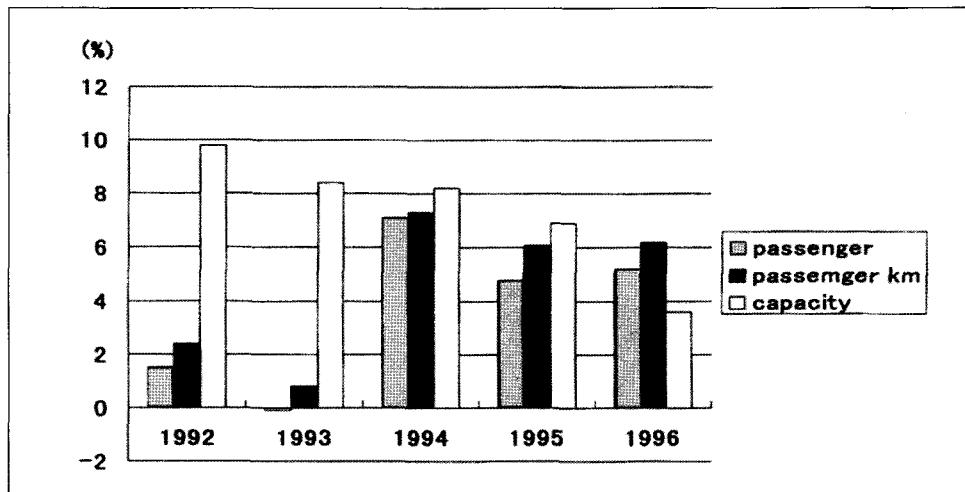
5. 21세기를 지향한 전기공학

다가오는 21세기에 대비하여 전기공학자들은 다음과 같은 역할을 필요로 한다.

- 상호 보순적인 요구조건에 대한 해결책 제공
 - 에너지 기술
 - 정보와 통신
- 전략적 접근의 필요성
- 기초과학, 기술의 진흥
- 교육기관의 역할

신에너지 기술로서는 태양발전과 상온초전도체의 개발에 주력해야 하며 정보 및 통신 등을 전략적으로 접근하여 개발해야 한다. 그리고 기초과학을 더욱 발전시키고 그를 이용, 혁신기술을 개발해야 한다.

이러한 문제를 풀기 위해서 전도가 높은 많은 기술들이 필요하다.



〈그림 5〉 승객 운송 증가 추이

초전도 현상은 이미 모습을 드러냈듯이 혁신적인 학술적 현상으로서 높은 포텐셜을 갖고 있다. 그리고 그 응용은 전력산업이 안고 있는 문제들을 언젠가는 근본적으로 해결해 줄 기술이 될 것이라고 믿고 있다. 이는 정보통신 시스템분야는 물론이고 다른 산업도 차원 높은 기술을 제공해줄 것이다.

초전도체는 일정온도로 온도를 낮추어 주면 그 전기 저항이 완전히 Zero가 되는 현상으로서 1911년 Onnes 교수에 의해 발견되었다. 그러나 Zero가 되는 온도가 절대온도 0°C 근처가 되어야 하므로 경제성이 없어 기업에서 눈길을 주지 않아 그 발전이 늦어져오다가 1987년 미국의 Chu 교수에 의해 92k에서 초전도성이 발견됨으로써 현재 그 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 궁극적으로는 실온초전도체가 출현해야 실질적인 무궁무진한 에너지의 개발이 이루어져 인류는 Energy 문제에서 해결될 것으로 보여진다.

현재로서는 금속초전도체인 극저온 초전도체의 이용에 의한 전력기기들의 개발연구가 진행중인데 열거해보면 다음과 같다.

- 초전도 회전기
- 초전도 한류기
- 초전도 전력저장장치
- 초전도 Fly wheel
- 초전도 송전케이블
- 초전도 핵융합장치

▶ 초전도체의 기술적 잠재 능력

- 초전도체의 효과
 - 손실의 감소
 - 공간과 무게의 감소
 - 고자계와 대전류의 이용
- 기술적 역량
 - 고전적 법칙의 시스템 실현

- 환경문제에 대한 해결 방안

전문가들은 이에 대한 시장성이 매우 클 것으로 추정하고 있다.

○ 초전도체 판매 기회

전세계시장은 개발도상국에서의 기대되는 수요를 고려한다면 아마도 더 넓을 것이다.

