▸원 저◂ ISSN 1226-2854

REX-650 RF 인버터장치의 성능평가

— Usefulness of inverter type REX-650 R/F X-ray equipments —

고려대학교 보건대학 방사선과 · 가천길대학 방사선과*

김정민 · 오정환*

— 국문요약 —

현재 임상에서 사용중인 국산 30 kHz 용량의 PWM방식의 인버터식 X선 장치의 성능을 장치의 출력 정확도, 출력파형의 변화 및 영상증배관의 변환계수 등을 평가하여 그 유용성을 알아보았다.

그 결과 촬영용 장치의 관전류, 관전압, 단시간 특성은 KS규정에 대해 매우 양호한 정확도를 유지했고 출력파형도 양호한 특성을 나타내었다. 또한 촬영시 X선 장치의 출력은 단상대비 약 1.7배 정도 많게 나타났다.

투시장치의 성능에서도 관전류, 관전압 및 sopt촬영 관전류, 관전압 모두 최고 5.8% 이하의 양호한 결과를 나타내었으며, 영상증배관의 변환계수는 2년여 사용한 것을 고려할 때 75 kV에서 310으로 상당히 높았다. 국내기술로 개발된 고주파식 X선 장치가 성능의 실용적 단계를 넘는 것으로 나타나 앞으로 고주파식 X선 장치가 국내, 외에 많이 보급되고 이용될 것으로 사료된다.

Ⅰ. 서 론

1913년, 우리나라에서 X선 검사가 시작된지 90년이 지났다. X선 촬영장치도 많은 발전을 하여 자기정류방식에서 단상전파정류방식으로 삼성전파정류방식을 거쳐 현재는 고주파식 X선 장치로 발전해 왔다.

고주파식 X선 장치는 1969년 GE사에서 처음 실용화하였으며, 우리나라에서도 여러 노력의 결과로 고주파식 X선 장치(Inverter type X-ray equipment)를 L사에서 자체 개발하여 그 첫 제품을 시장에 발표하였다. 그 뒤 몇몇 국내의 X선 장치회사에서도 고주파식 X선 장치를 개발하는데 성공하였다[1,2].

따라서 처음 제작된 국산 L사의 고주파식 X선 장치(RF-600-150)의 전반적인 성능을 지난 1년간의 사용경험을 바탕으로 평가해 그 결과를 보고하는 바이다.

Ⅱ. 실험방법 및 결과

1. 실험기자재 및 X선 장치의 사양

- X-ray equipment : REX-650RF, IRF-600-150 (Listem co.)
- X-ray tube : over tube-E7252X, F.S : 1.2/0.6 (Toshiba)
  under tube - E7252X, F.S : 1.2/0.6 (Toshiba)
- Image intensifier tube : LIC-06, 6 inch (Toshiba co.)
- X-ray equipment analyzer : Dynallyzer Ⅲ (Divider - M-96311 Reader - M-96320, Radcal corp.)
- Dosimeter : Reader - 2026
  Chamber - 20X5-60E(chamber volume : 60 cc, Radcal corp.)

• Oscilloscope : VC-6545(BW : 20 MHz, Hitachi corp.)
• 휘도계 : GO265(Graseby optronics co.)
• X-ray equipment specification

Generator	Input power	3φ 380V
	Frequency	50/60Hz
	Power input kW	45kW
	Rad. rating	300mA/150kV
		600mA/70kV
	Fluoro. rating	4mA/120kV
	Inverter frequency	30kHz
	Rising time	1.8msec
	Inverter type	PWM type
CCD camera	TV system	Based on RS-170 standard
	Image sensor	Interline CCD
	Image active pixel	768(H) × 494(V)
	Image sensor chip size	8.4μm × 9.8μm
	Active image area	6.4mm(H) × 4.8mm(V)
	Scanning lines	525 lines
	S/N(luminance)	56 dB/rms or more
Image intensifier	Enterance field size	150 mm
	Output image diameter	15±0.5 mm
	High resolution	48 Lp/cm typ.
	High conversion factor	356 $\frac{cd/m^2}{mR/\sec}$ typ.
	High contrast ratio 10% area	23 : 1 typ.

