

제주공항 항공등화 제어시스템의 고효율 운전대책

이길수* · 김일환**

High efficiency operating scheme of a aeronautical ground lighting control system at Jeju Airport

Gil-Soo Lee* and Eel-Hwan Kim**

ABSTRACT

This paper presents the new control method of aeronautical ground lighting control system at Jeju airport. In the computer simulation, it is shown how to make a design for high efficiency aeronautical ground lighting control system using PWM inverter and active power filter with PI control. To verify the theoretical analysis, the conventional aero lighting control system using SCR and the proposed control system are built. Results of computer simulation are presented to support discussion.

Key words : PWM inverter, active power filter, SCR

1. 서론

현대산업사회에서 다이오드나 SCR을 사용한 전력용기와 같은 비선형부하의 사용이 크게 증가하여 이들 부하로부터 발생하는 고조파 성분 전류가 전원계통에 유입되어 전원전압의 왜곡과 통신상의 장애 등 동일계통내로의 다른 부하기에 악영향을 초래하고 있다¹⁾.

특히 공항의 항공등화 제어시스템인 SCR형(Silicon controlled rectifier type) CCR(Constant current regulator: 정전류조정기)은 직렬회로인 비행장 조명

장치에 여러 가지 광도로 전원을 공급할 목적으로 기준 명령값에 대해 -5%, +10%의 전압변화에 의해 3단계 또는 5단계 조도로 설계되었다²⁾.

이와같이 대용량 단일기기에 의한 전원의 오염은 더욱 심각하며, 감사원 감사결과에서도 항공등화시설의 전원공급용으로 사용하는 정전류조정기는 실리콘 정류소자(SCR)을 사용하는 전압 위상제어방식을 점호각에 따라 역률이 크게 변하여 장기적으로는 역율이 좋은(IGBT) 펄스폭 변조 제어방식을 개발하여 교체하는 방안을 강구토록 지적한 바 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 종래에는 진상용 콘덴서, LC수동 필터, 사이리스터 스위치를 사용한 보상장치등이 사용되어왔다. 그러나 이러한 장치들은 전력계통의 변동에 효율적으로 동작하지 못하고 제어응답 속도가 느리며 보상의 정밀도가 떨어져 새로운 안정된 제어시스템이 요구된다. 최근에는 전력용 반도체 소자의

* 제주대학교 산업대학원

Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기공학과, 산업기술연구소

Faculty of Electrical & Electronic Eng., Res. Insti. Ind. Tech.,
Cheju Nat'l Univ.

발달과 전력변환 장치 제어기법의 개선으로 인하여 전원주파수 및 부하변동시에도 효과적으로 동작할 수 있는 전력용 능동필터 시스템이 연구되고 있다³⁾.

따라서 본 논문에서는 기존에 사용되었던 사이리스터의 위상제어방식 대신에 PWM인버터 및 능동전력 필터를 도입하여 항공등화의 역률을 개선하고 발생하는 고조파를 억제함으로써 고효율 운전대책을 제안하고, Psim프로그램을 이용하여 기존의 제어시스템과 제안한 제어시스템의 성능을 비교 분석하여 알고리즘의 타당성을 입증하고자 한다.

II. 제주공항 항공등화의 위상제어 시스템

제주공항내의 활주로등, 유도지시등은 Fig. 1과 같은 시스템을 이용하고 있다.

