

필터소자의 용량 저감을 고려한 다이오드 정류기의 입력LC필터 설계

(Input LC Filter Design of Diode Rectifiers Considering Filter VA Rating Reduction)

임영철* · 정영국**

(Young-Cheol Lim · Young-Gook Jung)

요 약

본 연구에서는 전류스트레스 및 필터소자의 용량저감을 고려한 다이오드 정류기의 입력LC필터 설계법을 기술하였다. 입력교류전류의 제3고조파 성분에 대하여 무한한 임피던스를 갖도록 LC병렬 공진회로와 출력측 직류콘덴서로 구성된 새로운 필터를 단위법(Per Unit)에 의해 설계하였다. 제안된 LC필터를 다이오드정류기에 적용하여 정상상태에서 실험한 결과, 입력교류전류의 제3고조파성분을 8.8[%]로 감소시켰으며, 입력역률은 종전의 표준형의 입력역률이 0.76인데 비하여 0.913으로 개선시켰다. 또한 필터소자의 전압·전류용량감소와 함께, 설계된 입력LC필터는 다이오드 정류기계통에 악영향을 미치지 않았으며, 따라서 종래의 표준형 LC필터에 의한 방법과 비교하여 제안된 방법이 83.5[%]의 저용량의 필터로도 고역률의 정류가 가능함을 입증하였다.

Abstract

In this paper, input LC filter design of diode rectifiers considering filter VA rating reduction has been proposed. It consisted of an input LC parallel resonant tank whose inductor and capacitor values are selected so that the input filter presents an infinite impedance to harmonic input ac current component. The operation of proposed input filter has been analyzed in detail under steady state conditions. Performance evaluation and related design data have been provided on Per Unit basis for the proper implementation of diode rectification system. Finally, Detailed input and output current analysis has shown that the proposed input filter yield high quality input ac current waveforms, in particular, high input power factor values and more reliability which reducing the VA rating of passive components as compared to the standard type LC filter.

*정회원 : 전남대 공대 전기공학과 교수

접수일자 : 1997. 7. 14

**정회원 : 대불대 전기전자공학부 전임강사

1. 서 론

최근 반도체 기술의 발달로 인해 비선형 스위칭 소자를 사용한 다이오드 정류기들이 제어.제측장비의 전원장치로 산업현장에 널리 사용되고 있다. 그러나 종래의 다이오드 정류기들은 출력부 콘덴서의 충방전시 돌입전류로 인해 스파이크 형태의 입력 교류 전류를 발생시키며 이는 다이오드 정류계통에 여러 가지 악영향을 미치고 있다 [1,2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근들어 각광을 받고 있는 능동 전력필터[3]는 전력계통에서 발생하는 여러 고조파를 일괄하여 보상할 수 있다는 장점은 있으나, 그 이론과 제어의 복잡성과 함께, 간단한 정류기 시스템에는 경제적이지 못하다는 단점이 있다. 따라서 전술한 다이오드 정류기의 입력 교류 전류에 포함되어 있는 고조파를 제거하기 위해서는 보다 간편하면서도 보상시간의 지연이 없는 새로운 전력용 수동필터에 관한 연구가 필요하게 되었다. S.B Dewan[4]에 의한 표준형 LC필터에 의한 방법은 이해하기 쉽고 간편하다는 점은 있으나, 입력 교류 전류에 다수 포함되어 있는 제3고조파로 인해 만족할 만한 입력역률 개선효과를 얻지 못했다. 따라서 큰 필터소자와 정류 다이오드가 요구되었다. 또 일반적으로 많이 이용되는 직렬 공진법은 공진 주파수에서 기본과 전류가 무한히 흐를 수 있어 효율이 높아지는 점은 있으나 이로 인해 다이오드 정류기에 흐르는 전류가 커지므로 정류 다이오드와 필터소자의 용량이 증가하는 문제가 있으며, Ferro 변압기에 의한 방법은 큰 Ferro 변압기를 사용한다는 점에서 부피와 무게의 증가를 가져왔다.

따라서 이상에서 언급한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 전류스트레스 및 필터소자의 용량 저감을 고려한 다이오드 정류기의 입력LC필터 설계를 제시하였다. 입력교류전류의 제3고조파 성분에 대하여 무한한 임피던스를 갖도록 LC병렬 공진회로와 출력측 직류콘덴서로 구성된 새로운 필터를 단위법(Per Uint)에 의해 설계하였다. 제안된 LC필터를 다이오드 정류기에 적용하여 정상상태에서 실험한 결과, 필터소자의 전압·전류용량감소와 함께, 다이

오드 정류계통에 악영향을 미치지 않았다. 따라서 종래의 표준형 LC필터에 의한 방법과 비교하여 제안된 방법이 저용량의 필터로도 고역률의 정류가 가능함을 입증하였다.

2. 이 론

그림1과 그림2는 각각 표준형과 제안된 입력LC필터를 갖는 다이오드 정류기를 나타내고 있다.