Ⅲ. 실험방법 및 결과

1. 촬영장치 성능실험

1) 관전류, 관전압 정확도 실험

X-ray 장치의 정확도 검사는 High tension Divider를 이용한 Radcal사의 Dynallyzer Ⅲ를 사용하였다. Fig. 2와 같이 High tension Divider를 X-ray tube와 high tension transformer 사이에 연결하고, Reader를 연결

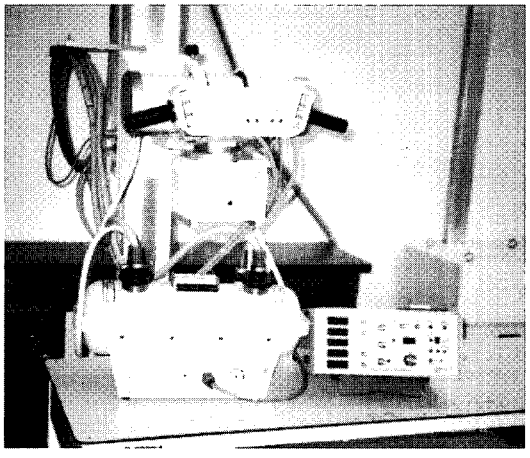


Fig. 2. setup for measurement of mA and kVp

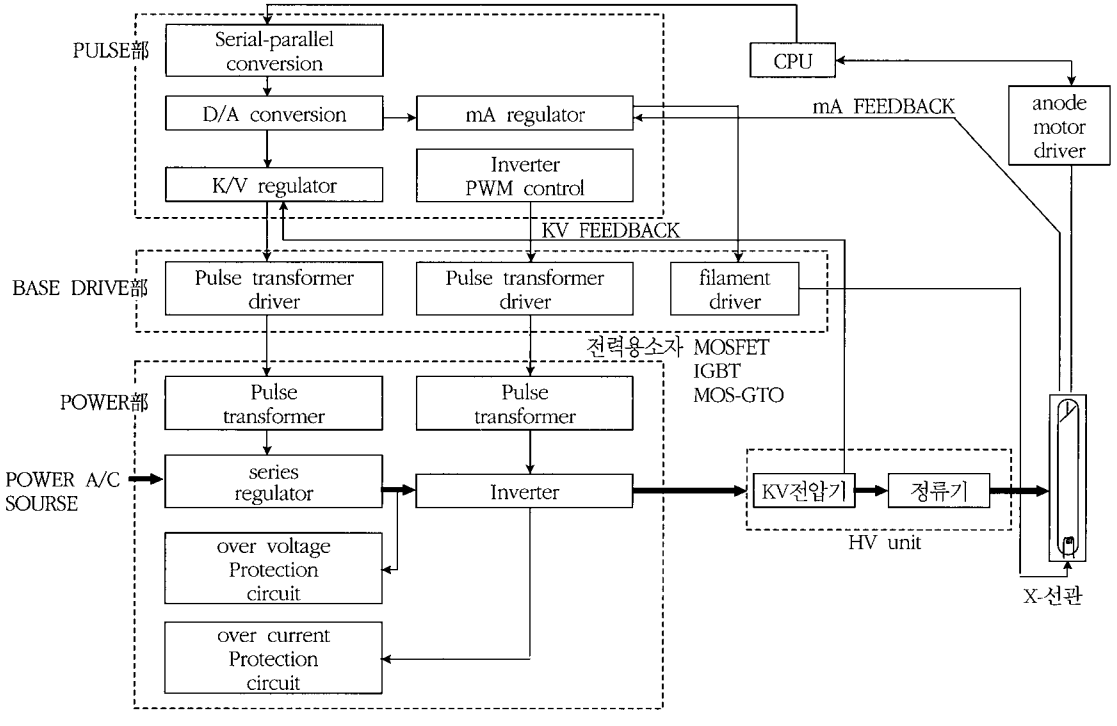


Fig. 1. diagram of highfrequency X-ray system

Table 1. measurement of radiographic mA and kVp

지시 mA	측정 mA	mA PAE(%)	지시 kV	측정kV	kV PAE(%)
100	97.2	2.80	70	69.7	0.43
	98.8	1.20	100	98.2	1.80
	101.2	-1.20	120	117.6	2.00
	99.0	1.0	140	135.2	3.43
200	193.3	3.35	70	70.0	0.00
	192.5	3.75	100	98.3	1.70
	191.0	4.50	120	118.3	1.42
	190.3	4.85	140	135.2	3.43
300	307.6	-2.53	70	69.0	1.43
	303.0	-1.00	100	98.3	1.70
	304.6	-1.53	120	117.4	2.17
	302.1	-0.70	140	134.8	3.71
400	392.7	1.83	70	69.7	0.43
	395.2	1.20	100	97.3	2.70

한 다음 조사시간을 0.1 sec로 고정한 후 관전류와 관전압을 각각 변화시키면서 각 3회씩 측정하여 평균치를 구하였다. 또한 High tension Divider에 Oscilloscope를 연결하여 X선 출력 관전압 및 관전류 파형을 측정하였다.

