

# 부하 변동에 따른 선형 유도 전력 전달 장치의 특성 해석

論文

52B-12-2

## Characteristic of Linear Inductive Power Transmission According to the load variation

具大鉉\* · 洪定杓\*\* · 姜道鉉\*\*\*

(Dae-Hyun Koo · Jung-Pyo Hong · Do-Hyun Kang)

**Abstract** - For a control of CPS(Contactless Power Supply), the paper deals with the results which are simulated by a equivalent electric circuit on the LIPT(Linear Inductive Power Transmission). In order to control the CPS, the output values is handled with the driving frequency according to the change of a load. The method that controls the driving frequency for adjusting the output power is reasonable to be applied to the controller. But, when the driving frequency meets the resonant frequency and passes, it lead to a serious problem. Therefore, the controlled region of the driving frequency has to be predicted and determined by the simulation of a electric circuit.

**Key Words** : 비접촉 전력 공급(CPS; Contactless Power Supply), 선형 유도성 전력 전달(LIPT; Linear Inductive Power Transmission), 공진

### 1. 서론

선형 유도 전력 전달 (LIPT; Linear Inductive Power Transmission) 방식은 기계적 접촉 없이 전기에너지를 이동체에 전달하는 방법이다. 이 장치는 에너지를 전달하는 선형 유도 변압기와 전력을 변환하는 인버터로 구성되고, 클린룸과 같이 외부 환경 변화에 민감한 공간이나 화학물질에 노출되는 가혹한 환경에 적합하다[1],[2].

LIPT는 일반 변압기와 같이 1차측 코일과 2차측 코일을 가지고 있지만, 두 코일간에 공극이 존재한다. 즉 픽업코일의 이동경로를 따라 감겨진 고정된 트랙코일(1차측 코일)과 변압기의 2차측 역할을 하는 픽업코일(pick-up coil)간에 공극이 존재하여 픽업코일이 기계적인 접촉 없이 자유로운 움직임이 가능하게 한 것이다. 트랙코일은 에너지 전달이 가능하도록 픽업코일(2차측 권선)이 이동하는 경로를 따라 자계를 형성[3]하여 픽업코일에 유기 기전력을 발생시킨다. 픽업코일은 높은 유기 기전력이 발생하도록 페라이트에 감겨져 있다[4]. 일반적으로 변압기는 공극이 없거나 미세하여 60[Hz]의 저주파에서도 구동이 가능하지만, 본 LIPT는 큰 공극이 존재하므로 20[kHz] 이상의 높은 주파수를 사용해야 한다. 따라서 LIPT의 입력부에는 트랙코일에 고주파 전원을 인가하는 고주파 발생 회로가 삽입된 인버터가 요구되며, 픽업코일에는 유기된 고주파 전압을 부하에 적합하도록 변환하기 위해 별도의 인버터가 요구된다[5]. 또한 트랙코일에서

는 픽업코일과 쇄교하지 못한 누설 자속이 거의 모든 영역에서 발생하므로 상당히 큰 누설 인덕턴스가 존재한다. 그러므로 누설 성분을 보상하기 위한 직병렬 캐패시터를 이용한 공진회로를 구성하여 전력을 전달하여야 한다. 실제 정격시에는 공진점 부근에서 운전하게 되며, 운전 중 부하 변동은 전체 임피던스 위상을 변동시켜 공진점을 이동시켜서 2차측의 출력전압과 부하전류 그리고 출력을 변화시킨다. 경부하에서 중부하로 운전조건이 바뀌게 될 경우에 고출력을 발생하기 위해서는 운전 주파수를 공진 주파수 가까이로 옮겨야 한다. 하지만 부하의 변동에 따른 공진점의 이동을 예측하며 운전 주파수를 제어하기는 어려우며, 만약 운전 주파수가 공진점을 지나쳐 제어영역을 벗어날 경우 제어가 불가능하게 되어 시스템 전체의 혼란을 야기할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 LIPT에 대한 회로 시뮬레이션을 통해서 부하변동에 따른 시스템 특성을 살펴보고 안정한 제어를 위한 방법을 제시하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 시스템 구성

그림 1은 선형 유도 전력 전달(LIPT)을 위한 전체 시스템으로서 비접촉 전력 공급(CPS; Contactless Power Supply) 장치이다. 구성은 크게 입력부, LIPT, 출력부 그리고 제어부로 구분된다. 입력부와 출력부는 각각 LIPT의 1, 2차측에 연결된 전력 전환 장치를 말한다. 입력부에서는 상용전원을 정류기와 필터를 걸쳐 직류원으로 변환하고, 제어부로부터 명령받은 운전 주파수를 갖는 교류전압을 LIPT의 트랙코일에 인가한다. LIPT는 인가받은 전력을 전자기 유도현상을 이용하여 전력을 픽업코일에 전달하고, 출력부는 픽업코일을 통해 전달받은 유기 기전력을 다시 정류하여 부하에서 요구

\* 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

\*\* 正會員 : 韓國電氣研究院 委囑研究員

\*\*\* 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員, Group長

接受日字 : 2003年 8月 19日

最終完了 : 2003年 11月 19日

하는 전원방식으로 변환하여 준다. 만약 이때 부하가 증가할 경우 제어부는 운전 주파수를 공진주파수쪽으로 이동시켜서 전력이 증가되도록 한다.