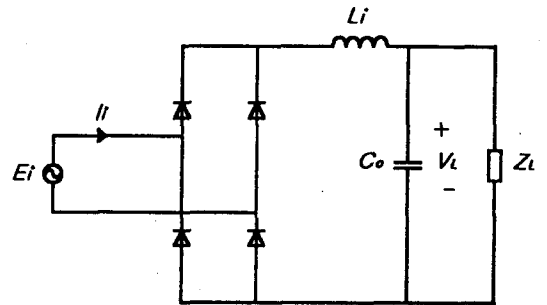


그림 1. 표준형 입력LC필터를 갖는 다이오드정류기
Fig. 1. Diode rectifier with standard type input LC filter

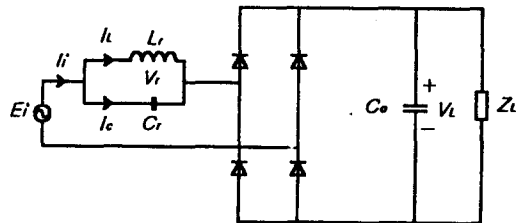


그림 2. 제안된 입력LC필터를 갖는 다이오드정류기
Fig. 2. Diode rectifier with proposed type input LC filter

다이오드 정류기의 입력 LC 병렬 공진 필터의 제 n번째 고조파 등가 임피던스 Z_n 는 다음과 같다.

$$Z_n = \frac{nX_{Lr} \frac{X_{Cr}}{n}}{jnX_{Lr} - j \frac{X_{Cr}}{n}} \quad (1)$$

여기서 X_{Cr} 과 X_{Lr} 은 각각 기본 주파수에서 입력공진 인덕터 L_r 과 입력 공진 콘덴서 C_r 의 임피던스를 나타낸다. 식(1)을 보면, 입력 공진 수동필터의 제3

고조파 임피던스는 다음과 같을 때 이론적으로 무한대가 된다.

$$3X_{Lr} = \frac{X_C}{3} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{9\omega^2 L_r}$$

다이오드 정류기는 다이오드의 도통각을 α 라 할 때, 부하 및 인덕터의 조건에 따라 다음과 같은 3가지 모드로 동작될 수 있다.

1) 불연속 모드 I : 정상상태에서 다이오드 정류기의 출력전류가 불연속이며 $\omega t = \pi$ 로 되기 전에 0이 되면, 이 다이오드 정류기는 불연속 모드 I로 동작한다.

2) 불연속 모드 II : 정상상태에서 다이오드 정류기의 출력전류가 불연속이며 $\pi < \omega t < (\pi + \alpha)$ 에서 0으로 되면, 이 다이오드 정류기는 불연속 모드 II로 동작한다.

3) 연속모드 : 정상상태에서 다이오드 정류기의 출력전류가 0이 되지 않으면, 이 다이오드 정류기는 연속모드로 동작한다.

최대 입력 역률은 불연속 모드 I에서 얻어지므로 불연속 모드에 대해서만 살펴보기로 한다.

입력 교류전류 $i_i(\omega t)$ 가 $\pi < \beta < (\pi + \alpha)$ 에서 0이 된다고 가정하면, 도통기간 $\gamma = (\beta - \alpha)$ 가 되며, 이

기간동안 입력 공진 인덕터 L_r 과 입력 공진 콘덴서 C_r 에 흐르는 전류 $i_L(\omega t)$ 과 $i_C(\omega t)$ 는 식(3), 식(4)와 같이 표현 가능하며, 이때의 입력교류전류 $i_i(\omega t)$ 는 그림 4에서 보는 바와 같이, 입력 공진 인덕터의 전류 $i_L(\omega t)$ 과 입력 공진 콘덴서의 전류 $i_C(\omega t)$ 와의 합이 된다.

$$i_L(\omega t) = \frac{\sqrt{2} E_i}{\omega L_r} [\cos \alpha - \cos(\omega t) - m(\omega t - \alpha)] \quad (3)$$

$$i_C(\omega t) = \sqrt{2} E_i \omega C_r \cos(\omega t) \quad (4)$$

소호각 β 에서의 입력 공진 콘덴서 C_r 의 전압은 다음과 같이 된다.

$$V_r(\beta) = \frac{1}{C_r} \int_{\alpha}^{\beta} i_C(\omega t) dt \\ = \sqrt{2} E_i [\sin \beta - \sin \alpha] \quad (5)$$

$\omega t < \pi$ 기간에서 다이오드 정류기 입력전압 $[E_i(\omega t) - V_r(\omega t)]$ 은 양이므로 정류 다이오드는 $\omega t = \beta$ 에서 입력 교류 전류 $i_i(\omega t)$ 가 0으로 될 때까지 도통상태를 유지하며 $\omega t > \beta$ 일 때 입력 교류 전류 $i_i(\omega t)$ 는 0으로 된다. 입력 교류 전압 $e_i(\omega t)$ 가 부일 때 나머지 두 정류 다이오드의 도통각을 α_1 이라 할 때, α_1 은 입력 공진 콘덴서 전압 V_r 에 따른다. β 로부터 α_1 사이에는 C_r 과 L_r 은 공진을 시작하고 극성이 바뀌게 된다. $\beta < \omega t < \alpha_1$ 기간 동안 C_r 의 전류 $i_C(\omega t)$ 는 다음으로 된다.

$$i_C(\omega t) = A \cos(\omega_n(\omega t - \beta)) + B \sin(\omega_n(\omega t - \beta)) \quad (6)$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad i_C(\beta) = -i_L(\beta) \text{ 이고}$$

$V_r(\beta)$ 가 식(5)로 주어질 때 식(6)은 다음과 같이 된다.

$$i_C(\omega t) = -\omega_n C_r \sqrt{2} E_i [\sin \beta - \sin \alpha] \times \\ \sin(\omega_n(\omega t - \beta)) - i_L(\beta) \cos(\omega_n(\omega t - \beta)) \\ i_L(\omega t) = -i_C(\omega t) \quad (7)$$

$$\text{또, } V_r(\omega t) = \sqrt{2} E_i [\sin \beta - \sin \alpha]$$

$$\times \cos(\omega_n(\omega t - \beta)) - \frac{i_L(\beta)}{\omega_n C_r} \sin(\omega_n(\omega t - \beta)) \quad (8)$$

