

# 유도성 부하 네트워크의 기동에 의한 순간전압강하 및 기동전류 감쇄를 위한 제어시스템

## A Control System for Attenuating Voltage-Dip and Inrush Current Caused by Starting of Inductive Load Network

김상곤\*, 최인겸\*\*, 김태곤\*,\*, 서성규\*,\*

Sang-Kon Kim\*, In Kyum Choi\*\*, Taekon Kim\*,\*, Sungkyu Seo\*,\*

### Abstract

We propose a control system consisted of TRIAC PWM module and sequential start control system attenuating voltage-dip and inrush current caused by starting of inductive load network. To minimize the high voltage-dip and inrush current induced from a large capacity inductive load, we developed a TRIAC PWM module. And we also developed a sequential start control system preventing simultaneous starting of the inductive loads within a same power network. According to the experimental results with the proposed control system, the voltage-dip and inrush current could be effectively attenuated such that they can meet the related international standards and resolve the issues associated with simultaneous starting of multiple inductive loads. By employing this system, power cost usually implemented by the estimation of peak power consumption can be reduced and the power quality of a power distribution system connected to the inductive load network can be stabilized efficiently.

### 요 약

유도성 부하 네트워크의 기동에 의한 순간전압강하 및 기동전류 감쇄를 위해, TRIAC PWM 모듈과 순차기동시스템으로 구성된 제어시스템을 제안한다. 에어컨 컴프레서와 같은 대용량 유도성 부하의 기동시 발생하는 높은 순간전압강하와 기동전류를 최소화하기 위해 TRIAC PWM 모듈이 개발되었다. 대용량 유도성 부하 네트워크에서 부하의 동시 기동을 방지하는 순차기동시스템을 설계, 제작하였다. 제안된 제어시스템의 시험결과에 따르면, 본 시스템을 적용한 대용량 유도성 부하의 기동에 따른 배전계통의 순간전압강하 및 기동전류가 관련 국제규격을 효과적으로 만족시킬 수 있으며, 유도성 부하들의 동시 기동 문제 또한 효과적으로 해결할 수 있다. 제안된 시스템을 이용하면 최대전력소모량에 근거하여 부과되는 전력비용을 절감하거나, 유도성 부하 네트워크가 연결된 동일 배전계통의 전력품질 안정화에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

*Key words* : TRIAC PWM, sequential start control, flicker, voltage-dip, inrush current, soft-start

## 1. 서론

최근 들어 흑서기를 중심으로 에어컨, 냉장고 등의 유도성 부하 사용의 급증으로 인해 전력공급에 차질이 발생하는 경우가 종종 발생하고 있다. 이러한 유도성 부하는 통상 기동시 정격 전류의 5~10배 이상의 높은 기동전류를 소모하고, 이는 동일 배전반을 사용하는 전력계통에 순간적인 전압의 강하를 유도하여, 각종 전기, 전자기기의 오작동이나 고장을 초래할 수

\* 고려대학교 전자및정보공학과  
(Electronics and Information Engineering, Korea University)

\*\* 한양대학교 전자컴퓨터공학부  
(Computer Science and Engineering, Hanyang University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment)  
본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20101020300410)