본 논문에서 다루는 LIPT 특성상 트랙코일에서 발생하는 누설 자속으로 인하여 권선의 결합계수( $k$ )가 감소하여 권선비에 비해 전압비가 낮아지며, 식(1)로 표현된다. 권선의 결합계수( $k$ )는 자기 인덕턴스 성분에 대한 유기 기전력을 위해 유효한 상호인덕턴스 성분의 비를 말한다. 이상적인 경우 1차 권선에서 발생한 자속은 모두 2차 권선을 쇄교하여 2차 권선에 전압을 유기하며, 이때 자기인덕턴스와 상호인덕턴스는 일치한다. 하지만 2차 권선을 쇄교하지 않는 누설자속이 증가할수록 2차 권선에 유기되는 전압이 감소하게 되고, 결합계수는 낮아지게 된다.

$$\frac{N_1}{N_2} = k \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} \cdot L_{22}}}$$

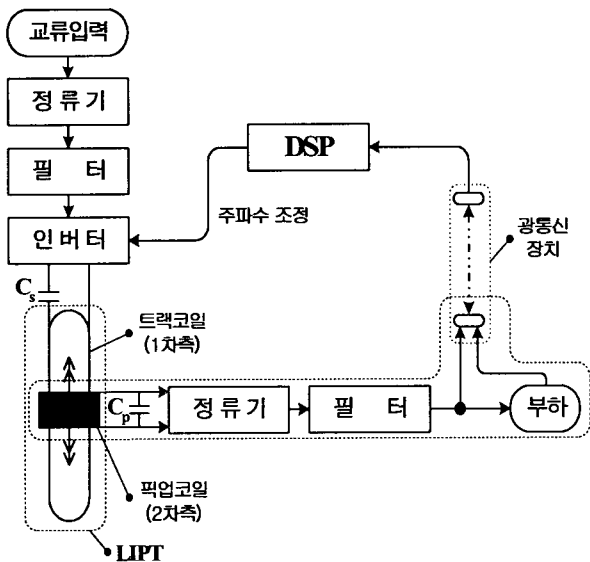
$$= \frac{L_{12}}{\sqrt{(L_{m1} + L_1) \cdot (L_{m2} + L_1)}}$$
(1)

$L_{11}, L_{22}$  : 자기인덕턴스

$L_{m1}, L_{m2}$  : 상호인덕턴스

$L_1, L_2$  : 누설인덕턴스

픽업코일의 유기 전압을 높이기 위해서는 누설 인덕턴스를 보상하는 캐패시터를 1차측과 2차측에 삽입을 해야 한다. 누설 인덕턴스는 발생범위에 따라 픽업코일이 놓여진 부분과 픽업코일이 없는 부분으로 나눌 수 있고, 픽업코일이



$C_s$  - 직렬공진 캐패시터,  $C_p$  - 병렬공진 캐패시터

그림 1 비접촉 전력 공급(CPS) 장치의 구성

Fig. 1 Structure of CPS device

없는 부분의 누설 인덕턴스는 1차측 직렬 캐패시터( $C_s$ )를 결정할 때, 픽업코일이 놓여진 부분의 누설 인덕턴스는 2차측 병렬 캐패시터( $C_p$ )를 결정할 때에 적용된다. 트랙코일의 경우에 누설 인덕턴스의 산정은 일반화된 수식과 유한요소법에 의해 구할 수 있다. 일반화 수식을 통해서는 설계시 대략적인 값을 파악할 있으나 더 정확한 값이 필요할 때에는 유한 요소법을 적용한다. 본 논문에서는 두 값을 비교 제시할 것이다. 픽업코일이 놓여진 부분에서의 누설인덕턴스는 값이 미세하여 본 논문에서는 무시하기로 한다.

그림 2는 트랙코일과 픽업코일 그리고 페라이트 픽업철심을 보여준다. 픽업 철심부는 상당히 큰 공극이 존재하기 때문에 자화인덕턴스가 감소하여 픽업코일에 기전력을 발생시키기 위해서는 높은 자화전류와 수십 kHz의 주파수가 요구된다. 픽업철심으로 사용되는 페라이트는 E자형으로 철심하나의 깊이는 35 [mm] 로 자로(磁路)의 단면을 크게 하기 위해서 여러개의 철심을 적층하여 사용한다. 또한 전력변환장치에서 수십 kHz의 주파수를 사용하기 때문에 LIPT의 권선에 표피효과로 인하여 전류가 흐르는 단면이 감소하여 발열의 원인이 되므로 Litz-wire 권선을 사용한다.