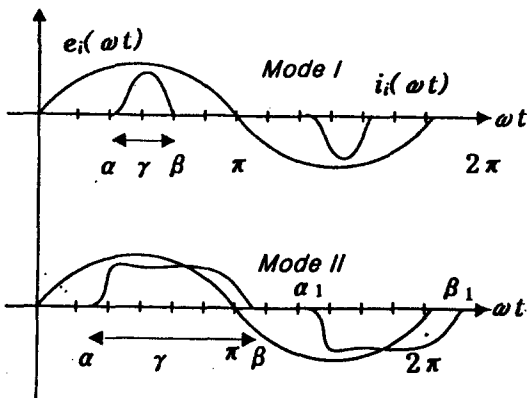


그림 3. 불연속 모드 I, II의 입력교류전류
Fig. 3. Input ac current of discontinuous mode I, II

으로 된다. 이 $V_r(\omega t)$ 은 입력 주파수의 3배인 L, C , 공진 주파수에 따라서 변화한다. 음의 반주기에서의 다이오드 도통각 α 은 다음 식에서 ωt 대신 α 을 대입하면 구해진다.

$$\sqrt{2} E_i \sin(\omega t) - V_r(\omega t) = -V_L \quad (9)$$

α 에서 $i_L(\alpha)$ 은 $-i_c(\alpha)$ 과 같게 된다.

다이오드가 음의 반주기 동안 도통하는 기간을 γ_1 이라 할 때, γ_1 는 $\beta - \alpha$ 로 되며, 이 때 $i_L(\omega t)$ 와 $i_c(\omega t)$ 는

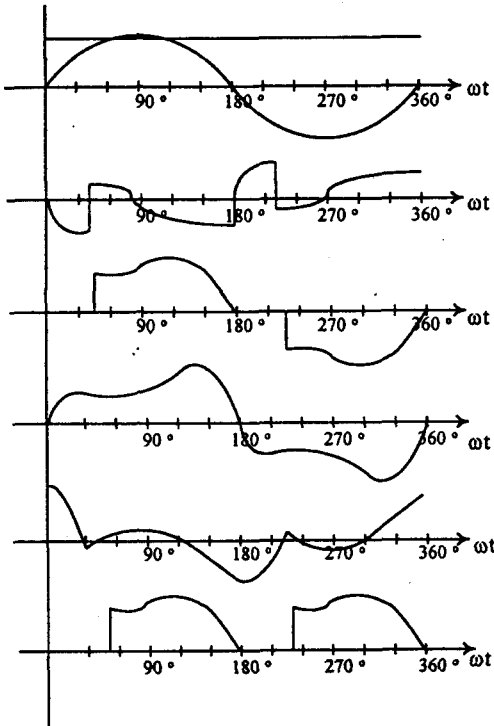


그림 4. 제안된 LC필터의 계산된 파형

- (a) $e_i(\omega t)$, V_L 의 파형, (b) $i_c(\omega t)$ 의 파형,
- (c) $i_i(\omega t)$ 의 파형, (d) $i_L(\omega t)$ 의 파형,
- (e) $V_r(\omega t)$ 의 파형, (f) 정류된 $i(\omega t)$

Fig. 4. Calculated $i_i(\omega t)$, $i_c(\omega t)$, $V_r(\omega t)$ of proposed type LC filter.

- (a) Waveform of $e_i(\omega t)$, V_L
- (b) Waveform of $i_c(\omega t)$, (c) Waveform of $i_i(\omega t)$
- (d) Waveform of $i_L(\omega t)$, (e) Waveform of $V_r(\omega t)$
- (f) Waveforms of rectified $i(\omega t)$

$$i_i(\omega t) = \frac{\sqrt{2} E_i}{\omega L_r} [\cos \alpha - \cos(\omega t)] + m(\omega t - \alpha)] + i_L(\alpha) \quad (10)$$

이며

$$i_c(\omega t) = \sqrt{2} E_i \omega C_r \cos(\omega t) + V_r(\alpha) \quad (11)$$

이다.

또 음의 반주기의 소호각 β 에서 $V_r(\omega t)$ 은 다음과 같다.

$$V_r(\beta) = V_r(\alpha) + \sqrt{2} E_i [\sin \beta - \sin \alpha] \quad (12)$$

도통기간 γ_1 의 끝에서 C_r 과 L_r 은 공진을 하여 다음 양의 반주기로 전환되며, 이상의 동작은 계속 반복하게 된다. 앞의 관계식으로부터 정상상태에서의 $i_i(\omega t)$, $i_c(\omega t)$, $i_L(\omega t)$ 및 $V_r(\omega t)$ 의 계산된 파형을 그림4에 나타냈다.

계산의 간편을 위해서 입력 교류 전압 실효치 E_i 와 다이오드 정류기 출력 P_r 을 단위법[p.u]에 의해서 나타내면 다음과 같다.

$$E_i = 1.0(\text{p.u})V$$

$$P_r = 1.0(\text{p.u})W$$

불연속 동작 모드에서 입력 공진 인덕터의 전류 $i_L(\omega t)$ 과 입력 공진 콘덴서의 전류 $i_c(\omega t)$ 와의 합인 입력교류전류 $i_i(\omega t)$ 는 식(3), (4), (6), (7), (10), (11)에 의해서 결정되며, 이때 다이오드 정류기 입력력률 p.f는 식(13)과 같다.

$$\text{Input p.f} = \frac{E_i I_{i,1}}{E_i I_{i,n}} \cos \phi = \frac{I_{i,1}}{I_{i,n}} \cos \phi \quad (13)$$

$$\text{단 } I_i = I_{i,n} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{i,n})^2}$$

여기서 $I_{i,n}$ 은 n번째 입력 교류 전류의 고조파 성분이고 ϕ 은 입력 교류 전압 E_i 과 입력 교류 전류의 기본파 성분 $I_{i,n}$ 의 변위각이다.

