

**새 기술 새 정보**

# LCD 원판 Glass이송용 10,000N급 차세대 횡자속 선형전동기 응용시스템 개발 기술

김 태 진

(전기연구원 신재생에너지연구그룹 선임연구원)

## 1. 기술개발의 배경

선형 전동기는 일반 회전기를 펼친 상태로 유도기, 전동기, 직류기 및 기타 특수 전동기로 분류하며 그 원리는 회전형 전동기와 같다. 직선 운동을 필요로 하는 시스템에서 기계적 변환 기구를 사용하지 않고 직접 직선 운동을 얻을 수 있으므로 향후 자동화 기기, 교통수단, 산업용 기기 등에 많은 수요를 창출할 수 있는 전동기이다. 또한 선형 전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 스크류, 체인, 기어 시스템 등의 기계적인 변환 장치가 없이 선형 구동력을 직접 발생시키므로 청정을 필요로 하는 환경에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 그러나 이상과 같은 장점을 지닌 선형 전동기를 실제 시스템에 적용하기 위해서는 속도의 저하에 따른 저 출력, 저 효율 및 고 가격과 같은 문제들을 우선적으로 해결해야 한다.

이 선형 전동기 기술이 적용되는 LCD 공정 자동화설비의 Stocker System은 전체 가격의 50% 이상을 차지하고 있으며, 전체의 시스템구성에 요구되는 시스템기술, 선형전동기, 비접촉원장치 및 주요 소재인 분말코어에 대한 연구개발이 현재 프로젝트형 사업으로 진행되고 있으며, 한국전기연구원, 신성 이엔지, 그린파워, SBC 및 동부정밀이 참여하고 있다. 본 과제에서 개발하고자하는 횡자속 선형전동기 기술은 주관 기관인 한국전기연구원에서 국내외에 20건 이상의 특허를 등록 또는 신청 중인 고효율 선형추진용 신기술이다.

LCD사업은 현재 우리나라 성장동력사업으로 세계 1위의

시장점유율을 가지고 있으며, 표1에서 보는 바와 같이 LCD 제조공정의 단위 공장 소비전력은 7세대인 경우 약 280MVA로 원자력 발전소 1기의 발전량 1,000MVA의 1/3에 해당되는 많은 전력이 소모된다.

특히 이송장치의 소비 전력은 15MVA로 전체 LCD공정 소비전력의 5%에 해당되는 초정정 및 고효율 장치가 요구되며, 이송 장치중에 중요한 장비인 LCD Stocker는 LCD 제조 공정에서 Glass가 들어 있는 카셋트를 저장 반입 및 반출하고 관리하는 장치이다.

이 장치는 자동화 공정에서 필수적인 장치로 공정 간의 Buffer의 용도가 크다. 이 장치는 초기에는 Buffer 역할을 수행하는 단순 독립 장비였으나 최근에는 자동 이송라인의 핵심 역할을 하는 초 대형화되어 가는 핵심 기술 장비로 6세대에서는 길이가 100m 이상인 것도 있다. 최근의 LCD Stocker의

표 1 LCD 제조공정의 세대별 구성

	LCD 제조 공정	4,5세대	6세대	7세대	6세대 대비 7세대 증가율
전기설비	전력설비 / 사용전력 (전 공장 기준)	210 / 100 MVA	300 / 160 MVA	570 / 280 MVA	약 100% 증가
	전력설비 / 사용전력 (크린룸 기준)	128 / 65 MVA	154 / 66 MVA	284 / 97 MVA	약 45% 증가
기계설비	크린룸 규모	15,000평	35,000평	40,000평	약 14% 증가
	Stocker Crane 무게	2ton	5.5ton	10ton	약 53% 증가
	Cassettes 무게	0.2ton	0.5ton	1ton	약 53% 증가
	Crane 이송속도	2m/s	2m/s	2.5m/s	약 25% 증가
	전동기에 요구되는 힘	1,500N	5,000N	10,000N	약 100% 증가
	LCD Size	-	1500 * 1850mm	1950 * 2250mm	약 160% 증가