그 결과 Table 1과 같이 관전류는 백분율평균오차(이하 PAE)가 −0.70~4.85%의 오차범위를 보였으며, 관전압은 0.00~3.71%의 오차를 보여, 관전류, 관전압 모두 KS규격 ±15%와 ±10%에 적합하게 나타났다.

또한 관전류, 관전압 파형도 특이한 noise나 파형의 찌그러짐 없이 매우 안정적으로 나타났다(Fig. 3~5).

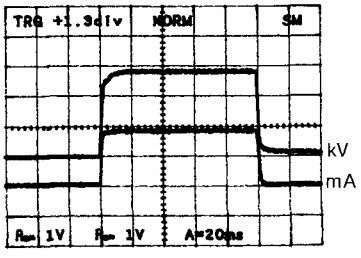


Fig. 3. Waveform of 60 kVp/100 mA

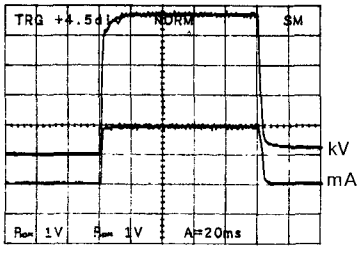


Fig. 4. Waveform of 100 kV/100 mA

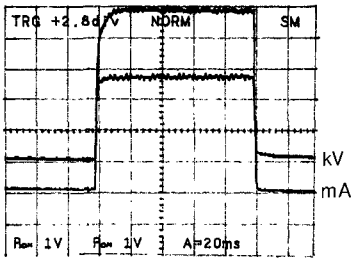


Fig. 5. Waveform of 100 kV/200 mA

2) 단시간 특성 실험

단시간 정확도를 알아보기 위해 Dynallyzer Ⅲ를 연결한 상태에서 관전압을 75 kVp, 관전류를 300 mA로 고정을 한 다음 1 msec부터 10 msec까지 각 3회씩 측정하여 그 오차를 측정하였으며, 그 결과 표준편차(SD)와 변동계수(CV)도 모두 안정적이었으며 오차 및 PAE 또한 KS 규정에 적합하게 나타났다.

Table 2. characteristic of milli-second exposure time

지시치(msec) / 측정치	1	2	3	4	5	8	10
평균	0.857	1.752	2.152	3.075	4.111	7.529	9.513
SD	0.149	0.523	0.143	0.101	0.169	0.121	0.055
CV	0.174	0.298	0.066	0.033	0.041	0.016	0.006
오차(msec)	0.143	0.248	0.848	0.925	0.889	0.471	4.87*

*PAE value

3) X선 출력 실험

X선 장치의 출력선량을 알아보기 위해 FFD를 100 cm, Field size : 20×20으로 한 후 관전압을 60 kV~140 kV까지 20 kV씩 증가시키면서 측정한 결과 출력이 80 kV시 1 mAs 당 6.53 mR으로 단상장치와의 선량비교에 대해 약 1.7배 정도 증가되게 나타났다(Table 3 참조).