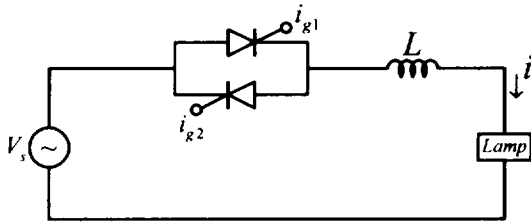


Fig. 1 SCR phase control system

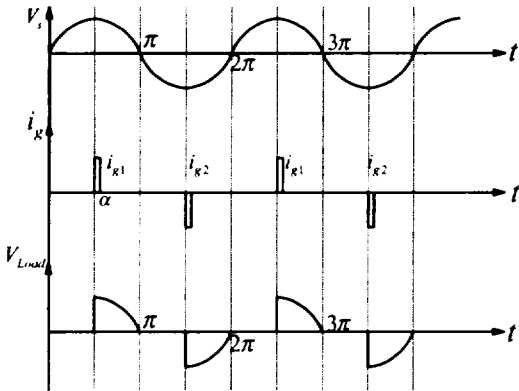


Fig. 2 Waveform of AC phase control

비행장 기상조건에 따라 항공등화의 조도를 일정하게 변화시키기 위해서는 부하에 흐르는 전류를 일정

하게 제어하여야 한다. 기존 제주공항의 시스템에서는 사이리스터의 점호각을 제어하여 리액터에 흐르는 전류를 제어함으로써 항공등의 조도를 제어하여 왔다. 이 때 조도는 점호각이 크면 조도가 작아지고 점호각이 0에 가까우면 커진다. 만약 리액터의 용량이 램프저항보다 훨씬 적다고 가정하여 임의의 점호각 α 에 대한 부하전압을 나타내면 Fig. 2와 같다.

여기서 V_s 는 전원 전압, i_g 는 사이리스터의 게이트 전류, 그리고 V_{Load} 는 부하전압이다.

Fig 2에서 나타난 부하전압을 보면, 완전한 왜형파를 나타내고 있다. 여기서 전원전압 $V_s = \sqrt{2} V_{rms} \sin \theta$ 이고 점호각이 α 일 때, 출력 전압의 반파 평균값 V_a , 실효치값 V_r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_{rms} \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (1)$$

$$V_r = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi} (\sqrt{2} V_{rms} \sin \theta)^2 d\theta} = \sqrt{2} V_{rms} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (\pi - \alpha) + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right\}} \quad (2)$$

또 이때의 부하전력은 식 (2)에 의해 다음과 같이 된다.

$$P = \frac{V_r^2}{R} = \frac{2 V_{rms}^2}{R} \left[\frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (\pi - \alpha) + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right\} \right] \quad (3)$$

부하에 흐르는 평균전류 i_a 와 실효치전류 i_r 은 다음과 같다.

$$i_a = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2} V_{rms} \sin \theta}{R} d\theta = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{2\pi R} (1 + \cos \alpha) \quad (4)$$

$$i_r = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \left(\frac{\sqrt{2} V_{rms} \sin \theta}{R} \right)^2 d\theta}$$

$$= \frac{V_{rms}}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (\pi - \alpha) + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right\}} \quad (5)$$

따라서, 회로의 역률은 다음과 같은 정의에 의해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P \cdot f = \frac{\text{유효전력}}{\text{피상전력}} = \frac{P}{V_r I_r} \\ = \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{\pi} \right) + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

식 (6)에서 나타난 바와 같이 α 값이 0이면 역률은 1이지만 α 값이 커지면 커질수록 역률이 나빠짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 위상제어 방식에 있어 교류 전류에 포함되어 있는 고조파가 문제가 된다. 만약 +, - 양파의 제어각 α 에서 불평형은 없다고 하면 교류 전류에 포함된 각 고조파는 다음과 같이 된다.

부하에 흐르는 전류 i 는 푸리에 급수를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\theta \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_{Load} \cos n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i_{Load} \cos n\theta d\theta \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i \sin n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i \sin n\theta d\theta \end{aligned} \quad (8)$$

n 차 고조파의 실효값은 다음과 같다.

$$i_{nr} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (9)$$

저항 부하에서 i 는 다음과 같이 된다.

$$i = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{R} \sin \theta, \quad \alpha < 0 < \pi \quad (10)$$

이것을 식 (8)에 대입하면 다음과 같이 표시된다.