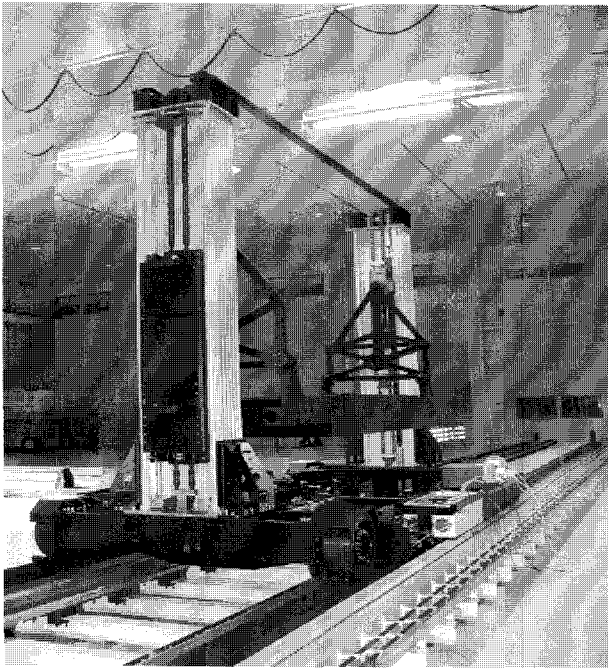


그림 1 차세대 고효율 선형전동기 이송시스템 추진차량

자동화에서의 역할은 카세트 단위의 관리뿐만 아니라 Glass 단위의 이송까지도 관리하는 복합 기능을 수행한다. Stocker의 핵심 모듈은 저진동/고출력/초정정 Crane 및 Robot Arm, 카세트를 반입/반출하는 I/O Port 및 제어시스템 등으로 구성된다. 여기서 6세대 LCD Stocker용 Crane은 카세트를 이송하는 핵심 모듈로 국내기업이 자체기술로 일본의 경쟁사와 같은 시기(2003년)에 개발하였다. Fab 자동화 장비용 필수장치인 LCD Stocker는 초정정화를 위하여 비접촉 전력전송 장치를 사용하고 있다. 비접촉 전력전송 장치(Contactless Power Transfer System : CPTS)는 Stocker의 크기가 대형화되고 높은 청정도를 필요로 하면서 LCD 공정에 필수적인 핵심 기술 부품으로 되었다.

차세대 CPTS는 주로 6-8세대 LCD Stocker용으로 용량면에서 40-100kW 정도로 대응량이 요구되며, Track 길이 면에서도 기존의 5세대가 20-30m인 것에 반해서 6-8세대에서는 50-150m 정도로 길어진다. 기능면에서 보면 고신뢰성 외에도 에너지절약 및 CPTS size를 최소화하기 위해서 고효율 달성이 절대적으로 필요하다. 그 외에도 입력에 고조파와 저역률의 피해를 최소화하기 위해서는 역률보상기능이 필요하며, 출력 정전압 regulation, 출력전압 feedback 없는 2차측 자체 regulation 기능, 신뢰성 향상을 위한 각종 보호 기능 등이 요구된다. 전력을 비접촉으로 전달하게 되는 마그네틱 Coupler는 size가 작아야 하고, 공극을 유지하여야 한다.

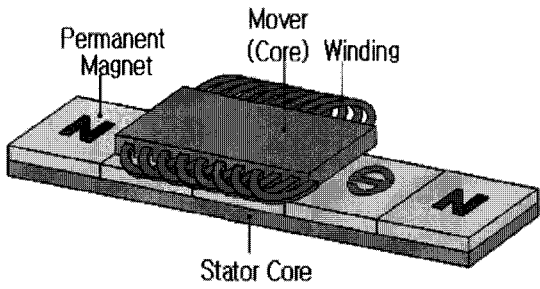
CPTS는 변압기의 1차권선에 누설 인덕턴스가 아주 크기 때문에 움직이는 물체에 부착된 2차측에 전력을 효율적으로 전송하기가 쉽지 않다. 특히나 1차측 track 길이가 50m나 100m로 늘어나면 2차측으로 전달되는 전력은 몇 % 되지 않는다. 장거리 track에서도 효율적으로 전력을 전송하기 위해서는 공진제어기술, 고결합계수 Coupler 설계기술, 2차측 전원 안정화기술, 부하 평준화기술, 보호기술, 등 여러 가지 기술들이 복합적으로 작용하여야 한다. CPTS 기술이 확보되면 반도체 이송장비 뿐만 아니라 선형운동을 하는 각종 컨베이어 생산 자동화 설비에 적용이 가능해진다. CPTS 핵심 기술은 보유한 몇몇 외국 선진기업들은 기술이전을 기피하고 있기 때문에 CPTS 핵심기술의 개발이 절대적으로 필요하다.