Table 3. measurement of X-ray output mR

kVp / mA	60 kV	80 kV	100 kV	120 kV	140 kV
100 mA	35.3	65.3	101.7	148.7	189.0
200 mA	78.0	134.0	204.0	276.0	341.0
100/200 mA 상대비	45.26	48.73	49.85	53.88	55.43

2. 투시장치 성능실험

1) 투시 관전류, 관전압 정확도 실험

Dynallyzer Ⅲ를 Fig. 2과 같은 방법으로 under tube

에 연결한 다음 투시 관전류를 1~4 mA로 변경시켜가며, 각 관전압별로 그 정확도를 측정하였다.

그 결과 Table 4와 같이 관전류는 PAE가 0.00~5.50% 까지, 관전압은 0.43~5.50%까지의 오차를 보여 매우 정확하게 나타났다.

Table 4. measurement of fluoroscophic mA and kVp

지시 mA	측정 mA	mA PAE(%)	지시 kV	측정kV	kV PAE(%)
1	1.04	-4.00	70	67.5	3.57
	0.98	2.00	100	96.4	3.60
	0.95	5.00	120	113.5	5.42
2	1.89	5.50	70	69.2	1.14
	1.92	4.00	100	97.5	2.50
	2.00	0.00	120	114.3	4.75
3	3.10	-3.33	70	69.7	0.43
	2.91	3.00	100	97.7	2.30
	2.84	5.33	120	113.4	5.50
4	3.98	0.50	70	67.9	3.00
	3.93	1.75	100	97.5	2.50
	3.82	4.50	120	114.6	4.50

2) sopt 촬영 관전류, 관전압 정확도 실험

투시검사중 spot촬영시의 관전류, 관전압의 정확도를 각 전류변화에 전압의 변화별로 측정을 한 결과 Table 5와 같이 PAE가 관전류, 관전압 모두 6% 미만으로 정확하게 나타났으며 그때의 관전류, 관전압 파형도 우수한 결과를 보였다(Fig. 6).

Table 5. measurement of Sopt film exposure mA and kVp

지시 mA	측정 mA	mA PAE(%)	지시 kV	측정kV	kV PAE(%)
100	95.7	4.30	70	69.0	1.49
	96.5	3.50	100	97.6	2.38
	96.7	3.30	120	115.6	3.67
	95.5	4.50	140	135.5	3.21
200	190.7	4.65	70	68.2	2.57
	192.3	3.85	100	96.8	3.20
	193.5	3.25	120	114.4	4.67
	191.0	4.50	140	131.8	5.86
300	286.4	4.53	70	69.2	1.14
	290.5	3.17	100	97.6	2.40
	298.1	0.63	120	115.6	3.67
	294.4	1.87	140	132.5	5.36

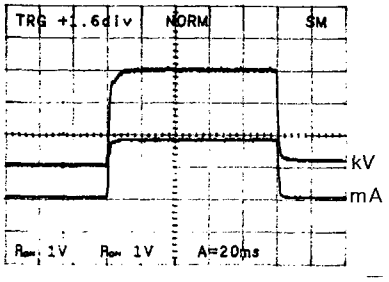


Fig. 6. Waveform of Sopt film exposure

3) 영상증배관 변환계수 실험

투시장치의 총여과는 테이블 천판까지 포함하여 2.5 mmAl 이었으며, 관전압 75kV에서 제1반가층이 7±0.2 mmAl이 되기 위한 실험조건을 만들기 위하여 부가여과로 Al을 증가시키며 반가층을 측정한 결과 19 mmAl의 알루미늄의 벽돌을 사용시에 제1반가층이 KS기준인 7.01 mmAl가 되어 총여과를 21.5 mmAl로 사용하였으며, 이를 실효 에너지로 환산하면 약 50 KeV가 되었다. 또한 이때 관전류는 KS 규정에 따라 I.I입사면 조사선량율이 약 1.0 mR/s가 되는 2 mA를 사용하였다[6]. 이때 FFD는 100 cm에서 실시하였다(Fig 7).