## 2.2 LIPT 제원

표 1은 LIPT 제원을 나타낸 것으로 본 CPS의 출력은 20 [kW]로 설계되었으며, 정격시 운전 주파수는 20 [kHz]로 결정하였다. 표 1에서의 1,2차 전압은 20 [kHz]에서 정현파의 최대값을 나타낸 것으로, 정격시 2차측 최대전압이 350 [Vmax] 일 경우 부하전류는 약 80 [A]로 예상되지만 이 값 역시 운전 주파수와 부하에 따라 달라지게 된다.

1차측의 트랙코일은 선형으로 총 길이는 20 [m]이다.

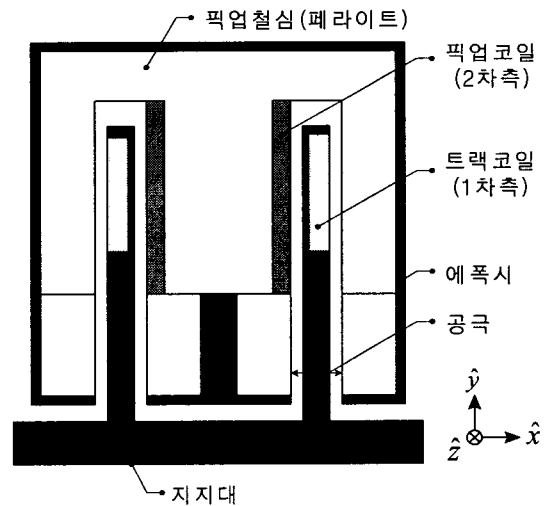


그림 2 LIPT의 단면도

Fig. 2 Cross section of LIPT

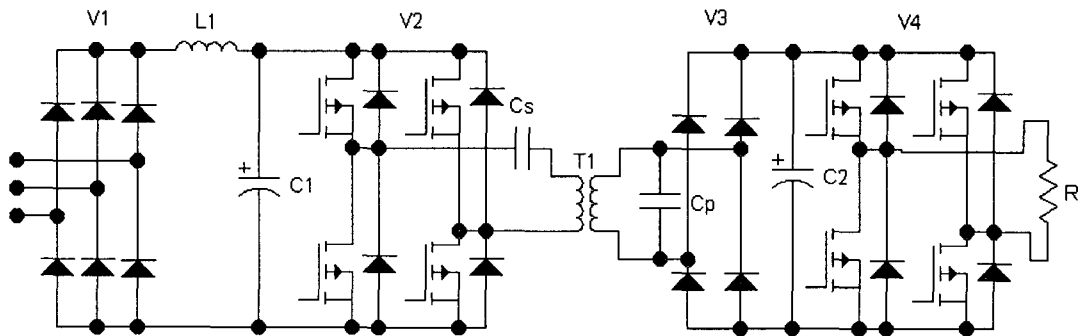
표 1 LIPT 제원

Table 1 Specification of LIPT

| 구분         | 사양       |
|------------|----------|
| 용량         | 20 kW    |
| 1차측 전압     | 280 Vmax |
| 2차측 전압     | 350 Vmax |
| 주파수        | 20 kHz   |
| 공극         | 24 mm    |
| 1차측 트랙길이   | 20 m     |
| 페라이트 형식    | EI-118   |
| 트랙코일 권선수   | 3 turn   |
| 픽업코일 권선수   | 4 turn   |
| 트랙코일 병렬회로수 | 3        |
| 코어개수(35mm) | 9 piece  |

2.3 LIPT 구동회로

그림 3은 LIPT를 구동하기 위한 회로를 나타낸 것이다. 1차측 인버터에서는 입력전압을 정류하여 고주파의 전압을 발생시켜 트랙코일에 전원을 인가하는 역할을 한다. LIPT에서는 철심에 존재하는 공극으로 인하여 1차측 트랙코일의 자화인덕턴스가 매우 작기 때문에 저주파대의 정격전압을 인가할 경우 대전류가 흐른다. 반면에 그에 대한 자속의 양은 충분히 발생하지 않기 때문에 고주파대의 전압을 인가하여 1차측 트랙코일의 자화인덕턴스 성분을 증가시켜야 할 것이다. 또한 앞에서 언급하였듯이 픽업철심이 놓여진 부분을 제외한 트랙코일의 전영역에서 발생하는 누설인덕턴스 성분을 보상하기 위해서 1차측 입력단에 직렬캐패시터가 삽입되어 공진회로가 구성된 것을 볼 수 있다. 2차측에서는 고주파의 유기 전압을 정류회로를 통해 직류나 저주파의 교류전압을 만들어 낸다. 그러나 부하의 변동에 의해 출력전압이 변화를 안정화하기 위해서는 적절한 운전 주파수의 제어가 필요할 것이며, 운전 주파수의 제어방식을 적용하면 안정적인 출력전압을 얻을 수 있다.



