

2차원 등가 모델을 이용한 Claw-pole type 발전기의 특성 해석

권순오, 이지영, 홍정표, 임양수\*, 허 윤\*  
 창원대학교, 대우정밀(주)

Characteristics analysis of Claw-pole type generator using 2D equivalent model

Soon-O Kwon, Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Yang-Soo Lim\*, Yoon Hur\*  
 Chanwon National Univ., Daewoo Precision Industries Co. Ltd.\*

**Abstract** - This paper presents characteristic analysis of claw-pole type generator. The analysis is performed using 2D equivalent model by 2D FEM. 3D FEM is used to check whether 2D equivalent model reflects the magnetic characteristics of the actual machine. Initially, 2D equivalent model of the claw-pole type generator is designed only by 3D geometry. Using 2D equivalent model, back emf characteristics are estimated and compared to measurements. The analysis results agree with measurements well and take less time comparing to 3D FEM.

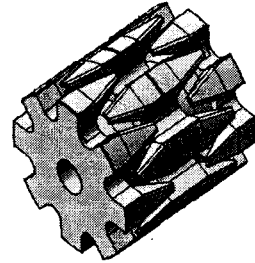


그림 1. 회전자의 형상

1. 서 론

Claw-pole type alternator는 자동차용 발전기로서 널리 쓰이고 있다. 독특한 회전자의 형태는 일반적인 전동기의 적층된 구조와는 달리 주물로 제작되고, 회전자 권선은 축 방향으로 감겨있다. 따라서, 적층 구조를 가지는 일반적인 DC 전동기에 비해 강건한 회전자의 구조를 가지며, 제작이 용이하여 대량 생산에 적합하다. 그러나, 높은 자속의 포화와 주물로 제작된 회전자에서 높은 eddy current loss를 유발된다.[1-3] 이러한 claw-pole type 발전기의 해석은 회전자 폴의 형상이 복잡하고, 기기 전체에서 자속의 분포가 3차원적인 양상을 나타내므로, 정확한 해석을 위해서 3차원 유한 요소 해석이 필요하다. 그러나 3차원 유한요소 해석에는 많은 해석 시간과 계산 메모리가 필요하고, 로터 폴의 모델링 또한 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 이러한 claw-pole type alternator의 역기전력 특성을 2차원 등가 모델을 이용하여 산정하였다. 해석의 신뢰성 확보를 위해 3차원 해석 또한 수행하고, 2차원 해석결과, 실험 치와 각각 비교하였다.

2. 본 론

2.1 Claw-pole type alternator

그림 1에 본 논문에서 해석 대상인 claw-pole type alternator의 회전자의 형상을 나타내었다. 해석 모델은 16극 96슬롯이며, 로터는 2중 구조로 되어 있고, 계자 권선이 로터에 축 방향으로 감겨있는 브러쉬 타입 alternator이다. 고정자는 일반적인 전동기와 동일한 적층된 강판으로 이루어졌다. 축 방향으로 감겨 있는 계자 권선에 의해 발생한 자속은 발톱 모양의 회전자 자극과 공극을 지나 고정자로 갔다가 다시 공극을 지나 반대극의 회전자 자극으로 지나게 됨으로써, 자기 회로를 형성하게 된다.

3. 3차원 모델의 2차원 등가화

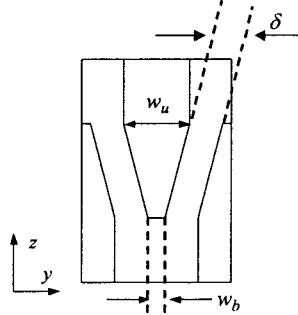
3.1 3차원 모델의 2차원 등가화

전기자는 일반적인 전동기와 같이 축 방향으로 일정하므로 2차원 단면을 그대로 해석에 사용하였다. 2차원 등가 모델의 슬롯 개구 폭  $\delta$ 는 3차원 모델 그대로 유지되었다. 그림 3에서 나타났듯이 로터 슬롯의 폭( $w$ )과 두께( $t$ )는 3차원 모델에서 축 방향으로 변화를 갖고 있다. 이들 치수는 각각 식(1)과 (2)에 의해 평균값이 사용되었다.[3]

