

**유도전동기 대체용 유도기동형 동기 릴럭턴스전동기의 특성해석 및 설계**

오영진, 유성래, 이인우  
(주)효성 중공업 연구소

**Characteristic Analysis & Design of Line start Synchronous Reluctance Motor to substitute for Induction Motor**

Oh Young Jin, Ryu Sung Lae, Lee In Woo  
R&D Center, Power & Industrial Performance Group, Hyosung Co.

**Abstract** - This study investigates Characteristic analysis of Line-start Synchronous Reluctance Motor to substitute for Induction Motor.

The results of machine characteristics are analyzed by simulation using Flux2D. Characteristic analysis result of Line-start Synchronous Reluctance Motor is confirmed by the analysis result of 3-Phase Induction Motor.

**1. 서 론**

산업용 전동기 분야에서 3상 유도전동기(3-Phase Induction Motor)는 경제적이고, 상용전원을 이용하여 구동이 가능하며, 기동특성이 우수하여 산업용 기기의 구동원으로 보편화되어 있다.

하지만 산업 기기 분야의 발달과 양적 팽창으로 환경 문제가 국내외적으로 대두됨에 따라 효율 측면의 규제가 강화되고 있고, 유도전동기는 슬립에 의해 발생하는 회전자 도체바의 전류로 인하여 손실이 발생하는 단점으로 인해 고 효율화에 많은 어려움이 있다.

3상 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기(3-Phase Line-Start Synchronous Reluctance Motor)는 3상 유도전동기의 회전자에 Flux barrier가 존재하는 구조로서, 정상상태에서 d-축과 q-축의 인덕턴스(또는 자기 저항) 차에 의한 릴럭턴스 토크(Reluctance torque)를 이용하여 운전한다. 기동 시에는 도체바에 의한 유도 기동을 하므로 별도의 구동회로가 불필요하고, 정상 운전 시에는 동기기 특성을 이용하므로 슬립에 의한 유도 현상이 없어 2차측 동손을 줄여 고효율이 가능하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 3상 유도전동기 대체용 3상 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기를 대상으로 Flux barrier, 도체바 등의 설계 변수 변경에 따른 특성해석을 수행하였고, 그 결과를 3상 유도전동기 특성해석 결과와 비교하였다.

**2. 본 론**

**2.1 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기 구조**

일반적으로 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기는 회전자에 Flux barrier가 있으며, 유도 기동토크를 얻기 위해 농형의 도체바가 삽입되어 있다. 또한 Flux barrier 끝단에는 자속의 누설을 방지하기 위한 회전자 름(Rib)이 존재한다. 고정자 권선은 일반적인 유도기와 동일한 권선을 사용한다. 그림 1은 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기의 구조를 나타낸 것이다.

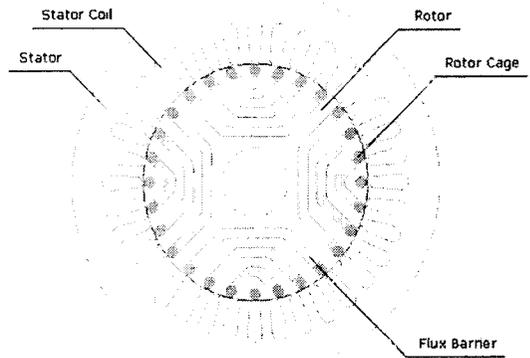


그림 1 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기 구조

**2.2 유도전동기 특성해석**

먼저 특성해석의 신뢰성 판단을 위해 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기로 대체하기 위한 기존의 유도전동기를 대상으로 특성해석을 수행하였다. 표 1은 특성해석 결과와 시험결과를 비교한 것이다. 효율의 경우 약 2.9%의 차이를 나타내었고, 이는 특성해석 시에 철손 등을 고려하지 않은 결과로 판단된다.

표 1 유도전동기 특성해석 결과

Item	Unit	Analysis Value	Experimental Value
Rate speed	rpm	1742.3	1730.0
Slip	%	3.2	4.3
Rated torque	Nm	21.2	21.2
Rated Pout	kW	3.9	3.7
Rated Pin	kW	4.6	4.46
Rated Efficiency	%	84.6	83.0
Rated Current	A <sub>rms</sub>	13.4	15.0

**2.3 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기 설계**

**2.3.1 설계 변수에 따른 특성해석**

유도기 대체용으로서의 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기는 유도전동기와 동일한 사양의 고정자를 사용하

로 설계 변수에서 제외된다. 회전자 의 경우 Flux barrier 개수, Kw, 도체바 직경 등의 다양한 설계 변수를 가지므로 회전자 관련 설계변수의 변경에 따른 특성 해석이 이루어져야 한다. 설계 순서는 먼저 회전자 Rib 폭과 회전자 도체바 직경을 각각 0.3[mm], 5.8[mm]로 놓고 Kw에 따른 특성 해석을 수행한 후, 회전자 도체바 직경과 회전자 Rib 폭의 변화에 따른 특성 해석을 수행하였다. 그림 2는 회전자 관련 설계 변수를 나타낸 것이다.

