

전동기의 기술개발 동향

에너지자원기술개발지원센터
공학박사 고 요

1. 개요

전기에너지의 사용이 편리함으로 인한 가정, 상업, 산업부문에서의 전력수요가 폭발적인 증가 추세 일로에 있고 이에 따라 에너지원의 96% 이상을 계속 외국에서 수입해야 하는 국내 실정으로 볼 때 에너지절약기술개발의 필요성이 절실히 요구(1995년 2,988만kW에서 2010년 6,564만kW로 예상)되고 있다.

전동기는 크게 유도전동기, 동기전동기, 직류전동기, 선형전동기, 특수전동기 등으로 구분할 수 있으며, 전기에너지원을 이용하여 회전력을 얻는 기술로서 기술개발의 응용분야가 광범위하여 기술적 파급효과가 큰 기술이다.

전동기의 에너지절약형으로 추진시 가격과 기술의 양자조합의 측면에서 보급형의 기술개발이 필요한 실정이다.

기술적 측면에서 보면 설계 및 해석의 기반기술의 낙후로 인한 국내 독자적 설계기술 확보 시급과 국내의 기존 생산라인은 대부분 외국기술 도입에 의한 것으로 제품판매를 위한 생산기술에만 치중하고 있다.

비용적 측면에서 보면 국내의 고임금에 따라 판매가의 인건비 비중이 30~40%로 증가, 대기업의 일부는 저임금 국가로 생산라인의 이전을 추진 중이거나 검토 중이며 현재 무분별하게 수입되는 소형 단상전동기의 중국산 가격은 국내 생산가의 50% 수준이다.

이러한 상황을 가만하면 에너지절약형 설계기술 확보에 따른 고부가가치화 산업으로 전환의 필요함을 알 수 있다.

전력소비율이 가장 큰 유도전동기는 단상과 3상으로 구분되며 산업용의 대부분은 3상으로서 전체 전력소비의 40% 정도를 점유하고 있으며 3상 고효율유도전동기의 경우는 국내 기술개발 경험이 있으나, 고압(출력 50HP 이상)인 경우의 기술개발이 필요하고, 단상 유도전동기의 경우는 주로 가전제품 취부용으로 사용됨으로 인해 기술개발로서 가전제품의 고효율화를 달성하기 위한 기초적이며 핵심적인 역할이 가능하다. 국가경쟁력 향상과 에너지이용합리화 차원에서 모든 생산 기기의 자동화가 절실하며, 이를 위한 각종 고성능 특수전동기의 수요가 증대되고 있다. 특수전동기의 경우 회전자에 권선이 없는 영구자석형 전동기 또는

기로 대체함.

나. 국내외 기술현황 및 수준비교

(1) 3상 유도전동기

고효율 3상 유도전동기는 현재 대부분의 대기업에서 생산하고 있으며 설계 및 해석기술은 선진국의 Model에 의지하고 있는 실정이고 특히, 인버터 구동 대형유도전동기는 많은 수가 수입에 의존하고 있으며 고조파에 의한 효율저감에 대해 집중적으로 연구개발 투자가 필요하다.

재질 또한 국내에서 저탄소강이 생산되지 못하고 있으므로 이것의 대용으로 일반 규소강판을 사용함으로써 전동기의 효율 및 성능이 상당히 저하

된 전동기를 양산하고 있는 실정이고 또한, 열처리 기술 및 정밀 금형 기술이 취약하여 종합적으로 해석, 설계, 재료 및 생산기술의 향상이 요구된다.

미국의 경우 '92년 10월 국회 상·하 양원에서 "1992 국가에너지 종합정책(The Comprehensive National Energy Policy of 1992)"이 통과 되었으며, 본 정책중 전동기 부문에서는 '97년 10월 24일 이후 생산되는 모든 1~200HP 3상 유도전동기는 NEMA 12-6C 효율규격에 만족되어야 한다고 규정하고 있고, '97년 10월 이후부터는 고효율 전동기만을 생산, 보급하게 되어 있어 국내의 내수시장은 물론 해외시장의 개척을 위해서도 3상 유도전동기 고효율화 기술의 국산화는 핵심적인 사안이다.

