

모노 블록형 휴대용 X-선 발생 장치

오준용* 성기봉*, 박종래*, 김학성**
 *(주)포스콤, **동양공업전문대학

Mono Block Type Portable X-ray Generator

J.Y. Oh*, K.B. Sung*, J.R. Park*, and H.S. Kim**
 *POSKOM, **Dongyang Technical Collage

ABSTRACT

본 논문에서는 X-선 관전류를 직접 검출하여 제어하는 2.4kW(80kV,30mA)급 최소형, 최경량 휴대용 X-선 발생 장치를 제안한다. 본 장치는 X-선 발생을 위한 고전압 발생단에 모노탱크 블록 사용하였고, 고주파 고전압용 인버터에는 스위칭 전력 소자로서 MOS-FET를 채용, 70kHz로 스위칭 함으로서 고전압 변압기를 비롯한 고전압 발생부의 크기와 무게를 최소화하였다. 또한, 설정 관전류에 대한 정밀한 제어를 위하여 2단계 모드로 필라멘트 예열을 행하여 관전류 응답특성을 개선하였으며 제안한 휴대용 X-선 발생장치의 부하변동에 따른 X-선 관전압과 관전류의 개선된 특징을 실험과형을 통하여 입증하였다.

1. 서 론

최근에는 상용전원으로 집이나 옥외에서 X-선 촬영을 할 수 있는 휴대용 진단 X-선 장치의 개발 및 제품화가 활발히 이루어지고 있는데 일반 상용 주파수를 사용한 리니어 변압기 방식은 출력용량에 따른 장치의 무게 및 부피 때문에 휴대성 및 용량 증가의 한계가 있었다. 그러나 인버터 방식을 채용한 진단 X-선 발생장치는 고압부와 X-선관을 일체화하여 고주파 동작을 시킴으로서 X-선 장치의 부피 및 무게를 획기적으로 줄임으로서 보다 휴대가 용이하게 되었다. 이에 따른 연구로서 본 논문에서는 휴대용 X-선 발생장치로 개발된 2.4kW(최대 관전압 100kV, 최대 관전류 35mA)급 모노 블록형 휴대용 X-선 발생 장치에 대하여 소개하고자