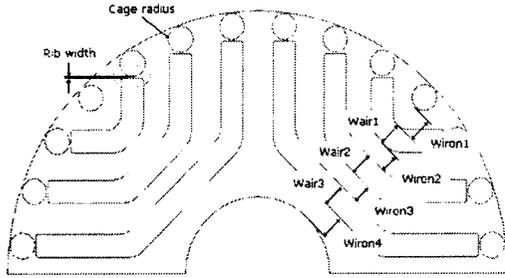


그림 2 회전자 설계변수 정의

1) Flux barrier 개수에 따른 특성 해석

본 논문에서는 Flux barrier 개수에 따른 특성 해석을 제외하였다. 유도기동형의 경우 기존의 유도전동기의 도체바 개수를 유지하면서 설계가 이루어지므로 그림 1과 같이 Flux barrier 개수는 1극 당 3개로 고정하여 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계를 수행하였다.

2) Kw에 따른 특성 해석

Kw는 전체 철심영역에 대한 Flux barrier 영역 폭의 비를 나타내는 것으로 그 정의는 식 2.1과 같다.

$$Kw = \sum (Wair) / \sum (Wiron) \quad (2.1)$$

여기서  $\sum (Wair) = Wair1 + Wair2 + Wair3$

$$\sum (Wiron) = Wiron1 + Wiron2 + Wiron3 + Wiron4$$

Kw는 모두 5가지 경우로 나누어 특성 해석을 수행하였고, 결과는 그림 3과 같다. 해석 결과 Kw가 0.8일 때 가장 높은 효율을 나타내었다.

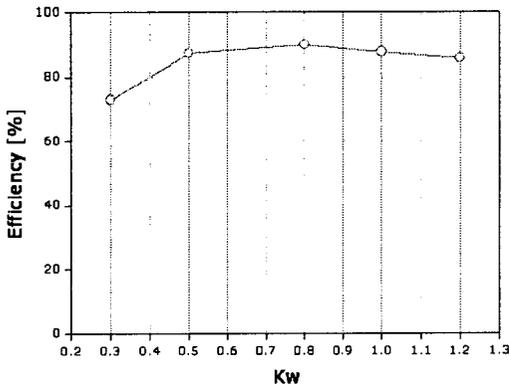


그림 3 Kw에 따른 특성 해석 결과

3) 도체바 직경에 따른 특성 해석

회전자 도체바의 직경에 따른 특성 해석을 수행하였다. 도체바의 형상은 원형으로 결정하였으며, 특성 해석 결과는 그림 4와 같다. 해석 결과 회전자 도체바 직경은 전동기 효율 특성에 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

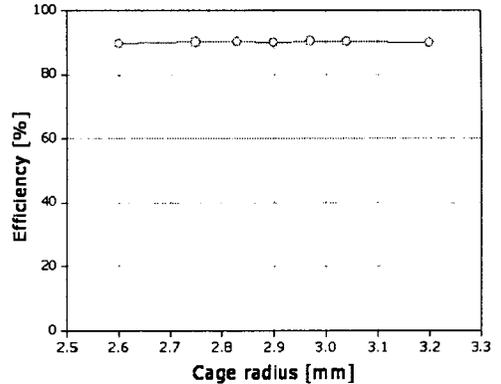


그림 4 회전자 도체바 직경에 따른 특성 해석

4) 회전자 Rib 폭에 따른 특성 해석

회전자 Rib의 폭에 따른 특성 해석을 수행하였다. 특성 해석 결과 Rib의 폭이 증가할수록 자속의 누설성분이 증가하여 효율이 떨어지는 특성을 나타내었다. 해석 결과는 그림 5와 같다.

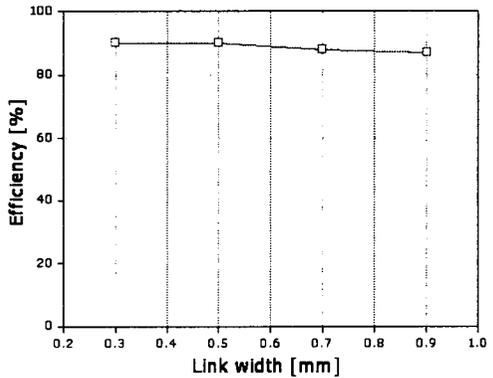


그림 5 회전자 Rib 폭에 따른 특성 해석 결과

2.3.2 특성 해석 결과에 따른 설계

설계 변수에 따른 특성 해석 결과를 바탕으로 최종 설계 모델을 선정하였다. 그림 6은 최종 설계 모델의 회전자 형상 및 치수를 나타낸 것이다.