- 전동기 분야의 요소기술별 개략적 기술수준

요소기술(기술내용)	국 내	국외(선진국)	국내 기술수준
부품, 재료기술 - 고급 철심코어 - 절연재료(권선연결 튜브) - 회전자슬롯의 다이캐스팅 - 고급 베어링	- 고급 재료, 부품의 수입 의존 - 품질 미흡	- 고품질 확보 단계 - 규격 다양화	50%
해석, 설계기술 - 전자장해석 및 전기적 설계 - 온도, 소음진동 해석 및 저감 설계 - 손실분석 및 저감설계	- 외국프로그램 의존 및 모방설계 - 고전적방법 사용 및 도입방법 의존 - 문제발생시 간이해석, 경험보정	- 자체 프로그램 개발 - 유한요소법 등 수치해석법 이용 - 최적 설계프로그램 개발 및 응용단계	60%
생산, 제조기술 - 다이캐스팅제조기술 - 열처리제조 기술 - 부품가공, 조립기술 - 절연기술	- 도입기술 의존 - 규격화 미흡 - 정밀도 미흡 - 간이자동화	- 자체개발 - 규격 데이터 확보 - 고정밀 가공 단계 - 자동화 확보 단계	60%
시험평가기술 - 속도-토크특성 - 다이캐스팅 상태검사 - 품질검사 - 진동소음검사	- 원선도법 또는 부분적 실부하법 - 간접방법이용 - 부분별 전수검사	- 실부하법 완전적용 - 비파괴검사 - 전수검사 - 계기사용검사	50%

(2) 소형 단상유도전동기(콘덴서기동, 분상기동, 반발기동, Shaded-pole전동기)

단상 유도전동기는 주로 1HP(746W) 이하의 소형 부하에 적용되어 가정용이나 상업용의 가전제품 취부용으로 사용되며 전체 전동기수의 약 90%를 차지하고 있으며, 현재 사용되는 일반형 단상 유도전동기의 효율은 상당히 낮아 고효율형과 평균 15% 정도의 효율 차이가 있기 때문에 절전잠재량이 3상 유도전동기의 70% 정도에 육박한다.

단상 유도전동기 중 세이딩폴형(0.05HP 이하)이나 분상형은 소모전력이 극히 적으므로 기술개발 대상에서 제외하고, 소모전력의 대부분을 차지하는 콘덴서 운전형 전동기(1/6~1HP)가 에너지 절약형 기술개발로서 성과를 보일 수 있을 것으로 기대된다.

○ 가전제품용 단상 유도전동기의 종류

제 품	종 류	대표 출력
냉장고(Comp.)	콘덴서 운전형, 분상형	40~150W
에어컨(Comp.)	콘덴서 운전형	700W
에어컨(Fan)	콘덴서 운전형	50W
세탁기	콘덴서 운전형	130W
진공 청소기	유니버설 전동기	700W
선풍기(Fan)	콘덴서 운전형	20W

※ 세이딩폴형 : 냉장고 팬, 자판기, 소형송풍기, 전자렌지, 가스보일러용 팬 등

단상 유도전동기는 현재 대부분의 업체들이 선진국의 모델을 기준하며 그대로 복제하여 사용하고 있으며 Shaded-pole motor의 경우 Core 형상의 최적설계는 형상의 복잡함 때문에 이론적 근거에 의한 수치해석이 거의 불가능해 시행착오법으로 형상을 변경하면서 시험에 의해 설계를 하고 있다.

재질 또한 3상인 경우와 마찬가지로 국내에서 저탄소강이 생산되지 못하고 있어 이의 대응으로 일반 규소강판을 사용함으로써 전동기의 효율 및 성능이 상당히 저하된 전동기를 생산하고 있는 실정이며, 국내 기업의 단상전동기 효율제고에 대한 관심 저조 및 저가의 중국, 대만산의 제품 국내시장 점유 등의 구조적 문제점으로 인한 효율향상의 난점이 존재한다.