V1 전파정류기, L1-C1 1차측 필터, V2 1차측 인버터, Cs 직렬보상캐패시터, T1 LIPT 변압기, Cp 병렬보상캐패시터, V3 2차측 정류기, C2 2차측 필터, V4 2차측 인버터, R 부하

그림 3 LIPT 구동회로  
Fig. 3 Operating circuit of LIPT

2.4 LIPT의 파라미터

1) 트랙코일(1차측)의 누설인덕턴스

본 LIPT 모델은 20[m]의 이동경로를 따라 1차측 트랙코일이 설치되고, 픽업코일이 위치한 부분을 제외한 트랙코일 전 영역에서 누설자속이 발생하므로 큰 누설인덕턴스가 발생한다. 또한 인덕턴스는 도체의 길이에 정비례하므로 트랙코일이 늘어날수록 증가한다. 따라서 트랙코일의 누설인덕턴스를 정확하게 계산하는 것은 공진회로의 캐패시터와 운전 주파수를 산정하기 위해 중요하다.

본 LIPT 모델의 트랙코일은 도체가 세로로 적층되어 있고 도체의 단면적을 고려하여야 하므로 도체를 단선으로 가정하고 도체의 단면적을 무시하는 일반적인 인덕턴스 계산식으로는 계산할 수 없다. 따라서, 기하 평균 거리( $g.m.d$ ; geometirc mean distance)의 개념을 이용하여 트랙코일의 인덕턴스를 구해야 한다[6].

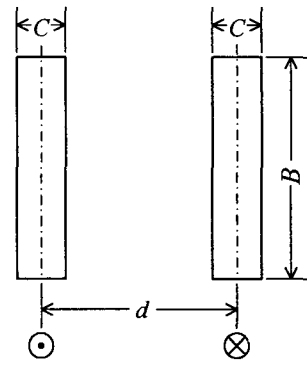


그림 4 누설인덕턴스 계산을 위한 트랙코일의 모델링  
Fig. 4 Modeling of track coil to calculate the leakage inductance

그림 4는 트랙코일을 간략화하여 모델링한 것이다. 원형 도체가 세로로 적층된 것을 하나의 사각도체로 가정하였다. 이 때 도체의 폭(C)과 도체적층높이(B)에 따라서도 인덕턴스 계산을 위한 적용수식이 달라지며 본 모델과 같이 도

체의 적층높이가 도체의 폭보다 클 경우 식(2)를 적용할 수 있다.

$$L = 0.4l \left[ \log_e \frac{d}{B+C} + 1.5 + (\log_e k - \log_e e) \right] \quad (2)$$

여기서,  $l$ 는 트랙의 길이이며,  $d$ 는 양도체의 중심간의 거리이다.  $\log_e k$ ,  $\log_e e$ 은  $B$ 와  $C$  그리고  $d$ 에 의한 변수[6]이다. 이들의 값은 표 2와 같다.

표 2 적용변수값

Table 2 Parameter applying to calculation

| 변수         | 계산 적용값  |
|------------|---------|
| $l$        | 20      |
| $d$        | 67      |
| $B$        | 69      |
| $C$        | 7       |
| $\log_e k$ | 0.0742  |
| $\log_e e$ | 0.00177 |

2) 자화인덕턴스

LIPT에서 발생하는 자화인덕턴스는 다음과 같이 정의된다. 자화 인덕턴스는 2차측을 개방한 상태이고 정격전압이 인가될 때, 인가전압에 대한 자화전류의 관계로 나타난다. 이 때 코일의 저항성분은 없다고 가정하면 그 관계는 식(3)과 같다.

$$L_m = \frac{V_1}{w I_0} \quad (3)$$

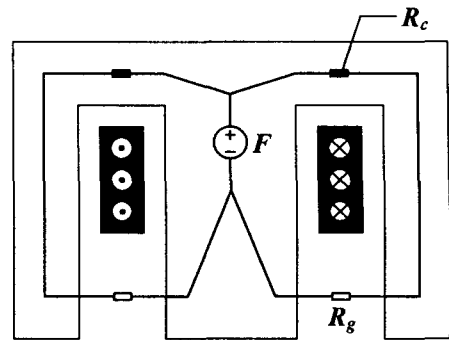
이 자화인덕턴스는 기기의 형상에 따라 달라지며, 식(3)은 기기전체의 자기저항( $R_t$ )과 코일의 권선수( $N_1$ )로 표현된다.

