

리니어모터기술 및 응용전망 ②

글 / 장 석 명
충남대학교 전기공학과 교수

3.4 종류에 따른 특성 비교

리니어 모터의 종류는 다양하지만, 제각기 장점과 단점을 가지고 있다. 따라서 직선구동시 각 기종마다의 특성을 비교하여 적재적소에 적절히 응용해야 할 것이다. 이를 위하여 표 6과 표 7에 리니어 모터의 종류별 응용특성과 성능을 분석하기 위한 자료를 나타내었고, 표 8에 각종 리니어 모터 및 리니어 액츄에이터의 각종 특성의 비교분석표를 나타내었다. 이를 근거로 하여 표 9에서는 각 기종의 리니어 모터를 서보요소로 응용할 경우 선정에 참고가 되도록 성능을 분석하여 장점과 단

점을 제시하고 이를 바탕으로 적절한 응용분야를 제시하였다.

즉, 위치결정요소로서 LIM, LSM은 고속, 대추력제어에 적합하고, LDM은 저추력, 고위치결정정도의 제어에, LPM은 페루프제어가 잘 되어 제어가 간단한 것으로 분류할 수 있다.

향후 리니어 모터 자체 설계제작 기술의 고도화, 센서 및 제어기술의 발전이 이루어질 것이며 이에 따라 각 리니어 모터의 성능, 응용개발의 평가도 시대적으로 매우 크고 급격하게 변화해 갈 것이다.

표 6 리니어모터의 지지기구의 종류별 응용특성

구 분	연속 직선 운동	간헐 직선 운동	소변위 왕복 운전	대변위 왕복 운전	위치결정 상태	대추력화	저속 운전	고속 운전	페루프 제어성	수직 운전	가동자구조의 간이성	제어회로의 간이성	가 격	지지기구의 부담	정전 대책	적 용
LIM	◎	△	△	◎	△	◎	○	◎	○	△	◎	◎	◎	◎	×	대출력연속 고속반송, 수송용
LDM	△	◎	◎	△	◎	○	○	○	×	△	△	○	△	○	△	소변위고속 위치결정 제어용
LPM	○	◎	◎	○	◎	○	◎	△	◎	○	△	○	△	△	○	저속대출력, 간헐운전, 위치결정제어용
LOA	×	×	◎	×	×	△	×	×	○	-	○	○	○	△	×	소변위왕복운동 (송출기구)
LES	×	×	○	×	△	×	×	×	○	-	○	◎	◎	◎	×	소출지지기구
LEP	◎	△	×	○	×	×	○	×	○	○	×	◎	△	△	×	유체고속반송
LSM	◎	○	△	◎	△	◎	△	◎	×	△	△	△	△	○	○	고속수송선

◎:최고, ○:적합, △:약간 부적합, ×:부적합

표 7 추진용 모터의 종류별 성능비교표

Motor 종류	발생추력밀도	제어성	효율	힘/중량	신뢰성
DC homppolar	저	양호	저	고	저
DC brushless	저	불량	고	저	고
LSM	고	양호	중	중	중
LSHM	중	양호	고	고	중
LSRM	중	양호	중	중	고
DLIM	고	양호	중	중	고
SLIM	중	양호	중	중	고

표 8 리니어모터의 종류별 특성비교표

비교항목	유도형 리니어모터(LIM)			직류형 리니어모터	동기형 리니어모터	스텝(펄스) 리니어모터	솔레노이드	회전모터 + 나사
	양측식	편측식	원통형					
운전용전원	일정전압, 주파수 또는 가변교류			DC서보전원	일정전압 가변주파수	펄스	일정전압의 교류	일정전압의 교류
스트로크	cm-∞	cm-∞	cm-m	μm-∞	mm-cm	15mm	15mm	3m
기동추력 N	50-800	100-450	5-320	2140		20-600	0.2-50	
추력 kgf	0.1-수천			-20	-1	-50	-20	수ton
속도 m/s	0.1-10			0.3-2	-0.5	0.3-2	1	-0.5
정지정도	±3mm			±3 μm		±30 μm		±1mm
부하중량	~수ton			-50kg	-10kg	-50kg		-수ton
추력/입력 N/kW	0-130	0-50	0-80	80-700		500-3000	20-100	
추력/중량 N/kg	10-20	9-18	2-30	2-30		20-30	10-70	
추력/체적 N/m ³	35-90	30-70	20-40	10-30		400	70-350	
제어방식	폐루프			폐루프		개루프, 폐루프		
궤환요소	변위신호			변위신호(속도, 가속도, 전류)		개루프시는 불필요, 변위신호		
제어요소	전압, 주파수			전압(전류)		주파수 pps		
위치결정방식	역상제어이용, 별도의 전기적, 기계적장치 이용			가동자의 위치 신호를 궤환하여 목표치에서 벗어나면, 변위에 따라 전압의 극성을 바꾸지 않고 제어		목표거리에 대응된 펄스수만 공급		