V_L 의 변화에 따라 $m = V_L / (\sqrt{2} E_i)$ 과 다이오드 도통각 $\alpha = \sin^{-1} m$ 이 변화되므로, 입력 공진 인덕터의 전류 $i_L(\omega t)$ 과 입력 공진 콘덴서의 전류 $i_c(\omega t)$ 와의 합인 입력교류전류 $i_i(\omega t)$ 는 식(3), (4), (6), (7), (10),

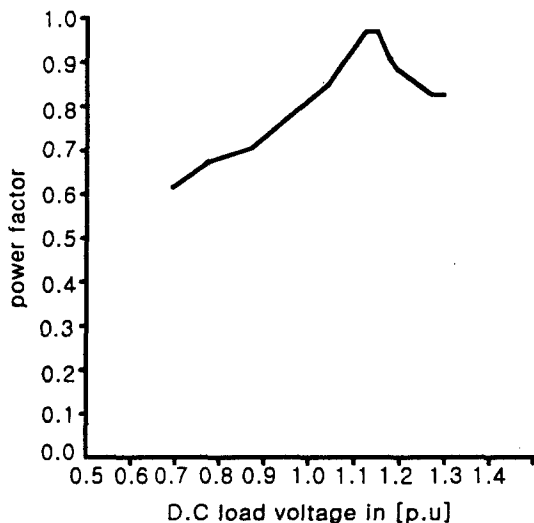


그림 5. 직류부하전압 V_L 에 따른 입력역률 p.f.의 변화
Fig. 5. Variation of input p.f. with dc load voltage V_L

(11)로 결정된다. 각각의 V_L 에 따른 교류측 전압과 전류와의 ϕ 와 전류의 고조파성분을 구하여 식(13)에 대입하면, 직류 부하 전압 V_L 에 따른 불연속모드 I, II의 입력역률 p.f. 변화를 구할 수 있게 된다. 이상의 관계를 그림5로 나타냈다.

또한 다이오드 정류기의 출력 P_r 은 I_{d0} 를 직류전류의 평균치라 할 때 다음으로 정의된다.

$$P_r = V_L \cdot I_{d0} \quad (14)$$

V_L 의 변화에 따라 $m = V_L / (\sqrt{2} E_s)$ 과 $\alpha = \sin^{-1} m$ 이 변화되기 때문에, 입력전류 $i_s(\omega t)$ 는 앞에서 언급한 바와 같이 입력 공진 인덕터의 전류 $i_L(\omega t)$ 과 입력 공진 콘덴서의 전류 $i_C(\omega t)$ 와의 합으로 결정된다. 이 입력전류에 대한 직류전류의 평균치를 구하여, V_L 에 따른 불연속모드 I, II에 대한 다이오드 정류기 출력 P_r 의 변화를 구할 수 있다. 이상의 관계를 인덕터 L_r 의 값을 변화시키면서 나타내면 그림6으로 표현 가능하다.

그림5를 보면 1.1(p.u) 직류 부하 전압일 때, 제안된 입력 LC필터를 갖는 다이오드 정류기의 최대 입력 역률이 됨을 알 수 있다. 따라서 그림6으로부터 1.0(p.u)의 P_r 을 전송하기 위한 L_r 은 0.31(p.u)이

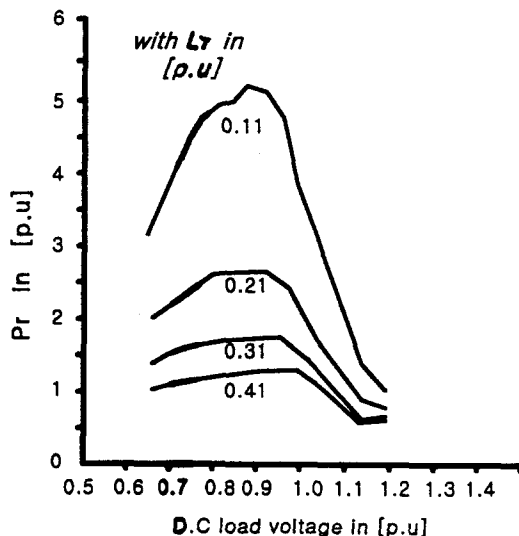


그림 6. V_L 을 변화시킬 때, 각각의 L_r 에 대한 출력 P_r 의 변화
Fig. 6. Variation of output power with dc load voltage V_L for different values of L_r

다. 이상으로 부터 L_r 가 0.31(p.u)일 때, 최대 입력 역률에서 다이오드 정류기 소자의 전압 · 전류정격 (VA)은 다음과 동일하게, 구해진다.

직류 전류 평균치

$$I_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_s(\omega t) d(\omega t) = 0.4573 \text{ (p.u)A} \quad (15)$$

직류 전류 실효치

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{i_n})^2} = 0.7686 \text{ (p.u)A} \quad (17)$$

직류 전류 최대치

$$I_{d_p} = \sqrt{2} \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{i_n})^2} = 1.537 \text{ (p.u)A} \quad (17)$$

3. 다이오드 정류기의 입력필터 설계

표1에 제안된 방식의 LC필터의 설계치를 표준형 방식의 LC필터의 설계치와 비교해서 나타내었다.

