

엘리베이터용 유도 전동기 벡터 제어시의 초기 시정수 및 자동 조정

박상영*
LG산업 빌딩시스템 연구소

Initial Value Problem and Tuning of Induction Motor parameter in Elevator vector control

Park, Sang-Young*
LG Industrial System Building system Lab.

Abstract - Recently, Control method of induction Motor is applied in full circuit model, as circular diagram. In Elevator modernization problem, there is no circuit information. Nothing but, Motor terminal voltage and HP of motor. So, in this study, using KS induction Motor table, try to solve initial value problem and make some implementations of manual tuning for use of automatic tuning of induction motor parameter..

1. 서 론

최근에 엘리베이터 업계에서는 과거에 설치했던 엘리베이터의 내구 수명을 부분적으로 연장하기 위한 노력의 하나로 기구부분을 제외하고 전기 부분만을 현대화하는 작업이 추진 되고 있다. 과거에 설치된 대표적인 엘리베이터의 전동기 제어방식을 보면 다음과 같다.

(1) 직류 레오나르도형 : 전원→ Y-delta 기동형 유도전동기 → 직류 발전기 → 직류 권상기로 연결됨. 중속이상에서 사용되며, 매우 고성능이다.

(2) 교류 2단형 : 전원 → 전자 접촉기 → 극수 전환형 유도 전동기 저속에 사용되며, 정지 충격이 있으나, 적당히 사용할 만함.

(3) 유도전동기 위상 제어형 : 전원 → SCR → 유도전동기, 위상제어에 의하며, 속도제어가 적당히 되며, 승차감도 우수하다. 고조파가 많이 발생된다.

유압이나, 최근 인버터 형을 제외하고는 위의 3가지 정도가 현대화 작업의 주요 목표이다. 본, 연구에서는 유도전동기 현대화 시의 문제점 중 전동기 상수 문제만을 목표로 하기 때문에 나머지 문제는 제외한다.

처음보는 유도전동기를 앞에 두고 이게 과연 한번작업으로 잘 돌아 갈까라는 것은, 지금까지 이러한 경험을 해본 사람은 누구나 어렵다라는 것을 인정한다. 이러한 경우는 다음과 같이 분류 된다.

- (1) 원선도가 있는 경우
- (2) 원선도가 없는 경우(전동기 전압과 마력만 아는 경우)

그리고, 자동 시정수 조정장치가 없는 경우나, 혹은 자동 시정수 조정이 되더라도, 얼마나 정확한지 확인을 하고 싶은 경우에는, 평가하는 방식이 필요하다는 것을 모두 인식하고 있다.

본 연구의 내용은 다음으로 요약되다.

원선도가 없는 유도전동기(전동기 전압과 마력만 아는 경우)에 정형화된 look-up table에 의해 초기치를 주는 방법을 연구하고, 전동기 시정수를 조정하여, 임의로 정한 한 완전 벡터제어에 유사한 상태로 만든 다음, 시험된 여러 전동기와 look-up table을 비교하여 연구의 효

과를 평가하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 방식

기존의 유도 전동기 시정수를 조정하는 방법은 다음과 같다.

(1) 원선도를 기초로 모든 값(특히, Lm, Rr)을 시행 착오법으로 조정한다.

(2) 원선도 없는 경우

(2-1)전동기 단독운전 가능한 경우(실험실 수준): 공회전 및 구속 실험과 Rs를 측정하여 원선도를 추출한 후 (1)의 방법으로 한다.

(2-2)인버터를 신호 분석기로 사용하여, 전동기 회로 모형을 추출한다.(실험실 수준)

(2-3) 기계적인 결함을 분리하기 어려운 경우(엘리베이터의 경우) 모든 변수를 시행 착오로 추적한다. (이 경우 Lm 추정에서 가장 큰 문제 발생) 이 경우 가장 큰 문제는 공회전 실험이 불가능 하다는 것이다.

그리고 기존 엘리베이터의 시정수 조정 과정은 다음과 같다.

(1) 전 부하 상승 상태(전류 최대점)에서 캐이저와 카운터가 교차하는 순간(로프 길이가 동일한 점)에서의 전류를 측정하여 전류 최소점을 찾는다.(보통 Rr조정)

(2) PWM 전압 감쇄 network(R-C필터)를 거친 전압을 DMM으로 측정하여 (1)의 상태에서 전동기 전압이 명판 전압이 되게 여자 전류나 Rr등을 미세 조정한다.