표 9 각종 리니어모터의 장단점과 응용 예

리니어 모터 종류		장 점	단 점	주요 응용분야	
유도형 리니어 모터 (LIM)	* 평판형	<ul style="list-style-type: none"> * 평판구조가 가능 * 일정공극의 유지가 쉽다. * 피구동체의 일부를 2차측으로 하여 응용가능 * 구조물, 레일 등을 2차도체로 하여 응용가능 * 편측식에 비해 추력이 크다 * 2차측이 AI판으로도 가능 * 관성을 작게 할수도 있음 	<ul style="list-style-type: none"> * 편측식은 양측식에 비해 추력이 작다. * 2차측이 자성체로 구성 되면 추력의 10배이상 흡인력 발생 * 양측식은 편측식에 비해 구조가 복잡하다. * 공극을 일정하게 유지해야 함 	<p>각종 반송장치 자동문, 권선감는 장치, 압출기, 스크류프레스 고속열차</p>	
	* 원통형 (tubular, cylindrical)	<ul style="list-style-type: none"> * 교류기와 같은 제어가 가능함 * 대출력, 대기동력 발생 * 보수유지가 용이 * 고속운전이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> * 서보성 양호하지 못함 * 위치결정시 발열이 됨 * 위치의 궤환이 필요 		
동기형 리니어 모터 (LSM)		<ul style="list-style-type: none"> * 정속으로의 주행이 가능함 * LIM에 비해 효율이 좋다 	<ul style="list-style-type: none"> * 속도변화를 위해서는 주파수 변환기가 필요 	<p>초고속 열차, 레코드, 클레이어, 회전광고탑</p>	
직류형 리니어 모터 (LDM)	다 극 식	브러시 부 착	<ul style="list-style-type: none"> * 고속 서보기구를 실현할 수 있다. * 추력/질량비가 큼 	<ul style="list-style-type: none"> * 서보시스템 구성에 위치결측 기동의 궤환 요소가 필요 * 위치결정정도는 센서에 의한 * 정류자, 브러시의 보수가 필요 	<p>자기헤드이송, 지시기록계, 펜레코더, 직교형 고정도로보트, 전자마싱, 플로피디스크</p>
		브러시 레스	<ul style="list-style-type: none"> * 고속 서보성 大 * 추력/질량비 大 * 브러시부착형 보다 무보수화 	<ul style="list-style-type: none"> * 변위와 극위치신호의 궤환이 필요 	
	단 극 식	<ul style="list-style-type: none"> * 고속 서보성이 좋다 * 추력/질량비가 大 * 브러시부착형 보다 무보수화 * 가동자이동시 정류작용 없다. * 고속왕복운동이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 긴 스트로크는 불가능 		
스텝(펄스)형 리니어 모터(LPM)		<ul style="list-style-type: none"> * 페루프 제어에 의한 고정도 위치결정이 가능 * 마이크로급의 고정도 위치결정, 속력은 페루프제어방식 * 입력펄스 주파수에 속도비례 * 탈조유려 없어 신뢰성이 높다. * 정지시에 무여자로 가능 * 초저속구동 가능 * 마이크로시스템운동으로 smooth한 운전가능 	<ul style="list-style-type: none"> * 유도형(LIM)비해 고속이 불가능 * 페루프제어의 경우 매우 복잡하여 가격/성능 면에서 불리 * 변위 신호의 궤환 필요 * 부하나 충격으로 탈조한다. 	<p>NC장치, XY테이블, 타이프라이터, 플로터, 자동제도기, 프린터헤드이송, 자동검색 장치</p>	
솔레노이드형 리니어 모터		<ul style="list-style-type: none"> * 구조가 간단 * 완강하다 * 저렴하다 	<ul style="list-style-type: none"> * 스트로크 조절이 안됨 * 긴 스트로크는 어렵다 * 추력/중량 비가 크다. * 되돌리기는 스프링에 의한다. 	<p>공작기계, 벨브장치</p>	