각 방식에 의한 다이오드 정류기 및 필터소자의 전압 · 전류정격 (VA)을 비교하면, 동일한 출력을 전달하고자 할 때, 제안된 방식이 표준형 방식보다

표 1. 다이오드 정류기의 LC필터 설계치

Table 1. LC Filter Design Parameters of Diode Rectifier

	standard type	proposed type
$I(\text{p.u.})E_i(\text{V})$	50	
$I(\text{p.u.})P_r(\text{W})$	5	
$I(\text{p.u.})I_r(\text{A})$	$5/50=0.1$	
$I(\text{p.u.})Z_L(\Omega)$	$50/0.1=500$	
$I(\text{p.u.})L_r(\text{mH})$	$500/377=1,326$	-
$I(\text{p.u.})C_o(\mu\text{F})$	$1/(500 \cdot 377)=5.3$	-
$I(\text{p.u.})C_r(\mu\text{F})$	-	$1/(500 \cdot 377)=5.3$
$I(\text{p.u.})L_r(\text{mH})$	-	$500/377=1,326$
$I(\text{p.u.})\omega$ [rad/sec]	$2\pi f=377$	
$I_a(\text{A})$	$0.4546 \cdot 0.1=0.04546$	$0.4573 \cdot 0.1=0.04573$
$I_a(\text{A})$	$0.95 \cdot 0.1=0.095$	$0.7686 \cdot 0.1=0.07686$
$I_a(\text{A})$	$1.901 \cdot 0.1=0.1901$	$1.537 \cdot 0.1=0.1537$
$L_r(\text{mH})$	$0.1 \cdot 1,326=132.6$	-
$C_o(\mu\text{F})$	$8.31 \cdot 5.3=44.0$	$4.65 \cdot 5.3=24.645$
$L_r(\text{mH})$	-	$0.31 \cdot 1,326=411$
$C_r(\mu\text{F})$	-	$0.3584 \cdot 5.3=1.899$

전류스트레스 및 필터소자의 용량이 감소되며 입력 역률도 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 실험 및 고찰

표2는 실험에 사용된 LC필터의 실제치를 나타내고 있다. 또한 각 방식의 필터가 다이오드 정류계통에 어떠한 영향을 주는가 살펴보기 위해서 그림7에 의해서 실험하였다. 다이오드 정류기의 입력 교류전류가 B-B'의 입력 교류 전압에 왜형을 준다면

표 2. 실험에 사용된 LC필터의 사양

Table 2. Elements and Parameters used in Implementing LC Filters

	without LC filter	standard type	proposed type
$E_i(\text{V})$	50		
$\omega(\text{rad/sec.})$	377		
$P_r(\text{W})$	5		
$C_o(\text{F})$	240	40	24
$C_r(\text{F})$	-	-	2
$L_r(\text{mH})$	-	140	-
$L_r(\text{mH})$	-	-	407

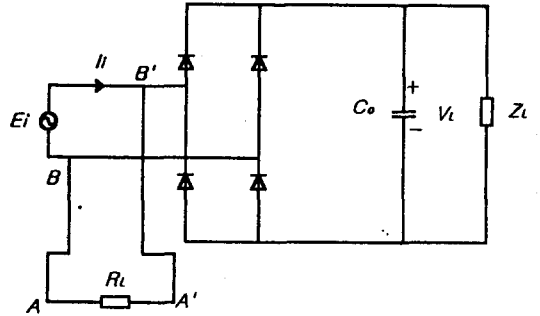


그림 7. 다이오드 정류기의 입력전류에 의한 입력전압의 왜형을 조사하기 위한 회로

Fig. 7. Experimental circuit for investigating distortion of input ac voltage by input ac current.

그 전압이 A-A'의 관련 계통전압이 되므로 A-A'의 전압 및 전류파형을 측정하여 입력 전압 왜형과 관련계통에의 영향을 조사하였다.

4.1 입력 교류 전류 파형 및 입력 역률의 개선

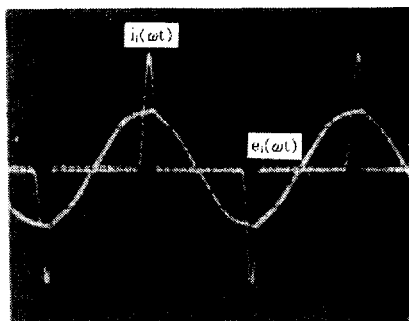
그림8은 입력필터가 없는 다이오드 정류기의 입력 교류 전압, 전류의 실측파형과 고조파 스펙트럼이다. 그림8에서 보는 바와 같이 입력 교류 전류는 정현파가 아닌 스파이크 형태이며 진폭이 큰 제3고조파를 비롯하여 다수의 저차 고조파가 지수 함수적으로 분포되어 있다.

이는 다이오드 정류기 및 필터소자의 전압·전류 용량의 증대를 가져올 뿐 만 아니라 입력역률을 저하시키는 요인이 되어 다이오드 정류기 효율의 저하를 가져오게 된다.

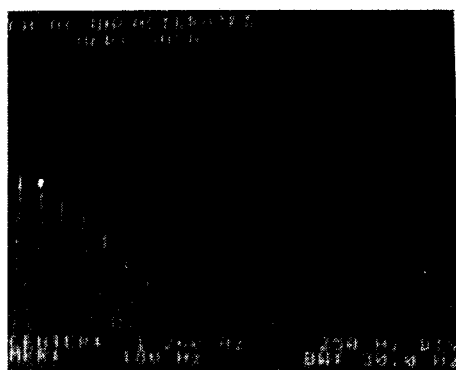
4.1.1 표준형 방식

그림9는 종래의 표준형 LC필터를 갖는 다이오드 정류기의 실측파형과 고조파 스펙트럼을 나타낸다.