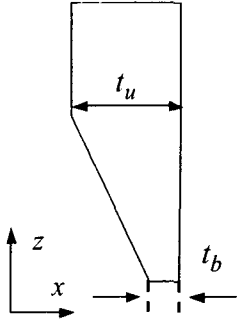
$$w = \frac{w_u + w_b}{2} \tag{1}$$

$$t = \frac{t_u + t_b}{2} \tag{2}$$

이외의 2차원 등가화 치수와 완성된 등가 모델은 그림 3에 나타냈다. 2차원 유한요소 해석을 위한 2차원 모델은 그림 4에 나타냈다. 2차원 유한요소 해석 모델에서, 기자력 source (F)는 계자의 턴수(N)과 계자 전류(I)로 표현된다. 2차원 해석을 수행한 후 공극 자속 밀도를 3차원 해석 결과와 비교하였고, 그림 6에 나타냈다.[2-3]

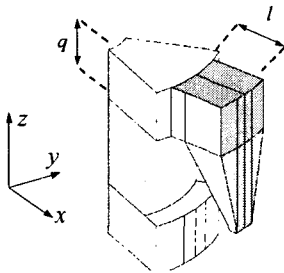


(a) 로터 자극의 폭과 자극 사이의 간격

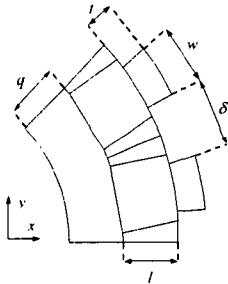


(b) 로터 자극의 두께

그림 2. Dimensions for 2D equivalent model



(a) 3D model of rotor



(b) Equivalent rotor model

그림 3. 3차원 형상 모델에 대응되는 2차원 모델

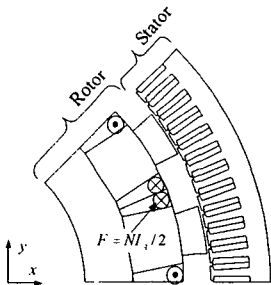


그림 4. 완성된 2차원 해석 모델

### 3.2 유한요소 해석

등가화된 2차원 모델을 이용하여, 2차원 유한요소 해석을 수행하였다. 2차원 유한요소해석에는 자체 개발한 소프트웨어인 EMI를, 3차원 유한요소 해석에는 상용 소프트웨어인 Flux-3D를 사용하였다. 3차원 모델에서 회전자 권선은 그림에서 생략하였고, 전기자 권선은 고려하지 않았다. 3차원 모델 전체를 모델링 하는 대신, 모델의

주기성과 대칭성을 고려하여 전체의 1/32이 모델링되어서, 해석을 위한 요소의 개수를 줄이고, 요소의 크기를 작게 할 수 있었다. 요소의 개수는 25만여 개로 하여 해석의 정밀성을 높였다. 그림 5에서 3차원적인 자속 밀도 분포와 2차원 해석 결과인 등가화된 자속 분포를 나타내었다. 그림 6에서 3차원 해석 결과로부터 얻은 공극 자속 밀도와 2차원 해석 결과로부터 얻은 공극 자속 밀도가 비교되었다. 자속밀도의 양의 영역은 거의 동일한 반면, 음의 영역에서는 3차원 해석과 2차원 해석이 큰 차이를 보였다. 이는 전기자의 축 방향 길이가 회전자의 축 방향 길이보다 짧기 때문에 발생하고, 3차원 공극 자속 밀도의 축 방향 평균을 취하면, 동일하게 된다. 그림 6의 해석 결과로부터 2차원 등가 모델링의 타당성이 입증 되었다.

### 3.3 역기전력 특성

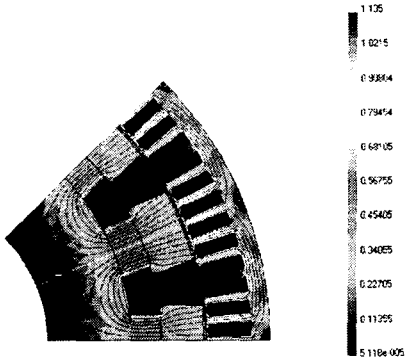
그림 7에 회전자 입력 전압에 따른 2차원 해석의 역기전력 파형과 실험으로 얻은 역기전력 파형을 나타내었다. 실험으로 얻은 역기전력 파형은 깨끗한 정현파를 나타내는 반면, 해석을 통해 얻은 역기전력 파형은 많은 고조파를 포함하고 있다. 이는 실제 claw-pole type 기기에서 얻을 수 있는 skew 효과를 2차원 등가모델에서는 고려할 수 없기 때문이다. 그러나 역기전력의 실효치는 0.5% 이하의 오차를 보인다. 또한 고조파 분석을 통해 슬롯 고조파 성분을 제거 한다면, 역기전력파형을 이용한 동특성 해석에 적용 시킬 수 있을 것이다. 그림 8에서 계자 전압에 따른 역기전력의 실험치와 해석치를 나타내었다. 입력 전압이 올라갈수록 해석치와 실험치의 오차가 커지지만, 5% 이내의 오차를 보인다.