$$L_m = \frac{N_1^2}{R_t} \quad (4)$$

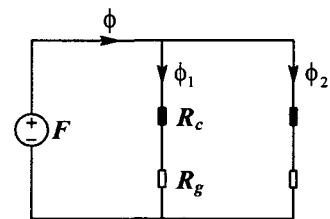
식(4)에서 전체 자기저항( $R_t$ )은 그림과 같은 자기회로를 구성하면 식과 같이 표현된다.

$$R_t = \frac{1}{2} (R_c + R_g) = \frac{1}{2} \left( \frac{l_c}{\mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c} + \frac{l_g}{\mu_0 \cdot S_g} \right) \quad (5)$$

여기서,  $R_c$ 와  $R_g$ 는 철심과 공극에서의 자기저항이다.  $l_c$ 는 평균 자로길이이고  $l_g$ 는 공극길이이며,  $S_c$ 와  $S_g$ 는 자속이 철심과 공극을 통해 지나가는 직교 단면적이다.



(a)



(b)

그림 5 1차측 여자전류에 의한 자기회로도

(a) 실모델에서의 자기회로 (b) 자기회로

Fig. 5 The magnetic circuit composed by the primary exciting current. (a) Magnetic circuit in the actual model (b) Refined magnetic circuit

3) Litz-wire의 저항

LIPT에서 전력변환장치에서 나오는 수십 kHz의 주파수를 일반적인 권선에 인가할 경우 표피효과로 인한 변압기의 효율이 저하되며 권선발열의 원인이 되므로, litz-wire를 사용하며 하나의 도선의 지름이 0.1 [mm]인 2000가닥으로 되어있다. litz-wire 저항계산식은 다음과 같다.

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \sigma = 5.8 \times 10^7 \\ A = 0.05^2 \pi \times 2000 \text{ [mm}^2\text{]} \\ l = (\text{권선길이} \times 2 + \text{엔드턴 길이}) \times \text{턴수} \\ \quad + \text{터미널 단자길이} \end{cases}$$

표 3 LIPT 회로 파라미터

Table 3 Circuit parameters of LIPT

| 파라미터             |        | 설계값             |
|------------------|--------|-----------------|
| 트랙코일(1차측)의 저항    |        | $R_1$ 13.2 mΩ   |
| 트랙코일(1차측) 누설인덕턴스 | 일반 수식  | $L_l$ 102.63 μH |
|                  | 유한 요소법 | 110.37 μH       |
| 픽업코일(2차측)의 저항    |        | $R_2$ 5 mΩ      |
| 1차측의 자화인덕턴스      |        | $L_m$ 30.14 μH  |
| 결합계수             |        | $k$ 0.455       |

4) 공진 캐패시터

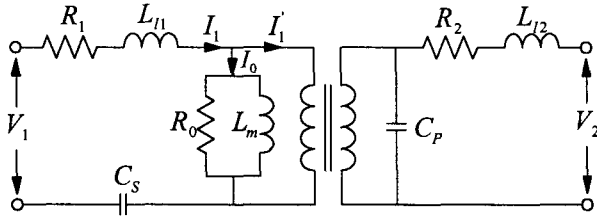


그림 6 LIPT 등가전기회로  
Fig. 6 The equivalent electric circuit of LIPT

그림 6은 LIPT의 등가전기회로를 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이 LIPT의 트랙코일에 발생하는 누설 인덕턴스를 보상하고 효율을 높이기 위하여 1차와 2차측에 공진 캐패시터가 삽입되었다. 직,병렬의 캐패시터의 용량을 결정하기 위해서는 1차측 트랙코일의 누설 인덕턴스와 2차측 픽업코일의 누설 인덕턴스 그리고 공진 주파수가 결정되어야 한다.

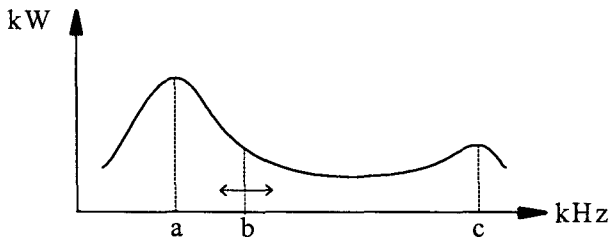


그림 7 운전 주파수에 따른 출력변화  
a - 직렬 캐패시터의 공진 주파수 ( $f_{min}$ )  
b - 운전 주파수  
c - 병렬 캐패시터의 공진 주파수 ( $f_{max}$ )  
Fig. 7 Output variation according to the operating frequency  
a - Resonance frequency of serial capacitor ( $f_{min}$ )  
b - Operating frequency  
c - Resonance frequency of parallel capacitor ( $f_{max}$ )