입력 전류파형은 그림9(a)와 같으며 입력필터가 없는 경우의 그림8(a)에 비하여 전류 스파이크가 많이 감소되었다. 또 그림9(b)는 입력 교류전류의 주파수 스펙트럼으로써 그림8(b)에 대하여 제3고조파 및 저차 고조파가 많이 감소되었으나, 아직 기본파 성분에 대한 제3고조파가 약 40(%) 있으므로 만족한 입력역률 개선을 하지 못하게 된다.



(a)



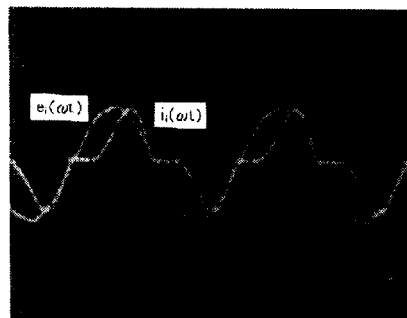
(b)

그림 8. LC필터가 없는 다이오드 정류기의 $e_s(\omega t)$, $i_s(\omega t)$ 의 실측파형과 고조파 스펙트럼(50v/div., 0.1A/div., 3ms/div.)
 (a) $e_s(\omega t)$, $i_s(\omega t)$ 의 파형,
 (b) $i_s(\omega t)$ 의 고조파 스펙트럼
 Fig. 8. Experimental waveforms and harmonic spectrum of diode rectifier without LC filter(50v/div., 0.1A/div., 3ms/div.)
 (a) Waveforms of $e_s(\omega t)$, $i_s(\omega t)$
 (b) Harmonic spectrum of $i_s(\omega t)$

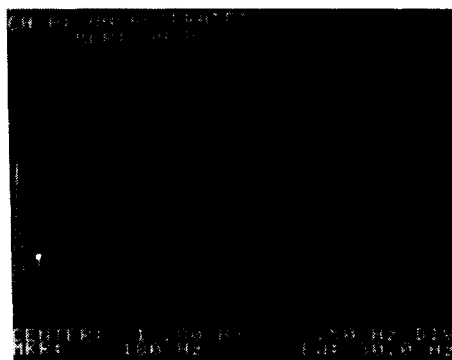
4.1.2 제안된 방식

그림10은 제안된 방식에 의한 실험결과를 나타내며, 이것은 그림4의 계산된 파형과 잘 일치하고 있다.

다이오드 정류기의 입력 전류 파형은 LC필터가 없는 경우의 그림8(a) 및 표준형인 경우의 그림9(a)에 비하여 전류 스파이크가 많이 감소되었다. 또 그림10(b)는 입력 교류 전류의 주파수 스펙트럼으로서 그림8(b) 및 그림9(b)와 비교해 보면 제3고조파의 저감효과가 뚜렷하였다. 또한 그림10(c)와 그림10(d)는 각각 입력공진 콘덴서와 인덕터에 흐르는 전류로서



(a)



(b)

그림 9. 표준형 방식의 실측파형과 고조파 스펙트럼(50v/div., 0.1A/div., 4ms/div.)
 (a) $e_s(\omega t)$, $i_s(\omega t)$ 의 파형
 (b) $i_s(\omega t)$ 의 고조파 스펙트럼
 Fig. 9. Experimental waveforms and harmonic spectrum of standard type(50v/div., 0.1A/div., 4ms/div.)
 (a) Waveforms of $e_s(\omega t)$, $i_s(\omega t)$
 (b) Harmonic spectrum of $i_s(\omega t)$

그림4의 계산된 파형과 일치하고 있다. 제안된 방식의 입력역률은 다음과 같다.

$$\text{입력 교류전압 } E_i = \frac{50}{50} = 1.0(\text{p.u})V$$

$$\text{입력 교류전류 } I_i = \frac{0.115}{0.1} = 1.15(\text{p.u})A$$

$$\text{직류 부하전압 } V_L = \frac{40}{39.5} = 1.01(\text{p.u})V$$

$$\text{직류전류 } I_o = \frac{0.080}{0.07686} = 1.04(\text{p.u})A$$

$$\text{입력역률 } \text{p.f.} = \frac{V_L \cdot I_o}{E_i \cdot I_i} = \frac{1.01 \cdot 1.04}{1.0 \cdot 1.15} = 0.913$$

