

특집 : SRM 응용기술

SRM의 개발동향과 적용사례

안진우

(경성대 전기전자컴퓨터공학부 교수)

1. 서론

SRM은 가변 릴럭턴스 토크로 구동되는 전동기로 전자기적 구조가 간단하고 제작 경비가 저렴하며, 고효율, 고투크/관성비, 넓은 범위의 가변속 운전 등의 장점을 가지고 있어 산업용 기기, 항공기기, 자동차, 가전기기 등에 적용범위를 넓혀가고 있다.

본고에서는 최근에 가변속 전동기구로서 관심의 대상이 되는 SRM의 개발 동향과 적용사례에 대해 살펴보고자 한다.

2. SRM의 특성

SRM은 구동특성이 우수하여 유력한 체세대 전동기구의 하나로 검토되고있다.

SRM의 실용화, 상용화 개발의 전제조건으로는 기존의 범용 전동기인 유도전동기의 운전성능 대비 경제성, 성능 뿐만 아니라 우수한 사용환경을 제공해야한다. 이러한 전동기구의 개발을 위해서는 전동기의 개발환경 및 기술을 확보해야하며, 이를 널리 응용할 수 있도록 하는 기초연구가 확립되어야 할 것이다.

한편 SRM의 적용사례를 보면 군수용, 산업용, 견인용, 가전용 등이 전동기의 장점을 활용한 사례로 거론되며, 이중 군수용은 전동기의 견고성을, 산업용은 고효율특성을, 가전용은 이에 더하여 저소음, 경제성 등이 개발의 주요한 효용성으로 판단되었다.

그림 1과 표 1은 NEMA 184프레임으로 제작한 유도전동기, 영구자석 동기전동기, SRM의 성능비교표이다⁽¹⁾. SRM, 유도전동기, 영구자석 동기전동기는 각각 9, 5, 14.5마력의 출력을 가지며 회색부분이 상대적으로 가장 좋은 특성치이다. 성능은 영구자석 동기전동기가, 경제성은 SRM이 가장 우수함을 알 수 있다.

3. SRM의 개발 역사

SRM 원리는 1838년 영국의 Davidson이 제안한 것으로 알려져 있다. 비슷한 시기에 영국의 Taylor가 "Obtaining Motive Power"(1939)라는 특허를 출원하였다. 이후 이데대한 연구가 계속되지 못하다가 1850년대 미국의 Grafton이 switched field machine을 제작하였으나 경제성이 없어 실용화 되지못하였다. SRM의 실질적인 응용사례는 1935년의 영국 해군의 포조정기로 사용된 가변릴럭턴스 스텝전동기라 여겨진다. 그 후 1950년대 Thyristor가 나오면서 다시 스위칭

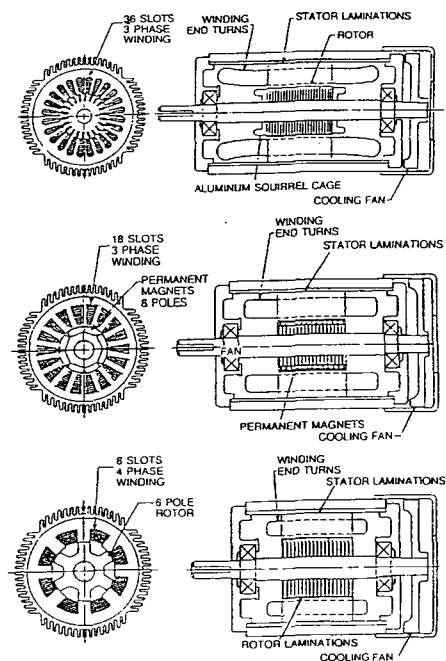


그림 1. 동일 프레임에서 설계한 전동기 (위에서부터 유도기, PMSM, SRM)

표 1. SRM, 유도전동기, 영구자석 동기전동기의 성능비교

전동기	용량	회전자 총무게, lbs	고정자 총무게, lbs	효율, %	토크/무게 lb-in/lb
SRM	9 HP	14.8	30	89%	7.03
유도전동기	5 HP	18.8	32.4	87%	3.42
영구자석 동기전동기	14.5HP	15.2	39	92%	9.23

전동기	용량	출력/무게 HP/lb	가격/출력 \$/HP	토크/가격 /무게 lb-in/\$/lb	총제작 가격
SRM	9 HP	0.10	5.23	0.149	\$47
유도전동기	5 HP	0.05	11.95	0.057	\$60
영구자석 동기전동기	14.5HP	0.20	26.85	0.024	\$384