그 결과 변환계수는 65 kV에서 278.1, 105 kV에서 327.5로 관전압 증가에 따라 점차 증가하였으며, 또한 변환계수 측정의 기준이 되는 75 kV에서는 310으로 나타나 일반적으로 변환계수가 200~300 정도인 것을 고려할 때 상당히 양호한 결과를 나타내었다(Table 6, Fig. 8).

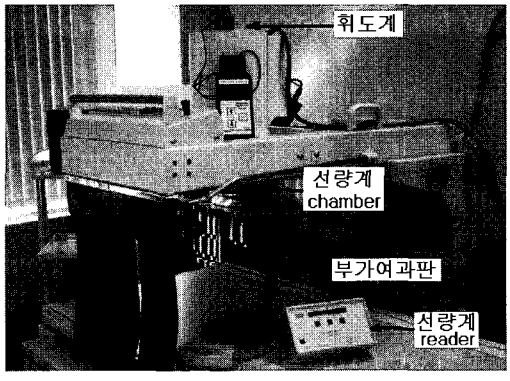


Fig. 7. setup for measurement of Conversion factor

Table 6. Conversion factor with kVp used as the variable

kV	65	75	85	95	105
mR/sec	0.538	1.012	1.880	2.469	2.989
cd/m^2	149.7	313.7	611.3	809.0	978.7
conversion facter	278.1	310.0	325.2	327.8	327.5

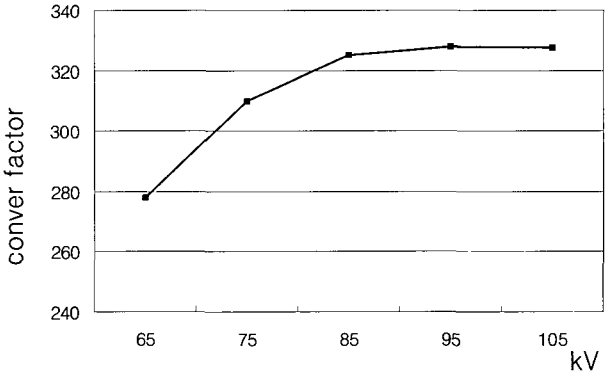


Fig. 8. Conversion factor with kVp used as the variable

Ⅳ. 고 찰

L사의 REX-650 고주파 X선 장치의 제네레이터는 공진형으로 주파수가변제어방식을 채택하였으며 인버터의 구성은 IRM(IGBT의 일종)을 브리지로 접속하였다.

공진형 inverter에는 직렬형과 병렬공진형 및 직병렬 공진형이 있고 X선 고압전압장치에 이 모든 방식이 채용되고 있는데 직렬공진형에 관하여 고찰한다.

직렬공진은 Fig. 9의 기본회로에 나타낸 것 같이 부하와 직렬로 접속된 콘덴서(정전용량 C)와 reactor(inductance L)에서 직렬공진회로를 형성하고 그 공진을 이용하여 transistor RT_1와 TR_4의 on에 의해 (-)의 반 cycle을 발생시키는 것이다.

이 공진주파수는 fR은

$$fR = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} (Hz)$$

이므로 TR_1~TR_4를 on/off하는 inverter의 동작주파수를 f_0라 하면 이 inverter의 부하파형은 f_R과 f_0의 대소관계에 의해서 Fig. 10과 같이 된다.

즉 $f_R = f_0$ 및 $f_R > f_0$에서는 부하전류의 극성이 반전하여 (-)의 반 cycle 기간에 D_1, D_4에 부하전류가 전류(轉流)하여 transistor TR_1과 TR_4는 자연히 off한다.

$f_R < f_0$인 때는 강제적으로 off된다(TR_2와 TR_3의 동작에 대해서도 동일하다).

