

드론용 무선 전력전송 시스템에 알맞은 송·수신 패드 성능 비교

김성*, 나형욱*, 조철희**, 김동희**†

전남대학교 미래에너지공학융합전공* 및 전기공학과**

Performance Comparison of Transmitter and Receiver Pad in Inductive Power Transformer for Drones

Sung Kim*, Hyeong-Uk Na*, Cheol-Hee Jo**, and Dong-Hee Kim**†

Future Energy Engineering* · Electrical Engineering**, Chonnam University

ABSTRACT

본 논문에서는 자기유도방식의 드론용 무선전력 전송 시스템에 적합한 송·수신 패드의 모델을 제안하고, 드론의 수평 이격 거리에 따른 특성을 비교하였다. 송·수신 코일 간 결합계수, 저항 성분 등을 통하여 송·수신 패드의 성능을 비교하였으며, 해당 모델에서 최적의 성능을 보이는 코일의 턴 수 및 위치를 연구하였다.

1. 서 론

현재 자기유도방식 무선 전력전송은 전기자동차 등에서 널리 사용되고 있으며, 최근 드론용 무선전력 전송 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다. 드론의 경우, 원거리에서 무선으로 조종하기 때문에 착지 지점에서 ±30cm의 GPS 오차가 발생한다. 따라서 드론용 무선 전력전송 시스템에서는 이러한 비정렬 착지를 고려한 연구가 필요하다.

드론의 비정렬 착지에 관한 선행연구^[1]에서는 코일 내경의 크기를 이용하여 수평 이격 거리에 따른 k 값 변동이 적은 모델을 제시하였다. 그러나 해당 연구에서의 k 값은 전반적으로 낮은 수치를 보인다. 따라서 본 논문에서는 송신부 코일을 세 부분으로 나눈 모델을 제시하여, 수평 이격 거리에 따른 k 값 변동을 적게 유지하면서도 전반적으로 k 값을 높였다. 그리고 최종적으로 해당 모델에서 최적의 성능을 보이는 코일의 턴 수 및 위치를 연구하였다.

2. 코일 설정 값에 따른 성능 평가

2.1 코일의 성능 분석 지표

무선 전력전송의 성능 지표는 대표적으로 송·수신 코일 간의 결합계수 k 와 Q -factor로 나타낸다. k 는 송신부 코일에서 발생하는 자속과 수신부 코일의 쇄교 정도를 나타내는 지표로 식 (1)과 같다.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L1 \cdot L2}} \quad (1)$$

여기서 M 은 코일 간 상호인덕턴스, $L1$ 및 $L2$ 는 각 코일의 자기인덕턴스이다. 본 논문에서의 총 쇄교 자속은 코일의 턴 수 및 위치에 따라 달라지기 때문에, 송신부 코일의 변화에 따라 k 값을 비교 및 평가한다. Q -factor는 코일의 저항 대비 인덕턴스의 지표이며 주파수에 영향을 받는다. 따라서, 식 (2)와 식 (3)과 같다.

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2)$$

$$R = R_{DC} + R_{skin} + R_{prox} \quad (3)$$

표피 효과와 근접 효과의 영향을 최소화하기 위하여 리츠 와이어를 활용하여 송·수신 코일을 구성하였다. 따라서 저항의 R_{skin} , R_{prox} 값을 무시할 수 있으며, 고려해야 할 저항은 R_{DC} 이다. R_{DC} 값의 변화에 따라 Q -factor값이 변화하게 되므로 저항 성분 또한 성능을 비교 및 평가하는 데 사용된다.

2.2 드론의 비정렬 특성에 알맞은 모델 제안

2.2.1 선행 연구에 관한 고찰

드론의 비정렬에 관한 선행연구에 따르면 송신부 측 코일의 내경이 클수록 수평 이격 거리에 따른 k 값의 변동이 적다.

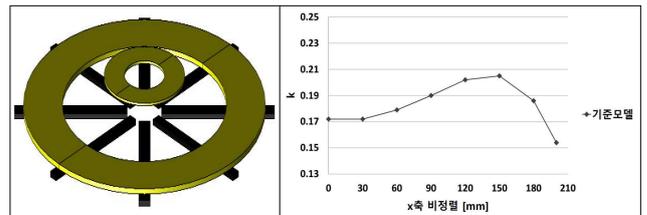


그림 1 기준 연구

그림 1의 왼쪽은 송·수신부를 Spiral 구조로 한 선행 연구의 구조이며, 본 논문에서는 송신부 측을 0.01Ω, 4mm 코일로 24번 Spiral 형태로 감은 구조를 기준 모델로 설정하였다. 표와 같이, 이 구조는 수평 이격 거리에 따른 k 값의 변동이 적으나 전반적으로 낮은 k 값을 보인다. 따라서 수평 이격 거리에 따른 k 값 변동을 적게 유지하면서도 전반적으로 k 값을 높인 모델을 제안하며, 해당 모델에서 최적의 성능을 내는 방안을 연구하였다.