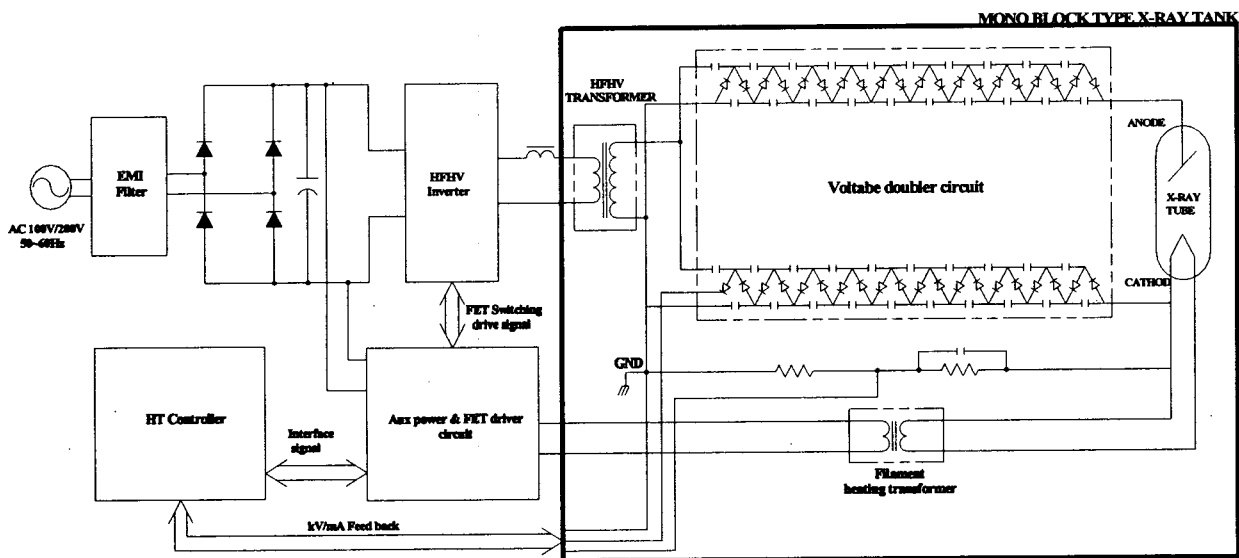


그림 1 모노 블록형 X-선 발생 시스템
 Fig. 1 Mono block type x-ray generating system

한다. 본 장치의 구성은 크게 고전압 인버터부와 제어부 그리고 배전압회로와 X-선관이 하나로 된 모노탱크단으로 크게 나눌 수 있다. 본 장치에서는 모노탱크의 크기를 최소화하면서 고주파 고전압 변압기와 필라멘트 예열 변압기 그리고 배전압 회로를 고전압으로부터 안전한 절연거리를 확보하는데 역점을 두었다. 또한, X-선 관전류를 제어하는데 있어서도 기존의 X-선 관전류를 직접검출하지 않는 간접전류제어 방식대신에 2단계 필라멘트 예열 모드를 갖는 X-선 관전류 직접전류 제어방식을 통하여 설정 관전류에 대한 정밀한 X-선관전류를 행하였고 X-선 피폭량과 관계되는 mAs량의 제어를 위하여 V-F 컨버터를 사용, 보다 안정되고 정확한 전류제어를 행하였다. 이에 따른 관전압과 관전류 및 mAs량 파형을 실험을 통하여 나타내었다.

2. 모노 블록형 X-선 고전압 발생 시스템

모노 블록을 사용한 X-선 고전압 발생 전체시스템은 그림 1에 나타내었고 다음과 같이 크게 4부분으로 나눌 수 있다^{[1][2][4]}.

- 1) 고주파 고전압 인버터부
- 2) 필라멘트 가열용 인버터부
- 3) 모노 블록형 X-선 탱크부
- 4) 시스템 제어부

각 부분에 대한 구성과 동작특성을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 고주파 고전압 인버터부

입력 전압으로는 국내의 전원사정에 대응하기 위하여 그림 1에서 보는 바와 같이 AC100V/200V 입력 절환에, AC 100V 입력시에는 전파 배전압 정류회로를 또한, AC200V입력시에는 브리지 정류회로를 선택할 수 있게 하였다. 주 인버터 회로에는 70kHz 스위칭 주파수로 동작하는 풀-브리지 PWM 인버터를 사용하였고 사용된 MOS-FET소자로는 입력 커패시턴스가 낮은 페어차일드사의 FQL 40N50을(500V/400A)병렬로 2개씩 총 8개의 소자를 사용하였다. 인버터 동작 주파수를 70kHz로 고주파동작 시킴으로서 고전압 변압기의 소형화를 이루어 모노 탱크의 부피와 크기를 축소 전체제품의 크기와 무게를 줄일 수 있었고 또한, 촬영 X-선 장치의 사용특성상 연속부하가 아님으로 MOS-FET 소자의 방열판을 소형화 할 수 있었다. 한편, 고전압 발생부의 배전압 정류 회로는 전류제한 요소가 없는 콘덴서 리프트형 정류회로여서 인버터 전류

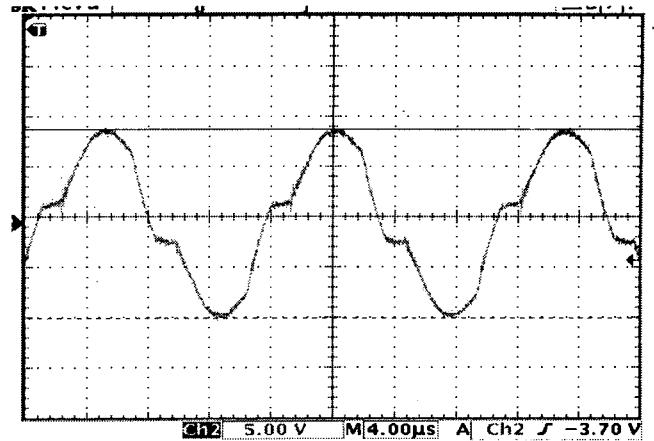


그림 2 인버터의 출력전류 파형(20A/div)

Fig. 2 Output current waveform of inverter(20A/div)

피크치를 제한하여야 한다. 이 전류를 제한하기 위하여 고압트랜스의 2차측 표유 분포용량과 매칭하는 외부 인덕터를 고주파 고전압 변압기의 1차측에 따로 삽입하였다. 그림 2에 보여지는 바와 같이 인버터의 출력전류는 거의 정현파가 됨을 알 수 있다.