## 2. 핵심 요소기술

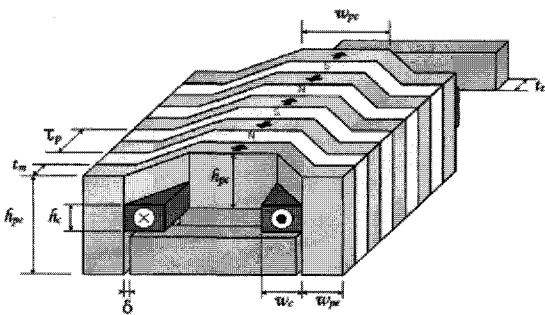
### 2.1 횡자속형 선형 전동기기술(Transverse Flux Linear Motor : TFLM)

1930년대의 NEMA 445 Frame이 50Hp의 출력이었던 반면에 지금은 200 Hp의 출력을 내고 있다. 이러한 전동기 기술의 발전은 설계기술, 재료기술, 제작기술, 전력변환기술 등 전동기 관련 요소기술의 진보에 기인하고 있다. 근래에 전력용 반도체(GTO, IGBT 등)와 새로운 전기기기 관련 재료(희토류 영구자석, 초전도체, 비정질 자성재료 등)가 발전함에 따라 전기기기 기술이 비약적으로 발전되고 있으며, 이와 더불어 새로운 설계 개념을 도입한 횡축형 전동기가 개발되고 있다.

횡축형 전동기는 자속의 방향이 이동자의 이동 방향에 대해 횡방향을 나타내며, 이동자와 같은 방향으로 전류가 흐르는 형태로 구성된다. 그리고, 극간격의 크기를 작게 설계할 수 있기 때문에 높은 출력밀도를 얻을 수 있으며, 기존의 종축형 전동기에 존재하는 오버행이 없는 링 형태의 권선으로 동의를 얻을 줄일 수 있어 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 전동기의 체적을 줄일 수 있는 구조를 가지고 있다. 따라서, 횡축형 전동기는 높은 출력과 효율 특성으로 인해 전동기 중량이 적게 요구되는 전기자동차, 철도관련 차량, 자기부상 열차와 같은 교통수단의 추진장치로 매우 적합하다. 특히, 영구자석 여자 횡축형 전동기를 지하철 차량 혹은 경전철 차량의 선형 추진 시스템에 적용시킬 경우, 일반 선형 유도전동기에 비해 3배 이상 높은 출력밀도를 얻을 수 있기 때문에 차량의 경량화, 지지구조의 경량화는 물론이고, 터널의 면적을 50% 정도 절감시킬 수 있다. 현재 개발된 10,000N급 횡자속형 전동기 시제품은 25N/kg 출력비와 2m/s의 속도에서 50%의 효율을 나타내고 있다. 3차원 자속 흐름이 가능한 분말코어 적용시 60%의 효율을 목표로 하고 있다.