接受日: 2012년 05월 18일, 修正完了日: 2012년 06월 07일

掲載確定日: 2012년 06월 08일

있다 [1][2]. 또한, 유도성 부하의 높은 기동전류는 모터 자체의 파괴 및 배전반에서 변압기의 예비율 저하를 가져오거나, 심할 경우 변압기의 고장사고로 이어질 수 있다 [3]. 이러한 유도성 부하의 기동특성이 전력계통에 미치는 영향을 최소화하기 위해 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission)에서는 1994년 전자기 적합성 표준의 일환으로 IEC 61000-3-3 규격을 제정하여 16A 이하의 정격전류를 가지는 전기, 전자 제품에 대해 순간전압변동 허용치를 제한하기 시작하였다 [4]. IEC 61000-3-3 국제규격은 주로 230V, 50Hz 전기환경의 유럽 국가들에만 적용되어 왔으나(EN 61000-3-3), 유도성 부하들의 기동으로 인한 순간전압변동이 전력계통에 미치는 악영향이 점차 심각해지는 세계적 추세 때문에, 최근에는 중국(GB 17625-2), 일본(C61000-3-3), 호주/뉴질랜드(AS/NZS 61000-3-3), 한국(K 61000-3-3) 등의 세계 여러 나라에서 새로운 전기안전규격으로 채택되고 있다. 호주/뉴질랜드의 경우 순간전압변동 허용치를 제한하는 규격에 부가하여 지역별로 유도성 부하의 기동전류를 45A 이하로 제한하는 등의 전류치 제한도 동시에 실시되고 있다. 이러한 순간전압변동이나 기동전류의 제한은 주로 에어컨, 냉장고, 진공청소기 등의 단상 유도전동기를 사용하는 부하들에서 주로 필요로 하는데, 이를 해결하기 위한 기술적 접근 방법으로는 기동코일에 저항성 부하(저항 혹은 써미스터)를 부하의 기동시에만 부가하여 기동전류 및 전압강하를 감소시키는 기술들이 주로 사용되어 왔다. 저비용의 저항성 부하의 삽입만으로 유도성 부하의 순간전압강하나 기동전류를 어느 정도 완화할 수는 있지만, 부하의 용량이 커짐에 따라 그 완화율이 낮아지며, 저항성 부하의 특성상 높은 발열을 동반하므로 주변 온도가 높은 환경에서 유도성 부하의 연속기동시에는 그 성능의 급격한 저하나 심지어 저항성 부하의 파괴로도 이어져 이상적인 해결책이 되지 못하였다.

그 대안으로 실리콘제어정류기(Silicon Controlled Rectifier, SCR) 혹은 트라이악(TRIAC)과 같은 전력용 반도체 소자를 이용한 펄스폭변조(Pulse Width Modulation, PWM) 기술 또한 유도성 부하의 순간전압강하나 기동전류 감소를 위해 이용되고 있다. 부하의 주파수보다 훨씬 빠른 전자 스위칭 소자를 이용하여 유도성 부하의 기동시 전력공급을 적절히 나누어서 공급(Soft Start)할 수 있게 하는 이 기술은 수동 소자만을 이용하는 저항성 부하의 부가 방식에 비해 환경에 덜 민감하고, 전압과 전류의 위상을 동기화하여 순간전압강하와 기동전류를 효과적으로 감쇄시킬 수 있어 최근 들어 많이 적용되고 있다 [5]-[7]. 그러

나 유도성 부하에 의한 전력사용이 집중되는 시간대나 정전 후 전력의 일시 복귀 등과 같은 특수한 상황의 경우, 펄스폭변조 방식으로 제어된 유도성 부하들이라 할지라도 동시 기동시 배전반에 큰 순간전압강하와 높은 기동전류 상승을 유발할 수밖에 없다.

본 논문에서는 가정용 유도성 부하 중 그 용량이 가장 큰 에어컨 컴프레서의 기동시 발생하는 순간전압강하 및 높은 기동전류 감쇄를 위해 개발된 트라이악을 이용한 펄스폭변조 모듈(이하 'TRIAC PWM 모듈'로 통칭)과 동시다발적인 유도성 부하의 기동을 방지하기 위한 다중 유도성 부하의 순차기동시스템을 소개한다.

## II. TRIAC PWM 모듈을 이용한 에어컨 컴프레서의 기동특성 개선

PWM 기술은 각종 부하로의 전력전달을 위한 공급 전압의 위상을 제어하는 방식으로 이루어진다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 TRIAC PWM 모듈을 개발하여 일반 가정용 전기, 전자기기 중 가장 유도성 용량이 큰 부하 중 하나인 에어컨 컴프레서의 기동특성을 개선하고자 하였다. 통상적으로 유도성 부하가 교류전원에 연결될 때에는 서지전류(Surge Current) 혹은 기동전류(Inrush Current)가 발생한다. 정상적인 유도성 부하의 운전 상태에서는 유도성 부하에 연결된 전원의 전압과 전류의 위상차이가  $90^\circ$ 를 이루게 되고, 이는 유도부하의 순간자속 변화율이 순간전압강하와 동시에 일어남으로 서지전류나 기동전류(향후 기동전류로 통칭함)를 동반하지 않는다. 하지만, 유도성 부하에 전원이 연결되지 않은 상태에서 급작스러운 전압변동이 발생하면 전압과 전류의 위상이 일치하게 됨으로써 부하 내 자속의 변화율이 순간적으로 커지게 되고 이는 곧 기동전류의 급상승으로 이어진다.