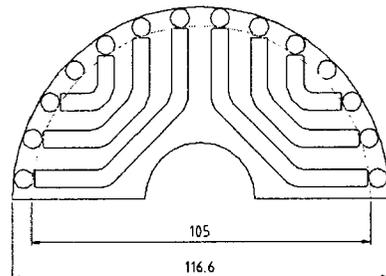
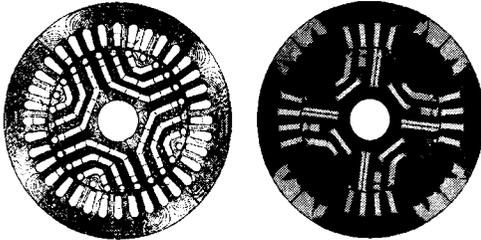
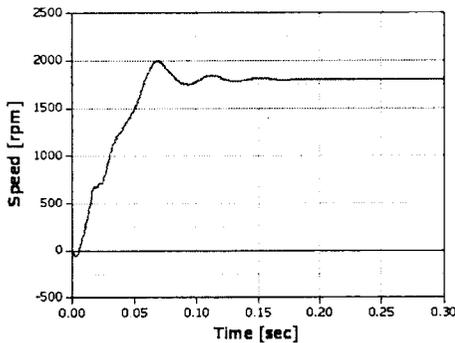


그림 6 최종 설계 모델의 회전자 형상 및 치수

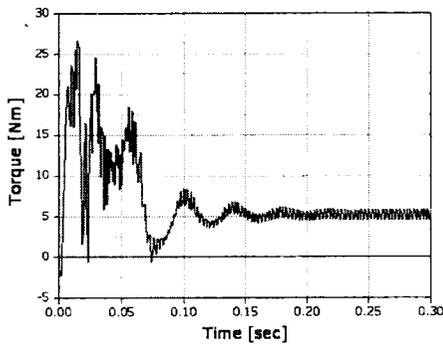
회전자 Rib 폭에 따른 해석 결과 폭이 적을수록 가장 높은 효율을 나타내었지만, 회전자의 구조 안정성을 확보하고 알루미늄 다이캐스팅 압력에서 형상을 유지하기 위해 최종 설계모델의 Rib 폭을 0.5[mm]로 선정하였다.



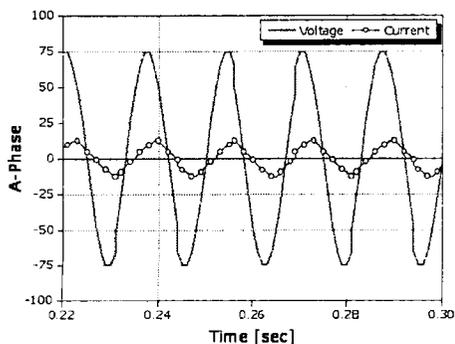
(a) 자속선도 (b) 자속밀도 분포도  
그림 7 최종모델의 정상상태 특성도



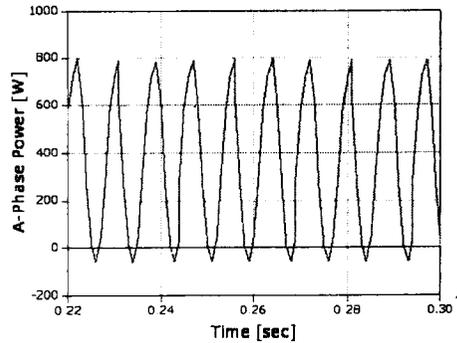
(a) 속도 특성



(b) 토크 특성



(c) A상 전류 및 전압 특성



(d) A상 입력 전력 특성

그림 8 최종 모델의 특성해석 결과과형

표 2 최종 모델과 유도전동기 특성비교

Item	Unit	IM	LSRM
Rate speed	rpm	1742.3	1800.0
Slip	%	3.2	-
Rated torque	Nm	21.2	21.2
Rated Pout	kW	3.9	4.0
Rated Pin	kW	4.6	4.4
Rated Efficiency	%	84.6	89.9
Rated Current	A <sub>rms</sub>	13.4	14.1

그림 8은 최종 모델의 특성해석 결과를 나타낸다. 그림 8 (a)의 속도특성을 보면 정격속도에서 회전하고 있으며, 속도 변동이 거의 없음을 알 수 있다. 표 2는 유도전동기와 최종 설계된 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기의 특성해석 결과를 비교한 것이다. 비교 결과 정격시 효율은 5.3[%] 증가했으며, 전류는 0.7[A] 증가했음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 유도전동기 대체용 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기를 대상으로 특성해석 및 설계를 수행하였고, 그 결과 기존 유도전동기 대비 효율이 5.3[%] 증가하였다. 유도기동형 동기 릴럭턴스 전동기는 기존 유도기에서 별도의 추가비용 없이 회전자의 형상 변경만으로 이러한 효과를 가지므로 향후 유도전동기를 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 실제 제작된 전동기의 특성시험 결과와 해석결과의 비교를 통한 신뢰성 검증을 수행할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, "Synchronization of Line-Start Permanent Magnet AC Motors", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 103, No. 7, 1984
- [2] E S Hamdi, "Design of Small Electrical Machines", JOHN WILEY & SONS, 1994
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic simulation of Electric Machinery", Prentice-Hall, 1998