

모노탱크 탑재형 고주파 포터블 X-선 발생 장치

吳俊龍*, 成基峯*, 金學成**
 (주)포스콤* 동양공업전문대학**

3.2 kW Mono Block Type Portable X-ray Generator

Junyong Oh*, Kibong Sung*, Hackseong Kim**
 POSKOM* Dongyang Technical Collage**

ABSTRACT

본 논문에서는 관전류 직접제어 방식을 채택한 3.2kW(80kV,40mA)급 최소형, 최경량 Portable X-선 장치를 제안한다. 본 장치는 X-선 발생을 위한 고전압 발생 단에 모노탱크 블록 사용하였고, 고주파 고전압용 인버터에는 스위칭 전력소자로서 Mini block type의 MOS-FET를 채용, 80kHz로 스위칭 함으로서 고전압 변압기를 비롯한 고전압 발생부의 크기와 무게를 최소화하였다. X-ray Power의 출력이 높아짐에 따라, X-ray tube의 필라멘트 인버터의 출력용량 또한 증가 되었다. 본 논문에서는 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

기존 개발되어 제품화된 모노 블록형 휴대용 X-선 발생장치는 소형, 경량화라는 장점을 가지고 있었지만 모노 블록형 탱크에 사용한 X-선관의 사양과 X-선 출력이 낮아 주로 몸집이 작은 동물이나 말의 발굽과 같은 곳을 촬영 하였다. 그러나 최근에는 X-선관 및 스위칭 소자의 발달로 모노 블록형 휴대용 X-선 발생장치의 소형, 경량화를 유지하면서도 X-선 출력을 높이는 X-선 장치의 개발 및 제품화가 활발히 이루어지고 있는데 본 논문에서 제안한 모노 블록형 휴대용 X-선 발생장치가 위의 조건을 만족하는 제품이라고 할 수 있다. 기존 리니어 변압기 방식의 X-선 발생장치는 출력용량에 따른 장치의 무게 및 부피 때문에 휴대성 및 용량 증가의 한계가 있었다. 그러나 본 논문에서 인버터 방식을 채용한 진단 X-선 발생장치는 고압

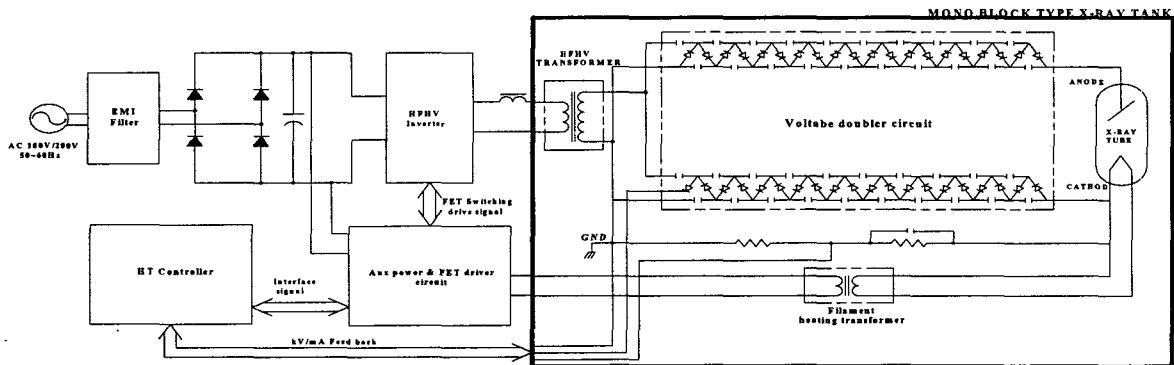


그림 1 모노 블록형 X-선 발생 시스템

Fig. 1 Mono block type x-ray generating system

부와 X-선관을 일체화하여 고주파 동작을 시킴으로서 X-선 장치를 소형,경량화를 이룰 수 있었고 휴대가 용이하게 되었다. 이에 따른 연구로서 본 논문에서는 휴대용 X-선 발생장치로 개발된 3.2kW(최대 관전압 100kV, 최대 관전류 60mA)급 모노 블록형 휴대용 X-선 발생 장치에 대하여 소개하고자 한다. 그림 1에서 보는바와 같이 본 장치의 입력전압은 AC 200V만 사용하게 된다. 일반적인 사용전원 AC 100V로는 사용전원의 입력전류가 너무 높아 가정이나, 옥외에서 사용하기가 힘들어 AC 200V전용 제품으로 개발 되었다. 본 제품의 구성은 크게 고전압 인버터부와 제어부 그리고 배전압회로와 X-선관이 하나로 된 모노 탱크단으로 크게 나눌 수 있다^[6]. 이에 따른 관전압과 관전류 및 mAs량 파형을 실험을 통하여 나타내었다.