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{R} \sin \theta \cos n\theta d\theta \quad (11)$$

$$b_n = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{R} \sin \theta \sin n\theta d\theta \quad (12)$$

그러므로,

$$a_n = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{\pi R} \left\{ \frac{\cos(n+1)\alpha - \cos(n+1)\pi}{n+1} - \frac{\cos(n-1)\alpha - \cos(n-1)\pi}{n-1} \right\} \quad (13)$$

$$b_n = \frac{\sqrt{2} V_{rms}}{\pi R} \left\{ \frac{\sin(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\sin(n-1)\alpha}{n-1} \right\} \quad (14)$$

$\langle n \neq 1 \rangle$

식 (13)과 식 (14)를 보면 $n \neq 1$ 을 제외한 홀수값에 대해서 b_n 은 0이므로 a_n 값만을 가져 기수차 고조파분이 포함되어 있음을 알 수 있다. 이것은 전자유도 장애의 원인이 되어 공향내 통신에 큰 문제를 야기시킬 수도 있다.

III. 제안된 항공등화 제어 시스템

기존에 제주공항에 사용되고 있는 항공등화 제어 시스템은 사이리스터를 이용한 위상제어 시스템이기 때문에 부하에 나타난 전류 성분에는 많은 고조파 성분을 내포하고 있다. 이러한 고조파 성분을 제거하기 위해서 최근 능동전력 필터(APF : Active Power Filter)가 많이 사용되고 있다. 능동전력 필터의 원리는 Fig. 3에 간단하게 나타나 있다.

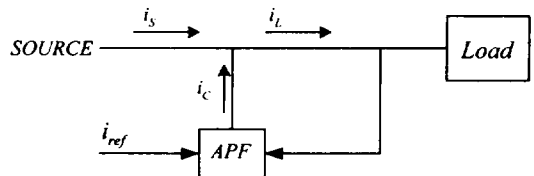


Fig. 3 Active power filter

Fig. 3은 전류주입식 병렬형 능동전력필터 시스템

의 구성을 보여주고 있다. 전체시스템은 제어부와 전력회로로 나뉘어진다. 제어부는 부하전류에서 기본파 성분과 고조파 성분을 분리. 능동필터가 계통에 주입해야 할 보상기준전류를 검출해내는 기능을 하는 보상전류 검출부와 검출된 전류의 파형을 PWM컨버터를 통해 근사적으로 구현하기 위한 전류제어부로 나뉘어진다. 전력회로는 전력용 반도체 스위칭 소자로 구성되는 인버터와 유사한 구조를 지니고 있으며 PWM으로 동작. 전류제어기의 지시에 따라 필요한 전류를 만들어 낸다. 만일 i_L 이 구형파의 형태를 지니고 있다면 이는 정현파의 기본파성분과 이 성분을 제외한 나머지 고조파 성분의 합으로 구성된다. 따라서 능동필터의 고조파 보상전류 i_c 를 부하전류의 고조파 성분과 일치하게 제어하면 전원전류 i_s 에는 기본파 성분만 남게된다. 즉 능동형 전력필터는 고조파 전류주입에 의해 부하의 고조파전류를 전원 대신 부담하는 역할을 수행한다.

이를 이용하여 제안한 새로운 제주공항 항공등화 제어 시스템의 블록선도는 다음과 같다.