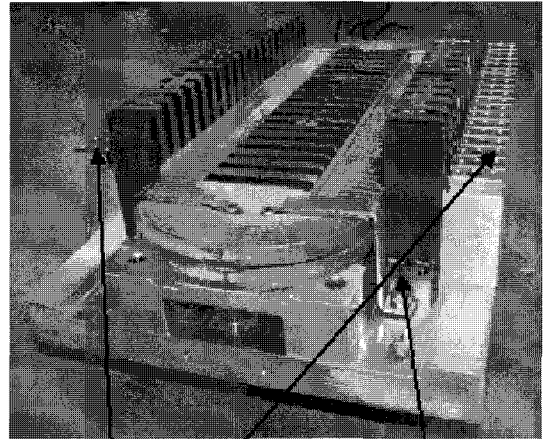


(a) 기존 종자속형 구조



(b) 개발중인 횡자속형 구조

그림 2 선형전동기의 구조



SMC 코어 고정용 뼈기 전후면 용접

그림 5 SMC 코어를 이용한 이동자 1상 시제품

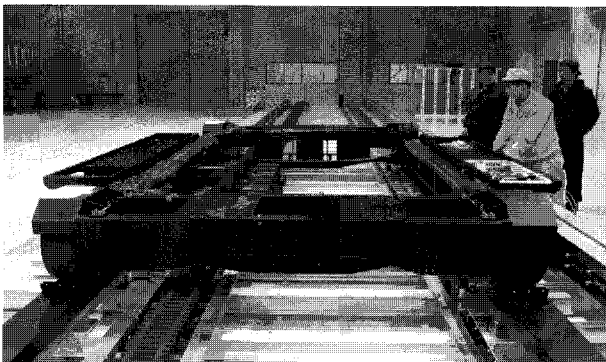


그림 3 10,000N급 횡자속형 전동기 시제품

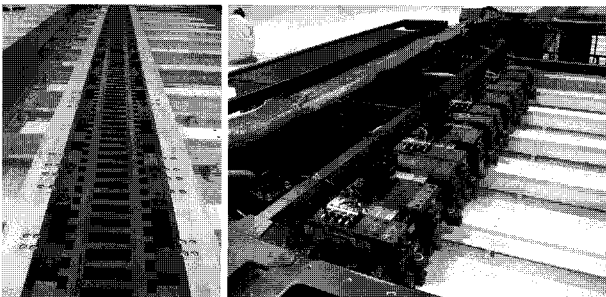


그림 4 10,000N급 횡자속형 고정자 및 추진모듈

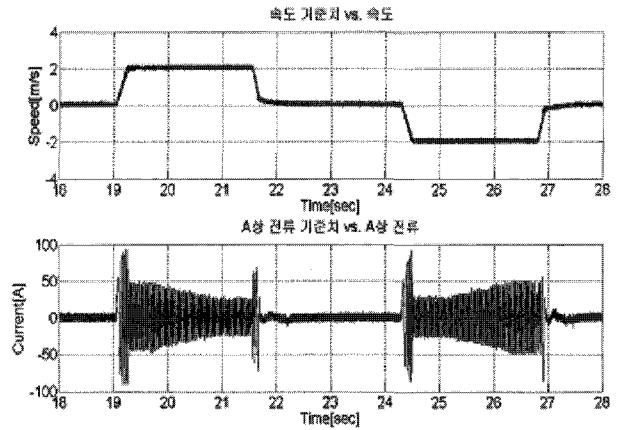


그림 6 10,000N급 선형전동기의 속도 및 전류 파형

## 2.2 비접촉 전원 장치 기술 (Contactless Power Transfer System : CPTS)

LCD 생산공정에서 5세대 이전의 제품 스토커(Stocker)는 전원 케이블로 이동체인 크레인에 전원을 직접 공급하였으나, 5세대부터 LCD 원판의 크기가 급격히 증가하여 6-7세대의 경우 약 2.2m×1.8m 이상의 대형으로 가공되기 때문에 저장시스템인 스토커 사이즈 역시 대형화 추세에 있고, 공정의 미세화로 반도체 생산 장비로 인한 펌내의 오염을 방지하는 기술이 절실히 필요하게 되었다. 그러나 스토커에 전력 공급을 케이블로 직접 공급하는 경우는 반복 주행시 전원공급선과 체인에 의한 마찰로 인한 마모로 미세한 분진이 발생되고 이로 인해 스토커내의 고정정 유지가 어렵기 때문에 5세대 이상의 LCD 생산 공정에서는 비접촉 전원장치의 사용은 불가피하며, 차세대 TV등의 수요증가 및 대형화가 가속