2. 모노 블록형 X-선 발생 시스템

모노 블록형 X-선 발생 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 크게 다섯 부분으로 나눌 수 있다. [1][2][4][6]

- 1) 고주파 고전압 인버터부
- 2) 온 보드 DC-DC 컨버터 드라이버부
- 3) X-선관 필라멘트 가열용 인버터부
- 4) 모노 블록형 X-선 탱크부
- 5) 시스템 제어부

각 부분에 대한 구성과 동작특성을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 고주파 고전압 인버터부

주 인버터 회로에는 80kHz 스위칭 주파수로 동작하는 풀-브리지 PWM 인버터를 사용하였고 사용된 MOS-FET소자로는 Mini block형의 IXYS사의 IXFN 80N50(500V/80A)소자를 사용하였다. 인버터 동작 주파수를 80kHz로 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 전류피크치를 제한하여야 한다. 이 전류를 제한하기 위하여 고압트랜스의 2차측 표유 분포용량과 매칭하는 외부 인덕터를 고주파 고전압 변압기의 1차측에 따로 삽입하였다^[6].

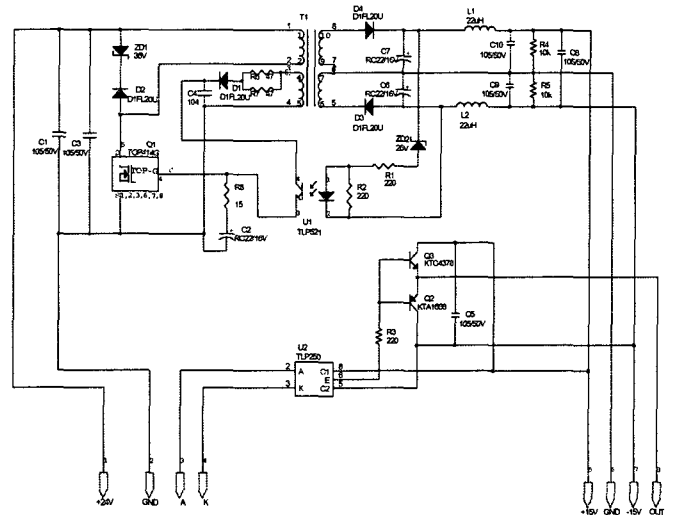


그림 2 온 보드 DC-DC 컨버터 드라이버
Fig2. On board DC-DC converter driver

2.2 온 보드 DC-DC 컨버터 드라이버부

그림 2에서 보는 회로와 같이 인버터부의 FET를 구동하기 위해서 총 4개의 온 보드 DC-DC 컨버터 드라이버를 사용하였다. 이 회로에서는 FET의 게이트 전압을 제어하기 위하여 2차측에서 피드백을 받아 정전압을 유지하였고 입력전압의 변동에 의해서도 2차측 게이트 전압이 변동이 없도록 고안되어졌다. 스위칭 소자로는 PI사의 TOP414를 사용하였고 2차측 출력 전압은 +15V, -15V를 구현 하였다.

2.3 X-선관 필라멘트 가열용 인버터

X-선 발생 시스템에서 X-선을 발생시키기 위하여는 X-선관 양단에 고압을 인가해주시는 것 뿐만 아니라 X-선관의 필라멘트를 가열시켜야지만 X-선을 발생하게 된다. 이때 X-선관의 필라멘트 전류를 정전류 제어하여 X-선 발생 시스템의 전류를