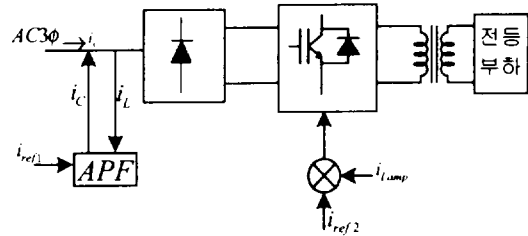


Fig. 4 Block diagram of the proposed control system

Fig. 4에서 전등부하에 인가되는 전원의 주파수는 60Hz이고, 전류의 크기에 따라 전등부하의 조도가 달라진다. IGBT 소자를 이용한 단상 인버터를 사용하여 전류 제어나 주파수 제어를 행하면 전등의 조도를 제어할 수 있다. 이때 인버터 전원이 직류를 필요로 하기 때문에 다이오드를 이용한 전파정류회로가 구성

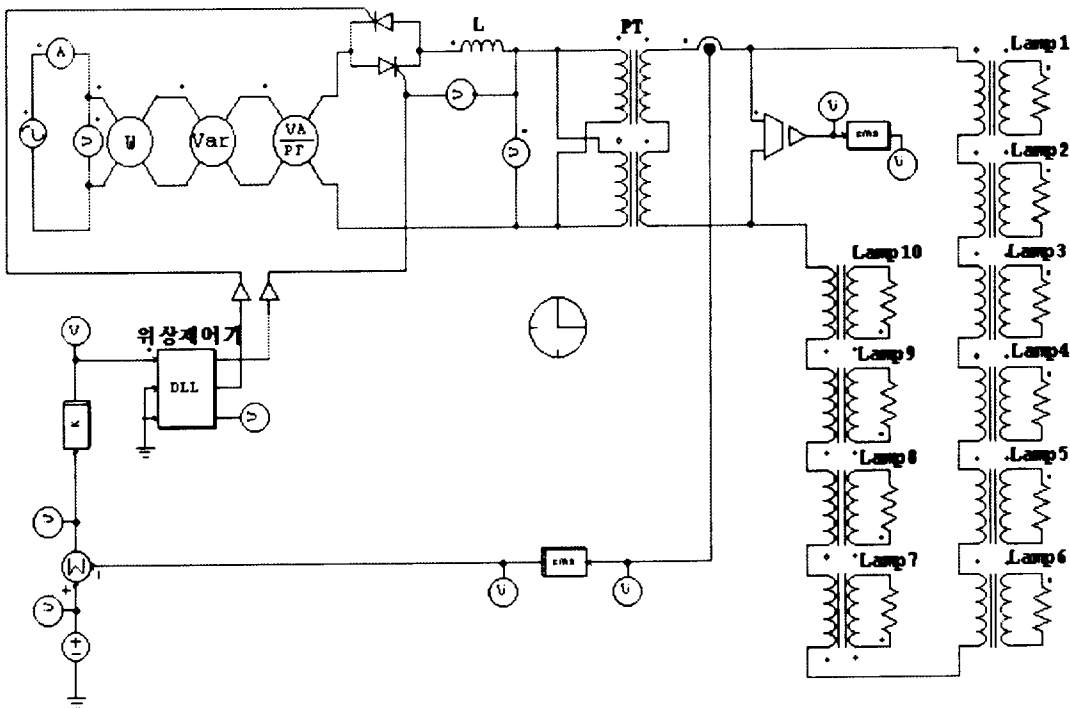


Fig. 5 Conventional aeronautical ground lighting control system

된다. 이것은 전원에서 입력되는 전류는 왜형파가 되어 고조파를 포함하고 있다.

이 고조파 성분을 능동전력필터를 이용하여 제거하면 전원전류가 정현파가 되고 역률이 개선이 되어 우수한 항공동화 제어 시스템으로 역할을 할 수 있다.