2.2 필라멘트 가열용 인버터

그림 1에서 나타낸 X-선관의 필라멘트를 가열하기 위하여 푸쉬풀 타입의 인버터를 사용한다. 필라멘트 가열시 소비되는 전력은 수W에서 수십W가 되기 때문에 회로의 단순구성을 위하여 푸쉬풀 인버터 회로를 채용 정전류 제어를 하므로서 정밀한 mA제어를 구현하였다. 필라멘트가열 동작모드에서 예비가열(Pre-heat)구간에는 X-선관전류가 흐르지 않으므로 각 설정치에 따른 예비가열(Pre-heat) 정전류 제어모드로 동작하고 X-선 조사시에는 X-관전류가 흐르므로 X-선 관전류 제어모드로 전환하

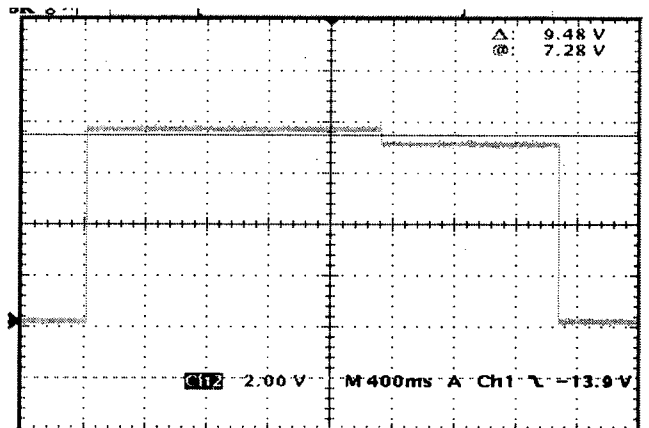


그림 3 X-선관 전류 모드별 설정신호

Fig3. Reference signal of x-ray tube current

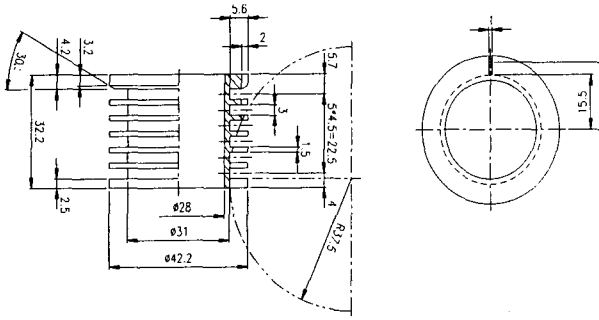


그림 4 HFHV 변압기 보빈 도면
Fig. 4 Drawing of HFHV transformer bobbin

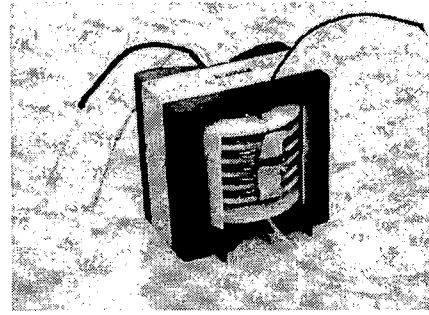


그림 5 HFHV 변압기
Fig. 5 HFHV Transformer

게 된다. 이에 따른 전류과형을 그림3의 나타내었고 X-선 방사시, X-선관전류가 흐르므로 자동적으로 예비가열(Pre-heat) 전류제어에서 X-선관전류 제어로 전환하게 된다.^[2]

2.3 모노 블록형 X-선 탱크

모노 블록형 X-선 탱크는 그림1에서와 같이 고주파 고전압 트랜스, 배전압 회로, 관전압, 관전류 검출 회로, 필라멘트 가열용 변압기 그리고 고정형 X-선관으로 구성되어진다.