－ 대기업 : 가전제품의 가격경쟁으로 인한 전동기 부품의 생산단가 절감에 비중

－ 중소기업 : 제품의 생산가 절감에 치중, 저가 저효율제품 양산

열처리 기술 및 정밀 금형 기술이 취약하여 종합적인 해석, 설계, 재료 및 생산기술의 향상이 요구되며, 단상 유도전동기는 소용량이고 연간 사용시간이 적으므로 고효율화에 따른 제품가격 상승시 차액의 회수기간이 길어져 가격 경쟁구조의 단상 유도전동기 시장에서 보급에 장애를 가져올 수 있으므로 현재의 가격을 유지하거나 가격상승을 최소화 하면서 최적화 설계기술을 이용한 효율의 최대화를 기술개발의 주된 목표로 하는 것이 바람직하다.

(3) 동기전동기(횡축형전동기, P. M. 동기전동기, Reluctance 전동기)

횡축형 전동기는 최근 독일에서 상업화가 완료된 고출력 기기로서 주로 수송수단에 이용되고 있으며 차후 많은 수요를 창출할 전동기이나 현재 국내에서는 연구개발이 시작단계이다.

P. M. 동기전동기는 산업 전반에 수요가 확산되고 있으며 제어성능이 좋아 서보기기에서 많이 사용되고 있고 전기자동차 구동용 전동기로 이용되고 있으며 해외에서는 다양한 분야에서 실용화 되

고 있다.

Reluctance 전동기는 기동 Torque가 크며 제 작이 간단하고 제어 성능이 좋은 전동기로 유도기 에 비하여 높은 효율을 얻을 수 있으며, 전인용으로 도 사용을 예상하고 있는 전동기로서 국내에서는 연구 시작단계이며 고효율을 위해 많은 연구가 필요하다.

(4) 수송(철도차량, 전기자동차)용 고효율 고회전 전동기

수송관련 선진국들의 기술동향을 검토하면 직류기, 동기기, 유도기로 발전하였으며, 지금은 유도 전동기로 주로 사용하고 있는데 이는 인버터의 기

술의 발달과 유도전동기의 견고성에 기인하고, 차 세대 수송용 전동기로서는 다양한 형태의 전동기 (예, 영구자석 여자전동기)가 개발되고 있다.

(5) 선형전동기(유도전동기, 횡축형 전동기, P. M. 동기전동기, Reluctance 전동기)

선형전동기는 직선운동을 하는 전동기로 동력전 달 효율이 우수하여 일본에서는 거의 모든 자동차 공장의 생산라인에 구동장치로 채택되고 있으며, 국내에서는 연구가 미비하여 기초연구 단계에 머 물고 있는 실정이나 향후 생산자동화 라인의 효율 향상을 위해 필수적인 전동기로 반드시 개발되어 야 할 전동기이다.

— 각국의 고속전철 견인 유도전동기 출력비 비교

차 종	프랑스 TGV-A	독일 ICE	일본 신간선 300계
항 목			
출력(KW)	1000	1200	300
중량(kg)	1450	1980	400
출력비(출력/중량)	0.67	0.61	0.75

(6) 차세대 전동기

가전용 전동기는 가전기기가 고급화 됨에 따라 회전수 제어를 요하는 가전기기에 인버터 구동전 동기의 보급이 시작 단계에 있으며, 미국에서는 냉장고에 Reluctance 전동기가 사용되고 있어 매 우 큰 에너지효율향상의 가능성이 기대된다.

산업용 전동기는 가전용 전동기와 마찬가지로 회전수 제어를 요하는 부하에 영구자석 전동기, Reluctance 전동기가 선진국에서는 개발, 판매되고 있으나, 국내기술은 확립되어 있지 않고 있다.

3. 국내의 생산업체 및 보급 현황

가. 국내 유도전동기 생산 현황

국내 유도전동기 생산업체는 68개이나, 4개 대 기업(효성중공업, 현대중공업, 이천전기, LG산 전)이 국내 생산량의 대부분을 차지하고, 10여개 의 KS 허가업체가 약간의 생산량을 담당하며, 나 머지는 중소기업체로서 생산량은 미미함.