표 10 회전형 모터와 비교한 리니어모터 특성의 장단점

회전형과의 비교	장 점	단 점
○ 가동부와 고정부가 비접촉 상태로 전자기적 추진력을 직접 발생	<ul style="list-style-type: none"> ● 기어, 벨트, 체인, 스크류등이 없으므로, <ul style="list-style-type: none"> - 마찰에너지 손실이 없다. - 마모가 없으므로 부품의 교체가 거의 없다. - 소음이 없으므로 환경성이 좋다. ● 시스템의 구조가 간단하므로 <ul style="list-style-type: none"> - 부품의 대폭 절감으로 보수, 점검, 유지관리가 용이하다. - 중량이 가벼워져 에너지 소모가 절감된다. - 소형, 경량화로 시스템의 경년변화가 적다. - 추력의 직접제어로 가감속 능력이 좋아 제어성이 우수하고, 신뢰성이 높다. - 원심력에 의한 가속제한이 없고, 초고속 운전이 가능하다. - 시스템의 종합효율이 좋아 시스템이 고성능화 된다. 	
○ 가동부와 고정부사이의 공극을 회전기의 베어링과 같이 유지하기 위한 지지기구가 필요		<ul style="list-style-type: none"> - 회전기의 베어링과 같이 영구자석, 전자석, 리니어 베어링, 롤러등 지지기구 필요 - 공극이 커야 하므로 單機로는 역률, 효율이 나쁘다.

4. 리니어모터의 응용, 전망 및 기술체계

4.1 응용

로봇을 포함한 FA, OA, HA, 정보 단말기 등의 구동력 발생장치로 리니어 모터의 응용이 활발해지고 있다. 이는 제품의 소형, 경량화, 특성개선 등의 관점에서, 각종 메카트로닉스기술에 대한 수요가 크게 변화하여 회전형이 반드시 유리하지 만은 않다는 판단이기 때문이다. 즉, 각 분야에서 구동력발생 장치로 응용하는 경우에 요구되는 사항들은 아래와 같다.

- 1) 구조가 간단하고 소형, 경량화가 가능해야 한다.
- 2) 유지보수가 간단해야 한다.
- 3) 출력이 크고 부하에 대한 특성값의 변동이 적어야 한다.
- 4) 응답성이 좋고 신뢰성이 커야 한다.
- 5) 위치결정제어가 가능하며, 또한 제어회로가 간단해야 한다.
- 6) 정역운전 또는 왕복운전시에 위치의 엇갈림이 없어야 한다.
- 7) 가격이 저렴해야 한다.

표 10은 리니어 모터가 구동시스템에서 응용되는 경우 회전형 모터에 비해 매우 유리한 이점을 갖는데, 단점과 함께 이를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 공극을 사이로 하여 가동부와 고정부가 비접촉식 구동을 하므로 마찰이 없으며, 소음도 없다.
- 2) 추진력을 직접 발생하므로 기어, 벨트, 체인 등 기계적인 변환장치가 필요없다.
 - 가) 변환장치에서의 마찰, 소음, 마모가 없다.
 - 나) 시스템의 구조가 간단하며, 중량이 가벼워 에너지 소모가 적으며, 신뢰성이 높다.
 - 다) 보수점검, 유지관리가 크게 필요하지 않다.
 - 라) 큰 가감속 도로의 운전이 가능하다.
 - 마) 원심력에 의한 가속제한이 없으며 초고속 운전이 가능하다.
- 3) 가동부와 고정부사이의 공극을 일정하게 유지하기 위한 영구자석, 전자석, 리니어 베어링 또는 소형바퀴 등의 지지기구가 필요하다.
- 4) 단기로서는 회전형에 비해 공극이 크므로 역률, 효율이 낮으나 시스템의 종합효율은 양호하기 때문에 시스템을 고성능화 시킨다.

그런데, 리니어 모터 자체가 구조가 간단하여

소형, 경량이 가능할 뿐 아니라 비접촉 상태에서 직접구동이 가능하므로, 특성의 경년변화가 적고, 보수성, 신뢰성이 매우 우수하다.