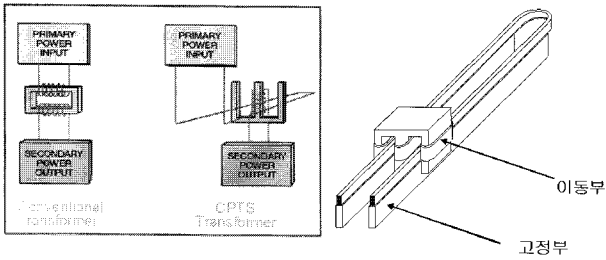


그림 7 비접촉 전원장치 개념도

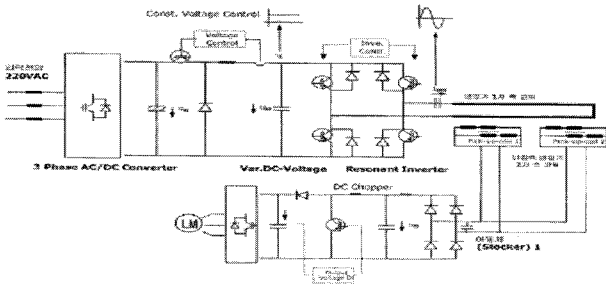


그림 8 LCD 제조장비용 비접촉 전원장치 회로도

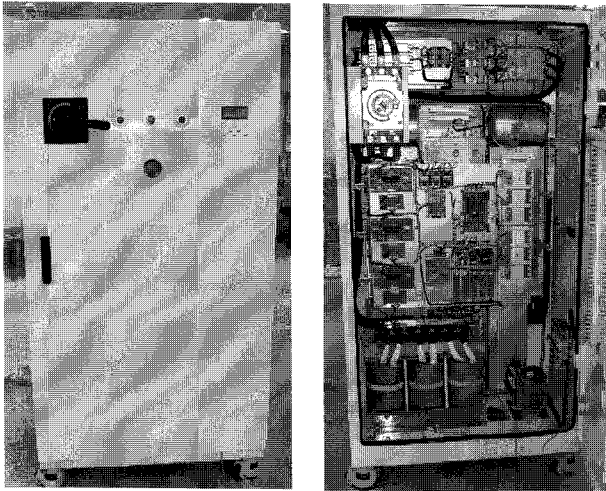


그림 9 CPTS 1차측 장치의 외형사진: 외부(좌), 내부(우).

화되어 새로운 공정의 적용 및 증설로 그 수요가 증대되고 있는 추세다.

신성이엔지의 경우 이미 삼성전자(주)와 13대의 스톡커(Stocker)납품 계약을 하였고 LG-Philips 및 미국 PRI사와도 계약 진행중에 있으며, 금년에만 내수 150억원, 수출 50억원 등 모두 200억원 정도의 5kW급 비접촉 전원장치를 적용한 스톡커(Stocker)를 판매할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 비접촉 전원 장치를 적용한 스톡커(Stocker)의 세계 시장은 2002년 1,000억원 정도에 달하였고, 반도체 제조 공정상



그림 10 CPTS 2차측 장치의 외형사진: 부하평준화 및 에너지 저장 장치(상), 다이오드 정류기 및 레귤레이터 장치(하).

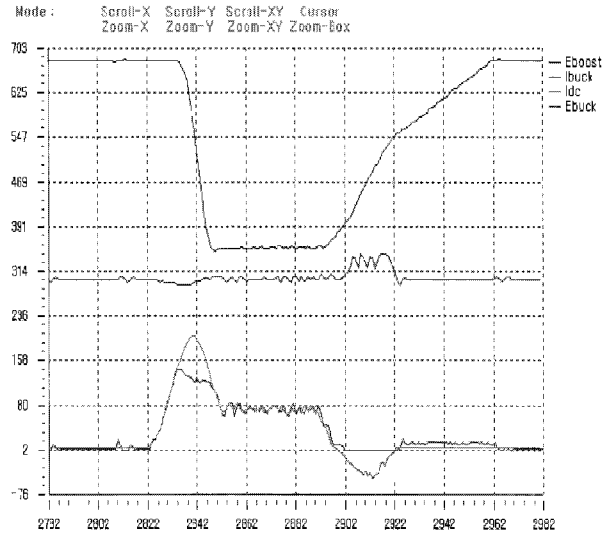


그림 11 2차측 CPTS의 동작파형(회생모드시)  
 (1) 커패시처 전압 (2) 출력전압  
 (3) 부하전류 (4) 레귤레이터에서 공급되는 전류