○ 국내 유도전동기 매출현황

(단위 : 천원)

용 량 \ 년 도	1993년		1994년		1995년	
	수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
100W 미만	2,334,300	34,435,487	3,948,843	54,568,792	2,048,331	9,819,140
100W~373W	637,967	7,629,863	320,837	3,729,672	1,568,487	7,926,018
373W~74.6W	227,818	46,792,705	372,160	55,567,397	161,717	71,543,665
74.6W~373W	14,295	31,571,297	72,306	38,979,445	99,848	38,398,252
373W~746W	n.a.	n.a.	67,786	12,913,618	1,001	7,885,577
746W~1,492W	612	14,522,571	271	16,729,200	311	18,805,416
1,492W 이상	85	6,007,361	57	5,468,808	68	7,074,074

○ 국내 단상전동기 사용 가전제품의 생산현황
- 가전제품 취부용으로 사용되는 단상 유도

전동기는 연간 약 3천만대('94년 기준), 사
업체수는 60여개 기업이 관련되어 있음.

(단위 : 천대)

구 분	'92	'93	'94	'95	사 업 체 수 ('94년 기준)
진공청소기	1,219	1,357	1,581	2,037	17
세탁기	1,896	2,199	2,443	2,827	5
룸에어컨	826	858	850	1,487	n.a.
선풍기	2,902	2,319	2,216	3,893	31
전자레인지	7,172	8,279	10,209	n.a.	11
냉장고	3,296	3,585	3,943	n.a.	10
계	17,311	18,597	21,242	23,000(추정)	60(추정)

※ 한 제품당 사용되는 단상전동기 사용 수 : 진공청소기(1대), 세탁기(2대), 에어컨(2대), 냉장고(3~4대), 전자레인지(1대), 선풍기(1대)

나. 선진국의 시장 동향

미국의 경우 1992년 국가에너지 종합정책에서 '97년 10월 이후 유도전동기는 고효율 전동기만 의무적으로 생산, 보급하게 함에 따라 고효율

생산기술이 일반화 되어 있는 실정이다.

산업용 전동기는 선진국에서 최적설계 등 높은 기술기반을 토대로 국내의 생산품보다 전반적으로 5% 정도 효율이 높은 전동기를 생산하고 있다.

○ 용량별 전동기 보급대수와 전력사용량('88년 미국)

용 량 (HP)	1/6~1	1~5	5~20	21~50	51~125	125 이상
보 급 대 수 (백만대)	900	75	15	5	3	0.2
전 력 사 용 량 (GWh/년)	224,000	160,000	93,000	160,000	345,000	589,000

※ 3상 및 단상전동기, 직류전동기, 동기전동기를 포함한 수치임.

- 전동기의 종류에 따른 전력사용 비율(미국)
 - 3상 유도기 : 82%, 단상유도기 : 14%, 직류전동기 : 3%, 동기전동기 : 1%
- 세계 AC Motor 수요는 계측기, 완구용 Synchronous Motor를 포함 약 10억개 이상 규모이나, 가전기기용 Motor 시장은 '90년 2억 7,000만개로 '99년까지 평균 3.4%의 성장이 예상되며 특히, 선풍기, 냉장고, 룸에어컨, 세탁기, MWO(Micro Wave Oven), 청소기에 들어가는 가전용 전동기를 금액으

로 환산하면 1993년에는 3조원 시장으로 매년 10% 이상 수요가 증가되고 있음.

- 가전용 전동기는 주로 일본, 독일 등 선진국을 중심으로 효율증가와 성능향상 및 고품질화를 위한 연구개발이 진행되고 있고, 일본에서는 새로운 Fuzzy 이론을 도입한 고품능 전동기 확산으로 대체 수요가 증가될 것으로 보여 향후 Inverter, Servo기능 채용 Motor의 수요 확대가 예상됨.