따라서 장차 자동화기술이 향상됨에 따라 모터의 구조적인 변화 또는 개조, 신원리 모터의 등장 이 급격히 많아 질 것으로 예상되는데, 이에 따라 점점 리니어모터의 제품에의 응용은 매우 활발해 질 것이다.

그 이래로 수송기계, 컨베어, 엘리베이터, 자동창고 등 자동화시스템의 대형 시스템은 물론, 컴퓨터, 프린터 등 소형정밀 서보시스템에서의 위치제어등의 구동장치까지로 다양하면서도 광범한 응용이 실현되고 있다.

자기부상 반송시스템(고집적도의 IC 반도체 공장용)과 공정간 반송장치(롤러리지 시스템)는 청

정도가 매우 높은 환경에서 각종 처리를 해야 하는 고집적도의 IC제조공장용 자기부상 반송시스템으로 일본에서 제작개발한 시스템이다. 먼지를 발생시키지 않는 청정환경에서 각종 처리공정을 위해서는 반드시 필요한 시스템이다. 이 시스템은 적재된 하물이나 환경을 오염시키지 않는데, 저운전 코스트, 에너지 절약, 무보수, 고신뢰성을 필요로 한다.

또한, 소형 서보시스템으로부터 대형 산업자동화 장비까지, 각종분야에 걸쳐서 리니어모터를 응용하는 사례들로는 공작기계(선반, 밀링)의 이동장치, 자동문, 엘리베이터, 로프레스(ropeless) 엘리베이터, 전기햄머와 피스톤, 알미늄 회수장치, 자성체 분리기 등이다. 향후 더욱더 다양하게 확산, 응용될 것으로 전망된다.