직렬 캐패시터의 경우 정격 운전 주파수로 가정한 주파수(그림7의 점b) 보다 낮은 주파수(그림7의 점a)에서 공진이 발생하도록 용량을 결정한다. 따라서, 직렬 캐패시터 용량은 1차측 트랙코일에서 발생하는 누설인덕턴스와 제어영역에서의 최저 운전 주파수( $f_{min}$ )를 이용하여 식(7)로부터 얻어낸다.

$$C_s = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{min}^2 \cdot L_{11}} \quad (7)$$

병렬 캐패시터는 2차측 픽업코일에서 발생하는 누설인덕턴스를 고려하기 위한 것으로 픽업코일에서 발생한 자속이 트랙코일을 쇄교하지 못한 것에 대한 성분이다. 따라서 병렬 캐패시터는 2차측 누설성분과 최대 운전 주파수( $f_{max}$ )를 식(8)에 대입하여 구한다.

$$C_p = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{max}^2 \cdot L_{12}} \quad (8)$$

위의 방법을 적용하면 출력은 그림 7과 같은 변화를 가진다. 직렬 공진 주파수(그림7의 점a) 부근에서는 급격한 출력의 변화를 가지므로 부하의 변동에 따른 운전 주파수 제어 속도를 빠르게 할 수 있다.

운전 주파수(그림7의 점b)가 직렬 공진 주파수를 크게 벗어날 경우 유기 기전력이 감소하여 일정 전압이 유지되지 않는다. 따라서 최대 제어 주파수점에서 공진이 발생하도록 하여 일정전압이 유지되도록 한다.

부하의 변동에 따라 출력전압을 일정하게 유지하기 위해서는 피드백 과정이 역시 필요하며, 정격 운전시에는 운전 주파수를 공진주파수 근처로 이동시켜 정격출력이 유지되도록 운전하지만, 운전 주파수가 계속해서 공진 주파수에 근접하게 되면 2차측 전압이 DSP에서 지정한 기준전압보다 급속히 증가하게 되고 출력과 전류도 동시에 증가하게 된다. 따라서 운전 주파수의 제어는 제어가 가능하도록 운전 주파수가 직렬 공진 주파수를 넘어가지 않도록 하여야 한다.

3. 특성결과 및 검토

실제의 인버터 회로를 고려하지 않았을 때, 본 논문에서 시뮬레이션 회로는 그림 6의 등가회로와 같으며 1차측에 전원으로서 정현파의 전압을 인가하였다. 회로 시뮬레이션의 결과는 그림 8로부터 그림 11까지 나타나 있다. 본 시뮬레이션에서는 주파수와 부하에 따른 트랙코일과 픽업코일에서의 전류와 픽업코일의 선간 전압 그리고 저항부하에서의 전력 변화를 관찰하였다.

그림 8은 운전 주파수에 따른 트랙코일의 전류변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 부하가 증가할수록 최대 전류값은 감소하고 공진이 발생하는 주파수대가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 부하의 변동은 LIPT 운전시 연속적으로 발생하기 때문에 제어기의 주파수 제어 알고리즘 설계가 가장 중요하게 다루어야 할 것이다. 만약 부하의 변동으로 인해 제어기의 제어영역을 벗어나 공진점을 지나칠 경우, 급격한 전압·전류상승을 가져와서 코일의 절연파괴와 제어기의 파손을 야기할 수 있기 때문이다. 따라서 제어기 설계시 부하변동에 따른 출력값들의 제어를 위해서는 공진 주파수 보다 높은 주파수대를 이용하고, 출력증대를 위해서는 공진점을 지나치지 않는 범위내에서 공진점 부근에 있는 주파수를 이용하여 운전하여야 할 것이다.

그림 9 역시 그림 8과 같은 양상을 보여주고 있다. 등가회로에서는 누설 인덕턴스성분에 대한 보상으로 직렬 캐패시터를 삽입하였기 때문에 거의 권선비와 반비례하여 전류가 유지되는 것을 볼 수 있다.

그림 10에서는 주파수 변화에 따른 출력전압을 나타낸 것이다. 위의 전류변화와 같이 부하가 증가할수록 주파수에서의 공진점이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 6[Ω] 이상의 부하에서는 전압변화의 기울기 정도가 일치하고 주파수에 따른 전압값이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 하지만 여기에서도 공진점은 부하가 증가할수록 낮은 주파수대로 이동하는 것을 볼 수 있다.