이 공진형 inverter의 출력제어는 inverter의 동작주파수는 f_0를 가변하는 방법과 inverter 동작위상을 가변하는 방법(예를 들면, transister TR_1에 대하여 TR_4의 위상을, TR_2에 대하여 TR_3의 위상을 겹치지 않고 엇갈리게 하여 on, off 제어) 등에 의하여 이루어진다. 병렬공진형은 부하와 병렬로 L,C 공진회로를 접속하여 병렬공진에 의하여 전력변화를 하는 것이다. 실제 장치에서는 고전압 변압기 2차 권선간의 정전용량이 존재하기 때문에 이것이 부하와 병렬로 접속되어 직병렬 공진의 회로가 형성되게 된다.

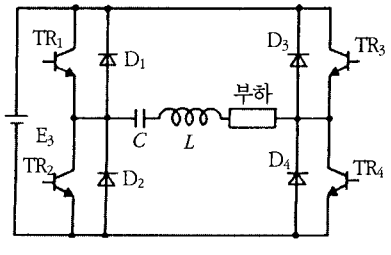
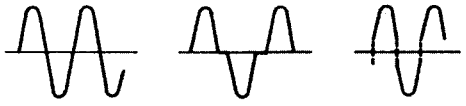


Fig. 9. 직렬공진형 단상inverter의 기본회로

또한 공진회로의 저항분을 R이라고 하면 $R \geq 2\sqrt{L/C}$가 되는 조건에서는 비진동적이 되고 공진형에서는 없게 되어 앞에서 설명한 비공진형 동작이 된다. 이러한 원리를 가진 REX-650의 촬영시 관전류, 관전압 정확도는 관전류 PAE가 -0.70~4.85%, 관전압은 0.00~3.71%로 KS 규격[6]인 ±15%와 ±10% 이내로 적합하였으며 오차가 KS한계의 1/2 이하로 매우 정확하였다. 또한 관전류, 관전압 파형 역시 특이한 noise나 왜곡이 없이 매우 안정적이다.

현대의 X선 장치의 성능한계라고 하면 단시간 특성을 들 수가 있다. 이 장치의 1 msec부터 10 msec까지의 단시간특성은 결과에서와 같이 표준편차(SD)와 변동계수(CV) 모두 안정적이었으며 오차 및 PAE 또한 KS규정에 적합하였다. 그러므로 이 장치로 초단시간 촬영이 가능해져 흉·복부촬영을 비롯하여 소아나 노인 등의 촬영에 보다 우수한 화질을 제공할 수가 있다.

X선 출력은 mAs 당 mR으로 나타내는 정류방식, 출력파형에 영향 받는다. 80 kV에서 mAs 당 6.54 mR으로 고 등[7,8]에 의한 단상장치와의 선량비교에 대해 약 1.7배 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 김정민[9]의 단상 대 고주파장치의 출력비 1 : 2.0~2.6 보다 약 30% 낮은 결과이다. 투시장치의 출력실험결과 관전압, 관전류 역시 상당히 정확하였다. 이는 촬영과 같은 제네레이터를 사용하기 때문에 촬영장치와 다르지 않을 것이며 인버터장치특성상 관전압, 관전류의 피드백이 가능하기 때문에 고도의 정밀도를 유지할 수 있는 것이다. 투시장치의 중요한 점은 이미지 인텐시파이어의 휘도증가계수이며 변환계수는 표시할 75 kV에서는 310, 85 kV 이상에서 330으로 일반적인 투시장치의 변환계수가 200~300 정도인 것을 고려할 인텐시파이어의 휘도증가계수는 매우 우수하였다[10]. 이상과 같이 REX-650장치의 출력과 정확도에 대하여 평가하였으나 기계적 항목에 대한 평가를 더하였으면 하는 아쉬움이 있다. 모든 기계장치가 그렇듯이 출력, 정확도에 대하여 평가하였으나 기계적 항목에 대한 평가를 더 하였으면 하는 아쉬움이 있다. 모든 기계장치가 그렇듯이 출력, 정확도도 중요하지만 쓰기편함, 소음, 진동 등도 매우 중요한 장치의 성능평가 항목이기 때문이다.