2.3.1 고주파 고전압 변압기 설계

본 연구에서 제작한 고주파 고전압 변압기의 코어로는 마그네틱스사의 PQ5050을 사용하였다. 고주파 고전압 변압기의 2차측은 고전압이기 때문에 일반 보빈으로는 1차측과 2차측 또한 2차측 층간의 절연거리를 확보하기가 어려움으로 고전압에서의 절연거리를 확보하기 위하여 그림4와 같이 고주파 고전압용 변압기의 전용보빈 설계를 6층 구조로 설계하여 제작하였고 사용된 보빈의 재료로는 POM(Poly Oxy Methylene)을 사용하였으며 그림5

에서는 실제 설계 제작된 고주파 고압 변압기를 보여주고 있다.^{[2][3][4][5]}

2.3.2 고전압 발생회로

고전압 변압기의 출력은 배전압회로 플러스 암과 마이너스 암에서 승압 정류되는 중성점 접지 방식을 사용하였다. 중성점 접지 방식은 접지점을 기준으로 각 암에 전압의 1/2씩 전압을 발생하여 X-선관에 전압을 인가, 애노드 또는 캐소드 접지 방식에 비해 절연 설계가 용이할 뿐만 아니라 플러스 암, 마이너스 암의 각 출력 리플 위상을 역위상하여 서로 리플을 저감하므로 실제 관전압 리플은 각 암의 리플전압의 1/2로 동작된다.

2.4 시스템 제어부

본 X-선 발생장치의 제어부는 X-선 관전압 제어부와 X-선 관전류 제어부 및 mAs제어부로 이루어진다. 그림 6에서 나타낸것과 같이 관전압은 CPU의 D/A 컨버터에 의해 지령전압 kV가 설정되고 이 지령전압은 고전압 회로의 마이너스 암에서 피드백 되어지는 실제 관전압 kV를 검출, 설정 관

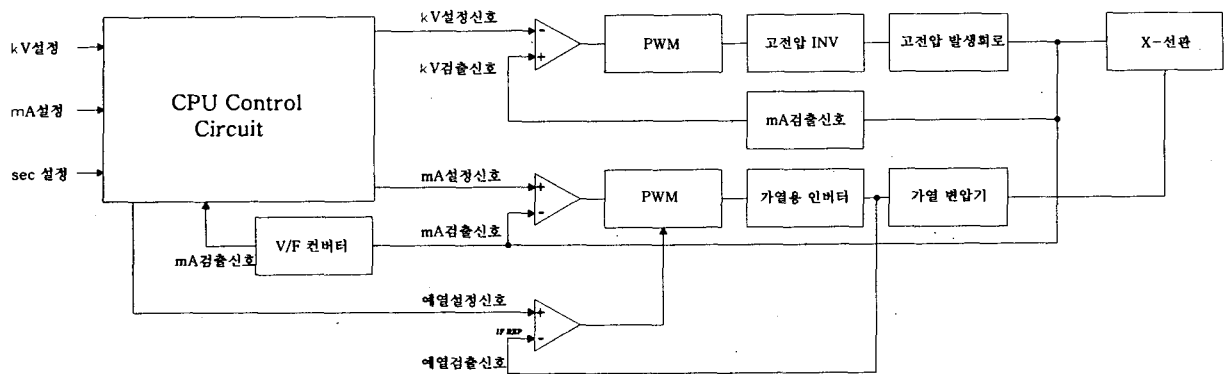


그림6. 제어 회로 블록도
Fig6. Control circuit block diagram

전압을 추종하도록 구성하였다. X-선 조사중 관전압은 고전압 발생회로부의 마이너스 압에 구성되어진 CR 분압회로를 통해 관전압 제어기에 피드백되어지고, 관전압 제어기의 출력 관전압 제어량에 따라 설정 관전압을 추종할 수 있도록 구성하였다. 또한, 정확한 X-선 피폭량을 제어하기 위하여 V-F컨버터를 이용 mAs량을 제어하도록 구성하였다^[2].

3. 실험결과

그림 7은 본 장치의 모노블록형 탱크를 보여주고 있고 고주파 고전압 변압기, 고압 발생 회로, 필라멘트 가열용 변압기로 구성되어진다. 그림 8은 본 연구에서 제작된 2.4kW급 고주파 고전압 인버터부의 사진이다. 그림 9는 최대 관전압 100kV, 최대 관전류 35mA의 2.4kW급 제품화된 모노블록형 X-선 발생 장치를 보여 주고 있다. 그림 10에서 그림 12는 관전압, 관전류의 설정치를 변동하였을 때의 실제 관전압 관전류 파형을 나타내었다. 위의 파형에서 보는바와같이 중성점 접지방식에 의해 리플 위상이 역위상이 되기 때문에 관전압이 리플이 저감됨을 알 수 있고 X-선 관전압 kV와 X-선량에 영향을 주는 관전류 mA의 상승시간과 하강시간이

모두 양호하게 동작함을 보여주고 있다. 여기서 하강시간은 고전압 회로의 커패시터 용량에 의해 결정되어진다. 표 1에서는 본 연구에서 제작된 제품 사양을 나타내었다.