IV. 컴퓨터 해석

먼저 사이리스터를 이용하여 위상제어를 하고 있는 기존 제주공항 항공동화 제어 시스템을 해석하기 위해 Fig. 5와 같은 제어 시스템을 구성하였다. 해석을 위해 Psim 프로그램을 사용하였으며 나타난 결과들은 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6에서 항공동의 조도를 제어하기 위해 입력 전류의 명령 기준값 2.8[A]를 인가하였을 때 부하에 흐르는 전류가 잘 추종하고 있으며 부하에 흐르는 전류 파형을 보면 전류 명령값에 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 또한 유효전력과 무효전력 그리고 역률의 변화를 보면, 점호각이 크면 클수록 식(6)과 Fig. 7에서 알 수 있듯이 역률이 나빠짐을 알 수 있다. 그리고 부하전류에 대한 고조파 분석을 해보면 Fig. 8과 같이 많은 고조파가 발생되고 있음을 알 수 있다. 이는 통신유도장해를

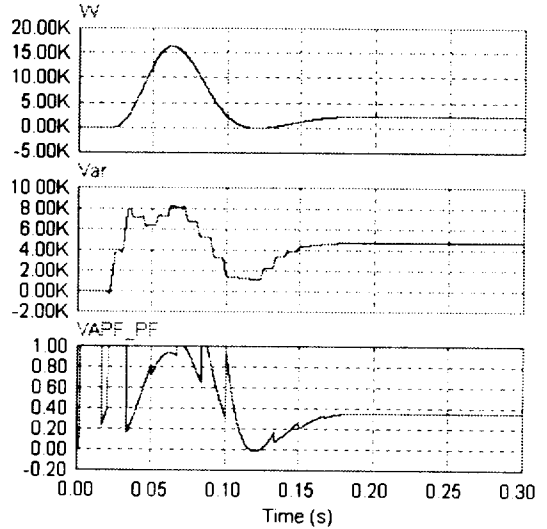


Fig. 7 Simulation results of active and reactive power with SCR phase control system

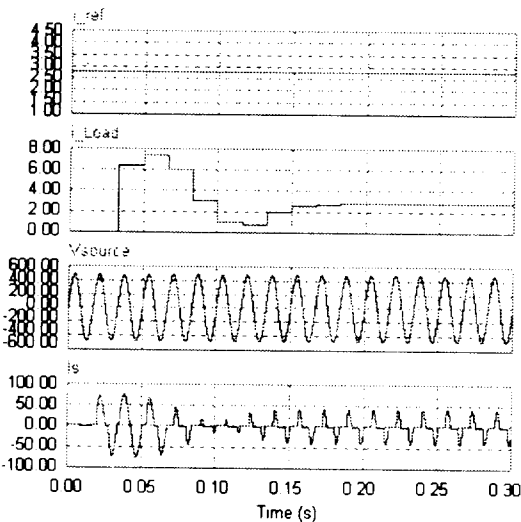


Fig. 6 Simulation results of load current with SCR phase control system

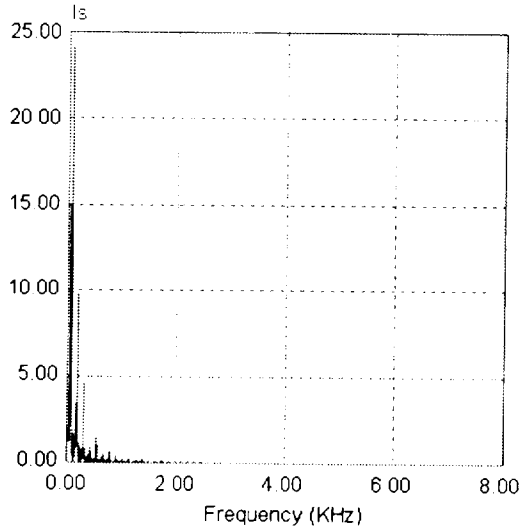


Fig. 8 FFT result of SCR phase control

일으키는 요소가 되어 공항내의 통신 시스템에 큰 악영향을 준다.

다음으로 제안한 시스템의 타당성을 검증하기 위해 Fig. 9와 같은 제어 시스템을 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. Fig. 10과 Fig. 11 그리고 Fig. 12는 시뮬레이션 결과들을 나타내고 있다.