(a) $f_R = f_0$ (b) $f_R > f_0$ (c) $f_R > f_0$

f_R : 공진주파수, f_0 : inverter의 동작주파수

Fig. 10. 직렬공진형 inverter의 출력파형

V. 결 론

REX-650은 30 kHz의 주파수를 사용하는 PWM방식의 고주파인버터방식의 X선 장치이다. 국내기술로 최초로 상용화되어 지난 1년간의 사용경험을 토대로 하여 출력과 정확도를 평가해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 출력은 단상전파정류방식 보다 약 1.7배 높다.
2. 촬영용 장치의 관전류, 관전압 및 단시간 특성은 KS규정에 대해 매우 정확하고 출력파형 또한 지연, 왜곡이 없다.
3. 투시장치의 관전류, 관전압 및 sopt촬영 관전류, 관전압 모두 규정치에 적합하다.
4. 영상증배관의 변환계수는 일반적인 투시장치의 변환계수보다 높다.

고주파식 X선 장치는 최첨단 기술이 집약된 장치이므로 국산기술로 개발과정에서 시행착오도 많았던 것으로 안다. REX-650은 단상의 전원을 이용하지만 단상전파정류장치 보다 더욱 평활한 파형과 높은 출력을 얻을 수 있으며 직선성, 재현성, 선질 특성까지 좋은 특징을 가지고 있다. 이러한 고주파인버터장치의 개발로 고가의 수입장비를 대체할 수 있고 수출까지 할 수 있는 발판이 되리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김정민 : 진단용X선 장치와 계측기술의 발전과정, 화상연구, Vol. 5, No. 2, 1997.
2. 이성길, 최성관 : 인버터식 X선 발생장치용 고주파 공진형 고압변압기 등의 설계, 한방기학회지, Vol. 24, No. 2, 5~11, 2001.
3. 爪谷富三, 診斷機器工學, 78~98, 医歯藥出版株式會社, 1997.
4. 高橋秀彰 : インバータ 式X線裝置の特性と臨床効果, 3. 一般撮影および軟線撮影, 日本放射線技術學會雜誌, Vol. 46, No. 12, 1901~1909, 1990.
5. 강영태 : High frequency방식 X선 장치의 특징, 화상연구, Vol. 2, No. 3, 15~26, 1994.
6. KS A 4022, 의료용 X선 고전압 장치 통칙, 한국표준협회, 1995.
7. 고신관 외 : 진단용 X선 장치의 X선 출력에 관한 연구, 한방기학회지, Vol. 18, No. 2, 61~73, 1995.
8. 김학성 외 : Inverter식 X선 장치의 성능실험, 화상연구, Vol. 2, No. 3, 27~35, 1994.
9. 김정민 : 진단용X선 장치의 출력과 정도에 관한 실험적 연구, 국민대학교 대학원, 1996.
10. 김성철 외 : X선 영상증배관의 상대변환계수 측정에 관한 검토, 한방기학회지, Vol. 20, No. 2, 28~33, 1997.

• **Abstract**

Usefulness of inverter type REX-650 R/F X-ray equipments

Jung Min Kim · Jung Hwan Oh

Dept. of Radiological technology, College of health Science, Korea University
*Dept. of Radiological technology, Gachongil College**

The conclusions after appraisal usefulness of korean 30 kHz inverter type X-ray equipments which are currently used in the clinics are like those followings.

1. The specific characters of mA, kVp, msec in the radiography keep very good accuracy and showed good waveform also under KS regulations.
2. The output of the X-ray equipment is showed 1.7 times higher than single-phase.
3. mA, kVp of the fluoroscopy and Sopt film exposure mA, kVp showed appropriated results under the regulations.
4. As we consider the conversion factor of image intensifier tube used for two years, it showed pretty high results, 310 at 75 kV, and knew that the conversion factor which followed by increasing kVp increased its computations like Kim's[8] experimentation.

Those X-ray equipment showed excellent results in the appraisal while those were operating so we think that those X-ray equipments will be substitute for expensive foreign equipment in korean domestic medical equipment in the future.