그림 2는 에어컨 컴프레서의 기동 시 주요일의 전압변동을 측정된 결과인데, 보인바와 같이 위상을 제

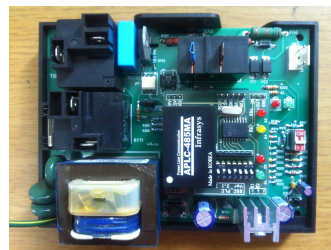


Fig. 1. Fabricated TRIAC PWM module for air-conditioner compressor

그림 1. 제작된 에어컨 컴프레서용 TRIAC PWM 모듈

어하지 않은 유도성 부하의 경우 공급된 교류 전압의 상단에서 유도성 부하의 작동이 시작되므로, 상대적으로 큰 순간전압강하를 유발하게 된다.

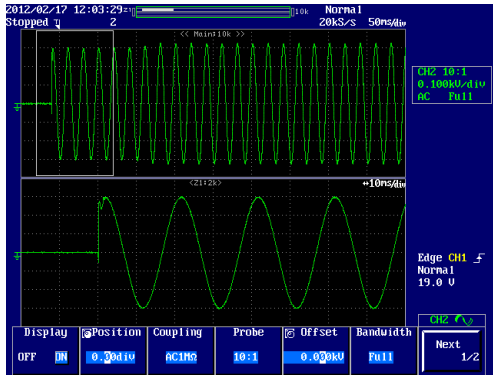


Fig. 2. Voltage phase of rotor coil at starting point of air-conditioner compressor  
 그림 2. 에어컨 컴프레서 기동 시 주코일의 전압위상

이에 반해, PWM 기술을 적용한 경우, 전력전달을 위한 공급전압의 위상을 영점에서부터 시작하도록 제어할 수 있고, 초기 기동전류 발생구간의 전압 공급을 점진적으로 증가시킬 수 있어 순간전압강하나 기동전류의 발생을 최소화한 부드러운 기동(Soft start)이 가능해진다. 그림 3은 TRIAC PWM 모듈을 적용한 정격소비전력 3kW급의 에어컨 컴프레서(WHS-302BD, 만도위니아(주))의 기동 시 주코일의 전압변

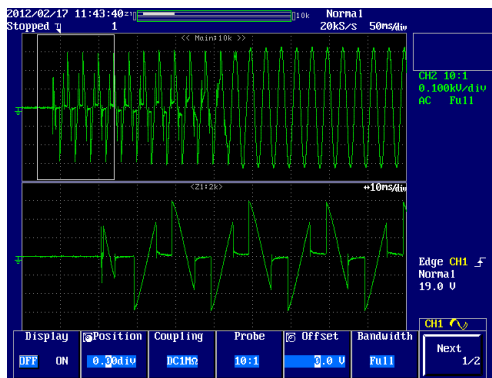


Fig. 3. Voltage phase of rotor coil at starting point of air-conditioner compressor equipped with TRIAC PWM module  
 그림 3. TRIAC PWM 모듈을 장착한 에어컨 컴프레서의 기동시 주코일의 전압위상  
 동을 측정된 결과로 유도성 부하의 기동을 위한 전압 위상이 영점교차(Zero Cross)될 뿐 아니라 기동전류 발생구간의 전압 공급이 PWM 방식으로 적절히 제어

되고 있음을 보여준다.

### III. 다중 유도성 부하의 순차기동시스템

2장에서 개발된 TRIAC PWM 기술로 개별 유도성 부하의 순간전압강하 및 기동전류상승을 가능한 한 감소시켰다하더라도, 주어진 동작환경에서 다수의 유도성부하기기가 동시에 기동되는 경우, 해당 배전반에서 요구되는 합산된 기동전류가 급증하여 전력시스템을 불안하게 만드는 요인이 된다. 본 장에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 주어진 환경에 속하는 유도성부하기기의 기동을 통신네트워크를 이용하여 제어함으로써 동시에 기동되지 않도록 순차기동시스템을 설계/구현/검증한 기술에 대해 자세히 알아본다.