여자방식의 기기에 대한 연구가 활성화되기 시작했다. 미국의 Nasar 교수^[2]의 variable reluctance motor를 기본으로 1950년대 synchronous reluctance motor의 개발, 70년대 GM에 의해 현재와 같은 형태의 SRM이 개발되면서 이후 이 기기의 상업적 잠재력에 의해 연구가 활성화되었다. 1971년과 1972년에 Bedford와 Hoft에 의해 제출된 두 개의 미국 특허들이 현재의 SRM의 필수적인 여러 특성들이 갖추어지기 시작하였다^[1]. 그후 Unnewehr과 Koch, Bausch 등에 의해 성능이 개선되었다. 한편 유럽에서는 Byrne과 Lawrenson은 SRM의 상업적인 잠재력을 인식하여 SRDL(Switched Reluctance Drive Ltd.)을 설립하여 급속한 개발과 기술적인 발전을 불러일으키는데 선두적인 역할을 했다^[3]. SRDL의 초기 특허 중에서 가장 잘 알려진 것은 Tasc Drives로서 산업응用に 쓰이는 범용 가변속 전동기를 만들었다^[1].

1950년대 중반 이후 꾸준하게 연구를 진행해 온 SRDL의 Lawrenson은 1980년대 SRM 연구를 체계화한 연구결과를 발표하면서 응용연구 및 실용화가 본격적으로 시작되었으며, 초기의 전동기 구동시스템, 제어방식, 컨버터 토폴로지 등에 대한 연구에서 최근에는 고효율, 저소음화 및 적용성 연구가 활발하게 진행되고 있다.

4. 적용사례

SRM은 낮은 제작비, 높은 토크/효율, 높고 넓은 속도범위, 직류직권전동기의 속도-토크특성을 가지고 있어 다양한 전동기구 분야에 적용되고 있다. 또한 SRM의 최대 단점인 높은 수준의 소음과 진동 등이 많은 연구 개발을 통하여 가전기기에도 적용이 확대되고 있는 실정이다. 표 2는 각 적용분야에 있어서 SRM의 강점을 보여주고 있다.

4.1 운반기계

각 적용분야에서 SRM의 효율성을 높이기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 운반기계에 적용되는 SRM의 높은 토크/무게, 높은 효율, 우수한 제동능력 등이 주요한 효율성이다. 이러한 장점을 이용한 개발사례로는 각종 전기자동차의 구동용과 전자식 조향장치, 전동차용 냉각팬 등이다. 개발된 운반기계는 버스, 트럭, 승용차, 스쿠터 등으로 그림 1(g)는 벤츠자동차로 잘 알려진 다임러크라이슬러사에서 개발하고 있는 전기자동차용 전동기로 212[V], 50kW, 15000(rpm)의 6/4극 SRM으로 전류제어용 제어부는 DSP, 인버터는 비대칭형을 사용한다. 운전효율을 93%이상인 것으로 보고되고 있다. 그림 2는 TRW사에서 개발한 EPS(Electrically Power Steering)로 12[V], 400[W], 8/6극 SRM으로 3.6Nm/850(rpm), 7.2Nm/400(rpm)의 성능을 가지는 것으로 알려져 있다.

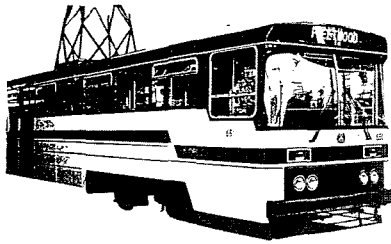
4.2 가전기기

가전제품에 적용된 SRM은 전동기의 높은 운전속도, 높고 안정된 효율곡선, 저가의 제조비용 등이 장점이다. SRM의 원천기술을 가지고 있는 영국의 SRDL을 흡수한 Emerson은 미국 내 가전시장에 SRM을 적용하고 있다. 미국의 시장 잠재력은 1995년 867만대의 새로운 냉장고와 690만대의 신형 세탁기와 183만대의 전기청소기나 상점의 진공청소기와 같은 가전시장의 크기를 예로 보아도 상당하다. 그림 4는 세탁기에 적용된 예로 12/8극, 700W급으로 직접구동방식에 의해 기존방식에 비해 에너지 절약이 최대 65%, 물사용량을 최대 40% 까지 절약할 수 있는 것으로 알려져 있다.

그림 5는 Ametek사의 진공청소기로 마이크로프로세서로 제어되는 4/2극, 500[W]급 SRM을 채용하였으며, 고정자극의 기하학적 위치를 조정하여 고효율, 저소음구동을 실현하였다.