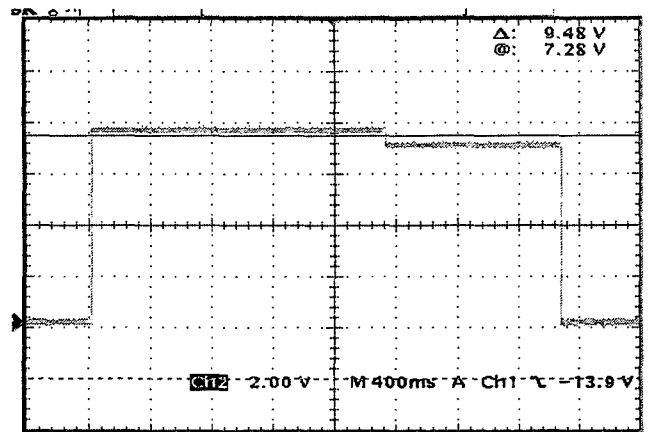


그림 3 X-선관 전류 모드별 설정신호
Fig3. Reference signal of x-ray tube current

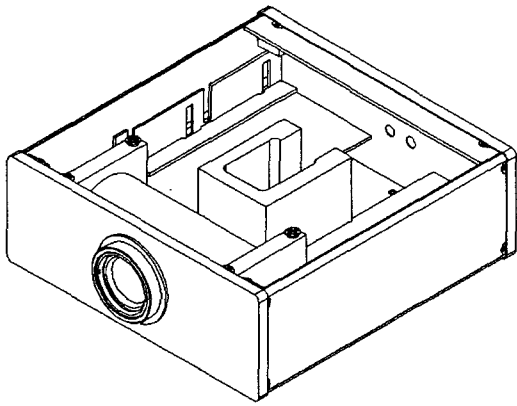


그림 4 모노 블록형 X-선 탱크 도면
Fig. 4 Mono block type X-ray tank drawing

결정한다. 본 논문에서는 X-선관의 필라멘트를 가열하기 위하여 푸쉬풀 타입의 인버터를 사용하였다. 필라멘트 가열시 소비되는 전력은 수W에서 수십W가 되기 때문에 회로의 단순구성을 위하여 푸쉬풀 인버터 회로를 채용 정전류 제어를 함으로서 정밀한 mA제어를 구현하였다. 필라멘트가열 동작 모드에서 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 전환하게 된다. 이에 따른 전류파형을 그림 3에 나타내었고 X-선 방사시, X-선관전류가 흐르므로 자동적으로 예비가열(Pre-heat) 전류제어에서 X-선관전류 제어로 전환하게 된다^{[2][6]}.

2.4 모노 블록형 X-선 탱크 설계

모노 블록형 X-선 발생 장치의 가장 큰 핵심은 모노탱크 부분이라고 할 수 있다. 이는 모노 탱크 부분을 고압으로부터 절연거리를 확보하면서 최소

화, 경량화 하는 점이 제품의 성능 및 기능을 높여 줄 수 있다. 모노 블록형 X-선 탱크는 그림1에서와 같이 고주파 고전압 트랜스, 배전압 회로, 관전압, 관전류 검출 회로, 필라멘트 가열용 변압기 그리고 고정형 X-선관으로 구성되어진다^[6]. 그림 4는 모노 블록형 X-선 탱크의 기구 내부 구조를 보여 준다.

2.4.1 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.

2.5 시스템 제어부

본 X-선 발생장치의 제어부는 X-선 관전압 제어부와 X-선 관전류 제어부 및 mAs제어부로 이루어진다. 그림 5에서 나타낸 것과 같이 관전압은 CPU의 D/A 컨버터에 의해 지령전압 kV가 설정되고 이 지령전압은 고전압 회로의 마이너스 암에서 피드백 되어지는 실제 관전압 kV를 검출, 설정 관전압을 추종하도록 구성하였다. X-선 조사중 관전압은 고전압 발생회로부의 마이너스 암에 구성되어진 CR 분압회로를 통해 관전압 제어기에 피드백 되어지고, 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][6]}.