다수의 유도성부하기기를 순차적으로 기동되도록 제어하기 위해, 중앙 제어방식을 채택하여 주제어기기를 중심으로 관리 구역 내부의 종속제어기(유도성부하기기 내부에 설치된 제어기)가 상호간의 통신을 이용하여 기동될 수 있도록 하였다. 이를 통하여 다수의 유도성부하기기가 기동하는 것을 방지함으로써, 보다 효율적으로 전력 품질을 향상시키고, 최대전력 요구량을 감소시켜 에너지 절감 및 전력망의 안전성을 확보할 수 있는 기술로 구현하고자 했다.

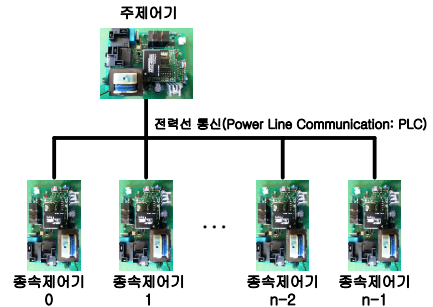


Fig. 4. Network structure of sequential start control system  
 그림 4. 순차기동시스템의 네트워크 구성도

관리되는 유도성부하기기를 통신망을 이용하여 순차적으로 제어하기 위해, 유·무선 랜(LAN), 여러 가지 형태의 직렬통신 등 다양한 형태의 통신방식을 통신거리, 통신적용 비용, 통신 장비 및 선로 설비의 추가 유무, 유도성부하기기의 구성 환경 등을 고려하여 검토한 결과, 전력선 통신이 가장 적합한 것으로 판단되어 전력선 통신 방식을 적용하였다. 전력선 통신을 기반으로 그림 4에 나타난 것과 같이, 주제어기를 중심으로 종속제어기기가 버스 형태의 네트워크 구성을 갖도록 설계하였다. 순차제어 네트워크는 내부의

제어기 역할을 담당할 주제어기(Master) 한 개와 다수의 유도성부하기기의 기동을 제어할 종속제어기(Slave)들로 구성된다.

순차기동 알고리즘은 통신 분야에서의 매체 액세스 제어(Media Access Control, MAC) 기술 중 시분할 다중 접속(Time Division Multiple Access, TDMA) 방식을 응용하여 적용함으로써 기동부하가 집중되었을 경우, 요청 메시지가 전력선 통신상에서 충돌(Collision)하여 모든 종속제어기기가 기동되지 못하는 문제점을 해결할 수 있도록 하였다. 순차기동은 기본적으로 기동을 원하는 유도성부하기기 내부에 설치된 종속제어기기가 주제어기로 기동하기를 원한다는 요청(Request) 메시지를 보내고 그에 상응하는 응답(Reply) 메시지를 주제어기로부터 수신했을 경우에만 한하여 기동하도록 설계하였다.

매체 액세스 제어기술을 응용한 순차기동 알고리즘은 그림 5와 같이 시분할 다중 접속방식을 적용한 것으로 각 종속제어기기에 할당된 기기 고유의 식별번호를 이용해 충돌이 발생하지 않도록 설계되었다.

순차기동 기술은 앞서 언급한 것과 같이 시분할 다중 접속방식을 적용한 것으로 주제어기가 발생시키는 동기지표신호를 중심으로 종속제어기들이 자신에게 할당된 시간대에 기동요청을 하고 그에 상응하는 응답신호를 받아 순차적으로 기동한다.