필터소자의 용량 저감을 고려한 다이오드 정류기의 입력 LC필터 설계

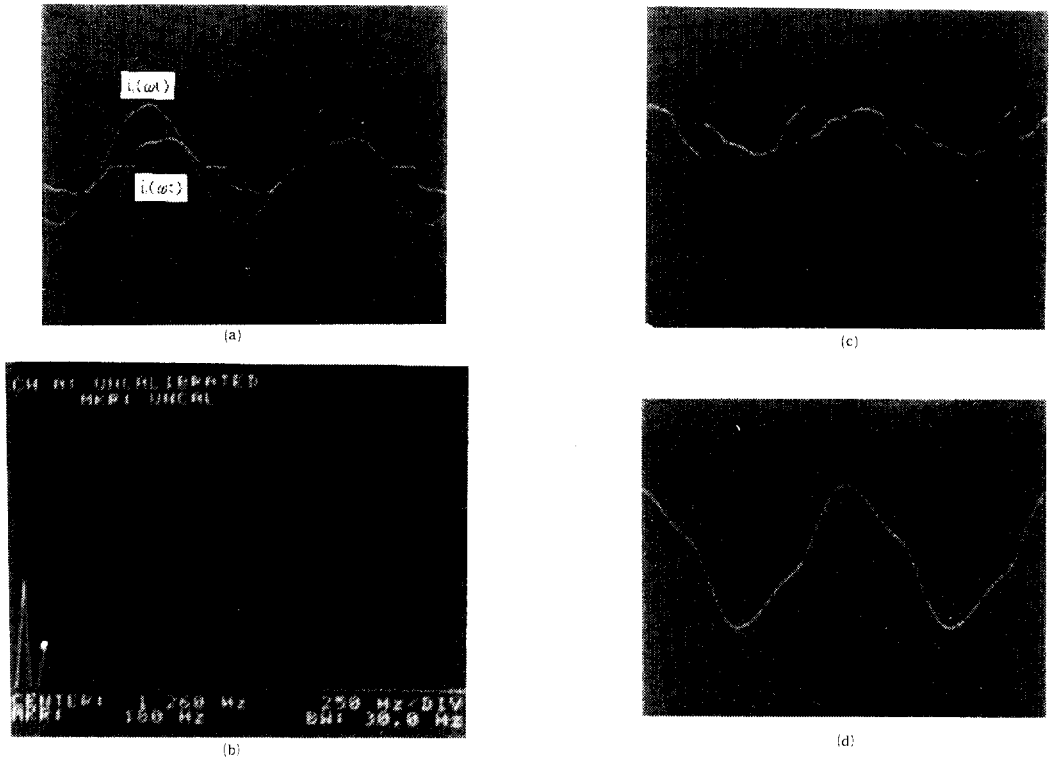


그림 10. 제안된 방식의 실험결과(50v/div., 0.1A/div.,4ms/div.)

Fig. 10. Experimental results of proposed type LC filter (50v/div., 0.1A/div.,4ms/div.)

- (a) Waveform of $e_c(\omega t)$, $i_c(\omega t)$, (b) Harmonic spectrum $i_c(\omega t)$
- (c) Waveform of $e_o(\omega t)$, (d) Waveform of $i_o(\omega t)$

표3에서 보는 바와 같이 표준형인 경우, 다이오드 정류기의 입력역률은 최고 0.76까지 였으나 제안된 방식은 0.913로 대폭 개선되었다. 표준형 방식은 총 고조파왜형률(%THD)이 45.5[%]로 입력 교류전류에 많은 저차 고조파를 포함하였으나, 제안된 방식은 기본파 성분에 대한 제3고조파 비를 10[%]이하로 대폭 저감하여 %THD를 21.2[%]로 감소시켰다. 표준형과 제안된 방식의 %THD는 스펙트럼 분석기에 의해서 분석된 입력교류전류의 고조파 스펙트럼으로부터 %THD의 정의[5]에 의해서 계산된다. 또 다이오드 정류기 입력 교류 전류는 표준형은 1.42인데 반하여 제안된 방식은 입력 교류 전류에 포함된 불필요한 무효성분인 제3고조파를 10[%]이하로 제거시켰으므로 입력 교류전류가 1.15로 감소되어 표준형에 비하여 뛰어나게 다이오드 정류기 입력역률을 개선하였다.

표 3. 표준형 방식과 제안된 방식의 비교

Table 3. Comparison of Proposed Type with Standard Type

		standard type	proposed type
input ac voltage[V]	calculated value	50.00	50.00
	measured value	50.00	50.00
	{p.u}	1.000	1.000
input ac current[A]	calculated value	0.100	0.100
	measured value	0.142	0.115
	{p.u}	1.420	1.150
dc load voltage[V]	calculated value	39.590	39.590
	measured value	40.000	40.000
	{p.u}	1.010	1.010
dc current[A]	calculated value	0.095	0.7686
	measured value	0.102	0.080
	{p.u}	1.074	1.040
input power factor		0.764	0.913
%THD[%]		45.500	21.200

4.2 정류 다이오드 및 필터소자의 전압·전류 [VA]용량 저감

입력 교류 전류에 고조파 성분이 많이 존재하면 다이오드 정류기 및 필터소자의 전압·전류용량이 증가할 뿐 아니라 다이오드 정류기 입력역률을 저하시키는 요인이 된다. 표4는 각 방식의 입력역률과 다이오드 정류기 소자 용량과의 관계를 나타낸 것으로 제안된 방식의 입력 교류 전류, 직류전류 및 직류 콘덴서는 표준형 방식의 그것보다 현저히 낮은 값으로 된다.

표4를 보면, 제안된 방식의 입력 공진 인덕터 L_r 은 표준형 방식의 직류측 인덕터 L_d 에 비해 약 3배 더 크나 이는 인덕터에 흐르는 전류가 감소되면 인덕터 코일의 직경도 감소되므로 약간의 인덕터 값의 증대는 LC필터 용량감소에 크게 영향을 미치지않고 오히려 콘덴서 용량이 문제로 된다. 콘덴서 용량을 보면, 제안된 방식으로 2배정도의 용량감소를 이룩할 수 있음을 알 수 있다.

표 4. 표준형 방식과 제안된 방식의 필터소자 용량비교
Table 4. Filter VA Rating Comparison Proposed Type with Standard Type

	standard type	proposed type
input ac current[p.u]	1.420	1.150
dc current [p.u]	1.074	1.040
dc condenser[μ F]	44.000	24.645
inductor[mH]	132.600	411.000
input power factor	0.764	0.914
apparent power[p.u]	1.326	1.094

1.0[p.u]의 다이오드 정류기 출력을 얻고자 할 때, 각 방식의 필요 피상전력 [p.u]VA는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{표준형방식} &: \frac{5}{0.764} = 6.55 \\ &= 1.31[\text{p.u}]VA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{제안된방식} &: \frac{5}{0.91} = 5.47 \\ &= 1.094[\text{p.u}]VA \end{aligned}$$

유효전력 5[W]를 다이오드 정류기 부하로 공급

하려 하면, 표준형은 6.55[VA]의 피상전력을 공급해야 하나, 제안된 방식으로는 5.47[VA]의 피상전력만 공급하면 된다. 이는 표준형에 비해 다이오드 정류기의 입력 교류 전류에 존재하는 제3고조파를 양호하게 제거해서 입력 교류 전류 파형의 %THD를 21.2[%]로 개선했기 때문이다. 따라서 동일한 출력을 전달하고자 할 때, 제안된 방식은 표준형보다 작은 용량의 정류 다이오드와 필터소자로도 가능하므로 실험장치의 크기가 줄어들게 된다.