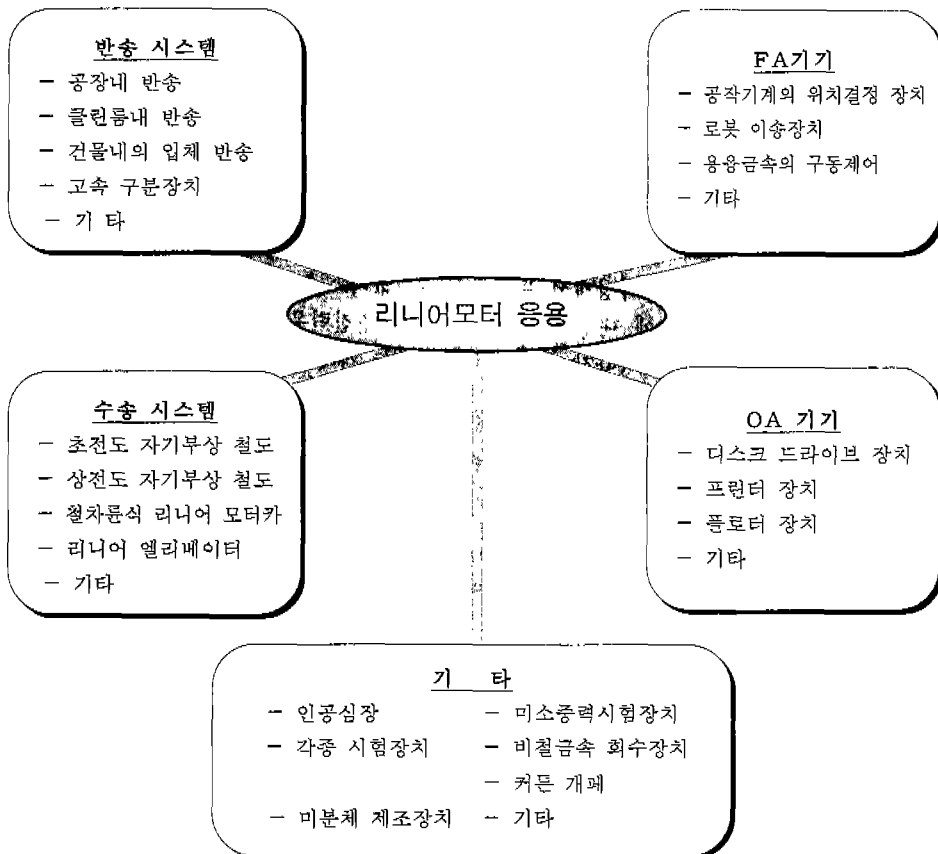


그림 7 리니어모터의 응용분야 분류도

4.2 최근의 연구동향 분석자료

일본에서는 리니어모터의 중요성을 일찌기 인식하고 1983년 6월부터 전기학회가 중심이 되어 리니어 액츄에이터 조사전문위원회를 구성하여 리니어모터의 해석기법, 최적구성, 응용기술, 설계기술 및 특성평가는 물론 리니어모터나 자기부상장치 등의 분야에 관한 집중적인 조사활동을 하여 큰 성과를 거둔 바 있다. 이 위원회에서 현재 연구되고 있는 종류별 연구동향을 조사 발표한 자료를 분석하여 보면 LIM, LDM, LPM이 리니어모터의 주종을 이루고 있는데, 이는 일본 산업계는 물론 우리나라 국내외의 향후 동향을 분석할 수 있는 좋은 참고 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

그림 8로 부터 LIM이 20.8%, 측정법, 센서 특성값에 관한 분야가 19.9%, LPM이 15.9%, 자기부상 및 자기 베어링에 관한 분야가 13.6%, LDM이 7.5%가 됨을 볼 수 있다. 자기부상에 관련된 기술도 초고속열차에의 응용에서 그치지 않고 소형 서보시스템 분야까지도 활발히 응용 개발될 전망이다.

일본 전기학회에서는 이 분야의 기술개발 및 응용을 위한 조사 위원회를 1980년이래 10년간 계속 3차례에 걸쳐 구성하여 연속활동을 하였던 바, 우리나라에서도 이를 참고할 필요가 있을 것 같아 소개하면 아래와 같다.

1) 1980년 6월~1983년 5월: 자기액츄에이터 조

사전문위원회(위원 26명)

- 2) 1983년 6월~1986년 5월: 리니어 자기액츄에이터 조사전문위원회(28명)
- 3) 1986년 6월~1989년 3월: 리니어 자기구동시스템 조사전문위원회(30명)

4.3 기술체계

리니어모터 기술은 그림 9와 같이 리니어모터의 설계, 해석, 제작기술, 재료기술, 전력전자를 포함한 드라이브기술, 계측제어기술로 분류된다. 따라서 시스템의 대출력화, 컴팩트화를 통한 고성능, 고정도화를 실현 할 수가 있다.

4.4 응용에 따른 선정을 위한 예

리니어모터를 각종 자동화를 위한 기본 구동장치로 선정하는 경우, 다양한 종류로부터 선정하기 위한 조건은 아래와 같다. 즉, 다음에 선정조건항목의 예를 유도형과 펄스형의 경우를 예로 소개한다.

[예] 리니어모터의 선정조건

(a) 유도형 리니어모터의 경우 :

- | | |
|---------|-----------|
| 가) 정격전압 | 나) 정격전류 |
| 다) 相 수 | 라) 주파수 |
| 마) 動 率 | 바) 최종주행속도 |

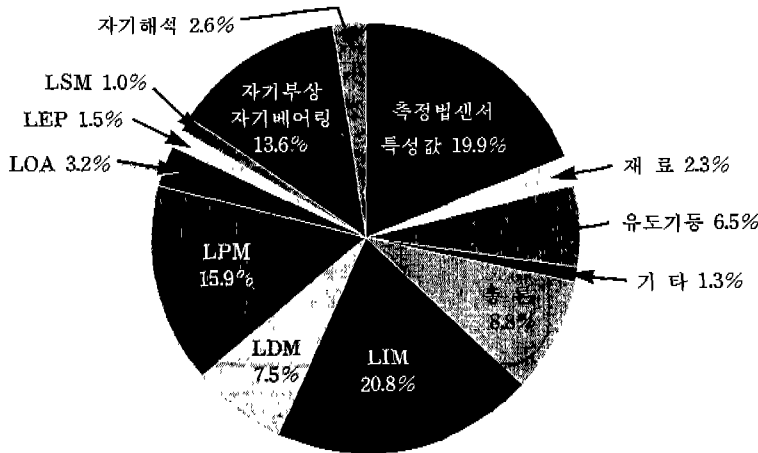


그림 8 일본전기학회 리니어액츄에이터 조사전문위원회가 일본에서의 연구동향을 분석한 종류별 연구분포도

- 사) 靜 推력 아) 스토르크
 자) 停止精度 차) 부하시간을
 카) 寸法 등

이외에도 여러가지가 있을 수 있다.