표 2. SRM의 적용분야 및 강점

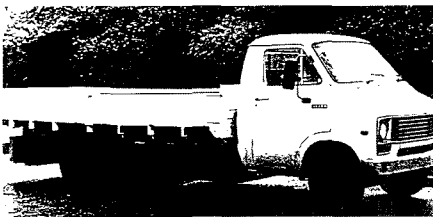
분야	강점
운반기계	높은 토크/무게, 높은 효율, 강력한 제동능력
가전기기	높은 속도범위, 높고 안정된 효율곡선, 저가의 제조비용
산업기기	강인한 구조, 높은 토크능력, 직접 구동능력, 4상한 동작, 강인한 내환경성, 정밀한 속도토크 제어성
항공, 군수	저 질량, 높은 속도, 강인성, 높은 출력/질량, 높은 내온도특성



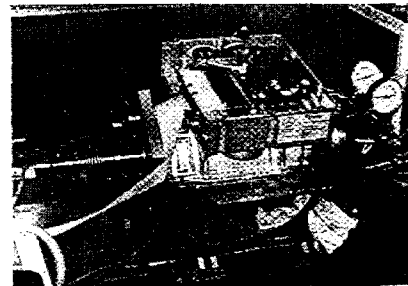
(a) Bus(GEC traction)



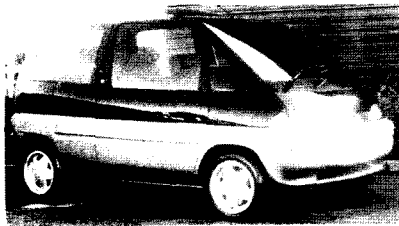
(f) Bike "Lectra"



(b) Truck (SRDL)

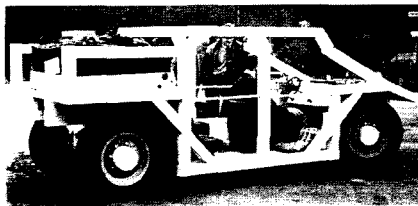


(g) Electric Car(Daimler Chrysler)



(c) Electric car(HIL)

그림 2. SRM을 적용한 운반기계



(d) Mining carrier(British Jeffrey Diamond)

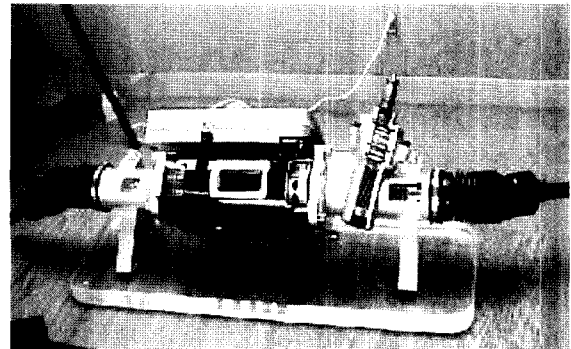
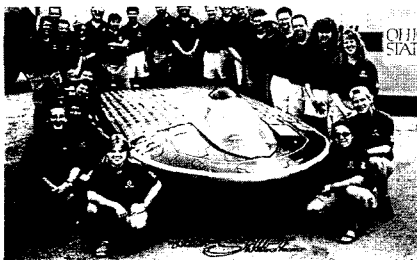


그림 3. SRM을 사용한 EPS(TRW)



(e) Solar car "Red Shift"
(Ohio State Univ./Emerson)

4.3 산업기기

산업용 기기에 적용된 전동기는 수 와트에서 수십 메가와트 급까지 다양한 모델이 설계, 제작되었으며, 정속도, 가변속도 및 서보용 등으로 사용된다. 그림 6은 Piconal사에서 개발한 직조기로 변속기와 벨트를 없애고 직적구동하여 기기를 획기적으로 단순화하였다. 서보모터 등을 제작하는 A.O Smith는 인버터일체형 HVAC(Heating, Ventilating, Air Conditioning)용 전동기를 개발하였다. 또한 최근 일본의 Daikin사는 유압펌프 유니트용 2.2(kW), 5000(rpm)급

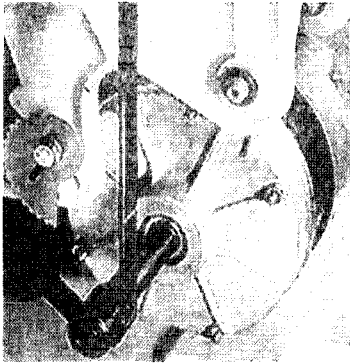


그림 4. 세탁기에 적용된 SRM(Maytag/Emerson)