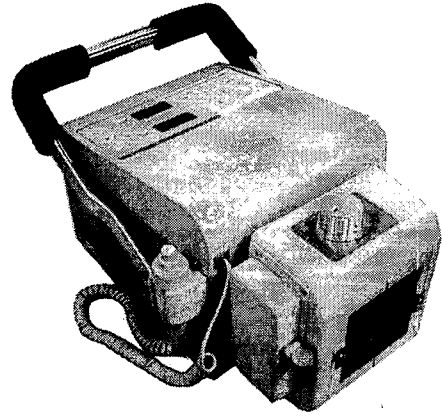


그림 9 모노블록형 X-선 발생장치
Fig. 9 Mono block type X-ray Generator system

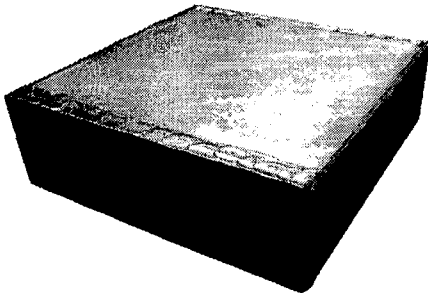


그림 7 모노블록 탱크(100kV/35mA)
Fig. 7 Mono block tank (100kV/35mA)

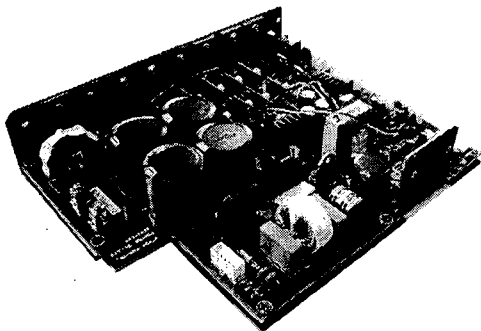


그림 8 고주파 고전압 인버터
Fig. 8 HFHV Inverter

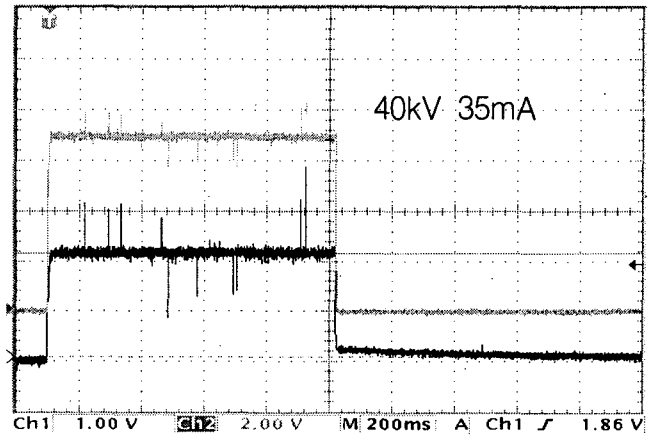


그림 10 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
Fig. 10 X-ray Tube voltage(20kV/div), Tube current(10mA/div) waveform

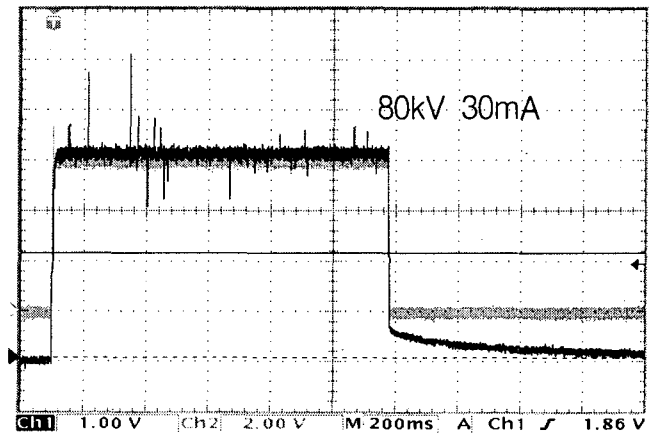


그림 11 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
Fig. 11 X-ray Tube voltage(20kV/div), Tube current(10mA/div) waveform