Fig. 10을 분석해 보면 저전류 운전영역인 2.8[A]의

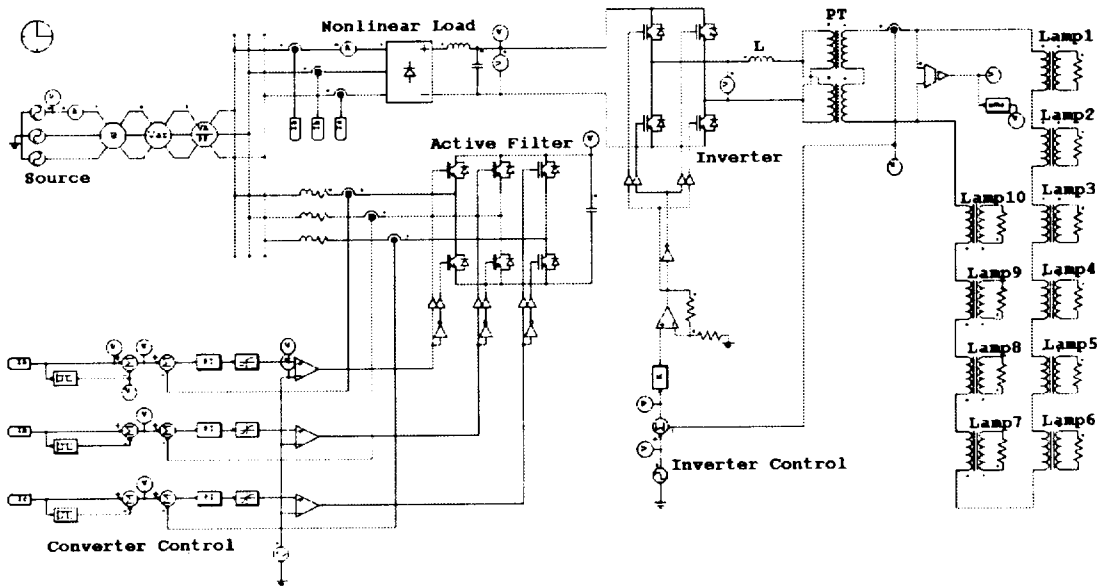


Fig. 9 Schematic diagram of the proposed control system

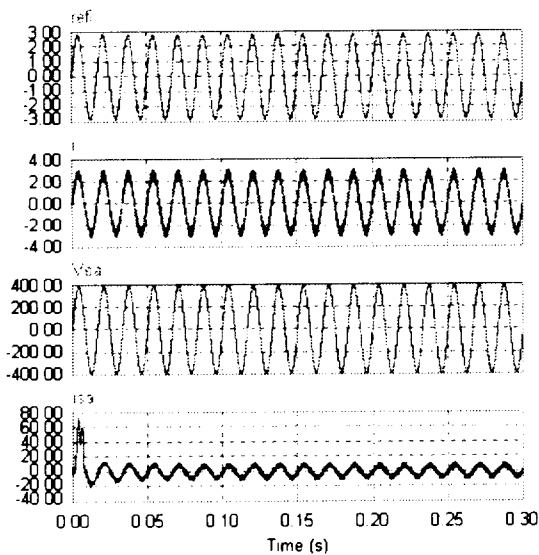


Fig. 10 Simulation results of load current with the proposed control system

실효치 지령치를 인가했을 때 부하에 흐르는 전류는 거의 정현파에 가깝게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 11에서 역률을 분석해 보면 과도현상시