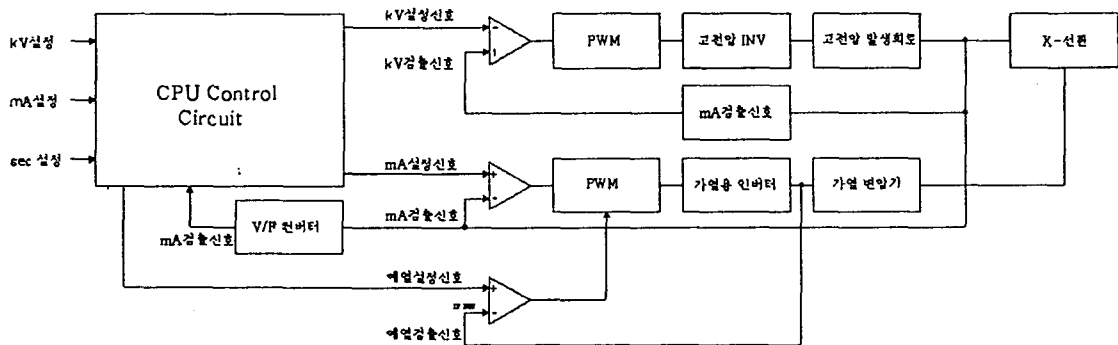


그림5. 제어 회로 블록도
Fig5. Control circuit block diagram

3. 실험결과

본 장치에서 실제 제작된 모노블록형 탱크의 내부를 그림 6에서 보여주고 있고 고주파 고전압 변압기, 고압 발생 회로, 필라멘트 가열용 변압기로 구성되어진다. 그림 7은 최대 관전압 100kV, 최대 관전류 60mA의 3.2kW급 모노 블록형 X-선 발생 장치의 기구 도면을 보여 주고 있다. 그림 8은 상용전원 AC220V에서 사용 시 입력전류 파형을 나타내었고, 그림 9은 이때 입력전압의 파형을 보여 준다. 그림 10에서 그림 12은 관전압, 관전류의 설정치를 변동하였을 때의 실제 관전압 관전류 파형을 나타내었다. 위의 파형에서 보는바와 같이 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 제품의 사양을 나타내었다.