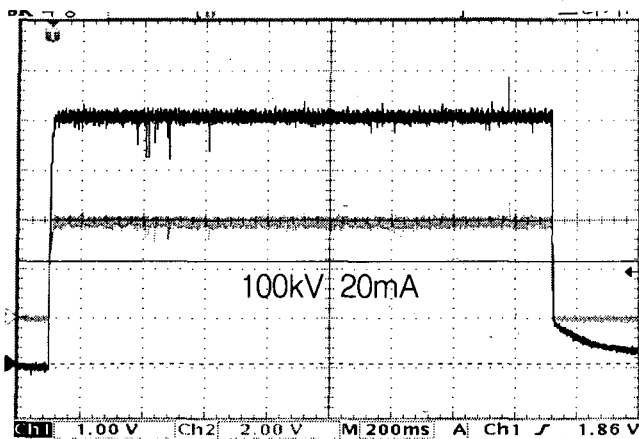


그림 13 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
 Fig. 13 X-ray tube voltage(20kV/div), tube current(10mA/div) waveform

표 1 제품 사양

Table 1 Specification

Output Power		2.4 kW		
Input Power	Voltage	220V-240±10%		
	Phase&Frequency	Single 50/60Hz		
	Current	Short time 30A/15A		
Radiography kV Range in 1kV steps	Tube voltage	current	mAs	
	40kV~60kV	35mA	0.4~100	
	61kV~70kV	30mA	0.4~64	
	61kV~70kV	25mA	80~100	
	71kV~80kV	30mA	0.4~32	
	71kV~80kV	25mA	40~80	
	81kV~90kV	25mA	0.4~40	
	81kV~90kV	20mA	50~80	
	91kV~100kV	20mA	0.4~50	
	91kV~100kV	16mA	64~80	
mAs Range	0.4mAs-100mAs,25 step			
Max. kV Deviation	±7%			
Max. kV Deviation	±10%			
Indication	kV(error code)/mAs:7-segment			
X-ray tube	Model Name	D-124 TOSHIBA		
	Focal Spot	1.2mm×1.2mm		
	Target Angle	16 degree		
	Anode Heat Storage	20kHU		
	Heat Dissipation	250HU/sec		
Total Filtration	2.5mm Al eq.@100kV			
Dimensions	460mm×250mm×250mm			
Weight	12Kg			

4. 결 론

최근, 의료기관은 도시의 인테리전트 빌딩내에 개원하는 일이 많아 좁은 공간에서도 사용할 수 있는 소형의 X-선 발생장치를 요구하고있을 뿐만 아니라 옥외에서도 손쉽게 사용할 수 있는 휴대용 X-선 발생장치를 강하게 요구하고 있다. 본 장비는 2.4kW급 휴대용 X-선 발생장치로써 X-선 관전류 제어에 대하여 기존 방식과 비교 설명하였고 제품의 소형화를 이룰 수 있었던 고전압 발생장치인 모노블록형 X-선 탱크에 관하여 기술하였다. 또한, 제작된 제품의 X-선 관전류와 관전압 파형을 실험을 통하여 나타내었다. 향후 연구과제로는 더욱 향상된 고주파 인버터 기술과 모노블록형 X-선 탱크 제작이다.

참 고 문 헌

- [1] Izumi Ogura, and T. Aoyagi, "Analysis of the Basic Motion of the Resonance Type Inverter X-ray Generator by the Model circuit".
- [2] 김학성 외 3인, "진단 X-선용 40kW 고주파 고압 전원 시스템", 전력전자 학술대회 논문집, pp. 192~198, 2003.4.
- [3] Kelly J.P and Trout E.D, "Physical Characteristics of the Radiation from 2-Pulse, 12-Pulse, and 1,000-Pulse X-Ray Equipment", Radiology100, pp. 653~661, 1971.
- [4] K.T. Compton et al.: Magnetic Circuit and Transformers, John-Wiley and sons, New-York, Chap. 18, 1943.
- [5] Rs. A. McCurrie: Ferromagnetic Materials, Academic, London, Chap. 2, 1994.
- [6] Hino, H, Hatakeyama, T. and Nakaoka, M., "Resonant PWM Inverter Linked DC-DC Converter using parasitic Impedances of High Voltage Transformer and Its Applications to X-Ray Generator", PESC Record pp. 1212~1219, 1998.