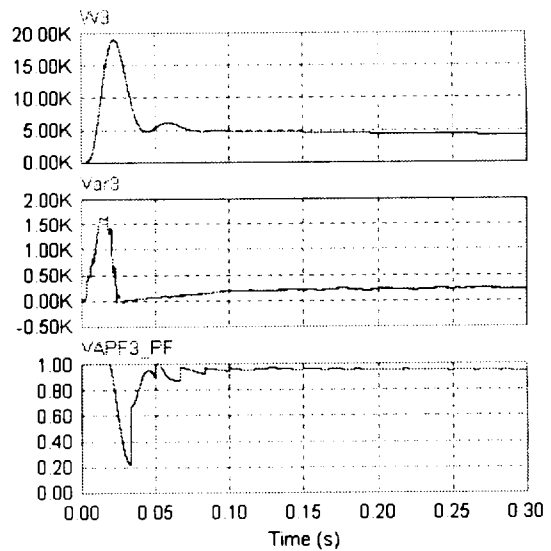


Fig. 11 Simulation results of active, reactive and power factor

는 저조하지만 정상상태에서는 역률이 매우 양호하게 나타남을 알 수 있다. 또한 Fig. 12에서 전원측 입력 전류의 고조파 분석 결과를 보면 기존시스템에서 많

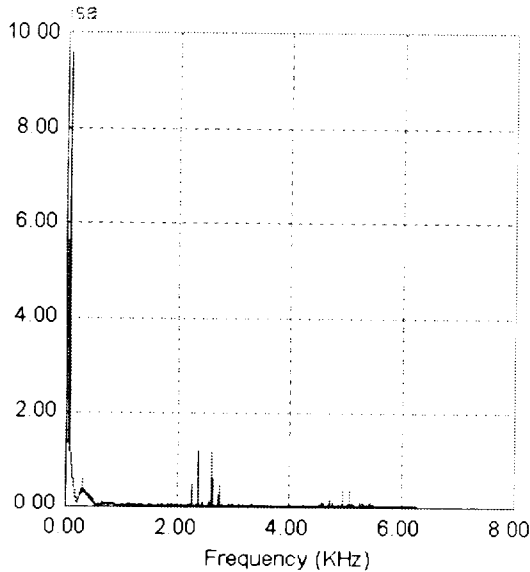


Fig. 12 FFT results of the proposed control system

이 발생했던 저차 고조파가 거의 제거되었음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 제주공항 항공등화의 고효율 운전을 위한 새로운 항공등화 제어 시스템을 제안하였다. 기존의 항공등화 제어시스템과 새로 제안한 시스템과의 컴퓨터 시뮬레이션 수행결과를 살펴보면 제안한 제어시스템이 부하에 공급하는 전원전류의 파형을 정현파에 가깝도록 하며 고조파를 크게 저감시켰고, 또한 위상제어시 나타나는 역률저하 문제를 크게 개선하였다. 따라서 제안한 방법을 공항내의 항공등화 제어시

스템에 적용하면 고조파에 따른 유도장애문제를 크게 완화시킬 수 있으며 역률개선 등도 동시에 이룰 수 있어 항공등화 제어시스템이 고효율 운전대책의 대안으로 사려된다.

참고문헌

- 1) E.Epstein. 1979. Analysis of a reactive current source used to improve current drawn by static inverters. IEEE. Trans. Ind. Electr. Contr. Instrm., vol. IECI-26, no.4, pp.172-177.
- 2) FAA advisory circular AC 150/5345-10E]
- 3) A.Alexandrovitz. 1984. Analysis of a static var compensator optimal energy storage element. IEEE Trans. Ind. Electr., vol. IE-31, no.1, pp.28-33.
- 4) J.H.Choi. 1989. Instantaneous Reactive Power Compensator using Current Controlled PWM Converter. Trans. KIEE, vol. 38, no.7, JUL.
- 5) H.Akagi. 1986. Control strategy of active power filter using multiple voltage source PWM converter, IEEE Tans. Ind. Appl., vol. IA-22, no.3, pp.460-465.
- 6) G.H.Choe. 1986. Analysis an control of active power filter with optimized injection. in Conf. Rec. IEEE PESC, pp.401-409.
- 7) S.B.Dewan. 1985. Design an input filter for the six-pulse bridge rectifier, IEEE Trans. Ind. Appl., vol.1, IA-21, no.5, pp.1168-1175.