고도의 청정을 유지해야 하기 때문에, 최근 들어, 반도체 메이커들은 기존의 전원케이블을 이용한 전원 장치를 비접촉 전원장치로 대체하고 있어서, 오는 2006년에는 세계 시장이 2,300억 이상으로 확대될 것으로 전망된다. 신성이엔지의 경우 내수 400억원, 수출 500억원 정도의 매출 실적을 거둘 수 있을 것으로 예상하고 있다.

한편, 비접촉 전원장치는 고정형 반도체 스톡커(Stocker)의 핵심부품인데도 불구하고 지금까지 국산화가 이루어지지 않아서, FPD 스톡커(Stocker)를 완전 국산화를 실현하지 못하고 있었으며, 국내 반도체제조업체들은 높은 가격으로 일본으로부터 전량 수입하여 사용해 오고 있는 실정이다. 비접촉 전원장치의 주요 메이커는 일본의 다이후쿠사와 무라타사로, 이들 회사들은 현재 10kW급과 20kW급의 비접촉전원장

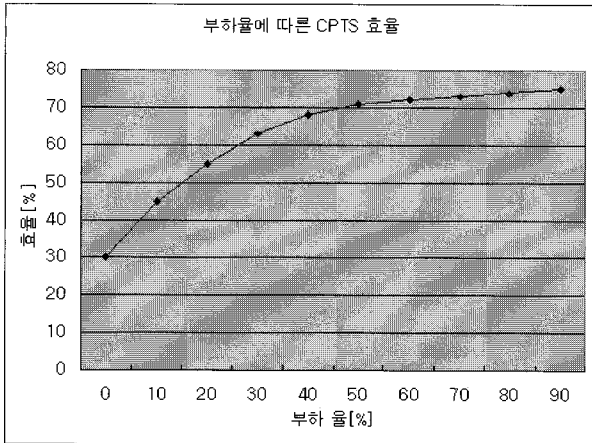


그림 12 부하율에 따른 CPTS의 효율특성

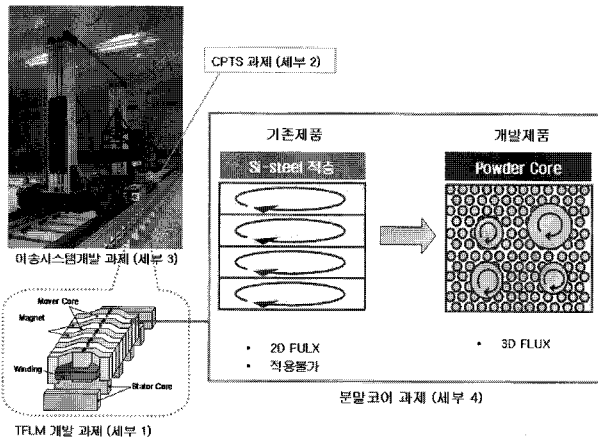


그림 13 분말코어 기술개발의 개념

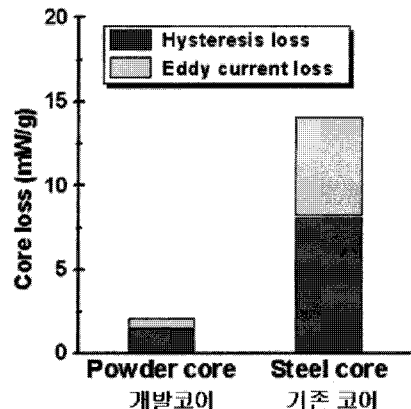
치를 생산하고 있으며, 스톡(Stocker)의 세트당 판매가는 5억원 정도에 달하고 있다.