4.3 다이오드 정류계통에 대한 영향

입력필터가 없는 다이오드 정류기의 입력전류에 의해 관련계통의 전압과 전류가 왜형되는 것을 그림 11에 나타냈다.

소용량의 다이오드 정류기를 대상으로 한 실험이므로 관련계통에 대한 영향이 적게 나타났으나 실제 대전력계통에서는 다이오드 정류계통에 미치는 영향은 매우 크다. 그림의 전압 전류파형의 움푹패인 부분은 순간적인 전압 전류의 변화율이 급격한 부분으로 이 왜형이 장기간에 걸쳐 일어나면, 다이오드 정류계통은 심각한 타격을 받게 된다. 그림 12와 그림 13은 각각 종래의 표준형과 제안된 방식에 의해서 관련계통의 전압, 전류의 왜형이 제거되는 것을 나타내는 파형으로 두 방식 모두 양호한 특성을 보여주고 있다.

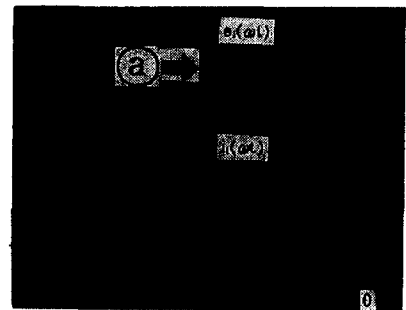


그림 11. LC필터가 없는 경우, 다이오드 정류계통의 전압과 전류의 실험파형
Fig. 11. Experimental waveforms of voltage and current in case of diode rectifier without LC filter

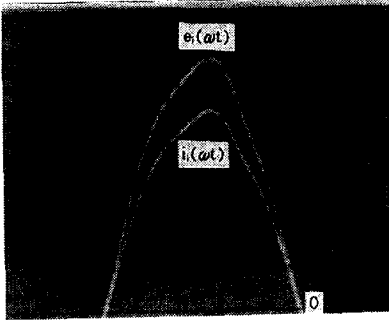


그림 12. 표준형 방식에 의한 다이오드 정류계통의 전압, 전류의 파형

Fig. 12. Experimental waveforms of voltage and current by standard type LC filter.

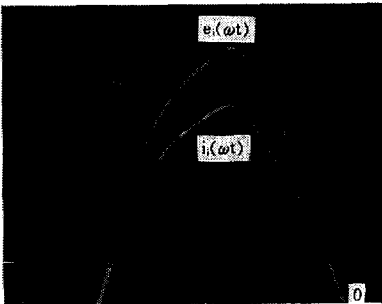


그림 13. 제안된 방식에 의한 다이오드 정류계통의 전압, 전류의 파형

Fig. 13. Experimental waveforms of voltage and current by proposed type LC filter.

5. 결 론

입력 교류 전류의 제3고조파 성분에 대하여 무한한 임피던스를 갖도록 새로운 입력LC필터를 소자의 용량저감을 고려하여 설계하고 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 다이오드 정류기의 입력 교류 전류에 포함된 제3고조파를 10[%]이하로 저감시켜 입력 교류 전류가 감소되었으며, 동일한 출력을 전송코자 할 때 제안된 방식은 표준형보다 작은 전압·전류용량의 정류 다이오드 및 필터소자로도 가능하였다.

2) 표준형 및 제안된 두 방식 모두 관련계통에 미치는 영향은 양호하였으나, 필터소자 용량감소를 고려해볼 때, 제안된 방식이 더 우수한 특성을 가짐을 알 수 있었다.

3) 표준형 방식은 입력역률이 0.76을 넘지 못했으나, 본 연구에서 제안된 방식은 입력역률을 0.913으로 개선시켰다.

4) 표준형 방식은 %THD가 45.5[%]였으나 제안된 방식은 21.2[%]로 입력 교류 전류 파형 개선 효과가 뚜렷하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Aintablian, H.Hill, "Harmonic currents generated by personal computers and their effects on the distribution system neutral current", IEEE IAS, pp.1483-1489, 1993.
- [2] P.D.Ziogas, "A novel active current waveshaping technique for solid-state input power factor conditioners", IEEE Trans. IE, Vol.38, pp.72-78, 1991.
- [3] S.Bhattacharya, D.Divan, "Active filter solutions for utility interface", IEEE ISIE, Vol.1, pp.53-63, 1995.
- [4] S.B.Dewan, "Optimum input and output filters for a single-phase rectifier power supply", IEEE Trans. IA, Vol.1A-17, pp.282-288, 1981.
- [5] 최남섭외2인, 전력전자공학, 문운당, 1997, pp.42-45.

◇ 著 者 紹 介 ◇



임 영 철(任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 졸업(석사). 1990년 고려대 대학원 졸업(박사). 1997년 호주 모나시(Monash)대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수.



정 영 국(鄭榮國)

1963년 11월 10일생. 1988년 전남대 전기공학과 졸업. 1986년 전남대 대학원 졸업(석사). 1996년 전남대 대학원 졸업(박사). 현재 대불대 전기전자공학부 전임 강사.