2.2.2 제안 모델 설계

본 논문에서는 송신부 측 Spiral 코일을 세 부분으로 나눈 모델을 제안하며, 제안 모델에서 최적의 성능을 내는 코일의 턴 수 및 위치를 연구하였다.

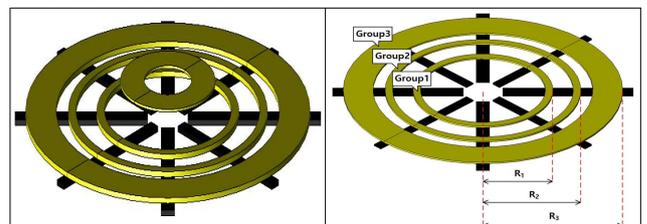


그림 2 개요 및 송신부 측 Spiral 코일 세 부분

표 1 송신부 측 Spiral 코일의 Type별 턴 수 분배

구분	Group 1	Group 2	Group 3
기준 모델	0	0	24
Type 1	4	4	16
Type 2	3	3	18
Type 3	2	2	20

i) DJI 팬텀 4 드론의 경우, 수평 ±30cm의 오차가 발생한다.

그림 2의 검은색은 페라이트를 나타내며, 28mm×280mm(두께:4mm) 페라이트를 8개 배치한 형태이다. 그 위의 노란색은 0.01Ω, 4mm두께의 코일을 Spiral 구조로 감은 코일부분들이다. 각각 안쪽부터 Group 1, 2, 3으로 명칭하며 원점에서 각 코일의 외경까지의 거리를 각각 R_1 , R_2 , R_3 라 나타내었다. 본 논문에서는 R_3 를 300mm으로, R_2 는 210mm로 고정하였다. 나머지 R_1 및 각 코일들의 내경 등의 경우에는, 제안 모델에서 최적의 성능을 찾기 위해 다루는 설정의 변화에 따라 달라진다.

송신부 코일을 세 부분으로 나누어 설계할 때, 고려해야 할 요소는 두 가지이다. 첫 번째는 각 코일의 턴 수 분배이고, 두 번째는 각 코일의 위치이다. 턴 수의 경우, 기존 모델에서 사용했던 24턴을 각 코일에 분배하여 Type을 나누었다. 즉, Type별 코일의 총 턴 수를 24턴으로 같게 하여, Type1의 턴 수는 (4, 4, 16), Type2의 턴 수는 (3, 3, 18), Type3의 턴 수는 (2, 2, 20)으로 설정하였다.

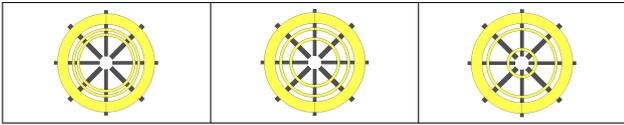


그림 3 송신부 측 Spiral 코일의 Position (왼쪽부터 Position 1~3)

표 2 송신부 측 Spiral 코일의 Position

구분	r_1	r_2	r_3
Position 1	0.6	0.7	1
Position 2	0.5	0.7	1
Position 3	0.3	0.7	1

$$r_1 = \frac{R_1}{R_3}, r_2 = \frac{R_2}{R_3}, r_3 = \frac{R_3}{R_3} \quad (4)$$

다음으로 고려해야 할 요소는 코일의 위치이다. R_3 는 기존 모델에서 사용했던 외경과 같다. 따라서 R_3 값을 기준으로, 상대적인 거리를 표현하는 척도를 r 로 나타냈다. 즉, 기준 외경 R_3 로 세 코일 각각의 외경 R_1 , R_2 , R_3 를 나누어준 값이 r_1 , r_2 , r_3 이다. 본 논문에서는 R_2 와 R_3 가 각각 210mm, 300mm로 고정되었기 때문에 표2와 같이 r_2 , r_3 가 각각 0.7, 1로 고정된다. 이 상태에서 Group1의 외경 R_1 이 180mm, 150mm, 90mm 일 때를 각각 Position 1~3이라 표현하였다.

수신부의 경우, 0.01Ω, 2mm코일로 내경 50mm부터 외경 100mm까지 Spiral 구조로 감은 형태이며, 송신부 코일에서 20mm 높이만큼 떨어져 있다.