### 2.3 분말코어 기술

현재, 3차원 자속이 요구되는 횡자속형 선형전동기를 설계 제작에 강(steel, S20C)재를 소재로 가공한 코어가 사용되고 있다. 강재코어 적용은 고효율이 요구되는 선형전동기 설계에 있어서 코어내 와전류 증가로 인한 코어 자체 손실이 크다는 단점이 있다. 이 문제의 대처 방안으로서는 연자성 분말 복합재가 유력시되고 있다. 연자성분말복합재란 해외 선진업체에서 출시되고 있는 SMC(Soft Magnetic Composite)를 말하며, 기본적 조성은 철(Fe)로서 철분 입자 표면을 기타 유기물로서 코팅된 상태를 가진 분말이다. 이러한 연자성분말 복합재 성형체의 특징은 3차원 자속(flux)을 형성할 수 있으며, 분말야금공정의 특징인 가공이 용이한 장점이 있다.

표 2 기존 코어와 개발코어의 특성비교

구분	Steel core [기존코어]	Powder core [개발코어]
가공비	매우 높다	상대적으로 낮다
특성제어인자 및 기술	- 미소 첨가물	- 분말 크기 및 분말 형상 - 분말간 결합 - 열처리 기술 (Annealing)
	특성제어 곤란	특성제어 다양하다.
Flux 방향의 자유도	3D	3D
자속밀도	높음	상대적으로 낮음
투지율	높음	상대적으로 낮음
코어손실	저조	우수



이러한 연자성분말복합재를 개발 사용하면, 선형전동기의 손실을 크게 차지하는 이동자(mover) 코어의 와류 손실을 크게 줄일 수 있어 전동기 손실을 줄이고, 에너지 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 코어 자체의 손실을 줄이는 소재 개발과 함께 구조적 설계 기술 개발이 요구되고 있다. 코어소재는 개개의 분말 표면이 코팅(절연효과)되어 있으므로 이 분말을 가압 성형하는 방식 채택되고 있다. 이 분말코어 관련 기술은 첨단 소재분야로서 기술적 난이도도 크지만 그 파급효과도 매우 클 것으로 사료된다.

### 3. 국외 기술개발 현황

2000년 일본 국제공작기계전 (JIMTOF)에서는 선형 전동기를 탑재한 많은 공작기계가 발표되었다. 고속, 고가속 목적의 머시닝센터가 전시되었으며, 90 m/min~120 m/min, 1.5G 가속의 기계는 개발 단계를 마치고 실용기로서의 평가 단계에 들어가고 있다. 또한 장치의 고성능화를 위해 선형 전동기를 개발하여 탑재한 방전 가공기, 선형 전동기 구동에 의



그림 14 선형 유도 전동기 이용 지하철(일본 오사카)

한 저소음, 저진동, 긴 수명의 연삭반 테이블의 왕복동, 불나사로서는 얻을 수 없었던 고속, 고정도, 저소음의 상하 동작 고속 브로치반, 선형 전동기 채용에 의한 스트로우크의 임의 가변이 가능하게 된 트랜스퍼 머신 등 모두 종래에는 없었던 성능을 가지게 되었다. 대용량 고추진력의 공작기계용 선형 전동기로서는 LIM(Linear Induction Motor), LSM(Linear Synchronous Motor)이 채용되고 있지만, 열적인 문제로 인해 최근에는 영구자석을 사용한 LSM이 대부분 사용되고 있다.