그림 11 은 출력의 변화를 보여주고 있다. 본 설계모델의 정격출력이 20 [kW] 용으로 설계되었음을 고려하면 각 부하에서의 최대 출력을 얻기 위한 운전 주파수를 결정할 수 있다. 이 경우 트랙코일과 픽업코일에서의 허용 전류값을 만족하여야 하고 주파수 운전점이 공진점을 지나치거나 일치하지 않도록 하여야 할 것이다. 예를 들어, 부하가 10 [Ω] 일 때 20 [kW]의 출력을 얻기 위해서는 19.5 [kHz]의 주파수(그림7참조)로 운전하여야 하지만, 부하가 변동하여 감소할 때 공진점이 높아지는 효과 때문에 운전 주파수가 공진점으로 아주 근접하게 되어 위험을 초래할 수 있기 때문이다.

이 모든 조건을 고려하여 최적의 운전 주파수를 선택하여야 한다. 먼저 정격출력전압이 350 [Vmax]을 감안하면 그림 10을 참조할 때 20 [kHz] 근처에서 운전하는 것이 가장 바람직하다. 그림 10에서도 같이 유기전압은 부하의 변화(4 [Ω] 이상)에 따라 큰 변동이 없으므로 운전점을 쉽게 선택할 수 있다. 이렇게 결정된 20 [kHz]의 정격 운전 주파수를 기준으로 그림 11에서 20 [kW]의 출력이 발생하는 부하의 크기는 약 5 [Ω]이 될 것이다. 만약 이 때 부하가 감소하게 되면 운전점은 공진점과 가까워져서 공진전류와 출력증대를 가져올 것이며, 반대로 부하의 증가는 공진전류의 감소와 출력감소를 가져오게 된다.

이상과 같은 결과를 통해 정격운전을 위한 최적점에서의 특성을 정리하면 표 4와 같이 표현된다.

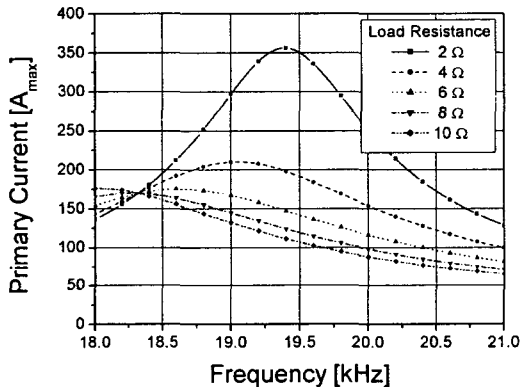


그림 8 주파수 변화에 따른 트랙코일전류(1차측)  
Fig. 8 Current of track coil versus frequency variation

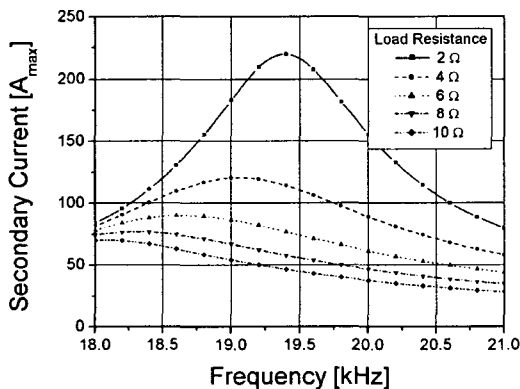


그림 9 주파수 변화에 따른 픽업코일전류(1차측)  
Fig. 9 Current of pickup coil versus frequency variation

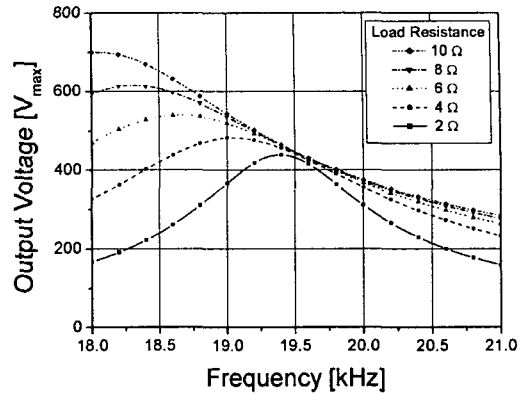


그림 10 주파수 변화에 따른 픽업코일 전압(2차측)  
Fig. 10 Voltage of Pickup coil versus frequency variation