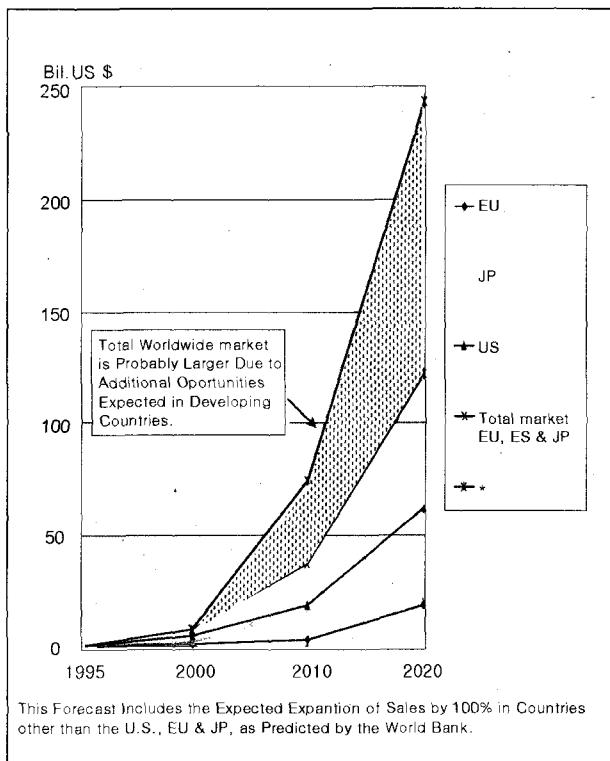
그 수요를 도시한 것이 그림 6이다. 이것은 세계은행에서 예상한 것으로서 미국, 유럽, 일본보다도 다른 나라에서 기대되는 판매량을 포함한 것이다.

○ 일본에서의 전력시장의 잠재 능력

일본에서는 초전도 발전기 700MW 클래스 SCG를 시작(試作)한 바 있는데 그 제원은 다음과 같다.

- 냉각주기 : 75시간

- 샤프트 진동 : <50 μm p-p(4K, 360rpm)



〈그림 6〉 Superconductivity Sales Opportunities

– 무부하 시험 : $1f = 2319A$ (10kV일 때)
(A형 회전자에서 늦은 Response Excitation)
그리고, 고온 초전도체를 발명한 후 MITI(Ministry of International Trade & Industries)는 초전도 물체, 디바이스, 응용하기와 같이 다양한 발전 프로젝트를 다음과 같이 지원하고 있다.

▶ 초전도 응용 기술 개발

- 전력 시스템 장비
 - 발전기
 - Fly-wheel 저장
 - SMES
 - 직류 초전도 시스템
- 운송
 - 자기 부상
 - 선박 추진

초전도 기술의 인식이 21세기를 향한 핵심 기술이라는 이해를 바탕으로 많은 산업에서 발전이 이루어지고 있다.

▶ 초전도 에너지 저장장치(SHES)

- 냉각
 - 초기냉각 150시간
 - 열의 총 주입량 44W
 - 정격전류 시험
 - 4.5K, 20kA, 5.64T(안정)
 - 안정도 시험
 - 안정도 이득 830mj/cc

첫 절에서처럼 MITI에 의해 실행되고 있는 대부분의 연구개발 프로그램은 1998년과 1999년에 완성될 것이다. 일반적으로 소자 기술의 개발은 성공적으로 확립되었다고 본다. 미래에 전력 시스템에서 초전도 전력 디바이스를 효과적으로 활용하기 위해서는 더욱 많은 기

술이 개발되어야 할 것이다. MITI/NEDO는 지난해 7월부터 이 계획에 관련된 작업을 시작하였다.

30년 동안 일본의 JR 그룹은 500km/h 이상으로 운행할 수 있는 초고속 마그네트리움 열차의 실현에 심혈을 기울이고 있다. 현재 이 개발은 거의 종점에 이르고 있다. 신문지상에 보도된 바 있는데 18km의 야마나시 테스트 트랙이 1996년에 완성되었고, 시범 열차가 작년부터 운행을 시작하였다.

이러한 거대한 연구 개발 사업이 수행되고 있음에도 불구하고, 대중에게 미래의 기술을 인식시키는 것은 대단히 힘드는 일이다. 대학과 국립 연구소는 꾸준히 기초 연구를 수행했던 것이다. 초전도체의 Quench와 안정도를 생각해 본다면 이는 더욱 분명해질 것이다.

6. 결 론

전기 기술은 현대 산업사회의 기본 하부조직(Basic Infrastructure)이라 할 수 있으며 그 역할은 앞으로 더욱 커질 것이다. 아울러, 사회의 활동성과 이동성이 증가됨에 따라 에너지의 효율적인 사용은 반드시 필요한 항목이 될 것이며 이 점에 있어서 21세기에, 초전도체 응용은 그 핵심 기술이 될 것이다.

우리는 지금까지의 기술과는 다른 연구와 발전을 통해서 우리의 자손들에게 미래의 기술을 제공하여야 한다. 이것은 장난감이나 꿈처럼 보일지 모르지만 미래의 신기술을 실현하기 위한 연구는 매우 중요하다. 또 다른 예는 MHD-추진 선박이 될 것이다.

초전도현상은 전기공학이 발견한 미래 기술의 한 예이다. 그것들을 발전시키고, 실현시키려는 우리의 노력으로, 우리는 우리들의 대학이 미래 기술에 기여하기를 바란다. 우리들이 서로 협력해 나간다면 미래의 전기공학은 점진적 발전을 이룩할 것이라고 기대하며 또 믿고 있다. ■