대형 선형전동기는 그림 15과 같이 일본 국내에서 운행되고 있는 철도에 적용되고 있으며 차륜과 레일로 지지, 안내되며, 편축식 선형 유도 전동기(LIM)에서 추진된다. 차량 높이에 따라서, 터널 단면적을 적게 할 수 있기 때문에 건설비가 절감될 수 있고, 또한 비접촉 구동이기 때문에, 급구배, 급곡선 주행이 가능하게 되어 노선 길이의 단축이 가능하다는 등의 이유로 개발이 진전되어, 1990년 2월 부터 오오사카시 교통국 7호선에, 1991년 12월부터 도쿄도 교통국 12호선에 영업 운전이 개시되고 있다. 양 노선의 확장 이외에 요코하마시, 고오베시, 후쿠오카시 등에도 건설 혹은 계획되는 등 그 수요는 높아지는 경향을 보이고 있다. 이처럼 새로운 도시 교통 기관으로서의 선형 전동기의 중요성은 높아지고 있지만, 선형 전동기 지하철은 회전형 전동기로 구동되는 종래형의 지하철에 비하여 소비전력이 크기 때문에, LIM의 설계에 대해서도 효율 특성의 개선이 큰 과제가 되고 있다.

LCD 산업에서 4세대까지는 일본의 자동화 전문 업체인 다이후쿠, 신코, 무라다사가 한국의 반도체 웨이퍼는 물론 LCD 자동 이송시스템 시장을 완전 장악하고 있었다. 여기에 관심을 갖고 있던 국내 업체가 기술적 투자를 계속하여 드디어 회전을 이용한 LCD 5세대 셀라인용 Glass 이송장치인 Stocker, RGV 및 Lifter 장비를 완전 국산화함으로써, 현재

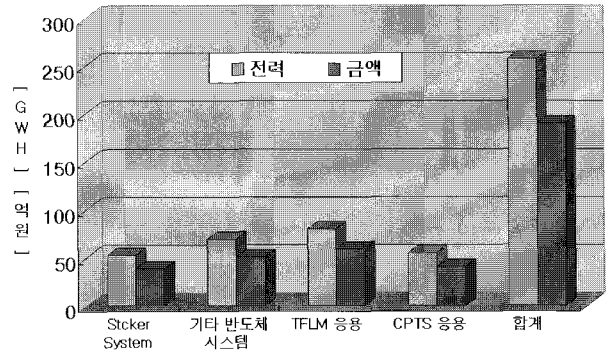


그림 15 차세대 선형전동기 응용시스템 기술개발에 의한 에너지 절감효과

삼성전자, LG필립스 등은 셀라인의 자동화 장비를 대부분 국산품을 일부 사용하고 있다. 기존의 LCD 이송장치들은 대부분이 구동원으로 서보모터(Servo Motor)를 사용하고 있으며, 서보모터에서 발생한 회전운동을 직선운동으로 변환시키기 위하여 감속기, Rack-Pinion, Belt, Chain, Ball Screw, Crank 등의 기계적 동력전달 및 변환장치를 사용하고 있다. 그러나 회전형 전동기를 사용한 기존의 이송장치는 구조가 복잡하고 마찰에 의한 소음, 분진(Particle), 에너지 손실 및 Backlash에 의한 Position Error의 발생요인이 많으며, 주기적인 유지보수를 필요로 하는 등의 단점을 가지고 있다.

#### 4. 결론

국내 국외 산업 환경 분석에 의하면 LCD 산업은 10대 차세대 성장 동력 산업으로서 세계 1위 기술과 시장을 확보하고 있다. 이러한 국가 주력 산업의 기술경쟁력확보를 위해서는 저 에너지 소비 생산 기술과 제조 장비기술이 뒷받침되어야 하며, 본 과제를 통하여 기술 개발이 진행되고 있는 선형 전동력기술은 그 핵심 기술 중의 하나이다. 시급히 국내 개발 기반 및 요소 기술을 적용하여 고효율, 고풍력의, 가격 경쟁력을 가지는 횡자속 선형전동기와 주변기술을 개발하여 세계 최고의 선형전동력 기술을 확보해야 한다. 또한, 우리나라의 주력 사업인 반도체 및 LCD의 국제적 경쟁력 유지와 에너지 절약에 기여하고 관련 기술의 고도화를 통하여 5.6억\$에 달하는 관련 세계 첨단 제품 시장을 선점하고자 한다. 또 산업의 고도화 첨단화에 따라 광범위하게 요구되는 기어(gear)없이 직선운동이 필요한 분야에 적용하여, 전기 에너지의 합리적 이용으로 전기에너지 절약에도 크게 기여할 것으로 예상되고 있다. ■