

가변부하시 전문가 PLC에 의한 유도전동기의 속도제어

(Speed Control of Induction Motor by Means of Expert PLC in Variable load)

박알서* · 오 훈

(Wal-Seo Park · Hun Oh)

요 약

PID제어기는 산업자동화 설비에 널리 쓰이고 있다. 하지만 시스템 특성이 변화하면, 정밀제어를 위한 매개변수 결정과 동조가 쉽지 않다. 이를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 PLC를 사용한 전문가 자동동조 PID 제어기를 제안하였다. 전문가 자동동조 알고리즘은 Ziegler-Nichols의 계단응답법과 전문가 지식을 기초로 하였다. 제어의성능 실험은 가변부하시 유도모터 속도제어의 수행에 의하여 확인하였다.

Abstract

PID Controller is widely used as automatic equipment for industry. However, when a system has various characters, parameter decision and tuning for accurate control is a hard task. In this paper, expert auto-tuning PID controller using PLC is presented as away of solving this problem. Expert auto tuning algorithm is based on Ziegler-Nichols step response and expert knowledge. The test of control performance is carried out in practical speed control of Induction Motor in variable load, the experimental results suggest its superior performance.

Key Words : Variable load, PID controller, Auto-tuning, Expert PLC

1. 서 론

PID제어기는 자동제어 이론의 역사와 견줄 만큼 오랜 기간 동안 사용되어왔다. 현재에도 산업 자동화

설비에 널리 쓰이고 있는데, 이는 구조가 간단하다는 장점과 제어기가 정확하게 설계되어 진다면 과도응답 특성이 좋고 정상상태 오차를 제거하는 등 안정적으로 동작하기 때문이다.

하지만 실제 플랜트의 모델과 정확한 매개변수 값들은 찾기가 쉽지 않다. 더구나 부하 변동이 있을 경우에 제어기의 매개변수를 조정해야만 한다.

따라서 1942년 J. G. Ziegler 와 N. B. Nichols가 PID 제어기의 동조를 시작한 이래로 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[1],[2]. Ziegler-Nichols의 계단 응답법, 비레이득 조절법등은 자동화하기 어려운 단

* 주저자 : 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부
부교수
Tel : 063-850-6890, Fax : 063-850-6890
E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr
접수일자 : 2001년 12월 3일
1차심사 : 2001년 12월 6일 2차심사 : 2002년 1월 4일
심사완료 : 2002년 1월 23일
※ 이 논문은 2000년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨

점을 갖고 있다.

1980년대 Åström의 폐루프의 릴레이 실험법은 위상여유와 이득여유를 보장하지만 점근적 안정의 선형시스템으로 제한된다[3],[4]. 또한 최근에는 인공지능, 신경망, 퍼지, 진화 알고리즘 등 소위 Soft computing 기법을 도입하려는 연구들이 진행되어 왔다[5],[6]. 이는 기존의 연구 결과였던 자동동조 (Auto-tuning)기능에 플랜트 매개변수의 불확실성 및 부하의 변화에도 적절히 대처함으로써 PID제어의 강인성을 증대시키려는 지능제어법의 응용연구라 할 수 있다[7],[8].

본 논문에서는 가변 부하 등의 플랜트 특성을 알 수 없는 환경에서도 PLC에 의해 자동 동조되는 PID 제어기를 제안하였다. 제의된 알고리즘은 개루프에서 계단응답법을 사용하여 최대기울기나 데드타임을 얻고 Ziegler-Nichols 방법에 의하여 PID 매개변수가 결정된 다음 자동으로 동조된다. 오버슈트가 원하는 응답보다 큰 경우에 매개변수는 재조정된다. 제안된 전문가 PLC제어법은 유도모터의 속도실험에 의해 분석하였다.

2. 시스템의 구성

그림 1에서 유도 모터(IM: 삼상 1/2마력)는 PID 제어기 ($u = k[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt}]$)와 기본 제어루프를 형성한다. 시스템에 적합한 PID 제어기의 매개변수가 사용될 때에 부하변동이나 외란이 있을시 과도응답을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 빠른 상승시간을 얻을 수 있어 추적제어에 적합하게 된다.

PLC(LG : Goldsec)에 내장된 자동동조 기능은 개루프의 계단응답에서 얻는 최대기울기 및 데드타임 정보를 기초로 매개변수를 결정하여 자동동조 하게 된다. 자동 동조된 다음에는 폐루프로 전환하게 되고 응답특성이 원하는 것인가를 기준신호와 비교하여 오버슈트가 허용치 이내가 되도록 매개변수는 재결정된다.