(b) 펄스형 리니어모터의 경우 :

- 가) 정격전류 나) 스텝 량
 다) 靜 推력 라) 動 推력
 마) 최대 自起動주파수 사) 스토르크
 아) 停止精度 자) 質量

5. 결론

리니어모터는 최근 수송기관, OA, HA, FA 등은 물론이고 다양하게 그 응용이 활발해지고 있다.

리니어모터의 구동원리 및 개요, 종류 및 특성, 응용 및 기종 선정을 위한 자료 등 전반적인 참고 사항을 소개하였다. 이 분야의 관련 연구개발자들

에게 큰 도움이 되었으면 한다.

6. 참고문헌

1. 故 任達鎬박사 추모회 편저 "電磁에너지 변환기기의 해석과 응용" 한양대학교 출판원, 1997. 8
2. 장석명의 "소형모터 기술현황" 대한전기학회 소형모터기술 조사전문위원회 기술조사보고, 1992. 7
3. 장석명의 "리니어모터 기술" 전기학회지 특집, 48권 2호, pp4~59, 1999. 2
4. 장석명 "자기부상열차 추진시스템에의 리니어모터 응용추이" 전기학회지 제42권 12호 1993. 12, pp24~33
5. "리니어모터 응용 핸드북"세화, 1988
6. 海老原 大樹의 "최근 2년간의 리니어 드라이브 관련연구의 동향" 일본전기학회 논문지, 118~D권, 10호, 1998. 10

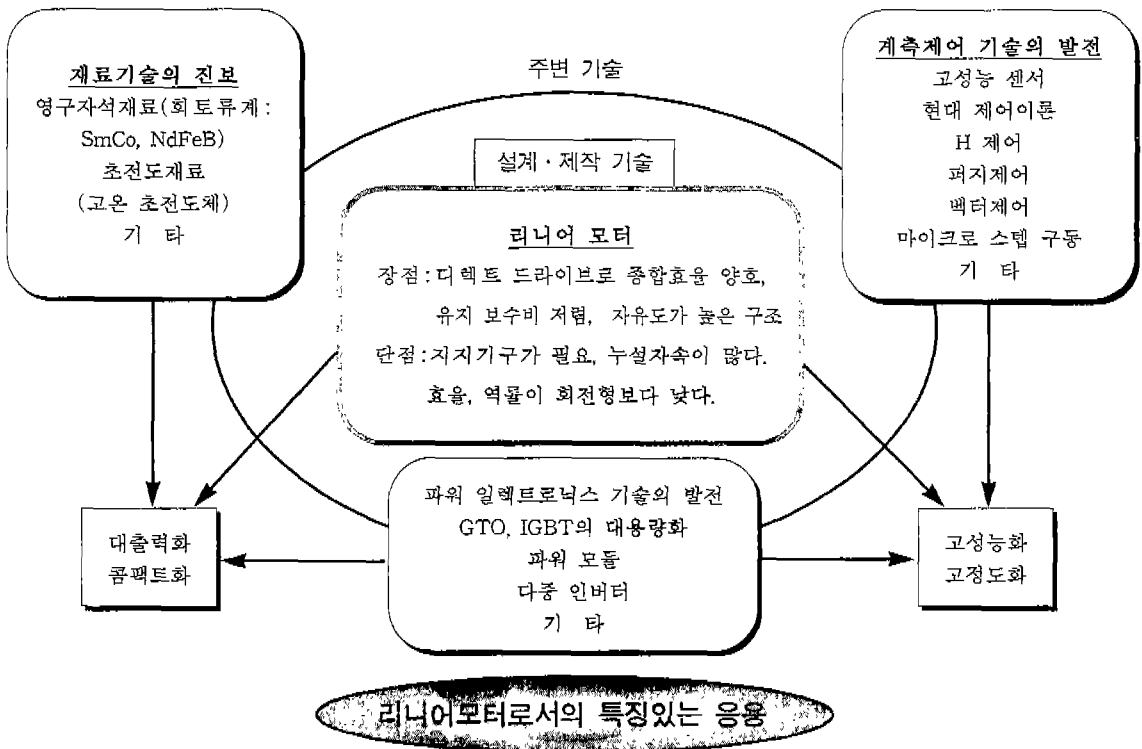


그림 9 리니어모터 기술의 체계도