2.2.3 제안 모델 성능 비교

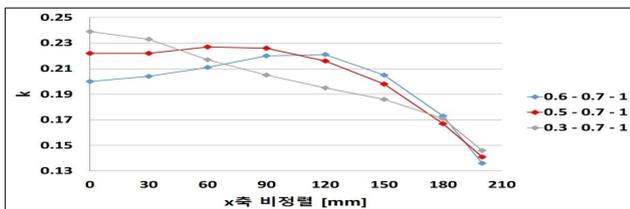


그림 4 Type 1(4, 4, 16)의 각 코일 Position에서 비정렬에 따른 k

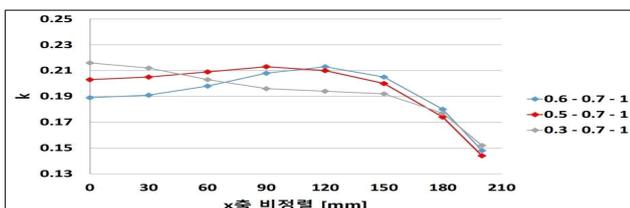


그림 5 Type 2(3, 3, 18)의 각 코일 Position에서 비정렬에 따른 k

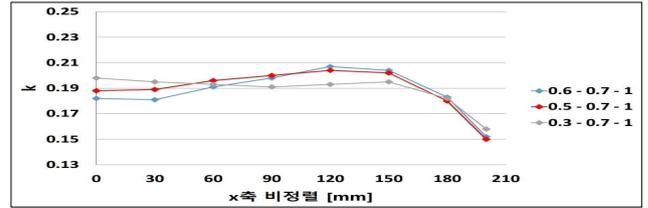


그림 6 Type 3(2, 2, 20)의 각 코일 Position에서 비정렬에 따른 k

그림 4, 5, 6은 Type별 각 코일 Position에서 비정렬에 따른 k 값을 나타낸다. 이 그림들에 따르면, 3가지 Type 모두 150mm이상 비정렬 시에는 각 코일 Position에서 유사한 k값을 보이지만, 150mm이하의 이격 거리에서는 코일 Position 2(0.5-0.7-1)에서 k값이 가장 균등하면서도 좋은 수치를 나타냈다. 즉, 모든 Type에서 코일 Position 2가 뛰어난 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

2.2.4 제안 모델에서 최적 코일 선정

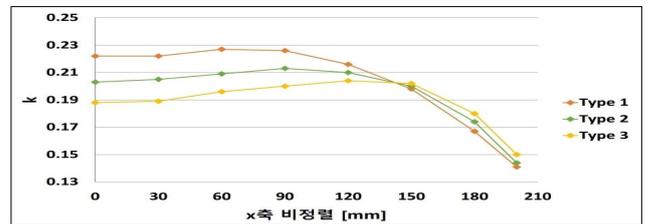


그림 7 코일 Position 2에서 각 Type별 비정렬에 따른 k

그림 7은 코일 Position 2에서 각 Type별 k값을 비교한 그림이다. 150mm이상 비정렬 시에는 각 Type에서 유사한 k값을 보이지만, 150mm이하 이격 거리에서는 Type 1에서 k값이 가장 균등하면서도 좋은 수치를 나타냈다.

즉, 앞서 확인했듯이 본 논문에서 제안하는 모델에서 최적의 코일 위치는 Position 2이며, 최적의 턴 수 분배는 Type 1이라는 결론을 낼 수 있다.

추가로 Type 1은 Type 2~3에 비해 비교적 안쪽에 많은 턴 수를 갖는다. 즉, 다른 Type에 비해 코일이 짧게 감긴다는 뜻이며, 이는 길이에 비례하는 저항 측면에서 Type 1이 더 적은 저항 값을 가지게 되는 이점이 있다.

3. 결론

본 논문에서는 드론용 무선전력 전송 시스템의 비정렬 차지를 고려하여, 송신부 측 Spiral 코일을 세 부분으로 나눈 모델을 제안하였다. 또한, 해당 모델에서 최적의 성능을 내는 방안을 연구하였으며, 결과적으로 최적의 턴 수 분배는 Type1(4, 4, 16)이며 최적의 코일 위치는 Position 2(0.5-0.7-1)라는 결론을 내었다. 이러한 설정에서 해당 모델은 정렬·비정렬 시에 균등하면서도 높은 k값을 보여 실제 드론용 무선전력 전송 시스템에 적합한 모델임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] C. Zheng, H. Ma, J. Lai and L. Zhang, "Design Considerations to Reduce Gap Variation and Misalignment Effects for the Inductive Power Transfer System," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 11, pp. 6108-6119, Nov. 2015.