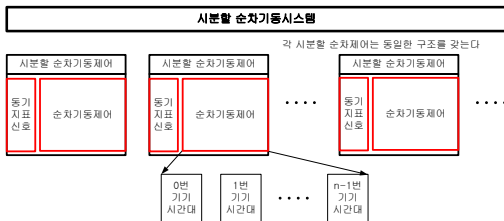


Fig. 5. Sequential start control protocol

그림 5 순차기동제어 프로토콜

주제어기는 순차기동시스템의 네트워크 내부에 존재할 수 있는 최대 종속제어기의 수에 의해 결정되는 주기로 동기지표신호를 모든 종속제어기에 전송하여, 순차제어네트워크 내부의 모든 기기들이 동기에 맞춰 동작하도록 한다. 모든 종속제어기기는 내부에 설정된 식별자 번호에 의해 우선순위가 정해지며(그림 5)의 하단에 나타난 시간대중 자신의 식별자번호에 해당하는 순서의 시간대에서만 기동요청을 할 수 있다. 따라서 동시에 여러 대의 유도부하성기기가 기동을 하려 할 때 순차기동이 가능한 것이다. 시간대에 대한 보다 자세한 프로토콜 구성은 그림 6과 같다.

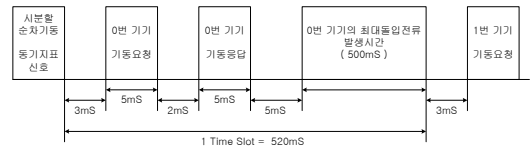


Fig. 6. Composition of sequential start control based on time-division

그림 6. 시분할 순차기동제어의 시간대 프로토콜 구성

순차기동시스템의 네트워크 내부에 존재하는 종속제어기기는 기동하려 할 때, 상기의 시분할 순차기동 제어 프로토콜을 통해 기동하여야 하며, 반드시 기기 고유의 식별번호에 맞춰 기동하도록 설계하였다.

#### IV. 시스템의 구현 및 분석

본 장에서는 앞서 언급한 TRIAC PWM 모듈을 이용한 순간전압강하 및 기동전류 감쇄기술 그리고 동시기동방지를 위한 순차기동제어 기술을 구현하여 검증하고 분석한 과정과 그 결과에 대해 서술한다.

##### 4.1 TRIAC PWM 모듈을 이용한 에어컨 컴프레서의 순간전압강하 및 기동전류 감쇄

그림 7은 TRIAC PWM 모듈이 적용되지 않은 경우, 에어컨 컴프레서의 기동전류 특성을 보인 것으로 표 1에 나타난 일반부하의 실효치 기동전류인 88.99 Arms보다 큰 첨두치를 확인할 수 있으며 국제규격을 만족시키지 못한다. 그러나 TRIAC PWM 모듈을 적용한 경우, 그림 8과 표 1에 나타난 것과 같이 실효치 기동전류(37.46 Arms) 및 첨두치가 감쇄되고 부드러운 기동이 이뤄졌음을 확인할 수 있다. 과형 분할 제어를 위한 전력용 반도체 소자는 정격전류 41 Arms를 가지는 STMicroelectronics사의 TRIAC (Model BTA41)을 사용하였다.

이와 더불어 표 1에 나타난 시험결과에 따르면 플리커 순간전압강하와 연관된 플리커 시험 항목인 P<sub>st</sub> (단기 플리커 값, short term flicker value), D<sub>c</sub>(상대 정상상태 전압변동, relative steady-state voltage change), D<sub>max</sub>(최대상대 전압변동, maximum relative voltage change) 및 D(t)(500ms 이상 구간에 대한 순간 전압변동, instant voltage change for more than 500ms)순간 모든 항목에 대해 충분한 예비율을 가지며 국제규격을 만족시킴을 확인할 수 있다. 표 1의 플리커(Flicker) 항목인 국제규격(IEC 61000-3-3)의 시험을 위해서는 Voltech사의 PM3000A라는 범용 전력 분석기 및 IEC Standard 555라는 기준 임피던스

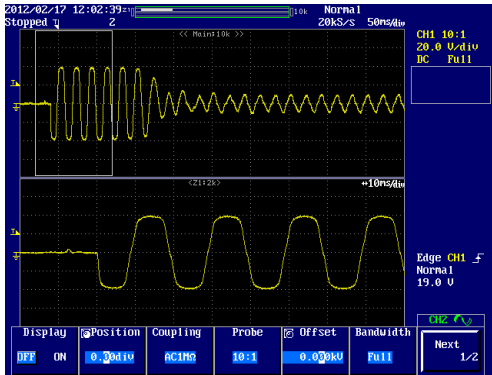


Fig. 7. Inrush current characteristics of air-conditioner compressor  
 그림 7. 에어컨 컴프레서의 기동전류 특성