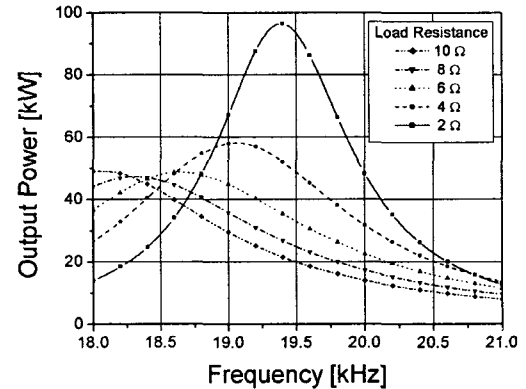


그림 11 주파수 변화에 따른 출력  
Fig. 11 Output power versus frequency variation

표 4 정격운전시 특성값

Table 4 Values at the rated operation

| 구 분          | 값        |
|--------------|----------|
| 용량           | 20 kW    |
| 트랙코일 전류(1차측) | 120 Amax |
| 픽업코일 전류(2차측) | 60 Amax  |
| 출력전압         | 350 Vmax |
| 공진주파수        | 20 kHz   |
| 1차측 캐패시터     | 0.49 μF  |
| 2차측 캐패시터     | 0.045 μF |
| 부하           | 5 Ω      |

#### 4. 결 론

본 논문에서는 비접촉 에너지 전달 장치의 구동에 대한 시뮬레이션을 행하고, 공진 주파수와 부하에 따른 1,2차 전류와 전압 그리고 출력변화를 살펴보았다. 공진주파수 부근으로 운전 주파수가 근접하게 되면 공진 현상으로 인하여

출력과 유기전압이 증가하지만 직렬 캐패시터와 누설 인덕턴스 성분 사이에 순환전류가 급격히 증가하게 되므로 코일에서의 발열과 절연파괴를 유발할 수 있기 때문에 피해야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 LIPT의 출력이 부하의 변동에 따라 변하는 공진점을 살펴봄으로써 제어시 안정하게 주파수 제어를 할 수 있도록 하는 근거를 제기하였다. 본 운전 주파수 제어법을 이용하면 부하전압을 안정화하기 위해 1,2차측의 정류기를 제어하지 않아도 된다는 장점을 가지고 있기 때문에 LIPT 제어기법중에서 가장 간단한 제어 시스템으로 운전이 가능하다. 하지만, 부하의 변화에 따라 공진점의 이동하는 현상으로 적절한 주파수 운전영역을 결정하는데 어려움이 있었기에 본 연구결과가 제어기 설계를 위한 자료로 이용될 것이며, 또한 본 논문에서 다루었던 비접촉 전력 공급(CPS) 장치가 고속으로 선형 운전하는 장치에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

**참 고 문 헌**

[1] Don A. G. Pedder, Andrew D. Brown, and J. Andrew Skinner, "A Contactless Electrical Energy Transmission System", IEEE Trans. Industrial Electronics Vol. 46, No 1, pp. 23-30 Feb.1999.

[2] YOSHIJI HIRAGA, JUNJI HIRAI, "Decentralized Control of Machines with the Use of Inductive ransmission of Power and Signal" Industry Applications Society Annual Meeting, 1994., Conference Record of the 1994 IEEE, vol. 2, pp. 875-881, 2-6 Oct. 1994.

[3] Shin-ichi Adachi, Fumihiro Sato, Shinki Kikuchi, "Consideration of Contactless Power Station with Selective Excitation to Moving Robot", IEEE Trans. on Magn., VOL.35, NO. 5, 3583-3585, Sep.1999.

[4] Jacobus M. Barnard, Jan A. Ferreira, and Jacobus Daniel van Wyk, "Sliding Transformers for Linear Contactless Power Delivery", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 6, pp. 774-779, Dec. 1997

[5] Byeong-Mun Song, Robert Kratz and Sam Gurol, "Contactless Inductive Power Pickup System for Maglev Application" Industry Applications Conf., 2002. 37th IAS Annual Meeting. Vol. 3, pp 1586-1591. Conference Record of the 13-18 Oct. 2002

[6] FREDERICK W. GROVER, PH.D. "INDUCTANCE CALCULATIONS", D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC.

**저 자 소 개**



**구 대 현(具大鉉)**

1963년 9월 21일 생. 1989년 한양대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동아대학교 전기공학과 졸업(박사) 1991년~현재 한국전기연구원 산업전기연구단 Mechatronics연구그룹 선임연구원  
Tel : 055-280-1486, Fax : 055-280-1547  
E-mail : dhk371@keri.re.kr



**홍 정 표(洪定杓)**

1975년 1월 6일생. 1997년 동아대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년~현재 동 대학원 전기공학과(박사과정). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 Mechatronics 연구그룹 위촉연구원  
Tel : 055-280-1484, Fax : 055-280-1547  
E-mail : hjp5000@hotmail.com



**강 도 현(姜道鉉)**

1958년 9월 21일 생. 1981년 한양대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1987년~1989 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년~1996년 독일 Braunschweig대학사 졸업. 1989~현재 한국전기연구원 책임연구원(Mechatronics 연구그룹장)  
Tel : 055-280-1480, Fax : 055-280-1547  
E-mail : dhkang@keri.re.kr