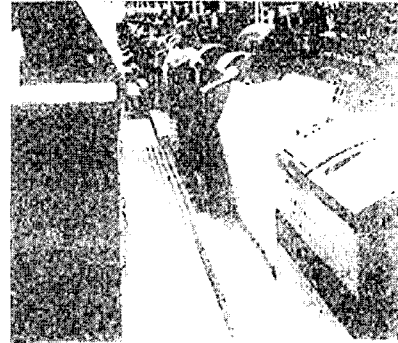


그림 7. Weaving machine(Piconal)

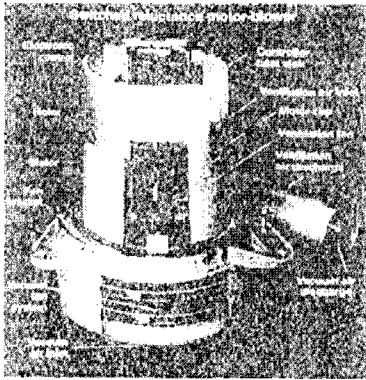


그림 5. 진공청소기용 SRM(Ametek)

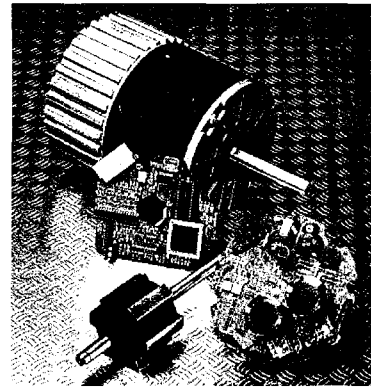


그림 8. 인버터일체형 SRM(A.O. Smith)

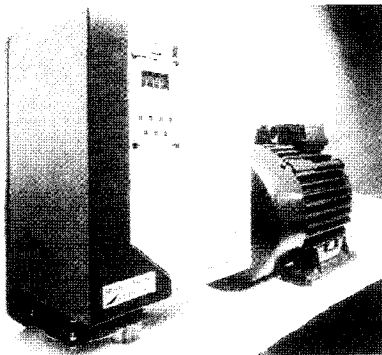


그림 6. 범용 SRM 및 인버터(Allenwest)

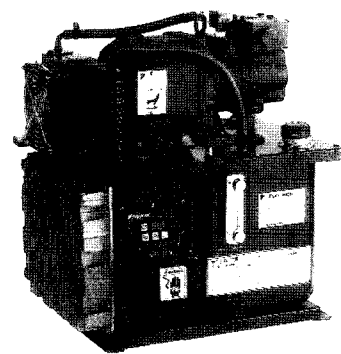


그림 9. 유압유니트용 SRM(Daikin)

SRM을 성공적으로 개발하였다.

4.4 기타 분야

초기의 전동기 효율성은 고성능 항공기에 사용된 starter/generator로 검증되었다. 이 전동기는 20(kVA),

15000(rpm)급으로 초기개발에 따른 가격과 소음등의 문제를 극복한 적용사례이다. 이후 전차 등 다양한 군용 기기에 적용되어 기술발전이 가능하였다. 그림 11은 기존의 원심분리기보다 2배의 토크를 발생하는 6/4극, 2.5(kW), 30(krpm)의 SRM으로 전동기의 특징을 적절히 응용한 예이다.

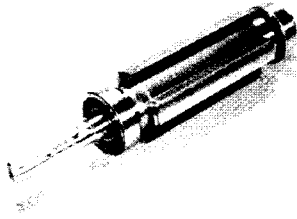


그림 10. Starter/generator(Lucas Advance)

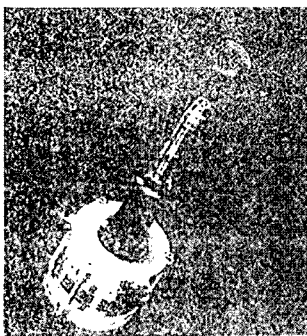


그림 11. 원심분리기용 SRM(Backman)

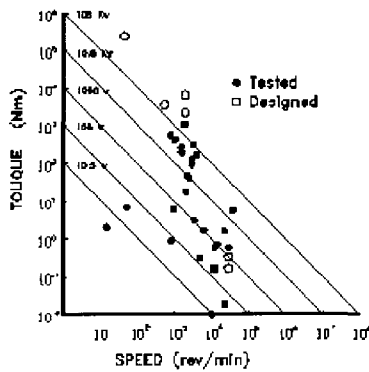


그림 12. SRM의 개발 및 설계용량

5. 결론


최근 국내외에서 SRM의 연구가 상당히 활성화 되고있다. 세계적으로도 연구실적 및 경험이 많지않으며 연구, 개발의 여지가 많이 남아있다고 생각된다. 국내의 연구 실적은 10여 년 정도 밖에 되지 않아 세계최고 기술과는 격차가 없을 수 없다. Emerson사는 이 분야를 전략연구과제로 정하고 집중 투자하여 많은 연구성과를 거두었으며, 최근 SRM의 단점인 소음, 진동문제를 상당히 극복한 것으로 보고되고 있다. 기준