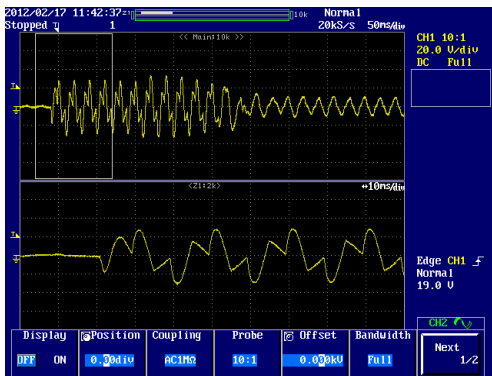


Fig. 8. Inrush current characteristics of air-conditioner compressor equipped with TRIAC PWM module  
 그림 8. TRIAC PWM 모듈을 장착한 에어컨 컴프레서의 기동전류 특성

Table 1. Inrush current and flicker test result comparison between normal air-conditioner load (w/o TRIAC PWM) and TRIAC PWM controlled air-conditioner load (w/ TRIAC PWM)  
 표 1. 일반 에어컨 부하와 TRIAC PWM 모듈을 장착한 에어컨 부하(w/HS-302BD, 만도위니아(주))의 기동전류 및 플리커 항목 시험결과 비교

Test Item	Normal Load	TRIAC PWM	Limit
Inrush Current	88.99 A <sub>rms</sub>	37.46 A <sub>rms</sub>	45.0 A <sub>rms</sub>
Flicker	P <sub>st</sub>	2.391	1.0
	D <sub>c</sub>	3.085 %	3.3 %
	D <sub>max</sub>	14.698 %	6.0 %
	D(t)	190 ms	500 ms

네트워크를 이용하였고, 순간전압 강하 및 기동전류를 측정하기 위해서는 Tektronix사의 A621 교류 전류 프로브와 연결된 Yokogawa사의 DL1740 디지털 오실로스코프가 사용되었다.

이상의 시험결과를 요약하자면, 본 논문에서 개발된 TRIAC PWM 모듈을 적용할 경우, 유도성 부하의 기동시 발생하는 순간전압강하 및 기동전류를 국제규격 미만으로 효과적으로 감쇄시킬 수 있음이 기동전류 및 플리커 국제규격 측정결과를 통하여 검증되었다.

## 4.2 순차기동제어

순차기동시스템을 실제로 적용할 수 있는 환경은 단일 냉난방 공조시스템이 적용되는 대형건물이 아니라, 각각의 임대사무실에 개별적인 냉난방시스템이 적용되는 소형 사무용건물 또는 아파트형 공장단지를 대상으로 대규모의 제어시스템이 적용되지 않는 환경을 가정하였다. 본 논문에서 제안된 순차기동네트워크는 하나의 주제어기에 최대 1,024개의 유도성부하기기를 설치 가능하도록 하였으나, 실제 환경에 맞춰 변경 설정이 가능하도록 설계하였다. 중속 부하들을 제어하기 위한 전력선 통신을 위해서 9,600bps 통신속도를 가지는 Infrasyss사의 APLC-485MA 전력선 통신 모듈을 선택하여 저속도 통신환경에서도 순차기동제어기술을 적용 가능함을 확인하도록 하였다.

순차제어기술은 실제의 제품 환경에 맞춰 8-bit 프로세서가 적용된 마이크로컨트롤러를 이용하여 구현하였으며 재원 및 통신환경은 아래와 같다.

- 20MHz System Clock
- 1024 bytes SRAM
- 256 bytes Data EEPROM
- 14Kbytes Program Memory
- 4 8-bit Timers & 1 16-bit Timer
- 1 UART
- 16 GPIOs
- Bus type 9600bps 전력선 통신

순차기동시스템은 주제어기와 중속제어기로 나누어 구현되었으며, 중속제어기는 각각의 고유한 식별번호를 설정할 수 있도록 설계되었다.

### 4.2.1 주제어기

순차기동시스템 내에 n개의 중속제어기기가 존재하는 경우에 대한 주제어기의 동작순서도는 그림 9와 같다. 주제어기의 가장 중요한 역할은 네트워크 내부의 모든 중속제어기기에 대한 동기화를 수행하고 기동요청에 응답하는 것으로 정해진 시간에 맞춰 동기 지표신호를 전송해야 한다.