즉, 조정의 목표는 2가지이다.

- (1) 기계출력/전류의 최대값으로 조정
- (2) 전동기 전압의 유지이다.

보통, 전동기 출력/전류비를 최대로 유지하면, 전동기 전압이 기준을 초과 하여, 과 여자 되기 쉬우며, 이러한 과 여자를 방지 하기 위해, (2)의 과정이 필연이다. 이러한 방식은, 시정수 자동 조정방법의 이론적인 배경과도 일치한다.

2.1.1 원선도 자체의 문제점

유도 전동기의 원선도 자체는 사실 벡터 제어 상태와 적합하지 않다.[1] 실제로 과거에 조정을 해보면, 원선도에 비해 매우 차이(100%이상)가 나는 경우가 많았다. 이러한 이유는 다음과 같다.

(1) 표피효과 :- 원선도는 상용 전원에서 구속실험을 실시하며(보통 60Hz), 벡터 제어시에는 회전자와 고정자는 slip상수(보통 수%)정도로 회전한다. 따라서, slip상수로 정도의 주파수로 구속실험을 하기 전에는 벡터제어에 상용하기 적합한 구속실험 할 수 없다.

일반적으로 주파수가 높을수록 표피효과에 의해, 저항이 크게 나타난다.

(2) 회전자 구조 :- 현재 LG산전의 기존 생산된 모든 엘리베이터용 전동기는 이중 농형이나 깊은 슬롯 형식이다. 이러한 경우에 Rr의 주파수에 따른 변환은 그림 1을 참조 한다.

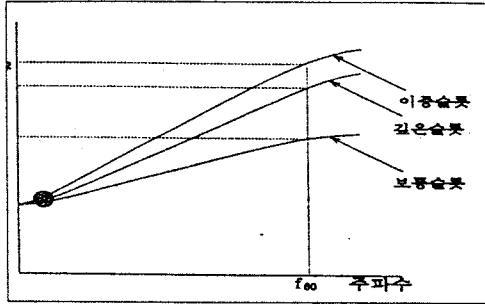


그림 1. 표피효과에 의한 Rr의 주파수 의존성

2.1.2 원선도가 없는 경우의 문제점

엘리베이터의 현대화의 경우 기계적인 결합 때문에 실험실 실험이 불가하다. 그리고, 구속실험은 가능하지만, 위험하고, 많은 장비가 필요하다.

- 따라서 해결하기 위한 노력은 2가지로 준비된다.
- (1) on-line 시정수 조정 :- 최소한의 값을 입력하여 초기치를 얻은 상태에서 정상적으로 승강하면서 자동 시정수 조정을 실시
 - (2) off-line 시정수 조정 :- 별도의 조정모드를 가지고 조정을 실시.

이러한 모든 노력은 모두 초기치를 주는 문제로 일단락 될 수 있으며, 자동 조정의 각 변수별 최소/최대치를 주지 않는 경우, 보통 비선형 제어 방식으로 조정하는 관계에다, 선형제어어를 사용하더라도 유도전동기 자체가 매우 비선형적이어서 모든 경우에 수렴한다는 보장이 없다.

그리고, 위의 경우에는 일반적으로 인버터를 신호 분석기로 사용하여, 분석을 실시하는데, 그 수치적인 해상도에 주의 할 필요가 있다. 현재 사용중인 100마력 승강기 기준으로 보면,

(1) 출력 직류 전압 해상도 (5kHz 스위칭, 7us dead-time, PWM해상도 200ns, 직류 전압 700V): $(7+0.2)/200 \times 700 = 25V$ 이고 + V_{ce_sat} + 직류 전압 오차 1%(7V) = 최대 40v, 최소 10v(직류만 인가시 dead-time오차=0)

(2) 전류 해상도 : $900A/2048 = 0.439A$

(3) Rs = 0.0517옴

(4)인버터 저항 해상도를 구하기 위해 I-rate-max = 300A 시 발생전압은 15.51V이고, 이러한 측정은 매우 어려우며, 따라서, 매우 높은 차수의 필터를 사용하는 분석이 필요하고, S/N비(=15/10)가 나쁘기에 분석이 어렵다.