표 3. SRM 개발현황

제 작 회 사	응 용 사 례	대 치 기 종
Emerson(SRDL)	Industrial VSD	
Radio Energie (France)※	Pallet Truck	Wound field Brush dc motor
Sicme Motori (Italy)※	Industrial VSD	Brush dc motor
Picanol (Belgium)※	Textile Looms	AC induction motor
Besam (Sweden)※	Automatic Door Opener	AC induction gear motor
Warner/Superior Electric.(U.K)	Pump for electric steering assist for Alpha Romeo cars	Hydraulic System
Jeffrey Diamond (U.K)※	Heavyduty conveyor system for mines	Brush dc motor
Broomeway (U.K)※	Electric driven air compressor	Pneumatic driven compressor
General Motors (U.S.A)	Primary Vehicle Drive	AC induction motor
Emerson Electric (U.S.A)	Refrigerator Compressor	AC induction motor
Emerson Electric (U.S.A)	Washing Mach. Agitator	AC induction motor
Emerson Electric (U.S.A)	Shop Vacuum Cleaner	AC induction motor
Warner/Superior Electric.(U.S.A)	Direct Drive Steering	Hydraulics
Warner/Superior Electric.(U.S.A)	Cruise Control Drive	Brush DC motor
NMB Hansen (U.S.A)	Textile	Brush DC or BLDC motor
Emerson(U.S.A)	Centrifuger	AC motor or BLDC motor
Servo Products (U.S.A)	End Mill Table Drives	Brush DC motor
Magna Physics/Wstinghouse(U.S.A)	Electric Motor Scooter	Gasoline engine
MagnaPhysics/Sunstrand(U.S.A)	Highspeed motor/generator engine starter	Hydraulics
MagnaPhysics/Sunstrand(U.S.A)	High speed aircraft engine pump	Hydraulics
GE Drives(U.S.A)	High speed aircraft enginepump	Hydraulics
GE Drives(U.S.A)	Generator engine starter	Hydraulics

제작 회사	응용 사례	대 치 기 종
A.O. Smith(U.S.A)	Heating,ventilation Aircondition	AC motor
Beckman(U.S.A)	Centrifuger	
H.P(U.S.A)	Draftmaster plotter	step motor
Allied Signal Aerospace Co.(U.S.A)	Aerospaceactu- atorM/G system	
Grasby control (U.K)	Textiles & Forming mfg.	
TRW(U.S.A)	Electrically power steering	Hydrauric steering
NSKMegatorque (U.S.A)	Direct Drive Robots, Rotary Tables, etc.	Brush DC Servo Motor&Resolvers
Adept. Tech (U.S.A)	Direct Drive Robots, Rotary Tables, etc.	Brush DC & BLDC Servos & Resolvers
Semifusion	2-axis positioner	
Allenwest(U.K)	Industrial drive	
Brother(Japan)	Industrial sewing machine	sewing machine
Honeywell(U.S.A)	controller, sensorless drive	

* Licensee of SRDL

의 전동기 산업에서는 우리의 독자기술 개발여건을 가지지 못하였으나 SRM의 경우 개발여건과 능력이 충분하다고 판단되며 보다 많은 연구와 적용을 위한 개발이 진행되어야 할 것이다. 

참고 문헌

- [1] 안진우, 스위치드 릴럭턴스 전동기, 오성미디어, 2001.1.
- [2] Nasar, S.A., "DC Switched reluctance motor", Proceedings IEE, Vol. 116, No. 6, pp. 1048-1049, 1969.
- [3] Lawrenson, P.J., et. al, "Variable-speed switched reluctance motors," Proceedings IEE, Vol. 127, Pt.B 253-265. pp. 260-268, 1980.
- [4] Miller, T.J.E., "Switched reluctance motor drives" PCIM Reference Book, Intertec Communications, 1988.

〈 저 자 소 개 〉



안진우(安珍雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과졸업.
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).
1995년 12월~1996년 2월 영국 글래스고대 방
문연구원. 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨
신(매디슨)대 방문교수. 1992년~현재 경성대 전
기전자컴퓨터공학부 부교수. IEEE Senior Member, 당 학회 학술이사.

기전자컴퓨터공학부 부교수. IEEE Senior Member, 당 학회 학술이사.