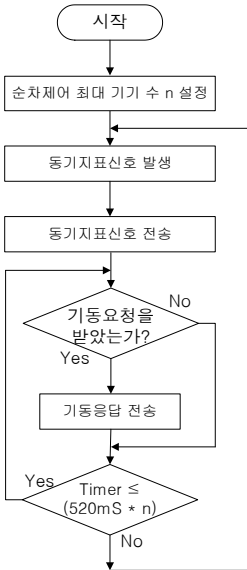


Fig. 9. Operation flow-chart of master controller  
 그림 9. 주제어기의 동작순서도

주제어기는 우선 제어해야 할 종속제어기의 수를 설정하고 순차기동제어를 위한 동기지표신호를 발생시켜 전송한다. 동기지표신호를 수신한 종속제어기는 자신의 고유한 식별번호에 의해 할당된 시간대에서만 기동요청 동작을 할 수 있다. 주제어기는 종속제어기로부터의 기동요청신호를 수신했을 때, 그에 상응하는 응답신호를 전송한다. 네트워크 내의 종속제어기 수만큼의 시간대가 지난 후, 주제어기는 다시 동기지표신호를 발생시켜 전송한다.

4.2.2 종속제어기

순차기동시스템 내에 존재하는 종속제어기에 대한 동작순서도는 그림 10과 같다. 종속제어기는 전원인가 후 초기화 과정에서 설정된 고유한 식별번호를 인식하여 저장하고 기타 필요한 변수들을 초기화 한다. 종속제어기의 동작은 주제어기로부터의 동기지표신호에 맞춰 시작된다.

동기지표신호 수신 후, 식별번호에 의해 할당된 자신의 시간대가 될 때까지 대기하고 있다가 자신의 시간대에 기동신호 입력이 활성화된 경우, 기동요청신호를 주제어기로 전송한다. 일정시간(본 연구의 경우, 10ms로 설정) 내에 주제어기로부터 상응하는 응답신호를 수신한 경우 기동신호를 출력하여 기동동작을 한다. 그렇지 않은 경우, 상기의 동작을 다음의 동기지표신호 구간에 반복하여 수행한다.

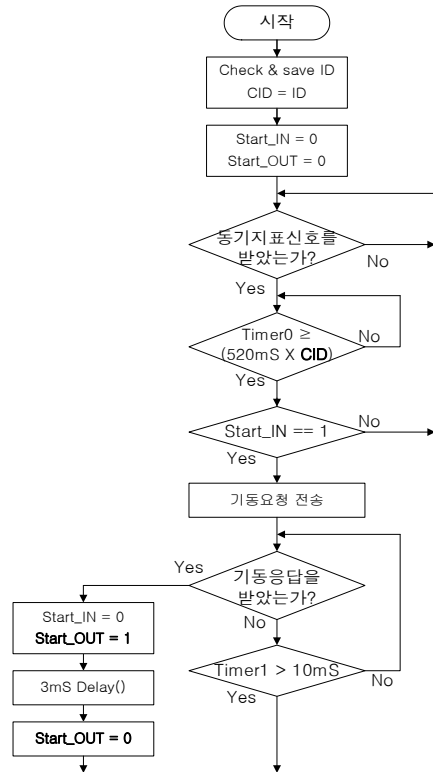


Fig. 10. Operation flow-chart of slave controller  
 그림 10. 종속제어기의 동작순서도

본 논문의 순차기동시스템은 시분할 다중 접속방식의 매체 액세스 제어기술을 응용하여 동시기동이 발생하지 않도록 설계하였다. 실제의 동작 환경에 맞춰 구현하고 검증한 결과에 따르면 순차기동시스템내의 모든 종속제어기에 유일무이한 식별번호를 할당하여 종속제어기는 자신만의 기동 시간대에 모두 정상적으로 기동하였으며, 동시기동은 발생하지 않음을 확인하였다.