다만, 용량이 적은 경우에는 다르겠지만, 이러한 신호 분석법만이 유일한 대안이 아니라면, 다른 방법을 연구해 볼 필요도 있다.

2.2 임의의 전동기 초기치를 주는 방법

초기치의 최종 내용은 어차피 원선도의 내용을 만드는 것이므로 원선도를 만드는 방법을 정확히 이해해야 한다. [2]

KS 유도기 원선도 시험 기준에 따르면,

(1) Rs를 직류 저항계로 측정

(2) 공회전시 전압, 전류, 전력을 측정하여, Lm관련 성분을 추출

(3) 구속실험을 하여, 전압, 전류, 전력을 분석 회전자측 성분을 분석의 단계로 되어 있으며, 승강기용 누설 리액턴스의 비율이 NEMA-B형식인 경우 4:6의 비율이 된다. (위상제어 방식이나, 극수 전환 인 경우 NEMA-C, D형임. 참고로 회전자 형이 고정형 형임)

2.2.1 최초의 문제

원선도를 만들려면, Rs를 측정해야 하는데, 없고, KS 표준 유도기 표 [3] 상에서 무부하 전류와 Rs를 제외한 값을 사용한다. 그런데, 현재 참고 문헌 [4] 상에 구한 표에는 Rs 값은 구할 수 있다. 전동기 전압이 460V 기준이므로 전류는 비율로 구하면 되고, 저항은 $Z' = V^2 / V^2 \times Z$ 의 비율로 연산이 필요하다.

따라서 연산이 필요한 변수는

- (1) Lls(고정자 누설 리액턴스)
- (2) Llr(회전자 누설 리액턴스)
- (3) Lm(상호 리액턴스)
- (4) Rr이다.

상호 리액턴스는 무부하 전류에서 구해지므로 Rr, Lls, Llr만이 문제이다.

2.2.2 Rr, Llr, Lls 연산의 방법

유도기 공식 상에서 기계 출력 공식은

$P_{out} = 3 (1-s)/s \times R_r \times (I_r)^2$ 에서 슬립을 아는 상태에서 Rr연산이 가능하다. ($I_s = I_r + I_m$)

그리고, 이때의 전부하시의 전기입력에서 Lls+Llr의 연산이 가능하다.

다만, Lm측 발생 무효전력 성분을 제거하면 모형은 그림 2와 같다.

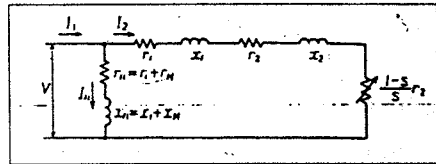


그림 2. 간략 회로 모형

구해진 Lls+Llr을 NEMA-B형이면 4:6으로 분리하고, Rr을 재 조정하는 작업이 필요한데, 이 작업은 간접 벡터제어 공식 상에서의 슬립 주파수 연산 방법에 따른다.

$$Rr/Lr = I_d / I_q \times Wsl$$

에서 Rr을 재 연산을 실시해야 한다. (기계출력으로 구한 Rr은 폐기) 이때 구해진 값은 일반적으로 원선도 값의 30% 정도로 나온다.

2.2.3 제안하는 방법의 검증

위의 방법으로 구한 표를 검증하기 위해, 원선도를 가지고 있는 37kW 6P 380V 전동기와 KS 표준 전동기의 값에서 연산한 값을 비교하였다.

	원선도 값	표준 전동기 값
여자 전류	37A	35A
전부하전류	75A	79A
Lls+Llr	3.0mH	3.85mH
Rs	0.051	0.11
Rr	0.05	0.052

위의 값 정도라면, 초기치로 사용하기 매우 적당한 정도이다.

2.3 엘리베이터용 전동기 시정수 조정

완전 벡터 제어의 정의는 등가 모형상으로 정의는 가능하나 현실적으로 확인은 매우 힘들며, 편의 상 해당 응용 방식에 맞추어서 적용한다. 일반적인 응용의 경우에는

- (1) D-Q축 회로 모형상으로 확인 한다.
- (2) 전동기를 공회전을 시켜 토크가 일정한 경우 속도 패턴의 모양이 선형이 된게 한다.
- (3) 전동기 다이내모메타가 있는 경우 지령 출력 토크와 Q축 전류가 완전 비례하는 값을 찾는다.