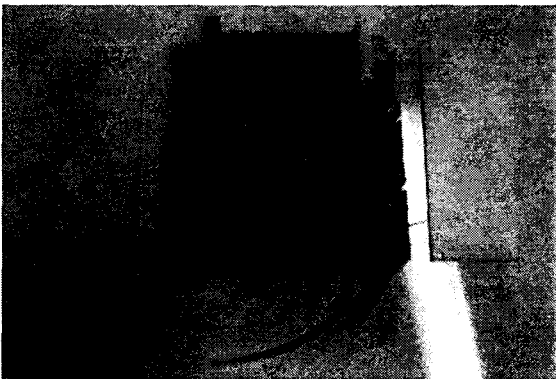


그림 6 모노 블록형 X-선 탱크
Fig 6. Mono block type X-ray tank

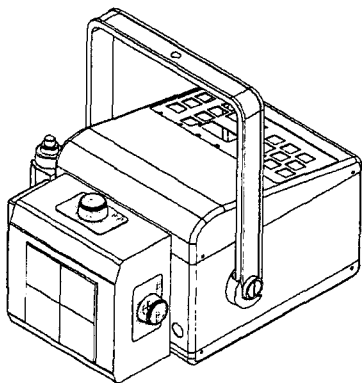


그림 7 모노 블록형 X-선 탱크
Fig 7. Mono block type X-ray tank

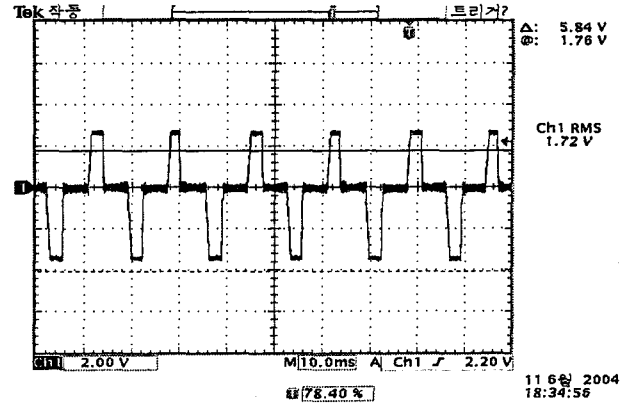


그림 8 입력전류(20A/div)실험파형
Fig. 8 Input current(20A/div)waveform

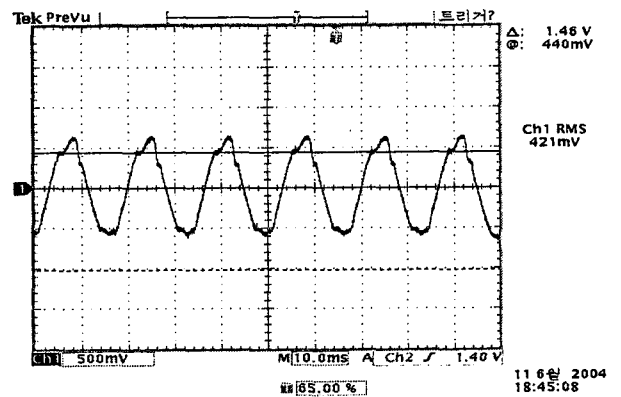


그림 9 입력 전압(200V/div) 실험파형
Fig. 9 Input voltage(200V/div)waveform

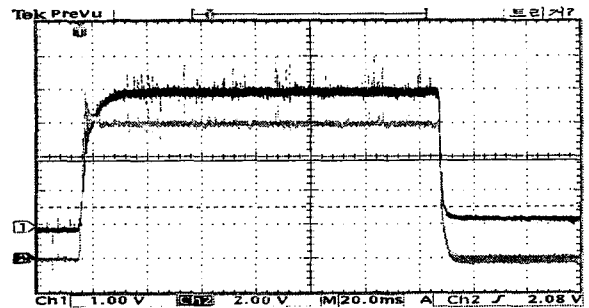


그림 11 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
Fig. 11 X-ray tube voltage(20kV/div), tube current (10mA, div) waveform

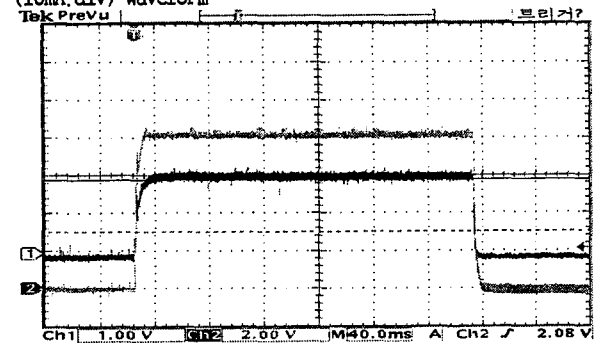


그림 10 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
Fig. 10 X-ray tube voltage(20kV/div), tube current (10mA, div) waveform

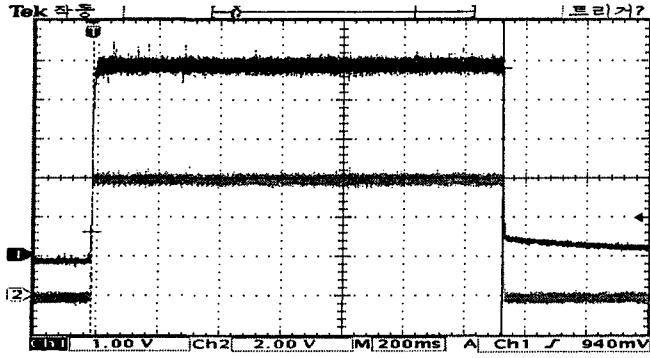


그림 12 X-선관전압(20kV/div), 관전류(10mA/div) 실험파형
 Fig. 12 X-ray tube voltage(20kV/div), tube current(10mA/div) waveform

4. 결 론

본 장비는 3.2kW급 휴대용 X-선 발생장치로써 그림 9의 입력전류 파형에 나타난 바와 같이 입력 전류의 RMS가 20A정도가 되기 때문에 가정용 상용전원으로 사용할 수가 있다. 또한 본 논문에서 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

표 1 제품 사양
 Table 1 Specification

Output Power		3.2 kW		
Input Power	Voltage	220V-240±10%		
	Phase&Frequency	Single 50/60Hz		
	Current	Short time 30A		
Radiography kV Range in 1kV steps		Tube voltage	current	mAs
		40kV ~ 60kV	60mA	0.4 ~ 100
		61kV ~ 70kV	40mA	0.4 ~ 64
		61kV ~ 70kV	40mA	80 ~ 100
		71kV ~ 80kV	40mA	0.4 ~ 32
		71kV ~ 80kV	40mA	40 ~ 80
		81kV ~ 90kV	30mA	0.4 ~ 40
		81kV ~ 90kV	30mA	50 ~ 80
		91kV ~ 100kV	30mA	0.4 ~ 50
		91kV ~ 100kV	30mA	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		13Kg		