○ 가전기기용 전동기의 세계시장 현황

(단위 : 천만대)

구 분	'90년		'93년		'95년		지역별 구성('90년 : %)			
		%		%		%	북미	유럽	아시아	기타
세 탁 기	60.6	22	68.9	23	75.5	23	14	19	50	17
선 풍 기	90.0	34	98.3	33	104.3	32	4	11	50	35
에 어 컨	19.5	7	22.1	7	24.0	8	14	7	61	18
MWO	20.0	7	21.2	7	22.1	7	17	24	49	10
냉 장 고	44.0	16	48.1	16	51.0	16	-	-	-	-
청 소 기	38.0	14	41.8	14	44.7	14	34	26	19	21
계	271.5	100	300.4	100	321.6	100	-	-	-	-

○ 특수용 전동기의 국외 시장규모

- 전철용 견인전동기의 해외시장 규모는 일 본의 경우 전동차 생산량이 매년 30%씩 증가하고 있는 실정이며, 전동기 대수로 환산할 때는 약 15,000대 수준으로 추정 되고, 전 세계적으로는 연간 75,000대에 이르고 있음.
- 최근에는 구조가 간단하고 제어가 용이한 스위치드 리액턴스 전동기가 반도체 소자 의 발달과 더불어 대용량 전동기 뿐만 아 니라 서보용으로의 연구 개발이 활발히 진 행중이며, 이는 제지업계, 섬유업계 및 차 동차 부품으로 거의 실용화 단계임.

- 기술개발 대상 기기별 설계 제품화기술, 해 석 및 S/W 기술, 생산 및 시험평가기술을 종합적으로 추진, 국내 독자적 기술력 확보
 - 설계 제품화 기술 : 설계, 해석, 평가 등의 기반기술 및 제품생산 기술
 - 해석 및 S/W 기술 : 최적 설계 software, 방열 설계 및 열처리 기술개발 등
 - 생산 및 시험평가 기술 : 정밀 가공, 조립, 특성 및 성능 평가, 신뢰도 향상을 위한 진 동 및 절연평가 기술 확보
- 주요 기술개발 대상 : 유도전동기, 동기전동 기, 직류전동기, 선형전동기, 특수전동기의 에너지절약기술
 - 설계기술 확보, 정밀 해석기술 개발
 - 저소음, 저진동, 냉각기술 등의 개발
 - 고출력 밀도화
 - BLDC 설계해석 S/W 개발
 - 고정도 위치제어/Digital제어 기술개발
 - 고속도, 고출력 선형전동기 개발 등

4. 전동기분야 기술개발

가. 기술개발 방향

- 전동기분야 7%의 에너지절감효과 달성을 위 한 고효율 전동기의 기술개발

세부추진 프로그램	주요 개발내용 요약
동기전동기	효율 80% 이상의 전동기 개발
수송용 고효율 고출력 전동기 개발	효율 95% 이상, 출력비(전동기출력/전동기무게) 1.0 이상
선형전동기	효율 60% 이상의 선형전동기 개발
차세대 전동기	가전용 전동기 : 유도기에 비해 효율 30% 이상 향상된 신형 전동 기 개발 산업용 전동기 : 유도기에 비해 효율 5% 이상 향상된 신형 전동 기 개발
공통기반기술 개발 및 보급방안	고효율 전동기 개발을 위한 기반기술 확립 및 기술의 보급방안

나. 기술개발 세부내용

세부추진 프로그램	주요 개발내용 요약
고압 3상 유도전동기	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술개발 - 고조파 저감 기술 - 전동기 제작
단상 유도전동기	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술 개발 - 주권선 및 보조권선 설계 - 전동기 제작
동기전동기	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술 개발 - 영구자석 설계 - 전동기 제작 - 전력변환 장치 설계 - 최적 효율 운전점 선정
수송용 고효율 고풍력 전동기 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술 개발 - 절연설계 - 냉각설계 - 자기회로 설계 - 고조파 저감 대책 - 전력 변환 장치 설계
선형전동기	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술 개발 - 선형운동 특성파악 - Linear guide 설계 - 전동기 제작 - 전력변환 장치 설계 - 최적 효율 운전점 선정
차세대 전동기	<ul style="list-style-type: none"> - 해석 및 설계 기술 개발 - 고풍성 재료기술 - 영구자석 설계 - 전동기 제작 - 전력변환 장치 설계
공통기반기술 개발 및 보급방안	<ul style="list-style-type: none"> - 진동소음 해석 및 저감기술 - 가공조립 및 생산기술 - 시험 및 평가기술 - 보급방안