시스템 동작과정을 살펴보면 다음과 같다. 운전초기에는 계단응답의 정보를 얻기 위하여 개루프 상태에서 전원이 투입된다. 가변 부하를 갖는 유도모터에 연결된 타코제너레이터에서 발생된 전압 (DC 0~10[V])은 A/D 변환기를 거쳐서 PLC의 CPU에 입력된다.

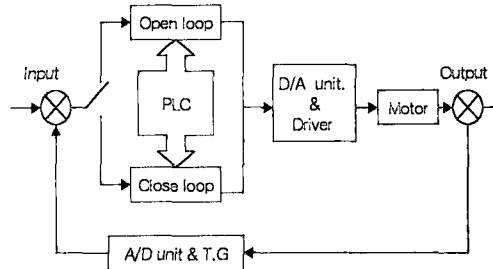


그림 1. 시스템의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of system.

회전수의 최대기울기에서 매개변수의 결정이 끝나면 자동 동조되고, 동시에 폐루프로 전환한다. 폐루프가 되면 PLC에서 발생하는 오차는 D/A변환기를 거쳐서 인버터의 제어전압 (DC 0~10[V])에 사용되고, 인버터의출력 (최대 허용 전압 AC220[V])은 모터에 인가된다.

3. PLC를 사용한 자동동조 PID제어기

계단응답법은 개루프 플랜트의 출력응답에 기초한 방법이다. 이 방법은 비 최소 위상특성을 갖는 플랜트에는 적용될 수 없다. 전원 투입 후 응답곡선의 상승시에 가장 큰 기울기점에서 접선을 그린다.

그림 2에서 보는바와 같이 축과 접선과의 교차가 나타내어지면, 이때 기울기 값(R)과 데드타임(dead time: L) 그리고 수직 축과의 교차점(a)이 결정된다. 이들 값들은 표 1에 적용함으로써 PID 매개변수가 결정된다.

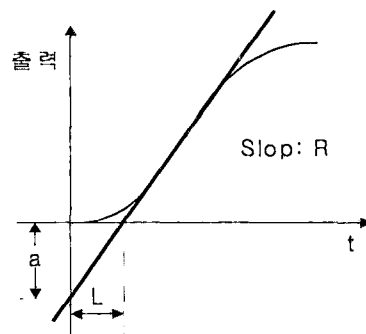


그림 2. 계단응답으로부터 L과 a결정
Fig. 2. Determination of L and a from the step response.

표 1. Ziegler-Nichols 계단 응답으로 얻어지는 PID매개변수
Table. 1. PID parameter obtained from the Ziegler-Nichols step-response method.

제어기의 형태	k	T_i	T_d
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

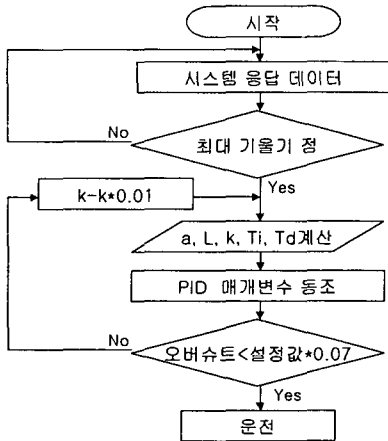


그림 3. 자동동조 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. Flow chart of Auto-Tuning algorithm.

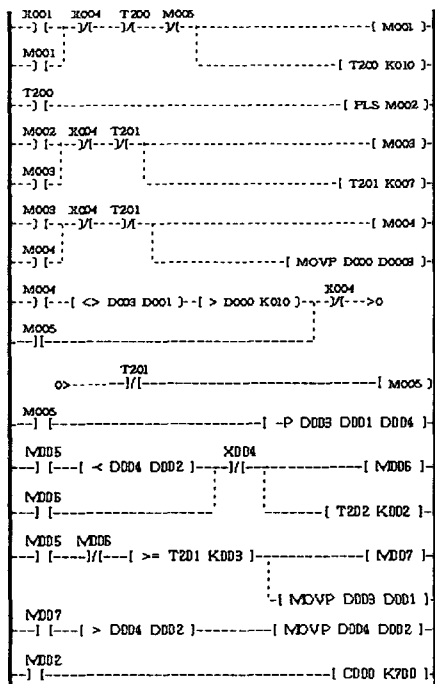


그림 4. 래더도의 예
Fig. 4. Example of ladder diagram.