## 4. 결 론

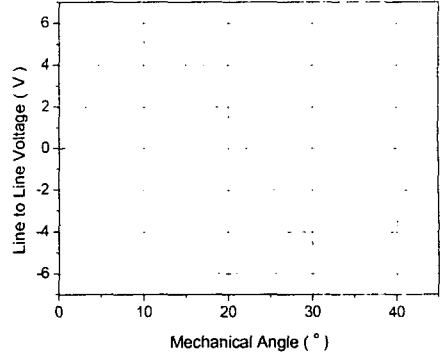
본 논문에서는 3차원적인 자속 분포를 나타내는 claw-pole type alternator를 2차원 등가모델을 이용하여 역기전력 특성을 해석 하였다. 많은 시간과 노력을 필요로 하는 3차원 해석 대신 2차원 등가모델을 이용하여, 짧은 시간에 실제 기기의 특성을 정확히 해석할 수 있었다. 본 논문에서 제시된 방법을 유사한 형태의 Claw-pole type 기기에도 적용 가능 하고, 역기전력뿐만 아니라, 토크, 손실 등의 산정에도 적용 가능하리라 예상된다. 향후 다양한 Claw-pole type alternator 모델에 대한 특성 해석을 수행하여 개발에 적용할 계획이다.

### 참 고 문 헌

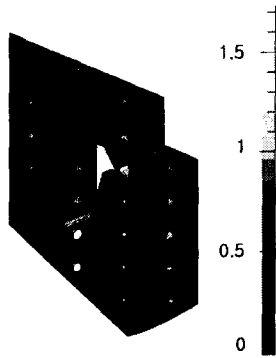
- [1] I. Ramsohl and G. Henneberger, "Calculation and measurement of time characteristics of local field quantities in the air gap of claw pole alternators," IEEE Trans. Magn., vol. 33, no. 5, pp. 4200-4202, Sept., 1997.
- [2] Takeo Ishikawa, "Static torque characteristics of permanent magnet type stepping motor with claw poles," IEEE Trans. Magn., vol. 36, no. 4, pp. 1854-1857, July, 2000.
- [3] Y. Yamamoto, M. Nirei, and S. Ozawa, "Practical analysis of permanent magnet type stepping motor using 2 dimensional finite element method," in Proc. of the international symposium on advanced computational and design techniques in applied electromagnetic systems (ISEM), pp. 313-316, June, 1994.



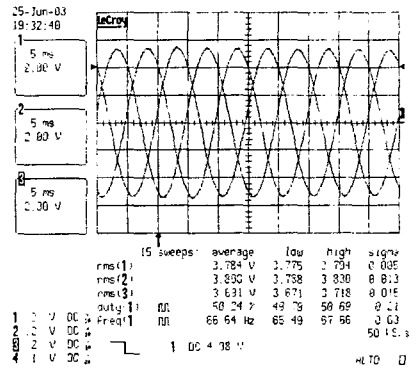
(a) 2차원 해석 결과



(a) 2차원 해석에 의한 역기전력 파형



(b) Claw-pole type generator의 3차원 적인 자계 분포



(b) 실험에 의한 역기전력 파형

그림 5 해석결과

그림 7 역기전력 파형

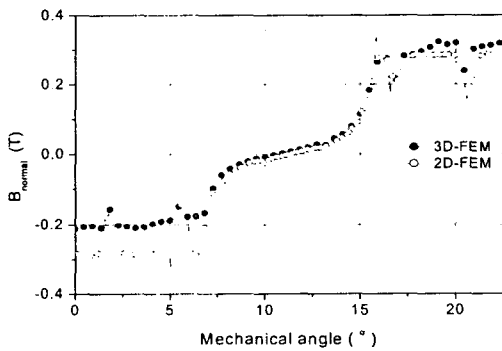


그림 6. 2차원 해석과 3차원 해석의 공극 자속 밀도

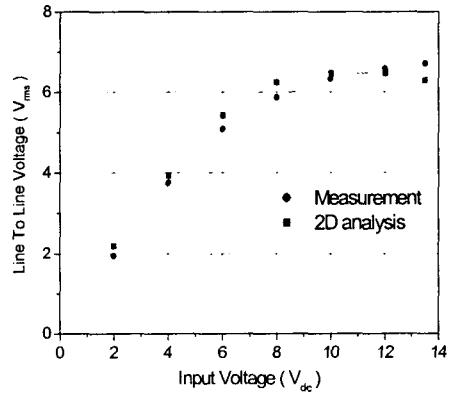


그림 8. 계자 전압에 따른 역기전력 (at 500 rpm)