하지만, 엘리베이터의 경우에 특히 미지의 전동기를 둘러야 하는 경우에는 문제가 있다.

2.3.1 조정에 사용한 방법

엘리베이터의 경우 부하가 변동하지 않는 경우에 무조건, 모터링과 회생이 반복된다. 따라서, 완전 벡터제어가 되는 경우에는 회로 모형상 상승과 하강시에 전압차이가 매우 적다. 그리고 회생의 경우 전압이 약간 적게 나온다.

본 연구에서는 위의 방법에 의해 off-line 자동조정의 준비 단계로 사람이 미세 조정을 실시 하였다.

2.3.2 실험 결과

원선도를 토대로 Rr만 조정을 실시한 경우임

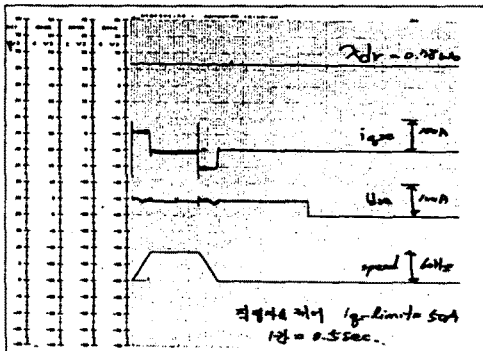


그림 3. 지상 실험 결과

6P 380v 37kW 100%부하시에(상전압 peak-phase기준)
Vds = -36.68V

Vqs = 329.5V
V-Line = 404V,
측정 네트워크 강하 5% = 383V
DMM측정값 = 380V

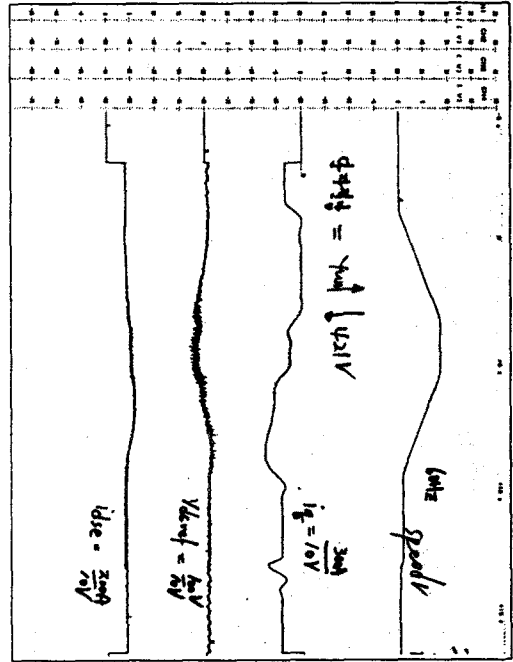


그림 5. 100마력 실험 결과

3. 결 론

본 연구에서는 원선도가 없는 유도전동기(전동기 전압과 마력만 아는 경우)에 정형화된 look-up table에 의해 초기치를 주는 방법을 연구하고, 전동기 시정수를 조정하여, 임의로 정의 한 완전 벡터제어에 유사한 상태로 만든 다음, 시험된 여러 전동기와 look-up table을 비교하여 연구의 효과를 평가하였다.

본, 연구의 다음 방향 및 문제점은 다음과 같다.

- (1) KS전동기가 아닌 경우 대응이 안된다.
- (2) 특히, 역률이 낮은 경우 대응이 안된다.
- (3) 기동 계급이 NEMA-C,D인 경우 대응이 안된다.
- (4) 따라서, 인버터를 신호 분석기로 사용하는 방법을 연구 해야 한다.
- (5) 인버터를 신호 분석기로 사용할 때에는 정밀한 전압 발생과 전류 측정이 필수이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송준호, "인버터 구동 유도 전동기의 기술적 검토", LG산전 BS연구소 기술보고서, 1994
- [2] 한국 공업 규격, "3상 유도 전동기의 특성 산정 방법", KSC4201-1986
- [3] 한국 공업 규격, "일반용 저압 3상 유도 전동기", KSC4202-1993
- [4] 윤병도, "최신 전력전자 공학", pp452-453, 1988