V 결론

본 논문에서는 배전반 내에서 네트워크를 형성하는 유도성 부하 사용의 증가로 야기되는 순간전압강하 및 기동전류의 급상승 문제를 최소화하기 위해, TRIAC을 이용한 PWM 기술을 적용하여 부드러운 기동이 가능하도록 TRIAC PWM 모듈을 설계/구현하였다. 실제 에어컨 부하에 적용한 기동전류 특성 및 플리커 항목 시험에서, 제안된 TRIAC PWM 모듈이 국제규격(IEC 61000-3-3)을 만족하도록 효과적으



로 순간전압강하와 기동전류를 감쇄시킴을 검증하였다. 또한 유도성 부하 네트워크 내에서 여러 개의 유도성부하가 동시에 기동되는 문제를 해결하기 위해 순차기동시스템을 설계/구현하여 각각의 유도성 부하가 주제어기의 동기지표신호에 맞춰 자신의 시간대에 다른 유도성 부하와 동시에 기동되지 않음을 검증하였다. 제안된 TRIAC PWM 모듈과 순차제어기술을 활용하게 되면 순간전압강하와 기동전류를 크게 감쇄시킬 뿐만 아니라, 유도성 부하들의 동시 기동 문제 또한 효과적으로 해결할 수 있으므로, 최대전력소모량에 근거하여 부과되는 전력비용을 절감하거나, 유도성 부하 네트워크가 연결된 동일 배전계통의 전력 품질 안정화에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] 신대철외 1인, "SCR을 이용한 단상유도전동기의 Soft Starting에 관한 연구", 문교부 학술연구 논문집, pp. 235-249, 1982.
- [2] H. Rehaoulia and M. Polouiadoff, "Transient behavior of the resultant airgan field during run-up of an induction motor," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. EC-1, pp. 92-98, Dec 1986.
- [3] A. H. Bonnett and G. C. Soukup, "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, no. 4, pp. 921-937, Jul./Aug. 1992.
- [4] International Electrotechnical Commission, Electromagnetic compatibility - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuation and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16A$ , IEC 61000-3-3, 1994.
- [5] F. Blaabjerg, J. K. Pedersen, S. Rise, H. H. Hansen, and A. M. Tzynadlowski, "Can soft-starters help save energy?," IEEE Industry Applications Magazine, vol. 3, no. 5, pp. 56-66, Sept./Oct. 1997.
- [6] G. Zenginobuz, I. Cadirci, M. Ermis, and C. Barlak, "Performance optimization of induction motors during voltage-controlled soft starting," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, no. 2, pp. 278-288, Jun. 2004.
- [7] M. G. Solveson, B. Mirafzal, and N. A. O. Demerdash, "Soft-started induction motor modeling and heating issues for different starting profiles using a flux linkage ABC frame of reference," IEEE Transactions on Industry

Applications, vol. 42, no. 4, pp. 973-982, Jul./Aug. 2006.

### 저 자 소 개

#### 김 상 곤 (비회원)



2008년 : 서울대학교  
전기컴퓨터공학과 (공학박사)  
1996년~2000년 : 삼성전자(주)  
기업네트워크 응용시스템개발  
2008년 9월~현재 : 고려대학교  
전자및정보공학과 외래교수  
<주관심분야> 유·무선 통신네트워크  
및 보안, 유헬스 지능형분산제어시스템

#### 최 인 겸 (비회원)



2009년 3월~현재 : 한양대학교  
전자컴퓨터공학부 (학사과정)  
<주관심분야> 컴퓨터 소프트웨어  
및 하드웨어

#### 김 태 곤 (정회원)



2001년 : Pennsylvania 주립대학  
전자공학 (공학박사)  
2001년~2002년 : Intel Corp.  
2003년~2004년 : 삼성전자(주)  
디지털미디어 연구소  
2005년~현재 : 고려대학교  
전자및정보공학과 부교수  
<주관심분야> 영상 및 통신 신호처리, 통신네트워크

#### 서 성 규 (정회원)



1998년 : 고려대학교 전기공학과  
(공학사)  
2007년 : Texas A&M University  
전기컴퓨터공학과 (공학박사)  
2009년 : University of California,  
Los Angeles 전기공학과 (박사 후  
연구원)  
2009년 9월~현재 : 고려대학교 전자및정보공학과 조교수  
<주관심분야> 전력전자, 센서네트워크, 포토닉스