일반적으로 Ziegler-Nichols 방법에 의해서 결정된 이득을 사용하면 오버슈트가 크고, 감쇠가 적기 때문에 허용 오버슈트 이상이 발생하게 되면 매개변수의 재결정이 필요하다. 이는 k 를 감소시킴으로서 실행될 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 방법을 자동적으로 처리되는 알고리즘을 개발하고, PLC에 의해 구현하였다.

자동동조 알고리즘의 흐름도 및 래더도의 예는 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

4. 실험 및 결과고찰

실험에 사용된 구성도는 그림 5와 같다. 그림 5의 실험장치는 PLC와 D/A, A/D변환기, 인버터, 타코제너레이터, 유도전동기로 구성되었다.

PLC에는 제어알고리즘이 탑재되어있고 인버터는 주파수변화에 의한 전압조절이 수행된다. 제어 대상체인 유도전동기에는 가변시킬 수 있는 부하가 연결되어있고 타코제너레이터에 의해 출력이 측정된다.

정보 획득을 위한 샘플링주기는 0.01초로 선택했으며, 매개변수 재결정은 오버슈트가 7%를 넘는 경우에 사용하였다. 그림 6는 부하에 따른 자동동조 응답곡선을 나타낸 것이다. 부하는 무게 5[kg], 지름 150[mm]인 원반을 사용하였다. 가변부하의 연결은 전동기축과 병렬로 하나의 축을 더 만들어 벨트를 사용하였다. 부하 연결 축에는 원반부하인 1~6개의 부하를 탈 부착할 수 있도록 구성하였다. 그림 6의 (a)와 (b)에서 번호 1은 전동기에 인가되는 전압인 제어입력이고 번호 2는 전동기의 회전수를 나타내는 출력응답곡선이다. 그림 6의 (a)는 부하 2개를 사용했을 때 동조응답곡선으로 전원 투입후 약 0.88초 후

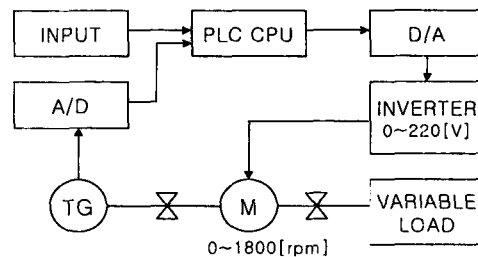
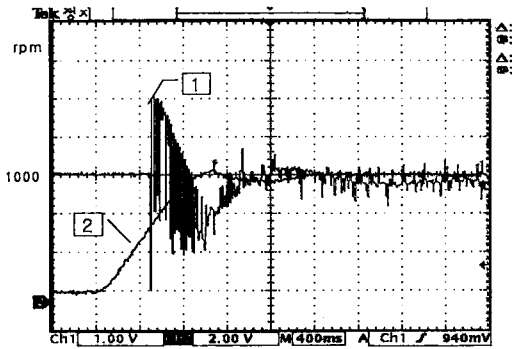
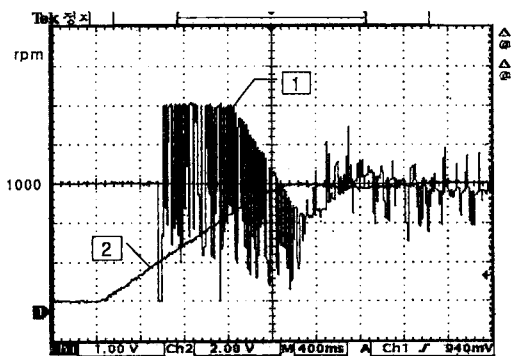


그림 5. 실험장치의 구성도
Fig. 5. A schematic diagram of experimental setup.



(a) 부하 2개에서의 자동동조



(b) 부하 6개에서의 자동동조

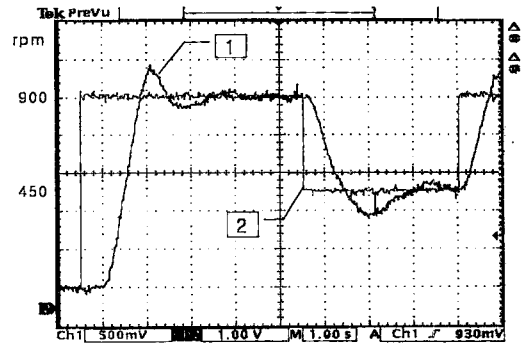
그림 6. 부하의 변화에 따른 자동동조 과정
Fig. 6. Auto tuning process according to load variation.

에 PID매개변수가 동조됨을 보여준다. 약 1.28초 후에 설정값에 도달되며 오버슈트가 약간(약 6%) 발생됨을 볼 수 있다. 자동으로 결정된 매개변수는 $k_p = 375$, $T_i = 4$, $T_d = 10$ 이다.

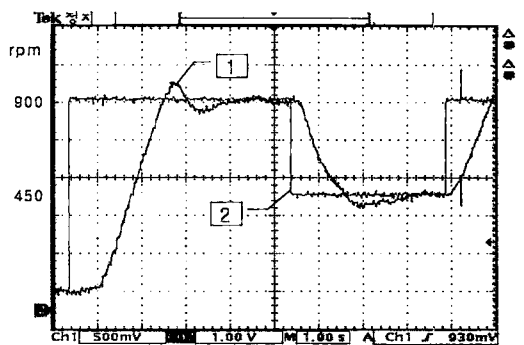
그림 6의 (b)는 부하 6개를 사용한 경우이다. 전원 투입후 약 0.96초 후에 동조되며, 약 2초 후에 설정값에 도달된다. 오버슈트는 발생하지 않고 매개변수는 $k_p = 545$, $T_i = 6$, $T_d = 15$ 가 자동으로 결정되었다.

그림 7은 시스템의 추적 응답곡선으로 PID매개변수가 동조된 상태에서 수행하였다. 그림 7의 (a)와 (b)에서 번호 1은 추적응답곡선이고 번호 2는 전동기의 회전수를 나타내는 원하는 궤적이다.

그림 7의 (a)와 (b)는 부하 2개와 6개에서의 각각의 경우이며, (a)와 (b)는 약 16%의 오버슈트가 발생하며 바로 원하는 궤적에 수렴함을 알 수 있다.



(a) 부하2개에서의 응답곡선



(b) 부하 6개에서의 응답곡선

그림 7. 시스템의 추적응답곡선
Fig. 7. Tracking response of system.

Ziegler-Nichols 방법에 의하면 약간의 오버슈트가 발생하는 것으로 되어있으나 매우 강인성을 가진 것으로 알려져 있다. PID제어기는 현대제어이론의 발달에도 불구하고 많이 사용되고 있으며 원하는 응답을 얻기 위해 많은 시간과 노력이 투자되고 있다.

본 논문에서는 산업설비에 널리 사용되고 있는 PLC에 PID제어기의 자동동조 알고리즘을 탑재함으로써, 단지 응답의 정보에 의하여 자동동조가 수행됨을 보였다.

5. 결 론

산업 현장에서 PLC와 PID제어기는 별도의 설비로서 많은 제어장치에 사용되고 있다.

본 논문에서는 전문가제어 알고리즘을 탑재한 PLC에 의해서 PID제어기가 자동 동조되는 제어기법을 제안하였다. 제안된 방법은 유도전동기의 출력응

가변부하시 전문가 PLC에 의한 유도전동기의 속도제어

답을 정보로 하여 시스템에 적합한 매개변수를 자동으로 결정하고 실시간에 동조시키는 장점을 갖고 있다.

가변부하에서도 특성에 맞는 매개변수의 자동동조가 수행되며 플랜트가 다른 경우에도 유연하게 대처하게 된다. 따라서 제안된 제어기법은 실제 자동화설비에 유용하게 사용될 수 있다.

References

- [1] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum setting for automatic controllers". Trans. ASMC, Vol.64, pp. 759~768, 1942.
- [2] G. E. Coon, "How to find controller setting from process characteristics", control Eng, pp.66~76, 1956.
- [3] K. J. Åström and T. Hagglund, "Automatic tuning of simple regulators for phase and amplitude margins specification", Proceedings of the IFAC workshop on Adaptive Systems in control and signal processing, 1983.
- [4] K. J. Åström and T. Hagglund, "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins", Automatica Vol.20, pp.645~651,

1984.

- [5] K. L. Anderson, "A rule-based adaptive PID controller", IEEE control system magazine, pp.564~569, 1988.
- [6] Z. Y. Zhao, M. Tomizuka and S. Tsaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers". IEEE Trans. Systems, Man, & Cybernetics, vol.23, No.5, pp.1392~1398, 1993.
- [7] K. J. Åström, "Intelligent tuning and adaptive control", 1992, 10, pp.12~14, KACC workshop, Seoul, Korea.
- [8] T. Yamamoto, M. Kaneda and T. Oki, "A self-tuning PID controller fused artificial neural network", proceedings of IFAC 13th Triennial world congress, pp.127~132, 1996.

◇ 저자소개 ◇

박 월 서 (朴 曰 緒)

1953년 5월 1일생. 1982년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수.

오 훈 (吳 勳)

1967년 9월 8일생. 1991년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 원광대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 의산대학 전기과 시간강사.